



รายงานการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ
พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

Comparative study of polymer blends between natural rubber and
isotactic polypropylene at various molecular weights

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2544

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม/2546

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2545 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เป็นผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นายวสันต์ ทิพย์करण และ นายณัฐพงษ์ แทนบุญ

บทคัดย่อ

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPEs) เตรียมโดยวิธีการไดนามิกวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ ในการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนจะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางวิทยากระแส สมบัติทางความร้อน และยังรวมไปถึงปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูป (Processing Conditions) ของการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องฉีด (Injection Molding) โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการฉีด (Injection Speed) และอุณหภูมิในการฉีด ต่อสมบัติของชิ้นงานฉีด ได้แก่ ความแข็ง อุณหภูมิการบิดงอ ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา และ สมบัติทางกล พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ จะถูกใช้ในการศึกษานี้เพื่อดูผลกระทบต่อสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นด้วย

Abstract

Thermoplastic elastomer (TPEs) were prepared by dynamic vulcanization of isotactic polypropylenes (i-PP) at various molecular weights and natural rubber. The ratios between natural rubber and i-PP were varied from 0-60%. The effect of ratios between natural rubber and i-PP on rheological and thermal property was studied. Injection molded TPEs were prepared at various processing conditions including three injection speeds and three melt temperatures. The effect of processing conditions on hardness, heat distortion temperature, morphological property and mechanical property of the specimens were determined. Polypropylenes with various molecular weights were used in this study and the effect of their molecular weights on these properties were also elucidated.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญ ที่มาของปัญหาการวิจัย และทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	5
การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์.....	5
การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ.....	7
การเตรียมชิ้นงาน โดยการขึ้นรูปแบบฉีด.....	8
การตรวจสอบสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด.....	9
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้น.....	11
การตรวจสอบชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นแบบรูปฉีด.....	15
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง.....	39
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยขั้นต่อไป.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	43
ประวัติผู้วิจัย.....	50

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงอัตราส่วนของการผสมพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ.....	5
2.2 แสดงการผสมพอลิโพรพิลีน 4 เกรดกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50.....	6
2.3 แสดงส่วนประกอบของการทำให้ยางคงรูป.....	6
2.4 แสดงความเร็วและอุณหภูมิในการฉีด.....	8
3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่อค่าดัชนีการไหล.....	11
3.2 ค่าดัชนีการไหล(MFI) ที่อุณหภูมิ 190 °C ของ พอลิโพรพิลีน 4 เกรดต่างๆ ที่ไม่ได้ผสมกับยางธรรมชาติ.....	12
3.3 ค่าดัชนีการไหล (MFI) ที่อุณหภูมิ 190 °C ของ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆ ที่ผสมกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 50-50.....	12
3.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบดของพอลิโพรพิลีน (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ.....	15
3.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบดของวัสดุ (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ.....	16
3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบดของวัสดุ (HDT) ของ PP 700J-50 ที่สภาวะการฉีดต่างกัน.....	17
3.7 การเปรียบเทียบค่าความแข็ง (Hardness) ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ.....	17
3.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ.....	18
3.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของ PP 700J-50 ที่สภาวะการฉีดต่างกัน.....	18

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
2.1 แสดงลักษณะแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดทดสอบ.....	9
3.1 กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C.....	13
3.2 กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C ของพอลิโพรพิลีนกับ ยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ.....	14
3.3 รูป SEM ของ PP700J ที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ปัจจัยการขึ้นรูปตามตารางที่2.4).....	20
3.4 รูป SEM ของ PP700J-60 ที่ขึ้นรูปโดยปัจจัยการขึ้นรูปที่ 1-5 ตามตารางที่ 2.4.....	21
3.5 รูป SEM ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆที่ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50.....	22
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield strength กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ.....	23
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ.....	24
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับ ยางธรรมชาติต่างๆ.....	25
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ.....	26
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50.....	27
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50.....	28
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50.....	29
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50.....	30
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C.....	31
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C.....	32
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C.....	33
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young modulus กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C.....	34
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆและพอลิเมออร์ผสมที่ได้.....	35
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆ.....	36
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆและพอลิเมออร์ผสมที่ได้.....	37
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆและพอลิเมออร์ผสมที่ได้.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาการวิจัย และทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ผสมเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจ โดยเฉพาะวัสดุที่ผสมระหว่าง อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) กับ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือที่เรียกกันว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer) หรือเรียกชื่อย่อทางอุตสาหกรรมว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จัดเป็นวัสดุที่เป็นทั้ง อีลาสโตเมอร์ และ เทอร์โมพลาสติก กล่าวคือ เป็นอีลาสโตเมอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติ elastic คล้ายกับ rubber ที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นเมื่อได้รับแรงกระทำและสามารถกลับเข้าสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อคลายแรงกระทำนั้น และในขณะเดียวกันก็เป็น เทอร์โมพลาสติก เนื่องจากจะมีสถานะเป็นของไหลที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวรวมถึงสามารถนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีพื้นฐานเช่น ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extrusion) เครื่องฉีด (Injection Molding) หรือขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ได้ [1]

โดยทั่วไป เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของ amorphous segment ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีความอ่อนนุ่มในส่วนนี้ก็คือส่วนของอีลาสโตเมอร์นั่นเองและส่วนประกอบหลักอีกส่วนคือส่วนของ crystalline หรือ hard segment จะเป็นส่วนที่มีความแข็งแรง ซึ่งส่วนนี้ก็คือส่วนของเทอร์โมพลาสติก โดยจะมีส่วนของ amorphous segment แทรกอยู่

จากที่ทราบกันแล้วว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ประกอบไปด้วย polymeric phase อย่างน้อย 2 phase โดยจะมีส่วนของ hard thermoplastic phase อยู่ร่วมกับ soft elastomeric phase ทำให้คุณสมบัติของ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ที่ได้นั้นจะได้อมาจากสมบัติของ phase ทั้งสองที่มาเกิดการ interaction กัน ซึ่งลักษณะเด่นที่เห็นได้ชัดที่สุดของ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการหลอมเหลวของตัว hard thermoplastic phase และ glass transition temperature ของตัว soft elastomeric phase ซึ่งช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ก็จะอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melt Temperature, T_m) และอุณหภูมิสถานะแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ของ phase ทั้งสองกล่าวคือที่อุณหภูมิมากกว่า T_m เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะเกิดการหลอมเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของไหลที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายเหมือนกับการขึ้นรูป เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ทั่วไป และที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะเกิดการแข็งตัวที่มีรูปร่างตามช่องว่างของแม่พิมพ์ (Mold Cavity) ซึ่งจะ

ได้ผลิตภัณฑ์ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีคุณสมบัติโดยทั่วไปดีกว่า thermoplastic และ elastomeric ทั่วไป [2]

วิธีการไดนามิกวัลคาไนเซชันเป็นกระบวนการที่ทำให้ยางคงรูปร่างบางส่วนซึ่งจะช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงมักถูกจัดว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ [3]

เนื่องจากในปัจจุบัน ประเทศไทยได้ประสบปัญหาเศรษฐกิจอย่างรุนแรง ทางออกของการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจนี้ ประการหนึ่งก็คือ การพยายามลดอัตราการค้าสินค้าเข้าจากต่างประเทศ และการส่งเสริมให้มีการผลิตสินค้าใช้เองภายในประเทศมากขึ้น นอกจากนี้อุตสาหกรรมรถยนต์กำลังเป็นอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งของโลกและของประเทศไทย โดยเฉพาะประเทศไทยมีโรงงานประกอบรถยนต์อยู่หลายแห่ง แต่อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนรถยนต์จำนวนมากยังไม่การผลิตใช้ได้ภายในประเทศ ต้องสั่งซื้อเข้ามาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะวัตถุดิบจำพวกเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ซึ่งนิยมใช้กันมาก ในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์ โดยเฉพาะ ส่วนกันชน ด้วยคุณสมบัติที่ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อความร้อนได้ดีพอควร และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) แต่ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ใช้ในทางการค้าจะมีราคาแพงมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ที่ใหญ่ที่สุดในโลก และมีการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มาจากการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แม้ในที่ที่มีลักษณะอากาศต่าง ๆ กัน เพราะ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ มีช่วง T_g และ T_m กว้าง ทนต่อ ozone และความร้อน สามารถขึ้นรูปได้หลายวิธี รวมถึงต้นทุนการผลิตต่ำ [3] จากปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้ประเทศไทยน่าจะมีความสามารถในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ขึ้นใช้เองจากวัตถุดิบภายในประเทศ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบเหล่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางพาราของไทย โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลักของผู้ใช้ คืออุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์

พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้กันมากที่สุดในทางการค้าด้วยสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงทนทานของพอลิโพรพิลีนในการที่จะใช้เป็นวัสดุวิศวกรรมนั้นยังไม่ดีเพียงพอ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (impact toughness) โดยการใส่ยางลงไปผสม โดยงานวิจัยเหล่านี้จะสามารถแตกออกได้หลายแขนง เช่น การศึกษาเกี่ยวกับ กลไกการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ถูกปรับปรุงด้วยยาง [4, 5] การศึกษาอัตราการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ [6, 7] การศึกษาถึงผลของปริมาณรวมทั้งขนาดของอนุภาคยางต่อค่าความยืดหยุ่น (Modulus) [8, 9] ค่า yield stress [8, 10] ค่าการขยายตัวทางความ

ร้อน [11] และ พฤติกรรมการทนต่อแรงกระแทก [12-17] ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ตั้งที่กล่าวมาข้างต้นนี้
 ยางที่ใช้คือ ethylene propylene diene monomer (EPDM) และมีงานวิจัยส่วนน้อยที่จะใช้ยาง
 ธรรมชาติเป็นตัวศึกษา โดยเฉพาะยางธรรมชาติที่ผลิตจากประเทศไทย จะมีก็แต่ยางธรรมชาติที่
 ผลิตจากประเทศมาเลเซียที่ใช้ในงานวิจัยในเรื่องการผสมเข้ากับพอลิโพรพิลีนในกระบวนการ
 สังเคราะห์เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ [18, 19] สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับยางธรรมชาติ
 ในประเทศไทย ได้มีการศึกษาการผสมกันระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ [20, 21] และมี
 การศึกษาผลของการใช้เปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน กับ เศษยางที่วัลคา
 ไนซ์แล้ว [22] รวมทั้งการศึกษาถึงคุณสมบัติการรับแรงกระแทกและความแข็งแรงต่อการดึงของพอลิโพรพิ
 ลีนเมื่อเติมเศษยางที่ใช้แล้ว [23] ซึ่งแนวทางการวิจัยในเรื่องของยางในประเทศไทยมักจะเน้นไปใน
 เรื่องการนำเอายางธรรมชาติไปผสมกับยางสังเคราะห์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการ มากกว่าการนำ
 ยางธรรมชาติไปผสมกับเทอร์โมพลาสติกชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังไม่มียางวิจัยใดที่ระบุถึงผลของ
 ปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูปของยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ
 ขึ้นรูปแบบฉีด รวมทั้งอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้
 จากการขึ้นรูปแบบฉีด สำหรับพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์มีการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบ
 ฉีดและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์พอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้น
 รูปแบบฉีด [24-26]

ในการศึกษาของการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนจะศึกษาผลกระทบของการ
 เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติ กับพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ต่อสมบัติต่างๆ
 ได้แก่ สมบัติทางวิทยากระแส สมบัติทางความร้อน และยังรวมไปถึงปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูป
 (Processing Conditions) ของการขึ้นรูปของการผสมโดยใช้เครื่องฉีด (Injection Molding) โดยการ
 เปลี่ยนแปลงความเร็วในการฉีด (Injection Speed) และอุณหภูมิในการฉีด ต่อสมบัติของชิ้นงานฉีด
 ได้แก่ ความแข็ง, อุณหภูมิการบิดงอ, ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา และ สมบัติทางกล พอล
 ลิ โพร พิ ลี น ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆจะถูกใช้ในการศึกษานี้เพื่อดูผลกระทบต่อสมบัติที่กล่าวมา
 ข้างต้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการผลิตพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติของไทยและพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อใช้งานภายในประเทศ
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้จากส่วนประกอบของ พอลิโพรพิลีน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน
3. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยในการขึ้นรูปต่อคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้
- ศึกษาผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้
- ศึกษาผลของปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่อคุณสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของยางธรรมชาติของไทยและเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ผลิตได้ภายในประเทศ
2. จะช่วยลดอัตราการนำเข้าพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์
3. จะเป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ใช้เองภายในประเทศ

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ที่ใช้ในการค้าผลิตโดยบริษัทไทยโพลีโพรพิลีน จำกัด จำนวน 4 เกรด ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เรียงจากสูงไปต่ำ ได้แก่ PP 401S, PP 700J, PP 800J, และ PP 900J กับยางธรรมชาติเกรด STR 5L จาก บริษัท Romphohotyoke จำกัด สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนประกอบของการทำให้ยางคงรูปได้แก่ Sulfer, Tetramethylthiuramdisulphide (TMTD), Mercaptobenzothiazole(MBT), ZnO และ Stearic acid

2.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

2.2.1 การผสมวัสดุด้วยเครื่องบดผสมภายใน (Internal Mixer)

การผสมทำโดยใช้เครื่องบดผสมภายใน รุ่น Poly Lab ของบริษัท HAAKE ในการศึกษาผลของอัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ จะทำการเปลี่ยนอัตราส่วนตามตารางที่ 2.1 โดยที่พอลิโพรพิลีนที่ใช้คือ PP 700J

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนของการผสมพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ

สัญลักษณ์ย่อ ส่วนประกอบ	PP 700J-100	PP 700J-80	PP 700J-60	PP 700J- 50	PP 700J-40
ยางธรรมชาติ	0	20	40	50	60
PP 700J	100	80	60	50	40

สำหรับอักษรย่อที่ใช้ ตัวเลข 2 ตัวหลังเครื่องหมายลบ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการผสม สำหรับตัวอักษรและตัวเลขก่อนหน้าเครื่องหมายลบแสดงเกรดของพอลิโพรพิลีนที่ใช้ ส่วนในการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนต่อคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้จะใช้พอลิโพรพิลีน 4 เกรด ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการผสมพอลิโพรพิลีน 4 เกรดกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50 : 50

สัญลักษณ์ย่อ	PP 700J-50	PP 800J-50	PP 900J-50	PP 401S- 50
ส่วนประกอบ				
ยางธรรมชาติ	50	50	50	50
ชนิดของพอลิโพรพิลีน/ปริมาณ	PP 700J/50	PP 800J/50	PP 900J/50	PP 401S/50

การผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนจะใช้สารเคมีในปริมาณคิดเป็นส่วนต่อหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของการทำให้ยางคงรูป

สารเคมี	ปริมาณ(หน่วย : phr)
ยางธรรมชาติ	100
Sulfur	0.25
TMTD	0.25
ZnO	0.5
Stearic acid	0.5
MBT	0.375

สภาวะที่ใช้ในการผสมได้แก่ความเร็วรอบ (n) เป็น 60 อุณหภูมิ (T) ที่ใช้ในการบดผสมของแต่ละแผ่นโดยที่ แผ่นหน้า/แผ่นกลาง/แผ่นหลังเท่ากับ 165/170/165 °C และเวลารวมที่ใช้ในการบดผสม (Time) เท่ากับ 20 นาที โดยในการผสมเติมพอลิโพรพิลีนเป็นเวลา 5 นาที พอถึงนาทีที่ 5 เติมยางธรรมชาติ พอถึง นาทีที่ 7 หยุดการหมุนของใบพัด คอยเวลาถึงนาทีที่ 10 เริ่มการหมุนของใบพัด และเติม sulfur ปล่อยให้มีการหมุนของใบพัดประมาณ 2 นาที พอถึงนาทีที่ 12 หยุดการหมุนของใบพัดเป็นเวลา 3 นาที และพอถึงนาทีที่ 15 เริ่มการหมุนของใบพัดและเติมสารเคมีที่เหลือ ให้มีการหมุนของใบพัดต่อไปอีก 3 นาที ช่วงนี้ต้องคอยดูอุณหภูมิไม่ให้เกิน 185 °C ถ้าอุณหภูมิใกล้ถึง 185 °C ให้หยุดหมุนใบพัดและคอยอุณหภูมิลดลงประมาณ 3-4 °C จากนั้นค่อยเริ่มหมุนใบพัดอีกครั้ง

ในช่วงสุดท้ายนี้ต้องให้เวลารวมในการหมุนของใบพัดประมาณ 3 นาที จากนั้นจึงนำของผสมออกจากเครื่องบดผสมภายใน

2.2.2 การบดของผสม

ของผสมที่ได้จากเครื่องบดผสมภายในจะถูกบดด้วยเครื่องบดทางกลเพื่อลดขนาดให้ของผสมดังกล่าวมีขนาดเล็กจะสามารถที่จะนำไปทำการ ทดสอบและขึ้นรูปต่อไปได้

2.2.3 การตัดเม็ดของผสม

ของผสมที่ได้หลังจากทำการบดจะนำมาอัดรีดให้เป็นเส้นด้วยเครื่อง Extrusion molding ของบริษัท Betol Machinery Limited รุ่น BC32 โดยใช้สกรูแบบ Maddock เพื่ออัดรีดของผสมให้เป็นเส้น โดยอุณหภูมิที่หัวอัดรีดเท่ากับ 190°C ความเร็วของสกรูเท่ากับ 40 rpm แล้วผ่านเครื่องตัดเม็ดของบริษัท Brabender[®] OHG Duisburg รุ่น D-28033 Bremen

2.3 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ (Material Characterization)

2.3.1 การวัดค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

นำของผสมทั้งหมดไปวัดค่า MFI โดยใช้เครื่องวัดดัชนีการไหล (Melt Flow Index) ผลิตโดยบริษัท DYNISCO COMPANY รุ่น KEYANESS การวัดทำตามมาตรฐาน ASTM D1238 ใช้ Method A โดยมีสภาวะการทดสอบมาตรฐานที่อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt Temperature) เท่ากับ 190°C ค่าน้ำหนักกด (Loading Force) 3.8 kg. ให้ระยะเวลาการหลอมเหลวภายในกระบอกฉีด (Melt Time) เท่ากับ 360 วินาที

2.3.2 การตรวจสอบสมบัติทางวิหทยกระแส (Rheological Properties)

ของผสมทั้งหมดจะถูกนำไปวัดค่าความหนืด (Shear Viscosity) ที่อัตราเฉือน (Shear Rate) ค่าต่างๆโดยใช้ Capillary Rheometer ผลิตโดยบริษัท DYNISCO COMPANY รุ่น KEYANESS การวัดค่าความหนืดนี้จะวัดที่อุณหภูมิ 190°C

2.3.3 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Analysis)

ในการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนใช้เครื่อง TGA (Thermalgravimatic Analysis) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น TGA7 ซึ่งในการทดลองจะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 30°C ถึงอุณหภูมิ 1500°C ในสถานะก๊าซไนโตรเจน

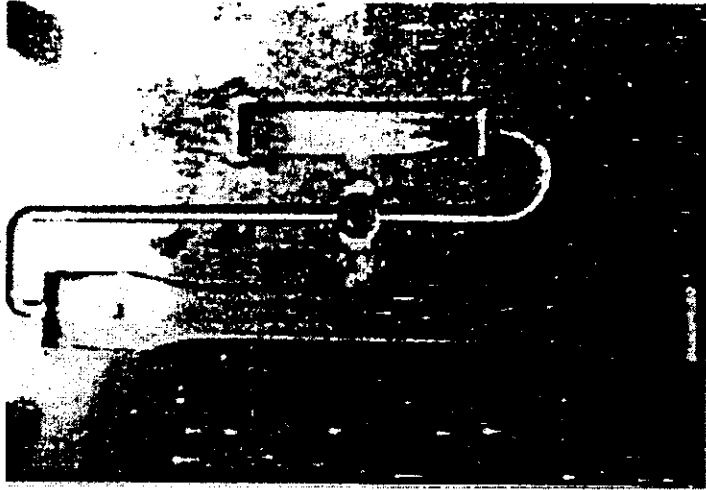
2.4 การเตรียมชิ้นงานโดยการขึ้นรูปแบบฉีด

ในการเตรียมชิ้นทดสอบรูปคัมเบลสำหรับทดสอบความแข็งแรงต่อการดึงและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับทดสอบความแข็งแรงต่อการกระแทกจะขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Injection molding ของบริษัท Chuan Lih Fa Machinery Works co., Ltd. รุ่น CLF-80T แม่พิมพ์ที่ใช้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยในการขึ้นรูปชิ้นทดสอบจะนำเม็ดที่ได้จากการตัดเม็ดในข้อ 2.2.3 มาขึ้นรูปที่เงื่อนไขต่างๆ กัน ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงความเร็วและอุณหภูมิในการฉีด

ปัจจัยที่ใช้ที่ใช้ในการขึ้นรูป Condition No.	ความเร็วในการฉีด (%)	อุณหภูมิในการฉีด (°C)
1	30	190
2	50	190
3	70	190
4	50	175
5	50	210

สำหรับความดันที่ใช้ในการฉีด (Injection Pressure) เท่ากับ 50% ความดันคงค้าง (Holding Pressure) เท่ากับ 30% อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ 25 °C



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปทดสอบ

2.5 การตรวจสอบสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด

2.5.1 การตรวจสอบความแข็งของวัสดุ (Hardness Test)

ของผสมทั้งหมดจะถูกนำไปวัดค่าความแข็งของวัสดุ โดยใช้เครื่อง Durometer ของ บริษัท Hampden Equipment co., Ltd. รุ่น Duro Tech Model M202 ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ในการทดสอบจะใช้หัวเจาะทดสอบและชนิดของแรงกดที่ใช้ คือ Shore D

2.5.2 การตรวจสอบอุณหภูมิการบิดงอของวัสดุ (Heat Distortion Temperature)

ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดถูกนำไปวัดค่าอุณหภูมิของการบิดงอของวัสดุโดยใช้เครื่อง HDT ที่ผลิตจากบริษัท Atlas Elective Devices Companam รุ่น HDV-1 โดยใช้ Silicone Oil เป็นตัวกลางนำความร้อน และใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 120°C/hr ในการตรวจสอบอุณหภูมิของการบิดงอของวัสดุผสม

2.5.3 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่ผลิตจากบริษัท GEOL CO., TLD. รุ่น JSM-6400 ใช้ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยก่อนที่จะนำไปตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาได้ทำการหักภายใต้ไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงไปเคลือบด้วยทอง

2.5.4 การตรวจสอบสมบัติทางกล

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด จะถูกนำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Instron Load cell เท่ากับ 5 kN ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 200 mm/min

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ (Material Characterization)

3.1.1 การวัดค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

ค่าดัชนีการไหลที่ทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3.1 โดยจากตารางที่ 3.1 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่อค่าดัชนีการไหลพบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลงตามหรือความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีเนื่องจากยางเป็นส่วนที่มีความหนืดสูง

ตารางที่ 3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่อค่าดัชนีการไหล

ชนิดของตัวอย่าง	ค่า MFI (g / 10min)
PP 700J-100	14.833
PP 700J-80	7.43
PP 700J-60	2.47
PP 700J-50	1.00
PP 700J-40	0.46

ค่าดัชนีการไหล (MFI) ที่อุณหภูมิ 190 °C ของ พอลิโพรพิลีน 4 เกรด ต่างๆ ที่ไม่ได้ผสมกับยางธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งจะพบว่า ค่าดัชนีการไหลเรียงจากต่ำสุดไปสูง คือ PP 401S , PP 700J, PP 800J และ PP 900J ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้ว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีน 4 เกรด เรียงจากสูงไปต่ำ ได้แก่ PP 401S , PP 700J, PP 800J และ PP 900J ตามลำดับ เนื่องจากค่าดัชนีการไหลจะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล

ตารางที่ 3.2 ค่าดัชนีการไหล(MFI) ที่อุณหภูมิ 190 °C ของ โพลีโพรพิลีน 4 เกรดต่างๆ ที่ไม่ได้ผสมกับยางธรรมชาติ

ชนิดของตัวอย่าง	ค่า MFI (g / 10min)
PP 401S-100	3.389
PP 700J-100	14.833
PP 800J-100	33.705
PP 900J-100	55.837

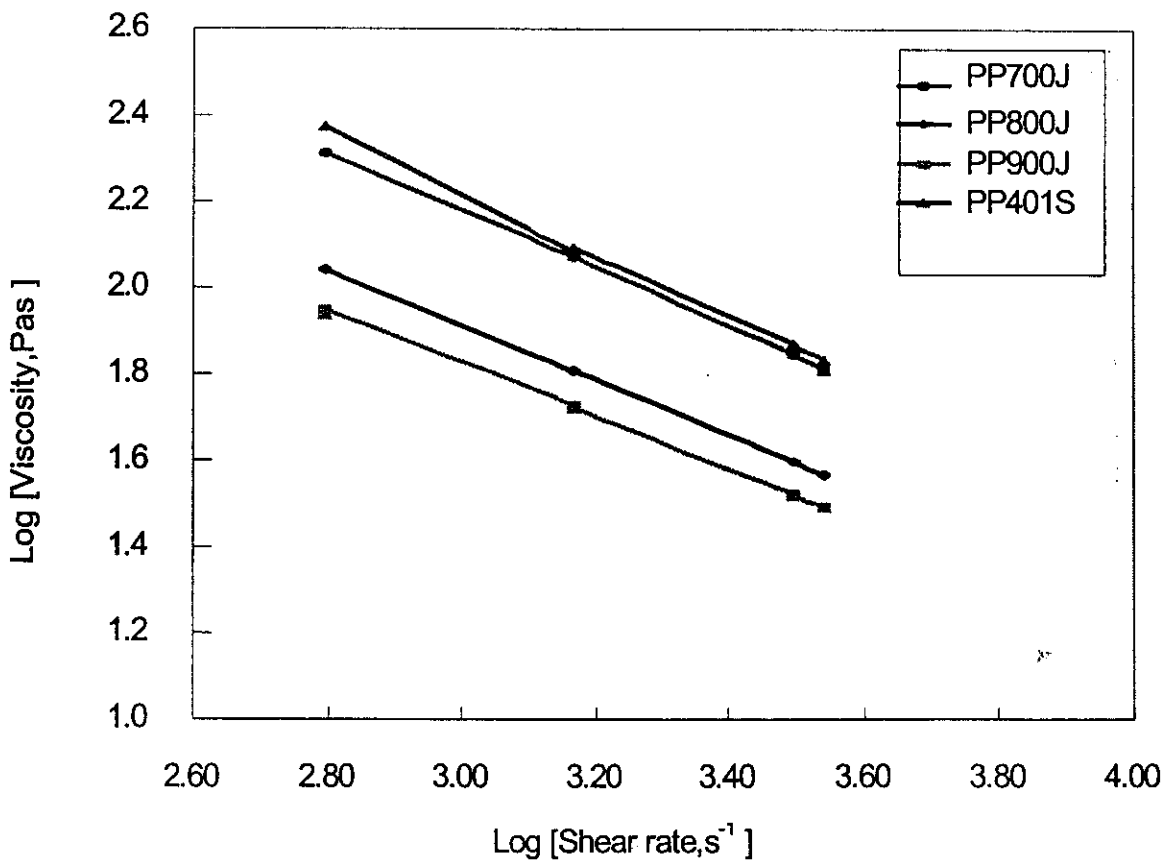
และเมื่อนำโพลีโพรพิลีนเกรดต่างๆมาผสมกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 50:50 ค่าดัชนีการไหลที่ได้ก็จะลดลงเมื่อเทียบกับโพลีโพรพิลีนที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติ ค่าดัชนีการไหลของโพลิเมอร์ผสมของ PP 401S , PP 700J, PP 800J และ PP 900J จะมีค่าเรียงจากต่ำไปสูง ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.3 แสดงว่า น้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของโพลีโพรพิลีนมีอิทธิพลต่อค่าดัชนีการไหลของโพลิเมอร์ผสมที่ได้

ตารางที่ 3.3 ค่าดัชนีการไหล (MFI) ที่อุณหภูมิ 190 °C ของ โพลีโพรพิลีน เกรดต่างๆ ที่ผสมกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 50-50

ชนิดของตัวอย่าง	ค่า MFI (g / 10min)
PP 401S-50	0.058
PP 700J-50	0.685
PP 800J-50	1.472
PP 900J-50	1.831

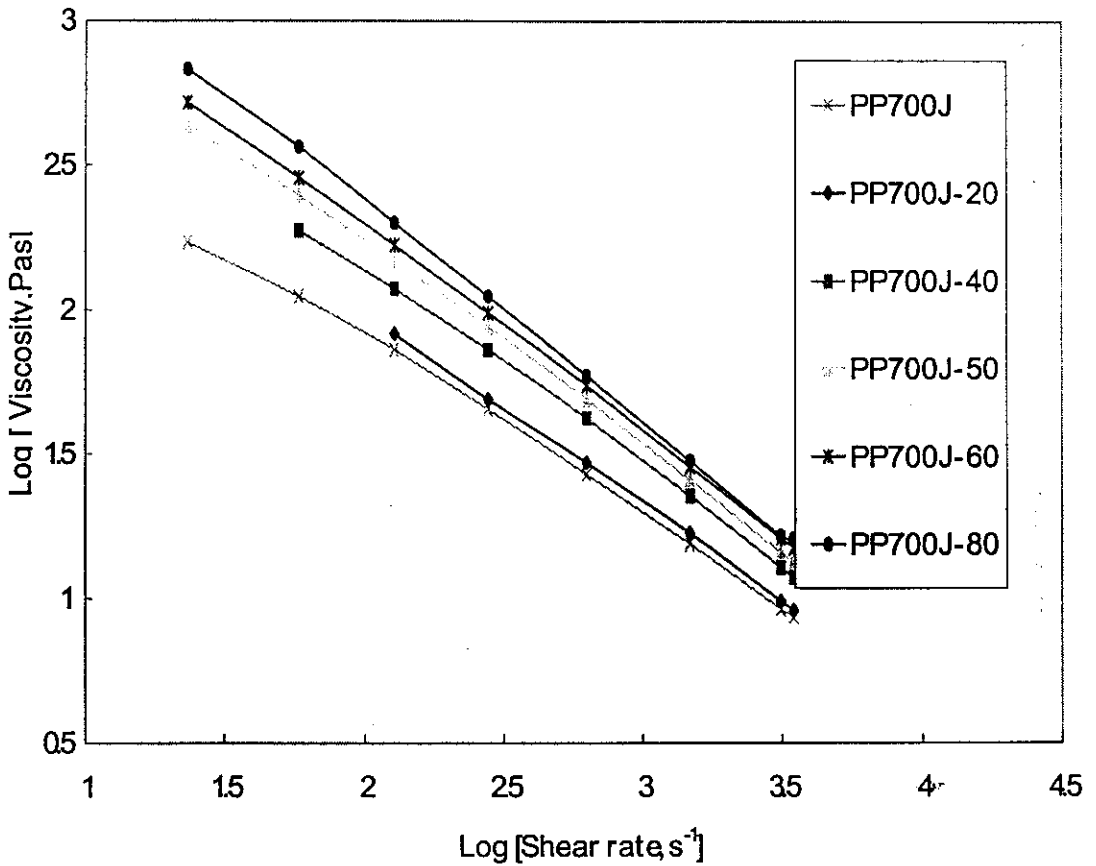
3.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางวิทยกระแส (Rheological Properties)

กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C ของพอลิโพรพิลีนทั้ง 4 เกรด แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลจากค่าดัชนีการไหล นั่นคือ พอลิโพรพิลีนที่มีความหนืดเรียงจากสูงไปต่ำ คือ PP401S PP700J PP800J และ PP900J ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีการไหลสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้ง 4 เกรด ก็จะแตกต่างกันโดยจะแปรผกผันกับค่าดัชนีการไหล นั่นหมายถึง พอลิโพรพิลีนที่มีความหนืดเรียงจากสูงไปต่ำ คือ PP401S PP700J PP800J และ PP900J ตามลำดับ มีน้ำหนักโมเลกุลเรียงจากต่ำไปสูง



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C

กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C ของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.2 และจากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่า เมื่ออัตราส่วนผสมของยางธรรมชาติสูงขึ้นความหนืดที่ได้จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดดัชนีการไหล



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ณ อุณหภูมิ 190 °C ของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ

3.1.1 การตรวจสอบสมบัติในทางความร้อน (Thermal Properties)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้ TGA แสดงผลในภาคผนวกรูปที่ 1-6 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 250 °C และอุณหภูมิสุดท้ายที่สามารถเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 437 °C และอุณหภูมิเริ่มการเปลี่ยนแปลงมวลของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิประมาณ 295 °C และอุณหภูมิสุดท้ายที่สามารถเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิประมาณ 490 °C เมื่อปริมาณการผสมของยางธรรมชาติมากขึ้นจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเสื่อมสภาพ 2 ชั้น เนื่องมาจากการผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงมวลจะลดลง โดยที่อุณหภูมิที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงจะเข้าใกล้อุณหภูมิที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของยางธรรมชาติมากยิ่งขึ้นและอุณหภูมิสุดท้ายที่เห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของผสมอุณหภูมิจะเข้าใกล้พอลิโพรพิลีน

3.2 การตรวจสอบชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด

3.2.1 การตรวจสอบสมบัติอุณหภูมิการบิดงอของวัสดุ (Heat Distortion Temperature, HDT)

ค่าของอุณหภูมิของการบิดงอของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน(PP700J) กับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติสูงขึ้นอุณหภูมิของการบิดงอจะลดลง

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีน (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่า HDT (°C)
PP 700J-100	95.7
PP 700J-80	70.0
PP 700J-60	63.0
PP 700J-50	55.3
PP 700J-40	47.0

ค่าอุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ และพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 แสดงในตารางที่ 3.5 จากตารางจะเห็นว่า ค่าอุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีนเรียงจากอุณหภูมิสูงไปยังต่ำสุดได้แก่ PP900J-100

PP401S-100 PP800J-100 และ PP700J-100 และค่าอุณหภูมิการบิดงอของพอลิเมอร์ผสมที่เกิดจากพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆเหล่านี้จะมีแนวโน้มเดียวกัน

ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบิดงอ (HDT)ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่า HDT ($^{\circ}\text{C}$)
PP 401S-100	100.0
PP 700J-100	95.7
PP 800J-100	91.0
PP 900J-100	110.0
PP 401S-50	62.0
PP 700J-50	55.3
PP 800J-50	61.0
PP 900J-50	64.0

ค่าอุณหภูมิการบิดงอของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน(PP700J)ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 ที่ความเร็วในการฉีดและอุณหภูมิต่างกัน แสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งจะเห็นว่า ที่ความเร็วในการฉีดเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของการบิดงอของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก นอกจากนี้ PP 700J-50 ที่อุณหภูมิฉีด 190°C จะมีค่าอุณหภูมิการบิดงอที่ต่ำกว่า PP 700J-50 ที่อุณหภูมิการฉีด 175°C และ 210°C

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการบิดงอของวัสดุ (HDT) ของ PP 700J-50 ที่สภาวะการฉีดต่างกัน

Condition No.	ความเร็วในการฉีด (%)	อุณหภูมิ (°C)	ค่า HDT (°C)
1	30	190	53.7
2	50	190	55.3
3	70	190	55.7
4	50	175	59.0
5	50	210	60.0

3.2.1 การตรวจสอบสมบัติความแข็งของวัสดุ (Hardness Test)

ค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของพอลิโพรพิลีนลดลงจะทำให้ค่าความแข็งของวัสดุลดลง แสดงให้เห็นว่าในพอลิเมอร์ผสมนี้ยางธรรมชาติเป็นส่วนอ่อนนุ่มที่กระจายอยู่ในส่วนที่เป็นเมทริกซ์ คือ พอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่าความแข็ง (Hardness) ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ

ชนิดของตัวอย่างตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (Hardness)
PP 700J-100	60.5
PP 700J-80	56.2
PP 700J-60	48.2
PP 700J-50	42.1
PP 700J-40	35.5

ค่าความแข็งของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ และพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 แสดงในตารางที่ 3.8 ซึ่งจะพบว่า ค่าความแข็งของพอลิโพรพิลีนเรียงจากต่ำสุดไปสูงสุด คือ PP401S-100, PP700J-100, PP800J-

100 และ PP900J-100 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเรียงจากต่ำสุดไปสูงสุด ได้แก่ PP401S-50, PP700J-50, PP800-50 และ PP900J-50

ตารางที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (Hardness)
PP 401S-100	53.1
PP 700J-100	54.7
PP 800J-100	54.9
PP 900J-100	55.2
PP 401S-50	31.2
PP 700J-50	32.4
PP 800J-50	33.6
PP 900J-50	34.3

ค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP700J) ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 ที่ความเร็วในการฉีดและอุณหภูมิต่างกัน แสดงในตารางที่ 3.9 จากตารางพบปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ ความเร็วในการฉีดและอุณหภูมิในการฉีด ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มากนัก

ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของ PP 700J-50 ที่สภาวะการฉีดต่างกัน

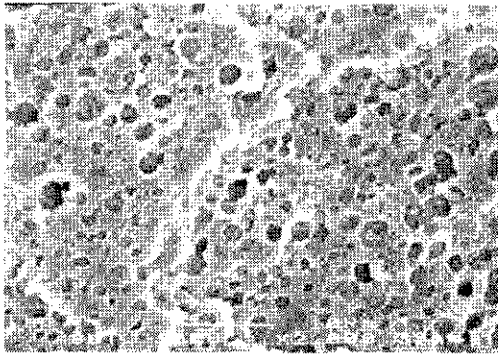
Condition No.	ความเร็วในการฉีด (%)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความแข็ง (Hardness)
1	30	190	31.8
2	50	190	32.4
3	70	190	35.2
4	50	175	32.4
5	50	210	30.6

3.2.4 การตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

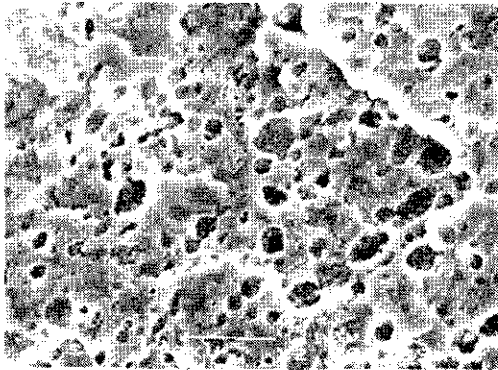
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆแสดงในรูปที่ 3.3 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณยางธรรมชาติมากขึ้น การกระจายตัวของขนาดและรูปร่างที่เป็นรูพรุนกลมจะมีปริมาณมากขึ้นและขนาดของรูพรุนกลมจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคยางเมื่อปริมาณยางสูงขึ้นซึ่งพบในงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและยางสังเคราะห์ [27-30] ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ PP 700J – 60 ที่สภาวะฉีดแตกต่างกัน ตามตารางที่ 2.4 แสดงในรูปที่ 3.4 จากรูปจะเห็นได้ว่าขนาดของรูพรุนเล็กลงเมื่อความเร็วในการฉีดเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิการฉีดเท่ากับ 210 °C จะสังเกตเห็นลักษณะของรูพรุนมีรูปร่างที่แตกต่างไปจากที่อุณหภูมิการฉีดเท่ากับ 175 °C และ 190 °C ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆที่ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 แสดงในรูปที่ 3.5 จากรูปจะเห็นได้ว่า การกระจายตัวของอนุภาคยางจะมีขนาดเล็กสำหรับ PP401S-50 เมื่อเทียบกับ PP700J-50 และ PP800J-50 แต่ไม่ค่อยแตกต่างจาก PP900J-50 มากนัก



(a) PP700J-80

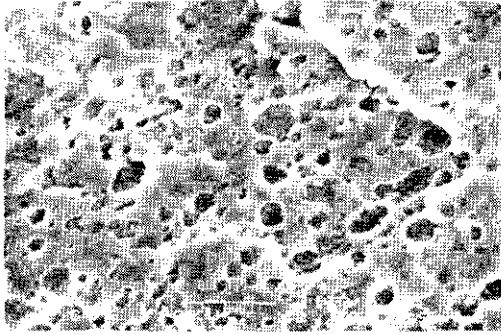


(b) PP700J-60

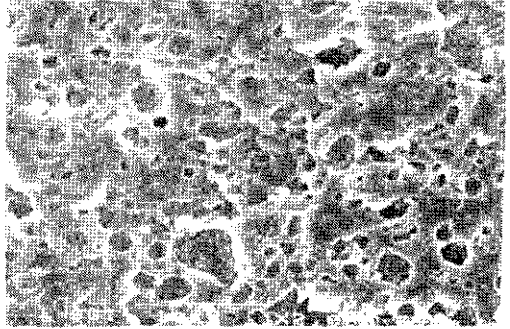


(c) PP700J-40

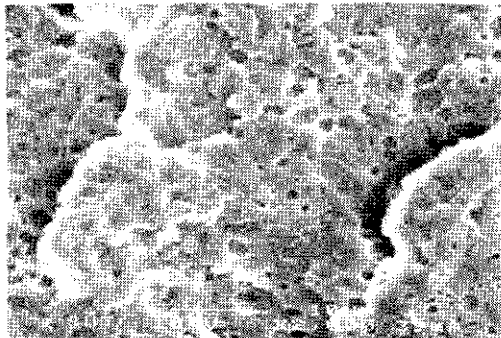
รูปที่ 3.3 รูป SEM ของ PP700J ที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ปัจจัยการขึ้นรูปตามตารางที่ 2.4)



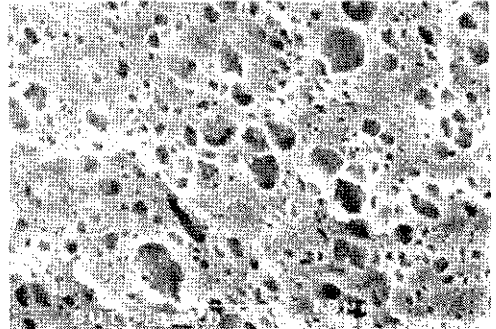
ปัจจัยการขึ้นรูปที่ 1



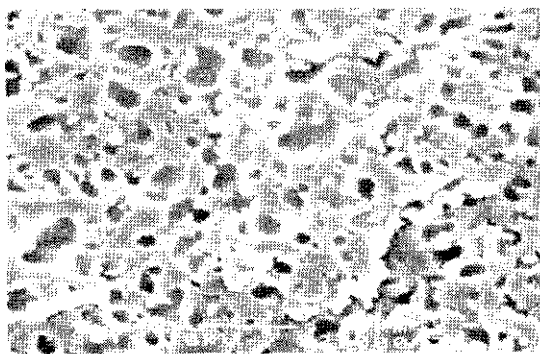
ปัจจัยการขึ้นรูปที่ 2



ปัจจัยการขึ้นรูปที่ 3

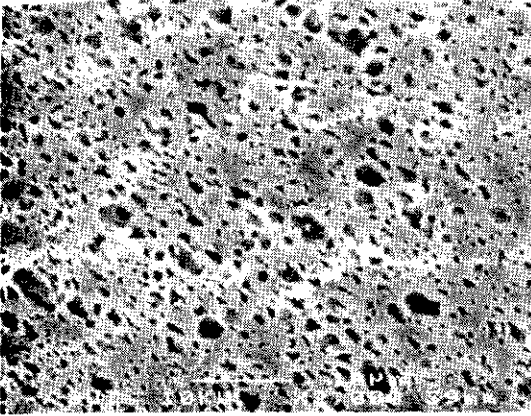


ปัจจัยการขึ้นรูปที่ 4

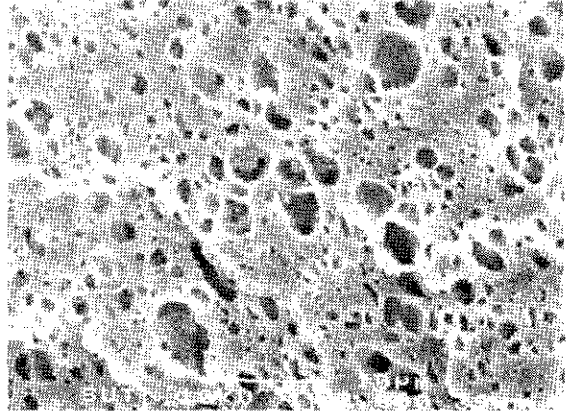


ปัจจัยการขึ้นรูปที่ 5

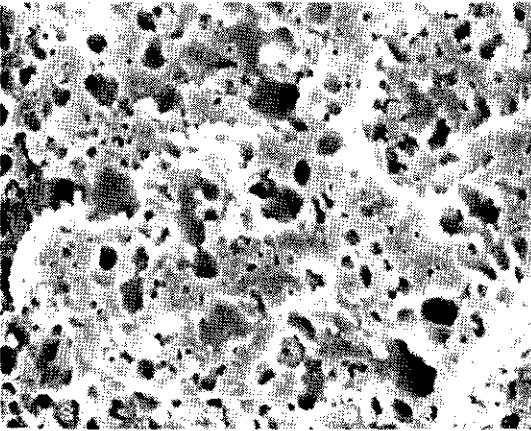
รูปที่ 3.4 รูป SEM ของ PP700J-60 ที่ขึ้นรูปโดยปัจจัยการขึ้นรูปที่ 1-5 ตามตารางที่ 2.4



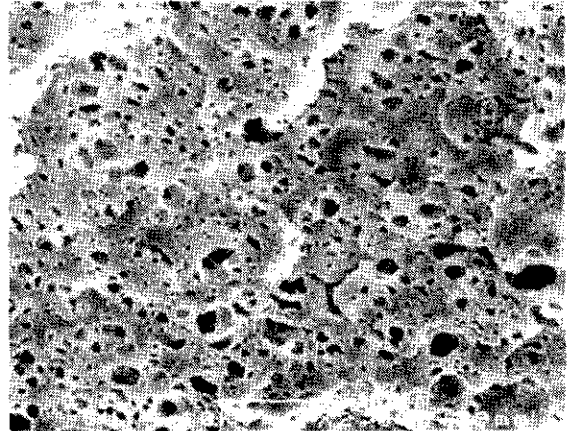
(a) PP401S-50



(b) PP700J-50



(c) PP800J-50

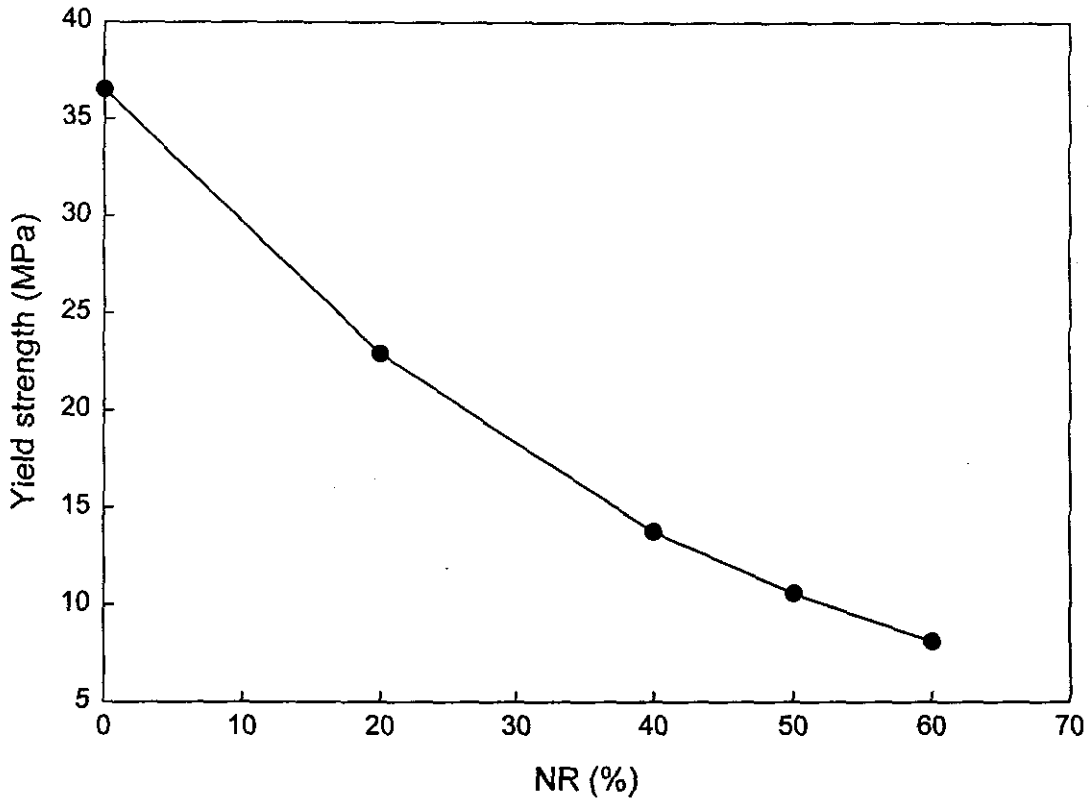


(d) PP900J-50

รูปที่ 3.5 รูป SEM ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆที่ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50

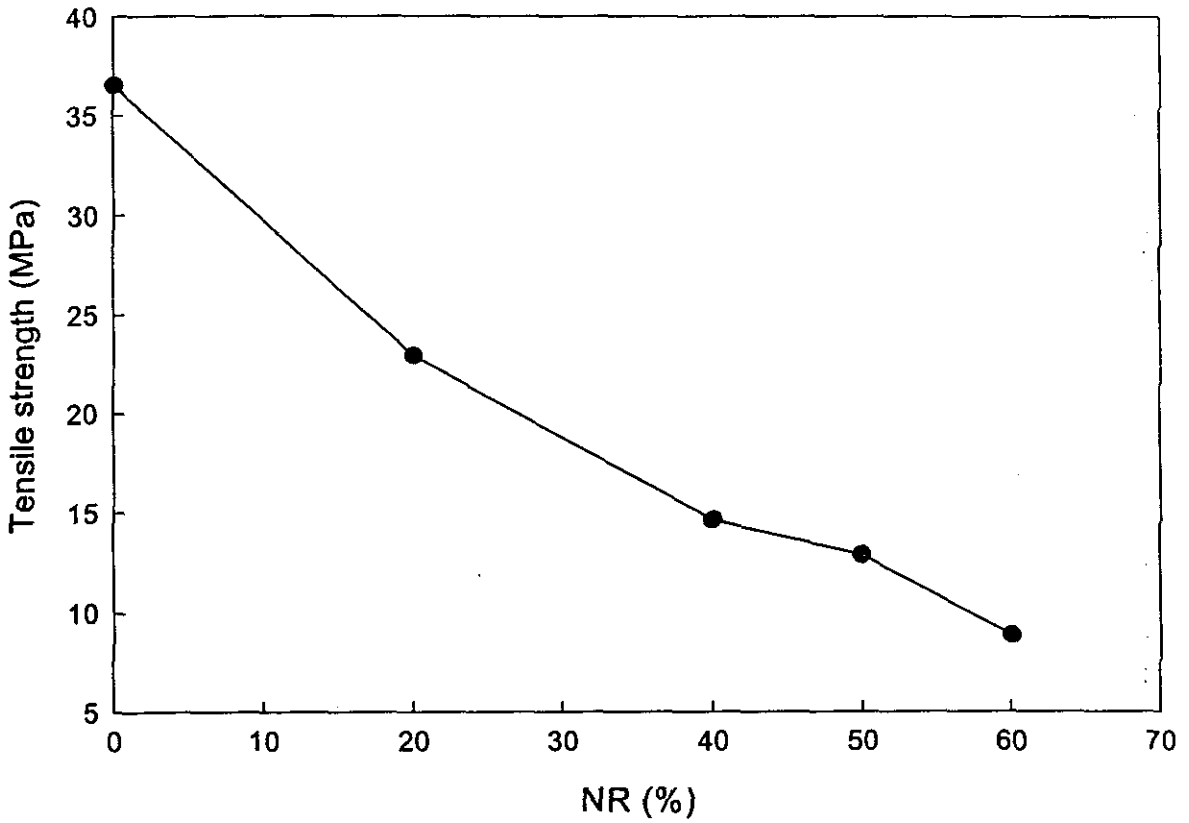
3.2.5 การตรวจสอบสมบัติทางกล (Mechanical)

ค่า Yield strength ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.6 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อส่วนผสมของยางเพิ่มขึ้น Yield strength ลดลง



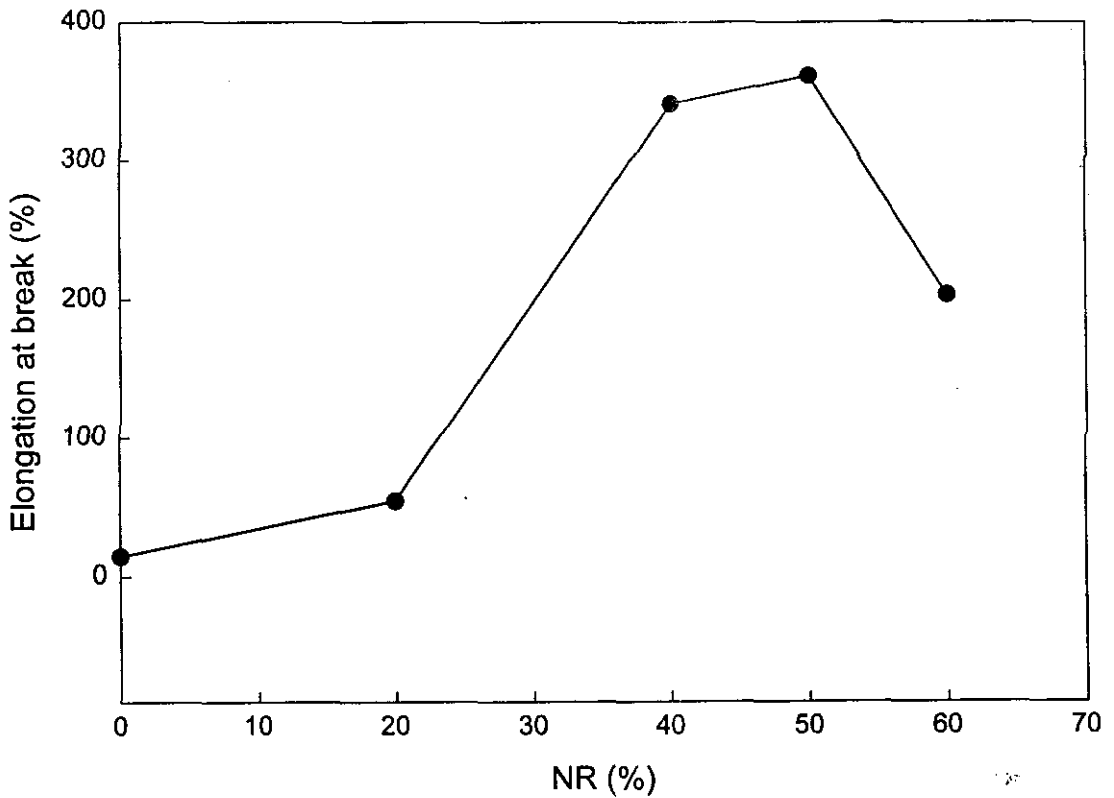
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield strength กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ

ค่า Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ
ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.7 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อส่วนผสมของยางเพิ่มขึ้นค่า Tensile strength ลดลง



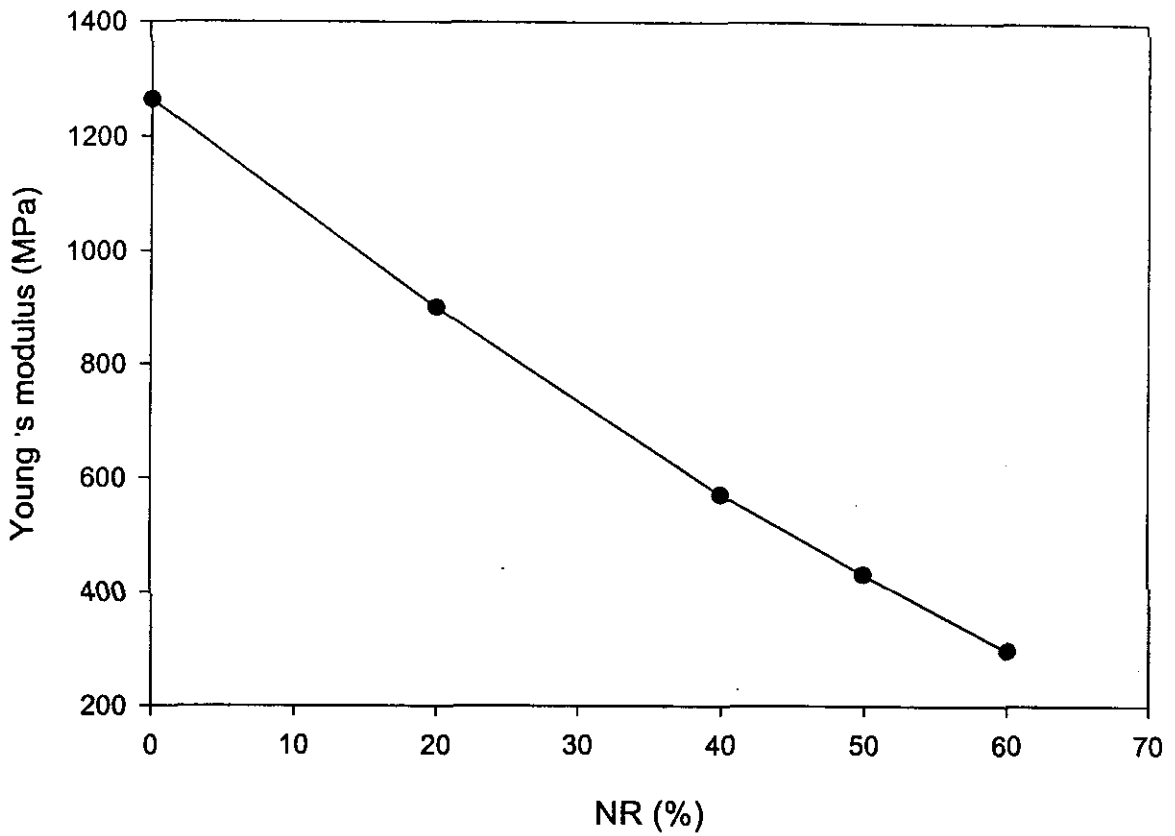
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติ
ต่างๆ

ค่า Elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.8 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อส่วนผสมของยางเพิ่มขึ้นถึง 50% Elongation at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติมากกว่า 50%



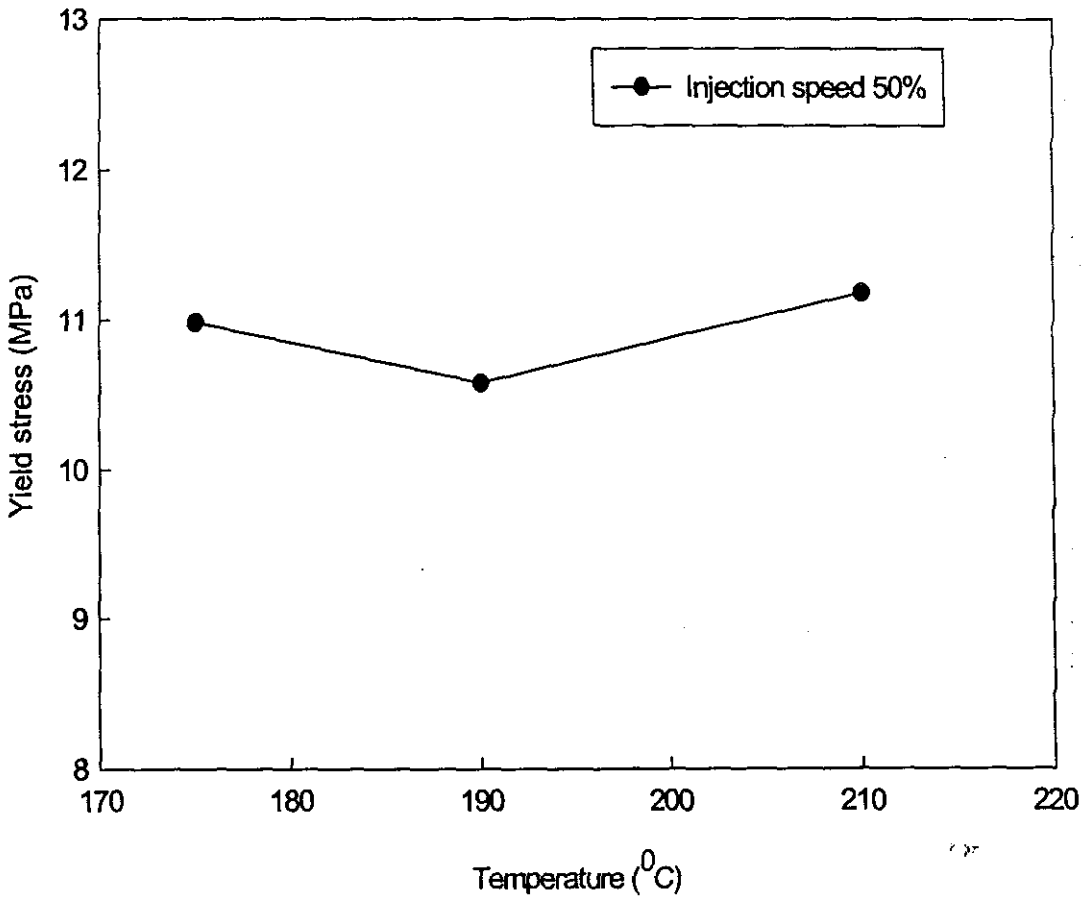
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ

ค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆแสดงในรูปที่ 3.9 จากรูปจะเห็นว่า ค่า Young's modulus มีค่าลดลงเมื่อส่วนผสมของยางเพิ่มขึ้น



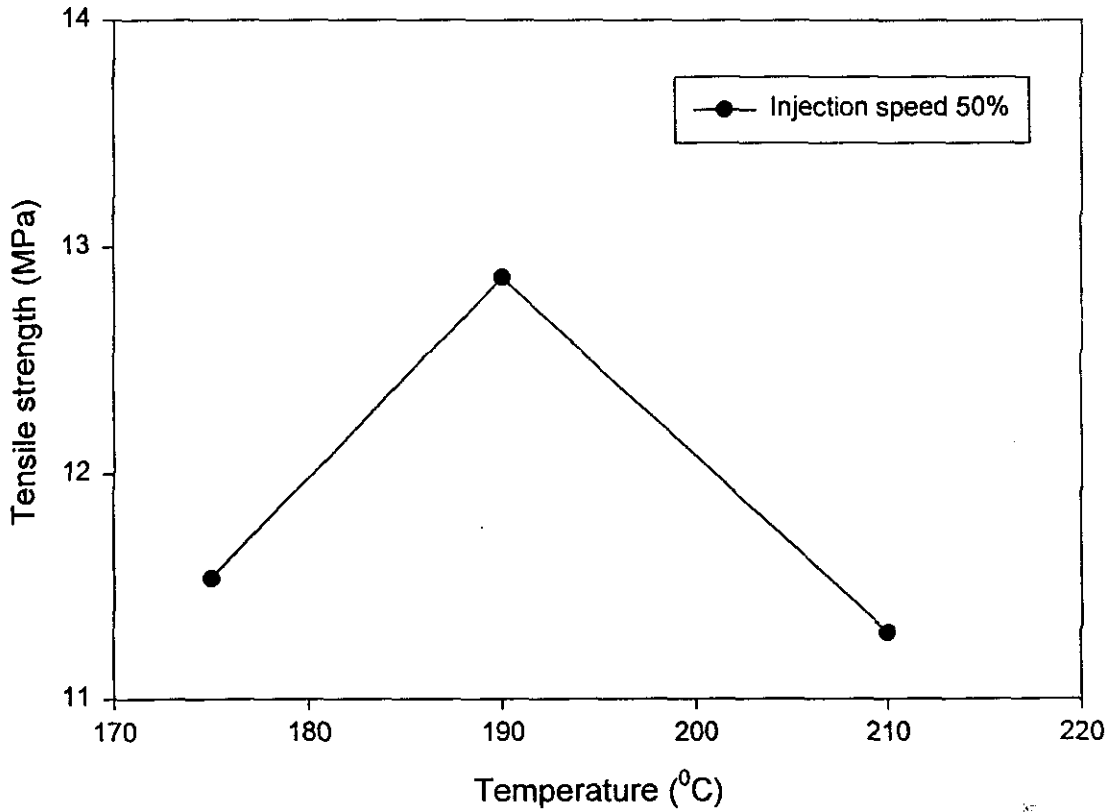
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับ PP 700J ที่อัตราส่วนผสมกับยางธรรมชาติต่างๆ

ค่า Yield stress ของ PP 700J-50 ที่อุณหภูมิในการฉีดแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิในการฉีดไม่ได้มีผลต่อค่า Yield stress มากนัก



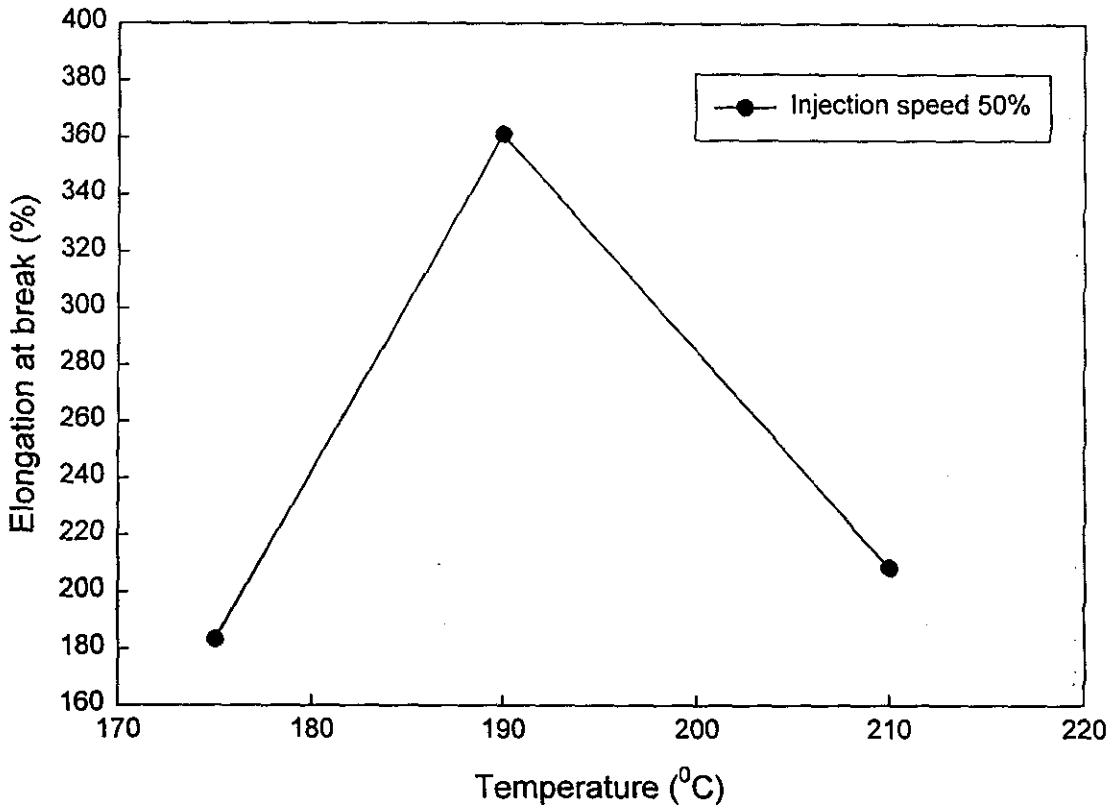
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50

ค่า Tensile strength ของ PP 700J-50 ที่อุณหภูมิการฉีดที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิการฉีดที่ 190 °C จะให้ค่า Tensile strength มากที่สุด



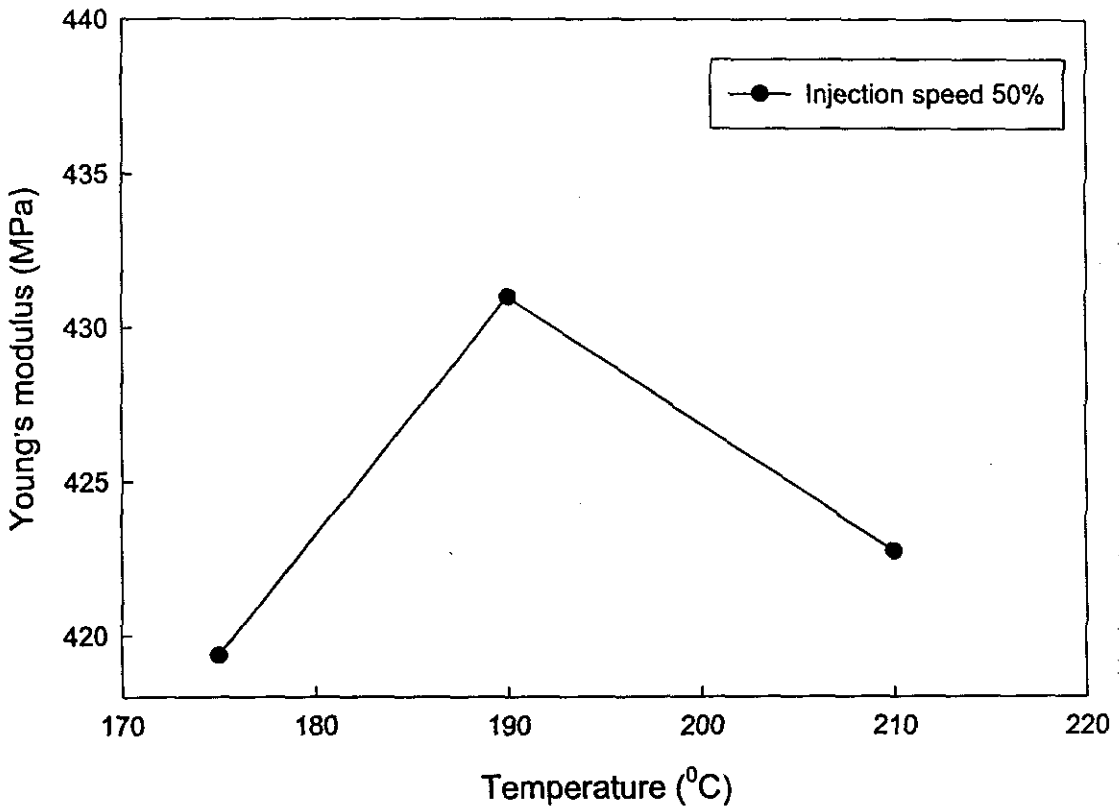
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50

ค่า Elongation at break ของ PP700J-50 ที่อุณหภูมิการฉีดที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 190 °C ค่า Elongation at break มีค่าสูงที่สุด



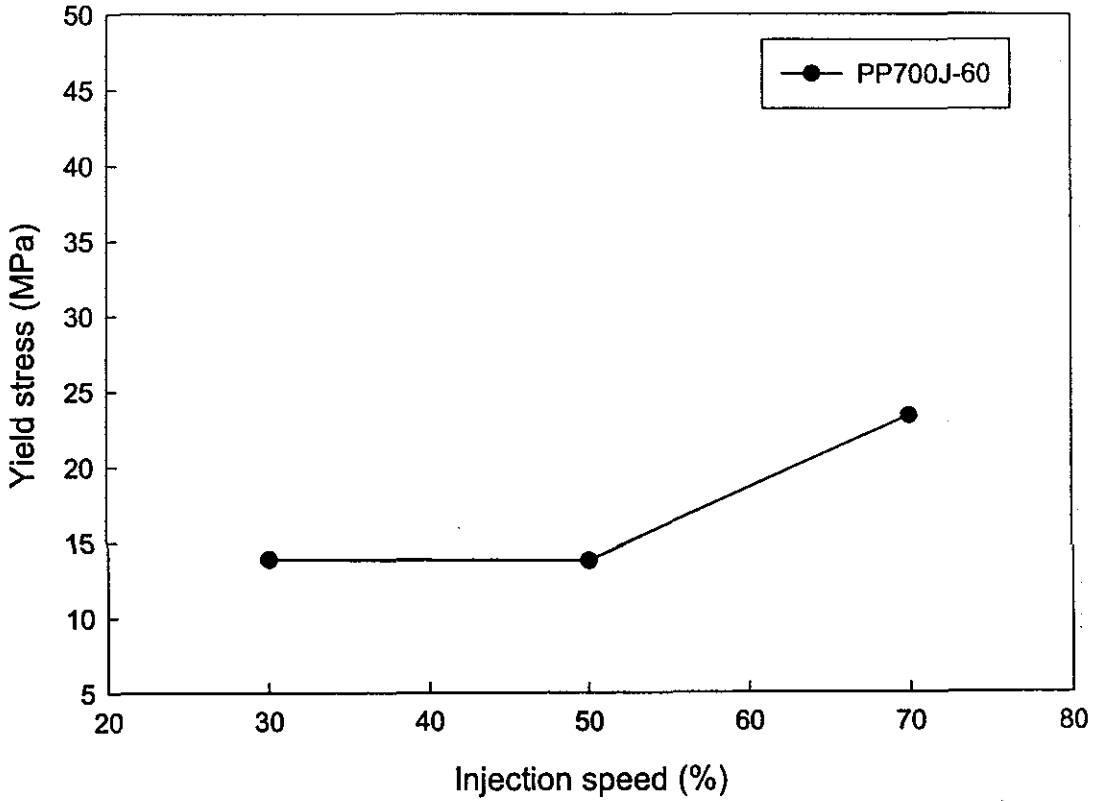
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50

ค่า Young's modulus ของ PP700J-50 ที่อุณหภูมิการฉีดที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 190 °C ค่า Young's modulus มีค่าสูงที่สุด



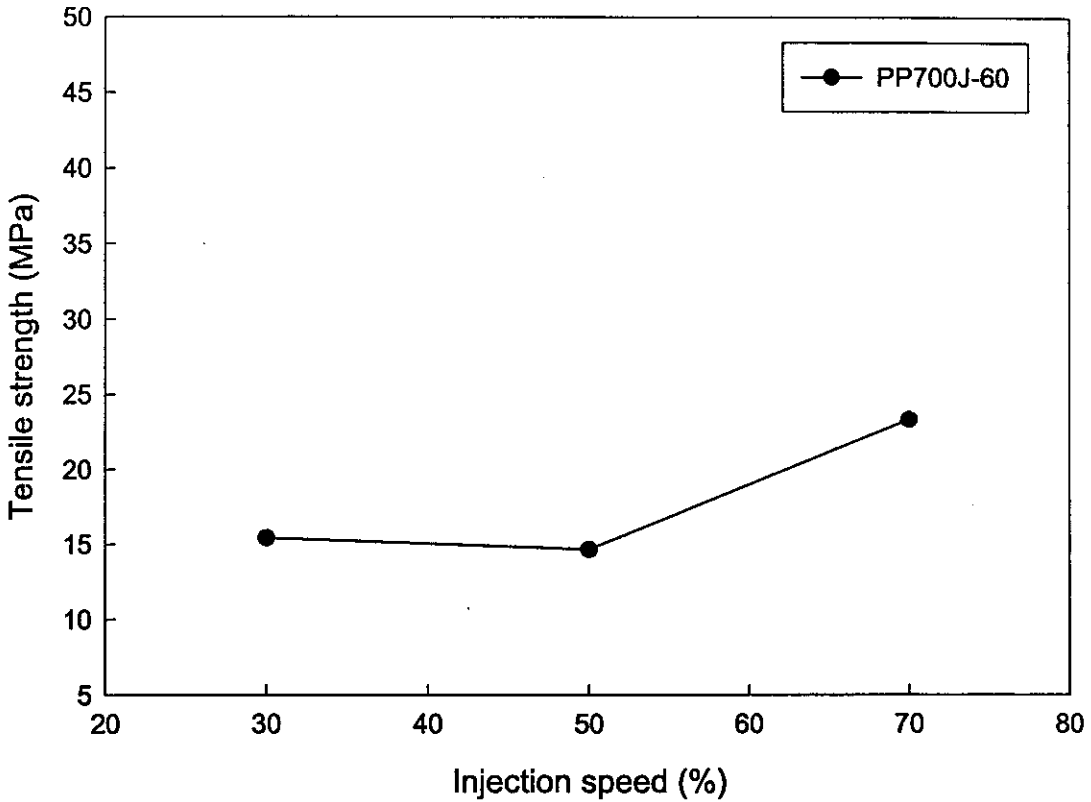
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับอุณหภูมิการฉีดของ PP 700J-50

ค่า Yield stress PP700J-60 ที่ความเร็วในการฉีดที่แตกต่างกันแสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งจะเห็นว่า ค่า Yield stress จะเพิ่มขึ้นมากหลังจาก injection speed มากกว่า 50%



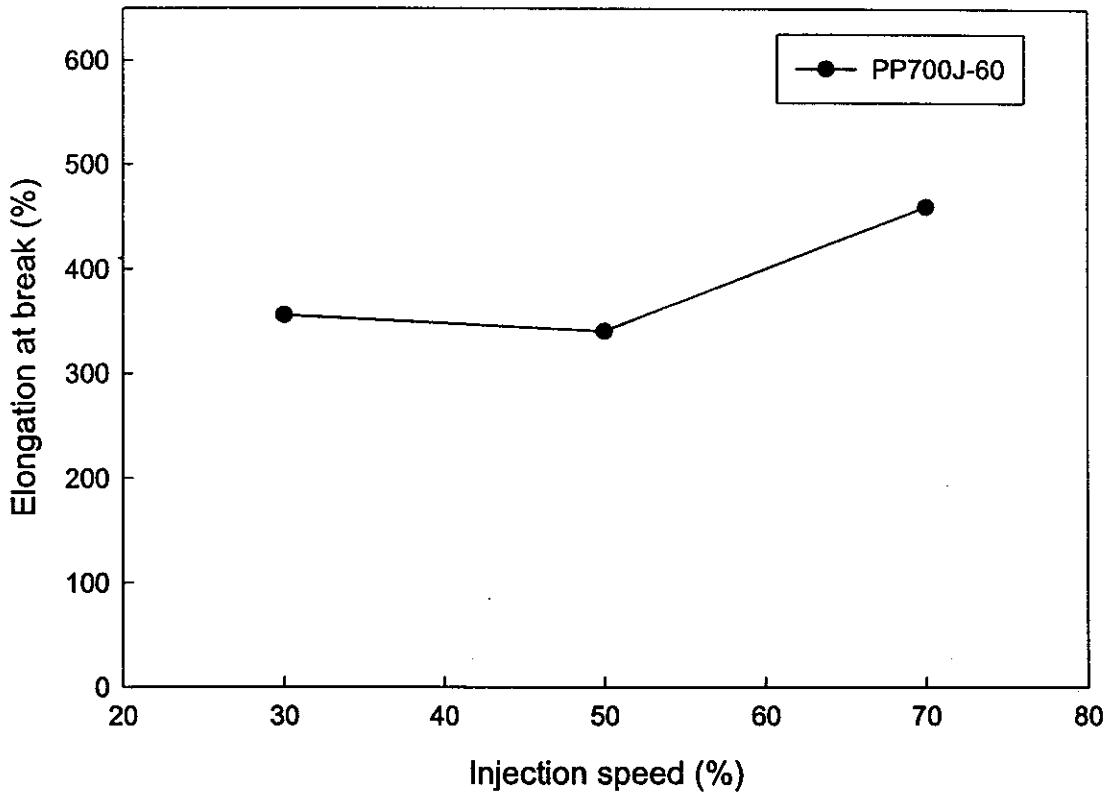
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C

ค่า Tensile strength ของ PP700J-60 ที่ความเร็วในการฉีดที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3.15 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการฉีดเกิน 50% ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นอย่างมาก



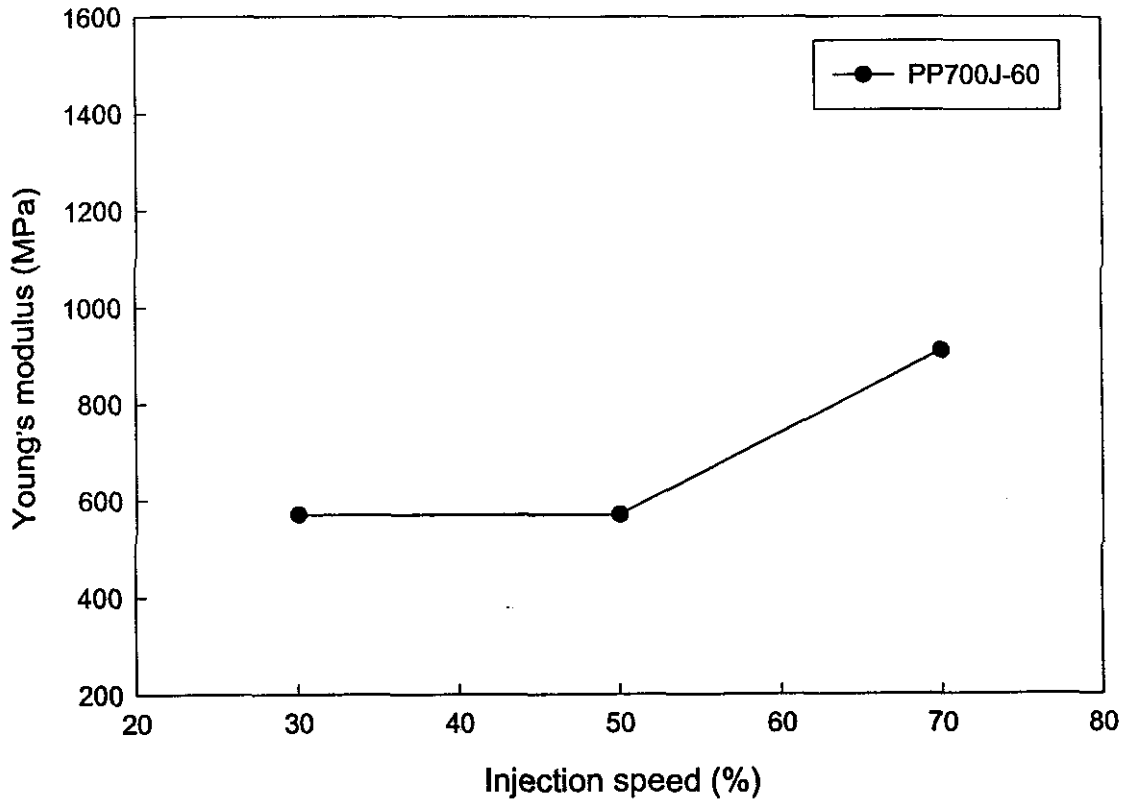
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C

ค่า Elongation at break ของ PP700J-60 ที่ความเร็วในการฉีดที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3.16 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการฉีดเกิน 50% ค่า Elongation at break มีค่าสูงขึ้น



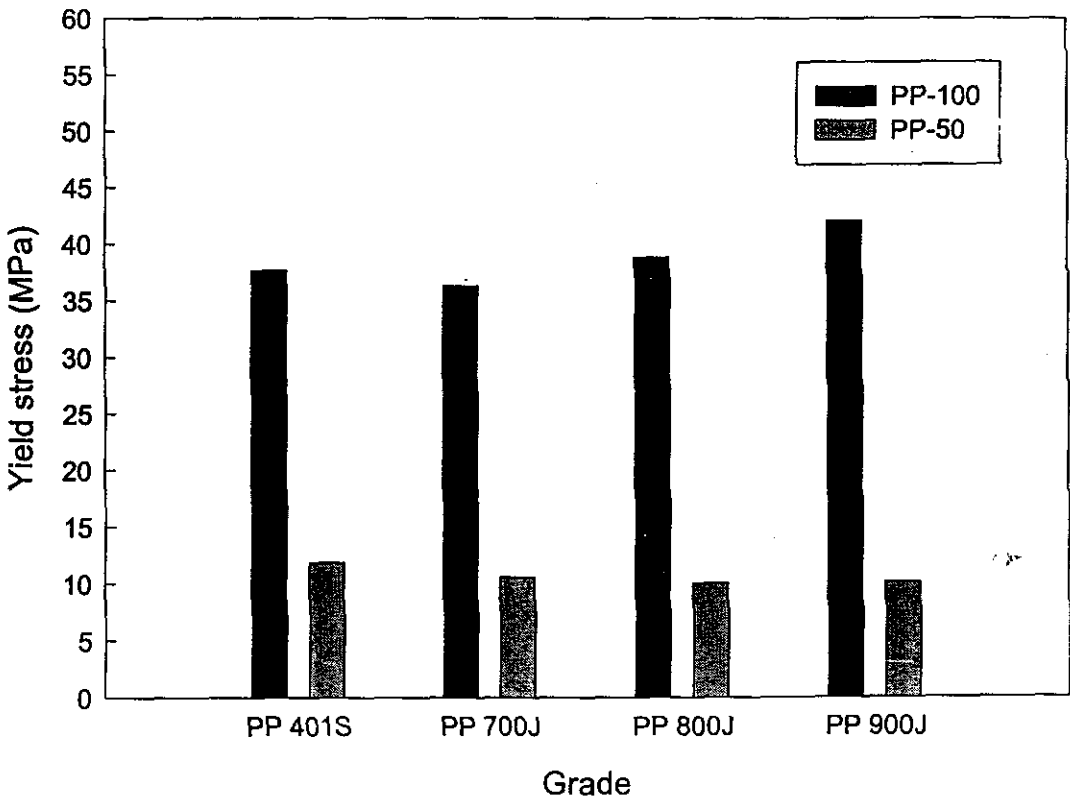
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C

ค่า Young's modulus ของ PP700J-60 ที่ความเร็วในการฉีดแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการฉีดเกิน 50% ค่า Young's modulus จะมีค่าสูงขึ้น



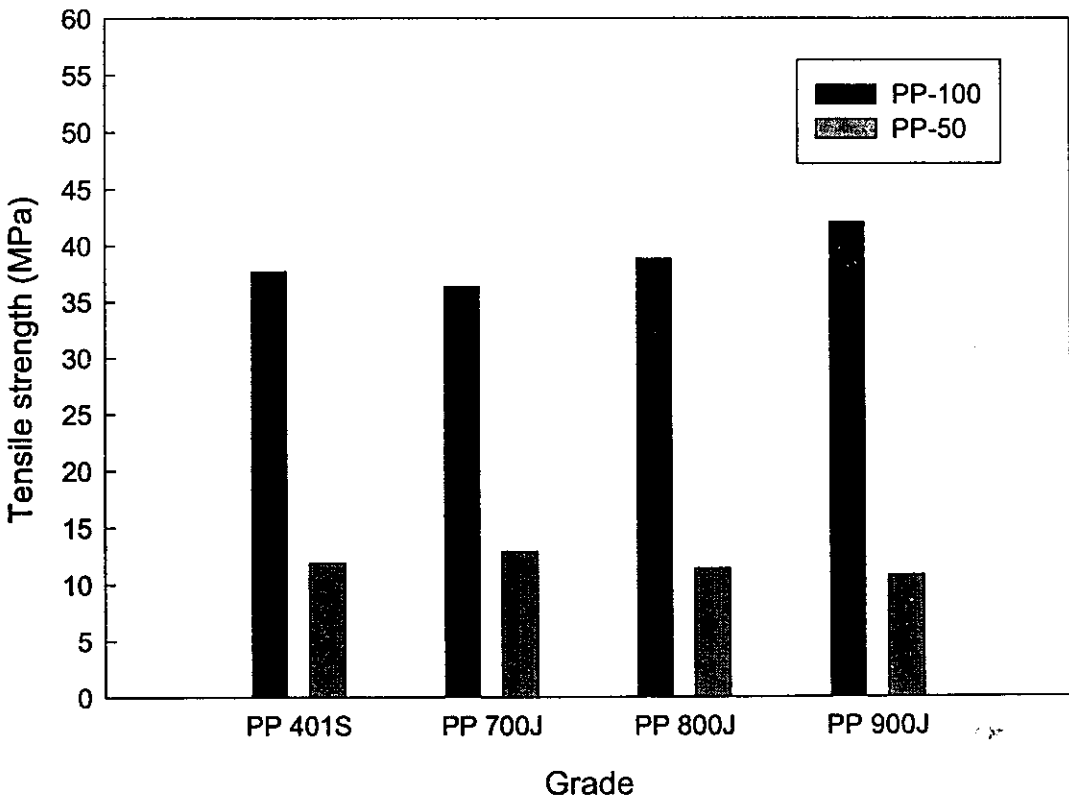
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับความเร็วในการฉีดของ PP 700J-60 ที่อุณหภูมิการฉีด 190 °C

การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้แสดงในรูปที่ 3.18-3.21 โดยกราฟแท่งสีดําจะแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีน (PP-100) และกราฟสีเทาจะแสดงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการใส่ยางธรรมชาติเข้าไป 50% (PP-50) ในรูปที่ 3.18 จะแสดงค่า Yield stress ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ซึ่งจะเห็นว่า ค่า Yield stress ของพอลิโพรพิลีนแตกต่างกันเล็กน้อยโดยเรียงจากสูงไปต่ำคือ PP900J, PP800J, PP401S และ PP700J ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาผสมกับยางธรรมชาติเข้าไป 50% ค่า Yield stress ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะลดลงมามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่า Yield stress ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของพอลิโพรพิลีนแต่ละเกรด



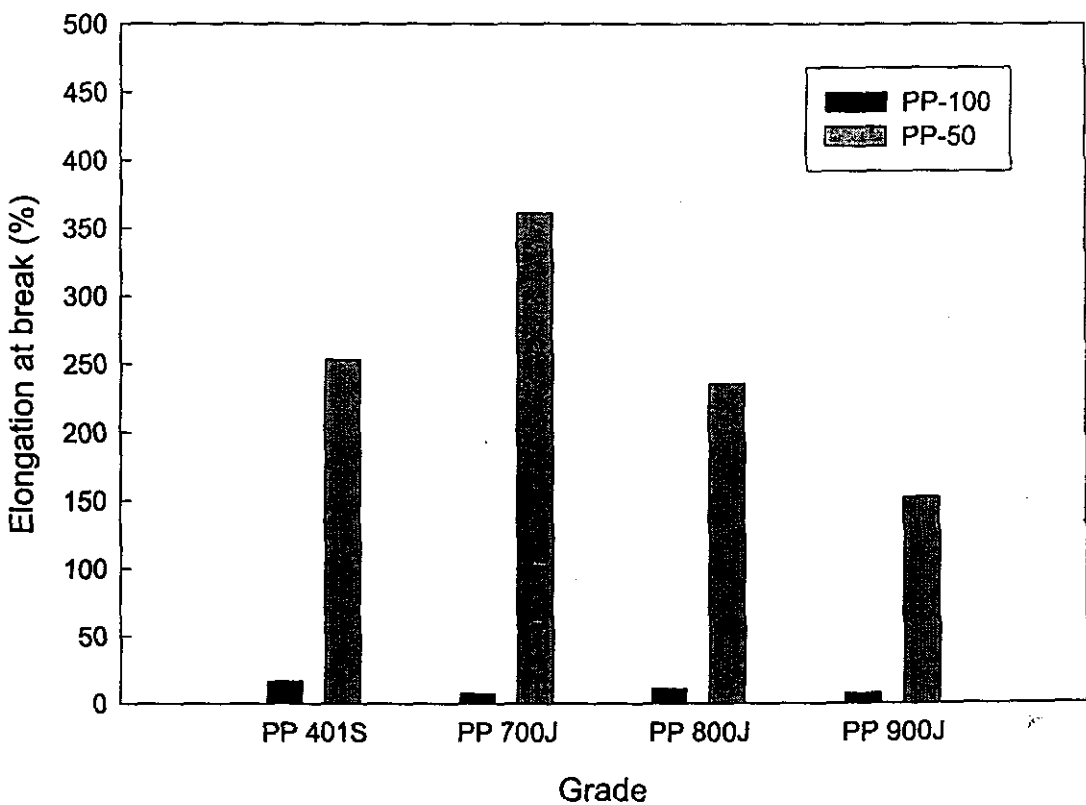
รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield stress กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆ และพอลิเมอร์ผสมที่ได้

ในรูปที่ 3.19 จะแสดงค่า Tensile strength ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ซึ่งจะเห็นว่า ค่า Tensile strength ของพอลิโพรพิลีนแตกต่างกันเล็กน้อยโดยเรียงจากสูงไปต่ำคือ PP900J PP800J PP401S และ PP700J ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาผสมกับยางธรรมชาติเข้าไป 50% ค่า Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะลดลงมามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่า Tensile strength ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของพอลิโพรพิลีนแต่ละเกรด



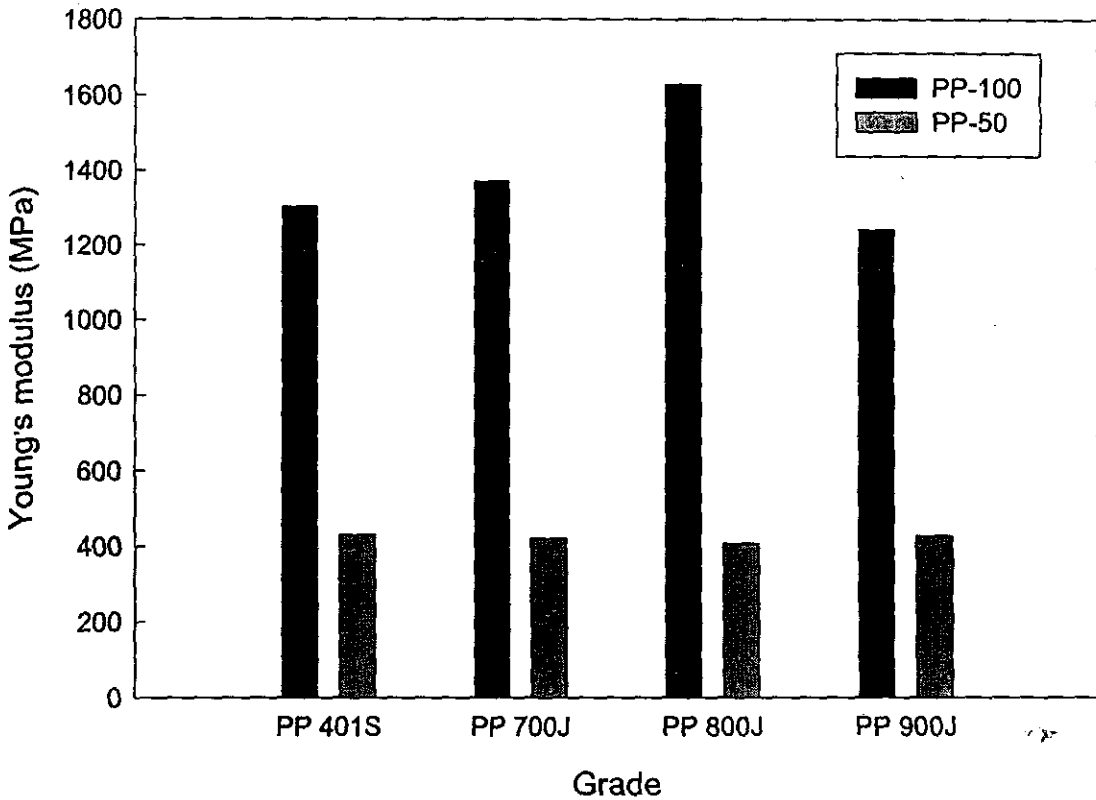
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆ

ค่า Elongation at break ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้ แสดงในรูป 3.20 จากรูปพบว่าพอลิโพรพิลีนเกรดเดียวกันเมื่อผสมยางธรรมชาติเข้าไป 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้นอย่างมากและจากรูปจะเห็นว่าค่า Elongation at break ของพอลิโพรพิลีนมีค่าแตกต่างกัน ไม่มากแต่เมื่อผสมยางธรรมชาติเข้าไป 50% ค่า Elongation จะเพิ่มสูงขึ้นมากและเรียงจากค่าต่ำสุดไปค่ามากที่สุดคือ PP900J PP800J PP401S และ PP700J



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้

ค่า Young's modulus ของพอลิโพรพิลีนเกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้ แสดงในรูป 3.21 จากรูปพบว่าพอลิโพรพิลีนเกรดเดียวกันเมื่อผสมยางธรรมชาติเข้าไป 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่า Young modulus ลดลงอย่างมากและจากรูปจะเห็นว่าค่า Young's modulus ของพอลิโพรพิลีนเรียงจากต่ำสุดไปมากที่สุดคือ PP700J PP401S PP800J และ PP900J ตามลำดับ และเมื่อผสมยางธรรมชาติเข้าไป 50 เปอร์เซ็นต์ค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์ผสมต่างกันไม่มาก



กราฟที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับ พอลิโพรพิลีน เกรดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมที่ได้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

การผสมยางธรรมชาติเข้าไปในพอลิโพรพิลีนจะทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น โดยพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะแสดงได้โดยค่าความหนืดที่สูง เมื่อผสมกับยางธรรมชาติ ในอัตราส่วน 50:50 ก็จะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่มีค่าความหนืดสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เกิดจากพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะอยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติต่างๆพบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติสูงขึ้นอุณหภูมิการบิดงอและความแข็งลดลง ค่า Yield strength Tensile strength และ Young's modulus ลดลงแต่ค่า %Elongation at break เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราส่วนของยางธรรมชาติ 50% ผลของปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อสมบัติต่างๆของชิ้นงานฉีดพบว่าความเร็วในการฉีดไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิการบิดงอ สำหรับอุณหภูมิการฉีดที่ 190 °C จะให้ชิ้นงานฉีดที่มีอุณหภูมิการบิดงอต่ำกว่าอุณหภูมิการฉีดที่ 175 °C และ 210 °C ความเร็วในการฉีดและอุณหภูมิไม่มีผลต่อความแข็งมากนัก ที่อุณหภูมิการฉีดเท่ากับ 190 °C จะให้ค่า Tensile strength %Elongation at break และ Young's modulus สูงที่สุด อุณหภูมิการฉีดไม่มีผลต่อค่า Yield stress มากนัก ที่ความเร็วในการฉีด 70% จะให้ค่า Yield stress Tensile strength %Elongation at break และ Young's modulus สูงที่สุด ผลของการใช้พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 พบว่าความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่า Yield stress Tensile strength %Elongation at break และ Young's modulus ของชิ้นงานฉีดมากอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5

ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยขั้นต่อไป

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ผลที่ได้เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อยางธรรมชาติ 50:50 ไม่พบความแตกต่างของการใช้พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางความแข็งและสมบัติเชิงกล ดังที่กล่าวมา อย่างไรก็ตามค่าน้ำหนักโมเลกุลที่แท้จริงไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ พอลิโพรพิลีนที่ใช้เนื่องจากเป็นพอลิโพรพิลีนที่ใช้ทางการค้าทั่วไป ซึ่งนั่นหมายความว่า ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเราสามารถเลือกใช้พอลิโพรพิลีนเกรดใดก็ได้ขึ้นกับค่าความหนืดที่เหมาะสมในการขึ้นรูป เพื่อเอามาใช้ผสมกับยางธรรมชาติ แต่ก็ต้องคำนึงถึงด้วยว่าในงานวิจัยนี้เราใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อยางธรรมชาติ 50:50 ถ้าเปลี่ยนอัตราส่วนไปผลที่ได้ก็อาจจะแตกต่างไปซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางการวิจัยต่อไปได้

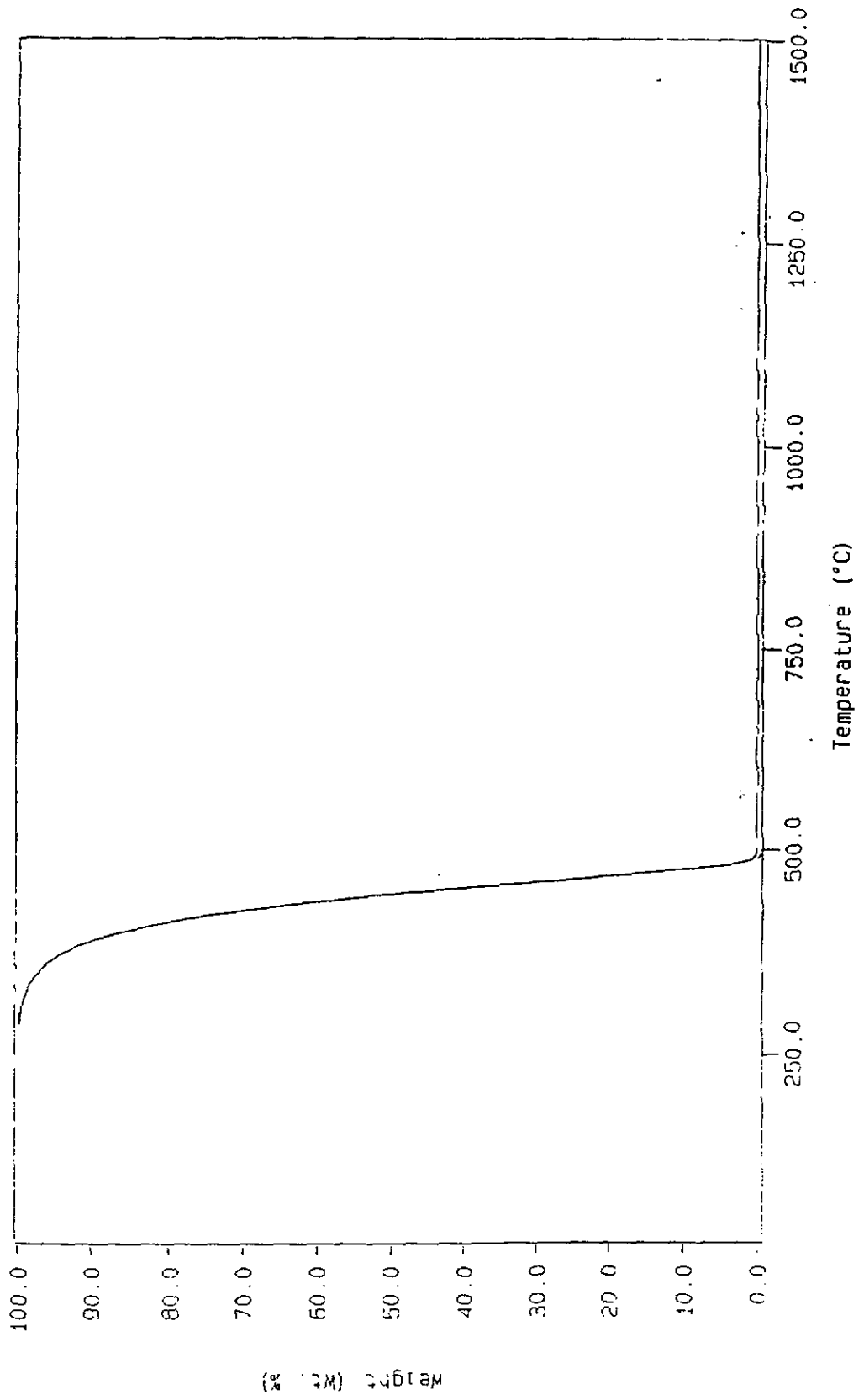
นอกจากนี้การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนของยางมากกว่า 50% ขึ้นไปทำได้ยากเพราะความหนืดของยางสูงกว่าพอลิเมอร์มาก เมื่อเกิดการบดผสม จะได้รับแรงเฉือนซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิของการบดผสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องใช้เครื่องบดผสมที่มีระบบการหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การหล่อเย็นโดยใช้น้ำ จึงสามารถควบคุมอุณหภูมิการบดผสมได้แต่ในงานวิจัยนี้ระบบหล่อเย็นของเครื่องบดผสมที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเป็นระบบหล่อเย็นด้วยอากาศจึงมีประสิทธิภาพการหล่อเย็นไม่ค้ำนัก ทำให้ไม่สามารถผสมยางธรรมชาติ ในอัตราส่วนที่มากกว่า 60% ได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

เอกสารอ้างอิง

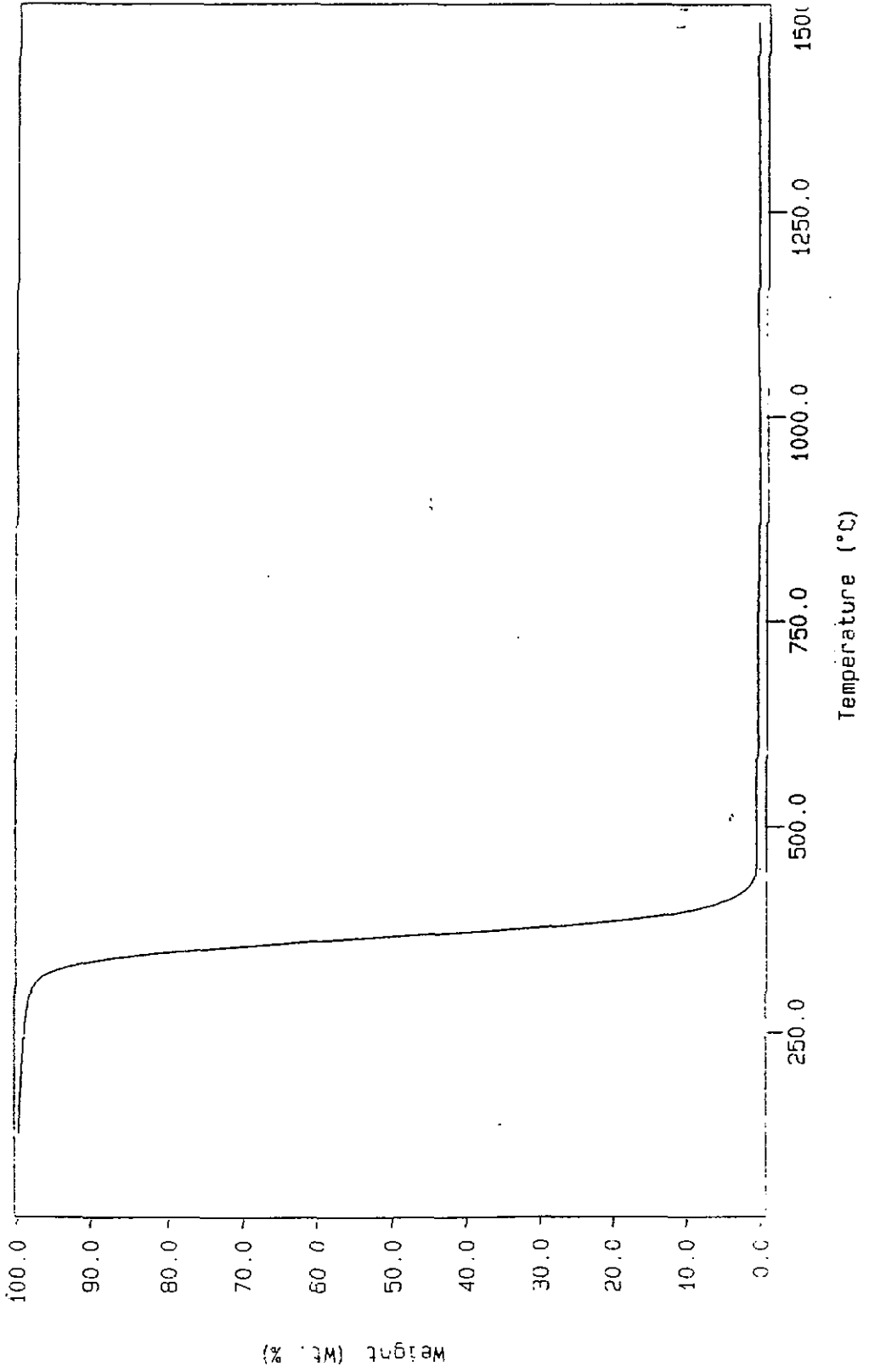
- [1] D. J. Elliott, in "Thermoplastic Elastomers from Rubber-Plastic Blends" edited by S. K. De, and A. K. Bhowmick, Ch.4, p. 102, Ellis Horwood, New York, (1990).
- [2] H. Ismail, Salmah, and M. Nasir, *Polymer Testing*, 20, 819 (2001).
- [3] A. J. Coran and R. P. Patel, in "Polypropylene: Structure, Blends and Composites" edited by J. Karger-Kocsic, v. 2, Ch.6, p.162, Chapman and Hall, London, (1995).
- [4] Y. Masayuki, M. Hiroshi and N. Koh-Hei, *J. Polym. Sci. Part B Polym. Physics*, 35, 953 (1997).
- [5] V. Choudhary, H.S. Varma and I.K. Varma, *Polymer*, 32, 2534 (1991).
- [6] A.A. Katbab, M.S. Anaraki and H. Nazokdast, *Iranian J. Polym. Sci and Tech. (Eng.)*, 2, 12 (1993).
- [7] C.J. Chou, K. Kirby, A.Hiltner and E. Baer, *J. Mat. Sci.*, 23, 2521 (1988).
- [8] B. Pukanszky, F. Tudos, A. Kallo and G. Bodor, *Polymer*, 30, 1407 (1989).
- [9] F. Coppola, R. Greco and G. Ragosta, *J. Mat Sci.*, 21, 1775 (1986).
- [10] A. K. Gupta and S.N. Purwar, *J. Appl. Polym. Sci.*, 29, 3513 (1984).
- [11] T. Nomura, T. Nishio, H. Taniguchi, I. Hirai and N. Kumura, *Japanese J. Polym. Sci. and Tech.*, 51, 505 (1994).
- [12] A. Van der Wal and A.J. J. Gaymans, *Polymer*, 40, 6045 (1999).
- [13] Ramsteiner, *Acta Polymerica*, 42, 584 (1991).
- [14] K.Hayashi, T. Morioka and S.J. Toki, *J. Appl. Polym. Sci.*, 48, 411 (1993).
- [15] L. D. Orazio, C. Mancarella, E. Martuscelli, G. Sticotti and P. Massari, *Polymer*, 34, 3671 (1993).
- [16] A. Van der Wal , R. Nijhof and R. J. Gaymans, *Polymer*, 40, 6031 (1999).
- [17] O. Z. fernandez, S. Sanchez-Valdes, I.G. Yanez-Flores, V. de Ramos and M.L. Lopez-Quintanilla, *J. Poly. Eng.*, 18, 341 (1998).
- [18] A. J. Tinker, D. R. Icenogle and J. Whittle, *Rubber World*,-199, 25 (1989).
- [19] N. R. Choudhury and A.K. Bhowmick, *J. Mat. Sci.*, 25, 2985 (1990).
- [20] น. วงศ์วิเศษศิริกุล, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, สงขลา 306 (1993).

- สงขล 308 (1993).
- [22] ก. รุจิรานนทพงศ์, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, สงขล 300 (1993).
- [23] น. ฉันทศาสตร์รัศมี, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, สงขล 920 (1993).
- [24] A.I. Isayev, Y. Churdpant, and X.Guo, *Intern.Polym. Process*, 15, 72, (2000).
- [25] Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, *SPE Tech. Papers*, 486, (2000).
- [26] Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, *Proceedings of the First Thailand Materials Science and Technology Conference, Thailand*, 1165, (2000).
- [27] A.K. Jain, N.K. Gupta, K. Neeraj and A.K. Nagpal, *J Appl Polym Sci*, 77, 1488, (2000).
- [28] E. Martuscelli, F. Liva, C. Sellitti and C. Silverstre, 26, 217, (1985).
- [29] S. Thomas, B. R. Gupta and S. K. De, *J. Vinyl Technol*, 9(2), (1987).
- [30] Z.K. Walezak, *Appl Polym Sci*, 17, 169, (1973).

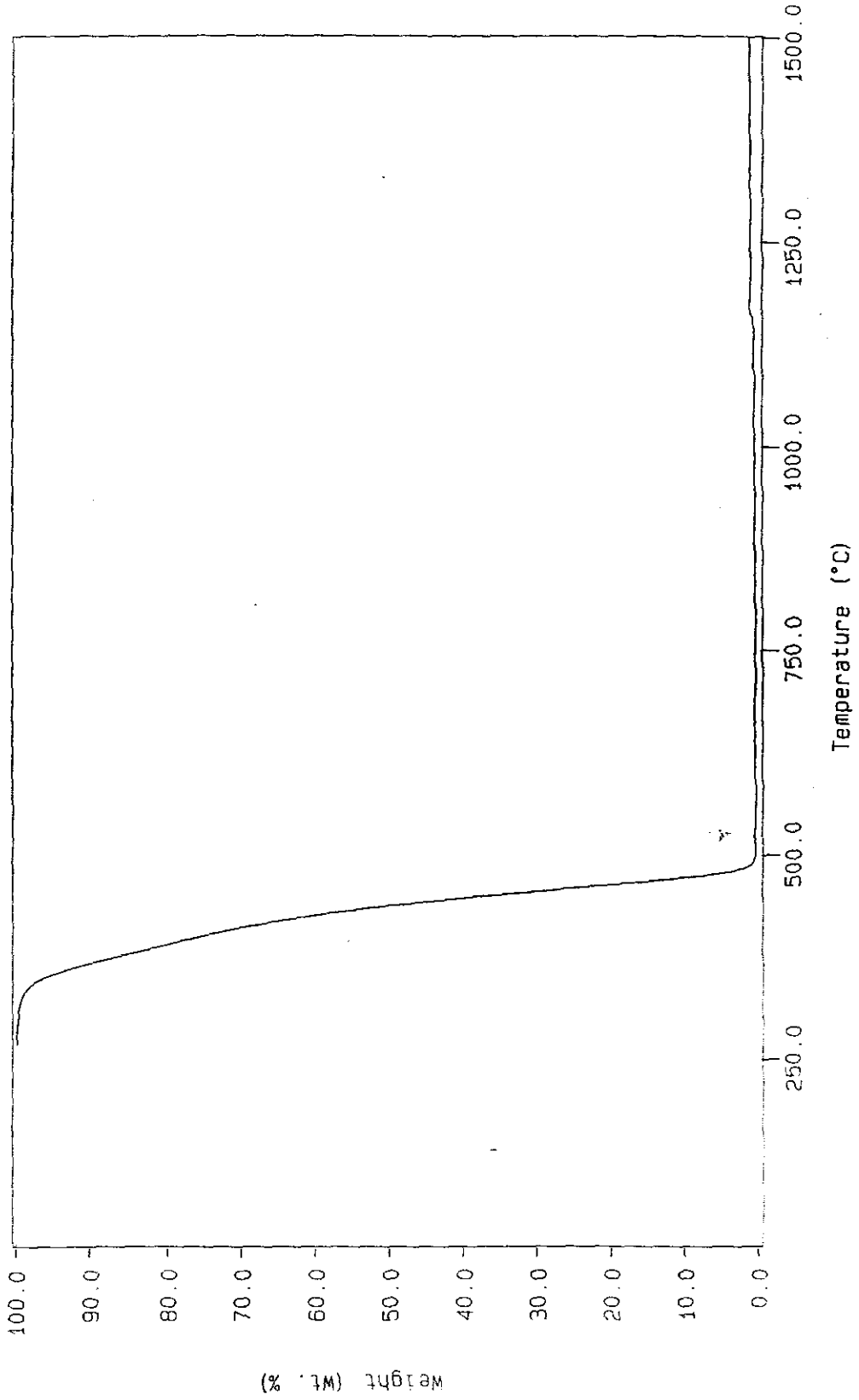
ภาคผนวก



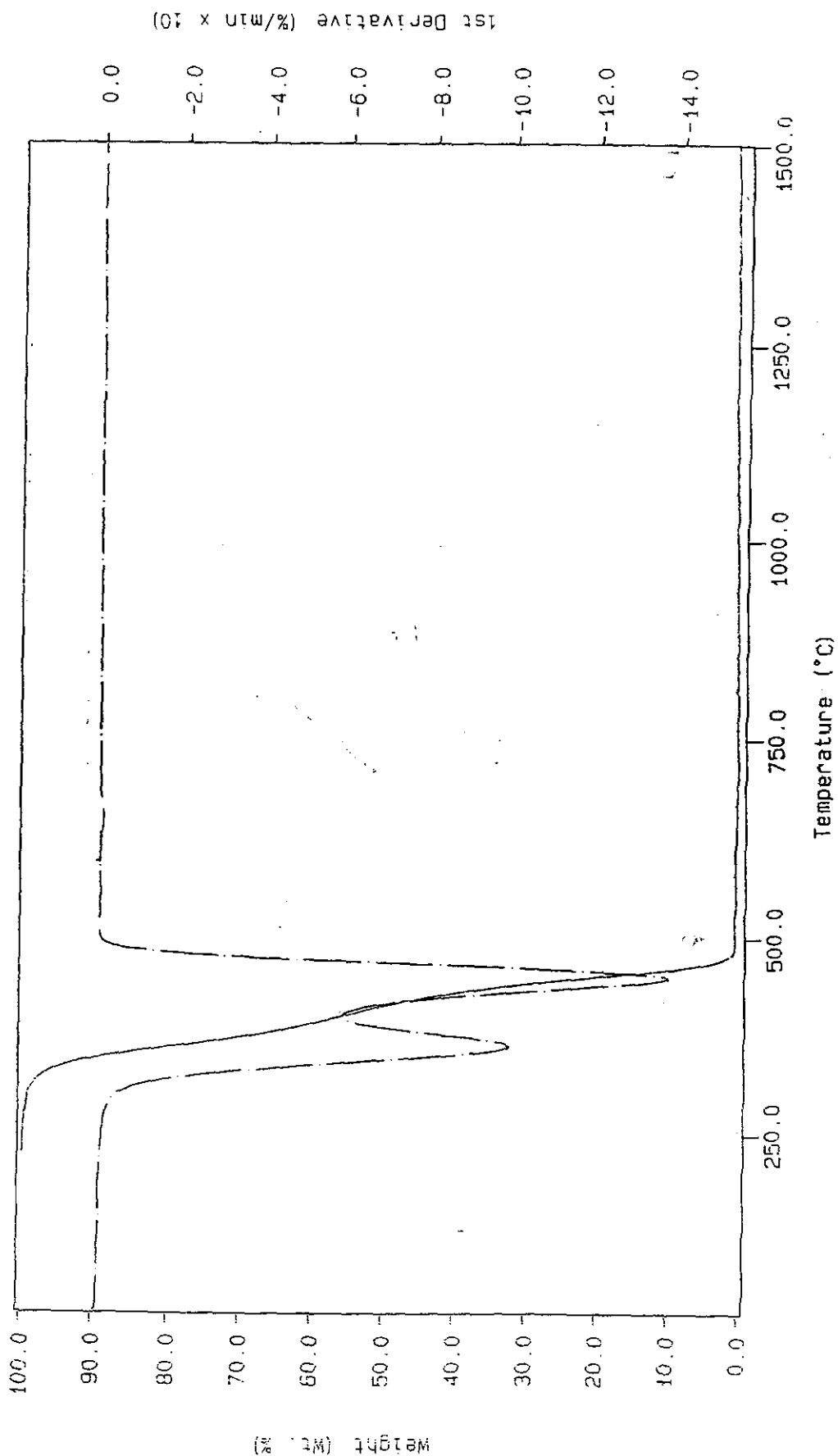
รูปที่ 1 กราฟ TGA ของ PP 700J-100



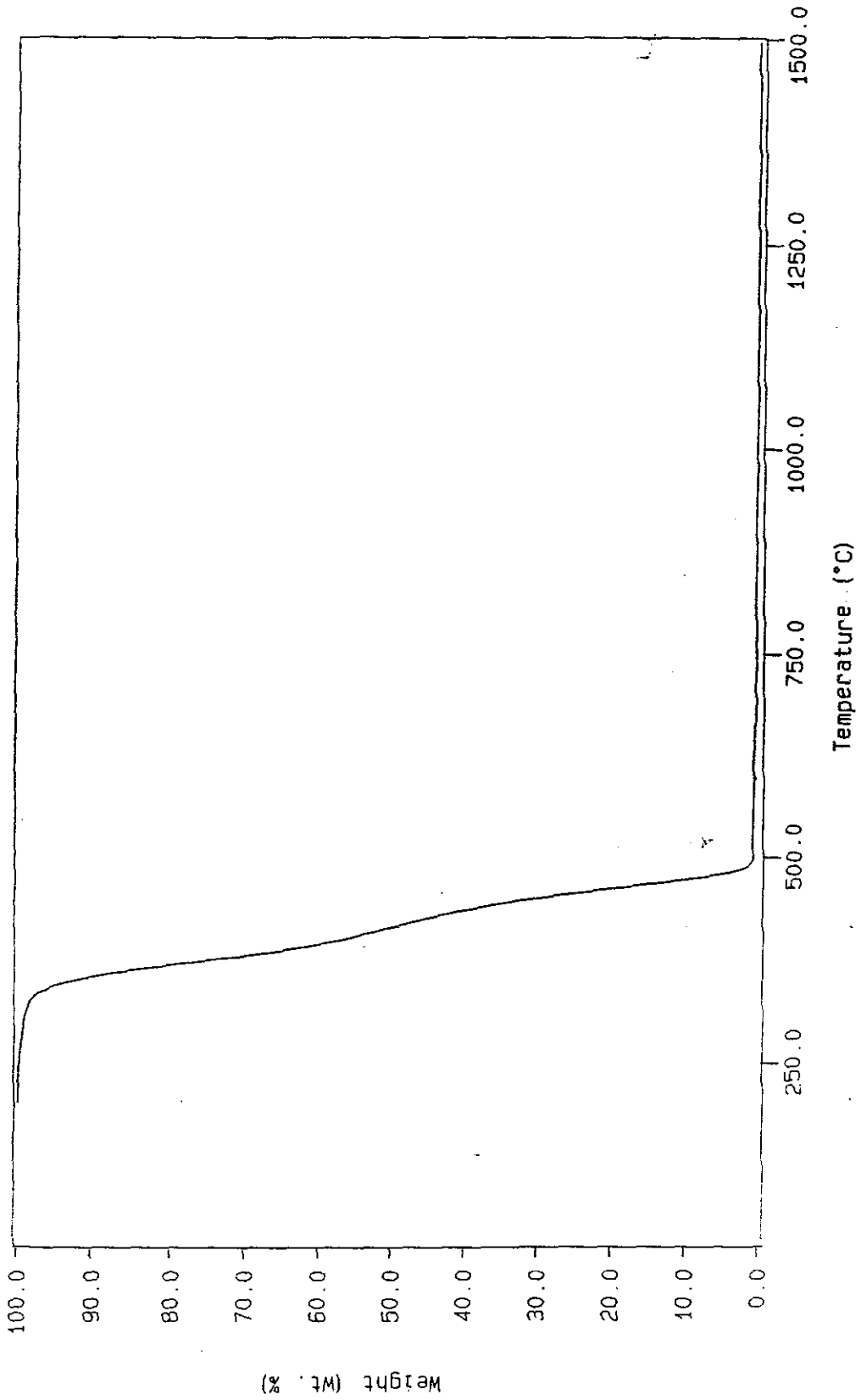
รูปที่ 2 กราฟ TGA ของยางธรรมชาติ



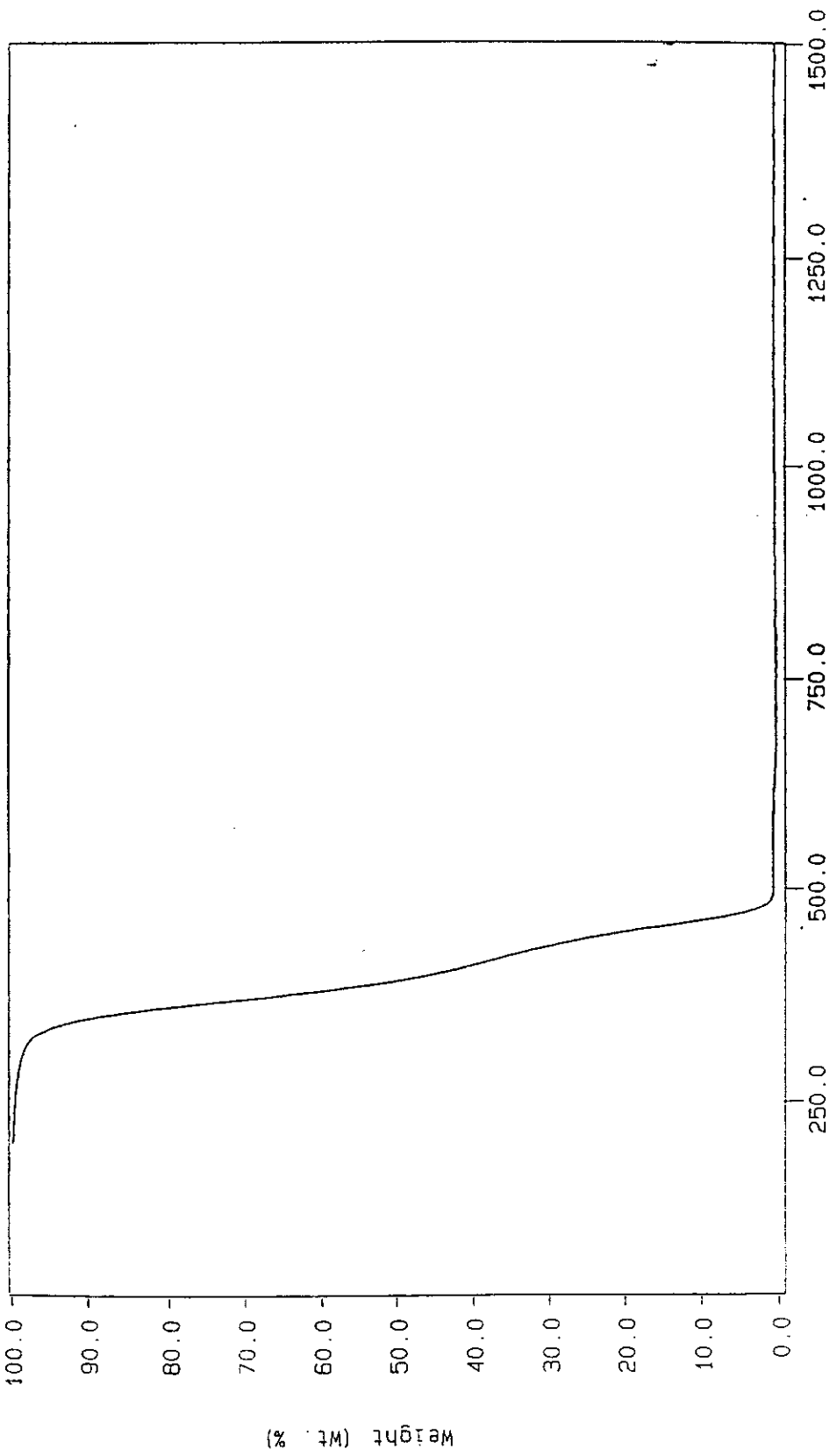
รูปที่ 3 กราฟ TGA ของ PP 700J - 80



รูปที่ 4 กราฟ TGA ของ PP 700J-60



รูปที่ 5 กราฟ TGA ของ PP 700J - 50



פוליופרופילן TGA ניתב PP 700J-40

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ(ภาษาไทย): ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์
(ภาษาอังกฤษ): Assistant Professor Yupaporn Ruksakulpiwat
2. ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ (044) 22-4433 โทรสาร (044) 22-4431
E-mail: yupa@ccs.sut.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
2542 Ph.D. (Polymer Engineering), The University of Akron, USA
2537 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยม) วัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Polymer Processing and Characterization
 - Polymer Crystallization and Morphology

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยและงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ:

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

1. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนที่สังเคราะห์ด้วยสารเร่งปฏิกิริยาซีเกอร์-นัตตาและเมททอลโลซีน โดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Comparative Study of Microstructure and Properties of Ziegler-Natta and Metallocene Based Polyethylenes in Injection Molding) แหล่งทุนสนับสนุน : National Metal and Materials Technology Center, MTEC

6.2 งานวิจัยอยู่ระหว่างดำเนินการ (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

1. โครงการการผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างหญ้าแฝกกับพอลิโพรพิลีน (Manufacture of Product from Polymer Composite between Vetriver Grass and Polypropylene) แหล่งทุนสนับสนุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ผลการดำเนินงานคิดเป็นร้อยละ 80 ของโครงการ)

6.3 การปฏิบัติงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

1. ปฏิบัติงานวิจัย ณ University of Linz ประเทศออสเตรีย ด้วยทุนแลกเปลี่ยนนักวิทยาศาสตร์ ตามโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและประเทศออสเตรีย ทบวงมหาวิทยาลัย ในระหว่างเดือนกันยายน 2544

7. ผลงานทางวิชาการ

1. Y. Churdpant and A.I. Isayev, "Crystallization and Microstructure of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes: Simulation and Experiment", SPE Tech Papers, 2527 (1999).
2. A.I. Isayev, Y. Churdpant and X. Guo, Proceeding of the 15th PPS Meeting, Netherlands (1999).
3. Y. Churdpant and A.I. Isayev in "Metallocene Technology and Modern Catalytic Methods in Commercial Applications" edited by George M. Benedikt and B. L. Goodall, ChemTec Publishing, Ontario, 1999.
4. Y. Churdpant and A.I. Isayev, "Comparison of Birefringence and Mechanical Properties of Injection Molded Metallocene and Ziegler-Natta Based Isotactic Polypropylenes", J. Poly. Eng, 20, 76 (2000).

5. Y. Churdpant and A.I. Isayev, "Crystallization Kinetic and Growth Rate Behaviour of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes", *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.* (submitted).
6. A.I. Isayev, Y. Churdpant and X.Guo, "Comparative Study of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes in Injection Molding", *Intern. Polym. Process*, 72 (2000).
7. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, "Shear-Induced Crystallization in Injection Moldings of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes", *SPE Tech Papers*, 486 (2000).
8. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, *Proceedings of The First Thailand Materials Science and Technology Conference, Bangkok, Thailand, 116, 2000.*
9. Y. Ruksakulpiwat, "Comparative Study of Structure and Property of Ziegler-Natta and Metallocene Based Linear Low Density Polyethylene in Injection Moldings", *SPE Tech Papers*, 582 (2001).
10. W. Thuamthong, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutaphan, and N. Suppakarn, *Thermal, Rheological, Mechanical, and Morphological Properties of Vetiver-Polypropylene Composites, the 8th 8th Pacific Polymer Conference (PPC8), Bangkok, Thailand, 118, 2003.*
11. Y. Ruksakulpiwat and C. Ruksakulpiwat, *Injection Moldings of Dynamic Vulcanized Natural Rubber-Polypropylene Blends, the 8th 8th Pacific Polymer Conference (PPC8), Bangkok, Thailand, 134, 2003.*

ผู้วิจัยร่วม

1. ชื่อ(ภาษาไทย): นาย ไชยวัฒน์ รักษกุลพิวัฒน์
(ภาษาอังกฤษ): Mr Chaiwat Ruksakulpiwat.
2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ถนนมิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ (043) 202-231 ต่อ 2243 โทรสาร(043) 202-373
E-mail: charuk@kku.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
2543 Ph.D.(Polymer Science), The University of Akron, USA
2537 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
2533 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยม) เคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Rubber Technology
 - Adhesive
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยและงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ:
 1. การเตรียมกาวจากกรีซอลฟอมอลดีไฮด์เรซิน (Preparation of resorcinol formaldehyde resin)
แหล่งทุนสนับสนุน: National Metal and Materials Technology Center, MTEC)
 2. การเตรียมยาง ENR (Epoxidation Natural Rubber)
 3. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน โดยวิธีไดนามิก
วัลคาไนเซชัน
7. ผลงานทางวิชาการ
 1. C. Ruksakulpiwat, and G. Hamed, SPE Tech Papers, paper no. 263, 2001.
 2. Y. Ruksakulpiwat and C. Ruksakulpiwat, 8th Pacific Polymer Conference (PPC8), Bangkok, Thailand , 134, 2003.