ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต ในสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งผสมในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน

นายประสงค์ จิวจินดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0524-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMUM QUANTITY OF $CaCO_3$ EXTENDER IN BACK LAYER OF THE MULTILAYER CASTING FILMS OF P.V.C FLOORING SHEETS

MR.PRASONG JEWJINDA

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 974-13-0524-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งผสมในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน
โดย	นาย ประสงค์ จิวจินดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาย ไพบูลย์ ปีตะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นาย ไพบูลย์ ปีตะเสน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนะศรี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสงค์ จิวจินดา : ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต ในสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งผสมในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน(OPTIMUM QUANTITY OF $CaCO_3$ EXTENDER IN BACK LAYER OF THE MULTILAYER CASTING FILMS OF P.V.C FLOORING SHEETS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : นายไพบูลย์ ปีตะเสน 88 หน้า.
ISBN 974-13-0524-9

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในสัดส่วนที่มากที่สุด ในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมันโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 2 เกรด คือแบบ Uncoating และ Coating Filler ซึ่งปรับความนิ่มแข็งโดยใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต เพิ่มขึ้น จนได้ผลการศึกษาที่มาตรฐานค่าความถ่วงจำเพาะของผลิตภัณฑ์ ที่ 1.85 และนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ คือ ระยะยืด, การทนแรงดึง, การต้านทานการฉีกขาด และการประเมินทางด้านราคา โดยความนิ่มแข็งที่ศึกษาได้ คือ 40/275 เมื่อ Uncoating Filler (OM-15) กับ 40/250 เมื่อใช้ Coating Filler (2T) ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์การยืดสูงที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเสื่อน้ำมันและกรณีการใช้ Coating Filler (2T) ที่มีราคาต่อหน่วยสูงกว่า Uncoating Filler (OM-15) แต่ก็จะทำให้สินค้ามีคุณภาพดีขึ้นในทุกๆ คุณสมบัติ ไม่ว่าจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของระยะยืด, การทนแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาดมีค่ามากกว่า Uncoating Filler (OM-15) ในทุกๆ กรณีของความนิ่มแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ นิสิต ----------
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษา ----------
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ----------

4071446021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : OPTIMUM $CaCO_3$ / BACK LAYER

PRASONG JEWJINDA : OPTIMUM QUANTITY OF $CaCO_3$ EXTENDER IN BACK LAYER OF THE MULTILAYER CASTING FILMS OF P.V.C FLOORING SHEETS THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., THESIS CO-ADISOR : PHAIBOON PETASEN, 88 pp. ISBN 974-13-0524-9

This research study optimum quantity of $CaCO_3$ extender in back layer of P.V.C flooring sheets by usage $CaCO_3$ two grades are Uncoating filler and coating filler hardness is controlled by addition $CaCO_3$ from the results, at specific gravity 1.85 of back layer of P.V.C flooring sheets and bring its value to compare qualification of elongation, tensile strength, tear strength and estimate costing hardness is 40/275 when use uncoating filler (OM-15) and 40/250 when use coating filler (2T) which show highest percentage of elongation in back layer of P.V.C flooring sheets and in case of use coating filler (2T) it has unit coating higher then uncoating filler (OM-15) but it effect to more good quality about percentage of elongation, strength and tear strength in every hardness.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Engineering Student's signature_____

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature_____

Academic year 2000 Co-Advisor's signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความสนับสนุน และคำแนะนำที่ดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งได้ให้ขวัญและกำลังใจในการทำการวิจัยตลอดคำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และต้องขอขอบคุณ วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ คุณพิรุณ เพิ่มพูนอนันต์ชัย ที่ได้ช่วยในการเตรียมสารเคมี และตรวจวัดชิ้นงาน ขอขอบคุณ คุณ ไพบูลย์ ปีตะเสน กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูล ตรวจทานต้นฉบับวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนะศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บริษัท ฮันฮวา เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณ และสารเคมีในการทำการวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิด และให้การสนับสนุนอีกทั้งยังให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ประสงค์ จิวจินดา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
สัญลักษณ์ ..... ฐ
นิยาม ..... ฑ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
2. ทฤษฎี 6
2.1 ชนิดของฟิลเลอร์ 6
2.2 แคลเซียมคาร์บอเนต 6
2.3 หินปูน 7
2.3.1 ลักษณะของหินปูน 7
2.3.2 สมบัติทางเคมีของหินปูน 8
2.4 คุณสมบัติและการเลือกใช้พลาสติก 9
2.4.1 พีวีซี แข็ง(Rigid P.V.C) 9
2.4.2 พีวีซี อ่อน(Soft P.V.C) 10
2.5 สารที่เพิ่มลงในพลาสติก 12
2.5.1 พลาสติกไซเซอร์(Plasticizer) 12
2.5.2 สารเติมแต่ง 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3 สารเสริม 14

2.5.4 การเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติบางประการเกี่ยวกับการใช้สารเสริม 15

2.6 พลาสติกเปลี่ยนรูป 16

2.7 กระบวนการผลิต 16

2.7.1 งานรีด 16

2.7.2 ผงพลาสติกที่ใช้ในงานรีด 17

2.7.3 โครงสร้างของเครื่องรีด 18

2.7.4 โครงของสะพานรีดและกรรมวิธีรีด 19

2.7.5 การปรับปรุงแผ่นฟิลม์ที่ได้จากการรีดเพิ่มเติม 23

2.8 เกี่ยวกับคาเลนเดอร์(Calender) 23

2.8.1 ขบวนการผลิตและเครื่องจักร 24

3. วิธีดำเนินการวิจัย 33

3.1 ข้อกำหนดที่ใช้ในการทดลอง 33

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 33

3.2.1 พีวีซี(P.V.C) 33

3.2.2 ดีโอพี(DOP) 34

3.2.3 แคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$) 34

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 36

3.3.1 เครื่องรีดทดสอบพลาสติก 36

3.3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง 36

3.3.3 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ 36

3.3.4 เครื่องชั่งวัดความหนาแน่น 36

3.4 การเตรียมชิ้นทดสอบ 42

3.5 วิธีการทดลอง 42

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 67
ภาคผนวก ก (ข้อมูลการทดลอง) 68
ภาคผนวก ข (ข้อมูลแสดงราคา) 78
ภาคผนวก ค (สูตรการคำนวณ) 81
ภาคผนวก ง (แสดงชิ้นตัวอย่าง) 85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต 9
2-2 แสดงชนิดของพลาสติกไซเซอร์ 13
2-3 แสดงสารเสริมที่ใช้กับพลาสติก 15
2-4 แสดงสูตรที่ใช้ในการผสมของพีวีซีแข็งและพีวีซีอ่อน 20
3-1 แสดงค่าโพลิเมอร์ไรเซชั่น ของพีวีซีในการทดลอง 33
3-2 แสดงคุณสมบัติของ ดีโอพี ที่ใช้ในการผสม 34
5-1 แสดงผลการทดลองฟิลเลอร์ OM-15 (Uncoating) 64
5-2 แสดงผบการทดลองฟิลเลอร์ 2T (Coating) 65
ก-1 แสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของฟิลเลอร์ OM-15 68
ก-2 แสดงผลการทดสอบระยะยืดของฟิลเลอร์ OM-15 69
ก-3 แสดงผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิลเลอร์ OM-15 70
ก-4 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการฉีกขาดของฟิลเลอร์ OM-15 71
ก-5 แสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของฟิลเลอร์ 2T 72
ก-6 แสดงผลการทดสอบระยะยืดของฟิลเลอร์ 2T 73
ก-7 แสดงผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิลเลอร์ 2T 74
ก-8 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการฉีกขาดของฟิลเลอร์ 2T 75
ก-9 แสดงค่าเปอร์เซนต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟิลเลอร์ OM-15 76
ก-10 แสดงค่าเปอร์เซนต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟิลเลอร์ 2T 77
ข-1 แสดงราคาส่วนผสมตามสูตรความนิ่มแข็งต่างๆ ของฟิลเลอร์ OM-15 79
ข-1 แสดงราคาส่วนผสมตามสูตรความนิ่มแข็งต่างๆ ของฟิลเลอร์ 2T 80
ค-1 แสดงการคำนวนราคาของสารผสม 84
ง-1 แสดงชิ้นตัวอย่างของฟิลเลอร์ OM-15 ปรับเพิ่มด้วย ฟิลเลอร์ และดีโอพี 86
ง-2 แสดงชิ้นตัวอย่างของฟิลเลอร์ 2T ปรับเพิ่มด้วย ฟิลเลอร์ และดีโอพี 87

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1-1 แสดงถึงโครงสร้างขนาดใหญ่และเล็กที่สุดของฟิลเลอร์ 3
2-1 แสดงกระบวนการผลิตชีทอ่อน และชีทแข็ง 25
2-2 แสดงโครงสร้างของเครื่อง Herschel high shear mixer 27
2-3 แสดงโครงสร้างของเครื่อง Banbury mixer 29
3-1 แสดงถึงเครื่องรีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลองในส่วนการควบคุมความร้อน 37
3-2 แสดงถึงเครื่องรีดพลาสติก ที่ใช้ในการทดลอง 38
3-3 แสดงถึงเครื่องวัดค่าแรงดึง และค่าต้านทานการฉีกขาด 39
3-4 แสดงเครื่องตัดชิ้นทดสอบเพื่อสำหรับการวัดค่าแรงดึง และ
ค่าความต้านทานการฉีกขาด 40
3-5 แสดงเครื่องชั่งวัดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งบอกถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง 41
3-6 ชิ้นงานทดสอบระยะยืด 43
3-7 ขนาดเฉพาะของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติการต้านทาน
ต่อการฉีกขาดชนิด C 44
4-1 แสดงถึงผลการทดลองค่าถ่วงจำเพาะเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 48
4-2 แสดงถึงผลการทดลองค่าถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับการคำนวณ
จากสูตรของเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 49
4-3 แสดงผลการทดสองค่าเปอร์เซนต์ระยะยืดของฟิลเลอร์ OM-15 50
4-4 แสดงผลการทดลองค่าการทนแรงดึงของ เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 51
4-5 แสดงผลการทดลองค่าการฉีกขาดของ เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 52
4-6 แสดงราคาส่วนผสมของสูตรนิ่มแข็งต่างๆ ของเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 53
4-7 แสดงผลจุดสมดุล ระหว่างเส้นดีโอพี 40 PHR กับเส้นระยะยืดของ
เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ OM-15 ที่ให้ค่าสูงสุดของการยืดที่ราคาต่ำสุด 54
4-8 แสดงถึงผลการทดลองค่าถ่วงจำเพาะเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T 57
4-9 แสดงถึงผลการทดลองค่าถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับการคำนวณ
จากสูตรของเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T 58

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4-10 แสดงผลการทดสองค่าเปอร์เซนต์ระยะยืดของฟิลเลอร์ 2T 59

4-11 แสดงผลการทดลองค่าการทนแรงดึงของ เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T 60

4-12 แสดงผลการทดลองค่าการฉีกขาดของ เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T 61

4-13 แสดงราคาส่วนผสมของสูตรนิ่มแข็งต่างๆ ของเปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T 62

4-14 แสดงผลจุดสมดุล ระหว่างเส้นดีโอพี 40 PHR กับเส้นระยะยืดของ
เปอร์เซนต์ฟิลเลอร์ 2T ที่ให้ค่าสูงสุดของการยืดที่ราคาต่ำสุด 63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

S.G.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
DOP	Di-Octyl Phthalate
$CaCO_3$	แคลเซียมคาร์บอเนต
D	ความหนาแน่น
m	มวลของชิ้นทดสอบ
V	ปริมาตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยาม

HT	เกี่ยวกับอุณหภูมิสูงในกรรมวิธีการรีด
NT	เกี่ยวกับอุณหภูมิต่ำในกรรมวิธีการรีด
D_o	เป็นความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างเมื่อเทียบกับน้ำ
Calendering	หมายถึงกระบวนการรีดพลาสติก ในงานพลาสติกหมายถึงงานขึ้นรูป โดยให้พลาสติกผ่านลูกรีดสองตัว หรือมากกว่า จนได้แผ่นยาวต่อเนื่องกัน
Uncoating Filler	คือแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่มีการเคลือบด้วยกรดไขมัน
Coating Filler	คือแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการเคลือบด้วยกรดไขมัน
PHR	คือเศษส่วนในร้อยส่วนของพีวีซี
Aspect Ratio	สัดส่วนขนาดของฟิลเลอร์ ระหว่างส่วนที่ใหญ่ที่สุดกับสัดส่วนที่เล็กที่สุด
2T	เป็นเกรดที่กำหนดของ Coating Filler จากบริษัทสุรินทร์ ออมย่า จำกัด
OM-15	เป็นเกรดที่กำหนดของ Uncoating Filler จากบริษัทสุรินทร์ ออมย่า จำกัด
Celeclor S-52	เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ หรือสารคงตัวแบบชั้นสอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันราคาของเสื่อน้ำมันที่ขายในประเทศและต่างประเทศมีราคาตกต่ำ เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจโดยรวม จึงทำให้มีการแข่งขันกันอย่างสูงมาก บริษัทที่สามารถขายได้มาก จะต้องเป็นบริษัทที่ขายเสื่อน้ำมันได้ในราคาถูก และมีคุณภาพพอที่จะได้รับการยอมรับจากลูกค้า

ในการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเสื่อน้ำมันสามารถทำได้มากที่สุดก็คือ ในส่วนชั้นพื้นซึ่งก็คือชั้นหลังเสื่อน้ำมัน(Back Layer) ซึ่งส่วนผสมหลักคือสารผสม พีวีซี(PVC Compound) และ แคลเซียมคาร์บอเนต ถ้าทางบริษัทสามารถลดปริมาณการใช้ พีวีซี ลงและเพิ่มปริมาณการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต บริษัทก็จะมีกำไรหรือสามารถลดราคาเสื่อน้ำมันลงได้ จึงทำให้มีบริษัทที่ผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต คิดค้นและเสนอขาย แคลเซียมคาร์บอเนต แบบ Coating ขึ้นเรียกว่า Coating Filler ที่มีความสามารถผสมกับพีวีซีในสัดส่วนปริมาณมากขึ้น

ในปัจจุบันบริษัทที่ผลิต แคลเซียมคาร์บอเนต คือบริษัทสุรินทร์ออมย่า จำกัด ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนต เกรดที่ทางบริษัท ฮันฮวา เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด ใช้อยู่คือ Uncoating Filler ได้แก่ OM-15 ของ บริษัท สุรินทร์ ออมย่า จำกัด Uncoating Filler จะขายในราคา 0.95 บาท ต่อกิโลกรัม ซึ่งการผลิตเสื่อน้ำมันนี้ ทาง บริษัท ฮันฮวาใช้ในการผลิต แบบ งานรีด(Calendering) ในการรีดอุปสรรคที่พบคือ การใส่ Uncoating Filler มีข้อจำกัดในการผลิต กล่าวคือ สามารถใส่ Uncoating Filler ได้มากที่สุด ประมาณ 150 PHR แต่สำหรับ Coating Filler ทาง บริษัท ฮันฮวา เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด ยังไม่ได้ทดลองซื้อใช้ ซึ่งแนวทางการวิจัยของวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ คือ การค้นหาปริมาณการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต 2 เกรด ในสัดส่วนที่มากที่สุดในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน โดยทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ศึกษาจุดสมดุลระหว่าง พีวีซี และ Uncoating Filler กรณีที่ 2 ศึกษาจุดสมดุลระหว่าง พีวีซี และ Coating Filler โดยองค์ประกอบ และส่วนประกอบอื่นไม่เปลี่ยนแปลง ผลการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลที่ได้เปรียบในการค้า เพราะสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเสื่อน้ำมันได้

1.1.1 เรื่องเกี่ยวกับ ฟิลเลอร์ใน พีวีซี

ฟิลเลอร์ จริงๆ แล้วมีมากมายหลายชนิด ทั้งรูปร่างและขนาด สูตร พีวีซี ในการใช้งานผลิตภัณฑ์ต่างๆ จำเป็นต้องเลือกชนิดของ ฟิลเลอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ในขณะที่ได้ผลลัพธ์ทางฟิสิกส์ที่ค่าใช้จ่ายต่ำสุดด้วย การเข้าใจถึงคุณสมบัติของ ฟิลเลอร์ สามารถนำไปสู่การประหยัดวัตถุดิบและการผสมที่ดี อันนี้คือหัวใจที่สำคัญในการใช้ ฟิลเลอร์

ฟิลเลอร์ ถูกใช้ด้วยเหตุผลกว้างๆ ในการทดแทน เม็ดพลาสติกพีวีซี เพิ่มความแข็ง, แรงดึง, แรงกด และอายุการใช้งาน ข้อสำคัญของกฎ ฟิลเลอร์ ก็คือ ที่ราคาต่ำๆ ก็จะมีขนาดอนุภาคใหญ่ การก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผสมให้ประโยชน์การใช้ ฟิลเลอร์ มากกว่าในอดีต

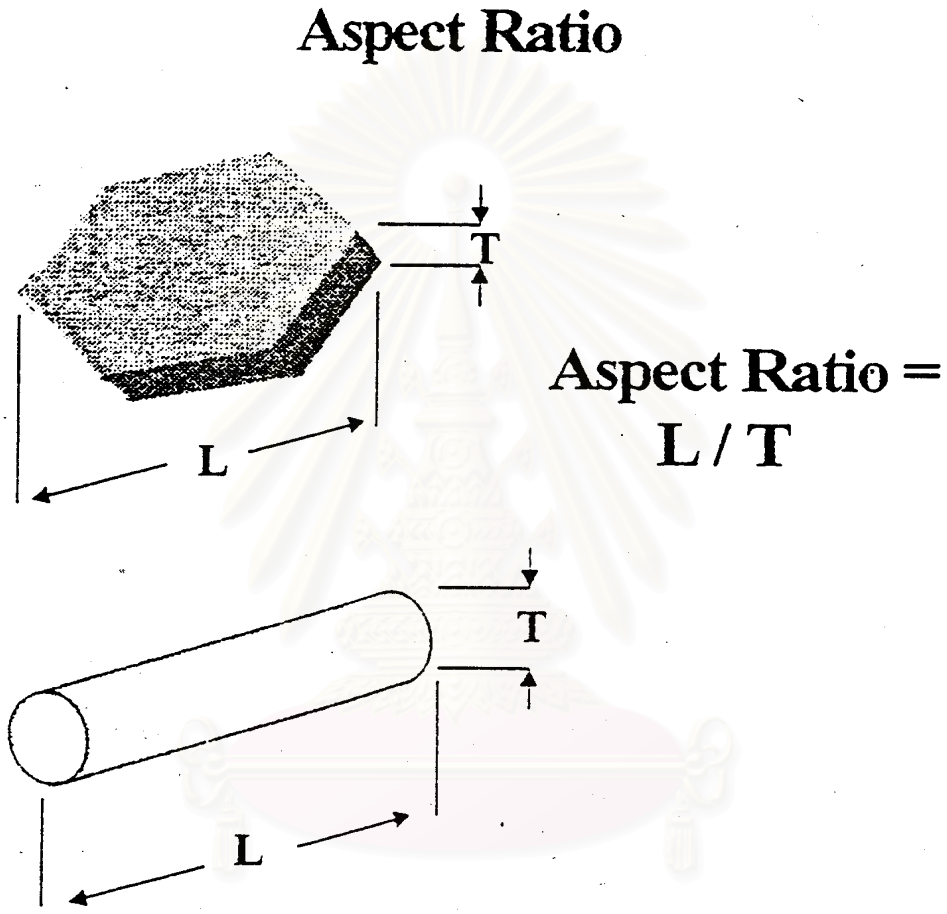
ชนิดของ ฟิลเลอร์ นั้น 80% ของการใช้ใน พีวีซี คือ แคลเซียมคาร์บอเนต รองลงมา ก็คือ ไตเตเนียมไดออกไซด์ โดยประมาณ 12% ส่วนที่เหลือเป็นส่วนผสมตัวอื่นๆ เช่นแก้วเป็นต้น

แคลเซียมคาร์บอเนตมีความกว้างมากๆ ในแง่ขนาดของการใช้งาน มันถูกผลิตจากการบดของหินปูน ส่วนไตเตเนียมได้ออกไซด์ ถูกใช้ในสีขาวและ สารคงตัวประเภทยูวี(UV Stabilizer)

คุณสมบัติของ ฟิลเลอร์ ที่สำคัญ ขึ้นอยู่ 2 ประการคือ ขนาด และรูปร่าง ฟิลเลอร์ จำนวนมากแบ่งกลุ่ม และแบ่งชั้นโดยขนาดของอนุภาค ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบกัน ในส่วนของขนาดของอนุภาคนั้น จะมีขนาดแตกต่างกันบ้างดังนั้น การบอกขนาดของ ฟิลเลอร์ จึงบอกค่ารูปค่าเฉลี่ย หรือค่ากลางนั่นเอง

ท๊อปไซด์(Top size) เป็นการบอกค่าขนาดของ ฟิลเลอร์ ในส่วนที่ผ่านทั้งหมดจนเหลือสัดส่วนสุดท้ายที่ผ่านตะแกรงสกรีน ในทางเทคนิคนั้น จะพูดถึง ท๊อปคัต(Top cut) ที่ 95% หรือ 99% โดยขนาด

รูปแบบของ ฟิลเลอร์ มาจากรูปร่างของแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยมีรูปร่างตามรูปทรงกลม, แท่งกลม, แผ่นและทรงเหลี่ยม ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัตินั้นด้วย ตัวนี้จะสามารถบอกได้ในรูป Aspect Ratio ก็คือสัดส่วนขนาดของ ฟิลเลอร์ ระหว่างส่วนที่ใหญ่ที่สุดกับสัดส่วนที่เล็กที่สุด กรณีของรูปแบบแท่งจะวัดความยาวเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลาง รูปทรงกลมก็จะมีค่า Aspect Ratio คือ 1:1 ในขณะที่ไฟเบอร์เป็น 20:1 ซึ่งรูปร่างแบบนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เช่นแรงดึง การยืดตัว เป็นต้น ดังในรูปที่ 1-1 แสดงถึงค่า Aspect Ratio



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1-1 แสดงถึงโครงสร้างที่ใหญ่ และเล็กที่สุดของ ฟิลเลอร์

1.1.2 เปรียบเทียบกันของ Coating Filler (2T) และ Uncoating Filler (OM-15)

คุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อ

1. ได้ดูดซับความชื้นมาก (Hydro Phobicity)
2. การเข้ากันของสารผสมจะดีกว่า (Dispersion)
3. เพิ่มความต้านทานของการฉีกกร่อนในผลิตภัณฑ์ (Abrasion)
4. เพิ่มคุณสมบัติในทางฟิสิกส์
5. เพิ่มความเงางามในชั้นผิว
6. ความทนตัวในอุณหภูมิสูงได้ดีกว่า
7. การดูดซับ ดีโอพี ต่ำ
8. ลดการใช้สารคงตัว (Lubricant)
9. เพิ่มแรงดึงในชั้นฟิลม์ (Burst strength)
10. ลดการเสียดสีของลูกกลิ้ง คาเลนเดอร์
11. ลดการเกิดรูที่ผิว
12. พัฒนาการพิมพ์สีสวยขึ้น

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

มีการกำหนดมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1042-2534 ที่เกี่ยวกับ พรมพีวีซี (Standard For Backed Flexible PVC Flooring) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการวัดมาตรฐานของพรมพีวีซี แบบสำเร็จรูปแล้ว และผลิตภัณฑ์ที่ออกมาก็ไม่ได้ใช้ในกระบวนการแบบงานรีด คือระบบงานเคลือบ พรมพีวีซีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หมายถึง แผ่นปูพื้นที่มีลักษณะเป็นผืนยาวประกอบด้วยชั้นใช้งาน และชั้นรองหลัง โดยชั้นรองหลังของ ระบบ งานรีด เป็นชั้นหลังเสื่อน้ำมัน (Back Layer) ซึ่งมีส่วนผสมหลักคือ สารผสม พีวีซี และ แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาการผสมนี้เลย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่มากที่สุดในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน

2. เพื่อหาปริมาณการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดต่าง ๆ ในสัดส่วนที่มากที่สุดในชั้นพื้นของเสื่อน้ำมัน
3. เพื่อเป็นการศึกษา สำหรับมาตรฐานการผลิตเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
4. เพื่อทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของ พีวีซี, แคลเซียมคาร์บอเนต และ ดีโอพี ในชั้นหลังสุดของผลิตภัณฑ์เสื่อน้ำมัน ซึ่งเป็นชั้นที่สามารถลดต้นทุนการผลิตในแง่วัตถุดิบได้มากที่สุด
5. ผลการศึกษาที่ได้เป็นประโยชน์โดยตรงต่อ บริษัทฮันฮวา เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด

1.4 **ขอบเขตงานวิจัย**

1. ศึกษาถึงทฤษฎี และคุณสมบัติของ พีวีซี และแคลเซียมคาร์บอเนต เกรดต่างๆ ที่ใช้งานในการผลิตเสื่อน้ำมัน
2. ศึกษาจุดสมดุลแต่ละจุดของการผสมระหว่าง พีวีซี และแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดต่างๆ ที่เหมาะสม ที่มีผลต่อคุณภาพของชั้นพื้นเสื่อน้ำมัน
3. ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผสมระหว่าง พีวีซี และแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดต่างๆ
4. ศึกษาถึงผลงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นการศึกษา สำหรับมาตรฐานการผลิตเพื่อเปรียบกับ มาตรฐาน ม.อ.ก.
2. เนื่องจากปัจจุบันไม่มีมาตรฐานใดๆที่สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ของบริษัท
3. ชั้นหลังสุดของผลิตภัณฑ์เป็นชั้นที่สามารถลดต้นทุนการผลิตในแง่วัตถุดิบได้มากที่สุด
4. เพื่อทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของ แคลเซียมคาร์บอเนต และ ดีโอพี
5. เพื่อสามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับในสายการผลิตจริงเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการทำงานจริง เช่น เมื่อใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต มากๆจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายสูง ฉะนั้นขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมคือ 13 – 15 ไมโครเมตร จากเดิมที่ใช้ 10 ไมโครเมตร และ ทำการลดการฟุ้งกระจายโดยการใช้ Celeclor S-52 (Secondary Plasticizer) แทนที่ ดีโอพี เนื่องจากมีความหนืดสูง จึงสามารถจับตัวกับ แคลเซียมคาร์บอเนต ได้ดีขึ้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณการใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต สูงขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎี

พีวีซี และการร่วมกับ โคโพลีเมอร์ เป็นจุดอ่อนที่มีคุณสมบัติต้องแก้ไข การเพิ่มความยาวของพันธะที่ไม่เกี่ยวข้องกันจะต้อง แก้ไขให้สำเร็จทั้งหมดซึ่งเป็นผลของการทดลอง แผนการทดลองซึ่งพยายามทำการพัฒนาไฟเบอร์ของยาง ซึ่งปกคลุมลักษณะของ เม็ดพลาสติก ซึ่งต้องการแก้ไขมาก การเพิ่ม การใช้พีวีซี เป็นการบ่งถึงข้อความของหน้าที่ของสาร ตัวอย่างได้ดี พลาสติก การหล่อลื่น และความร้อน สสารนี้เพื่อแก้ไข คุณสมบัติ ของ พีวีซี, ราคา, การประหยัด การแก้ไขและการเพิ่ม คุณสมบัติ รู้จักกันในนาม ฟิลเลอร์ จะเกี่ยวข้องกับลักษณะ เชื่อมของ สสาร ว่ามีการเกี่ยวข้องกับราคา ซึ่งรู้จักกันโดยเป็นตระกูลของ ฟิลเลอร์ สสารไม่ถูกเลือกโดยการลดราคา แต่ตรวจสอบได้จาก ผลลัพธ์ เช่น แรงยึดเกาะ (Reinforcement), ความแข็ง (Hardensing), การยึดเกาะหรือการต้านทานการยึดเหนี่ยว (Improved Slip or shink Resistance)

2.1 ชนิดของ ฟิลเลอร์

หลายปีที่ผ่านมา นักเคมีและวิศวกร พิสูจน์ และประดิษฐ์จนสามารถไกล่เกลี่ยราคาของสูตรโพลิเมอร์ ไวนิล กับการต้องการพัฒนาส่วนประกอบ ผลเหล่านี้ จำนวนและความหลากหลายของวัสดุสามารถ จำแนก ฟิลเลอร์ ตามคำจำกัดความ ปัจจุบัน ฟิลเลอร์ แบ่งเป็น 3 ชนิด ของแข็ง, ของเหลว, ก๊าซ ซึ่งขึ้นกับความสามารถของ ไวนิล แต่ละรูปแบบก็มีปริมาตร ความยาว ของเหลวเป็น เทอม ของการขยายการใช้ ก๊าซ ที่เกี่ยวข้องกับอากาศ การลดราคา ฟิลเลอร์ มีหลายเกรด เกี่ยวข้องกับ ของแข็ง แต่บางอย่างใช้สูตร ฟิลเลอร์แร่วัตถุดิบ

2.2 แคลเซียมคาร์บอเนต

ปกติแร่จะเกิดขึ้นจากการศึกษา ฟิลเลอร์ ของ เทอร์โมพลาสติก มันสำคัญกับการค้าในเทคโนโลยี พีวีซี สสารเป็นตำแหน่งนำสำหรับปริมาตรทั้งหมดและจำนวน แคลเซียมคาร์บอเนต ชื่อที่รู้จักคล้าย หินปูน, ชอลก์, แคลไซต์ เป็นต้น

แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นส่วนประกอบสมดุล เป็น ฟิลเลอร์ ที่มีราคาไม่แพง ราคา อยู่ระหว่าง 1.1 บาท ถึง 3.1 บาท ต่อกิโลกรัม ขึ้นกับ ขนาด, ความพรุน, สี ซึ่ง สี ทำการรักษาสีนของแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสสารชนิดหนึ่ง ต้องสะอาด และสีขาว

ประโยชน์ของ แคลเซียมคาร์บอเนต

1. เป็นประโยชน์อิสระซึ่งมีโครงสร้างพันธะเป็นทางยาว
2. เป็นหินเจียระไนที่มีขนาดโครงสร้างเล็ก
3. เป็น วัตถุดิบขนาดเบา และไม่เน่าเสีย และมีรอยสึก ซึ่งผสมและกระบวนการทดลอง
4. มีแรงโน้มถ่วงน้อยเพราะมีประโยชน์ของปริมาตร

ด้านกายภาพของ แคลเซียมคร์บอเนต ในการค้ามีความสำคัญมาก ซึ่งเพิ่มตามธรรมชาติในกระบวนการผลิตของ แคลเซียมควร์บอเนต ที่ใช้อย่างกว้างๆ

2.3 หินปูน (Lime Stone)

หินปูนเป็นหินที่มีแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) เป็นสารประกอบหลักพบทั่วไปแต่มีมากที่จังหวัดสระบุรี ราชบุรี

2.3.1 ลักษณะของหินปูน (กรมทรัพยากรธรณี. 2526: 130-131)

หินปูนเป็นหินที่มีรูปผลึกเป็นระบบเฮกซะโกนาล และเป็นผลึกที่ซับซ้อนมากที่พบเห็นได้บ่อยๆ คือ ผลึกที่มีรูปเหมือนสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ผลึกหินปูนมีชื่อเรียกตามลักษณะของผลึกดังนี้

1. ลักษณะผลึกเหมือนปลายเล็บเรียกว่า Nail-Head Spar
2. ลักษณะผลึกเป็นแท่งหัวแหลมยาวเรียกว่า แร่ฟันหมา (Dog Tooth Spar)
3. ลักษณะผลึกโปร่งแสง และโปร่งใส่เรียกว่า Iceland Spar หรือ Double -Refracting Spar
4. ลักษณะผลึกเป็นเส้นใยหรือเป็นเส้นๆ เรียกว่า Satin Spar

นอกจากนี้ยังพบในลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆรวมกันเป็นกระจุก เนื้อแน่น ละเอียด หรือพบในลักษณะเป็นหินงอก หินย้อย หินปูนจะมีแนวแตกเรียบที่สมบูรณ์ 3 แนว โดยไม่ตั้งฉากกัน เมื่อเคาะหรือ สกัดออกจะแตกเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนเสมอ หินปูนมีค่าความแข็งเท่ากับ 3 และ ถ.พ. เท่ากับ 2.72 มีลักษณะวาวคล้ายแก้ว หรือด้านเหมือนดิน หินปูนโดยทั่วไปจะมีสีขาวหรือสีอื่นๆ ได้ เช่น สีเทา สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีเหลือง แต่ถ้ามีมลทินอื่นปะปน เช่น ไพไรต์ทองแดง มาลาไคต์ สีของหินปูนจะเป็นสีน้ำตาลจนกระทั่งสีดำ

2.3.2 สมบัติทางเคมีของหินปูน (Chemical Property of Lime Stone)

หินปูน มีสูตรทางเคมีว่า $CaCO_3$ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบต่างๆ ดังนี้

CaO	56.3	เปอร์เซ็นต์
CO_2	43.97	เปอร์เซ็นต์

หินปูนบางแหล่งอาจมี แมงกานีส สังกะสี และเหล็กเฟอร์รัสเข้าแทนที่ธาตุแคลเซียมบ้าง

โดยสามารถแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตได้จากตารางที่ 2-1 ซึ่งบอกรายละเอียดพร้อมทั้งหน่วยในการแสดงค่านั้นๆ

หินปูนจะพบได้ทั่วไปในบริเวณที่มีหินชั้น หรือหินตะกอน และหินแปร ในแหล่งที่เกิดหินปูน จะพบเสมอว่ามีหินอ่อนเจือปนอยู่ด้วย หินอ่อนเป็นหินชนิดหนึ่งที่เกิดจากการตกผลึกของหินปูนอันเนื่องมาจากความร้อน และความดันภายใต้พื้นผิวของโลก แหล่งหินอ่อนที่มีเนื้อ และลายสวยงามมากได้แก่หินอ่อนที่นครสวรรค์ และกำแพงเพชร

ตารางที่ 2-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต

Property	Terms	Calcium carbonate
k_E	$\eta_{sp} / \nu \int$	4-5
Thermal	(cal/g.s.^{o}C)	5.6
Conductivity	x 10^{3}	
Specific heat	cal/g.^{o}C	0.205
Coefficient of	Linear unit/unit/	10
Thermal	^{o}C x 10^{6}	
Expansion		
Young's	kg/cm^{2} x 10^{-6}	2.6
modulus		
Poisson's	dw/dl	0.27
ratio		
Hardness	Mohs	2.5-3
Absolute	relative force	13
Dielectric	$\varepsilon = D/E$	6.14
constant		
Density	g/cm^{3}	2.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 คุณสมบัติและการเลือกใช้พลาสติก

โดยปกติบรษัทผู้ผลิตจะสามารถให้ข้อมูลในการเลือกใช้พลาสติกแก่ลูกค้าได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นบริษัทผู้ผลิตยังสามารถแนะนำเทคนิคการทำงานต่าง ๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิภายในกระบอกสูบ หลอมพลาสติก ความดันอัดฉีดพลาสติกที่สัมพันธ์กับความหนืดของพลาสติก การควบคุมอุณหภูมิในแม่แบบเพื่อให้การทำงานได้ผลดียิ่งขึ้น

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างข้อแนะนำในการเลือกใช้เทอร์โมพลาสติกที่สำคัญและมีใช้มากบางชนิด

2.4.1 พีวีซีแบบแข็ง (Rigid พีวีซี)

ชื่อทางการค้า : TROSIPI AST Vestolit, vinofles, Hostalit

สีสันและลักษณะที่มีขายตามท้องตลาด: เป็นผงละเอียด หรือเป็นเม็ด โปร่งแสงหรือย้อมสีทึบให้ทุกสี

คุณสมบัติโดยทั่วไปของผลผลิต: มีความแข็งแรงสูง แข็งและเหนียว ไม่สึกกร่อน มีค่า dielectricity ดี ติดไฟยาก

ตัวอย่างการใช้งาน (จากกรรมวิธีฉีด): อุปกรณ์ท่อ (Fittings) ชิ้นส่วนปั๊ม แผ่นเสียง ประเด็น ฉนวนไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องใช้ในบ้านและในสำนักงาน

อุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นระยะเวลานานๆ เท่ากับ 60-70 ^{0}C ทนต่อกรดและด่าง แอลกอฮอล์ เบนซิน น้ำมันเครื่องและไขมัน ไม่ทนต่อ Ester, Ketone, Ether, Chlorinated hydrocarbon, Benzol สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ คือเมื่อจ่ออยู่ในเปลวไฟจะติด เมื่อดึงออกจากเปลวไฟไฟจะดับ มีเถ้ามาก เปลวไฟมีสีเขียวหรี่ประทุ มีกลิ่นกรดเกลือ (กัดเยื่อจมูก) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.59 kJ/mh^{0}C ความหนาแน่น (ρ) ที่อุณหภูมิ 20^{0}C เท่ากับ 1.4 g/cm^3 อัตราการหดตัวอยู่ระหว่าง 0.4-0.5%

กลิ่น: กลิ่นกรดเกลือ (กัดเยื่อจมูก) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.59 kJ/mh ^{0}C ความหนาแน่น (ρ) ที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C เท่ากับ 1.4 g/cm^3 อัตราการหดตัวอยู่ระหว่าง 0.4-0.5%

2.4.2 พีวีซีแบบอ่อน (พีวีซี-soft (พีวีซี$_s$))

ชื่อทางการค้า: TROSIPLAST, COLOPLAST, บ ESTOLIT

สีและลักษณะที่มีขายตามท้องตลาด: แผ่นกลมหรือทรงลูกเต๋า (ประมาณ 3 mm) สีมีทั้งโปร่งแสงและย้อมสีโปร่งแสงจนถึงสีทึบ

คุณสมบัติโดยทั่วไปของผลผลิต: ยืดหยุ่นดีมาก ลักษณะคล้ายยาง เนื่องจากมีสารทำให้อ่อนเจือปนอยู่มากจึงไม่เหมาะที่จะใช้ห่อหุ้มอาหาร

ตัวอย่างการใช้งาน (จากกรรมวิธีฉีด) : ทำประเก็นต่างๆ ของเด็กเล่น ร้องเท้ากันน้ำ รองเท้าหนังเทียม ส่วนที่ได้รับแรงกระแทกของวิทยุ โทรศัพท์ ส่วนขาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ส้นรองเท้า ปุ่ม และมือจับต่างๆ ภายในรถยนต์

อุณหภูมิที่ใช้ในงานได้เป็นระยะเวลานานๆ เท่ากับ 40-70 ^{0}C ทนต่อกรดและด่างอ่อน ทนต่อกรดและด่างแก่, น้ำมันเครื่อง และไขมัน ได้จำกัด ไม่ทนต่อแอลกอฮอล์, ester, Ketone, Ether, Chlorinated hydrocarbon, Benzol, และเบนซิน สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ คือ เปลวติดต่อไปหลังจากจุด ติดดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารทำให้อ่อน มีเปลวจ้า มีกลิ่นกรดเกลือ (กัดจมูก) กลิ่นสารทำให้อ่อน อัตราการหดตัวอยู่ระหว่าง 1.5-3.0%

คุณสมบัติในการต้านทานการละลายโดยเปรียบเทียบกับอย่างอื่นแล้วจะดี แต่เมื่อมีการเพิ่มความร้อนขึ้นเล็กน้อยก็จะละลายในตัวทำละลายในช่วงอุณหภูมิ 150-190 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 170 องศาเซลเซียส แล้ว ขบวนการแยกสารด้วยความร้อนจะมีความสำคัญมากขึ้น การละลายโดยความร้อนหรือ โดยรังสีอุลตร้าไวโอเล็ตของ พีวีซี จะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเกิดไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งจะทำให้ พีวีซี มีโครงสร้างแบบ โพลีเอทธีลีน ของพันธะคู่ (Double bond)ที่เปลี่ยนไป และจะเปลี่ยนไปมี โครงสร้างแบบ พันธะตาข่าย กับสีเหลือง ส้ม ชมพู และสีน้ำตาล และจะไม่ทำละลายกับตัวทำละลาย และพันธะก็จะถูกตัดลง และหลังจากนั้นจะถูก ออกซิไดซ์ โดยออกซิเจนในอากาศ

ดังนั้นจึงมีการใส่สารที่ช่วยเพิ่มความคงตัว (Stabilizer agent) สำหรับต่อต้านความร้อนและแสงในอัตรา 1 ถึง 7 ส่วนต่อ พีวีซี 100 ส่วน ก่อนกระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์ พีวีซี จะจำแนกได้อย่างกว้างๆ 2 แบบ คือ แบบอ่อนและแบบแข็ง (Soft and rigid product) ซึ่งสามารถจำแนกได้ในปริมาณ สารคงตัว ที่เป็นองค์ประกอบ

พีวีซีแบบอ่อน จะมีอยู่ประมาณ 25-30% ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะสามารถแบ่งได้โดยการพิจารณาความหนา เช่น ฟิล์มจะมีความหนาน้อยกว่า 0.2 ม.ม. ชีท (Sheet) จะมีความหนามากกว่า 0.2 ม.ม และผลิตภัณฑ์ หนังเทียมจะมีเส้นใยมาติดไว้ด้านหลัง

2.5 สารที่เพิ่มลงในพลาสติก (Plastic additives)

2.5.1 พลาสติกไซเซอร์ หรือ สารคงตัว

จะถูกใช้เพื่อทำให้ เม็ดพลาสติก สามารถทำรูปได้ง่าย และมีสถานะเป็นของเหลวและจะทำให้ พีวีซี สามารถดัดงอได้ ซึ่งโมเลกุลเล็กๆ ของสารคงตัวเหล่านี้ จะทำให้ทุกๆ โมเลกุลของพีวีซี มีความสมดุล และจะไม่เพียงแต่เป็นการส่งเสริมให้ โพลีเมอร์เป็นของเหลวแต่ยังจะทำให้อุณหภูมิในการอ่อนตัวลดลง ทั้งจะทำให้สารมีความยืดหยุ่นและสามารถดัดงอได้

สารคงตัว ส่วนใหญ่นั้นจะอยู่ในกลุ่มของ เอสเทอร์ ซึ่งประกอบด้วยสารผสม ระหว่าง แอลกอฮอ และ กรด ซึ่งจะถูกจำแนกตามการกระทำได้ 2 อย่างคือ สารคงตัวชั้นแรก และ สารคงตัวชั้นสอง

สารคงตัวชั้นแรก นั้น จะมีผลต่อพลาสติกเป็นอย่างมาก และถูกนำมาใช้ในปริมาณที่มากมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบโมเลกุลต่ำ เช่น ดีโอพี หรือ โมโนเมอร์ เช่น ดีเอพี และชนิดโพลีเมอร์ ซึ่งจะมีโพลิเมอร์ไรเซชั่น ดีกรี ประมาณ 200-300 ซึ่งในขั้นนี้จะทำให้สารมีความเป็นพลาสติกที่สมบูรณ์ คือ

จะมีความสามารถที่จะละลายได้อีก และมี การละลายพิเศษสูง(Inter-Resolvability) เมื่อเทียบกับ พีวีซี

สารคงตัวชั้นสอง จะทำให้มีความเป็นพลาสติกคล้ายกับ พาราฟินคลอไรด์ และสารใกล้เคียง เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติพิเศษ หรือใช้ในการผสมกับ สารคงตัว เพื่อจุดประสงค์ของการลดราคาค่าวัตถุดิบ

สารคงตัว จะมีอิทธิพลอย่างมากกับการแพร่ของสีบน พีวีซี โดยทั่วไปแล้ว ดีพีบี จะละลายได้ดีกว่า ดีโอเอส (DI-OCTYL CEBACATE) และ ดีพีบี จะมีความหนาแน่นมากกว่า ดีโอพี หรือ ทีซีพี ซึ่งสามารถสรุปข้อดี และข้อเสีย ของสารคงตัวชนิดต่างๆ ได้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงชนิดของสารคงตัว

ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย	การใช้งาน
Di-butyl phalate (DBP)	ความเป็นพลาสติก และ efficiency ดี	ระเหยได้เร็ว	ทั่วๆไป
Di-2-ethyl hexyl phthalate (DOP)	คุณสมบัติโดยเฉลี่ยแล้วดี	-	ทั่วๆไป
Di-octyl adephate (DOA)	มีคุณสมบัติการเย็นตัวที่ดี	กันน้ำมัน	การเย็นตัว สารคงตัวชั้นสอง
Tricresyl (TCP)	การละลาย, ไหม้ไฟได้ ยาก	กันน้ำมัน	สายไฟฟ้า
Tri-ocltyl phosphate (TOP)	การเย็นตัว, ป้องกันการระเหย	-	สายเคเบิลยาง
Epoxy (ESO)	มีความคงทนต่อความร้อน, ป้องกันแสง	เป็นไข	Heat-resistive Secondary plasticizer
Polypropylene adiphate	กันน้ำมัน, ป้องกันการรวมตัว	ละลายสูง	วัสดุที่ใช้ในการห่อของ, วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

2.5.2 สารเติมแต่ง (Additives)

คือสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะใช้เติมลงในโพลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติและตกแต่งให้สวยงาม ได้แก่ ตัวเติมปริมาตร สารเสริมสภาพลาสติก สี สารหล่อลื่น สารช่วยขึ้นรูป สารลดการสลายตัว สารกันออกซิเดชั่น ฯลฯ

สารเติมแต่ง (Additives) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. สารเติมแต่งเนื้อพลาสติก สารคงตัว, สารเสริม, ฟิลเลอร์, วัสดุเสริมแรง, ยาฟู, สารป้องกันการสถิตย์ เป็นต้น

2. สารเติมแต่งช่วยการผลิต สารคงตัวบางชนิด, สารไขมัน, เป็นต้น

2.5.3 สารเสริม (Filler)

คือสารเติมที่ผสมในโพลิเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาณ ทำให้ลดปริมาณโพลิเมอร์ลง และช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เส้นใย โลหะ

ฟิลเลอร์ เป็นส่วนหนึ่งของสารเติมแต่ง ดังแสดงในตารางที่ 2-3 เป็นฟิลเลอร์ที่ใช้ในพลาสติกชนิดต่างๆ

ลูบิแคลท์ (Lubricant) คือสารที่จะเพิ่มความเป็นของเหลว และทำให้มีความสามารถในการละลายร่วมกับสารอื่น โดยการทาโพลีเมอร์ลงบนการผลิตยางหรือพลาสติก ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจะขัดขวางการเกาะตัวของสาร โดยการลดความต้านทานความฝืด ที่มีต่อพื้นที่ผิวโลหะของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เพื่อที่จะสามารถทำการผลิตได้ง่ายขึ้น และในเวลาเดียวกันก็จะถูกใช้สำหรับจุดประสงค์ของการทำให้การเปิดของท่อ หรือฟิลม์เป็นไปด้วยดี สารเหล่านี้ได้แก่ กรดไขมัน เป็นต้น

ยางและพลาสติก เป็นสารอินทรีย์ที่ทำมาจากสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว จะติดไฟง่าย ดังนั้น จะมีสารเสริมตัวหนึ่ง จะถูกใช้สำหรับจุดประสงค์ของการป้องกันการลุกเป็นไฟซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีสาร ฟอสฟอรัส และฮาโลเจน ผสมอยู่ สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

- สารผสมโดยทางกายภาพ เช่น เกลืออนินทรีย์ ฯลฯ

- สารผสมโดยปฏิกริยาทางเคมี เช่น สารที่มี ฮาโลเจน เป็นส่วนประกอบ

ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับ โพลีเยสเตอร์ และโพลียูเรเทน

ตารางที่ 2-3 สารเสริมใช้กับพลาสติก

โพลีเมอร์	ฟิลเลอร์
อะซีตัล	กลาสไฟเบอร์
อะครีโลไนไตรด์ บิวตะไดอัน สตรีน	กลาสไฟเบอร์
ไดอะลิล ไฟทาเลด	กลาสไฟเบอร์
อีฟอกซี่	หินบด, ซิลิกา, กลาสไฟเบอร์, ผงโลหะ
เมลามีน ฟอร์มัลดีไฮน์	เอสเบสตอส, กลาสไฟเบอร์, เซลโลสไฟเบอร์
ไนล่อน	เอสเบสตอส, กลาสไฟเบอร์
ฟีนอล ฟอร์มัลดีไฮน์	ผงไม้, เอสเบสตอส, ไมก้า, กลาสไฟเบอร์, ผงโลหะ
โพลีคาร์บอเนต	กลาสไฟเบอร์
โพลีเยสเตอร์	หินบด, กลาสไฟเบอร์, เศษผ้า, เอสเบสตอส
โพลีเอทีลีน	เอสเบสตอส, ผงโลหะ
โพลีเอทีลีน ออกไซด์	กลาสไฟเบอร์
โพลีโพรพีลีน	เอสเบสตอส, กลาสไฟเบอร์
โพลีสตรัน	กลาสไฟเบอร์
พีวีซี	เอสเบสตอส, หินบด
ซิลิโคน	เอสเบสตอส, กลาสไฟเบอร์, แร่ควอทส์
ยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์	เซลลูโลส ไฟเบอร์, เอสเบสตอส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.4 การเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติบางประการเกี่ยวกับการใช้ฟิลเลอร์

ความนิ่มแข็ง – การยึดเกาะกันระหว่าง ฟิลเลอร์ นั้นเป็นความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันกับขนาดของอนุภาค และกรณีสารแปลกปลอมหรือ โลหะบางตัวใน Filler ก็ควรพิจารณาด้วย

สี – ใน ฟิลเลอร์ ตัวหนึ่งๆ จะมีสีที่แตกต่างกันออกไป ถ้าสีที่เป็นสีแห้งหรือสีที่สว่างเช่น สีขาว ก็มีผลต่อโครงสร้างโพลีเมอร์ได้ ทางเดียวเท่านั้นที่จะรู้ว่า ฟิลเลอร์ ตัวหนึ่งๆ นั้นจะมีผลได้อย่างไร ก็คือ การทดสอบสูตรสีและการผสมนั้นเอง

ค่าความถ่วงจำเพาะ หรือ S.G ของ ฟิลเลอร์ ต้องใช้ในการคำนวณ ราคาของ สารผสม เพราะบางส่วนของผลิตภัณฑ์จะขายในรูปของปริมาตร แล้วแปลงเป็นน้ำหนักพื้นฐาน ในสารผสมของ ฟิลเลอร์ มีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะโดยตรง ผลลัพธ์ที่สำคัญคือ ราคาและน้ำหนักต่อผลิตภัณฑ์นั้นๆ

การเคลือบผิว – ฟิลเลอร์ ที่ขายอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการเคลือบผิวด้วยกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก การเคลือบ Coating Filler เช่น 2T ของสุรินทร์ออมย่า สามารถช่วยในการผสมของ สารผสม ในการจับตัวกัน และก็มีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้ในอุตสาหกรรม พีวีซี แปรรูป

2.6 พลาสติกเปลี่ยนรูป

เป็นพลาสติกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในการหล่อหลอม จะไม่แข็งตัวด้วยแรงอัดและความร้อน แต่จะแข็งตัวคงรูปในขณะที่ทำให้เย็นตัว และสามารถนำไปหล่อหลอมใช้ใหม่ได้อีก โดยการใช้ความร้อน เปรียบเสมือนน้ำเมื่อนำไปทำเป็นน้ำแข็ง เมื่อถูกความร้อนจะละลายกลายเป็นน้ำอีก และสามารถนำกลับไปทำน้ำแข็งได้อีก พลาสติกประเภทนี้มีโมเลกุลลักษณะยาวเป็นเส้นตรง กล่าวคือ อะตอมของธาตุต่างๆ จะเกาะกันในแนวยาว ทำให้มีความแค้นแรงดึงสูง มีความเหนียวเมื่อทำเป็นเส้นด้ายจะไม่ขาดง่าย แต่พลาสติกประเภทนี้ทนอุณหภูมิต่ำไม่ควรใช้งาน ณ อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส เพราะจะอ่อนตัวมากไม่สามารถรับภาระได้เลย

2.7 กระบวนการผลิต

2.7.1 งานรีด (Claendering)

งานรีด (Calendering) ในงานพลาสติกหมายถึงงานขึ้นรูป เทอร์โมพลาสติก โดยให้พลาสติกผ่านลูกรีดสองตัว หรือมากกว่าจนได้แผ่นพลาสติกยาวต่อเนื่องกันไม่รู้จบ

งานรีดมีบทบาทเป็นพิเศษในการผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซี เนื่องจาก แผ่นฟิล์ม พีวีซี มีคุณสมบัติที่ดีในการใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารมาก นอกจากนั้นแล้ว ยังสามารถทำเป็นแผ่นแข็งหรืออ่อนที่เหมาะสำหรับใช้ในสำนักงาน หรือใช้เป็นวัสดุตกแต่งต่างๆ โดยปกติ จะใช้ลูกรีด 4 ถึง 5 ลูก

ในการจะเลือกลูกรีดแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง เช่น แบบ L มีข้อดีอยู่ตรงที่ตำแหน่งเติมผงพลาสติกอยู่ข้างล่าง ทำให้เติมวัสดุได้ง่ายและสะดวกกว่า ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการผลิตแผ่น พีวีซี แข็ง ข้อเสียของลูกรีดแบบ L ก็คือ เมื่อใช้ผลิตแผ่น พีวีซี อ่อน จะมีไอของสารทำให้อ่อน (Softener) ระเหยไปติดด้านหลังของลูกรีด ทำให้คุณภาพของแผ่นพลาสติกไม่มีดเท่าที่ควร ด้วยเหตุนี้ การผลิตแผ่น พีวีซี อ่อนจึงนิยมใช้แบบ F ในการเสริมแผ่นผ้าหรือเส้นด้ายเข้าไปในเนื้อพลาสติกจะทำได้ดีโดยใช้แบบ Z และแบบ I นั้นไม่ค่อยใช้ในการอุตสาหกรรมพลาสติกเนื่องจากเติมผงพลาสติกยาก

ความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติกจะอยู่ราวๆ 30 ถึง 80 ไมโครเมตร ยกเว้นกระเบื้องยางปูพื้นที่ใช้ในการรีดพิเศษให้มีความหนามากกว่านี้

2.7.2 ผงพลาสติกที่ใช้ในงานรีด

ตามหลักการแล้ว เทอร์โมพลาสติก ทุกชนิดที่มีช่วงของเหลวเหนียว (Pasty) กว้างและความหนืดสูง พอเพียงจะใช้ในงานรีดได้ทั้งนั้น แต่โดยทั่วๆ ไปจะใช้เฉพาะพลาสติกที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เท่านั้นคือ

พีวีซี ที่ผสมและไม่ผสม สารช่วยผสมที่ทำให้อ่อนตัว
โคโพลีเมอร์ ของ พีวีซี
โพลีสตรัน แบบเหนียว และ เอบีเอส
เซลลูโลสเอสเทอร์ และ โพลีโอลีฟิน

ในกลุ่มของ โพลีโอลีฟิน นั้นแผ่นฟิล์ม โพลีไอโซบิวทลีน มีบทบาทมากในงานก่อสร้าง ส่วน โพลีเอทีลีน นั้น เดิมที่ไม่สามารถจะรีดเป็นแผ่นได้ แต่หลังจากได้ค้นคว้าตัวผสมที่เหมาะสมได้จึงสามารถรีดได้แต่ถ้าจะทำเป็นแผ่นโดยวิธี ผ่านเครื่องกรอง นั้นง่ายกว่าและไม่มีปัญหาเลย

พลาสติกที่ใช้ในงานรีดมากที่สุด ได้แก่ พีวีซี แข็งและอ่อน รวมทั้ง โคโพลีเมอร์ ของ พีวีซี ทั้งนี้เป็นเพราะว่า พีวีซี มีคุณสมบัติเหลวเหนียวมากกว่าพลาสติกอื่นๆ ทั้งหมด เมื่อหลอมละลาย และแผ่นฟิล์ม พีวีซี ผลิตโดยวิธีนี้จะประหยัดกว่าวิธีอื่นด้วย

2.7.3 โครงสร้างของเครื่องรีด

ในการที่ใช้ลูกรีดวางขนานกันมีกรอบบังคับและให้หมุนอยู่ใน ชุดขับลูกกลิ้งแบริ่ง จะทำให้ได้การหมุนที่ตรงศูนย์และมั่นคง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งจะต้องปรับตั้งได้อย่างละเอียดที่หัวเพลาของลูกกลิ้งด้านหนึ่งจะมีหัวต่อสำหรับให้สารให้ความร้อนเข้าไปได้ และอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับเพลาขับที่ต่อมาจากเฟืองทด ลูกรีดทุกตัวจะมีมอเตอร์กระแสตรงที่ปรับความเร็วรอบได้ทุกความเร็วและมอเตอร์ต่อตรงอยู่กับเฟืองทด

ลูกรีดจะต้องรับแรงรีดสูง ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงและทนการเสียดทานจากพลาสติกได้ดี จึงต้องใช้เหล็กพิเศษหล่อหุ้ม หรือใช้เหล็กชุบผิวแข้งด้วยเปลวไฟ ความแข็งของผิวจะต้องอยู่ระหว่าง 500 ถึง 550 HB(ตามความหน่วยของความแข็งโลหะ)

ผิวของลูกรีดจะต้องเจียระไนให้มีความลึกของความขรุขระประมาณ 0.1ไมโครเมตร หรือใช้วิธีขัดเรียบ (Polishing) จนมีความลึกของความขรุขระของผิวถึง 0.01ไมโครเมตร ถ้าที่การกัดกร่อนทางเคมีเช่นในส่วนผสมของ พีวีซี ชนิดพิเศษ อาจต้องใช้เหล็กชุบโครเมียมแข็ง ลูกรีดสำหรับงานผลิตแผ่นพลาสติก ทั่วๆ ไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 800 ม.ม. และยาวจนถึง 2,500 ม.ม.

ในระหว่างการทำงานจะมีแรงกระทำที่ร่องรีดมาก ซึ่งทำให้ลูกรีดโก่งจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นพลาสติกไม่สม่ำเสมอ และอาจจะเกินพิกัดของขนาดที่กำหนดไว้ได้

การหลีกเลี่ยงไม่ให้ความหนาแตกต่างกันมาก เนื่องจากลูกรีดโก่งทำได้หลายวิธี เช่น การปรับลูกกลิ้งเฉียง หรือโดยการปรับลูกกลิ้งให้ดัดกลับ

การปรับลูกกลิ้งให้เฉียง ในปัจจุบันนิยมตั้งแนวแกนของลูกรีดก่อนลกสุดท้าย ให้เบี่ยงไปจากแนวของลูกรีดอื่นๆ เล็กน้อย โดยวิธีนี้จะทำให้ได้ระยะห่างระหว่างลูกรีดตรงปลายกว้างกว่าตรงกลาง

การดัดลูกรีดจะกระทำที่ลูกรีดตัวสุดท้าย ซึ่งทำให้ได้โดยการให้แรงดันจากไฮโดรลิคกระทำที่แบริ่งปลายเพลาที่ต่อยื่นออกไป

วิธีการทั้งสองที่กล่าวมานี้ยังไม่พอเพียง ซึ่งจะต้องมีวิธีการแก้ข้ออื่นๆ ช่วยอีก เช่น โดยการเจียระไนขึ้นรูปลูกรีดชุดสุดท้ายทั้งสองลูกในสภาพร้อน ซึ่งจะทำให้ได้พิกัด ความหนาเฉลี่ย ต่ำกว่าไมโครเมตร

2.7.4 โครงสร้างของสะพานรีดและกรรมวิธีรีด

ดังที่กล่าวถึงนิยามมาในตอนต้นว่า การรีด หมายถึง กรรมวิธีขึ้นรูป โดยเครื่องรีดจะทำหน้าที่ขึ้นรูปและรับหน้าที่ในการลหอมเหลวพลาสติกเพียงเล้กน้อยเท่านั้น เครื่องรีดเป็นเครื่องที่มีราคาแพง ซึ่งจะไม่คุ้มถ้าจะต้องให้ทำหน้าที่หลอมพลาสติกไปด้วยในตัว ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีเครื่องอื่น ๆ ในการเตรียมพลาสติกเข้ามาประอบด้วย เพื่อจะให้สามารถผลิตแผ่นพลาสติกที่ยาวไม่รู้จบได้ โดยปกติการแปรรูปพีวีซีโดยการรีดจะให้หลอมพลาสติกไปด้วยในตัว

การผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซี จะมีกรรมวิธีอยู่สองขั้นตอนคือ

1. การเตรียมพลาสติกพร้อมการหลอมพลาสติกล่วงหน้า
2. การแปรรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

ในขั้นแรกของสะพานรีด จะมีผงพลาสติกแห้งที่มีส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ ดังตัวอย่างต่อไปนี้เป็นส่วนผสมของ พีวีซี แข็งและอ่อน

ตารางที่ 2-4 แสดงสูตรที่ใช้ในการผสมของ พีวีซี แข็ง และพีวีซี อ่อน

ส่วนผสม	พีวีซี แข็ง	พีวีซี อ่อน
พีวีซี	100 ส่วน	100 ส่วน
สารที่ทำให้อ่อนตัว	-	50 ส่วน
สารที่ทำให้คงตัว	2 ส่วน	1.5 ส่วน
สารนำร่อง	1.5 ส่วน	0.5 ส่วน
สี	2 ส่วน	2 ส่วน

ผงพลาสติกผสมที่มาจากเครื่องผสมจะส่งต่อไปเข้าเครื่องหลอมเหลวและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenized Melt) ในการนี้อาจใช้เครื่องที่ทำงานต่อเนื่องหรือทำงานเป็นจังหวะก็ได้ ส่วนใหญ่จะตั้งไว้ต่อเนื่องกัน

เครื่องทำงานแบบไม่ต่อเนื่องได้แก่ เครื่องนวดภายใน และเครื่องรีดผสม จะเป็นการดีกว่าถ้าใช้เครื่องหลอมพลาสติกทำงานต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้สารพลาสติกที่หลอมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วยังมีสภาพการหลอมเหลวคงที่ คือ มีอุณหภูมิ และสภาวะเหลวที่ต้องการ จะทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีคุณภาพดีและได้ผลผลิตที่สม่ำเสมอ

เครื่องเตรียมพลาสติกทำงานต่อเนื่องคือ เครื่องอัดรีด ซึ่งจะทำให้พลาสติกผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันเป็นพิเศษ ทั้งนี้เพราะเกลียวนอนจะทำหน้าที่นวดและผสมพลาสติกในช่วงผสมของเกลียวหนอน

จากการหลอมพลาสติกล่วงหน้าแล้ว ส่วนใหญ่จะส่งผ่านสายพานลำเลียงไปยังเครื่องรีดผสม ลูกรีดผสมนอกจากจะทำหน้าที่นวดให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ยังช่วยไล่ก๊าซซึ่งแทรกอยู่ในเนื้อพลาสติกออกได้อีกด้วย ช่วงรีดจะไม่ตั้งให้ขนานกัน ทั้งนี้ เพื่อให้พลาสติกเหลวที่เติมเข้าไปเคลื่อนจากปลายข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง ณ ตำแหน่งนี้จะใช้มีดหมุนปาดออกเป็นแถบและส่งออกไปเข้าเครื่องรีดแผ่น การส่งเข้าจะใช้สายพานลำเลียงส่งเข้าอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณพลาสติกจะต้องกะให้

พอดีที่เครื่องรีดแผ่นจะรีดได้ มิฉะนั้น จะทำให้ผิวบางส่วนของพลาสติกเหลวเย็นลง ทำให้คุณภาพของแผ่นฟิล์มลดลง

ที่สายพานส่งพลาสติกเข้าเครื่องรีด ควรจะมีเครื่องค้นหาโลหะเอาไว้ด้วย ทั้งนี้เพราะถ้ามีเศษโลหะหลงเข้าไป จะทำให้ผิวของลูกรีดเสียได้ ส่วนใหญ่จะใช้เกลียวนอนอัดที่มีตะแกรงกรอง (Strainer) อยู่หน้า ติดตั้งไว้ระหว่างเครื่องรีดผสมและเครื่องรีดแผ่นฟิล์ม มีหน้าที่กรองเศษผงเหล็กที่อาจจะหลงติดมากับพลาสติกเหลว

พลาสติกเหลวที่เข้ามายังลูกรีดแผ่น ก่อนอื่นจะเกิดคลื่นของการหมุนตัวก่อนวิ่งผ่านลูกรีด เนื่องจากการรีดของลูกรีด คลื่นของการหมุนตัวซึ่งเกิดจากคลื่นหลายๆ คลื่นซ้อนกันและแพร่ตัวออกทางด้านข้างของลูกรีด เพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเลยออกมานอกลูกกลิ้ง จะต้องมีแผ่นป้องกันด้านข้างเอาไว้ด้วย

พลาสติกจะโอบติดกับลูกกลิ้งลูกหนึ่งหลังจากผ่านช่องรีดออกไป จนกว่าจะเข้าช่องรีดช่องต่อไป โดยจะมีการนวดเกิดขึ้นที่หน้าลูกรีดทุกชุดเสมอ โดยเมื่อแผ่นฟิล์มผ่านออกจากร่องรีดสุดท้ายแล้วก็จะมีเครื่องดึงแผ่นฟิล์มออก เพื่อให้แน่ใจว่าการส่งทอดแผ่นฟิ้มผ่านลูกรีดแต่ละชุดได้อย่างสม่ำเสมอ จะปรับให้ลูกกลิ้งชุดหลังๆ มีความเร็วสูงกว่าชุดหน้าๆ เล็กน้อยเสมอ

การรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตามยาวและที่ผิวของลูกรีดมีความจำเป็นมาก ทั้งนี้ เพราะถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมากย่อมหมายถึง ความแตกต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งมากด้วย การให้ความร้อนจะใช้น้ำร้อนความดันสูง ผ่านเข้าไปในรูน้ำซึ่งห่างจากผิวของลูกรีดประมาณ 50 มิลลิเมตร

การผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซีแข็ง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้ 2 ลักษณะ คือ แบบใช้อุณหภูมิสูง (HT) และแบบอุณหภูมิปกติ (NT) แล้วอบความร้อนภายหลัง

สำหรับกรรมวิธีอุณหภูมิสูง (HT) จะใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง คือประมาณ 180 องศาเซลเซียส ถึง 220 องศาเซลเซียส พลาสติกเหลวขณะนี้จะมีความหนืดต่ำ จนทำให้คลื่นนวดก่อนหน้าลูกรีดม้วนตัวลง

เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูง สำหรับ พีวีซี จึงจำเป็นต้องมีสารป้องกันการสลายตัวเมื่ออุณหภูมิสูง

สำหรับกรรมวิธีอุณหภูมิปกติ เป็นกรรมวิธีผลิตฟิล์ม พีวีซี แข็ง อุณหภูมิต่ำ คือ ประมาณ 160 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส โดยการรีด หลังจากนั้นจะต้องใช้อบความร้อนอีกครั้งหนึ่ง ฟิล์มพลาสติกที่นำมาจากลูกรีดยังหลอมละลายไม่ดี จะได้รับความร้อนโดยเร็วจากลูกรีดความร้อนสูงที่อยู่ถัดมา ซึ่งจะร้อนจนถึงจุดที่ต้องการในระยะเวลาอันสั้น ทำให้ฟิล์มพลาสติกละลายเป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ ดีขึ้นกว่าแผ่นฟิล์ม พีวีซี แข็งแบบอื่นๆ

นิยมใช้กรรมวิธีอุณหภูมิปกติต่อเมื่อต้องการแผ่นฟิล์มที่รับภาระสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซี อ่อน จะอยู่ระหว่าง 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส หลังจากที่เอาฟิล์มออกจากลูกรีดชุดสุดท้ายแล้ว ก็สามารถจะเลือกโปรแกรม อุณหภูมิและความเร็วในการดึงยืดในช่วง เทอร์โมพลาสติก หรือการขึงออกในช่วง เทอร์โมพลาสติก อัตราส่วนการยืดตัวได้ของ พีวีซี แข็งแบบไม่ได้ขึงจะอยู่ประมาณ 1: 2 และที่ขึงไว้จะมีประมาณ 1:4 สำหรับ พีวีซี อ่อนมีค่าถึง 1: 3.5

เราสามารถจะทำการปั๊มขึ้นลายแผ่นฟิล์มด้วยลูกกลิ้งปั๊มขึ้นลายเย็นกับลูกกลิ้งรองรับซึ่งกรุด้วยยาในช่วง เทอร์โมพลาสติก ได้ หลังจากนั้น ก็นำแผ่นฟิล์มให้ตอบไปกับลูกกลิ้งหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยมุมโอบโตๆ เพื่อให้เย็นลง ขอบของแผ่นฟิล์มจะถูกตัดออกเพื่อนำไปเข้าเครื่องรีดผสมใหม่ ที่ลูกรีดชุดสุดท้ายจะมีเครื่องมือวัดความหนาแบบใช้รังสี เบต้า เอาไว้เมื่อตรวจสอบความหนาและปรับช่องรีดของลูกรีดชุดสุดท้าย

ที่ปลายของสะพานเครื่องรีดแผ่นฟิล์มจะถูกม้วนด้วยความเร็วคงที่ โดยใช้ระบบเฟืองพิเศษแบบมีตัวปรับโมเมนต์หมุนกับมอเตอร์แบบควบคุมความเร็วได้ ความเร็วในการม้วนแผ่นฟิล์มพีวีซีแข็งใช้ประมาณ 40 ถึง 60 เมตร/นาที และ พีวีซี อ่อนใช้ประมาณ 80 ถึง 100 เมตร/นาที

เนื่องจากต้องการความละเอียดสูงในการผลิตแผ่นฟิล์มและขั้นตอนของกรรมวิธีต่างๆ ตั้งแต่การเตรียมพลาสติกไปจนถึงการม้วนแผ่นพลาสติกมีมากมาย จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุมและปรับขนาดต่างๆ และต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ในเรื่องนี้เป็นอย่างดีมาคอยดูแล

2.7.5 การปรับปรุงแผ่นฟิล์มที่ได้จากการรีดเพิ่มเติม

ดังที่ได้กล่าวถึงการปั๊มขึ้นลายบนแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ทำแยกจากขบวนการรีดมาแล้วังสามารถจะปรับปรุงแผ่นฟิล์มให้ได้คุณภาพอย่างอื่นได้อีกหลายวิธี

สำหรับแผนฟิล์มที่ต้องรับภาระสูงสุด และให้มีขนาดคงที่จริงๆ แล้วจำเป็นจะต้องทำการอบเพิ่มเติม เพื่อลดความเครียดในแผ่นฟิล์ม

แผ่นฟิล์ม พีวีซี ส่วนใหญ่จะใช้งานหีบห่อ และงานตกแต่งต่างๆ ในการนี้ซึ่งสามารถพิมพ์ลวดลายลงบนแผ่นฟิล์มได้

ถ้าต้องการแผ่นพลาสติกที่มีความหนามาก โดยการเอาแผ่นพลาสติกสอบแผ่นหรือมากกว่ามาประกบกับจะใช้กรรมวิธีประกบ (Doubling) ซึ่งสามารถทำได้โดยตรงที่ลูกรีดชุดสุดท้าย หรือจะใช้เครื่องประกบภายหลังก็ได้

ถ้าต้องการให้แผ่นฟิล์มมีลวดลายต่างๆ กันมาประกอบกันเรียกกรรมวิธีนี้ว่า การแปะติด (Lamination) เพื่อให้ประสานกันได้ดีระหว่างแผ่นฟิล์มทั้งสอง ปัจจุบันนิยมใช้กาวเป็นตัวประสาน

สรุปแล้วก็คือ กรรมวิธีรีดแผ่นฟิล์มนี้เป็นกรรมวิธีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะในการผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซี แข็งและอ่อน เนื่องจากกรรมวิธีนี้ต้องใช้วัสดุเป็นจำนวนมากและสะพานรีดทั้งชุดมีราคาสูงมาก จึงมีบริษัทไม่มากนักที่ผลิตแผ่นฟิล์ม พีวีซี

2.8 เกี่ยวกับคาเลนเดอร์ (Calender)

กรรมวิธีในการรีดนั้น แรกเริ่มใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ยางและต่อมาได้ถูกนำมาปรับปรุงให้ใช้กับกระบวนการทำแผ่นฟิล์มจาก พีวีซี ซึ่งปัจจุบันนี้เป็นวิธีในการผลิต พีวีซี เกือบทั้งหมด เมื่อ พีวีซี ที่อยู่ในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นถูกความร้อนทำให้ละลายแล้ว ความหนืด (Viscosity), อุณหภูมิ และ ความแข็งทางกลศาสตร์ (Mechanical strength) จะสูงมากกว่ายาง ดังนั้นเครื่องคาเลนเดอร์ ที่ใช้ในการผลิต พีวีซี จึงถูกออกแบบมาให้มีความแตกต่างจากเครื่อง คาเลนเดอร์ ที่ใช้ในการผลิตยาง

ปริมาณ พีวีซี ที่ผ่านกรรมวิธีทาง Calendering นั้นมีถึง 15% ของปริมาณ พีวีซี ทั้งหมดที่ผลิตทั่วโลกในปี 1984 และผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ ฟิล์ม, ชีท (Sheet) และหนังเทียม และจะสามารถทำการแบ่งเครื่องจักรได้อย่างหยาบ ๆ โดยพิจารณาจาก Calender ขนาด 28"

- เครื่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 28" ใช้ทำฟิล์มที่ใช้ทางการเกษตร ฟิล์มต่างๆ ส่วนใหญ่แล้ว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ง่าย ๆ

- เครื่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 28" ใช้ทำชีท (Sheet), หนังเทียม, วัสดุปูพื้น มีไม่กี่ชนิดที่เป็นขบวนการผลิตที่ซับซ้อน

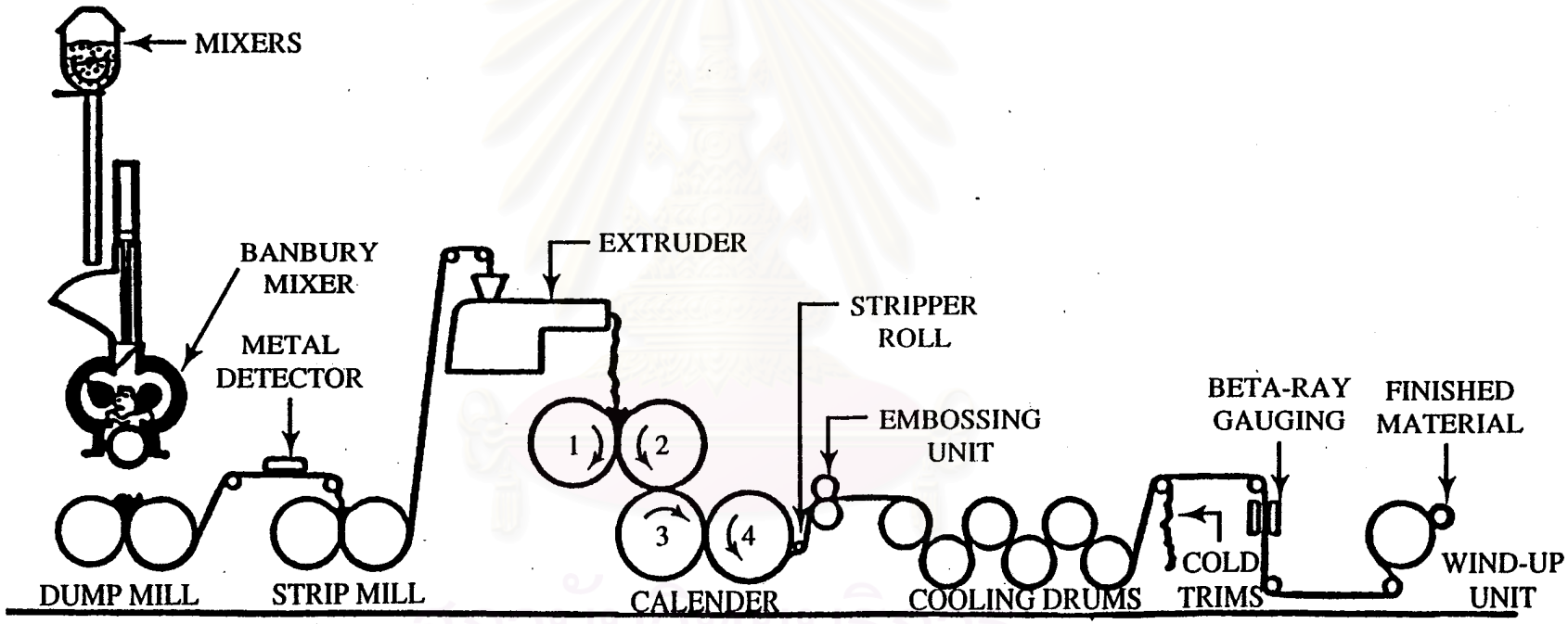
2.8.1 ขบวนการผลิตและเครื่องจักร

ขั้นตอนการผลิตสำหรับพลาสติกอ่อน และ แข็ง (Soft & Rigid PVC) และ ชีท (Sheet) เครื่อง คาเลนเดอร์ จะแสดงในรูป 2-1 และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่อง คาเลนเดอร์ ไปใช้ในเครื่องเคลือบ (Laminator) ที่แยกต่างหากได้

จากรูปที่ 2-1 แสดงถึงกระบวนการผลิตของชีท พีวีซี ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า คาเลนเดอริ่ง เช่น การผลิตเสื่อน้ำมัน ซึ่งในเสื่อน้ำมัน จะมี 3 ชั้น มาอัดติดกันแต่ละชั้น จะมาผลิตที่ระบบคาเลนเดอริ่ง รูปที่ 2-1 เริ่มต้นการผสมสารต่างๆที่เรียกว่า มิเซอร์ (Mixer) และเมื่อมีการผสมของโคโพลีเมอร์แล้ว ก็จะผ่านการกรองพวกเศษวัสดุที่ไม่มีการละลาย หรือหลอมเหลว หรือวัสดุแปลกปลอม จากนั้นก็ส่งต่อไปที่เครื่องคาเลนเดอร์ ซึ่งส่วนใหญ่มีลูกกลิ้งที่คอยรีด 4 ลูกวัดความหนาของชีทที่จุดนี้ และเข้าลูกกลิ้งคูลลิ่ง เก็บเข้าม้วน ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

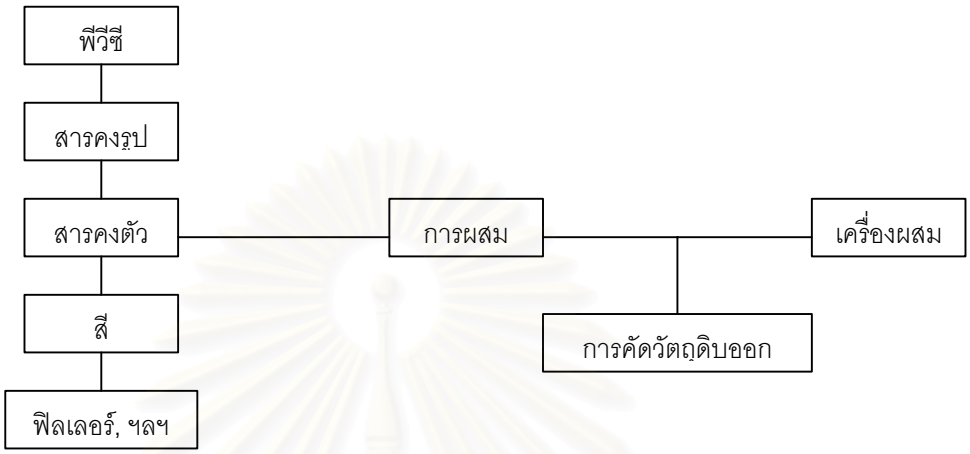
รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตสำหรับ Soft, Rigid Film และ Sheet



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจัดเตรียมและการผสมวัตถุดิบ

1) การวัด/ชั่งน้ำหนัก โดยสามารถแสดงตามโครงสร้างการผสมของวัตถุดิบได้ดังโครงสร้างข้างล่าง



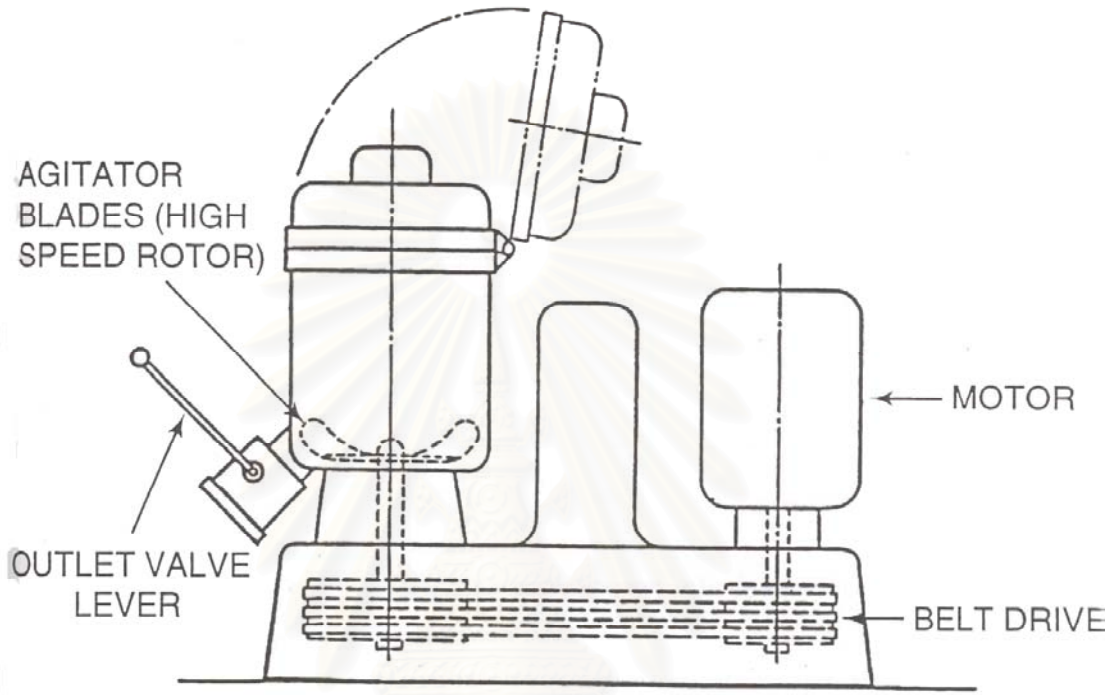
ในกรณีที่มีการคัดวัตถุดิบออก จะต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนไปของ Tone สี และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วย

2) การผสม (Blending)

ในการผสมนั้น ไม่เพียงแต่ต้องการที่จะคลุกเคล้าวัตถุดิบให้เข้ากันเท่านั้น แต่ยังต้องการที่จะหลอมละลายวัตถุดิบบางส่วนโดยการคลุกเคล้า เพื่อที่จะลดระยะเวลาในการที่จะหลอมละลายในขั้นตอนถัดไป

โดยทั่วไปแล้ว การผสมโดยการใช้เครื่องปั่น(Super mixer) ในรูปที่ 2-2 จะถูกใช้ในการผสมวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ถูกผสมควรจะถูกทำให้เย็นในช่วงเวลารีบเร่ง เพื่อที่จะป้องกันการจับแข็งเป็นก้อนของวัตถุดิบ และ ป้องกันการเกิดขบวนการ Decomposition เป็นบางส่วน

จากรูปที่ 2-2 ซึ่งแสดงถึงเครื่องปั่นสารผสมซึ่งส่วนใหญ่จะมี พีวีซี, สารคงรูป, สารคงตัว, ฟิลเลอร์ จากท่อที่อยู่ด้านบน ลงในถังสเตนเลส (Hight Poliched Stainless Steel Vessel) ในนั้นจะมีแกนปั่น คลุกเคล้าให้เข้ากัน เป็นแบบบัพเฟิล และอิมเพิลล่า โดยมีมอเตอร์หมุน ขับดับแกนที่เรียกว่า (Rigid Base with Mounting Paos) ซึ่งเดินด้วยสายพาน เมื่อปั่นแห้งจะลงในท่อส่ง (Air-Operated Discharge) ส่งต่อไปยังเครื่องหลอมละลาย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-2 Herschel high shear mexer

การหลอมละลายและการขนถ่าย

วัตถุดิบที่ถูกผสมแล้ว จะถูกส่งไปยังขั้นตอนในการละลาย โดยการควบคุมอุณหภูมิและความหนืดของสารผสมก่อนการป้อนเข้าสู่ เครื่องคาเลนเดอร์ และเครื่องที่ใช้กันอย่างกว้างขวางคือ เครื่องหลอมละลาย(Banbury Mixer) ดังในรูปที่ 2-3 ซึ่งการให้ความร้อนจะได้รับจากผนังหรือจากกำลังในการเฉือน (Shearing power) ของใบมีด

ความเร็วของเครื่องผสมจะแปรเปลี่ยนสัมพันธ์กับวัตถุดิบที่ถูกป้อน และ เมื่อมีการนำเอาเศษของวัสดุที่ยังพอใช้ได้มาป้อนผสมเข้าด้วยแล้ว ก็ควรจะใช้ความเร็วต่ำกว่าการป้อนวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เพราะว่าเศษวัสดุจะต้องใช้แรงเฉือน (Shearing) มากกว่า เม็ดพลาสติก ในตอนแรกและจะถูกละลายได้เร็วกว่า เม็ดพลาสติก

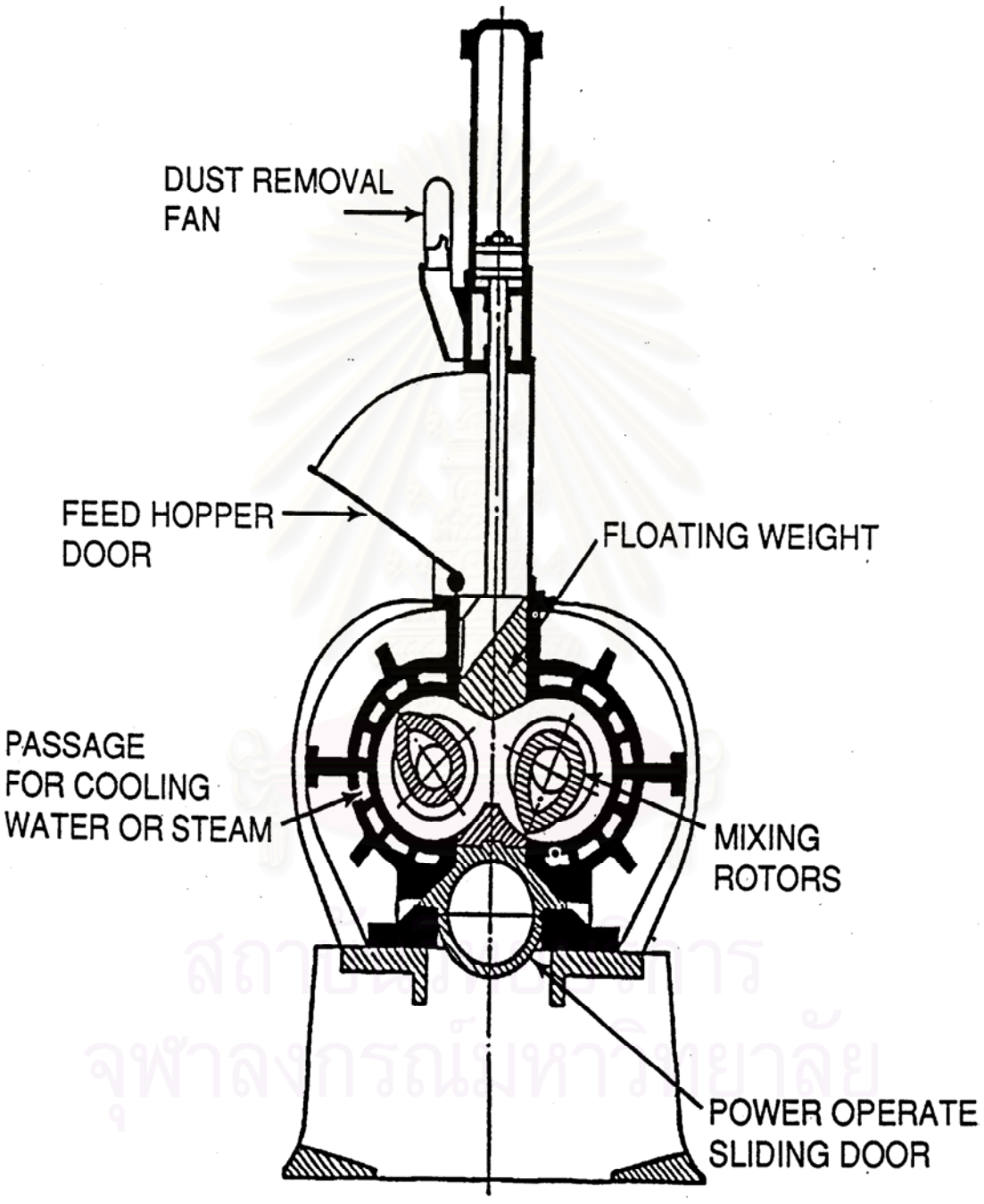
จากรูปที่ 2-3 แสดงเครื่องหลอมละลาย เมื่อรับวัตถุดิบที่ได้จากการปั่น จากท่อส่งก็เข้าสู่การหลอมละลาย โดยมีแกนไซเลนเตอร์ คอยบดอัด เมื่อพลาสติกหลอมเหลวจนเป็นก้อนคล้ายแป้งเปียก ก็ปล่อยสู่ด้านล่างต่อไป

ของผสมที่มี สารคงรูปผสมอยู่มากควรจะเพิ่มความเร็วของโรเตอร์ขึ้น และของผสมที่มีสารคงรูปอยู่น้อยหรือที่มี สารคงรูปที่เป็นของแข็ง ควรใช้ความเร็วโรเตอร์ที่ต่ำๆ

สารที่หลอมเหลวแล้วจะถูกขนถ่ายไปยัง เครื่องคาเลนเดอร์ พร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากับที่ตอนที่อยู่ที่ลูกกลิ้ง

ในเครื่อง ผสมการหลอมเหลวนี้ จะมีลูกกลิ้ง 2 ตัว และ ในการอุ่นลูกกลิ้งนั้น ในกรณีของพีวีซีอ่อน จะใช้อุณหภูมิในการอุ่นลูกกลิ้งที่ 150-160 องศาเซลเซียส และในกรณีของพีวีซีแข็งจะใช้อุณหภูมิในการอุ่นลูกกลิ้งที่ 160-180 องศาเซลเซียส

เมื่อสารถูกผสมได้ดี และ ละลายจนหมดแล้ว จะถูกขนถ่ายไปยัง เครื่องคาเลนเดอร์ โดยเครื่องขนถ่าย (Conveyor) ซึ่งจะผ่านตัวตรวจจับโลหะหรือตะแกรง (Strainer) เพื่อที่จะป้องกันผิวของลูกกลิ้งคาเลนเดอร์ จากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการที่มีสารแปลกปลอมผสมเข้ามาในสายการผลิต ที่กรองนี้จะเป็นช่องทึบที่มีตะแกรงโลหะใช้สำหรับการกรอง โดยที่มีอัตราส่วนความยาวต่อขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำ (L/D) และ อัตราส่วนในการอัดก็จะต่ำ ซึ่งหน้าที่หลักของเครื่องกรองก็คือ



รูปที่ 2-3 Banbury mixer (Farrell Co.)

- เป็นตัวป้องกันลูกกลิ้งคาเลนเดอร์ จากการที่มีวัสดุแปลกปลอมผสมเข้ามาในสายการผลิต

- ทำให้เนื้อสารมีความสม่ำเสมอ

- ทำการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ รวมทั้งจะทำให้ความหนืด, ความหนา และคุณสมบัติทางกายภาพคงที่

หลังจากนั้น จะมีการนวดสารที่ถูกผสมแล้วโดยตัวขับของเหลว (Extruder) 1-2 ตัว(ซึ่งจะมีการใช้เพียงแค่ตัวเดียวส่วนอีกเครื่องหนึ่งนั้นจะสำรองไว้) หลังจากที่สารผ่าน Extruder แล้วจะถูกส่งไปให้ลูกกลิ้งคาเลนเดอร์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องจักร, ค่าจ้างแรงงาน, พื้นที่ในการปฏิบัติงาน และเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแล้ว จึงได้มีการออกแบบเครื่องจักรให้ตัวขับอยู่ในเครื่องเดียวกับที่กรอง

เหตุผลที่สำคัญของการมีกระบวนการหลอมเหลวต่างๆหลายขั้นตอนเพราะว่า กระบวนการหลอมเหลวนี้เป็นสิ่งที่สำคัญต่อขบวนการผลิตของคาเลนเดอร์ และ เป็นการทำให้มีการเก็บรักษาของผสมอย่างสม่ำเสมอ (ทำให้ความหนืดในการละลายคงที่) ทำให้อุณหภูมิในการผลิตคงที่ และ ทำให้มีปริมาณในการป้อนสู่ Calender สม่ำเสมอ

ชุดลูกกลิ้งขึ้นรูป และหล่อเย็น(Calender Train)

ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากลูกกลิ้งคาเลนเดอร์ จะถูกทำให้ เย็นโดย ลูกกลิ้งเย็น(Cooling drum) และจะถูกนำไปม้วนในขั้นตอนถัดไป ระหว่างขั้นตอนเหล่านี้อาจมีการพิมพ์ลายนูน (Embossing) หรือการกระทำต่างๆกับผิวของผลิตภัณฑ์ แต่ปัญหาที่สำคัญจะอยู่ที่ขั้นตอนในการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากลูกกลิ้งคาเลนเดอร์นั้นเย็นตัวลง เพราะจะมีปัญหาในเรื่องการหดตัวของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เท่ากันเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลง และ ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การม้วนเก็บผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถขนย้ายได้ง่าย

ลูกกลิ้งที่ใช้ในการขับลูกเล็ก ๆ จะถูกนำมาติดไว้ เพื่อลดแรงดึง (Tension) ของผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดการหดตัว จากลูกกลิ้งลูกสุดท้ายของคาเลนเดอร์ ซึ่งถ้าความเร็วในการดึงผลิตภัณฑ์ออกมานั้นสูง จะทำให้เกิดแรงดึงในผลิตภัณฑ์นั้นมาก ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์นั้นบางมากแล้ว ความเร็วในการดึงผลิตภัณฑ์ออกมาก็จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และเพราะว่าการที่ สารคงรูป

และสารบางชนิดอาจจะระเหยออกมาและจะจับตัวเป็นหยดน้ำที่ผิวของลูกกลิ้งที่ใช้ในการดึง จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันโดยการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำหรือพันลูกกลิ้งด้วยแผ่นเส้นใย

ผลิตภัณฑ์ที่ออกมานั้น จะถูกทำให้เย็นระหว่างการผ่านลูกกลิ้งที่มีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ภายในและควรจะทำให้เกิดแรงดึงในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เพื่อที่ว่าหลังจากผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงแล้วจะได้ไม่มีรอยย่นเกิดขึ้น

- การม้วนจะมีเครื่องที่ใช้ในการม้วนอยู่ 2 ชนิด คือ

1) เครื่องที่ทำการม้วนที่ผิว (Surface winder)

ข้อดี

- เป็นระบบที่ง่าย ๆ
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาจะถูก
- สามารถใช้แกนกลางที่มีขนาดเล็กได้

ข้อเสีย

- เมื่อผลิตภัณฑ์มีความหนาไม่เท่ากันแล้ว การม้วนจะทำให้สม่ำเสมอได้ยาก
- ในตอนม้วนช่วงแรก ผลิตภัณฑ์อาจเกิดการพับหรือรอยพับขึ้นได้
- เมื่อผลิตภัณฑ์มีความเสียดทานที่ผิวต่ำ อาจมีการลื่น (Slip) ที่ตัวขับลูกกลิ้งได้

2) เครื่องที่ทำการม้วนที่จุดศูนย์กลาง (Center winding)

ข้อดี

- สามารถเปลี่ยนแกนของตัวม้วนได้ง่าย

- เมื่อผลิตภัณฑ์มีความหนาไม่เท่ากันแล้ว การม้วนก็จะทำได้ดี

ข้อเสีย

- ไม่สามารถใช้แกนม้วนที่มีขนาดเล็กได้
- ไม่สามารถม้วนผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวหน้ากว้างแคบได้
- ใช้เนื้อที่ในการทำงานมาก
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจะสูง

เพื่อที่จะทำให้แรงดึงในผลิตภัณฑ์ก่อนการม้วนมีค่าน้อยที่สุด จึงมีการกำหนดให้ความแตกต่างของความเร็วในการม้วน กับความเร็วของลูกกลิ้งลูกสุดท้ายอยู่ในช่วง 5 - 10 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อกำหนดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เปอร์เซนต์การใช้ ดีโอพี พิจารณาที่ 25, 30, 35, 40 %

3.1.2 เปอร์เซนต์การใช้ ฟิลเลอร์ พิจารณาในช่วง 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 %

3.1.3 การยืดตัวใน แนวยาว และแนวกว้าง จะมีค่าแตกต่างกัน โดยแนวยาวจะมีการยืดตัวมากกว่าดังนั้นชิ้นทดลองทุกชิ้นจะทำการทดสอบในแนวยาวเท่านั้น

3.1.4 ความหนาของชิ้นทดลอง เท่ากับ 0.43 มิลลิเมตร เพราะเป็นความหนาที่มีการทำการผลิตมากที่สุด

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เม็ดพลาสติกพีวีซี ที่ใช้เป็น พีวีซี 1000 ตามตารางที่ 3-1

เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิต 25 - 27 % ของพลาสติกทั้งหมด ส่วนประกอบทางเคมีระดับของการ โพลีเมอร์ไรเซชั่น, การใช้ และ ข้อมูลอื่นๆ จะแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3-1 แสดงค่า โพลิเมอร์ไรเซชั่นของ พีวีซีในการทดลอง

ส่วนประกอบทางเคมี	% ของพีวีซี	ระดับเฉลี่ยของโพลีเมอร์ไรเซชั่น	การใช้งาน
โฮโมโพลิเมอร์พลาสติก	100	1300 – 1500	- พีวีซีอ่อน (ฟิลม์, ชีท, หนังเทียม ฯลฯ)
		1000 – 1300	- พีวีซีอ่อน (สายไฟ, แผ่นพลาสติก)
		700 – 1000	- แผ่นพลาสติก พลาสติกที่ได้จาการฉีดแบบ
โคโพลิเมอร์พลาสติก (Vinylacetate)	> 95	1000 – 1500	- พีวีซีอ่อน, สายไฟ
	90 - 95	700 – 1000	- แผ่นแข็งที่โปร่งใส, วัสดุปูพื้น
	80 -90	400 – 600	- แผ่นดิสที่ใช้ในการอัดเสียง สีผง วัสดุปูพื้น
	60 - 70	< 400	- สีสำหรับทา (liquid polymerization material)

สารที่เพิ่มลงไป (Additive) เช่น สารคงรูป, สารคงตัว, สี ฯลฯจะถูกเติมลงใน พีวีซี และจะถูกวิธีการพิมพ์แบบต่างๆเช่น คาเลนเดอร์ หรือ การพิมพ์แบบการอัดรีด หรือ การฉีด (Injection) เป็นต้น

3.2.2 ดีโอพี ตามตารางที่ 3-2 โดยข้อมูลได้จากบริษัท อิเทอนัลเรซิน จำกัด

ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงคุณสมบัติของ DOP ที่ใช้ในการผสม

Name : Di-octyl Phthalate (Di-2Ethyl Phthalate, DOP)

Item analysis	Typical	Specfication
Color (APHA)	20	30 max.
Specific gravity (@20/20C)	0.986	0.983-0.987
Acid value (mg. KOH/gm)	0.015	0.03 max.
Acid value affer heating (mg.KOH/gm)	0.03	0.08 max.
Ester value (mg.KOH/gm)	286	284-290
Heating loss (wt% @125 deg.c.hr)	0.05	0.10 max.
Volue resistivity (cm)	1.75	1.5E+11min
Moisture (wt%)	0.04	0.05 max.
Purity (wt%)	99.8	99.7 min

3.2.3 แคลเซียมคาร์บอเนต เกรดที่ใช้ในการทดลองคือ เกรด OM-15 และ 2T โดยข้อมูลที่ได้มาจากบริษัทสุรินทร์ออมย่า จำกัด

OM-15

Typical Chemical Analysis (Average)

CaCO3	98.50%
MgCO3	0.40%
Al203	0.20%
SiO2	0.20%
Fe2O3	0.02%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL PROPERTIES

1. Brightness (dry)	91.00%
Brightness (DOP)	58%
2. OIL Absorption	17.00 g./100g CaCO3
DOP Absorption	30.00 g./100g CaCO3
3. Fineness (325 mesh)	99.90 % min
4. Moisture content	0.2 % max
5. Bulk density (tapped)	1.50 g/c.c
6. Specific gravity	2.7

PARTICLE SIZE

Average Particle Size	13 micron

OM-2 T

เป็นฟิลเลอร์เกรด 2T ที่ถูกผลิตขึ้นให้มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดขึ้น และมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน

Typical Chemical Analysis (Average)

$CaCO_3$	98.50%
MgCO3	0.80%
Al2O3	0.20%
SiO2	0.20%
Fe2O3	0.02%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Physical Properties

1. Brightness (dry)	91.00%
Brightness (DOP)	65%
2. OIL Absorption	15.00 g./100g CaCO3
DOP Absorptio	20.00 g./100g CaCO3
3. Specific gravity	2.7
4. Moisture content	0.3 % max
5. Bulk density (tapped)	1.20 g/c.c
(loosed)	0.65 g/c.c
Fineness	
- Residue on a 45 micron sieve	<=0.01 %
- top cut (d98%)	12 micron
- mean particle size (d50%)	2.50 micron

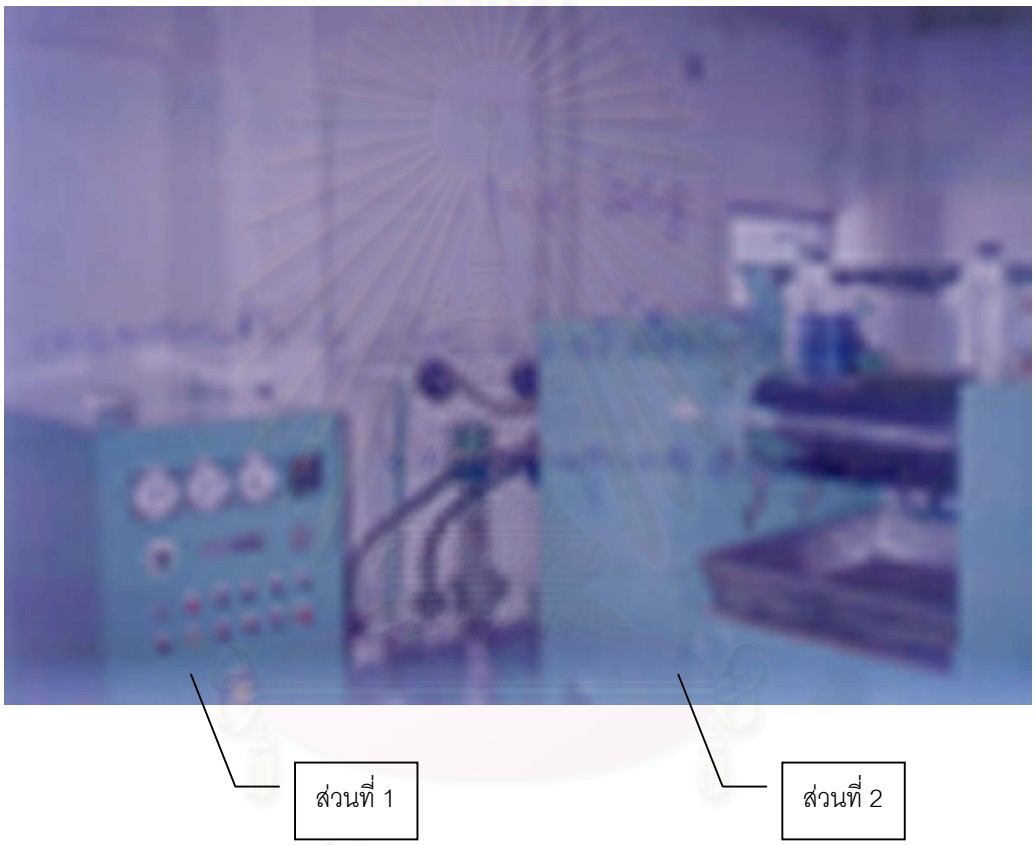
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องรีดทดสอบพลาสติก ดังแสดงในรูป 3-1 และ 3-2 เป็นเครื่องจำลองของลูกกลิ้งคาเลนเดอร์ โดยเราสามารถตั้งอุณหภูมิเหมือนการใช้งานจริง รวมทั้งตั้งความหนาของชีทผลิตภัณฑ์ได้ ใช้เตรียมพลาสติก ในการทดลองคุณสมบัติทางฟิสิกส์ตลอดจนการเตรียมสีด้วย

3.3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูป 3-3 สามารถวัดค่าแรงดึง และค่าต้านทานการฉีกขาดได้ ตลอดจนระยะยืดของชิ้นงานที่จะใช้ในการทดลองได้ โดยมีหลักการคือ เมื่อชิ้นงานตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ ขาดจากกัน จากขนาดตัวอย่างเดิม ด้วยแรงคงที่ค่าหนึ่ง

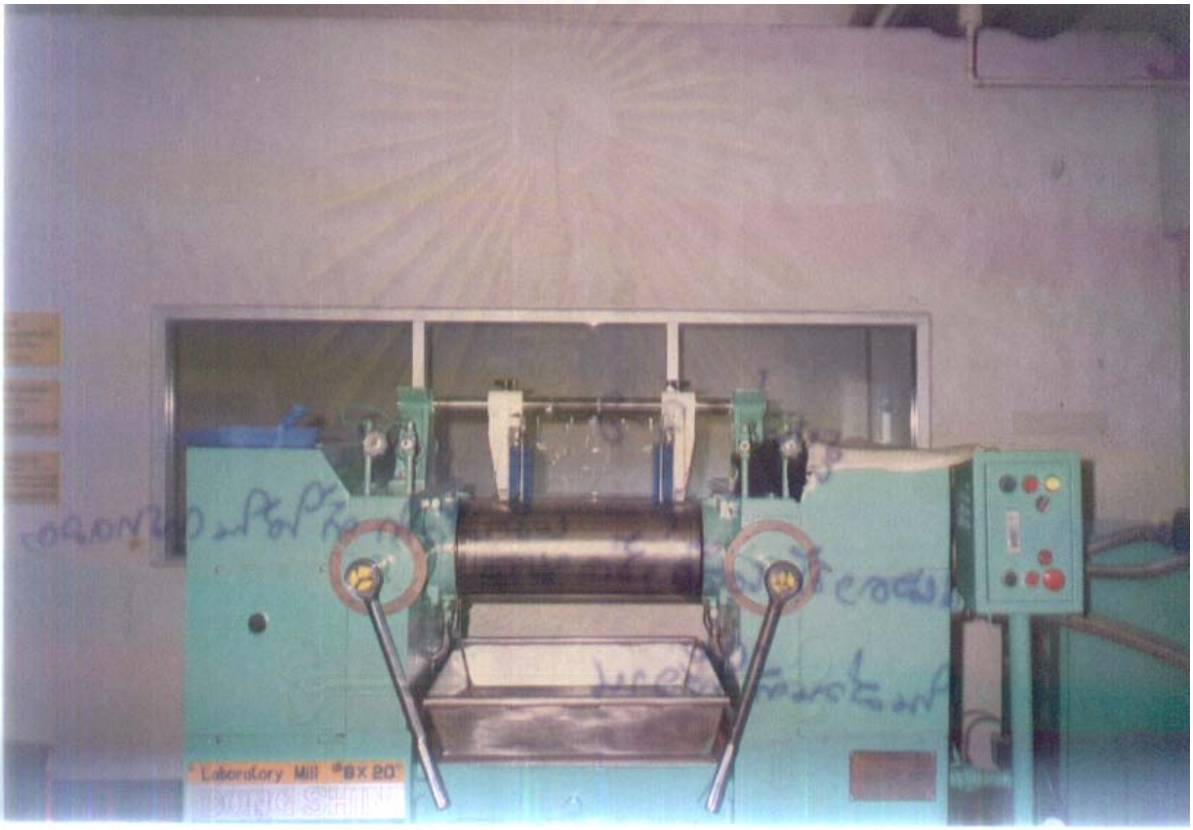
3.3.3 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ ดังแสดงในรูป 3-4 เป็นเครื่องมือปั้มขึ้นรูปพลาสติก โดยมีแม่พิมพ์ขนาด และรูปร่างต่างๆกัน เช่น รูปดัมเบล หรือ แบบชนิด C เป็นต้น

3.3.4 เครื่องชั่งวัดความหนาแน่น ดังแสดงในรูป 3-5 เป็นเครื่องมือบอกค่าความถ่วงจำเพาะด้วยความละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง หลักการทำงานคือ ชั่งชิ้นงานตัวอย่างนั้นในน้ำ เครื่องสามารถคำนวณ และพิมพ์ค่าความถ่วงจำเพาะนั้นๆ ออกมาได้



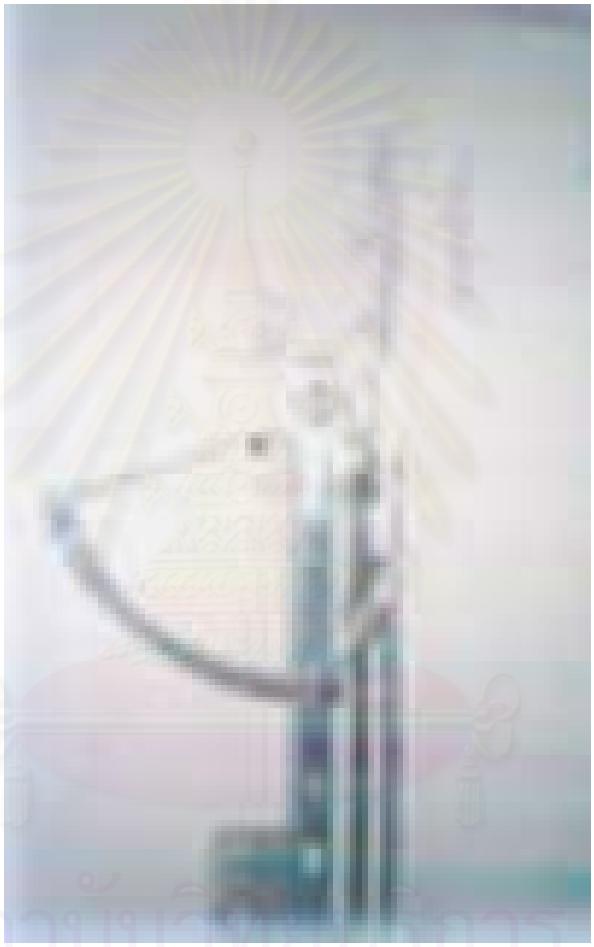
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-1 แสดงถึงเครื่องรีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนการควบคุมความร้อนในส่วนที่ 1 และแผงวงจรไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันให้ความร้อนไปในส่วนที่ 2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-2 แสดงถึงเครื่องรีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลองในส่วนการปฏิบัติงาน

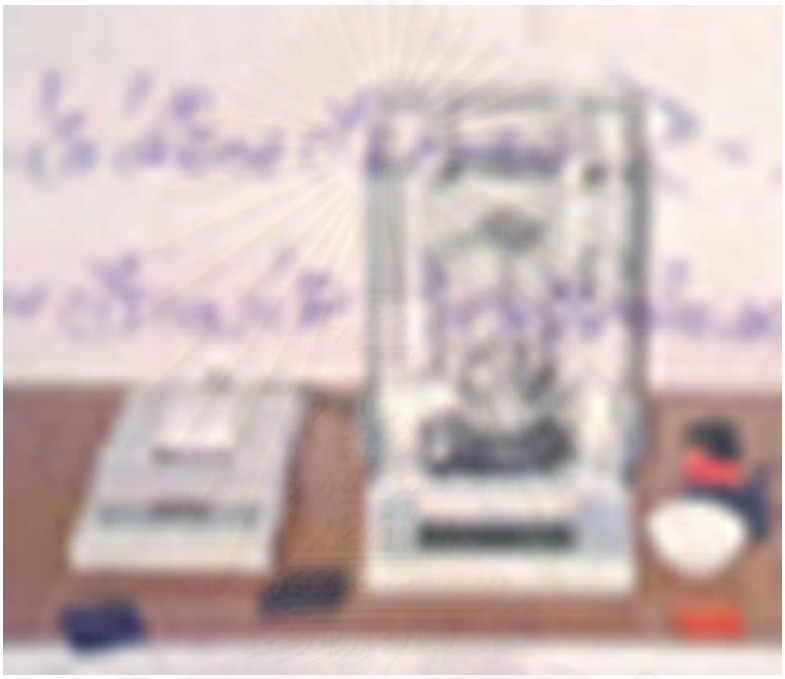


รูปที่ 3-3 แสดงถึงเครื่องวัดค่าแรงดึงและค่าความต้านทานการฉีกขาด ของบริษัท DAE KYUNG PRECISION MFG. CO., มีแรงดึงสูงสุด 50 กิโลกรัม และระยะยืดสูงสุด 900 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-4 แสดงเครื่องตัดชิ้นทดสอบเพื่อสำหรับการวัดค่าแรงดึง และค่าความต้านทานการฉีดขาด แต่ละเครื่องตัดมีขนาดไม่เท่ากัน ในการทดลองจะเลือกชิ้นตัดชิ้นเดียวใช้ในการวัดมาตรฐาน



รูปที่ 3-5 แสดงถึงเครื่องชั่งวัดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ยี่ห้อ Sartarius ของบริษัท ไซแอนติฟิก โปรโมชั่น จำกัด รุ่น AC 210 S มีพิกัดกำลัง 210 กรัม และความละเอียด 0.0001 กรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การเตรียมชิ้นทดสอบ

3.4.1 พิจารณาจากขอบเขตการทดลองที่สนใจในสูตรชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันที่เปอร์เซ็นต์ ดีโอพี 4 ตัว และฟิลเลอร์ 7 ตัว เพราะฉะนั้นจะต้องเตรียมชิ้นทดสอบขั้นแรกโดยการผสมสูตรชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมัน 28 สูตร

3.4.2 กำหนดให้เตรียมวัตถุดิบของแต่ละสูตร ให้มีปริมาณ = 0.5 กิโลกรัม

3.4.3 ทำการรีดวัตถุดิบที่แต่ละสูตรให้เป็นแผ่นชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันที่มีความหนาเท่ากับ 0.43 มิลลิเมตร ตามขอบเขตการทดลอง โดยใช้เครื่องรีด จนครบทั้ง 28 แผ่น

3.4.4 ขั้นต่อไปก็เตรียมนำแผ่นวัตถุดิบ ทั้ง 28 แผ่นมาแยกทำการทดสอบ แผ่นละ 3 การทดลองดังนี้

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การทดลองที่ 1 การตรวจวัดคุณสมบัติความทนแรงดึง และความสามารถในการยืดตัว (Tensile strength and Elongation testing) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTMD 638

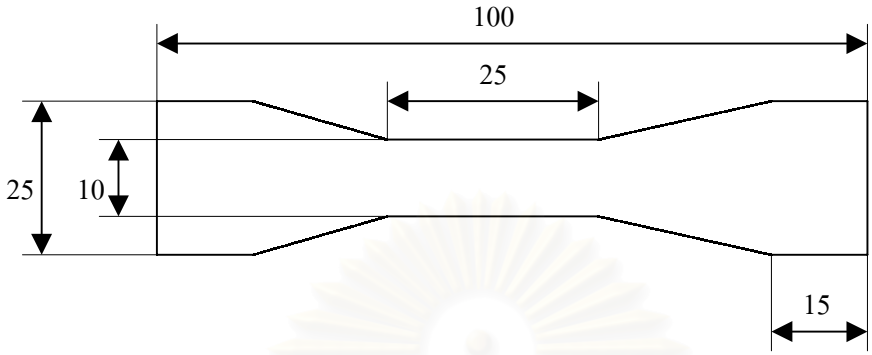
การตรวจวัดความต้านทานต่อการดึงเป็นการตรวจวัดว่าการยึดเกาะตัวของโครงสร้างชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันมีความเหนียวแน่นมากน้อยแค่ไหน การตรวจวัดคุณสมบัติความทนแรงดึงนั้นจะทำการตรวจวัดคุณสมบัติความสามารถในการยืดตัวไปพร้อมๆกัน

คุณสมบัติความทนแรงดึงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของความแข็งแรงของเสื่อน้ำมัน ชิ้นงานชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันถูกทำให้ขาดด้วยแรงคงที่ ดังนั้นความทนแรงดึงก็คือความเค้นที่มากที่สุดที่วัสดุมีก่อนที่จะฉีกขาด

คุณสมบัติความสามารถในการยืดตัวก็คือ ชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันสามารถยืดตัวออกได้มากที่สุด ก่อนขาดออกจากกัน

3.5.1.1 ลักษณะของชิ้นงานชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันเพื่อนำไปทดสอบ มีขนาดเดียว ตามรูปที่ 1 โดยเอาแผ่นวัตถุดิบทั้ง 28 แผ่นที่เตรียมไว้ มาตัดเป็นชิ้นทดสอบแผ่นละ 3 ชิ้น ที่เครื่องตัด โดยเลือกเอาแม่พิมพ์ตัดที่มีขนาดและรูปร่างตามรูปที่ 3.5 (ทุกชิ้นจะต้องตัดตามแนว

ยาวของแผ่นวัตถุดิบตามที่ตกลงในขอบเขตการทดลอง) เพราะฉะนั้นจะได้จำนวนชิ้นทดสอบสำหรับการทดลองที่ 1 นี้ เท่ากับ 84 ชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดสอบระยะยืด

3.5.1.2 ตัวแปรของการทดสอบคุณสมบัติ ความทนแรงดึง และคุณสมบัติความสามารถในการยืดตัว

ความเร็วของการดึงชิ้นทดสอบ = 500 มิลลิเมตร/นาที

ระยะหนีบจับชิ้นงานทดสอบ(Jaw Gap) = 6.0±0.3 เซนติเมตร

ระยะเริ่มต้นสำหรับทดสอบความสามารถในการยืดตัว (BenchMark) = 2.0+0.1 เซนติเมตร

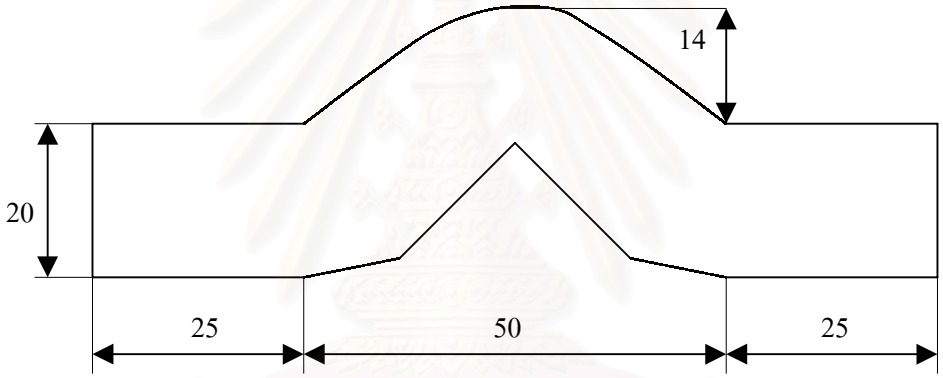
3.5.1.3 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

- นำชิ้นงานชั้นหลังสุดของเสื่อน้ำมันแต่ละสูตร ที่รีดออกมามีความหนา เท่ากับ 0.43 มิลลิเมตร นำไปตัดด้วยแม่แบบชิ้นทดสอบที่เครื่องตัดชิ้นทดสอบ ให้ได้สูตรละ 3 ชิ้น
- วัดความกว้าง และความหนาของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน
- นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบความทนแรงดึงตามข้อกำหนดตัวแปรในข้อ 1.2
- บันทึกผลขนาดของแรง และความยาวในการยืดมากที่สุดขณะที่ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดจากกัน
- ทำการคำนวณ

3.5.2 วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance Test)

คุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดแสดงถึง แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดชนิด C (Die-C Tear Strength Testing)

3.5.2.1 วิธีนี้นับเป็นการค้นหาแรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบฉีกขาดออกจากกันในทิศทางตั้งฉากกับความหนาที่ทำมุม 90 องศา โดยมีขนาดชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3-6 และ มีจำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละแผ่นวัตถุดิบเท่ากับ 3 ชิ้น เท่ากับมีจำนวนชิ้นทดสอบทั้งหมดของการทดลองเท่ากับ 84 ชิ้น โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบเมื่อการทดลองที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนใบมีดตัดชิ้นทดสอบเป็นแบบที่มีรูปร่างและขนาดตามรูปที่ 2 แทน



รูปที่ 3-7 ขนาดเฉพาะของชิ้นงานสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดชนิด C

3.5.2.2. ตัวแปรของการทดสอบ

ความเร็วของการดึงชิ้นงานทดสอบ	=	500 มิลลิเมตร/นาที
ระยะหนีบจับชิ้นงานทดสอบ (Jaw Gap)	=	6.0 + 0.3 เซนติเมตร
ตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงของแรง	=	0.1 กิโลกรัม

3.5.3 การทดสอบตรวจวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

3.5.3.1 ลักษณะของชิ้นงาน

เนื่องจากการวัดค่าความถ่วงจำเพาะจะเป็นการเปรียเทียบกับความถ่วงจำเพาะของน้ำ โดยไม่ขึ้นตรงต่อความมากน้อยของมวลหรือปริมาตรของชิ้นทดสอบ จึงไม่จำเป็นต้องกำหนดน้ำหนักที่คงที่แน่นอน เพียงแต่ตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขณะตามสะดวกในการทำการทดสอบ คือ เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด กว้าง*ยาว เท่ากับ 2*2 เซนติเมตร และมีจำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละแผ่นวัตถุดิบเท่ากับ 3 ชิ้น เท่ากับมีจำนวนชิ้นทดสอบทั้งหมดของการทดลองเท่ากับ 84 ชิ้น

3.5.3.2 ตัวแปรของการทดสอบ

ถ้าการรีดแผ่นวัตถุดิบไม่ดีพอจะทำให้เกิดฟองอากาศ, เม็ดไม่ผสม หรือ รูเกิดขึ้นได้ซึ่งจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะคลาดเคลื่อนได้

3.5.3.3 ค่าความหนาแน่นของน้ำ

ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำในถ้วย แม้ว่าตัวเครื่องวัดความหนาแน่นที่ใช้ สามารถหาความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆได้อยู่แล้วก็ตาม เราก็ควรจะรักษาอุณหภูมิของห้องทดลองให้คงที่อยู่ตลอดเวลา

3.5.3.4 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

- เตรียมเครื่องวัดความหนาแน่นให้พร้อมโดยการ จัดชุดชั่งชิ้นทดสอบในอากาศ และชุดชั่งชิ้นทดสอบในน้ำที่เติมน้ำไว้พอประมาณ สุดท้ายนำชุดวัดอุณหภูมิน้ำแช่ลงไปในน้ำที่อยู่ในถ้วยเสร็จแล้วตั้งโหมดโปรแกรมการวัดความถ่วงจำเพาะโดยการแทนที่น้ำ
- กดปุ่มวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนทำการเริ่มชั่งชิ้นทดสอบ
- ใช้คีบจับชิ้นทดสอบไปวางชั่งในถาดชั่งในอากาศแล้วกดปุ่มบันทึกน้ำหนัก
- ต่อมาใช้คีมจับชิ้นทดสอบชิ้นเดิมย้ายมาจุ่มแช่ในถ้วยชั่งน้ำหนักในน้ำที่มีน้ำบรรจุเตรียมอยู่แล้วกดปุ่มบันทึกน้ำหนัก
- หลังจากนั้นเครื่องจะทำการคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ และพิมพ์ออกมาให้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่เรากำหนดขอบเขต % ดีโอพี ไว้ที่ช่วง 25 – 40 % ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ถ้า % ดีโอพี ต่ำกว่านี้แล้วจะไม่สามารทำการผลิตในกระบวนการรีดได้ และถ้า % ดีโอพีมากกว่านี้แล้วจะทำให้พลาสติกนิ่มเกินไป อีกทั้งเป็นการสิ้นเปลืองค่าวัตถุดิบโดยไม่จำเป็น เช่นเดียวกันกับขอบเขต % ฟิลเลอร์ ที่เรากำหนดไว้ที่ 150 – 300 %

หลังจากเราทำการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะแล้วจะพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของสูตรวัตถุดิบต่างๆ และ ของ ฟิลเลอร์ ทั้ง 2 ชนิด เห็นได้ว่าค่าที่วัดได้จริง กับค่าที่คำนวณขึ้นมาจากสูตร แม้จะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีทิศทางแปรผันตาม % ฟิลเลอร์ และ %ดีโอพี เหมือนกันทุกประการ แต่ในที่นี้เราสมควรที่จะเลือกใช้เฉพาะจากการทดลองจริงเพราะเกิดขึ้นจากการนำวัตถุดิบจริงมาทดลองและเป็นชิ้นงานเดียวกันกับที่จะนำไปทำการทดลองหาค่าคุณสมบัติอื่นๆ ต่อไป เราจะทราบช่วงค่าความถ่วงจำเพาะของการทดลองดังนี้

การทดลองกับ ฟิลเลอร์ OM-15 ระหว่าง 1.74 – 2.04

การทดลองกับ ฟิลเลอร์ 2T ระหว่าง 1.67 - 2.04

พิจารณาจากช่วงค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยที่สุดถึงมากที่สุดแล้ว ค่าความถ่วงจำเพาะที่จะทำให้พลาสติกมีความคงตัวดีที่สุดจะอยู่ที่กึ่งกลางของค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ 1.85 นั้นเอง

นำค่าการทดลองต่างๆ ที่บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลอง คือ ความถ่วงจำเพาะ(ตัดค่าจากการคำนวณสูตรทิ้งไป), ระยะยืด, ทนแรงดึง และ ความต้านทานการฉีกขาด มาวาดกราฟจำนวน 4 รูป โดยให้แกนนอนเป็น% ฟิลเลอร์ แกนตั้งเป็นค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง

พิจารณาที่กราฟความถ่วงจำเพาะของการทดลองกับ ฟิลเลอร์ OM-15 โดยตีเส้นแนวนอนขนานที่ค่าความถ่วงจำเพาะ = 1.85 (เพราะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด) จะไปตัดกับเส้นกราฟ % ดีโอพี ที่ 25, 30, 35, 40 ทำให้ได้สูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมที่สุดเพียง 4 สูตร เป็นสูตรมาตราฐานเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ OM-15 คือ 25/207, 30/233, 35/250 และ 40/275

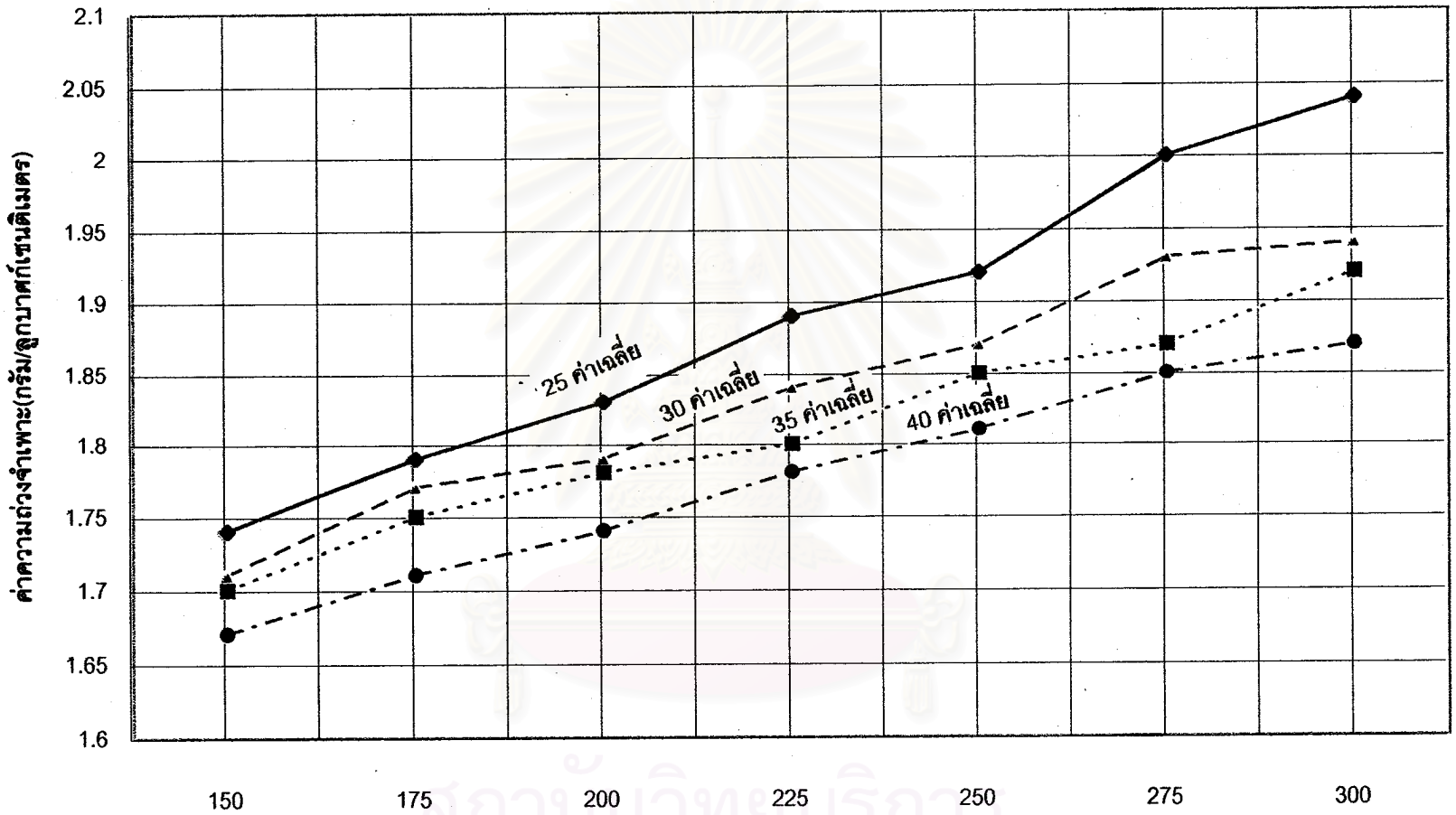
พิจารณาที่กราฟระยะยืดโดยเอาสูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมที่สุด 4 ค่า จาก ข้อ 4. มาแทนค่าเพื่อหาระยะยืดจะได้ค่าระยะยืดที่สูงที่สุดคือที่สูตรนิ่มแข็ง ดีโอพี = 40 และฟิลเลอร์ = 275 ค่า % ระยะยืด = 910

จากตารางราคาส่วนผสมสูตรนิ่มแข็งต่างๆ นำมาวาดกราฟโดยให้แกนนอนเป็น % ฟิลเลอร์ แกนตั้งเป็นราคาวัตถุดิบ(บาท/ก.ก.) นำสูตรนิ่มแข็งที่ได้จากการพิจารณาหาระยะยืดที่สูงที่สุด ในข้อ 4. คือ % ดีโอพี = 40 และ % ฟิลเลอร์ = 275 แทนค่าในกราฟแสดงราคา ก็จะได้ราคาของสูตรนิ่มแข็งเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ OM-15 ที่จะได้ระยะยืดสูงที่สุด และเหมาะสมในกระบวนการผลิตที่สุด คือ 10.3 บาท/ก.ก.

ทำแบบเดิมอีกครั้ง แต่เปลี่ยนเป็นพิจารณาที่กราฟการทนแรงดึงก็จะได้สูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมที่สุด และค่าราคาของสูตรนิ่มแข็งเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ OM-15 ที่จะได้ค่าการทนแรงดึงสูงที่สุด และเหมาะสมในกระบวนการผลิตที่สุด

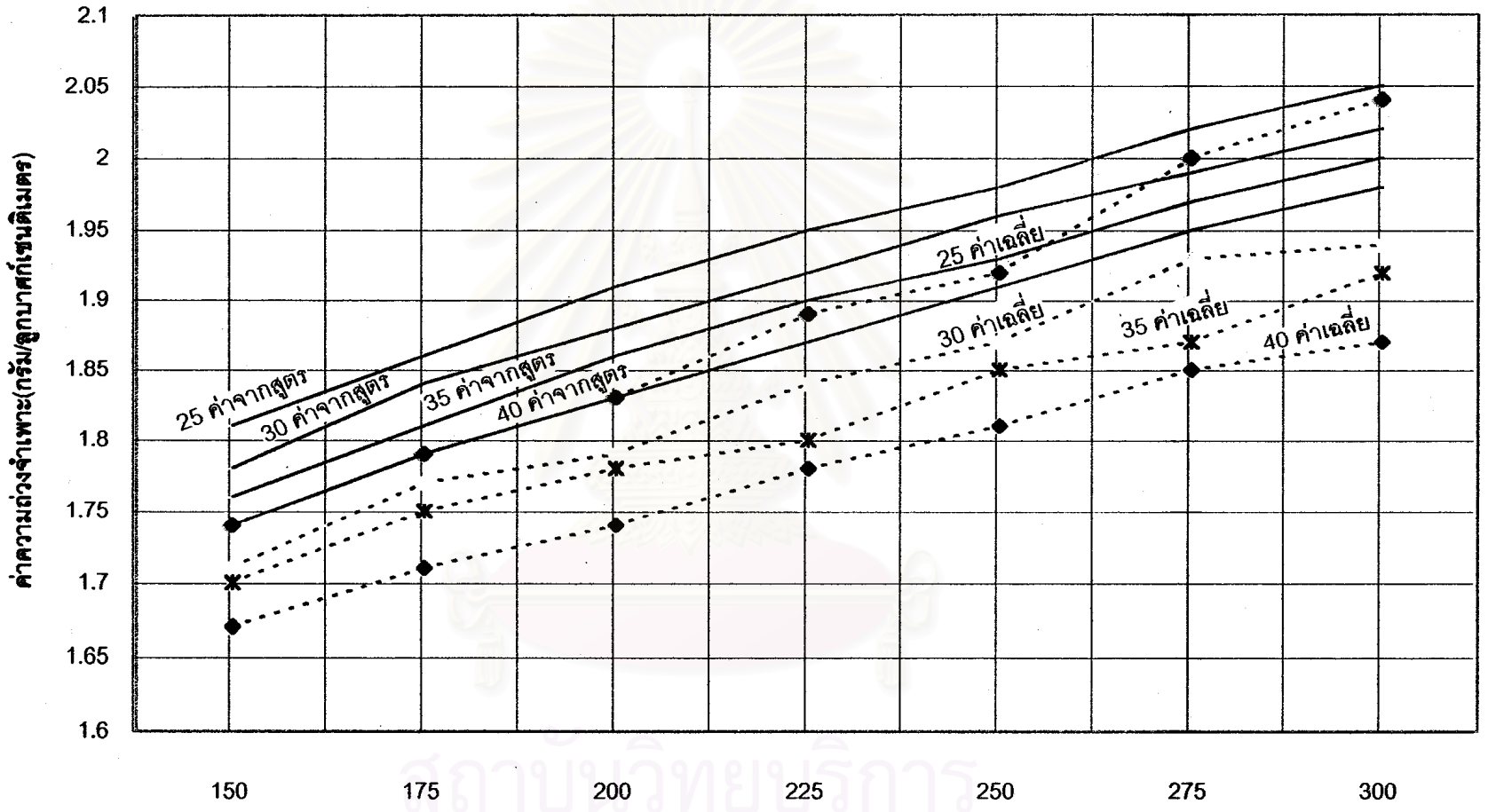
ทำแบบเดิมอีกครั้ง แต่เปลี่ยนเป็นพิจารณาที่กราฟการต้านทานการฉีกขาดก็จะได้สูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมที่สุด และค่าราคาของสูตรนิ่มแข็งเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ OM-15 ที่จะได้ค่าต้านทานการฉีกขาดสูงที่สุด และ เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่สุด

ทำแบบข้างต้นทั้งหมด แต่เปลี่ยนเป็นพิจารณาที่การทดลองเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ 2T ก็จะได้สูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมที่สุด และค่าราคาของสูตรนิ่มแข็งเมื่อใช้ ฟิลเลอร์ 2T ที่จะให้ค่าระยะยืด, ความทนแรงดึง, ความต้านทานการฉีกขาดสูงที่สุด และ เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่สุด

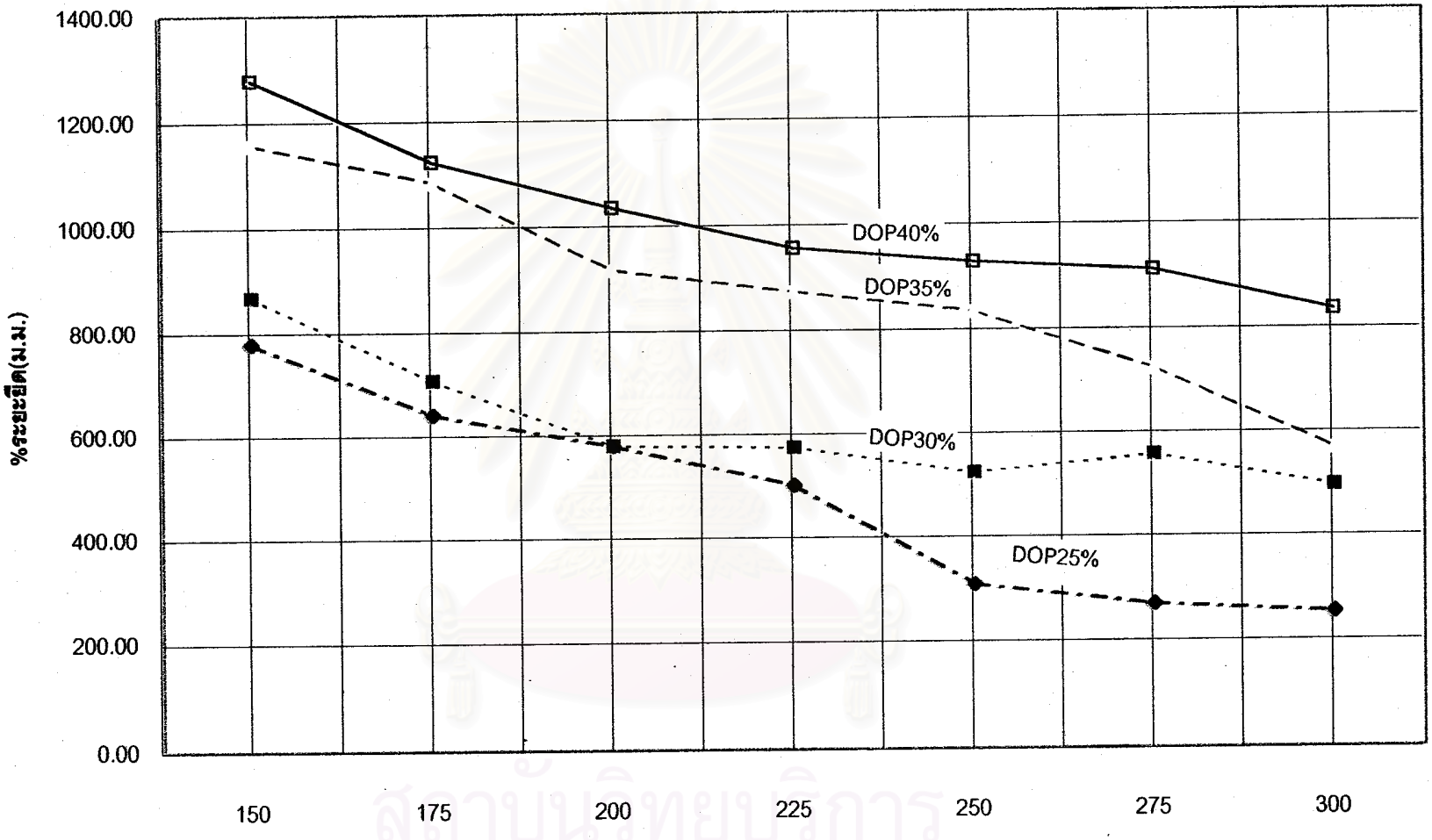


รูปที่ 4-1 แสดงผลการทดลองค่าความถ่วงจำเพาะของ% ฟิลเลอร์ OM-15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

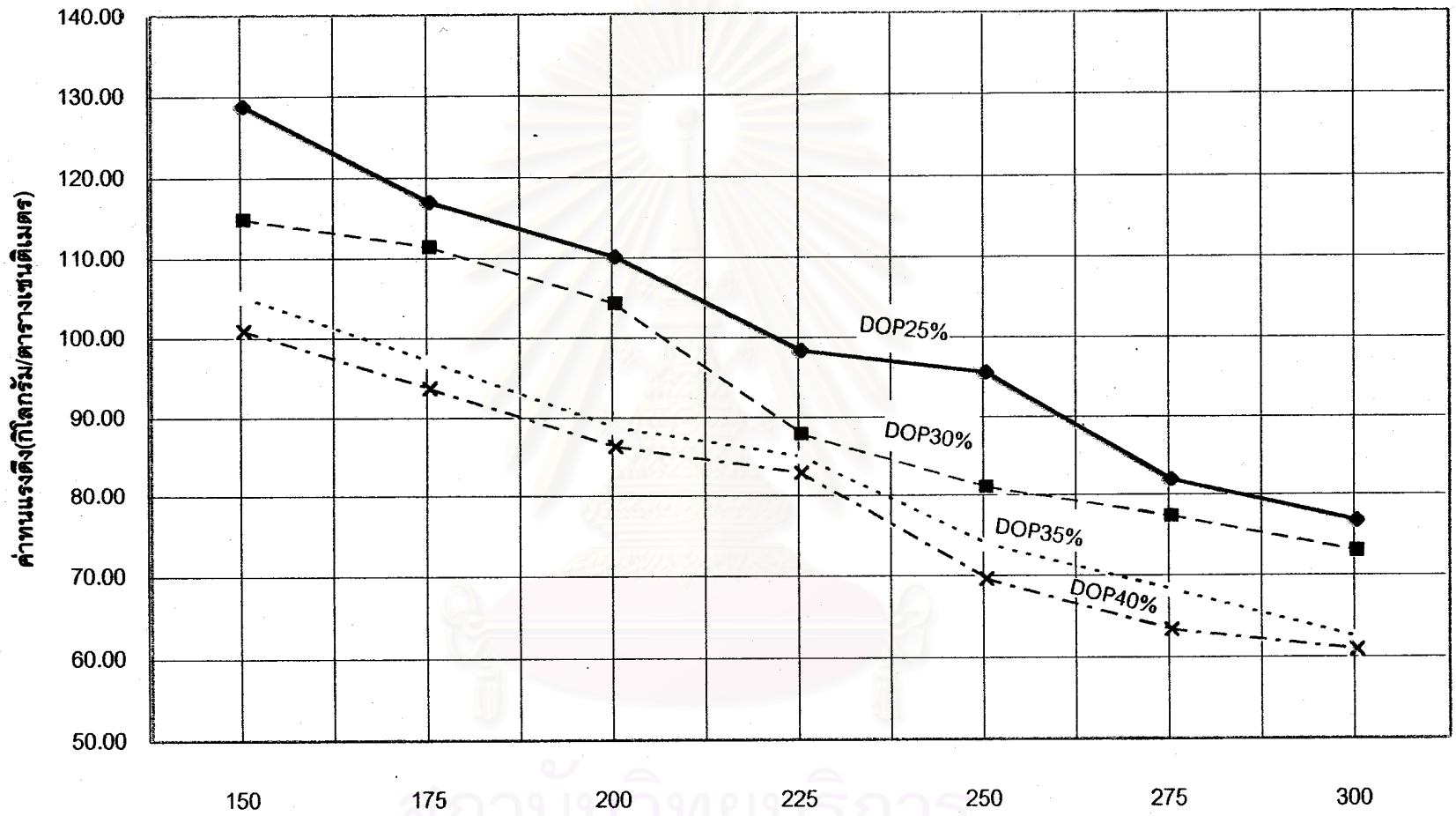


รูปที่ 4-2 แสดงผลการทดลองค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับการคำนวณจากสูตรของ%ฟิลเลอร์ OM-15



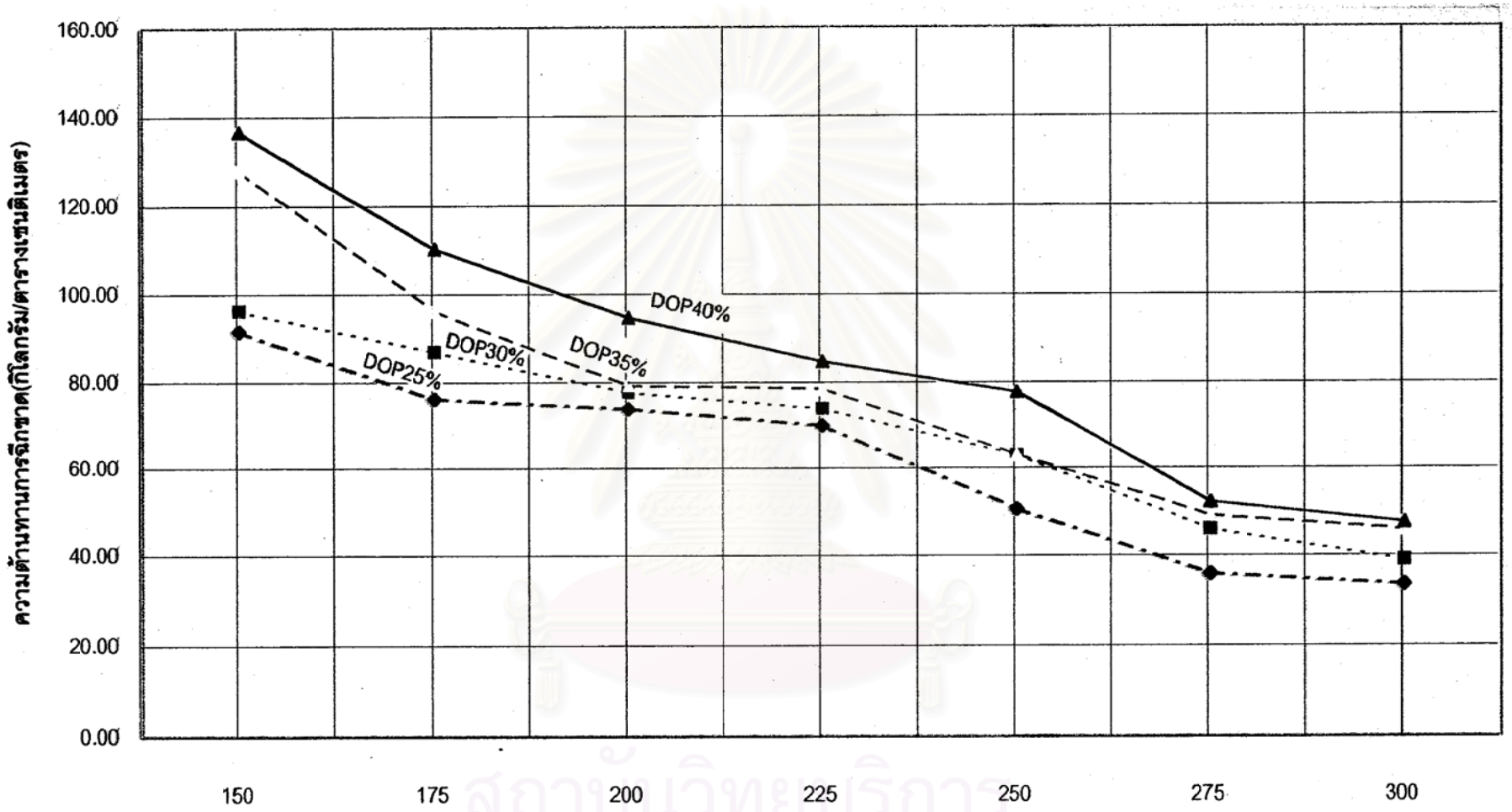
รูปที่ 4-3 แสดงผลการทดของค่า%ระยะยืด ของ%ฟิลเลอร์ OM-15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



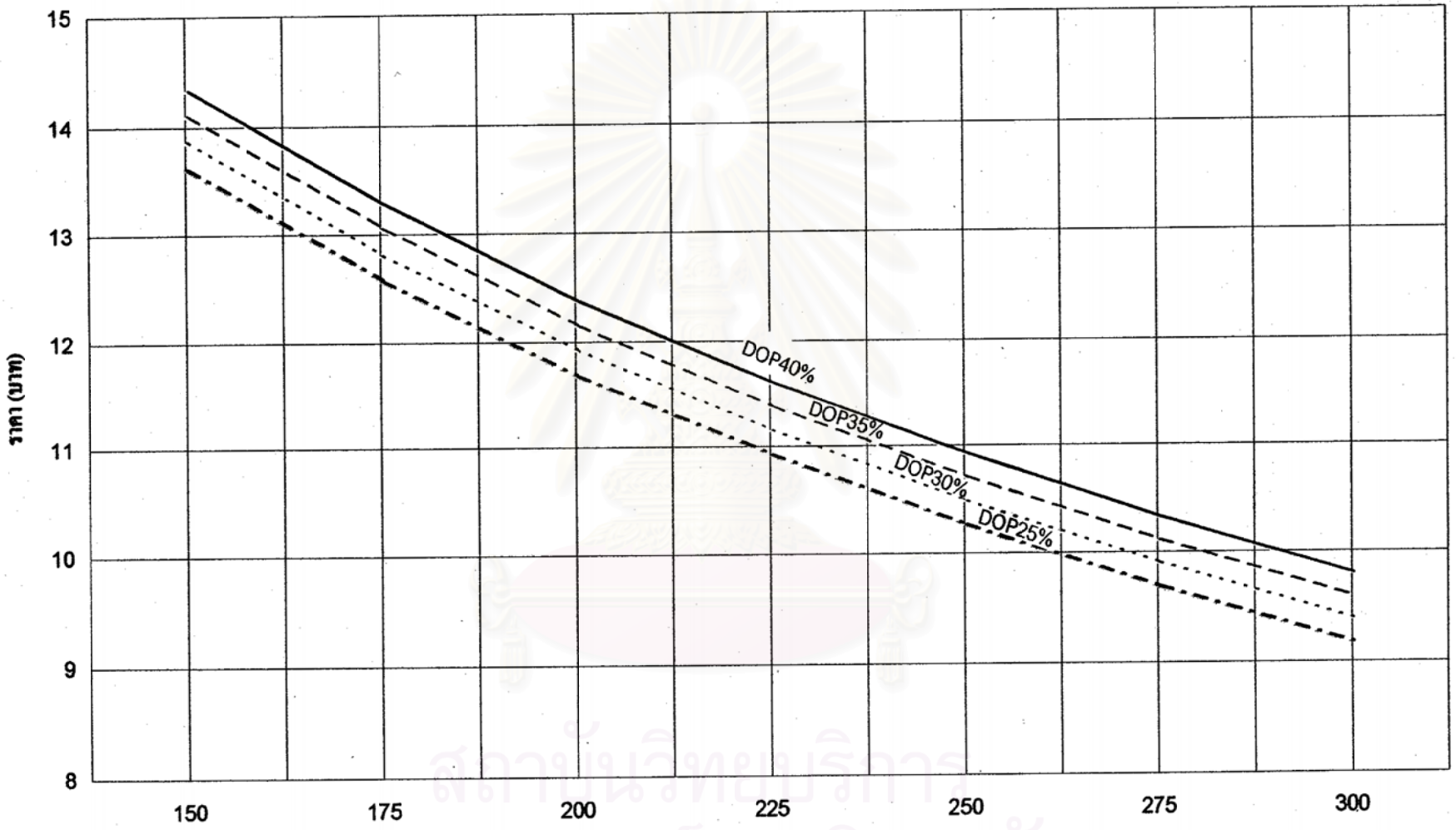
รูปที่ 4-4 แสดงผลการทดลองค่าการทนแรงดึงของ%ฟิลเลอร์ OM-15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



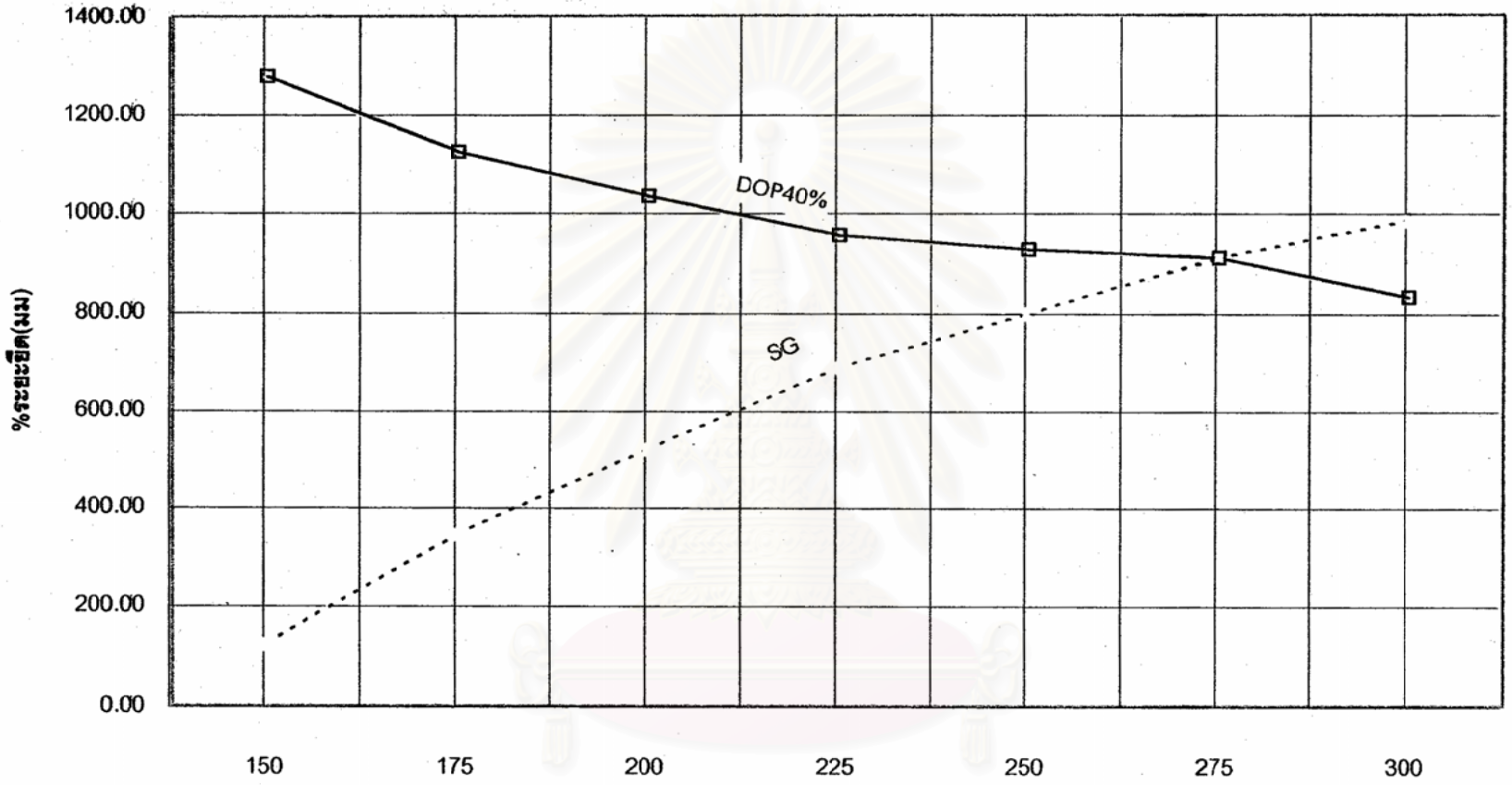
รูปที่ 4-5 แสดงผลการทดลองค่าการทนการฉีกขาดของ%ฟิลเลอร์OM-15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-6 แสดงราคาส่วนผสมที่สูตรนิ่มแข็งต่างๆ ของ %ฟิลเลอร์OM-15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-7 แสดงผลจุดสมดุลระหว่างเส้นดีโอพี 40 PHR กับ เส้นระยะยืดของ%ฟิลเลอร์OM-15 ที่ให้ค่าสูงสุด%การยืดสูงสุดที่ราคาต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่า ค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ OM-15 แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีคำความถ่วงจำเพาะลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ดีโอพี

จากรูปที่ 4-2 แสดงเปรียบเทียบให้เห็นว่า ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการคำนวณ แม้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จริง แต่ก็ไม่ใช้ค่าที่ถูกต้องนัก จึงควรที่จะเลือกพิจารณาเฉพาะค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จริงเพียงอย่างเดียว

จากรูปที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่า ค่า %ระยะยืดจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีค่า %ระยะยืดลดลงเมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่า ค่าการทนแรงดึงจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี และในเช่นเดียวกัน จะมีการทนแรงดึงลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่า ค่าการทนการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีค่าการทนการฉีกขาดลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่า ราคาส่วนผสมจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม ราคาส่วนผสมจะลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-7 แสดงถึง วิธีที่จะหา จุดสมดุลของค่า %ฟิลเลอร์ OM-15 ที่ควรเลือกใช้ เมื่อต้องการค่า %ระยะยืดสูงสุด โดยเอาเส้น %ระยะยืดของ ดีโอพี ที่ 40% (ซึ่งเป็นเส้นที่มีค่า %ระยะยืดสูงสุด พิจารณาจากรูปที่ 4-3) ตัดกับเส้น ค่าความถ่วงจำเพาะ(S.G.)

จากรูปที่ 4-8 แสดงให้เห็นว่า ค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ 2T เช่นเดียวกันกับการใช้ ฟิลเลอร์ OM-15 แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีคำความถ่วงจำเพาะลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ดีโอพี

จากรูปที่ 4-9 แสดงเปรียบเทียบให้เห็นว่า ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการคำนวณ แม้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จริง แต่ก็ไม่ใช้ค่าที่ถูกต้องนัก (แม้จะเปลี่ยนมาใช้ฟิลเลอร์ 2T แล้วก็ตาม) จึงควรที่จะเลือกพิจารณาเฉพาะค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จริงเพียงอย่างเดียวต่อไป

จากรูปที่ 4-10 แสดงให้เห็นว่า ค่า %ระยะยืดจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีค่า %ระยะยืดลดลงเมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ 2T เช่นเดียวกันกับการใช้ ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-11 แสดงให้เห็นว่า ค่าการทนแรงดึงจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี และในเช่นเดียวกัน จะมีการทนแรงดึงลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ 2T เช่นเดียวกันกับการใช้ เลือก ฟิลเลอร์ OM-15

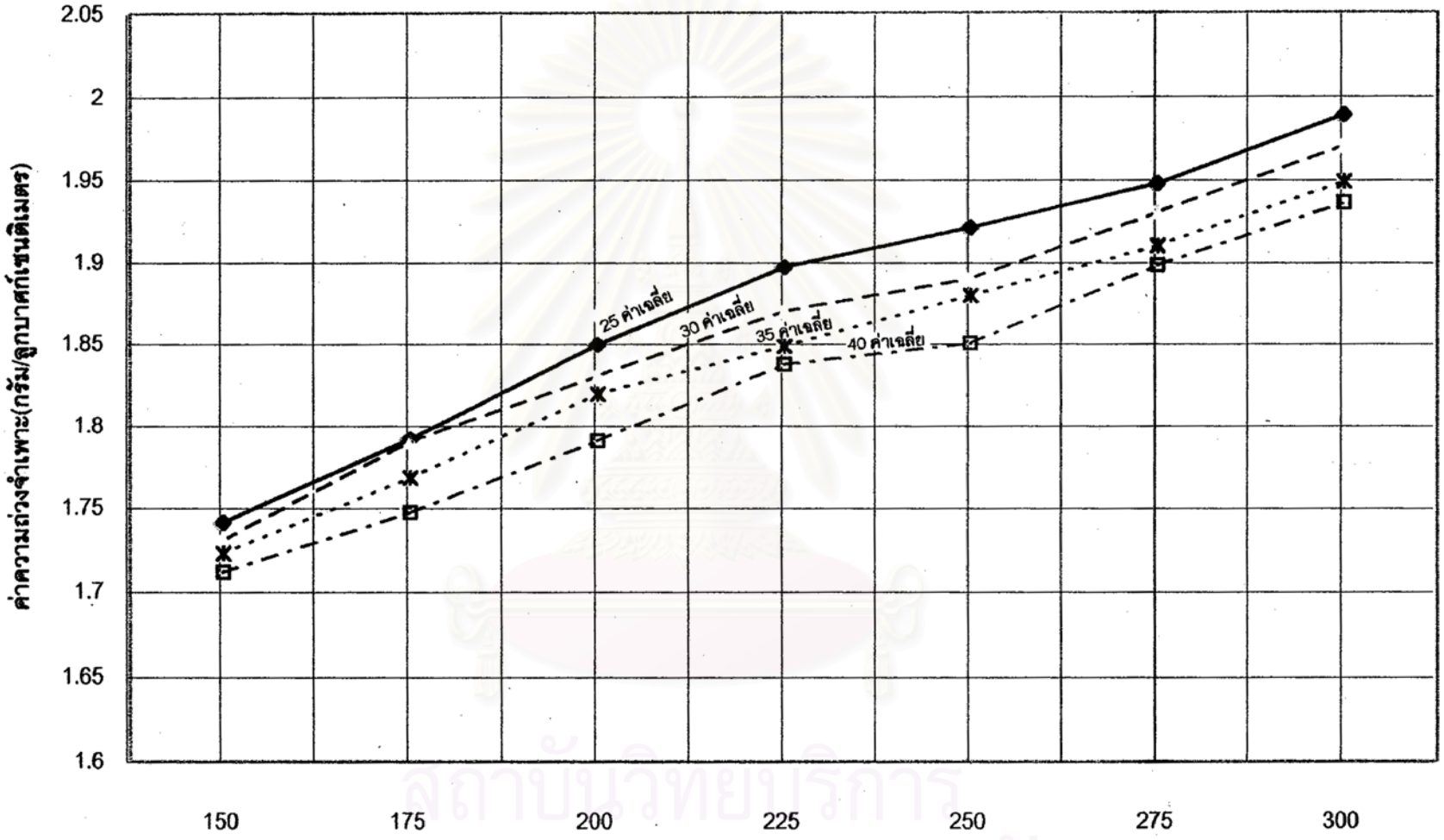
จากรูปที่ 4-12 แสดงให้เห็นว่า ค่าการทนการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีค่าการทนการฉีกขาดลดลง เมื่อเพิ่มจำนวน ฟิลเลอร์ 2T เช่นเดียวกันกับการใช้ ฟิลเลอร์ OM-15

จากรูปที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่า ราคาส่วนผสมจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวน ดีโอพี แต่ในทางตรงกันข้าม ราคาส่วนผสมจะลดลง เมื่อเพิ่มจำนวนฟิลเลอร์ 2T เช่นเดียวกันกับการใช้ ฟิลเลอร์ OM-15

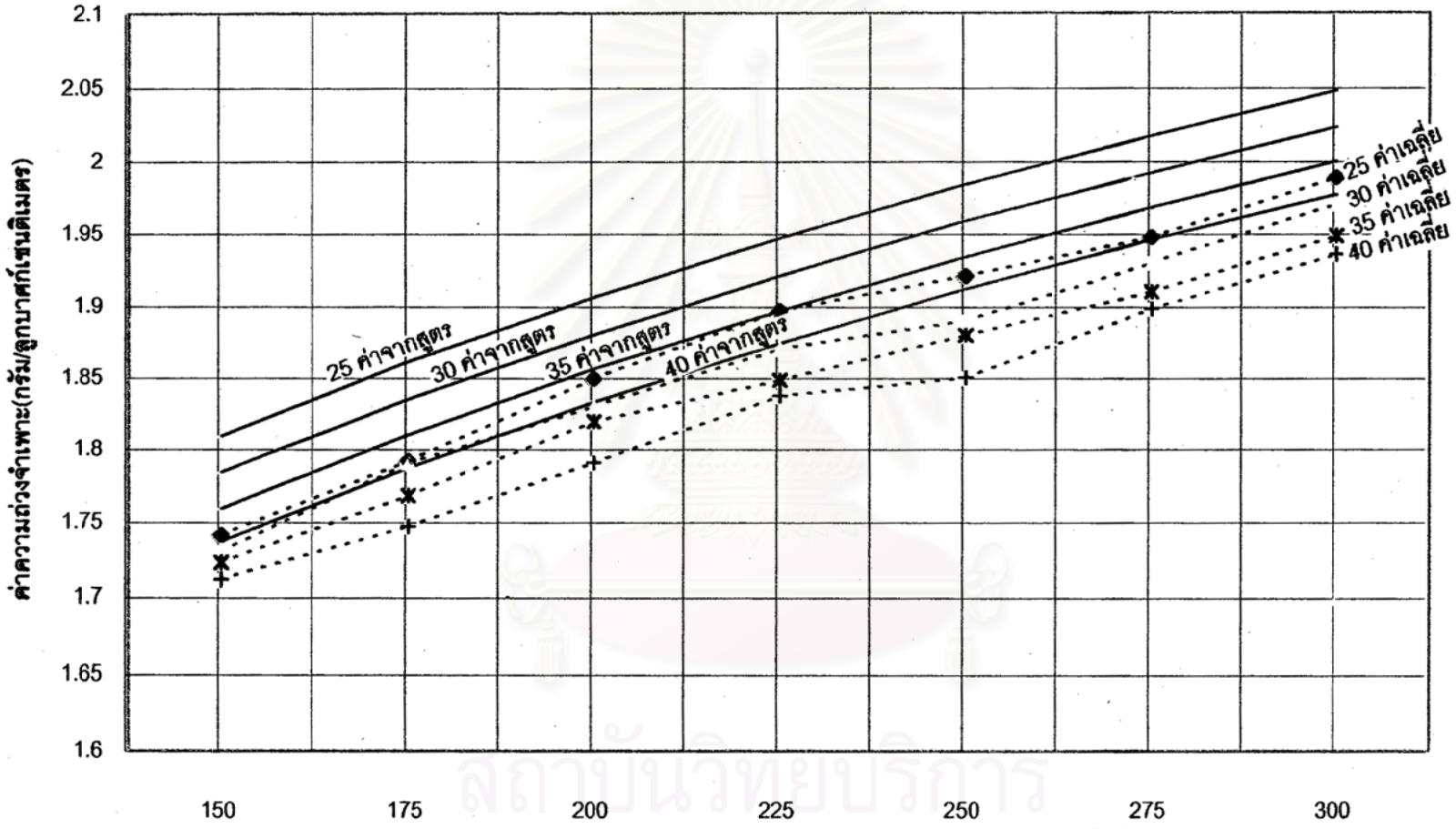
จากรูปที่ 4-14 แสดงถึง วิธีที่จะหา จุดสมดุลของค่า % ฟิลเลอร์ 2T ที่ควรเลือกใช้ เมื่อต้องการค่า %ระยะยืดสูงสุด โดยเอาเส้น %ระยะยืดของ ดีโอพี ที่ 40% (ซึ่งเป็นเส้นที่มีค่า %ระยะยืดสูงสุด พิจารณาจากรูปที่ 4-10) ตัดกับเส้น ค่าความถ่วงจำเพาะ(S.G.)

จากรูปที่ 4-8 ถึงรูปที่ 4-14 เมื่อใช้ ฟิลเลอร์ 2T นั้น คุณสมบัติต่างๆของชิ้นตัวอย่างจะเพิ่มสูงขึ้นทุกค่า ที่ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 1.85 คือ เปอร์เซนต์การยืด, การทนแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของตัว ฟิลเลอร์ 2T ที่มีปัจจัยหลัก จากการดูดซับดีโอพีต่ำ และขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า

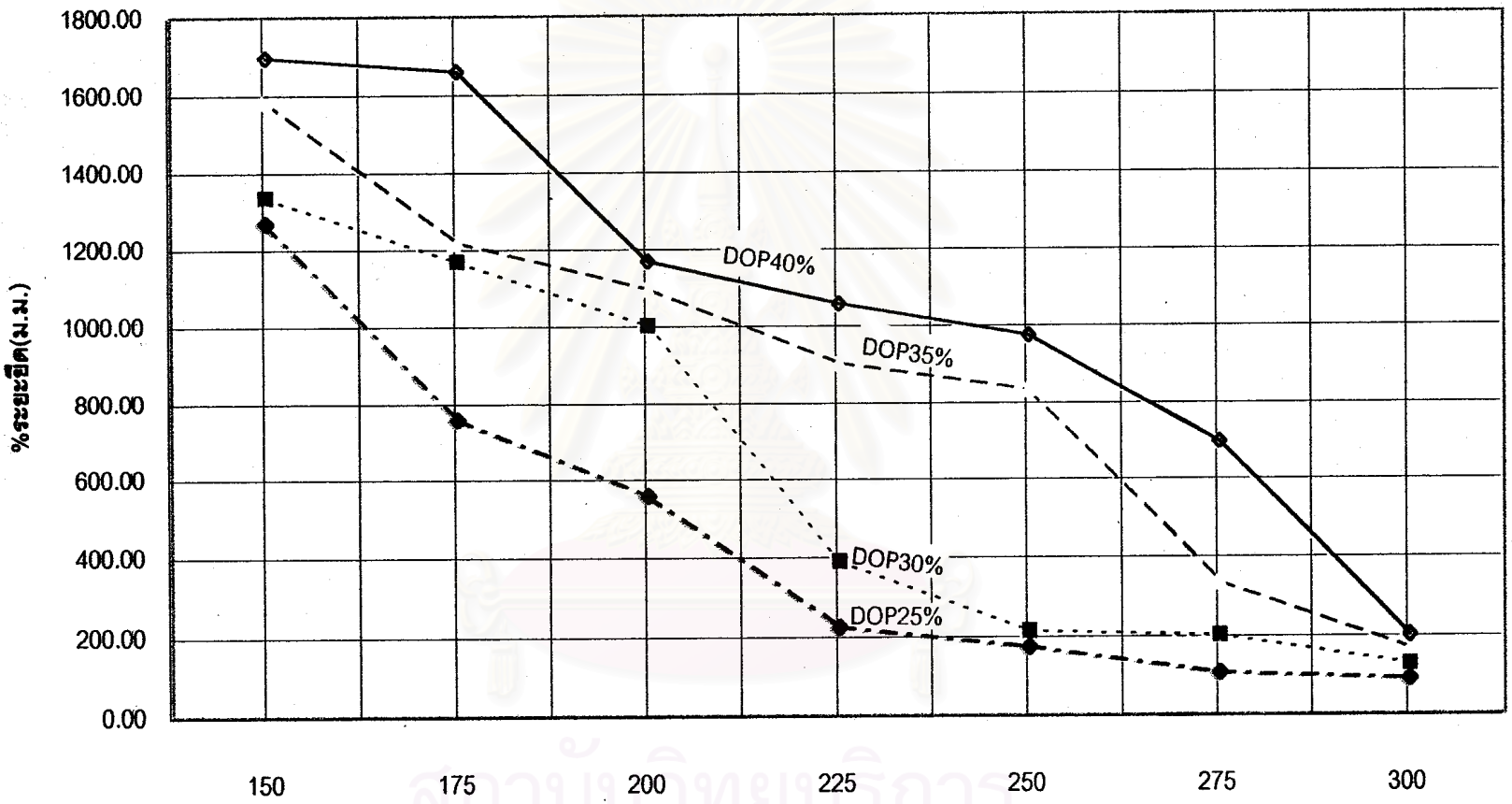
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-8 แสดงผลการทดลองค่าความถ่วงจำเพาะของ% ฟิลเลอร์2T

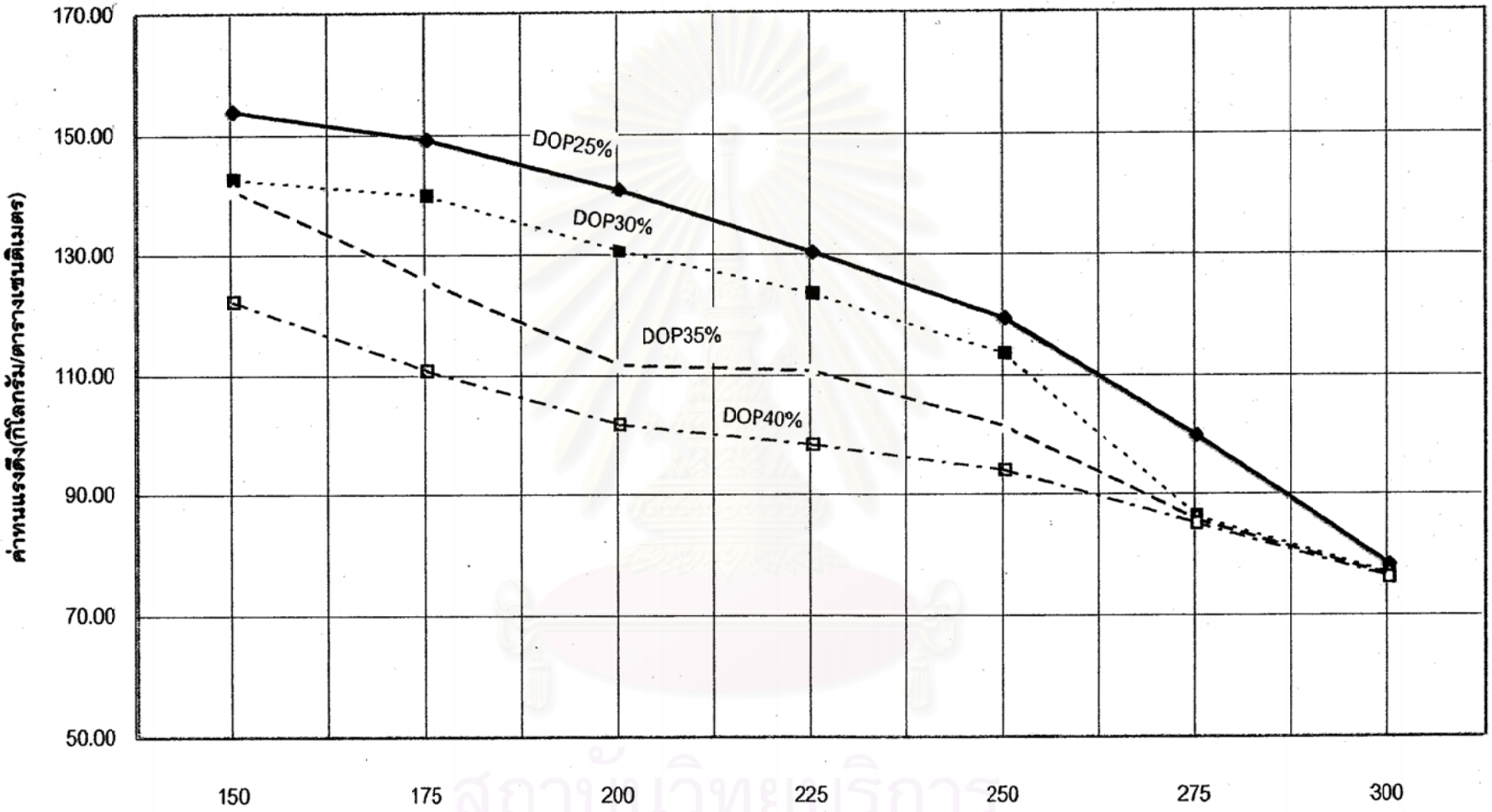


รูปที่ 4-9 แสดงผลการทดลองค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับการคำนวณจากสูตรของ%ฟิลเลอร์2T



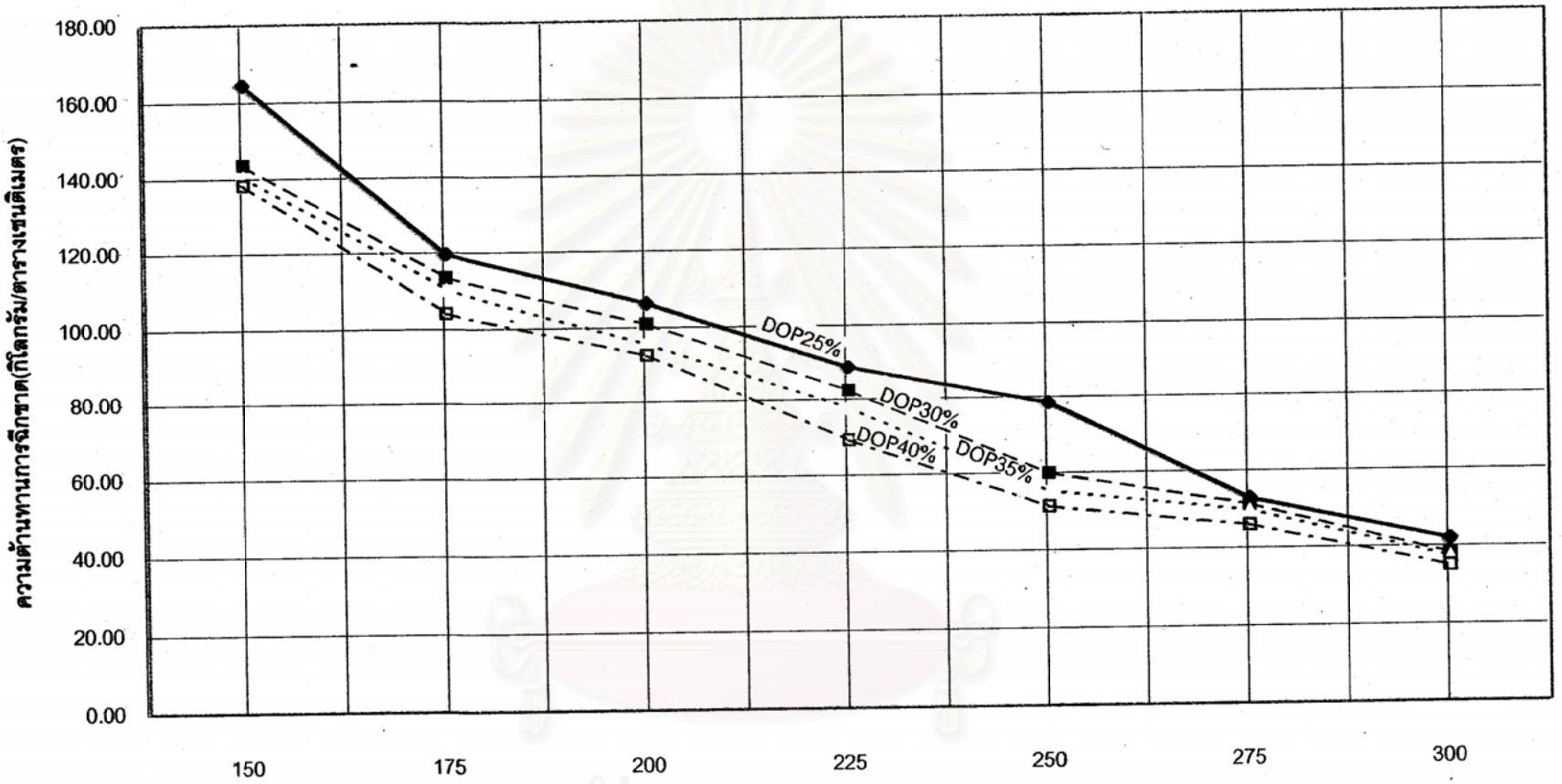
รูปที่ 4-10 แสดงผลการทดลองค่า%ระยะยืด ของ%ฟิลเลอร์2T

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



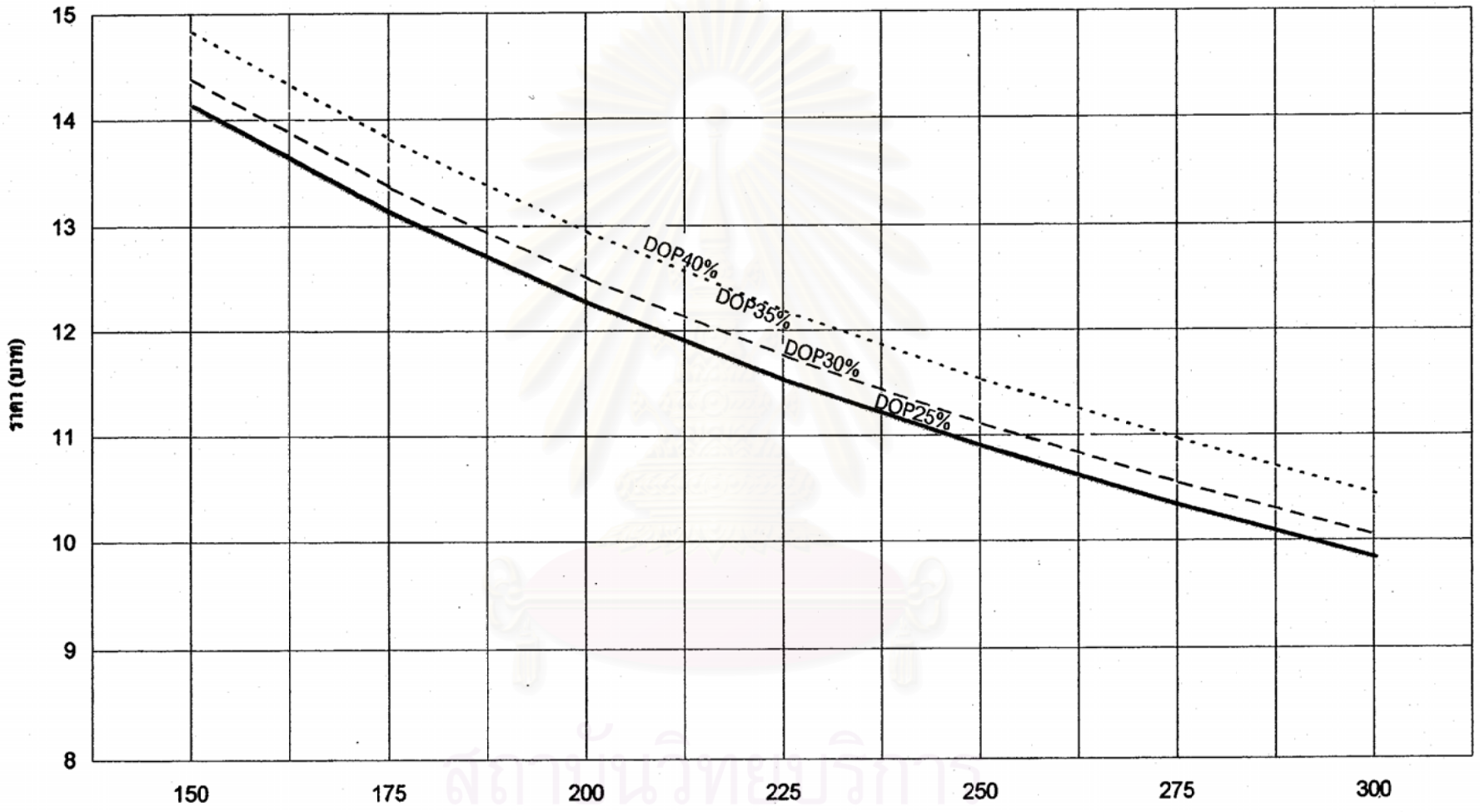
รูปที่ 4-11 แสดงผลการทดลองค่าการทนแรงดึงของ%ฟิลเลอร์2T

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



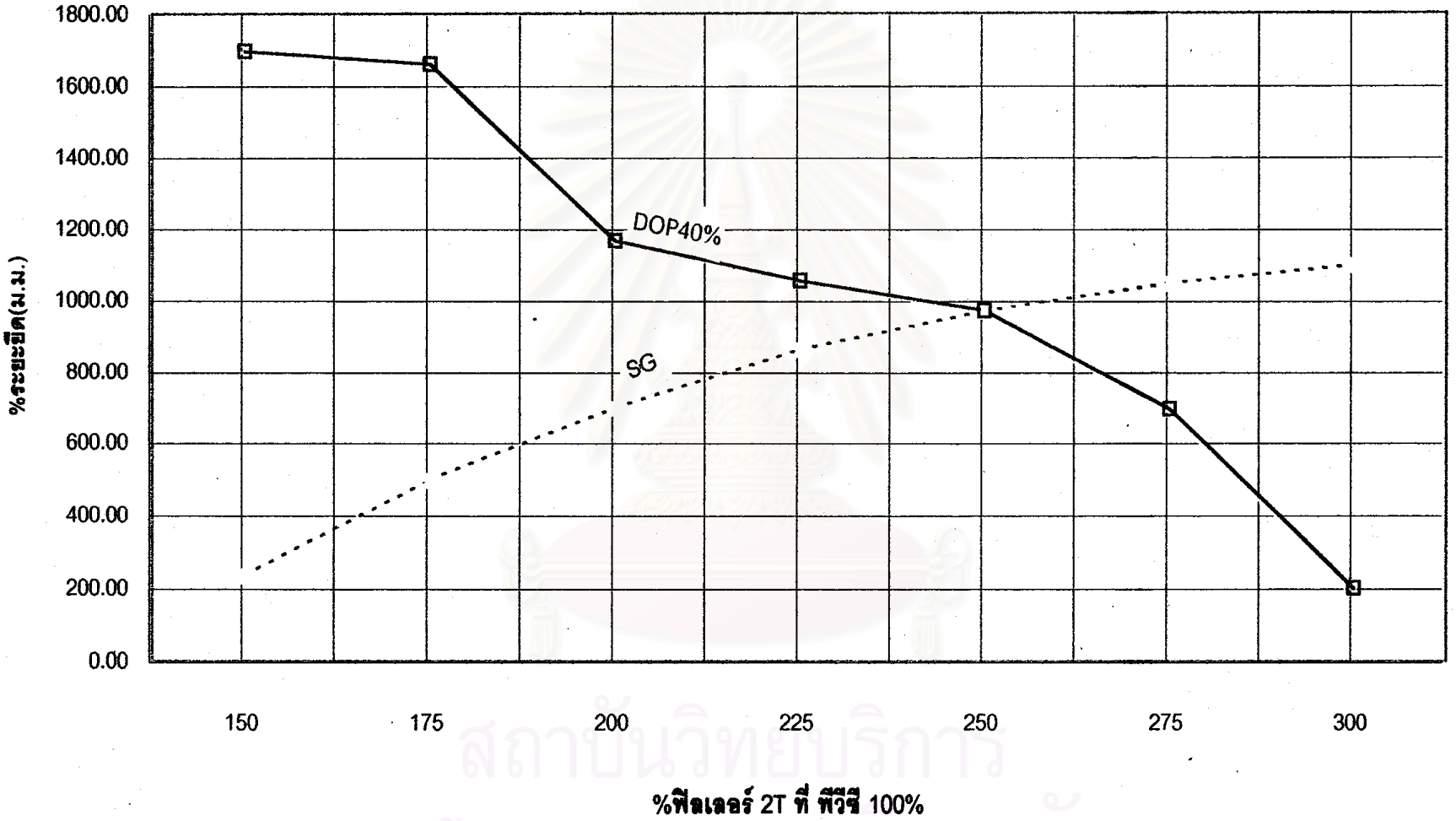
รูปที่ 4-12 แสดงผลการทดลองค่าการทนการฉีกขาดของ%ฟิลเลอร์ 2T

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-13 แสดงราคาส่วนผสมที่สูตรนิ่มแข็งต่างๆ ของ %ฟิลเลอร์ 2T

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-14 แสดงผลจุดสมดุลระหว่างเส้นดีโอพี 40 PHR กับเส้นระยะยืดของ%ฟิลเลอร์ 2T ที่ให้ค่า%การยืดสูงสุดที่ราคาต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทำการทดลองทั้งหมด ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า สูตรนิ่มแข็งที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่สุด มีแค่ 2 แนวทาง หรือ 2 สูตรในแต่ละชนิด ฟิลเลอร์ คือสูตรที่ให้ค่า%การยืดตัวสูงที่สุด กับสูตรที่ให้ค่าทนแรงดึงกับความต้านทานการฉีกขาดสูงสุด

ซึ่งสูตรนิ่มแข็งที่น่าใช้ที่สุดคือที่ 40/275 เมื่อใช้ฟิลเลอร์ OM-15 กับ 40/250 เมื่อใช้ ฟิลเลอร์ 2T ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดแต่ให้%การยืดตัวสูงที่สุดซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเสื่อน้ำมัน

แต่ถ้าเราต้องการผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ต้องการคุณสมบัติการทนแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาดมากๆ เราก็ควรจะใช้สูตรนิ่มแข็งที่ 25/207 ของ ฟิลเลอร์ OM-15 หรือ 25/200 เมื่อใช้ ฟิลเลอร์ 2T ซึ่งจะมีค่าวัตถุดิบแพงกว่ากรณีแรก

ที่สำคัญอีกอย่างก็คือ จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ ฟิลเลอร์ 2T (Coating) ที่มีราคาต่อหน่วยสูงกว่า ฟิลเลอร์ OM-15 (Uncoating) แต่ก็จะทำให้สินค้ามีคุณภาพดีขึ้นมีค่าคุณสมบัติต่างๆไม่ว่าจะเป็น %การยืด, การทนแรงดึง, ความต้านทานการฉีกขาด มีค่ามากกว่า ฟิลเลอร์ OM-15 ในทุกๆสูตรนิ่มแข็ง

ทั้งนี้ทั้งนั้นการจะเลือกใช้สูตรนิ่มแข็ง หรือ ฟิลเลอร์ ตัวใดอาจจะต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพสินค้าที่จะต้องการผลิต, ความต้องการของลูกค้า และนโยบายของบริษัทผู้ผลิตด้วย

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการทดลอง ฟิลเลอร์ OM-15 (Uncoating)

คุณสมบัติ	% การยืด	การทนแรงดึง (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	การต้านทานการฉีกขาด (กิโลกรัม/เซนติเมตร)
ค่าสูงสุด	910	105	66
สูตรนิ่มแข็ง	40/275	25/207	25/207
ราคา (บาท/ก.ก.)	10.3	11.4	11.4

ตารางที่ 5-2 สรุปผลการทดลอง ฟิลเลอร์ 2T (Coating)

คุณสมบัติ	% การยืด	การทนแรงดึง (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	การต้านทานการฉีกขาด (กิโลกรัม/เซนติเมตร)
ค่าสูงสุด	970	142	105
สูตรนิ่มแข็ง	40/250	25/200	25/200
ราคา (บาท/ก.ก.)	11.5	12.3	12.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

Baird, Ronald J. and David T. Industrial Plastics. South Holland, Illinois: The Goodheart Willcox Company. Inc., 1982.

Gerry Trantina and Ron Nimmer. 1994. Structural Analysis of Thermoplastic Components. USA: MeGraw-Hill, INC.

Harry S.Katz and John V.Milewski. 1987. Handbook of Fillers for Plastics. USA: Van Nostrand Reinhold

Leonard I.Nass. 1976 Encyclopedia of PVC. USA: Marcel Dekker, INC.

Swanson, Robert S. Plastics Technology. Bloomington, Illinois: Mc Knight & Mc Knight Publishing Company, 1965.

กรมทรัพยากรธรณี ลักษณะของหินปูน กรุงเทพฯ : หน้า 130-131.2526

ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด. บริษัท. Thai Plastic and Chemical Catalog. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท. 1991 (2534).

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1042-2534 พรมพีวีซี Standard for Backed Flexible PVC Flooring กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. Plastic Industry Club. กรุงเทพฯ: Advertising & media Consultant Ltd. 2532 (1989).

สาคร คันธโชติ 2541 กรรมวิธีการผลิต พิมพ์ครั้งที่ 12 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

อายุวัฒน์ สว่างผล 2543 วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-1 บันทึกผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของ ฟิลเลอร์ OM 15

ความถ่วงจำเพาะหน่วยเป็นg/ccm		FILLER OM - 15 % ที่ PVC 100%							
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP% ที่ PVC 100%	25	1	1.74	1.79	1.82	1.88	1.93	2.00	2.04
		2	1.74	1.78	1.84	1.89	1.91	2.00	2.05
		3	1.75	1.80	1.82	1.90	1.92	2.00	2.03
		ค่าเฉลี่ย	1.74	1.79	1.83	1.89	1.92	2.00	2.04
		ค่าจากสูตร	1.81	1.86	1.91	1.95	1.98	2.02	2.05
	30	1	1.72	1.76	1.77	1.85	1.87	1.94	1.90
		2	1.71	1.77	1.81	1.85	1.87	1.92	1.97
		3	1.72	1.78	1.79	1.83	1.86	1.91	1.96
		ค่าเฉลี่ย	1.71	1.77	1.79	1.84	1.87	1.93	1.94
		ค่าจากสูตร	1.78	1.84	1.88	1.92	1.96	1.99	2.02
	35	1	1.69	1.76	1.79	1.79	1.83	1.88	1.91
		2	1.69	1.73	1.78	1.80	1.86	1.86	1.93
		3	1.70	1.75	1.77	1.81	1.86	1.86	1.93
		ค่าเฉลี่ย	1.70	1.75	1.78	1.80	1.85	1.87	1.92
		ค่าจากสูตร	1.76	1.81	1.86	1.90	1.93	1.97	2.00
	40	1	1.65	1.71	1.74	1.77	1.81	1.84	1.85
		2	1.68	1.70	1.75	1.79	1.82	1.84	1.89
		3	1.67	1.71	1.73	1.79	1.81	1.86	1.85
		ค่าเฉลี่ย	1.67	1.71	1.74	1.78	1.81	1.85	1.87
		ค่าจากสูตร	1.74	1.79	1.83	1.87	1.91	1.95	1.98

ตาราง ก-2 บันทึกผลการทดสอบระยะยืดของฟิลเลอร์ OM-15

ระยะยืดหน่วยเป็น %มม.		FILLER OM - 15 % ที่ PVC 100%							
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP ที่ PVC 100 %	25	1	56.00	46.00	41.00	31.00	26.00	20.00	26.00
		2	46.00	46.00	41.00	41.00	26.00	20.00	21.00
		3	56.00	41.00	40.00	36.00	21.00	26.00	16.00
		ค่าเฉลี่ย	52.67	44.33	40.67	36.00	24.33	22.00	21.00
		ค่า%การยืด	777.78	638.89	577.78	500.00	305.56	266.67	250.00
	30	1	61.00	46.00	39.00	41.00	36.00	41.00	36.00
		2	54.00	49.00	39.00	39.00	36.00	41.00	33.00
		3	59.00	50.00	44.00	41.00	40.00	36.00	38.00
		ค่าเฉลี่ย	58.00	48.33	40.67	40.33	37.33	39.33	35.67
		ค่า%การยืด	866.67	705.56	577.78	572.22	522.22	555.56	494.44
	35	1	69.00	66.00	66.00	61.00	53.00	43.00	36.00
		2	81.00	76.00	56.00	56.00	61.00	56.00	38.00
		3	76.00	71.00	61.00	58.00	54.00	49.00	46.00
		ค่าเฉลี่ย	75.33	71.00	61.00	58.33	56.00	49.33	40.00
		ค่า%การยืด	1155.56	1083.33	916.67	872.22	833.33	722.22	566.67
	40	1	79.00	73.00	64.00	66.00	62.00	60.00	56.00
		2	83.00	76.00	71.00	61.00	61.00	61.00	56.00
		3	86.00	71.00	69.00	63.00	62.00	61.00	56.00
		ค่าเฉลี่ย	82.67	73.33	68.00	63.33	61.67	60.67	56.00
		ค่า%การยืด	1277.78	1122.22	1033.33	955.56	927.78	911.11	833.33

ตาราง ก-3 บันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิลเลอร์ OM-15

ค่าทนแรงดึงหน่วยเป็น kg/cm2		FILLER OM - 15 % ที่ PVC 100%							
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP ที่ PVC 100 %	25	1	14.00	11.40	11.50	10.40	10.30	9.00	8.10
		2	13.40	13.30	11.96	10.30	10.30	9.00	8.40
		3	14.10	13.00	12.03	11.00	10.20	8.40	8.20
		ค่าเฉลี่ย	13.83	12.57	11.83	10.57	10.27	8.80	8.23
		ค่าทนแรงดึง	128.68	116.90	110.05	98.29	95.50	81.86	76.59
	30	1	11.50	12.20	11.60	9.80	8.20	8.70	7.40
		2	12.50	11.50	10.30	9.50	9.20	7.70	8.10
		3	13.00	12.20	11.70	9.00	8.70	8.50	8.00
		ค่าเฉลี่ย	12.33	11.97	11.20	9.43	8.70	8.30	7.83
		ค่าทนแรงดึง	114.73	111.32	104.19	87.75	80.93	77.21	72.87
	35	1	10.40	10.20	9.60	8.80	8.00	7.30	6.80
		2	11.80	10.60	9.30	9.30	8.10	7.00	6.70
		3	11.70	10.50	9.70	9.30	7.70	7.70	6.60
		ค่าเฉลี่ย	11.30	10.43	9.53	9.13	7.93	7.33	6.70
		ค่าทนแรงดึง	105.12	97.05	88.68	84.96	73.80	68.22	62.33
	40	1	10.50	10.10	9.20	9.00	7.40	6.60	6.50
		2	11.30	10.00	9.20	9.30	7.50	6.80	6.50
		3	10.70	10.10	9.40	8.40	7.50	7.00	6.60
		ค่าเฉลี่ย	10.83	10.07	9.27	8.90	7.47	6.80	6.53
		ค่าทนแรงดึง	100.78	93.64	86.20	82.79	69.46	63.26	60.78

ตาราง ก-4 บันทึกผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของฟิลเลอร์ OM-15

ความต้านทานการฉีกขาด			FILLER OM - 15 % ที่ PVC 100%						
หน่วยเป็นkg/cm		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP ที่ PVC 100 %	25	1	4.00	3.30	3.10	3.00	1.50	1.20	2.00
		2	4.10	3.20	3.00	2.80	3.00	2.00	1.00
		3	3.70	3.30	3.40	3.20	2.00	1.40	1.30
		ค่าเฉลี่ย	3.93	3.27	3.17	3.00	2.17	1.53	1.43
		ค่าทานการฉีก	91.47	75.97	73.64	69.77	50.39	35.66	33.33
	30	1	4.20	3.10	3.20	3.10	3.40	2.10	1.70
		2	4.20	4.30	3.10	3.40	2.20	1.40	1.30
		3	4.00	3.80	3.70	3.00	2.50	2.40	2.00
		ค่าเฉลี่ย	4.13	3.73	3.33	3.17	2.70	1.97	1.67
		ค่าทานการฉีก	96.12	86.82	77.52	73.64	62.79	45.74	38.76
	35	1	5.30	4.10	3.40	3.20	2.57	2.40	2.00
		2	5.60	4.50	3.40	3.50	3.05	2.20	1.90
		3	5.60	3.80	3.40	3.40	2.50	1.70	2.00
		ค่าเฉลี่ย	5.50	4.13	3.40	3.37	2.71	2.10	1.97
		ค่าทานการฉีก	127.91	96.12	79.07	78.29	62.95	48.84	45.74
	40	1	5.50	5.00	4.30	4.20	3.00	2.20	2.20
		2	6.00	4.50	3.70	3.30	3.50	2.50	2.00
		3	6.10	4.70	4.20	3.40	3.50	2.00	1.90
		ค่าเฉลี่ย	5.87	4.73	4.07	3.63	3.33	2.23	2.03
		ค่าทานการฉีก	136.43	110.08	94.57	84.50	77.52	51.94	47.29

ตาราง ก-5 บันทึกผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของฟิลเลอร์ 2T

ความถ่วงจำเพาะหน่วยเป็นg/ccm			FILLER 2T% ที่ PVC 100%						
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
D O P % ที่ P V C 1 0 0 %	25	1	1.74	1.79	1.84	1.90	1.92	1.96	1.98
		2	1.75	1.79	1.85	1.90	1.92	1.95	1.99
		3	1.73	1.79	1.85	1.89	1.92	1.94	1.99
		ค่าเฉลี่ย	1.74	1.79	1.85	1.90	1.92	1.95	1.99
		ค่าจากสูตร	1.81	1.86	1.91	1.95	1.98	2.02	2.05
	30	1	1.74	1.80	1.88	1.91	1.95	1.92	1.97
		2	1.75	1.79	1.88	1.91	1.95	1.91	1.97
		3	1.74	1.79	1.89	1.91	1.95	1.91	1.97
		ค่าเฉลี่ย	1.74	1.79	1.88	1.91	1.95	1.91	1.97
		ค่าจากสูตร	1.78	1.84	1.88	1.92	1.96	1.99	2.02
	35	1	1.72	1.77	1.82	1.86	1.87	1.93	1.95
		2	1.72	1.76	1.82	1.85	1.88	1.92	1.94
		3	1.73	1.77	1.82	1.84	1.88	1.93	1.96
		ค่าเฉลี่ย	1.72	1.77	1.82	1.85	1.88	1.93	1.95
		ค่าจากสูตร	1.76	1.81	1.86	1.90	1.93	1.97	2.00
	40	1	1.73	1.75	1.79	1.84	1.87	1.90	1.94
		2	1.70	1.75	1.79	1.84	1.88	1.90	1.94
		3	1.70	1.75	1.78	1.84	1.88	1.90	1.94
		ค่าเฉลี่ย	1.71	1.75	1.79	1.84	1.87	1.90	1.94
		ค่าจากสูตร	1.74	1.79	1.83	1.87	1.91	1.95	1.98

ตาราง ก-6 บันทึกผลการทดสอบระยะยืดของฟิลเลอร์ 2T

ระยะยืดหน่วยเป็น %มม.			FILLER 2T% ที่ PVC 100%						
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP%ที่PVC100%	25	1	86.00	56.00	36.00	26.00	16.00	11.50	11.00
		2	84.00	58.00	36.00	16.00	17.00	11.30	12.00
		3	76.00	40.00	46.00	16.00	16.00	14.00	11.00
		ค่าเฉลี่ย	82.00	51.33	39.33	19.33	16.33	12.27	11.33
		ค่า%การยืด	1266.67	755.56	555.56	222.22	172.22	104.44	88.89
	30	1	86.00	66.00	66.00	16.00	14.00	12.00	10.00
		2	86.00	76.00	66.00	36.00	26.00	26.00	16.00
		3	86.00	86.00	66.00	36.00	16.00	16.00	15.00
		ค่าเฉลี่ย	86.00	76.00	66.00	29.33	18.67	18.00	13.67
		ค่า%การยืด	1333.33	1166.67	1000.00	388.89	211.11	200.00	127.78
	35	1	106.00	80.00	73.00	66.00	46.00	26.00	16.00
		2	96.00	76.00	66.00	53.40	36.00	26.00	16.00
		3	101.00	81.00	76.00	61.20	86.00	26.00	16.00
		ค่าเฉลี่ย	101.00	79.00	71.67	60.20	56.00	26.00	16.00
		ค่า%การยืด	1583.33	1216.67	1094.44	903.33	833.33	333.33	166.67
	40	1	106.00	84.00	86.00	66.00	71.00	51.00	18.00
		2	106.00	116.00	71.00	76.00	66.00	56.00	18.00
		3	111.00	116.50	71.00	66.00	56.00	36.00	18.00
		ค่าเฉลี่ย	107.67	105.50	76.00	69.33	64.33	47.67	18.00
		ค่า%การยืด	1694.44	1658.33	1166.67	1055.56	972.22	694.44	200.00

ตาราง ก-7 บันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิลเลอร์ 2T

ค่าทนแรงดึงหน่วยเป็น kg/cm2		FILLER 2T% ที่ PVC 100%							
		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP% ที่ PVC100%	25	1	17.00	17.00	16.00	15.00	12.00	10.00	7.30
		2	16.00	14.60	16.10	13.00	13.10	10.20	8.00
		3	16.60	16.50	13.30	14.00	13.40	12.00	9.90
		ค่าเฉลี่ย	16.53	16.03	15.13	14.00	12.83	10.73	8.40
		ค่าทนแรงดึง	153.80	149.15	140.78	130.23	119.38	99.84	78.14
	30	1	14.30	14.40	14.30	13.30	12.10	10.40	9.10
		2	15.70	15.40	14.40	13.40	13.10	8.40	7.30
		3	16.00	15.30	13.40	13.10	11.40	9.00	8.30
		ค่าเฉลี่ย	15.33	15.03	14.03	13.27	12.20	9.27	8.23
		ค่าทนแรงดึง	142.64	139.84	130.54	123.41	113.49	86.20	76.59
	35	1	15.00	12.20	12.30	11.20	10.30	9.10	9.30
		2	15.30	13.30	12.00	11.50	10.20	8.10	7.10
		3	15.10	15.00	11.70	13.00	12.20	10.40	8.20
		ค่าเฉลี่ย	15.13	13.50	12.00	11.90	10.90	9.20	8.20
		ค่าทนแรงดึง	140.78	125.58	111.63	110.70	101.40	85.58	76.28
	40	1	14.70	11.00	11.20	10.50	9.70	9.50	8.40
		2	12.30	12.30	10.30	10.20	10.20	9.40	7.70
		3	12.40	12.40	11.30	11.00	10.40	8.50	8.40
		ค่าเฉลี่ย	13.13	11.90	10.93	10.57	10.10	9.13	8.17
		ค่าทนแรงดึง	122.17	110.70	101.71	98.29	93.95	84.96	75.97

ตาราง ก-8 บันทึกผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของฟิลเลอร์ 2T

ความต้านทานการฉีกขาด			FILLER 2T% ที่ PVC 100%						
หน่วยเป็นkg/cm		ตัวทดลองที่	150	175	200	225	250	275	300
DOP%ที่PVC100%	25	1	7.00	4.80	4.00	3.90	3.30	2.30	2.00
		2	6.40	5.30	4.00	3.50	3.30	2.10	1.20
		3	7.80	5.30	5.70	4.00	3.50	2.40	2.20
		ค่าเฉลี่ย	7.07	5.13	4.57	3.80	3.37	2.27	1.80
		ค่าทานการฉีก	164.34	119.38	106.20	88.37	78.29	52.71	41.86
	30	1	5.70	5.10	4.20	3.20	2.20	2.50	1.50
		2	6.40	4.50	4.30	3.40	2.40	2.30	1.40
		3	6.40	5.00	4.50	4.00	3.10	1.80	2.00
		ค่าเฉลี่ย	6.17	4.87	4.33	3.53	2.57	2.20	1.63
		ค่าทานการฉีก	143.41	113.18	100.78	82.17	59.69	51.16	37.98
	35	1	5.90	4.80	4.30	3.30	2.00	1.80	1.20
		2	5.80	5.00	4.00	3.50	2.10	2.10	2.10
		3	6.40	4.40	4.00	3.20	3.00	2.50	1.50
		ค่าเฉลี่ย	6.03	4.73	4.10	3.33	2.37	2.13	1.60
		ค่าทานการฉีก	140.31	110.08	95.35	77.52	55.04	49.61	37.21
	40	1	6.30	4.00	3.70	3.00	2.50	2.40	1.20
		2	6.10	4.40	4.10	2.90	2.00	1.50	2.10
		3	5.40	5.00	4.10	3.00	2.10	2.00	1.20
		ค่าเฉลี่ย	5.93	4.47	3.97	2.97	2.20	1.97	1.50
		ค่าทานการฉีก	137.98	103.88	92.25	68.99	51.16	45.74	34.88

ตาราง ก-9 สรุปค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยนเบนมาตรฐานของฟิลเลอร์ OM-15

หน่วนเป็น%		% Filler OM-15 ที่ PVC 100 %						
ค่าการทดลอง	% DOP	150	175	200	225	250	275	300
ระยะการยืด	25	8.95	5.31	1.15	11.34	9.68	12.85	19.44
	30	5.07	3.51	5.79	2.33	5.05	5.99	5.76
	35	6.53	5.74	6.69	3.52	6.35	10.76	10.80
	40	3.46	2.80	4.32	3.24	0.76	0.77	0.00
ทนแรงดึง	25	2.23	6.63	1.98	2.92	0.45	3.21	1.51
	30	5.05	2.75	5.69	3.49	4.69	5.20	3.94
	35	5.64	1.62	1.78	2.58	2.14	3.91	1.21
	40	3.13	0.42	1.01	4.20	0.63	2.40	0.72
ต้านทานการฉีก	25	4.32	1.44	5.36	5.44	28.78	22.16	29.23
	30	2.28	13.18	7.78	5.36	18.88	21.30	17.20
	35	2.57	6.93	0.00	3.70	9.03	14.01	2.39
	40	4.47	4.34	6.45	11.08	7.07	9.20	6.13
ความถ่วงจำเพาะ	25	0.22	0.24	0.50	0.28	0.32	0.12	0.45
	30	0.19	0.58	1.10	0.60	0.25	0.61	1.49
	35	0.31	0.80	0.51	0.37	0.79	0.71	0.55
	40	0.60	0.22	0.27	0.62	0.32	0.52	0.98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-10 สรุปค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยนเบนมาตรฐานของฟิลเลอร์ 2T

หน่วนเป็น%		% Filler OM-15 ที่ PVC 100 %						
ค่าการทดลอง	% DOP	150	175	200	225	250	275	300
ระยะการยืด	25	5.26	15.69	11.98	24.38	2.88	10.01	4.15
	30	0.00	10.74	0.00	32.14	28.12	32.71	19.20
	35	4.04	2.73	5.84	8.62	38.57	0.00	0.00
	40	2.19	14.41	9.30	6.79	9.69	17.82	0.00
ทนแรงดึง	25	2.48	6.44	8.57	5.83	4.68	8.37	13.07
	30	4.83	2.99	3.20	0.94	5.71	9.04	8.94
	35	0.82	8.53	2.04	6.61	8.44	10.23	10.95
	40	8.44	5.35	4.11	3.12	2.91	4.92	4.04
ต้านทานการฉีก	25	8.11	4.59	17.54	5.68	2.80	5.50	24.00
	30	5.35	5.39	2.87	9.62	15.03	13.38	16.06
	35	4.35	5.26	3.44	3.74	19.00	13.44	23.38
	40	6.50	9.20	4.75	1.58	9.81	18.72	28.28
ความถ่วงจำเพาะ	25	0.55	0.18	0.18	0.16	0.05	0.40	0.21
	30	0.08	0.25	0.12	0.05	0.00	0.23	0.12
	35	0.14	0.29	0.20	0.26	0.18	0.29	0.28
	40	0.59	0.06	0.22	0.03	0.20	0.08	0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลแสดงราคา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 ราคาส่วนผสมตามสูตรความนิ่มแข็งต่างๆ ของฟิลเลอร์ OM-15

หน่วยเป็น บาท/ก.ก		Filler (OM-15) % ที่ PVC 100%						
		150	175	200	225	250	275	300
D	25	13.61	12.57	11.68	10.92	10.26	9.68	9.17
O	30	13.86	12.80	11.92	11.15	10.48	9.90	9.38
P	35	14.10	13.05	12.15	11.38	10.70	10.11	9.58
%	40	14.33	13.28	12.37	11.60	10.92	10.32	9.79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-2 ราคาส่วนผสมตามสูตรความนิ่มแข็งต่างๆ ของฟิลเลอร์ 2T

หน่วยเป็น บาท/ก.ก		Filler (OM-15) % ที่ PVC 100%						
		150	175	200	225	250	275	300
D	25	14.13	13.12	12.26	11.52	10.89	10.33	9.83
O	30	14.37	13.35	12.49	11.75	11.10	10.54	10.04
P	35	14.60	13.58	12.71	11.97	11.32	10.74	10.24
%	40	14.82	13.80	12.93	12.18	11.52	10.95	10.43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

สูตรการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สูตรที่ 1 Tensile Strength (kg / cm2) = F / A

F = แรงเฉลี่ยในแต่ละ 3 ชิ้นทดสอบ ที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด (kg)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางเฉลี่ย (cm2)

Elongation at Break (%) = [(L – Lo) / Lo] x 100

L = ระยะเฉลี่ยในแต่ละ 3 ชิ้นทดสอบ ที่ยืดตัวออกมากที่สุด ก่อนฉีกขาด (cm)

Lo = ระยะเริ่มต้น (cm)

สูตรที่ 2 Die – C Tear Strength (kg/cm) = F / T

F = แรงที่มากที่สุดเฉลี่ยในแต่ละสูตรวัตถุดิบที่ทำใช้ชิ้นทดสอบฉีกขาดออกจากกัน (kg)

T = ความหนาของชิ้นงานทดสอบ (cm)

สูตรที่ 3 Specific Gravity = D / Do

D = m / V

D = ความหนาแน่น(g/ccm)

m = มวลของชิ้นทดสอบ(g)

V = ปริมาณของชิ้นทดสอบ(ccm)

Specific Gravity = ค่าความถ่วงจำเพาะ

D = ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ(g/ccm)

Do = ค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ(g/ccm)

สูตรที่ 4 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์เบี่ยงเบนมาตรฐาน

เป็นการคำนวณหาค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ทำการทดลอง โดยจากผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองเราสามารถหาค่าเปอร์เซนต์เบี่ยงเบนมาตรฐานได้ 4 แบบแบบละ 28 ค่าตามแผ่นวัตถุดิบหรือสูตรวัตถุดิบของ FL Back ดังนี้คือ

1. เปอร์เซนต์เบี่ยงเบนของค่าความถ่วงจำเพาะ = 28 ค่า
1. เปอร์เซนต์เบี่ยงเบนของค่าความทนแรงดึง = 28 ค่า
1. เปอร์เซนต์เบี่ยงเบนของค่าความต้านทานการฉีกขาดชนิด C = 28 ค่า
1. เปอร์เซนต์เบี่ยงเบนของค่าความสามารถในการยืดตัว = 28 ค่า

จากสูตร $S_2 = \sqrt{(1/n)\,[\Sigma(X_i^2)] - X_m^2}$

S_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X_i = ค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละชิ้นทดสอบ และแต่ละการทดลอง

X_m = ค่าเฉลี่ยในแต่ละสูตรวัตถุดิบ และแต่ละการทดลอง

n = จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรวัตถุดิบ และแต่ละการทดลอง

การคำนวณเปอร์เซนต์เบี่ยงเบนของชิ้นงาน

$$\text{เปอร์เซนต์เบี่ยงเบน} = \frac{\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} * 100}{\text{ค่าเฉลี่ยชิ้นงาน}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1 แสดงการคำนวณราคาของสารผสม

สูตร	ความถ่วงจำเพาะ	PHR	ปริมาณ	ราคา/หน่วย	รวมราคา
พีวีซี	1.4	100	71.43	29	2900
ฟิลเลอร์ OM-15	2.7	100	37.04	1.5	150
ดีโอพี	0.98	40	40.82	36	1440
สารคงตัว	1.15	2.3	2	31	71.3
ผลรวม		242.3	151.28		4561.3

ความถ่วงจำเพาะรวม = 1.602 ราคา/น้ำหนัก = 18.83 ราคา/ปริมาณ = 30.15

สูตร	ความถ่วงจำเพาะ	PHR	ปริมาณ	ราคา/หน่วย	รวมราคา
พีวีซี	1.4	100	71.43	29	2900
ฟิลเลอร์ OM-15	2.7	140	51.83	4.25	595
ดีโอพี	0.98	40	40.82	36	1440
สารคงตัว	1.15	2.3	2	31	71.3
ผลรวม		282.3	166.1		5006.3

ความถ่วงจำเพาะรวม = 1.700 ราคา/น้ำหนัก = 17.73 ราคา/ปริมาณ = 30.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.
แสดงชิ้นตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-1 ชิ้นตัวอย่างของฟิลเลอร์ OM-15 ที่ปรับเพิ่มด้วย ฟิลเลอร์ และดีโอพี

ความนิ่มแข็ง	สภาพชิ้นตัวอย่าง
25/150	
25/175	
25/200	
25/225	
25/250	
25/275	
25/300	
30/150	
30/175	
30/200	
30/225	
30/250	
30/275	
30/300	

ความนิ่มแข็ง	สภาพชิ้นตัวอย่าง
35/150	
35/175	
35/200	
35/225	
35/250	
35/275	
35/300	
40/150	
40/175	
40/200	
40/225	
40/250	
40/275	
40/300	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-2 ชิ้นตัวอย่างของฟิลเลอร์ 2T ที่ปรับเพิ่มด้วย ฟิลเลอร์ และดีโอพี

ความนิ่มแข็ง	สภาพชิ้นตัวอย่าง
25/150	
25/175	
25/200	
25/225	
25/250	
25/275	
25/300	
30/150	
30/175	
30/200	
30/225	
30/250	
30/275	
30/300	

ความนิ่มแข็ง	สภาพชิ้นตัวอย่าง
35/150	
35/175	
35/200	
35/225	
35/250	
35/275	
35/300	
40/150	
40/175	
40/200	
40/225	
40/250	
40/275	
40/300	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประสงค์ จิวจินดา เกิดเมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2511 ที่ อำเภอพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ในปีการศึกษา 2534 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต กับ บริษัทฮันฮวา เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด เมื่อ พ.ศ. 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540 ปัจจุบันเป็นพนักงานในตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายผลิตที่2 บริษัทฮันฮวา เคมิคัล(ไทยแลนด์)จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบางพลี กิ่งอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย