



รายงานการวิจัย

การใช้รังสีในการคงรูปโฟมยาง

Using Radiation Vulcanize Rubber Foam.

อนิรุทธิ์ ส่องศรี Anirut Songsri

สุธรรม ชุมพร้อมญาติ Suthum Chumpromyat

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562 เป็นงานวิจัยพื้นฐานก่อให้เกิดความรู้ใหม่ในการประเมินความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนผลการวิจัยสามารถเป็นแนวทางในการศึกษาการใช้รังสีในการคงรูปโพลีเมอร์ ขอบขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอบขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ขอบขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางด้านยางและพอลิเมอร์ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกตลอดมา ขอบขอบคุณผู้ร่วมวิจัยให้กำลังใจในงานวิจัยลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา ผลการวิจัยย่อมเป็นผลมาจากการกรุณาของทุกท่าน ผู้วิจัยจึงขอใคร่ขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

อนิรุทธิ์ ส่งศรี

สุธรรม ชุมพร้อมญาติ

สิงหาคม 2563



การใช้รังสีในการคงรูปโพลีเมอร์

อนิรุทธิ์ ส่งศรี¹ และ สุธรรม ชุมพร้อมญาติ²

บทคัดย่อ

การทดลองมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้รังสีในการคงรูปโฟมยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อน้ำยางธรรมชาติ ฉายรังสีปริมาณรังสี 0 ถึง 250 kGy คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี และ ทำการขึ้นรูปโฟมยางที่ปริมาณต่างๆพบว่าคุณสมบัติ Compression set มีค่าค่อยๆลดลง แสดงว่าความสามารถในการรักษาความยืดหยุ่นได้ดี

คำสำคัญ : โฟมยางธรรมชาติ, คงรูป, รังสี

¹อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Abstract

The purpose of this experiment was to study the use of radiation to vulcanize natural rubber foam. It was found that when the natural latex irradiated the radiation dose from 0 to 250 kGy, the mechanical properties of the rubber film increased by the amount of radiation. The foam rubber was formed at various quantities, and the compression set properties were gradually reduced. Show that the ability to maintain flexibility is good.

Keyword : Natural Rubber Foam, Vulcanize, Radiation

¹Department of science, Faculty of Science and Technology Rajamankala University of Technology. Srivijaya, Saiyai, Nakhon Si Thammarat.

²Department of science, Faculty of Science and Technology Rajamankala University of Technology. Srivijaya, Saiyai, Nakhon Si Thammarat.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อไทย	ข
บทคัดย่ออังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
บทนำ	1
วิธีการดำเนินการวิจัย	13
ผลการวิจัย	14
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	21

บรรณานุกรม

22


ภาคผนวก

23



สถาบันภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โฟมยางฉายรังสีที่ 0 (kGy)	16
รูปที่ 2 โฟมยางฉายรังสีที่ 50 (kGy)	17
รูปที่ 3 โฟมยางฉายรังสีที่ 100 (kGy)	17
รูปที่ 4 โฟมยางฉายรังสีที่ 150 (kGy)	18
รูปที่ 5 โฟมยางฉายรังสีที่ 200 (kGy)	18
รูปที่ 6 โฟมยางฉายรังสีที่ 250 (kGy)	19



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. Quality Factor(Q) ของรังสีแต่ละชนิด	10
ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกล Tensile Strength	14
ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงกล Elongation at break	15
ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงกล 300% Modulus	16
ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Compression set	20

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการทำโคมยางหรือยางฟองน้ำที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นรูพรุนใช้เป็นผลิตภัณฑ์จำพวก เบาะนั่ง ที่นอน หมอน หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำคือการทำให้น้ำยางเกิดฟองของอากาศหรือของแก๊สต่างๆ แล้วทำให้ฟองยางคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ด้วยสารเคมีและความร้อน ในปัจจุบันการผลิตในเมืองไทยใช้เทคนิค Talalay process ซึ่งต้องใช้สารเคมีดังต่อไปนี้ 50% กำมะถัน (Sulfur) 50% แซดดีอีซี(ZDEC) 50% แซดเอ็มบีที(ZMBT) 50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 10% แอมโมเนียมโอเลเอต

(Ammonium oleate) 50% วิงสเตย์แอล (Wingstay L) 33% ดีพีจี(DPG) และ 12.5% เอสเอสเอฟ (SSF)

ซึ่งกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โคมยางธรรมชาติในปัจจุบันยังต้องใช้สารเคมีเป็นหลักในการคงรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ สารเคมีเหล่านี้อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานหรือมีผลกระทบต่ออวัยวะส่วนใหญ่คือ ตับ ไต ปอด ผิวหนัง และตา

การคงรูปยางธรรมชาติสามารถใช้รังสีหรือคลื่นพลังงาน เช่น รังสีแกมมา ลำอิเล็กตรอน คลื่นไมโครเวฟ ก็ได้ โดยการคงรูปยางธรรมชาติใช้รังสีจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดปลอดภัยต่อพนักงานการผลิตและผู้บริโภคเพราะต้องสัมผัสกับผิวหนัง การวิจัยนี้นำรังสีแกมมามาคงรูปโคมยางธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาโคมยางธรรมชาติ งานวิจัยจึงมุ่งเน้นความเป็นไปได้ในการนำรังสีมาทำให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมโคมยาง

หลักการ แนวคิด ทฤษฎี หรือสมมุติฐาน

น้ำยางพรีวัลคาไนซหมายถึง น้ำยางข้นที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้ โมเลกุลของยางเกิดพันธะเคมี เชื่อมโยง (การวัลคาไนซ) อันเนื่องมาจากการ ให้ความร้อนและสารเคมีที่เหมาะสม น้ำยางพรีวัลคาไนซยังคง สภาวะเป็นของไหล ดังนั้น น้ำยางพรีวัลคาไนซถือว่าเป็นน้ำยางกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถขึ้นรูป เปนยางวัลคาไนซ ได้โดยไม่ให้ความร้อนอีก จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ผลิต ผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์หรือหล่อแบบพิมพ์ เช่น ถูมี้อย่าง ลูกโป่ง เสนตายายืด ของเล่นเด็ก เปนตน ปฏิกริยาพรีวัลคาไนเซชัน คือ ปฏิกริยาที่ทำให้เกิด การเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางบางส่วนเกิดเป็น โครงสร้างแบบร่างแหขึ้นภายในอนุภาคยาง ดังนั้น แผ่นยางแห้งที่ใดจะมีโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมโยง เช่นเดียวกับที่พบในยางแห้งที่ผ่านการวัลคาไนซ การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซจะใช้ น้ำยางข้นแอมโมเนียสูงผสมกับสารวัลคาไนซ(กำมะถันหรือเพอรออกไซด์) แต่ถ้าเป็นการวัลคาไนซด้วยรังสีจะต้องมีสารเซนติไซเซอร์รวมด้วย โดยทั่วไปแล้วการเตรียมน้ำยางพรีวัลคา ไนซมีอยู่ หลายวิธี ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซดังนี้

1. การพรีวัลคาไนซด้วยกำมะถัน
2. การพรีวัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์
3. การพรีวัลคาไนซด้วยรังสีแกมมา

1. การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซด้วยกำมะถัน การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซด้วยกำมะถันเป็นวิธีที่นิยมใช้ กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ จากน้ำยาง กระบวนการเตรียมเริ่มจากการนำน้ำยางข้นมา เติมสารรักษาสภาพน้ำยางแล้วให้ความร้อนกับน้ำยางในถัง ที่อุณหภูมิ 32-38 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น เติมดิสเพอร์ชัน ของซิงกออกไซด์ดิสเพอร์ชันของกำมะถัน และดิสเพอร์ชัน ของสารตัวเร่งปฏิกริยา ลงในน้ำ ยาง (น้ำยางและสารเคมีที่ผสมกันแล้วเรียกว่า น้ำยางคอมพาวด์) แล้วให้ความร้อนแก่ น้ำยางคอมพาวด์ที่ อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับนี้(เวลาและอุณหภูมิที่ใช่จะขึ้นกับ ระบบ การวัลคาไนซและระดับการเชื่อมโยงของพันธะที่ต้องการ) หลังจากนั้นลดอุณหภูมิของน้ำยางคอมพาวด์ลงด้วย วิธี หลอเย็นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และนำน้ำยางคอมพาวด์ออกมาจากถัง เก็บไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไป ปนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อทำการแยกสารเคมีส่วนที่ไม่ทำปฏิกริยาออกแล้วเติมสารต้านออกซิเดชันลงไปก็จะได้น้ำยางพรีวัลคาไนซ

ป ค.ศ. 1996 Ho และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางด้วยเทคนิคจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนจาก แรงอะตอม (atomic force microscopy) ของฟลอมจากน้ำยางที่พรีวัลคาไนซด้วยระบบ กำมะถันและตั้งทิ้งไว้ 8 วัน พบว่า การพรีวัลคาไนซด้วยกำมะถันส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์ไม่ สม่าเสมอในอนุภาคยาง ซึ่งจะพบว่า การเชื่อมโยงแบบร่างแหที่หนาแน่นบริเวณรอบนอก ในขณะที่บริเวณด้า นในอนุภาคมีความหนาแน่นน้อยกว่า ป ค.ศ. 1997 Cudby และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของ อนุภาคฟลอมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซด้วยกำมะถัน พบว่า การพรีวัลคาไนซด้วยวิธีการนี้มีเกิดการเชื่อมโยงเปนร างแหอย่างสม่าเสมอทั่วทั้งอนุภาค ป ค.ศ. 2002 ศ.ดร.ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้าง สัณฐานของอนุภาคยางพรีวัลคาไนซ โดยการนำเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์และพอลิเมอร์เซนแบบบัลคเริ่มจาก การเตรียมตัวอย่างการศึกษาอนุภาคน้ำยางใน น้ำยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีที่ใช่ในการวัลคาไนซด้วยระบบ กำมะถัน แล้วตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ สารเคมีกระจายตัว และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส แล้วดูโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางพรีวัลคาไนซ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองผาน

พบว่า การเชื่อมโยงร่างแหมีความสม่ำเสมอเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ใน การวัลคาไนซเกิดการแตกตัวขึ้นในน้ำแลวแพร่เข้าไปในอนุภาคอย่างทั่วถึง และเมื่อให้ความร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาได้ สม่่าเสมอทั่วทั้งอนุภาค ขอจำกัดของการวัลคาไนซน้ำยางด้วยกำมะถันคือ จำเป็นต้องมีการจัดเก็บน้ำยางวัลคาไนซก่อนที่จะนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ในด้านการควบคุมปฏิกิริยาทำได้ค่อนข้างยาก กล่าวคือ เมื่อหยุดให้ความร้อนในการวัลคาไนซ กำมะถันหรือสารตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถเกิดการวัลคาไนซที่อุณหภูมิห้องได้อีก อาจส่งผลให้ต้องมีการปรับกระบวนการผลิต

ข้อดีของการวัลคาไนซน้ำยางด้วยกำมะถัน

1. น้ำยางวัลคาไนซด้วยกำมะถันสามารถใช้งานง่าย
2. ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางวัลคาไนซด้วยกำมะถันจะมีความใส

2. การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์ การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์ เริ่มจากการนำน้ำยางขมาผสมกับเพอรออกไซด์ (organic peroxide) แล้วให้ความร้อนเพื่อให้เพอรออกไซด์เกิดการแตกตัว จากนั้นเติมสารต้านออกซิเดชันลงไปก็จะได้ น้ำยางวัลคาไนซ การวัลคาไนซด้วยวิธีนี้โมเลกุลของเพอรออกไซด์และอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดจากการแตกตัวจะแพร่กระจายจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคยาง ซึ่งอนุภาคยางที่วัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์จะเกิด การวัลคาไนซอย่างไม่สม่ำเสมอ บริเวณผิวของอนุภาคยางจะเกิดการเชื่อมโยงพันธะสูง สวนบริเวณ ด้านในหรือตรงกลาง อนุภาคจะมีการเชื่อมโยงพันธะต่ำ ดังนั้นสมบัติเชิงกลของน้ำยางวัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์จะด้อยกว่าน้ำยาง วัลคาไนซด้วยระบบกำมะถัน

ค.ศ 1997 Cudby ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy; TEM ในน้ำยางวัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์ด้วยระบบเทอร์เชียรี-บิวทิลไฮโดรเพอรออกไซด์ (t-butyl hydroperoxide; tBHP) ร่วมกับน้ำตาลฟรักโตส พบว่า อนุภาคยางธรรมชาติมีโครงสร้างร่างแหที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะมีความหนาแน่นบริเวณผิว ของอนุภาคมากกว่าบริเวณด้านใน ปี ค.ศ 2003 ศ.ดร. ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางใน น้ำยางวัลคาไนซด้วยระบบเทอร์เชียรี-บิวทิล ไฮโดรเพอรออกไซด์ร่วมกับน้ำตาลฟรักโตส พบว่า อนุภาคยางธรรมชาติ ที่วัลคาไนซด้วยเพอรออกไซด์มีโครงสร้างร่างแหบริเวณผิวอนุภาคมากกว่าบริเวณด้านใน ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cudby

3. การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซด้วยรังสี กระบวนการเตรียมน้ำยางวัลคาไนซโดยการฉายรังสีแกมมาเริ่มจากการนำน้ำยางข (ชนิดแอมโมเนียสูง) เติม สารที่มีความไวต่อปฏิกิริยา (sensitizers) เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄), นอร์มอล-บิวทิลอะคริเลต (n-butyl acrylate; n-BA) และรักษาสภาพน้ำยาง จากนั้นทำการฉายรังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิด โคบอลต์ 60 แล้วเติมสารต้าน ออกซิเดชันลงไป เมื่อโมเลกุลยางได้รับรังสีจะเกิดการแตกตัวให้ อนุมูลอิสระ (free radicals) และจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางแบบคาร์บอน-คาร์บอน (โครงสร้างการ เชื่อมโยงโมเลกุล) การควบคุมการวัลคาไนซ/วัลคาไนซของยางขึ้นกับปริมาณรังสีที่ใช้เมื่อหยุดฉายรังสี ปฏิกิริยาวัลคาไนซจะหยุดทันทีผลิตภัณฑ์จากน้ำ

ยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมาจะมีสมบัติความทนความร้อนสูงกว่าผลิตภัณฑ์จาก น้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน เนื่องจากโมเลกุลเชื่อมโยงควยพันธะคาร์บอน – คาร์บอน

ปค.ศ. 1995 Haque, M.E. ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟลมน้ำยางธรรมชาติที่มีการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาต่างๆ การศึกษาเริ่มจากการนำน้ำยางมาผสมสารไวต่อปฏิกิริยา (sensitizer) เช่น n-butyl acrylate (n-BA) คาร์บอนเตตระ คลอไรด์ (CCl₄) และรักษาสภาพน้ำยาง หลังจากนั้นนำน้ำยางที่ผสมสารไวต่อปฏิกิริยาแล้วไปฉายรังสีแกมมาแล้วทำการขึ้นรูป เป็นแผ่นฟลมบางโดยเทน้ำยางลงบนกระจก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำให้แห้งจนสังเกตเห็นฟลมใส จากนั้นนำฟลมไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แลวนำฟลมมาทดสอบสมบัติต่างๆ

จะเห็นว่าสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟลมที่ผ่านการฉายรังสีที่มีการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาจะมี ค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าฟลมที่ไม่ได้เติมสารไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งการใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA จะให้ค่าความทนต่อ แรงดึงสูงสุด และให้สมบัติต่างๆ ดีกว่าการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาชนิดอื่น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติ ความทนต่อแรงดึง ของฟลมน้ำยางที่เตรียมจากน้ำยางสด (field latex) และ concentrated lattices ที่ผ่านการหมუნเหวี่ยง 1-3 ครั้ง ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA ปริมาณ 5 phr พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้น้ำยางที่ผ่านการหมუნเหวี่ยง จำนวน 3 ครั้ง ปริมาณรังสี 12 kGy และเมื่อให้ปริมาณรังสีมากกว่า 12 kGy แนวโน้มความทนต่อแรงดึงจะมีค่าลดลง ป พ.ศ. 2539 ชยากฤษิต ศิริอุปถัมภ์ และคณะ ได้ ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ ด้วยรังสีใหม่ประสิทธิภาพโดยใช้ไฮโดรเจน เพอรออกไซด์ร่วมกับสารไวต่อปฏิกิริยา (sensitizers) เพื่อหาวิธีการลดปริมาณ รังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำ ยางธรรมชาติลง โดยการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีบางส่วนก่อน แล้ววัลคาไนซ์ต่อ จนสมบูรณ์ด้วยก ะบวนการรีดอกซ์ งานวิจัยนี้ได้ใช้สารไวต่อปฏิกิริยารวม คือ n-BA กับ t-butyl hydroperoxide โดยวัลคา ไนซ์บางส่วนด้วยการฉายรังสีที่ 4 kGy แล้วทำการวัลคาไนซ์ต่อด้วยกระบวนการรีดอกซ์ โดยการเติมฟรุกโตส (fructose) หรือเติม tetra-ethylene pentamine ในเบื้องต้นได้ศึกษาหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ใช้ใน การวัลคาไนซ์ เมื่อใช้สารไวต่อปฏิกิริยารวม พบว่า มีค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณรังสี 8 kGy และทำการศึกษาต่อ โดยการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติบางส่วนแล้วทำการวัลคาไนซ์ต่อด้วยกระบวนการ รีดอกซ์พบว่า การวัลคาไนซ์ร่วมกับ กระบวนการรีดอกซ์สามารถลดปริมาณรังสีในการวัลคาไนซ์น้ำยาง ธรรมชาติได้ ปพ.ศ. 2552 คมกฤษ ฤทธิรงค์ และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณรังสีแกมมาและสาร ไวต่อปฏิกิริยาต่อ สมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยางธรรมชาติฉายรังสีโดยได้เลือกใช้สารไวต่อปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ n-butyl acrylate (n-BA), tetrachloroethylene (C₂Cl₂) และ trichloromethane (CHCl₃) โดย กระบวนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติมาผสม สารเคมีและสารไวต่อปฏิกิริยา แลวนำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณ รังสี 10, 12, 14, 16, 18 kGy (กรณีใช้สารไวต่อปฏิกิริยาชนิดเดียว) แต่สำหรับสารไวต่อปฏิกิริยาผสมนำไป ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 14, 16, 18, 20, 22 kGy แลวนำน้ำยางที่ ผ่านการฉายรังสีมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟ ลมบางแล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า น้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA ใช้ปริมาณรังสี 18 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยง (crosslink density) มากที่สุด (16.6×10^{-20} CL/mol) 6 น้ำยาง สูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA กับ C₂Cl₂ ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยง มากที่สุด (23.1×10^{-20} CL/mol) ส่วนน้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA กับ CHCl₃ ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่น ในการเชื่อมโยงมากที่สุด (28.2×10^{-20} CL/mol) สำหรับน้ำยางสูตรที่ใช้สาร

ไวตอปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด n-BA, C₂Cl₂ และ CHCl₃ ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด (47.4 x 10⁻²⁰ CL/mol) ดังนั้น การใช้สารไวตอ ปฏิกิริยารวมกันสามารถเพิ่มค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงได้

ข้อดีของการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยรังสีแกมมา

1. การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ง่าย ปฏิกิริยาจะหยุดทันทีเมื่อหยุดฉายรังสี
2. ขั้นตอนการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้สารเคมีมาก
3. ไม่มีสารตกค้าง เช่น สารไนโตรซามีน จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ถุงมือยาง สายยางให้ผู้ป่วย แก๊สออกซิเจน และของเล่นเด็ก
4. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความใส และมีความยืดหยุ่น
5. ช่วยลดการแพ้โปรตีน
6. ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ
7. ช่วยลดพลังงานในการผลิต ดังนั้น การใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ได้จากการฉายรังสีแกมมามีการใช้สารเคมีในปริมาณน้อยกว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ใช้ระบบกำมะถัน และมีสิ่งเจือปนหรือสิ่งตกค้างน้อย นอกจากนี้พันธะคาร์บอน-คาร์บอนที่เกิดขึ้นจะทำให้ยางมีความทนต่อความร้อนได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

รังสีที่ใช้ในอุตสาหกรรม

1. รังสีแกมมา (gamma ray)

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น ไม่มีประจุและไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถผ่านร่างกายมนุษย์หรือวัตถุหนาๆ รังสีแกมมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์และในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร

รังสีแกมมาเกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของอะตอมของธาตุที่เป็นไอโซโทปรังสี เช่น โคบอลต์-60 ซึ่งได้มาจากการนำโคบอลต์-59 ไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีฟลักซ์สูงๆ



โคบอลต์-60 จะสลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.17 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ และ 1.33 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ดังนั้นพลังงานรวมเท่ากับ 2.50 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ โดยจะสลายตัวให้ निकเกิล-60 ซึ่งอยู่ในสภาวะเสถียรและมีค่าครึ่งชีวิต 5.272 ปี

2. ลำอิเล็กตรอน (Electron Beam Radiation) [1]

ลำอิเล็กตรอนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น $10^{-7} - 10^{-4}$ um มีความถี่สูงที่ความถี่ $10^{21} - 10^{18}$ Hz ทำให้มีพลังงานและอำนาจในการทะลุทะลวงสูง การใช้ลำอิเล็กตรอนในอุตสาหกรรมยาง

การเลือกสภาวะที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางด้วยลำอิเล็กตรอนจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติเชิงกล สมบัติความร้อน คุณสมบัติเคมี ขนาดของอนุภาค สมบัติการหลอมเหลว ความเข้ากันได้ของวัสดุ สมบัติเชิงพื้นผิว และสมบัติอื่นๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการวัลคาไนซ์ยางด้วยลำอิเล็กตรอนในเชิงอุตสาหกรรมมี 4 ปัจจัย ได้แก่

1. การเชื่อมโยงโมเลกุล
2. การโพลีเมอไรซ์
3. การกราฟต์
4. การเสื่อมสภาพ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ลำอิเล็กตรอน ได้แก่ สายไฟสายเคเบิล ท่อที่สามารถหดได้ด้วยความร้อน ข้อต่อ พิล์ม วัสดุคอมโพสิตที่มีความหนาเช่น ล้อยาง และสายพาน เป็นต้น

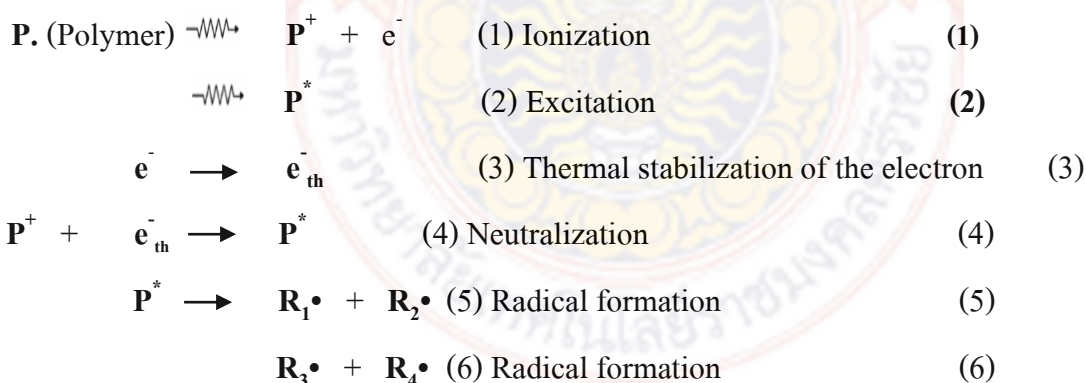
ปฏิกิริยาเคมีของการฉายรังสีโพลีเมอร์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี

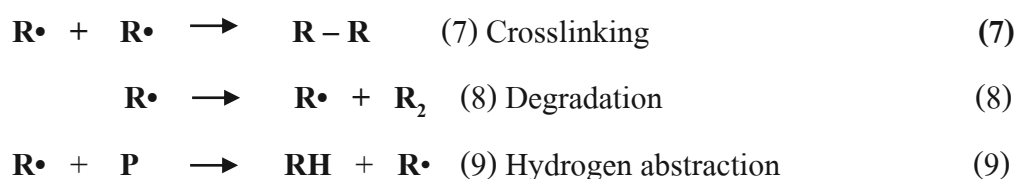
ขั้นตอนแรก การฉายรังสีโพลีเมอร์ทำให้เกิดคู่อิออน (สมการที่ 1) และโพลีเมอร์ที่ถูกกระตุ้น (สมการที่ 2) ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นมาก ใช้เวลาน้อยกว่า 10^{-6} วินาที อิเล็กตรอนไอออนและโพลีเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาต่อไป (สมการที่ 3, 4) โพลีเมอร์ที่ถูกกระตุ้นจะแตกออกเป็น 2 อนุมูลอิสระ (สมการที่ 5, 6) ปฏิกิริยาในสมการที่ 5 นำไปสู่การเสื่อมสภาพของโพลีเมอร์

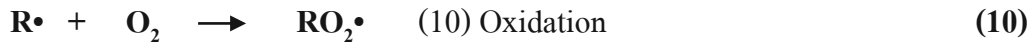
ขั้นตอนที่สอง อนุภาคที่ว่องไวสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับอนุภาคด้วยตัวเองหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของตัวกลางได้ เช่น ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลในสมการที่ 7 หรือเกิดการเสื่อมสภาพในสมการที่ 8 ถ้าตัวกลางในการฉายรังสีมีโมเลกุลที่ไม่อิมมิตัวที่สามารถจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไลเซชันได้ อนุมูลอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงพันธะคู่ของโมเลกุลทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไลเซชันแบบตอกิ่ง (Grafting) ขึ้นดังสมการที่ 12 และ 13

Primary Process



Secondary Process





ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง Hevea Brazilliensis ที่มีต้นกำเนิดตอนในทวีปอเมริกาใต้ หนุ่ยางสดที่ได้มาจากต้นยางมีลักษณะขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้ ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้ง 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคหนุ่ยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากหนุ่ จากนั้นก็กรี๊ดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C เวลา 3 วัน เราก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C₅H₈) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจาก ส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยาง สามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจาก อุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูง



ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติ คือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อแรงภายนอก ที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยาง

ธรรมชาติยังมีสมบัติที่ยึดเหนี่ยวกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์

อย่างไรก็ตามยางดิบจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพไม่เสถียร ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ยางจะอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่อบริเวณอุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้งาน จำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือ

ยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดันด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

หน่วยการวัดรังสี

1. กัมมันตภาพ (activity) คือความแรงของสารกัมมันตรังสีมีหน่วยเป็น คูรี

1 คูรี หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที สำหรับหน่วยสากล(SI unit)กำหนดเป็น เบ็กเกอร์เรล(Becquerel, Bq) โดยที่

1 becquerel หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีสลายตัวให้กัมมันตภาพ 1 ครั้งต่อวินาที

2. เอกซ์โพเชอร์ (exposure) การวัดประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อรังสีผ่านไปในอากาศมีหน่วยเป็นเรินต์เกน(roentgen, R)

ปริมาณรังสี 1 เรินต์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศหนัก 0.001293 กรัม(1 cm^3) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแตกตัวเกิดเป็นประจุไฟฟ้า 1 esu สำหรับ SI unit ใช้ C/kg แสดงค่าเอกซ์โพเชอร์ โดยที่

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

3. แอบซอร์บโดส (absorbed dose) ปริมาณรังสีที่ตัวกลางใดๆดูดกลืนไว้ต่อหนึ่งหน่วยของตัวกลางนั้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไป ซึ่งอาจจะเขียนได้ว่า

$$\text{rad} = \text{พลังงานของรังสี} / \text{น้ำหนักของตัวกลาง}$$

ปริมาณรังสี 1 แร็ด หมายถึง ปริมาณของรังสีที่ตัวกลางดูดกลืนพลังงานไว้ได้ 100 เออร์กต่อกรัมของตัวกลาง

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg} / \text{g}$$

$$= 10^{-2} \text{ j} / \text{kg}$$

SI unit กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือเกรย์ (gray, Gy) เป็นหน่วยสำหรับแอบซอร์บโดส โดยที่

$$1 \text{ J} / \text{kg} = 1 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

4. โดสอิควิวาเลนต์ (dose equivalent)

แม้รังสีแต่ละชนิดถ่ายเทพลังงานให้กับตัวกลางเท่ากันก็ตาม หากตัวกลางเป็นเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตผลทางชีวภาพที่เกิดแตกต่างกัน เช่น fast neutrons 0.01 Gy ทำให้เกิดผลทางชีวภาพได้เท่ากับรังสีแกมมา 0.1 Gy ดังนั้น

เพื่อเปรียบเทียบอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีแต่ละชนิดต้องนำค่า absorbed dose คูณกับ Quality Factor(Q) ของรังสีแต่ละชนิด ซึ่งค่า Quality Factor ของรังสีแต่ละชนิดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. Quality Factor(Q) ของรังสีแต่ละชนิด

Radiation	Q
gamma, x-rays	1
beta($E_{\max}>0.003$)	1
beta($E_{\max}<0.003$)	1.7
thermal neutron	5
fast neutron	10
alpha	20

หน่วยของ dose equivalent คือ rem (radiation equivalent man)

$$\text{Dose equivalent (rem)} = \text{absorbed dose(rad)} \times \text{Q(quality factor)}$$

ดังนั้นตัวประกอบเชิงคุณภาพหรือแฟกเตอร์คุณภาพขึ้นมาใช้สำหรับเป็นตัวถ่วงน้ำหนักของปริมาณดูดกลืนโดยเป็นการคำนึงถึงความยังผลทางชีวภาพที่สันนิษฐานไว้ก่อน กล่าวคือรังสีชนิดที่ค่าแฟกเตอร์สูงกว่าจะก่อความเสียหายต่อเนื้อเยื่อได้มากกว่า นั่นคือ เมื่อคุณปริมาณรังสีดูดกลืนด้วยแฟกเตอร์จะได้ปริมาณรังสีสมมูล ซึ่งมีหน่วยพิเศษเรียกว่า เร็ม (rem) และหน่วยเอสไอคือ ซีเวิร์ต (Sv) โดย $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโฟมที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่ปริมาณรังสีต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลแนวทางการใช้รังสีให้เกิดประโยชน์ทางอุตสาหกรรมยาง
2. ทราบปริมาณรังสีที่ควรฉายในน้ำยางธรรมชาติ
3. ทราบข้อมูลการใช้ประโยชน์รังสีเพื่อคงรูปโฟมยาง

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ขึ้นรูปโฟมแล้วนำไปฉายรังสีที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 kGy
2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของโฟมยาง

นิยามศัพท์เฉพาะ

รังสี, คงรูป, โฟมยาง

radiation, vulcanization, rubber foam

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ไพรัช อัครรัตน์ (2557) การศึกษาพบว่าเมื่อปรับปริมาณการฉายรังสี เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้ม สูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการหาปริมาณของการฉายรังสี ลำอเล็กตรอนที่จะส่งผลให้ค่าแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกับ น้ำยางที่ผสมสารเคมี โดยศึกษาการปรับปริมาณการ ฉายรังสีลำอเล็กตรอนที่ 50, 100, 150

และ 250 kGy โดยหน่วยหน้าที่ที่นำมาพิจารณา คือ ผลิตภัณฑ์ แผ่นฟิล์มที่มีน้ำหนัก 38.5 กรัม ผลที่ได้คือวิธีที่ใช้ สารเคมีมีค่าการทดสอบแรงดึงเท่ากับ 22 MPa ส่วนวิธี ที่ใช้การฉายรังสีที่ 250 kGy มีค่าทดสอบการดึงเท่ากับ 16.2 MPa จากนั้นนำมาคิดต้นทุนในการผลิต วิธีการ ผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติของทั้งสองวิธีมีราคาต้นทุน ที่ใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 4 บาท โดยวิธีฉายรังสีจะมีต้นทุนที่สูงกว่า 0.06 บาท และในด้านของการส่งผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีที่ใช้สารเคมีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 0.13 kgCO₂e ในขณะที่วิธีที่ใช้การฉาย รังสีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียง 0.006 kgCO₂e ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการฉาย รังสี มากขึ้นจากขอบเขตในงานวิจัยนี้จะทำให้สมบัติการทน ต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น แต่อาจจะเป็นผลเสียต่อความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

Rubber Intelligence Unit (2541) กระบวนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยการฉายรังสีแกมมา เริ่มจากการนำน้ำยางขุ่น (ชนิดแอมโมเนียสูง) เติม สารที่มีความไวต่อปฏิกิริยา (sensitizers) เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄), นอร์มอล-บิวทิลอะครีเลต (n-butyl acrylate; n-BA) และรักษาสภาพน้ำยาง จากนั้นทำการฉายรังสีแกมมาซึ่งเปนครีลีนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไดจากแหล่งกำเนิด โคบอลต์ 60 (60Co) แลวเติมสารต้านออกซิเดชันลงไป (ดังรูปที่ 3) เมื่อโมเลกุลยางได้รับรังสีจะเกิดการแตกตัวให้ออนุมูลอิสระ (free radicals) และจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางแบบคาร์บอน-คาร์บอน (โครงสร้างการ เชื่อมโยงโมเลกุล ดังรูปที่ 4) การควบคุมการวัลคาไนซ์/พรีวัลคาไนซ์ของยางขึ้นกับปริมาณรังสีที่ใช้ เมื่อหยุดฉายรังสี ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันจะหยุดทันที

Medhat M Hassan, Raouf O Aly¹, AH El-Ghandour and Heba A Abdelnaby, (2013) Reclaimed rubber powder (RRP) was treated by the addition of glycidyl methacrylate (GMA) to impart desired properties suitable for oil resistance applications. The produced GMA-RRP was mixed with nitrile-butadiene rubber (NBR) in various compositions. The blends were irradiated with gamma radiation doses of 50–250 kGy. The compounding of the blend factors has been elaborated using Fourier transform infrared spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). Different properties of the synthesized unirradiated and irradiated blends such as tensile strength, elongation at break, hardness, swelling behavior in motor and brake oils and thermal stability were investigated with respect to the RRP content. Results show that the tensile strength, hardness and swelling resistance increase with increasing NBR content in the blend. It has been shown that the tensile strength increased with dose. Similarly, hardness values, reported for the same composition, apparently increased with dose within the range of 50–250 kGy.

วิธีดำเนินการวิจัย

1. นำน้ำยางฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงาน 10 MeV ที่ปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 (kGy)
2. นำน้ำยางฉายรังสีปริมาณต่างๆ ทำฟิล์มยางขนาด 15x15 cm เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ตาม ASTM 412 Die C
3. นำน้ำยางฉายรังสีที่ปริมาณต่างๆ ทำการปั่นความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ไส้แอมโมเนีย 2-3 นาที
4. เติมเป็นสารทำหน้าที่ให้เกิดฟอง 10%แอมโมเนียมโพลิเอต ปั่นความเร็วรอบ 360 รอบต่อนาที ให้เกิดฟอง 3 นาที
5. ปั่นความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เติมสารช่วยให้เกิดฟอง ดิสเพิซัน 12.5% เอสเอสเอฟ (SSF) เวลา 30 นาที
6. เทลงแม่พิมพ์ ปล่อยให้ยางเซตตัว 5 นาที แล้วนำไปอบโฟมที่ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

7.. การทดสอบทางกายภาพของโฟมยาง

1. การทดสอบค่าความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1055-90 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร สูง 19 มิลลิเมตร แล้ววางชิ้นทดสอบในแผ่นเหล็กอัด (ชุดทดสอบ) กดให้ยุบตัว 50% ของความสูงเดิม ตั้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ วางไว้ประมาณ 30 นาที วัดความสูงของชิ้นตัวอย่าง โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{Compression set} = \frac{t_0 - t}{t_0} \times 100$$

t_0 = ความหนาเดิม (mm)

t = ความหนาหลังการทดสอบ (mm)

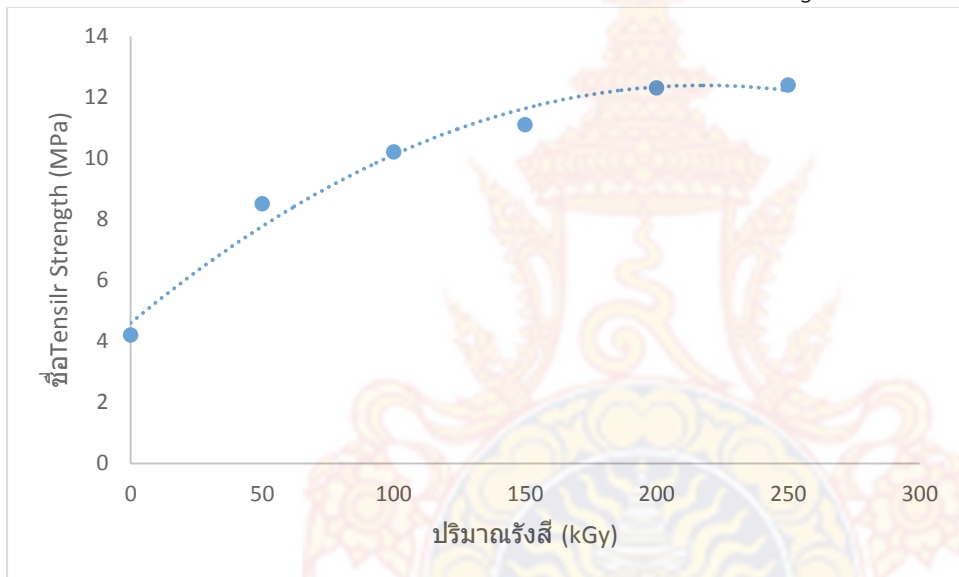
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล Tensile Strength ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกล Tensile Strength

ปริมาณรังสี (kGy)	Tensile strength (MPa)
0	4.2
50	8.5
100	10.2
150	11.1
200	12.3
250	12.4

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณรังสีกับ Tensile strength ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Tensile Strength

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีในการฉายน้ำยางพบว่าค่า Tensile strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงถึงรังสีจากอิเล็กทรอนิกส์มีผลต่อการเชื่อมโยงสายโซ่ของยางธรรมชาติ

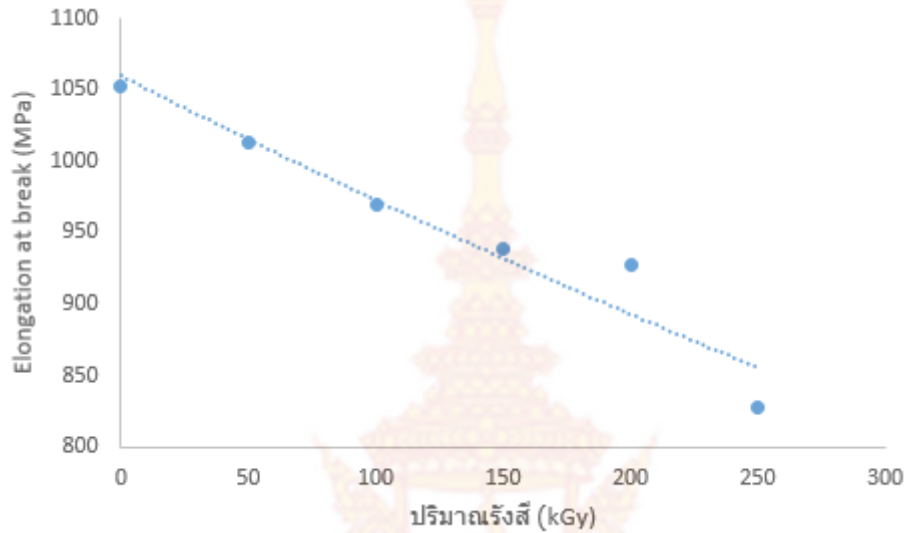
2. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล Elongation at break ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงกล Elongation at break

ปริมาณรังสี (kGy)	Elongation at break (MPa)
0	1052
50	1013

100	970
150	939
200	928
250	827

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณรังสีกับ Elongation at break ดังกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Elongation at break

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Elongation at break มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีมากขึ้น

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล 300% Modulus ดังตารางที่ 4
ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงกล 300% Modulus

ปริมาณรังสี (kGy)	300% Modulus (MPa)
0	0.5
50	0.5
100	0.6
150	0.6

200

0.7

250

0.9

4. ผลการฉายรังสีน้ำยางธรรมชาติด้วยอิเล็กตรอนพลังงาน 10 MeV

1. ผลการฉายรังสีโฟมยางที่ 0 (kGy) ดังรูปที่ 1 สีของโฟมยางคงรูปด้วยรังสีมีลักษณะสีเข้มขึ้นเล็กน้อย สามารถถอดออกจากแบบทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้



2. ผลการฉายรังสีโฟมยางที่ 50 (kGy) ดังรูปที่ 2 สีมีความเข้มเพิ่มมากขึ้น สามารถถอดออกจากแบบทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้





รูปที่ 2

3. ผลการฉายรังสีโฟมยางที่ 100 (kGy) ดังรูปที่ 3 โฟมยางเริ่มเสียสภาพ สีมืดความชื้น ชื้นงานไม่สามารถถอดออกจากแบบทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้



รูปที่ 3

4. ผลการฉายรังสีโฟมยางที่ 150 (kGy) ดังรูปที่ 4 โฟมยางเริ่มเสียสภาพ สีมืดความชื้น ชื้นงานไม่สามารถถอดออกจากแบบทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้



รูปที่ 4

5. ผลการฉายรังสีโพลีเอทิลีนที่ 200 (kGy) ดังรูปที่ 5 โพลีเอทิลีนเริ่มเสียสภาพ สีมีความเข้มมาก ชิ้นงานไม่สามารถถอดออกจากแบบทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้



รูปที่ 5

6. ผลการฉายรังสีโพลีเอทิลีนที่ 250 (kGy) ดังรูปที่ 6 โพลีเอทิลีนเริ่มเสียสภาพ สีมีความเข้มมาก

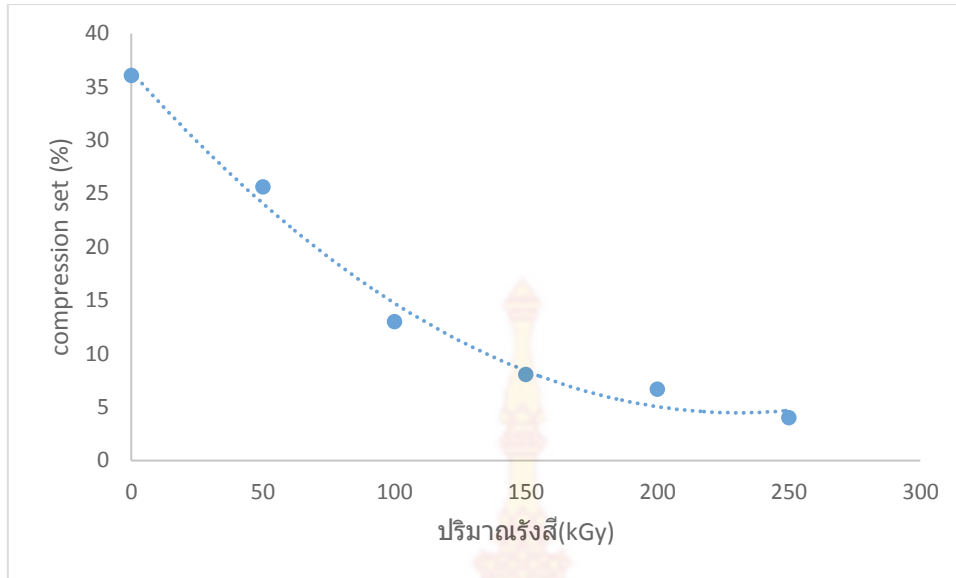


รูปที่ 6

5. การทดสอบ Compression set ของโฟมยางที่คงรูปด้วยรังสีที่ปริมาณรังสีแกมมา 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 (kGy) สามารถเขียนกราฟได้ดังรูป เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณเพิ่มขึ้นแนวโน้มค่า Compression set มีค่าค่อยๆลดลงตามลำดับ ค่าสมบัติการยืดหยุ่นของโฟมยางธรรมชาติหลังจากได้รับการกดเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งค่าที่ได้คำนวณมาเป็นเปอร์เซ็นต์ค่ายิ่งน้อยนั้นแสดงว่า โฟมยางธรรมชาตินั้นยังคงความสามารถในการรักษาความยืดหยุ่นได้ดี และถ้าปริมาณรังสีมากกว่านี้ไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจากลักษณะชิ้นงานเสียหายหรือเกิดการตัดสายโมเลกุลพอลิเมอร์ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะเหลว สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Compression set ดังตารางที่ 5 เขียนกราฟที่ 3

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Compression set

ปริมาณรังสี (kGy)	Compression set
0	36.04
50	25.63
100	12.98
150	8.05
200	6.67
250	4.00



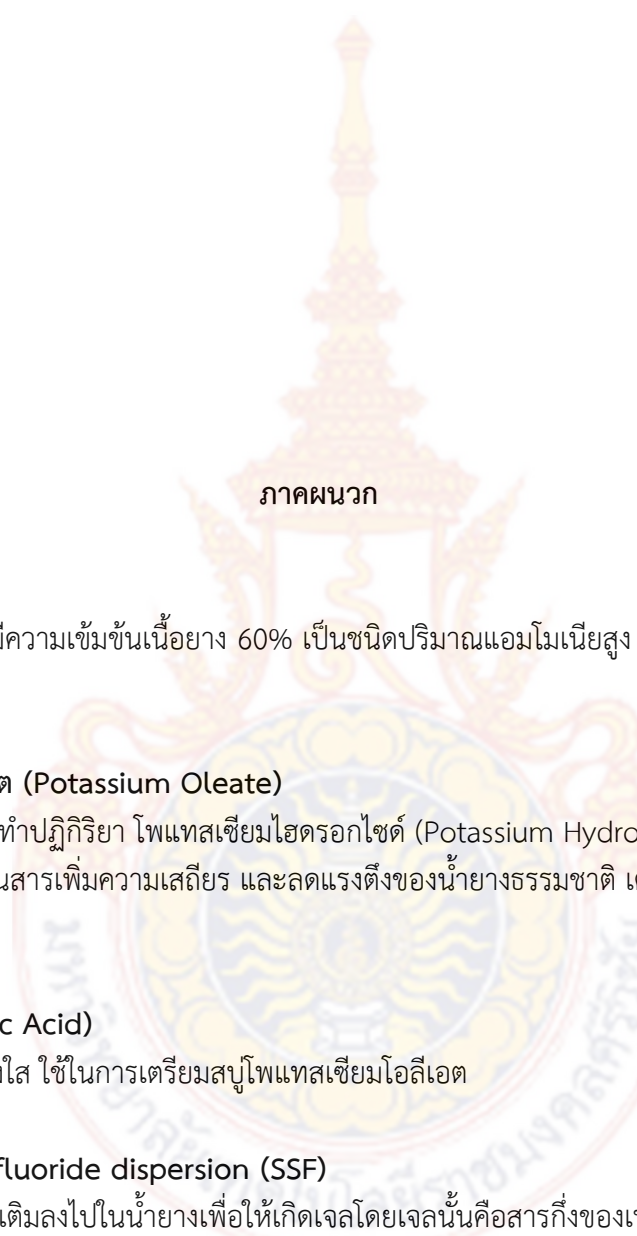
กราฟที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ Compression set

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การใช้รังสีจากอิเล็กทรอนิกส์ในการคงรูปร่างยางธรรมชาติปริมาณรังสีมากขึ้นคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี ทำการขึ้นรูปโคมยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ พบว่าสีของน้ำยางจะเข้มขึ้นตามปริมาณรังสีสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า แล้วทำการทดสอบ Compression set มีค่าค่อยๆลดลงตามลำดับจากโคมยางไม่ฉายรังสีมีค่า 36.04% ที่ปริมาณรังสี 50 kGy มีค่า 25.63% ที่ปริมาณรังสี 100 kGy มีค่า 12.98% ที่ปริมาณรังสี 150 kGy มีค่า 8.05% ที่ปริมาณรังสี 200 kGy มีค่า 6.67% ที่ปริมาณรังสี 250 kGy มีค่า 4.00% จะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มลดลง ค่าสมบัติการยืดหยุ่นของยางหลังจากได้รับการกดเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งค่าที่ได้คำนวณมาเป็นเปอร์เซ็นต์ค่ายิ่งน้อยนั้นแสดงว่า โคมยางนั้นยังคงความสามารถในการรักษาความยืดหยุ่นได้ดี คั้นสภาพได้ดีที่ปริมาณรังสีสูง

บรรณานุกรม

- ประมวล ตั้งปริบูรณ์รัตน์. (2545). พอลิเมอร์คอลลอยด์. พิมพ์ครั้งที่ 3. รวบรวมวิชาการพิมพ์. กรุงเทพฯ. คมกฤษ ฤทธิรงค์ และคณะ. (2552). อิทธิพลของโดสรังสีแกมมาและสารไวปฏิกิริยาต่อสมบัติทางฟลิกสของน้ำยางธรรมชาติฉายรังสี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศเคียม ครั้งที่ 11, กรุงเทพฯ.
- วรวิฑูร์ สุขมาก. (2552). การพัฒนากันกระแทกจากยางพองน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. (2556). ชนิดของยางและการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง
- ชินรัตน์ ลาภพูนธนะอนันต์. (2558). เทคโนโลยีการผลิตและทดสอบโฟมจากน้ำยางธรรมชาติ. เครื่องขยายพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา.
- กนกทิพย์ บุญเกิด. (2551). ไนโตรซามีนที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมยาง. ศูนย์วิจัยและพัฒนายางไทย, ฉบับที่ 1, 1-6.
- Mohammad Khalid. (2011). Effect of Electron Beam Radiation on the Properties of Natural Rubber/Multiwall Carbon Nanotube Nanocomposites. Kulliyah of Engineering, International Islamic University Malaysia.
- Makuuchi K. (2003). An Introduction to Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. T.R.I. Grogal Co., Ltd, ฉบับที่ 1, 1-6.



ภาคผนวก

60% Natural Latex

น้ำยางธรรมชาติมีความเข้มข้นเนื้อยาง 60% เป็นชนิดปริมาณแอมโมเนียสูง จากบริษัท ที ที ลาเท็กซ์ แอนด์ โปรดักส์ จำกัด

10% โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium Oleate)

เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) และโอเลอิก เอซิด (Oleic Acid) ใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียร และลดแรงตึงของน้ำยางธรรมชาติ เตรียมให้อยู่ในรูป สารละลายเข้มข้น 20%

กรดโอเลอิก เอซิด (Oleic Acid)

มีลักษณะสีเหลืองใส ใช้ในการเตรียมสบู่โพแทสเซียมโอเลเอต

12.5% Sodium silicofluoride dispersion (SSF)

เป็นสารอนินทรีย์เติมลงไปในน้ำยางเพื่อให้เกิดเจลโดยเจลนั้นคือสารกึ่งของเหลวและกึ่งของแข็ง เตรียมโดยใช้สารตัวอย่าง ร่วมกับ dispersing agent แล้วเติมน้ำกลั่น

