

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การประยุกต์ใช้ทฤษฎีบทในการทำวัสดุเคลือบถึงก๊าช

ร.พ.
15447
2535

1. นางสาวชิตชนก มิตรอุปถัมภ์
2. นางสาวดารณี เล็กริง
3. นางสาวบุญฉวี ศรีหมอก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน เดือน ปี.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

612544459

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application of polyurethanes as Gas container laminating material

Miss Chidchanog Mitupathum

Miss Daranee Lekrung

Miss Boonchawee Srimok

A Special Project Submitted in partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
นักศึกษา

การประยุกต์ใช้พอลิยูรีเทนในการทำวัสดุเคลือบถังบรรจุก๊าซ
นางสาวชิตชนก มิตรอุปถัมภ์
นางสาวดารณี เล็กริง
นางสาวบุญฉวี ศรีหมอก

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

.....*ธีรวัฒน์ มงคลอัครรัตน์*.....

หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครรัตน์)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

.....*อรุณี คงศักดิ์ไพศาล*.....

ประธานกรรมการ

(ผศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

.....*อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ*.....

กรรมการ

(ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ)

.....*ศักดา ไตรศักดิ์*.....

กรรมการ

(ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้พอลิยูรีเทนในการทำวัสดุเคลือบถังบรรจุก๊าซ
นักศึกษา	นางสาวชิตชนก มีตรอุปถัมภ์ นางสาวดารณี เล็กริง นางสาวบุญฉวี ศรีหมอก
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2535

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำ IPN พอลิเมอร์ระหว่างพอลิ ยูรีเทน และ เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว(UP) และการเสริมแรงโดยเส้นใยแก้วชนิดสานและ ชนิดเส้น โดยคาดหวังว่าอาจใช้เป็นวัสดุเคลือบถังก๊าซซึ่งทำให้น้ำหนักถังลดลง และสามารถตกแต่งสีสันทให้สวยงาม ได้ ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยวิธีการปาดด้วยมือ (hand casting) 3 ระบบ คือ (1)พอลิยูรีเทนระบบ MMDI/HTPB/BDO (2)IPN พอลิเมอร์ของ พอลิยูรีเทนระบบ MMDI/HTPB/BDO กับ UP (3)IPN พอลิเมอร์ของพอลิยูรีเทนระบบ MMDI/HTPB/BDO กับUP และเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสาน และชนิดสาน จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของ IPN พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับปริมาณสารตั้งต้นในระบบและขึ้นกับปริมาณสารเสริมแรง จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติ ของ ถังก๊าซตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ซึ่งประกอบด้วย ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด พบว่าคุณสมบัติของ IPN พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ในโครงการพิเศษนี้ยังไม่พบระบบใด ที่เหมาะสม ในการนำไปทำวัสดุเคลือบถังก๊าซ โดยที่บางชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ การยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่ามาตรฐาน ถึงแม้ว่าค่ามอดูลัสจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน บางชิ้นงานที่มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด ได้มาตรฐาน แต่มีค่ามอดูลัสต่ำกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของIPN พอลิ เมอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว T_g ซึ่งประกอบด้วย T_g ของส่วนที่แข็ง ส่วนที่อ่อน และส่วนของ พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว

กิติกรรมประกาศ

ในโครงการพิเศษเรื่องการปรับปรุงสมบัติของพอลิยูรีเทนไอพีเอ็น สามารถสำเร็จลุล่วง
ไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่
ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ และ ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ที่ช่วยตรวจรายงาน
และให้คำปรึกษา

บริษัท ไทยพอลิยูรีเทน จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสารเมทิลินไดไอโซไซยา
เนตชนิดปรับปรุง, 1,4-บิวเทนไดออล และรายละเอียดของสารทั้งสองชนิด

กรมวิทยาศาสตร์ทหารอากาศที่เอื้อเฟื้อไฮดรอกซิลเทอร์มินेटพอลิบิวตะไดอิน

เจ้าหน้าที่ภาควิชาพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล และเจ้า

หน้าที่ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือ
จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาว ชิตชนก มิตรอุปถัมภ์

นางสาว ตารณี เล็กริง

นางสาว บุญฉวี ศรีหมอก

8 มีนาคม 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ และวัตถุประสงค์การนำไปใช้	9
ตารางที่ 3.1	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง	21
ตารางที่ 3.2	แสดงอัตราส่วนและเปอร์เซ็นต์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง	22
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน	26
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดสอบทางความร้อนโดย DMTA	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขบวนการผลิต MDI	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้จาก 1,6 hexanediiisocyanate กับ 1,4 butanediol	11
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิออล สายโซ่ยาวและสายโซ่สั้นกับไดไอโซไซยานเนต	12
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของส่วนที่อ่อนและส่วนที่แข็ง	12
รูปที่ 2.5 แสดงการเสีรูปร่างของพลาสติกเมื่อใส่แรงเชิงกล	13
รูปที่ 2.6 แสดงการจัดเรียงตัวของพลาสติก	13
รูปที่ 2.7 แสดงการทำ annealing	14
รูปที่ 2.8 แสดงการเกิด Sequential IPN	15
รูปที่ 2.9 แสดงการเกิด Simultaneuos IPN	15
รูปที่ 2.10 แสดงการเกิด Semi IPN	15
รูปที่ 3.1 แสดงการจัดเครื่องมือในการเตรียม IPN พอลิยูรีเทน	24
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจับชิ้นงานของเครื่อง DMTA	25
รูปที่ 4.1ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ	27
รูปที่ 4.1ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด และเปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ	28
รูปที่ 4.2ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ BDO	29
รูปที่ 4.2ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุด และเปอร์เซ็นต์ BDO	30
รูปที่ 4.3ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสและ เปอร์เซ็นต์ UP เรซิน	31
รูปที่ 4.3ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์ UP เรซิน	32
รูปที่ 4.4ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสและ เปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด	33
รูปที่ 4.4ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด	34
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและ เปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ	35
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและ เปอร์เซ็นต์ BDO	36

รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและ เปอร์เซ็นต์ UP เรซิน	37
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและ เปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด	38
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
สัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ประวัติและความเป็นมาของพอลิยูรีเทน	3
2.2 พอลิยูรีเทน	3
2.3 สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทน	4
2.4 สารเติมแต่ง	9
2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทน	11
2.6 Interpenetrating polymer network(IPN)	14
2.7 หลักการของการทดสอบคุณสมบัติและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	16
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	18
3.1 สารเคมีที่ใช้	18
3.2 วัสดุเคมีที่ใช้และเครื่องมือ	18
3.3 การดำเนินงานวิจัย	19
3.3.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นเพื่อเตรียม IPN-พอลิยูรีเทน	19
ก. การคำนวณน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้น	19
ข. การคำนวณน้ำหนักสมมูลของ MMDI	19
ค. การคำนวณน้ำหนักสมมูลของพอลิออล HTPB และ BDO	19
ง. การคำนวณค่าอัตราส่วนน้ำหนักสมมูล(r)	19
จ. การคำนวณปริมาณเรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว	19
ฉ. การคำนวณปริมาณไฟเบอร์กลาส	20
3.3.2 การเตรียมชิ้นงานโดยวิธีการปาดด้วยมือ (hand casting)	23
3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน	23
ก. การทดสอบความแข็งแรงดึง(Tensile strength)และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break)	23
ข. การทดสอบความแข็ง(Hardness)	25
ค. การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DMTA เพื่อหาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T _g)	25
3.3.4 การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยา	25
บพที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	26
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	26
4.2 ผลการทดสอบทางความร้อนเพื่อหาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว(Tg)	40
4.3 ผลการวัดอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา	42
บพที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

พอลิยูรีเทน เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง ไอโซไซยาเนตตั้งแต่สองหมู่ขึ้นไป กับพอลิโออล หรือหมู่อื่น ๆ ที่ว่องไวต่อหมู่ไอโซไซยาเนต เนื่องจาก พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นกับธรรมชาติของสารตั้งต้นและ การแยกกันของเฟส ของพอลิยูรีเทน พอลิยูรีเทนสามารถแบ่งตามคุณสมบัติได้ดังต่อไปนี้

1. โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น ส่วนใหญ่เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง TDI กับ พอลิโอเทอรพอลิโออลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลสามหมู่ พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้จะมีโครงร่างตาข่ายสามมิติ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ที่นอนและเบาะรถยนต์

2. โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ส่วนใหญ่มักเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอริก MDI กับพอลิโอเทอรที่มีหมู่ไฮดรอกซิลสองหมู่ ใช้สารพวกฟลูออโรคาร์บอนทำให้เกิดโครงสร้างโฟม นิยมใช้เป็นฉนวนสำหรับเก็บน้ำ และเครื่องเย็น เป็นต้น

3. พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ส่วนใหญ่เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง MDI กับพอลิโอเทอร หรือพอลิเอสเทอร์พอลิโออล ประกอบด้วยบล็อกโคพอลิเมอร์เป็นส่วน ๆ มีทั้งส่วนแข็งและส่วนอ่อน ได้มีการนำสารเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว มาใช้ในพอลิยูรีเทนทำให้ได้เป็นวัสดุเสริมแรง ที่มีความทนทานต่อแรงดึง และทนทานต่อการโค้งงอเพิ่มขึ้น มีน้ำหนักเบา ทำให้มีความ แข็งแรงต่อน้ำหนักเพิ่มขึ้น มีความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิสูง มีเสถียรภาพในด้านขนาด และความยาว ไม่หดตัวหรือยึดตัวง่ายโดยความร้อน

IPN (interpenetrating polymer network) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ตั้งแต่ สองชนิดขึ้นไปมารวมกัน ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีโครงร่างตาข่ายทั้งหมด หรือ บางชนิดมี โครงร่างตาข่าย แต่บางชนิดเป็นพอลิเมอร์สายตรง ซึ่งเรียกว่า semi-IPN โดยที่ระหว่างพอลิเมอร์จะไม่มีการสร้าง พันธะโควาเลนต์ต่อกัน[6]

พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ในโรงงานพิเศษนี้ จะอยู่ในรูป IPN ประกอบด้วยสองส่วนคือ พอลิยูรีเทนโครงร่างตาข่ายและพอลิเอสเทอร์โครงร่างตาข่าย

เทคนิคที่นิยมใช้ในปัจจุบันในการผลิตพอลิยูรีเทน คือ RIM (reaction injection molding) โดยนำสารตั้งต้นมาผสมกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา และอัดฉีดเข้าแม่พิมพ์ด้วยความดันสูงปฏิกิริยา

เกิดแบบภายในแม่พิมพ์อย่างรวดเร็วระยะเวลาไม่เกินห้าที่

ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันนี้การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมได้รุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ถึงกับปิโตรเลียม เหลวถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นชนิดหนึ่งในชีวิตประจำวันของทุกคนรอบครัว แต่เนื่องจากถึงกับ ทำด้วยเหล็กกล้าจึงมีน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการขนส่ง และตกแต่งให้มีสีสนเป็นที่ยอมรับได้ยาก หากสามารถนำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาทำถังก๊าซ หรือนำมาเป็นส่วนหนึ่งของถังก๊าซ จะทำให้ลด ปริมาณการใช้เหล็กกล้า โดยนำพอลิเมอร์มาเคลือบที่ผิวด้านนอกแทน ทำให้ได้ถังก๊าซ ที่มีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่ง และตกแต่งสีสนได้

วัตถุประสงค์

การทำโครงการพิเศษ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาการสังเคราะห์ IPN พอลิยูรีเทน โดยคาดหวังว่าจะนำไปประยุกต์ในการเคลือบถังก๊าศปิโตรเลียมเหลว
2. ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางด้านกายภาพของ IPN พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ในอัตราส่วนผสมต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดในการทำถังก๊าศปิโตรเลียมเหลว
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของ IPN-พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้)

วิธีดำเนินงานโดยย่อ

ขั้นแรกสังเคราะห์ IPN-พอลิยูรีเทน โดยเทคนิคการปาดด้วยมือ(hand casting) มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของสารตั้งต้นเพื่อหาอัตราส่วนที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดตามที่ต้องการ ในการสังเคราะห์จะนำ MMDI BDO HTPB และ UP มาทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 7-10 นาที และเทใส่แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 10 นาที นำ IPN-พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้มาอบเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์(curing) ในบางอัตราส่วนได้ผสมเส้นใยแก้วชนิดสั้น หรือเส้นใยแก้วชนิดสานลงไปด้วยเพื่อเป็นสารเสริมแรงใน IPN-พอลิยูรีเทน

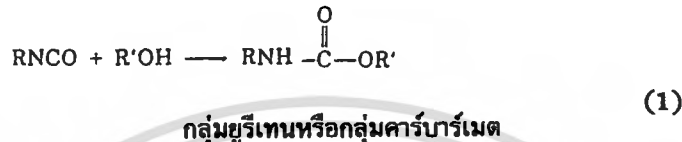
ขั้นที่สองนำพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มาทดสอบคุณสมบัติ ความทนทานต่อแรงดึง เปอร์เซนต์ การยืดตัว ความแข็ง คุณสมบัติทางความร้อนโดยศึกษาจาก DMTA อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยานำผลที่ได้ไปเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมถังก๊าศปิโตรเลียมเหลว

บทที่ 2

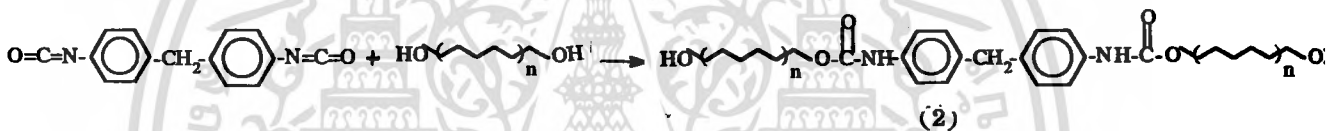
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติและความเป็นมาของพอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยานาตกับหมู่ไฮดรอกซิล(สมการ(1)) ซึ่งถูกค้นพบโดย Dr.Otto Bayer นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี พ.ศ.2460[7]



ต่อมาได้มีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันนี้สามารถเตรียมพอลิยูรีเทนได้จาก ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นระหว่าง สารที่มีหมู่ไอโซไซยานาตมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมู่ กับสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมู่ เช่น ปฏิกิริยาระหว่าง MDI กับพอลิ (โพรไพรีนออกไซด์) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายสายโซ่(hydroxyl-terminated poly(propyleneoxide))ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (โดยที่หน่วยซ้ำประมาณ 2-2000หน่วย)สมการ(2)



ในปี พ.ศ. 2474 ได้มีการตั้งโรงงานผลิต TDI โดย Dr. Bayer ในประเทศเยอรมันนี้ ในปี พ.ศ.2477 เทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตพอลิยูรีเทน ได้แพร่เข้าไปในประเทศอเมริกา ในขณะที่โฟมพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนยืดหยุ่นเริ่มเป็นที่นิยมและ ได้มีการพัฒนามาสู่วัสดุพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (โดยใช้ MDI และพอลิอีเทอร์พอลิออลเป็นสารตั้งต้น และใช้คลอโรฟลูออโรอัลเคน เป็นสารเพิ่มฟอง)ต่อมาได้มีการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนชนิดอื่น ๆ มากขึ้นตามลำดับเช่น พอลิยูรีเทน อีลาสโตเมอร์ เนื่องจากคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนที่ผลิตได้ขึ้นกับธรรมชาติของมอนอเมอร์และการแยกกันของวัฏภาค ดังนั้นจึงสามารถสังเคราะห์พอลิยูรีเทน ให้มีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์และการ ประยุกต์ใช้งานได้ โดยการใช้สารตั้งต้นที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน พอลิยูรีเทน จึงเป็นพอลิเมอร์ ที่ "ปรับแต่งได้" (tailor made)

2.2 พอลิยูรีเทน

ได้มีการนำพอลิยูรีเทนไปใช้กันอย่าง กว้างขวางทำส่วนประกอบของเรือ ยางพื้นรองเท้า เป็นโครงสร้างและส่วนประกอบของรถยนต์ โฟมพอลิยูรีเทนแข็งเป็นรูปแบบหนึ่งที่น่านำมาใช้ทำวัสดุที่เป็นฉนวน ความร้อน ส่วนโฟมพอลิยูรีเทนยืดหยุ่นจะนำไปใช้ทำเบาะรถยนต์ และวัสดุที่มีความยืดหยุ่นอื่น ๆ พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์จะนำไปใช้ทำ ส้นรองเท้า อุปกรณ์การกีฬา กันชนรถยนต์ และอื่น ๆ อีกมากมาย

พอลิยูรีเทนทุกชนิดจะได้รับการทำปฏิกิริยาระหว่างพอลิไอโซไซยานาต กับพอลิออล ซึ่งเป็นสารตั้งต้น(precursor)ประเภทพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ที่ปลายโมเลกุล การเตรียมพอลิยูรีเทนให้มีคุณสมบัติต่างๆ ต้องคำนึงถึงชนิดของไอโซไซยานาต น้ำหนักโมเลกุล และ ค่าเฉลี่ยของหมู่ทำหน้าที่เฉพาะประเภทหมู่ไอโซไซยานาตและหมู่ไฮดรอกซิล ปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนที่ตีความจะมีตัวเร่งปฏิกิริยา มีระยะเวลาการทำปฏิกิริยาสั้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการเพื่อการประยุกต์ ใช้งานที่เหมาะสม สามารถแบ่งพอลิยูรีเทนออกเป็น ชนิดใหญ่ ๆ ได้ 3 ชนิดได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น (flexible polyurethane foam)

โฟมยืดหยุ่นส่วนใหญ่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง Tolyene isocyanate:TDI และพอลิอีเทอร์พอลิออลที่มีหมู่ทำหน้าที่เฉพาะสามหมู่ทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นร่างตาข่ายสามมิติ ลักษณะของโฟมยืดหยุ่นเกิดขึ้นโดยการถูกเป่าด้วยน้ำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนต จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซซึ่งทำให้เกิดฟองเป็นโครงสร้างโฟมที่มีช่องอากาศแบบเปิด(open cell) บางทีก็มีการเติมสารฟลูออโรคาร์บอนและเมธิลีนคลอไรด์เข้าไปเพื่อให้มันนุ่มและลดความหนาแน่น โฟมชนิดนี้มีการนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์และที่นอน (47%) การขนส่ง (28.5%) ที่รองพื้นพรม บรรจุกัมภ์

2) โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (Rigid polyurethane foam)

โฟมชนิดแข็งส่วนใหญ่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate:PMDI กับพอลิอีเทอร์พอลิออลที่มีหมู่ทำหน้าที่เฉพาะสองหมู่ หมู่ไอโซไซยาเนต มักมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.7 บางครั้งพอลิออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่มีจำนวนหมู่ทำหน้าที่เฉพาะสูงจะถูกนำมาผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยใช้เป็นสารเชื่อมส่วนที่โซ่ของโมเลกุลสั้น โฟมแข็งได้จากการเป่าสารฟลูออโรคาร์บอนทำให้เกิดช่องอากาศแบบปิด(Closed cell foam) ซึ่งใช้เป็นขนวนที่ดีมากและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอาคารและสิ่งก่อสร้าง(56%) การขนส่ง(12%) เฟอร์นิเจอร์และบรรจุกัมภ์

3) พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Polyurethane elastomer)

พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ แยกได้เป็นพวกเทอร์โทพลาสติกและเทอร์โมเซตประกอบด้วยบล็อกพอลิเมอร์เป็นส่วน ๆ (segment block copolymer)ซึ่งมีทั้งส่วนที่แข็งและอ่อน ส่วนที่แข็งประกอบด้วยพอลิยูรีเทนที่มีจุดหลอมเหลวซึ่งได้มาจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง MDI และไกลคอลที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น เช่น เอธิลีนไกลคอล บิวเทนไดออลหรือเฮกเซนไดออล ส่วนที่อ่อนประกอบด้วยไกลคอลหมู่อ่อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง(มากกว่า1000)และที่นิยมใช้เช่นบิวเทนไดออลอะดิเพต(adipate) พอลิเตตระเมธิลีนอีเทอร์ไกลคอล (poly tetramethelene ether glycol) พอลิออกซีพริลีนไกลคอล (poly oxypropylene glycol) และพอลิคาโปรเอต (poly carproate) สำหรับไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้คือ TDI

เทคโนโลยีเกี่ยวกับการขึ้นรูปได้แก่วิธีการฉีดโดยเกิดปฏิกิริยาไปพร้อมกัน (reaction injection moulding:RIM)ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์เพื่อผลิตส่วนประกอบภายนอกของรถยนต์ทำให้เพิ่มปริมาณ การใช้พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตมากขึ้น ซึ่งพอลิเมอร์ที่กล่าวมาส่วนนี้ได้จากมอนอเมอร์เหลวที่ผสมภายใต้ความดันสูงก่อนที่จะฉีดเข้าไปในแม่แบบแล้วเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในแม่แบบ สารตั้งต้นที่ใช้ในเทคนิคนี้ เช่น MDI และไกลคอลที่มีน้ำหนัก โมเลกุลสูง การประยุกต์ใช้ในการขนส่ง(41%) เครื่องกีฬาเช่นรองเท้า เป็นต้น

2.3 สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทน

สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

2.3.1 สารที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต

2.3.2 สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น พอลิออลและสารเชื่อมโยง

2.3.1 ไอโซไซยาเนต

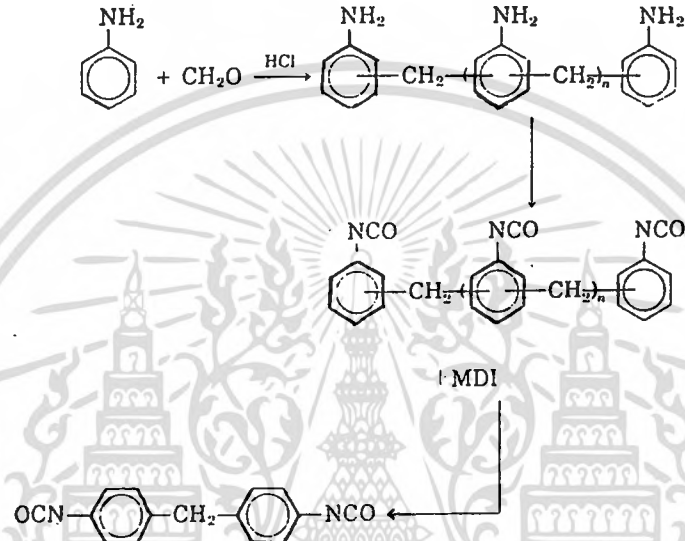
ไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนมีอยู่ 2ชนิดคือ โทไลลีนไดไอโซไซยาเนต (Tolyene diisocyanate:TDI) และ ไดไอโซไซยาเนต ไดฟีนิลมีเทน (Diisocyanato-diphenyl methane:MDI) TDI ที่ใช้โดยส่วนใหญ่เป็นไอโซเมอร์ผสมกันแบบ 2,4 และ 2,6 ในอัตราส่วน 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอาจเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 65:35 TDI จะใช้ในการผลิตโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ ส่วนในการผลิตพวกอีลาสโตเมอร์บางชนิดจะใช้ 2,4 TDI เพียงตัวเดียว[7]

MDI จะถูกนำไปใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนมากกว่า TDI และอาจมี 2,4'-MDI ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ปนอยู่บ้างในปริมาณน้อย [7]

การผลิต MDI (ดูรูปที่ 2.1) เริ่มจากปฏิกิริยาการควบแน่นของอะนิลีนและฟอร์มัลดีไฮด์ และใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้เป็นของผสมของโอลิโกเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าฟังก์ชันนัลลิตี้ประมาณ 8-10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ เรียกว่า พอลิเมอร์ค MDI(PMDI)

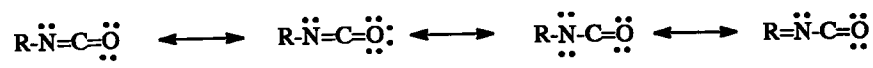


รูปที่ 2.1 แสดงขบวนการผลิต MDI

ถ้าอัตราส่วนของอะนิลีนต่อฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าสูง ๆ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดฟังก์ชันกันอล ถ้าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกต่ำ จะทำให้ได้ 2,4'-MDI มากขึ้น ใน PMDI จะมีไดไอโซไซยาเนตประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใน 50 เปอร์เซ็นต์นั้นจะประกอบด้วย 4,4'-MDI ประมาณ 90-97 เปอร์เซ็นต์ เราสามารถแยก 4,4'-MDI โดยการกลั่น PMDI เพราะ PMDI ไม่สามารถกลั่นออกมาได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นดังกล่าวข้างต้น นำมาทำการกลั่นลำดับส่วนอีกครั้ง เพื่อแยกเอาไดไอโซไซยาเนตออกมา ซึ่งจะมีปริมาณปนเปื้อนของกรดไฮโดรคลอริกในปริมาณที่ต่ำกว่า 100 ppm แต่โดยทั่วไปแล้วจะต่ำกว่า 10 ppm และปริมาณของสารปนเปื้อนต่าง ๆ สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะไม่มีปัญหาในการปนเปื้อนของไดไอโซไซยาเนตที่ได้

2.3.1.1 ปฏิกิริยาพื้นฐานของไอโซไซยาเนต

ไอโซไซยาเนตมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะกับสารพวกนิวคลีโอไฟล์โดยหมู่ไอโซไซยาเนตสามารถเกิดการเรโซแนนซ์ ดังนี้



ถ้าหมู่ R เป็นสารอะโรมาติกประจุลบสามารถเคลื่อนที่ไปยังหมู่ R ได้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอะโรมาติกไอโซไซยาเนต มีความว่องไวมากกว่าอะลิฟาติกไอโซไซยาเนต และหมู่แทนที่ในวงเบนซีน ก็มีผลต่อความว่องไวของไอโซไซยาเนตถ้าหมู่แทนที่เป็นหมู่ที่ดึงคู่อิเล็กตรอนอยู่ในตำแหน่งพาราหรือออร์โธ จะทำให้ไอโซไซยาเนตมีความว่องไวมากขึ้น แต่ถ้าหมู่แทนที่เป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอน จะทำให้ไอโซไซยาเนตมีความว่องไว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

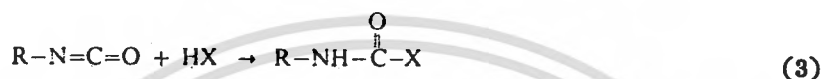
น้อยลง ตัวอย่างเช่น 2,4-TDI จะมีความว่องไวกว่า 2,6-TDI เนื่องจากมีหมู่แทนที่อยู่ในตำแหน่งพารา ในกรณีของไดหรือโพลีไอโซไซยาเนต เมื่อไอโซไซยาเนตหมู่หนึ่งทำปฏิกิริยาไป ความว่องไวของหมู่อื่นที่เหลือ จะลดลง

ปฏิกิริยาพื้นฐานของไอโซไซยาเนตแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

ก) ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าของนิวคลีโอไฟล์

1. ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าขั้นแรก

1.1 ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าโดยกรดที่สามารถให้โปรตอนเกิดเป็น อนุพันธ์ของกรดคาร์บาไมก (สมการที่ 3)

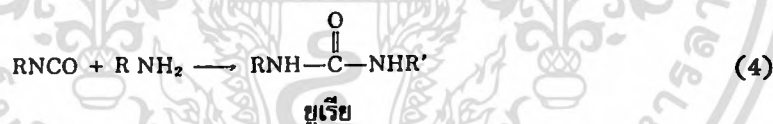


อนุพันธ์ของกรดคาร์บาไมก

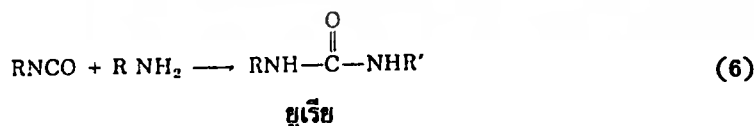
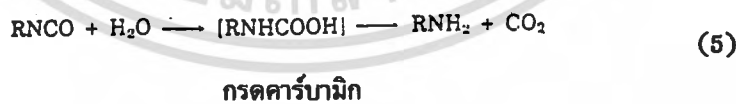
ถ้ากรดนั้นมีความเป็นนิวคลีโอไฟล์มาก ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ และปฏิกิริยาดังกล่าว สามารถผันกลับได้ที่อุณหภูมิสูง สามารถใช้คะตาลีสต์ได้ทั้งกรดหรือเบส ตัวอย่าง คะตาลีสต์ที่เป็นกรด เช่น เกลือของกรด ตัวอย่างคะตาลีสต์ที่เป็นเบส เช่น เอมีนตติยภูมิ และสามารถใส่สารประกอบของโลหะ เช่น เกลือของสังกะสี ตะกั่วหรือเหล็กเป็นตัวช่วย การเร่งปฏิกิริยาก็ได้

1.2 ปฏิกิริยาการเพิ่มของสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ภายใต้สภาวะ ปานกลางทำปฏิกิริยาได้เป็นกรดคาร์บาไมกแอซิดเอสเทอร์ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเรียง ลำดับดังนี้ อัลกอฮอล์ปฐมภูมิ > อัลกอฮอล์ทุติยภูมิ > ฟีนอล

1.3 ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าของเอมีน เช่น แอมโมเนีย ไฮดราซีน ซึ่งสาร ประกอบประเภทนี้มีความเป็นนิวคลีโอไฟล์มากกว่าสองชนิดแรก จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วได้เป็นยูเรีย (สมการที่ 4)

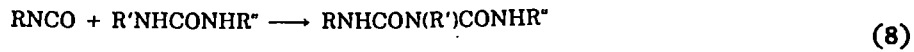


ปฏิกิริยาสำคัญอีกปฏิกิริยาหนึ่ง คือ ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำซึ่งเป็นปฏิกิริยาสำคัญในการเตรียม พอลิยูรีเทนโฟมแต่ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงคือ กรดคาร์บาไมก สามารถสลายตัวได้ยูเรีย และคาร์บอนไดออกไซด์สมการ (5)และ(6)ทำให้พอลิยูรีเทนที่ได้ไม่บริสุทธิ์



2. ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าขั้นที่สอง ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสาขา พอลิยูรีเทนและพอลิยูเรีย สามารถทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตได้ในสภาวะที่รุนแรง ดังสมการที่(7)และ(8)ตามลำดับ



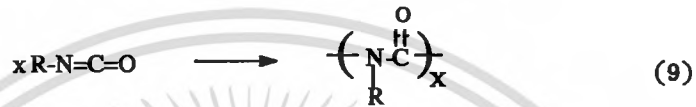


ไบยูเรต

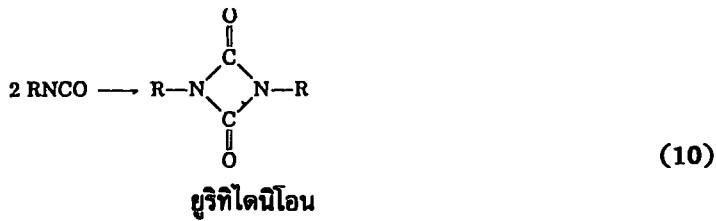
โดยปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส

ข) ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าโดยตัวเองเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของไอโซไซยานเนต

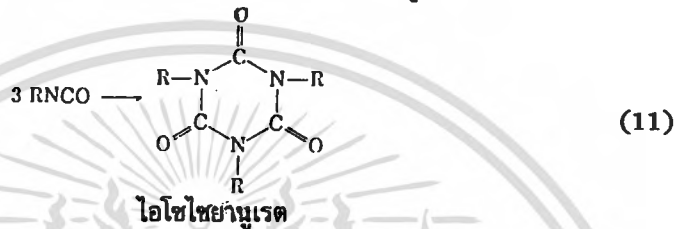
1. การพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเส้นตรงของโมโนไอโซไซยานเนตสมการที่(9) เกิดปฏิกิริยาได้ดีในสารละลายประเภทมีซีว เช่น DMF โดยใช้โลหะหมู่หนึ่งเป็นคะตาลีสต์ ได้พอลิเอไมด์ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ค่อยเสถียรจึงไม่ได้รับความสนใจ[16]



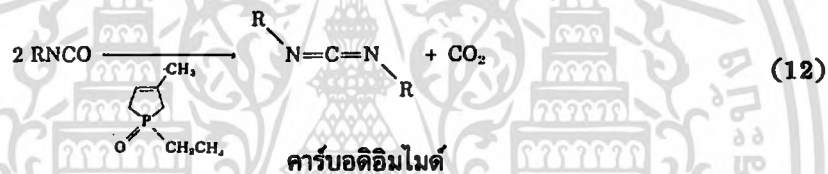
2. ไตรเมอร์ไรเซชันของไอโซไซยาเนตสมการที่(10) ได้เป็นยูริทิดิโคนซึ่งไม่ค่อยเสถียร [16]



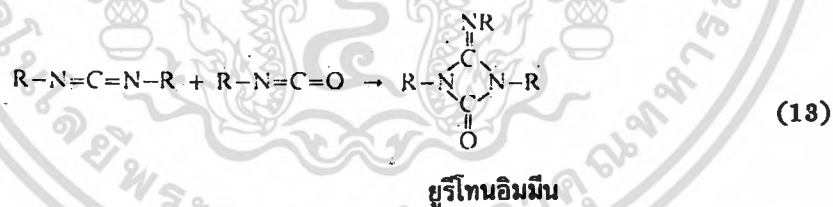
3. ไตรเมอร์ไรเซชันของไอโซไซยาเนตสมการที่(11)ใช้เบสแก่เป็นคะตาลีส ได้ไอโซไซยานูเรตที่เสถียรมาก ในกรณีที่ใช้พอลิไอโซไซยาเนตจะได้พอลิไอโซไซยานูเรต ที่มีสาขา[16]



4. การเกิดคาร์บอนไดอิมไมด์สมการที่(12) ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นสารประกอบฟอสฟอรัสถ้าไม่ใช่คะตาลีส ปฏิกิริยาจะเกิดที่ อุณหภูมิสูง[16]



ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดอิมไมด์กับไอโซไซยาเนตที่มากเกินไปจะได้ยูริโทนิมอินสมการที่ (13) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการปรับปรุงคุณภาพของไอโซไซยาเนต คาร์บอนไดอิมไมด์บางตัวสามารถใช้เป็นสารเสริมเสถียรภาพป้องกันการไฮโดรไลซ์ของพอลิยูรีเทน[16]

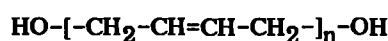


2.3.1.2 พอลิออล

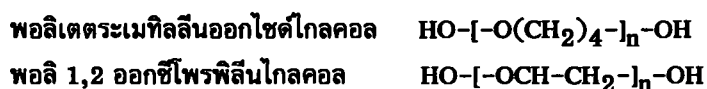
เป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทน คือ ถ้าพอลิออลที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ(มีสายโซ่สั้น) เช่น เอทิลีนไกลคอล หรือ 1,4 บิวทาไดอีนไดออล ทำให้ได้ พอลิยูรีเทนที่แข็ง เพราะมีความเข้มข้นของหมู่ยูรีเทนสายโซ่พอลิเมอร์สูง แต่ถ้าใช้พอลิออล ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (มีสายโซ่ยาวขึ้น) ทำให้ได้พอลิยูรีเทนที่มีความอ่อนและมีความยืดหยุ่นสูง และถ้าพอลิออลที่มีหมู่ทำหน้าที่เฉพาะสูง ๆ ประมาณ 3-12 จะทำให้ได้พอลิยูรีเทนที่มีโครง รังตาข่าย [16]

ชนิดของพอลิออล เช่น

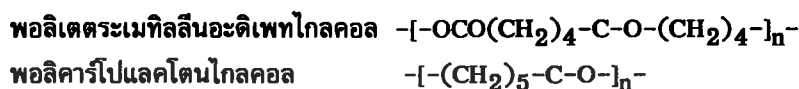
1) พอลิไฮโดรคาร์บอนไกลคอล เช่น พอลิบิวทาไดอีนไกลคอล ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในโครงการพิเศษ มีสูตรโมเลกุลดังนี้



2) พอลิอีเทอร์ไกลคอล เช่น



3) พอลิเอสเทอร์ไกลคอล เช่น



2.4 สารเติมแต่ง

เป็นสารเคมีที่ช่วยในการควบคุมปฏิกิริยาและปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ สารเติมแต่งเหล่านี้ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวขยายสายโซ่(Chain extender) สารเชื่อมโยง สารลดแรงตึงผิว สารป้องกันการติดไฟ สารให้สี และสารตัวเติม[5]

ตารางที่ 2.1 สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ และวัตถุประสงค์ในการนำไปประยุกต์ใช้

สารเติมแต่ง	ชนิดของสาร	วัตถุประสงค์
ตัวเร่งปฏิกิริยา	เอมีนตติยภูมิ สารประกอบออร์แกน- โนเมททาลิก	ช่วยเร่งปฏิกิริยาของไอโซไซยาเนต และพอลิออล
สารเชื่อมโยง ตัวขยายสายโซ่	พอลิออล พอลิเอมีน	ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อม โยงหรือทำให้เกิดส่วนที่แข็งในพอลิ เมอร์
สารให้ฟอง	น้ำ(เกิดปฏิกิริยากับไอ โซไซยาเนตได้ก๊าซคาร์ บอนไดออกไซด์)คลอ โรฟลูออโรมีเทน	เพื่อผลิตโฟมพอลิยูรีเทน
สารลดแรงตึงผิว	ซิลิโคนชนิดเหลว	ช่วยในขบวนการเกิดโฟม
สารให้สี	พิกเมนต์ คาร์บอนแบล็ค	ช่วยในการแบ่งเกรดโฟม
สารตัวเติม	สารอนินทรีย์เส้นใยแก้ว	ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติ(เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง)
สารป้องกันการติดไฟ	ฟอสฟอรัส สารที่มีธาตุหมู่เจ็ดอยู่ใน โมเลกุล	เพื่อลดความสามารถในการติดไฟ

2.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการใช้กันได้แก่ อะลิฟาติกเอมีน เอมีนตติยภูมิ และสารประกอบออร์แกนโนเมททอลิก โดยเฉพาะสารประกอบติบุก

ก)เอมีนตติยภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มากในการผลิตพอลิยูรีเทนชนิดโฟม กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้เอมีนตติยภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดจากการให้อิเล็กตรอนจากไนโตรเจนไปยังหมู่คาร์บอนิลคาร์บอนของเอกลำดับเป็นเอกลำดับหนึ่งเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเสร็จรับเงินด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ไอโซไซยานเนตเกิดเป็นสารประกอบมัลติยพันธ์ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอมีนตติยภูมิ ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างโมเลกุลและความเป็นเบสของเอมีนตติยภูมิ ถ้าความเป็นเบสเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การเร่งปฏิกิริยาเกิด ได้ดีขึ้นแต่ถ้าโครงสร้างโมเลกุลของเอมีนตติยภูมิมีความกะจะ จะทำให้ประสิทธิภาพในการ เร่งปฏิกิริยาน้อยลง

ข) ออร์แกนอเมททอลลิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยายูรีเทนโดยจะเกิด เป็นสาร ประกอบมัลติยพันธ์กับหมู่ไอโซไซยานเนตและหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิออล

2.4.2 สารเชื่อมโยงและตัวขยายสายโซ่

สารพวกนี้ได้แก่ พอลิออลหรือพอลิเอมีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ตัวขยายสายโซ่จะมีหมู่ ทำหน้าที่เฉพาะ หมู่โดฟังก์ชันนอล ได้แก่ ไกลคอล ไดเอมีน ส่วนสารเชื่อมโยงจะมีค่าฟังก์ชันนอลลิตีเท่ากับ 3 หรือมากกว่าก็ได้

ตัวขยายสายโซ่จะใช้ในพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น เมื่อทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานเนต ทำให้ได้พอลิยูรีเทนส่วนซึ่งมีผลทำให้ค่ามอดูลัสและอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g)สูงขึ้น ส่วนสาร เชื่อมโยงจะใช้เพื่อเพิ่มพันธะโควาเลนต์ในพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

2.4.3 สารตัวเติม [13]

สารตัวเติมมักใช้เพื่อเป็นสารเสริมแรง(reinforcement)และสามารถแบ่งสารเสริม แรงได้ตาม รูปร่างลักษณะ ได้แก่

ประเภทที่เป็นเส้นใย เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน

ประเภทที่มีลักษณะเป็นผง เช่น แคลเซียม เกลิน

ประเภทที่มีลักษณะเป็นแผ่นชิ้นเล็ก ๆ เช่น ไมกา

แต่ที่น่าสนใจจะเป็นประเภทเส้นใยซึ่งมีหลายชนิด เส้นใยที่นิยมมาใช้งานในด้านต่าง ๆ มี 3 ประเภทหลัก คือ อะรามิด เส้นใยคาร์บอน(carbon fibre) เส้นใยแก้ว(glass fibre)

นอกจากนี้สามารถแบ่งเส้นใยตามรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในงานเสริมแรง ได้แก่

ก. เส้นใยสั้น (chopped strand) มีความยาวประมาณ 1/8-1/2 นิ้ว นำมาใช้ในการรีด การฉีด (injection) ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยสั้นก็มีในตัวถังรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เครื่องใช้สำนักงาน และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ข. เส้นใยปั่น (milled fibre) มีความยาวค่อนข้างสั้นคือ ตั้งแต่ 1/32-1/4 นิ้วใช้ได้ทั้งใน เทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก การใช้งานในเทอร์โมพลาสติกจะใช้ในการฉีด(injection)ส่วนในเทอร์โมเซตจะ ผสมเพื่อใช้ในการปาด(casting) หรือว่าขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด(compression molding)

ค. เส้นใยยาว (continuous roving) เป็นเส้นใยยาวที่มีความต่อเนื่อง ในการผลิตชิ้นงาน จะใช้วิธีการพัน(filament winding) การพ่น(spray-up) ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยยาว ก็คือ การผลิตท่อ ถัง เสาไฟฟ้า แกนปีกเครื่องบิน

ง. เส้นใยเสริมแรงประเภทเสื่อ(chopped strand mat)ใช้ในระบบเทอร์โมเซต เส้นใยนี้มีความแข็งแรง จึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมามีความแข็งแรง นำมาใช้ในการกรรมวิธีการผลิตที่เรียกว่าHand lay-up

จ. เส้นใยสาน (woven roving) เส้นใยสานนี้สามารถให้ปริมาณของเส้นใยแก้วในพลาสติกค่อนข้างสูง และสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ได้มาก การใช้เส้นใยนี้เน้นอยู่ที่ว่าผลิตภัณฑ์ต้องการความ แข็งแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ. สิ่งทอ (woven fabric) การใช้สิ่งทอที่ทำด้วยเส้นใยแก้วนั้นจะให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์นั้น ในโครงการพิเศษนี้จะใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงจึงจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของเส้นใยแก้วโดยเฉพาะต่อไป

ข. เส้นใยแก้ว (Glass fibre) เส้นใยแก้วผลิตขึ้นจากการหลอมเหลวเม็ดแก้วในด้วยเพลดินัมในเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงถึง 1300-1400 °C เส้นใยแก้วจะไหลออกมาจากรูของกันด้วยและถูกยึดโดยการดึงด้วยความเร็วสูง หลังจากการดึงเส้นใยจะถูกนำไปผ่านสารหล่อลื่นเพื่อป้องกันการเสียดสีซึ่งเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยแก้วต่ำลง

เส้นใยแก้วมีหลายชนิด ได้แก่

1. เส้นใยแก้วชนิด E (Electrical) เส้นใยแก้วชนิดนี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี และมีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมดี แต่มีความต้านทานต่อสารเคมีต่ำ เส้นใยชนิดนี้เป็นเส้นใยที่มีอัลคาไลน์โบโรซิลิเกตต่ำ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยทั่วไป เพราะมีคุณสมบัติในหลาย ๆ ด้านและมีราคาถูก

2. เส้นใยแก้วชนิด A (Alkali) เส้นใยแก้วชนิดนี้มีปริมาณอัลคาไลน์ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และใช้กับงานที่ต้องการความต้านทานต่อสารเคมีได้ดี

3. เส้นใยแก้วชนิด S (Strong) เส้นใยแก้วชนิดนี้ทำการผลิตที่อุณหภูมิสูงมาก ซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงมาก และเหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เมื่อเติมเส้นใยแก้วลงไปวัสดุแล้วทำให้วัสดุมีความแข็งแรงดึง ความเหนียว ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนทานต่อการล้า ที่เพิ่มขึ้น [13]

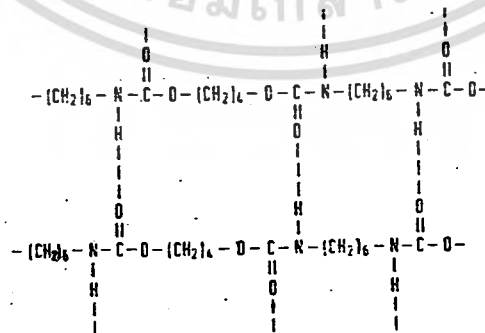
2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทน[16]

คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนขึ้นกับ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความยาวของสายโซ่ความแข็งแรงของสายโซ่องศาของการเชื่อมโย

2. โครงสร้างทุติยภูมิ เช่นการจัดเรียงตัวของวิภาคสามารถแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ กรณีไม่มีการแบ่งแยกของ วิภาคและกรณีมีการแบ่งแยกของ วิภาค

2.5.1. กรณีไม่มีการแบ่งแยกของวิภาค พอลิยูรีเทนชนิดนี้เตรียมโดยใช้พอลิออลเพียงชนิดเดียว เช่นพอลิยูรีเทนที่มีโครงสร้างผลึกที่เตรียมจาก 1,6- เฮกเซนไดโอดีไฮโดรเจนกับ 1,4-บิวเทนไดออล เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไนโตรเจนกับคาร์บอน ดังรูปที่ 2.2 ทำให้มีความแข็งแรงและแข็งแรงและมีความสามารถในการละลายต่ำ



--- พันธะไฮโดรเจน

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้จาก 1,6เฮกเซนไดโอดีไฮโดรเจน กับ 1,4บิวเทนไดออล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิยูรีเทนอสันฐาน เตรียมจาก TDI กับ พอลิออลที่มีสายโซ่ยาว เมื่อทำการวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟคโตมิเตอร์ ทำให้ทราบว่าโครงสร้างเป็นแบบ อสันฐานและไม่มีการแบ่งแยกของวัฏภาค คุณสมบัติจะขึ้นกับโครงสร้างปฐมภูมิเท่านั้น โดยเฉพาะโครงสร้างทางเคมีและความยาวของสายโซ่พอลิออล

2.5.2. กรณีมีการแบ่งแยกของวัฏภาค โดยเตรียมจากพอลิออลตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่มีความยาวของสายโซ่และมวลโมเลกุลต่างกัน ทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานตเพียงชนิดเดียว พอลิยูรีเทนที่ได้จะมีทั้งส่วนที่แข็งและส่วนที่อ่อน คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนที่ได้จะขึ้นกับโครงสร้างปฐมภูมิและโครงสร้างทุติยภูมิ

ส่วนที่แข็งและส่วนที่อ่อนของพอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก 1 กรัมสมมูลของพอลิออลที่มีสายโซ่ยาว 1 กรัมสมมูลของพอลิออลที่มีสายโซ่สั้น กับ 2 กรัมสมมูลของไดไอโซไซยานต จะได้โครงสร้างดังรูปที่ 2.3 พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้จะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่แข็งซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตกับพอลิออลที่มีความยาวสายโซ่สั้นทำให้มีคุณสมบัติแข็งแต่เพราะเนื่องจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นไปได้ยาก และส่วนที่อ่อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตกับพอลิออลสายโซ่ยาวจะแสดงคุณสมบัติการไหลแบบพลาสติก มีความสามารถในการเลี้ยวรูปสูง



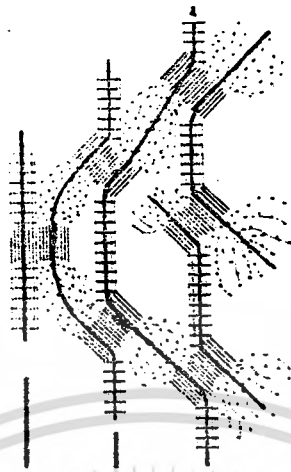
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิยูรีเทน



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของส่วนที่อ่อนและส่วนที่แข็ง

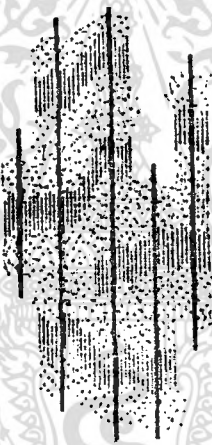
องศาของการแยกกันของส่วนที่แข็งและส่วนที่อ่อนขึ้นความแตกต่างระหว่างหัวของพอลิออลเช่นกรณียของยูเรีย ซึ่งในส่วนที่แข็งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตกับไดเอมีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำหรือน้ำที่มีความเป็นขั้วสูงกว่าพอลิออลในกรณียของพอลิยูรีเทน ทำให้พอลิยูเรียมีการแยกกันของวัฏภาคมากกว่าพอลิยูรีเทน ผลของส่วนที่แข็งที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน

เมื่อใส่แรงเชิงกลให้กับพอลิยูรีเทนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการจัดเรียงตัวของโมเลกุล โครงสร้างภายในของส่วนที่แข็งจะเกิดการเคลื่อนไหวซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ด้วย การใส่แรงเชิงกลดังกล่าวทำให้เกิดการเลี้ยวรูปของพลาสติก การอ่อนตัวดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเสียรูปของพลาสติกเมื่อใส่แรงเชิงกล

ในกระบวนการนี้พันธะไฮโดรเจนจะเกิดการสลายและสร้างพันธะใหม่ที่เสถียรยิ่งขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง คือ มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้นในทิศทางที่แรงกระทำ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการจัดเรียงตัวของพลาสติก

โดยช่วงการหลอมเหลวของส่วนที่แข็งจะเป็นตัวกำหนดความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์เทนเมื่อความยาวของส่วนที่แข็งเพิ่มขึ้นช่วงการหลอมและ T_g เหลวจะสูงขึ้น พอลิเมอร์ที่เตรียมจากพอลิโอลตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปช่วงการหลอมเหลวของพอลิเมอร์เทนจะต่ำและกว้างขึ้นเนื่องจากความเข้ากันไม่ได้ของพอลิโอลทั้งสอง

ผลของส่วนที่อ่อนที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อน

การเคลื่อนไหวได้ง่ายของสายโซ่ในส่วนที่อ่อนเป็นผลทำให้พอลิเมอร์สามารถโค้งงอ

ได้ดีที่อุณหภูมิต่ำมีความทนทานต่อแรงกระแทก

การเคลื่อนไหวของสายโซ่ดังกล่าวขึ้นกับธรรมชาติทางเคมีและความยาวของสายโซ่ของส่วนที่อ่อน

ส่วนที่อ่อนควรมีลักษณะเป็นอสัณฐานและมีอุณหภูมิ

การแข็งตัวคล้ายแก้วต่ำ ๆ

มวลโมเลกุลประมาณ 1500-4000

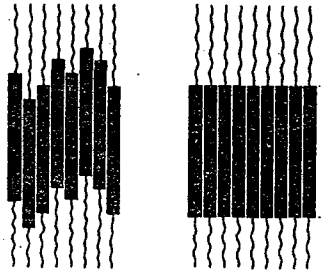
อุณหภูมิที่ขอบเขตต่ำสุด

ของอุณหภูมิในการแข็งตัวคล้ายแก้ว Freezing Temperature (T_E) ของฮิสทอแกรม

จะสูงกว่าพอลิโอลที่ใช้ประมาณ 20-30 °ซ พอลิเมอร์ที่มีส่วนที่แข็งมากกว่า 50% การเคลื่อนไหว

ของส่วนที่อ่อนจะถูกจำกัดให้ลดลง ทำให้มีความสามารถโค้งงอที่อุณหภูมิต่ำได้ลดลง ซึ่งสามารถ

แก้ปัญหาได้โดยการกระทำทางความร้อน (annealing) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการทำกระทำทางความร้อน

2.6 Interpenetrating polymer network (IPN)

IPN หมายถึง ระบบวัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปรวมเข้าด้วยกันด้วยแรงทางเชิงกล โดยพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะไม่มีแรงทางเคมีต่อการรวมในสถานะของเหลว เช่น การหลอมเหลว (melt) สารละลาย (solution) หรือ การกระจาย ตัว (dispersion)

การนำพอลิเมอร์มากกว่า 1 ชนิดมารวมกัน เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อสารเคมีคุณสมบัติที่ได้นั้นขึ้นกับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ และวิธีในการรวมพอลิเมอร์เข้าด้วยกัน หลังจากการรวมกันของพอลิเมอร์ แบบเชิงกล (mechanical blend)) ผลลัพธ์ที่ได้จะมีวิฤภาคที่ต่างกันหรือแยกกัน องค์การแยกกันของวิฤภาคขึ้นกับการเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ ถ้าพอลิเมอร์มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีวิฤภาคแยกกัน แต่ถ้าพอลิเมอร์มีความสามารถในการเข้ากันได้สูงจะเกิดการพันกันอย่างถาวร (permanent entanglement) ระหว่างพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความยืดหยุ่นน้อยลง เนื่องจากพันธะโควาเลนต์จะไปขัดขวางการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ในการรวมกันของพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายที่มีคุณสมบัติที่ต่างกัน[16]

IPN เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ได้มีการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับ IPN เป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ และต่อมาได้มีการจดสิทธิบัตรที่สหรัฐอเมริกา IPN เป็นที่รู้จักครั้งแรกในการศึกษาเกี่ยวกับไฮโม่ IPN ซึ่งพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายทั้งคู่เป็นส่วนประกอบของพอลิ สไตรีน กับ ไทโวนิลเบนซิน

สามารถแบ่งชนิดของ IPN ได้ทั่ว ๆ ไปดังนี้

1) IPN แบบเต็ม(Full IPN)

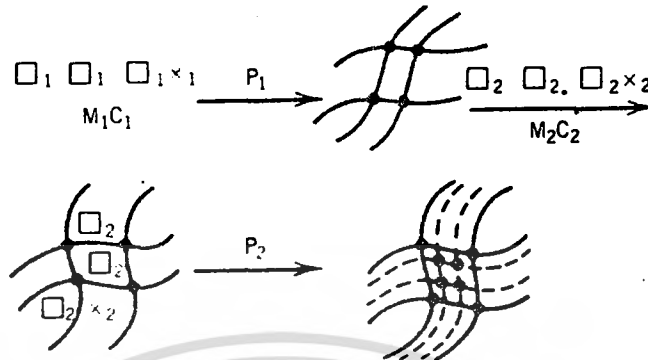
คือ วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยที่พอลิเมอร์แต่ละชนิดจะไม่มีโครงสร้างตาข่ายระหว่างกัน

2) IPN แบบอนุกรม(Sequential IPN:SIPN)

คือ วัสดุที่ได้จากการเตรียมพอลิเมอร์ที่ละตัวตามลำดับ โดยเริ่มจากนำมอนอเมอร์ตัวที่หนึ่ง สารเชื่อมโยง ตัวริเริ่ม มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ได้เป็นพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่าย ตัวที่หนึ่ง และนำพอลิเมอร์ดังกล่าวมาทำให้บวม (swell) ในมอนอเมอร์ตัวที่สองซึ่งมีสารเชื่อมโยงและ ตัวริเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมอยู่แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ได้เป็นพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายตัวที่สองซึ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 2.8

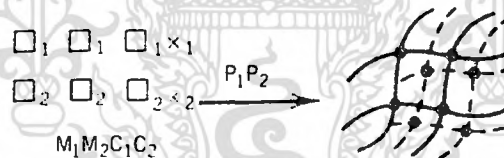


รูปที่ 2.8 Sequential IPN

IPN ชนิดนี้นิยมใช้ในการเตรียมพอลิเอไครเลตกับพอลิสไตรีน หรือ สไตรีนบิวตะไดอิน กับพอลิสไตรีน

3) IPN แบบพร้อมกัน (Simultaneous IPN: SIN)

คือ วัสดุที่ได้จากการเตรียมเป็นพอลิเมอร์พร้อม ๆ กัน เริ่มด้วยมอนอเมอร์ หรือ พรีพอลิเมอร์สายตรงทั้งหมด ผสมกับ สารเชื่อมโยง และ ตัวริเริ่ม โดยที่แต่ละมอนอเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพอลิเมอร์โครงร่างตาข่าย โดยจะไม่เกิดโครงร่างตาข่ายระหว่างพอลิเมอร์แต่ละตัว เนื่องจากใช้สภาวะในการพอลิเมอไรเซชันต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Simultaneous IPN

IPN ชนิดนี้นิยมใช้ในการเตรียม พอลิยูรีเทน เช่น พอลิยูรีเทนกับพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อึดตัว

4) IPN แบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic IPN)

คือ วัสดุที่เตรียมขึ้นจากพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยที่พอลิเมอร์เหล่านั้นเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก

5) IPN แบบกึ่ง IPN (Semi IPN)

คือ วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกมีโครงร่างตาข่าย ส่วนที่สองเป็นพอลิเมอร์สายตรง แสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดง Semi IPN

2.7 หลักการของการทดสอบคุณสมบัติและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ.จุดขาด (%Elongation at break) โดยใช้เครื่อง Tensile testing machine ความแข็ง (Hardness) โดยใช้เครื่อง Durometer shore d และการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนเพื่อหาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) โดยใช้เครื่อง DMTA นอกจากนี้ยังได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

2.7.1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ.จุดขาด (% Elongation at break) สมบัติในการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์สามารถรายงานในรูปแบบของค่ามอดูลัส (modulus: E) โดยที่ค่า E คืออัตราส่วนระหว่างความเค้น (Stress: σ) ต่อความเครียด (Strain: γ) เมื่อความเค้นรายงานในรูปแบบของความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และความเครียดรายงานในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ.จุดขาด (% elongation at break) ดังนี้

$$E = \text{ความแข็งแรงดึง (กก./มม.}^2\text{)} / \text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ.จุดขาด}$$

$$\text{โดยที่ ความแข็งแรงดึง} = \text{แรงที่ใช้ (กก.)} / \text{พื้นที่หน้าตัด (มม.}^2\text{)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ.จุดขาด} = \frac{\text{ความยาวเมื่อยืดออก} - \text{ความยาวเริ่มต้น}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}} \times 100$$

2.7.2. ความแข็ง (Hardness)

การวัดความแข็งของพอลิเมอร์โดยเครื่อง Durometer สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามชนิดของพอลิเมอร์ ดังนี้

พอลิเมอร์ประเภทยาง ใช้ชอร์ A (shore A)

พอลิเมอร์ประเภทโฟม ใช้ชอร์ C (shore C)

พอลิเมอร์ประเภทพลาสติก ใช้ชอร์ D (shore D)

ในโครงการพิเศษนี้ใช้ชอร์ D ในการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่เตรียมได้

2.7.3. การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DMTA เพื่อหาค่า T_g DMTA เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง โดยแรงกระทำมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไซน์ (sinusoidal curve) ที่มีความถี่คงที่ที่ค่าหนึ่ง ทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 1 รอบต่อวินาทีและนอกจากนี้ยังต้องมีเงื่อนไขอีกอย่างหนึ่งคือพอลิเมอร์ถูกกระทำภายใต้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เมื่อมีการให้แรงแก่พอลิเมอร์แบบไซน์จะส่งผลต่อความเครียดของพอลิเมอร์เป็นแบบไซน์ แต่ต่างกันว่าเฟสของเส้นโค้งความเค้นจะมากกว่าเฟสของเส้นโค้งความเครียดเรียกค่า ตรงนี้ว่า phase angle : δ ค่านี้จะสัมพันธ์กับการรายงานผลซึ่งรายงานในรูปแบบของค่า loss tangent ($\tan \delta$) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสสะสมของพอลิเมอร์ (storage modulus: E') กับค่ามอดูลัสที่สูญเสียไป (loss modulus: E'') ดังนี้

$$\tan \delta = E'' / E'$$

และที่ค่า $\tan \delta$ สูงสุดจะสามารถหาค่า T_g ได้

การหาค่า E', E'' จากความสัมพันธ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E^* = E' + iE'' = (E'^2 + E''^2)^{1/2}$$

E^* คือค่ามอดุลัสเชิงซ้อนของพอลิเมอร์ (complex modulus)

$$i = (-1)^{1/2}$$

ค่า $\tan \delta$ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า T_g โดยที่ค่า T_g หาได้จากจุดเปลี่ยนกราฟของการพล็อตระหว่าง \tan กับความถี่หรืออุณหภูมิ

2.7.4. การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลซึ่งมีหลักการตั้งนี้คือ เมื่อนำโลหะสองชนิดมาเชื่อมปลายทั้งสองข้างและเมื่อให้ความร้อนที่ปลายข้างหนึ่งสูงกว่าอีกปลายหนึ่งจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร และจากปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นนี้สามารถวัดอุณหภูมิได้



บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้

ชื่อสารเคมี	เกรด	บริษัท
4,4'-ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต ชนิดปรับปรุง(Modified MDI:MMDI)	การค้า	ไทยพอลิยูรีเทน
ไฮดรอกซิลเทอร์มินเนต พอลิบูทาไดอิน (HTPB)	วิเคราะห์	กรมวิทยาศาสตร์ทหารอากาศ
1,4 บิวเทนไดออล 1,4 butanediol:BDO)	การค้า	ไทยพอลิยูรีเทน
ซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว unsaturated polyester-resin:UP)	การค้า	เลิศวัฒนกิจ
เส้นใยแก้วชนิดตัดและเส้นใยแก้วชนิดแผ่น		เลิศวัฒนกิจ

3.2 วัสดุเคมีที่ใช้และเครื่องมือ

- 1 เครื่องปั่นกวนเชิงกล รุ่น R 20-E บริษัท Franz KG(GmbH&co.)จำกัด
- 2 ใบพัดกวนสาร(อลูมิเนียม 4 แฉก)
- 3 เครื่องทำสุญญากาศ รุ่น Edward บริษัท สิทธิพร จำกัด
- 4 เครื่องอัดร้อนไฮดรอลิก(hot compression) รุ่น LP 20 บริษัท Lab
Tech engineering
5. เครื่องทดสอบแรงดึง tensile testing machine รุ่น instron 4301
- 6 เครื่องทดสอบความแข็งชอร์ดี (shore D) รุ่น 10.25101 บริษัท Atsfaar
- 7 แม่แบบเครื่องอัดร้อนขนาด 8*8 นิ้วหนา 2 มม.และแผ่นคั่นหนา 2 มม.
- 8 เครื่องตัดชิ้นตัวอย่าง
- 9 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น 1420 P บริษัท Sartorius
- 10 เครื่อง Dynamic mechanic thermal analyzer(DMTA) รุ่น

MK 2 บริษัท Polymer Laboratory

- 11 หม้อปฏิกริยา ขนาด 2 ลิตร บริษัท Pyrex
- 12 ไมโครมิเตอร์
- 13 ซิลิโคน ซีฟิ่ง(สารช่วยในการถอดแบบ)
- 14 กระดาษฟอยด์ แท่งแก้วคนสาร บีกเกอร์ ซ้อนตักสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นเพื่อเตรียมIPNพอลิยูรีเทน

ก) การคำนวณน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้น

น้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้น(EW_s)คำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้น(MW_s)กับจำนวนหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา(n_s)ดังนี้

$$EW_s = MW_s/n_s$$

ข) การคำนวณน้ำหนักสมมูลของ MMDI

น้ำหนักสมมูลของ MMDI (EW_{MMDI})สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของ MMDI (MW_{MMDI}) เปอร์เซนต์หมู่ไอโซไซยาเนตใน MMDI ($\%NCO$)และจำนวน ไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (n_{MMDI})ดังนี้

$$\%NCO = MW_{NCO}/MW_{MMDI}$$

โดยที่ MW_{NCO} คือน้ำหนักโมเลกุลของหมู่ไอโซไซยาเนตใน MDI และ

$$MW_{MMDI} = n_{MMDI} \cdot EW_{MMDI}$$

ดังนั้น $\%NCO = MW_{NCO}/n_{MMDI} \cdot EW_{MMDI}$

หรือ $EW_{MMDI} = MW_{NCO}/\%NCO \cdot n_{MMDI}$

ค) การคำนวณน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้นพอลิออล

น้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้นพอลิออล(EW_{OH})คำนวณจากน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้นที่มีหมู่ไฮดรอกซิลทุกชนิดซึ่งในโครงการพิเศษนี้สารตั้งต้นพอลิออลประกอบด้วยพอลิบิวตะไดอินซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายสายโซ่ทั้งสองข้าง (HTPB)และ 1-4 บิวเทนไดออล(BDO) นั่นคือ

$$EW_{OH} = EW_{HTPB} + EW_{BDO}$$

สำหรับในโครงการพิเศษนี้ อัตราส่วนของ $EW_{HTPB}:EW_{BDO}$ เท่ากับ 0.10:0.90 0.15:0.85 0.20:0.80 และ 0.25:0.75

ง) การคำนวณค่าอัตราส่วนน้ำหนักสมมูล (R)

โดยทฤษฎีน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้นพอลิไอโซไซยาเนตควรเท่ากับน้ำหนักสมมูลของสารตั้งต้นพอลิออลนั่นคือ

ปริมาณสมมูลของสารตั้งต้นพอลิไอโซไซยาเนต

$$R = \frac{\text{ปริมาณสมมูลของสารตั้งต้นพอลิไอโซไซยาเนต}}{\text{ปริมาณสมมูลของสารตั้งต้นพอลิออล}} = 1$$

ปริมาณสมมูลของสารตั้งต้นพอลิออล

โดยที่Rสามารถนิยามได้คืออัตราส่วนน้ำหนักสมมูล(Equivalentweightratio)หรืออาจเรียกว่า#สาร

อินเด็กซ์(Index)แต่ในทางปฏิบัติ R อาจอยู่ในช่วง 1-1.05 เนื่องจากเป็นไปได้ว่าสาร ตั้งต้นพอลิไอโซไซยา

เนตจำนวนหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทุติยภูมิกับกลุ่มยูรีเทน ในสายโซ่ของพอลิยูรีเทน ประกอบกับ สาร

ตั้งต้นพอลิออลอาจมีความชื้น ซึ่งสารตั้งต้นพอลิไอโซไซยาเนตอาจทำปฏิกิริยาด้วยในโครงการพิเศษนี้สารตั้งต้นพอลิไอโซไซยาเนตที่ใช้ได้แก่MMDIและสารตั้งต้นพอลิออลที่ใช้ ได้แก่ HTPB และ BDOซึ่ง ทำ หน้าที่

เป็นสารเชื่อมโยงในกรณีนี้สมการ 7 สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการ8 ได้ ดังนี้

$$R = EW_{MMDI}/\{EW_{BDO}+EW_{HTPB}\}$$

จ) การคำนวณปริมาณเรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

ปริมาณเรซินพอลิเอสเทอร์ที่ใช้สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักเรซินพอลิเอสเทอร์ (WUP)ต่อน้ำหนัก

รวมของสารตั้งต้นทุกชนิดซึ่งประกอบด้วย MMDI HTPB BDO และ UPดังนี้

$$\%UP = 100 \cdot WUP / \{WMMDI + WHTPB + WBDO + WUP\}$$

จ) การคำนวณปริมาณเส้นใยแก้ว (fiber glass)

การคำนวณสามารถคำนวณปริมาณเส้นใยแก้วที่ใช้ในการทดลองได้เช่นเดียวกับปริมาณเรซินชนิด
ไม่อิ่มตัวดังนี้

$$\%F = 100 \cdot WF / \{WMMDI + WHTPB + WBDO + WUP + WF\}$$

โดยที่ WF คือน้ำหนักของเส้นใยแก้ว



ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

สูตรที่	ปริมาณสารตั้งต้น(กรัม)					
	MMDI	BDO	HTPB	UP	เส้นใยแก้ว	
					สาน	ตัด
1	34.200	5.40	42	81.600	-	-
2	34.542	5.40	42	81.942	-	-
3	34.884	5.40	42	82.248	-	-
4	35.226	5.40	42	82.626	-	-
5	35.568	5.40	42	82.968	-	-
6	35.910	5.40	42	83.310	-	-
7	23.028	4.05	14	41.078	-	-
8	23.023	3.83	21	47.853	-	-
9	23.028	3.60	28	54.628	-	-
10	23.028	3.38	35	61.403	-	-
11	34.542	5.40	42	20.486	-	-
12	23.028	3.60	28	36.419	-	-
13	23.028	3.60	28	54.628	-	-
14	23.028	3.60	28	81.942	-	-
15	23.028	3.60	28	54.628	-	12.14
16	23.028	3.60	28	54.628	-	27.31
17	23.028	3.60	28	54.628	-	46.82
18	23.028	3.60	28	54.628	10.67	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างMMDI:BDO:HTPBและเปอร์เซ็นต์ของสารตั้งต้นที่ใช้

สูตรที่	อัตราส่วนระหว่าง MMDI:BDO:HTPB	%น้ำหนัก/น้ำหนักรวม		
		UP	เส้นใยแก้ว	
			สาน	ตัด
1	1.00:0.80:0.20	50	-	-
2	1.01:0.80:0.20	50	-	-
3	1.02:0.80:0.20	50	-	-
4	1.03:0.80:0.20	50	-	-
5	1.04:0.80:0.20	50	-	-
6	1.05:0.80:0.20	50	-	-
7	1.01:0.90:0.10	50	-	-
8	1.01:0.85:0.15	50	-	-
9	1.01:0.80:0.20	50	-	-
10	1.01:0.75:0.25	50	-	-
11	1.01:0.80:0.20	20	-	-
12	1.01:0.80:0.20	40	-	-
13	1.01:0.80:0.20	50	-	-
14	1.01:0.80:0.20	60	-	-
15	1.01:0.80:0.20	50	-	10
16	1.01:0.80:0.20	50	-	20
17	1.01:0.80:0.20	50	-	30
18	1.01:0.80:0.20	50	10	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมชิ้นงานโดยวิธีปาดด้วยมือ(hand casting)

1. ชั่งสารเคมีปริมาณตามวิธีการคำนวณที่กล่าวมาแล้วดังปรากฏในตารางที่ 3.1 นำ HTPB และ BDO รวมกันไว้เป็นส่วนที่หนึ่ง MMDI เป็นส่วนที่สองและ up เป็นส่วนที่สาม ในกรณีที่ใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงให้แยกไว้เป็นส่วนที่สี่

2..เตรียมหม้อปฏิริยาซึ่งต่อกับเครื่องกวนสารและเครื่องดูดอากาศที่อุณหภูมิห้องตั้ง รูปที่ 3.1 และเทสารตั้งต้นส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 ลงในหม้อปฏิริยาจากนั้นดูดอากาศภายใน หม้อปฏิริยา ออกและเปิดเครื่องกวนสารเพื่อผสมสารตั้งต้นจนเข้ากันได้ดี ปิดเครื่องกวนสารแล้วเท ส่วนที่ 2 ลงในหม้อปฏิริยาและดูดอากาศภายในหม้อออกพร้อมกับเปิดเครื่องกวนสารต่อจนส่วนผสม ทั้งหมดเข้ากันได้ดี(ของผสมทั้งหมดมีลักษณะข้นเหนียวมองเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน)

3. ปรับบรรยากาศภายในหม้อปฏิริยาสู่บรรยากาศปกติแล้วรีบเทส่วนผสมตามข้อ 2 ลงในแม่แบบซึ่งหล่อไว้ด้วยกระดาษพอยล์ภายในแม่แบบซึ่งได้มีการฉีดสารช่วยในการถอดแบบแล้วโดยที่ พยายามเทสารผสมไม่ให้เกิดฟองอากาศ

4. ในการทดลองสูตรที่ 15-17 มีการผสมเส้นใยแก้วชนิดสั้น (ได้จากการตัดเส้นใยแก้วชนิดสานให้มีขนาดประมาณ $1/2-1/4$ นิ้ว) ลงในหม้อปฏิริยาด้วย ส่วนในการทดลองสูตรที่ 18 ใช้เส้นใยแก้วชนิดสานเป็นตัวเสริมแรง โดยเทของผสมตามข้อ 2 ปริมาณหนึ่งลงในแม่แบบแล้ววางเส้นใยทับลงไปจากนั้นเทของผสมที่เหลือทั้งหมดทับลงบนเส้นใย แก้วอีกทีหนึ่ง

5. นำแม่แบบที่เตรียมได้เข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 70 °C ความดันประมาณ 70 psi เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ของผสมเกิดปฏิริยากันจนสมบูรณ์และเพื่อเป็นการขึ้นรูปชิ้นงาน หลังจากนั้นนำแม่แบบออกจากเครื่องอัดไฮดรอลิก แล้วนำชิ้นงานออกจากแม่แบบ โดยยังคง แผ่นคั่นไว้กับชิ้นงานเพื่อป้องกันการหดตัวหรือบิดเบี้ยวของชิ้นงานจากนั้นทำการลอกกระดาษพอยล์ออกให้หมด แล้วนำไปอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเกิดปฏิริยา และเกิดการเชื่อมโยงกันอย่างสมบูรณ์ทำการถอดแผ่นคั่นออกจากชิ้นงาน และเก็บชิ้นงานไว้ในแดชเคเตอร์จนกว่าจะนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน

ก. การทดสอบความแข็งแรงดึง(Tensile strength)และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน. จุดขาด (% Elongation at break)

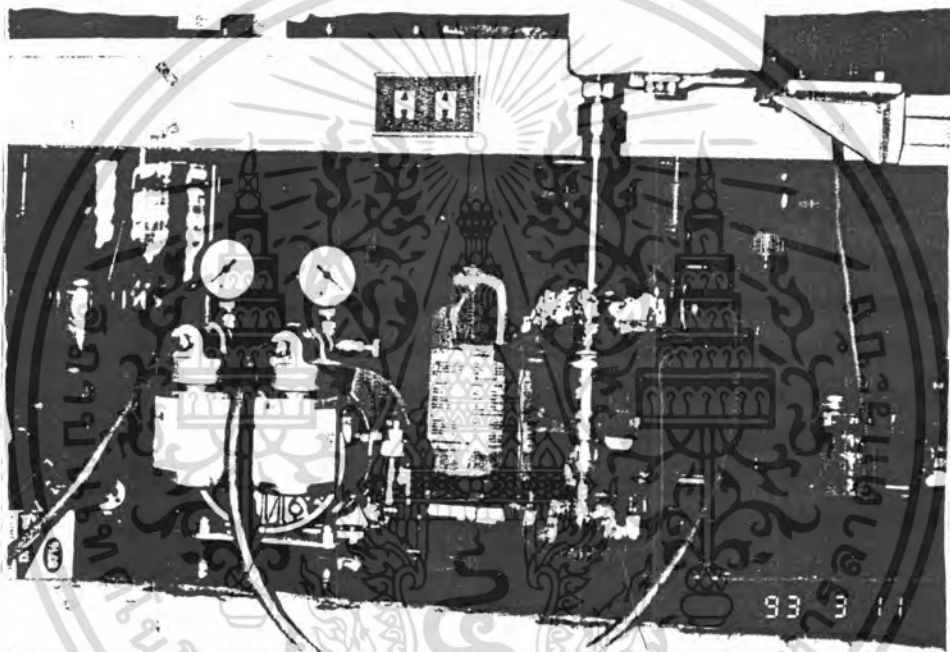
เครื่องมือ Tensile testing machine

การทดสอบ- ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่าง โดยใช้ หัวตัด (die cutter)ขนาดหมายเลข 4 ตามมาตรฐาน ASTM D-638 วัดความกว้างและความหนา บริเวณคอคอดของชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบล โดยไมโครมิเตอร์ ชิ้นตัวอย่างละ 3 จุด นำค่าที่ได้มา เฉลี่ยเพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด

การทดสอบใช้แรงดึงสูงสุดเท่ากับ 50 กก.

วิธีการทดสอบ การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ และการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-638

เครื่องปั้นกวนเชิงกล



เครื่องทำสุญญากาศ

หม้อปฏิกิริยา

รูปที่ 3.1 แสดงการจัดเครื่องมือในการเตรียม IPN พอลิยูรีเทน

ข.การทดสอบความแข็ง(Hardness)

เครื่องมือ Durometer shore D

การทดสอบ ปรับระยะห่างระหว่างเข็มที่ใช้วัดกับแท่นวางชิ้นตัวอย่างให้มีระยะห่างเท่ากับคลีโลหะซึ่งเป็นระยะห่างมาตรฐานของเครื่อง เตรียมชิ้นตัวอย่างให้มีความหนาเท่ากับระยะห่าง มาตรฐานวัดความแข็งโดยการกดคันโยกให้แท่นโลหะยกชิ้นตัวอย่างขึ้นไปสัมผัสกับเข็มวัด กดค้างไว้ 15 วินาที วัดซ้ำอีก 5 ค่าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

วิธีการทดสอบความแข็งได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-86

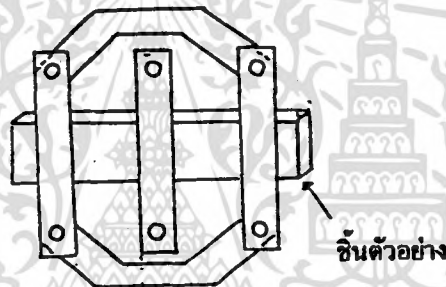
การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนเพื่อหาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g)

เครื่องมือ Dynamic mechanical thermal analyzer(DMTA)

การทดสอบ -ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ -100 ถึง 200°C และมี อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 3°C/นาที

ตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 1 ซม. ยาว 4.5 ซม.

ลักษณะการจับชิ้นงานของเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการจับชิ้นตัวอย่างของเครื่อง DMTA

3.3.4 การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

เครื่องมือ เทอร์โมคัปเปิล(Thermocouple)

การทดสอบ เริ่มติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบเมื่อผสม HTPB BDO และ UP เข้าด้วยกัน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาทีเติม MMDI บันทึกอุณหภูมิตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่าง

ก. การทดสอบความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด โดยเครื่อง

Tensile testing machine

ข. การทดสอบความแข็ง (Hardness) โดยเครื่อง Durometer shore D

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

สูตรที่	R	EWBDO : EWHTPB	UP %W/W	Modulus(kg/mm ²)		%Elongation		Hardness	
				avg.	SD.of	avg.	SD.of	avg.	SD.of
1	1.00	0.8:0.2	50	16.55	1.76	8.29	0.53	60.0	1.41
2	1.01	0.8:0.2	50	40.18	3.49	2.91	0.63	51.6	0.86
3	1.02	0.8:0.2	50	26.07	4.89	7.06	1.57	56.4	0.49
4	1.03	0.8:0.2	50	10.30	0.386	12.86	0.62	47.4	1.49
5	1.04	0.8:0.2	50	14.25	3.62	13.42	0.32	55.4	1.62
6	1.05	0.8:0.2	50	21.47	2.58	6.30	1.78	52.2	0.75
7	1.01	0.9:0.1	50	148.15	21.38	1.13	0.19	59.8	4.05
8	1.01	.85:.15	50	88.25	3.56	2.66	0.60	60.4	1.50
9	1.01	0.8:0.2	50	40.18	3.49	2.91	0.63	51.6	1.17
10	1.01	.75:.25	50	5.11	0.19	14.61	1.61	38.6	1.36
11	1.01	0.8:0.2	20	2.94	0.04	19.07	1.99	42.8	0.75
12	1.01	0.8:0.2	40	8.34	0.79	15.67	4.84	45.8	1.72
13	1.01	0.8:0.2	50	14.90	0.86	10.02	2.22	50.0	0.89
14	1.01	0.8:0.2	60	39.40	5.61	4.19	1.79	53.4	1.02
15	1.01	0.8:0.2	50	29.05	15.01	4.13	0.71	58.8	1.17
16	1.01	0.8:0.2	50	198.54	133.30	0.94	0.32	60.2	2.79
17	1.01	0.8:0.2	50	202.62	88.74	1.21	0.57	57.0	1.79
18	1.01	0.8:0.2	50	889.34	486.88	0.66	0.55	53.6	1.50

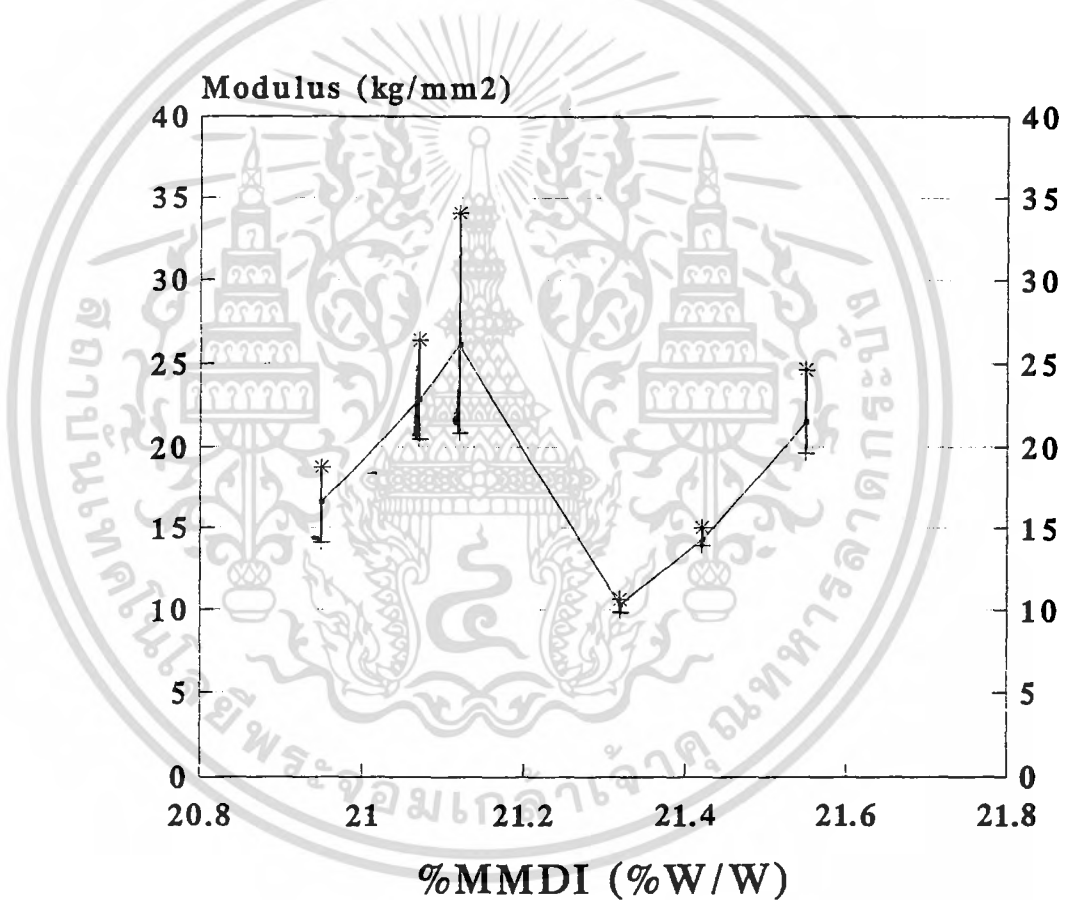
สูตรที่ 15 16 และ 17 มีเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วชนิดสั้น 10 20 และ 30 ตามลำดับ

สูตรที่ 18 มีเส้นใยแก้วชนิดสาน

หมายเหตุ R = $\frac{EW_{MDI}}{EW_{HTPB} + EW_{BDO}}$

Modulus

HTPB:BDO 0.2:0.8 50% UP

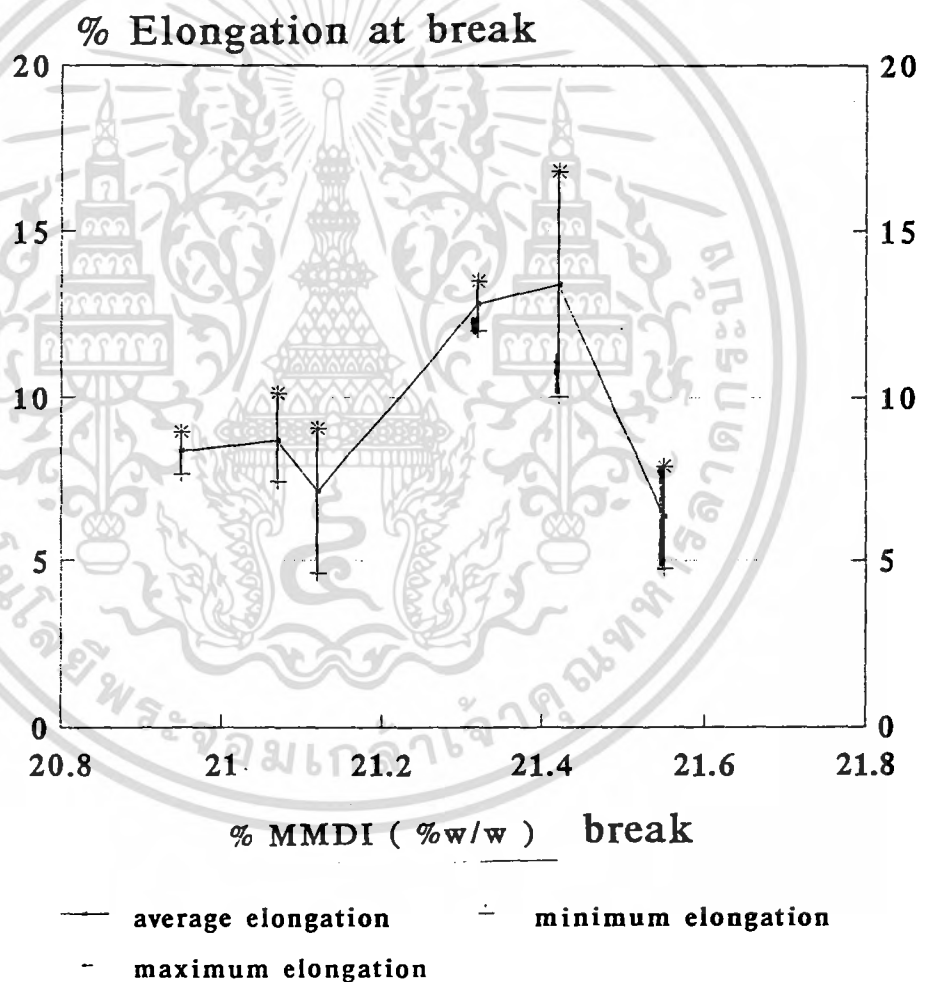


— average modulus + minimum modulus
 * maximum modulus

รูปที่ 4.1ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Elongation at break HTPB:BDO 0.2:0.8 50% UP

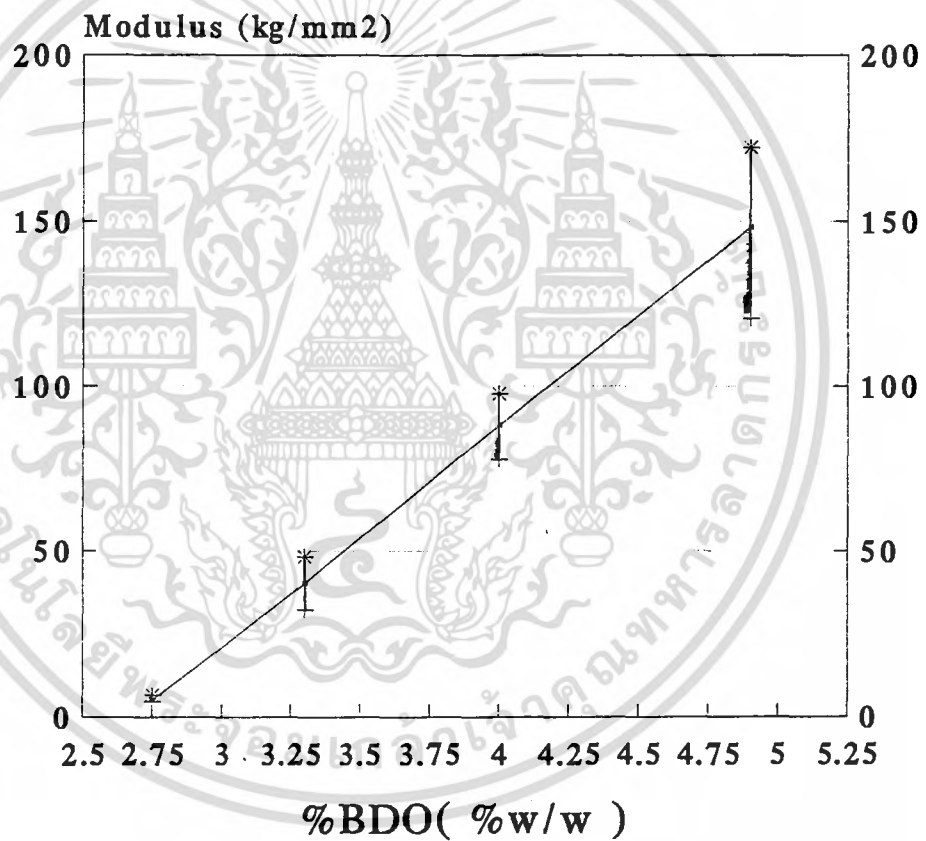


รูปที่ 4.1ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และเปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulus

$r = 1.01$ 50%UP



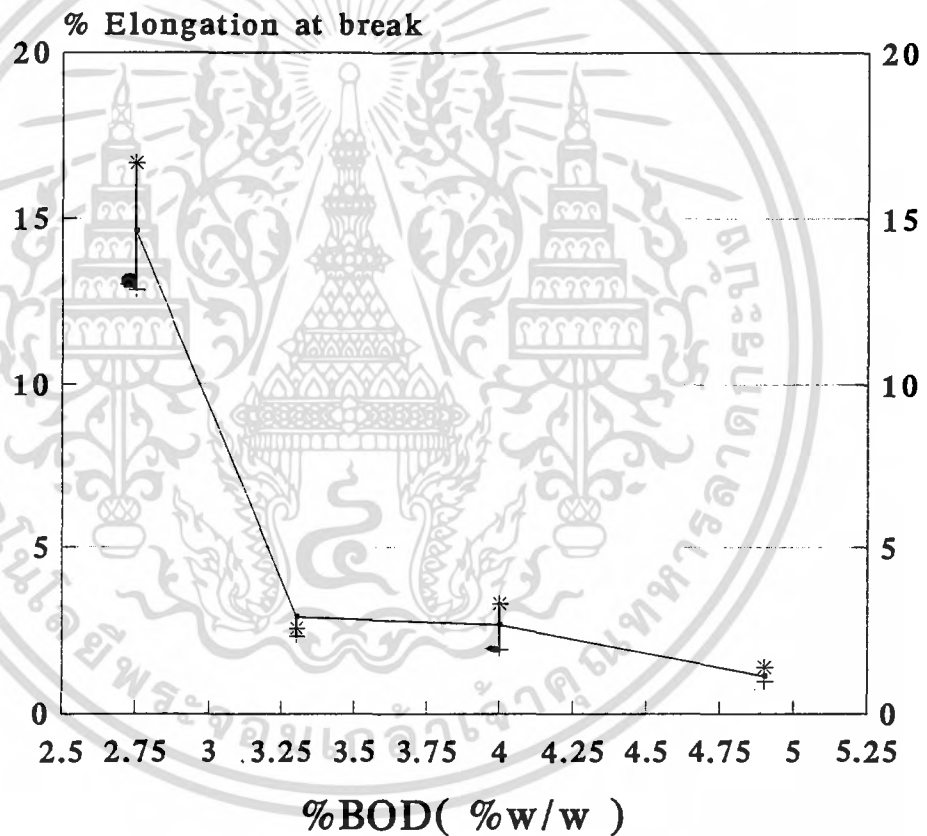
— average modulus — minimum modulus
 + maximum modulus

รูปที่ 4.2ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ BDO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Elongation at break

$r = 1.01$ 50% up



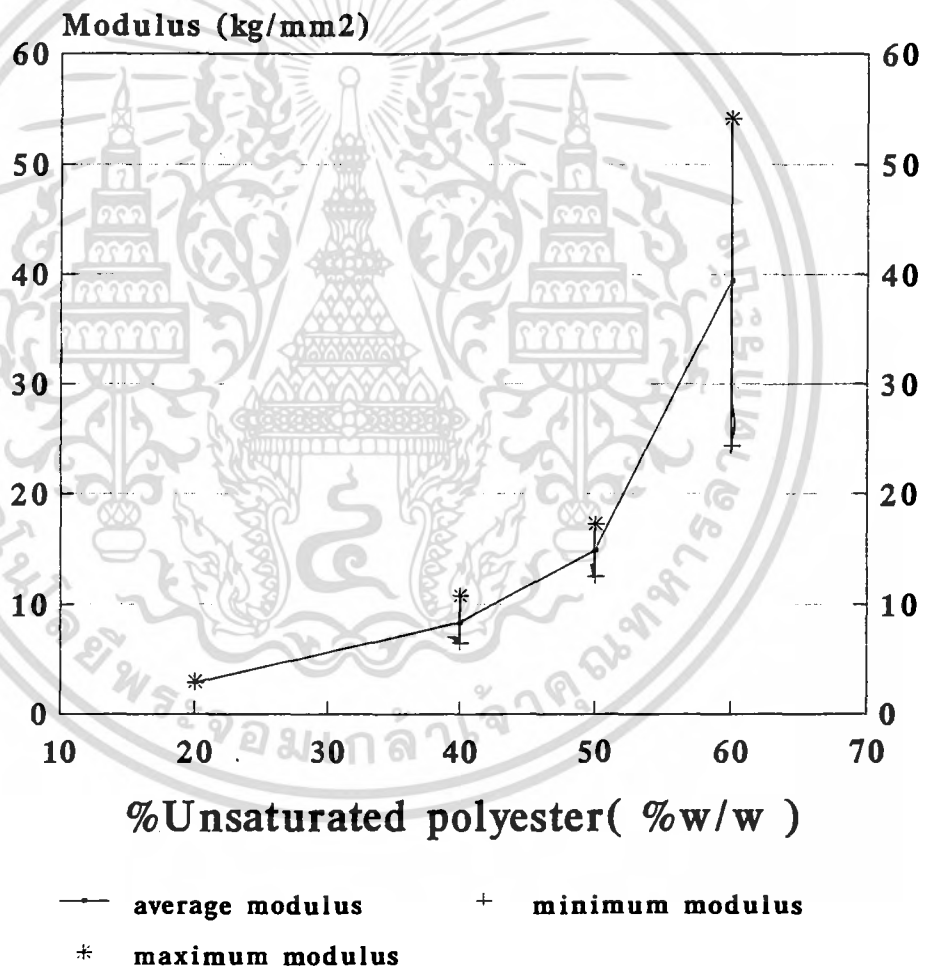
— average elongation + minimum elongation
 * maximum elongation

รูปที่ 4.2ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และเปอร์เซ็นต์ BDO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulus

$r=1.01$ HTPB:BDO 0.2:0.8

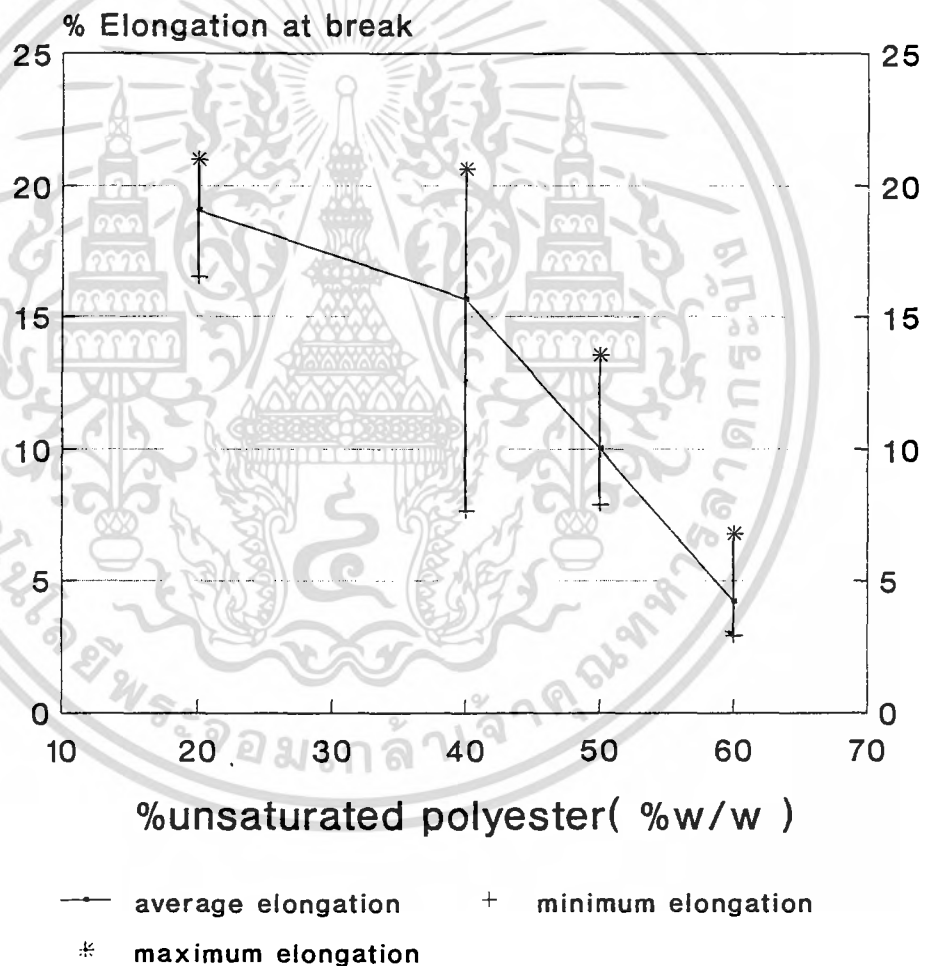


รูปที่ 4.3ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มอดุลัสและเปอร์เซ็นต์ UP เรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Elongation at break

$r=1.01$ HTPB:BDO 0.2:0.8

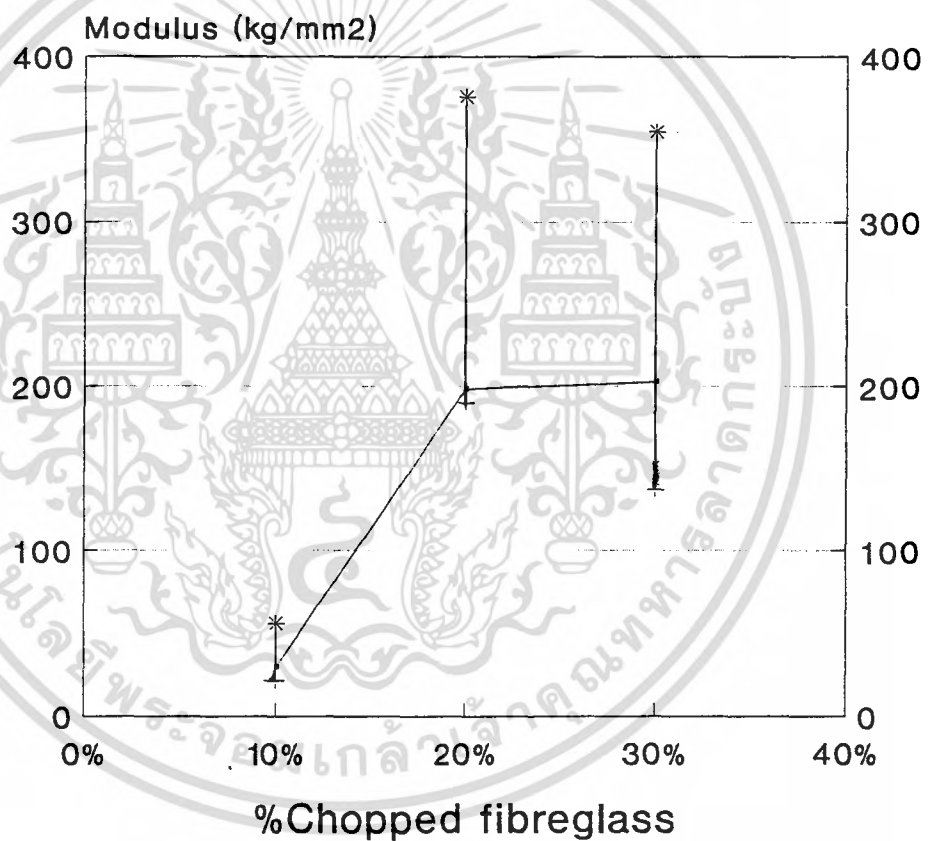


รูปที่ 4.3ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์ UP เรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulus

HTPB:BDO 0.2:0.8 50%UP

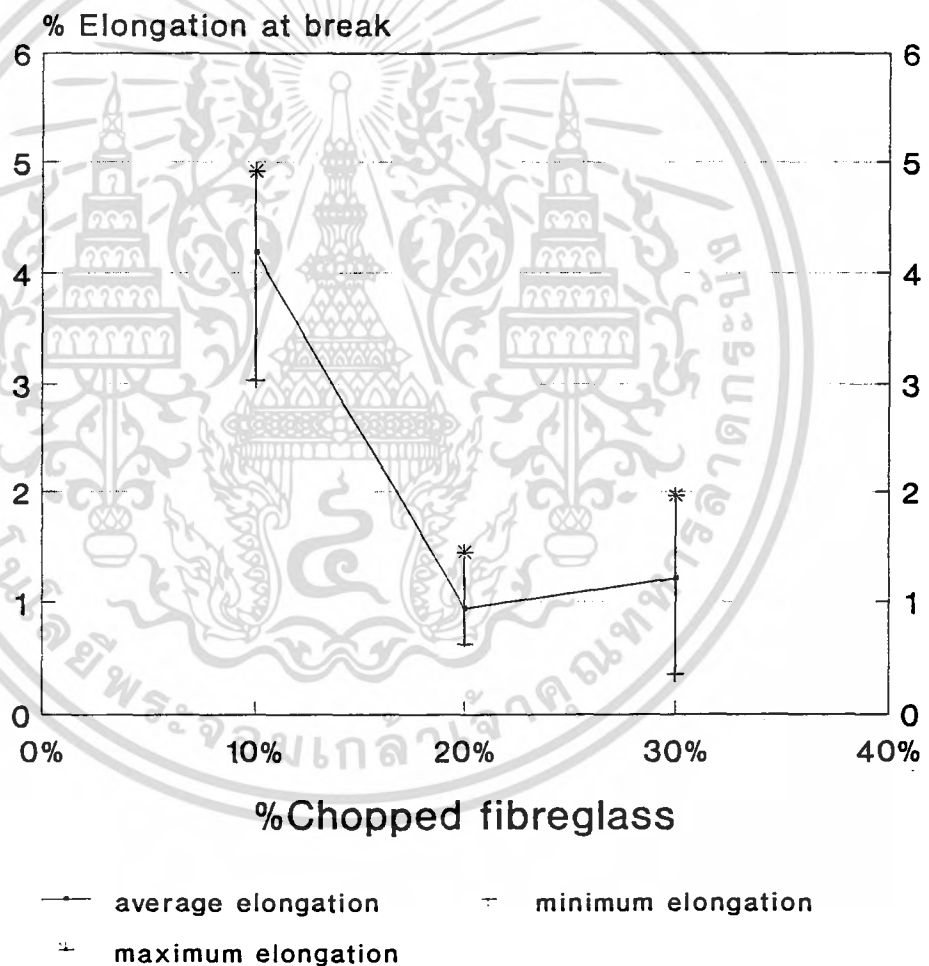


— average modulus + minimum modulus
 * maximum modulus

รูปที่ 4.4ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มอดูลัสและเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Elongation HTPB:BDO 0.2:0.8 50%UP

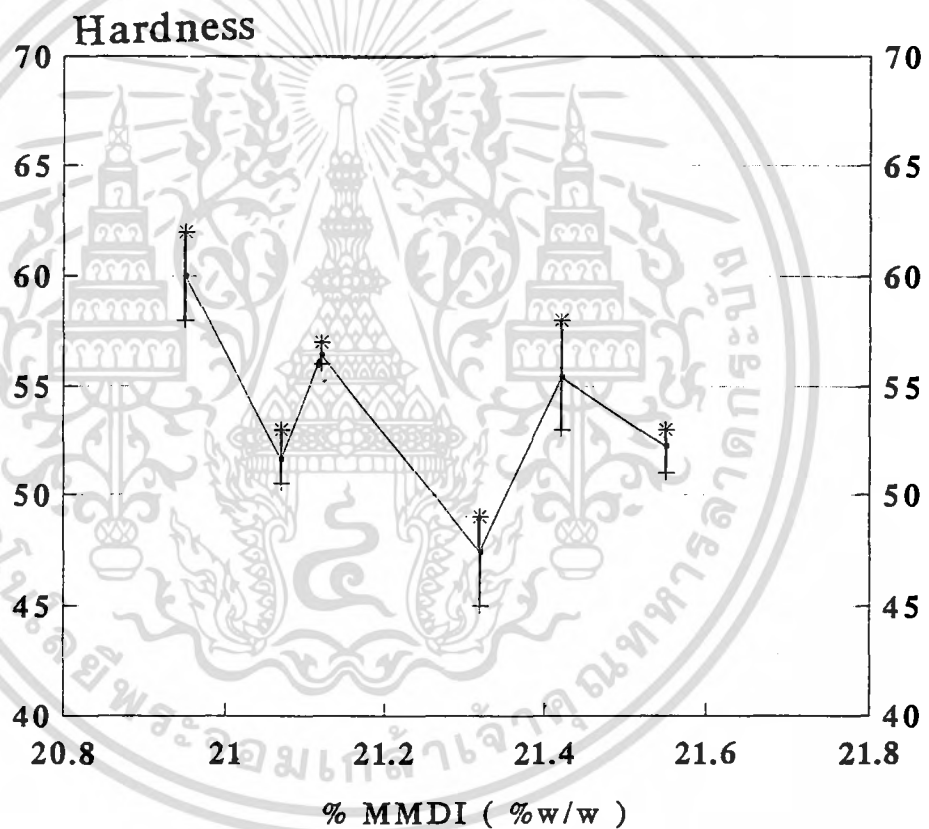


รูปที่ 4.4x แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardness

HTPB:BDO 0.2:0.8 50%UP



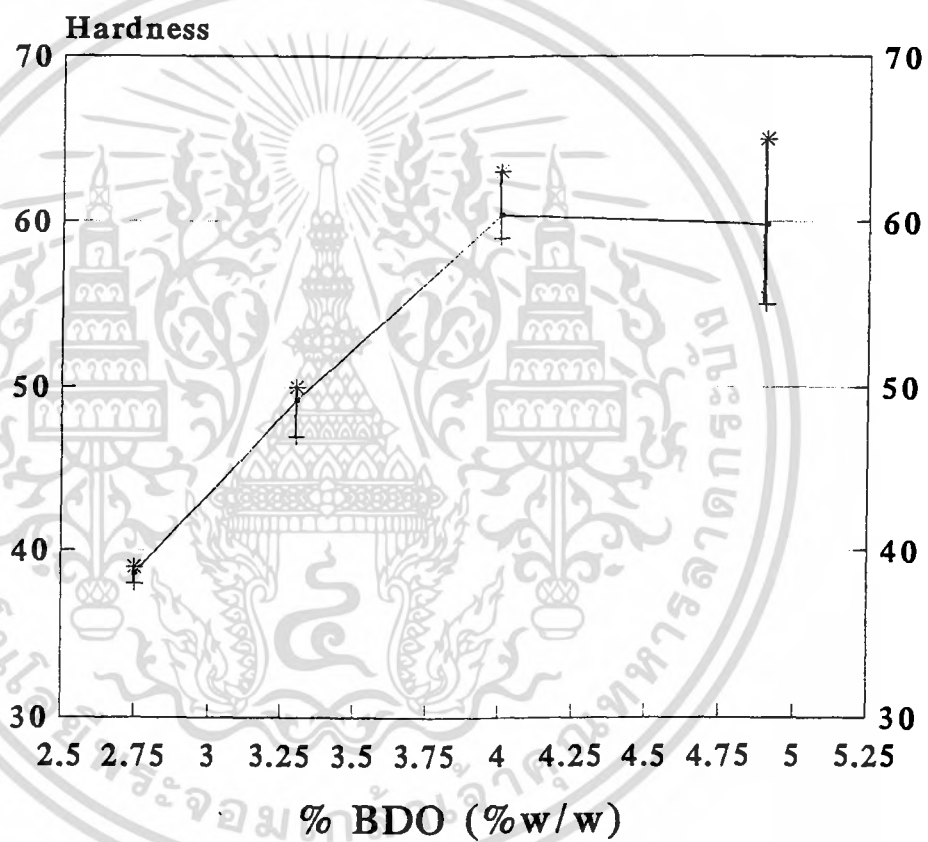
— average hardness + minimum hardness
 * maximum hardness

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและเปอร์เซ็นต์เอ็มเอ็มดีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardness

$r = 1.01$ 50%UP



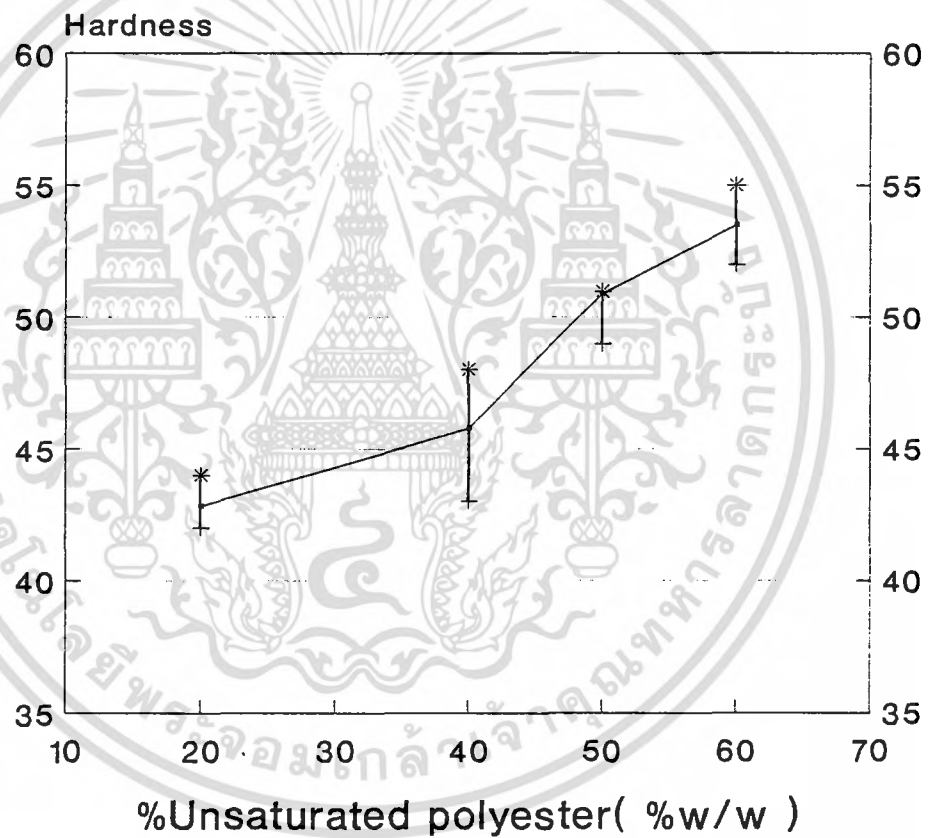
— average hardness + minimum hardness
 * maximum hardness

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและเปอร์เซ็นต์ BDO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardness

$r=1.01$ HTPB:BDO 0.2:0.8



— average hardness + minimum hardness

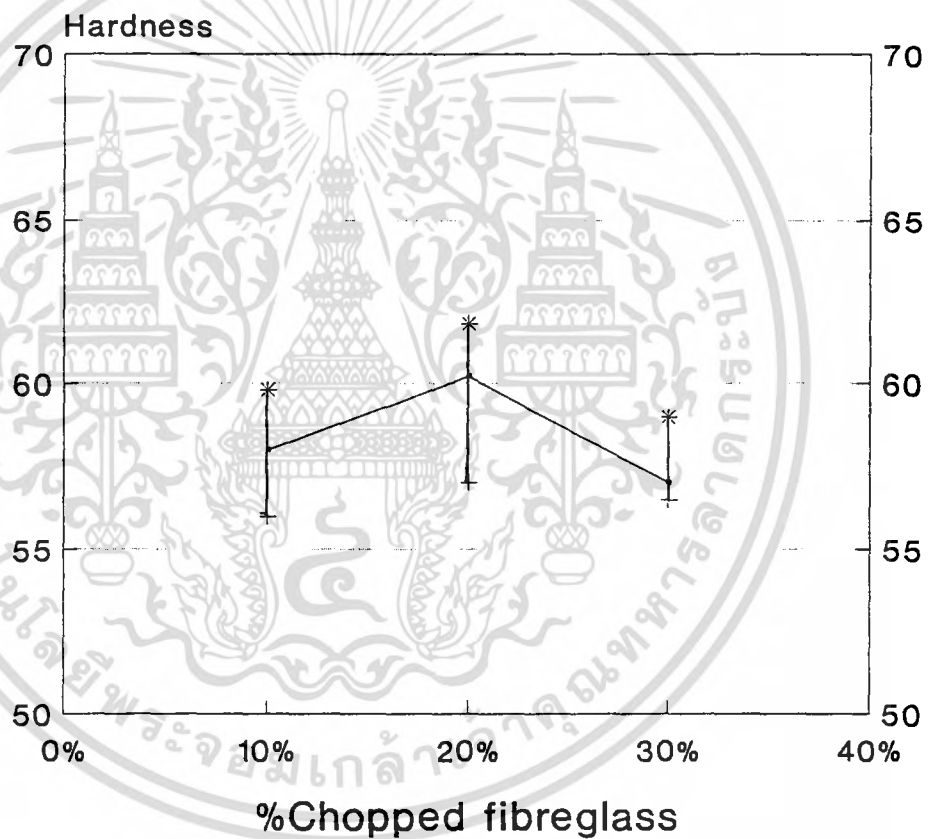
* maximum hardness

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและเปอร์เซ็นต์ UP เรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARDNESS

HTPB:BDO 0.2:0.8 50%UP



— average hardness + minimum hardness
 * maximum hardness

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเตรียม IPN ระหว่างพอลิยูรีเทนและพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารตั้งต้น จะได้เป็นโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ ระบบของพอลิยูรีเทนเชื่อมโยงและระบบของพอลิเอสเทอร์เชื่อมโยง ซึ่งตามทฤษฎีระบบทั้งสองจะไม่มีผลต่อกัน กล่าวคือจะไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน แต่จะมีการพันกันของสายโซ่ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ในทางกายภาพที่เรียกว่าการล็อคทางกายภาพ (Physical locking) เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้นบางชนิด เช่น BDO (หรือ HTPB) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง ในระบบของพอลิยูรีเทน จะมีผลทำให้คุณสมบัติของชิ้นงานที่เตรียมได้เปลี่ยนไปและจากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ BDO เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นความสามารถในการกระจายแรงไปยังบริเวณต่าง ๆ จะเกิดได้ดีจึงทำให้ความสามารถ ในการทนต่อแรงมีค่ามาก ค่ามอดูลัสจึงมีค่ามากตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.2ก ในทำนองเดียวกันกับปริมาณเรซิน UP ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องมาจาก สาเหตุที่ว่าในระบบของเรซิน UP จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ unsaturated polyester และมอนอเมอร์สไตรีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยงในระบบของเรซิน UP เพราะฉะนั้นการเพิ่มปริมาณ ของ UP เรซิน จะทำให้ปริมาณสารเชื่อมโยงมากขึ้น เมื่อเกิดการพอลิเมอร์ไรซ์เป็นพอลิเมอร์จะได้ พอลิเมอร์ ที่มีองศาของการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.3ก นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณค่าอัตราส่วนน้ำหนักสมมูล(r)ไม่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ดังแสดง ในรูปที่ 4.1ก 4.1ข และ 4. ซึ่งแสดงค่ามอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงตามลำดับ ในกรณีการเกิด IPNs ระหว่างพอลิยูรีเทนเชื่อมโยง และพอลิเอสเทอร์เชื่อมโยง อาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้เป็น โคพอลิเมอร์ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ในทางปฏิบัติ เรซิน UP จะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา คือ พันธะคู่ จุดนี้อาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างพอลิเมอร์ 2 สองชนิด และเมื่อเกิดการเชื่อมโยงระหว่างกันขึ้น จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น นอกจากนี้ ยังอาจเป็นไปได้ว่าเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่างทั้งสองระบบได้เพราะว่าใน โครงสร้าง ของพอลิยูรีเทนจะประกอบด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจน และพอลิเอสเทอร์จะมี ออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ ก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนว่า IPN พอลิยูรีเทนเชื่อมโยง และพอลิเอสเทอร์เชื่อมโยงมีความแข็งแรงมากกว่า พอลิยูรีเทนเชื่อมโยงหรือพอลิเอสเทอร์เชื่อมโยงเพียงระบบเดียว

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ BDO และ/หรือ เรซิน UP เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2ข และ 4.3ข ตามลำดับ เมื่อโครงสร้างของ IPNs ที่ได้มีการเชื่อมโยงมากขึ้นการที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายสายโซ่เมื่อได้รับแรงจะกระทำได้ยากเพราะสายโซ่ถูก ยึดไว้จากหลายทางแต่จะเกิดเป็นกรณีนี้คือ จะขาดเมื่อได้รับแรงมากค่าหนึ่งแต่จะไม่มีการจัดเรียงตัว หรือมีแต่น้อยมาก และจากการศึกษาพบว่าการใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงในระบบจะทำให้ชิ้นงานมี คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น ดังในรูปที่ 4.4 ก ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยแก้วเป็นตัวที่สามารถกระจายแรงที่ได้รับจึงทำให้ชิ้นงานทนต่อแรงต่าง ๆ ได้ดีกว่าไม่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วรูปที่ 4.4ข แสดงถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดที่ลดลง เนื่องจาก ปริมาณเส้นใยแก้วที่เพิ่มขึ้น และถ้าเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้น และเส้นใยแก้วชนิดสาน โดยที่ส่วนประกอบอื่นเท่ากัน พบว่าค่ามอดูลัสของชิ้นงานที่มีการเสริมแรง ด้วยเส้นใยแก้วชนิดสานมีค่ามากกว่า เพราะเส้นใยแก้วแบบสานมีการพันกันของเส้นใยทำให้เกิดการเสริมแรงโดยตัวของเส้นใยเองในขณะที่เส้นใยแก้วชนิดสั้นไม่มีการไขว้กันของเส้นใยแต่จะมีการกระจายตัวอยู่ใน ชิ้นงาน

ค่าความแข็งเป็นค่าโดยปริมาตร(Qualitative value)ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ที่สำคัญโดยเฉพาะเกี่ยวกับเรื่องของผิวสัมผัส เช่นถ้าพอลิเมอร์มีค่าความแข็งมากเมื่อจับดูจะรู้สึกแข็งถ้าความแข็งมีค่าต่ำเมื่อจับดูจะรู้สึกอ่อนนุ่ม กว่าจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณ BDO เพิ่มขึ้นค่าความแข็งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เพราะว่า เมื่อปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น โครงสร้างระบบจะเป็นโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น เกิดการเกี่ยวพันกันมากขึ้น ทำให้ที่ว่างในระบบของพอลิเมอร์(void content)ลดลงซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.6 นอกจากนี้ถ้าโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ที่มีความแข็ง เช่น หมู่อะโรมาติก ก็จะมีผลทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เช่นในกรณีของการเพิ่มปริมาณ UP เรซิน ก็จะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนโดย DMTA

R	EWBDO: EWHTP	UP %w/w	F %w/w	ส่วนที่แข็ง		ส่วนที่อ่อน		พอลิเอสเทอร์	
				Tg	tan	Tg	tan	Tg	tan
1.00	0.8:0.2	50	-	82.649	0.473	0.015	0.194	-49.52	0.4398
1.01	0.8:0.2	50	-	65.387	0.343	3.793	0.124	-47.95	0.2066
1.03	0.8:0.2	50	-	90.863	0.451	34.769	0.1593	-45.10	0.2474
1.05	0.8:0.2	50	-	88.799	0.416	30.998	0.1794	-45.50	0.1537
1.01	0.8:0.2	50	-	65.387	0.343	3.793	0.124	-47.95	0.2066
1.01	.85:1.18	50	-	77.670	0.456	-789	0.0932	-47.91	0.0937
1.01	0.9:0.1	50	-	75.356	0.315	-	-	-56.89	0.0799
1.01	0.8:0.2	-	-	155.54	0.081	-	-	-49.60	0.2519
1.01	0.8:0.2	20	-	154.02	0.110	-	-	-43.50	0.4328
1.01	0.8:0.2	50	-	65.378	0.343	3.797	0.1239	-47.95	0.2066
1.01	0.8:0.2	60	-	84.139	0.413	8.686	0.1450	-39.23	0.1030
1.01	0.8:0.2	50	-	65.378	0.343	3.797	0.1239	-47.95	0.2066
1.01	0.8:0.2	50	10	94.900	0.202	-1.565	0.1441	-38.15	0.1345
1.01	0.8:0.2	50	30	82.378	0.182	-0.498	0.1042	-45.86	0.1036
1.01	0.8:0.2	50	FM	74.961	0.259	-3.381	0.1253	-49.28	0.1394

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

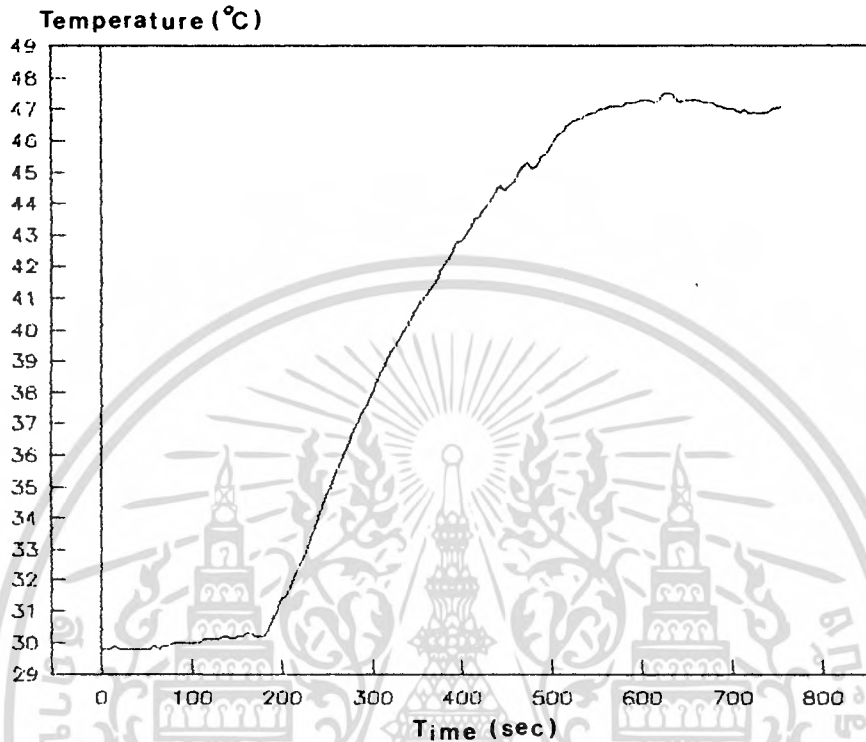
4.2 ผลการทดสอบทางความร้อน

โดยการหาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) T_g -ของพอลิเมอร์ จะมีผลต่ออุณหภูมิในการใช้งาน ที่อุณหภูมิใช้งานต่ำกว่า T_g พอลิเมอร์จะแสดงคุณสมบัติคล้ายแก้วคือ แข็ง เพราะเนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากเมื่อได้รับแรง ที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่า T_g พอลิเมอร์จะ แสดงคุณสมบัติคล้ายยาง คือ ยืดหยุ่นและไหลได้เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงาน IPN-พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ในโครงการพิเศษนี้สามารถแยกพิจารณาส่วนประกอบใหญ่ ๆ ออกเป็น 3 ส่วน คือ พอลิยูรีเทน ส่วนที่แข็ง พอลิยูรีเทน ส่วนที่อ่อนพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่มีการเชื่อมโยงโดยโมเลกุลสไตรีน จากการทดสอบผลิตภัณฑ์ ปรากฏว่ามี T_g 3 ค่าคือ ส่วนที่อ่อน T_g ประมาณ -50 °ซ ส่วนที่แข็ง T_g ประมาณ 80 °ซ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว T_g ประมาณ 0 หรือ 30 °ซ หรือ บางสูตร อาจปรากฏค่า T_g ไม่ชัดเจน ปัจจัยที่มีผลต่อ T_g ของ IPN-พอลิยูรีเทนได้แก่

อัตราส่วนระหว่างพอลิออลเมื่อปริมาณ BDO เพิ่มขึ้น T_g ของส่วนที่แข็ง และส่วนที่อ่อน จะ ลดลง ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎี เนื่องจาก BDO เป็นพอลิออลที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น และเป็นสารที่ทำให้เกิด ส่วนที่แข็ง ถ้าส่วนที่แข็งมากขึ้นทำให้ในสายโซ่โมเลกุลดังกล่าวมี หมู่ยูรีเทนมากขึ้นและมีพันธะ ไฮโดรเจนระหว่าง โมเลกุลมากขึ้นทำให้การเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากขึ้นเมื่อได้รับแรงจึงยกขึ้น T_g ของส่วนที่ แข็งเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ BDO สูงขึ้นจะมีส่วนที่แข็งมากขึ้นซึ่ง จะไป เกาะเกาะการเคลื่อนไหว ของส่วนที่อ่อน ทำให้ T_g ของ ส่วนที่อ่อนเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ใช้ จากการ ทดสอบ T_g ของ UP ปรากฏที่ ประมาณ 0 หรือ 30 °ซ กรณีของพอลิยูรีเทนที่ ไม่มี พอลิเอสเทอร์ ชนิดไม่อิ่มตัว และเกิดเป็น IPN-พอลิเอสเทอร์ T_g ของส่วนที่แข็งจะลดลงแต่ T_g ของส่วนที่อ่อนจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวกับ MMDI เนื่องจาก UP มีพันธะคู่ซึ่งว่องไวต่อ การทำ ปฏิกิริยา แต่ตามทฤษฎีการเกิด IPN จะไม่มีแรงทางเคมี ระหว่าง พอลิเมอร์ทั้งสองเปอร์เซ็นต์ เส้นใย แก้วจากการทดสอบไม่ได้ผลเนื่องจาก ทำการทดสอบ เพียงชุดเดียว และแนวโน้มของข้อมูลไม่คงที่ แต่จากเอกสารอ้างอิงจะได้ว่าเมื่อเติมเส้นใย แก้ว T_g ของส่วนที่แข็ง และส่วนที่อ่อนจะสูงขึ้นในกรณีที่ใช้เส้นใยแก้วชนิดสั้นเป็นสารเสริมแรง ผลิตภัณฑ์ ที่ได้จะมี T_g สูงกว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยแก้วชนิดสานเนื่องจากเส้นใยแก้วชนิดสั้นจะมีการกระจายตัว ได้ดี อยู่ในพอลิเมอร์จึงมีแรงกระทำระหว่างเส้นใยแก้วกับ MMDI มากกว่า ส่วนในกรณีของเส้นใยแก้วชนิดสาน จะเกิดการแยกกัน ของเฟส กับพอลิเมอร์ทำให้แรงกระทำระหว่างเส้นใยแก้วกับ MMDI น้อยกว่า

อัตราส่วนน้ำหนักสมมูล (R) ตามทฤษฎี ค่า R จะไม่มีผลต่อ T_g เนื่องจากไม่มีผลต่อ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ เป็นการเมื่อปริมาณ MMDI ในส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับน้ำ เนื่องจากความชื้นของสารตั้งต้น และการเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าขั้นที่ 2 แต่ผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อค่า R เปลี่ยนไป T_g เปลี่ยน ไป อาจเนื่องจากความผิดพลาดในการเตรียมชิ้นงาน

4.3 ผลการวัดอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.9 แสดงการดำเนินไปของปฏิกิริยากับอุณหภูมิ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนข้างน้อยเหมือนคงที่ ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่า ยังไม่มีการเกิดปฏิกิริยาแต่ภายหลังจากเติม MMDI อุณหภูมิจะค่อยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั่นคือ เริ่มมีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้น และในช่วงที่ 2 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเทียบกับช่วงที่ 1 ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง MMDI กับ HTPB และ BDO เพราะผลพลอยได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวคือความร้อนและความร้อนปริมาณนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมากในเวลาต่อมา จนกระทั่งไม่มีสารตั้งต้น เหลืออยู่ในระบบ อุณหภูมิจึงไม่เพิ่มขึ้น ดังที่ปรากฏในช่วงที่ 3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา สามารถนำไปศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน 3 ระบบ คือ (1)

พอลิยูรีเทน ของ MMDI/BDO/HTPB

(2) IPN พอลิเมอร์ ของพอลิยูรีเทนของ MMDI/BDO/HTPB กับ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

(3) IPN พอลิเมอร์ ของพอลิยูรีเทนของ MMDI/BDO/HTPB กับพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวและเสริมแรงโดยเส้นใยแก้วชนิดสั้นและชนิดสาน การเตรียมโดยกระบวนการปาด ด้วยมือ (Hand casting) และได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบพอลิยูรีเทนทั้งสามระบบได้แก่คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อน ผลการศึกษาพบว่า

ระบบ (1): เตรียมพอลิยูรีเทนที่มี อัตราส่วนสมมูลของส่วนแข็ง (ปฏิกิริยาระหว่าง MMDI กับ BDO) ต่อส่วนอ่อน (ปฏิกิริยาระหว่าง MMDI กับ HTPB) เท่ากับ 0.8:0.2 แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) โดยเครื่อง DMTA พบว่า T_g ของส่วนอ่อนเท่ากับ 223.4 K และของส่วนแข็งเท่ากับ 428.5 K

ระบบ (2): เตรียม IPN พอลิเมอร์ดังกล่าวโดยใช้ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว 50% w/w และเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนสมมูล (R) ของน้ำหนักสมมูลของ MMDI ต่อน้ำหนักสมมูลของ HTPB และ BDO ช่วง 1.00-1.05 พบว่าค่า R ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางความร้อน นอกจากนี้ยังได้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสมมูลของ ส่วนแข็งต่อส่วนอ่อน ดังนี้ 0.75:0.25 0.80:0.20 0.85:0.15 และ 0.9:0.1 โดยที่ค่า R เท่ากับ 1.01 พบว่าเมื่อ IPN พอลิเมอร์มีส่วนแข็งมากขึ้นส่งผลให้ IPN พอลิเมอร์ ทนแรงดึงได้สูงขึ้น โดยดูจากค่ามอดูลัสที่ เพิ่มขึ้นจาก 5.11 ถึง 148.15 kg/mm^2 แต่ความทนต่อการยืดตัวน้อยลง โดยดูจากค่า เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลงจาก 21.38-0.19 % เพราะระบบมีส่วนที่แข็งเพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นระเบียบ เพิ่มขึ้นส่งผลให้การกระจายแรงเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้นค่ามอดูลัสซึ่งเป็นผลพวงจากที่กล่าวมาจึงมีค่าเพิ่มตามไปด้วย และในทางกลับกันจะทำให้ค่าเปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลงเนื่องจากความสามารถในการย้ายสายโซ่หรือการจัดเรียงตัวลดลงสำหรับค่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 38.6-59.8 เนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทำให้ที่ว่างภายในระบบลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและการ ทดสอบทางความร้อนพบว่ามี T_g อยู่ 3 ค่า คือ ส่วนแข็งปรากฏที่ 338.4-348.4 K ส่วนอ่อนที่ 225.1-216.1 K และ T_g ของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเท่ากับ 272.6-276.8 K นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่ม ตัวดังนี้ 20 40 50 และ 60 %w/w โดยที่อัตราส่วนสมมูลของส่วนแข็งต่อส่วนอ่อนเท่ากับ 0.8:0.2 และค่า R คงที่ เท่ากับ 1.01 พบว่าเปอร์เซนต์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ IPN พอลิเมอร์ ทนแรงดึงได้สูงขึ้นโดยดูจากค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นจาก 2.94-39.40 kg/mm^2 แต่ความทนต่อการยืดตัวน้อยลง โดยดูจากค่าเปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงจาก 19.07-4.19 % เนื่องจาก โครงสร้างมีความซับซ้อนของโมเลกุลที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งมีการยึดจากหลายทางซึ่งส่งผลให้ ค่ามอดูลัสมีค่าสูงขึ้น แต่จะส่งผลให้ค่า เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดลดลงเช่นกัน และจากการทดสอบทางความร้อน พบว่ามี T_g อยู่ 3 ค่า คือ ส่วนแข็งปรากฏที่ 357.1-427.0 K ส่วนอ่อนที่ 233.8-229.1 K และ T_g ของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเท่ากับ 281.7- 276.8 K สำหรับค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นจาก 42.8-53.4

ไม่วารณี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปริมาณเรซิน UP เพิ่มขึ้น เพราะว่าในระบบมีหมู่ที่ทำให้เกิดความแข็งเช่นหมู่ อะโรมาติก เพิ่มขึ้น(เพราะใน UP มีมอนอเมอร์สไตรีนเป็นส่วนประกอบ)

ระบบ (3):เตรียม IPN พอลิเมอร์ดังกล่าวโดยใช้เส้นใยแก้วชนิดสั้นเป็นสารเสริมแรง ปริมาณ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักรวม อัตราส่วนสมมูลของส่วนแข็งต่อส่วนอ่อนเท่ากับ 0.8:0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเท่ากับ 50 %w/w และค่า R เท่ากับ 1.01 พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยแก้วชนิดสั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ IPN พอลิเมอร์ ทนแรงดึงได้สูงขึ้นโดยดูจากค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นจาก 29.05-202.62 kg/mm² แต่ความทนต่อการยืดตัวน้อยลงโดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงจาก 4.13-0.66% เพราะว่า การเติมเส้นใยแก้วจะทำให้ ระบบมีการกระจายแรงได้ดีและมีผลทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นแต่จะมีผลให้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลงเช่นกัน สำหรับค่าความแข็งที่ปริมาณเส้นใยแก้วเท่ากับ 20 % จะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับปริมาณเส้นใยแก้วที่ปริมาณอื่น คือมีค่าเท่ากับ 60.2 ในขณะที่ค่าความ แข็งของชิ้นงานที่มีเส้นใยแก้วเท่ากับ 30 และ 10 % มีค่าเท่ากับ 57.0 และ 58.8 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากที่ระบบที่มีปริมาณเส้นใยแก้ว 20 % สามารถเข้ากันได้ดีกับระบบมากที่สุด นอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการกวนสารในการเตรียมชิ้นงานอีกด้วย และจากการทดสอบทางความร้อนพบว่า มี T_g อยู่ 3 ค่า คือ ส่วนแข็งปรากฏที่ 355.4-367.9 K ส่วนอ่อนที่ 227.1-234.8 K และ T_g ของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเท่ากับ 272.5-271.4 K และทำการศึกษาศาการเสริมแรง ด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้นเปรียบเทียบกับ เส้นใยแก้วชนิดสานที่ปริมาณเท่ากับ 10 %w/w พบว่า เส้นใยแก้วชนิดสานให้คุณสมบัติเชิงกลดีกว่า เพราะเส้นใยแก้วชนิดสานมีการไขว้กันของเส้นใยส่วน เส้นใยแก้ว ชนิดสั้นจะมีการกระจายตัวของเส้นใยไม่มีการไขว้กันของเส้นใยจึงทำให้ชิ้นงาน ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย ชนิดสานที่ความแข็งแรงมากกว่า สำหรับความแข็งของชิ้นงานที่มีการเสริมแรง ด้วยเส้นใย ต่างชนิดกันพบว่าชิ้นงานที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้นมีความแข็งแรงมากกว่าเพราะว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยไปทั่วชิ้นงาน ในขณะที่เส้นใยแก้วแบบสานมีการเรียงตัวอยู่ที่บริเวณกลาง ชิ้นงานเท่านั้น จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้นมีความสูงกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเติมเส้นใยแก้วชนิดตัด(chopped fibreglass)ลงไปเป็นสารตัวเติมเพื่อ ช่วยในการเสริมแรง เส้นใยแก้วจะผสมเข้ากันกับ IPN พอลิยูรีเทนได้น้อย ดังนั้นถ้าต้องการจะ ให้ผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น ควรจะเติมสารประเภทออร์แกนอซิลอน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้ระบบเข้ากันได้ดี ยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุเสริมแรงชนิดแผ่น(mat fibreglass) จะทำให้ IPN พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้มีความแข็งแรงมากกว่าการใช้เส้นใยแก้วชนิดตัด เมื่อมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วเท่ากัน ดังนั้นถ้าต้องการนำ IPN พอลิยูรีเทนไปประยุกต์ใช้ จึงควรที่จะใช้เส้นใยแก้วชนิดแผ่น มากกว่าและควรมีการเติมสารที่ช่วยให้เส้นใยแก้วเข้ากันได้ดีกับระบบ

2. การนำ IPN พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้ในการทำเป็นวัสดุเคลือบถึง บรรจุก๊าซ ควรจะมีการทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนทานต่อการโค้งงอ การซึมผ่านของก๊าซ เป็นต้น โดยเฉพาะส่วนที่เป็นกันถังบรรจุก๊าซ ควรจะมีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง และส่วนที่เป็นตัวถังควรจะมี ความทนทานต่อการโค้งงอสูง

3. ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคนิค Reaction Injection Molding(RIM) มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนกันมาก จึงควรทดลองใช้เทคนิคนี้ในการสังเคราะห์ IPNพอลิยูรีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้โดยไม่ผ่านการคำ ปรึกษาจากบริษัทฯ หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการคำ ปรึกษาและไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากที่ได้ทดลองสังเคราะห์พอลิยูรีเทนโดยวิธีปาดด้วยมือ (Hand casting) และทดสอบ คุณสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกายภาพให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการแล้ว

4. การเปลี่ยนชนิดของสารตั้งต้น จะทำให้คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนที่ได้เปลี่ยนไป เนื่องจากสมบัติของพอลิยูรีเทนขึ้นกับ ชนิดของสารตั้งต้นเช่น พอลิออล ไอโซไซยาเนตที่ใช้ในระบบ นอกจากนี้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนอย่างมีประสิทธิภาพควรมีการเติมตัวเร่ง ปฏิกิริยาเพื่อลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อหาสูตรของพอลิยูรีเทนที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการเคลือบดั่งแก๊สต่อไป

5. ในการนำพอลิยูรีเทนมาประยุกต์ใช้ในการทำวัสดุเคลือบดั่งก๊าสจะต้องคำนึงถึง ความสามารถในการยึดติดระหว่างเหล็กและพอลิยูรีเทน ควรมีการศึกษาปรับปรุงผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสอง เพื่อให้มีคุณสมบัติในการยึดติดกันดีขึ้น



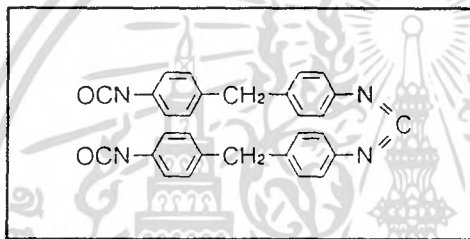
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 LUPRANATE MM-103. A low viscosity modified MDI for RIM and cast parts.

LUPRANATE MM-103 is a liquid, solvent-free, carbodiimide modified 4,4'-diphenylmethane diisocyanate.



Typical Properties of LUPRANATE MM-103

Appearance	Light Yellow Liquid
NCO content, wt. %	29.5
Viscosity, cps. at 25°C (as supplied)	50
Flash point, °C (Cleveland open cup)	199
Density, g./cu. cm. at 25°C	1.22
Vapor pressure, mm. Hg. at 25°C	0.0003

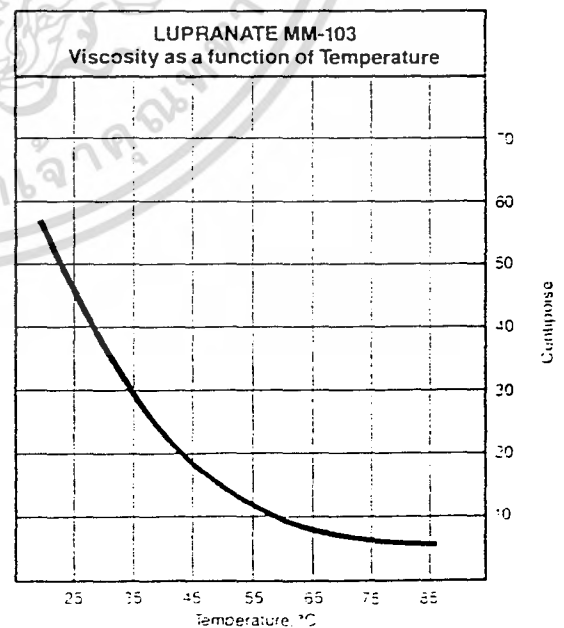
LUPRANATE MM-103 is used primarily in high performance non-cellular and cellular products, where the process requires both the high performance of pure MDI and the handling properties of a low viscosity liquid.

Cellular Product Applications

LUPRANATE MM-103 is used in reaction injection molding (RIM) formulations for parts requiring light weight combined with high performance properties over a wide range of moduli. RIM parts based on LUPRANATE MM-103 exhibit good reactivity and "green strength" properties—resistance to tearing at short demold times—while overall thermal properties (including heat sag and modulus ratios) are superior to those achieved with other isocyanates.

LUPRANATE MM-103 can be used in the production of very low modulus bumper covers, fascia of medium flexibility, and high modulus glass-reinforced fenders. LUPRANATE MM-103 can be used in a variety of automotive RIM applications as well.

LUPRANATE MM-103 finds uses in cast elastomer applications, including printing rollers and mechanical parts. It is also used in a range of coating formulations.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DU PONT**INDUSTRIAL CHEMICALS Department****DATA SHEET****1,4-BUTANEDIOL**

1,4-Butanediol (HOC₄H₈OH, tetramethylene glycol, 1,4-butylene glycol, 1,4-dihydroxybutane, 4-G, butanediol) is a clear, colorless, slightly viscous liquid with practically no odor. It is hygroscopic and miscible with water, methanol, ethanol, acetone, tetrahydrofuran, and N, N-dimethylformamide.

USES

The major use of butanediol is as an intermediate in making polybutylene terephthalate (PBT). This plastic has a spectrum of properties that on balance offers superior performance over many existing thermoplastic and thermosetting resins.

In polyurethanes, butanediol is used primarily in coatings, thermoplastic resins, and Reaction Injection Moldings (RIM). Butanediol is used in both the hard and soft segments of polyurethanes. An example is the use of butanediol in the manufacture of polybutylene adipate glycol for soft segment components. Polyurethanes based on polybutylene adipate glycol exhibit good low temperature flexibility. In the hard segment or as a crosslinker, butanediol produces a good balance between hardness and low temperature flexibility.

Butanediol also is used as a plasticizer and a reaction solvent.

PHYSICAL PROPERTIES OF PURE 1,4-BUTANEDIOL

		Reference
Molecular weight	90.12	
Freezing point, C	19.9	(1)
F	67.8	
Boiling point (1 atm), C	228	(1)
F	442	
Density, g/ml (Mg/m ³)		
at 20 C (68 F)	1.017	(1)
at 25 C (77 F)	1.015	(1)
Refractive index, n_D^{20}	1.4462	(1)
n_D^{25}	1.4445	(1)
Surface tension, dyn/cm		
(mN/m) at 30 C (86 F)	43.79	(2)
Dielectric constant, 25 C	36.8	(3)

References: (1) "Selected Values of Properties of Chemical Compounds," Texas A&M University, Thermodynamics Research Center Data Project, Sheet 29-2-1-1 (1/25/56), 3/30/56.
 (2) S. Hasegawa, T. Matsumoto and M. Hayashi, J. Chem. Eng. Data 16 (1), 44-5 (1971).
 (3) M. W. Sagar, J. Chem. Phys. 16, 2428 (1948).

TYPICAL PROPERTIES DU PONT 1,4-BUTANEDIOL TECHNICAL GRADE

Appearance	clear liquid
1,4-Butanediol, wt %	>99.0
Water, wt %	< 0.2
Iron, ppm	< 0.2
Carbonyl number, mg KOH/g	< 1.5
Ash, wt %	< 0.1
Color, APHA	<20
Freezing point, C	18-20
F	64-68
Specific gravity, 25/4 C	1.012-1.016
Weight per gallon, 25 C (77 F), lb	8.45
Viscosity, 25 C (77 F), cP (mPa·s)	70-73
Flash point (open cup), C	121
F	250

National Fire Protection Association, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, Volatile Solids," NFPA No. 325, 1969. Note that value is for product with a melting point of 54-56 F (13-13 C).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการ

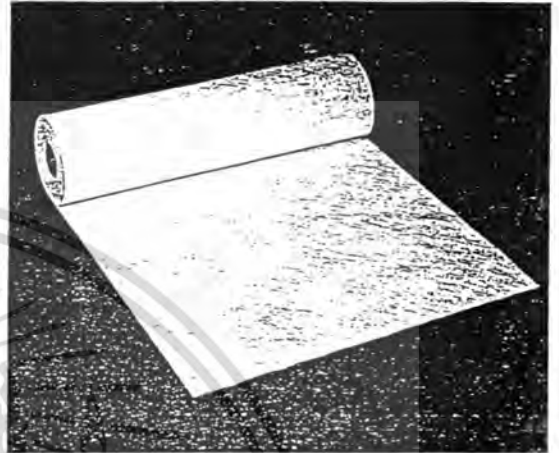
The information set forth herein is furnished free of charge and is based on technical data that Du Pont believes to be reliable. It is intended for use by persons having technical skill and is to be used with discretion. No warranty, expressed or implied, and assuming no liability in connection with any use of this information. Nothing herein is to be taken as a license to operate under or a recommendation to infringe any patents.

NEG Chopped Strand Mat

Chopped strand mat is manufactured by cutting strands unwound from many *cakes* to a set length. These strands are then formed into randomly dispersed lamination layers and held together with a polyester resin.

Characteristics

NEG chopped strand mat products are ideal for high-strength fiber reinforced plastic products on account of their superior impregnation, bubble releasing, and mold adhesion characteristics during the molding process.



Chopped Strand Mat Product Specifications

Code Number	Weight (g/m ²)	Weight and Length per Roll				Sizing	
		1040mm Width		1860mm Width		SE	SC
		Weight (kg)	Length (m)	Weight (kg)	Length (m)	Normal	Anti-corrosive
EM300	300	30.0	96.2	50.0	90.0	○	○
EM380	380	30.0	76.0	50.0	71.0	○	○
EM450	450	30.0	64.1	50.0	60.0	○	○
EM600	600	30.0	48.1	50.0	45.0	○	○

Order Number Key

E M 450 SE 1.86

Width (m)
Sizing type
Weight (g/m²)
Mat
E-glass

Applications

Chopped strand mats are used primarily for reinforcing thermo-setting plastics. Typical applications include the production of bathtubs, septic tanks, fishing and other boats, mainly by the hand lay-up method.



Motor boat

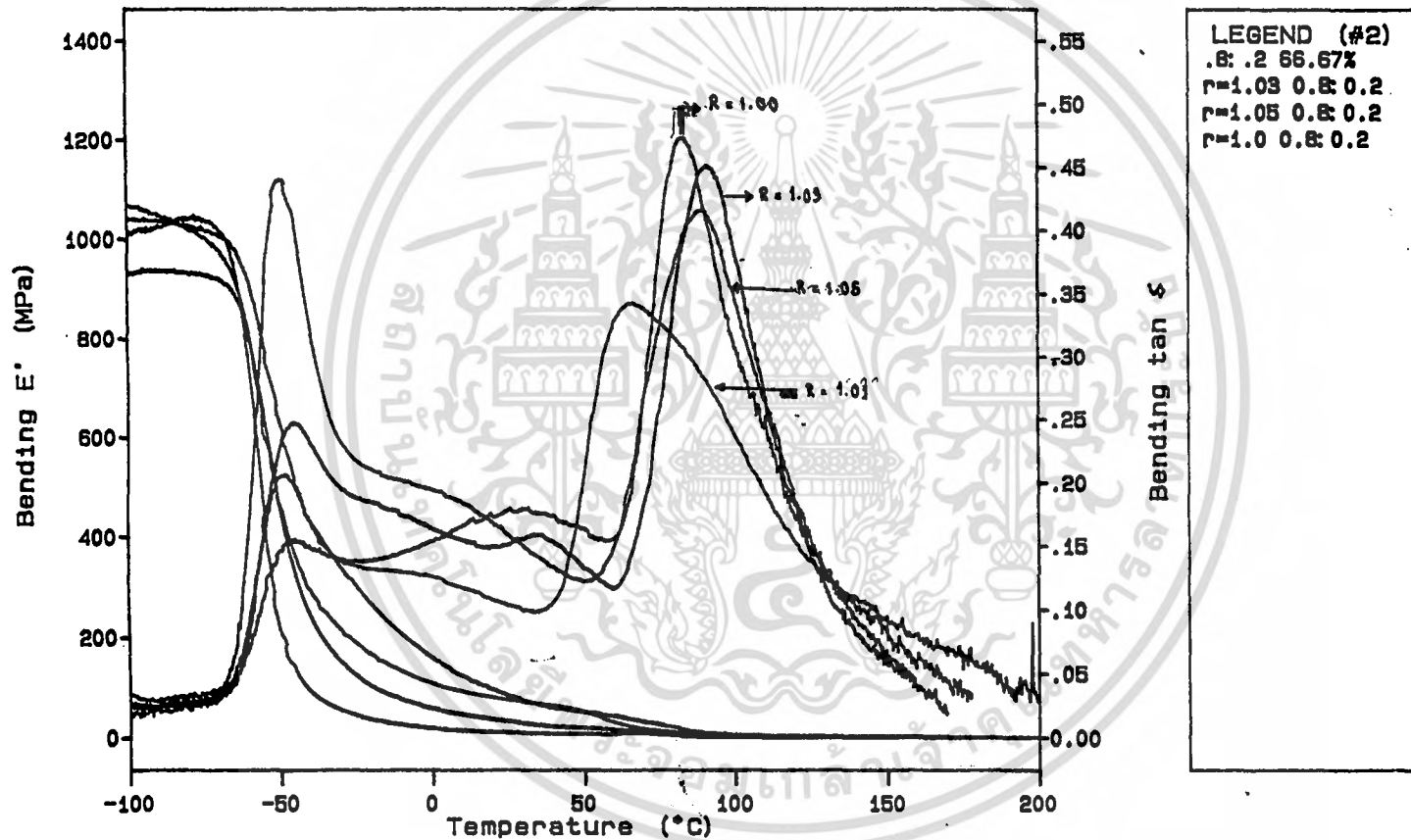
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMTA

Head: Standard 300°C

TITLE : .8: .2 66.67%
SUBTITLE: no f1
OPERATOR:
COMMENT :

FREQ : 1
STRAIN : x4
DIM: 5.00, 11.010, 1.900
DATE RUN: Mar/04/1993



VERSION: V5.12

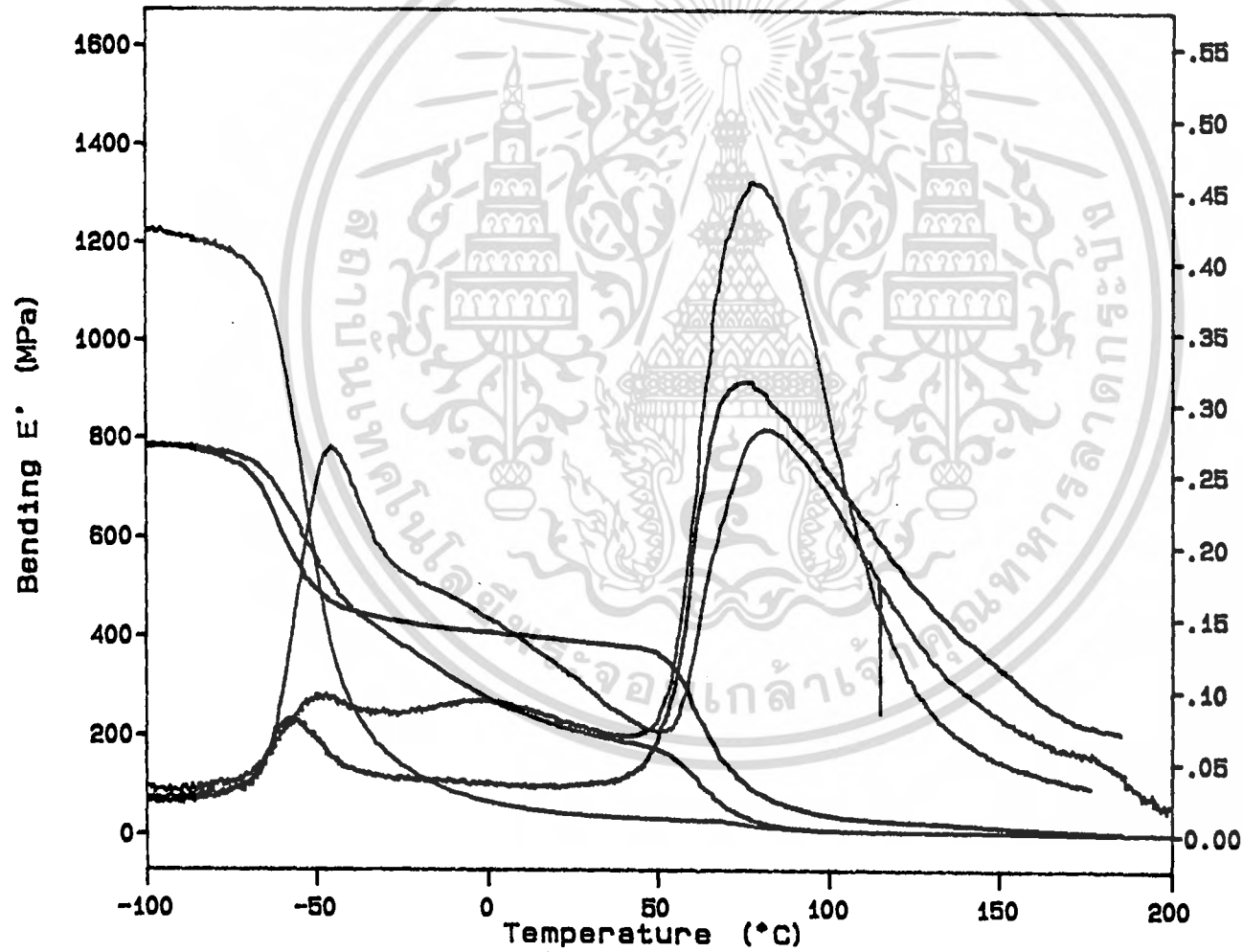
สำนักงานวิจัยและพัฒนาวัสดุ R

DMTA

Head: Standard 300°C

TITLE : PU 0.8:0.2
SUBTITLE: 50%PU
OPERATOR: NO FI
COMMENT :

FREQ : 1
STRAIN : x4
DIM: 5.00, 10.970, 2.100
DATE RUN: Mar/02/1993



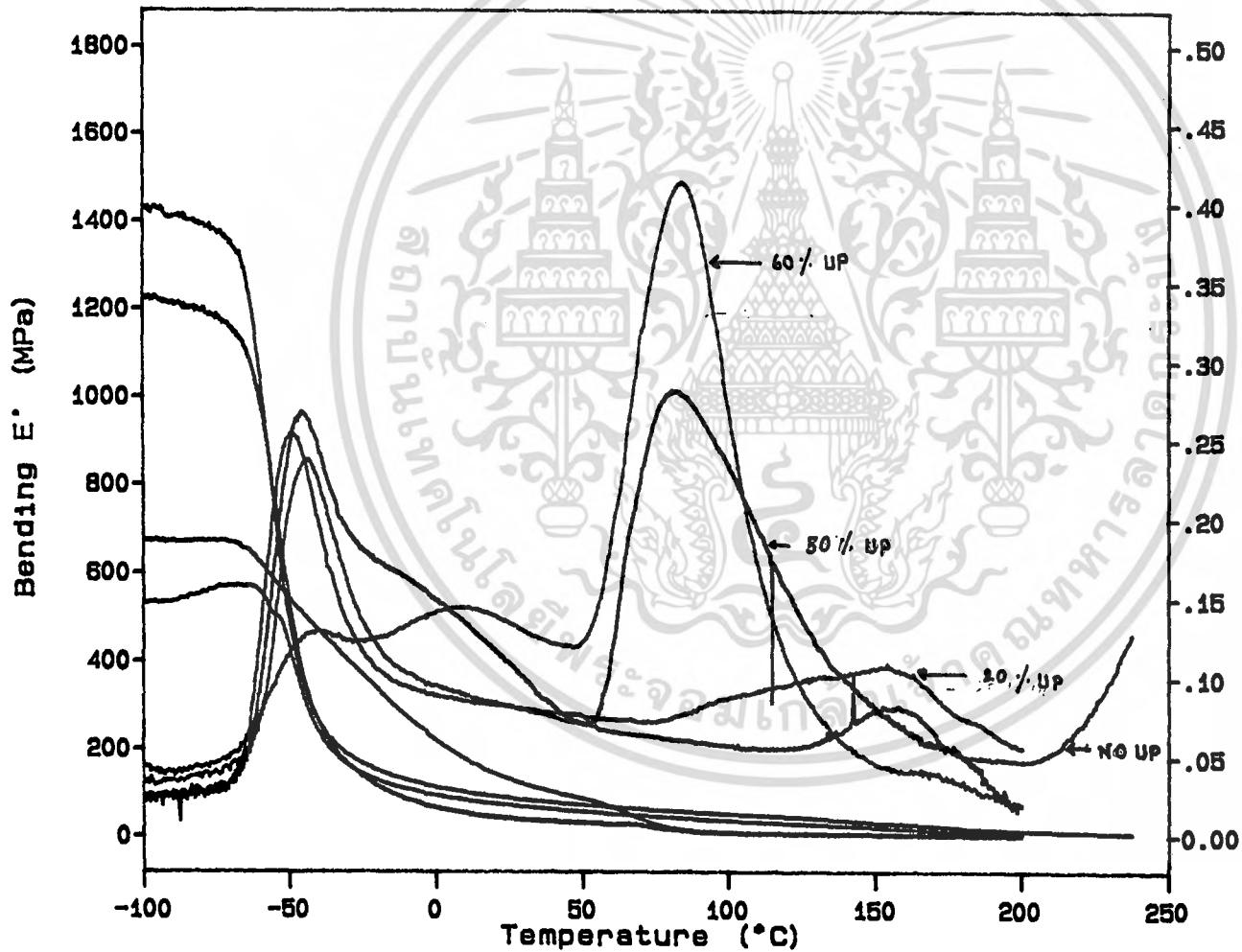
LEGEND (#1)
PU 0.8:0.2
r=1.01 0.9:0.1
r=1.01 .88: .15

DMTA

lead: Standard 300°C

TITLE : PU 0.8:0.2
SUBTITLE: NO UP.
OPERATOR: NO f1.
COMMENT :

FREQ : 1
STRAIN : x4
DIM: 5.00, 12.000, 2.980
DATE RUN: Mar/02/1993



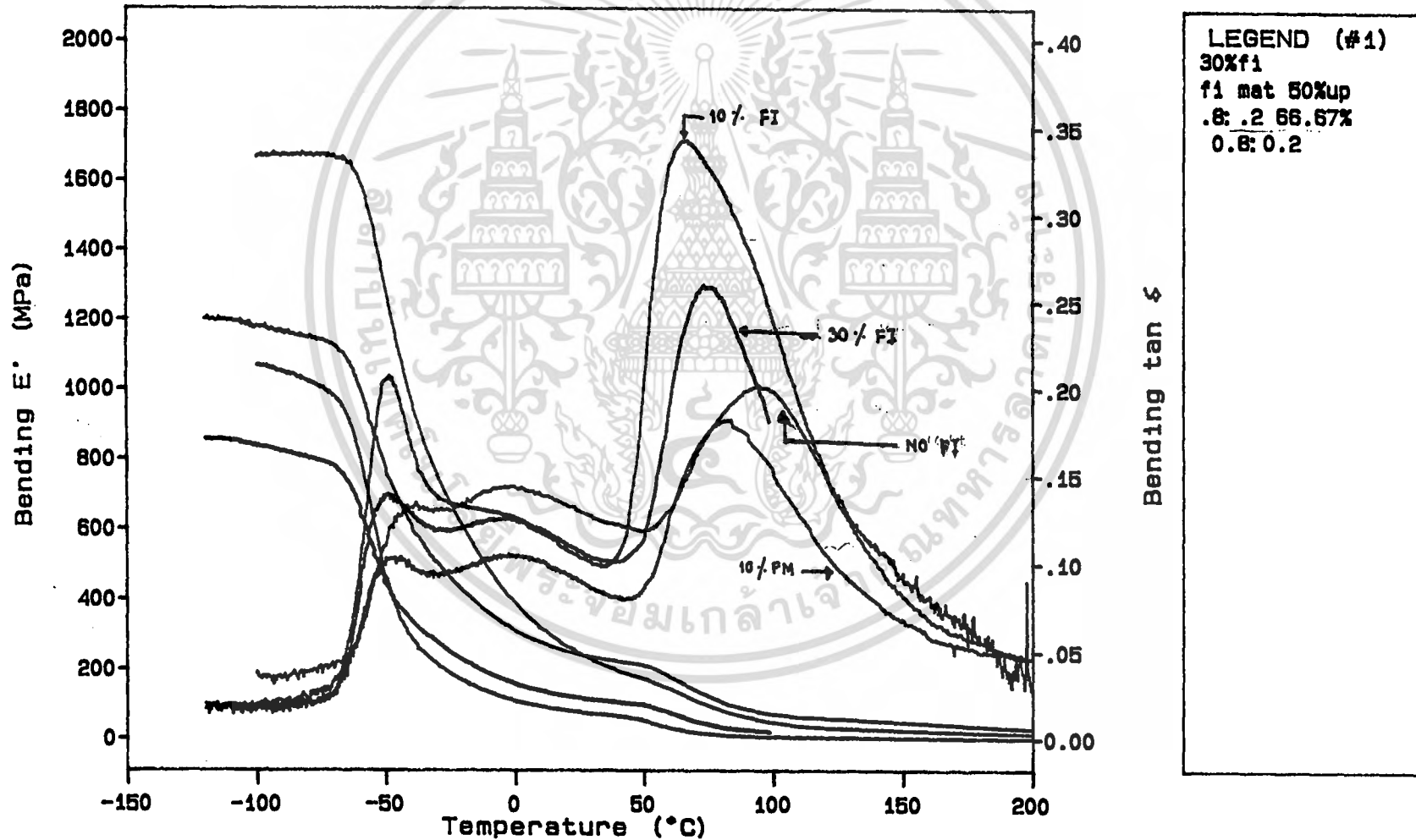
LEGEND (#1)
PU 0.8:0.2 - 60% UP
PU 0.8:0.2
1.01:0.8:0.2
1.01:0.8:0.2

DMTA

lead: Standard 300°C

TITLE : 30%f1
SUBTITLE: 50%up
OPERATOR: 0.8: 0.2
COMMENT :

FREQ : 1
STRAIN : x4
DIM: 5.00, 10.000, 2.010
DATE RUN: Feb/18/1993



บรรณานุกรม

1. Asahi Fiber Glass Co.,Ltd."Glass Fiber mats for reinforced polyurethane"Jpn.Kokai Tokkyo Koho JP 54,183,460[82,183,460] Nov. 11,1982.
2. Brassat,B.;Uerdingen,W.;Hess,B. ;Halpaap,R. and Pedain,J. "Azomethine group-containing compounds as reactive thickeners for unsaturated polyesters" Ger. Offen DE 3,624,914 Jan.28,1986.
3. Campbell D. Polymer characterization physical techniques 1st ed., pp. 242-296, Chapman and Hall, New York, 1989.
4. D.H. Morton-Jones Polymer processing 1st ed., Chapman and Hall, New York, 1989.
5. George Woods ICI Polyurethane book 1st ed.,pp.1-54,John Wiley & Son, 1987.
6. Herman, F.M. ; Norbert, M.B. ; Charles, G.O. and George, M. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering 2nd ed.,vol.3, pp.279-337,USA,1989.
7. Herman, F.M. ; Norbert, M.B. ; Charles, G.O. and George, M. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering 2nd ed.,vol.13, pp.243-297,USA,1989.
8. Kumar,pardup Technology of synthetic resin & their application pp.200-216.
9. Recker,Klaus;REinecke,Gerd;Awater,Albert;Groegler,Gerhard and Kraft,Karl Josef " Fiber reinforced moldings" Ger. Offen. 2,941,051 Apr.23,1981.
10. Ronald,J.B. and David,B. Industrial Plastics pp. 177-185,The good heart- Willcox company,Illinois,1982.
11. Takahashi ,Toshiki "Fiber reinforced polyurethane injection moldings" Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 02,219,618 [90,219,618] Sep.3,1990.
12. Terry,L.R. Industrial Plastic Theory and Application 2nd ed., pp. 325-333,Deimer Publisher,1989.
13. ดร.สมศักดิ์ ณีโรจน์ "สารเสริมแรง"วารสาร โลหะ วัสดุและแรง ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 , 2533 หน้า 4-24
14. ASTM D 2240-86 " Test Method for Rubber Properties- Durometer Hardness"
15. ASTM D 638 M-89 " Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Metric)

16. Gunter,O. Polyurethane Handbook 1st ed. pp. 7-116 ,Hanser publishers,New York,1985.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้