

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยการฉายรังสีลำอิเล็กตรอน

The Feasibility Study of Using Electron Beam Irradiation Method to Produce Natural Rubber Latex Thin Film

ไพรัช อุสุภรัตน์, เกศุน พูลสวัสดิ์, วริศ บุญหมื่นไวย
และหาญพล ฟังรัมย์*

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงานเชิงนิวเคลียร์เชิงพาณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Phairat Usubharatana, Pakoon Poolsawas, Varis Boonmunewai
and Harnpon Phungrussami*

Excellence Center of Eco-Energy, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการฉายลำอิเล็กตรอนในการเชื่อมโยงพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนสำหรับการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมที่ใช้สารเคมี โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การประเมินผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ และคุณภาพทางกายภาพด้วยการทดสอบแรงดึง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณการฉายรังสีที่ 50, 100, 150 และ 250 kGy โดยพิจารณาหน่วยน้ำหนักคือ ผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มที่มีน้ำหนัก 38.5 กรัม ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติแบบดั้งเดิมและแบบการฉายรังสีคือ 0.13 และ 0.006 kgCO₂e ตามลำดับ ส่วนต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 4 บาท โดยการฉายลำอิเล็กตรอนจะมีต้นทุนสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีจนถึง 250 kGy ค่าการทนต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 16.2 MPa ซึ่งน้อยกว่าแผ่นฟิล์มด้วยวิธีดั้งเดิมที่มีค่าการทนต่อแรงดึงคือ 22 MPa ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่าสมบัติทางด้านแรงดึงจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีจากขอบเขตของงานวิจัยนี้ แต่อาจจะนำไปสู่ผลเสียต่อความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ : รังสีลำอิเล็กตรอน; ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน; หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

*ผู้รับผิดชอบบทความ : pharnpon@engr.tu.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the environmental impact and economic feasibility of using electron beam to enhance carbon-carbon bonding for latex thin film forming process. This electron beam processing was compared with the chemical conventional one. LCA method, by global warming potential, was used to assess the environmental impact of both two processes. Operating cost was collected to determine economic worth of both methods. Physical properties, tensile stress for this case, were used to compare the quality of the products from both processes. Additional, four level irradiation of electron beam; 50, 100, 150 and 250, was adjusted to investigate effect of them. From data collection and experimental result showed that, the environmental impact of 38.5 g functional unit latex film obtained from conventional process and developing process were 0.13 and 0.006 kgCO₂eq, respectively. When considering to operate cost of both processes, it was found that, the cost of both processes were almost quite similar at approximately 4 Bahts (slightly higher for electron beam process). Increasing of irradiation energy would exhibit increasing of tensile strength properties. However, product from electron beam irradiation process, at the maximum irradiation of this experiment (250 kGy), has tensile strength properties (16.2 MPa) worse than from chemical conventional process (22 MPa). Researchers expected the better result if more energy is increased further than boundary of this experiment, but this would brought disadvantage of economic feasibility.

Keywords: electron beam; global warming potential (GWP); life cycle assessment (LCA)

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่นอนยางพารามีการใช้ยางพาราและสารเคมีจำนวนมากในการผลิตที่นอนยางพารา โดยเฉพาะน้ำยางข้นเป็นจำนวนมากถึง 78 % [1] หากพิจารณาจากราคาต้นทุนของน้ำยางพารา ปี พ.ศ. 2555 มีราคาเฉลี่ยสูงถึง 89.98 บาท (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่ายังมีการใช้ปริมาณของน้ำยางมากเท่าไรก็จะมีต้นทุนในการผลิตที่นอนยางพารามากขึ้น และนอกจากน้ำยางพาราที่เป็นตัวส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของที่นอนยางพารามีราคาสูงแล้วยังรวมถึงสารเคมีและพลังงานที่ใช้ทั้งในการผลิตและการขนส่งด้วย จึงได้มีการคิดค้นหาวิธีต่างๆ เพื่อที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตที่นอนยางพาราให้มีต้นทุนลดลง

การเลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการผลิตจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการใช้ในส่วนต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาให้น้อยลง เพื่อที่ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้ในสภาวะปัจจุบัน โดยที่คุณภาพยังคงดีดั้งเดิมหรือดีขึ้นซึ่งขั้นตอนในการผลิตที่นอนยางพาราเป็นไปตามแผนการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ดังรูปที่ 1 แต่ในงานวิจัยนี้จะศึกษาหาเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการผลิตที่นอนยางพารา โดยพิจารณาเฉพาะเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการเตรียมน้ำยางข้น และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเท่านั้น

การผลิตที่นอนยางพาราจากน้ำยางข้นที่ผ่านการผสมสารเคมีเป็นวิธีการขึ้นรูปที่นอนยางพาราที่ภาคอุตสาหกรรมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สารเคมีจำนวน

มากถูกใช้ผสมกับน้ำยางพาราเพื่อให้เกิดคุณสมบัติที่ต้องการ กำมะถันจะทำให้น้ำยางพาราเกิดการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) น้ำยางจะทำปฏิกิริยากับกำมะถันสร้างพันธะโคเวเลนต์เชื่อมระหว่างโซ่พอลิเมอร์ให้เป็นโมเลกุลเดียวกันเกิดพันธะระหว่างซัลเฟอร์กับคาร์บอน (C-S bond) ดังรูปที่ 2 ทำให้อย่างมีคุณภาพคงตัวในอุณหภูมิต่าง ๆ มีความยืดหยุ่นได้ดี

มากขึ้น ทนความร้อนและแสงแดด ละลายในตัวทำละลายได้ยากขึ้น [3] นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีอื่น ๆ สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นสารเติมแต่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการของทีนอนยางพารา ซึ่งจะส่งผลกับค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้สำหรับการซื้อสารเคมีและสำหรับการเตรียมสารเคมี รวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้สารเคมีด้วย

ตารางที่ 1 ราคาน้ำยางสดในประเทศไทย

ราคาน้ำยางสด	ปี 2550	ปี 2551	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554	ปี 2555
มกราคม	64.59	77.05	41.11	87.92	134.40	92.10
กุมภาพันธ์	72.45	82.14	47.21	93.80	152.26	107.36
มีนาคม	74.23	77.98	52.70	100.50	129.72	110.64
เมษายน	73.24	77.50	52.70	107.53	147.12	104.62
พฤษภาคม	73.05	86.81	52.18	96.88	135.18	99.15
มิถุนายน	64.65	97.16	48.08	100.70	131.45	86.83
กรกฎาคม	58.21	98.23	49.94	97.71	124.97	86.36
สิงหาคม	62.62	84.47	58.78	96.45	120.41	77.55
กันยายน	65.18	84.98	58.75	98.09	116.07	79.50
ตุลาคม	67.43	52.90	63.12	101.47	105.92	84.97
พฤศจิกายน	72.05	52.24	69.47	115.66	84.71	74.91
ธันวาคม	68.39	32.56	77.53	125.97	86.10	77.94
ค่าเฉลี่ย	68.01	75.33	55.96	101.89	122.36	89.98

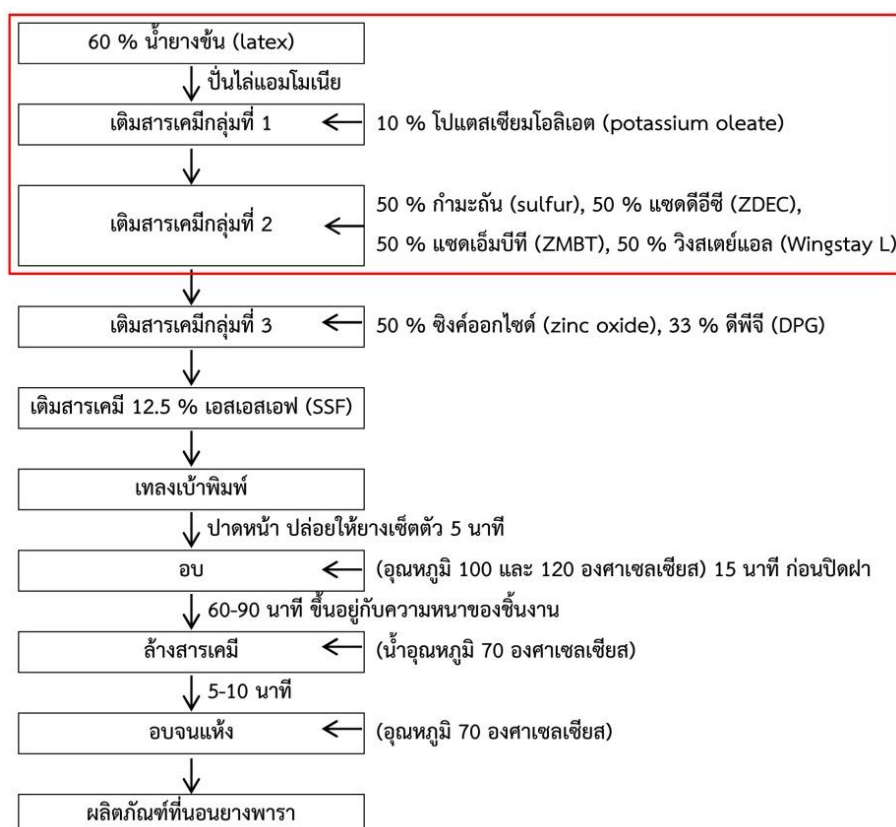
ที่มา : สำนักตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา (หน่วย : บาท) [2]

อีกหนึ่งวิธีที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ได้กล่าวมาในข้างต้น คือ การฉายลำอิเล็กตรอน เนื่องจากการวัลคาไนซ์น้ำยางชั้นด้วยรังสีเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเมื่อเทียบกับการวัลคาไนซ์แบบผสมสารเคมีที่ใช้กำมะถันและความร้อน เป็นผลมาจากการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีสามารถทำได้ ณ อุณหภูมิห้อง ไม่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากการใช้สารเคมี และไม่ก่อให้เกิดรังสีตกค้างซึ่ง

ปัจจุบันมีรังสีต่าง ๆ มากมายนอกเหนือจากลำอิเล็กตรอน เช่น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด ไมโครเวฟ แต่ภายในงานวิจัยนี้เลือกการฉายรังสีลำอิเล็กตรอนมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากลำอิเล็กตรอนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นแต่มีความถี่สูงกว่ารังสีอื่น ๆ ที่กล่าวมา (ตารางที่ 2) ทำให้มีพลังงานและความสามารถในการทะลุทะลวงสูง และมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์สูงมากและมีความสม่ำเสมอ

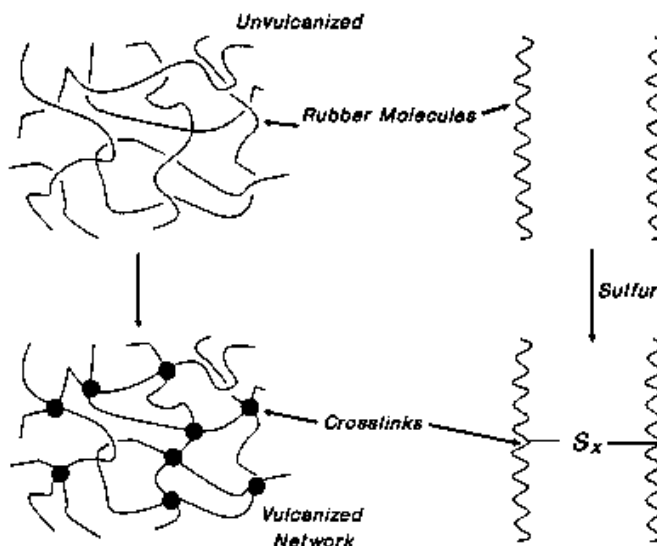
[4] ลำอิล็กตรอนที่ฉายเข้าไปในน้ำยางพารา พอลิเมอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเปลี่ยนลักษณะจากเทอร์โมพลาสติกเป็นเทอร์โมเซต ซึ่งจะได้อโครงสร้างเป็นร่างแห ลำอิล็กตรอนจะเข้าไปชนโมเลกุลของน้ำยางพาราทำให้เกิดการจับพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C bond) [5] ซึ่งทดแทนการเติมกำมะถันจากการที่ใช้การผลิตแบบผสมสารเคมีที่เกิดพันธะระหว่างซัลเฟอร์กับคาร์บอน โครงสร้างของพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนจากการฉายรังสีสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติได้เช่นเดียวกับการใช้สารเคมี โดยสามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบแรงดึงที่ภาระสูงสุด (tensile stress at maximum load)

ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ถ้าโครงสร้างของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติมีค่าการทดสอบแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าผลของการยึดเกาะของพันธะมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน การฉายรังสีลำอิล็กตรอนที่ระดับต่าง ๆ จะส่งผลต่อค่าการทนแรงดึง เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มของรังสี แนวโน้มของค่าการทดสอบแรงดึงจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น [6] และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผสมการฉายลำอิล็กตรอนกับรังสีไมโครเวฟในระดับต่าง ๆ [7] รวมถึงอุณหภูมิ ณ ขณะที่ฉายรังสีจะส่งผลต่อค่าการทนแรงดึงเช่นกัน [8] โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาเพียงแค่สภาวะที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น



หมายเหตุ : ภายในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงขอบเขตของการเตรียมน้ำยางข้น (ในกรอบ) เพียงอย่างเดียว

รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตที่นอนยางพารา (แผนการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร [1])



รูปที่ 2 การเกิดวัลคาไนเซชันของน้ำยางพารา [9]

ตารางที่ 2 ความถี่และความยาวคลื่นของรังสีประเภทต่าง ๆ [4]

รังสี	ความถี่ (Hz)	ความยาว (μm)
ลำอิเล็กตรอน	10^{21} - 10^{18}	10^{-7} - 10^{-4}
อัลตราไวโอเลต	10^{17} - 10^{15}	10^{-2} -1
อินฟราเรด	10^{15} - 10^{12}	1-100
ไมโครเวฟ	10^{12} - 10^{10}	10^3 - 10^5

ปัจจุบันนี้ได้เกิดการส่งเสริมให้มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นอีกทั้งความตระหนักของผู้บริโภคที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming potential, GWP) และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติด้วยวิธีดั้งเดิม และแบบการฉายลำอิเล็กตรอน โดยพิจารณาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงออกสู่ประตูโรงงาน (cradle to gate)

2. วิธีการศึกษา

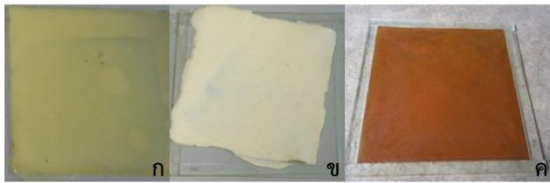
การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยวิธีการใช้สารเคมีกับวิธีการฉายลำอิเล็กตรอน กำหนดให้หน่วยหน้าที่ (functional unit) [10] แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติคือ 38.5 กรัม โดยหน่วยหน้าที่คือหน่วยที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตการจัดเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกภายในระบบที่ศึกษาสามารถทำได้ดังนี้

2.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

2.1.1 การผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากน้ำยางข้นเพื่อเป็นการทดสอบแบลนด์ (blank test)

เตรียมน้ำยางข้นให้อยู่ในรูปของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยการเทน้ำยางข้นจำนวน 38.5 กรัม ลงบนภาตกระจกที่เตรียมไว้ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน จนน้ำยางมีลักษณะแห้งเป็นแผ่นสามารถลอกออกจากภาตกระจกได้ (ควรตั้งทิ้งไว้ในที่ที่แสงแดดเข้าถึงและป้องกันจากแมลงรบกวน) ดังรูปที่ 3ก

2.1.2 การผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากน้ำยางข้นที่เติมสารเคมี



รูปที่ 3 (ก) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เติมเพียงน้ำยางชั้น (ข) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมน้ำยางชั้นกับสารเคมี และ (ค) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่น้ำยางชั้นผ่านการฉายล่ำอเล็กตรอน

เตรียมน้ำยางชั้นให้อยู่ในรูปของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยการผสมน้ำยางชั้นกับสารเคมีตามสัดส่วน (ตารางที่ 3) จากนั้นเทลงบนภาดกระจกที่เตรียมไว้ และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน จนน้ำยางแห้งสามารถลอกออกมาได้ ดังรูปที่ 3ข

ตารางที่ 3 สัดส่วนปริมาณและหน้าที่ของสารเคมีที่ใช้ในการทำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ [1]

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)	หน้าที่
60 % น้ำยางชั้น (latex)*	31.5	
10 % โปแตสเซียมโอเลต (potassium oleate)	2.8	สารช่วยให้เกิดฟอง
50 % กำมะถัน (sulfur)	0.8	สารทำให้ยางคงรูป (แข็ง)
50 % แซตติอีซี (ZDEC)	0.4	สารตัวเร่งให้ยางสุก
50 % แซตเอ็มบีที (ZMBT)	0.4	สารตัวเร่งให้ยางสุก
50 % วิ่งสเตย์แอล (Wingstay L)	0.4	สารกันยางเสื่อม
50 % ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)	1.8	สารกระตุ้นตัวเร่ง
33 % ดีพีจี (DPG)	0.4	สารตัวเร่งให้ยางสุก

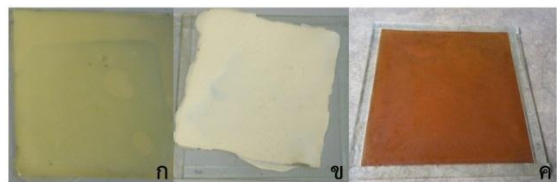
หมายเหตุ : *60 % น้ำยางชั้น (latex) คือน้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียชนิดเข้มข้น 60 %

2.1.3 การผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากน้ำยางชั้นฉายรังสี

เตรียมน้ำยางชั้นปริมาณ 38.5 กรัม สำหรับการฉายรังสีโดยผ่านเข้าเครื่องฉายล่ำอเล็กตรอนปรับปริมาณความเข้มของรังสีที่ 50, 100, 150 และ 250 kGy จากนั้นกรองน้ำยางที่ผ่านการฉายล่ำอเล็กตรอนแล้วเทลงบนภาดกระจก และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน จึงทำการลอกออก ดังรูปที่ 3ค

2.2 การทดสอบแรงดึง

ตัดชิ้นส่วนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติให้เป็นรูปทรงดัมเบลเพื่อใช้ในการทดสอบแรงดึงดังรูปที่ 4 โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงตามระเบียบมอก. 1425-2540 ข้อ 10.7 [11]



รูปที่ 4 รูปทรงของชิ้นแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติสำหรับใช้ในการทดสอบแรงดึงจาก (ก) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เติมเพียงน้ำยางชั้น (ข) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมน้ำยางชั้นกับสารเคมี และ (ค) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่น้ำยางชั้นผ่านการฉายรังสีล่ำอเล็กตรอน

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการทดสอบแรงดึง

นำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เป็นตามที่ได้เตรียมใน 2.1 ตัดออกเป็นจำนวน 5-6 ชิ้นงาน เพื่อใช้ในการทดสอบ โดยการศึกษา Tensile stress ที่ Maximum load (MPa) ทั้งหมด 5-6 ค่า ซึ่งจะตัดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของ tensile stress ที่ maximum load (MPa) ออกแล้วนำค่าที่เหลือมาหา

ค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจะเป็นค่าของผลการทดสอบ Tensile stress ที่ Maximum load (MPa) ของชิ้นงานแผ่นฟิล์มยางธรรมชาตินั้น ๆ

ผลการทดสอบของค่าการทดสอบการดึงของน้ำยางชั้น (ตารางที่ 4) ค่าการทดสอบการดึงของน้ำยางชั้นผสมสารเคมี (ตารางที่ 5) และค่าการทดสอบการดึงของน้ำยางชั้นที่ผ่านการฉายรังสี (ตารางที่ 6) ตามลำดับ ซึ่งส่วนของการทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติฉายรังสี จะทดสอบโดยการปรับระดับความเข้มของรังสีลําอํีเล็กรอนที่ฉายเป็น 4 ระดับ คือ 50, 100, 150 และ 250 kGy

ตารางที่ 4 ค่าการทดสอบการดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

	Tensile stress at Maximum load (MPa)	Tensile stress at 100 % Modulus (MPa)
1 X ค่าต่ำสุด	2.40	0.40
2	2.71	0.37
3	2.86	0.37
4	2.44	0.41
5 X ค่าสูงสุด	3.11	0.40
Mean	2.67	0.38
Standard deviation	0.30	0.02

ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ใช้น้ำยางชั้นเพียงอย่างเดียว ค่า tensile stress ที่ maximum load เท่ากับ 2.67 MPa การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมสารเคมีมีค่า tensile stress ที่ maximum load เท่ากับ 22 MPa และจากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับเพิ่มปริมาณการฉายรังสีให้มากขึ้น โดยกำหนดให้

มีค่าตั้งแต่ 50, 100, 150 และ 250 kGy จะทำให้ผลในการทดสอบแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จากประมาณ 6.4 MPa จนถึง 16.2 MPa ทำให้ทราบว่าผลของการฉายรังสีลําอํีเล็กรอนส่งผลต่อการเพิ่มแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติได้ซึ่งภายในงานวิจัยนี้การฉายลําอํีเล็กรอนที่ 250 kGy มีค่าใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิมมากที่สุด จึงใช้การฉายที่ 250 kGy เป็นตัวเปรียบเทียบกับด้านต้นทุนและสิ่งแวดล้อมต่อไป

ตารางที่ 5 ค่าการทดสอบการดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมี

	Tensile stress at Maximum load (MPa)	Tensile stress at 100 % Modulus (MPa)
1	19.23	0.70
2 X ค่าสูงสุด	26.32	0.78
3	22.70	0.75
4	23.99	0.78
5	22.06	0.77
6 X ค่าสูงสุด	13.81	0.74
Mean	22.00	0.75
Standard deviation	1.88	0.02

ตารางที่ 6 ค่าการทดสอบการดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

	Tensile stress at Maximum load (MPa)	Tensile stress at 100 % Modulus(MPa)
50 kGy	6.4±1.2	0.45±0.03
100 kGy	5.8±2.2	0.49±0.01
150 kGy	12.3±1.1	0.56±0.02
250 kGy	16.2±1.8	0.66±0.02

3.2 ด้านต้นทุน

การศึกษาด้านต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยการเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติของทั้ง 2 วิธีการผลิต คือ การเติมสารเคมีกับการฉายรังสี ในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยการเติมสารเคมี ต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติมาจากการซื้อสารเคมีมาใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ รวมถึงค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำดิสเพอร์ชันกับอิมัลชันในการเตรียมสารเคมี ซึ่งเป็นข้อเสียสำหรับการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยการเติมสารเคมี เนื่องจากสารเคมีที่ใช้จะมีลักษณะแยกชั้นของสารละลายเมื่อไม่ได้มีการใช้งานหรือตั้งทิ้งไว้และส่วนของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยการฉายรังสี ต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจะมาจากการใช้ไฟฟ้าในการฉายรังสีเพียงอย่างเดียว โดยในการคิดต้นทุนการผลิตจะไม่คิดในส่วนของการลงทุนของอุปกรณ์ ซึ่งผลการศึกษาของต้นทุนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมี กับผลการศึกษาของต้นทุนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยการฉายรังสีเป็นดังตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ 38.5 กรัม จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณน้ำยางชั้นเป็นตัวแปรสำคัญของราคาต้นทุน ดังนั้นถ้าต้องการที่จะลดต้นทุนในการผลิต จึงควรที่จะหาวิธีที่ลดปริมาณการใช้ น้ำยางลง แต่ภายในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการฉายรังสี ลำโเล็กตรอนแก่น้ำยางชั้น ซึ่งต้องใช้ปริมาณของน้ำยางชั้นที่มากขึ้น ผลที่ได้คือการใช้น้ำยางฉายรังสีจะมีราคาสูงกว่าการใช้น้ำยางผสมสารเคมีอยู่ 0.06 บาท แต่ในกระบวนการผลิตจริง สารเคมีที่ใช้มีการเตรียมที่ยุ่งยากกลุ่มสารเคมีดิสเพอร์ชันที่ใช้ในการผลิตที่แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติแบบที่ใช้สารเคมีจะต้องทำดิสเพอร์ชันทุกครั้งก่อนนำไปใช้งานไม่ว่าจะใช้ปริมาณมากน้อย ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้ค่าไฟฟ้า

ตารางที่ 7 ต้นทุนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมี

รายการ	ราคา (บาท)	/หน่วย	ปริมาณ	หน่วย	ราคา (บาท)
วัตถุดิบ					
60 % latex	105.00	kg	0.03152	kg	3.310
สารเคมี					
Sulfur	114.00	kg	0.00038	kg	0.043
ZDEC	168.00	kg	0.00020	kg	0.034
ZMBT	243.00	kg	0.00020	kg	0.049
Wingstay L	372 .00	kg	0.00013	kg	0.047
DPG	178.00	kg	0.00013	kg	0.023
ZnO	135.00	kg	0.00094	kg	0.127
KOH	10.00	kg	0.00050	kg	0.005
Oleic**	374.50	kg	0.00013	kg	0.047
Bentonite*	30.00	kg	0.00002	kg	0.001
Voltamal*	145.00	kg	0.00004	kg	0.006
Ammonia**	183.15	kg	0.00001	kg	0.002
Distilled water	8.00	kg	0.00433	kg	0.035
รวม			0.03851	kg	
การใช้ไฟฟ้า	กำลัง	หน่วย	ระยะเวลา	หน่วย	0.271***
สำหรับการดิสเพอร์ชัน	2.50	kW	80.0	h	
สำหรับการอิมัลชัน	0.60	kW	2.0	h	
Total					4.00

หมายเหตุ : *สารเคมีที่ใช้ในการทำอิมัลชัน (emulsion)

**สารเคมีที่ใช้ในการทำดิสเพอร์ชัน (dispersion)

Distilled water ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิมัลชันและดิสเพอร์ชัน

***เป็นการคำนวณไฟฟ้ารวมจากการเตรียมสารเคมีดิสเพอร์ชันและอิมัลชันซึ่งผ่านการปันส่วนแล้ว

3.3 ด้านสิ่งแวดล้อม

การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ จะศึกษาโดยการเปรียบเทียบ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติของทั้ง 2 การผลิต คือ การเติมสารเคมีกับการฉายรังสี โดยใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต (life cycle assessment, LCA) ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ภายใต้ขอบเขต C2G โดยสนใจเพียงผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนเท่านั้น

ผลที่ได้จะแสดงถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมีกับผลการศึกษาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยการฉายรังสีเป็นดังตารางที่ 9 และ 10

ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ต้นทุนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติฉายรังสี

รายการ	ราคา (บาท)	/หน่วย	ปริมาณ	หน่วย	ราคา (บาท)
วัตถุดิบ					
60 % latex	105.00	kg	0.03850	kg	4.043
การใช้ไฟฟ้า	กำลัง	หน่วย	ระยะเวลา	หน่วย	
สำหรับเครื่องฉายรังสีลำอิเล็กตรอน	0.2700	kW	5.0	h	0.019
Total					4.06

ตารางที่ 10 ค่าผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติฉายรังสี

รายการ	หน่วย	ปริมาณ	Emission factor (kgCO ₂ e/หน่วย)	ผลคูณ	แหล่งที่มาของค่า Emission factor
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็กน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตันวิ่งแบบปกติ	km	39.7000	0.3111	0.00006	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็กน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบปกติ, Thai National Database
วัตถุดิบ					
60 % latex	kg	0.03850	0.08231	0.00317	กิตติพงษ์ รุ่งน้อย และคณะ [13]
การใช้ไฟฟ้า	หน่วย	ปริมาณ	emission factor (kgCO ₂ e/หน่วย)	ผลคูณ	แหล่งที่มาของค่า Emission factor
สำหรับเครื่องฉายรังสีลำอิเล็กตรอน	kWh	0.00523	0.60900	0.00318	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; electricity, grid mix (ไฟฟ้า), Thai electricity, grid mix 2009, Thai National Database
Total				0.006	

Base on : ปริมาณ 38.5 g

จากตารางที่ 9 และ 10 จะได้ค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากสารเคมีและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากการฉายรังสี มีค่าเท่ากับ 0.13 kgCO₂e และ 0.006 kgCO₂e ตามลำดับ ซึ่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากสารเคมีมีผลกระทบมากกว่าของการผลิต

แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจากการฉายรังสี เป็นผลมาจากการใช้สารเคมีจำนวนมาก และการใช้ไฟฟ้าสำหรับการดีสเพอร์ชันสารเคมี, ZnO และ 60 % latex โดยมีค่า 0.12386, 0.00273 และ 0.00259 kgCO₂e ตามลำดับ แต่ทางด้านของการฉายรังสีจะมีผลเพียงแค ปริมาณของน้ำยาที่ใช้มากขึ้นเท่านั้น

ตารางที่ 9 ค่าผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมี

รายการ	หน่วย	ปริมาณ	Emission factor (kgCO ₂ e/หน่วย)	ผลคูณ	แหล่งที่มาของค่า Emission factor
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็กน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่ง แบบปกติ	km	39.70000	0.3111	0.00006	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; รถกระบะ บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็กน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบปกติ, Thai National Database
วัตถุดิบ					
60 % latex	kg	0.03152	0.0823	0.00259	กิตติพงษ์ รุ่งน้อย และคณะ [13]
สารเคมี					
Sulfur	kg	0.00038	0.4529	0.00017	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; sulfur, sulfur from refinery, Thai National Database
ZDEC	kg	0.00020	2.9066	0.00058	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
ZMBT	kg	0.00020	2.9066	0.00058	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
Wingstay L	kg	0.00013	2.9066	0.00037	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
DPG	kg	0.00013	2.9066	0.00037	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
ZnO	kg	0.00094	2.9066	0.00273	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
KOH	kg	0.00050	1.9272	0.00096	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
Oleic	kg	0.00013	2.9066	0.00037	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
Bentonite	kg	0.00002	2.9066	0.00006	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
Voltamal	kg	0.00004	2.9066	0.00011	ใช้ค่าสูงสุดของกลุ่มสารเคมี (ZnO)
Ammonia	kg	0.00001	2.0520	0.00002	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
Distilled water	kg	0.00433	0.00103	0.00000	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
รวม	kg	0.03851			
การใช้ไฟฟ้า	หน่วย	ปริมาณ	emission factor (kgCO ₂ e/หน่วย)	ผลคูณ	แหล่งที่มาของค่า emission factor
สำหรับการอิมัลชัน (0.6 kW)	kWh	0.00259	0.6093	0.00158	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; electricity, grid mix (ไฟฟ้า), Thai electricity, grid mix 2009, Thai National Database
สำหรับการดิสเพอร์ชัน (2.5 kW)	kWh	0.20338	0.6093	0.12386	(TGO EF: 2 มกราคม 2556) [12]; electricity, grid mix (ไฟฟ้า), Thai electricity, grid mix 2009, Thai National Database
			Total	0.13	

Base on : ปริมาณ 38.5 g

4. สรุป

การศึกษาพบว่าเมื่อปรับปริมาณการฉายรังสีเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการหาปริมาณของการฉายรังสีลําอเล็กตรอนที่จะส่งผลให้ค่าแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำยางที่ผสมสารเคมี โดยศึกษาการปรับปริมาณการฉายรังสีลําอเล็กตรอนที่ 50, 100, 150 และ 250 kGy โดยหน่วยหน้าที่ที่นำมาพิจารณา คือ ผลลัพธ์แผ่นฟิล์มที่มีน้ำหนัก 38.5 กรัม ผลที่ได้คือวิธีที่ใช้สารเคมีมีค่าการทดสอบแรงดึงเท่ากับ 22 MPa ส่วนวิธีที่ใช้การฉายรังสีที่ 250 kGy มีค่าทดสอบการดึงเท่ากับ 16.2 MPa จากนั้นนำมาคิดต้นทุนในการผลิต วิธีการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติของทั้งสองวิธีมีราคาต้นทุนที่ใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 4 บาท โดยวิธีฉายรังสีจะมีต้นทุนที่สูงกว่า 0.06 บาท และในด้านของการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีที่ใช้สารเคมีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 0.13 kgCO₂e ในขณะที่วิธีที่ใช้การฉายรังสีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียง 0.006 kgCO₂e ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการฉายรังสีมากขึ้นจากขอบเขตในงานวิจัยนี้จะทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น แต่อาจจะเป็นผลเสียต่อความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร สำหรับการศึกษาและการใช้สถานที่ในการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย สำหรับการทดสอบแรงดึง และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำหรับการให้คำแนะนำในการฉายรังสี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยาง, การผลิตตุ๊กตาทองฟองน้ำ, กลุ่มอุตสาหกรรมยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [2] ความเคลื่อนไหวราคายางชนิดต่าง ๆ, สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, แหล่งที่มา : <http://www.rubber.co.th/rubber2012/menu5.php>.
- [3] วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2541, ระบบการคงรูปของยาง, เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ยางสังเคราะห์และระบบการคงรูปของยาง, ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ร่วมกับ ชมรม RT 86, 15 กันยายน 2541, 34 น.
- [4] ดารณี เจริญสุข, 2011, ลําอเล็กตรอน : เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลผลิตในการผลิต, ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย.
- [5] Haque, M.E., Dafader, N.C., Akhtar, F. and Ahmad, M.U., 1996, Radiation dose required for the vulcanization of natural rubber latex, Radiat. Phys. Chem. 48: 505-510.
- [6] Martin, D., Ighigeanu, D., Mateescu, E., Craciun, G. and Ighigeanu, A., 2002, Vulcanization of rubber mixtures by simultaneous electron beam and microwave irradiation, Radiat. Phys. Chem. 65: 63-65.
- [7] Muhammad, N.H., Abdullah, I. and Mohd, D.H.J., 2011, Effect of Electron beam irradiation on natural rubber/linear low density poly-ethylene blends with m-phenylenebismaleimide, Sains Malaysiana 40: 685-689.

- [8] พิไลพร หนูทองคำ และชยากริตศิริอุปถัมภ์, 2551, การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [9] The Chemistry of Tires, Vulcanization, Energy Manager Training, แหล่งที่มา : <http://www.emt-india.net/process/tyre/tyre.htm>.
- [10] ISO International Standard 14040 series, 1997, Environmental management - Life cycle assessment, Geneva.
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเทกซ์ มอก. 1425-2540.
- [12] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (ปรับปรุง 2 มกราคม 2556).
- [13] กิตติพงษ์ รุ่งน้อย, ไพรัช อุศุภรัตน์ และหาญพล พึ่งรัมย์, 2556, การศึกษาวิธีการปันส่วนที่ส่งผลต่อการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ : กรณีศึกษาน้ำยางข้น, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 12, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 27-29 มีนาคม 2556.