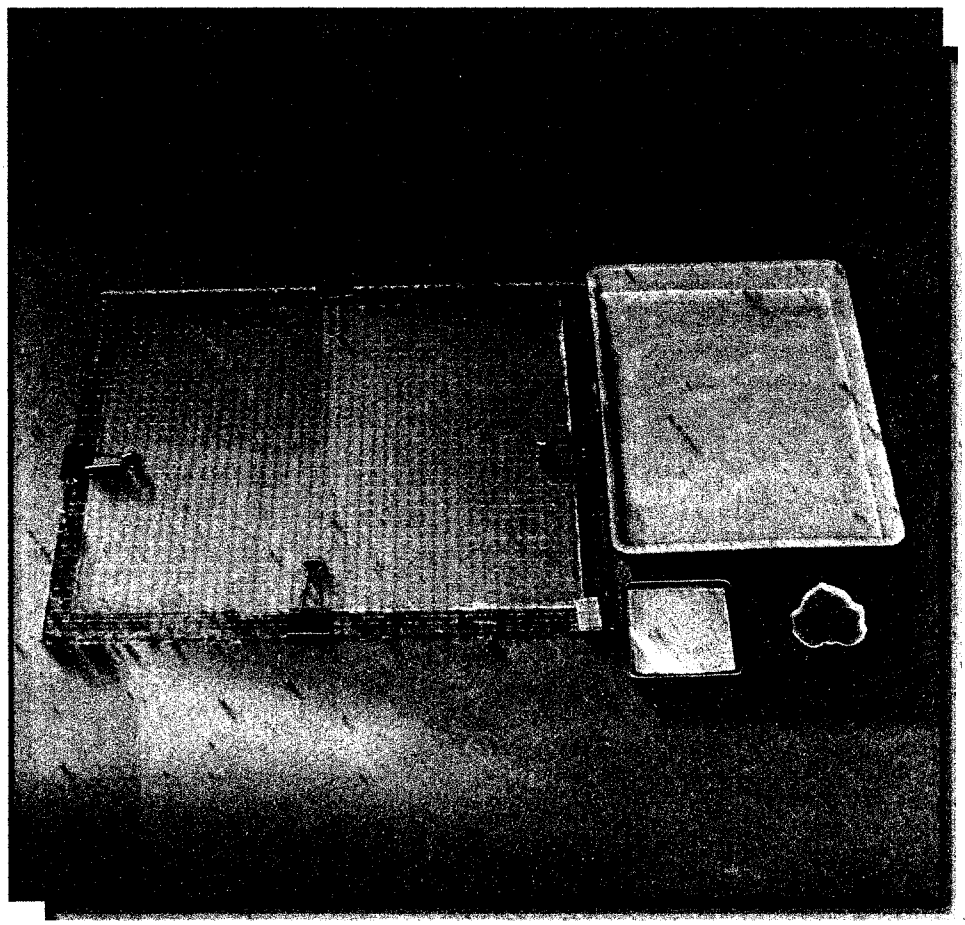
ศูนย์บริการเอกสารการวิจัยฯ
RP2001/1166
Biodegradable

วท.

โครงการวิจัยที่ ภ. 40-01 / รายงานฉบับที่ 3

แผ่นพอลิยูรีเทนชนิดย่อยสลายโดยธรรมชาติจากน้ำมันเหลือใช้



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ. 40-01

การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากของเหลือใช้น้ำมันพืชและไขสัตว์ : พอลิยูรีเทนชนิดย่อยสลายโดยธรรมชาติและสบู่

รายงานฉบับที่ 3

แผ่นพอลิยูรีเทนชนิดย่อยสลายโดยธรรมชาติจากน้ำมันเหลือใช้

โดย

จุฬาพร ดุวารนันท์เจริญ

สุมาลัย ศรีกำไลทอง

ณรงค์เดช อาษา

บรรณาธิการ

วัลย์ลดา หงส์ทอง

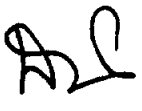
นฤมล รื่นไวย์

บุญเรียม ชมเมฆ

วท., กรุงเทพฯ 2544

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ)
ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณ สถาบันวิจัยวัสดุและเคมีแห่งชาติ (National Institute of Materials and Chemical Research), ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ข้อมูลการวิจัยและข้อเสนอแนะ; โรงแรมแอมบาสซาเดอร์และมารวยการ์เด้น ที่ให้ตัวอย่างน้ำมันเหลือใช้; และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์, วท. ที่วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	3
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	6
4. สรุปผลการทดลอง	11
5. ข้อเสนอแนะ	14
6. เอกสารอ้างอิง	14
7. ภาคผนวก	16

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. คุณสมบัติและปริมาณสารในการทดลอง 7
ตารางที่ 2. แสดงปริมาณ plasticizer และสภาวะการผลิตพอลิยูรีเทน 7
ตารางที่ 3. แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนที่ผลิตได้ 8
ตารางที่ 4. แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนเมื่อทดสอบการสลายตัวด้วยความร้อน 11

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. แผนภาพแสดงการผลิตพอลิยูรีเทนชนิดแผ่น 5

รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ paraffinic oil และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ สำหรับการทดลอง 1A และ 1B 9

รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ paraffinic oil และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ สำหรับการทดลอง 2A, 2B และ 2C 9

รูปที่ 4. ลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนเมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scaning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 200 เท่า 12

รูปที่ 5. แสดงสเปกตรัมฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิยูรีเทนที่สภาวะปกติด้วยวิธี FT-Ramann 13

รูปที่ 6. แสดงสเปกตรัมฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิยูรีเทนทดสอบการสลายตัวโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170°ซ. ระยะเวลา 4 วัน ด้วยวิธี FT-IR 13

BIODEGRADABLE POLYURETHANE SHEET DERIVED FROM WASTE COOKING OIL

Chulaporn Kuwarananchareon, Sumalai Srikumlaithong and Narongdej Asa

ABSTRACT

Research on polyurethane sheet production from waste cooking oil had been carried out on bench scale since the sucessful laboratory scale was achieved. The product quality was improved by using plasticizer. It was observed that various mold types was one of the important factors effecting product qualities besides the amount of waste cooking oil, NCO/OH ratio and forming conditions.

The polyurethane sheet with dimensions of 40 x 50 x 0.02 cm^3 instead of lab-scale size (10 x 15 x 0.02 cm^3) was accomplished by blending 30 pbw oil, 70 pbw PEG, 79.7 pbw and 86.1 pbw MDI (NCO/OH ratio 1.6), casting into a mold. Paraffinic oil was used as a plasticizer to increase the product elasticity and to ease casting process.

Various materials could be used for polyurethane molding such as, glass, stainless steel and plastic (polypropylene and acrylic). Glass mold and stainless steel mold needed to be applied with releasing agent prior to pouring, where as plastic mold needed not. The product was easily removed from mold after polymerization.

In addition, the polyurethane sheet made from waste cooking oil eroded naturally by heat, reduced environmental degradation and was lower in cost when compared to other polyurethane sheets.

แผ่นพอลิยูรีเทนชนิดย่อยสลายโดยธรรมชาติจากน้ำมันเหลือใช้

จุพาพร คุวารนันท์เจริญ[1], สุมาลัย ศรีกำไลทอง[2] และณรงค์เดช อาษา[2]

บทคัดย่อ

ผลสำเร็จของการผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนจากน้ำมันเหลือใช้ระดับห้องปฏิบัติการ นำไปสู่การศึกษาวิธีผลิตพอลิยูรีเทนในระดับ bench scale. ได้พัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) และศึกษาชนิดของแบบพิมพ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์นอกจากปริมาณน้ำมัน, อัตราส่วนของ NCO/OH และสภาวะการขึ้นรูป.

ผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนขนาด 40 x 50 x 0.02 เซนติเมตร^3 จากเดิม 10 x 15 x 0.02 เซนติเมตร^3 โดยผสมปริมาณน้ำมันเหลือใช้ 30 pbw, PEG 70 pbw, MDI 79.1 และ 86.1 pbw ตามลำดับ (NCO/OH ratio 1.6), ขึ้นรูปบนแบบพิมพ์เย็นด้วยวิธีหล่อ (casting). การใช้ paraffinic oil เป็น plasticizer จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์และกระบวนการขึ้นรูป. จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ประเภทหนึ่ง.

แผ่นพอลิยูรีเทนสามารถขึ้นรูปบนแบบพิมพ์ที่ทำจากวัสดุประเภท กระจก, สเตนเลส และพลาสติก (polypropylene และ acrylic). แบบพิมพ์กระจกและสเตนเลสต้องใช้สารช่วยถอดแบบชิ้นงาน, ส่วนแบบพิมพ์พลาสติกแกะออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายเมื่อพอลิเมอร์แข็งตัวเรียบร้อยแล้ว.

พอลิยูรีเทนที่ผลิตจากน้ำมันเหลือใช้สามารถสลายตัวได้โดยธรรมชาติด้วยความร้อน, ลดภาระต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน.

---

[1] ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)

[2] ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, วท.

1. บทนำ

น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อม, ได้มีความพยายามนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ. การผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนจากน้ำมันเหลือใช้มีความเป็นไปได้ตามหลักวิชาการ เนื่องจากน้ำมันพืชและไขมันเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรีนที่มี hydroxyl group ประกอบอยู่ด้วย (Schauerte 1985). กระบวนการผลิตใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและมีคุณสมบัติสามารถนำไปใช้งานได้.

พอลิยูรีเทนเป็นพลาสติกวิศวกรรมมีทั้งแบบเทอร์โมพลาสและเทอร์โมเซตใช้กับงานที่ต้องการความทนทานสูง จึงมีราคาค่อนข้างแพง. ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิยูรีเทน ได้แก่ ไฮโดร-ไซโคลน, ล้อรถเข็นและแผ่นรองมีดตัด เป็นต้น. พอลิยูรีเทนได้จากปฏิกิริยาระหว่าง diisocyanate มีหมู่ NCO ในสายโซ่โมเลกุลกับ diol หรือ polyol ที่มีหมู่ OH (hydroxyl). องศาการเชื่อมโยงพันธะภายในโครงสร้างของพอลิยูรีเทนขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของ diol หรือ polyol และอัตราส่วนของหมู่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (NCO/OH) (Deamin 1985) และ (Hepbum 1991).

$$\underset{\text{Polyol}}{[HO\text{-}R_1\text{-}OH]_n} + \underset{\text{Diisocyanate}}{[\text{-}O\text{=}C\text{=}N\text{-}R\text{-}N\text{=}C\text{=}O\text{-}]_n} \longrightarrow \underset{\text{Polyurethane}}{[\text{-}O\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R\text{-}NH\text{-}CO\text{-}O\text{-}R_1]_n}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต ได้แก่ สารเติมแต่ง (additives), กรรมวิธีขึ้นรูป และแบบพิมพ์.

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนจากน้ำมันเหลือใช้และพัฒนาคุณภาพด้วย plasticizer รวมทั้งศึกษาการขึ้นรูปบนแบบพิมพ์ในระดับ bench scale.

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ

1. Polyols ประกอบด้วย :

   1.1 น้ำมันที่ใช้แล้วจากสถานประกอบการ เมื่อกรองแยกสิ่งสกปรกมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 1.

   1.2 Polyethylene glycol (PEG) คุณสมบัติ ดังตารางที่ 1.

2. Isocyanate ได้แก่ diphenylmethane diisocyanate (MDI) คุณสมบัติ ดังตารางที่ 1.
3. สารอื่นๆ :
   3.1 Paraffinic oil (PO) เป็น plasticizer.
   3.2 Releasing agent A-F-1 ช่วยในการถอดแบบ.

2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องกวนสาร.
2. แบบพิมพ์กระจกและพลาสติก ขนาด 40 x 50 x 0.02 ซม.^{3}
3. แบบพิมพ์เหล็กสเตนเลส ขนาด 10 x 10 x 0.02 ซม.^{3} และ 15 x 23 x 0.02 ซม.^{3}

2.3 วิธีการ

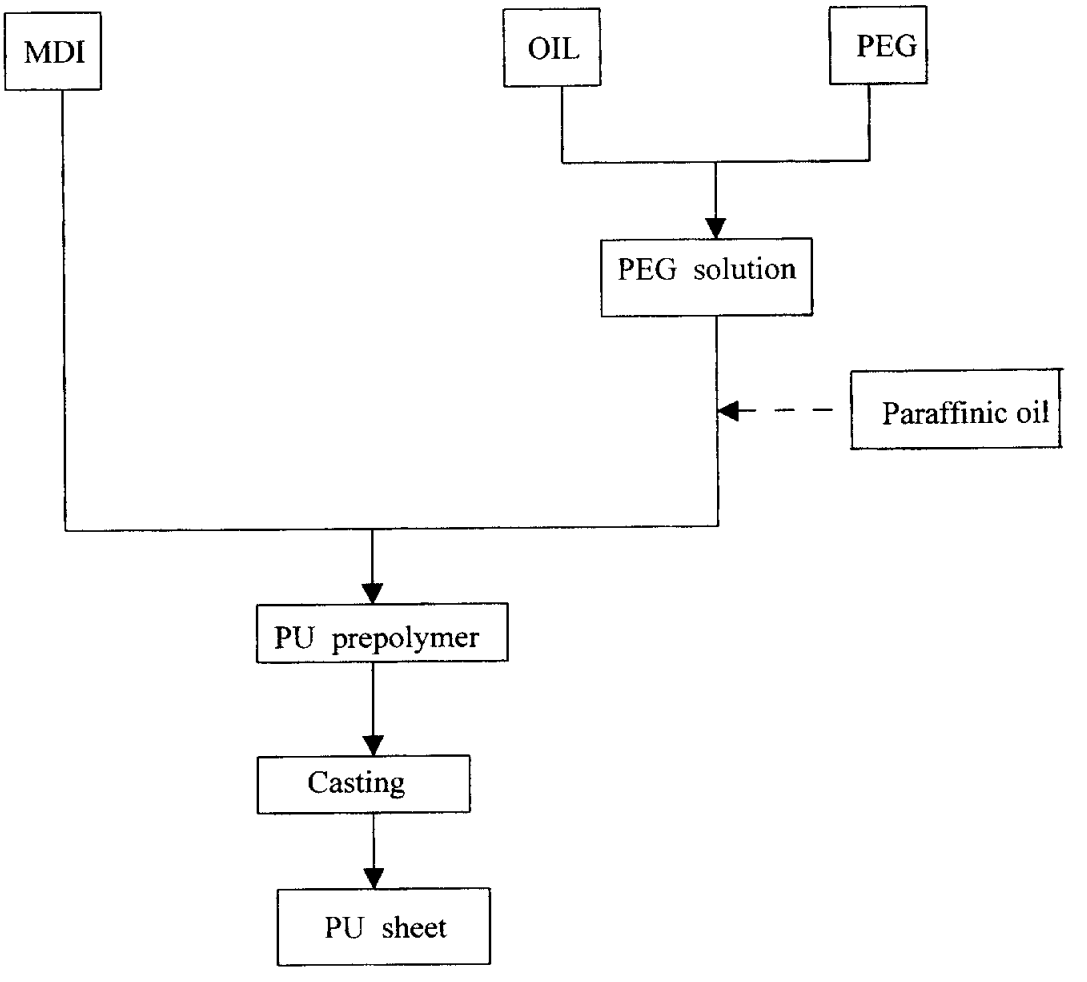
การผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนชนิดแผ่น แสดงในรูปที่ 1.

การเตรียมวัตถุดิบ

ระเหยความชื้นในน้ำมันใช้แล้ว PEG, paraffinic oil และ MDI โดยการอบในตู้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส, ความดัน 5-10 นิ้วปรอท เป็นระยะเวลา 20 นาที, 1.30 ชม. และ 2 ชม. ตามลำดับ.

การเตรียมพอลิเมอร์

กวนน้ำมันที่เย็นและ PEG ที่ร้อนให้ผสมกันโดยรักษาอุณหภูมิขณะกวนที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที เรียกว่า PEG solution. เติม paraffinic oil ที่ร้อนกวนให้ผสมกัน (อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงในตู้อบสุญญากาศที่ความดัน 1-2 นิ้วของปรอท เป็นเวลา 3 ชม. กวนสารผสมนี้กับ MDI ที่ได้เตรียมไว้ให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องกวนสาร ความเร็วรอบ 180-205 รอบ/นาที, ระยะเวลาการกวนสาร 1.20-1.25 นาที (ตารางที่ 2). นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยวิธี casting บนแบบพิมพ์ที่เย็น (อุณหภูมิห้อง) ใช้ปริมาณสารทั้งหมด 850 กรัมต่อครั้ง สำหรับแบบพิมพ์ขนาด 40 x 50 x 0.02 ซม.^{3}



รูปที่ 1. แผนภาพแสดงการผลิตพอลิยูรีเทนชนิดแผ่น.

การขึ้นรูปบนแบบพิมพ์

แบบพิมพ์กระจกและเหล็กสเตนเลส ก่อนขึ้นรูปต้องฉีดพ่นสารช่วยถอดแบบบนแบบพิมพ์ขณะร้อน นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส. เมื่อระเหยสารช่วยถอดแบบส่วนเกินออกไป ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงขึ้นรูปผลิตภัณฑ์บนแบบพิมพ์ที่เย็น. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ลอกชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ขณะเย็น.

แบบพิมพ์พลาสติกที่ทำด้วย polypropylene และ acrylic สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และถอดแบบชิ้นงานได้ที่อุณหภูมิห้อง. นำชิ้นงานลอกจากแบบพิมพ์ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง.

การวิเคราะห์ทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิยูรีเทน ดังนี้ :

- ความต้านทานแรงดึงและความยืดที่จุดขาด (tensile strength and elongation at break) ตามวิธี ASTM D 412-80.
- ความแข็ง (hardness) วิธี ASTM D 2240-81.

ทดสอบความต้านทานของพลาสติกต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการสลายตัวตามวิธี ASTM D 3045-92.

วิเคราะห์ฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิเมอร์ด้วยวิธี Ramann spectroscopy.

วิเคราะห์ฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิเมอร์ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR).

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM).

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนได้ใช้น้ำมันเหลือใช้จากสถานประกอบการ 2 แห่ง ซึ่งมีความแตกต่างกันในน้ำหนักโมเลกุลและจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (OH no.) น้ำหนักโมเลกุลที่ลดลง และ OH no. ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความสะอาดของน้ำมันลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1. น้ำมันเหลือใช้ตัวอย่างที่ 1 มีความสะอาดมากกว่าตัวอย่างที่ 2 ดังนั้นที่สัดส่วนของน้ำมันเหลือใช้ 30 pbw ต่อ PEG 70 pbw และ NCO/OH 1.6 เหมือนกัน จะมีความแตกต่างกันที่ปริมาณการใช้ MDI.

เมื่อผลิตแผ่นพอลิยูรีเทนขนาด 40 x 50 x 0.02 ซม.^{3} โดยใช้ NCO/OH เท่ากับ 1.6 และมีสภาวะการผลิตดังตารางที่ 2, ผลการทดลองปรากฏว่าคุณสมบัติของแผ่นพอลิยูรีเทนจากน้ำมันเหลือใช้แหล่งที่ 2 และไม่เติม plasticizer มีค่า tensile strength และ hardness สูงกว่าการใช้น้ำมันจากแหล่งที่ 1, แต่ elongation at break ต่ำกว่า. การที่น้ำมันแหล่งที่ 2 ซึ่งมีความสะอาดต่ำกว่ามีค่า OH no. เพิ่มขึ้นจึงต้องใช้ปริมาณ MDI ซึ่งเป็น hard segment ในโครงสร้างทางเคมีของพอลิยูรีเทนมากขึ้นเพื่อคงความสมดุลระหว่าง diisocyanate และ hydroxy (NCO/OH ratio 1.6) ถึงแม้ผลิตภัณฑ์จะมีค่า tensile strength และ hardness สูง แต่มีความยืดหยุ่นตัวค่อนข้างต่ำ ทำให้การถอดแบบไม่สะดวกและผิวของชิ้นงานไม่เรียบ.

การใช้ plasticizer ปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นพอลิยูรีเทน

แผ่นพอลิยูรีเทนที่ผลิตโดยปราศจากสารตัวเติมมีความยืดหยุ่นตัวต่ำ มีความแข็งแต่เปราะ นำไปถอดแบบค่อนข้างยาก. Paraffinic oil (PO) เป็น plasticizer ที่ราคาไม่แพงและใช้กับพอลิเมอร์สังเคราะห์. ตารางที่ 2 และ 3 แสดงถึงปริมาณการใช้ PO และคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เมื่อสัดส่วน PO ต่างกัน. การเติม PO ทำให้ค่า elongation at break เพิ่มขึ้นและ hardness ลดลง, ค่า tensile strength เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (การทดลองที่ 1 B, 2 B และ 2C).

ตารางที่ 1. คุณสมบัติและปริมาณสารในการทดลอง

Sample no.	PEG 400 (pbw)	WCO* (pbw)	MDI (pbw)	MW (WCO)	OH no. (WCO)	OH no. (PEG 400)	NCO no. (MDI)
1	70	30	79.70	2,723	61.80	280	31
2	70	30	86.10	1,400	120.21	280	31

หมายเหตุ : * waste cooking oil

pbw = part by weight

ตารางที่ 2. แสดงปริมาณ plasticizer และสภาวะการผลิตพอลิยูรีเทน

Ingredients	Experimental no.				
	1 A	1 B	2 A	2 B	2 C
WCO (pbw)	30	30	30	30	30
PEG (pbw)	70	70	70	70	70
MDI (pbw)	79.7	79.7	86.1	86.1	86.1
PO (pbw)	-	1.5	-	1.5	1.6
Speed of mixing (rpm)	←	———	180-205	———	→
Mixing time (min)	←	———	1.20-1.25	———	→
Cure temp. (C^o)	←	———	100	———	→
Cure time (h)	←	———	1	———	→

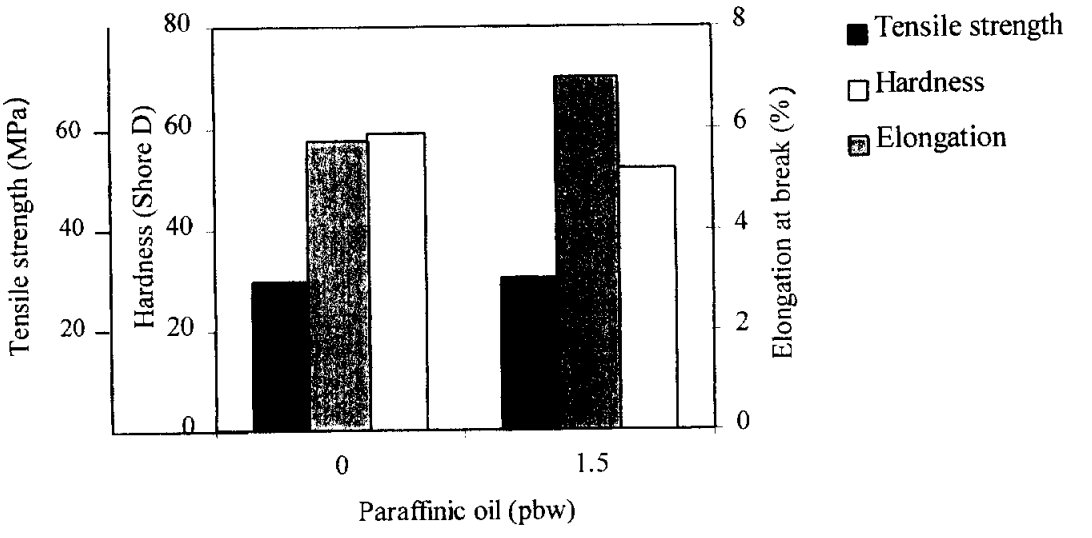
ตารางที่ 3. แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนที่ผลิตได้

การทดลองที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore D)
1 A	29.85	5.75	59
1 B	30.48	7	57
2 A	32.07	3.50	64
2 B	29.65	5	61
2 C	28.00	7.40	55
ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ เทอร์โมเซต	6-36	5-50	52-85

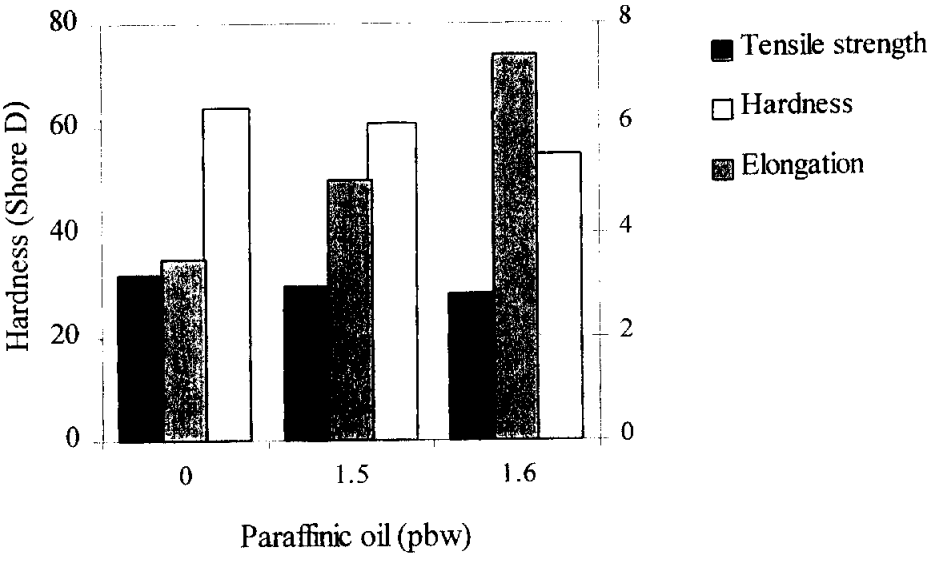
ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมน้ำมันเหลือใช้แหล่งที่ 1 และ PO 1.5 pbw (รูปที่ 2) มี tensile strength, elongation at break และ hardness เท่ากับ 30.48 MPa, 7% และ 57 shore D ตามลำดับ, ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์. ในขณะที่ PO 1.6 pbw เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำมันแหล่งที่ 2, โดย PU ที่ผลิตได้มี tensile strength 28 MPa, elongation at break 7.40% และ hardness 55 shore D (การทดลอง 2C, รูปที่ 3). จากการทดสอบการละลายของ PO จะละลายได้ทั้งใน PEG และน้ำมันเหลือใช้ (Braun 1982) แต่ละลายได้เพียงบางส่วนใน MDI ดังนั้น paraffinic oil จึงเข้าไปมีบทบาทในโครงสร้างของพอลิยูรีเทน ทำให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งกำหนดให้ tensile strength 6-36, MPa, elongation at break 5-50% และ hardness 52-85 shore D มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสะดวกในการถอดแบบและเพิ่มความเรียบของผิวชิ้นงาน.

การศึกษาชนิดของแบบพิมพ์

การขึ้นรูปแผ่นพอลิยูรีเทนบนแบบพิมพ์กระจกและเหล็กสเตนเลส โดยไม่ใช้สารช่วยถอดแบบจะไม่สามารถลอกชิ้นงานออกจากแบบได้. แต่เมื่อใช้สารช่วยถอดแบบ (A-F-1) ทำให้การถอดแบบง่ายขึ้น เนื่องจากสารช่วยถอดแบบจะลดการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และผิวของแบบพิมพ์ (Stoeckkert 1983). แบบพิมพ์ที่ทำด้วยกระจกต้องการปริมาณการฉีดพ่นสารช่วยถอดแบบมากกว่าวัสดุเหล็กสเตนเลส เพราะผิวกระจกมีความมันวาวน้อยกว่าผิวสเตนเลส อายุการใช้งานก็สั้นกว่าด้วย.



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ paraffinic oil และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สำหรับการทดลอง 1A และ 1B.



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ paraffinic oil และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สำหรับการทดลอง 2A, 2B และ 2C.

แบบพิมพ์พลาสติกที่ทำจาก polypropylene และ acrylic ไม่ต้องใช้สารช่วยถอดแบบ, การลอกชิ้นงานจากแบบพิมพ์ทำได้สะดวก. โดยทั่วไปการยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำ แต่ก็ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์และการใช้สารเติมแต่งเพื่อช่วยในการยึดเกาะของวัสดุ. แบบพิมพ์พลาสติกควรมีความหนามากกว่า 5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการโค้งงอของแบบพิมพ์ขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เนื่องจากปฏิกิริยาคายความร้อน. ผิวของผลิตภัณฑ์จะเหมือนกับผิวของแบบพิมพ์ เช่น แบบพิมพ์ที่มีผิวด้านจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวด้าน, ถ้าต้องการผิวชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้น ควรเลือกแบบพิมพ์ที่มีผิวเรียบลื่นมันวาว.

ความสามารถการสลายตัวของพอลิยูรีเทนที่ผลิตจากน้ำมันเหลือใช้

โดยทั่วไปพอลิยูรีเทนที่ผลิตจาก glycol และ isocyanate จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวหรือเปลี่ยนสภาพที่ 150-180 องศาเซลเซียส โดยประมาณ. จากการทดสอบตามวิธี ASTM 3045-92 ด้วยการให้ความร้อนแก่แผ่นพอลิยูรีเทน (แหล่งที่ 1) ในตู้อบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันและ 4 วัน จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ระยะเวลา 4 วัน ปรากฏรูพรุนเพิ่มขึ้นบนผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับที่ไม่ผ่านการอบ (รูปที่ 4), และสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากสีเหลือง (สภาวะปกติ) เป็นสีดำ. เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4) ค่า tensile strength และ elongation ลดลง, hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา oxidation (อุณหภูมิและออกซิเจนในอากาศ). คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นแข็ง กรอบและแตกหักง่ายขึ้นเพราะความยืดหยุ่นตัวลดลง (Wood 1987). ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันนัลกรุ๊ปเมื่อเกิดการสลายตัวด้วยวิธี FT-IR สเปกตรัมที่ได้ไม่ชัดเจนพอเนื่องจากพอลิยูรีเทนเปลี่ยนเป็นสีดำ ทำให้การดูดกลืนแสงอินฟราเรดลดลง อีกทั้งระยะเวลาทดสอบการสลายตัวสั้น (4 วัน) ทำให้ไม่สามารถที่จะระบุได้ทั้งฟังก์ชันนัลกรุ๊ปที่ถูกสลายพันธะและที่เกิดขึ้นใหม่, แต่มีความแตกต่างของสเปกตรัมเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนที่ไม่ผ่านความร้อน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการสลายตัวของพอลิเมอร์เกิดได้หลายแบบพร้อมๆ กัน ขึ้นกับความว่องไวของฟังก์ชันนัลกรุ๊ป, สภาวะและระยะเวลาการสลายตัว. การเกิดปฏิกิริยาได้สารประกอบหรือ oligomer หลายชนิด (Ching 1993; Herman 1966), ทราบได้จากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม ผลของการสลายตัวทำให้เกิดการสูญเสียสภาพ ทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์ด้อยลงกว่าเดิม.

การวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี ให้ผลเสริมกัน พอลิยูรีเทนที่ผลิตจากน้ำมันเหลือใช้จึงมีความเป็นไปได้ในการสลายตัวด้วยความร้อน.

ตารางที่ 4. แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนเมื่อทดสอบการสลายตัวด้วยความร้อน

สภาวะการทดสอบ	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (shore D)
สภาวะปกติ	30.48	7	57
อุณหภูมิ 170°ซ., 2 วัน	28.70	3.5	62
อุณหภูมิ 170°ซ., 4 วัน	25.17	1	59

การประเมินต้นทุนการผลิต

ในการประเมินต้นทุนการผลิตจากวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ น้ำมันเหลือใช้, PEG, MDI, PO และค่าไฟฟ้า, น้ำประปา รวมทั้งค่าแรงงาน, พอลิยูรีเทนที่ผลิตได้มีต้นทุน 27.18 บาทต่อตารางฟุต. รายละเอียดการประเมินดังภาคผนวกที่ 1 ต้นทุนดังกล่าวต่ำกว่าราคาของพอลิยูรีเทนที่จำหน่ายในประเทศซึ่งมีราคาประมาณ 400 บาทต่อตารางฟุต (ความหนา 2 มิลลิเมตร).

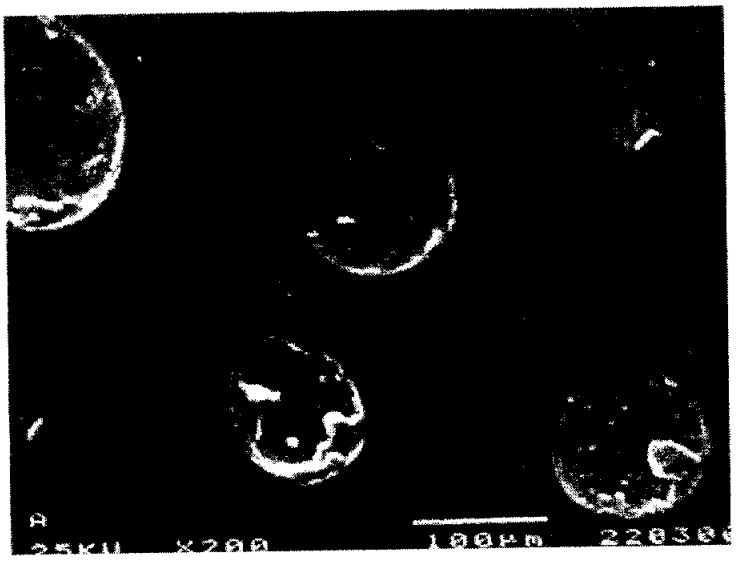
4. สรุปผลการทดลอง

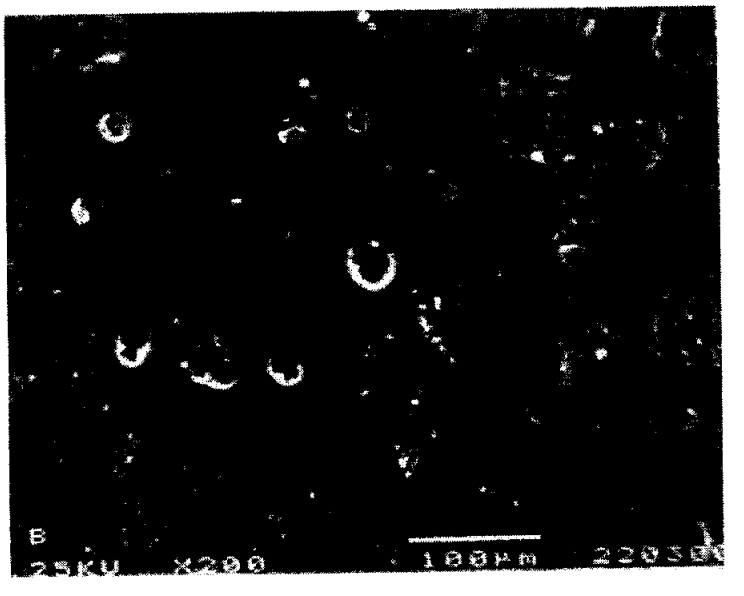
สามารถผลิตพอลิยูรีเทนชนิดเทอร์โมเซตในระดับ bench scale ที่มีคุณสมบัติของ tensile strength, elongation และ hardness ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า, โดยการผสมปริมาณน้ำมันเหลือใช้ 30 pbw, PEG 70 pbw, MDI 79.7 pbw และ 86.1 pbw (NCO/OH ratio 1.6), paraffinic oil 1.5 pbw และ 1.6 pbw.

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความสะอาดของน้ำมันเหลือใช้, น้ำหนักโมเลกุลของ polyol, สารเติมแต่ง, สภาวะการขึ้นรูปและวัสดุที่ใช้ทำแบบพิมพ์.

พอลิยูรีเทนที่ผลิตจากน้ำมันเหลือใช้สามารถสลายตัวได้โดยธรรมชาติด้วยความร้อนโดยอัตราการสลายตัวขึ้นกับปริมาณน้ำมัน, อุณหภูมิ, ออกซิเจนและความชื้น. รูพรุนที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวจะช่วยเร่งอัตราเร็วของการสลายตัว เนื่องจากออกซิเจนและความชื้น สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น.

จากการประเมินต้นทุนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก พอลิยูรีเทนจากน้ำมันเหลือใช้มีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน (ความหนา 2 มิลลิเมตร) ทั้งประเภทสำเร็จรูปและที่นำพอลิเมอร์มาผลิตเองในประเทศไทย.

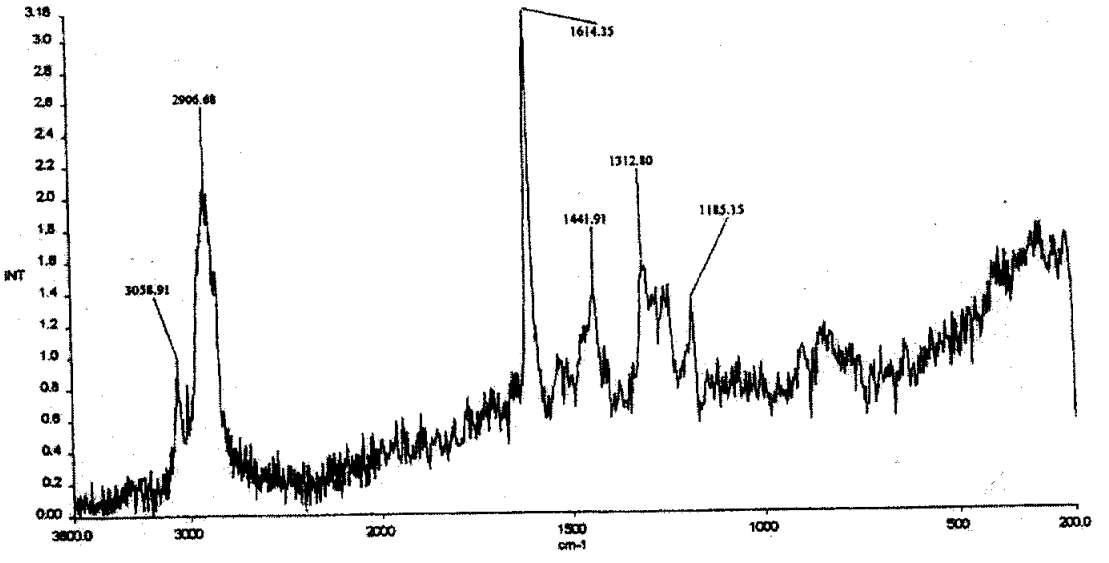




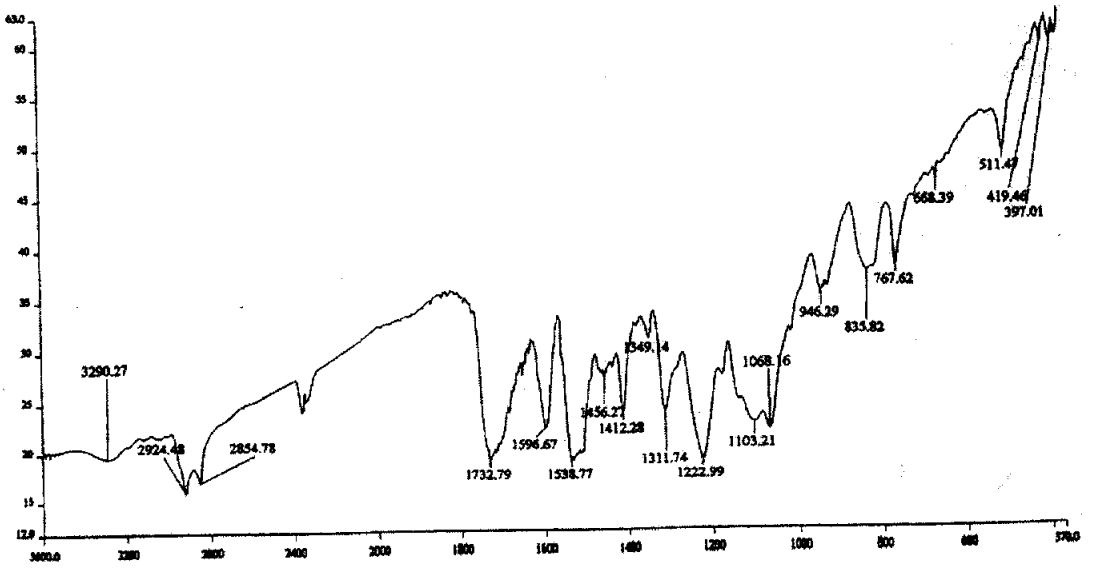
รูปที่ 4. ลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนเมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scaning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 200 เท่า.

บน) สภาวะปกติ

ล่าง) อุณหภูมิ 170 ^{o}ซ., 4 วัน



รูปที่ 5. แสดงสเปกตรัมฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิยูรีเทนที่สภาวะปกติด้วยวิธี **FT-Ramann.**



รูปที่ 6. แสดงสเปกตรัมฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของพอลิยูรีเทนเมื่อทดสอบการสลายตัวโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 °ซ. ระยะเวลา 4 วัน ด้วยวิธี **FT-IR.**

5. ข้อเสนอแนะ

1. ความสะอาดของน้ำมันเหลือใช้มีส่วนสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติ และราคาของผลิตภัณฑ์ ถ้าน้ำมันมีความสกปรกมาก (น้ำหนักโมเลกุลน้อยและ OH no. มาก) จะต้องใช้ปริมาณ MDI เพิ่มขึ้นเพื่อรักษาสมดุลของ NCO/OH ratio 1.6, และจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณ plasticizer ด้วย ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง.

2. การพัฒนาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ทำได้โดยใช้สารเติมแต่ง (additives) ขึ้นกับประเภทของการนำไปใช้งาน. การใช้ biodegradable additives จะเป็นประโยชน์ต่อการรักษาสภาพแวดล้อม แต่ต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิต.

6. เอกสารอ้างอิง

Braun, D., Saechtling, H. and Immergut, E. 1982. Simple Methods for Identification of Plastics. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.

Ching, C., Kaplan, D. and Thomas, E. 1993. Biodegradable Polymers and Packaging. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel, pp. 233-328.

Deanin, R.D., M.R. and Kapasi, V.C. 1985. Structure and Properties of Thermoplastic Polyurethane Elastomer. Elastomer. Antec' 85 pp. 1297-1299.

Hatakeyama, H., Hirose, S. and Nakamura, K. 1991. Biodegradable Polyurethanes and Manufacture. Jpn. Kokai Tokyo JP 05, 186, 556.

Herman, F.M., Norman, G.G. and Norbert, M.B. 1966. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc. Vol. 4, pp. 647-689.

Hepbum, C. 1991. Polyurethane Elastomer. 2nd ed. Elsevier Applied Science Publisher, London and New York.

Lutz, J.T. Jr. 1989. Thermoplastic Polymer Additives. Marcel Dekker, Inc., New, pp. 417-435.

Nakamura, K. and Nishimura, Y. 1993. Polyurethane foam derived from waste vegetable oil. *Kobunshi Ronbunshu. 50* (11) : 881-886.

Nakamura, K., Hatakeyama, T. and Hatakeyama, H. 1992 Thermal properties of solvolysis lignin-derived polyurethanes. *Polymers for Advanced Technologies. 3* : 151-155.

Nierzwieki, W. and Wysoaka, E. 1980. Microphase separation and properties of urethane elastomer. *J. Appl. Polym. Sci. 25* : 739-746.

Schanerte, K., Dahm, M., Diller, W. and Uhlig, K. 1985. Raw Materials in Polyurethane Handboolk. By Gunter Oretel, copyright Care Hauser, Munich Germany, pp. 42-43.

Stoeckhert, K. 1983. Mold-Making Handbook for the Plastics Engineer. Hanger Publishers, New York, pp. 139-150.

Wood, G. 1987. ICI Polyurethane Book. John Wiley & Sons Inc. New York.

ภาคผนวก

การคำนวณประมาณราคาผลิตภัณฑ์

1. ขนาดผลิตภัณฑ์ PU 1 x 1 ตารางเมตร, ความหนา 2 มิลลิเมตร

= 1 x 1 x 0.002 ม^3.

ปริมาตรแบบพิมพ์ = 0.002 ม^3.

ความหนาแน่น PU = 2,000 กก./ม^3.

ฉะนั้นน้ำหนัก PU/ม^3. = 2,000 x 0.002

= 4 กก.

2. ค่าวัสดุ : กำลังการผลิต 50 ตารางเมตร/วัน

สารเคมี	น้ำหนัก (กก.)	ราคา/กก.(บาท)	ราคา(บาท)
น้ำมันเหลือใช้	33.50	6	201
PEG	75.50	65	4,907.50
MDI	93	75	6,975
PO	1.60	30	48
	รวม		**12,131.50**

3. ค่าไฟฟ้า : ชั่วโมงทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน

3.1 ตู้อบสุญญากาศ ขนาด 5 kW/4 เครื่อง/ 8 ชม.

= 160 kWh

3.2 ตู้อบธรรมดา ขนาด 3 kW/ 2 เครื่อง/ 8 ชม.

= 48 kWh

3.3 Hot plate 3.5 kW/ 2 เครื่อง/ 8 ชม.

= 56 kWh

3.4 เครื่องกวนสาร (mixer) 0.1 kW/ 2 เครื่อง/ 8 ชม.

= 1.6 kWh

รวมพลังงานไฟฟ้า 160 + 48 + 56 + 1.6

= 265.60 kWh

ประเมินค่าไฟฟ้า : หน่วย = 5 บาท/kWh

ดังนั้นค่าไฟฟ้า = 265.60 x 5

= 1,328 บาท

4. ค่าน้ำประปา : 1.5 $ม^3$. / 8 ชม.

ประเมินค่าน้ำประปา : หน่วย = 15 บาท/$ม^3$.

= 22.50 บาท

5. ค่าแรงงาน 10 คน/ 160 บาท : คน/วัน

= 10 x 160

= 1,600 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด 12,131.50 + 1,328 + 22.50 + 1,600

= 15,082 บาท

ราคาผลิตภัณฑ์/ตรม. = 15,082/50

= 302 บาท/ตรม.

ราคาผลิตภัณฑ์/ตรฟ. = 27.18 บาท/ตรฟ. (หน่วยการตลาด)