

บทที่ 4

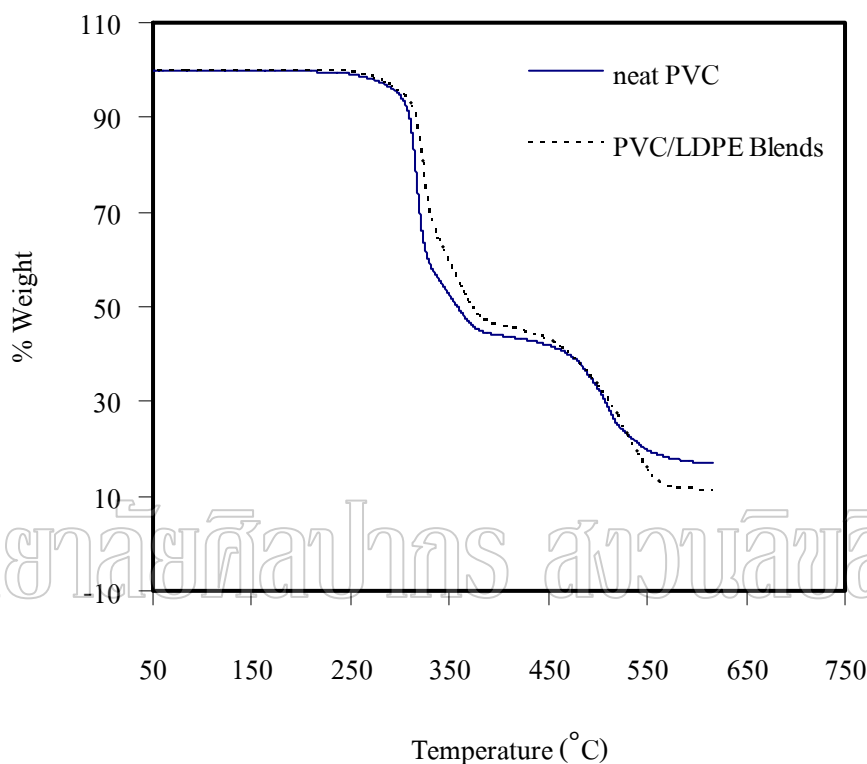
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆ จากเม็ดพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษาอิทธิพลของดัชนีการไหลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ปริมาณ 5, 15 และ 25 phr ในพอลิเมอร์ผสม และอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดอัดรีดเมื่อผ่านเครื่องอัดรีด 5 รอบ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสม
2. ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดที่มีปริมาณพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ปริมาณ 5 phr ในพอลิเมอร์ผสม เมื่อผ่านเครื่องอัดรีด 5 รอบ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสม
3. ศึกษาอิทธิพลจากสถาปัตยกรรมเชิงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนที่แตกต่างกันในพอลิเมอร์ผสม โดยงานวิจัยนี้ใช้พอลิเอทิลีนที่มีความแตกต่างปริมาณของกิ่งก้านจำนวน 2 ชนิด คือ พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสม

4. สมบัติทางความร้อน

4.1.1 อิทธิพลของดัชนีการไหลของ LDPE และอุณหภูมิในการอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของสารและอุณหภูมิ จากการทดสอบหาค่าอุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC/LDPE (5 g/10 min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดรอบที่ 5

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC/LDPE (5 g/10 min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดรอบที่ 5 ด้วยเครื่อง TGA พบว่า neat PVC ซึ่งมีพันธะ C-Cl อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลนั้นคลอรีนอะตอมสามารถหลุดออกจากโมเลกุลได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนสูงกว่า 100 °C [14, 19, 47] เกิดการสลายตัวของส่วนประกอบอยู่ 2 ช่วงโดยอุณหภูมิการสลายในช่วงแรก 250 – 370 °C การลดลงของน้ำหนักเกิดจากการปลดปล่อยของก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ผ่านปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอรีเนชัน (Dehydrochlorination) ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวจะก่อให้เกิดโครงสร้างของหมู่พอลิอิน (Polyene) ขึ้นในโครงสร้างของ PVC และอุณหภูมิในช่วง

400 – 550 °C น้ำหนักของสารจะลดลงอีกขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยสายโซ่โมเลกุลขาดจากกัน แล้วเข้าทำปฏิกิริยากันเป็นสารประเภทอะโรมาติก (Aromatic) ซึ่งจะเป็นส่วนของถ่าน (Char) ที่เหลือภายหลังการทดสอบ ซึ่งถ่านดังกล่าวทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสุดท้ายของสารไม่เป็นศูนย์ [42, 48-49] และ PVC ที่ผสม LDPE มีช่วงการลดลงของเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก แนวนอนเลื่อนไปทางขวา นั้นหมายความว่า เมื่อมีการผสม LDPE ใน PVC มีผลต่ออุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิสูงขึ้น

พิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอัดรีด

รูปที่ 4.2 - 4.4 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวของ neat PVC เปรียบเทียบกับ PVC ใน PVC/PE blends พบว่า neat PVC ที่ผ่านการอัดรีด ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ 160 °C 180 °C และ 210 °C ค่าอุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC จะเพิ่มขึ้นในรอบการผสมที่ 2 หลังจากนั้น อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC จะค่อยๆ ลดลงเมื่อผ่านการอัดรีดเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิสลายตัวที่ลดลงมากที่สุด คือกรณีของอุณหภูมิของเครื่องที่ 210 °C ซึ่งเมื่อตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของ PVC ด้วยเครื่อง FTIR ดังรูป 4.5 พบว่าค่าดัชนีพอลิอินของ neat PVC มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.12 ไปเป็น 0.18 หลังผ่านเข้าเครื่องอัดรีด 1 รอบ ไปเป็น 5 รอบ ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย 210 °C เนื่องจาก neat PVC เกิดการเสื่อมสภาพทางความร้อนเมื่อได้รับความร้อนและแรงเฉือน นั้นหมายความว่าทำให้เกิดการหลุดออกของ Chlorine radical จึงทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยา Dehydrochlorination ที่เกิดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ และในสายโซ่โมเลกุลของ PVC เกิดเป็นหมู่พอลิอิน (Polyene group) หรือ เอทิลีนพันธะคู่ (-CH=CH-) เพิ่มขึ้น [32-33, 44, 46]

สำหรับงานวิจัยนี้ การผสมซ้ำที่อุณหภูมิอัดรีดที่หัวตาย 160 °C LDPE ที่ปริมาณ 5 phr นั้น พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการสลายตัวมีแนวโน้มเดียวกับใน neat PVC ยกเว้นที่จำนวนรอบในการผสมที่สูงขึ้น คือที่รอบที่ 4 และรอบที่ 5 ค่าอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมจะสูงกว่าใน neat PVC สำหรับที่ปริมาณการผสม LDPE 15 phr นั้น ค่าอุณหภูมิสลายตัวมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุผลเนื่องจากการที่ LDPE คือ heat stabilizer ใน PVC ไปใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพ จึงทำให้ค่าอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน พอลิเมอร์ผสมลดลง ที่ปริมาณการผสม LDPE 25 phr ค่าอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม กลับมาสูงขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากการแยกตัวออกของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ อย่างสิ้นเชิงที่ปริมาณการผสม LDPE ที่สูงขึ้น [1] ในรูปที่ 4.6 ยังแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีของพอลิอิน ใน PVC เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการผสมซ้ำ ซึ่ง พอลิอินที่เกิดขึ้น เกิดจากการสลายตัว แบบ Dehydrochlorination ของ PVC แล้วได้พันธะคู่เกิดขึ้นในโมเลกุลของ PVC ถ้ามีการเกิด การสลายตัวดังกล่าวมากขึ้น ก็จะมีพันธะคู่ที่มากขึ้น สิ่งที่น่าสังเกตคือ ดัชนีพอลิอินของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอัดรีดซ้ำที่มี LDPE ปริมาณ 5 phr จะมีค่า

ดัชนีพอลิอินที่ต่ำกว่าดัชนีพอลิอินของ neat PVC ที่มีการผสมเข้า นอกจากนั้นค่าความเหลือง (Yellowness, b^*) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงแกนของสีระหว่างสีฟ้า (-b) และสีเหลือง (+b) จากค่าความเหลืองที่มีค่าติดลบ ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดพลาสติกก่อนนำมาผ่านกระบวนการอัดรีดเป็นเม็ดสีฟ้า เมื่อผ่านการอัดรีดส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพทางความร้อนสีของเม็ดพลาสติกจะมีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 4.7 (a) ยังเป็นสิ่งที่ยืนยันให้เห็น การเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม ที่มีการผสม LDPE ปริมาณ 5 phr เนื่องจากการเปลี่ยนสีของพอลิเมอร์ผสมไปเป็นสีเหลืองเกิดน้อยกว่าในกรณี neat PVC

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเข้าที่หัวคายของเครื่องอัดรีด สูงขึ้นคือที่ 180 และ 210 °C ดังแสดงในรูป 4.2 - 4.4 (b) – (c) จะพบว่า การผสม LDPE ลงใน PVC ที่ ปริมาณ 5 phr จะช่วยทำให้เกิดการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC ได้เช่นกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคายที่ใช้ในการผสมสูงขึ้น เกิดการสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม จะเกิดได้ง่ายขึ้น ทำให้มีค่าดัชนีพอลิอินที่สูงขึ้นทั้งในกรณี neat PVC และ PVC ในพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (b) และ (c) อย่างไรก็ตาม ยังสามารถเห็นการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC ด้วยการผสม LDPE 5 phr ที่การผสมที่อุณหภูมิสูงอยู่บ้าง จากค่าความเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (b) และ (c) จะเห็นว่า ความเหลืองของพอลิเมอร์ผสม มีค่าต่ำกว่า (หรือออกไปทางสีฟ้า) neat PVC ทั้งในการผสมที่อุณหภูมิ 180 และ 210 °C แต่ความเหลืองของพอลิเมอร์ผสมที่ผสมที่อุณหภูมิสูง จะมีมากกว่า พอลิเมอร์ผสมที่ผสมที่อุณหภูมิ 160 °C

กลไกในการเพิ่มเสถียรภาพของ PVC ด้วย LDPE

เมื่อมีการให้ความร้อนและแรงเฉือนกับพอลิเมอร์ผสม PVC จะเกิดการหลุดออกของ Chlorine radical ก่อน ส่งผลให้เกิด radical ขึ้นในโมเลกุลของ PVC LDPE ที่ปริมาณน้อยๆ จะสามารถเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ดังแสดงในภาพ SEM รูปที่ 4.8 ซึ่งจะสามารถสัมผัสกับวัฏภาคของ PVC และสามารถเกิดการถ่ายโอน radical (radical transfer) จากสายโซ่โมเลกุลของ PVC ไปสู่สายโซ่โมเลกุลของ LDPE อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [1] สามารถเกิดการสลายตัว เกิดการเชื่อมขวางหรือเกิดเป็นกิ่ง เช่นเดียวกับที่ค้นพบโดย Abad และคณะ [39] ทำให้ได้ PE ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงกรณีเกิดการสลายตัว และมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นกรณีเกิดการเชื่อมขวางหรือเกิดเป็นกิ่ง ในกรณีแรกอุณหภูมิสลายตัวของ LDPE จะต่ำลง ในกรณีถัดมาอุณหภูมิสลายตัวจะสูงขึ้น ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งเป็นรูปแสดง TGA thermogram ของ LDPE ที่สกัด โดยใช้ THF จากพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการผสมด้วยจำนวนรอบต่างๆกัน โดยปกติ LDPE จะสามารถเกิดการเชื่อมขวางและกิ่งมากกว่าเกิดการสลายตัว ดังนั้นอุณหภูมิสลายตัวของ LDPE ที่เพิ่มขึ้นมาจากการ transfer radical จาก PVC มาสู่โมเลกุลของ LDPE เองแล้วเกิดการเชื่อมขวาง หรือเกิดการเป็น

กึ่งเพิ่มขึ้น ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE ที่มาจากการสกัดออกจากพอลิเมอร์ผสม และทดสอบด้วย TGA

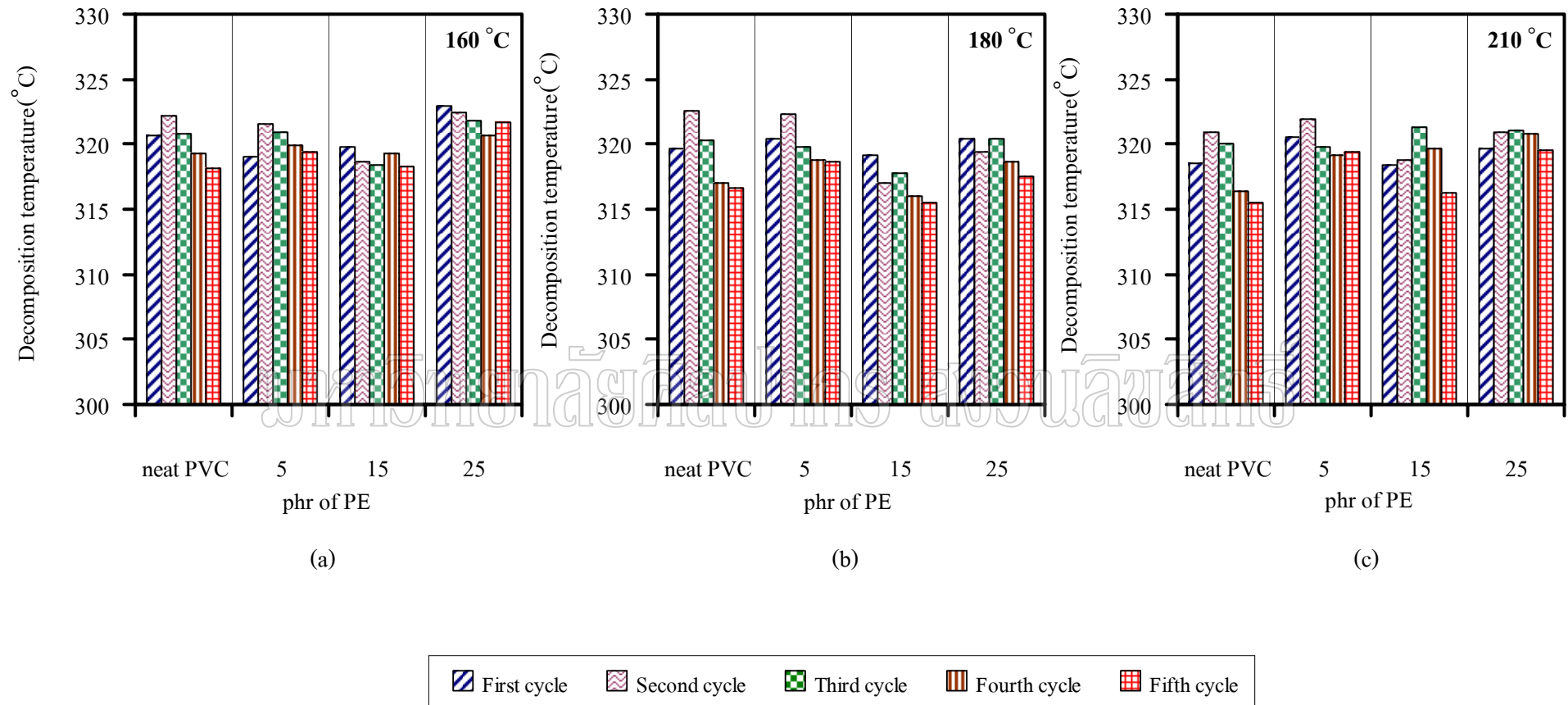
พิจารณาอิทธิพลของ MFI (Melt flow index)

เมื่อ LDPE ที่ใช้ในการผสมมีค่า MFI เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ 5 g/10min, 20 g/10min และ 43 g/10min จากผลการทดลอง พบว่าพฤติกรรมการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC จะมีความแตกต่างกัน โดยจะขอพิจารณา ที่ปริมาณ LDPE 5 phr และ มากกว่า 5 phr

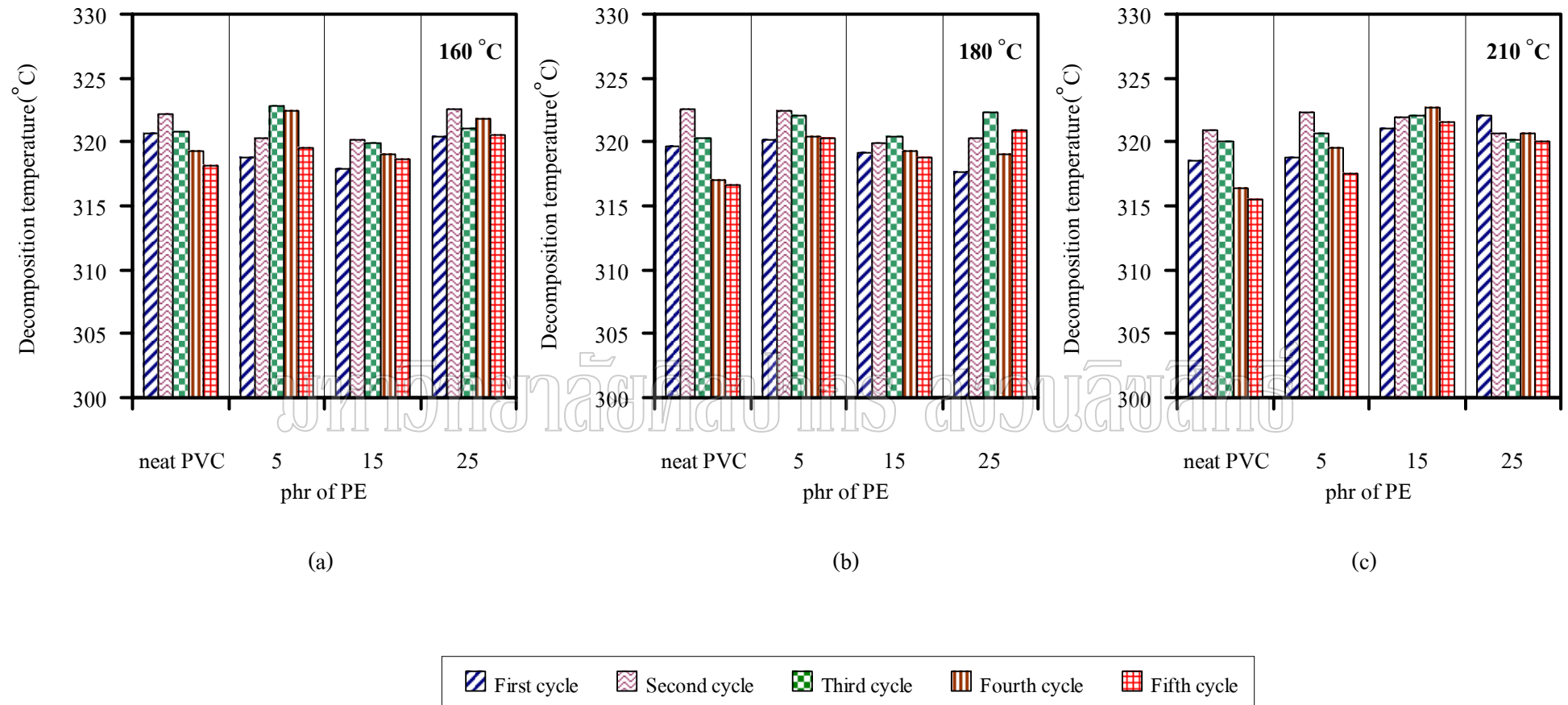
ที่ปริมาณการผสม LDPE 5 phr พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมที่มี LDPE MFI 5 g/10min และ 43 g/10 min นั้น จะคล้ายคลึงกัน คืออุณหภูมิสลายตัวจะเพิ่มขึ้น แล้วจึงลดลง เช่นเดียวกับพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสลายตัวใน neat PVC โดยภาพรวมแล้วจะพบว่า เมื่อผสม LDPE ที่มีค่า MFI สูงขึ้น PVC ในพอลิเมอร์ผสม จะมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น โดยจะเห็นว่า ที่ LDPE ที่มี MFI 20 g/10min ดังรูปที่ 4.3 (a) พบว่า LDPE จะสามารถเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้ PVC ในพอลิเมอร์ผสม ได้ดีที่สุด โดยอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถึงรอบการผสมที่ 4 แล้วจึงลดลง

สำหรับกลไกในการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC สามารถอธิบายด้วยกลไกของ radical transfer ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น แต่กรณีที่มีการใช้ LDPE ที่มี MFI สูงขึ้น สามารถเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับ PVC ได้ดีกว่านั้น เนื่องจาก LDPE ที่มี น้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความหนืดต่ำ จะสามารถสัมผัสผิวภาคของ PVC ในมากกว่า และอาจจะเป็นผลจากอุณหภูมิสลายตัวของ LDPE เอง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสลายตัวของ LDPE ที่ MFI สูง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) มีค่าต่ำกว่า จึงสามารถเกิด radical transfer ได้มากกว่า LDPE ที่มี MFI ต่ำกว่า (น้ำหนักโมเลกุลสูง) นั่นเอง

สำหรับการผสม LDPE ที่มีค่า MFI 20 และ 43 g/10 min ที่ปริมาณ 15 และ 25 phr นั้น จะพบว่า เสถียรภาพทางความร้อนของ PVC จะเพิ่มขึ้น ซึ่งกลไกในการเพิ่ม เสถียรภาพทางความร้อนของ PVC หรืออุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่านี้ น่าจะมาจากทั้งส่วนที่เป็นทั้ง radical transfer และการทำงานของ heat stabilizer ที่มีอยู่ใน วัสดุภาคของ PVC

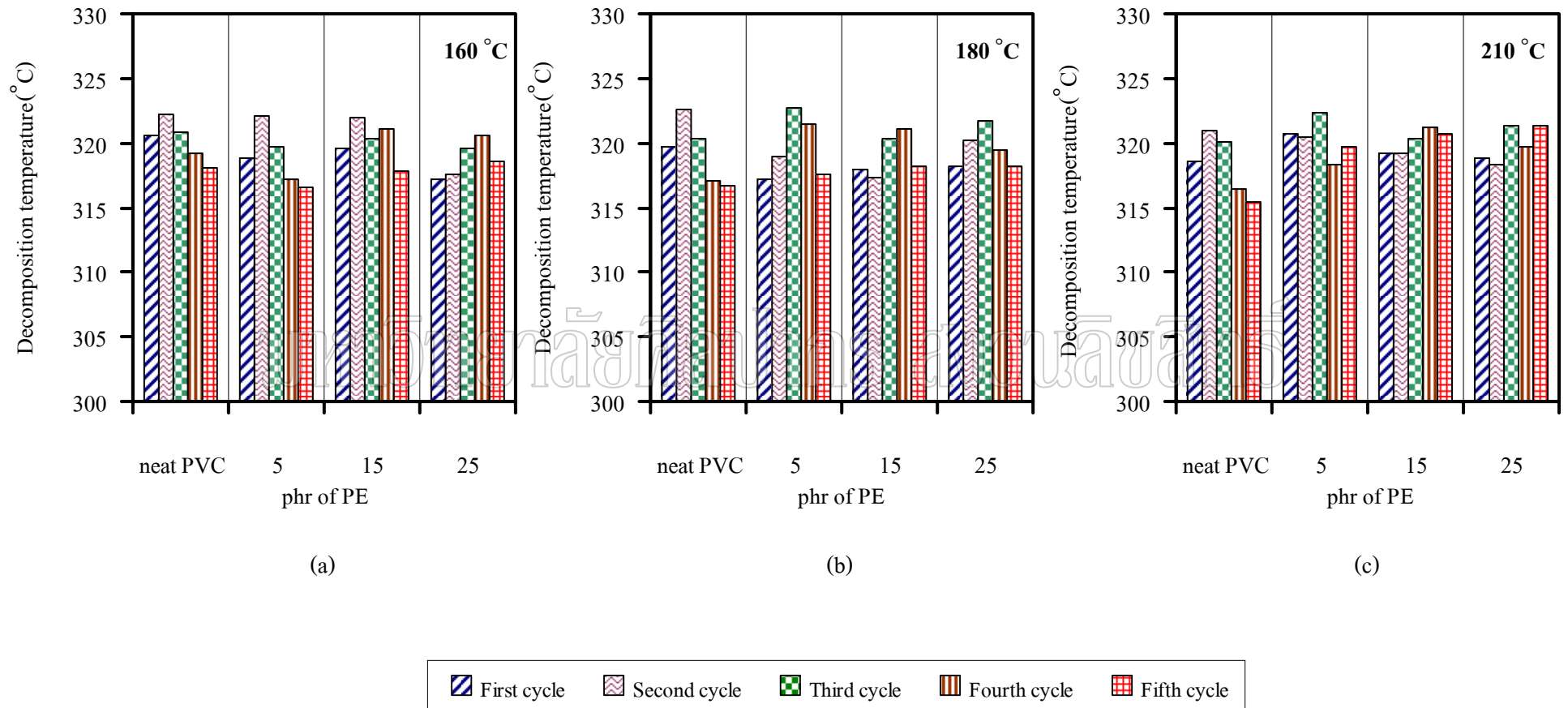


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย
(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



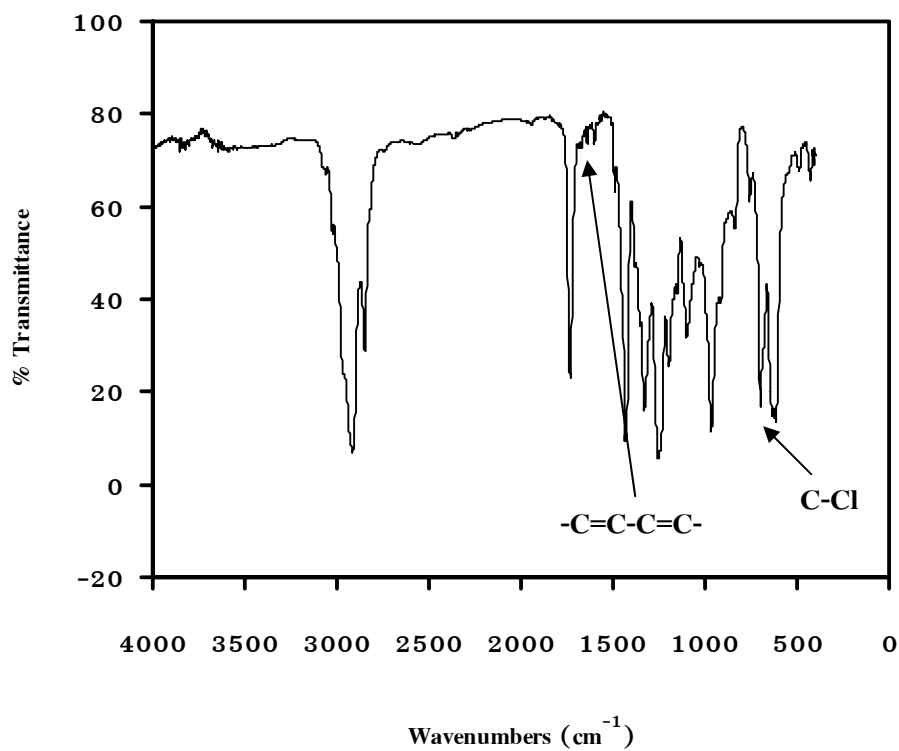
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดา

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

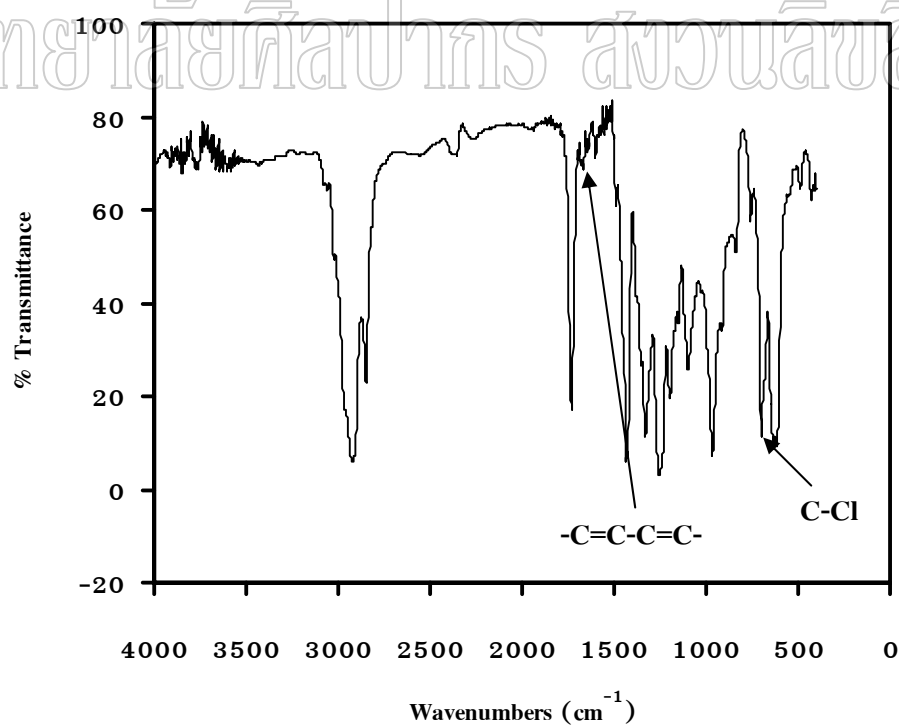


รูปที่ 4.4 อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 43g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดา

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

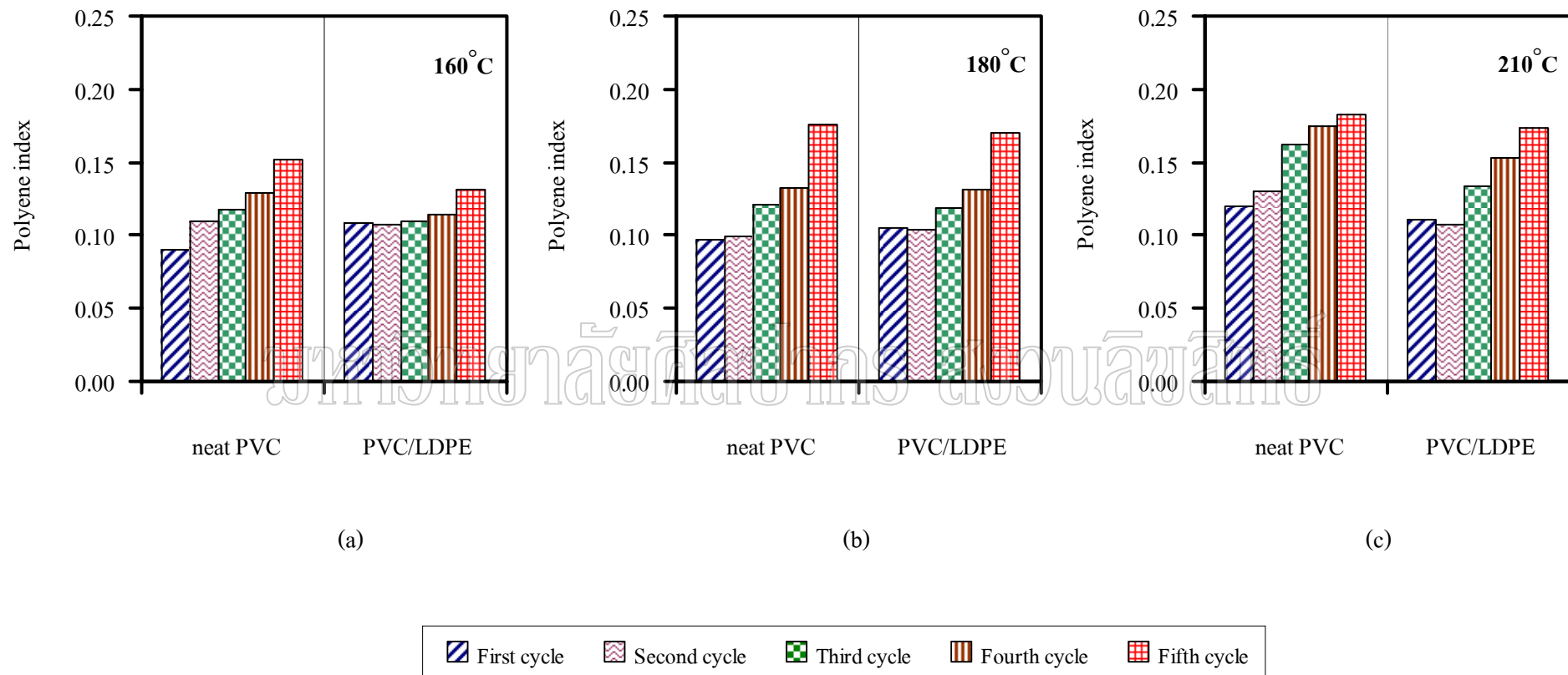


(a)

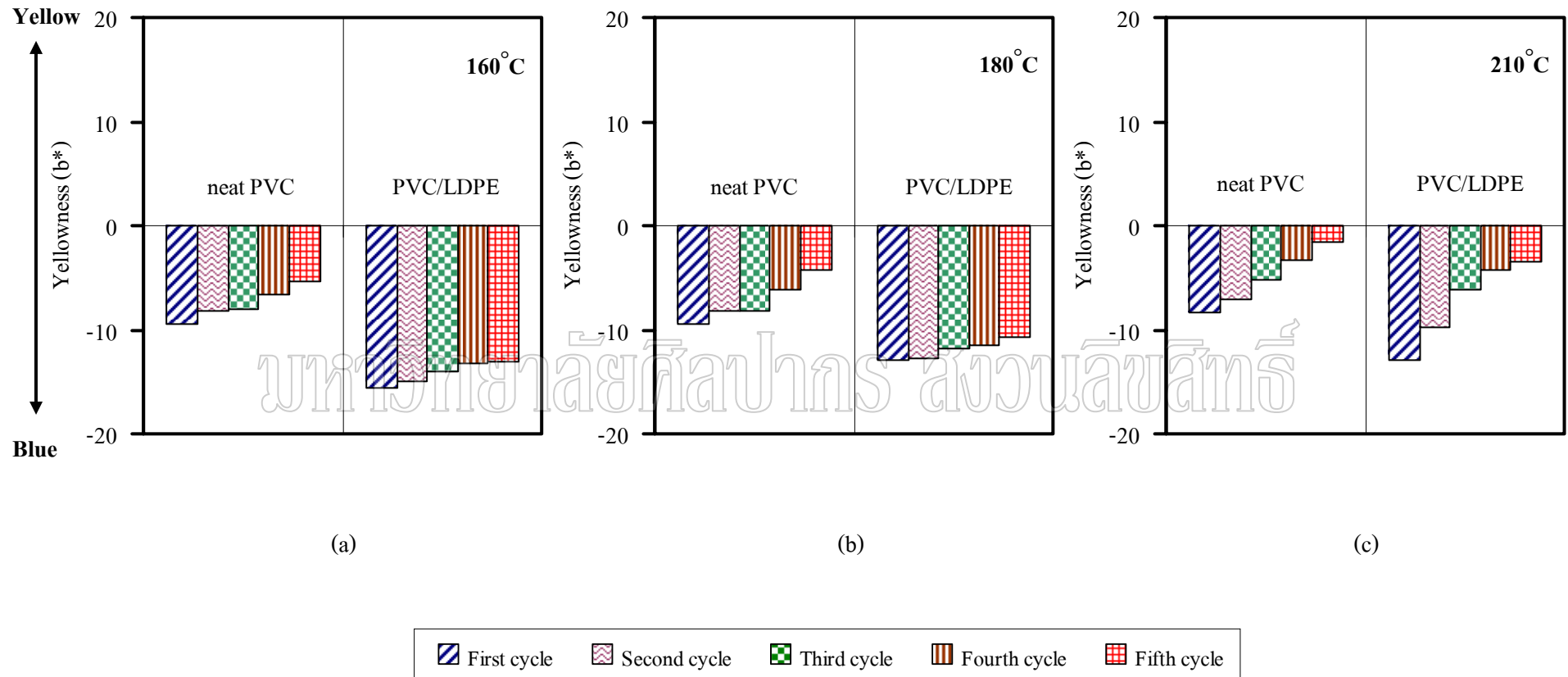


(b)

รูปที่ 4.5 Infrared spectrum ของ neat PVC ที่ผ่านการอัดรีด (a) 1 รอบ และ (b) 5 รอบ ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย $210\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.6 ค่าดัชนีพอลิอิน (Polyene index) ของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



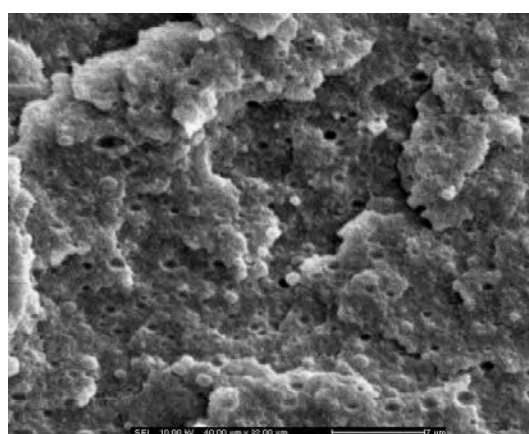
รูปที่ 4.7 ค่าความเหลือง (Yellowness, b^*) ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิสลายตัวของ PVC/LDPE (5 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF

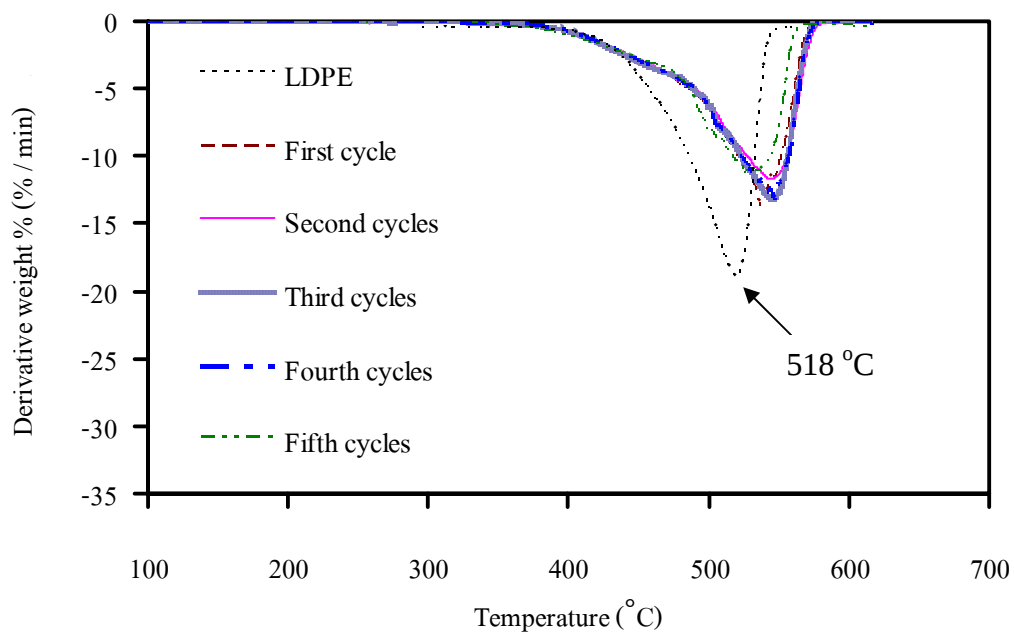
จำนวนรอบของ พอลิเมอร์ผสมที่ผ่าน กระบวนการอัดรีด	Decomposition Temperature: $T_d, \max$ ($^{\circ}\text{C}$)	
	PVC/LDPE ที่ไม่ละลายในตัว ทำละลาย THF ณ อุณหภูมิของ เครื่องอัดรีด 160 $^{\circ}\text{C}$	PVC/LDPE ที่ไม่ละลายในตัว ทำละลาย THF ณ อุณหภูมิของ เครื่องอัดรีด 210 $^{\circ}\text{C}$
1	538	545
2	548	544
3	547	540
4	549	543
5	540	546

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิสลายตัวของ LDPE ที่ผ่านการอัดรีดแล้ว 1 รอบ

ชนิดของเม็ดพลาสติก	Decomposition Temperature : $T_d, \max$ ($^{\circ}\text{C}$)
LDPE (MFI = 5g/10min)	518
LDPE (MFI = 20g/10min)	519
LDPE (MFI = 43g/10min)	516

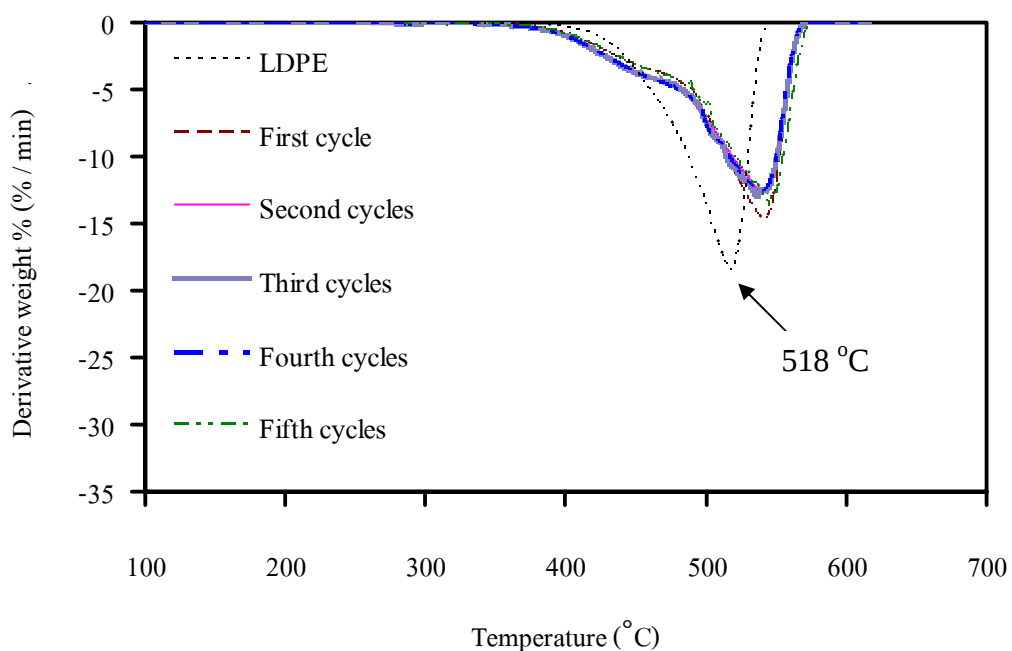


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย 180 $^{\circ}\text{C}$ เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 3



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือ

จากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 160 °C



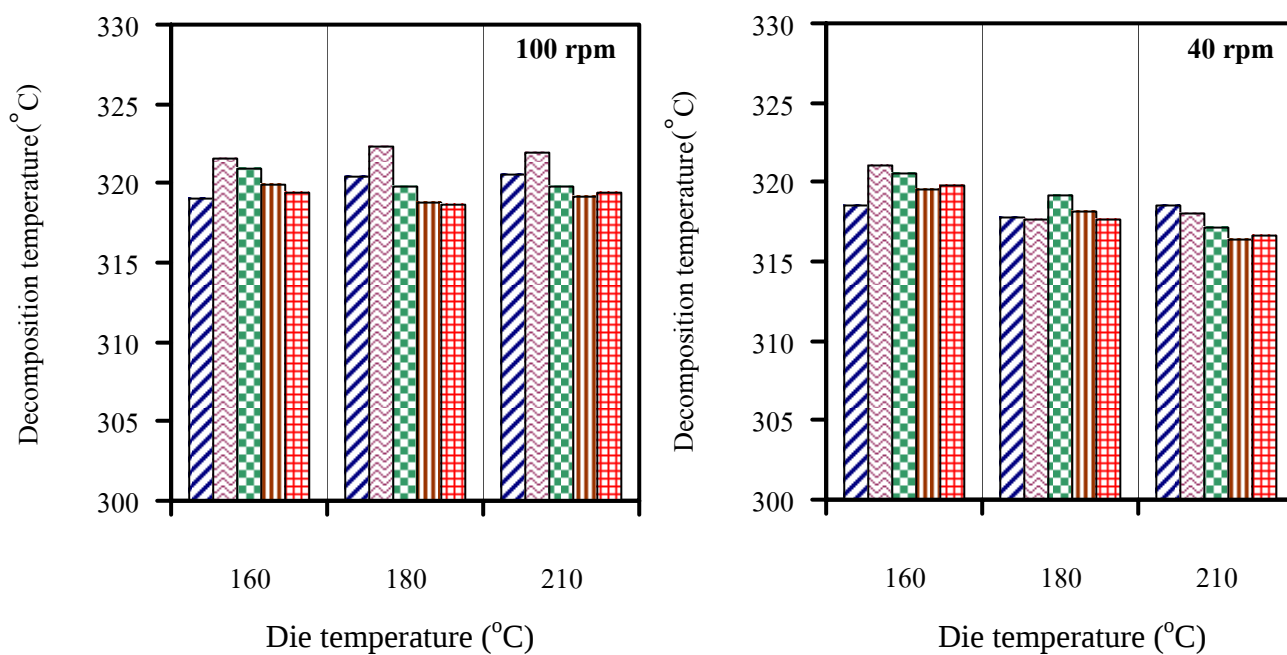
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือ

จากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 210 °C

4.1.2 อิทธิพลของความเร็รรอบสกรูของเครื่องอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.1.1 พบว่า จำนวนครั้งที่ พอลิเมอร์ผสม ผ่านการอัดรีด อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีด และ ค่า MFI ของ LDPE ที่ผสมกับ PVC มีผลต่อความสามารถในการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม งานวิจัยในขั้นต่อมาจึงสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบสกรูของเครื่องอัดรีดที่มีต่อ พอลิเมอร์ผสม เนื่องจากความเร็รรอบในการอัดรีด คือ แรงเหวี่ยงนั่นเอง และย่อมหมายถึง ระยะเวลาที่ พอลิเมอร์ผสมจะอยู่ในกระบอบกหลอมของเครื่องอัดรีดด้วย ในการศึกษาขั้นนี้จึงได้เลือกอัตราส่วนการผสมของ LDPE 5 phr เนื่องจาก LDPE ที่ปริมาณนี้ จะมีการกระจายของอนุภาคเข้าไปในวัฏภาค PVC ได้ดี และยังเป็นปริมาณการผสม ที่มีการเพิ่มเสถียรภาพของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด โดยจะทำการศึกษาการอัดรีด พอลิเมอร์ผสมที่ความเร็รรอบ 100 rpm และ 40 rpm

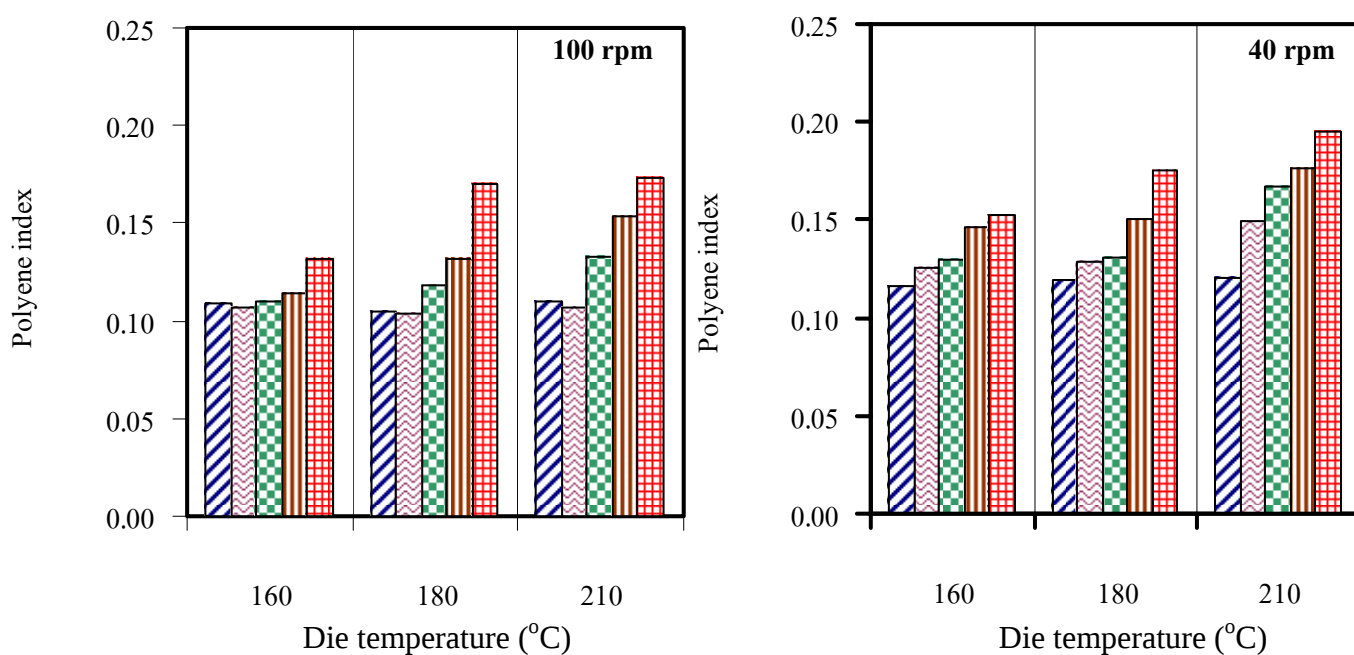
จากรูปที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน พอลิเมอร์ผสม ที่ LDPE (MFI 5g/10min) มีปริมาณ 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย 160 180 และ 210 °C พบว่าความเร็รรอบสกรูที่ 100 rpm อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ที่ความเร็รรอบสกรู 40 rpm ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมลดลง เนื่องจากระดับของความเร็รรอบสกรูต่ำ ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมได้รับความร้อนในกระบอบกหลอมเป็นระยะเวลานานกว่า มีผลต่อการเสื่อมสภาพทางความร้อนของ PVC ซึ่งมีผลสอดคล้องกับค่าดัชนีพอลิอื่น ดังรูปที่ 4.12 (a) ซึ่งแสดงค่าดัชนีพอลิอื่นที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเครื่องอัดรีดเพิ่มสูงขึ้น ที่ความเร็รรอบสกรู 40 rpm และค่าความเหลืองของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเครื่องอัดรีดเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.12 (b)



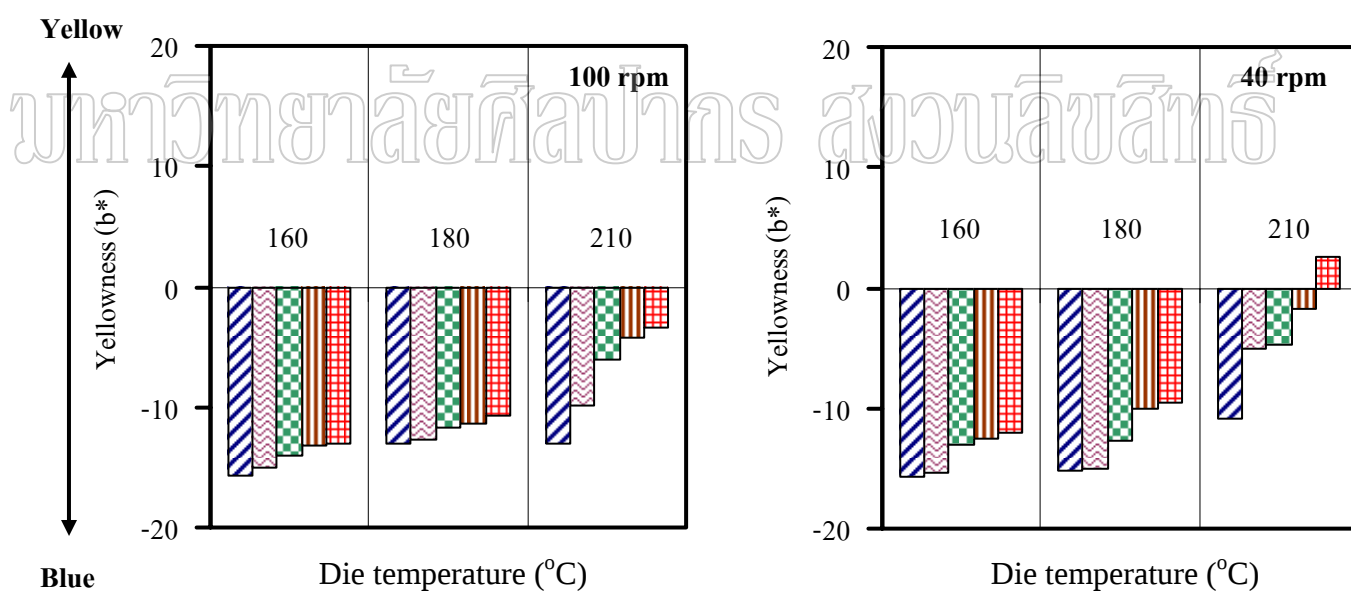
First cycle
 Second cycles
 Third cycles
 Fourth cycles
 Fifth cycles

รูปที่ 4.11 อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends มีปริมาณ LDPE

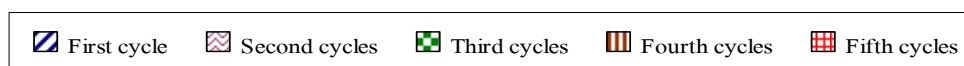
5 phr ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm



(a)



(b)



รูปที่ 4.12 (a) ค่าดัชนีพอลิอิน (Polyene index) (b) ค่าความเหลือง (Yellowness, b^*)
 ของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr
 ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm

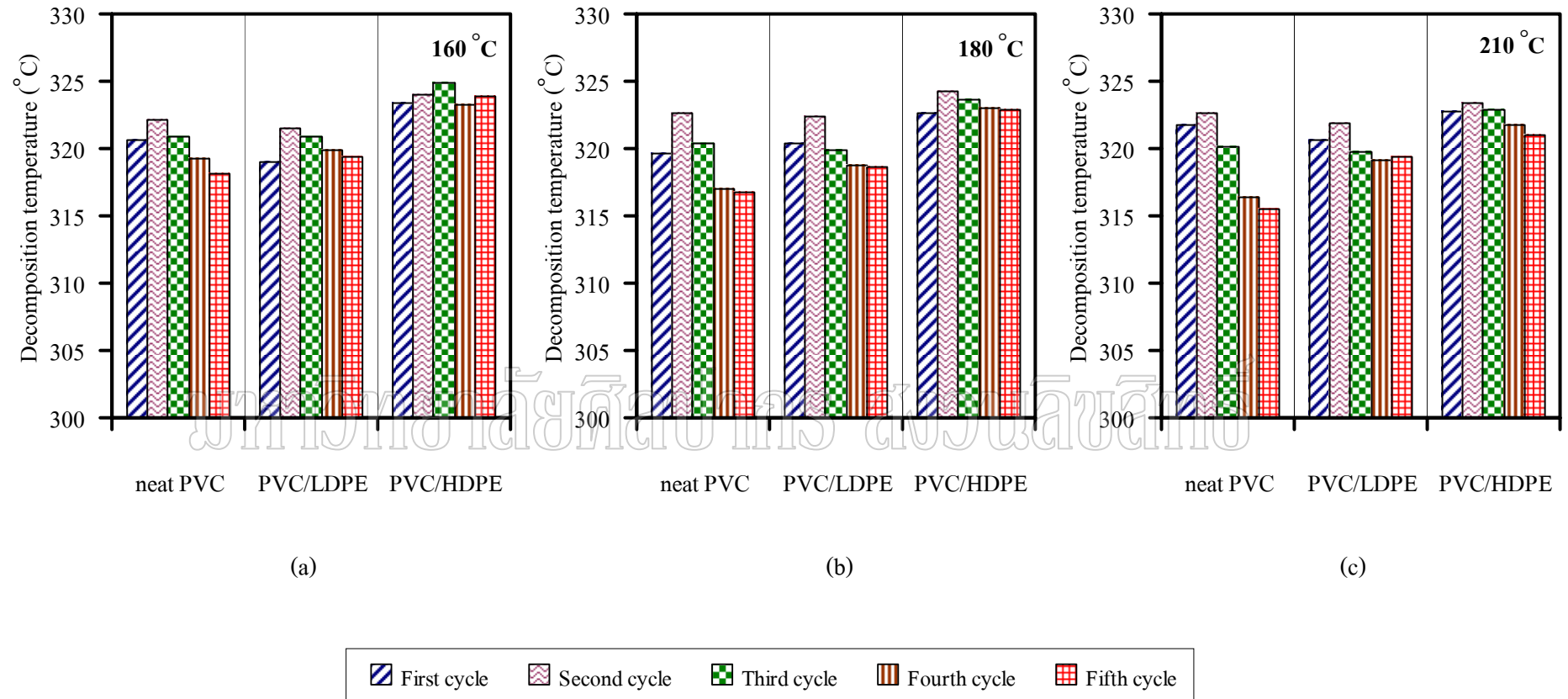
4.1.3 อิทธิพลของชนิด PE และอุณหภูมิของการอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของการขึ้นรูปซ้ำของ PE 2 ชนิด คือ HDPE และ LDPE ที่อุณหภูมิในการอัดรีดต่างกัน โดย PE ทั้ง 2 นี้มีโครงสร้างที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง กล่าวคือ HDPE มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ขณะที่ LDPE มีโครงสร้างเป็นกิ่ง ซึ่งผลของลักษณะโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมทางโมเลกุลของ PE ที่แตกต่างกันนี้ และอุณหภูมิในการอัดรีดพอลิเมอร์ผสมพบว่า มีผลต่ออุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.13 - 4.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม PVC/HDPE มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน พอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE และ neat PVC ในทุกรอบการผสม โดย PVC ที่ผสมใน PVC/HDPE จะมีความเสถียรต่อความร้อนสูงที่สุด ในทุกอุณหภูมิการผสม และ ทุกรอบการผสม ทั้งนี้ เนื่องจากเหตุผลของการเกิด radical transfer ดังในงานวิจัยก่อนหน้านี้ Thongpin, C และคณะ [1] ได้ศึกษาผลจากปริมาณ ค่าดัชนีการไหล และองศาของความเป็นกิ่ง (ชนิด) ของ PE ที่มีต่อกลไกการสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสม โดยทำการผสมแบบหลอมผ่านเครื่องอัดรีด 1 รอบ พบว่าการผสม HDPE จำนวนเล็กน้อย (5 phr) สามารถช่วยปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมได้ เนื่องจากการสลายตัวเกิดอนุมูลอิสระขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของ PVC แสดงดังสมการที่ 1 อนุมูลอิสระบนสายโซ่โมเลกุลของ PVC จะเคลื่อนย้าย (Transfer radical) ไปสู่สายโซ่โมเลกุลของ HDPE โดยดึงไฮโดรเจนจาก HDPE มาช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับ PVC ช่วยให้เกิดการชะลอปฏิกิริยาการเร่งสลายตัวโดยอัตโนมัติ (Autocatalytic degradation หรือ Zipper) ของ PVC จากปฏิกิริยา Dehydrochlorination อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมจึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่ของ HDPE จะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยา Chain scission เป็นส่วนใหญ่ สำหรับงานวิจัยนี้เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดในรอบที่ 2 ถึงรอบที่ 5 อนุมูลอิสระที่เกิดบนสายโซ่โมเลกุลของ PVC สามารถที่จะเคลื่อนย้ายไปสู่สายโซ่โมเลกุลของ HDPE ได้อย่างต่อเนื่องช่วยให้เกิดการชะลอปฏิกิริยาการเร่งสลายตัวของ PVC ซึ่งแตกต่างกับกรณีของ LDPE เมื่ออนุมูลอิสระบนสายโซ่โมเลกุลของ PVC จะเคลื่อนย้ายไปสู่สายโซ่โมเลกุลของ LDPE ส่งผลให้อนุมูลอิสระบนสายโซ่ของ LDPE สามารถเกิดการเสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยา Cross-linking และ Chain branching ด้วยสายโซ่โมเลกุลของ LDPE ด้วยกันเองส่งผลให้เกิด Hindered effect จากกีดกันของสายโซ่โมเลกุล LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดในรอบต่อไปการเกิดปฏิกิริยาการเติมอนุมูลอิสระบนสายโซ่ LDPE น้อยลง [38]

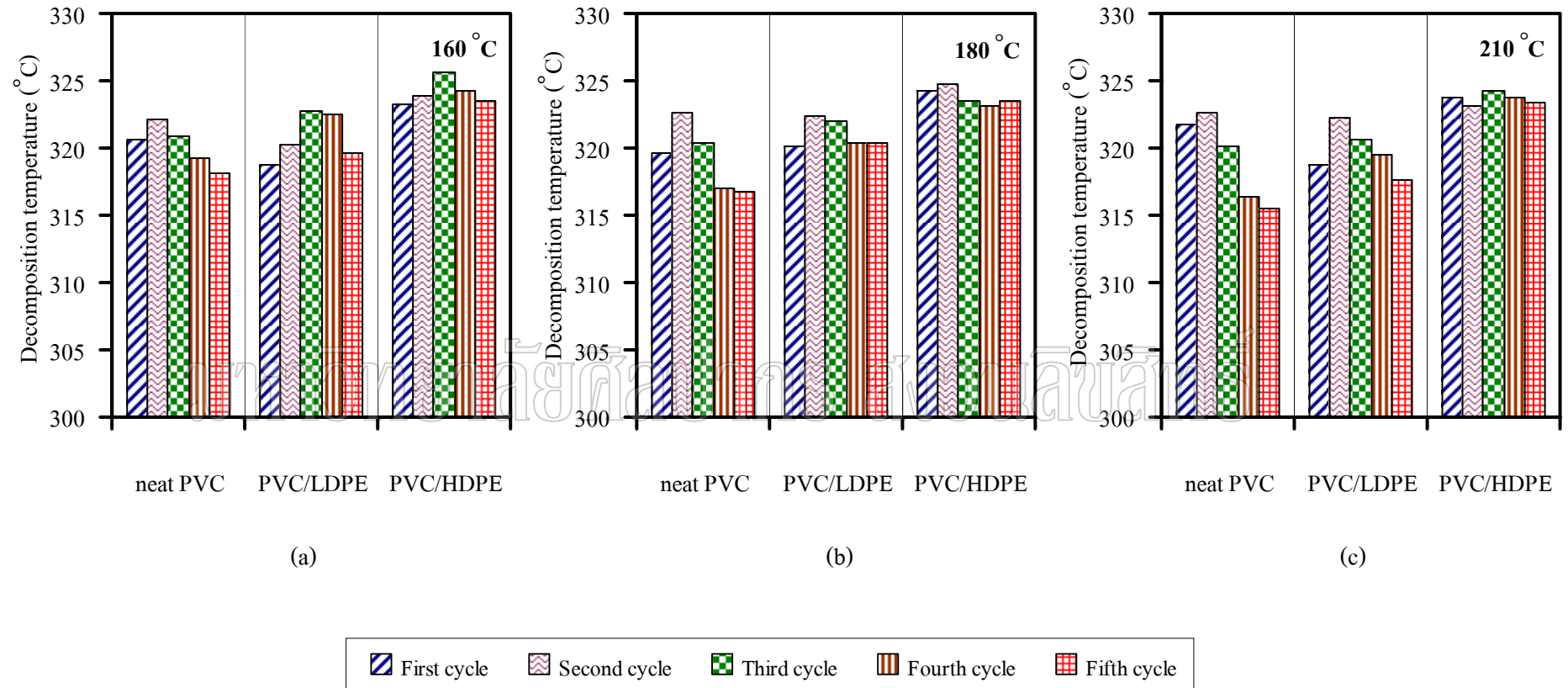
การใช้ PE ที่มีค่า MFI 5 g/10min และ 20 g/10min อัดรีดที่อุณหภูมิเครื่องอัดรีดที่หัวคาย 160 °C 180 °C และ 210 °C จะเห็นได้ว่า PVC ใน พอลิเมอร์ผสม จะมีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น โดยเฉพาะ เมื่อมีการใช้ HDPE ในการผสม ทั้งนี้เนื่องจาก HDPE ที่มีค่า MFI สูง น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (สายโซ่โมเลกุลสั้น) HDPE จะสามารถเกิดการ Transfer radical จาก PVC ได้ดีกว่า HDPE ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังนั้นจึงเกิดการสลายตัวได้ง่ายกว่า เนื่องจาก ความหนืดที่ต่ำลง ของ HDPE ที่มีค่า MFI สูง นอกจากนั้น HDPE ที่มีค่า MFI สูง ยังสามารถเข้าใกล้วัฏภาคของ PVC ได้ดีกว่า HDPE ที่มีค่า MFI ต่ำ

นอกจากนั้น การหาค่าดัชนีพอลิอินของพอลิเมอร์ผสม แสดงดังรูปที่ 4.15 – 4.16 แสดงค่าดัชนีพอลิอินของพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำกว่าดัชนีพอลิอินของ neat PVC โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเมอร์ผสม ในระบบ PVC/HDPE จะมีค่าดัชนีพอลิอินต่ำที่สุด และที่ PE ที่มี MFI สูงขึ้น จะสามารถทำให้ดัชนีพอลิอินของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่า กรณีการใช้ PE ที่มี MFI ต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ HDPE ผสมลงใน PVC จะเห็นผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

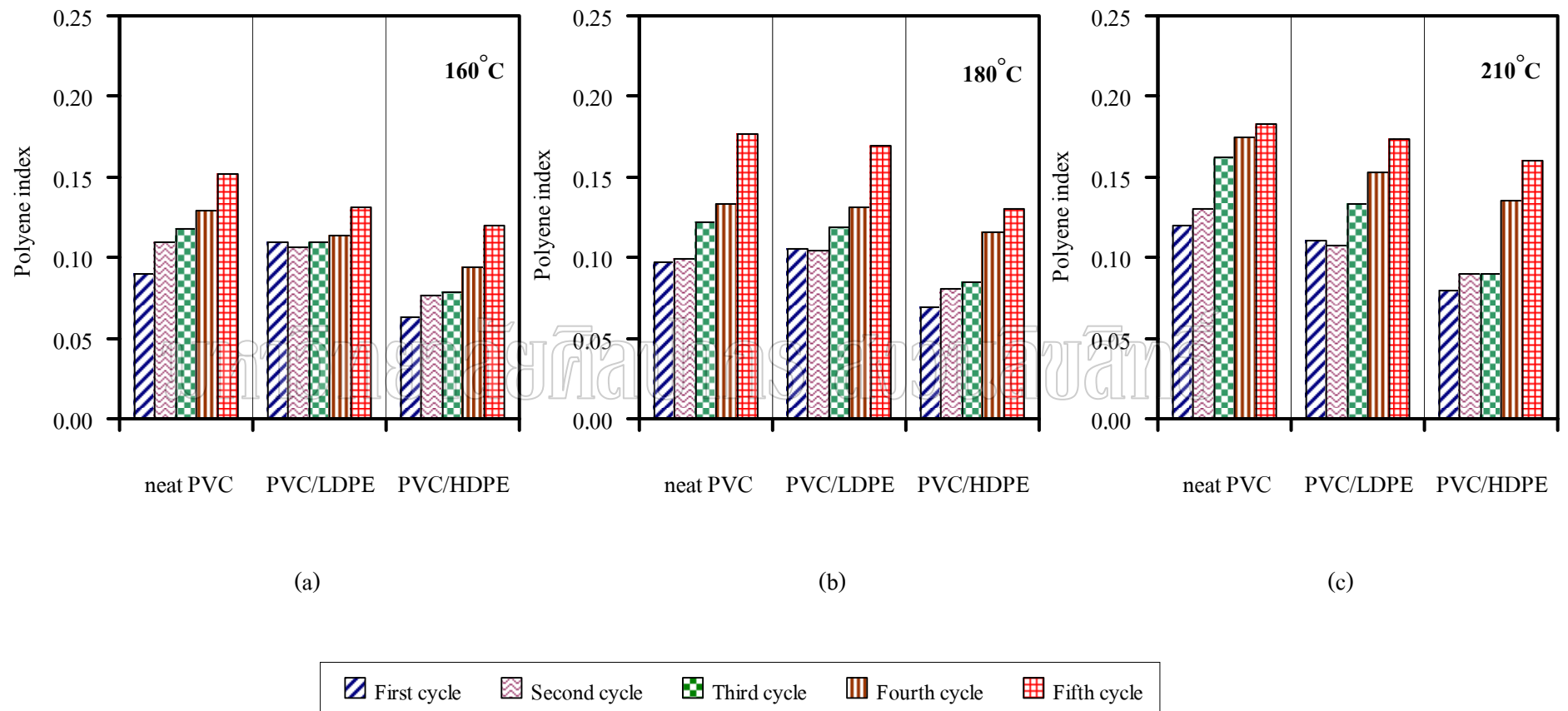
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



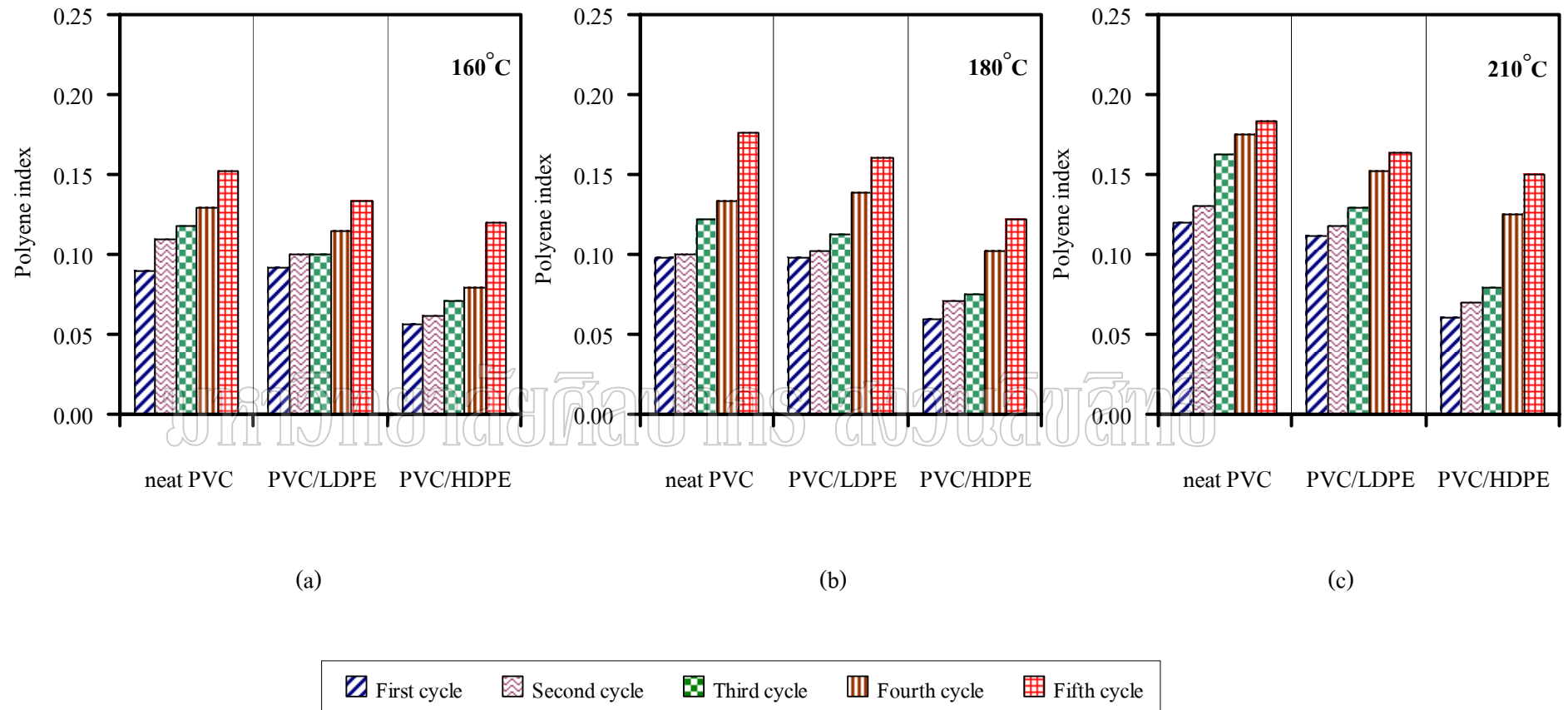
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends และ PVC ใน PVC/HDPE (MFI 5g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



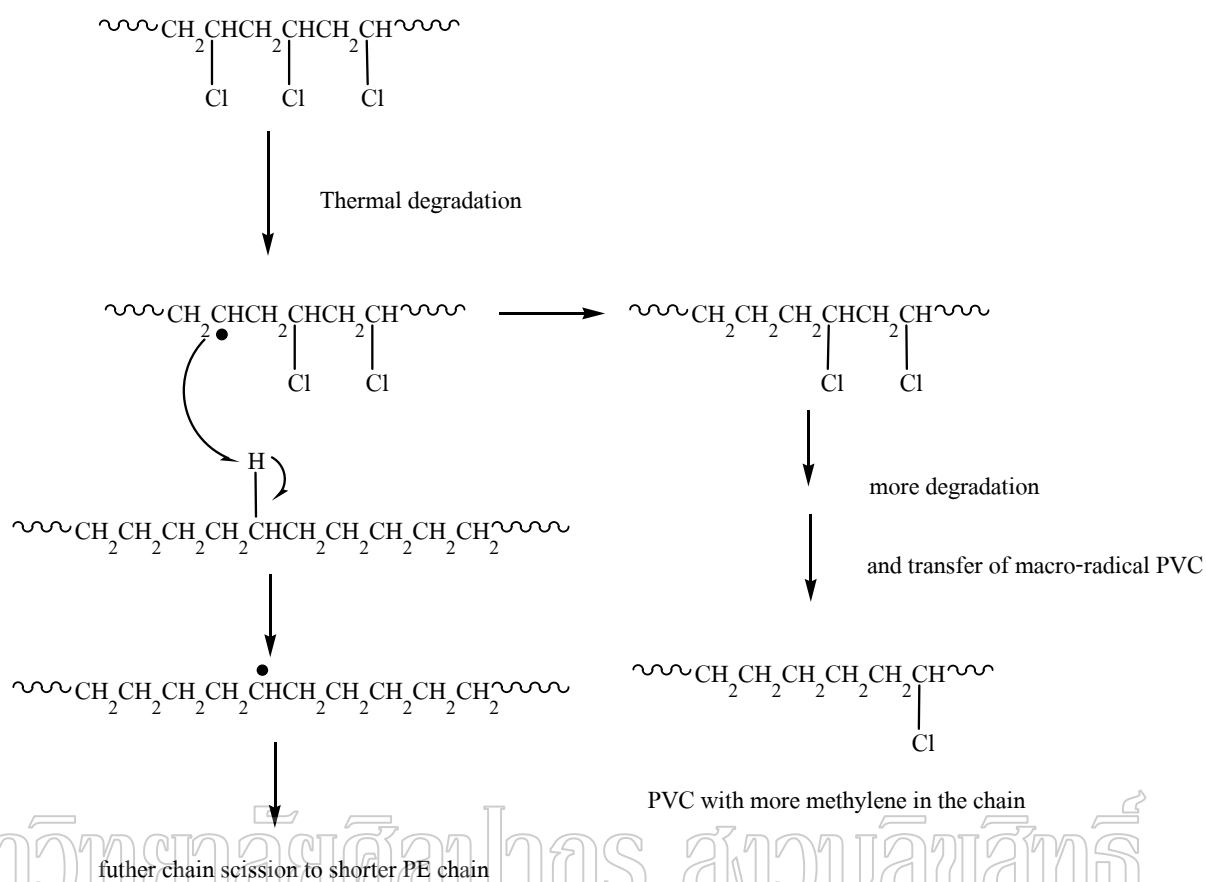
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10min) blends และ PVC ใน PVC/HDPE (MFI 20g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



รูปที่ 4.15 ค่าดัชนีพอลิอิน (Polyene index) ของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) blends และ PVC ใน PVC/HDPE (MFI 5g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

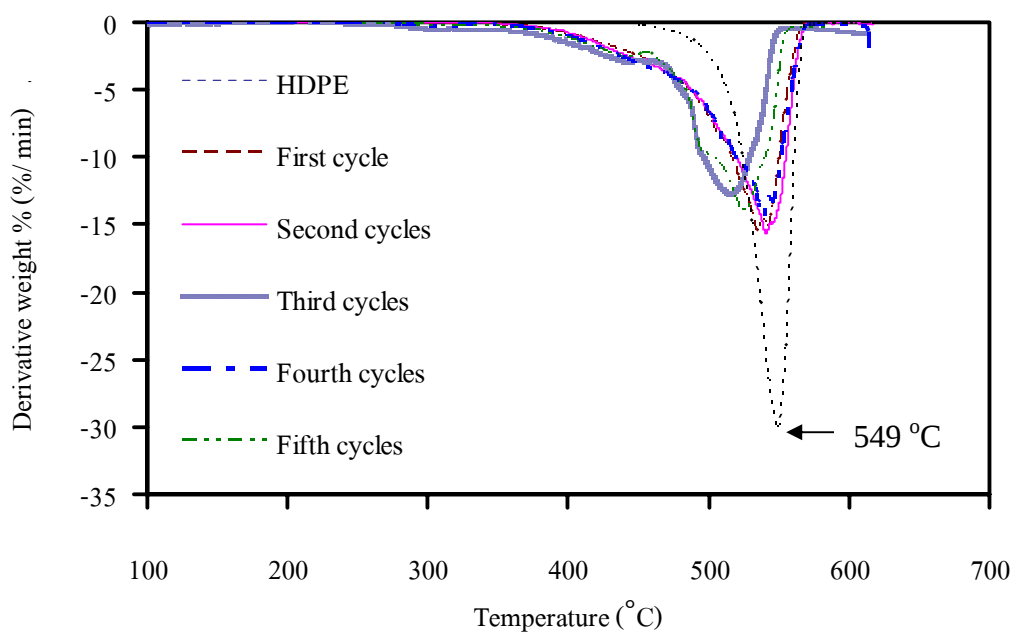


รูปที่ 4.16 ค่าดัชนีพอลิอิน (Polyene index) ของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10 min) blends และ PVC ใน PVC/HDPE (MFI 20g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



สมการที่ 4.1 ปฏิกิริยาการเติมอนุมูลอิสระที่เกิดจากการสลายตัวทางความร้อนของ PVC ลงบนสายโซ่ PE ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ [1]

เมื่อพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ HDPE ที่ MFI 5 g/10min และมีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 210 °C นำพอลิเมอร์ผสมมาทำการละลายในตัวทำละลาย THF เป็นเวลา 4 วัน นำส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF ซึ่งเป็นส่วนของ HDPE หลังการเกิดอันตรกิริยาระหว่างผสมกับ PVC แบบหลอม มาทำให้แห้งแล้วทดสอบหาอุณหภูมิสลายตัวด้วยเครื่อง TGA เพื่อสังเกตสมบัติทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลง แสดงดังรูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Derivative weight และอุณหภูมิ และตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF พบว่าอุณหภูมิสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิสลายตัวของเม็ดพลาสติก HDPE ที่ผ่านกระบวนการอัดรีด 1 รอบ ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสลายตัวที่ 549°C เนื่องจากส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF เป็น HDPE ที่เกิดการเสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยา Chain scission ทำให้ HDPE สลายตัวเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ [42] จึงสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำลง



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือ

จากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/HDPE (MFI 5g/10min) blends ที่มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 210 °C

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิสลายตัวของ PVC/HDPE blends (5 g/10min) ที่มีปริมาณ HDPE 5phr ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF

จำนวนรอบของ พอลิเมอร์ผสมที่ผ่าน กระบวนการอัดรีด	Decomposition Temperature: T_d, max (°C) PVC/HDPE ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 210 °C
1	536
2	539
3	519
4	537
5	520

4.2 สมบัติเชิงกล

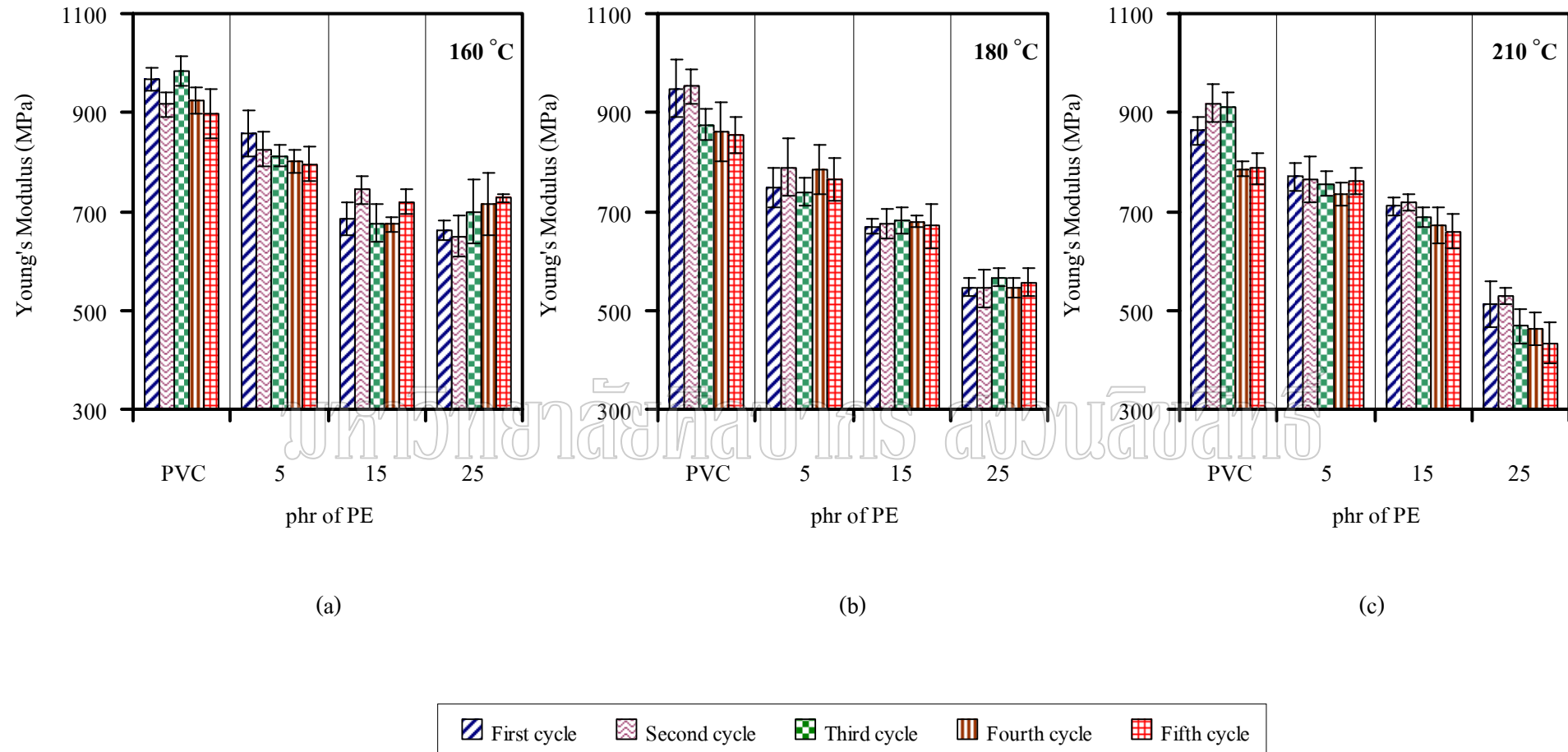
สมบัติเชิงกลโดยทั่วไปจะสนใจถึงความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความต้านทานแรงดึง และความทนทานต่อแรงกระแทก เพื่อศึกษาผลจากปริมาณ คำนีการไหล และชนิดของ PE และศึกษาถึงความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมซึ่งมี PVC เป็นองค์ประกอบหลักและมี PE เป็นองค์ประกอบรอง

4.2.1 อิทธิพลของดัชนีการไหลของ LDPE และอุณหภูมิในการอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

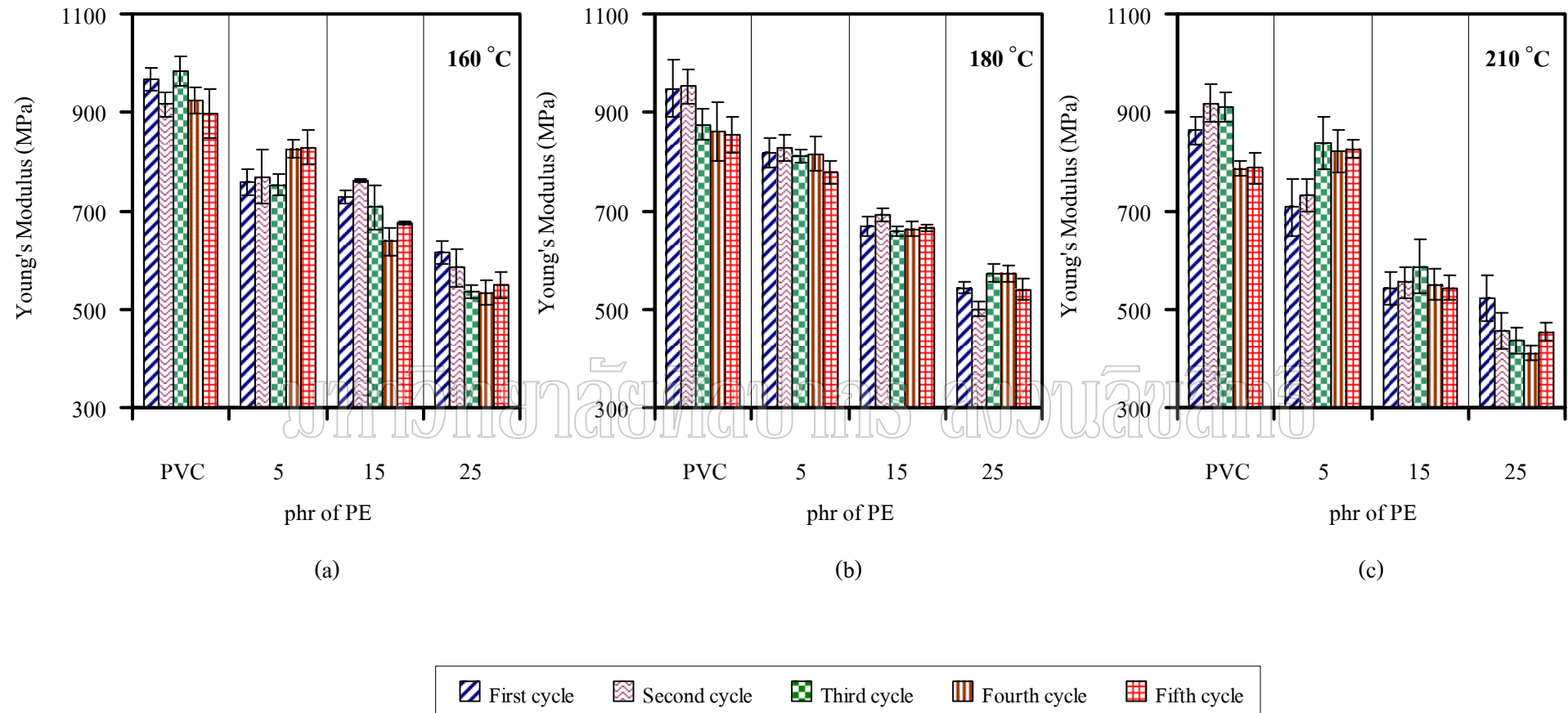
4.2.1.1 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึง (Tensile properties)

สมบัติด้านความต้านทานต่อการเสียรูป (Young's modulus) ของพอลิเมอร์ผสม แสดงในรูปที่ 4.18 - 4.20 โดยรวมแล้ว การเพิ่มปริมาณ LDPE มีผลทำให้ Young's Modulus มีค่าลดลง เนื่องจากการผสม พอลิเมอร์ที่มีค่า Young's Modulus ต่ำลงไป จึงทำให้ Young's Modulus ของพอลิเมอร์ผสมลดลง [9, 27] ไม่ว่าจะเป็นผสมที่ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตายสูงขึ้น และ MFI ของ LDPE ที่สูงขึ้น ก็ตาม อย่างไรก็ตาม สิ่งที่น่าสังเกต คือระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้ LDPE 5 phr จำนวนรอบของการผสม ค่า MFI ของ LDPE และ อุณหภูมิในการอัดรีด จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การใช้ LDPE ที่มี MFI สูง (20 และ 43 g/10 min) จะสามารถเกิดการกระจายเข้าไปใกล้กับวัฏภาคของ PVC ทำให้เกิดการสลายตัวของ LDPE ได้มากขึ้น ซึ่งการสลายตัวของ LDPE ทำให้เกิดการ เชื่อมขวางหรือกึ่งได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของค่า Young's Modulus ของ PVC น้อยลง เมื่อจำนวนรอบการผสมซ้ำที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณีการใช้ LDPE MFI 5 g/10min ปริมาณ 5 phr ค่า Young's Modulus จะมีค่าลดลง เมื่อ จำนวนรอบในการผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของ neat PVC นั้นเอง

จากรูปที่ 4.21 - 4.23 แสดงให้เห็นค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสมค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดจะมีค่าลดลง [50] ทั้งนี้เนื่องจากเพราะความเป็นขั้วที่ต่างกันของ PVC และ PE [51] เกิดการรวมกลุ่มเป็นก้อนของ PE อย่างชัดเจนและเกิดการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้ไม่สามารถส่งผ่านแรงภายในชิ้นงานทดสอบได้อย่างต่อเนื่อง เพราะความสามารถในการยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด (Interface adhesion) มีน้อยการส่งผ่านแรง (Transfer stress) ระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์จึงเป็นไปได้ยาก ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตายทุกอุณหภูมิและทุก MFI ของ LDPE ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการอัดรีดพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมจะมีแนวโน้มคงที่ [52]

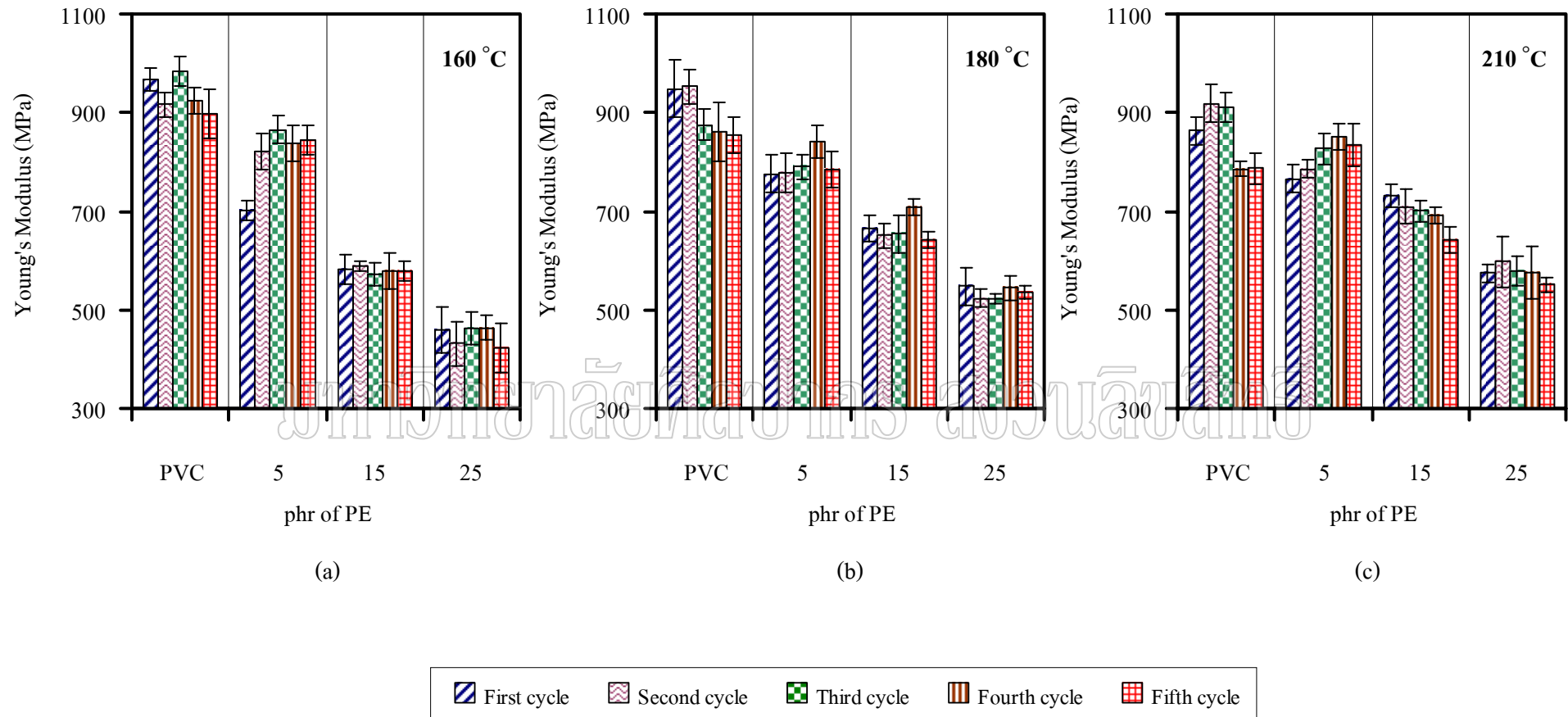


รูปที่ 4.18 Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย
(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



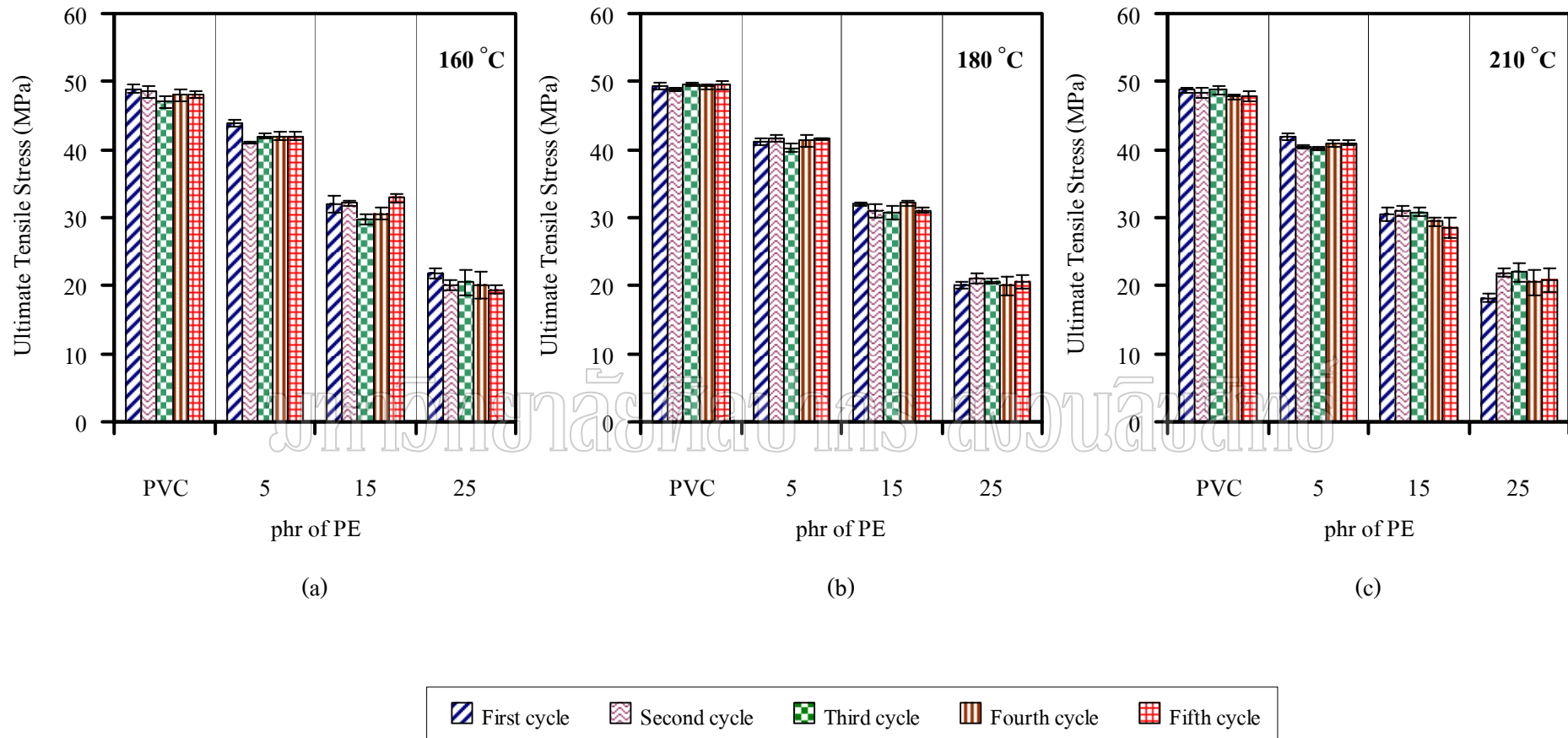
รูปที่ 4.19 Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวด้าย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



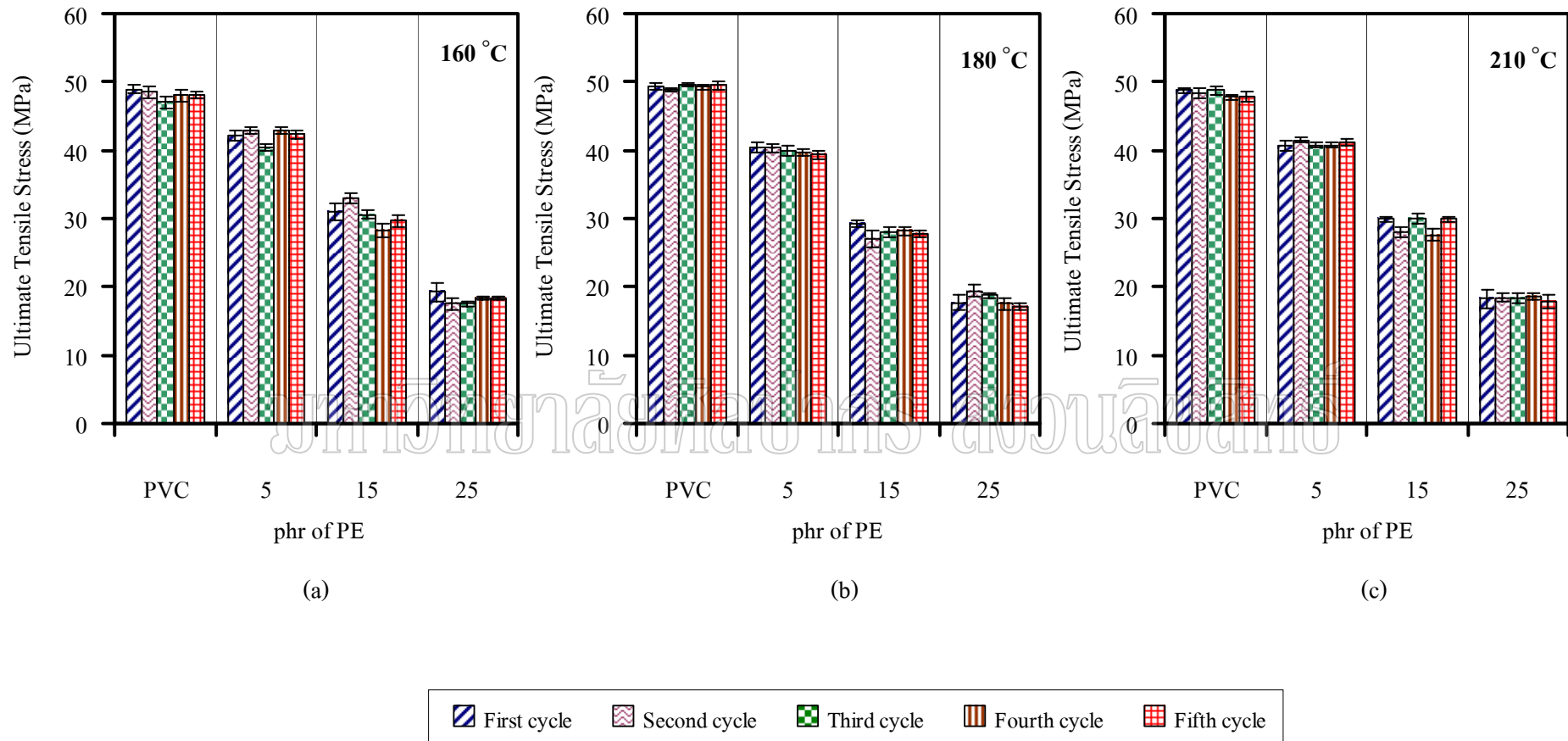
รูปที่ 4.20 Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



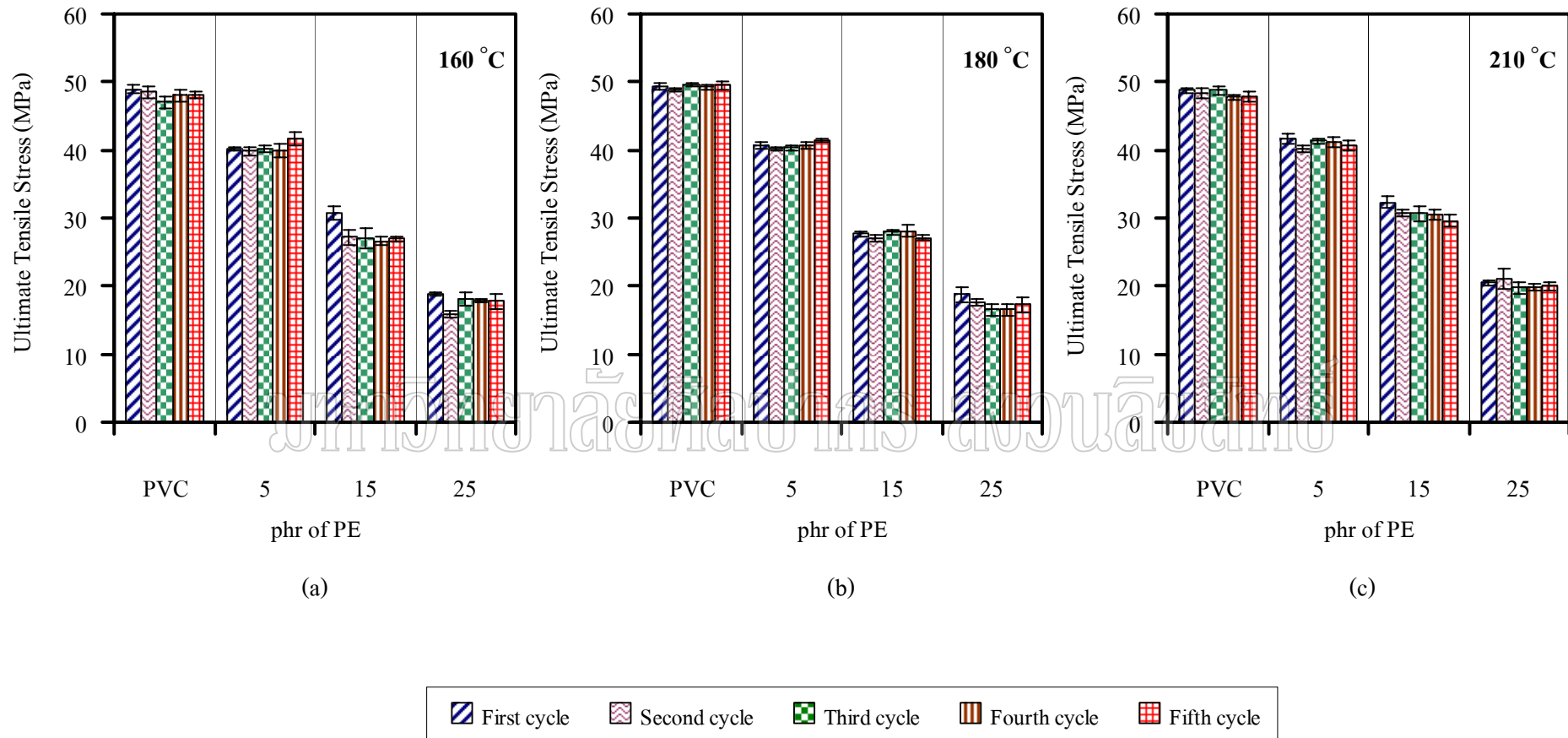
รูปที่ 4.21 Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



รูปที่ 4.22 Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

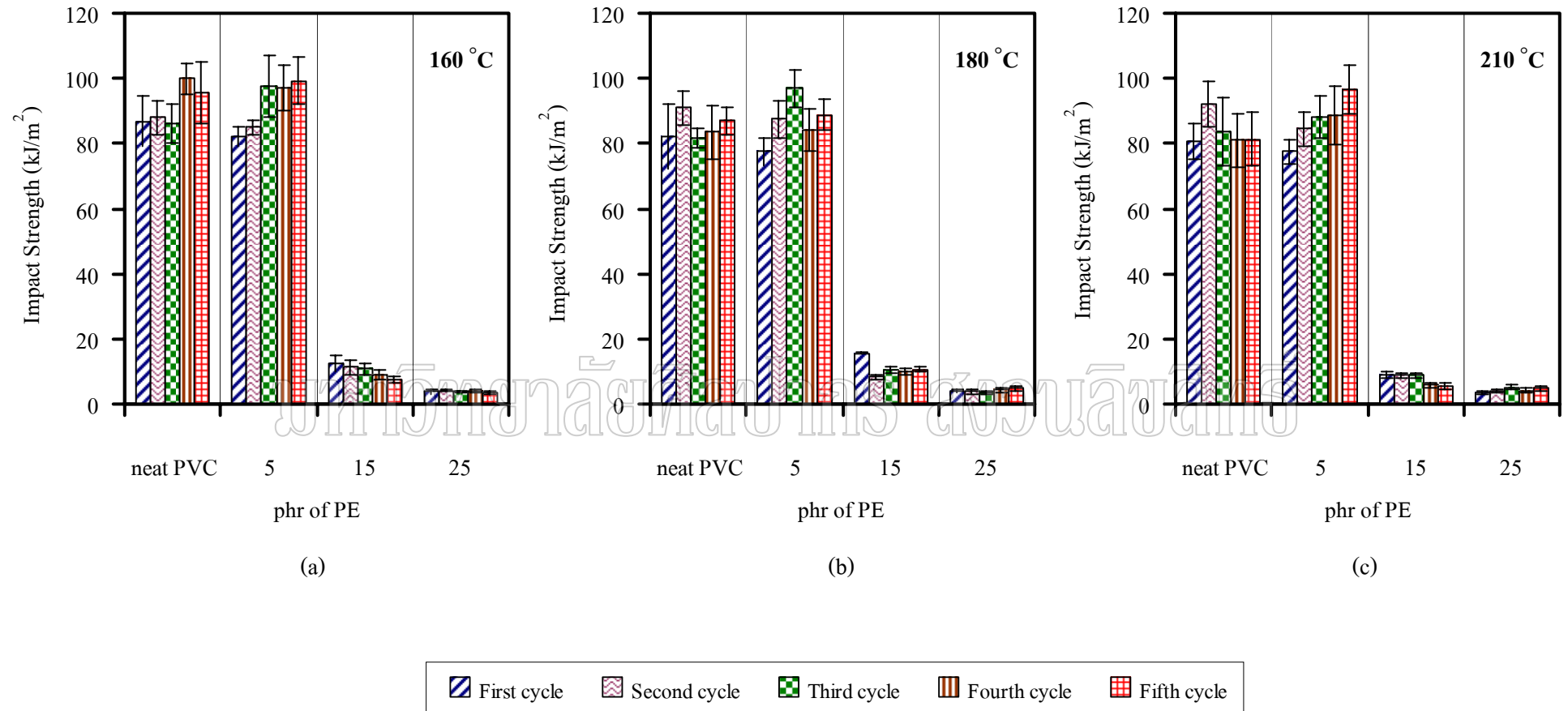


รูปที่ 4.23 Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

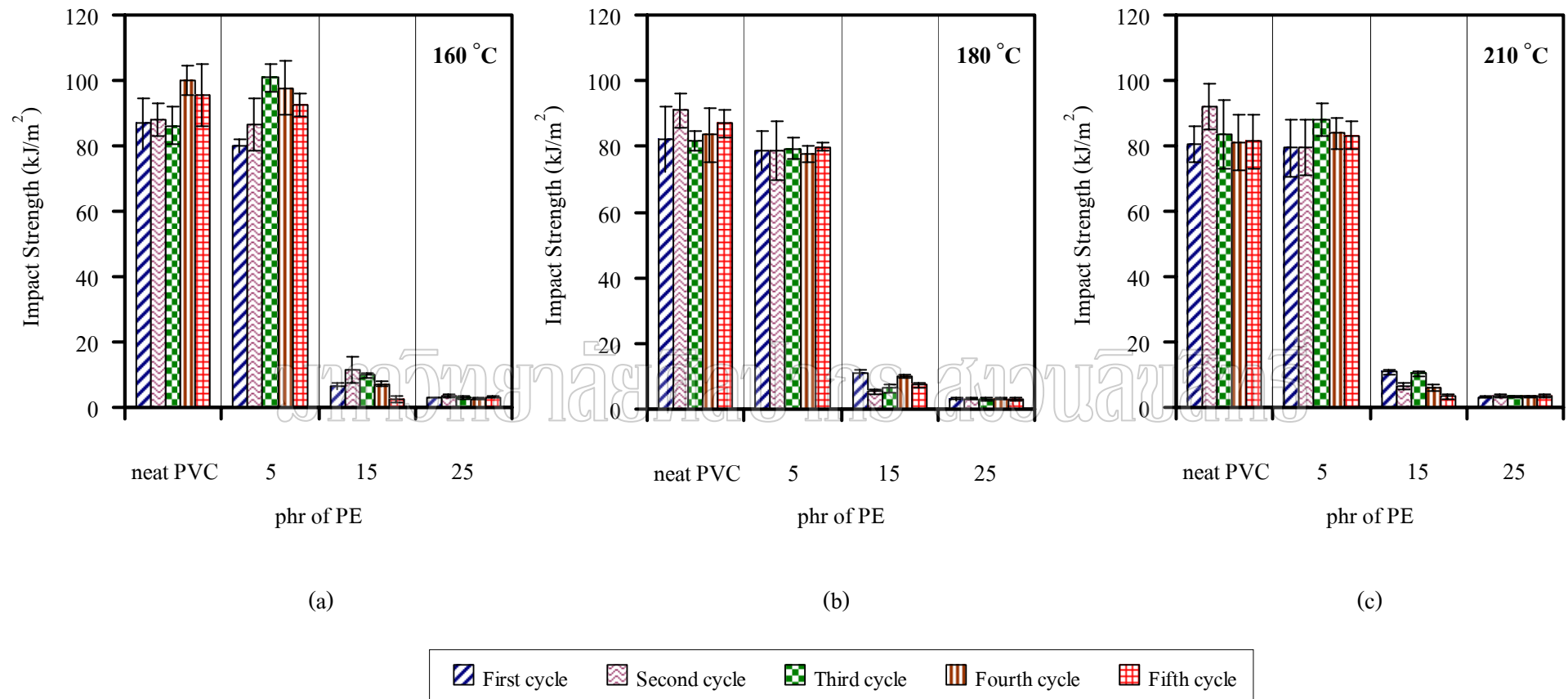
4.2.1.2 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

สมบัติด้านความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม แสดงดังรูปที่ 4.24 – 4.26 กราฟของความทนต่อแรงกระแทกของ neat PVC เปรียบเทียบกับ PVC/LDPE blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาบ 160 °C, 180 °C และ 210 °C พบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของ neat PVC มีแนวโน้มคงที่เป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีการผสม LDPE ที่ MFI 5 g/ 10 min ปริมาณ 5 phr ลงในพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะการแตกโดยไม่หักออกจากกัน เมื่อจำนวนครั้งที่ผ่านการอัดรีดเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก LDPE มีความเหนียว (Ductility) และเป็นวัสดุที่อ่อน (Soft phase) กว่า PVC เมื่อผ่านการอัดรีดเพิ่มขึ้นช่วยให้ LDPE สามารถกระจายตัวและแตกกลุ่มก้อนออก (Distribution and Dispersion) ได้ดีขึ้นส่งผลให้ช่วยลดข้อบกพร่องที่เกิดจากการกระแทกได้ ดังภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 4.27 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE (MFI 5g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาบ 210 °C (a) เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (b) รอบที่ 3 และ (c) รอบที่ 5 พบว่าเมื่อผ่านการอัดรีดเพิ่มขึ้นช่วยให้ LDPE สามารถกระจายตัวดีขึ้น จึงช่วยลดข้อบกพร่องที่เกิดจากการกระแทก และยับยั้งการเกิด craze ได้ [53] อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนการผสม LDPE 15 phr และ 25 phr พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE เกิดการแยกเฟสกัน (Phase separation) ในสภาวะนี้ LDPE จะประพฤติตัวเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน เมื่อผ่านการอัดรีดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากประพฤติตัวเป็นจุดบกพร่องในพอลิเมอร์ ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มจำนวนรอบของการผสมก็ไม่สามารถเพิ่มความเข้ากันของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ที่ปริมาณ PE สูงๆ



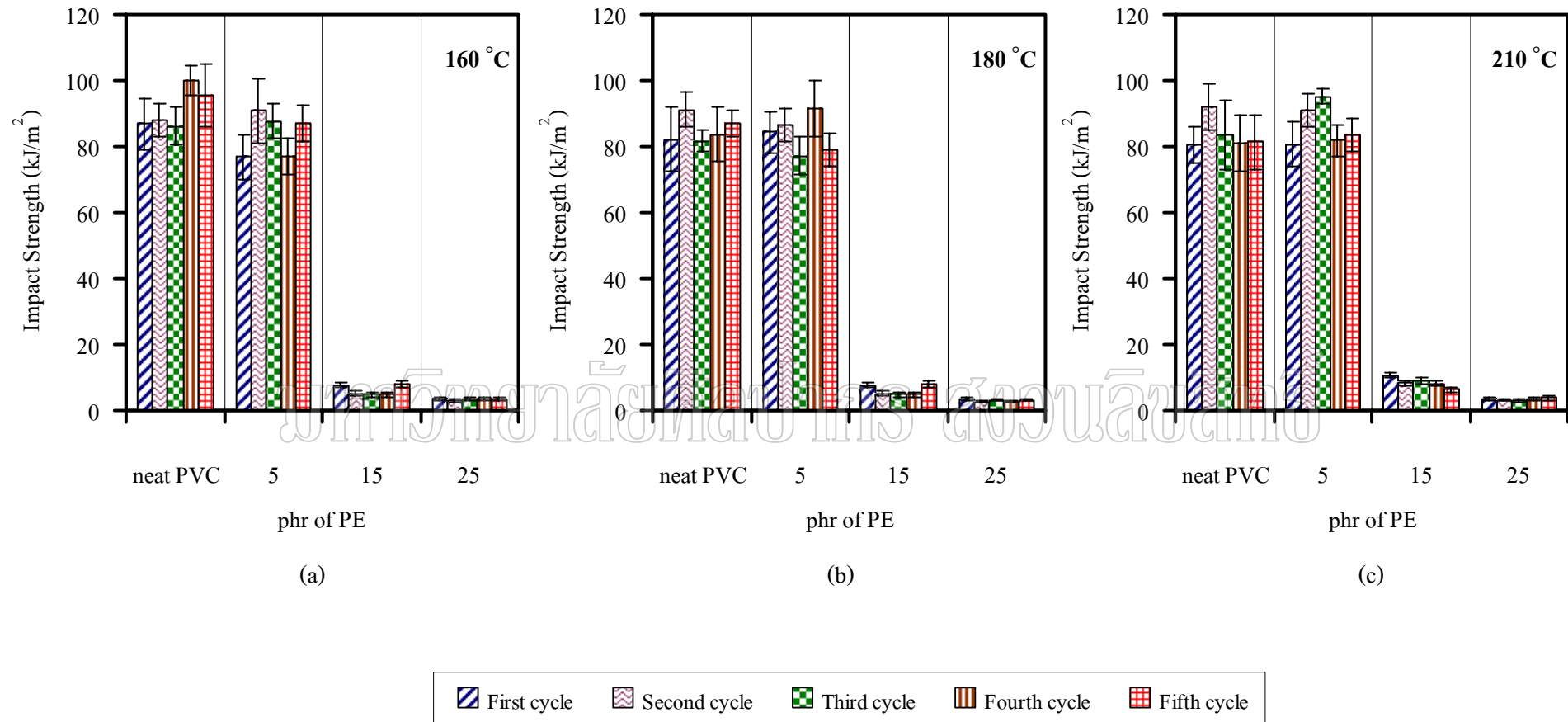
รูปที่ 4.24 Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาบ

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



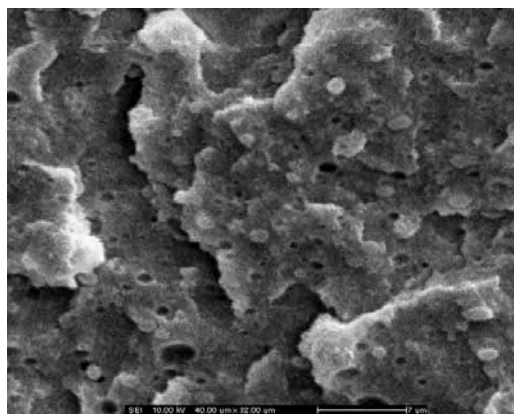
รูปที่ 4.25 Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย

(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C

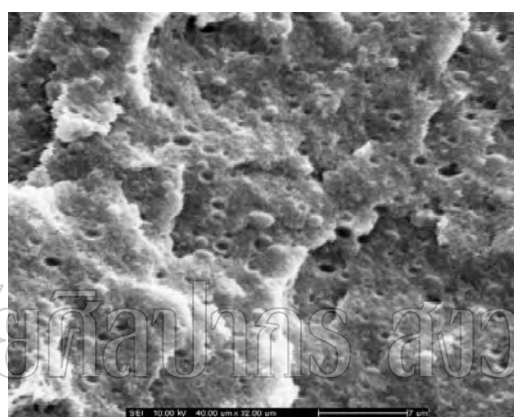


รูปที่ 4.26 Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) blends ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย

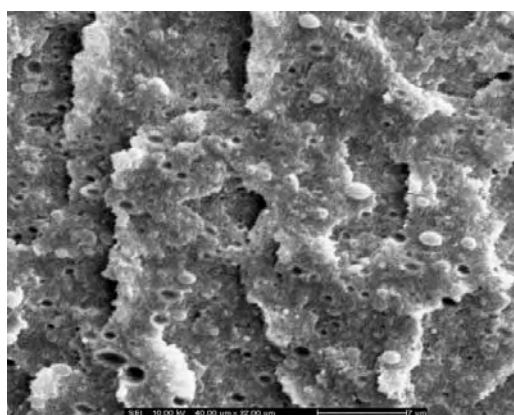
(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE (MFI 5g/10min)

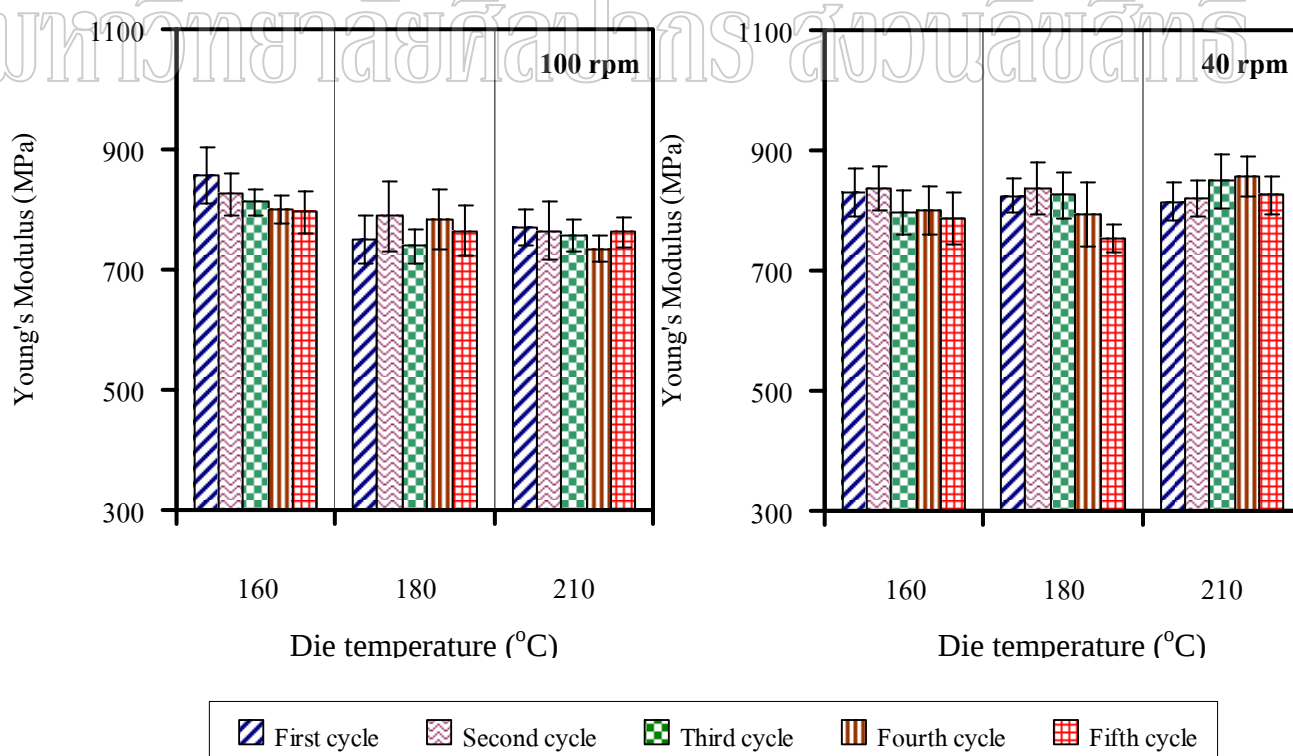
ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย 210 °C

(a) เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (b) รอบที่ 3 และ (c) รอบที่ 5

4.2.2 อิทธิพลของความเร็วรอบสกรูเครื่องอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

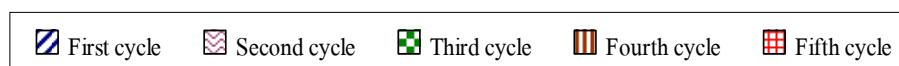
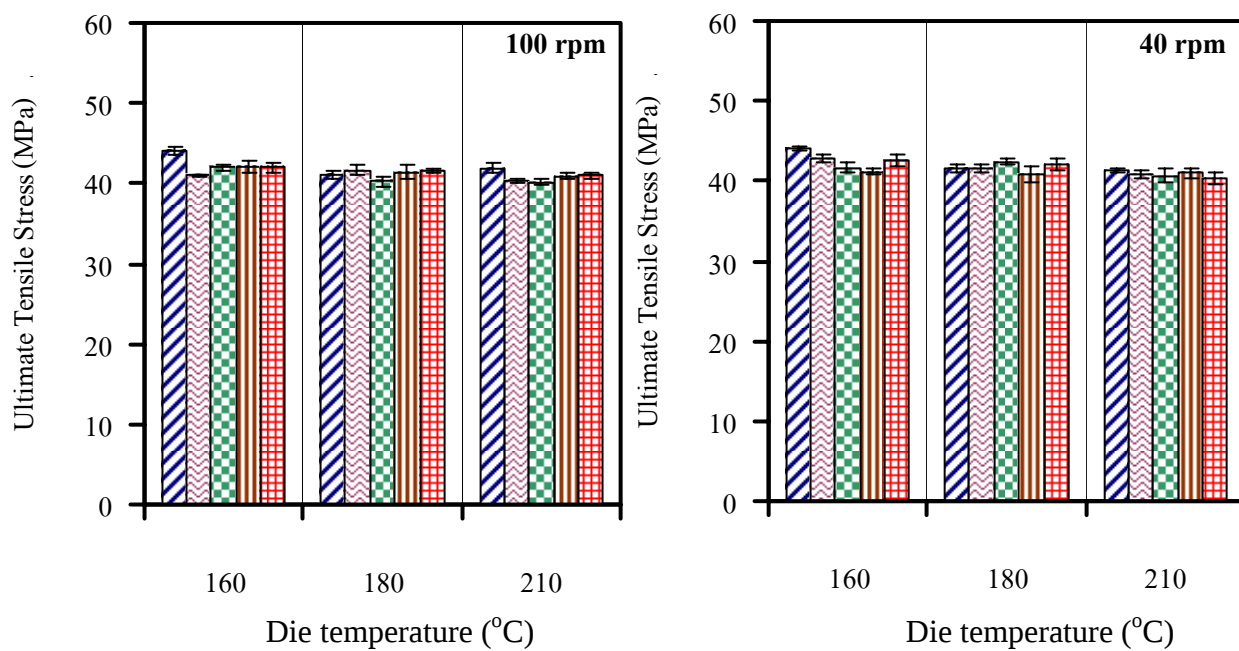
4.2.2.1 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึง (Tensile properties)

จากรูปที่ 4.28 แสดงค่าความต้านทานต่อการเสียรูป (Young's modulus) ของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PVC และ LDPE (MFI 5 g/10min) ที่อัตราส่วนการผสม 5 phr ในแต่ละอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ตำแหน่งหัวตาย เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดเพิ่มขึ้นทั้งกรณีของความเร็วรอบสกรูที่ 100 รอบต่อนาทีและที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบสกรูที่ 100 รอบต่อนาที พบว่าค่า Young's Modulus โดยรวมมีค่าน้อยกว่า ที่ความเร็วรอบสกรู 40 รอบต่อนาที เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่ความเร็วรอบสกรู 40 รอบต่อนาที ได้รับความร้อนในห้องหลอมเป็นระยะเวลาที่นานส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมเกิด gelation มากกว่าที่ความเร็วรอบ 100 rpm [12, 33] ส่วนค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดเพิ่มขึ้น มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง ทุกอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ตำแหน่งหัวตาย แสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends

ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm

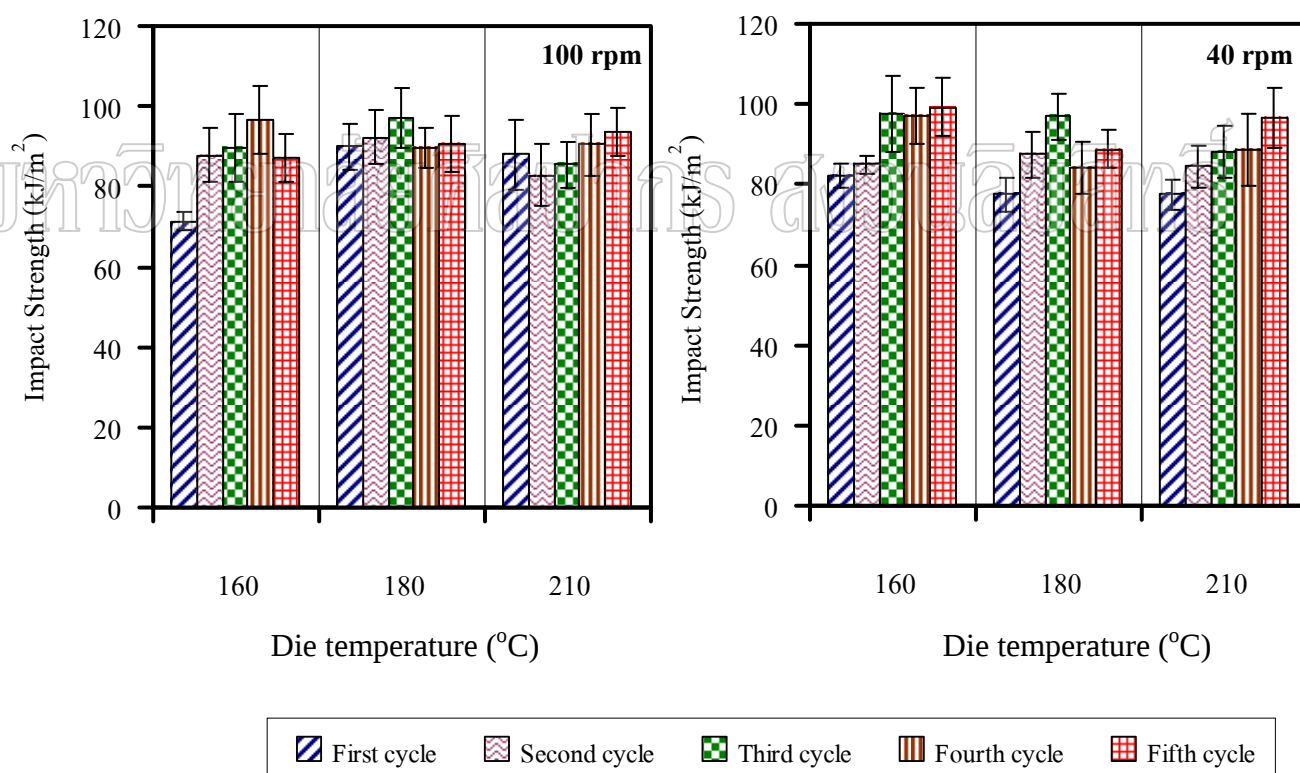


รูปที่ 4.29 Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends

ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm

4.2.2.2 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

จากรูปที่ 4.30 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE (MFI 5 g/10min) ที่อัตราส่วนการผสม 5 phr ในแต่ละอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ตำแหน่งหัวตาย ทั้งกรณีของความเร็วรอบสกรูที่ 100 รอบต่อนาที และที่ความเร็วรอบสกรู 40 รอบต่อนาที โดยรวมแล้วค่า Impact Strength มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ เมื่อเปรียบเทียบความเร็วรอบสกรู 40 รอบต่อนาที พบว่า กรณีนี้ จำนวนครั้งในการอัดรีด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Impact Strength มากกว่าการผสมที่ความเร็วรอบการผสม 100 รอบต่อนาที โดยที่ค่า Impact Strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ผสมด้วยความเร็วรอบของสกรู 40 รอบต่อนาที มีค่าสูงกว่า เนื่องจากระดับของความเร็วรอบสกรูที่หมุนไม่เร็วมากนักทำให้พอลิเมอร์ผสมได้รับความร้อนในห้องหลอมเป็นระยะเวลานานกว่าส่งผลให้ LDPE สามารถกระจายตัวและแตกกลุ่มก้อนออก (Distribution and Dispersion) ได้ดีขึ้นส่งผลให้ช่วยดูดซับพลังงานที่เกิดจากการกระแทกได้ดี



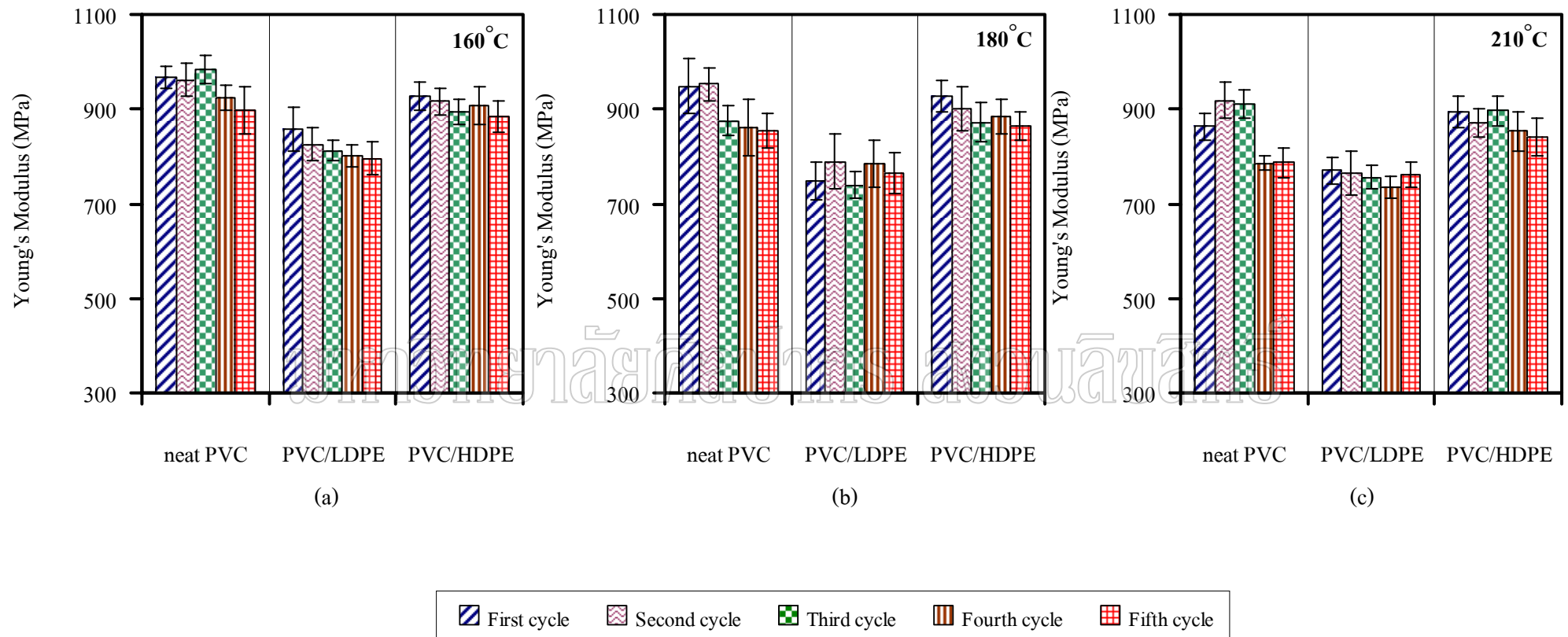
รูปที่ 4.30 Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends
ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm

4.2.3 อิทธิพลของชนิด PE และอุณหภูมิของการอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

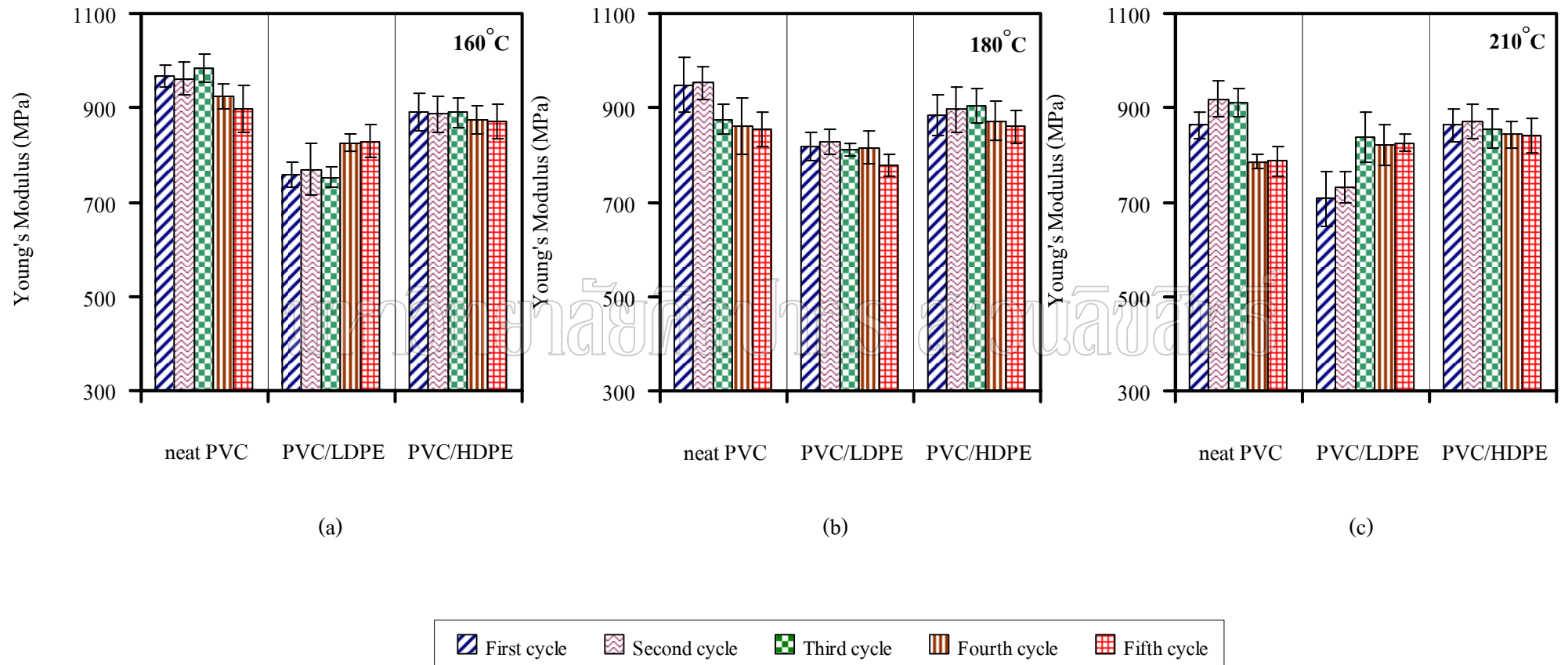
4.2.3.1 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึง (Tensile properties)

รูปที่ 4.31 - 4.32 แสดงความทนทานต่อการเสียรูป (Young's modulus) ของพอลิเมอร์ผสมที่ผสมระหว่าง PVC กับ LDPE และ PVC กับ HDPE ที่มี MFI 5 และ 20 g/10min ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่บริเวณหัวดาย 160 °C, 180 °C และ 210 °C โดยเลือกการผสมที่มีปริมาณ PE 5 phr พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE มีค่า Young's Modulus น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ HDPE เนื่องจาก LDPE มีกิ่งสาขามากจะมีความหนาแน่นต่ำทำให้มีความยืดหยุ่นของสายโซ่โมเลกุลมากส่งผลต่อความทนทานต่อการเสียรูปร่างน้อยกว่า HDPE เมื่อจำนวนรอบของการอัดรีดเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่มี PE MFI 5 g/10min มีแนวโน้มของค่า Young's Modulus ลดลง แต่ที่ PE MFI 20 g/10 min นั้น เมื่อจำนวนรอบการผสมเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของ ค่า Young's Modulus แสดงอย่างไม่ชัดเจน อาจสามารถพูดได้ว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

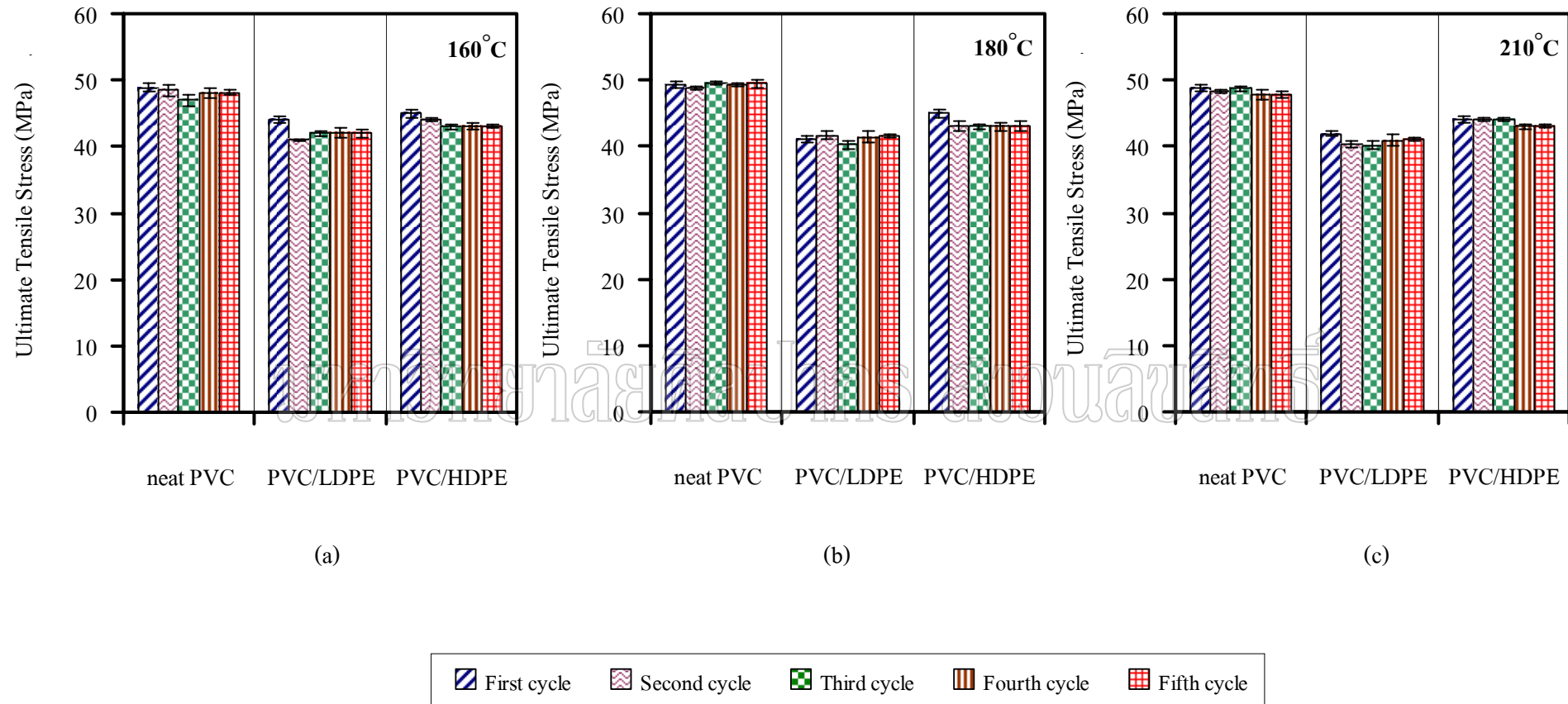
จากรูปที่ 4.33 - 4.34 แสดงให้เห็นค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) ของพอลิเมอร์ผสม PVC/HDPE และ PVC/ LDPE โดยมีอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่บริเวณหัวดาย 160 °C, 180 °C และ 210 °C เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลงนัก โดยรวมแล้ว พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ HDPE มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE ทั้งนี้เนื่องจากผลของความสามารถในการกระจายตัวของ HDPE ได้ดีในของวัฏภาค PVC ในพอลิเมอร์ผสม คู่พอลิเมอร์ผสมที่มีความตึงระหว่างผิวต่ำจะสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าคู่พอลิเมอร์ผสมที่มีความตึงระหว่างผิวสูง [52] ทำให้ส่งผ่านแรงภายในชิ้นงานทดสอบได้ดีกว่า ดังแสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรูป 4.35 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณ PE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่บริเวณหัวดาย 210 °C เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 5 (a) PVC/LDPE (b) PVC/HDPE



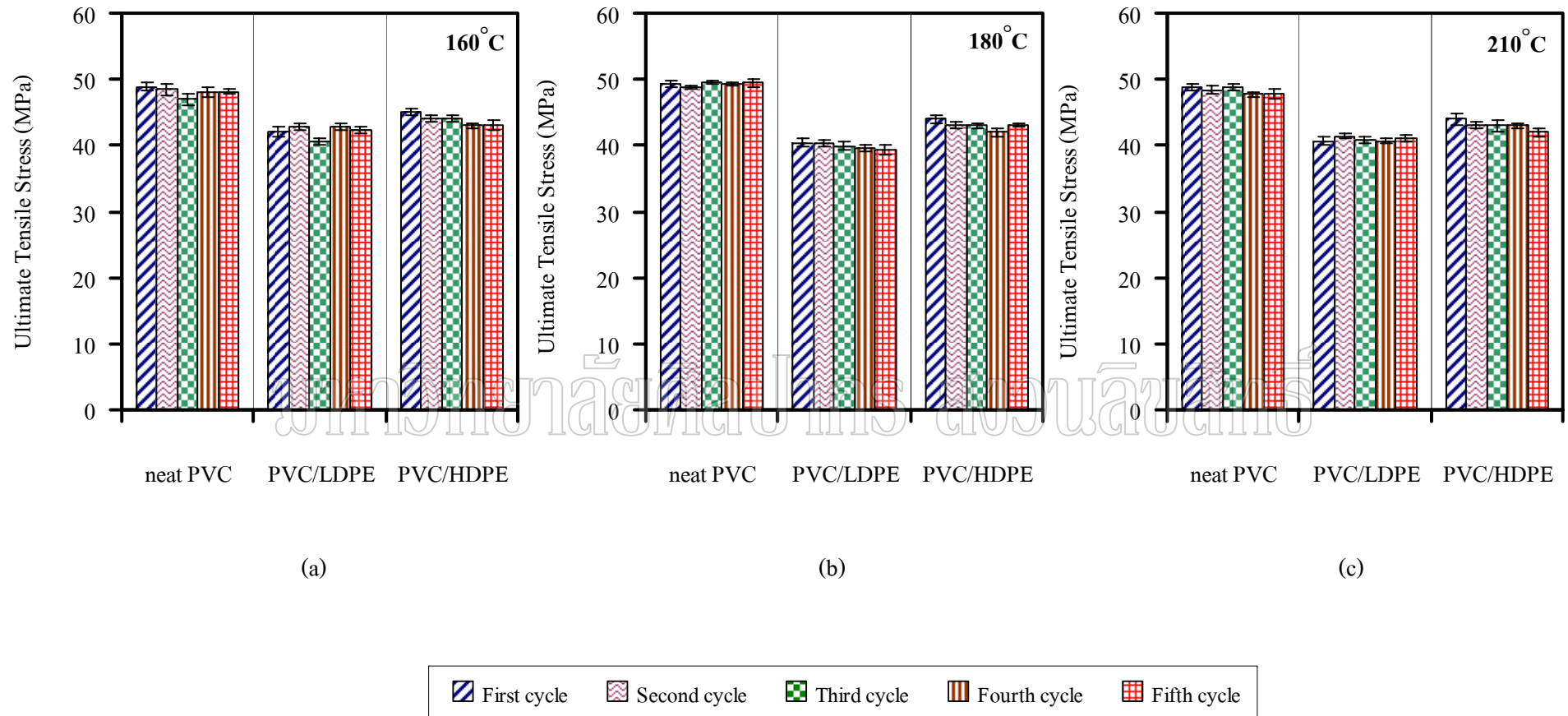
รูปที่ 4.31 Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



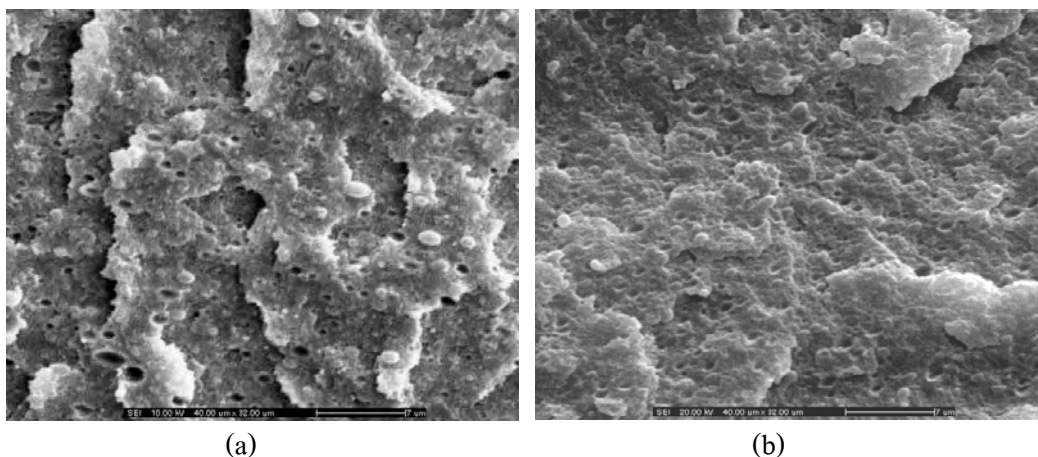
รูปที่ 4.32 Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



รูปที่ 4.33 Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



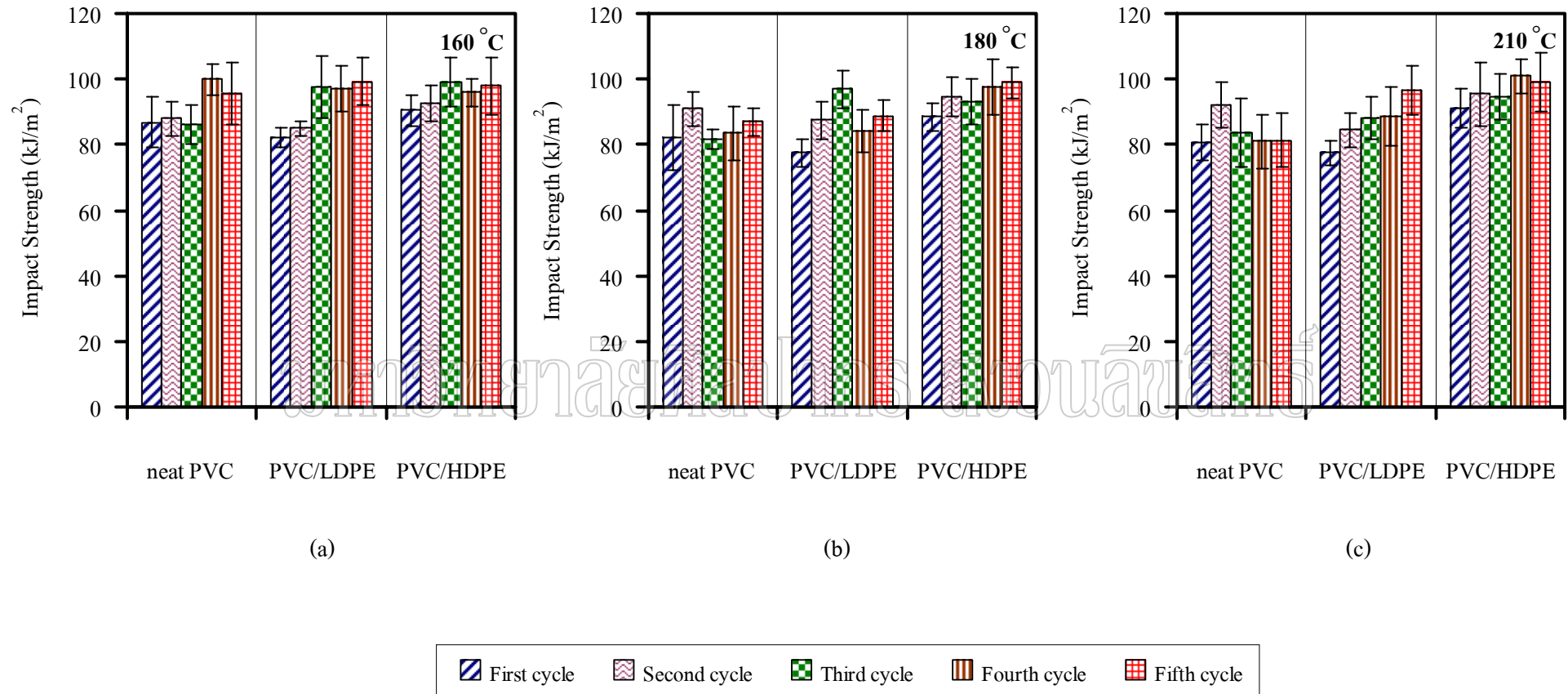
รูปที่ 4.34 Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวด้าย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



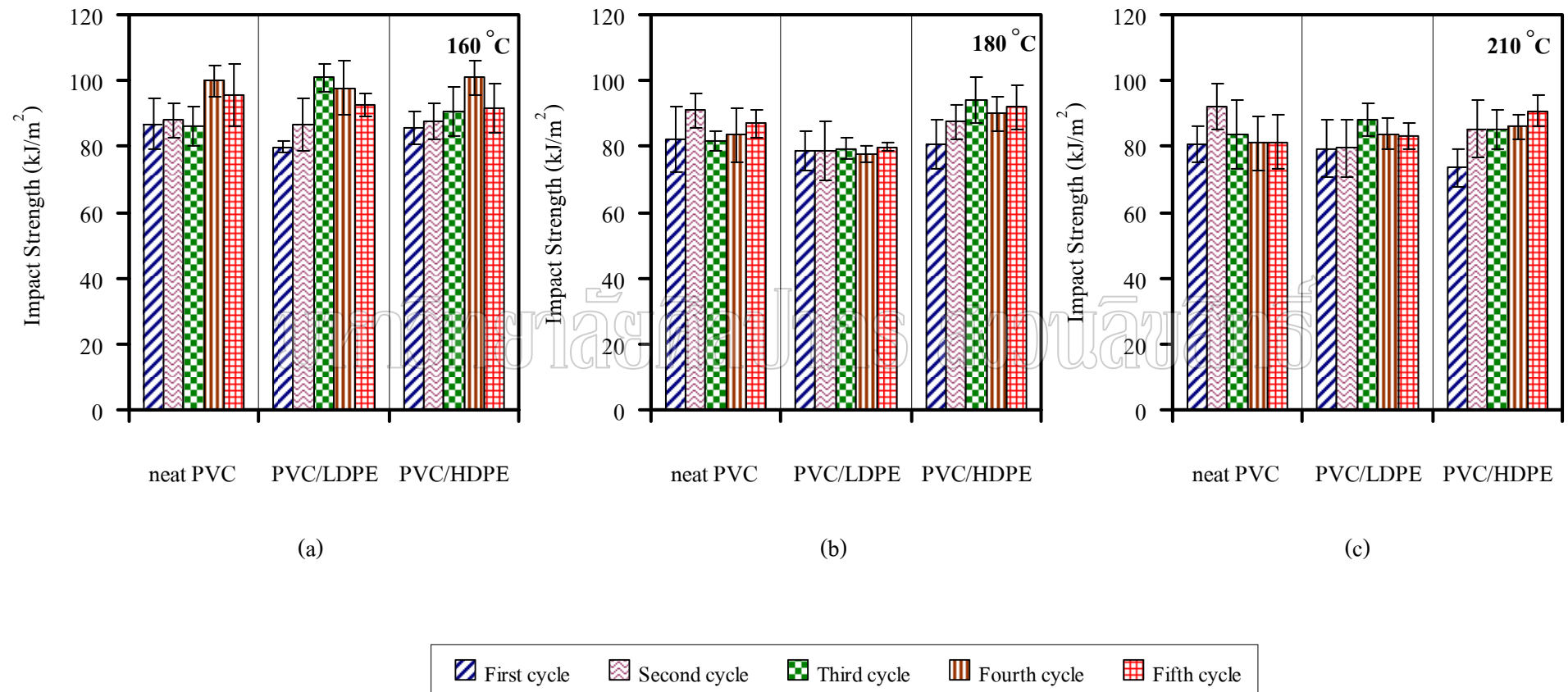
รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณ PE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย 210 °C เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 5
(a) PVC/LDPE (MFI 5) (b) PVC/HDPE (MFI 5)

4.2.3.2 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

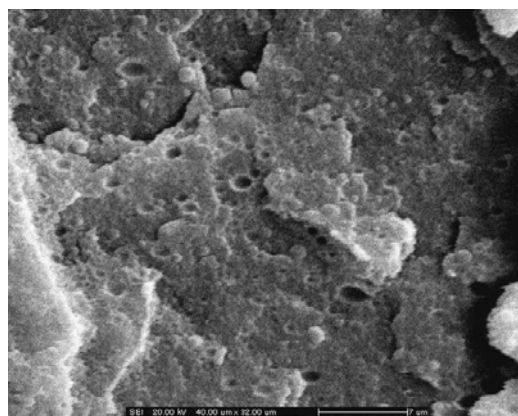
จากรูปที่ 4.36 – 4.37 แสดงให้เห็นว่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ HDPE ที่มีค่า MFI 5 g/10min และ 20 g/10min กับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE ที่มีค่า MFI 5 g/10min และ 20 g/10min ที่ปริมาณของ PE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่บริเวณหัวตาย 160 °C, 180 °C และ 210 °C พบว่ามีค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ เมื่อศึกษา ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PVC/HDPE ที่อุณหภูมิการอัดรีดที่ 210 °C MFI 5 และ 20 g/10min ผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 และที่ผ่านการอัดรีดรอบที่ 5 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.38 พบว่าเมื่อพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวผ่านการอัดรีดด้วยจำนวนรอบการผสมซ้ำที่เพิ่มขึ้น HDPE สามารถกระจายตัวและแตกเป็นอนุภาคเล็ก (Distribution and Dispersion) ได้ดีขึ้นเมื่อมีการขึ้นรูปซ้ำเพิ่มขึ้น อนุภาค HDPE ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ยืดหยุ่นกว่า และมีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ทั่วไปใน วัสดุ PVC จะสามารถช่วยดูดซับพลังงานที่มาจากแรงกระแทกได้ดีขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดทั้งกรณีของ LDPE และ HDPE



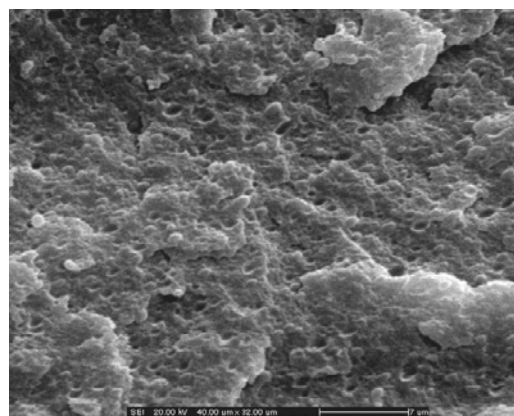
รูปที่ 4.36 Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



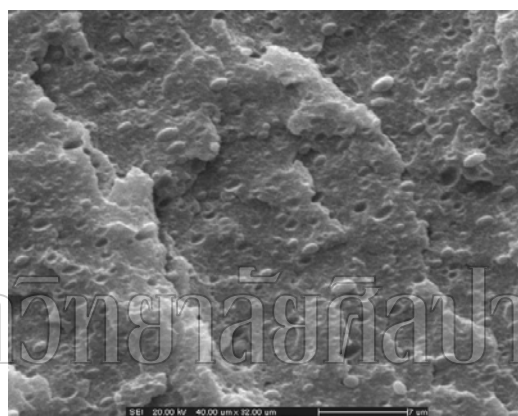
รูปที่ 4.37 Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) blends มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C



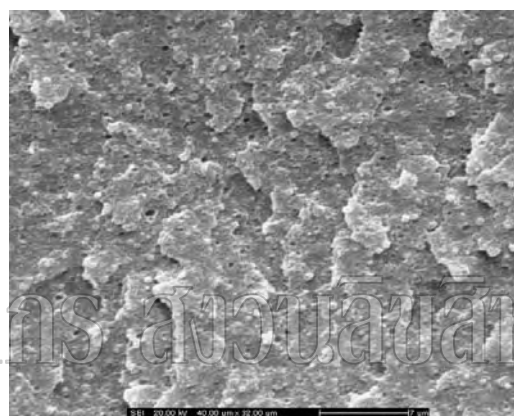
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.38 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PVC/HDPE ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย 210 °C

(a) HDPE (MFI 5) ที่ผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (b) HDPE (MFI 5) ผ่านการอัดรีดรอบที่ 5

(c) HDPE (MFI 20) ที่ผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (d) HDPE (MFI 20) ผ่านการอัดรีดรอบที่ 5