

ผลของสารฟลูตอสมาบัติของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง



นายสถาพร โมคทิพย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF BLOWING AGENTS ON PROPERTIES OF RIGID POLYURETHANE FOAM

Mr. Sathaporn Mokethip



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสารฟู่ต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง
โดย นายสถาพร โมคติพิย
สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. นवलพรรณ จันทศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นवलพรรณ จันทศิริ)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ ตระการพุกษ)
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ดวงฤทัย ศรีแดง)

สถาพร ไมคทิพย์ : ผลของสารฟุ้งต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง (EFFECT OF BLOWING AGENTS ON PROPERTIES OF RIGID POLYURETHANE FOAM) อ.ที่
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. นवलพรรณ จันทศิริ, หน้า.

ได้ศึกษาผลของสารฟุ้งต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยการใช้สารฟุ้งชนิดใหม่ คือ ไฮโคลเพนเทน (Cp), 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพน (HFC-245fa), 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรบิวเทน (HFC-365mfc) และของผสมระหว่างเมทิลฟอร์เมตและเมทานอล (MF+MeOH) เปรียบเทียบผลที่ได้กับโฟมที่เตรียมจากสารฟุ้งที่ใช้ทางการค้า คือ 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (HCFC 141b) ศึกษาเวลาในการเกิดพอลิเมอร์เซชันและความหนาแน่นของโฟมที่เตรียมจากสูตรที่ใช้สารฟุ้งชนิดใหม่ ปริมาณของสารฟุ้งชนิดใหม่และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้โฟมที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่เตรียมจากสารฟุ้ง 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน แล้วนำสูตรโฟมที่ใช้สารฟุ้งชนิดใหม่ที่เหมาะสมแล้วไปขึ้นรูปขึ้นงานในแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ตัวอย่างโฟมสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พบว่าโฟมที่เตรียมจากสารฟุ้งไฮโคลเพนเทนและ 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรบิวเทน มีค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับโฟมที่เตรียมจากสารฟุ้ง 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิ ลายมือชื่อนิสิต
 เมอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5472407423 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS:

SATHAPORN MOKETHIP: EFFECT OF BLOWING AGENTS ON PROPERTIES OF RIGID POLYURETHANE FOAM. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. NUANPHUN CHANTARASIRI, pp.

Effect of blowing agents on properties of rigid polyurethane foam prepared with new type of blowing agents, cyclopentane (Cp), 1,1,1,3,3-pentafluoropropane (HFC-245fa), 1,1,1,3,3-pentafluorobutane (HFC-365mfc) and methyl formate-methyl alcohol mixture (MF+MeOH), was studied. The results were compared with the foam prepared by using commercial blowing agent, 1,1-dichloro-1-fluoroethane (HCFC 141b). Polymerization times and density of the foams prepared from new blowing agents were studied. The amount of the blowing agent and catalyst were varied to obtain rigid polyurethane foams with similar properties to those prepared with 1,1-dichloro-1-fluoroethane. Then, the optimum foam formulation was used to prepare rigid polyurethane foams in the mold to obtain the samples for physical property and mechanical test. It was found that the foams prepared from cyclopentane and 1,1,1,3,3-pentafluorobutane blowing agents had comparable physical and mechanical properties to those prepared from 1,1-dichloro-1-fluoroethane, which is acceptable for industrial applications.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นवलพรรณ จันทร์ศิริ ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยจนสำเร็จเป็นอย่างดี

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณกรรมการสอบปริญญาโท ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลรัตน์ ตระการพฤษ์ อาจารย์ ดร.ดวงฤทัย ศรีแดง ที่ได้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และแก้ไขในส่วนที่บกพร่อง ตลอดจนการตรวจสอบปริญญาโท

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณเจ้าของบทความวิจัยทุกเรื่อง และตำราทุกเล่ม ที่ผู้วิจัยได้นำมาประกอบการเรียบเรียงในปริญญาโทเล่มนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในทุกวิชา และคำสั่งสอนคำแนะนำในด้านต่างๆ ในระหว่างที่กำลังศึกษาให้กับผู้วิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้
สุดท้ายนี้ ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฒ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	1
ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ปฏิกิริยาเคมี (reaction)	3
2.1.1 ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของไอโซไซยานาต	4
2.1.1.1 ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ.....	4
2.1.1.2 ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับพอลิออล	4
2.1.1.3 ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับแอมีน.....	4
2.1.2 ปฏิกิริยาอันดับที่สองของไอโซไซยานาต	5
2.1.2.1 ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับยูเรีย	5
2.1.2.2 ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับยูรีเทน	5
2.1.3 ปฏิกิริยาการเกิดไอโซไซยานูเรต	5

2.2 สารตั้งต้น (raw materials)	6
2.2.1 ไอโซไซยาเนต (isocyanate)	6
2.2.1.1 โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (toluene diisocyanate).....	6
2.2.1.2 4,4'- ไดเฟนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (MDI).....	6
2.2.2 พอลิออล (polyol)	6
2.2.2.1 พอลิเอสเทอร์พอลิออล (polyester polyol)	7
2.2.2.2 พอลิอีเทอร์พอลิออล (polyether polyol)	7
2.2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	7
2.2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)	7
2.2.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบแอมีน	8
2.2.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก.....	8
2.2.5 สารฟู (blowing agent)	8
2.2.5.1 สารฟูชนิดเคมี	8
2.2.5.2 สารฟูชนิดกายภาพ	8
2.2.5.2.1 อนุสัญญาเวียนนา (Vienna Convention).....	9
2.2.5.2.2 พิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer)	9
ข้อสัญญาและจุดประสงค์ (ตารางที่ 2.1)	10
2.2.5.3 สารฟูชนิดไฮโดรคาร์บอน	10
2.2.5.4 สารฟูชนิดไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	11
2.3 สูตรการคำนวณ [2]	12
2.3.1 ดัชนีไอโซไซยาเนต (isocyanate index).....	12

2.3.2 ค่าไอโซไซยาเนต (isocyanate value)	12
2.3.3 ค่าไฮดรอกซิลนัมเบอร์ (hydroxyl number; OH)	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3.....	15
การทดลอง	15
3.1 สารตั้งต้นและสารเติมแต่งสำหรับเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง	15
3.2 วิธีการและเครื่องมือในการทดลอง	17
3.3 การเตรียมเคมีระบบเพื่อใช้ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนแบบแข็ง	18
3.4 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง.....	19
3.4.1 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ	19
3.4.2 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์	19
3.5 การวิเคราะห์ผล	21
3.5.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง	21
3.5.2 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง.....	21
3.5.3 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัด	21
3.5.4 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน	21
3.5.5 สันฐานวิทยา	21
3.5.6 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน	22
บทที่ 4.....	23
ผลการทดลอง.....	23
4.1 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ	23
4.1.1 ผลของอัตราส่วนการผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง เมื่อใช้สารฟูชนิดต่างๆ	23

4.1.2 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระ (free rise density).....	24
4.2 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์	34
4.2.1 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง (density).....	35
4.2.2 ความทนทานต่อแรงกดอัด (compressive strength)	37
4.2.3 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน	38
4.2.5 สัณฐานวิทยา (morphology).....	39
4.2.6 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis)	41
บทที่ 5.....	42
สรุปผลการวิจัย	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
.....	44
รายการอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก ก.....	47
สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ	47
ภาคผนวก ข.	57
ผลการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis).....	57
ภาคผนวก ค.	60
การทดสอบการหาค่าการนำความร้อน	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	62

สารบัญตาราง

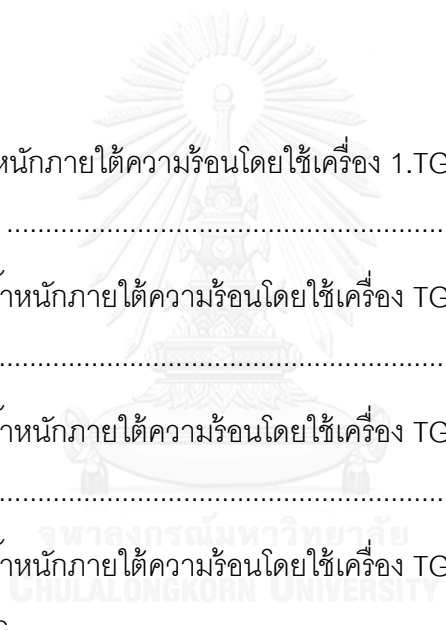
หน้า

ตารางที่ 2. 1	กำหนดการการยกเลิกสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนและสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอนตามพิธีสารมอนทรีออล	11
ตารางที่ 3. 1	สารตั้งต้นและสารเติมแต่ง	15
ตารางที่ 3. 2	ชนิดของสารฟู	16
ตารางที่ 3. 3	เปรียบเทียบสมบัติของสารฟูชนิดต่างๆ	16
ตารางที่ 3. 4	เปรียบเทียบสมบัติของสารฟูชนิดต่างๆ (Zipfel, Barthtlemey et al. (1999	17
ตารางที่ 3. 5	การวิเคราะห์ผลการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง	17
ตารางที่ 3. 6	สูตรการเตรียมโฟม ชั้นตอนที่ 1	18
ตารางที่ 3. 7	สูตรการเตรียมโฟม ชั้นตอนที่ 2	18
ตารางที่ 3. 8	สูตรการเตรียมโฟม ชั้นตอนที่ 3	18
ตารางที่ 4. 1	สูตรเพื่อใช้สำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน ดัชนีไอโซไซยานต เท่ากับ 1.2	24
ตารางที่ 4. 2	เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน	25
ตารางที่ 4. 3	สูตรเพื่อใช้สำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน ดัชนีไอโซไซยานต เท่ากับ 1.2	26
ตารางที่ 4. 4	เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน	27

ตารางที่ 4. 5	สูตรเพื่อใช้สำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน ดัชนีไอโซไซยาเนต เท่ากับ 1.2.....	28
ตารางที่ 4. 6	เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน	29
ตารางที่ 4. 7	สูตรเพื่อใช้สำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน ดัชนีไอโซไซยาเนต เท่ากับ 1.2.....	30
ตารางที่ 4. 8	เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน	31
ตารางที่ 4. 9	ค่าการเกิดปฏิกิริยาของโฟมของสูตรที่จะนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์.....	33
ตารางที่ 4. 10	ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	36
ตารางที่ 4. 11	ค่าความทนทานแรงกดอัดของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์.....	37
ตารางที่ 4. 12	ค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	38
ตารางที่ ก1.	สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู HCFC-141b	47
ตารางที่ ก2.	สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู Cp	48
ตารางที่ ก3.	สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู HFC-245fa	50
ตารางที่ ก4.	สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู HFC-365mfc	52
ตารางที่ ก5.	สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู MF+MeOH	55

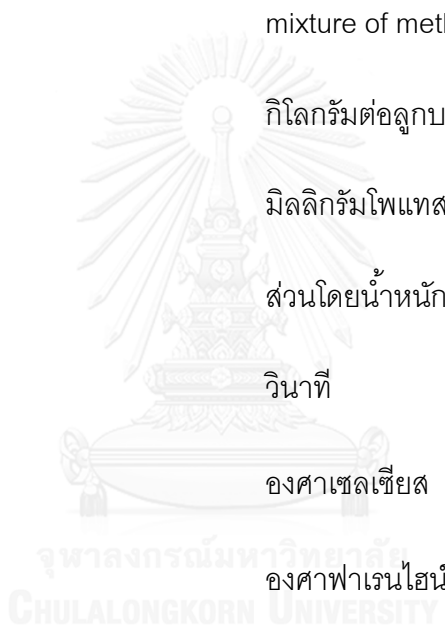
สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 3. 1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้	20
รูปที่ 4. 1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	25
รูปที่ 4. 2 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	26
รูปที่ 4. 3 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	27
รูปที่ 4. 4 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	28
รูปที่ 4. 5 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	29
รูปที่ 4. 6 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	30
รูปที่ 4. 7 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	31
รูปที่ 4. 8 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารพูนิตต่างกัน	32
รูปที่ 4. 9 ค่าการเกิดปฏิกิริยาของโฟมของสูตรที่จะนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งใน แม่พิมพ์.....	33
รูปที่ 4. 10 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระของสูตรที่จะนำไป เตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์	34

รูปที่ 4. 11	ก้อนพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	35
รูปที่ 4. 12	ก้อนพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ตัดเพื่อวัดค่าความหนาแน่นของโฟม	36
รูปที่ 4. 13	ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	37
รูปที่ 4. 14	ค่าความทนทานแรงกดอัดของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	38
รูปที่ 4. 15	ค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	39
รูปที่ 4. 16	ฐานฐานวิทยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์	40
รูปที่ 4. 17	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC1	41
		
รูปที่ ข	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง 1.TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HCFC-141b	57
รูปที่ ข2.	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน Cp	57
รูปที่ ข3.	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HFC-245fa	58
รูปที่ ข4.	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HFC-365mfc	58
รูปที่ ข5.	การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน MF+MeOH	59
รูปที่ ค1.	การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HCFC-141b	60
รูปที่ ค2.	การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน Cp	60
รูปที่ ค3.	การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HFC-245fa	61
รูปที่ ค4.	การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HFC-365mfc	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Cp	cyclopentane
HCFC-141b	1,1-dichloro-1-fluoroethane
HFC-245fa	1,1,1,3,3-pentafluoropropane
HFC-365mfc	1,1,1,3,3-pentafluorobutane
MF+MeOH	mixture of methyl formate + methyl alcohol
Kg/m ³	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
mg.KOH/g	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม
pbw	ส่วนโดยน้ำหนัก
sec.	วินาที
°C	องศาเซลเซียส
°F	องศาฟาเรนไฮน์
W/mK	วัตต์ต่อเมตรเคลวิน
% w/w	ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก
Vol%-air	ปริมาณร้อยละในอากาศ



บทที่ 1

บทนำ

พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นฉนวนในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ ฉนวนหุ้มท่อส่งน้ำร้อนและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และวัสดุทนแทนไม้ธรรมชาติ เป็นต้น เนื่องจากพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา การนำความร้อนต่ำ และทนต่อสภาวะแวดล้อม และมีสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิโอล (polyol) สารประกอบไอโซไซยาเนต (isocyanate) และสารเติมแต่งต่าง ๆ (additive) ที่ใช้ในทำปฏิกิริยาเป็นพอลิยูรีเทน

ปัจจุบันการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งมีการใช้สารฟลู (blowing agent) ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ สารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน 141บี (HCFC-141b; 1,1-dichloro-1-fluoroethane) ซึ่งประเทศไทย ได้ออกวางกฎหมายลดการใช้สารดังกล่าวโดยจะเริ่มในปี พ.ศ. 2556 งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้สารตั้งต้นเป็นของผสมระหว่างพอลิอีเทอร์และพอลิเอสเทอร์พอลิโอล ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไอโซไซยาเนต สารเติมแต่ง และใช้สารฟลูชนิดไฮโดรคาร์บอนหรือสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน 245 เอฟเอ หรือเพนตาฟลูออโร บิวเทน หรือของผสมระหว่างเมทิลฟออร์เมตและเมทานอล และศึกษาสมบัติของโฟม คือ ความหนาแน่น (density) ความแข็ง (shore c hardness) ความทนทานต่อแรงกดอัด (compressive strength) การนำความร้อน (thermal conductivity) และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเครื่องอิเล็กตรอนส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) เปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ได้จากการใช้สารฟลู HCFC-141b ซึ่งกำหนดว่า ต้องมีความหนาแน่น 20-25 Kg/m³ และค่าการนำความร้อน ≤ 0.025 W/mK ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการแปรเปลี่ยนปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เร็วขึ้นตามต้องการ และแปรเปลี่ยนปริมาณสารฟลูเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ [1]

วัตถุประสงค์

ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งต้องใช้สารฟลูผสมลงในสูตรผสมของการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเพื่อให้ได้โฟมที่มีเซลล์ปิดและมีสมบัติเป็นฉนวน งานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับ

สูตรการผลิตพอลิยูรีเทน (polyurethane formulated system) โดยใช้สารพูนิตอื่นเพื่อใช้ทดแทนสารพูนิต 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน สารพูนิตอื่นที่ใช้มีดังนี้ (1) ไฮโคลเพนเทน (cyclopentane) (2) 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพน (HFC-245fa) (3) 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรบิวเทน (HFC-365mfc) และ (4) ของผสมระหว่างเมทิลฟอร์มเมตและเมทานอล (methyl formate + methyl alcohol) ศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน จากนั้นนำโฟมที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่เตรียมได้

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นขั้นตอนการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของโฟม 4 ช่วงเวลา คือ (1) ช่วงเวลาที่สารผสมเริ่มเกิดปฏิกิริยาเป็นครีม (cream time) (2) ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นเจล (gel time) (3) ช่วงเวลาที่ผิวของโฟมไม่เกาะติดกับวัสดุสัมผัส (tack-free time) และ (4) ช่วงเวลาที่โฟมหยุดฟู (rise time) หลังจากขึ้นรูปโฟมเสร็จแล้วจะเก็บโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้โฟมเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของโฟมที่ฟูตัวโดยอิสระ (free-rise density)

ในส่วนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์ เพื่อยืนยันถึงการนำโฟมไปใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งในการเตรียมจะเตรียมในแม่พิมพ์แบบปิดขนาด 30 x 30 x 11 เซนติเมตร โดยการผสมสารเคมีแล้วเทลงในแม่พิมพ์และให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในแม่พิมพ์ โดยจะควบคุมความหนาแน่นภายใน 37-45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3) หลังจากนั้นจึงนำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นภายในก้อนโฟม (core density) ความทนทานต่อแรงกดอัด (compressive strength) ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) สัณฐานวิทยา (morphology) การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเป็นโฟมที่มีโครงสร้างกว่า 80-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นแบบเซลล์ปิด และมีสมบัติที่ดีหลายประการอีกทั้งการขึ้นรูปและการนำไปใช้งานก็มีความหลากหลาย เช่น ในการขึ้นรูปไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้เกิดปฏิกิริยา โฟมมีสมบัติยึดติดกับผิววัสดุได้ดี อีกทั้งในการใช้งานยังสามารถกำหนดความหนาแน่นของโฟมเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ง่าย และที่สำคัญโฟมพอลิยูรีเทนยังมีสมบัติเป็นฉนวนที่ดีอีกด้วย

พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นฉนวนในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ ฉนวนหุ้มท่อส่งน้ำร้อนและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และวัสดุทนแทนไม้ธรรมชาติ เป็นต้น เนื่องจากพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา การนำความร้อนต่ำ และทนต่อสภาวะแวดล้อม และมีสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิออล (polyol) สารประกอบไอโซไซยาเนต (isocyanate) และสารเติมแต่งต่าง ๆ (additive) ที่ใช้ในทำปฏิกิริยาเป็นพอลิยูรีเทน [2]

2.1 ปฏิกิริยาเคมี (reaction)

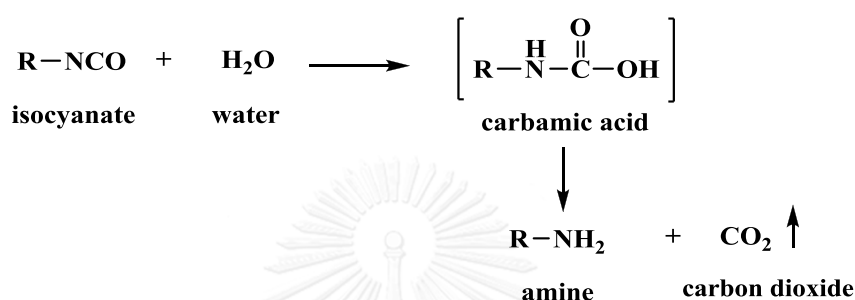
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ไอโซไซยาเนต ที่มี 2 หมู่ขึ้นไป ซึ่งองค์ประกอบหลักในการเกิดปฏิกิริยา คือ พอลิออล ไอโซไซยาเนต สารลดแรงตึงผิว ตัวเร่งปฏิกิริยา และสารฟู งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้สารตั้งต้นเป็นของผสมระหว่างพอลิเอเทอร์และพอลิเอสเทอร์พอลิออล ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไอโซไซยาเนต สารเติมแต่งอื่นๆ และใช้สารฟู เช่น HCFC-141b ปฏิกิริยาพื้นฐานในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งมี 3 ส่วนดังนี้ [3]

1. ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของไอโซไซยาเนต
2. ปฏิกิริยาอันดับที่สองของไอโซไซยาเนต
3. ปฏิกิริยาการเกิดไตรเมอร์ของไอโซไซยาเนต

2.1.1 ปฏิกริยาอันดับที่หนึ่งของไอโซไซยาเนต

2.1.1.1 ปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ

ปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ เป็นปฏิกริยาที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดเป็นโฟม เรียกปฏิกริยานี้ว่า ปฏิกริยาการพู่ (blowing reaction) และในปฏิกริยาดังกล่าว จะเกิดกรดคาร์บาไมกแต่เนื่องจากเป็นสารมัธยันตร์ที่ไม่เสถียร จึงแตกตัวให้แอมีนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น [4]



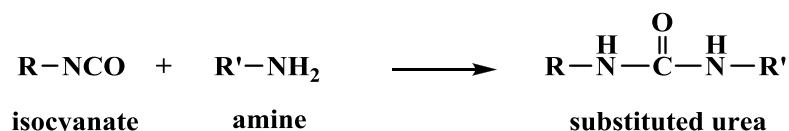
2.1.1.2 ปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับพอลิแอลกอฮอล์

ปฏิกริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแอลกอฮอล์ หรือปฏิกริยาการเกิดเจล (gelling reaction) เป็นปฏิกริยาหลักในการเกิดสายโซ่พอลิยูรีเทน ซึ่งเป็นปฏิกริยาคายความร้อนซึ่งเมื่อเกิดปฏิกริยาจะเกิดความร้อนสูงดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน



2.1.1.3 ปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับแอมีน

ปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับแอมีนจะเกิดสายโซ่ของยูเรียเกิดขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับแอมีนจะเร็วกว่าปฏิกริยาการเกิดเจลหลายร้อยเท่า ดังนั้นจึงนิยมใช้แอมีนเป็นสารเชื่อมขวางในการผลิตพอลิยูรีเทน



2.2 สารตั้งต้น (raw materials)

2.2.1 ไอโซไซยาเนต (isocyanate)

สารประกอบไอโซไซยาเนตที่มีความสำคัญในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งได้แก่ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (TDI) และ 4,4'-ไดเฟนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (MDI) ซึ่งไอโซไซยาเนตแต่ละชนิดจะมีจะให้สมบัติของโฟมแตกต่างกัน รวมถึงสีและความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาด้วย

2.2.1.1 โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (toluene diisocyanate)

โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (TDI) สามารถเตรียมได้จากโทลูอีน แล้วจะได้ของผสมของไอโซเมอร์ของ 2,4- และ 2,6-โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต โดยมีสัดส่วนเป็น 80 ต่อ 20 หรือ 65 ต่อ 35 ขึ้นอยู่กับขบวนการผลิตโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต มีความเป็นพิษที่สูง ทั้งต่อระบบผิวหนัง ตา ระบบทางเดินอาหาร และระบบหายใจดังนั้นจึงมีการนำ 4,4'-ไดเฟนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนตมาใช้แทนโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต เนื่องจากมีความเป็นพิษที่ต่ำกว่า

2.2.1.2 4,4'- ไดเฟนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (MDI)

4,4'-ไดเฟนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต เป็นผลึกของแข็งไม่มีสีหรือมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ทำให้ยากต่อการใช้งาน เนื่องจากต้องนำมาให้ความร้อนเพื่อหลอม จึงสามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยน MDI ที่เป็นของแข็งให้อยู่ในรูปของเหลว คือ พอลิเมอร์โคลิกเอมิดีไอ (polymeric MDI) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาของ MDI กับ แอลิฟาติกไดออล (aliphatic diol) เนื่องจากพอลิเมอร์โคลิกเอมิดีไอเป็นของเหลวทำให้มีความสำคัญมากที่สุดในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง ส่วน 2,4'-MDI และ 2,6'-MDI นิยมนำไปใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบยืดหยุ่น

2.2.2 พอลิออล (polyol)

เมื่อพอลิออลทำปฏิกิริยากับสารประกอบไอโซไซยาเนต และเกิดสารไอโซไซยูรีเทน (urethane linkage) ซึ่งโดยทั่วไป พอลิออลจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ พอลิอีเทอร์พอลิออล (polyether polyol) และ พอลิเอสเทอร์พอลิออล (polyester polyol) ซึ่งในพอลิออลจะมีค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวต่อการนำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตต่อหน่วยน้ำหนักของพอลิออล เรียกว่า ค่าไฮดรอกซิลนัมเบอร์ (hydroxyl number) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อกรัม (mgKOH/g)

2.2.2.1 พอลิเอสเทอร์พอลิออล (polyester polyol)

พอลิเอสเทอร์พอลิออลที่ใช้สำหรับเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนมี 2 ประเภท คือ อะโรแมติกพอลิเอสเทอร์พอลิออล (aromatic polyester polyol) และอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์พอลิออล (aliphatic polyester polyol) ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation reaction) ระหว่างกรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acid) กับไกลคอล (glycol)

2.2.2.2 พอลิอีเทอร์พอลิออล (polyether polyol)

พอลิอีเทอร์พอลิออล สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเร่งด้วยเบส (alkali-catalyzed polymerization) ระหว่าง แอลคิลีนออกไซด์ (alkylene oxide) เช่น เอทิลีนออกไซด์ โพรพิลีนออกไซด์ หรือ เอทิลีน-โพรพิลีนออกไซด์โคพอลิเมอร์กับตัวริเริ่ม (initiator) ที่เป็นพอลิฟังก์ชันนอลแอลกอฮอล์ (polyfunctional alcohol) เช่น กลูโคส (glucose) ซอบิทอล (sorbitol) เป็นต้น เพื่อเกิดเป็นสายโซ่ของพอลิอีเทอร์พอลิออล

2.2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวประเภทซิลิโคน จำแนกใช้เป็น 2 ชนิด คือ สารลดแรงตึงผิวที่เป็นโคพอลิเมอร์แบบนอนไฮโดรไลซ์ (non-hydrolyze) และไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed)

สารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไฮโดรไลซ์มีพันธะระหว่างซิลิโคนอะตอมบนสายโซ่หลักและคาร์บอนอะตอมของพอลิอีเทอร์เป็น Si-C และสารลดแรงตึงผิวชนิดไฮโดรไลซ์มีพันธะจะเป็นออกซิเจนอะตอมและซิลิโคนอะตอมบนพอลิอีเทอร์เป็น Si-O-C ซึ่งในการผลิตสารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของนอนไฮโดรไลซ์ สารลดแรงตึงผิวประเภทซิลิโคนจะมีอิทธิพลมากต่อการเกิดโฟม เนื่องจากควบคุมฟองก๊าซในเซลล์และขนาดของเซลล์โฟม ระหว่างเกิด nucleation ทำให้เซลล์โฟมมีเสถียรภาพ [5]

2.2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารที่ช่วยรักษาสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างสารพูนิตเคมีกับสารประกอบไอโซไซยานต และพอลิออลกับสารประกอบไอโซไซยานต ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ตัวเร่งปฏิกิริยาของระบบพอลิยูรีเทนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบแอมีน และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก

2.2.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบแอมีน

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบแอมีนจะเป็นสารที่มีความเกะกะ และความเป็นเบสของไนโตรเจนอะตอมในหมู่อะมิโน ซึ่งจะส่งผลต่อความไม่ของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ได้แก่ ไดเมทิลไฮโดรเจนซัลไฟด์แอมีน (DMCHA) ไตรเอทิลีนไดแอมีน (TEDA) และไดเมทิลเอทานอลามีน (DMEA) สำหรับการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบแอมีน จะพิจารณาจากความเป็นพิษ กลิ่น และความเข้ากันได้กับพอลิออล

2.2.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิกจะเป็นสารที่ประกอบด้วยโลหะในกลุ่มของ พรอท ตะกั่ว ดีบุก บิสมัท และสังกะสี อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบเหล่านี้ พบว่ามีความเป็นพิษและก่อให้เกิดของเสียอันตราย จึงมีผู้ที่จะคิดจะหาประกอบอื่นมาใช้แทน

2.2.5 สารฟู (blowing agent)

ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน จะต้องอาศัยกระบวนการเกิดฟองก๊าซ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญมาก โดยจะต้องมีการเติมสารฟูผสมลงไปด้วย โดยสารฟูที่ใช้จะมีน้ำสารฟูชนิดเคมี (chemical blowing agent) เช่น น้ำ และสารฟูชนิดกายภาพ (physical blowing agent) เช่น สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCS) หรือสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFC2) ซึ่งปริมาณของสารฟูที่ใช้จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของโฟม เช่น ความหนาแน่นและความต้านทานแรงกดอัด [6]

2.2.5.1 สารฟูชนิดเคมี

ในกระบวนการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนทั้งแบบแข็งและยืดหยุ่นจะใช้สารฟูชนิดเคมี คือน้ำ โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไอโซไซยาเนต ได้เป็นยูเรียกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยา จะมีการคายความร้อน เมื่อระบบมีความร้อนทำให้เกิดการฟู เรียกว่าปฏิกิริยาการฟู (blowing reaction)

2.2.5.2 สารฟูชนิดกายภาพ

สารฟูชนิดกายภาพเป็นสารเคมีที่มีสมบัติสำคัญ คือ เป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับ

สารเคมีในระบบของการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน และเป็นของเหลวที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิของระบบการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนเพิ่มสูงขึ้น สารฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน แต่เนื่องจากการใช้สารฟลูออโรคาร์บอนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือทำให้เกิดภาวะการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ทำให้เกิดอนุสัญญาเวียนนา (Vienna Convention) และพิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer) ซึ่งตั้งขึ้นเพื่อให้นานาชาติประเทศร่วมกันดำเนินการป้องกันชั้นโอโซนในบรรยากาศมิให้ถูกทำลายและร่วมกันแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากรูโหว่ของชั้น

2.2.5.2.1 อนุสัญญาเวียนนา (Vienna Convention)

อนุสัญญาเวียนนาตั้งขึ้นเพื่อให้นานาชาติประเทศร่วมกันดำเนินการป้องกันชั้นโอโซนในบรรยากาศมิให้ถูกทำลาย และร่วมกันแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากรูโหว่ของชั้นโอโซน โดยสนับสนุนให้เกิดการวิจัย และความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่างประเทศต่างๆ นอกจากนี้อนุสัญญายังประกอบด้วยข้อตกลงระหว่างประเทศที่จะลดและเลิกการใช้สารเคมีที่ก่อให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนอีกด้วย

2.2.5.2.2 พิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer)

หลังจากองค์การสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้ผลักดันให้มีการลงนามในอนุสัญญาเวียนนา ว่าด้วยการพิทักษ์ชั้นโอโซน ในปี พ.ศ.2528 (1985) ปัจจุบันมีสมาชิก 176 ประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ต่อมาได้มีข้อกำหนดที่เรียกว่า พิธีสารมอนทรีออลที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2530 (1987) ณ นคร มอนทรีออล โดยประเทศต่างๆทั่วโลกจำนวน 47 ประเทศ ได้ให้สัตยาบันต่อข้อกำหนด ว่าด้วยการลดและเลิกใช้สารทำลายชั้นโอโซนรัฐบาลต่างๆ เห็นความจำเป็นของมาตรการที่แข็งแกร่งเพื่อลดและเลิกใช้สารทำลายโอโซนซึ่งได้แก่ CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115 และ Halon -1211, Halon-1301, Halon-2402 จึงมีหมายกำหนดเลิกใช้บนพื้นฐานการประเมินทางวิทยาศาสตร์ นับจากนั้นมาได้มีประเทศอื่นที่ให้สัตยาบันต่อพิธีสารแล้วกว่า 175 ประเทศ (ข้อมูลวันที่ 20 กรกฎาคม 2543) รวมทั้งประเทศไทย (โดยได้ให้สัตยาบันเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2532) และได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมในปีต่อๆ มาอีก 5 ครั้งเพื่อเพิ่มมาตรการในการควบคุมสารทำลายโอโซนให้รัดกุมและได้ผลเร็วขึ้น ได้แก่

- การแก้ไขข้อกำหนดในการควบคุมสารทำลายชั้นโอโซนในการประชุมประเทศภาคีสมาชิกครั้งที่ 2 ณ กรุงลอนดอน พ.ศ. 2533 หรือ London Amendment 1990 มีเนื้อหาเพื่อลดการใช้ CFC-13, 111, 112, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217 รวมทั้งคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) และ เมทิลคลอโรฟอร์ม (CH₃CCl₃) ปัจจุบันมีสมาชิก 141 ประเทศรวมทั้งประเทศไทย
- การแก้ไขข้อกำหนดในการควบคุมสารทำลายชั้นโอโซนในการประชุมประเทศภาคีสมาชิกครั้งที่ 4 ณ นครโคเปนเฮเกน พ.ศ.2535 หรือ Copenhagen Amendment 1992 มีเนื้อหาเพื่อลดการใช้เมทิลโบรไมด์ (CH₃Br) ไฮโดรโบรโมฟลูออโรคาร์บอน (HBFCs) และ ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) ปัจจุบันมี สมาชิก 108 ประเทศ รวมทั้งประเทศไทย

ข้อสัญญาและจุดประสงค์ (ตารางที่ 2.1)

สนธิสัญญานี้มุ่งไปที่การจำกัดการใช้กลุ่มสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน-ฮาโลเจน ซึ่งพบว่ามีส่วนสำคัญในการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน โดยสารทำลายชั้นโอโซนทั้งหมดนี้มีส่วนผสมของคลอรีนหรือโบรมีนประกอบอยู่ด้วย ในขณะที่สารที่ประกอบด้วยฟลูออรีนเท่านั้นจะไม่ทำลายชั้นโอโซนสนธิสัญญาได้จำแนกสารทำลายชั้นโอโซนออกเป็นกลุ่มๆ โดยแบ่งเป็นตารางเวลาที่ระบุถึงจำนวนปีที่การผลิตสารเหล่านี้จะต้องยุติลงและหมดสิ้นลงไปในที่สุด บรรดาประเทศที่ลงนามในสัญญายังยินยอมที่จะดำเนินการจำกัดการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ประกอบอยู่ด้วย ซึ่ง มีข้อยกเว้นให้กับการใช้สารเหล่านี้ในกรณีที่เป็น "การใช้ที่สำคัญยิ่งยวด" และยังไม่สามารถหาตัวทดแทนได้ เช่น ยาแบบพ่นเพื่อรักษาอาการหอบหืดและความผิดปกติอื่นๆ ของระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น

2.2.5.3 สารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอน

สารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนเป็นสารเคมีที่มีข้อดี คือ เป็นสารเคมีที่มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย เป็นสารที่ไม่มีอะตอมของหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ มีค่าความสามารถในการทำลายโอโซนเท่ากับศูนย์ แต่เนื่องจากสารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่มีความไวไฟสูง ในการนำไปใช้งานจึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอย่างมาก ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง คือ ไซโคลเพนเทน [7]

2.2.5.4 สารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอน

สารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ มีค่าความสามารถในการทำลายโอโซนเท่ากับศูนย์ สามารถระเหยได้เร็วแต่ค่าความสามารถที่ทำให้โลกร้อนสูงกว่าสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง คือ 1,1,1,3,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (HFC-245fa), 1,1,1,3,3-เพนตาฟลูออโรอีเทน (HFC-365mfc) [8-11]

ตารางที่ 2. 1 กำหนดการการยกเลิกสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนและสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอนตามพิธีสารมอนทรีออล

Date	Control measure (ODP, weight% reduction)			
	Non-Article 5(1) parties	Article 5(1) parties	CFCs	HCFCs
July 1, 1989	Freeze at 1986 level	-	✓	-
January 1, 1994	75% of 1986 level	-	✓	-
January 1, 1996	Phased out	-	✓	-
January 1, 1996	Freeze at cap ¹	-	-	✓
July 1, 1999	-	Freeze at 1995-97 average level	✓	-
January 1, 2004	35% of cap ¹	-	-	✓
January 1, 2005	-	50% of 1995-97 average level	✓	-
January 1, 2007	-	85% of 1995-97 average level	✓	-
January 1, 2010	-	Phased out	✓	-
January 1, 2010	65% of cap ¹	-	-	✓
January 1, 2015	90% of cap ¹	-	-	✓
January 1, 2016	-	Freeze at 2015 level	-	✓
January 1, 2020	99.5% of cap ²	-	-	✓
January 1, 2030	Phased out	-	-	✓
January 1, 2040	-	Phased out	-	✓

1 ODP weighted HCFC consumption cap = 100% 1989 HCFC + 2.8% Montreal protocol
2 Phased out except for service of existing refrigeration and air-conditioning equipment

2.3 สูตรการคำนวณ [2]

2.3.1 ดัชนีไอโซไซยาเนต (isocyanate index)

การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนต้องทราบถึงอัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิออลโดยใช้การคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ ปริมาณของไอโซไซยาเนตสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของการผลิตและความต้องการสมบัติบางอย่างของโฟม

$$\text{Isocyanate index} = \frac{\text{actual amount of isocyanate}}{\text{theoretical amount of isocyanate}}$$

2.3.2 ค่าไอโซไซยาเนต (isocyanate value)

ค่าไอโซไซยาเนต คือ ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของหมู่ไอโซไซยาเนตที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ [1]

$$\begin{aligned} \text{isocyanate value} = \% \text{NCO group} &= \frac{4200 \times \text{functionality}}{\text{molecular weight}} \\ &= \frac{4200}{\text{equivalent weight}} \end{aligned}$$

2.3.3 ค่าไฮดรอกซิลนัมเบอร์ (hydroxyl number; OH)

ค่าไฮดรอกซิลนัมเบอร์ คือ ค่าที่ใช้วัดความเข้มข้นของหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อหน่วยน้ำหนักของพอลิออล ซึ่งมีหน่วยเป็น mg KOH/g [1]

$$\begin{aligned} \text{hydroxyl number} &= \frac{56100 \times \text{functionality}}{\text{molecular weight}} \\ &= \frac{56100}{\text{Equivalent weight}} \end{aligned}$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง ต้องใช้สารฟลูมอลงในสูตรผสมของการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง (rigid polyurethane foam formulation) เพื่อให้ได้โฟมที่มีเซลล์ปิด (closed cell) และมีสมบัติเป็นฉนวน สารฟลูแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารฟลูชนิดเคมี (chemical blowing agent) เช่น น้ำ และ สารฟลูชนิดกายภาพ (physical blowing agent) เช่น 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสูตรการผลิตพอลิยูรีเทน (polyurethane formulated system) โดยใช้สารฟลูชนิดต่างๆ เพื่อใช้ทดแทนสารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทนเป็นเรื่องที่มีกลุ่มวิจัยให้ความสนใจ ตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

Seifert และคณะ [7] ศึกษาสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลูเพนเทน และสารฟลู 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพน โดยเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน ผลที่ได้ปรากฏว่าโฟมที่ใช้สารฟลูเพนเทน และสารฟลู 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพนจะมีค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ที่สูงกว่าโฟมที่ใช้สารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน ประสิทธิภาพการฟูของสารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทนจะน้อยกว่าสารฟลูเพนเทน แต่สารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทนจะให้โฟมที่มีสมบัติความคงตัวของโครงสร้าง (dimension stability) ดีกว่า ส่วนความทนทานต่อแรงกดอัด (compressive strength) ไม่มีความแตกต่างกันที่ความหนาแน่นของโฟมเท่ากัน

White และคณะ [12] ศึกษาการผสมพอลิอล 3 ชนิดที่ได้จากตัวริเริ่มดังนี้ พอลิอีเทอร์พอลิอลที่ได้จากตัวริเริ่มประเภทแอลกอฮอล์เอมีน พอลิอีเทอร์พอลิอลที่ได้จากตัวริเริ่มประเภทแอลิฟาติกเอมีน และแอลกอฮอล์พอลิเอสเทอร์พอลิอล โดยพอลิอลทั้ง 3 ชนิดมีค่าจำนวนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล หรือค่าไฮดรอกซิล (hydroxyl value, OHV) 200 mgพอลิอล/g KOH หรือมากกว่า นำพอลิอลมาผสมกันด้วยอัตราส่วน 45:40:15 จำนวน 4 สูตร และใช้สารฟลูเป็นน้ำและสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ คือ ไฮโคลเพนเทน สารประกอบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน 134a (HFC 134a; 1,1,2,2-tetrafluoroethane) และสารประกอบ 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน และใช้พอลิเมอริกเอมีนดีไอร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าชิ้นงานโฟมที่ได้ทั้ง 4 สูตรมีค่าการนำความร้อนต่ำ และมีสมบัติความคงตัวของโครงสร้าง (dimension stability) ที่ดี

Zipfel และคณะ [13] ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้สารฟลูชนิดอื่นๆในงานพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งแทนการใช้สารฟลู 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน ซึ่งสารฟลูที่ Zipfel และคณะ ใช้ในการทดลอง คือ เพนตาฟลูออโรอีเทนและ 1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโร โพรเพนโดยเปรียบเทียบสมบัติ

กับโฟมที่ใช้สารฟลูออโร-1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน และในสูตรสำหรับ discontinuous panel ผลที่ได้พบว่า ถ้าความหนาแน่นของโฟมใกล้เคียงกัน ค่าการนำความร้อน ความทนทานต่อแรงกดอัด และความจุของโฟมที่มีเซลล์ปิด (closed cell content) จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณของสารฟลูออโร-1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทนจะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าเล็กน้อย

Zipfel และคณะ [8] ศึกษาการใช้ HFC-365mfc เป็นสารฟลูออโรอีเทนสำหรับเตรียมพอลิยูรีเทน โฟมแบบแข็งแต่เนื่องจาก HFC-365mfc มีสภาพขั้วที่ต่ำทำให้ผสมเข้ากับพอลิโอลได้ไม่ดีและมีจุดเดือดสูง ในงานวิจัยนี้จึงนำ HFC-365mfc มาผสมกับ HFC-134a 4.7-7 % ต่อน้ำหนัก เพื่อใช้เป็นสารฟลูออโรอีเทนในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ iso index 110 โดยอัตราส่วนของ HFC-365mfc ต่อ HFC-134a ที่เหมาะสม คือ 93 ต่อ 7 โดยปริมาณที่เติมลงในระบบไม่ควรเกิน 17 ส่วน โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่า โฟมที่ได้จะมีความหนาแน่น 35 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความเป็นฉนวนที่ดีและเนื้อโฟมมีคุณภาพเทียบเท่าการใช้สารฟลูออโรอีเทน HCFC-141b

Lim และคณะ [14] ศึกษาผลของสารฟลูออโรอีเทน HFC-365mfc, HFC-245fa และน้ำที่มีผลต่อพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง โดยการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งจาก เมธิลีนไดเฟนิลไดไอโซไซยาเนต และพอลิโพรพิลีนไกลคอล ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้น้ำเป็นสารฟลูออโรอีเทนจะได้โฟมที่มีลักษณะเซลล์โฟมขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นต่ำ และความทนทานต่อแรงกดอัด ได้ต่ำ เมื่อใช้สารฟลูออโรอีเทน HFC-365mfc พบว่าเซลล์โฟมมีขนาดเล็กที่สุด ความหนาแน่นสูง โฟมมีความทนทานต่อแรงกดอัด ได้ดีที่สุด ส่วน HFC-245fa จะมีความหนาแน่นของโฟมและความทนทานต่อแรงกดอัด ได้ปานกลาง แต่มีค่าความเป็นฉนวนมากที่สุด

Kim และคณะ [6] ศึกษาผลของสารฟลูออโรอีเทนที่มีต่อพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง โดยสารฟลูออโรอีเทนที่ใช้ได้แก่ HCFC-141b และ HFC-365mfc โดยในการทดลองพบว่า สารฟลูออโรอีเทนทั้งสองชนิดให้ค่าการเกิดปฏิกิริยา (cream time, gel time และ tack free time) ใกล้เคียงกัน โดย HFC-365mfc จะทำให้โฟมมีขนาดของเซลล์โฟมเล็ก โฟมมีความหนาแน่นสูง มีความทนทานต่อแรงกดอัดได้ดี ส่วนโฟมที่ได้จากสารฟลูออโรอีเทน HCFC-141b พบว่าโฟมจะมีความคงรูปและมีความเป็นฉนวนที่ดีกว่า

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารตั้งต้นและสารเติมแต่งสำหรับเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง

งานวิจัยนี้ได้มีการใช้สารตั้งต้นและสารเติมแต่งที่มีใช้ในอุตสาหกรรม โดยสารพอลิออล, สารประกอบไอโซไซยานาต(4,4'-มีเทน ไดเฟนิล ไดไอโซไซยานาต) (polymeric MDI), ตัวเร่งปฏิกิริยา, สารลดแรงตึงผิว และสารฟู ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ไออาร์พีซี โพลีออล จำกัด โดยสมบัติของสารตั้งต้น ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 สารตั้งต้นและสารเติมแต่ง

สารเคมี	สมบัติ
พอลิออล A	sucrose-based polyether polyol (functionality = 4.3, hydroxyl value = 425-450 mg.KOH/g และความหนืด = 4,800-6,000 cP ที่ 25 °C)
พอลิออล B	sucrose-based polyether polyol (functionality = 4.9, hydroxyl value = 435-460 mg.KOH/g และความหนืด = 17,000-19,000 cP ที่ 25 °C)
พอลิออล C	glycerine-based polyether polyol (functionality = 3, hydroxyl value = 1100-1150 mg.KOH/g และความหนืด = 1,400-1,600 cP ที่ 25 °C)
พอลิออล D	aromatic-based polyester polyol (functionality = 2, hydroxyl value = 325-375 mg.KOH/g และความหนืด = 90-160 cP ที่ 60 °C)
สารประกอบไอโซไซยานาต	4,4'-มีเทน ไดเฟนิล ไดไอโซไซยานาต, NCO content = 31% w/w (functionality = 2.7)
ตัวเร่งปฏิกิริยา	N,N'-ไดเมทิลไซโคลเฮกซิลเอมีน (dimethylcyclohexylamine; DMCHA)
สารลดแรงตึงผิว	พอลิไดเมทิลซิลอกเซน-พอลิอีเทอร์ โคพอลิเมอร์ (polydimethylsiloxane polyether; Tegostab® B8462)
สารเชื่อมขวาง	ไดโพรพิลีน ไกลคอล (dipropylene glycol)

โดยพิจารณาเลือกใช้พอลิอีเทอร์พอลิออลประเภท sucrose-based polyol ที่มี functionality ~ 8 ซึ่งให้สมบัติที่ดีในด้านความแข็งแรงของโครงสร้าง ขณะที่พอลิอีเทอร์พอลิ

แอลประเภท glycerine-based polyol มี functionality ~ 3 จะให้สมบัติที่ดีในด้านการเพิ่มการไหลตัวของของผสมพอลิออลและช่วยเสริมโครงสร้างให้มีการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น [15]

ตารางที่ 3. 2 ชนิดของสารฟลูออรีน

สารเคมี	สมบัติ
สารฟลูออรีน 1	น้ำกลั่น (H ₂ O)
สารฟลูออรีน 2 (สารฟลูออรีนอ้างอิง)	1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (HCFC-141b)
สารฟลูออรีน 3	ไซโคลเพนเทน (Cp)
สารฟลูออรีน 4	1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพน (HFC-245fa)
สารฟลูออรีน 5	1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรบิวเทน (HFC-
สารฟลูออรีน 6	365mfc) ของผสมระหว่างเมทิลฟลูออไรด์และเมทานอล ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 (MF+MeOH)

ตารางที่ 3. 3 เปรียบเทียบสมบัติของสารฟลูออรีนชนิดต่างๆ

สารฟลูออรีน	มวลโมเลกุล		จุดเดือด, °C(°F)	จุดวาบไฟ, °C(°F)		ค่าการติดไฟ, (Vol%-air)	
1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (HCFC-141b)	117		32(90)	None		7.6-17.7	
ไซโคลเพนเทน (Cp)	72		49.3(120.74)	-7(19.4)		1.5-8.7	
1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรโพรเพน (HFC-245fa)	134		15.3(59.5)	None		None	
1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรบิวเทน (HFC-365mfc)	148		40(104)	-27(-16.6)		3.6-13.3	
ของผสมระหว่างเมทิลฟลูออไรด์และเมทานอล (MF+MeOH)	เมทิล	เมทา	31.5(88.7)	เมทิล	เมทา	เมทิล	เมทา
	ฟลูออไรด์	นอล		ฟลูออไรด์	นอล	ฟลูออไรด์	นอล
	60	32		-28(-18)	11(52)	5-23	6-36

ตารางที่ 3. 4 เปรียบเทียบสมบัติของสารฟลูออรีนชนิดต่างๆ [13]

สารฟลูออรีน	ค่าการนำความร้อน จำเพาะของแก๊ส ที่ 25 องศาเซลเซียส (°C)mW/m.K	ศักยภาพในการทำลาย ชั้นโอโซน (ODP)	ศักยภาพในการ ทำให้เกิดภาวะ โลกร้อน (GWP), (100 yr)
1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (HCFC-141b)	9.7	0.11	725
ไซโคลเพนเทน (Cp)	12.0	0	<15
1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรอีเทน รเพน (HFC-245fa)	12.2	0	1030
1,1,1,3,3-เพนตะฟลูออโรอีเทน เทน (HFC-365mfc)	10.6	0	794
ของผสมระหว่างเมทิลฟอร์มเมต และเมทานอล (MF+MeOH)	N/A	0	N/A

3.2 วิธีการและเครื่องมือในการทดลอง

ตารางที่ 3. 5 การวิเคราะห์ผลการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง

การวิเคราะห์ผล	วิธีการ และเครื่องมือในการทดลอง
การเกิดปฏิกิริยา	ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นครีม, ช่วงเวลาที่สารผสมเป็น เจล, ช่วงเวลาที่ผิวของโฟมไม่เกาะติดกับวัสดุสัมผัส และช่วงเวลาที่โฟมหยุดฟู โดยใช้นาฬิกาจับเวลา
ความหนาแน่นของโฟมที่ฟูตัวอิสระ	กระบอกลัดโฟม เครื่องชั่ง และอุปกรณ์วัดขนาดชนิด ละเอียด
ความหนาแน่นภายในก้อนโฟม	เลื่อยสายพาน เครื่องชั่ง และอุปกรณ์วัดขนาดชนิด ละเอียด
ความทนทานต่อแรงกดอัด	Universal Testing Machine
ค่าการนำความร้อน	Heat Flow Meter Apparatus
สัณฐานวิทยา	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน	Thermogravimetric Analyzer (TGA)

3.3 การเตรียมเคมีระบบเพื่อใช้ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนแบบแข็ง

การเตรียมเคมีระบบจะเตรียมโดยการผสม 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการผสมระหว่างพอลิออล สารลดแรงตึงผิว, สารเชื่อมขวาง และสารฟู 1 (H₂O) สูตรการเตรียมแสดงในตารางที่ 3.4 จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 จะนำของผสมที่ได้จากขั้นตอนแรกมาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยให้มีปริมาณที่แตกต่างกันไป สูตรการเตรียมแสดงในตารางที่ 3.5 หลังจากนั้นในขั้นตอนที่ 3 จะนำของผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาแบ่งเป็น 5 ส่วนเท่าๆกัน แล้วจึงเติมสารฟู 2-6 (HCFC-141b, Cp, HFC-245fa, HFC-365mfc, MF+MeOH) ตามปริมาณที่ผู้ขายสารฟูแนะนำ

ตารางที่ 3. 6 สูตรการเตรียมโฟม ขั้นตอนที่ 1

สารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
พอลิออล A	12.96
พอลิออล B	43.26
พอลิออล C	35.52
พอลิออล D	2.96
สารลดแรงตึงผิว	1.00 – 2.00
สารเชื่อมขวาง	0.60
สารฟู 1(H ₂ O)	2.30

ตารางที่ 3. 7 สูตรการเตรียมโฟม ขั้นตอนที่ 2

สารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)			
ของผสมจากขั้นตอนที่ 1	99.5	99.3	99.1	99.0
ตัวเร่งปฏิกิริยา	0.5	0.7	0.9	1.0

ตารางที่ 3. 8 สูตรการเตรียมโฟม ขั้นตอนที่ 3

สารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
ของผสมจากขั้นตอนที่ 2	55 - 80
สารฟู	20 - 45

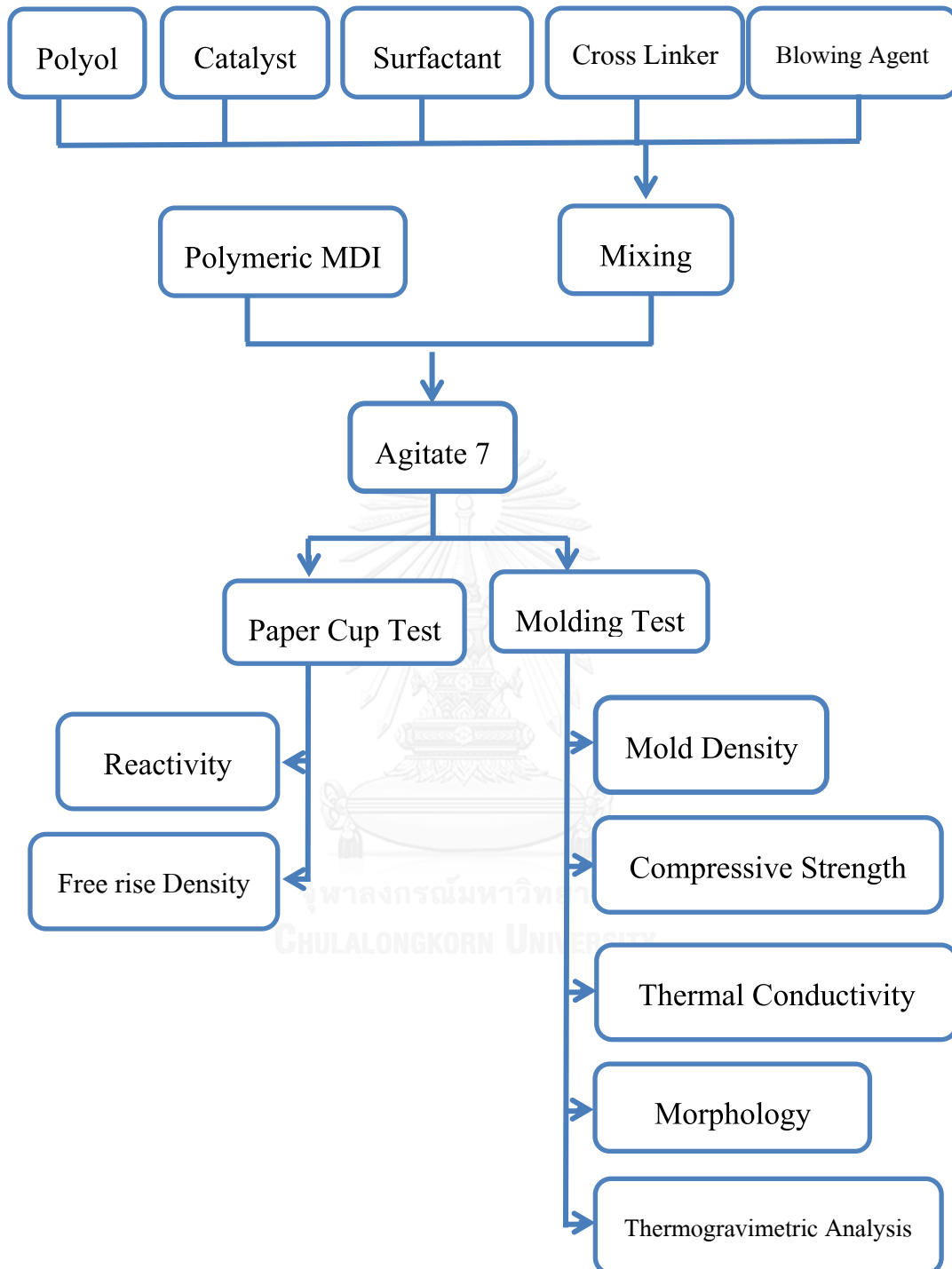
3.4 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง

3.4.1 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ

การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษมีขั้นตอนดังนี้ นำของผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เทใส่ในแก้วกระดาษ แล้วเติมสารประกอบไอโซไซยาเนต ทำการกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนแบบกล กวนที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วินาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน สูตรการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง แสดงในตารางที่ 3.7 เมื่อจับเวลาครบ 7 วินาที แล้วจึงวางแก้วกระดาษในพื้นที่เรียบจากนั้นจับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาของโฟม 4 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาที่สารผสมเริ่มเกิดปฏิกิริยาเป็นครีม (cream time), ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นเจล (gel time), ช่วงเวลาที่ผิวของโฟมไม่เกาะติดกับวัสดุสัมผัส (tack-free time) และช่วงเวลาที่โฟมหยุดฟู (rise time) โดยใช้นาฬิกาจับเวลา หลังจากขึ้นรูปโฟมเสร็จแล้วให้เก็บโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้โฟมเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของโฟมที่ฟูตัวโดยอิสระ (free-rise density)

3.4.2 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์

การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์ เพื่อยืนยันถึงการนำโฟมไปใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งในการเตรียมจะเตรียมในแม่พิมพ์แบบปิดขนาด 30 x 30 x 11 เซนติเมตร โดยการผสมสารเคมีในแก้วกระดาษ จากนั้นจึงเทลงในแม่พิมพ์และให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในแม่พิมพ์ โดยจะควบคุมความหนาแน่นภายใน 37-45 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร หลังจากขึ้นรูปโฟมเสร็จแล้วให้เก็บโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้โฟมเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นภายในก้อนโฟม, ความทนทานต่อแรงกดอัด, ค่าการนำความร้อน, สัมประสิทธิ์การขยายตัว, การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน



รูปที่ 3. 1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

3.5 การวิเคราะห์ผล

3.5.1 ปฏิบัติการการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง

ช่วงระยะเวลาในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งจะวิเคราะห์โดยการจับเวลาโดยการเริ่มจับเวลาเริ่มต้นเมื่อเริ่มทำการปั่นกวน, ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นครีม, ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นเจล, ช่วงเวลาที่ผิวของโฟมไม่เกาะติดกับวัสดุผสมผง และช่วงเวลาที่โฟมหยุดฟู

3.5.2 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง

การทดสอบความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งใช้มาตรฐาน ASTM D 1622-08 ใช้ระบอบตัดโฟมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 เซนติเมตร ตัดโฟมแล้วนำไปคำนวณเพื่อหาปริมาตรทรงกระบอก จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างโฟม เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่น

3.5.3 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัด

การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งทั้งในแนวตั้งฉากและขนานกับทิศทางการฟูตัวของโฟม โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Lloyd LRX 5K) ASTM D1621-10 ขนาดของชิ้นงานโฟมตัวอย่างเท่ากับ 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร (ความกว้าง x ความสูง x ความยาว), ความเร็วของหัวกดเท่ากับ 5.00 มิลลิเมตร ต่อ นาที และ preload cell เท่ากับ 0.10 นิวตัน [16]

3.5.4 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน

การทดสอบหาค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งใช้มาตรฐาน ASTM C518-10 เป็นวิธีการวัดแบบ comparative method โดยการวัด heat flow ใช้เครื่อง Netzsch Heat flow meter (HFM) 436 ขนาดของโฟมตัวอย่างเท่ากับ 200 x 200 x 25 มิลลิเมตร ที่ความหนาแน่น 37-45 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร [17]

3.5.5 สันฐานวิทยา

การศึกษาสันฐานวิทยาใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Philips XL-30 โดยตัดตัวอย่างและเคลือบตัวอย่างชิ้นงานโฟมด้วยทอง ศึกษาลักษณะโครงสร้างของเซลล์โฟม และ

ขนาดของเซลล์โพลิเมอร์ การศึกษาขนาดของเซลล์โพลิเมอร์ใช้โปรแกรม Image-Pro Plus ของ Media Cybernetic, Inc. [18]

3.5.6 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน

การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนใช้เครื่อง TGA/DSC1 ของ Mettler-Toledo งานวิจัยนี้จะให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 750 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ต่อ นาที ภายใต้ระบบไนโตรเจน[19]



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ

4.1.1 ผลของอัตราส่วนการผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้สารฟูชนิดต่างๆ

ช่วงระยะเวลาในการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งจะวิเคราะห์โดยการจับเวลาโดยการเริ่มจับเวลาเริ่มต้นเมื่อเริ่มทำการปั่นกวน ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นครีม (cream time) ช่วงเวลาที่สารผสมเป็นเจล (gel time) ช่วงเวลาที่ผิวของโฟมไม่เกาะติดกับวัสดุสัมผัส (tack free time) และช่วงเวลาที่โฟมหยุดฟู (rise time)

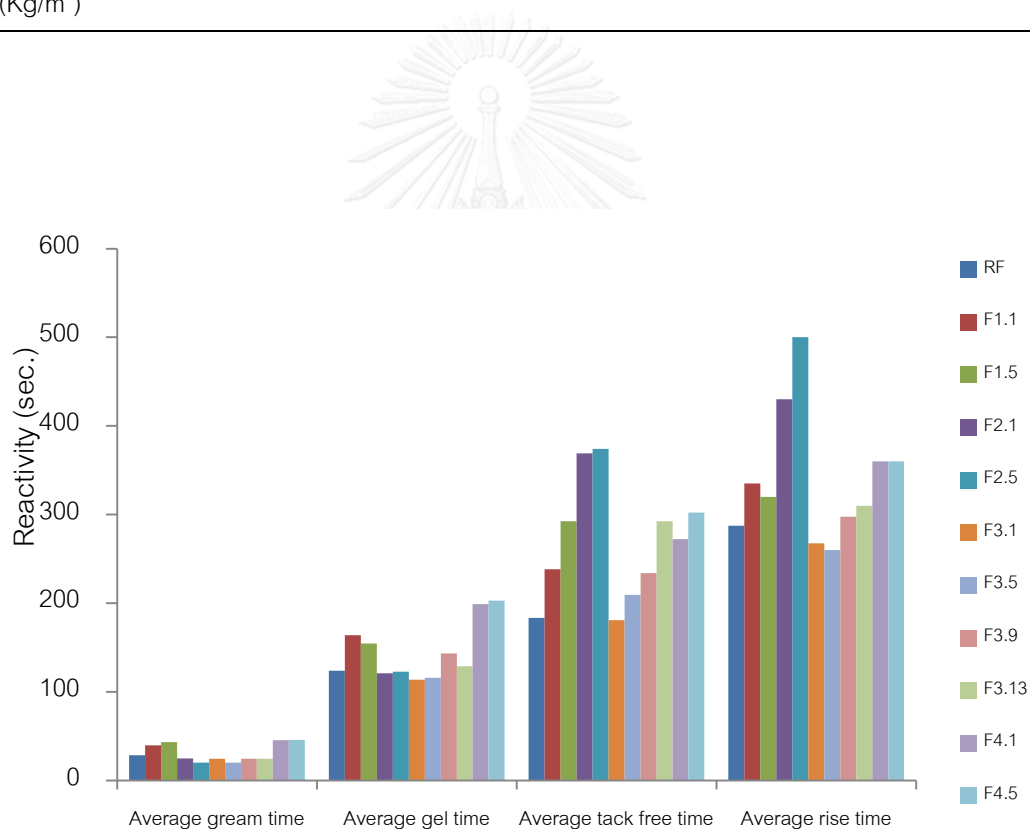
ในการศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้สารฟูชนิดต่างๆ โดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.5, 0.7, 0.9 และ 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.3, 4.5 และ 4.7 ตามลำดับ และใช้สารฟูชนิดต่างกันโดยกำหนดให้สภาวะของการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง ดังนี้

- อุณหภูมิของสารเคมีทั้งระบบพอลิออล (polyol system) และสารประกอบไอโซไซยานตเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส ยกเว้นสูตรที่ใช้สารฟู 4 เนื่องจากสารฟู 4 มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า 29 องศาเซลเซียส คือ 15.3 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนระบบพอลิออลกับสารฟู เท่ากับ 20 วินาที
- เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนระบบพอลิออลที่มีสารฟูกับสารประกอบไอโซไซยานต เท่ากับ 7 วินาที

งานวิจัยนี้กำหนดให้โฟมที่ฟูตัวอย่างอิสระ (free rise) มีความหนาแน่น เท่ากับ 20-25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีช่วงเวลากการเกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงหรือเท่ากับช่วงเวลากการเกิดปฏิกิริยาของโฟมเทียบเท่ากับเกรดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้สารฟูชนิด 1,1-ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (HCFC 141b) คือ cream time เท่ากับ 20-22 วินาที gel time เท่ากับ 75-90 วินาที tack free time เท่ากับ 100-120 วินาที และ rise time เท่ากับ 150-180 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.4, 4.6 และ 4.8 และรูปที่ 4.1-4.10

ตารางที่ 4. 2 เวลาในการเกิดเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

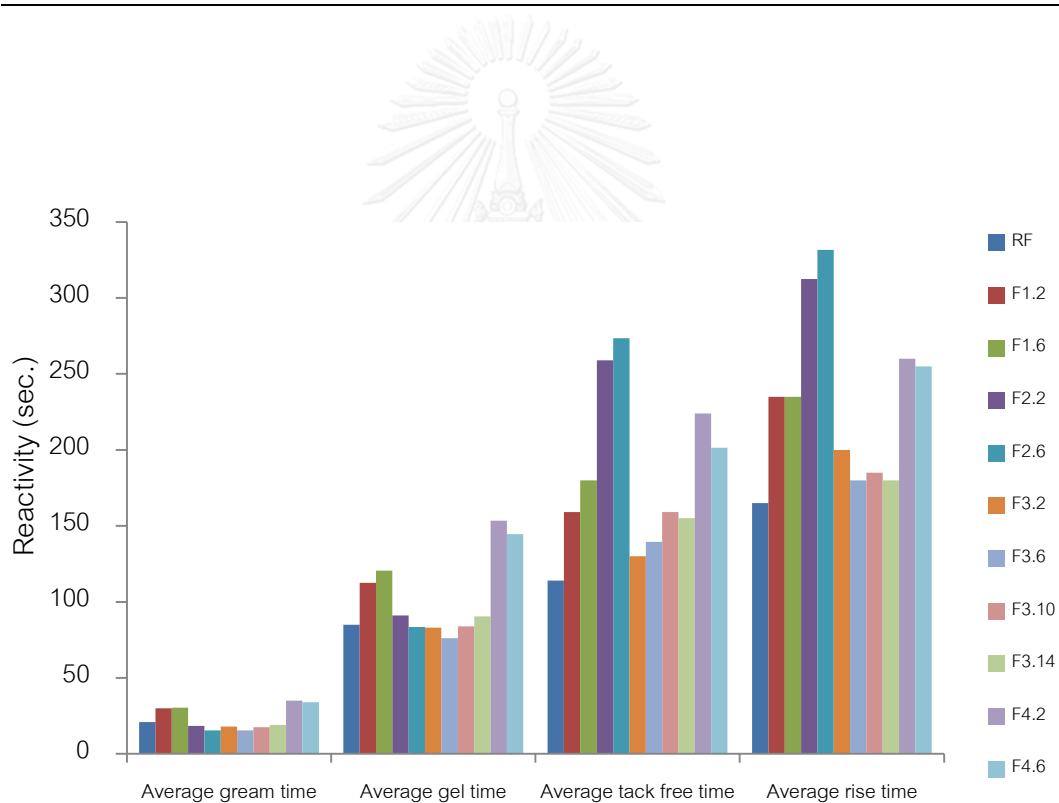
ช่วงเวลา (วินาที)	RF1	F1.1	F1.5	F2.1	F2.5	F3.1	F3.5	F3.9	F3.13	F4.1	F4.5
cream time	28.5	40.0	43.5	25.0	20.5	24.5	20.5	24.5	24.5	46.0	45.5
gel time	124.0	164.0	154.5	121.0	123.0	114.0	116.0	143.5	129.0	203.0	199.0
tack free time	183.5	238.5	292.5	369.0	374.0	181.0	209.5	234.0	292.5	302.5	272.5
rise time	287.5	335.0	320.0	430.0	500.0	267.5	260.0	297.5	310.0	360.0	360.0
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	26.4	20.8	19.0	24.6	24.6	31.9	29.2	27.7	26.7	n/a	n/a



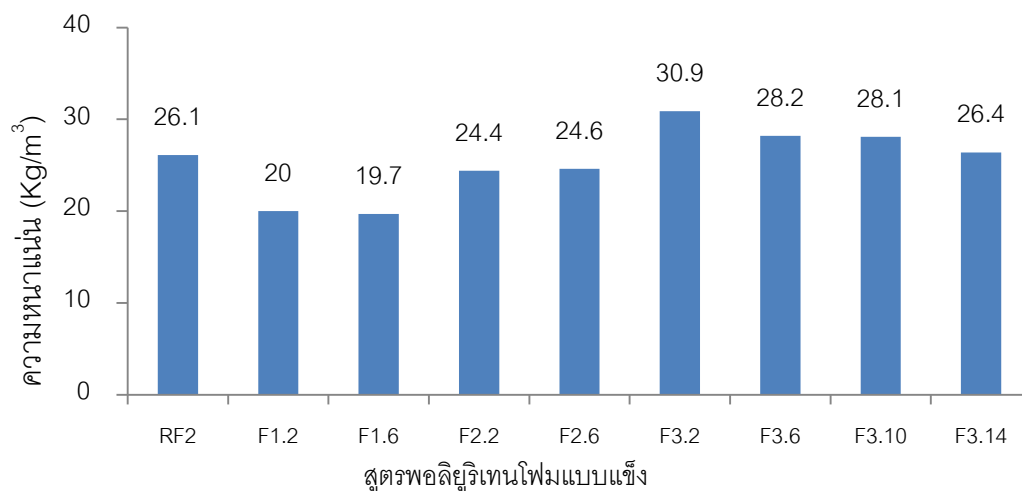
รูปที่ 4. 1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

ตารางที่ 4. 4 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

ช่วงเวลา (วินาที)	RF2	F1.2	F1.6	F2.2	F2.6	F3.2	F3.6	F3.10	F3.14	F4.2	F4.6
cream time	21.0	30.0	30.5	18.5	15.5	18.0	15.5	17.5	19.0	35.0	34.0
gel time	85.0	112.5	120.5	91.0	83.5	83.0	76.0	84.0	90.5	153.5	144.5
tack free time	114.0	159.0	180.0	259.0	273.5	130.0	139.5	159.0	155.0	224.0	201.5
rise time	165.0	235.0	235.0	312.5	331.5	200.0	180.0	185.0	180.0	260.0	255.0
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	26.1	20.0	19.7	24.4	24.6	30.9	28.2	28.1	26.4	n/a	n/a



รูปที่ 4. 3 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน



รูปที่ 4. 4 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

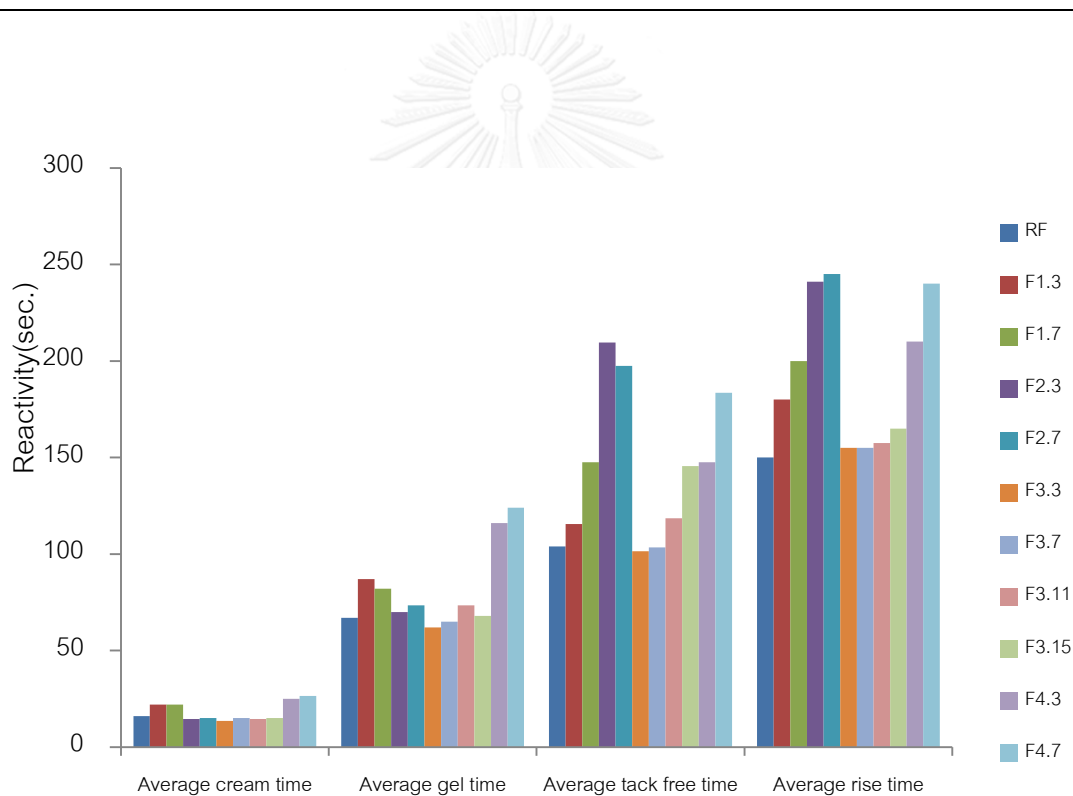
ตารางที่ 4. 5 สูตรเพื่อใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน ดัชนีไอโซไซยานต เท่ากับ 1.2

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนโดยน้ำหนัก)										
	RF3	F1.3	F1.7	F2.3	F2.7	F3.3	F3.7	F3.11	F3.15	F4.3	F4.7
พอลิออล A						13.0					
พอลิออล B						43.3					
พอลิออล C						3.0					
พอลิออล D						35.5					
สารลดแรงตึงผิว						1.4					
สารเชื่อมขวาง						0.6					
ตัวเร่งปฏิกิริยา						0.9					
H ₂ O						2.3					
รวม						100					
HCFC-141b	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cp	0.0	25.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HFC-245fa	0.0	0.0	0.0	20.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HFC-365mfc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	30.0	40.0	45.0	0.0	0.0
MF+MeOH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	30.0
สารประกอบไอ						155					

โซโซยานต

ตารางที่ 4. 6 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

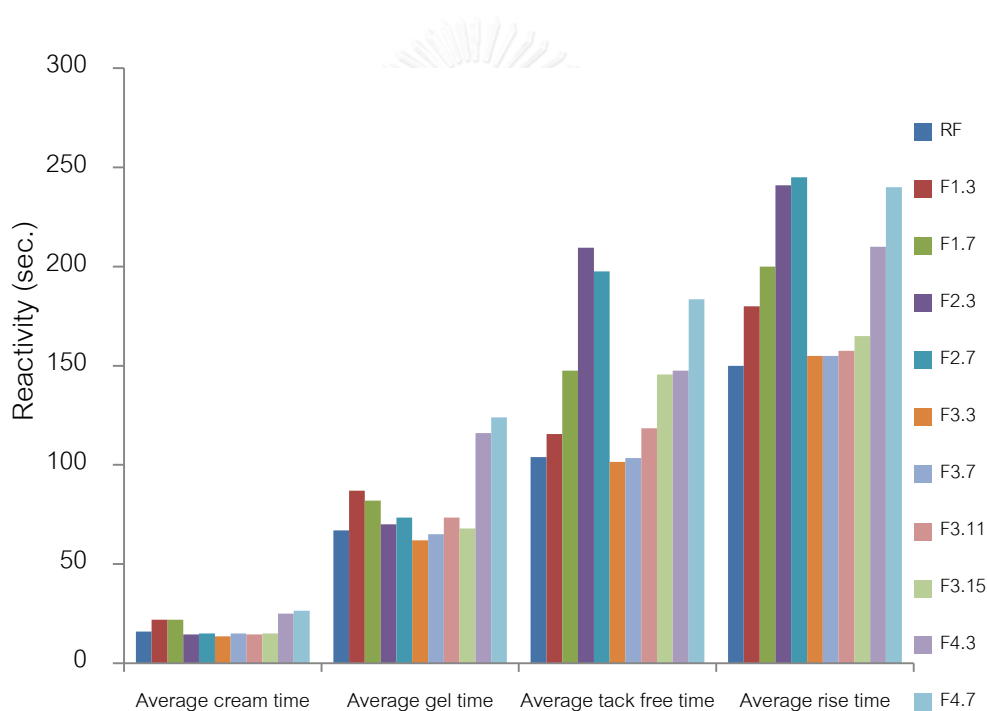
ช่วงเวลา (วินาที)	RF3	F1.3	F1.7	F2.3	F2.7	F3.3	F3.7	F3.11	F3.15	F4.3	F4.7
cream time	16.0	22.0	22.0	14.5	15.0	13.5	15.0	14.5	15.0	26.5	25.0
gel time	67.0	87.0	82.0	70.0	73.5	62.0	65.0	73.5	68.0	124.0	116.0
tack free time	104.0	115.5	147.5	209.5	197.5	101.5	103.5	118.5	145.5	183.5	147.5
rise time	150.0	180.0	200.0	241.0	245.0	155.0	155.0	157.5	165.0	240.0	210.0
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	25.8	19.9	19.2	24.4	24.3	30.9	29.9	30.3	26.1	n/a	n/a



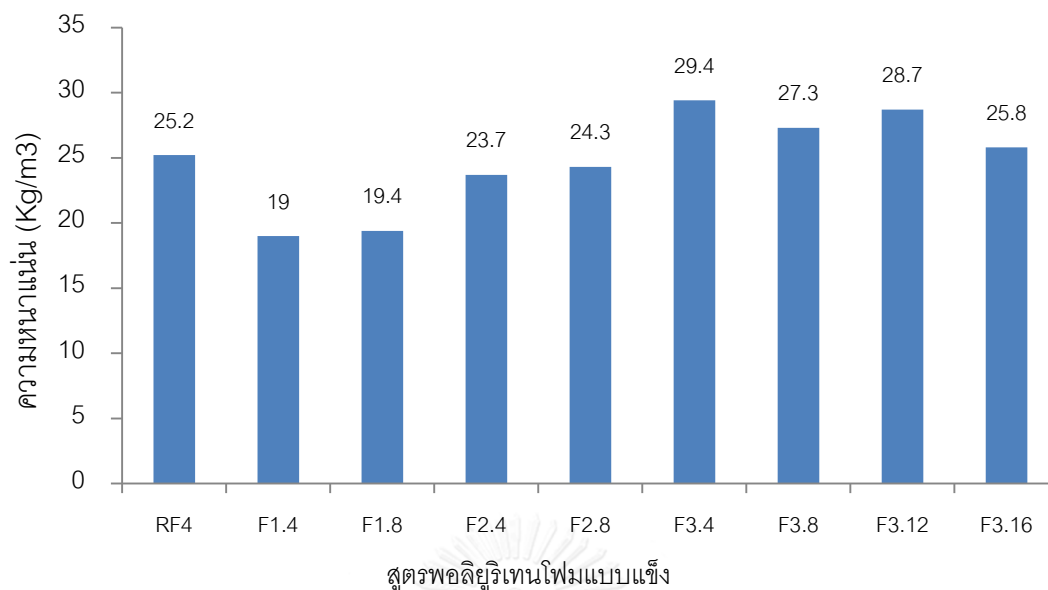
รูปที่ 4. 5 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.9 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

ตารางที่ 4. 8 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน

ช่วงเวลา (วินาที)	RF4	F1.4	F1.8	F2.4	F2.8	F3.4	F3.8	F3.12	F3.16	F4.4	F4.8
cream time	14.5	20.0	21.5	12.0	10.5	12.0	10.5	12.0	13.5	26.5	22.5
gel time	58.5	72.5	77.5	69.5	66.5	57.5	60.5	63.5	64.0	119.0	103.5
tack free time	93.0	109.5	129.5	171.0	166.5	88.5	98.0	99.5	131.5	160.0	128.0
rise time	130.0	170.0	168.0	210.0	206.0	141.0	150.0	147.5	157.5	225.0	190.0
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	25.2	19.0	19.4	23.7	24.3	29.4	27.3	28.7	25.8	n/a	n/a



รูปที่ 4. 7 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟูชนิดต่างกัน



รูปที่ 4. 8 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟุ้งตัวอย่างอิสระที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 ส่วนโดยน้ำหนัก กับสารฟลูออรีนชนิดต่างกัน

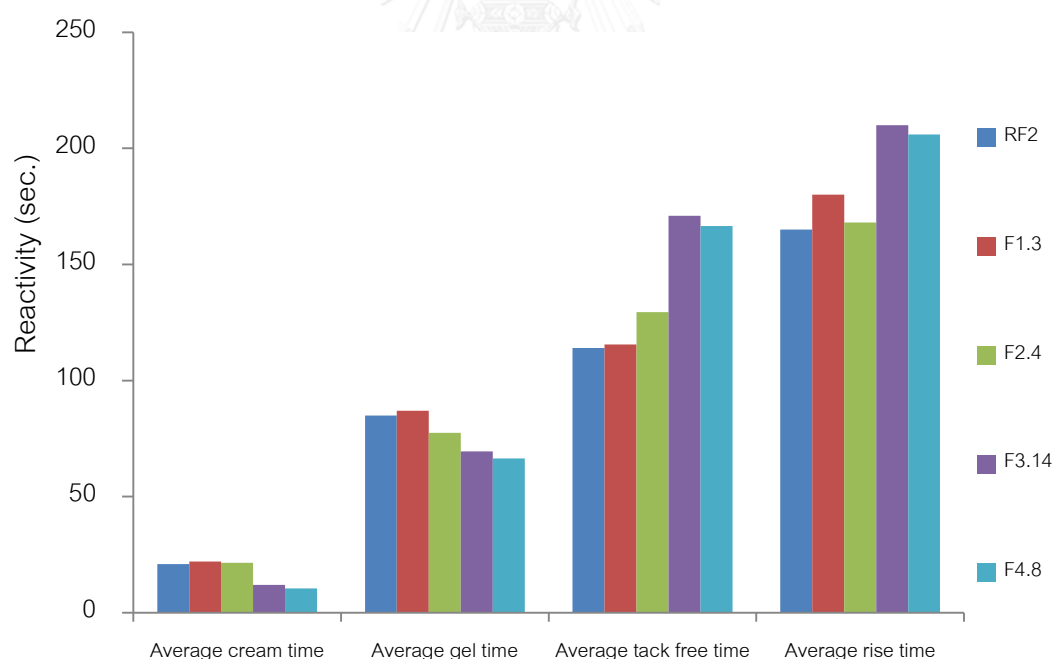
จากผลการทดลองการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟุ้งตัวอย่างอิสระ พบว่าสูตรที่มีผลการทดลองอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ cream time เท่ากับ 20-22 วินาที gel time เท่ากับ 75-90 วินาที tack free time เท่ากับ 100-120 วินาที และ rise time เท่ากับ 150-180 วินาที มีดังนี้

- สูตรที่ใช้สารฟลูออรีน HCFC-141b คือสูตร RF2 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ cream time เท่ากับ 21.0 วินาที gel time เท่ากับ 85.0 วินาที tack free time เท่ากับ 114.0 วินาที rise time เท่ากับ 165.0 วินาที และความหนาแน่น เท่ากับ 26.05 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- สูตรที่ใช้สารฟลูออรีน Cp คือสูตร F1.3 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ cream time เท่ากับ 22.0 วินาที gel time เท่ากับ 87.0 วินาที tack free time เท่ากับ 115.5 วินาที rise time เท่ากับ 180.0 วินาที และความหนาแน่น เท่ากับ 19.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- สูตรที่ใช้สารฟลูออรีน HFC-245fa คือสูตร F2.4 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ cream time เท่ากับ 12.0 วินาที gel time เท่ากับ 69.5 วินาที tack free time เท่ากับ 171.0 วินาที rise time เท่ากับ 210.0 วินาที และความหนาแน่น เท่ากับ 23.70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- สูตรที่ใช้สารฟลูออรีน HFC-365mfc คือสูตร F3.14 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ cream time เท่ากับ 19.0 วินาที gel time เท่ากับ 90.5 วินาที tack free time เท่ากับ 155.0 วินาที rise time เท่ากับ 180.0 วินาที และความหนาแน่น เท่ากับ 26.40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

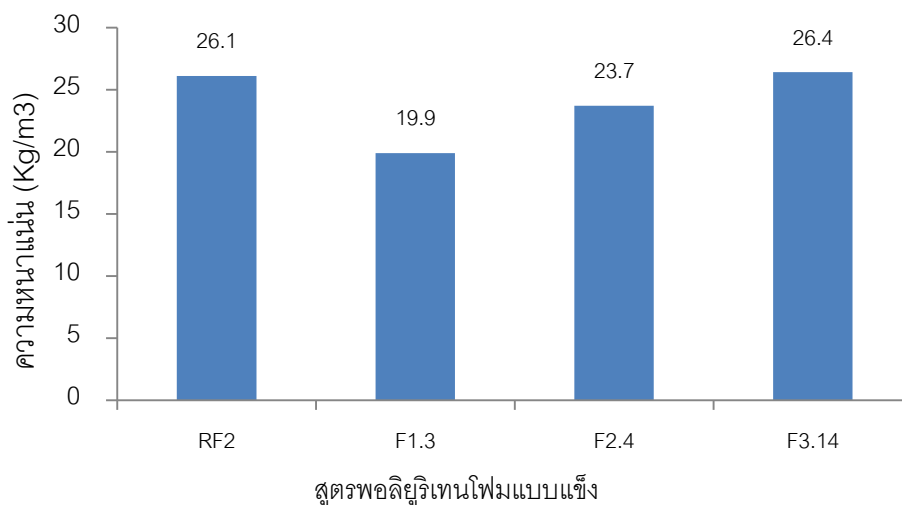
- สูตรที่ใช้สารฟลู MF+MeOH คือสูตร F4.8 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ cream time เท่ากับ 22.0 วินาที gel time เท่ากับ 103.5 วินาที tack free time เท่ากับ 128.0 วินาที rise time เท่ากับ 190.0 วินาที แต่ไม่สามารถหาความหนาแน่นได้เนื่องจากเมื่อทิ้งโฟมไว้ประมาณ 30 นาที โฟมจะหดตัวอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถหาความหนาแน่นได้

ตารางที่ 4. 9 ค่าการเกิดปฏิกิริยาของโฟมของสูตรที่จะนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์

ช่วงเวลา (วินาที)	RF2	F1.3	F2.4	F3.14	F4.8
cream time	21.0	22.0	21.5	12.0	10.5
gel time	85.0	87.0	77.5	69.5	66.5
tack free time	114.0	115.5	129.5	171.0	166.5
rise time	165.0	180.0	168.0	210.0	206.0
Free rise density (Kg/m ³)	26.1	19.9	23.7	26.4	-



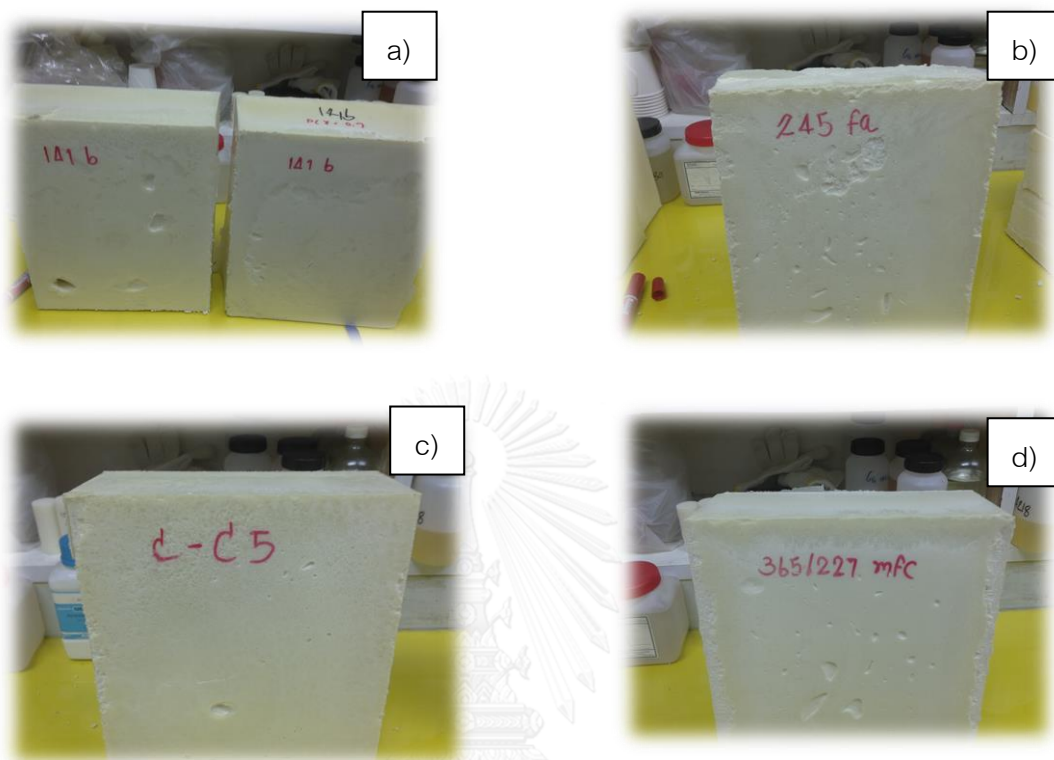
รูปที่ 4. 9 ค่าการเกิดปฏิกิริยาของโฟมของสูตรที่จะนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์



รูปที่ 4. 10 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ฟูตัวอย่างอิสระของสูตรที่จะนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์

4.2 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแม่พิมพ์

การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งจะเตรียมในแม่พิมพ์แบบปิดขนาด 30 x 30 x 11 เซนติเมตร โดยการผสมสารเคมีในแก้วกระดาษ จากนั้นจึงเทลงในแม่พิมพ์และให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในแม่พิมพ์ โดยจะควบคุมความหนาแน่นภายใน 37-45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 4.11) หลังจากขึ้นรูปโฟมเสร็จแล้วจะเก็บโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้โฟมเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น ภายในก้อนโฟม ความหนาแน่นต่อแรงกดอัด ค่าการนำความร้อน สัมฐานวิทยา การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน

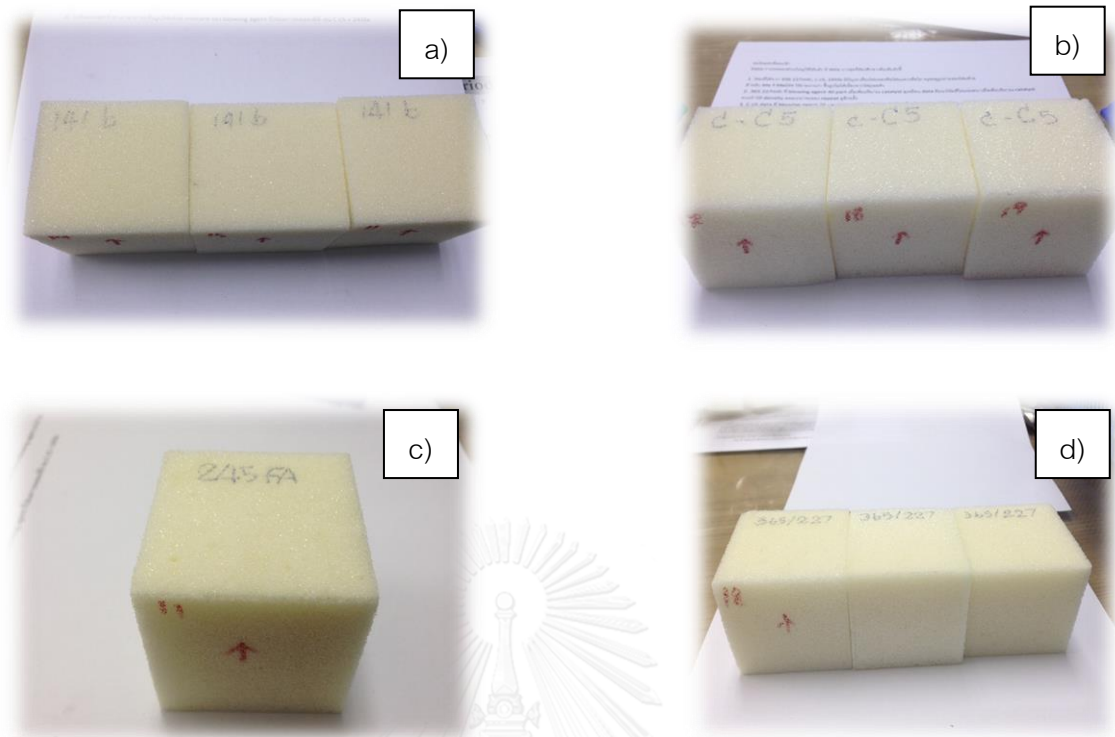


รูปที่ 4. 11 ก้อนพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

- a) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟู่ HCFC-141b
- b) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟู่ HFC-245fa
- c) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟู่ Cp
- d) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟู่ HFC-365mfc

4.2.1 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็ง (density)

การทดสอบความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์ (mold foam density) ใช้มาตรฐาน ASTM D 1622-08 ใช้เลื่อยตัดโฟมให้มีขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร (รูปที่ 4.12) ตัดโฟมแล้วนำไปวัดด้วยอุปกรณ์วัดขนาดชนิดละเอียด (Vernier caliper) คำนวณเพื่อหาปริมาตรที่แน่นอน (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.13) จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างโฟม เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่น

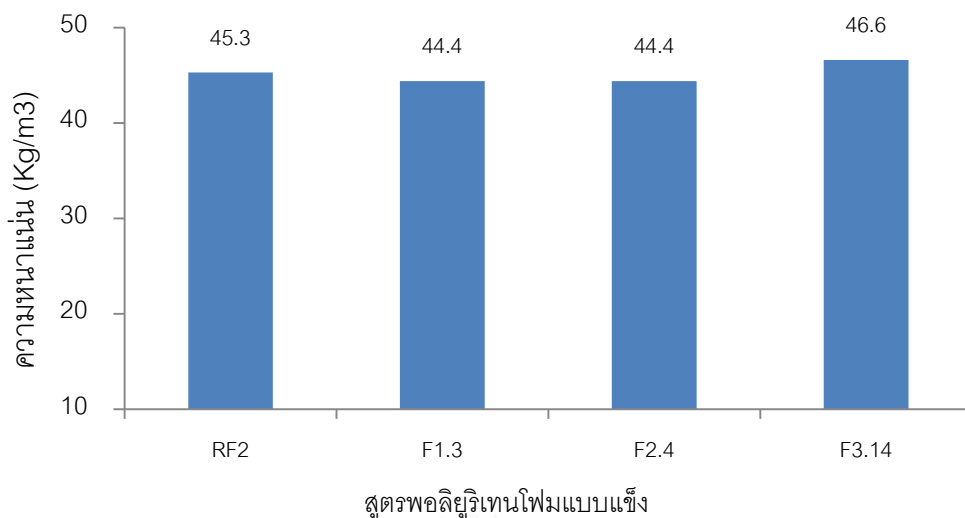


รูปที่ 4. 12 ก้อนพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ตัดเพื่อวัดค่าความหนาแน่นของโฟม

- a) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HCFC-141b
- b) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู Cp
- c) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HFC-245fa
- d) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HFC-365mfc

ตารางที่ 4. 10 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

	RF2	F1.3	F2.4	F3.14
density (Kg/m ³)	45.3	44.4	44.4	46.6



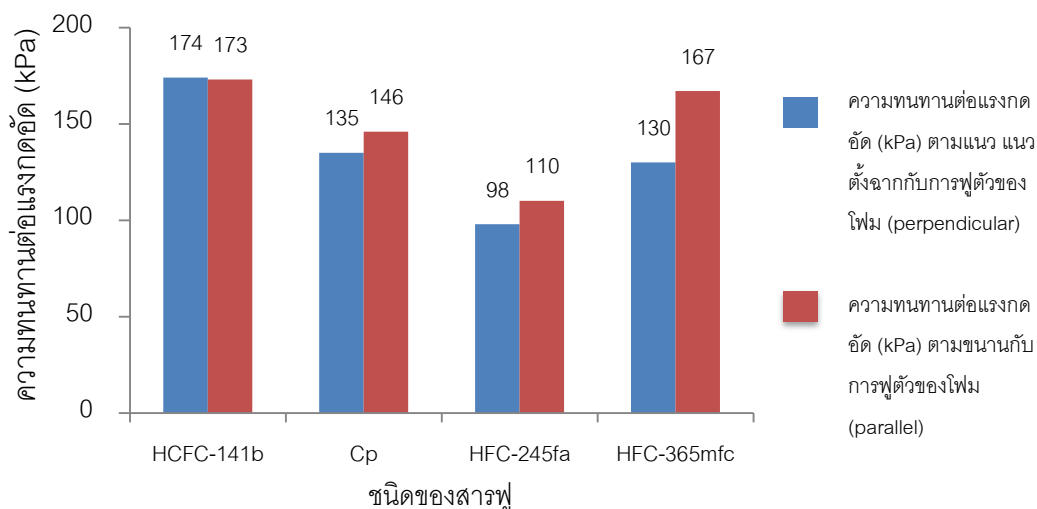
รูปที่ 4. 13 ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

4.2.2 ความทนทานต่อแรงกดอัด (compressive strength)

จากการทดสอบพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HCFC-141b ซึ่งเป็นสารฟลูมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงมีค่าความทนทานแรงกดอัดมากที่สุด สารฟลูที่นำมาศึกษาเพื่อทดแทนสารฟลู 2 มีค่าความทนทานแรงกดอัดมากไปหาน้อย เรียงตามลำดับดังนี้ สารฟลู Cp สารฟลู HFC-245fa และสารฟลู HFC-365mfc ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4. 11 ค่าความทนทานแรงกดอัดของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

ชนิดสารฟลู	ความทนทานต่อแรงกดอัด (kPa.)	
	ความทนทานต่อแรงกดอัดตามแนวขนานกับการฟุ้งตัวของโฟม (perpendicular)	ความทนทานต่อแรงกดอัดตามแนวตั้งฉากกับการฟุ้งตัวของโฟม (parallel)
HCFC-141b	174	173
Cp	135	146
HFC-245fa	98	110
HFC-365mfc	130	167



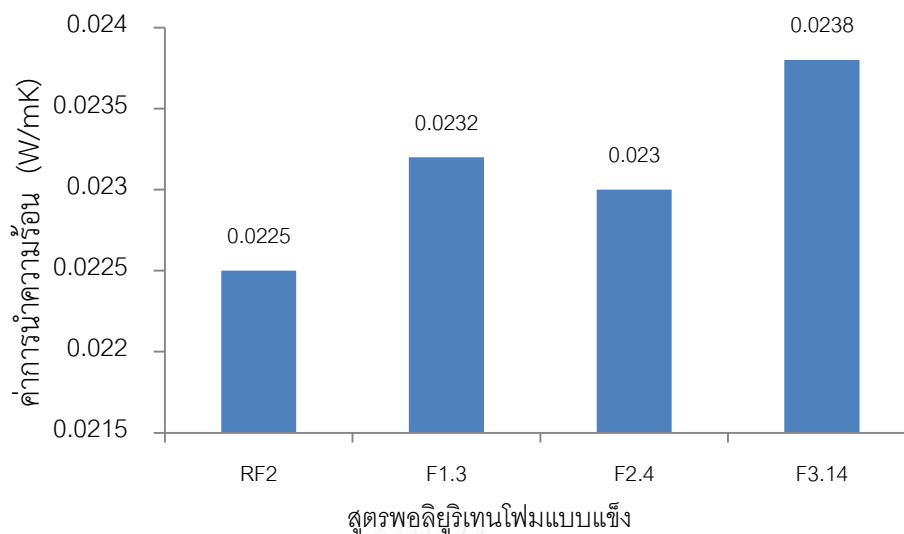
รูปที่ 4. 14 ค่าความทนทานแรงกดอัดของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

4.2.3 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน

การทดสอบหาค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งใช้มาตรฐาน ASTM C518-10 เป็นวิธีการวัดแบบ comparative method โดยการวัด heat flow ใช้เครื่อง Netzsch Heat flow meter (HFM) 436 ขนาดของโฟมตัวอย่างเท่ากับ 200 x 200 x 25 มิลลิเมตร จากการทดสอบพบว่าพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลูออรีน HCFC-141b ซึ่งเป็นสารฟลูออรีนมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง จะมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดเนื่องค่าการนำความร้อนของ HCFC-141b มีค่าต่ำที่สุด โดยสารฟลูออรีนที่นำมาศึกษาเพื่อทดแทนจะมีค่าการนำความร้อนจากน้อยไปมากเรียงตามลำดับดังนี้ HFC-245fa Cp และ HFC-365mfc ดังแสดงในตารางที่ 4.12และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4. 12 ค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

	RF2	F1.3	F2.4	F3.14
ค่าการนำความร้อน (W/m ²)	0.0225	0.0232	0.0230	0.0238

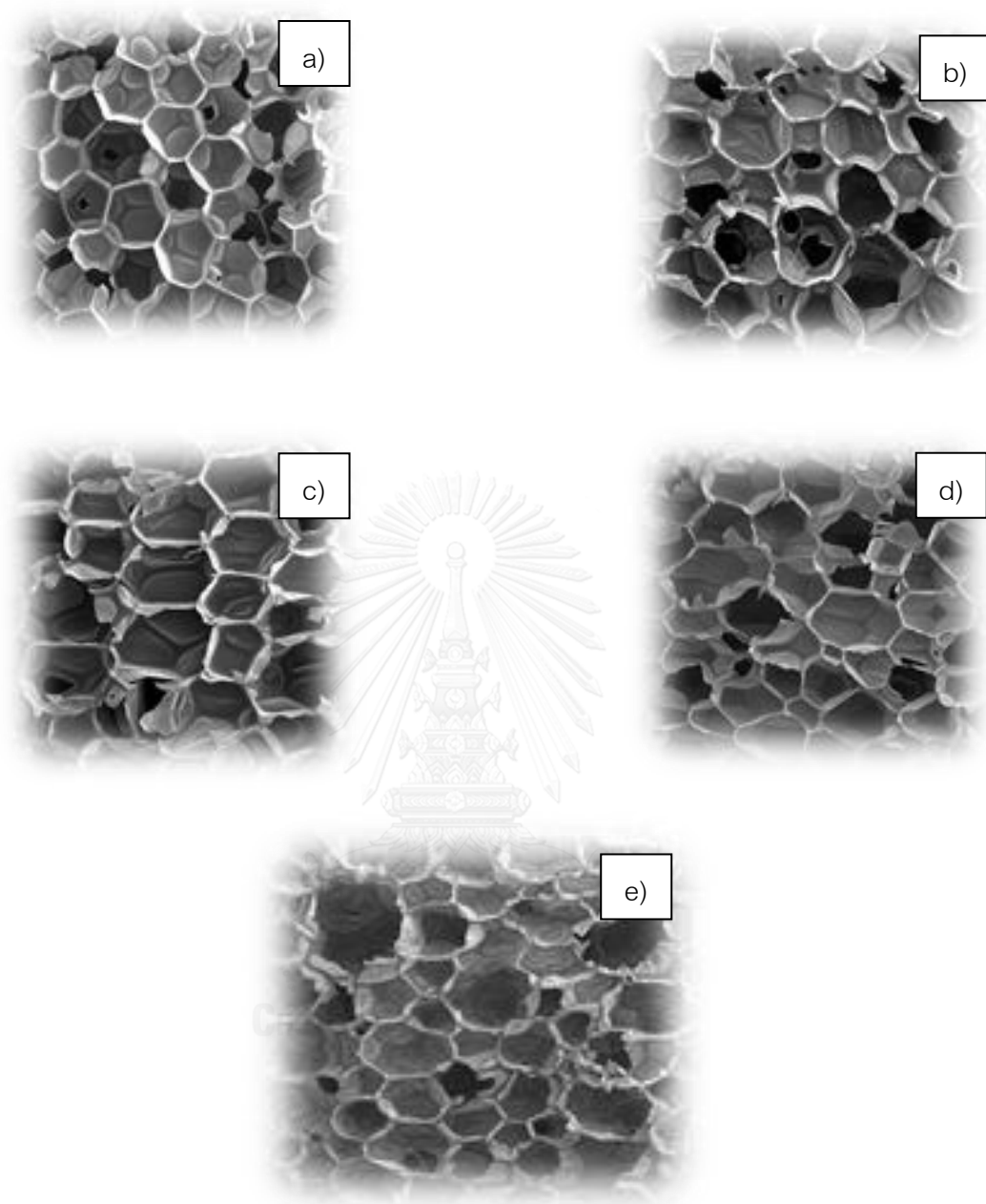


รูปที่ 4. 15 ค่าการนำความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

4.2.5 สัณฐานวิทยา (morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Philips XL-30 โดยตัดตัวอย่างและเคลือบตัวอย่างขึ้นงานโฟมด้วยทอง ศึกษาลักษณะโครงสร้างของเซลล์โฟม และขนาดของเซลล์โฟม การศึกษาขนาดของเซลล์โฟมใช้โปรแกรม Image-Pro Plus ของ Media Cybernetic, Inc.(รูปที่ 4.16)

จากรูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของโฟมที่ใช้ HCFC-141b เป็นสารพู่จะมีลักษณะของเซลล์โฟมที่สมมาตร เซลล์โฟมมีขนาดใกล้เคียงกันและมีขนาดเล็กทำให้โฟมมีความทนทานแรงกดอัดได้สูงกว่าโฟมที่ใช้สารพู่ชนิดอื่นๆ โดยโฟมที่ใช้ Cp เป็นสารพู่จะมีลักษณะเซลล์โฟมสมมาตรแต่เซลล์โฟมมีขนาดแตกต่างกันทำให้โฟมมีความทนทานแรงกดอัดได้สูงรองจากโฟมที่ใช้ HCFC-141b เป็นสารพู่ โฟมที่ใช้ HFC-245fa เป็นสารพู่จะมีลักษณะเซลล์โฟมสมมาตร เซลล์โฟมมีขนาดใกล้เคียงกันแต่มีขนาดใหญ่ทำให้โฟมมีความทนทานแรงกดอัดได้น้อย โฟมที่ใช้ HFC-365mfc เป็นสารพู่จะมีลักษณะเซลล์โฟมที่ไม่สมมาตร เซลล์โฟมมีขนาดใหญ่ และเล็กปนกันทำให้การรับแรงกดแต่ละแนวแรงไม่ใกล้เคียงกัน โฟมที่ใช้ MF+MeOH เป็นสารพู่จะมีลักษณะเซลล์โฟมที่ไม่สมมาตร เซลล์โฟมมีขนาดเล็ก แต่ผนังของเซลล์โฟมไม่แข็งแรงทำให้เซลล์โฟมแตกทำให้โฟมหด ไม่สามารถขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้



รูปที่ 4. 16 สัณฐานวิทยาของพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์

a) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HCFC-141b

b) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู Cp

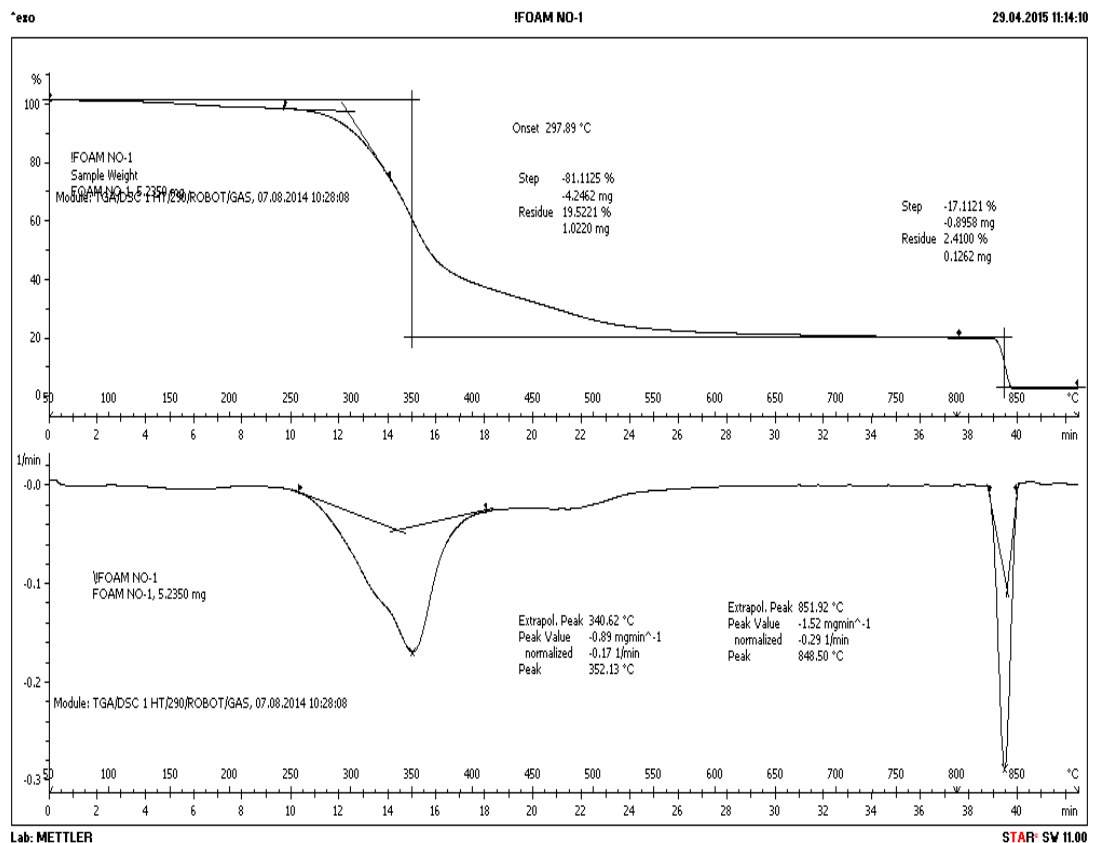
c) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HFC-245fa

d) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู HFC-365mfc

e) พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งที่ใช้สารฟลู MF+MeOH

4.2.6 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis)

การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนใช้เครื่อง TGA/DSC1 ของ Mettler-Toledo งานวิจัยนี้จะให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 750 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ต่อ นาที ภายใต้ระบบไนโตรเจน จากผลการทดลองพบว่าลักษณะของเทอร์โมแกรมของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรซิลิกอน มีลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4. 17 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

เมื่อปรับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและปรับปริมาณสารฟูเพื่อให้ค่าเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันและความหนาแน่นของโฟมใกล้เคียงกับเวลาและความหนาแน่นของโฟมที่ขึ้นรูปโดยใช้สารฟูชนิด HCFC 141b แล้ว พบว่าปริมาณของสารฟูที่ใช้มีความแตกต่างกัน คือ สารฟูชนิด HFC-245fa จะใช้ปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากสารฟูดังกล่าวมีจุดเดือดที่ต่ำ ทำให้ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าสารฟูอื่นๆ รองลงมาคือสารฟูชนิด Cp, สารฟู HCFC-141b และสารฟู HFC-365mfc ตามลำดับ เนื่องจากในการเกิดโฟมจะต้องใช้สารฟูช่วยในการเกิดโฟมดังนั้นเมื่อสารฟูมีความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอได้เร็วจะทำให้การใช้สารฟูในปริมาณที่น้อยลง และเนื่องจากสารฟูแต่ละชนิดมีจุดเดือดที่ต่างกัน ทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกันด้วย ดังนั้นเพื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดโฟมใช้เวลาใกล้เคียงกัน จึงต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยสารฟูที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุดคือ HFC-365mfc และ HCFC-141b รองลงมาคือ Cp และสารฟูที่ใช้มากที่สุดคือ HFC-245fa และเมื่อนำระบบที่ได้มาทดสอบขึ้นรูปในแม่พิมพ์และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลโดย ในการทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกดอัดพบว่าโฟมที่เตรียมจากสารฟู HCFC-141b มีค่าความทนทานต่อแรงกดอัดสูงสุดที่สุด เนื่องจากลักษณะของเซลล์โฟมที่มีลักษณะกลมและขนาดของเซลล์โฟมมีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้โฟมสามารถรับแรงกดอัดได้ดีทุกทิศทาง รองลงมาคือ Cp และ HFC-365mfc ที่มีลักษณะเซลล์โฟมที่กลมแต่มีขนาดของเซลล์โฟมแตกต่างกันทำให้รับแรงกดอัดได้น้อยกว่าโฟมที่ใช้สารฟู HCFC-141b ในการทดสอบหาค่าการนำความร้อนพบว่าโฟมที่ใช้สารฟู HCFC-141b มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด เนื่องจากสารฟู HCFC-141b มีค่าการนำความร้อนของก๊าซต่ำที่สุด รองลงมาคือ HFC-245fa, Cp และ HFC-365mfc ตามลำดับ มีที่ติกว่าโฟมที่เตรียมจากสารฟู HFC-245fa ซึ่งในทางอุตสาหกรรมถือว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ คือมีค่าเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชัน, ความหนาแน่นของโฟมและค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับโฟมที่ขึ้นรูปโดยใช้สารฟูชนิด HCFC 141b ยกเว้นสูตรที่ใช้สารฟูชนิดเมทิลฟอร์มเมต + เมทานอล ที่ไม่สามารถนำระบบมาทดสอบขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ เนื่องจากโฟมที่ได้มีสมบัติที่ไม่ดีคือโฟมหดตัวและไม่สามารถขึ้นรูปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป คือในการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งโดยการใช้สารฟูต่างชนิดกันควรมีการปรับเปลี่ยนระบบโดยคัดเลือกสารลดแรงตึงผิวและสารเติมแต่งต่างๆให้เหมาะสมกับชนิดของสารฟูเพื่อให้โฟมที่ได้มีสมบัติที่ดี



รายการอ้างอิง

1. Ashida, K., *Polyurethane and Related Foam: Chemistry and Technology*. 2007: Taylor & Francis Group. 65-96.
2. Woods, G., *The ICI polyurethanes book*. 1990, New York: John Wiley & Son Inc.
3. Kwon, O.-J., et al., *Characterization of polyurethane foam prepared by using starch as polyol*. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007. **103**(3): p. 1544-1553.
4. Verbiest, P., M. Bogdan, and D. Williams, *HFC-245fa Spray Polyurethane Foam Systems Co-Blown with Water: A Quality, Cost Effective, Safe Substitute for HCFC-141b*. *Journal of Cellular Plastics*, 2001. **37**(1): p. 58-71.
5. Eilbracht, C., *Tailored Surfactant Solutions to Optimize Foam Performance in HFC-245fa-blown Appliance Systems*. *Journal of Cellular Plastics*, 2005. **41**(4): p. 323-337.
6. Kim, S.H., H. Lim, and J.C. Song, *Effect of Blowing Agent type in Rigid Polyurethane Foam*. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 2008. **45**: p. 323-327.
7. Seifert, H., A. Biedermann, and C. Giesker, *Can HFC245fa or Cyclopentane Blown Foams Match the Performance of HFC-Foams?* *Journal of Cellular Plastics*, 2003. **39**(5): p. 417-426.
8. Zipfel, L., et al., *HFC-365mfc - A Versatile Blowing Agent for Rigid Polyurethane Foams.pdf*. *Journal of Cellular Plastics*, 1999. **35**: p. 238-244.
9. Doerge, H.P., *New Developments in HFC-245fa Appliance Foam.pdf*. *Journal of Cellular Plastics*, 1999. **35**: p. 118-129.
10. Dournel, P., L. Zipfel, and P. BarthéLemy, *Optimization of Formulations Based on HFC-365mfc and Blends Thereof.pdf*. *Journal of Cellular Plastics*, 2000. **36**: p. 267-285.

11. Zipfel, L. and P. Dournel, *HFC-365mfc Blends: Status and Development as Blowing Agent for High Performance Insulation Foams*. Journal of Cellular Plastics, 2002. **38**(1): p. 51-68.
12. White, W.R., et al., *Three component polyol blend for use in insulating rigid polyurethane foams.pdf*. 1997.
13. Zipfel, L., P. Barthlemy, and P. Dournel, *The Next Generation Blowing Agents - From One Single Product to a Product Range.pdf*. Journal of Cellular Plastics, 1999. **35**: p. 345-364.
14. Lim, H., E.Y. Kim, and B.K. Kim, *Polyurethane Foams Blown with Various type of Environmentally Friendly Blowing Agents.pdf*. Plastic, Rubber and Composite, 2010. **39**: p. 364-369.
15. McAdams, C.A. and S. Farmer, *Stabilization of Rigid Systems Containing Aromatic Polyester Polyol and Water*. Journal of Cellular Plastics, 2003. **39**(5): p. 369-386.
16. Stirna, U., et al., *Mechanical properties of rigid polyurethane foams at room and cryogenic temperatures*. Journal of Cellular Plastics, 2011. **47**(4): p. 337-355.
17. Heinemann, T., et al., *Experimental Determination of the Vapor Phase Thermal Conductivity of Blowing Agents for Polyurethane Rigid Foam.pdf*. Journal of Cellular Plastics, 2000. **36**: p. 45-56.
18. Hawkins, M.C., *Cell Morphology and Mechanical Properties of Rigid Polyurethane Foam*. Journal of Cellular Plastics, 2005. **41**(3): p. 267-285.
19. Trovati, G., et al., *Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD*. Journal of Applied Polymer Science, 2010. **115**(1): p. 263-268.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษ

ตารางที่ ก.1 สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู HCFC-141b

FOAM SYSTEM REACTIVITY TEST										
For <input checked="" type="checkbox"/> Foam system <input type="checkbox"/> Flexib <input type="checkbox"/> Adhesive				DATE : 10 / _01_ / _13_						
OBJECTIVE OF TEST :										
FORMULATION										
NO.	MATERIALS (Polyol resin)	F1	Qt.							
1	4550	12.96	58.32							
2	4218	43.26	194.67							
3	8360	35.52	159.84							
4	4110	2.96	13.32							
Total Polyol resin		94.70	426.15							
NO.	MATERIALS (Additive)									
5	Tegostab B8462	1.4	6.30							
6	DPG	0.6	2.70							
7	AMS	0.2	0.90							
8	H2O	0	0.00							
Total Additive		2.20	9.90							
Total		96.9	436.05							
CONDITION FOR TEST										
FREE RISE DENSITY checked :				<input checked="" type="checkbox"/> Cutting cylinder	<input type="checkbox"/> Paper cup	<input type="checkbox"/> Volume displacement method				
TESTED AT				<input checked="" type="checkbox"/> R/D Lab.	<input type="checkbox"/> Q/C Lab.	<input type="checkbox"/> T/S Lab.				
METHOD				<input checked="" type="checkbox"/> HALF METHOD.	<input type="checkbox"/> OTHER _____					
HOOD CONDITION				<input checked="" type="checkbox"/> Switch on	<input type="checkbox"/> Switch off					
ISOCYANATE Type / Source, Lot No. ____GE013776				<input checked="" type="checkbox"/> Crude MDI	<input type="checkbox"/> HT16	<input type="checkbox"/> Other _____				
REACTIVITY DATA										
S NO.	DESCRIPTION	Unit	Blowing agent HCFC 141b							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	100 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	30							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	28	29	21	21	16	16	15	14
8	GEL TIME	sec.	123	125	85	85	68	66	59	58
9	TACK FREE TIME	sec.	180	187	113	115	105	103	97	89
10	RISE TIME	sec.	290	285	160	170	150	150	130	130
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	26.39	26.05	25.79	25.16				
Average cream time			28.5	21.0	16.0	14.5				
Average gel time			124.0	85.0	67.0	58.5				
Average tack free time			183.5	114.0	104.0	93.0				
Average rise time			287.5	165.0	150.0	130.0				

ตารางที่ ก.2 สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู Cp

FOAM SYSTEM REACTIVITY TEST										
For <input checked="" type="checkbox"/> Foam system <input type="checkbox"/> Flexible <input type="checkbox"/> Adhesive						DATE : 10 / _01_ / __13__				
OBJECTIVE OF TEST :										
FORMULATION										
NO.	MATERIALS (Polyol resin)	F1	Qt.							
1	4550	12.96	58.32							
2	4218	43.26	194.67							
3	8360	35.52	159.84							
4	4110	2.96	13.32							
Total Polyol resin		94.70	426.15							
NO.	MATERIALS (Additive)									
5	Tegostab B8462	1.4	6.30							
6	DPG	0.6	2.70							
7	AMS	0.2	0.90							
8	H2O	0	0.00							
Total Additive		2.20	9.90							
Total		96.9	436.05							
CONDITION FOR TEST										
FREE RISE DENSITY checked :				<input checked="" type="checkbox"/> Cutting cylinder	<input type="checkbox"/> Paper cup	<input type="checkbox"/> Volume displacement method				
TESTED AT				<input checked="" type="checkbox"/> R/D Lab.	<input type="checkbox"/> Q/C Lab.	<input type="checkbox"/> T/S Lab.				
METHOD				<input checked="" type="checkbox"/> HALF METHOD.	<input type="checkbox"/> OTHER _____					
HOOD CONDITION				<input checked="" type="checkbox"/> Switch on	<input type="checkbox"/> Switch off					
ISOCYANATE Type / Source, Lot No. _____ GE013776				<input checked="" type="checkbox"/> Crude MDI	<input type="checkbox"/> HT16	<input type="checkbox"/> Other _____				
REACTIVITY DATA										
S NO.	DESCRIPTION	Unit	Blowing agent cyclo pentane							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	100 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	30							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	44	43	30	31	21	23	22	21
8	GEL TIME	sec.	157	152	120	121	82	82	79	76
9	TACK FREE TIME	sec.	290	295	178	182	145	150	134	125
10	RISE TIME	sec.	330	310	240	230	200	200	170	166
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	18.97	19.69	19.24	19.41				
Average cream time		43.5	30.5	22	21.5					
Average gel time		154.5	120.5	82	77.5					
Average tack free time		292.5	180	147.5	129.5					
Average rise time		320	235	200	168					

S NO.	DESCRIPTION	Unit	Blowing agent cyclo pentane							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	101 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blowing agent content (part)	part	25							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	39	41	30	30	22	22	20	20
8	GEL TIME	sec.	165	163	115	110	86	88	73	72
9	TACK FREE TIME	sec.	240	237	160	158	115	116	110	109
10	RISE TIME	sec.	340	330	240	230	180	180	170	170
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	20.82	20.03	19.88	19.04				
Average cream time			40	30	22	20				
Average gel time			164	112.5	87	72.5				
Average tack free time			238.5	159	115.5	109.5				
Average rise time			335	235	180	170				

ตารางที่ ก.3 สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟลู HFC-245fa

FOAM SYSTEM REACTIVITY TEST										
For <input checked="" type="checkbox"/> Foam system <input type="checkbox"/> Flexible <input type="checkbox"/> Adhesive						DATE : 10 / 01 / 13				
OBJECTIVE OF TEST :										
FORMULATION										
NO.	MATERIALS (Polyol resin)	F1	Qt.							
1	4550	12.96	58.32							
2	4218	43.26	194.67							
3	8360	35.52	159.84							
4	4110	2.96	13.32							
Total Polyol resin		94.70	426.15							
NO.	MATERIALS (Additive)									
5	Tegostab B8462	1.4	6.30							
6	DPG	0.6	2.70							
7	AMS	0.2	0.90							
8	H2O	0	0.00							
Total Additive		2.20	9.90							
Total		96.9	436.05							
CONDITION FOR TEST										
FREE RISE DENSITY checked :				<input checked="" type="checkbox"/> Cutting cylinder	<input type="checkbox"/> Paper cup	<input type="checkbox"/> Volume displacement method				
TESTED AT				<input checked="" type="checkbox"/> R/D Lab.	<input type="checkbox"/> Q/C Lab.	<input type="checkbox"/> T/S Lab.				
METHOD				<input checked="" type="checkbox"/> HALF METHOD.	OTHER _____					
HOOD CONDITION				<input checked="" type="checkbox"/> Switch on	<input type="checkbox"/> Switch off					
ISOCYANATE Type / Source, Lot No. _____ GE013776				<input checked="" type="checkbox"/> Crude MDI	<input type="checkbox"/> HT16	Other _____				
REACTIVITY DATA										
S NO.	DESCRIPTION	Unit	245 fa							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	10							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	100 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	30							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	62	61	37	40	25	30	23	24
8	GEL TIME	sec.	280	272	180	185	115	114	97	100
9	TACK FREE TIME	sec.	360	360	250	260	198	210	162	170
10	RISE TIME	sec.	420	440	310	315	230	252	200	220
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	30.99		31.12		29.13		27.39	
Average cream time			61.5	38.5	27.5	23.5				
Average gel time			276	182.5	114.5	98.5				
Average tack free time			360	255	204	166				
Average rise time			430	312.5	241	210				

S NO.	DESCRIPTION	Unit	245 fa							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	10							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	101 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blowing agent content (part)	part	40							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	60	55	35	38	24	23	20	20
8	GEL TIME	sec.	293	293	185	188	145	150	108	110
9	TACK FREE TIME	sec.	462	460	275	250	195	200	158	155
10	RISE TIME	sec.	500	500	330	333	240	250	202	210
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	26.58	25.24	25.08	24.97				
Average cream time			57.5	36.5	23.5	20				
Average gel time			293	186.5	147.5	109				
Average tack free time			461	262.5	197.5	156.5				
Average rise time			500	331.5	245	206				

ตารางที่ ก.4 สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟลู HFC-365mfc

FOAM SYSTEM REACTIVITY TEST										
For <input checked="" type="checkbox"/> Foam system <input type="checkbox"/> Flexib <input type="checkbox"/> Adhesive				DATE : 10 / _01_ / _13_						
OBJECTIVE OF TEST :										
FORMULATION										
NO.	MATERIALS (Polyol resin)	F1	Qt.							
1	4550	12.96	58.32							
2	4218	43.26	194.67							
3	8360	35.52	159.84							
4	4110	2.96	13.32							
Total Polyol resin		94.70	426.15							
NO.	MATERIALS (Additive)									
5	Tegostab B8462	1.4	6.30							
6	DPG	0.6	2.70							
7	AMS	0.2	0.90							
8	H2O	0	0.00							
Total Additive		2.20	9.90							
Total		96.9	436.05							
CONDITION FOR TEST										
FREE RISE DENSITY checked :				<input checked="" type="checkbox"/> Cutting cylinder	<input type="checkbox"/> Paper cup	<input type="checkbox"/> Volume displacement method				
TESTED AT				<input checked="" type="checkbox"/> R/D Lab.	<input type="checkbox"/> Q/C Lab.	<input type="checkbox"/> T/S Lab.				
METHOD				<input checked="" type="checkbox"/> HALF METHOD.	<input type="checkbox"/> OTHER _____					
HOOD CONDITION				<input checked="" type="checkbox"/> Switch on	<input type="checkbox"/> Switch off					
ISOCYANATE Type / Source, Lot No. _____ GE013776				<input checked="" type="checkbox"/> Crude MDI	<input type="checkbox"/> HT16	<input type="checkbox"/> Other _____				
REACTIVITY DATA										
S NO.	DESCRIPTION	Unit	365/227 mfc							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	100 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blowing agent content (part)	part	25							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	25	24	18	18	14	13	12	12
8	GEL TIME	sec.	115	113	82	84	62	62	58	57
9	TACK FREE TIME	sec.	180	182	128	132	103	100	90	87
10	RISE TIME	sec.	270	265	200	200	160	150	142	140
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	31.88	30.93	30.92	29.42				
Average cream time		24.5	18	13.5	12					
Average gel time		114	83	62	57.5					
Average tack free time		181	130	101.5	88.5					
Average rise time		267.5	200	155	141					

S NO.	DESCRIPTION	Unit	365/227 mfc							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	101 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	30							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	21	20	16	15	15	15	10	11
8	GEL TIME	sec.	117	115	77	75	65	65	60	61
9	TACK FREE TIME	sec.	209	210	140	139	102	105	100	96
10	RISE TIME	sec.	260	260	180	180	155	155	150	150
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	29.17	28.22		29.89		27.28		
S NO.	DESCRIPTION	Unit	365/227 mfc							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	102 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	40							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	26	23	18	17	15	14	12	12
8	GEL TIME	sec.	148	139	82	86	75	72	65	62
9	TACK FREE TIME	sec.	238	230	156	162	117	120	96	103
10	RISE TIME	sec.	295	300	180	190	160	155	145	150
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	27.69	28.13		30.26		28.67		
S NO.	DESCRIPTION	Unit	365/227 mfc							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	103 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	45							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	25	24	18	20	15	15	13	14
8	GEL TIME	sec.	128	130	91	90	68	68	63	65
9	TACK FREE TIME	sec.	290	295	159	151	146	145	130	133
10	RISE TIME	sec.	310	310	180	180	160	170	155	160
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	26.67	26.4		26.12		25.8		

Average cream time	20.5	15.5	15	10.5
Average gel time	116	76	65	60.5
Average tack free time	209.5	139.5	103.5	98
Average rise time	260	180	155	150
Average cream time	24.5	17.5	14.5	12
Average gel time	143.5	84	73.5	63.5
Average tack free time	234	159	118.5	99.5
Average rise time	297.5	185	157.5	147.5
Average cream time	24.5	19	15	13.5
Average gel time	129	90.5	68	64
Average tack free time	292.5	155	145.5	131.5
Average rise time	310	180	165	157.5

ตารางที่ ก.5 สูตรและผลการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งในแก้วกระดาษโดยใช้สารฟู

MF+MeOH

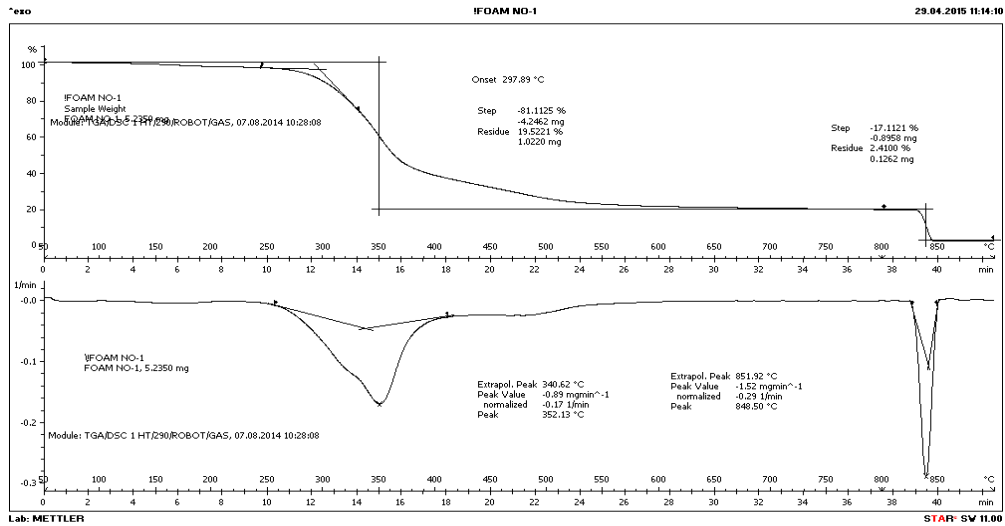
FOAM SYSTEM REACTIVITY TEST										
For <input checked="" type="checkbox"/> Foam system <input type="checkbox"/> Flexible <input type="checkbox"/> Adhesive						DATE : 10 / _01_ / _13_				
OBJECTIVE OF TEST :										
FORMULATION										
NO.	MATERIALS (Polyol resin)	F1	Qt.							
1	4550	12.96	58.32							
2	4218	43.26	194.67							
3	8360	35.52	159.84							
4	4110	2.96	13.32							
Total Polyol resin		94.70	426.15							
NO.	MATERIALS (Additive)									
5	Tegostab B8462	1.4	6.30							
6	DPG	0.6	2.70							
7	AMS	0.2	0.90							
8	H2O	0	0.00							
Total Additive		2.20	9.90							
Total		96.9	436.05							
CONDITION FOR TEST										
FREE RISE DENSITY checked :				<input checked="" type="checkbox"/> Cutting cylinder	Paper cup	Volume displacement method				
TESTED AT				<input checked="" type="checkbox"/> R/D Lab.	Q/C Lab.	T/S Lab.				
METHOD				<input checked="" type="checkbox"/> HALF METHOD.	OTHER _____					
HOOD CONDITION				<input checked="" type="checkbox"/> Switch on	Switch off					
ISOCYANATE Type / Source, Lot No. _____ GE013776				<input checked="" type="checkbox"/> Crude MDI	HT16	Other _____				
REACTIVITY DATA										
S NO.	DESCRIPTION	Unit	methyl formate + methyl alcohol (9:1)							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp.A / Comp. B	gm.	100 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blow ing agent content (part)	part	30							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	45	46	35	33	25	25	22	23
8	GEL TIME	sec.	200	198	146	143	115	117	102	105
9	TACK FREE TIME	sec.	270	275	203	200	145	150	130	126
10	RISE TIME	sec.	360	360	260	250	210	210	190	190
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	n/a		n/a		n/a		n/a	
Average cream time		45.5	34		25		22.5			
Average gel time		199	144.5		116		103.5			
Average tack free time		272.5	201.5		147.5		128			
Average rise time		360	255		210		190			

S NO.	DESCRIPTION	Unit	methyl formate + methyl alcohol (9:1)							
1	WATER CONTENT	%	2.3							
2	CHEMICAL TEMPERATURE	°C	29							
3	MIX RATIO BY WEIGHT Comp. A / Comp. B	gm.	101 : 155							
4	Catalyst DMCHA content (%)	%	0.5	0.7	0.9	1.0				
5	Blowing agent content (part)	part	25							
6	AGITATION TIME	sec.	7							
7	CREAM TIME	sec.	47	45	36	34	26	27	27	26
8	GEL TIME	sec.	205	201	155	152	123	125	118	120
9	TACK FREE TIME	sec.	305	300	225	223	185	182	156	164
10	RISE TIME	sec.	360	360	260	260	240	240	220	230
11	FREE RISE DENSITY	kg/m ³	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

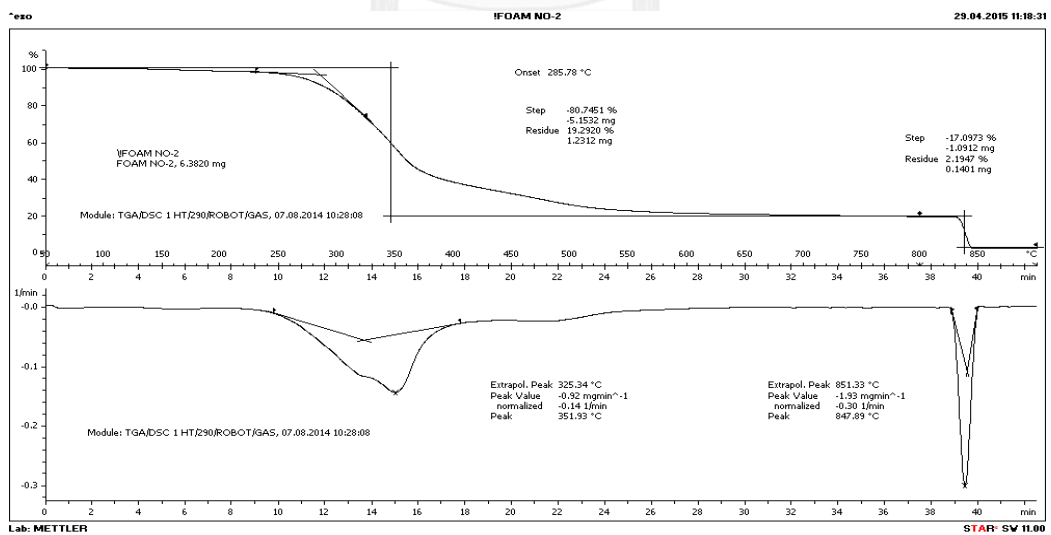
Average cream time	46	35	26.5	26.5
Average gel time	203	153.5	124	119
Average tack free time	302.5	224	183.5	160
Average rise time	360	260	240	225

ภาคผนวก ข.

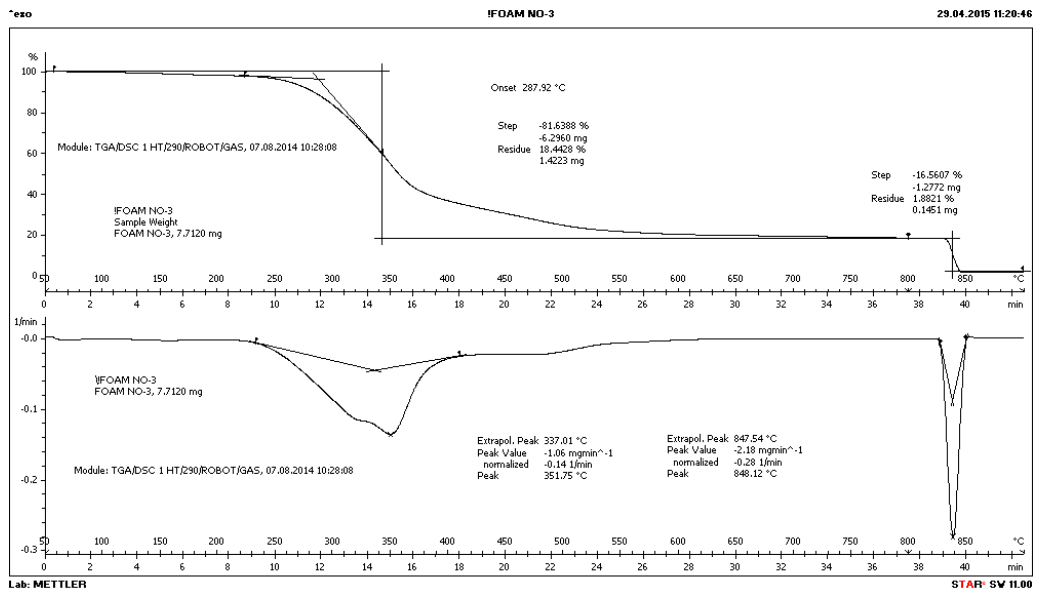
ผลการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis)



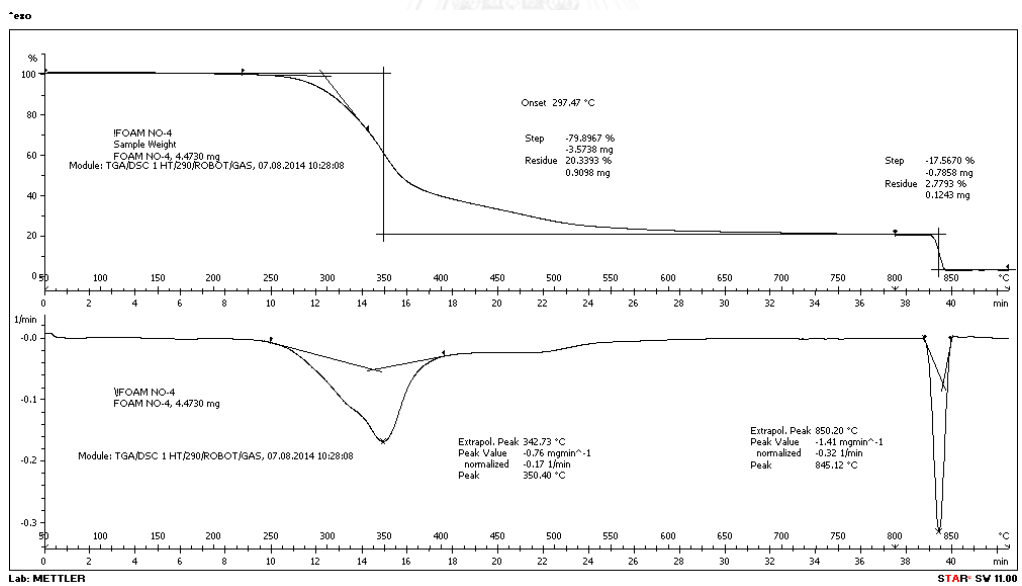
รูปที่ ข.1 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TG/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน HCFC-141b



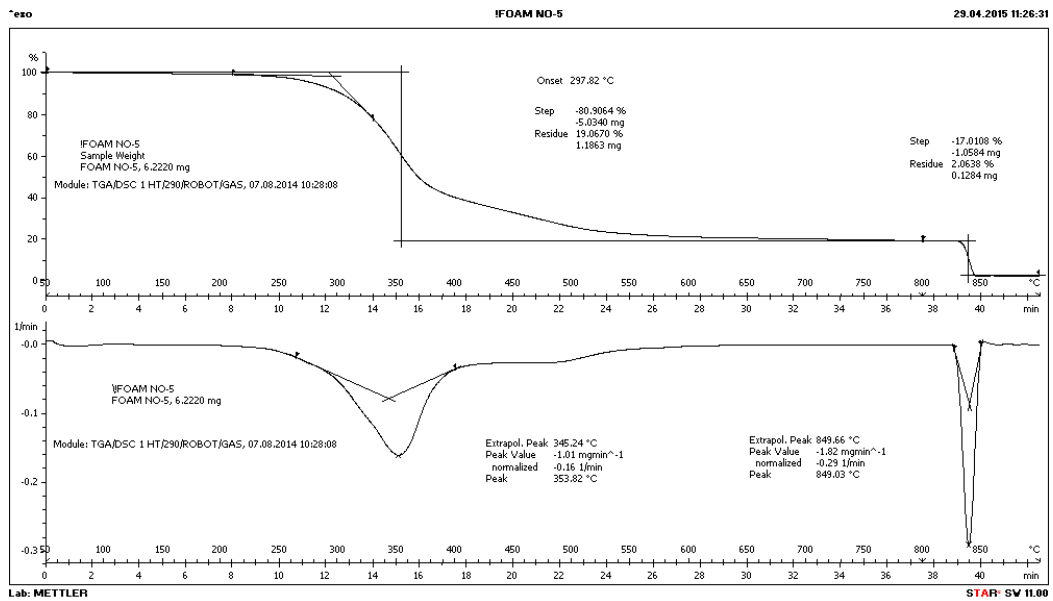
รูปที่ ข.2 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TG/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลูออโรคาร์บอน CFC-11



รูปที่ ข.3 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลู HFC-245fa



รูปที่ ข.4 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลู HFC-365mfc



รูปที่ ข.5 การวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA/DSC ของโฟมที่ใช้สารฟลู

MF+MeOH



ภาคผนวก ค.

การทดสอบการหาค่าการนำความร้อน

Dear sir :

The Institute for Scientific and Technology Research and Services, King Mongkut's University of Technology Thonburi has finished testing the physical properties of the specimens, "2013 - 10 - 02 No.1" three pieces of samples. The standard methods used are the ASTM C 177 - 97. Results are as the following:-

Items	Specimens	Thermal Conductivity (W/m.K)	Weight of Specimens (Kg)	Density (Kg/m ³)
1.	2013 - 10 - 02 No.1-1	0.0228	0.0454	45.42
2.	2013 - 10 - 02 No.1-2	0.0224	0.0452	45.22
3.	2013 - 10 - 02 No.1-3	0.0225	0.0452	45.27

Test at conditions ;

- Temperature of Cold Plate °C = 10.0
- Temperature of Hot Plate °C = 37.7
- Ambient Temperature °C = 28.5

รูปที่ ค.1 การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลู HCFC-141b



Dear sir :

The Institute for Scientific and Technology Research and Services, King Mongkut's University of Technology Thonburi has finished testing the physical properties of the specimens, "2013 - 10 - 02 No.3" three pieces of samples. The standard methods used are the ASTM C 177 - 97. Results are as the following:-

Items	Specimens	Thermal Conductivity (W/m.K)	Weight of Specimens (Kg)	Density (Kg/m ³)
1.	2013 - 10 - 02 No.3-1	0.0230	0.0444	44.42
2.	2013 - 10 - 02 No.3-2	0.0236	0.0443	44.35
3.	2013 - 10 - 02 No.3-3	0.0225	0.0444	44.39

Test at conditions ;

- Temperature of Cold Plate °C = 10.0
- Temperature of Hot Plate °C = 37.7
- Ambient Temperature °C = 28.5

รูปที่ ค.2 การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลู Cp

Dear sir :

The Institute for Scientific and Technology Research and Services, King Mongkut's University of Technology Thonburi has finished testing the physical properties of the specimens, "2013 - 10 - 02 No.2" three pieces of samples. The standard methods used are the ASTM C 177 - 97. Results are as the following:-

Items	Specimens	Thermal Conductivity (W/m.K)	Weight of Specimens (Kg)	Density (Kg/m ³)
1.	2013 - 10 - 02 No.2-1	0.0235	0.0444	44.48
2.	2013 - 10 - 02 No.2-2	0.0228	0.0444	44.39
3.	2013 - 10 - 02 No.2-3	0.0229	0.0444	44.45

Test at conditions :

- Temperature of Cold Plate °C = 10.0
- Temperature of Hot Plate °C = 37.7
- Ambient Temperature °C = 28.5

รูปที่ ค.3 การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลู HFC-245fa

Dear sir :

The Institute for Scientific and Technology Research and Services, King Mongkut's University of Technology Thonburi has finished testing the physical properties of the specimens, "2013 - 10 - 02 No.4," three pieces of samples. The standard methods used are the ASTM C 177 - 97. Results are as the following:-

Items	Specimens	Thermal Conductivity (W/m.K)	Weight of Specimens (Kg)	Density (Kg/m ³)
1.	2013 - 10 - 02 No.4-1	0.0240	0.0460	45.98
2.	2013 - 10 - 02 No.4-2	0.0235	0.0467	46.70
3.	2013 - 10 - 02 No.4-3	0.0230	0.0470	46.03

Test at conditions :

- Temperature of Cold Plate °C = 10.0
- Temperature of Hot Plate °C = 37.7
- Ambient Temperature °C = 28.5

รูปที่ ค.4 การทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของโฟมที่ใช้สารฟลู HFC-365mfc

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล : นายสถาพร โมคทิพย์

วันเกิด : 22 กรกฎาคม 2524

การศึกษาและการทำงาน

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเดชอุดม ในปีการศึกษา
2541

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุฒวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

เข้าศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์
พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา
2554

เข้านำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ในการประชุมวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 5
(The 5th Science Research Conference, SRC 5th) ระหว่างวันที่ 4-5 มีนาคม 2556 ณ
มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

ปัจจุบันปฏิบัติงานในบริษัทไออาร์พีซี จำกัด มหาชน ตำแหน่ง นักวิจัย