

อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลีเอทิลีนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น  
ในถังกวนแบบแบตช์



นายรุจิรา จิตรหวัง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-609-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PARAMETERS ON HIGH DENSITY FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM  
MIXING IN BATCH TANK



Mr. Rujira Jitwung

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-609-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลีเอทธิลีนโพรพีนชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบดซ์
โดย	นายรุจิรา จิตรหวัง
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายสุนทร งามพร้อมพงศ์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะसार ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายสุนทร งามพร้อมพงศ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกนก ทองใหญ่)

รุจิรา จิตรหวัง : อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น  
ในถังกวนแบบแบตช์. (EFFECT OF PARAMETERS ON HIGH DENSITY FLEXIBLE  
POLYURETHANE FOAM MIXING IN BATCH TANK) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ,  
อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายสุนทร งามพร้อมพงศ์, 299 หน้า. ISBN 974-346-609-6

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น  
ในถังกวนแบบแบตช์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเตรียมชิ้นงานจากห้องปฏิบัติการให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานที่  
ทำการผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบสแลสตัดได้ โดยการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผสมซึ่งประกอบด้วย  
ชนิดของใบกวน, ความเร็วรอบของการปั่นกวน, เวลาของการปั่นกวน และอุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม  
ผลการศึกษาพบว่าชนิดของใบกวนมีอิทธิพลมากต่อการผสม โดยใบกวนชนิด Double helical ribbon screw ให้  
ประสิทธิภาพของการผสมดีที่สุด ความเร็วรอบและเวลาของการปั่นกวนผสมมีอิทธิพลรองลงมา เมื่อใช้ความเร็ว  
รอบและเวลาปั่นกวนมากจะส่งผลให้มีฟองอากาศมีขนาดใหญ่ และสัดส่วนปริมาตรฟองอากาศต่อสัดส่วน  
ปริมาตรโพลียูรีเทนโฟมมาก เมื่อใช้ความเร็วรอบและเวลาของการปั่นกวนผสมน้อยเกินไปมีผลให้การผสมเกิด  
เป็นเนื้อเดียวกันไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานมีค่าแตกต่างจาก  
ชิ้นงานอ้างอิง ซึ่งผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบสแลสตัดได้ ผลการวิจัยพบว่าช่วงความเร็วรอบของการปั่นกวน  
ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 800 ถึง 1000 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ดีที่สุดคือ 900 รอบต่อนาที  
เวลาของการปั่นกวนที่น้อยที่สุดและเหมาะสมในการผสมประมาณ 5 วินาที สำหรับอุณหภูมิของสารเคมีก่อน  
ทำปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อการผสมมาก โดยเมื่ออุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม  
แล้วชิ้นงานผลิตภัณฑ์เกิดการฉีกแยก และเมื่ออุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม  
ทำให้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์เกิดการย่นและหดตัว โดยอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมประมาณ 20  
องศาเซลเซียส และเมื่อปรับปรุงปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสามารถใช้อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำ  
ปฏิกิริยาสูงขึ้นได้ เท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4071465021 : MAJOR Chemical Engineering

KEY WORD: POLYURETHANE FOAM / MIXING / BATCH

RUJIRA JITRWUNG: EFFECT OF PARAMETERS ON HIGH DENSITY FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM MIXING IN BATCH TANK. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., THESIS COADVISOR : SOONTHORN NGAMPROMPONG, 299 pp. ISBN 974-346-609-6

This research study covered the impacts of parameters effecting the mixing in a batch tank of high-density flexible polyurethane foam. The main purpose was to find ways to prepare the laboratory work with properties approximating to those derived from the slabstock foam process. The parameters effecting the laboratory work properties include type of agitator, speed, mixing time and the temperature of reagents before reaction process. The study reveals the following. The key factor that affects the product properties is type of agitator, and the double helical ribbon screw type can yield the greatest efficiency of production. Second come speed and mixing time. A greater speed and lengthier mixing time lead to big pinholes in non-uniform cells causing a high ratio of air-volume per polyurethane foam volume. When applying an insufficient speed and shorter mixing time, imperfect homogeneous mixing occurs. This, in turn, affects the physical and mechanical properties of the product, causing it to be far too different from the reference sheet produced by the slabstock foam process. A suitable mixing speed ranges between 800-1000 rpm, and the best speed is 900 rpm. The suitable minimum mixing time that yields the best result is approximately five seconds. The temperature before reaction process of reagents is also important. When the temperature is lower than that appropriate, the product sheet splits. On the other hand, a higher temperature than that appropriate, shrinkage occurs. The suitable temperature before reaction process of reagents is at 20 degrees Celsius. However, when the amount of catalyst used is adjusted, the temperature required can be as high as 26 degrees Celsius.

Department Chemical Engineering  
Field of study Chemical Engineering  
Academic year 2000

Student's signature.....  
Advisor's signature.....  
Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความสนับสนุนและคำแนะนำที่ดีเยี่ยมจาก รองศาสตราจารย์ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา คุณชนะชัย โควานิชเจริญ ผู้จัดการโรงงาน ซึ่งได้ให้ขวัญและกำลังใจในการทำกรวิจัยตลอดคำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ และเวลาในการทำงานบางส่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และต้องขอขอบคุณพนักงานในห้องปฏิบัติการ คุณวีระพล เจริญสุข ที่ได้ช่วยในการเตรียมสารเคมีและตรวจวัดชิ้นงาน ขอขอบคุณคุณกอบแก้ว ลิ้มปักษิตกุล ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการ ที่ได้เชิญผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคเข้ามาอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้เกิดความรู้อื่น ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภกนก ทองใหญ่ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบริษัท อีสเทิร์นโพรโตคัท จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณ และสารเคมีในการทำวิจัย

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิดและให้การสนับสนุนอีกทั้งยังให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน โดยเฉพาะคุณวีรวัฒน์ ปัททวิคองคา นิสิตปริญญาเอกภาควิชาชีพวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูล ตรวจสอบต้นฉบับวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซี-1
สารบัญตาราง.....	ซี-1
สารบัญรูปภาพ.....	ณ-1
สัญลักษณ์.....	ญ-1
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ข้อจำกัดการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
2 ทฤษฎี.....	6
2.1 ปฏิกริยาของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น.....	6
2.1.1 ปฏิกริยาการพองตัว.....	6
2.1.2 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์.....	6
2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น.....	8
2.3 ชนิดของโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	10
2.3.2 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสูง .....	10
2.3.3 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสูงชนิดป้องกันการลามไฟ .....	10
2.3.4 โพลียูรีเทนโฟมแบบกึ่งแข็ง .....	10
2.3.5 โพลียูรีเทนโฟมแบบกึ่งแข็งที่หุ้มอยู่บนวัสดุ .....	10
2.4 สารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตโพลียูรีเทน .....	12
2.4.1 โพลีอีเทอร์โพลีออล .....	12
2.4.2 โคโพลิเมอร์โพลีออล .....	14
2.4.3 ไอโซไซยาเนต .....	15
2.4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา .....	17
2.4.5 ซิลิโคนสเตบิไลเซอร์ .....	19
2.4.6 สารช่วยพอง .....	23
2.4.7 สารหน่วงการติดไฟ .....	26
2.5 พื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับการผสม .....	27
2.5.1 หลักทั่วไปเกี่ยวกับการพิจารณาการผสมของเหลว .....	28
2.5.2 ระดับของการผสม .....	28
2.5.3 การผสมขึ้นกับความหนืด .....	29
2.5.4 กลุ่มของตัวแปรไร้มิติที่สำคัญในการคำนวณเกี่ยวกับการผสม .....	29
2.5.5 ชนิดของถังกวน .....	30
2.5.6 ชนิดของใบกวน .....	32
2.6 การเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	39



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 ระบบผสมองค์ประกอบทุกชนิดในขั้นตอนเดียวกัน .....	39
2.6.2 ระบบผสมสององค์ประกอบ .....	40
2.6.3 ระบบแบ่งครึ่งเตรียมพอลิเมอร์ .....	41
2.7 กรรมวิธีในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	41
2.7.1 การผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่อง .....	41
2.7.2 การผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่อง .....	42
2.8 วิธีการวิเคราะห์โพลียูรีเทนโฟม .....	45
2.8.1 ความหนาแน่นของโพลียูรีเทนโฟม .....	45
2.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดของเซลล์ .....	46
2.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับขนาดของเซลล์ .....	48
2.8.4 ปัญหาของการวิเคราะห์ผลทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพของ โพลียูรีเทนโฟม .....	50
3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	53
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย .....	53
3.1.1 โพลีเอเทอร์โพลีออล .....	53
3.1.2 โคโพลิเมอร์ โพลีออล .....	54
3.1.3 โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต .....	54
3.1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา .....	55
3.1.5 ซิลิโคนสเตบิลิเซออร์ .....	56
3.1.6 สารช่วยพอง .....	56
3.1.7 ตัวทำละลาย .....	57
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ .....	58
3.2.2 เครื่องมือสำหรับตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ .....	62
3.3 การเตรียมชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่นในห้องทดลอง .....	65
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา .....	65
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมแม่แบบ .....	66
3.3.3 ขั้นตอนการผสมโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่น .....	66
3.3.4 ขั้นตอนการหล่อแบบ .....	67
3.3.5 ขั้นตอนรักษาให้โพลีเอทิลีนไฟเบอร์เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ .....	67
3.4 สูตรที่ใช้ผลิตโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น .....	67
3.5 วิธีการทดลอง .....	68
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	77
4.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดใบกวน .....	78
4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมโพลีเอทิลีน ที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิดที่ 1 (Six blade flat blade turbine) .....	78
4.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมโพลีเอทิลีน ที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิดที่ 2 (Fourblade anchor) .....	97
4.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมโพลีเอทิลีน ที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนไฟเบอร์ชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิดที่ 3 (Pitched-blade turbine) .....	118

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทน ที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิดที่ 4 (Doublemotion horseshoe-paddle) .....	139
4.1.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทน ที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิดที่ 5 (Double helical ribbon screw) .....	159
4.2 เวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง แบบยืดหยุ่น .....	181
4.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟม ชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น .....	189
4.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา .....	197
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	205
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	205
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	206
รายการอ้างอิง .....	208
ภาคผนวก .....	209
ภาคผนวก ก (ข้อมูลอ้างอิง) .....	209
ภาคผนวก ข (ตัวอย่างการคำนวณ) .....	211
ภาคผนวก ค (การตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ) .....	221
ภาคผนวก ง (ข้อมูลการทดลอง) .....	233
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	299

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นชนิดต่าง ๆ .....	11
2-2	แสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลีออลเกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	14
2-3	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเทอเทียรีเอมีนที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	18
2-4	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาทิน ที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	19
2-5	แสดงชนิดของสารช่วยพองที่ใช้ในการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	23
2-6	แสดงชนิดของสารหน่วงการติดไฟที่ใช้ในโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น .....	26
3-1	แสดงค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นของสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	58
3-2	ส่วนประกอบสารเคมีที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น .....	68
4-1	แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนเท่ากับ 5,10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	82
4-2	แสดงค่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวน 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	83
4-3	แสดงค่าความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-4	87
<p>แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกังวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-5	88
<p>แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกังวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-6	90
<p>แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกังวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุม อุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวน ผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-7	91
<p>แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกังวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-8	93
<p>แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-9	95
<p>แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่า การตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสเปสตีอกโฟม .....</p>	
4-10	101
<p>แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการผลิตด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุม อุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการ ปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-11	103
<p>แสดงค่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-12	105
<p>แสดงค่าความแข็งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 ,10 , 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	
4-13	106
<p>แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิด ที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาทีตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-14 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	107
4-15 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	109
4-16 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	110
4-17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	112
4-18 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสตี๊กโฟม .....	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-19	แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine กับ ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที โดยอ้างอิงกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในระบบการผลิตแบบสแลปสติกโฟม ..... 116
4-20	แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ..... 122
4-21	แสดงค่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ..... 124
4-22	แสดงค่าความแข็งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ..... 126
4-23	แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ..... 127
4-24	แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ..... 129



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-25	แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	130
4-26	แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	132
4-27	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	133
4-28	แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม .....	135
4-29	แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor กับ ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาการกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยอ้างอิงกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม .....	137

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-30 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	143
4-31 แสดงค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ.....	144
4-32 แสดงค่าความแข็งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	146
4-33 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	147
4-34 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 2 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	149
4-35 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	150

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
<p>4-36 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	152
<p>4-37 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิ สารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวน ผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	153
<p>4-38 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียม ด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิ สารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวน ผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจ วัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม .....</p>	155
<p>4-39 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วยไบกวนทั้ง 4 ชนิด โดยที่ชนิดที่ 1 คือ Six blade flat blade turbine ชนิดที่ 2 คือ Four blade anchor ชนิดที่ 3 คือ Pitch blade turbine และชนิดที่ 4 คือ Doublemotion horseshoe-paddle ควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการ ผลิตแบบสแลปสติกโฟม .....</p>	157
<p>4-40 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก การเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุม อุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการ ปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	163

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-41 แสดงค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกรวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกรวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกรวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	165
4-42 แสดงค่าความแข็งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกรวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกรวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	167
4-43 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยไบกรวน ชนิดที่ 5 Helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกรวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	169
4-44 แสดงค่าความทนแรงรูปที่ 4-53 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึง กับความเร็วรอบของการปั่นกรวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึง ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกรวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยไบกรวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยและควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	170
4-45 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกรวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกรวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	172

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-46 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	173
4-47 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเป็งเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....	175
4-48 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียม ด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงาน ที่ได้รับการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสตีคโฟม .....	177
4-49 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วยไบกวนทั้ง 5 ชนิด โดยที่ชนิดที่ 1 คือ Sixblade flat-blade turbine ชนิดที่ 2 คือ Fourblade anchor ชนิดที่ 3 คือ Pitched-blade turbine และชนิดที่ 4 คือ Double motion horseshoe-paddle และชนิดที่ 5 คือ Double helical ribbon screw ควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการผลิต แบบ continuous slabstock foam .....	179

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
<p>4-50 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยึดตัว) เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เวลาของการปั่นกวนผสม 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ .....</p>	183
<p>4-51 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความต้านทานต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยึดตัว) ค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 และความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ .....</p>	191
<p>4-52 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความต้านทานต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยึดตัว) ค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 900 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....</p>	200

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-1	แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนแบบเดิม (Handmixing) โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการผลิตแบบสแลปสตีอ์คโฟม .....	210
ง-1	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	234
ง-2	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	235
ง-3	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	236
ง-4	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	237
ง-5	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	238
ง-6	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	239
ง-7	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	240
ง-8	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	241

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-9 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	242
ง-10 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	243
ง-11 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	244
ง-12 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	245
ง-13 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 5000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	246
ง-14 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 5000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	247
ง-15 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine, คุณสมบัติของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 5000 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	248
ง-16 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณสมบัติของสารเคมีก่อน การผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	249
ง-17 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณสมบัติของสารเคมีก่อน การผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	250



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-18 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	251
ง-19 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	252
ง-20 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	253
ง-21 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	254
ง-22 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	255
ง-23 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	256
ง-24 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	257
ง-25 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	258
ง-26 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณหมุมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	259

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-27 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	260
ง-28 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	261
ง-29 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	262
ง-30 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	263
ง-31 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	264
ง-32 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	265
ง-33 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	266
ง-34 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	267
ง-35 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณสมบัติของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	268

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-36 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	269
ง-37 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	270
ง-38 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	271
ง-39 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	272
ง-40 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	273
ง-41 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิ ของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	274
ง-42 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	275
ง-43 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	276

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-44	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	277
ง-45	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	278
ง-46	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	279
ง-47	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10วินาที .....	280
ง-48	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	281
ง-49	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 3 วินาที .....	282
ง-50	ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	283

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-51 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 8 วินาที .....	284
ง-52 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	285
ง-53 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	286
ง-54 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	287
ง-55 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	288
ง-56 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	289
ง-57 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	290

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-58 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที .....	291
ง-59 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที .....	292
ง-60 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 16 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	293
ง-61 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 18 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	294
ง-62 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	295
ง-63 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 22 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาทีและเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	296
ง-64 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 24 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	297

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-65 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, คุณหมุมิของ สารเคมีก่อนการผสม 26 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที .....	298



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1	แสดงปฏิกิริยา 5 ปฏิกิริยาของการเกิดโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ..... 7
2-2	ภาพขยายด้วยอิเล็กตรอนไมโครกราฟของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ที่มีเซลล์เปิด ..... 9
2-3	ปฏิกิริยาของการเตรียมโพลีออล ..... 13
2-4	โครงสร้างทางเคมีของไอโซไซยาเนตชนิดโทลูอินไดไอโซไซยาเนต และ ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต ..... 15
2-5	แสดงการเคลื่อนที่ของซิลิโคนเข้าไปเคลือบที่ผิวของผนังเซลล์ ของโพลียูรีเทนโฟม ..... 21
2-6	แสดงลักษณะการปลดปล่อยก๊าซออกจากเซลล์โพลียูรีเทนโฟม ..... 22
2-7	แสดงการเกิดโครงสร้างเซลล์และการปลดปล่อยก๊าซออกจากเซลล์ ..... 22
2-8	แสดงความสัมพันธ์ของดัชนีการพองตัว (Blow index) ที่มีต่อความหนาแน่น โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ..... 25
2-9	แสดงสัดส่วนของน้ำกับสารช่วยพองชนิด TCFM-11 ที่มีต่อค่า Load Identification สำหรับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ..... 25
2-10	แสดงสัดส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับถังกวนมาตรฐานแบบมีคียบ และไม่มีคียบ ..... 30
2-11	แสดงสภาพของการเกิดวังวน (vortex) ในการปั่นกวนในถังกวนแบบไม่มีคียบ ..... 31
2-12	แสดงความสัมพันธ์ของความหนืดของของเหลวที่มีผลต่อการเลือก ชนิดของใบกวน..... 32
2-13	แสดงใบกวนชนิด Marine Propeller ..... 34
2-14	แสดงใบกวนชนิด basic straight blade paddle ..... 35
2-15	แสดงใบกวนชนิด Horseshoe ..... 36
2-16	แสดงใบกวนชนิดHorseshoe with cross-member ..... 36
2-17	แสดงใบกวนชนิด Gate anchor ..... 36
2-18	แสดงใบกวนชนิดDoublemotiom horseshoe-paddle ..... 36
2-19	แสดงใบกวนชนิด Helical ribbon screw ..... 36
2-20	แสดงใบกวนชนิดDouble helical ribbon screw ..... 36



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2-21	แสดงใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine ..... 37
2-22	แสดงใบกวนชนิด Hub mounted curved blade ..... 37
2-23	แสดงใบกวนชนิด Disk mounted curved blade ..... 37
2-24	แสดงใบกวนชนิด pitch blade turbine ..... 37
2-25	แสดงใบกวนชนิด Modified turbine high shear ..... 38
2-26	แสดงใบกวนชนิด Saw tooth edge modified turbine shear ..... 38
2-27	ระบบผสมองค์ประกอบทุกชนิดในชั้นตอคนเดียว ..... 39
2-28	ระบบผสมสององค์ประกอบ ..... 40
2-29	ระบบแบ่งครึ่งเตรียมโพลิเมอร์ ..... 41
2-30	แสดงรูปเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลิยูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่อง ..... 42
2-31	แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลิยูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวนอน ด้วยระบบวางรองรับของเหลวที่ผสม ..... 43
2-32	แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลิยูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวนอนด้วย ระบบไม่ใช้รางเป็นตัวรองรับของเหลวที่ผสม ..... 44
2-33	แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลิยูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวตั้งด้วยระบบ วางรองรับของเหลวที่ผสม ..... 45
2-34	แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นที่มีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ของโพลิ เมอร์ชนิดโพลิสไตรีน ..... 48
2-35	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเซลล์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ความทนแรงอัด, ความทนแรงดึง, ความสามารถในการยืดตัว ..... 49
2-36	แสดงรูปร่างของเซลล์โพลิยูรีเทนที่ถูกตัดครึ่งในแนวตั้งฉากและแนวขนาน ..... 50
3-1	แสดงเครื่องผสม (Mixing machine, M2) ..... 59
3-2	แสดงใบกวนกลุ่ม Small blade high speed ..... 61
3-3	แสดงใบกวนกลุ่ม Large blade high speed ..... 62
3-4	แสดงการใช้กระดาษเป็นตัวรองรับในแม่แบบ ..... 66

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-1	<p>ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 79</p>
4-2	<p>ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 80</p>
4-3	<p>ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 81</p>
4-4	<p>แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 82</p>
4-5	<p>แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 84</p>

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-6	86
<p>แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งแรงชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวน ทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	
4-7	87
<p>แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5,10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	
4-8	89
<p>แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	
4-9	90
<p>แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถ ในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	92
4-11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบ ความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่น กวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวน ชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อน ทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	94
4-12 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่2 Four blade anchor โดยระยะเวลาของ การปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	98
4-13 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยเวลาของการปั่นกวน ผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	99
4-14 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่2 Four blade anchor โดยระยะเวลาการกวน ผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	100

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-15	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	101
4-16	แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	103
4-17	แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5 , 10 , 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	105
4-18	แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	106

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-19	<p>แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ15 วินาทีตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	108
4-20	<p>แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ15 วินาทีตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	109
4-21	<p>แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	111
4-22	<p>แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	113

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-23 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	119
4-24 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	120
4-25 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	121
4-26 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศกับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	122
4-27 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	124

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-28 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงซึ่งงานผลิตภัณฑ์กับความเร็วยรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบ ความสัมพันธ์ของความแข็งแรงซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววน ทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	126
4-29 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึง กับ ความเร็วยรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ของความต้านทานต่อแรงดึงของซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววน ทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	128
4-30 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วยรอบ ของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และ เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของซึ่งงาน ผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุม อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	129
4-31 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของซึ่งงาน ผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วยรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อ การฉีกขาดชนิด Split tear ของซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววน ทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	131



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-32	แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของ การปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบ เทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิ ของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	132
4-33	แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบน กับ จำนวนรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบ ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลา ของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5,10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วย ใบกววนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	134
4-34	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยเวลาการกววนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	140
4-35	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยเวลาการกววนผสม 10วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	141
4-36	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle โดยเวลาการกววนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	142

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-37 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศกับจำนวนรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	143
4-38 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	145
4-39 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็ง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส .....	146
4-40 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของซึ่งงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	148

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>4-41 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	149
<p>4-42 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	151
<p>4-43 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	152
<p>4-44 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบนกับ จำนวนรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800 และ1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าเปื่อยเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	154

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-45	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 160
4-46	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 161
4-47	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 162
4-48	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับ จำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 163
4-49	แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับ จำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 166

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-50	แสดงความสัมพันธ์ของความแข็ง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	168
4-51	แสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึง กับความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยและควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	169
4-52	แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึง กับความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	171
4-53	แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....	172

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-54	<p>แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10, 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	174
4-55	<p>แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบนกับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกววนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	175
4-56	<p>ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกววน 1000 รอบต่อนาที ที่เวลาของการปั่นกววนผสม 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	182
4-57	<p>แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับเวลาของการปั่นกววนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกววนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	184
4-58	<p>แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเซลล์ กับเวลาของการปั่นกววนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกววน เท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	184

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-59	แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (shore000, asker F และ PTC) กับ เวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 185
4-60	แสดงความสัมพันธ์ของ stress (ค่าความทนแรงดึง, ค่าความต้านต่อการฉีกขาด ชนิด c-tear, ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear ) กับเวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 186
4-61	แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับ เวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ15 วินาที ตามลำดับที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 187
4-62	แสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ความเปื่อยเบน กับเวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส ..... 188
4-63	ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000,1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ..... 190

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>4-64 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000,1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	192
<p>4-65 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเซลล์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000,1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	192
<p>4-66 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (shore000, asker F และPTC ) กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900,1000, 1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	193
<p>4-67 แสดงความสัมพันธ์ของ stress (ค่าการทนต่อแรงดึง , ค่าความต้านต่อการฉีกขาดชนิด c-tear, ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear) กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000,1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	194
<p>4-68 แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000,1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	195



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>4-69 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน กับความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส .....</p>	196
<p>4-70 แสดงอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยามีผลกระทบต่อการผลิตโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแบบยัดหยุ่น .....</p>	197
<p>4-71 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 900 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....</p>	199
<p>4-72 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw .....</p>	201
<p>4-73 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเซลล์ กับ อุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw .....</p>	201
<p>4-74 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (Shore000, asker F และ PTC ) กับอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw .....</p>	202

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-75	แสดงความสัมพันธ์ของ stress (ค่าการทนต่อแรงดึง, ค่าความต้านต่อการฉีกขาดชนิด c-tear และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear) กับ คุณหมุมิ สารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw ..... 202
4-76	แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับ คุณหมุมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw ..... 203
4-77	แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ คุณหมุมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสม ด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw ..... 203
ค-1	วิธีการตรวจวัดขนาดฟองอากาศจากการอ่านสเกลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ..... 224
ค-2	ขนาดเฉพาะของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติการทนแรงดึงและคุณสมบัติ ความสามารถในการยืดตัว ..... 226
ค-3	ขนาดเฉพาะของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อ การฉีกขาดชนิด C ..... 229
ค-4	ขนาดเฉพาะของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อ การฉีกขาดชนิด Split tear ..... 231

## สัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

b	ความกว้าง
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง
cp.	หน่วยของความหนืด (centipoise)
g	แรงโน้มถ่วงของโลก
m	น้ำหนักชิ้นงาน
pbw	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
t	เวลา
Da	ขนาดโมเลกุล
F	ฟังก์ชันนำลิทีของตัวเริ่มต้น
Fr	Frode number
G	ช่องว่างภายในโคม
KOH	โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์
N	จำนวนรอบของโมเลกุล
No	จำนวนการไหลเวียน
Np	กำลังในการขับเคลื่อนโมเลกุล
OHV	ค่าไฮดรอกซิล
P	กำลัง (วัตต์)

Q	อัตราการไหล
R	ส่วนของโมเลกุลที่เริ่มต้น
Re	Reynolds number
V	ปริมาตร
W	น้ำหนัก
$\mu$	ความหนืด
$\rho$	ความหนาแน่น
$\delta$	ความหนาของผนังเซลล์
$\pi$	ค่าคงที่เท่ากับ 3.14
@	ณ. ตำแหน่งที่
%	เปอร์เซ็นต์

**ตัวยก**

° หน่วยของมุมเป็นองศา

-- สัดส่วน

**ตัวห้อย**

C เซลล์

P พอลิเมอร์

A อากาศ



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นถูกใช้มานานหลายสิบปี สำหรับในผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด การนำไปใช้งานมีทั้งการนำไปใช้โดยตรง เช่น โฟมอาบน้ำถูร่างกาย โฟมสำหรับขัดคราบสกปรกตามภาชนะใส่อาหาร เป็นต้น การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น โฟมรองรับการกระแทกในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ โฟมสำหรับให้ความนุ่มนวลในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม และอีกมากมายซึ่งปัจจุบันได้นำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โพลียูรีเทนโฟมสามารถเตรียมขึ้นในสถานะทั้งอุณหภูมิและบรรยากาศปกติ ด้วยสารเคมีหลัก จำพวก โพลีเอสเตอร์ โพลีออล (polyester polyol) หรือ โพลีอีเทอร์ โพลีออล (polyether polyol) ร่วมกับ ไอโซไซยาเนต (isocyanates) และมีการเติมส่วนประกอบอื่น ๆ เข้าไปผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการในการนำไปใช้ ซึ่งสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล หรืออาจจะกล่าวให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนในรูปแบบทั่ว ๆ ไป คือสามารถทำให้เกิดขึ้นงานที่มีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มมาก จนกระทั่งถึงขึ้นงานที่มีความแข็งเทียบเท่าโลหะก็สามารถทำได้

การเตรียมผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟมนั้นในปัจจุบันเตรียมขึ้นจากกระบวนการ 2 กระบวนการด้วยกัน โดยกระบวนการแบบต่อเนื่องรู้จักกันเป็นอย่างดีในชื่อ สแลบสต็อกโฟม (Slabstock foam) และอีกกระบวนการหนึ่งคือกระบวนการเทหล่อในแม่แบบ ซึ่งเป็นกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่อง กระบวนการแบบต่อเนื่อง สแลบสต็อกโฟม เป็นวิธีการที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในการผลิตขึ้นงานโพลียูรีเทนโฟม โดยการส่งถ่ายสารเคมีต่างๆที่ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรการผลิตด้วย เครื่องสูบลูกสูบ (pump) เข้าสู่ชุดผสมซึ่งมักใช้ใบกวนชนิด multiple paddle ที่มีขนาดใบกวนแบบชนิดกับผนังของทรงกระบอกของชุดผสม หลังจากนั้นของผสมที่เกิดปฏิกิริยาจะถูกลำเลียงออกมาทางปลายเปิดอีกด้านหนึ่งลงสู่แผ่นรองรับมักใช้เป็นกระดาษหรือพลาสติกที่วางตัวอยู่บนสายพานลำเลียง ที่มีชุดดูดลากด้วยมอเตอร์ส่งกำลัง ขึ้นงานจะขยายตัวไปตามแม่แบบซึ่งมีใช้งานกัน 2 แบบ คือแบบสี่เหลี่ยมหรือแบบทรงกระบอก ถ้าต้องการสี่เหลี่ยม ตัวผนังด้านข้างทั้ง 2 ด้านจะตั้งฉากกับแผ่นรองรับด้านล่างใช้กระดาษหรือพลาสติกวางประกบเช่นเดียวกับแผ่นด้านล่าง และด้านข้างจะใช้ชุดดูดลากด้วยมอเตอร์ส่งกำลัง ซึ่งจะดูดลากด้วยความเร็วที่สัมพันธ์กับความเร็วของ

แผ่นด้านล่าง ถ้าต้องการชิ้นงานแบบทรงกระบอก ตัวผนังจะถูกออกแบบเป็นลักษณะทรงกลม ด้านบนจะเปิดโล่ง แผ่นรองรับของผสมที่เกิดปฏิกิริยามักใช้พลาสติกที่มีความหนา 2 ชั้น ผ่ากลาง เฉพาะแผ่นบน ขณะที่ลำเลียงพลาสติกเข้าไปด้วยชุดดูดลากที่มีมอเตอร์ส่งกำลัง เพื่อรองรับของผสมที่เกิดปฏิกิริยา แผ่นพลาสติกจะค่อย ๆ คืบออกจนเป็นแผ่นเดี่ยวแล้วท่อเข้าตามรูปแบบทรงกลมของแม่แบบ ซึ่งการผลิตโฟลียูรีเทนโฝมแบบทรงกระบอกนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Round block foam เมื่อของผสมที่เกิดปฏิกิริยาขยายตัวไปตามแม่แบบที่รองรับพร้อมกับถูกดูดลากไปอย่างต่อเนื่องด้วยชุดมอเตอร์ส่งกำลัง ของเหลวที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อย ๆ ขยายตัวจนโตเต็มที่ และเปลี่ยนสถานะจากสถานะของเหลวสู่สถานะของแข็งอย่างสมบูรณ์ แล้วเคลื่อนตัวไปด้วยสายพาน ลำเลียงเข้าสู่การตัดในทิศทางตามขวาง จะได้ชิ้นงานเป็นท่อน ๆ ตามรูปแบบของแม่แบบ จากนั้นแต่ละท่อนจะถูกลำเลียงไปพักเก็บที่สถานที่เก็บที่มีการระบายอากาศเป็นอย่างดี เพื่อรอเวลาให้โฟลียูรีเทนโฝมเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากอุณหภูมิที่ใจกลางชิ้นงาน ลดลงสู่อุณหภูมิบรรยากาศ

อีกกระบวนการหนึ่งเป็นกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องเป็นการเทหล่อในแม่แบบ (Molding method) ซึ่งของผสมที่เกิดปฏิกิริยาจะถูกผสมด้วยใบกวน หลังจากนั้นจะถูกส่งถ่ายลงสู่แม่แบบที่รองรับไม่ว่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมหรือแบบทรงกระบอกก็ได้ หลังจากนั้นก็จะถูกนำไปพักเก็บเช่นเดียวกับแบบต่อเนื่อง ซึ่งกระบวนการการเทหล่อแบบนี้เองมักพบปัญหาจำนวนมาก ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมีความแตกต่างจากชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องอย่างชัดเจน เช่น ชิ้นงานมักจะมีฟองอากาศขนาดใหญ่จำนวนมากกระจายในชิ้นงาน และความไม่แน่นอนของคุณสมบัติของชิ้นงานในแต่ละการผลิต ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นวิธีการผลิตชิ้นงานที่ไม่ต้องการคุณภาพที่สูงมากนัก และเหมาะกับโรงงานที่มีกำลังการผลิตต่ำ

เนื่องจากในปัจจุบันได้นำผลิตภัณฑ์โฟลียูรีเทนโฝมไปใช้กันอย่างกว้างขวางในหลาย ๆ รูปแบบ ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานขนาดเล็กเพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสม ก่อนที่จะเพิ่มขยายขนาดเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรมเป็นสิ่งจำเป็นมาก กระบวนการเตรียมชิ้นงานขนาดเล็กแต่เดิมนั้นเป็นวิธีการที่ไม่มีเงื่อนไขของทฤษฎีการผสม และโรงงานผู้ผลิตชิ้นงานโฟลียูรีเทนโฝมรวมถึงบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกลที่ใช้สำหรับการผลิตโฟลียูรีเทนไม่ได้มุ่งเน้นถึงการเตรียมชิ้นงานขนาดเล็กเพื่อให้ใกล้เคียงกับชิ้นงานขนาดใหญ่ แต่มักอาศัยการคำนวณหาสูตรด้วยทฤษฎีอย่างคร่าว ๆ แล้วทำการผสมในภาชนะทรงกระบอกขนาดเล็กด้วยใบกวนสำหรับประกอบอาหาร หรือมีการผสมด้วยชุดมอเตอร์ปรับรอบได้ (Cupstest) จากนั้นจะได้สูตรการผลิตซึ่งจะนำไปทดลองผลิตเป็นระยะเวลาสั้น ๆ จนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลตามต้องการ ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตมีเงื่อนไขและความซับซ้อนค่อนข้างมาก การสูญเสียซึ่งปริมาณสารเคมีและเวลาที่จะต้องใช้ในการทดลอง

นั้นก็ยังมีมูลค่ามาก และที่สำคัญที่สุดคือการเตรียมตัวอย่างเสนอชิ้นงานลูกค้าเพื่อให้เห็นชิ้นงานจริงก่อนการผลิตในระดับขนาดใหญ่ นั้น ชิ้นงานที่เตรียมขึ้นมักจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่แตกต่างค่อนข้างมาก ด้วยเหตุเหล่านี้ผู้ทำการวิจัยจึงคิดค้นหาวิธีการเพื่อจะลดปัญหาดังกล่าว และสามารถตอบสนองความต้องการที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้การเตรียมชิ้นงานจริงมีสม่ำเสมอทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถคำนวณสูตรการผลิตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น และสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ของโพลียูรีเทนโฟมได้หลากหลายชนิดด้วยระยะเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำให้ประหยัดทั้งงบประมาณและเวลาในการดำเนินการอย่างยิ่ง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการผสมองค์ประกอบของสารเคมี เพื่อให้เกิดเป็นโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ที่มีคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากห้องทดลองมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในกระบวนการผลิตจริง อาทิเช่น ชนิดของใบกวน, ความเร็วรอบของการปั่นกวน, เวลาของการปั่นกวน เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาใช้ในการช่วยตัดสินใจที่จะทำการปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผสม เพื่อสามารถสร้างสูตรหรือองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของการพัฒนาผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญที่จะส่งผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น เช่น ชนิดของใบกวน, เวลาของการปั่นกวน, ความเร็วรอบของการปั่นกวน, อุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยา เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบกับสูตรที่ทำการผลิตจริงของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น
2. ทำการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการผสม เพื่อที่นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผสมในระดับการผลิตในห้องปฏิบัติการ
3. เพื่อจะได้วิธีการที่จะตรวจสอบคุณสมบัติของสูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมก่อนการใช้ในการผลิตจริง

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการทดลองผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนมาตรฐาน ที่มีการปฏิบัติการแบบแบตช์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ทำการผสมโดยเลือกใช้ใบกวนแบบต่างๆดังนี้
  - Six blade flat blade turbine
  - Four blade anchor
  - Pitch blade turbine
  - Doublemotion horseshoe
  - Double helical ribbon screw
2. ทำการผสมโดยใช้เวลาของการปั่นกวน 3 ถึง 15 วินาที
3. ทำการผสมโดยใช้ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 ถึง 5000 รอบต่อนาที
4. ทำการผสมโดยเตรียมอุณหภูมิสารก่อนการผสมในช่วงอุณหภูมิ 16 ถึง 26 องศาเซลเซียส

### 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

การดำเนินการทดลองผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์นั้นมีข้อตกลงดังนี้

1. ถังกวนชนิดแบบมีครีป และไม่มีครีป ขนาด 10 cm.
2. ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการผสมจะใช้อัตราส่วนเดียวกับสูตรเคมีของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น ที่ใช้ในการผลิตในระบบแบบสแลบสตีคโฟม
3. การปฏิบัติการผสมจะเป็นไปตามวิธีการผสมแบบ 2 องค์ประกอบ

### 1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

การทดลองจะเป็นการศึกษากระบวนการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น ซึ่งใช้สูตรการผลิตเพียงสูตรเดียวในการดำเนินการวิจัยและเปรียบเทียบตัวแปรอื่น ๆ



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.เข้าใจถึงพฤติกรรมการผลิตผสมโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น โดยอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้การผลิตโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนจากกระบวนการในห้องปฏิบัติการ แตกต่างจากการทำการผลิตแบบสแลบสตี๊กโพลิเอทิลีน

2.สามารถปรับปรุงระบบการผลิตผสมโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนแบบยืดหยุ่นในห้องปฏิบัติการให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับการผลิตด้วยกระบวนการสแลบสตี๊กโพลิเอทิลีน

3.สามารถนำระบบที่ทำการศึกษาไปพัฒนาในส่วนงานที่ทำการผลิตโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนแบบไม่ต่อเนื่อง และนำผลการผลิตโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนในห้องปฏิบัติการไปทำนายผลของการผลิตแบบสแลบสตี๊กโพลิเอทิลีนได้

## 1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1.เก็บรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น ที่ทำการผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบสแลบสตี๊กโพลิเอทิลีน และผลิตในห้องปฏิบัติการ

2.เปรียบเทียบข้อมูลว่ามีความแตกต่างในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลอย่างไรบ้าง

3.วิเคราะห์ข้อมูลศึกษาแนวทางในการแก้ปัญหาโดยนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสม และการเกิดปฏิกิริยาของโพลีเอทิลีนโพลิเอทิลีน มาเป็นแนวทางในการวิจัย

4.พิจารณาคัดเลือกตัวแปรที่ใช้ และวางแผนในการศึกษาและวิจัย

5.ออกแบบและสร้างแบบจำลองถึงกวนเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัย

6.ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตในการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ สรุปผลการทดลอง

7.เขียนรายงาน, จัดพิมพ์รายงาน และนำเสนอผลงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ปฏิกิริยาของโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหยุด

พื้นฐานปฏิกิริยาเคมีของโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหยุดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปฏิกิริยาหลัก

##### 2.1.1 ปฏิกิริยาการพองตัว (Blowing reaction)

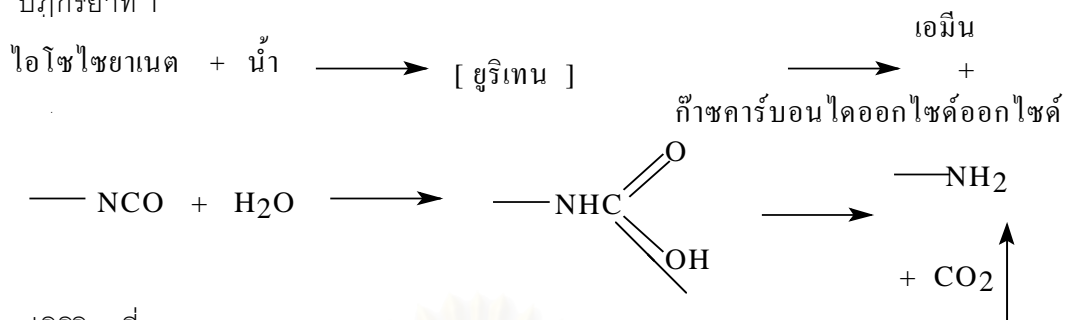
ปฏิกิริยาการพองตัวเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของหมู่ไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanates) กับน้ำ ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับไบยูเรต (Biuret) ดังปฏิกิริยาที่ 1, 4 แสดงไว้ในรูปที่ 2-1

##### 2.1.2 ปฏิกิริยาของการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerisation reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไดไอโซไซยาเนต กับโพลีออล (Polyol) ซึ่งให้ผลผลิตเป็นยูรีเทน ดังปฏิกิริยาที่ 3 แสดงไว้ในรูปที่ 2-1

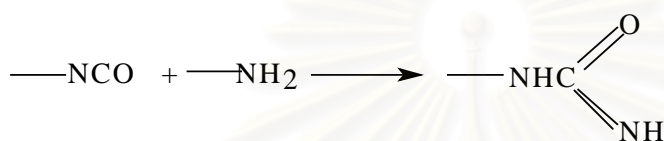
โพลีออล, ไอโซไซยาเนตและน้ำ เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนของสูตรเคมีในการทำโพลียูรีเทนโฟม ไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วกับสารประกอบที่ประกอบด้วยอะตอมไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โพลีออลและไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยาเพื่อเกิดการเชื่อมโยงโพลียูรีเทนพอลิเมอร์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับหมู่ไอโซไซยาเนตจะทำให้โพลียูรีเทนที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ยายตัว การขยายตัวจะเป็นไปตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งในปฏิกิริยาสามารถควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วยปริมาณน้ำที่อยู่ในสูตร หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือการควบคุมความหนาแน่นของโพลียูรีเทนโฟม เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จะแสดงปฏิกิริยาของการเกิดโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยา 5 ปฏิกิริยาหลักดังรูปที่ 2-1

ปฏิกิริยาที่ 1



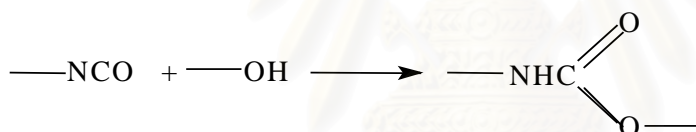
ปฏิกิริยาที่ 2:

ไอโซไซยานต + เอมีน  $\longrightarrow$  ยูเรีย



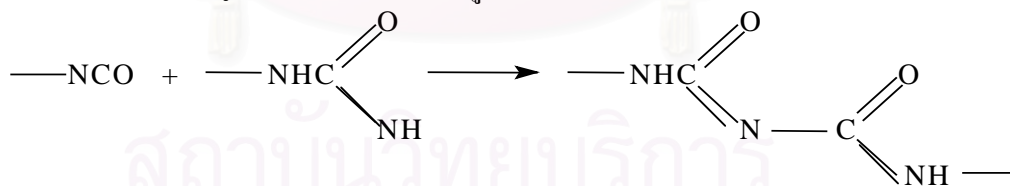
ปฏิกิริยาที่ 3:

ไอโซไซยานต + โพลีออล  $\longrightarrow$  ยูรีเทน



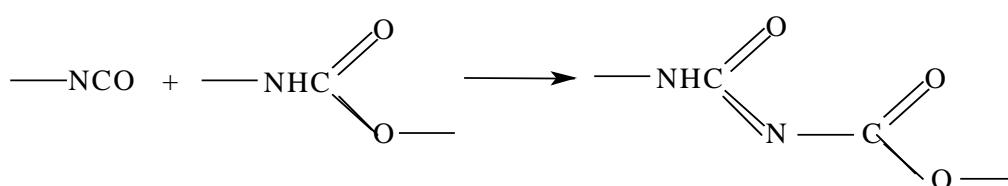
ปฏิกิริยาที่ 4:

ไอโซไซยานต + ยูเรีย  $\longrightarrow$  ไบยูเรต (biuret)



ปฏิกิริยาที่ 5:

ไอโซไซยานต + ยูรีเทน  $\longrightarrow$  อัลโลฟานต (allophanet)



รูปที่ 2-1 แสดงปฏิกิริยา 5 ปฏิกิริยาของการเกิดโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหุ่่น (David Reed, 1994: paper 1 page 3)

ปฏิกิริยาทั้ง 5 ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาชนิดคายความร้อน ซึ่ง

ปฏิกิริยาที่ 1 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอมีน ทำหน้าที่ช่วยในการเพิ่มการพองตัว (blow reaction)

ปฏิกิริยาที่ 3 และ 5 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะ (สารประกอบเคมีอินทรีย์ของดีบุก) ทำหน้าที่ในการทำให้โพลียูรีเทนสร้างตัวขึ้น (grow reaction)

ปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 จะถูกทำให้สมดุลด้วยปฏิกิริยาที่ 3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวโดยแรงดันของก๊าซมากขึ้นเมื่อความร้อนของปฏิกิริยาเกิดเพิ่มขึ้น การเกิดของปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 สังเกตได้จากการเกิดเป็นเจล

ปฏิกิริยาที่ 4 และ 5 เป็นการเพิ่มการเชื่อมโยงของการเกิดโครงสร้างยูรีเทน

## 2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

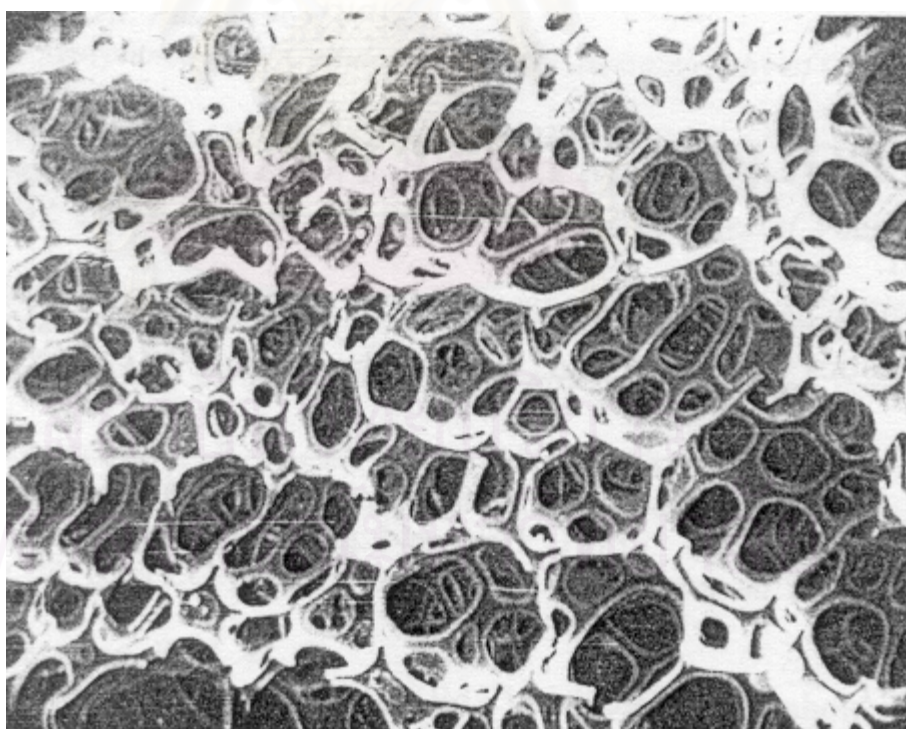
คุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นที่นิยมพิจารณา 3 คุณสมบัติดังนี้คือ ความหนาแน่น (density), ความทนแรงอัด (compressive strength) และความยืดหยุ่น (resiliency) ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน อาทิเช่น เบาะรองนั่ง, พนักพิง, ส่วนประกอบพรมปูพื้น, ฉนวนกันความร้อน และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพข้างต้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะความยืดหยุ่นของโพลียูรีเทนโฟมเหล่านี้

โพลียูรีเทนโฟมถูกสร้างขึ้นโดยการควบคุมการดักจับก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นการเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยูรีเทนระหว่างกลุ่มโพลีอัลกอฮอล์ และโพลีไอโซไซยาเนต ในทางปฏิบัติโพลีอัล (พอลิเมอร์ที่มีหมู่แอลกอฮอล์จำนวนมาก) มักจะมีหมู่ฟังก์ชันนัลลิตี้ของไฮดรอกซิลตั้งแต่ 3 หมู่ขึ้นไป ทำปฏิกิริยากับ ไดไอโซไซยาเนตหรือโพลีไอโซไซยาเนตซึ่งมีฟังก์ชันนัลลิตี้จาก 2 ถึง 3 แล้วเกิดเป็นโพลียูรีเทนโฟมรูปแบบโครงร่างตาข่ายที่มีการเชื่อมโยงแบบยืดหยุ่นชนิดเทอร์โมเซต

คุณสมบัติทางกายภาพในคำจำกัดความของความทนแรงอัด กำหนดไว้กว้างๆโดยการเลือกชนิดของโพลีอัล การกำหนดคุณสมบัติของโพลีอัลนั้นมักจะกำหนด จำนวนหมู่ฟังก์ชันนัลลิตี้, น้ำหนักโมเลกุล และโครงสร้าง สำหรับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโพลีอัลที่เลือกใช้น้ำหนักโมเลกุลในช่วง 2,000 ถึง 15,000 มีฟังก์ชันนัลลิตี้ในช่วง 3 ถึง 6 และมีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Tg) ต่ำ

ภายใต้ช่วงของค่าที่กำหนดโดยคุณลักษณะทั้ง 3 อย่างของโพลีออล สามารถทำการผลิตโพลียูรีเทนโฟมตั้งแต่แข็งจนถึงอ่อนนุ่มได้

ตัวแปรของโครงสร้างโพลียูรีเทนโฟมอีกอย่างหนึ่งก็คือ การควบคุมปริมาณก๊าซที่ใช้ในการพองตัวของโพลียูรีเทนโฟมระหว่างการเกิดพอลิเมอร์ ก๊าซจะถูกขังไว้ในเซลล์แล้วทำให้เซลล์ขยายตัวใหญ่ขึ้นเกิดการกระจายตัวจนเป็นโครงสร้างแบบโฟม เมื่อเสร็จสิ้นการขยายตัวของโพลียูรีเทนโฟม เซลล์จะมีก๊าซบรรจุไว้ภายใน เยื่อบาง ๆ ที่ปกคลุมเซลล์อยู่จะค่อย ๆ เปิดออกพร้อมกับปล่อยก๊าซที่ขังไว้ให้ออกไป และให้เห็นลักษณะของเซลล์เป็นร่างแหอย่างชัดเจน โพลียูรีเทนโฟมแต่ละชนิดสามารถทนแรงกดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของผนังเซลล์โพลียูรีเทนโฟมที่มีก๊าซบรรจุอยู่ และคุณสมบัติของการรับและจ่ายอากาศออกของเซลล์เล็ก ๆ ที่เรียงตัวประกบกันเป็นโพลียูรีเทนโฟม ดังเช่น โพลียูรีเทนโฟมที่มีเซลล์ปิดมักจะนำไปใช้งานในการเป็นฉนวนห่อหุ้มท่อ, แผ่นเสริมชั้นใน, เครื่องกีฬา สำหรับโพลียูรีเทนโฟมที่มีเซลล์เปิดมักจะนำไปใช้งานที่มักต้องสัมผัสกับความชื้นเช่น ฟองน้ำดูดตัว และโดยทั่วไปการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมักจะทำให้อยู่ในรูปของเซลล์เปิด ซึ่งในที่นี้ได้แสดงภาพขยายของโพลียูรีเทนโฟมที่มีเซลล์เปิดดังรูป 2-2



รูปที่ 2-2 ภาพขยายด้วยอิเล็กตรอนไมโครกราฟของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นที่มีเซลล์เปิด (Daniel Klempner and Kurt C.Frisch, 1991:48)

## 2.3 ชนิดของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสามารถจัดกลุ่มตามชนิดที่เรียกกันได้นี้

2.3.1 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น (Flexible polyurethane foam) ใช้งานสำหรับพื้นนอน, เบาะรองนั่ง ทำจากกระบวนการแบบสแลบสต็อก (slabstock) หรือหล่อในแม่แบบ

2.3.2 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสูง (High resilience foam, HR) ใช้งานที่นอน, เบาะรองนั่ง เช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น แล้ว HR Foam นั้นจะมีความนุ่มที่ผิวแต่เมื่อกดลงไปจะรู้สึกแข็งมีแรงต้าน ซึ่งเป็นโพลียูรีเทนโฟมคุณภาพอย่างดี กระบวนการผลิตก็ใช้วิธีการเดียวกันคือกระบวนการสแลบสต็อก หรือหล่อในแม่แบบ

2.3.3 โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสูงชนิดป้องกันการลามไฟ (Combustion modified high resilience foam, CMHR) มักใช้งานในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์, ที่นอน ส่วนมากจะใช้กันในแถบยุโรปซึ่งมีการเติมสารหน่วงการติดไฟเข้าไปในสูตรการผลิต กระบวนการผลิตก็ใช้วิธีการเดียวกันคือกระบวนการสแลบสต็อก หรือหล่อในแม่แบบ

2.3.4 โพลียูรีเทนโฟมแบบกึ่งแข็ง (Semi-flexible foam , SF) มักใช้งานในอุตสาหกรรมเบาะรถยนต์, มอเตอร์ไซด์ ลักษณะคล้ายๆกับ HR โฟม เพียงแต่ความยืดหยุ่นน้อยกว่า กระบวนการผลิตใช้วิธีการหล่อในแม่แบบเพียงอย่างเดียว

2.3.5 โพลียูรีเทนโฟมแบบกึ่งแข็งที่หุ้มอยู่บนวัสดุ (Integral skin semi – flexible foam , ISSF) มักใช้งานในอุตสาหกรรมส่วนประกอบรถยนต์ เช่น พวงมาลัยรถยนต์ กระบวนการเป็นการฉีดโพลียูรีเทนโฟมแบบกึ่งแข็งไปเคลือบที่ผิวของวัสดุโดยให้วัสดุที่ต้องการเคลือบเป็นแกนกลาง

สามารถแสดงรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเกี่ยวกับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นชนิดต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 2-1

Type of foam	Description	Type of Polyol	Isocyanates	Blowing Agent	Catalysts	Surfactants	process
Conventional	Traditional PU foam Density 14-50 kg/m <sup>3</sup> Over a wide Range of Hardness	Triols 3000-4000 MW. OHV. 40-56	Pure TDI	Water/ Auxiliary Blowing Agent	Amines + Tin salts (stannous octoate)	Silicones	Slabstock or Moulded (Hot cure)
High resilience	PU foam With load bearing Density 25-60 kg/m <sup>3</sup>	Triols 4500-6000 MW. Crosslinking Agent OHV.28-38 or P o l y m e r polyol	TDI/crude MDI or Crude TDI Modified TDI	Water/ Auxiliary Blowing Agent	Amines only	None or Special weak Silicones	Slabstock or Moulded (Cold cure)
Semi-flexible	Similar to HR but less flexible density 40-80 kg/m <sup>3</sup>	As HR	Crude MDI	Water/ Auxiliary Blowing Agent	Amines	None	Moulded with some overpacking
Integral skin semi-flexible	Semi-flexible Density 100-700 Kg/m <sup>3</sup>	Triols 4500-6000 MW. Crosslinking Agent	Crude MDI or Liquid Pure MDI	Water/ Auxiliary Blowing Agent	Amines	None	Moulded with considerable overpacking

ตารางที่ 2-1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นชนิดต่างๆ (David Reed,1994:paper 1 page 2 )

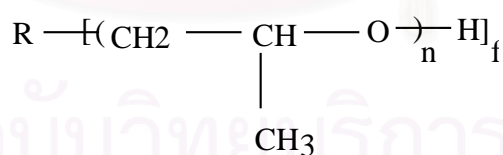
## 2.4 สารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตโพลียูรีเทนโฟม

สำหรับการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมีการใช้สารเคมีหลากหลายชนิดกันอย่างกว้างมาก แต่พอจะจัดกลุ่มได้ดังนี้

- โพลีอีเทอร์ โพลีออล (Polyether polyols)
- โคโพลิเมอร์ โพลีออล (Copolymer polyols)
- ไอโซไซยานต
- น้ำ
- ตัวเร่งปฏิกิริยา
- ซิลิโคน สเตบิลไลเซอร์ (Silicone stabilizer)
- สารเคมีช่วยพอง (Auxiliary blowing agents )
- สารเคมีช่วยในการเชื่อมโยงโมเลกุลและการสร้างร่างแห (Chain extenders crosslinkers)
- สารป้องกันการลามไฟ (Fire retardants)

### 2.4.1 โพลีอีเทอร์ โพลีออล (Polyether polyols)

โพลีอีเทอร์ โพลีออล เป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายของโมเลกุล มักจะเตรียมขึ้นจากโพรพิลีนออกไซด์ (Propylene oxide, PO) สามารถแสดงสูตรทั่วไปของโพลีออลได้ดังนี้



ซึ่ง R = ส่วนของโมเลกุลที่เริ่มต้น

f = ฟังก์ชันนัลลิตี้ของตัวเริ่มต้น

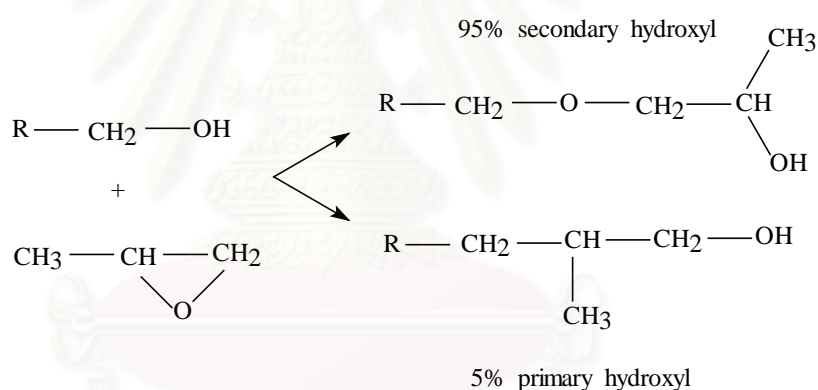
โพลีอีเทอร์ โพลีออล ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาของโพลีอัลกอฮอล์ โดยใช้สารจำพวกอัลคิลีนออกไซด์ (alkylene oxide) เป็นสารตั้งต้น แสดงตัวอย่างที่มักใช้กันได้ดังนี้

- กลีเซอรอล (glycerol) หรือ ไตรเมทิลออล โพรเพน ( trimethylol propane) มีฟังก์ชันนัลลิตี้ 3 ใช้สำหรับผลิตโพลีออลที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น และกึ่งแข็ง



- ซอบิตอล (sorbitol) มีฟังก์ชันนัลลิตี้ 6 ใช้สำหรับผลิตโพลีออลที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ยืดหยุ่น (rigid)
- ซูโครส (sucrose) มีฟังก์ชันนัลลิตี้ 8 ใช้สำหรับผลิตโพลีออลที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ยืดหยุ่น (rigid)

การผลิตโพลีออลเริ่มต้นจากตัวเริ่มต้น (กลีเซอรอล, ซอบิตอล, ซูโครส) ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยโบตัสเซียมไฮดรอกไซด์ และกำจัดน้ำออกไป จากนั้นทำการเติมอัลคิลีนออกไซด์ มี 2 ชนิดคือ โพรพิลีนออกไซด์ และ เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide, EO) ดังนั้นการผลิตโพลีออลมักจะพิจารณาคุณสมบัติสุดท้ายว่าเป็นแบบใด ถ้ากลุ่มสุดท้ายเป็นโพรพิลีนออกไซด์ จะได้โพลีออลเป็นแบบกลุ่มไฮดรอกซิลชนิดทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl group) และกลุ่มไฮดรอกซิลชนิดปฐมภูมิ (Primary hydroxyl group) ในสัดส่วน 95 %, 5 % ตามลำดับ แต่ถ้าใช้กลุ่มสุดท้ายเป็นเอทิลีนออกไซด์ จะได้เฉพาะโพลีออลแบบกลุ่มไฮดรอกซิลชนิดปฐมภูมิ เท่านั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ปฏิกิริยาของการเตรียมโพลีออล

ค่าไฮดรอกซิลของโพลีออล (“hydroxyl value”, OHV) เป็นค่าที่ใช้วัดความเข้มข้นของไฮดรอกซิลที่ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลต่อน้ำหนักของโพลีออล สามารถนิยามด้วย จำนวนมิลลิกรัมของโบตัสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนด้วย 1 กรัมของโพลีออล แสดงได้ดังสมการ

ค่าไฮดรอกซิล (OHV) = จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ซึ่งสมมูลกับ 1 กรัมของโพลีออล

$$\text{OHV} = \frac{\text{ฟังก์ชันนัลลิตี้} * 56.1}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} * 1000 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ดังนั้นการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง และจำเป็นต้องทราบก็คือชนิดของโพลีออล ซึ่งโดยปกติมักจะแสดงค่าของไฮดรอกซิล และ น้ำหนักโมเลกุล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณของไอโซไซยาเนตเพื่อใช้ทำปฏิกิริยาสำหรับสูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นนั้น ๆ ในที่นี้ได้แสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลีออลเกรดต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นของบริษัทผู้ผลิตโพลีออลแห่งหนึ่งดังตารางที่ 2-2

Polyols	OH number range	Typical viscosity At 25°C	Specific Gravity At 25 °C	Water(%) Max.
Voranal CP 3322	45-50	510	1.020	0.10
VoranalCP 4100s	39-44	610	1.019	0.10
Voranal CP 3003	54-59	450	1.016	0.10
Voranal CP 4800	32-37	780	1.021	0.10
Voranal CP 6008	27-31	1150	1.022	0.10

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลีออลเกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น(David Reed,1996:paper 2 page 2)

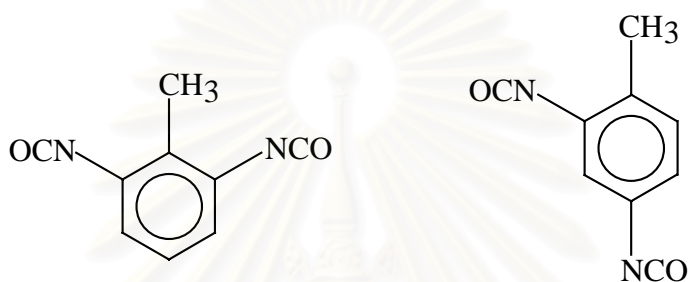
#### 2.4.2 โคโพลิเมอร์โพลีออล (Copolymer polyols)

โคโพลิเมอร์โพลีออลเป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโพลีอีเทอร์ โพลีออล ที่มีสไตรีนอะคริไคนไไตรล์ (styrene acrylonitrile) ละลายอยู่ คุณสมบัติเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงแบบกราฟท์ (graft) เมื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล โดยเพิ่มความแข็งแรง และสามารถรับความทนแรงอัดได้มากขึ้น

### 2.4.3 ไอโซไซยาเนต (Isocyanates)

ไอโซไซยาเนตสำหรับโพลียูรีเทนโฟมมักจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันชนิด  $-NCO$  ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาจำนวน 2 หมู่ ดังรูปที่ 2-4 ไอโซไซยาเนตที่มักใช้กันในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นประกอบด้วย 2 ชนิดคือ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (Toluene diisocyanate) และ ไดฟีนีลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate)

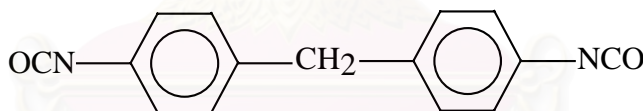
#### Toluene diisocyanate (TDI)



2,6 Toluene diisocyanate

2,4 Toluene diisocyanate

#### Diphenyl methane diisocyanate (MDI)



รูปที่ 2-4 โครงสร้างทางเคมีของไอโซไซยาเนตชนิดโทลูอินไดไอโซไซยาเนต และไดฟีนีลมีเทนไดไอโซไซยาเนต

#### 2.4.3.1 โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (Toluene diisocyanate, TDI)

โทลูอินไดไอโซไซยาเนตที่ใช้กัน ได้จากการเตรียมโดยใช้สารตั้งต้นเป็น โทลูอิน ผลิตภัณฑ์ได้เป็นของผสมของไอโซเมอร์ 2 ตัวของโทลูอินไดไอโซไซยาเนต คือ โทลูอิน 2,4 ไดไอโซไซยาเนต กับ โทลูอิน 2,6 ไดไอโซไซยาเนต ของผสมนี้จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $5-15^{\circ}C$  เพราะฉะนั้นอุณหภูมิปกติจะเป็นของเหลว สัดส่วนของไอโซเมอร์จะได้ต่างกันแล้วแต่วิธีเตรียมว่าจะแยกไอโซเมอร์แต่ละตัวออกจากกันก่อนหรือไม่ แต่โดยส่วนใหญ่มักจะปล่อยให้ทำปฏิกิริยาจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นชนิดอัตราส่วนไอโซเมอร์ของโทลูอิน 2,4 ไดไอโซไซยาเนต และโทลูอิน 2,6 ไดไอโซไซยาเนต ใน

ปริมาณ 80:20 ซึ่งสัดส่วนนี้เป็นโพลียูรีเทนไดไอโซไซยาเนตที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

2.4.3.2 ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (Diphenyl methane diisocyanate, MDI)

ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนตบริสุทธิ์ มีหมู่ฟังก์ชัน -NCO ในตำแหน่ง 4,4' ลักษณะเป็นของแข็ง มีความดันไอต่ำ และความเป็นพิษน้อยกว่าโพลียูรีเทนไดไอโซไซยาเนต (แต่ปริมาณการเกิดพิษเท่ากัน)

**ดัชนีไอโซไซยาเนต (Isocyanate index)** เป็นค่าที่บอกถึงความต้องการของไอโซไซยาเนตเพื่อใช้ทำปฏิกิริยาในสัดส่วนจำนวนโมลกับโพลีออล, น้ำ และตัวเชื่อมโยง มักจะอ้างอิงในดัชนี 100 สำหรับปฏิกิริยา 4 และ 5 ในระบบการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมักจะใช้ไอโซไซยาเนตมากเกินไปประมาณดัชนีอยู่ในช่วง 103 ถึง 114 ระบบการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสูง ดัชนีอยู่ในช่วงประมาณ 85 ถึง 115

$$\text{Isocyanate index} = \frac{\text{number of mole equivalents of isocyanate}}{\text{number of mole equivalents of polyol}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

การคำนวณปริมาณการใช้ไอโซไซยาเนตชนิดโพลียูรีเทนไดไอโซไซยาเนตสำหรับการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นสามารถคำนวณหาปริมาณการใช้โพลียูรีเทนไดไอโซไซยาเนตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{TDI Requirement @ 100 Index (Y)} &= \text{H}_2\text{O pbw} * 9.667 \\ &+ \text{polyol pbw} * \text{OHV.} * 0.00155 \\ &+ \text{X-Linker pbw} * \text{OHV.} * 0.00155 \end{aligned}$$

$$\text{TDI Requirement} = (\text{isocyanate index} * \text{Y}) / 100 \dots\dots\dots(3)$$

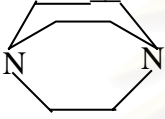

#### 2.4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts)

ตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทที่จำเป็นในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น เพราะว่าไม่ใช่มีหน้าที่เพียงอย่างเดียวในการเร่งปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่ในการเป็นตัวเริ่มต้นของขั้นตอนการแผ่ขยาย (chain propagation), เพิ่มความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์, เชื่อมโยงสายโซ่โพลียูรีเทน ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกใช้ให้ทำหน้าที่ไม่เพียงแต่ไปเร่งให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังรักษาสมดุลระหว่างปฏิกิริยาของการแผ่ขยาย (ปฏิกิริยาระหว่างโพลีออลกับไอโซไซยาเนต) และปฏิกิริยาการเกิดโฟม (ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ) อีกด้วย หรือสามารถกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นการรักษาความสมดุลระหว่างการเติบโตของโพลียูรีเทนโฟมกับการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้โพลียูรีเทนโฟมที่กำลังโตสามารถกักขังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ และพัฒนาให้เกิดความแข็งแรงของผนังเซลล์จนถึงสิ้นสุดของปฏิกิริยาการเกิดโฟม และรักษาโครงสร้างของเซลล์ไม่ให้เกิดการยุบตัวหรือห่อตัว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มักจะถูกนำมาใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเทอเทียรีเอมีน (Tertiary amine) และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทิน

เทอเทียรีเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับทั้ง 2 ปฏิกิริยาประกอบด้วยปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตกับหมู่ไฮดรอกซิล และปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตกับน้ำ ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอมีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลของการกีดขวางของหมู่อะมิโนในโตรเจนโดยโมเลกุลชนิดอื่นลดลง

สารประกอบออร์กาโนทินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทิน ใช้เฉพาะสำหรับปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับหมู่ไฮดรอกซิล

สำหรับการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมักจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีนและตัวเร่งปฏิกิริยาทินคู่กัน ซึ่งได้แสดงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีนที่มักใช้กันไว้ในตารางที่ 2-3 และตัวเร่งปฏิกิริยาทินแสดงไว้ในตารางที่ 2-4 และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดอย่างสมดุลเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

Catalyst	Application
1. Bis-(2 Dimethyl Aminoethyl)ether $(\text{CH}_3)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$	Low-odour, mobile liquid used in high resilience and cold-cure flexible foams.
2. N,N-Dimethylaminoethanol $(\text{CH}_3)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Inexpensive, low-odour, isocyanate reactive, mobile liquid catalyst used in polyether-based flexible foams.
3. Triethylene diamine 	Inexpensive, low-odour, isocyanate reactive, mobile liquid catalyst used in polyether-based flexible foams.
4. N,N,N',N',N''-Pentamethyl-diethylene-triamine $(\text{CH}_3)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$ 	Flexible foams and semi-rigid foams

ตารางที่ 2-3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเทอเทียรีเอมีนที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น (George Woods, 1990 )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Catalysts	Principal applications
Stannous octoate	Slabstock polyether-based flexible foams, moulded flexible foams
Dibutyltin dilaurate	Microcellular foams, Rim. Two-pot moulding systems, elastomers.
Dibutyltin mercaptide	Hydrolysis resistant catalyst for storage stable two-pot systems.
Dibutyltin thiocarboxylates Diocetyl tin thiocarboxylates	Delayed action (hindered) catalysts for RIM and high resilience foams.
Phenylmercuric propionate	In glycol solution for potting compounds as a powder for delayed action catalysis
Lead octoate	Urethane chain extension catalyst
Alkali-metal salts, eg. $\text{CH}_3\text{COOK}$ , $\text{K}_2\text{CO}_3$ , $\text{NaHCO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$	General catalysts for the urethane reaction and for isocyanate polymerisation
Calcium carbonate	A common filler with a catalytic effect on the urethane reaction and on the cure rate of polyurethanes.
Ferric acetylacetonate	Catalyst for cast elastomer systems, especially those based on TDI.

ตารางที่ 2-4 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น (George Wood, 1990)

#### 2.4.5 ซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์ (Silicone stabilizer)

ซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์ที่มักใช้กันคือ โพลีอัลค็อกซีไดเมทท็อกซี ไฮล็คอกเซน (Polyalkoxy dimethoxy xyloxane) ซึ่งเป็นประเภทโคโพลิเมอร์มีใช้กัน 2 ชนิดคือ

ชนิดที่ 1 โคโพลิเมอร์ชนิดนี้มีคุณลักษณะย่อยสลายได้ด้วยน้ำประกอบด้วยพันธะ Si-O-C

ชนิดที่ 2 โคโพลิเมอร์ชนิดนี้มีคุณลักษณะย่อยสลายด้วยน้ำไม่ได้ประกอบด้วยพันธะ Si-O-Si

หน้าที่หลักของซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์ คือ

- (1) ลดความตึงผิวของของผสมให้ต่ำลง
- (2) ปรับปรุงให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น
- (3) คงสภาพฟองของโฟมที่เกิดขึ้น
- (4) ทำให้อากาศสามารถผสมรวมเข้าไปในของผสม
- (5) ลดขนาดฟองของโฟม
- (6) ป้องกันการรวมกันของฟอง

กลไกของซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์ ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอนด้วยกันคือ

- (1) การแพร่กระจายของสารตั้งต้น (Dispersion of reactants)

ซิลิโคนโพลีอีเทอร์ ละลายได้ในตัวกลางโพลียูรีเทน จนกระทั่งการผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี ความสามารถขึ้นกับความเข้ากันได้ของซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์กับสารตั้งต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์ที่ใช้ และองค์ประกอบของโพลีอีเทอร์ โพลีออลว่าประกอบด้วยเอทิลีนออกไซด์ หรือโพรพิลีน ออกไซด์ มากน้อยแค่ไหน โพลีอีเทอร์โพลีออลจำนวนมากประกอบด้วยเอทิลีนออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ จะทำให้ซิลิโคนละลายเข้ากันได้ดีกับน้ำ และสามารถผสมเข้ากันเป็นอย่างดียิ่งขณะที่ของผสมทำปฏิกิริยา และทำให้ความสามารถในการไหลของของผสมดี

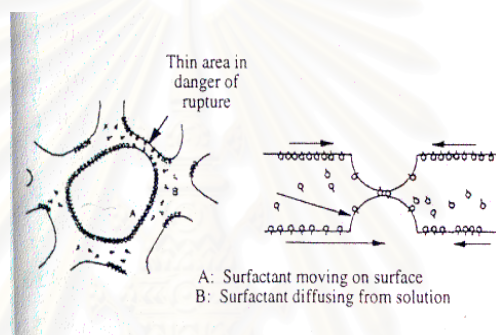
- (2) การสร้างเซลล์ (Nucleation)

เซลล์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเมื่อโฟมเกิดปฏิกิริยาลิ้นสุดนั้น เริ่มต้นจากการสร้างนิวเคลียสขนาดเล็ก ๆ ก่อน แล้วอากาศที่กักขังอยู่ในเซลล์จะค่อยๆ ทำให้เซลล์ขยายตัวจำนวนและขนาดของนิวเคลียสของอากาศในโฟมสอดคล้องกับพลังงานกลของการผสมที่ใช้ในการกวนผสม โดยซิลิโคน สเตปิลไอเซอร์จะทำหน้าที่ให้อากาศสามารถละลายเข้าไปในของผสมที่เกิดปฏิกิริยา จากนั้นจะค่อย ๆ เคลือบผนังเซลล์ไปพร้อม ๆ กับอากาศซึ่งอยู่ในเซลล์จะดันให้เซลล์เกิดการขยายตัว ซึ่งผลที่ได้ก็คือเซลล์จะมีลักษณะละเอียดมีรูปแบบเดียวกัน (Uniform cells)

- (3) รักษาเสถียรภาพของเซลล์ (Stabilisation)



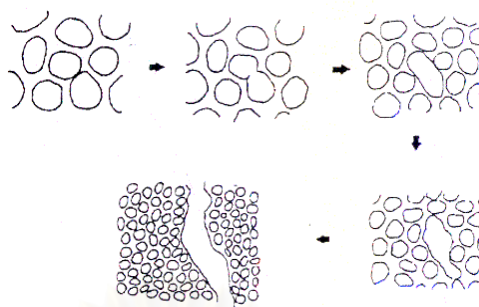
หลังจากโพลิเมอร์เริ่มก่อตัวเป็นเซลล์และเซลล์พัฒนาโครงสร้างจนเกิดการเชื่อมต้อระหว่างเซลล์ จนเกิดเป็นสายโซ่ยาว (polymer) การก่อตัวของผนังบาง ๆ ของเซลล์ของโพลิยูริเทนโพลิเมอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, การไหลของของผสม และแรงดึงดูดระหว่างกันของเซลล์ ถ้าปริมาณของซิลิโคนน้อยเกินไปจะมีผลให้ผนังของเซลล์ไม่มีเสถียรภาพจะส่งผลให้เซลล์เกิดการฉีกขาดที่ผนังของเซลล์ได้ และเมื่อเซลล์เกิดการฉีกขาดขึ้นจะเกิดการแผ่ขยายไปถึงเซลล์อื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของโพลิเมอร์ อาทิเช่น เกิดเป็นรอยแตกในโพลิเมอร์ หรือเกิดการการยุบตัวของเนื้อโพลิเมอร์ ดังนั้นซิลิโคนต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะไปเคลือบที่ผนังบาง ๆ ของเซลล์ให้มีความหนาเพียงพอที่จะไม่ทำให้เซลล์เกิดการแตกหักขณะที่ก๊าซที่อยู่ภายในเซลล์ดันเซลล์ให้เกิดการขยายตัว ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงการเคลื่อนที่ของซิลิโคนเข้าไปเคลือบที่ผิวของผนังเซลล์ของโพลิยูริเทนโพลิเมอร์ (David Reed,1994:paper 2 page 7)

#### (4) การปล่อยอากาศออกจากเซลล์ ( Cell opening )

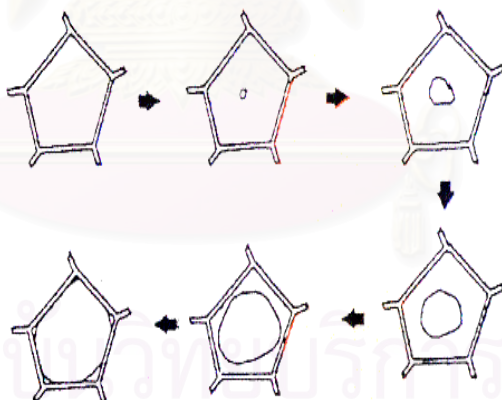
เมื่อโพลิยูริเทนโพลิเมอร์เข้าใกล้สภาวะขยายตัวเต็มที่ เซลล์ของโพลิยูริเทนโพลิเมอร์จะเริ่มจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างโพลิฮีดรัล (polyhedral) ที่ผิวหน้าซึ่งมีลักษณะแบนราบจะมีเยื่อบาง ๆ คลุมอยู่ ก๊าซที่อยู่ภายในเซลล์จะพยายามดันเยื่อบาง ๆ เหล่านี้ให้เปิดออกและเคลื่อนตัวออกจากเซลล์ จะมีเพียงก๊าซบางส่วนเท่านั้นที่เซลล์กักขังไว้ และเยื่อบาง ๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่กักขังก๊าซส่วนที่เหลือไม่ให้ออกไปจนหมด ถ้าก๊าซออกจากเซลล์จนหมดจะมีผลให้เซลล์เกิดการย่นและหดตัวไม่สามารถรักษารูปร่างไว้ได้ (shrinkage) ดังนั้นหน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของซิลิโคนก็คือช่วยให้เยื่อบาง ๆ สามารถกักขังก๊าซไว้เพื่อรักษาให้โครงสร้างเซลล์เกิดขึ้นสมบูรณ์จนถึงการจัดตัวของโครงสร้างอย่างถาวรก่อนที่จะปลดปล่อยก๊าซออกจนหมด สำหรับก๊าซที่เซลล์ไม่ได้กักขังไว้จะถูกผลักให้ออกไปตามช่องทางที่อ่อนแอ ซึ่งลักษณะการปลดปล่อยก๊าซออกจากเซลล์โพลิยูริเทน สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะการปลดปล่อยก๊าซออกจากเซลล์โพลียูรีเทนโฟม(David Reed,1994:paper 2 page 7 )

(5) การเกิดโครงสร้างเซลล์ (Structural characteristics)

เกิดขึ้นหลังจากที่เกิดโพลีเมอไรเซชันอย่างสมบูรณ์ เซลล์ที่เชื่อมต่อกันจะเกิดการจัดเรียงตัวและปลดปล่อยก๊าซที่กักขังไว้ภายในผ่านออกจากเซลล์ ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 แสดงการเกิดโครงสร้างเซลล์และการปลดปล่อยก๊าซออกจากเซลล์โพลียูรีเทนโฟม (David Reed,1994:paper 2 page 7 )

จะเห็นได้ว่ากลไกการทำหน้าที่ของซิลิโคนมีความสลับซับซ้อน ดังนั้นการเลือกใช้ซิลิโคนให้เหมาะสมกับแต่ละสูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

#### 2.4.6 สารช่วยพอง (Blowing Agents)

สารที่ทำให้เกิดการพองตัวของเซลล์ที่เป็นตัวหลักก็คือ น้ำ จากรูปที่ 2-1 ปฏิริยาที่ 1 น้ำทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานเนตแล้วให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เซลล์โพลียูรีเทนโฟมเกิดการขยายตัว แต่ในบางกรณีของการทำโพลียูรีเทนโฟมดังเช่นโพลียูรีเทนโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ ๆ นั้นไม่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำจำนวนมาก ๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากได้ เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นจะมีความร้อนมหาศาลเกิดขึ้น ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโพลียูรีเทนโฟม ดังนั้นด้วยเหตุนี้การทำโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นต่ำแบบยัดหยุ่นจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยพองเป็นตัวร่วมในการพองตัวของเซลล์ที่แต่เดิมอาศัยเพียงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเท่านั้น สารช่วยพองเหล่านี้สามารถแพร่เข้าไปอยู่ในเซลล์ได้เช่นเดียวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา และจะระเหยเมื่อความร้อนของของผสมเกิดมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของของผสมเพิ่มมากกว่าจุดเดือดของสารนั้น ดังนั้นสารช่วยพองส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยสารประกอบที่มีหมู่ฮาโลเจน และมีจุดเดือดต่ำ ซึ่งชนิดของสารที่ช่วยพองในการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหยุ่นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-5

Component	Chemical structure	Boiling Point ( C )
1. Water	H <sub>2</sub> O	100
2. TCFM – 11 ( F-11 )	CFCl <sub>3</sub>	23
3. Methylene Chloride	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	40
4. HCFC 141 b	CCl <sub>2</sub> FCH <sub>3</sub>	32.1
5. Formic acid	HCOOH	100.7

ตารางที่ 2-5 แสดงชนิดของสารช่วยพองที่ใช้ในการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหยุ่น

(David Reed,1994:paper 1 page 4)

ไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน (Trichlorofluoro methane,TCFM-11) ถูกใช้เป็นสารช่วยพองกันอย่างกว้างขวาง มาตั้งแต่ปี 1987 แต่ในปัจจุบันได้ลดจำนวนลงและเลิกใช้ในที่สุด เนื่องจากสารนี้มีผลในการปลดปล่อยปริมาณของไอโซนในชั้นบรรยากาศซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไดคลอโรมีเทน (Methylene chloride,  $\text{MeCl}_2$ ) ถูกนำมาใช้แทนที่ไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางอย่างและมีปัญหาเรื่องของการเกิดพิษ (toxic)

สำหรับสารช่วยพองชนิด HCFC141b และ Formic acid นั้นมีใช้กันไม่กว้างขวางนัก

**ดัชนีของการพองตัว (Blow index)** สามารถให้ค่าจำกัดความได้ในความหมายของกำลังของการพองตัว (blowing power) หาได้จาก ผลรวมของน้ำกับสารช่วยพอง ซึ่งนิยามได้ดังสมการข้างล่างนี้

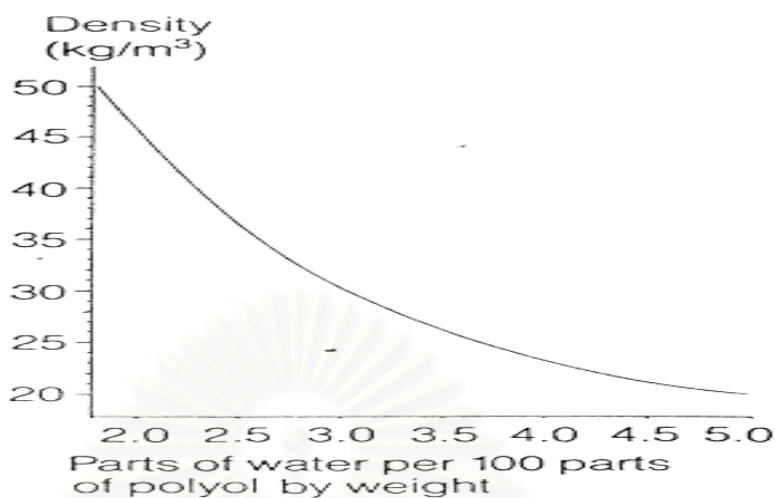
$$\text{Blow index} = \text{Amount of Water} + \frac{\text{Amount of Blowing Agent}}{\text{Blowing Agent Factor}} \dots\dots\dots(4)$$

แฟคเตอร์ของสารช่วยพองแต่ละชนิด ตามที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ดังนี้

สารช่วยพอง (Blowing agent)	แฟคเตอร์ (Factor)
TCFM-11	10
$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	8
HCFC-141b	9.8

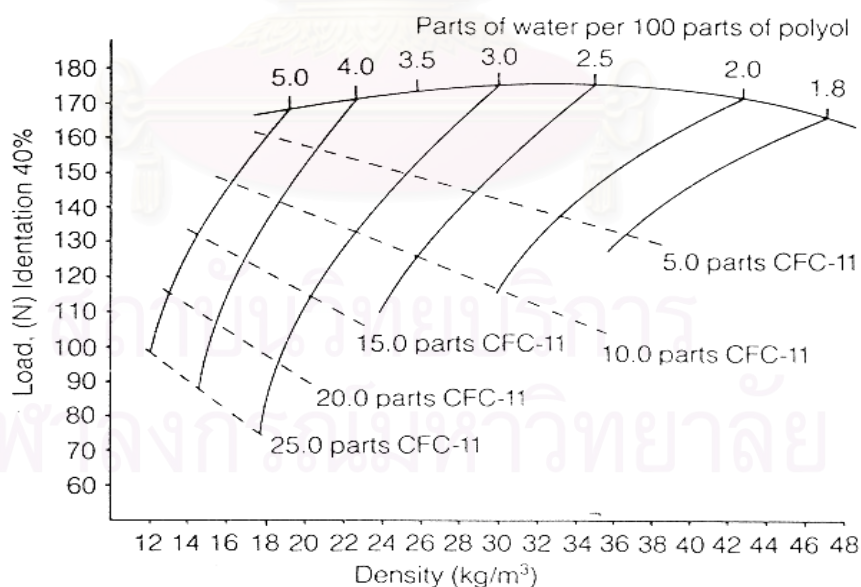
ความสำคัญของดัชนีของการพองตัวจะเป็นตัวช่วยในการคำนวณ เพื่อประมาณค่าความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนไฟมในเบื้องต้น สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2-8 (George Wood, 1990:80)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-8 แสดงความสัมพันธ์ของดัชนีการพองตัว (Blow index) ที่มีต่อความหนาแน่น โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

เมื่อทราบส่วนประกอบของสารช่วยพอง ในที่นี้ได้แสดงสัดส่วนของสารช่วยพองระหว่าง ปริมาณน้ำกับ TCFM-11 ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ของสารช่วยพองไปประมาณการค่าความ ทนแรงกดที่ 40 % (Load indentation) ดังรูปที่ 2-9(George Wood,1990:80)



รูปที่ 2-9 แสดงสัดส่วนของน้ำกับสารช่วยพองชนิด TCFM-11 ที่มีต่อค่า Load Indentation สำหรับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น(George Wood,1990:80)

### 2.4.7 สารหน่วงการติดไฟ (Fire retardants)

สารหน่วงการติดไฟเป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับแต่งกระบวนการสันดาปและลดความสามารถในการติดไฟของโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่น สารที่ใช้มักจะเป็นของเหลวมีองค์ประกอบเป็นพวกฮาโลเจนฟอสเฟตเอสเทอร์ สำหรับโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่นสูงชนิดป้องกันการลามไฟ (CMHR) มักจะใช้สารเติมแต่งลักษณะผงเป็นที่รู้จักกันดีก็คือเมลามีน ในที่นี้ได้แสดงรายละเอียดของสารหน่วงไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิตโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่น ดังตารางที่ 2-6

Fire retardant additive	Chemical structure/description	Suppliers	Comments
TCEP	$(\text{ClCH}_2\text{CHO})_3\text{P} = \text{O}$	Albright Wilson Courtaulds Akzo	Not reactive
TCPP Amgard TMCP Fyrol PCF	$((\text{ClCH}) (\text{CH}_2)\text{CHO})_3\text{P} = \text{O}$	Courtaulds Albright Wilson Akzo	Not reactive
TDCP/LV Fyrol FR2	$((\text{ClCH}_2)_2 \text{CHO})_3 \text{P} = \text{O}$	Albright Wilson Akzo	Not reactive
Amgard V 6	Chlorinated diphosphate ester	Albright Wilson	Not reactive
Amgard V 200	Halogenated/phosphorous Containing fire retardant	Albright Wilson	Not reactive For 'hot Formulations and polymer polyol based foams
Fyrol 25	Chloro alkyl phosphate/ Phosphonate oligomer	Akzo	Not reactive Low volatility
Fyrol 99	Chlorinated oligomeric phosphate ester	Akzo	Not reactive
Fyrol 6	Diethyl N, N-bis (2 hydroxy ethyl) Aminoethyl phosphanate	Akzo	Reactive

ตารางที่ 2-6 แสดงชนิดของสารหน่วงการติดไฟที่ใช้ในโพลีเอทิลีนไฟเบอร์แบบยืดหยุ่น (David Reed, 1994: paper 1 page 6)

## 2.5 พื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับการผสม (Basic concepts of liquid mixing)

การผสม (mixing) เป็นการกระจายขององค์ประกอบหนึ่งเข้าไปในองค์ประกอบอื่น ในภูมิภาคที่แยกกัน เมื่อให้เวลาของการผสมมากพอก็จะได้ของผสมที่มีองค์ประกอบเฉลี่ยเท่า ๆ กันทุกส่วน การผสมกันได้อย่างสมบูรณ์จึงอาจกำหนดได้ว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่างที่สุ่มออกมาจะต้องเหมือนกับองค์ประกอบในของผสมทั้งหมด แต่ในการผสมด้วยเครื่องจักรจริงจะไม่ได้เป็นอย่างนั้น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้คำจำกัดความทางสถิติแทน กล่าวคือองค์ประกอบในตัวอย่างที่สุ่มเก็บมา จะต้องมีโอกาสที่จะพบได้เหมือนกับการกระจายแบบสุ่มขององค์ประกอบเริ่มแรก ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการตรวจสอบคุณภาพของผสม

การวิเคราะห์ทางสถิติที่กล่าวถึงคือ การคำนวณหาปริมาณสารที่สนใจในตัวอย่างว่าจะเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของสารนั้นในของผสมทั้งหมดมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถแทนได้ด้วย รากค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square deviation) ใช้อักษรย่อว่า S ดังนี้

$$S = \left\{ (1/n) [X_1 - X_m]^2 + [X_2 - X_m]^2 + \dots + [X_n - X_m]^2 \right\}^{1/2} \dots (5)$$

โดยที่ n คือจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

ถ้าค่า S มากแสดงว่าการผสมยังไม่ดีพอ อย่างไรก็ตามปริมาณของตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจะต้องให้เหมาะสม ซึ่งมีขนาดที่กำหนดเป็นมาตรฐานตามระบบ SI อยู่แล้ว และในบางกรณีก็อาจใช้คำว่า  $S^2$  ซึ่งคือค่า Variance ของสัดส่วนองค์ประกอบในตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยมาใช้พิจารณาแทนก็ได้ซึ่งแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$S^2 = (1/n) \left[ \sum (X_i^2) \right] - X_m^2 \dots \dots \dots (6)$$

โดยที่ i คือ ลำดับของชิ้นงาน

m คือ ค่าเฉลี่ย

### 2.5.1 หลักทั่วไปเกี่ยวกับการพิจารณาการผสมของเหลว

การผสมจัดเป็นกระบวนการที่สำคัญในทางวิศวกรรมเคมี โดยมีทั้งการส่งผ่านความร้อน การถ่ายโอนมวลสารซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทางด้านงานวิศวกรรมเคมี อันที่จริงการผสมเป็นส่วนที่เพิ่มเติมให้กระบวนการทางเคมีสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการผสม เมื่อเปรียบเทียบกับ การพัฒนาทางด้านการดำเนินการทางวิศวกรรมเคมีแล้ว พบว่า การผสมยังคงมีบางสิ่งที่เป็นศิลป์

ให้คำจำกัดความของการผสม “การคลุกเคล้าวัตถุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ไม่เหมือนกัน เพื่อให้ เกิดผลในระดับที่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในผลิตภัณฑ์สุดท้าย” (Holland,F.A.,and Champman,F.S.,1966:1)

กรณีนี้ของผสมเป็นก๊าซ การผสมจะเกิดขึ้นรวดเร็วโดยธรรมชาติของการแพร่ของโมเลกุล แต่ ในของเหลวการแพร่สามารถเกิดขึ้นได้แต่ช้ามาก ดังนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานกลเข้าไปโดยการ หมุนของใบกวน เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น พลังงานกลจะถูกใช้อย่างทิ้งเปล่านั้น ถ้า เลือกชนิดของใบกวนไม่ตรงกับความต้องการกับกระบวนการของการผสม

คำจำกัดความของใบกวน “เป็นการสร้างให้เกิดการกระทำระหว่างสถานะ ดังเช่นการไหล หรือการปั่นป่วน ซึ่งเป็นส่วนให้การผสมลุล่วงไป” การหมุนของใบกวนในภาชนะที่บรรจุของเหลว จะทำให้เกิดการไหลวน มีผลให้เกิดผลต่างของความเร็วในของเหลว การหมุนของใบกวนสร้างให้ ของเหลวมีกระแสของการไหลอย่างรวดเร็วแล้วเคลื่อนที่เข้าหาผนัง การเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ของ ของเหลวจะทำให้เกิดการหยุดนิ่งที่ผนังของภาชนะ สังเกตได้จากการถ่ายโอนโมเมนตัม ดังนั้นการ ผสมของเหลวจำเป็นต้องกล่าวถึงแรงที่จะทำให้เกิดการแพร่ของมวลของของเหลว (Holland,F.A.,and Champman,F.S.,1966:1)

### 2.5.2 ระดับของการผสม (The degree of mixing)

ระดับของการผสมของระบบหนึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัวแปร โดยตัวแปรที่ 1 คือขนาดของ กระแสการไหลวน (eddy current) หรือ การเกิดการปั่นป่วน (turbulence) อีกตัวแปรหนึ่งคือแรง ต้านทานของการเกิดลักษณะดังกล่าว ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการอัตราได้ดังสมการ

$$\frac{\text{Driving force}}{\text{Re sis tan ce}} = \text{Flow of rate} \dots\dots\dots(7)$$

ในกรณีนี้,



Driving force = แรงที่ใช้ในการสร้างการไหลวนหรือการไหลแบบปั่นป่วน

Resistance = แรงที่ต้านทานการเกิดการไหลวนหรือการไหลแบบปั่นป่วน

Flow of rate = ระดับของการผสม (the degree of mixing)

ระดับการผสมที่ดีเกิดขึ้นเมื่อมวลของเหลวในภาชนะอยู่ภายใต้สภาวะของการไหลอย่างปั่นป่วน ปริมาณพลังงานกลที่ต้องเพิ่มเข้าไปในของเหลวเพื่อให้เกิดการไหลอย่างปั่นป่วนขึ้นอยู่กับ

- คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวที่ต้องการผสม
- รูปแบบของภาชนะ (Vessel geometry)
- รูปแบบของใบกวน (agitator geometry)

### 2.5.3 การผสมขึ้นกับความหนืด (Mixing as a function of viscosity)

ของเหลวหนืดมีผลต่อการสร้างรูปแบบการไหลโดยการหมุนของใบกวน ความหนืดเป็นคุณสมบัติของของเหลวที่แสดงการต้านการไหลหรือการเปลี่ยนรูปร่างของเหลวภายในและการดึงดูดของโมเลกุล ของเหลวที่มีความหนืดมาก ๆ ต้องการปริมาณของพลังงานกลจำนวนมากเพื่อเปลี่ยนสภาวะของการไหล สำหรับของเหลวที่มีความหนืดน้อยจะมีแรงต้านทานการไหลต่ำจึงต้องการปริมาณพลังงานกลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดสภาวะของการผสมได้

### 2.5.4 กลุ่มของตัวแปรไร้มิติที่สำคัญในการคำนวณเกี่ยวกับการผสม

ในงานวิศวกรรมเคมี กลุ่มของตัวแปรไร้มิติที่เป็นที่นิยมและสะดวกในการใช้หาความสัมพันธ์ทางข้อมูลวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม ตัวแปรไร้มิติบางตัวมีความสำคัญที่สุดและใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งในการออกแบบเกี่ยวกับระบบการผสม กลุ่มของตัวแปรไร้มิติที่สำคัญแสดงได้ดังนี้

กำลังที่ต้องการในการขับเคลื่อนใบกวน (Power Number) 
$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5}$$

การคำนวณกำลังที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนใบกวน ต้องพิจารณาถึงชนิดของถังกวนว่าเป็นแบบมีคิริบหรือไม่มีคิริบ และรู้ค่าตัวแปรไร้มิติที่สำคัญในการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าที่แสดงความรุนแรงในการกวนสาร (Reynolds number)} = Re = \frac{\rho N D_a^2}{\mu}$$

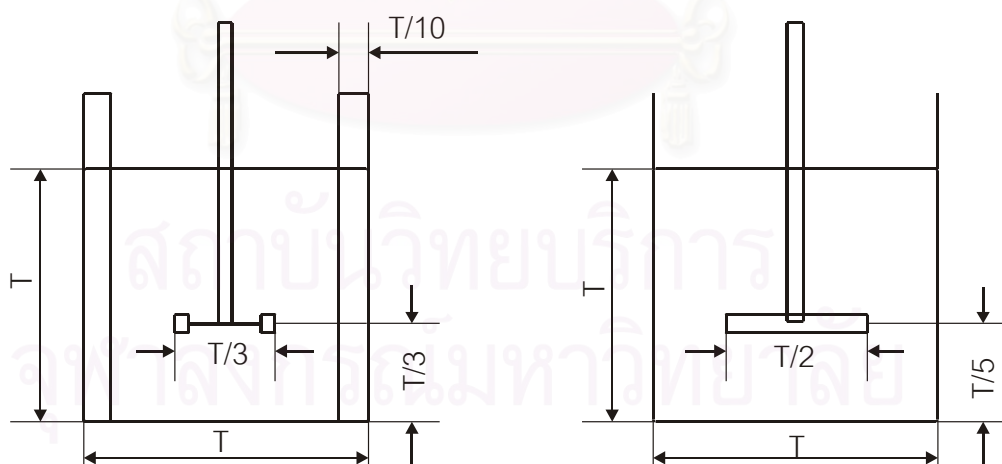
$$\text{ค่าที่แสดงผลของการเกิดVortex (Frode number)} = Fr = \frac{N^2 D_a}{g}$$

$$\text{ค่าที่แสดงจำนวนการไหลเวียน (Flow number)} = No = \frac{Q}{ND_a^3}$$

โดยที่สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวแปรได้อ้างอิงไว้ในหน้าสัญลักษณ์

### 2.5.5 ชนิดของถังกวน

ถังกวนที่ใช้กันมากในการผสมสาร หรือในลักษณะเครื่องปฏิกรณ์เคมี เพื่อกระบวนการผลิตต่าง ๆ ทั้งนี้ เพราะการสร้างและการควบคุมทำได้ง่าย ถังกวนมาตรฐานแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบมีคิริบและแบบไม่มีคิริบซึ่งแสดงได้ดังรูป 2-10



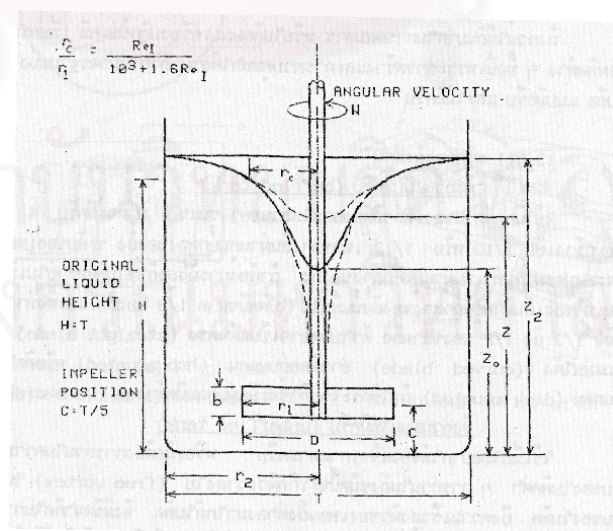
รูปที่ 2-10 แสดงสัดส่วนของส่วนประกอบต่างๆสำหรับถังกวนมาตรฐานแบบมีคิริบและไม่มีคิริบ

## (1) ถังกวนแบบมีครีป (baffled tank)

ใช้ในการกวนของเหลวที่ต้องการการไหลอย่างรุนแรง ปกติจะมีครีป 4 อัน ความกว้างเป็น 1/10 หรือ 1/12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ระดับของเหลวในถังจะสูงประมาณเท่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ถ้าต้องการถังสูงก็ใช้ใบกวนหลายใบเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางถังนั้นขึ้นไป ใบกวนมีขนาด 1/3 ของถัง และตั้งห่างจากพื้นถัง 1/3 หรือ 1/2 ของขนาดถัง ตัวใบกวนอาจเป็นแผ่นตรง(straight blade) หรือเป็นแผ่นโค้ง (curved blade) อาจติดอยู่บนแกน (hub mounted) หรือติดไว้บนแผ่นกลม (disk mounted) ถ้าใช้กระจายก๊าซจะมีแผ่นกลมปิดข้างบน (vane disk)

## (2) ถังกวนแบบไม่มีครีป (unbaffled tank)

ใช้เมื่อไม่ต้องการให้ของแข็งเกาะตามครีป หรือเมื่อต้องการกวนให้ความเร็วรอบของใบกวนต่ำ ๆ การกวนในถังชนิดนี้จะเกิดผิวเว้าลงไป (free vortex) ในแนวแกนของใบกวนดังรูปที่ 2-12 ถ้าความเร็วรอบของการกวนสูง ผิวของของเหลวจะต่ำลงมาใกล้ใบกวน จึงมีขีดจำกัดในการกำหนดความเร็วของใบกวน เวลาที่ใช้ในการผสมจึงมากกว่าถังแบบมีครีป ใบกวนที่ใช้กับถังแบบไม่มีครีปมักเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่และแนบชิดกับผนังของภาชนะ

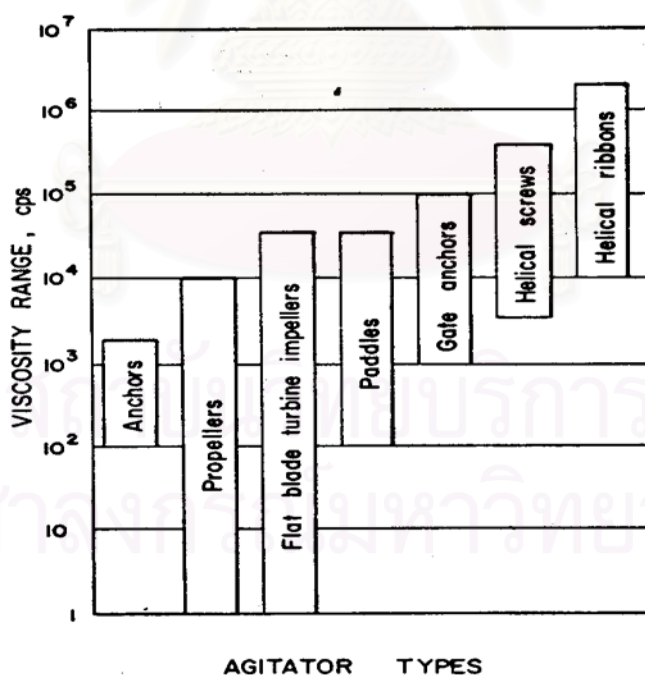


รูปที่ 2-11 แสดงสภาพของการเกิดวังวน (vortex) ในการปั่นกวนในถังกวนแบบไม่มีครีป

## 2.5.6 ชนิดของใบกวน

ใบกวนเป็นอุปกรณ์ในการสร้างรูปแบบการไหลในระบบ ทำให้ของเหลวไหลหมุนเวียนรอบภาชนะและไหลวนเข้าสู่ใบกวน วนเวียนไปมาเช่นนี้ ใบกวนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามการทำงานคือ ชนิดที่ทำงานให้กระแสไหลในแนวที่ขนานกับแกนหมุน เรียกว่า ชนิด axial-flow impellers เช่นพวกใบพัดเรือ (marine type impeller) และอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้กระแสไหลในแนวที่ตั้งฉากกับแกนหรือในแนวรัศมี เรียกว่า ชนิด radial-flow impellers เช่นพวกใบพาย (paddles) และพวกเทอร์ไบน์ (turbine-type impellers) แต่ก็มีกรอกแบบให้เกิดการไหลทั้ง 2 รูปแบบได้ด้วยเช่นพวกเทอร์ไบน์ใบเอียง (pitched blade turbine)

ในระบบการผสมของเหลว ปัจจัยทั้ง 3 อย่างที่กล่าวมาข้างต้นคือ คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวที่ต้องการผสม, รูปแบบของภาชนะ และรูปแบบของใบกวน ในข้างต้นได้อธิบายรูปแบบของถังกวนต่อการผสมไปพอสังเขป หลังจากนั้นจะแสดงความสัมพันธ์ของใบกวนที่ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวโดยเฉพาะคุณสมบัติด้านความหนืด ซึ่งสามารถเปรียบเทียบให้เกิดความชัดเจนดังรูปที่ 2-12



รูป 2-12 แสดงความสัมพันธ์ของความหนืดของของเหลวที่มีผลต่อการเลือกชนิดของใบกวน (Holland, F.A., and Champman, F.S., 1966)

การพิจารณาเลือกชนิดของใบกวนโดยทั่วไปมีหลักการพิจารณาดังนี้

1. พิจารณาจากสถานะของสารที่ต้องการผสม

- ผสมของแข็งกับของแข็ง
- ผสมของแข็งกับของเหลว
- ผสมของเหลวกับของเหลว
- ผสมของเหลวกับก๊าซ

2. พิจารณาจากความหนืดของสารที่ต้องการผสม

3. พิจารณาว่าสารผสมมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหรือไม่

ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในระบบ 2 องค์ประกอบ (Two component system) โดยทั้ง 2 องค์ประกอบมีสถานะเป็นของเหลวทั้ง 2 องค์ประกอบ และมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีช่วงเวลาของการทำปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบทั้ง 2 ประมาณ 15 วินาที สำหรับความหนืดขององค์ประกอบที่ผสมกัน ไม่สามารถวัดความหนืดได้โดยตรง จึงต้องทำการคำนวณบนสมมุติฐานดังนี้ การพิจารณาความหนืดของส่วนผสมจะพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ความหนืดขององค์ประกอบในส่วน premix A (แสดงไว้ในตารางที่ 3-2) วัดความหนืดได้ในช่วง 2000 ถึง 3000 cp. ความหนืดของส่วน B คือ ไอโซไซยาเนตวัดความหนืดได้ประมาณ 1 cp. หลังจากองค์ประกอบ A ถูกผสมรวมกับ B แล้วไม่สามารถวัดความหนืดโดยตรงได้ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงประมาณการบนสมมุติฐานที่ว่าขณะผสมองค์ประกอบ A และ B ในช่วงเวลาก่อนการเกิดปฏิกิริยา (สังเกตจากการเกิด Creamtime ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 วินาที) ความหนืดของสารผสมมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยมาก (ความหนืดไม่มีการเปลี่ยนแปลง) และการคำนวณความหนืดใช้วิธีการเทียบอัตราส่วนขององค์ประกอบ A, B ซึ่งพบว่าความหนืดยังอยู่ในระดับ  $10^2$  ถึง  $10^3$  เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ 2-12 ซึ่งเป็นวิธีการเลือกชนิดของใบกวนโดยพิจารณาจากความหนืดของสาร แล้วพบว่าใบกวนชนิด Anchors, Propellers, Flatblade turbine impellers และ Paddles เป็นชนิดใบกวนที่ถูกนำมาพิจารณาในลำดับต้น ๆ ที่สามารถใช้เป็นใบกวนผสมในการทดลอง

ในขั้นเริ่มต้นเมื่อเลือกตัวแปรที่คาดว่าจะเป็นตัวแปรสำคัญของการผสมก่อนคือ ชนิดใบกวน แล้วจะทำการควบคุมตัวแปรที่เหลือให้คงที่ ในการทดลองศึกษาอิทธิพลของชนิดของใบกวนที่มีต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟม นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของการปั่นกวนไปพร้อม ๆ กับเวลาของการปั่นกวน โดยไม่สามารถแยกการศึกษาตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงลำพังได้ จากสมการที่ (8) โดยพบว่าจำนวนรอบของการปั่นกวนมีความสัมพันธ์โดยแปรผกผันกับเวลาของการปั่นกวน ถ้าใช้ความเร็วรอบของการปั่นกวนน้อยก็ย่อมที่

ต้องใช้เวลาของการปั่นกวนนาน ถ้าเพิ่มจำนวนรอบของการปั่นกวนมากขึ้นก็สามารถลดเวลาของการปั่นกวนให้น้อยลง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างความเร็วรอบการปั่นกวนกับเวลาของการปั่นกวนผสมดังสมการที่ 8 (Holland,F.A.,and Champman,F.S.,1966)

$$N * t = \text{Constant} \dots\dots\dots (8)$$

โดยที่ N = ความเร็วรอบของการปั่นกวน

t = เวลาของการปั่นกวน (Batch mixing time )

Constant : Gray and Nagata = 30.0

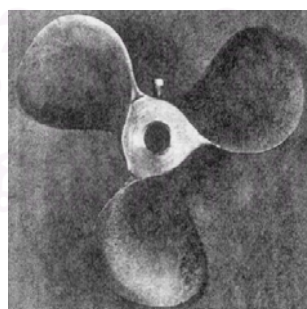
Yokohama and Yanagimoto = 33.0

จากสมการ 8 จะเห็นได้ว่า ความเร็วรอบของการปั่นกวนแปรผกผันกับเวลาของการปั่นกวน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่จะต้องศึกษาความเร็วรอบของการปั่นกวนไปพร้อมกับเวลาของการปั่นกวน

โดยทั่วไปสามารถจัดกลุ่มของใบกวนได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

(1) **ใบพัด (Propeller)** เป็นใบกวนที่มีแกนหมุนในแนวตั้งทำให้ของเหลวในภาชนะมีพฤติกรรม การไหลมีลักษณะการไหลในแนวแกน (axial flow) โดยปกติใบกวนชนิดนี้ต้องการการไหลในอัตราเร็วสูง และสามารถใช้สำหรับปั่นกวนของเหลวที่มีความหนืดในช่วงกว้างตั้งแต่ 1 ถึง  $10^4$  cp. ตัวอย่างของใบกวนชนิดนี้ได้แก่ marine propeller แสดงไว้ดังรูปที่ 2-13

รูปที่ 2-13 แสดงใบกวนชนิด Marine Propeller



(2) **ใบพาย (Paddle)** เป็นใบกวนชนิดแบนราบสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดอยู่บนแกนหมุนที่ตั้งในแนวตั้ง โดยทั่วไปใช้ใบกวน 2 หรือ 4 ใบ บิดเป็นมุมฉากออกมา บางครั้งใบกวนจะวางเป็น

แนวเอียง ใบกวนชนิดนี้มักจะใช้ในระดับความเร็วช้าจนถึงปานกลาง ใบกวนในกลุ่มนี้สามารถจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้ดังนี้

(2.1) กลุ่มใบพายขนาดเล็ก (small blade paddle) ตัวอย่างเช่น

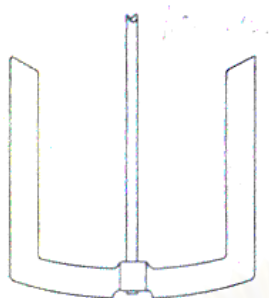
- anchor
- basic straight blade paddle



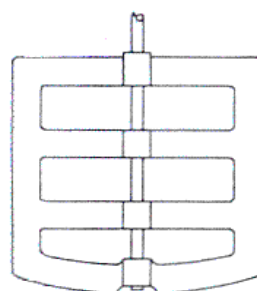
รูปที่ 2-14 แสดงใบกวนชนิด basic straight blade paddle

(2.2) กลุ่มใบพายขนาดใหญ่ (large blade paddle) ตัวอย่างเช่น

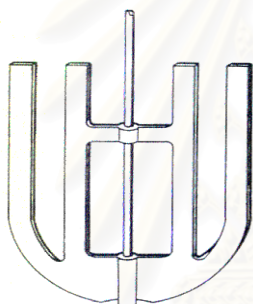
- Horseshoe
- Horseshoe with cross-member
- Gate anchor
- Double motion horseshoe-paddle
- Helical ribbon screw
- Double helical ribbon screw



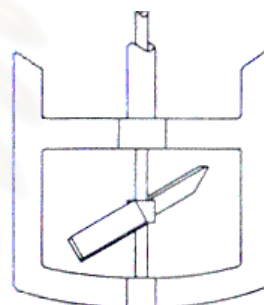
รูปที่ 2-15 แสดงใบกวนชนิด Horseshoe



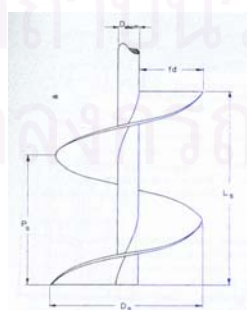
รูปที่ 2-16 แสดงใบกวนชนิด Horseshoe  
with cross-member



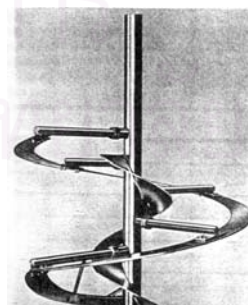
รูปที่ 2-17 แสดงใบกวนชนิด Gate anchor



รูปที่ 2-18 แสดงใบกวนชนิด Double motion  
horseshoe-paddle



รูปที่ 2-19 แสดงใบกวนชนิด Helical  
ribbon screw

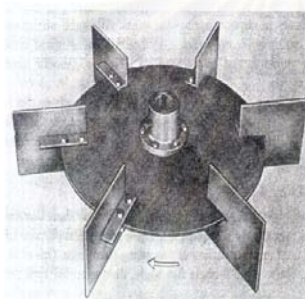


รูปที่ 2-20 แสดงใบกวนชนิด Double helical  
ribbon screw

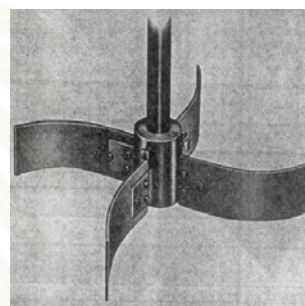


(3) ใบกังหัน (Turbine) เป็นใบกวนที่เหมาะสมสำหรับผสมของผสมที่มีความหนืด ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ 1 ถึง  $10^4$  cp. และมีพฤติกรรมในการไหลในภาชนะเป็นแบบไหลในแนวรัศมี (radial flow) ใบกวนชนิดนี้เหมาะกับความเร็วรอบการปั่นกวนที่สูง ตัวอย่างของใบกวนชนิดนี้ได้แก่

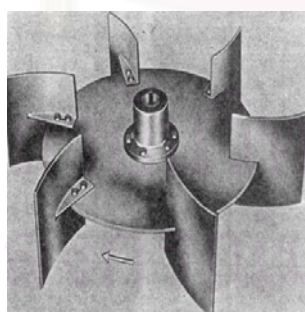
- Six blade flat blade turbine
- Hub mounted curved blade
- Disk mounted curved blade
- pitch blade turbine



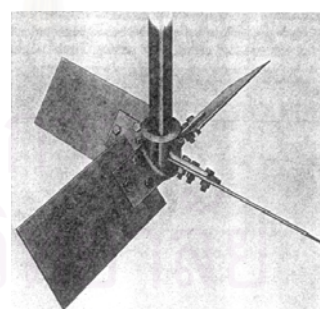
รูปที่ 2-21 แสดงใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine



รูปที่ 2-22 แสดงใบกวนชนิด Hub mounted curved blade



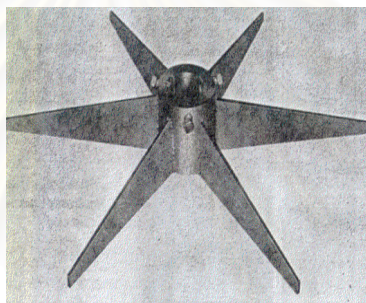
รูปที่ 2-23 แสดงใบกวนชนิด Disk mounted curved blade



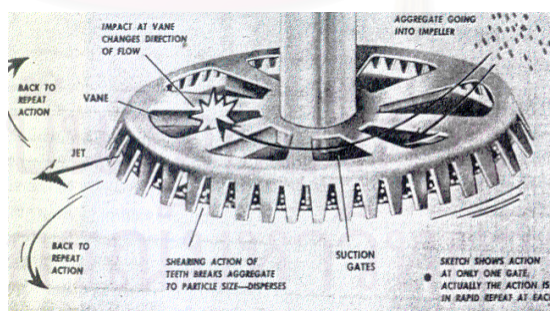
รูปที่ 2-24 แสดงใบกวนชนิด pitch blade turbine

นอกจากนี้ยังมีใบกวนที่ใช้งานเฉพาะอย่างและไม่อาจจัดอยู่ใน 3 กลุ่มแรก ก็คือใบกวนชนิด High shear impellers ซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อตีกระจายของแข็งให้ฉีกขาด หรือการกระจายของเหลวชนิดหนึ่งให้เป็นหยดละเอียดในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า อีมัลชัน (emulsion) ใบกวนจำพวกนี้ได้แก่

- Disk type
- Modified disk
- Modified turbine
- Saw tooth edge



รูปที่ 2-25 แสดงใบกวนชนิด Modified turbine high shear



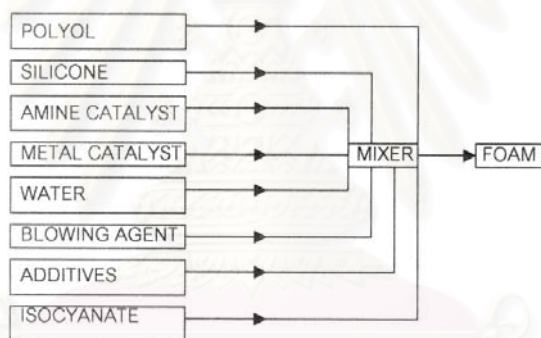
รูปที่ 2-26 แสดงใบกวนชนิด Saw tooth edge modified turbine shear

## 2.6 การเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหย่น

การเตรียมโพลียูรีเทนโฟมที่นิยมกันจะเตรียมด้วยระบบ Reaction injection moulding (Liquid injection moulding) ในทางอุตสาหกรรมสามารถจัดรูปแบบของการผสมด้วยวิธีนี้ด้วยกัน 3 แบบดังนี้

### 2.6.1 ระบบผสมองค์ประกอบทุกชนิดในขั้นตอนเดียว (The one shot system)

เป็นการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมโดยส่งสารที่ใช้ในการผสมซึ่งประกอบด้วย โพลีออล, ไอโซไซยาเนต, น้ำ, ซิลิโคน, ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน, ตัวเร่งปฏิกิริยาทิน และสารเติมแต่งอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่ต้องการผสมเข้าผสมพร้อมกันในห้องผสมอย่างรวดเร็ว ระบบนี้ใช้ได้ดีกับการส่งถ่ายของผสมลงสู่แม่แบบเคลื่อนที่หรือระบบแบบต่อเนื่อง แสดงไดอะแกรมของระบบการผสมได้ดังรูปที่ 2-27

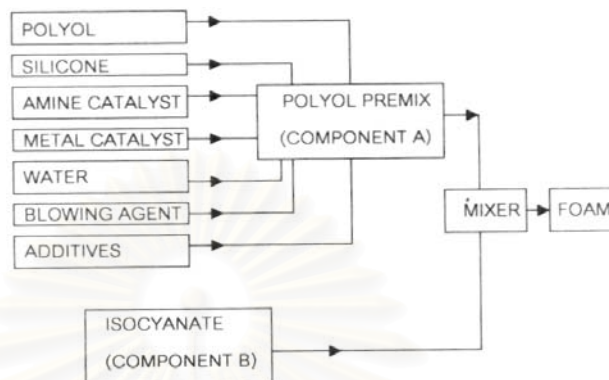


รูปที่ 2-27 ระบบผสมองค์ประกอบทุกชนิดในขั้นตอนเดียว (The one shot system)

### 2.6.2 ระบบผสมสององค์ประกอบ (The two component system)

เป็นการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมโดยส่งสารที่ใช้ในการผสมซึ่งประกอบด้วย โพลีออล, น้ำ, ซิลิโคน, ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน, ตัวเร่งปฏิกิริยาทิน และสารเติมแต่งอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่ต้องการผสมเข้าผสมพร้อมกันก่อนในห้องเตรียมผสม เมื่อส่วนผสมนี้ถูกผสมเข้ากันแล้วก็จะถูกส่งต่อเข้าผสมกับไอโซไซยาเนตในห้องผสมอย่างรวดเร็ว แล้วส่งถ่ายของผสมลงสู่แม่แบบเคลื่อนที่หรือระบบแบบต่อเนื่อง และแม่แบบแบบไม่ต่อเนื่อง ระบบแบบนี้การผสมจะเกิดขึ้นสมบูรณ์กว่าแบบระบบผสมองค์ประกอบเดียวและมักเป็นระบบการผสมที่สามารถใช้สำหรับการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่องได้ แต่มีข้อเสียสำหรับระบบแบบต่อเนื่องก็คือ เมื่อต้องการเปลี่ยนสูตรของการทำโพลียูรีเทน

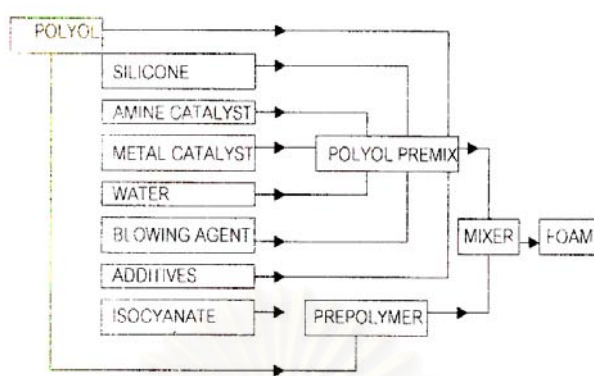
ชนิดอื่นๆ ในขณะที่ทำการผลิตรอยต่อของแต่ละสูตรการผลิตจะมีความเสียมากกว่าระบบผสมองค์ประกอบเดียว แสดงไดอะแกรมของระบบการผสมได้ดังรูปที่ 2-28



รูปที่ 2-28 ระบบผสมสององค์ประกอบ (Two component system)

### 2.6.3 ระบบแบ่งครึ่งเตรียมพอลิเมอร์ (The quasi-prepolymer system)

เป็นการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมโดยแบ่งโพลีออลออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ให้โพลีออลทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตก่อน ส่วนที่ 2 ประกอบด้วย โพลีออล, น้ำ, ซิลิโคน, ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน, ตัวเร่งปฏิกิริยาทิน และสารเติมแต่งอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่ต้องการผสมเข้าผสมพร้อมกันก่อนในห้องเตรียมผสม หลังจากนั้นจึงนำส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 มาผสมกันในห้องผสมอีกครั้งอย่างรวดเร็ว แล้วส่งถ่ายของผสมลงสู่แม่แบบเคลือบอื่นที่ (ระบบแบบต่อเนื่อง) หรือระบบแบบไม่ต่อเนื่อง ระบบการผสมดังกล่าวจะเกิดขึ้นสมบูรณ์กว่าระบบการผสมแบบองค์ประกอบเดียวและระบบสององค์ประกอบ แต่ระบบการผสมนี้มักเป็นระบบการผสมที่ใช้สำหรับการทำโพลียูรีเทนโฟมแบบแม่แบบเคลือบที่หรือแบบต่อเนื่อง แต่มีข้อเสียก็คือ เมื่อต้องการเปลี่ยนสูตรของการทำโพลียูรีเทนโฟมชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ทำการผลิต รอยต่อของแต่ละสูตรการผลิตจะมีความสูญเสียมากกว่าระบบผสมสององค์ประกอบ แสดงไดอะแกรมของระบบการผสมได้ดังรูปที่ 2-29



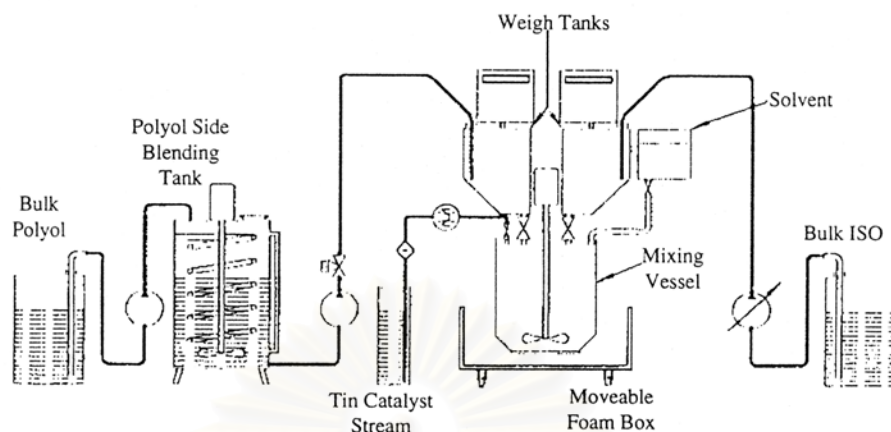
รูปที่ 2-29 ระบบแบ่งครึ่งเตรียมพอลิเมอร์ (The Quasi prepolymerisation system)

## 2.7 กรรมวิธีในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

กรรมวิธีของการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นในทางการค้าในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ และสามารถผลิตได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกรรมวิธีจะนำเสนอเป็นข้อ ๆ ดังนี้

### 2.7.1 การผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่อง (Moulds flexible foam)

การผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องนั้น มักทำกันในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตต่ำ ๆ หรือต้องการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นที่มีลักษณะพิเศษ กระบวนการผสมองค์ประกอบของของผสมมักใช้ระบบการผสมแบบสององค์ประกอบ แล้วส่งถ่ายของผสมลงสู่แม่แบบที่รองรับซึ่งมีขนาดและรูปร่างตามความต้องการในการแปรรูปเพื่อนำไปใช้ในงานลักษณะใด ส่วนใหญ่รูปร่างของแม่แบบมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ แบบสี่เหลี่ยมและแบบทรงกระบอก การผลิตด้วยกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องนี้จะได้ผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นครั้งละ 1 ท่อน ในที่นี้ได้แสดงรูปแบบของเครื่องผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่องดังรูปที่ 2-30 ซึ่งตัวแม่แบบนั้นจะแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ



รูปที่ 2-30 แสดงรูปเครื่องจักรสำหรับการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบไม่ต่อเนื่อง (Box foaming)  
( David Reed,1994:paper 3 page 1)

#### 2.7.1.1 ระบบแม่แบบเย็น (Cold cured moulding)

ระบบแม่แบบเย็นจะปล่อยให้โฟลียูรีเทนโฟมที่เกิดปฏิกิริยาอยู่ในแม่แบบเกิดการสร้างโครงสร้างโฟลียูรีเทนโฟมจนเสร็จสมบูรณ์ตามลักษณะการเกิดปฏิกิริยาแล้วจึงค่อยถอดชิ้นงานโฟลียูรีเทนโฟมออกจากแม่แบบ

#### 2.7.1.2 ระบบแม่แบบร้อน (hot cured moulding)

ระบบแม่แบบร้อนมีความคล้ายคลึงกับระบบแม่แบบเย็นเพียงแต่ขั้นตอนที่โฟลียูรีเทนโฟมบรรจุอยู่ในแม่แบบแล้วนั้น มีการให้ความร้อนแก่ตัวแม่แบบเพื่อให้โฟลียูรีเทนโฟมสร้างโครงสร้างให้สมบูรณ์ จากนั้นจึงค่อยถอดชิ้นงานโฟลียูรีเทนโฟมออกจากแม่แบบ

### 2.7.2 การผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่อง (Slabstock flexible foam)

การผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยกระบวนการแบบต่อเนื่องนั้นมักทำกันในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตสูง ๆ กระบวนการผสมองค์ประกอบของผสมสามารถใช้ระบบการผสมทั้ง 3 แบบ แล้วส่งถ่ายของผสมลงสู่แม่แบบที่เคลื่อนที่ที่รองรับซึ่งมีขนาดและรูปร่างตามความต้องการของความต้องการในการแปรรูปว่าจะนำไปใช้ในงานลักษณะใด ส่วนใหญ่รูปร่างของแม่แบบมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ แบบสี่เหลี่ยมและแบบทรงกระบอก การผลิตด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องนี้จะได้ผลิตภัณฑ์โฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นครั้งละมาก ๆ กรรมวิธีการผลิตโฟลียูรีเทน

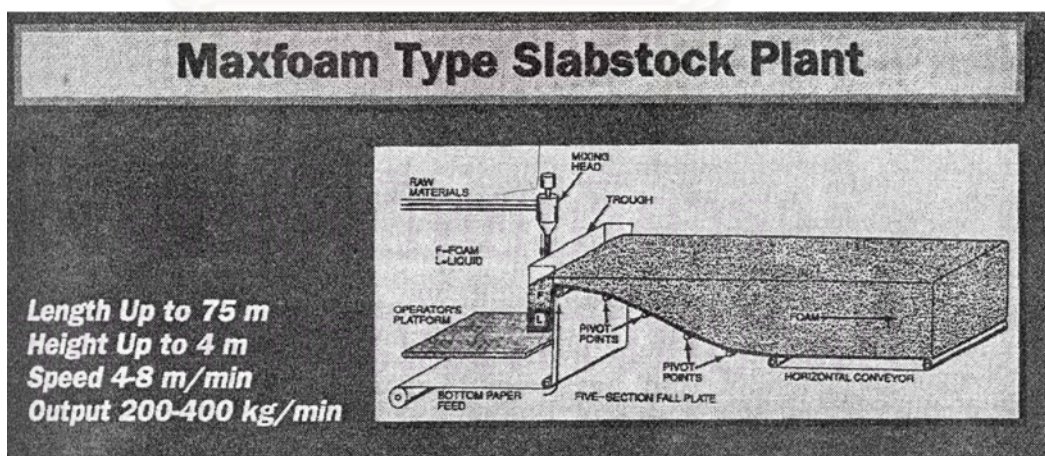
โฟมแบบยืดหยุ่นแบบต่อเนื่องนี้ ในปัจจุบันได้มีการออกแบบเครื่องจักรสำหรับการผลิตกันอย่างกว้างขวางและสามารถสรุปรูปแบบของเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องได้ทั้งสิ้น 2 ชนิดดังนี้

### 2.7.2.1 กระบวนการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นในแนวนอน (Horizontal slabstock foaming)

เป็นการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยทำให้แม่แบบเคลื่อนที่ด้วยสายพานลำเลียงในแนวนอน ซึ่งตัวแม่แบบสามารถทำได้ทั้งแบบสี่เหลี่ยมและแบบทรงกระบอก ระบบแบบนี้มี 2 แบบของการดำเนินการด้วยกันคือ

#### แบบที่ 1 ระบบใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม (Maxfoam type slabstock foam)

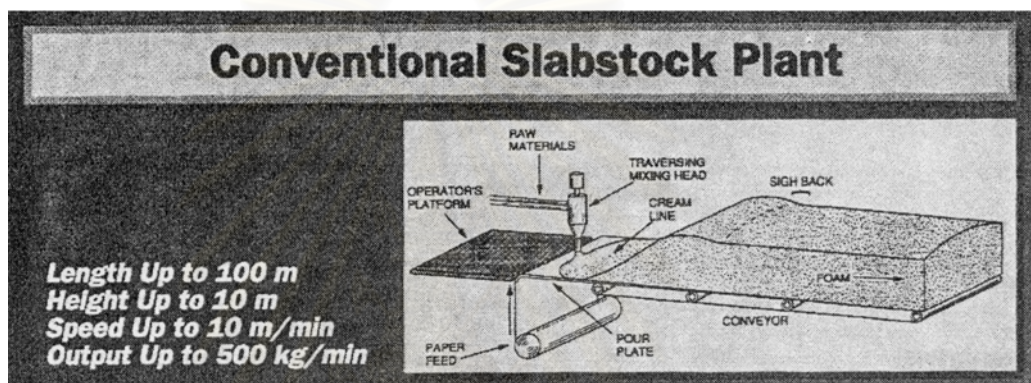
เป็นระบบเริ่มแรกของเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่อง ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบใช้รางก็คือการผลิตง่ายต่อการควบคุม แต่มีข้อเสียก็คือไม่สามารถดำเนินการผลิตโดยใช้รางขนาดเดียวกันสำหรับโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นทุกชนิดได้ ทำให้จำเป็นต้องจัดกลุ่มการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นในแต่ละครั้งของการผลิต ในที่นี้ได้แสดงรูปของเครื่องผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม ดังรูปที่ 2-31



รูปที่ 2-31 แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวนอนด้วยระบบรางรองรับของเหลวที่ผสม (Maxfoam type slabstock foam) ( David Reed,1994:paper 3 page 3)

## แบบที่ 2 แบบที่ไม่ใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม (Conventional slabstock foam)

เป็นระบบของเครื่องจักรสำหรับการทำการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องที่พัฒนามาจากระบบแบบใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบนี้ก็คือสามารถดำเนินการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นได้ครบทุกชนิดในคราวเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดของราง แต่มีข้อเสียก็คือการควบคุมการผลิตยากกว่าแบบใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม เพราะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้เหมาะสมและสมดุล ในที่นี้ได้แสดงรูปของเครื่องผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยไม่ใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม ดังรูปที่ 2-32

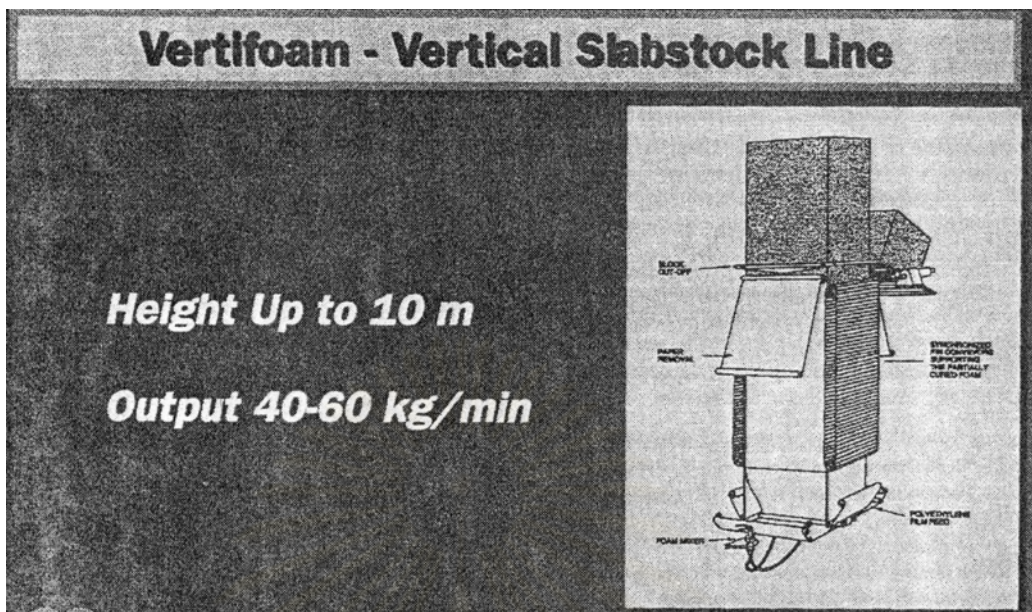


รูปที่ 2-32 แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวนอนด้วยระบบไม่ใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม (Conventional slabstock foam) (David Reed, 1994: paper 3 page 2)

### 2.7.2.2 กระบวนการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นในแนวตั้ง (Vertical slabstock foaming)

เป็นการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยทำให้แม่แบบเคลื่อนที่ด้วยสายพานลำเลียงในแนวตั้ง ซึ่งตัวแม่แบบสามารถทำได้ทั้งแบบสี่เหลี่ยมและแบบทรงกระบอก ระบบแบบนี้มีการดำเนินการเพียงแบบเดียวโดยใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม ในที่นี้ได้แสดงรูปของเครื่องผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยใช้รางเป็นตัวรองรับของผสม ดังรูปที่ 2-33





รูปที่ 2-33 แสดงเครื่องจักรสำหรับการผลิตโฟลียูรีเทนโฟมแบบต่อเนื่องในแนวตั้งด้วยระบบรางรองรับของเหลวที่ผสม (Vertifoam – Vertical slabstock foam) ( David Reed,1994:paper 3 page 4)

## 2.8 วิธีการวิเคราะห์โฟลียูรีเทนโฟม

การวิเคราะห์โฟลียูรีเทนโฟมจะอาศัยหลักการเช่นเดียวกับโฟมอื่น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะวิเคราะห์จากผลทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

### 2.8.1 ความหนาแน่นของโฟลียูรีเทนโฟม

ชิ้นงานวัสดุโฟลียูรีเทนโฟมประกอบด้วยองค์ประกอบส่วนที่เป็นของแข็งและก๊าซ ดังนั้นการพิจารณาความหนาแน่นที่ปรากฏ (Apparent density) ซึ่งเป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของโฟลียูรีเทนโฟม และมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติด้านอื่น ๆ อาทิเช่น ความแข็งแรง (Strength), คุณสมบัติทางด้านเทอร์โมฟิสิกส์ (Thermophysical properties) และคุณสมบัติด้านไฟฟ้า (Electrical properties) ในการประมาณขั้นต้นพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของโฟลียูรีเทนโฟมมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความหนาแน่น ไม่ว่าจะเป็นโฟลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น หรือแข็ง ก็ตาม สามารถที่จะคำนวณหาความหนาแน่นโดยอาศัยความหนาแน่นจริงของสภาวะโพลิเมอร์ (Polymer phase) และสถานะก๊าซ (Gas phase) ความสัมพันธ์ของการเติมก๊าซเข้าไปในโฟมสามารถแสดงได้ด้วยสมการ

โดยที่  $\rho_p$  = ความหนาแน่นจริงของสภาวะโพลิเมอร์ (True density of polymer phase)

$\rho_g$  = ความหนาแน่นของก๊าซที่อยู่ในเซลล์ (Gas density in the cells)

G = ช่องว่างภายในโพลิเมอร์ (Porosity)

ในทางปฏิบัติการคำนวณความหนาแน่นจากสมการที่ (6) มีความสลับซับซ้อนสูงมาก ดังนั้นการคำนวณความหนาแน่นของโพลิยูรีเทนโพลิเมอร์สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับการคำนวณความหนาแน่นของของแข็งโดยทั่วไป ซึ่งให้ค่าจำกัดความได้ดังนี้ ความหนาแน่นของชิ้นงานโพลิยูรีเทนโพลิเมอร์ได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง (Sample weight) ต่อด้วยปริมาตรเชิงเรขาคณิต (Geometrical volume) สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ (7)

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(7)$$

ซึ่ง  $\rho$  = ความหนาแน่นชิ้นงานโพลิยูรีเทนโพลิเมอร์ ( $\text{kg/m}^3$ )

m = น้ำหนักชิ้นงานโพลิยูรีเทนโพลิเมอร์ (kg)

V = ปริมาตรของชิ้นงานโพลิยูรีเทนโพลิเมอร์ ( $\text{m}^3$ )

### 2.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดของเซลล์

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ สามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์แบบกราฟไฮเพอโบลา กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวหาได้จากการตั้งสมมุติฐานโดยสมมุติว่า โครงสร้างของเซลล์โพลิเมอร์ประกอบด้วย เซลล์ลักษณะทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง d จัดเรียงตัวอยู่ในกล่องลูกบาศก์ โดยความหนาแน่นของผนังเซลล์มีค่า  $\delta$  สามารถคำนวณน้ำหนักของโพลิเมอร์ ( $m_c$ ) ต่อเซลล์ได้ดังสมการ (8)

$$m_c = \rho_c \left[ \frac{4\pi}{3} \left( \frac{d+\delta}{2} \right)^3 - \frac{4\pi}{3} \left( \frac{d-\delta}{2} \right)^3 \right] = \frac{\pi}{3} (3d^2\delta + \delta^3) \rho_p \dots\dots(8)$$

ถ้า  $N_b$  = จำนวนของเซลล์ในช่องว่างลูกบาศก์ และ ให้แต่ละด้านของลูกบาศก์มีความกว้าง  $b$  ดังนั้น

$$N_b = \left(\frac{b}{d}\right)^3$$

สามารถคำนวณน้ำหนักของพอลิเมอร์ในช่องว่างได้ดังสมการ (9)

$$m = N_b m_c = \frac{4}{3}(3d^2\delta + \delta^3)\left(\frac{b}{d}\right)^3 \rho_P \dots\dots\dots(9)$$

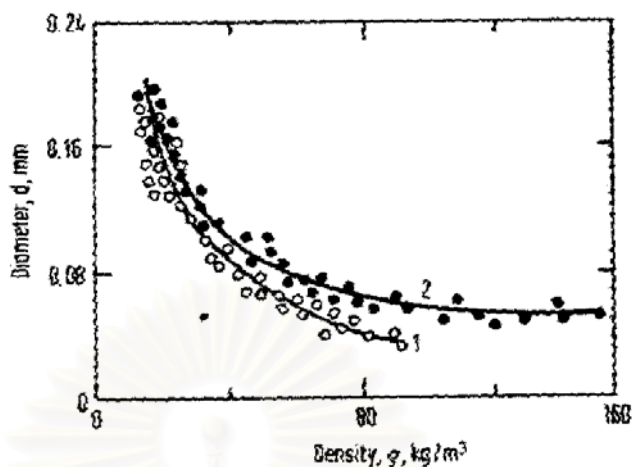
ถ้าเราแทนปริมาตร  $V = b^3$  , ดังนั้นความหนาแน่นของโพลีเมอร์สามารถเขียนแทนด้วยสมการ (10)

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\pi}{3}(3d^2\delta + \delta^3)\left(\frac{b}{d}\right)^3 \frac{\rho_P}{b^3} = \pi \frac{(3d^2\delta + \delta^3)}{3d^3} \rho_P \dots\dots\dots(10)$$

เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นเราสมมุติว่าเทอม  $\delta^3 \ll \delta$  สามารถละทิ้งเทอม  $\delta^3$  ในสมการ (10) ดังนั้นสมการ (10) จะลดรูปลงเหลือสมการ (11)

$$\rho = \frac{\pi\delta\rho_P}{d} \dots\dots\dots(11)$$

จากสมการที่ (11) ถ้าเราให้ความหนาแน่นของผนังเซลล์มีค่าคงที่ ( $\delta = \text{constant}$ ) ในที่นี้อ้างอิงผลการทดลองของโพลิสไตรีน เมื่อกำหนดให้  $\delta$  มีค่า 1 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) และสามารถเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองได้ดังรูปที่ 2-34

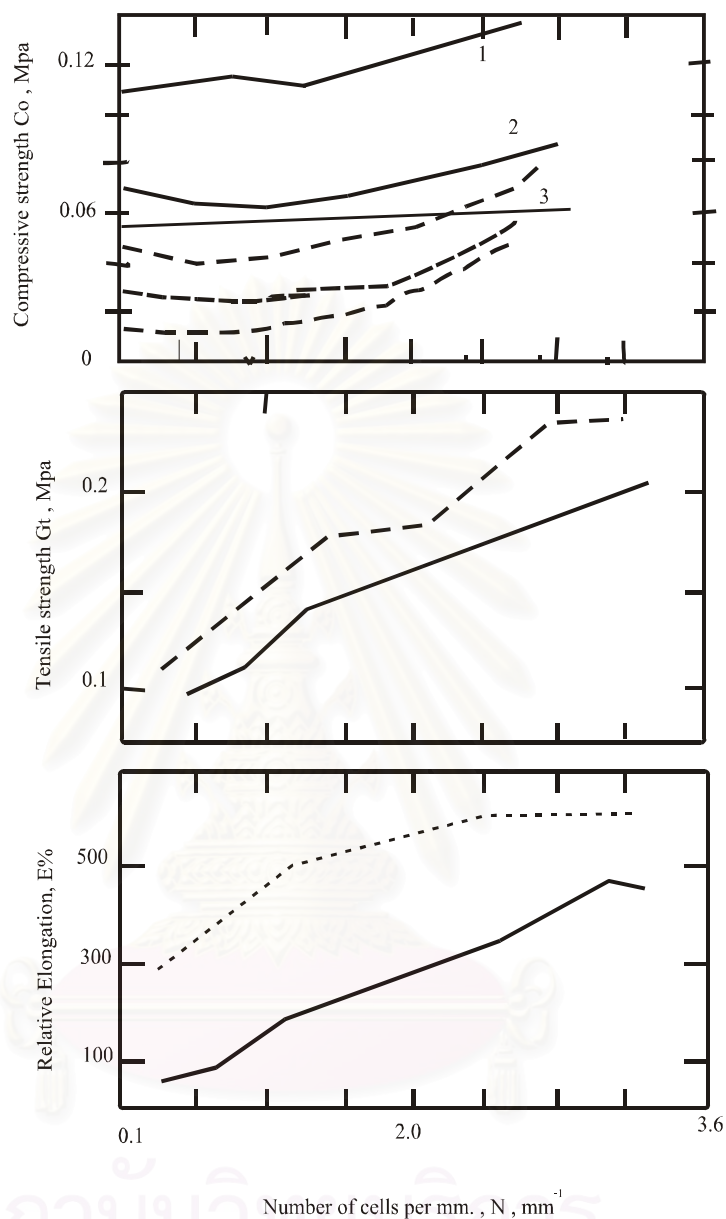


รูปที่ 2-34 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นที่มีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดโพลิสไตรีน (Polystyrene), เส้นกราฟเส้นที่ 1 แสดงเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณ, เส้นกราฟเส้นที่ 2 แสดงเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง (Daniel Klempner and Kurt C.Frisch, 1991:26 )

พบว่าผลของการคำนวณมีความแตกต่างจากการทดลองประมาณ 22 ถึง 28 % แต่ลักษณะของกราฟมีทิศทางเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ เป็นลักษณะของกราฟไฮเพอโบลา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ว่าความหนาแน่นของโพลิสไตรีนเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ขนาดของเซลล์ลดลง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ในการวิเคราะห์ผลของโพลียูรีเทนโฟมเช่นกัน

### 2.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพต่อขนาดของเซลล์

ถ้าหากทำการเปรียบเทียบบนสถานะเดียวกัน (เคมี, ความหนาแน่น, จำนวนเซลล์ปิด) ขนาดของเซลล์สามารถใช้ในการทำนายผลของคุณสมบัติทางกายภาพของโพลียูรีเทนโฟมได้โดยพบว่าการเพิ่มขนาดของเซลล์ให้โตขึ้นมีผลให้ คุณสมบัติการเหนียวนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการส่งผ่านความร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่า Young's Modulus, ความทนแรงอัด (compressive stress), ความทนแรงดึง (tensile strength) และ ความสามารถในการยืดตัว (elongation) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 2-35



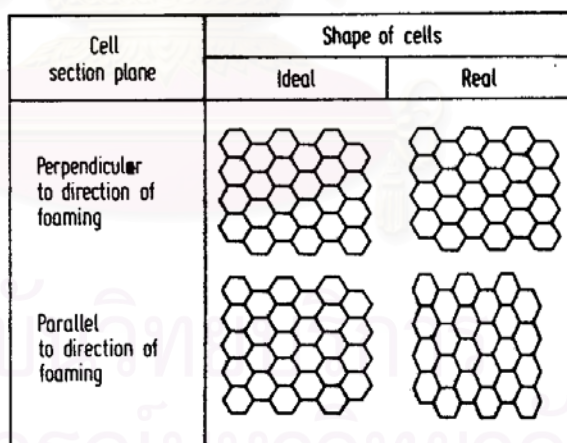
รูปที่ 2-35 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเซลล์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ความทนแรงอัด, ความทนแรงดึง, ความสามารถในการยืดตัว เส้นประแทนโพลียูรีเทนโฝมที่มีการใช้สารเชื่อมโยงร่างแห(cross-linker), เส้นทึบแทนโพลียูรีเทนโฝมที่ไม่มีการเชื่อมโยงร่างแห กราฟรูปบนตัวเลข 1, 2 และ 3 แทน การกีดกันที่ตำแหน่ง 66%, 50% และ 25% ตามลำดับ(Daniel Klempner and Kurt C.Frisch,1991:36 )

## 2.8.4 ปัญหาของการวิเคราะห์ผลทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพของโฟลียูริเทนโฟม

ปัญหาของการวิเคราะห์ผลประกอบไปด้วย 2 ปัญหาใหญ่ก็คือ การตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับรูปร่างของเซลล์ที่ไม่ถูกต้อง และชิ้นงานโฟลียูริเทนโฟมไม่ได้มีเฉพาะเซลล์พอลิเมอร์เท่านั้น ซึ่งปัญหาทั้ง 2 อย่างนี้ จะได้อธิบายเป็นลำดับดังนี้

### 2.8.4.1 รูปร่างลักษณะของเซลล์

ในขั้นต้นเราได้ตั้งสมมุติฐานว่ารูปร่างของเซลล์เป็นทรงกลม (spherical) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณมีความแตกต่างจากผลการทดลองอยู่บ้าง ในความเป็นจริงรูปร่างของเซลล์ไม่ได้มีลักษณะสมมาตรแบบทรงกลม แต่มีลักษณะเป็นโพลิฮีดรัล (polyhedral) หลายด้าน และการพองตัวของเซลล์โดยการขยายตัวของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์มีการขยายตัวในแนวตั้ง จึงมีผลให้รูปร่างของเซลล์มีรูปร่างโดยขนาดแนวตั้งเล็กกว่าแนวนอน แสดงได้ดังรูปที่ 2-36



รูปที่ 2-36 แสดงรูปร่างของเซลล์โฟลียูริเทนโฟมที่ถูกตัดครึ่งในแนวตั้งฉากและแนวขนาน (Daniel Klempner and Kurt C.Frisch, 1991:30 )

ลักษณะที่ไม่สมมาตรของเซลล์นี้จะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากการประมาณการ โดยเฉพาะค่าความสามารถในการยืดตัวของเซลล์ในแนวตั้งจะมีค่าน้อยกว่าค่าความสามารถในการยืดตัวของเซลล์ที่เรียงตัวในแนวระดับ และแต่ละ

ชั้นจากด้านล่างจนถึงชั้นบน จะมีความแตกต่างเช่นเดียวกันคือ ชั้นบนจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ต่ำกว่าชั้นล่าง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและน้ำหนักของเซลล์ที่อยู่ด้านบนกดอัดลงมา

2.8.4.2 การเจือปนของอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์

ในขั้นต้นเราได้ตั้งสมมุติฐานว่าเซลล์มีการจัดเรียงตัวโดยเป็นระเบียบบรรจุในกล่องลูกบาศก์ แต่ในการผลิตโพลีเอทิลีนโฟม ปริมาณอากาศที่เกิดขึ้นสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างเซลล์ได้ ซึ่งผลของอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเซลล์โพลีเอทิลีนโฟมนี้จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพ โดยทำให้คุณสมบัติทางกายภาพมีค่าลดลงต่ำกว่าตามทฤษฎี ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

ถ้าโพลีเอทิลีนโฟมมีฟองอากาศเจือปนระหว่างเซลล์ ดังนั้น  $m = W_p + W_A$  เมื่อแทนค่าลงในสมการ (7) จะได้

$$\rho = \frac{W_p + W_A}{V} \dots\dots\dots (12)$$

$$W_p = \rho_p \times \bar{V}_p \dots\dots\dots (13)$$

$$W_A = \rho_A \times \bar{V}_A \dots\dots\dots (14)$$

- โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์
- $W_p$  = น้ำหนักโพลีเอทิลีนโฟม
- $W_A$  = น้ำหนักอากาศที่แทรกตัวอยู่ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์
- $V$  = ปริมาตรชิ้นงานผลิตภัณฑ์ =  $V_p + V_A$
- $\bar{V}_p$  = สัดส่วนปริมาตรของโพลีเอทิลีนโฟม
- $\bar{V}_A$  = สัดส่วนปริมาตรของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟม
- $\rho_p$  = ความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนโฟม
- $\rho_A$  = ความหนาแน่นของฟองอากาศที่กระจายอยู่ในชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟม

สามารถแทนผลบวกสัดส่วนปริมาตรฟองอากาศกับสัดส่วนปริมาตรโพลีเอทิลีนโฟมได้ด้วยสมการ (15)

$$\frac{V_A}{V_A + V_P} + \frac{V_P}{V_A + V_P} = 1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

เมื่อแทนสมการ (13) , (14) , (16) ในสมการ (12) จัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\bar{V}_A + \bar{V}_P = 1 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\rho = \frac{\rho_P}{V} - \frac{\bar{V}_A}{V}(\rho_P - \rho_A) \quad \dots\dots\dots(17)$$

จากสมการที่ (17) จะเห็นได้ว่าเทอมที่ 1 ทางขวามือเป็นค่าคงที่ของทุก ๆ โพลียูริเทนโฟมที่เป็นสูตรเดียวกัน ถ้าโพลียูริเทนโฟมมีฟองอากาศในชิ้นงานมากหรือฟองอากาศขนาดใหญ่จะมีผลให้เทอมที่ 2 ขวามือมีขนาดโตขึ้น ดังนั้นจึงมีผลให้เทอมทางซ้ายมือก็คือความหนาแน่นมีค่าลดลงนั่นเอง เมื่อฟองอากาศขนาดใหญ่หรือปริมาณฟองอากาศมากจะมีผลให้สัดส่วนปริมาตรฟองอากาศมากกว่าสัดส่วนปริมาตรโพลียูริเทนโฟม ดังนั้นเมื่อ  $\bar{V}_A$  มาก ทำให้  $\rho$  ลดน้อยลง ดังสมการ (17)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาศึกษาประกอบด้วย ชนิดของใบกวน, เวลาของการปั่นกวน, ความเร็วรอบของการปั่นกวน และอุณหภูมิของสารก่อนการผสม เริ่มจากการศึกษาชนิดของใบกวนที่เหมาะสมในการกวนผสม เพื่อเลือกชนิดของใบกวนที่เหมาะสม โดยทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของการปั่นกวนในช่วง 1000 ถึง 5000 รอบต่อนาที ซึ่งแต่ละความเร็วรอบของการปั่นกวนจะมีการแปรเปลี่ยนเวลาของการปั่นกวนในช่วงเวลา 0 ถึง 15 วินาที และจะทำการตรวจสอบผลการทดลองด้วยคุณสมบัติ 3 ลักษณะ คือ คุณสมบัติทางกายภาพ , คุณสมบัติเชิงกล และค่าเบี่ยงเบนของขึ้นงาน จากนั้นศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารก่อนการผสมในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการทดลองประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ในกระบวนการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง มีสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาคือ โพลีอีเทอร์ โพลีออล, โคโพลิเมอร์ โพลีออล, โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต, ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน, ตัวเร่งปฏิกิริยาทิน, ซิลิโคนสเตบิไลเซอร์, น้ำ, ตัวทำละลาย ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของสารเคมีแต่ละชนิดได้ดังนี้

##### 3.1.1 โพลีอีเทอร์ โพลีออล

เป็นสารเคมีตัวหลักที่ใช้ทำปฏิกิริยากับโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นยูรีเทน ดังสมการที่ 3 รูปที่ 2-1 โพลีอีเทอร์ โพลีออล ที่เลือกใช้เป็นชนิด โพรพิลีนออกไซด์ คุณสมบัติที่จำเป็นของโพลีออลแต่ละชนิดนั้นแสดงเป็นตัวอย่างไว้ในตารางที่ 2-2 สำหรับคุณสมบัติของโพลีออลที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดไว้ดังนี้

ชื่อทางการค้า	Voranol 3022	
บริษัทผู้ผลิต	Dow Chemical Pacific Ltd.	
คุณสมบัติทั่วไป	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย	3000
	ความหนืดที่ 25 °C	490 cp.

ค่าความถ่วงจำเพาะ	25/20 °C	1.01
จำนวนไฮดรอกซิลเฉลี่ย (mg KOH/g)		56
ปริมาณน้ำเจือปน		0.03%

### 3.1.2 โคโพลิเมอร์ โพลีออล

เป็นโพลีออลอีกชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วยสไตรีนอะคริไนด์ (styrene acrylonitrile) เป็นลักษณะโพลีออลแบบกราฟท์ ทำหน้าที่ช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างเซลล์ ให้คุณสมบัติในการรับแรงและ strength มีคุณสมบัติดีขึ้น ดูรายละเอียดได้จากหัวข้อ 2.4.2 ซึ่งโคโพลิเมอร์ โพลีออล นั้นเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าของบริษัทผู้ผลิต และไม่สามารถระบุถึงองค์ประกอบที่ชัดเจนได้ซึ่งเป็นความลับทางการค้าของแต่ละบริษัท อีกทั้งปริมาณการใช้ยังขึ้นอยู่กับสูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ของแต่ละบริษัทเช่นกัน รายละเอียดข้างล่างนี้เป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของสารที่นำมาใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	Poly-G-9227 Graft Polyol	
บริษัทผู้ผลิต	Olin Chemicals	
คุณสมบัติทั่วไป	ความหนืดที่ 25 °C	5100 cp.
	ค่าความถ่วงจำเพาะ	25/20 °C 1.042
	จำนวนไฮดรอกซิลเฉลี่ย (mg KOH/g)	27
	ปริมาณน้ำเจือปน	0.05%

### 3.1.3 โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต

เป็นสารเคมีตัวหลักที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีตัวอื่น ๆ เพื่อให้เกิดเป็นโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ดังปฏิกิริยาที่ 1, 2, 3, 4, 5 ในรูปที่ 2-1 ซึ่งโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต ที่ใช้ใน โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นส่วนใหญ่จะเป็นชนิดไอโซเมอร์ 80/20 ซึ่งคุณสมบัติโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ชื่อทางการค้า	TDI	
บริษัทผู้ผลิต	Olin Chemicals	
คุณสมบัติทั่วไป	อัตราส่วนไอโซเมอร์ (Isomer Ratio , %)	
	2,4-ไอโซเมอร์	80±1
	2,6-ไอโซเมอร์	20±1

ความหนืดที่ 25 °C	1 cp.
ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C	1.22

### 3.1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา ของ 2 ปฏิกิริยาหลักคือ ปฏิกิริยาการพองตัว (หัวข้อ 2.1.1) ปฏิกิริยาของการเกิดพอลิเมอร์ (หัวข้อ 2.1.2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้นนี้ไม่เฉพาะแต่ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ยังช่วยในด้านของคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพอีกด้วย คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้แสดงไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะ

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโพลีอีนไดไฮโดรไซยาเนต กับ โพลีเอเทอร์ โพลีออล ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีมากมายหลายชนิดซึ่งแสดงตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดชนิดโลหะดังได้ดังตารางที่ 2-4 แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดชนิดโลหะซึ่งมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

ชื่อทางเคมี	Stannous octoate
ชื่อทางการค้า	DABCO T-9
บริษัทผู้ผลิต	Air Products
คุณสมบัติทั่วไป	ความหนืดที่ 25 °C 312 cp.
	ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C 1.25
	องค์ประกอบของ Tin 28.0 %

#### 3.1.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เร่งปฏิกิริยาการพองตัว ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโพลีอีนไดไฮโดรไซยาเนต กับ น้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีมากมายหลายชนิดซึ่งแสดงตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอมีนได้ดังตารางที่ 2-3 แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เอมีนซึ่งมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

ชนิดที่ 1 Bis(2-dimethylaminoethyl) ether

ชื่อทางการค้า BDE

บริษัทผู้ผลิต Witco specialties Co.Ltd.

คุณสมบัติทั่วไป ความหนืดที่ 25 °C 4 cp.

ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C 0.902

ชนิดที่ 2 Triethylene diamine

ชื่อทางการค้า A-33

บริษัทผู้ผลิต Witco specialties Co.Ltd.

คุณสมบัติทั่วไป ความหนืดที่ 25 °C 100 cp.

ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C 1.033

### 3.1.5 ซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์

ซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์เป็นสารประกอบจำพวกออร์กาโนโพลีไซลอกเซน โคโพลิเมอร์ ซึ่งมีหน้าที่หลักดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.4.5 ชนิดของซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์ที่ใช้ในโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นนั้น มักจะจำแนกเพียง 2 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ในหัวข้อ 2.4.5 สำหรับซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

ชื่อสารเคมี Polydimethylsiloxane oxyalkylene copolymers

ชื่อทางการค้า TEGOSTAB B8021

บริษัทผู้ผลิต TH.GOLDSCHMIDT AG

คุณสมบัติทั่วไป ความหนืดที่ 25 °C 1230 cp.

ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C 1.030

### 3.1.6 สารช่วยพอง

สารช่วยพองเป็นสารที่ทำให้โพลียูรีเทนเกิดการขยายตัว แล้วมีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความหนาแน่นของชิ้นงาน เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งสารช่วยพองนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.4.6 ซึ่งประกอบด้วยสารช่วยพองหลัก (Main blowing agent) และสารช่วยพองรอง (Auxilliary blowing agent) และได้แสดงชนิดของสารเหล่านี้ไว้ในตารางที่ 2-5 สำหรับการทดลองที่ศึกษานี้จะใช้เพียงสารช่วยพองหลักเท่านั้น ก็คือน้ำ โดยมีหน้าที่หลักในการ

ทำปฏิกิริยากับ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต ดังปฏิกิริยาที่ 1 ในรูปที่ 2-1 และแสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปได้ดังนี้

ชื่อทางเคมี	Water	
ชื่อทางการค้า	Water	
คุณสมบัติทั่วไป	ความหนืดที่ 25 °C	1 cp.
	ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C	1.25
	จุดเดือดที่ 760 mm.Hg.	100 °C

### 3.1.7 ตัวทำละลาย (Solvents)

ตัวทำละลายใช้ในการทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียม โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น เพราะเนื่องจากการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดนี้ ภาชนะที่ใช้เตรียมจะเกิดคราบของโพลียูรีเทนโฟมเกาะติดอย่างหนาแน่น การทำความสะอาดโดยเฉพาะเครื่องปฏิกรณ์ เป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการเตรียมชิ้นงานชิ้นอื่น ๆ ต่อไป สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายในการทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์โดยมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

ชื่อทางเคมี	Dichloromethane	
ชื่อทางการค้า	Methylene chloride	
บริษัทผู้ผลิต	Dow Chemical Pacific Ltd.	
คุณสมบัติทั่วไป	ความหนืดที่ 25 °C	0.448 cp.
	ค่าความถ่วงจำเพาะ 25/20 °C	1.322
	จุดเดือดที่ 760 mm.Hg.	40 °C

จากสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น ดังกล่าวข้างต้น สามารถแสดงค่าความหนาแน่นและความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 3-1

สารเคมี	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )				ความหนืด (cp.)			
	อุณหภูมิ <sup>0</sup> C				อุณหภูมิ <sup>0</sup> C			
	10	20	30	40	10	20	30	40
Voranol 3022	1.0163	1.0091	1.0012	0.9996	1050	671	407	262
Poly-G-9227	1.0450	1.0430	1.0410	1.0400	12800	6750	3650	2200
TDI	-	1.2223	1.2118	1.2098	-	-	-	-
	TEMPERATURE <sup>0</sup> C				TEMPERATURE <sup>0</sup> C			
	15	20	35	30	10	20	25	30
	DABCO T-9	1.268	1.264	1.260	1.256	940	374	257
BDE	-	0.902	-	-	-	-	-	-
A-33	1.039	1.036	1.033	1.030	400	140	100	80
Silicone B8021	1.038	1.034	1.030	1.026	3000	1640	1230	1130

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นของสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

- เครื่องมือสำหรับการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม
- เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม

#### 3.2.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในระบบแบบเบตซ์นั้น ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในระดับอุตสาหกรรม อาศัยวิธีการชั่งน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทางเคมีต่าง ๆ ด้วยเครื่องชั่ง หลังจากชั่งน้ำหนักส่วนผสมทางเคมีต่าง ๆ แล้วก็จะนำองค์ประกอบเหล่านั้นมาผสมกันโดยใช้กระบวนการผสม เป็นกระบวนการหลักเพื่อให้ส่วนผสมทางเคมีเกิดปฏิกิริยาเป็นโพลียูรีเทนโฟมสมบูรณ์ ดังนั้นเครื่องผสมจึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อการเตรียมผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม ในการวิจัยครั้งนี้เครื่องมือสำหรับการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมนั้นประกอบด้วย เครื่องชั่ง และเครื่องผสม โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือคือ

**เครื่องชั่ง** แบบตัวเลขความละเอียดในระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น FX 3000 บริษัท A&D

### **เครื่องผสม (Mixing machine, M2)**

Mixing Machine, M2 เป็นเครื่องมือหลักในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม เครื่องมือชนิดนี้ประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับการผสมซึ่งออกแบบตามหลักการผสมโพลียูรีเทนโฟมแบบที่ 2 นั่นก็คือการผสมแบบ Two component system ซึ่งรายละเอียดการผสมได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ดังภาพประกอบรูปที่ 2-29 ส่วนภาพเครื่องผสม M2 นี้ได้นำมาแสดงไว้ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงเครื่องผสม (Mixing machine, M2)

### **ใบกวน**

ใบกวนที่ใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น กลุ่มดังนี้

- Small blade high speed
- Large blade low speed

### กลุ่มที่ 1 Small blade high speed

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณาเลือกชนิดของใบกวนแบบ Small blade high speed ซึ่งเป็นที่นิยมกันและเหมาะสมกับความหนืดของสารผสมที่ต้องการผสมเพื่อให้เกิดเป็นโพลียูริเทน โฟมชนิดความหนาแน่นสูง ทั้งสิ้น 3 ชนิดดังนี้

#### ชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine

เป็นใบกวนที่เหมาะสมสำหรับผสมของผสมที่มีความหนืดในช่วง 1 ถึง  $10^4$  cp. และมีพฤติกรรมในการไหลในภาชนะเป็นแบบไหลในแนวรัศมี (radial flow) ภาพของใบกวนชนิดนี้รวมถึงรายละเอียดแสดงไว้ในหัวข้อ 2.5.6 (3) และรูปที่ 3-2

#### ชนิดที่ 2 Four blade anchor

เป็นใบกวนที่เหมาะสมสำหรับผสมของผสมที่มีความหนืดในช่วง  $10^2$  ถึง  $10^3$  cp. และมีพฤติกรรมในการไหลในภาชนะเป็นแบบไหลในแนวรัศมี (radial flow) แต่วงของรัศมีในแนวแกนมีมากกว่าแบบ Sixblade flat-blade turbine ภาพของใบกวนชนิดนี้รวมถึงรายละเอียดแสดงไว้ในหัวข้อ 2.5.6 (2) และรูปที่ 3-2

#### ชนิดที่ 3 Pitch blade turbine

เป็นใบกวนที่เหมาะสมสำหรับผสมของผสมที่มีความหนืดในช่วง 1 ถึง  $10^4$  และมีพฤติกรรมในการไหลในภาชนะเป็นแบบไหลในแนวแกน (axial flow) ภาพของใบกวนชนิดนี้รวมถึงรายละเอียดแสดงไว้ในหัวข้อ 2.5.6 (3) และรูปที่ 3-2





Four blade anchor



Six blade flat blade turbine



Pitch blade turbine

รูปที่ 3-2 แสดงใบกวนกลุ่ม Small blade high speed

กลุ่มที่ 2 Large blade low speed

ใบกวนในกลุ่มที่ 2 นี้ จุดเด่นอยู่ที่มีขนาดแนบชิดกับผนังของถังผสม ดังนั้นการดำเนินการผสมมักจะต้องทำที่รอบของการกวนต่ำ ๆ ซึ่งใบกวนที่พิจารณาเลือกนำมาทำการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบไปด้วย 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

ชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle

ใบกวนชนิดนี้เป็นใบกวนที่จัดอยู่ในกลุ่มใบพายขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2-10 ประกอบจะพบว่าเหมาะสมต่อการใช้งานในช่วงความหนืดในระดับ  $10^3$  ถึง  $10^5$  คุณสมบัติพิเศษของใบกวนที่เลือกนำมาใช้นี้คือ มีพฤติกรรมในการไหลทั้ง 2 ทิศทาง จากหัวข้อที่ 2.5.6 (2.2) ในรูปที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็น gate จะทำหน้าที่ให้เกิดการไหลในแนวรัศมี และมีใบกวนขนาดเล็กชนิด Pitch blade turbine ที่บิดทำมุม 45 องศาเพื่อให้เกิดการไหลในแนวแกนประกอบไปด้วย

ชนิดที่ 5 Double Helical ribbon screw

ใบกวนชนิดนี้เป็นใบกวนที่จัดอยู่ในกลุ่มสุดท้ายเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2-10 ประกอบจะพบว่าเหมาะสมต่อการใช้งานในช่วงความหนืดในระดับ  $10^4$  ถึง  $10^6$  cp. คุณสมบัติพิเศษของ

ใบกวนที่เลือกนำมาใช้นี้คือ มีพฤติกรรมในการไหลบิดเป็นเกลียวจากบนสู่ล่าง เมื่อดูจากหัวข้อ 2.5.6 (2.2) และรูปที่ 3-3 จะพบได้ว่าการที่มีเกลียว 2 ชั้นจะทำให้การผสมเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์



Doublemotion horseshoe-paddle



Double helical ribbon screw

รูปที่ 3-3 แสดงใบกวนกลุ่ม Large blade low speed

### 3.2.2 เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม

การตรวจสอบชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานใน 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล

#### ก. การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นและงานวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งเน้นเป็นหลักนั้นเริ่มต้นจากการตรวจสอบความหนาแน่นของชิ้นงาน, ขนาดของฟองอากาศที่ปะปนอยู่ในชิ้นงาน และขนาดของเซลล์โพลียูรีเทนโฟม ซึ่งความสำคัญของแต่ละค่าที่ทำการตรวจวัดนั้นจะได้กล่าวเป็นลำดับดังต่อไปนี้

#### (1) วิธีการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมแบบยัดหยุ่น

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3574)

ความหนาแน่นของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมนั้นเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่บอกถึงปริมาณเนื้อพอลิเมอร์ต่อปริมาตรมากน้อยเพียงใด ในทางการค้าชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากชิ้นงานนั้น

ก็จะมีราคาสูง สำหรับชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีราคาถูก ดังนั้นค่าความหนาแน่นจะเป็นค่าทางกายภาพที่ใช้ในการตกลงการซื้อขายและเป็นค่าในการควบคุมที่นำมาใช้พิจารณาเป็นอันดับแรก สำหรับวิธีการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรเพนแบบยืดหยุ่นนั้น สามารถดูรายละเอียดวิธีการตรวจวัดจากภาคผนวก ค.1

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนาแน่นประกอบไปด้วย

(1.1) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขความละเอียดในระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Satorious

(1.2) เวอร์เนียแคลิเปอร์

(1.3) ไม้บรรทัดเหล็กที่มีสเกลมาตรฐาน

(2) วิธีการตรวจวัดขนาดของเซลล์

(อ้างอิงตามมาตรฐาน AS 2282.5)

วิธีการตรวจวัดขนาดของเซลล์เป็นการตรวจวัดขนาดของเซลล์โพลีเอทิลีน โดยขนาดของเซลล์เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอีกค่าหนึ่งที่มีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ไว้ในหัวข้อ 2.8.2, 2.8.3 และภาพประกอบรูปที่ 2-35, 2-36 ดังนั้นขนาดของเซลล์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดคุณลักษณะอื่น ๆ ตามมา โดยปกติแล้วมักจะไม่ได้แสดงขนาดของเซลล์ แต่มักจะแสดงขนาดของเซลล์ในรูปของจำนวนเซลล์ที่จัดเรียงตัวกันต่อความยาว 1 นิ้ว ในทางการค้ายังไม่มีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดของเซลล์ เพียงแต่กำหนดกันในรูปของความหนาแน่นหรือความละเอียด ชิ้นงานที่มีเซลล์หนาจะมีจำนวนเซลล์น้อยกว่า 30 เซลล์ต่อความยาว 1 นิ้ว , ชิ้นงานที่มีเซลล์ละเอียดจะมีจำนวนเซลล์มากกว่า 40 เซลล์ต่อความยาว 1 นิ้ว ดังนั้นชิ้นงานปกติจะมีจำนวนเซลล์ในช่วง 30 ถึง 40 เซลล์ต่อความยาว 1 นิ้ว การวัดขนาดของเซลล์นั้นจะแสดงรายละเอียดการตรวจวัดไว้ในภาคผนวกที่ ค.3

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดขนาดของเซลล์ประกอบไปด้วย

(2.1) sony mavica camera 10 X

(2.2) ไม้บรรทัดที่มีสเกลมาตรฐาน

(2.3) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณขนาดของเซลล์

(3) วิธีการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ

วิธีการตรวจวัดขนาดฟองอากาศเป็นการตรวจวัดขนาดของฟองอากาศที่มีอยู่ในเนื้อของโพลียูรีเทนโฟม โดยขนาดฟองอากาศเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญเช่นเดียวกับขนาดของเซลล์ซึ่งปกติแล้วโพลียูรีเทนโฟมที่ดีจะต้องไม่มีฟองอากาศ หรือถ้ามี ขนาดฟองอากาศต้องไม่โตไปกว่าขนาดของเซลล์ ถ้าโพลียูรีเทนโฟมมีฟองอากาศมากและขนาดใหญ่จะมีผลให้ปริมาณเนื้อโพลียูรีเทนโฟมต่อปริมาตรน้อยลง คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลต่าง ๆ ก็ย่อมลดน้อยลงด้วยการวัดขนาดของฟองอากาศมีวิธีการตรวจวัดเช่นเดียวกันกับการตรวจวัดขนาดของเซลล์

ข. การตรวจวัดคุณสมบัติเชิงกล

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลียูรีเทนโฟมนอกจากจะกำหนดด้วยคุณสมบัติทางกายภาพในเบื้องต้นแล้ว การกำหนดคุณสมบัติเชิงกลนั้นมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ก็เพื่อจะได้วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการนำไปใช้งานถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ คุณสมบัติเชิงกลที่นิยมตรวจวัดในผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟมอาทิเช่น ความแข็ง, ความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C, ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear และ ความสามารถในการยืดตัว เป็นต้น

(1) วิธีการตรวจวัดความแข็ง (Hardness testing)

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2240)

วิธีการตรวจวัดความแข็งเป็นวิธีการตรวจวัดความแข็งที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานนี้เป็นคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม โดยในปัจจุบันเป็นคุณสมบัติที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากกว่าวิธีการตรวจวัดความแข็งโดยวิธี Indentation force deflection ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของชิ้นงาน (สามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวกที่ ค.2) ซึ่งวิธีการตรวจวัดความแข็งเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกในการตรวจวัด แต่เนื่องจากเครื่องมือการตรวจ

วัดความแข็งมีหลายชนิด และยังไม่มีการสอบเทียบมาตรฐานระหว่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดความแข็ง จำนวน 3 ชนิด ดังนี้

(1.1) shore type 000 จาก INSTRON instruments

(1.2) asker type F จาก CELLULAR PRODUCTS

(1.3) PTC sponge rubber guage model 302SL

สำหรับรายละเอียดหรือมาตรฐานการตรวจวัดได้แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ค.2

(2) เครื่องมือสำหรับทดสอบความทนแรงดึง

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2209)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง ZWICK materials testing model 1425 Made in Germany เป็นเครื่องสำหรับตรวจวัดคุณสมบัติเชิงกล ความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C, ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear และความสามารถในการยืดตัว โดยรายละเอียดของวิธีการตรวจวัดได้แสดงไว้ภาคผนวก ค.4 และ ค.5

### 3.3 การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นในห้องทดลอง

โพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมักจะเตรียมขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 22 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการแบบ 2 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

เนื่องจากปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน และตัวเร่งปฏิกิริยาทิน ถูกใช้ในส่วนของประกอบของการผลิตโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นน้อยมาก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเป็นที่นิยมกันจะทำการเจือจางตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยชนิดของโพลีเอทิลที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ซึ่งแสดงตัวอย่างการเจือจางตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดังนี้

### 3.3.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีน ประกอบด้วย

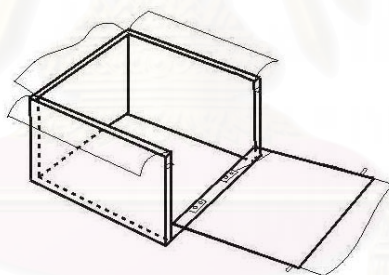
BDE	10	ส่วนโดยน้ำหนัก
A-33	30	ส่วนโดยน้ำหนัก
Polyether polyol	360	ส่วนโดยน้ำหนัก

### 3.3.1.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทิน ประกอบด้วย

T-9	10	ส่วนโดยน้ำหนัก
Polyether polyol	90	ส่วนโดยน้ำหนัก

### 3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมแม่แบบ

แม่แบบในห้องปฏิบัติการมักจะใช้เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ การเตรียมทำได้โดยปูพื้นด้วยกระดาษ หรือพลาสติกเพื่อรองรับของผสมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ลักษณะแม่แบบที่ใช้ในการทดลองเป็นขนาดกว้าง 30 cm. ยาว 30 cm. และสูง 30 cm. สามารถปิดเปิดด้าน 1 ด้านด้วยบานพับ แสดงได้ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดงการใช้กระดาษเป็นตัวรองพื้นในแม่แบบ

### 3.3.3 ขั้นตอนการผสมโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

ทำการแบ่งกลุ่มสารเคมีออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วน 1: โพลีอีเทอร์ โพลีอล

โคโพลิเมอร์ โพลีอล

น้ำ

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอมีนเข้มข้น 10 %

ซิลิโคนสเตบิไลเซอร์

ส่วน 2: ตัวเร่งปฏิกิริยาทิน 10 %

ส่วน 3: โทลูอินไดไอโซไซยาเนต

ขั้นตอนแรก: ชั่งน้ำหนักสารตามส่วน 1 แล้วนำมาปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที พร้อมกับทำการควบคุมอุณหภูมิตามต้องการ

ขั้นตอนที่สอง: ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาทิน 10 % โดยบรรจุในกระบอกฉีดขนาดเล็ก

ขั้นตอนที่สาม: ทำการควบคุมอุณหภูมิโทลูอินไดไอโซไซยาเนตแล้วชั่งน้ำหนักพร้อมบรรจุลงในกระบอกฉีดสำหรับฉีด

ขั้นตอนสุดท้าย: ฉีดตัวเร่งปฏิกิริยาทิน 10 % (ส่วน 2) ลงในส่วน 1 ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิแล้ว ทำการปั่นกวนที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนตามต้องการ เป็นระยะเวลา 15 วินาที หลังจากนั้นทำการฉีดโทลูอินไดไอโซไซยาเนต (ส่วน 3) เข้าไปผสมอย่างรวดเร็วกับส่วน 1-2 พร้อมกับเริ่มจับเวลา ทำการปั่นกวนด้วยเวลาตามต้องการ (ไม่ควรเกินกว่า 15 วินาที) และหยุดการปั่นกวนเมื่อได้เวลาตามต้องการ

### 3.3.4 ขั้นตอนหล่อแบบ

เทของผสมลงในแม่แบบที่รองรับอย่างรวดเร็วแต่นิ่มนวลโดยอย่าให้มีการหยุด พร้อมกับสังเกตการขยายตัวของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นจนสิ้นสุดการขยายตัวเต็มที่ สังเกตได้จากมีการปล่อยก๊าซออกจากบริเวณผิวโฟม

สำหรับอุปกรณ์และเครื่องผสมต้องทำการล้างโดยทันที ซึ่งสามารถล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีไดคลอโรมีเทน แล้วทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อพร้อมสำหรับทำการผลิตครั้งต่อไป

### 3.3.5 ขั้นตอนรักษาให้โพลียูรีเทนโฟมเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ (Curing)

นำโพลียูรีเทนโฟมออกจากแม่แบบ จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วทำการพักเก็บที่อุณหภูมิบรรยากาศอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อทำการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลียูรีเทนโฟมต่อไป

## 3.4 สูตรที่ใช้ผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น ดังตารางที่ 3-2

ส่วนประกอบ	สูตรการผลิต,pbw.	ปริมาณที่ใช้ , g
<b>ส่วน 1.</b>		
Polyether polyol	32.446	202.79
Polymer polyether polyol	66.978	418.61
water	1.459	9.12
Silicone surfactant	0.706	4.41
Amine blend 10%	0.64	4.00
<b>ส่วน 2.</b>		
Stannous octoate blend	0.48	3.00
<b>ส่วน 3.</b>		
TDI	23.168	144.80

ตารางที่ 3-2 ส่วนประกอบสารเคมีที่ใช้ในการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น

### 3.5 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเตรียมขึ้นโพลียูรีเทนโฟมซึ่งประกอบด้วย

ตัวแปรที่ 1 ชนิดของใบกวน

ตัวแปรที่ 2 เวลาของการกวน

ตัวแปรที่ 3 อุณหภูมิของการผสม

เริ่มจากศึกษาเพื่อค้นหาชนิดของใบกวนที่เหมาะสมสำหรับการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ โดยการศึกษาใบกวนแต่ละชนิดจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาของการกวนไปพร้อม ๆ กัน หลังจากที่ได้ใบกวนที่เหมาะสม และเวลาในการกวน แล้วจะทำการทดสอบอุณหภูมิของการผสมว่ามีผลกระทบต่อการผสมเพื่อให้เกิดเป็นขึ้นงานโพลียูรีเทนอย่างไร ขั้นตอนการศึกษาจะดำเนินการทดลองดังนี้



**การทดลองที่ 1** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยใช้ใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโทลูอีน ไดไอโซไซยานตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Six blade flat blade turbine ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโทลูอีน ไดไอโซไซยานต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับปิดเปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทุก ๆ ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ อีกด้วย

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่2** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่3-2โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(water baht) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลูอินไดไอโซไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Four blade anchor ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลูอินไดไอโซไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับปิดเปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4)จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 1000, 2000, และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทุก ๆ ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 5,10 และ15 วินาที ตามลำดับ อีกด้วย

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่3** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยใช้ใบกวนชนิด Pitch blade turbine โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่3-2โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(water baht) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดยาเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโทลูอีนไดไอโซไซยานेटซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดยาเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Pitch blade turbine ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อ นาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโทลูอีนไดไอโซไซยานेट ที่บรรจุในกระบอกฉีดยาเข้าไป ทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อ นาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับปิดเปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4)จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.7 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 1000, 2000, และ3000 รอบต่อ นาที ตามลำดับ โดยทุก ๆ ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 5,10 และ15 วินาที ตามลำดับ อีกด้วย

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่ 4** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบแบตช์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลูอินไดไอโซไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Doublemotion horseshoe-paddle ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลูอินไดไอโซไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับปิดเปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 800, 1000, และ 1200 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทุก ๆ ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ อีกด้วย

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่ 5** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลูอินไดไอโซไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Double helical ribbon screw ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลูอินไดไอโซไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับเปิดปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทุก ๆ ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ อีกด้วย

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่ 6** เพื่อศึกษาเวลาในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เหมาะสมโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลูอินไดไอโซไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 2 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Double helical ribbon screw ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลูอินไดไอโซไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับเปิดปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่ 7** เพื่อศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมที่เหมาะสมโดยใช้ไบกวนชนิด Double helical ribbon screw โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบเบตซ์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลูอินไดไอโซไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ไบกวน Double helical ribbon screw ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลูอินไดไอโซไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับเปิดปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นกวน 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค

**การทดลองที่ 8** เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสมที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมในกระบวนการแบบแบตช์นั้นประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3-2 โดยบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกส่วนที่ 1 ยกเว้น isocyanates แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิสารเคมีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิที่ควบคุม 20 องศาเซลเซียส

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 10% โดยบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.3 ชั่งน้ำหนักโพลีอินไดไฮโดรไซยาเนตซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้แล้วในตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วบรรจุลงในกระบอกฉีดเป็นส่วนที่ 3

1.4 ประกอบส่วนที่ 2 เข้ากับส่วนที่ 1 แล้วฉีดส่วนที่ 3 เข้าไปในส่วนที่ 1 จากนั้นนำเข้าสู่ชุดการปั่นกวนที่มีชุดค้ำยันจากด้านล่าง

1.5 ทำการปั่นกวนโดยใช้ใบกวน Double helical ribbon screw ปั่นกวนด้วยรอบต่ำเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วทำการฉีดโพลีอินไดไฮโดรไซยาเนต ที่บรรจุในกระบอกฉีดเข้าไปทำปฏิกิริยากับของผสมในทรงกระบอกที่ 1 พร้อมกับปรับรอบการปั่นกวนไปที่ 1000 รอบต่อนาที ทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 5 วินาที

1.6 เทของผสมที่เกิดปฏิกิริยาลงสู่แม่แบบที่มีบานพับเปิดปิดด้านข้าง (จากรูปที่ 3-4) จากนั้นก็ปิดบานพับ โพลียูรีเทนโฟมจะขยายตัวเป็นไปตามรูปร่างของแม่แบบตามความต้องการ

1.7 เมื่อชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่แบบ จะทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำชิ้นงานเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.8 ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่ 1.1 ถึง 1.8 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

### 2. ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามขั้นตอนการตรวจวัดดังภาคผนวก ค



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล

กระบวนการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง ในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้กระบวนการผสมโพลียูรีเทนโฟมด้วยระบบ 2 องค์ประกอบ (แสดงไว้ในรูปที่ 2-30) และเลือกกระบวนการในการทำปฏิกิริยาดังระบบแบบแบตซ์ ตัวแปรที่เลือกทำการศึกษาคือปัจจัยทั้งสิ้น 4 ตัวแปรดังนี้

- ชนิดของใบกวน
- ความเร็วรอบของการปั่นกวน
- เวลาของการปั่นกวน
- อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา

ในการดำเนินงานวิจัยจะใช้อัตราส่วนผสมของสารเคมีแต่ละชนิดเป็นไปตามสูตรการผลิตโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง ปริมาณการใช้สารเคมีแต่ละชนิดในการเตรียมชิ้นงานต่อ 1 แบตซ์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-2 และใช้อัตราส่วนนี้ทุก ๆ ครั้งของการเตรียมชิ้นงาน สารเคมีทุกตัวจะถูกนำเข้ามาผสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาในชุดเครื่องผสม (Mixing machine, M2) รายละเอียดของเครื่องผสมแสดงไว้ในรูป 3-1 การดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง จะศึกษาอิทธิพลของชนิดใบกวนที่มีผลต่อการผสมเป็นอันดับแรก การศึกษาชนิดของใบกวนแต่ละชนิดทำโดยการเปลี่ยนความเร็วรอบของการปั่นกวนในช่วง 0 ถึง 5000 รอบต่อนาที และแต่ละความเร็วรอบของการปั่นกวนจะทำการศึกษาเวลาของการปั่นกวนในช่วง 0 ถึง 15 วินาที ในการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้สามารถทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 3 ข้างต้นด้วย การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ขนาดของฟองอากาศ, ความหนาแน่นชิ้นงาน, ความแข็ง, ความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด, ความสามารถในการยึดตัว และ ค่าเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาในรูปของกราฟ และเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวกับชิ้นงานอ้างอิงที่เตรียมจากกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องแบบสแลปสติ๊กโฟม จึงสามารถทราบได้ว่าใบกวนชนิดใดเหมาะสมกับกระบวนการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น และการกวนผสมด้วยใบกวนชนิดที่เลือกนี้ต้องใช้ความเร็วรอบของ

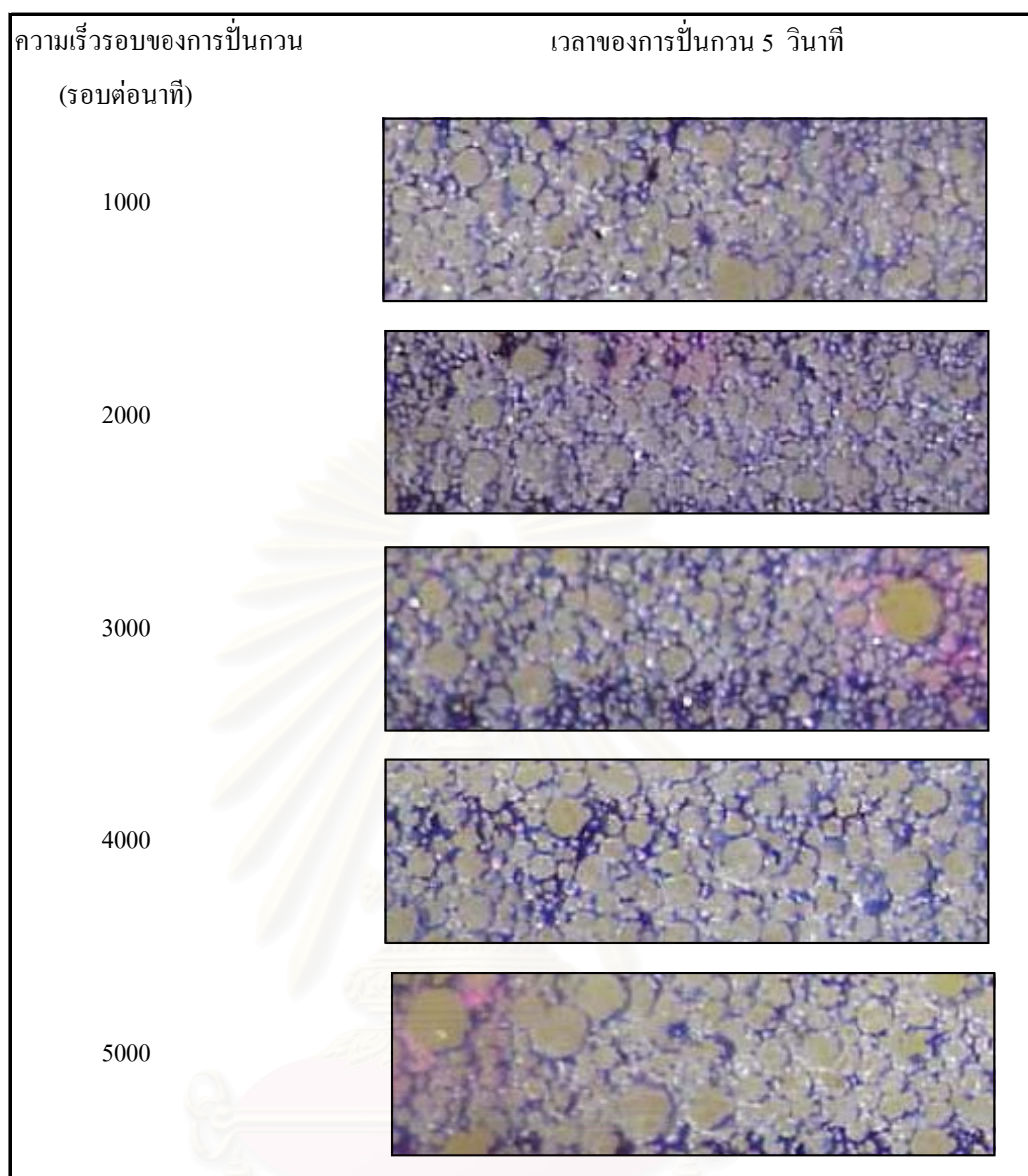
การปั่นกวน และเวลาของการปั่นกวนผสมเป็นเท่าใด หลังจากนั้นจะควบคุมตัวแปรทั้ง 3 ชนิดนี้ ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยามีผลกระทบต่อคุณสมบัติของงานผลิตภัณฑ์อย่างไร ด้วยการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเช่นเดียวกันกับการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรก่อนหน้านี้ โดยผลการศึกษสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดใบกวน

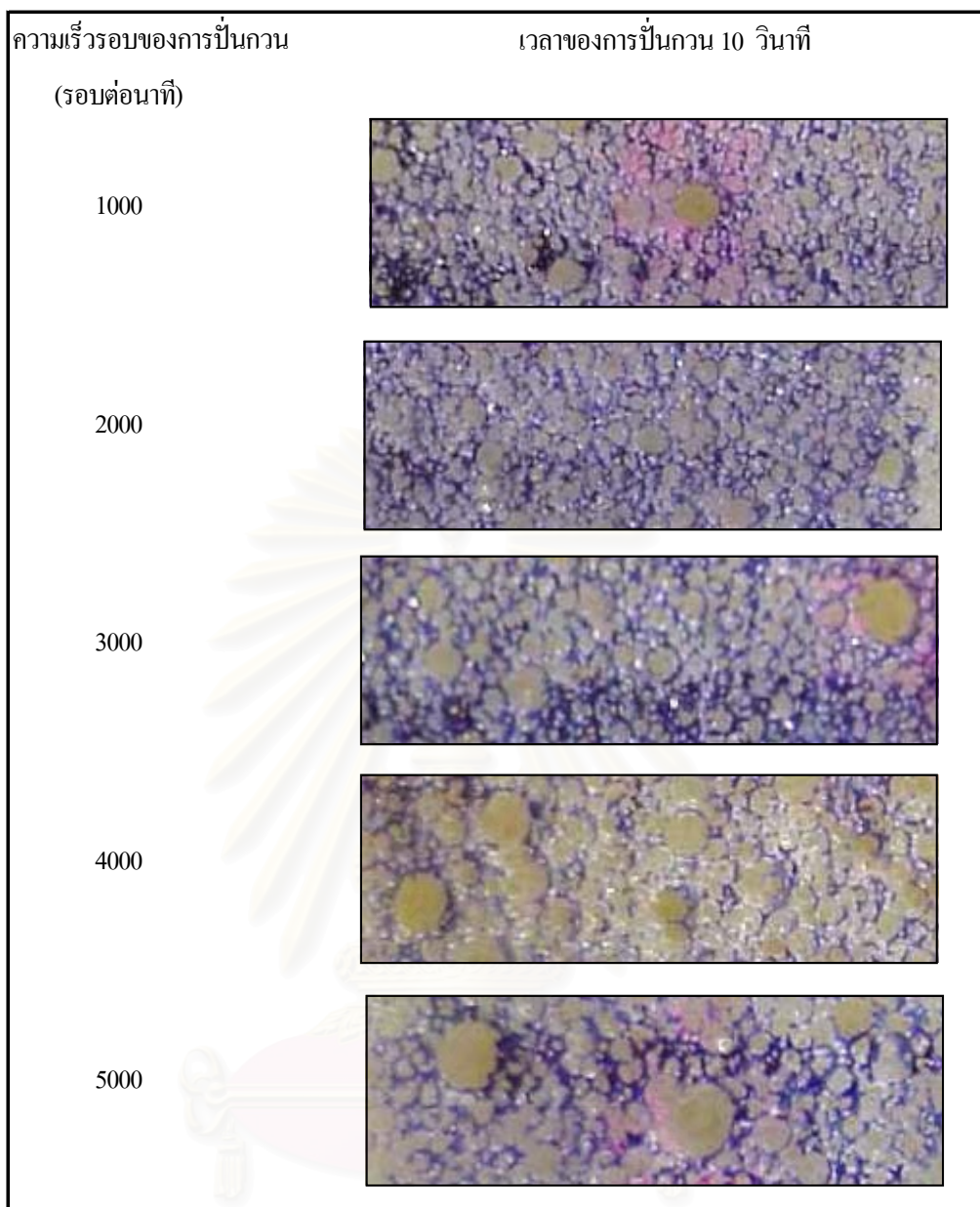
4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโพรชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 1 (Six blade flat blade turbine )

ในการทดลองศึกษาความเร็รรอบของการปั่นกวนผสมที่ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยในแต่ละความเร็รรอบของการปั่นกวนได้ศึกษาเวลาของการปั่นกวนที่เวลา 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

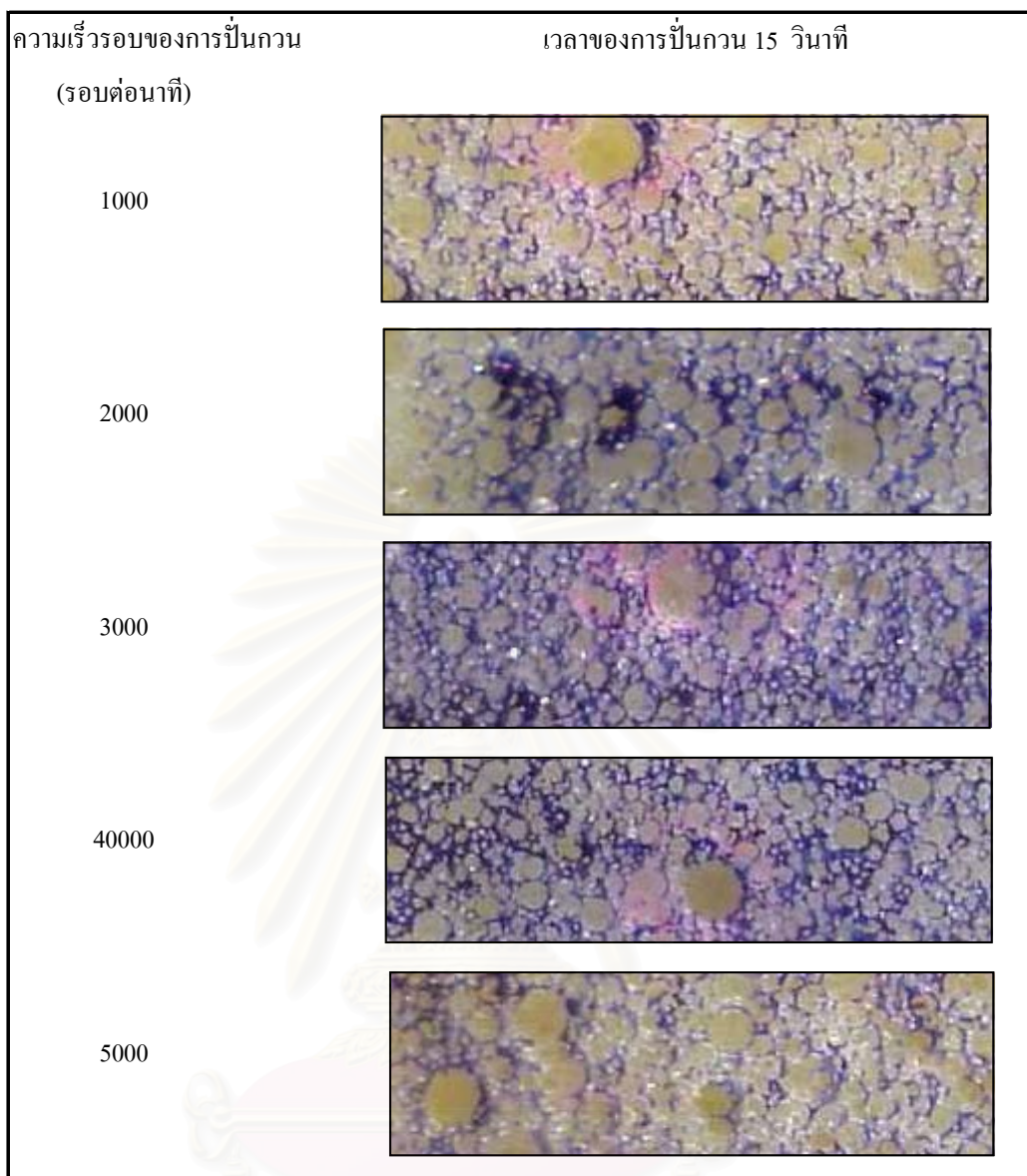
1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็รรอบและเวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4-1 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-2 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

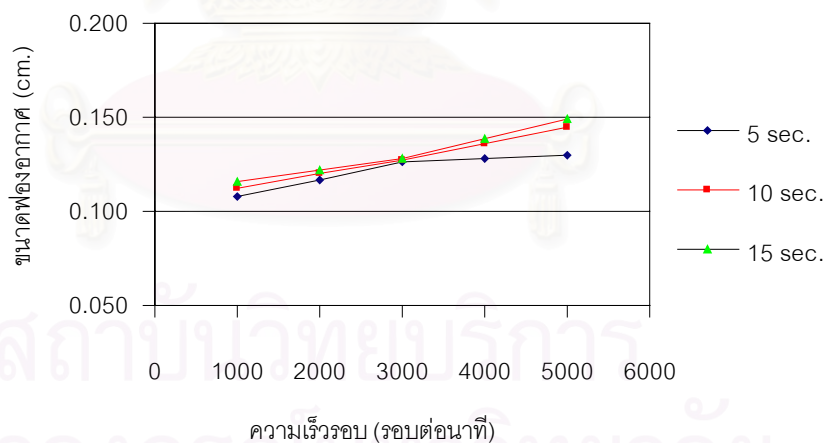


รูปที่ 4-3 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4-1, 4-2 และ 4-3 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศ ซึ่งขนาดของฟองอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมอย่างมาก ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของการกวนผสมและเวลาที่ใช้ได้ดังตารางที่ 4-1 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-4 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ (cm.)					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม (วินาที)					
5	0.108	0.117	0.126	0.128	0.130
10	0.112	0.120	0.128	0.136	0.145
15	0.116	0.122	0.128	0.138	0.149

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวน 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

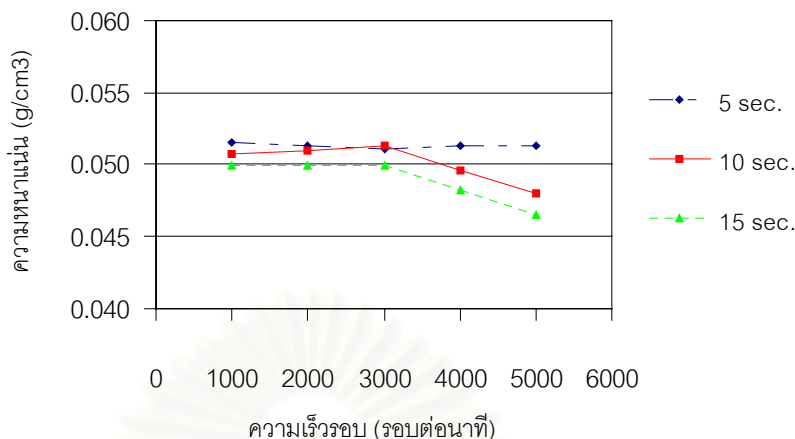
จากผลการทดลองดังกราฟรูปที่ 4-4 พบว่าฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น เป็นการเพิ่มแรงกระทำให้กับของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรงซึ่งผลที่ได้น่าที่จะเอื้ออำนวยให้เกิดการผสมได้ดีขึ้น แต่กลับเป็นการรบกวนการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดปรากฏการณ์ Dangling chain ซึ่งเป็นปรากฏการณ์สร้างสายโซ่พอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ ระหว่างการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดปลายเปิดในสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นนั่นเอง ส่วนเวลาที่ใช้ในการกวนผสมก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันนั่นคือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการกวนผสมมากขึ้นเป็นผลให้ Resident time ในการกวนผสมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์ Dangling chain ได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้น โดยขนาดและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอทิลีนไฟมแบบยืดหยุ่น โดยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดังกล่าวสามารถแสดงได้เป็นลำดับดังนี้

## 2. ความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณได้ ดังตารางที่ 4-2 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-5 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	0.052	0.051	0.051	0.051	0.051
10	0.051	0.051	0.051	0.050	0.048
15	0.050	0.050	0.050	0.048	0.047

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวน 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์กับความเร็วรอบในการกวนผสม ที่เวลาต่าง ๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 4-5 จากกราฟพบว่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ผลแสดงความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนมากกว่า 3000 รอบต่อนาที

จากการศึกษาขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่า เมื่อความเร็วและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศในชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมมีขนาดโตขึ้น จึงเป็นผลให้สัดส่วนของปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟมสูงขึ้น เป็นเหตุให้ความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ทั้งนี้จากการศึกษาที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนในช่วง 1000 ถึง 3000 รอบต่อนาที พบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เหตุที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้โดยสมการที่ (17)

จากสมการพบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนของปริมาตรฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าถึง



แม้เมื่อขนาดฟองอากาศในชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม จะมีขนาดโตขึ้นก็ตาม แต่มีการกระจายตัวของฟองอากาศต่ำกว่าชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่มีฟองอากาศขนาดเล็ก ทำให้สัดส่วนของปริมาณฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

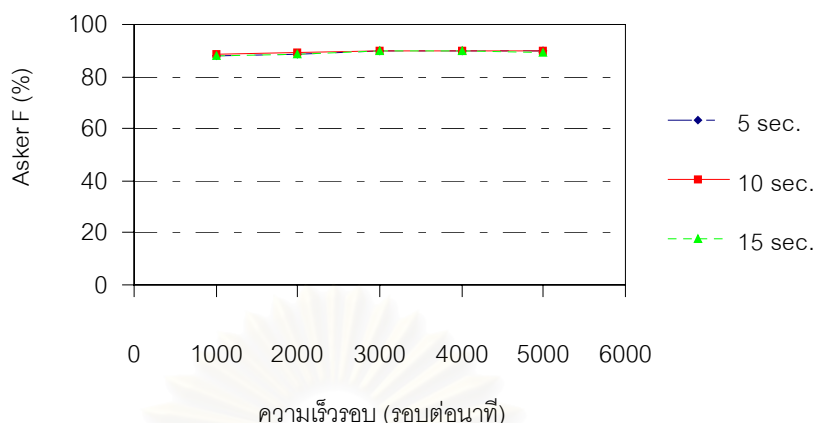
### 3. ความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-3 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-5 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดความแข็งด้วย Asker F, %					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	87.76	88.92	89.96	89.96	89.96
10	88.68	89.32	89.96	89.90	89.84
15	87.72	88.68	89.64	89.58	89.52

ตารางที่ 4-3 แสดงค่าความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่น กวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

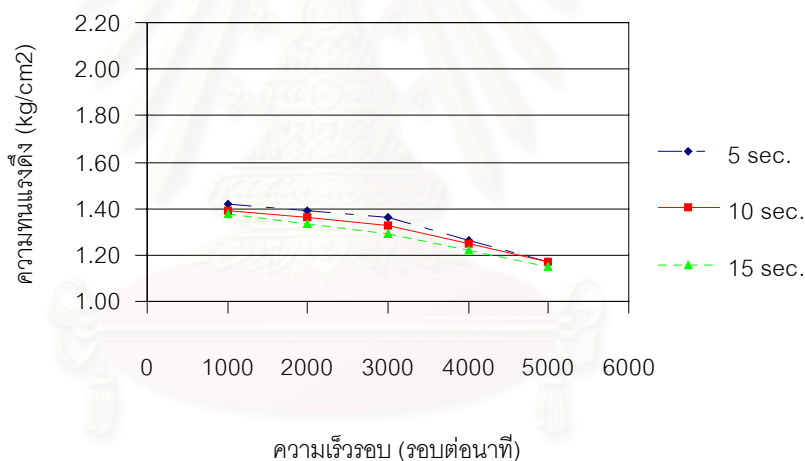
ผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-6 พบว่าความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซิลิโคนสเตปิลไฮเซอร์ ซึ่งเป็นสารเสถียรภาพของเซลล์โพลียูรีเทนให้ชิ้นงานโพลียูรีเทนมีความแข็งตามที่ต้องการ รายละเอียดต่าง ๆ ของซิลิโคนสามารถดูได้ในหัวข้อ 2.4.5 โดยในการทดลองใช้สารซิลิโคนในปริมาณที่เท่า ๆ กันดังนั้น ความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนจึงไม่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์

#### 4. ความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-4 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-7 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความทนแรงดึง,kg/cm <sup>2</sup>					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	1.42	1.39	1.36	1.26	1.17
10	1.39	1.36	1.33	1.25	1.17
15	1.38	1.33	1.29	1.22	1.15

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-7 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิต

ภัณฑ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลง เป็นเหตุให้ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

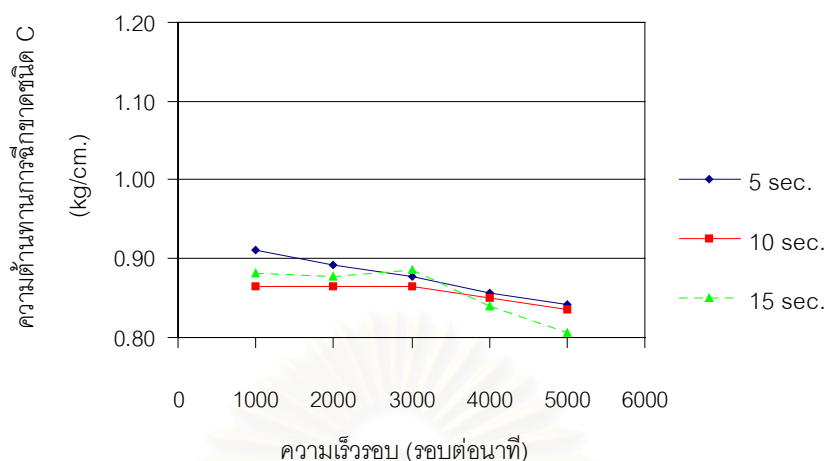
#### 5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-5 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-8 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Die - C - tear), kg/cm					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	0.91	0.89	0.88	0.86	0.84
10	0.86	0.86	0.87	0.85	0.84
15	0.88	0.88	0.88	0.84	0.81

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

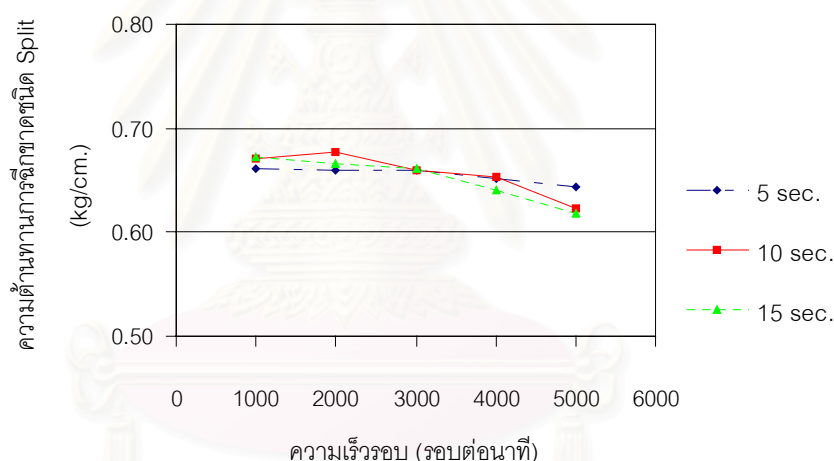
จากความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาที่ให้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ดังรูปกราฟที่ 4-8 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์ แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

## 6. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด split-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-6 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-9 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Split tear), kg/cm					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	0.66	0.66	0.66	0.65	0.64
10	0.67	0.68	0.66	0.65	0.62
15	0.67	0.67	0.66	0.64	0.62

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง ซึ่งมีเหตุและผลเช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ นั่นคือค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด

Split – tear มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยจากการทดลองเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

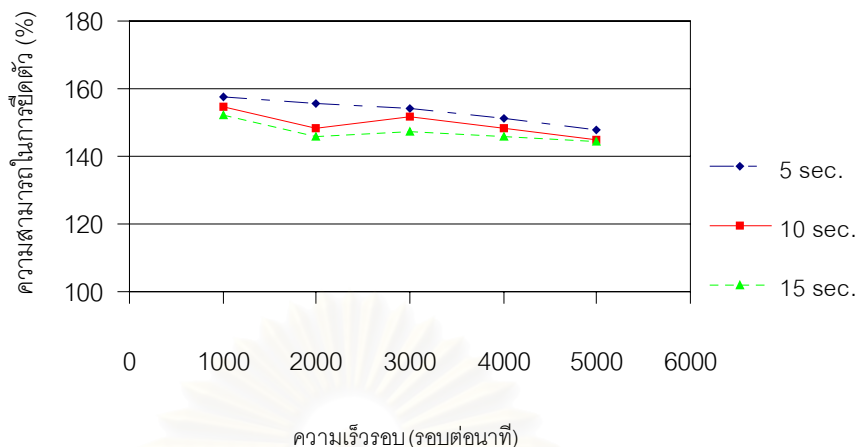
## 6. ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-7 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-10 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่าความสามารถในการยึดตัว, %					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)					
5	157.67	155.83	154.00	151.00	148.00
10	154.67	148.33	151.67	148.33	145.00
15	152.33	145.83	147.33	145.83	144.33

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งได้ผลดังกราฟรูปที่ 4-10 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับ ค่าคุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบมาก่อนหน้านี้ นั่นคือค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น มีผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

โดยอีกนัยหนึ่งสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันโดยตรงกับสัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น เป็นเหตุให้สัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟมลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงด้วยนั่นเอง

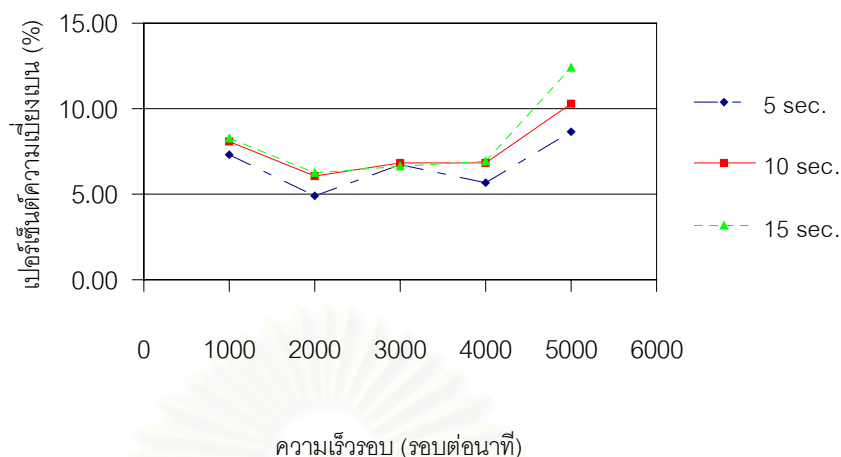


## 7. เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณได้ ดังตารางที่ 4-8 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-11 ตามลำดับ

		ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน,%				
		1000	2000	3000	4000	5000
เวลาผสม(วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)					
	5		7.34	4.92	6.76	5.72
10		8.06	6.02	6.79	6.87	10.24
15		8.24	6.25	6.59	6.90	12.37

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000, 3000, 4000 และ5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-8 และดังกราฟรูปที่ 4-11 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วย โดยเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดต่ำลง

#### 9. ผลสรุปการทดลองศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ใบกวนชนิด Sixblade flat-blade turbine

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine ได้ที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเท่ากับ 5 วินาที ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม กับชิ้นงานอ้างอิง ตารางที่ 4-9

PROPERTIES	UNIT	SIXBLADE FLATBLADE	REFERENCE	Different percent
		TURBINE		
		NO.1	Slabstock foam	
Cell structure		Ununiform	Uniform	
Pinhole size	cm.	0.108	0.065	66.15
Density	g/cm3	0.052	0.056	-7.14
Hardness				
Shore 000	%	60.68	70.08	-13.41
Asker F	%	87.76	89.88	-2.35
PTC	%	84.40	93.08	-9.32
Strength				
Tensile	Kg/cm2	1.42	1.98	-28.79
c-tear	Kg/cm.	0.91	0.92	-1.08
s-tear	Kg/cm.	0.66	0.7	-5.71
Strain				
Elongation	%	157.67	150.42	4.81
Perfected mix.				
Deviation	%	7.34	2.65	

ตารางที่ 4-9 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลบสต็อกโฟม

จากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่เตรียมด้วยไบกวนชนิด Six blade flat blade turbine กับชิ้นงานอ้างอิงพบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยไบกวนชนิด Six blade flat blade turbine ยังมีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดฟองอากาศ ซึ่งเมื่อแสดงความแตกต่างในรูปของเปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 66.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงมาก มีผลให้คุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีค่าความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงในทิศทางเป็นลบ โดยเฉพาะค่าความทนแรงดึง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม โดยจากผลการทดสอบพบว่ามีความเบี่ยงเบนต่ำกว่าค่าของชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 28.79 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเมื่อพิจารณา

เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวม พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากใบกวนชนิด Six blade flat blade turbine มีค่าสูงถึง 7.34 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวมเพียง 2.65 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นใบกวนเพื่อทำการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบเบตซ์ที่ได้ และจากการทดลองข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็วรอบ	ขนาดฟองอากาศ	Stress
น้อย	เล็ก	มาก
↓	↓	↓
มาก	โต	น้อย

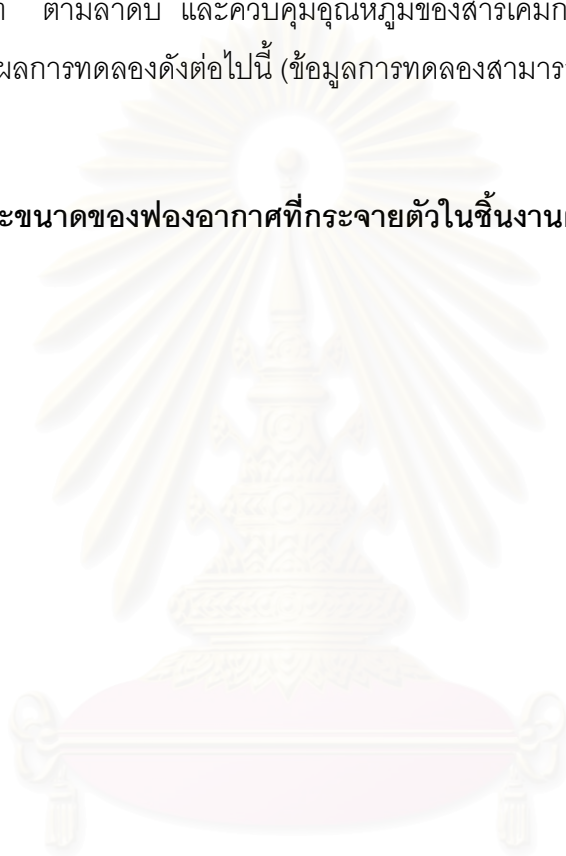
จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยพบว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนที่มากทำให้เกิดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ สำหรับเวลาในการปั่นกวนยังคงใช้เวลาเท่ากับ 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

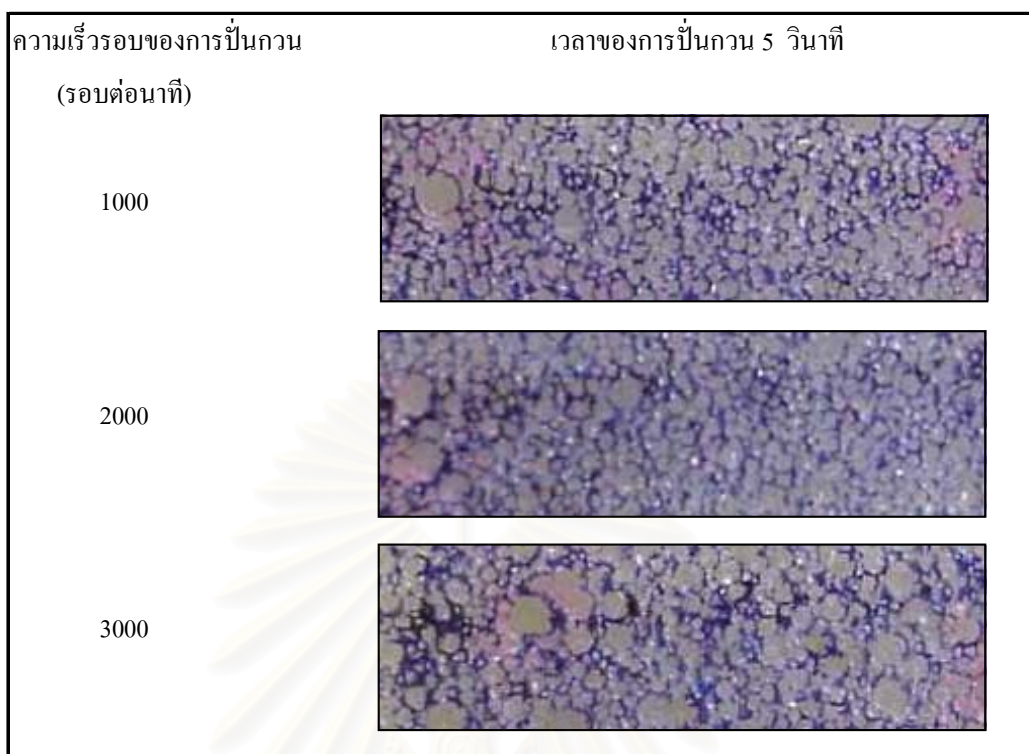
#### 4.1.2 ศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบของการปั่นกววนที่เวลาต่างๆ ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกววนชนิดที่2 (Fourblade anchor)

ในการทดลองศึกษาความเร็รรอบของการปั่นกววนที่ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยในแต่ละความเร็รรอบของการปั่นกววนได้ศึกษาเวลาของการปั่นกววนผสมที่เวลา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

##### 1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็รรอบและเวลาต่างๆ

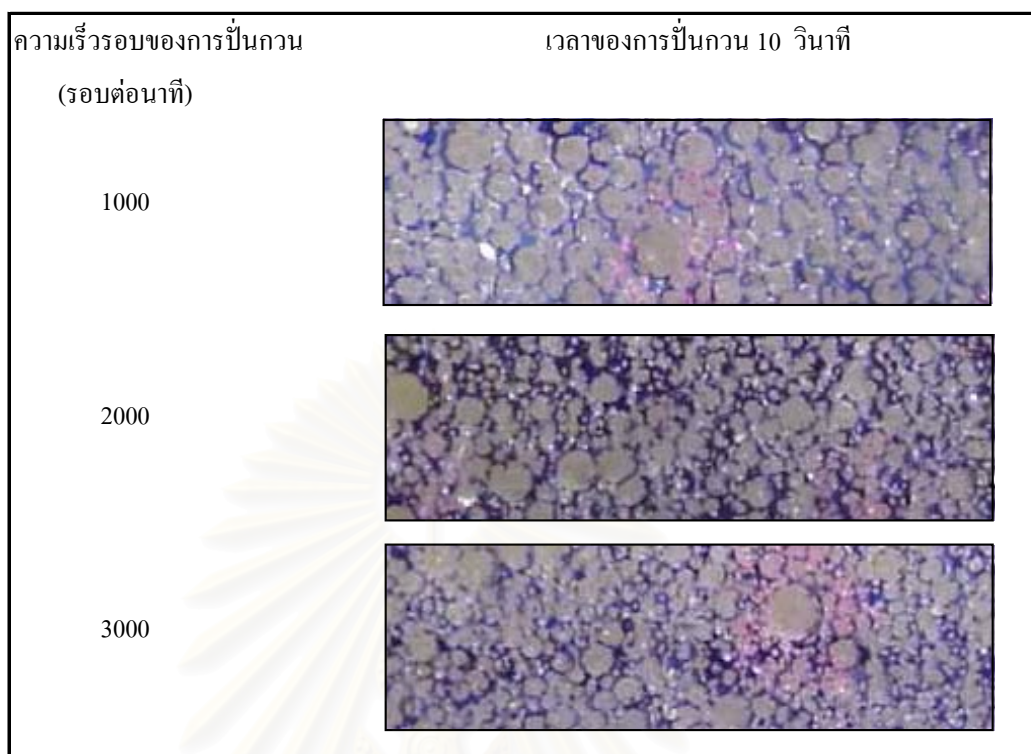


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



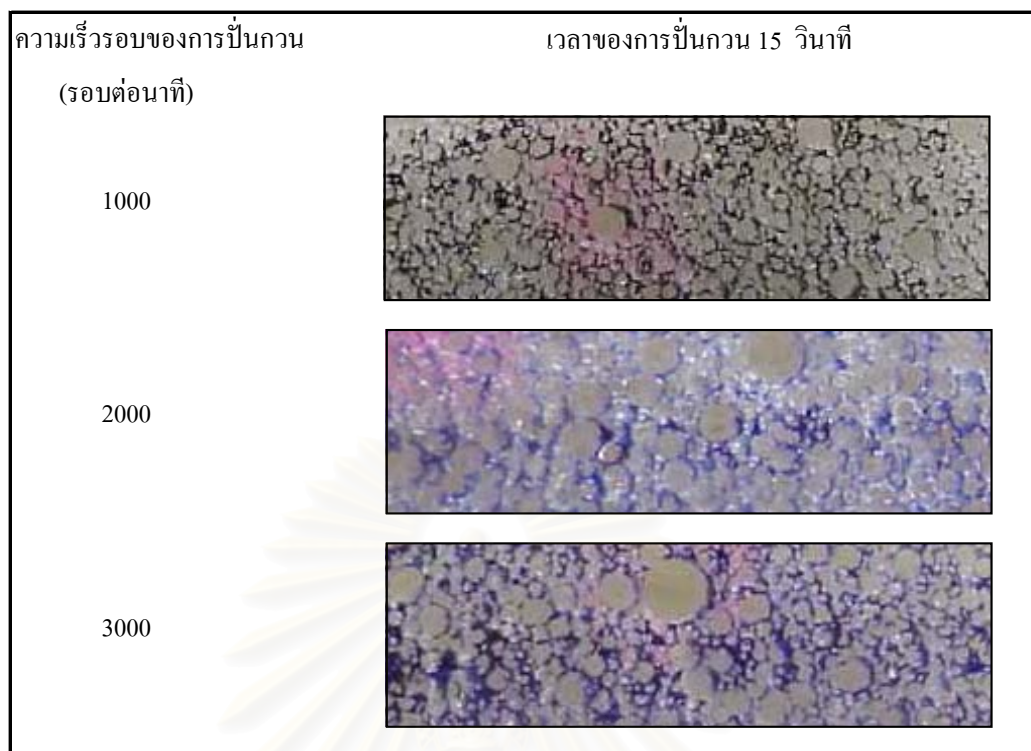
รูปที่ 4-12 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-13 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-14 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยระยะเวลาการกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

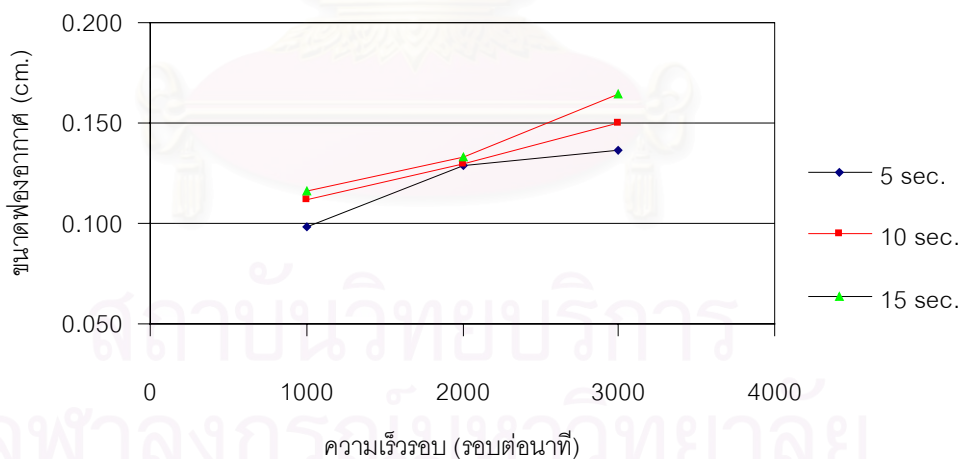
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จากรูปที่ 4-12, 4-13 และ 4-14 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศ ซึ่งขนาดของฟองอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพYLEN อย่างมากดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของการกวนผสมและเวลาที่ให้ได้ดังตารางที่ 4-10 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-15 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ, (cm)				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.098	0.129
10		0.112	0.130	0.150
15		0.116	0.133	0.164

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

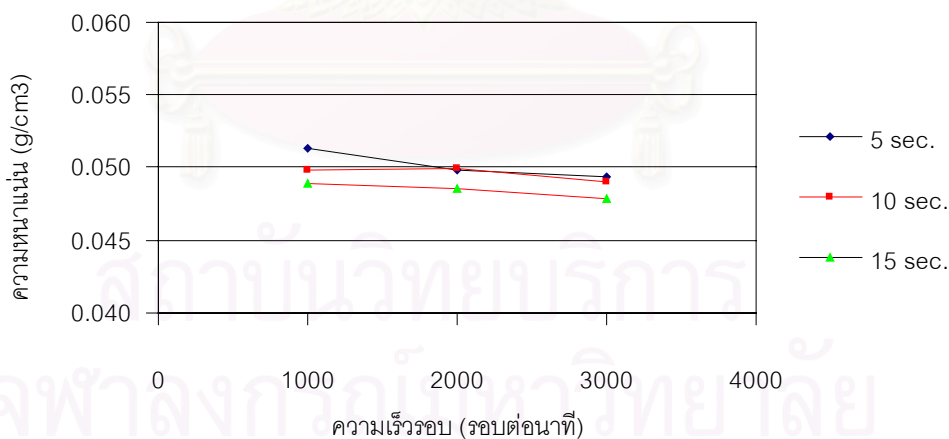
ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-10 เมื่อแสดงผลในรูปแบบของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-15 พบว่าขนาดฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าขนาดฟองอากาศจะยิ่งโตมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนผสมมากขึ้น ขนาดฟองอากาศที่โตขึ้นนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับในกรณีการใช้ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine นั่นคือเกิดจากอิทธิพลของ 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเกิดจากระบบการผสมของผสมไม่สมบูรณ์จึงมีผลให้ของผสมไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์เพื่อให้เกิดการจัดเรียงเฉพาะเซลล์โพลียูรีเทนโฝมได้ อีกทางหนึ่งแรงกระทำที่ให้กับของผสมในปริมาณที่มากเกินไปมีผลให้ของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรงในถังปฏิกรณ์ มีผลทำให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในของผสม เมื่อของผสมถูกเคลงในแม่แบบฟองอากาศเหล่านี้จะขยายตัวพร้อมกับของผสมที่ขยายตัวด้วย ดังนั้นการเพิ่มความเร็วยรอบการปั่นกวนจาก 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ จึงเป็นการเพิ่มแรงกระทำให้กับของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรงมากขึ้น จึงมีผลให้ขนาดฟองอากาศในของผสมเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับรูปที่ 4-12, 4-13, และ 4-14 ซึ่งแสดงให้เห็นการจัดเรียงตัวของเซลล์ของโพลียูรีเทนโฝมที่มีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ด้วย ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการปั่นกวนมากขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มเวลาของการปั่นกวนผสม 5 , 10 , 15 วินาที ตามลำดับ และพบว่าที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเดียวกัน ถ้าเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้น 5 , 10 , 15 วินาที ตามลำดับ มีผลให้ขนาดฟองอากาศโตขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าการใช้เวลาในการปั่นกวนผสมที่นานมากขึ้นเข้าใกล้เวลาของการเกิด Creamtime ทำให้การปั่นกวนไปรอบกวนการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อใช้เวลาของการปั่นกวนมากขึ้น ยิ่งเป็นการรบกวนมากขึ้นจึงเป็นผลให้มีปริมาณฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มากขึ้น การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเซลล์จึงมีความไม่เป็นระเบียบ(Ununiform cell) ซึ่งผลของปริมาณฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล และผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการใช้ใบกวนชนิดที่ 1 Sixblade flat-blade turbine เมื่อทำการเพิ่มความเร็วยรอบและเวลาของการปั่นกวน ซึ่งจะเปรียบเทียบในภาพรวมในหัวข้อที่

## 2. ความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการ กวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการ คำนวณได้ดังตารางที่4-11 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่4-16 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.051	0.050
10		0.050	0.050	0.049
15		0.049	0.049	0.048

ตารางที่ 4-11 แสดงค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวน ชนิดที่2 Fourblade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่น กวน 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์กับ ความเร็วรอบของ การปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความ สัมพันธ์ของความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุม อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-11 เมื่อแสดงผลในรูปแบบของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-16 พบว่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 1000 ถึง 3000 รอบต่อนาที ครอบคลุมทุกๆเวลาการปั่นกวน 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงการลดลงของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์อย่างเล็กน้อย สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ (17) แม้ว่าข้อมูลการทดลองในตารางที่ 4-10 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนรอบการปั่นกวนเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ขนาดฟองอากาศโตขึ้นก็ตาม และเมื่อฟองอากาศที่โตย่อมส่งผลให้ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยก็ตาม แต่ผลการทดลองแสดงผลการลดลงของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์อย่างเล็กน้อย เหตุนี้ก็เนื่องจากสัดส่วนของปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรโพลียูรีเทนโฟมมีการเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นจาก 1000 ถึง 3000 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงเป็นผลให้ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงตามขนาดฟองอากาศ และพบว่าทุกๆความเร็วรอบของการปั่นกวนเมื่อใช้ใบกวนแบบ Four blade anchor มีผลให้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีฟองอากาศปะปนในชิ้นงาน ดังนั้นความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งสอดคล้องตามสมการ (17) และได้แสดงผลการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เทียบกับความหนาแน่นชิ้นงานอ้างอิง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4-18

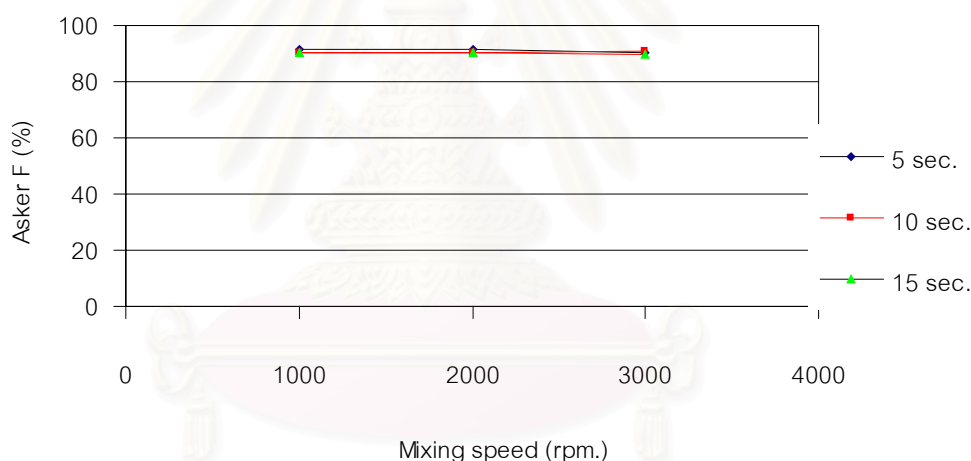
### 3. ความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-12 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-17 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการตรวจวัดความแข็งด้วย ASKER F TESTED,%				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		91.52	91.68
10		90.88	90.16	90.92
15		90.56	90.12	89.84

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความแข็งผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5,10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตรภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตรภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-12 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-17 พบว่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนมีผลน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งชิ้นงานผลิตรภัณฑ์

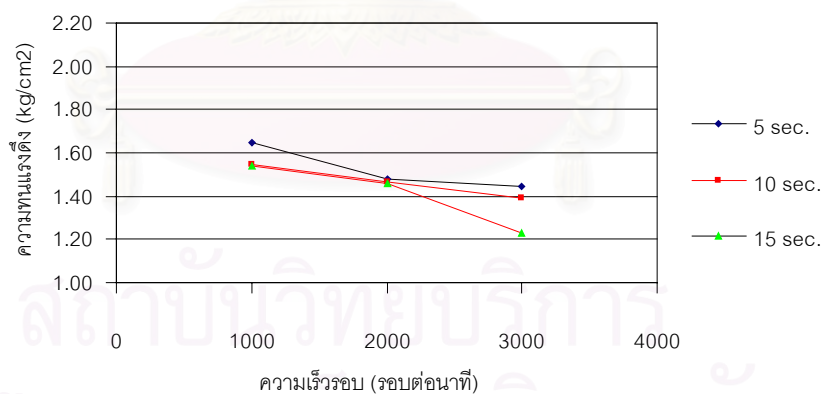
#### 4. ความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4-13 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-18 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความทนแรงดึง, kg/cm <sup>2</sup>				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		1.64	1.48
10		1.54	1.47	1.39
15		1.54	1.46	1.23

ตารางที่ 4-13 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

รูปที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง กับ ความเร็รรอบของการปั่นกวน เท่ากับ



1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

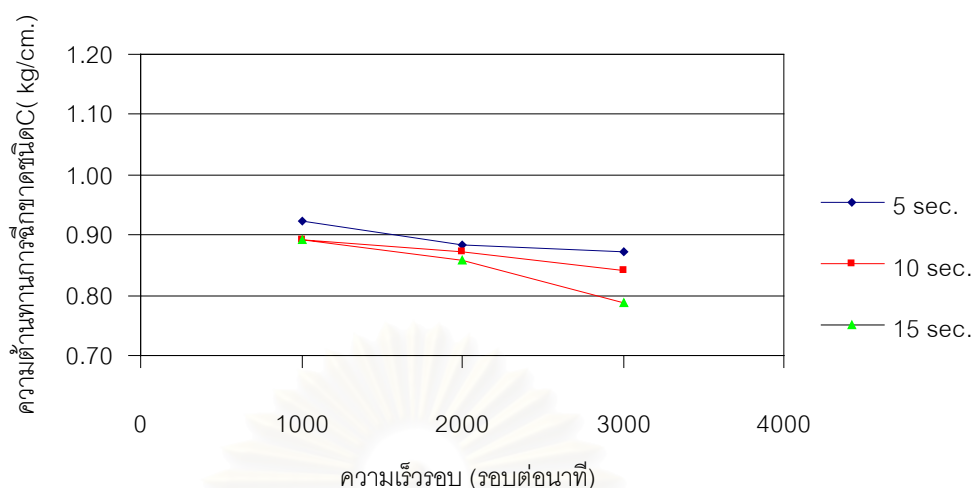
จากผลการทดลองที่ได้ตั้งกราฟรูปที่ 4-18 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลง เป็นเหตุให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

### 5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-14 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-19 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด, (Die - c - tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.92	0.88
10		0.89	0.87	0.84
15		0.89	0.86	0.79

ตารางที่ 4-14 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาที่ให้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ดังรูปกราฟที่ 4-19 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์ แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

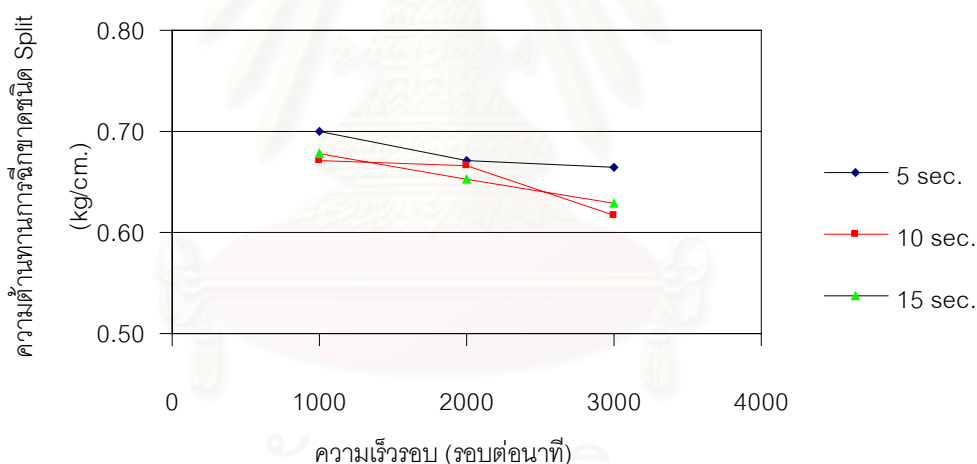
## 6. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Spit tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-6 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-9 ตามลำดับ



ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด, (Split tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.70	0.67
10		0.67	0.67	0.62
15		0.68	0.65	0.63

ตารางที่ 4-15 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นรวมผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นรวม 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับความเร็วรอบของการปั่นรวม เท่ากับ 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นรวมทำปฏิกิริยา 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นรวมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด

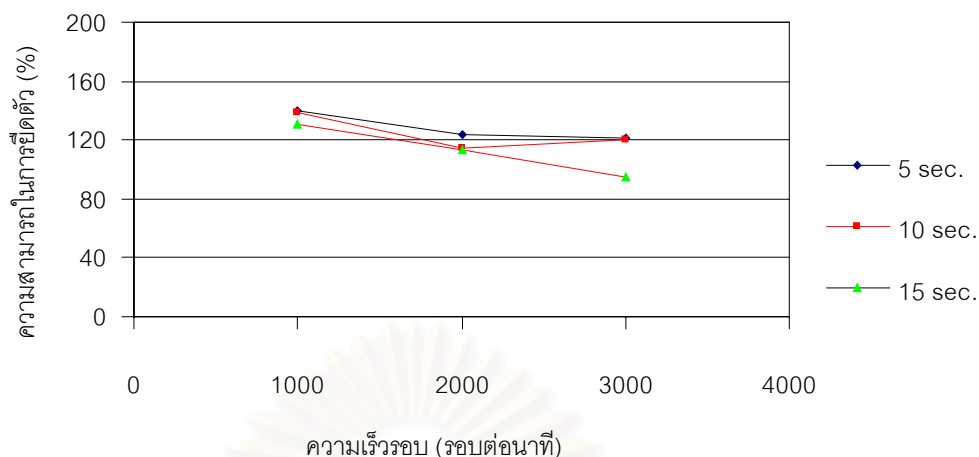
Split – tear ของชิ้นงานผลิตภัณท์ที่มีค่าลดต่ำลง ซึ่งมีเหตุและผลเช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณท์ นั่นคือค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split – tear มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณท์ โดยจากการทดลองเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณท์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split – tear ของชิ้นงานผลิตภัณท์มีค่าลดลง

## 7. ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณท์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณท์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณท์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-16 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-21 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่าความสามารถในการยึดตัว, %			
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
เวลาผสม (วินาที)			
5	139.33	124.00	121.67
10	139.00	115.00	120.67
15	130.33	113.33	94.33

ตารางที่ 4-16 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณท์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000, 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 , 2000 , 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งได้ผลดังกราฟรูปที่ 4-21 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับ ค่าคุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบมาก่อนหน้านี้ นั่นคือค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น มีผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

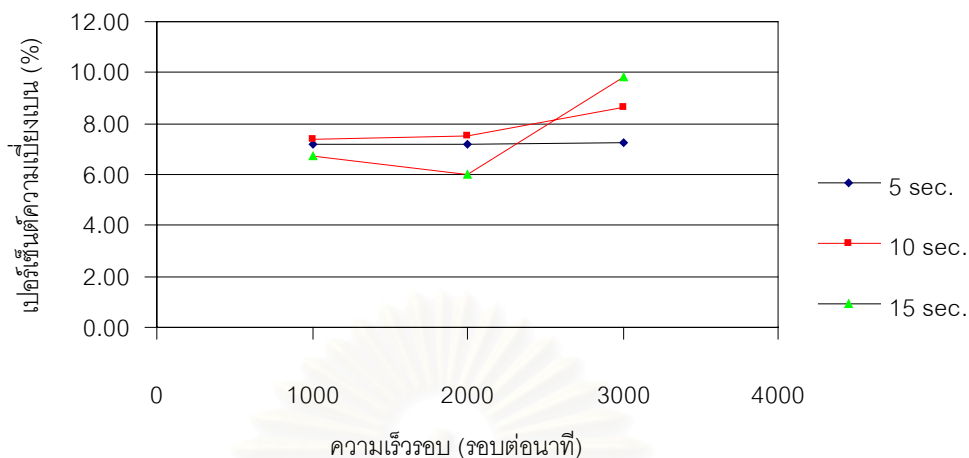
โดยอีกนัยหนึ่งสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น เป็นเหตุให้สัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟมลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงด้วยนั่นเอง

## 8. เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการ  
 กวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผล  
 การคำนวณได้ ดังตารางที่ 4-17 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-22 ตาม  
 ลำดับ

ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน, %				
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		1000	2000	3000
		เวลาผสม (วินาที)		
5		7.16	7.20	7.26
10		7.40	7.49	8.62
15		6.70	6.00	9.82

ตารางที่ 4-17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบ  
 กวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศา  
 เซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่น  
 กวน 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10, และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-8 และดังกราฟรูปที่ 4-22 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วย โดยเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดต่ำลง

#### 9. ผลสรุปการทดลองการใช้ใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor ในการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกวนชนิด Four blade anchor ได้ที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเท่ากับ 5 วินาที ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม กับชิ้นงานอ้างอิง ตารางที่ 4-18

PROPERTIES	UNIT	FOURBLADE ANCHOR	REFERENCE	Different percent
		NO.2	Slabstock foam	
Cell structure		Ununiform	Uniform	
Pinhole size	cm.	0.098	0.065	50.77
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.051	0.056	-8.93
Hardness				
Shore 000	%	67	70	-4.68
Asker F	%	92	90	1.82
PTC	%	95	93	1.63
Strength				
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.64	1.98	-17.17
c-tear	Kg/cm.	0.92	0.92	0.00
s-tear	Kg/cm.	0.70	0.70	0.00
Strain				
Elongation	%	139	150	-7.37
Perfected mix.				
Deviation	%	7.16	2.65	

ตารางที่ 4-18 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม

จากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่เตรียมด้วยไบกวนชนิด Fourblade anchor กับชิ้นงานอ้างอิงพบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยไบกวนชนิด Fourblade anchor ยังมีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดฟองอากาศ ซึ่งเมื่อแสดงความแตกต่างในรูปของเปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 50.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงมาก มีผลให้คุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีค่าความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงในทิศทางเป็นลบ โดยเฉพาะค่าความทนแรงดึง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม โดยจากผลการทดสอบพบว่ามีความเบี่ยงเบนต่ำกว่า

ค่าของชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 17.17 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวม พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากใบกวนชนิด Fourblade anchor มีค่าสูงถึง 7.16 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวมเพียง 2.65 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นใบกวนเพื่อทำการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแปดซี่ได้และจากการทดลองข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็วรอบ	ขนาดฟองอากาศ	Stress
น้อย	เล็ก	มาก
↓	↓	↓
มาก	โต	น้อย

จากความสัมพันธ์ที่ได้จากจากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยพบว่าความสัมพันธ์ของความเร็วนวนของการปั่นกวนที่มาก มีผลทำให้มีโอกาสในการเกิดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ซึ่งผลของการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด small blade ทั้ง 2 ชนิด นั่นคือชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine และ ชนิดที่ 2 Fourblade anchor ให้ผลในทิศทางเดียวกัน และที่สำคัญคือใบกวนนั่นคือชนิดที่ 1 และ 2 มีรูปแบบการไหลของของไหลขณะปั่นกวนเหมือนกันคือมีทิศทางการไหลในแนวรัศมี เพียงแต่ใบกวนชนิดที่ 2 มีวงของรัศมีที่กว้างกว่าชนิดที่ 1 จึงมีผลให้ประสิทธิภาพของใบกวนชนิดที่ 2 ดีกว่าชนิดที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบผลได้อย่างชัดเจนดังตารางที่ 4-19

PROPERTIES	UNIT	SIXBLADE	FOURBLADE	REFERENCE	Different	
		FLATBLADE	ANCHOR		percent	
		TURBINE				
		NO.1	NO.2	Slabstock foam	NO.1	NO.2
Cell structure		Ununiform	Ununiform	Uniform		
Pinhole size	cm.	0.108	0.098	0.065	66.15	50.77
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.052	0.051	0.056	-7.14	-8.93
Hardness						
Shore 000	%	61	67	70	-13.41	-4.68
Asker F	%	88	92	90	-2.36	1.82
PTC	%	84	95	93	-9.33	1.63
Strength						
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.41	1.64	1.98	-28.79	-17.17
c-tear	Kg/cm.	0.91	0.92	0.92	-1.09	0.00
s-tear	Kg/cm.	0.66	0.70	0.70	-5.71	0.00
Strain						
Elongation	%	158	139	150	4.82	-7.37
Perfected mix.						
Deviation	%	10.39	7.16	2.65		

ตารางที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine กับ ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที โดยอ้างอิงกับการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม

ผลจากตารางที่ 4-19 พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor มีคุณสมบัติต่าง ๆ และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยกว่าชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine จึงสรุปได้ว่าใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor มีประสิทธิภาพในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบเบตซ์ได้ดีกว่าใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ กับชิ้นงานอ้างอิงแล้ว พบ



ว่าคุณสมบัติของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ , ขนาดของฟองอากาศ และความต้านทานต่อแรงดึง ยังคงมีความแตกต่างกับชิ้นงานอ้างอิงค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการทดลองต่อไปเพื่อค้นหาใบกวนที่เหมาะสมต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟม เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลมีค่าใกล้เคียงกับชิ้นงานอ้างอิงมากขึ้น โดยจะเปลี่ยนใบกวนเป็นใบกวนแบบ Pitch blade turbine ซึ่งใบกวนชนิดนี้ให้รูปแบบการไหลของของไหลในภาชนะเป็นแบบไหลตามแกน และคงรักษาระดับของความเร็วยรอบของการปั่นกวนที่ระดับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และทุก ๆ ความเร็วยรอบของการปั่นกวนจะใช้เวลาของการปั่นกวนผสมที่ 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะสามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างการใช้ใบกวน 1 ที่ให้รูปแบบการไหลในแนวรัศมี กับ ใบกวนที่ให้รูปแบบการไหลในแนวแกน ได้ต่อไป

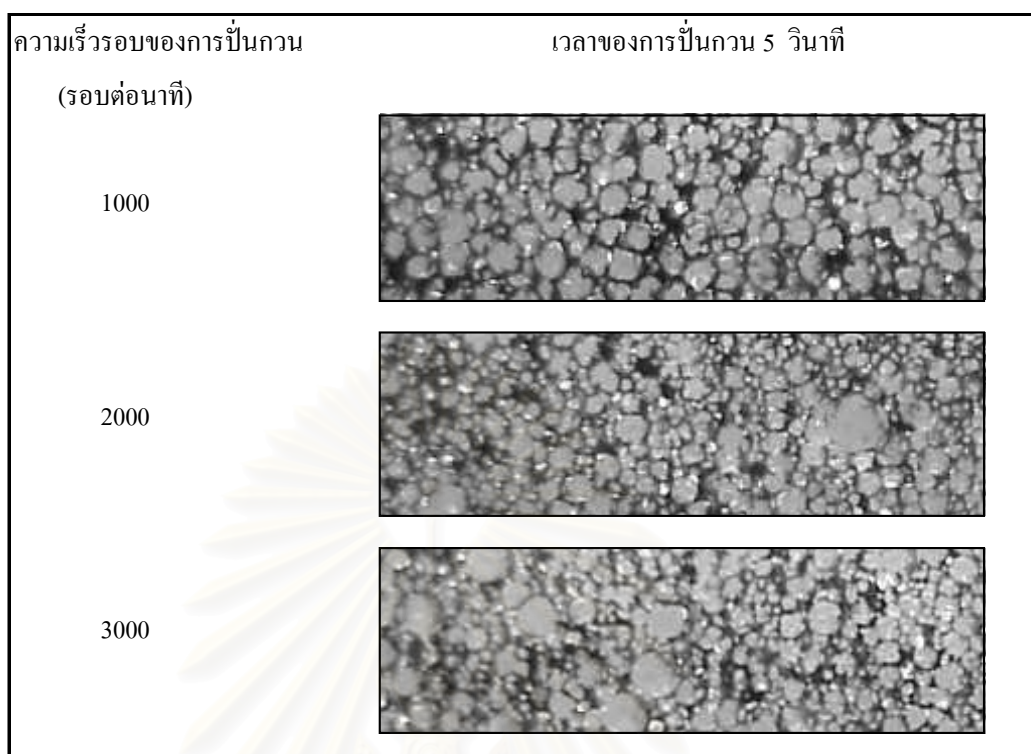


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.1.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกววนผสมที่เวลาต่างๆ ต่อคุณสมบัติต่างๆของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกววนชนิดที่3 (Pitch blade turbine )

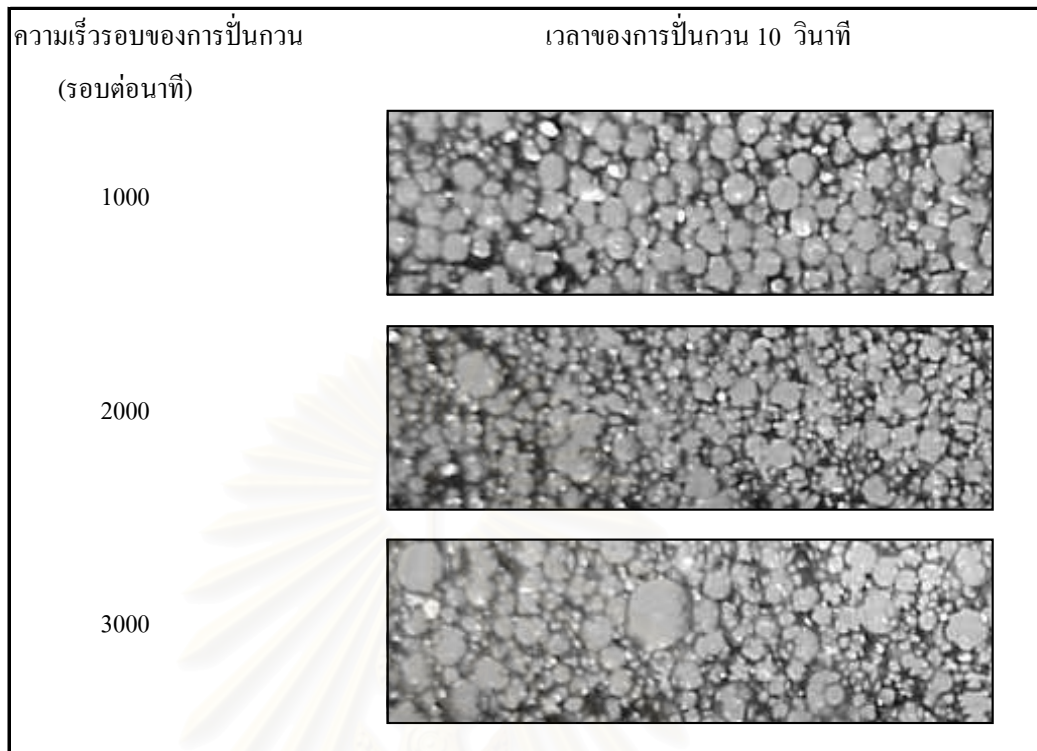
ในการทดลองศึกษาความเร็รรอบของการปั่นกววนผสมที่ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยในแต่ละความเร็รรอบของการปั่นกววนได้ศึกษาเวลาของการปั่นกววนผสมที่เวลา 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็รรอบและเวลาต่างๆ



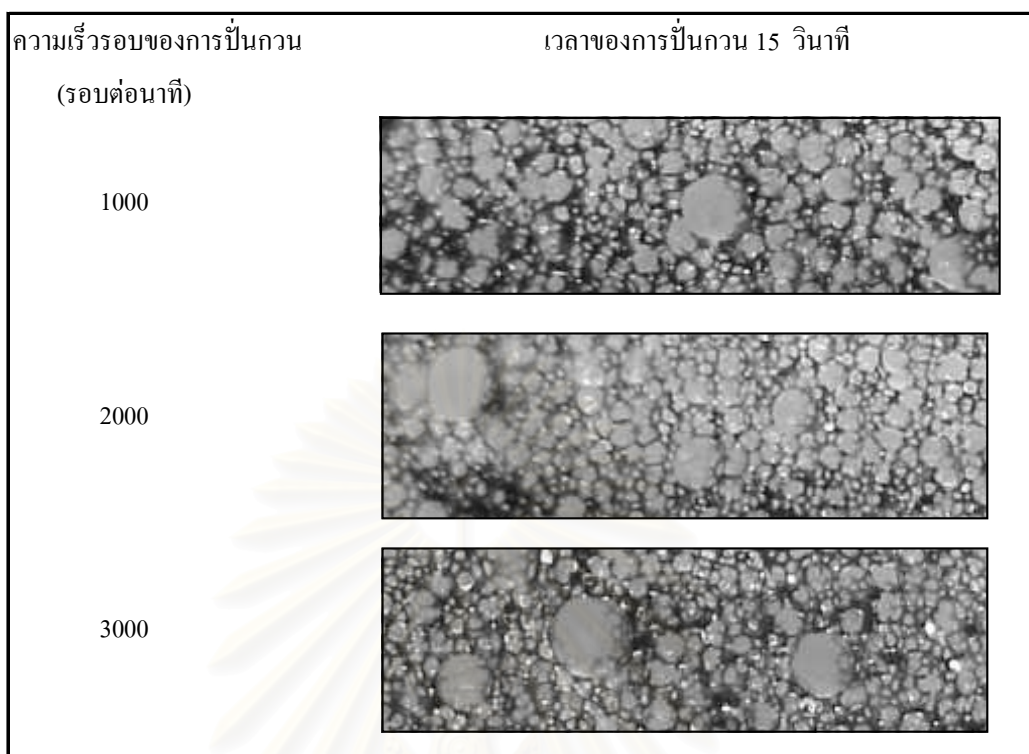
รูปที่ 4-23 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-24 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



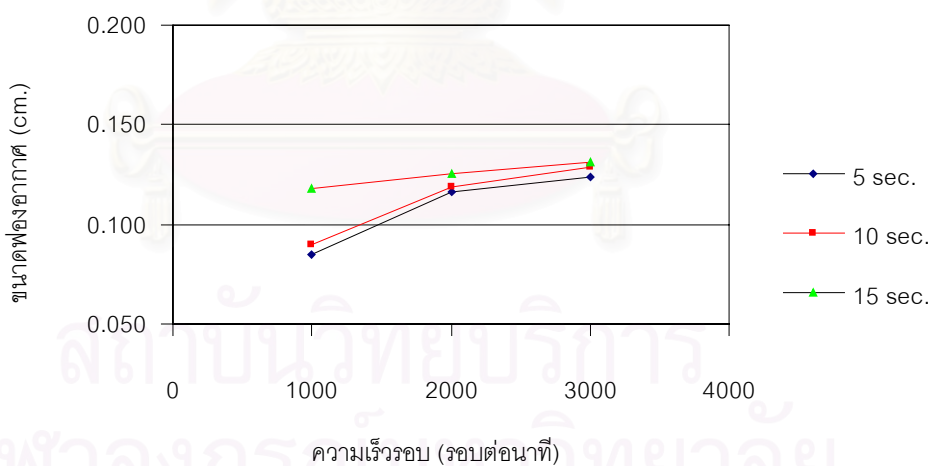
รูปที่ 4-25 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-23, 4-24 และ 4-25 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศ ซึ่งขนาดของฟองอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนอย่างมากดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของการกวนผสมและเวลาที่ใช้ได้ดังตารางที่ 4-20 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-26 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ, cm.				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.085	0.116
10		0.090	0.119	0.128
15		0.118	0.125	0.131

ตารางที่ 4-20 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-26 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศกับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-20 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-26 พบว่าขนาดฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าขนาดฟองอากาศจะยิ่งโตมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนผสมมากขึ้น ขนาดฟองอากาศที่โตขึ้นนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับในกรณีการใช้ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine นั่นคือเกิดจากอิทธิพลของ 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเกิดจากระบบการผสมของผสมไม่สมบูรณ์จึงมีผลให้ของผสมไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์เพื่อให้เกิดการจัดเรียงเฉพาะเซลล์โพลียูรีเทนได้อีกทางหนึ่งแรงกระทำที่ให้กับของผสมในปริมาณที่มากเกินไปมีผลให้ของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรงในถังปฏิกรณ์ มีผลทำให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในของผสม เมื่อของผสมถูกเทลงในแม่แบบฟองอากาศเหล่านี้จะขยายตัวพร้อมๆกับของผสมที่ขยายตัวด้วย ดังนั้นการเพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนจาก 1000, 2000, และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ จึงเป็นการเพิ่มแรงกระทำให้กับของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรงมากขึ้น จึงมีผลให้ขนาดฟองอากาศในของผสมเพิ่มขนาดขึ้น และสอดคล้องกับรูปที่ 4-23, 4-24 และ 4-25 ซึ่งแสดงให้เห็นการจัดเรียงตัวของเซลล์ของโพลียูรีเทนโฟมที่มีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ด้วย ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการปั่นกวนมากขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และพบว่าที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเดียวกัน ถ้าเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้น 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ มีผลให้ขนาดฟองอากาศโตขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าการใช้เวลาในการปั่นกวนผสมที่นานมากขึ้นเข้าใกล้เวลาของการเกิด Creamtime ทำให้การปั่นกวนไปรอบกวน การสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อใช้เวลาของการปั่นกวนมากขึ้น ยิ่งเป็นการรบกวนมากขึ้นจึงเป็นผลให้มีปริมาณฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มากขึ้น การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเซลล์จึงมีความไม่เป็นระเบียบ (Ununiform cell) ซึ่งผลของปริมาณฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล และผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการใช้ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบรอบและเวลาของการปั่นกวน ซึ่งจะเปรียบเทียบในภาพรวมในหัวข้อที่ 10

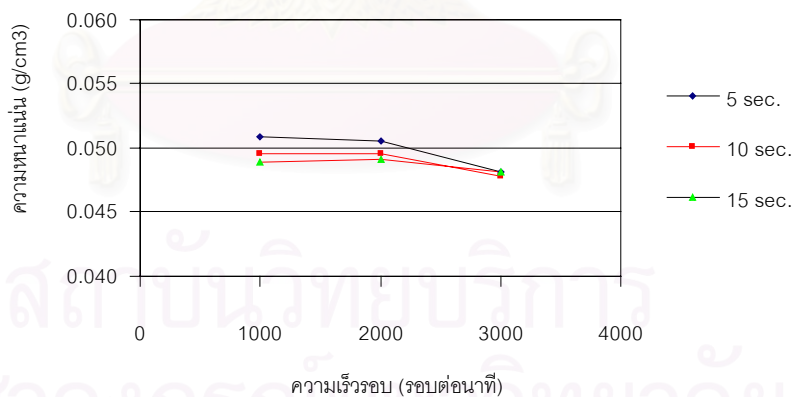
## 2. ความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณท์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณท์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบและเวลาที่ใช้ในการ กวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณท์ ซึ่งสามารถแสดงผลการ คำนวณได้ดังตารางที่ 4-21 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปภาพที่4-27 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.051	0.051
10		0.050	0.050	0.048
15		0.049	0.049	0.048

ตารางที่ 4-21 แสดงค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณท์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกรวนชนิด ที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

รูปที่ 4-27 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณท์กับ ความเร็รรอบของ



การปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณท์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบกรวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุม อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส



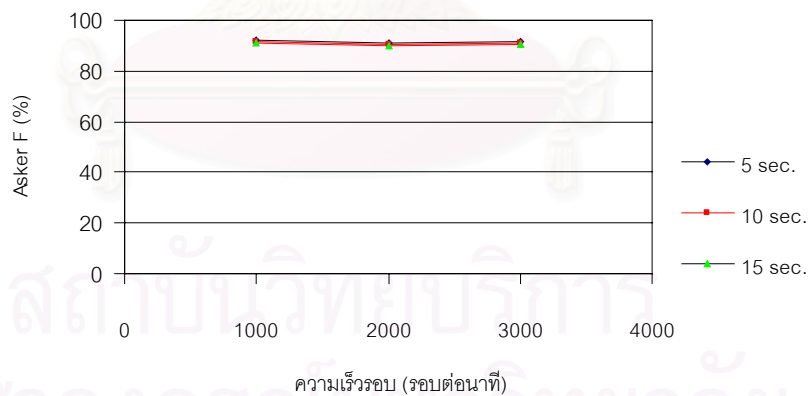
ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-21 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-27 พบว่าความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 1000 ถึง 3000 รอบต่อนาที ครอบคลุมทุกๆเวลาการปั่นกวน 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงการลดลงของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์อย่างเล็กน้อย สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ (17) แม้ว่าข้อมูลการทดลองในตารางที่ 4-20 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบการปั่นกวนเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ขนาดฟองอากาศโตขึ้นก็ตาม และเมื่อฟองอากาศที่โตย่อมส่งผลให้ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยก็ตาม แต่ผลการทดลองแสดงผลการลดลงของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์อย่างเล็กน้อย เหตุนี้ก็เนื่องจากสัดส่วนของปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรโพลียูรีเทนโฟมมีการเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นจาก 1000 ถึง 3000 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงเป็นผลให้ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงตามขนาดฟองอากาศ และพบว่าทุกๆความเร็วรอบของการปั่นกวนเมื่อใช้ใบกวนแบบ Four blade anchor มีผลให้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีฟองอากาศปะปนในชิ้นงาน ดังนั้นความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งสอดคล้องตามสมการ (17) และได้แสดงผลการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เทียบกับความหนาแน่นชิ้นงานอ้างอิง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4-28

### 3. ความแข็งแรงขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการ กวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความแข็งแรงขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดัง ตารางที่ 4-22 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-28 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดความแข็งแรงด้วย Asker F, %				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		92.16	91.08
10		91.64	90.72	90.96
15		91.20	90.16	90.64

ตารางที่ 4-22 แสดงค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ3000 รอบ ต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-28 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงขึ้นงานผลิตภัณฑ์กับความเร็วรอบของการปั่น กวน เท่ากับ 1000, 2000 และ3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ ความแข็งแรงขึ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ15 วินาที ตาม ลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสาร เคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-22 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-28 พบว่าความแข็งแรงชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนมีผลน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์

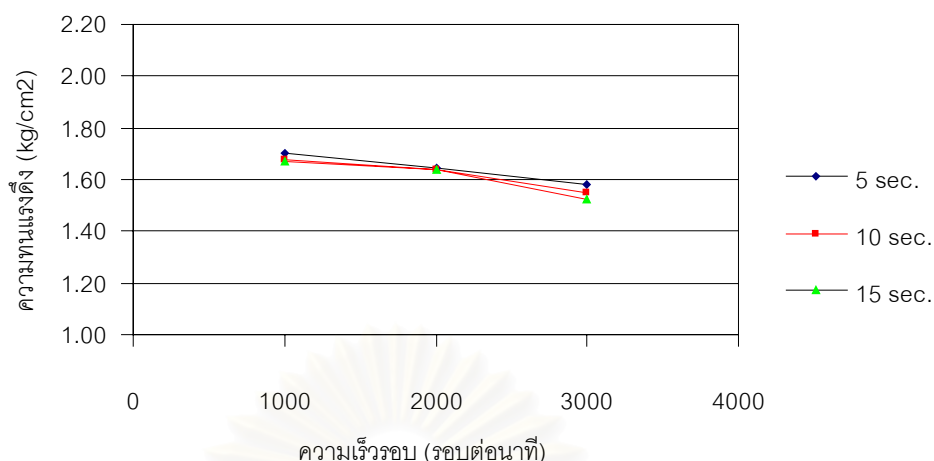
#### 4. ความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-23 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-29 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความทนแรงดึง, $\text{kg/cm}^2$			
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	เวลาผสม (วินาที)		
5	1.70	1.65	1.58
10	1.68	1.64	1.55
15	1.67	1.64	1.52

ตารางที่ 4-23 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-29 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

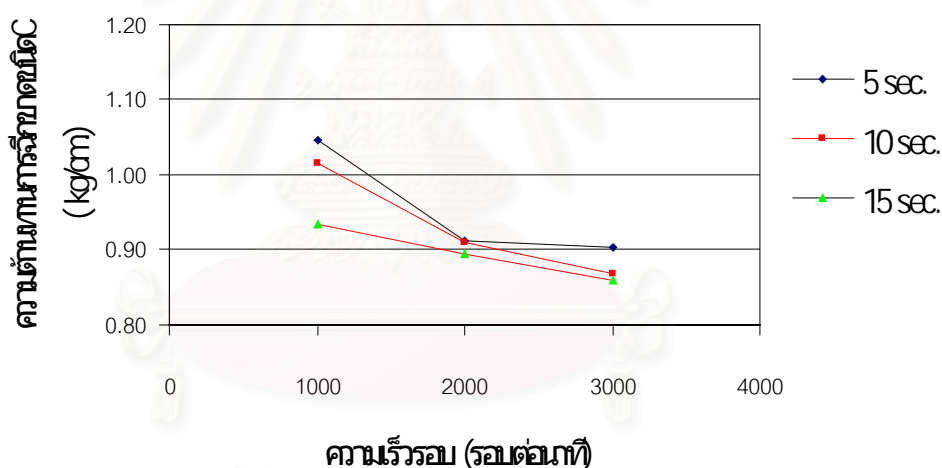
จากผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-29 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลงเป็นเหตุให้ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

#### 5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-24 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-30 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Die - C - tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		1.05	0.91
10		1.01	0.91	0.87
15		0.93	0.89	0.86

ตารางที่ 4-24 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑืที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-30 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑืเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑืที่ความเร็วรอบและเวลาที่ให้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ดังรูปกราฟที่ 4-30 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและ

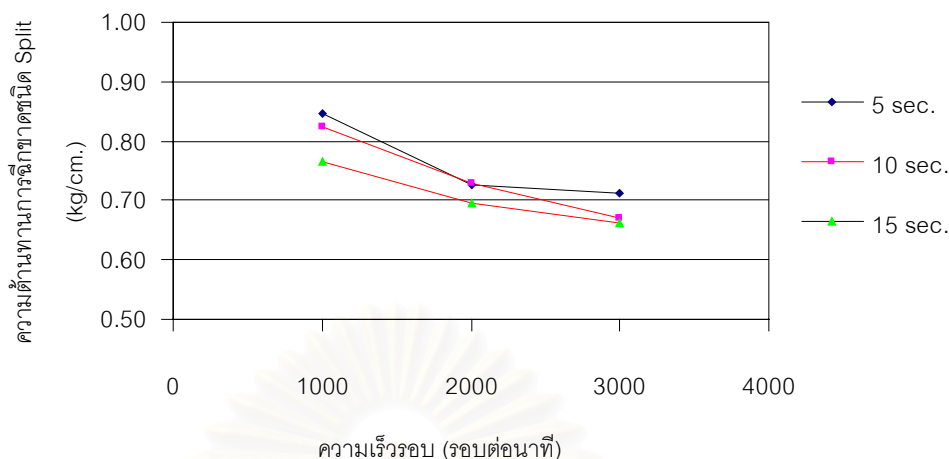
เวลาที่ใช้ในการปั่นกววนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์ แปรผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกววนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

## 6. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกววนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-25 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-31 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (split tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		0.85	0.73
10		0.82	0.73	0.67
15		0.77	0.69	0.66

ตารางที่ 4-25 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกววนชนิดที่ 2 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกววนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกววน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-31 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

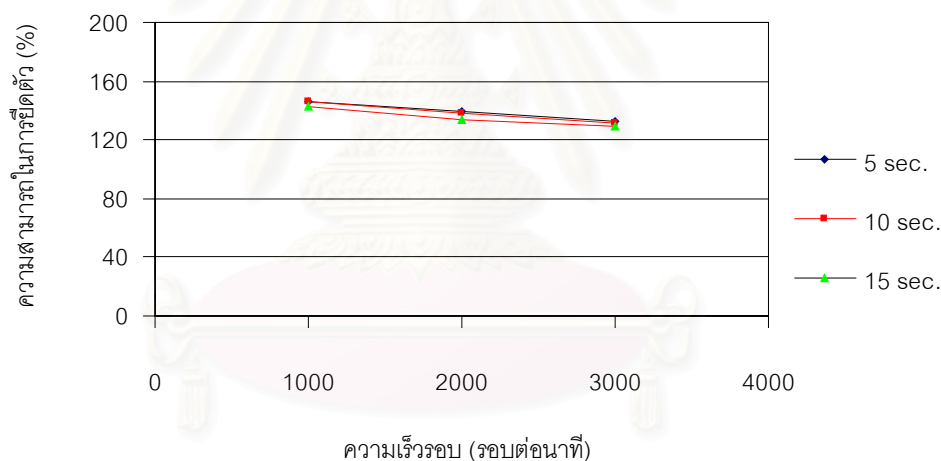
จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งมีเหตุและผลเช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ นั่นคือค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยจากการทดลองเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

## 7. ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4-26 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปภาพที่ 4-32 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่าความสามารถในการยึดตัว, %				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
	5		146.33	139.67
10		145.67	138.33	131.67
15		142.33	134.00	129.67

ตารางที่ 4-26 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-32 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งได้ผลดังกราฟรูปที่ 4-32 พบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับ ค่าคุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบมาก่อนหน้านี้ นั่นคือค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผก



ผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น มีผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

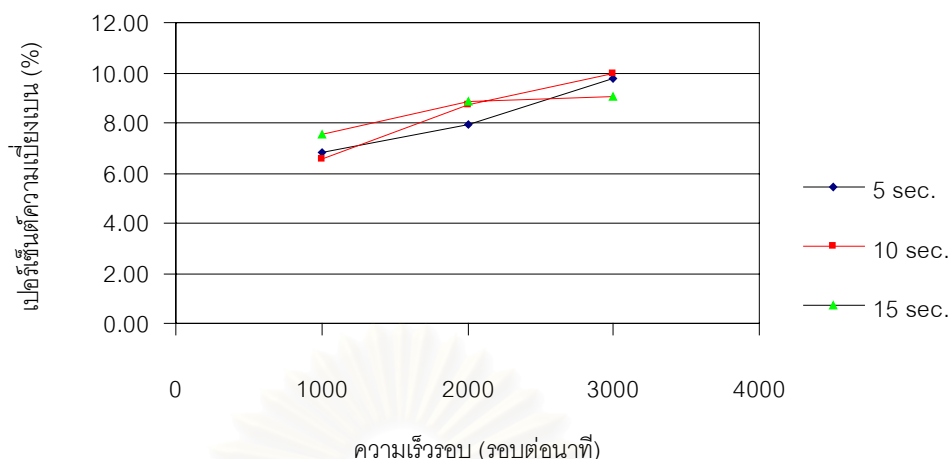
โดยอีกนัยหนึ่งสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น เป็นเหตุให้สัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟมลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ลดลงด้วยนั่นเอง

## 8. เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณได้ ดังตารางที่ 4-27 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-33 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน, %				
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		1000	2000	3000
		เวลาผสม (วินาที)		
5		6.85	7.91	9.78
10		6.56	8.72	9.94
15		7.54	8.84	9.08

ตารางที่ 4-27 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-33 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน กับ จำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-27 และดังกราฟรูปที่ 4-33 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วย โดยเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดต่ำลง

#### 9. ผลสรุปการทดลองการใช้ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine ในการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกวนชนิด Pitch blade turbine ได้ที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเท่ากับ 5 วินาที ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โพลียูรีเทนโฟม กับชิ้นงานอ้างอิง ตารางที่ 4-28

PROPERTIES	UNIT	Pitch blade turbine	REFERENCE	Different percent
		NO.3	Slabstock foam	
Cell structure		uniform	uniform	
Pinhole size	cm.	0.085	0.065	30.77
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.051	0.056	-8.93
Hardness				
Shore 000	%	68.40	70.08	-2.40
Asker F	%	92.16	89.88	2.54
PTC	%	95.84	93.08	2.97
Strength				
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.70	1.98	-14.14
c-tear	Kg/cm.	1.05	0.92	14.13
s-tear	Kg/cm.	0.85	0.70	21.43
Strain				
Elongation	%	146.33	150.42	-2.72
Perfected mix.				
Deviation	%	6.85	2.65	

ตารางที่ 4-28 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบควอนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นจนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นจน 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลปสติกโฟม

จากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่เตรียมด้วยไบควอนชนิด Pitch blade turbine กับชิ้นงานอ้างอิงพบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยไบควอนชนิด Pitch blade turbine ยังมีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดฟองอากาศ ซึ่งเมื่อแสดงความแตกต่างในรูปของเปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 30.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงมาก มีผลให้คุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีค่าความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงในทิศทางเป็นลบ โดยเฉพาะค่าความทนแรงดึง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความ

สำคัญเป็นอย่างมากของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม โดยจากผลการทดสอบพบว่ามีความเบี่ยงเบนต่ำกว่าจากค่าของชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 14.14 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวม พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากใบกวนชนิด Pitch blade turbine มีความสูงถึง 6.85 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวมเพียง 2.65 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นใบกวนเพื่อทำการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ได้ และจากการทดลองข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็วรอบ	ขนาดฟองอากาศ	Stress
น้อย	เล็ก	มาก
↓	↓	↓
มาก	โต	น้อย

จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยพบว่าความสัมพันธ์ของความเร็วนวนของการปั่นกวนที่มาก มีผลทำให้มีโอกาสในการเกิดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ซึ่งผลของการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด small blade ทั้ง 3 ชนิด นั้นคือชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine, ชนิดที่ 2 Four blade anchor และชนิดที่ 3 Pitch blade turbine ให้ผลในทิศทางเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกวนชนิดที่ 1, ชนิดที่ 2 และชนิดที่ 3 ก็พบว่าการผสมกวนโดยให้รูปแบบการไหลมีทิศทางการไหลในแนวแกนที่เกิดจากการปั่นกวนด้วยใบกวนชนิดที่ 3 นั้นให้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีกว่า ใบกวนชนิดที่ 1 และใบกวนชนิดที่ 2 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลได้อย่างชัดเจนดังตารางที่ 4-29

PROPERTIES	UNIT	AGITATOR TYPE			REFERENCE	Different percent		
		NO.1	NO.2	NO.3		Slabstock foam	NO.1	NO.2
Cell structure		unniform	ununiform	ununiform	Uniform			
Pinhole size	cm.	0.108	0.098	0.085	0.065	66.15	50.77	30.77
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.052	0.051	0.051	0.056	-7.14	-8.93	-8.93
Hardness								
Shore 000	%	60.68	66.80	68.40	70.08	-13.41	-4.68	-2.40
Asker F	%	87.76	91.52	92.16	89.88	-2.36	1.82	2.54
PTC	%	84.40	94.60	95.84	93.08	-9.33	1.63	2.97
Strength								
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.41	1.64	1.70	1.98	-28.79	-17.17	-14.14
c-tear	Kg/cm.	0.91	0.92	1.05	0.92	-1.09	0.00	14.13
s-tear	Kg/cm.	0.66	0.70	0.85	0.70	-5.71	0.00	21.43
Strain								
Elongation	%	157.67	139.33	146.33	150.42	4.82	-7.37	-2.72
Perfected mix.								
Deviation	%	7.34	7.16	6.85	2.65			

ตารางที่ 4-29 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor กับ ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาการกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยอ้างอิงกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลบสติ๊กโฟม

ผลจากตารางที่ 4-29 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดฟองอากาศและความแตกต่างของความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งหมายความว่า ประสิทธิภาพของใบกวนชนิดที่ 3 มีประสิทธิภาพในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ได้ดีกว่า ใบกวนชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ กับชิ้นงานอ้างอิงแล้ว ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ยังคงมีความแตกต่างกับชิ้นงานอ้างอิงค่อนข้าง

มาก และจากผลการทดลองโดยใช้ใบกวนแบบ Small blade ทั้ง 3 ชนิดในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ พบว่าใบกวนชนิด Small blade ไม่สามารถปั่นกวนของผสมที่อยู่ในภาชนะให้สามารถเกิดปฏิกิริยากันได้อย่างสมบูรณ์โดยเฉพาะของผสมที่เกาะติดตามผนังของภาชนะ อีกทั้งจากข้อมูลการทดลองที่ผ่านมาทั้ง 3 การทดลองพบได้ว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนที่คืออยู่ที่บริเวณ 1000 รอบต่อนาที เวลาที่เหมาะสมและสอดคล้องกันอยู่ที่ 5 วินาที ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกับการที่จะเลือกใช้ใบกวนชนิด Largeblade ซึ่งใบกวนชนิดนี้จัดเป็นใบกวนที่ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวนไม่สูงนัก และมีขนาดใบกวนแนบชนิดกับผนังของภาชนะ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเกาะติดตามผนังของสารเคมีและทำให้ของผสมในภาชนะเกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงมากขึ้น ดังนั้นในการทดลองเพื่อเลือกชนิดของใบกวนในลำดับต่อไปจะเลือกใบกวนชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นใบกวนชนิด Largeblade โดยเลือกชนิด Doublemotion horseshoe-paddle ในการทำการศึกษา และเลือกช่วงความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที จะยังคงใช้เวลาการปั่นกวนที่ 5, 10 และ 15 วินาที เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ต่อไป



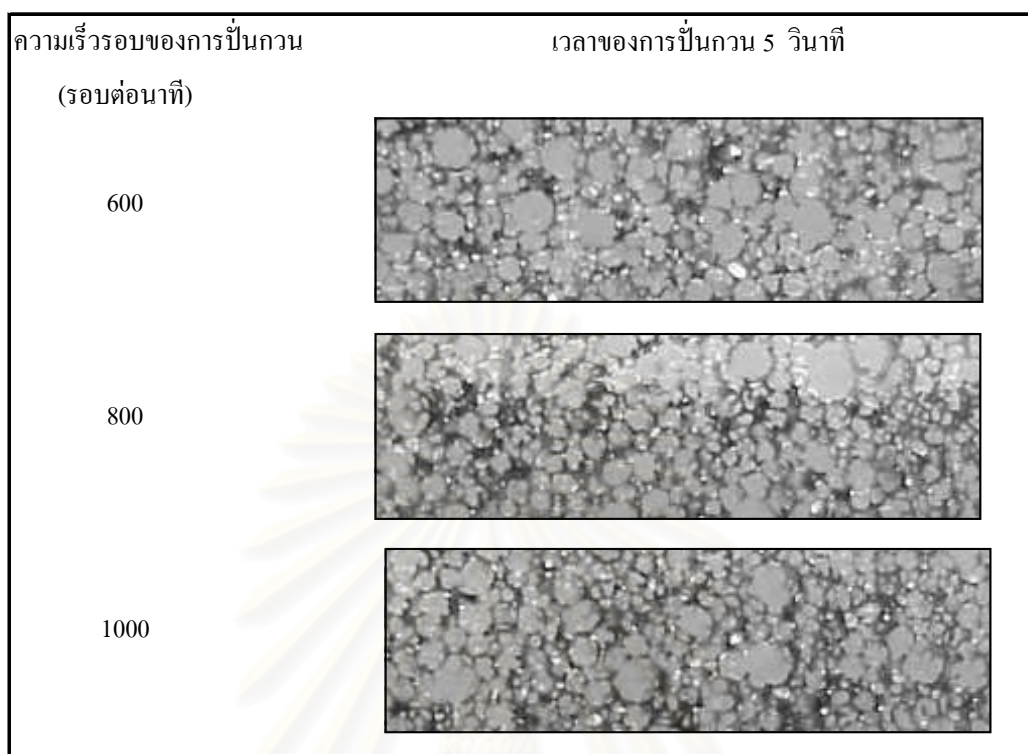
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 4 (Doublemotion horseshoe-paddle )

ในการทดลองศึกษาความเร็รรอบในการกวนผสมที่ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยในแต่ละความเร็รรอบได้ศึกษาเวลาที่ใช้ในการกวนผสมที่เวลา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)



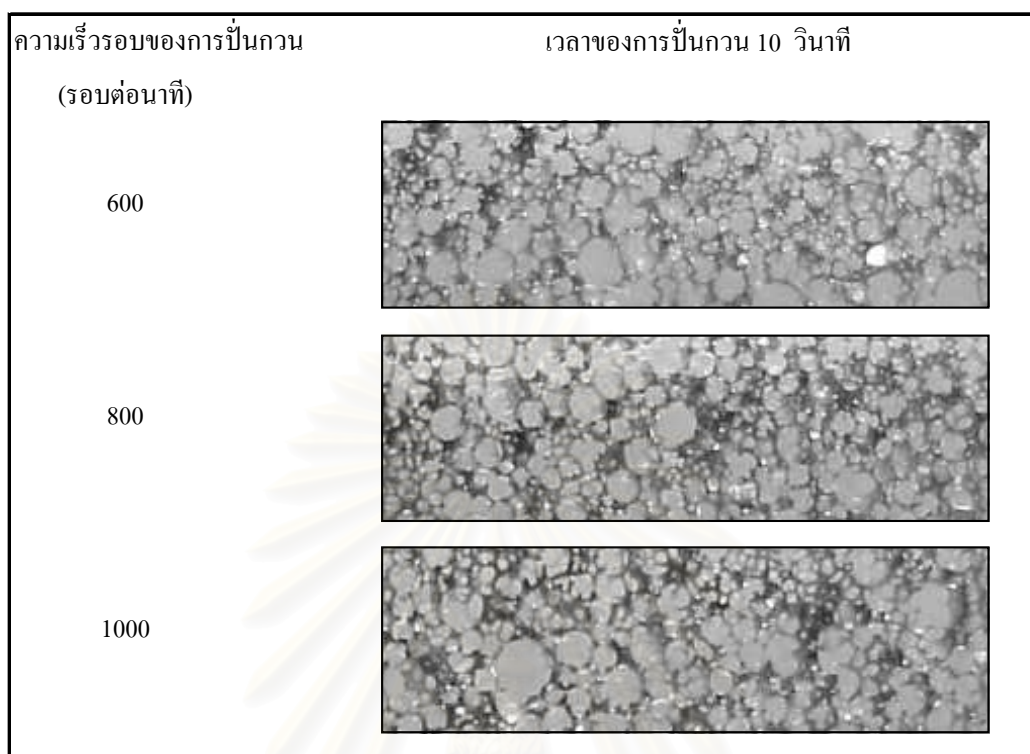
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-34 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยเวลาการกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

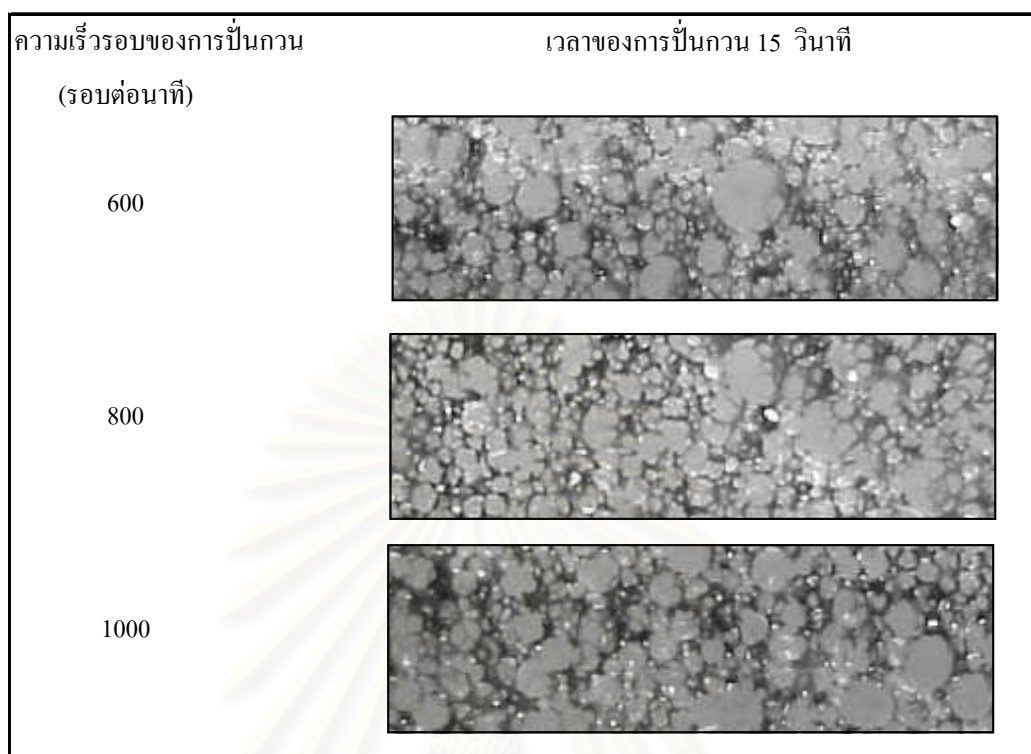
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4-35 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยเวลาการกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



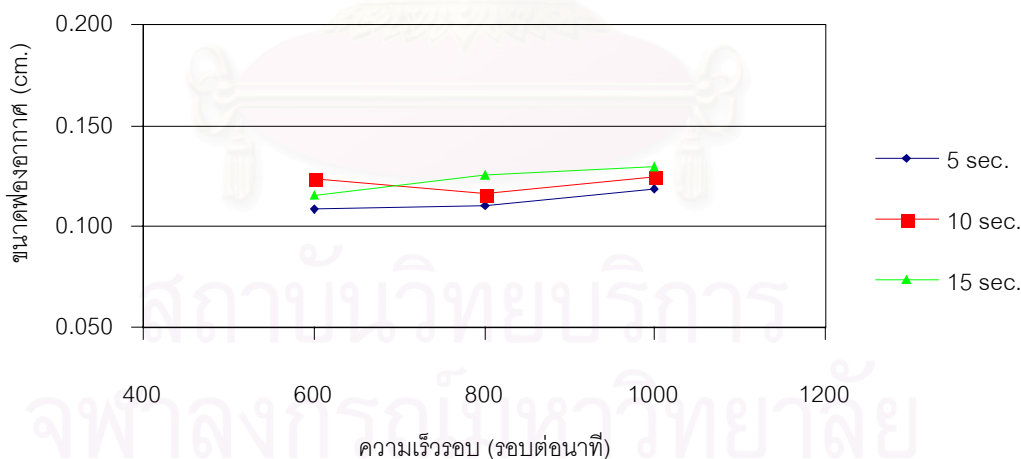
รูปที่ 4-36 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle โดยเวลาการกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-34, 4-35 และ 4-36 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศ ซึ่งขนาดของฟองอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของขึ้นงานโพลียูรีเทนโฟมอย่างมากดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของการกวนผสมและเวลาที่ใช้ได้ดังตารางที่ 4-30 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-39 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ, cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		0.109	0.110
10		0.124	0.116	0.125
15		0.115	0.125	0.130

ตารางที่ 4-30 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-37 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศกับจำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

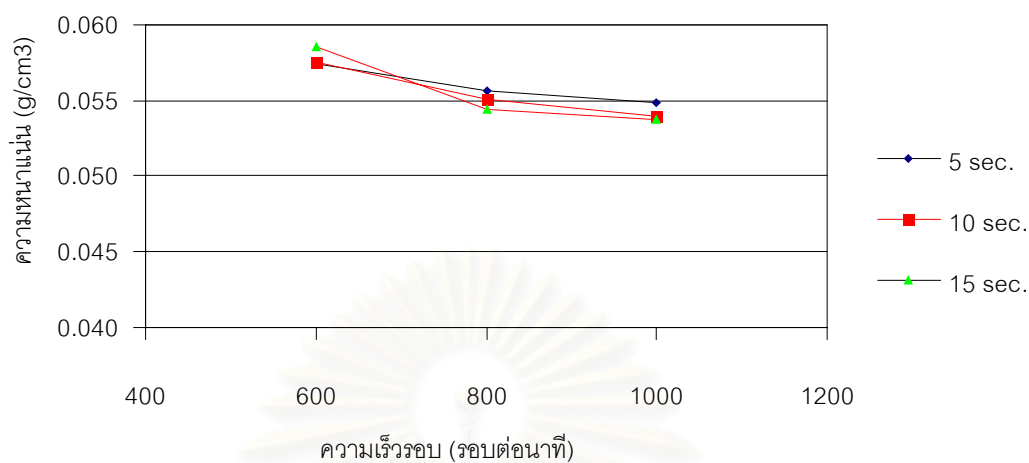
จากผลการทดลองดังกราฟรูปที่ 4-37 พบว่าฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบเป็นการเพิ่มแรงกระทำให้กับของผสมเกิดการไหลอย่างรุนแรง ซึ่งผลที่ได้น่าที่จะเอื้ออำนวยให้เกิดการผสมได้ดีขึ้น แต่กลับเป็นการรบกวนการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดปรากฏการณ์ Dangling chain ซึ่งเป็นปรากฏการณ์สร้างสายโซ่พอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ระหว่างการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดปลายเปิดในสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นนั่นเอง ส่วนเวลาที่ใช้ในการผสมก็สามารถอธิบายผลได้ในทำนองเดียวกันนั่นคือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการกวนผสมมากขึ้นเป็นผลให้ Residence time ได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้น โดยขนาดและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ผลการวัดขนาดฟองอากาศมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการใช้ใบกวนชนิดที่ Six blade flat blade turbine เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบและเวลาของการปั่นกวน ซึ่งจะเปรียบเทียบรวมไว้ในลำดับต่อไป โดยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดังกล่าว สามารถแสดงได้เป็นลำดับดังนี้

## 2. ความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณ ได้ดังตารางที่ 4-31 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-40 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>			
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
เวลาผสม (วินาที)			
5	0.057	0.056	0.055
10	0.058	0.055	0.054
15	0.059	0.054	0.054

ตารางที่ 4-31 แสดงค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5,10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-38 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์กับ ความเร็วรอบของการปั่น กวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความ หนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสาร เคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

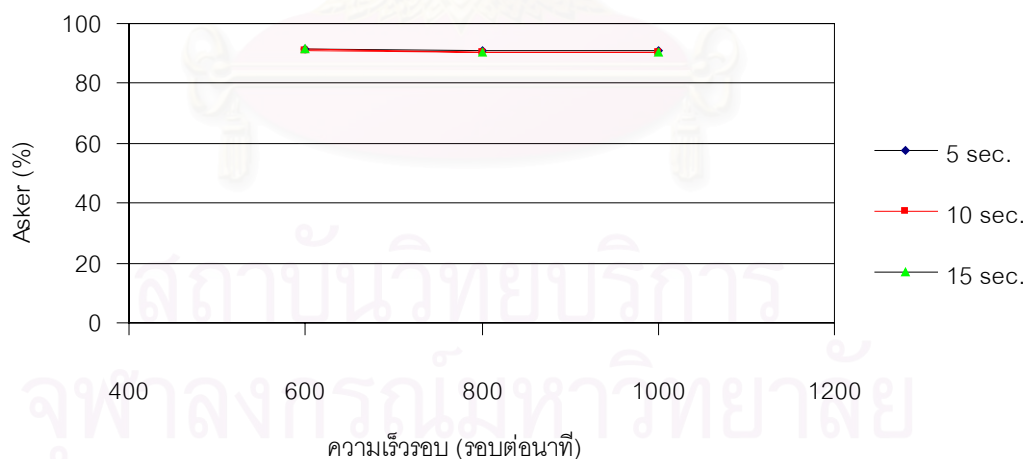
ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-31 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-40 พบว่า ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีมีค่ามากกว่าชิ้นงานอ้างอิงคือมีค่าสูงกว่า  $0.056 \text{ g/cm}^3$  สำหรับความเร็วรอบ 800 และ 1000 รอบต่อนาที มีค่าใกล้เคียงกับชิ้น งานอ้างอิง สามารถอธิบายผลการทดลองได้ว่า ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาทีเป็น ความเร็วรอบที่น้อยเกินไป ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นโพลียูรีเทนโฟมนั้นเกิดปฏิกิริยาได้ไม่ สมบูรณ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง น้ำ กับ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (ปฏิกิริยาที่ 1) เกิดน้อยจึงมีผลให้ปริมาตรของการขยายตัวขณะเกิดโพลียูรีเทนโฟมมีค่าน้อย ทำให้สัดส่วนปริมาตรเนื้อโพลียูรีเทนโฟมต่อปริมาตรฟองอากาศมีค่าสูง ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงาน สูงกว่าความหนาแน่นของชิ้นงานอ้างอิง และได้แสดงผลการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดความหนา แน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์เทียบกับความหนาแน่นชิ้นงานอ้างอิง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4-38

### 3. ความแข็งแรงขึ้นงานขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบและเวลาที่ใช้ในการทวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความแข็งแรงขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-32 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-41 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดความแข็งแรงด้วย Asker F, %				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		91.28	91.16
10		91.12	90.60	90.44
15		91.56	90.36	90.12

ตารางที่ 4-32 แสดงค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-39 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรง กับ ความเร็รรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งแรงผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

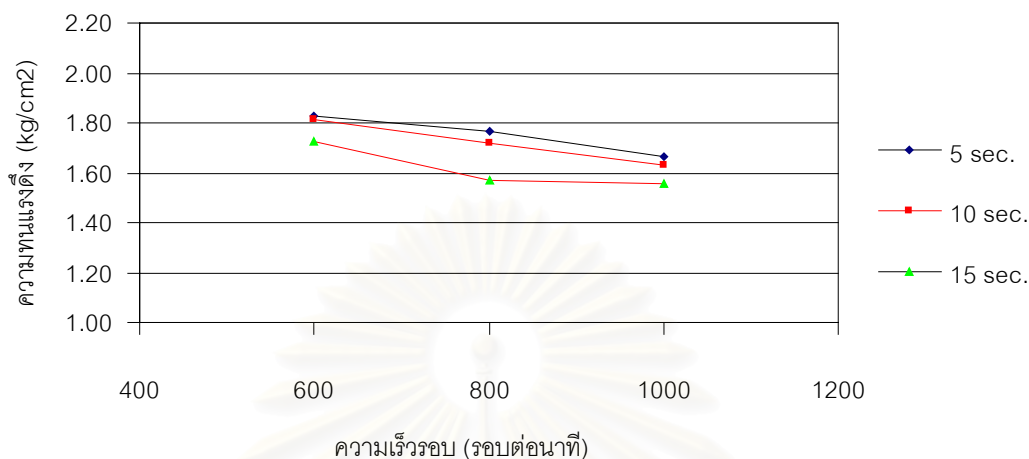
ผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-41 พบว่าความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์ ซึ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพของเซลล์โพลียูรีเทนให้ชิ้นงานโพลียูรีเทนมีความแข็งตามที่ต้องการ รายละเอียดต่าง ๆ ของซิลิโคนสเตบิลไอเซอร์สามารถดูได้ในหัวข้อ 2.4.5

#### 4. ความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-33 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-42 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความทนแรงดึง, kg/cm <sup>2</sup>				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		1.83	1.77
10		1.81	1.72	1.63
15		1.72	1.57	1.56

ตารางที่ 4-33 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-40 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-40 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงเนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลง เป็นเหตุให้ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

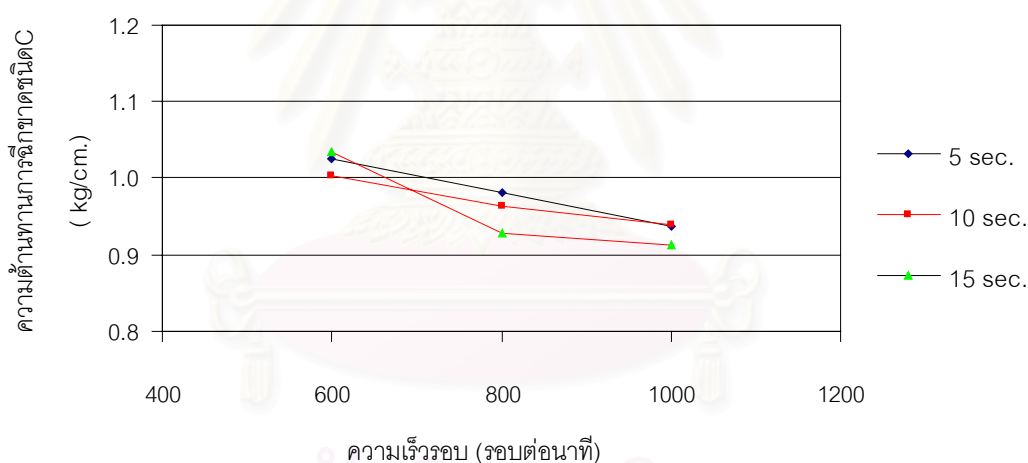
#### 5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-TEAR ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-34 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-41 ตามลำดับ



ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Die - C tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		1.03	0.98
10		1.00	0.96	0.94
15		1.03	0.93	0.91

ตารางที่ 4-34 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 2 Double motion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-41 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ดังรูปกราฟที่ 4-41 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่

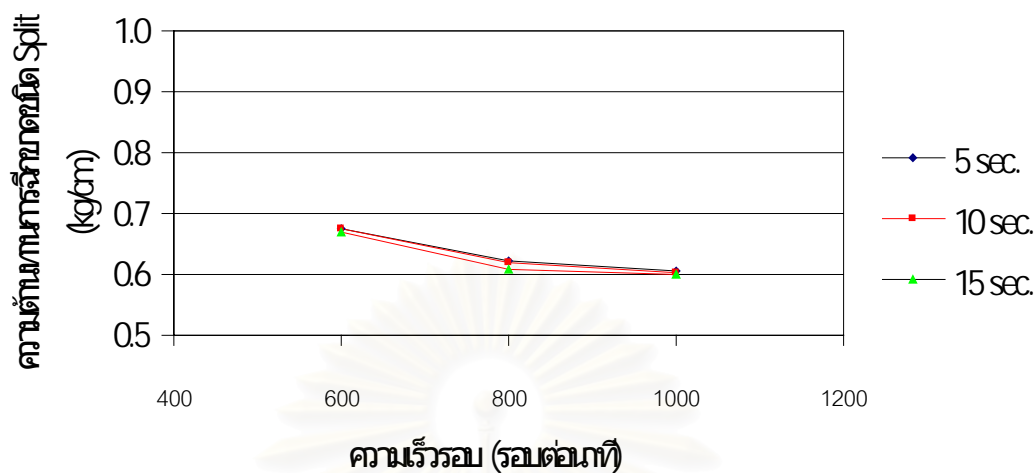
ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด ชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

#### 6. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-35 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-42 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (split tear), kg/cm				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		0.67	0.62
10		0.68	0.62	0.60
15		0.67	0.61	0.60

ตารางที่ 4-35 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-42 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

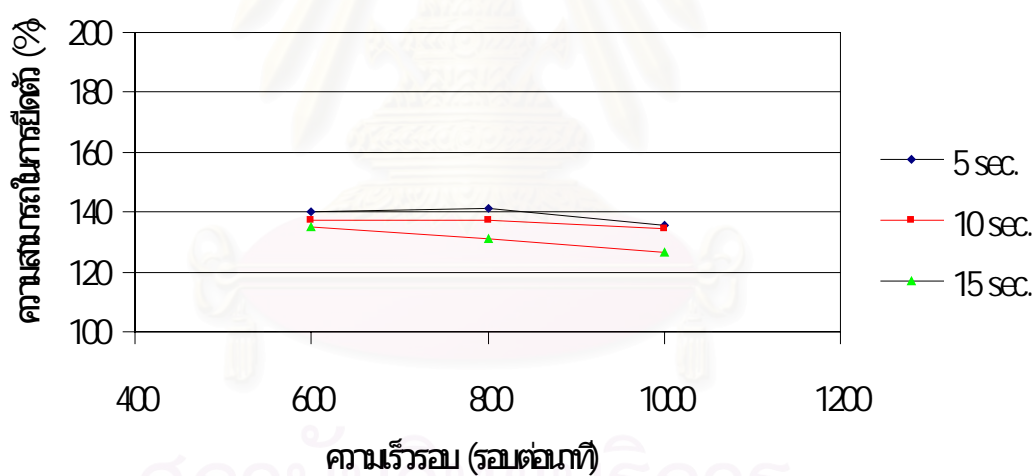
จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-42 พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยจากผลการทดลองเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split - tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

## 7. ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-36 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-43 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่าความสามารถในการยึดตัว, %				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		140.33	141.33
10		137.33	137.33	134.67
15		134.90	131.33	126.67

ตารางที่ 4-36 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-43 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

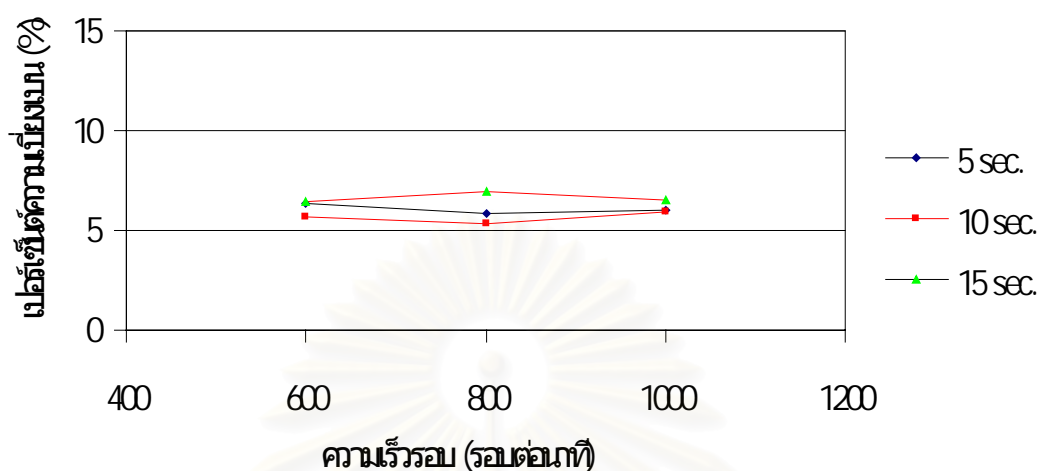
ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-36 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-43 พบว่าความสามารถในการยึดตัวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อจำนวนรอบการปั่นกวนเพิ่มขึ้นจาก 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากผลการทดลองก่อนหน้านี้นี้พบว่าความสามารถในการยึดตัวมีความสัมพันธ์กับขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ แต่ในการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการยึดตัวเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้นมีค่าแตกต่างกันไม่มาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสัดส่วนปริมาตรของเนื้อโพลียูรีเทนโฟม ต่อสัดส่วนปริมาตรฟองอากาศ ในแต่ละความเร็วรอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม มีค่าไม่แตกต่างกันนั่นเอง

#### 8. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการตรวจสอบได้ ดังตารางที่ 4-37 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-44 ตามลำดับ

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน, %				
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000
	5		6.38	5.86
10		5.69	5.35	5.90
15		6.45	6.98	6.55

ตารางที่ 4-37 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-44 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงกับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-37 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-44 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5.5 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงเป็นค่าที่บอกถึงการกระจายตัวของคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานว่ามีคุณสมบัติเช่นเดียวกันตลอดทุกส่วนของชิ้นงานหรือไม่ ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง จึงแสดงได้ว่าคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิด Double motion horseshoe-paddle โดยการเพิ่มความเร็วรอบของการปั่นกวนจาก 600 จนถึง 1000 รอบต่อนาที มีระดับการผสมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันใกล้เคียงกัน และพบว่าระดับของความเปลี่ยนแปลงมีค่าไม่มากนักและน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการปั่นกวนผสมด้วยใบกวนแบบ Small blade ทั้ง 3 ชนิดที่ได้ทำการทดลองผ่านมา

### 9. ผลสรุปการทดลองการใช้ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle ในการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle ได้ที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาทีและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเท่ากับ 5 วินาที ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โพลียูรีเทนโฟม กับชิ้นงานที่อ้างอิง ได้ดังตารางที่ 4-38

PROPERTIES	UNIT	Double motion horseshoe	REFERENCE	Different percent
		paddle		
		NO. 4	Slabstock foam	
Cell structure		Uniform	Uniform	
Pinhole size	cm.	0.119	0.065	83.08
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.055	0.056	-1.79
Hardness				
Shore 000	%	66.60	70.08	-4.97
Asker F	%	90.96	89.88	1.20
PTC	%	93.96	93.08	0.95
Strength				
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.67	1.98	-15.66
c-tear	Kg/cm.	0.94	0.92	2.17
s-tear	Kg/cm.	0.61	0.7	-12.86
Strain				
Elongation	%	135.67	150.42	-9.81
Perfected mix.				
Deviation	%	5.98	2.65	

ตารางที่ 4-38 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อ นาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตแบบสแลบสติกโฟม

จากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่เตรียมด้วยใบกวนชนิด Pitch blade turbine กับชิ้นงานอ้างอิงพบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยใบกวนชนิด Double motion horseshoe-paddle ยังมีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงอยู่มาก

โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดฟองอากาศ ซึ่งเมื่อแสดงความแตกต่างในรูปของเปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 56.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงมาก มีผลให้คุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีค่าความเบี่ยงเบนจากชิ้นงานอ้างอิงในทิศทางเป็นลบ โดยเฉพาะค่าความทนแรงดึง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม โดยจากผลการทดสอบพบว่ามีความเบี่ยงเบนต่ำกว่าค่าของชิ้นงานอ้างอิงอยู่ในระดับ 15.91 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าการเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวม พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากใบกวนชนิด Double motion horseshoe-paddle มีค่าสูงถึง 5.83 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานอ้างอิงมีค่าการเบี่ยงเบนของคุณสมบัติต่าง ๆ โดยรวมเพียง 2.65 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นใบกวนเพื่อทำการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ได้

และจากการทดลองข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็วรอบ	ขนาดฟองอากาศ	Stress
น้อย	เล็ก	มาก
↓	↓	↓
มาก	โต	น้อย

จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle ความสัมพันธ์ ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยพบว่าความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของการปั่นกวนในช่วงใกล้ ๆ ระดับ 1000 รอบต่อนาที จะมีผลการเกิดปฏิกิริยาที่ให้ผลค่อนข้างสมดุลกันของขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ อีกทั้งพบว่าความเร็วรอบที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ การให้ความเร็วรอบมากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดแรงกระทำ ซึ่งเป็นผลรบกวนการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มาก ดังนั้นการเลือกใช้ความเร็วรอบให้เหมาะสมต่อการผสมเพื่อเตรียมชิ้นงานนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง จากการ



ทดลองที่ผ่านมาทั้ง 4 การทดลองได้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการพิจารณาเลือกใบกวนและความเร็วรอบของการปั่นกวนอย่างมีทิศทาง เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบกันดังตารางที่ 4-39

		NO. 4	NO.3	NO.2	NO.1	Slabstock foam
Cell structure		Uniform	uniform	ununiform	ununiform	uniform
Pinhole size	cm.	0.119	0.085	0.098	0.108	0.065
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.055	0.051	0.051	0.052	0.056
Hardness						
Shore 000	%	66.60	68.40	66.80	60.68	70.08
Asker F	%	90.96	92.16	91.52	87.76	89.88
PTC	%	93.96	95.84	94.60	84.40	93.08
Strength						
Tensile	kg/cm <sup>2</sup>	1.67	1.70	1.64	1.41	1.98
c-tear	kg/cm.	0.94	1.05	0.92	0.91	0.92
s-tear	kg/cm.	0.61	0.85	0.70	0.66	0.70
Strain						
Elongation	%	135.67	146.33	139.33	157.67	150.42
Perfected mix.						
Deviation	%	5.98	6.85	7.16	7.34	2.65

ตารางที่ 4-39 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนทั้ง 4 ชนิด โดยที่ชนิดที่ 1 คือ Six blade flat blade turbine ชนิดที่ 2 คือ Four blade anchor ชนิดที่ 3 คือ Pitch blade turbine และชนิดที่ 4 คือ Doublemotion horseshoe-paddle ควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการผลิตแบบสแลสตีอกโฟม

ผลจากตารางที่ 4-39 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที อุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยา 20 องศาเซลเซียส ของใบกวนทั้ง 4 ชนิด พบว่าใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle ซึ่งเป็นใบกวนในกลุ่มของ Large blade มีคุณสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับคุณสมบัติของชิ้นงานอ้างอิง อีกทั้งยังมีค่าน้อยกว่าใบกวนชนิด Small blade ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติ

สมบัติที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe-paddle โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4-38 นั้นก็พบว่ามีความคุ้มค่าที่ค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับค่าของชิ้นงานอ้างอิง มีเพียงขนาดของฟองอากาศที่มีค่าขนาดโตกว่าขนาดฟองอากาศของชิ้นงานอ้างอิงโดยฟองอากาศที่มีขนาดโตกว่านั้นถึงแม้ว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนที่จะใช้ต่ำก็ตาม แต่เนื่องจากใบกวนชนิดที่ 4 นี้ มีลักษณะของ Gate ที่ตั้งฉากต่อการไหลจึงทำให้เกิดแรงปะทะอย่างรุนแรงซึ่งมีทั้งผลดีและผลเสียควบคู่กันไป ผลดีก็คือทำให้ของผสมในถังปฏิกรณ์สามารถผสมให้เข้ากันด้วยความเร็วรอบของการปั่นกวนต่ำๆ และเข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้อย่างดีซึ่งสังเกตได้จากค่าการตรวจวัดคุณสมบัติชิ้นงานซึ่งมีค่าที่สูงสำหรับผลเสียก็คือแรงปะทะที่รุนแรงส่งผลให้เกิดฟองอากาศขนาดโต โดยคุณสมบัติชิ้นงานผลิตภัณฑ์ยังมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานอ้างอิงอยู่พอสมควร ดังนั้นในการดำเนินการทดลองต่อไปจะทำการเลือกชนิดใบกวนแบบ Large blade เช่นเดียวกับใบกวนชนิดที่ 4 แต่จะลดแรงปะทะของ Gate ของใบกวน ซึ่งพบว่า ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw มีคุณสมบัติดังที่ว่านี้ ซึ่งรายละเอียดของใบกวนชนิดนี้ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.5.6 และจากการทดลองทั้ง 4 การทดลองที่ผ่านมาพบได้แนวทางว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนจะไม่สูงมากนัก อยู่ที่บริเวณความเร็วรอบในระดับ 1000 รอบต่อนาที ดังนั้นในการทดลองศึกษาชนิดของใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw จะดำเนินการทดลองด้วยความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีเพื่อหาสภาวะที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ดีที่สุด โดยยังคงรักษาเวลาของการปั่นกวนที่ 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ

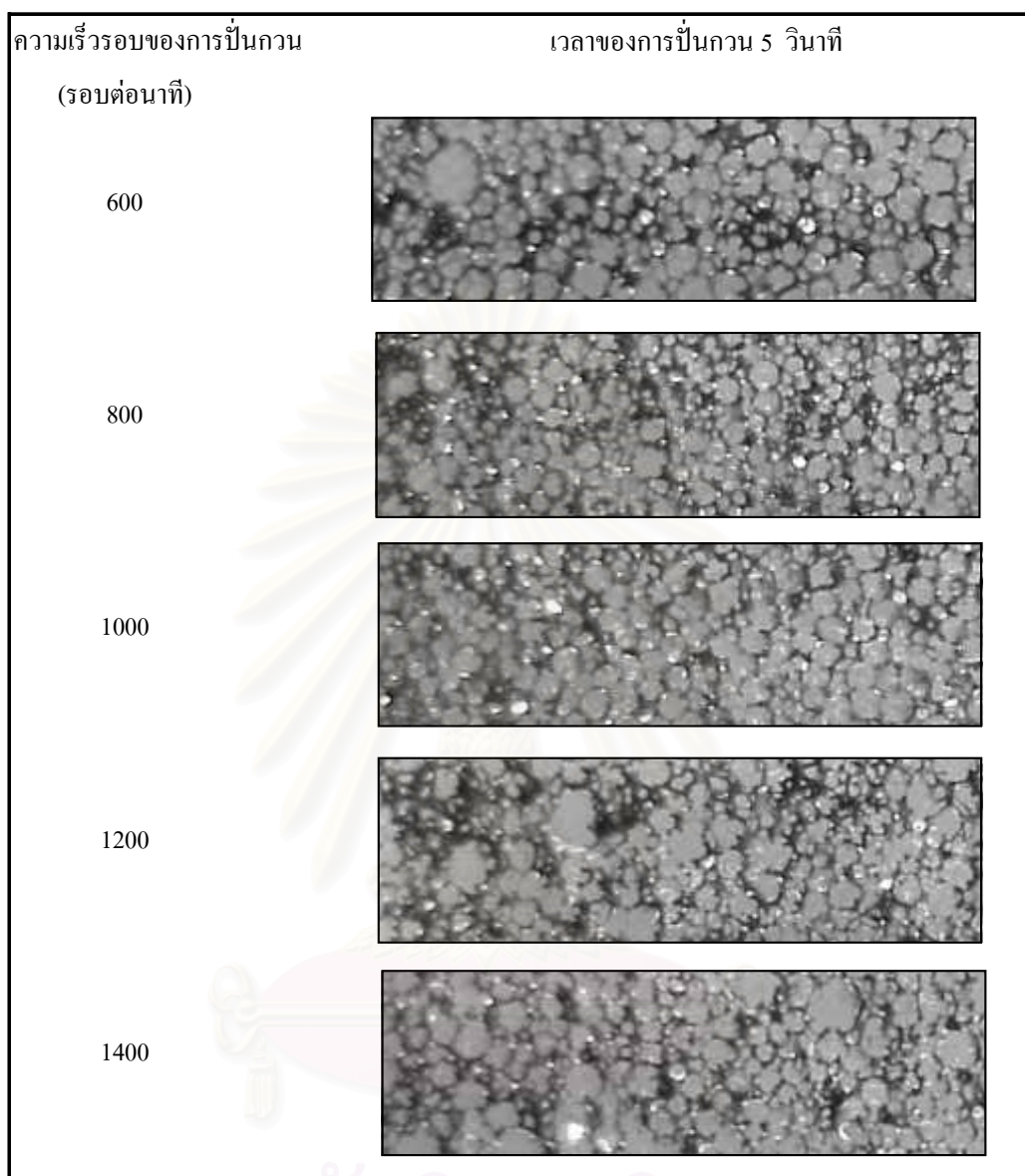
4.1.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบในการปั่นกวนผสมที่เวลาต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ใบกวนชนิดที่ 5 (Double helical ribbon screw )

ในการทดลองศึกษาความเร็รรอบในการกวนผสมที่ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยในแต่ละความเร็รรอบได้ศึกษาเวลาที่ใช้ในการกวนผสมที่เวลา 5 ,10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

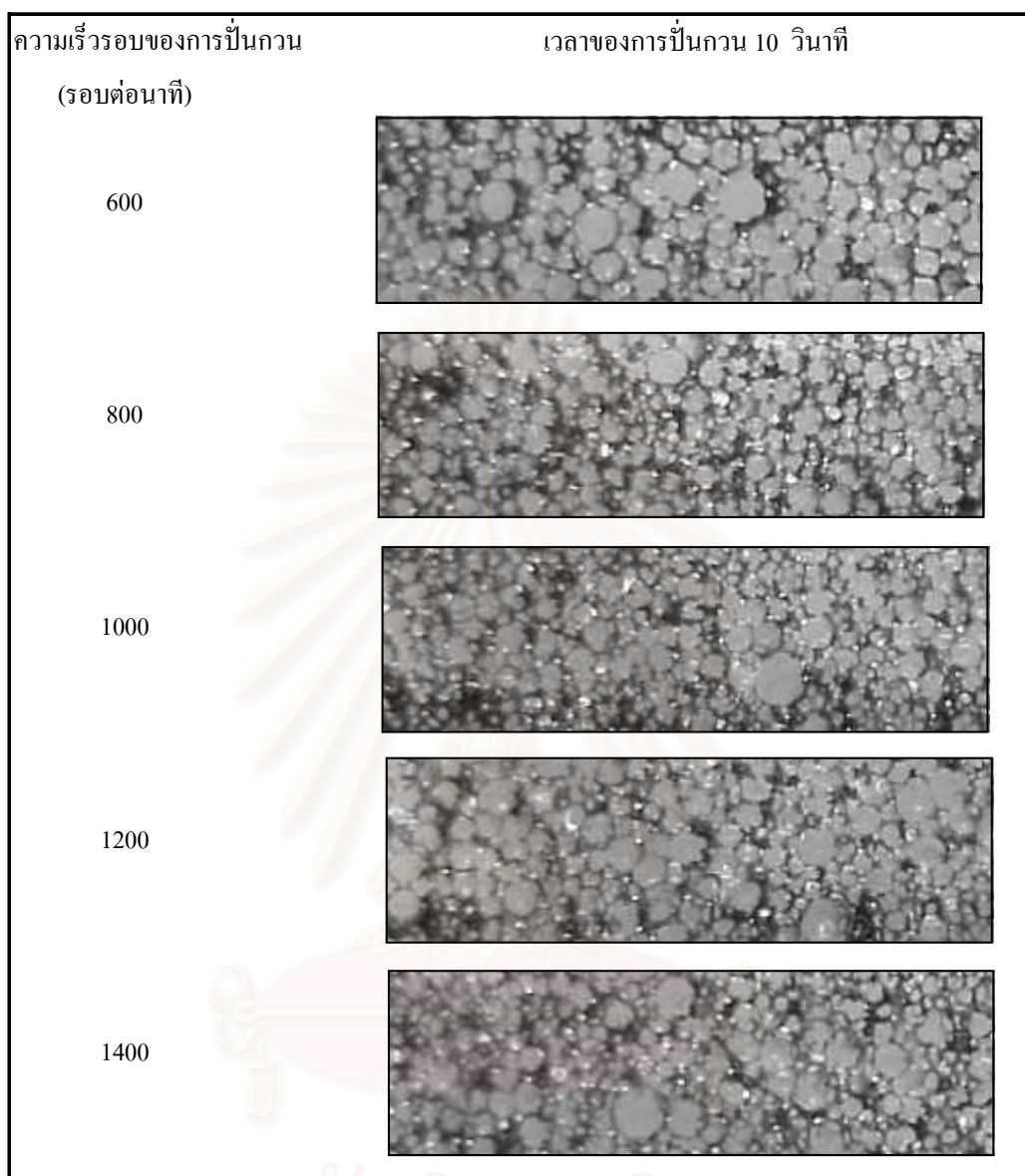
1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็รรอบและเวลาต่าง ๆ



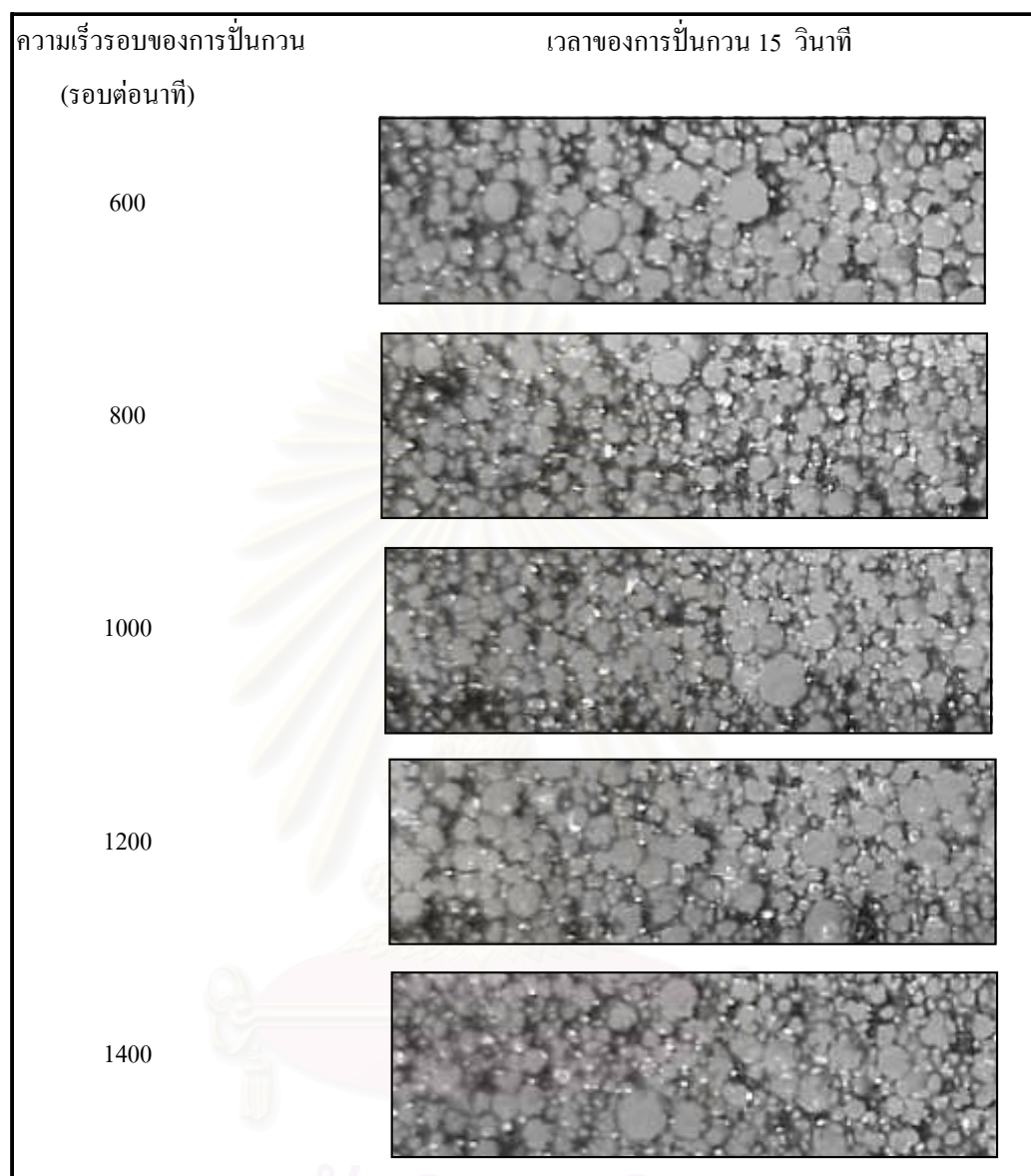
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-45 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบโกลนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-46 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 10 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

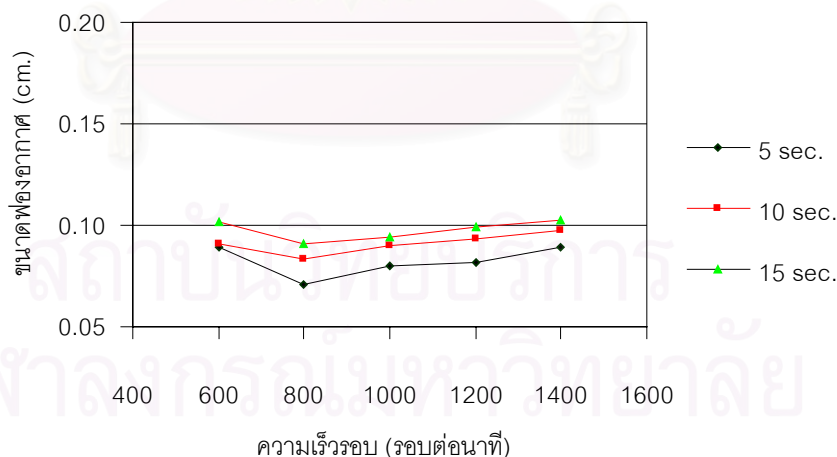


รูปที่ 4-47 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาของการปั่นกวนผสม 15 วินาที ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4-45, 4-46 และ 4-47 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศ ซึ่งขนาดของฟองอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของขึ้นงานโพลียูรีเทนโฟมอย่างมากดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของการกวนผสมและเวลาที่ให้ได้ดังตารางที่ 4-40 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-48 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดขนาดเซลล์, (cm)						
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
	5		0.071	0.057	0.064	0.065
10		0.073	0.067	0.072	0.075	0.078
15		0.082	0.073	0.075	0.079	0.082

ตารางที่ 4-40 แสดงค่าการวัดขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-48 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศ กับ จำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ตั้งตารางที่ 4-40 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-48 พบว่าขนาดฟองอากาศมีความสัมพันธ์กับความเร็วยรอบของการปั่นกวน โดยขนาดฟองอากาศจะค่อย ๆ มีขนาดเล็กลงจากความเร็วยรอบ 600 รอบต่อนาทีจนถึงช่วงประมาณ 800 รอบต่อนาที หลังจากนั้นขนาดฟองอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเร็วยรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1400 รอบต่อนาที ลักษณะของเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับความเร็วยรอบของการปั่นกวนมีลักษณะเส้นกราฟเป็นโค้งหงายดังรูปที่ 4-48 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือที่ความเร็วยรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที เป็นความเร็วยรอบของการปั่นกวนที่น้อยเกินไป จึงไม่สามารถทำให้ของผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์จึงเกิดฟองอากาศที่มีขนาดโต ซึ่งเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของการปั่นกวนเป็น 800 รอบต่อนาที สามารถทำให้ของผสมเกิดการผสมกันเป็นเนื้อเดียวได้อย่างดีจึงทำให้ขนาดของฟองอากาศมีขนาดเล็กลง โดยเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้นอีกเป็น 1000 รอบต่อนาที ขนาดฟองอากาศกลับมีขนาดโตขึ้นอีก ก็เนื่องจากความเร็วยรอบที่ให้เข้าไปในการกวนผสมมีขนาดมากเกินไปซึ่งเป็นการรบกวนการสร้างสายโซ่โพลิเมอร์จึงไปเพิ่มปริมาณฟองอากาศในระบบให้มากขึ้นอีก และเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของการปั่นกวนต่อไปอีกเป็น 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีก็ยิ่งพบว่าขนาดฟองอากาศมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ นั่นก็แสดงว่าการผสมโพลิยูรีเทนโพนชนิดความหนาแน่นสูงชนิดนี้ต้องการแรงกระทำที่พอเหมาะที่ค่าหนึ่งซึ่งไม่น้อยจนของผสมเกิดการผสมกันอย่างไม่ทั่วถึงและต้องไม่มากจนเกินไปที่จะเป็นการไปเพิ่มปริมาณฟองอากาศในระบบ โดยจากการทดลองพบว่าแรงกระทำที่ให้เข้าไปในรูปของความเร็วยรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 800 ถึง 1000 รอบต่อนาที ซึ่งผลของขนาดฟองอากาศที่แสดงความสัมพันธ์ต่อความเร็วยรอบในการปั่นกวนจะต้องแสดงความสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่จะวิเคราะห์ในลำดับต่อไป และพบว่าที่ความเร็วยรอบของการปั่นกวนเดียวกัน ถ้าเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้นเป็น 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ มีผลให้ขนาดฟองอากาศโตขึ้น สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันว่าการใช้เวลาในการปั่นกวนผสมที่นานมากขึ้นเข้าใกล้เวลาของการเกิด Creamtime ทำให้การปั่นกวนไปรบกวนการสร้างสายโซ่โพลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อใช้เวลาในการปั่นกวนมากขึ้น ยิ่งเป็นการรบกวนมากขึ้นจึงเป็นผลให้มีปริมาณฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มากขึ้น การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเซลล์จึงมีความไม่เป็นระเบียบ (Ununiform cell) ซึ่งผลของปริมาณฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล สำหรับที่ความเร็วยรอบและเวลาที่เหมาะสมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีฟองอากาศปริมาณน้อยและมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดของเซลล์โพลิยูรีเทนจนกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่าการจัดเรียงตัวของเซลล์เป็นแบบ Uniform cell



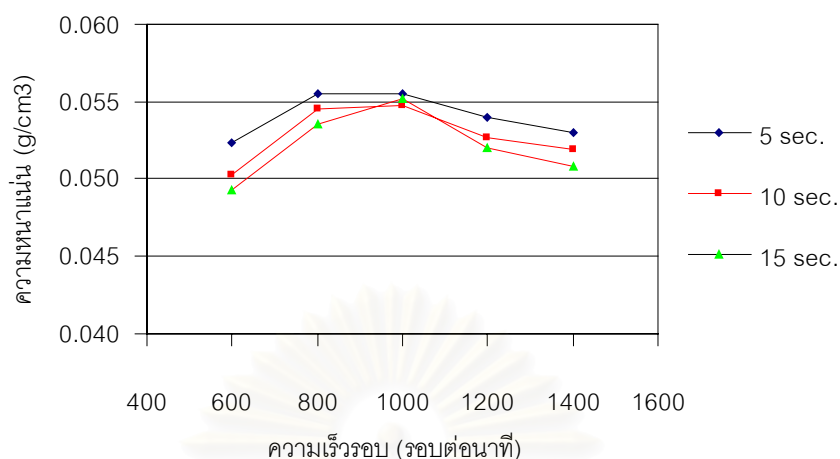
## 2. ความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นขึ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณ ได้ดังตารางที่ 4-41 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-49 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
เวลาผสม (วินาที)					
5	0.052	0.056	0.056	0.054	0.053
10	0.050	0.055	0.055	0.053	0.052
15	0.049	0.054	0.055	0.052	0.051

ตารางที่ 4-41 แสดงค่าความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-49 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับ จำนวนรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-41 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-49 พบว่าความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของการปั่นกวน โดยความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาทีจนถึงช่วงประมาณ 800 รอบต่อนาที หลังจากนั้นความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1400 รอบต่อนาที จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าว พบว่าที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที มีความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนน้อยเกินไปจึงไม่สามารถทำให้ของผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนมากกว่า 1000 รอบต่อนาทีก็เป็นความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนมากเกินไป ซึ่งมีผลต่อขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในซึ่งงานของผลิตภัณฑ์ทำให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้น ขนาดฟองอากาศที่โตขึ้นนั้นย่อมส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของซึ่งงานผลิตภัณฑ์ให้มีค่าน้อยลงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (17) ดังนั้นความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ดีและเหมาะสมให้ค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงซึ่งงานผลิตภัณฑ์อ้างอิงที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 800 รอบต่อนาที และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเดียวกัน ถ้าเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้นตั้งแต่ 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ มีผลให้ความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงซึ่งก็ยังคงคล้องกับขนาดฟองอากาศดังสมการที่ (17) อีกนั่นเอง สำหรับที่ความเร็วรอบและเวลาที่เหมาะสมจะสามารถเตรียมซึ่งงานผลิตภัณฑ์ที่มีฟองอากาศปริมาณ

น้อยและฟองอากาศมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดของเซลล์โพลีเอทิลีนโพรพิลีนจนกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วก็ยังให้ค่าความหนาแน่นที่มีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิงอีกด้วย

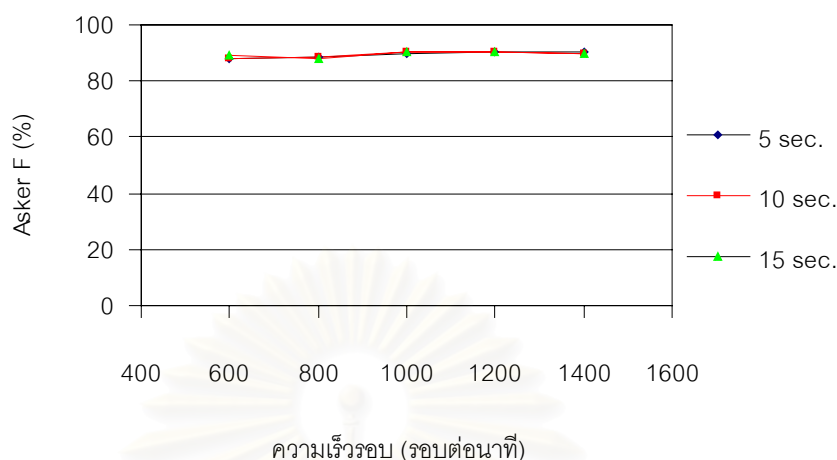
### 3. ความแข็งแรงชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่างๆ นำมาทดสอบความแข็งแรงชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-42 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-50 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดความแข็งแรงด้วย Asker F, %					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
เวลาผสม (วินาที)					
5	88.00	88.80	89.92	90.64	90.12
10	88.24	88.75	90.08	90.48	89.60
15	89.00	88.24	90.56	90.20	89.56

ตารางที่ 4-42 แสดงค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-50 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็ง กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแข็งผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

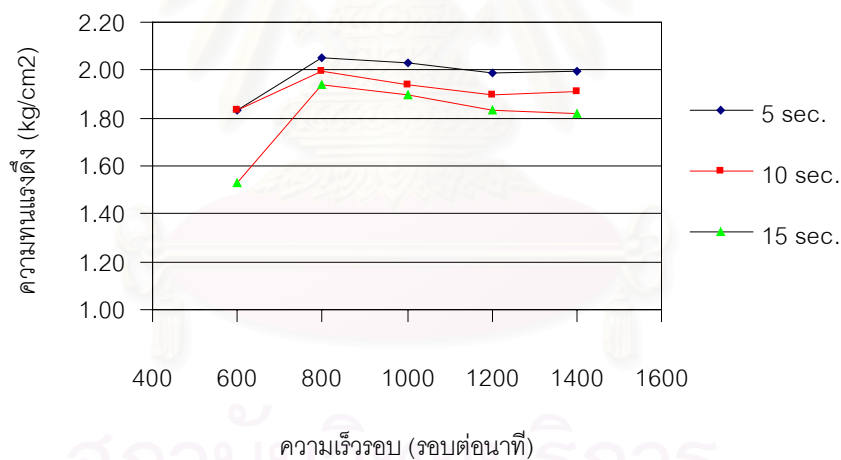
ผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-50 พบว่าความแข็งชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซิลิโคนสเตบิไลเซอร์ ซึ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพของซิลิโพลียูรีเทนให้มีชิ้นงานโพลียูรีเทนมีความแข็งตามที่ต้องการ รายละเอียดต่าง ๆ ของซิลิโคนสเตบิไลเซอร์สามารถดูได้ในหัวข้อ 2.4.5

#### 4. ความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-43 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-51 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความทนแรงดึง, kg/cm <sup>2</sup>						
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
	5		1.83	2.05	2.03	1.99
10		1.83	2.00	1.94	1.90	1.91
15		1.53	1.94	1.90	1.83	1.82

ตารางที่ 4-43 แสดงค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-51 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึง กับความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยและควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

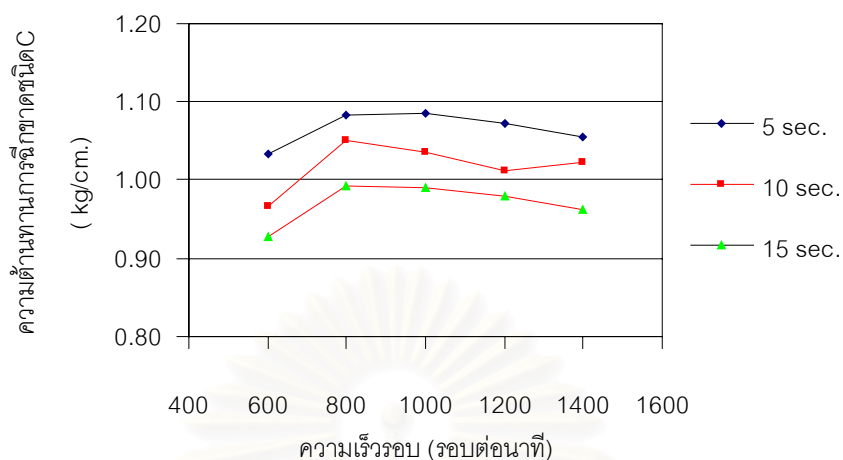
จากผลการทดลองที่ได้ตั้งกราฟรูปที่ 4-51 พบว่าเมื่อความเร็วรอบน้อยกว่า 800 รอบต่อนาที ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากความเร็วรอบน้อยเกินไปจะทำให้ของผสมสามารถปั่นกวนให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์, เมื่อความเร็วรอบมากกว่า 1000 รอบต่อนาทีและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงเนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลง เป็นเหตุให้ค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

#### 5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C- tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบได้ตั้งตารางที่ 4-44 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ตั้งรูปภาพที่ 4-52ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด(Die - C - tear), kg/cm						
		600	800	1000	1200	1400
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)					
	5	1.03	1.08	1.09	1.07	1.05
10	0.97	1.05	1.04	1.01	1.02	
15	0.93	0.99	0.99	0.98	0.96	

ตารางที่ 4-44 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-52 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

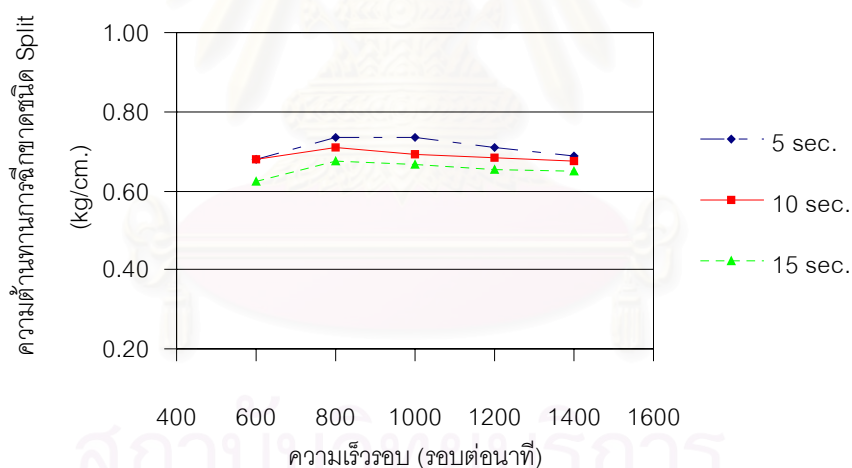
จากผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-52 พบว่าเมื่อความเร็วรอบน้อยกว่า 800 รอบต่อนาที ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากความเร็วรอบน้อยเกินไปที่จะทำให้ของผสมสามารถปั่นกวนให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ จึงเป็นผลให้ฟองอากาศขนาดใหญ่, เมื่อความเร็วรอบมากกว่า 1000 รอบต่อนาทีและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การยึดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นลดต่ำลง เป็นเหตุให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C-tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง

#### 6. ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-45 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 4-53 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด(split tear), kg/cm						
เวลาผสม (วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
	5		0.68	0.73	0.74	0.71
10		0.68	0.71	0.69	0.69	0.67
15		0.62	0.67	0.67	0.65	0.65

ตารางที่ 4-45 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบกรวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-53 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยไบกรวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส



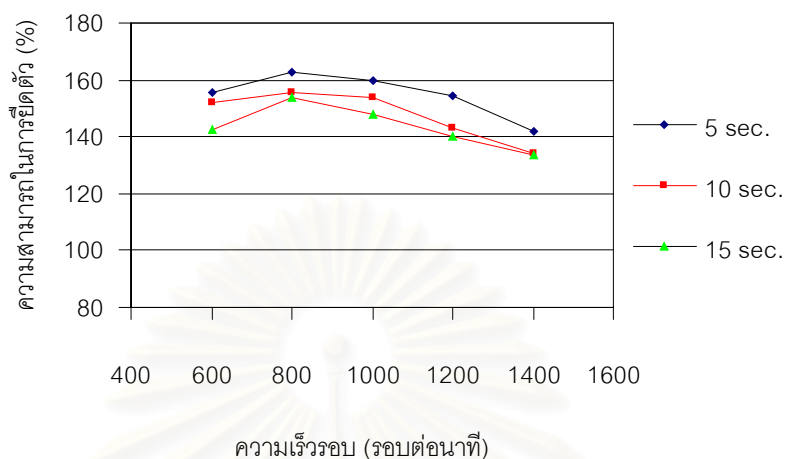
จากความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ดังรูปกราฟที่ 4-53 จากผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4-53 พบว่าเมื่อความเร็วรอบน้อยกว่า 800 รอบต่อนาที ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เนื่องจากความเร็วรอบน้อยเกินไปที่จะทำให้ของผสมสามารถปั่นกวนให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ จึงเป็นผลให้ฟองอากาศขนาดใหญ่ เมื่อความเร็วรอบมากกว่า 1000 รอบต่อนาทีและเวลาในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด ชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

## 7. ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาทดสอบความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4-46 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังรูปกราฟที่ 4-54 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่าความสามารถในการยึดตัว, %					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
เวลาผสม (วินาที)					
5	155.33	163.00	160.00	154.33	142.00
10	152.00	155.67	153.67	143.00	134.33
15	142.67	153.67	148.00	140.35	133.67

ตารางที่ 4-46 แสดงค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-54 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัว กับ ความเร็วรอบของการปั่น กวน เท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยึดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 4 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

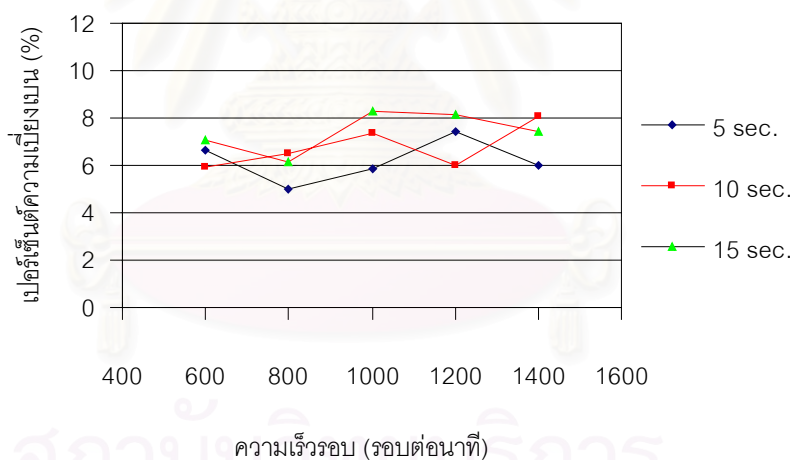
ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-46 เมื่อแสดงผลในรูปแบบของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-54 พบว่า ความสามารถในการยึดตัวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อจำนวนรอบการปั่นกวนเพิ่มขึ้นจาก 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากผลการทดลองก่อนหน้านี้พบว่าความสามารถในการยึดตัวมีความสัมพันธ์กับขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ แต่ในการทดลองพบว่า ค่าความสามารถในการยึดตัวเมื่อความเร็วรอบของการปั่นกวนเพิ่มขึ้นมีค่าแตกต่างกันไม่มาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสัดส่วนปริมาตรของเนื้อโพลียูรีเทนโฟม ต่อสัดส่วนปริมาตรฟองอากาศ ในแต่ละความเร็วรอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม มีค่าไม่แตกต่างกันนั่นเอง

## 8. เปรอ์เซ็นต์ความเป็ยเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่าง ๆ นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็ยเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงผลการตรวจวัดได้ ดังตารางที่ 4-47 และสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ ดังรูปกราฟที่ 4-55 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน, %					
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	600	800	1000	1200	1400
เวลาผสม (วินาที)					
5	6.64	4.97	5.86	7.43	6.02
10	5.95	6.47	7.34	6.00	8.05
15	7.09	6.12	8.31	8.16	7.46

ตารางที่ 4-47 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4-55 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนกับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 600, 800, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มเวลาของการปั่นกวนทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-47 เมื่อแสดงผลในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-55 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะแฉ่งในช่วง 4.47 ถึง 7.43 สำหรับเวลาของการ

ปั่นกววน 5 วินาที 5.95 ถึง 8.05 สำหรับเวลาของการปั่นกววน 10 วินาที และ 6.12 ถึง 8.31 สำหรับเวลาของการปั่นกววน 15 วินาที ลักษณะของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของค่าการตรวจวัดชิ้นงานนั้นมีการแกว่ง จึงไม่สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ที่มีต่อความเร็วรอบของการปั่นกววนในช่วง 600 ถึง 1400 รอบต่อนาทีได้ แต่สิ่งที่ได้จากผลการทดลองพบว่า ที่ความเร็วรอบของการปั่นกววน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกววน 5 วินาที ให้เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของการตรวจวัดน้อยที่สุดมีค่า 4.97 และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของการปั่นกววนและเวลาดังกล่าวนี้ก็พบว่า ค่าการตรวจวัดเกือบทั้งหมดให้ค่าที่ดีที่สุดของช่วงขอบเขตของการทดลองด้วย นั่นแสดงว่าการปั่นกววนผสมนอกจากจะต้องเลือกชนิดของใบกววนที่เหมาะสมแล้วยังคงต้องกำหนดสภาวะของการปั่นกววนโดยเฉพาะความเร็วรอบของการปั่นกววนและเวลาของการปั่นกววนที่เหมาะสมด้วย ในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปแบบของตารางเพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้นดังตารางที่ 4-49

#### 9. ผลสรุปการทดลองการใช้ใบกววนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw ในการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความเร็วรอบและเวลาต่างๆ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการเตรียมชิ้นงานด้วยใบกววนชนิด Double helical ribbon screw ได้ที่ความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการปั่นกววนเท่ากับ 5 วินาที ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์โพลียูรีเทนโฟม กับชิ้นงานที่อ้างอิง ได้ดังตารางที่ 4-48

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROPERTIES	UNIT	Double Helical ribbon screw	REFERENCE	Different percent
		NO.5	Slabstock foam	
Cell structure		Uniform	Uniform	
Pinhole size	cm.	0.064	0.065	-1.54
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.056	0.056	0.00
Hardness				
Shore 000	%	68.28	70.08	-2.57
Asker F	%	89.92	89.88	0.04
PTC	%	93.44	93.08	0.39
Strength				
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	2.03	2.00	1.50
c-tear	Kg/cm.	1.09	0.97	12.37
s-tear	Kg/cm.	0.74	0.70	5.71
Strain				
Elongation	%	160.00	150.42	6.37
Perfected mix.				
Deviation	%	5.86	2.65	

ตารางที่ 4-48 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้จากการผลิตในระบบการผลิตแบบสแลบสต็อกโฟม

สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าการเตรียมโพลียูรีเทนโฟมโดยใช้ไบคอนชนิด Double helical ribbon screw เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ด้วยการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์โดยสภาวะที่ดีที่สุดของการใช้ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw พบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงหรือเกือบจะเท่ากับค่าอ้างอิงโดยเฉพาะค่าที่กำหนดเงื่อนไขของคุณสมบัติชิ้นงาน เช่น ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ความแข็ง ค่าความทนแรงดึง เป็นต้น ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้นำแสดงไว้ในตารางที่ 4-48 ซึ่งพบว่าชิ้นงานที่ดีที่สุดที่เกิดจากการเตรียมด้วยไบคอนชนิด Double

helical ribbon screw ก็ยังคงมีฟองอากาศปะปนอยู่ในชิ้นงานบ้างแต่มีขนาดเล็กและปริมาณที่น้อยในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล โดยพิจารณาจากค่าการตรวจวัดทางกายภาพและค่าตรวจวัดเชิงกลพบว่า มีค่าที่เกือบจะเท่ากับกับค่าคุณสมบัติของชิ้นงานอ้างอิง แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพของการผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี จึงสามารถให้การเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ มีผลให้โครงสร้างของโพลียูรีเทนโฝมมีความแข็งแรงโดยมีคุณภาพเท่ากับกระบวนการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ด้วยระบบสแลบสต็อกโฝม และสิ่งที่บอกถึงความสามารถของการผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันคือ ค่าความเบี่ยงเบนของชิ้นงาน พบว่ามีค่า ประมาณ 5.86 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิง เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานพบว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดจากการทำการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา แม้ว่าจะมีค่าแตกต่างจากกระบวนการผลิตแบบสแลบสต็อกโฝม อยู่บ้างก็ตาม แต่ภาพโดยรวมส่วนใหญ่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเทียบเคียงกับชิ้นงานอ้างอิงได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw มีความเหมาะสมที่สุดในจำนวนชนิดของไบคอนที่เลือกมาศึกษาการผสมโพลียูรีเทนโฝมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยัดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ และจากการทดลองโดยใช้ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าทางกายภาพและค่าเชิงกลที่มีความสัมพันธ์ต่อกันได้ดังนี้

ขนาดฟองอากาศ	ความหนาแน่น	stress	strain
เล็ก	มาก	มาก	มาก
↓	↓	↓	↓
โต	น้อย	น้อย	น้อย

จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบและเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลียูรีเทนโฝมชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยพบว่า ความสัมพันธ์ของความเร็รรอบของการปั่นกวนในช่วงใกล้ ๆ ระดับ 1000 รอบต่อนาที จะมีผลการเกิดปฏิกิริยาที่ให้ผลค่อนข้างสมดุลกันของขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ อีกทั้งพบว่าความเร็รรอบที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ การให้ความเร็รรอบมากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดแรงกระทำ ซึ่งเป็นมีผลรบกวนการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มาก ดังนั้นการเลือกใช้ความเร็รรอบให้

เหมาะสมต่อการผสมเพื่อเตรียมชิ้นงานนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง จากการทดลองที่ผ่านมาทั้ง 4 การทดลองได้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการพิจารณาเลือกใบกวนและความเร็วรอบของการปั่นกวนอย่างมีทิศทาง เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบกันดังตารางที่ 4-49

Properties	unit	ชนิดของใบกวน					Continuous Slabstock foam
		NO.5	NO. 4	NO.3	NO.2	NO.1	
Cell structure		uniform	ununiform	ununiform	ununiform	ununiform	uniform
Pinhole size	cm.	0.064	0.119	0.085	0.098	0.108	0.065
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.056	0.055	0.051	0.051	0.052	0.056
Hardness							
Shore 000	%	68.28	66.60	68.40	66.80	60.68	70.08
Asker F	%	89.92	90.96	92.16	91.52	87.76	89.88
PTC	%	93.44	93.96	95.84	94.60	84.40	93.08
Strength							
Tensile	kg/cm <sup>2</sup>	2.03	1.67	1.70	1.64	1.41	1.98
c-tear	kg/cm.	1.09	0.94	1.05	0.92	0.91	0.92
s-tear	kg/cm.	0.74	0.61	0.85	0.70	0.66	0.70
Strain							
Elongation	%	160.00	135.67	146.33	139.33	157.67	150.42
Perfected mix.							
Deviation	%	5.86	5.98	6.85	7.16	7.34	2.65

ตารางที่ 4-49 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนทั้ง 5 ชนิด โดยที่ชนิดที่ 1 คือ Six blade flat blade turbine ชนิดที่ 2 คือ Four blade anchor ชนิดที่ 3 คือ Pitch blade turbine และชนิดที่ 4 คือ Doublemotion horseshoe-paddle และชนิดที่ 5 คือ Double helical ribbon screw ควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 วินาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการผลิตแบบสแลบสต็อกโฟม

ผลจากตารางที่ 4-49 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที อุณหภูมิของสารก่อน

ทำปฏิกิริยา 20 องศาเซลเซียส ของใบกวนทั้ง 5 ชนิด พบว่าคุณสมบัติของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของชิ้นงานที่เตรียมจากใบกวนชนิดอื่น ๆ โดยผลการศึกษาคัดค้านกับความสัมพันธ์ของความหนืดของของเหลวที่มีผลต่อการเลือกชนิดของใบกวน ดังรูปที่ 2-12 และผลของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลเกือบทุกค่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิงมาก ยกเว้นเพียงขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่ยังคงมีขนาดโตกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่าง ๆ เพียงเล็กน้อยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการทดลองการเลือกชนิดของใบกวนได้ว่าใบกวนที่เลือกใช้ในการทดลองติดตามความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นๆ ต่อไปคือใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.2 เวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยัดหยุ่น (Minimum time Requirement)

จากหัวข้อ 4.1 ได้ศึกษาชนิดของใบกวนเพื่อใช้ในการปั่นกวนของผสมให้เกิดปฏิกิริยาเป็นโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ บัดนี้ผลการศึกษาค้นคว้าได้จับลึกลงและพบว่า ใบกวนทั้ง 5 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย

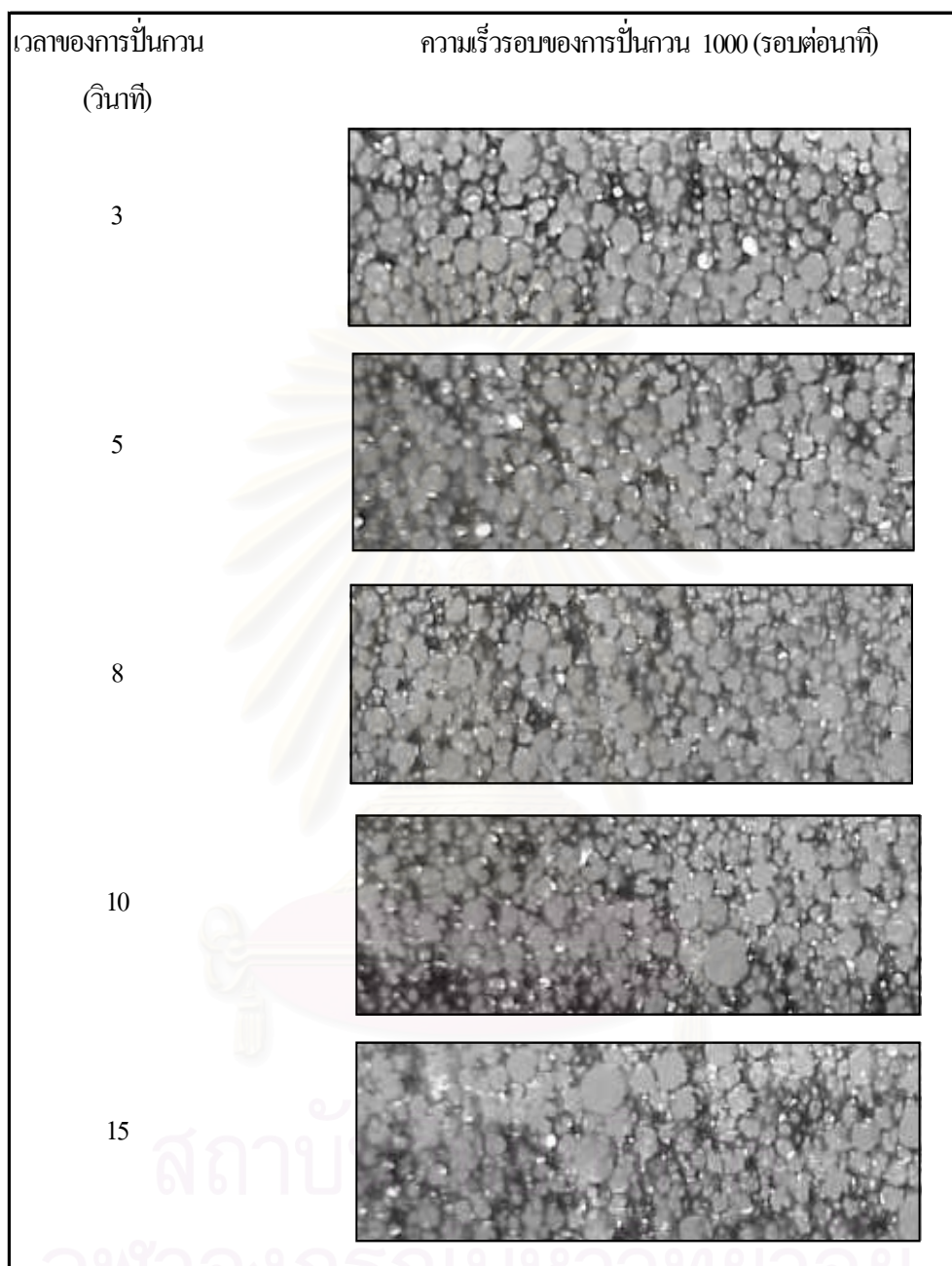
- ใบกวนชนิดที่ 1 Six blade flat blade turbine
- ใบกวนชนิดที่ 2 Four blade anchor
- ใบกวนชนิดที่ 3 Pitch blade turbine
- ใบกวนชนิดที่ 4 Double motion horseshoe-paddle
- ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw

พบว่าใบกวนชนิดที่ 5 เป็นใบกวนที่เหมาะสมที่สุดในจำนวนใบกวนทั้ง 5 ชนิด ดังนั้นในการดำเนินการทดลองต่อไปใช้ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw เพื่อศึกษาหาเวลาที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ โดยการทดลองจะรักษาระดับความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ 1000 รอบต่อนาที และ อุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส และทำการแปรเปลี่ยนเวลาของการปั่นกวนดังนี้ 3 , 5 , 8 , 10 และ 15 วินาที ซึ่งการทดลองในหัวข้อ 4.1 มีผลการทดลองการแปรเปลี่ยนเวลาของการปั่นกวนผสมบ้างแล้ว ซึ่งพบว่าการใช้เวลาของการปั่นกวนที่นานจนเข้าใกล้ Cream time ประมาณ 15 วินาทีส่งผลให้มีฟองอากาศปนอยู่ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มากและทำให้ค่าทางกายภาพและค่าเชิงกลมีค่าลดต่ำลง ดังนั้นอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนจะได้รับการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

#### ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนผสมต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยัดหยุ่น

ในการทดลองศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 ตามลำดับ โดยใช้ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ใช้ใบกวนผสมชนิด Double helical ribbon screw ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

### 1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4-56 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที ที่เวลาของการปั่นกวนผสม 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

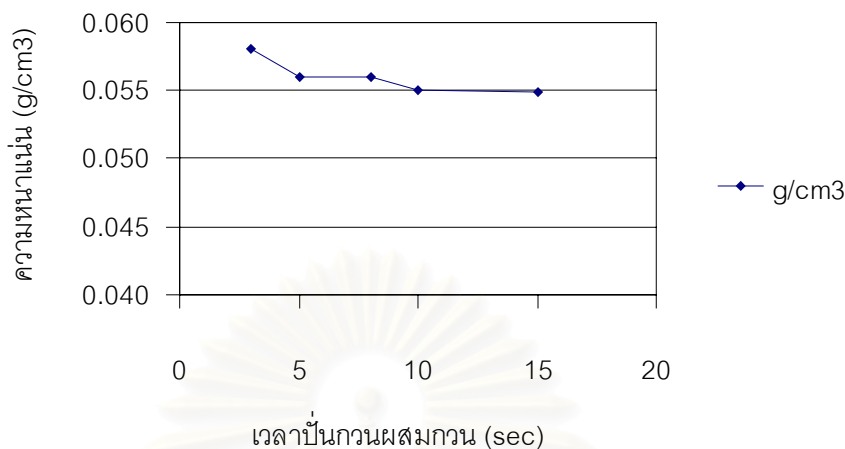
จากรูปที่ 4-56 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์และขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ซึ่งชิ้นงานผลิตภัณฑ์เตรียมด้วยใบกวน ชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่าง ๆ พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น โดยผลการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถแสดงได้ในลำดับต่อไป

## 2. ผลของการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติเชิงกล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ แสดงได้ดังตาราง

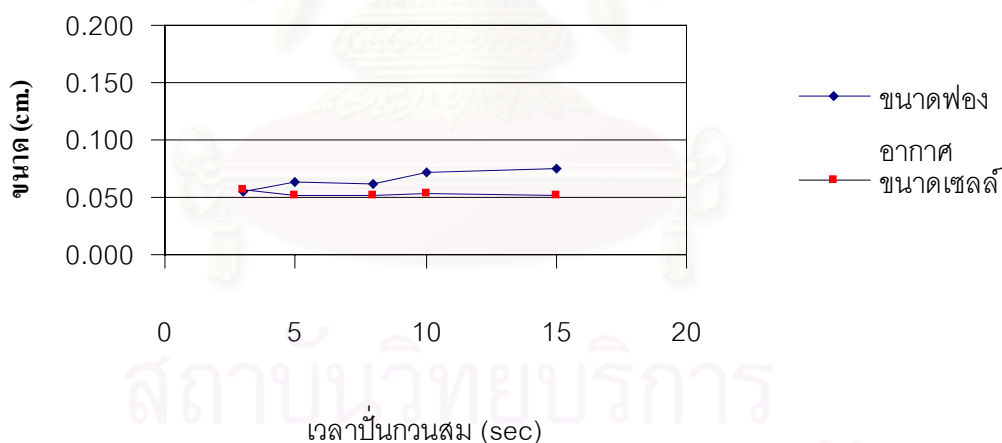
time	density	PH size	cell size	DUROMETER			STRENGTH			STRAIN	Deviation.
				Shore 000	askerF	PTC	tensile	c-tear	s-tear	elong.	
sec.	g/cm <sup>3</sup>	cm.	cm.	%	%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm.	kg/cm.	%	
3	0.058	0.055	0.057	68	91	96	2.13	1.14	0.78	163	5.43
5	0.056	0.064	0.052	68	90	93	2.03	1.09	0.74	160	5.86
8	0.056	0.061	0.052	68	91	93	2.00	1.08	0.70	156	5.86
10	0.055	0.072	0.053	68	90	94	1.94	1.04	0.69	154	7.34
15	0.055	0.075	0.052	69	91	94	1.90	0.99	0.67	148	8.31

ตารางที่ 4-50 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยืดตัว) เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที เวลาของการปั่นกวนผสม 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ

จากผลการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-50 สามารถแสดงผลดังกราฟ ดังต่อไปนี้



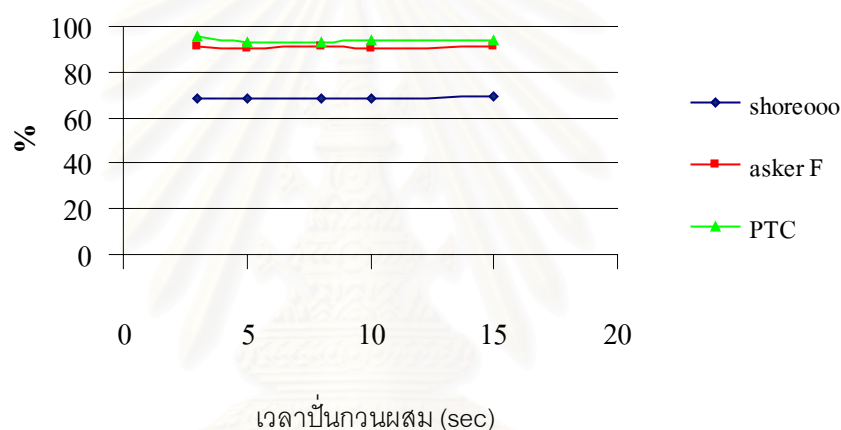
รูปที่ 4-57 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์ กับเวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-58 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเซลล์ กับเวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

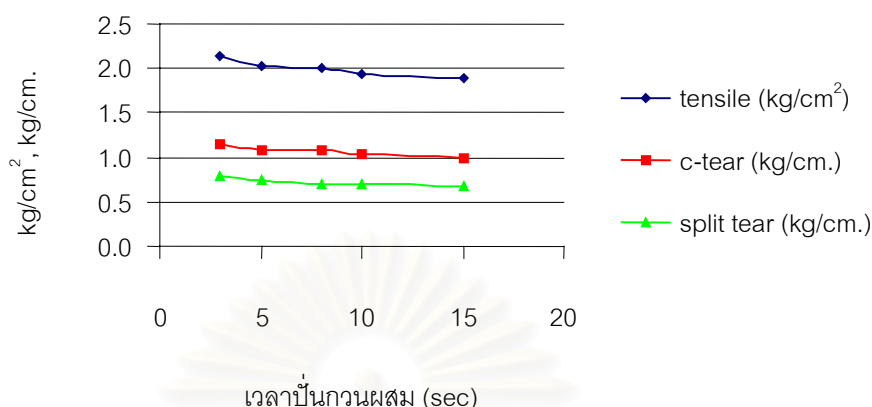
จากผลการตรวจวัดความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ได้ผลดังกราฟรูปที่ 4-57 พบว่าเมื่อ

เวลาที่ใช้ในการปั่นกวน น้อยกว่า 5 วินาที ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนน้อยเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้สัดส่วนของปริมาณฟองอากาศต่อสัดส่วนเมื่อโพลียูรีเทนมีค่าต่ำลง จึงเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิง และเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนมากกว่า 5 วินาที ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีค่าความหนาแน่นค่อนข้างคงที่ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับสมการที่ 17 นั่นคือถึงแม้ว่าเวลาที่ใช้ในการกวนผสมจะมากขึ้นแต่สัดส่วนปริมาณฟองอากาศที่กระจายในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีค่าไม่แตกต่างกันจึงเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการตรวจวัดความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์พบว่าเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 5 วินาที



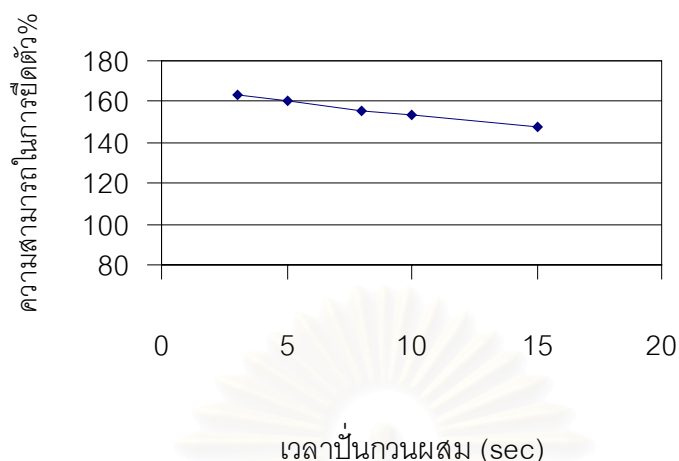
รูปที่ 4-59 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (shore000, asker F และ PTC) กับ เวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจวัดค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-59 พบว่าค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซิลิโคนสเตบิลไลเซอร์ ซึ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพของเซลล์โพลียูรีเทนโฟม (รายละเอียดคุณสมบัติของซิลิโคนสเตบิลไลเซอร์ สามารถดูได้ในหัวข้อ 2.4.5) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนจึงไม่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์นั่นเอง



รูปที่ 4-60 แสดงความสัมพันธ์ของ stress (ค่าความทนแรงดึง, ค่าความต้านต่อการฉีกขาด ชนิด c-tear, ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear ) กับเวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

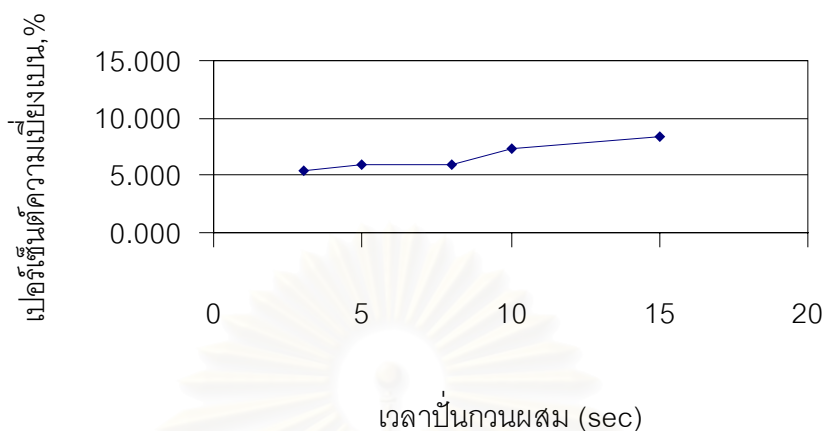
ผลการตรวจวัดค่าความเค้นต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ค่าการขาดต่อแรงดึง, ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear พบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น เป็นเหตุให้ค่าเค้นต่าง ๆ มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง



รูปที่ 4-61 แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับ เวลาของการปั่นกวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับที่ความเร็วรอบของการปั่นกวน เท่ากับ 1000 รอบต่อ นาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ของชิ้นงานที่เตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw ที่เวลาต่าง ๆ ดังกราฟรูปที่ 4-61 พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ปั่นกวนมากขึ้น ค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง โดยผลที่ได้สอดคล้อง กับผลการทดลองที่ผ่านมาโดยใช้ใบกวนชนิด ทั้ง 5 ชนิด และที่เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนต่าง ๆ ซึ่งค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนมากขึ้น ขนาดฟองอากาศที่กระจายในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-62 แสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน กับเวลาของการบ้กวนผสมที่ 3, 5, 8, 10 และ 15 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรอบของการบ้กวนเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-64 พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการบ้กวนมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานมีค่ามาก จะแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ จะมีค่าลดต่ำลง

ผลโดยสรุปสำหรับการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบ้กวนโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ พบว่าเวลาที่น้อยและเหมาะสมต่อการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw เท่ากับ 5 วินาที จากการทดลองที่ผ่านมา ดังนั้นจึง สามารถทราบถึงตัวแปร 2 ชนิดที่เหมาะสมต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ ดังนี้คือ

ตัวแปรที่ 1 ชนิดของใบกวน เป็นแบบ Double helical ribbon screw

ตัวแปรที่ 2 เวลาของการบ้กวนผสมที่เหมาะสมประมาณ 5 วินาที

ดังนั้นจะใช้สภาวะของตัวแปรที่ 1 และ 2 เพื่อดำเนินการทดลองหาความเร็วรอบในการบ้กวนที่เหมาะสมที่สุด โดยจากผลการทดลองที่ 4.5 สามารถระบุช่วงขอบเขตของความเร็วรอบของ



การปั่นกวนที่ควรศึกษาอยู่ที่ประมาณ 600 ถึง 1400 รอบต่อนาที การทดลองต่อไปตั้งหัวข้อการทดลองที่ 4.7 จะเป็นการปรับเปลี่ยนช่วงของความเร็วรอบให้ละเอียดมากขึ้นเท่ากับ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

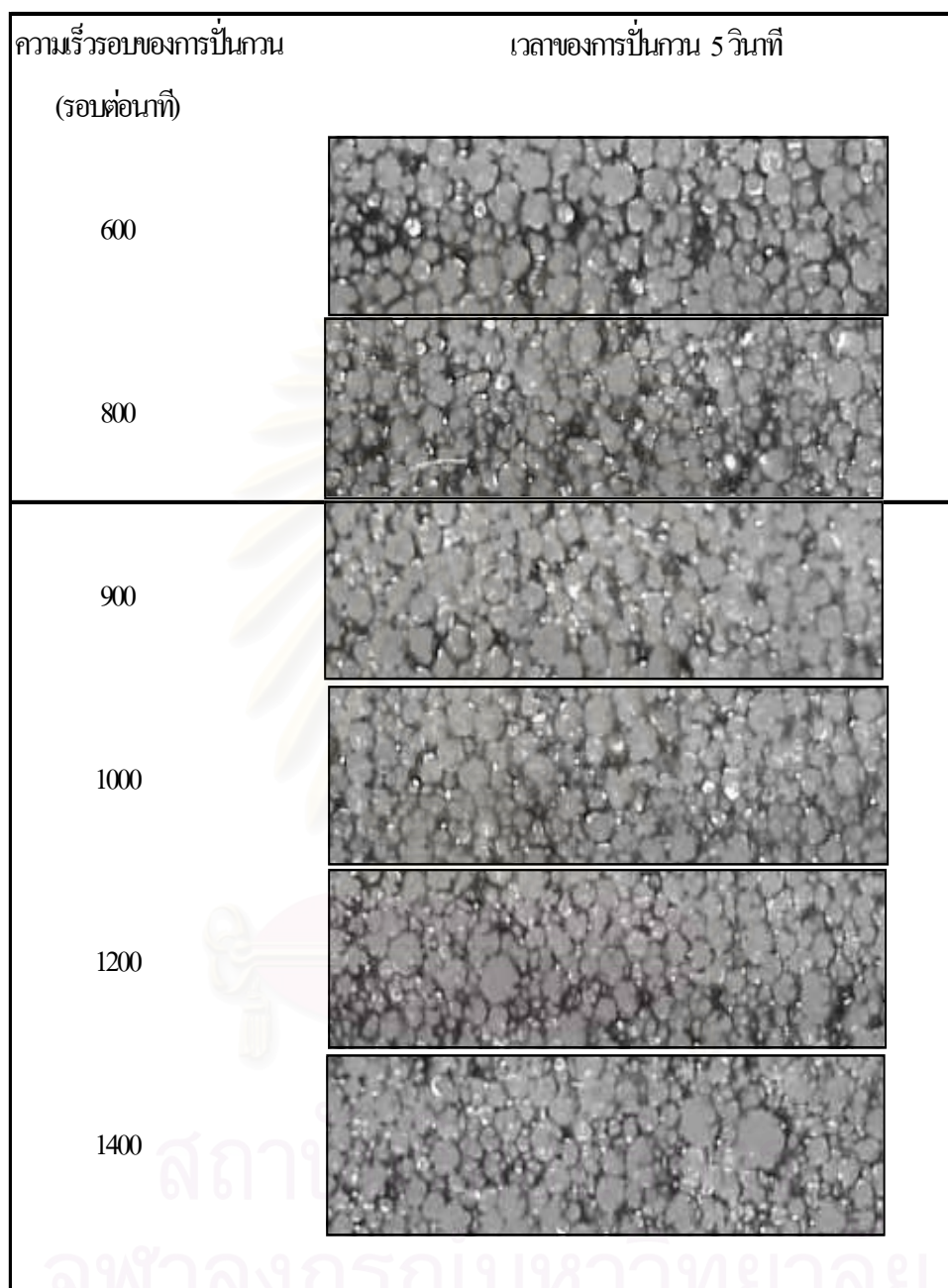
#### 4.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 สามารถเลือกใช้ใบกวนที่เหมาะสม คือใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่เหมาะสม เท่ากับ 5 วินาที ในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนชนิดความหนาแน่นสูงในถังกวนแบบแบตช์ โดยความเร็วรอบในการปั่นที่เหมาะสม จะทำการศึกษาทดลองที่ความเร็วรอบในช่วง 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

#### ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการปั่นกวนผสมโพลียูรีเทนโฟม ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่น

ในการทดลองศึกษาความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ใช้ใบกวนผสมชนิด Helical ribbon screw ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากภาคผนวก ง)

1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4-63 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิต ภาชนะที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

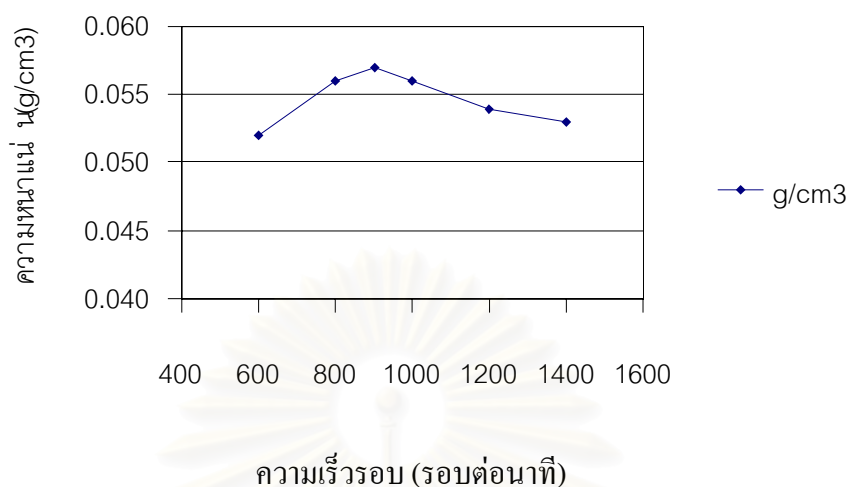
2. ผลของการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพ,คุณสมบัติเชิงกล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานที่ความเร็วรอบต่างๆ แสดงได้ดังตาราง

time mix	PHYSICAL PROPERTIES			HARDNESS			MECHANICAL PROPERTIES				devia.
	sec	den.	PH size	cell size	shore000	askerF	PTC	tensile	c-tear	s-tear	
	g/cm3	cm.	cm.	%	%	%	kg/cm2	kg/cm.	kg/cm.	%	%
600	0.052	0.071	0.066	65.68	88.00	92.32	1.83	1.03	0.68	155.33	6.64
800	0.056	0.057	0.057	65.88	88.80	92.48	2.05	1.08	0.73	163.00	4.97
900	0.057	0.079	0.050	68.60	90.92	95.04	2.15	1.15	0.78	157.67	4.07
1000	0.056	0.064	0.052	68.28	89.92	93.44	2.03	1.09	0.74	160.00	5.86
1200	0.054	0.065	0.050	67.72	90.64	94.08	1.99	1.07	0.71	154.33	7.43
1400	0.053	0.071	0.052	68.96	90.12	93.68	2.00	1.05	0.69	142.00	6.02

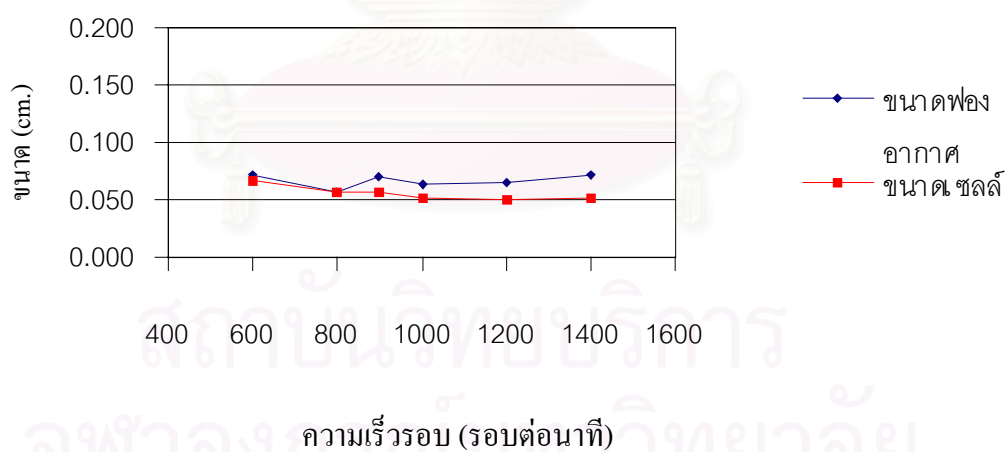
ตารางที่ 4-51 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความต้านทานต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยืดตัว) ค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบรอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยควบคุมอุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาของการปั่นกวนผสม 5 และความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

จากการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-51 สามารถแสดงผลดังกราฟ ดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

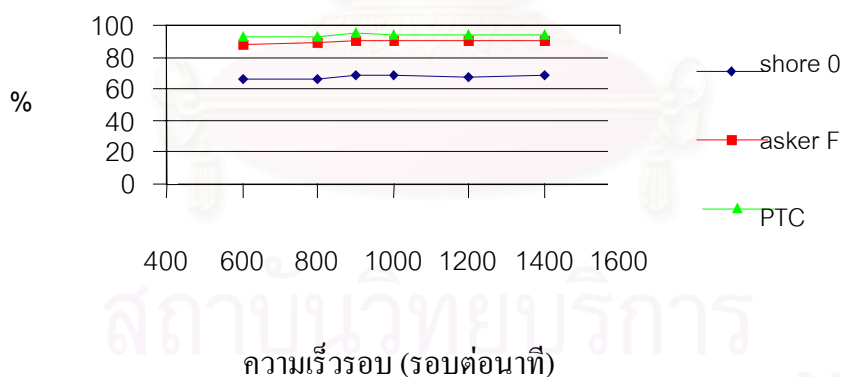


รูปที่ 4-64 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นซึ่งงานผลิตภัณฑ์ กับความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส



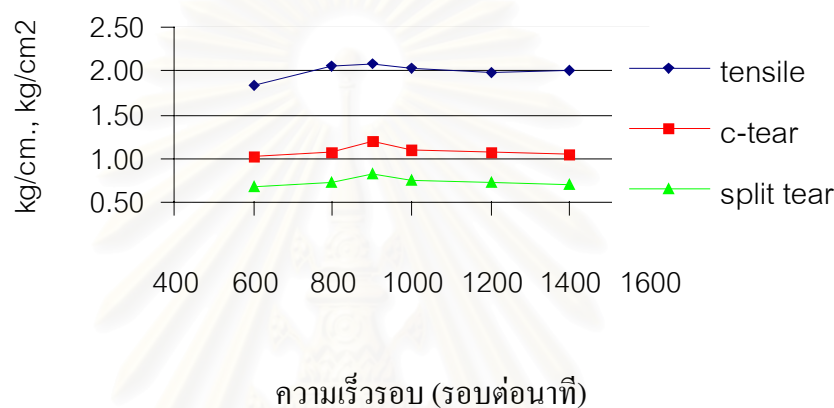
รูปที่ 4-65 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเชลล์ กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองเมื่อความเร็วในการปั่นกวนต่าง ๆ ได้ผลดังกราฟรูปที่ 4-64 และ 4-65 ตามลำดับพบว่า ความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 900 รอบต่อนาที มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิงมาก โดยเมื่อความเร็วในการปั่นกวนต่ำกว่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิง เนื่องจากความเร็วในการปั่นกวนที่ต่ำกว่า 900 รอบต่อนาที การกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดี จึงเกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ฟองอากาศมีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าชิ้นงานอ้างอิง โดยมีผลสอดคล้องกับผลของขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-65 และเมื่อความเร็วในการปั่นกวนสูงกว่า 900 รอบต่อนาที พบว่า ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลง และต่ำกว่าชิ้นงานผลิตภัณฑ์อ้างอิง แต่ขนาดฟองอากาศกลับมีขนาดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการปั่นกวนที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีมากขึ้น แต่ขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้สัดส่วนปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรของโพลียูรีเทนโฟมมีค่ามากขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับสมการที่ (17)



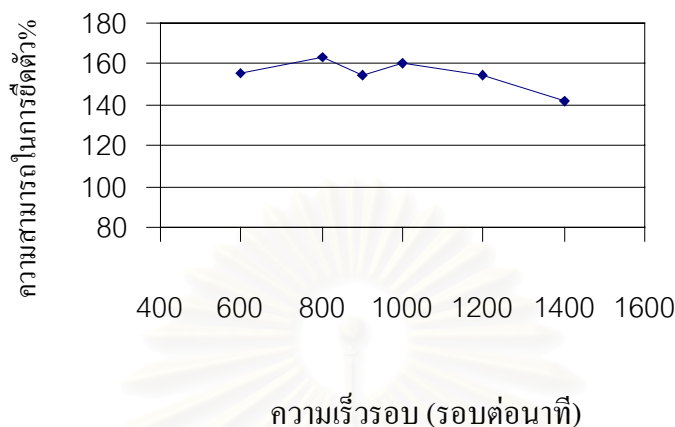
รูปที่ 4-66 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (shore000, asker F และ PTC ) กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900,1000 1200 และ1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจวัดค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-66 พบว่าค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์ ซึ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพของเซลล์โพลียูรีเทน (รายละเอียดคุณสมบัติของซิลิโคนสเตปิลไอเซอร์ สามารถดูได้ในหัวข้อ 2.4.5) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนจึงไม่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานผลิตภัณฑ์นั่นเอง



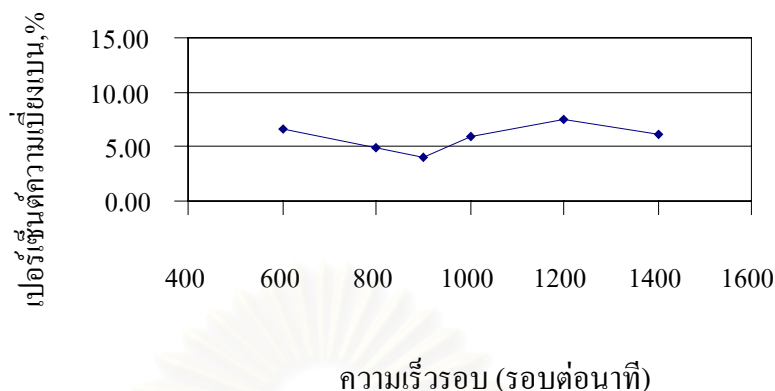
รูปที่ 4-67 แสดงความสัมพันธ์ของ stress ( ค่าการทนต่อแรงดึง , ค่าความต้านต่อการฉีกขาดชนิด c-tear , ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear ) กับ ความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600 , 800, 900 , 1000 ,1200 ,1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจวัดค่าความเค้นต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความทนแรงดึง, ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C – tear และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear พบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยค่าคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับสัดส่วนปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรของโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (17) และเมื่อพิจารณาผลการทดลองคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ พบว่าความเร็วรอบในการกวนผสมที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมเท่ากับ 900 รอบต่อนาที



รูปที่ 4-68 แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ของชิ้นงานที่เตรียมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw ที่เวลาต่าง ๆ ดังกราฟรูปที่ 4-68 พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ปั่นกวนมากขึ้น ค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมาโดยใช้ใบกวนชนิด ทั้ง 5 ชนิด และที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนต่าง ๆ ซึ่งค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อความเร็วรอบในการปั่นกวนมากขึ้น ขนาดฟองอากาศที่กระจายในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีขนาดโตขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่าความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงนั่นเอง



รูปที่ 4-69 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน กับความเร็วรอบของการปั่นกวน ผสมที่ 600, 800, 900, 1000, 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw และควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่ 20 องศาเซลเซียส

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ดังกราฟรูปที่ 4-71 พบว่า เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกวนมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบน ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสูง ขึ้นด้วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบนของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดฟองอากาศ ที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ โดยเปอร์เซ็นต์ความเป็ยงเบนของชิ้นงานมีค่ามาก จะแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ จะมีค่าลดต่ำลง

ดังนั้นจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1, 4.2 และ 4.3 สามารถทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการ เตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทน ชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ ได้คือ

ตัวแปรที่ 1 ชนิดใบกวนที่เหมาะสมเป็นแบบ Helical ribbon screw

ตัวแปรที่ 2 เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 5 วินาที

ตัวแปรที่ 3 ความเร็วรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 800 ถึง 1000 รอบต่อนาที และความเร็วรอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 900 รอบต่อนาที

ในการทดลองต่อไปจะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ที่มีผล ต่อ การเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ ดังในหัวข้อต่อไป



#### 4.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา

ในการทดลองศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม ชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตช์ สามารถดำเนินการได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิของสารเคมีที่ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

**ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูง**

ในการทดลองศึกษาอุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยา 16, 18, 20, 22 และ 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยใช้ใบกวนผสมชนิด Double helical ribbon screw ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม (องศาเซลเซียส)

16

20-22

26



เกิดการฉีกแยก

ดี

เกิดการยุบหรือหดตัว

(Split)

(Good)

(Shrinkage)

รูปที่ 4-70 แสดงอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยามีผลกระทบต่อการผลิตโพลียูรีเทนโฟม

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4-70 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่ได้เกิดการฉีกขาดซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่ออุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาสูงกว่า 22 องศาเซลเซียส ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมที่ได้ เกิดการยุบ

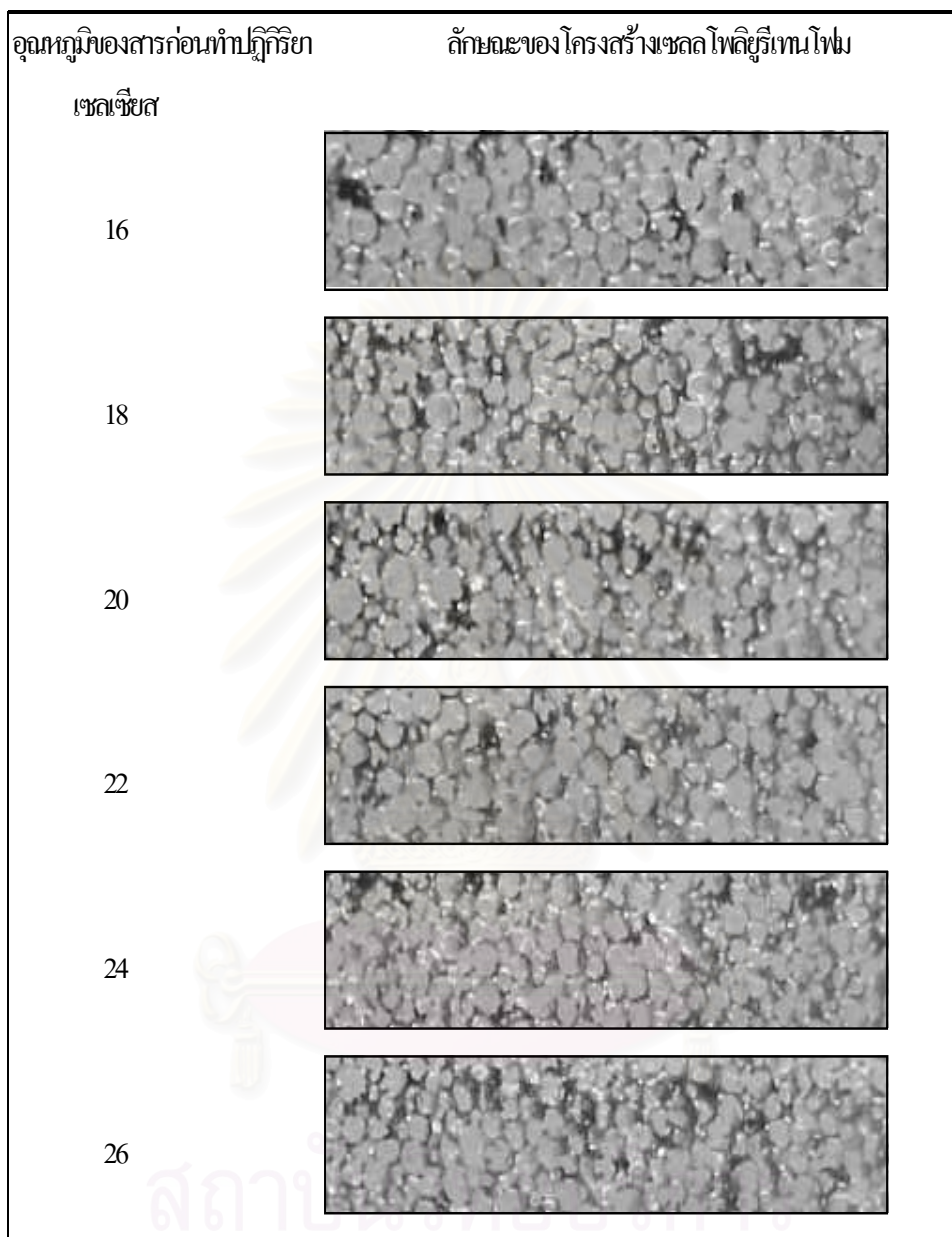
และหัตถ์ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า คุณหมุมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมอยู่ในช่วง 20 ถึง 22 องศาเซลเซียส อีกทั้งผลที่ได้ยังสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาในการเตรียมชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสแลบสติกโฟม

ทั้งนี้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว สามารถปรับแต่งปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้สามารถดำเนินการศึกษาอิทธิพลของคุณหมุมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยา ในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ลักษณะขนาดของฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4-71 ภาพกำลังขยาย 20 เท่า แสดงขนาดฟองอากาศที่กระจายตัวในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบคอนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 900 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2. ผลของการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติเชิงกล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานที่อุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยาต่าง ๆ แสดงได้ดังตาราง

				MECHANICAL PROPERTIES								
temp mix	PHYSICAL PROPERTIES			DUROMETER			STRENGTH			STRAIN	devia.	
	den.	PH size	cell size	shore00	askerF	PTC	tensile	c-tear	s-tear	elong.		
C	g/cm <sup>3</sup>	cm.	cm.	%	%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm.	kg/cm.	%	%	
16	0.057	0.070	0.057	69.08	90.72	95.76	2.09	1.18	0.81	154.67	7.38	
18	0.057	0.066	0.053	68.16	91.32	95.04	2.10	1.16	0.77	155.00	5.66	
20	0.057	0.079	0.050	68.60	90.92	95.04	2.15	1.15	0.78	157.67	4.07	
22	0.057	0.068	0.049	69.32	90.80	94.96	2.15	1.18	0.80	155.33	5.86	
24	0.057	0.069	0.048	67.76	91.00	94.80	2.14	1.16	0.76	156.00	5.96	
26	0.056	0.067	0.045	67.84	90.88	94.84	2.16	1.14	0.76	158.00	6.05	

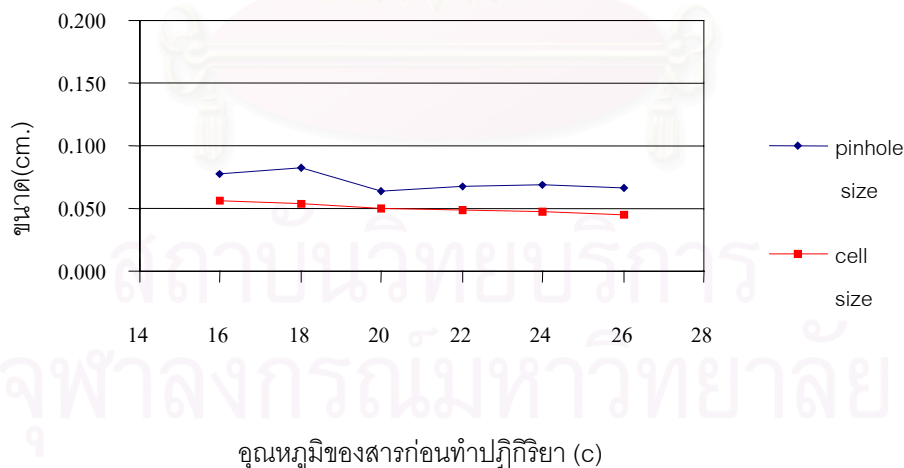
ตารางที่ 4-52 แสดงค่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์, ขนาดฟองอากาศ และขนาดของเซลล์) คุณสมบัติเชิงกล (ความแข็ง, ความต้านทานต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความสามารถในการยืดตัว) ค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ในชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วย ไบควอนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนผสมที่ 900 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที และควบคุมอุณหภูมิสารก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากผลการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 4-52 สามารถแสดงผลดังกราฟดังต่อไปนี้

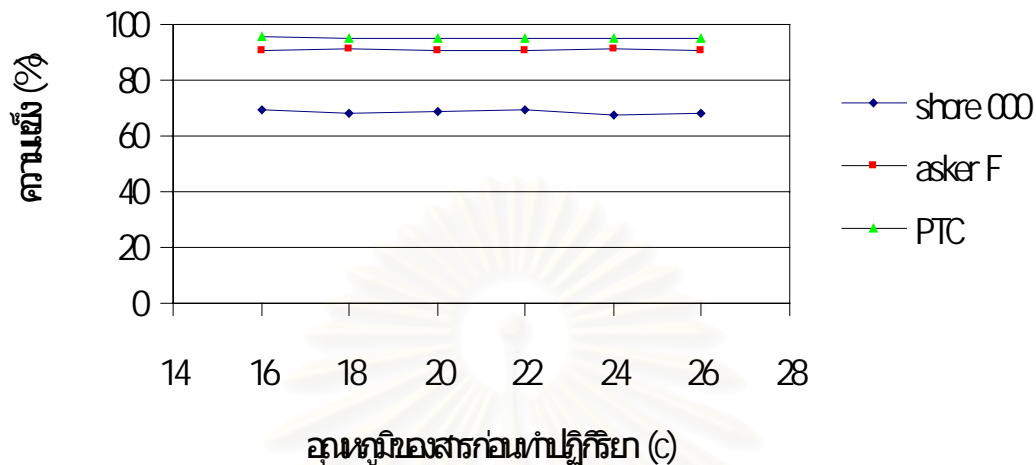
สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



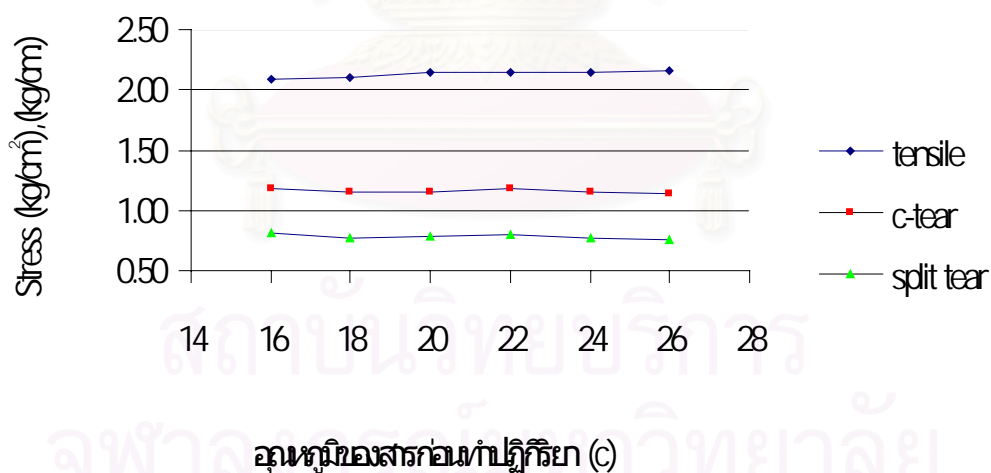
รูปที่ 4-72 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ กับอุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



รูปที่ 4-73 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดฟองอากาศและขนาดของเซลล์ กับ อุณหภูมิสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



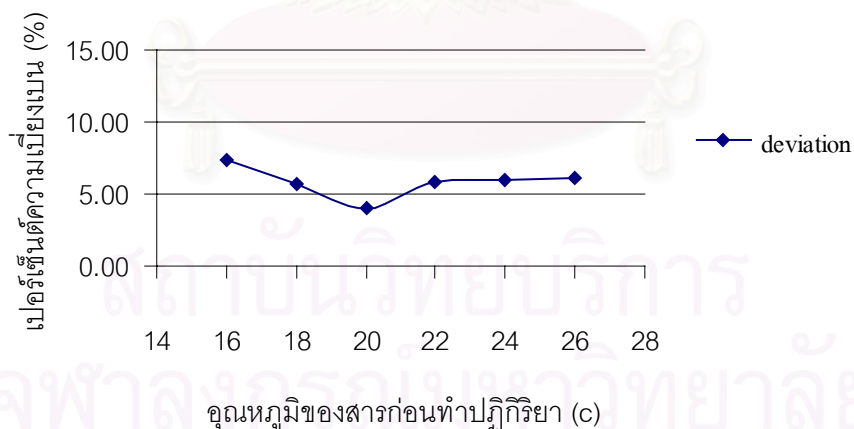
รูปที่ 4-74 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงด้วยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบ (shore000, asker F และ PTC) กับคุณสมบัติสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อวินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



รูปที่ 4-75 แสดงความสัมพันธ์ของ stress (ค่าการทนต่อแรงดึง, ค่าความต้านต่อการฉีกขาดชนิด c-tear และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด s-tear) กับ คุณสมบัติสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อวินาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



รูปที่ 4-76 แสดงความสัมพันธ์ของ strain (ความสามารถในการยืดตัว) กับ อุณหภูมิสารเคมี ก่อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw



รูปที่ 4-77 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ อุณหภูมิสารก่อนทำ ปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 16, 18, 20, 22, 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาของการปั่นกวน 5 วินาที ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที โดยการผสมด้วยใบกวนชนิดที่ 5 Helical ribbon screw

จากผลการปรับแต่งปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้สามารถดำเนินการเตรียมชิ้นงานโพลีเอทิลีน โฟม ที่อุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาต่าง ๆ พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการปรับแต่งปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นการปรับสูตรการเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยา สายโซ่โพลีเมอร์ ดังนั้นปริมาณการปรับแต่งตัวเร่งปฏิกิริยา จึงถูกคำนวณให้เหมาะสมกับสูตรการผลิต ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนั่นเอง

นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับแต่งปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้การเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์สามารถดำเนินการได้ภายใต้สภาวะ อุณหภูมิที่กว้างขึ้น โดยสามารถเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ได้ หากมีผลกระทบอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอีกทั้งยังพบว่า เมื่อสามารถดำเนินการผลิตภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ (จากเดิม 20 องศาเซลเซียส เป็น 26 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้อีกด้วยนั่นเอง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง “อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผสมโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตซ์” ในการวิจัยครั้งนี้เราพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการผสมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ รูปแบบของการผสมและสภาวะของการผสม

##### 1. รูปแบบการผสม

วิธีการเลือกชนิดของใบกวนโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพของการกวน โดยการเลือกใบกวนเพื่อทำการทดลองจำนวน 5 ชนิด ดังนี้

- ใบกวนชนิดที่ 1 Sixblade flatblade turbine
- ใบกวนชนิดที่ 2 Fourblade anchor
- ใบกวนชนิดที่ 3 Pitchblade turbine
- ใบกวนชนิดที่ 4 Doublemotion horseshoe
- ใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw

พบว่าใบกวนชนิดที่ 5 Double helical ribbon screw ให้ประสิทธิภาพของการกวนที่ดีที่สุดและเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในระบบการผสมสารเคมีเพื่อให้เกิดเป็นโพลียูรีเทนโฟมชนิดความหนาแน่นสูงแบบยืดหยุ่นในถังกวนแบบแบตซ์

##### 2. สภาวะของการผสม

สภาวะที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วยจำนวนตัวแปรของการทดลองดังนี้

ตัวแปรที่ 1 เวลาของการปั่นกวนผสมในช่วง 3 ถึง 15 วินาที

ตัวแปรที่ 2 ความเร็วรอบของการปั่นกวนในช่วง 600 ถึง 5000 รอบต่อนาที

### ตัวแปรที่ 3 อุณหภูมิของสารก่อนทำปฏิกิริยา 16 ถึง 26 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษพบว่าความเร็วรอบของการผสม มีอิทธิพลมากสำหรับการผสมและมีผลกระทบต่อโครงสร้างเซลล์ของโพลียูรีเทนโฟม ถ้าใช้จำนวนรอบในการปั่นกวนมากมีผลให้โครงสร้างเซลล์มีความไม่เป็นระเบียบ มีการกระจายตัวของฟองอากาศในชิ้นงานผลิตภัณฑ์มาก ส่งผลให้สัดส่วนปริมาตรฟองอากาศต่อสัดส่วนปริมาตรโพลียูรีเทนโฟมมาก จึงเป็นเหตุให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลมีค่าแตกต่างจากชิ้นงานอ้างอิง ซึ่งผลิตด้วยระบบการผลิตแบบสแลบสติกโฟม โดยความเร็วรอบของการปั่นกวนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 800 ถึง 1000 รอบต่อนาที และความเร็วรอบที่ดีที่สุดคือ 900 รอบต่อนาที เวลาของการปั่นกวนผสมมีอิทธิพลรองลงมาจากรอบของการปั่นกวนผสมคือ เมื่อใช้เวลาของการปั่นกวนผสมมากเกินไป (เข้าใกล้เวลาของการเกิด Cream time) ทำให้เกิดการรวมกันต่อการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์เป็นโพลียูรีเทนโฟม จึงเป็นผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานอ้างอิง จากการวิจัยพบว่าเวลาของการปั่นกวนที่น้อยที่สุดและเหมาะสม (Minimum time requirement) ในการผสมประมาณ 5 วินาที สำหรับอุณหภูมิของสารเคมีก่อนทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทนอยู่ในช่วง 20 – 22 องศาเซลเซียส โดยเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วสามารถเตรียมชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานและสารเคมีที่ใช้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าถ้าเลือกใช้สภาวะที่ดีที่สุดของตัวแปรที่ได้พิจารณาแล้วจะสามารถเตรียมชิ้นงานจากระบบห้องปฏิบัติการให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ทำการผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบสแลบสติกโฟม ได้นั้นหมายความว่าสามารถดำเนินการพัฒนาสูตรหรือองค์ประกอบทางเคมีจากห้องปฏิบัติการ เพื่อตอบสนองต่อการผลิตในกระบวนการผลิตจริง โดยสามารถลดการสูญเสียเนื่องจากการลองผิดลองถูกซึ่งแต่เดิมเคยใช้เป็นวิธีการหนึ่งของการผลิตเตรียมชิ้นงานผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ๆ ได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเทของผสมลงสู่แม่แบบ ต้องกระทำอย่างนุ่มนวล เพื่อลดปัญหาการเกิดฟองอากาศในเนื้อชิ้นงานผลิตภัณฑ์

2. เนื่องจากกระบวนการเป็นระบบแบบเบตซ์ ซึ่งควบคุมกระบวนการได้ยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิ ดังนั้นในการศึกษาอุณหภูมิของสารเคมีก่อนการปั่นกวรควรดำเนินการด้วยความรวดเร็ว เพื่อให้อุณหภูมิของสารเคมีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

3. กระบวนการยังต้องใช้แรงงานจากผู้ปฏิบัติการ ซึ่งอาจมีข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังนั้นควรปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยนำระบบควบคุมอัตโนมัติ และระบบไฮโดรลิคมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังผลให้การคำนวณและพัฒนาสูตรการเตรียมชิ้นงานโพลียูรีเทน ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการ มีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้นอีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- Daniel Klempner and Kurt C.Frisch. 1991. Handbook of polymeric foams and foam technology. Germany : Hanser Publishers.
- David Reed. 1994. Workshop 1 Low density flexible foams. Utech 94.
- David Reed. 1996. Workshop 3 Flexible slabstock polyurethane foams. Utech 96.
- David Reed. 1997. Conference papers. Utech Asia 97.
- Doyle.E.N. 1971. The development and use of polyurethane. USA : McGraw-Hill,Inc
- DW. Van Krevelen. 1990. Properties of polymers. 3rd. Netherlands : Bookcraft,Midsomer Norton.
- George woods. 1990. The ICI polyurethanes book. 2nd. Netherlands : John Wiley & Sons,Inc.
- Hepburn.C. 1992. Polyurethane elastomers. 2nd. Great Britain : Elsevier science publishers,Ltd.
- Hooland F.A. and Chapman F.S. 1966. Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks. USA : Reinhold publishing corporation.
- Oldshue Jame.Y. 1983. Fluid mixing technology. USA : McGraw-Hill,Inc.
- Shinji Nagata. 1975. Mixing principles and applications. Japan : Kodansha,Ltd.
- Vishu Shah. 1984. Handbook of plastics testing technology. USA : John Wiley & Sons,Inc
- Wirpsa.Z. 1993. Polyurethane Chemistry, technology and applications. Polymer science and technology series. Great Britain : Bookcraft,Midsomer Norton.
- บรรณเลข ศรนิล. 2540. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ปรีชา พหลเทพ. 2531. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ศิริพันธ์ สุขมาก. 2535. การใช้สารประกอบดีบุกอินทรีย์เป็นสารหน่วงการติดไฟในโพลียูรีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

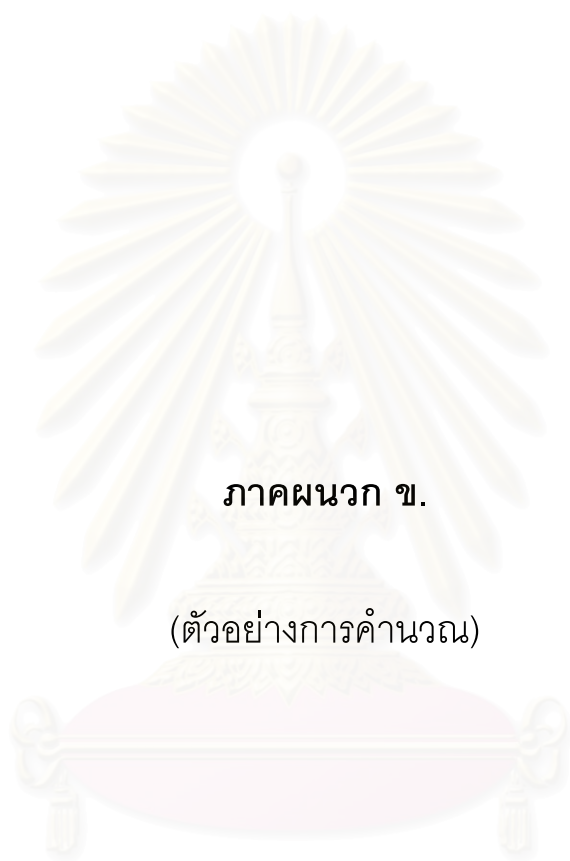
(ข้อมูลอ้างอิง)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.1

Properties	Unit		Reference	Different percent
		Hand		
		Hand	Slabstock foam	
Cell structure		Ununiform	Uniform	
Pinhole size	cm.	0.200	0.065	207.69
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.052	0.056	-7.14
Hardness				
Shore 000	%	65	70	-7.25
Asker F	%	88	90	-2.36
PTC	%	90	93	-3.23
Strength				
Tensile	Kg/cm <sup>2</sup>	1.60	1.98	-19.19
c-tear	Kg/cm.	0.60	0.92	-34.78
s-tear	Kg/cm.	0.50	0.7	-28.57
Strain				
Elongation	%	135	150	-10.25
Perfected mix.				
Deviation	%	13	2.65	

ตาราง ก-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยใบกวนแบบเก่า (Handmixing) โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานผลิตจากกระบวนการผลิตแบบสแลบสต็อกโฟม



ภาคผนวก ข.

(ตัวอย่างการคำนวณ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ข.1 การคำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมแบบยืดหยุ่น

การคำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมคำนวณได้เมื่อทราบ น้ำหนักของชิ้นงาน, ความกว้าง, ความยาว, ความหนา สามารถคำนวณความหนาแน่นได้จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.1

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงาน (g)}}{(\text{กว้าง} * \text{ยาว} * \text{หนา}) (\text{cm}^3)}$$

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดงได้ดังนี้

#### 1. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 มีน้ำหนัก 4.9781 g., กว้าง 10.01 cm., ยาว 10.01 cm. และหนา 0.97 cm.

#### 2. คำนวณค่าความหนาแน่น โดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} &= \frac{4.9781 \text{ (g)}}{(10.01 * 10.01 * 0.97) (\text{cm}^3)} \\ &= 0.052 \end{aligned}$$

สามารถคำนวณชิ้นงานที่ 1 โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.051 g/cm<sup>3</sup> และทำการคำนวณเช่นเดียวกันสำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ความหนาแน่นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.0512, 0.0514, 0.0512 และ 0.0525 ตามลำดับ

#### 3. คำนวณความหนาแน่นเฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm}^3\text{)} &= \sum_i^5 \text{ความหนาแน่น}_i \\ &= \frac{(0.0512 + 0.0514 + 0.0512 + 0.0515 + 0.0525)}{5} \\ &= 0.052 \end{aligned}$$

## ข.2 การคำนวณขนาดฟองอากาศของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมแบบยัดหยุ่น

การคำนวณขนาดฟองอากาศของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมคำนวณได้เมื่อทราบ ขนาดฟองอากาศที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ และขนาดของสเกลที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณขนาดฟองอากาศได้จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.3 ดังสมการ

$$\text{ขนาดฟองอากาศ (cm.)} = \frac{\text{ขนาดฟองอากาศที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์}}{\text{ขนาดของสเกล 1 cm. ที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์}}$$

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดงได้ดังนี้

### 2. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 วัดขนาดฟองอากาศได้ 0.24, 0.21 และ 0.21 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

### 3. คำนวณขนาดฟองอากาศโดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดฟองอากาศ (cm.)} &= \frac{(0.24 + 0.21 + 0.21) / 3}{2.04} \\ &= 0.108 \end{aligned}$$

ชิ้นงานที่ 2 วัดขนาดฟองอากาศได้ 0.25, 0.17 และ 0.24 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

ชิ้นงานที่ 3 วัดขนาดฟองอากาศได้ 0.20, 0.16 และ 0.16 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

ชิ้นงานที่ 4 วัดขนาดฟองอากาศได้ 0.25, 0.29 และ 0.26 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

ชิ้นงานที่ 5 วัดขนาดฟองอากาศได้ 0.26, 0.17 และ 0.20 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

สามารถคำนวณขนาดฟองอากาศสำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าขนาดฟองอากาศเท่ากับ 0.109, 0.086, 0.132 และ 0.104 ตามลำดับ

### 4. คำนวณขนาดฟองอากาศเฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดฟองอากาศเฉลี่ย (cm.)} &= \sum_i^5 \text{ขนาดฟองอากาศ}_i \\ &= \frac{(0.108 + 0.109 + 0.086 + 0.132 + 0.104)}{5} \\ &= 0.108 \end{aligned}$$

### ข.3 การคำนวณขนาดเซลล์ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนแบบยืดหยุ่น

การคำนวณขนาดเซลล์ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับการคำนวณหาขนาดเซลล์ การคำนวณขนาดเซลล์ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนคำนวณได้เมื่อทราบขนาดเซลล์ที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ และขนาดของสเกลที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณขนาดเซลล์ได้จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.3 ดังสมการ

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดงได้ดังนี้

#### 3. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 วัดขนาดเซลล์ได้ 0.09, 0.08 และ 0.08 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.04

#### 3. คำนวณขนาดเซลล์ โดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเซลล์ (cm.)} &= \frac{(0.09 + 0.08 + 0.08) / 3}{2.04} \\ &= 0.046 \end{aligned}$$

ชิ้นงานที่ 2 วัดขนาดเซลล์ได้ 0.10, 0.10 และ 0.10 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.02

ชิ้นงานที่ 3 วัดขนาดเซลล์ได้ 0.09, 0.09 และ 0.08 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.02

ชิ้นงานที่ 4 วัดขนาดเซลล์ได้ 0.09, 0.10 และ 0.10 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.02

ชิ้นงานที่ 5 วัดขนาดเซลล์ได้ 0.09, 0.10 และ 0.10 cm. และสเกล 1 cm. มีค่า 2.02

สามารถคำนวณขนาดเซลล์สำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าขนาดเซลล์เท่ากับ 0.035, 0.043, 0.048 และ 0.048 ตามลำดับ

#### 4. คำนวณขนาดเซลล์เฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเซลล์เฉลี่ย (cm.)} &= \sum_i^5 \text{ขนาดเซลล์}_i \\ &= \frac{(0.046 + 0.048 + 0.048 + 0.048 + 0.048)}{5} \\ &= 0.046 \end{aligned}$$

#### ข.4 การคำนวณความทนแรงดึงของชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟมแบบยืดหยุ่น

การคำนวณความทนแรงดึงของชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟมสามารถคำนวณได้ แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด และพื้นที่ภาคตัดขวางเฉลี่ย จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.4 ดังสมการ

$$\text{tensile strength (kg / cm}^2\text{)} = \frac{F}{A}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} F &= \text{แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด (kg)} \\ A &= \text{พื้นที่ภาคตัดขวางเฉลี่ย (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดงได้ดังนี้

##### 2. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 วัดค่า F ได้ 1.44, 1.43 และ 1.36 kg. ความหนา 0.97 cm., ความกว้าง 1 cm.

##### 3. คำนวณความทนแรงดึง โดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความทนแรงดึง (kg / cm}^2\text{)} &= \frac{(1.44 + 1.43 + 1.36) / 3}{0.97 * 1} \\ &= 1.45 \end{aligned}$$

ชิ้นงานที่ 2 วัดค่า F ได้ 1.46, 1.48 และ 1.46 kg ความหนา 1.01 cm. ความกว้าง 1 cm.

ชิ้นงานที่ 3 วัดค่า F ได้ 1.42, 1.36 และ 1.38 kg ความหนา 0.96 cm. ความกว้าง 1 cm.

ชิ้นงานที่ 4 วัดค่า F ได้ 1.40, 1.37 และ 1.41 kg ความหนา 1.02 cm. ความกว้าง 1 cm.

ชิ้นงานที่ 5 วัดค่า F ได้ 1.33, 1.35 และ 1.32 kg ความหนา 0.96 cm. ความกว้าง 1 cm.

สามารถคำนวณความทนแรงดึงสำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าความทนแรงดึงเท่ากับ 1.45, 1.44, 1.37 และ 1.39 ตามลำดับ

##### 4. คำนวณความทนแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{ความทนแรงดึงเฉลี่ย (kg/cm}^2\text{)} &= \sum_i^5 \text{ความทนแรงดึง}_i \\
 &= \frac{(1.45 + 1.45 + 1.44 + 1.37 + 1.39)}{5} \\
 &= 1.42
 \end{aligned}$$

### ข.5 การคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C ของชิ้นงานโพลีเอทิลีน โฟมแบบยืดหยุ่น

การคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมสามารถคำนวณได้ แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด และความหนาของชิ้นงานทดสอบ จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.5.1 ดังสมการ

$$\text{Die - Tear strength (kg/cm)} = \frac{F}{T}$$

ที่ซึ่ง

F = แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการฉีกขาด (kg)

T = ความหนาของชิ้นงานทดสอบ (cm)

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดงได้ดังนี้

#### 2. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 วัดค่า F ได้ 0.91, 0.97 และ 0.87 kg. ความหนา 0.97 cm

#### 3. คำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C โดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C (kg/cm.)} &= \frac{(0.91+0.97+0.87)/3}{0.97} \\ &= 0.92 \end{aligned}$$

ชิ้นงานที่ 2 วัดค่า F ได้ 0.90, 0.87 และ 0.99 kg ความหนา 1.01 cm.

ชิ้นงานที่ 3 วัดค่า F ได้ 0.83, 0.95 และ 0.82 kg ความหนา 0.96 cm.

ชิ้นงานที่ 4 วัดค่า F ได้ 0.92, 0.87 และ 0.90 kg ความหนา 1.02 cm.

ชิ้นงานที่ 5 วัดค่า F ได้ 0.94, 0.87 และ 0.85 kg ความหนา 0.96 cm.

สามารถคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C สำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C เท่ากับ 0.91, 0.90, 0.88 และ 0.92 ตามลำดับ

4. คำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C เฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C เฉลี่ย (kg/cm)} &= \sum_{i=1}^5 \text{ความต้านทานชนิด } C_i \\ &= \frac{(0.92 + 0.91 + 0.90 + 0.88 + 0.92)}{5} \\ &= 0.91 \end{aligned}$$

ข.5 การคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

การคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear ของชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม สามารถคำนวณได้ แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด และความหนาของชิ้นงานทดสอบ จากสมการในภาคผนวก ค. ในหัวข้อค.5.2 ดังสมการ

$$\text{Split tear strength (kg/cm)} = F$$

ที่ซึ่ง

$$F = \text{แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการฉีกขาด (kg)}$$

จากตารางข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดชิ้นงานแสดง  
ได้ดังนี้

3. ผลการตรวจวัด

ชิ้นงานที่ 1 วัดค่า F ได้ 0.58, 0.61 และ 0.67 kg.

3. คำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear โดยการแทนค่าต่างๆในสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear (kg / cm.)} &= \frac{(0.58 + 0.61 + 0.67)}{3} \\ &= 0.62 \end{aligned}$$

ชิ้นงานที่ 2 วัดค่า F ได้ 0.69, 0.67 และ 0.64 kg

ชิ้นงานที่ 3 วัดค่า F ได้ 0.56, 0.71 และ 0.68 kg

ชิ้นงานที่ 4 วัดค่า F ได้ 0.67, 0.67 และ 0.66 kg

ชิ้นงานที่ 5 วัดค่า F ได้ 0.66, 0.63 และ 0.66 kg.

สามารถคำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear สำหรับชิ้นงานที่ 2, 3, 4 และ 5  
ตามลำดับ ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear เท่ากับ 0.67, 0.65,  
0.67 และ 0.65 ตามลำดับ

4. คำนวณความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear เฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear เฉลี่ย (kg / cm)} &= \sum_{i=1}^5 \text{Split tear}_i \\ &= \frac{(0.62 + 0.67 + 0.65 + 0.67 + 0.65)}{5} \\ &= 0.66 \end{aligned}$$

## ข.6 การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนแบบยืดหยุ่น

การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5 สมการ (6)

$$s^2 = (1/n) \left[ \sum (X_i^2) \right] - X_m^2$$

ในหัวข้อการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้จะแสดงการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงานของผลการคำนวณความหนาแน่นโพลีเอทิลีนโพรพิลีน ซึ่งจะอาศัยข้อมูลจากหัวข้อ ข.1 ประกอบ

ผลการคำนวณ ค่า  $X_i$  ของความหนาแน่นทั้งสิ้น 5 ข้อมูลดังนี้ 0.0512, 0.0514, 0.0512, 0.0515 และ 0.0525 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ( $X_m$ ) เท่ากับ 0.0512 ดังนั้นคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{5} * (0.0512^2 + 0.0514^2 + 0.0512^2 + 0.0515^2 + 0.0525^2) - 0.0512^2 \\ &= 0.0004 \end{aligned}$$

## ข.7 การคำนวณเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนแบบยืดหยุ่น

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีน สามารถคำนวณได้โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานส่วนด้วยค่าเฉลี่ย ดังนี้

ในหัวข้อการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนนี้จะแสดงการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของชิ้นงานของผลการคำนวณความหนาแน่นโพลีเอทิลีนโพรพิลีน ซึ่งจะอาศัยข้อมูลจากหัวข้อ ข.1 และ ข.6 ประกอบการคำนวณ

จากหัวข้อ ข.1 คำนวณค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.0512

จากหัวข้อ ข.6 คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.0004

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบน} &= \frac{\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน}}{\text{ค่าเฉลี่ยชิ้นงาน}} * 100 \\ &= \frac{0.0004}{0.0512} * 100 \\ &= 0.73 \% \end{aligned}$$



### ข.8 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมแบบยืดหยุ่น

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟม สามารถคำนวณได้โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนส่วนด้วยจำนวนวิธีการตรวจวัด ดังนี้

จากหัวข้อ ข.7 สามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของแต่ละค่าการตรวจวัดได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความหนาแน่น = 0.73

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความแข็งชนิด shore000 = 2.61

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความแข็งชนิด AskerF = 2.70

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความแข็งชนิด PTC = 2.94

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดขนาดฟองอากาศ = 32.68

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดขนาดของเซลล์ = 14.95

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความทนแรงดึง = 3.01

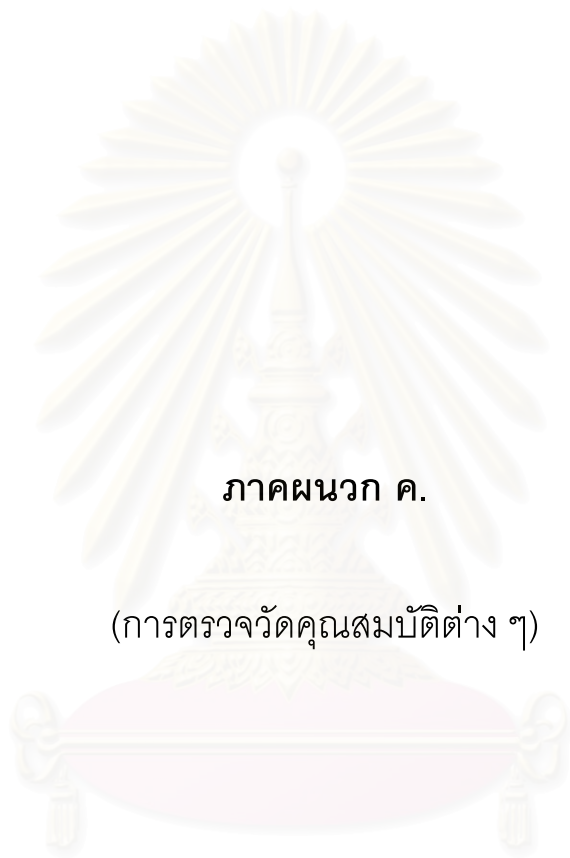
เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C = 4.48

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด S = 4.78

เปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนของการตรวจวัดความสามารถในการยืดตัว = 4.54

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน} &= \sum_{i=1}^{10} x_i \\ &= \frac{(0.73 + 2.61 + 2.70 + 2.94 + 32.68 + 14.95 + 3.01 + 4.48 + 4.78 + 4.54)}{10} \\ &= 7.34 \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค.

(การตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ค.1 วิธีการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมแบบยืดหยุ่น

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3574)

การทดสอบค่าความหนาแน่นชิ้นงานโพลีเอทิลีนโฟมสามารถหาได้จาก น้ำหนักชิ้นงาน  
ทดสอบส่วนด้วยปริมาตรชิ้นงาน

#### 1 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นงานสำหรับทดสอบความหนาแน่นควรมีรูปทรงมาตรฐาน อาทิเช่น วงกลม, สี่เหลี่ยม  
เป็นต้น และชิ้นงานต้องเป็นเนื้อโพลีเอทิลีนเท่านั้น (ไม่มีผิว) ปริมาตรชิ้นงานไม่น้อยกว่า 1,000 ลูก  
บาศก์มิลลิเมตร

#### 2 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 1 ชิ้นงาน

#### 3 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

3.1 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานโดยมีนัยสำคัญ 1% ในหน่วยน้ำหนักกรัม

3.2 วัดความกว้าง, ความยาว และความหนา ด้วยเครื่องมือวัดในหน่วยความยาวได้  
มาตรฐาน

#### 4 คำนวณความหนาแน่นชิ้นงาน

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงาน (g)}}{\text{(กว้าง * ยาว * หนา) (cm}^3\text{)}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ค.2 วิธีการตรวจวัดความแข็งชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนแบบยืดหยุ่น

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240)

การทดสอบค่าความแข็งชิ้นงานโพลีเอทิลีนโพรพิลีนเพื่อหาความต้านทานของชิ้นงานภายใต้การรับน้ำหนักที่กำหนดไว้

### 1 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็งต้องมีผิวแบนเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\geq 35$  mm. ความหนา  $\geq 10$  mm.

### 2 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 1 ชิ้นงาน

### 2 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

2.1 กดเข็มของ durometer (shore, Asker F และ PTC) ลงไปยังตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งจมลงไปในตัวอย่งทดสอบจนกระทั่งจมลงไปในตัวอย่งทดสอบทั้งหมด

2.2 ให้แน่ใจว่ามีแรงกดสม่ำเสมอโดยการวางน้ำหนักที่ได้กำหนดลงด้านบน หรือถือ durometer ไว้ในตำแหน่งที่มั่นคง เป็นเวลา 3 วินาที

### 3 การประเมินค่า

อ่านค่าจากหน้าจอ durometer หลังจากเข็มของ durometer จมลงไปในตัวอย่งทดสอบจนหมดเป็นเวลา 3 วินาที และน้ำหนักแรงกดได้อยู่คงที่แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

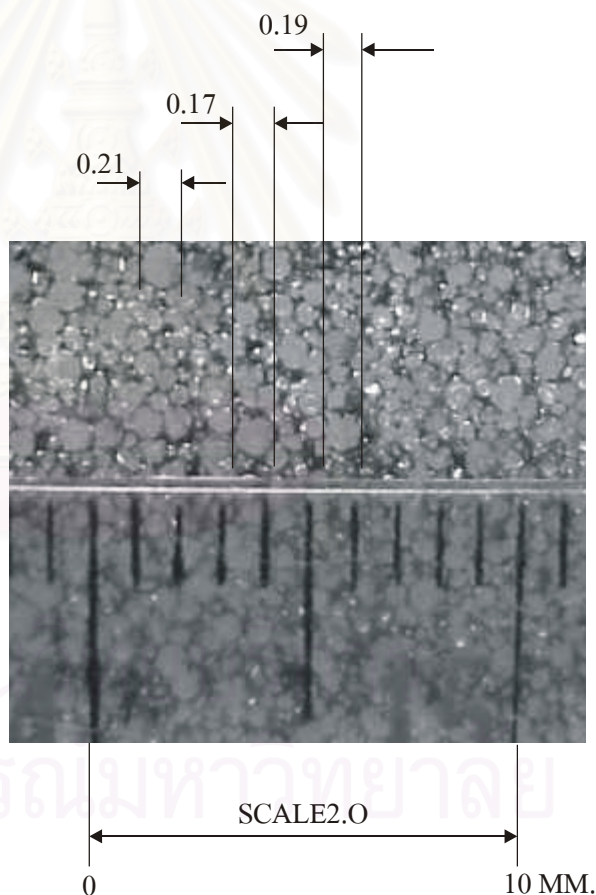
### ค.3 วิธีการตรวจวัดขนาดของเซลล์และขนาดของฟองอากาศ

(อ้างอิงตามมาตรฐาน AS 2282.5)

ขนาดฟองอากาศในชั้นงานโพลียูรีเทนโฟมเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่เป็นเครื่องชี้ว่าชั้นงานนั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนไปหรือไม่ ถ้าชั้นงานมีขนาดฟองอากาศโตกว่าขนาดของเซลล์มาก ชั้นงานผลิตภัณฑ์จะมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลต่ำกว่ามาตรฐาน

1. ลักษณะของชั้นงานโพลียูรีเทนโฟมเพื่อนำไปทดสอบ

ขนาดของชั้นงานควรมีขนาดความกว้างและความยาว ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว ดังรูปที่ A.3.2



รูปที่ ค-1 วิธีการตรวจวัดขนาดฟองอากาศจากการอ่านสเกลจากเครื่องคอมพิวเตอร์

2 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นงาน

3 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

3.1 ย้อมสีลงที่ผิวของชิ้นงานให้มีพื้นที่อย่างน้อย 1 นิ้ว X 1 นิ้ว

3.2 นำชิ้นงานวางบนแผ่นรองซึ่งตั้งระยະภาพและระยະวัตถุ โดยให้ชิ้นงานห่างจากเลนส์  $2.0 \pm 0.2$  cm.

3.3 วางไม้บรรทัดลงบนชิ้นงาน

3.4 ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องระบบดิจิทัล ซึ่งสามารถนำไปประมวลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมทางด้านการประมวลผลของรูปภาพ เช่น Microsoft photo editor เป็นต้น ดังการประมวลดังรูปที่ ค-1

3.5 ทำการเทียบขนาดฟองอากาศที่วัดได้เทียบกับขนาดของสเกลที่ 1 เซนติเมตร

4 การคำนวณ

$$\text{ขนาดฟองอากาศ (cm.)} = \frac{\text{ขนาดฟองอากาศที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์}}{\text{ขนาดของสเกล 1 cm. ที่อ่านได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์}}$$

หมายเหตุ สำหรับการวัดขนาดของเซลล์ทำได้เช่นเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### ค.4 วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติความทนแรงดึง และความสามารถในการยืดตัว (Tensile strength and Elongation testing )

(อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D638)

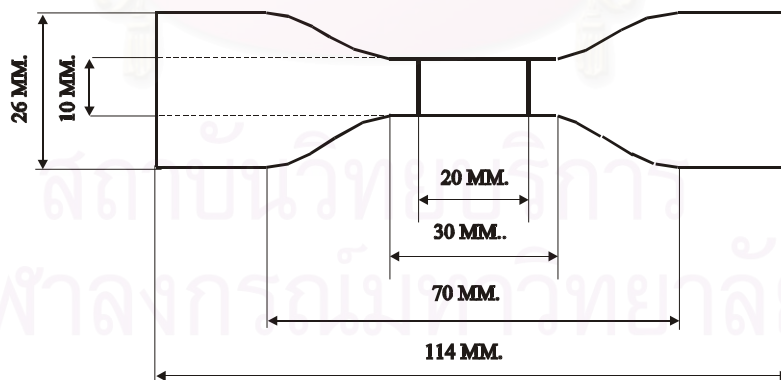
การตรวจวัดความต้านทานต่อการดึงเป็นการตรวจวัดว่าการยืดเกาะตัวของโครงสร้างเซลล์มีความเหนียวแน่นมากน้อยแค่ไหน การตรวจวัดคุณสมบัติความทนแรงดึง นั้นจะทำการตรวจวัดคุณสมบัติความสามารถในการยืดตัวไปพร้อมๆกัน

คุณสมบัติความทนแรงดึงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนฟิล์ม ชิ้นงานโพลีเอทิลีนฟิล์มถูกทำให้ขาดออกด้วยแรงดึงที่ ดังนั้นความทนแรงดึงก็คือความเค้นที่มากที่สุดที่วัสดุมีก่อนที่จะฉีกขาด

คุณสมบัติความสามารถในการยืดตัวคือ โพลีเอทิลีนสามารถยืดตัวออกได้มากที่สุดก่อนขาดออกจากกัน

1. ลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนฟิล์มเพื่อนำไปทดสอบ

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาดเป็นไปตามรูปที่ A.3.3



รูปที่ ค-2 ขนาดเฉพาะของของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความทนแรงดึง และคุณสมบัติความสามารถในการยืดตัว

## 2 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นงาน

## 3 ตัวแปรของการทดสอบคุณสมบัติความทนแรงดึง และคุณสมบัติความสามารถในการยึดตัว

ขนาดชิ้นงานทดสอบ = ทุกรูป ค-2

ความเร็วของการดึงชิ้นงานทดสอบ = 500 mm/min.

ระยะหนีบจับชิ้นงานทดสอบ (Jaw gap) =  $6.0 \pm 0.3$  cm

ระยะเริ่มต้นสำหรับทดสอบความสามารถในการยึดตัว (Bench mark) =  $2.0 \pm 0.1$  cm.

## 4 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

4.1 นำชิ้นงานโพลีเอทิลีนที่มีความหนา 10 mm. นำไปตัดด้วยแม่แบบตามรูปที่ ค-2

4.2 ตีเส้นระยะเริ่มต้นตามข้อบังคับข้อ 3 เพื่อทำการทดสอบความสามารถในการยึดตัว ดังรูปที่ ค-2

4.3 วัดความกว้าง และความหนาของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน

4.4 นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบความทนแรงดึงด้วยตัวแปรที่กำหนดในข้อบังคับที่ 3

4.5 บันทึกผลขนาดของแรง และความยาวในการยึดมากที่สุดของรอยเส้น ขณะที่ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดจากกัน



## 5 การคำนวณ

$$\text{tensile strength (kg/cm}^2\text{)} = \frac{F}{A}$$

โดยที่

F = แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด (kg)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางเฉลี่ย (cm<sup>2</sup>)

$$\text{Elongation at break (\%)} = \frac{(L - L_0)}{L_0} * 100$$

โดยที่

L = ระยะที่ยึดตัวออกก่อนฉีกขาด (cm)

L<sub>0</sub> = ระยะเริ่มต้น (cm)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ค.5 วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance test)

คุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดแสดงถึง แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดจากกันต่อความหนา 1 cm. การวัดคุณสมบัติชนิดนี้มี 2 ชนิด คือ

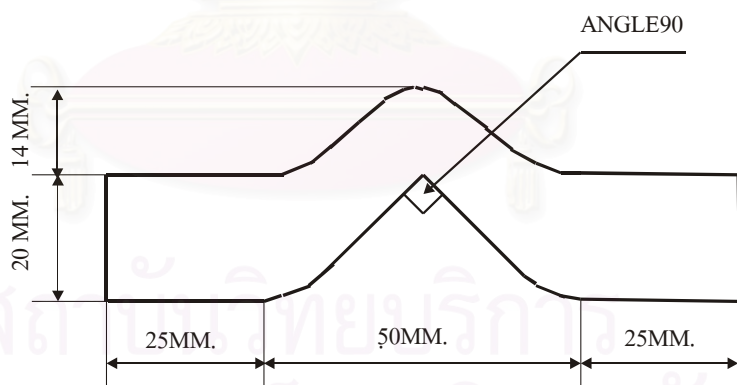
### ค.5.1 ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C (Die-C Tear Strength Testing)

(อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 638)

วิธีการนี้เป็นการค้นหาแรงที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดออกจากกันในทิศทางตั้งฉากกับความหนาที่ทำมุม 90 องศา สามารถดูภาพประกอบได้จากรูป ค-3

1. ลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟมเพื่อนำไปทดสอบ

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาดเป็นไปตามรูปที่ ค-3



รูปที่ ค-3 ขนาดเฉพาะของของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด

ชนิด C

## 2. จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นงาน

## 3. ตัวแปรของการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C

ขนาดชิ้นงานทดสอบ	=	ดูรูป ค-3
ความเร็วของการดึงชิ้นงานทดสอบ	=	500 mm/min.
ระยะหนีบจับชิ้นงานทดสอบ (Jaw gap)	=	$6.0 \pm 0.3$ cm
ตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงของแรง	=	0.1 Kg.

## 4. ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

- 4.1 นำชิ้นงานโพลีเอทิลีนที่มีความหนา 10 mm. นำไปตัดด้วยแม่แบบตามรูปที่ ค-3
- 4.3 วัดความกว้าง และความหนาของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน
- 4.4 นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบความทนแรงดึงด้วยตัวแปรที่กำหนดในข้อบังคับที่ 3
- 4.5 บันทึกผลขนาดของแรงที่มากที่สุดขณะที่ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดจากกัน

## 5. การคำนวณ

$$\text{Die - Tear strength (kg/cm)} = \frac{F}{T}$$

ที่ซึ่ง

L = แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการฉีกขาด (kg)

T = ความหนาของชิ้นงานทดสอบ (cm)

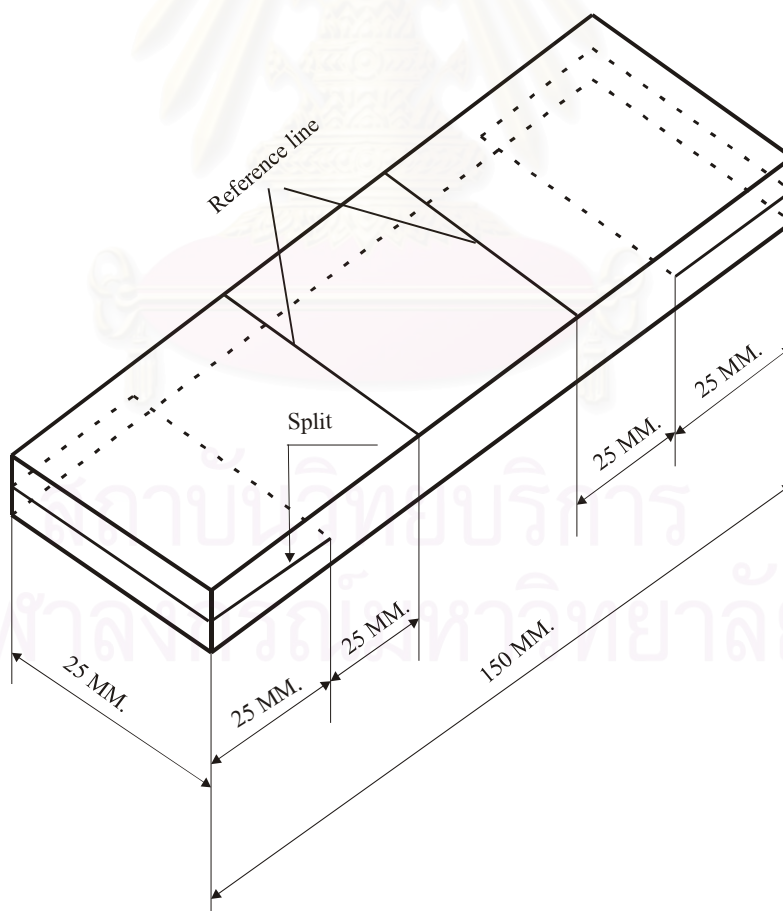
## ค.5.2 ความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด Split tear (Split Tear Strength Testing)

(อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D638)

วิธีการนี้เป็นการค้นหาแรงที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดออกจากกันในทิศทางตามความหนา สามารถดูภาพประกอบได้จากรูป ค-4

1. ลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนไฟเบอร์เพื่อนำไปทดสอบ

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาดเป็นไปตามรูปที่ ค-4



รูปที่ ค-4 ขนาดเฉพาะของของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความต้านต่อการฉีกขาดชนิด Split tear

2. จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นงาน

3. ตัวแปรของการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C

ขนาดชิ้นงานทดสอบ = รูป ค-4  
 ความเร็วของการดึงชิ้นงานทดสอบ = 50 mm/min.  
 ระยะหนีบจับชิ้นงานทดสอบ (Jaw gap) =  $4.0 \pm 0.5$  cm  
 ตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงของแรง = 0.1 Kg.

4. ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

4.1 นำชิ้นงานโพลีเอทิลีนที่มีความหนา 10 mm. นำไปตัดด้วยแม่แบบตามรูปที่ ค-3

4.3 วัดความหนาของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน

4.4 นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบความทนแรงดึงด้วยตัวแปรที่กำหนดในข้อบังคับที่ 3

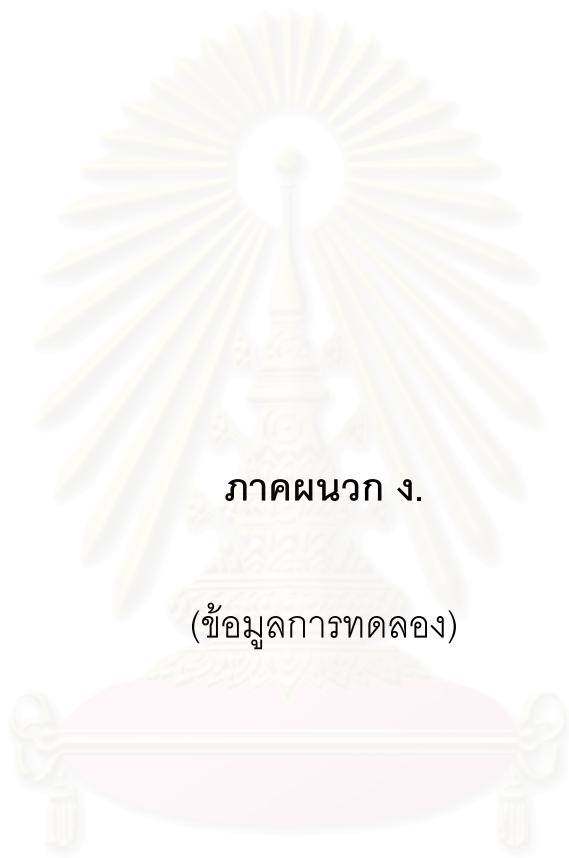
4.5 บันทึกผลขนาดของแรงที่มากที่สุดขณะที่ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดจากกัน

5. การคำนวณ

$$\text{Split tear strength (kg/cm)} = F$$

ที่ซึ่ง

$$F = \text{แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการฉีกขาด (kg)}$$



ภาคผนวก ง.

(ข้อมูลการทดลอง)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	1																		
AGITATOR	1	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20															
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC							
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	10.01	10.01	0.97	4.9781	0.0512	61	58	58	62	62	89	84	79	82	91	84	81	84	89	86			
2	10.01	10.01	1.01	5.2031	0.0514	59	61	61	61	62	89	89	87	89	89	80	84	82	69	88			
3	10.01	10.05	0.96	4.9430	0.0512	58	62	62	61	62	85	87	88	87	87	85	89	87	81	87			
4	10.05	10.05	1.02	5.3044	0.0515	60	55	57	62	62	84	91	91	88	89	84	85	85	85	85			
5	10.05	10.09	0.96	5.1075	0.0525	62	62	63	61	63	90	91	91	86	91	87	84	85	86	88			
X	10.02	10.00	0.98	4.7542	0.052					60.68					87.76					84.40			
SDXN	0.02				0.0004						1.58						2.37						
%V	0.18				0.73						2.61						2.70						
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION						
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )						
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	2.04	0.24	0.21	0.21	0.09	0.08	0.08	1.44	1.43	1.36	0.91	0.97	0.87	0.58	0.61	0.67	145	145	160				
2	2.02	0.25	0.17	0.24	0.10	0.10	0.10	1.46	1.48	1.46	0.90	0.87	0.99	0.69	0.67	0.64	165	165	155				
3	2.02	0.20	0.16	0.16	0.09	0.09	0.08	1.42	1.36	1.38	0.83	0.95	0.82	0.56	0.71	0.68	155	150	160				
4	2.02	0.25	0.29	0.26	0.09	0.10	0.10	1.40	1.37	1.41	0.92	0.87	0.90	0.67	0.67	0.66	155	165	165				
5	2.02	0.26	0.17	0.20	0.09	0.10	0.10	1.33	1.35	1.32	0.94	0.87	0.85	0.66	0.63	0.66	145	165	170				
X	2.02			0.108			0.046			1.42			0.91			0.66			157.67				
SDXN	0.01				0.035			0.007				0.04			0.04			0.03			7.16		
%V	0.00				32.68			14.95				3.01			4.48			4.78			4.54		
																			TOTAL VARIATION		7.34		

ตารางที่ ง-1 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นรวม 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นรวม 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	2																
AGITATOR	1	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.01	10.01	0.97	4.9641	0.0510	62	62	63	62	61	90	88	90	88	85	85	84	91	83	83	
2	10.01	10.01	1.02	5.1328	0.0502	61	60	52	61	61	90	88	89	89	87	83	90	89	83	82	
3	10.01	10.01	0.96	4.8909	0.0508	62	63	62	61	61	89	87	89	90	90	84	86	84	80	84	
4	10.01	10.01	1.04	5.2355	0.0502	61	63	60	60	59	90	88	86	87	85	87	84	85	87	83	
5	10.01	10.01	0.99	5.1202	0.0516	63	63	62	61	62	90	88	91	92	91	89	81	90	85	88	
X	10.01	10.01	1.00	5.0687	0.051					61.12					88.68					85.20	
SDXN	0.00				0.0005					1.24					1.48					2.42	
%V	0.00				0.90					2.04					1.67					2.84	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.98	0.23	0.18	0.20	0.08	0.08	0.08	1.40	1.26	1.46	0.74	0.93	0.82	0.67	0.73	0.62	160	145	165		
2	2.01	0.17	0.17	0.19	0.07	0.08	0.09	1.30	1.39	1.42	0.91	0.91	0.85	0.59	0.64	0.82	155	160	145		
3	1.99	0.31	0.20	0.20	0.07	0.09	0.08	1.43	1.31	1.33	0.80	0.89	0.78	0.64	0.63	0.61	155	140	165		
4	2.01	0.27	0.21	0.20	0.09	0.08	0.07	1.35	1.38	1.40	0.99	0.94	0.85	0.75	0.73	0.58	160	145	145		
5	2.01	0.25	0.27	0.30	0.07	0.08	0.10	1.45	1.47	1.45	0.76	0.92	0.82	0.66	0.66	0.69	155	160	165		
X	2.00			0.112			0.040			1.39			0.86			0.67			154.67		
SDXN	0.01				0.038			0.006				0.05			0.06			0.05			7.11
%V	0.01				34.32			15.64				3.75			7.21			7.62			4.60
																			TOTAL VARIATION		8.06

ตารางที่ ง-2 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 10 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	3																
AGITATOR	1	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.09	10.09	1.00	4.9247	0.0484	63	60	62	60	59	84	81	87	84	81	85	89	88	83	84	
2	10.05	9.98	1.03	5.1652	0.0500	65	65	64	66	65	90	93	90	93	90	89	87	90	91	88	
3	10.05	10.01	0.97	4.9022	0.0502	65	64	66	66	67	93	89	86	90	89	97	90	92	90	90	
4	10.09	10.01	1.02	5.1905	0.0504	63	60	62	60	59	84	81	87	84	81	85	89	88	83	84	
5	10.09	10.01	0.97	4.9908	0.0509	65	65	64	66	65	90	93	90	93	90	89	87	90	91	88	
X	10.07	10.02	1.00	5.0347	0.050					63.44					87.72					88.28	
SDXN	0.02				0.0006					2.11					3.59					2.35	
%V	0.18				1.28					3.33					4.10					2.66	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.03	0.27	0.19	0.19	0.10	0.10	0.09	1.27	1.54	1.46	0.88	0.90	0.81	0.63	0.60	0.69	130	155	145		
2	2.02	0.30	0.23	0.19	0.12	0.09	0.09	1.38	1.43	1.37	0.96	0.96	0.93	0.76	0.65	0.71	155	165	145		
3	1.96	0.31	0.23	0.22	0.10	0.09	0.10	1.29	1.39	1.32	0.79	0.93	0.70	0.67	0.64	0.67	160	155	145		
4	2.03	0.27	0.19	0.19	0.10	0.10	0.09	1.42	1.30	1.40	0.90	0.91	0.92	0.63	0.60	0.69	190	165	145		
5	2.02	0.30	0.23	0.19	0.12	0.09	0.09	1.37	1.31	1.34	0.84	0.92	0.86	0.76	0.65	0.71	130	155	145		
X	2.01			0.116			0.049			1.38			0.88			0.67			152.33		
SDXN	0.02				0.038			0.007				0.05			0.05			0.04			10.84
%V	0.01				32.58			15.33				4.00			6.12			5.88			7.12
																			TOTAL VARIATION		8.24

ตารางที่ ง-3 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นรวม 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นรวม 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	4																	
AGITATOR	1	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.01	10.01	0.97	4.95	0.0509	61	61	61	61	61	89	88	88	89	88	85	85	85	84	84		
2	10.03	10.03	1.03	5.27	0.0511	61	61	61	61	61	88	89	89	88	89	85	84	85	84	84		
3	10.05	10.05	0.96	5.02	0.0520	61	61	60	61	61	89	89	89	89	88	85	84	85	85	85		
4	10.03	10.03	1.00	5.11	0.0511	61	61	61	61	61	89	90	89	89	89	86	85	85	86	86		
5	10.05	10.07	1.00	5.22	0.0516	62	62	61	61	62	90	90	89	90	89	86	86	86	86	87		
X	10.04	10.04	0.99	5.11	0.051					61.08					88.92					85.12		
SDXN	0.01				0.0004					0.22					0.44					0.64		
%V	0.12				0.73					0.36					0.50					0.76		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.03	0.24	0.25	0.24	0.10	0.09	0.09	1.38	1.45	1.38	0.92	0.94	0.93	0.64	0.63	0.69	153	160	163			
2	2.01	0.24	0.23	0.23	0.11	0.11	0.10	1.38	1.43	1.35	0.91	0.87	0.90	0.69	0.63	0.63	163	155	143			
3	2.01	0.23	0.19	0.20	0.10	0.10	0.09	1.33	1.34	1.35	0.86	0.88	0.82	0.58	0.68	0.69	150	153	160			
4	2.01	0.35	0.28	0.24	0.09	0.10	0.11	1.40	1.39	1.38	0.87	0.90	0.88	0.70	0.66	0.63	160	160	153			
5	2.01	0.26	0.19	0.20	0.10	0.11	0.10	1.36	1.39	1.34	0.87	0.85	0.86	0.67	0.66	0.64	145	160	163			
X	2.01			0.117			0.048			1.39			0.89			0.66			155.83			
SDXN	0.01				0.026			0.006				0.03			0.03				0.03			5.44
%V	0.00				22.26			12.17				1.82			3.02				4.10			3.49
																			TOTAL VARIATION		4.92	

ตารางที่ ง-4 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นรวม 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นรวม 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	5																	
AGITATOR	1	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.03	10.03	0.97	5.00	0.0512	61	61	61	61	61	88	88	88	88	88	86	85	85	86	85		
2	10.03	10.01	1.02	5.22	0.0509	62	62	61	61	61	89	89	90	90	89	86	86	85	86	86		
3	10.03	10.03	0.98	4.94	0.0503	61	61	62	62	62	90	90	89	90	90	85	86	86	85	85		
4	10.03	10.05	1.03	5.28	0.0509	62	61	61	62	61	89	89	89	90	89	86	86	87	86	86		
5	10.03	10.05	0.98	5.12	0.0518	62	62	62	62	62	90	90	91	90	90	87	86	87	87	86		
X	10.03	10.04	1.00	5.11	0.051					61.48					89.32					85.88		
SDXN	0.00				0.0004					0.50					0.73					0.49		
%V	0.00				0.75					0.81					0.82					0.57		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.99	0.27	0.22	0.22	0.08	0.08	0.08	1.37	1.26	1.30	0.80	0.93	0.84	0.66	0.71	0.63	165	140	160			
2	2.00	0.25	0.18	0.19	0.08	0.09	0.09	1.33	1.40	1.37	0.88	0.91	0.87	0.66	0.67	0.76	155	150	148			
3	1.98	0.31	0.20	0.22	0.08	0.09	0.08	1.33	1.32	1.32	0.88	0.87	0.79	0.65	0.66	0.65	150	143	158			
4	2.01	0.29	0.23	0.19	0.10	0.09	0.08	1.37	1.36	1.39	0.95	0.85	0.86	0.70	0.69	0.64	153	145	150			
5	2.00	0.28	0.26	0.28	0.08	0.09	0.10	1.40	1.47	1.34	0.82	0.88	0.80	0.71	0.67	0.69	155	163	165			
X	2.00			0.120			0.042			1.36			0.86			0.68			153.17			
SDXN	0.01				0.036			0.005				0.04			0.04				0.03			6.38
%V	0.00				29.67			12.52				2.80			4.18				3.93			4.16
																			TOTAL VARIATION		6.02	

ตารางที่ ง-5 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	6																	
AGITATOR	1	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.07	10.05	0.99	4.90	0.0492	63	61	62	61	60	88	85	88	87	86	86	88	88	84	85		
2	10.03	9.99	1.02	5.10	0.0499	64	63	63	64	64	90	91	90	91	90	89	87	90	89	88		
3	10.05	10.01	0.97	4.88	0.0500	63	63	64	64	64	93	89	88	90	90	93	87	91	86	86		
4	10.07	10.03	1.02	5.14	0.0499	63	61	62	61	60	87	86	89	87	85	85	85	86	84	85		
5	10.07	10.01	0.97	4.96	0.0508	64	64	63	64	64	91	91	90	92	90	86	87	89	89	88		
X	10.06	10.02	0.99	5.00	0.050					62.46					88.68					86.98		
SDXN	0.01				0.0004					1.09					1.88					1.74		
%V	0.13				0.73					1.75					2.12					2.00		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.03	0.28	0.24	0.22	0.10	0.10	0.09	1.27	1.38	1.33	0.87	0.85	0.82	0.70	0.62	0.69	133	145	143			
2	2.03	0.29	0.24	0.20	0.10	0.09	0.09	1.36	1.31	1.39	0.93	0.94	0.94	0.68	0.62	0.66	145	160	145			
3	1.96	0.32	0.24	0.22	0.10	0.09	0.09	1.25	1.26	1.26	0.76	0.90	0.73	0.67	0.66	0.64	160	155	150			
4	2.01	0.28	0.21	0.22	0.09	0.10	0.09	1.39	1.39	1.39	0.89	0.93	0.89	0.67	0.62	0.66	170	160	153			
5	1.99	0.28	0.24	0.22	0.11	0.09	0.09	1.30	1.29	1.32	0.84	0.92	0.91	0.71	0.68	0.69	135	145	150			
X	2.00			0.122			0.046			1.33			0.88			0.67			149.83			
SDXN	0.02				0.029			0.006				0.05			0.05				0.02			7.84
%V	0.01				24.09			13.94				3.45			5.76				3.40			5.24
																			TOTAL VARIATION		6.25	

ตารางที่ ง-6 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	7																
AGITATOR	1	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.01	10.01	0.97	4.9247	0.0506	63	60	63	61	61	90	89	89	89	89	90	86	86	83	88	
2	10.05	10.05	1.04	5.3311	0.0508	63	60	63	62	60	92	90	91	91	89	90	88	86	86	85	
3	10.09	10.05	0.95	5.0920	0.0529	61	61	61	61	61	92	89	90	90	90	84	85	86	89	82	
4	10.01	10.01	0.97	4.9247	0.0506	63	62	63	62	60	91	90	90	92	89	86	87	84	84	85	
5	10.05	10.05	1.04	5.3311	0.0508	63	62	61	61	60	92	90	89	88	88	89	86	84	88	82	
X	10.04	10.04	0.99	5.1207	0.051					61.52					89.96					85.96	
SDXN	0.02				0.0007					0.98					0.93					1.73	
%V	0.24				1.36					1.60					1.03					2.01	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.23	0.28	0.26	0.10	0.10	0.09	1.31	1.46	1.39	0.93	0.91	0.99	0.69	0.65	0.70	160	175	165		
2	2.00	0.23	0.29	0.21	0.11	0.11	0.10	1.30	1.37	1.24	0.91	0.86	0.80	0.69	0.59	0.62	160	145	130		
3	2.00	0.25	0.21	0.23	0.10	0.11	0.10	1.23	1.32	1.32	0.88	0.81	0.81	0.60	0.65	0.69	145	155	160		
4	2.00	0.45	0.26	0.22	0.08	0.10	0.11	1.40	1.41	1.35	0.82	0.93	0.85	0.73	0.65	0.60	165	155	140		
5	1.99	0.25	0.21	0.20	0.10	0.11	0.10	1.38	1.43	1.36	0.80	0.82	0.87	0.68	0.68	0.61	145	155	155		
X	2.00			0.126			0.051			1.36			0.87			0.66			154.00		
SDXN	0.00				0.037			0.006				0.05			0.05			0.04			8.67
%V	0.00				29.63			11.40				3.84			5.51			5.55			5.63
																			TOTAL VARIATION		6.76

ตารางที่ ง-7 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นรวม 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นรวม 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	8																	
AGITATOR	1	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.05	10.05	0.97	5.0386	0.0514	62	61	62	62	61	91	90	89	90	89	87	84	86	91	87		
2	10.05	10.01	1.02	5.2988	0.0516	62	62	62	62	61	91	89	89	90	90	84	84	85	90	85		
3	10.05	10.05	0.99	4.9880	0.0499	62	61	61	62	61	91	89	89	90	90	88	87	87	86	85		
4	10.05	10.09	1.02	5.3269	0.0515	62	62	62	62	62	91	90	90	90	90	87	86	87	85	86		
5	10.05	10.09	0.97	5.1103	0.0520	62	62	62	62	62	92	89	90	90	90	89	88	88	87	89		
X	10.05	10.06	0.99	5.1525	0.051					61.76					89.96					86.72		
SDXN	0.00				0.0006					0.36					0.54					1.43		
%V	0.00				1.09					0.59					0.60					1.65		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.00	0.31	0.27	0.24	0.08	0.08	0.08	1.33	1.26	1.14	0.86	0.92	0.86	0.65	0.68	0.63	170	135	155			
2	1.99	0.33	0.19	0.18	0.08	0.09	0.09	1.35	1.41	1.32	0.85	0.90	0.88	0.73	0.69	0.70	155	140	150			
3	1.98	0.31	0.19	0.23	0.09	0.09	0.08	1.23	1.32	1.31	0.96	0.85	0.80	0.65	0.69	0.68	145	145	150			
4	2.01	0.31	0.25	0.18	0.10	0.09	0.08	1.38	1.33	1.38	0.91	0.76	0.86	0.64	0.65	0.70	145	145	155			
5	2.00	0.31	0.24	0.27	0.09	0.09	0.09	1.34	1.46	1.22	0.88	0.84	0.78	0.75	0.68	0.69	155	165	165			
X	2.00			0.128			0.043			1.33			0.87			0.68			151.67			
SDXN	0.01				0.043			0.005				0.06			0.04				0.02			7.78
%V	0.01				34.07			12.28				4.38			4.43				3.63			5.13
																			TOTAL VARIATION		6.79	

ตารางที่ ง-8 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	9																
AGITATOR	1	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.05	10.01	0.97	4.8811	0.0500	63	61	62	61	60	91	89	89	89	90	87	87	88	85	86	
2	10.01	10.01	1.01	5.0316	0.0497	62	61	62	62	62	90	89	90	89	89	89	86	89	87	87	
3	10.05	10.01	0.97	4.8670	0.0499	61	61	61	61	60	92	89	89	90	90	88	83	89	81	82	
4	10.05	10.05	1.02	5.0892	0.0494	62	61	62	62	61	90	90	90	89	88	84	80	84	85	86	
5	10.05	10.01	0.97	4.9388	0.0506	62	62	62	61	62	91	89	90	90	89	82	87	87	86	87	
X	10.04	10.02	0.99	4.9615	0.050					61.48					89.64					85.68	
SDXN	0.01				0.0003					0.62					0.69					2.01	
%V	0.12				0.63					1.01					0.77					2.35	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.02	0.29	0.28	0.25	0.10	0.09	0.08	1.27	1.22	1.19	0.86	0.80	0.82	0.77	0.64	0.68	135	135	140		
2	2.05	0.27	0.24	0.20	0.08	0.08	0.08	1.34	1.18	1.40	0.89	0.91	0.94	0.59	0.59	0.61	135	155	145		
3	1.95	0.33	0.25	0.21	0.10	0.09	0.08	1.21	1.13	1.20	0.72	0.87	0.76	0.66	0.67	0.60	160	155	155		
4	1.99	0.28	0.23	0.24	0.07	0.09	0.09	1.36	1.48	1.37	0.88	0.95	0.85	0.71	0.64	0.62	150	155	160		
5	1.96	0.26	0.24	0.25	0.10	0.08	0.08	1.23	1.27	1.30	0.83	0.92	0.95	0.66	0.70	0.66	140	135	155		
X	2.00			0.128			0.043			1.29			0.87			0.66			147.33		
SDXN	0.03				0.024			0.008				0.08			0.05			0.04			8.84
%V	0.02				19.01			17.94				6.16			6.23			5.78			6.00
																			TOTAL VARIATION		6.59

ตารางที่ ง-9 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six blade flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	10																
AGITATOR	1	SPEED	4000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.20	10.22	0.97	5.17	0.0511	63	62	63	62	62	91	90	90	90	90	87	87	86	86	89	
2	10.22	10.22	1.03	5.53	0.0514	64	62	64	63	62	91	90	91	91	90	90	88	88	90	86	
3	10.24	10.24	0.95	5.02	0.0504	62	62	62	62	62	92	90	90	90	90	84	86	88	88	85	
4	10.20	10.20	1.00	5.41	0.0520	62	62	62	62	61	90	90	90	91	90	86	86	85	87	85	
5	10.22	10.22	1.01	5.38	0.0513	63	62	61	62	61	92	91	89	89	89	89	87	84	89	85	
X	10.22	10.22	0.99	5.30	0.051					61.94					89.96					86.62	
SDXN	0.01				0.0004					0.54					0.68					1.41	
%V	0.12				0.76					0.88					0.76					1.63	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.99	0.24	0.26	0.29	0.11	0.10	0.11	1.41	1.29	1.27	0.91	0.86	0.92	0.64	0.62	0.67	153	160	165		
2	1.99	0.28	0.27	0.22	0.10	0.11	0.10	0.97	1.42	1.06	0.88	0.87	0.85	0.72	0.64	0.64	160	145	135		
3	1.98	0.26	0.26	0.25	0.11	0.11	0.11	1.25	1.30	1.51	0.81	0.80	0.81	0.64	0.63	0.64	135	150	163		
4	1.97	0.37	0.25	0.22	0.10	0.10	0.11	1.09	1.23	1.28	0.85	0.89	0.86	0.71	0.65	0.62	155	150	140		
5	1.98	0.24	0.22	0.21	0.11	0.11	0.10	1.46	1.43	0.85	0.84	0.75	0.86	0.65	0.64	0.61	145	150	160		
X	1.98			0.128			0.052			1.26			0.86			0.65			151.00		
SDXN	0.01				0.026			0.005				0.14			0.03			0.02			7.73
%V	0.00				20.47			8.93				11.43			3.77			3.44			5.12
																			TOTAL VARIATION		5.72

ตารางที่ ง-10 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	11																
AGITATOR	1	SPEED	4000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.03	10.03	0.96	4.85	0.0502	61	62	62	62	61	91	91	90	90	89	85	85	88	88	86	
2	10.06	9.99	1.03	5.00	0.0485	62	62	62	62	62	91	89	90	90	90	85	84	87	88	86	
3	10.03	10.03	0.98	4.82	0.0489	62	62	62	62	61	91	90	89	90	90	87	87	88	88	85	
4	10.03	10.06	1.03	5.19	0.0499	62	62	62	62	62	91	90	90	90	90	84	86	88	86	86	
5	10.04	10.04	0.97	4.92	0.0505	63	63	62	63	62	92	90	90	89	90	87	88	89	88	90	
X	10.04	10.03	0.99	4.95	0.050					61.84					89.90					86.46	
SDXN	0.01				0.0007					0.36					0.51					1.32	
%V	0.13				1.44					0.59					0.57					1.53	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.98	0.31	0.26	0.24	0.11	0.09	0.10	1.36	1.27	1.30	0.79	0.85	0.84	0.61	0.67	0.61	150	145	170		
2	1.97	0.40	0.26	0.21	0.10	0.10	0.10	1.16	1.32	1.15	0.81	0.94	0.88	0.67	0.66	0.66	153	143	145		
3	1.96	0.30	0.21	0.22	0.10	0.11	0.08	1.32	1.33	1.27	0.88	0.89	0.79	0.68	0.67	0.64	143	143	143		
4	2.00	0.33	0.30	0.21	0.12	0.11	0.10	1.41	1.33	1.37	0.82	0.77	0.84	0.64	0.63	0.64	145	143	155		
5	1.98	0.29	0.26	0.25	0.09	0.11	0.09	0.98	1.08	0.97	0.83	0.91	0.83	0.70	0.60	0.67	148	155	148		
X	1.98			0.136			0.049			1.25			0.85			0.65			148.33		
SDXN	0.01				0.040			0.007				0.12			0.04			0.02			5.44
%V	0.00				29.23			14.44				9.27			4.47			3.51			3.67
																			TOTAL VARIATION		6.87

ตารางที่ ง-11 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	12																	
AGITATOR	1	SPEED	4000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.03	10.01	0.97	4.70	0.0483	63	62	62	62	61	91	89	90	90	90	85	87	86	89	86		
2	10.01	9.99	1.02	4.92	0.0482	62	61	62	63	62	90	89	90	90	90	87	87	88	89	87		
3	10.03	10.01	0.98	4.72	0.0482	62	61	62	61	61	92	89	89	89	89	86	82	88	85	86		
4	10.03	10.03	1.03	4.97	0.0479	62	61	62	63	62	89	89	90	90	89	84	83	86	86	88		
5	10.05	10.01	0.99	4.80	0.0484	63	63	62	62	62	91	89	90	90	90	84	87	86	88	87		
X	10.03	10.01	1.00	4.82	0.048					61.70					89.58					86.00		
SDXN	0.01				0.0001					0.48					0.58					1.28		
%V	0.07				0.24					0.78					0.64					1.49		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.01	0.38	0.24	0.24	0.10	0.08	0.08	1.15	1.12	1.01	0.86	0.87	0.88	0.68	0.61	0.65	140	133	128			
2	2.01	0.28	0.33	0.28	0.08	0.09	0.09	1.23	1.22	1.41	0.87	0.82	0.61	0.59	0.61	0.64	138	148	143			
3	1.98	0.33	0.26	0.24	0.08	0.09	0.07	1.24	1.27	1.26	0.77	0.89	0.81	0.64	0.63	0.60	158	150	158			
4	1.99	0.31	0.23	0.24	0.07	0.09	0.09	1.19	1.25	1.10	0.88	0.93	0.83	0.68	0.65	0.64	148	143	153			
5	2.00	0.30	0.24	0.24	0.08	0.07	0.07	1.18	1.27	1.36	0.85	0.78	0.94	0.64	0.68	0.65	148	150	155			
X	2.00			0.138			0.040			1.22			0.84			0.64			145.83			
SDXN	0.01				0.038			0.007				0.08			0.06				0.02			7.00
%V	0.01				27.46			17.57				6.17			6.61				3.27			4.80
																			TOTAL VARIATION		6.90	

ตารางที่ ง-12 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 4000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	13																
AGITATOR	1	SPEED	5000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.39	10.43	0.97	5.4155	0.0516	63	63	63	62	63	92	90	90	90	91	84	87	86	88	90	
2	10.39	10.39	1.02	5.7319	0.0521	64	63	64	63	63	90	90	91	90	90	89	87	90	93	87	
3	10.39	10.43	0.95	4.9472	0.0481	62	62	63	62	62	91	90	89	90	90	84	86	89	87	88	
4	10.39	10.39	1.03	5.9020	0.0531	61	62	61	61	62	88	89	90	90	90	86	85	86	89	85	
5	10.39	10.39	0.97	5.4380	0.0520	62	62	61	63	62	91	91	88	89	89	89	88	83	89	87	
X	10.39	10.40	0.99	5.4869	0.051					62.36					89.96					87.28	
SDXN	0.00				0.0013					0.72					0.62					1.75	
%V	0.00				2.55					1.16					0.69					2.01	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.96	0.25	0.24	0.31	0.12	0.10	0.12	1.51	1.11	1.15	0.88	0.80	0.84	0.58	0.59	0.64	145	145	165		
2	1.97	0.32	0.25	0.22	0.09	0.10	0.09	0.64	1.47	0.88	0.85	0.87	0.90	0.74	0.68	0.65	160	145	140		
3	1.96	0.26	0.30	0.26	0.11	0.11	0.11	1.27	1.27	1.70	0.74	0.79	0.80	0.68	0.61	0.58	125	145	165		
4	1.93	0.29	0.23	0.22	0.11	0.09	0.10	0.77	1.04	1.20	0.88	0.85	0.87	0.69	0.65	0.63	145	145	140		
5	1.96	0.23	0.22	0.22	0.12	0.11	0.10	1.53	1.42	0.34	0.88	0.68	0.85	0.62	0.59	0.61	145	145	165		
X	1.96			0.130			0.054			1.17			0.84			0.64			148.00		
SDXN	0.01				0.028			0.009				0.29			0.05			0.04			8.40
%V	0.01				21.71			16.67				24.78			5.61			5.83			5.68
																			TOTAL VARIATION		8.67

ตารางที่ ง-13 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 5000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	14																	
AGITATOR	1	SPEED	5000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.00	10.00	0.95	4.6544	0.0490	60	62	62	61	61	91	91	90	89	89	82	85	90	84	84		
2	10.08	9.96	1.03	4.7024	0.0455	62	62	62	62	62	90	89	90	90	90	86	83	89	85	87		
3	10.00	10.00	0.97	4.6460	0.0479	62	62	62	62	61	91	90	89	89	89	86	87	89	89	84		
4	10.00	10.04	1.04	5.0436	0.0483	62	62	62	62	61	90	90	90	90	90	80	86	88	87	85		
5	10.04	10.00	0.96	4.7249	0.0490	64	63	62	63	62	91	91	90	88	89	85	87	89	88	90		
X	10.02	10.00	0.99	4.7542	0.048					61.92					89.84					86.20		
SDXN	0.03				0.0010					0.45					0.62					2.05		
%V	0.27				2.09					0.72					0.69					2.38		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.95	0.31	0.26	0.23	0.14	0.10	0.11	1.39	1.27	1.46	0.72	0.78	0.82	0.57	0.65	0.59	130	155	185			
2	1.96	0.47	0.32	0.25	0.11	0.10	0.10	0.96	1.22	0.98	0.77	0.98	0.88	0.61	0.62	0.61	150	145	140			
3	1.94	0.28	0.23	0.21	0.10	0.12	0.08	1.41	1.33	1.22	0.79	0.93	0.78	0.70	0.65	0.60	140	140	135			
4	1.98	0.34	0.34	0.23	0.13	0.12	0.11	1.44	1.33	1.35	0.72	0.78	0.82	0.64	0.61	0.58	145	140	155			
5	1.96	0.26	0.28	0.23	0.09	0.12	0.09	0.62	0.70	0.72	0.77	0.98	0.88	0.65	0.52	0.65	140	145	130			
X	1.96			0.145			0.055			1.17			0.84			0.62			145.00			
SDXN	0.01				0.048			0.013				0.25			0.07				0.03			8.67
%V	0.01				32.86			23.21				20.92			8.33				5.26			5.98
																			TOTAL VARIATION		10.24	

ตารางที่ ง-14 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 5000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	15																
AGITATOR	1	SPEED	5000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.01	10.01	0.97	4.5281	0.0466	62	62	62	63	62	90	89	90	90	89	82	86	83	92	86	
2	10.01	9.98	1.03	4.8080	0.0467	62	61	61	63	61	90	89	90	91	91	85	87	86	91	86	
3	10.01	10.01	0.98	4.5816	0.0466	62	61	62	61	62	91	89	89	88	87	84	81	87	89	89	
4	10.01	10.01	1.04	4.8488	0.0465	61	61	61	63	62	88	88	90	91	90	83	86	87	87	89	
5	10.05	10.01	1.00	4.6561	0.0463	64	63	61	63	62	91	88	89	90	90	85	87	85	89	86	
X	10.02	10.01	1.00	4.6845	0.047					61.92					89.52					86.32	
SDXN	0.01				0.0001					0.66					0.94					1.96	
%V	0.12				0.26					1.07					1.05					2.27	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.46	0.20	0.23	0.10	0.07	0.08	1.02	1.02	0.82	0.85	0.93	0.94	0.59	0.58	0.61	145	130	115		
2	1.97	0.29	0.42	0.36	0.08	0.10	0.10	1.12	1.26	1.42	0.84	0.72	0.28	0.58	0.63	0.66	140	140	140		
3	2.00	0.33	0.26	0.26	0.06	0.08	0.05	1.26	1.41	1.32	0.82	0.90	0.85	0.62	0.59	0.60	155	145	160		
4	2.00	0.35	0.23	0.23	0.07	0.08	0.08	1.02	1.02	0.82	0.87	0.91	0.81	0.65	0.65	0.66	145	130	145		
5	2.03	0.35	0.25	0.23	0.05	0.06	0.06	1.12	1.26	1.42	0.87	0.63	0.93	0.61	0.65	0.64	155	165	155		
X	2.00			0.149			0.037			1.15			0.81			0.62			144.33		
SDXN	0.01				0.065			0.014				0.17			0.11			0.03			9.47
%V	0.01				43.90			36.67				14.70			13.17			4.09			6.56
																			TOTAL VARIATION		12.37

ตารางที่ ง-15 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Six flat blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 5000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	16																
AGITATOR	2	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.05	10.06	1.02	5.20	0.050	66	66	67	66	66	90	91	93	93	91	93	92	97	97	96	
2	10.06	10.06	0.99	5.14	0.051	65	66	67	67	68	91	91	92	93	92	90	96	91	91	93	
3	10.05	10.06	0.99	5.14	0.051	65	66	67	67	68	90	90	92	93	92	93	92	97	95	95	
4	10.05	10.06	1.07	5.59	0.052	67	67	67	68	67	90	90	91	93	92	96	94	97	95	96	
5	10.05	10.06	0.99	5.17	0.052	67	67	67	68	68	92	90	91	93	92	97	96	96	97	93	
X	10.05	10.06	1.01	5.25	0.051					66.80					91.52					94.60	
SDXN	0.00				0.000					0.67					0.98					1.92	
%V	0.02				0.68					1.01					1.07					2.03	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.06	0.23	0.18	0.23	0.10	0.11	0.07	1.57	1.59	1.66	0.93	0.99	0.91	0.66	0.81	0.73	135	130	135		
2	1.99	0.28	0.21	0.15	0.13	0.13	0.10	1.69	1.60	1.72	0.92	0.97	0.82	0.68	0.75	0.73	145	130	145		
3	1.97	0.21	0.18	0.19	0.13	0.11	0.11	1.64	1.67	1.70	0.90	0.89	0.88	0.68	0.67	0.68	135	145	130		
4	2.01	0.16	0.20	0.18	0.13	0.11	0.11	1.69	1.55	1.81	0.93	1.00	1.09	0.69	0.65	0.73	145	130	150		
5	2.00	0.21	0.14	0.18	0.10	0.11	0.10	1.64	1.69	1.75	0.84	0.98	0.97	0.71	0.70	0.76	140	150	145		
X	2.01			0.098			0.055			1.64			0.92			0.70			139.33		
SDXN	0.02			0.027			0.011			0.05			0.05			0.03			6.71		
%V	0.01			27.74			20.56			3.23			5.59			4.88			4.82		
																			TOTAL VARIATION		7.16

ตารางที่ ง-16 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	17																	
AGITATOR	2	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.05	10.06	1.16	5.81	0.050	65	64	65	65	65	91	90	91	91	91	90	88	96	96	92		
2	10.06	10.06	1.07	5.40	0.050	65	65	65	65	64	90	90	91	92	91	94	95	96	92	94		
3	10.05	10.06	0.98	4.93	0.050	64	64	65	65	65	91	90	92	92	91	96	96	91	97	94		
4	10.05	10.06	1.03	5.18	0.050	65	64	65	65	65	90	90	92	92	91	90	94	96	96	94		
5	10.05	10.06	1.01	5.12	0.050	64	64	64	64	64	90	90	90	92	91	91	92	93	95	88		
X	10.05	10.06	1.05	5.29	0.050					64.60					90.88					93.44		
SDXN	0.00				0.000					0.48					0.63					2.19		
%V	0.02				0.34					0.74					0.70					2.35		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.00	0.28	0.24	0.26	0.12	0.10	0.11	1.88	1.34	1.72	1.01	0.91	0.95	0.69	0.66	0.71	150	120	140			
2	1.98	0.20	0.21	0.21	0.13	0.12	0.13	1.76	1.84	1.75	0.90	0.99	0.96	0.69	0.69	0.67	150	150	145			
3	1.98	0.28	0.23	0.23	0.10	0.13	0.12	1.81	1.32	1.50	0.95	0.95	0.94	0.70	0.70	0.71	155	110	125			
4	1.93	0.23	0.20	0.20	0.14	0.11	0.11	1.79	1.55	1.29	0.94	0.99	0.95	0.69	0.69	0.68	155	145	110			
5	1.99	0.20	0.17	0.18	0.12	0.12	0.10	1.24	1.73	1.81	0.89	0.85	0.88	0.75	0.76	0.78	120	155	155			
X	1.98			0.112			0.060			1.54			0.89			0.67			139.00			
SDXN	0.02				0.026			0.010				0.19			0.03				0.02			14.67
%V	0.01				23.31			16.62				12.26			3.65				3.53			10.55
																			TOTAL VARIATION		7.40	

ตารางที่ ง-17 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	18																	
AGITATOR	2	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.05	10.06	1.06	5.03	0.047	65	65	65	65	65	92	90	91	92	91	92	92	94	95	93		
2	10.06	10.06	1.00	4.99	0.049	65	65	66	66	66	89	90	91	91	90	92	91	92	93	92		
3	10.05	10.06	0.90	4.50	0.049	66	66	66	66	66	92	91	91	90	89	90	90	94	94	94		
4	10.05	10.06	1.02	5.10	0.049	65	65	65	65	66	91	90	90	92	90	90	90	92	92	91		
5	10.05	10.06	1.02	5.06	0.049	64	65	65	66	65	91	90	90	90	90	90	93	94	94	94		
X	10.05	10.06	1.00	4.94	0.049					65.36					90.56					92.32		
SDXN	0.00				0.001					0.51					0.74					1.32		
%V	0.02				1.57					0.78					0.82					1.43		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.03	0.26	0.26	0.23	0.11	0.09	0.11	1.47	1.65	1.68	0.80	0.86	0.94	0.73	0.75	0.68	140	145	115			
2	1.99	0.27	0.24	0.20	0.14	0.12	0.11	1.49	1.65	1.57	0.98	0.78	0.90	0.67	0.71	0.68	135	110	135			
3	2.00	0.21	0.24	0.23	0.09	0.08	0.11	1.61	1.52	1.48	0.92	0.81	0.91	0.65	0.66	0.67	125	140	130			
4	1.99	0.27	0.15	0.23	0.09	0.11	0.11	0.68	1.70	1.50	0.92	0.90	0.91	0.67	0.69	0.66	135	140	125			
5	1.97	0.21	0.24	0.21	0.11	0.11	0.12	1.72	1.70	1.68	0.91	0.92	0.91	0.65	0.65	0.66	135	130	115			
X	1.99			0.116			0.053			1.54			0.89			0.68			130.33			
SDXN	0.02				0.024			0.010				0.15			0.04				0.02			8.31
%V	0.01				20.29			18.15				9.52			4.72				3.30			6.38
																			TOTAL VARIATION		6.70	

ตารางที่ ง-18 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	19																	
AGITATOR	2	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.05	10.06	1.01	5.13	0.050	66	66	67	68	68	91	91	92	93	92	91	93	96	95	95		
2	10.06	10.06	1.00	5.03	0.050	67	67	67	68	68	91	91	92	93	93	95	95	97	96	96		
3	10.05	10.06	1.00	4.99	0.049	66	67	67	67	67	91	88	92	93	93	95	95	93	90	93		
4	10.05	10.06	1.02	5.13	0.050	66	66	68	68	68	90	90	92	93	93	96	96	96	93	96		
5	10.05	10.06	1.02	5.15	0.050	67	67	68	67	67	90	89	92	94	93	95	93	97	93	96		
X	10.05	10.06	1.01	5.09	0.050					67.12					91.68					94.64		
SDXN	0.00				0.000						0.56						1.18					1.45
%V	0.02				0.47						0.84						1.29					1.53
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.02	0.31	0.29	0.29	0.12	0.14	0.10	1.55	1.41	1.63	0.89	0.97	0.96	0.62	0.65	0.67	130	115	125			
2	2.02	0.29	0.28	0.22	0.11	0.07	0.11	1.46	1.42	1.42	0.86	0.87	0.85	0.67	0.74	0.78	115	120	115			
3	1.95	0.22	0.28	0.25	0.12	0.11	0.10	1.43	1.47	1.50	0.82	0.80	0.90	0.62	0.68	0.65	125	115	130			
4	2.02	0.27	0.22	0.24	0.10	0.12	0.11	1.42	1.50	1.41	0.91	0.94	0.91	0.60	0.74	0.65	110	135	120			
5	1.99	0.27	0.21	0.22	0.08	0.11	0.11	1.59	1.57	1.65	0.89	0.95	0.88	0.63	0.74	0.73	130	145	130			
X	2.00			0.129			0.054			1.48			0.88			0.67			124.00			
SDXN	0.02				0.028			0.013				0.07			0.04				0.05			7.73
%V	0.01				22.04			23.92				4.66			4.28				6.73			6.24
																			TOTAL VARIATION		7.20	

ตารางที่ ง-19 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	20																		
AGITATOR	2	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20															
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC							
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	10.05	10.06	0.98	5.07	0.051	65	66	65	66	66	89	90	90	91	90	92	89	95	94	95			
2	10.05	10.06	1.00	4.97	0.049	66	67	66	66	66	91	92	92	89	89	89	93	89	93	96			
3	10.06	10.06	1.01	5.14	0.050	66	67	67	67	67	90	89	92	91	90	92	93	95	89	93			
4	10.06	10.06	1.00	5.06	0.050	64	65	65	65	65	89	89	90	90	90	93	89	90	88	89			
5	10.06	10.06	1.03	5.10	0.049	65	65	65	64	63	90	91	91	90	89	95	94	94	87	91			
X	10.05	10.06	1.00	5.07	0.050					65.56					90.16					91.88			
SDXN	0.00				0.001					0.86					0.78					2.30			
%V	0.02				1.38					1.31					0.86					2.51			
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION						
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)						
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	2.02	0.33	0.26	0.26	0.14	0.12	0.10	1.77	1.71	1.39	0.89	0.91	0.92	0.71	0.72	0.67	130	115	115				
2	2.01	0.27	0.28	0.27	0.11	0.11	0.10	1.60	1.39	1.57	0.76	0.86	0.88	0.67	0.78	0.67	115	105	110				
3	1.98	0.23	0.26	0.22	0.12	0.12	0.10	1.41	1.49	0.81	0.81	0.91	0.78	0.61	0.64	0.69	120	125	80				
4	1.99	0.27	0.25	0.25	0.10	0.12	0.11	1.77	1.70	1.09	0.81	0.94	0.96	0.65	0.70	0.62	130	130	95				
5	1.99	0.24	0.27	0.24	0.12	0.11	0.14	1.34	1.68	1.37	0.82	1.03	0.84	0.66	0.63	0.62	115	125	115				
X	2.00			0.130			0.057			1.47			0.87			0.67			115.00				
SDXN	0.01				0.018			0.012				0.20			0.06				0.03			9.33	
%V	0.01				13.87			21.33				13.66			6.75				5.09			8.12	
																			TOTAL VARIATION		7.49		

ตารางที่ ง-20 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	21																
AGITATOR	2	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.05	10.03	1.01	5.01	0.049	65	65	65	67	66	90	90	90	90	90	94	94	94	95	95	
2	10.05	10.05	1.02	4.90	0.048	66	66	66	66	66	91	90	90	90	91	90	92	95	96	96	
3	10.05	10.50	0.85	4.77	0.053	65	65	66	66	66	90	89	90	90	90	89	95	87	94	92	
4	10.45	10.05	1.02	4.83	0.045	65	65	65	65	65	90	90	88	91	89	94	96	95	96	95	
5	10.05	10.05	1.00	4.83	0.048	64	64	64	64	65	90	89	96	89	90	90	91	91	89	92	
X	10.13	10.14	0.98	4.87	0.049					65.28					90.12					93.08	
SDXN	0.13				0.002					0.66					0.68					2.22	
%V	1.27				4.35					1.00					0.76					2.39	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.31	0.29	0.23	0.11	0.10	0.08	1.43	1.37	1.39	0.86	0.98	0.89	0.63	0.65	0.62	110	100	115		
2	2.01	0.27	0.29	0.22	0.10	0.10	0.09	1.64	1.57	1.51	0.86	0.81	0.81	0.64	0.62	0.64	105	110	100		
3	2.00	0.27	0.22	0.30	0.10	0.10	0.10	1.30	1.22	1.16	0.72	0.73	0.78	0.63	0.67	0.66	130	135	110		
4	2.00	0.29	0.26	0.29	0.11	0.10	0.10	1.47	1.48	1.51	0.85	0.92	0.82	0.63	0.62	0.66	105	110	120		
5	2.00	0.27	0.24	0.26	0.10	0.09	0.09	1.39	1.49	1.48	0.84	0.86	0.88	0.69	0.58	0.65	120	110	120		
X	2.00			0.133			0.051			1.46			0.86			0.65			113.33		
SDXN	0.00			0.023			0.006			0.10			0.05			0.02			8.00		
%V	0.00			17.14			11.43			6.86			5.94			3.03			7.06		
																			TOTAL VARIATION		6.00

ตารางที่ ง-21 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	22																		
AGITATOR	2	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20															
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC							
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	10.05	10.06	1.02	5.15	0.050	67	67	67	67	67	90	90	90	91	91	91	96	96	97	93			
2	10.06	10.06	1.00	5.18	0.051	67	67	67	67	68	90	90	91	91	90	93	95	96	96	95			
3	10.05	10.06	0.98	4.29	0.043	67	66	67	67	67	90	90	91	91	90	95	95	95	93	96			
4	10.05	10.06	1.00	5.16	0.051	66	68	68	68	67	90	90	91	91	90	97	95	96	94	95			
5	10.05	10.06	1.00	5.20	0.051	67	67	67	67	67	91	91	90	91	92	96	96	96	97	95			
X	10.05	10.06	1.00	5.00	0.049					67.08					90.52					95.16			
SDXN	0.00				0.002					0.29					0.54					1.05			
%V	0.02				4.93					0.44					0.60					1.10			
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION						
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )						
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	1.99	0.31	0.26	0.21	0.11	0.10	0.10	1.48	1.59	1.54	0.80	0.92	0.91	0.70	0.70	0.66	105	110	110				
2	2.00	0.33	0.35	0.32	0.11	0.10	0.11	1.38	1.50	1.27	0.84	0.95	0.89	0.65	0.63	0.65	135	110	125				
3	1.99	0.29	0.29	0.25	0.10	0.13	0.10	1.32	1.39	1.49	0.80	0.95	0.80	0.69	0.72	0.62	125	125	120				
4	2.02	0.25	0.22	0.22	0.10	0.11	0.11	1.36	1.33	1.48	0.87	0.94	0.85	0.71	0.67	0.63	125	135	125				
5	2.00	0.26	0.24	0.28	0.10	0.13	0.10	1.59	1.42	1.53	0.80	0.84	0.91	0.68	0.63	0.63	130	135	110				
X	2.00			0.136			0.053			1.44			0.87			0.66			121.67				
SDXN	0.01				0.035			0.009				0.09			0.05				0.03			8.67	
%V	0.00				25.58			16.84				5.93			5.67				4.36			7.12	
																			TOTAL VARIATION		7.26		

ตารางที่ ง-22 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	23																
AGITATOR	2	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.05	10.06	1.04	5.11	0.049	65	65	66	65	66	91	90	91	89	91	90	94	97	88	90	
2	10.06	10.06	1.01	4.96	0.049	65	65	66	66	66	91	91	92	92	91	95	92	92	95	90	
3	10.05	10.06	0.98	4.83	0.049	65	65	66	66	66	92	91	92	92	91	90	95	97	95	93	
4	10.05	10.06	1.01	5.07	0.050	65	65	66	64	65	91	90	91	91	91	92	92	97	93	95	
5	10.05	10.06	1.00	5.03	0.050	63	64	63	83	64	90	90	91	91	90	91	87	86	86	89	
X	10.05	10.06	1.01	5.00	0.049					65.80					90.92					92.04	
SDXN	0.00				0.001					1.52					0.52					2.68	
%V	0.02				1.06					2.31					0.57					2.92	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.98	0.35	0.32	0.23	0.11	0.10	0.10	1.46	1.39	1.32	0.74	0.89	0.86	0.63	0.55	0.83	115	125	125		
2	2.01	0.37	0.34	0.24	0.13	0.13	0.08	1.38	1.23	1.49	0.88	0.90	0.81	0.61	0.60	0.59	115	125	110		
3	2.00	0.38	0.30	0.25	0.14	0.10	0.13	1.31	1.36	1.43	0.84	0.80	0.68	0.56	0.52	0.64	110	115	130		
4	2.01	0.30	0.28	0.20	0.10	0.13	0.11	1.52	1.44	1.36	0.84	0.83	0.92	0.56	0.62	0.67	115	110	110		
5	2.00	0.30	0.35	0.30	0.11	0.14	0.13	1.52	1.49	1.31	0.87	0.90	0.95	0.64	0.69	0.61	140	130	135		
X	2.00			0.150			0.057			1.39			0.84			0.62			120.67		
SDXN	0.01			0.042			0.014				0.07			0.05				0.05			8.71
%V	0.00			28.09			24.72				5.19			6.16				7.98			7.22
																			TOTAL VARIATION		8.62

ตารางที่ ง-23 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	24																
AGITATOR	2	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.05	10.06	1.02	4.97	0.048	65	64	65	65	64	90	90	90	90	90	86	92	95	93	89	
2	10.06	10.06	1.04	4.91	0.047	64	65	65	65	65	90	90	89	90	91	87	90	95	95	92	
3	10.05	10.06	1.02	4.91	0.048	63	64	64	65	64	89	90	90	91	90	91	89	90	90	91	
4	10.05	10.06	1.03	5.01	0.048	63	63	63	63	63	91	90	89	90	90	87	91	90	91	87	
5	10.05	10.06	1.00	4.90	0.048	63	63	64	63	64	90	88	87	90	91	96	86	93	90	88	
X	10.05	10.06	1.02	4.94	0.048					63.96					89.84					90.56	
SDXN	0.00				0.001					0.69					0.58					2.26	
%V	0.02				1.13					1.08					0.64					2.50	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.40	0.32	0.32	0.11	0.11	0.11	1.10	0.85	1.67	0.84	0.85	0.87	0.61	0.65	0.63	90	65	115		
2	2.03	0.42	0.34	0.34	0.08	0.11	0.11	0.97	0.86	1.71	0.90	0.85	0.82	0.67	0.75	0.63	70	65	120		
3	1.97	0.34	0.32	0.28	0.13	0.11	0.08	1.21	1.07	1.74	0.74	0.64	0.57	0.64	0.57	0.57	80	85	125		
4	2.00	0.32	0.32	0.32	0.13	0.13	0.11	1.01	0.90	1.75	0.89	0.86	0.79	0.68	0.64	0.61	80	85	135		
5	1.99	0.28	0.32	0.30	0.13	0.11	0.08	1.27	1.77	0.98	0.83	0.77	0.86	0.68	0.64	0.66	95	115	90		
X	2.00			0.164			0.055			1.23			0.79			0.63			94.33		
SDXN	0.01			0.026			0.011			0.31			0.07			0.03			18.53		
%V	0.01			15.65			18.98			25.09			8.55			4.94			19.65		
																			TOTAL VARIATION		9.82

ตารางที่ ง-24 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Four blade anchor, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	25																	
AGITATOR	3	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.21	10.30	1.00	5.15	0.049	68	68	68	68	69	91	91	91	91	93	92	97	96	98	91		
2	10.15	10.14	1.00	5.17	0.050	68	68	68	68	69	91	93	92	92	93	92	95	97	96	96		
3	10.05	10.09	1.01	5.38	0.053	68	68	68	69	69	90	93	92	92	94	95	92	98	98	98		
4	10.11	10.14	0.99	5.36	0.053	68	68	67	70	68	92	93	92	92	94	96	96	96	96	97		
5	9.85	10.14	1.00	5.00	0.050	70	70	68	69	68	92	92	93	91	94	97	96	98	96	97		
X	10.07	10.16	1.00	5.21	0.051					68.40					92.16					95.84		
SDXN	0.10				0.001					0.62					0.84					1.44		
%V	1.00				2.75					0.91					0.92					1.51		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.04	0.22	0.17	0.17	0.15	0.17	0.15	1.34	1.80	1.59	1.01	1.20	1.06	0.86	0.81	0.79	165	150	165			
2	2.02	0.15	0.14	0.18	0.16	0.17	0.16	1.64	1.65	1.82	1.01	1.04	0.97	0.83	0.87	0.87	160	160	170			
3	2.02	0.18	0.17	0.17	0.14	0.14	0.14	1.81	1.77	1.65	1.14	1.08	0.98	0.68	0.87	0.88	145	155	70			
4	1.92	0.18	0.17	0.17	0.14	0.13	0.13	1.70	1.61	1.88	1.01	1.06	1.03	0.85	0.91	0.96	105	80	160			
5	2.03	0.17	0.18	0.16	0.13	0.14	0.15	1.93	1.72	1.59	0.95	1.07	1.07	0.81	0.85	0.85	175	160	175			
X	2.00			0.085			0.072			1.70			1.05			0.85			146.33			
SDXN	0.03				0.011			0.012				0.11			0.05				0.04			24.71
%V	0.02				13.19			16.29				6.51			4.63				4.89			16.89
TOTAL VARIATION																	6.85					

ตารางที่ ง-25 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	26																	
AGITATOR	3	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.04	1.02	5.11	0.049	66	66	66	66	65	91	91	91	91	92	88	94	95	95	95		
2	9.80	10.04	1.02	4.94	0.049	67	66	66	65	64	92	93	91	92	91	97	89	92	95	96		
3	10.10	9.91	0.98	5.08	0.052	67	66	66	66	65	92	92	90	92	92	93	94	95	96	89		
4	10.00	10.09	1.00	4.97	0.049	67	66	66	67	66	92	92	90	92	92	93	94	95	95	91		
5	10.00	10.04	1.02	4.94	0.048	67	67	65	66	66	93	93	90	92	92	95	92	97	94	87		
X	10.00	10.02	1.01	5.01	0.050					66.00					91.64					93.44		
SDXN	0.08				0.001					0.48					0.70					2.16		
%V	0.81				1.78					0.73					0.76					2.31		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.04	0.17	0.18	0.15	0.13	0.12	0.12	1.63	1.58	1.79	0.99	1.15	0.99	0.91	0.76	0.85	160	145	155			
2	2.03	0.15	0.19	0.17	0.13	0.11	0.11	1.75	1.53	1.71	0.99	1.12	1.02	0.87	0.83	0.96	155	155	155			
3	2.04	0.21	0.20	0.19	0.11	0.11	0.11	1.68	1.71	1.63	0.97	1.07	0.91	0.79	0.75	0.78	155	165	145			
4	1.98	0.20	0.19	0.18	0.13	0.14	0.12	1.70	1.58	1.75	0.92	1.14	1.03	0.90	0.79	0.79	145	135	60			
5	1.95	0.18	0.19	0.17	0.15	0.11	0.12	1.68	1.77	1.90	0.94	1.12	0.98	0.89	0.76	0.82	160	155	140			
X	2.01			0.090			0.058			1.68			1.01			0.82			145.67			
SDXN	0.03				0.014			0.010				0.07			0.07				0.05			13.87
%V	0.02				15.73			17.63				4.24			6.44				6.43			9.52
																			TOTAL VARIATION		6.56	

ตารางที่ ง-26 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	27																	
AGITATOR	3	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.85	10.14	0.98	5.00	0.051	64	65	65	64	66	90	92	91	90	91	91	88	92	96	93		
2	9.95	10.09	1.02	4.77	0.047	65	66	66	64	66	91	93	91	89	92	92	90	94	96	96		
3	9.85	9.98	1.00	4.90	0.050	65	66	65	66	65	91	93	90	90	92	92	92	93	95	92		
4	10.15	9.98	1.02	4.94	0.048	66	66	66	66	65	91	93	91	90	92	90	94	95	91	91		
5	10.15	10.04	1.00	5.00	0.049	67	67	65	65	64	92	93	90	93	89	94	94	90	96	95		
X	9.99	10.05	1.00	4.92	0.049					65.40					91.20					92.88		
SDXN	0.13				0.001					0.74					1.04					1.88		
%V	1.30				2.77					1.13					1.14					2.03		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.02	0.27	0.24	0.24	0.12	0.12	0.12	1.79	1.68	1.79	0.89	0.97	0.88	0.73	0.77	0.73	140	140	140			
2	2.01	0.30	0.26	0.20	0.13	0.12	0.12	1.82	1.87	1.75	0.99	1.06	0.87	0.80	0.83	0.90	140	140	135			
3	1.94	0.27	0.24	0.20	0.12	0.12	0.12	1.82	1.73	1.78	0.93	1.01	0.80	0.82	0.71	0.73	140	145	155			
4	2.01	0.24	0.19	0.17	0.12	0.10	0.10	1.66	1.52	0.80	0.95	0.91	0.88	0.79	0.75	0.76	145	145	130			
5	2.01	0.28	0.26	0.19	0.10	0.10	0.12	1.69	1.85	1.61	0.98	1.05	0.90	0.72	0.71	0.79	150	150	140			
X	2.00			0.118			0.057			1.67			0.93			0.77			142.33			
SDXN	0.02				0.032			0.010				0.15			0.06				0.04			4.80
%V	0.01				27.10			17.16				8.90			6.31				5.45			3.37
																			TOTAL VARIATION		7.54	

ตารางที่ ง-27 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่น 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่น 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	28																
AGITATOR	3	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.25	10.04	0.99	5.06	0.050	65	66	66	65	65	90	92	91	88	92	95	97	96	96	90	
2	9.95	9.93	1.00	4.96	0.050	65	66	66	66	66	92	92	92	91	92	95	95	97	95	92	
3	10.05	10.14	1.00	5.06	0.050	65	65	65	66	66	91	92	91	90	91	96	94	90	93	92	
4	9.95	10.04	0.99	5.04	0.051	66	66	65	66	65	92	92	91	91	91	96	93	90	95	91	
5	10.05	10.14	1.02	5.42	0.052	65	67	65	66	65	91	92	90	90	90	90	95	97	92	90	
X	10.05	10.06	1.00	5.11	0.051					65.56					91.08					93.68	
SDXN	0.08				0.001					0.54					0.74					2.20	
%V	0.81				1.64					0.82					0.81					2.35	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.03	0.34	0.33	0.30	0.10	0.10	0.09	1.63	1.63	1.78	0.98	0.88	0.85	0.70	0.67	0.73	135	130	145		
2	1.94	0.32	0.30	0.20	0.10	0.09	0.10	1.65	1.56	1.63	0.90	0.99	0.88	0.78	0.73	0.74	135	130	135		
3	2.00	0.20	0.19	0.19	0.09	0.09	0.10	1.71	1.61	1.67	0.86	0.96	0.91	0.75	0.75	0.72	150	140	140		
4	2.02	0.19	0.18	0.20	0.10	0.10	0.10	1.60	1.64	1.65	0.88	0.90	0.91	0.75	0.73	0.70	145	135	135		
5	2.02	0.18	0.19	0.18	0.08	0.11	0.10	1.66	1.64	1.64	0.91	0.94	0.92	0.70	0.74	0.70	150	150	140		
X	2.00			0.116			0.050			1.65			0.91			0.73			139.67		
SDXN	0.03			0.057			0.006				0.03			0.03				0.02			5.69
%V	0.01			49.00			11.95				1.94			3.41				3.05			4.07
																			TOTAL VARIATION		7.91

ตารางที่ ง-28 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	29																	
AGITATOR	3	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.95	10.19	1.04	5.21	0.049	63	64	63	63	63	90	91	90	89	91	84	94	89	87	95		
2	10.11	10.02	0.99	4.90	0.049	63	64	64	64	63	91	93	90	89	92	89	90	90	92	85		
3	10.05	10.09	0.99	4.94	0.049	64	64	64	63	63	90	92	90	90	92	91	95	87	90	85		
4	10.05	10.14	0.99	5.02	0.050	64	64	63	65	63	90	92	90	90	92	90	89	85	90	88		
5	10.05	10.04	1.01	5.17	0.051	64	65	64	65	63	90	91	91	90	92	95	92	90	97	87		
X	10.04	10.09	1.00	5.05	0.050					63.68					90.72					89.84		
SDXN	0.04				0.001					0.60					0.91					2.66		
%V	0.37				1.08					0.94					1.00					2.96		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.06	0.27	0.26	0.22	0.12	0.11	0.11	1.63	1.63	1.78	0.95	0.90	0.96	0.75	0.77	0.80	145	135	135			
2	1.97	0.25	0.19	0.19	0.12	0.13	0.12	1.65	1.56	1.63	0.89	1.00	0.86	0.75	0.77	0.79	135	150	145			
3	1.97	0.46	0.29	0.23	0.11	0.13	0.12	1.71	1.61	1.67	1.02	1.01	0.89	0.72	0.69	0.66	140	140	140			
4	1.97	0.32	0.18	0.22	0.11	0.11	0.10	1.60	1.64	1.65	0.89	0.86	0.82	0.67	0.67	0.77	135	140	125			
5	2.02	0.17	0.17	0.19	0.12	0.10	0.11	1.66	1.64	1.64	0.96	0.82	0.87	0.71	0.73	0.75	150	140	120			
X	2.00			0.119			0.058			1.64			0.91			0.73			138.33			
SDXN	0.03				0.055			0.010				0.03			0.06				0.04			6.00
%V	0.02				46.33			17.30				1.94			6.13				5.15			4.34
																			TOTAL VARIATION		8.72	

ตารางที่ ง-29 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	30																	
AGITATOR	3	SPEED	2000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.85	10.04	0.97	4.98	0.052	63	63	63	64	63	90	90	90	90	90	87	83	87	88	89		
2	10.66	10.24	1.00	5.21	0.048	63	62	63	64	63	90	91	90	89	91	89	90	88	90	90		
3	10.05	10.09	0.98	4.96	0.050	63	62	62	64	63	90	91	91	90	90	87	85	87	88	87		
4	9.95	10.09	1.03	4.96	0.048	64	63	63	64	63	90	90	91	89	90	88	87	85	94	90		
5	9.95	10.14	0.99	4.79	0.048	64	63	63	64	64	90	90	91	88	92	88	90	92	95	88		
X	10.09	10.12	0.99	4.98	0.049					63.20					90.16					88.48		
SDXN	0.23				0.001					0.51					0.55					1.94		
%V	2.25				2.97					0.81					0.61					2.19		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.98	0.27	0.31	0.23	0.08	0.10	0.10	1.90	1.79	1.86	0.95	1.00	0.88	0.65	0.63	0.76	135	145	150			
2	1.99	0.28	0.23	0.21	0.10	0.12	0.10	1.67	1.81	1.93	0.85	0.87	0.82	0.67	0.61	0.72	140	110	120			
3	1.98	0.27	0.22	0.24	0.12	0.12	0.09	1.55	1.66	0.89	0.88	0.95	0.81	0.69	0.68	0.68	100	140	90			
4	2.01	0.25	0.26	0.22	0.12	0.12	0.12	1.23	0.89	1.71	0.91	0.89	0.83	0.69	0.79	0.69	150	145	150			
5	2.02	0.34	0.22	0.22	0.14	0.12	0.09	1.87	1.91	1.78	0.87	0.90	0.93	0.71	0.76	0.63	145	130	160			
X	2.00			0.125			0.055			1.64			0.89			0.69			134.00			
SDXN	0.02				0.031			0.011				0.26			0.04				0.04			16.00
%V	0.01				24.47			19.25				16.03			4.57				5.53			11.94
																			TOTAL VARIATION		8.84	

ตารางที่ ง-30 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 2000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	31																
AGITATOR	3	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9.95	10.19	0.99	5.00	0.050	66	65	66	66	66	92	92	91	90	92	89	87	94	90	92	
2	9.95	10.04	1.04	4.85	0.047	66	66	66	66	66	92	92	91	90	92	91	89	95	92	91	
3	10.15	10.14	0.98	4.77	0.047	66	66	66	66	66	91	92	91	91	92	94	92	92	92	87	
4	9.95	10.09	1.08	4.81	0.044	65	66	65	66	66	92	92	91	92	92	96	89	95	92	91	
5	9.91	10.19	0.95	5.04	0.053	67	65	65	66	65	91	92	90	92	92	90	88	90	90	91	
X	9.98	10.13	1.01	4.90	0.048					65.80					91.48					91.16	
SDXN	0.07				0.002					0.38					0.62					1.86	
%V	0.68				5.05					0.58					0.68					2.04	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.35	0.19	0.16	0.11	0.11	0.11	1.63	1.69	1.73	0.91	0.94	1.00	0.69	0.69	0.67	145	145	160		
2	2.01	0.27	0.26	0.19	0.12	0.11	0.11	1.63	1.23	1.50	0.95	0.97	0.91	0.71	0.71	0.74	145	165	140		
3	2.00	0.27	0.27	0.24	0.09	0.13	0.08	1.05	1.55	1.77	0.85	0.94	0.87	0.68	0.77	0.76	75	135	160		
4	2.00	0.28	0.21	0.20	0.08	0.12	0.11	1.72	1.60	1.63	0.81	0.98	0.85	0.70	0.71	0.70	45	70	155		
5	2.01	0.29	0.24	0.31	0.11	0.12	0.09	1.80	1.58	1.77	0.86	0.92	0.91	0.77	0.72	0.75	150	155	150		
X	2.00			0.124			0.052			1.58			0.90			0.71			133.00		
SDXN	0.01			0.042			0.009			0.14			0.04			0.03			27.87		
%V	0.00			34.07			17.15			8.79			4.69			3.75			20.95		
																			TOTAL VARIATION		9.78

ตารางที่ ง-31 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	32																
AGITATOR	3	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.25	10.04	1.04	4.75	0.044	65	65	65	66	66	91	92	91	91	91	96	90	93	93	93	
2	10.25	10.14	1.01	4.90	0.047	65	65	66	66	65	91	91	92	90	92	98	93	95	96	88	
3	10.15	10.14	1.01	4.96	0.048	65	65	65	65	65	90	90	90	92	91	92	94	92	97	90	
4	9.95	10.14	0.94	4.87	0.051	66	65	66	65	65	91	91	92	91	92	95	92	91	93	91	
5	9.80	10.04	1.05	5.04	0.049	65	65	66	66	66	87	90	92	91	92	88	85	85	92	87	
X	10.08	10.10	1.01	4.90	0.048					65.36					90.96					91.96	
SDXN	0.16				0.002					0.46					0.70					2.61	
%V	1.63				3.89					0.71					0.77					2.84	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.34	0.27	0.21	0.09	0.10	0.09	1.93	1.80	1.95	1.00	1.01	0.99	0.65	0.62	0.68	95	135	135		
2	2.00	0.26	0.27	0.29	0.10	0.11	0.10	1.65	1.93	1.72	0.93	1.02	0.96	0.64	0.66	0.78	130	130	140		
3	2.01	0.23	0.38	0.22	0.10	0.09	0.11	0.78	1.45	1.87	0.60	0.60	0.85	0.67	0.72	0.56	150	135	135		
4	2.00	0.26	0.25	0.20	0.09	0.11	0.11	0.61	0.86	1.87	0.83	0.90	0.82	0.64	0.72	0.68	130	130	140		
5	2.00	0.30	0.21	0.20	0.10	0.09	0.10	1.70	1.77	1.73	0.74	1.02	0.87	0.70	0.70	0.74	135	125	130		
X	2.00			0.128			0.051			1.55			0.87			0.67			131.67		
SDXN	0.00			0.041			0.006			0.36			0.11			0.04			6.89		
%V	0.00			31.62			12.54			23.35			12.51			5.93			5.23		
																			TOTAL VARIATION		9.94

ตารางที่ ง-32 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	33																	
AGITATOR	3	SPEED	3000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.05	10.04	1.05	5.09	0.048	64	64	64	64	64	90	90	89	91	91	88	87	95	90	90		
2	10.11	10.09	0.99	4.83	0.048	64	64	64	64	64	92	92	90	90	90	90	88	89	91	96		
3	10.05	10.12	0.99	4.83	0.048	64	64	64	64	64	91	92	91	91	91	89	88	95	88	93		
4	10.15	10.24	0.99	4.90	0.048	64	64	64	64	64	91	92	90	90	90	89	88	95	88	93		
5	10.05	10.09	1.01	5.04	0.049	64	64	64	64	64	91	93	90	88	90	95	88	89	89	90		
X	10.08	10.12	1.01	4.94	0.048					64.00					90.64					90.44		
SDXN	0.04				0.000					0.00					0.85					2.36		
%V	0.39				0.93					0.00					0.94					2.61		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.03	0.29	0.31	0.24	0.10	0.08	0.10	1.57	1.81	1.52	0.88	0.89	0.82	0.75	0.69	0.69	120	130	115			
2	1.99	0.32	0.26	0.26	0.10	0.10	0.10	1.58	1.45	1.72	0.90	0.64	0.86	0.72	0.59	0.75	150	135	145			
3	2.00	0.31	0.36	0.28	0.07	0.09	0.08	1.60	1.27	1.64	0.82	0.95	0.90	0.73	0.69	0.66	120	120	110			
4	1.99	0.28	0.23	0.19	0.08	0.08	0.09	1.63	1.46	1.62	0.89	0.96	0.89	0.69	0.64	0.64	140	110	140			
5	1.99	0.23	0.19	0.18	0.07	0.09	0.09	1.49	1.67	0.97	0.83	0.95	0.78	0.57	0.60	0.60	150	150	110			
X	2.00			0.131			0.045			1.52			0.86			0.66			129.67			
SDXN	0.01				0.042			0.009				0.14			0.06				0.05			13.69
%V	0.01				31.95			20.61				9.04			6.70				7.42			10.56
																			TOTAL VARIATION		9.08	

ตารางที่ ง-33 ผลการทดลองโดยใช้ใบกังหันชนิด Pitch blade turbine, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 3000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	34																	
AGITATOR	4	SPEED	600	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	1.02	5.94	0.057	68	69	68	69	68	90	92	92	91	92	96	96	95	95	96		
2	10.10	10.10	1.01	5.87	0.057	69	68	68	67	68	91	92	92	91	91	96	94	96	95	93		
3	10.10	10.10	1.00	5.81	0.057	68	69	68	69	68	91	92	91	91	91	92	94	92	95	95		
4	10.10	10.10	1.03	6.06	0.058	69	69	69	69	68	91	92	91	91	91	96	96	96	97	96		
5	10.10	10.10	1.00	5.98	0.059	69	69	68	69	69	91	92	91	91	91	97	97	95	92	95		
X	10.10	10.10	1.01	5.93	0.057					68.48					91.28					95.08		
SDXN	0.00				0.001					0.54					0.46					1.12		
%V	0.00				0.95					0.79					0.50					1.18		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.76	0.20	0.20	0.21	0.11	0.10	0.10	1.82	1.71	1.93	1.11	1.15	0.97	0.75	0.69	0.70	135	140	145			
2	1.74	0.21	0.20	0.21	0.08	0.08	0.08	1.82	1.70	1.90	1.07	0.90	1.02	0.73	0.55	0.63	135	140	140			
3	1.72	0.20	0.23	0.16	0.08	0.09	0.10	1.90	1.78	1.54	0.95	1.04	0.99	0.65	0.67	0.67	140	140	110			
4	1.70	0.17	0.16	0.17	0.10	0.08	0.09	1.89	1.86	2.13	0.99	1.22	1.18	0.69	0.70	0.76	140	145	175			
5	1.70	0.16	0.16	0.18	0.09	0.09	0.07	1.91	2.02	1.87	0.96	1.00	1.03	0.70	0.54	0.80	135	145	140			
X	1.72			0.109			0.052			1.83			1.03			0.67			140.33			
SDXN	0.02				0.021			0.009				0.10			0.07				0.05			6.49
%V	0.01				19.07			16.98				5.34			6.91				7.47			4.62
																			TOTAL VARIATION		6.38	

ตารางที่ ง-34 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	35																
AGITATOR	4	SPEED	600	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	0.99	5.91	0.059	70	70	70	69	70	91	90	91	91	92	96	96	94	94	98	
2	10.15	10.10	1.02	5.87	0.056	69	69	69	68	70	91	91	91	90	91	96	97	96	95	96	
3	10.10	10.10	1.01	5.86	0.057	70	70	70	70	69	91	92	92	90	92	97	95	97	96	97	
4	10.15	10.10	1.03	6.09	0.058	69	70	70	70	70	92	91	91	90	92	95	96	98	98	96	
5	10.10	10.10	1.00	5.96	0.058	70	70	70	70	69	92	92	91	90	91	98	98	97	97	96	
X	10.12	10.10	1.01	5.94	0.058					69.64					91.12					96.36	
SDXN	0.02				0.001					0.49					0.56					0.96	
%V	0.24				1.42					0.70					0.62					1.00	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.76	0.24	0.26	0.20	0.10	0.07	0.11	1.80	1.83	1.73	1.01	1.10	1.04	0.70	0.64	0.71	140	135	140		
2	1.75	0.33	0.22	0.21	0.10	0.13	0.10	1.83	1.75	1.75	0.92	0.99	0.95	0.69	0.60	0.66	135	145	135		
3	1.70	0.23	0.21	0.21	0.10	0.10	0.07	1.78	1.83	1.79	0.90	0.91	0.94	0.64	0.71	0.69	135	145	140		
4	1.70	0.17	0.19	0.16	0.10	0.10	0.10	1.88	1.86	1.87	1.09	1.07	1.08	0.71	0.70	0.64	135	135	135		
5	1.74	0.20	0.18	0.21	0.10	0.10	0.10	1.92	1.90	1.93	1.11	1.12	0.98	0.73	0.78	0.63	130	135	140		
X	1.73			0.124			0.057			1.81			1.00			0.68			137.33		
SDXN	0.02				0.028			0.008				0.05			0.07			0.04			3.47
%V	0.01				22.21			13.40				2.77			6.73			5.51			2.52
																			TOTAL VARIATION		5.69

ตารางที่ ง-35 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	36																
AGITATOR	4	SPEED	600	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.02	6.00	0.058	70	70	69	70	70	91	91	91	91	92	96	94	96	96	97	
2	10.10	10.10	1.02	6.06	0.058	70	69	71	70	70	92	92	92	92	93	97	95	94	97	97	
3	10.20	10.15	0.99	5.93	0.058	71	69	70	69	69	91	91	92	93	92	96	95	96	96	97	
4	10.10	10.20	1.03	6.24	0.059	69	70	70	71	70	90	91	91	93	92	96	96	96	95	97	
5	10.20	10.20	1.00	6.28	0.060	70	70	70	70	70	90	91	91	92	92	96	96	95	97	97	
X	10.14	10.15	1.01	6.10	0.059					69.88					91.56					96.00	
SDXN	0.05				0.001					0.42					0.70					0.64	
%V	0.47				1.36					0.60					0.76					0.67	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.76	0.19	0.18	0.19	0.09	0.09	0.07	1.63	1.89	1.65	1.02	1.13	1.02	0.67	0.66	0.67	138	138	128		
2	1.76	0.26	0.20	0.25	0.09	0.10	0.10	1.61	1.52	1.72	0.97	1.01	1.02	0.60	0.68	0.68	112	117	133		
3	1.75	0.23	0.20	0.21	0.12	0.09	0.07	1.60	1.74	1.82	1.18	1.03	1.05	0.68	0.69	0.62	122	144	122		
4	1.70	0.22	0.17	0.18	0.10	0.10	0.10	1.89	1.94	1.76	0.92	0.97	1.20	0.56	0.74	0.68	154	138	138		
5	1.75	0.21	0.17	0.16	0.10	0.10	0.10	1.73	1.93	1.75	1.02	1.13	1.02	0.74	0.77	0.72	138	149	149		
X	1.74			0.115			0.054			1.72			1.03			0.67			134.90		
SDXN	0.02				0.023			0.009				0.10			0.06			0.04			9.94
%V	0.01				19.87			16.70				5.83			5.86			5.46			7.37
																			TOTAL VARIATION		6.45

ตารางที่ ง-36 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	37																
AGITATOR	4	SPEED	800	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.03	5.76	0.055	68	67	69	69	68	92	90	93	90	90	92	94	92	96	94	
2	10.10	10.10	1.02	5.74	0.055	69	67	68	69	68	92	91	92	91	91	96	89	92	95	96	
3	10.10	10.10	1.00	5.74	0.056	69	68	69	69	67	92	91	92	92	91	92	90	96	96	94	
4	10.10	10.20	1.04	5.94	0.055	69	68	68	69	68	91	91	91	92	91	92	97	93	96	96	
5	10.10	10.10	1.00	5.76	0.056	68	68	68	69	68	90	90	91	91	91	95	96	95	95	95	
X	10.10	10.12	1.02	5.79	0.056					68.28					91.16					94.16	
SDXN	0.00				0.001					0.58					0.62					1.74	
%V	0.00				1.06					0.84					0.68					1.85	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.20	0.25	0.25	0.11	0.12	0.12	1.80	1.93	1.77	0.92	0.86	0.92	0.61	0.62	0.63	145	145	140		
2	2.00	0.25	0.22	0.20	0.12	0.09	0.12	1.79	1.63	1.94	1.01	1.00	1.05	0.57	0.58	0.61	140	145	150		
3	2.00	0.25	0.21	0.23	0.09	0.11	0.08	1.76	1.77	1.77	0.98	1.02	1.20	0.62	0.61	0.60	135	140	140		
4	1.98	0.20	0.22	0.20	0.12	0.09	0.09	1.81	1.75	1.90	0.97	1.03	0.97	0.65	0.75	0.74	130	140	145		
5	2.00	0.22	0.21	0.20	0.12	0.12	0.12	1.90	1.77	1.72	1.12	0.92	1.01	0.72	0.58	0.62	140	145	140		
X	2.00			0.110			0.053			1.77			0.98			0.62			141.33		
SDXN	0.01				0.017			0.011				0.06			0.06			0.04			3.60
%V	0.00				15.02			20.23				3.53			6.02			6.81			2.55
																			TOTAL VARIATION		5.86

ตารางที่ ง-37 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	38																
AGITATOR	4	SPEED	800	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.20	10.15	1.02	5.66	0.054	69	68	68	68	67	92	90	91	90	90	96	96	96	92	93	
2	10.10	10.10	1.01	5.67	0.055	69	68	69	69	68	91	91	92	90	91	94	96	95	93	96	
3	10.15	10.20	1.00	5.71	0.055	69	67	69	68	68	91	91	92	92	91	95	95	93	96	92	
4	10.20	10.20	1.02	5.82	0.055	69	67	68	68	67	90	89	91	91	91	95	96	95	96	98	
5	10.20	10.10	1.00	5.83	0.057	68	67	67	68	68	90	88	90	90	90	91	96	92	95	91	
X	10.17	10.15	1.01	5.74	0.055					68.04					90.60					94.52	
SDXN	0.04				0.001					0.54					0.77					1.57	
%V	0.35				1.20					0.79					0.85					1.67	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.07	0.23	0.29	0.24	0.13	0.13	0.11	1.76	1.67	1.84	0.98	0.91	0.98	0.55	0.54	0.58	140	135	140		
2	1.98	0.22	0.24	0.19	0.12	0.13	0.13	1.76	1.75	1.69	0.87	0.96	1.00	0.65	0.56	0.60	135	145	135		
3	1.99	0.26	0.26	0.24	0.12	0.12	0.10	1.61	1.69	1.80	0.97	0.91	0.96	0.64	0.61	0.60	135	145	140		
4	2.00	0.21	0.23	0.23	0.12	0.11	0.12	1.88	1.69	1.78	1.01	1.00	0.97	0.58	0.55	0.69	135	135	135		
5	1.96	0.21	0.21	0.24	0.12	0.12	0.11	1.72	1.55	1.81	0.97	1.01	1.09	0.76	0.72	0.74	130	135	140		
X	2.00			0.116			0.059			1.72			0.96			0.62			137.33		
SDXN	0.03				0.019			0.008				0.07			0.03			0.06			3.47
%V	0.01				16.61			12.70				3.95			3.58			9.65			2.52
																			TOTAL VARIATION		5.35

ตารางที่ ง-38 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	39																	
AGITATOR	4	SPEED	800	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.00	1.01	5.56	0.055	66	65	65	65	64	90	91	90	90	90	94	89	94	89	85		
2	10.10	10.10	1.01	5.56	0.054	64	66	65	65	65	90	91	91	91	91	87	93	95	94	90		
3	10.20	10.10	1.00	5.53	0.054	65	65	65	65	65	90	91	91	90	90	86	93	95	92	90		
4	10.20	10.10	1.03	5.76	0.054	65	66	65	65	90	90	90	90	90	90	87	85	91	91	94		
5	10.10	10.10	1.01	5.76	0.056	67	67	67	66	66	90	90	91	91	90	90	95	95	93	91		
X	10.14	10.08	1.01	5.63	0.054					66.36					90.36					91.12		
SDXN	0.05				0.001					2.04					0.46					2.68		
%V	0.47				1.08					3.08					0.51					2.95		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.05	0.31	0.31	0.31	0.12	0.11	0.11	1.48	1.48	1.72	0.93	0.93	0.93	0.63	0.60	0.56	125	115	130			
2	1.98	0.26	0.23	0.23	0.12	0.11	0.12	1.51	1.55	1.51	1.05	0.96	0.94	0.58	0.50	0.56	125	140	135			
3	1.98	0.25	0.26	0.23	0.16	0.11	0.12	1.62	1.42	1.56	0.82	0.95	0.84	0.59	0.64	0.62	135	125	135			
4	1.98	0.21	0.23	0.20	0.12	0.12	0.11	1.78	1.66	1.62	0.93	1.00	0.92	0.72	0.56	0.68	140	135	135			
5	1.98	0.25	0.25	0.23	0.08	0.11	0.12	1.81	1.56	1.56	1.02	0.84	1.04	0.64	0.75	0.60	135	125	135			
X	1.99			0.125			0.058			1.57			0.93			0.61			131.33			
SDXN	0.02				0.027			0.010				0.09			0.05				0.05			5.73
%V	0.01				21.53			17.17				5.65			5.39				8.08			4.37
																			TOTAL VARIATION		6.98	

ตารางที่ ง-39 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	40																
AGITATOR	4	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.00	10.00	1.02	5.59	0.055	66	66	67	67	67	90	91	91	91	91	96	94	95	96	96	
2	10.00	10.00	1.02	5.59	0.055	66	66	68	68	67	90	91	91	91	92	96	92	96	95	95	
3	10.00	10.00	1.00	5.47	0.055	66	66	68	67	68	91	91	91	91	92	90	91	93	94	94	
4	10.00	10.00	0.99	5.43	0.055	66	66	66	67	67	91	91	91	91	92	92	96	95	95	92	
5	10.00	10.00	1.02	5.64	0.055	66	66	66	66	66	90	91	91	90	91	91	93	97	92	93	
X	10.00	10.00	1.01	5.54	0.055					66.60					90.96					93.96	
SDXN	0.00				0.000					0.67					0.31					1.65	
%V	0.00				0.29					1.01					0.34					1.75	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.04	0.32	0.23	0.25	0.12	0.14	0.12	1.62	1.73	1.81	0.92	0.90	0.97	0.59	0.55	0.64	130	135	130		
2	1.97	0.23	0.24	0.25	0.12	0.11	0.09	1.65	1.77	1.47	0.99	0.94	0.87	0.56	0.60	0.58	130	130	135		
3	1.97	0.25	0.19	0.20	0.12	0.11	0.09	1.60	1.75	1.55	1.03	0.93	0.84	0.59	0.69	0.79	140	145	135		
4	1.95	0.23	0.23	0.23	0.11	0.09	0.11	1.54	1.69	1.75	0.97	0.98	0.88	0.56	0.62	0.54	135	135	140		
5	2.04	0.25	0.22	0.23	0.12	0.13	0.12	1.76	1.77	1.77	1.13	0.92	0.93	0.65	0.60	0.61	135	135	145		
X	1.99			0.119			0.056			1.67			0.94			0.61			135.67		
SDXN	0.04				0.020			0.011				0.09			0.05			0.04			3.64
%V	0.02				16.98			18.78				5.25			5.49			7.27			2.69
																			TOTAL VARIATION		5.98

ตารางที่ ง-40 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่ออนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	41																
AGITATOR	4	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.00	10.00	1.03	5.53	0.054	66	66	66	65	65	91	91	90	91	91	90	91	92	90	90	
2	10.00	10.00	1.03	5.56	0.054	65	65	65	65	65	90	90	92	90	91	91	94	91	94	94	
3	10.00	10.00	1.01	5.42	0.054	65	65	65	65	65	90	90	90	90	90	91	90	94	92	90	
4	10.00	10.00	0.99	5.32	0.054	65	65	65	65	65	90	90	91	91	90	90	89	90	89	91	
5	10.00	10.00	1.01	5.54	0.055	66	66	66	66	65	90	90	91	90	91	95	90	94	90	90	
X	10.00	10.00	1.01	5.47	0.054					65.28					90.44					91.28	
SDXN	0.00				0.000					0.40					0.53					1.50	
%V	0.00				0.64					0.62					0.58					1.64	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.28	0.30	0.23	0.12	0.11	0.12	1.63	1.76	1.58	0.92	0.98	0.90	0.61	0.67	0.60	135	125	135		
2	2.04	0.38	0.26	0.24	0.12	0.11	0.13	1.49	1.66	1.67	1.00	0.99	0.94	0.59	0.54	0.57	135	130	135		
3	2.02	0.27	0.24	0.24	0.13	0.11	0.11	1.70	1.56	1.53	0.92	0.97	0.89	0.61	0.67	0.59	140	135	125		
4	1.93	0.20	0.22	0.19	0.13	0.12	0.13	1.53	1.64	1.73	1.04	1.02	0.94	0.58	0.58	0.65	140	135	145		
5	2.00	0.23	0.21	0.24	0.11	0.12	0.12	1.74	1.75	1.86	0.93	0.96	0.88	0.67	0.61	0.61	130	145	130		
X	2.00			0.125			0.058			1.63			0.94			0.60			134.67		
SDXN	0.03				0.032			0.007				0.08			0.04			0.03			4.44
%V	0.01				25.65			12.52				5.05			4.15			4.81			3.30
																			TOTAL VARIATION		5.90

ตารางที่ ง-41 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่ออนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	42																	
AGITATOR	4	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.00	1.01	5.55	0.054	65	65	65	65	64	90	90	89	90	90	90	91	90	91	95		
2	10.10	10.00	1.03	5.54	0.053	65	65	66	65	65	90	90	89	89	91	95	93	93	94	94		
3	10.10	10.00	1.01	5.43	0.053	66	65	66	65	66	90	90	90	90	91	92	90	90	92	93		
4	10.10	10.00	1.00	5.37	0.053	65	65	65	65	66	90	90	90	90	91	94	92	94	94	95		
5	10.10	10.00	1.01	5.60	0.055	66	66	65	65	65	92	89	90	91	91	95	90	90	91	91		
X	10.10	10.00	1.01	5.50	0.054					65.24					90.12					92.36		
SDXN	0.00				0.001					0.43					0.50					1.65		
%V	0.00				1.28					0.65					0.56					1.79		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.97	0.29	0.30	0.25	0.09	0.13	0.11	1.62	1.47	1.58	0.83	0.96	0.77	0.66	0.63	0.56	130	130	120			
2	2.04	0.29	0.28	0.25	0.12	0.09	0.09	1.55	1.60	1.51	0.98	0.85	0.84	0.56	0.58	0.68	105	110	125			
3	2.01	0.28	0.24	0.25	0.11	0.09	0.12	1.50	1.57	1.45	0.93	1.01	0.79	0.64	0.58	0.60	115	135	115			
4	2.02	0.25	0.24	0.22	0.12	0.12	0.12	1.64	1.56	1.51	0.96	1.02	0.89	0.53	0.63	0.59	145	130	130			
5	1.94	0.24	0.25	0.23	0.13	0.12	0.09	1.80	1.69	1.61	1.03	1.05	0.93	0.62	0.64	0.62	130	140	140			
X	2.00			0.130			0.055			1.56			0.91			0.60			126.67			
SDXN	0.03				0.019			0.011				0.07			0.07				0.03			9.33
%V	0.02				14.92			20.91				4.22			8.18				5.61			7.37
																			TOTAL VARIATION		6.55	

ตารางที่ ง-42 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Doublemotion horseshoe-paddle, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่ออนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	43																	
AGITATOR	5	SPEED	600	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	1.01	5.26	0.051	66	66	66	66	66	86	89	87	86	87	94	94	91	95	92		
2	10.10	10.10	1.01	5.29	0.051	65	65	65	65	65	86	89	89	89	86	95	95	91	91	91		
3	10.10	10.10	1.02	5.38	0.052	65	65	65	66	66	86	89	89	89	89	95	89	90	91	89		
4	10.10	10.10	1.00	5.41	0.053	66	66	66	66	65	86	89	90	86	89	94	92	91	94	94		
5	10.10	10.10	1.01	5.62	0.055	66	66	66	66	67	87	90	89	89	89	94	94	91	91	90		
X	10.10	10.10	1.01	5.39	0.052					65.68					88.00					92.32		
SDXN	0.00				0.001					0.49					1.36					1.80		
%V	0.00				2.22					0.75					1.55					1.95		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.96	0.17	0.14	0.18	0.14	0.10	0.12	1.79	1.91	1.81	0.96	0.99	0.99	0.69	0.63	0.69	160	160	160			
2	2.04	0.27	0.20	0.18	0.15	0.13	0.13	1.77	1.81	1.90	1.12	1.05	1.08	0.65	0.63	0.64	160	165	150			
3	2.01	0.21	0.16	0.15	0.16	0.16	0.12	1.84	1.90	1.81	1.10	1.00	1.00	0.79	0.70	0.70	150	155	160			
4	1.98	0.18	0.17	0.19	0.13	0.12	0.13	1.82	1.87	1.72	1.08	1.04	1.12	0.63	0.81	0.68	155	155	145			
5	1.97	0.16	0.15	0.17	0.14	0.13	0.13	1.92	2.05	1.81	1.03	1.05	1.05	0.68	0.72	0.66	155	145	155			
X	1.99			0.089			0.066			1.83			1.03			0.68			155.33			
SDXN	0.03				0.022			0.013				0.06			0.04				0.04			4.40
%V	0.01				24.71			19.54				3.30			3.81				5.70			2.83
																			TOTAL VARIATION		6.64	

ตารางที่ ง-43 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	44																
AGITATOR	5	SPEED	600	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.03	5.19	0.049	66	65	65	65	66	84	88	88	86	87	93	90	93	91	93	
2	10.10	10.10	1.01	5.18	0.050	66	66	66	66	67	84	88	90	88	90	90	92	91	92	91	
3	10.10	10.10	1.03	5.26	0.050	66	65	65	66	66	86	88	88	86	88	92	89	89	92	91	
4	10.10	10.10	1.01	5.21	0.051	66	66	65	67	66	90	91	90	90	90	91	91	93	93	90	
5	10.10	10.10	1.01	5.26	0.051	70	67	67	68	68	88	90	90	90	88	91	91	92	92	92	
X	10.10	10.10	1.02	5.22	0.050					66.24					88.24					91.40	
SDXN	0.00				0.000					0.83					1.49					0.98	
%V	0.00				0.86					1.25					1.69					1.07	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.24	0.19	0.19	0.12	0.13	0.12	1.91	1.80	1.83	0.93	1.05	1.01	0.74	0.70	0.72	153	153	153		
2	2.02	0.18	0.15	0.13	0.10	0.09	0.09	1.98	1.87	1.81	0.94	1.02	0.90	0.75	0.63	0.70	158	148	158		
3	2.01	0.18	0.19	0.19	0.12	0.13	0.12	2.01	1.77	1.78	1.04	0.99	0.97	0.68	0.74	0.69	158	148	153		
4	2.01	0.18	0.19	0.19	0.12	0.13	0.12	1.76	1.94	1.83	0.94	1.03	1.08	0.64	0.64	0.63	143	158	143		
5	1.93	0.19	0.15	0.16	0.13	0.12	0.14	1.72	2.00	1.94	1.05	0.89	0.93	0.72	0.74	0.64	158	148	148		
X	2.00			0.091			0.058			1.83			0.97			0.68			152.00		
SDXN	0.03				0.020			0.009				0.08			0.05			0.04			4.53
%V	0.01				21.52			15.00				4.34			5.32			5.50			2.98
																			TOTAL VARIATION		5.95

ตารางที่ ง-44 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	45																	
AGITATOR	5	SPEED	600	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	0.99	4.93	0.049	65	64	65	64	65	88	88	89	89	89	90	86	91	95	89		
2	10.10	10.10	1.01	4.94	0.048	64	64	64	64	65	90	90	90	88	89	86	86	90	90	90		
3	10.10	10.10	1.02	5.05	0.049	65	65	65	64	64	90	90	90	88	88	89	90	91	85	86		
4	10.10	10.10	1.00	5.10	0.050	65	65	65	65	65	88	89	89	89	89	88	86	92	90	90		
5	10.10	10.10	1.01	5.28	0.051	65	65	65	66	66	89	89	89	89	89	94	94	94	92	90		
X	10.10	10.10	1.01	5.06	0.049					64.76					89.00					89.76		
SDXN	0.00				0.001					0.49					0.48					2.15		
%V	0.00				2.13					0.75					0.54					2.39		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.02	0.33	0.21	0.21	0.12	0.12	0.12	1.63	1.40	1.47	0.92	0.93	0.95	0.59	0.61	0.61	135	140	140			
2	1.96	0.17	0.17	0.20	0.12	0.12	0.12	1.40	1.43	1.59	1.02	0.99	0.93	0.63	0.65	0.63	145	135	135			
3	2.01	0.20	0.25	0.17	0.14	0.12	0.12	1.55	1.69	1.50	0.98	0.92	0.86	0.59	0.52	0.58	155	135	145			
4	2.02	0.24	0.16	0.17	0.14	0.12	0.14	1.50	1.48	1.48	1.00	0.81	1.03	0.63	0.62	0.64	150	140	145			
5	1.99	0.23	0.19	0.16	0.12	0.12	0.12	1.65	1.55	1.77	0.95	0.82	0.88	0.68	0.72	0.70	145	145	150			
X	2.00			0.102			0.060			1.53			0.93			0.62			142.67			
SDXN	0.02				0.033			0.007				0.09			0.05				0.04			5.16
%V	0.01				32.21			12.31				5.67			5.59				5.67			3.61
																			TOTAL VARIATION		7.09	

ตารางที่ ง-45 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	46																
AGITATOR	5	SPEED	800	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.04	5.80	0.055	65	66	66	66	65	89	90	89	90	90	94	95	90	91	95	
2	10.10	10.10	1.02	5.70	0.055	65	65	65	66	66	89	88	90	88	89	94	93	92	94	91	
3	10.10	10.10	1.01	5.80	0.056	66	65	65	66	65	87	88	89	90	90	94	90	90	95	92	
4	10.10	10.10	1.03	5.85	0.056	66	66	66	66	65	88	87	89	88	89	90	94	90	89	90	
5	10.10	10.10	1.02	5.87	0.056	67	67	66	68	68	88	89	89	88	89	95	95	90	94	95	
X	10.10	10.10	1.02	5.80	0.056					65.88					88.80					92.48	
SDXN	0.00				0.001					0.63					0.74					1.98	
%V	0.00				1.21					0.96					0.83					2.14	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.13	0.15	0.12	0.13	0.12	0.12	2.12	2.05	2.13	1.07	1.06	1.04	0.78	0.68	0.76	160	160	165		
2	1.99	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.10	2.20	2.05	1.98	1.15	1.10	1.12	0.68	0.70	0.68	155	160	165		
3	1.99	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	2.00	2.00	2.14	1.10	1.12	1.14	0.73	0.85	0.86	160	165	165		
4	2.01	0.11	0.10	0.12	0.11	0.12	0.11	2.14	2.01	2.03	1.12	1.10	1.13	0.77	0.71	0.82	180	165	170		
5	1.93	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	2.24	2.28	2.19	1.15	1.10	1.15	0.80	0.75	0.70	160	155	160		
X	1.99			0.057			0.057			2.05			1.08			0.73			163.00		
SDXN	0.02				0.009			0.008				0.08			0.03			0.05			4.53
%V	0.01				15.49			13.32				3.85			2.40			6.76			2.78
																			TOTAL VARIATION		4.97

ตารางที่ ง-46 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	47																	
AGITATOR	5	SPEED	800	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	1.03	5.70	0.054	65	65	65	65	65	89	89	89	87	90	90	89	92	90	90		
2	10.10	10.10	1.01	5.67	0.055	65	65	65	65	65	90	88	89	87	89	92	90	95	90	92		
3	10.10	10.10	1.00	5.64	0.055	65	65	65	65	65	89	88	89	88	89	94	91	93	93	90		
4	10.10	10.10	1.02	5.58	0.054	66	65	66	65	65	89	89	89	89	89	95	90	90	89	90		
5	10.10	10.10	1.02	5.75	0.055																	
X	10.10	10.10	1.02	5.67	0.055					65.10					88.75					91.25		
SDXN	0.00				0.001					0.18					0.58					1.60		
%V	0.00				1.12					0.28					0.65					1.75		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.01	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.15	1.82	2.12	2.01	1.04	1.04	1.12	0.73	0.74	0.70	155	150	155			
2	2.02	0.15	0.16	0.12	0.09	0.08	0.10	2.04	1.75	2.16	1.02	1.01	1.10	0.80	0.69	0.71	165	165	155			
3	1.98	0.13	0.15	0.10	0.09	0.10	0.08	2.19	1.98	2.06	1.10	1.04	1.13	0.71	0.67	0.70	155	155	160			
4	2.00	0.13	0.15	0.12	0.10	0.10	0.09	2.29	2.06	2.02	1.00	1.04	1.14	0.69	0.72	0.75	160	150	155			
5	1.95	0.10	0.13	0.13	0.12	0.10	0.07	1.82	2.12	2.01	1.04	1.05	1.14	0.81	0.67	0.73	145	155	155			
X	1.99			0.067			0.050			2.00			1.05			0.71			155.67			
SDXN	0.02				0.013			0.012				0.10			0.04				0.03			3.64
%V	0.01				20.18			24.77				5.25			4.07				4.29			2.34
																			TOTAL VARIATION		6.47	

ตารางที่ ง-47 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	48																
AGITATOR	5	SPEED	800	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.04	5.57	0.053	63	64	64	64	64	88	89	89	89	89	95	89	88	87	85	
2	10.10	10.10	1.01	5.43	0.053	64	64	64	63	64	89	88	89	88	89	90	90	92	97	90	
3	10.10	10.10	1.01	5.47	0.053	65	65	65	65	64	88	88	89	88	89	90	90	89	87	94	
4	10.10	10.10	1.01	5.64	0.055	65	65	66	65	64	86	87	88	88	89	90	89	92	92	90	
5	10.10	10.10	1.02	5.71	0.055	66	66	66	66	66	86	88	88	89	88	90	94	95	92	90	
X	10.10	10.10	1.02	5.56	0.054					64.68					88.24					90.68	
SDXN	0.00				0.001					0.81					0.67					2.15	
%V	0.00				1.83					1.26					0.76					2.37	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.01	0.17	0.16	0.13	0.09	0.08	0.10	1.87	1.85	2.10	1.07	0.87	0.97	0.70	0.69	0.66	150	140	140		
2	1.99	0.17	0.13	0.11	0.10	0.10	0.10	1.96	2.00	1.88	1.03	1.00	0.94	0.71	0.67	0.69	145	150	155		
3	1.95	0.17	0.16	0.16	0.11	0.08	0.09	1.95	1.88	2.10	1.07	1.05	1.06	0.70	0.70	0.70	155	160	145		
4	2.00	0.13	0.12	0.14	0.11	0.10	0.09	1.97	1.82	1.95	0.99	1.12	1.02	0.70	0.68	0.66	140	170	165		
5	1.99	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	2.10	2.13	2.09	0.95	0.95	1.05	0.70	0.67	0.65	160	175	155		
X	1.99			0.073			0.049			1.94			0.99			0.67			153.67		
SDXN	0.02				0.016			0.008				0.09			0.05			0.02			8.76
%V	0.01				21.85			15.43				4.45			5.22			2.37			5.70
																			TOTAL VARIATION		6.12

ตารางที่ ง-48 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	49																	
AGITATOR	5	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	3	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	1.01	5.85	0.057	66	66	68	68	69	91	90	91	92	92	96	95	96	94	96		
2	10.10	10.10	1.02	6.02	0.058	67	67	66	68	69	91	90	92	91	91	93	96	94	97	98		
3	10.10	10.10	1.00	6.02	0.059	69	69	69	70	69	91	90	90	91	92	98	98	96	98	93		
4	10.10	10.10	1.01	5.85	0.057	66	66	68	68	69	91	90	91	92	92	96	95	96	94	96		
5	10.10	10.10	1.02	6.01	0.058	67	67	66	68	69	91	90	90	91	92	93	96	94	97	98		
X	10.10	10.10	1.01	5.95	0.058					67.76					91.00					95.72		
SDXN	0.00				0.001					1.09					0.56					1.32		
%V	0.00				1.19					1.61					0.62					1.38		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.99	0.13	0.13	0.13	0.10	0.12	0.11	2.29	2.01	2.07	1.04	1.19	1.14	0.78	0.77	0.79	160	160	165			
2	2.01	0.11	0.10	0.13	0.10	0.12	0.11	2.41	2.12	2.00	1.19	1.22	1.17	0.80	0.79	0.78	155	160	165			
3	2.05	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	2.30	2.06	2.10	1.22	1.06	1.17	0.87	0.77	0.76	160	165	165			
4	1.99	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.11	2.29	2.01	2.07	1.20	1.11	1.09	0.78	0.77	0.79	180	165	170			
5	2.01	0.10	0.10	0.08	0.10	0.12	0.11	2.41	2.12	2.00	1.12	1.16	1.29	0.80	0.79	0.78	160	155	160			
X	2.01			0.055			0.057			2.13			1.14			0.78			163.00			
SDXN	0.02				0.012			0.007				0.13			0.05				0.02			4.53
%V	0.01				21.61			12.51				6.21			4.47				1.93			2.78
																			TOTAL VARIATION		5.43	

ตารางที่ ง-49 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 3 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	50																	
AGITATOR	5	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.10	10.10	1.02	5.65	0.054	69	69	67	68	67	90	91	92	89	90	93	95	96	92	93		
2	10.10	10.10	1.00	5.66	0.055	69	68	67	67	68	90	90	91	89	90	94	93	92	92	93		
3	10.10	10.10	1.01	5.66	0.055	69	68	67	68	69	90	89	91	90	89	94	92	95	95	94		
4	10.10	10.10	1.01	5.75	0.056	69	68	69	69	69	89	90	89	90	89	92	95	94	95	96		
5	10.10	10.10	1.01	5.88	0.057	69	68	69	68	69	89	90	90	89	92	91	90	91	94	95		
X	10.10	10.10	1.01	5.72	0.056					68.28					89.92					93.44		
SDXN	0.00				0.001					0.69					0.66					1.38		
%V	0.00				1.33					1.01					0.74					1.48		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	1.99	0.17	0.11	0.13	0.10	0.12	0.11	1.99	1.94	1.87	1.10	1.09	1.15	0.75	0.74	0.78	155	155	150			
2	2.07	0.13	0.15	0.10	0.10	0.11	0.10	2.13	1.98	1.88	1.15	1.08	1.10	0.79	0.73	0.72	155	160	165			
3	1.97	0.13	0.15	0.13	0.12	0.10	0.10	2.17	1.93	1.90	1.09	1.06	1.07	0.78	0.79	0.79	165	165	165			
4	2.04	0.13	0.14	0.12	0.09	0.10	0.08	2.00	1.96	2.06	1.17	1.08	1.07	0.73	0.71	0.78	160	160	165			
5	1.97	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	2.19	2.28	2.43	1.10	1.07	1.06	0.70	0.64	0.72	165	160	155			
X	2.01			0.064			0.052			2.03			1.09			0.74			160.00			
SDXN	0.04				0.016			0.007				0.13			0.03				0.03			4.00
%V	0.02				24.63			13.64				6.36			2.36				4.60			2.50
																			TOTAL VARIATION		5.86	

ตารางที่ ง-50 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	51																
AGITATOR	5	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	8	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.02	5.67	0.054	66	69	66	67	69	91	92	93	90	90	92	93	94	92	94	
2	10.10	10.10	1.00	5.65	0.055	69	67	68	67	68	91	91	92	90	91	95	93	94	91	90	
3	10.10	10.10	1.02	5.74	0.055	66	68	67	68	67	91	90	92	91	90	93	95	94	92	90	
4	10.10	10.10	1.01	5.82	0.056	66	65	67	67	66	90	91	90	91	90	96	97	91	94	92	
5	10.10	10.10	1.02	6.03	0.058	70	69	69	69	69	90	91	91	90	92	92	95	95	95	96	
X	10.10	10.10	1.01	5.78	0.056					67.56					90.84					93.40	
SDXN	0.00				0.001					1.14					0.67					1.58	
%V	0.00				1.91					1.69					0.74					1.70	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.95	0.16	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	1.94	1.90	2.12	1.07	1.12	1.04	0.77	0.74	0.68	155	150	155		
2	2.01	0.11	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	2.04	1.90	1.88	1.12	1.14	1.02	0.64	0.77	0.68	165	165	155		
3	1.95	0.12	0.14	0.10	0.11	0.10	0.10	2.12	2.02	1.99	1.07	1.12	1.09	0.69	0.75	0.66	155	155	160		
4	2.02	0.13	0.12	0.12	0.10	0.11	0.11	1.87	2.10	1.98	1.13	1.14	1.07	0.66	0.75	0.75	160	150	155		
5	2.02	0.12	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	2.15	2.37	2.02	1.12	1.06	1.15	0.65	0.72	0.76	145	155	155		
X	1.99			0.061			0.052			2.00			1.08			0.70			155.67		
SDXN	0.03				0.015			0.006				0.10			0.03			0.04			3.64
%V	0.02				24.49			11.74				4.87			3.18			5.99			2.34
																			TOTAL VARIATION		5.86

ตารางที่ ง-51 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 8 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	52																
AGITATOR	5	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.02	5.69	0.055	68	65	66	67	68	89	90	91	90	90	93	92	93	90	92	
2	10.10	10.10	1.02	5.62	0.054	68	68	67	69	69	89	90	91	90	90	96	95	94	95	98	
3	10.10	10.10	1.01	5.63	0.055	66	65	64	68	68	90	90	90	90	90	97	94	93	96	98	
4	10.10	10.10	1.03	5.73	0.055	69	69	68	68	67	90	89	90	91	91	93	94	92	94	95	
5	10.10	10.10	1.02	5.81	0.056	69	69	68	68	67	90	89	90	91	91	93	94	92	94	95	
X	10.10	10.10	1.02	5.70	0.055					67.52					90.08					94.08	
SDXN	0.00				0.000					1.09					0.44					1.46	
%V	0.00				0.81					1.62					0.49					1.55	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.91	0.19	0.15	0.15	0.09	0.10	0.08	1.95	1.90	1.88	1.14	0.97	1.11	0.72	0.65	0.71	150	140	140		
2	2.05	0.15	0.12	0.10	0.14	0.11	0.10	1.85	2.13	1.93	0.99	1.05	0.99	0.66	0.65	0.70	145	150	155		
3	2.03	0.15	0.15	0.15	0.13	0.10	0.10	1.81	1.96	2.08	1.09	1.17	1.05	0.75	0.74	0.73	155	160	145		
4	2.06	0.15	0.15	0.15	0.09	0.09	0.09	1.89	1.86	2.16	1.07	1.01	0.97	0.65	0.74	0.73	140	170	165		
5	2.00	0.15	0.12	0.13	0.12	0.12	0.10	2.00	2.21	2.01	1.18	1.12	0.95	0.73	0.67	0.75	160	175	155		
X	2.01			0.072			0.053			1.94			1.04			0.69			153.67		
SDXN	0.04				0.016			0.014				0.10			0.06			0.03			8.76
%V	0.02				21.63			25.76				5.01			6.04			4.76			5.70
																			TOTAL VARIATION		7.34

ตารางที่ ง-52 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	53																
AGITATOR	5	SPEED	1000	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.10	10.10	1.01	5.29	0.051	69	68	67	69	69	91	89	90	90	91	92	89	91	95	95	
2	10.10	10.10	0.97	5.29	0.053	69	68	68	69	69	91	90	90	91	91	95	95	92	96	98	
3	10.10	10.10	0.96	5.41	0.055	69	68	67	68	69	90	89	90	91	91	91	97	94	94	92	
4	10.10	10.10	0.95	5.49	0.057	69	68	66	68	69	90	91	91	91	92	95	91	95	93	95	
5	10.10	10.10	0.95	5.72	0.059	70	70	69	70	69	90	91	90	91	92	97	97	97	96	94	
X	10.10	10.10	0.97	5.44	0.055					68.56					90.56					94.24	
SDXN	0.00				0.002					0.77					0.65					1.89	
%V	0.00				3.99					1.12					0.72					2.01	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.03	0.19	0.20	0.17	0.08	0.13	0.12	1.84	1.86	1.84	0.95	1.07	0.91	0.68	0.64	0.63	165	165	155		
2	1.95	0.14	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	1.58	2.07	1.81	0.88	0.91	0.95	0.62	0.62	0.63	155	170	155		
3	1.95	0.18	0.14	0.14	0.12	0.11	0.11	1.78	1.68	1.94	0.97	0.96	0.94	0.56	0.68	0.66	160	100	145		
4	2.04	0.16	0.12	0.13	0.11	0.09	0.10	1.64	1.59	1.85	1.05	0.97	0.88	0.65	0.58	0.63	150	130	145		
5	2.03	0.14	0.14	0.15	0.10	0.12	0.10	1.95	2.08	2.07	0.93	0.98	1.03	0.72	0.68	0.70	135	135	155		
X	2.00			0.075			0.052			1.90			0.99			0.67			148.00		
SDXN	0.04				0.020			0.012				0.13			0.04			0.03			13.07
%V	0.02				27.11			22.77				6.90			4.44			5.22			8.83
																			TOTAL VARIATION		8.31

ตารางที่ ง-53 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1000 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	54																
AGITATOR	5	SPEED	1200	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9.73	9.90	1.01	5.34	0.055	67	66	66	66	66	91	91	91	91	91	93	91	95	92	96	
2	9.78	9.90	1.03	5.23	0.052	66	66	67	67	67	90	90	90	91	91	91	94	95	92	94	
3	9.85	9.93	1.03	5.29	0.053	66	67	68	68	68	90	90	91	91	91	94	93	91	95	91	
4	9.88	9.93	1.00	5.29	0.054	69	69	69	69	69	91	90	91	91	91	93	91	95	95	96	
5	9.93	9.93	1.03	5.67	0.056	69	70	70	69	69	90	90	90	91	91	98	97	97	97	96	
X	9.83	9.92	1.02	5.36	0.054					67.72					90.64					94.08	
SDXN	0.06				0.001					1.25					0.46					1.84	
%V	0.65				2.22					1.85					0.51					1.96	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.02	0.17	0.14	0.16	0.10	0.10	0.10	2.26	2.04	1.92	1.04	0.98	1.09	0.76	0.66	0.78	155	150	160		
2	2.03	0.11	0.12	0.11	0.12	0.10	0.11	1.97	1.85	2.17	1.14	1.12	0.94	0.73	0.74	0.70	155	150	155		
3	2.02	0.11	0.13	0.11	0.10	0.12	0.10	1.99	1.69	2.05	1.06	1.03	1.21	0.72	0.70	0.68	175	145	145		
4	2.02	0.17	0.14	0.16	0.12	0.10	0.10	1.90	2.14	2.02	1.08	1.03	0.97	0.71	0.70	0.74	150	160	155		
5	1.96	0.11	0.12	0.11	0.09	0.10	0.10	2.01	2.02	2.32	1.23	1.12	1.34	0.71	0.76	0.75	150	155	155		
X	2.01			0.065			0.050			1.99			1.07			0.71			154.33		
SDXN	0.02				0.022			0.007				0.11			0.08			0.03			4.80
%V	0.01				34.05			13.89				5.54			7.42			3.71			3.11
																			TOTAL VARIATION		7.43

ตารางที่ ง-54 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	55																	
AGITATOR	5	SPEED	1200	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.13	10.03	1.01	5.30	0.052	67	66	66	66	66	91	90	90	91	91	94	93	93	93	95		
2	10.03	9.98	1.00	5.20	0.052	66	66	67	67	67	91	91	90	91	91	95	95	94	92	95		
3	9.86	9.98	1.01	5.25	0.053	66	67	68	68	68	91	90	90	91	91	94	97	97	95	96		
4	9.93	9.94	0.99	5.35	0.055	69	69	69	69	69	90	90	91	90	89	91	95	96	98	90		
5	10.00	9.91	1.11	5.70	0.052	69	70	70	69	69	91	91	90	90	90	93	94	94	94	93		
X	9.99	9.97	1.02	5.36	0.053					67.72					90.48					94.24		
SDXN	0.08				0.001					1.25					0.54					1.39		
%V	0.76				1.72					1.85					0.60					1.47		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.00	0.18	0.17	0.17	0.11	0.10	0.11	1.96	2.08	2.08	0.98	1.05	0.97	0.69	0.66	0.84	145	135	140			
2	2.00	0.17	0.17	0.14	0.11	0.10	0.11	1.88	1.84	1.79	0.99	1.13	0.92	0.66	0.72	0.67	124	145	145			
3	2.00	0.16	0.16	0.13	0.11	0.10	0.11	1.81	1.83	1.88	1.07	0.96	1.07	0.70	0.65	0.64	145	155	155			
4	2.00	0.12	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	1.94	1.90	1.81	1.07	1.13	1.00	0.67	0.81	0.70	145	130	155			
5	2.00	0.14	0.14	0.15	0.12	0.12	0.12	2.12	2.11	2.04	1.14	1.07	0.94	0.79	0.66	0.63	140	145	140			
X	2.00			0.075			0.053			1.90			1.01			0.69			143.00			
SDXN	0.00				0.017			0.005				0.10			0.06				0.05			6.63
%V	0.00				22.69			9.10				5.26			6.05				6.65			4.64
																			TOTAL VARIATION		6.00	

ตารางที่ ง-55 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	91																
AGITATOR	5	SPEED	1200	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	10.02	10.00	1.00	5.20	0.052	70	68	68	69	70	90	90	90	88	91	94	95	95	95	95	
2	9.97	10.05	1.01	5.17	0.051	69	68	68	68	69	90	90	90	91	91	91	91	94	96	92	
3	10.02	10.00	1.01	5.20	0.051	67	67	68	68	69	91	90	90	89	89	89	92	97	97	97	
4	10.05	10.00	1.00	5.26	0.052	69	66	69	69	68	90	91	90	90	90	85	92	92	94	91	
5	10.12	10.05	1.03	5.60	0.054	69	70	70	70	69	91	91	91	91	90	98	95	97	96	92	
X	10.04	10.02	1.01	5.29	0.052					68.60					90.20					93.68	
SDXN	0.04				0.001					0.85					0.58					2.38	
%V	0.39				1.41					1.24					0.64					2.54	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.00	0.20	0.17	0.13	0.12	0.13	0.14	1.68	1.86	1.94	0.92	1.10	1.13	0.62	0.60	0.69	148	138	148		
2	2.04	0.20	0.17	0.17	0.10	0.09	0.09	1.74	1.92	1.80	0.94	0.91	0.97	0.62	0.69	0.68	122	133	143		
3	1.97	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	1.83	1.90	1.67	0.95	1.00	0.91	0.64	0.65	0.63	138	143	148		
4	2.05	0.17	0.20	0.15	0.12	0.10	0.10	1.77	1.76	1.97	0.99	0.89	1.00	0.63	0.70	0.66	148	143	133		
5	2.01	0.17	0.13	0.13	0.13	0.13	0.10	2.11	1.93	1.89	1.07	0.97	1.10	0.69	0.67	0.74	143	133	143		
X	2.01			0.079			0.056			1.83			0.98			0.65			140.35		
SDXN	0.02				0.023			0.015				0.09			0.06			0.03			6.22
%V	0.01				29.21			26.06				5.11			6.20			4.75			4.43
																			TOTAL VARIATION		8.16

ตารางที่ ง-56 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1200 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	57																
AGITATOR	5	SPEED	1400	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9.94	10.01	1.01	5.16	0.052	69	69	68	68	68	90	90	90	88	89	95	95	91	94	92	
2	9.94	10.01	1.01	5.27	0.053	70	69	70	69	69	91	90	90	90	90	91	94	92	97	96	
3	9.97	10.01	1.01	5.28	0.052	70	70	68	69	69	90	91	90	90	90	95	94	92	94	92	
4	10.01	10.01	1.00	5.39	0.054	67	67	68	69	68	90	91	91	90	90	95	95	95	94	90	
5	10.07	9.99	1.03	5.57	0.054	70	70	70	70	70	90	90	91	91	90	91	95	95	94	94	
X	9.98	10.01	1.01	5.33	0.053					68.96					90.12					93.68	
SDXN	0.04				0.001					0.77					0.42					1.48	
%V	0.44				1.59					1.12					0.47					1.57	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1.99	0.13	0.15	0.14	0.09	0.10	0.10	1.95	1.99	1.93	1.16	1.07	1.02	0.68	0.69	0.59	145	150	135		
2	1.99	0.22	0.16	0.14	0.11	0.11	0.11	1.90	1.72	1.96	1.16	1.07	1.02	0.60	0.68	0.66	150	135	150		
3	1.98	0.13	0.13	0.12	0.10	0.10	0.10	2.02	1.85	1.96	1.04	1.10	0.88	0.66	0.66	0.67	150	125	130		
4	1.98	0.14	0.13	0.15	0.11	0.10	0.10	2.00	2.09	2.07	1.03	0.95	1.16	0.68	0.72	0.66	130	145	150		
5	1.99	0.13	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	2.36	2.21	2.15	1.12	1.07	1.09	0.84	0.73	0.89	140	145	150		
X	1.99			0.071			0.052			2.00			1.05			0.69			142.00		
SDXN	0.00				0.015			0.006				0.11			0.06			0.05			7.60
%V	0.00				20.63			10.69				5.54			5.47			7.76			5.35
																			TOTAL VARIATION		6.02

ตารางที่ ง-57 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	58																	
AGITATOR	5	SPEED	1400	RPM	TIME MIX	10	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.97	9.92	1.01	5.16	0.052	68	69	69	69	70	88	89	90	89	89	95	95	95	96	95		
2	10.05	9.95	1.01	5.17	0.051	67	69	70	69	68	90	90	90	90	90	95	94	94	94	95		
3	10.07	9.95	1.01	5.23	0.052	68	70	70	70	69	90	90	90	89	90	95	96	96	95	96		
4	10.00	9.97	1.00	5.13	0.052	69	70	69	68	68	90	90	90	89	89	94	94	95	94	89		
5	10.00	10.00	1.03	5.43	0.053	70	70	70	67	69	90	90	90	89	89	94	91	92	94	95		
X	10.02	9.96	1.01	5.23	0.052					69.00					89.60					94.32		
SDXN	0.03				0.000					0.72					0.51					1.08		
%V	0.35				0.64					1.04					0.57					1.15		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.01	0.20	0.15	0.14	0.11	0.16	0.14	2.05	1.79	1.85	0.98	1.05	0.97	0.67	0.69	0.71	125	140	120			
2	2.00	0.17	0.18	0.16	0.09	0.11	0.09	1.68	1.91	1.90	0.99	1.13	0.92	0.75	0.64	0.62	120	140	130			
3	2.02	0.18	0.14	0.17	0.12	0.13	0.09	2.00	1.88	1.98	1.07	0.96	1.07	0.60	0.72	0.60	125	140	130			
4	1.98	0.16	0.14	0.14	0.10	0.10	0.11	1.86	1.98	1.95	1.07	1.13	1.00	0.63	0.65	0.60	140	140	150			
5	2.04	0.16	0.16	0.11	0.10	0.08	0.08	2.19	1.87	1.97	1.14	1.07	0.94	0.74	0.72	0.86	145	130	140			
X	2.01			0.078			0.054			1.91			1.02			0.67			134.33			
SDXN	0.02				0.016			0.017				0.09			0.06				0.06			8.04
%V	0.01				20.09			32.12				4.52			6.05				8.31			5.99
																			TOTAL VARIATION		8.05	

ตารางที่ ง-58 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 10 วินาที



DATE		GRADE	HIDEN	NO.	59																	
AGITATOR	5	SPEED	1400	RPM	TIME MIX	15	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.97	10.00	1.02	5.09	0.050	68	68	68	69	69	89	90	89	90	88	95	94	95	95	94		
2	10.02	10.00	1.01	5.09	0.050	69	70	69	69	69	90	90	88	90	89	94	94	94	96	94		
3	10.02	10.05	1.01	5.12	0.050	66	69	70	70	70	90	91	91	89	90	94	94	94	94	93		
4	10.10	10.05	1.01	5.16	0.050	69	69	69	69	69	90	90	90	90	88	94	95	95	94	94		
5	10.00	10.15	1.00	5.40	0.053	70	70	70	70	69	90	90	89	90	88	94	95	95	94	94		
X	10.02	10.05	1.01	5.17	0.051					69.08					89.56					94.32		
SDXN	0.03				0.001					0.59					0.72					0.52		
%V	0.30				1.74					0.85					0.81					0.55		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.00	0.19	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	1.72	1.88	1.75	1.06	0.95	1.11	0.61	0.70	0.68	135	125	130			
2	2.07	0.15	0.20	0.19	0.10	0.10	0.09	1.87	1.73	1.64	1.01	0.93	0.90	0.63	0.63	0.62	145	135	140			
3	1.96	0.12	0.13	0.19	0.11	0.09	0.08	1.89	1.72	1.82	0.87	1.02	0.82	0.64	0.64	0.69	135	135	125			
4	1.98	0.12	0.13	0.19	0.12	0.09	0.10	1.82	1.68	1.89	1.01	0.91	0.89	0.64	0.68	0.61	135	130	130			
5	2.00	0.12	0.17	0.18	0.10	0.10	0.11	1.99	2.09	2.13	1.06	1.03	1.01	0.75	0.70	0.64	140	135	130			
X	2.00			0.082			0.050			1.82			0.96			0.65			133.67			
SDXN	0.03				0.030			0.006				0.11			0.07				0.03			4.27
%V	0.01				36.05			12.72				6.16			7.33				5.19			3.19
																			TOTAL VARIATION		7.46	

ตารางที่ ง-59 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 1400 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 15 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	60																
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	16													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9.80	9.80	1.00	5.48	0.057	68	69	69	69	68	90	91	91	90	89	96	96	96	96	95	
2	9.70	9.70	1.01	5.40	0.057	69	69	69	68	67	90	91	91	92	90	96	96	96	96	95	
3	9.90	9.80	1.01	5.43	0.056	68	69	68	68	67	90	90	90	91	91	96	97	96	96	96	
4	9.90	9.80	1.02	5.53	0.056	70	70	68	68	69	91	91	91	91	92	91	95	96	96	96	
5	9.90	9.80	1.01	5.64	0.058	70	70	68	70	79	90	91	91	91	92	95	96	96	97	97	
X	9.84	9.78	1.01	5.50	0.057					69.08					90.72					95.76	
SDXN	0.07				0.001					1.16					0.60					0.62	
%V	0.73				1.20					1.68					0.66					0.65	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.05	0.22	0.18	0.14	0.11	0.10	0.11	2.34	2.12	2.05	1.15	1.09	1.22	0.88	0.86	0.82	160	155	150		
2	2.03	0.18	0.17	0.14	0.10	0.12	0.15	2.03	2.04	2.22	1.10	1.29	1.14	0.87	0.79	0.79	155	165	150		
3	2.04	0.14	0.17	0.14	0.16	0.14	0.12	2.08	1.83	2.28	1.19	1.24	1.15	0.79	0.79	0.82	165	150	160		
4	2.04	0.18	0.15	0.14	0.10	0.10	0.11	2.08	2.09	2.30	1.11	1.37	1.21	0.82	0.82	0.82	150	155	150		
5	1.98	0.14	0.14	0.15	0.12	0.09	0.10	2.18	1.86	2.06	1.23	1.18	1.21	0.79	0.78	0.79	155	145	155		
X	2.03			0.078			0.057			2.09			1.18			0.81			154.67		
SDXN	0.02				0.020			0.016				0.11			0.06			0.02			4.40
%V	0.01				26.12			27.67				5.17			4.77			3.06			2.84
																			TOTAL VARIATION		7.38

ตารางที่ ง-60 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 16 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	61																	
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	18														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.90	9.90	1.04	5.53	0.055	68	69	68	68	69	91	91	92	90	92	95	95	93	95	96		
2	9.85	9.80	1.01	5.41	0.056	68	68	68	67	68	91	92	92	90	91	95	96	96	93	94		
3	9.80	9.90	1.01	5.45	0.056	67	68	68	67	67	91	92	91	92	92	95	92	96	95	98		
4	9.70	9.80	0.99	5.54	0.059	68	69	68	68	68	91	92	91	91	91	93	97	96	93	96		
5	9.80	9.80	1.01	5.76	0.059	69	69	69	69	69	92	92	91	91	91	96	95	95	96	95		
X	9.81	9.84	1.01	5.54	0.057					68.16					91.32					95.04		
SDXN	0.05				0.002					0.54					0.54					1.01		
%V	0.53				3.33					0.79					0.60					1.06		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.05	0.21	0.17	0.14	0.12	0.12	0.11	2.17	2.28	1.98	1.17	1.27	1.23	0.79	0.80	0.78	160	155	140			
2	1.99	0.17	0.13	0.14	0.11	0.13	0.11	2.10	2.00	2.05	1.08	1.11	1.04	0.74	0.73	0.78	155	155	155			
3	1.98	0.18	0.16	0.14	0.12	0.09	0.10	1.91	2.05	2.17	1.05	1.17	1.19	0.72	0.79	0.75	160	160	165			
4	1.98	0.20	0.17	0.16	0.12	0.10	0.09	2.11	2.15	2.33	1.22	1.27	1.22	0.79	0.81	0.80	155	160	155			
5	1.99	0.16	0.16	0.18	0.10	0.10	0.08	2.03	2.19	2.34	1.16	1.24	1.11	0.81	0.75	0.80	140	155	155			
X	2.00			0.082			0.053			2.10			1.16			0.77			155.00			
SDXN	0.02				0.016			0.012				0.10			0.06				0.03			4.00
%V	0.01				19.14			21.65				4.78			5.27				3.26			2.58
																			TOTAL VARIATION		5.66	

ตารางที่ ง-61 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 18 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	62																	
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	20														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.49	9.90	1.01	5.66	0.054	69	67	69	70	68	91	88	91	91	91	93	93	95	96	93		
2	9.80	9.80	1.00	5.51	0.057	68	68	69	69	69	91	92	90	91	91	96	93	96	95	96		
3	9.90	9.80	1.00	5.53	0.057	69	68	68	69	69	92	90	90	90	91	91	93	95	96	96		
4	9.80	9.80	1.02	5.64	0.058	68	68	68	69	69	91	92	91	91	92	95	98	93	96	97		
5	9.80	9.80	1.00	5.71	0.059	69	69	69	69	68	91	92	90	92	91	96	97	94	97	96		
X	9.96	9.82	1.01	5.61	0.057					68.60					90.92					95.04		
SDXN	0.21				0.001					0.56					0.60					1.40		
%V	2.14				2.21					0.82					0.66					1.47		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.00	0.14	0.15	0.13	0.09	0.09	0.09	2.05	2.39	2.06	1.08	1.08	1.16	0.83	0.77	0.61	160	155	165			
2	2.05	0.18	0.18	0.18	0.10	0.10	0.10	2.26	1.99	2.07	1.06	1.24	1.13	0.77	0.73	0.79	160	160	160			
3	1.98	0.14	0.19	0.14	0.11	0.09	0.11	2.16	2.29	2.19	1.23	1.12	1.13	0.81	0.72	0.78	160	150	165			
4	1.98	0.15	0.15	0.17	0.11	0.10	0.10	2.12	2.12	2.26	1.18	1.27	1.05	0.87	0.86	0.85	160	155	150			
5		0.00	0.00	0.00							1.09	1.27	1.23	0.76	0.88	0.73						
X	2.00			0.064			0.050			2.15			1.15			0.78			158.33			
SDXN	0.02				0.051			0.006				0.09			0.07				0.05			3.89
%V	0.01				80.10			12.34				4.42			5.74				6.84			2.46
																			TOTAL VARIATION		13.81	

ตารางที่ ง-62 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	63																
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	22													
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC					
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9.90	9.80	1.01	5.47	0.056	69	66	68	67	68	92	86	91	91	91	95	95	96	96	95	
2	9.90	9.80	1.00	5.40	0.056	69	68	68	68	92	92	92	90	91	91	96	96	95	96	96	
3	9.80	9.70	1.01	5.45	0.057	68	68	69	69	68	90	92	91	92	91	93	89	90	96	96	
4	9.80	9.80	1.01	5.53	0.057	70	68	67	68	69	91	90	90	91	91	93	95	96	95	96	
5	9.90	9.80	1.01	5.63	0.057	71	69	68	68	70	91	91	90	90	92	96	95	95	96	97	
X	9.86	9.78	1.01	5.50	0.057					69.32					90.80					94.96	
SDXN	0.05				0.001					2.06					0.77					1.19	
%V	0.49				1.17					2.97					0.85					1.25	
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION				
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(%)				
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	2.06	0.14	0.12	0.12	0.10	0.09	0.10	2.10	2.14	2.32	1.10	1.06	1.06	0.82	0.71	0.84	160	155	160		
2	1.97	0.18	0.17	0.15	0.09	0.10	0.11	2.11	2.26	2.10	1.32	1.20	1.21	0.80	0.81	0.73	155	155	160		
3	2.04	0.14	0.13	0.13	0.12	0.10	0.09	2.17	2.15	2.09	1.13	1.10	1.19	0.82	0.82	0.79	145	165	165		
4	2.03	0.17	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	2.17	2.15	2.35	1.31	1.27	1.29	0.78	0.83	0.79	160	155	150		
5	2.05	0.16	0.14	0.12	0.09	0.10	0.11	2.26	2.10	2.04	1.18	1.22	1.24	0.90	0.76	0.84	145	150	150		
X	2.03			0.068			0.049			2.15			1.18			0.80			155.33		
SDXN	0.02				0.020			0.007				0.07			0.07			0.03			5.07
%V	0.01				28.84			13.53				3.24			5.86			4.30			3.26
																			TOTAL VARIATION		5.86

ตารางที่ ง-63 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 22 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	64																	
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	24														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	9.80	9.90	1.00	5.46	0.056	67	68	68	68	69	92	91	93	92	93	96	96	93	93	95		
2	9.90	9.80	0.99	5.42	0.056	66	69	67	68	68	89	92	86	90	92	95	97	95	94	94		
3	9.80	9.80	1.00	5.49	0.057	68	68	68	68	68	91	91	91	91	92	94	95	95	93	96		
4	9.90	9.80	1.00	5.51	0.057	68	69	68	68	70	92	92	92	90	92	92	95	96	94	96		
5	9.80	9.80	1.01	5.69	0.059	67	69	69	68	60	90	90	90	90	91	93	96	96	95	96		
X	9.84	9.82	1.00	5.51	0.057					67.76					91.00					94.80		
SDXN	0.05				0.001					0.94					1.04					1.06		
%V	0.49				1.20					1.39					1.14					1.11		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.04	0.19	0.18	0.16	0.09	0.10	0.10	2.19	2.41	2.17	1.13	1.22	1.09	0.77	0.75	0.78	150	165	155			
2	1.97	0.13	0.13	0.10	0.09	0.10	0.09	2.35	2.08	2.13	1.03	1.26	1.05	0.75	0.81	0.73	150	160	150			
3	2.03	0.17	0.15	0.14	0.11	0.08	0.10	2.37	2.22	2.09	1.12	1.17	1.16	0.70	0.80	0.65	165	160	150			
4	2.05	0.14	0.14	0.14	0.09	0.10	0.10	2.19	2.39	2.26	1.18	1.25	1.08	0.84	0.75	0.82	150	155	165			
5	2.05	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	2.14	2.49	2.35	1.13	1.28	1.24	0.89	0.74	0.68	150	155	160			
X	2.03			0.069			0.048			2.26			1.16			0.76			156.00			
SDXN	0.02				0.022			0.006				0.11			0.06				0.05			5.20
%V	0.01				31.39			12.12				4.92			5.58				6.32			3.33
																			TOTAL VARIATION		5.96	

ตารางที่ ง-64 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 20 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

DATE		GRADE	HIDEN	NO.	65																	
AGITATOR	5	SPEED	900	RPM	TIME MIX	5	TEMP MIX	26														
	WIDTH	LENGTH	THICK	WEIGHT	SG.	SHORE 000					ASKER F					PTC						
SHEET	(CM.)	(CM.)	(CM.)	(G.)	(G/CM3)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	10.00	10.00	0.99	5.52	0.056	68	68	68	68	68	91	91	92	91	92	96	96	91	95	96		
2	10.00	10.00	0.99	5.51	0.056	66	68	68	68	68	86	90	92	91	91	94	95	95	96	95		
3	10.00	9.90	1.00	5.53	0.056	68	69	67	68	68	92	91	89	92	91	97	95	94	96	93		
4	10.00	9.90	0.99	5.52	0.056	68	68	68	68	68	91	91	92	92	91	95	96	95	95	97		
5	10.00	10.00	0.99	5.63	0.057	67	69	68	67	67	91	91	91	90	90	93	93	95	94	94		
X	10.00	9.96	0.99	5.54	0.056					67.84					90.88					94.84		
SDXN	0.00				0.000					0.42					0.75					1.02		
%V	0.00				0.72					0.61					0.83					1.07		
		PINHOLE SIZE			CELL SIZE			TENSILE STRENGTH			C-TEAR			SPLIT TEAR(KG/CM.)			ELONGATION					
		(CM.)			(CM.)			(KG/CM2)			(KG/CM.)			(KG/CM.)			(% )					
SHEET	SCALE	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2.10	0.11	0.13	0.12	0.10	0.10	0.08	2.20	2.43	2.26	1.03	1.22	0.96	0.71	0.78	0.88	155	160	165			
2	2.09	0.18	0.14	0.17	0.09	0.09	0.10	2.12	2.42	2.21	1.10	1.17	1.11	0.66	0.76	0.72	150	170	170			
3	1.99	0.17	0.15	0.13	0.10	0.09	0.09	2.25	2.12	2.09	1.16	1.18	1.14	0.72	0.69	0.78	150	150	170			
4	2.02	0.13	0.14	0.12	0.08	0.09	0.10	2.06	2.18	2.35	1.21	1.14	1.17	0.76	0.76	0.73	150	160	160			
5	2.02	0.14	0.13	0.10	0.07	0.10	0.10	2.24	2.39	2.15	1.07	1.16	1.14	0.78	0.76	0.78	155	155	150			
X	2.04			0.067			0.045			2.25			1.14			0.76			158.00			
SDXN	0.04				0.018			0.007				0.10			0.05				0.04			6.53
%V	0.02				26.51			16.59				4.31			4.52				4.93			4.14
																			TOTAL VARIATION		6.05	

ตารางที่ ง-65 ผลการทดลองโดยใช้ใบกวนชนิด Double helical ribbon screw, อุณหภูมิของสารเคมีก่อนการผสม 26 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที และเวลาของการปั่นกวน 5 วินาที

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรุจิรา จิตรหวัง เกิดเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ.2512 ที่อำเภอบางกอกน้อย จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2532 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิต กับบริษัท อีสเทอร์นโพลีโพรดีก จำกัด เมื่อ พ.ศ.2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2540 ปัจจุบันเป็นพนักงานในตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิต บริษัท อีสเทอร์นโพลีโพรดีก จำกัด กิ่งอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย