

แบบประเมินบทความ/งานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย) : การปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนิน

(ภาษาอังกฤษ) : Improving the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding lignin

หัวข้อการพิจารณา

หัวข้อ	คะแนนประเมิน					ข้อแก้ไข / ข้อเสนอแนะ
	1	2	3	4	5	
1. บทคัดย่อ				✓		-
2. Abstract				✓		
3. บทนำ			✓			- การ literature review ยังน้อยไป ควร review เปเปอร์เพิ่มเติมว่าการเติมสารอื่นๆ เข้าไปในพอลิยูรีเทนโฟมเพื่อดำเนินงานการติดไฟและลามไฟมีอะไรบ้าง เพื่อให้ทราบจุดเด่นและด้อยของงานที่ผ่านมา อีกทั้งสามารถนำผลวิจัยที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานที่ผ่านมาจะทำให้งานวิจัยที่น่าเสนอน่าสนใจและน่าเชื่อถือมากขึ้น - ย่อหน้าที่ 3 ในบทนำควรย้ายมาอยู่ย่อหน้าสุดท้าย
4. วัตถุประสงค์การวิจัย/การศึกษา				✓		- ควรเพิ่มวัตถุประสงค์ “เพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมผสมลิกนิน ได้แก่ ...”
5. วิธีการวิจัย/วิธีการศึกษา			✓			- ควรเพิ่มการอ้างอิงระเบียบวิธีวิจัยจากงานวิจัยที่น่าเชื่อถือรวมถึงขั้นตอนในการทดลอง เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือว่าได้ดำเนินการวิจัยอย่างถูกต้อง - รูปที่หนึ่งควรมีลูกศรแสดงลำดับก่อนหลัง - ในหัวข้อ 2.1 การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยา... “จะมีการเคลือบทองที่ชิ้นงานก่อนทดสอบ” ควรเขียนรายละเอียดให้ชัดเจน - ตรวจสอบการลำดับหมายเลขรูปภาพ ให้เป็นรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ
6. ผลการวิจัย/ผลการศึกษา			✓			- ในหัวข้อ 1.3 การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยา ควรอภิปรายให้ชัดเจนว่า ผลที่ได้จากงานวิจัยมีจุดเด่น ด้อย แตกต่างจากงานของ Inkrod, C และคณะ อย่างไร - รูปที่ 1.3.1 ควรบอกปริมาณในแนวดิ่ง - ผลการทดสอบในหัวข้อ 1.4 สมบัติทางความร้อน ทำไม่ไม่มีผลทดสอบของการเติมลิกนิน 15% - ผลการทดสอบในหัวข้อ 1.5 ความสามารถในการติดไฟ ทำไม่ไม่มีผลทดสอบของการเติมลิกนิน 15%
7. สรุปผลการวิจัย/สรุปผลการศึกษา				✓		
8. อภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ			✓			- ควรเพิ่มการอภิปรายผลเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
9. เอกสารอ้างอิง				✓		
10. ความใหม่และคุณค่าทางวิชาการ			✓			- จากที่ได้ comment ด้ายบนว่า การ literature review ยังน้อยไป ควร review เปเปอร์เพิ่มเติมว่าการเติมสารอื่นๆ เข้าไปในพอลิยูรีเทนโฟมเพื่อดำเนินงานการติดไฟและลามไฟมีอะไรบ้าง เพื่อให้ทราบจุดเด่นและด้อยของงานที่ผ่านมา อีกทั้งสามารถนำผลวิจัยที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานที่ผ่านมาจะทำให้งานวิจัยที่น่าเสนอน่าสนใจและน่าเชื่อถือมากขึ้น หากผู้วิจัยได้เพิ่มข้อมูลในส่วนนี้จะทำให้เห็นความใหม่และคุณค่าของงานเพิ่มขึ้น

(อาจมีเอกสารแนบหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติม – ถ้ามี)

การปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนิน

วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์¹, ณัฐรัตน์ เก่งกล้า², ธนพนธ์ เรืองวิจิตร³, ลัทธนันท์ เหลืองเจริญ⁴,
สัณห์วิษ เหม่ากระโทก⁵, นันทน์ภัส แสบงบาล⁶, วราพร ก.ศรีสุวรรณ⁷ และ รุ่งรวิทย์ พันธุ์สมบัติ⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
e-mail: weerawan.lao@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพอลิยูรีเทนโฟม มีโอกาสที่จะติดไฟและลามไฟได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยเติมลิกนินที่สังเคราะห์ได้จากเศษปึกไม้ยางด้วยกระบวนการแยกองค์ประกอบชีวมวลและใช้พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อ ซึ่งจะผสมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบหล่อ จากการทดสอบสมบัติด้านการติดไฟด้วยเทคนิค LOI พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีสมบัติต้านทานการติดไฟที่ดีที่สุดเนื่องจากมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดสูงสุด (LOI) คือ 22.22% และการทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค TGA พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีความเสถียรทางความร้อนมากที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดมากที่สุดคือ 356 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นการทดสอบความสามารถในการลามไฟพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่ไม่เติมลิกนินมีการเผาไหม้จนหมด ไม่เหลือเถ้า และเกิดการหยดของพอลิเมอร์ หลอมเหลว ในขณะที่เมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร พอลิยูรีเทนโฟมจะยังคงเหลือเถ้าหลังการเผาไหม้และไม่เกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ทั้งนี้การเติมลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นและต้านทานการติดไฟได้ดีขึ้น

คำสำคัญ: การติดไฟ, การลามไฟ, พอลิยูรีเทนโฟม, ลิกนิน

Improving the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding lignin

Weerawan Laosiripojana¹, Nattarat Kengkla², Thanapon Roengwijitra³,
Latthanan Lueangcharoen⁴, Sanhawat Maokrathok⁵, Nunnaput Sabangban⁶,
Waraporn Korsrisuwan⁷ and Rungrawee Phunsombat⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi
e-mail: weerawan.lao@kmutt.ac.th

Abstract

Currently, polyurethane foam is highly flammable. This research was aimed to improve the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding various amounts of lignin which was synthesized from para rubber wood using organosolv fractionization method. The polyurethane foam was mixed with 0, 5, 10 and 15% by volume of lignin and PU foam composites were formed by casting. From the LOI flammability test, it was found that polyurethane foam mixed with 10% lignin by volume showed good flammability properties. In addition, the thermal properties test by TGA technique with the highest decomposition temperature of 356 °C showed that increasing the lignin content made the polyurethane foam more thermally stable. Therefore, the addition of lignin resulted in a slight increase in the maximum decomposition temperature of polyurethane foam. In addition, the fire-retardant test found that the polyurethane foam without lignin addition burned completely, leaving no ash, but a drop of molten polymer. While 5, 10 and 15% of lignin addition to the polyurethane foam retained post-combustion ash and no droplets of molten polymer were formed. Hence, addition of lignin could enhance the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam composite.

Keywords: Flammability, Flame spread, Polyurethane foam, Lignin

บทนำ

ในปัจจุบันพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane) มีการใช้งานในอาคารบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนทางความร้อน มีความแข็งแรง คงทน และเหมาะสมต่อการก่อสร้าง แต่ในทางด้านการป้องกันการเกิดอัคคีภัย พอลิยูรีเทนโฟมมีโอกาที่จะติดไฟได้ง่าย เนื่องจากพอลิยูรีเทนจัดเป็นสารอินทรีย์ จึงปรับปรุงพอลิยูรีเทนให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น โดยการเติมสารเติมแต่งและผสมสูตรการผลิต เพื่อให้พอลิยูรีเทนโฟมยากต่อการติดไฟมากขึ้น (กุลธิดา เจริญสวัสดิ์, 2555) แต่สารหน่วงไฟที่ใช้เติมในพอลิยูรีเทนโฟม ในปัจจุบันมีส่วนประกอบของฮาโลเจนซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนและเป็นพิษระหว่างการเผาไหม้ ทำให้เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นแนวคิดเกี่ยวกับสารหน่วงไฟที่ปราศจากฮาโลเจนจึงได้รับความสนใจอย่างมาก

ลิกนินเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีส่วนประกอบของฮาโลเจนและสามารถนำมาใช้เป็นสารต้านทานการลามไฟเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นอะโรมาติกที่สูงสามารถผลิตถ่าน (Char residue) จำนวนมากเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง จะลดความร้อนจากการเผาไหม้และอัตราปลดปล่อยความร้อนของพอลิเมอร์ (Mandlekar et al., 2017) อีกทั้งลิกนินสามารถหาได้ง่ายจากทรัพยากรในธรรมชาติ เช่น กะลาปาล์ม ชานอ้อย และปึกไม้ยาง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเติมสารลิกนินในปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติการต้านทานการติดไฟและการลามไฟที่ดีขึ้น

งานวิจัยนี้ได้สกัดลิกนินจากเศษปึกไม้ยางด้วยกระบวนการแยกองค์ประกอบของสารชีวมวล (Organosolv fractionation process) และศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและดูโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ของลิกนินที่สกัดได้ จากข้อจำกัดการตรวจสอบและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมผสมลิกนิน เช่น โครงสร้างสัณฐานวิทยา, โครงสร้างทางเคมี, สมบัติทางความร้อน, สมบัติการลามไฟและการติดไฟ

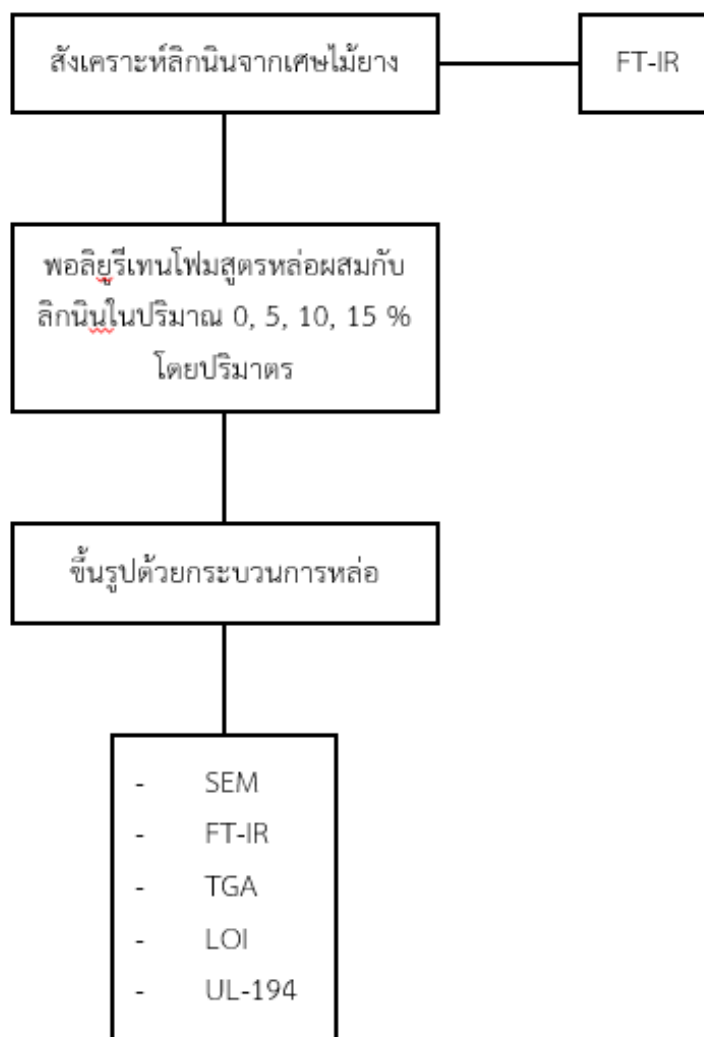
กระบวนการทั่วไปของการเผาไหม้เกิดขึ้นดังนี้คือเมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการสลายตัว (Degradation) ให้สารประกอบที่ติดไฟได้ออกมารวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในกระบวนการเผาไหม้ในสถานะก๊าซการเผาไหม้เป็นกระบวนการคายพลังงาน พลังงานที่คายออกมาจะทำให้พื้นผิวของเส้นใยเกิดการเสื่อมสภาพและปลดปล่อยสารประกอบที่ติดไฟออกมาอีกกลายเป็นวัฏจักรของการเผาไหม้ (จิตราวรรณ ไวสาหลง, 2559) และกระบวนการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟที่ช่วยเพิ่มปริมาณถ่านเมื่อเผาไหม้ โดยถ่านคือสารที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนจากการเผาไหม้กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ ซึ่งถ่านที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนและลดการเคลื่อนย้ายมวลสาร หมายถึงการลดการปลดปล่อยสารประกอบที่ติดไฟออกมา ด้วยความสามารถของถ่านในการต้านทานการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของถ่าน โดยถ่านที่เกิดขึ้นไม่ได้ทนต่อความร้อนและการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ถ่านในอุดมคติ (Ideal char) สำหรับหน่วงไฟนั้นตำแหน่งที่สัมผัสกับกับผิวของพอลิเมอร์ควรจะเป็นชั้นฉนวนที่ประกอบไปด้วยช่องแก๊สที่ช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของสารประกอบที่ติดไฟจากพื้นผิวออกสู่กระบวนการเผาไหม้ในสถานะแก๊ส ทำให้การขยายการติดไฟลดลง อย่างไรก็ตามถ่านในความเป็นจริงมีโครงสร้างไม่ได้สมบูรณ์ในการปิดกั้นสารประกอบที่ติดไฟจากพื้นผิว ทำให้มีสารประกอบบางส่วนออกไปร่วมในกระบวนการเผาไหม้ในสถานะแก๊ส (Raghu et al., 2014, p. 109-112)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนินในปริมาณที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีสมบัติการต้านทานการติดไฟและการลามไฟที่ดี
2. เพื่อเป็นแนวทางในการนำลิกนินที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากการสังเคราะห์ลิกนินจากเศษปึกไม้ยาง จากนั้นทำการตรวจสอบลิกนินที่ได้จากการสังเคราะห์ จากนั้นมาผสมกับพอลิยูรีเทนโฟมชนิดแข็งซึ่งเป็นพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่มีอัตราการขยายตัว 25 เท่า ในปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) และขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ แล้วนำมาทดสอบโฟมพอลิยูรีเทนที่ผสมลิกนินที่ได้จากการขึ้นรูป ดังแสดงในภาพรวมที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแผนดำเนินงานวิจัยโดยรวม.

1. วิธีการทดลอง

1.1 การสังเคราะห์ลิกนิน

1. เตรียมเศษปึกไม้ยาง 400 กรัม, เอทานอล 2800 มิลลิลิตร, น้ำปราศจากไอออน 1200 มิลลิลิตร และ กรดซัลฟิวริก 8.16 กรัม เพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน
2. ใส่เศษปึกไม้ยางและเอทานอล ในภาชนะของเครื่องปฏิกรณ์ (Parr reactor)
3. เทน้ำปราศจากไอออนลงในกระบอกตวงเล็กน้อยแล้วเทกรดซัลฟิวริกลงไปในกระบอกตวงจากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนจนครบ 1200 มิลลิลิตรแล้วเติมลงในภาชนะของเครื่องปฏิกรณ์ (Parr reactor)

4. ใช้แรงดันยกจากแก๊สยกเครื่องขึ้นพร้อมกับปรับความเร็วรอบประมาณ 10 – 20 รอบต่อนาที เมื่อภาชนะที่ใส่ลงถือทำการปรับความเร็วรอบเป็น 300 รอบต่อนาที จากนั้นหมุนสกรูให้แน่น
5. ปรับความดันโดยให้ความดันที่ 10 บาร์ จากนั้นปล่อยความดันออกเป็นการกำจัดแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะ จากนั้นปรับความดันเป็น 20 บาร์ และตั้งค่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส
6. ใช้เวลาในการทำให้ร้อนจนได้อุณหภูมิตามต้องการ (Preheat) และจับเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาในการสังเคราะห์ลิกนิน (Run time) เมื่อครบ 1 ชั่วโมงจะตั้งค่าการทำให้เย็น (Cool down) ให้มีอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นำตัวให้ความร้อน (Heater) ออกจากภาชนะที่ใช้ในการสังเคราะห์ลิกนินโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาทีหรือจนกว่าจะมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
7. นำสารละลายลิกนินที่ได้จากการสังเคราะห์ไปกรองด้วยผ้าขาวบางและตะแกรง
8. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปเติมน้ำปราศจากไอออนโดยเติมน้ำปราศจากไอออน 3 เท่าของสารละลายที่กรองได้
9. นำสารละลายที่ได้มาทำการแยกกรองเพื่อแยกชั้นของลิกนินและน้ำโดยกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นปล่อยให้กระดาษกรองที่กรองลิกนินแล้วแห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้ผงลิกนินที่สังเคราะห์จากเศษปึกไม้ยาง
10. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.2 การขึ้นรูปพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนิน

1. เตรียมพอลิยูรีเทนโฟมอัตราส่วนระหว่างพอลิอลกับไดไอโซไซยาเนต 1:1 จากการคำนวณดังต่อไปนี้
 - 1.1 คำนวณปริมาตรของแม่พิมพ์ที่ใช้ กว้างxยาวxสูง ในหน่วยลูกบาศก์เมตร
 - 1.2 นำปริมาตรที่ได้มาคิดหาปริมาณพอลิยูรีเทนที่ใช้โดยปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรจะมีน้ำหนักพอลิยูรีเทนโฟม 40 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่คิดได้จะเป็นน้ำหนักของพอลิยูรีเทนโฟมทั้งหมด
2. เตรียมลิกนินการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
3. ใส่พอลิอล (โฟมขาว) ลงไปในแม่พิมพ์ ใส่ลิกนินที่ได้จากการเตรียม จากนั้นกวนลิกนินและโฟมขาวให้เข้ากันพอประมาณ
4. ใส่ไดไอโซไซยาเนต (โฟมดำ) ลงไปในแม่พิมพ์ที่มีพอลิอลและลิกนินผสมอยู่ จากนั้นกวนให้เข้ากันอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจะเกิดการฟูของพอลิยูรีเทนโฟม
5. เมื่อพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มฟูแล้วให้หยุดกวนแล้วรอจนกว่าพอลิยูรีเทนโฟมจะพองหยุดการฟู
6. นำพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินออกจากแม่พิมพ์และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

2.เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) บริษัท JEOL รุ่น JSM-6610 LV สำหรับดูลักษณะโครงสร้างพอลิยูรีเทนโฟมผสมลิกนินปริมาณต่าง ๆ (ฐิติมา ตะสุวรรณ, 2554) โดยขนาดชิ้นงานทดสอบมีขนาด กว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร และสูง 0.5 เซนติเมตร ในการทดสอบจะเคลือบทองที่ชิ้นงานก่อนการทดสอบและใช้โหมด COMPO ในการวิเคราะห์

2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เพื่อทราบความเป็นลักษณะจากหมู่ฟังก์ชันและหมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทนโพนีที่ผสมลักษณะในปริมาณต่าง ๆ โดยขนาดของชิ้นงานทดสอบจะมีขนาดไม่เล็กกว่า 2x2 ตารางเซนติเมตร และไม่เกิน 2.54x2.54 ตารางเซนติเมตร และใช้โหมด ATR ในการวิเคราะห์ โดยเครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Model Nicolet 6700 ของ บริษัท Thermo Electron Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนและความเสถียรภาพทางความร้อนโดยเทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุ (TGA) (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2563)

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุในการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิยูรีเทนโพนีที่ไม่เติมลักษณะและเติมลักษณะในปริมาณต่าง ๆ โดยทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 30-800 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีและควบคุมด้วยก๊าซไนโตรเจน โดยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) รุ่น TGA/DSC 3 บริษัท Mettler Toledo

2.4 การศึกษาสมบัติการติดไฟโดยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) (Omnexus, 2020)

ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด Limiting Oxygen Index (LOI) บางครั้งเรียกว่า Oxygen Index (OI) หรือ Critical Oxygen index (COI) จัดอยู่ในมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2863 คือการวัดความสามารถในการติดไฟสัมพัทธ์ของพลาสติกและวัสดุคอมพอสิตโดยการเผาในบรรยากาศที่มีการควบคุมส่วนผสมของออกซิเจนและไนโตรเจน ซึ่งค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด แสดงถึงระดับต่ำสุดของออกซิเจนในบรรยากาศที่สามารถคงเปลวไฟบนวัสดุเทอร์โมพลาสติกได้ สามารถคำนวณหาค่า Limiting Oxygen Index (LOI) ถ้าวัสดุมีค่า LOI ต่ำกว่า 21 จะจัดอยู่ในประเภทที่เผาไหม้ได้ ในขณะที่วัสดุมีค่า LOI มากกว่า 21 จะจัดอยู่ในประเภทที่สามารถดับไฟด้วยตนเอง ยิ่งวัสดุมีค่า LOI สูงจะมีสมบัติการต้านทานการติดไฟที่ดี

2.5 การศึกษาสมบัติความสามารถการลามไฟ (วารุณี ฟางทวนิช, 2554)

การทดสอบสมบัติความสามารถการลามไฟ ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน UL-94 (Underwriters laboratories Inc.) ซึ่งเป็นมาตรฐานขององค์กรที่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดลักษณะชิ้นงานและการรายงานผลการทดสอบไว้ดังนี้ ชิ้นงานทดสอบ ยาว 120-130 มิลลิเมตร กว้าง 12.5-13.5 มิลลิเมตรหนา 3-13 มิลลิเมตร ในการทดสอบจะมีการจุดไฟ 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะจุดเป็นเวลา 10 วินาที ระยะเวลาที่พลาสติกลุกไหม้ (มีเปลวไฟ) หลังจากการจุดแต่ละครั้งจนกระทั่งไฟดับจะถูกบันทึกเวลาเป็น t_1 เว้นระยะสัก 1 นาที จุดไฟอีกครั้งเป็นเวลา 10 วินาที แล้วเอาไฟออกจากชิ้นงานจับเวลาในการติดไฟจนดับ บันทึกเป็น t_2 และสุดท้ายจุดไฟอีกครั้งเป็นเวลา 10 วินาที แล้วเอาไฟออกจากชิ้นงานจับเวลาบันทึกเป็น t_3 ตลอดจนบันทึกการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลวเพื่อนำไปจัดระดับตามเกณฑ์

ผลการวิจัย

1. พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่ผสมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ

1.1 ลักษณะชิ้นงาน

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	ชิ้นงานก่อนตัดขวาง	ชิ้นงานตัดขวาง
0		
5		
10		
15		

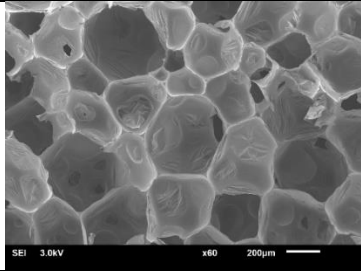
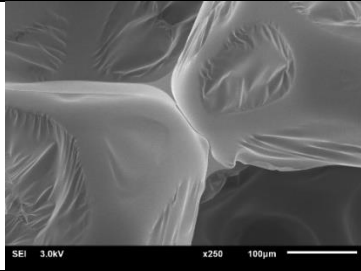
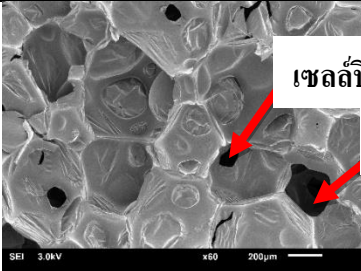
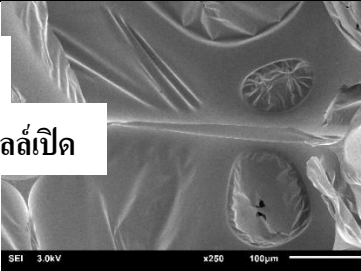
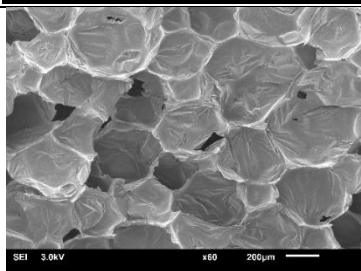
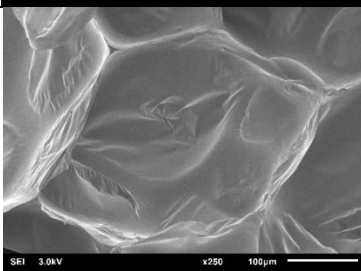
ตารางที่ 1 ลักษณะชิ้นงานของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร

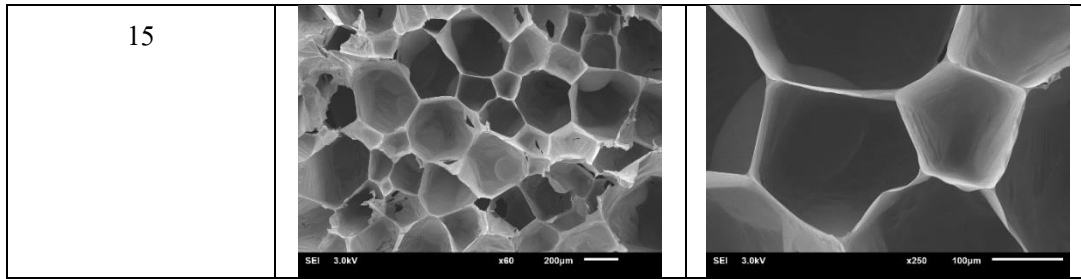
จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อจะมีสีขาวขุ่น และเมื่อผสมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากลิกนินที่เติมมีสีน้ำตาลเข้มทำให้พอลิยูรีเทนโฟมจะมีสีน้ำตาลซึ่งจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณลิกนินที่มากขึ้น นอกจากนั้นจะเห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณที่มากจะพบการรวมตัวของลิกนินเป็นลักษณะจุดสีดำอยู่บนเนื้อชิ้นงานอีกด้วย

1.2 โครงสร้างพื้นฐานวิทยา

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในตารางที่ 2 แสดงพื้นฐานวิทยาของเซลล์ พอลิยูรีเทนโฟมสุตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 60 เท่า และ 250 เท่า พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตรมีลักษณะโครงสร้างแบบรังผึ้ง โดยพอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะของเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอและพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนิน 5 %โดยปริมาตร ลักษณะเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตร มีลักษณะโครงสร้างเซลล์ปิดมากกว่า เมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนิน 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากการเติมลิกนินที่มากขึ้นส่งผลให้มีความหนืดในระหว่างการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการขัดขวางในการเกิดโฟม ซึ่งจะส่งผลให้ลักษณะเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอและทำให้เกิดเซลล์เปิดที่มากขึ้น (Xuejun & Jack, 2013) และการที่โครงสร้างเซลล์เป็นเซลล์ปิดแสดงให้เห็นถึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าอีกด้วย (ชุดิมา เอี่ยมสะอาด, 2553) นอกจากนั้นการเติมลิกนิน 5 และ 10 %โดยปริมาตรมีผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะเซลล์ที่มีความสม่ำเสมอลดลงเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่ปราศจากการเติมลิกนิน และพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนิน 5 %โดยปริมาตร มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทน โฟมที่มีการเติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตรที่มีลักษณะเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอมากกว่า

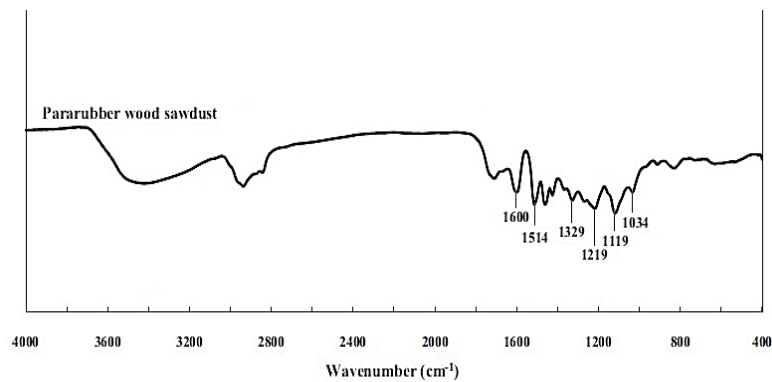
ตารางที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของพอลิยูรีเทนโฟมสุตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ที่กำลังขยาย 60 เท่าและ 250 เท่า

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	กำลังขยาย 60 เท่า	กำลังขยาย 250 เท่า
0		
5		
10		



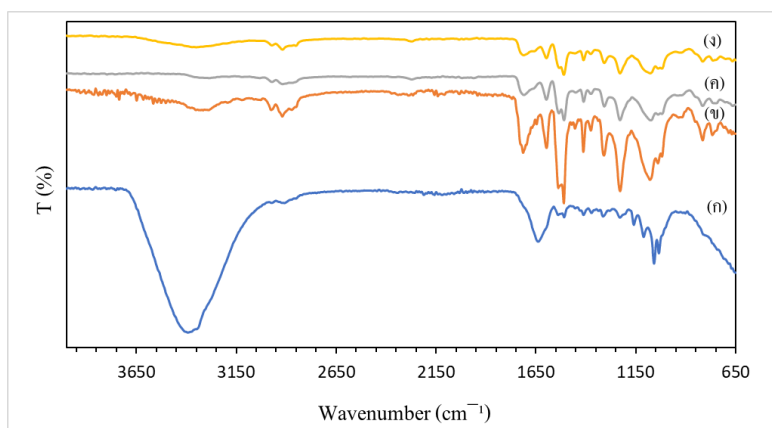
1.3 โครงสร้างทางเคมี

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของลิกนินจากเศษปึกไม้ยางและพอลิยูรีเทนโฟมเมื่อเติมลิกนินที่ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตรแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าได้สเปกตรัมของลิกนิน จากเศษปึกไม้ยางจากงานวิจัยของ Inkrod, C และคณะ (Inkrod et al., 2018, p.277-290) แสดงในภาพที่ 1.3.1 และสเปกตรัมของพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร แสดงในภาพที่ 1.3.2



ภาพที่ 1.3.1 สเปกตรัม FT-IR ของลิกนินจากเศษปึกไม้ยาง

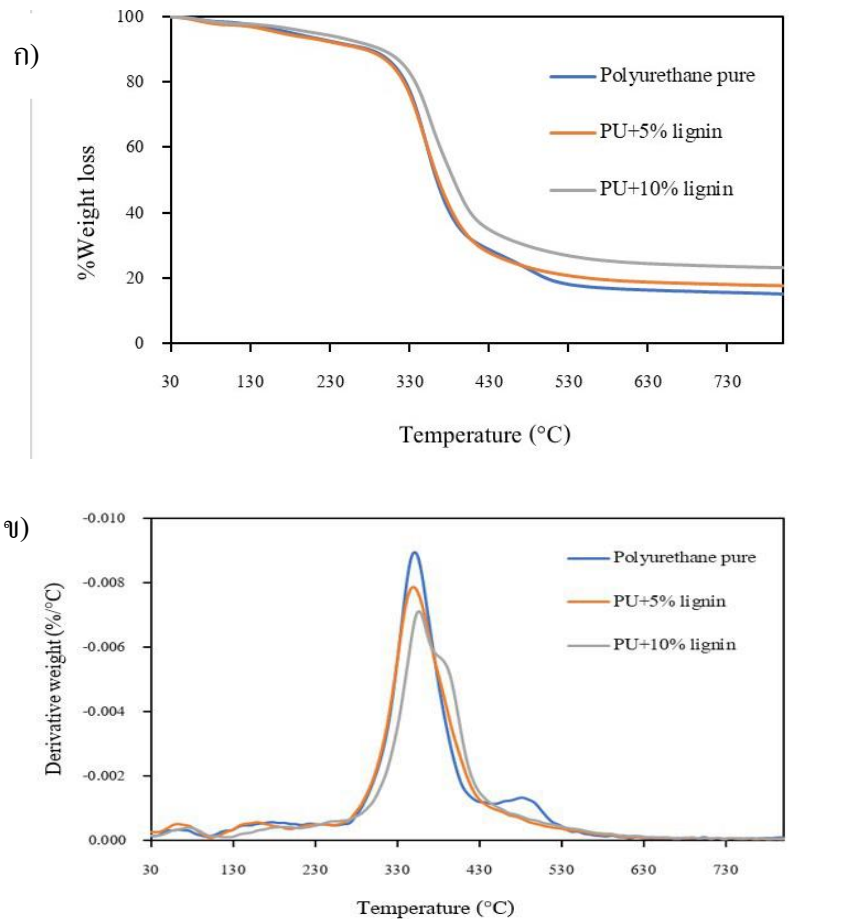
ที่มา : Inkrod, C., Ratio, M., Champreda, V., & Laosiripojana, N. (2018). **Characteristics of lignin extracted from different lignocellulosic materials via organosolv fractionation**. *Bioenergy Research* 2018, 11, 277-290.



ภาพที่ 1.3.2 สเปกตรัม FT-IR ของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินที่ปริมาณต่าง ๆ (ก) 0 %โดยปริมาตร (ข) 5 %โดยปริมาตร (ค) 10 %โดยปริมาตร และ (ง) 15 %โดยปริมาตร

1.4 สมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางด้านความร้อนของวัสดุ (TGA) ของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อและผสมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ (0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร) ผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 1.4.1 และตารางที่ 3



ภาพที่ 1.4.1 เทอร์โมแกรม ก) TGA และ ข) DTG ของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

ตารางที่ 3 อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดและน้ำหนักที่เหลือจากการทดสอบ TGA ของพอลิยูรีเทน โพลีสไตรหล่อที่เติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณลิกนิน (%โดยปริมาตร)	อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (°C)	น้ำหนักสารที่เหลือ (%)
0	351	15.13
5	352	17.66
10	356	23.18

จากภาพที่ 1.4.1 และตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการศึกษาสมบัติทางด้านความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า พอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร เกิดการสลายตัวทางความร้อนสองขั้นตอน โดยจะเริ่ม

สลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 170 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของสารโมเลกุลขนาดเล็กและไอโซยานาตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาและชั้นที่สองเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่พันธะยูรีเทนเริ่มขาดออกจากกันเป็นไอโซไซยานาตและพอลิออลและเริ่มทำการสลายตัว (Lingling, Huahua, Qingsong & Jinhua, 2013) จากภาพที่ 1.4.1 แสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมที่เติมลิกนิน 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตรมีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงสุดคือ 351, 352 และ 356 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโพลีเมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากลิกนินที่เติมเกิดพันธะข้าม (Crosslink) ทำให้เกิดความแข็งแรงของพันธะที่มากขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโพลีเมจึงเพิ่มขึ้น (Houang et al., 2017, p.3493-3501) เมื่อพิจารณาถ้าที่เหลือจากการทดสอบพบว่าปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณลิกนินในโพลีเมเพิ่มขึ้น เนื่องจากลิกนินมีปริมาณคาร์บอนสูงเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าจึงทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น (Houang et al., 2017, p.3493-3501)

1.5 ความสามารถในการติดไฟ

การทดสอบความสามารถในการติดไฟโดยทดสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ของพอลิยูรีเทนโพลีเมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ (0 , 5 และ 10 %โดยปริมาตร) ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสามารถในการติดไฟของพอลิยูรีเทนโพลีเมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

ปริมาณลิกนิน (%โดยปริมาตร)	LOI (%)
0	20.5
5	21.4
10	22.2

เนื่องจากอากาศประกอบด้วยแก๊สออกซิเจน 21% ถ้าวัสดุมีค่า LOI ต่ำกว่า 21% จะจัดอยู่ในประเภทที่เผาไหม้ได้ ในขณะที่วัสดุมีค่า LOI มากกว่า 21% จะจัดอยู่ในประเภทที่สามารถดับไฟด้วยตนเอง ยิ่งวัสดุมีค่า LOI สูงจะมีสมบัติการต้านทานการติดไฟที่ดี (Raghu et al., 2014, p. 109-112) ซึ่งจากผลการทดสอบจากตารางที่ 4 พบว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมที่เติมลิกนินที่ปริมาณ 5 และ10 %โดยปริมาตรมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) มากกว่า 21% แสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมที่เติมลิกนินที่ปริมาณ 5 และ10 %โดยปริมาตร มีสมบัติต้านทานการลามไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นพอลิยูรีเทนโพลีเมที่เติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ที่มากที่สุดคือ 22.2% บ่งบอกว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมที่เติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีความสามารถต้านทานการติดไฟที่ดีที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุ (TGA) ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าปกคลุมพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโพลีเมซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยลดการปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถติดไฟทำให้ช่วยต้านทานการติดไฟได้ (Raghu et al., 2014, p. 109-112)

1.6 ความสามารถในการลามไฟ

การทดสอบความสามารถในการลามไฟโดยใช้วิธีทดสอบ UL-94 (Underwriters Laboratories 94V) ของพอลิยูรีเทนโพลีเมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสามารถในการลามไฟของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อเมื่อเติมลิกนินปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	ระดับมาตรฐานการวัด (UL-94 ratting)	การหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Dripping)
0	NC	มี
5	NC	ไม่มี
10	NC	ไม่มี
15	NC	ไม่มี

* NC: no classification

จากการทดสอบการเผาไหม้ของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อและเติมลิกนินพบว่าพอลิยูรีเทนโพลีสไตรมีการเผาไหม้จนหมดและไม่เหลือเถ้า และยังเกิดการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลวรวมถึงมีการเผาไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงาน ส่วนพอลิยูรีเทนโพลีสไตรเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ไม่เกิดการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลวแต่มีการเผาไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงานและยังคงเหลือเถ้าที่มีลักษณะดังในภาพที่ 1.6.1 ซึ่งสาเหตุที่ไม่มีการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดจากลิกนินเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าปกคลุมพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรซึ่งเถ้าจะทำหน้าที่ช่วยลดการปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถติดไฟทำให้ช่วยต้านทานการติดไฟได้และลดการสลายตัวของพอลิเมอร์ (Raghu et al., 2014, p. 109-112) การเกิดการเผาไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงานทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานและไม่จัดอยู่ในอันดับในการทดสอบ UL-94 คาดว่าเกิดจากการที่ขนาดของชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน อีกทั้งไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการทดสอบ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ



ภาพที่ 1.6.1 เทอร์โมแกรม ก) TGA และ ข) DTG ของพอลิยูรีเทนโพลีสไตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมด้วยการเติมลิกนินที่ปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อเพื่อศึกษาปริมาณลิกนินที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติต้านทานการติดไฟและการลามไฟที่ดีของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อ จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีความสามารถในการต้านทานการติดไฟได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติการติดไฟของพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) มากที่สุดคือ 22.2% นอกจากนั้นจากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตรมีความเสถียรทางความร้อนมากที่สุดเนื่องจากมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดมากที่สุดคือ 356 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การทดสอบการลามไฟด้วยเทคนิค UL-94 พอลิยูรีเทนโฟมมีการเผาไหม้จนหมดและไม่เหลือเถ้า และยังเกิดการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลว แต่พอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ยังคงเหลือเถ้าหลังการเผาไหม้และไม่เกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว กล่าวคือ การเติมลิกนินในพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อสามารถช่วยชะลอการติดไฟและลามไฟได้

เอกสารอ้างอิง

- กุลธิดา เจริญสวัสดิ์. (2555). คุณสมบัติของฉนวนโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งในงานก่อสร้างและการใช้โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งอย่างปลอดภัยจากอัคคีภัย [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นจาก http://polyurethanethai.com/uploads/userfiles/_1.pdf.
- ฐิติมา ตะสุวรรณ. (2554). การพัฒนาพอลิออลเรซินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 1-138.
- ชุตินา เอี่ยมสะอาด. (2553). การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไกลโคไลซ์ขวดพีตใช้แล้วภายใต้พลังงานไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1-96.
- จิตราวรรณ ไวสาหลง. (2559). การสังเคราะห์สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสที่ปราศจากธาตุฮาโลเจนสำหรับงานบนผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1-45
- วารุณี ฟางทวนิช. (2554, 6 มีนาคม). พลาสติกกับการติดไฟ. วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน หนังสือพิมพ์แนวหน้า. หน้า 6.
- ศักยะ สมบัติไพรวัน. (2562). การปรับสภาพเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสารละลายต่างเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. Thermogravimetric Analysis (TGA) [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์], สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2563, เข้าถึงได้จาก <https://1th.me/9fBrb>
- Mandlekar, N., Cayla, A., Rault, F., Giraud, S., Salaun, F., Melucelli, G., & Guan, J. (2017). An overview on the use of lignin and its derivatives in fire retardant polymer systems. *Intech*, 12(3), 208-225.
- Raghu, T. S., Kotresh, T. M & Indusheskar, R. (2014). Fire behaviors of polyurethane foams. *Journal of Advances in Chemical Science*, 3, 109-112.
- Inkrod, C., Ratio, M., Champreda, V., & Laosiripojana, N. (2018). Characteristics of lignin extracted from different lignocellulosic materials via organosolv fractionation. *Bioenergy Research* 2018, 11, 277-290.
- Houang, X., Dehoop, C., Xie, J., Hse, C., Qi, J., & Hu, T. (2017). Characterization of biobased polyurethane foams employing lignin fractionated from microwave liquefied switchgrass. *International Journal of Polymer Science*, 26(8), 3493-3501.
- Omnexus. Fire Resistance (LOI) [Electronic version]. Retrieved on 16 November, 2020, Retrieved from <https://1th.me/S9T0Q>.
- Xuejun, P., and Jack, S. (2013) Effect of replacing polyol by organosolv and kraft lignin on the property and structure of rigid polyurethane foam. *Biotechnology for Biofuels*, 6, 1-11.
- Lingling, J., Huahua, X., Qingsong, W., and Jinhua, S. (2013). Thermal degradation characteristics of rigid polyurethane foam and the volatile products analysis with TG-FTIR-MS. *Crossmark*, 98(12), 2687-2696.

แบบประเมินบทความ/งานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย) : การปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนิน

(ภาษาอังกฤษ) : Improving the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding lignin

หัวข้อการพิจารณา

หัวข้อ	คะแนนประเมิน					ข้อแก้ไข / ข้อเสนอแนะ
	1	2	3	4	5	
1. บทคัดย่อ				√		แก้ไขการใช้ตัวย่อ โดยที่ไม่ได้บอกไว้ก่อนว่าตัวย่อนี้คืออะไร คำแนะนำแบบในไฟล้งาน และบททวน ปริมาณที่ทดสอบ กับการทดสอบและผลการทดสอบให้ตรงกัน ในบทคัดย่อ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร แต่ผลที่ 15% มีบ้าง ไม่มีบ้าง ถ้าจะตัดออก ต้องมีเหตุผลว่าทำไมไม่มีผล เช็กให้ละเอียด
2. Abstract				√		แก้ไขการเขียน โดยพิจารณาความถูกต้องตาม Grammar เช่น From the LOI flammability testing or method ???? In addition, the thermal properties test by TGA technique with the highest decomposition temperature of 356°C showed that increasing the lignin content made the polyurethane foam more thermally stable. และ In addition, the fire-retardant test found that the polyurethane foam without lignin addition burned completely, leaving no ash, but a drop of molten polymer. While 5, 10 and 15% of lignin addition to the polyurethane foam retained post-combustion ash and no droplets of molten polymer were formed. ตรวจสอบหน้าที่และตำแหน่งของคำ จะใช้ คำนาม คำกิริยา หรือ อะไรในประโยค ขอให้ตรวจสอบและเรียบเรียงให้ถูกต้อง
3. บทนำ				√		บรรทัดแรก -ในปัจจุบันพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane) มีการใช้งานในอาคาร บ้านเรือนที่อยู่อาศัยเพื่อ..... นอกจากนั้นคำว่าผสมสูตร ให้แก้เป็น ปรับย่อหน้าที่ 2 บรรทัดที่ 2 ให้เรียบเรียงใจความของประโยคใหม่ จนถึงบรรทัดรองสุดท้ายของย่อหน้า
4. วัตถุประสงค์การวิจัย/การศึกษา				√		วัตถุประสงค์
5. วิธีการวิจัย/วิธีการศึกษา			√			คำว่า จากนั้นในบรรทัดที่ ๒ ของระเบียบวิธีวิจัย ให้เปลี่ยนเป็นคำอื่น เช่น ก่อนนำมาผสม ภาพที่ 1 ให้ตัด ภาพ หลังเลข 1 ออก วิธีการทดลอง ข้อ 4 อ่านบททวนและแก้ไข ข้อ7 ให้ระบุขนาดของรูพุนของตะแกรงที่ใช้กรองด้วย ข้อ 8 เพราะเหตุใดต้องใช้น้ำ 3 เท่า และ ข้อ 10 เพราะเหตุใดจึงใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสไล่ความชื้น ขณะที่ การขึ้นรูปพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนิน ข้อ 6 ใช้ 60 องศาเซลเซียสไล่ความชื้นเพราะเหตุใดจึงมีความแตกต่างของอุณหภูมิ และทำไมไม่ใช้ที่ จุดเดือดของน้ำในการไล่ความชื้น ข้อ 2.4 ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index; LOI) ให้เขียนตามนี้ ในครั้งแรก ครั้งต่อไปให้ใช้ตัวย่อ เป็น คำ LOI ได้เลย
6. ผลการวิจัย/ผลการศึกษา			√			-ผลการวิจัย ถัดจากหัวข้อ ต้องมีการบรรยายอย่างน้อย 2-3 บรรทัด ตามหลักการเขียนบรรยาย เขียนบทความทั่วไป -หลังจากขึ้นหัวข้อ 1 ก็ควรมีบรรยายอย่างน้อย 1-2 บรรทัด -ก่อนใส่ย่อ 1.1 ควรมีบรรยายอย่างน้อย 1-2 บรรทัด ก่อนใส่ตารางผลการทดลอง -ตารางผลการทดลอง ควรมีหัวตารางอยู่ด้านบน -ผลการทดลองในหัวข้อนี้ บรรทัดสุดท้าย ควรอธิบายเพิ่มเติมถึงผลการทดลองที่ได้ จะส่งผลต่อขึ้นงานอย่างไร “เป็นลักษณะจุดสีดำอยู่บนเนื้อชิ้นงานอีกด้วย”

Commented [ww1]: ในการทดลอง ไม่มีผลของ 15 %

Commented [ww2]: ใส่ตัวเต็ม วงเล็บตัวย่อก่อนในครั้งแรกที่ใช้คำนี้

Commented [ww3]: แก้ไข Grammar ให้ถูกต้อง

Commented [ww4]: แก้ไข grammar ให้ถูกต้อง

Commented [ww5]: คำในวงเล็บเป็นคำที่มีความหมายเดียวกับคำด้านหน้าวงเล็บ และต้องการใช้ตัวย่อ ให้เขียนในแบบที่แก้ไขให้

					- ในส่วน 1.2 โครงสร้างฐานวิทยา ในบรรทัด 3 บรรทัดสุดท้าย ให้เรียบเรียงใหม่ - หัวข้อ 1.3 โครงสร้างทางเคมี มีกราฟผลการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างงานเรากับงานที่ตีพิมพ์แล้ว และในหัวข้อนี้ควรบรรยายบอกเล่าให้เห็นความแตกต่างว่าใช้กราฟการทดลองทั้งหมดมาเพื่ออธิบายคุณสมบัติอะไรเหมือนหรือต่างจากงานคนอื่นอย่างไร - ในหัวข้อ 1.4 - 1.5 ผลการทดลองที่ 15% หายไป เพราะเหตุใดจึงไม่มีผลการวิจัยในส่วนนี้ - ตารางผลการทดลองที่ 4-5 ให้แก้ไขเส้นตาราง ให้เหมือนตารางที่ 3 ซึ่งปรับแก้ให้แล้ว - หัวข้อ 1.6 ย่อหน้าที่ 2 บรรทัดแรก ให้ปรับแก้ “จากการทดสอบการเผาไหม้ของพอลิยูรีเทนโพลีเมสเตอร์หล่อและเติมลิกนินพบว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมสเตอร์” - และหัวข้อ 1.6 ย่อหน้าที่ 2 บรรทัดที่ 4 แก้ไข “ซึ่งสาเหตุที่ไม่มีการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดจากลิกนินเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าจากการเผาไหม้ลิกนินปกคลุมพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโพลีเมสเตอร์.....”
7. สรุปผลการวิจัย/สรุปผลการศึกษา			√		สรุปผลการวิจัย ย่อหน้าที่ 2 บรรทัดแรก ให้ตัด “จากผลการทดลองพบว่า” ออก และดึงขึ้นไปต่อย่อยหน้าแรกเลย
8. อภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ			√		พอใช้
9. เอกสารอ้างอิง			√		ดี
10. ความใหม่และคุณค่าทางวิชาการ			√		มีความใหม่และคุณค่าทางวิชาการดี

Commented [ww6]: เอาประวัติออก

Commented [ww7]: เอาออก

(อาจมีเอกสารแนบหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติม – ถ้ามี)

การปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนิน

วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์¹, ณัฐรัตน์ เก่งกล้า², ธนพนธ์ เรืองวิจิตร³, ลัทธนันท์ เหลืองเจริญ⁴,
สันทวิช เหมภากระโทก⁵, นันทน์กัศ แสบงบาล⁶, วราพร ก.ศรีสุวรรณ⁷ และ รุ่งรวิทย์ พันธุ์สมบัติ⁸

1,2,3,4,5,6,7,8 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
e-mail: weerawan.lao@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพอลิยูรีเทนโฟม มีโอกาสที่จะติดไฟและลามไฟได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยเติมลิกนินที่สังเคราะห์ได้จากเศษปึกไม้ยางด้วยกระบวนการแยกองค์ประกอบชีวมวลและใช้พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อ ซึ่งจะผสมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 % โดยปริมาตร แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบหล่อ จากการทดสอบสมบัติด้านการติดไฟด้วยเทคนิค LOI พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินในปริมาณ 10 % โดยปริมาตร มีสมบัติด้านทานการติดไฟที่ดีที่สุดเนื่องจากมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดสูงสุด (LOI) คือ 22.22% และการทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค TGA พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินในปริมาณ 10 % โดยปริมาตร มีความเสถียรทางความร้อนมากที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงที่สุดมากที่สุดคือ 356 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นการทดสอบความสามารถในการลามไฟพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่ไม่เติมลิกนินมีการเผาไหม้จนหมด ไม่เหลือถ่าน และเกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ในขณะที่เมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 % โดยปริมาตร พอลิยูรีเทนโฟมจะยังคงเหลือถ่านหลังการเผาไหม้และไม่เกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ทั้งนี้การเติมลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นและด้านทานการติดไฟได้ดีขึ้น

คำสำคัญ: การติดไฟ, การลามไฟ, พอลิยูรีเทนโฟม, ลิกนิน

Commented [ww1]: ในการทดลอง ไม่มีผลของ 15 %

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww2]: ชื่อเต็ม วงเล็บย่อ ครั้งต่อไปคำนี้ย่อได้เลข

Formatted: Font color: Red, Highlight

Improving the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding lignin

Weerawan Laosiripojana¹, Nattarat Kengkla², Thanapon Roengwijitra³,
Latthanana Lueangcharoen⁴, Sanhawat Maokrathok⁵, Nunnaput Sabangban⁶,
Waraporn Korsrisuwan⁷ and Rungrawee Phunsombat⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi
e-mail: weerawan.lao@kmutt.ac.th

Abstract

Currently, polyurethane foam is highly flammable. This research was aimed to improve the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam by adding various amounts of lignin which was synthesized from para rubber wood using organosolv fractionization method. The polyurethane foam was mixed with 0, 5, 10 and 15% by volume of lignin and PU foam composites were formed by casting. From the **LOI flammability testing or method ????**, it was found that polyurethane foam mixed with 10% lignin by volume showed good flammability properties. In addition, **the thermal properties test by TGA technique with the highest decomposition temperature of 356°C showed that increasing the lignin content made the polyurethane foam more thermally stable.** Therefore, the addition of lignin resulted in a slight increase in the maximum decomposition temperature of polyurethane foam. **In addition, the fire-retardant test found that the polyurethane foam without lignin addition burned completely, leaving no ash, but a drop of molten polymer. While 5, 10 and 15% of lignin addition to the polyurethane foam retained post-combustion ash and no droplets of molten polymer were formed.** Hence, addition of lignin could enhance the flammability and flame retardant properties of polyurethane foam composite.

Keywords: Flammability, Flame spread, Polyurethane foam, Lignin

Commented [ww3]: ใส่ตัวเลข วงเล็บตัวก่อนในครั้งแรกที่ใช้คำนี้

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww4]: แก้ไข Gramma ให้ถูกต้อง

Commented [ww5]: แก้ไข gramma ให้ถูกต้อง

บทนำ

ในปัจจุบันพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane) มีการใช้งานในอาคารบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเพื่อ..... เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนทางความร้อน มีความแข็งแรง คงทน และเหมาะสมต่อการก่อสร้าง แต่ในทางด้านการป้องกันการเกิดอัคคีภัย พอลิยูรีเทนโฟมมีโอกาสที่จะติดไฟได้ง่าย เนื่องจากพอลิยูรีเทนจัดเป็นสารอินทรีย์ จึงปรับปรุงพอลิยูรีเทนให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น โดยการเติมสารเติมแต่งและผสมสูตรการผลิต เพื่อให้พอลิยูรีเทนโฟมยากต่อการติดไฟมากขึ้น (กุลธิดา เจริญสวัสดิ์, 2555) แต่สารหน่วงไฟที่ใช้เติมในพอลิยูรีเทนโฟม ในปัจจุบันมีส่วนประกอบของฮาโลเจนซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนและเป็นพิษระหว่างการเผาไหม้ ทำให้เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นแนวคิดเกี่ยวกับสารหน่วงไฟที่ปราศจากฮาโลเจนจึงได้รับความสนใจอย่างมาก

ลิกนินเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีส่วนประกอบของฮาโลเจนและสามารถนำมาใช้เป็นสารต้านทานการลามไฟเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นอะโรมาติกที่สูงสามารถผลิตถ่าน (Char residue) จำนวนมากเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง จะลดความร้อนจากการเผาไหม้และอัตราปลดปล่อยความร้อนของพอลิเมอร์ (Mandlekar et al., 2017) อีกทั้งลิกนินสามารถหาได้ง่ายจากทรัพยากรในธรรมชาติ เช่น กะลาปาล์ม ชานอ้อย และปึกไม้ยาง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเติมสารลิกนินในปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติการต้านทานการติดไฟและการลามไฟที่ดีขึ้น โดยการ

กระบวนการทั่วไปของการเผาไหม้เกิดขึ้นดังนี้คือเมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการสลายตัว (Degradation) ให้สารประกอบที่ติดไฟได้ออกมารวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในกระบวนการเผาไหม้ในสถานะก๊าซการเผาไหม้เป็นกระบวนการคายพลังงาน พลังงานที่คายออกมาจะทำให้พื้นผิวของเส้นใยเกิดการเสื่อมสภาพและปลดปล่อยสารประกอบที่ติดไฟออกมามากขึ้นอีกกลายเป็นวัฏจักรของการเผาไหม้ (จิตราวรรณ ไวสาหลง, 2559) และกระบวนการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟที่ช่วยเพิ่มปริมาณถ่านเมื่อเผาไหม้ โดยถ่านคือสารที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนจากการเผาไหม้กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ ซึ่งถ่านที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนและลดการเคลื่อนย้ายมวลสาร หมายถึงการลดการปลดปล่อยสารประกอบที่ติดไฟออกมา ด้วยความสามารถของถ่านในการต้านทานการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของถ่าน โดยถ่านที่เกิดขึ้นไม่ได้ทนต่อความร้อนและการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ถ่านในอุดมคติ (Ideal char) สำหรับหน่วงไฟนั้นตำแหน่งที่สัมผัสกับผิวของพอลิเมอร์ควรจะเป็นชั้นฉนวนที่ประกอบไปด้วยช่องแคบที่ช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของสารประกอบที่ติดไฟจากพื้นผิวออกสู่กระบวนการเผาไหม้ในสถานะแก๊ส ทำให้การขยายการติดไฟลดลง อย่างไรก็ตามถ่านในความเป็นจริงมีโครงสร้างไม่ได้สมบูรณ์ในการปิดกั้นสารประกอบที่ติดไฟจากพื้นผิว ทำให้มีสารประกอบบางส่วนออกไปร่วมในกระบวนการเผาไหม้ในสถานะแก๊ส (Raghu et al., 2014, p. 109-112)

Commented [ww6]: ดัดออก

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww7]: ปรับปรุง

Commented [ww8]: ปรับปรุง

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww9]: ดัดออก

Commented [ww10]: แก๊ส เรียบเรียงใหม่ ไม่เข้าใจ ต้องการสื่ออะไรประโยคนี้

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Commented [ww11]:

Formatted: Highlight

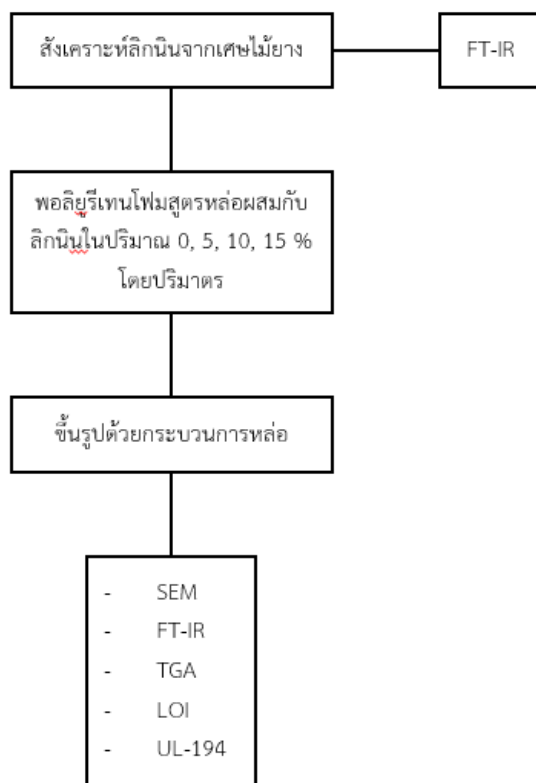
Formatted: Highlight

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมโดยการเติมสารลิกนินในปริมาณที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีสมบัติการต้านทานการติดไฟและการลามไฟที่ดี
2. เพื่อเป็นแนวทางในการนำลิกนินที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากการสังเคราะห์ลิกนินจากเศษไม้ยาง จากนั้นทำการตรวจสอบลิกนินที่ได้จากการสังเคราะห์ จากนั้นนำมาผสมกับพอลิยูรีเทนโฟมชนิดแข็งซึ่งเป็นพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่มีอัตราการขยายตัว 25 เท่า ในปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) และขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ แล้วนำมาทดสอบโฟมพอลิยูรีเทนที่ผสมลิกนินที่ได้จากการขึ้นรูป ดังแสดงในภาพรวมที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแผนดำเนินงานวิจัยโดยรวม.

1. วิธีการทดลอง

1.1 การสังเคราะห์ลิกนิน

Commented [ww13]: เป็นคำซ้ำกับประโยคบน
ใช้คำอื่นแทน เช่น ก่อนนำมาผสม

Formatted: Highlight

Commented [ww14]: ตัดออก

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

1. เตรียมเศษปึกไม้ยาง 400 กรัม, เอทานอล 2800 มิลลิลิตร, น้ำปราศจากไอออน 1200 มิลลิลิตร และ กรดซัลฟิวริก 8.16 กรัม เพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน
2. ใส่เศษปึกไม้ยางและเอทานอล ในภาชนะของเครื่องปฏิกรณ์ (Parr reactor)
3. เทน้ำปราศจากไอออนลงในกระบอกตวงเล็กน้อยแล้วเทกรดซัลฟิวริกลงไปในกระบอกตวงจากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนจนครบ 1200 มิลลิลิตรแล้วเติมลงในภาชนะของเครื่องปฏิกรณ์ (Parr reactor)
4. ใช้แรงดันยกจากแก๊สยกเครื่องขึ้นพร้อมกับปรับความเร็วรอบประมาณ 10 – 20 รอบต่อนาที เมื่อ ภาชนะที่ใส่ลงถือค่าการปรับความเร็วรอบเป็น 300 รอบต่อนาที จากนั้นหมุนสกรูให้แน่น
5. ปรับความดันโดยให้ความดันที่ 10 บาร์ จากนั้นปล่อยความดันออกเป็นการกำจัดแก๊สออกซิเจนภายใน ภาชนะ จากนั้นปรับความดันเป็น 20 บาร์ และตั้งค่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส
6. ใช้เวลาในการทำให้ร้อนจนได้อุณหภูมิตามต้องการ (Preheat) และจับเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาในการ สังเคราะห์ลิกนิน (Run time) เมื่อครบ 1 ชั่วโมงจะตั้งค่าการทำใหเย็น (Cool down) ให้มีอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นำตัวให้ความร้อน (Heater) ออกจากภาชนะที่ใช้ในการสังเคราะห์ลิกนินโดยใช้เวลา ประมาณ 30 นาทีหรือจนกว่าจะมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
7. นำสารละลายลิกนินที่ได้จากการสังเคราะห์ไปกรองด้วยผ้าขาวบางและตะแกรง
8. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปเติมน้ำปราศจากไอออนโดยเติมน้ำปราศจากไอออน 3 เท่าของ สารละลายที่กรองได้
9. นำสารละลายที่ได้มาทำการแยกกรองเพื่อแยกชั้นของลิกนินและน้ำโดยกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้น ปล่อยให้กระดาษกรองที่กรองลิกนินแล้วแห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้ผงลิกนินที่สังเคราะห์จากเศษปึกไม้ยาง
10. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.2 การขึ้นรูปพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนิน

1. เตรียมพอลิยูรีเทนโฟมอัตราส่วนระหว่างพอลิอลกับไดไอโซไซยาเนต 1:1 จากการคำนวณดังต่อไปนี้
 - 1.1 คิดปริมาตรของแม่พิมพ์ที่ใช้ กว้างxยาวxสูง ในหน่วยลูกบาศก์เมตร
 - 1.2 นำปริมาตรที่ได้มาคิดหาปริมาณพอลิยูรีเทนที่ใช้โดยปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรจะมีน้ำหนัก พอลิยูรีเทนโฟม 40 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่คิดได้จะเป็นน้ำหนักของพอลิยูรีเทนโฟมทั้งหมด
2. เตรียมลิกนินการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
3. ใส่พอลิอล (โฟมขาว) ลงไปในแม่พิมพ์ ใส่ลิกนินที่ได้จากการเตรียม จากนั้นกวนลิกนินและโฟมขาวให้ เข้ากันพอประมาณ
4. ใส่ไดไอโซไซยาเนต (โฟมดำ) ลงไปในแม่พิมพ์ที่มีพอลิอลและลิกนินผสมอยู่จากนั้นกวนให้เข้ากัน อย่าง รวดเร็ว เนื่องจากจะเกิดการฟูของพอลิยูรีเทนโฟม
5. เมื่อพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มฟูแล้วให้หยุดกวนแล้วรอนจนกว่าพอลิยูรีเทนโฟมจะฟูจนหยุดการฟู
6. นำพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินออกจากแม่พิมพ์และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

2.เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) บริษัท JEOL รุ่น JSM-6610 LV สำหรับดูลักษณะโครงสร้างพอลิยูรีเทนโฟมผสมลิกนินปริมาณ

Commented [ww15]: ตรวจสอบ พิมพ์ ผิด หรือตกไหม

Formatted: Highlight

Commented [ww16]: ขนาครุพจน์ทำไหม

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Commented [ww17]: เพราะเหตุใดต้องเป็น 3 เท่า

Commented [ww18]: ทำไมไม่อบที่อุณหภูมิ เท่าจุดเดือดของ น้ำ ถ้าจะไล่ความชื้น

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Commented [ww19]: ก่อนหน้านี้ อบที่ 40 องศาเซลเซียส ทำไมตอนนี้ใช้ 60 องศาเซลเซียส ไล่ความชื้นเหมือนกัน ควร อธิบายเพิ่มเติม

ต่าง ๆ (ฐิติมา ตะสุวรรณ, 2554) โดยขนาดชิ้นงานทดสอบมีขนาด กว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร และสูง 0.5 เซนติเมตร ในการทดสอบจะเคลือบทองที่ชิ้นงานก่อนการทดสอบและใช้โหมด COMPO ในการวิเคราะห์

2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เพื่อทราบความเป็นลักษณะจากหมู่ฟังก์ชันและหมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ โดยขนาดของชิ้นงานทดสอบจะมีขนาดไม่เล็กกว่า 2x2 ตารางเซนติเมตร และไม่เกิน 2.54x2.54 ตารางเซนติเมตร และใช้โหมด ATR ในการวิเคราะห์ โดยเครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Model Nicolet 6700 ของ บริษัท Thermo Electron Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนและความเสถียรภาพทางความร้อนโดยเทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุ (TGA) (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2563)

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุในการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนและความเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่เติมลิกนินและเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ โดยทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 30-800 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีและควบคุมด้วยก๊าซไนโตรเจน โดยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) รุ่น TGA/DSC 3 บริษัท Mettler Toledo

2.4 การศึกษาสมบัติการติดไฟโดยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index; LOI) (Omnexus, 2020)

ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index; LOI) บางครั้งเรียกว่า Oxygen Index (OI) หรือ Critical Oxygen index (COI) จัดอยู่ในมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2863 คือการวัดความสามารถในการติดไฟสัมพัทธ์ของพลาสติกและวัสดุคอมพอสิตโดยการเผาในบรรยากาศที่มีการควบคุมส่วนผสมของออกซิเจนและไนโตรเจน ซึ่งค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด แสดงถึงระดับต่ำสุดของออกซิเจนในบรรยากาศที่สามารถคงเปลวไฟบนวัสดุเทอร์โมพลาสติกได้ สามารถคำนวณหาค่า Limiting Oxygen Index (LOI) ถ้าวัสดุมีค่า LOI ต่ำกว่า 21 จะจัดอยู่ในประเภทที่เผาไหม้ได้ ในขณะที่วัสดุมีค่า LOI มากกว่า 21 จะจัดอยู่ในประเภทที่สามารถดับไฟด้วยตนเอง ยิ่งวัสดุมีค่า LOI สูงจะมีสมบัตการต้านทานการติดไฟที่ดี

2.5 การศึกษาสมบัติความสามารถการลามไฟ (วารุณี ฟางวานิช, 2554)

การทดสอบสมบัติความสามารถการลามไฟ ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน UL-94 (Underwrites laboratories Inc.) ซึ่งเป็นมาตรฐานขององค์กรที่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดลักษณะชิ้นงานและการรายงานผลการทดสอบไว้ดังนี้ ชิ้นงานทดสอบ ยาว 120-130 มิลลิเมตร กว้าง 12.5-13.5 มิลลิเมตรหนา 3-13 มิลลิเมตร ในการทดสอบจะมีการจุดไฟ 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะจุดเป็นเวลา 10 วินาที ระยะเวลาที่พลาสติกลุกไหม้ (มีเปลวไฟ) หลังจากการจุดแต่ละครั้งจนกระทั่งไฟดับจะถูกบันทึกเวลาเป็น t1 เว้นระยะสัก 1 นาที จุดไฟอีกครั้งเป็นเวลา 10 วินาที แล้วเอาไฟออกจากชิ้นงานจับเวลาในการติดไฟจนดับ บันทึกเป็น t2 และสุดท้ายจุดไฟอีกครั้งเป็นเวลา 10 วินาที แล้วเอาไฟออกจากชิ้นงานจับเวลาบันทึกเป็น t3 ตลอดจนบันทึกการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลวเพื่อนำไปจัดระดับตามเกณฑ์

Commented [ww20]: คำในวงเล็บเป็นคำที่มีความหมายเดียวกับคำด้านหน้าวงเล็บ และต้องการใช้ตัวย่อ ให้เขียนในแบบที่แก้ไขให้

Commented [ww21]: คำในวงเล็บเป็นคำที่มีความหมายเดียวกับคำด้านหน้าวงเล็บ และต้องการใช้ตัวย่อ ให้เขียนในแบบที่แก้ไขให้

Formatted: Highlight

Formatted: Font color: Red

Formatted: Font color: Red

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Font color: Red

Formatted: Highlight

Commented [ww22]: คำเหล่านี้ถ้ามีภาษาไทยควรเขียนภาษาไทย หรือทับศัพท์ไทยถ้าไม่มีศัพท์บัญญัติ แล้ววงเล็บภาษาอังกฤษไว้ ต่อไปเลือกใช้ได้แบบใดแบบหนึ่งเช่น ไทย หรือ อังกฤษ หรือตัวย่อ

Commented [ww23]: ใช้ LOI ได้เลย เพราะประโยคด้านบนเขียนไว้แล้ว ว่าย่อมาจากอะไร

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Font color: Red

ผลการวิจัย

hhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh

1.พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อที่ผสมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ

ควรเขียนนำอย่างน้อย 1-2 บรรทัดก่อนขึ้นหัวข้อย่อย

1.1 ลักษณะชิ้นงาน

ก่อนวางตารางควรมีเนื้อหามาก่อนสัก 1-2 บรรทัด และตารางจะมีหัวตารางอยู่ด้านบน ขอให้แก้ไขให้เป็นรูปแบบบทความทั่วไป

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	ชิ้นงานก่อนตัดขวาง	ชิ้นงานตัดขวาง
0		
5		
10		
15		

ตารางที่ 1 ลักษณะชิ้นงานของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร

Commented [ww24]: ควรมีการบรรยายนำก่อนอย่างน้อย 2 -3 บรรทัด ก่อนที่จะนำเข้าสู่ผลในแต่ละหัวข้อที่ทำการทดสอบ เพราะเป็นการเขียนบทความ

Formatted: Font color: Red

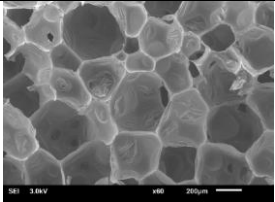
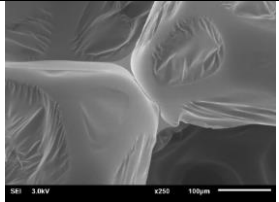
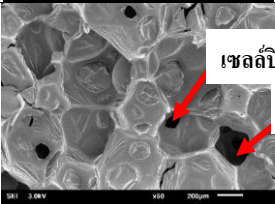
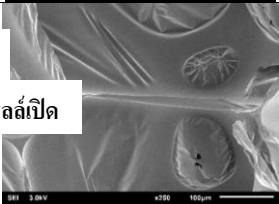
Formatted: Font: (Default) TH SarabunPSK, 14 pt, Bold, Font color: Red, Complex Script Font: TH SarabunPSK, Bold

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ท่อจะมีสีขาวขุ่น และเมื่อผสมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากลิกนินที่เติมน้ำตาลเข้มข้นทำให้พอลิยูรีเทนโพลีเมอร์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณลิกนินที่มากขึ้น นอกจากนี้จะเห็นว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่มีการเติมลิกนินในปริมาณที่มากจะพบการรวมตัวของลิกนินเป็นลักษณะจุดสีดำอยู่บนเนื้อชิ้นงานอีกด้วย

1.2 โครงสร้างพื้นฐานวิทยา

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในตารางที่ 2 แสดงสัณฐานวิทยาของเซลล์ พอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ท่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 60 เท่า และ 250 เท่า พบว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่เติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตรมีลักษณะโครงสร้างแบบรังผึ้ง โดยพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์มีลักษณะของเซลล์โพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอและพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่เติมลิกนิน 5 %โดยปริมาตร ลักษณะเซลล์โพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและพบว่าพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่เติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตร มีลักษณะโครงสร้างเซลล์ปิดมากกว่า เมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่มีการเติมลิกนิน 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากการเติมลิกนินที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนืดในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการขัดขวางในการเกิดโพลีเมอร์ ซึ่งจะส่งผลให้ลักษณะเซลล์โพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอและทำให้เกิดเซลล์ปิดที่มากขึ้น (Xuejun & Jack, 2013) และการที่โครงสร้างเซลล์เป็นเซลล์ปิดแสดงให้เห็นถึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าอีกด้วย (ชุดิมา เอี่ยมสะอาด, 2553) นอกจากนี้การเติมลิกนิน 5 และ 10 %โดยปริมาตร มีผลให้พอลิยูรีเทนโพลีเมอร์มีลักษณะเซลล์ที่มีความสม่ำเสมอลดลงเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่ปราศจากการเติมลิกนิน และพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ที่มีการเติมลิกนิน 5 %โดยปริมาตร มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทน โพลีเมอร์ที่มีการเติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตรที่มีลักษณะเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอมากกว่า 15% ผลเป็นอย่างไร??

ตารางที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของพอลิยูรีเทนโพลีเมอร์ท่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ที่กำลังขยาย 60 เท่าและ 250 เท่า

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	กำลังขยาย 60 เท่า	กำลังขยาย 250 เท่า
0		
5		

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww25]: การมีลักษณะเช่นนี้มันส่งผลต่อประสิทธิภาพ หรือการใช้งานอย่างไรบ้าง คงอธิบาย

Formatted: Font color: Red

Formatted: Font color: Red

Commented [ww26]: เြ้น 1 เาะะ

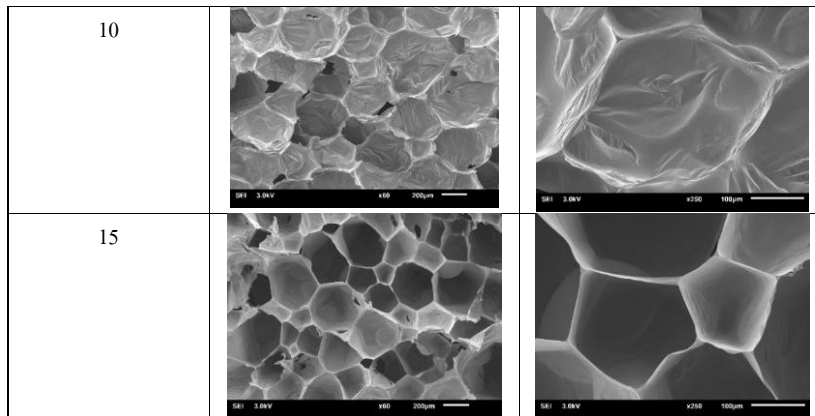
Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Font color: Red, Highlight

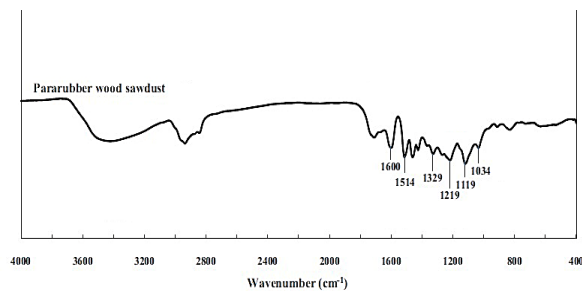
Commented [ww27]: สรุป คือ โฟมที่เติม 10% มีลักษณะเซลล์สม่ำเสมอมากกว่า โฟมที่เติม 5% ใช้ไหม ลองอ่านและเรียบเรียงให้เข้าใจง่ายขึ้นกว่านี้

Formatted: Font color: Red, English (United States)



1.3 โครงสร้างทางเคมี

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของลิกนินจากเศษปึกไม้ยางและพอลิยูรีเทนโฟมเมื่อเติมลิกนินที่ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตรแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าได้สเปกตรัมของลิกนิน จากเศษปึกไม้ยางจากงานวิจัยของ Inkrod, C และคณะ (Inkrod et al., 2018, p.277-290) แสดงในภาพที่ 1.3.1 และสเปกตรัมของพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร แสดงในภาพที่ 1.3.2



ภาพที่ 1.3.1 สเปกตรัม FT-IR ของลิกนินจากเศษปึกไม้ยาง

ที่มา : Inkrod, C., Ratio, M., Champreda, V., & Laosiripojana, N. (2018). Characteristics of lignin extracted from different lignocellulosic materials via organosolv fractionation. Bioenergy Research 2018, 11, 277-290.

Formatted: Font color: Red, Highlight

Commented [ww28]: เปรียบเทียบเพื่ออะไร เอาภาพมาแสดงเพื่อจะบอกอะไร ต้องอธิบายผลของตนเองกับคนอื่นไหม ต้องอธิบายว่าต้องการจะบอกอะไร ได้ผลเช่นนี้ บอกอะไรได้

Formatted: Font color: Red

ภาพที่ 1.4.1 เทอร์โมแกรม ก) TGA และ ข) DTG ของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนิน
ในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

ตารางที่ 3 อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดและน้ำหนักที่เหลือจากการทดสอบ TGA ของพอลิยูรีเทน โฟมสูตรหล่อที่เติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณลิกนิน (%โดยปริมาตร)	อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (°C)	น้ำหนักสารที่เหลือ (%)
0	351	15.13
5	352	17.66
10	356	23.18

จากภาพที่ 1.4.1 และตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการศึกษาสมบัติทางด้านความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร เกิดการสลายตัวทางความร้อนสองขั้นตอน โดยจะเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 170 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของสารโมเลกุลขนาดเล็กและไอโซไซยาเนตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาและขั้นที่สองเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่พันธะยูรีเทนเริ่มขาดออกจากกันเป็นไอโซไซยาเนตและพอลิออลและเริ่มทำการสลายตัว (Lingling, Huahua, Qingsong & Jinhua, 2013) จากภาพที่ 1.4.1 แสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนิน 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตรมีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงสุดคือ 351, 352 และ 356 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากลิกนินที่เติมเกิดพันธะข้าม (Crosslink) ทำให้เกิดความแข็งแรงของพันธะที่มากขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมจึงเพิ่มขึ้น (Houang et al., 2017, p.3493-3501) เมื่อพิจารณาถ้อยคำที่เหลือจากการทดสอบพบว่าปริมาณถ้อยคำเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณลิกนินในโฟมเพิ่มขึ้น เนื่องจากลิกนินมีปริมาณคาร์บอนสูงเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดถ้อยคำจึงทำให้ปริมาณถ้อยคำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น (Houang et al., 2017, p.3493-3501)

1.5 ความสามารถในการติดไฟ

การทดสอบความสามารถในการติดไฟโดยทดสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ (0 , 5 และ 10 %โดยปริมาตร) ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสามารถในการติดไฟของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

ปริมาณลิกนิน (%โดยปริมาตร)	LOI (%)
0	20.5
5	21.4
10	22.2

เนื่องจากอากาศประกอบด้วยแก๊สออกซิเจน 21% ถ้าวัสดุมีค่า LOI ต่ำกว่า 21% จะจัดอยู่ในประเภทที่เผาไหม้ได้ในขณะที่วัสดุมีค่า LOI มากกว่า 21% จะจัดอยู่ในประเภทที่สามารถดับไฟด้วยตนเอง ยิ่งวัสดุมีค่า LOI สูงจะมีสมบัติการ

ด้านการติดไฟที่ดี (Raghu et al., 2014, p. 109-112) ซึ่งจากผลการทดสอบจากตารางที่ 4 พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เติม
ลิกนินที่ปริมาณ 5 และ 10 %โดยปริมาตรมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) มากกว่า 21% แสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่
เติมลิกนินที่ปริมาณ 5 และ 10 %โดยปริมาตร มีสมบัติด้านการลามไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นพอลิยู
รีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ที่มากที่สุดคือ 22.2% บ่งบอกว่าพอลิยูรี
เทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีความสามารถด้านการติดไฟที่ดีที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับ การ
ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของวัสดุ (TGA) ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินเมื่อเกิด
การเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าปกคลุมพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยลดการปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถติด
ไฟทำให้ช่วยด้านการติดไฟได้ (Raghu et al., 2014, p. 109-112)

1.6 ความสามารถในการลามไฟ

การทดสอบความสามารถในการลามไฟโดยใช้วิธีทดสอบ UL-94 (Underwriters Laboratories 94V) ของพอลิยูรี
เทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสามารถในการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร

ปริมาณลิกนิน (% โดยปริมาตร)	ระดับมาตรฐานการวัด (UL-94 ratting)	การหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Dripping)
0	NC	มี
5	NC	ไม่มี
10	NC	ไม่มี
15	NC	ไม่มี

* NC: no classification

จากการทดสอบการเผาไหม้ของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อและเติมลิกนินพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมแบบโตนีมีการเผา
ไหม้จนหมดและไม่เหลือเถ้า และยังเกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลวรวมถึงมีการเผาไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงาน ส่วนพอลิ
ยูรีเทนโฟมเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ไม่เกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลวแต่มีการเผา
ไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงานและยังเหลือเถ้าที่มีลักษณะดังในภาพที่ 1.6.1 ซึ่งสาเหตุที่ไม่มีการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว
เกิดจากลิกนินเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าจากการเผาไหม้ลิกนินปกคลุมพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมซึ่งเถ้าจะทำหน้าที่
ช่วยลดการปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถติดไฟทำให้ช่วยด้านการติดไฟได้และลดการสลายตัวของพอลิเมอร์ (Raghu
et al., 2014, p. 109-112) การเกิดการเผาไหม้ไปจนถึงที่จับชิ้นงานทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานและไม่จัดอยู่ในอันดับใน
การทดสอบ UL-94 คาดว่าเกิดจากการที่ขนาดของชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน อีกทั้งไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการทดสอบ
จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ

Commented [ww33]: ไม่มีผล 15%

Formatted: Highlight

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Highlight

Commented [ww34]: เติมให้สมบูรณ์

Formatted: Font color: Red, Highlight

Formatted: Font color: Red

Commented [ww35]: เอาประโยคนี้ออก

Formatted: Font color: Red, Highlight



ภาพที่ 1.6.1 เทอร์โมแกรม ก) TGA และ ข) DTG ของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อเมื่อเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 10 %โดยปริมาตร

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติการติดไฟและการลามไฟของพอลิยูรีเทนโฟมด้วยการเติมลิกนินที่ปริมาณต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร) โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อเพื่อศึกษาปริมาณลิกนินที่ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติด้านการติดไฟและการลามไฟที่ดีของพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อ จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีความสามารถในการต้านทานการติดไฟได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 0, 5 และ 15 %โดยปริมาตร เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติการติดไฟของพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนินในปริมาณ 10 %โดยปริมาตร มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) มากที่สุดคือ 22.2% นอกจากนั้นจากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีการเติมลิกนิน 10 %โดยปริมาตรมีความเสถียรทางความร้อนมากที่สุดเนื่องจากมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดมากที่สุดคือ 356 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณลิกนินทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การทดสอบการลามไฟด้วยเทคนิค UL-94 พอลิยูรีเทนโฟมมีการเผาไหม้จนหมดและไม่เหลือเถ้า และยังเกิดการหยดลงของพอลิเมอร์หลอมเหลว แต่พอลิยูรีเทนโฟมที่เติมลิกนินในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยปริมาตร ยังคงเหลือเถ้าหลังการเผาไหม้และไม่เกิดการหยดของพอลิเมอร์หลอมเหลว กล่าวคือ การเติมลิกนินในพอลิยูรีเทนโฟมสูตรหล่อสามารถช่วยชะลอการติดไฟและลามไฟได้

Commented [ww36]: เอาออก

Formatted: Font color: Red, Highlight

เอกสารอ้างอิง

- กุลธิดา เจริญสวัสดิ์. (2555). คุณสมบัติของฉนวนโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งในงานก่อสร้างและการใช้โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งอย่างปลอดภัยจากอัคคีภัย [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นจาก http://polyurethanethai.com/uploads/userfiles/_1.pdf.
- ฐิติมา ตะสุวรรณ. (2554). การพัฒนาพอลิเอเธเร็นสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 1-138.
- ชุติมา เอี่ยมสะอาด. (2553). การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไกลโคไลซ์ขูดเพ็ดใช้แล้วภายใต้พลังงานไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1-96.
- จิตรารวรรณ ไวสาหลง. (2559). การสังเคราะห์สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสที่ปราศจากฮาโลเจนสำหรับงานบนผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1-45
- วารุณี ฟางทวนิช. (2554, 6 มีนาคม). พลาสติกกับการติดไฟ. วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน หนังสือพิมพ์แนวหน้า. หน้า 6.
- ศักยะ สมบัติไพรวัน. (2562). การปรับปรุงสภาพแห้งมันสำหรับหลังโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสารละลายต่างเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. Thermogravimetric Analysis (TGA) [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2563, เข้าถึงได้จาก <https://1th.me/9fBrb>
- Mandlekar, N., Cayla, A., Rault, F., Giraud, S., Salaun, F., Melucelli, G., & Guan, J. (2017). An overview on the use of lignin and its derivatives in fire retardant polymer systems. *Intech*, 12(3), 208-225.
- Raghu, T. S., Kotresh, T. M & Indusheskar, R. (2014). Fire behaviors of polyurethane foams. *Journal of Advances in Chemical Science*, 3, 109-112.
- Inkrod, C., Ratio, M., Champreda, V., & Laosiripojana, N. (2018). Characteristics of lignin extracted from different lignocellulosic materials via organosolv fractionation. *Bioenergy Research* 2018, 11, 277-290.
- Houang, X., Dehoop, C., Xie, J., Hse, C., Qi, J., & Hu, T. (2017). Characterization of biobased polyurethane foams employing lignin fractionated from microwave liquefied switchgrass. *International Journal of Polymer Science*, 26(8), 3493-3501.
- Omnexus. Fire Resistance (LOI) [Electronic version]. Retrieved on 16 November, 2020, Retrieved from <https://1th.me/S9T0Q>.
- Xuejun, P., and Jack, s. (2013) Effect of replacing polyol by organosolv and kraft lignin on the property and structure of rigid polyurethane foam. *Biotechnology for Biofuels*, 6, 1-11.
- Lingling, J., Huahua, X., Qingsong, W., and Jinhua, S. (2013). Thermal degradation characteristics of rigid

polyurethane foam and the volatile products analysis with TG-FTIR-MS. Crossmark, 98(12), 2687-2696.