



การพัฒนาพอลิออเลฟินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

โดย

นางสาวฐิติมา ตะสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาพลีออธเรซินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

โดย

นางสาวฐิติมา ตะสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**DEVELOPMENT OF POLYOL RESIN FOR FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM
PRODUCTION**

**By
Thitima Tasuwan**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Chemical Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาพอลิออล
เรซินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น” เสนอโดย นางสาวฐิติมา ตะสุวรรณ เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัตน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ริมคุลิต)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา)

...../...../.....

52404210 : สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คำสำคัญ : พอลิยูรีเทน/ ไอโซไซยานาต/ พอลิออลเรซิน

จิตติมา ตะสุวรรณ : การพัฒนาพอลิออลเรซินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวิทกศา. 122 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบในพอลิออลเรซิน เช่น อัตราส่วนระหว่าง Base polyol และ Co-polymer polyol, ปริมาณ Crosslink, Surfactant, Gelling catalyst, Blowing catalyst และ Blowing agent ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม เช่น Cream time, Set time, End of rise และความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญกับคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมได้ โดยจากการทดลองพบว่า ปริมาณของ Base polyol และ Crosslink agent ทำให้ค่า Cream time, Set time และ End of rise มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งตรงข้ามกับ Co-polymer polyol, Gelling catalyst, Blowing catalyst และ Blowing agent แต่ Surfactant ส่งผลกับ Rise time ของปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว โดยผลการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่าง ได้ค่าปฏิกิริยาดังนี้ คือ Cream time 13 วินาที, Set time 46 วินาที และ End of rise 64 วินาที ซึ่งในพอลิออลเรซินมีส่วนประกอบดังนี้ คือ อัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol 70 : 30 โดยน้ำหนัก, Crosslink agent B 1.0 กรัม, Surfactant B 1.0 กรัม, Blowing catalyst 0.10 กรัม, Gelling catalyst A 0.56 กรัม, Gelling catalyst B 0.20 กรัม และ Blowing agent 4.0 กรัม โดยสูตรการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจะใช้สัดส่วนส่วนผสมของพอลิออลเรซิน 100 กรัม : ไอโซไซยานาต 81.38 กรัม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

52404210 : MAJOR : CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS : POLYURETHANE/ ISOCYANATE/ POLYOL RESIN

THITIMA TASUWAN : DEVELOPMENT OF POLYOL RESIN FOR FLEXIBLE
POLYURETHANE FOAM PRODUCTION. THESIS ADVISOR :

ASST.PROF.WEERAWAT PATTHAVEEKONGKA, D.Eng. 122 pp.

This research was focused on the effect of compositions in Polyol resin such as the ratio between Base polyol and Co-polymer polyol, amount of Crosslink agent, Surfactant, Gelling catalyst, Blowing catalyst and Blowing agent, respectively. These compositions have influence on the flexible polyurethane foam properties, i.e., Cream time, Set time, Rise time, and density of flexible polyurethane foams. These properties have important role on flexible polyurethane foam. From experimental result, it was found that increased amount of Base polyol and Crosslink agent were increased of Cream time, Set time, and End of rise, respectively. On the other hand, Co-polymer polyol, Gelling Catalyst, Blowing catalyst and Blowing agent were decreased these value. For surfactant affected only End of rise of the reaction. The flexible polyurethane foams production results close to standard sample have reaction time as following; 13 seconds of Cream time, 46 seconds of Set time, and 64 seconds of End of rise and have Polyol resin composition have ratio between Base polyol : Co-polymer polyol, 70 : 30 by weight, 1.0 g of Crosslink agent B, 1.0 g of Surfactant B, 0.10 g of Blowing catalyst, 0.56 g of Gelling catalyst A, 0.20 g of Gelling catalyst B, and 4.0 g of Blowing agent. The flexible polyurethane foams production formular has mixing ratio between 100 Polyol resin and 81.38 g of Isocyanate.

Department of Chemical Engineering Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ปัตทวิคองคา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งคอยสนับสนุนและให้คำแนะนำที่ดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณชยานันท์ เรืองมณียา วิศวกรผู้ดูแลโครงการ ซึ่งคอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา รวมทั้งถ่ายทอดความรู้ที่ตนเองมีอยู่ทั้งหมดให้แก่ข้าพเจ้าอย่างไม่หวงแหน

ขอขอบพระคุณ คุณศราวุธ สุทธิประภา ซึ่งเป็นผู้ที่คอยรับฟังปัญหา คอยดูแล ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ในทุกๆ เรื่อง รวมทั้งเสียสละเวลามาชี้แจงช่วยเหลือข้าพเจ้าในการหาข้อมูล และทำเล่มจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ คุณชนศ สุวรรณโณ ซึ่งได้ให้กำลังใจในการทำวิจัยตลอดคำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และเวลาในการทำงานบางส่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณจิรวัฒน์ ลือชัย ที่คอยดูแลและช่วยในการสมัครขอทุนวิจัย และคอยช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกสิ่งทุกอย่าง

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท ทีเอส อินเตอร์ซีท จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนในส่วนของการเช่าเครื่องมือและอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้า ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิเชียรและคุณแม่บุญช่วย ตะสุวรรณ ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด คอยอบรมสั่งสอน ดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้าอยากจะบอกกับท่านทั้งสองว่า หนูรักพ่อกับแม่ที่สุด และดีใจที่ได้เกิดมาในชาตินี้และได้เป็นลูกของท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 โครงสร้างทั่วไป	8
2.2 ปฏิบัติการสังเคราะห์	8
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม.....	10
2.4 วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น	11
2.5 ประวัติการพัฒนาพอลิยูรีเทนแบบยืดหยุ่นในภาคอุตสาหกรรม	13
2.6 กรรมวิธีในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น.....	14
2.7 รูปแบบในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟม	17
2.8 กระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม.....	18
3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	21

บทที่	หน้า
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 วิธีการทดลอง	23
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการตรวจสอบหาสารประกอบของพอลิออลเรซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน	31
4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ภายในพอลิออลเรซินที่มีอิทธิพลต่อการผลิตโฟม.....	31
4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทน โฟม.....	32
4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อคุณสมบัติของ พอลิยูรีเทน โฟม.....	35
4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อคุณสมบัติของ พอลิยูรีเทน โฟม.....	38
4.2.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อคุณสมบัติของ พอลิยูรีเทน โฟม.....	41
4.2.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อคุณสมบัติของ พอลิยูรีเทน โฟม.....	44
4.2.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อคุณสมบัติของ พอลิยูรีเทน โฟม.....	47
4.3 ผลการสังเคราะห์สูตรพอลิออลเรซินให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ พอลิออลเรซินที่เป็นมาตรฐาน	50
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอลิออลเรซินที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วโดยการนำไป ทดสอบ Box foam properties และ Liquid properties.....	50
4.4.1 ผลการหาค่าความหนาแน่น.....	50
4.4.2 ผลการวัดค่า Ball rebound.....	52
4.4.3 ผลการวัดค่า Tensile strength.....	53
4.4.4 ผลการหาค่า Elongation.....	55

บทที่	หน้า
4.4.5 ผลการวัดค่า Tear strength.....	56
4.4.6 ผลการวัดค่า Hardness.....	58
4.4.7 ผลการวัดค่า Compression set.....	59
4.4.8 ผลการตรวจสอบ Morphology.....	62
4.4.9 ผลการวัดค่าความหนืด.....	64
4.4.10 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ.....	66
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก (ข้อมูลอ้างอิง)	74
ภาคผนวก ข (สูตรและตัวอย่างการคำนวณ)	78
ภาคผนวก ค (ข้อมูลการทดลอง).....	82
ประวัติผู้วิจัย.....	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การแบ่งประเภทของพอลิยูรีเทนโฟมชนิดต่างๆ.....	7
2 สารเคมีชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง	21
3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	22
4 ส่วนผสมของสูตรที่ถูกเลือกนำมาผลิตเป็นพอลิยูรีเทนโฟม.....	50
5 ค่าความหนาแน่นของ PU foam ที่ผลิตจากสูตรที่ได้รับการคัดเลือก THI เปรียบเทียบกับ PU foam ตัวอย่าง STD.....	51
6 ค่า Ball rebound ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	52
7 ค่า Tensile strength ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	54
8 ค่า Elongation ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	55
9 ค่า Tear strength ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	57
10 ค่า Hardness ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	58
11 ค่าความหนาของขึ้นโฟมก่อนและหลังการทำการทดลอง Compression set.....	60
12 ค่า Compression set ของ PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	61
13 ค่าความหนืดของพอลิโอดที่ใช้ในการผลิต PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	65
14 ค่าความถ่วงจำเพาะของพอลิโอดที่ใช้ในการผลิต PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	66
15 คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่ต้องการ.....	75
16 สูตรของพอลิโอดเรซินที่นำมาใช้ในขั้นตอนการศึกษองค์ประกอบที่อยู่ภายใน พอลิโอดเรซินที่มีอิทธิพลต่อการผลิตโฟม.....	76
17 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	83
18 ผลการทดลองจากการทดสอบผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากพอลิโอดเรซินตัวอย่าง จากทางบริษัท ที เอส อินเตอร์ชัท จำกัด.....	84
19 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่ เหมาะสมของอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol.....	85
20 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมสูตรในตารางที่ 19.....	86

21 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่ เหมาะสมของ Crosslink agent.....	87
22 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 21.....	89
23 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่ เหมาะสมของ Surfactant	90
24 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 23.....	92
25 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่ เหมาะสมของ Gelling catalyst	93
26 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 25.....	95
27 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่ เหมาะสมของ Blowing catalyst และ Blowing agent	96
28 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 27.....	98
29 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 1-10.....	99
30 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 29.....	101
31 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 11-20.....	102
32 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 31.....	104
33 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 21-30.....	105

34	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 33.....	107
35	ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 31–40.....	108
36	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 35.....	110
37	ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 41–50.....	111
38	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 37.....	113
39	ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 51–60.....	114
40	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 39.....	116
41	ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 61–69.....	117
42	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 41.....	119
43	ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิต พอลิยูรีเทนโฟมสูตรที่ 69 อีก 3 ครั้งเพื่อตรวจสอบผลที่เกิดขึ้น.....	120
44	ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 43.....	121

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลักษณะโครงสร้างรูปทั่วไปของพอลิยูรีเทน	8
2 ปฏิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก.....	9
3 ปฏิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมเซต	9
4 ลักษณะโครงสร้างของพอลิยูรีเทน	10
5 โครงสร้างรูปพื้นฐานทั่วไปของหน่วยรีพิทของพอลิยูรีเทน	10
6 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลปกติ	12
7 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลเมื่อมี Cross-linker	12
8 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดยใช้ Conveyer process	14
9 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Draka-Petzetakis process conveyer	15
10 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Maxfoam process.....	15
11 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Hennecke-Planiblock process.....	16
12 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Verifoam process.....	16
13 กลไกของระบบต่างๆ ในการเกิดโฟม	18
14 การเตรียมสาร Base polyol และ Co-polymer polyol.....	24
15 ขั้นตอนการผสมพอลิออลเรซิน.....	24
16 การเตรียมสารไอโซไซยานต.....	25
17 ลักษณะของ Mold ที่นำมาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทน โฟมแบบ Free blow ..	25
18 ขั้นตอนการผสมพอลิออลเรซินและไอโซไซยานต	26
19 ขั้นตอนการเทสารผสมลง Mold.....	26
20 พอลิยูรีเทน โฟมหลังเสร็จสิ้นปฏิริยา.....	27
21 การเตรียมพอลิยูรีเทน โฟมสำหรับทดสอบค่า Compression set.....	29
22 ผลการวิเคราะห์พอลิออลเรซินด้วยเครื่อง FTIR.....	31
23 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อ Reaction time.....	33
24 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base Polyol : Co-polymer Polyol ที่มีต่อ ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทน โฟม.....	34
25 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิริยา.....	36

ภาพที่	หน้า
26 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อความหนาแน่นของ พอลิยูรีเทนโฟม.....	37
27 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา.....	39
28 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อความหนาแน่นของ พอลิยูรีเทนโฟม.....	40
29 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา.....	42
30 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของ พอลิยูรีเทนโฟม.....	43
31 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา.....	44
32 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของ พอลิยูรีเทนโฟม.....	46
33 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา.....	47
34 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อความหนาแน่นของ พอลิยูรีเทนโฟม.....	49
35 การเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	51
36 การเปรียบเทียบค่า Ball rebound ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	53
37 การเปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	54
38 การเปรียบเทียบค่า Elongation ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	56
39 การเปรียบเทียบค่า Tear strength ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	57
40 การเปรียบเทียบค่า Hardness ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	58

ภาพที่	หน้า
41 การเปรียบเทียบค่า Compression set ระหว่าง PU foam ตัวอย่าง STD กับ PU foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI.....	61
42 ลักษณะของ PU foam STD ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5 เท่า.....	62
43 ลักษณะของ PU foam STD ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10 เท่า.....	63
44 ลักษณะของ PU foam THI ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5 เท่า.....	63
45 ลักษณะของ PU foam THI ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10 เท่า.....	64
46 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU foam THI.....	65
47 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI.....	67
48 ลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเบาะสำหรับมอเตอร์ไซด์ในปัจจุบันนั้น มีการใช้โฟมชนิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น (Flexible polyurethane foam) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยกระบวนการผลิต Flexible polyurethane foam นั้นเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานेट (Isocyanates) กับพอลิโออลเรซิน (Polyol resin) โดยในปัจจุบันวัตถุดิบจำพวกพอลิโออลเรซินเป็นสารเคมีชนิดสำเร็จรูปที่จำเป็นจะต้องสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิต จึงทำให้ไม่ทราบถึงส่วนประกอบของพอลิโออลเรซินได้ ดังนั้นในกรณีที่เกิดปัญหาต่างๆ ในกระบวนการผลิต เช่น ผิวโฟมลอก, เกิดโพรงอากาศที่ผิวของโฟม เป็นต้น จะทำให้ไม่สามารถระบุถึงสาเหตุที่แท้จริงได้ว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นสืบเนื่องมาจากส่วนใดของสารประกอบที่ใช้อยู่ โดยปัญหาส่วนมากที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นมาจากสารประกอบจำพวกพอลิโออลเรซิน ดังนั้นในการทำงานวิจัยนี้จึงได้มีการมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพอลิโออลเรซินโดยการศึกษาถึงประเภทของสารเคมีที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของพอลิโออลเรซิน รวมไปถึงการทดลองผลิตพอลิโออลเรซิน ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตขึ้นได้ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาทดสอบผลิตพอลิโออลเรซินที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้แทนในกระบวนการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุม ปรับปรุงและแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว นอกจากนั้นยังสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นได้อีกด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการศึกษาถึงข้อมูลในการผลิต รวมไปถึงผลกระทบของสารประกอบที่จะนำมาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้มีทั้งจากงานวิจัยของคณะวิจัยอื่นๆ รวมไปถึงจากบริษัทผู้ผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นที่เป็นผู้ร่วมทุนในการวิจัย โดยทำให้ทราบว่า การผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นมักจะมุ่งเน้นไปเพื่อการผลิตเป็นเบาะของรถ หรือเฟอร์นิเจอร์ (Armenta J.L. Rivera และคณะ และ Jerome Lefebvre และคณะ)

โดยการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น นั้นจะใช้พอลิออลและไอโซไซยานาตเป็นส่วนประกอบหลัก โดยสามารถแบ่งชนิดของไอโซไซยานาตได้ออกเป็น 2 จำพวก คือ ไดฟีนิล-มีเทนไดไอโซไซยานาต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) และโทลูอินไดไอโซไซยานาต (Toluene diisocyanate, TDI) (Nihal Sarier และคณะและ Armenta J.L. Rivera และคณะ) แต่ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพอลิออลซึ่งก็สามารถที่จะแบ่งชนิดของพอลิออล ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ พอลิเอสเทอร์พอลิออล (Polyester polyol) และพอลิอีเทอร์พอลิออล (Polyether polyol) โดยในขบวนการผลิตในยุคปัจจุบัน นิยมที่จะนำเอาพอลิอีเทอร์พอลิออลมาใช้มากกว่า ซึ่งพอลิอีเทอร์พอลิออลนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนออกไซด์ (Ethyleneoxide) กับโพรพิลีนออกไซด์ (Propylene oxide) (Jerome Lefebvre และคณะ) โดยขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น นั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำซึ่งคือ ปฏิกิริยาการพองตัว (Blow reaction) เป็นผลทำให้เกิดการฟอรั่มตัวของยูเรียซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิด Hard segment ของโฟมขึ้น
2. ปฏิกิริยาระหว่างพอลิออลกับพอลิออลซึ่งคือ ปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelation reaction) เป็นผลให้การทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิออลกับหมู่ Terminal hydroxyl ของพอลิออลซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการฟอรั่มตัวของสายโซ่ยูรีเทน (Ashish Aneja และคณะ)

โดยที่จะมีการผสมสารประกอบลงไปในพอลิออลเพื่อให้โฟมมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยที่เมื่อผสมสารประกอบอื่นๆ ลงไปในพอลิออลแล้วจะเรียกว่า พอลิออลเรซิน (Polyol resin) ซึ่งสารประกอบที่ผสมลงไปในพอลิออลมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น สารช่วยพอง (Blowing agent) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะใช้น้ำเป็นสารช่วยพอง ซึ่งสารชนิดนี้มีหน้าที่ในการควบคุมการฟุ้งตัวของพอลิยูรีเทนโฟม และนอกจากนี้แล้วยังมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมอีกด้วย, Surfactant ซึ่งเป็นสารจำพวก Silicone โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้นำสารชนิดนี้มาใช้ทำหน้าที่เป็น Cell stabilizer, Catalyst แบ่งออกเป็นหลายประเภทแต่จุดประสงค์หลักของการใช้สารประกอบประเภทนี้ก็เพื่อที่จะใช้ลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้มีค่าลดลง (Jerome Lefebvre และคณะ) เป็นต้น โดยใช้เครื่องผสมช่วยในการผสมส่วนประกอบให้เข้ากันโดยมีความเร็วรอบในการปั่นอยู่ที่ 1,200–1,800 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วรอบในการปั่นเมื่อใช้ผสมพอลิออลและไอโซไซยานาต จะมีความเร็วรอบในการผสมอยู่ที่ประมาณ 2,000–2,400 รอบต่อนาที (Ashish Aneja และคณะ)

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองผลิตโฟมขึ้นเพื่อตรวจสอบผลของสารประกอบต่างๆ ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในขั้นตอนการศึกษาสารประกอบเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น นั้นได้ทำการศึกษาสารประกอบหลายชนิด เช่น อัตราส่วนระหว่าง Basepolyol : Co-polymer polyol ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัตราส่วน 70 : 30 (Yun J. Lee และคณะ), Blowing agent (น้ำ) ซึ่งได้นำมาใช้ในปริมาณ 0-5 ส่วน (Ashish Aneja และคณะและ Mark Sonnenschein และคณะ) เป็นต้น

ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตขึ้นมาจากผู้วิจัยได้ทำการทดสอบถึงความหนืดของพอลิออลเรซินที่นำมาใช้, วัด Reaction time ในการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่นโดยมีการวัดค่า Cream time , Set time และ End of rise, การหาความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม นอกจากนี้ยังมีการนำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่ได้ทดลองผลิตขึ้นมามีค่าออกมาเป็นชิ้นๆ เพื่อนำไปทดสอบหา Mechanical properties เช่น Tensile strength, Elongation เป็นต้น (Carolina Molero และคณะ, Ashish Aneja และคณะ, Ryohei Tanaka และคณะ, Gite V.V. และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ)

นอกจากนี้ยังมีศึกษาถึงสัณฐานวิทยาของพอลิยูรีเทนโฟมโดยมีการนำเอาโฟมที่ได้ทดลองผลิตขึ้นในงานวิจัยมาตัดเป็นชิ้นๆ โดยมีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร เพื่อนำไปส่องด้วยกล้อง Scanning electron microscope (SEM) (Basar Yildiz และคณะ, Nihal Sarier และคณะ, Ashish Aneja และคณะและ Yun J. Lee และคณะ) อีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบข้อมูลสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม
2. เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของพอลิออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Catalyst และ Blowing agent ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตได้ เช่น Reaction time, ความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม
3. ได้สูตรการผลิตพอลิออลเรซินในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับผลิตพอลิยูรีเทนโฟมให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น Liquid properties, Free blow properties และ Box mold properties ได้อย่างน้อย 1 สูตร

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

ผลขององค์ประกอบของพอลิออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Catalyst และ Blowing agent น่าจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตได้ เช่น Reaction time, ความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาถึงส่วนประกอบของพอลิออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Catalyst และ Blowing agent เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสูตรในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมอย่างน้อย 1 สูตร โดย

1. ทำการศึกษาอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ทั้งหมด 5 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วน 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก (กรัม) ตามลำดับ
2. ทำการศึกษา Crosslink 2 ชนิด ได้แก่ Crosslink A และ Crosslink B โดยใช้ปริมาณของ Crosslink ดังนี้คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ใน Crosslink ทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยไม่ใส่ Crosslink รวมไปถึงการใช้ Crosslink ทั้ง 2 ชนิดผสมกันในอัตราส่วน 0.5 กรัม : 0.5 กรัม
3. ทำการศึกษา Surfactant 2 ชนิด ได้แก่ Surfactant A และ Surfactant B โดยใช้ปริมาณ ดังนี้ คือ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ใน Surfactant ทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยไม่ใส่ Surfactant อีกด้วย
4. ทำการศึกษา Blowing catalyst 1 ชนิดโดยใช้ปริมาณ 0, 0.05, 0.10 และ 0.20 กรัม ตามลำดับ
5. ทำการศึกษา Gelling catalyst 3 ชนิด ได้แก่ Gelling catalyst A, Gelling catalyst B และ Gelling catalyst C ในปริมาณ 0.3, 0.5 และ 1.0 กรัม ทั้ง 3 ชนิด
6. ทำการศึกษา Blowing agent 1 ชนิด โดยใช้ปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม ตามลำดับ
7. พอลิออลเรซินที่ใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม คือ พอลิออลเรซินที่บริษัท ที เอส อินเตอร์ชัท จำกัด ใช้อยู่
8. คุณสมบัติของโฟมที่ต้องการ แสดงดังภาคผนวก ก

1.6 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาข้อมูลทฤษฎีของพอลิยูรีเทนโฟมและกระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม
2. สรุปผลข้อมูลทางทฤษฎีและวิเคราะห์ถึงวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน
3. สกัดตัวอย่างที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบหลักทางเคมีของพอลิยูรีเทนโฟม
4. สรุปข้อมูลจากการสกัดตัวอย่างวิเคราะห์ กำหนดสูตรและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟม
5. จัดหาอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
6. ทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากสูตรที่กำหนด เพื่อจะได้ทราบว่าองค์ประกอบแต่ละชนิดในพอลิออลเรซินส่งผลอย่างไรต่อพอลิยูรีเทนโฟม
7. ทดลองผลิตพอลิออลเรซินจนได้สูตรที่เหมาะสมและปรับปรุงให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ
8. ตรวจสอบ Mechanical property
9. สรุปผลการทดลอง
10. เขียนรายงาน, จัดพิมพ์รายงานและนำเสนอผลงาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงข้อมูลสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม
2. ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของพอลิออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Catalyst และ Blowing agent ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตได้ เช่น Reaction time, ความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม
3. สามารถเตรียมและสร้างสูตรของพอลิออลเรซินเพื่อเป็นวัตถุดิบในการนำไปใช้ผลิตพอลิยูรีเทนโฟมได้
4. สามารถปรับสูตรของพอลิออลเรซินเพื่อพัฒนาให้ได้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีสมบัติขั้นสุดท้ายตามความต้องการ

5. สามารถพัฒนาต่อเนื่อง ถึงการสร้างกระบวนการผลิตพอลิออลเรซินเพื่อควบคุมปัญหาของการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่เกิดเนื่องจากวัตถุดิบพอลิออลเรซิน
6. สามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พอลิยูรีเทน (Polyurethane) มักถูกเรียกอย่างสั้นๆ ว่า PU โดย PU foams สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Flexible foams และ Rigid foams ซึ่งโครงสร้างของพอลิยูรีเทน ประกอบด้วย พอลิออล (Polyol) และ ไอโซไซยาเนต (Isocyanates) โดยที่เปรียบเทียบได้ว่า พอลิออล คือ อิฐบล็อกจากสำหรับสร้างตึก และไอโซไซยาเนต คือ ปูนที่ใช้ในการยัดตึก พอลิยูรีเทนโฟมทุกชนิดถูกเตรียมขึ้นจากพอลิออลและไอโซไซยาเนตที่มีคุณสมบัติทางเคมี, Equivalent weight และ ค่า functionality ที่เหมาะสม การแบ่งประเภทของพอลิยูรีเทนโฟมชนิดต่างๆ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทของพอลิยูรีเทนโฟมชนิดต่างๆ

Polyol	Rigid Foam	Semirigid Foam	Flexible Foam
OH No.	350–560	100–200	5.6–70
OH Equivalent No.	160–100	560–280	10,000–800
Functionality	3.0–8.0	3.0–3.5	2.0–3.1
Elastic Modulus at 23°C			
MPa	> 700	700–70	< 70
lb/in ²	> 100,000	100,000–10,000	< 10,000

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 66.

พอลิยูรีเทนมีทั้งชนิดที่เป็นเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต พอลิยูรีเทนเป็นพลาสติกที่มีการใช้กันแพร่หลายมากที่สุดชนิดหนึ่งเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีตั้งแต่อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น จนถึงเป็นโฟมชนิดแข็ง พอลิยูรีเทนแบ่งออกตามการใช้งานได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. พอลิยูรีเทนโฟมชนิดยืดหยุ่น (Flexible polyurethane foam) ได้ใช้ทำเบาะเฟอร์นิเจอร์ และรองเท้าพื้นพรูม

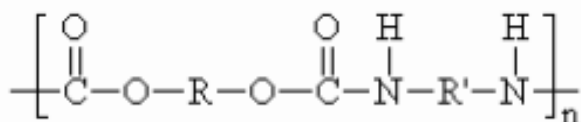
2. พอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (Rigid polyurethane foam) มีคุณสมบัติเด่นๆ คือ เป็นฉนวนที่ดี นิยมใช้ทำ ปีกเครื่องบิน ท่อเรือ ภาชนะเก็บของร้อนและเย็น เพื่อให้เกิดความแข็งแรง และเป็นฉนวนความร้อน

3. พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Semirigid polyurethane foam polyurethane elastomers) สามารถทนต่อแรงเสียดทานได้ดีมาก มีความยืดหยุ่นดี ใช้ทำยางรถยนต์ พื้นรองเท้า นอกจากนี้ Elastomer ยังสามารถนำไปผลิตเป็น Elastic fiber ซึ่งใช้อุตสาหกรรมสิ่งทอ ไหมเย็บแผล และชุดว่ายน้ำ

สรุป พอลิยูรีเทน (Polyurethane) เป็นเทอร์โมเซตติงพอลิเมอร์ชนิดเดียวที่สามารถเตรียมให้มีตั้งแต่ลักษณะแข็งเหนียวจนกระทั่งนุ่มฟูแบบฟองน้ำ สามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายลักษณะตั้งแต่เป็นเส้นใยเป็นยางเทียม จนกระทั่งกาวหรือสารเคลือบผิว

2.1 โครงสร้างทั่วไป

โครงสร้างทั่วไปของพอลิยูรีเทนแสดงดังภาพที่ 1

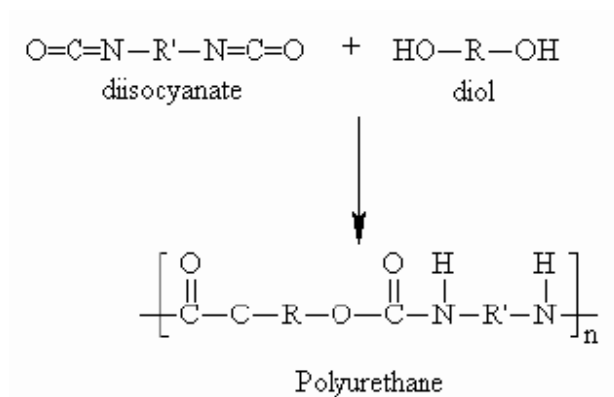


ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างรูปทั่วไปของพอลิยูรีเทน

ที่มา : Ron Herrington, **Flexible Polyurethane Foams** (Texas: Dow 's book, 1997), 2.2.

2.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์

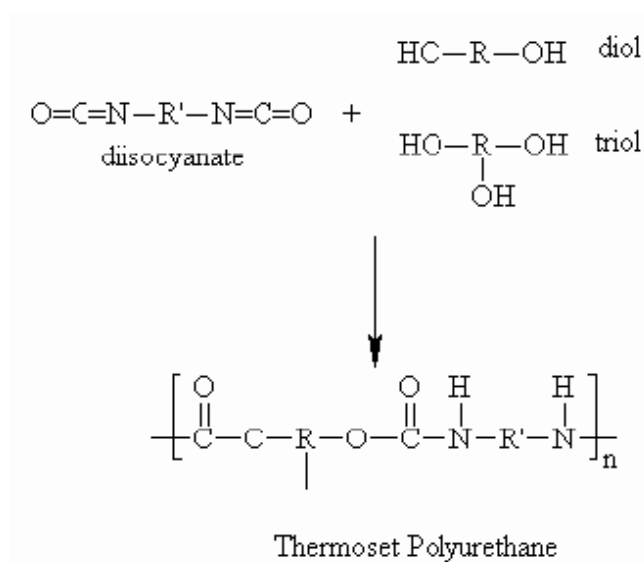
พอลิยูรีเทนสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น ระหว่างสารตั้งต้นพื้นฐานชนิด Diisocyanate และ Diol ดังสมการ



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 13.

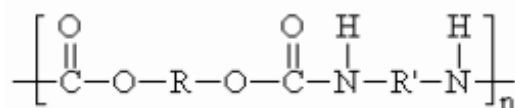
จากลักษณะปฏิกิริยาการสังเคราะห์ หากใช้เฉพาะ Diisocyanate ทำปฏิกิริยากับ Diol จะได้พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตพอลิยูรีเทนจะสามารถเกิดขึ้นได้โดยการเติมสารเพิ่มเติมที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 2 หมู่ฟังก์ชัน ดังสมการ



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมเซต

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 14.

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

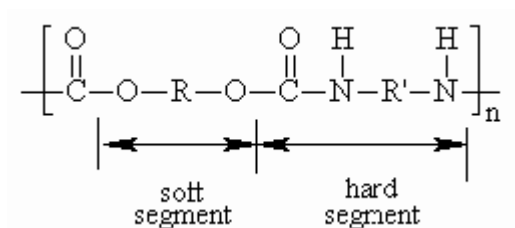


ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างของพอลิยูรีเทน

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 65.

ลักษณะโครงสร้างของพอลิยูรีเทน นอกจากหมู่อัลคิลเป็นหน่วยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของพอลิยูรีเทนแต่ละชนิด ลักษณะโครงสร้างของหมู่อัลคิลยังสามารถใช้กลุ่มชี้บอกแนวโน้มสมบัติของพอลิยูรีเทนได้

จากโครงสร้างรูปพื้นฐานทั่วไปของหน่วยรีพีท (Repeating unit) จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ Soft and hard segment ส่วนนิ่มจะเป็นส่วนในกลุ่ม Diol สำหรับส่วนแข็งจะเป็นส่วนที่อยู่ในกลุ่ม Diisocyanate การที่พอลิยูรีเทนสามารถแสดงลักษณะพฤติกรรมได้เช่นนี้ เป็นเพราะ -C-O-C- ที่อยู่ในส่วน Diol มีความยืดหยุ่นได้ส่วน -NH-CO- จาก Diisocyanate มีความแข็งแรงที่สูงกว่า นอกจากมัมพันธะที่มีความยืดหยุ่นต่ำกว่า ยังมีผลจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ฟังก์ชันของส่วนนี้ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามลักษณะความนิ่มและความแข็งมีความแตกต่างกันได้ขึ้นกับลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของหมู่อัลคิลทั้งสองกลุ่ม



ภาพที่ 5 โครงสร้างรูปพื้นฐานทั่วไปของหน่วยรีพีทของพอลิยูรีเทน

ที่มา : Ron Herrington, **Flexible Polyurethane Foams** (Texas: Dow 's book, 1997), 3.1.

พอลิยูรีเทนสามารถทำให้มีสมบัติได้หลากหลายจะเกิดจากปริมาณสัดส่วนระหว่าง Diol และ Diisocyanate ในโมเลกุล การมีปริมาณกลุ่ม Diisocyanate ที่สูงมีผลทำให้พอลิยูรีเทนมีความแข็งแรงสูงแม้ว่าพอลิยูรีเทนนั้นไม่มีการเกิดโครงสร้างแบบร่างแหแท้จริงก็ตาม (ผลของพันธะไฮโดรเจน) ดังนั้นพอลิยูรีเทน โครงสร้างลักษณะเช่นนี้ สามารถบอกได้ว่า ที่อุณหภูมิจะมีสภาพเป็นเทอร์โมพลาสติก (สามารถแปรรูปได้) และที่อุณหภูมิต่ำจะมีสภาพเป็นเทอร์โมเซตเทียม (มีความแข็งแรงสูงมาก ทนต่อสารเคมี ทนต่อการขีดข่วน)

2.4 วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตพอลิยูรีเทนโฟมชนิดยืดหยุ่นในปัจจุบันนั้น จะแยกออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ไอโซไซยาเนต (Isocyanate) : ไอโซไซยาเนตที่ใช้ในการผลิตมีอยู่ 2 ชนิดดังต่อไปนี้

1.1 โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (Toluenediisocyanate) : การผลิตสารนี้ (TDI) เกิดจากปฏิกิริยาของไดอะมีโนโทลูอีน (Diamino toluene) กับฟอสจีน (Phosgene) สารนี้ใช้เป็นสารตัวกลางในการเชื่อมโพลีเอเธอร์และโพลีเอสเทอร์ ที่ใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนและสาร TDI นี้ยังมีไอโซเมอร์ที่พบบ่อยได้อีก 2 รูป คือ 2,4-TDI และ 2,6-TDI ซึ่งในท้องตลาดจำหน่าย TDI ในรูปส่วนผสมของ 2,4-TDI และ 2,6-TDI ในอัตราส่วน 80 : 20

1.2 ไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) : เกิดจากการ Condensation ของ Aniline และ Formaldehyde ได้เป็น Diphenylmethane diamine แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับฟอสจีน (Phosgene) ก็จะได้ MDI และสาร MDI นี้ยังมีไอโซเมอร์ที่พบบ่อยได้อีกคือ 4,4-Diisocyanatediphenylmethane ซึ่งใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน

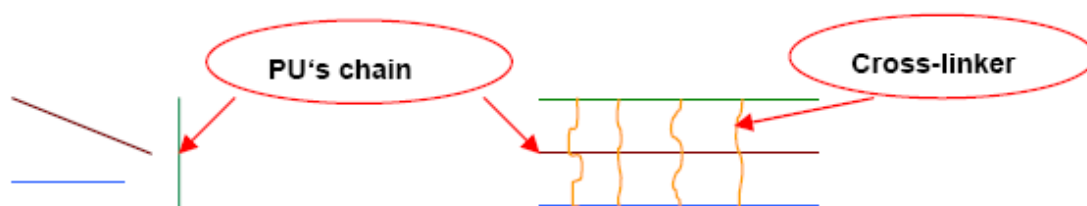
2. Premix Resins : ประกอบไปด้วยสารเคมีต่างๆ ดังนี้

2.1 พอลิออล (Polyol) เป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตเรซิน ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพอลิเมธิลไฮดรอกซิล ซึ่งที่นิยมใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมมากในปัจจุบันคือ โพลีเอเทอร์ (Polyether), Propylene oxide & Ethylene oxide (จะเป็น Co-polymer ที่มีการจัดเรียงตัวแบบ Block co-polymer โดย Propylene จะเรียงตัวสลับกับ Ethylene ยกตัวอย่างเช่น PPP-EEE-PPP-EEE-PPP-EEE-PPP-EEE-PPP-EEE) บริษัทที่มีกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จะเป็นผู้ผลิตส่วนใหญ่ เช่น DOW, Bayer, BASF, Mitsui, Huntsman, TPI, ICI เป็นต้น

2.2 Blowing agent (H_2O) : ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมจะต้องใช้น้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาต ซึ่งจะทำให้เกิดสารประกอบที่มีพันธะยูเรีย (เพิ่มความแข็งแรงให้กับโฟม) และจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ทำให้โฟมขึ้นตัวและทำให้เซลล์โฟมมีลักษณะเป็นรูพรุน)

2.3 Surfactant : ที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมส่วนใหญ่จะเป็นพวก Silicone surfactant สารจำพวกนี้เมื่อเติมเข้าไปแล้วทำให้การผสมของส่วนต่างๆ เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น และทำให้ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตเกิดได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เซลล์โฟมละเอียดยิ่งขึ้น (สามารถควบคุมขนาดและปริมาณของเซลล์เปิดได้) ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตต่างประเทศ เช่น ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Air Product และ GE Toshiba

2.4 Cross-linker : เป็นสารจำพวกพอลิออลที่มีหมู่ที่ทำปฏิกิริยาอยู่ 2 หมู่ เช่น ไกลคอล, ไดอะมิน หรือ ไฮดรอกซิลเอมีน เป็นต้น สารเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาตจะเกิดพันธะยูรีเทนและพอลิยูเรียในโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม โดยสารชนิดนี้มีหน้าที่เชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลของพอลิยูรีเทนทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ได้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 6-7



ภาพที่ 6 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลปกติ

ภาพที่ 7 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลเมื่อมี Cross-linker

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 43.

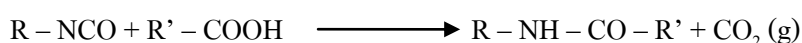
2.5 Catalyst : เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ และไอโซไซยานาตกับพอลิออล สารที่ใช้ส่วนมากจะเป็นพวกเอมีน ซึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งเป็นสองพวก คือ Blowing catalyst (ช่วยเรื่องการฟูตัวของโฟม) และ Gelling catalyst (ช่วยเรื่องการยวบตัวของโฟม) โดยมีผู้ผลิตคือ Air Product และ GE Toshiba เช่นเดียวกัน

2.6 Additive : เป็นสารที่เติมไปเพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างที่ลูกค้าต้องการและตามวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานของลูกค้า เช่น สารป้องกันการติดไฟ, Calcium carbonate และสารแต่งสี เป็นต้น

2.5 ประวัติการพัฒนาพอลิยูรีเทนแบบยืดหยุ่นในภาคอุตสาหกรรม

ประวัติการพัฒนาพอลิยูรีเทนโฟมในอุตสาหกรรม มีดังนี้

Phase 1 : ผลิตขึ้นโดย One-step process โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง Carboxyl-terminated polyester กับ TDI เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งปริมาณก๊าซดังกล่าวขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่าง Isocyanate groups และ Carboxylic groups โดยมีปฏิกิริยาดังนี้



สิทธิบัตรใบแรกที่เกี่ยวข้องกับ Isocyanate-based polymeric foams จัดทะเบียนขึ้นโดย I.G., Farbenindustrie GmbH.

Phase 2 : ผลิตขึ้นโดย Two-step process ประกอบด้วย a) การเตรียม Toluene diisocyanate (TDI) polyester และ b) ปฏิกิริยาระหว่าง Polyester และ Prepolymer-water. ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการผลิตลดลงและทำให้เกิดโฟมที่อ่อนนุ่ม

Phase 3 : ผลิตขึ้นโดย Two-step process ประกอบด้วย a) การเตรียม Polyether polyol-TDI prepolymer และ b) ปฏิกิริยา Prepolymer-water ซึ่งการเกิด CO₂ ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา Isocyanate-water

Phase 4 : ผลิตขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polyether polyol และ TDI โดยนำน้ำมาใช้เป็น Blowing agent โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดพิเศษ (Triethylene diamine หรือ DABCO) เป็นครั้งแรกโดยนำไปใช้ร่วมกับ Silicone surfactant อย่างไรก็ตามการใช้ DABCO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวนั้นทำให้ต้นทุนมีราคาสูงจึงมีการแทนที่โดยการใช้สารผสมระหว่าง Tin catalyst กับ Tertiary amine catalyst ซึ่งมีราคาถูกกว่า โดย One-step polyether process ที่มีข้อได้เปรียบทั้งในเรื่องต้นทุน และการผลิตได้เริ่มถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางและจัดเป็น Standard process ในการผลิต Flexible และ Rigid foams

Phase 5 : มีการใช้ Blowing agent 2 ชนิดร่วมกันได้แก่ Physical blowing agent, CFC-11 และ Blowing agent (น้ำ) ในปี ค.ศ.1963 ได้มีการนำ Trichloromonofluoromethane (CCl₃F; จุดเดือด 23.8 องศาเซลเซียส) มาใช้เป็น Physical agent blowing agent ทั้งใน Flexible และ Rigid foams โดย CCl₃F จะถูกจัดเป็น Blowing agent ในอุดมคติหากไม่ส่งผลกระทบต่อชั้นโอโซน

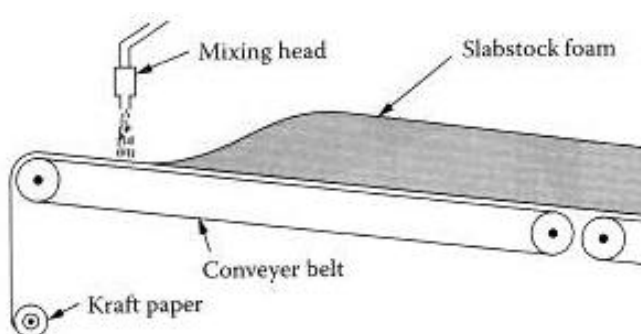
Phase 6 : สนธิสัญญา Montreal ในปี ค.ศ.1987 ได้มีข้อกำหนดให้มีการห้ามใช้สารประกอบ CFC เนื่องจากสาเหตุในการเกิดผลกระทบต่อชั้นโอโซน ซึ่งอ้างอิงจากการเกิดปรากฏการณ์ Chlorine-

catalyzed ที่เสนอขึ้นมาโดย F.Shawood Rowland และ Mario Molina (ชนะเลิศรางวัลโนเบลในปี ค.ศ.1995) ซึ่งการห้ามใช้นี้ได้ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิต Urethane foam และเป็นผลให้เกิดการพัฒนา Alternative blowing agent ขึ้น สารที่จะเข้ามาทดแทนในตำแหน่งของ Physical blowing agent ประกอบไปด้วย C_5 -hydrocarbons (Pentane, C_5H_{12} ; จุดเดือด 35 องศาเซลเซียส), Isopentane (2-methylbutane, C_5H_{12} ; จุดเดือด 30 องศาเซลเซียส), Cyclopentane (C_5H_{10} ; จุดเดือด 50 องศาเซลเซียส), และสารประกอบ Hydrofluorocarbons (HFCs), เช่น HFC-245fa ($CF_3CH_2-CHF_2$; จุดเดือด 15.3 องศาเซลเซียส) และ HFC-365mfc ($CF_3CH_2-CF_2CH_3$; จุดเดือด 40 องศาเซลเซียส) น้ำซึ่งจัดเป็น Blowing agent ที่เก่าแก่ที่สุดได้ถูกนำมาเอาใช้เป็น Chemical blowing agent ในทั้ง Flexible และ Rigid urethane foams. นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาโดยการนำเอา Liquefied CO_2 และน้ำแข็งแห้ง มาใช้เป็น Physical blowing agent

2.6 กรรมวิธีในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

กรรมวิธีการผลิตจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

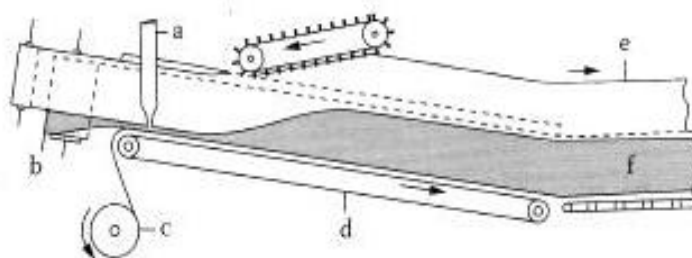
1. Slabstock foams คือ การผลิตพอลิยูรีเทนโฟมโดยกระบวนการแบบต่อเนื่อง โดยเกิดจากการเท Liquid foaming mixture ลงบน Conveyor ที่เคลื่อนที่เรียกว่า Slabstock foam และส่วนที่ถูกตัดออกมาเป็นก้อน เรียกว่า Block foam หรือ Bun foam กระบวนการผลิต Slabstock foam เป็นดังนี้ คือ มีการใช้ Conveyor ที่มีความลาดเอียงดังภาพที่ 8



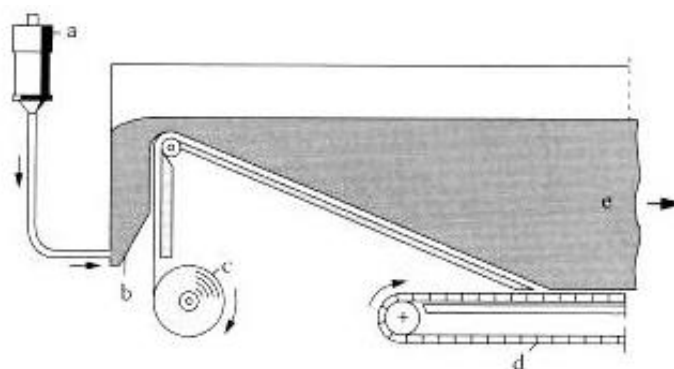
ภาพที่ 8 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดยใช้ Conveyer process

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 69.

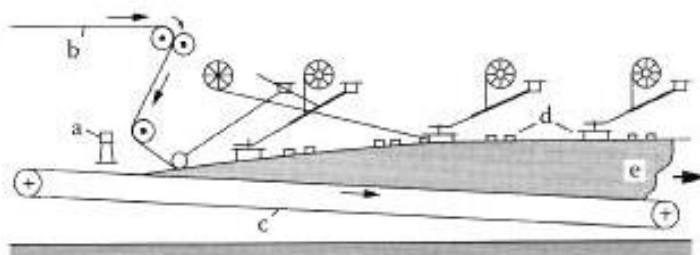
Cross section ของ Slabstock foam ที่ผลิตโดย Conveyor มักจะไม่ค่อยเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก และมักมีรูปร่างเป็น Clown shape ซึ่งมักพบได้ใน Fabricated foams ที่มี Yield ต่ำ ดังนั้นเองจึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตที่มี Cross section เป็นมุมฉาก ซึ่งพอยกตัวอย่างได้ดังนี้ Draka-Petzetakis process ซึ่งมีกระบวนการตามภาพที่ 9, Maxfoam process ซึ่งมีกระบวนการตามภาพที่ 10 และ Hennecke-Planiblock process ซึ่งมีกระบวนการตามภาพที่ 11 นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตในแนวตั้ง (Verifoam process) ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดย Hyman International Limited แสดงอยู่ในภาพที่ 12 ซึ่งกระบวนการนี้เองจะมีข้อได้เปรียบตรงที่สามารถลด Plant space ได้ถึง 15%



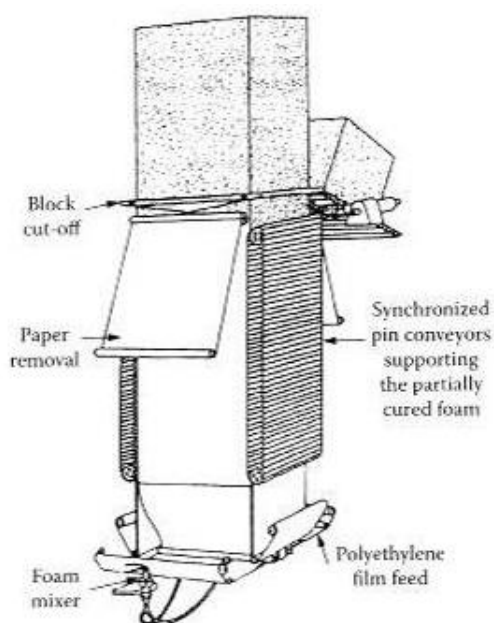
ภาพที่ 9 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Draka-Petzetakis process conveyor
ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 70.



ภาพที่ 10 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Maxfoam process
ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 70.



ภาพที่ 11 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Hennecke-Planiblock process
 ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 71.



ภาพที่ 12 แผนผังของ Line การผลิต Slabstock foam โดย Verifoam process
 ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 71.

2. Molded flexible foams คือ การผลิตพอลิยูรีเทนโฟมโดยกระบวนการไม่ต่อเนื่อง ซึ่งใช้ในกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น เบาะรถยนต์, เก้าอี้เด็ก, หมวกกันน็อก, Vibration damping ของรถยนต์, ที่พักแขน, โซฟาและที่นอน โดยสามารถแบ่ง Molded flexible foams ออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Hot molded foam และ Cold molded foam

2.1 Hot-molded foam ในขบวนการผลิต Molding foam นั้นส่วนประกอบทั้งหลายจะถูกเทลงใน Mold ทำจาก Aluminium, Steel หรือ Epoxy resin ก่อนที่จะนำไปให้ความร้อน สารประกอบกระจายตัวและขยายตัวไปทั่วทั้ง Mold โดยจะมีการนำ Molded foam นี้ไปพักไว้ก่อนจะนำไปแกะออกจาก Mold

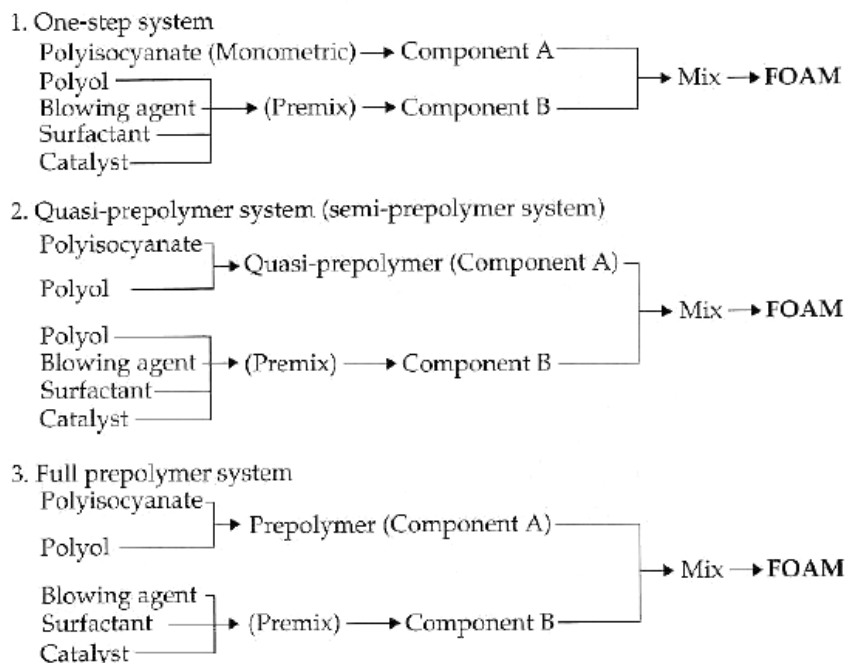
2.2 Cold-Molded foam ในกระบวนการผลิตนั้นพอลิยูรีเทนโฟมจะถูกเตรียมขึ้นโดยการเทส่วนประกอบลงใน Mold โดยมีอุณหภูมิค่า 60–70 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปทำให้เย็นลงโดยการทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือนำไปใส่ Separate oven แล้วแกะออกจาก Mold

2.7 รูปแบบในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟม

โฟมเกิดจากการรวมตัวของสารประกอบ A (ไอโซไซยานต) และสารประกอบ B (ส่วนผสมของ Polyol, Catalyst และ Surfactant) ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อน โดยรูปแบบในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟม นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่

1. One-shot one-step system 2. Quasi-perpolymer system 3. Full-prepolymer system

โดย One-shot one-step system และ Quasi-perpolymer system มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต Urethane foam ซึ่ง One-step process ถือเป็นขบวนการหลักในการผลิตทั้ง Flexible และ Rigid foams ส่วน Full-prepolymer system ถูกนำมาใช้เพียงแคในช่วงแรกของอุตสาหกรรมพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งรูปแบบผังด้านล่างจะแสดงถึงกลไกของระบบต่างๆ โดยเป็นเพียงระบบที่เกิดจากสารประกอบ 2 ชนิด แต่ในขบวนการผลิต Slabstock flexible urethane foam จะมี 3 หรือ 4 Stream system ในเครื่องผสม ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กลไกของระบบต่างๆ ในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟม

ที่มา : Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 48.

2.8 กระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม

สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ Cup foaming, Box foaming และ Machine foaming

1. Cup foaming

บางครั้งอาจเรียกกระบวนการนี้ว่า Hand mixing ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการประเมินคุณภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่เกิดจากการผสมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน รวมถึงคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม โดยกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ดังนี้

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องผสมไฟฟ้าความเร็วสูง
- ถ้วยพลาสติก / กระดาษ
- เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 2-4 จุดทศนิยม
- นาฬิกาจับเวลา
- ตัวทำละลายสำหรับใช้ทำความสะอาดใบกวน (เช่น Methylene chloride)

1.2 อุปกรณ์รักษาความปลอดภัย: ผู้วันที่มีความเร็วในการระบายอากาศอยู่ที่ 3 ฟุต/วินาที และผู้เข้าร่วมปฏิบัติการจะต้องสวมใส่แว่นตา, ชุด Lab และถุงมือยาง

1.3 วิธีการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม : การที่จะได้ผลการทดลองซ้ำที่ดีจะต้องควบคุม Foaming system และสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในอุณหภูมิคงที่

และในขณะทำการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมนั้นจะต้องบันทึกค่าต่างๆ ได้แก่

1. Cream time เป็นเวลาที่สารผสมเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นครีม (สีขาวขุ่น) มีหน่วยเป็นวินาที
2. Gel time หรือ Setting time เป็นเวลาที่โฟมเริ่มเป็นเจล โดยทดสอบความเป็นเจลทำได้โดยการเอาไม้พายไปแตะที่โฟมแล้วดึงขึ้นมาจะเกิดเส้นใยขึ้นระหว่างไม้พายและโฟม มีหน่วยเป็นวินาที
3. End of Rise เป็นช่วงเวลาระหว่างเริ่มขบวนการผสมจนเกิดโฟมโดยสมบูรณ์ มีหน่วยเป็นนาที่
4. Track-free time เป็นความแตกต่างของช่วงเวลาระหว่างตั้งแต่เทสารประกอบเหลวกับเวลาที่ผิวหน้าของโฟมไม่ยึดติดกับใบพายเมื่อนำไปทดสอบ นั้นแสดงว่าปฏิกิริยาเคมีทั้งหมดสิ้นสุดแล้ว มีหน่วยเป็น วินาทีหรือนาที

2. Small-box foaming

เป็นวิธีการทดสอบคุณภาพของโฟมต่อจากการทำ Cup foaming ซึ่งในการเก็บตัวอย่างคุณสมบัติของโฟมก่อนที่จะนำไปใช้ใน Machine foaming กล่องที่ใช้ผสมจะมีขนาดหลายขนาดและที่นิยมใช้อยู่จะเป็นขนาด 40 เซนติเมตร x 40 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณปริมาณของวัตถุดิบให้เพียงพอซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโฟม

3. Machine foaming

แบ่งออกเป็นหลายชนิด ซึ่งจะแยกออกได้เป็นดังนี้

3.1 Large-box foaming. วิธีการนี้ไม่ใช้การผลิตอย่างต่อเนื่องโดยจะใช้ในการผลิต Foam blocks ในปริมาณน้อยๆ ซึ่งขนาดของ Mold จะอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร x 1 เมตร x 2 เมตร ซึ่งจะต้องมีการคำนวณเช่นเดียวกันกับ Small-box foaming

3.2 Slabstock foaming วิธีการนี้เกิดจากการเท Foamable liquid ลงใน Conveyer ที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง โดยโฟมจะฟูตัวและเซตตัวบน Conveyer หลังจากนั้นจะทำการตัดออกมาจากก้อนโฟมที่ผลิตได้เราจะเรียกว่า Block

3.3 Pour-in-place foaming ขบวนการนี้เกิดขึ้นจากการเทส่วนประกอบลงในแม่พิมพ์เพื่อให้เกิดการผสมตัวของโฟมและสารประกอบ

3.4 Sandwich foaming ขบวนการนี้ใช้ในการผลิต Sandwich panels ด้วย Foam core โดยในแต่ละ Panels สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้ Conveyer หรือไม่ต่อเนื่องโดยใช้ Jigs

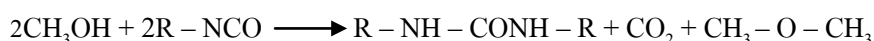
3.5 Molding วิธีนี้ใช้ในการผลิตโฟมที่มีรูปร่างเฉพาะเช่นเบาะรถยนต์หรือในFurnitures ต่างๆ โดยจะเป็นการนำสารประกอบต่างๆ ของโฟมมาเทลงในแม่แบบแล้วรอให้แข็งตัวจากนั้นจึงแกะแม่แบบออกแล้วนำโฟมมาใช้

3.6 Spraying เป็นขบวนการเฉพาะที่ใช้สำหรับ Urethane และ Isocyanurate foams โดยการนำไปเคลือบลงบนพื้นผิวของวัตถุไม่ใช่เฉพาะแบบที่เป็นแผ่นเช่น หลังคา แต่ยังรวมไปถึงวัตถุที่ไม่เป็นแผ่นแบนเช่นถังน้ำ, ท่อ และ โครงสร้างของตึก

3.7 Frothing (Froth) process แบ่งเป็น

3.7.1 Conventional frothing process ขบวนการนี้เป็น Zero-cream time foaming process โดยเมื่อส่วนผสมของพอลิยูรีเทนโฟมไหลออกมาจากหัวฉีด ส่วนผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโฟมในทันที

3.7.2 Chemical frothing process การเติม Methyl alcohol ลงไปใน Urethane foam systems จะทำให้มี Cream time ที่ดีขึ้น และเกิดก๊าซขึ้นได้ใน Frothing foaming อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ Methyl alcohol ที่เติมลงไปต้องมีปริมาณถูกต้องและไม่มากเกินไปเพราะ Methyl alcohol เป็น Mono-functional และมีมวลโมเลกุลน้อย กลไกที่สามารถเกิดก๊าซได้จากปฏิกิริยาจะ เป็นการ Dehydration ของ Methyl alcohol โดย Isocyanate groups ซึ่งเป็นดังนี้



3.7.3 Thermal frothing Process ขบวนการนี้ใช้ Liquid physical blowing agent ละลายใน Polyols component เพียงเท่านั้น เมื่อให้ความร้อนกับ Polyols component ซึ่งมากกว่าจุดเดือดของ Physical blowing agent ระบบจะสามารถแสดงคุณสมบัติของ Frother foaming

3.7.4 Liquid carbon dioxide process ซึ่ง Liquid CO₂ blowing agent ถูกพัฒนาขึ้นในยุโรปเพื่อใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อเริ่มต้นระบบนี้จะเข้า Froth ทันทีและไม่มี Cream time ข้อเสียเดียวของขบวนการนี้คือ ยากต่อการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมที่มีความหนาแน่นปานกลาง นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดฟองขนาดใหญ่ได้ยาก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยได้ศึกษาถึงส่วนประกอบของพอลิออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Gelling catalyst, Blowing catalyst และ Blowing agent เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสูตรในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมอย่างน้อย 1 สูตร โดยมีสารเคมีและเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2 โดยชื่อทางเคมีและบริษัทผู้ผลิตแสดงดังภาคผนวก ค

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ชื่อสารเคมี	เกรด
1	Diphenylmethane diisocyanate (MDI)	อุตสาหกรรม
2	Base polyol (MW 5,000)	อุตสาหกรรม
3	Co-polymer polyol (30-33% Solid content)	อุตสาหกรรม
4	Crosslink A	อุตสาหกรรม
5	Crosslink B	อุตสาหกรรม
6	Surfactant A	อุตสาหกรรม
7	Surfactant B	อุตสาหกรรม
8	Blowing catalyst A	อุตสาหกรรม
9	Gelling catalyst A	อุตสาหกรรม
10	Gelling catalyst B	อุตสาหกรรม
11	Gelling catalyst C	อุตสาหกรรม
12	Methylene chloride	อุตสาหกรรม

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

การดำเนินการทดลองได้มีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือดังตารางที่ 3
ตารางที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัท	ขนาด/มาตราวัด
1	เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ	Satorius	0.01–1,000 กรัม
2	เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด	Satorius	0.0001–250 กรัม
3	คู์เย็น	Samsung	7.5 ลูกบาศก์ฟุต
4	Cup test	-	16 ออนซ์
5	ถุงพลาสติกชนิด Polyethylene	-	(10 x 10 x 35) เซนติเมตร
6	เทอร์โมมิเตอร์	-	0–100 องศาเซลเซียส
7	ขวดเก็บตัวอย่าง	SCHOTT Duran	1 ลิตร
8	นาฬิกาจับเวลา	Casio	-
9	เครื่อง mixing	Euro Star	0 - 2,000 รอบต่อนาที
10	Mold ที่มีไม้บรรทัดติดอยู่	-	(10 x 10 x 30) เซนติเมตร
11	ใบกวน	-	Ø 6 เซนติเมตร
12	เครื่อง Viscometer	CANNON	-
13	Hydrometer	-	-
14	เครื่อง Rebound resilience	TS interseat	0 – 100%
15	Punch machine	NARIN Instrument CO.,LTD.	-
16	Dies punch No.1	NARIN Instrument CO.,LTD.	-
17	Tensile machine	NARIN Instrument CO.,LTD.	-
18	เครื่องทดสอบ Hardness	NARIN Instrument CO.,LTD.	-
19	Oven	Memmert	-
20	Test piece clamp set	NARIN Instrument CO.,LTD.	-
21	Scanning electron microscopy	-	-

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองศึกษาถึงส่วนประกอบของพอลิโออลเรซิน ได้แก่ Base polyol, Co-polymer, Crosslink, Surfactant, Gelling catalyst, Blowing catalyst และ Blowing agent เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสูตรในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมอย่างน้อย 1 สูตร ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การตรวจสอบหาสารประกอบของพอลิโออลเรซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1. ส่งตัวอย่างพอลิโออลเรซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไปตรวจสอบหาสารประกอบด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
2. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อนำมาใช้เป็นสูตรของพอลิโออลเรซินเบื้องต้น

ตอนที่ 2 การศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ภายในพอลิโออลเรซินที่มีอิทธิพลต่อการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งได้แก่ตัวแปร ดังต่อไปนี้

ตัวแปรที่ 1 อัตราส่วนของ Base Polyol : Co-polymer Polyol

ตัวแปรที่ 2 ปริมาณของ Crosslink

ตัวแปรที่ 3 ปริมาณของ Surfactant

ตัวแปรที่ 4 ปริมาณของ Blowing catalyst

ตัวแปรที่ 5 ปริมาณของ Gelling catalyst

ตัวแปรที่ 6 ปริมาณของ Blowing agent

โดยการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากพอลิโออลเรซินที่ได้กำหนดสูตรไว้ (ทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากวิธี Free blow เท่านั้น) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งสาร Base polyol ตามสูตรที่กำหนดไว้ ใส่ใน Cup Test จากนั้นชั่ง Co-polymer Polyol ใส่ลงไปและนำไปผสมด้วยเครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 14 การเตรียมสาร Base polyol และ Co-polymer

2. นำสารจากข้อ 1 มาทำการใส่ส่วนผสมต่างๆ ตามปริมาณที่ได้กำหนดเอาไว้ จากนั้นนำไปผสมด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที อีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที เมื่อเสร็จแล้วนำไปปรับอุณหภูมิให้เย็นลงในตู้เย็นให้ได้ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งตรวจสอบโดยการวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการผสมพอลิออลเรซิน

3. ชั่งไอโซไซยานตตามสูตรที่กำหนดไว้ใส่ใน Cup test อีกใบและนำไปปรับอุณหภูมิให้เย็นลงในตู้เย็น โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจสอบให้มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 การเตรียมสารไอโซไซยานต

4. เตรียม Mold ที่จะใช้เป็นแม่พิมพ์ของพอลิยูรีเทนโฟมแบบ Free blow โดย Mold มีลักษณะดังรูป และทำการหุ้ม Mold ด้วยถุงพลาสติกชนิด Polyethylene เพื่อป้องกันไม่ให้พอลิยูรีเทนโฟมไปติดที่ผิวของ Mold



ภาพที่ 17 ลักษณะของ Mold ที่นำมาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบ Free blow

5. นำสารที่ได้จากข้อ 2 และ 3 มาผสมกันด้วยเครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลาประมาณ 6 วินาที



ภาพที่ 18 ขั้นตอนการผสมพอลิออลเรซินและไอโซไซยานต

6. นำสารผสมไปเทลงใน Mold ที่จัดเตรียมไว้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องทำอย่างรวดเร็วพร้อมกับจับเวลา ขณะเกิดปฏิกิริยาในแต่ละขั้นอันได้แก่ Cream time, Set time, End of rise. อีกทั้งหาค่าความหนาแน่นและสังเกตลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม แล้วบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการเทสารผสมลง Mold



ภาพที่ 20 พอลิยูรีเทนโฟมหลังเสร็จสิ้นปฏิกิริยา

ตอนที่ 3 การสังเคราะห์สูตรพอลิออลเรซินให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิออลเรซินที่เป็นมาตรฐาน

1. นำผลการทดลองที่ได้จากตอนที่ 2 มาวิเคราะห์และปรับปรุงเพื่อสังเคราะห์สูตรของพอลิออลเรซินโดยทำการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามตอนที่ 2 เพื่อให้ได้โฟมที่มี Cream time, Set time, End of rise, ความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมใกล้เคียงกับมาตรฐานมากที่สุด
2. เติมนำพอลิออลเรซินที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิยูรีเทนโฟมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานไปทดสอบคุณสมบัติในแบบอื่นๆ ต่อไป

ตอนที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วโดยการนำไปทดสอบ

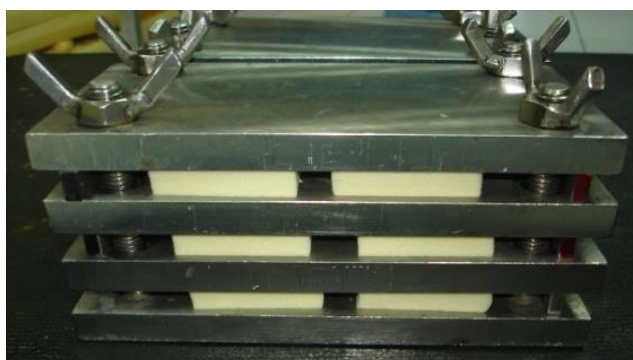
Box foam properties และ Liquid properties

นำพอลิออลเรซินที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิยูรีเทนโฟมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิยูรีเทนโฟมมาตรฐานมาทดลองผลิตในรูปแบบ Box mold foam เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม โดยตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. หาความหนาแน่น โดยมีวิธีการดังนี้
 - 1.1 นำโฟมที่ต้องการทดสอบมาทำการตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด
10 เซนติเมตร × 10 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร
 - 1.2 นำโฟมที่ผ่านการตัดแล้วมาทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า

- 1.3 วัดความกว้าง, ความยาว และความสูง โดยให้วัดเฉลี่ยด้านละ 3 ครั้ง
- 1.4 หาปริมาตรของพอลิยูรีเทนโฟม
- 1.5 หาความหนาแน่นจากสูตรในภาคผนวก ข
2. หาค่า Ball rebound (%) โดยมีวิธีการดังนี้
 - 2.1 นำโฟมชิ้นเดียวกันกับที่หาค่าความหนาแน่นมาใส่ที่เครื่อง Rebound resilience โดยจัดตำแหน่งของพอลิยูรีเทนโฟมให้ขอบบนติดกับสเกล 0
 - 2.2 กดสวิทช์เพื่อเปิดการทำงานของเครื่อง (สังเกตไฟสีเขียวจะสว่างขึ้น)
 - 2.3 ป้อนลูกเหล็กเข้าทางช่องว่างบนเครื่อง Rebound resilience
 - 2.4 กดสวิทช์อีกครั้ง เพื่อปล่อยให้ลูกเหล็กกลิ้งมาบนพอลิยูรีเทนโฟม
 - 2.5 แล้วให้ดูระยะที่ลูกเหล็กกระดอนขึ้นมาจากสเกล
 - 2.6 บันทึกข้อมูล
3. หาค่า Tensile strength โดยมีวิธีการดังนี้
 - 3.1 นำชิ้นงานที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร มาใส่เครื่องทดสอบ
 - 3.2 ดึงชิ้นงานด้วยความเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานขาด
 - 3.3 บันทึกค่า
 - 3.4 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-3 อีก 2 ครั้ง
 - 3.5 นำค่าที่ได้ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยก็จะได้ค่า Tensile strength
4. หาค่า Elongation โดยมีวิธีการดังนี้
 - 4.1 นำชิ้นงานที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร มาใส่เครื่องทดสอบ
 - 4.2 ดึงชิ้นงานด้วยความเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานขาด
 - 4.3 บันทึกค่า
 - 4.4 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-3 อีก 2 ครั้ง
 - 4.5 หาค่า % Elongation
 - 4.6 นำค่าที่ได้ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยก็จะได้ค่า % Elongation
5. หาค่า Tear Strength โดยมีวิธีการดังนี้
 - 5.1 นำชิ้นงานที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร มาใส่เครื่องทดสอบ
 - 5.2 ดึงชิ้นงานด้วยความเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานขาด
 - 5.3 บันทึกค่า

- 5.4 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2–3 อีก 2 ครั้ง
- 5.5 นำค่าที่ได้ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยก็จะได้ค่า Tear strength
6. หาค่า Hardness (25%ILD) โดยมีวิธีการดังนี้
 - 6.1 นำตัวอย่างขนาด 10 เซนติเมตร × 10 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร ไปใส่ที่เครื่องวัด
 - 6.2 กดไล่อากาศภายในพอลิยูรีเทนโฟม
 - 6.3 Set ระยะกดที่ผิวพอลิยูรีเทนโฟมเท่ากับศูนย์
 - 6.4 กดลงไป 25% ของความหนาพอลิยูรีเทนโฟม
 - 6.5 อ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดค่าความแข็ง
 - 6.6 ทำซ้ำตามข้อ 1–5 กับโฟมอีก 2 ชิ้น
 - 6.7 นำค่าที่อ่านได้ทั้งหมดมารวมกันและทำการหาค่าเฉลี่ย
7. Compression set (Dry set) โดยมีวิธีการดังนี้
 - 7.1 นำตัวอย่างขนาด 5 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร ใส่ Test piece clamp set โดยตั้งระยะกดไว้ 50% ของความหนา ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับทดสอบค่า Compression set

- 7.2 นำ Test piece clamp set ดังภาพที่ 21 ใส่ในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 22 ชั่วโมง
- 7.3 นำชิ้นงานออกจากเตาอบ และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 0.5 ชั่วโมง
- 7.4 นำพอลิยูรีเทนโฟมออกจาก test piece clamp set
- 7.5 วัดความหนาของพอลิยูรีเทนโฟม

7.6 คำนวณหาค่า Compression set

7.7 หาค่าเฉลี่ย

7.8 บันทึกผล

8. ตรวจ Morphology โดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM) โดยมีวิธีการดังนี้

8.1 ตัดตัวอย่างออกเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร

8.2 นำตัวอย่างเข้าวิเคราะห์โดยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM)

8.3 บันทึกผล

นำพอลิออลเรซินที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิยูรีเทน โฟมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐาน มาทดสอบคุณสมบัติของพอลิออลเรซิน โดยตรวจสอบ Liquid properties ต่างๆ ดังนี้

1. หาค่าความหนืด โดยมีวิธีการดังนี้

1.1 ปรับอุณหภูมิของพอลิออลเรซินไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส

1.2 ค่อยๆ รินลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยพยายามไม่ให้เกิดฟองในเนื้อ น้ำยาพอลิออลเรซิน

1.3 เลือกเข็มและความเร็วรอบให้เหมาะสมกับประเภทความหนืดของน้ำยา

1.4 กดปุ่มให้เครื่องทำงานพร้อมกับเริ่มจับเวลาจนเป็นเวลา 3 นาที แล้วกดปุ่มหยุดเครื่อง

1.5 อ่านค่าความหนืดที่วัดได้มาคูณกับตัวคูณค่า Factor ของเครื่องในตารางของเครื่อง ค่าที่ได้คือค่าความหนืดของพอลิออลเรซิน

2. หาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยมีวิธีการดังนี้

2.1 ปรับอุณหภูมิของพอลิออลเรซินไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.2 ค่อยๆ รินน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยพยายามไม่ให้เกิดฟองในเนื้อ น้ำยาพอลิออลเรซิน

2.3 เลือกชนิดของ Hydrometer ให้เหมาะสมกับประเภทของเรซิน

1.4 ค่อยๆ หย่อน Hydrometer ลงในเรซินโดยระวังไม่ให้เกิดฟองพร้อมกับเริ่มจับเวลาโดยทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที

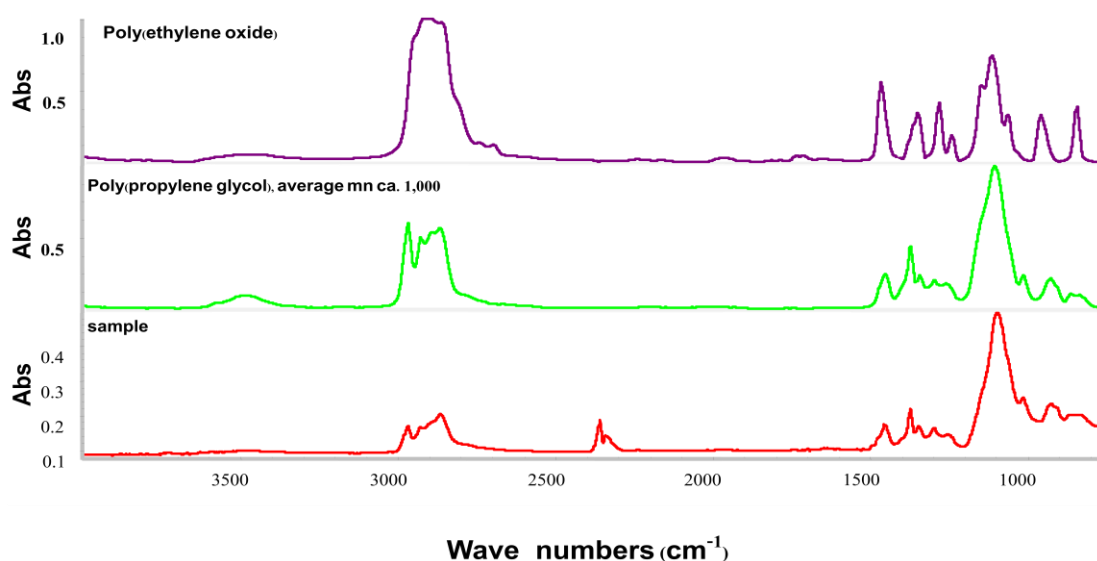
1.5 อ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากสเกลของ Hydrometer โดยให้ระดับสายตาที่มองอยู่ในระดับเดียวกับผิวบนสุดของเรซิน ซึ่งค่าที่อ่านได้คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของพอลิออลเรซิน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการตรวจสอบหาสารประกอบของพอลิเอทเธอร์ซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

เมื่อส่งพอลิเอทเธอร์ซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบหลักทางเคมีด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ได้ผลดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ผลการวิเคราะห์พอลิเอทเธอร์ซินด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy

จากภาพที่ 22 จะเห็นได้ว่า พอลิเอทเธอร์ซินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น เมื่อนำไปทำการทดสอบด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) มีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นสารประกอบ Polypropylene glycol และ Polyethylene oxide เนื่องจากมีลักษณะของพีคที่ตรงกัน ได้แก่ พีคของหมู่ฟังก์ชัน CH₂ ที่ตำแหน่ง Wave number ที่ 2,960 และ 2,930 (Armenta J.L. Rivera และคณะ, Gite V.V. และคณะและ Nihal Sarier และคณะ), พีคของหมู่ฟังก์ชัน CH₃ ที่ตำแหน่ง 2,870 (Nihal Sarier และคณะ), พีคของ C-H ที่ตำแหน่ง 1,454 และ 1,380 (Gite V.V. และคณะ), พีคของหมู่ฟังก์ชัน C-O ที่ตำแหน่ง 1,150 และ 1,100 (Armenta J.L. Rivera และคณะ, Carolina Molero และคณะ, David W. Hatchetta และคณะและ Nihal Sarier และคณะ) และพีคของ C-C ที่

ตำแหน่ง 1,026 และ 756 (Gite V.V. และคณะ) ส่วนพีคที่ตำแหน่ง 2,355 และ 2,340 ของตัวอย่าง นั้นเป็นพีคของ C-N (Nihal Sarier และคณะ) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารประกอบอื่นๆ ภายใน พอลิออลเรซินซึ่งเป็นองค์ประกอบรองนั่นเอง

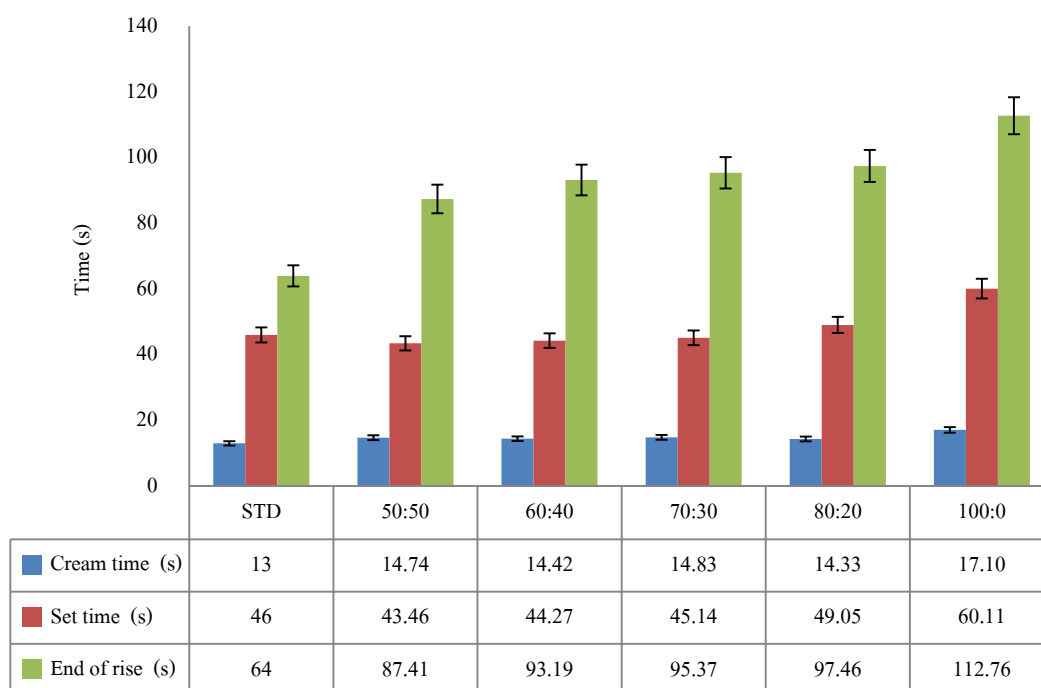
4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ภายในพอลิออลเรซินที่มีอิทธิพลต่อการผลิตโฟม

เมื่อดำเนินการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ของพอลิออลเรซินที่มี ต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม ได้ผลการศึกษาเป็นลำดับดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อ คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่อัตราส่วน 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 100 : 0 ตามลำดับ อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของโฟม, ผิวโฟมไม่ลอกหรือลอกน้อยที่สุด และ เซลล์โฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาพผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base Polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

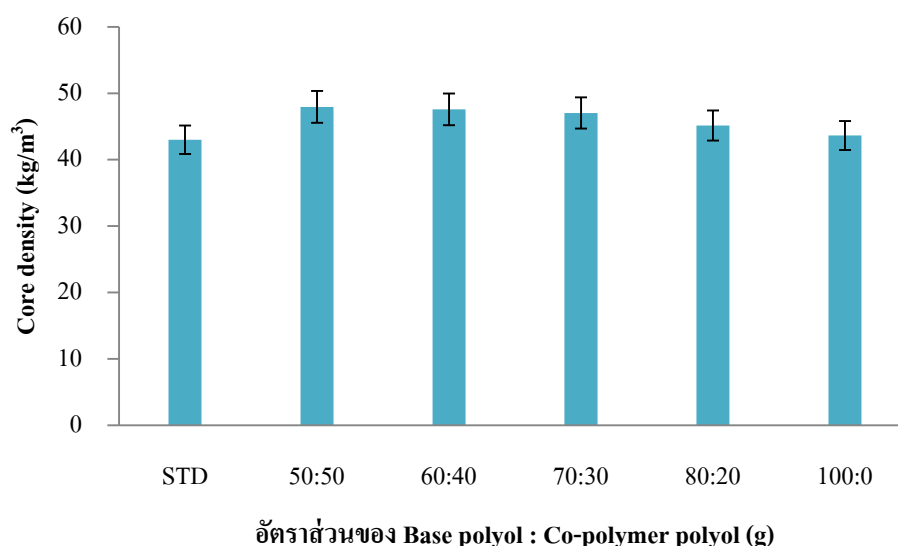


ภาพที่ 23 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

จากภาพที่ 23 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีอัตราส่วนของ Base Polyol : Copolymer Polyol ที่ 100 : 0 จะมี Reaction time ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise ที่มีค่าสูงกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่ 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 และ 80 : 20 จึงสามารถสรุปได้ว่า Co-polymer polyol เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ดังนั้นในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจึงจำเป็นต้องใส่ Co-polymer polyol เพื่อควบคุมระยะเวลาในการผลิต ดังนั้นทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol ที่ 100 : 0 ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากนั้นจึงพิจารณาที่ Cream time ของอัตราส่วนที่เหลือ ซึ่งพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัท ที เอส อินเตอร์ชัท จำกัด เป็นผู้กำหนดขึ้นคือ 13 วินาที จึงจำเป็นต้องพิจารณาต่อโดยใช้ค่า Set time โดยต้องมีค่าเท่ากับ 46 วินาที ซึ่งพบว่า

อัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol ที่ 80 : 20 มีค่าไม่ใกล้เคียงกับอัตราส่วนอื่นๆ และมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานซึ่งมีสาเหตุมาจาก มีปริมาณของ Co-polymer polyol น้อยเกินไป จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม สุดท้ายจึงพิจารณาที่ End of rise ของปฏิกิริยา โดยมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 64 วินาที ซึ่งพบว่า อัตราส่วนที่เหลือ 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 มีค่า End of rise ใกล้เคียงกันแต่มีค่าไม่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีค่าคุณสมบัติเบื้องต้นที่ดีตามที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น

4.2.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม



ภาพที่ 24 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Base polyol : Co-polymer Polyol ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

จากภาพที่ 24 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่อัตราส่วน 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราส่วน 70 : 30 มีค่า 47 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้นมากที่สุด จึงต้องพิจารณาร่วมกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมโดยพบว่า ลักษณะทางกายภาพของ

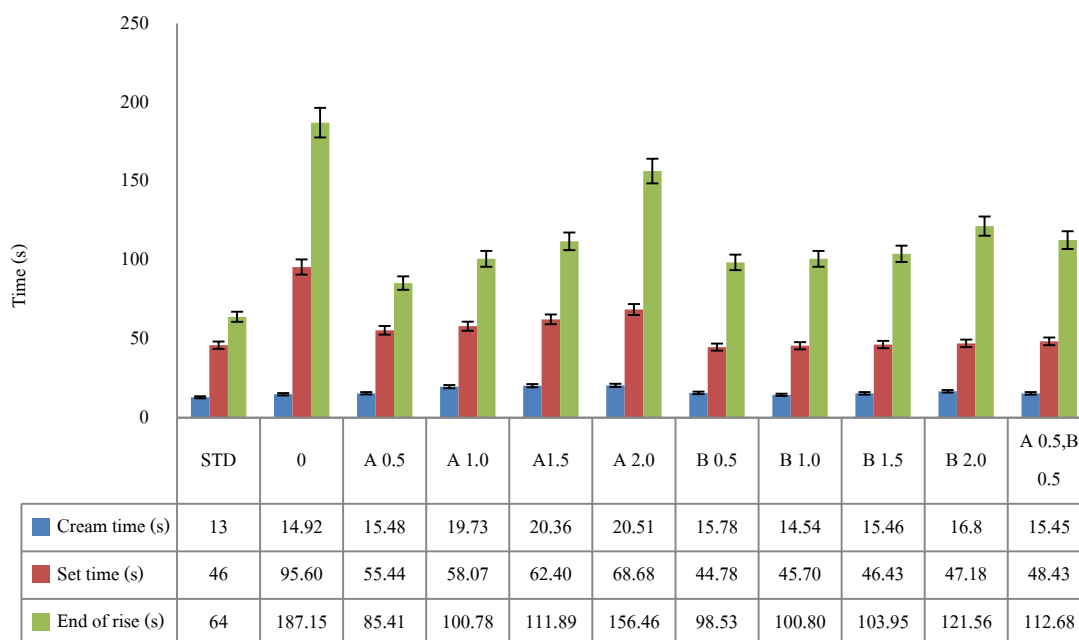
พอลิยูรีเทนโฟมที่มีอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่ 70 : 30 ดีที่สุด คือพบว่า ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุด และไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม ดังภาคผนวก ก จึงทำให้เลือกใช้ Base polyol : Co-polymer polyol ที่อัตราส่วน 70 : 30 ในการนำไปผลิตพอลิยูรีเทนโฟมในขั้นตอนต่อไป (Yun- J. Lee และคณะ)

โดยจากการศึกษาอิทธิพลของ Base polyol : Co-polymer polyol ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมทำให้สรุปได้ว่าอัตราส่วนของ Base polyol : Co-polymer polyol นั้นมีผลต่อ Reaction time ในการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆของพอลิยูรีเทนโฟม ปริมาณของ Co-polymer polyol แปรผกผันกับ Reaction time ของปฏิกิริยา และแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็ง (% Solid content) ที่อยู่ภายใน Co-polymer polyol โดยช่วยในการเชื่อมโยงโครงร่างแบบกราฟท์ ทำให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมได้ (Jerome Lefebvre และคณะ) ซึ่ง % Solid content นี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดและยี่ห้อของ Co-polymer polyol ที่จะนำมาใช้ โดยบริษัทผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายจะมีเอกสารกำกับ (Certificate) ซึ่งจะบอกถึงปริมาณของ % solid content กำกับมาด้วยซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ % Solid content เท่ากับ 30-33%

4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Crosslink ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองมีการใช้ Crosslink 2 ชนิด ได้แก่ Crosslink A และ Crosslink B โดยใช้ปริมาณของ Crosslink ดังนี้คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ใน Crosslink ทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยไม่ใส่ Crosslink รวมไปถึงการใช้ Crosslink ทั้ง 2 ชนิดผสมกันในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าพอลิยูรีเทนโฟม, ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ลอกหรือลอกน้อยที่สุด และเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาคผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

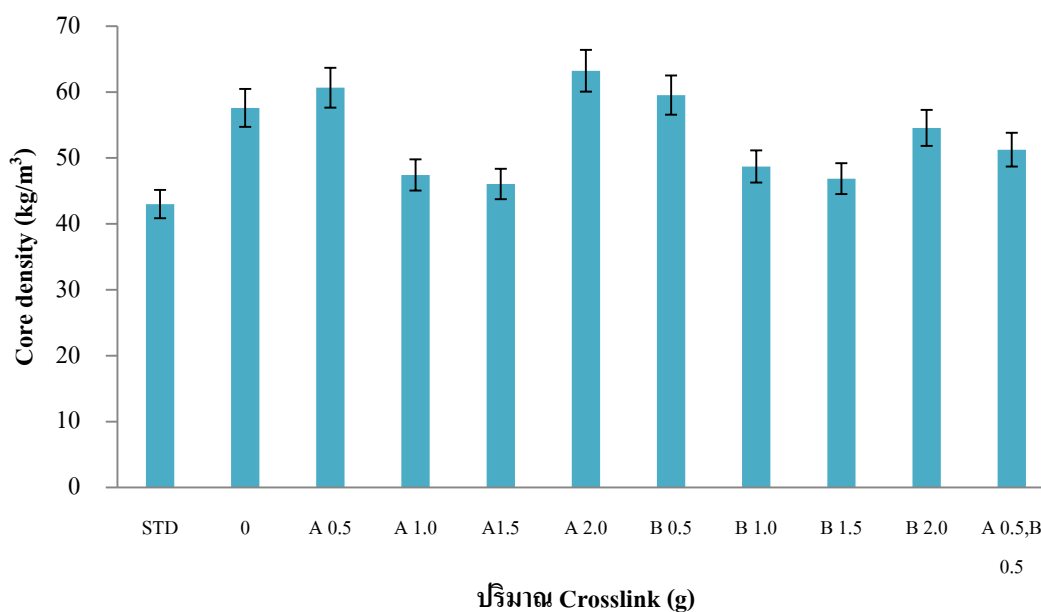


ภาพที่ 25 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

จากภาพที่ 25 จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ได้ใส่ Crosslink จะมี Reaction time ได้แก่ Set time และ End of rise มากกว่าสูตรที่มีการใส่ Crosslink แต่ Cream time มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดไว้ คือ 13 วินาที จึงทำให้ทราบว่า Crosslink มีส่วนช่วยในการลดค่า Set time และ End of rise ซึ่งจะตรงกันข้ามกับ Cream time ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Crosslink ทำให้จำเป็นต้องใส่ Crosslink ใส่ลงในพอลิยูรีเทนโฟมเพื่อใช้ในการปรับ Set time และ End of rise ด้วยเหตุนี้เองทำให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่มีส่วนผสมของ Crosslink มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม สำหรับพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนผสมของ Crosslink นั้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณมากขึ้น จะทำให้ Reaction time เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเกิดขึ้นทั้งใน Crosslink A และ B โดยเกิดจากการที่ Crosslink ไปทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาตแล้วเกิดพันธะยูรีเทนในโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม โดย Crosslink มีหน้าที่เชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลของพอลิยูรีเทนโฟมให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น (Gite V.V. และคณะและ Mark Sonnenschein และคณะ)

จากภาพที่ 25 หากพิจารณาที่ Crosslink A จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมมี Reaction time มากกว่าค่ามาตรฐานที่บริษัทฯ กำหนด จึงทำให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนประกอบของ Crosslink A มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม ส่วน Crosslink B นั้นจะพบว่า มี End of rise มากกว่าค่ามาตรฐานแต่ Cream time และ Set time ใกล้เคียงกับมาตรฐานที่บริษัทฯ กำหนด โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ Crosslink B มากขึ้นก็จะพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Reaction time ในแต่ละชนิดน้อยมาก จึงทำให้ต้องนำไปศึกษาต่อในด้านความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนประกอบของ Crosslink A และ B ในอัตราส่วน 0.5 กรัม : 0.5 กรัม พบว่ามี Reaction time ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนด ดังนั้นจึงต้องนำทั้ง Crosslink B และ Crosslink A+B ไปพิจารณาในด้านความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป เพื่อให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นที่ดีตามที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น

4.2.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม



ภาพที่ 26 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

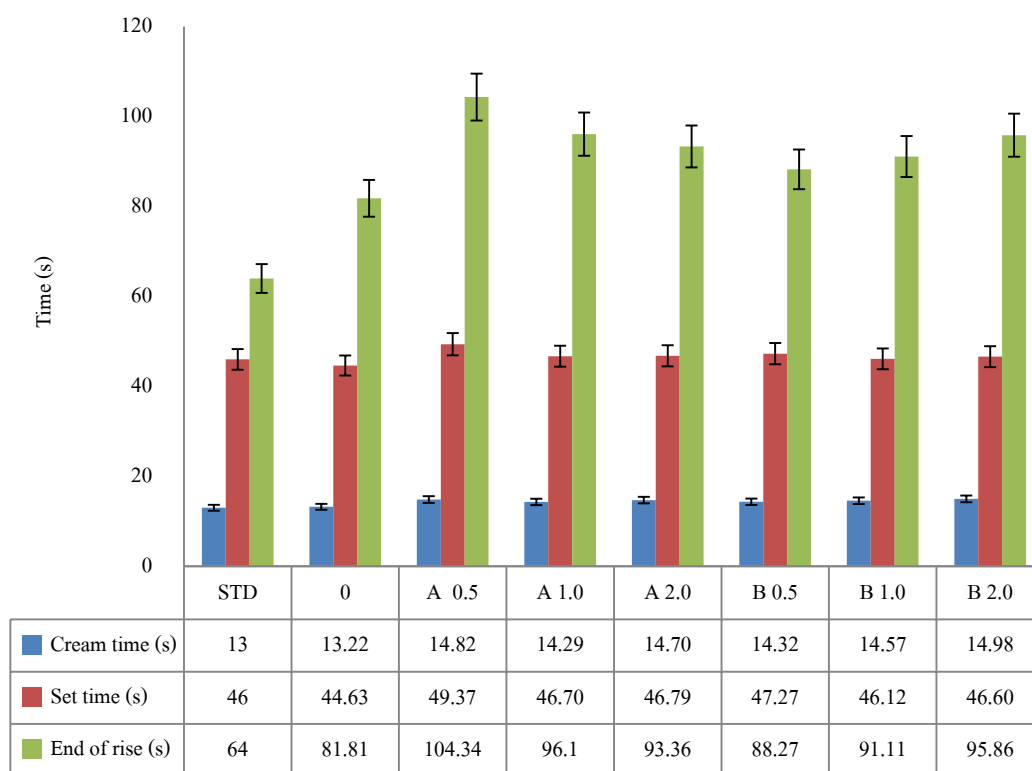
จากภาพที่ 26 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มี Crosslink A+B มีความหนาแน่นที่ไม่ใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดไว้ คือ 43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณ Crosslink B 1.0 และ 1.5 กรัม มีความหนาแน่นที่มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น และเพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจึงต้องนำไปศึกษาต่อในด้านลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม นอกจากนี้พบว่าอิทธิพลของปริมาณ Crosslink ต่อ ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ Crosslink จะทำให้ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมลดลง ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณ Crosslink ต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้ ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งนี้เกิดขึ้นจากการที่เมื่อใส่ Crosslink ลงไปจะเกิดการเชื่อมสายโซ่โมเลกุลทำให้เกิดโครงอากาศขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Crosslink ต่อไปเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดสายโซ่เป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้มีโครงอากาศน้อยลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมเพิ่มมากขึ้น (Gite V.V. และคณะ, Jerome Lefebvre และคณะและ Mark Sonnenschein และคณะ)

โดยจากการศึกษาอิทธิพลของ Crosslink ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม ทำให้สรุปได้ว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ประกอบด้วย Crosslink B ที่มีปริมาณ 1.0 กรัม จะให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะตามที่ทางบริษัทฯ กำหนดไว้มากที่สุดคือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมล่อน้อย, เซลล์มีลักษณะค่อนข้างกลมและไม่เกิดโครงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม ดังภาคผนวก ก

4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Surfactant ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองมีการใช้ Surfactant 2 ชนิด ได้แก่ Surfactant A และ Surfactant B โดยใช้ปริมาณของ Crosslink ดังนี้คือ 0.5, 1.0 และ 2.0 ใน Surfactant ทั้ง 2 ชนิดตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยไม่ใส่ Surfactant อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโครงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม, ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ล่อนหรือล่อนน้อยที่สุด และเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาคผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา



ภาพที่ 27 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

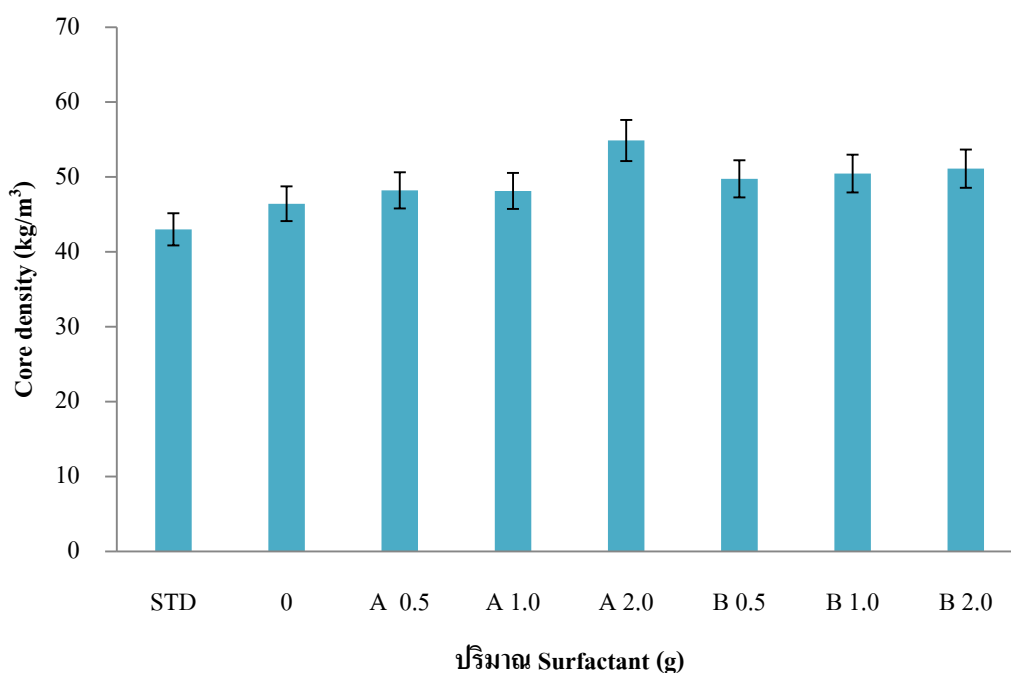
จากภาพที่ 27 จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่มีการใส่ Surfactant เลยจะให้ผลใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้นมากที่สุด คือ Cream time เท่ากับ 13 วินาที, Set time เท่ากับ 46 วินาที และ End of rise เท่ากับ 64 วินาที และจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Surfactant A และ B ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Cream time และ Set time มากนัก โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ Surfactant A จะทำให้ End of rise ของปฏิกิริยามีค่าลดลงตามลำดับ ส่วน Surfactant B จะทำให้ End of rise ของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

โดยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า Surfactant แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ชนิดที่ส่งผลในเรื่องการจัดเรียงตัวของพอลิยูรีเทนโฟม (จัดเรียงตัวเร็วแต่ไม่มีระเบียบ)
2. ชนิดที่ส่งผลในเรื่องการคงรูปของพอลิยูรีเทนโฟม (พอลิยูรีเทนโฟมหดตัวน้อยลงหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาเนื่องจากเรียงตัวเป็นระเบียบ)

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า Surfactant A เป็นชนิดที่ช่วยในเรื่องการจัดเรียงตัวของ พอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งสังเกตได้จากการที่มี End of rise ลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Surfactant A ส่วน Surfactant B เป็นชนิดที่ช่วยในเรื่องการคงรูปของพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งจะสังเกตได้จาก End of rise ที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้นำเอา Surfactant B ไปศึกษาต่อในด้านความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม เนื่องจากไอโซไซยานเนตที่นำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นประเภท MDI (Polymethyl diisocyanate) ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า สาร MDI เป็นไอโซไซยานเนตที่มีข้อดี ในการการจัดเรียงตัว (Urška Sebenik และคณะ)

4.2.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม



ภาพที่ 28 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

จากภาพที่ 28 จะพบว่าเมื่อ พอลิยูรีเทนโฟมมีปริมาณของ Surfactant เพิ่มขึ้นจะทำให้ พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นมากขึ้น เนื่องจาก Surfactant มีคุณสมบัติที่สามารถควบคุมขนาด และปริมาณของเซลล์เปิดได้ ทำให้เซลล์พอลิยูรีเทนโฟมละเอียดมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นนั่นเอง (Ashish Aneja และคณะ, Yun J. Lee และคณะและ

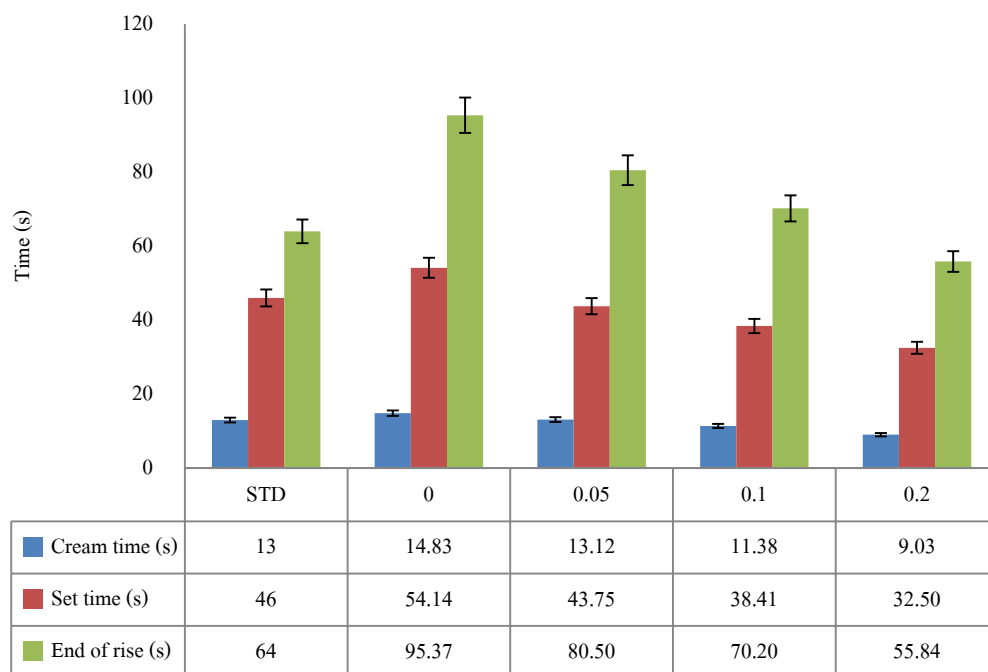
Jerome Lefebvre และคณะ) แต่ไม่พบพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนประกอบของ Surfactant ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนด คือ 43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงไม่สามารถระบุได้ถึงปริมาณของ Surfactant ที่เหมาะสมในการนำมาผลิตพอลิยูรีเทนโฟม จึงต้องนำไปศึกษาต่อในด้านลักษณะกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม

โดยจากการศึกษาอิทธิพลของ Surfactant ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม ทำให้สรุปได้ว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของบริษัทฯ มากที่สุด คือ พอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนผสมของ Surfactant B ในปริมาณ 1.0 กรัม โดยมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดและมีโครงสร้างของเซลล์ค่อนข้างกลม, ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟมและผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุด ดังภาคผนวก ก

4.2.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Blowing catalyst ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองมีการใช้ Blowing catalyst ในปริมาณ 0, 0.05, 0.10 และ 0.20 กรัม อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม, ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ลอกหรือลอกน้อยที่สุด และเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาคผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

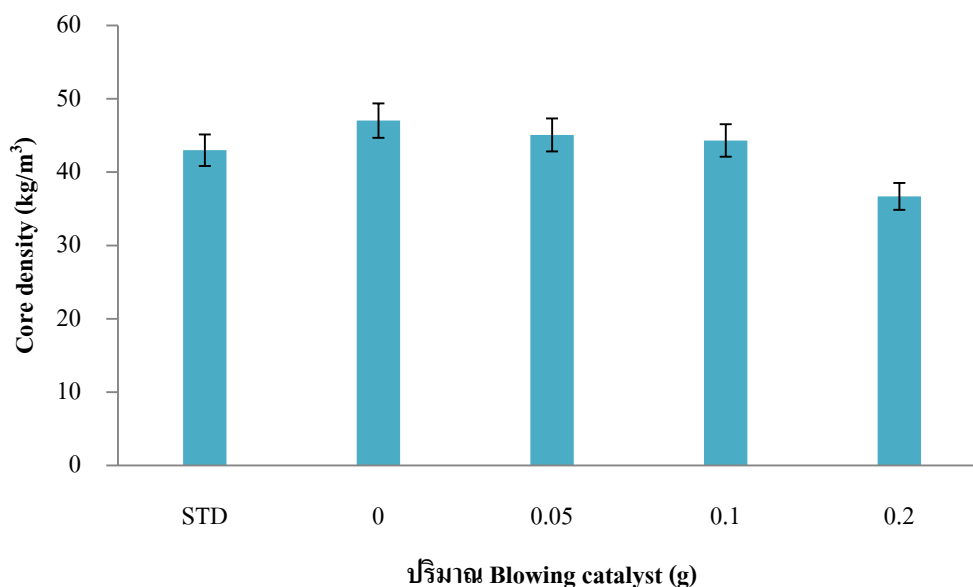


ภาพที่ 29 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing Catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

จากภาพที่ 29 จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ใส่ Blowing catalyst มี Reaction time ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ใส่ Blowing catalyst ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า Blowing catalyst เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมเนื่องจากจะช่วยลด reaction time ลง (Ashish Aneja และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ) ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่มีส่วนประกอบของ Blowing catalyst ไม่นำมาพิจารณาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม จากนั้นจึงพิจารณาถึง Reaction time ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Blowing catalyst ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ Blowing catalyst จะส่งผลให้ Reaction time ของพอลิยูรีเทนโฟมมีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ซึ่งในพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing Catalyst ที่ 0.2 กรัม จะมี Reaction time ที่น้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทเป็นผู้กำหนดขึ้น ซึ่งส่งผลให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพในการผลิต ทำให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณ Blowing catalyst 0.2 กรัม มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม ส่วนที่มี Blowing catalyst 0.05 และ 0.1 กรัม ยังไม่สามารถพิจารณาตัดสินได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาในด้านความ

หนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป เพื่อให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีค่าคุณสมบัติเบื้องต้นที่ดีตามที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น

4.2.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม



ภาพที่ 30 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

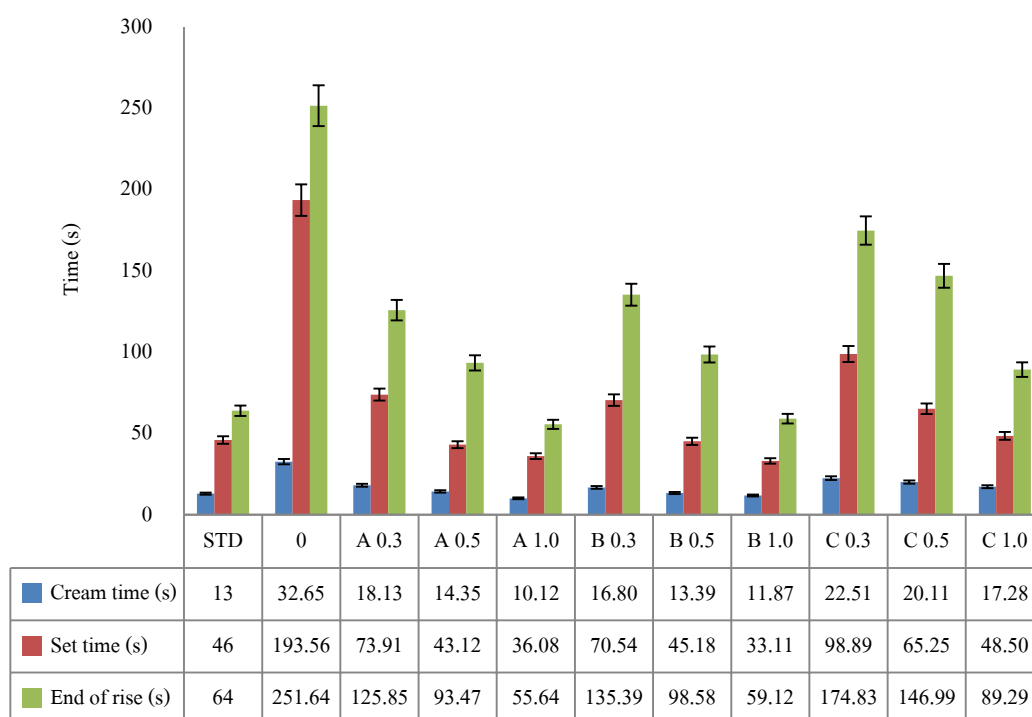
จากภาพที่ 30 พบว่า ความสัมพันธ์ของอิทธิพลของ Blowing Catalyst ที่มีต่อพอลิยูรีเทนโฟมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Blowing Catalyst จะส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง เนื่องจาก Blowing Catalyst มีคุณสมบัติช่วยเร่งการฟุ้งตัวของพอลิยูรีเทนโฟม ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณ Blowing Catalyst จึงส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมฟุ้งตัวมากขึ้น ทำให้โฟมมีโพรงอากาศมากขึ้น จึงทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลง (Nihal Sarier และคณะ) นอกจากนี้ยังพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing Catalyst 0.05 และ 1.0 กรัม จะให้ผลใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดไว้คือ 43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้ต้องนำไปเปรียบเทียบกับในด้านลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้ว พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing Catalyst 0.05 กรัม ให้ผลที่ดีกว่า คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมล่อน้อยที่สุด, เซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลมและไม่เกิดโพรงอากาศ

ที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม ดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งทำให้เลือกพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing Catalyst 0.05 กรัม มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมในขั้นตอนต่อไป

4.2.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Gelling catalyst ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองมีการใช้ Gelling catalyst ถึง 3 ชนิด ได้แก่ Gelling catalyst A, Gelling catalyst B และ Gelling catalyst C ในปริมาณ 0.3, 0.5 และ 1.0 กรัม ทั้ง 3 ชนิดตามลำดับ อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม, ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ลอกหรือลอกน้อยที่สุด และเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาคผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

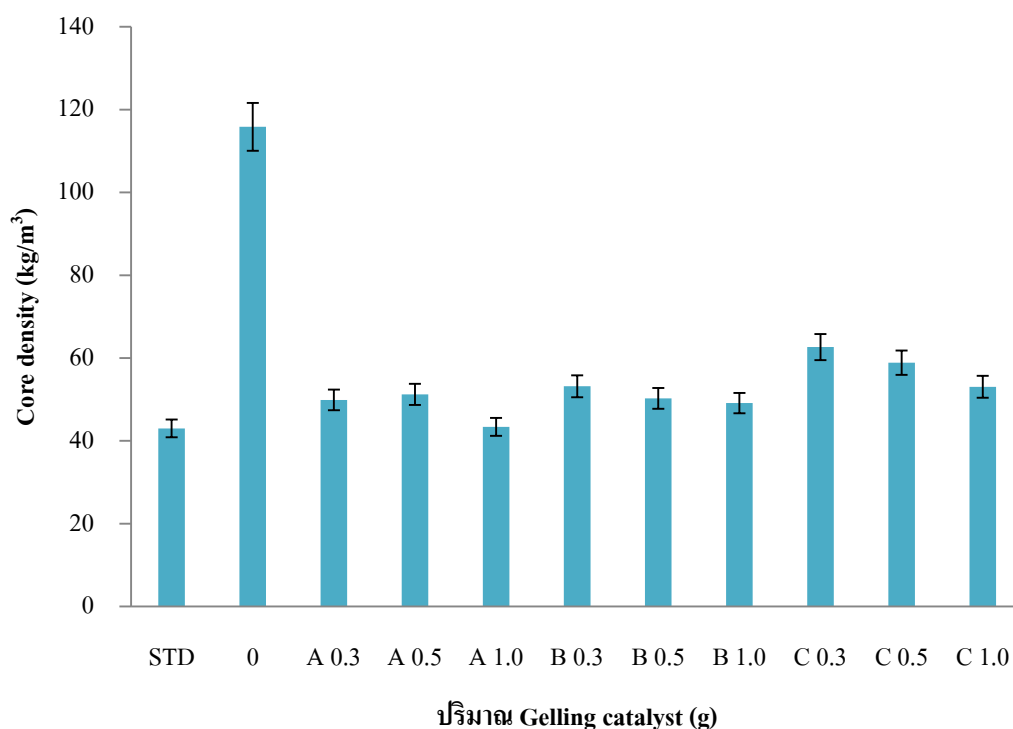
4.2.5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา



ภาพที่ 31 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling catalyst ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

จากภาพที่ 31 จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ใส่ Gelling catalyst จะให้ผลของ reaction time ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise ที่มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ใส่ Gelling catalyst ซึ่ง Reaction time เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมเนื่องจากช่วยลด Reaction time ลง (Ashish Aneja และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ) จึงทำให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่มีส่วนประกอบของ Gelling catalyst มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมโดย Gelling catalyst ทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Gelling catalyst นั้นจะทำให้ Reaction time ลดลง โดยที่ Gelling catalyst A จะมีความสามารถในการลด Reaction time มากที่สุด รองลงมาคือ Gelling catalyst B และ C ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะพบว่า Gelling catalyst C มีค่า Reaction time มากกว่ามาตรฐานมากจึงทำให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนประกอบของ Gelling catalyst C มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากนั้นเมื่อพิจารณาถึง Reaction time ของ Gelling catalyst A และ B จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนผสมของ Gelling catalyst A 1.0 กรัม รวมถึง Gelling Catalyst B 1.0 กรัม มีค่า Cream time และ Set time น้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ทาง บริษัทฯ กำหนดไว้ และ Gelling catalyst A 0.3 กรัม รวมถึง Gelling Catalyst B 0.3 กรัม มีค่า End of rise มากกว่าค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดไว้ คือ 64 วินาที จึงทำให้ไม่นำเอามาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมที่มีส่วนผสมของ Gelling catalyst A 0.5 กรัม และ B 0.5 กรัม ต้องนำไปพิจารณาด้านความหนาแน่นในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากมีค่า Reaction time ใกล้เคียงกับมาตรฐานมากที่สุด

4.2.5.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling Catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทน-โฟม



ภาพที่ 32 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Gelling Catalyst ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

จากภาพที่ 32 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Gelling catalyst A 0.5 และ B 0.5 กรัม จะให้ค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้นคือ 43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงต้องนำไปเปรียบเทียบกันในด้านลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้ว พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Gelling Catalyst A 0.5 กรัม และ B 0.5 กรัม ให้ผลที่ดีเหมือนกัน คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมล่อน้อยที่สุด, เซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลมและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม ดังแสดงในภาคผนวก ก ทำให้ผู้วิจัยเลือกพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Gelling Catalyst A 0.5 กรัม และ B 0.5 กรัม มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมในขั้นตอนต่อไป

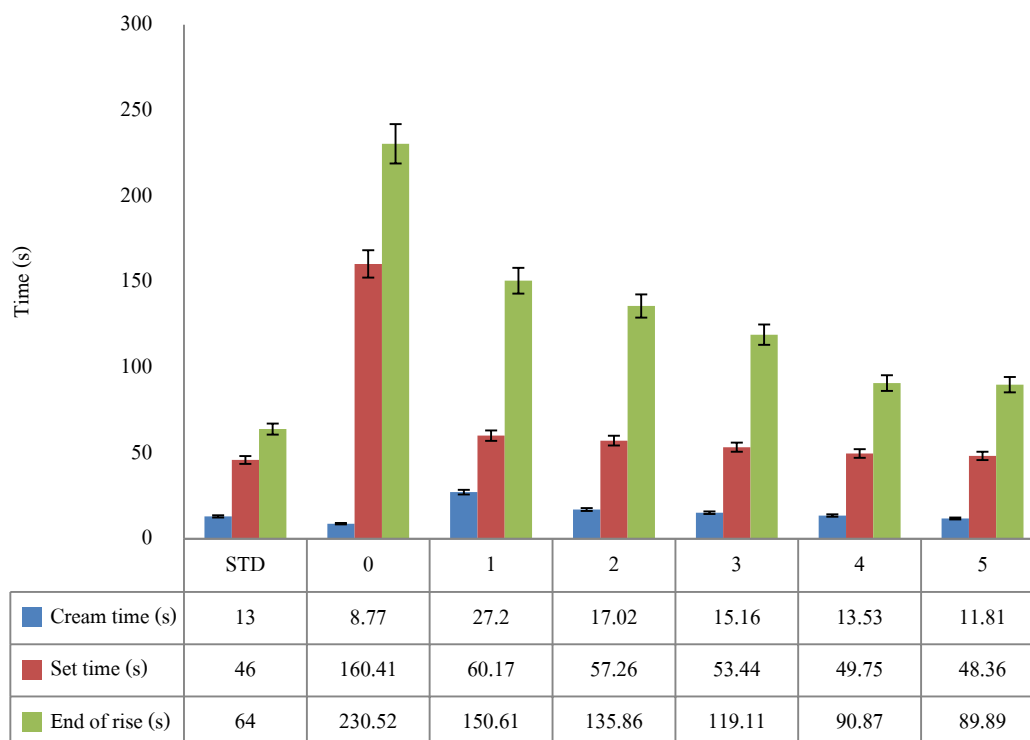
นอกจากนี้ยังพบว่า ความสัมพันธ์ของอิทธิพลของ Gelling Catalyst ที่มีต่อพอลิยูรีเทนโฟม มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Gelling Catalyst จะส่งผลให้ความ

หนาแน่นมีค่าลดลง เนื่องจาก Gelling Catalyst มีคุณสมบัติช่วยเร่งการยุบตัวของพอลิยูรีเทนโฟม ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Gelling Catalyst จึงส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมยุบตัวเร็วขึ้น ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีโพรงอากาศอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก จึงทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลง (Ashish Aneja และคณะและ Nihal Sarier และคณะ)

4.2.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม

ในส่วนนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Blowing Agent (น้ำ) ที่ส่งผลต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise รวมไปถึงความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม โดยในการทดลองมีการใช้ Blowing agent ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม อีกทั้งนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดีที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น ได้แก่ ไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม, ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ลอกหรือลอกน้อยที่สุด และเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม แสดงดังภาพผนวก ก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

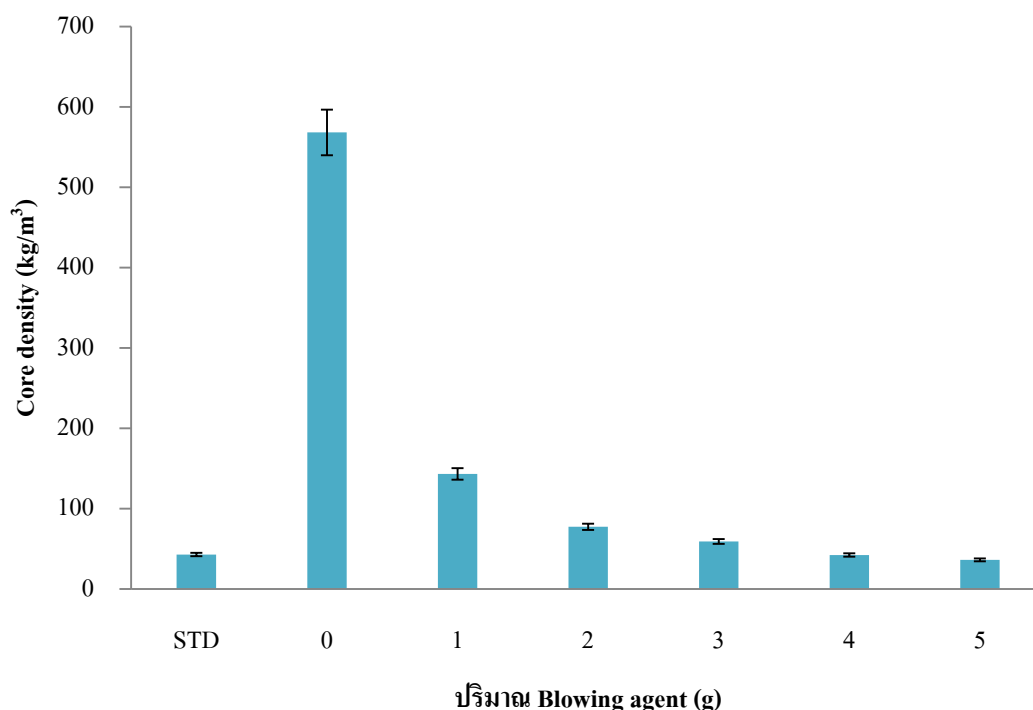
4.2.6.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา



ภาพที่ 33 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อ Reaction time ของปฏิกิริยา

จากภาพที่ 33 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ใส่ Blowing agent มี reaction time ได้แก่ Set time และ End of rise มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ใส่ Blowing agent ส่วนสาเหตุที่เกิด Cream time เร็วกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ใส่ Blowing agent เนื่องจาก ในการเกิดปฏิกิริยาไม่เกิดการฟุ้งตัวของ พอลิยูรีเทนโฟมซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้มี Set time และ End of rise มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ใส่ Blowing agent ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า Blowing agent เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม เนื่องจากน้ำจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานเนต ทำให้เกิดสารประกอบที่มีพันธะยูเรียและให้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โฟมฟุ้งขึ้น (Jerome Lefebvre และคณะ) จึงไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ใส่ Blowing agent มาใช้ในการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ Blowing agent จะส่งผลให้ Reaction time ของพอลิยูรีเทนโฟมมีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ซึ่งในพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing Agent ที่ 1.0, 2.0 และ 5.0 กรัม จะมี Cream time ที่แตกต่างกับมาตรฐานที่ทางบริษัทฯ เป็นผู้กำหนดขึ้น คือ 13 วินาทีจึงเป็นสาเหตุให้ไม่นำเอาพอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณ Blowing agent ดังกล่าว มาใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม ส่วนที่มี Blowing agent 3.0 และ 4.0 กรัม ยังไม่สามารถพิจารณาตัดสินได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องของความหนาแน่นและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมต่อไป เพื่อให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมที่มีค่าคุณสมบัติเบื้องต้นที่ดีตามที่ทางบริษัทฯ กำหนดขึ้น

4.2.6.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม



ภาพที่ 34 ผลการศึกษาอิทธิพลของ Blowing agent ที่มีต่อความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม

จากภาพที่ 34 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่มีปริมาณของ Blowing agent 4.0 กรัม จะให้ผลใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่บริษัทฯ กำหนด คือ 43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ของอิทธิพลของ Blowing Catalyst ที่มีต่อพอลิยูรีเทนโฟมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Blowing agent จะทำให้ความหนาแน่นค่าลดลง เนื่องจากน้ำช่วยในการฟุ้งตัวของพอลิยูรีเทนโฟมทำให้เซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงมีโพรงอากาศเป็นจำนวนมาก ทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง (Douglas A. Wick และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ)

โดยทำให้สรุปได้ว่าปริมาณของ Blowing agent ที่มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตพอลิยูรีเทนโฟม คือ 4.0 กรัม เนื่องจากมี Reaction time และความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด รวมทั้งยังมีลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมที่ดี คือ เซลล์

พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะกลม, ผิวของโฟมไม่ลอกและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของโฟม ดังแสดงในภาพผนวก ก

4.3 ผลการสังเคราะห์สูตรพอลิออลเรซินให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิออลเรซินที่เป็นมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปอัตราส่วนของส่วนผสมที่จะทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมของสูตรที่นำมาผลิตเป็นพอลิยูรีเทนโฟม

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณสารเคมี (กรัม)
Base polyol	70.00
Co-polymer polyol	30.00
Crosslink B	1.00
Surfactant B	1.00
Blowing catalyst A	0.10
Gelling catalyst A	0.56
Gelling catalyst B	0.20
Blowing agent	4.00

*หมายเหตุ ใช้ Diphenylmethane diisocyanate ในปริมาณ 81.38 กรัม

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอลิออลเรซินที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วโดยการนำไปทดสอบ

Box Foam properties และ Liquid Properties

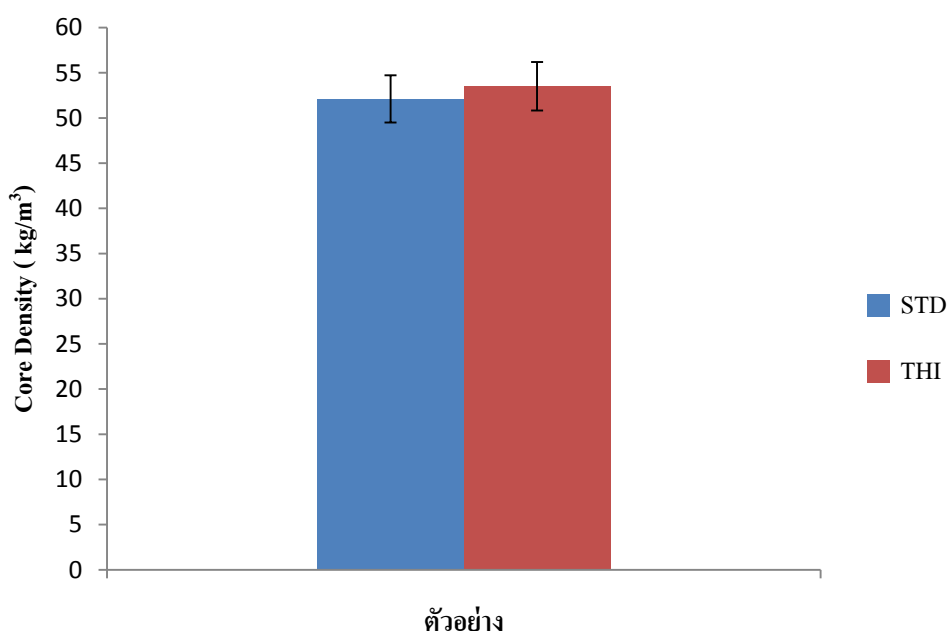
4.4.1 ผลการหาความหนาแน่น

เป็นการหาความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมที่นำมาผลิตเป็น Box foam แล้วโดยเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟมมาตัดให้มีขนาดเท่ากันแล้วนำไปหาค่าความหนาแน่น จะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตจากสูตรที่ได้รับการคัดเลือก THI
เปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมตัวอย่าง STD

ตัวอย่าง	STD 1	STD 2	STD 3	เฉลี่ย STD	THI 1	THI 2	THI 3	เฉลี่ย THI
น้ำหนัก (g)	25.88	25.45	26.84	26.07	26.75	26.60	26.92	26.76
ปริมาตร (m ³)	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Core Density (kg/m ³)	51.76	50.90	53.68	52.11	53.50	53.20	53.84	53.51

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2
ชนิด ได้ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam
ที่ผ่านการคัดเลือก THI

โดยจากภาพที่ 35 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่ผ่านการคัดเลือก THI จะมีค่าความหนาแน่นสูง
กว่าพอลิยูรีเทนโฟม STD เนื่องมาจากการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม STD มีการใช้ Diphenylmethane

diisocyanate (MDI) น้อยกว่าในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม THI ซึ่งสารดังกล่าวเป็นส่วน Hard segment ของโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม (Mark Sonnenschein และคณะ) จึงทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลง นอกจากนี้ยังเป็นเพราะน้ำ โดยพอลิยูรีเทนโฟมที่ผ่านการคัดเลือก THI มีปริมาณของน้ำเป็นส่วนประกอบที่น้อยกว่าพอลิยูรีเทนโฟม STD จึงทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Douglas A. Wick และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ) เนื่องจากน้ำช่วยในการฟุ้งตัวของพอลิยูรีเทนโฟม ดังนั้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟม STD มีค่าเพียง 52.11 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พอลิยูรีเทนโฟม THI มีค่าถึง 53.51 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

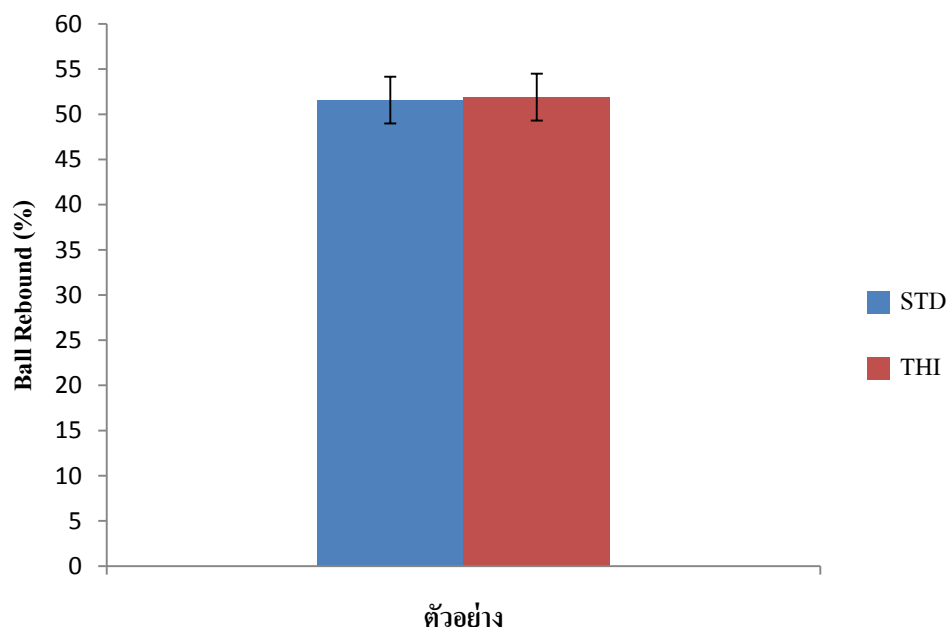
4.4.2 ผลการวัดค่า Ball Rebound

เป็นการทดสอบความยืดหยุ่นของ Box foam ซึ่งเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 ชนิดไปทดสอบหาค่า Ball Rebound จะได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า Ball Reound ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	Ball Rebound (%)			
STD 1	53.00	53.10	53.00	53.03
STD 2	51.50	52.00	51.50	51.67
STD 3	50.50	50.50	50.70	50.56
			เฉลี่ย	51.75
THI 1	52.20	52.30	52.20	52.23
THI 2	52.40	52.50	52.30	52.40
THI 3	51.10	51.00	51.00	51.03
			เฉลี่ย	51.89

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเพื่อสังเกตความแตกต่างระหว่างพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบค่า Ball Rebound ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

จากภาพที่ 36 จะเห็นว่าค่า Ball Rebound ที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันแตเมื่อนำมาทำเป็นค่าเฉลี่ยจะพบว่าค่า Ball Rebound ของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ 51.75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพอลิยูรีเทนโฟม STD และ 51.89 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพอลิยูรีเทนโฟม THI ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่พอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด มีขนาดของเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกันโดยมีสาเหตุมาจาก Surfactant ที่ใช้ (Ashish Aneja และคณะ, Yun J. Lee และคณะ และ Jerome Lefebvre และคณะ) มีปริมาณใกล้เคียงกันหรือเป็นชนิดเดียวกัน

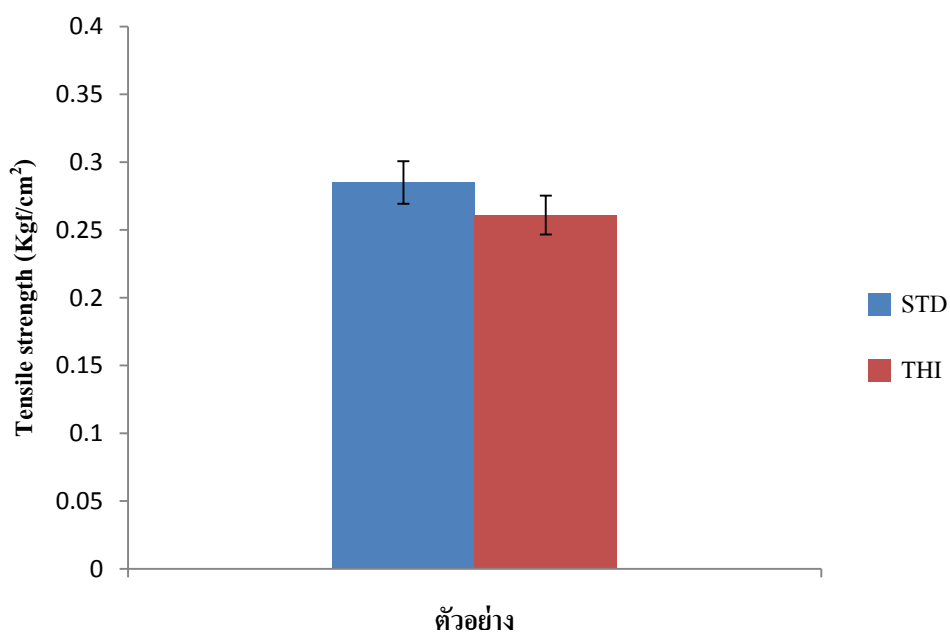
4.4.3. ผลการวัดค่า Tensile Strength

เป็นการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึงของ Box foam โดยเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดไปตรวจสอบหาค่า Tensile Strength ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 ค่า Tensile Strength ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	ค่า Tensile Strength (Kg / cm ²)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
STD	0.31	0.29	0.31	0.23	0.29
THI	0.24	0.26	0.27	0.27	0.26

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบค่า Tensile Strength ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า Tensile Strength ของ PU Foam ทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับพอลิยูรีเทนโฟม STD และ 0.26 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับพอลิยูรีเทนโฟม THI นั้นแสดงว่า พอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมีโครงสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดจำเป็นต้องใช้แรงในการดึงให้ขาด

ใกล้เคียงกันซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่พอลิยูรีเทนโฟม 2 ชนิด มีปริมาณ Crosslink agent (Gite V.V. และคณะ และ Jerome Lefebvre และคณะ) ที่ใกล้เคียงกันหรือชนิดของ Base polyol เป็นชนิดเดียวกัน (Gite V.V. และคณะ)

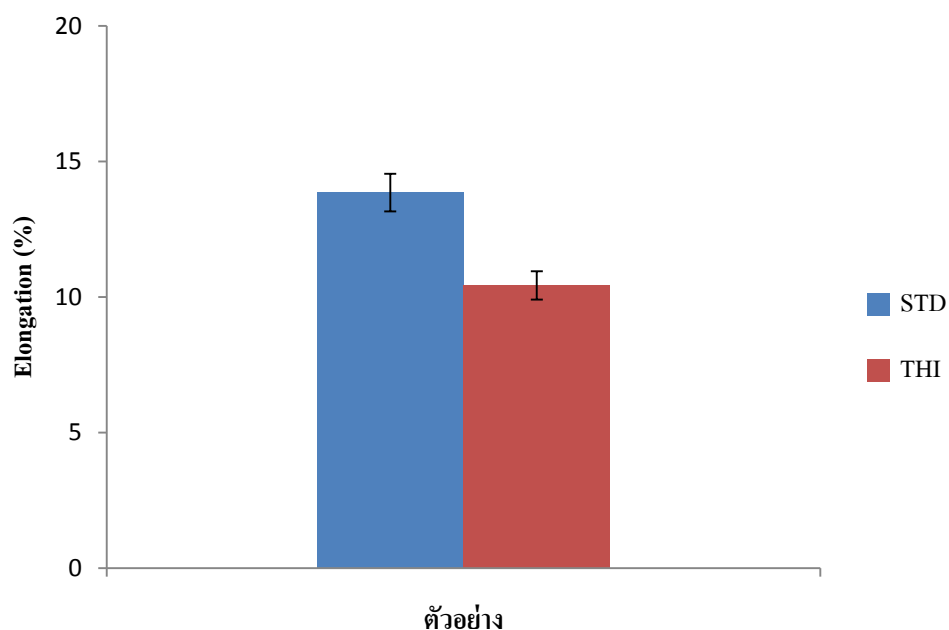
4.4.4 ผลการหาค่า Elongation

เป็นการทดสอบความสามารถในการยืดตัวของพอลิยูรีเทนโฟม โดยเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมาทดลองหาค่า Elongation ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 8 ค่า Elongation ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	ค่า Elongation (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
STD	15.49	13.12	13.49	13.30	13.85
THI	10.70	10.36	10.61	10.05	10.43

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบค่า Elongation ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

จากภาพที่ 38 จะเห็นได้ว่า พอลิยูรีเทนโฟม STD มีค่าเฉลี่ย Elongation 13.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของพอลิยูรีเทนโฟม THI 10.43 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันโดยพอลิยูรีเทนโฟม STD ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าสามารถยืดได้มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟม THI ที่มีความหนาแน่นมากกว่ากล่าวคือ พอลิยูรีเทนโฟมที่มีโครงสร้างหนาแน่นมากมีความสามารถในการยืดตัวได้น้อยกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่มีโครงสร้างหนาแน่นน้อย (Jerome Lefebvre และคณะ)

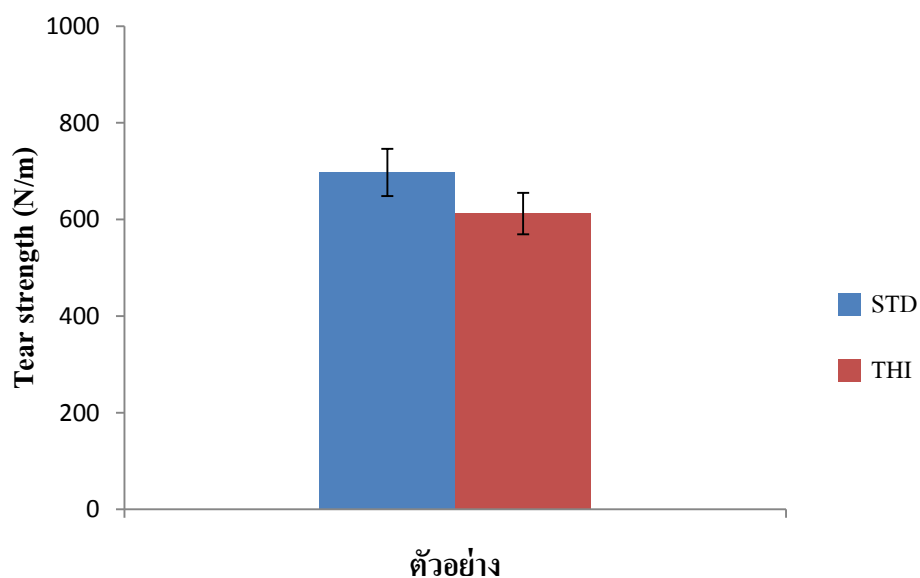
4.4.5 ผลการวัดค่า Tear Strength

เป็นการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงฉีกในส่วนของ Box foam ซึ่งเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 ชนิดไปตรวจสอบหาค่า Tear Strength ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 9 ค่า Tear Strength ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	Tear Strength (N/m)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย
STD	763.03	623.27	636.16	766.92	697.35
THI	763.13	534.26	524.83	626.19	612.10

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของพอลิยูรีเทนโฟม 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบค่า Tear Strength ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

เมื่อสังเกตจากภาพที่ 39 จะพบว่าค่าเฉลี่ย Tear Strength ของพอลิยูรีเทนโฟม STD 697.35 นิวตันต่อเมตร จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของพอลิยูรีเทนโฟม THI 612.10 นิวตันต่อเมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่พอลิยูรีเทนโฟม STD สามารถยืดออกได้มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟม THI ซึ่งทำให้พอลิยูรีเทนโฟม STD สามารถทนต่อแรงฉีกได้มากกว่า (Jerome Lefebvre และคณะ)

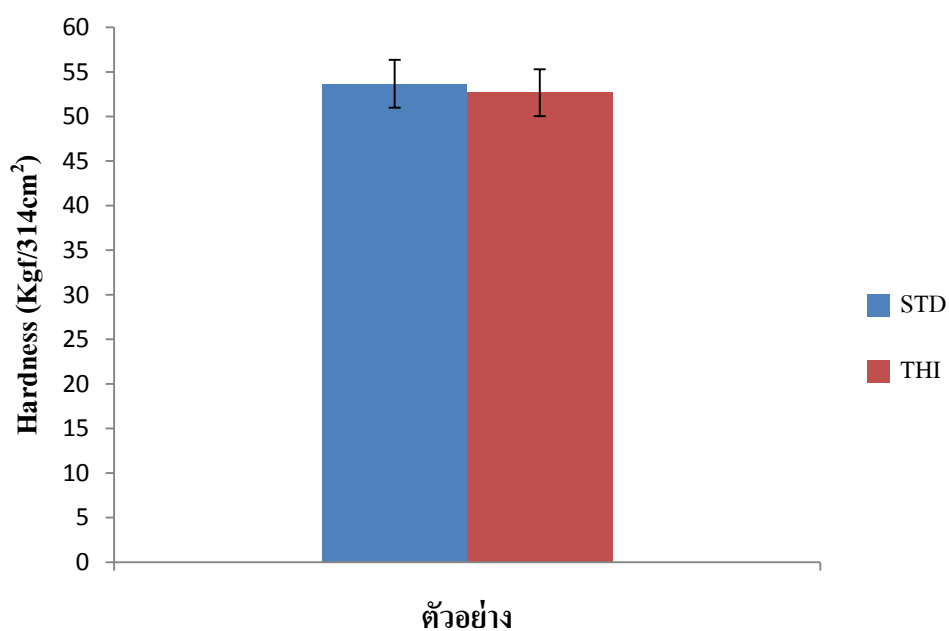
4.4.6 ผลการวัดค่า Hardness

เป็นการทดสอบความแข็งในส่วนของ Box foam โดยเมื่อนำพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมาวัดค่า Hardness จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 10 ค่า Hardness ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	ค่า Hardness (Kgf / 314 cm ²)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
STD	54	54	53	53.67
THI	52	53	53	52.67

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบค่า Hardness ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

จากภาพที่ 40 จะพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมีค่า Hardness ใกล้เคียงกันโดยพอลิยูรีเทนโฟม STD มีค่า Hardness เฉลี่ยอยู่ที่ 53.67 กิโลกรัมแรงต่อ 314 ตารางเซนติเมตร และ 52.67

กิโลกรัมแรงต่อ 314 ตารางเซนติเมตร สำหรับพอลิยูรีเทนโฟม THI ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องจากการที่พอลิยูรีเทนโฟม 2 ชนิด มีปริมาณ Crosslink agent ที่ใกล้เคียงกัน (Gite V.V. และคณะและ Jerome Lefebvre และคณะ)

4.4.7 ผลการวัดค่า Compression Set

เป็นการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงกดในส่วนของ Box foam โดยเมื่อนำตัวอย่างของพอลิยูรีเทนโฟม ที่เตรียมไว้ไปวัดขนาดและนำมาวัดอีกครั้งเมื่อได้ทำการทดลองเสร็จสิ้นได้ผลดังนี้

ตารางที่ 11 ค่าความหนาของชั้นพอลิยูรีเทนโฟมก่อนและหลังการทำการทดลอง Compression set

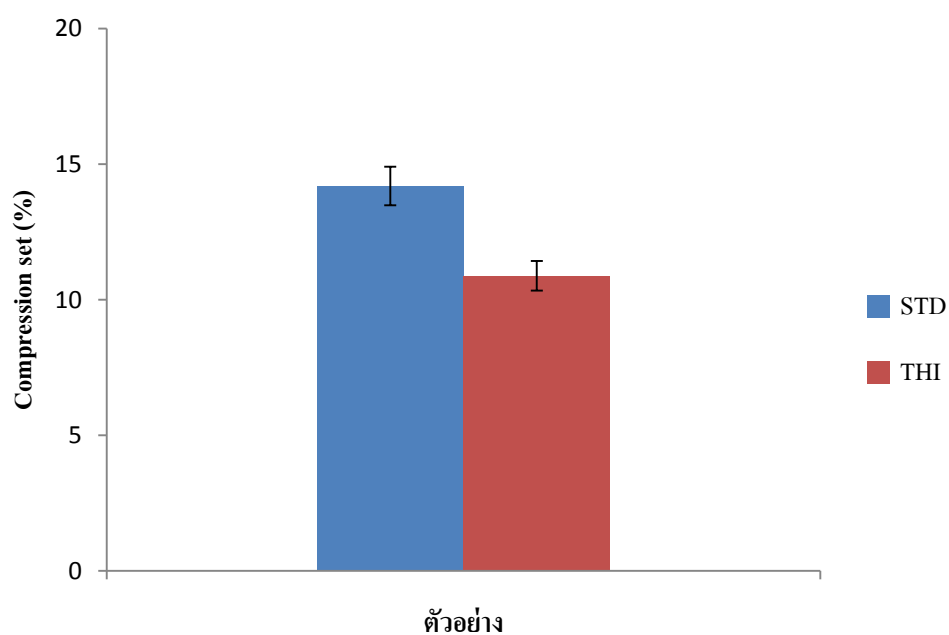
ตัวอย่าง		ความหนาเมื่อนำไปวัดขนาด (cm)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย
	ด้านที่ 1	2.50	2.60	2.50	2.40	2.50
STD	ด้านที่ 2	2.50	2.60	2.60	2.50	2.55
(ก่อนกด)	ด้านที่ 3	2.50	2.60	2.60	2.60	2.58
	ด้านที่ 4	2.50	2.60	2.60	2.50	2.55
	ด้านที่ 1	2.40	2.30	2.10	2.40	2.30
STD	ด้านที่ 2	2.40	2.30	1.80	1.70	2.05
(หลังกด)	ด้านที่ 3	1.60	1.70	2.50	2.40	2.05
	ด้านที่ 4	2.40	2.40	2.30	2.20	2.33
	ด้านที่ 1	2.40	2.50	2.50	2.60	2.50
THI	ด้านที่ 2	2.60	2.50	2.60	2.60	2.58
(ก่อนกด)	ด้านที่ 3	2.50	2.50	2.40	2.40	2.45
	ด้านที่ 4	2.50	2.50	2.50	2.30	2.45
	ด้านที่ 1	2.30	2.20	2.00	2.30	2.20
THI	ด้านที่ 2	2.30	2.20	2.10	2.30	2.23
(หลังกด)	ด้านที่ 3	2.30	2.00	2.30	2.30	2.23
	ด้านที่ 4	2.30	2.10	2.20	2.30	2.23

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาค่า Compression set ซึ่งจะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 12 ค่า Compression set ของ PU Foam STD เปรียบเทียบกับ PU Foam THI

ตัวอย่าง	Compression Set (%)	
	STD	THI
ชั้นที่ 1	8.00	12.00
ชั้นที่ 2	19.61	13.56
ชั้นที่ 3	20.54	8.98
ชั้นที่ 4	8.62	8.98
ค่าเฉลี่ยรวม	14.19	10.88

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 41

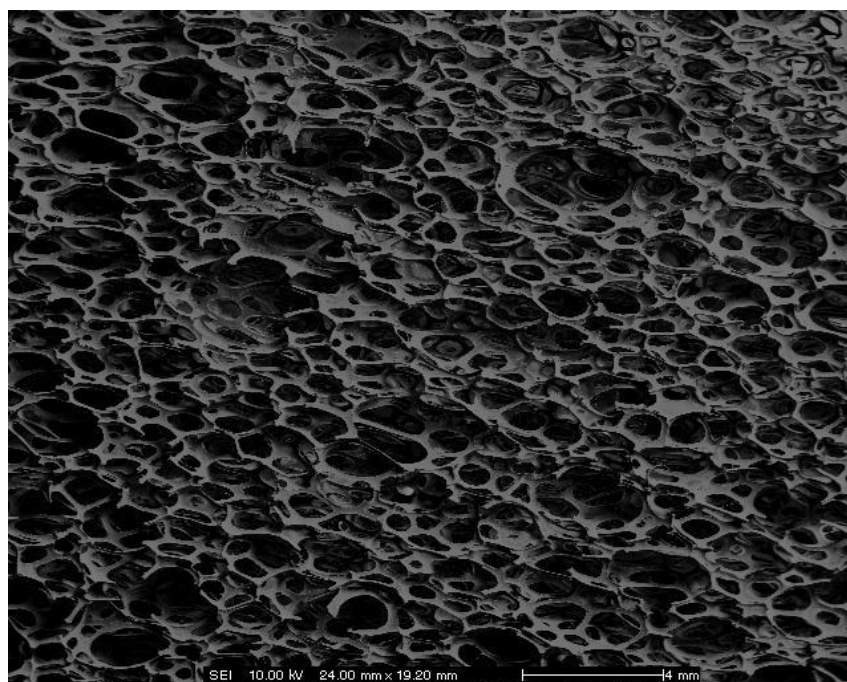


ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบค่า Compression set ระหว่าง PU Foam ตัวอย่าง STD กับ PU Foam ที่ผ่านการคัดเลือก THI

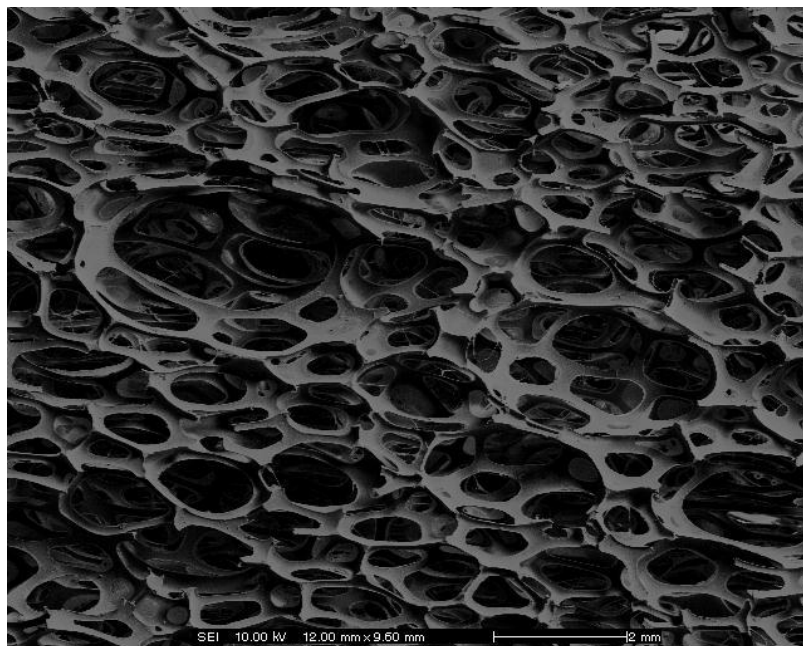
จากภาพที่ 41 แสดงให้เห็นว่า พอลิยูรีเทนโฟม STD จะมีค่า Compression set เหลืออยู่ที่ 14.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าในพอลิยูรีเทนโฟม THI ซึ่งมีค่า Compression set เหลืออยู่ที่ 10.88 เปอร์เซ็นต์ นั้นแสดงว่า พอลิยูรีเทนโฟม STD มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อผ่านการกดทับได้มากกว่าพอลิยูรีเทนโฟม THI ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม STD นั้นมีความสามารถในการคงทนน้อยกว่าพอลิยูรีเทนโฟม THI นั้นเอง (Mark Sonnenschein และคณะ)

4.4.8 ผลการตรวจสอบ Morphology

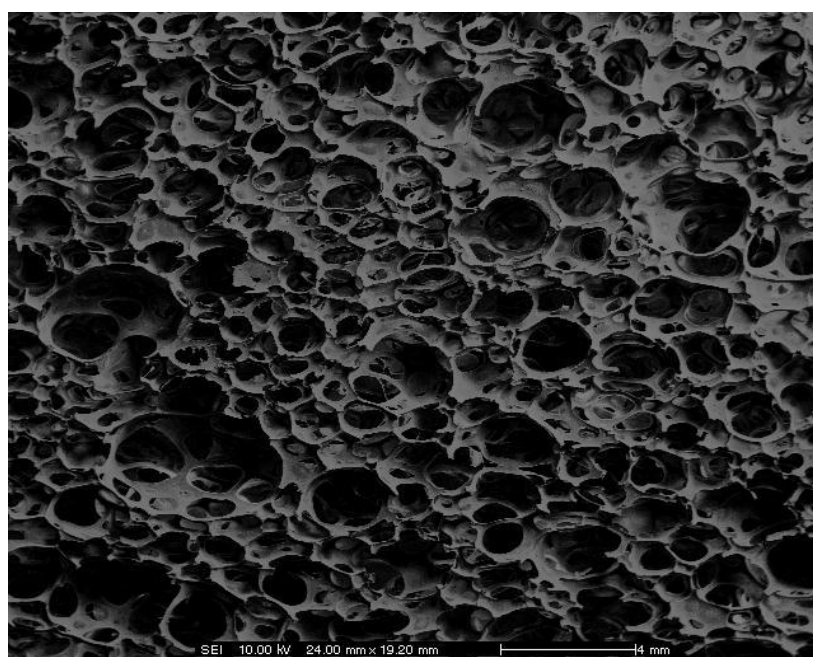
เป็นการทดสอบแบบสุดท้ายในส่วนของ Box foam ทำการตรวจสอบโดยการนำไปส่องด้วยกล้อง Scanning electron microscope (SEM) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



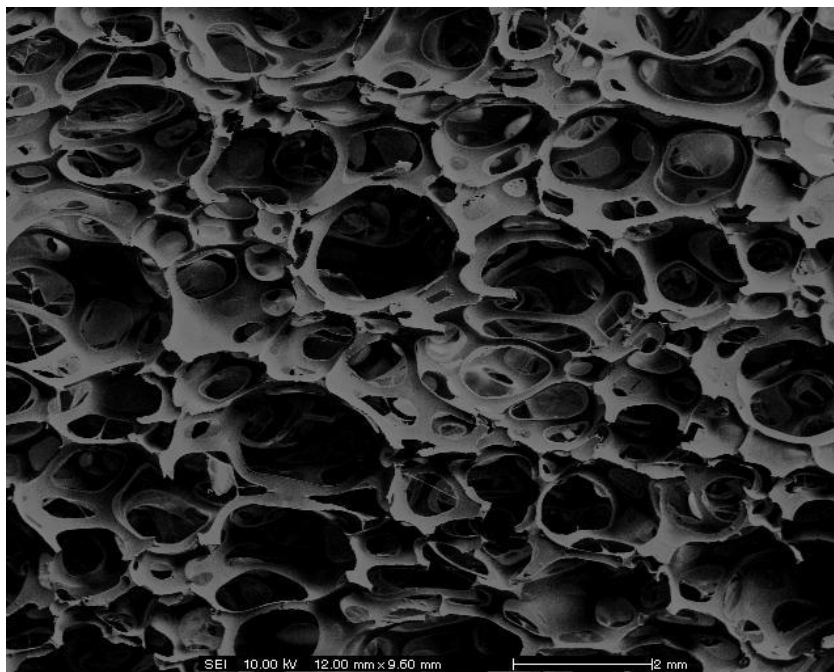
ภาพที่ 42 ลักษณะของ PU Foam STD ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5 เท่า



ภาพที่ 43 ลักษณะของ PU Foam STD ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 44 ลักษณะของ PU Foam THI ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 5 เท่า



ภาพที่ 45 ลักษณะของ PU Foam THI ผ่านกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 10 เท่า

จากภาพที่ 42-45 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพอลิยูรีเทนโฟมเมื่อนำไปส่องด้วยกล้อง Scanning electron microscope ซึ่งเห็นได้ว่า พอลิยูรีเทนโฟม STD ภาพที่ 42 และ 43 มีลักษณะใกล้เคียงกับพอลิยูรีเทนโฟม THI ภาพที่ 44 และ 45 จึงส่งผลให้คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 ชนิดมีความใกล้เคียงกัน แต่ก็พบความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 ชนิด ในเรื่องการจัดเรียงตัวของเซลล์พอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟม STD ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นระเบียบมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟม THI

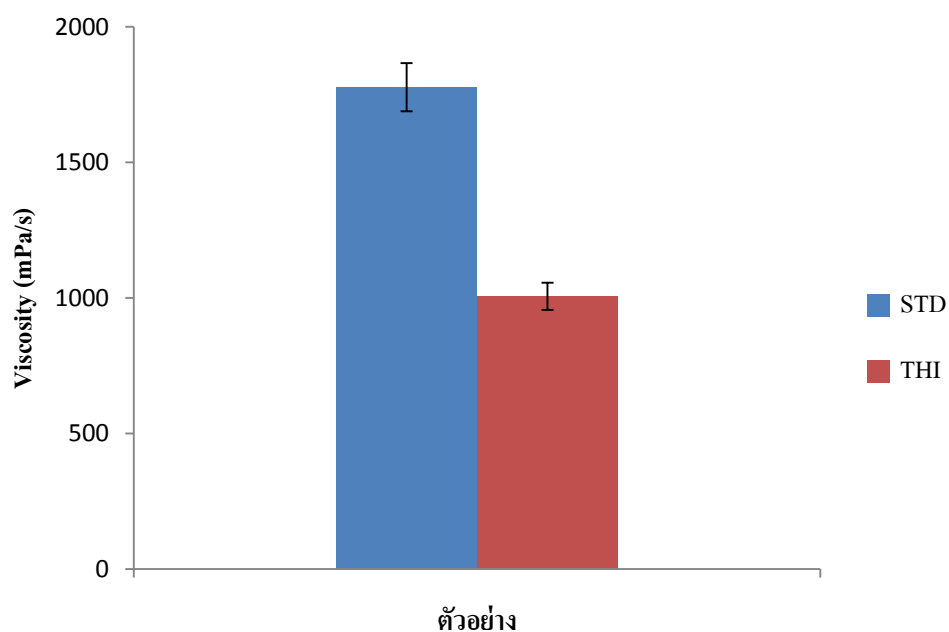
4.4.9 ผลการวัดค่าความหนืด

เป็นการทดสอบหาความหนืดในส่วนของ Liquid foam เมื่อนำพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม STD และพอลิยูรีเทนโฟม THI ไปวัดหาความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 13 ค่าความหนืดของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU Foam STD เปรียบเทียบกับของ
PU Foam THI

ตัวอย่าง	Viscosity (mPa/s)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
STD	1763.44	1789.83	1777.76	1777.01
THI	999.7	1013.15	1004.06	1005.64

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพอลิออลเรซิน
ของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU Foam STD
เปรียบเทียบกับของ PU Foam THI

จากภาพที่ 46 จะพบว่าค่าความหนืดของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟม
STD มีค่ามากกว่าของพอลิยูรีเทนโฟม THI มาก ซึ่งทำให้พอลิยูรีเทนโฟม THI มีข้อได้เปรียบใน

เรื่องกระบวนการผลิตเนื่องจากสารจะสามารถเคลื่อนที่ได้ไวกว่าทำให้สามารถควบคุมเวลาในการฉีดสารลงในแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งที่พอลิออลเรซินของพอลิยูรีเทนโฟม THI มีค่าความหนืดน้อยกว่าของพอลิยูรีเทนโฟม STD คือ ปริมาณของ Blowing agent หรือน้ำ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ค่าความหนืดลดลง (Carolina Molero และคณะ)

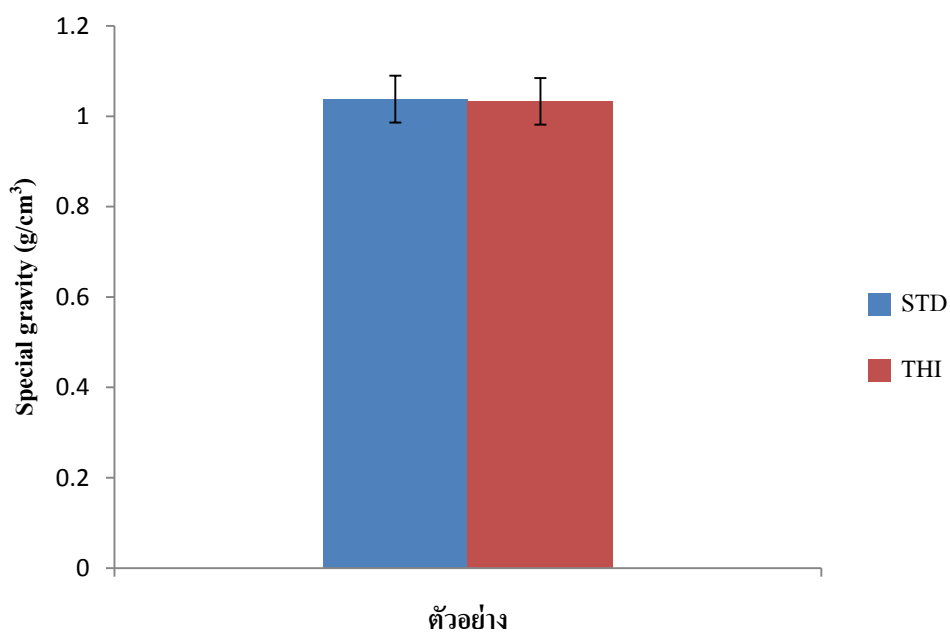
4.4.10 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

เป็นการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะในส่วนของ Liquid foam ซึ่งเป็นการนำเอาพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ไปตรวจหาค่าความถ่วงจำเพาะด้วยเครื่อง Hydrometer ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 14 ค่าความถ่วงจำเพาะของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU Foam STD เปรียบเทียบกับของ PU Foam THI

ตัวอย่าง	Specific Gravity (g/cm ³)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
STD	1.038	1.038	1.037	1.037
THI	1.033	1.034	1.033	1.033

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพอลิออลเรซินของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิด ได้ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของพอลิออลเรซินที่ใช้ในการผลิต PU Foam STD
เปรียบเทียบกับของ PU Foam THI

โดยจากภาพที่ 47 จะพบว่า ความถ่วงจำเพาะของพอลิออลเรซินของพอลิยูรีเทนโฟม ทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่พอลิออลเรซินของพอลิยูรีเทนโฟมทั้ง 2 ชนิดมีส่วนผสมใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยในเรื่อง การพัฒนาพอลิออลเรซินสำหรับการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น พบว่า องค์ประกอบของพอลิออลเรซินที่ได้ทำการศึกษานั้นมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตได้ เช่น Reaction time, ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมและลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol เมื่อเพิ่มปริมาณ Co-polymer polyol ในพอลิออลเรซิน ส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time , Set time และ End of rise เพิ่มขึ้น รวมไปถึงส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย โดยอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol ที่ให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ 70 กรัม : 30 กรัม ซึ่งผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุดและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

5.1.2 Crosslink เมื่อเพิ่มปริมาณ Crosslink ในพอลิออลเรซิน ส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise เพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลง โดยปริมาณ Crosslink B 1.0 กรัม ให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุดและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

5.1.3 Surfactant เมื่อเพิ่มปริมาณ Surfactant B ในพอลิออลเรซิน ซึ่งเป็น Surfactant ที่ช่วยด้านการจัดเรียงตัวของพอลิยูรีเทนโฟม ดังนั้นจึงส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time, Set time และ End of rise เพิ่มขึ้น แต่ Surfactant A ซึ่งเป็น Surfactant ที่ช่วยด้านการคงรูปของพอลิยูรีเทนโฟม ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณจะส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time และ Set time เพิ่มขึ้น แต่ End of rise มีค่าลดลง และสำหรับค่าความหนาแน่นนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง Surfactant A และ B เมื่อเพิ่มปริมาณ Surfactant โดยปริมาณ Surfactant B 1.0 กรัม ให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุดและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

5.1.4 Blowing catalyst เมื่อเพิ่มปริมาณ Blowing catalyst ในพอลิออลเรซิน ส่งผลให้พอลิ-

ลิวรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time , Set time และ End of rise ลดลง อีกทั้งยังส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลงด้วย โดยปริมาณ Blowing Catalyst A 0.1 กรัม ให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุดและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

5.1.5 Gelling Catalyst เมื่อเพิ่มปริมาณ Gelling catalyst ทั้ง 3 ชนิดในพอลิออลเรซิน ส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time , Set time และ End of rise ลดลง อีกทั้งยังส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลงด้วย โดยปริมาณ Gelling Catalyst A 0.56 กรัมและ Gelling Catalyst B 0.2 กรัมให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อยที่สุดและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

5.1.6 Blowing Agent เมื่อเพิ่มปริมาณ Blowing Agent ในพอลิออลเรซิน ส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผลิตมี Reaction time ได้แก่ Cream time , Set time และ End of rise ลดลง อีกทั้งยังส่งผลให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความหนาแน่นลดลงด้วย โดยปริมาณ Blowing Agent A 4 กรัมให้พอลิยูรีเทนโฟมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ผิวพอลิยูรีเทนโฟมไม่ลอกและไม่เกิดโพรงอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม อีกทั้งเซลล์พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะค่อนข้างกลม

ดังนั้น จะสามารถพัฒนาสูตรการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมให้มีคุณสมบัติตามที่บริษัทกำหนดไว้ 1 สูตร โดยมีสัดส่วนของสารต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ Base polyol : Co-polymer polyol ในอัตราส่วน 70 กรัม : 30 กรัม, Crosslink B 1.0 กรัม, Surfactant B 1.0 กรัม, Blowing Catalyst A 0.1 กรัม, Gelling Catalyst A 0.56 กรัม, Gelling Catalyst B 0.2 กรัม, Blowing Agent A 4 กรัม และ MDI 81.38 กรัม

โดยพอลิยูรีเทนโฟมที่ได้จากพอลิออลเรซินข้างต้นจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิออลเรซินมาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีตรงที่มีค่าความหนืดที่ต่ำ จึงส่งผลให้สามารถควบคุมการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

1. ในขั้นตอนการวิเคราะห์ Reaction เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำนั้น ต้องควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบให้ได้ตามที่กำหนด อีกทั้งต้องทำการทดลองอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วมาก

2. ในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมต้องควบคุมระยะเวลาในการเทตัวอย่างลงในแม่พิมพ์ให้ไวและนํีนวลที่สุดเพื่อป้องกันการแข็งตัวของโฟมและป้องกันการเกิดฟองในพอลิยูรีเทนโฟมได้
3. ในการเทตัวอย่างลงใน Mold จำเป็นต้องเทให้ทั่วเพื่อป้องกันการฟูไม่เต็ม Mold ของพอลิยูรีเทนโฟม
4. ควรควบคุมอุณหภูมิของ Mold ในกระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมให้คงที่เนื่องจากจะส่งผลต่อคุณภาพของผิวโฟม

บรรณานุกรม

- Armenta J.L. Rivera, Heinze Th. And Martnez A.M. Mendoza, “New polyurethane foams modied withcellulose derivatives,” *European Polymer Journal*, 40 (July 2004): 2803-2812.
- Ashish Aneja, Garth L. Wilkes, Ersin Yurtsever and Iskender Yilgor, “Influence of lithium chloride on the morphology of flexible slabstock polyurethane foams and their plaque counterparts,” *Polymer*, 44 (October 2003): 757-768.
- Basar Yildiz, Seydibeyoglu M. Ozgur and Guner F. Seniha, “Polyurethane zinc borate composites with high oxidative stability and flame retardancy,” *Polymer Degradation and Stability*, 94 (April 2009): 1072-1075.
- Bum Soo Kim, Ho Young Jeong and Byung Kyu Kim, “Surface characterizations of polyurethanes having different types of soft segment,” *Colloids and Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects*, 268 (May 2005): 60–67.
- Carolina Molero , Antonio D. Lucas and Juan F. Rodriguez, “Recovery of polyols from flexible polyurethane foam by split-phase glycolysis: Glycol influence,” *Polymer Degradation and Stability*, 91 (May 2005): 221-228.
- Chattopadhyay D.K. and Raju K.V.S.N., “Structural engineering of polyurethane coating for high performance applications,” *Progressin Polymer Science*, 34 (May 2006): 352-418.
- David W. Hatchetta, Gayani Kodippilia, John M. Kinyanjuia, Floccerfida Benincasaa, Linda Sapochakb, “FTIR analysis of thermally processed PU foam,” *Polymer Degradation and Stability*, 87 (October 2004): 555-561.
- Douglas A. Wick and Zeno W. Wicks, “Review Blocked isocyanates III Part B: Uses and applications of blocked isocyanates,” *Progress in organic coatings*, 41 (December 2000): 1-83.
- Gite V.V., Mahulikar P.P. and Hundiware D.G., “Preparation and properties of polyurethane coatings based on acrylic polyols and trimer of isophorone diisocyanate,” *Progressin Organic Coatings*, 68 (March 2010): 307-312.
- Ron Herrington, **Flexible Polyurethane Foams** (Texas: Dow ‘s book, 1997), 2.2-3.1.

- Jeno Borda, Gabriella Pasztor and Miklos Zsuga, "Glycolysis of polyurethane foams and elastomers," *Polymer Degradation and Stability*, 68 (January 2000): 419-422.
- Jerome Lefebvre, Benoit Bastin, Michel Lebras, Sophie Duquesne, Rakesh Paleja and Rene Delobel, "Thermal stability and fire properties of conventional flexible polyurethane foam formulations," *Polymer Degradation and Stability*, 88 (January 2005): 28-34.
- Jerome Lefebvre, Benoit Bastin, Michel Lebras, Sophie Duquesne, Christian Ritter, Rakesh Paleja and Rene Delobel, "Flame spread of flexible polyurethane foam: comprehensive study," *Polymer Testing*, 23 (August 2003): 281-290.
- Kaneyoshi Ashida, **Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology** (New York: Taylor & Francis, 2005), 13-71.
- Mark Sonnenschein, Benjamin L. Wendt, Alan K. Schrock, Jean Marie Sonney and Anthony Ryan, "The relationship between polyurethane foam microstructure and foam aging," *Polymer*, 49 (January 2008): 934-942.
- Nihal Sarier and Emel Onder, "Thermal characteristics of polyurethane foams incorporated with phase change materials," *Thermochimica Acta*, 45 (December 2007): 490-498.
- Ryohei Tanaka, Shigeo Hirose and Hyoe Hatakeyama, "Preparation and characterization of polyurethane foams using a palm oil-based polyol," *Bioresource Technology*, 99 (July 2007): 3810-3816.
- Urska Sebenik and Matjaz Krajnc, "Influence of the soft segment length and content on the synthesis and properties of isocyanate-terminated urethane prepolymer," *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 27 (October 2007): 527-535.
- Yun J. Lee and Kyung Yoon, "Effect of composition of polyurethane foam template on the morphology of silicalite foam," *Microporous and Mesoporous Materials*, 88 (August 2006): 176-186.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก ข้อมูลอ้างอิง

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่เป็นที่ต้องการ

คุณสมบัติที่ตรวจสอบ	หน่วยวัด	ค่ามาตรฐาน
1. Liquid Properties		
- Viscosity	N.s/ m ²	1777.01
- Specific Gravity	g/cm ³	1.033
2. Free Blow Foam Properties		
- Cream Time	sec	13 ± 1
- Set Time	sec	46 ± 1
- Rise Time	sec	64 ± 1
- Core Density	kg/m ³	43 ± 1
3. Box Foam properties		
- Core Density	kg/m ³	52.11
- Hardness	kgf/314cm ²	53.67
- Ball Rebound	%	51.75
- Elongation	%	13.85
- Tensile Strength	kg/cm ²	0.29
- TearStrength	N/m	697.35
- Dry Set	%	14.19
- ลักษณะทางกายภาพ (Morphology) โดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM)	-	-

ตารางที่ 16 สูตรของพอลิออลเรซินที่นำมาใช้ในขั้นตอนการศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ภายในพอลิ-
ออลเรซินที่มีอิทธิพลต่อการผลิตโฟม

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณสารเคมี (กรัม)
Base Polyol	70.00
Copolymer Polyol	30.00
Crosslink B	1.3
Surfactant A	0.5
Surfactant B	0.5
Blowing Catalyst A	0.05
Gelling Catalyst A	0.50
Blowing Agent	3.30

*หมายเหตุ ใช้ Diphenylmethane diisocyanate ในปริมาณ 57 กรัม



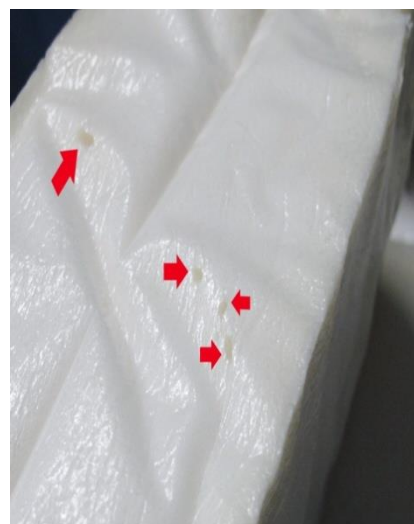
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 48 ลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟม

- (ก) พอลิยูรีเทนโฟมมีลักษณะผิวไม่ลอกและไม่เกิดฟองอากาศที่ผิวหน้า
- (ข) ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกน้อย (เป็นค่าที่ยอมรับได้)
- (ค) ผิวพอลิยูรีเทนโฟมลอกมาก (เป็นค่าที่ไม่ยอมรับ)
- (ง) เกิดฟองอากาศที่ผิวหน้าของพอลิยูรีเทนโฟม

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข สูตรและตัวอย่างการคำนวณ

1. ค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานพอลิยูรีเทนโฟม สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} = \text{น้ำหนักชิ้นงาน (kg)} / \text{ปริมาตรของชิ้นงาน (m}^3\text{)}$$

$$\text{จากตารางที่ 5 จะได้ ความหนาแน่น} = 0.02588 / (5 \times 10^{-4})$$

$$\text{ความหนาแน่น} = 51.76 \text{ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

2. ค่า Tensile Strength

$$\text{Tensile Strength (kg/cm}^2\text{)} = F/A$$

โดยที่ F = แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบฉีกขาด (กิโลกรัม)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางเฉลี่ย (ตารางเซนติเมตร)

3. ค่า Elongation

$$\text{Elongation at break (\%)} = [(L-L_0)/L_0 \times 100]$$

โดยที่ L = ระยะที่ยึดตัวออกก่อนฉีกขาด (เซนติเมตร)

L_0 = ระยะเริ่มต้น (เซนติเมตร)

4. ค่า Tearstrength

$$\text{Tearstrength (kg/cm)} = F/T$$

โดยที่ F = แรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการฉีกขาด (กิโลกรัม)

T = ความหนาของชิ้นงานทดสอบ

5. % Recession

% Recession คือ ระยะในการหดตัวของโฟม โดยถ้ามีค่าน้อย โฟมจะมีโครงสร้างที่แน่นซึ่งอาจทำให้โฟมแตกได้ แต่ถ้ามีค่ามากโครงสร้างภายในจะไม่ได้ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสูตร

$$\% \text{ Recession} = \frac{\text{ความสูงครั้งแรก} - \text{ความสูงหลัง 10 นาที}}{\text{ความสูงครั้งแรก}} \times 100$$

จากตารางที่ 16 จะได้ $\% \text{ Recession} = (33.5 - 32.7)/33.5 \times 100$

$$\% \text{ Recession} = 2.39$$

6. H/W Ratio

H/W Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความสูงหลังทิ้งโฟมไว้เป็นเวลา 10 นาทีกับน้ำหนักของโฟม ซึ่งค่าที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผู้ผลิตเบาะแต่ละบริษัท โดยสามารถหาได้จาก

$$\text{H/W Ratio} = \frac{\text{ความสูงหลัง 10 นาที}}{\text{น้ำหนัก}} \times 1000$$

จากตารางที่ 16 จะได้ $\text{H/W Ratio} = (32.7/128.47) \times 1000$

$$\text{H/W Ratio} = 255$$

7. Expansion factor

Expansion factor คือ ค่า factor ของการขยายตัวของโฟม ซึ่งช่วยในการควบคุมการขยายตัวของโฟมภายใน Mold โดยถ้ามีค่ามากเกินไป จะทำให้ผิวหน้าของโฟมลอก หรืออาจทำให้เกิดฟองขนาดใหญ่ได้ผิวโฟม แต่ถ้ามีค่าน้อยเกินไปจะทำให้โฟมฟูตัวไม่เต็ม Mold โดยสามารถหาได้จากสูตร

$$\text{Expansion factor} = \frac{\text{ความสูงครั้งแรก}}{\text{น้ำหนัก}} \times 1000$$

จากตารางที่ 16 จะได้ $\text{Expansion factor} = (33.5/128.47) \times 1000$

$$\text{Expansion factor} = 261$$

8. การหาค่า OH Number (OH_v)

ค่าไฮดรอกซิลของพอลิออล (OH_v) เป็นค่าที่ใช้วัดความเข้มข้นของไอโซไซยานาตที่ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลค่อน้ำหนักของพอลิออล ซึ่งสามารถนิยามได้ด้วย จำนวนมิลลิกรัมของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนด้วย 1 กรัมของพอลิออล โดยการผลิตโฟมนั้นจำเป็นต้องทราบชนิดของพอลิออล ซึ่งโดยปกติมักจะแสดงค่าของไฮดรอกซิล และน้ำหนักโมเลกุล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณของไอโซไซยานาต เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยสามารถหาได้จากสูตร

$$OH_v = \frac{(56.11)(1000)}{\text{Equivalent Weight}}$$

จากตารางที่ 16 ค่า OH_v ของ Base polyol มีค่าเท่ากับ 34 เนื่องจากเป็นค่าสเปคของสาร Base polyol ที่มาจากบริษัทผู้ผลิต

9. ค่า Equivalent Weight

$$\text{หาได้จากสูตร Equivalent Weight} = \frac{(56.11)(1000)}{OH_v}$$

จากตารางที่ 16 จะได้ค่า Equivalent Weight เท่ากับ 1,650

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 17 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ชื่อสารเคมี	ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต
1	Diphenylmethane diisocyanate (MDI)	4,4 MDI	Bayer Thai Co., Ltd.
2	Base Polyol (MW 5,000)	Voranal 4701	Dow Pacific Thailand Ltd.
3	Copolymer Polyol (30-33% solid content)	Specflex NC 701	Dow Pacific Thailand Ltd.
4	Crosslink A	Triethanolamine TEOA	Evonik Goldschmidt
5	Crosslink B	Diethanolamine DEOA	Evonik Goldschmidt
6	Surfactant A	TEGOSTAB B8719 LF	Evonik Goldschmidt
7	Surfactant B	TEGOSTAB B8715 LF	Evonik Goldschmidt
8	Blowing Catalyst A	TEGOAMIN BDE	Evonik Goldschmidt
9	Gelling Catalyst A	TEGOAMIN 33	Evonik Goldschmidt
10	Gelling Catalyst B	DABCO 33 LV	Evonik Goldschmidt
11	Gelling Catalyst C	DABCO KTM 60	Evonik Goldschmidt
12	Methylene Chloride	Methylene Chloride	Evonik Goldschmidt

ตารางที่ 18 ผลการทดลองจากการทดสอบผลิตพอลิยูรีเทนโฟมจากพอลิออลเรซินตัวอย่างจากบริษัท ที เอส อินเตอร์ซีท จำกัด

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
2	13.39	47.52	67.32	33.5	32.7	32.6	128.47	2.39	255	261	20	20	25
2	13.37	46.48	63.23	31.7	30.9	30.8	132.79	2.52	233	239	20	20	25
2	13.14	47.11	64.74	34.0	32.2	32.1	127.20	5.29	253	267	20	20	25
2	13.07	45.66	62.39	34.1	32.6	32.5	132.21	4.40	247	258	20	20	25
2	13.19	47.25	62.91	34.0	32.6	32.5	126.84	4.12	257	268	20	20	25
2	13.02	47.52	64.52	33.1	32.1	32	123.78	3.02	259	267	20	20	25
2	13.61	44.88	62.26	32.8	31.4	31.3	136.10	4.27	231	241	20	20	25
2	13.42	45.78	62.34	31.9	29.6	29.5	136.35	7.21	217	234	20	20	25
2	13.1	45	61.86	32.0	29.9	29.8	137.28	6.56	218	233	20	20	25
2	13.22	46.84	62.49	33.2	32.7	32.6	134.25	1.51	244	247	20	20	25
2	13.39	46.62	62.27	32.9	31.3	31.2	133.53	4.86	234	246	20	20	25
				13	46	64							

ตารางที่ 19 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของอัตราส่วนระหว่าง Base polyol : Co-polymer polyol

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas									
				1	ปริมาณที่ใส่จริง	2	ปริมาณที่ใส่จริง	3	ปริมาณที่ใส่จริง	4	ปริมาณที่ใส่จริง	5	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	100	100.1500	50	50.0489	60	60.1148	70	70.2228	80	80.0796
2	Copolymer Polyol	22	2550	0	0	50	50.0849	40	40.1562	30	29.9993	20	20.0524
3	Closslink A	1128.2	49.73										
4	Closslink B	1601	35.04	1.3	1.3244	1.3	1.3289	1.3	1.3122	1.3	1.3057	1.3	1.3196
5	Surfactant A	—	—	0.5	0.5006	0.5	0.5117	0.5	0.5176	0.5	0.5067	0.5	0.5096
6	Surfactant B	—	—	0.5	0.5102	0.5	0.5	0.5	0.5148	0.5	0.5103	0.5	0.5078
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0521	0.05	0.0577	0.05	0.0547	0.05	0.0581	0.05	0.0591
8	Gelling Catalyst	560.3	100.12	0.5	0.5200	0.5	0.5164	0.5	0.5306	0.5	0.5186	0.5	0.5068
9	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3501	3.3	3.3024	3.3	3.3261	3.3	3.3063	3.3	3.3026
10	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			57.19	57.5408	55.89	55.1971	56.15	55.6189	56.41	56.41	56.67	55.86
	Total			106.15	106.4074	106.15	106.2209	106.15	106.527	106.15	106.4278	106.15	106.3375

ตารางที่ 20 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 19

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. ($^{\circ}$ C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร1	17.10	60.11	112.76	33.5	32.6	32.5	136.57	2.69	239	245	20	20	25
สูตร2	14.74	43.46	87.41	29.6	29.0	28.9	132.30	2.03	219	224	20	20	25
สูตร3	14.42	44.27	93.19	29.5	29.0	28.9	131.54	1.69	220	224	20	20	25
สูตร4	14.83	54.14	95.37	29.7	29.0	28.9	135.61	2.36	214	219	20	20	25
สูตร5	14.33	49.05	97.46	29.9	29.1	29.0	131.37	2.68	222	228	20	20	25

ตารางที่ 21 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Crosslink agent

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas									
				1	ปริมาณที่ใส่ จริง	2	ปริมาณที่ใส่ จริง	3	ปริมาณที่ใส่ จริง	4	ปริมาณที่ใส่ จริง	5	ปริมาณที่ใส่ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.3425	70	70.0019	70	70.0857	70	70.0886	70	70.6915
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0349	30	30.0296	30	30.2313	30	30.0914	30	30.0198
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0.5	0.5084	1	1.0159	1.5	1.5278	2	2.015
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Surfactant A	—	—	0.5	0.5056	0.5	0.5146	0.5	0.5085	0.5	0.5074	0.5	0.5036
6	Surfactant B	—	—	0.5	0.5150	0.5	0.5017	0.5	0.5146	0.5	0.5085	0.5	0.5088
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0615	0.05	0.0584	0.05	0.0609	0.05	0.0570	0.05	0.0524
8	Gelling Catalyst	560.3	100.12	0.5	0.5107	0.5	0.5215	0.5	0.5090	0.5	0.5178	0.5	0.5081
9	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3001	3.3	3.3078	3.3	3.3034	3.3	3.3183	3.3	3.3052
10	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			52.54	50.0966	53.53	53.2890	54.5	52.9603	55.47	54.3776	56.42	55.3990
		Total		104.85	105.0966	105.35	105.4439	105.85	106.2293	106.35	106.6168	106.85	107.6044

ตารางที่ 21 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Crosslink agent (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				6	ปริมาณที่ใส่ จริง	7	ปริมาณที่ใส่ จริง	8	ปริมาณที่ใส่ จริง	9	ปริมาณที่ใส่ จริง	10	ปริมาณที่ใส่ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0043	70	70.091	70	70.0092	70	70.068	70	70.0252
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0185	30	30.1217	30	30.4515	30	30.0056	30	30.0594
3	Crosslink 1	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5075
4	Crosslink 2	1601	35.04	0.5	0.519	1	1.0178	1.5	1.5070	2	2.0118	0.5	0.5094
5	Surfactant 1	—	—	0.5	0.5021	0.5	0.5104	0.5	0.5084	0.5	0.5047	0.5	0.5055
6	Surfactant 2	—	—	0.5	0.5101	0.5	0.5091	0.5	0.5172	0.5	0.5033	0.5	0.5098
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0500	0.05	0.0557	0.05	0.0523	0.05	0.0542	0.05	0.0519
8	Gelling Catalyst	560.3	100.12	0.5	0.5151	0.5	0.5022	0.5	0.5005	0.5	0.5072	0.5	0.5091
9	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3158	3.3	3.3200	3.3	3.3200	3.3	3.3146	3.3	3.3128
10	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			54.04	53.8228	55.53	54.7896	57	57.0445	58.46	58.3245	55	55.0496
	Total			105.35	105.4349	105.85	106.12777	106.35	106.8661	106.85	106.9694	105.85	105.9906

ตารางที่ 22 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 21

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. ($^{\circ}$ C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร1	14.92	59.60	87.15	26.4	25.0	24.9	124.06	5.30	202	213	20	20	25
สูตร2	15.48	55.44	85.41	27.6	25.7	25.6	126.48	6.88	203	218	20	20	25
สูตร3	19.73	58.07	100.78	28.7	28.6	28.5	125.24	0.35	228	229	20	20	25
สูตร4	20.36	62.40	111.89	29.8	28.4	28.3	123.49	4.70	230	241	20	20	25
สูตร5	20.51	68.68	156.46	27.7	26.7	26.6	128.30	3.61	208	216	20	20	25
สูตร6	15.78	58.78	122.53	26.9	26.3	26.2	123.53	2.23	213	218	20	20	25
สูตร7	14.54	45.70	100.80	29.0	28.6	28.5	126.22	1.38	227	230	20	20	25
สูตร8	15.46	46.43	103.95	29.2	28.6	28.5	130.86	2.05	219	223	20	20	25
สูตร9	16.8	47.18	121.56	28.2	27.5	27.4	133.92	2.48	205	211	20	20	25
สูตร10	15.45	48.43	112.68	29.3	28.6	28.5	128.48	2.39	223	228	20	20	25

ตารางที่ 23 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Surfactant

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas							
				1	ปริมาณที่ใส่ จริง	2	ปริมาณที่ใส่ จริง	3	ปริมาณที่ใส่ จริง	4	ปริมาณที่ใส่ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0314	70	70.0658	70	70.0041	70	70.044
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0606	30	30.0147	30	30.0167	30	30.0405
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.3442	1.3	1.3003	1.3	1.3209	1.3	1.3056
5	Surfactant A	—	—	0	0	0.5	0.5020	1	1.0135	2	2.0037
6	Surfactant B	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0580	0.05	0.0513	0.05	0.0512	0.05	0.0517
8	Gelling Catalyst	560.3	100.12	0.5	0.5062	0.5	0.5005	0.5	0.5064	0.5	0.5049
9	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3097	3.3	3.3000	3.3	3.3074	3.3	3.3002
10	MDI Bayer (%NCO=32.5)										
	Mixing Ratio P/I			57	57.7507	56.68	56.4063	56.4	56.0639	55.89	54.7440
		Total		105.15	105.3101	105.65	105.7346	106.15	106.2202	107.15	107.2506

ตารางที่ 23 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Surfactant (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas					
				5	ปริมาณที่ใส่ จริง	6	ปริมาณที่ใส่ จริง	7	ปริมาณที่ใส่ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0318	70	70.0678	70	70.0167
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.127	30	30.1001	30	30.1567
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.3212	1.3	1.3308	1.3	1.3400
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	0.5	0.5016	1	1.0060	2	2.0006
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0561	0.05	0.0526	0.05	0.0512
8	Gelling Catalyst	560.3	100.12	0.5	0.5091	0.5	0.5065	0.5	0.5113
9	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3047	3.3	3.3091	3.3	3.3106
10	MDI Bayer (%NCO=32.5)								
	Mixing Ratio P/I			56.68	56.1877	56.41	56.9940	55.89	55.4146
		Total		105.65	105.8515	106.15	106.3729	107.15	107.3871

ตารางที่ 24 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 23

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร1	13.22	44.63	81.81	30.2	29.7	29.6	133.5	1.66	222	226	20	20	25
สูตร2	14.82	49.37	104.34	30.4	29.4	29.3	129.65	3.29	227	234	20	20	25
สูตร3	14.29	46.70	96.1	30.3	29.7	29.6	129.87	1.98	229	233	20	20	25
สูตร4	14.70	46.79	93.36	29.9	29.3	29.2	127.15	2.01	230	235	20	20	25
สูตร5	14.32	47.27	88.27	28.8	28.1	28.0	128.06	2.43	219	225	20	20	25
สูตร6	14.57	46.12	91.11	28.6	27.9	27.8	129.28	2.45	216	221	20	20	25
สูตร7	14.98	46.60	95.86	27.6	27.1	27.0	127.16	1.81	213	217	20	20	25

ตารางที่ 25 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Gelling catalyst

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas											
				1	ปริมาณที่ได้ จริง	2	ปริมาณที่ได้ จริง	3	ปริมาณที่ได้ จริง	4	ปริมาณที่ได้ จริง	5	ปริมาณที่ได้ จริง	6	ปริมาณที่ได้ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0873	70	70.1736	70	70.0166	70	70.0314	70	70.0782	70	70.0042
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.1227	30	31.0003	30	30.1177	30	30.0383	30	30.1660	30	30.4154
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	1.3157	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.3246	1.3	0	1.3	1.3028	1.3	1.3136	1.3	1.3	1.3	1.3207
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0007	1	1.0128	1	1.0025	1	1.0041	1	1.0002	1	1.0143
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0	0.05	0.0565	0.05	0.0578	0.05	0.0555	0.05	0.0500	0.05	0.0500
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0.3	0.3030	0.5	0.5047	1	1.0051	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3048	0.5	0.5016
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3110	3.3	3.3221	3.3	3.3309	3.3	3.3160	3.3	3.3333	3.3	3.3361
12	MDI Bayer (%NCO=32.5)														
	Mixing Ratio P/I			56.07	56.0131	56.28	56.2800	56.41	56.4100	56.75	56.7500	56.28	56.2800	56.41	56.4100
		Total		105.65	105.8463	105.95	107.1840	106.15	106.3330	106.65	106.7640	105.95	106.2325	106.15	106.6423

ตารางที่ 25 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Gelling catalyst (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				7	ปริมาณที่ใส่จริง	8	ปริมาณที่ใส่จริง	9	ปริมาณที่ใส่จริง	10	ปริมาณที่ใส่จริง	11	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0902	70	70.0558	70	70.0558	70	70.0537	70	70.1262
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0011	30	30.0239	30	30.0239	30	30.0723	30	30.0240
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.3180	1.3	1.3345	1.3	1.3013	1.3	1.3177	1.3	1.3080
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0019	1	1.0155	1	1	1	1.0023	1	1.0000
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0513	0.05	0.0510	0.05	0.0513	0.05	0.0540	0	0
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	1	1.0163	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0.3	0.3120	0.5	0.5050	1	1.0137	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3215	3.3	3.3192	3.3	3.3266	3.3	3.3074	3.3	3.3123
12	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			56.76	56.8132	56.86	57.0445	57.39	57.3900	58.69	58.6900	58.66	58.6600
	Total			106.65	106.8003	105.95	106.1119	106.15	106.2639	106.65	106.8211	105.60	105.7705

ตารางที่ 26 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 25

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร1	32.65	193.56	251.64	21.8	17.1	17.00	130.85	21.56	131	167	20	20	25
สูตร2	18.13	73.91	125.85	28.7	28.2	28.1	132.19	1.74	213	217	20	20	25
สูตร3	14.35	43.12	93.47	28.4	28.0	27.9	126.88	1.41	221	224	20	20	25
สูตร4	10.12	36.08	55.64	29.6	28.7	28.6	123.64	3.04	232	239	20	20	25
สูตร5	16.80	70.54	135.39	28.7	28.1	28.0	133.05	2.09	211	216	20	20	25
สูตร6	13.39	45.18	98.58	28.5	27.8	27.7	129.17	2.46	215	221	20	20	25
สูตร7	11.87	33.11	59.12	28.8	28.0	27.9	125.78	2.78	223	229	20	20	25
สูตร8	22.51	98.89	174.83	26.7	26.0	25.9	133.59	2.62	195	200	20	20	25
สูตร9	20.11	65.25	146.99	28.2	27.6	27.5	133.24	2.13	207	212	20	20	25
สูตร10	17.28	48.50	89.29	28.5	27.9	27.8	132.4	2.11	211	215	20	20	25
สูตร11	75.09	656.16	x	x	x	x	x	x	x	x	20	20	25

*หมายเหตุ x ที่อยู่ในตารางเกิดขึ้นเนื่องจากสูตรที่ใช้ผลิตนั้นใช้ระยะเวลานานมากในการเกิดปฏิกิริยาจึงไม่สามารถบันทึกค่า ST และ EOR ได้

ตารางที่ 27 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Blowing catalyst และ Blowing agent

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas							
				1	ปริมาณที่ใส่จริง	2	ปริมาณที่ใส่จริง	3	ปริมาณที่ใส่จริง	4	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0317	70	70.0167	70	70.0317	70	70.0671
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0178	30	30.4336	30	30.1668	30	30.1308
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.3087	1.3	1.3179	1.3	1.3022	1.3	1.3065
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0043	1	1.0109	1	1.0025	1	1
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.08	0.0858	0.1	0.1060	0.2	0.2099	0.05	0.0530
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5025	0.5	0.5052	0.5	0.5317	0.5	0.5194
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.3	3.3248	3.3	3.3218	3.3	3.3115	0	0
12	MDI Bayer (%NCO=32.5)										
	Mixing Ratio P/I			56.37	56.0131	56.34	56.0988	56.34	56.5257	12.11	12.4712
	Total			106.18	106.2756	106.2	106.7121	106.3	106.5563	102.85	103.0768

ตารางที่ 27 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณที่เหมาะสมของ Blowing catalyst และ Blowing agent (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas							
				5	ปริมาณที่ใส่จริง	6	ปริมาณที่ใส่จริง	7	ปริมาณที่ใส่จริง	8	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0758	70	70.0511	70	70.05	70	70.0908
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.1150	30	30.3394	30	30.1243	30	30.015
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1.3	1.32200	1.3	1.3169	1.3	1.3243	1.3	1.3725
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0159	1	1.0009	1	1.0007	1	1.0178
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0529	0.05	0.05111	0.05	0.0567	0.05	0.0506
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5042	0.5	0.5158	0.5	0.5214	0.5	0.5068
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	1	1.0170	2	2.0207	4	4.0259	5	5.014
12	MDI Bayer (%NCO=32.5)										
	Mixing Ratio P/I			25.82	26.4517	39.27	39.7583	65.41	64.8961	78.12	76.6395
	Total			103.85	104.1028	104.85	105.29591	106.85	107.1033	107.85	108.0675

ตารางที่ 28 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 27

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร1	13.12	43.75	80.50	29.0	28.4	28.3	126.17	2.07	225	230	20	20	25
สูตร2	11.38	38.41	70.20	29.1	28.5	28.4	126.54	2.06	225	230	20	20	25
สูตร3	9.03	32.50	55.84	31.2	28.9	28.8	126.25	7.37	229	247	20	20	25
สูตร4	8.77	160.41	230.52	2.0	1.9	1.8	93.09	5.00	20	21	20	20	25
สูตร5	27.2	60.17	150.61	8.9	8.5	8.4	101.99	4.49	83	87	20	20	25
สูตร6	17.02	57.26	135.86	18.1	17.6	17.5	113.97	2.76	154	159	20	20	25
สูตร7	13.53	49.75	90.87	34.0	32.8	32.7	135.22	3.53	243	251	20	20	25
สูตร8	17.81	58.36	89.89	39.0	38.6	38.5	147.95	1.03	261	264	20	20	25

ตารางที่ 29 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 1-10

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas									
				1	ปริมาณที่ใส่จริง	2	ปริมาณที่ใส่จริง	3	ปริมาณที่ใส่จริง	4	ปริมาณที่ใส่จริง	5	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0884	70	70.0309	70	70.0121	70	70.396	70	70.4112
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0373	30	30.0186	30	30.0895	30	30.5012	30	30.0212
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0062	1	1.0235	1	1.0051	0.8	0.8317	1	1.0196
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0099	1	1.0076	1	1.0098	1	1.0019	1	1.0830
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0563	0.05	0.0533	0.05	0.0588	0.05	0.0547	0.05	0.0579
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5158	1	1.0254	0.7	0.7058	0.5	0.5006	1	1.0026
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5173
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0196	4	4.0963	4	4.0069	4	4.0028	4	4.0092
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			64.6	64.7861	64.89	64.3232	64.72	64.0731	64.03	64.8425	66.16	64.4638
	Total			106.55	106.7335	107.05	107.2556	106.75	106.8880	106.35	107.2889	107.55	108.1220

ตารางที่ 29 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 1-10 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas									
				6	ปริมาณที่ใส่จริง	7	ปริมาณที่ใส่จริง	8	ปริมาณที่ใส่จริง	9	ปริมาณที่ใส่จริง	10	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0255	70	70.1077	70	70.1702	70	70.0652	70	70.1697
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.1128	30	30.5736	30	30.2980	30	30.2096	30	30.0429
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0513	1	1.1154	1	1.0236	1	1.0063	1	1.0205
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0663	1	1.0075	1	1.0132	1	1.0016	1	1.0085
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0577	0.05	0.0505	0.05	0.0538	0.05	0.0500	0.05	0.0555
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5024	0.7	0.7130	0.7	0.7136	0.7	0.7010	0.6	0.6054
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.5	0.5067	0.5	0.5003	0.5	0.5242	0.5	0.5218	0.5	0.5088
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0460	4	4.0466	3.6	3.6000	3.8	3.8028	4	4.0340
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			65.86	65.6639	65.98	65.9157	60.85	60.4961	63.42	63.5437	65.92	65.3299
	Total			107.05	107.3687	107.25	108.1146	106.85	107.3966	107.05	107.3583	107.15	107.4453

ตารางที่ 30 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 29

Date	Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
												Polyol	Iso	Room
16/3/2010	สูตร1	15.14	52.64	97.56	34.4	33.6	33.5	137.84	2.33	244	250	20	20	25
16/3/2010	สูตร2	12.30	33.57	64.35	34.6	33.5	33.4	134.04	3.18	250	258	20	20	25
16/3/2010	สูตร3	12.70	38.06	78.15	34.1	32.9	32.8	134.21	3.52	245	254	20	20	25
16/3/2010	สูตร4	13.80	49.78	89.92	32.9	31.6	31.5	138.58	3.95	228	237	20	20	25
16/3/2010	สูตร5	12.10	33.15	48.63	37.0	35.0	34.9	139.95	5.41	250	264	20	20	25
16/3/2010	สูตร6	13.08	46.01	77.23	35.2	34.0	33.9	136.46	3.41	249	258	20	20	25
16/3/2010	สูตร7	13.89	44.19	63.71	35.2	34.2	34.1	134.81	2.84	254	261	20	20	25
17/3/2010	สูตร8	12.35	38.67	57.65	32.5	31.4	31.3	130.74	3.38	240	249	20	20	25
17/3/2010	สูตร9	12.89	43.24	62.11	35.0	34.4	34.3	136.28	1.71	252	257	20	20	25
17/3/2010	สูตร10	13.47	45.95	68.82	35.1	34.1	34.0	136.39	2.85	250	257	20	20	25

ตารางที่ 31 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 11-20

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	Formulas									
				11	ปริมาณที่ใส่จริง	12	ปริมาณที่ใส่จริง	13	ปริมาณที่ใส่จริง	14	ปริมาณที่ใส่จริง	15	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.1246	70	70.3465	70	70.2611	70	70.3467	70	70.1114
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0094	30	30.2507	30	30.037	30	30.0329	30	30.0605
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0082	1	1.0135	1	1.0891	1	1.0385	1	1.0575
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0005	1	1.0233	1	1.0135	1	1.0138	1	1.0080
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0584	0.05	0.0534	0.05	0.0581	0.05	0.0526	0.05	0.0555
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.6	0.6070	0.6	0.6211	0.6	0.6071	0.6	0.6058	0.6	0.6268
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.4	0.4450	0.3	0.3098	0.4	0.4160	0.4	0.4091	0.4	0.4223
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0038	4	4.0127	4	4.0930	4	4.0232	4	4.0247
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	1	1.0030	0.5	0.5052	0.8	0.8264
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			65.66	65.0942	65.41	66.0798	69.22	69.9321	67.45	67.8699	68.51	68.1946
	Total			107.05	107.2569	106.95	107.631	108.05	108.5779	107.55	108.0278	107.85	108.1931

ตารางที่ 31 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 11-20 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				16	ปริมาณที่ใส่จริง	17	ปริมาณที่ใส่จริง	18	ปริมาณที่ใส่จริง	19	ปริมาณที่ใส่จริง	20	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0288	70	70.14460	70	70.1263	70	70.1731	70	70.7478
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.7042	30	30.20830	30	30.0368	30	30.2818	30	30.0000
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	0.8	0.8312	0.8	0.80630	0.8	0.8372	1.1	1.1205	1	1.0415
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0126	1	1.00510	1	1.0118	1	1.0038	1	1.0013
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0514	0.05	0.05720	0.05	0.0519	0.05	0.0505	0.06	0.0657
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.6	0.6003	0.6	0.60320	0.6	0.6111	0.6	0.6037	0.6	0.6053
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.4	0.4125	0.4	0.42680	0.4	0.4283	0.4	0.4316	0.4	0.4181
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0264	3.9	3.91820	4.5	4.5265	4	4.0079	4	4.0193
12	Cell Opener	34	1650	1	1.0055	1	1.00350	1	1.0122	0.7	0.7132	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			68.66	66.6707	67.38	67.08080	75.03	75.6707	68.44	67.2516	65.66	59.4597
	Total			107.85	108.6729	107.75	108.17320	108.35	108.6421	107.85	108.3861	107.06	107.8990

ตารางที่ 32 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 31

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร11	13.82	45.98	65.02	34.3	33.2	33.1	132.97	3.21	250	258	20	20	25
สูตร12	14.02	46.68	71.35	35.0	33.9	33.8	138.29	3.14	245	253	20	20	25
สูตร13	13.89	46.08	70.69	36.4	34.9	34.8	140.26	4.12	249	260	20	20	25
สูตร14	12.71	46.15	73.39	34.3	33.3	33.2	137.84	2.92	242	249	20	20	25
สูตร15	12.89	46.12	70.77	35.9	34.8	34.7	138.47	3.06	251	259	20	20	25
สูตร16	13.27	45.78	69.31	37.7	36.9	36.8	146.96	2.12	251	257	20	20	25
สูตร17	12.75	47.83	74.60	35.0	33.9	33.8	139.00	3.14	244	252	20	20	25
สูตร18	12.66	46.35	79.34	34.5	33.5	33.4	138.78	2.90	241	249	20	20	25
สูตร19	13.67	45.79	71.97	34.2	32.8	32.7	138.50	4.09	237	247	20	20	25
สูตร20	13.48	45.06	61.02	32.3	30.9	30.8	126.64	4.33	244	255	20	20	25

ตารางที่ 33 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 21-30

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				21	ปริมาณที่ใส่จริง	22	ปริมาณที่ใส่จริง	23	ปริมาณที่ใส่จริง	24	ปริมาณที่ใส่จริง	25	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.2716	70	70.1545	70	70.0386	70	70.3900	70	70.1729
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.0198	30	30.0486	30	30.4336	30	30.0251	30	30.1165
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0349	1	1.0050	1	1.0388	1	1.0111	1	1.0101
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0093	0.5	0.5134	0.5	0.5020	0.5	0.5126	0.5	0.5033
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.06	0.0643	0.06	0.0670	0.1	0.1075	0.1	0.1123	0.1	0.101
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.6	0.6086	0.6	0.6064	0.6	0.6003	0.6	0.6149	0.5	0.5066
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.4	0.4342	0.4	0.4058	0.4	0.4511	0.4	0.404	0.5	0.5151
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0343	4	4.0165	4.5	4.5771	4	4.0062	3.5	3.5001
12	Cell Opener	34	1650	0.5	0.5321	0.5	0.5249	0.5	0.5285	0.5	0.5000	0.5	0.5007
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			67.45	61.1683	67.77	60.7531	74.17	60.7111	67.78	60.8678	61.53	59.266
	Total			107.56	108.0091	107.06	107.3421	107.6	108.2775	107.1	107.5762	106.6	106.9263

ตารางที่ 33 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 21-30 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				26	ปริมาณที่ใส่จริง	27	ปริมาณที่ใส่จริง	28	ปริมาณที่ใส่จริง	29	ปริมาณที่ใส่จริง	30	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.1016	70	70.0842	70	70.2482	70	70.0429	70	70.0043
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.018	30	30.5634	30	30.207	30	30.1574	30	30.8191
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0071	1	1.0366	1	1.0117	1	1.0315	1	1.0144
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	0.5	0.5108	0.5	0.5105	0.5	0.5137	0.5	0.4999	0.5	0.5049
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.08	0.0852	0.2	0.2135	0.02	0.0285	0.05	0.0545	0.08	0.0852
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5558	0.5	0.5005	0.06	0.0637	0.15	0.1536	0.24	0.2479
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.5	0.5205	0.5	0.5087	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0093	3.5	3.513	4	4.0037	4	4.0104	4	4.0041
12	Cell Opener	34	1650	0.5	0.5161	0.5	0.5125	0.5	0.5181	0.5	0.5105	0.5	0.5082
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			67.97	60.135	61.58	59.2363	66.42	60.3208	66.49	61.4734	66.55	60.3425
	Total			107.08	107.3244	106.7	107.4429	106.08	106.5946	106.2	106.4607	106.32	107.1881

ตารางที่ 34 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 33

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร21	13.02	46.77	63.72	33.5	32.9	32.8	132.64	1.79	248	253	20	20	25
สูตร22	13.87	46.09	65.60	34.5	33.6	33.5	132.83	2.61	253	260	20	20	25
สูตร23	13.89	41.87	56.96	35.5	34.5	34.4	130.49	2.82	264	272	20	20	25
สูตร24	12.64	39.15	60.40	34.1	32.8	32.7	131.35	3.81	250	260	20	20	25
สูตร25	12.06	38.72	63.16	31.3	30.4	30.3	128.23	2.88	237	244	20	20	25
สูตร26	13.23	44.45	57.35	34.6	33.4	33.3	131.55	3.47	254	263	20	20	25
สูตร27	10.42	36.22	47.87	33.3	32.2	32.1	127.70	3.30	252	261	20	20	25
สูตร28	38.60	176.76	288.15	26.1	19.4	19.3	136.08	25.67	143	192	20	20	25
สูตร29	26.00	120.19	149.86	27.6	21.1	21.0	131.30	23.55	161	210	20	20	25
สูตร30	17.37	72.75	101.2	29.5	22.8	22.7	134.27	22.71	170	220	20	20	25

ตารางที่ 35 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 31-40

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				31	ปริมาณที่ใส่จริง	32	ปริมาณที่ใส่จริง	33	ปริมาณที่ใส่จริง	34	ปริมาณที่ใส่จริง	35	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0891	70	70.0283	70	70.0137	70	70.116	70	70.038
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30.2503	30	30.0498	30	30.0535	30	30.1519	30	30.0023
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0248	0.85	0.8514	0.85	0.8598	0.85	0.8512	0.85	0.8608
5	Surfactant A	—	—	0	0	0.2	0.2054	0.2	0.2081	0.2	0.216	0.2	0.2068
6	Surfactant B	—	—	0.5	0.5064	0.6	0.5998	0.6	0.6	0.6	0.646	0.6	0.6071
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1038	0.06	0.0601	0.1	0.1084	0.1	0.1071	0.2	0.2069
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.3	0.3117	0.41	0.4234	0.41	0.4101	0.41	0.4134	0.82	0.8292
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0211	3.8	3.8089	3.8	3.8074	3.8	3.8084	3.8	3.8063
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			64.8	59.8079	61.65	61.2122	61.67	61.1387	61.67	54.3746	61.67	60.0846
	Total			105.9	106.3072	105.92	106.0271	105.96	106.061	105.96	106.31	106.47	106.5574

ตารางที่ 35 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตฟอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 31-40 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				36	ปริมาณที่ใส่ จริง	37	ปริมาณที่ใส่ จริง	38	ปริมาณที่ใส่ จริง	39	ปริมาณที่ใส่ จริง	40	ปริมาณที่ใส่ จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70.0000	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	0.85	0.8644	0.85	0.9077	0.85	0.8541	0.85	0.8571	0.85	0.8499
5	Surfactant A	—	—	0.2	0	0.2	0.2106	0.2	0.2121	0.2	0.2128	0.2	0.2053
6	Surfactant B	—	—	0.6	0.6057	0.6	0.6147	0.6	0.6103	0.6	0.6047	0.6	0.6011
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.13	0.1366	0.15	0.1542	0.11	0.1112	0.1	0.1017	0.13	0.1314
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.533	0.5358	0.615	0.6202	0.451	0.4633	0.41	0.4127	0.533	0.5363
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.8	3.8122	3.8	3.8023	3.8	3.8071	3.8	3.8123	3.8	3.8037
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			60	61.3947	60	60.4479	60	59.3899	60	60.5501	60	60.0392
	Total			106.113	106.1636	106.215	106.3097	106.011	106.0581	105.96	106.0013	106.113	106.1277

ตารางที่ 36 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 35

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร31	13.79	63.65	91.58	31.0	30.3	30.2	130.11	2.26	233	238	20	20	25
สูตร32	13.68	55.14	97.98	32.8	32.1	32	138.33	2.13	232	237	20	20	25
สูตร33	12.42	53.84	81.28	31.9	30.9	30.8	129.39	3.13	239	247	20	20	25
สูตร34	11.22	51.84	77.97	31.7	30.7	30.6	123.92	3.15	248	256	20	20	25
สูตร35	9.71	28.60	49.10	31.5	30.9	30.8	119.89	1.90	258	263	20	20	25
สูตร36	12.25	52.93	90.91	29.5	28.6	28.5	125.95	3.05	227	234	20	20	25
สูตร37	10.78	45.26	99.07	26.8	24.8	24.7	127.95	7.46	194	209	20	20	25
สูตร38	12.86	47.66	81.0	32.2	31.3	31.2	129.96	2.80	241	248	20	20	25
สูตร39	13.20	57.62	80.20	32.7	32	31.9	129.27	2.14	248	253	20	20	25
สูตร40	11.23	45.68	64.18	33.7	32.5	32.4	127.23	3.56	255	265	20	20	25

ตารางที่ 37 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 41-50

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				41	ปริมาณที่ใส่จริง	42	ปริมาณที่ใส่จริง	43	ปริมาณที่ใส่จริง	44	ปริมาณที่ใส่จริง	45	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70.0000	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	0.85	0.8724	0.85	0.8651	0.85	0.8583	1	1.0007	1	1.0047
5	Surfactant A	—	—	0.2	0	0.2	0.2077	0.2	0.2075	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	0.6	0.6028	0.6	0.6108	0.6	0.6105	1	1.0048	1	1.0033
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1015	0.2	0.2002	0.3	0.3018	0.06	0.0625	0.05	0.0516
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.3	0.305	0.3	0.3146	0.2	0.2089	0.5	0.5133	0.5	0.5132
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	3.8	3.8156	3.8	3.8047	3.8	3.8267	4	4.0145	4	4.0011
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			60	60.4858	60	60.7971	60	59.2932	60	58.155	80.75	77.914
	Total			105.85	105.8989	105.95	106.0031	105.95	106.0137	106.56	106.5958	106.55	106.5739

ตารางที่ 37 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 41-50 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				46	ปริมาณที่ใส่จริง	47	ปริมาณที่ใส่จริง	48	ปริมาณที่ใส่จริง	49	ปริมาณที่ใส่จริง	50	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70.0000	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0032	1	1.0325	1	1.0148	1	1.0098	1	1.0003
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0037	1	1.0092	1	1.005	1	1.0072	1	1.0102
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1072	0.05	0.0525	0.1	0.1156	0.05	0.0548	0.05	0.0578
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5127	0.5	0.5093	0.5	0.501	0.5	0.5022	0.5	0.5156
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.01	4	4.0019	4	4.0071	4	4.0092	4	4.0087
12	Cell Opener	34	1650	0	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0
13	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			80.71	80.3431	70	70.0157	70	70.7401	60	62.0018	60	60.1053
		Total		106.6	106.6368	106.55	106.6054	106.6	106.6435	106.55	106.5832	106.55	106.5926

ตารางที่ 38 ค่าต่างๆ เช่น cream time (CT), set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมตามสูตรในตารางที่ 37

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร41	14.10	55.88	92.23	31.0	30.2	30.1	130.83	2.58	231	237	20	20	25
สูตร42	10.63	39.77	70.78	30.2	28.4	28.3	127.80	5.96	222	236	20	20	25
สูตร43	9.21	30.25	49.1	29.9	21.4	21.3	113.01	28.43	189	265	20	20	25
สูตร44	14.22	57.73	114.52	24.40	24.2	24.1	128.97	0.82	188	189	20	20	25
สูตร45	15.14	53.43	98.51	31.90	29.5	29.4	146.94	7.52	201	217	20	20	25
สูตร46	12.34	49.23	75.36	32.50	29.8	29.7	145.81	8.31	204	223	20	20	25
สูตร47	13.35	50.14	83.92	30.50	29.4	29.3	139.72	3.61	210	218	20	20	25
สูตร48	13.15	46.85	74.23	32.00	29.8	29.7	145.81	6.88	204	219	20	20	25
สูตร49	14.92	53.99	89.34	28.50	27.9	27.8	134.24	2.11	208	212	20	20	25
สูตร50	14.05	48.02	92.18	30.1	29.4	29.3	131.35	2.33	224	229	20	20	25

ตารางที่ 39 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 51-60

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				51	ปริมาณที่ใส่จริง	52	ปริมาณที่ใส่จริง	53	ปริมาณที่ใส่จริง	54	ปริมาณที่ใส่จริง	55	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0259	1	1.0256	1	1.0058	1	1.0094	1	1.0066
5	Surfactant A	—	—	0	0	0.5	0.5040	0	0	0	0.0000	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0093	0.5	0.5146	1	1.0044	1	1.0011	1	1.0146
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.05	0.0584	0.05	0.0520	0.05	0.0540	0.05	0.0535	0.1	0.1021
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.5	0.5175	0.3	0.3088	0.5	0.5109	0.5	0.5080	0.55	0.5584
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0099	4	4.0211	4.2	4.2406	4.5	4.5327	4.2	4.2203
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Balance Catalyst	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			60	59.8535	52.37	54.9298	60	58.3971	60	60.56100	60	59.6454
	Total			106.55	106.621	106.35	106.4261	106.75	106.8157	107.05	107.1047	106.85	106.902

ตารางที่ 39 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 51-60 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				56	ปริมาณที่ใส่จริง	57	ปริมาณที่ใส่จริง	58	ปริมาณที่ใส่จริง	59	ปริมาณที่ใส่จริง	60	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0190	1	1.0149	1	1.0155	1	1.0344	1	1.0119
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0136	1	1.0069	1	1.0075	1	1.0065	1	1.0035
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.2	0.2176	0.1	0.1069	0.1	0.1011	0.1	0.1050	0.1	0.1149
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.65	0.6711	0.55	0.5594	0.55	0.5574	0.55	0.5577	0.55	0.5549
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4.2	4.2044	4.2	4.2086	4.2	4.2404	4.2	4.2208	4.5	4.5276
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Balance Catalyst	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			60	58.4148	83.96	80.1171	83.96	85.2459	76	75.32300	76	74.4737
	Total			107.05	107.1257	106.85	106.8967	106.85	106.9219	106.85	106.9244	107.15	107.2128

ตารางที่ 40 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 39

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร51	14.01	54.23	103.56	27.9	27.2	27.1	130.98	2.51	208	213	20	20	25
สูตร52	12.61	96.92	264.81	33.60	28.5	28.4	134.26	15.18	212	250	20	20	25
สูตร53	16.18	50.09	97.84	26.00	25.5	25.4	128.29	1.92	199	203	20	20	25
สูตร54	14.33	55.01	102.96	25.60	24.9	24.8	134.48	2.73	185	190	20	20	25
สูตร55	9.96	40.06	63.76	27.80	26.9	26.8	128.30	3.24	210	217	20	20	25
สูตร56	8.64	31.93	42.75	28.60	27.4	27.3	123.86	4.20	221	231	20	20	25
สูตร57	12.32	45.70	80.81	32.90	31.2	31.1	149.64	5.17	209	220	20	20	25
สูตร58	12.44	46.31	104.24	30.30	27.4	27.3	156.38	9.57	175	194	20	20	25
สูตร59	11.77	43.83	75.85	31.90	29.8	29.7	145.84	6.58	204	219	20	20	25
สูตร60	10.35	42.06	72.63	31.40	29.9	29.8	141.61	4.78	211	222	20	20	25

ตารางที่ 41 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 61-69

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas									
				61	ปริมาณที่ใส่จริง	62	ปริมาณที่ใส่จริง	63	ปริมาณที่ใส่จริง	64	ปริมาณที่ใส่จริง	65	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0220	1	1.0260	1	1.0321	1	1.0360	1	1.0158
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0.2	0.2147	0	0.0000	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0043	1	1.0061	1	1.014	1	1.0106	1	1.0026
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1063	0.05	0.0522	0.05	0.0543	0.1	0.1037	0.05	0.0522
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.55	0.5533	0.5	0.5113	0.5	0.5154	0.55	0.5687	0.5	0.5124
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4.5	4.5311	4.5	4.5121	4.5	4.5215	4	4.0251	4	4.0165
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Balance Catalyst	—	—	0.1	0.1032	0	0	0	0	0.02	0.0269	0.02	0.0289
14	MDI Bayer (%NCO=32.5)												
	Mixing Ratio P/I			76	77.9967	88.72	87.8074	88.56	88.3751	80.75	83.0463	80.71	80.3172
	Total			107.25	107.3202	107.05	107.1077	107.25	107.352	106.67	106.771	106.57	106.6284

ตารางที่ 41 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 61-69 (ต่อ)

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas							
				66	ปริมาณที่ใส่จริง	67	ปริมาณที่ใส่จริง	68	ปริมาณที่ใส่จริง	69	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0119	1	1.0258	1	1.0204	1	1.0369
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0095	1	1.0082	1	1.0152	1	1.0104
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1057	0.07	0.0784	0.05	0.0607	0.1	0.1120
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.55	0.5584	0.52	0.5268	0.5	0.523	0.56	0.5614
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2143
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0092	4.2	4.2055	4	4.0153	4	4.0341
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Balance Catalyst	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0
14	MDI Bayer (%NCO=32.5)										
	Mixing Ratio P/I			80.75	80.7687	83.94	82.6041	80.71	78.5156	81.38	82.8345
	Total			106.67	106.7208	106.82	106.8752	106.6	106.6959	106.89	106.9994

ตารางที่ 42 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 41

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร61	10.01	36.37	55.09	34.80	32.6	32.5	141.43	6.32	231	246	20	20	25
สูตร62	12.70	44.71	91.43	33.00	29.5	29.4	155.73	10.61	189	212	20	20	25
สูตร63	11.50	44.70	91.92	32.50	28.5	28.4	155.62	12.31	183	209	20	20	25
สูตร64	11.61	46.68	68.15	34.80	32.5	32.4	159.54	6.61	204	218	20	20	25
สูตร65	13.78	53.75	134.45	29.00	26	25.9	154.98	10.34	168	187	20	20	25
สูตร66	12.15	45.97	76.69	32.00	29.2	29.1	152.63	8.75	191	210	20	20	25
สูตร67	12.91	46.39	82.85	31.40	29.1	29.0	153.68	7.32	189	204	20	20	25
สูตร68	13.96	47.01	88.48	32.00	29.9	29.8	150.04	6.56	199	213	20	20	25
สูตร69	12.85	45.73	64.85	34.70	33.1	33.0	149.28	4.61	222	232	20	20	25

ตารางที่ 43 ปริมาณส่วนผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตพอลิยูรีเทน โฟมสูตรที่ 69 อีก 3 ครั้งเพื่อตรวจสอบผลที่เกิดขึ้น

No.	Component	OH _v	Eq.wt.	formulas					
				69.1	ปริมาณที่ใส่จริง	69.2	ปริมาณที่ใส่จริง	69.3	ปริมาณที่ใส่จริง
1	Base Polyol	34	1650	70	70	70	70	70	70
2	Copolymer Polyol	22	2550	30	30	30	30	30	30
3	Crosslink A	1128.2	49.73	0	0	0	0	0	0
4	Crosslink B	1601	35.04	1	1.0183	1	1.1306	1	1.0398
5	Surfactant A	—	—	0	0	0	0	0	0
6	Surfactant B	—	—	1	1.0287	1	1.0025	1	1.0058
7	Blowing Catalyst	493	113.79	0.1	0.1129	0.1	0.1065	0.1	0.1139
8	Gelling Catalyst A	560	100.18	0	0	0	0	0	0
9	Gelling Catalyst B	560.3	100.12	0.56	0.5669	0.56	0.5688	0.56	0.5611
10	Gelling Catalyst C	1456	38.53	0.2	0.2584	0.2	0.2086	0.2	0.2331
11	Blowing Agent (Water)	9	6233.33	4	4.0133	4	4.0001	4	4.0206
12	Cell Opener	34	1650	0	0	0	0	0	0
13	Balance Catalyst	—	—	0	0	0	0	0	0
14	MDI Bayer (%NCO=32.5)								
	Mixing Ratio P/I			81.38	81.7723	81.38	81.9625	81.38	81.4304
	Total			106.89	107.0289	106.89	107.0472	106.89	107.0067

ตารางที่ 44 ค่าต่างๆ เช่น Cream time (CT), Set time (ST) และ End of rise (EOR) เป็นต้น ที่วัดได้จากการทดลองผลิตพอลิยูรีเทนโฟมตามสูตรในตารางที่ 43

Lot No.	CT (sec)	ST (sec)	EOR (sec)	H (cm)	h (cm)	h (after) (cm)	W (g)	%Recession	H/W Ratio	Expansion factor	Temp. (°C)		
											Polyol	Iso	Room
สูตร 69.1	12.80	45.60	64.50	34.80	33.6	33.5	150.61	3.45	223	231	20	20	25
สูตร 69.2	12.95	45.88	65.15	34.00	32.5	32.4	148.93	4.41	218	228	20	20	25
สูตร 69.3	13.01	45.84	64.91	34.90	33.7	33.6	148.48	3.44	227	235	20	20	25

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวฐิติมา ตะสุวรรณ

ที่อยู่ปัจจุบัน 58/4 หมู่ 6 ต. บ้านสิงห์ อ. โพธาราม จ.ราชบุรี 70120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนารีวิทยา จังหวัดราชบุรี

พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2554 เข้าร่วมเสนอผลงานวิชาการเรื่อง The Study of Polyol Resin to improve the production for Flexible Polyurethane Foam ในงานประชุมวิชาการ Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2011) January 5 - January 7, 2010

พ.ศ. 2554 เข้าร่วมเสนอผลงานวิชาการเรื่อง Development of Polyol Resin for Flexible Polyurethane Foam Production ในงานประชุมวิชาการ โครงการทุนวิจัย มหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 6 (TRF-Master Research Congress VI) April 4 - April 6, 2012