การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา*

Improvement of mechanical properties of acrylic sheet by gamma radiation polymerization

วีรพล จินโจ**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่ผลิตโดยใช้รังสีแกมมา ทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เพื่อลดความเค้นตกค้างในแผ่นอะครีลิค และลดโมโนเมอร์ที่หลงเหลืออยู่ จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก และสมบัติความแข็ง พบว่า การใช้รังสีแกมมาในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันในการผลิตแผ่นอะครีลิค ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง โดยมีค่าความเค้นสูงสุดเพิ่มขึ้น 18.48 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 4.97 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับแผ่นอะครีลิคทั่วไป นอกจากนี้คุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น 12.09 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 11.60 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร ส่วนค่าความแข็งมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับแผ่นอะครีลิคทั่วไป สำหรับปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นอะครีลิคคือ 20 กิโลเกรย์

Abstract

This research work studied improvement of mechanical properties of acrylic sheets by gamma radiation polymerization, in order to reduce residual stress and residual monomer in acrylic sheets. Mechanical property tests such as tensile strength, impact strength and hardness revealed that gamma radiation polymerization during acrylic sheet fabrication increased tensile properties. The maximum stress increased by 18.48 percent for 3 mm. thick acrylic sheets and 4.97 percent for 6 mm. thick acrylic sheets compared with a generic acrylic sheet. In addition, the impact strength property increased by 12.09 percent for 3 mm. thick acrylic sheets and 11.60 percent for 6 mm. thick acrylic sheets

---

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต เรื่อง การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail: tumrt@hotmail.com อาจารย์ที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail: Doonyapong.W@chula.ac.th

compared with a generic acrylic sheet. On the other hand, the shore D hardness decreased compared with a generic acrylic sheet. The suitable gamma irradiation dose for acrylic sheet fabrication was 20 kGy.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้อะครีลิค กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากระจกหลายประการ เช่นมีน้ำหนักเบากว่า ทนแรงกระแทกได้มากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผลิตเป็นสิ่งของต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องใช้สำหรับงานตกแต่ง, ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมรถยนต์ เครื่องไฟฟ้า เครื่องมือการแพทย์ แท่นใส่รายการอาหารตั้งโต๊ะ เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นอะครีลิค เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทานกับแผ่นอะครีลิค จึงมีความสำคัญ เพราะจะทำให้มูลค่าของแผ่นอะครีลิคนั้นสูงขึ้น

ในขั้นตอนการผลิตแผ่นอะครีลิค กระบวนการที่สำคัญคือการปล่อยให้ โมโนเมอร์ ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ให้เกิดเป็นพอลิเมอร์โดยต้องใช้เวลา อุณหภูมิ และอัตราส่วนสารตั้งต้นต่างๆที่เหมาะสมจึงจะได้อะครีลิค ที่มีคุณภาพออกมา ในการผลิตโดยวิธีปกติที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องจะมี Residual stress หลงเหลืออยู่ในแผ่นอะครีลิคเสมอ ทำให้คุณสมบัติเชิงกล เช่น Impact strength และ tensile strength ไม่ดี หากใช้รังสีแกมมาฉายระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะสามารถทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นพอลิเมอร์ได้เช่นกัน และลด Residual stress ให้น้อยลง ทำให้ได้แผ่นอะครีลิคที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ ที่จะศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่ผลิตโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ด้วยรังสีแกมมา

3.ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 การเตรียมแผ่นอะครีลิค

ผสมพรีพอลิเมอไรซ์- เมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ กับ สารเร่งปฏิกิริยาเอโซบิส-2,4- ไดเมทิลวาเลโรไนไทล์ (ABVN) ปริมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เข้าด้วยกันโดยนำไปปั่นให้ผสมกลายเป็น เนื้อเดียวกัน ซึ่งในกระบวนการนี้จะทำให้ส่วนผสมเกิดฟองอากาศแทรกอยู่ในสารผสม จึงต้องนำส่วนผสมไปเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นสุญญากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศออกจากสารผสม จากนั้นทำการเตรียมแม่พิมพ์โดยนำกระจก 2 แผ่นประกบเข้าหากัน โดยมีประเก็นพีวีซี (PVC) เป็นตัวกั้นกลางเพื่อป้องกันสารละลายรั่วไหล และเพื่อเป็นตัวกำหนดขนาดและความหนาของแผ่นอะคริลิกอีกด้วย หลังจากนั้นจึงใช้ตัวยึดจับ (clamp) เป็นตัวหนีบให้กระจกกระชับกับประเก็น PVC ตลอดทั้งแนว ขั้นตอนสุดท้ายจึงเทสารละลายที่เตรียมมาเป็นอย่างดีแล้วลงไปในแม่พิมพ์แล้วติด clamp ให้ครบถ้วนก่อนที่จะนำกระจกไปแช่ในอ่างน้ำ ร้อนอุณหภูมิ

ประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตรใช้เวลาแช่ 60 นาที และแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตรใช้เวลาแช่ 105 นาทีก่อนนำไปฉายรังสี

3.2 การขึ้นรูปแผ่นอะครีลิค โดยใช้รังสีแกมมา

นำแม่พิมพ์อะครีลิคที่เตรียมได้ไปฉายรังสีแกมมา ในเครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60 โดยอัตราปริมาณรังสีที่แม่พิมพ์อะครีลิคได้รับ อยู่ที่ 0.33 – 0.37 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และฉายรังสีที่ปริมาณ 10, 20,30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยทั้งสองความหนาฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณเดียวกัน

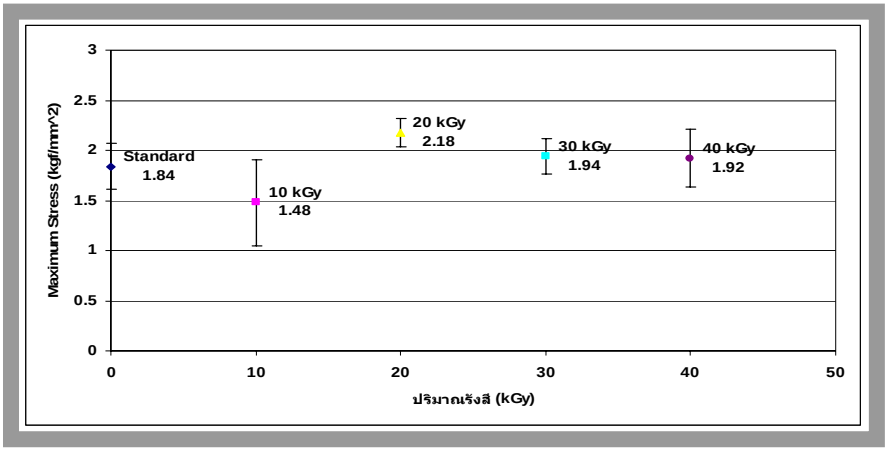
3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

นำแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีตามปริมาณที่กำหนด และแผ่นอะครีลิคที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบัลค์พอลิเมอไรเซชัน มาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) และสมบัติความแข็ง (Hardness)

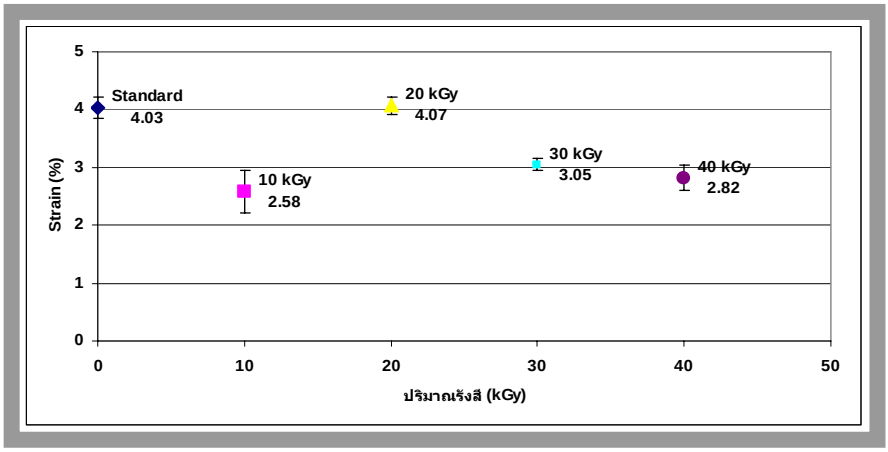
4. ผลการวิจัยและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง

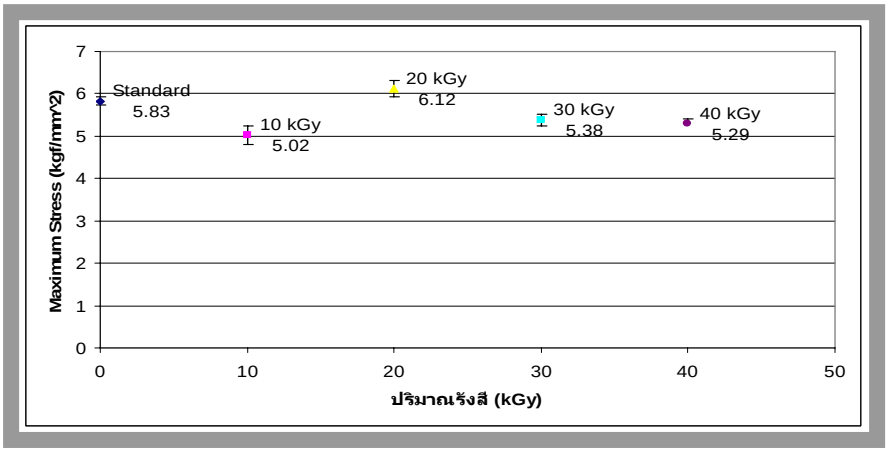
เมื่อเปรียบเทียบแผ่นอะครีลิคทั้งหมด พบว่าแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตรที่ได้รับการฉายรังสีปริมาณ 20 กิโลเกรย์มีค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นที่จุดสูงสุดดีที่สุดคือ 2.18 ± 0.14 kgf/mm^2 และ ความเครียดที่จุดสูงสุด อยู่ที่ 4.07 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิค ขนาด 3 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป มีค่ามากกว่า 18.48 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าความเครียดมีค่ามากกว่าอยู่ 0.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแผ่นอะครีลิคทั่วไป สำหรับแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตรที่ได้รับการฉายรังสีปริมาณ 20 กิโลเกรย์พบว่ามีค่าที่ดีที่สุดเช่นเดียวกัน โดยค่าความเค้นสูงสุดมีค่า 6.12 ± 0.19 kgf/mm^2 และค่าความเครียด จุดสูงสุดมีค่า 3.40 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าแผ่นอะครีลิคทั่วไปขนาด 6 มิลลิเมตรคิดเป็น 4.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าความเครียดมีค่ามากกว่าอยู่ 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงได้ดังกราฟที่ 1, 2, 3 และ 4



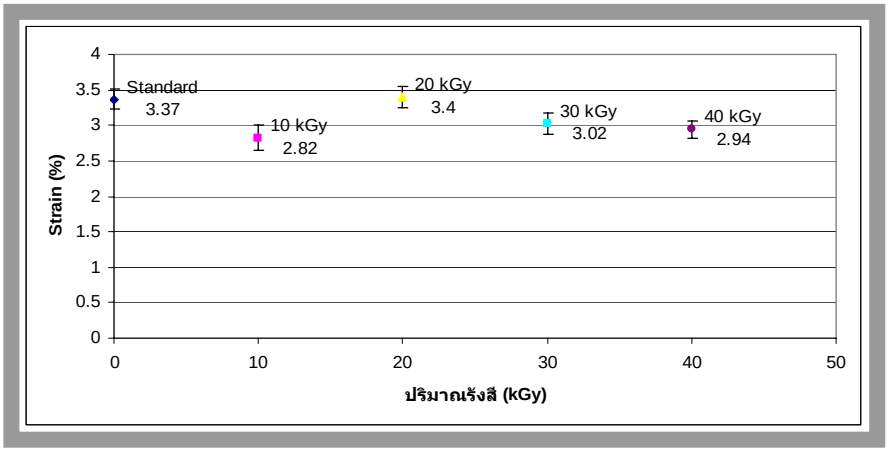
ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าความเครียดของแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

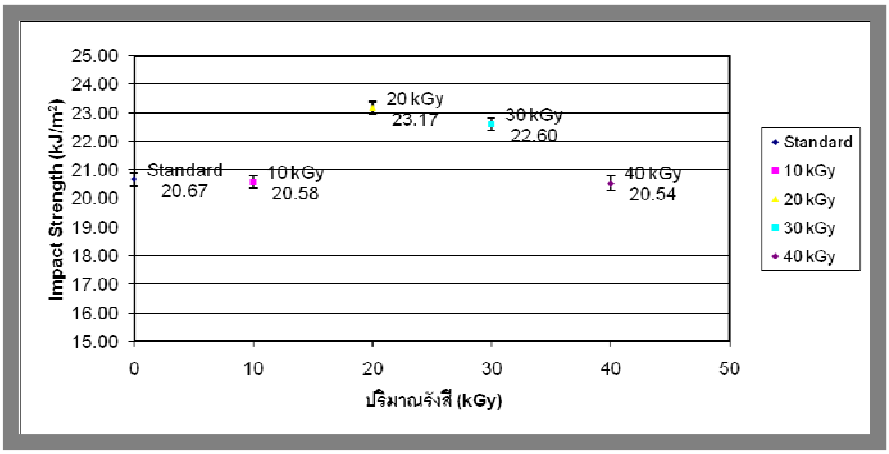


ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความเครียดแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

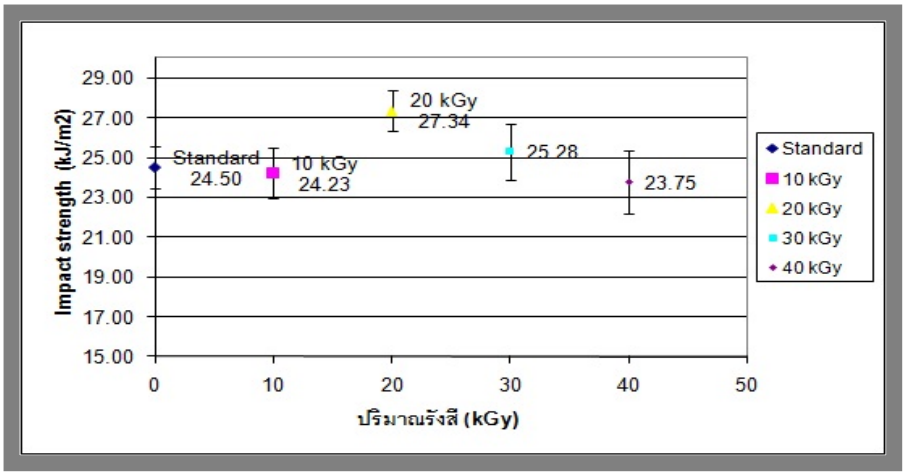
จากการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงพบว่าค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นอะคริลิค ที่ได้รับปริมาณรัง 20 กิโลเกรย์มีค่าสูงกว่าแผ่นอะคริลิคทั่วไป เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยวิธีทั่วไปนั้นใช้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งทำให้เกิดความเค้นตกค้างในแผ่นอะคริลิคได้ แต่การเกิดพอลิเมอไรเซชัน ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมานั้น จะไม่ทำให้เกิดความเค้นตกค้างในแผ่นอะคริลิคได้

4.2 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

ค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิค ขนาด 3 มิลลิเมตร ที่ได้รับการฉายรังสี 20 กิโลเกรย์ มีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับแผ่นอะคริลิคทั้งหมด โดยมีค่าเท่ากับ 23.17 ± 0.16 จูลต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิคทั่วไป พบว่าแผ่นที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา 20 กิโลเกรย์มีค่าทนต่อแรงกระแทก เพิ่มขึ้น 12.09 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแผ่นอะคริลิค ขนาด 6 มิลลิเมตร มีค่าสอดคล้องเช่นเดียวกับแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร โดยมีค่าทนต่อแรงกระแทกเท่ากับ 27.34 ± 1.00 จูลต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิคทั่วไป พบว่าแผ่นที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา 20 กิโลเกรย์มีค่าทนต่อแรงกระแทก เพิ่มขึ้น 11.60 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงได้ดังกราฟที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิคขนาด 3 มิลลิเมตร

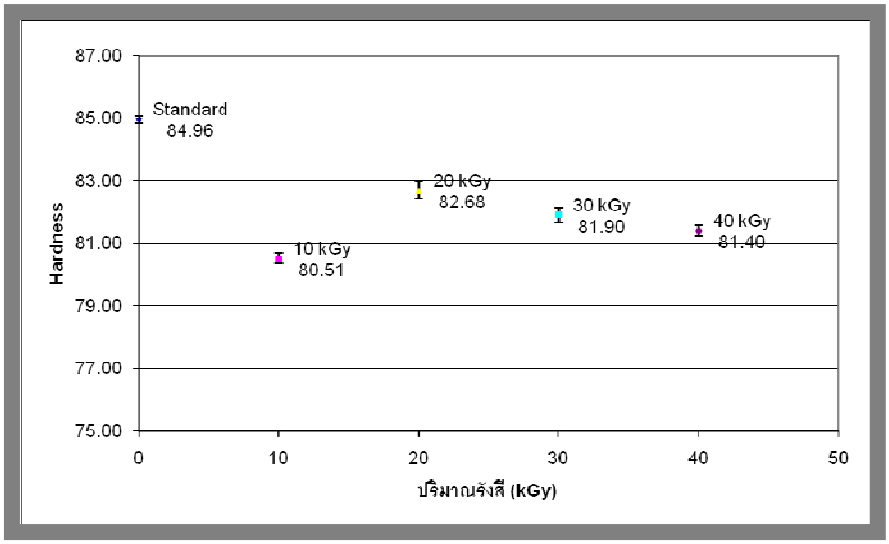


ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะคริลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

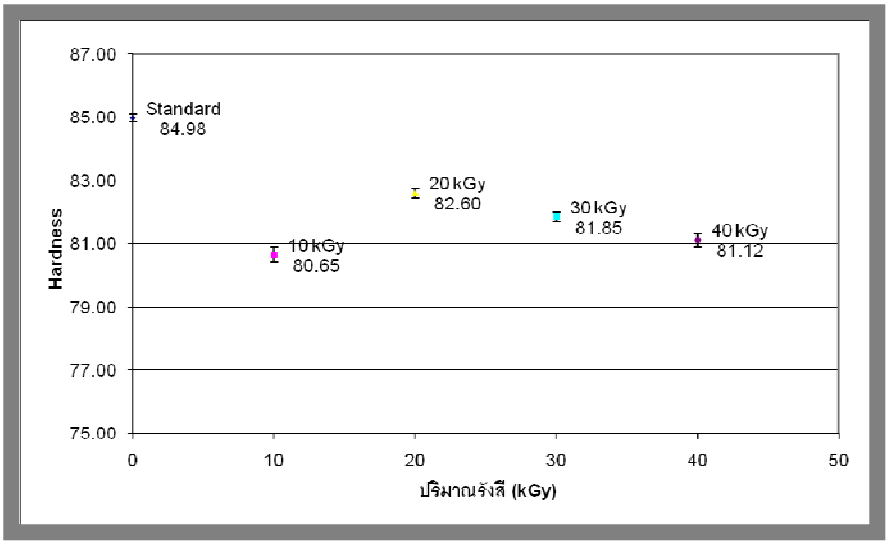
จากการทดลองคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นอะครีลิคทั้งสองความหนา พบว่าแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลที่ได้รับปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์มีค่าที่มากกว่าแผ่นอะครีลิคทั่วไป ในการที่ใช้รังสีแกมมาช่วยทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันมีส่วนทำให้ เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่ตกค้างอยู่ลดน้อยลงเนื่องจากรังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงที่สูง ทำให้สามารถทำให้เกิดการพอลิเมอไรซ์ อย่างทั่วถึงแม่พิมพ์อะครีลิค การที่เหลือเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์น้อย นั่นแสดงว่ามีการเกิดพอลิเมอร์ในแผ่นอะครีลิคมากขึ้น ซึ่งการที่เกิดพันธะเชื่อมกันมาก นั่นก็แสดงว่ามีความสามารถที่จะรองรับแรงที่มากระทำต่อตัวแผ่นได้มากขึ้น ทำให้แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

4.3 ผลการทดสอบความแข็ง

ค่าความแข็งที่ได้จากแผ่นอะครีลิคฉายรังสีทั้งสองขนาด พบว่ามีค่าความแข็งที่น้อยกว่าแผ่นอะครีลิคทั่วไป แต่เมื่อเทียบค่าความแข็งที่ได้จากแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสี 20 กิโลเกรย์พบว่ามีค่าความแข็งที่มากกว่าแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสี 10, 30 และ 40 กิโลเกรย์ โดยแสดงได้ดังกราฟที่ 7 และ 8 จากการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของแผ่นอะครีลิค ขนาด 3 มิลลิเมตรและ 6 มิลลิเมตร พบว่าการที่แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20, 30และ 40 กิโลเกรย์ นั้นมีความแข็งที่น้อยกว่า แผ่นอะครีลิคทั่วไปที่ไม่ได้รับการฉายรังสี เนื่องจากการที่นำโมโนเมอร์ไปให้ความร้อนในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชันขึ้นบางส่วน โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของแผ่นอะครีลิค จากนั้นเมื่อนำไปฉายรังสีทำให้บริเวณผิวด้านนอกของแผ่นเกิดการถูกทำลายโดยรังสี (Degradation) ทำให้บริเวณผิวมีความแข็งที่น้อยลงเมื่อเทียบกับแผ่นอะครีลิคทั่วไป นอกจากนี้แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสี 10 กิโลเกรย์มีความแข็งน้อยกว่า เนื่องจากยังเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่ยังไม่สมบูรณ์ทำให้มีความแข็งน้อยที่สุด



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะครีลิคขนาด 6 มิลลิเมตร

4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร เมื่อวิเคราะห์แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 10, 20, 30 และ40 กิโลเกรย์ พบว่าการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง, สมบัติการทนต่อแรงกระแทก, สมบัติความแข็ง มีผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์ ได้ค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ถึงแม้ว่าแผ่นอะครีลิคมีขนาดต่างกัน แต่ใช้ปริมาณรังสีที่เท่ากันในการเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่เหมาะสม เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้รังสีแกมมา ซึ่งมีความสามารถในการทะลุทะลวงที่สูง ทำให้โมโนเมอร์ที่อยู่ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปได้รับปริมาณรังสีเท่าๆกันทั่วทั้งแผ่น ถึงแม้ว่าความหนาจะเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 3 มิลลิเมตร ปริมาณรังสีแกมมาที่ทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ประกอบไปด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมไม่สูง และในการทดลองนี้ทำแผ่นอะครีลิคที่มีความหนาไม่มาก ทำให้รังสีแกมมาจึงไม่ได้ถูกดูดกลืนในตัวเนื้อสารมากนัก จึงทำให้แผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตรและ 6 มิลลิเมตรใช้ปริมาณรังสีที่ไม่แตกต่างกัน

5. บทสรุป

การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอะครีลิคที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็ง โดยสมบัติการทนต่อแรงดึงพบว่าแผ่นอะครีลิคที่ฉายรังสีที่ปริมาณ 20 กิโลเกรย์ ขนาด 3 มิลลิเมตรและขนาด 6 มิลลิเมตรมีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าแผ่นอะครีลิคทั่วไปคิดเป็น 18.48 เปอร์เซ็นต์ และ 4.97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก แผ่นอะครีลิคที่ฉายรังสีที่ปริมาณ 20 กิโลเกรย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร มีค่าทนต่อแรงกระแทกมากที่สุด

ในแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสี และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะครีลิคทั่วไป มีค่ามากกว่าโดยคิดเป็น 12.09 เปอร์เซ็นต์ และ11.60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบสมบัติความแข็ง ของแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และขนาด 6 มิลลิเมตร พบว่าแผ่นอะครีลิคทั้งสองความหนา ที่ได้รับการฉายรังสี 10, 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ มีค่าน้อยกว่าแผ่นอะครีลิคทั่วไป แต่แผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณ 20 กิโลเกรย์ยังพบว่ามีค่าสูงที่สุด ในแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา

จากการศึกษาหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทำแผ่นอะครีลิคพบว่าแผ่นอะครีลิคขนาด 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร มีผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือแผ่นอะครีลิคที่ได้รับการฉายรังสีที่ 20 กิโลเกรย์ ได้ผลที่ดีที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติการทนต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็ง ดังนั้นปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติแผ่นอะครีลิคที่มีความหนาน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ 20 กิโลเกรย์

6. บรรณานุกรม

ภาษาไทย

เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์นิติธรรม, 2542

ฉัตริยะ ศรีปิ. การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาคริเลตโดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับอะคริเลตโมโนเมอร์บางชนิด. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535

นิทัศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์. เชียงใหม่ : หน่วยพิมพ์เอกสารและตำรา ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543

มาลี กลิ่นกุหลาบ. การใช้รังสีแกมมาเหนี่ยวนำให้เกิดครอสลิงก์ในเมทิลเมทาคริเลต กรดอะคริลิกและโพลีไวนิวคลอไรด์ ร่วมกับสารไวปฏิกิริยาบางตัว.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

รศ.แม้น อมรสิทธิ์, รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, อาจารย์ธรรมนูญ อุดมมั่น, วัสดุวิศวกรรม,หน้า 395 -396 , สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ

ภาษาต่างประเทศ

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