การสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทนจากขวดเพทที่ใช้แล้ว [1]

Synthesis of Polyurethane Adhesives from Waste PET Bottles

สุวรรณา เหมือนสะอาด [2]
รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง [2]
วรธรรม อุ่นจิตติชัย [3]

Suwanna Mernsa-ard [2]
Ratsamee Sangsirimongkolying [2]
Woratham Oonjittichai [3]

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทนโดยใช้โพลีเอสเทอร์โพลีออลและโพลีเมอริกเมทิลลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (Polymeric methylene diphenyl diisocyanate; pMDI) มี 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรก นำขวดเพทที่ใช้แล้วมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้โพรพีลีนไกลคอลเป็นตัวทำละลายและซิงค์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงได้ผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ ขั้นตอนที่ 2 เตรียมโพลีเอสเทอร์โพลีออลจากผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์และมอนอเมอร์ โดยใช้กรดซัคซินิคและฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นมอนอเมอร์อัตราส่วน 1:0 3:1 และ 0:1 ขั้นตอนสุดท้าย สังเคราะห์กาวโพลียูรีเทน โดยนำโพลีเอสเทอร์โพลีออลจากกรดซัคซินิคทำปฏิกิริยากับ pMDI โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลที่ผลิตจากเศษไม้ยูคาลิปตัสและกาวโพลียูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ (มอก. 876-2547) ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา ความต้านแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่นและแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

คำหลัก : กาวโพลียูรีเทน โพลีเอสเทอร์โพลีออล โพลีเมอริกเมทิลลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต ขวดเพท

Abstract

Polyurethane (PU) adhesives were synthesized from polyester polyols and polymeric methylene diphenyl diisocyanate (pMDI) by three-step process. At first, glycolyzed products were obtained by glycolysis of waste PET bottles; using propylene glycol as a solvent and zinc acetate as a catalyst for 8 hrs, at 200°C. Second, polyester polyols were prepared by reacting glycolyzed products and monomers at a ratio of succinic acid to phthalic anhydride (1:0, 3:1 and 0:1). Finally, polyester polyols were reacted with pMDI

---

[1] โครงการบูรณาการร่วมระหว่าง งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้และสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

[2] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

[3] งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

in ethyl acetate. The properties of particleboards were tested by Thai Industrial Standard for Flat pressed particleboards (TIS. 876-2004).Such as density, moisture, swelling in water, modulus of rupture, modulus of elasticity and tensile strength perpendicular to the plane of board made from synthesized PU and eucalyptus particles

Keyword : Polyurethane, polyester polyols, polymeric methylene diphenyl diisocyanate (pMDI), Pet bottle

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมันพืช ถุงพลาสติก เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติที่ทนต่อการใช้งาน สามารถหาซื้อง่าย ผลิตเป็นรูปทรงต่างๆได้หลายแบบ มีความสะดวกในการใช้งาน ทำให้มีการใช้งานพลาสติกอย่างไม่คุ้มค่า ส่งผลทำให้มีขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในปีพุทธศักราช 2549 ประเทศไทยมีขยะพลาสติกปีละ 2.7 ล้านตันต่อปี แต่นำมารีไซเคิล (recycle) ได้เพียง 0.2 ล้านตันเท่านั้น และขยะพลาสติกที่เหลือจะถูกทำลายโดยไม่ถูกวิธี เช่น วิธีการเผา การฝัง เป็นต้น (http//www.tenet.tei.th/knowledge/plastictooilhtml) เป็นสาเหตุของมลพิษทางสิ่งแวดล้อม แต่หากทำการย่อยสลายพลาสติกในธรรมชาติจะต้องใช้เวลาหลายร้อยปี

เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยหลักในการดำรงชีวิต ภาชนะที่บรรจุน้ำส่วนมากเป็นพลาสติก เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมันพืช ที่ใช้ในปัจจุบันมีลักษณะใสนั้น คือ เพท (Polyethylene terephthalate; PET) เพราะมีสมบัติทนต่อแรงกระแทก ความใส และน้ำหนักเบา จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุน่าสนใจกว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น เช่น ขวดขุ่น ซึ่งผลิตจากโพลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) เป็นต้น

การนำขวดเพทกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางกายภาพ (Physical recycle) เป็นการนำพลาสติกมาหลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ และการรีไซเคิลทางเคมี (Chemical recycle) โดยการนำขวดเพทมาย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็ก เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมกับสารเคมีชนิดอื่นเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สารเคลือบผิวหรือกาว เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดขยะพลาสติกได้อีกวิธีหนึ่ง (Daniel Paszun and Tadeusz Spychaj; 1997)

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์มักใช้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดในการผลิตเครื่องเรือน แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ส่วนใหญ่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งมีสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารพิษตกค้าง (Gokay Nemli and Ibrahim Ozturk; 2005) การสังเคราะห์กาวจากขวดเพทเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการนำเข้าสารเคมีในการผลิตกาวโดยงานวิจัยนี้ได้นำขวดเพทที่ใช้แล้วมาย่อยด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เพื่อนำมาเป็นโพลีเอสเทอร์โพลออลผสมกับโพลีเมอริกเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนตเป็นกาวผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำขวดเพทที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทน และศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของกาวที่สังเคราะห์ขึ้นได้ เพื่อใช้ประโยชน์เป็นกาวสำหรับอัดไม้และกาวสำหรับผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดต่อไป

สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตและทดสอบแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดได้ดำเนินงานที่ห้องปฏิบัติการของงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. ขวดก้นกลม 4 คอ
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เตาใยหิน
4. เครื่องควบแน่น พร้อมข้อต่อ
5. เครื่องฟูเรียทรานสเฟอร์อินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บริษัท SHIMADZU รุ่น IR Prestige-21
6. เครื่องบดพลาสติก
7. เครื่องทดสอบแผ่นวัสดุทดแทนไม้ (Testometric Rochdale Type DBBMCTCL-5000 kg)
8. เครื่องอัดร้อน

สารเคมีที่ใช้

1. ขวดน้ำดื่มตรากาสะลองที่ใช้แล้ว
2. โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) เกรดปฏิบัติการ บริษัท UNILAB
3. กรดซัคซินิค (Succinic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNIVAR
4. ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
5. ซิงค์อะซิเตต (Zinc acetate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNIVAR
6. เอ็น-บิวทิลอะซิเตต (n-butyl acetate) เกรดการค้า บริษัท ICP camica
7. โพลีเมอริกเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (Polymeric methelene diphenyl diisocyanate; pMDI) เกรดการค้า ได้รับอนุเคราะห์จากกรมป่าไม้
8. เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) เกรดการค้า บริษัท ICP camica
9. อะซิโตน (Acetone) เกรดการค้า บริษัท ZENPOINT
10. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas) 99.95%

ขั้นตอนการศึกษา

1. การเตรียมขวดเพท

เก็บขวดน้ำดื่มที่ใช้แล้วมาทำความสะอาด แยกฝา และลอกฉลากออก ตัดบริเวณปากและก้นขวด เพื่อนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้ละเอียดจนเป็นเกล็ด

2. การย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

บรรจุเกล็ดขวดเพทและโพรพิลีนไกลคอล อัตราส่วน 37.5:62.5 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์อะซิเตต 0.5% ของน้ำหนักเกล็ดเพทลงในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เครื่องควบแน่นเทอร์โมมิเตอร์และท่อนำแก๊สไนโตรเจน โดยย่อยสลายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และกวนตลอดเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พร้อมทั้งรีฟลักซ์ตลอดการทดลอง เมื่อครบระยะเวลาปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องกวนของเหลวที่ได้จากการทดลองนี้เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ (Glycolyzed product) ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟาเรดสเปกโตรสโคปีและส่วนที่เหลือสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออล (Polyester polyol) ในขั้นต่อไป

Figure 1. The tow of equipment digesting bottle.

3. การสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออล

นำผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ที่ได้ผสมกับมอนอเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งให้อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์คงที่เท่ากับ 1.10 โดยน้ำหนัก ลงในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เครื่องควบแน่นเทอร์โมมิเตอร์และท่อนำแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่งโมง โดยกวนและรีฟลักซ์ตลอดเวลา

Table 1. The ratio between succinic acid and phthalic anhydride by weight**.**

Succinic acid	Phthalic anhydride
1	0
0	1
3	1

เมื่อครบระยะเวลา ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ต้องกวนแล้วทดสอบการละลายในตัวทำละลาย ได้แก่ อะซิโตน เอทิลอะซิเตต เอ็น-บิวทิลอะซิเตต และทินเนอร์ ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาคือ โพลีเอสเทอร์โพลีออล

4. การสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทน

นำโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้ อัตราส่วนคงที่เท่ากับ 1 ผสมกับ pMDI ในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย

Table 2. The ratio between polyester polyols and pMDI by weight**.**

Polyester polyols	pMDI
1.00	0.28
1.00	0.94
1.00	1.88
1.00	2.78

นำกาวอัดไม้ที่ได้จากการผสมโพลีเอสเทอร์โพลีออลกับไอโซไซยาเนตที่อัตราส่วนต่างๆ มาทำเป็นแผ่นไม้อัดชนิด 3 ชั้น แล้วจึงนำไปทดสอบแรงดึงของไม้อัดตาม มอก. 178-2531

5. การทดสอบแรงดึง

5.1 การเตรียมแผ่นไม้อัด

ก. คัดเลือกแผ่นไม้บางไม้ยางพาราความหนา 2 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาด 10×10 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น

ข. นำแผ่นไม้บางไม้ยางพาราที่ตัดแล้วมาทากาวน้ำหนัก 2.50 กรัม ให้ทั่วทั้งแผ่น วางซ้อนทับอีกแผ่นหนึ่งในแนวขวางของลายไม้แผ่นแรก ทากาวแผ่นไม้บางอีกแผ่น แล้ววางซ้อนทับเช่นเดิมอีกครั้ง

ค. นำไปเข้าเครื่องอัดเย็นเป็นเวลา 1-2 วัน แล้วนำออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 7 วัน เพื่อให้แผ่นไม้อัดแห้งและยึดติดได้ดี

5.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดเพื่อทดสอบการติดกาวตาม มอก. 178-2531

ก. ตัดตัวอย่างทำเป็นชิ้นทดสอบ

ข. นำไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของไม้ โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบ 3 ครั้ง

ค. คำนวณหาแรงดึง

ง. รายงานค่าเฉลี่ยแรงดึงต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ

6. การผลิตแผ่นปาร์ติเกิล

6.1 การเตรียมชิ้นเศษวัสดุไม้และเศษวัสดุการเกษตร

ก. นำเศษไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการตากแดดและมีความชื้นไม่เกิน 14%

ข. เก็บเศษไม้ยูคาลิปตัสที่ต้องการไว้ในที่สามารถควบคุมความชื้นได้เพื่อป้องกันเชื้อราโดยการใส่ในถุงพลาสติกและรัดปากถุงให้แน่น

6.2 การผสมกาว

ก. คำนวณอัตราส่วนระหว่างชิ้นไม้ยูคาลิปตัสกับกาวในปริมาณที่พอเหมาะกับความหนาแน่นของบอร์ดที่จะผลิต

ข. ชั่งชิ้นไม้ยูคาลิปตัสและกาวตามที่คำนวณ

ค. นำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสมาใส่ภาชนะ และนำกาวที่ชั่งไว้แล้วมาใส่ในกระบอกฉีดกาว

ง. คลุกเคล้าชิ้นไม้ยูคาลิปตัสกับกาวให้เข้ากันจนกาวหมดและคลุกเคล้าต่ออีก 3-5 นาที เพื่อการคลุกเคล้าที่ดีขึ้น ขณะปฏิบัติงานควรเปิดพัดลมเพื่อเป่าลมถ่ายเทอากาศให้ระบายได้ดีขึ้น

จ. นำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสที่ผสมกาวแล้วมาชั่งตามที่ได้คำนวณ

6.3 การเตรียมแผ่น

ก. นำแผ่นเหล็กรองอัดมาวางลงบนโต๊ะและวางทับด้วยเทปลอน

ข. นำกล่องสี่เหลี่ยมมาวางทับบนเทปลอนจากนั้นนำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสที่ผสมกาวแล้ว ซึ่งชั่งเตรียมไว้มาโรยลงไปในกล่องสี่เหลี่ยมให้สม่ำเสมอ

ค. เมื่อโรยเสร็จใช้แผ่นไม้กดลงบนชิ้นไม้ยูคาลิปตัส จากนั้นนำกล่องสี่เหลี่ยมออกแล้วจึงเอาแผ่นไม้ที่กดทับไว้ออกแล้ววางทับด้วยแผ่นเทปลอน

ง. นำแท่งเหล็กที่ใช้กำหนดความหนาวางลงไปบนแผ่นเหล็กรองอัดแผ่นล่างแท่งเหล็กดังกล่าวจะอยู่ด้านข้างทั้งสองข้าง (ซ้าย-ขวา) ของชิ้นไม้ยูคาลิปตัสที่โรยลงไป

6.4 การอัดร้อน

ก. เปิดเครื่องอัดร้อนตั้งอุณหภูมิของเครื่องอัดความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส และความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ข. นำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมแผ่นไว้แล้วมาวางบนแท่นอัดร้อน และเปิดเครื่องอัดร้อนให้แท่นอัดร้อนยกขึ้น

ค. เมื่อเข็มความดันขึ้นไปถึงความดันที่ตั้งค่าไว้ ให้จับเวลา 5 นาที

ง. เมื่อเวลาครบตามกำหนด จึงนำบอร์ดออกจากเครื่องอัดร้อน

จ. นำแผ่นชิ้นไม้ยูคาลิปตัสอัดออกจากเทปลอนและแผ่นรองอัดมาปรับสภาพบอร์ดเพื่อให้มีการคืนตัวของบอร์ดทางด้านความหนาและให้การยึดตัวของกาวสมบรูณ์ขึ้น เมื่อบอร์ดเย็นตัวลง

ฉ. ทำความสะอาดเครื่องอัดร้อนและบริเวณหลังการใช้งานเสร็จแล้ว

6.5 การปรับสภาวะบอร์ด

นำบอร์ดที่อัดร้อนเสร็จไปวางบนตะแกรงที่สามารถระบายอากาศได้ดีเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. ผลของการย่อยสลายขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

การย่อยสลายขวดเพทด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้โพรพิลีนไกลคอลมากเกินพอ ซึ่งมีซิงค์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะสีเหลืองอมน้ำตาล ใสและมีตะกอน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ (Glycolyzed product) จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ โดยใช้เทคนิคอินฟาเรด สเปกโตรสโคปี พบพีคที่สำคัญดังนี้ หมู่ไฮดรอกซิลที่เลขคลื่น 3367.86 cm^{-1} หมู่คาร์บอนิลที่เลขคลื่น 1719.61 cm^{-1} และหมู่ของเอสเทอร์ที่เลขคลื่น 1275.00 cm^{-1} เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของขวดเพทที่ใช้แล้ว พบพีคของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่คาร์บอนิล ซึ่งอินฟาเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์และขวดเพทที่ใช้แล้ว พบว่า ช่วงเลขคลื่น 1800-600 cm^{-1} ของขวดเพทที่ใช้แล้วไม่สามารถแยกได้ชัดเจนว่ามีหมู่เอสเทอร์เนื่องจากอาจมีการเติมสารเติมแต่งลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของขวดเพท ส่วนผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพทที่ใช้แล้วปรากฏช่วงเลขคลื่น 1800-600 cm^{-1} สามารถแยกได้ชัดเจนว่ามีหมู่เอสเทอร์เพราะขวดเพทถูกย่อยสลายเป็นบีส (ไฮดรอกซิลเอทิล) เทเรฟทาเลต ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ของขวดเพทที่ใช้แล้ว (ฐิติภรณ์ บุญแย้ม; 2547)

Figure 2. The products from digesting bottle with reaction.

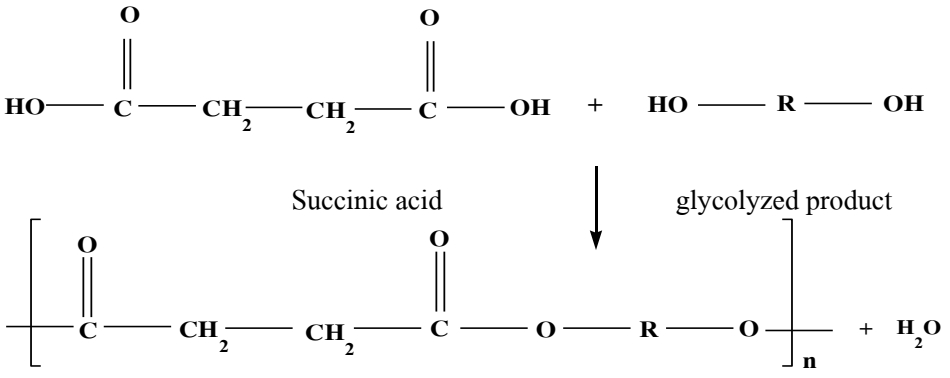
2. ผลการสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออล

การผสมผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ต่อมอนอเมอร์ อัตราส่วน 1.1: 1 โดยใช้อัตราส่วนมอนอเมอร์ระหว่างกรดซัคซินิคต่อฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่อัตราส่วนต่างกัน

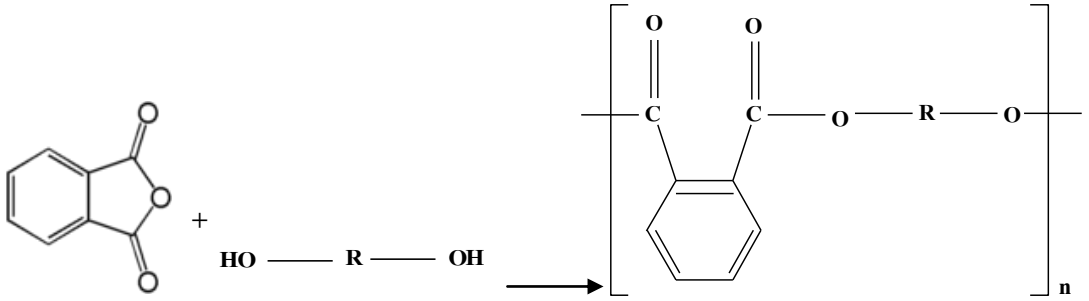
Table 3. The quality of product from polyester polyols .

The ratio of succinic acid per phthalic anhydride	Quality of product
1 : 0	Liquid, yellow
0 : 1	Solid, dark brown
3 : 1	Liquid, brown , high viscosity

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กรดซัคซินิคเพียงอย่างเดียวและผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างกรดซัคซินิคกับฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ 3:1 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและมีความหนืด ซึ่งการเติมฟทาลิกแอนไฮไดรด์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แข็งและเปราะมาก เพราะมีโครงสร้างพันธะคู่มาก (ปิยะฉัตร ภวนันท์ และสกุลรัตน์ ชัยสกุล; 2543) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า โพลีเอสเทอร์โพลีออล ปฏิกิริยาเอสเทอริ ฟิเคชันระหว่างกรดซัคซินิคกับผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ในการสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออลแสดงดังสมการที่ 4.1 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทั้งสองที่ได้ไปทดสอบการละลาย พบว่า สามารถละลายในอะซิโตน เอทิลอะซิเตต และเอ็นบิวทิลอะซิเตตได้ จากการทดลองพบว่า เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม เพราะการระเหยช้ากว่าอะซิโตน และสามารถละลายโพลีเอสเทอร์โพลีออลได้เร็วกว่าเอ็นบิวทิลอะซิเตต โพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นกาวต่อในขั้นตอนต่อไป แต่เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ผสมกับฟทาลิกแอนไฮไดรด์เพียงอย่างเดียวปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 4.2 เมื่อสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ครบ 8 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลว เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะเริ่มแข็งตัว และไม่สามารถไหลได้ ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำไปสังเคราะห์กาว



Polyester polyol ..... สมการ 4.1



Phthalic anhydride glycolyzed product Polyester polyol…….. สมการ 4.2

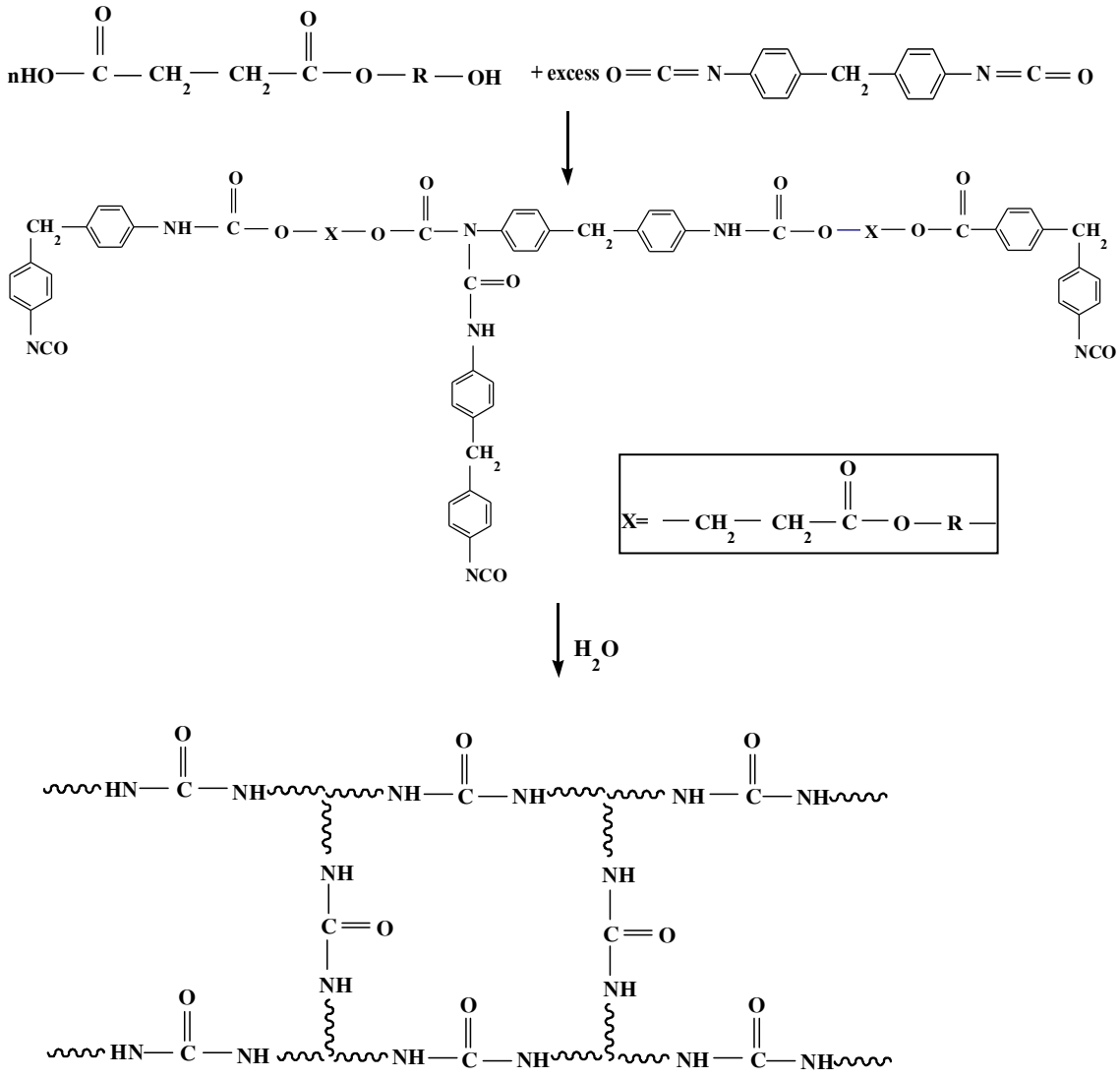
3. ผลการสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทน

3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการละลายโพลีเอสเทอร์โพลีออลผสม pMDI

เมื่อผสมโพลีเอสเทอร์โพลีออลต่อ pMDI ในอัตราส่วน 1:2.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้เอ็นบิวทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย พบว่าที่อุณหภูมิห้องโพลีเอสเทอร์โพลีออลผสม pMDI สามารถละลายได้ และที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส โพลีเอสเทอร์โพลีออลผสม pMDI สามารถละลายได้เร็วขึ้นตามลำดับ จึงเลือกอุณหภูมิห้องมาทำการสังเคราะห์กาว เนื่องจากประหยัดพลังงานและสะดวกในการทดลอง

3.2 ผลการทดสอบสมบัติการละลายของกาวในตัวทำละลาย

เมื่อนำกาวที่สังเคราะห์ได้ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:0.28 1:0.94 1:1.88 และ 1:2.78 มาทดสอบสมบัติการละลายในอะซิโตน เอทิลอะซิเตต เอ็นบิวทิลอะซิเตตและทินเนอร์ พบว่า กาวสามารถละลายในเอทิลอะซิเตตได้เพียงเล็กน้อย แต่ไม่ละลายในอะซิโตน เอ็น-บิวทิลอะซิเตตและทินเนอร์ เนื่องจากกาวที่สังเคราะห์ได้มีการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ (cross-linked) จึงทำให้เกิดโครงสร้างเป็นร่างแห ดังสมการที่ 4.3 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โพลีเอสเทอร์โพลีออลของกรดซัคซินิคกับ pMDI ซึ่งเป็นสมบัติของโพลีเมอร์แบบเทอร์โมเซต (Thermosetting polymers) จึงทนต่อตัวทำละลาย



.....สมการ 4.3

3.3 ผลของแรงดึงของไม้อัด

การผสมโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างกรดซัคซินิคกับฟทาลิกแอนไฮไดร์ 3:1 โดยน้ำหนักกับ pMDI ซึ่งใช้ไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนต่างๆ และใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะกาวที่ได้เป็นของเหลว มีความหนืดคล้ายน้ำ จึงมีปัญหาในการชั่งน้ำหนักและทากาว เพราะกาวจะไหลไปทุกทิศทาง การควบคุมการชั่งน้ำหนักและการทากาวเป็นไปได้ยาก สมบัติดังกล่าวไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานของกาวอัดไม้ จากการศึกษาอัตราส่วน pMDI ที่มีผลกับแรงดึงของไม้ดังนี้

Table 4. The tensile of polyester polyols per pMDI.

Ratio between polyester polyols and pMDI	Tensile (N/cm^2)	The value deviates of standard
1.00:0.28	-	-
1.00:0.94	123.50	33.37
1.00:1.88	169.77	97.11
1.00:2.78	195.49	22.60

Note : The tensile of wood more than 77 N/cm^2 (TIS. 178-2531)

กาวที่ใช้อัตราส่วน pMDI 0.28 โดยน้ำหนัก ไม่สามารถวัดแรงดึงได้ เนื่องจาก pMDI มีปริมาณน้อย จึงทำปฏิกิริยากับโพลีเอสเทอร์โพลีออลเกิดเป็นโฟมได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถยึดติดกับไม้ได้ และที่อัตราส่วนของ pMDI ต่อโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ 0.94 1.88 และ 2.78 มีแรงดึงเฉลี่ยผ่านมาตรฐาน มอก. 178-2531 ที่มีค่าแรงดึงไม่น้อยกว่า 77 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งกาวที่ใช้อัตราส่วน pMDI 2.78 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณ pMDI มากเกินไป จึงเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมี ซึ่งเป็นสารนำเข้าที่มีราคาสูงและอาจมีสารพิษตกค้าง ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนของโพลีเอสเทอร์โพลีออลต่อ pMDI 1:0.94 และ 1:1.88 มาทำการศึกษาระยะเวลาในการเกิดโฟมเพื่อนำไปใช้เป็นกาวในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิล เนื่องจากสมบัติของกาวที่ได้มีความหนืดน้อยสามารถไหลได้ทุกทิศทาง จึงสามารถนำไปผสมกับเศษไม้แล้วนำไปอัดเป็นแผ่นปาร์ติเกิลได้

3.4 ผลของระยะเวลาในการเกิดโฟม (Cure time)

3.4.1 ผลของปริมาณ pMDI

เมื่อผสมโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้จากการใช้กรดซัคซินิคต่อฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 3:1 กับ pMDI โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดโฟม

Table 5. The ratio between polyester polyols and pMDI with the cure time.

Polyester polyols per pMDI	Cure time (minutes)
1.00:0.94	10
1.00:1.88	25

เมื่อเพิ่มปริมาณของ pMDI พบว่าระยะเวลาในการเกิดโฟมช้าลง เนื่องจากปริมาณของ pMDI ที่มากขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดโพลียูรีเทนต้องใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3.4.2 ผลของชนิดโพลีเอสเทอร์โพลีออล

เมื่อใช้โพลีเอสเทอร์โพลีออลอัตราส่วนของกรดซัคซินิคกับฟทาลิกแอนไฮไดร์โดยน้ำหนักในอัตราส่วนต่างๆ

Table 6. The type of polyester polyols with the cure time.

Polyester polyols from succinic acid per phthalic anhydride	Cure time (minutes)
1 : 0	60
3 : 1	25

กาวที่ใช้โพลีเอสเทอร์โพลีออลจากกรดซัคซินิคเพียงอย่างเดียว ทำให้ระยะเวลาในการเกิดโฟมช้ากว่ากาวที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ผสมอยู่ อาจเกิดจากโครงสร้างของฟทาลิกแอนไฮไดรด์ซึ่งหมู่แอนไฮไดรด์และวงเบนซีนเป็นส่วนประกอบ จึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่แอลคิลของกรดซัคซินิค (จงกลนี แก้วศรีประกาย และคณะ; 2530)

3.4.3 ผลของอัตราส่วนเอทิลอะซิเตตโดยน้ำหนัก

เมื่อใช้โพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้จากการใช้กรดซัคซินิคต่อฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 3:1 ผสมกับ pMDI อัตราส่วน 1:0.94 โดยใช้ปริมาณตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตเพิ่มขึ้น

Table 7. The result of ethyl acetate with the cure time.

Ethyl acetate	Cure time (minutes)
1.0	10
1.5	10
2.0	13

ระยะเวลาในการเกิดโฟมมีระยะเวลาใกล้เคียงกัน แสดงว่า เอทิลอะซิเตตไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของโพลียูรีเทน ดังนั้น เอทิลอะซิเตตจึงช่วยลดความหนืดของโพลีเอสเทอร์โพลีออลระหว่างผสมกับ pMDI เพื่อช่วยในการฉีดพ่นกาวได้สะดวกขึ้นเท่านั้น

4. ผลการทดสอบแผ่นปาร์ติเกิล

แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากการใช้กาวสังเคราะห์ภาวะที่เหมาะสมในอัตราส่วนโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้จากการใช้กรดซัคซินิคเพียงอย่างเดียวผสมกับ pMDI อัตราส่วน 1:1.88 โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

Table 8. The properties of particleboard.

Sample	Properties					
	TS 1 hr. (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	Density (kg/m^3)	Moisture Content (%)
1	21.44	12.24	1830.33	0.91	852.99	8.34
2	15.03	12.97	1904.70	0.92	887.95	8.28
3	20.63	10.36	1437.23	0.75	845.51	5.89
Average	19.03	11.86	1724.09	0.86	862.15	7.50
TIS. 876-2547	≤12	≥ 14	≥ 1800	≥ 0.4	400-900	4-13

4.1 การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)

การพองตัวตามความหนาเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 19.03% ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 อาจเกิดจากการคลุกเคล้าส่วนผสมระหว่างกาวและชิ้นไม้ยูคาลิปตัสไม่ทั่วถึง จึงทำให้ไม้บางส่วนไม่มีกาวเคลือบอยู่ ส่งผลให้ชิ้นไม้ไม่ยึดติดกันเกิดเป็นช่องว่าง และในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดไม่ได้เติมสารเคลือบผิวกันซึม (Sizing agent) เพื่อลดการดูดน้ำซึ่งเมื่อนำแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดไปแช่น้ำจึงทำให้น้ำซึมเข้าไปในเศษวัสดุแล้วเกิดการบวมขึ้น (วรธรรม อุ่นจิตติชัย; 2541)

4.2 ความต้านแรงดัด (Modulus Of Rupture)

ความต้านแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 11.86 พาสคาล ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้สามารถต้านแรงดัดได้น้อย เนื่องจากโครงสร้างของกาวที่สังเคราะห์ได้ไม่แข็งแรงพอ จึงไม่ควรนำแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ไปใช้งานเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องมีการรับน้ำหนักที่มาก เพราะจะทำให้เกิดการแอ่นตัวของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์สั้นลง

4.3 มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity)

มอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 1,724.09 พาสคาล ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 เนื่องจากแผ่นตัวอย่างที่ 3 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นน้อยกว่ามาตรฐาน มอก. 876-2547 อาจเกิดจากการแข็งตัวของกาวก่อนนำไปอัดเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด จึงทำให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีความเปราะรับแรงกดได้น้อย

4.4 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond)

ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 0.86 พาสคาล ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 เนื่องจากกาวที่สังเคราะห์ได้สามารถยึดติดระหว่างเศษวัสดุกับเศษวัสดุได้ดี จึงทำให้การยึดติดภายในแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแข็งแรง

4.5 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 862.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 แสดงว่าการเตรียมแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีการโรยชิ้นไม้ยูคาลิปตัสค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงทำให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ได้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

4.6 ความชื้น (Board Moisture Content)

ความชื้นเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเท่ากับ 7.50% ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 เนื่องจากเศษวัสดุที่ใช้มีความชื้นที่เหมาะสม และขั้นตอนการอัดร้อนของการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดอุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซียลเซียส ซึ่งทำให้ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตที่มีจุดเดือด 77.1 องศาเซลเซียส ระเหยอย่างรวดเร็ว จึงทำให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ได้มีผิวเรียบไม่บวมตัว

สรุปผล

1. การย่อยสลายขวดเพทที่ใช้แล้ว

จากการย่อยสลายขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยใช้โพรพิลีนไกลคอลเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 37.5:62.5 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลว สีเหลืองอมน้ำตาล ใสและมีตะกอน เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจะพบหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอนิลและหมู่เอสเทอร์

2. การสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออล

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออลจากผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง คือ อัตราส่วนระหว่างกรดซัคซินิคต่อฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1:0 และ 3:1 มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถละลายได้ในเอทิลอะซิเตตนำไปสังเคราะห์กาวได้

3. การสังเคราะห์กาวโพลียูรีเทน

ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กาวจากโพลีเอสเทอร์โพลีออล คือ โพลีเอสเทอร์โพลีออลที่สังเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์กับกรดซัคซินิคเพียงอย่างเดียวผสมกับ pMDI ในอัตราส่วน 1:1.88 โดยใช้ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต ระยะเวลาการเกิดโฟม 60 นาที กาวที่สังเคราะห์ได้เรียกว่า กาวโพลียูรีเทน นำกาวโพลียูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ไปเตรียมแผ่นปาร์ติเกิล

4. การทดสอบแผ่นปาร์ติเกิล

การทดสอบแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากกาวโพลียูรีเทน โดยใช้มาตรฐาน มอก. 876-2547 ซึ่งทดสอบความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา ความต้านแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ได้ค่าเฉลี่ย 862.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 7.50% 19.03% 11.86 เมกะพาสคาล 1,724.09 เมกะพาสคาล และ 0.86 เมกะพาสคาล ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาแน่น ความชื้น ความต้านแรงดึงตั้ง

ฉากกับผิวหน้าผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 ส่วนค่าการพองตัวตามความหนา ความต้านแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านมาตรฐาน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาค่าไฮดรอกซิล (Hydroxyl value) ของโพลีเอสเทอร์โพลีออล เพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนของโพลีเอสเทอร์โพลีออลที่เข้าทำปฏิกิริยากับ pMDI

2. จากการสังเคราะห์โพลีเอสเทอร์โพลีออลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน พบว่า ผลิตภัณฑ์โพลีเอสเทอร์โพลีออลที่ได้มีน้ำอยู่ จึงควรกำจัดน้ำออกก่อนนำมาสังเคราะห์กาว

3. ควรเติมสารเคลือบผิวกันซึม (Sizing agent) เช่น ขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffinic waxes) เพื่อป้องกันการพองตัวของแผ่นปาร์ติเกิล

4. ควรเปลี่ยนชนิดของมอนอเมอร์จากกรดซัคซินิคเป็นมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ หรืออาจเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่นเพิ่ม เพื่อช่วยให้กาวมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น

5. ควรเปลี่ยนชนิดและขนาดของเศษวัสดุจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นชนิดและขนาดอื่น เช่น ไม้ยางพารา เพื่อปรับปรุงแผ่นปาร์ติเกิลให้ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ ของสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

จงกลนี แก้วศรีประกาย และคณะ. 2530. ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐิติภรณ์ บุญแย้ม. 2547. การสังเคราะห์กาวอัดไม้จากขวดเพทที่ใช้แล้ว. วิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ.

ปิยะฉัตร ภวนันท์ และสกุลรัตน์ ชัยสกุล. 2543. การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวจากขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ใช้แล้ว. วิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2541. อุตสาหกรรมผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดและกรรมวิธีผลิต. กรุงเทพฯ : กรมป่าไม้.

สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2545. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด มอก. 178-2531. กรุงเทพฯ.

สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ มอก. 876-2547. กรุงเทพฯ.

Daniel Paszun and Tadeusz Spychaj. 1997. "Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate)". Ind. Eng. Chem. Res. 36: 1373-1383.

Gokay Nemli and Ibrahim Ozturk. 2005. "Influences of some factors on the formaldehyde content of particleboard". J Building & environment. 41: 770-774.

http.//www.tenet.tei.th/knowledge/plastictooilhtml.