PC04: อิทธิพลของโดสรังสีแกมมาและสารเซนซิไทเซอร์ต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยางธรรมชาติฉายรังสี

*คมกฤษ ฤทธิรงค์[1] รศ.ดร.ธวัช ชิตตระการ[2]
รศ.ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ[3] และ ดร.วิรัช ทวีปรีดา[4]
[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
โทรศัพท์ 087-3917911 E-Mail: komgrit_mastersci@windowslive.com
[2] โทรศัพท์ 081-9900374 E-Mail: tawat.c@psu.ac.th
[3]โทรศัพท์ 089-7328670 E-Mail: tripop.b@psu.ac.th
[4]หลักสูตรวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
โทรศัพท์ 086-7785004 E-Mail: twirach@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณรังสีแกมมาและผลของสารเซนซิไทเซอร์ต่อการวัลคาไนซ์ในน้ำยางธรรมชาติ สารตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติที่ผสมด้วยสารเซนซิไทเซอร์ n-butyl acrylate (n-BA), tetrachloroethylene (C_2Cl_4), trichloromethane ($CHCl_3$) ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดผสมกันถูกฉายด้วยรังสีแกมมาปริมาณ 14 ถึง 22 kGy คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ถูกวิเคราะห์ด้วยการคำนวณค่าสัดส่วนการขยายตัวของสารตัวอย่าง ความหนาแน่นของโครงร่างตาข่าย และสมบัติทางกายภาพของน้ำยางธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารเซนซิไทเซอร์ทั้งสามชนิดของ n-BA, C_2Cl_4 และ $CHCl_3$ มีความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายที่เพิ่มขึ้นและแปรผันตามสัดส่วนของปริมาณการฉายรังสีแกมมา

คำหลัก: ยางธรรมชาติ กระบวนการวัลคาไนซ์ โดสรังสีแกมมา ตัวเซนซิไทเซอร์

Effect of gamma radiation dose and sensitizer on the physical properties of irradiated natural rubber latex

*R.Komgrit[1], C.Thawat [2], B.Tripob [3] and T.Wirach [4]

[1]Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University

Phone: 087-3917911 E-Mail: komgrit_mastersci@windowslive.com

[2] Phone: 081-9900374 E-Mail: tawat.c@psu.ac.th

[3] Phone: 089-7328670 E-Mail: tripop.b@psu.ac.th

[4] Polymer Science program, Faculty of Science, Prince of Songkla University

Phone: 086-7785004 E-Mail: twirach@yahoo.com

Abstract

The vulcanization of natural rubber latex can be induced by gamma radiation, which enhances cross-linking within the rubber matrix. The purpose of this research is to investigate the effect of gamma radiation dose and sensitizers on the physical properties of irradiated natural rubber. Three sensitizers n-butyl acrylate (n-BA), tetrachloroethylene (C_2Cl_4) and trichloromethane ($CHCl_3$) were mixed with natural rubber latex before irradiation with gamma ray dose varied from 14 to 22 kGy. Results showed that the mixture of three sensitizers with specific ratios effectively induced the cross-linking of natural rubber latex. The cross-linking ratio and improved physical properties increased with increasing gamma dose. Therefore, the mixture ratios of n-BA, C_2Cl_4 and $CHCl_3$ have shown to be a critical parameter in the vulcanization of natural rubber latex by gamma radiation.

Key words : Natural rubber, vulcanization, gamma dose, sensitizer

1.บทนำ

ประเทศไทยผลิตยางพารามากที่สุดอันดับหนึ่งของโลก คือประมาณปีละ 2.5 ล้านตัน คิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตทั่วโลก เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศมาเลเซีย ประเทศไทยมีผลผลิตยางมากกว่ามาเลเซียถึง 4 เท่า แต่กลับมีรายได้เข้าประเทศจากยางพาราน้อยกว่ามาเลเซียถึงปีละประมาณ 2,000 ล้านบาท (สถิติปี 2544) ตัวเลขของประเทศไทยเมื่อปี 2544 ประเทศไทยส่งออกยางดิบแปรรูปเบื้องต้นถึง 90% ของผลผลิต สร้างรายได้ 46,700 ล้านบาท [ที่มา วารสาร ประชาคมวิจัย ฉบับที่ 54 เดือน มี.ค.-เม.ย. 2547] จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เห็นได้ว่ายางพารานับเป็นสินค้าเศรษฐกิจของประเทศ โดยแนวทางสำคัญที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางพาราได้แก่การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางในรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย

ในการแปรรูปยางดิบเป็นผลิตภัณฑ์ยางนั้น จำเป็นจะต้องมีการนำยางมาผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน อันเป็นกระบวนการที่จะเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของยางจากเส้นตรง (linear) ไปเป็นร่างแหเชื่อมโยง (cross-link) เพื่อทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในกระบวนการวัลคาไนเซชันนั้นโมเลกุลของยางจะต้องมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารเชื่อมโยง (vulcanizing agent) โดยจะต้องมีการใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยา และในกระบวนการวัลคาไนเซชันนี้เอง เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและพลังงานมากในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งถ้ามีการพัฒนากระบวนการวัลคาไนเซชันให้มีระยะเวลาที่สั้นลงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง ตลอดจนลดพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต อันจะส่งผลให้มีส่วนในการลดต้นทุนการผลิตลง ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีส่วนในการเพิ่มศักยภาพของอุตสาหกรรมในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางของประเทศไทยในการแข่งขันกับนานาประเทศมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันดีว่า สมบัติของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์นั้นขึ้นกับ สภาวะของกระบวนการวัลคาไนซ์เป็นอย่างมาก ทั้งในเรื่องของ เวลา อุณหภูมิ สูตรของสารเคมีที่ใช้ อัตราเร็วในการเกิดการวัลคาไนซ์ และระบบของการวัลคาไนซ์ที่เลือกใช้ มีงานวิจัยที่พบว่า อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในการวัลคาไนซ์ส่งผลต่อ ชนิดของพันธะเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของยาง อันมีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ ด้วยปัญหาเรื่องของเวลาและพลังงานนี้ จึงเห็นถึงประโยชน์ของการเพิ่มอัตราเร็วและลดพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต

นอกจากการใช้สารเคมีแล้ว การฉายรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา ก็สามารถทำให้ยางคงรูปได้เช่นกัน ถือเป็นกระบวนการวัลคาไนเซชันอีกหนึ่งวิธี โดยเมื่อถูกรังสีโมเลกุลของยางจะแตกตัวให้เรดิคัล และจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบคาร์บอน-คาร์บอนทำให้ยางที่ได้มีความเสถียรต่อความร้อน มีความบริสุทธิ์สูงเพราะไม่มีสารเคมีอื่นใดเจือปน จึงเหมาะสำหรับการผลิตอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนทางการแพทย์ ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ควรจะมีสารเคมีเจือปนน้อยที่สุด

รวมถึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของยางในด้านต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น เช่น สมบัติเชิงกล ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความแข็งแรงต้านการฉีกขาด (tear resistance) ความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) และความยืดหยุ่น (elasticity)

2. วัสดุอุปกรณ์

เครื่องมือ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ในส่วนของการเตรียมน้ำยางธรรมชาติและสารเคมีสำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์
    1.1 บีกเกอร์
    1.2 แท่งแก้วคน
    1.3 เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง
2. ในส่วนของการฉายรังสีแกมมา
    2.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่นGammacell 220 Excel ที่ศูนย์ฉายรังสีแกมมา สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.)
    2.2 กระปุกพลาสติกสำหรับใส่น้ำยางขนาดเล็ก
3. ในส่วนของการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง
    3.1 แผ่นกระจก
    3.2 ตู้อบ
4. ในส่วนของการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง
    4.1 กรรไกร
    4.2 เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง
    4.3 ขวดแก้วขนาดเล็กพร้อมฝาปิด

น้ำยางและสารเคมี

1. น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง
2. n-BA (สารเคมี เพื่อเป็นตัว sensitizer)
3. C_2Cl_4 (สารเคมี เพื่อเป็นตัว sensitizer)
4. $CHCl_3$ (สารเคมี เพื่อเป็นตัว sensitizer)
5. $C_6H_5CH_3$ (สารเคมี เพื่อทดสอบสัดส่วนการขยายตัว หรือ Swelling ratio)

3. วิธีการ

ในกระบวนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติ การฉายรังสีแกมมาและการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 : เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง

1. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติและสารเคมีสำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์

นำน้ำยางเข้มข้น 60% ปริมาณ 100 phr (parts per hundred rubber) มาผสมกับ n-BA 5 phr เพื่อเป็นตัว sensitizer สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์

2. การฉายรังสีแกมมา

นำน้ำยางธรรมชาติที่ผสมตัว sensitizer ตามสูตรที่ได้กำหนดไว้เรียบร้อยแล้ว (สูตร $HAPn_5$) ไปฉายรังสีแกมมาให้ได้รับปริมาณรังสี 10 kGy

3. การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง

นำน้ำยางฉายรังสีที่ได้ มาทำเป็นแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง โดยเทลงบนกระจกขนาด 12 x 18 cm^2 ที่มีขอบสูง 2 mm ใช้น้ำยางประมาณ 20 g ทิ้งไว้ให้แห้งจนใสที่อุณหภูมิห้อง (20ºC - 25ºC) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นลอกแผ่นฟิล์มยางออก แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งก่อนนำ ไปตากที่อุณหภูมิห้อง และอบต่อที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 25(อุณหภูมิห้อง) , 50 , 60 , 70 , 80 และ90 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ส่วนที่ 2 : เพื่อหาค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง ในกรณีที่ใช้สาร sensitizer ชนิดเดียวและหลายชนิดผสมกัน สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์

1. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติและสารเคมีสำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์

นำน้ำยางเข้มข้น 60% ปริมาณ 100 phr มาผสมกับสาร sensitizer สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์ ตามสูตร ดังนี้

ส่วนผสม (phr)	สูตร			
	$HAPn_5$	$HAPn_5C_5$	$HAPn_5CH_5$	$HAPn_5C_5CH_5$
น้ำยางข้มข้น 60%	100	100	100	100
n-BA	5	5	5	5
C_2Cl_4	-	5	-	5
$CHCl_3$	-	-	5	5

2. การฉายรังสีแกมมา

นำน้ำยางธรรมชาติที่ผสมตัว sensitizer ตามสูตรที่ได้กำหนดไว้เรียบร้อยแล้ว สำหรับกรณี sensitizer ชนิดเดียว นำไปฉายรังสีแกมมาให้ได้รับปริมาณรังสี 10 , 12 , 14 , 16 และ 18 kGy ส่วนกรณี sensitizer หลายชนิด นำไปฉายรังสีแกมมาให้ได้รับปริมาณรังสี 14 , 16 , 18 , 20 และ 22 kGy

3. การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง

นำน้ำยางฉายรังสีที่ได้ มาทำเป็นแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง เช่นเดียวกับวิธีการในส่วนที่1 แต่อบที่อุณหภูมิ 50 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ภายหลังจากผ่านกระบวนการการเตรียมน้ำยางธรรมชาติ การฉายรังสีแกมมาและการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางทั้ง 2 ส่วนนั้น จะนำแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง มาทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป คือ

4. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง

4.1 การทดสอบสัดส่วนการขยายตัว (Swelling ratio)

นำแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบางมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยตัดให้มีขนาด 2 x 2 cm^2 หลังจากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโทลูอีน ภายใต้ภาชนะปิด ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (20ºC - 25ºC) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำ โดยจะศึกษากรณีละ 5 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำสารตัวอย่างมาคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$SwellingRatio = 1 + \left(\frac{d_1}{d_2}\right)\left(\frac{w_2}{w_1}\right) - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$

โดยที่ค่า d_1 คือ ความหนาแน่นของยาง

d_2 คือ ความหนาแน่นของสารละลายโทลูอีน

w_1 คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างตอนเริ่มต้น

w_2 คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังจากแช่สารละลายโทลูอีน

4.2 การทดสอบความหนาแน่นของการเกิดสารเชื่อมโยง (Cross-link density)

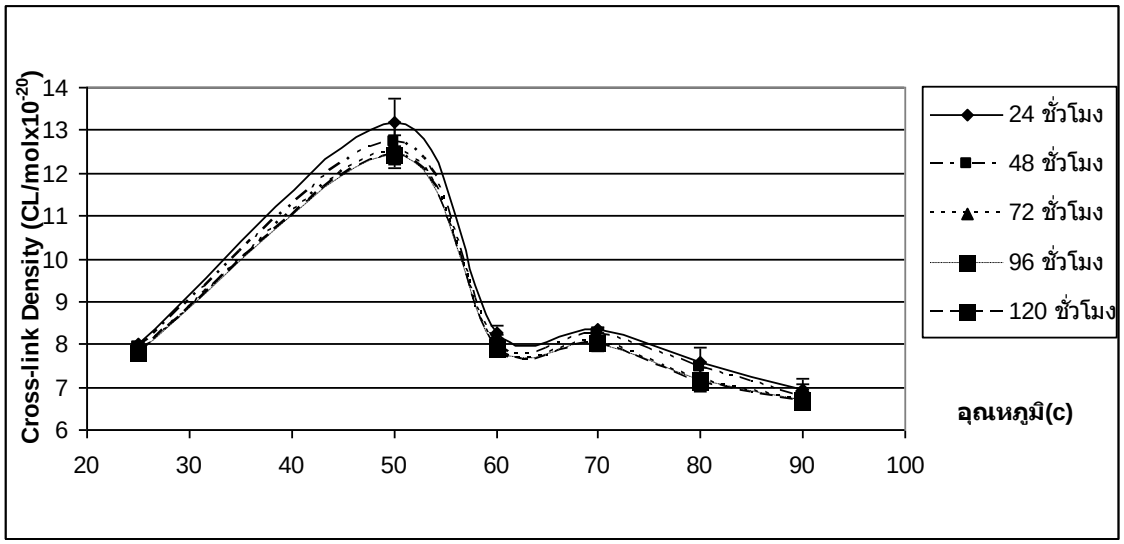
เมื่อได้ค่าสัดส่วนการขยายตัว (Swelling ratio) จากการทดสอบสัดส่วนการขยายตัวแล้ว จึงนำค่ามาแทนในสมการ เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่นของการเกิดสารเชื่อมโยง (Cross-link density) ต่อไป โดยอาศัยสมการ ดังนี้

การคำนวณ $\text{Cross-link density} = K \times Q^{-5/3}$

เมื่อค่า $K = 7.93 \times 10^{-18}$

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

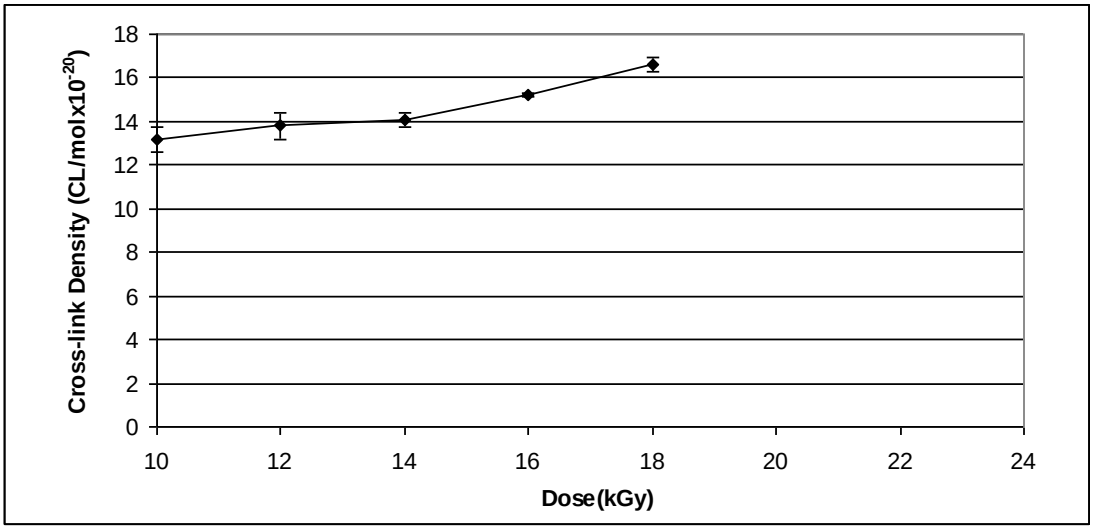
<u>ส่วนที่ 1</u> : เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง



รูปที่1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิต่างๆ กับ Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5$

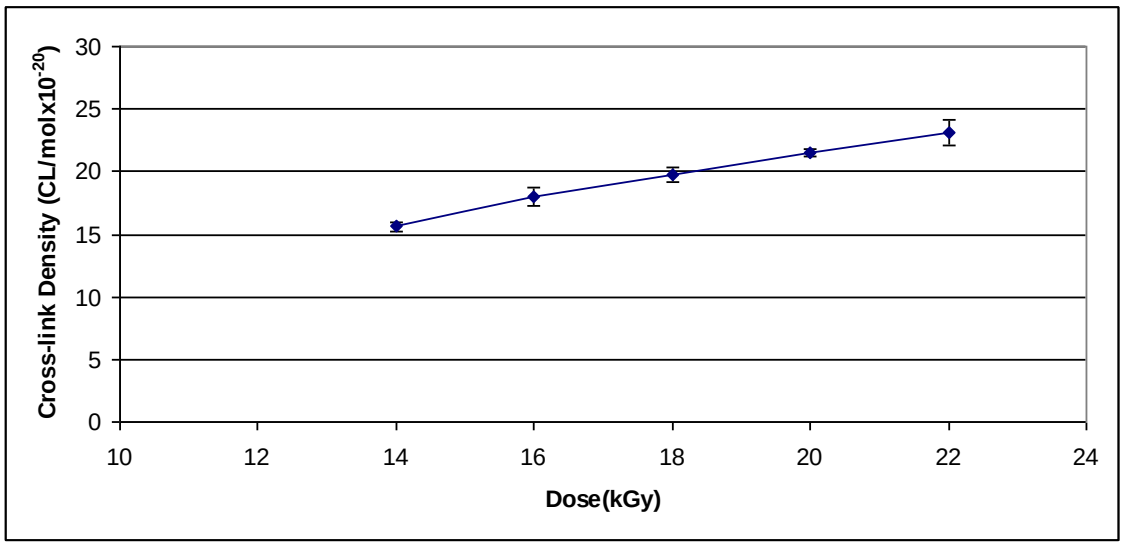
จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางฉายรังสีที่ได้ มาทำเป็นแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง โดยการอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ทำให้ทราบค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 50 ºC ซึ่งได้ค่าประมาณ 13.2×10^{-20} CL/mol (จากรูปที่1) และนอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบค่า Cross-link Density โดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ในการแช่สารตัวอย่างในสารละลายโทลูอีน ทำให้เราทราบค่าเวลาที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดเช่นกัน คือ 24 ชั่วโมง (จากรูปที่1)

<u>ส่วนที่ 2</u> : เพื่อหาค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง ในกรณีที่ใช้สาร sensitizer ชนิดเดียวและหลายชนิดผสมกัน สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์



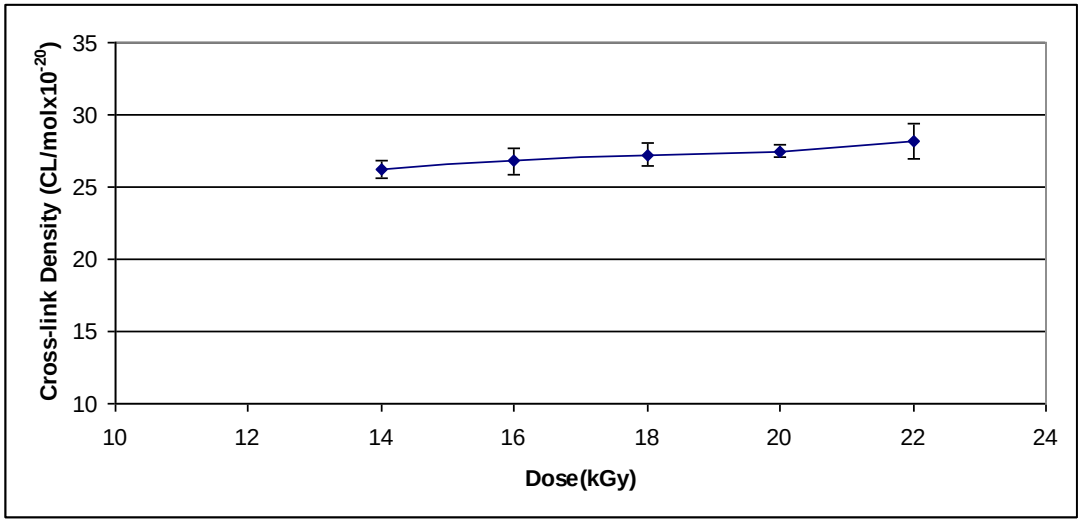
รูปที่2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5$

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางสูตร $HAPn_5$ มาฉายรังสีแกมมา โดยใช้ปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 18 kGy ซึ่งได้ค่าประมาณ 16.6×10^{-20} CL/mol (จากรูปที่2) และนอกจากนั้น เมื่อสังเกตค่าทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Cross-link Density มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ



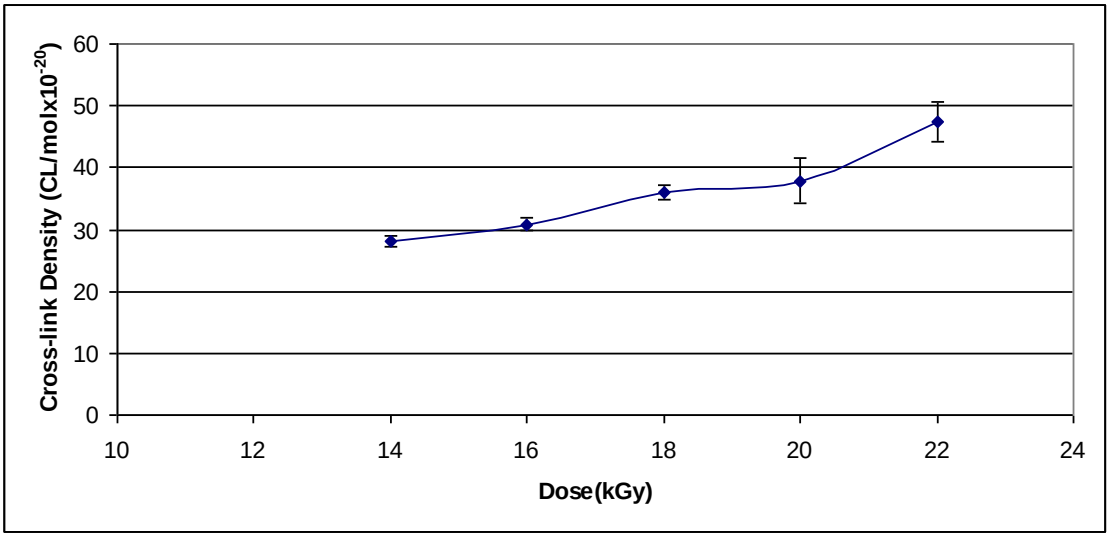
รูปที่3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5C_5$

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางสูตร $HAPn_5C_5$ มาฉายรังสีแกมมา โดยใช้ปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 22 kGy ซึ่งได้ค่าประมาณ 23.1×10^{-20} CL/mol (จากรูปที่3) และนอกจากนั้น เมื่อสังเกตค่าทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Cross-link Density มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ



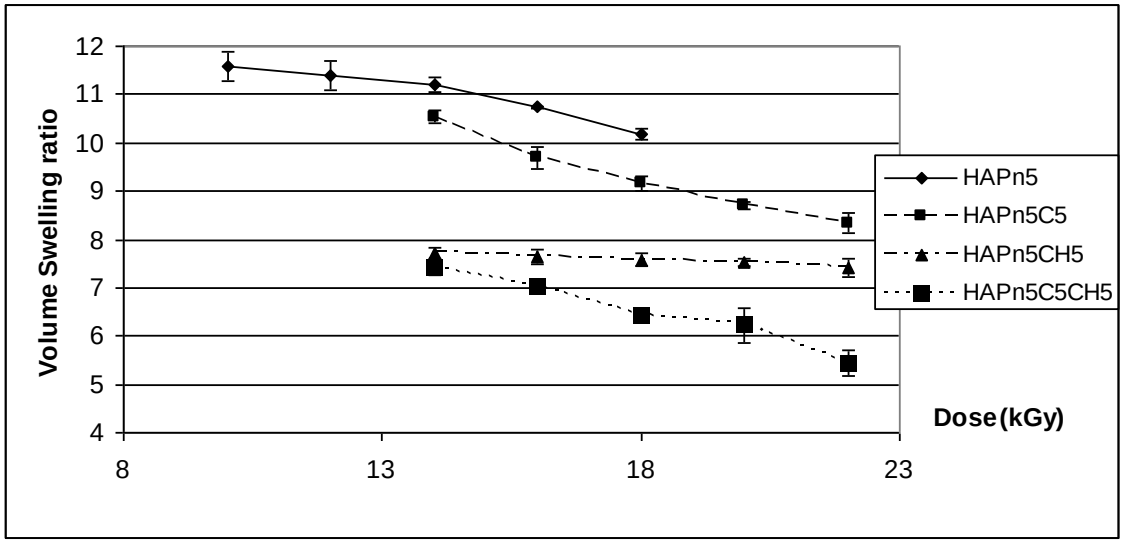
รูปที่4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5CH_5$

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางสูตร $HAPn_5CH_5$ มาฉายรังสีแกมมา โดยใช้ปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 22 kGy ซึ่งได้ค่าประมาณ 28.2 x 10^{-20} CL/mol (จากรูปที่4) และนอกจากนั้น เมื่อสังเกตค่าทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Cross-link Density มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ



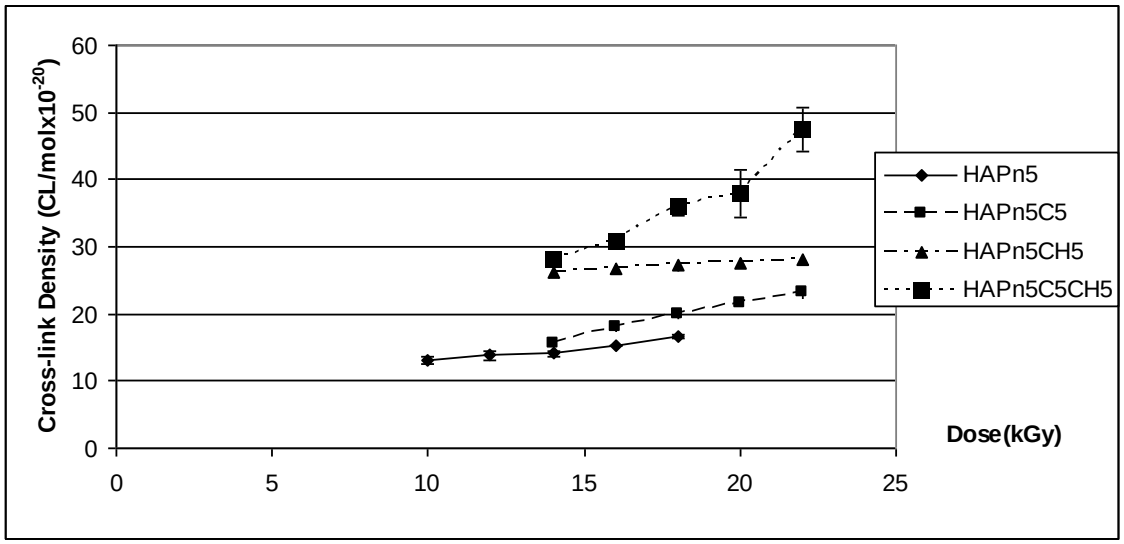
รูปที่5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5C_5CH_5$

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางสูตร $HAPn_5C_5CH_5$ มาฉายรังสีแกมมา โดยใช้ปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 22 kGy ซึ่งได้ค่าประมาณ 47.4 x 10^{-20} CL/mol (จากรูปที่5) และนอกจากนั้น เมื่อสังเกตค่าทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Cross-link Density มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ



รูปที่6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Swelling ratio ของน้ำยางทั้ง 4 สูตร

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางทั้ง 4 สูตร มาฉายรังสีแกมมา ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Swelling ratio มากที่สุดคือ 10 kGy ซึ่งทำให้ได้ค่าประมาณ 11.58 (จากรูปที่ 6) ซึ่งเป็นค่า Swelling ratio ของน้ำยางสูตร $HAPn_5$ และนอกจากนั้น เมื่อสังเกตค่าทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Swelling ratio มีแนวโน้มลดลงและแปรผกผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ รวมถึงสาร sensitizer ทั้ง 3 ชนิดด้วย โดยที่สารsensitizer ทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเสริมกันด้วย สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์ (จากรูปที่6)



รูปที่7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dose กับ Cross-link Density ของน้ำยางทั้ง 4 สูตร

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำยางทั้ง 4 สูตร มาฉายรังสีแกมมา ทำให้เราทราบค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือ 22 kGy ซึ่งทำให้ได้ค่าประมาณ 47.4×10^{-20} CL/mol (จากรูปที่7) ซึ่งเป็นค่า Cross-link Density ของน้ำยางสูตร $HAPn_5C_5$ CH_5 และนอกจากนั้นเมื่อสังเกตค่า ทั้งหมด ทำให้ทราบว่าค่า Cross-link Density มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ รวมถึงสาร sensitizer ทั้ง 3 ชนิดด้วย โดยที่สารsensitizer ทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเสริมกันด้วย สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์ (จากรูปที่7)

5. สรุป

<u>ส่วนที่ 1</u> : เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 ºC ซึ่งทำให้ได้ค่า Cross-link Density มากที่สุดคือประมาณ 13.2×10^{-20} CL/mol

2. ค่า Cross-link Density มีค่าไม่แตกต่างกันมาก เมื่อใช้เวลาที่แตกต่างกันในการแช่สารตัวอย่างในสารละลายโทลูอีน แต่เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 24 ชั่วโมง

<u>ส่วนที่ 2</u> : เพื่อหาค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางในลักษณะฟิล์มบาง ในกรณีที่ใช้สาร sensitizer ชนิดเดียวและหลายชนิดผสมกัน สำหรับกระบวนการวัลคาไนซ์

1. ปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มจำนวนค่า Cross-link Density ได้

2. เมื่อเพิ่มชนิดของตัว sensitizer ในปริมาณที่เท่ากัน สามารถเพิ่มจำนวน Cross-link Density ได้

3. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของตัว sensitizer 2 ตัว คือ C_2Cl_4 กับ $CHCl_3$ ในการเพิ่มจำนวน Crosslink Density พบว่า $CHCl_3$ มีประสิทธิภาพมากกว่า C_2Cl_4

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือของห้องปฏิบัติการยาง ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา ขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินทุน และอนุญาตให้ใช้อุปกรณ์วิจัยที่จำเป็นและห้องปฏิบัติการ

7. เอกสารอ้างอิง

1. ปรีเปรม จงรักษ์.2537. ผลของสารป้องกันออกซิเดชั่นต่อน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเชิงฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
2. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
3. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2540. ยาง: เทคนิคการออกสูตร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
4. ฟัฎลีนา สาบา. 2546. การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยพอลิเอมีนร่วมกับโมโนเมอร์อะไครลิก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเชิงฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
5. โยธิน ชิรงค์. 2537. การเตรียมและสมบัติของยางโปรตีนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ. โครงงานระดับปริญญาตรี
6. สิริธร แก้วกล่ำ. 2549. กาวผสมของน้ำยางธรรมชาติกับกาวพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ในการติดยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลีเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
7. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2540. ยางธรรมชาติเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยียางละพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
8. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2543. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
9. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสีและ ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. 2540. การดัดแปลงยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและสมบัติความเสียดทาน . ภาควิชาเทคโนโลยียางละพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
10. อารียา มาลากาญจน์. 2548. การศึกษาจนพลศาสตร์ขอการวัลคาไนซ์เซชั่นของยางธรรมชาติคอมเปาวด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลีเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
11. Andrzej G.Chmielewski , Mohammad Haji-Saeid and Shamshad Ahmed. 2005. Progress in radiation processing of polymers. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 236 :44-54.
12. H.Chirinos , F.Yoshii , K.Makuuchi and A.Lugao. 2003. Radiation vulcanization of natural rubber latex using 250 keV electron beam machine. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 208 :256-259.
13. M.E.Haque , N.C.Dafader , F.Akhtar and M.U. Ahmad. 1996. Radiation dose required for the vulcanization of natural rubber latex. Radiat. Phys. Chem. Vol. 48 No. 4. pp :505-510.
14. M.M.Jayasuriya , K.Makuuchi and F.Yoshi. 2001. Radiation vulcanization of natural rubber latex using TMPTMA and PEA. European Polymer Journal 37 : 93-98.