

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของสารตัวเติมในโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



T107761



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 107761

วัน, เดือน, ปี 1. 0. พ.ศ. 2553

b. 1221078x

i.

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005



Miss Chidchanok Janghiran
Miss Suranya Sithisiriporn

Effects of Fillers for Biodegradable Rigid Polyurethane Foam
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาผลของสารตัวเติมในโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่
 สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
นักศึกษา นางสาวชิตชนก แฉ่งหิรัญ รหัสนักศึกษา 45050090
 นางสาวสุรัญญา สิทธิศิริพร รหัสนักศึกษา 45050164
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์	
กรรมการ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
กรรมการ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลของสารตัวเติมในโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่สามารถย่อยสลาย
ได้ทางชีวภาพ

นักศึกษา	1. นางสาวชิตชนก แจ่มหิรัญ	รหัสนักศึกษา	45050090
	2. นางสาวสุรัญญา สิริศิริพร	รหัสนักศึกษา	45050090
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2548		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในระหว่างการขนส่งจากโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ราคาต่ำและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยใช้สารเติมแต่งที่มีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ แป้งมันสำปะหลัง และแคลเซียมคาร์บอเนต ทำการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เพื่อทำการเปรียบเทียบความหนาแน่น สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา และการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งสำปะหลังเป็นสารตัวเติมจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าและสมบัติเชิงกลด้อยกว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม แต่จะพบว่ามีขนาดของเซลล์ใหญ่กว่าและเกิดการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของเชื้อรา *Aspergillus* sp. ซึ่งเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคสเมื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส พบว่ามีปริมาณน้ำตาลเกิดขึ้นซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าเกิดการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารตัวเติมที่มากขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นน้อยลงและทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลงด้วย

Special Project Title Effects of Fillers for Biodegradable Rigid Polyurethane Foam
Name Miss Chidchanok Janghiran
Miss Suranya Sitthisiriporn
Program Chemistry
Academic Year 2005
Special Project Advisor Assoc.Prof.Dr.Somsak Woramongkolchai

Abstract

This research was aimed to synthesis of packaging for impact materials during transportation. It was made of rigid polyurethane foam which was low cost and high capability to degradation. The cassava starch and calcium carbonate were used as low cost additives. There were added to the amount of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 percents by weight into the rigid polyurethane foam. The comparison of density, mechanical properties, morphology and biological degradation on investigated.

It was found that the rigid polyurethane with cassava starch as a filler had lower density and mechanical properties than the rigid polyurethane with calcium carbonate as a filler. However, the cell size of rigid polyurethane foam with cassava starch was bigger. It was easier to degradation with enzyme of *Aspergillus* sp. Which has ability to change starch to glucose. The absorbance of light for calculation of glucose standardization curve was also improved. In addition, the amount of increment fillers was trend to higher density but mechanical properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการพิเศษนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้โดยหากมิได้รับความช่วยเหลือและ
คำแนะนำจากท่านทั้งหลายดังนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาใน
โครงการพิเศษนี้ให้รวมทั้งให้คำแนะนำ คำอธิบายตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆเกี่ยวกับเนื้อหา
ของหัวข้อโครงการพิเศษตลอดจนทุกๆเรื่องจนทำให้การทำหัวข้อโครงการพิเศษของข้าพเจ้าสำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผศ. วิณา ชูโต อาจารย์ประจำภาควิชา
เทคโนโลยีชีวภาพที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องการย่อยสลายโดยเชื้อรา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ และอาจารย์ ดร.สามารถ
คงทวีเลิศ ที่ร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการพิเศษนี้รวมทั้งคำแนะนำต่างๆเพื่อให้
โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณธีรวิภา นนรินทร์พงษ์ จากบริษัท ทีพีไอ ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี
อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องทดลอง อีกทั้งคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆที่ใช้ใน
โครงการพิเศษ หากมิได้รับความช่วยเหลือจากท่านนี้โครงการพิเศษนี้คงมีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคุณสุจิตใจ สอนสะอาด และคุณกฤษณะ เกษประคินธุ์ เจ้าหน้าที่อาคาร
ฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกและคำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณนางสาว สุกมาศ สุขโสม นางสาวสุจิตรา ยนต์สิงห์ และนางสาว วชิราภรณ์
คำียง เพื่อนๆจากสาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อ
อุปกรณ์การทดลอง และคำแนะนำเกี่ยวกับเชื้อรา ขอบคุณมากๆ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆทุกคนและโดยเฉพาะเพื่อนในกลุ่มที่ช่วยเป็นกำลังใจ
และกำลังกายให้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกมากมายที่มีได้เอื้อเฟื้อ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ จึงขอกราบ
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวชิตชนก แจ้งหิรัญ

นางสาวสุรัญญา สิริศิริพร

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 แป้ง	3
2.2 การย่อยสลายของแป้ง	7
2.3 พลาสติก	14
2.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ	19
2.5 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย	19
2.6 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย	20
2.7 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃)	22
2.8 พอลิยูรีเทน	25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	45
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
3.3 วิธีการทดลอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphology)	51
4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล	54
4.3 ผลการทดสอบการย่อยสลาย	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	74
ภาคผนวก ค	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง โดยทั่วไป	5
ตารางที่ 2.2	รูปแบบการใช้ประโยชน์ของพอลิยูรีเทน	25
ตารางที่ 2.3	พอลิอีเทอร์ที่นิยมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน	28
ตารางที่ 2.4	ความว่องไวของอะมีนตติยภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาระหว่างเฟนิลไอโซไซยาเนต และบิวทานอล	30
ตารางที่ 2.5	ความว่องไวของตัวเร่งที่ใช้เตรียมยูรีเทนจากเฟนิลไอโซไซยาเนต	32
ตารางที่ 2.6	อิทธิพลของตัวทำละลายในการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีนไกลคอล และไดเฟนิลเมเทนไดไอโซไซยาเนต	33
ตารางที่ 2.7	สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง	34
ตารางที่ 3.1	สูตรผสมของพอลิยูรีเทน โฟมชนิดแข็งที่มีการเติมแป้ง มันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม	46
ตารางที่ 3.2	สูตรผสมของพอลิยูรีเทน โฟมชนิดแข็งที่มีการเติม แลตเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม	47
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เป็นสารตัวเติมกับค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างของอะไมโลส 5
รูปที่ 2.2	สูตร โครงสร้างของอะไมโลเพกติน 6
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง 7
รูปที่ 2.4	การทำงานของเอนไซม์เบต้าอะไมโลส 9
รูปที่ 2.5	การทำงานของเอนไซม์กลูโคอะไมเลส 10
รูปที่ 2.6	การทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 11
รูปที่ 2.7	การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส 11
รูปที่ 2.8	ลักษณะ โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต 20
รูปที่ 4.1	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 51
รูปที่ 4.2	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 51
รูปที่ 4.3	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 52
รูปที่ 4.4	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 52
รูปที่ 4.5	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 52
รูปที่ 4.6	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 53
รูปที่ 4.7	รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม 53
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติม แป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติม แป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ	56
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติม แป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ	57
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่10% core deformation ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมใน ปริมาณ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%และ30%โดยน้ำหนักตามลำดับ	58
รูปที่ 4.12	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	59
รูปที่ 4.13	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	59
รูปที่ 4.14	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	60
รูปที่ 4.15	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	60
รูปที่ 4.16	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	61
รูปที่ 4.17	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus</i> sp.	61

รูปที่ 4.18	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมหลังจากการหดยาสารละลายไอโอดีน	62
รูปที่ 4.19	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	62
รูปที่ 4.20	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	63
รูปที่ 4.21	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	63
รูปที่ 4.22	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	64
รูปที่ 4.23	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	64
รูปที่ 4.24	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i>	65
รูปที่ ข	กราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันนี้โฟมชนิดแข็งยังคงนิยมนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับวัสดุกันกระแทก เนื่องจากสามารถป้องกันความชำรุดภายใน ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากโฟมพอลิยูรีเทนมีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา (light weight) มีประสิทธิภาพสูงในการกันกระแทก (high efficient for cushioning) มีความแข็งแรงในการขึ้นรูป (good mould resistance) ยืดหยุ่นได้ดี (good resilience) มีฝุ่นผงน้อย (low dusting) และกัดกร่อนน้อย (low corrosive) แต่ใช้เวลาในการย่อยสลายนานจึงได้มีการนำพอลิเมอร์ธรรมชาติเช่น แป้งมันสำปะหลัง ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ต่อโมเลกุลเป็นสารตัวเติมในโฟมพอลิยูรีเทนเพื่อให้เกิดการย่อยสลาย ยิ่งไปกว่านั้นยังได้มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต

การพอลิเมอไรเซชันของ urethane linkage เรียกว่า “ การพอลิเมอไรเซชันแบบเติม ” พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา 2 หมู่หรือมากกว่านั้นต่อ 1 โมเลกุล (ไดออลหรือพอลิออล) และไอโซไซยานเนตที่มีหมู่ที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 1 หมู่ต่อ 1 โมเลกุล (ไดไอโซไซยานเนต หรือพอลิไอโซไซยานเนต) ซึ่งในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการคายความร้อนของ โมเลกุลพอลิออลของไดไอโซไซยานเนตหรือพอลิไอโซไซยานเนต ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนที่มีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้ โดยอาศัยแป้งมันสำปะหลังที่มีอยู่มากในประเทศไทยมาใช้เป็นสารตัวเติม เปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนทางอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยมีการเติมสารตัวเติมเป็นแป้งมันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยมีการเติมสารตัวเติมเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต
3. ทดสอบสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยมีการเติมสารตัวเติมเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเปรียบเทียบการเติมสารตัวเติมเป็นแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยนี้คือ สามารถสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเพื่อให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่เหมาะสม
2. ปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่มากที่สุดที่สามารถใช้ผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งได้
3. การย่อยสลายทางชีวภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและการดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง ดังนี้
 - ทำการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยมีการเติมแป้งมันสำปะหลัง
 - ทำการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต
 - นำโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่เติมแป้งมันสำปะหลัง ที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากโฟม
2. นำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตได้จำนวนมากในประเทศและมีราคาถูก มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม
3. ลดปริมาณการใช้โฟมที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์
4. พัฒนาความรู้เกี่ยวกับสารตัวเติมที่มีผลต่อการย่อยสลายของพอลิเมอร์
5. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แป้ง

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง [1]

แป้ง (starch) มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด โดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์ เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และ รากพืช เป็นต้น

รูปร่างและขนาดของแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาผลิต แป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม หรืออาจสามารถพบในลักษณะที่มีรูปร่างทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 ไมโครเมตร แป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมทึบตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-35 ไมโครเมตร แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งที่ขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดในจำนวนเชิงการค้าทั้งหมด โดยรูปร่างของแป้งเป็นรูปไข่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-100 ไมโครเมตร

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปของการผลิต คือ การแยกเม็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน และ เกลือแร่ แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วทำการอบแห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

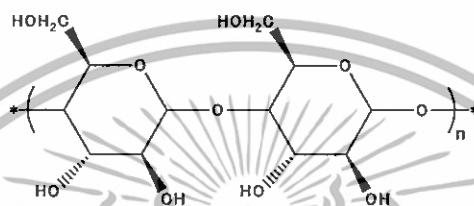
แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสม หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น คุณสมบัติของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึดติดและการเกิดฟิล์ม คุณภาพสามารถควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก

2.1.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit: AUG) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของ

กลูโคสตัวถัดไป ซึ่งพันธะเชื่อมโยระหว่างกลูโคสเรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ (glycoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำตาลก้ำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์แบบควบแน่น แบ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพกติน (amylopectin)

อะไมโลส เป็น โพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-ดี(1,4)กลูโคซิดิก ขนาดของโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย

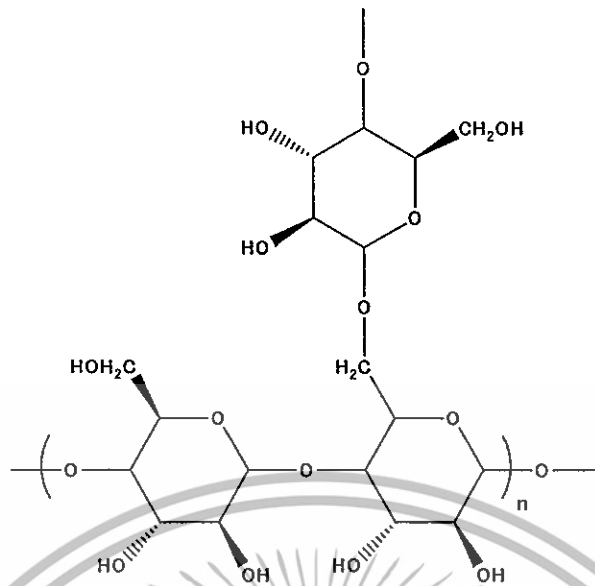


รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของอะไมโลส [1]

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลจะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำของแป้ง เช่น การดูดความชื้นและการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลสมีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ และเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลจำนวนมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในแนวขนาน และใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้สมบัติการชอบน้ำของแป้ง และการละลายของแป้งลดลง โมเลกุลอะไมโลสสามารถก่อสารประกอบเชิงซ้อนแบบเกลียวล้อมรอบโมเลกุลของไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีสีน้ำเงินจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้ และเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนสามารถตกตะกอนได้ด้วยบิวทานอล (butanol) หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้สามารถแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยวิธีเลือกการตกตะกอน (selective precipitation)

อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์โซ่กิ่ง (branch chain) ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AUG) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะแอลฟา-ดี(1,4) กลูโคซิดิก [1-D (1,4) glycosidic bond] และเกิดกิ่งที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในแต่ละโซ่สาขาประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AUG) ประมาณ 20-30 หน่วย จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่า โมเลกุลอะไมโลส และโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์โซ่กิ่ง ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแป้งลดลง และไม่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเพกตินในน้ำจะมีลักษณะใสและมีความเสถียรในการเป็นเจล และจะไม่ก่อสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สูตร โครงสร้างของอะไมโลเพกติน [1]

ส่วนที่เป็นเชิงเส้นของโมเลกุลอะไมโลเพกตินและโมเลกุลอะไมโลสจะจัดเรียงตัวแบบขนานทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลึกแบบไมเซล (micelle crystalline) ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดคุณสมบัติไบรฟรินเจนท์ (birefringent)

2.1.3 แป้งมันสำปะหลัง [2]

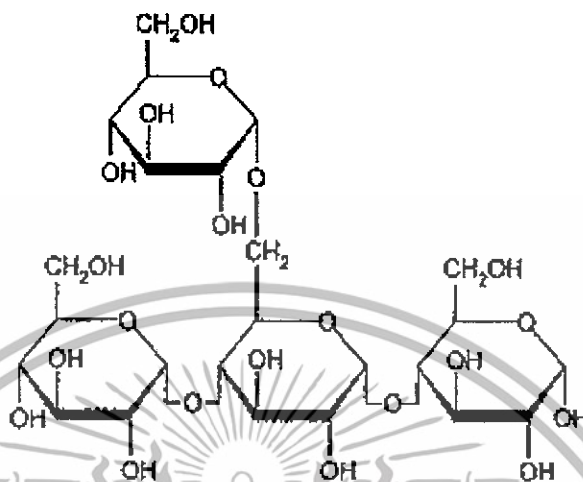
แป้งมันสำปะหลังผลิตได้จากรากที่มีลักษณะคล้ายหัวของต้นมันสำปะหลัง มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot utilissima* ในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Tapioca starch Cassava starch หรือ Monico starch โดยมีองค์ประกอบตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง โดยทั่วไป [2]

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.59
แป้ง	87.0
ไขมัน	0.1
โปรตีน	0.1
เถ้า	0.2
ฟอสฟอรัส	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง โครงสร้างในเม็ดแป้งมันสำปะหลังแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [2]

เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายรูปถ้วยมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ถึง 35 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยจำนวน (Number average diameter) เท่ากับ 20 ไมครอน เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โพลาไรซ์จะเห็นลักษณะภาพทึบดำเรียกว่า Birefringence

ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวต่างกันแบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรก สายโซ่พอลิเมอร์ของอะไมโลสเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบมีอะไมโลสบางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอกของอะไมโลเพกติน และยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับกันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวสูง บริเวณนี้เรียกว่า Crystalline regions หรือ Micelles เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง Crystalline regions นี้มีความสามารถในการดูดน้ำ และพองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สอง โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้เรียกว่า Amorphous regions เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี และพองตัวได้ง่าย

2.2 การย่อยสลายของแป้ง[2]

2.2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมี และการก่อให้เกิดรอยด่าง

1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage)

การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่น การกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุรศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์ได้

2. การทำลายทางเคมี (Chemical damage)

การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวกลางทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการที่เชื้อราเองเข้าทำลายวัสดุ โดยการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น aflatoxin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือ รอยด่างดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3. การเกิดรอยด่าง (Soiling)

การเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหนังของแก้ว โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ ที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาลมีดังนี้

- แอลฟา-อะไมเลส เป็น endo-enzyme ซึ่งไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน

- กลูโคส-อะไมเลส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้งซึ่งสามารถดึงหน่วยกลูโคสจากปลายโซ่อนรีควิงและสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,6 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนแป้งและเดกทรินไปเป็นกลูโคส

- เบต้า-อะไมเลส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซ่อนรีควิง

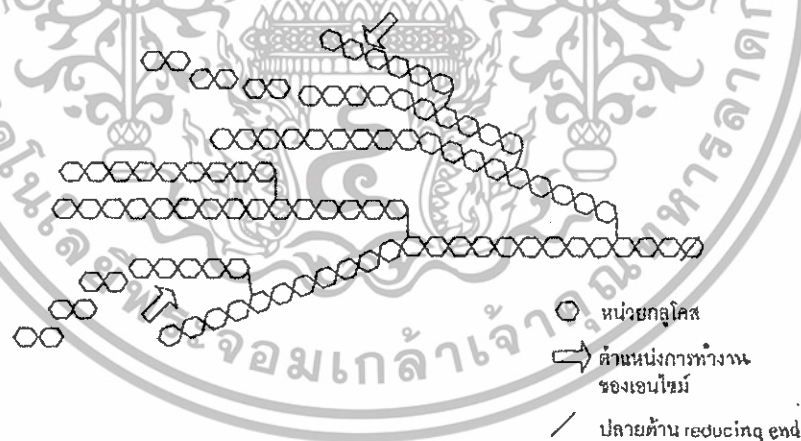
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2. การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ (Enzymatical hydrolysis)

แป้งย่อยโดยใช้เอนไซม์เป็นแป้งตัดแปลงที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลิตโดยผสมสารละลายแป้งกับเอนไซม์ นำไปเจลาติไนซ์โดยใช้ direct steam injection (jet-cooker) เมื่อเอนไซม์ย่อยถึงระดับที่ต้องการ หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยเพิ่มอุณหภูมิภายใน cooker ให้สูงขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของแป้งตัดแปลงที่ต้องการ ได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้ง ได้แก่ น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส โซโคลเดคซ์ทริน

2.2.2.1 เอนไซม์ย่อยภายนอก (exo-enzyme)

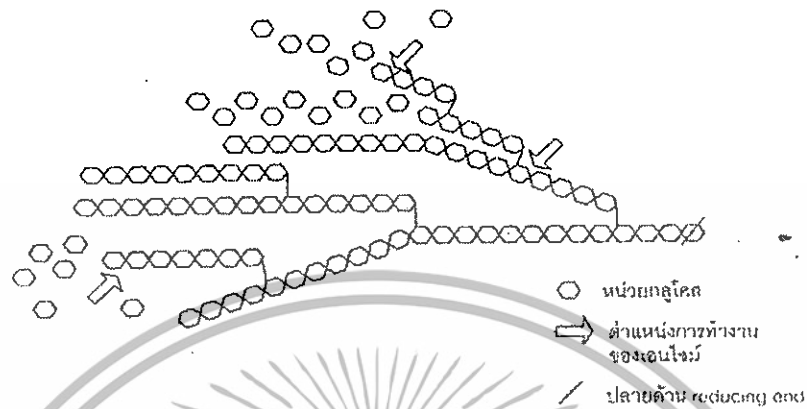
1) เบต้าอะไมเลส (β -amylase; 1,4- α -glucan maltohydrolase) พบเอนไซม์นี้ในพืชชั้นสูง เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และพบได้ในถั่วหรือมันฝรั่งหวานจัดเป็น extracellular enzyme ในเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Bacillus cereus* เป็นต้น เบต้าอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะจากด้านนอกเข้ามาด้านใน โดยเริ่มจากปลายของอะไมโลสหรืออะไมโลเพคตินจากปลายด้านที่ไม่มีสมบัติรีดิวซ์ เอนไซม์จะตัดพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิกของโมเลกุลกลูโคสเป็นคู่ๆ ไป ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลมอลโตสดังรูปที่ 2.4 เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ร่วมทำปฏิกิริยา เอนไซม์ชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 125-150 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่พีเอช 4-9 และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.4 การทำงานของเอนไซม์เบต้าอะไมเลส [2]

2) เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase; 1,4- α -D-Glucan glucohydrolase : EC3.2.1.3) สามารถผลิตได้จากเชื้อราในสกุล *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Rhizopus* ยีสต์และแบคทีเรีย กลูโคอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่ตัดน้ำตาลกลูโคสที่จับกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิก และพันธะแอลฟา-1,6 ไกลโคซิดิก โดยการตัดพันธะนี้จะเกิดขึ้นช้ากว่าการตัดพันธะ-1,4 ไกลโคซิดิก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าการย่อยเกิดอย่างสมบูรณ์จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กลูโคส ดังรูปที่ 2.5 เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50-110 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่พีเอช 3.5 ถึง 5 และที่อุณหภูมิ $\pm 55^{\circ}\text{C}$

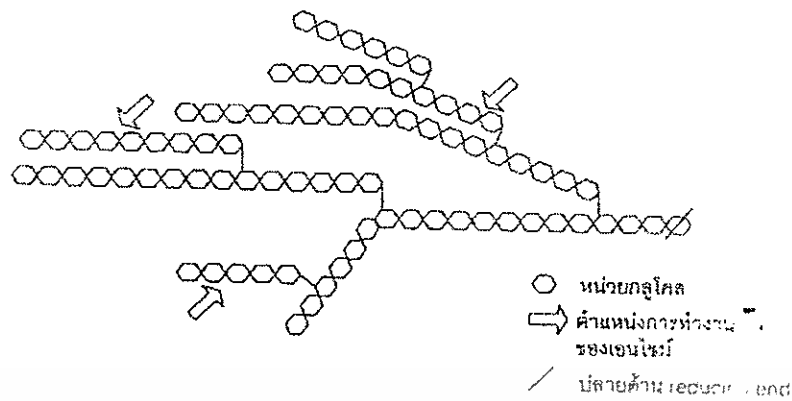


รูปที่ 2.5 การทำงานของเอนไซม์กลูโคอะไมเลส [2]

2.2.2.2 เอนไซม์ย่อยภายใน (endo-enzyme)

แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase; endo-1,4- α -D-Glucan glucohydrolase) จัดเป็น extracellular enzyme คือเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแล้วถูกขับออกมานอกเซลล์ พบได้ในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์หลายชนิด เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายใน โมเลกุลแป้ง โดยจะย่อยแป้งแบบสุ่มที่ตำแหน่งพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิกดังแสดงในรูปที่ 2.6 แต่ไม่สามารถย่อยพันธะ-1,6 ไกลโคซิดิก ที่ตำแหน่งกิ่งก้านของแป้งได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้ง คือ มอลโตส (maltose) กลูโคส (glucose) และลิมิตเดกซ์ตริน (limit dextrin) เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ร่วมทำปฏิกิริยา เอนไซม์มีความเสถียรที่พีเอช 5.5 ถึง 9 และที่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในทางอุตสาหกรรมจะให้เอนไซม์ที่ได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย เมื่อใช้แอลฟาอะไมเลสในการย่อยแป้งจะทำให้ความหนืดและความสามารถในการข่มติดสีไอโอดีนลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ reducing power เพิ่มขึ้นด้วย

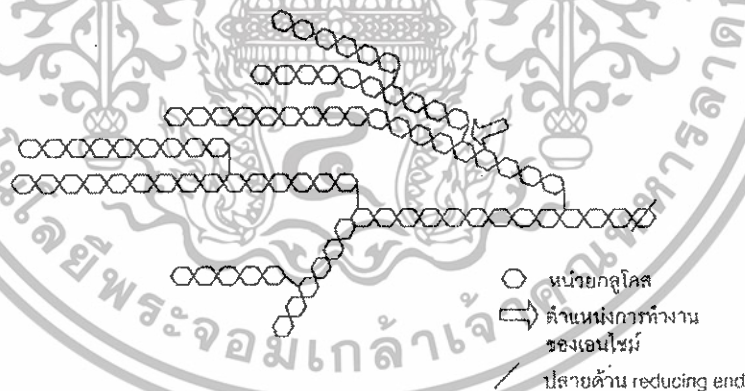
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส [2]

2.2.2.3 เอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง (debranching enzyme)

1) ไอโซอะไมเลส (isoamylase ; glucogen-6-glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยจุดที่เป็นกิ่งก้านของไกลโคเจนและอะไมโลเพคตินได้ดี แสดงการทำงานดังรูปที่ 2.7 ไอโซอะไมเลสไม่ต้องการโคแฟกเตอร์ในการทำงาน สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีในช่วงพีเอช 3 ถึง 4 และมีความเสถียรที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถแยกได้จากพืชสัตว์ และจุลินทรีย์



รูปที่ 2.7 การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส [2]

2) พูลูลานเนส (pullulanase; Pullulan 6- glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ตัดพันธะแอลฟา-1,6 ไกลโคซิดิกของพูลูลาน และอะไมโลเพคติน แต่การทำกิจกรรมไม่สมบูรณ์เท่ากับการย่อยสลายโดยใช้ไอโซอะไมเลส และทำกิจกรรมกับไกลโคเจนได้ยากสามารถย่อยได้สายกลูโคสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความยาว 2 ถึง 3 หน่วย ไม่สามารถย่อยจนได้กลูโคส 1 หน่วย เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ในพืช สัตว์ และแบคทีเรีย เอนไซม์มีความเสถียรที่พีเอช 4.5 ถึง 5.5 และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2.2.3 เชื้อรา *Aspergillus* sp.[3]

2.2.3.1 ลักษณะที่สำคัญของเชื้อ *Aspergillus* sp.

1. เส้นใยมีผนังกัน
2. สปอร์ไม่เคลื่อนที่
3. สปอร์แบบอาศัยเพศ (sexual spore) สร้างภายในแอสคัส(ascus) มีจำนวน 8 แอสโคสปอร์ (ascospore)
4. สปอร์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual spore) ไม่สร้างภายในแอสคัส (ascus)
5. ไม่ต้องการความชื้นมากในการเจริญ
6. การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเกิดได้หลายวิธีดังนี้ คือ fission budding fragmentation chlamydospore และ conidia
7. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยการสร้างสปอร์มีหลักการ โดยนิวเคลียสเข้าไปอยู่ในเซลล์เดียวกันแต่ยังไม่รวมกัน ทำให้เป็นลักษณะ 1 เซลล์มี 2 นิวเคลียส ที่เรียกว่า dikaryon และนิวเคลียสแบ่งตัวหลายๆครั้งได้ dikaryotic cell ใหม่อีกหลายอัน ต่อมานิวเคลียสทั้ง 2 อันในเซลล์จะรวมกันในส่วนที่จะเจริญเป็นแอสคัส (ascus) จากนั้นนิวเคลียสจะเกิดการแบ่งตัว ไมโอซิสและได้ นิวเคลียส 4 ต่อมา haploid nucleus ทั้ง 4 นี้จะแบ่งแบบไมโทซิสอีกครั้งหนึ่งได้ 8 นิวเคลียสซึ่งจะเจริญไปเป็นแอสโคสปอร์ (ascospore) 8 อันอยู่ภายในแอสคัส

2.2.3.2 ประโยชน์ของเชื้อรา *Aspergillus* sp.

1. ด้านอุตสาหกรรม ได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่นทำเต้าเจี้ยวใช้ *Aspergillus wendtii* ผลิตกรดซิตริกและกลูโคโนิก ใช้ *Aspergillus* sp. เหล้าสาเกจากข้าวใช้ *Aspergillus oryzae*
2. ใช้ทดสอบธาตุโลหะโดยเฉพาะทองแดงในดินใช้ *Aspergillus niger* ซึ่งถ้าในดินขาดทองแดงสีจะคล้ำ ถ้าไม่มีทองแดงเลยจะมีสีเหลือง

2.2.3.3 โทษของเชื้อรา *Aspergillus* sp.

ทำให้อาหารเป็นพิษ เชื้อ *Aspergillus* sp. หลายชนิดโดยเฉพาะ *A. flavus* เมื่อเจริญในอาหารพวกถั่วต่างๆจะสร้างสารพิษที่เรียกว่า อัลฟาทอกซิน ทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้ ทำให้เกิดโรค และทำลายอาหารและผลผลิตต่างๆทางเกษตรกรรม เช่น *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ทำลายอาหารพวกเนื้อสัตว์และไขมันได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 การผลิตเอนไซม์อะไมเลสและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

1. การผลิตเอนไซม์อะไมเลสบนอาหารแข็ง (solid state fermentation)

การผลิตบนอาหารแข็ง หรือเรียกอีกอย่างว่าการหมักแบบอาหารแห้ง หมายถึงระบบการหมักที่อาศัยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนอาหารในสภาพที่ไม่มีน้ำอิสระอยู่ในระบบ อย่างไรก็ตามน้ำที่อยู่ในระบบจะอยู่ในสภาพความชื้นที่ถูกดูดซับกับวัตถุดิบเท่านั้น ดังนั้นระบบการหมักแบบอาหารแข็งนี้จึงไม่รวมถึงการหมักของแข็งในอาหารชื้นเหลว การหมักบนอาหารแข็งนิยมใช้ในการผลิตเอนไซม์จากเชื้อรามากกว่าแบคทีเรีย โดยเชื้อรามีความสำคัญในการผลิตเอนไซม์อะไมเลส และมีการศึกษากันมาก คือเชื้อราในสกุล *Aspergillus* โดยจะใช้ราข้าวสาลีหรือราข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบ ในบางครั้งอาจมีอาหารเสริมพวกโปรตีน หรือเกลือแร่ที่จำเป็น การเลี้ยงเชื้อบนอาหารแข็งต้องมีการปรับความชื้นเริ่มต้นให้เหมาะสม เพื่อให้เชื้อเจริญได้ดีและเกิดการพองตัวของอนุภาคอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์นำอาหาร ไปใช้ได้ง่าย และมีการถ่ายเทของน้ำและออกซิเจนได้ดี

ข้อดีของการผลิตเอนไซม์บนอาหารแข็ง

1. สามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด
2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณสูงและคงที่
3. ผลิตภัณฑ์สามารถสกัดได้โดยตรง ใช้วิธีที่ง่ายและสะดวก
4. สภาพการเจริญของจุลินทรีย์มีลักษณะใกล้เคียงกับธรรมชาติ
5. อาหารเลี้ยงเชื้อเตรียมได้ง่าย ใช้เนื้อที่น้อย
6. อาหารมีปริมาณความชื้นต่ำทำให้ลดปัญหาในการปนเปื้อน

ข้อเสียของการผลิตเอนไซม์บนอาหารแข็ง

1. มีต้นทุนในการผลิตสูงกว่าอาหารเหลว
2. ใช้ปริมาณสปอร์เริ่มต้นมาก ดังนั้นการเตรียมสปอร์จึงต้องใช้วิธีปลอดเชื้อ

2. การผลิตเอนไซม์ในอาหารเหลว (submerged fermentation)

การหมักในอาหารเหลวนิยมใช้ในการผลิตเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียและเอนไซม์กลูโคอะไมเลสจากเชื้อรา โดยทำการเลี้ยงเชื้อในถังหมักขนาดใหญ่ อาหารที่ใช้เลี้ยงจะนำไปฆ่าเชื้อด้วยการให้ความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที โดยมีปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 หนักต่อปริมาตร ต้องควบคุมการให้อากาศและการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการผลิตเอนไซม์บนอาหารเหลว

1. ใช้ระยะเวลาสั้นในการเพิ่มปริมาณการผลิต
2. ควบคุมภาวะการผลิตได้ง่าย

ข้อเสียของการผลิตเอนไซม์บนอาหารเหลว

1. มีโอกาสปนเปื้อนจากเชื้ออื่นได้ง่าย
2. ประสิทธิภาพของหัวเชื้อเริ่มต้นจะลดลงจึงจำเป็นต้องคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง

อยู่เสมอ

2.2.3.5 การนำเอนไซม์อะไมเลสมาใช้ประโยชน์

ปัจจุบันเอนไซม์อะไมเลสถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นส่วนใหญ่ เช่น ในอุตสาหกรรมทอผ้า กรรมวิธีในการทอผ้าจะต้องนำด้ายดิบมาจึงให้ตั้งบนเครื่องทอซึ่งจะทำให้ผ้าดิบขาดง่าย ดังนั้นก่อนที่จะนำมาทอต้องนำเส้นด้ายไปชุบน้ำแป้งเพื่อให้เส้นด้ายมีความทนต่อแรงดึง หลังจากทอผ้าเป็นผืนแล้วให้เอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งที่ติดอยู่บนผ้าทอแล้วจึงนำไปซักด้วยน้ำร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ วิธีนี้ใช้ได้กับผ้าที่ทอจากฝ้าย ขนแกะ และแพรวเทียม ในอุตสาหกรรมทำขนมปัง จะเติมเอนไซม์อะไมเลสชนิดเด็คทริโนจีนิก (dextrinogenic enzyme) ลงไปในแป้งเพื่อย่อยโมเลกุลของแป้งที่ใหญ่ให้เล็กลง แล้วเติมเอนไซม์อะไมเลสชนิดแซคคาโรจีนิก (saccharogenic enzyme) ลงไปเพื่อเปลี่ยนแป้งบางส่วนให้เป็นน้ำตาล ช่วยให้ขนมปังนุ่มและไม่มีรูพรุนของอากาศ ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ ใช้เอนไซม์อะไมเลสสำหรับกำจัดของแข็งที่มีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากแป้ง (cloudiness) ปกติน้ำผลไม้ที่คั้นมีความขุ่นเพราะมีปริมาณแป้งสูง จึงใส่เอนไซม์อะไมเลสลงไป ปั่นไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 ถึง 90 องศาฟาเรนไฮต์ หลังจากนั้นก็กรองเอาน้ำตาลซึ่งสามารถนำไปทำเป็นเยลลี่ได้ สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์ ในอดีตประเทศจีนเป็นประเทศแรกผลิตแอลกอฮอล์จากเชื้อราที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ส่วนในยุโรปและอเมริกาใช้เอนไซม์อะไมเลสจากขี้เถ้ามอลต์ในระยะแรกของการผลิตแอลกอฮอล์ แต่ในปัจจุบันได้ใช้เอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อราแทน และในการผลิตกลูโคสและน้ำเชื่อมจากแป้ง ระยะแรกการผลิตกลูโคสและน้ำตาลอื่นๆ จะใช้วิธีย่อยแป้งด้วยกรด ทำให้ได้น้ำตาลหลายชนิด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสไม่ดี ปัจจุบันการผลิตน้ำเชื่อมจากแป้งด้วยการใช้เอนไซม์เป็นที่นิยมกันมาก โดยเฉพาะการผลิตกลูโคสและน้ำเชื่อมกลูโคส รวมถึงน้ำเชื่อมมอลโตส และน้ำเชื่อมฟรุคโตส ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเชื่อมจากแป้งเหล่านี้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตขนมปัง อุตสาหกรรมผลิตลูกอม ลูกกวาด และขนมหวาน เป็นต้น โดยกระบวนการย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาล ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเพื่อลดความหนืดของแป้งที่เกิดการเจลลิตในเซชันแล้ว (Liquefaction) โดยการย่อยโมเลกุลของแป้งแบบสุ่มของไซท์กลูโคส โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เมื่อการย่อยเกิดขึ้นจะทำให้โมเลกุลของแป้งแยกเป็นสายสั้นๆ มีขนาดเล็กและความหนืดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย และการย่อยแบ่งให้เป็น โมเลกุลของน้ำตาล (Saccharification) ด้วยเอนไซม์กลูโคสไมเลส ดังนั้นหลังการย่อยแล้วจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือน้ำตาลที่มีโมเลกุลสูงกว่าเล็กน้อยซึ่งอาจเป็น กลูโคส มอลโตส หรือมอลโตไตรโอส

2.3 พลาสติก [4]

2.3.1 เสถียรภาพของพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เพราะพลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน แต่ก็มีปัญหาคือ มีความยุ่งยากในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลาย ๆ สาเหตุ แต่ที่น่าสนใจและมีการศึกษาอยู่มากที่สุดคือ การสลายตัวอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา

พลาสติกสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติทุกชนิดสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถในการถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะซิฟลาติกพอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์ และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างของพอลิเมอร์ดังกล่าว เช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด (Polyglycolic acid) พอลิคาร์โพรแลกโตน (Polycaprolactone) เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามทำการศึกษาว่าเหตุใดพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อดังนี้

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปิโตรเลียมและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดยาวมาก ๆ ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จากการค้นคว้าวิจัยพบว่าพอลิเอทิลีนจะสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นผิวที่ผิวเรียบ เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง โดยผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ชอบน้ำ และมีค่าการซึมผ่านความชื้นต่ำ จึงทำให้เอ็นไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกได้น้อยลง และการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลงจึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

2.3.2 การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลายไป

สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การนำไปถมที่ว่างเปล่า

วิธีการนี้เป็นการกำจัดขยะที่ใช้กันอยู่แล้วเป็นส่วนมาก (ประมาณ 80 %) เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และถ้าหากทำอย่างถูกสุขลักษณะคือใช้แผ่นพลาสติกคลุมและใช้ดินทับอีกครั้งหนึ่ง

ข้อเสียของการกำจัดวิธีนี้คือ พื้นที่ที่ถมมักเกิดปัญหาเรื่องการยุบตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง การบดย่อยพลาสติกให้เป็นชิ้นเล็กก่อนอาจจะช่วยลดปัญหาได้บ้าง แต่เท่าที่นับว่าเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

2. การนำไปเผาทิ้ง

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วในการกำจัดขยะพลาสติก และมีการใช้อยู่แล้วอย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้ดี และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษตามมาหากทำถูกวิธี

ข้อเสียของวิธีการกำจัดพลาสติกโดยการเผาทิ้ง นอกจากจะสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแล้ว ข้อเสียใหญ่ก็คือ อาจมีก๊าซพิษเกิดขึ้นหากในขยะมีพลาสติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคลอรีน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น พอลิยูรีเทน พอลิเอไมด์ หรือเรซินเมลามีนปนอยู่ด้วย

3. ทำให้พลาสติกสลายตัวได้

วิธีการนี้หมายถึง การทำให้พลาสติกสลายตัวได้เองในธรรมชาติเหมือนขยะประเภทอื่นๆ ในภาวะแวดล้อมธรรมชาติ สิ่งที่จะช่วยทำให้พลาสติกสลายตัวได้ก็คือ แสง น้ำ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นพลาสติกที่จะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อาจทำได้โดยการทำให้เป็น

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastic)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl Group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการสลายตัว

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติกอันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นต้น และเกิดการสลายตัวได้ใน 3 ลักษณะ คือ

ก. พลาสติกไม่ได้ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งประเภทอื่น ๆ ทำให้เหลือพลาสติกในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

ข. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (Autooxidation) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อไป

ค. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้น ได้โดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลกโตน และพอลิไฮดรอกซีบีวที่เรทอารีเรท เป็นต้น

การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกนี้ สามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวทางคือ

1) การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Modified Natural Polymers) เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical Modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีการโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ และนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายตัวเช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block Copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมแบบคอกิ่ง (Graft Copolymer) ของอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งก็เป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น

นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ที่ใช้ทั่วไปเช่น เอทีลินหรือสไตรีนกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น อะคริลิกแอซิดอะคริลาไมด์หรือไวนิลอะซิเตตจะทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติในการย่อยสลายดีขึ้น

3) การศึกษานำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ วิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทำการศึกษากันมากได้แก่ แป้ง

การเติมแป้งเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่น

พลาสติกประเภทนี้จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายในส่วนที่เป็นแป้ง ทำให้เหลือโครงสร้างพลาสติกในรูปโครงสร้างแบบรูพรุน (Porous Structure) ต่อมาก็จะกลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็น การเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

การเติมแป้งผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท

เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ester) เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้จะต้องเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งตัว เช่น อัลคิลนิลเอสเทอร์ (Alkenyl Ester) หรือ ไขมันธรรมชาติ (Natural Fats) พลาสติกชนิดนี้มีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแป้งจนหมด เหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ง่ายต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นตอนที่สองเกลือของ โลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วยตัวเอง (Autooxidation) โดยจะ เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ และเปอร์ออกไซด์ก็จะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่ พอลิเมอร์ต่อไป และเป็นผลทำให้น้ำหนัก โมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งมีน้ำหนัก โมเลกุล เพียงพอที่จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายต่อไปได้

2.3.3 ข้อบกพร่องของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

พลาสติกชนิดนี้แม้จะข้อดีอยู่มากมาย แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้ต่อไปนี้

1. เพิ่มต้นทุนการผลิต

เนื่องจากการเพิ่มขั้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกได้โดยการเพิ่มขั้นตอนในกระบวนการผลิตเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพมีราคาแพงขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อผู้บริโภค

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวเพียงบางส่วน อาจก่อให้เกิดปัญหา

คือ เมื่อพลาสติกชนิดนี้ถูกทิ้งลงบนพื้นดิน และตามถนนหนทางต่าง ๆ ในที่สาธารณะเป็นระยะเวลานาน พลาสติกดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายขึ้นเป็นบางส่วน โดยการสลายตัวเกิดขึ้นไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง หรือทำซ้ำอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณ์ พลาสติกดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นรูพรุนบ้าง และเป็นผงละเอียดบ้าง ทำให้เกิดเป็นภาพที่ไม่สวยงามต่อผู้พบเห็น และยากต่อการตามเก็บทำลายเป็นอย่างยิ่ง

3. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการสลายตัวของพลาสติก

การสลายตัวของพลาสติกโดยจุลินทรีย์ จะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารมัธยันต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ถึงแม้จะค่อนข้างแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้รับการบอนไดออกไซด์และน้ำ แต่จะให้ความมั่นใจได้อย่างไรว่า สารมัธยันต์ที่อยู่ในธรรมชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารอื่นที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงยิ่งกว่าพลาสติกที่ใช้โดยทั่วไป

4. ระยะเวลาในการสลายตัว

เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของพลาสติกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นมาก ๆ จะทำให้การสลายตัวของพลาสติกใช้เวลายาวนาน

5. อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการทิ้งขยะกันอย่างไม่มีระมัดระวัง

การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ อาจช่วยส่งผลให้ผู้บริโภคคิดอยู่เสมอว่าพลาสติกชนิดนี้สามารถสลายตัวได้ ดังนั้นจะทิ้งที่ใดก็ได้เหมือนกัน ก็จะทำให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะพลาสติกอาจจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

6. ขัดขวางการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

เป็นการลำบากที่จะทำการคัดแยกพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้กับพลาสติกที่ใช้ทั่วไปออกจากกัน เพราะกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกัน ดังนั้นการนำพลาสติกชนิดนี้มาใช้งาน จะต้องมีการทำเครื่องหมายให้เห็นได้อย่างเด่นชัดเพื่อความสะดวกในการคัดแยกพลาสติก และเพื่อเป็นการบอกให้ผู้บริโภคทราบว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดใดใช้พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

2.3.4 การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้

ในอดีตพลาสติกชนิดนี้ไม่สามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ แต่ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถนำพลาสติกชนิดนี้กลับมาใช้ได้แล้ว โดยบริษัท Resource Plastics Corp. ในประเทศแคนาดา ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่สามารถนำพลาสติกที่มีส่วนผสมของแป้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ จึงนับว่าเป็นประโยชน์ในการลดความสูญเสียได้อย่างมาก

แป้งส่วนใหญ่เกิดเป็นเจลได้เร็วที่ค่า pH สูง ๆ และที่ค่า pH ต่ำ ๆ ในช่วง pH 4-7 การเกิดขึ้นเป็นเจลจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และอัตราการแตกสลายของโมเลกุลจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ [4]

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้แต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (Azoaromatic) และหมู่คีโต (Keto groups) ที่ไวต่อแสง ในระหว่างใช้งาน หมู่เอโซ (Azo) จะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากการเลิกใช้งานแล้ว พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม ทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลาย และเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป

2.5 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย [2]

ในปัจจุบันหลายองค์กร เช่น ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ISO (International Standards Organization) ได้พัฒนาการคำนวณความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ กัน เช่น ดิน น้ำทะเล ระบบบำบัดน้ำเสีย การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือการหมักทำปุ๋ย

ASTM มีวิธีการวิเคราะห์การย่อยสลาย 5 วิธี คือ

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจน ในขณะที่มี Municipal sewage sludge (D5209-91)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในขณะที่มี Municipal sewage sludge (D5210-91)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ activated sludge (D5271-92)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบที่มีการควบคุมสภาวะการหมัก (D5338-93)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในขณะที่มีจุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดเลือกมา (D5247-92)

สองวิธีแรกจะจำลองสภาพแวดล้อมของระบบบำบัดน้ำเสียนั้นคือสภาวะการหมักและระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้สามารถทราบว่าการย่อยสลายควรใช้ระบบใด ในส่วนของวิธีสุดท้ายไม่ได้ทดสอบกับระบบจริงแต่เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ทราบชนิดแน่นอนที่พบทั่วไปตามสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่เหลือภายหลังการย่อยของ ASTM คือการสกัดของแข็งที่เหลือจากการย่อยด้วยน้ำ (D5152-91) แล้วนำไปทดสอบความเป็นพิษตามวิธีของ ASTM รหัส D4229 E1192 E1295 หรือวิธีอื่นๆที่เป็นที่ยอมรับ

2.6 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [2]

2.6.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์และในสถานะแก๊ส ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสถานะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ spectrophotometer หรือการใช้การคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมมูลมวลคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสถานะแก๊ส

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$(\%f) = (C_d / C_i) * 100$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

2.6.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวล หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้น

2.6.3 การวิเคราะห์ลักษณะจุลทรรศน์

1) การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้างและส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่าเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ เมื่อนำมาล้างและส่องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์แสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

2) การใช้สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy : SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก จะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินจะมีสีเปลี่ยนไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากมีการเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนของแป้ง และยังพบว่าชั้นของพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาวแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลาย เหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน

2.6.4 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วน infrared ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ โมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุลความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่ขึ้นกับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ในขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้ง จะเกิดรูที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ ซึ่งที่รูนี้จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถตรวจวัดได้จากอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

2.6.5 การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Analysis)

วิธีวิเคราะห์ทางความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์ที่น้ำหนักที่สูญเสียไปโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (amorphocity) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก

- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.6.6 การวิเคราะห์การฝังดิน (Burial test)

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 30 x 120 มิลลิเมตรหลายๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างขึ้นมาการทดลองใช้เวลานานประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน

2.7 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) [5]

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ถูกนำมาใช้มากกับพลาสติก เนื่องจากมีราคาถูกและมีอยู่อย่างมากมายตามธรรมชาติ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารตัวเติม (Filler) ซึ่งควรมีสสมบัติที่ดูดซับพลาสติกไซเซออร์ได้ต่ำ ไม่มีน้ำเกิดขึ้นขณะกระบวนการผลิต ต้องทนอุณหภูมิในช่วงที่ใช้กับกระบวนการของพลาสติกได้ มีความอ่อนนุ่ม ให้สีขาวที่ดีและบริสุทธิ์มากขึ้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะ โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต [4]

สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตอาจแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบอย่างกว้าง ๆ ดังนี้

1. สารตัวเติมแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (Mineral CaCO_3 Filler) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

คือ

1.1 Whiting

Whiting เป็นผงสีขาวที่ได้จากการบดและจัดอยู่ในพวกซอล์ก ซึ่งมีความบริสุทธิ์

พอๆ กับ CaCO_3 ที่ได้จากธรรมชาติที่เกิดจากตะกอนของกระดูกของสัตว์มีชีวิตที่มีขนาดเล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทับถมกันเป็นเวลาหลาย 10 ล้านปีจนตามองไม่เห็น จากการบดแห้งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 μm ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับ PVC

1.2 หินปูน หินอ่อน และแคลไซต์

หินปูนเป็นรูปแบบ CaCO_3 ที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติ เกิดจากการตกตะกอนของ Foraminifera ซึ่งแรกเริ่มจะเกิดการตกตะกอนและรวมเข้าด้วยกันโดยความร้อนและความดันหินอ่อน และแคลไซต์มีความแข็ง โครงผลึกแน่นกระชั้นแตกต่างจากหินปูน และมีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการบดและนำมาผลิตเป็นสารตัวเติม หินปูนนั้นจะมีความหยาบมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันและพลาสติกไซเซอร์ได้น้อยที่สุดและให้สีขาวที่ไม่ดี ซึ่งหินอ่อนและแคลไซต์ให้สีขาวที่ดีแต่ก็มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำกว่า Whiting

เกรดของแคลเซียมคาร์บอเนตแบ่งออกโดยกระบวนการผลิตแบบเปียกและแห้ง กระบวนการผลิตแบบเปียกจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่า ขนาดของอนุภาคที่ได้ดีกว่า และการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอกว่า แต่มีข้อเสียคือมีราคาที่สูงกว่ากระบวนการผลิตแบบแห้ง

1.3 โดโลไมต์ (Dolomite)

โดโลไมต์เป็นหินปูนที่มี Magnesium carbonate (MgCO_3) ประมาณ 45% หรือน้อยกว่าอาจเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า Magnesium limestone โดโลไมต์ที่ใช้ผลิตเป็นสารตัวเติมจะให้สีที่ดีและมีสมบัติในการดูดซับพลาสติกไซเซอร์ที่สูงกว่าหินอ่อน โดยโดโลไมต์ที่ดีมีคุณภาพที่สุดพบได้ใน Scandinavia

2. แคลเซียมคาร์บอเนตแบบตกตะกอน (Precipitated CaCO_3)

เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตแบบตกตะกอน ปกติจะใช้ในรูปที่มีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการรวมกันเป็นก้อน และช่วยให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ ซึ่งข้อดีของกระบวนการตกตะกอนคือการเคลือบผิวอนุภาคสามารถกระทำร่วมในกระบวนการผลิตได้เลยไม่ต้องแยกออกมาเป็นอีกส่วนหนึ่ง แต่ข้อเสียคือมีราคาที่สูง

2.7.1 การปรับปรุงพื้นผิว

การปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวที่มีการใช้กันมานานที่สุดและยังคงมีกันใช้กันอย่างกว้างขวางอยู่ โดยเฉพาะกับสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต การปรับปรุงพื้นผิวมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. สารตัวเติมที่มีการปรับปรุงพื้นผิวนั้นทำให้สามารถกระจายตัวได้ง่ายและทั่วถึงในพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการผสมและกระบวนการผลิต
2. การปรับปรุงพื้นผิวช่วยในเรื่องทำให้ระยะระหว่างพื้นผิวระหว่างสารตัวเติมและเมทริกซ์ใกล้เคียงกัน
3. ช่วยในเรื่องการป้องกันพื้นผิวเกิดการแตก (Crack) รอยบาก (Notch) และอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการนำไปใช้งานและเป็นการทำให้วัสดุมีความแข็งแรง
4. ช่วยในเรื่องการกำจัดรอยตำหนิและรอยขีดข่วนบนพื้นผิว
5. ป้องกันสารตัวเติมจากน้ำและความชื้นที่จะทำให้เป็นจุดอ่อนบนคอมโพสิต
6. ช่วยทำให้พันธะระหว่างพื้นผิวมีความแข็งแรงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

2.7.2 สมบัติทั่วไป

แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมควรมีสมบัติต่างๆ ดังนี้

- มีความบริสุทธิ์สูงและไม่มีไอออนของโลหะหนัก ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพเร็วขึ้น
- มีพื้นที่ผิวจำเพาะไม่ดูดซึมสารปรับปรุงสมบัติพลาสติกและสารเติมแต่งต่างๆ
- ต้องไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน
- มีระดับของความขาวที่สูง
- ไม่มีความคมที่จะทำให้เกิดการขีดข่วนกับเครื่องจักร (Mohr hardness ประมาณ 3)
- มีความสามารถในการกระจายตัวที่ดี (เกรดสำหรับการเคลือบผิว) และส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางด้านไฟฟ้าเล็กน้อยของผลิตภัณฑ์สุดท้าย
- เพิ่มความเหนียวและมอดุลัสยืดหยุ่น
- ลดการหดตัว
- ปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ
- เพื่อความแข็งแรงกระแทก (ในเกรดที่ทำการเคลือบผิว)
- ไม่อันตราย ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ทนอุณหภูมิถึง 600 °C
- มีราคาถูก

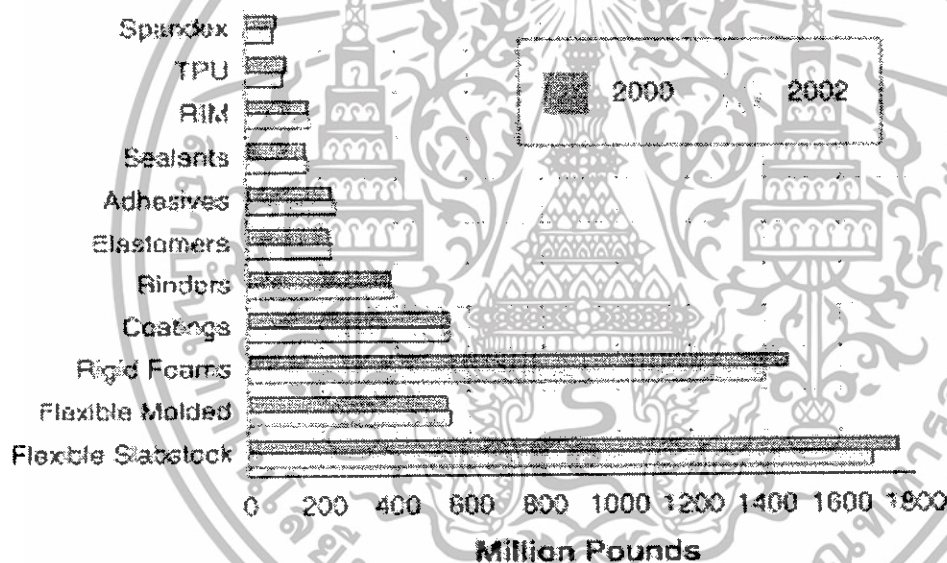
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 พอลิยูรีเทน [6]

พอลิยูรีเทน คือ การเชื่อมต่อยูรีเทนกับสารประกอบหมู่อื่นๆ เช่น อีเทอร์ เอสเทอร์ ไบยูเรต อัลโลฟานต เอไมด์ และสารประกอบหมู่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้อาจจะรวมอยู่ใน โมเลกุลของพอลิเมอร์นี้ได้

วิธีที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนที่นิยมใช้มาก คือ ปฏิกิริยาของไดฟังก์ชันนอล หรือพอลิฟังก์ชันนอลของสารประกอบไฮดรอกซิล เช่น Hydroxyl-terminated polyether/polyester กับ ไดฟังก์ชันนอลหรือพอลิฟังก์ชันนอลของไอโซไซยานต

ตารางที่ 2.2 รูปแบบการใช้ประโยชน์ของพอลิยูรีเทน [6]

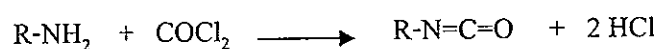


2.8.1.1 วัตถุดิบสำหรับพอลิยูรีเทน

วัตถุดิบที่ใช้เตรียมพอลิยูรีเทนจะมีเพียงไดไอโซไซยานตและไดออล หรือพอลิออล เนื่องจากการเตรียมพอลิยูรีเทนในทางอุตสาหกรรมจะมาจากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างไดไอโซไซยานตและไดออลหรือพอลิออลเท่านั้น

2.8.1.1.1 ไดไอโซไซยานต (Diisocyanates)

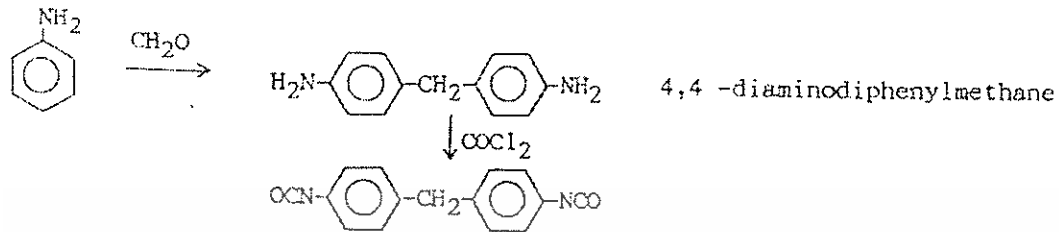
ไอโซไซยานตสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างเอมีนและฟอสจีนดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดไอโซไซยานตที่นิยมใช้ ได้แก่

- ไดเฟนิลเมเทนไดไอโซไซยานต (Diphenylmethane diisocyanate: MDI)

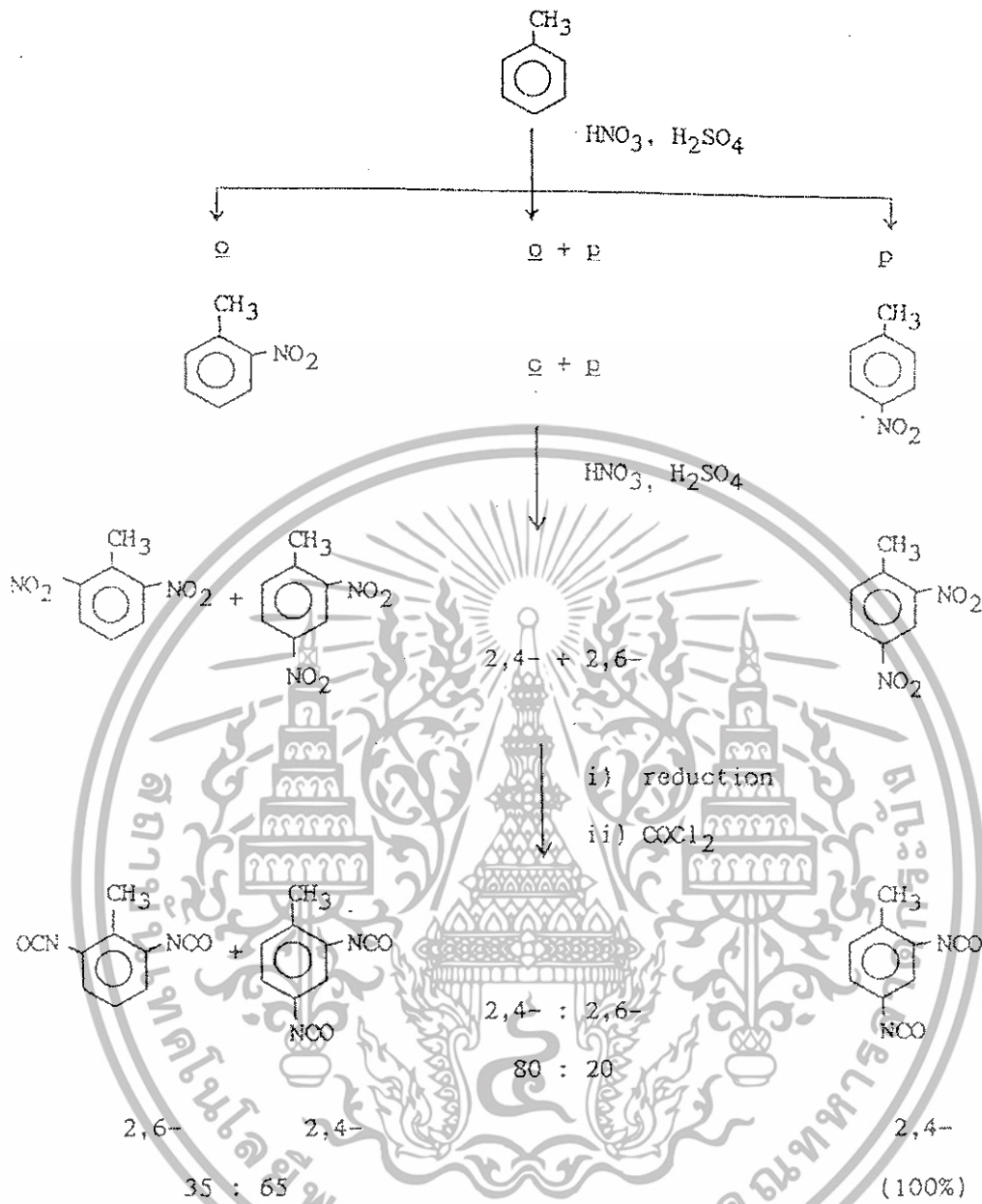


- เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยานต (Hexamethylene diisocyanate :HDI)

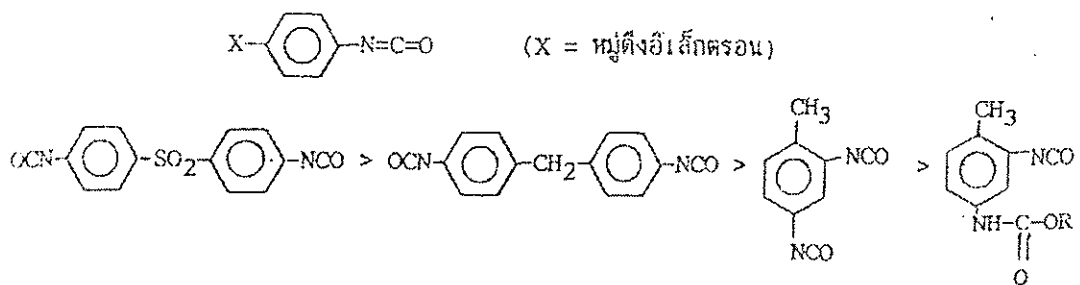


- โทลูอีนไดไอโซไซยานต (Toluene diisocyanate: TDI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พบว่าไอโซไซยานตที่มีหมู่ดึงอิเล็กตรอน (Electron withdrawing group) จะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วขึ้น ดังนี้



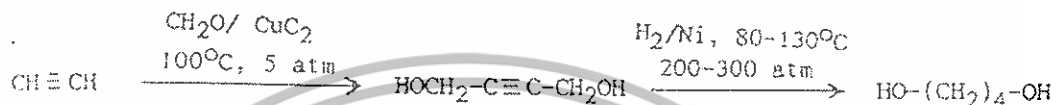
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอะโรมาติกไอโซไซยานต จะมีความว่องไวกว่าอะลิฟาติกไอโซไซยานต (aromaatic – NCO>>aliphatic – NCO)

2.8.1.2. ไดออลและพอลิออล (diols and polyols)

ที่นิยมใช้ได้แก่

-1,4 – บิวเทนไดออล



เพื่อใช้เตรียมเส้นใยจากพอลิยูรีเทน (fiber forming polyurethane) แต่ปัจจุบันไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะมีวัสดุอื่นมาทดแทน

-พอลิอีเทอร์ (polyethers)

พอลิอีเทอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซี H- (-OR)_n-OH จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทนในปัจจุบัน (ตารางที่ 2.3) พอลิอีเทอร์ไตรออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง (ประมาณ 3000) มักใช้ผลิตโฟมยืดหยุ่น (flexible foams) ในขณะที่พอลิออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 500 มักจะใช้ผลิตโฟมแข็ง (rigid foams)

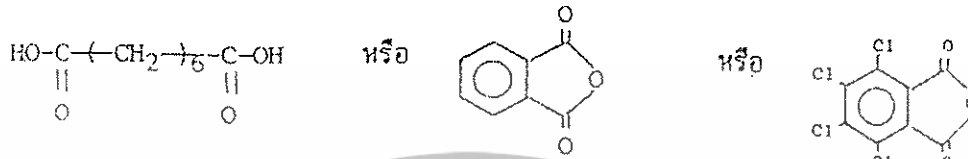
ตารางที่ 2.3 พอลิอีเทอร์ที่นิยมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน [5]

พอลิออล	น้ำหนักโมเลกุลทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-CH}_2\text{-OH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	400-4000	2
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-OH} \\ \\ \text{HO-CH}_2\text{-CH-CH}_2\text{-OH} \end{array}$	300-6000	3
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{HOCH}_2\text{-C-CH}_2\text{-OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	400-600	4
$\begin{array}{c} \text{HOCH}_2\text{-CH-CH-CH-CH-CH}_2\text{OH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{OH} \text{ OH} \text{ OH} \text{ OH} \end{array}$	350-750	6

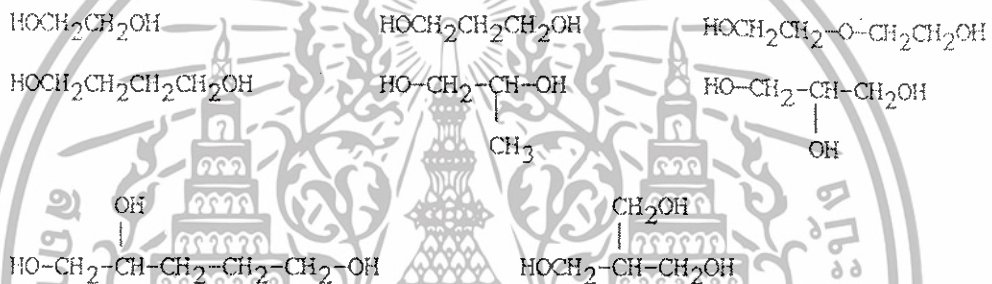
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-พอลิเอสเตอร์ (polyesters)

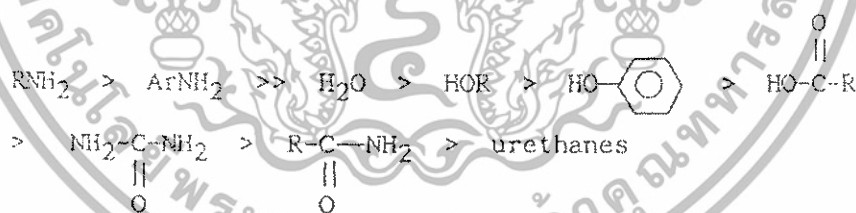
พอลิเอสเตอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นไฮดรอกซีเช่นเดียวกัน จัดว่าเป็นวัสดุพิเศษที่สำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทน เกิดจากการใช้ไดเอซิดทำปฏิกิริยากับไดออลที่มากเกินไป (excess) น้ำหนักโมเลกุลที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 1000-4000 ตัวอย่างไดเอซิดที่ใช้ เช่น



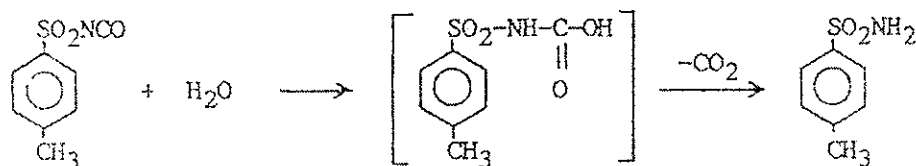
และไดออลที่ใช้ เช่น



พบว่าโมเลกุลที่มีหมู่ไฮโดรเจนที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา (active hydrogen molecules) ที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอน (electron donating groups) จะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วกว่า ดังนี้



ซึ่งจะเห็นว่าน้ำจะมีความว่องไวกว่าแอลกอฮอล์ (หรือ ไดออล) ดังนั้นจึงมักเติมสารที่ทำให้แห้ง (Drying agent) หรือตัวที่เสถียร (Stabilize) หรืออาจจะเรียกว่าตัวยับยั้ง (Inhibitor) ลงไปด้วย เช่น

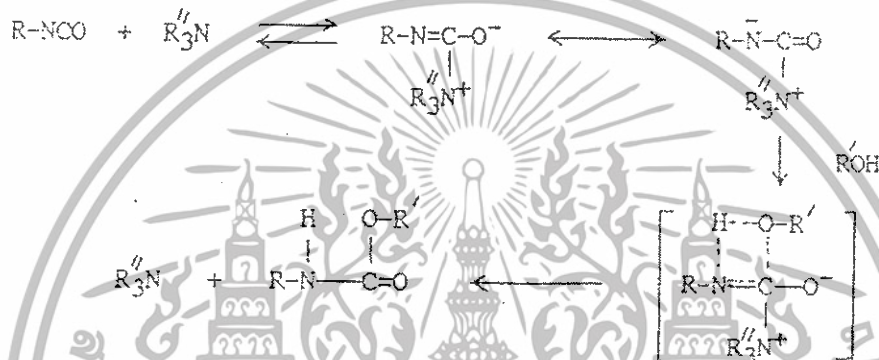


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เช่นนั้นจะทำให้สูญเสีย $-NCO$ เกิดเป็น $R-NH_2$ ซึ่งจะ去做ปฏิกิริยาต่อกับ $-NCO$ ใหม่ได้ นอกจากวัตถุดิบแล้ว การเตรียมพอลิยูรีเทนยังต้องการสารประกอบอื่นๆ อีกเช่น

2.8.1.3 ตัวเร่ง (Catalysts)

ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิยูรีเทน (หรือไอโซไซยานเนต) ในทางอุตสาหกรรมมักต้องเติมตัวเร่งลงไปด้วย ตัวเร่งที่นิยมใช้คือ อะมีนตติยภูมิ (Tertiary amine) หรือสารประกอบของโลหะบางชนิด โดยเฉพาะสารประกอบของโลหะดีบุก (Tin) กลไกการเกิดไอโซไซยานเนตโดยใช้อะมีนเป็นดังนี้



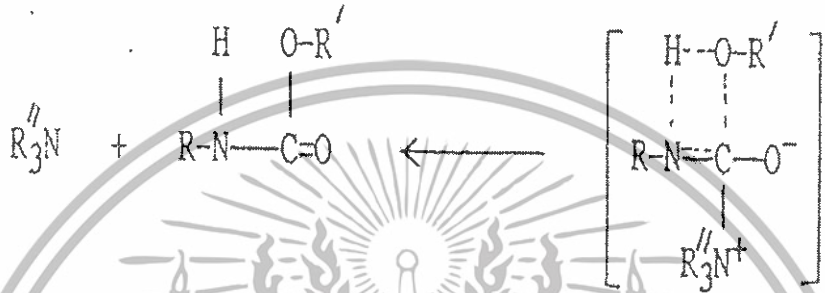
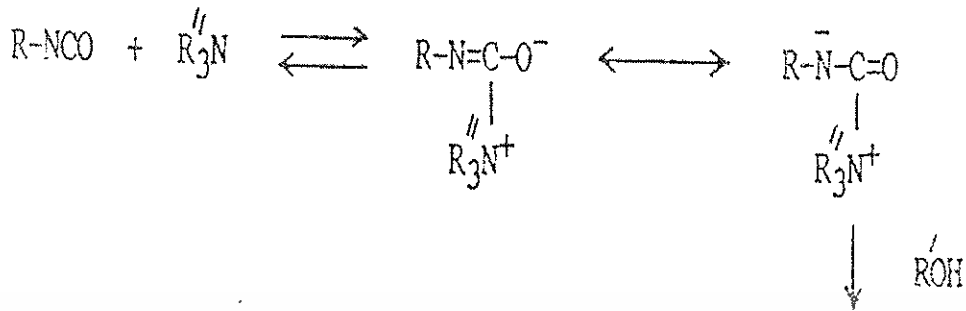
อะมีนตติยภูมิที่มีหมู่แทนที่ขนาดใหญ่ขึ้น (ซึ่งจะมีความแข็งแรงของความเป็นเบสเพิ่มขึ้น) เนื่องจากอิทธิพลของสเตอริก (Steric) จะทำให้มีความว่องไวมากขึ้น (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ความว่องไวของอะมีนตติยภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาระหว่างเฟนิลไอโซไซยานเนต และบิวทานอล[6]

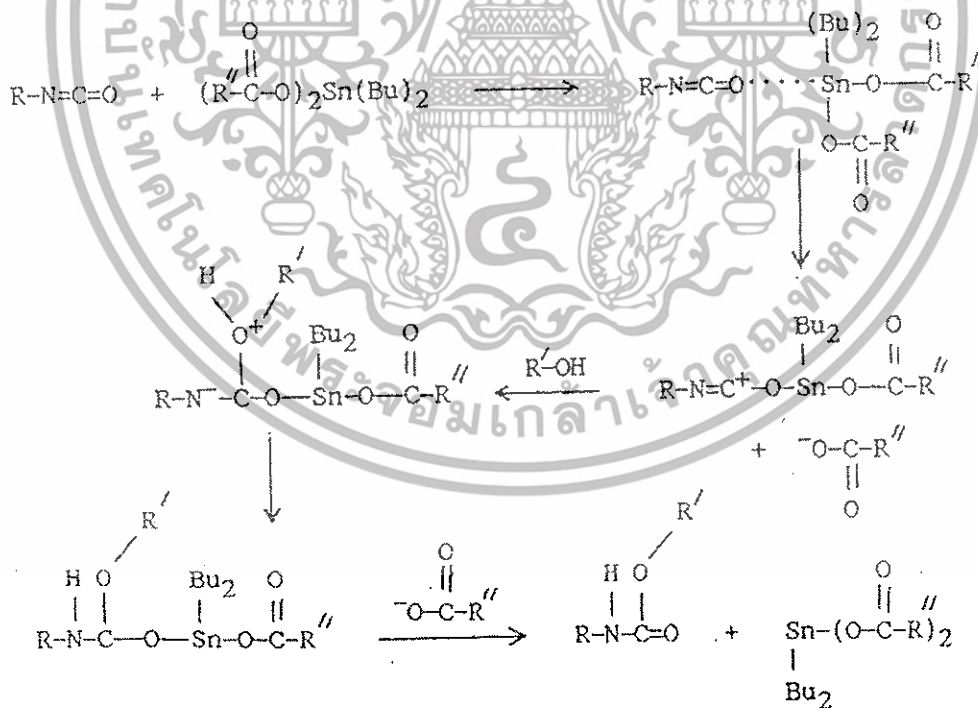
อะมีน	Base strength (pKa)	ความว่องไวสัมพัทธ์
Trimethylamine	9.9	2.2
Ethylidimethylamine	10.2	1.6
Diethylmethylamine	10.4	1.0
Triethylamine	10.8	0.9
Triethylenediamine	8.2	3.3

สารประกอบของโลหะดีบุกที่นิยมเช่น สแตนเนียสออกโตเนต (Stannous octonate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หรือ ไดบิวทิลทินไดอะซิเตต (dibutyltin diacetate)



นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกริยาการเตรียมไอโซไซยานตยังขึ้นอยู่กับตัวเร่งที่ใช้ด้วย ซึ่งพบว่า สารประกอบของโลหะดีบุกจะมีความว่องไวที่สุด (ตารางที่ 2.5) แต่กลับพบว่าสารประกอบของเอกซารีนเป็นเอกซารีนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะดีบุกมีความว่องไวในการเตรียมไอโซไซยานเนตแบบปฏิกิริยาการเติมด้วยตัวเอง (Self addition reactions) ได้น้อยกว่าอะมีนตติยภูมิ

ตารางที่ 2.5 ความว่องไวของตัวเร่งที่ใช้เตรียมยูรีเทนจากเฟนิลไอโซไซยานเนต [6]

	อัตราเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดปฏิกิริยากับ		
	n-บิวทานอล	น้ำ	ไดเฟนิลยูเรีย
ไม่มี	1.0	1.1	2.2
N-methylmorpholine	40	25	10
Triethylamine	86	47	4
Tetramethyl-1,3-butanediamine	260	100	12
Triethylenediamine	1200	380	90
Tributyltin acetate	8000	14000	8000
Dibutyltin diacetate	600000	100000	120000

2.8.1.4 ตัวทำละลาย (Solvents)

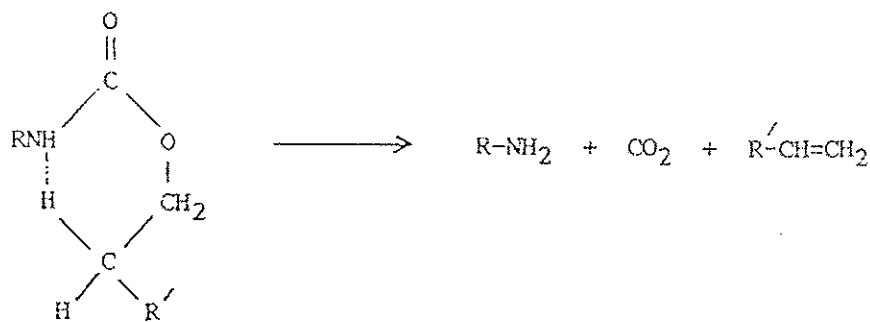
พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้หากมีจุดหลอมตัวมากกว่า 200 °C จะยากแก่การเตรียมโดยวิธีการเกิดพอลิเมอร์แบบหลอมเหลว (Melt polymerization) เพราะที่พันธะยูรีเทนไม่เสถียรเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 220 °C การสลายของยูรีเทนที่เกิดจากไอโซไซยานเนตกับแอลกอฮอล์ อาจเป็น

- แตกตัวกลับไปเป็นไอโซไซยานเนตและแอลกอฮอล์

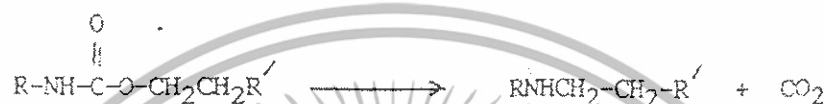


- แตกตัวกลายเป็นอะมีนปฐมภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และโอเลฟิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- หรือแตกตัวกลายเป็นอะมีนทุติยภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์



หรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หมู่อโซไซยานาตอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ซึ่งจะทำให้เสียสมดุลไป เช่น อาจเกิดไตรเมอไรเซชันหรือเกิดอัลโลฟานาต (Allophanate) ได้

ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง จึงมักเตรียมพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิไม่สูงนักมากคือ น้อยกว่า 120°C และเป็นแบบการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution polymerization) ซึ่งพบว่าการเลือกตัวทำละลาย มีความสำคัญมากในการเตรียมพอลิยูรีเทน (ตารางที่ 2.6) การที่จะได้พอลิยูรีเทนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักจะต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิยูรีเทนที่เกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide) N-เมทิลไพโรลิโดน และซัลโฟเลน เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 อิทธิพลของตัวทำละลายในการพอลิเมอไรเซชันเอทีลินไกลคอลและไดฟีนิลเมเทนไดไอโซไซยานาต [5]

Solvent	Yield,		Polymer solubility
	%	η_{inh}	
Xylene	33	0.06	Precipitates at once
Perchloroethylene	62	0.12	Precipitates at once
Chlorobenzene	100	0.17	Precipitates at once
Methyl isobutyl ketone	88	0.23	Precipitates at once
<i>sym</i> -Tetrachloroethane	100	0.36	Precipitates slowly
Nitrobenzene	81	0.35	Precipitates after 30 min
Dimethyl sulfoxide	98	0.69	Soluble
Tetramethylene sulfone	100	0.76	Soluble
Dimethyl sulfoxide/methyl isobutyl ketone, 50/50	100	1.05	Soluble

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.5 สารช่วยให้เกิดฟอง (Blowing agent)

พอลิยูรีเทนมักนำไปใช้ทำโฟม ทั้งโฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็ง สารช่วยให้เกิดฟองจึงเป็นสารเติมแต่งที่สำคัญในการทำโฟม โดยสารช่วยให้เกิดฟองจะทำให้พอลิเมอร์เกิดรูพรุน (Pores) ได้ สารช่วยให้เกิดฟองที่นิยมใช้ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศและของเหลวที่ระเหยง่าย (Volatile liquids) ที่มีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) สูง ๆ แต่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ฟลูออรีเนตอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Fluorinated aliphatic hydrocarbon) (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง [6]

สารช่วยให้เกิดฟอง	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น(g/cm ³)	จุดเดือด (°C)
Cyclohexane	84.00	0.774	80.8
Trichloroethylene	131.40	1.466	87.2
1,2 Dichloroethane	98.97	1.245	83.5
1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	187.39	1.565	47.6
Acetone	58.08	0.785	56.2

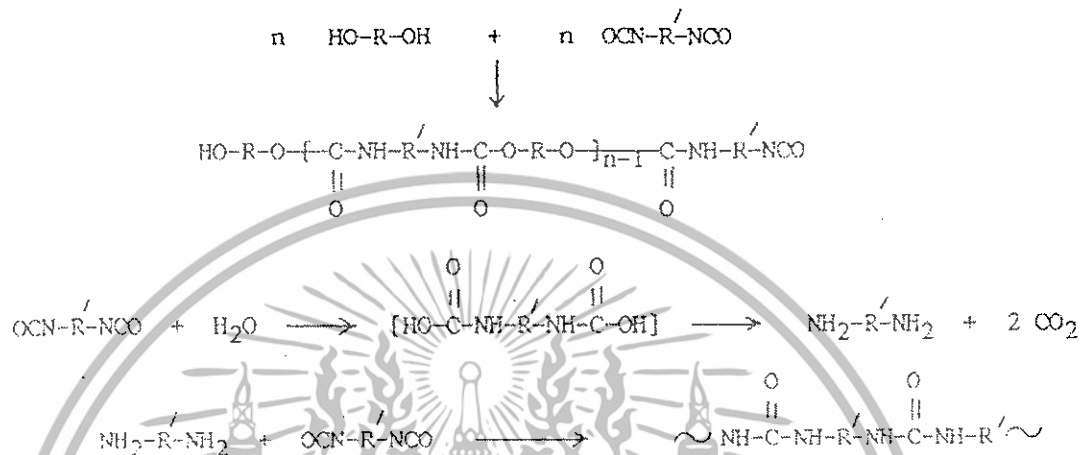
การเกิดฟองในการเตรียมพอลิยูรีเทน มักอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตและน้ำหรือ โดยการเติมสารช่วยให้เกิดฟองจำพวกฟลูออรีเนตไฮโดรคาร์บอน แต่เนื่องจากสารตัวนี้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศอย่างมาก ปัจจุบันจึงมักใช้สารหรือของเหลวระเหยง่ายอื่นๆ แทน

การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ขั้นตอนการเกิดฟองหรือก๊าซ จะเกิดพร้อมกับการเกิดพอลิยูรีเทน (คือการพอลิเมอไรเซชัน) เลย ดังนั้นจะต้องให้ปฏิกิริยาทั้งสองสมดุลกัน คือต้องให้ฟองก๊าซติดอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ (Polymer matrix) ถ้าการเกิดฟองก๊าซเร็วเกินไป จะทำให้การพองตัวของโฟมไม่ถาวร คือจะยุบลงมาได้ เนื่องจากการพอลิเมอไรเซชันยังไม่ได้สร้างพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะกักก๊าซเหล่านี้ไว้ได้ แต่ถ้าให้พอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นเร็วเกินไป โฟมก็จะไม่เกิดการพองตัว บางครั้งจึงต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เช่น ซิลิโคน-พอลิอัลคิลีนออกไซด์ บล็อกโคพอลิเมอร์ (Silicone-polyalkylene block copolymer) ด้วยเพื่อทำให้โฟมเสถียร (Foam stabilizer) เมื่อพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ยังไม่แข็งแรงพอ

2.8.2 โฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็ง

2.8.2.1. โฟมยืดหยุ่น (Flexible foams)

การผลิตโฟมยืดหยุ่นจะประกอบด้วยการใช้ไดไอโซไซยานเนต พอลิออล และใช้น้ำเป็นสารช่วยให้เกิดฟอง



โดยจะให้พอลิออลทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานเนตที่มากเกินไปจนกระทั่งกลายเป็นพรีพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อน แล้วจึงเติมน้ำ ตัวเร่ง และสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไป ไดไอโซไซยานเนตที่นิยมใช้เตรียมโฟมยืดหยุ่นคือ โทลูอินไดไอโซไซยานเนต พอลิออลที่ใช้จะเป็นพอลิอีเทอร์หรือพอลีเอสเทอร์ก็ได้ส่วนใหญ่ โดยประมาณ 80% ของโฟมยืดหยุ่นจะเตรียมจากพอลิอีเทอร์เพราะทนต่อการแตกตัวด้วยน้ำ (Hydrolysis) ได้ดีกว่า แต่พอลีเอสเทอร์โฟมจะทนต่อตัวทำละลายต่างๆ ได้มากกว่า

2.8.2.2 โฟมแข็ง (Rigid foams)

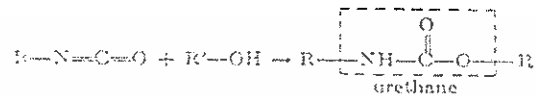
การผลิตโฟมแข็งก็เหมือนกับการผลิตโฟมยืดหยุ่นแต่จะแตกต่างกันตรงระดับการเชื่อมต่อ (Degree of cross linking) โฟมแข็งจะมีการเชื่อมต่อมากกว่าโฟมยืดหยุ่น และส่วนใหญ่จะเตรียมจากพอลิอีเทอร์ และมักจะเติมสารช่วยให้เกิดฟอง เช่นฟลูออโรคาร์บอนและคลอโรคาร์บอน เช่น เมทิลีนไดคลอไรด์

โฟมพอลิยูรีเทนมีข้อดีกว่าโฟมทั่วไป คือมีสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity) ต่ำ ทนต่อความร้อน (Thermal resistance) ดีมาก ไอซึมผ่าน (Vapor permeability) ต่ำ น้ำหนักเบา และผลิตได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ปฏิกิริยาพื้นฐานในการเกิดพอลิยูรีเทน

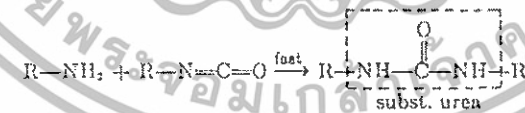
ปฏิกิริยาในการเกิดพอลิยูรีเทนที่สำคัญมี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตและสารประกอบที่มีไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบและปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำซึ่งเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานสำหรับการเกิดหมู่ยูรีเทน และอาจพิจารณาได้จากปฏิกิริยาถูกโซ่ สำหรับปฏิกิริยาอย่างง่าย ๆ ได้นำเสนอโดยสารประกอบแบบมอนอฟังก์ชันนอลดังสมการข้างล่างนี้



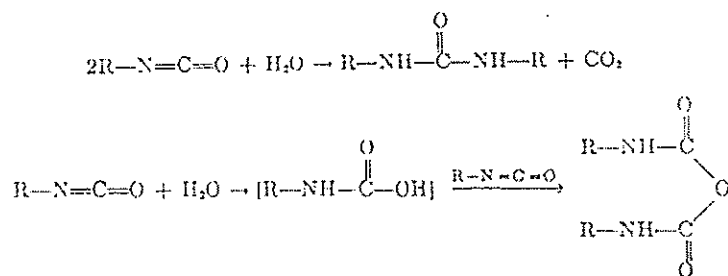
ปฏิกิริยาที่สองใช้สำหรับการเกิดโฟมของพอลิเมอร์ยูรีเทน ในการผลิตโฟมแบบยืดหยุ่นโดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกพร้อมกันกับการเกิดของหมู่ยูรีเทนที่โซ่แทนที่ ขั้นตอนแรกของปฏิกิริยานี้เป็นการเกิดกรดคาร์บามิกที่ไม่เสถียร (Unstable carbamic acid) ที่แตกตัวเพื่อก่อตัวเป็นเอมีน และคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการข้างล่างนี้



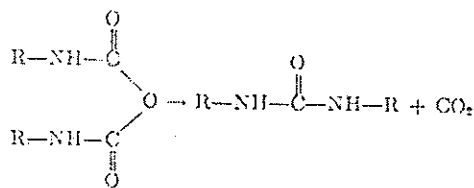
เอมีนจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาตที่เติมลงไปเพื่อก่อตัวเป็นยูรีเทนที่โซ่แทนที่ตามสมการข้างล่างนี้ ปฏิกิริยาโดยรวมนำเสนอโดย



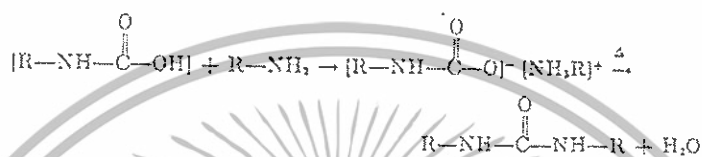
สมการแสดงกลไกของการเปลี่ยนแปลง ที่ก่อให้เกิดของกรดคาร์บามิกแอนไฮไดรด์ตามด้วยการแตกตัวไปเป็นยูรีเทนที่โซ่แทนที่ และคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการข้างล่างนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปฏิกิริยาอีกหนึ่งปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นในบางขอบเขต คือ การเกิดเกลือของเอไมด์ของกรดคาร์บามิกที่แตกตัวภายใต้ความร้อนเพื่อให้ น้ำและยูเรีย ตามสมการข้างล่างนี้

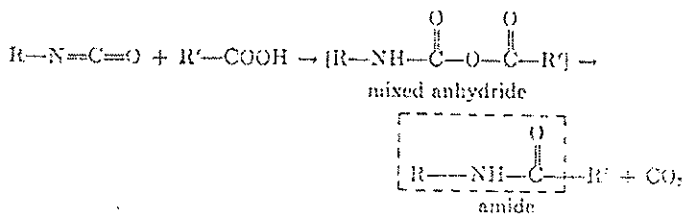


ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการแก้ไขความชื้นของสารเคลือบไอโซไซยานาตชนิดหนึ่งส่วน (One component isocyanate-terminated coating) นอกจากนี้ ยังตั้งจุดที่สำคัญของการใช้งานส่วนประกอบที่แห้งอย่างสมบูรณ์แบบในการเกิดของสารเคลือบผิวอีลาสต์โตเมอร์ที่เป็นของแข็ง และสารเชื่อมต่อนี้ประกอบด้วยหมู่ที่ไม่มีไอโซไซยานาต นำมาใช้ในการหลีกเลี่ยงการเกิดฟองที่ไม่ต้องการที่มาจากคาร์บอนไดออกไซด์

อีกปฏิกิริยาหนึ่ง จะเกิดขึ้นระหว่างไอโซไซยานาต และหมู่ฟังก์ชันที่มีไฮโดรเจนประกอบอยู่ ซึ่งได้มีการนำเสนอเป็นวัตถุดิบของยูรีเทนบางชนิด ตามปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.8 นี้ โดยปฏิกิริยานี้เป็นของค่าเฉพาะในการแผ่ขยายของโซ่ออกไปของ isocyanate-terminated prepolymer เพื่อที่จะก่อตัวเป็นอีลาสต์โตเมอร์ของยูรีเทน-ยูเรีย



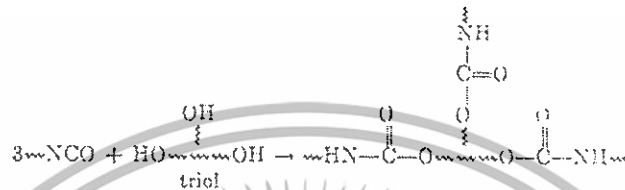
ปฏิกิริยาของไอโซไซยานาตกับกรดคาร์บอกซิลิก มักจะดำเนินไปกับการเกิดของแอนไฮไดรด์ผสมตามด้วยการแตกตัวให้กรดเอไมด์ที่สอดคล้องกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาตามสมการข้างล่างนี้



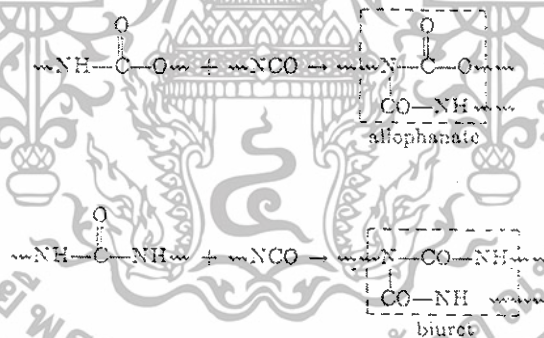
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ปฏิกิริยาเหล่านี้ อาจจะมีการแทนที่ของจำนวนของปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามพันธะ (Crosslinking reaction) ได้

ปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามพันธะที่ธรรมดาที่สุด มาจากการใช้พอลิออลที่มีค่าฟังก์ชันนอลลิตี เป็น 3 หรือมากกว่า การก่อตัวของพันธะเชื่อมข้ามของยูรีเทนในปฏิกิริยากับ ไอโซไซยาเนตเป็นไปตามตัวอย่าง ในสมการข้างล่างนี้

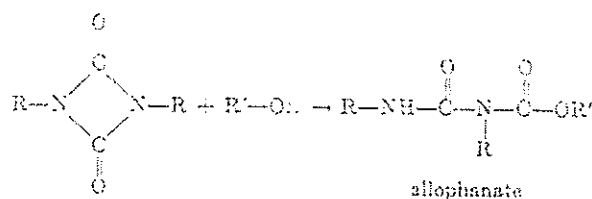


ที่อุณหภูมิสูงขึ้น (100 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า) หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าในการที่ลดลงจะมีหมู่ยูรีเทนที่แน่นอนที่ทำปฏิกิริยากับ ไอโซไซยาเนตในปริมาณมาก เพื่อก่อตัวเป็นร่างแหอัลโลฟานาต (allophanate linkage) ตามสมการข้างล่างนี้ ในทำนองเดียวกัน หมู่ยูรีเทียก็ทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนต เพื่อให้ผลเป็นร่างแหไบยูเรต

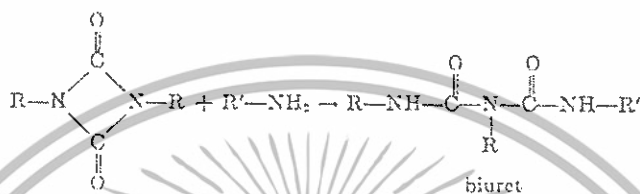


อัลโลฟานาตอาจเกิดการก่อตัวขึ้นในปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์กับไอโซไซยาเนตตามสมการข้างล่างนี้ ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้า แต่ก็สามารถเพิ่มขึ้นเป็น 1000 เท่า ได้โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น ไตรเอทิลเอมีน

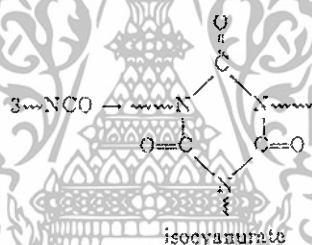
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไอโซไซยานเนตไตรเมอร์ทำปฏิกิริยากับเอมีนจะให้ไบยูเรตที่สอดคล้องกัน ตามสมการข้างล่างนี้



ปฏิกิริยาเชื่อมข้ามพันธะอีกปฏิกิริยาหนึ่งคือการเกิดไตรเมอร์ที่นำไปสู่การเกิดวงแหวนของไอโซไซยานเนต คือปฏิกิริยาดังสมการข้างล่างนี้



2.8.4 กระบวนการเตรียมโฟมพอลิเมอร์ โดยทั่วไปมี 3 วิธี

1. การเตรียม โฟมพอลิยูรีเทนในขั้นตอนเดียว (One-shot process) ทั้งพอลิอีเทอร์พอลิออลและพอลิเอสเทอร์พอลิออลสามารถเตรียมพอลิยูรีเทนได้ โดยพอลิเอสเทอร์ที่ใช้นั้นจะมีน้ำหนักโมเลกุล 2000 และของผสมทั้งหมดซึ่งได้แก่ พอลิเอสเทอร์พอลิออล สารไอโซไซยานเนต สารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวตัดแปลงต่างๆจะถูกผสมกันและผ่านในเตาปฏิกรณ์ประมาณ 2-3 นาที โฟมจะเกิดเต็มที่ ในขณะที่พอลิอีเทอร์พอลิออลนั้นเมื่อผสมของผสมทั้งหมดซึ่งได้แก่พอลิอีเทอร์พอลิออล สารไอโซไซยานเนต สารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยา และสตาบิไลเซอร์แล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นพร้อมกันและต่อเนื่องได้โฟมออกมาจากนั้นต้องนำไปอบ 10 - 24 ชั่วโมงก่อนจึงนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการพรีพอลิเมอร์ (prepolymer process) สามารถทำได้ทั้งพอลิเอสเทอร์พอลิออลและพอลิอีเทอร์กับพอลิออล แต่นิยมใช้พอลิอีเทอร์พอลิออลมากกว่า ทำได้โดยให้พอลิออลทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานาตที่มากเกินไปก่อนจะได้พรีพอลิเมอร์ปลายโมเลกุลเป็นไดไอโซไซยานาตซึ่งเสถียรในสภาวะที่แห้งและเมื่อเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวตัดแปลงลงไปจะเกิดโฟมออกมา

3.8 ควอซีพรีพอลิเมอร์ (Quasi-prepolymer) วิธีนี้คล้ายวิธีที่ 2 แต่ใช้ปริมาณไดไอโซไซยานาตมากๆ ทำปฏิกิริยาพอลิออล ได้พอลิยูรีเทนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีไดไอโซไซยานาตอิสระเหลืออยู่มาก จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับพอลิออลต่อในขั้นตอนที่ 2 พร้อมเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวตัดแปลงลงไปจะได้โฟมพอลิยูรีเทนตามต้องการ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นำทิพย์ เมธีธรา และ ปราณิ แสงมณีพร [6] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่ใช้สารหน่วงการติดไฟที่ไม่มีแฮโลเจนเป็นองค์ประกอบประเภทต่างๆ ได้แก่ เมลามีน อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ซิงค์ไฮดรอกไซด์สแตนเนต และซิงค์บอเรต โดยทำการปรับปริมาตรสารหน่วงการติดไฟที่ใช้ตามประสิทธิภาพในการหน่วงการติดไฟที่วิเคราะห์ได้ จากผลการทดสอบการติดไฟตามมาตรฐาน UL-94 HB พบว่า สำหรับการใส่สารหน่วงการติดไฟประเภทเมลามีน อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ และซิงค์ไฮดรอกไซด์สแตนเนต ต้องใช้ในปริมาณอย่างต่ำ 13.46% 11.54% และ 5.77% ของน้ำหนักรวมสารตั้งต้นทั้งหมดตามลำดับ จึงจะสามารถผ่านการทดสอบการติดไฟได้ สำหรับการใส่ซิงค์บอเรต พบว่าไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟในช่วงปริมาณที่ทำการทดสอบ คือ 1-15.38% การทดลองอีกตอนหนึ่งคือ การใช้สารเติมแต่งประเภทซิลิโคนชนิดหนึ่ง ร่วมกับสารหน่วงการติดไฟแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลองตอนแรก พบว่าการใช้ซิลิโคนชนิดนี้ไม่สามารถช่วยให้สมบัติการหน่วงการติดไฟแต่ละประเภทดีขึ้น ในด้านคุณสมบัติอื่นๆของ โฟม ได้แก่ การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัด สำหรับการทดลองที่ใช้สารหน่วงการติดไฟที่ไม่มีแฮโลเจนเป็นองค์ประกอบประเภทต่างๆนี้ ไม่ทำให้คุณสมบัติดังกล่าวเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับโฟมที่ผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งใช้สารหน่วงการติดไฟที่มีแฮโลเจนเป็นองค์ประกอบ

วิภายู บุญเจริญสุข [8] งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในระหว่างการขนส่งจากพอลิยูรีเทนที่มีราคาประหยัดและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยใช้วัตถุดิบและสารเติมแต่งที่มีราคาต่ำ หาได้ง่ายในประเทศ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ โมลาส แกลบ และขี้เลื่อย มาเป็นองค์ประกอบในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยดังกล่าวได้แก่ สัดส่วนปริมาณโมลาสในพอลิเอทิลีน ชนิดและปริมาณของ ตัวเติมที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า โมลาสและตัวเติมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ สัดส่วนองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะใช้งาน บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับวัตถุที่มีน้ำหนักเบา คือ สัดส่วนปริมาณของ โมลาสในพอลิเอทิลีน เท่ากับร้อยละ 20 และตัว เติมที่เหมาะสม คือ แกลบ หรือซีลีเยอ ในปริมาณร้อยละ 9 และ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับวัตถุ ที่มีน้ำหนักมาก คือ สัดส่วนปริมาณของ โมลาสในพอลิเอทิลีน เท่ากับร้อยละ 35 และตัวเติมที่ เหมาะสม คือ แกลบ ในปริมาณร้อยละ 3.5

Filip [9] ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในดินและน้ำที่สามารถทำให้ พอลิเมอร์สังเคราะห์เกิดการย่อยสลายได้ ทำการตรวจวิเคราะห์ชีวิตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินด้วยกล้องจุลทรรศน์และตัวอย่างของพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถเกิดการย่อยสลาย โดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride), พอลิยูรีเทน (Polyurethane) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene) งานวิจัยนี้พบว่ามีสิ่งมีชีวิตตระกูลเดียวกับเห็ดในท้องถิ่น 2 ชนิดที่อยู่ในดินและผิวน้ำคือ *Aspergillus niger* และ *Cladosporium herbarum* ที่มีประสิทธิภาพในการทำให้ polyether based polyurethane เสื่อมลง การสลายตัวของพอลิเมอร์สังเคราะห์บางชนิด เช่น พอลิยูรีเทน (polyurethane) สามารถถูกเร่ง ให้เกิดการย่อยสลายได้โดยมีสารอาหารอยู่อย่างเพียงพอ

J.L. Rivera-Armenta Th.Heinze และ A.M. Mendoza-Mentinez [10] พอลิยูรีเทน เกิด จากปฏิกิริยาระหว่าง พอลิเอทิลีน พอลิเอทิลีน หรือพอลิเอทิลีนพอลิเอสเตอร์ กับ พอลิไอโซไซยานเนต โดย วิธี one-shot process โดยสมบัติของ โฟมพอลิยูรีเทน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ สารเติมแต่ง กระบวนการ ผลิต ฯลฯ สารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของพอลิยูรีเทน อาทิ เช่น อนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสซัลเฟต คาร์บอนซี เมทิลเซลลูโลส และ ไตรเมทิล ซิลิล เซลลูโลส โดยจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลของอนุพันธ์เซลลูโลส ขึ้นกับปริมาณการแทนที่ (degree of substitutions) ในการทดลองทำเช่นเดียวกับการเกิดพอลิยูรีเทน เพียงแค่นำอนุพันธ์ของเซลลูโลสเป็นส่วนผสมเพิ่มเข้าไป จากนั้นทำการสกัดโฟมด้วยตัวทำละลายที่ เหมาะสมกับอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั้นๆ แล้วนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค IR และ C^{13} NMR การหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) โดยเทคนิค DSC พบว่าพอลิยูรีเทนที่ ปรับปรุงด้วยอนุพันธ์ของเซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้น จากเทคนิค TGA ปรากฏว่าพอลิยูรีเทน-เซลลูโลส ซัลเฟตมีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าพอลิยูรีเทน โฟม และพอลิยูรีเทน โฟมที่เตรียมจากอนุพันธ์ เซลลูโลสอื่นๆ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี ไมโครกราฟพบว่าขนาดเซลล์ที่ได้เล็กลง มีความ ทนทานแน่นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทน โฟม และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMA (Dynamic mechanical analysis) พบว่าพลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลส เพิ่มขึ้น และผลของปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสที่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kawai [11] สรุปการศึกษาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นกับพอลิเอเทอร์และอริบายเกี่ยวกับการย่อยสลายของ copoly(ether/ether)s และ copoly(ether/ester)s โดยพอลิเอเทอร์จะเกิดการย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียและไลเปส พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) ระหว่าง 400-6,000 สามารถเปลี่ยนอาหารให้เป็นสารที่ดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์หลายชนิด พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มระหว่างพอลิเอทิลีนไกลคอลกับพอลิพรอพิลีนไกลคอล (PEG-PPG) สามารถย่อยได้โดย PEG และ/หรือ PPG จะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ผลจากการศึกษางานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า พอลิเอเทอร์เป็นส่วนที่ช่วยให้ส่วนที่แข็ง (hard segments) สามารถยึดหยุ่นได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมที่สามารถเกิดการย่อยสลายได้

Sung-Il Lee, Soo-Chang Yu, Youn-Sik [12] พอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอาจจะถูกนำมาใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกซึ่งสามารถใช้แทนที่ฟิล์มธรรมชาติที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเช่น พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน พรีพอลิเมอร์ถูกสังเคราะห์จากพอลิวิทาลินซัคซิเนตพอลิออล (PBS, M_n 1650) พอลิเอทิลีนไกลคอล(PEG, M_n 1000) และ 4,4-ไดไซโคเฮกซิมิเทนไดไฮโดรไซยานเนต โดยใช้ 1,4-บิวเทนไดออลเป็นชนเอ็กเทนเดอร์ ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารจะอยู่ที่ 30,000-38,000 และมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 99-101 องศาเซลเซียส ค่า tensile strength (2.0-2.4 กก/ม²) ของพอลิเมอร์ที่ได้มีค่าค่อนข้างที่จะดีกว่าค่าของPBS(1.6กก/ม²) ที่ได้รายงานไว้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักโมเลกุลที่เท่ากัน(M_n 20,000) แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงดึงยึดที่จุดขาด(230-330%)มีค่าดีกว่าPBS (42%) พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถเสียดสภาพได้อย่างรวดเร็วในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถวัดได้จากน้ำหนักที่หายไป 30-60% ภายใน 2 วัน ซึ่งผลของการเสียดสภาพนี้จะขึ้นอยู่กับส่วน hard segment ของPEG หรืออีกนัยหนึ่งกล่าวได้ว่าพอลิยูรีเทนที่มีส่วนผสมของPBS เป็น soft segment จะให้อัตราการเสียดสภาพได้ช้ากว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน

Gary T.Howard [13] บทความเกี่ยวกับพอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ความเป็นผลึก การเชื่อมโยงและหมู่ฟังก์ชันของสารเคมี จากการศึกษาพบว่าหมู่เอสเทอร์ในพอลิเอสเทอร์พอลิออลสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในจุลินทรีย์ โดยเอนไซม์เอสเทอร์เลสจะทำการไฮโดรไลซิสพันธะเอสเทอร์

Wales and Sagar [14] ศึกษาผลของโครงสร้างพอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีกับโครงสร้างของจุลินทรีย์ของตัวอย่างการขึ้นรูปฟิล์มพอลิยูรีเทนและผลของจุลินทรีย์ต่อสมบัติแรงดึง พบว่าพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์จากไดไฮโดรไซยานเนตที่แตกต่างกันมีส่วนที่เรียกว่า “hard block” และ “soft block” โดยทำการแทนที่ส่วนต่างๆด้วยสปอร์ของจุลินทรีย์ ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้สามารถวิเคราะห์ได้จากองศาการย่อยสลายโดยตรวจวัดได้จากน้ำหนักโมเลกุลที่หายไป จากการทดลองให้ผลว่าความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ยูรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนที่ไอโคโรไลซิสกับความยาวของสายโซ่คาร์บอนในพอลิยูรีเทนแปรผกผันกัน โดยพอลิเอเทอร์ ทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ได้มากกว่าพอลิเอสเทอร์

Huang et al. [15] ศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลอยู่ในช่วง 40,000 ทำการตรวจสอบจากการเติมไนโตรเจน พบว่าพอลิยูรีเทนทั้งที่มีเป็นอะ ลีฟาคิก ไคโอโซไซยานเนตและอะโรมาติก ไคโอโซไซยานเนตสลายตัวได้ โดยอะโรมาติกพอลิเมอร์จะ สลายตัวช้ากว่าอะลีฟาคิกพอลิเมอร์ โดยการเติมไนโตรเจนจะลดการสลายตัว

Hatakeyama et al. [16] ศึกษาสมบัติของพอลิยูรีเทนซิสและพอลิยูรีเทนโพร้ม โดยนำพอลิเอ ทิลีนไกลคอนมาผสมกับ กากน้ำตาล ลิกนิน เศษไม้หรือกากกาแฟก่อนค่อยนำไปทำปฏิกิริยากับได เพนนิลมีเทน ไคโอโซไซยานเนตที่อุณหภูมิห้องจะได้พอลิยูรีเทนซิส ส่วนพอลิยูรีเทนโพร้มเตรียมได้ จากการนำส่วนแรกทีกล่าวมาทำการผสมไดเพนิลมีเทน ไคโอโซไซยานเนตที่เติมพลาสติกไซเซอร์ สารลดแรงตึงผิว ตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมน้ำจากนั้นนำไปปั่นควน จากการทดลองสามารถสรุปว่าได้ พอลิยูรีเทนที่เติมส่วนเหลือใช้ของเศษไม้และลิกนินจะทำปฏิกิริยาที่ส่วนที่แข็งของพอลิยูรีเทนและ พบว่าพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในดิน ส่วนพอลิยูรีเทนที่เติม กากน้ำตาลและกากกาแฟ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะขึ้นอยู่กับ *cryptomeria* และ *beech*

Coppola and Conn [17] ศึกษาการเตรียม semi-rigid พอลิยูรีเทนสำหรับใช้เป็นวัสดุกัน กระทบและบรรจุภัณฑ์ของสินค้าที่เกิดการสั่นสะเทือนแล้วเสียหายง่าย โดยโพร้มสังเคราะห์ได้จาก พอลิเอเทอร์พอลิโออล พอลิเมอร์ลิกไอโซไซยานเนตกับน้ำปริมาณมากและสารทำให้เกิดโพร้ม โดย ปฏิกิริยาของของผสมมีดัชนีระหว่างNCO/OHค่าประมาณ 30-60 เติมซิลิโคนเป็นสารลดแรงตึงผิวคิด เป็น1.8-3 ส่วนในพอลิโออล 100 ส่วน

ทัศนีย์ คำภูเวียงและนฤมล เปรมธีรวัฒน์ชัย [18] พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมัน สำปะหลังกับพอลิสไตรีนที่สมบัติย่อยสลายทางชีวภาพ ใช้ซีริกแอม โมเนียไนเตรตเป็นตัวริเริ่ม เมื่อ อัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อแข็งมันสำปะหลังสูงขึ้น ค่าAUG/chain ปริมาณความชื้น และปริมาณ homopolymer มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่ม ค่าAUG/chain และ ปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณhomopolymerลดลง ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อ อัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อแข็งมันสำปะหลังสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด จะมีค่าสูงขึ้น

Jackson et al. [19] ศึกษาการเตรียมพอลิยูรีเทน โพร้มชนิดแข็งโดยปราศจากการใช้สารคลอรี เนตเตด ฟลูโอโรคาร์บอนซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดฟอง โดยสังเคราะห์โพร้มจากการทำปฏิกิริยากับC₂- C₄ อัลคีน ออกไซด์ของโพพิลีนไกลคอลหรือเอทิลีนไดเอมีนก่อน จากนั้นผสมกับไอโซไซยานเนตที่มี พันธะอะโรมาติก ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำ สารลดแรงตึงผิว เซนเอ็กเทนเคอร์ ซี สารหน่วงไฟ สารตัวเติม และสารเติมแต่งอื่นๆ โดยเซนเอ็กเทนเคอร์ที่ใช้คือ กลีเซอริน ซึ่งพอลิยูรีเทนโพร้มชนิดแข็งที่ได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเช่นเดียวกันกับพอลิยูรีเทน โฟมชนิดแข็งที่ใช้สารทำให้เกิดฟองเป็นคลอรีนเตต ฟลูโอโรคาร์บอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไดเฟนิลเมเทนไดไอโซไซยานเนต (crude MDI) เกรดการค้า บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
2. พอลิเอเทอร์พอลิออล 4221 เกรดการค้า บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
3. แป้งมันสำปะหลัง เกรดการค้า ตราปลามังกร
4. แคลเซียมคาร์บอเนต เกรดการค้า
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา Toyocat MR : Toyocat DT อัตราส่วน 2 : 1 บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
6. สารที่ทำให้เกิดฟอง 141b เกรดการค้า บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
7. สารช่วยผสม AMS บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
8. ซิลิโคน DC 193 เกรดการค้า บริษัท TPI POLYOL จำกัด (มหาชน)
9. น้ำกลั่น
10. สารละลาย 3,5-Dinitrosalicylic acid (DNS)
11. สตูรอาหาร PDA , Potato Dextrose Agar
12. Aspregillus sp. (เชื้อรา)
13. ขี้ผึ้ง (Wax)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RE16 บริษัท IKA
2. ไซพัดกวนสเตนเลส
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AE-200 บริษัท Metter
4. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LR 30K : Llyod Instrument Ltd.
5. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) รุ่น J EOL JSM6200
6. เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค (Molecular sieve)
7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น UV-1601 บริษัท Shimadzu
8. เครื่องแก้ว - จานเพาะเชื้อ
9. กระป๋องพลาสติก
10. ถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP)
11. แม่พิมพ์พอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังเทใส่ลงในภาควัสดุเหนียว นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เพื่อไล่น้ำและความชื้น จากนั้นนำแป้งมันสำปะหลังที่ได้เทใส่ลงในตะแกรงร่อน ขนาด 230 เมช ของเครื่องแยกขนาดอนุภาค เพื่อทำการร่อนแป้งให้ได้ขนาดที่เท่ากัน เก็บแป้งมันสำปะหลังที่ได้ใส่ถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บไว้ใช้ต่อไป

ตอนที่ 2 การเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนต

นำแคลเซียมคาร์บอเนตเทใส่ลงในภาควัสดุเหนียว นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เพื่อไล่น้ำและความชื้น จากนั้นนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้เทใส่ลงในตะแกรงร่อน ขนาด 230 เมช ของเครื่องแยกขนาดอนุภาค เพื่อทำการร่อนแคลเซียมคาร์บอเนตให้ได้ขนาดที่เท่ากัน เก็บแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้ใส่ถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บไว้ใช้ต่อไป

ตอนที่ 3 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม

1. ชั่งสารเคมีแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมของพอลิยูรีเทนโฟมชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม
[ภาคผนวก ก]

สาร	สูตรที่ (กรัม)					
	1	2	3	4	5	6
แป้งมันสำปะหลัง	5	10	15	20	25	30
Polyether polyols	91.3	86.3	81.3	76.3	71.3	66.3
น้ำ	2	2	2	2	2	2
ตัวเร่งปฏิกิริยา	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
AMS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ซิลิโคน	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b	25	25	25	25	25	25
* crude MDI	164.67	157.79	150.91	144.02	137.14	130.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด * หมายเหตุ ปริมาณ crude MDI เป็นปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยากับ polyol ไปใช้

2. นำแป้งมันสำปะหลังและพอลิอีเทอร์พอลิโออลมาผสมกันในกระป๋องพลาสติกทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนให้ของผสมทั้งสองเข้ากัน

3. เติมน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา AMS ซิลิโคน และสารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b ลงในของผสมข้างต้น (โดยทำการเติมสารต่างๆบนเครื่องชั่งพร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักรวมของของผสมไว้เนื่องจากสารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองซึ่งสามารถระเหยได้จึงต้องมีการเติมเพิ่ม) จากนั้นทำการปั่นกวนให้ของผสมเข้ากัน

4. ชั่งน้ำหนักของผสมอีกครั้ง เติมน้ำที่ทำให้เกิดฟอง 141 b เท่ากับน้ำหนักที่หายไป จากนั้นเติม crude MDI ลงไปในของผสมอย่างรวดเร็วนำเข้า ไปปั่นกวนที่ความเร็ว 3600 รอบต่อ นาทีเป็นเวลา 7 นาที

5. เทของผสมทั้งหมดใส่ลงในถุงพลาสติก PP ใสขนาดใหญ่ ปล่อยให้เกิดของผสมพองตัวเป็นโฟมขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยไม่ยุบตัว จับเวลา และนำไปหาความหนาแน่นเพื่อเทลงแม่พิมพ์

6. ทำการทดลองซ้ำจนได้โฟมครบทุกสูตร

ตอนที่ 4 การเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัว

เติม

1. ชั่งสารเคมีแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของพอลิยูรีเทน โฟมชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

[ภาคผนวก ก]

สาร	สูตรที่ (กรัม)					
	1	2	3	4	5	6
แคลเซียมคาร์บอเนต	5	10	15	20	25	30
polyether polyols	91.3	86.3	81.3	76.3	71.3	66.3
น้ำ	2	2	2	2	2	2
ตัวเร่งปฏิกิริยา	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
AMS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ซิลิโคน	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b	25	25	25	25	25	25
* crude MDI	164.67	157.79	150.91	144.02	137.14	130.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด *หมายเหตุ ปริมาณ crude MDI เป็นปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยากับ polyol ไปได้

2. นำแคลเซียมคาร์บอเนตและพอลิอีเทอร์พอลิโออลมาผสมกันในกระป๋องพลาสติกทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนให้ของผสมทั้งสองเข้ากัน
3. เติมน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา AMS ซิลิโคน และสารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b ลงในของผสมข้างต้น (โดยทำการเติมสารต่างๆบนเครื่องชั่งพร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักรวมของของผสมไว้เนื่องจากสารที่ทำให้เกิดฟอง 141 b เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองซึ่งสามารถระเหยได้จึงต้องมีการเติมเพิ่ม) จากนั้นทำการปั่นกวนให้ของผสมเข้ากัน
4. ชั่งน้ำหนักของผสมอีกครั้ง เติมน้ำที่ทำให้เกิดฟอง 141 b เท่ากับน้ำหนักที่หายไป จากนั้นเติม crude MDI ลงไปในของผสมอย่างรวดเร็วนำเข้าปั่นกวนที่ความเร็ว 3600 รอบต่อ นาทีเป็นเวลา 7 นาที
5. เทของผสมทั้งหมดใส่ลงในถุงพลาสติก PP ใสขนาดใหญ่ ปล่อยให้เกิดของผสมพองตัวเป็นโฟมขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยไม่ยุบตัว จับเวลา และนำไปหาความหนาแน่นเพื่อเทลงแม่พิมพ์
6. ทำการทดสอบซ้ำจนได้โฟมครบทุกสูตร

ตอนที่ 5 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

1. การตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1622)

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความหนาแน่นควรมีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่สามารถคำนวณปริมาตรได้ จำนวน ไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน

ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

ชั่งน้ำหนักชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานโดยมีนัยสำคัญ 1% ในหน่วยน้ำหนักกรัม วัดความกว้าง, ความยาว และความหนา ด้วยเครื่องมือวัดในหน่วยความยาวได้ คำนวณหาความหนาแน่นชิ้นงาน

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน (g)}}{\text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{หนา (cm}^3\text{)}}$$

2. การตรวจวัดแรงกดชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

(อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1621_04)

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงกดควรมีรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว หนา 1 นิ้ว ซึ่งได้จากการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ จำนวน ไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน

ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

นำชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้จากการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ไปตัดให้มีขนาดกว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว หนา 1 นิ้ว นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง universal testing machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความเร็วของการกดชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 2.5 ± 0.25 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อหาค่าแรงกดสูงสุด ค่ามอดูลัส และมอดูลัสที่ 10% โดยที่เซลล์ของชิ้นงานไม่เกิดการเสียหาย

ตอนที่ 6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphology)

นำตัวอย่างโฟมที่ได้ไปตรวจสอบเพื่อทำการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดที่กำลังขยายสูงการเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) เป็นเวลา 10 นาทีและทำการหักชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบทันที นำชิ้นงานตัวอย่างมาเคลือบทองและนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)

ตอนที่ 7 การทดสอบการย่อยสลาย

การศึกษาศามารถในการย่อยสลายของชิ้นงานที่ได้ทำการขึ้นรูปโดยใช้เชื้อรา *Aspergillus sp.* ในการย่อยสลายโดยเชื้อราจะทำการสร้างเอนไซม์ อัลฟา-อะไมเลส มาย่อยสลายโดยเปลี่ยนโครงสร้างของแป้งบางส่วนให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส มอลโตส และลิมิตเดกซ์ทริน ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงโดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer)

การเตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบ

1. สารละลาย 3,5 -Dinitrosalicylic acid (DNS)

สารละลาย DNS 1 กรัม ในสารละลาย NaOH 2.0 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นเก็บสารละลายในขวดสีชาหรือขวดทึบแสง เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับแสงแล้วเกิดการเสื่อมสภาพ

* DNS ใช้สำหรับช่วยในการตรวจวัดน้ำตาล โดยทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ทำให้โมเลกุลของ DNS เปลี่ยนสี สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสง

2. สูตรอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ประกอบด้วย

มันฝรั่ง (Potato)	200 กรัม
เด็กโตรส (Dextrose)	20 กรัม
วุ้น (Agar)	15 กรัม

หั่นมันฝรั่งเป็นก้อนขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรหนัก 200 กรัม ต้มให้เดือดจนก้นมันฝรั่ง

เริ่มนึ่งกรองเอาแต่น้ำตาลเด็กโตรส (Dextrose) วุ้น (Agar) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว นาน 12 นาที

* PDA ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อราในช่วงแรกเพื่อให้เชื้อราเติบโตและผลิตเอนไซม์ อัลฟา-อะไมเลส สำหรับทดสอบความสามารถในการย่อยสลาย

การวัดปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น

1. เตรียม PDA 500 มล. ใส่ในขวดคูแรน
2. นำจานเพาะเชื้อเปล่ากับขวดคูแรนที่มี PDA ไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ
3. นำ PDA ที่ฆ่าเชื้อแล้วมาเทใส่จานเพาะเชื้อ
4. นำชิ้นงานโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็งมาวางบนจานเพาะเชื้อที่มี PDA ตัวอย่างละ 1 ชิ้น
5. ใส่หัวเชื้อ *Aspergillus* sp. ลงไปในจานเพาะเชื้อ จานละ 2 มล. (10^8 สปอร์/มล.)
6. เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 3 อาทิตย์
7. นำชิ้นงานโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่อยู่ในจานเพาะเชื้อมาละลายน้ำ
8. ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธีวัด DNA ของ Benfeld การวัด DNS โดยนำตัวอย่างที่ละลายน้ำแล้วมา 0.5 มล.
9. ใส่ DNS 1.5 มล. แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นใส่น้ำกลั่น 3 มล. แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
10. จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสเพื่อหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจริง[ภาคผนวก ข]

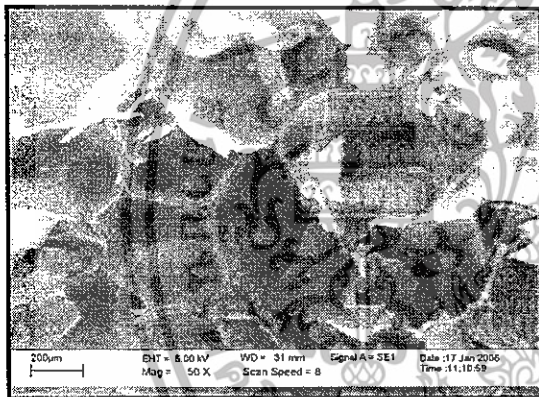
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

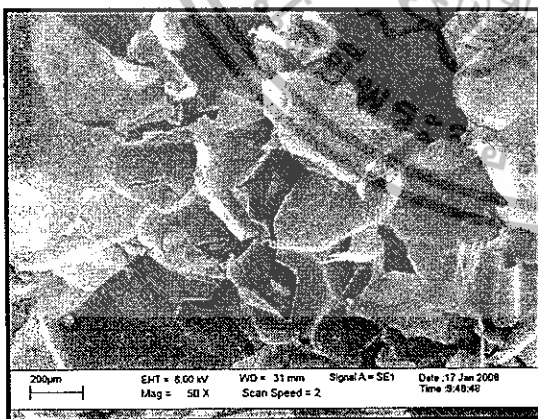
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphology)

นำชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติมมาทำการตัดชิ้นงานตรงส่วนกลางของชิ้นงาน ไปส่อง SEM เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะของเซลล์และชนิดของเซลล์ โดยทำการส่องเฉพาะ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมที่มีปริมาตรสารตัวเติมเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ส่วนเฉพาะ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมที่มีปริมาตรสารตัวเติมเท่ากับ 5, 15 และ 30% โดยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองดังนี้

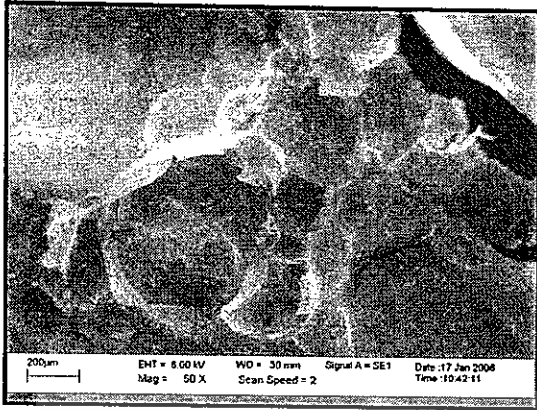


รูปที่ 4.1 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่า แสดงรูปร่างเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม



รูปที่ 4.2 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่า แสดงรูปร่างเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

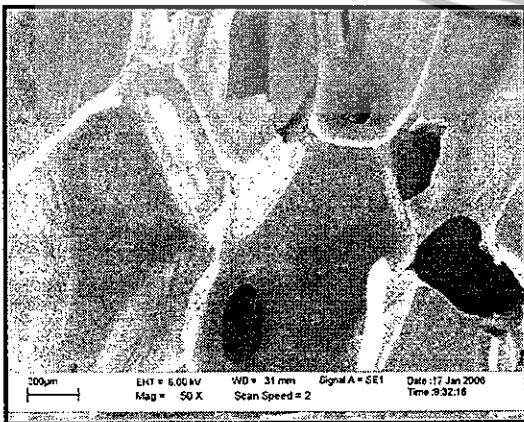


รูปที่ 4.3 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าเซลล์ของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมเป็นเซลล์ปิด ผิวของเซลล์มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นเห็นได้ชัดว่าเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและเซลล์มีการเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการค่าความจุความร้อนที่สูงของแคลเซียมคาร์บอเนตจึงทำให้ความร้อนของระบบสูงขึ้นเมื่อมีการเติมสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น โดยขนาดของเซลล์ที่ใหญ่ขึ้นจะมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกล



รูปที่ 4.4 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม



รูปที่ 4.5 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่าแสดงรูปร่างเซลล์ของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก เป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่า แสดงรูปร่างเซลล์ของโพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์ที่ มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 20% โดย น้ำหนัก เป็นสารตัวเติม



รูปที่ 4.7 รูป SEM กำลังขยาย 50 เท่า แสดงรูปร่างเซลล์ของโพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์ที่ มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 30% โดย น้ำหนัก เป็นสารตัวเติม

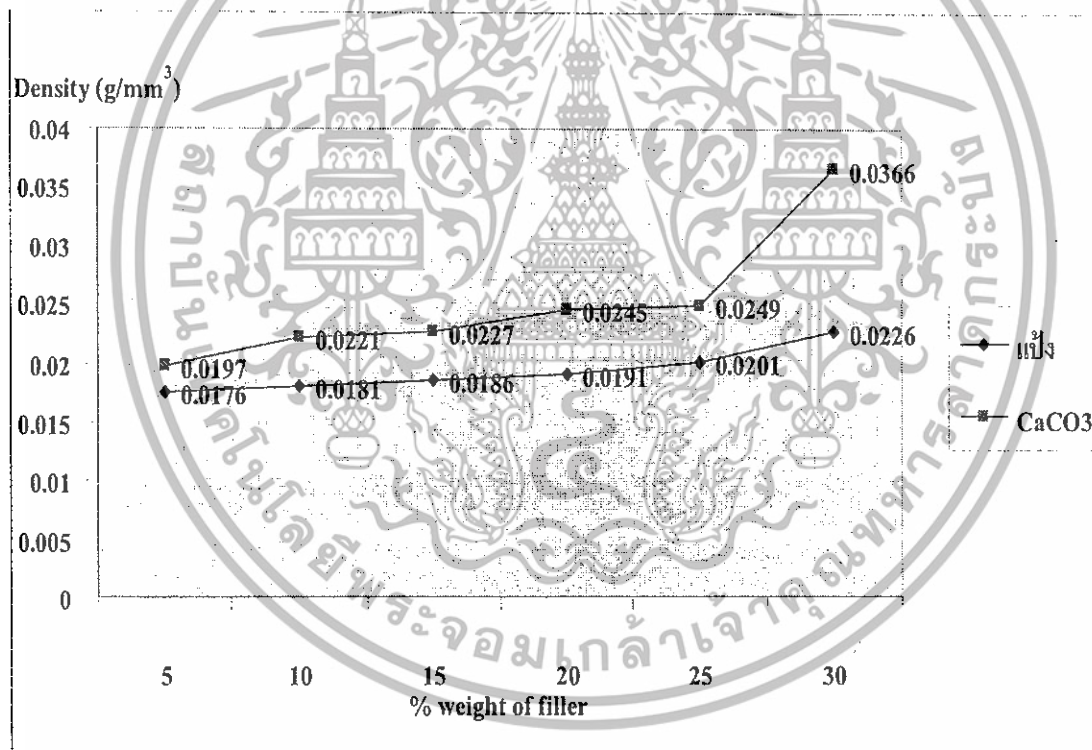
จากรูปที่ 4.4-4.7 พบว่าเซลล์ของ โพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง เป็นสารตัวเติมเป็นเซลล์ปิด ผิวของเซลล์มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่ม มากขึ้นเห็นได้ชัดว่าเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและเซลล์มีการเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการคายความร้อนที่สูงขึ้นของระบบเมื่อมีการเติมสารตัวเติมซึ่งมีอนุภาคเป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้น และขนาดของเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ของโพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์ที่มีการเติมแคลเซียม คาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยทดสอบความหนาแน่น ค่าความแข็งแรง โมดูลัสและสมบัติทางกายภาพโดยการส่อง SEM ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5 ,10 ,15, 20, 25 และ30% โดยน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบผลการทดสอบ

4.2.1 ผลการตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็ง

จากการนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่ทราบขนาดแน่นอนแล้วทำการชั่งน้ำหนักแล้วนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของ โพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ30% โดยน้ำหนักตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 พบว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2.60-2.75 กรัม/ซม.³ ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 0.65 กรัม/ซม.³ [9] จึงเป็นผลทำให้ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม

และเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น [22] เนื่องจากน้ำหนักของสารตัวเติมที่มากขึ้นจากเดิมแต่ปริมาตรชิ้นงานเท่าเดิม จากสมการดังนี้

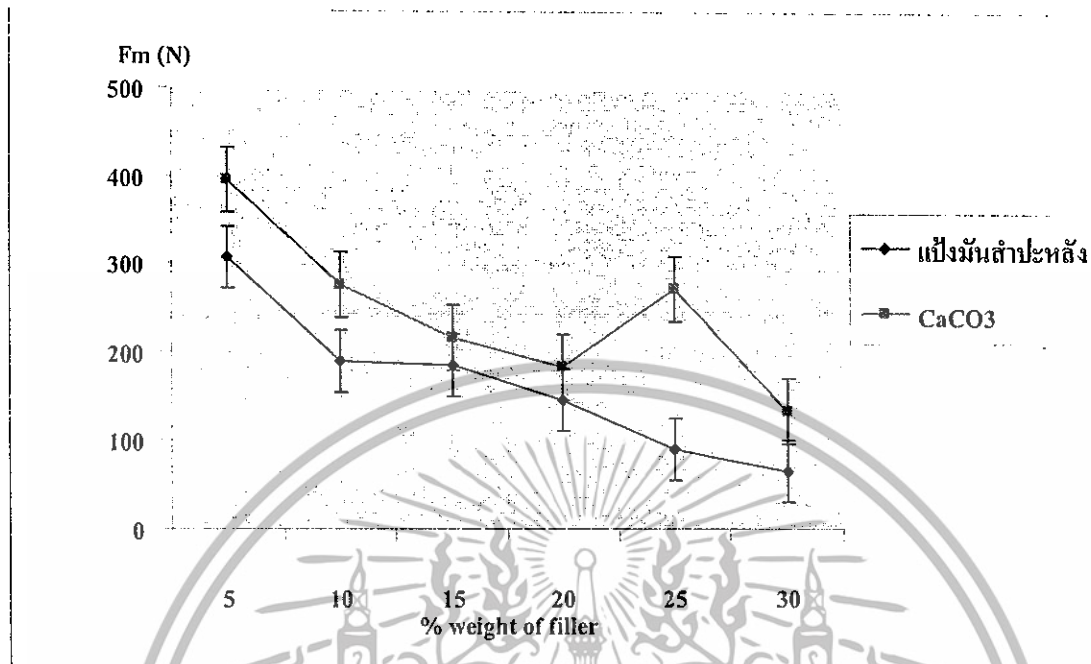
$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน (g)}}{\text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{หนา (cm}^3\text{)}}$$

จึงเป็นผลทำให้ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ วัตถุประสงค์จะครอบคลุมปริมาตรส่วนมากของ โฟม ดังนั้นจึงมีบทบาทที่เด่นชัดในการควบคุมสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น

4.2.2 ผลการตรวจวัดแรงกดชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

ได้ทำการตัดชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบแรงกดอัดให้ชิ้นงานมีขนาด 2 x 2 x 1 ตารางนิ้ว จึงได้เลือกตัดบริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน โดยไม่ตัดให้ติดผิวของแม่แบบที่มีความแข็งกว่า ส่วนกลางของชิ้นงาน แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine โดยทำการกดชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานมีความหนาแน่นลดลงครึ่งหนึ่ง (50%) ของความหนาแน่นเริ่มต้น คำนวณค่าต่างๆ จากกราฟ

4.2.2.1 ผลการทดสอบแรงกดอัดสูงสุด



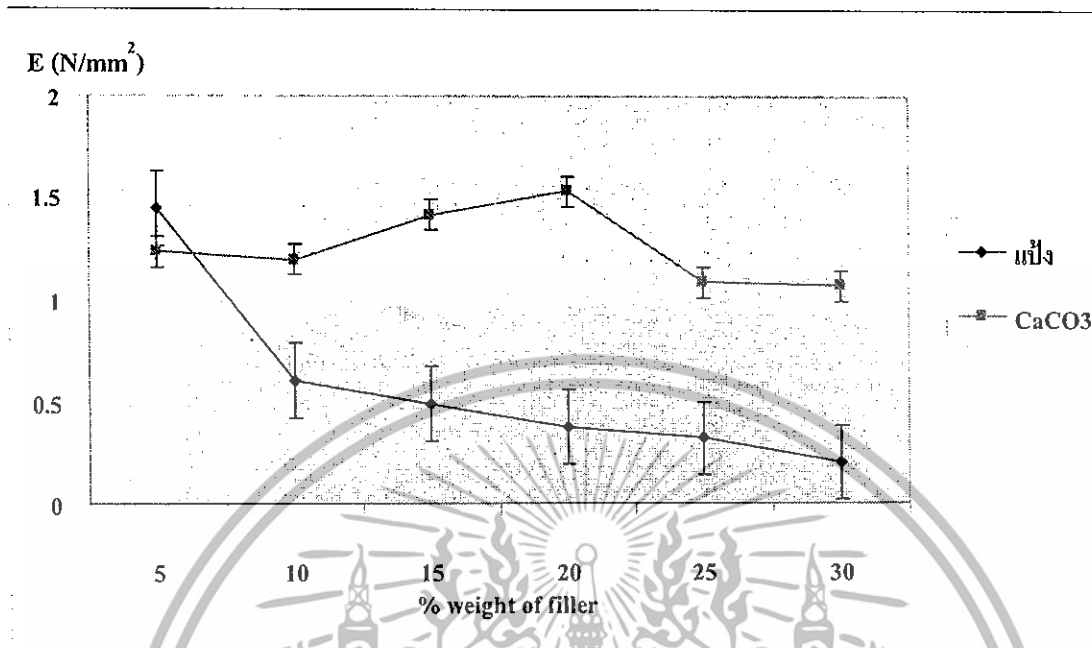
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าแรงกดอัดมากที่สุดที่ชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งได้รับจนมีความหนาลดลงครึ่งหนึ่ง (50%) ของความหนาเริ่มต้น พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมสามารถรับแรงกดอัดได้มากกว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม เพราะโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าจึงสามารถรับแรงกดอัดได้ดี โดยเมื่อชิ้นงาน โฟมแบบเซลล์ปิด ได้รับแรงกดอัดจะเกิดการกระจายความแข็งแรงไปยังเซลล์อื่นๆที่ต่อเนื่องกัน

แต่เมื่อมีปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งลดลงเนื่องจากชิ้นงานทดสอบตรงส่วนกลางมีความพรุนสูง เซลล์มีขนาดใหญ่ทำให้ความหนาแน่นในช่วงนี้ต่ำกว่าความหนาแน่นของชิ้นงานเริ่มต้น เมื่อมีสารตัวเติมเพิ่มขึ้นชิ้นงานมีความพรุนตรงส่วนกลางของชิ้นงานมากขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังนั้นสารตัวเติมซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกลมซึ่งมีการดูดและคายความร้อนได้ดีกว่าเนื้อพอลิเมอร์จึงทำให้เกิดโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่ใต้อเนื้อพอลิเมอร์ให้ไปอยู่ที่ติดกับผิวของแม่แบบมากขึ้น การกระจายแรงจึงไม่ต่อเนื่องเป็นเหตุให้สามารถรับแรงกดอัดได้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของโพลีเอพอกซีเรซินชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

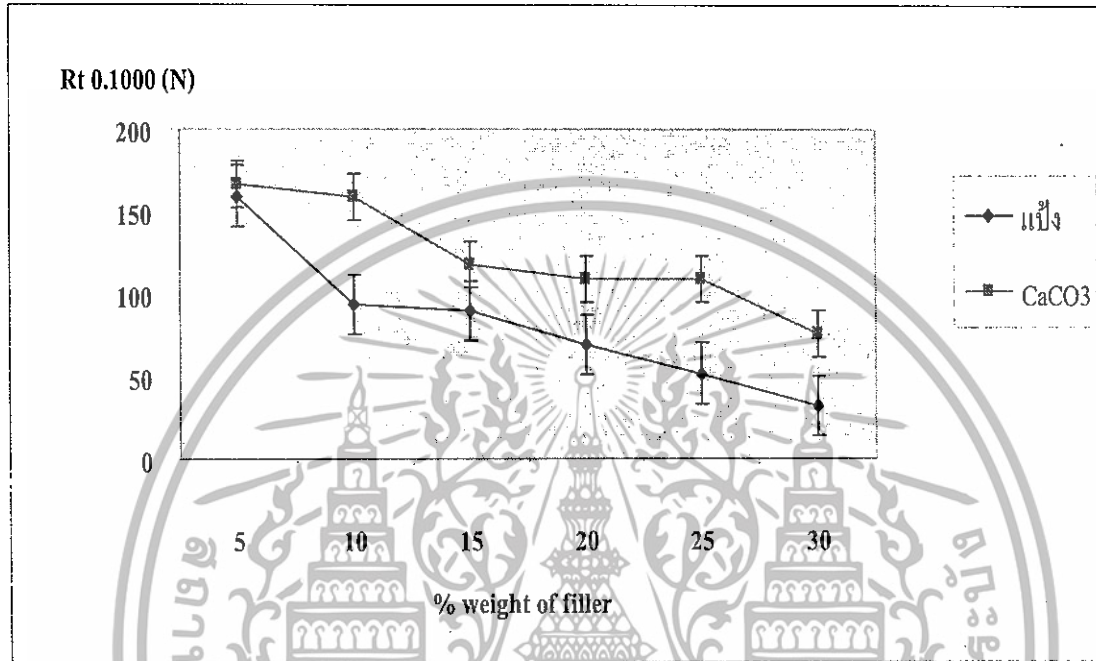
จากรูป 4.10 พบว่าโพลีเอพอกซีเรซินชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก มีค่ามอดุลัสสูงสุดแต่มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น แต่สำหรับโพลีเอพอกซีเรซินชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณสารตัวเติม 5-10% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่ามอดุลัสมีค่ามากขึ้น แต่เมื่อปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นสารตัวเติมมีปริมาณมากกว่า 20% โดยน้ำหนัก ค่ามอดุลัสกลับมีแนวโน้มลดลงเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้นชิ้นงานมีความพรุนสูงขึ้น ขนาดของเซลล์ที่ใหญ่ขึ้นทำให้ในชิ้นงานที่ตัดมาทดสอบมีปริมาณเนื้อของพอลิเมอร์และสารตัวเติมลดลง เป็นเหตุให้ชิ้นงานทดสอบสามารถรับแรงได้ลดลง

โดยค่ามอดุลัสสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียด จากการทดลองเรากำหนดให้กดชิ้นงานให้มีความหนาลดลงครึ่งหนึ่งของความหนาเริ่มต้นเท่ากันทุกชิ้นงาน ดังนั้นค่ามอดุลัสจึงขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้กดอัดชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานมีปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น แรงที่ใช้กดอัดชิ้นงานให้มีความหนาลดลงจึงใช้แรงน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสที่ 10% core deformation

ตามมาตรฐาน ASTM D1621_04 ระบุว่าค่ามอดุลัสที่ 10% core deformation หมายถึงค่ามอดุลัสที่ชิ้นงานสามารถรับแรงกดอัดได้ โดยที่เซลล์ของชิ้นงานยังไม่เกิดการเสียสภาพ

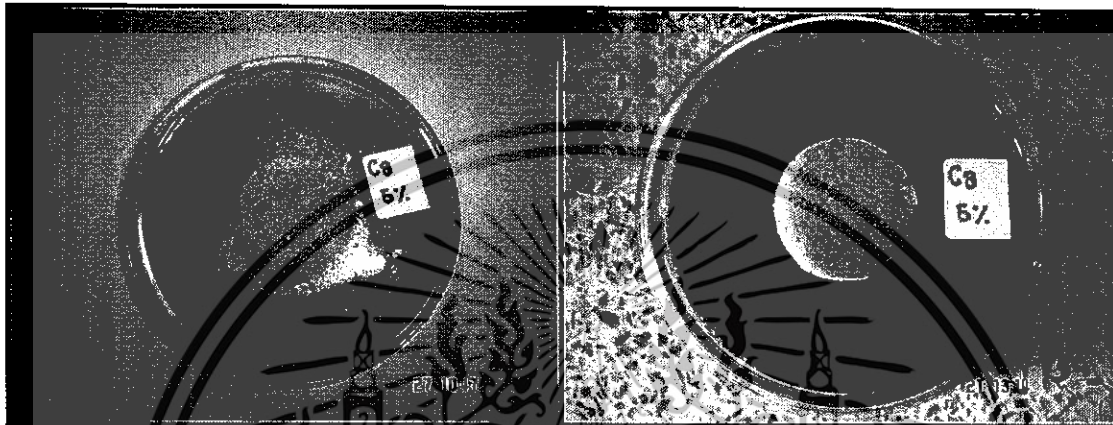


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสที่ 10% core deformation ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมจะมีค่ามอดุลัสสูงกว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมมีค่าน้อยกว่า และเมื่อปริมาณสารตัวเติมมีปริมาณมากขึ้นค่ามอดุลัสที่ 10% core deformation มีแนวโน้มลดลงด้วยอันเนื่องมาจากเหตุผลเช่นเดียวกันกับแรงกดอัดสูงสุด โดยเซลล์จะเสียสภาพได้เร็วกว่า

4.3 ผลการทดสอบการย่อยสลาย

เมื่อนำชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตและแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ไปทดสอบการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์อะไมเลสที่ได้จากการเพาะเชื้อรา *Aspergillus* sp. เป็นเวลานาน 3 อาทิตย์ ภายใต้สภาวะระบบปิดภายในจานเพาะเชื้อ จะแสดงผลดังรูปข้างล่างต่อไปนี้

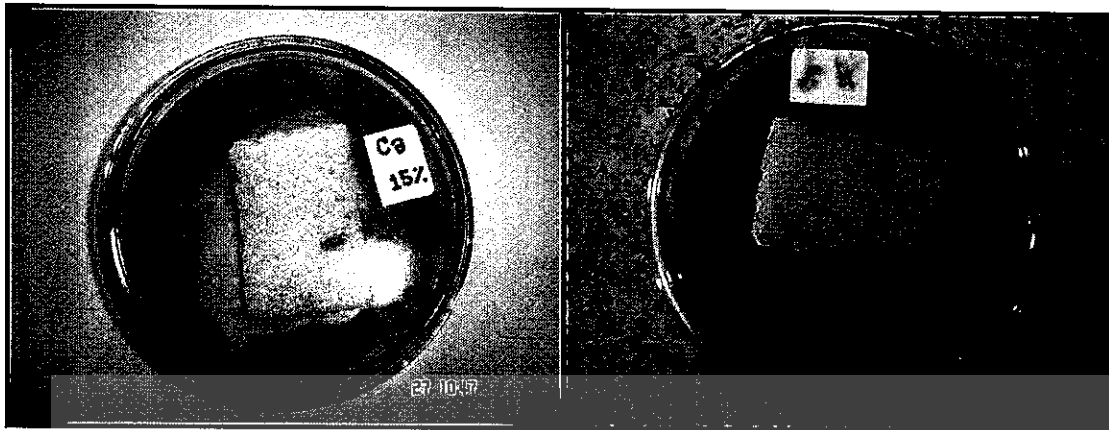


รูปที่ 4.12 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.



รูปที่ 4.13 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.



รูปที่ 4.15 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.



รูปที่ 4.17 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

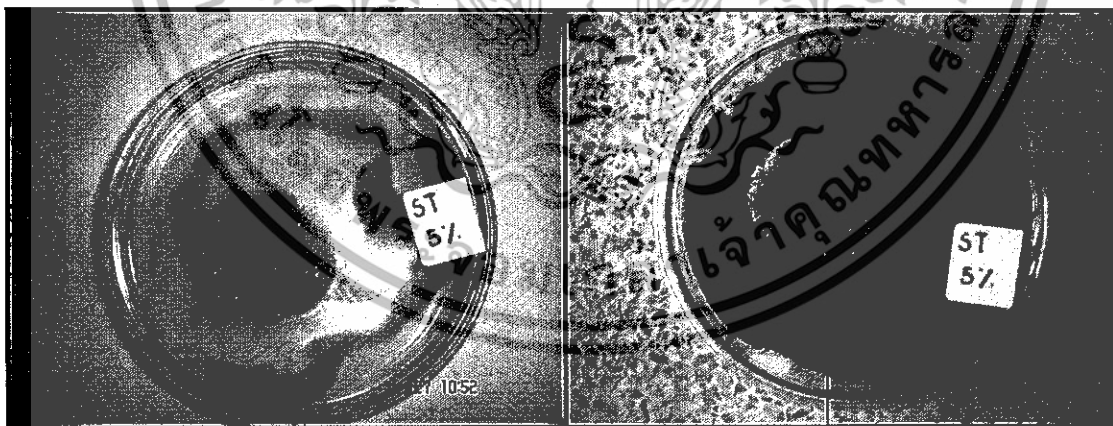
จากรูปที่ 4.12 - 4.17 พบว่าชิ้นงานของโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมไม่พบจุดดำบนชิ้นงานภายหลังจากการเพาะเชื้อรา *Aspergillus* sp. เป็นเวลานาน 15 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *Aspergillus* sp. ไม่สามารถเจริญเติบโตโดยการย่อยสลายแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในโพลีเอทิลีนชนิดแข็งได้เลยถึงแม้ว่าจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเชื้อรา *Aspergillus* sp. ต้องอาศัยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตคือแหล่งคาร์บอน ซึ่งแหล่งคาร์บอนที่สำคัญได้แก่ แป้ง ไกลโคเจน และมอลเอคซาร์เป็นเอคซาร์ที่สวงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โตไทรโอส เป็นต้น [3] จึงทำให้เชื้อรา *Aspergillus* sp. ไม่มีแหล่งอาหารที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโต

จากนั้นได้นำชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมมาทำการหดยคสารละลายไอโอดีนเพื่อตรวจสอบและยืนยันว่ามีแป้งมันสำปะหลังอยู่ในชิ้นงาน โดยสีของไอโอดีนจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำเงินดังรูปที่ 4.18 ก่อนนำไปทำการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อรา



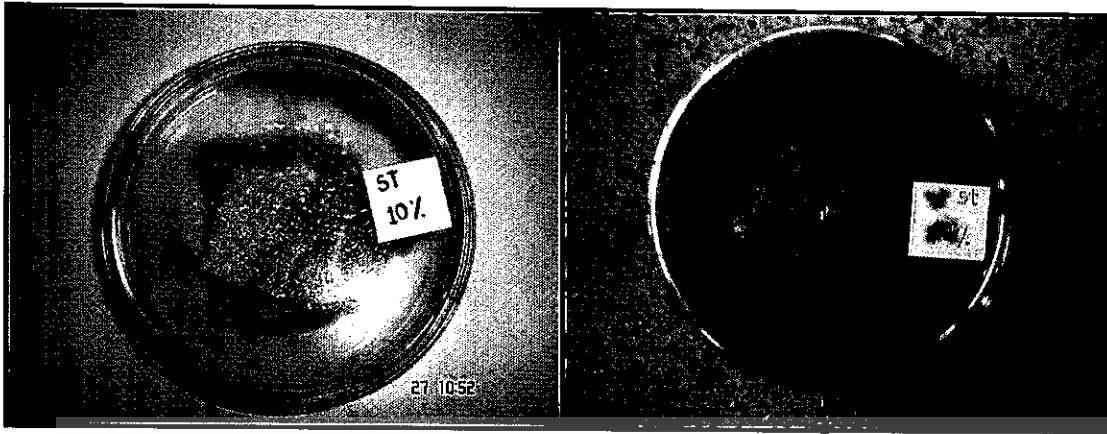
รูปที่ 4.18 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมหลังจากการหดยคสารละลายไอโอดีน



↓
เชื้อรา

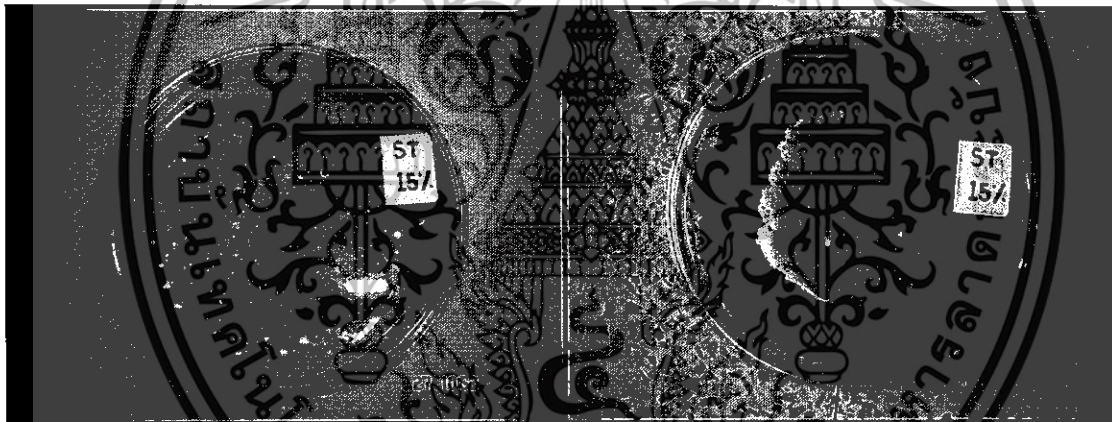
รูปที่ 4.19 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เชื้อรา

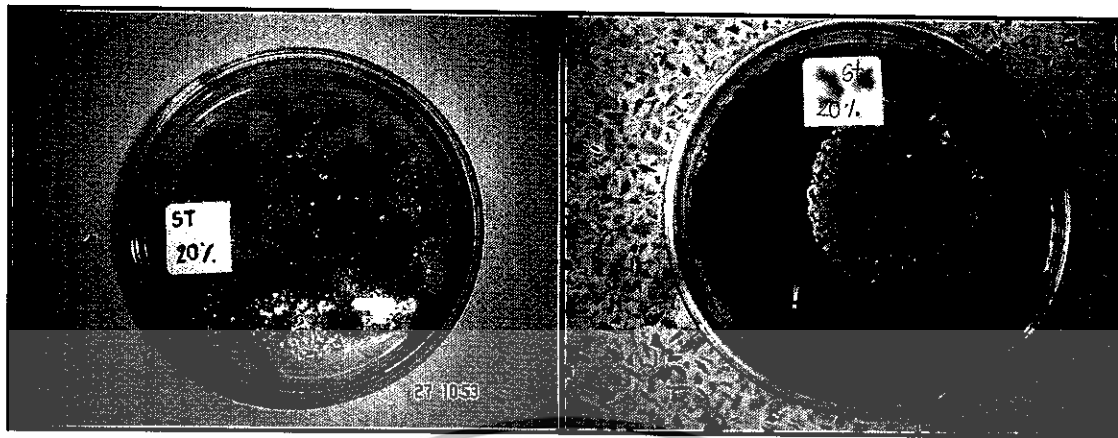
รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.



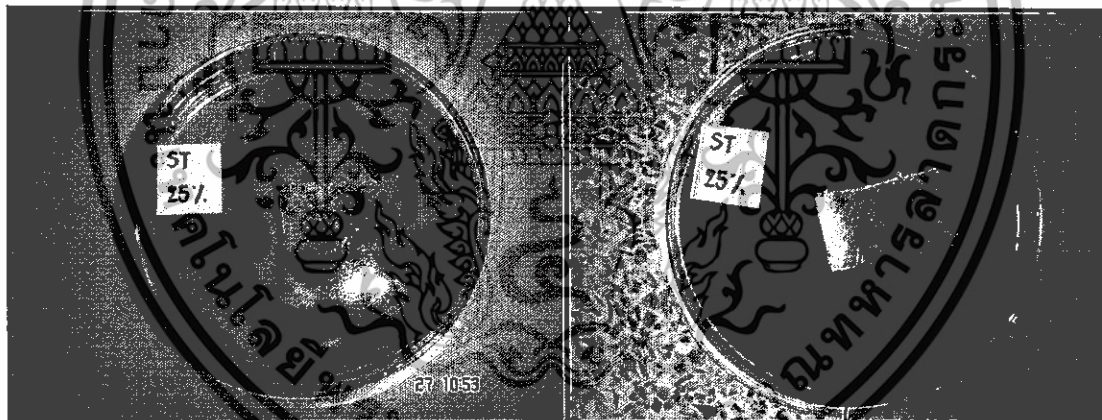
เชื้อรา

รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

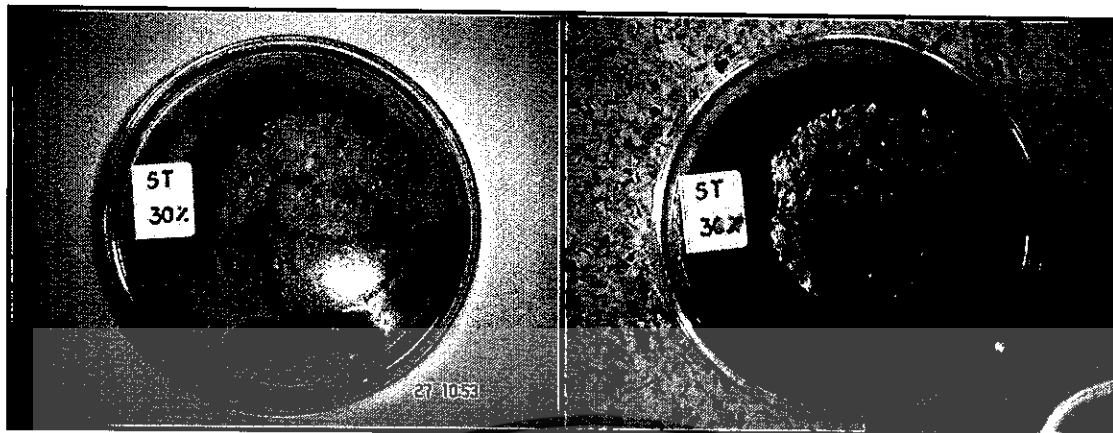


รูปที่ 4.22 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.



รูปที่ 4.23 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เชื้อรา

รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Aspergillus* sp.

จากรูปที่ 4.19 - 4.24 พบว่าชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมพบจุดดำบนชิ้นงานหลังจากการเพาะเชื้อรา *Aspergillus* sp. เป็นเวลานาน 15 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *Aspergillus* sp. สามารถย่อยสลายแป้งมันสำปะหลังที่เป็นสารตัวเติมในโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งได้ จึงได้มีการนำชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ไปทดสอบหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อะไมเลสที่ผลิตได้จากเชื้อรา *Aspergillus* sp. ซึ่งสามารถย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส โดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร แล้วนำไปหาความเข้มข้นของน้ำตาลได้จากกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส (ภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เป็นสารตัวเติมกับค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส

ปริมาณแป้ง (% โดยน้ำหนัก)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส (ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร)
5	0.054	0.006566
10	0.055	0.006688
15	0.055	0.006688
20	0.056	0.006810
25	0.057	0.006931
30	0.062	0.007539

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นสารตัวเติมใน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เชื้อรา *Aspergillus* sp. สามารถใช้เอนไซม์อะไมเลส ย่อยแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นสารตัวเติมให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสได้มากขึ้น ซึ่งสามารถดูได้จาก ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นจะให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาล กลูโคสที่มากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ความหนาแน่นของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งขึ้นกับชนิดและปริมาณสารตัวเติม โดย โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม และเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งเพิ่มขึ้น
2. โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมให้สมบัติเชิงกล (ค่ามอดูลัส แรงกดอัดสูงสุด และค่ามอดูลัสที่10% core deformation) สูงกว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม และเมื่อมีปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลด้อยลง
3. ปริมาณสารตัวเติมมีผลต่อขนาดของเซลล์ของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น เซลล์จะมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการเสียหายได้มากขึ้นด้วย
4. โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมสามารถถูกเอนไซม์อะไมเลสของเชื้อรา *Aspergillus sp.* สลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ ส่วนโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมจะไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์อะไมเลสของเชื้อรา *Aspergillus sp.* ได้เลย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้านำชิ้นงานไปใช้ในอุตสาหกรรมจริงควรทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค Reaction Injection Molding
2. อาจทำการปรับปรุงสมบัติของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งให้เกิดการย่อยสลายควบคู่ไปกับการรับแรงได้ดีขึ้นซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สารตัวเติมผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคลเซียมคาร์บอเนต
3. ขนาดของสารตัวเติมมีผลต่อการย่อยสลาย โดยพบว่าถ้าอนุภาคของสารตัวเติมมีขนาดเล็กจนเกินไปและกระจายอยู่ทั่วชิ้นงานจะมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายโดยเชื้อราได้ยากขึ้น
4. ภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อราในงานวิจัยนี้เป็นแบบปิดซึ่งทำการเพาะเลี้ยงเชื้อราในงานเพาะเชื้อ จึงส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณเอกซสปอร์นี้เป็นเอกซสปอร์ที่สวมน้ำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนมีน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งควรจะนำไปทดสอบในภาวะแวดล้อมจริงจะทำให้เห็นผลการย่อยสลายที่ดีกว่า เช่น การนำไปฝังดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ดวงพร กิติเพิ่มพูนวงศ์, ศศินาฏ แก้วกระจ่างและวราภรณ์ ชมศักดิ์สกุล. 2538. วัสดุพลาสติกย่อยสลายต่างชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง. โครงการงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. กิตติวุฒิ ธนรัตน์พัฒนกิจ, พชร เทียมธราและราชวัลลภ แจ่มมงคล. 2547. ศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการผลิตขึ้นรูป. โครงการงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. คีกรุทธิ์ ศิลาฉาย, 2547, การศึกษาคุณลักษณะบางประการของเชื้อราสกุล *Aspergillus spp.* จากลูกแป้งเหล้า. วิทยานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. ถนอมลาภ เต็มพงศ์พอลจิต, พรศักดิ์ เลอศักดิ์ชนากร. 2541. การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (II). โครงการงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. พลชีพ ลิ้มพงษ์, ธำรงค์ศักดิ์ ลาภวิบูลย์สุข. 2541. การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่บริสุทธิ์และมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม. โครงการงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. น้ำทิพย์ เมธีธรา, ปราณี แสงมณีพร. 2544. การศึกษาสารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบสำหรับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง. วิทยานิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. [www. Adhesivesmag. com](http://www.Adhesivesmag.com)
8. วิภายู บุญเจริญสุข. 2539. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พอลิยูรีเทนราคาต่ำที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. Filip,Z, Microbial. 1992. **Microbial Activity in soil and Water Enviroment with an Emphasis on the Degradation of Synthetic Polymer.** In M Vert, J. Feigen, A. Albertson, G. Scott, and E. Chiellieni (eds). *Biodegradable of Polymer and Plastic.* Cambridge. The Royal Society of Chemmistry.
10. J.L. Rivera-Armenta, Th. Heinze ,and A.M. Mendoza-Martinez. 2004. **New polyurethane foams modified with cellulose derivatives.** *European Polymer Journal.* 40: 2803-2812.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Kawai,F. 1992. **Mechanisms of Bacterial Degradation of Polyethers and their copolymer.** In M. Vert, J. Feigen, A. Albertson, G. Scott, and E. Chiellieni (eds). Biodegradable of Polymer and Plastic. Cambridge. The Royal Society of Chemmistry.
12. Sung-Il Lee, Soo-Chang Yu, andYoun-silk Lee. **Degradable polyurethane containing poly (butylene succinate) and poly(ethylene glycol).** 2001. Polymer Degradation and Stability. 72:81-87.
13. GaryT. Howard. **Biodegradation of polyurethane:a review.**2002. International Biodeterioration and Biodegradation. 49:245-252
14. Wales,D.S.,and sgar,B.F. 1991. **Effect of Structure on Susceptibility of Polyurethane to Biodegradation.** InH. W. Rossmoore 9ed.) , Biodeterioration and Biodegradation. 8:241-248.
15. Huang, S.J.,Roby, M.S.,Macri,C.A. and Cameron,J.A. 1992. **The effects of Structure and Morphology on the degradation of Polymer with Multiple Groups.** In M. Vert, J. Feigen, A. Albertson, G. Scott, and E. Chiellieni (eds). Biodegradable of Polymer and Plastic. Cambridge. The Royal Society of Chemmistry.
16. Hatakeyama, H., Hirose, S., Hatakeyama, T., Kunio, N., Kobashigawa,K., and Morohoahi, N. 1995. **Biodegradable Polyurethane from Plant Components.** In A. Alberteson, and S.S. Hunag (eds) , Degradable Polymers, Recycling and Plastic Waste Management,
17. Coppola, P.J., and Conn,M. 1978. **Semi-Rigid Polyurethane Foam Uaed in Packaging.** U.S. Patent no. 4,087,389.
18. ทศนีย์ คำภูเวียง,นฤมล เปรมธีรวัฒน์ชัย. **พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง.** 2538. โครงการพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
19. Jackson,M.L.,Park. A., Easterle, Rochester, and Mich. 1993. **Energy absorbing Water Blown, Rigid Polyuerthane Foam Articles.** U. S. Patent no.5,187,204.
20. George Woods. 1990. **The ICI Polyurethanes Book.** . 2nd. ed. Netherlands.
21. สมศักดิ์ วรมงคลชัย,อิทธิพล แจ่มชัด,ชลลดา ฤตวิรุฬห์และสุภารัตน์ รักชลธิ์. 2546. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์.** โครงการตำรา. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. อรุษา สรวารี, 2546, สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณค่าไฮดรอกซิลของพอลิออล (“hydroxyl value”, OHV)

ค่าไฮดรอกซิลของพอลิออล (“hydroxyl value”, OHV) เป็นค่าที่ใช้วัดความเข้มข้นของไอโซไซยานตที่ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลต่อน้ำหนักของพอลิออล สามารถนิยามด้วย จำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนด้วย 1 กรัมของพอลิออล แสดงได้ดังสมการ

ค่าไฮดรอกซิล (OHV) = จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ซึ่งสมมูลกับ 1 กรัมของพอลิออล

$$\text{OHV} = \frac{\text{ฟังก์ชันนัลลิตี} \times 56.1}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \times 1000$$

ดังนั้นการทำโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง และจำเป็นต้องทราบก็คือชนิดของพอลิออล ซึ่งโดยปกติมักจะแสดงค่าของไฮดรอกซิล และ น้ำหนักโมเลกุล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณของไอโซไซยานตเพื่อใช้ทำปฏิกิริยาสำหรับสูตรการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีไอโซไซยานต (Isocyanate Index)

การคำนวณค่าดัชนีไอโซไซยานต (Isocyanate Index) เป็นค่าที่บอกลถึงความต้องการของไอโซไซยานตเพื่อใช้ทำปฏิกิริยาในสัดส่วนจำนวน โมลกับพอลิออล, น้ำ และตัวเชื่อมโยง มักจะอ้างอิงในดัชนี 100

$$\text{ดัชนีไอโซไซยานต} = \frac{\text{จำนวนโมลเทียบเท่าไอโซไซยานต}}{\text{จำนวนโมลเทียบเท่าพอลิออล}} \times 100$$

การคำนวณหาปริมาณการใช้ไอโซไซยานตสำหรับการผลิตสำหรับการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสามารถคำนวณหาปริมาณการใช้โทลูอินไดไอโซไซยานตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{TDI Requirement @ 100 Index (Y)} &= \text{H}_2\text{O pbw} \times 9.667 \\ &+ \text{polyol pbw} \times \text{OHV} \times 0.00155 \\ &+ \text{X-Linker pbw} \times \text{OHV} \times 0.00155 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{TDI Requirement} = (\text{isocyanat index} \times Y) / 100$$

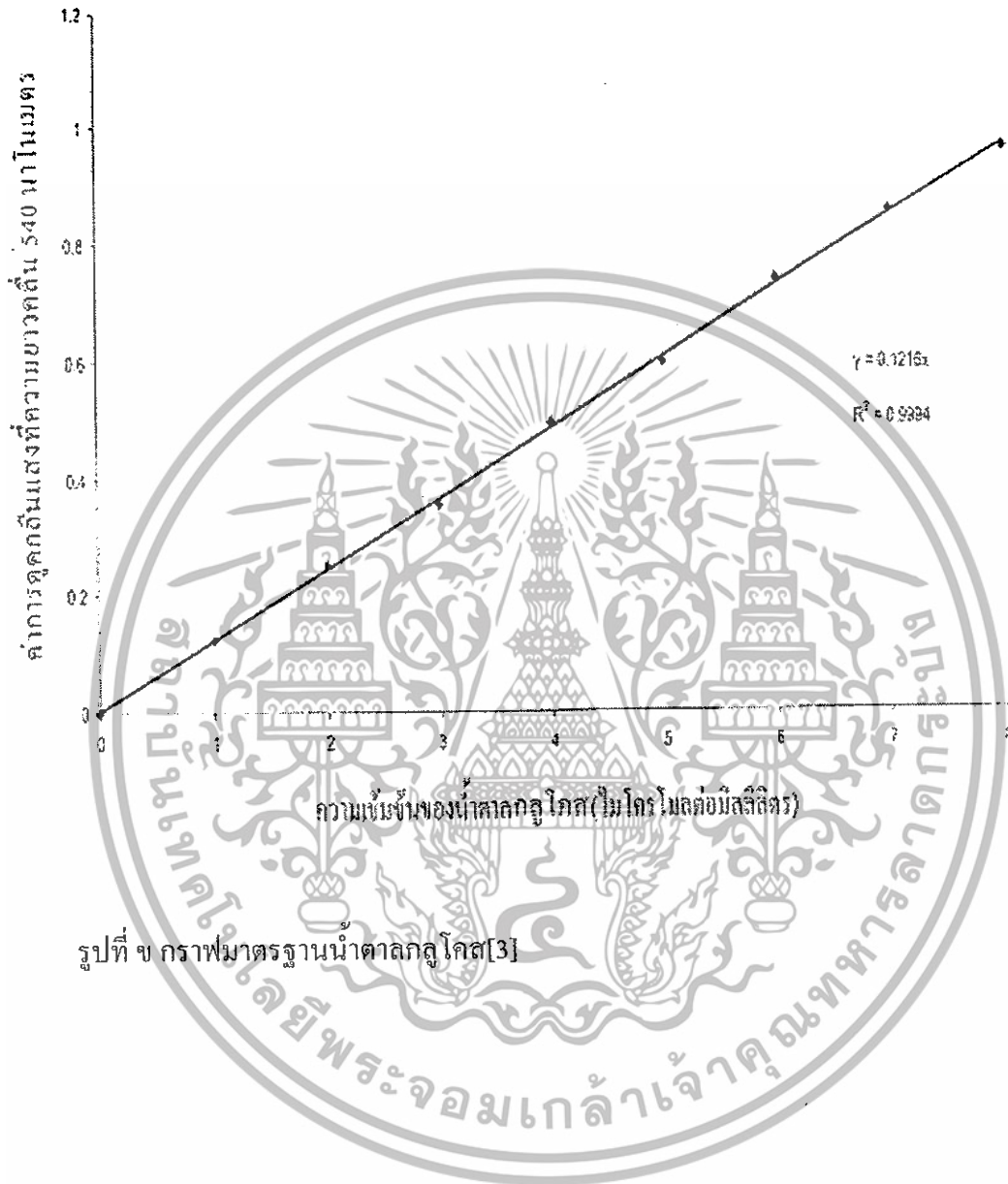
* หมายเหตุ pbw = สัดส่วนของไอโซไซยาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับพอลิออลและสารเติมแต่งคิดเป็น 100 ส่วนโดยน้ำหนัก (parts by weight : pbw)

X-Linker = ค่าไฮดรอกซิลของสารเติมแต่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Material Safety Data Sheet

According to 2001/58/EC

Reviewed on 21/08/2005

1. Product and company identification :

- Product name : RAYPOL[®] 4221
- Application of the product : Polyether polyol base for rigid system application
- Manufacturer/Supplier :
TPI POLYOL CO.,LTD.
16th Floor, TPI Tower, 26/56 Chan Tat Mai Rd., Tung Mahamek, Sathorn, Bangkok, THAILAND
Tel. (662) 678-5333 Fax. (662) 678-5348
www.tpigroup.co.th
- Information department : TPI POLYOL CO.,LTD.
- Emergency information : (662) 678-5333 (Technical Service Center, THAILAND)

2. Composition / Information on ingredients :

- Chemical characterization

- Description :

- Hazardous ingredients :

CAS No. : 009049-71-2	Poly (propyleneoxy) sucrose	> 95 %
7722-84-1	Hydrogen Peroxide	> 0.1 %
EINECS : Polymer		

3. Hazards identification

- Hazard description : Not Applicable
- Information concerning particular hazards for human and environment : Not Applicable

4. First aid measures

- General information :
- Inhalation : Move to good ventilative place and rest.
- Skin contact : Remove contaminated clothing as needed. Clean with soap/lukewarm water for 15 minutes.
- Eye contact : Rinse with clean water 20-30 minutes. Obtain emergency medical attention if redness persist.
- Ingestion : Rinse mouth, drink plenty of water and then obtain a medical attention.

5. Fire fighting measures

- Suitable extinguishing agents : CO₂, Powder or Water spray.
- Protective equipment : Wear self-contained respiratory protective device.

6. Accidental release measures

- Protection of personnel : Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
- Environmental precautions : Do not allow the contamination in sewers/surface or ground water.
- Method of disposal : Adsorb with liquid-binding material (sand, clay, diatom etc.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(Contd on page 2)

ไม่มีการฉีดยาที่สัน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Material Safety Data Sheet

According to 2001/58/EC

Reviewed on 21/08/2005

Product name : RAYPOL[®] 4221

7. Handling and storage

- Handling (see also section 8 and 15) (Contd. of page 1)
- Information for safe handling : Do not store with isocyanate chemical closely.
- Information protection explosions and fires : Beware heat, spark and open flame
- Storage
- Requirements for storage rooms and containers : Store in cool location
- Storage in one common storage facility : Keep in cool and ventilate place.
- Further information about storage conditions : Keep container tightly sealed. This product is hygroscopic.

8. Exposure controls and personal protection

- Additional information about design of technical systems: Not require any specified control.
- Ingredients with limit values that require monitoring at the workplace :
- The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- Additional informatn : Ensure that eyewash stations and safety showers are proximal to the work-station location.
- Personal protective equipment
- General protection and hygienic measure : Use good personal hygiene practices, wash hand before eating, drinking, shower after work using plenty of soap and water
- Breathing Equipment : Suitable respiratory protective device recommended
- Protection of hand : Recommended chloroprene rubber (CR) or nitrile rubber (NBR) gloves
- Eye protection : Safty glass is required

9. Physical and chemical properties

- General Information
- Form: Viscous Liquid
- Colour: Clear, Orange yellow to brown liquid
- Odour: Mild odour
- Viscosity @ 25 °C 4800 - 6200 cps
- Change in condition
- Melting point/Melting range: Less than -4 °C / 20 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี (Contd on page 3)



Material Safety Data Sheet

According to 2001/58/EC

Reviewed on 21/08/2005

Product name : RAYPOL[®] 4221

9. Physical and chemical properties

- Flash point: Approx. 176 °C / 350 °F (PMCC) (Contd. of page 2)
- Spontaneous combustion: No.
- Danger of explosion: Occure when react with isocyanate in sealed container.
- Density: 1.03 g/cm³ at 39 °C
- Solubility in/Miscibility with water: Slightly

10. Stability and reactivity

- Thermal decomposition / conditions to be avoid : Heat, Spark and open flame. Strong acid and alkaline
- Dangerous reaction : Exothermic reaction with isocyanate
- Dangerous decomposition products : In complete combustion may release poison gas, CO and other toxic gas.

11. Toxicological information

- Primary irritant effect:
- skin contact: Mild skin irritant.
- eye contact: May cause eye irritation.
- inhalation: Not found a significant inhalation hazard under anticipated conditions of normal use.
- ingestion: This material may be a slight health hazard if ingested in large quantities.

12. Ecological information

- Mobility : No relevant studies identified
- Persistence/Degradability: The product is readily biodegradable.
- Bio-accumulation : Product is not expected to bioaccumulate.
- Ecotoxicity : No relevant studies identified

13. Disposal considerations

Dispose of in accordance with all applicable local and national regulations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Contd on page 4)



Material Safety Data Sheet

According to 2001/58/EC

Reviewed on 21/08/2005

Product name : RAYPOL[®] 4221

14. Transport information

- UN Number: Not applicable. - UN Packing Group: Not applicable. (Contd. of page 3)

- UN Class: Not applicable.

Land transport ADR ¹ /RID ² (cross-border)	
ADR/RID class:	Not applicable.
Packing group:	Not applicable.

Marine transport IMDG ³	
IMDG class:	Not applicable.
Packing group:	Not applicable.

Air transport ICAO ⁴ -TI and IATA ⁵ -DGR	
ICAO/IATA class:	Not applicable.
Packing group:	Not applicable.

- Transport/Additional information: No dangerous chemicals according to above specifications.

15. Regulatory information

- Classification according to EC guidelines:

The Product is not subject to identification regulation under EU Directives and the ordinance on Hazardous Materials.

16. Other information

The information in this document is based on our best present. Nevertheless, it does not constitute a guarantee for any specific product features and does not establish any a legally binding contract.

- Department issuing MSDS : TS&D department, TPI POLYOL CO., LTD.

1 : ADR = European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road.

2 : RID = Regulations concerning the international carriage of dangerous goods by rail.

3 : IMDG = International maritime dangerous goods code

4 : ICAO = International Civil Aviation Organization

5 : IATA = International air transport association

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์นี้เป็นการใช้เพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งการเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RAYNATE[®] ISOCYANATES

บริษัท ทีพีไอ โพลีโอด จำกัด
 ชั้น 16 อาคารทีพีไอทาวเวอร์
 26/56 ถนนจันทน์ตัดใหม่
 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร
 กรุงเทพฯ 10120 ประเทศไทย
 โทร. 678-5333

1. ข้อมูลทั่วไป

ชื่อทางการค้า	RAYNATE 9001
ชื่อทางเคมี	Crude MDI, Component B of Raycore systems
ประเภทของสารเคมี	MDI based Isocyanate
ชื่อทั่วไป	โพลีเมทาเทอร์ดิน โพลีฟีนิลไอโซไซยานต
วันที่บังคับใช้	สิงหาคม 2545

2. ความเป็นพิษ

ความเป็นพิษ	มีผลต่อดวงตา, ผิวหนังเมื่อสัมผัสโดยตรง
ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (ระยะสั้น)	ทำให้ระคายเคืองตาเล็กน้อย ทำให้ระคายเคืองผิวหนังเล็กน้อย
ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง (ระยะยาว)	ไม่ปรากฏหลักฐานที่ระบุว่าเกิดอันตรายจากการสูดดม ไม่ปรากฏหลักฐานที่ระบุว่าเกิดอันตรายต่อการดูดซึมทางผิวหนัง ไม่ปรากฏหลักฐานที่ระบุว่าเกิดอันตรายจากการรับประทาน ไม่ปรากฏหลักฐานที่ระบุว่าเกิดอันตรายของผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

3. ข้อมูลเกี่ยวกับการลุกไหม้ และการติดไฟ

จุดวาบไฟ(จากการทดสอบ)	มากกว่า 205 องศาเซลเซียส /400 องศาฟาเรนไฮต์(วิธีถ้วยปิด)
การลุกไหม้ในสภาวะที่มีปริมาณอากาศต่ำ	ไม่ปรากฏ

4. ข้อมูลเกี่ยวกับการลุกไหม้ และการติดไฟ(ต่อ)

ขีดจำกัดสูงสุดที่ทำให้ติดไฟ (% ปริมาตรในอากาศ)	ไม่ปรากฏ
อันตรายจากการลุกติดไฟและการระเบิด	ไม่ปรากฏอันตรายในสภาวะการใช้งานปกติ
สารเคมีที่ใช้ดับไฟ	คาร์บอน ไดออกไซด์, ผงเคมี, โฟม หรือน้ำ
ขั้นตอนพิเศษในการผจญเพลิง	สวมอุปกรณ์ที่ป้องกันไฟส่วนบุคคลที่สามารถป้องกัน ควันในโครเจนไดออกไซด์ และ ไอของไอโซไซยานเนต

5. ข้อมูลความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ช่องทางที่สัมผัส	อากาศ
การหายใจ	การหายใจในระดับที่เกิน TLV อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อ จมูก ลำคอและ หายใจถี่ อาจเกิดอาการคล้าย โรคหอบหืด สำหรับผู้ที่เป็น ไอโซไซยานเนต หรือมีอาการหลอดลมทำงาน ไม่ล้อยปกติหรือ โรคหอบหืด ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัส ไอโซไซยานเนต
ดวงตา	อาจทำให้ดวงตาระคายเคืองเล็กน้อยและ แก้วตาชุ่มมัวเล็กน้อย
การดูดซึมทางผิวหนัง	บริเวณผิวหนังที่ถูกสัมผัสทำให้ผิวหนังอักเสบได้
ผิวหนัง	อาจทำให้เกิดการระคายเคือง
การรับประทาน	อาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพถ้ารับประทาน ในปริมาณพอสมควร

5. การใช้เครื่องป้องกัน และ ความคุม

ทางเดินหายใจ	ไม่ต้องใช้เครื่องป้องกันพิเศษภายใต้สภาวะปกติที่มีการระบาย อากาศพอเพียง
ดวงตา	ถ้าเกินระดับ TLVแนะนำให้สวมหน้ากากที่มีเครื่องช่วยหายใจ ใช้เครื่องป้องกันดวงตา เช่น แว่นตานิรภัยหรือ หน้ากาก เพื่อป้องกันอันตรายจากการกระเด็นหรือ ฝุ่นละออง ไอระเหย ไม่ควรสวมใส่ Contact lens
ผิวหนัง	ควรสวมถุงมือ, ผ้ากันเปื้อน, รองเท้า, เครื่องป้องกันใบหน้า และ ศีรษะ. อุปกรณ์เหล่านี้ควรทำความสะอาดหลังจากการใช้งาน

การควบคุมโดยวิศวกร	จัดระบบการระบายอากาศโดยธรรมชาติ หรือ เครื่องจักร เพื่อไม่ให้เกินระดับ TLV
ความสะอาดและขั้นตอนในการปฏิบัติงาน	ชุดฝักบัวและ อ่างล้างตาถูกเดินควรจะจัดหาไว้ใกล้ๆบริเวณที่ปฏิบัติงาน ในกฎการปฏิบัติเรื่องความสะอาดส่วนบุคคล ล้างมือก่อนรับประทานอาหาร,ดื่ม และสูบบุหรี่ หรือเข้าห้องน้ำ ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสารทันที และซักทำความสะอาดก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ อาบน้ำหลังจากปฏิบัติงานเสร็จด้วยสบู่และน้ำนานๆ
ขีดจำกัดในสถานที่ทำงาน(TLV)	0.02 ppm (OSHA CEIL)
การปฐมพยาบาลเบื้องต้น	เคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่อากาศบริสุทธิ์ อาจช่วยหายใจถ้าจำเป็น และควรพบแพทย์ทันที
ทางเดินหายใจ	เคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่อากาศบริสุทธิ์ อาจช่วยหายใจถ้าจำเป็น และควรพบแพทย์ทันที
การสัมผัสลูกดวงตา	ล้างดวงตาด้วยน้ำสะอาดทันที โดยให้น้ำไหลผ่านเป็นเวลา 15 นาที ถูหรือตาบ่อยๆ พบและ ปรีกษาแพทย์
การสัมผัสลูกผิวหนัง	ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสาร ทำความสะอาดบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและ สบู่ 10-15 นาที
การกลืนกิน	เจือจางด้วยน้ำ ห้ามทำให้อาเจียน ถ้าผู้ป่วยสลบห้ามให้ของเหลวและ พบแพทย์ทันที

3. การทกลั่น และ การทำลาย

ขั้นตอนปฏิบัติสำหรับกรณี สารหก

เคลื่อนย้าย และทำให้อากาศถ่ายเทสะดวก

หกเล็กน้อย

ดูดซับไอโซไซยาเนตด้วยขี้เลื่อยหรือวัสดุดูดซับและใช้พลาสติก
เก็บในภาชนะเปิดขนย้ายไปในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทดี และ
ทำการบำบัดด้วยสารสะเทิน(90% น้ำ, 3-8 %แอมโมเนีย,
2-7%สารซักล้าง)

หกปริมาณมาก

ติดต่อผู้ขาย,ขนย้ายสารลงในถังเปิดเท่าที่จะทำได้เพื่อรอทำลาย
ดูดซับไอโซไซยาเนตด้วยขี้เลื่อยหรือวัสดุดูดซับและใช้พลาสติก
เก็บในภาชนะเปิดขนย้ายไปในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทดี และ
ทำการบำบัดด้วยสารสะเทิน(90% น้ำ, 3-8 %แอมโมเนีย,
2-7%สารซักล้าง) ปล่อยให้ไว้ 48 ชั่วโมง และ ทำลาย

ขั้นตอนการกำจัดของเสีย

ปฏิบัติตามข้อกำหนดในการทำลายของรัฐ,เขตหรือท้องถิ่น

9. ส่วนผสม

โพลีเมอร์ของ MDI

รายชื่อของส่วนผสมอาจไม่สมบูรณ์

<60 %

4,4' MDI

~45 %

ส่วนผสมของไอโซเมอร์ของ MDI

< 3.0 %

10. ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก

ของเหลว

จุดเดือด

200 องศาเซลเซียส ที่ 760 มิลลิเมตรปรอท

ความหนืด

200 cps ที่ 25 องศาเซลเซียส

ความดันไอ

0.00016 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส

การระเหย

ไม่ระเหย

ความถ่วงจำเพาะ

1.22

การละลายน้ำ

สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้

กลิ่น	มีกลิ่น
ความเป็นกรด-เบส	ไม่สามารถวัดได้
อันตรายจากการเกิดโพลีเมอร์	อาจเกิดขึ้นได้
เสถียรภาพ	เสถียร
จุดวาบไฟ	> 205 องศาเซลเซียส (ถ้วยปิด)
อุณหภูมิติดไฟ	ไม่ได้ทดลอง
ขีดจำกัดในการระเบิด	ไม่สามารถเกิดขึ้นได้
คุณสมบัติอื่นๆทางภาพและเคมี	ละลายตัวได้ที่ >260 องศาเซลเซียส สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ และ สารที่มีกลุ่มไฮดรอกซิล และ เอมีน
ลักษณะภายนอก และกลิ่น	ของเหลวสีน้ำตาลมีกลิ่นเฉพาะตัว
สภาพที่ควรหลีกเลี่ยง	ความร้อน , ประกายไฟ และ เปลวไฟ
สารเคมีที่ควรหลีกเลี่ยง	น้ำ, แอลกอฮอล์ และด่างแก่
การสลายตัวเนื่องจากความร้อน	ไม่สามารถเกิดขึ้น ได้ถ้าไม่ถึงจุดวาบไฟ
สารที่ได้จากการสลายตัว	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรเจนไซยาไนด์, ออกไซด์ของไนโตรเจน
ปฏิกิริยาที่อันตราย	หลีกเลี่ยงปฏิกิริยากับน้ำ, ความชื้นซึ่งจะปล่อย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ มีความดันเกิดขึ้น ได้ ในภาชนะที่ปิดสนิท

11. ข้อควรระวังเพิ่มเติม

วิธีการควบคุมจัดการ การเก็บรักษา และการป้องกันจากสิ่งปนเปื้อน	สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ ควรใช้ก๊าซไนโตรเจนหรืออากาศ ที่ปราศจากน้ำใน ถังบรรจุ ปิดฝาให้แน่น เพื่อป้องกัน สิ่งปนเปื้อน เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 65-90 องศาฟาเรนไฮต์ (18-32 องศาเซลเซียส) หลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส
--	--

12. ส่วนประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

โพลีเมอร์ และ 4,4 'MDI - ระบายเคื่องต่อดวงตา,ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ

ท้ายประกาศ

ข้อมูลในเอกสารฉบับนี้มาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามมิได้รับประกันว่าข้อมูลเหล่านี้ถูกต้อง,ชัดเจน

สภาวะหรือวิธีที่จัดการ การเก็บรักษา การใช้งานและการทำลายอยู่นอกเหนือการควบคุมของเรา และอาจอยู่นอกเหนือความรู้ของเรา

ด้วยเหตุผลเหล่านี้ เราไม่สามารถที่จะรับผิดชอบและ ปฏิเสธสำหรับความเสียหาย,การทำลาย หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ในการดูแลรักษาหรือการกำจัดสินค้านี้

