

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วย
รังสีแกมมา

นายวีรพล จินใจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF ACRYLIC SHEETS PREPARED BY
GAMMA RADIATION POLYMERIZATION

Mr. Weerapol Jinjo

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่ผลิตโดยใช้
กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

โดย

นายวีรพล จินใจ

สาขาวิชา

นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

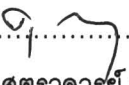
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนิริฎวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทร์ขาว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบลวัฒน์)

วีรพล จินใจ : การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะคริลิกที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF ACRYLIC SHEETS PREPARED BY GAMMA RADIATION POLYMERIZATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, 62 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นอะคริลิกที่ผลิตโดยใช้รังสีแกมมา ทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เพื่อลดความเค้นตกค้างในแผ่นอะคริลิก และลดโมโนเมอร์ที่หลงเหลืออยู่ จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสมบัติความแข็ง พบว่า การใช้รังสีแกมมาในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันในการผลิตแผ่นอะคริลิก ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง โดยมีค่าความเค้นสูงสุดเพิ่มขึ้น 18.48 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 4.97 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 6 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับแผ่น อะคริลิกทั่วไป นอกจากนี้คุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น 12.07 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 11.23 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 6 มิลลิเมตร ส่วนค่าความแข็งมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิกทั่วไป สำหรับปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นอะคริลิกคือ 20 กิโลเกรย์

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อนิติ..... วิมล..... จินใจ.....
 สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... ๙.....
 ปีการศึกษา...2553.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง อาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาแนะนำ ให้ คำปรึกษาและตรวจสอบรายงานการวิจัยจนได้เล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุน ทุนอุดหนุนงานวิจัย ในการทำวิจัยมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท แพนเอเชียอุตสาหกรรม จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย และให้ใช้สถานที่ ตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์การขึ้นรูป สารเคมีและข้อมูล ความรู้ที่จำเป็นต่าง ๆ ในการขึ้นรูปแผ่นอะคริลิก

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเชิงกล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ แห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล จนสามารถทดสอบแผ่นอะคริลิกได้ตาม วัตถุประสงค์

และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเจ้าหน้าที่ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ สนับสนุนงานวิจัยนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตากรุณา เป็นกำลังใจให้การศึกษาของผู้เขียนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 คำสำคัญที่ใช้ในหัวข้อการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	3
2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัตถุ.....	3
2.1.1.1 การดูดกลืนรังสีแกมมา.....	3
2.1.2 กระบวนการดูดกลืนรังสีแกมมา.....	5
2.2 เคมีรังสี.....	5
2.2.1 ผลของรังสีต่อโมเลกุล.....	6
2.2.1.1 Excited molecules.....	7
2.2.1.2 Ionization.....	7
2.2.1.3 Ion recombination.....	7
2.3 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเมทาครีเลต (MMA).....	8
2.4 ผลของรังสีที่มีต่อโมโนเมอร์.....	9

สารบัญ(ต่อ)	
บทที่	หน้า
2.4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติโพลีเมอร์ (Polymer modification).....	10
2.5 การหล่อแผ่นอะครีลิก.....	10
2.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์.....	13
2.6.1 ความทนต่อแรงกระแทก.....	13
2.6.2 ความทนต่อแรงดึง.....	15
2.6.3 ความแข็ง.....	19
2.7 เทคนิคการทดสอบความแข็ง.....	20
2.7.1 การทดสอบแบบบริคเวล.....	20
2.7.2 การทดสอบแบบบริเนล	21
2.7.3 การทดสอบแบบวิกเกอร์	21
2.7.4 การทดสอบแบบ Knoop.....	22
2.7.5 การทดสอบแบบ Shore Scleroscope	22
2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	22
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นอะครีลิก.....	24
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราปริมาณรังสี.....	26
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นอะครีลิก.....	27
3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล.....	27
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	28
3.2.1 หาอัตราปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสีแกมมา	28
3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วย วิธีการฉายรังสีแกมมา.....	30
3.2.3 การเตรียมแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล.....	30
3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	31
3.3.3.1 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	31
3.3.3.2 การทดสอบสมบัติด้านความแข็ง.....	32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3.3.3 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	33
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะครีลิกเพื่อฉายรังสีแกมมา	
4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิก.....	37
4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	38
4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	38
4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง.....	41
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิกขนาด 3	
มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร.....	43
4.3.1 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	45
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	45
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติความแข็ง.....	46
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 อภิปรายผลการวิจัยอภิปรายผลการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ	
เตรียมแผ่นอะครีลิกเพื่อฉายรังสีแกมมา.....	47
5.2 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิก.....	47
5.2.1 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	47
5.2.2 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	49
5.2.3 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติความแข็ง.....	50
5.3 อภิปรายผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิก	
ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร.....	51
5.4 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	62

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ระยะเวลาการฉายรังสีสำหรับแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร.....	30
3.2	ระยะเวลาการฉายรังสีสำหรับแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร.....	30
4.1	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะคริลิค ขนาด 3มิลลิเมตร เพื่อฉายรังสีแกมมา.....	37
4.2	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะคริลิค ขนาด 6มิลลิเมตร เพื่อฉายรังสีแกมมา.....	37
4.3	ค่าผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร.....	38
4.4	ค่าผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร.....	39
4.5	ค่าผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นแผ่นอะคริลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร.....	41
4.6	ค่าผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นแผ่นอะคริลิค ขนาด 6 มิลลิเมตร.....	42
4.7	ค่าผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร.....	43
4.8	ค่าผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	44
ก. 1	ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร.....	56
ก. 2	ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร.....	57
ก. 3	ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร.....	58
ก. 4	ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร.....	58
ก. 5	ผลการทดลองสมบัติความแข็งของแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร.....	59
ก. 6	ผลการทดลองสมบัติความแข็งของแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร.....	59
ก. 7	ปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดจากแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร.....	60
ก. 8	ปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดจากแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	60
ก. 9	คุณสมบัติทั่วไปของแผ่นอะคริลิค ขนาด 3 มิลลิเมตรจากบริษัท แพนเอเชีย- อุตสาหกรรม จำกัด.....	61

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเมทิลเมทาครีเลต (MMA).....	9
2.2	การเกิด Polymerization ของ MMA.....	9
2.3	โครงสร้างอะตอมหลักของโพลีเมอร์.....	10
2.4	เครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous casting process).....	12
2.5	การหล่อพลาสติกแบบเซลล์ (Cell Casting Process).....	13
2.6	Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียว และวัสดุเปราะ.....	14
2.7	การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง.....	14
2.8	ชิ้นงานทดสอบการทนต่อแรงกระแทก.....	15
2.9	ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด	16
2.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด.....	17
2.11	กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน.....	17
2.12	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด แบบมีจุดคราก (Yield Point).....	17
2.13	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก.....	18
2.14	ลักษณะของหัวกดแบบ Rockwell.....	20
2.15	ลักษณะของหัวกดแบบ Vickers.....	21
2.16	ลักษณะของหัวกดแบบ Knoop.....	22
3.1	กระจกแม่พิมพ์.....	24
3.2	ประกันพีวีซี.....	24
3.3	ตัวยึดจับ.....	25
3.4	เครื่องปั่น.....	25
3.5	เครื่องทำสุญญากาศ.....	26
3.6	อ่างน้ำร้อน.....	26
3.7	เครื่องฉายรังสีแกมมา โคบอลต์-60.....	27
3.8	แผนผังการวางแม่พิมพ์ขณะฉายรังสี.....	27
3.9	Red Perspex Dosimeter.....	27
3.10	การวางตำแหน่ง Dosimeter.....	29
3.11	แผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร.....	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.12	แผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	32
3.13	การวางชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	33
3.14	ชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติด้านความแข็ง.....	33
3.15	การวางชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติด้านความแข็ง.....	34
3.16	ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	35
3.17	ชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	35
3.18	การวางชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง.....	35
3.19	ขั้นตอนการเตรียมแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	36
4.1	แผนภูมิแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร.....	38
4.2	แผนภูมิแสดงค่าความเครียดของแผ่นอะครีลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร.....	39
4.3	แผนภูมิแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	40
4.4	แผนภูมิแสดงค่าความเครียดของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	40
4.5	แผนภูมิแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร...	41
4.6	แผนภูมิแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร...	42
4.7	แผนภูมิแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร.....	43
4.8	แผนภูมิแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร.....	44
4.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ของแผ่นอะครีลิค.....	45
4.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด ของแผ่นอะครีลิค.....	45
4.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค.....	46
4.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแข็งของแผ่นอะครีลิค.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้อะครีลิก กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากระจกหลายประการเช่นมีน้ำหนักเบา ทนแรงกระแทกได้มากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผลิตเป็น สิ่งของต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นวัสดุหุ้มในการผลิตเครื่องใช้สำหรับงานตกแต่ง ใช้ทำ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมรถยนต์ เครื่องมือการแพทย์ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของ แผ่นอะครีลิก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทานกับแผ่นอะครีลิก จึงมีความสำคัญ เพราะจะทำให้ มูลค่าของแผ่นอะครีลิกนั้นสูงขึ้น

ในขั้นตอนการผลิตแผ่นอะครีลิกกระบวนการที่สำคัญคือการปล่อยให้โมโนเมอร์ผ่าน กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ขึ้น โดยต้องใช้เวลา อุณหภูมิ และอัตราส่วนสาร ตั้งต้นต่างๆที่เหมาะสมจึงจะได้อะครีลิกที่มีคุณภาพออกมา ในการผลิตโดยวิธีปกติที่ต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง จะมี Residual stress หลงเหลืออยู่ในแผ่นอะครีลิกเสมอ ทำให้ คุณสมบัติเชิงกล เช่น Impact strength และ tensile strength ไม่ดีเท่าหากไม่มี Residual stress หลงเหลืออยู่เลย หากใช้รังสีแกมมาฉายระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะสามารถทำให้เกิด การพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นพอลิเมอร์ได้เช่นกัน และไม่มี Residual stress หลงเหลืออยู่ ทำให้ได้ แผ่นอะครีลิกที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ ที่จะศึกษาการปรับปรุง คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ด้วยรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการเกิด polymerization ในแต่ละความหนาของ แผ่นอะครีลิกโดยศึกษาในช่วงปริมาณรังสี 10 – 35 kGy
2. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เช่น Impact strength, tensile strength, hardness เปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ

1.4 คำสำคัญที่ใช้ในหัวข้อการวิจัย

อะครีลิก รังสีแกมมา การปรับปรุงแผ่นอะครีลิก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลในการทำแผ่นอะครีลิก และศึกษาค้นคว้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ดำเนินการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในงานวิจัย
3. ออกแบบระบบขึ้นรูปแผ่นอะครีลิก
4. ทดลองผลิตแผ่นอะครีลิก โดยใช้รังสีแกมมาในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน โดยจะใช้ปริมาณรังสีแกมมาที่แตกต่างกัน เพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม ในการที่จะให้ได้แผ่นอะครีลิกที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ
5. ทำการทดสอบทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เช่น Impact strength, tensile strength, hardness เปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ
6. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ผลการดำเนินการที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

รังสีแกมมาจัดเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยทางอ้อม (Indirectly ionizing radiation) ในโรงงานฉายรังสีแกมมาเชิงพาณิชย์จะใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่นๆ ที่แผ่รังสีชนิดเดียวกันและมีครึ่งชีวิตที่พอเหมาะคือ 5.25 ปี โคบอลต์-60 มีความคงทน ภายใต้อุณหภูมิห้องที่มีปริมาณรังสีสูงและสามารถใช้งานได้แม้กระทั่งในอุณหภูมิถึง 1000 องศาเซลเซียส และโคบอลต์-60 ให้รังสีแกมมา 2 โฟตอนต่อการสลายตัวหนึ่งนิวเคลียสโดยพลังงาน โฟตอนทั้งสองเท่ากับ 1.17 MeV และ 1.33 MeV ตามลำดับ หรือคิดเฉลี่ยให้พลังงานโฟตอน 1.25 MeV ต่อการสลายตัวหนึ่งครั้ง ในกระบวนการฉายรังสีทางอุตสาหกรรมจะใช้โคบอลต์-60 ที่ให้ความแรงแรังสีระดับหมื่นหรือแสนคูรี ลักษณะของต้นกำเนิดอาจเป็นแท่งทรงกระบอกเป็นแผ่นเป็นเม็ดบรรจุในท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ตามแต่ความสะดวกและความประสงค์ของผู้ใช้งาน กล่าวโดยสรุปความเหมาะสมของการใช้โคบอลต์-60 ในอุตสาหกรรมได้แก่การให้รังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ฉายรังสีได้อย่างต่อเนื่อง เสื่อมสภาพได้ช้าและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนเสริมต้นกำเนิดบ่อยครั้ง

2.1.1 อันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัตถุ

2.1.1.1 การดูดกลืนรังสีแกมมา

การดูดกลืนรังสีแกมมามีความแตกต่างจากการดูดกลืนของรังสีแอลฟา หรือรังสีเบตา ในขณะที่การดูดกลืนของรังสีแอลฟา และรังสีเบตา กำหนดได้โดยค่าพิสัยในเนื้อวัตถุและจะถูกดูดกลืนหมดสิ้น แต่รังสีแกมมานั้น การดูดกลืนรังสีของตัวดูดกลืนทำได้เพียงแต่การลดความเข้มของรังสีลงมาเท่านั้น เมื่อความหนาของวัตถุมากขึ้น วัตถุไม่สามารถที่จะดูดกลืนรังสีแกมมาได้หมดสิ้น ดังสมการ

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

I_0 = ความเข้มของรังสีแกมมาก่อนผ่านเข้าไปในวัตถุ

I = ความเข้มของรังสีแกมมาหลังจากผ่านวัตถุ (ความหนา t) ออกมา

μ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

t = ความหนาของวัตถุที่รังสีแกมมาผ่าน

สมการ (1) เทอมของ e ยกกำลังจะไม่มีหน่วย ดังนั้นค่า μ จะมีหน่วยเป็นส่วนกลับของหน่วย t นั่นคือ ถ้าความหนาของตัวดูดกลืนวัดเป็นเซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงเส้น (linear absorption coefficient, μ_l) และจะมีหน่วยเป็น ต่อเซนติเมตร ถ้า t มีหน่วยเป็น g/cm^2 สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (mass absorption coefficient, μ_m) จะมีหน่วยเป็น cm^2/g เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง μ_l กับ μ_m ได้ดังสมการ

$$\mu_l = \mu_m \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \times \rho \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \quad (2)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวดูดกลืน

นิยามของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคือค่าเศษส่วนของรังสีแกมมา (ที่ทะลุทะลวงออกมา) ต่อหนึ่งหน่วยความหนาของตัวดูดกลืน สามารถเขียนในรูปของคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta I/I}{t} = -\mu \quad (3)$$

เมื่อ $\Delta I/I$ คืออัตราส่วนของรังสีแกมมาที่ทะลุทะลวงออกมาจากตัวดูดกลืน และ t คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทั้งหมด (total absorption coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การทะลุทะลวง (attenuation coefficient)

ในบางครั้งเพื่อความสะดวกอาจจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอม (Atomic absorption coefficient, μ_a) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมเป็นค่าเศษส่วนของลำรังสีแกมมาที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมเดี่ยว ๆ ในบางครั้งอาจจะพูดได้ว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนคือความน่าจะเป็นที่อะตอมของตัวดูดกลืนจะทำอันตรกิริยากับโฟตอน 1 ตัว ในลำรังสีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมสามารถนิยามได้โดยสมการ

$$\mu_a = \frac{\mu_l (\text{cm}^{-1})}{N \left(\frac{\text{atom}}{\text{cm}^3} \right)} \quad (4)$$

N = จำนวนอะตอมของตัวดูดกลืน / cm^3

เป็นที่น่าสังเกตว่า หน่วยของ μ_a คือ cm^2 ซึ่งเป็นหน่วยของพื้นที่ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมจะถูกอ้างอิง ค่าภาคตัดขวาง (cross section) ของตัวดูดกลืนบ่อยมาก หน่วยของ Cross section มีชื่อเรียกว่า บาร์น (barn)

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมจึงเรียกว่า Microscopic cross section โดยใช้สัญลักษณ์ σ ในขณะที่สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น เรียกว่า macroscopic cross section มีสัญลักษณ์ สมการ (4) สามารถเขียนได้เป็น

$$\Sigma(cm^{-1}) = \sigma \left(\frac{cm^2}{atom} \right) \times N \left(\frac{atom}{cm^3} \right) \quad (5)$$

โดยการใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ (4) และ (1) สามารถเขียนได้ใหม่ว่า

$$I/I_0 = e^{-(\mu_a N_t)} \quad (6)$$

$$I/I_0 = e^{-(\sigma N_t)} \quad (7)$$

2.1.2 กระบวนการดูดกลืนรังสีแกมมา

กระบวนการดูดกลืนรังสีแกมมามี 3 กระบวนการคือ

1. การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟค (Photoelectric effect)
2. การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)
3. การเกิดแพร์โพรดักชัน (Pair production)

กระบวนการที่ 1 และ 2 จะเกิดกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของตัวดูดกลืนและจะเกิดได้ดีเมื่อพลังงานของโฟตอนไม่เกิน 1.02 MeV ถ้าพลังงานของโฟตอนสูงกว่านี้ กระบวนการที่ 3 จึงจะเกิดขึ้นได้ ส่วนกระบวนการที่เกิดจากการที่โฟตอนมีพลังงานสูงมากๆ ($E \gg mc^2$) โฟตอนนี้จะถูกจับโดยนิวเคลียสของตัวดูดกลืนแล้วจะเกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ให้อนุภาคนิวตรอน หรือโปรตอนออกมา

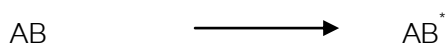
2.2 เคมีรังสี

เคมีรังสีเป็นการศึกษาเกี่ยวกับรังสีพลังงานสูงที่มีต่อสารเคมี ซึ่งรังสีต่างๆ เหล่านี้อาจเรียกว่า Ionizing radiation และรวมไปถึงรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งได้แก่ รังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา

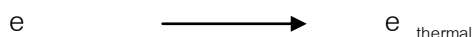
เมื่ออิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าชนโมเลกุล AB มันจะไปขับให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโมเลกุล ทำให้เกิดไอออนประจุบวกบนโมเลกุล AB



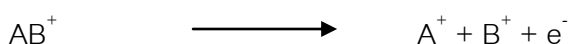
หรือเปลี่ยนตัวเป็นโมเลกุลเร้า (Excited molecule)



อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นใหม่จะเกิดปฏิกิริยาซ้ำซากเช่นเดิม และพลังงานของมันจะลดต่ำลงกว่าระดับ Ionization หรือ excitation ขององค์ประกอบส่วนใหญ่ของสสาร ความเร็วที่ลดลงจนในที่สุดเป็น thermal energies



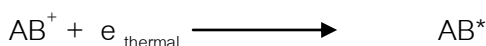
โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา อนุภาคเบตา และลำอิเล็กตรอน จะมีผลเหมือนกัน ถึงแม้ว่าอำนาจการทะลุทะลวงจะต่างกันก็ตาม ไอออนบวก AB^+ มักจะไม่เสถียร (unstable) และ แตกตัว (dissociate) ดังนี้



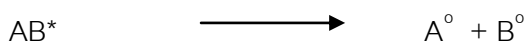
ปฏิกิริยาดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยา แต่ว่าแต่ละขั้นตอนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่อเนื่องกัน เราจึงอาจรวบขั้นตอนต่างๆ เหล่านั้นเป็นปฏิกิริยาเดียว ดังนี้



อิเล็กตรอนช้า (Thermal electron) จะจับตัวรวมกับไอออนบวกและรวมกันเกิดเป็นโมเลกุลเร้า (excited molecule)



การแตกตัว (Dissociation) ของโมเลกุลเร้า (excited molecule) ไปเป็นอนุภาคมูลฐานเป็นส่วนสำคัญ



นอกจากนี้ อิเล็กตรอนอาจถูกจับ (Capture) โดยโมเลกุลทำให้เกิดเป็นไอออนประจุลบ



2.2.1 ผลของรังสีต่อโมเลกุล

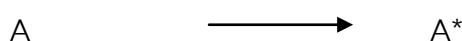
เมื่อรังสีถูกดูดกลืนพลังงานโดยโมเลกุลของสาร ผลสองประการจะเกิดขึ้นคือ เกิดเป็น Excited molecules และ อิออน โดยการเกิดลักษณะดังกล่าวนี้จะขึ้นกับการดูดกลืนพลังงานของวัตถุและปริมาณการเกิดจะขึ้นโดยตรงกับค่าปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแสงหรือ visible light ก็สามารถก่อให้เกิดการกระตุ้นของโมเลกุลได้แต่เทียบผลที่เกิดจากรังสีจะแตกต่างกันมาก โฟตอนจาก UV แต่ละตัวจะสามารถทำให้เกิดการกระตุ้นสมบูรณเพียงตัวเดียว

ในขณะที่ผลจากรังสีไอโอไนซ์สามารถทำให้เกิดโมเลกุลในภาวะเร้า (excited molecule) เป็นทางยาว (track) ซึ่งเกิดจากทั้ง excited และ Ionized molecules

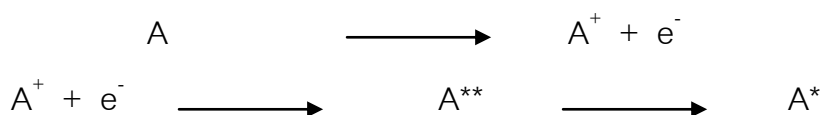
2.2.1.1 Excited molecules

โดยปกติคุณสมบัติของอะตอมในภาวะเร้าหรือโมเลกุลที่ศึกษาโดยวิธีทาง Spectroscopic ในสาขา Photochemistry นั้น จะพบว่าการเกิดสภาวะดังกล่าวเกิดจากการดูดพลังงานระดับ UV หรือ visible เข้าไป ในทำนองเดียวกันนี้ถ้าเป็นรังสีไอโอไนซ์ก็จะเกิดสภาวะที่ถูกกระตุ้นสูงขึ้นอีกระดับ ดังสมการ

ถ้ารังสีไอโอไนซ์ จะเกิดในสองลักษณะคือโดยตรง



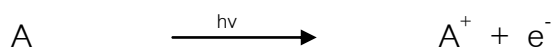
และโดยทางอ้อมโดยการสร้างสภาวะความเป็นกลางให้ไอออน



A^{**} เป็นสภาวะการกระตุ้นที่สูงมากจะสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็วโดยการชนกับโมเลกุลอื่นๆ รอบข้าง กลายเป็นโมเลกุลในสภาวะที่ถูกกระตุ้นธรรมดา A^*

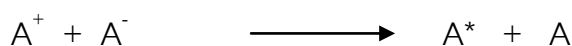
2.2.1.2 Ionization

อะตอมหรือโมเลกุล เมื่อดูดพลังงานจากรังสีไอโอไนซ์ จะเกิด Ionization ขึ้นโดยมีสมการทั่วไปเป็น

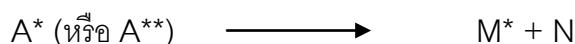


2.2.1.3 Ion recombination

จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันใหม่ของอะตอมกับพวกที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้าม



ในขณะที่เกิดการรวมกันใหม่ ให้โมเลกุลที่มีสภาวะกระตุ้นอยู่ถ้ามีพลังงานในระดับที่สูงมากก็จะเกิดการไอโอไนซ์ตัวเองได้อีก (Spontaneous re-ionization) การแตกตัวของโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นเกิดเป็นผลผลิตใหม่ขึ้นหรืออาจเป็นพวกอนุภาคอิสระ

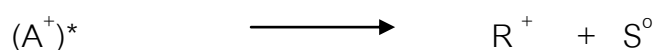
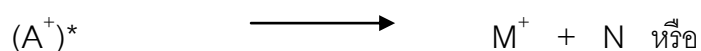




ถ้าโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ ในรูปของ Complex และเป็นกลางขึ้น ปฏิกริยาทางเคมีโมเลกุลคู่ นั้น มีดังนี้

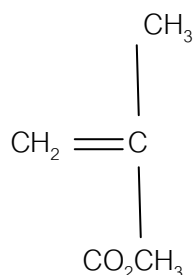


Dissociation ในกลุ่มโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นโดยเฉพาะไอออน ที่มีอะตอมหลายตัว (Excited polyatomic ions) จะมีการแตกตัวออก และมีการจัดเรียงตัวใหม่ การแตกตัวดังกล่าวสามารถแสดงด้วยสมการ



2.3 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)

เมทิลเมทาครีเลต (MMA) เป็นโมโนเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างตามรูปที่ 1 ซึ่งพอลิเมอร์ของมันมีอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ที่ 105 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส คุณสมบัติพิเศษคือไม่มีสี และใสเหมือนแก้วซึ่งทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และยังสามารถทนทานต่อน้ำและสารละลายอินทรีย์ทั่วไปได้อย่างดีรวมทั้งกรดอ่อน เบสอ่อนและยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิดได้แก่ อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน โทลูอีน และสารจำพวกเอสเตอร์ เช่นเอทิลอะซิเตต สารอินทรีย์บางชนิดเช่น แอลกอฮอล์ทั่วไป และเอมีน สมบัติเชิงกลและความคงทนต่อความร้อนดีมากเช่นกัน นอกจากนี้เนื่องจากเมทิลเมทาครีเลต (MMA) ประกอบด้วยหมู่ $-C-OCH_3-$ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีสภาพขั้วและจากสมบัติความโปร่งใสการนำไปย้อมสีจึงทำได้ง่าย



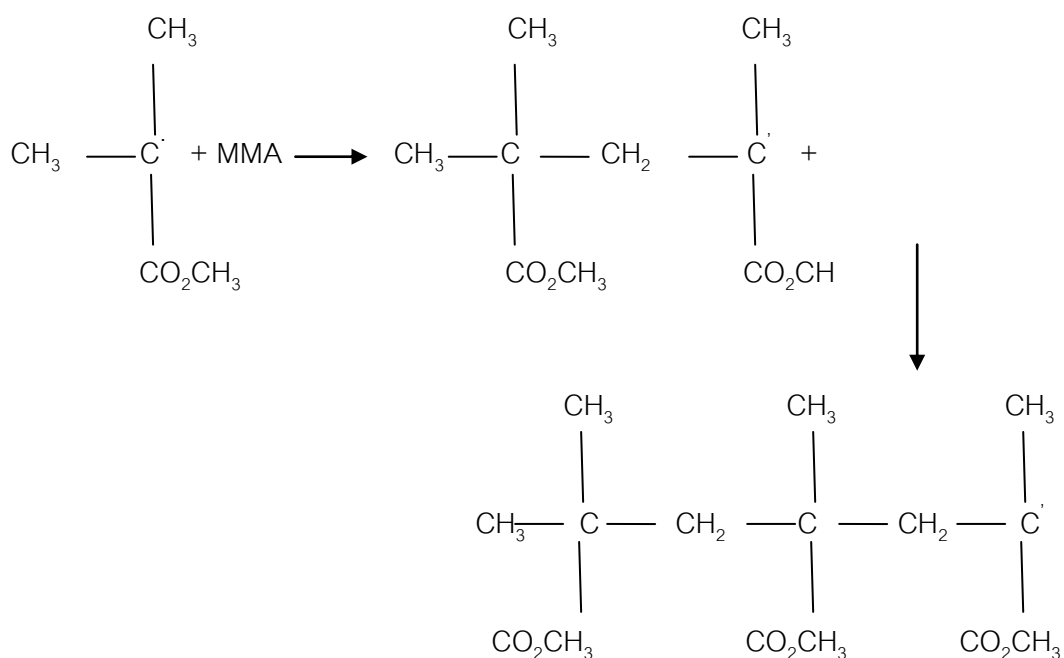
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)

2.4 ผลของรังสีที่มีต่อโมโนเมอร์

เมื่อรังสีกระทำต่อโมโนเมอร์จะเกิดพวกกลุ่มกัมมันต์ (active species) ต่างๆ ขึ้นหลายชนิด เช่น เกิดเรดิเคิล ไอออนลบ ไอออนบวก

ในการเกิดปฏิกิริยา Polymerization จะเริ่มจากกลุ่มกัมมันต์ (active species) เช่น เกิดอนุมูลอิสระ ไอออนลบ ไอออนบวก เป็นต้น ซึ่งกลไกต่างๆ ที่จะตามมา จะขึ้นอยู่กับสถานะเงื่อนไขต่างๆ เช่น สถานะของระบบ ธรรมชาติของโมโนเมอร์ อุณหภูมิของการ polymerization และผลจากตัวที่ผสมเข้าไป

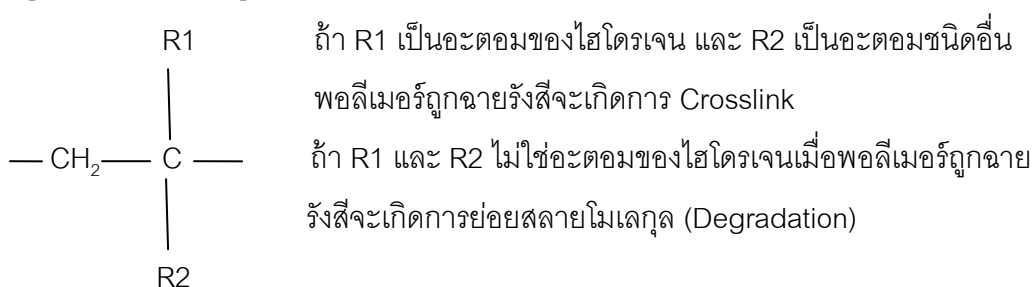
สำหรับเมทิลเมทาคริเลต (MMA) เมื่อถูกฉายรังสีแกมมาจะเกิดพอลิเมอร์ โดยโมโนเมอร์และอนุมูลอิสระจะต่อกันเป็นลูกโซ่ให้ยาวขึ้นแบบหัวต่อหาง (head-to-tail growth) อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะไปสร้างแขนยึด C-C bond ที่ตำแหน่งแขนยึดคู่ของโมโนเมอร์ตามขั้นตอนกลไกปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.2 การเกิด Polymerization ของ MMA

2.4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ (Polymer modification)

เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสี ปฏิกริยาที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นคือการเชื่อมโยงแบบร่างแหสามมิติของโมเลกุล (crosslinking) ส่วนปฏิกริยาอื่นที่เกิดขึ้นได้แก่ การย่อยสลายโมเลกุล (degradation) ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ ประโยชน์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ เกิดขึ้นภายหลังการฉายรังสีให้กับพอลิเมอร์ได้แก่ การเกิดก๊าซ เช่น H_2 , CH_4 และ CO การเปลี่ยนแปลงพันธะเคมี, การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้เป็นวง (Cyclization) และการรวมตัวกับออกซิเจน (oxidation) ในกรณีที่พอลิเมอร์มีโครงสร้างที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นสายโซ่หลักและมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างอะตอมหลักของพอลิเมอร์

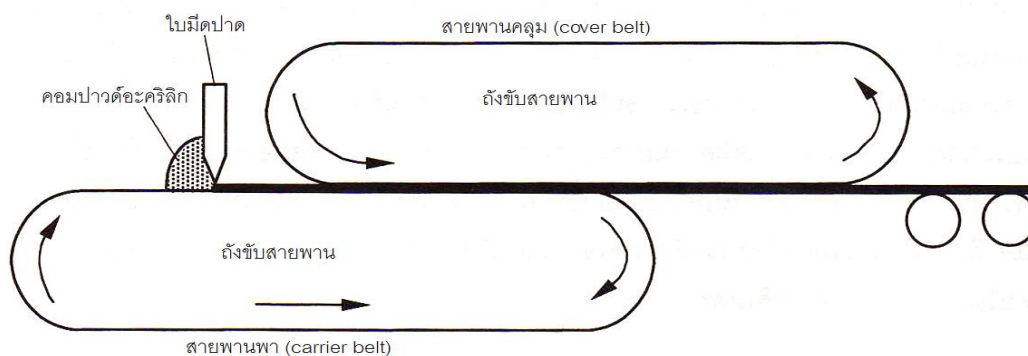
2.5 การหล่อแผ่นอะครีลิก

แผ่นอะครีลิกมักนิยมขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นอะครีลิกที่เตรียมได้จากกระบวนการหล่อจะมีคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติด้านความโปร่งแสงที่ดี อีกทั้งยังสามารถนำไปแปรรูปต่อด้วยเทคนิคเทอร์โมฟอร์มได้ขึ้นงานพลาสติกที่มีคุณภาพดี โดยทั่วไปกระบวนการหล่อแผ่นอะครีลิกสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Process) และกระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Casting Process) ที่นิยมเรียกว่ากระบวนการหล่อแบบเซลล์ (cell casting process) กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องนั้นจะทำระหว่างสายพานลำเลียงสองเส้นที่กำลังเคลื่อนที่ ส่วนกระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่องจะทำในบ้ำหล่อหรือในแม่พิมพ์ที่อาจจะมีหลายรูปแบบ และสำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อให้ได้แผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีความโปร่งแสงคล้ายแก้ว

2.5.1 กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous casting process)

วัตถุประสงค์ของการหล่อ คือ มอนอเมอร์ (เมทิลเมทาคริเลต) และอาจผสมด้วยโค-มอนอเมอร์บางชนิด เพื่อปรับปรุงสมบัติของแผ่นอะคริลิกที่ได้ กล่าวคือมีการเติมมอนอเมอร์อะคริลิกชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นอะคริลิกให้ทนความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้อาจจะเติมไดเมทิลอะคริเลต เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงบางส่วนในแผ่นพลาสติก ซึ่งส่งผลให้แปรรูปโดยเทคนิคเทอร์โมฟอร์มแล้วได้ชิ้นงานที่มีความสม่ำเสมอขึ้นและทนต่อสารเคมีและความร้อนมากขึ้น หลังจากผสมมอนอเมอร์และโคมอนอเมอร์แล้วต้องทำให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้นถึงจะทำการหล่อแบบต่อเนื่องได้ มีวิธีการเพิ่มความหนืด 2 วิธี คือการผสมพอลิเมอร์ (PMMA) โดยละลายในสารละลายผสม โดยเติม PMMA ประมาณ 40% โดยน้ำหนัก อีกวิธีของการเพิ่มความหนืดคือการให้มอนอเมอร์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบางส่วน โดยใช้สารเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) โดยปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจนกว่าจะได้ระดับความหนืดที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการผสมสารเติมแต่ง (additives) ชนิดต่าง ๆ ลงไป เช่น สี สารดูดกลิ่นแสงอัลตราไวโอเล็ต และสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เป็นต้น สารเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 77 ถึง 88 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องเก็บของผสมไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 10 ถึง 16 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาก่อนเริ่มกระบวนการหล่อ หลังจากนั้นทำการไล่อากาศที่แฝงตัวอยู่ในสารละลายหนืดออก เนื่องจากการมีฟองอากาศ จะทำให้เกิดจุดบกพร่องบนแผ่นอะคริลิกได้

หลังจากนั้นส่งของผสมไปยังเครื่องหล่อ เติมสารผสมเข้าระหว่างสายพานหล่อซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมผิวมันสองชุด สายพานชุดล่าง เรียกว่า "สายพานพา (carrier - belt)" ซึ่งมีหน้าที่ในการนำวัสดุเคลือบเข้าสู่ช่องว่างที่เกิดขึ้นจากสายพานชุดนี้กับสายพานคลุม (cover belt) ซึ่งอยู่ด้านบนซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของสายพานที่ 77 ถึง 88 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากปล่อยให้มอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ ประมาณ 95% แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 116 ถึง 127 องศาเซลเซียส เพื่อให้มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ถึง 99% กล่าวคือให้เหลือมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา 1% เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ หากให้พอลิเมอร์เกิดปฏิกิริยา 100% จะทำให้ได้แผ่นอะคริลิกที่เปราะมาก หลังจากทำการหล่อเย็นแล้ว จึงตัดขนาดแผ่นพลาสติกตามต้องการ



ภาพที่ 2.4 เครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous casting process)

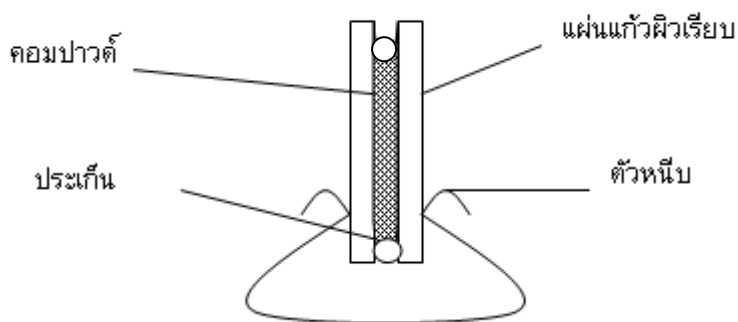
2.5.2 กระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Continuous casting process)

การหล่อแบบไม่ต่อเนื่องเริ่มใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 แต่การหล่อแบบเซลล์มีการใช้งานมาก่อนหน้านั้น กล่าวคือ ประมาณปี ค.ศ. 1930 การหล่อโดยเทคนิคนี้ทำในแก้วที่เป็นผิวเรียบ หน้ากว้างประกบกันสองชั้น ซึ่งทำให้มีเนื้อที่ของการหล่อจำกัด ซึ่งแตกต่างกับกรณีการหล่อแบบต่อเนื่องซึ่งจำกัดเฉพาะความกว้างเท่านั้น (ประมาณ 2.75 เมตร) แต่มีความยาวไม่จำกัด ความหนาของการหล่อโดยเทคนิคนี้ จะหนากว่าการหล่อด้วยเทคนิคการหล่อแบบต่อเนื่อง กล่าวคือมีความหนาของแผ่นอะคริลิกอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 100 มิลลิเมตร ในขณะที่การหล่อแบบต่อเนื่องสามารถผลิตแผ่นพลาสติกที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 10 มิลลิเมตรเท่านั้น

การหล่อพลาสติกโดยเทคนิคแบบเซลล์ เบ้าที่ใช้ในเทคนิคนี้คือแผ่นแก้วผิวเรียบและสะอาดประกบกันด้วยตัวหนีบแบบสปริง เพื่อให้เกิดการบีบตัวของแผ่นแก้ว เพื่อลดขนาดของพลาสติกเนื่องจากการพอลิเมอไรเซชัน และการหล่อเย็นหลังจากการผสมสารเติมแต่ง (สี สารเร่งปฏิกิริยา และสารอื่น ๆ) ลงในมอนอเมอร์ หรือพรีพอลิเมอร์แล้วเติมสารประกอบลงในเซลล์ แล้วนำไปอบ ใช้เวลาในการอบนาน 12 ถึง 16 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นการอบ 45 องศาเซลเซียส จนถึงสิ้นสุดการอบที่ 95 องศาเซลเซียส การผลิตแผ่นอะคริลิกหนากว่า 20 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการอบนานกว่าปกติ

การผลิตแผ่นอะคริลิกด้วยเทคนิคนี้ สามารถผลิตได้ในหลายลักษณะทั้งผลิตภัณฑ์ที่โปร่งแสงและทึบแสง สามารถผลิตได้หลากหลายสี และมีผิวหน้าหลายรูปแบบทั้งมันและไม่มัน การผลิตแผ่นอะคริลิกที่มีความหนาน้อยกว่า 0.6 มิลลิเมตรด้วยเทคนิคนี้ มีปริมาณการผลิต ลดลงมาก

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา เนื่องจากมักจะใช้เทคนิคการอัดรีดในการผลิตแทน แต่การผลิตโดยการอัดรีดมีข้อจำกัดในเรื่องสี เนื่องจากการเปลี่ยนสีในกระบวนการอัดรีดทำได้ยาก นอกจากนี้ ในการอัดรีดไม่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงเช่นเดียวกับการหล่อ ทำให้คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกด้อยกว่าการผลิตแผ่นพลาสติกจากการหล่อซึ่งสามารถแปรรูปโดยเทคนิคเทอร์โมฟอร์มได้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติดีกว่า นอกจากนี้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนามากกว่า 0.6 มิลลิเมตร มีความสะดวกในการผลิตด้วยเทคนิคการหล่อมากกว่าการอัดรีด

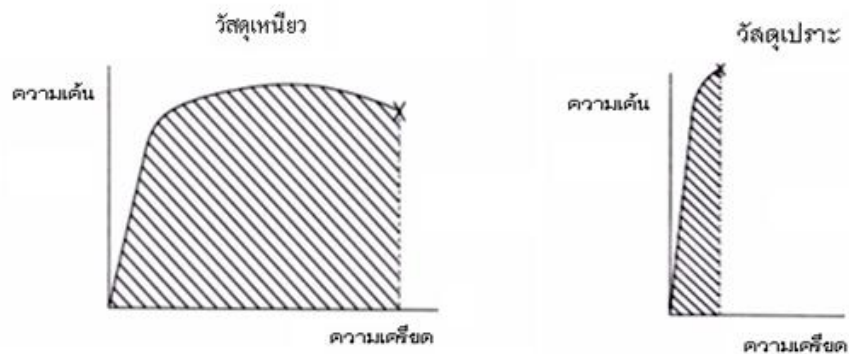


ภาพที่ 2.5 การหล่อพลาสติกแบบเซลล์ (Cell Casting Process)

2.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

2.6.1) ความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

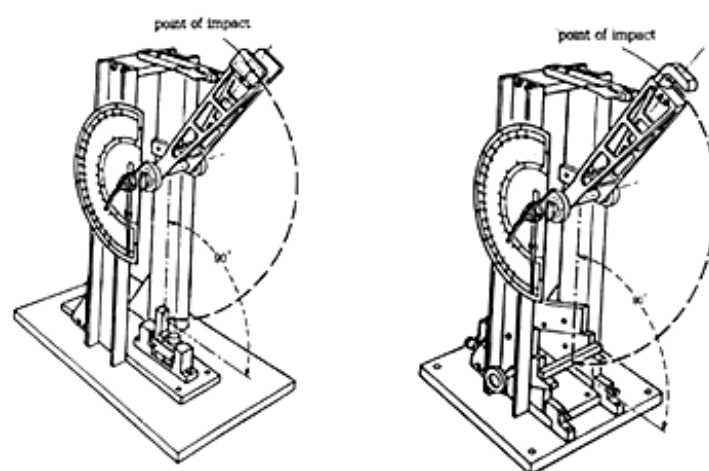
ความทนต่อแรงกระแทก (เพื่อวัดความเหนียว) เป็นสมบัติเชิงกลที่เฉพาะของพอลิเมอร์ โดยที่ความเหนียว (Toughness) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก ความเหนียวมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ เนื่องจากโดยทั่วไปเรา มักจะประเมินค่าความเหนียวจาก Modulus of Toughness ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งความเค้น (σ) – ความเครียด (ϵ) ที่ได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งค่า Modulus of Toughness นี้ จะแสดงถึงพลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่ต้องใช้ในการ ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหาย วัสดุที่มีความเหนียวสูงกว่าจะใช้พลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่สูงกว่าในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหาย



ภาพที่ 2.6 Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียว และวัสดุเปราะ

วิธีการทดสอบความเหนียวที่นิยมใช้ คือ การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดค่า Impact Energy, Impact Transition Temperature (ITT) และศึกษาผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของวัสดุ โดยการตีชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐาน จนเกิดการแตกหัก จุดประสงค์ในการทำการทดสอบเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกระแทก (Dynamic Load) ของวัสดุ

สำหรับค่าที่นิยมวัดมากที่สุดในการทดสอบแรงกระแทก คือ ค่า Impact Energy ซึ่งเป็นพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงกระแทก (Dynamic Impact Force) จนเกิดการแตกหัก โดยมีวิธีการทดสอบมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ Charpy Impact Test และ Izod Impact Test เครื่องมือทดสอบทั้ง 2 ชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7



(a) Izod

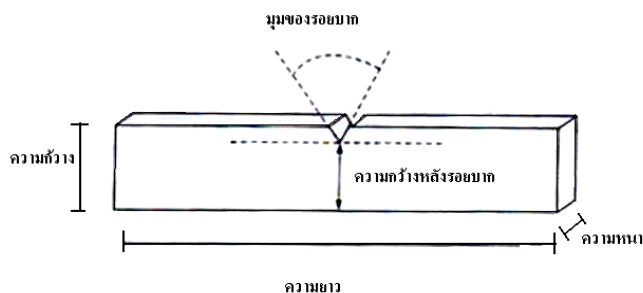
(b) Charpy

ภาพที่ 2.7 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบสั้นเหวี่ยง

วิธีการทดสอบของทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกัน คือ จะวางชิ้นงานทดสอบไว้รับแรงกระแทกจากการเหวี่ยงของลูกตุ้มที่น้ำหนักค่าหนึ่ง (น้ำหนักและขนาดของตุ้มน้ำหนักจะต้องเป็นไปตามที่มาตรฐานที่เลือกใช้ในการทำการทดสอบระบุไว้) พลังงานที่กระแทกชิ้นทดสอบขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม และความเร็วของมันขณะกระแทก จุดกระแทกจะเป็นจุดต่ำสุดของการเหวี่ยง ซึ่งเป็นจุดที่ลูกตุ้มมีความเร็วสูงที่สุด เมื่อลูกตุ้มกระทบชิ้นทดสอบ ลูกตุ้มจะเสียพลังงานไปจำนวนหนึ่งในการทำให้ชิ้นทดสอบหัก ค่าพลังงานที่เสียไปนี้ก็คือ ค่า Impact Energy นั่นเอง มีหน่วยเป็น ฟุต-ปอนด์ หรือ จูล

ข้อแตกต่างระหว่าง Charpy และ Izod ก็คือ การวางชิ้นงานทดสอบ โดย Charpy Test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวระดับ และให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วน Izod Test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้งและให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก

ชิ้นทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีรอยบากอยู่ตรงกลาง รอยบากนี้จะทำเป็นรูปตัว V, U หรือรูปวงกลมแฉก ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและมาตรฐานการทดสอบที่เลือกใช้ดังรูป 1.8



ภาพที่ 2.8 รูปชิ้นงานทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

2.6.2) ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress : σ) และความเครียด (strain : ϵ) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด

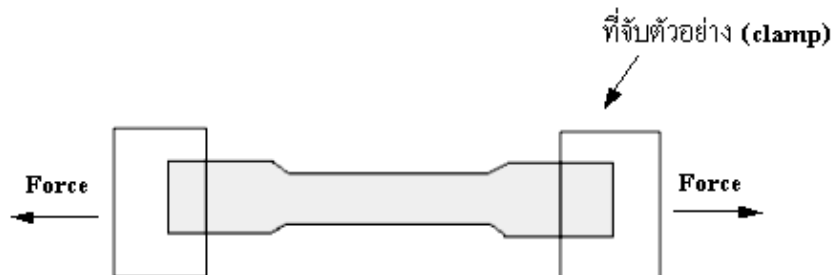
$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรง (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (A)}}$$

ความเครียด (E) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึง ต่อความยาวเริ่มต้น

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}}$$

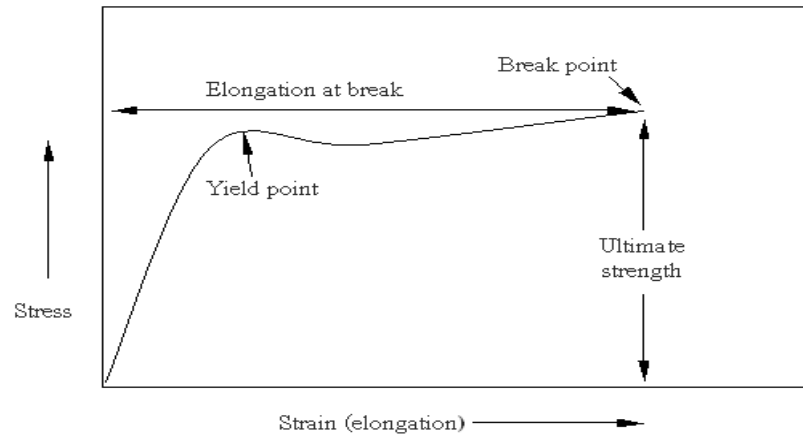
$$\text{โมดูลัส} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงไว้ข้างล่าง

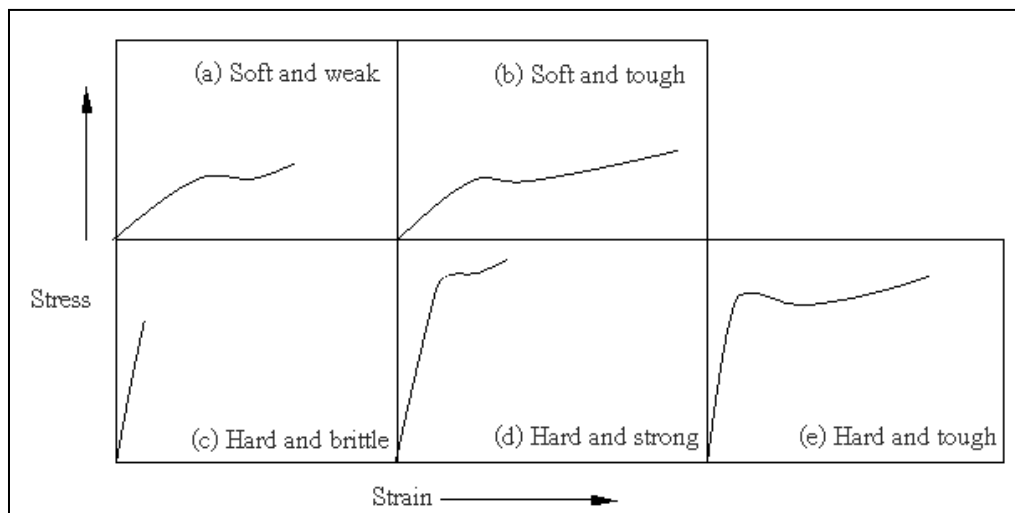


ภาพที่ 2.9 รูปชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด

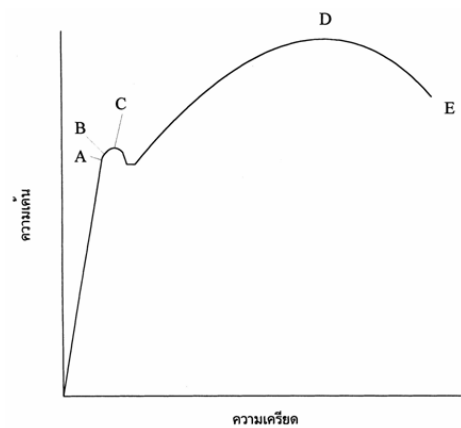
ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.9 นอกจากความเค้นและความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์ อีก เช่น modulus หรือ stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด (หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟ) และ toughness ซึ่งแสดงความต้านทานต่อการขาด



ภาพที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด



ภาพที่ 2.11 กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน

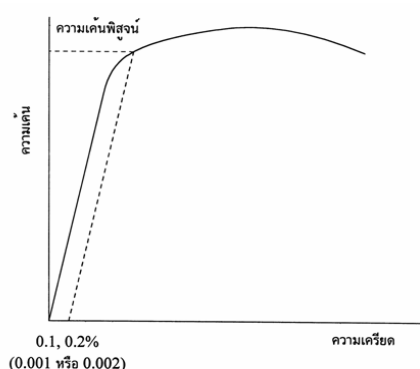


ภาพที่ 2.12 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด แบบมีจุดคราก (Yield Point)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด เราพบว่าเมื่อเราเริ่มดึงขึ้นทดสอบอย่างช้า ๆ ชิ้นงานทดสอบจะค่อย ๆ ยืดออก จนถึงจุดจุดหนึ่ง (A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่า พิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นงานจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง จุด B เรียกว่า พิกัด-ยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้นเมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะมีลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้น-จุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราจะใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

วัสดุหลายชนิดเช่น อะลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม (Original Gage Length) แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 2.12 ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) หรือความเค้น 0.1 หรือ 0.2% offset ดังแสดงในรูปที่ 2.12



ภาพที่ 2.13 เส้นโค้งความเค้นความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก

หลังจากจุดครากแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อย ๆ เพิ่ม

อย่างช้า ๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D ในรูปที่ 2.12) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate Strength หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มาก ๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่าค่าว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุหรือกำลังวัสดุ นั้นโดยทั่วไป จะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้

ที่จุดสุดท้าย (จุด E) ของกราฟ เป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้จะต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลงทำให้พื้นที่ที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วย ในขณะที่เรายังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่ หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าของความเค้นจึงลดลง ส่วนโลหะอื่น ๆ เช่น โลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) มาแล้ว จะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุด โดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง

2.6.3) การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของวัสดุเป็นสมบัติทางกลของสารที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ไปจนถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รอยกดบนชิ้นงานที่ได้จากเครื่องทดสอบความแข็งนั้นจะเป็นตัวบ่งบอกความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ลักษณะโครงสร้างหรือองค์ประกอบของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ประเภทของการทดสอบความแข็ง มีดังนี้

- 1) Scratch
- 2) Indentation
- 3) Rebound

2.6.3.1) Scratch Hardness

Scratch Hardness มักถูกนำไปใช้ในการวัดความแข็งของแร่ แร่ที่มีความแข็งมากกว่าจะทำให้แร่ที่มีความแข็งน้อยกว่าเกิดริ้วรอยขีดข่วนขึ้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเพชรบริสุทธิ์เป็นสารที่มีความแข็งมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นตัวที่นำไปใช้ในการทดสอบความแข็งของแร่ตัวอื่น ๆ และทดสอบคุณภาพของเพชรด้วยตัวเอง

2.6.3.2) Indentation Hardness

โดยหลักแล้ว Indentation Hardness จะนำไปใช้ในทางด้านวิศวกรรมและโลหะเพื่อหาความต้านทานในการเกิดรอยของวัสดุ ซึ่งจะทำกรวัดโดยใช้หัวกดที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆ

กดลงบนวัสดุ และคำนวณทิศทางของผลการกดที่เกิดขึ้น Indentation Hardness มีวิธีการที่ใช้ในการวัดความแข็งอย่างหลากหลาย แต่โดยทั่วไปแล้ว ได้แก่ Brinell Hardness Test, Rockwell Hardness Test, Vickers Hardness Test และ Knoop Hardness Test ผลที่ได้จากวิธีการต่างๆ นี้จะไม่มี ความเกี่ยวข้องกันเลย

2.6.3.3) Rebound Hardness

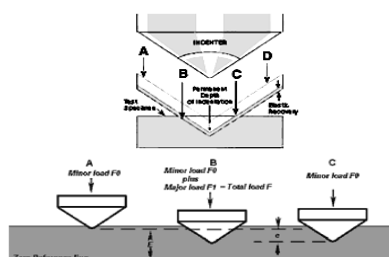
Rebound Hardness หรือที่รู้จักกันว่า Dynamic หรือ Absolute Hardness ใช้ในการวัดการคืนรูปของวัสดุ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Scleroscope

2.7 เทคนิคการทดสอบความแข็ง

เดิมเทคนิคในการทดสอบความแข็งมีด้วยกัน 3 วิธี คือ Brinell Hardness, Rockwell Hardness และ Vickers Hardness ซึ่งการทดสอบจะวัดความลึกของหัวกดที่จมลงไปใ้เนื้อวัสดุ ภายใต้แรงกดและระยะเวลาที่กำหนด ในปัจจุบันวิธีการวัดความแข็ง ได้แก่ Rockwell Hardness, Brinell Hardness, Vickers Hardness, Knoop Hardness และ Shore

2.7.1 การทดสอบแบบรีอคเวล (Rockwell)

เป็นวิธีการวัดความแข็งโดยการวัดและเปรียบเทียบความลึกของรอยกดบนพื้นผิววัสดุเมื่อมีแรงกดขนาดต่างๆ มากกระทำ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ แรงกดนำ (preload) ขนาด 10 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบปกติ และขนาด 3 กิโลกรัม เพื่อทำการทดสอบพื้นผิว และใส่เพิ่มเข้าไปให้ได้ แรงกดเต็ม (full load) เป็น 60, 100 หรือ 150 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบปกติ และ 15, 30 หรือ 45 กิโลกรัม เพื่อทดสอบพื้นผิว แล้วทำการคำนวณค่าความแข็ง Rockwell หัวกดที่ใช้ อาจเป็นลูกเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ หรือรูปกรวยที่มีมุม 120 องศา และมีเพชรทรงกลมขนาดรัศมี 0.2 มิลลิเมตรอยู่ที่ปลาย การทดสอบแบบนี้เป็นการทดสอบที่ง่าย รวดเร็ว เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีความแข็งสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน



ภาพที่ 2.14 ลักษณะของหัวกดแบบ Rockwell

2.7.2 การทดสอบแบบบริเนล (Brinell)

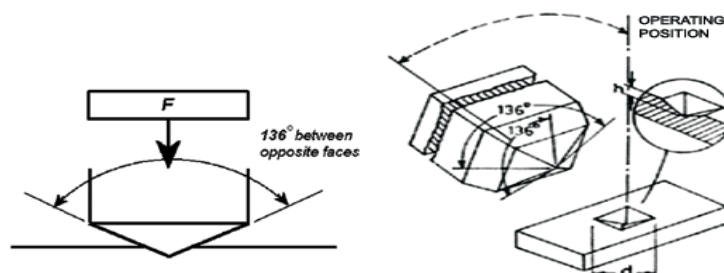
เป็นวิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่เกิดจากหัวกดประเภทเหล็กหรือคาร์ไบด์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดต่างๆ บนพื้นผิวของวัสดุ แต่โดยทั่วไปมักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และแรงกดขนาด 50-3,000 กิโลกรัม แล้วนำไปคำนวณค่าความแข็ง Brinell ตัวเลขต่างๆ ที่ได้จะบอกถึงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ เช่น 75 HBW 10/500/30 หมายความว่า ความแข็ง Brinell มีค่าเท่ากับ 75 หัวกดที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 มิลลิเมตร ที่แรงกด 500 กิโลกรัม และใช้เวลาในการกด 30 วินาที เป็นต้น การทดสอบนี้มีข้อจำกัดของวัสดุที่นำมาใช้ทดสอบนั้นต้องมีค่าความแข็ง ไม่เกิน 650 HBW ถ้ามากกว่านี้ วิธีการแบบ Rockwell และ Vickers จะมีความเหมาะสมมากกว่า

การทดสอบแบบ Brinell จะให้รอยกดที่มีความลึกและกว้างกว่าวิธีการอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับการวัดค่าความแข็งของตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ และใช้ได้ทั้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียว (homogeneous) หรือเนื้อผสม (Heterogeneous) เนื่องจากขนาดของรอยกดจะครอบคลุมเฟส หรือองค์ประกอบทั้งหมดของเนื้อวัสดุ

2.7.3 การทดสอบแบบวิกเกอร์ (Vickers)

เทคนิคนี้เป็นการพัฒนาจากการทดสอบแบบ Brinell เพื่อลดปัญหาของความถูกต้องในการวัด หัวกดที่ใช้ในวิธีการนี้ คือ เพชร ซึ่งมีรูปร่างเป็นปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีมุมระหว่างผิวหน้าด้านตรงข้ามกันเท่ากับ 136° องศา แรงกดที่ใช้อยู่ระหว่าง 1 กรัม - 100 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลากดประมาณ 10-15 วินาที รอยที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กในระดับไมครอนจึงต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในการคำนวณความแข็ง

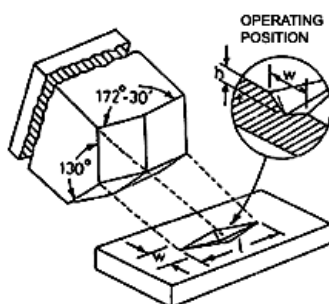
ค่าความแข็งที่ได้จะแสดงออกมดั่งเช่น 800 HV/10 ซึ่งหมายถึง มีค่าความแข็ง Vickers 800 และใช้แรงกด 10 กิโลกรัม ค่าความแข็งที่ได้จากวิธีการนี้จะให้ผลที่ชัดเจนและเป็นรูปแบบมากกว่าวิธีการอื่นๆ และสามารถใช้ทดสอบวัสดุได้อย่างหลากหลายทั้งที่มีองค์ประกอบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ



ภาพที่ 2.15 ลักษณะของหัวกดแบบ Vickers

2.7.4 การทดสอบแบบ Knoop

วิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับวิธี Vickers แต่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปร่างปิระมิดที่มีมุมเป็น 130 องศา และ 172 องศา 30 ลิปดา เนื่องจากหัวกดมีลักษณะเรียวยาวจึงสร้างรอยกดที่มีความยาวของเส้นทแยงมุมมากกว่าวิธีการอื่นๆ ถึง 7 เท่า ทำให้สามารถเห็นภาพรอยกดได้อย่างชัดเจนแม้ใช้แรงกดต่ำ เทคนิคนี้จึงเหมาะสำหรับการทดสอบฟิล์มบาง หรือวัสดุที่เปราะแตกง่าย รวมถึงการทดสอบสมบัติที่ขึ้นอยู่กับการทิศทาง (anisotropy) ได้



ภาพที่ 2.16 ลักษณะของหัวกดแบบ Knoop

2.7.5 การทดสอบแบบ Shore Scleroscope

Shore Scleroscope เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณความแข็งของวัสดุในเทอมของความยืดหยุ่น โดยหัวกดที่มีปลายเป็นเพชรจะถูกปล่อยออกจากตำแหน่งความสูงที่กำหนดลงบนส่วนที่ต้องทดสอบ ค่าความแข็งจะขึ้นอยู่กับความสูงของหัวกดที่กระดอนกลับ วัสดุที่มีความแข็งมาก หัวกดก็จะกระดอนสูง

ค่าความแข็ง Shore จะหมายถึงค่าที่วัดความต้านทานของวัสดุที่จะทำให้เกิดรอย ยิ่งค่านี้มีค่าสูงมากเท่าไร จะยิ่งแสดงว่าวัสดุจะเกิดรอยได้ยาก การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในการทดสอบความแข็งของพลาสติกและยางเช่นเดียวกันกับวิธีการ Rockwell

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตริยะ ศรีปี[1] “การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยฉายรังสีแกมมา ร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด”(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมีสรีรเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกราฟต์เมทิลเมทาครีเลตบนเส้นใยไหมด้วยรังสีแกมมา ร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์โดยศึกษา

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์เชชันได้แก่ อัตราปริมาณรังสี ปริมาณรังสี อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อเมทานอลและการเติมสารตัวเติมอะครีเลตโมโนเมอร์ บางชนิด ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดกราฟต์ ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์เชชันคือ ไฮโมโพลีเมอร์ของเมทิลเมทาครีเลตและโคโพลีเมอร์ระหว่างเมทิลเมทาครีเลตกับ เส้นใยไหม เมื่อทำการแยกไฮโมโพลีเมอร์ของเมทิลเมทาครีเลตออกโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลจึงได้กราฟต์โคโพลีเมอร์ และได้ทำการหาตัวแปรการกราฟต์ที่เป็นตัวบ่งชี้ ร้อยละของการกราฟต์โคโพลีเมอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมน้ำ ศึกษาสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดกราฟต์ ได้แก่ ความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาด จากการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี ความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตและสารตัวเติมแต่งจะลดลงเมื่ออัตราประมาณรังสี เพิ่มขึ้น หลังการกราฟต์สามารถลดการดูดซึมน้ำของเส้นใยได้ดี

มาลี กลิ่นกุหลาบ[2] “การใช้รังสีแกมมาเหนี่ยวนำให้เกิดครอสลิงก์ในเมทิลเมทาครีเลต กรดอะคริลิกและโพลีไวนิลคลอไรด์ ร่วมกับสารไวปฏิกิริยาบางตัว” (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540) ได้ศึกษาการเกิดครอสลิงก์ใน MMA กรดอะคริลิก และ PVC ร่วมกับสารไวปฏิกิริยา 2EHA, CCL4 และ n-BA โดยใช้รังสีแกมมา และทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสม MMA (9 c.c.) : PVC(1g) และ MMA(9.5 c.c.) : PVC(0.5)g จะให้เจลปริมาณสูงสุด 89% และ 87% ตามลำดับ ที่ปริมาณรังสี 25.6 kGy และมีเปอร์เซ็นต์การบวมต่ำสุด ในทำนองเดียวกันที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวเมื่อนำสารผสมในอัตราส่วนดังกล่าว ซึ่งไม่มีสารไวปฏิกิริยามาเคลือบผิวไม้จะระเหยค่อนข้างช้า และเกาะติดเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวไม้ได้ดีกว่า

M.LAVALLE, D. CANGIALOSI, P.FUOCHI[3] “Electron beam induced polymerization of MMA in the presence of rubber: a novel process to produce tough materials”, Radiation Physics and Chemistry ,63, 63-68, 2002 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธี Polymerization ของ MMA ผสมกับยาง 3 ชนิด ได้แก่ยาง ABN, SBR และ VTBNX และใช้ electron beam เป็นตัวทำให้เกิดการ cross-link พบว่า ถ้าผสม MMA กับ ยางชนิด ABN และ SBN จะทำให้ PMMA ผสมมีความยืดหยุ่นดีขึ้น ส่วน MMA กับ ยางชนิด VTBNX ไม่มี การเปลี่ยนแปลง และปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการเกิด Polymerization คือ 120 -145 kGy

บทที่ 3

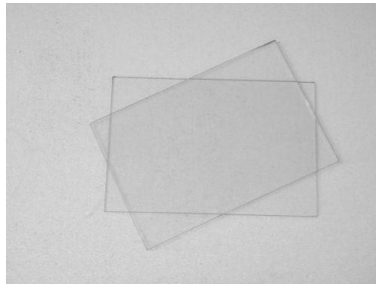
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นอะคริลิก

3.1.1.1 กระจกแม่พิมพ์ (Mould)

กระจกแม่พิมพ์ (Mould) จะใช้เป็นตัวกำหนดขนาด ความสวยงาม และความสมบูรณ์ของแผ่นอะคริลิกที่ผลิตได้ ถ้าแม่พิมพ์มีความเรียบมันไม่มีตำหนิหรือรอยขีดข่วน ไม่โค้งงอ แผ่นอะคริลิกที่ผลิตได้จะเรียบ มัน สวยงาม และไม่มีตำหนิ



ภาพที่ 3.1 กระจกแม่พิมพ์

3.1.1.2 ประเก็นพีวีซี (PVC)

ประเก็นพีวีซี (PVC) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแพนเอเชีย จำกัด เป็นวัสดุสำหรับกั้นกลางระหว่างกระจกแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นอะคริลิกเพื่อป้องกันสารละลายอะคริลิกรั่วไหล และเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นอะคริลิก



ภาพที่ 3.2 ประเก็นพีวีซี

3.1.1.3 ตัวยึดจับ (Clamp)

ตัวยึดจับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแพนเอเชียจำกัด ใช้เป็นตัวหนีบให้กระจกแม่พิมพ์กระชับกับประเก็น PVC ตลอดทั้งแนว โดยจัดตัวยึดจับให้เพียงพอ กับขนาดของกระจกแม่พิมพ์ที่ใช้ เพื่อป้องกันสารละลายอะคริลิกรั่วไหลออกมา และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศรั่วเข้าไปในแผ่นได้ เนื่องจากสภาพภายในกระจกจะต้องเป็นสุญญากาศเสมอจึงจะทำให้แผ่นอะคริลิกที่ผลิตได้มีผิวหน้าเรียบและมีความหนาที่สม่ำเสมอทั้งแผ่น



ภาพที่ 3.3 ตัวยึดจับ

3.1.1.4 เครื่องปั่น (Stirrer)

ใช้เครื่องปั่นยี่ห้อ Whatman โมเดล HPMS เพื่อปั่นสารละลายอะคริลิกจนผสม เป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 3.4 เครื่องปั่น

3.1.1.5 เครื่องทำสุญญากาศ (Vacuum pump)

เนื่องจากในกระบวนการปั่นสารละลายอะคริลิกจะทำให้ส่วนผสมเกิดฟองอากาศ แทรกอยู่ในสารผสม จึงต้องนำส่วนผสมไปเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นสุญญากาศ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องทำสุญญากาศยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-009 เพื่อกำจัดฟองอากาศออกจากสารผสม



ภาพที่ 3.5 เครื่องทำสุญญากาศ

3.1.1.6 อ่างน้ำร้อน (Hot water bath)

ใช้อ่างน้ำร้อนสำหรับแช่สารตั้งต้นอะคริลิกเพื่อเป็นการกระตุ้นให้สารตั้งต้นอะคริลิกเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ขึ้น โดยจะแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยในงานวิจัยนี้จะใช้อ่างน้ำร้อนยี่ห้อ GFL ในการแช่สารตั้งต้นอะคริลิก



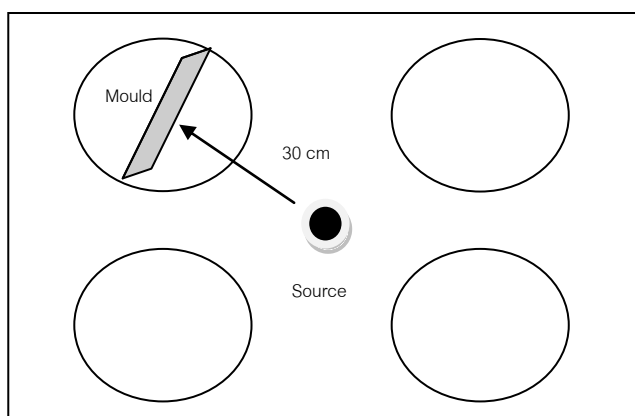
ภาพที่ 3.6 อ่างน้ำร้อน

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราปริมาณรังสี

3.1.2.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา โคบอลต์-60 ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผนังตะกั่วที่มีต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในและมีแผ่นเพลทสำหรับวางตัวอย่างเข้าไปฉายรังสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 นิ้ว จำนวน 4 ตำแหน่ง ปริมาณรังสีที่ตัวอย่างได้รับจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแผ่นเพลทที่เลือกใช้และระยะเวลาในการฉาย ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องฉายรังสีเป็นระบบนิวเมติกโดยขณะที่ยังไม่ใช้งานต้นกำเนิดรังสีจะถูกเก็บไว้ในกำบังใต้พื้นดิน ค่าความเข้มรังสีขณะวัด ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2553 มีค่าเท่ากับ 6.67×10^{13} เบคเคอเรล หรือ 1.80 กิโลคูรี



ภาพที่ 3.7 เครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60



ภาพที่ 3.8 แผนผังการวางแม่พิมพ์ขณะฉายรังสี

3.1.2.2 Red Perspex Dosimeter เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีแกมมาชนิดแผ่นวางในตำแหน่งต่างๆ โดยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดนี้มีช่วงวัดอยู่ที่ 5 – 50 กิโลเกรย์



ภาพที่ 3.9 Red Perspex Dosimeter

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นอะคริลิก

3.1.3.1 พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized - MMA)

เป็นเมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ ที่ถูกเตรียมให้เป็น Syrup โดยการทำให้เกิดเป็นโพลีเมอร์ขึ้นบางส่วน โดยปกติอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์

3.1.3.2 สารเริ่มปฏิกิริยา (Initiator)

สารเริ่มปฏิกิริยา เป็นสารเคมีที่จำเป็นต้องเติมลงไปเพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา Polymerization ภายใน พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ โดยปริมาณที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ inhibitor ที่มีการเติมมาใน พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์นั้น ๆ

สารเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 2, 2'-Azobis-(2, 4-dimethylvaleronitrile) หรือ (ABVN) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแพนเอเชียจำกัด

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.1.4.1 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบอิมแพคเตอร์ (Instrument Impact

Tester : รุ่น Radmana ITR – 2000)

หลักการ

ใช้แรงลมนัดในการขับเคลื่อนหัวทดสอบไปกระแทกยังชิ้นงาน แรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจวัดด้วย Sensor พลังงานกระแทกถูกคำนวณจาก พื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรง กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

3.1.4.2 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore D (Durometer Hardness : Instron

Wolpert)

หลักการ

วิธีทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ประกอบด้วย การกดวัสดุทดสอบด้วยหัวกดเพชรรูปกรวยหรือหัวกดลูกบอลเหล็กชุบแข็ง ให้ภาวะหัวกดกดวัสดุทดสอบภายใต้ภาวะเริ่มต้น 10 กิโลกรัมแรง เมื่อถึงภาวะคงที่ โดยเข็มชี้จะเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของหัวกดและยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความลึกของรอยกดจากหัวกด ถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งศูนย์ ในขณะที่ให้ภาวะเริ่มต้นก็เพิ่มภาวะหลักด้วย ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของรอยกด เมื่อถึงภาวะคงที่อีกครั้ง ภาวะหลักได้ถูกเอาออก แต่ภาวะเริ่มต้นยังคงไว้ การเอาภาวะหลักออกส่งผลให้มีการคืนตัวบางส่วน เป็นผลให้ความลึกของรอยกดลดลง การเพิ่มขึ้นความลึกของรอยกดอย่างถาวรเป็นผลจากการเพิ่มและเอาภาวะหลักออก ใช้คำนวณค่าความแข็งร็อคเวลล์

3.1.4.3 เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine, Dynamic Type

หลักการ

ใช้แรงดันน้ำมันในการขับเคลื่อนหัวทดสอบให้เคลื่อนที่เพื่อให้เกิดแรงกระทำในลักษณะต่างๆ บนชิ้นงาน โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมแรงที่เกิดขึ้น จะถูกวัดโดย Load cell ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบจะถูกวัดโดยระยะการเคลื่อนที่ของ extensometer

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 หาอัตราปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสีแกมมา

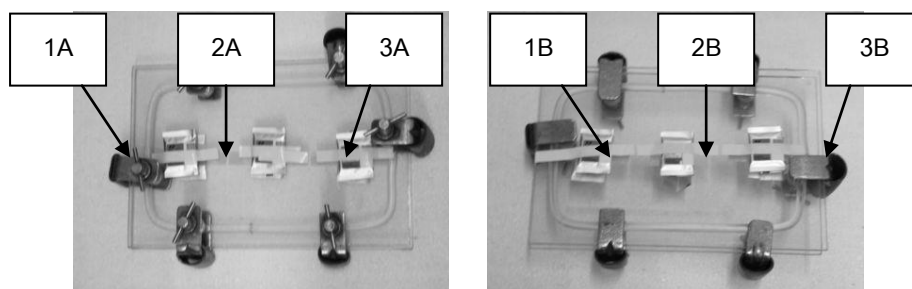
3.2.1.1 เตรียมแผ่นกระจก 2 แผ่นประกบกันโดยมี พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized – MMA) บรรจุอยู่ระหว่างแผ่นกระจก ซึ่งมีประเก็น PVC ขนาดที่ใช้ทำแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต 3 มิลลิเมตรเป็นตัวกั้น MMA เอาไว้

3.2.1.2 ติด Red Perspex Dosimeter ซึ่งวัดปริมาณรังสีในช่วง 5-50 กิโลเกรย์ มาติดบนแผ่นกระจกที่เตรียมไว้ โดยติดด้านหน้า 3 ตำแหน่ง และด้านหลัง 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งด้านหน้าติดตรงขอบซ้าย – ขวา ในตำแหน่งตรงกลาง และติดตำแหน่งตรงกลางของแผ่นกระจก ส่วนทางด้านหลังทำเช่นเดียวกัน

3.2.1.3 นำแผ่นกระจกที่เตรียมไว้ ไปวางบนจานสำหรับฉายรังสีภายในเครื่องฉายรังสีแกมมา และทำการกำหนดตำแหน่งในการวางแผ่นกระจก เพื่อจะได้วางในตำแหน่งเดียวกันทุกครั้งที่ทำการฉายรังสี

3.2.1.4 เปิดเครื่องฉายรังสีแกมมา โดยเดินเครื่องเป็นเวลา 30 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วนำ Red Perspex Dosimeter วัดได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.2.1.5 จากนั้นคำนวณหาอัตราปริมาณรังสี เพื่อหาเวลาในการฉายรังสี



ก. ด้านหน้า

ข. ด้านหลัง

ภาพที่ 3.10 แสดงการวางตำแหน่ง Dosimeter

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาการฉายรังสีสำหรับแผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร
อัตราปริมาณรังสีที่ได้เท่ากับ 0.37 ± 0.032 kGy/h

ปริมาณรังสี (kGy)	ระยะเวลาฉายรังสี (ชั่วโมง)
10	30.03
20	60.06
30	90.09
40	120.12

ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาการฉายรังสีสำหรับแผ่นอะคริลิค 6 มิลลิเมตร
อัตราปริมาณรังสีที่ได้เท่ากับ 0.33 ± 0.01 kGy/h

ปริมาณรังสี (kGy)	ระยะเวลาฉายรังสี (ชั่วโมง)
10	31.06
20	62.11
30	93.17
40	124.22

3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา

3.2.2.1 คำนวณปริมาณสารเพื่อใช้ในการทำแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตขนาด 3 มิลลิเมตร โดยใช้ พรีพอลิเมอไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized – MMA) ปริมาณ 235.62 กรัม และ สารไวปฏิกิริยา เอซีบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนท์ (ABNV) สัดส่วน 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.2.2.2 นำสารทั้งสองจากข้อ 3.2.2.1 มากวนให้เข้ากัน ด้วยเครื่องกวนโดยใช้ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาในการกวน 30 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารที่ได้ไปดูดฟองอากาศออกด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ ใช้เวลา 15 นาที

3.2.2.3 จากนั้นนำสารจากข้อ 3.2.2.2 เทลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ เมื่อเตรียมแม่พิมพ์เสร็จแล้ว นำแม่พิมพ์ไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 30, 45, 60 นาที

3.2.2.4 นำแผ่นที่ได้จากข้อ 3.2.2.3 มาฉายรังสีแกมมา เป็นเวลา 20 ชั่วโมงแล้วสังเกตแผ่นอะคริลิกที่ได้

3.2.2.5 ทำซ้ำในข้อ 3.2.2.1 ถึง 3.2.2.4 โดย เปลี่ยนเป็นการทำแผ่นพอลิเมทิล-เมทาคริเลตขนาด 6 มิลลิเมตรปริมาณ 471.2 กรัม และเพิ่มเวลาในการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 75, 90, 105 นาที

3.2.3 การเตรียมแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล

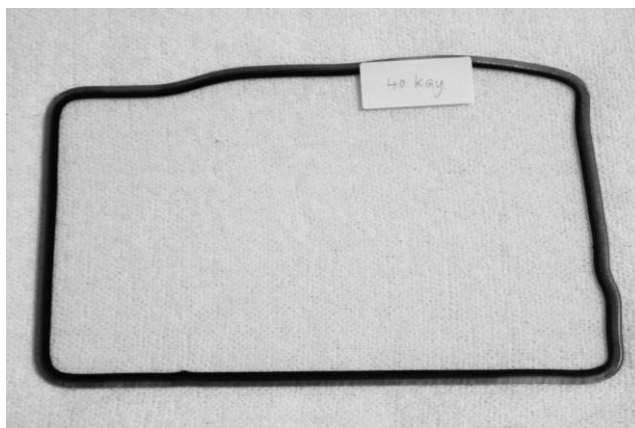
3.2.3.1 คำนวณปริมาณสารเพื่อใช้ในการทำแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร โดยใช้ พรีพอลิเมอไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized – MMA) ปริมาณสาร 235.62 กรัม และ สารไวปฏิกิริยา เอโซบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนล์ (ABNV) สัดส่วน 0.01 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก

3.2.3.2 นำสารทั้งสองจากข้อ 3.2.3.1 มากวนให้เข้ากัน ด้วยเครื่องกวนโดยใช้ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาในการกวน 30 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารที่ได้ไปดูดฟองอากาศออกด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ ใช้เวลา 15 นาที

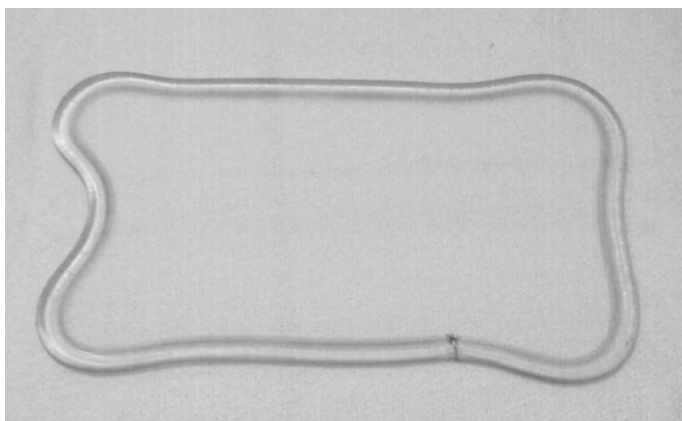
3.2.3.3 จากนั้นนำสารจากข้อ 3.2.3.2 เทลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ เมื่อเตรียมแม่พิมพ์เสร็จแล้ว นำแม่พิมพ์ไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ตามผลการทดลองในข้อ 3.2.2)

3.2.3.4 นำแม่พิมพ์จากข้อ 3.2.3.3 ไปฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30, 40 กิโลเกรย์

3.2.3.5 ทำซ้ำในข้อ 3.2.3.1 ถึง 3.2.3.4 แต่เปลี่ยนความหนาเป็น 6 มิลลิเมตร โดยใช้ปริมาณสาร 471.2 กรัมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้แล้ว จะได้แผ่นอะคริลิกทั้งสองขนาดดังรูป



ภาพที่ 3.11 แผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.12 แผ่นอะครีลิกขนาด 6 มิลลิเมตร

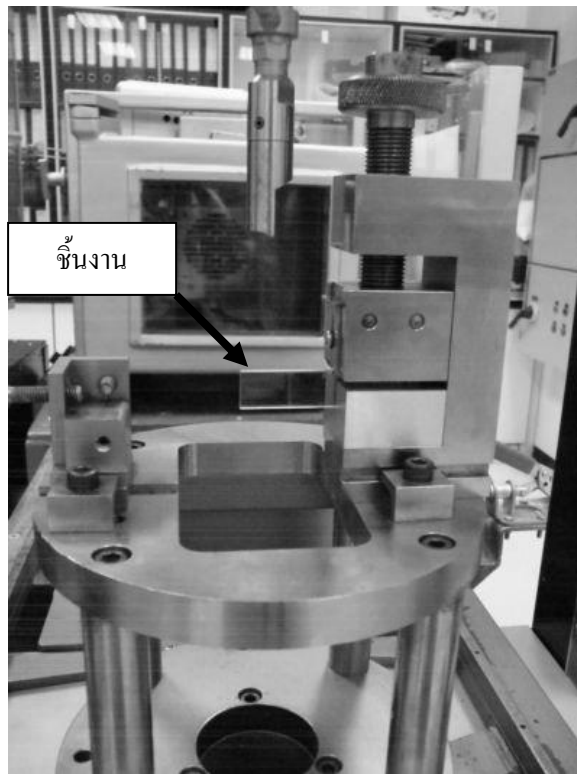
3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต

3.3.3.1 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Test)

เตรียมชิ้นงานขนาดความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ความยาว 64 มิลลิเมตร ดังรูป 3.12 สำหรับการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกด้วยวิธี Izod ด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Instrument Impact Tester รุ่น Radmana ITR – 2000)



ภาพที่ 3.13 ชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก



ภาพที่ 3.14 การวางชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติด้านความแข็ง (Hardness Test)

เตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติความแข็ง ขนาดชิ้นงานมีความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.14 นำไปทดสอบความแข็งแบบ Shore D (Durometer Hardness รุ่น Instron Wolpert)



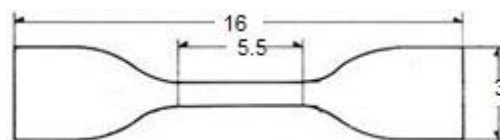
ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติด้านความแข็ง



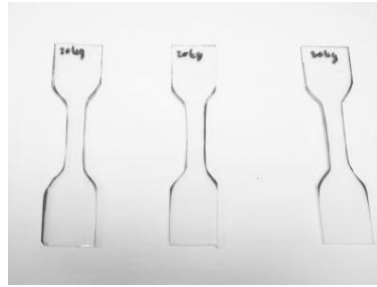
ภาพที่ 3.16 การวางชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติด้านความแข็ง

3.3.3.3 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing)

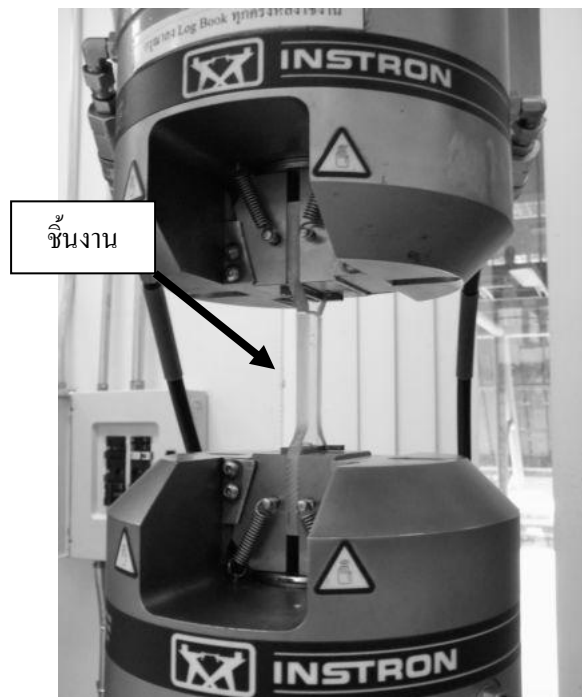
เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง โดยมีความยาวทั้งหมด 15 เซนติเมตร โดยส่วนที่ใช้วัดมีความยาว 5 เซนติเมตร และความกว้างในส่วนที่ใช้วัด 1.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16 และทดสอบการทนต่อแรงดึง ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น Dynamic Type



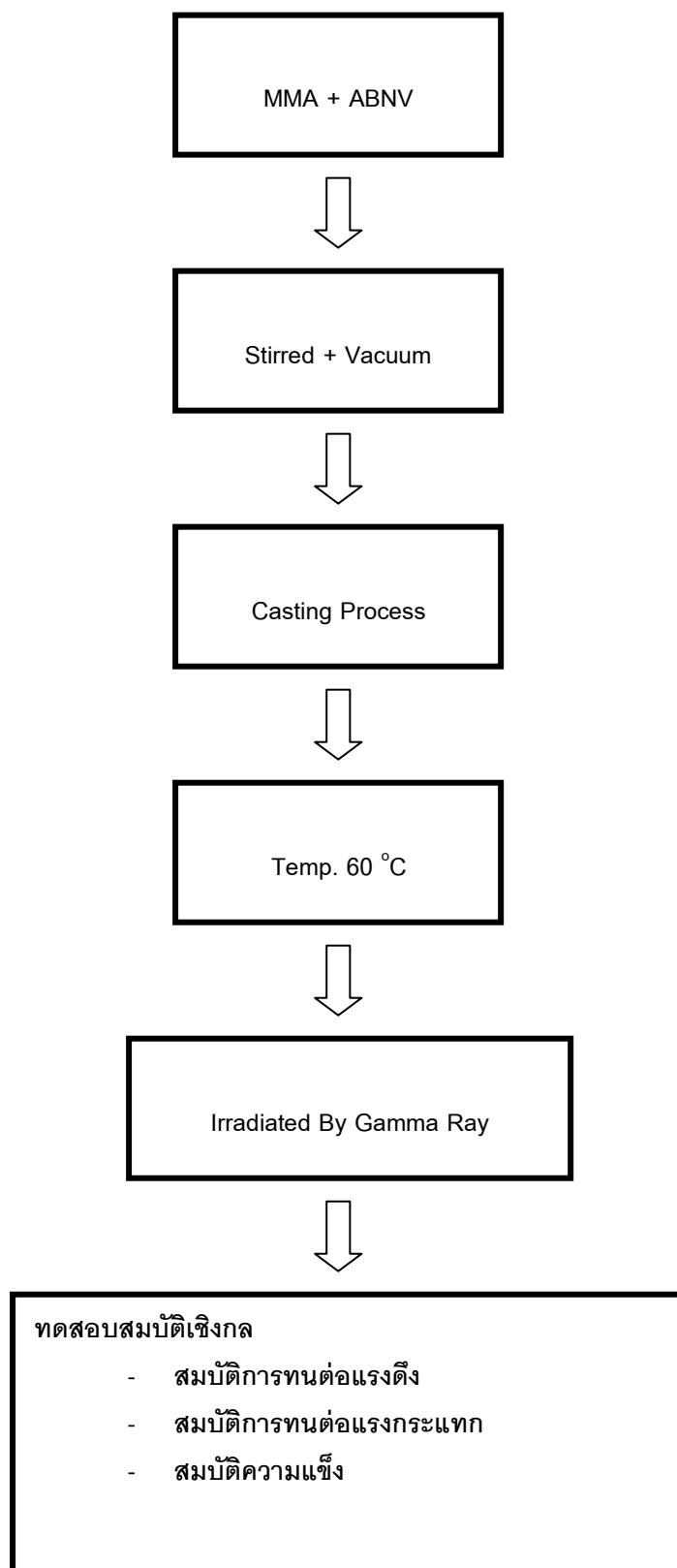
ภาพที่ 3.17 ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



ภาพที่ 3.18 ชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



ภาพที่ 3.19 การวางชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



แผนภาพที่ 3.20 แสดงขั้นตอนการเตรียมแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริลิต

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิเมทิลเมทาครีเลต ด้วยการฉายรังสีแกมมาขณะเกิดพอลิเมอไรเซชัน โดยศึกษาหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม ในการทำแผ่นอะคริลิค ซึ่งทำการวัดโดยคุณสมบัติเชิงกลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ สมบัติความแข็ง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก สมบัติการทนต่อแรงดึง

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะคริลิคเพื่อฉายรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะคริลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร เพื่อฉายรังสีแกมมา

ABNV (%)	ระยะเวลาแช่ (นาที)	ผลการทดลอง
0	0	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ
0.01	0	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ
0.01	30	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ เป็นรอยขรุขระ
0.01	45	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ เป็นรอยขรุขระ
0.01	60	ผิวชิ้นงานดี เรียบ

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะคริลิค ขนาด 6 มิลลิเมตร เพื่อฉายรังสีแกมมา

ABNV (%)	ระยะเวลาแช่ (นาที)	ผลการทดลอง
0.01	60	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ
0.01	75	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ
0.01	90	ผิวชิ้นงานไม่เรียบ
0.01	105	ผิวชิ้นงานดี เรียบสม่ำเสมอ

จากการทดลองเมื่อไม่ได้เติม เอโซบิส-2,4- ไดเมทิลควาเลโรไนท์ (ABVN) ลงไปแล้วนำไปฉายรังสีทันที แผ่นอะคริลิคที่ได้จะไม่เรียบ และเมื่อเติม ABNV ลงไป 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วไม่ได้ผ่านการแช่ในน้ำ 60 องศาเซลเซียสแผ่นที่ได้ไม่เรียบเช่นเดียวกัน แต่เมื่อนำไปแช่ในน้ำ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีสำหรับแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 105 นาทีสำหรับแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร แผ่นที่ได้ออกมาเรียบ เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบ

4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิก

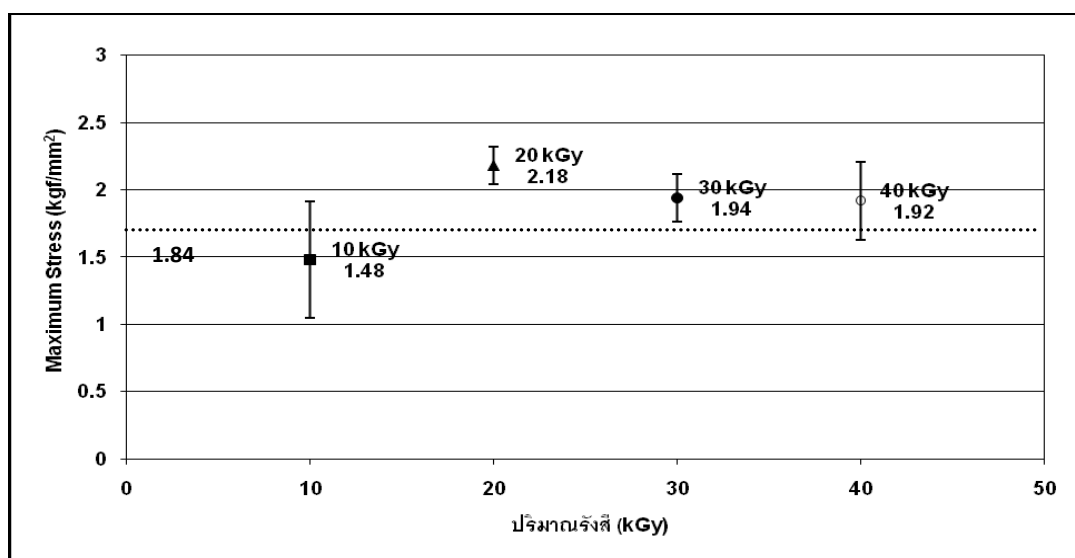
4.2.1 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต ด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึง ซึ่งทดสอบกับแผ่นอะครีลิก 5 ประเภทได้แก่แผ่นอะครีลิกทั่วไป แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการพอลิเมอไรเซชันโดยรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ตามลำดับ และทำการทดสอบในแต่ละสภาวะ 3 ตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยผลการทดสอบเป็นดังตามตารางที่ 4.3, 4.4 และแผนภูมิที่ 4.1, 4.2 โดยเส้นประ (-----) แทนด้วยค่าข้อมูลแผ่นอะครีลิกทั่วไป

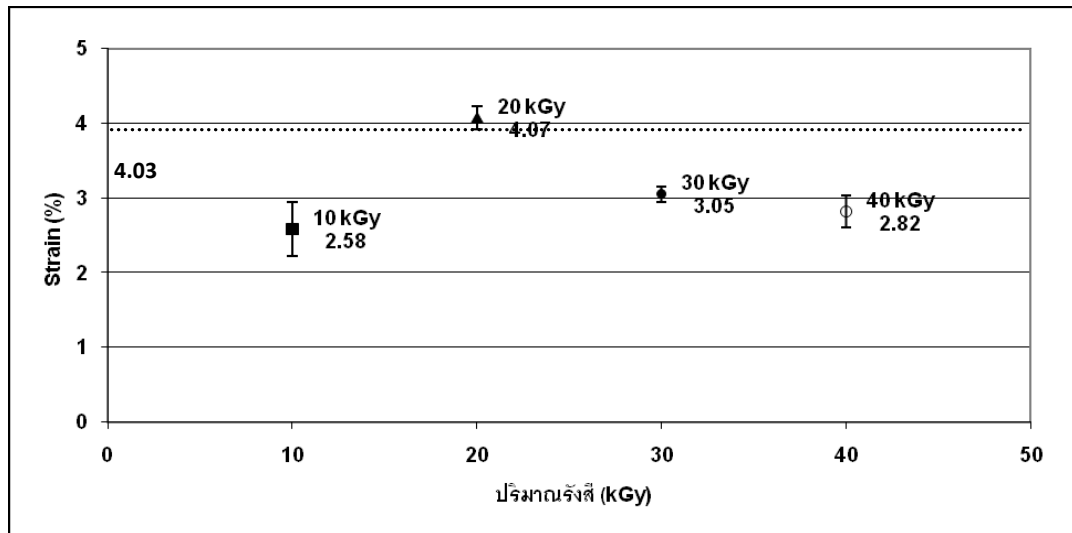
4.2.1.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิก 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิก 3 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Maximum Tensile Stress (kgf/mm ²)	Tensile Strain at break (%)
แผ่นอะครีลิกทั่วไป	1.84 ± 0.23	4.03 ± 0.19
10	1.48 ± 0.43	2.58 ± 0.36
20	2.18 ± 0.14	4.07 ± 0.15
30	1.94 ± 0.18	3.05 ± 0.10
40	1.92 ± 0.29	2.82 ± 0.21



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร

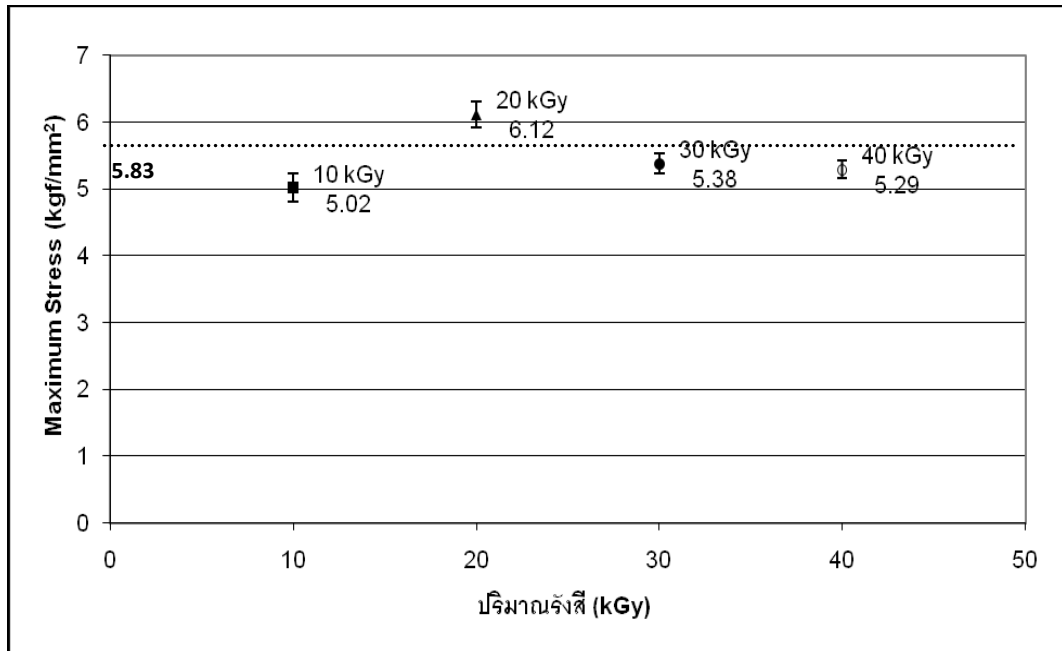


ภาพที่ 4.2 แผนภูมิแสดงค่าความเครียดของแผ่นอะครีลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร

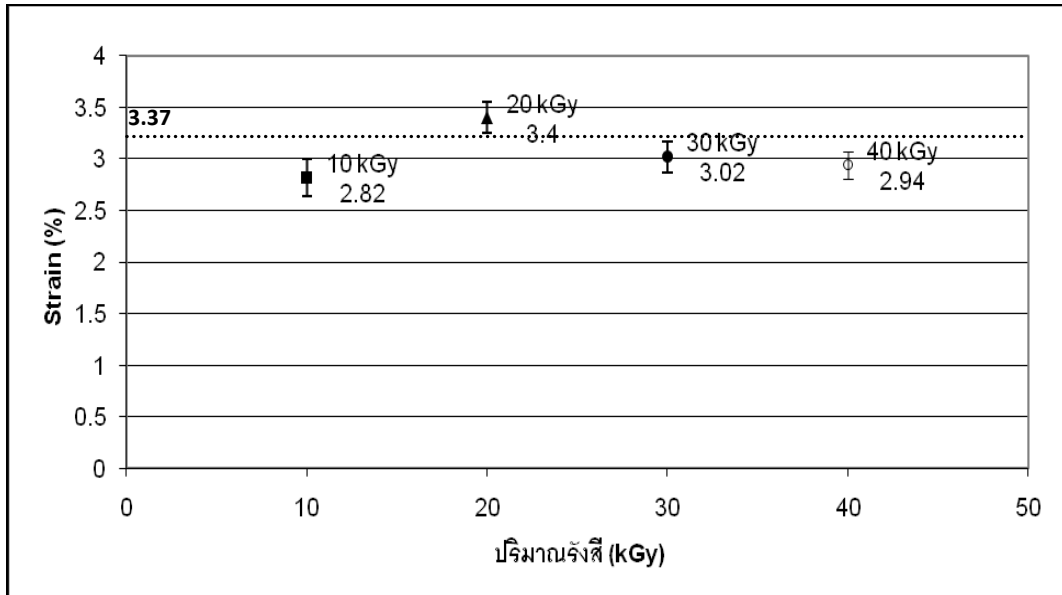
ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิค 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิค ขนาด 6 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Maximum Tensile Stress (kgf/mm ²)	Tensile Strain at break (%)
0	5.83 ± 0.10	3.37 ± 0.14
10	5.02 ± 0.21	2.82 ± 0.18
20	6.12 ± 0.19	3.40 ± 0.15
30	5.38 ± 0.15	3.02 ± 0.15
40	5.29 ± 0.13	2.94 ± 0.13



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะครีลิกขนาด 6 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.4 แผนภูมิแสดงค่าความเครียดของแผ่นอะครีลิก ขนาด 6 มิลลิเมตร

4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นแผ่นอะครีลิค

4.2.2 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strenght)

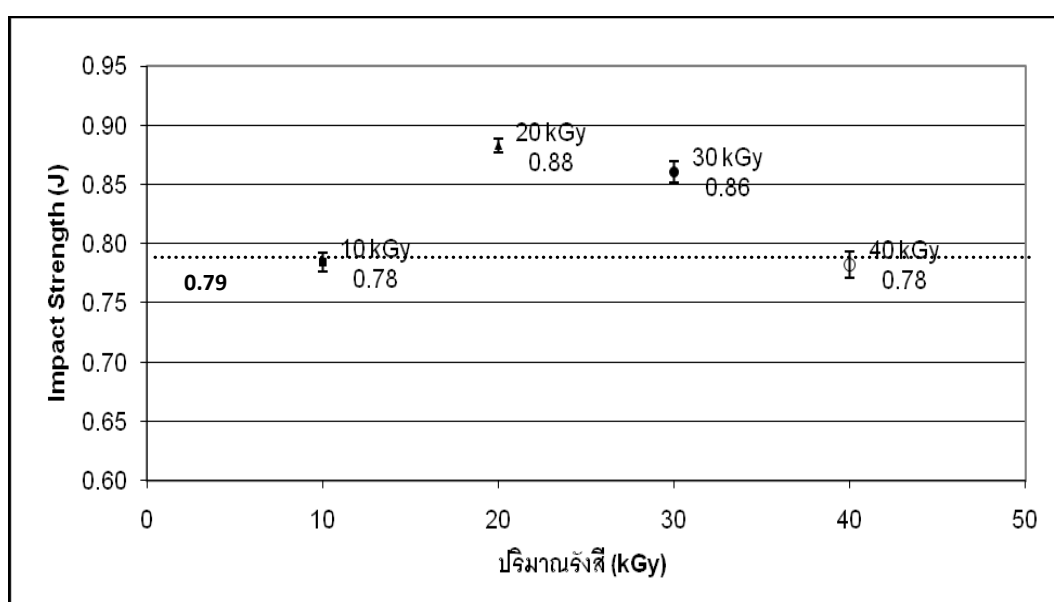
การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact test) ของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต ด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ซึ่งทดสอบกับแผ่นอะครีลิค 5 ประเภท ได้แก่ แผ่นอะครีลิคทั่วไป แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการพอลิเมอไรเซชันโดยรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ตามลำดับ และทำการทดสอบในแต่ละสถานะ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยผลการทดสอบเป็นดังตามตารางที่ 4.5, 4.6 และแผ่นภูมิที่ 4.5, 4.6 โดยเส้นประ (-----) แทนด้วยค่าข้อมูลแผ่นอะครีลิคทั่วไป

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นอะครีลิค

ขนาด 3 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Impact Strenght (J)
แผ่นอะครีลิคทั่วไป	0.79 ± 0.008
10	0.78 ± 0.008
20	0.88 ± 0.006
30	0.86 ± 0.009
40	0.78 ± 0.010

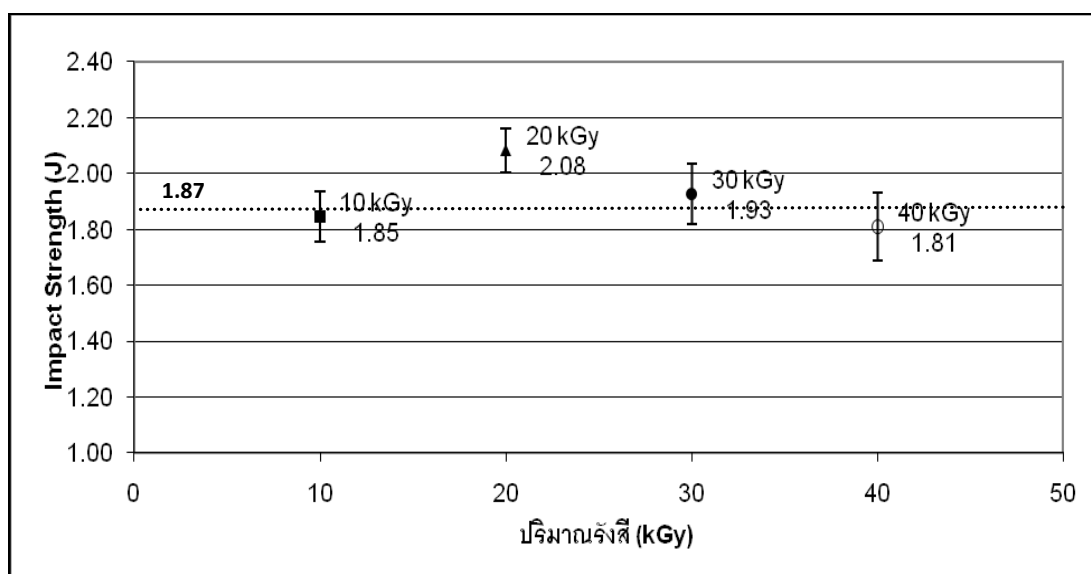


ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นอะครีลิค ขนาด 6 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Impact Strength (J)
แผ่นอะครีลิคทั่วไป	1.87 ± 0.08
10	1.85 ± 0.10
20	2.08 ± 0.08
30	1.93 ± 0.11
40	1.81 ± 0.12



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

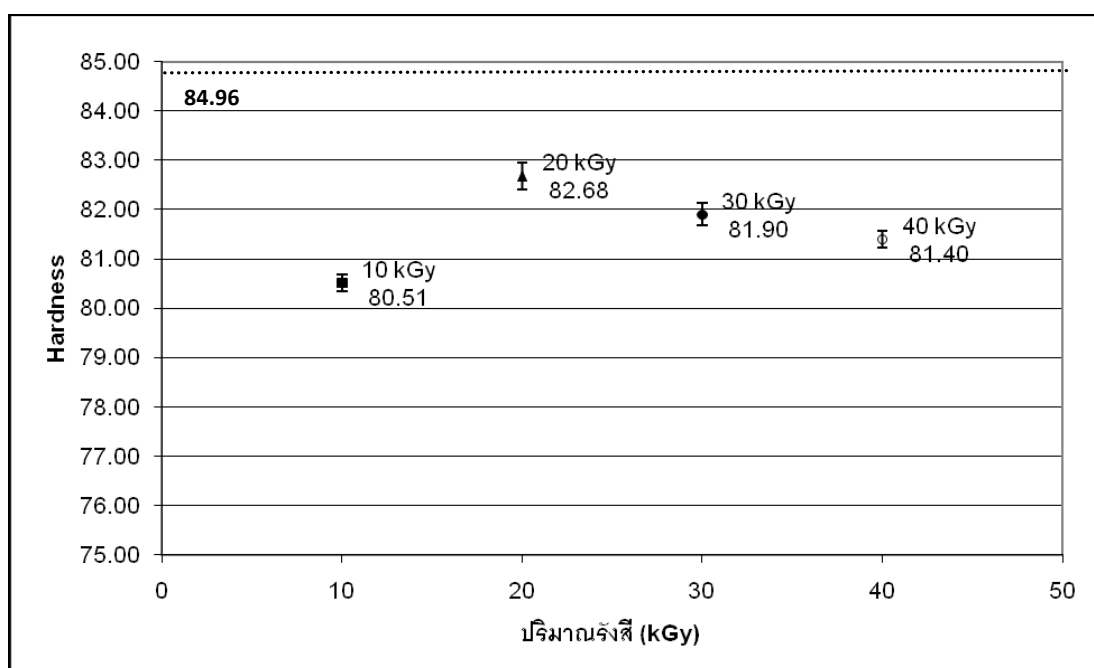
4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness)

การทดสอบสมบัติความแข็งแบบร็อคเวล (Rockwell Hardness) ชนิด M ของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริลิต ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง ซึ่งทดสอบกับแผ่นอะครีลิค 5 ประเภทได้แก่ แผ่นอะครีลิคทั่วไป แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการพอลิเมอไรเซชันโดยรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ตามลำดับ และทำการวัดในแต่ละสภาวะ 5 ตำแหน่งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยผลการทดสอบเป็นดังตามตาราง 4.7, 4.8 แผนภูมิที่ 4.7, 4.8 โดยเส้นประ (---) แทนด้วยค่าข้อมูลแผ่นอะครีลิคทั่วไป

ผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นอะครีลิค 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นอะครีลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Hardness (HRM)
แผ่นอะครีลิคทั่วไป	84.96 ± 0.11
10	80.51 ± 0.17
20	82.68 ± 0.13
30	81.90 ± 0.14
40	81.40 ± 0.17

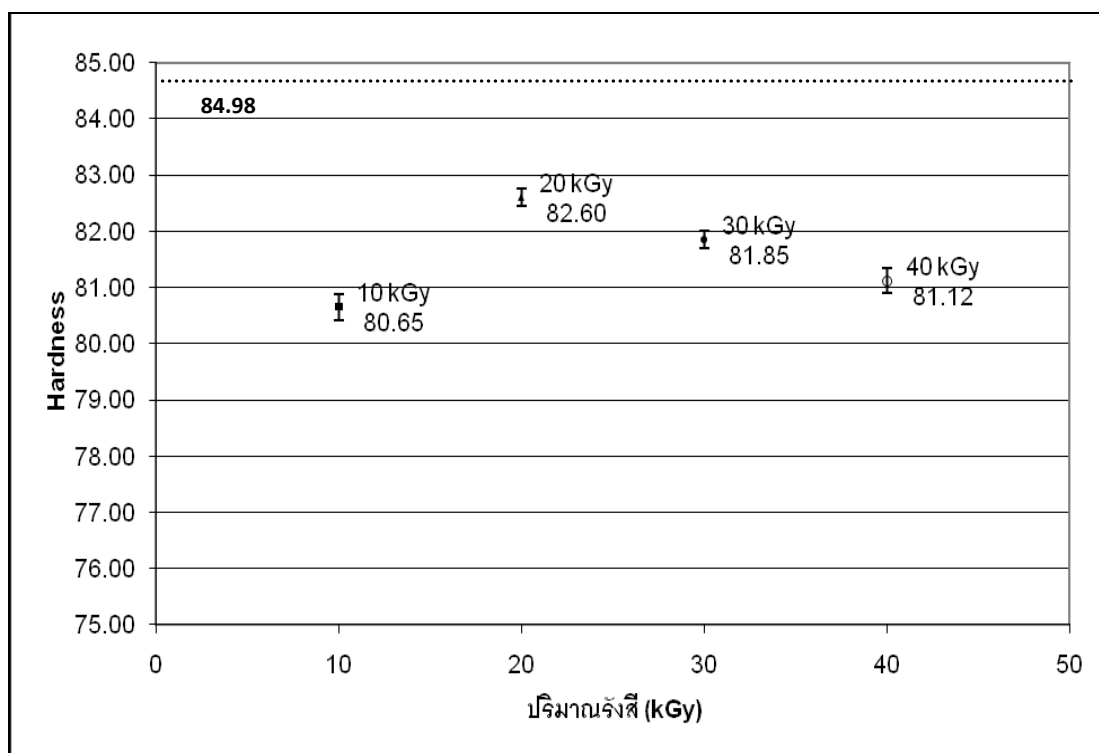


ภาพที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นอะครีลิก 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความแข็ง ของแผ่นอะครีลิก ขนาด 6 มิลลิเมตร

Absorbed dose (kGy)	Hardness (HRM)
แผ่นอะครีลิกทั่วไป	84.98 ± 0.11
10	80.65 ± 0.11
20	82.60 ± 0.19
30	81.85 ± 0.15
40	81.12 ± 0.22

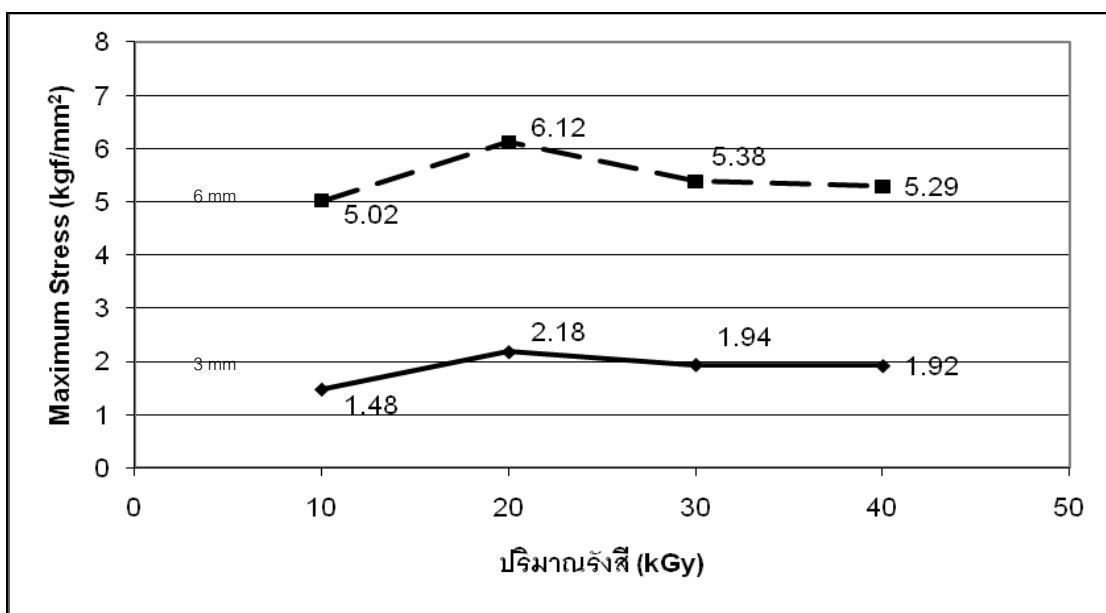


ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิกขนาด 6 มิลลิเมตร

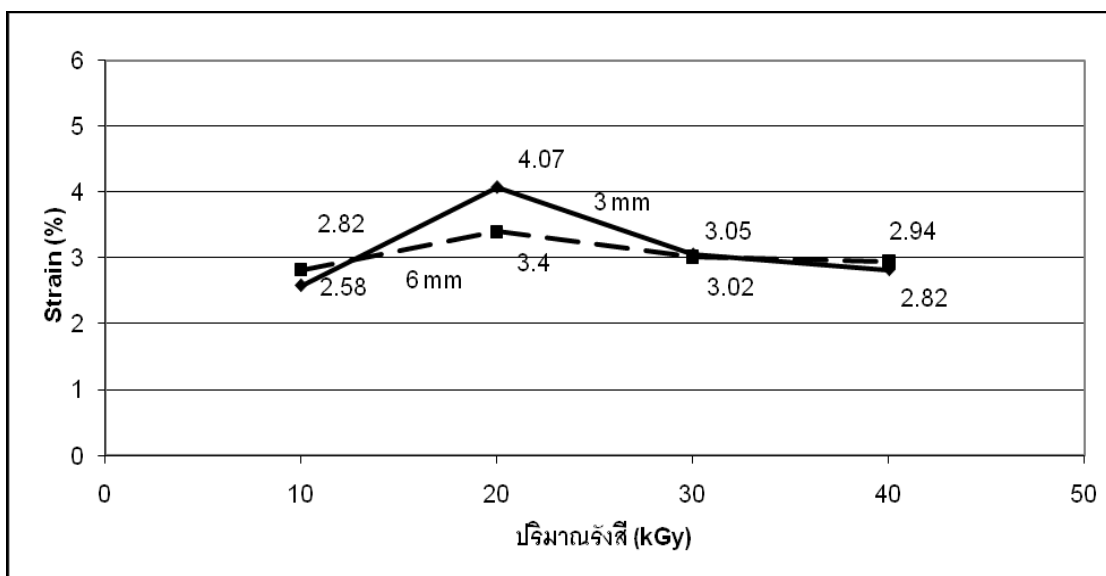
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติการทนต่อแรงดึง ของแผ่นอะครีลิก

ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร โดยทำการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยดูปริมาณรังสีที่เหมาะสม ซึ่งเทียบจากผลการวัดของคุณสมบัติการทนต่อ แรงดึงที่ได้ผลดีที่สุด ผลแสดงดังกราฟที่ 4.9 และ กราฟที่ 4.10



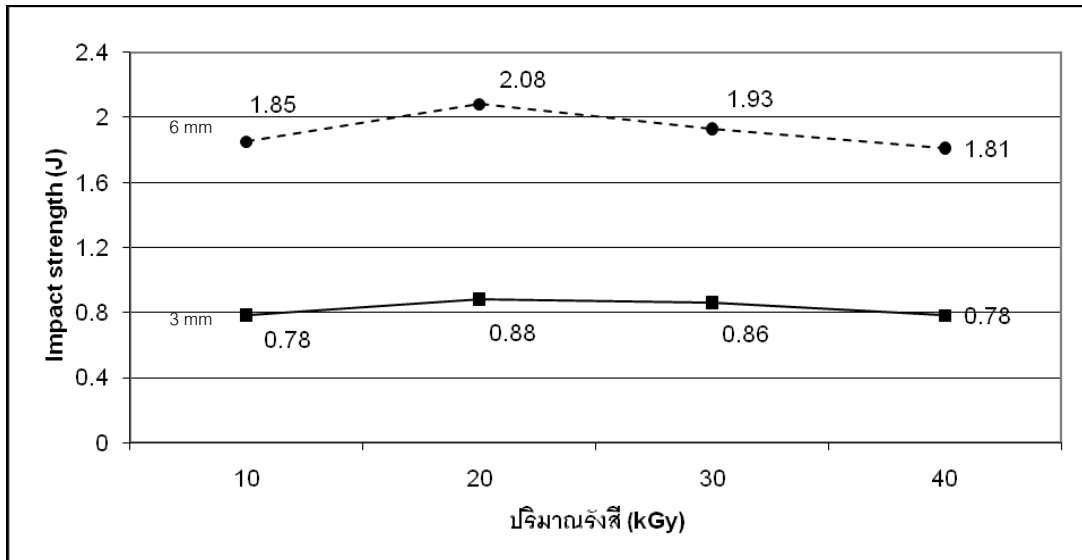
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ของแผ่นอะครีลิก



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด ของแผ่นอะครีลิก

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค

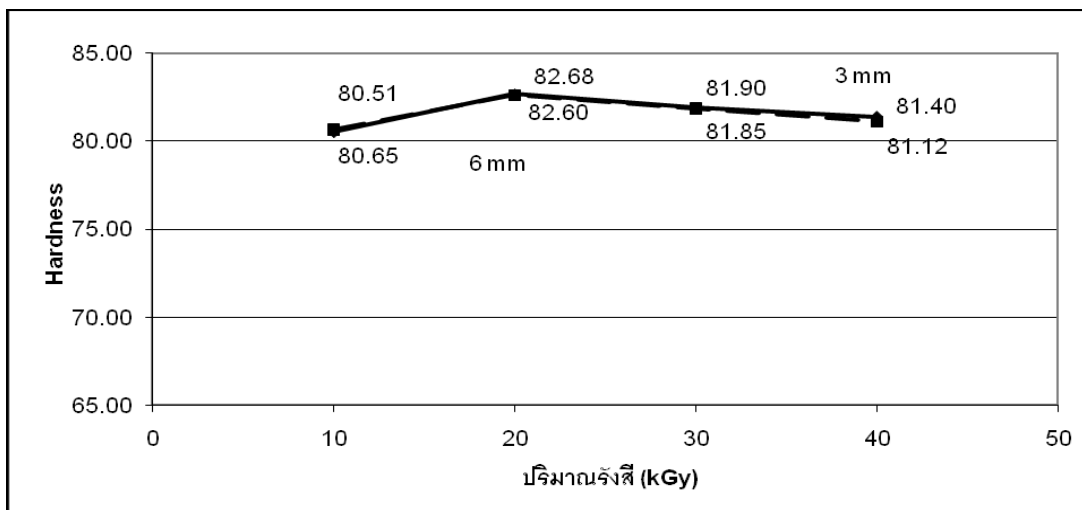
ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร โดยทำการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยดูปริมาณรังสีที่เหมาะสม ซึ่งเทียบจากผลการวัดของคุณสมบัติการทนต่อ แรงกระแทกที่ได้ผลดีที่สุด ผลแสดงดังกราฟที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิค

ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติความแข็ง ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร โดยทำการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยดูปริมาณรังสีที่เหมาะสม ซึ่งเทียบจากผลการวัดของคุณสมบัติความแข็งที่ได้ผลดีที่สุด ผลแสดงดังกราฟที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแข็งของแผ่นอะครีลิค

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการทดลองที่ 4.1 และ 4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะครีลิกเพื่อฉายรังสีแกมมา

จากการทดลองที่ 4.1 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะครีลิก ก่อนที่จะนำไปฉายรังสีแกมมา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตรคือการผสม พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized - MMA) กับ เอไซบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนท์ (ABVN) ปริมาณ 0.01 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ในกรณีที่ใช้ ABVN ในอัตราส่วนดังกล่าวเนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสม เมื่อทำแผ่นอะครีลิกในอัตราส่วนนี้แผ่นที่ได้ ออกมามีลักษณะเรียบ และแผ่นที่ออกมาสามารถนำไปใช้ในการทดสอบได้ จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลา 60 นาที สำหรับ แผ่นอะครีลิกขนาด 6 มิลลิเมตร สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมแผ่นอะครีลิกก่อนนำไปฉายรังสีแกมมาคือการผสม พรีพอลิเมอร์ไรซ์-เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Prepolymerized-MMA) กับ เอไซบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนท์ (ABVN) ปริมาณ 0.01 เปอร์เซนต์ แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 105 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวเมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาตามปริมาณรังสีที่กำหนด แผ่นอะครีลิกที่ออกมานั้นจะมีลักษณะเรียบ เหมาะสมสำหรับการนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล นอกจากนี้การที่แผ่นอะครีลิกที่มีความหนาขนาด 6 มิลลิเมตรใช้ระยะเวลาในการนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มากกว่าเนื่องจากการใช้ความเร็ว และระยะเวลาจนเท่ากับแผ่นอะครีลิกที่มีความหนาขนาด 3 มิลลิเมตรทำให้การผสมเป็นเนื้อเดียวกันเกิดได้ช้า และการที่สารผสมมีปริมาณมากทำให้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันใช้เวลานานกว่า

สำหรับลักษณะของแผ่นอะครีลิกในสภาวะอื่นๆ นอกเหนือจากแผ่นอะครีลิกในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้กล่าวในข้างต้น ลักษณะของแผ่นที่ได้ออกมาจะไม่เรียบสม่ำเสมอ บริเวณผิวเป็นคลื่น ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปทดสอบ เหตุผลในการที่แผ่นอะครีลิกไม่เรียบ เนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น ในกรณีที่น่า Prepolymerized-MMA ไปฉายรังสีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ในทันที ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในแผ่น อะครีลิกเป็นอย่างมาก ซึ่งความร้อนนั้นจะส่งผลต่อการเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันในแผ่นอะครีลิก ทำให้ผิวของแผ่นอะครีลิกไม่เรียบ และไม่มีผิวสัมผัสของแผ่นอะครีลิก

5.2 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะคริลิก

5.2.1 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

จากการทดสอบการทนต่อแรงดึง ของแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตรที่ฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30, 40 กิโลเกรย์ เปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป โดยไม่ได้ฉายรังสีแกมมา พบว่าแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Tensile Stress) และค่าความเครียดที่จุดสูงสุด (Tensile Strain at break) มีค่ามากกว่า แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10, 30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ มีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ $2.18 \pm 0.14 \text{ kgf/mm}^2$ และ ค่าความเครียดที่จุดสูงสุด อยู่ที่ 4.07 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิก ขนาด 3 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป โดยไม่ได้ฉายรังสีแกมมา ค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ $1.84 \pm 0.23 \text{ kgf/mm}^2$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 18.48 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าความเครียดมีค่าอยู่ที่ 4.03 ± 0.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มากนัก โดยมีค่ามากกว่าอยู่ 0.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ

สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 6 มิลลิเมตร จะได้ผลการทดลองคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง สอดคล้องกับผลการทดลองแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร กล่าวคือแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ $6.12 \pm 0.19 \text{ kgf/mm}^2$ และค่าความเครียดที่จุดสูงสุดมีค่า 3.40 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิก ขนาด 6 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป โดยไม่ได้ฉายรังสีแกมมา พบว่าค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ $5.83 \pm 0.10 \text{ kgf/mm}^2$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 4.97 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าความเครียดมีค่าอยู่ที่ 3.37 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มากนัก โดยมีค่ามากกว่าอยู่ 0.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ

จากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่าค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเครียดที่จุดสูงสุด ของแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์มีค่าน้อยกว่า แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ เนื่องจากแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันน้อยกว่า แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ และน้อยกว่าแผ่นอะคริลิกทั่วไป การที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันน้อย ทำให้การจับตัวกันเป็นพันธะของโมโนเมอร์จึงน้อยลง เมื่อมีแรงมากระทำต่อ แผ่นอะคริลิก การทนต่อแรงดึงจึงน้อยลงตามไปด้วย

นอกจากนี้ค่าของความเค้นสูงสุด และค่าความเครียดที่จุดสูงสุด ของแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 30, 40 กิโลเกรย์ มีค่าที่ต่ำกว่าแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ เนื่องจากการที่ได้รับรังสีแกมมามากเกินไป ทำให้เกิดการทำลายโมเลกุลโดยรังสี (Degradation) ส่งผลทำให้พันธะที่จับกันเป็นพอลิเมอร์นั้น ถูกทำลายทำให้โครงสร้างของแผ่นนั้นไม่แข็งแรง ดังนั้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อแผ่นอะคริลิก การทนต่อแรงดึงจึงน้อยลงตามไปด้วย

จากการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงพบว่าค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะคริลิก ที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าสูงกว่าแผ่นอะคริลิกทั่วไป เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยวิธีทั่วไปนั้นใช้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งทำให้เกิดความเค้นตกค้างในแผ่นอะคริลิกได้ แต่การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมานั้น จะไม่ทำให้เกิดความเค้นตกค้างในแผ่นอะคริลิก

5.2.2 อภิปรายผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

จากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ของแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตรที่ฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30, 40 กิโลเกรย์ เปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป ที่ไม่ได้ฉายรังสีแกมมา พบว่าค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิกที่ได้รับการฉายรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10, 30, 40 กิโลเกรย์ และแผ่นอะคริลิกทั่วไปโดยมีค่าเท่ากับ 882.80 ± 6.18 มิลลิจูล แผ่นอะคริลิกที่มีค่าทนต่อแรงกระแทกรองลงมาคือ แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 30 กิโลเกรย์ ตามด้วยแผ่นอะคริลิกทั่วไป ที่ไม่ได้รับการฉายรังสี และ แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 40 กิโลเกรย์ และแผ่นอะคริลิกที่มีค่าทนแรงกระแทกต่ำที่สุดก็คือ แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ ซึ่งมีค่าทนต่อแรงกระแทก 784.18 ± 7.83 มิลลิจูล เมื่อเปรียบเทียบค่าทนต่อแรงกระแทกระหว่าง แผ่นที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ กับแผ่นอะคริลิกทั่วไป ซึ่งมีค่าทนต่อแรงกระแทกเท่ากับ 787.70 ± 8.27 มิลลิจูล พบว่า แผ่นที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา 20 กิโลเกรย์มีค่าทนต่อแรงกระแทก เพิ่มขึ้น 12.07 เปอร์เซ็นต์

สำหรับแผ่นอะคริลิกขนาด 6 มิลลิเมตร ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกพบว่า แผ่นที่มีค่าทนต่อแรงกระแทกสูงสุด คือแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ ซึ่งมีค่าทนแรงกระแทกเท่ากับ 2.08 ± 0.08 จูล รองลงมาคือ แผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 30 กิโลเกรย์ตามด้วยแผ่นอะคริลิกทั่วไป สำหรับค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิกที่ได้รับปริมาณรังสี 10 และ 40 กิโลเกรย์มีค่ารองลงมาตามลำดับต่อจากแผ่นอะคริลิกทั่วไป ซึ่งเมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิกทั่วไป

ที่มีค่าทนแรงกระแทกเท่ากับ 1.87 ± 0.08 จูล พบว่าแผ่นที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา 20 กิโลเกรย์มีค่ามากกว่า 11.23 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิกทั้งสองความหนา พบว่าแผ่นอะครีลิกที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลที่ได้รับการปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าที่มากกว่าแผ่นอะครีลิกทั่วไป ในการที่ใช้รังสีแกมมาช่วยทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันมีส่วนทำให้ เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่ตกค้างอยู่ ลดน้อยลงเนื่องจากรังสีแกมมา มีอำนาจทะลุทะลวงที่สูง ทำให้สามารถเกิดการพอลิเมอไรซ์ อย่างทั่วถึงในแม่พิมพ์อะครีลิก การที่เหลือเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์น้อย แสดงว่ามีการเกิดพอลิเมอไรในแผ่นอะครีลิกมากขึ้น ซึ่งการที่เกิดพันธะเชื่อมกันมาก แสดงว่ามีความสามารถที่จะรองรับแรงที่มากกระทำต่อตัวแผ่นได้มากขึ้น ทำให้แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการฉายรังสีในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลอง

5.2.3 อภิปรายผลการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิก

จากการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิก ขนาด 3 มิลลิเมตรพบว่าแผ่นอะครีลิกทั่วไปมีค่าความแข็งมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 84.96 ± 0.11 โดยที่มีค่ารองลงมาคือ แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการปริมาณรังสี 20, 10, 30 และ 40 กิโลเกรย์ตามลำดับ สำหรับแผ่นอะครีลิกขนาด 6 มิลลิเมตร จากการทดสอบคุณสมบัติความแข็ง พบว่ามีผลที่สอดคล้องเช่นเดียวกันกับแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร กล่าวคือ แผ่นอะครีลิกที่มีความแข็งมากที่สุดคือแผ่นอะครีลิกทั่วไป โดยมีค่าเท่ากับ 84.98 ± 0.11 โดยที่แผ่นอะครีลิกที่มีค่าความแข็งรองลงมาคือ แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการปริมาณรังสี 20, 10, 30 และ 40 กิโลเกรย์ ตามลำดับ

จากการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิก ขนาด 3 มิลลิเมตรและ 6 มิลลิเมตร พบว่าการที่แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ นั้นมีความแข็งที่น้อยกว่า แผ่นอะครีลิกทั่วไปที่ไม่ได้รับการฉายรังสี เนื่องจากการที่นำโมโนเมอร์ไปให้ความร้อนในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชันขึ้นบางส่วน โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของแผ่นอะครีลิก จากนั้นเมื่อนำไปฉายรังสีทำให้บริเวณผิวด้านนอกของแผ่นเกิดการถูกทำลายโดยรังสี (Degradation) ทำให้บริเวณผิวมีความแข็งที่น้อยลงเมื่อเทียบกับแผ่นอะครีลิกทั่วไป นอกจากนี้แผ่นอะครีลิกที่ได้รับการฉายรังสี 10 กิโลเกรย์มีความแข็งน้อยกว่า เนื่องจากยังเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่ยังไม่สมบูรณ์ทำให้มีความแข็งน้อยที่สุด

5.3 อภิปรายผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร เมื่อวิเคราะห์แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ พบว่าการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าดีที่สุดมากกว่าแผ่นอะครีลิคที่เหลือ ซึ่งแผ่นอะครีลิคทั้งสองขนาดมีค่าทนต่อแรงดึงที่สอดคล้องกัน ดังกราฟที่ 4.9 และ 4.10 สำหรับการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร ที่วิเคราะห์แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ พบว่าแผ่นอะครีลิคที่มีความทนต่อแรงกระแทกมากที่สุดคือ แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์ ซึ่งแผ่นอะครีลิคที่ได้ทำการทดลองทั้งสองขนาดมีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน ดังกราฟที่ 4.11 และในการทดสอบคุณสมบัติความแข็ง (Hardness) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ พบว่า แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์มีค่าความแข็งที่มากที่สุด ซึ่งผลการทดลองของแผ่นอะครีลิคทั้งสองขนาดนั้นสอดคล้องกัน

จากการที่แผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร มีผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์ ได้ค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ถึงแม้ว่าแผ่นอะครีลิคมีขนาดต่างกัน แต่ใช้ปริมาณรังสีที่เท่ากันในการเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่เหมาะสม เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้รังสีแกมมา ซึ่งมีความสามารถในการทะลุทะลวงที่สูง ทำให้โมโนเมอร์ที่อยู่ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปได้รับปริมาณรังสีเท่าๆกันทั่วทั้งแผ่น ถึงแม้ว่าความหนาจะเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 3 มิลลิเมตร ปริมาณรังสีแกมมาที่ทำอันตรกิริยากับโมโนเมอร์ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์

ประกอบไปด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมไม่สูง และในการทดลองนี้ทำแผ่นอะครีลิคที่มีความหนาไม่มาก ทำให้รังสีแกมมาจึงไม่ได้ถูกดูดกลืนในตัวเนื้อสารมากนัก จึงทำให้แผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตรใช้ปริมาณรังสีที่ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้เมื่อดูแผนภูมิของคุณสมบัติเชิงกลทั้ง 3 คุณสมบัติ พบว่า แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 10, 20 กิโลเกรย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการทดลองเพิ่ม กล่าวคือมีการฉายรังสีเพิ่มในช่วง 10 – 20 กิโลเกรย์ อาจจะได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่แผ่นอะครีลิคกำลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างสมบูรณ์

5.4 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกโดยใช้รังสีแกมมา เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นอะครีลิก ในระดับห้องปฏิบัติการที่ทำให้แผ่นขึ้นงานออกมาดี ปราศจากฟองอากาศบนชิ้นงาน คือการใช้ เอไซบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนล์ (ABVN) ปริมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปแช่ในน้ำร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีสำหรับแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และใช้เวลา 105 นาทีสำหรับแผ่นอะครีลิก ขนาด 6 มิลลิเมตร จึงทำให้แผ่นอะครีลิกออกมาเรียบ

การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิกที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก และ สมบัติความแข็ง โดยสมบัติการทนต่อแรงดึงพบว่าแผ่นอะครีลิกที่ฉายรังสีที่ปริมาณ 20 กิโลเกรย์ ขนาด 3 มิลลิเมตรและขนาด 6 มิลลิเมตรมีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าแผ่นอะครีลิกทั่วไปคิดเป็น 18.48 เปอร์เซ็นต์ และ 4.97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก แผ่นอะครีลิกที่ฉายรังสีที่ปริมาณ 20 กิโลเกรย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร มีค่าทนต่อแรงกระแทกมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิกทั่วไป มีค่ามากกว่าโดยคิดเป็น 12.07 เปอร์เซ็นต์ และ 11.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบสมบัติความแข็ง ของแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร พบว่าแผ่นอะครีลิกทั่วไปมีค่าความแข็งมากกว่าแผ่นอะครีลิกที่ได้รับการฉายรังสี ทั้งสองความหนา

จากการศึกษาหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิกพบว่าแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร มีผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือแผ่นอะครีลิกที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์ ได้ผลที่ดีที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก และ สมบัติความแข็ง ดังนั้นปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติแผ่นอะครีลิกที่มีความหนาไม่เกิน 6 มิลลิเมตร ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ 20 กิโลเกรย์

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยได้ทำการทดลองในเครื่องฉายรังสีแกมมาระดับวิจัย ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังไม่เพียงพอต่อการที่จะนำไปใช้ในทางการค้า ถ้าทำในเชิงการค้าแผ่นอะครีลิคต้องทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ดังนั้นถ้าทำในเชิงการค้าจะต้องมีการศึกษาระบบการระบายความร้อนขณะฉายรังสีเพิ่มขึ้นด้วย

2. งานวิจัยในครั้งนี้ใช้อัตราปริมาณรังสีที่ต่ำ ทำให้ใช้เวลานานในการทำแผ่นอะครีลิค นอกจากนี้การให้ระยะเวลาทำแผ่นที่นาน จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นอะครีลิคด้วย เนื่องจากโมโนเมอร์สามารถที่จะพอลิเมอไรซ์ตัวเองได้ด้วย ดังนั้นควรทำการทดลองโดยใช้อัตราปริมาณรังสีที่สูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้อาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไปได้

3. งานวิจัยควรมีการศึกษาอุณหภูมิในขณะที่ฉายรังสีแกมมาด้วย เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ด้วย

รายการอ้างอิง

- [1] ฉัตรวิยะ ศรีปี. การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด. ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535
- [2] มาลี กลิ่นกุหลาบ. การใช้รังสีแกมมาเหนี่ยวนำให้เกิดครอสลิงก์ในเมทิลเมทาครีเลต กรดอะคริลิกและโพลีไวนิลคลอไรด์ ร่วมกับสารไวปฏิกิริยาบางตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] D. Cangialosi et al. Electron beam induced polymerization of MMA in the presence of rubber: a novel process to produce tough materials. Radiation Physics and Chemistry ,63, 63-68, 2002
- [4] รศ.แม่้น อมรสิทธิ์, รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, อาจารย์ธรรมบุญ อุดมมัน, วัสดุวิศวกรรม หน้า 395 -396 , สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ
- [5] นิต์ศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์. เชียงใหม่ : หน่วยพิมพ์เอกสารและตำรา ภาควิชาเคมี อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543
- [6] เจริญ นาคะสวรรค. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์นิติธรรม, 2542

ภาคผนวก

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิค 3 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	Peakload (kgf)	Peakstress (kgf/mm ²)	ค่าเฉลี่ย (peak stress)	S.D	Peakstrain (%)	ค่าเฉลี่ย (peak strain)	SD
std1.tst	134.78	2.09	1.84	0.23	2.99	4.03	0.19
std2.tst	103.32	1.78			2.32		
std3.tst	121.87	1.65			2.42		
10 kGy (1).	107.82	1.02	1.48	0.43	3.98	2.58	0.36
10 kGy (2).	117.78	1.54			3.99		
10 kGy (3)	126.50	1.88			4.25		
20 kGy (1)	140.22	2.04	2.18	0.14	3.05	4.07	0.15
20 kGy (2)	138.64	2.32			2.95		
20 kGy (3)	131.97	2.18			3.15		
30 kGy (1).	120.41	1.75	1.94	0.18	3.01	3.05	0.10
30 kGy (2).	119.93	1.98			2.85		
30 kGy (3).	130.84	2.10			2.59		
40 kGy (1)	127.20	1.95	1.92	0.29	4.22	2.82	0.21
40 kGy (2)	120.62	1.62			3.85		
40 kGy (3)	102.84	2.20			4.01		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นอะครีลิค 6 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	PeakLoad (kgf)	PeakStress (kgf/mm ²)	ค่าเฉลี่ย (peak stress)	S.D	PeakStrain (%)	ค่าเฉลี่ย (peak strain)	SD
std1	550.52	5.8	5.83	0.10	3.29	3.37	0.14
std2	585.11	5.95			3.53		
std3	600.11	5.75			3.3		
10 kGy(1)	500.54	4.68	5.02	0.29	2.87	2.82	0.18
10 kGy(2)	520.62	5.2			2.97		
10 kGy(3)	513.53	5.18			2.62		
20 kGy(1)	597.86	6.08	6.12	0.19	3.39	3.40	0.15
20 kGy(2)	540.15	5.95			3.55		
20 kGy(3)	630.29	6.32			3.25		
30 kGy(1)	477.02	5.55	5.38	0.15	3.05	3.02	0.15
30 kGy(2)	430.69	5.25			2.85		
30 kGy(3)	517.02	5.35			3.15		
40 kGy(1)	467.95	5.15	5.29	0.13	3.05	2.94	0.13
40 kGy(2)	507.33	5.32			2.79		
40 kGy(3)	421.79	5.4			2.97		

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค 3 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	ค่าทนแรงกระแทก (mJ)			ค่าเฉลี่ย (mJ)	S.D.
แผ่นอะครีลิค ทั่วไป	795.59	779.10	788.40	787.70	8.27
10 kGy	790.35	786.82	775.38	784.18	7.83
20 kGy	880.75	877.91	889.75	882.80	6.18
30 kGy	869.57	850.85	862.21	860.88	9.43
40 kGy	791.21	785.63	770.35	782.40	10.80

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิค 6 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	ค่าทนแรงกระแทก (J)			ค่าเฉลี่ย (J)	S.D
แผ่นอะครีลิค ทั่วไป	1.86	1.79	1.95	1.87	0.08
10 kGy	1.75	1.95	1.84	1.85	0.10
20 kGy	2.00	2.10	2.15	2.08	0.08
30 kGy	1.80	2.00	1.98	1.93	0.11
40 kGy	1.67	1.86	1.90	1.81	0.12

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิก 3 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (HRM)					ค่าเฉลี่ย	SD
อะครีลิก ทั่วไป	85.00	85.10	84.90	84.80	85.00	84.96	0.11
10 kGy	80.40	80.65	80.60	80.50	80.40	80.51	0.11
20 kGy	82.80	82.50	82.70	82.80	82.60	82.68	0.13
30 kGy	82.00	82.00	81.70	81.80	82.00	81.90	0.14
40 kGy	81.50	81.45	81.45	81.50	81.10	81.40	0.17

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิก 6 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (HRM)					ค่าเฉลี่ย	SD
อะครีลิก ทั่วไป	85.00	85.10	85.02	84.80	85.00	84.98	0.11
10 kGy	80.80	80.60	80.70	80.65	80.50	80.65	0.11
20 kGy	82.60	82.30	82.62	82.70	82.80	82.60	0.19
30 kGy	81.65	81.95	81.75	81.90	82.00	81.85	0.15
40 kGy	81.00	81.10	81.00	80.99	81.50	81.12	0.22

ตารางที่ ก.7 ปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดจากแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร

Badge No.	Code No.	ปริมาณรังสี (kGy)
1	1A	10.76
2	2A	11.28
3	3A	12.10
4	1B	9.96
5	2B	9.54
6	3B	9.98
ค่าเฉลี่ย	10.60 ± 0.96 kGy	

ตารางที่ ก.8 ปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดจากแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

Badge No.	Code No.	ปริมาณรังสี (kGy)
1	1A	9.90
2	2A	10.30
3	3A	9.83
4	1B	9.54
5	2B	10.34
6	3B	9.98
ค่าเฉลี่ย	9.97 ± 0.31	

ตาราง ก.9 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นอะครีลิกขนาด 3 มิลลิเมตร จากบริษัท
แพนเอเชียอุตสาหกรรม จำกัด

Physical Properties		Value	Unit
Specific Gravity		1.19	-
Hardness, (Brinell)		20-24	-
Water Absorption (24hr)		0.3	%
Compressive Strength	Yield	1260	kg/CM2
Modulus of Elasticity		30000	kg/CM2
Tensile Strength	Rupture	760	kg/CM2
Tensile Strength	Elongation	3	%
Flexural Strength	Rupture	1200	kg/CM2
Shear Strength		630	kg/CM2
Impact Strength : 200 gr. Steel ball		0.4	m
Refractive index		1.49	-
Heat Distortion Temp		100	°C
Coefficient of Thermal Conductivity		4-6 x 10-4	Cal/sec/cm2/c/cm
Coefficient of Thermal Linear		7 x 10-5	°C
Max Recommended Continuous		85	°C
Weather resistance		>10	year/<1 Decme
Hot Forming Temp		140-180	°C
Specific Heat		0.35	Ohm-cm.
Dielectric Strength		20	Kv/mn.
Volume Resistivity		1015-1019	Ohm-cm.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรพล จินใจ เกิดเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดพะเยา สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (รังสีเทคนิค) จากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้าทำงานในตำแหน่งนักรังสีเทคนิค ที่แผนก เอกซเรย์ โรงพยาบาลวิชัย ยุทธ แล้วเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2551