สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นที่อุดหูป้องกันเสียง

นางสาวปัญจพร ปานธรรม

นางสาวปิยนุช ภักดีสอน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

วพ.
ป 5230
2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40058
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modification of Polymeric Blends for Ear Plug Application

Miss Panjaporn Pantham

Miss Piyanuch Pakdeesorn

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Bachelor of Science

Department of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ **การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง**

นักศึกษา นางสาวปัญจพร ปานธรรม

นางสาวปิยนุช ภักดีสอน

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

---------- หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงาน

---------- ประธานกรรมการ

(ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์)

---------- กรรมการ

(ดร.ชลลดา ฤติวิรุฬห์)

---------- กรรมการ

(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	4
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 โฟม	6
2.2 เอทิลีน ไวนิล อะซิเตท	7
2.3 ยางธรรมชาติ	9
2.4 ยางสังเคราะห์	10
2.5 สารเติมแต่ง	11
2.4.1 สารหล่อลื่น	11
2.4.2 สารทำให้เกิดฟอง	12
2.4.3 สารให้สี	19
2.4.4 สารเชื่อมโยง	19
2.4.5 พลาสติไซเซอร์	20
2.6 อุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง	20
2.7 แม่พิมพ์สำหรับอุปกรณ์อุดหู	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน 23

3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ 23

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 23

3.3 ขั้นตอนการวิจัย 24

3.3.1 การหาสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม 24

3.3.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ Azodicarbonamide 24

3.3.3 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของยาง 25

3.3.4 การหาชนิดของยางที่เหมาะสม 26

3.4 วิธีการทดสอบ 26

3.4.1 สมบัติทางกายภาพ 26

3.4.2 สมบัติเชิงกล 27

3.4.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของชิ้นงาน 27

3.4.4 สมบัติทางเสียง 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ 28

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบขึ้นรูปชิ้นงาน 28

4.1.1 การหาอุณหภูมิในการขึ้นรูปชิ้นงาน 29

4.1.2 การหาเวลาในการอบขึ้นรูปชิ้นงานที่เหมาะสม 29

4.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารให้ฟอง 30

4.2.1 สมบัติทางกายภาพ 30

4.2.2 สมบัติเชิงกล 32

4.2.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ 34

4.2.4 สมบัติการดูดซับเสียง (Sound Attenuation) 36

4.3 การศึกษาอัตราส่วนของยางที่เหมาะสม 36

4.3.1 สมบัติทางกายภาพ 36

4.3.2 สมบัติเชิงกล 38

4.3.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

4.4 การศึกษาชนิดของยางที่เหมาะสม 41

4.4.1 สมบัติทางกายภาพ 41

4.4.2 สมบัติเชิงกล 42

4.4.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวาง 43

4.4.4 สมบัติทางเสียง 44

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 45

5.1 การหาสภาวะในการขึ้นรูป 45

5.2 การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ในพอลิเมอร์ผสม 45

5.2.1 สมบัติทางกายภาพ 45

5.2.2 สมบัติเชิงกล 45

5.2.3 การศึกษาภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงาน 45

5.2.4 สมบัติทางเสียง 46

5.3 ข้อเสนอแนะ 46

ภาคผนวก 47

บรรณานุกรม 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นที่อุดหูป้องกันเสียง (Modification of Polymeric Blends for Ear Plug Application)			
นักศึกษา	นางสาวปัญจพร	ปานธรรม	รหัส	40052032
	นางสาวปิยนุช	ภักดีสอน	รหัส	40052034
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สมศักดิ์	วรมงคลชัย		
ภาควิชา	ภาควิชาเคมี			
ปีการศึกษา	2543			

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นที่อุดหูป้องกันเสียง โดยการนำเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) มาผสมกับยางต่าง ๆ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) แล้วนำไปตัดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปใส่แม่พิมพ์แล้วอบในตู้อบประมาณ 20 นาที เพื่อทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง EVA ต่อยาง อัตราส่วนของสารให้ฟอง และชนิดของยาง จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติในการดูดกลืนเสียง เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง

ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ (1) เมื่อปริมาณของสารให้ฟองเพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นลดลง (2) เมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง และค่าความแข็งมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วนของยาง 20 เปอร์เซ็นต์ (3) เมื่อใช้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน(SBR) จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความหนาแน่นสูงที่สุดและความแข็งสูงที่สุด แต่เมื่อใช้ยางไนไตรล์ (NBR) จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความหนาแน่นต่ำที่สุดและความแข็งน้อยที่สุด (4) พอลิเมอร์ผสมที่ผสมด้วยยาง SBR จะทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติในการดูดซับเสียงมากที่สุด และ(5) ปริมาณสารให้ฟองที่เหมาะสมในการทำที่อุดหูป้องกันเสียง คือ 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Modification of Polymeric Blends for Ear Plug Application.	
Name	Miss Panjaporn	Pantham
	Miss Piyanuch	Phakdeesorn
Special Project Advisor	Asst.Prof.Somsak	Woramongconchai
Department	Chemistry	
Acedimic Year	2000	

Abstract

The special project aims to study the modification of polymeric blends for ear plug application. The mixtures of ethylene vinyl acetate copolymer(EVA) and the varied rubbers were mixed by two-roll mill. After the mixtures had cut at certain amount , it was put in the mold and heated for 20 minutes. The percentage of composition of EVA and rubbers, percentage composition of blowing agent, and types of rubber in mixtures were investigated. The mechanical, physical and sound attenuation properties were tested for optimum formula of ear plug application. From the results, it was concluded that (1) when blowing agent was increased, the polymeric blends indicated ability of water absorption, but density and hardness were decreased. (2) when rubber composition was increased, the ability of water absorption was decreased and the lowest hardness was 20 percent of rubber (3) when Styrene-Butadiene Rubber (SBR) was used, the polymeric blend showed the highest density and hardness, but were polymeric blend with the Nitrile Rubber (NBR) indicated the lowest hardness and density (4) polymeric blend with SBR rubber showed the highest sound attenuation and (5) the suitable amount of blowing agent for making the ear plug was 5 percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ และดร. ชลลดา ฤติวรุฬห์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่กรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกจากนี้หากยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวปัญจพร ปานธรรม

นางสาวปิยนุช ภักดีสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระดับความดังของเสียงกับเวลาทำงานของผู้ใช้แรงงาน (ในสถานที่มีเสียงดังเป็นช่วงๆ) 2

ตารางที่ 2.1 สมบัติของอีวีเอ 8

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสารให้ฟองต่าง ๆ 18

ตารางที่ 2.3 ค่าการลดทอนเสียงที่ต้องการของอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง 21

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมในการหาสภาวะการขึ้นรูป 24

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมในการหาปริมาณสารให้ฟอง 25

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมในการหาปริมาณที่เหมาะสมของยาง 25

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเมื่ออบที่อุณหภูมิต่าง ๆ 28

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ใช้น้ำหนักพอลิเมอร์ผสมก่อนอบต่าง ๆ 29

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณของสารให้ฟอง 31

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณสารให้ฟอง 32

ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็งที่สัมพันธ์กับปริมาณสารให้ฟอง 33

ตารางที่ 4.6 การดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20–9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 10 , 11 และ 12 36

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนของยาง 38

ตารางที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับอัตราส่วนของยาง 38

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอัตราส่วนยาง 39

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนาแน่นกับชนิดของยาง 41

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งซึ่งสัมพันธ์กับชนิดของยาง 42

ตารางที่ 4.12 การดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20–9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 18 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ผลของซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อการสลายตัวของ Azodicarbonamide 14

รูปที่ 2.2 แม่พิมพ์สำหรับอุปกรณ์อุดหู ก. ภาพจากด้านบน ข.ภาพจากด้านข้าง 22

รูปที่ 4.1 ความแข็งของชิ้นงานที่มี DOP และไม่มี 30

รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน AZ 31

รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน AZ 32

รูปที่ 4.4 ความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน AZ 33

รูปที่ 4.5 ภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของของสารให้ฟอง 34

รูปที่ 4.6 ความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง 37

รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง 37

รูปที่ 4.8 ความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง 39

รูปที่ 4.9 ภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของยาง 40

รูปที่ 4.10 ความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง 41

รูปที่ 4.11 ความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง 42

รูปที่ 4.12 ภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

โดยทั่วไปแล้วเสียงอาจเกิดจากธรรมชาติหรืออาจเกิดจากมนุษย์ในด้านการติดต่อสื่อสารซึ่งจัดเป็นเสียงที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ในทางกลับกัน เสียงที่ดังมากเกินไปอาจเป็นเสียงรบกวน (Noise) ซึ่งบางชนิดจัดเป็นมลพิษแก่คนหรือสัตว์ มลพิษที่ได้รับมี 2 ชนิด คือ ทางร่างกาย เช่น ทำให้หูตึงหรือหูหนวก และทางใจ เช่น ทำให้คนมีจิตใจเสื่อมหรือกลายเป็นคนวิกลจริต อีกทั้งถ้าคนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงดังเกินไปประสาทหูจะเสื่อมเร็วกว่าธรรมดา

การวัดระดับความดังของเสียงหรือระดับการสั่นสะเทือน (Sound Pressure Level) เรียกว่า เดซิเบล (Desibel) ส่วนหน่วยของความซ้ำถี่นั้นใช้เป็นรอบต่อวินาที เรียกว่า เฮริทซ์ (Hertz)

ระดับเสียงนอกบ้านหรือตามถนนจะมีอยู่ในระดับที่ปานกลาง แต่ในโรงงานที่มีระดับเสียงเกิน 90 เดซิเบล และได้รับเสียงเป็นเวลานานกว่า 8 ชั่วโมงจะมีอันตรายมาก แต่ถ้าได้รับเสียงนาน 4 ชั่วโมงจะไม่มีอันตรายมากนักเพราะความไวของเสียงต่อหูจะกลับคืนมาและถ้าระดับเสียงเกิน 140 เดซิเบลห้ามทำงานโดยเด็ดขาดเว้นแต่จะมีเครื่องป้องกันหู

ระดับเสียงรบกวนต่างๆในชีวิตประจำวัน เป็นดังนี้ [1]

เสียงกระซิบ	20 เดซิเบล
เสียงในบ้านธรรมดาและเสียงในสำนักงานทั่วไป	40 เดซิเบล
เสียงรถยนต์ที่วิ่งตามทางหลวง	60 เดซิเบล
เสียงเครื่องดูดฝุ่นไฟฟ้า	70 เดซิเบล
เสียงที่ริมถนนตามจุดคับคั่ง	75 เดซิเบล
เสียงเครื่องกลึงไฟฟ้า	92 เดซิเบล
เสียงรถเกรดเตอร์	95 เดซิเบล
เสียงแท่นพิมพ์	97 เดซิเบล
เสียงโรงถลุงเหล็ก	100 เดซิเบล
เสียงเครื่องสูบน้ำมันในโรงกลั่นน้ำมัน	104 เดซิเบล
เสียงเครื่องทอผ้า	105 เดซิเบล
เสียงรถแทรกเตอร์ถางป่า	110 เดซิเบล
เสียงแท่นปั๊มโลหะขนาดใหญ่	115 เดซิเบล
เสียงเครื่องตอกหมุดย้ำ	120 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงหวอแจ้งภัย 140 เดซิเบล

เสียงเครื่องบินเจ๊ท 160 เดซิเบล

รัฐบาลในประเทศที่เจริญแล้ว มักมีกฎหมายหรือมาตรการเกี่ยวกับการป้องกันและควบคุมเสียงอันตรายต่างๆออกมาใช้บังคับแก่โรงงาน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพิทักษ์คนงานให้ปลอดภัยจากเสียงที่อันตรายต่างๆ

ระดับความดังของเสียงกับเวลาทำงานของผู้ใช้แรงงาน (ในสถานที่มีเสียงดังเป็นช่วงๆ) แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระดับความดังของเสียงกับเวลาทำงานของผู้ใช้แรงงาน (ในสถานที่มีเสียงดังเป็นช่วงๆ) [1]

ช่วงกลางของความถี่ (เฮริทซ์)	ระดับเสียง(เดซิเบล) ต่อระยะเวลาที่กำหนดการทำงาน					
	4 ชม.	2 ชม.	1 ชม.	30 นาที	15 นาที	7 นาที
63	100	103	106	110	116	122
125	94	100	105	104	110	116
250	90	93	100	106	108	112
500	87	90	93	97	103	109
1000	85	88	91	95	101	107
2000	85	88	91	95	101	107
4000	82	85	92	92	98	104
8000	81	84	87	91	87	103

การป้องกันและการควบคุมอันตรายจากเสียงในโรงงานมี 2 วิธีคือ

- การควบคุมทางด้านวิศวกรรม สร้างเครื่องจักรให้มีระดับเสียงไม่เกิน 90 เดซิเบล หรือใช้วัสดุปิดกั้นเพื่อลดความดัง ซึ่งค่าต้นทุนสูงมากแต่ไม่ได้ผลในทางปฏิบัติ
- การป้องกันหูของคนงาน

การทำการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องป้องกันหูในสหรัฐอเมริกา ผลของการใช้เครื่องป้องกันหูพบว่า คนงานที่ใช้เครื่องป้องกันในระยะเวลา 2 3 และ4 ปี ในระดับเสียงไม่เกิน 85 เดซิเบล จะมีเปอร์เซนต์หูเสื่อมน้อยกว่าคนงานที่ไม่ได้ใช้เครื่องป้องกันหูและสรุปการวิจัยครั้งนี้ว่าการให้เครื่องป้องกันหูเป็นประจำเป็นวิธีที่ดีที่สุดและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยมีการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ชนิดอุดเข้าไปในช่องหูจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง และไม่สามารถผลิตให้มีคุณภาพเท่าเทียมกับต่างประเทศได้ จึงมีงานวิจัยนี้เกิดขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตที่อุดหู ซึ่งใช้พอลิเมอร์ผสมเป็นองค์ประกอบหลักและมีการเติมสารทำให้เกิดฟองและสารเติมแต่งต่างๆ ในปริมาณและสภาวะกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1986 S.Thomas , B.Kuriakose , B.R.Guota และ S.K.De [2] ได้ศึกษาผลของการเชื่อมโยงเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate,EVA) ที่มีต่อสมบัติการไหลและสมบัติเชิงกล ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณของสารเชื่อมโยง พบว่าเมื่อการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความหนืดที่อัตราความเฉือนสูง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้สมบัติทางกายภาพและความสามารถในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์อย่างง่ายจะถูกนำมาอธิบายความหนืดและการทำงานของสารเชื่อมโยง เพื่อทำให้เข้าใจกลไกของการเชื่อมโยง ความแข็งแรงและการฉีกขาดบริเวณพื้นผิว ซึ่งสามารถทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope,SEM)

ในปี 1988 D.C.Eagles [3] ได้ศึกษาผลของโครงสร้างโมเลกุลที่มีต่อสมบัติของโคพอลิเมอร์ เอทิลีนและไวนิลอะซิเตต สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะมีสมบัติอยู่ในช่วงกว้างขึ้นกับการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างของโซ่กิ่ง ซึ่งกลุ่มโซ่กิ่งจะมีผลต่อสมบัติของ EVA น้อยกว่าผลจากไวนิลอะซิเตต แม้ว่าไวนิลอะซิเตตที่ผสมอยู่ในโคพอลิเมอร์จะมีผลต่อสภาวะในการเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันและทำให้มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ แต่สามารถสังเกตเห็นการเกิดปฏิกิริยาได้

ในปี 1992 M.Craik [4] ศึกษาการใช้ยางและพลาสติกสำหรับใช้เป็นวัสดุกันเสียงของผนังและพื้น ได้มีการนำผลิตภัณฑ์จากยางและพลาสติกมาใช้ทำผนังและพื้นเพื่อลดการทะลุผ่านของเสียง พื้นฐานการออกแบบผนังและพื้นได้มาจากกลไกการทะลุผ่านของเสียง การใช้ผนังที่ยืดหยุ่นจะช่วยลดน้ำหนักของวัสดุลงได้ แต่จะทำให้การออกแบบทำได้ยาก

ในปี 1999 S.Aikawa ,S.Tasaka ,X.Zhang และ N.Inagaki [5] ได้ศึกษาการเชื่อมโยงของ EVA ที่ประกอบด้วยเบนโซฟีโนน (Benzophenone,BP) ด้วยการใช้แสงเพื่อใช้แทนการปูพื้นด้วยพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride),PVC) พบว่าการทำโฟโต้เจลเลติน (Photogelatin) กับ EVA จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก โดยการเชื่อมโยงจะเริ่มที่พื้นผิว ซึ่งบริเวณพื้นผิวมักเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยากำจัดน้ำออก (Dehydrogenation) โดยการดูดกลืนแสงของ BP นอกจากนี้ยังพบว่าในหมู่ไวนิลอะซิเตตจะเป็นบริเวณที่เกิดการเกิดการเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T.Sakurai ,T.Matsuoka ,S.Koda และ H.Nomura [6] ทำการทดสอบสมบัติทางเสียงของพอลิเมทิลเมทาอะคริเลท (Polymethyl methacrylate,PMMA) ในสภาวะที่ความเครียดคงที่ด้วยวิธีการ Coherent Brillouin Scattering พบว่าสมบัติทางเสียงของ PMMA จะเปลี่ยนแปลงตามความเค้น ความเร็วของอัลตราโซนิคของ PMMA ในสภาวะที่ความเค้นและความเครียดคงที่จะมีค่าอยู่ในช่วง 100 MHz – 1 GHz พบว่าอัลตราโซนิคจะมีความเร็วลดลงเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการเกิดรอยแตกในสภาวะที่เหมาะสมและจำนวนรอยแตกในสภาวะที่มีความเครียดคงที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความถี่ประมาณ 400 MHz จะทำให้ PMMA เสียรูปและเกิดปรากฏการณ์คลายตัว(Relaxation) ซึ่งปรากฏการณ์นี้ขึ้นกับหมู่เมทิลใน PMMA

M.Yamaguchi และ K.Nitta [7] ได้ศึกษาการหาสมบัติทางเสียงและแสงของการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทคติค พอลิพรอพิลีน (Isotactic Polypropylene) และ Ethylene-1 – Hexane เป็นการศึกษาผลกระทบจากการเสียรูปร่างที่มีต่อสมบัติทางเสียงและแสง ทำโดยวัดการส่องผ่านแสง การส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน การใช้อัลตราโซนิคในช่วง 298 – 358 K นอกจากนี้ยังสามารถหาความสามารถในการเข้ากันได้ พบว่าไม่สามารถเข้ากันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 333 K

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง
2. เพื่อหาอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมสำหรับการประยุกต์ใช้ป้องกันเสียง
3. เพื่อหาสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเป็นอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง
4. เพื่อหาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารให้ฟองในการผลิต

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเสียง
2. ศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของสารเพิ่มฟอง
3. ศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของสารเติมแต่งต่าง ๆ
4. ศึกษาสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวัสดุที่นำมาผลิตที่อุดหูป้องกันเสียง
2. ทราบถึงอัตราส่วนของสารตัวเติมต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อทำให้สมบัติดีที่สุด
3. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่อุดหูป้องกันเสียง
4. ลดการนำเข้าที่อุดหูป้องกันเสียงจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โฟม

วัสดุโฟมสามารถผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน พีวีซี พอลิยูริเทน พลาสติกโฟมมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งและมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในงานประเภทต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น [8-10]

2.1.1 **กระบวนการผลิตโฟมจะเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดฟองโดยวิธีต่าง ๆ ต่อไปนี้**

1. การปั่นกวนให้เกิดฟองอากาศกระจายอยู่ในพอลิเมอร์ ที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว ทั้งในรูปพอลิเมอร์ หรือพรีพอลิเมอร์หลอมเหลว และพอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาพอิมัลชั่น
2. การพ่นอากาศเข้าไปในพอลิเมอร์หลอมเหลว ที่ได้เกิดจากการหลอมหรือการแขวนลอย โดยการให้ความร้อนหรือลดความดันซึ่งจัดเป็นลักษณะของสารให้ฟองทางกายภาพ
3. การทำให้เกิดฟองโดยใช้สารเคมี ฟองก๊าซที่ได้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีการสลายตัวของสารให้ฟอง กระบวนการให้ฟองโดยการปั่นกวนจะใช้ในการผลิตโฟมจากน้ำยางข้น น้ำยางสังเคราะห์ หรือพรีพอลิเมอร์ การปั่นกวนจะทำให้เกิดโครงสร้างของเซลล์เปิด ซึ่งมีสมบัติในด้านการซึมผ่านของของเหลวและก๊าซได้ดี กระบวนการทำให้เกิดฟองทางเคมีและกายภาพ จะใช้สารซึ่งควบคุมโครงสร้างโฟมให้มีขนาดเล็ก และสามารถผลิตโครงสร้างโฟมที่มีลักษณะเป็นเซลล์เปิด เซลล์ปิดหรือเซลล์ร่างแห ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต

2.1.2 **แบ่งชนิดของโฟมตามการแพร่กระจายของฟองก๊าซได้ ดังนี้**

1. โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low-Density Foam) เกิดจากมีฟองก๊าซจำนวนมากแพร่กระจายในพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณเล็กน้อย กล่าวคือ มีปริมาณฟองก๊าซมากกว่า 9 ส่วน ในแต่ละเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ ซึ่งโฟมชนิดนี้จะมีความหนาแน่นต่ำกว่า 0.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรหรือ 6 ปอนด์ต่อตารางฟุต
2. โฟมที่มีความหนาแน่นปานกลาง (Medium-Density Foam) คือ โฟมที่มีปริมาณฟองก๊าซต่อเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ระหว่าง 0.1 – 0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. โฟมที่มีความหนาแน่นสูง (High-Density Foam) คือ โฟมที่มีปริมาณฟองก๊าซน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณพอลิเมอร์ โดยจะมีปริมาณฟองก๊าซน้อยกว่า 1.5 ส่วนในแต่ละปริมาตรของพอลิเมอร์ หรือมีความหนาแน่นตั้งแต่ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมบัติของโฟม

1. การดูดกลืนเสียง (Acoustic Absorption) ในโฟมแบบเซลล์เปิดมีประโยชน์มากในการป้องกันเสียงสะท้อน เป็นฉนวนกันไฟฟ้าและความร้อนได้สูง ทั้งนี้ขึ้นกับการนำไฟฟ้าที่ต่ำของวัฏภาคก๊าซ และการที่มีความหนาแน่นต่ำสุด
2. การดูดซับน้ำ (Water Absorption) เป็นผลมาจากน้ำสามารถเข้าแทนที่ก๊าซในโฟมแบบเซลล์เปิดที่ยืดหยุ่น (flexible open-cell foams) ได้ ทั้งนี้เนื่องจากของไหลทั้งสองสามารถไหลได้อย่างอิสระ
3. การลอยตัว (Buoyaney) ของโฟมที่เป็นเซลล์เปิดเป็นผลจากเซลล์ก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำ อัตราส่วนความแข็งแกร่ง (rigidity) ต่อน้ำหนักและความแข็งแรง (strength) ต่อน้ำหนักจะสูง ในโฟมที่เป็นแบบเซลล์ปิดซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบแซนวิช และเนื้อโฟม (sandwich and structure foam) ในทางตรงกันข้ามโฟมที่เป็นเซลล์เปิดจะมีความนุ่ม (softness) และความยืดหยุ่น (flexibility) ซึ่งเป็นผลมาจากวัฏภาคก๊าซแบบต่อเนื่องมีความหนืดต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถรองรับแรงกระแทก (impact cushioning) ได้ ไม่ว่าจะเป็นโฟมแบบยืดหยุ่น หรือแบบแข็งแกร่ง โดยกลไกของการรับแรงกระแทกในส่วนของโฟมยืดหยุ่น อธิบายได้โดยลักษณะกายภาพที่เป็นอยู่ แต่ในส่วนของโฟมแข็งแกร่งสามารถอธิบายได้โดยการดูดกลืนพลังงานที่ชนกระแทกผนังเซลล์ที่บางหรือโดยฮีสเตอริซิสของการยืดหยุ่น (flexural hysteresis) ในโครงสร้างเซลล์
4. มีความหนาแน่นต่ำ ใช้วัสดุในปริมาณน้อย
5. มีความแข็งจำเพาะสูง

2.2 เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene vinylacetate copolymer, EVA)

อีวีเอเป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์เอทิลีน และไวนิลแอซิเตท มีลักษณะเป็นเม็ดใสถึงขุ่น มีหลายเกรดขึ้นอยู่กับปริมาณของไวนิลอะซิเตตและน้ำหนักโมเลกุล อีวีเอจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้ [11]

$$-(CH_2CH_2)_x\,(CH_2\,\underset{\displaystyle COOCH_3}{\underset{|}{CH}})_y-$$

2.2.1 สมบัติของอีวีเอ

ปริมาณ ไวนิลอะซิเตท (Vinyl Acetate,VAc) จะเป็นตัวควบคุมความยืดหยุ่นของโคพอลิเมอร์ ถ้าปริมาณ VAc สูง ๆ จะสามารถยืดได้ดี ซึ่งแสดงสมบัติของยางและความเป็นอสัณฐานของโคพอลิเมอร์ ส่วนโคพอลิเมอร์ที่มีปริมาณ VAc ต่ำๆจะมีลักษณะภายนอกคล้าย LDPE โดยผลิตภัณฑ์จะแข็ง แต่ถ้าปริมาณ VAc สูงๆผลิตภัณฑ์จะมีความทนต่อแรงดึงและมอดุลัสต่ำ แต่จะมีการดึงยืดได้สูง การผลิตVAc โคพอลิเมอร์มีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆให้ดีกว่าโฮโมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น สมบัติต้านทานความเค้น ความเป็นขั้ว ความเข้ากันได้ในพอลิเมอร์ผสม โดยโครงสร้างของ EVA จะช่วยเพิ่มการยึดติด ดังนั้น EVA จึงสามารถใช้เป็นตัวช่วยในการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมได้

อีวีเอที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตท 10 – 15 เปอร์เซ็นต์โดยโมล จะมีความยืดหยุ่นคล้ายพีวีซี สามารถผสมเข้ากับสารตัวเติมได้ดี มีความสามารถในการยืดหยุ่นโค้งงอได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ มีความเหนียวสูง มีความใสมากกว่าพีวีซีในการใช้งาน แม้ว่าความเหนียวจะน้อยกว่ายางธรรมชาติ แต่มีข้อดีในการขึ้นรูปง่ายกว่า

อีวีเอที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตทประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ อาจใช้เป็นสารเติมแต่ง สารในการเคลือบและใช้เป็นกาว

อีวีเอที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตทประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เป็นสารในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเอทิลีน เป็นสารเติมแต่งที่มีราคาถูก ช่วยลดโครงสร้างความเป็นผลึก เพิ่มความยืดหยุ่น ความนิ่มตัว เป็นสารที่มีความใสและไม่เป็นพิษ

อีวีเอเกรดทางการค้า อาจใช้ในการฉีดขึ้นรูปแทน พีวีซีและยางที่เกิดการเชื่อมโยงตัว นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องใช้ในห้องน้ำ อุปกรณ์ในสำนักงาน ประตู วัสดุที่นุ่ม และใช้ในการทำพื้นรองเท้า อีวีเอจะไม่นำมาใช้ในการผลิตฟิล์ม เนื่องจากมีแรงยึดติดที่ผิวสูง ความหนืดสูง ซึ่งจะทำให้ยากในการขึ้นรูป บางครั้งอาจใช้อีวีเอในกระบวนการฉีดร่วม (coextrusion) เพื่อใช้ในการผลิตฟิล์มที่เรียงเป็นชั้น ๆ

มีการนำอีวีเอไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย รวมทั้งใช้ในการเคลือบและทำกาว โดยทั่วไป อีวีเอ มีโครงสร้างเป็นแบบสุ่มของไวนิลอะซิเตต บนพอลิเอทิลีน จึงทำให้เป็นพอลิเมอร์แบบสัณฐาน แต่ถ้ามีปริมาณไวนิลอะซิเตท 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้เป็นพอลิเมอร์แบบอสัณฐาน แสดงสมบัติของอีวีเอในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของอีวีเอ [11]

สมบัติ	อีวีเอ	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ	0.9 – 0.93	-
ความแข็งแรงสูงสุด	1.3	10^3ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
มอดุลัส	11	10^3ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
จุดอ่อนตัว	83	^{o}C
อุณหภูมิการแตกหัก	-70	^{o}C
ค่าการนำไฟฟ้า10^3 Herts	2.8	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 **กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน** ทำได้ดังนี้

1) พอลิเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์

กระบวนการนี้จะใช้ความดันสูงเหมือนที่ใช้ในการผลิต LDPE โดยขั้นตอนสุดท้ายจะผสมพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวกับสารช่วยหล่อลื่น และสารต้านทานการเกิดออกซิเดชัน จากนั้นถูกทำให้เป็นเม็ดเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกในขั้นตอนต่อไป ปริมาณไวนิลอะซิเตท (VAc) ในโคพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีตั้งแต่ร้อยละ 15-50 โดยน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้จะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 20,000-40,000

2) พอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย

กระบวนการนี้ใช้ความดันแบบปานกลาง ประมาณ 200-400 บาร์ จะได้ผลผลิตที่มีปริมาณ VAc ในช่วงสูงๆ ตั้งแต่ร้อยละ 30-50 โคพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆจะใช้สำหรับการใช้งานพิเศษเท่านั้น ส่วนโคพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆจะใช้ในงานเคลือบ ใช้เป็นสารตัวเติมในแวกซ์ ใช้เป็นสารหล่อลื่นในยางและในเทอร์โมพลาสติกผสมอีกหลายชนิด

3) พอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน

กระบวนการนี้จะเหมือนกับการผลิตเรซินพีวีซี โดยมอนอเมอร์จะถูกกวนในน้ำ โดยใช้สารช่วยลดแรงตึงผิวและตัวเริ่มอนุมูลอิสระ โคพอลิเมอร์ที่ได้จะมีปริมาณ VAc สูงมาก ถึงร้อยละ 60 จึงไม่จัดเป็นพวกเทอร์โมพลาสติก มักใช้ในงานลักษณะของยาง เนื่องจากมีปริมาณเจลสูงและมีกิ่งก้านสาขามากมาย

2.2.3 **การสลายตัวของ อีวีเอ**

การศึกษาการสลายตัวของอีวีเอ จะเริ่มจาก ขั้นเริ่ม ในการสร้างตัวของกรดอะซิติก ซึ่งจะทำให้เพิ่มปริมาณไวนิลอะซิเตท ขั้นที่ 2 เป็นขั้นที่เกิดการสลายตัวของสายโซ่หลักที่เกิดจากแรงดึงดูดของเอทิลีนและหมู่ไวนิลอะซิเตทลดลง เหมือนกับการเกิดกรดใน พีวีซี ในการสลายตัวของพอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามสารรักษาเสถียรภาพของพีวีซีจะไม่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของอีวีเอ

ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของอีวีเอ จะเกิดแลกโตนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล โดยที่อะซิเตทจะกลายเป็นหมู่มีเทน แล้วเกิดเป็นคีโตนและแอลดีไฮด์ สิ่งสำคัญที่สังเกตเห็นในการสลายตัวของอีวีเอ คือจะเกิดกลุ่มไวนิลขัดขวางในไวนิลอะซิเตท ซึ่งจะสังเกตเห็นเป็นสีในอีวีเอ เนื่องจากการเกิดพอลิอีนและผลิตภัณฑ์ของพอลิอีน-คาร์บอนิล มาจำกัดความยาวของสายโซ่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอีวีเอจะทำให้เกิดการจำกัดความยาวของสายโซ่จากหมู่คาร์บอนิล [12]

2.3 ยางธรรมชาติ (NR)

มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ที่ – 58 องศาเซลเซียส ในอเมริกากลางจะเรียกว่ายางกัตตาเปอชาร์ (Gutta Percha) มีโครงสร้างเป็น 1,4 พอลิไอโซพรีน แต่โครงสร้างหลักของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติในเมืองไทย คือ ซีส 1,4 พอลิไอโซพรีน มีต้นกำเนิดมาจากในอเมริกาใต้ ในประเทศบราซิล มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลในช่วงกว้าง มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2,000,000 สมบัติไม่แน่นอนขึ้นกับชนิดของยางแต่ละชนิด การเกิดผลึกเกิดได้ดีที่ 2 สภาวะ คือ เกิดจากการดึงยืดให้สายโซ่มาเรียงชิดกันจนเกิดผลึก หรือเกิดผลึกที่อุณหภูมิต่ำประมาณ –25 องศาเซลเซียส ทนต่อการฉีกขาดและการขัดถู บวมตัวและขยายตัวในน้ำมันปิโตรเลียม มีความสามารถในการยึดเกาะกับโลหะได้ดี มีการใช้ยางธรรมชาติประมาณ 1 ใน 3 ส่วนของการใช้ยางของโลก

มีความแข็งแรงสูง เมื่อมีการกระแทกแรง ๆ จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก มีการกระดอนตัวสูง สามารถกระดอนกลับมาที่เดิมได้ มีความยืดหยุ่นดี เสียสภาพง่ายเนื่องจากสารเคมีและแรงกลภายใต้แรงเฉือน ไม่ทนต่อโอโซนและปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากมีพันธะคู่ [11]

2.4 ยางสังเคราะห์

2.3.1 ยางสไตรีน – บิวทาไดอีน (SBR)

โดยมากจะมีสไตรีน 23.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า T_g ประมาณ –55 องศาเซลเซียส เป็นยางสังเคราะห์ที่มีการใช้งานมากเป็นอันดับ 1 มีราคาถูก ทนต่อแรงขัดถูได้ดี มีสมบัติแน่นอนมากกว่ายางธรรมชาติ อุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง –60 ถึง 70 องศาเซลเซียส มีสมบัติในการกระดอนต่ำกว่ายางธรรมชาติ การสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลยากกว่ายางธรรมชาติ การทำให้สุกหรือแข็งตัวช้ากว่ายางธรรมชาติ ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการสุกตัวเกินไป หรือสุกตัวก่อนกำหนดเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ นิยมใช้ในการผลิตยางล้อยานพาหนะ [11]

กระบวนการสังเคราะห์ยางสไตรีน – บิวทาไดอีน มีดังนี้

1. แบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) เกิดอนุมูลอิสระในสารละลายเนื้อเดียว เกิดเป็นก้อนแล้วค่อย ๆ ขยายขนาดขึ้น ใช้สารเมอร์แคปเทน (Mercaptan) ในการหยุดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้น้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงมากนัก ยางที่ได้มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง ทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูป
2. แบบสารละลาย (Solution Polymerization) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ยางที่ได้มีหมู่ไวนิลน้อยกว่าแบบอิมัลชัน แต่มีความบริสุทธิ์มากกว่าแบบอิมัลชัน ทนต่อการขัดถูและการพับตัว มีสมบัติในการกระดอนตัวสูง

2.3.2 ยางบิวทาไดอีน (BR)

มีการใช้งานมากรองจากยางสไตรีน – บิวทาไดอีน นิยมใช้ในการทำยางรถยนต์

สามารถสังเคราะห์ได้จาก 2 เทคนิคหลัก ๆ คือ

1. แอนไอออนิก พอลิเมอร์ไรเซชัน (Anionic Polymerization)
2. โคออดิเนชัน พอลิเมอร์ไรเซชัน (Coordination Polymerization) จะได้ยางที่มีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบซีส 1,4 ซึ่งจะมีค่า T_g ประมาณ –103 องศาเซลเซียส และแบบอะแทคติกไวนิล ซึ่งจะมีค่า T_g ประมาณ –3 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีข้อดี คือ ใช้พลังงานการขึ้นรูปต่ำ มีความยืดหยุ่นตัวได้สูง มีความคงทนต่อการขัดถูสูง ทนต่อคาร์บอนแบล็คสูง จึงใส่ได้ในปริมาณมากทำให้ต้นทุนต่ำ มีโครงสร้างเป็นได้ทั้งแบบ ซีส ทรานส์ หรือไวนิล ซึ่งในการผลิตสามารถควบคุมโครงสร้างได้ โดยการเลือกใช้สารตัวเร่ง ยางบิวทาไดอีนที่มีโครงสร้างเป็นแบบทรานส์อยู่มากจะตกผลึกได้ง่าย ใช้ในยางผสม ยากต่อการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุล มีประสิทธิภาพในการเกิดการเชื่อมโยงข้ามสายโซ่โมเลกุลได้ด้วยกำมะถัน ยางบิวทาไดอีนจะใช้น้ำมันพาราฟินเป็นพลาสติไซเซอร์ ยางบิวทาไดอีนเป็นยางที่มี T_g ต่ำที่สุด จึงสามารถกระดอนได้ดี

ข้อเสีย คือ ทำการผสมได้ยาก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง ยากที่จะนำไปทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ยางดิบที่อุณหภูมิต่ำสามารถเกิดการไหลได้ง่าย และการยืดตัวของยางดิบนั้นต่ำ

2.3.4 **ยางไนไตรล์** (NBR)

เป็นโคพอลิเมอร์ของบิวทาไดอีนกับอะคริโลไนไตรล์ มีสมบัติทนต่อน้ำมันและเชื้อเพลิงแต่ทนทานต่อโอโซนต่ำ สามารถใช้ในการผสมกับพีวีซีเพื่อเพิ่มความทนทานต่อโอโซน ใช้งานในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -20 °C ถึง 120 °C เมื่อปริมาณไนไตรล์ในโครงสร้างมีมากขึ้นจะทำให้ มีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกระดอนตัวและความสามารถในการขึ้นรูป ต่ำลง แต่ความสามารถในการให้ก๊าซผ่าน ความแข็งแรง การทนต่อน้ำมัน เชื้อเพลิง และทนต่อความร้อน เพิ่มมากขึ้น ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ทนต่อน้ำมัน [11]

2.4 สารเติมแต่งต่างๆ

2.4.1 **สารหล่อลื่น** (Lubricants)

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารหล่อลื่นภายในและสารหล่อลื่นภายนอก สารหล่อลื่นภายในสามารถละลายได้ดีในพอลิเมอร์และทำหน้าที่เหมือนสารปรับสภาพพลาสติก ส่วนสารหล่อลื่นภายนอกจัดเป็นสารที่ละลายเข้ากันได้เพียงครึ่งหนึ่งหรือไม่เข้ากันเลย (semi-or incompatible) กับพอลิเมอร์และมาอยู่ตรงบริเวณผิวด้วยอัตราที่ถูกควบคุม (controlled rate) เพื่อที่จะปล่อยพอลิเมอร์ออกจากอุปกรณ์ในกระบวนการหรือเพื่อลดแรงเสียดทานและการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายในการนำไปใช้จริง [14]

สารหล่อลื่นทำหน้าที่ ดังนี้

- เม็ดพลาสติกที่มีสารหล่อลื่นอยู่ทำให้เกิดการไหลในอุปกรณ์ป้อนวัสดุได้เป็นอย่างดี
- ควบคุมความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานและอัตราการหลอมเหลว
- ลดความหนืดของหลอมเหลวและกำลังที่ต้องใช้ ทำให้เกิดการไหลได้อย่างรวดเร็ว
- ลดการเสียสภาพเนื่องจากความเฉือน (shear degradation)
- ปล่อยพอลิเมอร์ออกจากอุปกรณ์ทางกระบวนการ เช่น ดายน์ แม่พิมพ์ หรือลูกกลิ้ง เป็นต้น
- เพิ่มความเงา
- ใช้เป็นสารยึดเกาะ ได้แก่ สารป้องกันการบล๊อค (anti-blocking) ในไวนิลส์และสารทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการลื่นไถล (slip agents) ในพอลิโอเลฟินส์ โดยสารทั้งสองชนิดนี้อาจทำหน้าที่เป็น สารป้องกันการเกิดหมอกในตู้เย็น ผลิตภัณฑ์เย็นจัดและสารป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ เป็นต้น

ความสามารถในการเข้ากันได้ในโครงสร้างโมเลกุลของสารหล่อลื่นประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้วและส่วนที่มีขั้ว โดยมีการเปลี่ยนความยาวของแต่ละส่วนเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อควบคุมความสามารถในการละลาย (miscibility) กับความไม่สามารถเข้ากันได้ (incompatibility) ของพอลิเมอร์ใด ๆ เพื่อให้เกิดพฤติกรรมเป็นแบบภายนอก ภายใน หรือแบบผสม

สารหล่อลื่นที่นิยมใช้ ได้แก่ เมทัลลิคสเตียเรท ไขพาราฟินส์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 300 – 600 ไขมันของเอไมด์ (Erucic,Oleic,Et-bis-stear-amide) ไขมันเอสเทอร์ ไขพอลิโอเลฟินส์ เป็นต้น

2.4.2 **สารทำให้เกิดฟอง** (Blowing agents)

กระบวนการทำให้เกิดฟองมีอยู่หลายวิธีแต่ทุกวิธีประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ [13]

1. สถานะของเหลว ได้แก่ พอลิเมอร์หลอมเหลว พรีพอลิเมอร์ และเลเท็กซ์พลาสติโซล
2. การเกิดฟองอากาศ ได้แก่ ก๊าซสภาวะ ของเหลวระเหยได้ และปฏิกิริยาเคมี
3. การเกิดเป็นของแข็ง ได้แก่ การหล่อเย็น การบ่มตัว การเกิดเจลและการระเหย

สามารถแบ่งประเภทของสารให้ฟอง ได้ดังนี้ [14]

1. สารทำให้เกิดฟองทางกายภาพ ได้แก่ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งไม่มีพิษและมีติดไฟ ทำโดยการอัดเข้าไปในพอลิเมอร์หลอมเหลวเพื่อทำให้เกิดโครงสร้างเป็นโฟมในเทอร์โมพลาสติก การที่ไม่ใช้อากาศเนื่องจากไม่เสถียรและออกมาเร็วเกินไป
2. สารทำให้เกิดฟองทางเคมี จำเป็นต้องมีสมบัติดังนี้ คือ ให้ปริมาณก๊าซสูง (มากกว่า 5 กรัมต่อมิลลิลิตร) ไม่เป็นพิษ ไม่เกิดรอยเปื้อน ไม่แยกสี ไม่มีสิ่งหลงเหลือ ค่าใช้จ่ายต่ำ และการสลายตัวจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ [14]

1. สารประกอบประเภทเอโซ (Azo compound)

<u>เอโซไดคาร์โบนาไมด์</u> (Azodicarbonamide)

$$NH_2 — CO — N = N — CO — NH_2$$

เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide) เกิดจากปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เกิดจากการรวมตัวของไฮดราซีน (hydrazine) และ ยูเรีย (urea) จะได้ไฮโดรโซไดคาร์โบนาไมด์ (hydrozodicarbonamide)

$$H_2N — NH_2 + 2H_2N — CO — NH_2 \xrightarrow[(H^+)]{} H_2N — CO — HN — NH — CO — NH_2 + 2NH_3 \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ไฮโดรโซไดคาร์โบนาไมด์ เกิดเป็นเอโซไดคาร์โบนาไมด์ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารที่ทำให้เกิดการออกซิเดชัน คือ คลอรีน (chlorine) คลอเรต (chlorates) ไฮโดรเจน (hydrogen) เปอร์ออกไซด์ (peroxide) และกรดไนตริก (nitric acid)

$$H_2N - CO - NH - NH - CO - NH_2 \xrightarrow[(O)]{} H_2N - CO - N = N - CO - NH_2 + H_2O \quad (2.2)$$

Azodicarbonamide จะมีลักษณะเป็นผง มีสีเหลือง จะมีความหนาแน่น 1.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 205-215 องศาเซลเซียส จะให้ก๊าซในปริมาณ 220 มิลลิลิตร/กรัม มักใช้ในทางการค้า ส่วนมากมักจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และพลาสติไซเซอร์ (plasticicer) มีความสามารถในการละลายในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide) ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 กรัม/ 100 กรัมสารละลาย และความสามารภในการละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide) จะมีค่าน้อย Azodicarbonamide จะใช้ในการผลิตภาชนะสำหรับใส่อาหาร เนื่องจากให้ความเสถียรแตกต่างจากสารให้ฟองชนิดอื่น ไม่สามารถเกิดการติดไฟได้เอง และไม่ช่วยในปฏิกิริยาการเผาไหม้

การสลายตัวทางความร้อนของ Azodicarbonamide ในอากาศจะได้ผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ผลิตภัณฑ์ก๊าซ 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ของแข็ง 41 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการ 27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลิตภัณฑ์ก๊าซประกอบด้วย

- ไนโตรเจน (N_2) 65 เปอร์เซ็นต์
- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 3 เปอร์เซ็นต์
- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 26 เปอร์เซ็นต์

การสลายตัวของ Azodicarbonamide จะมีกลไกได้สองแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับสูตรของสารประกอบและอุณหภูมิ

แบบที่ 1

$$H_2N - CO - N = N - CO - NH_2 \longrightarrow N_2 + CO + H_2N - CO - NH_2 \quad (2.3)$$

$$H_2N - CO - NH_2 \longrightarrow NH_3 + HNCC \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 2

$$H_2N — CO — N = N — CO — NH_2 \quad (2.5)$$

$$\longrightarrow H_2N — CO — NH — NH — CO — NH_2 + N_2 + 2HNCO$$

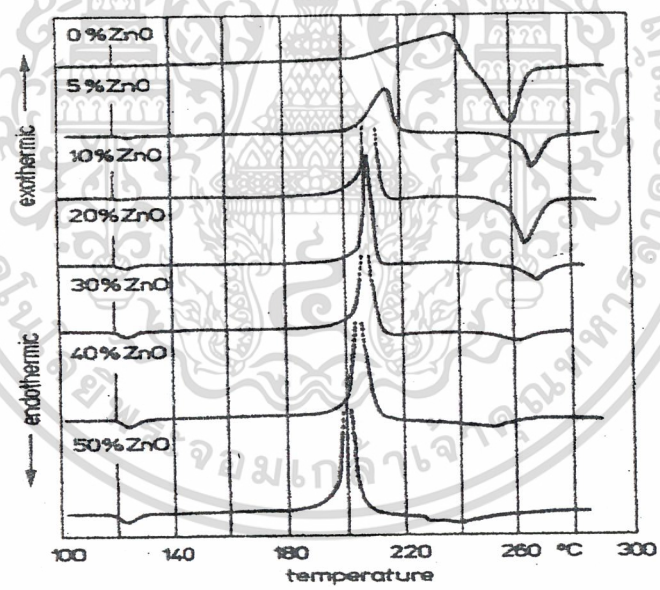
ความชื้นมีผลต่อการสลายตัวของ Azodicarbonamide ในกรณีที่มีกรดหรือเบสที่อุณหภูมิสูง

$$2H_2N — CO — N = N — CO — NH_2 + 2H_2O$$

$$\longrightarrow H_2N — CO — H_2N — CO — NH_2 + N_2 \quad (2.6)$$

$$+ 2CO_2 + 2NH_3$$

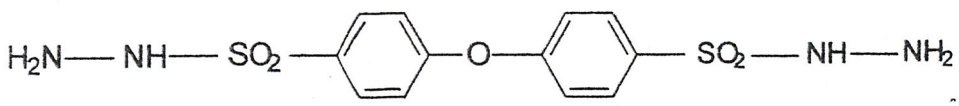
ซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการสลายตัวของ Azodicarbonamide โดยจะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวให้ก๊าซของ Azodicarbonamide ต่ำลง ซึ่งผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่มีต่ออุณหภูมิสลายตัวของ Azodicarbonamide แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลของซิงคออกไซด์ที่มีต่อการสลายตัวของ Azodicarbonamide [14]

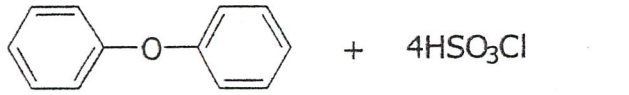
2. อนุพันธ์ของไฮดราซีน (Hydrazine derivatives)

2.1 4,4'- Oxybis(benzenesulfohydrazide)

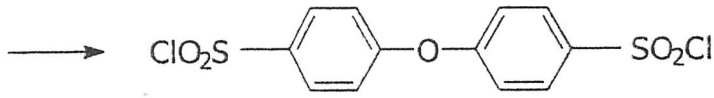


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมได้จาก

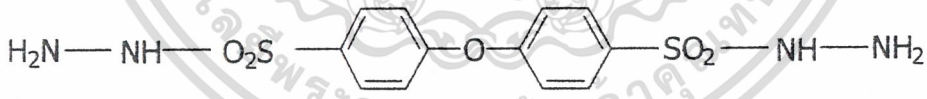


(2.7)

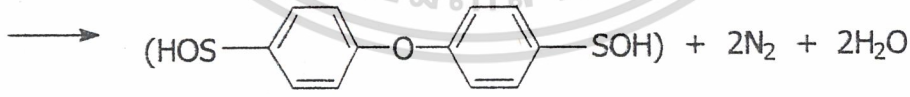


(2.8)

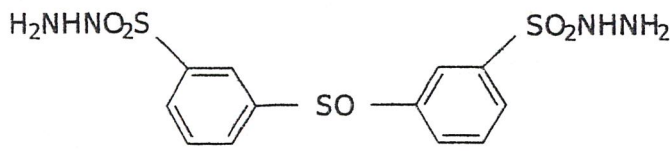
4,4'-Oxybis(benzenesulfohydrazide) มีลักษณะเป็นผงสีขาว สลายตัวที่อุณหภูมิ 157-160 องศาเซลเซียสให้ก๊าซปริมาณ 125 มิลลิกรัม/กรัม มักจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และละลายได้เล็กน้อยในน้ำร้อนหรือเอทานอล (ethanol) ปฏิกิริยาการสลายตัวจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์



(2.9)



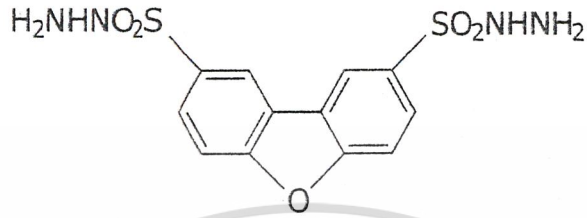
2.2 Diphenylsulfone-3-3'-disulfohydrazide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

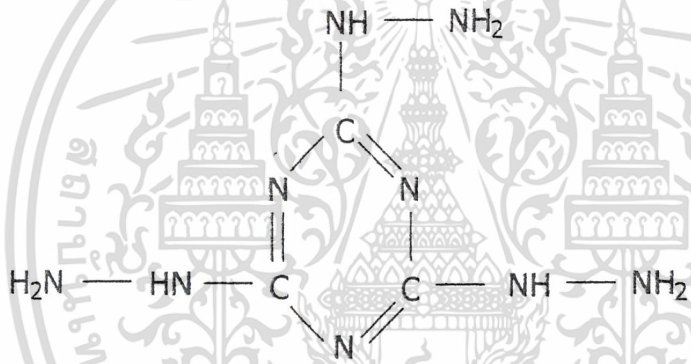
มีลักษณะเป็นผงขาว เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 155 ^{0}C และให้ก๊าซปริมาณ 120 มิลลิลิตร / กรัม Diphenylsulfone มักจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในไซโคลเฮกเซน (cyclohexane)

2.3 Diphenylene oxide- 4-4'-disulfohydrazide



มีลักษณะเป็นผงสีขาวสลายตัวที่อุณหภูมิ 175-180 ^{0}C และให้ก๊าซปริมาณ 120 มิลลิลิตร/กรัม

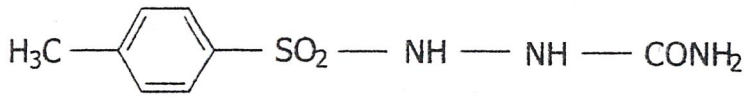
2.4 Trihydrazinotriazine



เป็นผงสีขาวอมเทาสลายตัวที่อุณหภูมิ 228-235 ^{0}C ในอากาศ ให้ก๊าซปริมาณ 140 มิลลิลิตร / กรัม ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำ เกิดก๊าซไนโตรเจนและแอมโมเนีย

3. Semicarbazides

p-Toluenesulfonyl semicarbazide



มีลักษณะเป็นผงสีขาว สลายตัวที่อุณหภูมิ 288-235 ^{0}C ให้ก๊าซปริมาณ140 มิลลิลิตร /กรัม ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำ

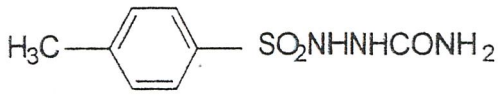
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

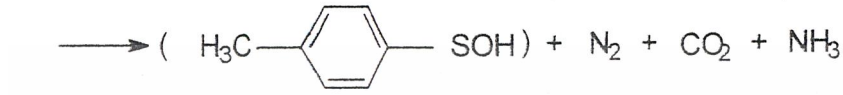
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก๊าซที่ได้มีองค์ประกอบ

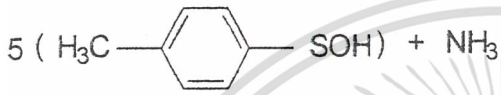
ไนโตรเจน 55 %, คาร์บอนไดออกไซด์ 2 %, และแอมโมเนีย 3 %

กลไกในการสลายตัว

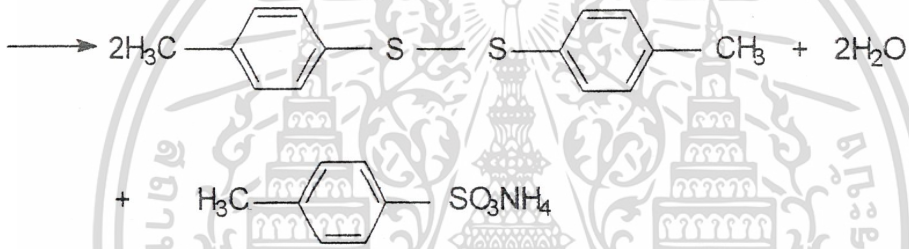




(2.10)



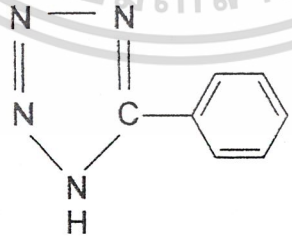
(2.11)



(2.12)

4. Tetrazole

5-phenyltetrazole



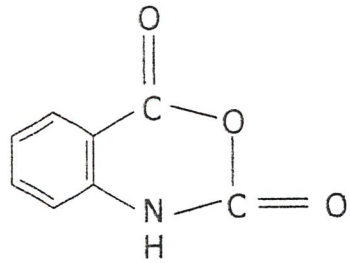
มีลักษณะเป็นผงสีขาว สลายตัวที่อุณหภูมิ 240-250 ^{0}C ให้ก๊าซปริมาณ 210 มิลลิลิตร / กรัม ก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40058

5. Benzoxazines

Isotoic anhydride



ชนิดของสารให้ฟองชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสารให้ฟองต่าง ๆ [14]

ชนิดของสารเคมี	ช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวในอากาศ (^{0}C)	ปริมาณของก๊าซ (ml / g)	ใช้กับพอลิเมอร์
Azodicarbonamide	205-215	220	PVC, PE, PP, PS,ABS, PA
4,4'-Oxybis (benzenesulfohydrazide)	150-160	125	PE, PVC, EVA
Diphenylsulfone-3,3;-disulfohydrazide	155	110	PVC, PE, EVA
Disulphenylene oxide-4,4'-disulfohydrazide	175-180	120	PE, PVC, EVA
Trihydrazinotriazine	275	225	ABS, PE, PP, PA
p-Toluenesulfonyl semicarbazide	228-235	140	ABS, PE, PP, PA, PS
5-Phenyltertrazole	240-250	190	ABS, PPO, PC, PA, PBTP
Isotoic anhydride	210-225	115	PS, ABS, PA, PPO, PBTP,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 **สารให้สี**

พบว่าประมาณ 1 ใน 3 ของพลาสติกทั้งหมดใช้อยู่ในรูปที่ไม่ให้สีตามธรรมชาติ และประมาณ 2 ใน 3 ให้สีโดยใช้สารให้สีประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ [14]

การแบ่งสารให้สีออกเป็นหมวดหมู่ทางเคมี เป็นดังนี้

1. โดยปกติสารให้สีแบ่งออกเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สีอนินทรีย์เป็นสารที่อนุภาคหยาบกว่า แต่มีประสิทธิภาพทางสีต่ำกว่า เสถียรต่อแสง ความร้อนและสภาวะทางเคมีและมีราคาถูก ส่วนสีที่มีความสว่างที่สุด ทำจากโลหะโดยต้องพิจารณาถึงความมีพิษที่มีต่อสุขภาพทั้งในกระบวนการผลิตและสภาวะแวดล้อม สีอินทรีย์มีอนุภาคที่ละเอียดกว่า มีประสิทธิภาพทางสีสูงกว่า เสถียรน้อยกว่า ราคาแพงกว่า ไม่มีพิษ แต่จะต้องตรวจตราสิ่งเจือปนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหา
2. สารให้สีอาจจะแบ่งออกได้เป็น สีย้อม (dyes) หรือรงควัตถุ (pigments) โดยที่สีย้อมสามารถละลายได้ในพอลิเมอร์หรืออนุภาคที่ละเอียดโดยไม่เกิดการกระจายตัว หรือสะท้อนแสงจึงให้สีที่โปร่งใส ปกติจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ให้สี มีประสิทธิภาพและมีแนวโน้มไม่เสถียร ส่วนรงควัตถุเป็นอนุภาคที่ไม่ละลายหรือเกิดพันธะบนผิวของอนุภาคที่ไม่ละลาย มีน้อยกว่าสีย้อม นิยมใช้ผลิตสีทึบแสง อาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้โดยในอุตสาหกรรมพลาสติกให้รงควัตถุในการผลิตสีทึบแสงมากขึ้น สีย้อมที่นิยมใช้ในงานที่พิเศษเมื่อต้องการให้สีที่ได้เป็นแบบโปร่งใส

ชนิดของสารให้สีที่นิยมใช้ได้แก่

- ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นรงควัตถุทึบแสงและเป็นสารให้สีขาวในพลาสติก
- เหล็กออกไซด์ ทำให้เป็นสีได้หลายสี เช่น สีแดง สีเหลือง สีน้ำตาล และสีดำ มีความเสถียร ไม่เป็นพิษ และค่าใช้จ่ายต่ำ
- ผงคาร์บอน เป็นสีอินทรีย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด เป็นสารให้สีดำ แต่ส่วนมากใช้เป็นสารเสริมแรง
- พลาทาโลไซยานิน (Phthalocyanin) เป็นสารให้สีน้ำเงินและสีเขียว
- อะนิลีน ใช้เป็นสารให้สีส้ม

ในการเลือกสารให้สีต้องคำนึงถึงดังนี้ คือ ความสามารถในการกระจายตัว สมบัติการไหล การหลุดออก (plate-out) ความมีเสถียรภาพทางความร้อน ลักษณะปรากฏ ความไวต่อแสง สภาวะอากาศ การเคลื่อนย้าย และความมีพิษ ทั้งในกระบวนการผลิตพลาสติกและการนำไปใช้

2.4.4 **สารเชื่อมโยง** (curing agent)

เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่เสถียร มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี มีประโยชน์ในการทำพอลิเมอร์ไรซ์เซชันของอนุมูลอิสระไวนิล การบ่มตัวของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว การเชื่อมโยงตาข่ายของพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว การเชื่อมโยงตาข่ายของเทอร์โมพลาสติก และการผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปขณะใช้งาน นิยมใช้ไดคูมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 **พลาสติไซเซอร์** (Plasticizer)

สารพลาสติไซเซอร์ เป็นของเหลวที่มีความสามารถในการระเหยต่ำ ซึ่งเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์แล้วทำให้อ่อนและยืดหยุ่นตัว การให้จะต้องพิจารณาคือ ความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ความถาวร (permanence) อายุการใช้งาน (aging) และผลต่อสมบัติอื่น ๆ

ทฤษฎีการกระทำของสารพลาสติไซเซอร์ มีมากมายที่อธิบายกลไกการกระทำของสารพลาสติไซเซอร์ โดยแต่ละทฤษฎีแสดงได้ดังนี้

1. การแตกแยกของพันธะระหว่างพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ (Cleavage of Polymer : Polymer Bonds) เพื่อทำให้เกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์กับ พลาสติไซเซอร์ ซึ่งเป็นอิสระจากโมเลกุลพอลิเมอร์ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น
2. การเกิดแรงผลัก (Repulsion) ระหว่างหมู่ที่มีขั้วและอยู่ใกล้กันบนโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เป็นกลาง ช่วยลดผลของความแข็งตึง ทำให้โมเลกุลมีอิสระมากขึ้นในการหมุน และมีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน
3. โมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ที่เป็นของไหลที่เคลื่อนที่ได้ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลโมเลกุลพอลิเมอร์ที่พันเกี่ยวกัน
4. ปริมาตรอิสระ (Free Volume) ทำให้เกิดพื้นที่ว่างในระดับโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้ในโมเลกุล
5. สมดุลการเคลื่อนที่ระหว่างส่วนที่ไม่สร้างพันธะกับส่วนที่สร้างพันธะ ระหว่างพอลิเมอร์เฉพาะกับพลาสติไซเซอร์ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในพลาสติไซเซอร์ผ่านมวลของพอลิเมอร์ตลอดจนปล่อยให้โมเลกุลพอลิเมอร์มีอิสระที่จะเคลื่อนที่ได้

พลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ ได (2-เอทิลเฮกซิล) พลาทาเลท (Di-(2-ethylhexyl) phthalates) เรียกโดยทั่วไปว่า DOP จัดเป็นพลาสติไซเซอร์อเนกประสงค์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในทางการค้า เนื่องจากเกิดสมดุลระหว่างสมบัติและค่าใช้จ่าย [14]

2.6 อุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง

แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ชนิดอุดเข้าไปในช่องหู (Ear Plug) ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น สำลีหรือยางนุ่ม ๆ
2. ชนิดครอบใบหูทั้งหมด (Ear Muff) คล้ายเครื่องฟังสเตอริโอ นอกจากจะปิดหูทั้งหมดแล้วยังปิดกระดูกหูรอบ ๆ ใบหูอีกด้วย แต่ชนิดนี้มีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่ต้องการของที่อุดหูป้องกันเสียง [15]

1. วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง จะต้องสัมผัสกับผิวของผู้ใช้ จึงต้องมีความอ่อนนุ่ม ไม่ระคายเคืองหู ไม่ก่อให้เกิดผื่น เมื่อสัมผัสกับเหงื่อ ขี้หู หรือสิ่งอื่น ๆ ที่พบในหู จะต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่จะทำให้ สมบัติของที่อุดหูเปลี่ยนแปลงไป

2. ถ้าเป็นที่อุดหูชนิดที่นำกลับมาให้ใหม่ได้ หลังจากใช้แล้วจะต้องสะอาด และสมบัติต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสมบัติตอนก่อนใช้ โดยเฉพาะสมบัติในการลดทอนเสียง

3. การลดทอนเสียง (Sound Attenuation) เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EN 24869 – 1 ที่ทดสอบการลดทอนเสียง โดยมีการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่ในช่วง 20 – 9000 เฮริทซ์ แล้วจะต้องมีค่าการลดทอนอย่างน้อยที่สุด (Minimum Attenuation) ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

4. ความสามารถในการจุดติดไฟ (Ignitibility) เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที แล้วที่อุดหูจะต้องไม่ติดไฟและเมื่อนำออกมาจากไฟแล้วจะต้องไม่ลุกไหม้ต่อ

ตารางที่ 2.3 ค่าการลดทอนเสียงที่ต้องการของอุปกรณ์อุดหูป้องกันเสียง[15]

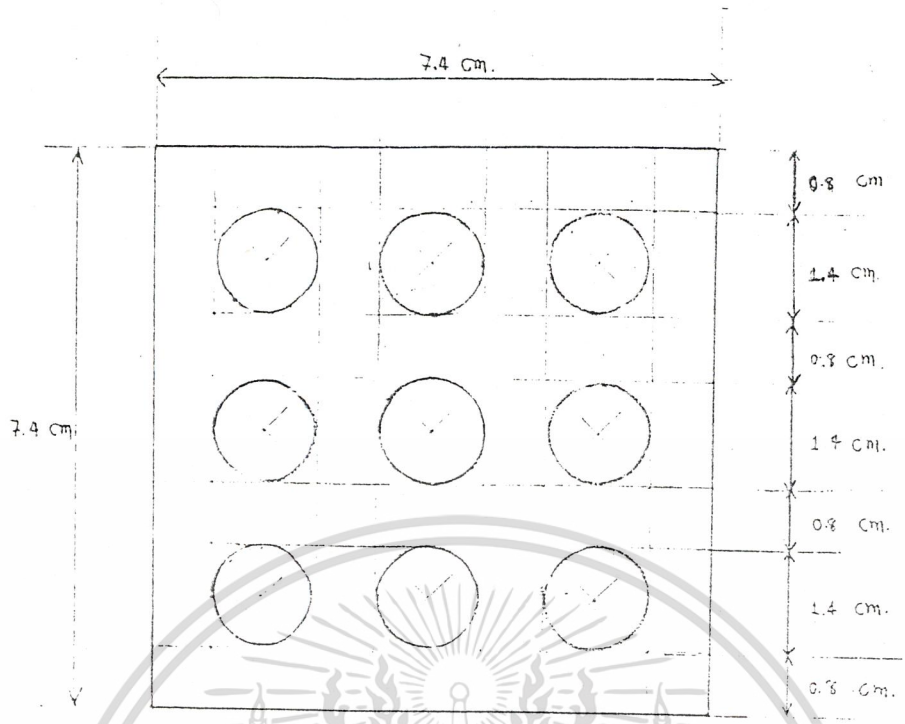
ความถี่ (Hz)	ค่าการลดทอนเสียงที่ต้องการ (เดซิเบล)
125	5
250	8
500	10
1000	12
2000	12
4000	12
8000	12

2.7 แม่พิมพ์สำหรับอุปกรณ์อุดหู

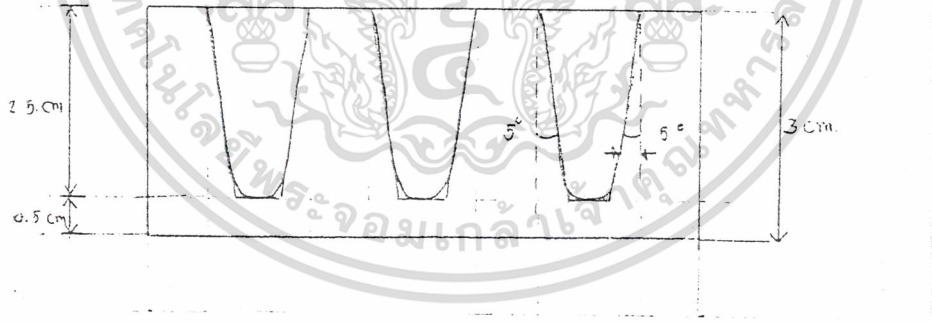
ทำจากโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปได้ดี นำความร้อนได้ดี การขยายขนาดเนื่องจากความร้อนต้องมีค่าต่ำเพื่อไม่ทำให้ขนาดของที่อุดหูเปลี่ยนแปลงไป ราคาถูก

มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม เจาะให้เป็นโพรงรูปกรวยหลาย ๆ โพรงแบบเพื่อให้ได้ที่อุดหูหลายชิ้นต่อการขึ้นรูปหนึ่งครั้ง ขนาดของโพรงแบบเท่ากับขนาดของที่อุดหู มีฝาปิดเพื่อให้ที่อุดหูมีขนาดเท่ากับโพรงแบบ ไม่ขยายตัวจนเกิดขนาดของโพรงแบบ ลักษณะของที่อุดหูแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ภาพจากด้านบน



ข.ภาพจากด้านข้าง

รูปที่ 2.2 แม่พิมพ์สำหรับอุปกรณ์อุดหู ภาพจากด้านบน (ก.) ภาพจากด้านข้าง (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (28%ไวนิล อะซิเตต) เกรดการค้าบ.เลียกเซ้งเทรดดิ้ง จำกัด
2. ไดคูมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) เกรดการค้า บ.แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
3. สารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมน์ (AZ) เกรดการค้า บ. ยูซาโก้ (ไทยแลนด์) จำกัด
4. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า บ.แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
5. ซิงค์เสตียเรต (Zinc Stearate) เกรดการค้า บ.แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
6. กรดเสตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บ.แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
7. ยางบิวทาไดอีน (BR) เกรด BR 40 บ.บางกอกรับเบอร์ จำกัด
8. ยางสไตรีน-บิทาไดอีน (SBR) เกรด 1520 บ.บางกอกรับเบอร์ จำกัด
9. ยางไนไทรยล์ (NBR) เกรด 220 SH บ.บางกอกรับเบอร์ จำกัด
10. อีโพลีนแวกซ์ เกรดการค้า บ.บางกอกรับเบอร์ จำกัด
11. พลาสติไซเซอร์ไดออกทิลพทาเลต (DOP) เกรดการค้า บ.ไอซีไอ จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง รุ่น HR-200 บ.เอแอนด์ดี จำกัด
2. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง LRM 110 Lab Tech Engineering Company
3. เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer shore A
4. ตู้อบ รุ่น 6000 บ.เทอร์โมไลน์ จำกัด
5. แม่พิมพ์สำหรับที่อุดหูป้องกันเสียง
6. ถุงมือกันความร้อน
7. ถุงมือกันสาร
8. เกรียง
9. คัตเตอร์
10. เวอร์เนีย
11. ไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การหาสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม

1. เตรียมส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมในการหาสภาวะการขึ้นรูป

สูตร	EVA	BR	Zinc Oxide	Zinc Stearate	Stearic acid	DCP	Az	wax
1	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	0.0	2.0
2	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	1.0	2.0
3	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	2.0	2.0
4	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	3.0	2.0

2. ผสมสูตรโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิลูกกลิ้งลูกหน้าเป็น 110 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งลูกหลังเป็น 100 องศาเซลเซียส
3. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ตัดพอลิเมอร์ผสมเป็นชิ้น น้ำหนักชิ้นละ 0.7 กรัมใส่ในแม่พิมพ์ ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
6. นำแม่พิมพ์ออกจากเตาอบแล้วทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ
7. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ บันทึกลักษณะของชิ้นงานที่ได้
8. ทำตามขั้นตอนข้อ 4 -7 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิในการอบเป็น 210 , 220 , 230 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
9. ทำตามขั้นตอนข้อ 4 – 7 โดยเปลี่ยนเวลาในการอบเป็น 10 , 15 , 20 และ 25 นาทีตามลำดับ
10. เลือกสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม

3.3.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารให้ฟอง

1. เตรียมส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 3.2
2. ผสมสูตรโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิลูกกลิ้งลูกหน้าเป็น 110 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งลูกหลังเป็น 100 องศาเซลเซียส
3. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ตัดพอลิเมอร์ผสมเป็นชิ้น หนักชิ้นละ 0.7 กรัมใส่ในแม่พิมพ์ ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น
5. นำไปอบที่สภาวะที่เลือกได้ในข้อ 3.3.1
6. นำแม่พิมพ์ออกจากเตาอบแล้วทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ
7. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และทดสอบสมบัติต่าง ๆ
8. วิเคราะห์ผลและเลือกอัตราส่วนของสารให้ฟองที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมในการหาปริมาณสารให้ฟอง

สูตร	EVA	BR	ZnO	Zinc Stearate	Stearic acid	DCP	Az	DOP	wax
5	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	0.0	20.0	2.0
6	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	1.0	20.0	2.0
7	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	2.0	20.0	2.0
8	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	3.0	20.0	2.0
9	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	4.0	20.0	2.0
10	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	5.0	20.0	2.0
11	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	6.0	20.0	2.0
12	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	7.0	20.0	2.0
13	80	20	2.0	2.0	1.0	1.1	8.0	20.0	2.0

3.3.3 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของยาง

1. เตรียมส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมในการหาปริมาณที่เหมาะสมของยาง

สูตร	EVA	BR	ZnO	Zinc Stearate	Stearic acid	DCP	Az	DOP	wax
14	100	0	2.0	2.0	1.0	1.1	**	20.0	2.0
15	90	10	2.0	2.0	1.0	1.1	**	20.0	2.0
16	70	30	2.0	2.0	1.0	1.1	**	20.0	2.0
17	60	40	2.0	2.0	1.0	1.0	**	20.0	2.0

หมายเหตุ ** คือ อัตราส่วน Azodicarbonamide ที่เลือกได้จากข้อ 3.3.2

2. ผสมสูตรโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิลูกกลิ้งลูกหน้าเป็น 110 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งลูกหลังเป็น 100 องศาเซลเซียส
3. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ตัดพอลิเมอร์ผสมเป็นชิ้น หนักชิ้นละ 0.7 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์ ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น
5. นำไปอบที่สภาวะที่เลือกได้ในข้อ 3.3.1
6. นำแม่พิมพ์ออกจากเตาอบแล้วทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ
7. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และทดสอบสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิเคราะห์ผลและเลือกอัตราส่วนของยางที่เหมาะสม

3.3.4 การหาชนิดของยางที่เหมาะสม

1. เตรียมส่วนผสมสูตรที่ 18,19 และ 20 โดยเปลี่ยนชนิดของยางเป็น SBR , NR และ NBR ตามลำดับ ซึ่งใช้อัตราส่วนของยางและสารให้ฟองที่เหมาะสมจากขั้นตอนข้างต้น
2. ผสมสูตรโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิลูกกลิ้งลูกหน้าเป็น 110 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งลูกหลังเป็น 100 องศาเซลเซียส
3. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ตัดพอลิเมอร์ผสมเป็นชิ้น หนักชิ้นละ 0.7 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์ ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น
5. นำไปอบที่สภาวะที่เลือกได้ในข้อ 3.3.1
6. นำแม่พิมพ์ออกจากเตาอบแล้วทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ
7. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และทดสอบสมบัติต่าง ๆ
8. วิเคราะห์ผลและเลือกชนิดของยางที่เหมาะสม

3.4 การทดสอบ

3.4.1 สมบัติทางกายภาพ

1. ความหนาแน่น (Bulk Density)

1.1 นำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาด เพื่อคำนวณหาปริมาตรทรงกรวยโดยใช้สูตร

$$= \frac{1}{3}\pi h(R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2)$$

เมื่อ R_1 คือ รัศมีที่ฐานกรวย

R_2 คือ รัศมีที่ยอดกรวย

V คือ ปริมาตรทรงกรวย (ชิ้นงาน)

และ h คือ ความสูงของกรวย

1.2 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานแต่ละสูตรโดยใช้เครื่องชั่งแบบทศนิยมสี่ตำแหน่ง

1.3 คำนวณหาความหนาแน่น

2. **สมบัติการดูดซับน้ำ**

2.1 นำชิ้นงานในแต่ละสูตรมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียดด้วยเครื่องชั่งแบบทศนิยมสี่ตำแหน่ง

2.2 นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 8 วัน โดยนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียดทุก ๆ 2 วัน

2.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสูตร

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 **สมบัติเชิงกล**

ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hardness Tester ของ SOCIETA PER AZIONI รุ่น alsfaar ตาม ASTM D 2240 Procedure A วัดโดยใช้ Shore A ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

3.4.3 **การถ่ายภาพภาคตัดขวางของชิ้นงาน**

ทำการตัดชิ้นงานให้มีความหนาประมาณ 2 mm. นำไปถ่ายภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ โดยใช้กำลังขยาย 3 เท่า

3.4.4 **สมบัติการลดทอนเสียง** (Sound Attenuation)

ทดสอบชิ้นงานในห้องทดสอบเสียงซึ่งบุด้วยวัสดุดูดซับเสียงเพื่อป้องกันการสะท้อนของเสียง มีลำโพง (Loudspeaker) เป็นตัวกำเนิดเสียงวางไว้กลางห้องและมีเครื่องวัดระดับความดังเสียง (Sound Level Meter) เป็นตัวรับเสียงแล้วส่งผลไปที่เครื่องบันทึก ทำการทดสอบดังนี้

1. วัดความดังเสียงจาก Loudspeaker ในช่วงความถี่ 20 – 9000 Hz โดยที่ไม่มีชิ้นงานมาบัง Sound Level Meter

2. ติดชิ้นงานที่ Sound Level Meter แล้ววัดความดังเสียงในช่วงความถี่เดิม เพื่อวัดความสามารถในการลดทอนเสียงของชิ้นงาน

3. ติดชิ้นงานทางการค้าที่ Sound Level Meter แทนชิ้นงานทดสอบ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ แล้ววัดความดังในช่วงความถี่เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบขึ้นรูปชิ้นงาน

4.1.1 การหาอุณหภูมิในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้น้ำหนักพอลิเมอร์ผสมก่อนอบเท่ากับ 0.7 กรัม เวลาในการอบ 20 นาที แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเมื่ออบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะทางกายภาพ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ก่อนอบ	เป็นของแข็งสีขาว ไม่มีรูพรุน	ของแข็งสีเหลือง * ไม่มีรูพรุน	ของแข็งสีเหลือง * ไม่มีรูพรุน	ของแข็งสีเหลือง * ไม่มีรูพรุน
200	ของแข็งสีขาว หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว
210	ของแข็งสีขาว หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว	ของแข็งสีเหลือง * หลอม แต่ไม่พองตัว
220	ของแข็งสีขาว หลอม แต่ไม่พองตัว	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวเกือบเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวเกือบเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวเกือบเต็มแม่พิมพ์
230	ของแข็งสีขาว หลอม แต่ไม่พองตัว	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรูพรุน พองตัวมาก ชิ้นงานขนาดใหญ่
240	ของแข็งขาวมีรอยไหม้สีเหลือง ไม่พองตัว	เป็นโฟมสีขาว มีรอยไหม้ที่ผิว พองตัวเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรอยไหม้ที่ผิว พองตัวเต็มแม่พิมพ์	เป็นโฟมสีขาว มีรอยไหม้ที่ผิว พองตัวเต็มแม่พิมพ์

(* คือ สีของ AZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.1 พิจารณาเห็นว่าควรใช้อุณหภูมิการอบขึ้นรูปที่ 230 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวสารให้ฟองจะสลายตัวให้ก๊าซแก่พอลิเมอร์ผสมได้อย่างเต็มที่ ลักษณะชิ้นงานที่ได้มีสีขาว รูพรุนกระจายทั่วเกิดการพองตัวเต็มแม่พิมพ์ ถ้าทำการอบขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่า 230 องศาเซลเซียส จะทำให้ชิ้นงานมีสีเหลืองไหม้ที่ผิว และถ้าทำการอบขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่า 230 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้รับไม่เพียงพอในการที่จะทำให้ชิ้นงานพองตัวหรือพองตัวไม่เต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสจึงเป็นอุณหภูมิการอบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.1.2 **การหาเวลาในการอบขึ้นรูปชิ้นงานที่เหมาะสม**

ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ใช้เวลาในการอบขึ้นรูปต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.2 โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสม คือ 230 องศาเซลเซียส น้ำหนักพอลิเมอร์ผสมก่อนอบเท่ากัน คือ 0.7 กรัม

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ใช้น้ำหนักพอลิเมอร์ผสมก่อนอบต่าง ๆ

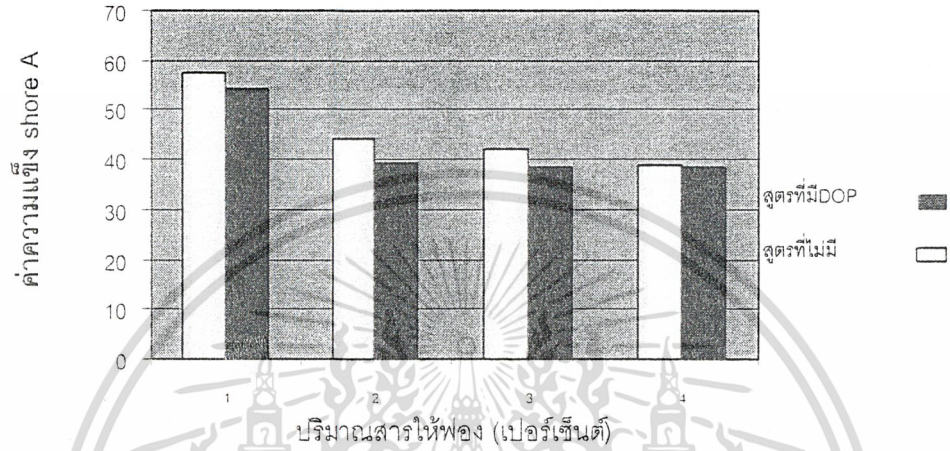
เวลาในการอบ (นาที)	ลักษณะทางกายภาพ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
10	ของแข็งสีขาว ไม่หลอม ไม่พองตัว	ไม่หลอม ไม่เกิดการพองตัว	ไม่หลอม ไม่เกิดการพองตัว	ไม่หลอม ไม่เกิดการพองตัว
15	ของแข็งสีขาว หลอมบางส่วน ไม่พองตัว	เกิดการหลอม แต่ไม่พองตัว	เกิดการหลอม แต่พองตัวไม่เต็มแม่พิมพ์	เกิดการหลอม แต่พองตัวไม่เต็มแม่พิมพ์
20	เกิดการหลอมทั้งหมดแต่ไม่พองตัว	เกิดการหลอมพองตัวเต็มแม่พิมพ์	เกิดการหลอมพองตัวเต็มแม่พิมพ์	เกิดการหลอมพองตัวเต็มแม่พิมพ์
25	เกิดการหลอม ชิ้นงานมีสีเหลืองไหม้	พองตัวเต็มแม่พิมพ์ แต่มีสีเหลืองไหม้ที่ผิวชิ้นงาน	พองตัวเต็มแม่พิมพ์ แต่มีสีเหลืองไหม้ที่ผิวชิ้นงาน	พองตัวเต็มแม่พิมพ์ แต่มีสีเหลืองไหม้ที่ผิวชิ้นงาน

จากลักษณะทางกายภาพดังตารางที่ 4.2 พบว่าการอบขึ้นรูปโดยใช้เวลาในการอบที่แตกต่างกันมีผลทำให้ลักษณะชิ้นงานที่ได้แตกต่างกัน เวลาจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะชิ้นงาน เวลาในการอบที่เหมาะสมคือ 20 นาที เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมได้รับความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมตัวและสารให้ฟองสลายตัวจนหมด ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะพองตัวเต็มแม่พิมพ์และรูพรุนกระจายทั่วชิ้นงาน แต่ถ้าใช้เวลามากเกินไปพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการสะสมความร้อนสูงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมเสียคุณภาพ หรือถ้าใช้เวลาน้อยเกินไป ช่วงเวลาในการหลอมและการสลายตัวของสารให้ฟองไม่หมด ทำให้ชิ้นงานไม่หลอมหรือพองตัวไม่เต็มแม่พิมพ์

จากการขึ้นรูปชิ้นงานสูตรที่ 1 , 2 , 3 และ 4 เมื่อนำไปทดสอบความแข็ง พบว่าชิ้นงานมีความแข็งสูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 3 , 4 , 5 และ 6 ซึ่งมี DOP เป็นพลาสติไซเซอร์ จะแสดงได้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความแข็งของชิ้นงานที่มี DOP และไม่มี DOP ในสูตรผสม

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสูตรที่ไม่มี DOP ผสมอยู่มีความแข็งมากกว่าเนื่องจาก DOP ทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ช่วยทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำลง และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ต่ำลง ทำให้เกิดการยืดหยุ่นและไหลตัวดีขึ้นดังนั้นจึงใช้ DOP ผสมในพอลิเมอร์ผสมเพื่อลดความแข็งของชิ้นงาน

4.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารให้ฟอง

4.2.1 สมบัติทางกายภาพ

(1) ความหนาแน่น (Bulk density)

เมื่อปริมาณของ AZ เปลี่ยนแปลงไปทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 (โดยค่าเฉลี่ยที่ได้นี้ ได้จากการทดลองสูตรละ 3 ชิ้นงาน)

จากรูปที่ 4.2 พิจารณาเห็นว่าปริมาณสารให้ฟองมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเมื่อมีปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการให้ฟองมากขึ้น ปริมาณรูพรุนมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความหนาแน่นลดลง

(2) สมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorption)

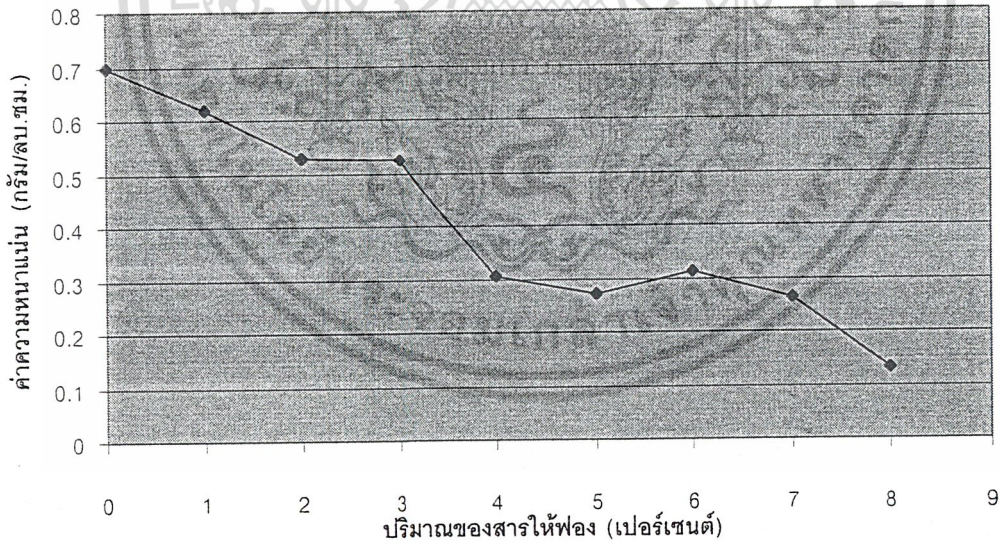
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานที่อุดหูสูตรที่ 5 ถึง 13 ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วน AZ เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 8 วัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 2 วัน แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 พิจารณาเห็นว่าเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้นแนวโน้มการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้นจำนวนรูพรุนและการกระจายตัวของรูพรุนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาตรช่องว่างในเนื้อพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น น้ำจึงสามารถแทรกตัวอยู่ในช่องว่างได้มากขึ้น ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจึงมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณของสารให้ฟอง

สูตรที่	ปริมาณสารให้ฟอง (%)	ความหนาแน่น(g/cm^3)
5	0	0.6994
6	1	0.6197
7	2	0.5295
8	3	0.5257
9	4	0.3044
10	5	0.2709
11	6	0.3121
12	7	0.2658
13	8	0.1325

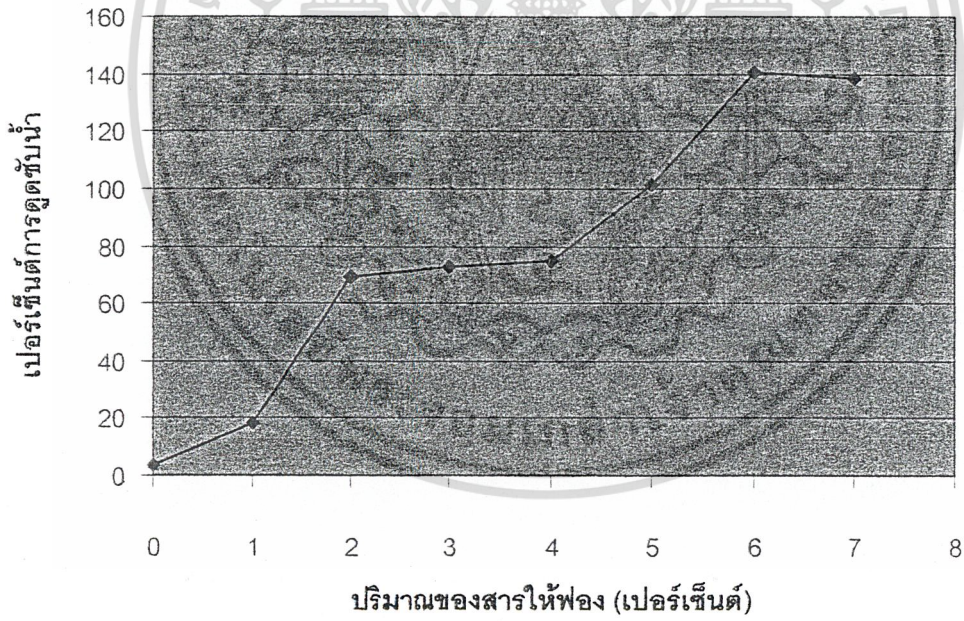


รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน AZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณสารให้ฟอง

สูตรที่	ปริมาณ Azo	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ(%)			
		แช่ 2 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 8 วัน
5	0	0	3.16	3.16	3.16
6	1	10.48	16.43	17.96	18.47
7	2	36.48	52.64	65.11	69.46
8	3	35.06	47.67	67.39	72.89
9	4	45.83	60.04	71.25	74.78
10	5	55.80	74.38	87.18	101.47
11	6	86.84	110.19	131.38	140.25
12	7	60.78	90.52	124.65	138.64



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารให้ฟอง

4.2.2 **สมบัติเชิงกล**

ความแข็ง (Hardness)

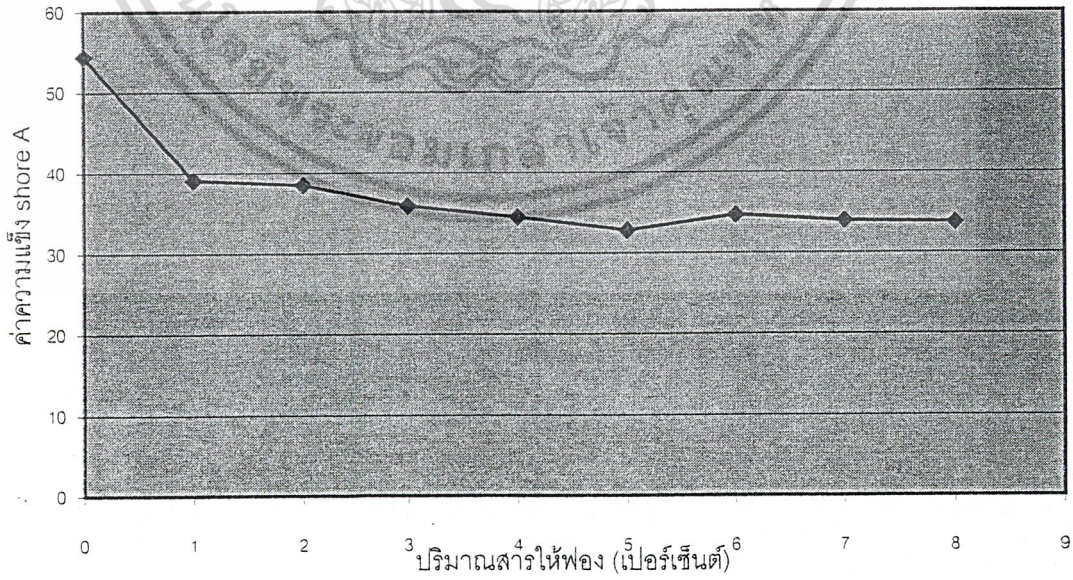
ค่าความแข็ง (Shore A) ของชิ้นงานสูตร 5 – 13 ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารให้ฟอง แสดงตารางที่ 4.5 และในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้นค่าความแข็งจะลดลงอย่างมาก เนื่องจากฟองอากาศที่อยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ผสมมีมากขึ้น โอกาสที่เข็มจะกดลงบนชิ้นงานบริเวณที่เป็นฟองอากาศจะมีมาก จึงทำให้ได้ค่าความแข็งต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟองมากขึ้นอีกจะพบว่าสารให้ฟองมีผลต่อความแข็งน้อยมาก โดยสารให้ฟองในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งต่ำที่สุด และถ้าปริมาณสารให้ฟองมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแข็งที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งที่สัมพันธ์กับปริมาณสารให้ฟอง

สูตรที่	ปริมาณสารให้ฟอง (%)	ค่าความแข็ง
5	0	54
6	1	39
7	2	38
8	3	36
9	4	34
10	5	33
11	6	35
12	7	34
13	8	34



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารให้ฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์

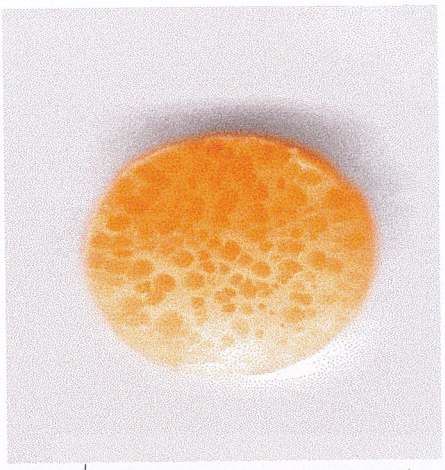
การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมสูตรที่ 5 ถึงสูตรที่ 13 (เปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้ฟองตั้งแต่ 0 – 8 เปอร์เซ็นต์) ด้วยกำลังขยาย 3 เท่า พบว่าเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้น ปริมาณของรูพรุนมากขึ้น ขนาดของรูพรุนเล็กลง และมีการกระจายตัวของรูพรุนที่สม่ำเสมอมากขึ้น โดยสูตรที่ให้ลักษณะดังกล่าวที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ 10 , 11 และ 12 ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภายนอกทั้งปริมาณ และขนาดของรูพรุน รวมทั้งการกระจายตัวของรูพรุน ใกล้เคียงกันจึงนำสมบัติทางเสียงมาพิจารณาในการเลือกปริมาณสารให้ฟองที่เหมาะสมต่อไป

สูตรที่ 5 มีสารให้ฟอง 0 เปอร์เซ็นต์

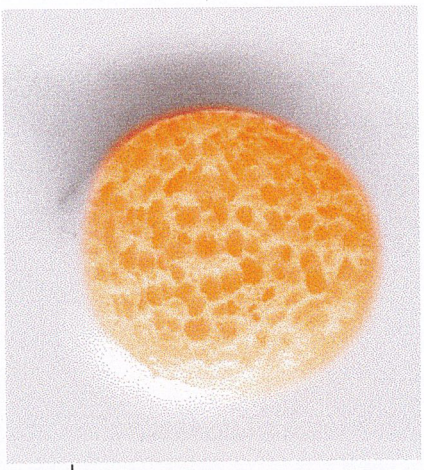
สูตรที่ 6 มีสารให้ฟอง 1 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 7 มีสารให้ฟอง 2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สูตรที่ 8 มีสารให้ฟอง 3 เปอร์เซ็นต์



สูตรที่ 9มีสารให้ฟอง 4 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 10 มีสารให้ฟอง 5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 11 มีสารให้ฟอง 6 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 12 มีสารให้ฟอง 7 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 13 มีสารให้ฟอง 8 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.5 ภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของของสารให้ฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 **สมบัติการดูดซับเสียง** (Sound Attenuation)

แสดงการดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20 – 9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 10, 11 และ 12 ดังตารางที่ 4.6 พบว่าความสามารถในการดูดกลืนเสียงของพอลิเมอร์ผสมของยาง BR ที่มีปริมาณสารให้ฟอง 5 เปอร์เซ็นต์จะสามารถดูดกลืนเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2000 เฮริทซ์ขึ้นไป เพราะที่ปริมาณสารให้ฟอง 5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 10) จะให้ปริมาณฟองมากกว่า ขนาดเล็กกว่า และการกระจายตัวสม่ำเสมอกว่า ที่ปริมาณสารให้ฟองอื่น

ตารางที่ 4.6 ค่าการดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20 – 9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 10 ,11 และ 12

ค่าความถี่(เฮริทซ์)	การดูดกลืนเสียง (เดซิเบล)		
	สูตรที่ 10	สูตรที่ 11	สูตรที่ 12
125	0	0	0
250	0	1	0
500	0	1	0
2000	4.5	0	0
3000	5.5	4.0	0
4000	9.0	9.5	2.5
5000	18.5	17.0	10
6000	18.5	16.0	11
7000	32.5	19.0	16
8000	37.0	24.0	18.5

4.3 การศึกษาอัตราส่วนของยางที่เหมาะสม

4.3.1 **สมบัติทางกายภาพ**

(1) **ความหนาแน่น** (Bulk density)

แสดงความหนาแน่นของชิ้นงานสูตร 10 ,14 , 15 , 16 และ 17 ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของยางโดยที่ใช้อัตราส่วนสารให้ฟอง คงที่ คือ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

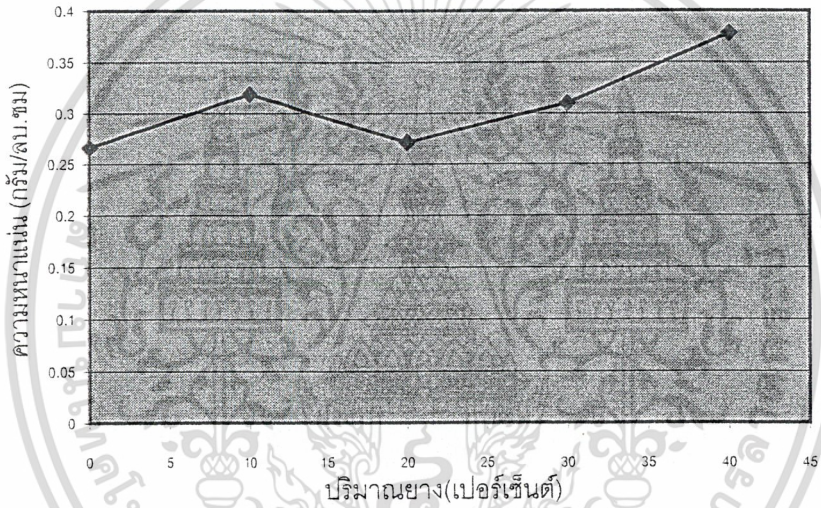
จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนของยางที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการรวมตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นจึงเกิดฟองได้น้อยลง แต่ที่ปริมาณยาง 20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีโอกาสเกิดฟองได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากมีแริมาณของสารให้ฟองอยู่มากและสามารถกระจายตัวทั่วชิ้นงาน จึงทำให้มีความหนาลดต่ำลง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

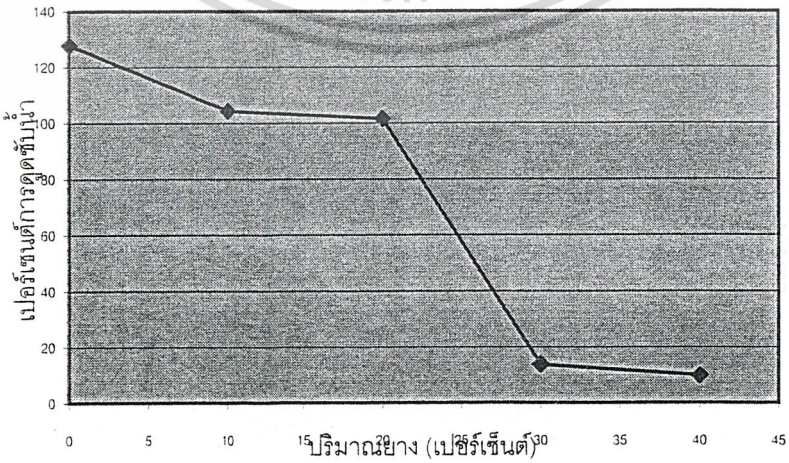
(2) **สมบัติการดูดซับน้ำ** (Water Absorption)

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานสูตร 10 ,14 , 15 , 16 และ17 ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 8 วัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 2 วัน แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากยางมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้น้อยกว่า EVA และการดูดซับน้ำจะมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของยางจาก 20 ส่วน เป็น 30 ส่วน เนื่องจากที่อัตราส่วนยาง 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราที่เหมาะสมกับสารให้ฟองโดยสังเกตได้จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงาน



รูปที่ 4.6 ความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง



รูปที่ 4.7 ปริมาณการดูดซับน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณยาง

สูตรที่	อัตราส่วนของยาง BRในพอลิเมอร์ผสม	ความหนาแน่น(g/cm^3)
14	0	0.27
15	10	0.32
10	20	0.27
16	30	0.31
17	40	0.38

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณยาง

สูตรที่	อัตราส่วนของยาง BR ในพอลิเมอร์ผสม	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ(%)			
		แช่ 2 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 8 วัน
14	0	59.99	75.73	87.18	127.72
15	10	67.82	81.89	91.66	104.32
10	20	55.81	74.38	87.18	101.47
16	30	3.62	13.77	13.77	13.77
17	40	3.49	7.69	9.80	9.80

4.3.2 **สมบัติเชิงกล**

ความแข็ง (Hardness)

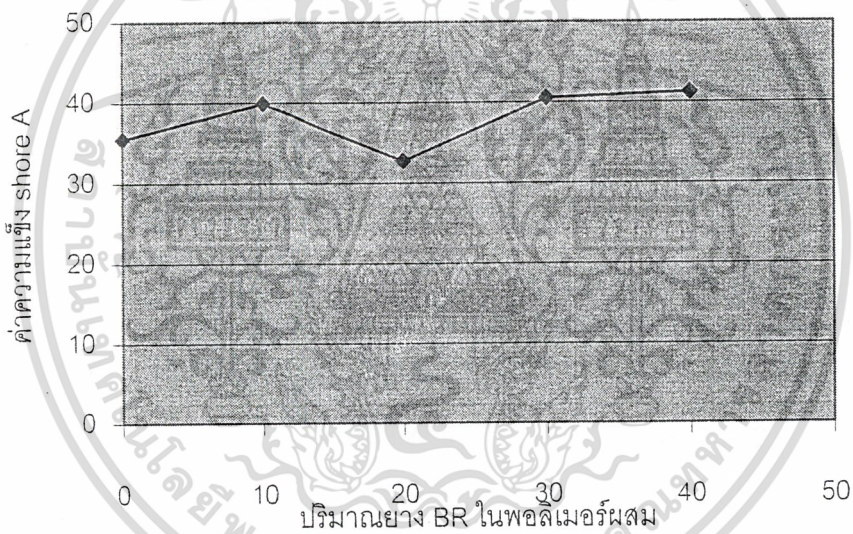
ค่าความแข็ง (Shore A) ของชิ้นงานสูตร 10 ,14 , 15 , 16 และ17 ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนยาง ในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเพิ่มปริมาณยางในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก EVA มีสมบัติในการยืดหยุ่นและโค้งงอมากกว่ายาง และเมื่อปริมาณยางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการรวมตัวกันอย่างหนาแน่น จึงเกิดฟองได้น้อยลงความแข็งจึงน้อยลง ที่ปริมาณยาง 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งน้อยที่สุด เพราะเป็นปริมาณยางที่เหมาะสมกับการให้ฟอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอัตราส่วนยาง

สูตรที่	อัตราส่วนของยาง BRในพอลิเมอร์ผสม	ค่าความแข็ง
14	0	35
15	10	40
10	20	33
16	30	41
17	40	41



รูปที่ 4.8 ความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณยาง

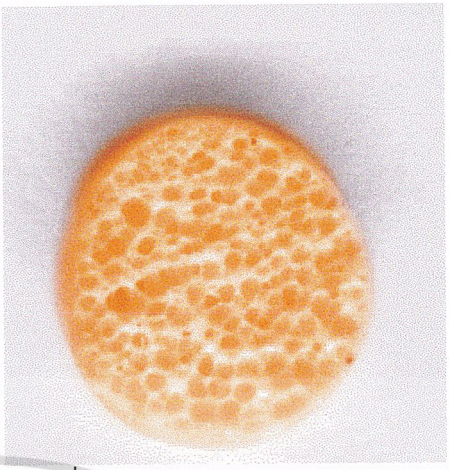
4.3.3 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์

ใช้สแกนเนอร์ถ่ายภาพตัดขวางของชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยาย 3 เท่า เพื่อให้เห็นรูพรุนที่ชัดเจน รูปภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของยางแสดงในรูปที่ 4.9

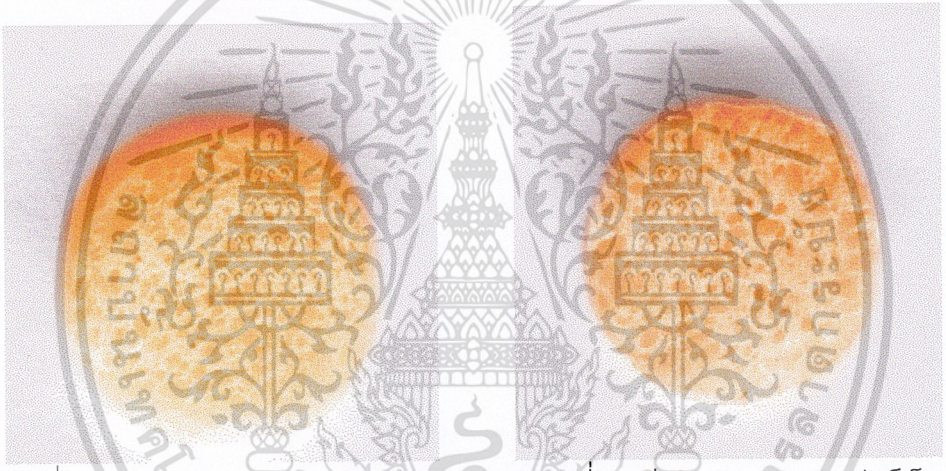
จากรูปที่ 4.9 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนยางในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ชิ้นงานเกิดการพองตัวได้น้อยลง การกระจายตัวของรูพรุนจะลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณยางจะทำพอลิเมอร์ผสมมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ความแข็งมากขึ้นทำให้ความสามารถในการพองตัวลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 14 ไม่ใส่ยาง



สูตรที่ 15 มีปริมาณยาง 10 เปอร์เซ็นต์



สูตรที่ 10 มีปริมาณยาง 20 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 16 มีปริมาณยาง 30 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 17 มีปริมาณยาง 40 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.9 ภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาชนิดของยางที่เหมาะสม

4.4.1สมบัติทางกายภาพ

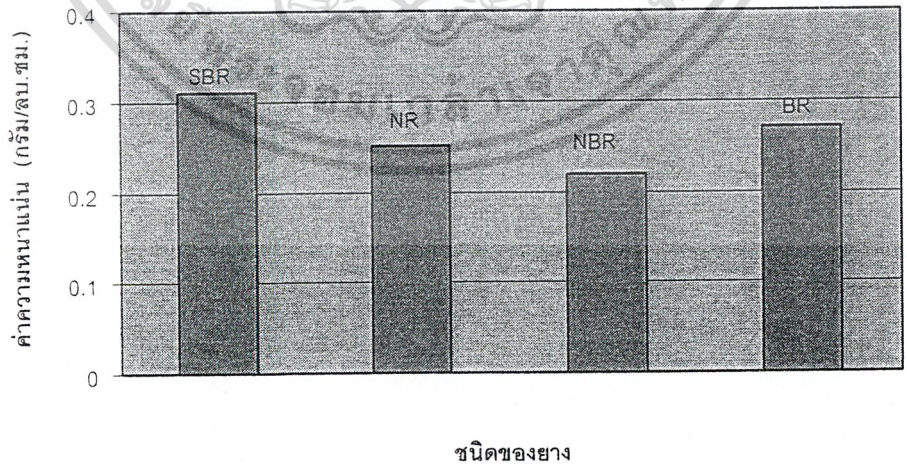
(1) ความหนาแน่น (Bulk density)

แสดงความหนาแน่นของชิ้นงานสูตร 18 , 19 , 20 ที่เปลี่ยนแปลงชนิดของยางจากยาง BR เป็นยาง SBR , NR และ NBR ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10

จากรูปที่ 4.10 พบว่าถ้าใช้ยางชนิด NBR ผสมในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความหนาแน่นน้อยที่สุด และมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อผสมด้วยยาง SBR เนื่องจากขนาดของรูพรุนในพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR จะมีขนาดเล็ก จึงทำให้มีช่องว่างภายในเนื้อพอลิเมอร์น้อยกว่าพอลิเมอร์ที่ผสมด้วยยาง NBR ดังนั้นจึงทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่า

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนาแน่นกับชนิดของยาง

สูตรที่	ชนิดของยาง	ความหนาแน่น(g/cm^3)
18	SBR	0.31
19	NR	0.25
20	NBR	0.22
10	BR	0.27



รูปที่ 4.10 ความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 สมบัติเชิงกล

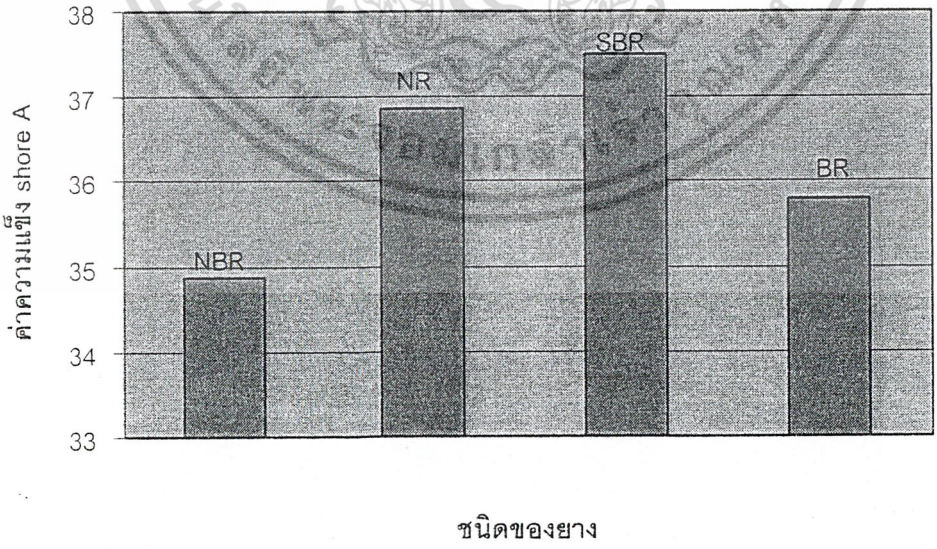
ความแข็ง (Hardness)

แสดงค่าความแข็ง (Shore A) ของชิ้นงานที่อุดหูสูตร 18 , 19 , 20 ที่เปลี่ยนแปลงชนิดของยางเป็น SBR , NR และ NBR ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11

จากรูปที่ 4.11 พบว่าจะมีค่าความแข็งสูงสุดถ้าใช้ยางชนิด SBRผสมในพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากขนาดของรูพรุนในพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR จะมีขนาดเล็ก แต่ถ้าใช้ยางชนิด NBR ผสมในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งน้อยที่สุด เนื่องจากในการวัดค่าความแข็งมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากกว่า ค่าความแข็งที่ได้จึงมีค่าน้อย

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งซึ่งสัมพันธ์กับชนิดของยาง

สูตรที่	ชนิดของยาง	ค่าความแข็ง
18	SBR	34.87
19	NR	36.87
20	NBR	37.51
10	BR	35.80



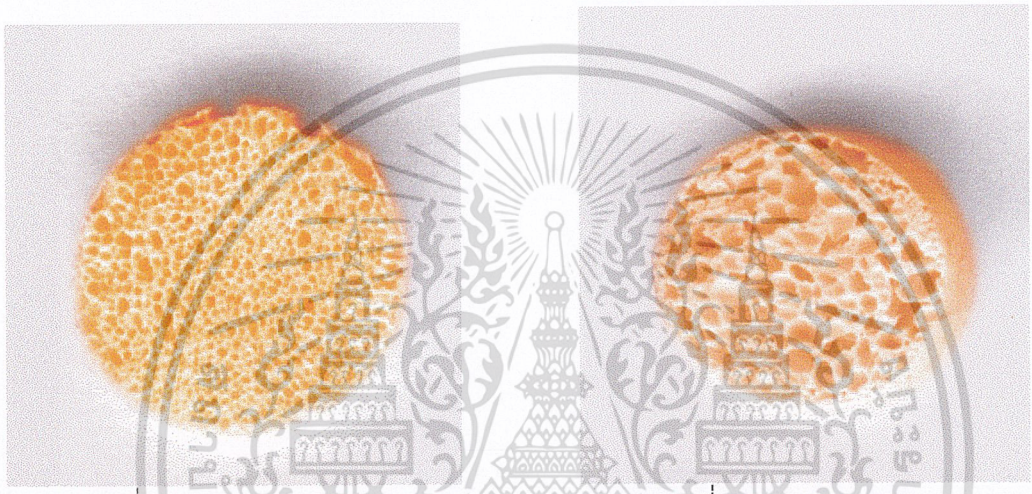
รูปที่ 4.11 ความแข็งของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การถ่ายภาพภาคตัดขวางของพอลิเมอร์

ถ่ายภาพตัดขวางของชิ้นงานโดยใช้สแกนเนอร์ด้วยกำลังขยาย 3 เท่าเพื่อให้เห็นรูพรุนที่ชัดเจน โดยรูปภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของของยางแสดงในรูปที่ 4.12

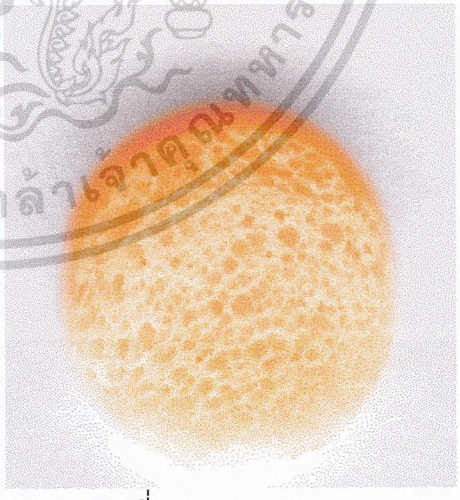
จากรูปที่ 4.12 เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยางพบว่าขนาดของรูพรุนของพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR และเมื่อใช้ยาง NBRและยาง NR จะทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่



สูตรที่ 18 ผสมยาง SBR

สูตรที่ 19 ผสมยาง NR

สูตรที่ 20 ผสมยาง NBR



สูตรที่ 10 ผสมยาง BR

รูปที่ 4.12 แสดงภาคตัดขวางของชิ้นงานเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 **สมบัติการดูดซับเสียง** (Sound Attenuation)

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนสารให้ฟองที่เหมาะสมพบว่า ชิ้นงานที่มีรูพรุนขนาดเล็ก กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน จะมีสมบัติในการดูดซับเสียงมากที่สุด จึงนำชิ้นงานสูตรที่ 18 (ยาว SBR) ซึ่งมีลักษณะดังกล่าวไปทดสอบสมบัติทางเสียง

แสดงการดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20 – 9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 18 ดังตารางที่ 4.12

จากตารางที่ 4.12 พบว่าการดูดกลืนเสียงของพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยใส่สารให้ฟองปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มีสมบัติในการดูดซับเสียงทั้งในช่วงความถี่สูงและความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตที่อุดหูป้องกันเสียง

ตารางที่ 4.12 การดูดซับเสียงในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ 20–9000 Hz ของชิ้นงานสูตรที่ 18

ค่าความถี่(เฮริทซ์)	การดูดกลืน (เดซิเบล)
250	1.5
500	1.0
1000	2.5
2000	18.0
3000	14.0
4000	14.5
5000	21.0
6000	21.0
7000	21.0
8000	23.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 การหาสภาวะในการขึ้นรูป

จากการทดลองเพื่อหาสภาวะในการขึ้นรูป พบว่าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสและการใช้เวลาในการอบ 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการพองตัวเกิดลักษณะโฟมเต็มแม่พิมพ์

5.2 การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ในพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาผลของปริมาณสารให้ฟอง ปริมาณของยาง และชนิดของยางที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสม โดยทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติในการดูดกลืนเสียงเพื่อใช้เป็นที่อุดหูป้องกันเสียง สามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 สมบัติทางกายภาพ

5.2.1.1 ความหนาแน่น

จากการทดสอบผลจากการหาความหนาแน่น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟองจะทำให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง และที่อัตราส่วนยาง 20 ส่วนจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความหนาแน่นน้อยที่สุด และเมื่อศึกษาชนิดของยางที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมพบว่าพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดเมื่อใช้ยาง NBR

5.2.2.2 การดูดซับน้ำ

จากผลการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่ามากที่สุดเมื่อปริมาณของสารให้ฟองเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจะมีค่าลดลง เมื่อมีปริมาณยางในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น

5.2.2 สมบัติเชิงกล

จากผลการวัดความแข็งโดยใช้ shore A พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง จะมีผลต่อความแข็งในช่วงแรก และเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มมากขึ้นจะมีผลต่อความแข็งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของยาง 20 ส่วน จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งน้อยที่สุด

5.2.3 การศึกษาภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงาน

เมื่อปริมาณของสารให้ฟองเพิ่มขึ้น ปริมาณของรูพรุนจะมีมากขึ้นการกระจายตัวพรุนจะมีขนาดใหญ่มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนยางในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ชิ้นงานเกิดการพองตัวได้น้อยลง ขนาดของรูพรุนจะลดลง และเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของยางพบว่าขนาดของรูพรุนของพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR จะมีขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ยาง NBRและยาง NR จะทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 สมบัติทางเสียง

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียงที่ความถี่ 20-9000 เฮริทซ์ พบว่าการดูดกลืนเสียงของพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยใส่สารให้ฟองปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มีสมบัติในการดูดซับเสียงดีที่สุดทั้งในช่วงความถี่สูงและความถี่ต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทางการค้าพบว่าจะสามารถดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่สูงได้ดีกว่า และในความถี่ต่ำจะดูดกลืนเสียงได้น้อยกว่าชิ้นงานมาตรฐาน

ดังนั้นจากการพิจารณาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติในการดูดกลืนเสียง จึงทำการเลือกพอลิเมอร์ผสมที่มียาง SBR ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ และสารให้ฟอง 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตที่อุดหูป้องกันเสียง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาถึงบทบาทของพลาสติไซเซอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีผลในการทำให้ระบบของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมบัติที่ได้เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น
- ศึกษาสารให้ฟองชนิดอื่นที่ให้ขนาดของรูพรุนเล็กกว่าสารให้ฟองชนิดนี้
- ศึกษาถึงบทบาทของสารเติมแต่งชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมให้มีสมบัติในการกระดอนตัวต่ำเพื่อใช้เป็นที่อุดหู
- ในการศึกษาสมบัติทางเสียงควรมีการจัดระบบการทดลองให้มีการรบกวนเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าความแข็ง

ภาคผนวก ข แสดงค่าการดูดซับน้ำ

ภาคผนวก ค. แสดงค่าความหนาแน่น

ภาคผนวก ง. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังและความถี่ในช่วง 20-9000 เฮริทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงค่าความแข็ง (shore A)ของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ

สูตรที่	ชิ้น	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	1	51	52	48	50
	2	63	53	58	58
	3	63	54	57	58
	4	67	56	66	63
	5	55	61	57	58
	เฉลี่ย				57
2	1	45	44	43	44
	2	47	48	42	46
	3	37	38	49	41
	4	48	39	45	44
	5	46	44	47	46
	เฉลี่ย				44
3	1	44	49	42	45
	2	45	41	43	43
	3	43	43	39	42
	4	41	44	39	41
	5	41	38	42	40
	เฉลี่ย				42
4	1	35	36	42	38
	2	35	38	40	38
	3	38	40	43	40
	4	42	35	38	38
	5	45	39	37	40
	เฉลี่ย				39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ชิ้น	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	1	51	52	48	50
	2	63	53	58	58
	3	63	54	57	58
	4	67	56	66	63
	5	55	61	57	58
	เฉลี่ย				57
6	1	38	40	37	38
	2	40	37	36	38
	3	41	38	35	38
	4	37	39	35	37
	5	45	45	43	44
	เฉลี่ย				39
7	1	37	36	34	36
	2	39	40	43	41
	3	37	39	38	38
	4	35	42	45	40
	5	35	37	40	37
	เฉลี่ย				37
8	1	35	35	36	35
	2	39	34	35	36
	3	35	36.5	34.5	35
	4	38	36	37	37
	5	35	34	38	36
	เฉลี่ย				36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ชิ้น	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
13	1	33	27	27	29
	2	35	36	36	36
	3	34	34	35	34
	4	32	36	36	35
	5	36	34	35	35
	เฉลี่ย				34
14	1	39	40	39	39
	2	38	38	36	37
	3	36	33	34	34
	4	31	32	35	32
	5	33	33	35	34
	เฉลี่ย				35
15	1	41	38	37	39
	2	42	36	42	40
	3	40	46	38	41
	4	38	42	37	39
	5	41	42	39	41
	เฉลี่ย				40
16	1	40	42	39	40
	2	45	38	40	41
	3	41	40	37	39
	4	40.5	38	41	40
	5	42	41	43	42
	เฉลี่ย				41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ชิ้น	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
17	1	40	42	40	41
	2	45	38	39	41
	3	41	40	42	41
	4	40.5	45	41	42
	5	42	41	43	42
	เฉลี่ย				41
18	1	34	33	33	33
	2	33	35	32	33
	3	32	35	34	34
	4	36	35	37	36
	5	38	36	40	38
	เฉลี่ย				35
19	1	40	36	38	38
	2	35	32	34	34
	3	37	33	33	34
	4	40	39	41	40
	5	42	35	38	39
	เฉลี่ย				37
20	1	38	38	38	38
	2	37	39	37	38
	3	34	37	36	35
	4	36	35	37	37
	5	36	39	38	40
	เฉลี่ย				38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข แสดงค่าการดูดซับน้ำ

สูตรที่	ครั้งที่	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (กรัม)			
		แช่ 2 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 8 วัน
5	1	0	0.04	0.04	0.04
	2	0	0.03	0.03	0.03
6	1	0.14	0.21	0.24	0.25
	2	0.07	0.12	0.12	0.12
7	1	0.24	0.38	0.48	0.5
	2	0.26	0.34	0.41	0.45
8	1	0.27	0.34	0.49	0.51
	2	0.26	0.36	0.5	0.56
9	1	0.35	0.51	0.56	0.59
	2	0.3	0.34	0.45	0.47
10	1	0.35	0.48	0.6	0.7
	2	0.43	0.56	0.62	0.72
11	1	0.62	0.79	0.91	0.96
	2	0.57	0.72	0.89	1.1
12	1	0.45	0.68	0.78	0.87
	2	0.49	0.71	0.82	0.95
14	1	0.37	0.5	0.55	0.7
	2	0.35	0.41	0.61	0.83
15	1	0.5	0.57	0.65	0.72
	2	0.47	0.6	0.66	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ครั้งที่	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (กรัม)			
		แช่ 2 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 8 วัน
16	1	0.03	0.1	0.1	0.1
	2	0.02	0.09	0.09	0.09
17	1	0.03	0.05	0.07	0.08
	2	0.34	0.056	0.06	0.06

ภาคผนวก ค. แสดงค่าความหนาแน่น

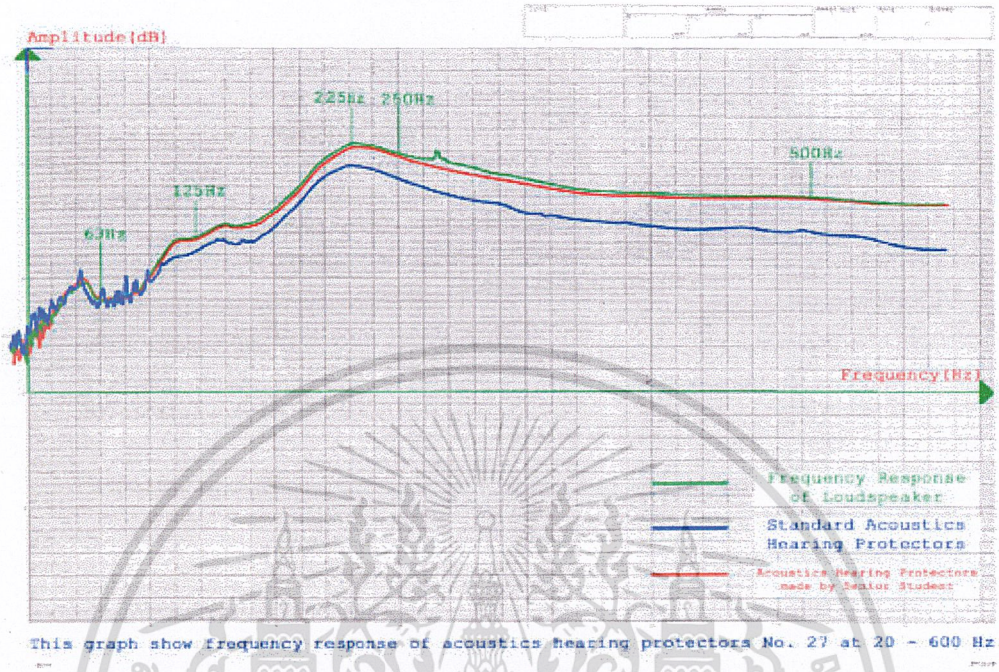
สูตร	ครั้งที่	R1	R2	น้ำหนัก (กรัม)	ความสูง (มิลิเมตร)
8	1	6.75	3.95	1.018	23.44
	2	6.45	3.8	1.078	22.00
	3	6.55	3.65	1.037	23.62
7	1	5.3	2.9	0.5533	16.60
	2	5.4	3.5	0.4303	16.36
	3	5.35	3.3	0.574	17.2
6	1	6.62	3.29	1.253	25.00
	2	6.65	3.5	1.307	25.00
	3	6.67	3.68	1.284	24.50
5	1	5.75	4.75	0.7906	13.00
	2	5.4	4.4	0.7332	12.82
	3	6.015	5.01	0.8067	13.14
9	1	7	3.4	0.6837	26.10
	2	6.85	3.5	0.705	25.80
	3	6.75	3.6	0.6945	26.48
10	1	7	3.4	0.6719	27.40
	2	7.37	3.84	0.6893	27.00
	3	7	3.1	0.6734	28.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

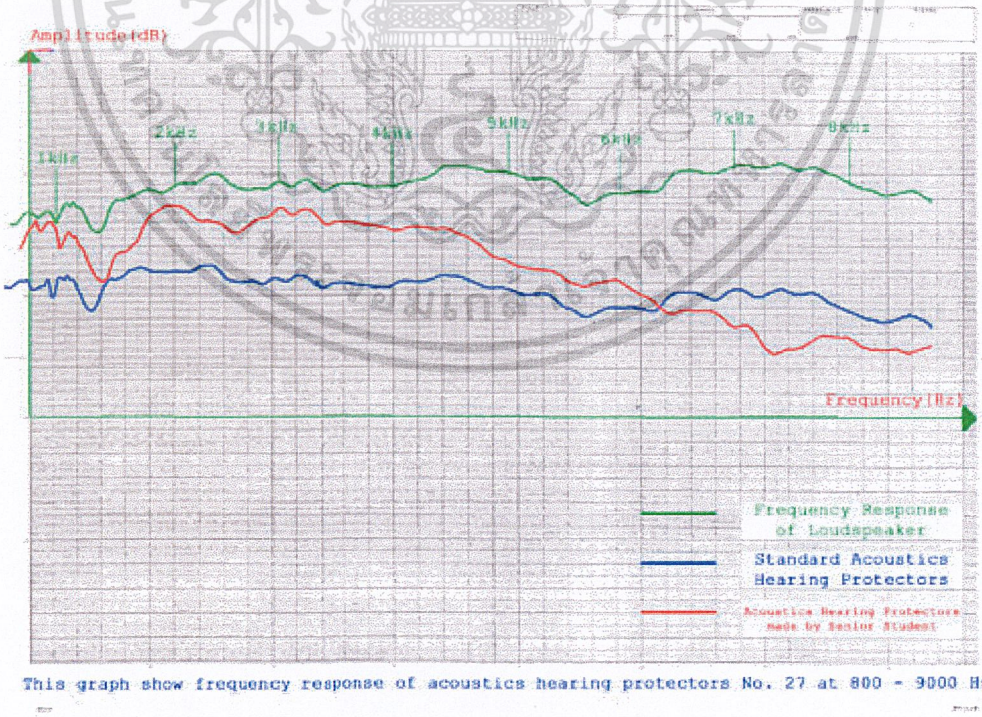
สูตร	ครั้งที่	R1	R2	น้ำหนัก (กรัม)	ความสูง (มิลิเมตร)
14	1	6.77	3.74	0.6012	26.9
	2	6.64	3.64	0.6023	25.4
	3	6.67	3.68	0.5872	25.2
11	1	6.89	3.35	0.6887	26.00
	2	6.93	3.24	0.686	27.26
	3	6.71	3.17	0.6853	26.00
12	1	7.11	3.93	0.6692	26.18
	2	7.12	3.33	0.6866	27.94
	3	7	3.7	0.6768	27.76
15	1	6.69	4	0.6601	21.00
	2	6.55	3.45	0.7049	27.46
	3	6.7	3.5	0.6687	26.82
16	1	7	3.95	0.6608	24.20
	2	6.67	3.88	0.6741	22.66
	3	6.5	3.74	0.6411	24.18
17	1	6.6	3.75	0.6704	22.20
	2	6.35	3.35	0.6682	20.60
	3	6.5	3.82	0.6976	22.80
13	1	8.4	4	0.6888	30.20
	2	8.24	3.575	0.6448	30.10
	3	8.14	3.6	0.6823	30.40
18	1	7.05	3.95	0.5139	25.72
	2	7	4.01	0.5848	23.60
	3	7.11	4.32	0.5179	23.30
19	1	7	3.33	0.6704	26.00
	2	7	3.39	0.6827	26.10
	3	6.8	3.5	0.6942	25.70
20	1	6.72	3.75	0.6205	23.52
	2	6.57	3.9	0.6026	22.16
	3	6.5	3.66	0.617	23.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัง (เดซิเบล) กับความถี่ (เฮริทซ์) ในช่วง 20 – 9000 เฮริทซ์ ของสูตรที่ 10 ,11 ,12 และ 18 ตามลำดับ

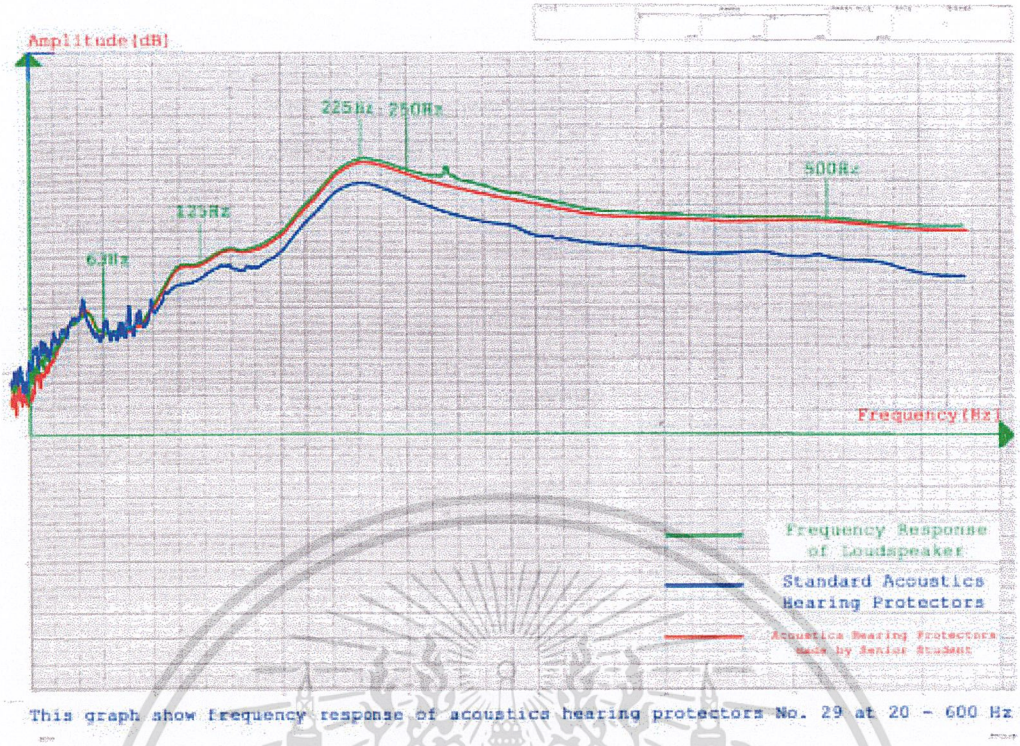


สูตรที่ 10 ความถี่ในช่วง 20 –600 เฮริทซ์

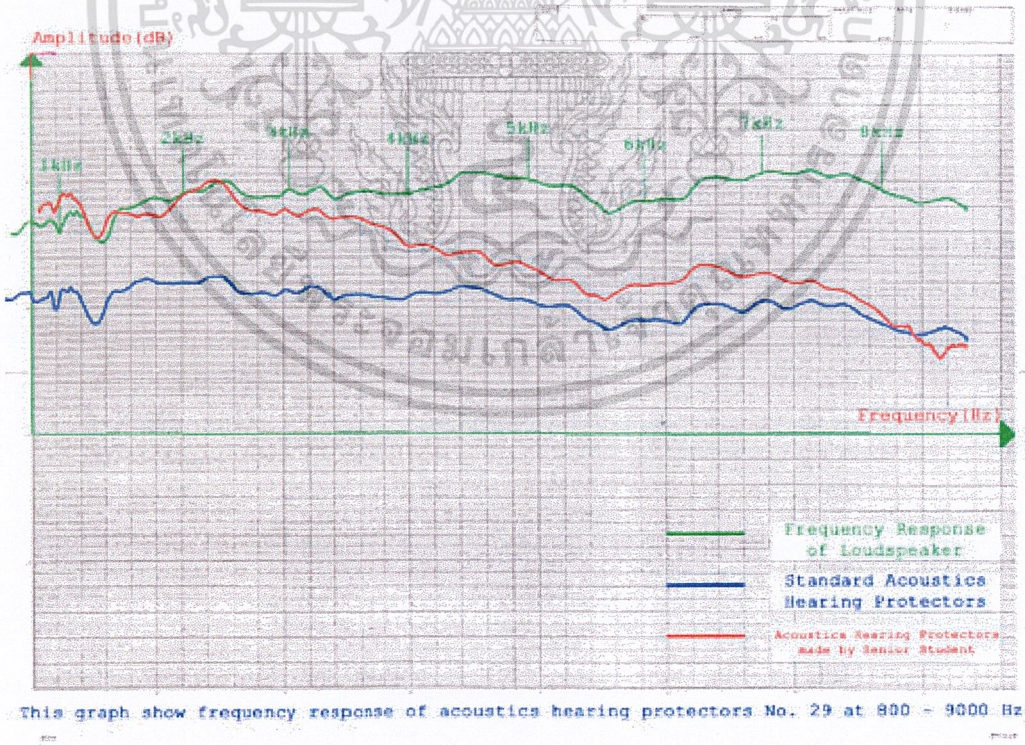


สูตรที่ 10 ความถี่ในช่วง 800 – 9000 เฮริทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

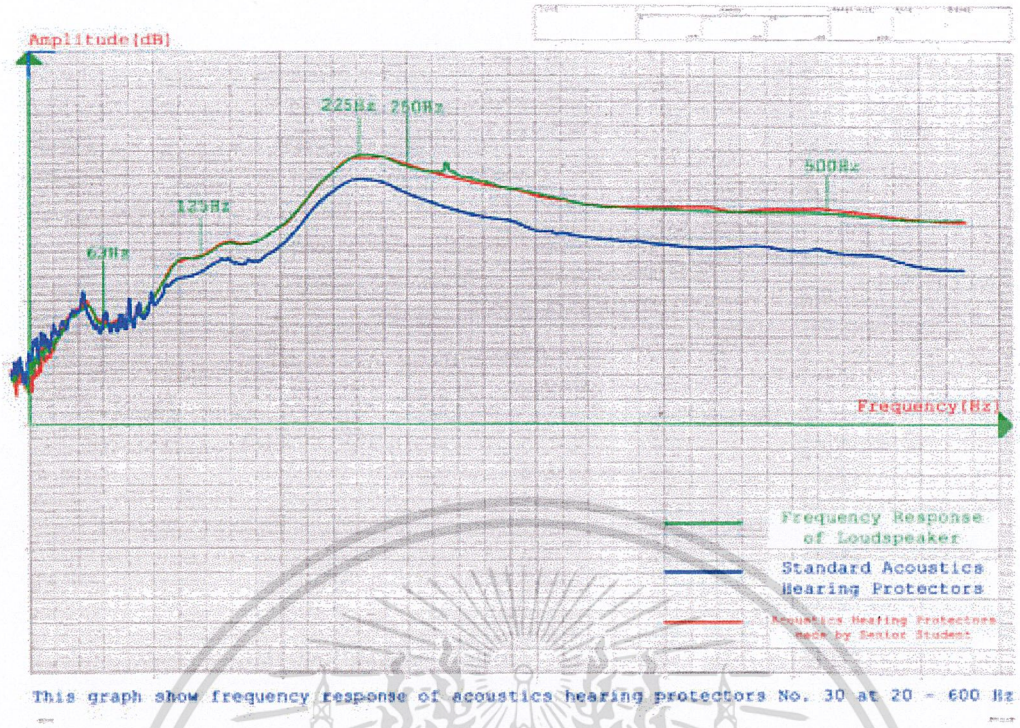


สูตรที่ 11 ความถี่ในช่วง 20 – 600 เฮริทซ์

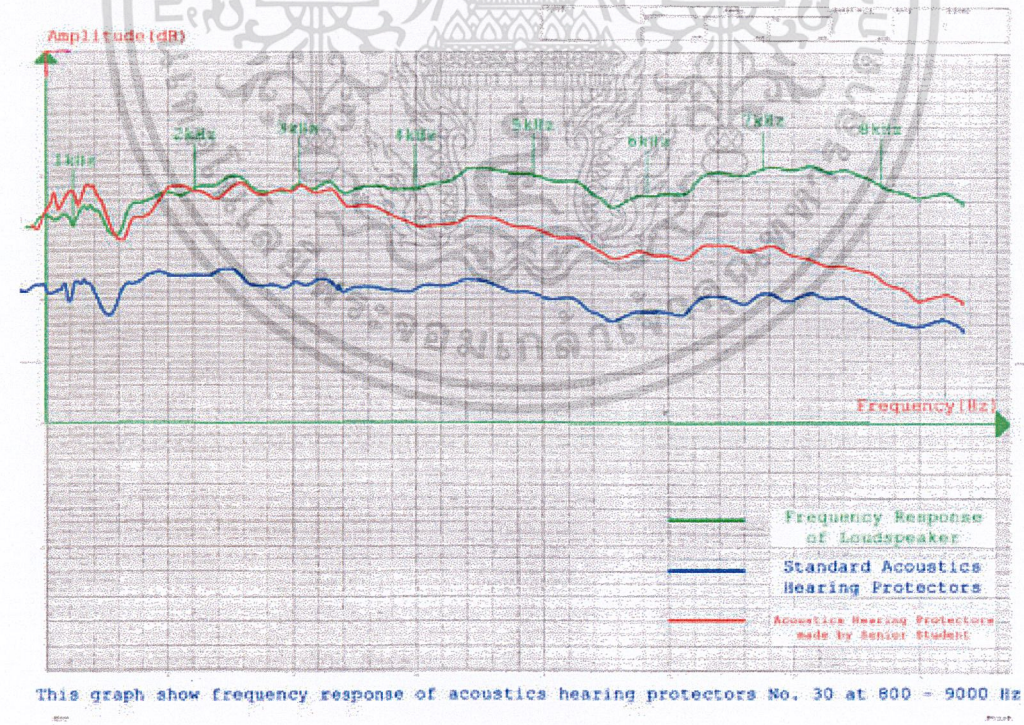


สูตรที่ 11 ความถี่ในช่วง 800 – 9000 เฮริทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

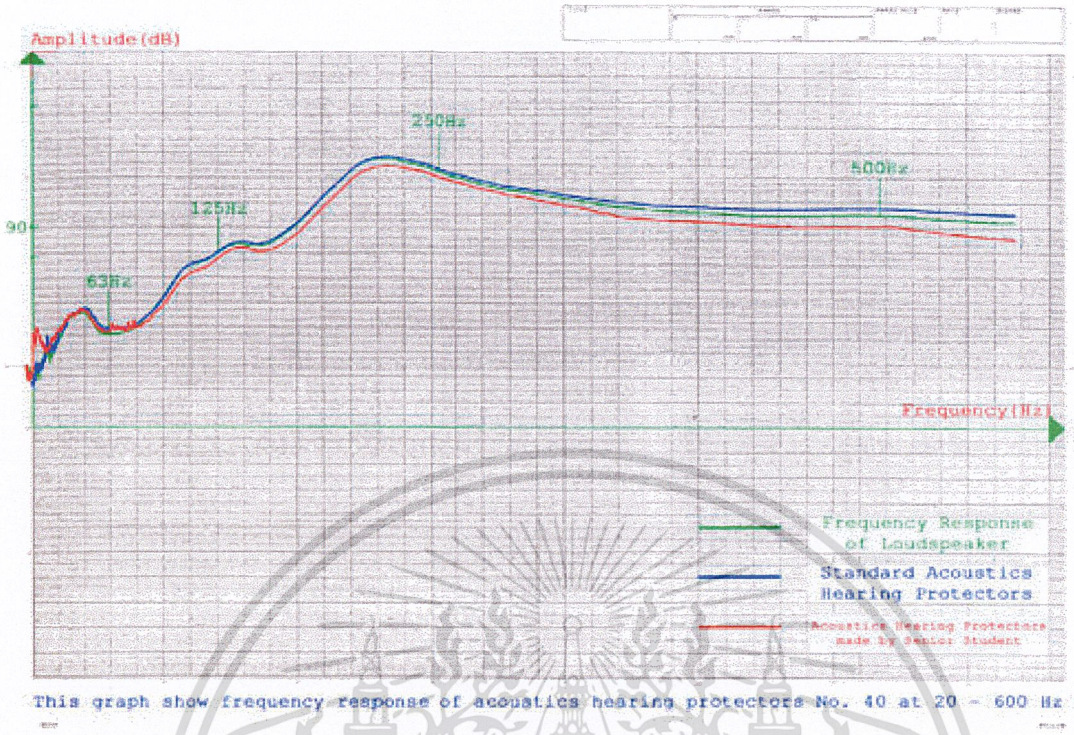


สูตรที่ 12 ความถี่ในช่วง 20 – 600 เฮริทซ์

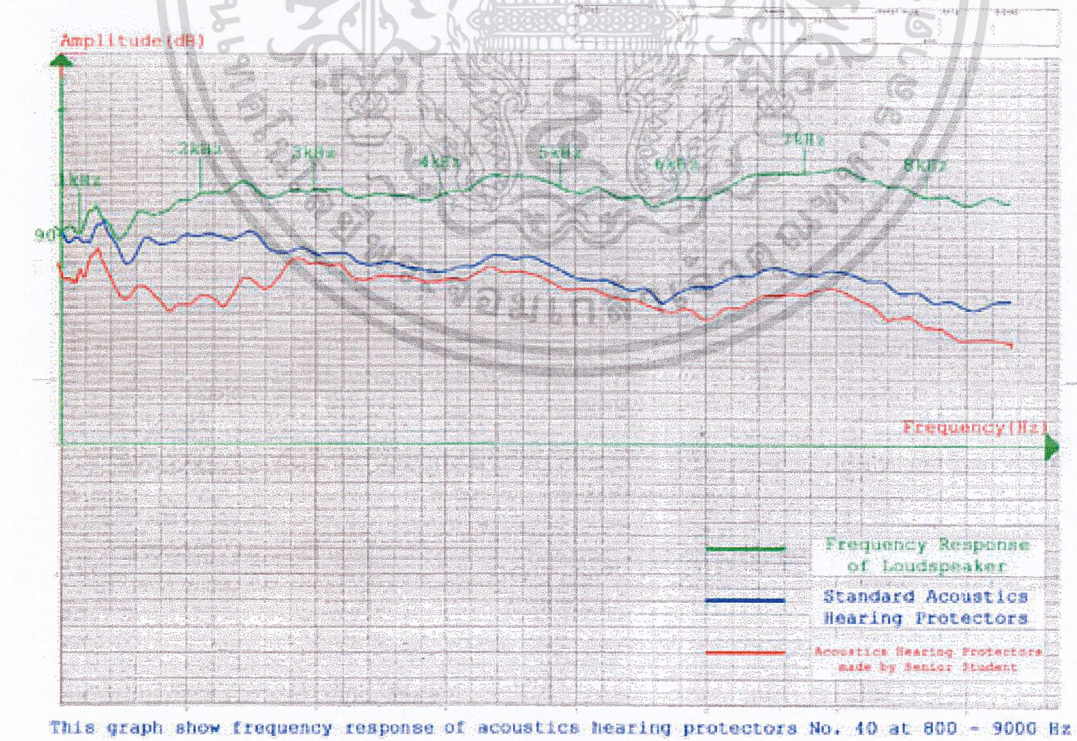


สูตรที่ 12 ความถี่ในช่วง 800 – 9000 เฮริทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สูตรที่ 18 ความถี่ในช่วง 20 – 600 เฮริทซ์



สูตรที่ 18 ความถี่ในช่วง 800 – 9000เฮริทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ถมรัตน์ สีต์วรานนท์.,หนังสือพิมพ์เดลินิวส์.,ปี 2522
2. S.Thomas , B.Kuraikose , B.R.Gupta and S.K.De , *Plastics and Rubber Processing and Application*. ,6(2) ,1986 ,101 – 108.
3. D.Eagles , *Plastics and Rubber Processing and Application.*,9(3),1988,163 – 166.
4. M.Craik , *Plastics and Rubber Processing and Application.*,18(1),1992,31-34
5. S.Aikawa, S.Tasaka, X. Zhange and N.Inagaki, *J.Appl.Polym.Sci.,* 76,1999,1741-1745.
6. T.Sakurai, T.Matsuoka, S.Koda and H.Nomura, *J.Appl.Polym.Sci.,* 76,1999,978-986.
7. M.Yamaguchi and K.H.Nitta, *Polym.Eng.Sci*,39(5),1999,833-839
8. E.A.Meinecke and R.C.Clark , in Mechanical Properties of Polymeric Foams. pp.30-32, Technomic Publishing, USA , 1973.
9. C.J.Benning ,in Plastic Foams. Vol. 2 ,pp. 11 - 12 , 2-4 and 294 – 300 , John Wiley & Sons , USA , 1969.
10. สมศักดิ์ วรมงคลชัย,ผศ.ดร. ใน เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2.,หน้า 216-218 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,กรุงเทพ , 2543
11. A.Brydson in Plastics Materials ,4 th Edition .,pp 251 – 253 and 259 – 268 ,Butterworth Scientific , Taiwan , 1982
12. S.Allen, M.Edge, M.Rodriguez, M.Liauw, and E.Fontan, *Polymer Degradation anb Stability*, 71, 2001, 1-14
13. สมศักดิ์ วรมงคลชัย,ผศ.ดร. ใน เอกสารคำสอน วิชา สารปรับแต่งพอลิเมอร์. , หน้า 77-79 , 89 – 90 ,114 ,130 –132 และ 140 ,ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,กรุงเทพ , 2543
14. R.Gachter and H.Muller ,in Plastic Additives Handbook. 4 th Edition.,pp ,815-828, Hanser Publishers,USA,1993
15. British Standard, *Hearing protectors – Safety requirements and testing part 2 Ear-plugs* , BS EN 352-2 , 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้