อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิเพื่อการใช้งานบอกอุณหภูมิความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

PREPERATION OF THERMOCHROMIC POLYMER FLIM FOR ELECTRONIC DEVICE APPLICATIONS

นายกฤษณ์ขจร ผลภาค รหัส 55361298
นายจิรวัฒน์ จงเจตน์สุข รหัส 55365289
นายฐากูร นิลค่าเมือง รหัส 55365326

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 7 มิ.ย. 2561
เลขทะเบียน 1722485O
เลขเรียกหนังสือ ปร
ก281ก
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิเพื่อการใช้งานบอกอุณหภูมิความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายกฤษณ์ขจร ผลภาค รหัส 55361298
นายจิรวัฒน์ จงเจตน์สุข รหัส 55365289
นายฐากูร นิลค่าเมือง รหัส 55365326

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์นฤมล สีพลไกร

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์นฤมล สีพลไกร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิเพื่อการใช้งานบอกอุณหภูมิความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกฤษณ์ขจร ผลภาค	รหัส 55361298
	นายจิรวัฒน์ จงเจตน์สุข	รหัส 55365289
	นายฐากูร นิลค่าเมือง	รหัส 55365326
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์นฤมล สีพลไกร	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2558	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเอทิลีนที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์เพื่อการใช้งานบอกอุณหภูมิความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์จะเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีขาวเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียล โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนต่อเทอร์โมโครมิกส์ที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 อัตราส่วนดังนี้ 97:3 95:5 90:10 นำมาผสมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ด้วยความร้อนแล้วนำมาทดสอบสมบัติแรงดึง เวลาการเปลี่ยนสีที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

ผลการทดลองพบว่า ที่ส่วนผสมต่างๆมีระยะเวลาการเปลี่ยนสี และช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนสีที่ใกล้เคียงกัน ที่ความเข้มสีที่อัตราส่วน 90:10 จะมีสีเข้มมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 95:5 และอัตราส่วน 97:3 ที่มีความเข้มสีน้อยที่สุด แล้วที่อัตราส่วน 97:3 และอัตราส่วน 95:5 มีการกระจายตัวได้ดีของผงเทอร์โมโครมิกส์ แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนเป็นอัตราส่วน 90:10 จะกระจายตัวได้ไม่ดีและเมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้วไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อนำผงเทอร์โมโครมิกส์มาผสมกับเม็ดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีผลทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติของความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากผงเทอร์โมโครมิกส์จะทำหน้าที่เสริมแรงให้กบแผ่นฟิล์ม และทำให้คุณสมบัติของการยืดตัวของแผ่นฟิล์มลดลง โดยสัดส่วนที่ดีที่สุดคือสัดส่วนที่อัตราส่วน 95:5

Project title	PREPERATION OF THERMOCHROMIC POLYMER FLIM FOR ELECTRONIC DEVICE APPLICATIONS	
Name	Mr. Kitkachon Phonphak	ID. 55361298
	Mr. Jirawat Jongjetsuk	ID. 55365289
	Mr. Thakoon Ninkhameaung	ID. 55365326
Project advisor	Miss.Narumon Seeponkai	
Major	Material Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2015	

Abstract

In this project, study on preparation of polyethylene blended thermochromic pigment a heating sensor film for electronic devices. Thermochromic film will be change the color for blue to colorless when the temperature is higher than 38 degree celsius. For Produced film was prepared by mixing with Polyethylene with thermochromic pigment at three different ratios below 97:3 , 95:5 , 90:10 by using single screw extruded and compress to film by compression molding. The film was characterized the mechanical properties and time for changing of color at different temperature.

The results showed all of the thermochromic film could be changing the color when the temperature higher than 38 degree celsius and the time quit similar. Increased by increasing the color of the film was thermochromic pigment from 97:3 , 95:5 and 90:10 However, by The good mixing ratio are 97:3 and 95:5 increasing thermochromic pigment the distribution was poor.

The resuls of mechanical test show that, by adding thermochromic pigment could be increase the tensile strength, Because the pigment will be act as reinforcement in the film. However, the elongation of film was slightly decrease and the best ratio is 95:5.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด ผู้วิจัยขอของพระคุณ อาจารย์นฤมล สีพลไกร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์ ที่ให้คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำในการทำวิจัย และขอบคุณเพื่อน ขอบคุณพี่ทุกคนที่ช่วยสนับสนุน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่าสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดมาทำให้ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายกฤษณ์ขจร ผลภาค
นายจิรวัฒน์ จงเจตน์สุข
นายฐากูร นิลค่าเมือง
พฤษภาคม 2559

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงานวิจัย ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตของการทำโครงงาน 3
1.5 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย 3
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 3
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5
2.1 หลักการเทอร์โมโครมิซึ่ม 5
2.2 หลักการเกี่ยวกับพอลิเมอร์ 8
2.3 กระบวนการขึ้นรูป 12
2.4 การทดสอบ 14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 19
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงงาน 19
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน 20
3.3 แผนผังแสดงวิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมผงเทอร์โมโครมิกส์ 21
3.4 วิธีการทดลอง 22
3.5 การทดสอบ 24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 25

4.1 การผสม การขึ้นรูป และการกระจายตัว 25

4.2 การเปลี่ยนสี 26

4.3 การทดสอบสมบัติแรงดึง 29

4.4 การทดสอบกับโทรศัพท์จริง 31

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 32

5.1 สรุปผลการทดลอง 32

5.2 ข้อเสนอแนะ 33

เอกสารอ้างอิง 34

ภาคผนวก 36

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน 4

2.1 ตารางแสดงข้อดีข้อเสียของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 11

3.1 แสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 19

3.2 อัตราส่วนระหว่างลูโคดาย : พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 22

3.3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลี่ยวหนอนเดี่ยว 22

4.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนสี และการการเปลี่ยนกลับแต่ละสูตรที่อุณหภูมิต่างๆ 28

ก.1 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 100:0
ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 37

ก.2 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 97:3
ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 38

ก.3 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 95:5
ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 39

ก.4 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 90:10
ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเปลี่ยนสีของเทอร์โมโครมิคลิควิดคริสตอลเมื่อให้ความร้อนและเมื่อเย็นตัวลง 6

2.2 การเปลี่ยนสีของลูโคดายสีแดงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ.....6

2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีกับอุณหภูมิของลูโคดายสีน้ำเงิน.....7

2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสีต่างๆ.....7

2.5 การทำงานของลูโคดายที่ทำการเคลือบลงบนแก้วน้ำ.....7

2.6 โครงสร้างทางเคมีของโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 10

2.7 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก พอลิเอทิลีนขนิดความหนาแน่นต่ำ..... 11

2.8 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว..... 12

2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 12

2.10 เครื่องอัดขึ้นรูป..... 13

2.11 เครื่องทดสอบแรงดึงและรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ..... 14

2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง 15

2.13 ลักษณะของชิ้นทดสอบบริเวณที่จับ และบริเวณการยืดออก..... 15

2.14 การเปลี่ยนสีของแผ่นเทอร์โมโครมิคลิควิดคริสตอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 18

3.1 แผนการดำเนินงานในโครงการ..... 21

3.2 เครื่องผสมแบบเกลี่ยวหนอนเดี่ยว 22

3.3 เครื่องอัดขึ้นรูป..... 23

3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง..... 24

4.1 ชิ้นงานตัวอย่างโดยเรียงสัดส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
ต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 100:0 97:3 95:5 และ 90:10 26

4.2 การเปลี่ยนสีที่น้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ของโดยเรียงสัดส่วน
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 97:3 95:5 และ 90:10 27

4.3 การเปลี่ยนสีที่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของโดยเรียงสัดส่วน
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 97:3 95:5 และ 90:10 28

4.4 กราฟเปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงที่ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ต่าง ๆ..... 29

4.5 กราฟเปรียบเทียบการยืดตัวที่ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ต่าง ๆ..... 30

4.6 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มในขณะที่อุณหภูมิ 33.8 องศาเซลเซียส..... 31

4.7 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 97:3 ในขณะที่อุณหภูมิ 45.1 องศาเซลเซียส 31

4.8 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 95:5 ในขณะที่อุณหภูมิ 42.7 องศาเซลเซียส 31

4.9 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 90:10 ในขณะที่อุณหภูมิ 42.4 องศาเซลเซียส .. 31

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือนับเป็นเครื่องมือสื่อสารที่สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารต่างๆได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และยังสามารถพกพาไปไหนได้ทุกที่สะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นความต้องการโทรศัพท์มือถือจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการติดต่อสื่อสารในชีวิตประจำวัน และมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ตอนนี้โทรศัพท์มือถือได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน และใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะอายุมากหรือน้อยต่างมีความต้องการโทรศัพท์มือถือมากพอกัน จนทำให้มีการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเวลานานๆติดต่อกัน ในแต่ละวันระยะเวลาในการใช้โทรศัพท์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีแอพพลิเคชั่นต่างๆมาให้ใช้บริการ จึงทำให้การใช้งานโทรศัพท์มือถือนานเกินจนเกิดความร้อนต่อเครื่องโทรศัพท์มือถือ รวมถึงการใช้อุปกรณ์ชาร์ตที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้เกิดความร้อน ทำให้ตัวเครื่องโทรศัพท์มือถือเกิดความร้อนและเนื่องจากถึงขีดจำกัดของเครื่องโทรศัพท์มือถือทำให้เกิดการเสื่อมของแบตเตอรี่ ทำให้โทรศัพท์มือถือเมื่อเกิดการใช้งานนานๆจะทำให้เครื่องร้อนเกิน อาจทำให้เกิดการระเบิดของแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือได้ ส่งผลให้เกิดการเสียหายต่อทรัพย์สินต่างๆหรือเกิดอันตรายต่อผู้ใช้โทรศัพท์มือถือได้ด้วยเช่นกัน เมื่อเล็งเห็นถึงผลกระทบของการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเวลานาน ๆ จนทำให้เครื่องร้อน ทางกลุ่มงานของเราจึงคิดค้นแผ่นฟิล์มที่สามารถเตือนการใช้งานของโทรศัพท์มือถือ ระบบการทำงานของแผ่นฟิล์มนี้คือเมื่อเครื่องโทรศัพท์มือถือใช้เวลานาน ๆ จนเกิดเครื่องร้อน แผ่นฟิล์มจะแสดงสัญลักษณ์แจ้งเตือนเพื่อให้หยุดการใช้งานของโทรศัพท์มือถือ แต่ทั้งนี้แผ่นฟิล์มเตือนการใช้งานของโทรศัพท์มือถือสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรต่าง ๆ ที่สามารถเกิดความร้อนขึ้นจากการใช้งานเป็นเวลานาน ๆ และขีดจำกัดของการใช้งานเครื่องจักร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษากระบวนการการผสม การขึ้นรูป และการกระจายตัวของสารเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายที่ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

1.2.2 ศึกษาอุณหภูมิ และระยะเวลาที่สารเทอร์โมโครมิกส์เกิดการเปลี่ยนแปลงสี บนฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

1.2.3 ศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ทดสอบสมบัติความทนแรงดึง, สมบัติการยืดตัว, ร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมกับสารเทอร์โมโครมิกส์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถเตรียมฟิล์มเทอร์โมโครมิกประเภทลูโคดายที่ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำได้ และฟิล์มที่ได้มีการเปลี่ยนสีตามช่วงอุณหภูมิที่สอดคล้องกับสารเทอร์โมโครมิกส์

1.3.2 สามารถนำสมบัติแผ่นฟิล์มมาประยุกต์ใช้กับโทรศัพท์มือถือหรือการแจ้งเตือนความร้อนในเครื่องจักรที่มีความร้อนเกิดขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากเครื่องจักรมีอุณหภูมิถึงขีดจำกัดได้

1.3.3 สามารถพัฒนาสมบัติของแผ่นฟิล์มให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

1.3.4 สามารถกันรอยขีดขวนของที่จะเกิดขึ้นบนโทรศัพท์มือถือ และเพิ่มมูลค่าของแผ่นฟิล์มกันรอยได้

1.3.5 สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรม และเชิงพาณิชย์ได้

1.4 ขอบเขตของการทำโครงงาน

1.4.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมพอลิเอทิลีน และเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายโดยมี 4 อัตราส่วนคือ 100:0 97:3 95:5 และ 90:5 เพื่อทำกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ด้วยเครื่องสกรูเดี่ยวโดยอุณณหภูมิที่ใช้ในโซน 1 ถึง 4 คือ 130 140 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.4.3 เตรียมเม็ดพอลิเอทิลีนที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

1.4.4 ทดสอบสมบัติต่างๆของฟิล์ม ได้แก่ สมบัติเชิงกล เช่น ทดสอบสมบัติความทนแรงดึง และสมบัติการยืดตัว และร้อยละการยืด ณ จุดขาด

1.4.5 ศึกษาการเปลี่ยนสีของสารเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายที่ผสมกับพอลิเอทิลีน

1.5 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2559

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
1.7.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง			←	—	→					
1.7.2 ออกแบบ และวางแผนการทดลอง			←	—	→					
1.7.3 ทำการผสมสารเทอร์โมโครมิกส์กับพอลิเอทิลีน ผสมด้วยเครื่องเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว จากนั้นขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป				←	→					
1.7.4 ตรวจสอบความสม่ำเสมอของสี และระยะเวลาการเปลี่ยนสี					←	—	→			
1.7.5 ทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น ทดสอบแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดูลัส					←	—	→			
1.7.6 ศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสี					←	—	→			
1.7.7 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลองพร้อมจัดทำโครงงาน					←	—	—	—	—	→

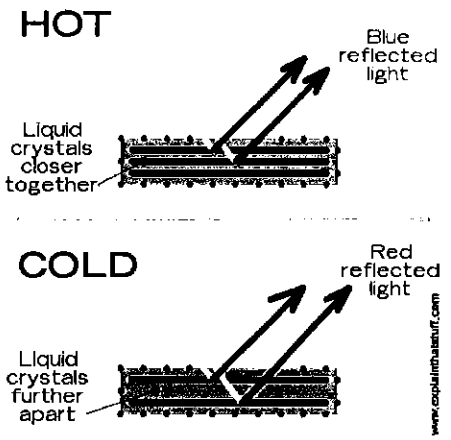
บทที่ 2
หลักการ และ ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 หลักการเทอร์โมโครมิซึ่ม (Thermochromism)

เป็นปรากฏการณ์ที่สีของสารเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยทั่วไป เทอร์โมโครมิกส์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือผลึกเหลว (Liquid Crystal) และสีย้อมลูโค (Leuco Dye)

2.1.1 เทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตอล (Thermochromic Liquid Crystal)

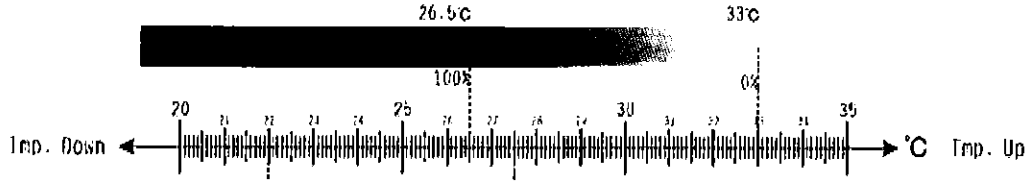
เทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตอลเป็นสารประกอบจำพวกออแกนิคที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างของเหลว และของแข็งตามอุณหภูมิในขณะที่สารลิกควิดคริสตอลมีสถานะเป็นของแข็งเมื่อส่องสารนี้ด้วยแสงสีขาวจะพบว่าสารนี้จะมีลักษณะใสไม่มีสีแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลภายในสารทำให้แสงที่สะท้อนจากสารนี้จะเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่องปรากฏการณ์การสะท้อนแสงนี้จะเกิดซ้ำในช่วงอุณหภูมิหนึ่งเมื่อมีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของสารนี้สำหรับการเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิของสารเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตอลเมื่อสารนี้มีอุณหภูมิสูงถึงจุดหนึ่งคือ Trs (rs : Red Start) จะเริ่มเปลี่ยนจากสารที่ใสไม่มีสีเป็นสีเทาหลังจากนั้นจะเปลี่ยนสีเป็นสีแดงเหลือง และเขียวตามลำดับ และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่ออุณหภูมิถึงอีกจุดหนึ่งคือ Tbs (bs : Blue Start) และหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกสีของสารจะเปลี่ยนเป็นสีใสไม่มีสีอีกครั้งโดยทั่วไปเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตอลจะมีหลายสูตรมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนสีในช่วงอุณหภูมิ Trs ตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ถึง 120 องศาเซลเซียส และช่วงความกว้างอุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส ขึ้นกับส่วนผสมที่ใช้ผลิตเนื่องจากสารนี้จะอยู่ในรูปของน้ำมัน และสมบัติทางอุณหภูมิของสารจะสูญเสียได้ง่ายถ้าถูกปนเปื้อนจากสารเคมีอื่นหรือเมื่อถูกแสงอุลตร้าไวโอเล็ตดังนั้นในการผลิตสารนี้จะถูกบรรจุในแคปซูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.005 มิลลิเมตร ถึง 0.01 มิลลิเมตร อยู่ในรูปของผงบรรจุในแคปซูลขนาดเล็กหรือของเหลวสำหรับทาบนผิวหรือพอลิเมอร์แบบแผ่นแบนอยู่ในรูปของแผ่นฟิล์มพร้อมติดสามารถใช้วัดอุณหภูมิบนพื้นผิวที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เช่นพื้นผิวโค้งหรือพื้นผิวไม่เรียบได้ตามต้องการ



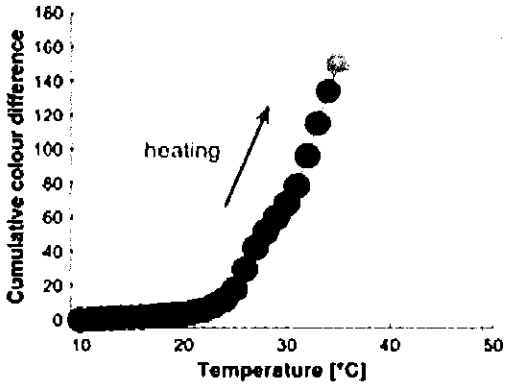
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสีของเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตอลเมื่อให้ความร้อนและเมื่อเย็นตัวลง [1]

2.1.2 สีย้อมลูโค (Leuco Dye)

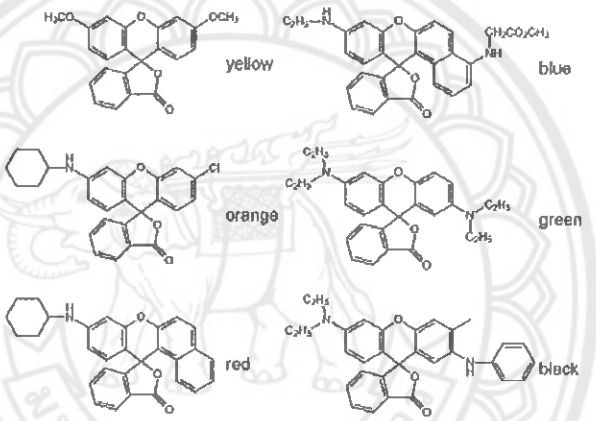
ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของลูโคดายสามารถเปลี่ยนสีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 แบบคือ แบบมีสี และแบบไม่มีสี โดยขณะที่สารลูโคดายมีอุณหภูมิต่ำ สารลูโคดายจะแสดงสีเฉพาะตัวปรากฏออกมา ในขณะที่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง สีของสารลูโคดายจะหายไปกลายเป็นสารไม่มีสี สารลูโคดายนิยมใช้กับอุปกรณ์แสดงผลที่ไม่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ เช่น ของเล่น แก้วน้ำเปลี่ยนสี เนื่องจากสารลูโคดายมีค่าอุณหภูมิที่ทำให้สารเปลี่ยนสีเป็นช่วงกว้างประมาณ 3 ถึง 10 องศาเซลเซียส ต่างจากผลึกเหลวที่มีค่าอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนสีเฉพาะ ดังนั้นสารลูโคดายจึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช้ากว่าและไม่เที่ยงตรงเท่าผลึกเหลว เช่นเดียวกับผลึกเหลวสารลูโคดายต้องบรรจุในไมโครแคปซูล และนำไปผสมกับสารอื่นที่ทำหน้าที่ยึดเกาะบนผิววัสดุ ตัวอย่างสารเทอร์โมโครมิกประเภทสีย้อมลูโค เช่น สารประกอบกลุ่มสไปโรแลกโตน (Spirolactones) สารประกอบกลุ่มฟูโอราน (Fluorans) และสารประกอบกลุ่มสไปโรไพราน (Spiropyrans) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนสีของลูโคดายสีแดงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ [2]



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีกับอุณหภูมิของลูโคดายสีน้ำเงิน [3]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของลูโคดายสีต่างๆ [4]

รูปที่ 2.5 การทำงานของลูโคดายที่ทำการเคลือบลงบนแก้วน้ำ [5]

2.2 หลักการเกี่ยวกับพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นก็มาจากรากศัพท์กรีกสำคัญ 2 คำ คือ Poly และ Meros พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ และประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกัน (Repeating unit) ของมอนอเมอร์ หลายๆหน่วยมาทำปฏิกิริยากัน มอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารไมโครโมเลกุล (Micromolecule) ชนิดหนึ่งพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด จัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) สารบางอย่างที่มีสมบัติอย่างพอลิเมอร์ เช่นสารพวกไขมันที่มีแต่ละหน่วยที่ไม่ซ้ำกันนั้นจะเป็นเพียงแค่สารแมคโครโมเลกุลเท่านั้น ไม่จัดเป็นพอลิเมอร์

พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดเองในธรรมชาติ (Natural Polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) ตัวอย่างของ พอลิเมอร์ธรรมชาติได้แก่แป้งเซลลูโลสโปรตีนกรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่นพลาสติกเส้นใยโฟม และกาวพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวันเราต้องใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติต่างกันจึงนำหน้าที่หรือนำไปใช้งานที่ต่างกันได้ พอลิเมอร์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือพลาสติกซึ่งเป็นคำที่ใช้อ้างถึงกลุ่มของวัสดุธรรมชาติ และสังเคราะห์กลุ่มใหญ่ที่มีสมบัติ และการใช้งานต่างกัน พอลิเมอร์ธรรมชาติเช่นชแล็ก และอำพันที่ใช้มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่นโปรตีนและกรดนิวคลีอิกที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพพอลิเมอร์ธรรมชาติอื่น ๆ เช่นเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ และไม้ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ บาเกไลต์ นีโอพรีน ไนลอน พีวีซี พอลิสไตรีน พอลิอคริโลไนไตรล์ และพีวีบี

2.2.1 สมบัติของพอลิเมอร์

ชนิดของสมบัติของพอลิเมอร์แบ่งอย่างกว้างๆได้เป็นหลายหมวดขึ้นกับความละเอียดในระดับนาโนหรือไมโครเป็นสมบัติที่อธิบายลักษณะของสายโดยตรงโดยเฉพาะโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับกลางเป็นสมบัติที่อธิบายสัณฐานของพอลิเมอร์เมื่ออยู่ในที่ว่างในระดับกว้างเป็นการอธิบายพฤติกรรมโดยรวมของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสมบัติในระดับการใช้งาน

2.2.1.1 สมบัติในการขนส่งเป็นสมบัติของอัตราการแพร่หรือโมเลกุลเคลื่อนไปได้เร็วเท่าใดในสารละลายของพอลิเมอร์ มีความสำคัญมากในการนำพอลิเมอร์ไปใช้เป็นเยื่อหุ้ม

2.2.1.2 จุดหลอมเหลวคำว่าจุดหลอมเหลวที่ใช้กับพอลิเมอร์ไม่ใช่การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแต่เป็นการเปลี่ยนจากรูปผลึกหรือกึ่งผลึกมาเป็นรูปของแข็งบางครั้งเรียกว่าจุดหลอมเหลวผลึก ในกลุ่มของพอลิเมอร์สังเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึกยังเป็นที่ถกเถียงในกรณีของเทอร์โมพลาสติกเช่นเทอร์โมเซตพอลิเมอร์ที่สลายตัวในอุณหภูมิสูงมากกว่าจะหลอมเหลว

2.2.1.3 พฤติกรรมการผสมโดยทั่วไปส่วนผสมของพอลิเมอร์มีการผสมกันได้น้อยกว่าการผสมของโมเลกุลเล็กๆผลกระทบนี้เป็นผลจากข้อเท็จจริงที่ว่าแรงขับเคลื่อนสำหรับการผสมมักเป็นแบบระบบปิด ไม่ใช่แบบใช้พลังงาน หรืออีกอย่างหนึ่งวัสดุที่ผสมกันได้ที่เกิดเป็นสารละลายไม่ใช่เพราะปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลที่ชอบทำปฏิกิริยากันแต่เป็นเพราะการเพิ่มค่าเอนโทรปี และ

พลังงานอิสระที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาตรที่ใช้งานได้ของแต่ละส่วนประกอบ การเพิ่มขึ้นในระดับเอนโทรปีขึ้นกับจำนวนของอนุภาคที่นำมาผสมกันเพราะโมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กว่า และมีความจำเพาะกับปริมาตรเฉพาะมากกว่าโมเลกุลขนาดเล็กจำนวนของโมเลกุลที่เกี่ยวข้องในส่วนผสมของพอลิเมอร์มีค่าน้อยกว่าจำนวนในส่วนผสมของโมเลกุลขนาดเล็กที่มีปริมาตรเท่ากันค่าพลังงานในการผสมเปรียบเทียบได้ต่อหน่วยปริมาตรสำหรับส่วนผสมของพอลิเมอร์ และโมเลกุลขนาดเล็ก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของพลังงานอิสระในการผสมสารละลายพอลิเมอร์และทำให้การละลายของพอลิเมอร์เกิดได้น้อยสารละลายพอลิเมอร์ที่เข้มข้นพบน้อยกว่าที่พบในสารละลายของโมเลกุลขนาดเล็กในสารละลายที่เจือจางสมบัติของพอลิเมอร์จำแนกโดยปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลาย และพอลิเมอร์ในตัวทำละลายที่ดี พอลิเมอร์จะพอง และมีปริมาตรมากขึ้นแรงระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับหน่วยย่อยจะสูงกว่าแรงภายในโมเลกุลในตัวทำละลายที่ไม่ดี แรงภายในโมเลกุลสูงกว่า และสายจะหดตัวในตัวทำละลาย

2.2.1.4 การแตกกิ่งการแตกกิ่งของสายพอลิเมอร์มีผลกระทบต่อสมบัติทั้งหมดของพอลิเมอร์สายยาวที่แตกกิ่งจะเพิ่มความเหนียวเนื่องจากการเพิ่มจำนวนของความซับซ้อนต่อสายความยาวอย่างสุ่ม และสายสั้นจะลดแรงภายในพอลิเมอร์เพราะการรบกวนการจัดตัวโซ่ข้างสั้น ๆ ลดความเป็นผลึกเพราะรบกวนโครงสร้างผลึกการลดความเป็นผลึกเกี่ยวข้องกับการเพิ่มลักษณะโปร่งใสแบบกระจกเพราะแสงผ่านบริเวณที่เป็นผลึกขนาดเล็กตัวอย่างที่ดีของผลกระทบนี้เกี่ยวข้องกับขอบเขตของลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีระดับการแตกกิ่งต่ำมีความแข็งและใช้เป็นเหยือกนม พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีการแตกกิ่งขนาดสั้น ๆ จำนวนมากมีความยืดหยุ่นกว่า และใช้ในการทำฟิล์มพลาสติกดัชนีการแตกกิ่งของพอลิเมอร์เป็นสมบัติที่ใช้จำแนกผลกระทบของการแตกกิ่งสายยาวต่อขนาดของโมเลกุลที่แตกกิ่งในสารละลายเดนไดรเมอร์เป็นกรณีพิเศษของพอลิเมอร์ที่หน่วยย่อยทุกตัวแตกกิ่งซึ่งมีแนวโน้มลดแรงระหว่างโมเลกุล และการเกิดผลึกพอลิเมอร์แบบเดนดริติกไม่ได้แตกกิ่งอย่างสมบูรณ์แต่มีสมบัติใกล้เคียงกับเดนไดรเมอร์เพราะมีการแตกกิ่งมากเหมือนกัน

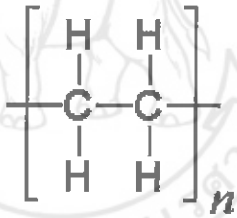
2.2.1.5 การเติมพลาติไซเซอร์การเติมพลาสติไซเซอร์มีแนวโน้มเพิ่มความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์พลาสติไซเซอร์โดยทั่วไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีสมบัติทางเคมีคล้ายกับพอลิเมอร์ และเข้าเติมในช่องว่างของพอลิเมอร์ที่เคลื่อนไหวได้ดี และลดปฏิกิริยาระหว่างสาย ตัวอย่างที่ดีของพลาสติไซเซอร์เกี่ยวข้องกับพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี พีวีซีที่ไม่ได้เติมพลาสติไซเซอร์ใช้ทำท่อ ส่วนพีวีซีที่เติมพลาสติไซเซอร์ใช้ทำผ้าเพราะมีความยืดหยุ่นมากกว่า

2.2.2 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีน (Polyethylene) คือ พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่นยืดหยุ่นได้ดี และที่สำคัญ ไม่มีกลิ่น และรส แถมยังไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว แต่ทนความร้อนได้ไม่มากนัก (<100 องศาเซลเซียส) แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมากใส่สีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ดีในอีกแง่มุม

หนึ่งเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น จะทำให้มีความแข็งแรง และความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในการหลอมตัวจึงสูงขึ้นตามไปด้วยจึงทำให้อัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาแน่นลดลงจะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกรานได้ง่ายขึ้นแบ่งได้ตามเกรดเป็น 3 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น และ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

2.2.2.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นพอลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ที่ผลิตโดยใช้แรงดันสูงมีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการกรอบแตก มีความนิ่มแต่ใสไม่เท่าพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน มีความแข็งแรงทนทานน้อยกว่า HDPE และทนความร้อนได้ไม่มาก แต่ทนสารเคมีได้ดี ทนอุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส และทนอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ในช่วงสั้น ๆ ได้แต่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงในหม้ออัดไอน้ำได้ เท่า PP โดยพลาสติกชนิดนี้เริ่มหลอมตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และทนความเย็นได้ถึง -50 องศาเซลเซียส LDPE มีสีขาว ลักษณะขุ่นโปร่งแสงมีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น เหมาะสำหรับผลิตแผ่นฟิล์มต่างๆเช่น ถุงเย็น ถุงก็อปแก็ป ของเด็กเล่น ถุงซิป ฉนวนหุ้มสายไฟ สายเคเบิ้ล ขวดพลาสติกชนิดบีบ-ได้ เช่น ขวดน้ำเกลือ หลอดยาสีฟัน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [6]

2.2.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ก. ลักษณะทั่วไป : พลาสติกนิ่มยืดตัวได้ดีในระดับหนึ่งมีความใส โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว

ข. อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature) : 125 ถึง 136 องศาเซลเซียส

ค. อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature) : -110 องศาเซลเซียส

ง. อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ (Service temperature) : -30 ถึง 70 องศาเซลเซียส

จ. ความหนาแน่น (Density) : 910 ถึง 928 กิโลกรัมต่อลูกบาศ์กเมตร

2.2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของพอลิเอทิลีนขนิดความหนาแน่นต่ำ

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อดีข้อเสียของพอลิเอทิลีนขนิดความหนาแน่นต่ำ

ข้อดี	ข้อเสีย
1.ยืดยุ่นได้ดี 2.มีความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ 3.ทนต่อสารเคมีและสภาวะอากาศได้ดี 4.เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก	1.ทนความร้อนได้ไม่มาก 2.ความใสน้อย 3.ไขมันซึมผ่านได้ง่าย

2.2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีนขนิดความหนาแน่นต่ำ

ก. ถุงเย็น ถุงก็อปแก็ป ของเด็กเล่น ถุงซิป ฉนวนหุ้มสายไฟ สายเคเบิ้ล

ข. ขวดพลาสติกชนิดบีบได้ เช่น ขวดน้ำเกลือ หลอดยาสีฟัน

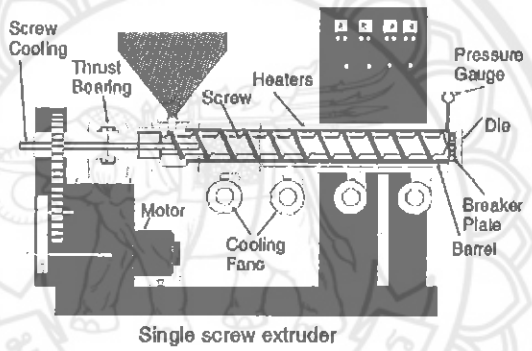
รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก พอลิเอทิลีนขนิดความหนาแน่นต่ำ [7]

2.3 กระบวนการขึ้นรูป

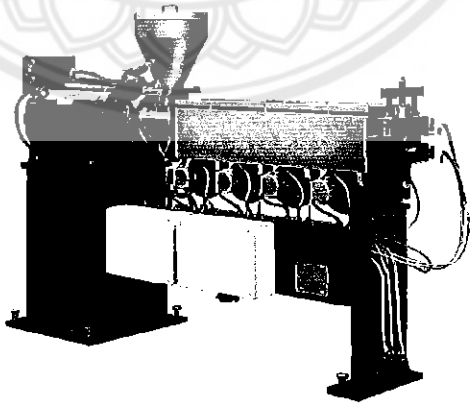
2.3.1 การผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ในกระบวนการนี้เม็ดพลาสติกจะถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแล้วพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกบังคับให้ออกมาทางท่อเปิด หรือแม่พิมพ์ตามรูปร่างที่เราต้องการด้วยสกรูหมุนพลาสติกที่ออกมาแล้วทำให้เย็นตัวลง โดยการทำให้พลาสติกเย็นตัวลงใช้ระบบน้ำเย็นหล่อก็ได้

หลักการทำงานของเครื่องนั้นต้องตั้งอุณหภูมิที่จะทำการฉีดพลาสติก เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดจึงใส่เม็ดพลาสติกที่จะทำการฉีดลงไปในกรวยที่ใส่ จากนั้นจึงเริ่มเดินเครื่องฉีดพลาสติกสกรูจะเริ่มทำงานโดยสกรูจะนำเม็ดพลาสติกไหลไปตามช่วงต่างๆของเครื่อง โดยในแต่ละช่วงมีอุณหภูมิตามที่เรากำหนดไว้ แล้วจะเริ่มถูกหลอมเหลวดันมารวมกันที่หัวฉีดเพื่อทำการฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลวแล้วฉีดออกมาผ่าน ส่วนที่ทำให้เย็นตัวลงแล้วจากนั้นพลาสติกที่ไหลออกมาจะเป็นเส้นๆ เพื่อสุดท้ายนำเข้าเครื่องตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆลง



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [8]



รูปที่ 2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [9]

2.3.2 กระบวนการกดอัดขึ้นรูป

เป็นเทคนิคการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงานของกระบวนการกดอัด คือ การนำเม็ดหรือผงพลาสติกมาอัดในแม่แบบ (Mold) ภายใต้ความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่แบบ (Cavity) ส่วนประกอบหลักของเครื่องกดอัด (Compression Molding Machine) คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถ เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ (Movable Platen) ส่วนอีก แผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ (Fixed Platen) แม่แบบสำหรับการแปรรูปพลาสติกทั้งตัวผู้ และตัวเมียจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่นนี้ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย ได้แก่

2.3.2.1 ระบบการขับเคลื่อนในปัจจุบันเครื่องอัดส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานอัตโนมัติโดยใช้แรงขับจาก ระบบไฮดรอลิกในการเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลง นอกจากนี้ระบบขับเคลื่อนยังทำหน้าที่ในการให้ ความดันในการอัดอีกด้วย เครื่องกดอัดขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 5 ถึง 100 ตัน ส่วนเครื่องกดอัดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 10 ถึง 4,000 ตัน โดยขนาดของความดันจะขึ้นกับขนาดของแผ่นเหล็กอัดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต

2.3.2.2 ระบบให้ความร้อน และหล่อเย็น ระยะเวลาการทำงานต่อวัฏจักรของการกดอัดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของผนังผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกประเภทเทอร์มอเซตที่เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี และในการกดอัดต้อง ให้อุณหภูมิถึงจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้ (Curing) ซึ่งหากเติมเม็ดหรือผง พลาสติกลงในแม่แบบโดยตรงจะทำให้ระยะเวลาในการกดอัดนานมาก ดังนั้นจึงควรมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนนำเข้าแม่แบบ เพื่อทำให้พลาสติกสามารถไหลได้ดีขึ้น

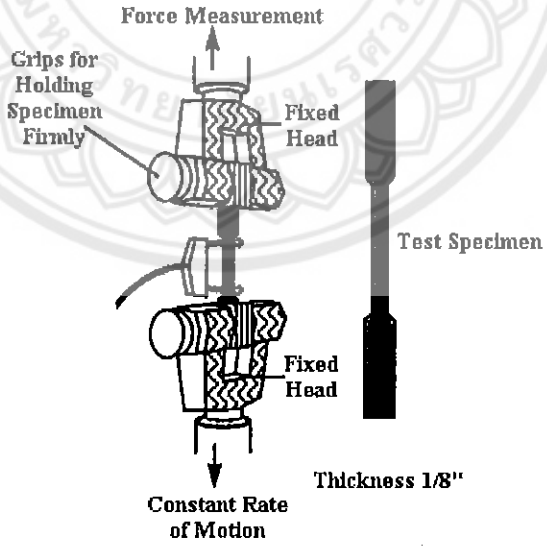
รูปที่ 2.10 เครื่องอัดขึ้นรูป [10]

2.4 การทดสอบ

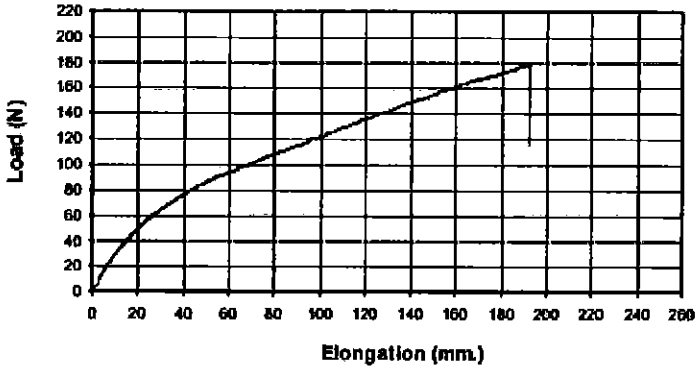
2.4.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile Strength) สมบัติการยืดตัว (Elongation) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และมอดูลัสของยัง (Young's Modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTMD638 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ในการทดสอบชิ้นงาน

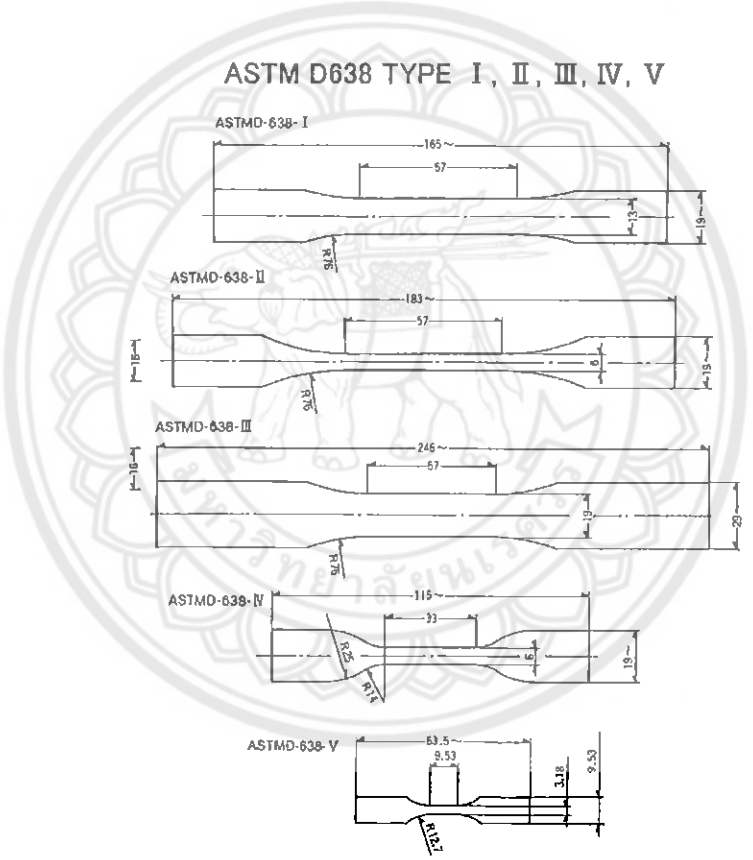
สิ่งที่สำคัญของการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ คือ ชิ้นงานทดสอบซึ่งส่วนใหญ่จะมีรูปทรงดัมเบล ซึ่งจะได้จากการเตรียมชิ้นงานแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ เช่น กรณีที่เป็นยางก็จะได้จากการติดแผ่นยางเป็นรูปดัมเบลด้วย Die (จากแผ่นยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ใน Compression Mould) ส่วนในกรณีของพลาสติก อาจจะได้จากกระบวนการฉีด (Injection Moulding) หรือได้จากการตัดแผ่น พลาสติกด้วย Die ในทำนองเดียวกันกับยาง ถ้าหากพลาสติกดังกล่าวมีความแข็งต่ำ เช่น Plasticized PVC ในขณะทดสอบจะใช้เครื่อง Universal Testing Machine โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ (ตามมาตรฐานกำหนด) แล้วทำการดึงยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ทำการ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรง และระยะยืดของชิ้นงานบริเวณตรงกลางตัวอย่างเครื่องทดสอบแรงดึง ผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง ซึ่ง อาจจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์และสภาวะ (ความเร็ว และอุณหภูมิ) ที่ทำการดึง



รูปที่ 2.11 เครื่องทดสอบแรงดึง และรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [13]



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง [14]



รูปที่ 2.13 ลักษณะของชิ้นทดสอบบริเวณที่จับ และบริเวณการยืดออก [14]

2.4.1.1 ค่าการทนแรงดึงหรือค่าความแข็งแรงดึง ในบางครั้ง อาจจะรายงานผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงเป็นรูปของค่า Tensile Strength ซึ่งโดยปกติจะ หมายถึงค่า Maximum Tensile Stress นอกจากนั้นบางกรณีอาจจะรายงานผลค่า Tensile Strength ที่จุดใด ๆ ก็ได้ เช่นที่จุดคราก (Yield point) จะได้ Tensile Strength at Yield หรือที่จุดขาดจะได้ Tensile Strength Break ส่วนคำว่า Ultimate Tensile Stress (หรือ Strength) จะหมายถึงค่า Strength หรือ Stress ที่จุดสูงสุดของกราฟ ซึ่งอาจจะเป็นที่ Break Point หรือ Yield Yoint ก็ได้ โดยจะแทนในสมการ

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ = ความเค้น มีหน่วยเป็นเมกกะปาสคาล (MPa)

P = แรงที่ในการยืดชิ้นงาน ณ จุกสูงสุด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

A = พื้นที่ตัดขวางที่แรงกระทำมีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)

2.4.1.2 ค่าการยืดตัว แสดงลักษณะทั่วไปของชิ้นงานรูปดัมเบล สำหรับการทดสอบแรงดึง โดยในการคำนวณค่าความเครียด (Strain) จะใช้ค่า ΔL ต่อ L_0 ซึ่งต้องระวังด้วยว่าค่าที่ใช้ต้องเป็นค่าที่มาตรฐาน กล่าวคือ ΔL ควรวัดโดยใช้ Extensometer จะแม่นยำ กว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัสดุทดสอบเป็นยางที่จะยืดตัวได้มากจนเข้าสู่บริเวณรอยคอดของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามกรณีที่เป็นพลาสติกแข็งอาจจะอนุโลมให้ใช้ ระยะเดินทางของมือจับ (Grip) เป็น ΔL แทนได้ เนื่องจากพลาสติกแข็ง มักจะยืดตัวได้น้อย และฉีกขาดก่อน จะเกิดการยืดบริเวณรอยคอด ส่วนค่า L_0 นั้นต้องดูตามมาตรฐานของ Standard Method ที่ใช้ทดสอบ (ASTM D638, JIS 2000 ISO, DIN) ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีขนาดชิ้นงานไม่เท่ากัน และมีระยะ Gauge ไม่เท่ากัน และที่สำคัญต้องไม่เข้าใจผิดว่า L_0 คือระยะระหว่าง Grip หรือ ระยะระหว่างรอยคอด ซึ่งถ้าใช้ค่า L_0 ในการคำนวณ Strain ไม่ถูกต้อง จะทาให้ค่า Strain และ Modulus ที่ได้คลาดเคลื่อน และอาจมีปัญหาในการนำไปใช้อ้างอิงกับตัวอย่างข้างนอก

$$\%EI = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \tag{2.2}$$

เมื่อ %EI = เปอร์เซ็นการยืดตัวก่อนขาด

L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

L_0 = ความยาวของเกตเริ่มต้น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

2.4.1.3 ค่าโมดูลัส ค่าโมดูลัสที่กล่าวถึงข้างต้นนี้จะได้จากการคิดคำนวณจากกราฟในช่วง linear หรือช่วงที่ยังมีพฤติกรรมเป็น แบบอิลาสติก (ช่วงการยืดตัวหรือ Strain น้อย ๆ) และบางครั้งจะเรียกค่าโมดูลัสในแบบดังกล่าวว่า Young's Modulus หรือ Lnitial Modulus นอกจากนั้นยังมีค่า โมดูลัสอีกลักษณะหนึ่งคือ Secant Modulus ซึ่งได้จากอัตราส่วน ความเค้นต่อความเครียด นอกจากนั้นความเร็วในการดึงก็จะมีผลต่อสมบัติด้านแรงดึงเช่นเดียวกัน โดยความเร็วในการดึงสูง จะทำให้พอลิเมอร์มีการตอบสนองในแบบอิลาสติกสูง หรือมีค่าโมดูลัส และความเค้นสูงแต่มีค่าการยืดตัวต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าดึงพลาสติกอย่างช้า ๆ ด้วยความเร็วต่ำก็จะทำให้มีการยืดตัวมากขึ้น และมีโมดูลัส หรือความแข็งน้อยลง ผลดังกล่าวเกิดจากการที่พอลิเมอร์มีลักษณะการตอบสนองต่อแรงกระทำที่ขึ้นกับเวลา โดยถ้ามีเวลาน้อย (ออกแรงกระทำเร็ว) พอลิเมอร์ไม่มีเวลาที่จะผ่อนคลาย (Relax) โมเลกุลจึง เคลื่อนไหวได้น้อย และชิ้นงานไม่สามารถยืดตัวได้มาก และต้านทานแรงดึง จึงขาดง่ายแต่แข็งแต่ถ้าดึงช้า ๆ โมเลกุลพอลิเมอร์จะมีเวลาในการคลี่คลายโครงสร้าง หรือเกิดการเคลื่อนไหว ทำให้มีการยืดตัวของชิ้นงาน มากขึ้นโดยใช้แรงดึงที่น้อยลง

$$E = \frac{\sigma}{e} \qquad (2.3)$$

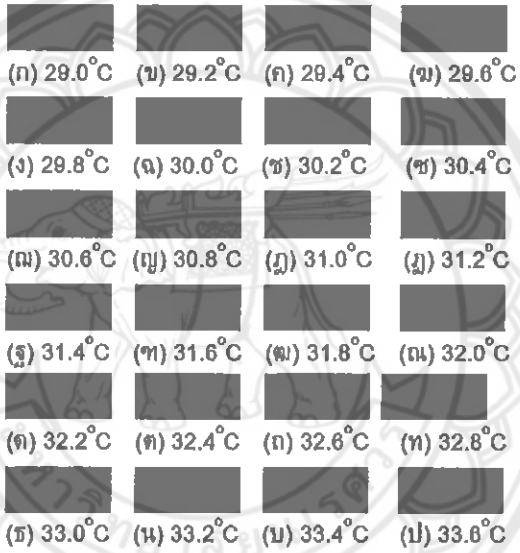
เมื่อ E = มอดูลัสของยัง มีหน่วยเป็นเมกกะปาสคาล (MPa)

σ = ความเค้น มีหน่วยเป็นเมกกะปาสคาล (MPa)

e = ความเครียด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มักตาร์ แวหะยี และ ชยุต นันทดุสิต (2552) [11] ได้ศึกษาวิธีใช้สมบัติการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตอลในการวัดการกระจายอุณหภูมิ และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว เป็นวิธีที่สะดวก และเหมาะสำหรับใช้ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว นอกจากนี้หากทำการบันทึกภาพ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้ว จะสามารถหาการกระจายของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนพื้นผิวได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้นี้เป็นแบบวิธีสภาวะคงตัว อาศัยการเลื่อนตำแหน่งของแถบสีเมื่อเปลี่ยนฟลักซ์ความร้อนบนพื้นผิวที่ทำการวัดอุณหภูมิ ต้องใช้เวลาในการทดลอง และต้องถ่ายภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์จำนวนมาก และมีข้อจำกัดคือไม่สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนทั่วทั้งพื้นผิวได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีวัดแบบสภาวะไม่คงตัวที่ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพที่มีความซับซ้อนมากในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนสีของแผ่นเทอร์โมโครมิคลิควิดคริสตอลที่อุณหภูมิต่างๆ [11]

พงษธร คำบัว (2556) [12] ได้ศึกษาผงวาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมโนคลินิกที่มีสมบัติเทอร์โมโครมิกส์ เพื่อนำไปเคลือบบนกระจกด้วยไทเทเนียมได้ออกไซด์ประยุกต์ใช้เป็นวัสดุประหยัดพลังงาน ผงวาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมโนคลินิกถูกเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และกระบวนการทางความร้อน

V. Costanzo (2015) [13] ได้ศึกษาวิจัยหน้าต่างที่เคลือบเทอร์โมโครมิกส์ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนการส่งผ่านของแสงขาว ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ มีผลช่วยให้สามารถความคุมความร้อนของแสงอาทิตย์ในฤดูร้อน ซึ่งความสามารถดังกล่าวช่วยลดความต้องการพลังงาน และช่วยในการระบายความร้อน โดยใช้วิธีการจำลองหน้าต่างที่เคลือบเทอรโมโครมิกส์ ด้วยวิธีไดนามิกส์แอพลิเคชัน โดยได้ทดสอบในอาคารสำนักงาน โดยมีการจำลองสภาพอากาศที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าสามารถช่วยในการประหยัดพลังโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างมาก

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ในการทดลองนี้ จะศึกษา การทดสอบการผสมสารเทอร์โมโครมิกสีย้อมลูโค (Leuco Dye) กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อนำไปใช้งานในการบอกอุณหภูมิของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกล และศึกษาการเข้ากันได้ และความสม่ำเสมอของสารเทอร์โมโครมิกส์ (Thermochromic) ประเภทลูโคดาย (Leuco Dye) ที่ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Polypolyethylene : LDPE) และสรุปผลการทดลอง

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงงาน

3.1.1 สารเทอร์โมโครมิกประเภทลูโคดายสีแดง และสีน้ำเงิน

3.1.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีสมบัติดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [12]

สมบัติ	หน่วย	LDPE
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature)	องศาเซลเซียส	125 – 136
อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature)	องศาเซลเซียส	-110
อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ (Service Temperature)	องศาเซลเซียส	(-30) – 70
ความหนาแน่น (Density)	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	910 – 928
สัมประสิทธิ์การขยายทางความร้อน (Thermal Expansion)	1/เคลวิน	$150x10^{-6}$ – $200x10^{-6}$
การหดตัว (Shrinkage)	ร้อยละ	1.5 – 3
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	ร้อยละ	0.0005 – 0.015

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ

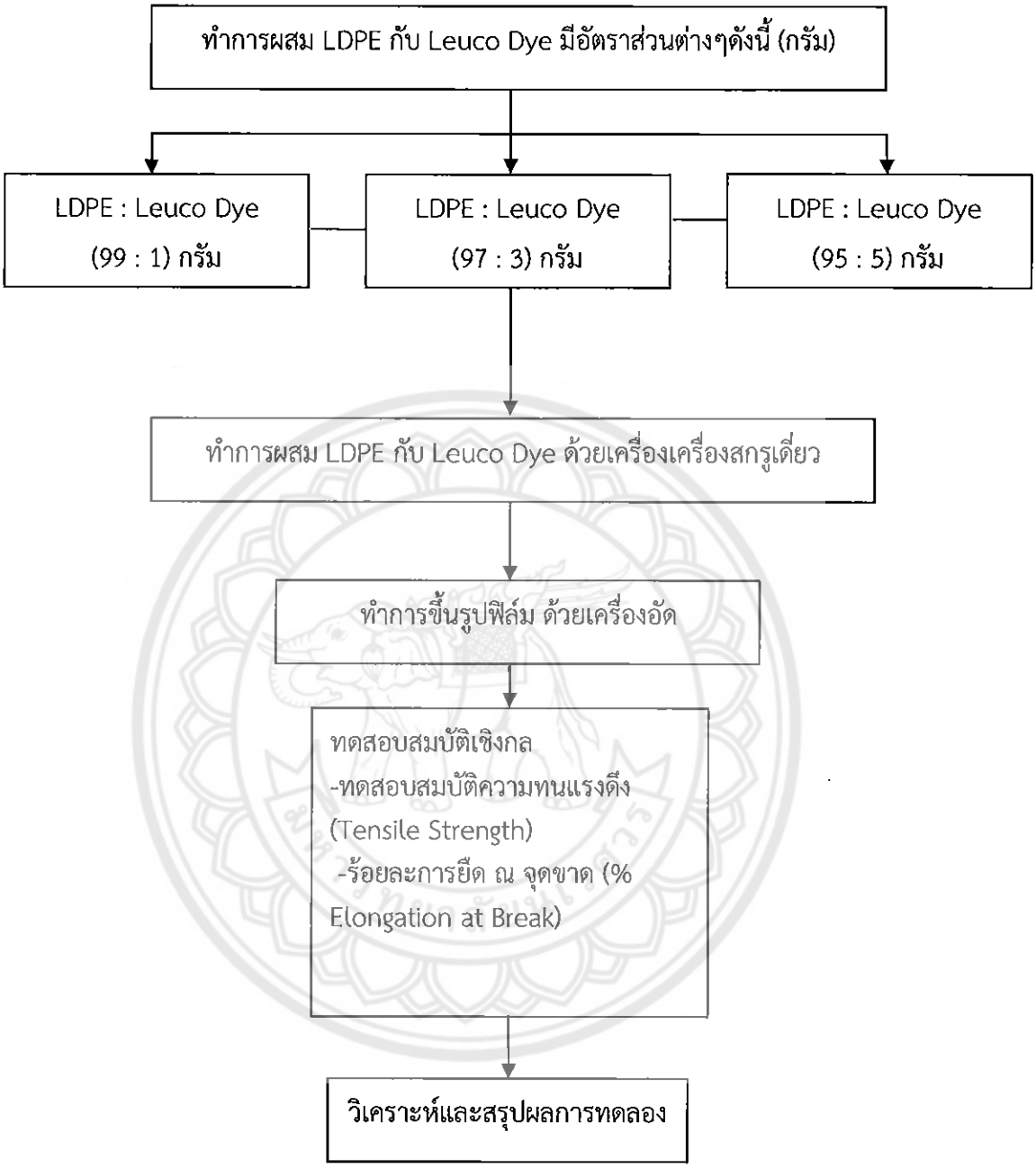
3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลี่ยวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)

3.2.2 เครื่องตัดเม็ดพลาสติก

3.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression)

3.2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)

3.3 แผนผังแสดงวิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมผงเทอร์โมโครมิกส์



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในโครงการ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสารเทอร์โมโครมิกส์กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

3.4.1.1 พอลิเมอร์ที่นำมาใช้คือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

3.4.1.2 ทำการผสมระหว่างสารเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำโดยแบ่งเป็น 4 ส่วนผสมดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนระหว่าง ลูโคดาย : พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

ลูโคดาย (กรัม)	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (กรัม)
3	97
5	95
10	90

3.4.2 การผสมสารเทอร์โมโครมิกส์กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และการขึ้นรูป

3.4.2.1 ทำการผสมอัตราส่วนเบื้องต้นด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว(Single Screw Extruder) แสดงในรูปที่ 3.2 ที่ช่วงอุณหภูมิที่สถานะต่าง ๆ กับ 4 โซน แสดงดังตารางที่ 3.3

รูปที่ 3.2 เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ตารางที่ 3.3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ช่วงสภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Screw Zone	130
Heaters Zone	140
Barral Zone	145
Nozzle Zone	150

3.4.2.2 นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วทั้ง 4 สูตรมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป แสดงในรูปที่ 3.3 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โดยเริ่มแรกต้องเม็ดพลาสติกให้ร้อนก่อนเป็นระยะเวลาเวลา 5 นาที จากนั้นจึงอัดขึ้นรูปเป็นระยะเวลาเวลา 5 นาที แล้วนำไปหล่อเย็นเป็นระยะเวลาเวลา 5 นาที

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดขึ้นรูป

3.4.2.3 จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปไปทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ความแข็งแรงดึง
2. ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

3.5 การทดสอบ

3.5.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile Strength) สมบัติการยืดตัว (Elongation) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และมอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ในการทดสอบชิ้นงาน

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง

1722485๐
สำนักหอสมุด
7 ก.พ. 2561

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 3 สูตร คือ 97:3 95:5 และ 90:10 จากนั้นจึงนำไปทดสอบระยะเวลาการเปลี่ยนสี และสมบัติแรงดึง

4.1 การผสม การขึ้นรูป และการกระจายตัว

จากกระบวนการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 3 สูตร คือ 97:3 95:5 และ 90:10 พบว่าจากการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายนั้น อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 95:5 และอัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 ผสมเข้ากันได้ดี ไหลง่าย ขนาดเส้นคงที่ ใช้ความเร็วรอบไม่สูงมาก ไม่ต้องปรับความเร็วรอบบ่อย และในกระบวนการขึ้นรูปก็มีการกระจายตัวที่ดี สีมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แผ่นฟิล์มมีความเรียบเนียนไม่ขรุขระ ส่วนอัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 90:10 มีการกระจายตัวได้ไม่ดีนัก กระบวนการผสมยาก ขนาดเส้นไม่คงที่ ขรุขระ ใช้ความเร็วรอบสูง ปรับความเร็วรอบบ่อย บางทีพอลิเมอร์ก็ไม่ออกหรือออกช้ามาก ๆ บางทีพอลิเมอร์ก็ออกมาไวเกินไป จนทำพอลิเมอร์ติดที่รู ต้องทำการผสม 2 รอบ และในกระบวนการขึ้นรูปสีของชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการผสมรอบเดียว สีของแผ่นฟิล์มไม่สม่ำเสมอบางที่ก็เข้มบางที่ก็จางเกินไป มีการจระจายตัวของเม็ดสีเป็นจุด ๆ อย่างชัดเจน ฟิล์มมีรอยขาดเป็นจุด ๆ และผิวของแผ่นฟิล์มมีความขรุขระไม่สม่ำเสมอ สีของชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการผสม 2 รอบ มีการจระจายตัวดี สีมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แผ่นฟิล์มมีความเรียบเนียนไม่ขรุขระ

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ถ้าเพิ่มปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายในอัตราส่วนต่าง ๆ จะทำให้สีในผลิตภัณฑ์มีความเข้มมากขึ้น โดยที่ความเข้มสีที่อัตราส่วน 90:10 จะมีสีเข้มมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 95:5 และอัตราส่วน 97:3 ที่มีความเข้มสีน้อยที่สุด

จากกระบวนการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย จะทำให้ชิ้นงานมีสีที่เข้มมากขึ้น แต่ความเข้ากันได้ในกระบวนการผสม และการขึ้นรูปก็จะยากขึ้นตามไปด้วย

รูปที่ 4.1 ชิ้นงานตัวอย่างโดยเรียงสัดส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
ต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 100:0 97:3 95:5 และ 90:10

4.2 การเปลี่ยนสี

4.2.1 การเปลี่ยนสีที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 เป็นการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 ชิ้นงานที่มีสีฟ้าอ่อนหม่นๆเมื่อนำไปจุ่มในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานมีความเข้มขึ้นในระดับนึงแต่ไม่มากเท่าไร มองเห็นสีที่เปลี่ยนไปได้ไม่ชัดเจน ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 95:5 ชิ้นงานนี้มีสีฟ้าอ่อนเหมือนกับอัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 แต่เข้มกว่าเมื่อนำไปจุ่มในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานมีความเข้มขึ้นเห็นเป็นสีฟ้าชัดเจนขึ้น สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนสีได้ไม่ยาก ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 90:10 ชิ้นงานมีสีน้ำเงินเมื่อนำไปจุ่มในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานมีความเข้มขึ้นอย่างมาก สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีที่น้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ของแต่ละสูตรจะเห็นว่า ความเข้มสีที่อัตราส่วน 90:10 จะมีสีเข้มมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 95:5 และอัตราส่วน 97:3 ที่มีความเข้มสีน้อยที่สุด จากการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนสีของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์จริง และเข้มขึ้นจริง โดยความเข้มนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ยิ่งมีปริมาณเทอร์โมโครมิกส์มากความเข้มสีก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนสีที่น้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยเรียงอัตราส่วน**พอลิเอทิลีนความ**หนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 97:3 95:5 และ 90:10

4.2.2 การเปลี่ยนสีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 เป็นการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 ชิ้นงานที่มีสีฟ้าอ่อนหม่น ๆ เมื่อนำไปจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานจางหายไปอย่างรวดเร็ว มองเห็นสีที่เปลี่ยนไปได้อย่างชัดเจน ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 95:5 ชิ้นงานนี้มีสีฟ้าอ่อนเหมือนสัดส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 แต่เข้มกว่า เมื่อนำไปจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานจางหายไปอย่างรวดเร็ว มองเห็นสีที่เปลี่ยนไปได้อย่างชัดชัดเจน ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 90:10 ชิ้นงานมีสีน้ำเงินเมื่อนำไปจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สีของชิ้นงานจางหายไปอย่างรวดเร็ว มองเห็นสีที่เปลี่ยนไปได้อย่างชัดเจน จากการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนสีของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมเทอร์โมโครมิกส์จริง โดยในทุก ๆ อัตราส่วนสีของชิ้นงานที่จางหายไปอย่างรวดเร็ว และสามารถมองเห็นสีที่เปลี่ยนไปได้อย่างชัดชัดเจน

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนสีที่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเรียงอัตราส่วน**พอลิเอทิลีนความ**หนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ดังนี้ 97:3 95:5 และ 90:10

4.2.3 เวลาในการเปลี่ยนสี

จากตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนสี และการเปลี่ยนกลับแต่ละสูตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเห็นว่าที่ส่วนผสมต่าง ๆ นั้นระยะเวลาการเปลี่ยนสีในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนสีในทันที เนื่องจากในการการทดลองเราใช้เทอร์โมโครมิกส์ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนสีเหมือนกัน แม้จะใช้ในอัตราส่วนที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนสี และการการเปลี่ยนกลับแต่ละสูตรที่อุณหภูมิต่างๆ

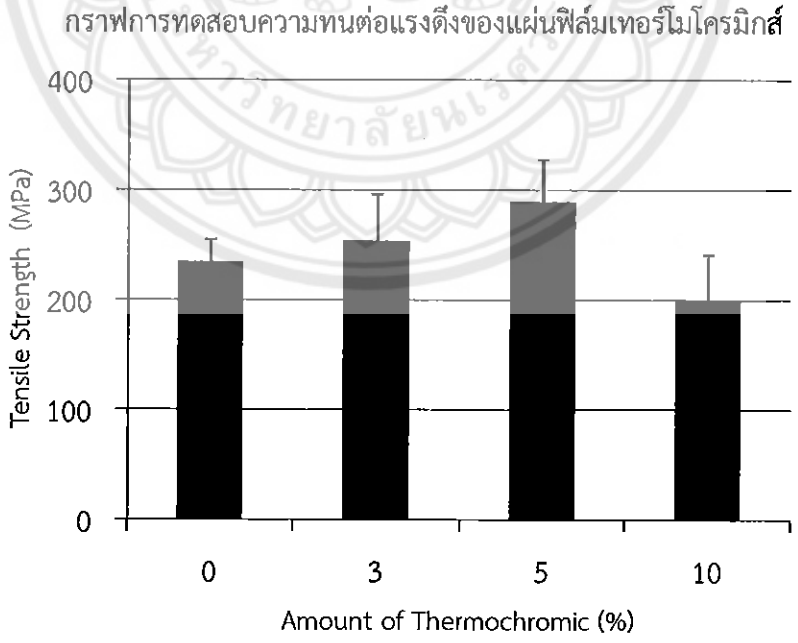
สูตร LPDE:Leuco Dye	น้ำเย็น องศาเซลเซียส 10	น้ำร้อน องศาเซลเซียส 50
97 : 3	1 วินาที	1 วินาที
95 : 5	1 วินาที	1 วินาที
90 : 10	1 วินาที	1 วินาที

4.3 การทดสอบสมบัติแรงดึง

4.3.1 การทนแรงดึง

จากรูปที่ 4.4 การผสมพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 100:0 97:3 95:5 และ 90:10 โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำที่เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายมีค่าความแข็งแรงดึงทีมากกว่า พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์เนื่องจากเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่เติมลงไปผสมกับพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำทำให้คุณสมบัติความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำที่เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายมีค่ารับแรงดึงที่มากกว่าพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอที ลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดาย พบว่าเมื่อปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่ 5 กรัม มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดเนื่องจากสารเทอร์โมโครมิกส์ที่เติมลงไปจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเอทิลีนและมีกระจายตัวสม่ำเสมอ ในขณะที่ ปริมาณเทอร์โมโครมิคประเภทผงลูโคดาย 10 กรัมทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจาก ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่เพิ่มมากขึ้นจนเกินไปทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง

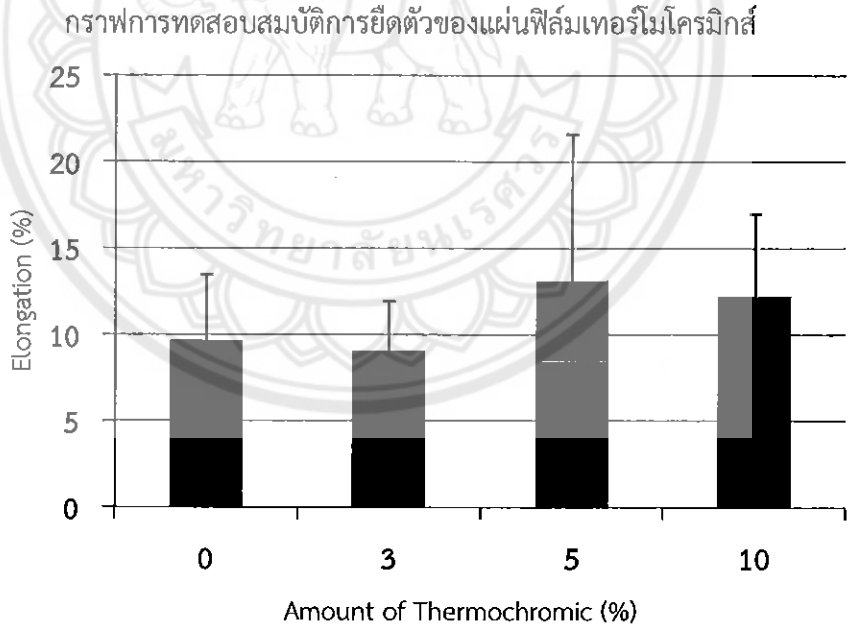


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงที่ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ต่าง ๆ

4.3.1 การยืดตัว ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.5 การผสมพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่อัตราส่วนนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 100:0 97:3 95:5 และ 90:10 เมื่อเพิ่มเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดาย ขึ้นพบว่า มีผลทำให้ค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบที่ลดลง เนื่องจากเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่เติมลงไปผสมกับพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำ ทำให้คุณสมบัติความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำที่เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายมีค่าการยืดตัวที่มากกว่าพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์

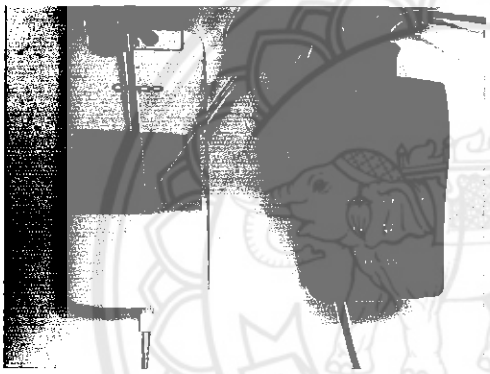
จากความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติร้อยละการดึง ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดาย พบว่าปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายตั้งแต่ 5, 10 กรัม ส่งผลเล็กน้อยต่อค่าการยืดตัวได้ดีที่สุด โดยส่งผลให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการยืดตัวที่ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ต่าง ๆ

4.4 การทดสอบกับโทรศัพท์จริง

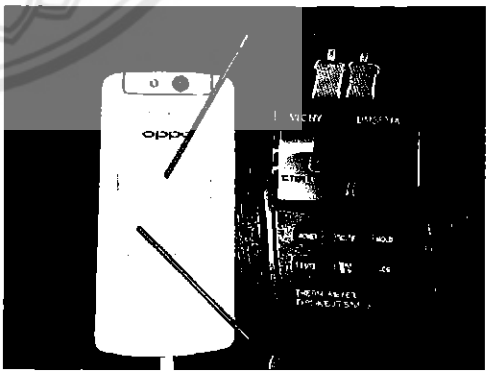
จากรูปที่ 4.6 4.7 4.8 และ 4.9 เป็นการนำฟิล์มพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่อัตราส่วนต่าง ๆ มาทดสอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิของโทรศัพท์สูงขึ้นขณะชาร์จโทรศัพท์ ซึ่งวัดอุณหภูมิของโทรศัพท์ ณ ขณะนั้นได้ประมาณ 42 ถึง 45 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า สีของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีขาวขุ่นอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออุณหภูมิของโทรศัพท์เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิเอทีลีน ความหนาแน่นต่ำที่ผสมกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายนั้นสามารถนำไปใช้ในการแจ้งเตือนการใช้งานโทรศัพท์มือถือหรือการแจ้งเตือนความร้อนในเครื่องจักร ในขณะที่มีความร้อนเกิดขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากโทรศัพท์มือถือ หรือเครื่องจักรมีอุณหภูมิถึงขีดจำกัดได้จริง



รูปที่ 4.6 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มในขณะที่อุณหภูมิ 33.8 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.7 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 97:3 ในขณะที่อุณหภูมิ 45.1 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.8 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 95:5 ในขณะที่อุณหภูมิ 42.7 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 การทดสอบติดโทรศัพท์ของฟิล์มที่อัตราส่วน 90:10 ในขณะที่อุณหภูมิ 42.4 องศาเซลเซียส

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการนำเม็ดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมาผสมกับผงเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดาย โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 3 สูตร คือ 97:3 95:5 และ 90:10 แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยผงเทอร์โมโครมิกส์ จากนั้นจึงนำไปทดสอบระยะเวลาการเปลี่ยนสีและสมบัติแรงดึง

5.1.1 จากการผสม และขึ้นรูปพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายนั้น อัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 95:5 และอัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 มีการกระจายตัวได้ดี ผสมเข้ากันได้ดี กระบวนการผสมง่าย ขนาดเส้นคงที่ไม่ขรุขระ สีมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ส่วนอัตราส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำต่อเทอร์โมโครมิกส์ 90:10 มีการกระจายตัวได้ไม่ดีนัก ต้องทำการผสม 2 รอบ กระบวนการผสมยาก ขนาดเส้นไม่คงที่ ขรุขระ สีของชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการผสมรอบเดียว มีการจระจายตัวของเม็ดสีเป็นจุด ๆ อย่างชัดเจน สีของชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการผสม 2 รอบ มีการจระจายตัวดี สีมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

5.1.2 ถ้าเพิ่มปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทลูโคดายในอัตราส่วนต่าง ๆ จะทำให้สีในชิ้นงานมีความเข้มมากขึ้น โดยที่ความเข้มสีที่อัตราส่วน 90:10 จะมีสีเข้มมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 95:5 และอัตราส่วน 97:3 ที่มีความเข้มสีน้อยที่สุด ระยะเวลาการเปลี่ยนสีในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนสีในทันที

5.1.3 ค่าความแข็งแรงดึงเมื่อปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่ 5 กรัม มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดเนื่องจากมีกระจายตัวสม่ำเสมอ ในขณะที่ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดาย 10 กรัมทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจาก ปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายที่เพิ่มมากขึ้นจนเกินไปทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง

ค่าการยืดตัวเมื่อปริมาณเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายตั้งแต่ 5, 10 กรัม ส่งผลเล็กน้อยต่อค่าการยืดตัว โดยส่งผลให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำกับเทอร์โมโครมิกส์ประเภทผงลูโคดายมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองเราใช้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมาผสมกับผงเทอร์โมโครมิกส์ แต่เนื่องจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำนั้นมีความขุ่นมาก ส่งผลให้ชิ้นงานมีความขุ่นมัว จึงควรใช้พอลิเมอร์ที่มีความใสมากกว่านี้ เพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Chris Woodford. (2014). **Thermochromic Color-Changing Materials.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html

[2] (2558). **Thermochromic Material Contents.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.colorchange.com.tw/index.php/en/thermochromic-material.html#

[3] (2558). **Insight into the evaluation of colour changes of leuco dye based thermochromic systems as a function of temperature.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143720815001448?

[4] Arno Seeboth. (2013). **Thermochromic and Thermotropic Materials.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก. books.google.co.th/books?id=ct7MBQAAQBAJ&pg=PA68&lpg=PA68&dq=crystal+violet+lactone+%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD&source=bl&ots=YpUel2WodL&sig=Tu2mo3GC7rkUW5a6MwgrLAeboZc&hl=en&sa=X&ved=0CEgQ6AEwB2oVChMIn_69naj5xwIVzsKOCh2MZQDq#v=onepage&q&f=false

[5] (2554). **Thermochromic Pigment.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.hali-pigment.com/html_products/Thermochromic-pigment-21.html#image_4

[6] (2555). **พลาสติกชนิด LDPE.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.neutron.rmutphysics.com/chemistryglossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1289&Itemid=85

[7] (2554). **วิธีการเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.kyoto-packaging.com/index.php?mo=3&art=657371

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

[11] มักตาร์ แวหะยี และ ชยุต นันทดุสิต. (2552). เทคนิคการวัดการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้แผ่นเทอร์โมโครมิคลิควิดคริสตอล. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.tsme.org/ME_NETT/ME_NETT23/topic/file/TSF-028059.pdf

[12] พงษธร คำบัว. (2556). การสังเคราะห์ไทเทเนียม-วาเนเดียมไดออกไซด์เจือทังสเตนที่มีสมบัติของเทอร์โมโครมิกส์. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2558, จาก http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9871/1/394869.pdf

[13] V. Costanzo. (2015). Solar Energy Materials and Solar Cells. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092702481600012X

[14] (2550). Civil Engineering Portal of Lectures & Training Material. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.aboutcivil.org/tension-test-tensile-strength-test.html

[15] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. (2550). การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656%20-Chapter%206%20Polymer%20testing1.pdf

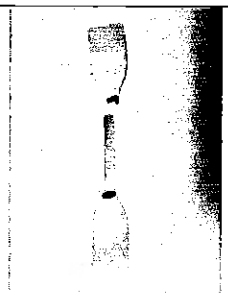
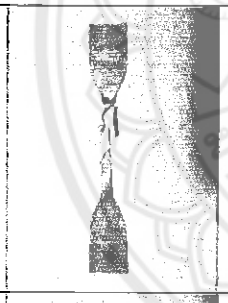
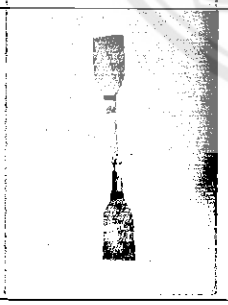
ภาคผนวก ก

ชิ้นงานฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์ ที่นำมาทดสอบสมบัติเชิงกล โดย เครื่องทดสอบแรงดึง

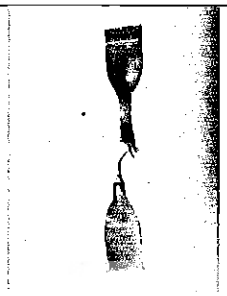
ตารางที่ ก.1 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 100:0 ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ชิ้นที่	รูปภาพ	Tensile strength at break(MPa)	Strain at break	Elongation at break (%)	Machine Extension (mm)
1		262.18	3.55	8.89	37.68
2		229.16	4.00	10	64.25
3		233.58	5.80	14.51	25.16
4		214.96	2.13	5.35	17.45

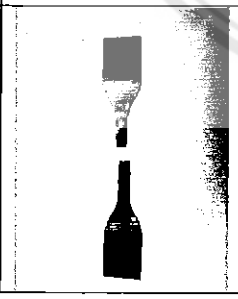
ตารางที่ ก.2 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 97:3 ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ชิ้นที่	รูปภาพ	Tensile strength at break(MPa)	Strain at break	Elongation at break (%)	Machine Extension (mm)
1		255.60	5.03	12.58	18.04
2		208.24	4.08	10.20	17.20
3		242.24	2.66	6.65	17.85
4		310.03	2.74	6.86	19.28

ตารางที่ ก.3 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 95:5 ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ชิ้นที่	รูปภาพ	Tensile strength at break(MPa)	Strain at break	Elongation at break (%)	Machine Extension (mm)
1		263.28	4.23	10.59	16.74
2		265.86	9.58	23.95	20.48
3		284.76	5.73	14.34	14.31
4		345.58	1.40	3.52	15.96

ตารางที่ ก.4 ฟิล์มเทอร์โมโครมิกส์สัดส่วนพอลิเอทิลีนต่อผงเทอร์โมโครมิกส์ 90:10 ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ชิ้นที่	รูปภาพ	Tensile strength at break(MPa)	Strain at break	Elongation at break (%)	Machine Extension (mm)
1		185.23	4.15	10.38	6.19
2		206.28	2.66	6.66	6.55
3		158.40	7.14	17.86	8.01
4		254.04	5.57	13.93	6.23

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายกฤษณ์ขจร ผลภาค

ภูมิลำเนา 252/10 หมู่ 1 ต.บึงพระ อ.เมือง
จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: super_tiw@hotmail.com

ชื่อ นายจิรวัฒน์ จงเจตน์สุข

ภูมิลำเนา 4 หมู่ 8 ต.ชัยนาม อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจ่านกร้อง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: jirawat20571@hotmail.com

ชื่อ นายฐากูร นิลค่าเมือง

ภูมิลำเนา 119/93 หมู่ 3 ต.อรัญญิก อ.เมือง
จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Flook2009@windowlive.com