

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาถึงผลของปริมาณพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ
ใน อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มท.
๗๖๕ ก

ปีการศึกษา 2538

เลขหมู่.....๒๖๒๐

เลขทะเบียน...๒๖๒๐๓

วัน, เดือน, ปี 16 มี.ค. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Effect of water absorbant polymer (SGP)
in EVA PVC and natural rubber**



**Miss Siriluk Kukkanopad
Miss Saowanee Jarusruangchai**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology ladkrabang
1995**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาถึงผลของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ (SGP) ในโพลีวีเอ พีวีซี
และยางธรรมชาติ

โดย นางสาวสิริลักษณ์ คัคโนภาส

นางสาวเสาวนีย์ จรัสเรืองชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต



(ผศ.ดร. เพชญ์ชัย ไชยสิทธิ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ผศ.ดร. เพชญ์ชัย ไชยสิทธิ์)

ประธานกรรมการ



(อ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย)

กรรมการ



(ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

กรรมการ

ลิขิตร์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ	1
1.2 พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผสม	1
1.3 โครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุประกอบ	4
2.2 พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ	7
2.3 โฟมพลาสติก	8
2.4 อีวีเอ	9
2.5 ส่วนผสมอื่นๆ ในการผลิตโฟมอีวีเอ	11
2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์	14
2.7 สารอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซี	15
2.8 ยางธรรมชาติ	17
2.9 การตรวจสอบคุณภาพยาง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย	
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3	การผสมสูตร	27
3.4	การทำให้ชิ้นงานคงรูป	29
3.5	การทดสอบสมบัติการผสมของยาง	30
3.6	การทดสอบสมบัติหลังขึ้นรูปเป็นชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	31
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อลักษณะทางกายภาพ ของพอลิเมอร์ผสม	33
4.2	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อการดูดซึมน้ำ ของพอลิเมอร์ผสม	39
4.3	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงาน ของพอลิเมอร์ผสม	47
4.4	การศึกษาผลของปริมาณ SGP และระยะเวลาในการแช่น้ำ ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ ของ SGP ที่หลุดจากชิ้นงาน	50
4.5	การศึกษาผลของปริมาณ SGP และระยะเวลาในการแช่น้ำ ที่มีผลต่อความแข็ง ของพอลิเมอร์ผสม	52
4.6	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสม ก่อนการแช่น้ำ	54
4.7	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อความหนาแน่นของชิ้นงาน ก่อนการแช่น้ำ	59
4.8	การศึกษาผลของปริมาณ SGP และการเติมสารตัวเร่ง ต่อค่าความหนืดของยาง	61
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำ ของพอลิเมอร์ผสม	62
5.2	การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสม	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.3 เปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงาน ระหว่างพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	65
5.4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
ภาคผนวก	67
เอกสารอ้างอิง	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาถึงผลของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ (SGP) ในโพลิเอทิลีน พีวีซี และยางธรรมชาติ
นักศึกษา	นางสาวสิริลักษณ์ คัค โนภาส นางสาวเสาวนีย์ จรัสเรืองชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2538

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ (SGP) กับเอทิลีน ไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และยางธรรมชาติ โดยคาดหวังว่า จะได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ และเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยการศึกษา จะทำการผสมพอลิเมอร์แต่ละชนิดในปริมาณคงที่ 100 กรัม กับ SGP ในปริมาณ 100-300 กรัม ด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เมื่อนำชิ้นงานไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้ว จึงนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลและค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้ (1) เมื่อปริมาณ SGP เพิ่มมากขึ้น (จาก 100 % เป็น 300 %) จะทำให้พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ มีความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 283.96 % , 1164.2 % และ 389.69 % ตามลำดับ และเพิ่มการขยายตัว โดยเฉลี่ยเท่ากับ 282.34 % , 755.77 % และ 250 % ตามลำดับ (2) สามารถใช้ SGP เสริมแรงให้กับอีวีเอ และเพิ่ม % การยืด ณ จุดขาด ให้กับยางธรรมชาติได้ (3) เมื่อปริมาณ SGP มากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดต่ำลง (4) เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำของพอลิเมอร์ผสมนานขึ้น จาก 1 วันเป็น 7 วัน พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เท่ากับ 67.19 % กรณีของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ และเท่ากับ 33.84 % กรณีของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Effect of water absorbant polymer (SGP) in EVA, PVC and natural rubber.

Name Miss Siriluk Kukkanopad
Miss Saowanee Jarusruangchai

Special Project Advisor Asst. Prof. Nipon Wongwisetsirikul

Department Chemistry

Acedimic Year 1995

Abstract

This special project is the study about property of mixtures of ethylene vinyl acetate copolymer (EVA), polyvinyl chloride (PVC) and natural rubber (NR) with water absorbent polymer (SGP). The mixtures have constant amount of each plastic (100 grams) and varied amount of SGP (100-300 grams) were mixed by two-rolls mill . After compressed to form sample sheet , the composite material was tested mechanical properties and water absorption properties .

From the research work , the conclusions are (1) both expansion ability and water absorbency of composites are dependent on the quantity of SGP. When SGP increase from 100 to 300 % , the water absorbency of EVA-composites,PVC-composites and NR-composites were increased 283.96 % , 1164.2 % and 389.69 % , respectively. The expansion ability of EVA-composites, PVC-composites and NR-composites were increased 282.34 % , 755.77 % and 250 % , respectively. (2) SGP could be used to reinforce in EVA and to improve % elongation at break in NR.. (3) The more the quantity of SGP in polymer , the lower the hardness and strength of polymer composites. (4) The longer the times of soaking polymer composites , the greater the water absorbency. Example , when the times increase from 1 to 7 days the water absorbency of EVA-composites were increased 67.19 % and PVC-composites were increased 33.84 %.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการดำเนินงาน และตรวจสอบแก้ไข โครงการพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาตรวจสอบ และแก้ไข โครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ บริษัท แกรนด์สยาม ฟุตแวร์ จำกัด โดยเฉพาะแผนกคั้นคว่ำและวิจัยที่ให้ ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมี และคำแนะนำต่างๆ

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ทั้งทางด้านโครงการพิเศษ และสนับสนุนให้กำลังใจ จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ ทางคณะ ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวสิริลักษณ์ คัดโนภาส

นางสาวเสาวนีย์ จรัสเรืองชัย

มีนาคม 2539

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 4.1	แสดงอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	34
ตารางที่ 4.2	แสดงอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	36
ตารางที่ 4.3	แสดงอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	38
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	40
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	41
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	42
ตารางที่ 4.7	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	43
ตารางที่ 4.8	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	45
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	46
ตารางที่ 4.10	แสดงผลปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	48
ตารางที่ 4.11	แสดงผลค่าการดูดซึมน้ำของ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	51
ตารางที่ 4.12	แสดงค่าความแข็ง shore A ของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	52
ตารางที่ 4.13	ความแข็ง (shore A) ของชิ้นงาน เมื่อเปรียบเทียบในลักษณะต่างๆ	54
ตารางที่ 4.14	แสดงผลที่ได้จาก การทดสอบสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	55
ตารางที่ 4.15	เปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	59
ตารางที่ 4.16	แสดงผลความหนาแน่น ก่อนและหลังการผสม SGP ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	60
ตารางที่ 4.17	แสดงความหนืด ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	61
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของเซลโฟม	8
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้าง ของอีวีเอ	10
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้าง ของพีวีซี	14
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้าง ของยางธรรมชาติ	17
รูปที่ 3.1 แสดงกราฟระหว่าง แรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง Curelastometer	31
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	34
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	36
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัว ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	38
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	40
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	41
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	43
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	44
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	45
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	46
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	49
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	49
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	49
รูปที่ 4.13 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	53
รูปที่ 4.14 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี	53
รูปที่ 4.15 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ	53
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงสูงสุด (kgf) กับปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้นสูงสุด (kgf/mm^2) กับ ปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	57
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างการยืด ณ จุดขาด (%) กับ ปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ	58
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่น (ก./มล.) ของพอลิเมอร์ผสม กับปริมาณ SGP	60



คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ

SGP	:	Starch Grafted copolymer acrylic acid-acrylamide , พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ
EVA	:	Ethylene vinyl acetate copolymer
PVC	:	Polyvinyl chloride
NR	:	Natural rubber
phr.	:	part per hundred
T_g	:	Glass transition temperature
kgf	:	kilograms force
kgf/mm^2	:	kilograms force per milimetre square
°ซ	:	องศาเซลเซียส
ก.	:	กรัม
มล.	:	มิลลิลิตร
มม.	:	มิลลิเมตร
ซม.	:	เซนติเมตร
บ.	:	บริษัท
%	:	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในการพัฒนาสมบัติวัสดุ เพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะตามความต้องการของงานนั้น จำเป็นต้องสร้างและพัฒนาวัสดุใหม่ๆขึ้น การศึกษาทางด้าน พอลิเมอร์ผสม หรือ Polymer Blend ก็จัดเป็นวิธีหนึ่งที่น่าิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติที่ขาดหายไปของพอลิเมอร์ เช่น การทนความร้อน การติดไฟ การทนแรงกระแทก รวมไปถึงเพื่อให้ง่ายในการผลิตขึ้นรูป เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทั้งยังสามารถขยายประเภทของสินค้าได้อีกด้วย

1.1 พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำ

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ เพื่อประโยชน์ดังนี้ [1]

- (1) เป็นสารช่วยกำจัดน้ำ (dehydrating agent) ในการกลั่นแยกน้ำออกจากเอทานอล
- (2) ใช้ในการดับไฟป่า
- (3) ใช้ในการเพาะเนื้อเยื่อ
- (4) ใช้ในการดูดซับของเหลวจากร่างกาย
- (5) ในทางเกษตรกรรม เช่น การหุ้มเมล็ด ช้ายกกล้า ปรับแต่งสภาพดิน เป็นต้น

แม้ว่าพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำจะสามารถประยุกต์ใช้ในงานหลายด้าน แต่พบว่าคุณสมบัติที่ยากในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ ยังเป็นข้อจำกัดในการนำพอลิเมอร์ชนิดนี้ไปใช้งาน

ดังนั้น โครงการพิเศษนี้จึงใช้เทคนิคการผสมพอลิเมอร์ ในการพัฒนาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมด้วย ให้มีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

1.2 พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผสม

เพื่อให้พอลิเมอร์ 2 ชนิด เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในการพิจารณาเลือกชนิดของพอลิเมอร์ ที่จะนำมาผสมจึงควรคำนึงถึง [2]

- (1) ความมีขั้ว
- (2) น้ำหนักโมเลกุล
- (3) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน หรือมีแรงดึงดูดระหว่างกันได้
- (4) พลังงานอิสระในการผสม (Free Energy of Mixing)

โครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้ พอลิเมอร์ในการผสมกับพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ ดังนี้

- (1) Ethylene vinyl acetate copolymer (EVA)
- (2) Polyvinyl chloride (PVC)
- (3) ขางธรรมชาติ

1.3 โครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ (SGP) กับ อีวีเอ พีวีซี และขางธรรมชาติ โดยคาดหวังว่า อาจนำพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในงานเกษตรกรรม เช่น ขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกสำหรับปูในแหล่งน้ำ [3] เป็นต้น

1.3.1 วัตถุประสงค์

- (1) ปรับปรุงสมบัติของ SGP ให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้
- (2) ปรับปรุงสมบัติของ อีวีเอ พีวีซี และขางธรรมชาติให้สามารถดูดซึมน้ำได้
- (3) ศึกษาสมบัติเชิงกล ความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสม เมื่อใช้ปริมาณ SGP ต่าง ๆ กัน

1.3.2 ขอบเขตการศึกษา

- (1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ชนิดของพอลิเมอร์ที่ทำการผสม ปริมาณ SGP ที่ใช้ และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำ
- (2) ศึกษาสมบัติเชิงกล เช่น แรงที่ใช้ในการดึง ความเค้น ความแข็ง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม ก่อนการดูดซึมน้ำ
- (3) การหาคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น ค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorbency) เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมภายหลังการดูดซึมน้ำ ความแข็ง (hardness) ก่อน และหลังการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสม และเปรียบเทียบความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม ก่อนและหลังการดูดซึมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8.8 วิธีการดำเนินงานโดยย่อ

ส่วนที่ 1 ทำการผสม SGP กับอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง และทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SGP ที่ใช้ตั้งแต่ 100-300%

ส่วนที่ 2 ทำการทดสอบสมบัติ ดังนี้

- (1) นำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดไปทดสอบความแข็งแรงดึง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง
- (2) นำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดไปทดสอบค่าการดูดซึมน้ำในระยะเวลา 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน
- (3) นำชิ้นงานก่อนและหลังการแช่น้ำ ไปทดสอบความแข็ง shore A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุประกอบ

วัสดุประกอบที่ผลิตจากพอลิเมอร์ผสม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก พอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ในด้านต่างๆ สมบัติที่นิยมปรับปรุงโดยการทำเป็นพอลิเมอร์ผสมได้แก่ [2] , [4]

- ความแข็งแรง (strength)
- ความแข็งหักงอ (stiffness)
- ความเหนียว (ductility)
- การต้านทานการผุกร่อน (corrosion resistance)
- น้ำหนัก (weight)
- การเป็นฉนวนต่อความร้อน (thermal insulation)
- การนำความร้อน (thermal conductivity)
- จำนวนรอบที่กระทำต่อวัสดุทำให้เกิดการแตกหัก (fatigue life)
- ความง่ายในการผลิต (processability)
- ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance)
- ความสามารถสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradability)
- ราคา (price)

วัสดุประกอบสามารถแบ่งตามชนิด ได้ดังนี้ [4]

(1) วัสดุประกอบเส้นใย (Fibrous composites) คือ พอลิเมอร์ผสมที่มีโครงสร้างในลักษณะเส้นใยเป็นส่วนใหญ่

(2) วัสดุประกอบเคลือบบาง (Laminated composites) คือ พอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิเมอร์หลายชนิดซ้อนกันเป็นชั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) วัสดุประกอบอนุภาค (particulate composites) คือ พอลิเมอร์ผสมที่ประกอบขึ้นจากอนุภาคของพอลิเมอร์ผสมในเมทริกซ์เดียวกัน โดยอนุภาคเหล่านั้นสามารถเป็นได้ทั้งสารโลหะและ อโลหะ

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของวัสดุประกอบ คือ

(1) Homogeneous โดยพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเฉพาะ ไม่ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ตั้งต้นที่นำมาผสม

(2) Heterogeneous หรือ Inhomogeneous โดยพอลิเมอร์ผสมจะไม่มีสมบัติเฉพาะตัว จะมีสมบัติเหมือน หรือคล้ายกับพอลิเมอร์ตั้งต้นที่นำมาผสม

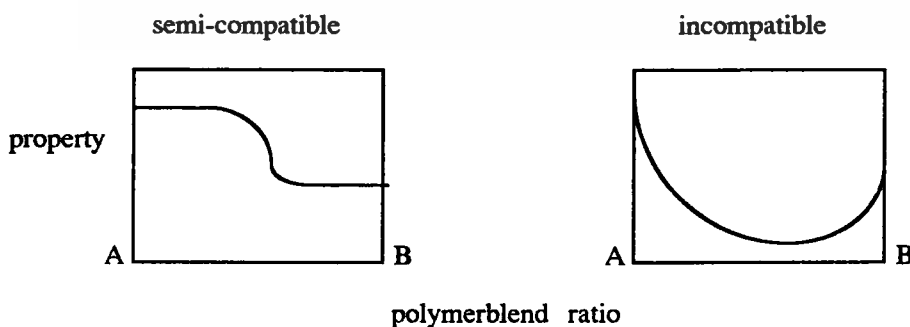
(3) Isotropic คือ พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมือนกันไม่ว่าจะพิจารณาในด้านใด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สมบัติของพอลิเมอร์ผสม ไม่ขึ้นกับทิศทางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ (orientation)

(4) Orthotropic หรือ nonisotropic หรือ anisotropic คือ พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติแตกต่างกันใน 3 ทิศทาง หรือ คือพอลิเมอร์ผสมที่สมบัติขึ้นกับทิศทางของการจัดเรียงตัวของสายโซ่

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิด ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่

(1) พลังงานอิสระในการผสม (Free Energy of Mixing) มีค่าเป็นบวกทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟ จะได้กราฟในลักษณะรูปตัวเอส กรณีการผสมเกิดขึ้นเล็กน้อย และกราฟรูปตัวยู กรณีไม่เกิดการผสมกัน แสดงลักษณะกราฟทั้งสองในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างความมีขั้ว และพันธะไฮโดรเจน เกิดขึ้นทั่วทั้งโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ หรือ เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น

(3) ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไป

(4) ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนพอลิเมอร์ที่ใช้ (ดังรูปที่ 2.1) สมบัติที่ทดสอบ จะต้องได้จากแต่ละเฟสที่แยกจากกัน ซึ่งในบางครั้งพอลิเมอร์ผสมที่ได้มิได้แยกเฟสอย่างชัดเจน

(5) พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน อาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ (Crystallization) เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ได้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ

(Starch Graft copolymer acrylic-acid acrylamide , SGP) [1,5]

ในโครงการพิเศษนี้จะใช้ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับกรดอะคริลิก และ อะคริลาไมด์มอนอเมอร์ โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา

2.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม แบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

สามารถสังเคราะห์ได้โดยให้แป้งทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบต่อ (Graft copolymerization) กับมอนอเมอร์ไวโนลที่มีสมบัติสามารถต่อพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ เช่นกรดอะคริลิก และ อะคริลาไมด์ โดยทำให้โมเลกุลของแป้งเกิดเป็นอนุภาคลิอิสระด้วยตัวริเริ่มโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

2.2.2 หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่เอไมด์ (-CO-NH₂) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างหลัก

2.2.3 สมบัติของ SGP

มีค่าการดูดซึมน้ำในช่วง ตั้งแต่ 100 - 450 %

มีปริมาณองค์ประกอบของน้ำในพอลิเมอร์ร่วม ประมาณ 25-35 %

มีปริมาณไฮโดรพอลิเมอร์ ประมาณ 0-25 %

มีค่า T_g ประมาณ 80 °ซ

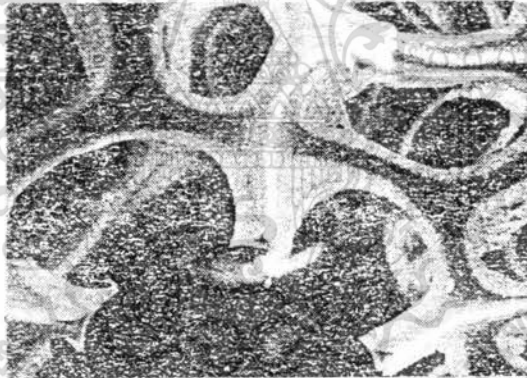
2.3 โฟมพลาสติก [6],[7]

โฟมเกิดได้จาก การที่ฟองก๊าซแพร่กระจายในสารที่เป็นของแข็งหรือของเหลว โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดโฟม ได้แก่

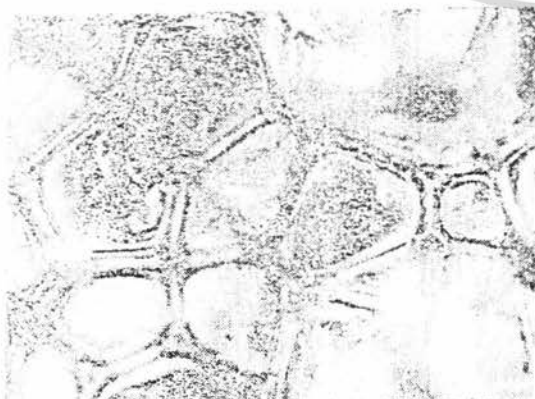
- (1) ปฏิกิริยาในกระบวนการก่อให้เกิดฟองก๊าซ
- (2) มีการใส่ก๊าซเข้าไปในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน
- (3) เกิดจากการไหลตัว อย่างช้า ๆ ของสารตัวเดิม

ขณะที่โฟมผ่านการให้ความร้อนและขึ้นรูป จะมีสมบัติแข็งหรือยืดหยุ่น (rigid or flexible) ขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาทำเป็นโฟมนั้นๆ ส่วนโฟมจะมีลักษณะเป็นแบบเซลเปิด เซลปิด หรือแบบร่างแห (แสดงภาพในรูปที่ 2.2) จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิต

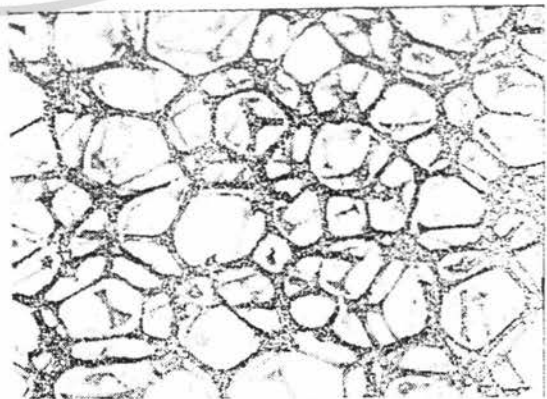
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของเซลโฟม (1) แบบเซลเปิด (2) แบบเซลปิด (3) แบบร่างแห



(1)



(2)



(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแบ่งชนิดของโฟมตามการแพร่กระจายของฟองก๊าซได้ ดังนี้

(1) โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low-density foams)

เกิดจากมีฟองก๊าซจำนวนมากแพร่กระจายในพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณเล็กน้อย คือ มีปริมาณฟองก๊าซมากกว่า 9 ส่วน ในแต่ละเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ ซึ่งโฟมชนิดนี้จะมี ความหนาแน่นต่ำกว่า 0.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 6 ปอนด์ต่อตารางฟุต

(2) โฟมที่มีความหนาแน่นปานกลาง (Medium-density foams)

คือโฟมที่มีปริมาณฟองก๊าซต่อเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ระหว่าง 9:1 ถึง 15:1 หรือมี ความหนาแน่น ระหว่าง 0.1-0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

(3) โฟมที่มีความหนาแน่นสูง (High-density foams)

คือโฟมที่มีปริมาณฟองก๊าซน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณพอลิเมอร์ โดยจะมีปริมาณ ฟองก๊าซน้อยกว่า 1.5 ส่วนในแต่ละปริมาตรของพอลิเมอร์ หรือมีความหนาแน่นตั้งแต่ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นไป

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของโฟม กับ พอลิเมอร์ผสม พบว่า สามารถจัดโฟมเป็นวัสดุประกอบได้ โดยในกรณีนี้สารตัวเติม (filler) คือ ฟองก๊าซที่มีน้ำหนักน้อยมาก ไม่มีความแข็งแรงดึงหรือโมดูลัส โดยสมบัติของวัสดุประกอบ หรือ โฟมที่ได้จะขึ้นกับสัดส่วนปริมาตร ขนาด และความสามารถในการกระจายของฟองก๊าซ

กระบวนการผลิตโฟมเทอร์โมพลาสติก แบ่งเป็น

(1) Condensation โดยชั้นก๊าซเกิดจาก การรวมตัวเป็นฟองก๊าซของโมเลกุลที่แยก กระจายตัวออกไปจากเมตริกซ์ โดยฟองก๊าซหรือเซลล์โฟมจะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการเติมสารให้ฟอง (blowing agent)

(2) Dispersion คือการฉีดหรือใส่ก๊าซ ผ่านคาพิลลารี (capillary) เข้าไปในของเหลว หรือ ของแข็งที่หลอมแล้ว เพื่อก่อให้เกิดฟองก๊าซในเมตริกซ์

2.4 อีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymers)

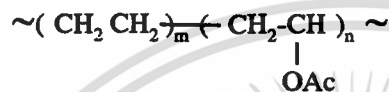
อีวีเอเป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มโพลีโอลิฟิน เนื่องจากเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีน กับไวนิลอะซิเตท มีเอทิลีนเป็นเนื้อหลักประมาณ 75-90% และไวนิลอะซิเตทเป็นตัวเสริมแต่ง ให้เกิดความยืดหยุ่นโดยลดการเกิดผลึก (crystallinity) พบว่า ถ้ามีปริมาณเอทิลีนมากกว่า 75 % จะทำให้ได้โคพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีวีเอเกิดจากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ภายใต้ความดันสูงของเอทิลีน และ ไวนิลอะซีเตท โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้จะต่ำกว่ากรณีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีน ตัวเดียว สารก่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่นิยมใช้คือ azo-bis-isobutyronitrile, organic peroxides และ persulphates

2.4.1 โครงสร้างของอีวีเอ

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของอีวีเอ



2.4.2 สมบัติของอีวีเอ [8,9,10]

- (1) เป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น
- (2) มีค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ประมาณ 0.926 - 0.95
- (3) สามารถละลายได้ในสารอะโรมาติก (aromatic) และ คลอริเนตไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbons) ที่อุณหภูมิสูง
- (4) จุดเปราะ (brittle point) อยู่ ณ อุณหภูมิต่ำกว่า -70°C จุดอ่อนตัว (softening point) อยู่ระหว่าง $60-80^{\circ}\text{C}$
- (5) มีค่า dielectric strength เท่ากับ 21 kV/mm.
มีค่า dielectric constant ณ 1 MHz เท่ากับ 2.8
มีค่า power factor ณ 1 MHz เท่ากับ 0.03 ถึง 0.04
- (6) สมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่
melt flow index เท่ากับ 1.3 - 4 (g/10 sec)
hardness (IRHD) เท่ากับ 90 - 95
tensile Strength เท่ากับ 1.3 - 2.0 kgf/mm²
extension at break เท่ากับ 500 - 700 %
- (7) มีค่า T_g ตั้งแต่ 20°C (ของไฮโมพอลิเมอร์) จนถึง -20°C และมี second transition บริเวณ -125°C
- (8) มีความโค้งงอดี ที่อุณหภูมิต่ำ
- (9) มีความสามารถในการสปริงตัวได้ดี โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์
- (10) ทนต่อสภาพการใช้งาน การชักล้าง และมีอายุการใช้งานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (11) สามารถให้สีได้ง่ายและสวยงาม
- (12) ขึ้นรูปได้ง่าย
- (13) มีความยืดหยุ่น และโค้งงอได้ดี โดยไม่ต้องใช้พลาสติกไซเซอร์

2.4.3 การประยุกต์ใช้

- (1) อีวีเอ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดอ่อนตัว (softening point) ต่ำ มักใช้เป็น wax additives ในงานการเคลือบกระดาษ นอกจากนั้นยังใช้เป็นสารยึดติด และพลาสติกไซเซอร์
- (2) อีวีเอ ที่มีคุณสมบัติคล้ายยาง มักใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
- (3) โฟมอีวีเอ ใช้ในงานการผลิตรองเท้า เบาะรองนั่ง

2.5 ส่วนผสมอื่น ๆ ในการผลิตโฟมอีวีเอ

2.5.1 สารให้ฟอง (Blowing agent)

ควรมีลักษณะเป็นสารที่ไม่เสถียรเมื่อให้ความร้อน สามารถแบ่งชนิดของสารให้ฟองได้ดังนี้คือ

(1) สารให้ฟองแบบกายภาพ (Physical blowing agent) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นของเหลวและมีจุดเดือดต่ำ เช่น ไฮโดรคาร์บอน คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน ฟลูออรีเนตไฮโดรคาร์บอน โดยจะทำให้เกิดเซลโฟมเมื่อสารดังกล่าวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ โดยสารให้ฟองแบบกายภาพ ควรมีสมบัติ ดังนี้

- (1.1) ไม่มีกลิ่น และไม่พิษ
- (1.2) ไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน
- (1.3) ไม่ติดไฟ
- (1.4) ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพอลิเมอร์
- (1.5) เสถียรต่อความร้อนและเฉื่อยต่อสารเคมีอื่นๆ เมื่ออยู่ในสถานะก๊าซ
- (1.6) มีค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความร้อนในการเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซต่ำ
- (1.7) เมื่ออยู่ในสถานะก๊าซ ควรมีอัตราในการแพร่ผ่านเยื่อของพอลิเมอร์ต่ำ

คือมีค่าน้อยกว่าอากาศ

(2) สารเชิงซ้อนอินทรีย์ของไนโตรเจน (Organic nitrogen compound) จะต้องมีคุณสมบัติเมื่อเก็บรักษา ณ อุณหภูมิปกติและในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ เมื่อนำไปใช้งาน จะต้องสามารถควบคุมการปลดปล่อยก๊าซด้วยอุณหภูมิในการสลายตัว (decomposition temperature) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสารให้ฟองแบบสารเชิงซ้อนอินทรีย์ของไนโตรเจนควรมีสมบัติ ดังนี้

- (2.1) ช่วงอุณหภูมิในการปลดปล่อยก๊าซควรเป็นช่วงสั้น
- (2.2) ควรปลดปล่อยก๊าซ ณ อุณหภูมิที่เฉพาะเจาะจง และปลดปล่อยในอัตราที่เร็ว
- (2.3) ก๊าซที่ได้ไม่ควรมีสมบัติกัดกร่อน
- (2.4) สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้อย่างทั่วถึง
- (2.5) ควรมีความเสถียรขณะเก็บรักษา
- (2.6) ไม่เป็นพิษทั้งก่อนและหลังการให้ฟองแล้ว
- (2.7) ภายหลังการให้ฟองแล้วสารที่เหลือไม่ควรมีกลิ่น หรือมีสี และต้อง ไม่มีผลต่อ

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโฟมที่ได้

- (2.8) ไม่ควรคายความร้อนออกมาขณะสลายตัว
- (2.9) ควรทำงานได้ดีในสภาวะแม่พิมพ์ใดๆ นั่นคือ ความดันไม่ควรมีผลต่ออัตราการ

การสลายตัว

ตัวอย่าง สารให้ฟองแบบสารเชิงซ้อนไนโตรเจน เช่น อะโซบิสฟอร์มามาไมด์ (Azo-bisformamide) หรือ เรียกว่า อะโซไดคาร์บอนาไมด์ (Azo-dicarbonamide, AZ)

มีโครงสร้างดังนี้ $\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{N}=\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$ สามารถสลายตัวในอากาศที่อุณหภูมิ $195 - 200^\circ \text{C}$ มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวในพลาสติกเท่ากับ $160 - 200^\circ \text{C}$ และมีลักษณะภายนอกเป็นผลึกของแข็งสีเหลือง สลายตัวด้วยความร้อนได้ก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และไดแก๊ซแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณเล็กน้อย สามารถติดไฟได้เอง และสารที่เหลือภายหลังการให้ก๊าซจะมีลักษณะเป็นสีขาว ไม่มีกลิ่น

2.5.2 สารช่วยการกระจายตัว (Dispersing agent)

ที่นิยมใช้กันมาก คือ กรดไขมัน (fatty acids) ได้แก่ กรดสเตียริก ใช้เป็นสารช่วยในการผสม ทำให้สารตัวเติมต่างๆ กระจายตัวได้ดี และเป็นสารหล่อลื่น ไม่ให้อิวีเอเหนียวติดลูกกลิ้งขณะผสม

2.5.3 สารเชื่อมโยงโมเลกุล (Curing agent)

ที่นิยมใช้กันมากคือ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปร่างขณะใช้งาน

2.5.4 สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Accelerator)

จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงในโมเลกุลของอีวีเอเร็วขึ้น สารเหล่านี้จะอยู่ในรูปออกไซด์ของโลหะ กรดอินทรีย์หรือเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์สเตียเรต โดยสารดังกล่าวจะเป็นตัวรับความร้อน หรือนำความร้อนให้กับอีวีเอ ช่วยให้สารให้ฟองทำงานได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 สารตัวเติม (Filler)

จะช่วยในการลดต้นทุน หรืออาจเป็นสารเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนต หรือบางครั้งอาจใส่เพื่อปรับปรุงสมบัติโพรโมอิวเอ เช่น ใช้ SGP เพื่อปรับปรุงสมบัติการดูดซึมน้ำของอิวเอ



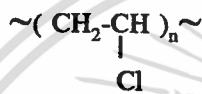
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์ (PolyVinyl Chloride, PVC) [10,11,12]

พีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (vinyl chloride monomer, VCM) โดยสังเคราะห์มอนอเมอร์จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง เอทิลีน (ethylene) กับคลอรีน (chlorine) หลังจากนั้นจึงนำพีวีซีไปผสมกับพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) สารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer) สีและสารอื่น ๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.6.1 โครงสร้างของพีวีซี

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของพีวีซี



2.6.2 สมบัติของพีวีซี

- (1) เป็นเรซิน มีลักษณะผงสีขาว
- (2) สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าดังต่อไปนี้

tensile strength	เท่ากับ	6500 lb/in ²
% elongation at break	เท่ากับ	25
tensile modulus	เท่ากับ	6x10 ⁵ - 12x10 ⁵ lb/in ²
shore hardness	เท่ากับ	D75 - 85
- (3) ค่าความจุความร้อน (heat capacity) ณ 25 °ซ เท่ากับ 0.226 cal/deg/g
- (4) ค่า T_g เท่ากับ 70 - 80 °ซ
- (5) ค่าดัชนีหักเหของแสง ณ 20 °ซ เท่ากับ 1.54
- (6) ต้านทานการกัดกร่อนจาก สารเคมี น้ำมัน และอากาศ
- (7) ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน
- (8) น้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ (1/5 เท่าของเหล็ก หรือ 1/10 เท่าของตะกั่ว)
- (9) นิ่ม และหักงอได้ในกรณีที่ผสมพลาสติกไซเซอร์
- (10) ชะลอการติดไฟและไม่ติดไฟด้วยตัวเอง
- (11) เป็นตัวฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- (12) ทาสีง่ายและพิมพ์สีต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย
- (13) มีความใสและเป็นมันวาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 การประยุกต์ใช้งาน [13]

- (1) ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อใช้ในงานต่างๆ เช่น ทำท่อประปา ท่อน้ำทิ้ง แผ่นฟิล์มใช้ในงานเกษตร
- (2) ทำเป็นโฟมพีวีซี โดยใช้สารตั้งต้น คือ พลาสติโซล (Plastisol) ประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปูพื้น วัสดุปิดผนัง หนังสือพิมพ์ ผลิตภัณฑ์ของเล่น วัสดุรับแรงกระแทก บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น
- (3) ทำเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติกันน้ำ ประยุกต์ใช้เป็นผ้ากรอง ผ้ากันไฟและสารเคมี เสื้อกันฝน แหตถุปลา ผ้าคลุม เป็นต้น
- (4) ทำเป็นแผ่นลามิเนต (laminates layer) โดยการนำพีวีซีไปทำการลามิเนตกับวัสดุอื่นๆ ประยุกต์ใช้เป็น ฉนวนสายไฟฟ้า อุปกรณ์ในตู้เย็น และอุปกรณ์ให้แสง
- (5) ทำเป็นแผ่นพีวีซีใช้ในทางการแพทย์
- (6) ผลิตเป็นหนังสือพิมพ์ใช้ในการผลิตเบาะรถยนต์ หรือใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าในรถยนต์
- (7) นำพีวีซีไปทำเป็นพอลิเมอร์ผสม เพื่อใช้ในการผลิตพื้นรองเท้า
- (8) อื่น ๆ เช่น ขอบเฟอร์นิเจอร์ สารยึดติด กางเกงเด็กอ่อน เป็นต้น

2.7 สารอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซี

2.7.1 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

ได้แก่ ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ หรือของแข็งมวลโมเลกุลต่ำ ทำการเติมพลาสติไซเซอร์ในพีวีซี เพื่อปรับปรุงความสามารถในการแปรรูป และเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ มีผลให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำลง ทำให้ค่า T_g ต่ำลง โมเลกุลอ่อนตัว ยืดหยุ่นและไหลตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้อุณหภูมิในการแปรรูปต่ำลง โดยพลาสติไซเซอร์ที่ดีควรจะเป็นสารที่มีขั้วสามารถเกิดแรงกระทำกับพีวีซีได้ สามารถแบ่งชนิดของพลาสติไซเซอร์ตามมวลโมเลกุล ได้ดังนี้

(1) มอนอเมอริกพลาสติไซเซอร์ มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 500 เป็นสารประเภท เอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ หรือ แอนไฮดราย เช่น phthalic, adipic, benzoic acids เป็นต้น

(2) พอลิเมอริกพลาสติไซเซอร์ มีมวลโมเลกุลระหว่าง 500 - 2,000 มักได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง adipic, azelaic, sebacic กับไดออล เช่น propylene glycol, butylene glycol เป็นต้น

ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้ เช่น di(2-ethylhexyl) phthalate [DOP] , dioctyl adipate [DOA]

2.7.2 สารเสริมเสถียรภาพทางความร้อน (Heat stabilizer)

เนื่องจากเมื่อพีวีซีได้รับความร้อน จะปลดปล่อยก๊าซไฮโดรคลอริก (HCl) และเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างโมเลกุลให้อยู่ในรูป chromophoric conjugated polyene เป็นผลให้พีวีซีเปลี่ยนสี จากขาวเป็นเหลืองจนถึงสีน้ำตาลออกดำ การเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 95 °ซ และจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงและใช้เวลานานขึ้น ชนิดของสารเสริมเสถียรภาพ ได้แก่

(1) สารประกอบตะกั่ว (lead compounds) มักใช้เมื่อต้องการผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เวลาใช้ควรระวังเนื่องจากเป็นสารพิษ ตัวอย่างสารชนิดนี้ ได้แก่ lead sulfate, lead silicate, lead carbonate ปริมาณที่ใช้ คือ 3-8 phr.

(2) สบู่ของโลหะ (metal soaps) จำพวกสารประกอบของเบเรียม แคดเมียม และสังกะสี สารพวกนี้จะเป็นพิษน้อยกว่า และมีราคาถูกกว่าสารประกอบตะกั่ว

(3) สารประกอบอินทรีย์ (auxiliary organic compounds) ตัวอย่างเช่น organic phosphites, polyhydric alcohol, nitrogenous compound, epoxy plasticizer ซึ่งได้จากน้ำมันถั่วเหลือง นิยมใช้ร่วมกับสารเสริมเสถียรภาพประเภทสบู่ของโลหะ

(4) สารประกอบออร์กาโนทิน (organotin compounds) เป็นสารเสริมเสถียรภาพที่มีประสิทธิภาพดีแต่มีราคาแพง ดังตัวอย่างเช่น dibutyl tin, dimethyl tin

(5) สารประกอบแอนติโมนี (antimony compounds)

2.7.3 สารช่วยผสม (Processing aid)

จะช่วยทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าต่ำลง อีกทั้งยังช่วยให้สารที่นำมาผสมกระจายตัวดีขึ้น ประโยชน์ของสารช่วยผสม ได้แก่

- (1) เพิ่มอัตราการผสมของสารที่นำมาผสม
- (2) ทำให้สามารถแปรรูปพีวีซีได้ที่อุณหภูมิต่ำลง
- (3) ทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลตัวได้ดี และลดการไหม้ที่ผิวหน้าของพีวีซี
- (4) ลดการเกาะติดลูกกลิ้งในกระบวนการรีด
- (5) เพิ่มความต้านทานแรงฉีกขาดในขณะร้อน

แต่ สารช่วยผสมก็มีผลเสียต่อพีวีซีเช่นกัน เช่น ลดความต้านทานต่อสารเคมี และตัวทำลาย อีกทั้งยังลดอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการบิดตัว (reduce heat distortion temperature) ของชิ้นงาน

2.7.4 สารตัวเติม (Filler)

มักเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่พบว่าสารตัวเติมสามารถปรับปรุงสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น สมบัติทางไฟฟ้า การทนต่อแสงแดด เพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างภายใต้แรง ที่อุณหภูมิสูง ส่วนข้อเสียของสารตัวเติม ได้แก่ ลดสมบัติทางเคมี เช่น สามารถกันน้ำได้ต่ำลง ลดสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงลดลง และ ลดความสามารถในการแปรรูป เพราะสารตัวเติมจะไปเพิ่มความหนืดให้กับพอลิเมอร์หลอมเหลว

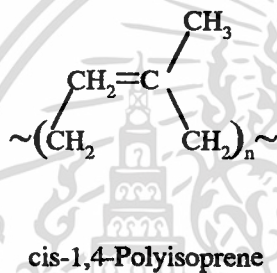
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น มีความสามารถในการกระดอนได้ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถทำให้มีสมบัติต่างๆดีขึ้น เหมาะกับการนำไปใช้งานด้านต่างๆ โดยการผสมสูตรและการทำให้คงรูป

สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ C_5H_8 (isoprene unit) มาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ โครงสร้างมีพันธะคู่จัดตัวแบบซิส มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในช่วง 50,000 - 3,000,000 ประมาณร้อยละ 60 จะมีน้ำหนักสูงกว่า 1,300,000

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติ



เนื่องจากในสายโซ่พอลิเมอร์ของยางมีพันธะคู่อยู่ ทำให้ยางมีสมบัติยืดหยุ่น และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ต่ำทำให้มีการกระดอนสูง และการตีบต่ำ นอกจากนี้การที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวแบบซิสซึ่งเป็นการจัดตัวที่มีระเบียบ เมื่อมีการดึงยืด โมเลกุลของยางจะเข้ามาใกล้กันมากขึ้น ทำให้มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมากขึ้น เกิดลักษณะที่เกิดผลึกขึ้นเมื่อได้รับแรงดึง (strain crystalline)

2.8.1 กระบวนการผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป

การผสม คือ การผสมส่วนต่างๆ ในยางผสมสูตร เช่น ยางธรรมชาติ สารตัวเติม ตัวเร่ง สารช่วยผสม สารที่ทำให้เกิดการคงรูป มาผสมเข้าด้วยกัน โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการผสม ได้แก่ เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องผสมระบบปิด

ขั้นตอนแรกของการผสม คือ การนวดยาง (mastication) เพื่อลดความหนืด และเพิ่มสมบัติความเป็นพลาสติก เพื่อให้สารอื่นๆสามารถกระจายตัวได้ดี แต่การนวดก็ต้องไม่มากเกินไป เพราะระหว่างการนวดจะมีแรงเฉือนเกิดขึ้นทำให้สายโซ่ของยางถูกตัดขาด ส่งผลให้ค่าโมดูลัสของผลิตภัณฑ์ลดลง

เพื่อช่วยให้อนุภาคของสารกระจายตัวได้ดีในยาง จึงควรผสมสารต่างๆในขั้นตอนการผสม ส่วนกำมะถันและสารตัวเร่งควรผสมในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อหลีกเลี่ยงการสุกตัวก่อนกำหนด

2.8.2 ส่วนผสมในยางผสมสูตร

ส่วนประกอบของสารที่ใช้ในยางผสมสูตรแบบแห้ง แบ่งเป็น 8 กลุ่มดังนี้คือ

(1) ยาง (Rubber)

ยางจะเป็นส่วนผสมหลักในยางผสมสูตร โดยจะอยู่ในรูปลักษณะต่าง ๆ กัน ในรูปยางแห้ง การผลิตยางแห้งในประเทศไทยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ชนิดตามลักษณะทางกายภาพและสมบัติของยางแห้งที่ผลิตได้ ดังนี้คือ

(1.1) ยางแผ่นรมควัน

(1.2) ยางแผ่นคึ่งแห้ง

(1.3) ยางเครพ

(1.4) ยางสกิม

(1.5) ยางแท่ง TTR

(2) สารช่วยผสม (Processing aid)

เป็นสารที่ช่วยผสมของกระบวนการการผลิตยาง โดยจะเติมในช่วงต้นของการผสมยาง เพื่อช่วยให้ยางมีความอ่อนตัวง่ายต่อการผสมและการขึ้นรูป

สารช่วยผสมมีหลายรูปแบบ ดังนี้

(2.1) พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) แบ่งเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ

(2.1.1) พลาสติกไซเซอร์ทางเคมี คือ สารย่อยยาง (peptiser) ใช้เพื่อควบคุมปริมาณและความเร็วของการย่อยสลายโมเลกุลของยาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายตัวของส่วนประกอบอื่นๆที่ใช้ในการผสมสูตรยางด้วย

(2.1.2) พลาสติกไซเซอร์ทางกายภาพ ประกอบด้วย สารช่วยการอ่อนตัว (softener) และสารเพิ่มปริมาณ (extender) พลาสติกไซเซอร์ทางกายภาพจะไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับยาง แต่จะปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของยางผสมสูตร และยางที่ผ่านการคงรูปแล้ว โดยจะช่วยให้การขยายตัว เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ตัวอย่างเช่น สารประกอบจากน้ำมันปิโตรเลียม

(2.2) factice ใช้เพื่อให้การผสมยางทำได้สะดวกขึ้น เช่น ควบคุม "nerve" ขณะทำการผสม ซึ่งจะช่วยให้การกระจายตัวและการผสมรวมตัวของสารเคมีที่เป็นอนุภาคได้ดีขึ้น ปริมาณ factice 5-30 phr. จะควบคุมการบวมตัวทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี และยัง

ป้องกันการบิดงอของรูปร่างในกระบวนการทำให้คงรูป ถ้าใช้น้ำมันมากๆ เช่น 100-150 phr จะได้ผลิตภัณฑ์ที่นุ่มมาก เช่น ยางลบดินสอ

(2.3) พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight polyethylene) ใช้เป็นสารช่วยผสม ป้องกันการเกาะติดกันของยางผสมสูตร เป็นสารหล่อลื่นช่วยการไหลตัวในแม่พิมพ์ สำหรับกระบวนการอัดฉีด และป้องกันการอุดตันของหัวฉีดด้วย ตัวอย่างเช่น epolene และ polyethylene wax

(2.4) ขี้ผึ้ง (wax) ช่วยลดการเกาะติดของยางบนลูกกลิ้งหรือลูกรีด

(2.5) กรดไขมัน (fatty acids) ที่นิยมใช้คือ กรดสเตียริก ปริมาณที่ใช้ประมาณ 1-2 phr. สำหรับยางที่คงรูปด้วยกัมมะถันกรดสเตียริกจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ช่วยในการกระจายสารตัวเติมต่างๆ และลดความเหนียวติดลูกกลิ้งของยาง

(3) สารทำให้สุกตัว หรือยาสุก (Curing agent)

ในกระบวนการทำให้ยางคงรูป จะใช้กัมมะถันหรือสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เป็นสารทำให้ยางสุกตัว นิยมใช้ร่วมกับสารตัวเร่งและสารกระตุ้นตัวเร่ง เพื่อลดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้นในกระบวนการทำให้คงรูป สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่ใช้มากที่สุด คือ ไดคูมิลเปอร์ออกไซด์ พันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจะทนต่อความร้อน เพราะเป็นพันธะของคาร์บอน-คาร์บอน มีความทนทานต่อการหดกลับ และอายุการใช้งานจะสูงขึ้นด้วย

ในบางครั้งจะใช้สารเชื่อมโยง เช่น trimethylol propane trimethacrylate (sartomer SR-350) และ N,N'-m-phenylene dimaleimide (HVA-2) เพื่อเพิ่มพันธะเชื่อมโยงให้มากขึ้น

(4) สารตัวเร่ง (Accelerator)

การเติมตัวเร่งจะกระทำในช่วงสุดท้ายของกระบวนการผสม เพื่อป้องกันไม่ให้อยางผสมสุกตัวก่อนกำหนด เนื่องจากความร้อนในกระบวนการผสม สารตัวเร่งส่วนใหญ่จะมีอะตอมของไนโตรเจน และกัมมะถันในโมเลกุล โดยปริมาณของตัวเร่งจะเป็นสัดส่วนกับองศาและความเร็วในการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง ตัวเร่งมีหลายชนิด จัดแบ่งตามโครงสร้างทางเคมี ได้ดังนี้

(4.1) กลุ่มอัลดีไฮด์เอมีน เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาปานกลาง ได้แก่ HMT (hexamine) , EA (ethyldiene aniline) ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารที่ให้หมู่เมทิลีน

(4.2) กลุ่มกัวนิดีน เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาปานกลาง ได้แก่ DPG , DOTG และ TPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4.3) กลุ่มไทอะโซล เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ MBT , MBTS และ กลีโอะเตียมของ MBT (ละลายได้ในน้ำ ใช้กับงานลาเท็กซ์)

(4.4) กลุ่มซัลฟิโนไมด์ เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ CBS และ NOBS

(4.5) กลุ่มไดโทโอคาร์บามेट เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ PPD , ZDEC (ละลายได้ในน้ำ ใช้กับงานลาเท็กซ์) และ ZEPC

(4.6) กลุ่มไทยแรมซัลไฟด์ เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ TMTD , TETD , TMTM และ DPTS

(4.7) กลุ่มแซนเทรท เป็นตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ ZIX , SIX (ละลายได้ในน้ำ ใช้กับงานลาเท็กซ์) และ ZBX

(5) สารกระตุ้นตัวเร่ง (Activator)

ใช้เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในกระบวนการคงรูปของยาง โดยจะไปกระตุ้นการทำงานของสารตัวเร่งให้เร็วขึ้น สารกระตุ้นตัวเร่งแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

(5.1) สารประกอบอนินทรีย์ที่สำคัญคือ ออกไซด์ของโลหะใช้ในปริมาณ 3-5 phr.

(5.2) กรดอินทรีย์ เช่น กรดสเตียริก ใช้ในปริมาณ 1-3 phr.

(5.3) สารอัลคาไลน์ ที่สำคัญคือเอมีน เช่น ไดเอทาโนลามีน ใช้ในปริมาณ 2 phr.

โดยใช้กับยางสูตรที่มีซิลิกาเป็นสารตัวเติม และมีความเป็นกรดในองค์ประกอบ

ส่วนใหญ่นิยมใช้ซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกร่วมกัน ในปริมาณ 5 และ 2 phr. ตามลำดับ ในบางครั้งสามารถใช้ซิงค์สเตียเรตแทนได้แต่ลักษณะการกระตุ้นจะต่างกัน ส่วน zinc-2-ethyl-hexanoate จะใช้ในระบบกำมะถันเหลว

(6) สารกันเสื่อม (Antidegradant)

เนื่องจากโครงสร้างของยางมีพันธะคู่ ซึ่งง่ายต่อการเสื่อมสภาพจากแสง โอโซน ความร้อน และ การปนเปื้อนของโลหะ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ยางจึงต้องใช้สารกันเสื่อมในส่วนผสมของยาง เพื่อป้องกันการสลายตัวของโมเลกุลของยางในขณะที่ทำการเก็บ และในระหว่างการใช้งาน สารกันเสื่อมที่นิยมใช้คือ

(6.1) สารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) แบ่งได้เป็น 2 พวก คือ

(6.1.1) สารประกอบเอมีน จะให้สมบัติทนทานต่อการบดองสูง แต่ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จะมีสีเปลี่ยนไป

(6.1.2) สารประกอบฟีนอลิก จะไม่ทำให้สีของยางผสมสูตรเปลี่ยนไป แต่ความทนทานต่อการบิดงอจะต่ำกว่าเมื่อใช้สารประกอบเอมีน

(6.2) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยา (antiozonant)

(7) สารตัวเติม (Filler)

ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความแข็งแรง การใช้สารตัวเติมชนิดเสริมแรง และกึ่งเสริมแรงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สารตัวเติมที่นิยมใช้ ได้แก่

(7.1) เขม่าดำ (carbon black) ใช้เป็นตัวเติมเสริมแรงในยางธรรมชาติ

(7.2) ซิลิกา (silica) เป็นตัวเติมเสริมแรงที่มีประสิทธิภาพสูง

(7.3) ซิลิเกต (silicate) เป็นตัวเติมที่ให้ความแข็งแรงดึง ความแข็ง และความต้านทานไฟฟ้าสูง

(7.4) ดินจีน (china clay) มีอยู่หลายเกรด เช่น soft clays , hard clays , calcined clays และ treated clays

(7.5) ดินแคลไซน์ (calcined clay) จะทำให้ความแข็ง ความแข็งแรงดึง และความต้านทานไฟฟ้า สูงกว่าการใช้ hard clays

(7.6) แคลเซียมคาร์บอเนต ใช้เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

(8) ส่วนประกอบอื่นๆ

(8.1) สารตัวหน่วง (retarder)

ใช้เพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาการสุกตัว ซึ่งช่วยทำให้ยางผสมไม่แข็งตัว หรือสุกตัวก่อนเข้ากระบวนการคงรูป สารตัวหน่วงที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ พทาสิกแอนไฮไดรด์ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก สารตัวหน่วงเหล่านี้จะหน่วงเวลาการสุกตัวของยาง โดยลดอัตราเร็วในการเชื่อมโยงโมเลกุลให้ช้าลง แต่จะไม่เกิดผลกระทบกับสถานะการเชื่อมโยงโมเลกุลที่จะเกิดขึ้น สารป้องกันการสุกตัวก่อนเวลาที่ใช้มาก คือ santogard PV1

(8.2) สารให้ฟองหรือยาฟอง (blowing agent) ใช้ในการผลิตโฟมยางแบบแห้ง สารให้ฟองเป็นสารที่ไวต่อความร้อน สามารถสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน ทำให้เกิดรูพรุน ตัวอย่างของสารให้ฟองที่นิยมใช้ คือ

(8.2.1) โซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อโดนความร้อนจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

(8.2.2) สารประกอบอินทรีย์ เช่น ไดไนโตรโซเพนตระเมทิลีนเตตระมีน เบนซีนซัลโฟนิลไฮไดรไรด์ และเอโซคาร์บอนาไมด์ เมื่อโดนความร้อนจะปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งอาจมีการใช้สารให้ฟองกับสารอื่น เพื่อควบคุมขนาดของเซลในเนื้อโฟม หรือช่วยเร่งการสลายตัวให้เกิดที่อุณหภูมิต่ำลง ตัวอย่างของสารที่ช่วยเร่งการสลายตัว ของสารให้ฟอง เช่น กรดสเตียริก ยูเรีย และเอทิลีนไกลคอล

(8.3) สารหน่วงการติดไฟ (flame retardant)

ในกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่ติดไฟหรือไม่ลุกไหม้ จะต้องใช้สารหน่วงการติดไฟ ได้แก่ แอนติโมนีไตรออกไซด์, น้ำมันพาราฟินคลอรีเนท และจึงีบอเรท

(8.4) รงควัตถุ (pigment) ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อย่างผสมสูตร เพื่อให้มีสีสัน และเกิดความสวยงาม รงควัตถุที่ใช้แบ่งเป็น

(8.4.1) สารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งจะให้สีค่อนข้างหม่น ตัวอย่างเช่น แอนติโมนีไตรออกไซด์ แคดเมียมซัลไฟด์ โครเมียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ นิกเกิลไททาเนท และอัลตร้ามารีนบลู

(8.4.2) สารประกอบอินทรีย์ จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสดใส แบ่งออกเป็น ประเภท pastles และ master batches ซึ่งสีประเภทนี้จะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และให้ระดับสีคงที่ในแต่ละสูตรผสม โดยปกติมักใช้ไทเทเนียม ไดออกไซด์ ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีขาว หรือช่วยลดความเข้มของสีอื่นๆลง

2.8.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อย่าง

ขั้นตอนที่สองในการผลิตผลิตภัณฑ์อย่าง คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ใช้โดยทั่วไปมี 4 วิธีคือ

- (1) แผ่นบดสิ่งทอในรูปสารละลาย เช่น การผลิตวัสดุที่กันน้ำ
- (2) อัดรีดผ่านหัวอัดรีด เช่น การผลิตสายยาง
- (3) การอัดรีด เช่น การเคลือบบนสิ่งทอ
- (4) การใช้แม่พิมพ์

2.8.3. การคงรูปของผลิตภัณฑ์อย่าง

การทำให้ยางคงรูป เป็นกระบวนการเชื่อมโยงแต่ละโมเลกุลของยางให้เป็น โครงร่างตาข่ายใน 3 มิติ ด้วยพันธะทางเคมี ซึ่งจะทำให้ยางมีสมบัติทนแรงดึงและมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพได้มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสภาพตามอุณหภูมิลดน้อยลง

โดยทั่วไปขั้นตอนการคงรูปของยาง คือ การให้ความร้อนกับยางผสมสูตรที่มีสารตัวเร่ง และสารเชื่อมโยงผสมอยู่แล้วที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

(1.2.3) ค่าแรงบิดสูงสุด (maximum torque; M_H) ซึ่งจะทำให้ทราบความแข็งของยางหลังผ่านกระบวนการคงรูป

(1.2.4) เวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (optimum cure time ; t_{90}) ที่เลือกใช้เวลาที่ยางเกิดการคงรูป 90% เนื่องจากการใช้เวลาที่ทำให้ยางคงรูป 100% อาจนานเกินไป ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางคงรูปลดลง และเวลาที่ต่ำกว่านี้ยางก็ยังไม่สุกตัว ทำให้สมบัติเชิงกล ลด และ มีการสูญเสียรูปร่างขณะใช้งาน

(1.2.5) ลักษณะของยางเมื่อผ่านการคงรูปเต็มที่แล้ว ซึ่งอาจมีการลดลงของแรงบิด เรียกว่า reversion หรือ การเพิ่มขึ้นของแรงบิดในยางบางชนิดก็ได้

(2) การตรวจสอบยางที่ผ่านการคงรูปแล้ว เป็นการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ

(2.1) เพื่อให้สอดคล้องกับความเหมาะสม และความต้องการตามข้อกำหนด ของผลิตภัณฑ์

(2.2) เพื่อควบคุมคุณภาพให้อยู่ในระดับสม่ำเสมอ

(2.3) เพื่อการวิจัยและพัฒนา

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกอีวีเอ 18% เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
2. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
3. กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
4. ซิงค์สเตียเรต (Zinc stearate) เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
5. ไดคิวบิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
6. สารให้ฟองอะโซไดคาร์โบนาไมค์ (AZ) เกรดการค้า บ. แกรนด์สยามฟุตแวร์ จำกัด
7. เรซินพีวีซี 3-PVC , K - 66 บ. ไทยพลาสติกแอนด์เคมีคอล จำกัด
8. พลาสติกไซเซอรไดออกทิลพทาเลต (DOP) บ. ไทยนามพลาสติก จำกัด
9. น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ เกรดการค้า บ. ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด
10. สารเสริมเสถียรภาพ Ba/Zn เกรดการค้า บ. ไทยนามพลาสติก จำกัด
11. ยางธรรมชาติ เกรด TTR 5 L บ. บางกอกรับเบอร์ จำกัด
12. สารตัวเร่ง MBTS เกรดการค้า บ. บางกอกรับเบอร์ จำกัด
13. สารตัวเร่ง TMTM เกรดการค้า บ. บางกอกรับเบอร์ จำกัด
14. สารกันเสื่อม Winstay - L เกรดการค้า บ. บางกอกรับเบอร์ จำกัด
15. กำมะถัน (Sulpher) เกรดการค้า บ. สยามลักษณะ จำกัด
16. พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG - 400) เกรดการค้า บ. ยูเนียนฟุตแวร์ จำกัด
17. ขี้ผึ้ง (wax) เกรดการค้า บ. บางกอกรับเบอร์ จำกัด
18. สารช่วยกระจายสตรัคตอล (Struktol WB 212) เกรดการค้า บ.เบ็นเมเยอร์ จำกัด
19. น้ำมันแนพทีนิก (Napthenic oil) เกรดการค้า บ. เซลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
20. พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ (SGP) เกรดการค้า บ. ไทยนิปปอนแอสซีซีฟ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง รุ่น HR-200 บ. เอแอนดีดี จำกัด
2. เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง LRM 110 Lab Tech Engineering Company
3. เครื่องอัดรีด โรงงานชัยเจริญการช่าง
4. เครื่องตัดชิ้นงาน บ. CEAST
5. เครื่องวัดการดึงยืด LR 30 K บ. LLOYD Instruments
6. เครื่องอัดเย็น LP 20 Lab Tech Engineering Company
7. พิกโนมิเตอร์
8. ไมโครมิเตอร์
9. เครื่องวัดความแข็ง Durometer shore A
10. เครื่องผสมแห้งชนิดความเร็วสูง Lab Tech Engineering Company
11. เครื่องวัดความหนืด (Mooney Viscometer) SMV - 201 บ. Shimadzu
12. เครื่องวัดการสุกตัวของยาง (Curolastometer) II F บ. Nichigo Shojo
13. แม่พิมพ์ขนาด 6 x 6 นิ้ว หน้า 5 มิลลิเมตร บ. ส.ไทยอิสราเอ็นจิเนียริง จำกัด
14. แม่พิมพ์ขนาด 6 x 6 นิ้ว หน้า 2 มิลลิเมตร บ. ส.ไทยอิสราเอ็นจิเนียริง จำกัด
15. แม่พิมพ์รูปดรัมเบล สำหรับพลาสติก บ. ส.ไทยอิสราเอ็นจิเนียริง จำกัด
16. แม่พิมพ์รูปดรัมเบล สำหรับยาง บ. ส.ไทยอิสราเอ็นจิเนียริง จำกัด
17. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 250 มล.
18. ตู้อบ รุ่น MB 6 บ. WTB binder
19. กระดาษกรอง เบอร์ 42
20. เครื่องกรองบุษเนอร์ รุ่น A-3S บ. EYELA Tokyo Rikakikai จำกัด
21. กระบอขวด ขนาด 100 มล.

3.3 การผสมสูตร

3.3.1 การผสมสูตร โฟมอีวีเอ กับ SGP

(1) ทำการชั่งสารเคมีตามสูตร ต่อไปนี้

สาร	ปริมาณสารที่ใช้ (กรัม)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EVA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SGP	0	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
ZnO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zn-st	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
steric acid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DCP	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
AZ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

(2) การผสม

เปิดสวิทซ์ตั้งความร้อนเครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง โดยให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้งหน้า 100 °ซ ปรับระยะห่างของลูกกลิ้งให้เหมาะสม นำเม็ดพลาสติกอีวีเอใส่ลงในช่องระยะห่างของลูกกลิ้ง เกลี่ยให้เม็ดอีวีเอสัมผัสผิวหน้าของลูกกลิ้ง หลังจากเม็ดพลาสติกอีวีเอเริ่มให้เปิดสวิทซ์หมุนลูกกลิ้ง เมื่อเม็ดพลาสติกอีวีเอหลอมและติดเป็นแผ่นบนลูกกลิ้ง ให้ใส่ SGP ลงผสม เมื่อ SGP ผสมกับพลาสติกอีวีเอได้ดีแล้ว ให้เติม ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (steric acid) ซิงค์สเตียเรต (Zn-st) แล้วผสมทุกส่วนผสมโดยกรี๊ดแผ่นพลาสติกกลับไปมา ใช้เวลาประมาณ 10 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลูกกลิ้งให้เหลือประมาณ 90 °ซ แล้วจึงเติม ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) และ สารให้ฟองอะโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) ผสมให้เข้ากันดี ใช้เวลาในการผสมประมาณ 5 นาที แล้วกรี๊ดออกจากเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง ปรับให้ชิ้นงานมีความหนาประมาณ 5 มม. ทิ้งไว้ให้เย็น ใช้วิธีผสมดังกล่าวกับสูตรอื่นๆที่เหลือ

3.3.2 การผสมสูตรพลาสติกพีวีซี กับ SGP

(1) ทำการชั่งสารเคมีตามสูตร ต่อไปนี้

สูตร	ปริมาณสารที่ใช้ (กรัม)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PVC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SGP	0	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Ba/Zn	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DOP	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
OIL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

(2) การผสม

นำส่วนผสมทั้งหมดของแต่ละสูตร ใส่ลงในเครื่องผสมแห่งชนิดความเร็วสูง เป็นเวลา 10 นาที ตั้งความร้อนเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้งหน้า 135 °ซ ลูกกลิ้งหลัง 125 °ซ ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้มีช่องว่างเล็กน้อย แล้วใส่ส่วนผสมที่ได้จากเครื่องผสมแห่งลงไป ทำการผสมในลูกกลิ้งประมาณ 15 นาที ทิ้งให้พีวีซีเย็นตัวลง แล้วจึงกรีดแผ่นพีวีซีออกจากลูกกลิ้ง ให้ทำการผสมด้วยวิธีเดียวกันนี้กับสูตรอื่นๆ

3.3.3 การผสมยางธรรมชาติ กับ SGP

(1) ชั่งสารเคมีตามสูตร ดังต่อไปนี้

สาร	ปริมาณสารที่ใช้ (กรัม)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SGP	0	102	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
STR	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
WL	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
WAX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
St.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PEG	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
OIL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
S	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
MBTS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TMTM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

หมายเหตุ : STR. = Struktol WB 212 WL. = Winstay-L St. = Steric acid OIL = Naphtenic oil S = Sulpher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การผสม

นำยางธรรมชาติใส่ลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ๗ อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งยางพันติดบนลูกกลิ้งเป็นแถบ จึงเติมสารช่วยกระจายสตรัคตอล สารกันเสื่อม Winstay L ซีพี กรดสเตียริก จากนั้นกรีดกลับหน้ายางให้ทุกส่วนผสม ผสมกันดี ประมาณ 5 นาที นำ SGP ผสมกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล และน้ำมันเนฟทีนิก แล้วค่อยๆ เทผสมในลูกกลิ้งจนหมด ให้กรีด และกลับหน้ายางเพื่อให้สารเคมีผสมกันได้ดี ใช้เวลาผสมประมาณ 20 นาที จากนั้นจึงใส่ ซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน สารตัวเร่ง MBTS และ TMTM ลงบนลูกกลิ้ง กรีดและกลับหน้ายาง ใช้เวลาประมาณ 5 นาที เมื่อทุกส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว ให้กรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง สำหรับ สูตรอื่น ๆ ก็ใช้วิธีผสมเช่นเดียวกัน

8.4 การทำให้ขึ้นงานคงรูป

(1) หาค่าความถ่วงจำเพาะของแต่ละชิ้นงาน โดยใช้พิกโนมิเตอร์

$$\text{สูตร ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{a}{a + b - w}$$

โดย a = น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ (หน่วย ก.)

b = น้ำหนักของพิกโนมิเตอร์และเมทานอล (หน่วย ก.)

w = น้ำหนักของพิกโนมิเตอร์ เมทานอล และชิ้นงานในเมทานอล (หน่วย ก.)

(2) นำค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้ไปหาความหนาแน่นของชิ้นงาน

$$\text{สูตร } D_{ex} = Sp. gr_{ex} \times D_{MeOH}$$

โดย D_{ex} = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (หน่วย ก./มล.)

$Sp. gr_{ex}$ = ความถ่วงจำเพาะของชิ้นงาน

D_{MeOH} = ความหนาแน่นของเมทานอล (หน่วย ก./มล.)

(3) คำนวณปริมาตรของแม่พิมพ์ที่ใช้ (หน่วย มล.)

(4) หาน้ำหนักของชิ้นงานที่จะต้องใส่ลงในแม่พิมพ์ โดยให้มีปริมาณเกินจากแม่พิมพ์

5 - 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร } D = \frac{M}{V}$$

จะได้ $M = (D \times V) \times 1.05$ (หน่วย ก.)

โดย $M =$ น้ำหนักชิ้นงานที่จะต้องใส่ลงในแม่พิมพ์ (หน่วย ก.)

$D =$ ความหนาแน่นของชิ้นงาน (หน่วย ก./มล.)

$V =$ ปริมาตรของแม่พิมพ์ (หน่วย มล.)

1.05 = ปริมาณชิ้นงานที่เกินจากปริมาตรแม่พิมพ์ 5 เปอร์เซ็นต์

(5) ทำการอัดร้อน ที่อุณหภูมิ 150 °ซ ความดันที่ใช้ในการอัดเท่ากับ 100 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร โดยเวลาที่ใช้เป็นดังนี้ สำหรับพลาสติก อีวีเอ ใช้เวลา 30 นาที พลาสติก พีวีซี ใช้เวลา 10 นาที และยางธรรมชาติ ใช้เวลา t_{90} ที่คำนวณได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Curelastometer

(6) สำหรับพลาสติกพีวีซี ทำการอัดเย็นที่อุณหภูมิห้องอีก เป็นเวลา 5 นาที

3.5 การทดสอบสมบัติการผสมของยาง

3.5.1 การทดสอบความหนืด โดยเครื่อง Mooney Viscometer

(1) เตรียมตัวอย่างยางก่อนใส่ตัวเร่งและกำมะถัน และหลังใส่ตัวเร่งและกำมะถันแล้ว ขนาดชิ้นงานประมาณ 4x4 ซม. หนา 2 ซม. จำนวน 2 ชิ้น

(2) นำไปทดสอบหาค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer โดยนำชิ้นตัวอย่างไปประกบลงบนแผ่นหมุนของเครื่อง ซึ่งจะใช้แผ่นหมุนขนาดใหญ่ ควบคุมอุณหภูมิการทดสอบที่ 100 °ซ ทำการให้ความร้อนก่อน (preheat) เป็นเวลา 1 นาที แล้ววัดค่าความหนืดที่ได้ที่เวลา 4 นาที บันทึกค่า Mooney Viscosity ML_{1+4}

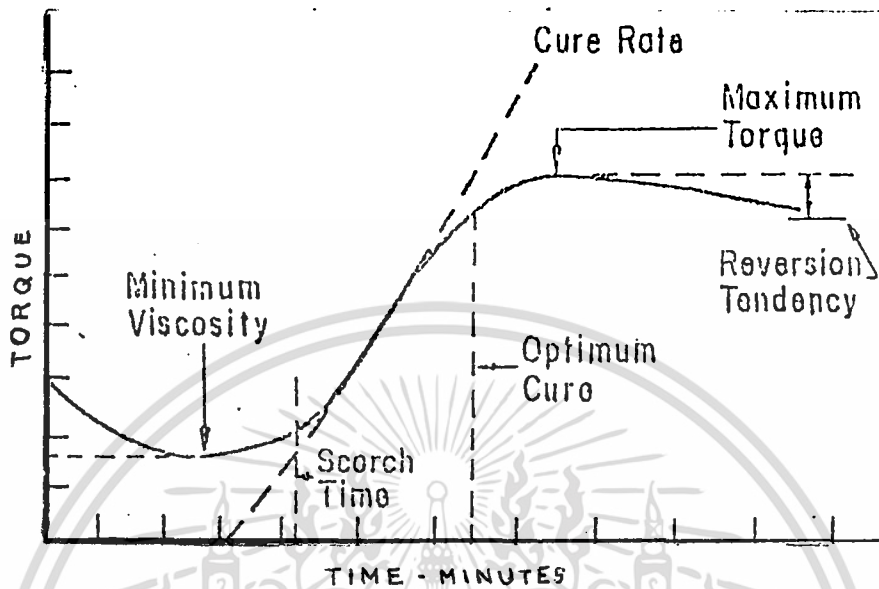
3.5.2 การทดสอบสมบัติในการสูกตัวของยาง ด้วยเครื่อง Curelastometer

เตรียมตัวอย่างยางที่เติมตัวเร่งและกำมะถันแล้ว ขนาดประมาณ 4x4 ซม. หนา 2 ซม. จำนวน 2 ชิ้น ทดสอบหาลักษณะการคงรูปด้วยเครื่อง Curelastometer ที่อุณหภูมิ 150 °ซ จะได้กราฟของการสูกตัวของยาง จากกราฟนำมาหาค่า แรงบิดสูงสุดเมื่อยางคงรูปเต็มที่ (M_H) แรงบิดต่ำสุด (M_L) มีการเพิ่มของแรงบิดขึ้นจากแรงบิดต่ำสุดอีก 2 หน่วย แรงบิด ($t_{s(2)}$) และวัดอัตราเร็วในการคงรูปที่เหมาะสม หรือระยะเวลาที่ห้องสากการเชื่อมโยงเท่ากับ 90 % (t_{90})

การคำนวณ : จากกราฟของการคงรูป ซึ่งพลอตระหว่างแรงบิดกับเวลา สามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงกราฟระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง Curelasterometer



3.6 การทดสอบสมบัติหลังขึ้นรูปเป็นชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

3.6.1 การวัดความแข็ง

นำชิ้นงานแต่ละสูตร ไปวัดความแข็งด้วยเครื่อง Durometer โดยใช้ shore A โดยในแต่ละชิ้นงานจะวัด 3 ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.6.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

- (1) ตัดชิ้นงานเป็นรูปดรัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D 638
- (2) วัดความกว้าง และความหนาบริเวณคอคอดของชิ้นงานรูปดรัมเบล
- (3) นำชิ้นงานมาทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ด้วยเครื่องวัดการดึงชนิด LR 30 K โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที และแรงที่ใช้ดึงเท่ากับ 509.85 Kgf

3.6.3 การทดสอบสมบัติการดูดน้ำ และสมบัติการคงสภาพของชิ้นงาน

- (1) ตัดชิ้นงาน ขนาด 2x2 ซม.
- (2) วัดความกว้าง ความยาว และความหนาที่แน่นอนของชิ้นงาน
- (3) ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ
- (4) นำชิ้นงานไปแช่น้ำในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 250 มล. ปริมาณน้ำที่ใช้แช่ 100 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) วัดขนาด น้ำหนักของชิ้นงานและปริมาณน้ำที่เหลือ หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน
3 วัน และ 7 วัน

(6) วัดความแข็งของชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการแช่น้ำ 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน

(7) หาความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ และหลังแช่น้ำ

(8) หาปริมาณแข็งที่หลุดออกจากชิ้นงาน และปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึม โดยแข็งที่หลุด
ออกมาจากชิ้นงาน

โดย ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองเปล่า

กรองและชั่งน้ำหนัก SGP ที่หลุดจากชิ้นงานขณะเป็ยก

ชั่งน้ำหนัก SGP พร้อมกระดาศกรอง หลังจากอบที่ 50 °ซ เป็นเวลา 2 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม

แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

ส่วนที่ 2 การศึกษาสมบัติการขยายตัวหลังจากแช่น้ำ

โดยอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการขยายตัว} = \frac{\text{ปริมาตรชิ้นงานก่อนการแช่น้ำ (cm}^3\text{)}}{\text{ปริมาตรชิ้นงานหลังจากแช่น้ำ (cm}^3\text{)}} \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

4.1.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลีวีเอ กับ SGP

(1) ลักษณะทางกายภาพ

โพลีวีเอที่ไม่ได้ผสมกับ SGP จะมีลักษณะเป็นโพลีสีขาว เมื่อทำการแช่น้ำ โพลีจะลอย และไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกใด ๆ เกิดขึ้น ส่วนโพลีวีเอที่ผสมกับ SGP แล้ว จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลออกสีเทา โดยสีจะเข้มขึ้นเมื่อมีปริมาณ SGP มากขึ้น และเมื่อทำการแช่น้ำแล้วพบว่า สีของชิ้นงานจะเปลี่ยนเป็น สีเหลืองอ่อนจนถึงสีขาว ขึ้นกับปริมาณ SGP ที่เพิ่มขึ้น และมีกลิ่นของ SGP เกาะอยู่บริเวณผิววนอกของชิ้นงาน

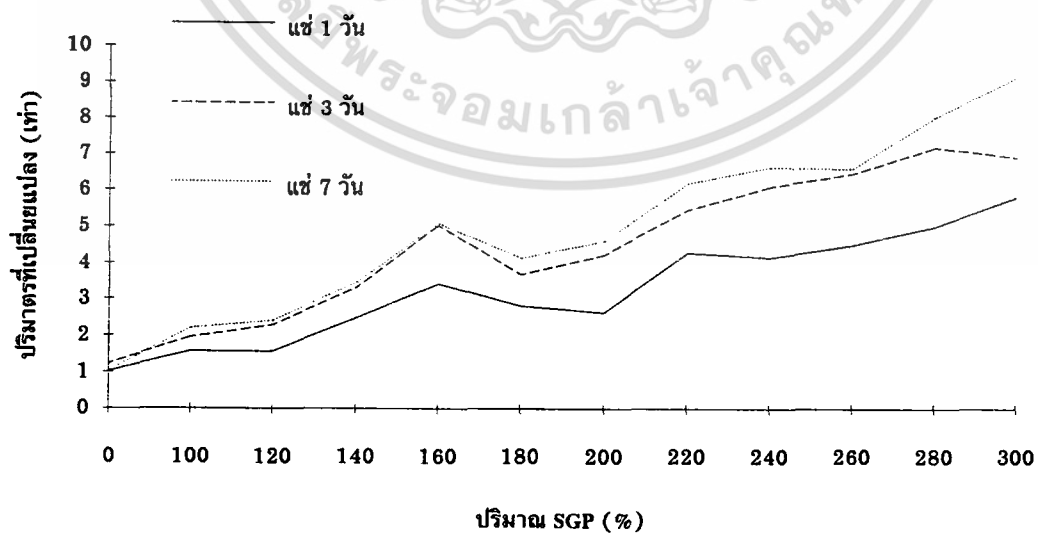
(2) สมบัติการขยายตัวหลังจากแช่น้ำ

แสดงอัตราการขยายตัวโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมวีเอ เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 1, 3 และ 7 วัน ในตารางที่ 4.1 (โดยค่าเฉลี่ยที่ได้นี้ ได้จากการทดลองทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมวีเอ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ

% SGP (%)	อัตราการขยายตัวของชิ้นงาน (เท่า)		
	แช่ 1 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 7 วัน
0	1.01	1.23	1.03
100	1.56	1.94	2.19
120	1.56	2.29	2.41
140	2.47	3.31	3.45
160	3.42	5.02	5.07
180	2.81	3.67	4.13
200	2.63	4.22	4.60
220	4.27	5.46	6.18
240	4.16	6.10	6.62
260	4.49	6.44	6.59
280	5.00	7.19	8.05
300	5.82	6.90	9.16

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อปริมาณ SGP ในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นจะทำให้การขยายตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบอัตราการขยายตัว เมื่อปริมาณ SGP เพิ่มขึ้นจาก 100 % เป็น 300 % เมื่อระยะเวลาที่แช่น้ำเป็น 1 , 3 และ 7 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้ 273.08 % , 255.67% และ 318.26 % ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำนานขึ้น จะทำให้พอลิเมอร์ผสม มีความสามารถในการขยายตัวมากขึ้น คิดเปรียบเทียบหลังจากแช่น้ำ 1 วัน กับ 7 วัน พบว่าชิ้นงานขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 52.15 % (ยกเว้น อีวีเอที่ไม่ได้ผสม SGP) โดยอัตราการขยายตัวมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 9 เท่าของปริมาตรชิ้นงานเดิม

4.1.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี กับ SGP

(1) ลักษณะทางกายภาพ

พลาสติกพีวีซีที่ไม่ได้ผสมกับ SGP จะมีลักษณะใสและบิดงอได้ แต่ในการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสามารถเกิดฟองอากาศได้ง่าย ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีลักษณะใส สีน้ำตาลและเกิดลายขึ้นเนื่องจาก SGP เมื่อปริมาณ SGP มากขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะขุ่นขึ้น และมีสีน้ำตาลอ่อนออกเหลืองเห็นลายอันเกิดจาก SGP น้อยลง นอกจากนั้นจะมีเกล็ดเล็ก ๆ ของ SGP บริเวณผิวหน้าชิ้นงานด้วย เมื่อทำการแช่น้ำ พบว่าชิ้นงานจะมีสีอ่อนลงจากเดิม และเป็นสีขาวขึ้นเมื่อมีปริมาณ SGP มากขึ้น บริเวณผิวหน้าชิ้นงานจะมีเม็ดสีขาวของ SGP ที่คุดน้ำแล้วเกาะอยู่

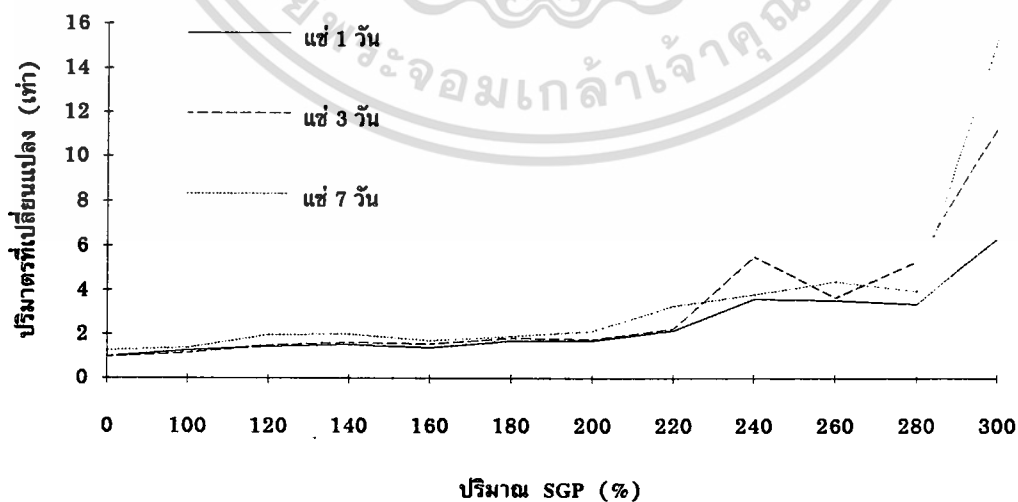
(2) สมบัติการขยายตัวหลังจากแช่น้ำ

แสดงอัตราการขยายตัวโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี เมื่อทำการแช่น้ำเป็นเวลา 1, 3 และ 7 วัน ในตารางที่ 4.2 (โดยค่าเฉลี่ยที่แสดงได้จากการทดลองทั้งสิ้น 4 ตัวอย่าง) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี

ปริมาณ SGP (%)	อัตราการขยายตัวของชิ้นงาน (เท่า)		
	แช่ 1 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 7 วัน
0	0.87	0.99	1.29
100	1.29	1.16	1.40
120	1.47	1.53	1.97
140	1.56	1.65	2.01
160	1.41	1.57	1.71
180	1.71	1.83	1.94
200	1.73	1.79	2.16
220	2.20	2.28	3.31
240	3.62	5.54	3.83
260	3.56	3.70	4.42
280	3.40	5.31	3.98
300	6.36	11.31	15.39

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และรูปที่ 4.2 พบว่า ปริมาณ SGP และระยะเวลาที่ทำการแช่ชิ้นงาน ไม่ค่อยมีผลต่อการขยายตัวของชิ้นงานมากนัก จนเมื่อปริมาณ SGP เป็น 300 % จึงทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัวเป็นอย่างมาก คิดเปรียบเทียบกับชิ้นงานเมื่อปริมาณ SGP เท่ากับ 100 % ได้ค่าดังนี้ 393.02 % , 875 % และ 999.29 % เมื่อระยะเวลาการแช่น้ำคือ 1 , 3 และ 7 วัน ตามลำดับ โดยอัตราการขยายตัวจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 5 เท่าของปริมาตรชิ้นงานเดิม

4.1.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ กับ SGP

(1) ลักษณะทางกายภาพ

ยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผสมกับ SGP จะมีลักษณะนิ่ม สีขาวนวล เมื่อทำการผสมกับ SGP แล้ว ชิ้นงานจะมีลายเกิดขึ้น และมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้มเมื่อปริมาณ SGP มากขึ้น ชิ้นงานภายหลังจากแช่น้ำแล้ว จะมีสีอ่อนลง และมีเม็ด SGP (ลักษณะเป็นเม็ดใส ๆ จนถึงขุ่น) เกาะอยู่บนผิวหน้าชิ้นงาน

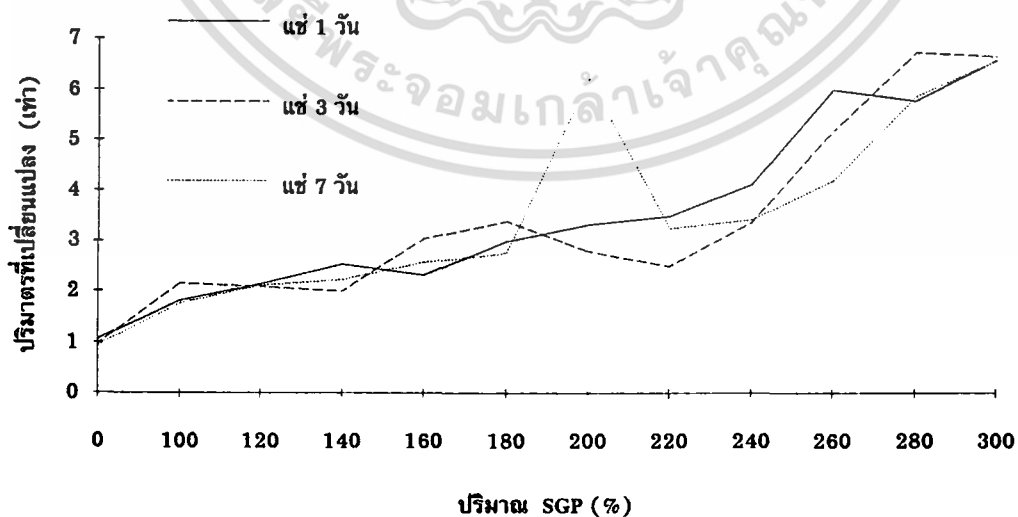
(2) สมบัติการขยายตัวหลังจากแช่น้ำ

แสดงอัตราการขยายตัวโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ เมื่อทำการแช่น้ำเป็นเวลา 1, 3 และ 7 วัน ในตารางที่ 4.3 (โดยค่าเฉลี่ยที่แสดง ได้จากการทดลองทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ

ปริมาณ SGP (%)	อัตราการขยายตัว (เท่า)		
	แช่ 1 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 7 วัน
0	1.07	0.98	0.95
100	1.81	2.16	1.76
120	2.15	2.09	2.12
140	2.54	2.00	2.24
160	2.32	3.05	2.57
180	3.00	3.39	2.77
200	3.32	2.81	6.24
220	3.49	2.50	3.25
240	4.12	3.38	3.42
260	6.01	5.19	4.20
280	5.79	6.75	5.88
300	6.62	6.68	6.60

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และ รูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณ SGP เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ชิ้นงานขยายตัวมากขึ้น เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีปริมาณ SGP เท่ากับ 100 % กับ 300 % พบว่า อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น 265.75 % , 209.26 % และ 275 % เมื่อระยะเวลาแช่น้ำคือ 1 , 3 และ 7 วัน ตามลำดับ มีค่าอัตราการขยายตัวในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 6 เท่าของปริมาตรชิ้นงานเดิม และระยะเวลาการแช่ที่นานขึ้นนั้นไม่ค่อยมีผลต่อการขยายตัวมากนัก โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 2.03 % เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 1 วัน กับ 7 วัน

4.2 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสม

ในส่วนของการศึกษาความสามารถดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เมื่อรวมการดูดน้ำด้วย SGP ที่หลุดออกมาจากชิ้นงาน และอีกส่วนคือการดูดน้ำโดยชิ้นงานเท่านั้น

ในส่วนที่ 1 คำนวณค่าการดูดซึมน้ำได้จาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.)} = (A-B) / X \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

เมื่อ A คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่ เท่ากับ 100 มล.

B คือ ปริมาณน้ำที่เหลือในบีกเกอร์ (หน่วย มล.)

X คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการแช่น้ำ (หน่วย ก.)

ในส่วนที่ 2 คำนวณค่าการดูดซึมน้ำได้จาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.)} = (Y-X) / X \quad (\text{สมการที่ 4.3})$$

เมื่อ X คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการแช่น้ำ (หน่วย ก.)

Y คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังจากแช่น้ำ (หน่วย ก.)

4.2.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างโฟมอีวีเอ กับ SGP

แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.2 ในตารางที่ 4.4 และเปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.3 ในตารางที่ 4.5 และเปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.5

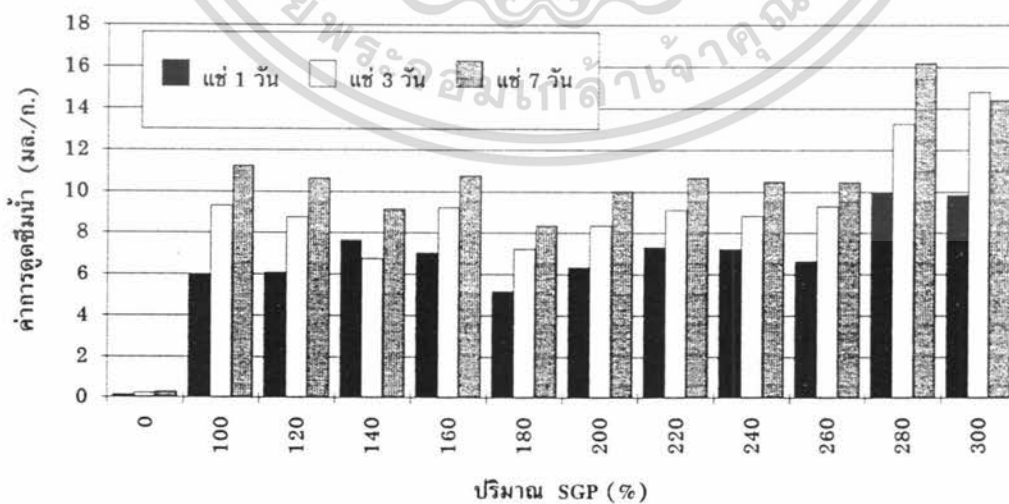
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ *

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน (มล./ก.)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
0	0.1395	0.2206	0.3024
100	5.9691	9.3044	11.2233
120	6.1021	8.7496	10.6262
140	7.6866	6.7888	9.1693
160	7.0687	9.2259	10.7519
180	5.1633	7.2332	8.3456
200	6.3520	8.3671	10.0132
220	7.3452	9.0804	10.6591
240	7.2405	8.8232	10.4880
260	6.6423	9.2930	10.4379
280	10.0003	13.2610	16.2085
300	9.8201	14.8095	14.3985

* จำนวนตามสมการที่ 4.2

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ



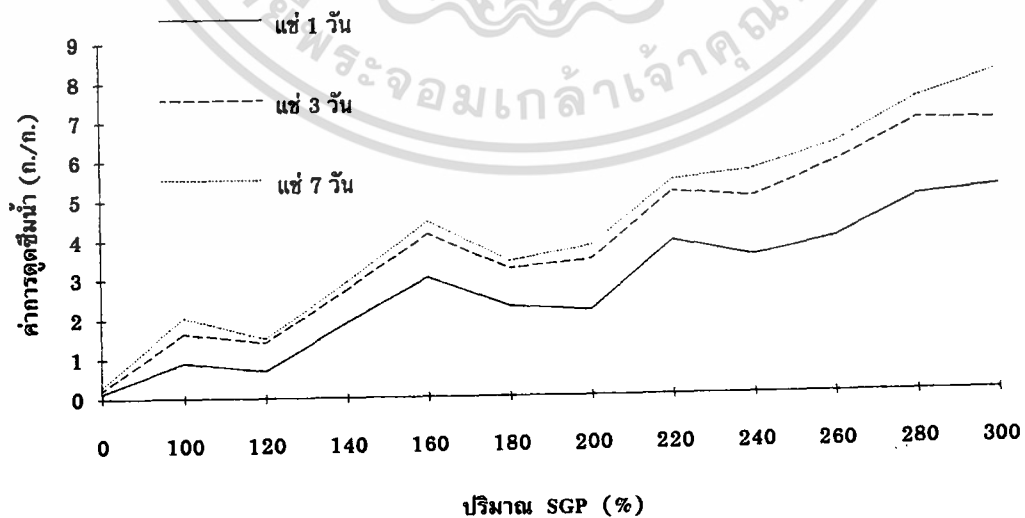
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ **

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน (ก./ก.)		
	แช่ 1 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 7 วัน
0	0.1395	0.2206	0.3024
100	0.9121	1.6429	2.0353
120	0.6943	1.4048	1.5054
140	1.8910	2.7309	2.9228
160	3.0140	4.1203	4.4519
180	2.2621	3.2250	3.4300
200	2.1506	3.4362	3.7917
220	3.8904	5.1366	5.4246
240	3.4976	4.9961	5.6618
260	3.9302	5.8137	6.3130
280	4.9493	6.8928	7.4279
300	5.1695	6.8661	8.1089

** คำนวณตามสมการที่ 4.3

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำนานขึ้น พอลิเมอร์ผสมจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 1 วันกับ 7 วัน พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 55.33 % ตามตารางที่ 4.4 และเท่ากับ 67.19 % ตามตารางที่ 4.5 เมื่อปริมาณ SGP มากขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ทำการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีปริมาณ SGP 100 กับ 300 % พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น 64.52 % , 59.17 % และ 28.29 % ตามผลในตารางที่ 4.4 และเท่ากับ 466.77 % , 317.93 % และ 298.41 % ตามผลในตารางที่ 4.5 เมื่อระยะเวลาการแช่น้ำ คือ 1 , 3 และ 7 วัน ตามลำดับ

4.2.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี กับ SGP

แสดงค่าการดูดซึมน้ำตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.2 ในตารางที่ 4.6 และเปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซึมน้ำตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.3 ในตารางที่ 4.7 และเปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.7

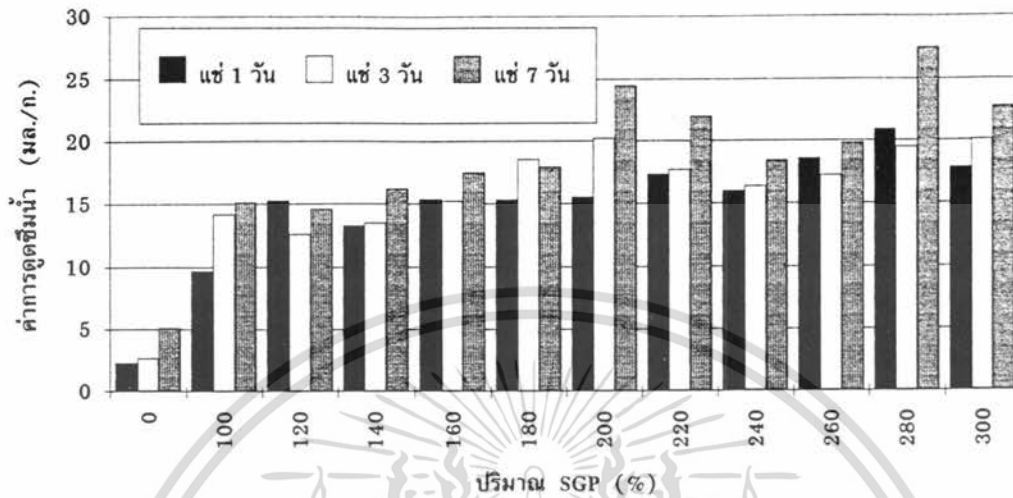
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี *

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
0	2.3646	2.7125	5.1002
100	9.7054	14.1997	15.1042
120	15.2466	12.6322	14.6084
140	13.3177	13.5159	16.2055
160	15.3834	15.2188	17.4715
180	15.3173	18.5499	17.9473
200	15.5000	20.1929	24.4598
220	17.3155	17.6744	21.9398
240	16.0008	16.3501	18.4616
260	18.5976	17.1910	19.7910
280	20.8918	19.4951	27.5274
300	17.8142	20.0222	22.7500

* สำนวนตามสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี



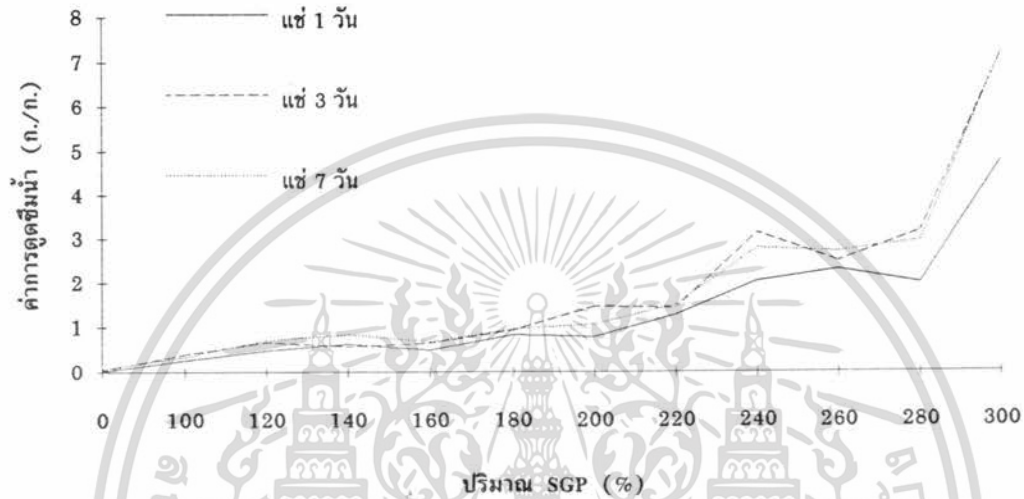
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี**

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน (ก./ก.)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
0	0.0195	0.0568	0.0799
100	0.2601	0.3972	0.3430
120	0.4831	0.6709	0.7197
140	0.6291	0.5693	0.8404
160	0.5009	0.6611	0.6826
180	0.8338	0.9285	0.9597
200	0.7859	1.4745	1.0618
220	1.2779	1.4414	1.5158
240	2.0502	3.1489	2.7967
260	2.3056	2.4997	2.7167
280	2.0074	3.1768	2.9618
300	4.8030	7.1974	7.2205

** จำนวนตามสมการที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี



จากตาราง และรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าสามารถเห็นความแตกต่างของค่าดูดซึมน้ำ ภายหลังจากแช่น้ำ 1 วันกับ 7 วันได้ง่าย นั่นคือ เมื่อระยะเวลาแช่น้ำนานขึ้นงานจะสามารถดูดซึมน้ำ ได้เพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 27.38 % (ยกเว้นสูตร SGP 120%) ตามตารางที่ 4.6 และ 33.84 % ตาม ผลในตารางที่ 4.7 และพบว่าปริมาณ SGP ไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานจนเมื่อปริมาณ SGP เท่ากับ 300 % จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมพีวีซีสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น (เปรียบเทียบกับ สูตร SGP 100 %) เท่ากับ 83.55 % , 41 % และ 50.62 % ตามผลในตารางที่ 4.6 และเท่ากับ 1746 % , 1712 % และ 2005 % ตามผลในตารางที่ 4.7 เมื่อทำการแช่น้ำนาน 1 , 3 และ 7 วัน ตามลำดับ

4.2.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ กับ SGP

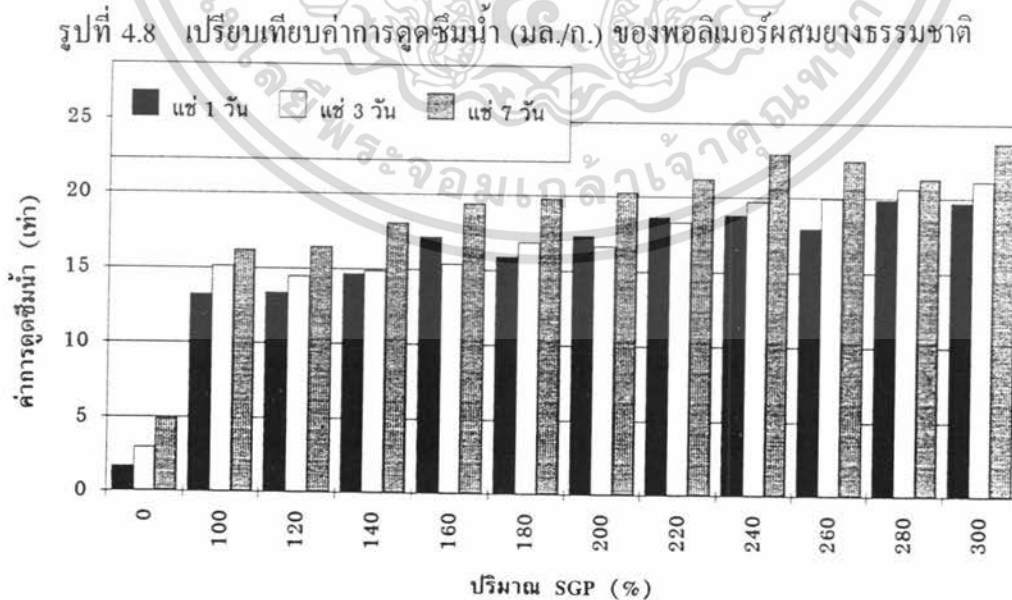
แสดงค่าการดูดซึมน้ำตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.2 ในตารางที่ 4.8 และเปรียบเทียบ ผลในรูปที่ 4.8 แสดงค่าการดูดซึมน้ำตามการคำนวณด้วยสมการที่ 4.3 ในตารางที่ 4.9 และ เปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
0	1.7106	2.9965	4.8895
100	13.2069	15.1310	16.1943
120	13.3802	14.4624	16.4427
140	14.6661	14.8653	18.0706
160	17.1641	15.3708	19.4101
180	15.8980	16.8642	19.7810
200	17.3495	16.6433	20.2787
220	18.6120	18.2756	21.2632
240	18.8195	19.7001	22.9504
260	17.9542	19.9501	22.5549
280	19.8649	20.6551	21.3248
300	19.6900	21.1830	23.7345

* จำนวนตามสมการที่ 4.2



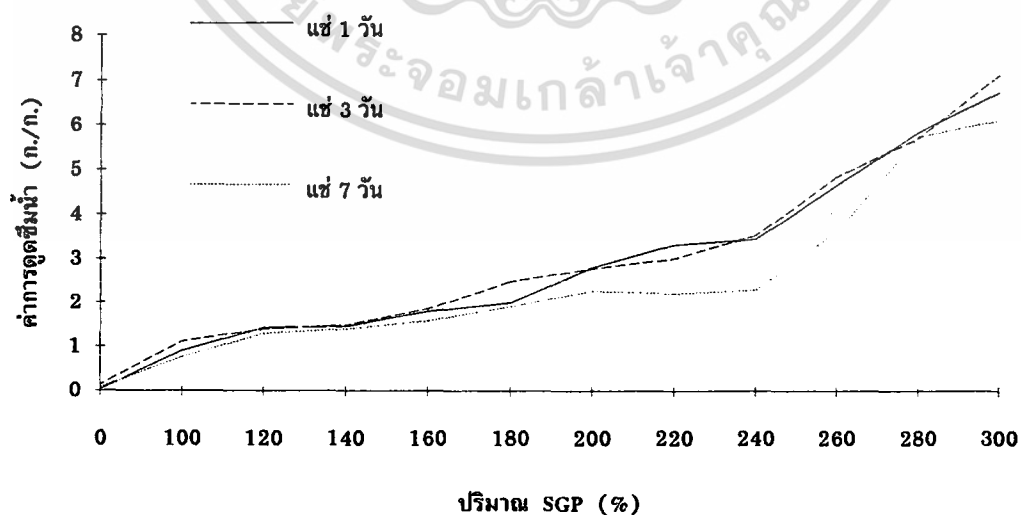
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ **

ปริมาณ SGP (%)	ค่าการดูดซึมน้ำ (มล./ก.)		
	แช่ 1 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 7 วัน
0	0.0414	0.1389	0.0786
100	0.9013	1.1237	0.7554
120	1.4244	1.4013	1.2890
140	1.4478	1.4889	1.4014
160	1.8054	1.8556	1.5809
180	2.0005	2.4962	1.9195
200	2.8159	2.7846	2.2751
220	3.3159	3.0105	2.2184
240	3.4565	3.5351	2.3129
260	4.6648	4.8564	3.6196
280	5.8511	5.7249	5.7557
300	6.7446	7.1431	6.1112

** จำนวนตามสมการที่ 4.3

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเมื่อปริมาณ SGP มากขึ้น จะทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีปริมาณ SGP 100 % กับ 300 % ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น 49.09 % , 40 % และ 46.56 % ตามผลในตารางที่ 4.8 และเท่ากับ 648.32 % , 535.68 % และ 709 % ตามผลในตารางที่ 4.9 เมื่อแช่น้ำนาน 1, 3 และ 7 วัน ตามลำดับ นอกจากนั้นจะเห็นว่า ระยะเวลาการแช่น้ำมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำเพียงเล็กน้อย คือมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 18.99 % ตามผลในตารางที่ 4.8

4.3 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม

ในการทดลอง พบว่าเมื่อทำการแช่ชิ้นงานในน้ำ จะมี SGP หลุดออกจากชิ้นงานปะปนอยู่ในน้ำด้วย โดยลักษณะ SGP ที่หลุดออกมาจะมีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น มีสีขาวถึงเหลืองอ่อน ในการคำนวณ % SGP ที่หลุดจากชิ้นงานสามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงาน (\%)} = (C-D) * 100 / X \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

เมื่อ C คือ น้ำหนัก SGP ภายหลังจากการอบ (หน่วย ก.)

D คือ น้ำหนักกระดาษกรอง (หน่วย ก.)

X คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ (หน่วย ก.)

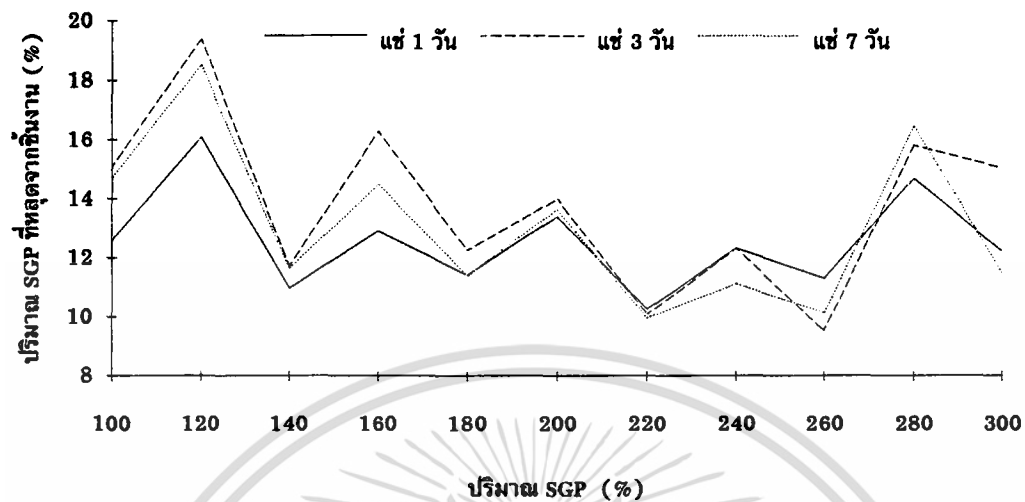
แสดงผลปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และ ยางธรรมชาติ ในตารางที่ 4.10 และแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.10-4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

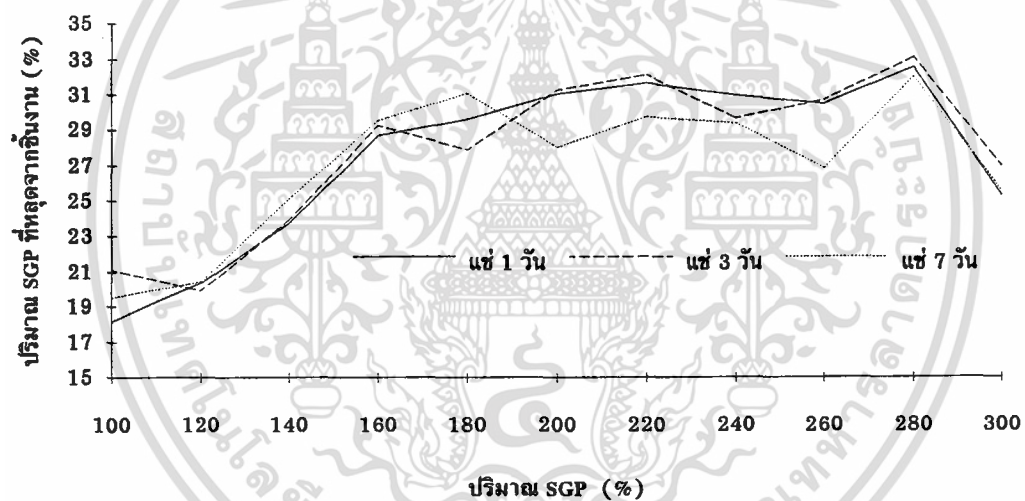
SGP (%)	ปริมาณ SGP ที่หลุดของ พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ (%)			ปริมาณ SGP ที่หลุดของ พอลิเมอร์ผสมพีวีซี (%)			ปริมาณ SGP ที่หลุดของ พอลิเมอร์ผสมยาง (%)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
100	12.59	15.08	14.71	18.16	21.09	19.50	28.03	27.66	28.28
120	16.07	19.35	18.49	20.33	19.92	20.39	31.71	30.17	31.98
140	11.01	11.73	11.65	23.74	23.91	25.10	33.33	33.31	35.16
160	12.92	16.27	14.47	28.64	29.25	29.52	36.97	34.42	37.90
180	11.44	12.26	11.42	29.59	27.86	31.08	37.01	34.55	39.49
200	13.41	14.00	13.65	31.05	31.26	28.01	36.77	37.74	40.41
220	10.28	10.12	9.98	31.65	32.12	29.74	37.58	38.92	43.62
240	12.32	12.34	11.16	30.97	29.65	29.37	40.31	39.10	44.89
260	11.34	9.55	10.15	30.48	30.73	26.86	35.87	35.61	42.61
280	14.67	15.80	16.45	32.58	33.12	32.03	34.02	32.24	35.15
300	12.23	15.05	11.49	25.26	26.90	25.55	32.59	31.92	37.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

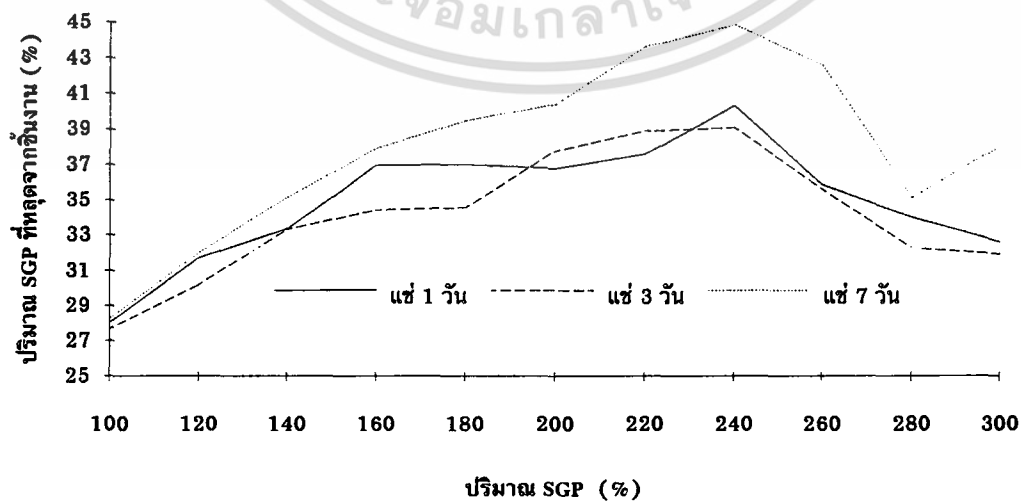
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมอีวีโอ



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมพีวีซี



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณ SGP ที่หลุดจากชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง และ รูปที่ 4.10 พบว่า การหลุดออกของ SGP ในพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณ SGP เปรียบเทียบระหว่างสูตร SGP 100 % กับ 300 % โดยเฉลี่ย 7 วัน ปริมาณเปลี่ยนแปลงเพียง 8.32 % และเมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น (เปรียบเทียบระหว่าง 1 วัน กับ 7 วัน) จะมีปริมาณ SGP หลุดเพิ่มขึ้นเพียง 3.14 %

จากตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11 - 4.12 จะเห็นว่า การหลุดออกของ SGP ในชิ้นงาน พีวีซี และ ยางธรรมชาติ มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อปริมาณ SGP มีค่ามากขึ้น คือเมื่อ SGP เพิ่มขึ้นจาก 100 % เป็น 300 % SGP จะหลุดจากชิ้นงานพีวีซีเพิ่มขึ้น 32.56 % และหลุดจากชิ้นงาน ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น 22 % และระยะเวลาการแช่ที่นานขึ้นจาก 1 วัน เป็น 7 วัน ไม่ค่อยมีผลต่อ ชิ้นงานพีวีซี (เปลี่ยนแปลงเพียง 1.1 %) แต่จะมีผลต่อชิ้นงานยางธรรมชาติ โดยจะทำให้การหลุด ของ SGP เพิ่มขึ้น 8.4 %

4.4 การศึกษาผลของปริมาณ SGP และระยะเวลาในการแช่น้ำ ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ ของ SGP ที่หลุดจากชิ้นงาน สามารถคำนวณค่าการดูดซึมน้ำโดย SGP ที่หลุดจากชิ้นงานได้ดังนี้

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำของ SGP (ก./ก.)} = (E-C)/C \quad (\text{สมการที่ 4.5})$$

เมื่อ E = น้ำหนัก SGP ก่อนการอบ (หน่วย ก.)

C = น้ำหนัก SGP หลังการอบ (หน่วย ก.)

แสดงผลการคำนวณตามสมการที่ 4.5 ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลค่าการดูดซึมน้ำของ SGP ที่หลุดจากชิ้นงาน พอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

SGP (%)	ค่าการดูดน้ำของSGP ที่หลุดจาก พอลิเมอร์ผสม อีวีเอ(ก./ก.)			ค่าการดูดน้ำของSGP ที่หลุดจาก พอลิเมอร์ผสม พีวีซี (ก./ก.)			ค่าการดูดน้ำของSGP ที่หลุดจาก พอลิเมอร์ผสม ยาง(ก./ก.)		
	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน	แช่น้ำ 1 วัน	แช่น้ำ 3 วัน	แช่น้ำ 7 วัน
100	40.24	36.62	36.23	42.50	44.08	49.07	37.7	39.66	45.00
120	33.26	33.85	35.77	39.92	50.23	50.42	32.34	35.01	38.72
140	26.16	27.63	34.57	45.07	48.24	48.02	33.77	36.60	38.61
160	27.32	30.12	37.28	43.64	47.45	45.70	34.06	35.63	37.66
180	25.19	28.24	30.98	44.56	51.72	45.38	31.64	34.68	36.42
200	28.27	30.74	32.95	41.75	47.84	50.51	33.33	34.87	37.28
220	25.03	29.64	30.81	44.06	46.22	54.68	31.76	34.17	36.23
240	28.39	31.26	33.86	41.61	44.21	48.17	31.97	33.75	34.75
260	25.14	28.94	28.44	41.36	43.85	50.23	31.19	33.93	35.99
280	31.52	34.05	33.59	47.49	44.07	54.41	33.72	35.15	35.35
300	31.83	32.32	34.16	43.62	45.56	45.19	31.98	34.58	36.41

จากตารางที่ 4.11 และการคำนวณ พบว่า SGP ที่หลุดออกจากพอลิเมอร์ผสมทุกชนิด สามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เมื่อระยะเวลาการแช่น้ำนานขึ้น เปรียบเทียบระหว่าง 1 วัน กับ 7 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยดังนี้ 15.82 % สำหรับชิ้นงานอีวีเอ 14.12 % สำหรับชิ้นงานพีวีซี และ 13.44 % สำหรับชิ้นงานยางธรรมชาติ ส่วนปริมาณ SGP ที่เพิ่มขึ้น ไม่ค่อยมีผลต่อการดูดซึมน้ำของ SGP ที่หลุดออกมา

4.5 การศึกษาผลของปริมาณ SGP และ ระยะเวลาในการแช่น้ำที่มีผลต่อความแข็งของพอลิเมอร์ผสม

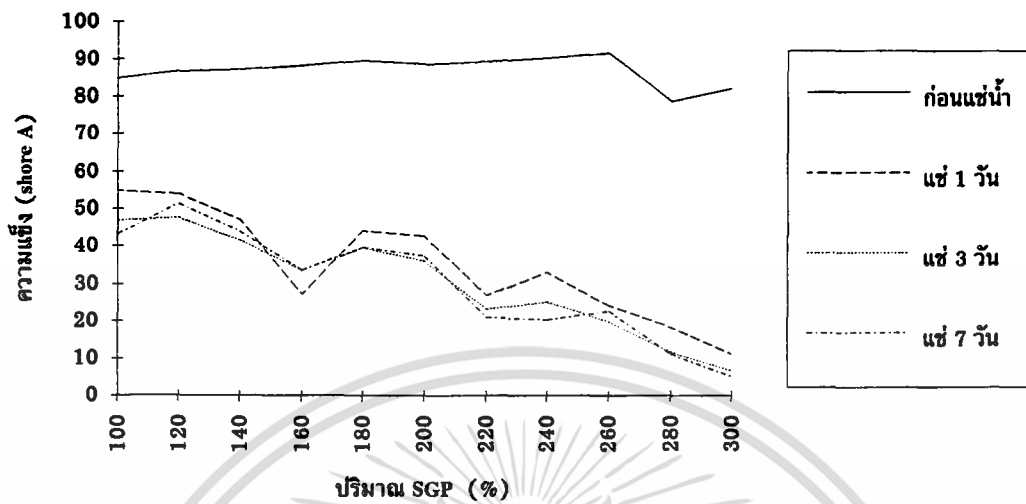
แสดงค่าความแข็ง shore A ทั้งก่อนการแช่น้ำ และภายหลังจากการแช่น้ำ ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และ ยางธรรมชาติ ในตารางที่ 4.12 และนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลในรูปที่ 4.13 - 4.15 ตามลำดับ จากนั้นจึงแสดงผลของความแข็ง shore A ที่เปลี่ยนไปในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความแข็ง shore A ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

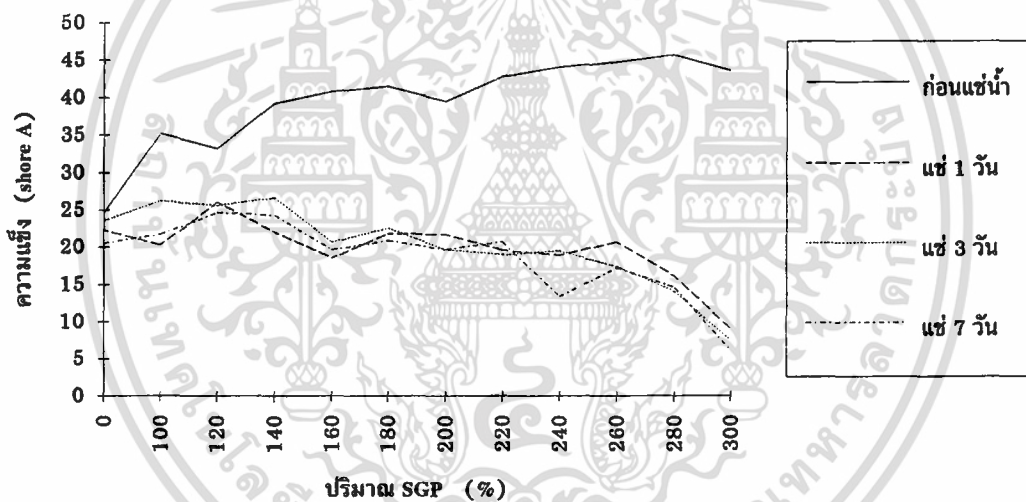
SGP	ความแข็งของชิ้นงาน (shore A)											
	ก่อนแช่น้ำ			หลังแช่น้ำ 1 วัน			หลังแช่น้ำ 3 วัน			หลังแช่น้ำ 7 วัน		
	(%)	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง	อีวีเอ	พีวีซี
0	-	24.7	10.3	-	22.3	18.7	-	23.7	36.7	-	20.5	38.7
100	84.8	35.3	13.5	54.8	20.3	7.3	46.8	26.2	10.8	43.3	21.8	7.0
120	86.5	33.3	15.0	54.0	26.1	4.5	47.7	25.6	6.8	51.3	24.7	6.2
140	87.0	39.3	15.0	47.0	22.1	2.2	41.7	26.7	3.2	44.0	24.2	5.5
160	88.0	40.8	15.8	27.2	18.5	2.0	33.5	20.2	3	33.5	19.7	1.7
180	89.5	41.5	17.3	44.2	21.8	2.7	39.5	22.6	2.5	39.7	20.9	1.3
200	88.7	39.5	21.5	42.8	21.7	3.2	36.2	19.7	1.3	37.5	19.6	1.0
220	89.3	42.8	22.0	27.0	19.6	2.7	23.3	19.0	0	21.0	20.7	0
240	90.3	44.0	22.5	33.0	18.9	2.2	25.2	19.5	0	20.3	13.3	0
260	91.7	44.8	24.3	24.3	20.7	2.5	20.0	17.4	0	22.7	17.2	0
280	78.8	45.7	30.0	18.5	16.7	2.0	11.7	14.0	0	11.2	14.5	0
300	82.0	43.5	26.8	11.2	9.1	0.8	6.7	7.5	0	5.3	6.1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

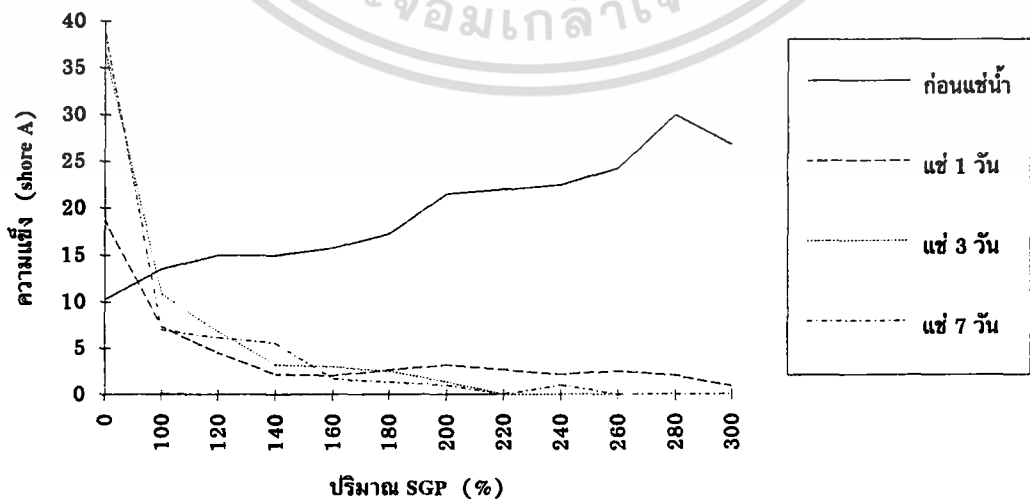
รูปที่ 4.13 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมอีวีโอ



รูปที่ 4.14 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี



รูปที่ 4.15 ความแข็ง (shore A) ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ความแข็ง (shore A) ของชิ้นงาน เมื่อเปรียบเทียบในลักษณะต่างๆ

ชนิดของ พอลิเมอร์ ผสม	เปรียบเทียบระหว่าง		เมื่อปริมาณ SGP		เปรียบเทียบชิ้นงาน ก่อน และหลังจาก แช่น้ำ 7 วัน
	ก่อนการผสม SGP กับ		เพิ่มขึ้น		
	ภายหลังการผสม		(ระหว่าง 100 กับ 300 %)		
	ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
อีวีโอ	-	-	-3.3%	-84.4%	ลดลง 65.7%
พีวีซี	+66.0%	-12.8%	+23.4%	-66.2%	ลดลง 53.7%
ยาง	+98.2%	-89.7%	+98.1%	-96.2%	ลดลง 85.7%

หมายเหตุ

- คือ ไม่ได้ทำการทดสอบ
เครื่องหมาย - คือ มีค่าลดลง เครื่องหมาย + คือ มีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า SGP มีผลทำให้ความแข็งของชิ้นงานก่อนแช่น้ำเพิ่มขึ้น ทั้งกรณีเปรียบเทียบชิ้นงานที่ไม่ได้ผสม SGP และที่ผสมแล้ว และเมื่อนำชิ้นงานแช่น้ำพบว่า SGP จะทำให้ความแข็งของชิ้นงานลดลง เนื่องจากชิ้นงานมีการดูดซึมน้ำทำให้ โครงสร้างลดความแข็งลง และพบว่าระยะเวลาในการแช่น้ำไม่ค่อยมีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน

4.6 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมก่อนการแช่น้ำ

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึงสูงสุด (maximum load)

ความเค้นสูงสุด (maximum stress) และ % การยืด ณ จุดขาด (% elongation at break)

แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.14 และแสดงการเปรียบเทียบค่าเหล่านั้นในรูปแบบที่ 4.16 - 4.18 ตามลำดับ

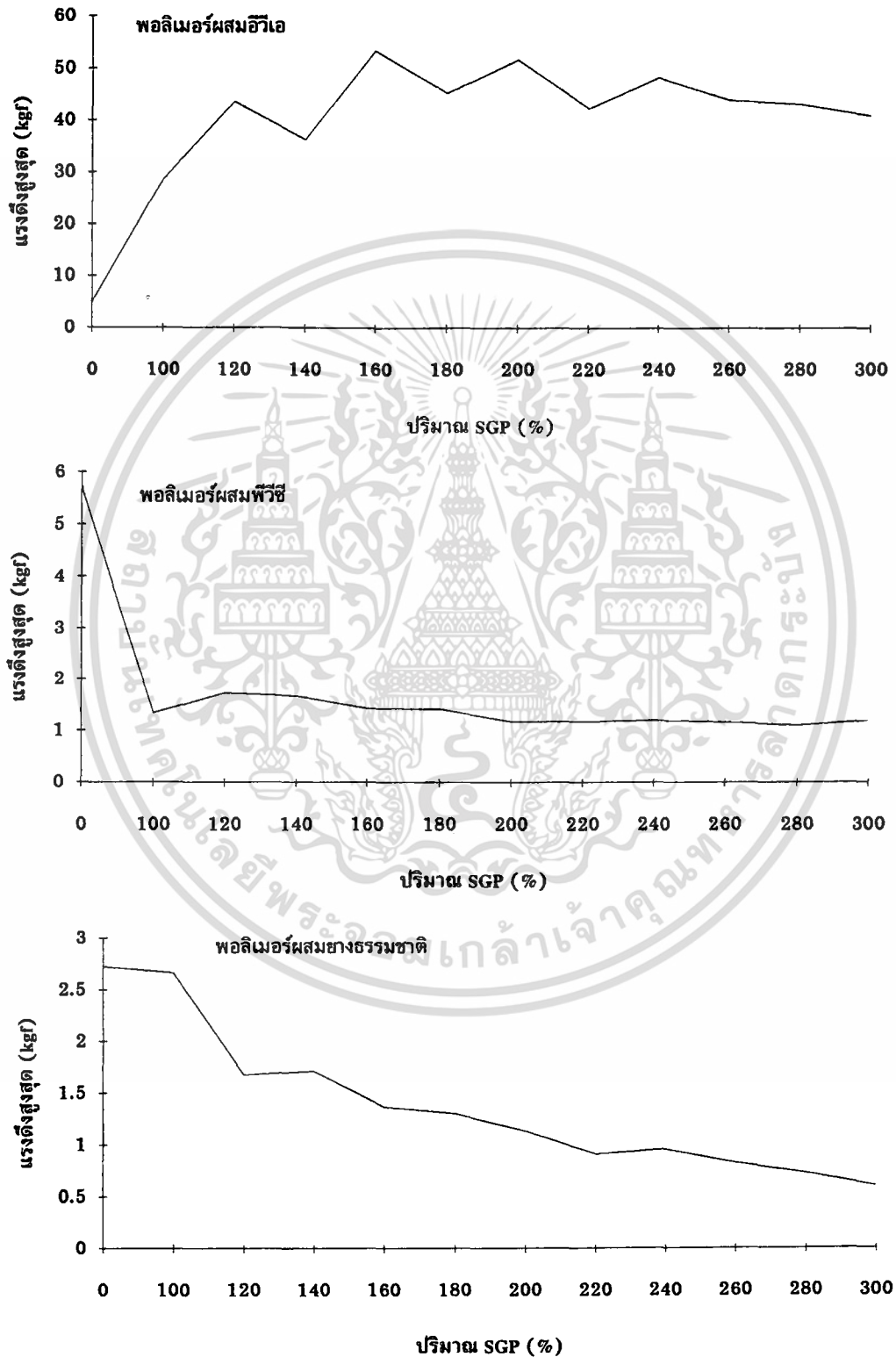
ตารางที่ 4.14 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ
พีวีซี และยางธรรมชาติ

SGP (%)	แรงดึงสูงสุด (kgf)			ความเค้นสูงสุด (kgf/mm ²)			การยืด ณ จุดขาด (%)		
	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง	อีวีเอ	พีวีซี	ยาง
0	5.09	5.73	2.72	0.08	0.50	0.21	176.30	186.70	301.8
100	28.61	1.34	2.66	0.83	0.10	0.19	117.10	73.20	414.8
120	43.42	1.72	1.67	1.32	0.13	0.12	170.20	74.69	450.0
140	36.17	1.66	1.71	1.05	0.12	0.12	66.75	88.83	449.57
160	53.32	1.43	1.36	1.52	0.11	0.09	11.25	79.03	368.0
180	45.19	1.42	1.30	1.34	0.10	0.09	23.48	92.71	414.3
200	51.56	1.18	1.13	1.56	0.09	0.07	14.89	88.42	391.7
220	42.38	1.18	0.91	1.20	0.08	0.06	16.17	73.60	402.4
240	48.26	1.20	0.95	1.37	0.08	0.06	5.27	65.40	362.7
260	43.94	1.17	0.82	1.25	0.09	0.05	13.32	61.90	405.2
280	43.11	1.10	0.72	1.21	0.08	0.05	7.31	65.55	392.3
300	40.94	1.18	0.60	1.10	0.08	0.04	5.67	53.68	345.6

จากตารางที่ 4.14 และกราฟในรูปที่ 4.16 - 4.18 สามารถเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล
ของชิ้นงานที่ไม่ได้ผสม กับที่ผสม SGP แล้ว แสดงในตารางที่ 4.15

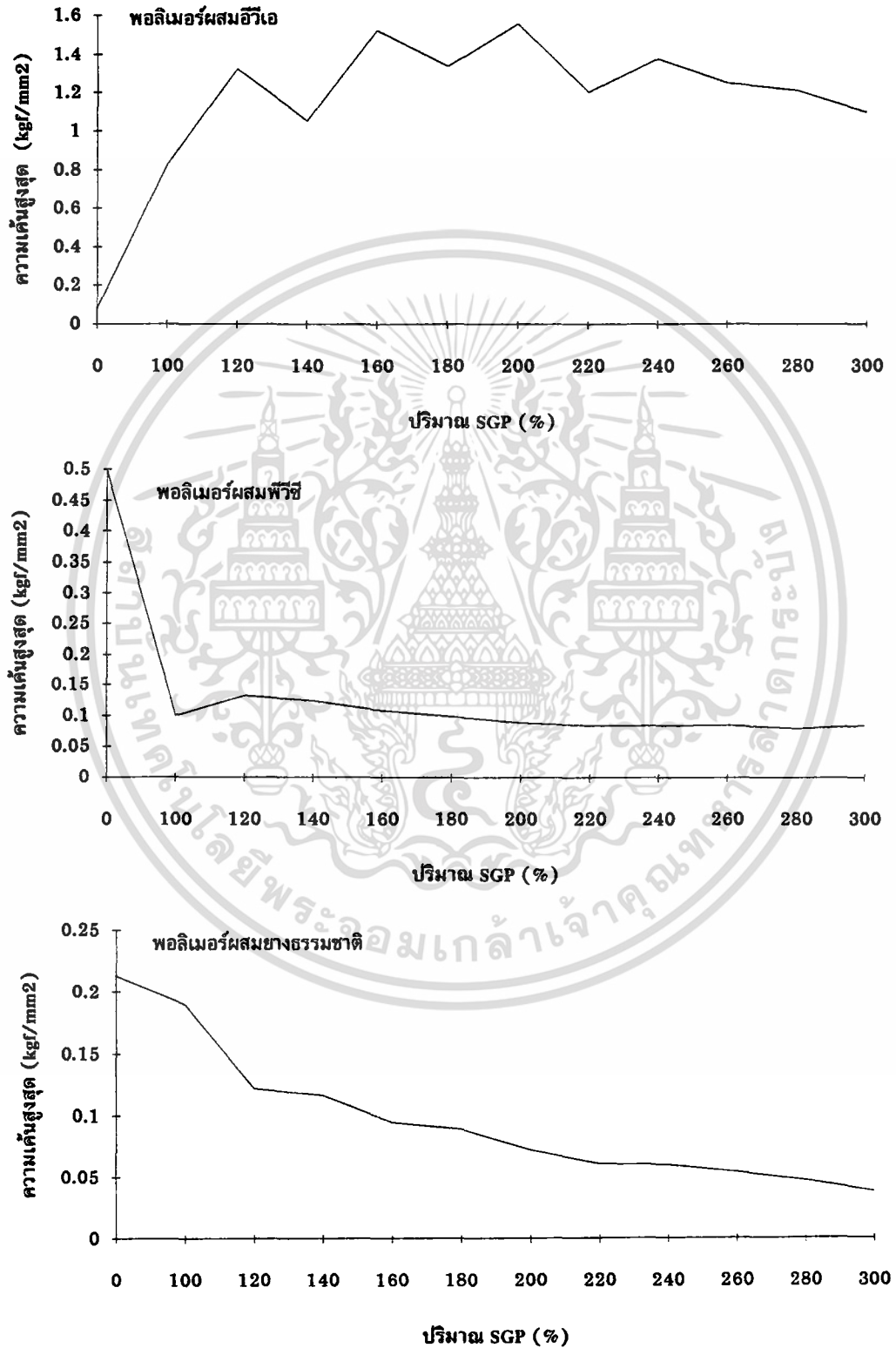
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงสูงสุด (kgf) กับ ปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ



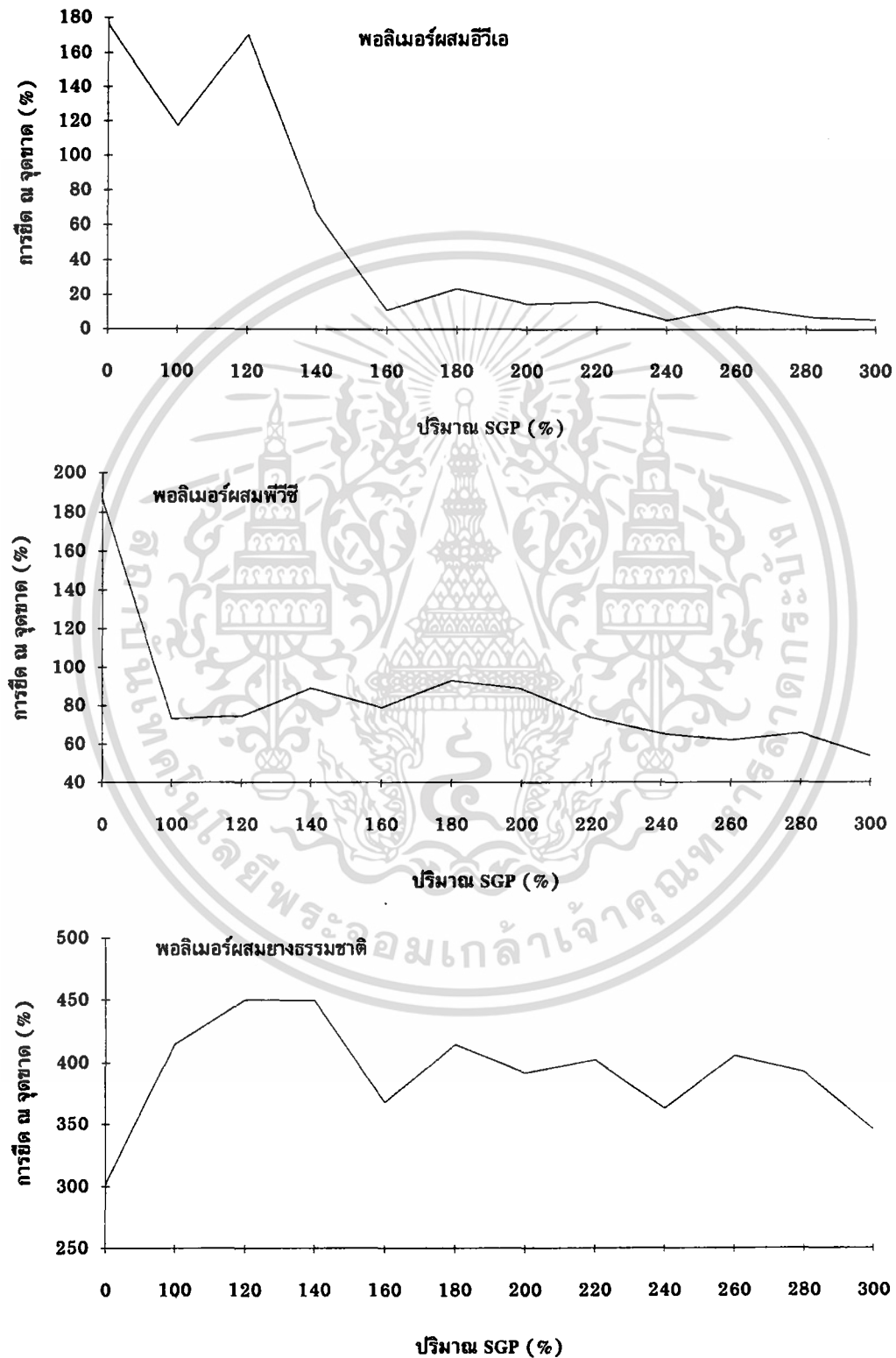
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้นสูงสุด (kgf/mm^2) กับ ปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง การยึด ณ จุดขาด (%) กับ ปริมาณ SGP (%) ของพอลิเมอร์ผสม อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

เมื่อ กรณี ก. เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานสูตร SGP 0% กับ 300%

กรณี ข. เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานสูตร SGP 100% กับ 300%

สมบัติ	พอลิเมอร์ผสม อีวีเอ		พอลิเมอร์ผสม พีวีซี		พอลิเมอร์ผสม ยางธรรมชาติ	
	กรณี ก.	กรณี ข.	กรณี ก.	กรณี ข.	กรณี ก.	กรณี ข.
แรงดึง สูงสุด	+751.3	+43.1	-76.9	-11.8	-53.7	-77.6
ความเค้น สูงสุด	+1422.6	+32.6	-80.4	-15.3	-59.7	-79.7
% การยืด ฉ จดขาด	-76.7	-95.2	-60.2	-26.7	+32.4	-16.8

หมายเหตุ เครื่องหมาย - คือ ชิ้นงานมีสมบัตินั้นๆลดลง (หน่วย %)
เครื่องหมาย + คือ ชิ้นงานมีสมบัตินั้นๆเพิ่มขึ้น (หน่วย %)

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า SGP ทำให้พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจาก ค่าแรงดึงสูงสุด และความเค้นสูงสุด ที่เพิ่มขึ้น และทำให้พอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติมี % การยืด ฉ จดขาดเพิ่มขึ้น

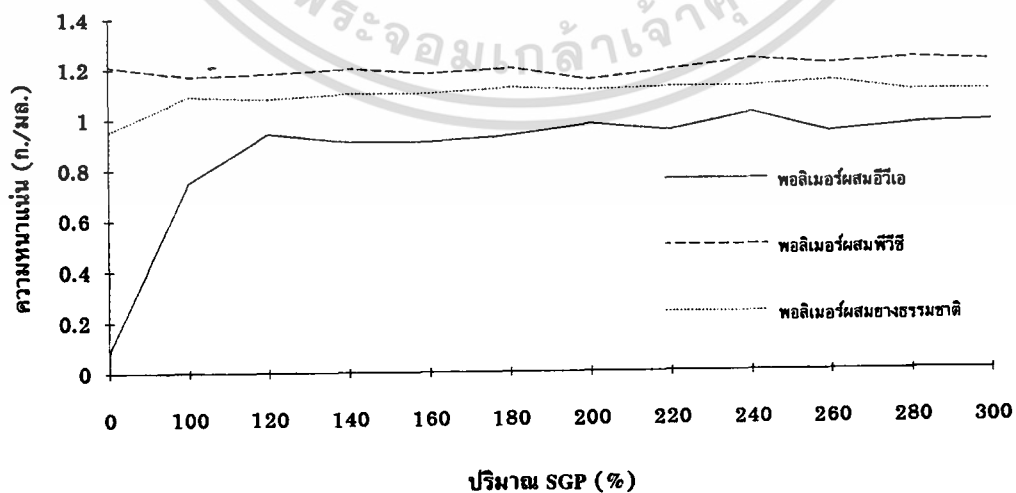
4.7 ศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนการแช่น้ำ

แสดงผลความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม ในตารางที่ 4.16 และเปรียบเทียบผลที่ได้ในรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.16 แสดงผลความหนาแน่นก่อนและหลังการผสม SGP ของ
พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

ปริมาณ SGP (%)	ความหนาแน่นของชิ้นงาน (ก./มล.)		
	พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ	พอลิเมอร์ผสมพีวีซี	พอลิเมอร์ผสมยาง
0	0.94	1.21	0.95
100	0.91	1.17	1.09
120	0.91	1.18	1.08
140	0.93	1.20	1.10
160	0.98	1.18	1.10
180	0.95	1.20	1.12
200	1.02	1.15	1.11
220	0.94	1.19	1.12
240	0.97	1.23	1.12
260	0.98	1.21	1.14
280	0.75	1.23	1.10
300	0.98	1.22	1.10

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่น (ก./มล.) ของพอลิเมอร์ผสม
กับ ปริมาณ SGP (%)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.19 พบว่า ปริมาณ SGP ไม่ค่อยมีผลต่อความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ SGP จาก 100 % เป็น 300 % ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง 30.96 % สำหรับพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ 4.27 % สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซี และ 0.92 % สำหรับพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่ไม่ได้ผสม กับที่ผสม SGP (สูตร 300 %) พบว่า ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ และยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 1023.6 % และ 16.6 % ตามลำดับ แต่ทำให้พอลิเมอร์ผสมพีวีซี มีความหนาแน่นลดลง 1.13 %

4.8 การศึกษาผลของปริมาณ SGP และการเติมสารตัวเร่งต่อค่าความหนืดของยาง

แสดงค่าความหนืดจากเครื่อง Mooney viscometer สภาวะ ML₍₁₊₄₎ อุณหภูมิ 100 °ซ ของยางธรรมชาติ ก่อนและหลังการเติมสารตัวเร่ง ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงความหนืดของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ

สภาวะ ของ ชิ้นงาน	ค่าความหนืดจากเครื่อง Mooney viscometer											
	ปริมาณ SGP (%)											
	0	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
ก่อนเติม ตัวเร่ง	1.4	3.2	1.2	1.5	6.6	7.8	3.2	4.9	5.0	10.6	11.0	16.0
หลังเติม ตัวเร่ง	0.6	-0.2	0.9	0.7	3.4	3.8	5.8	4.2	5.7	7.9	8.6	1.6

จากตารางที่ 4.17 พบว่า เมื่อเติมสารตัวเร่งแล้ว จะทำให้ความหนืดของยาง มีแนวโน้ม ลดต่ำลง และปริมาณ SGP ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของยาง ภายหลังเติมตัวเร่ง มีแนวโน้มสูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณ SGP และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ ที่มีต่อโฟมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SGP ในส่วนผสม ตั้งแต่ 100-300 % และระยะเวลาแช่น้ำที่ทำการทดสอบสมบัติแต่ละครั้งคือ 1 , 3 และ 7 วัน

5.1 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสม

5.1.1 จากลักษณะกราฟในรูปที่ 4.4-4.9 พิจารณาเห็นว่าควรใช้ผลค่าการดูดซึมน้ำ ตามการคำนวณด้วย สมการที่ 4.3 มากกว่าสมการที่ 4.2 เนื่องจากค่าการดูดซึมน้ำที่ได้ เป็น ค่าเฉพาะชิ้นงาน และเห็นแนวโน้มของกราฟได้ชัดเจนกว่า ดังนั้นในการสรุปผลจะใช้ผลใน ตารางที่ 4.5, 4.7 และ 4.9 พิจารณาร่วมกับผลที่ได้จาก ตารางที่ 4.1 - 4.3 และตารางที่ 4.10

จะเห็นว่า อัตราการขยายตัวของพอลิเมอร์ผสมกับอีวีเอ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทิศทาง เดียวกันกับความสามารถในการดูดซึมน้ำ เมื่อ ปริมาณ SGP ในเมตริกซ์มีมากขึ้น สาเหตุ น่าจะเป็น เพราะ SGP เป็นตัวดูดซึมน้ำ พร้อมกับบวมตัวออกดันผนังเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม ให้ขยายตัวในลักษณะ 3 ทิศทาง คือ ขยับขยายตัวออกทั้งในด้านความกว้าง ยาว และหนา ในอัตราใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้นงาน และเนื่องจากไม่มีช่องว่างเกิดขึ้นบริเวณผิวของชิ้นงาน ทำให้ ปริมาณ SGP ที่หลุดออกมีไม่มาก พบว่าระยะเวลาในการแช่ชิ้นงาน มีผลต่อความสามารถ ในการดูดซึมน้ำของชิ้นงานด้วยเช่นกัน นั่นคือ เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมี ความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางธรรมชาตินั้น จะสังเกตเห็น แนวโน้มการขยายตัว และการดูดซึมน้ำได้ยากกว่า เนื่องจากการบวมตัวของชิ้นงาน มิได้เป็นไปใน 3 ทิศทาง นั่นคือ ความหนาของชิ้นงานไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ชิ้นงานเพียงแต่ขยายออกทาง ด้านข้าง เมื่อทำการสังเกตลักษณะภายนอกพร้อมด้วยจะเห็นว่า เมตริกซ์พีวีซีสามารถรองรับ การขยายตัวได้อีก โดยจะขยายในลักษณะบวมตรงกลางชิ้นงาน หรือบริเวณที่ไม่มีแรงกดทับ จากภายนอกมากระทำดังเช่นบริเวณขอบของชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานขยายตัวออก อาจทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่าง เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าชิ้นงานเป็นผลให้ SGP ที่บวมน้ำสามารถหลุดออก เมื่อได้รับแรงบีบ หรือ เมื่อชิ้นงานเกิดการแตกออก

ส่วนชิ้นงานจากยางธรรมชาติ นั้น พบว่าไม่มีลักษณะการบวมตัวเลย มีเพียงการขยายออกทางด้านข้าง (บานออก) จะเห็นว่า การขยายตัว และการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อปริมาณ SGP เพิ่มขึ้น

5.1.2 สันนิษฐาน ลักษณะการผสมของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจะเป็นไปในลักษณะ

(1) พอลิเมอร์ผสมอีวีเอ

นอกจากการเกาะกันด้วยแรงดึงดูดชนิดหนึ่ง ระหว่างโมเลกุล SGP กับอีวีเอ บริเวณผิวหน้าชิ้นงานแล้ว เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานร่วมด้วย สันนิษฐานว่า โมเลกุลของ SGP อาจแทรกตัวอยู่ ระหว่างช่องว่างของเซลโฟม ถึงแม้ว่าภายหลังการขึ้นรูป เซลโฟมจะหดตัวลงทำให้ชิ้นงานไม่มี ลักษณะเป็น โฟมตามที่ควรจะเป็น แต่เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวไปแช่น้ำ พบว่า SGP ที่แทรกอยู่ จะดูดซึมน้ำแล้วบวมตัวดันเซลโฟมที่ห่ออยู่ให้ขยายออก ดังนั้นยังมีปริมาณ SGP มาก จะยังทำให้ พอลิเมอร์ผสมอีวีเอขยายตัวมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอีกเหตุผลหนึ่ง ที่สนับสนุนว่า โมเลกุล SGP น่าจะแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของเซลโฟม ก็คือ ปริมาณ SGP ที่หลุดออกมานั้น ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณ SGP ที่ผสมในตอนต้น แต่น่าจะขึ้นกับกระบวนการผสม และกระบวนการขึ้นรูปที่ทำให้เกิดเซลโฟม

(2) พอลิเมอร์ผสมพีวีซี

ลักษณะการแทรกตัวของ SGP จะคล้ายวัสดุประกอบแบบลามิเนต นั่นคือ จะเกิดการสลับชั้น ระหว่างพีวีซี และ SGP แต่เนื่องจาก SGP ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ จึงอยู่ในลักษณะเกล็ดเล็ก ๆ เกาะอยู่บนผิวของฟิล์มพีวีซี เมื่อทำการตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ จึงเป็นการบีบชั้นลามิเนตให้แน่น ตัวชิ้นงานจึงมีลักษณะคล้ายฟิล์มพีวีซีห่อหุ้มโมเลกุล SGP เอาไว้ นอกจากการแทรกตัวของ SGP ในลักษณะดังกล่าวแล้ว SGP ยังสามารถเกาะอยู่กับโมเลกุลพีวีซี ด้วยแรงดึงดูดชนิดหนึ่ง ทำให้โมเลกุลของพีวีซีจัดเรียงตัวไม่แน่น เมื่อนำชิ้นงานไปแช่น้ำทำให้ พีวีซี ซึ่งมีสมบัติกันน้ำสามารถดูดซึมน้ำได้ โดย เมื่อดูดน้ำแล้วชิ้นงานจะขยายออกทางด้านข้าง มากกว่า เนื่องจากโมเลกุล SGP ที่บวมน้ำถูกชั้นของพีวีซีกดทับอยู่ทำให้การขยายทางด้านบน และล่างเป็นไปได้ยาก แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณ SGP มากพอ (300 %) จะทำให้ โมเลกุล SGP สามารถดันชั้นลามิเนตให้โป่งพองออกบริเวณตรงกลางชิ้นงานได้ เมื่อทำการฉีก ชิ้นพีวีซีที่ห่อหุ้มไว้ ออก ก็จะเห็นเม็ด SGP อยู่ภายในเป็นจำนวนมาก อีกเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนข้อสมมุติฐานข้างต้น ก็คือ ปริมาณ SGP ที่หลุดออกมา จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGP ที่ใช้ผสมมีมาก การจัดเรียงตัวของชั้น พีวีซี ก็จะมีผอมคลาขลง เมื่อนำไปแช่น้ำ โมเลกุล SGP ที่ดูดน้ำแล้ว ก็สามารถดันชั้นพีวีซีให้เกิดช่องว่างได้ ยิ่งปริมาณ SGP มากก็จะมีทำให้เกิดช่องว่าง หรือเกิดรู บริเวณผิวหน้าชั้นงานได้ง่าย SGP ก็สามารถหลุดออกมาได้ง่าย

(3) พอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ

ลักษณะการผสม SGP กับยางธรรมชาติ จะคล้ายกับวัสดุประกอบอนุภาค คือ จะผสมกันในลักษณะของอนุภาค มีการเกาะกันอยู่ด้วยแรงดึงดูดอย่างอ่อน ๆ เมื่อนำไปแช่น้ำ โมเลกุล SGP จะดูดน้ำและบวมตัว ดันให้โมเลกุลยางขยายออกทางด้านข้างซึ่งในการบวมตัวของ SGP นี้ อาจทำให้แรงดึงดูดอย่างอ่อน ๆ ดังกล่าวหมดไป ส่งผลให้โมเลกุล SGP หลุดจากชั้นงาน ซึ่งเหตุผลที่สนับสนุนข้อสันนิษฐาน ก็คือ ชั้นงานที่มีปริมาณ SGP ที่บวมตัวอย่างเต็มที่ บริเวณผิวหน้าเป็นจำนวนมาก เมื่อมีปริมาณ SGP ที่ใช้ผสมมากขึ้น

5.2 การศึกษาผลของปริมาณ SGP ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

5.2.1 ผลจากปริมาณ SGP

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นได้ว่า สามารถใช้ SGP เป็นสารตัวเติมแบบเสริมแรง ให้กับโพลีเอทิลีน และใช้เป็นตัวเติมเพิ่มความสามารถในการยึด ฉ จุดขาดให้กับยางได้ แต่ข้อเสียของการใช้ SGP เป็นสารตัวเติม ก็คือ ชั้นงานที่ได้จะไม่แข็งแรง โดยสามารถใช้ ค่าแรงดึงสูงสุด ค่าความเค้นสูงสุด และค่าความแข็ง จากกราฟในรูปที่ 4.13-4.17 ในการสนับสนุนข้อสมมติฐาน

5.2.2 ผลจากชนิดพอลิเมอร์ผสมที่ใช้

จากกราฟในรูปที่ 4.16 - 4.18 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ มีความแข็งแรงที่สุด แต่มีความสามารถในการยึด ฉ จุดขาดต่ำสุด และพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ จะมีความสามารถในการยึด ฉ จุดขาดสูงที่สุด แต่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้ชั้นงานมีความแข็งแรงขึ้น จะส่งผลให้ชั้นงานนั้น ๆ มี % การยึด ฉ จุดขาดต่ำลง ดังนั้น ในการเลือกใช้งานพอลิเมอร์ผสมจึงควรคำนึงถึง ลักษณะการนำไปใช้ด้วยว่า ต้องการพอลิเมอร์ผสมที่มีลักษณะแข็งแรง หรือมีความสามารถในการยึดตัว ฉ จุดขาดสูง

5.3 เปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานระหว่างพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมบัติ ของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิด

กำหนดให้ EVA* ใช้แทนพอลิเมอร์ผสมระหว่างอีวีเอ กับ SGP
 PVC* ใช้แทนพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี กับ SGP
 NR* ใช้แทนพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ กับ SGP

สมบัติที่ต้องการเปรียบเทียบในการใช้งาน (คิดโดยเฉลี่ย)	ผลที่ได้
อัตราการขยายตัว	EVA* > NR* > PVC*
อัตราการขยายตัว เมื่อปริมาณ SGP $\geq 300\%$	PVC* > EVA* > NR*
อัตราการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ (เมื่อปริมาณ SGP ที่หลุดไม่มีผล)	PVC* > NR* > EVA*
อัตราการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน (เมื่อปริมาณ SGP ที่หลุดใช้งานไม่ได้)	EVA* > NR* > PVC*
ความสามารถในการรับแรง (ความเค้น และแรงที่ใช้ในการดึง)	EVA* > PVC* \geq NR*
ความสามารถในการยึด	NR* > PVC* \geq EVA*
ความแข็ง (shore A)	EVA* > PVC* > NR*
การคงรูปของชิ้นงานภายหลังการดูดซึมน้ำ	EVA* > PVC* > NR*
ปริมาณ SGP ที่หลุดออกจากชิ้นงาน	NR* > PVC* > EVA*

5.4 สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จะเห็นได้ว่า การนำ SGP มาทำการผสมกับ อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ สามารถปรับปรุงสมบัติการขึ้นรูปของ SGP ให้สามารถขึ้นรูปได้ แม้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้ จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับ พอลิเมอร์ที่เลือกมาผสมก็ตาม สาเหตุอาจเนื่องมาจาก (1) พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ ทำให้ไม่สามารถกระจายตัว อย่างอิสระเช่นเดียวกับสาร โมเลกุลเล็ก (2) พลังงานที่ใช้ในการผสมสายโซ่พอลิเมอร์ต่างกัน เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานความร้อนต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) สัดส่วนที่ใช้ในการจัดเรียงตัว ต้องมีขนาดเหมาะสม (4) ขนาดและการจัดเรียงตัว ของ
 ภูมิภาคทั้งสองถูกกำหนด โดยปัจจัยต่างๆ

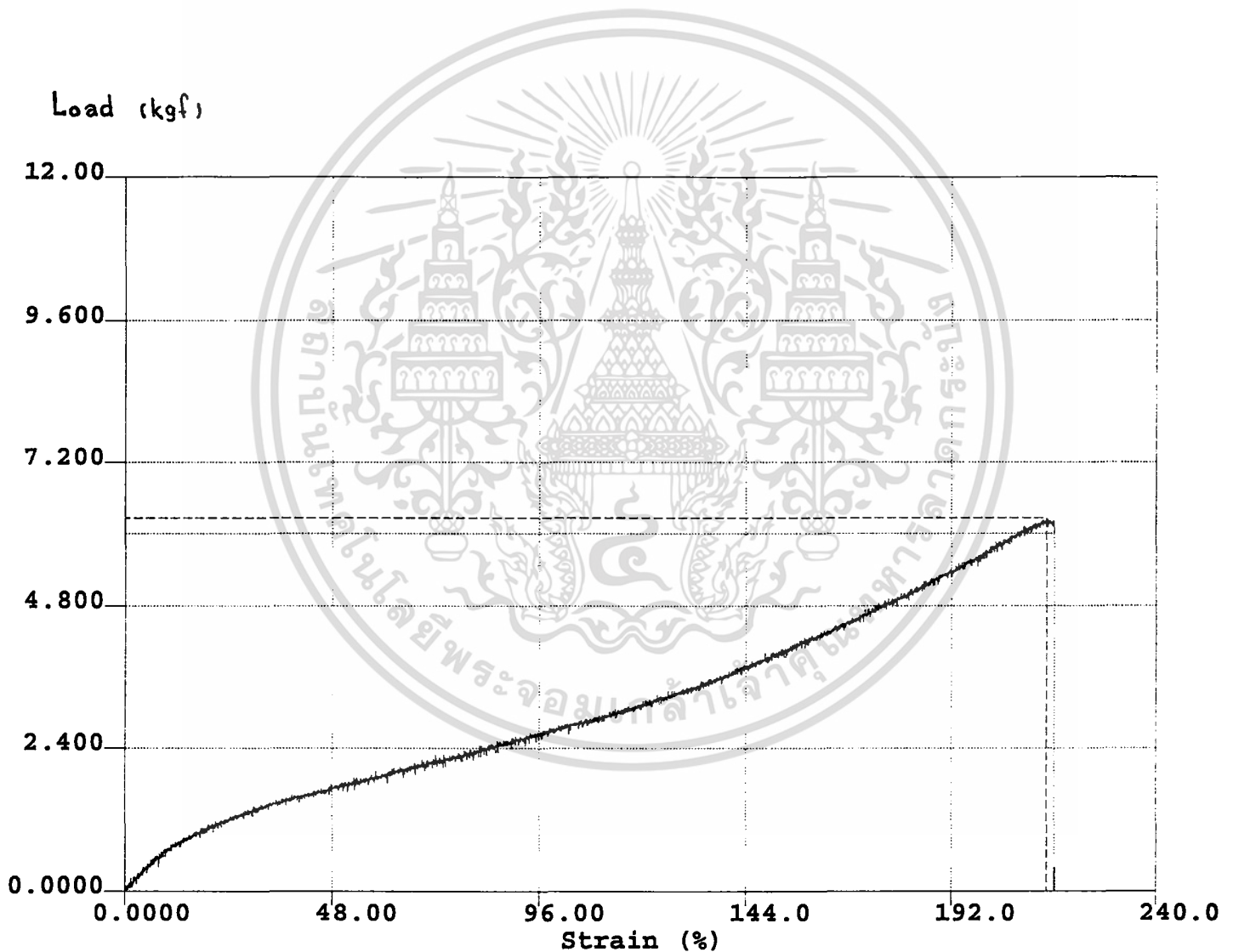
ดังนั้น เพื่อการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างพอลิเมอร์ดูซึมน้ำ กับอีวีเอ พีวีซี และ
 ยางธรรมชาติ โดยไม่มีการหลุดของ SGP เมื่อนำไปใช้งาน จึงควรทำการศึกษาใน เรื่อง
 สารช่วยเสริมการกระจายตัวระหว่างภูมิภาค (compatibility) ของพอลิเมอร์ผสมคู่ที่ต้องการศึกษา
 และ ศึกษาสมบัติของ SGP อย่างละเอียดเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

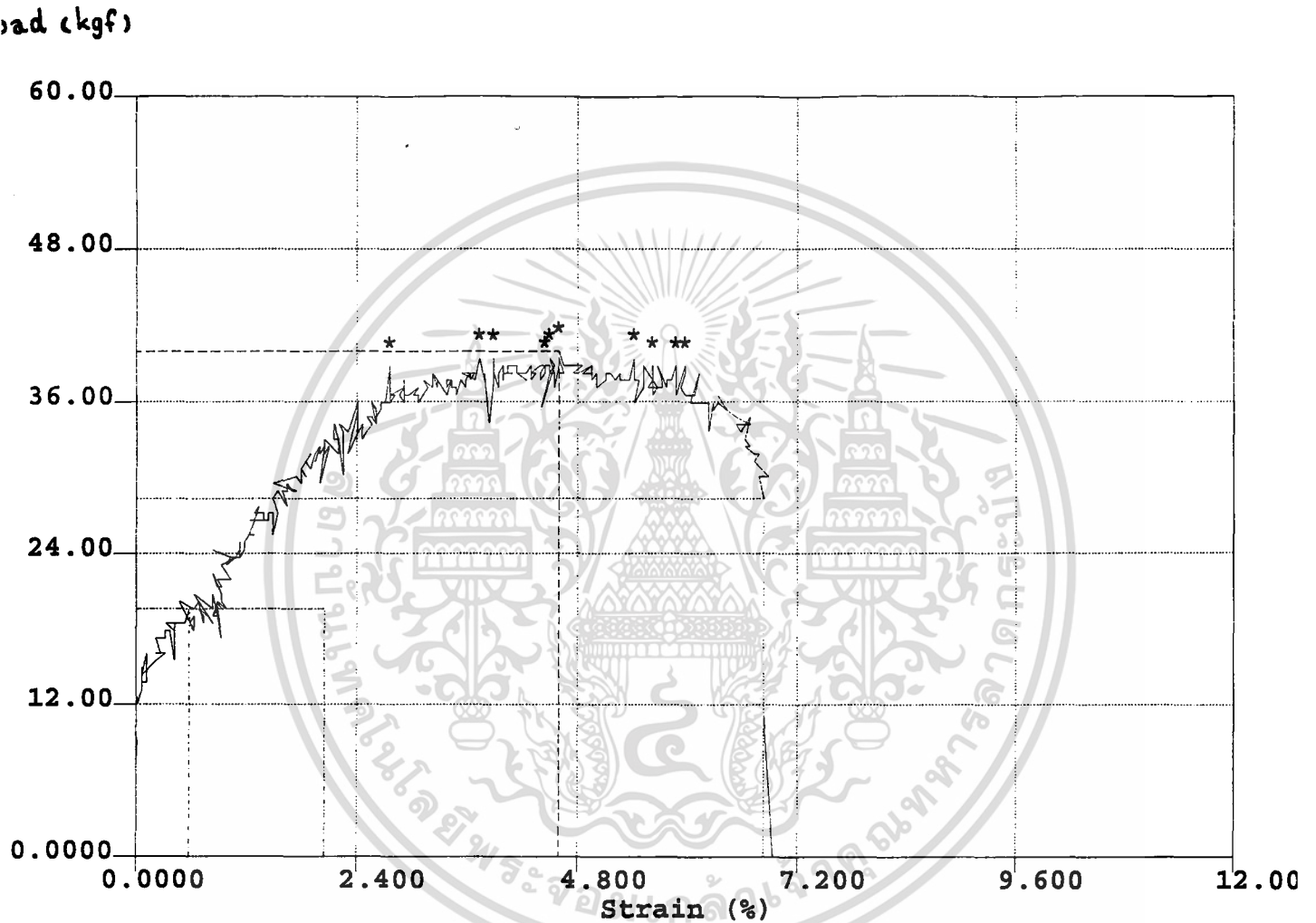
ภาคผนวก

รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงยืด LR 30 K ของโพมอีวีเอ [ปริมาณ SGP 0 %]



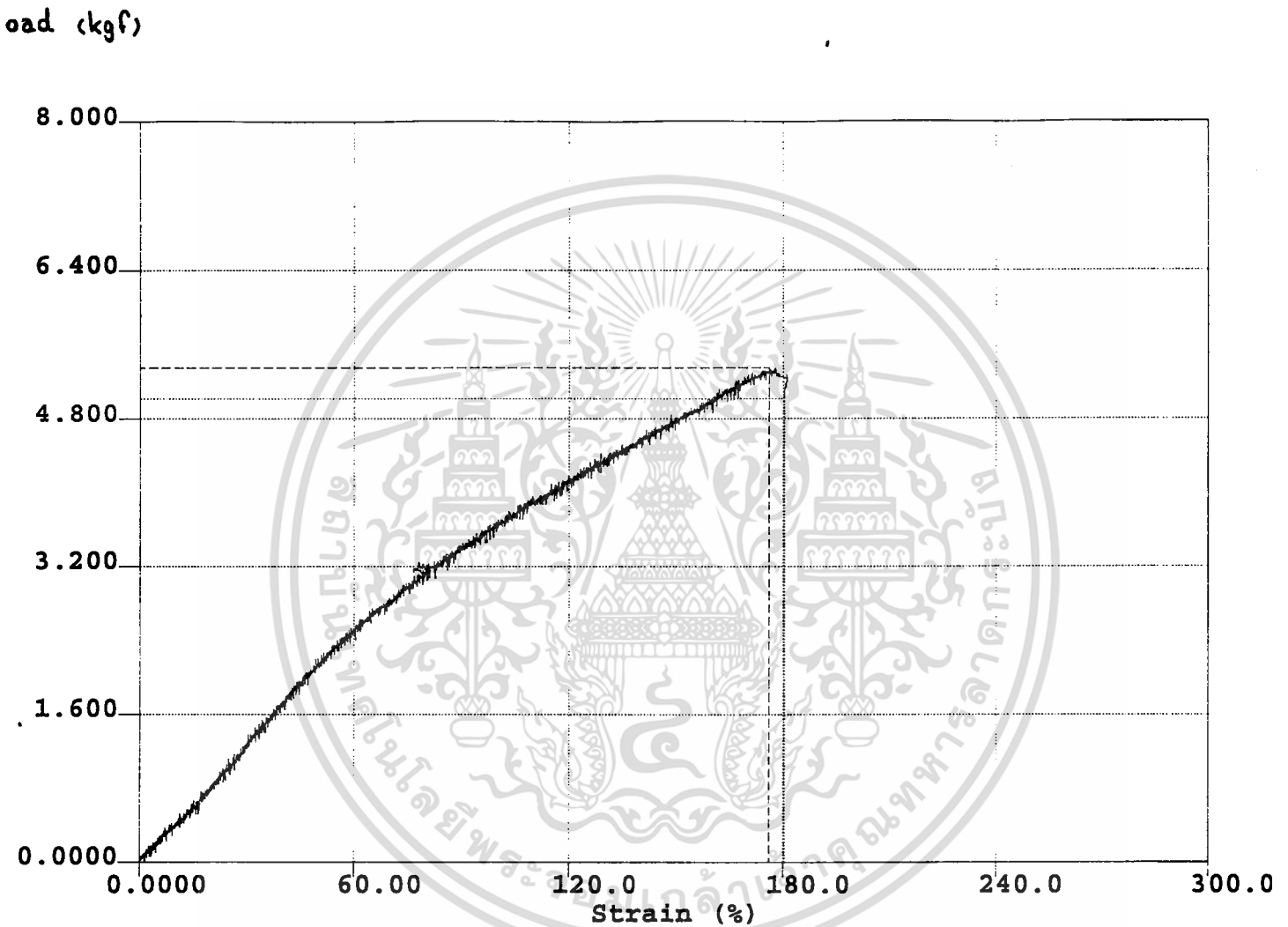
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
 ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงชนิด LR 30 K ของพอลิเมอร์ผสมอีวีเอ [ปริมาณ SGP 300 %]



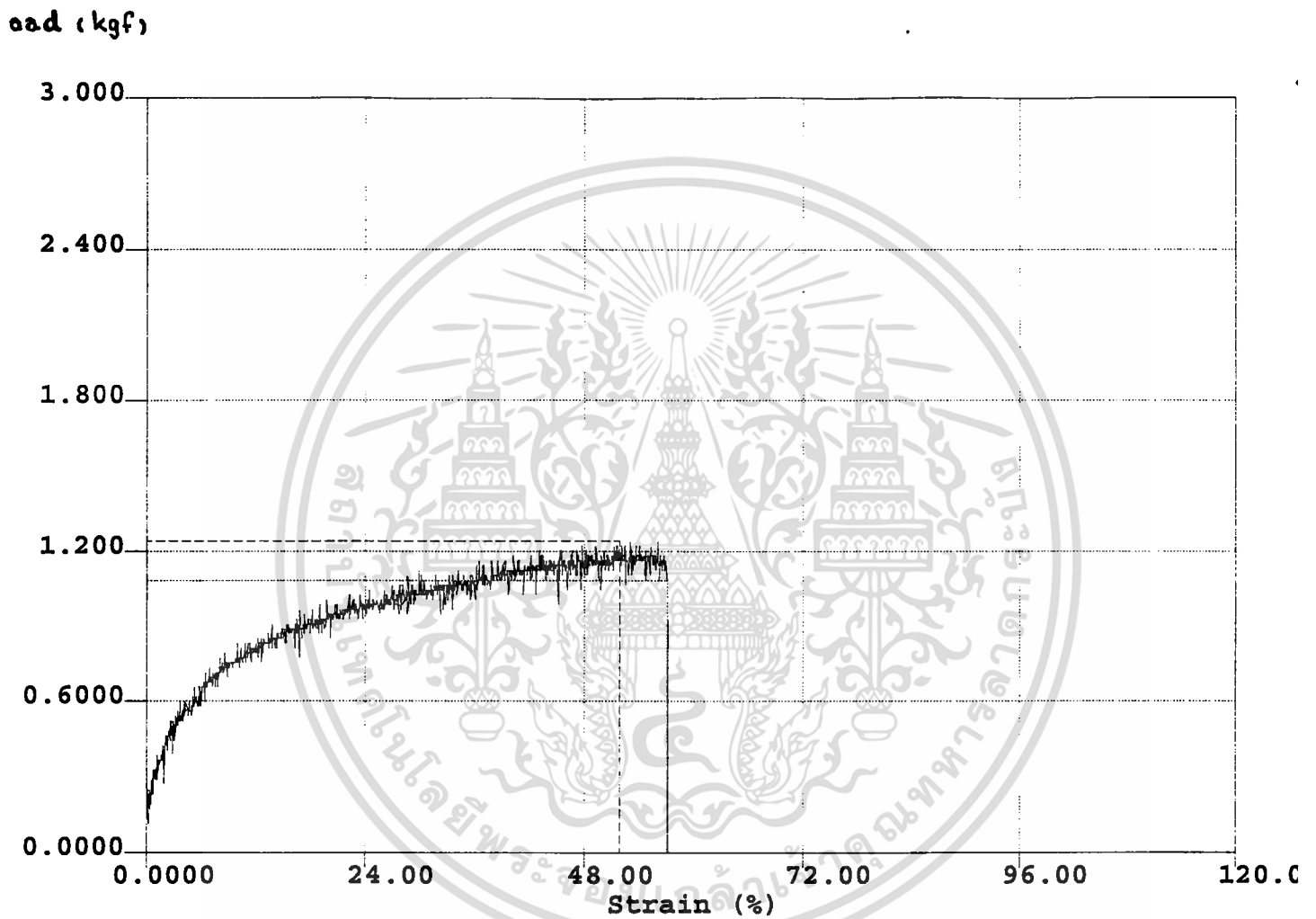
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
 ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงยืด LR 30 K ของพีวีซี [ปริมาณ SGP 0 %]



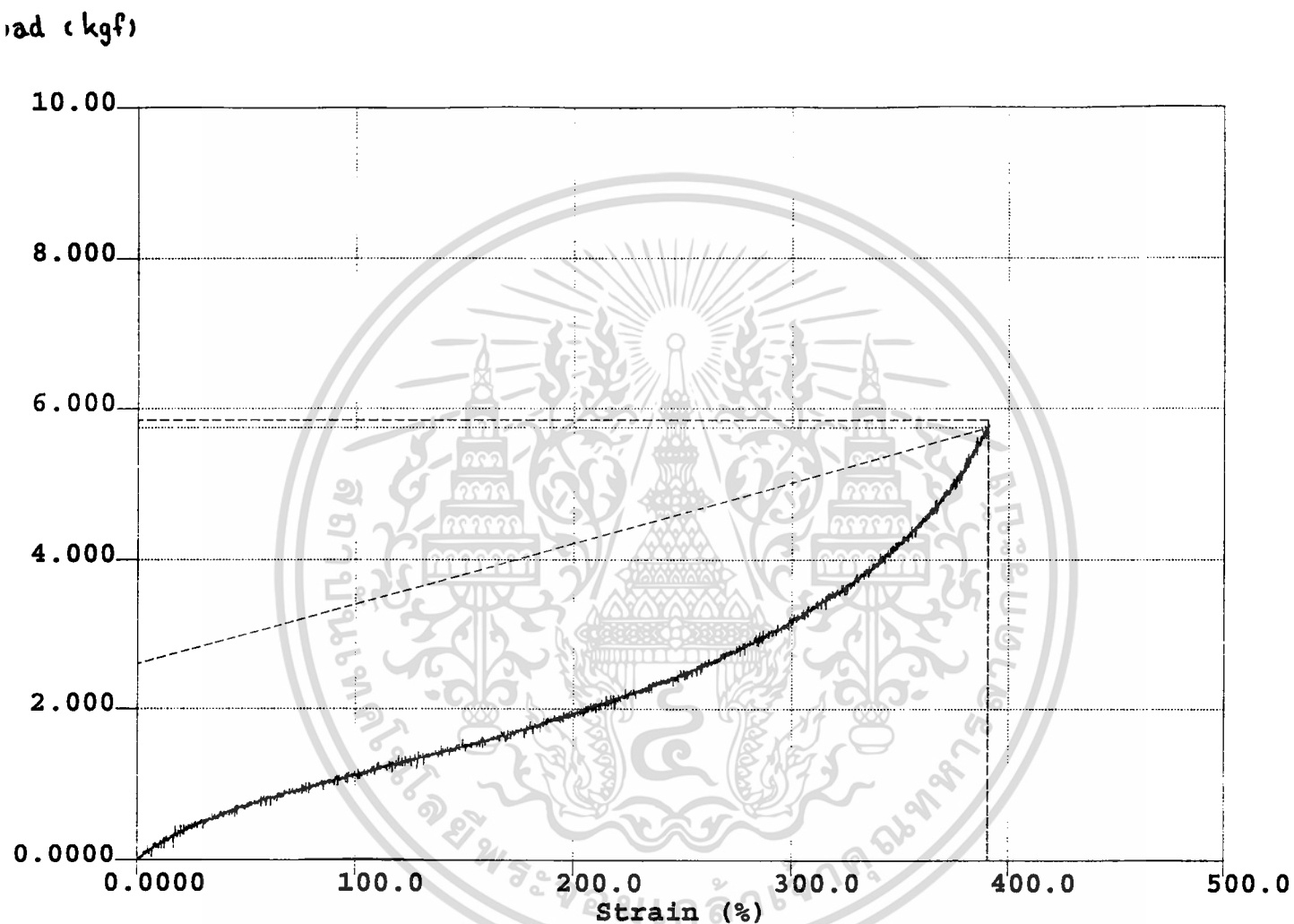
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
 ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงยืด LR 30 K ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซี [ปริมาณ SGP 300 %]



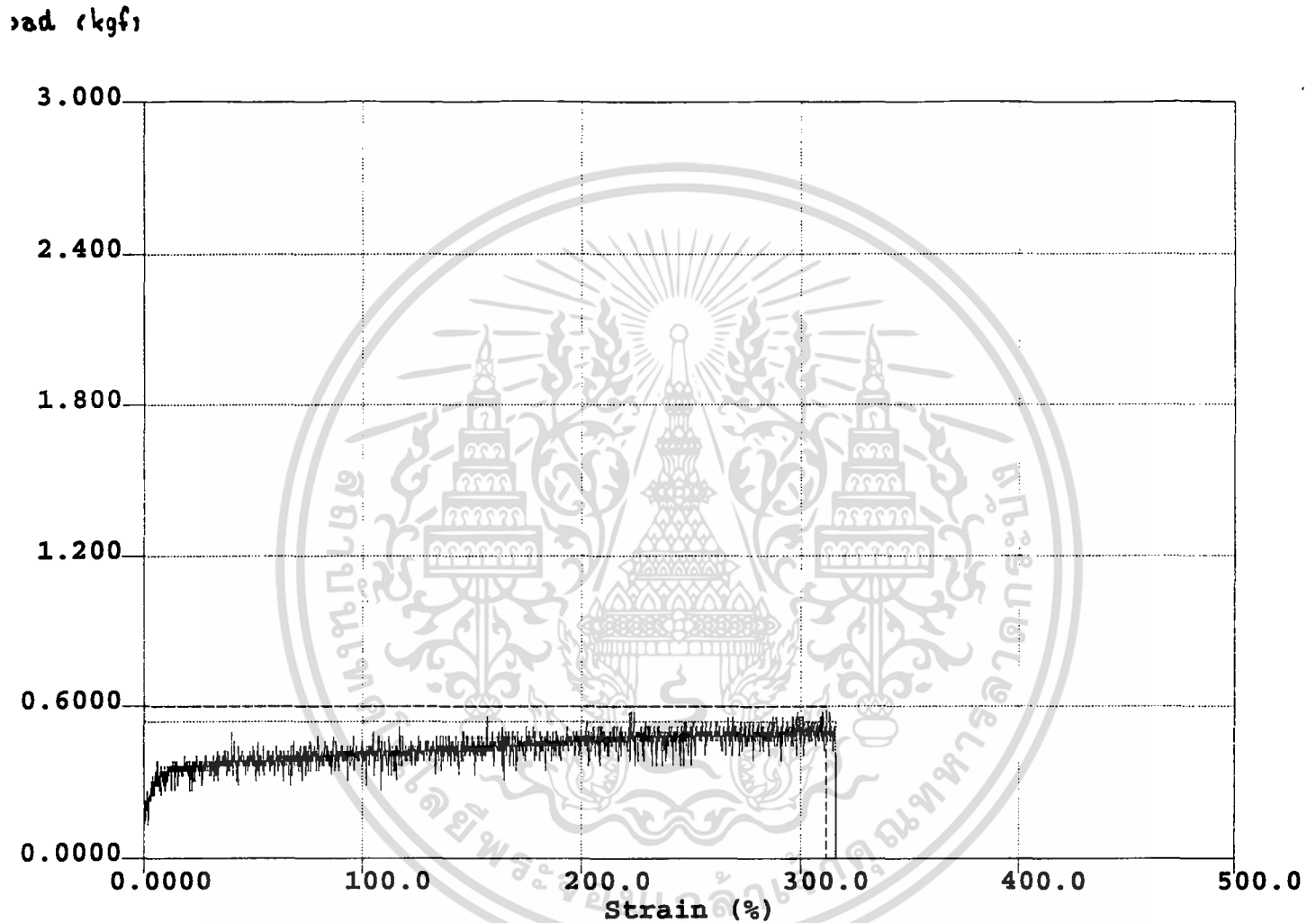
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
 ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงยืด LR 30 K ของยางธรรมชาติ [ปริมาณ SGP 0 %]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ในการดึง (kgf) กับ ความเครียด (%)
 ที่ได้จากเครื่องวัดการดึงยี่ห้อ LR 30 K ของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ
 [ปริมาณ SGP 300 %]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. บรรพต จิตตะสนธิ และ สุรียพร ตรีพัฒนาสุวรรณ “การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำเพื่อไปใช้ทางการแพทย์โดยวิธีโพลีเมอไรเซชัน” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2535.
2. Deanin, R .D . Compatibility and practical, properties of polymer blends in Application of polymers (Raymond ,B.S. and Herman ,F. M. eds.) pp. 53-56. Plenum Press , USA , 1988.
3. สรรค์ชัย อินทว้าง . “การปูแผ่นพลาสติกในแหล่งน้ำเพื่อป้องกันการรั่วซึม” สำนักงานโครงการเงินกู้ กรมการพัฒนาชุมชน, กรุงเทพฯ ., 2525.
4. Jones, R .M. in Mechanics of composite material. chap1. pp.1-10 , McGraw-Hill , Washington D.C. , 1975.
5. ทิพย์ชาติ พวงจิตต์ และ ภัทรสินี หอมขง และ วรทิพย์ ยูวณิช “การผลิตสารที่มีสมบัติดูดซึมน้ำจากแป้งมันสำปะหลังแบบต่อเนื่อง” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2536.
6. Meinecke, E. A. and Clark, R.C. in Mechanical properties of polymeric foams. pp. 30-32 , Technomic Publishing , USA , 1973.
7. Benning, C. J. in Plastic foams. Vol II. pp. xi-xii , 2 - 4 and 394 - 300 , John Wiley & Sons , USA , 1969.
8. Raff, W.J. and Scott, J.R. in Fibers, Films, Plastics and Rubbers a handbook of common polymers. pp. 17-19 , Butterworth & Co. (Publishers) Ltd , England , 1971.
9. ชัชวาลย์ สุรัสวดี. “ความรู้เรื่องเม็ดพลาสติกเพื่อการใช้งาน” วารสารพลาสติก ฉบับที่ 2 (2531) : 8-9.
10. นิพนธ์ วงศ์พิเศษศิริกุล, ผศ.ดร. ใน ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 ., หน้า 1-9 และ 201-205 , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ , 2537.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. วิฑูรย์ สิริไพบูลย์. “PVC พลาสติกอนาคตไกล” วารสารพลาสติก ฉบับที่ 1 (2536) : 49-52.
12. Gottesman, R. T. and Goodman, D. Poly (vinyl chloride) in Applied Polymer Science. (Ray ,W. T. and Gary, W. P eds.) pp. 410-413 and 424-434. American Chemical Society, USA , 1985.
13. Titow, W.V. in PVC plastics, processing and application . chap.23. pp 771-785. Elsevier science publishers Ltd, NY. USA , 1990.
14. Abu bin Amu. Compounding ingredients in RRIM. Training manual on introduction to rubber technology 1991. (Morni ,A. ed.) pp. 20-40 . Rubber Research Institute of Malaysia , Malaysia , 1991.
15. Blow, C.M. in Rubber Technology and manufacture. pp. 20-23 , 37-49 and 148-161 . Butterworths, London, 1975.
16. เอกชัย สิริจันทน์นท์. “Polymer blends พัฒนาการที่ควรค่าจับตามอง” วารสารพลาสติก ฉบับที่ 3 (2532) : 21-24.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้