

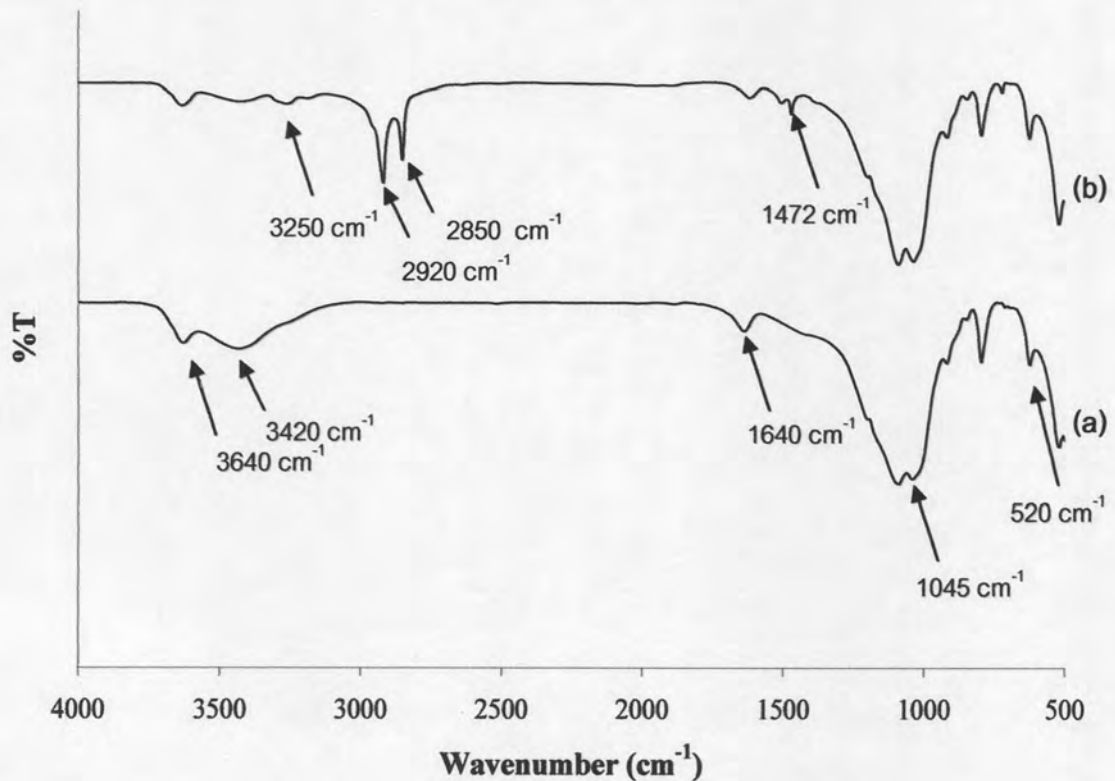
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกดัดแปร (modified-MMT หรือ OMMT) ด้วยออกตะเดซิลเอมีนและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ถูกดัดแปร (MMT) ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



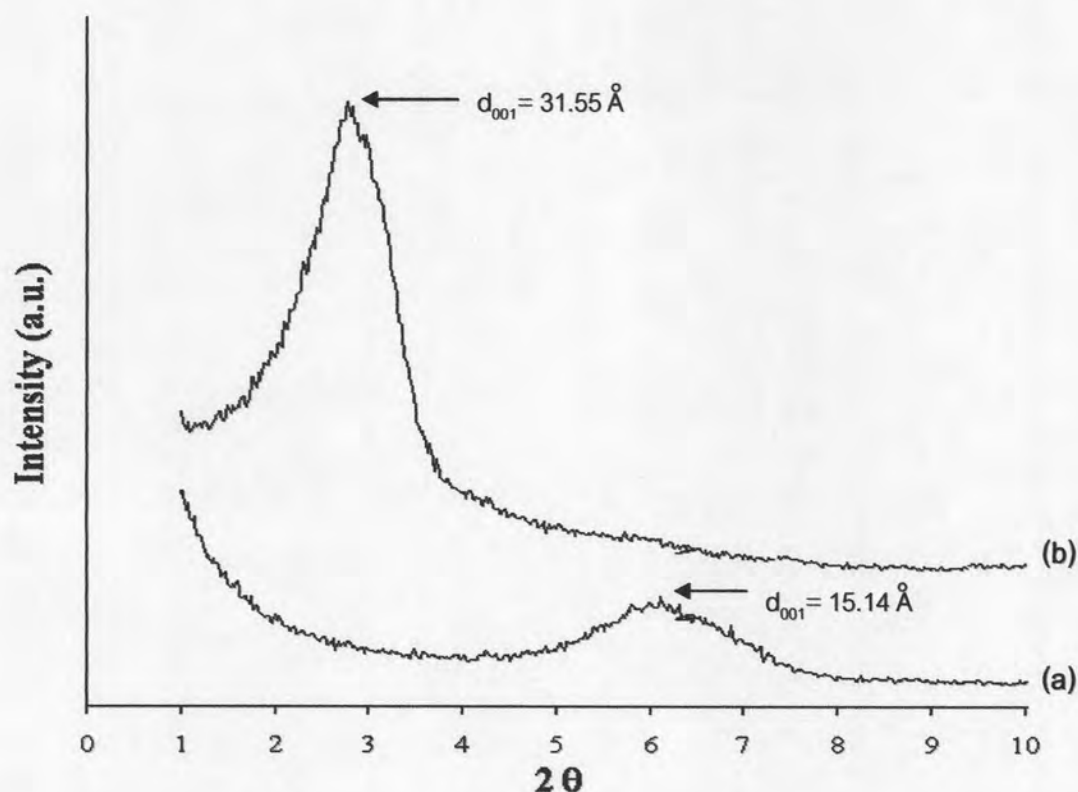
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) MMT และ (b) OMMT

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า FT-IR สเปกตรัมของทั้ง MMT และ OMMT ปรากฏพีกการดูดกลืนของ -OH stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล, -OH stretching ของน้ำ, -OH deformation ของน้ำ, Si-O stretching และ Al-O-Si deformation ที่ความถี่ 3640, 3420, 1640, 1045 และ 520 cm⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้ FT-IR สเปกตรัมของ OMMT ยังปรากฏพีกการดูดกลืนของ N-H stretching ของอัลคิลแอมโมเนียมไอออน, C-H asymmetric stretching ของ CH₂ หรือ CH₃,

C-H symmetric stretching ของ CH_2 หรือ CH_3 และ CH_2 scissoring ที่ความถี่ 3250, 2920, 2850 และ 1472 cm^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ MMT ไม่ปรากฏพีกการดูดกลืนที่ความถี่ดังกล่าว แสดงว่าออกตะเดซิลเอมีนอาจแทรกเข้าไปในโครงสร้างผลึกของ MMT โดยการแทนที่แคตไอออนของโลหะที่อยู่ระหว่างชั้นของดิน ด้วยปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cationic exchange)

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ MMT และ OMMT ด้วยเทคนิค XRD ซึ่ง XRD pattern แสดงพีกโครงสร้างผลึกของ MMT และ OMMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 5.84° และ 2.80° ตามลำดับ และเมื่อคำนวณหาค่า d-spacing ของระนาบ 001 (d_{001}) จาก Bragg's Law ได้ค่าเท่ากับ 15.14 และ 31.55 \AA ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า OMMT มีช่องว่างระหว่างชั้นผลึกกว้างกว่า MMT ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของออกตะเดซิลเอมีนได้แทรกเข้าไปในโครงสร้างผลึกของ MMT จึงทำให้ระยะห่างของชั้นผลึกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ที่ได้กล่าวมาแล้ว

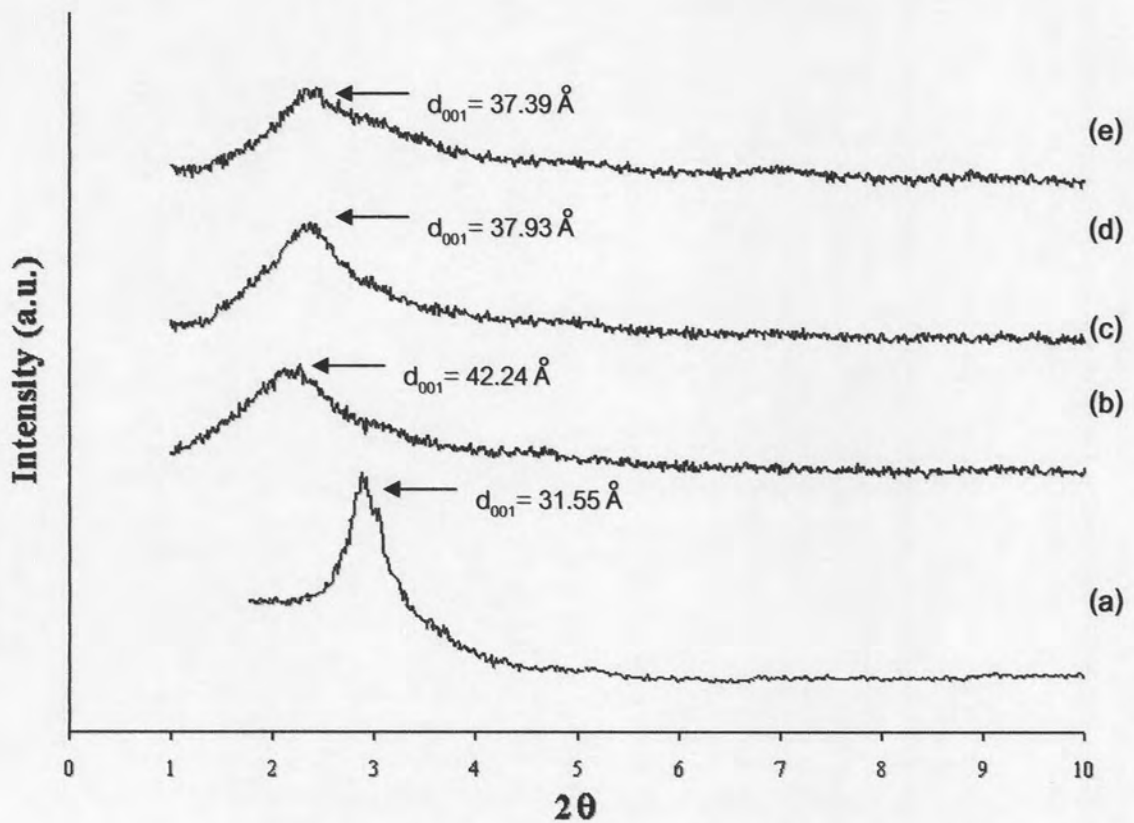


รูปที่ 4.2 X-ray pattern ของ (a) MMT และ (b) OMMT

4.2 พิวซี/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (PVC/OMMT nanocomposites)

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.3 แสดง X-ray pattern ของ OMMT และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณ OMMT ต่างๆ กัน โดยตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของชั้นดิน แสดงไว้ในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/2 OMMT nanocomposite (c) 100 PVC/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/6 OMMT nanocomposite

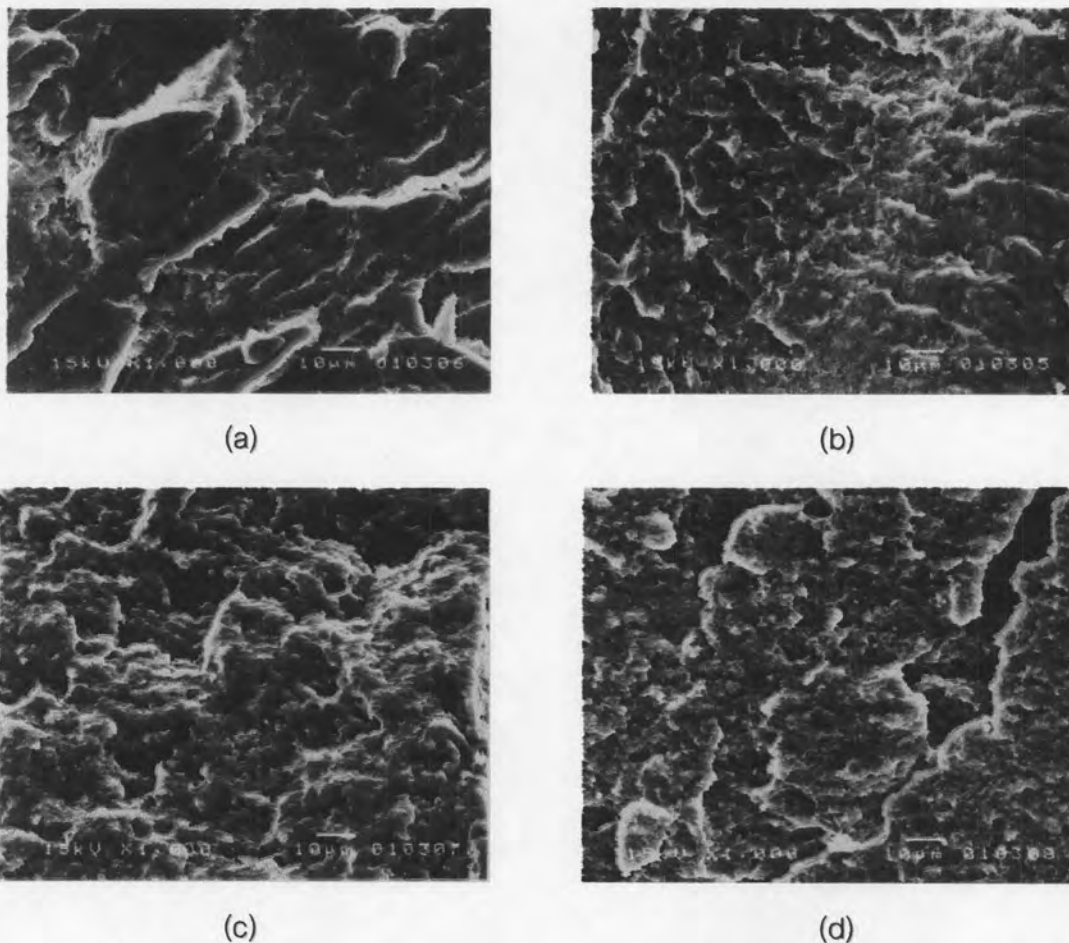
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่ง 2θ และค่า d_{001} ของ OMMT และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	2θ ($^{\circ}$)	d_{001} (Å)	ลักษณะของนาโนคอมพอสิต
OMMT	2.80	31.55	-
100 PVC/2 OMMT	2.09	42.24	Intercalate
100 PVC/4 OMMT	2.33	37.93	Intercalate
100 PVC/6 OMMT	2.36	37.39	Intercalate

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 พบว่า ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของชั้นดินใน OMMT เท่ากับ 31.55 Å ในขณะที่ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต ทุกอัตราส่วนมีระยะห่างระหว่างระนาบ 001 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของ PVC ได้แทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นดิน ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มมากที่สุดเมื่อปริมาณ OMMT เท่ากับ 2 phr และกลับลดลงเมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 phr เนื่องจาก OMMT ที่เพิ่มมากขึ้น เกิดการจับกลุ่มกันในบางส่วน และยังทำให้ระบบมีความหนืดมากขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวของ PVC เข้าไปในชั้นผลึกของ OMMT ลดน้อยลง นอกจากนี้ จาก XRD patterns ยังแสดงให้เห็นว่า นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างเป็นแบบ intercalate เพราะปรากฏพีคที่ค่า 2θ ต่างๆ ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกของดิน

4.2.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต มีสัณฐานวิทยาแตกต่างกันไปตามปริมาณของ OMMT ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

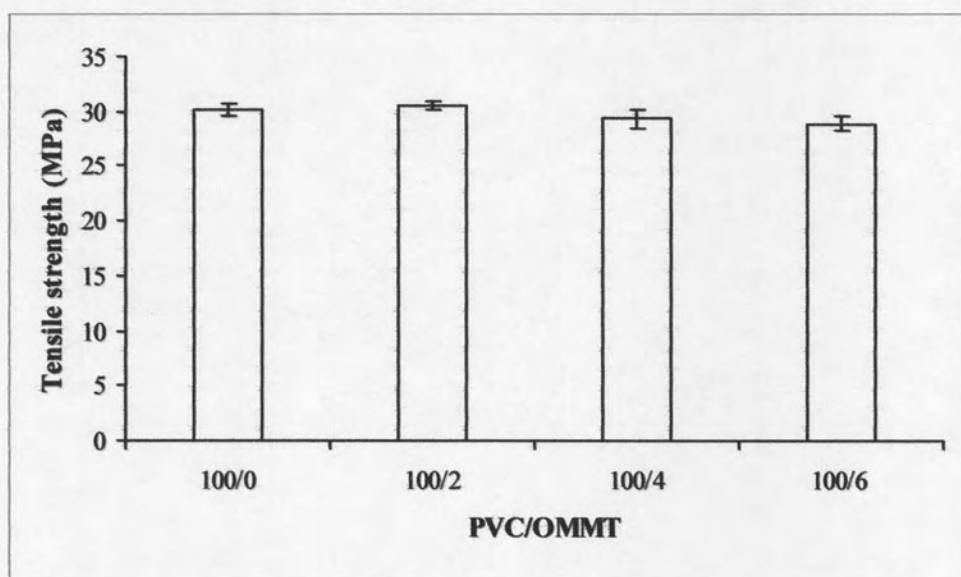


รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของ (a) PVC, (b) 100 PVC/2 OMMT nanocomposite, (c) 100 PVC/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/6 OMMT nanocomposite

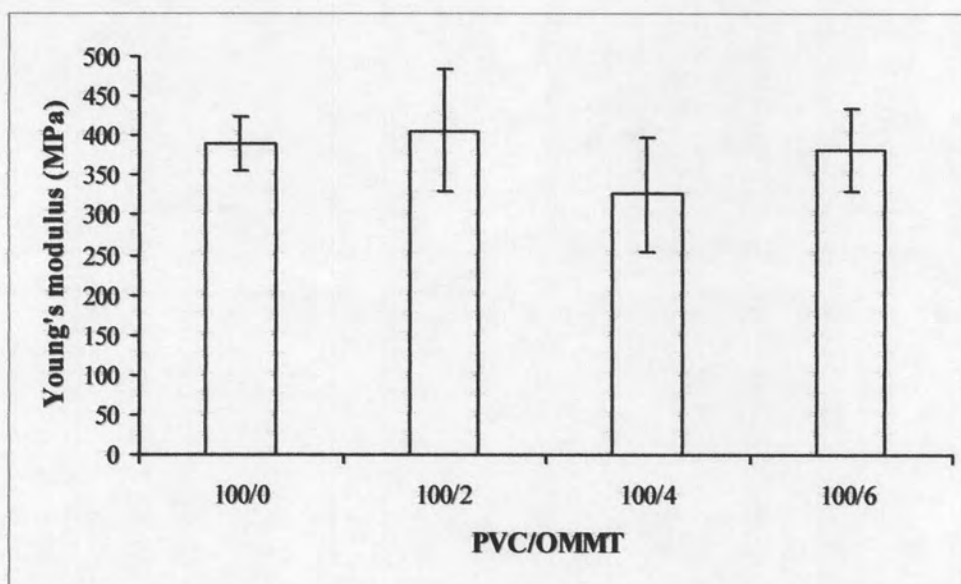
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ OMMT ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น ความสม่ำเสมอของสัณฐานวิทยาจะลดลง โดยความพรุนตัวเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใส่ OMMT ในปริมาณ 4 และ 6 phr เนื่องจาก OMMT เกิดการจับกลุ่มเพิ่มมากขึ้น ทำให้กระจายตัวใน PVC ได้ลดลง

4.2.3 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

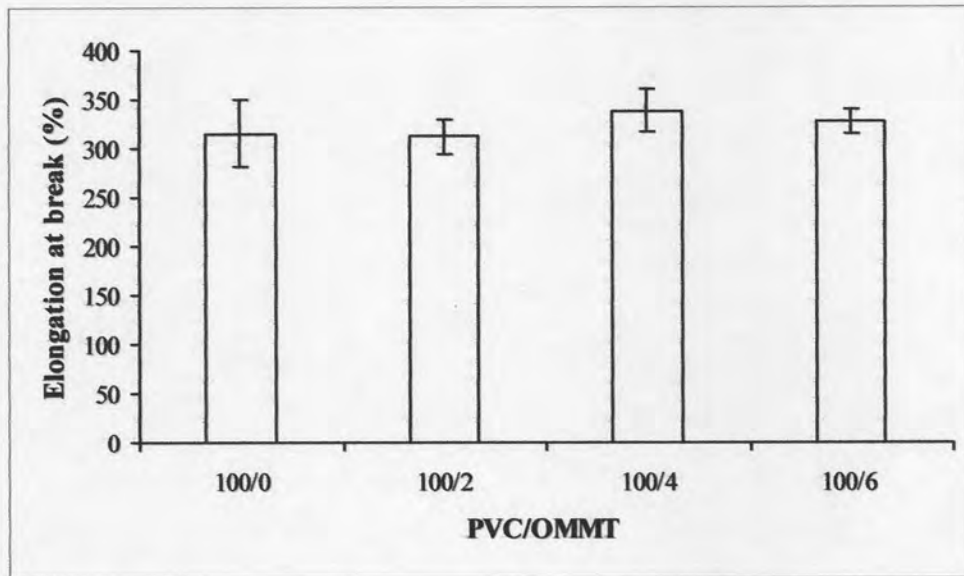
รูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 แสดงค่าความต้านแรงดึง, ยั่งส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ตามลำดับ ของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต และรายละเอียดของสมบัติ เหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดึงของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.6 ยั่งส์มอดุลัสของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.7 เปรี่เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอลิิต

ตารางที่ 4.2 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอลิิต

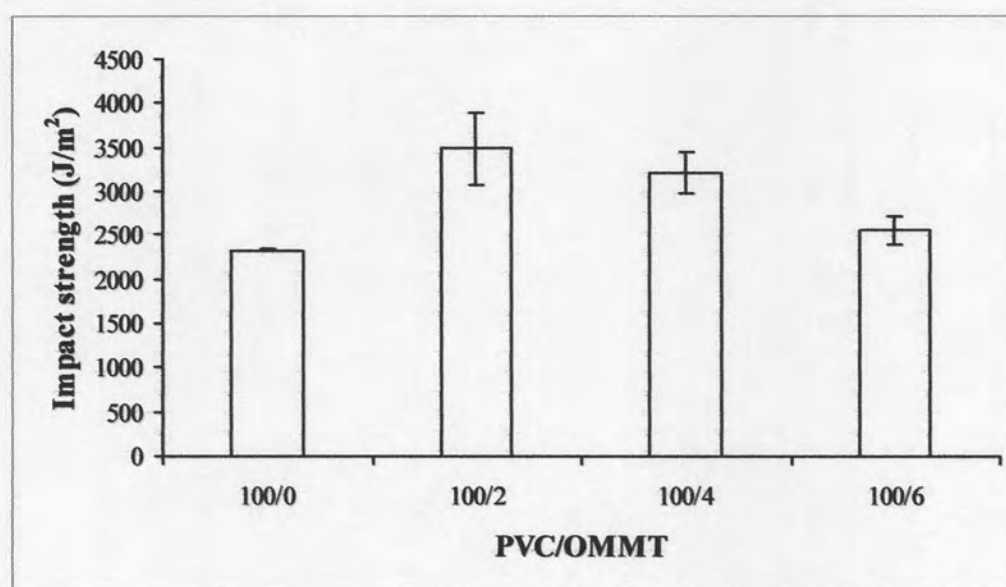
สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
PVC	30.15	315.23	389.93
100 PVC/2 OMMT	30.49	311.54	406.77
100 PVC/4 OMMT	29.38	338.45	325.99
100 PVC/6 OMMT	28.90	326.90	382.34

จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 และตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า PVC/OMMT นาโนคอมพอลิิตที่ผสม OMMT ปริมาณ 2 phr มีค่าความต้านแรงดึงและยังส์มอดุลัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ PVC แต่ที่ปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 phr จะทำให้นาโนคอมพอลิิตมีค่าความต้านแรงดึงและยังส์มอดุลัสลดลง และการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น กล่าวคือ โดยธรรมชาติแล้วอนุภาคของ OMMT จะมีความแข็ง ดังนั้น ถ้าทำการผสมและขึ้นรูปนาโนคอมพอลิิตด้วยกระบวนการและภาวะที่เหมาะสม รวมถึงการใช้ OMMT ในปริมาณต่ำ (2phr) OMMT จะสามารถกระจายตัวในเนื้อของพอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอ ทำให้

ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและยึดตัวได้น้อยลง ทั้งนี้เพราะ OMMT จะทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการยึดตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคในการผสมและขึ้นรูปนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง และ เครื่องอัดแบบ ทำให้เกิดแรงเฉือนไม่มากพอที่จะทำให้พอลิเมอร์สอดแทรกเข้าไประหว่างชั้นดินได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำให้ OMMT มีการกระจายตัวที่ไม่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพในการเสริมแรงของ OMMT จึงไม่เด่นชัด นอกจากนี้การผสม OMMT ในปริมาณมาก (4-6 phr) ทำให้ OMMT เกิดการจับกลุ่มบางส่วนและกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดต่ำลง

4.2.4 ความต้านแรงกระแทกของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

รูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 แสดงค่าความต้านแรงกระแทกของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.8 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

ตารางที่ 4.3 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต

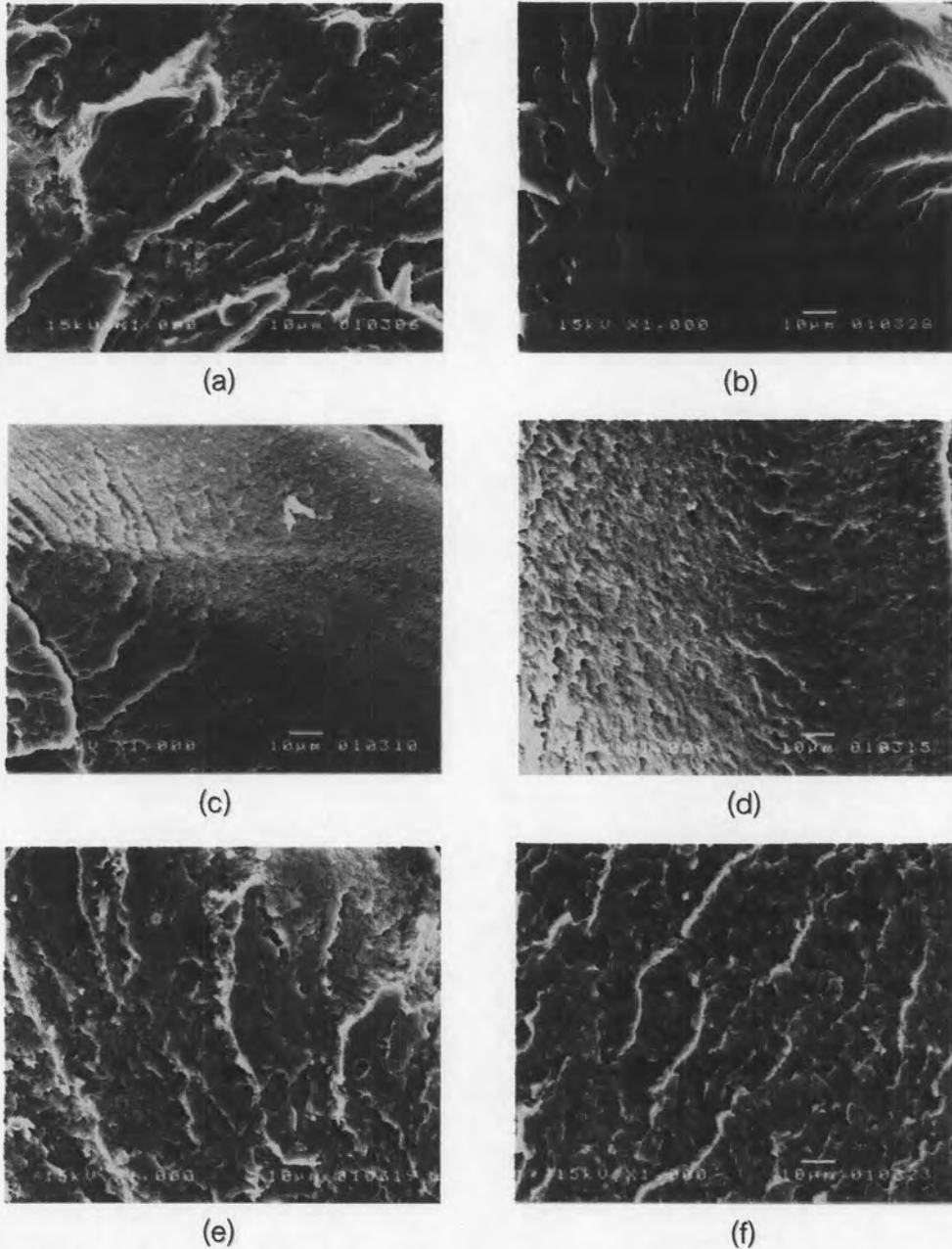
สูตร	ความต้านแรงกระแทก (J/m ²)
PVC	2321.33
100 PVC/2 OMMT	3489.12
100 PVC/4 OMMT	3213.53
100 PVC/6 OMMT	2552.57

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า นาโนคอมพอสิตที่ผสม OMMT ในปริมาณ 2, 4 และ 6 phr มีความต้านทานแรงกระแทกสูงกว่า PVC ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลของ PVC ได้สอดแทรกเข้าไปในระหว่างชั้นผลึกของ OMMT (ยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD) จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง PVC และ OMMT ทำให้มีการเสริมแรงเกิดขึ้น โดยมีความต้านแรงกระแทกสูงสุดเมื่อปริมาณ OMMT เท่ากับ 2 phr และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 phr เนื่องจาก OMMT ที่เพิ่มมากขึ้นบางส่วนได้เกิดการจับกลุ่มกัน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง PVC กับ OMMT ลดลง ส่งผลให้ความต้านแรงกระแทกลดลง

4.3 พอลิเมอร์ผสมของพีวีซี/อีวีเอ (PVC/EVA poleblends)

4.3.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA มีสัณฐานวิทยาแตกต่างกันไปตามปริมาณของ EVA รูปที่ 4.9 แสดงสัณฐานวิทยาตามภาคตัดขวางของ PVC, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

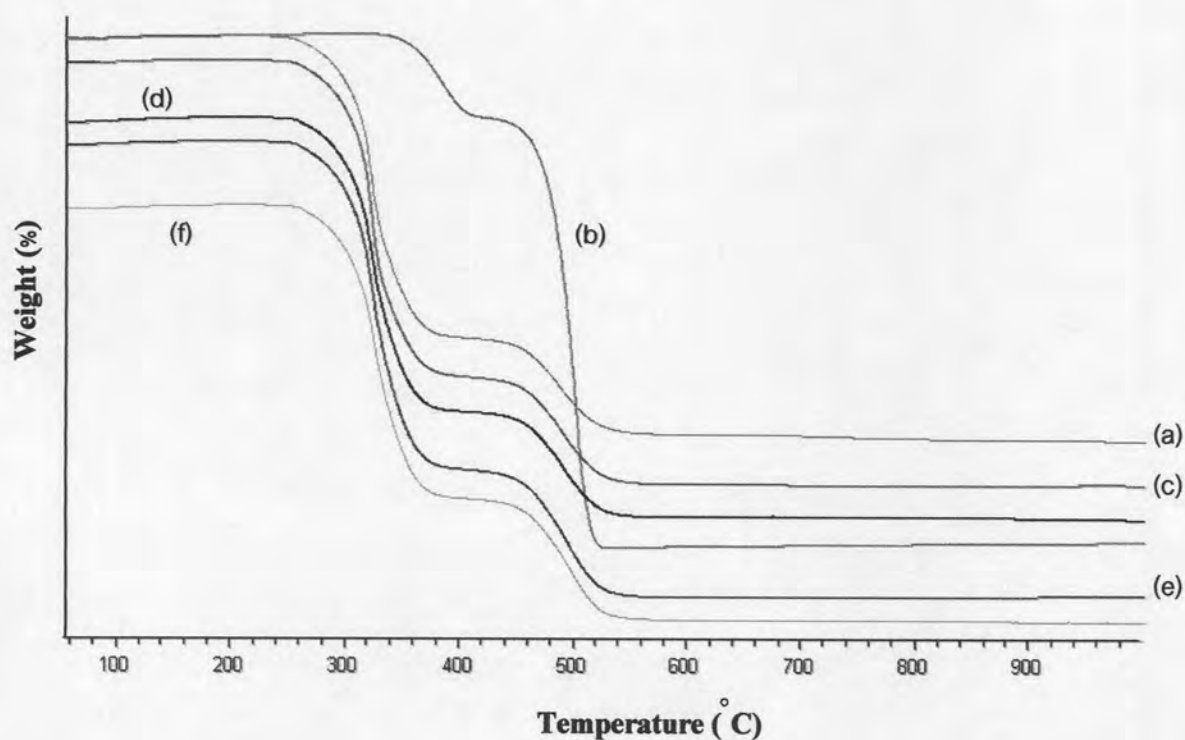


รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของ (a) PVC, (b) EVA, (c) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/2.5 EVA, (d) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA, (e) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/7.5 EVA และ (f) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/10 EVA

รูปที่ 4.9(b) แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาบริเวณผิวรอยแตกหัก (fracture surface) ของ EVA ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM พบว่า มีลักษณะของรอยแตกหักที่เรียกว่า PVC [รูปที่ 4.9(a)] เนื่องจาก EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง จึงมีความความอ่อนตัวมากกว่า PVC และเมื่อพิจารณาพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ที่อัตราส่วน 100/2.5 [รูปที่ 4.9(c)] และ 100/5 [รูปที่ 4.9(d)] พบว่า มีรอยแตกหักที่เรียกว่า PVC ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ของ PVC กับ EVA แต่เมื่อปริมาณ EVA เพิ่มเป็น 7.5 phr [รูปที่ 4.9(e)] และ 10 phr [รูปที่ 4.9(f)] พบว่า รอยแตกหักของชิ้นงานไม่เรียบ โดยสังเกตเห็นความต่างระดับของรอยแตกหัก ทั้งนี้เพราะความเข้ากันได้ของ PVC กับ EVA ลดลง

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA ด้วยเทคนิค TGA

รูปที่ 4.10 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของ PVC, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเหล่านี้ โดยรายละเอียดของอุณหภูมิการสลายตัวแสดงไว้ในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) PVC, (b) EVA, (c) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/2.5 EVA, (d) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA, (e) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/7.5 EVA และ (f) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/10 EVA

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

สูตร	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	T _{onset 1}	T _{onset 2}
PVC	292	449
EVA	330	455
100 PVC/2.5 EVA	294	455
100 PVC/5 EVA	290	457
100 PVC/7.5 EVA	289	458
100 PVC/10 EVA	290	467

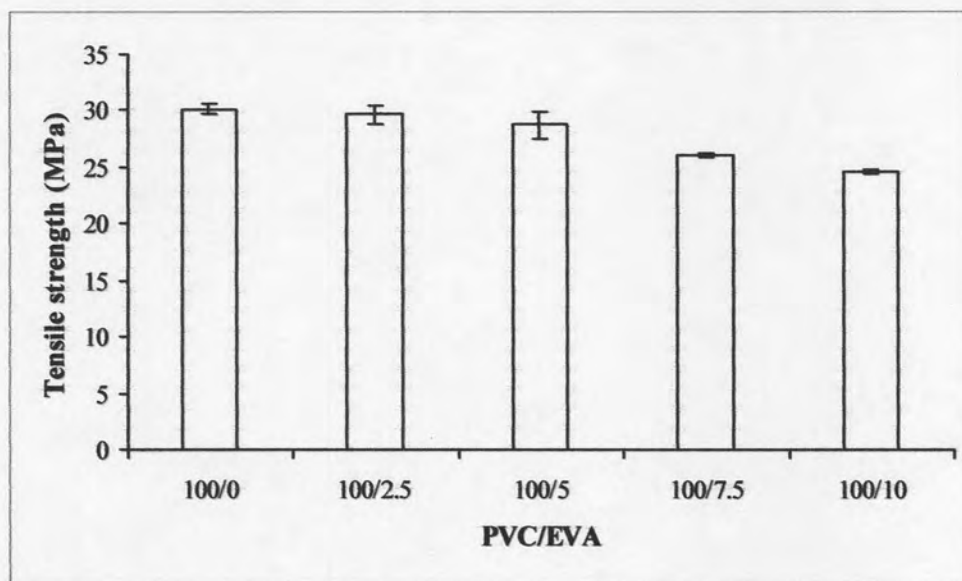
จาก TGA เทอร์โมแกรมของ PVC และตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า PVC มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้น คือ การสลายตัวขั้นแรก (T_{onset 1}) ในช่วง 292-320 °C ที่ให้แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (dehydrochlorination) และทำให้ PVC มีโครงสร้างแบบคอนจูเกตจำนวนมาก สำหรับการสลายตัวขั้นที่สอง (T_{onset 2}) อยู่ในช่วง 449-510 °C ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลของ PVC ขาดออกเป็นส่วนๆ และระเหยกลายเป็นไอ [10] และจาก TGA เทอร์โมแกรมของ EVA และผลในตารางที่ 4.4 พบว่า EVA มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้น คือ การสลายตัวขั้นแรกอยู่ในช่วง 330-397 °C ที่เกิดจากการสลายตัวของหมู่เอซีเตตในสายโซ่โมเลกุลของ EVA ส่วนการสลายตัวขั้นที่สองอยู่ในช่วง 455-494 °C ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของพอลิเอทิลีนในสายโซ่โมเลกุลของ EVA [24, 27]

เมื่อพิจารณา TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA พบว่า พอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้น โดยการสลายตัวขั้นแรกมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 289-331 °C ซึ่งการสลายตัวในช่วงนี้เกิดจากการสลายตัวให้แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ของ PVC และการสลายตัวของหมู่เอซีเตตในโมเลกุลของ EVA โดย PVC สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจึงสลายตัวได้ก่อน โดยพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวสลายตัวในขั้นแรกที่อุณหภูมิ 294, 290, 289 และ 290 °C เมื่อปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์ผสมเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10 phr ตามลำดับ ส่วนการสลายตัวขั้นที่สอง เกิดจากการสลายตัวของพอลิเอทิลีนในโมเลกุลของ EVA โดยสลายตัวที่อุณหภูมิ 455, 457, 458 และ 467 °C เมื่อปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์ผสมเท่ากับ

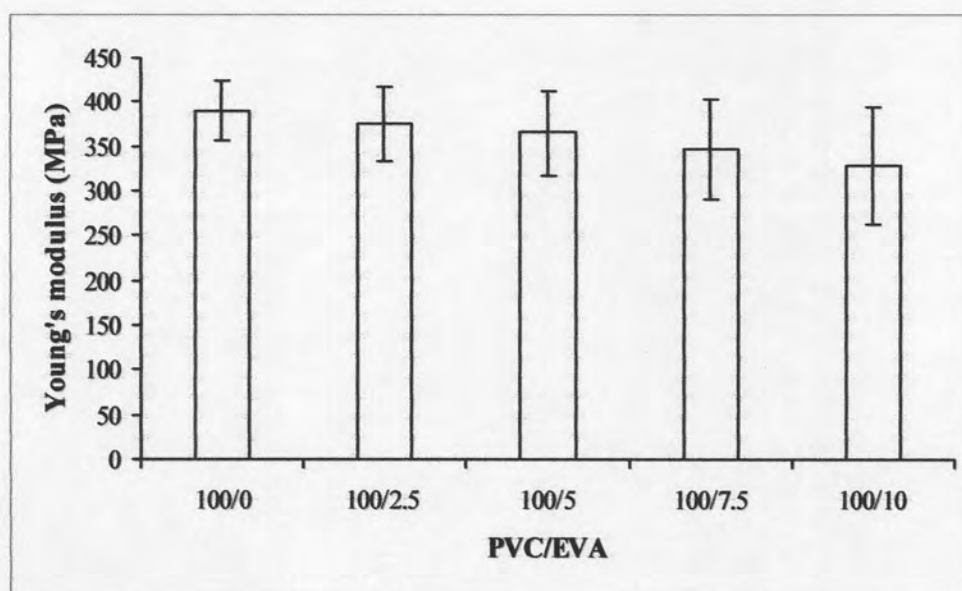
2.5, 5, 7.5 และ 10 phr ตามลำดับ ซึ่งการสลายตัวชั้นที่สองมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณ EVA เพิ่มขึ้น

4.3.3 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

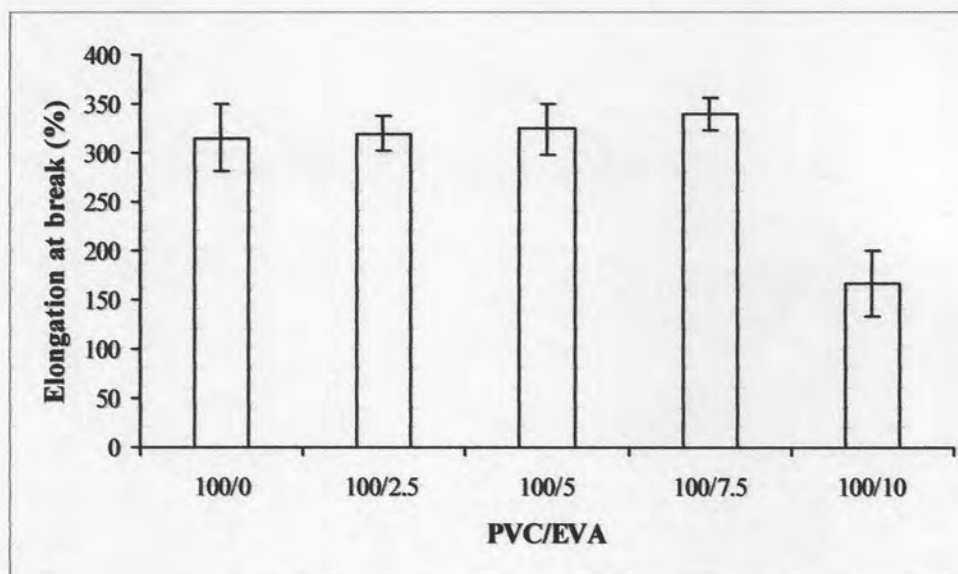
รูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 แสดงค่าความต้านแรงดึง, ยั่งส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ตามลำดับ ของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA และรายละเอียดของสมบัติ เหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.11 ความต้านแรงดึงของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA



รูปที่ 4.12 ยั่งส์มอดุลัสของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA



รูปที่ 4.13 เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ PVC และพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

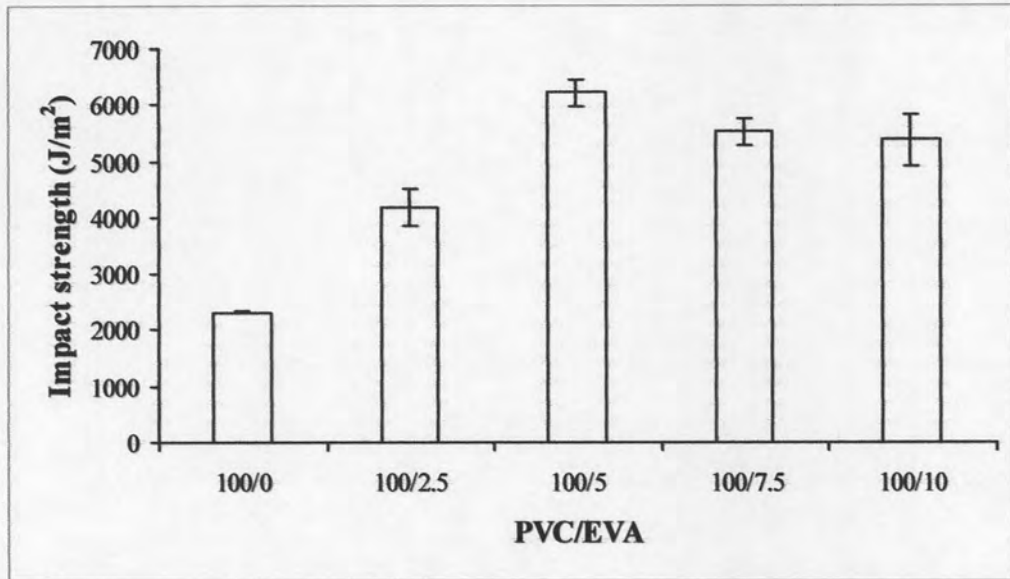
สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
PVC	30.15	315.23	389.93
100 PVC/2.5 EVA	29.64	319.56	374.34
100 PVC/5 EVA	28.73	324.39	365.11
100 PVC/7.5 EVA	26.10	339.23	347.84
100 PVC/10 EVA	24.58	166.66	327.74

จากรูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 และตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ทุกอัตราส่วนมีความต้านแรงดึงและยังส์มอดุลัสต่ำกว่า PVC และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก EVA ทำหน้าที่เสมือนเป็น macromolecular plasticizer ให้กับ PVC โดยโมเลกุลของ EVA จะแทรกตัวเข้าไปในสายโซ่โมเลกุลของ PVC ทำให้สายโซ่โมเลกุลของ PVC อยู่ห่างกันมากขึ้น จึงเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ดังนั้น PVC จะมีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมที่สูงกว่า PVC และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้น ยกเว้นที่ปริมาณ EVA เท่ากับ 10 phr

เนื่องจากความเข้ากันได้ระหว่าง PVC กับ EVA เริ่มลดลง ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงลดลง และอาจทำให้เกิดจุดบกพร่องในชิ้นงาน จึงเกิดการขาดได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจยืนยันได้จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

4.3.4 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

รูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.6 แสดงค่าความต้านแรงกระแทกของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA



รูปที่ 4.14 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

ตารางที่ 4.6 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA

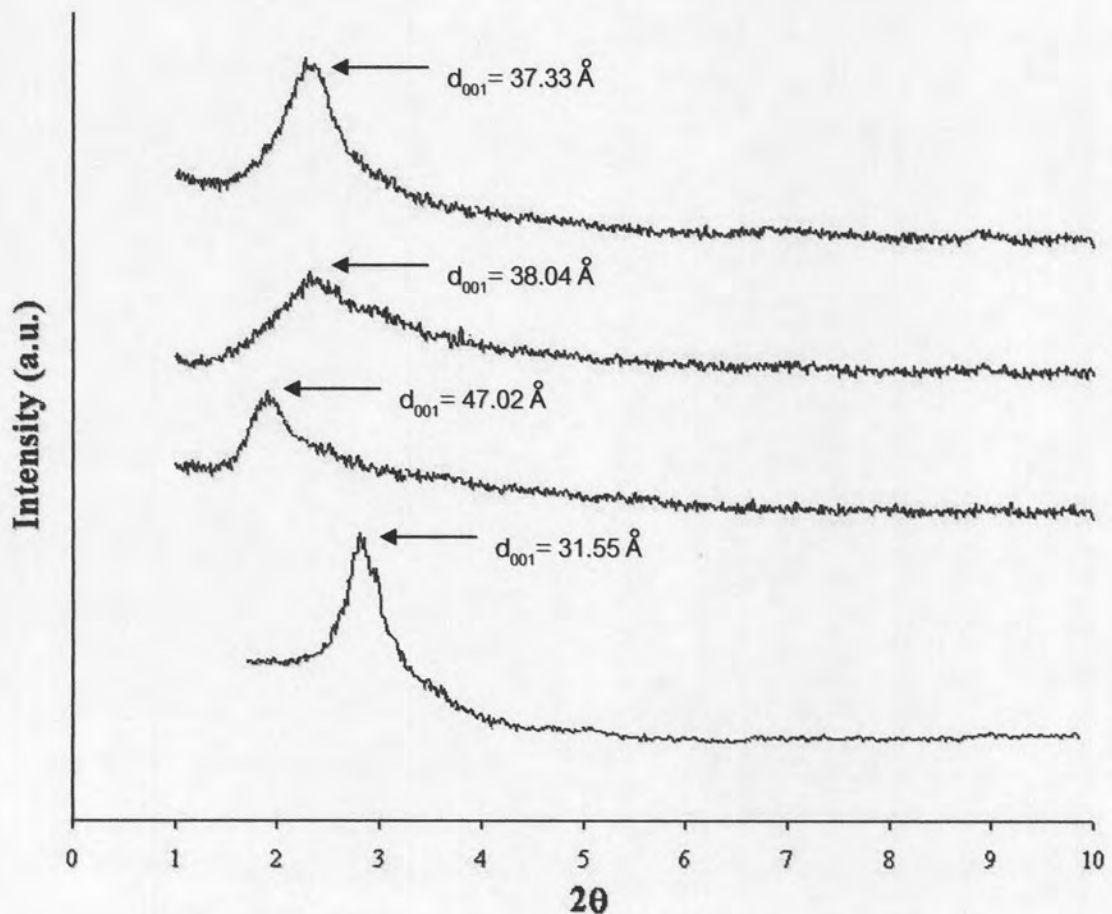
สูตร	ความต้านแรงกระแทก (J/m ²)
PVC	2321.33
100 PVC/2.5 EVA	4190.54
100 PVC/5 EVA	6223.73
100 PVC/7.5 EVA	5518.85
100 PVC/10 EVA	5369.60

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ทุกอัตราส่วนมีความต้านแรงกระแทกสูงกว่า PVC เนื่องจาก EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จึงทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น โดยมีความต้านแรงกระแทกเพิ่มมากที่สุดเมื่อปริมาณ EVA เท่ากับ 5 phr และกลับลดลงเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มเป็น 7.5 และ 10 phr ทั้งนี้เนื่องจากความเข้ากันได้ระหว่าง PVC และ EVA เริ่มลดลง ทำให้รับแรงกระแทกได้น้อยลง ซึ่งยืนยันได้จากผลการตรวจสอบมาตรฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA จากผลการทดสอบอาจกล่าวได้ว่าการผสม EVA กับ PVC ในอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถปรับปรุงสมบัติความต้านแรงกระแทกของ PVC อีกทั้งยังลดปริมาณการใช้พลาสติกไฮดรอกซีซึ่งบางชนิดมีความเป็นพิษและระเหยออกจาก PVC ได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนในขณะใช้งาน

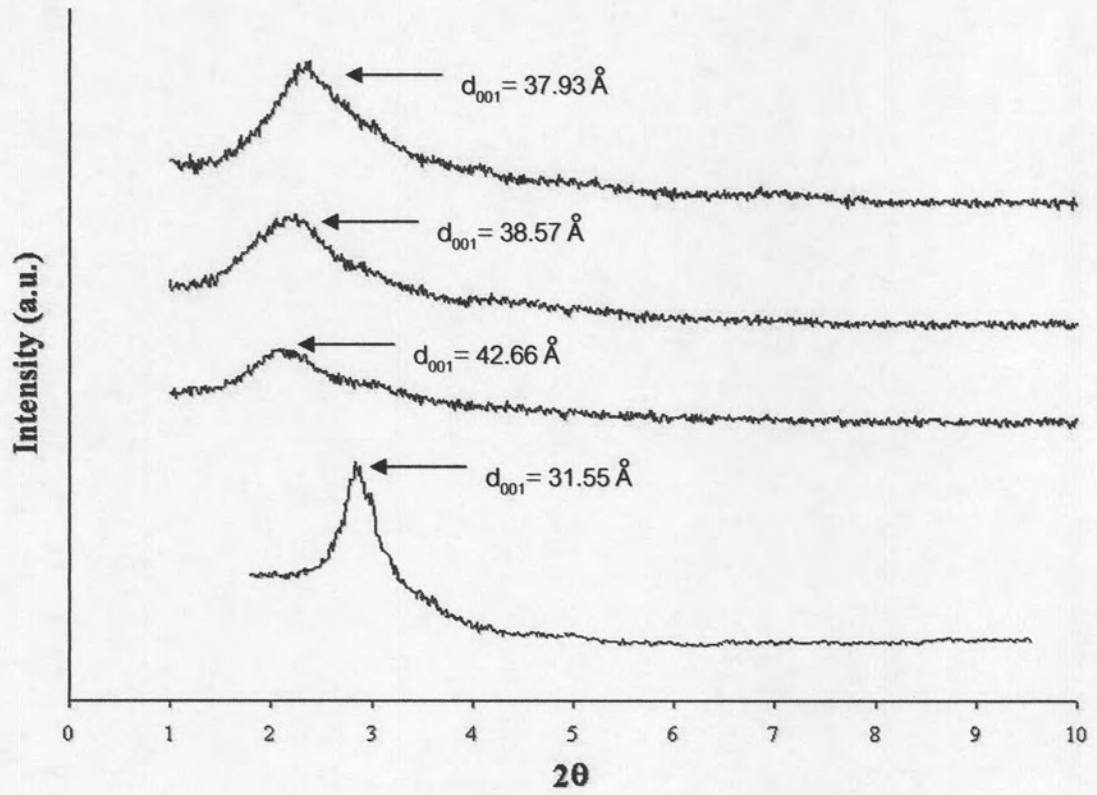
4.4 พีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (PVC/EVA/OMMT nanocomposites)

4.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

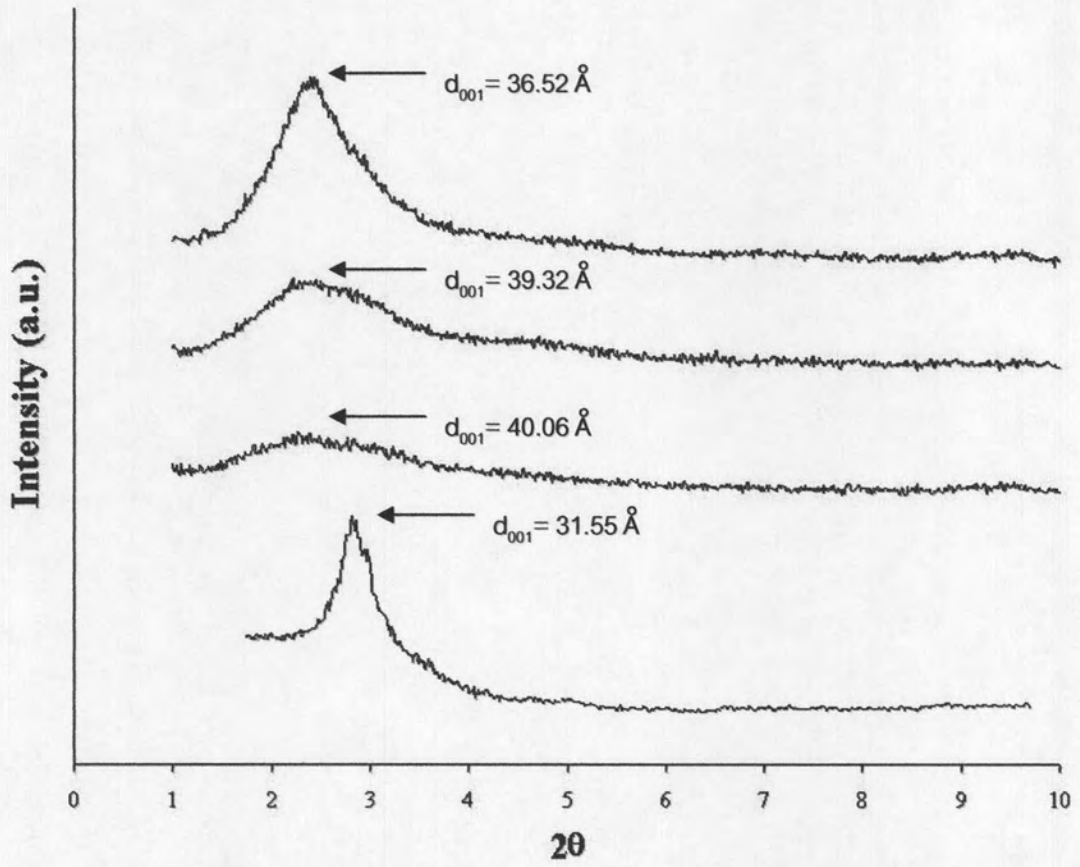
รูปที่ 4.15-4.18 แสดง X-ray pattern ของ OMMT และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ โดยตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) (คำนวณจาก Bragg's Law) และลักษณะของวัสดุนาโนคอมพอสิตเหล่านี้



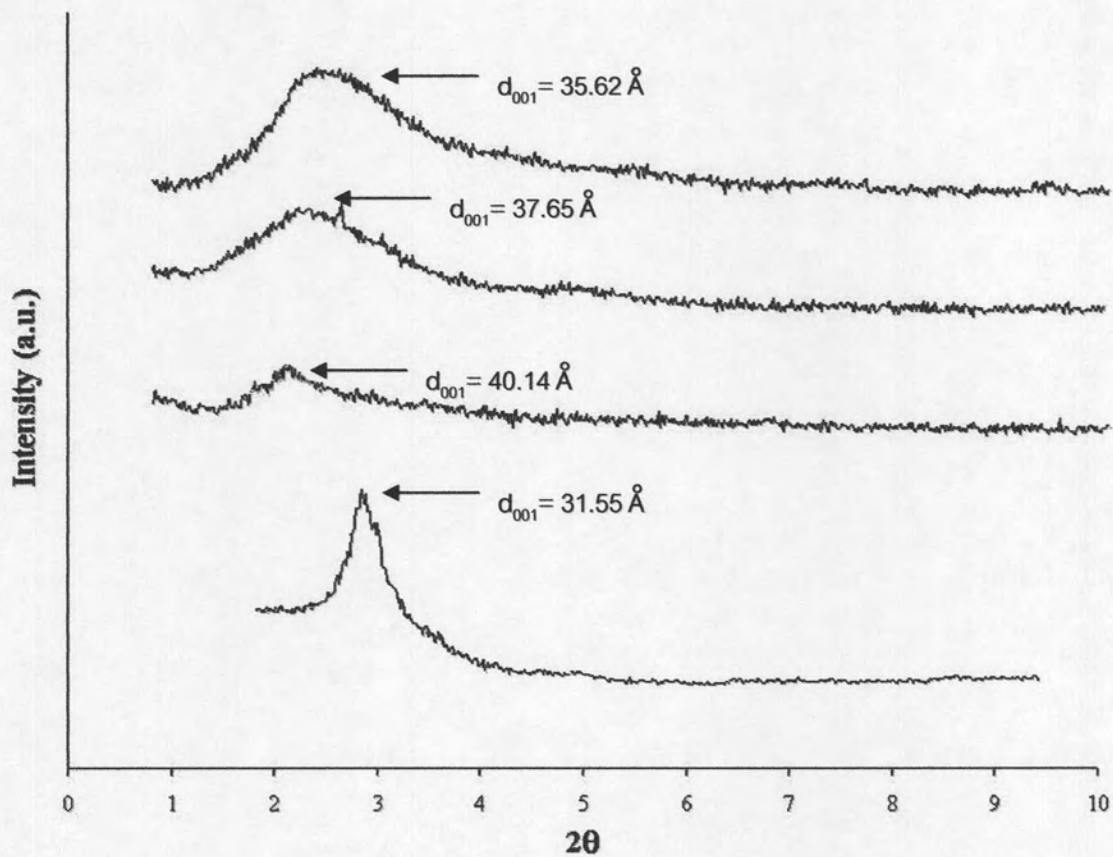
รูปที่ 4.15 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT nanocomposite, (c) 100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT nanocomposite.



รูปที่ 4.16 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT nanocomposite, (c) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT nanocomposite.



รูปที่ 4.17 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT nanocomposite, (c) 100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT nanocomposite.



รูปที่ 4.18 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/10 EVA/2 OMMT nanocomposite, (c) 100 PVC/10 EVA/4 OMMT nanocomposite และ (d) 100 PVC/10 EVA/6 OMMT nanocomposite.

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ OMMT และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	$2\theta(^{\circ})$	$d_{001}(\text{Å})$	ลักษณะของนาโนคอมพอสิต
OMMT	2.80	31.55	-
100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT	1.88	47.02	Intercalate
100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT	2.32	38.04	Intercalate
100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT	2.36	37.33	Intercalate
100 PVC/5 EVA/2 OMMT	2.07	42.66	Intercalate
100 PVC/5 EVA/4 OMMT	2.29	38.57	Intercalate
100 PVC/5 EVA/6 OMMT	2.33	37.93	Intercalate
100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT	2.20	40.06	Intercalate
100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT	2.24	39.32	Intercalate
100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT	2.42	36.52	Intercalate
100 PVC/10 EVA/2 OMMT	2.19	40.14	Intercalate
100 PVC/10 EVA/4 OMMT	2.34	37.65	Intercalate
100 PVC/10 EVA/6 OMMT	2.48	35.62	Intercalate

จากรูปที่ 4.15-4.18 และตารางที่ 4.7 พบว่า ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของชั้นดินใน OMMT (d_{001}) เท่ากับ 31.55 Å ในขณะที่ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต ทุกอัตราส่วนมี ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของ PVC และ EVA ได้เข้าไป ขยายชั้นดินให้กว้างขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มมากที่สุดเมื่อปริมาณ OMMT เท่ากับ 2 phr และกลับลดลงเมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 phr ในทุก อัตราส่วนของ PVC/EVA เนื่องจาก OMMT ที่เพิ่มมากขึ้นบางส่วนจับกลุ่มกัน ทำให้ระบบมีความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวของ PVC และ EVA เข้าไปในชั้นผลึกของ OMMT ลดน้อยลง และเมื่อพิจารณา นาโนคอมพอสิตของ PVC/EVA/OMMT สูตรที่ได้ OMMT ปริมาณ 2 phr พบว่า เมื่อปริมาณ EVA ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะห่างระหว่าง ระนาบ 001 ลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว จึงเข้ารวมกับ OMMT ได้ยากขึ้น เพราะ OMMT ถูกดัดแปรด้วยออกตะเดซิลเอมีน ซึ่งประกอบด้วยสายโซ่อะลิฟาติก (aliphatic

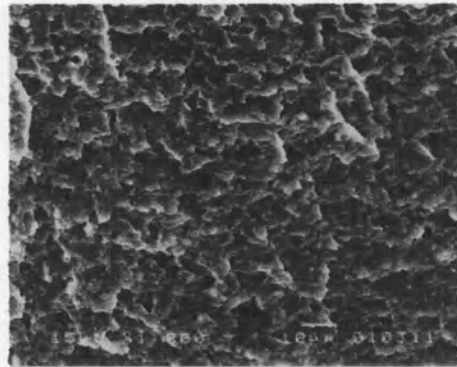
chain) ที่ยาว ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงทำให้ OMMT มีสภาพขั้วลดลง นอกจากนี้ จาก XRD patterns ยังแสดงให้เห็นว่า นาโนคอมพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีโครงสร้างเป็นแบบ intercalate เพราะปรากฏพีคที่ค่า 2θ ต่างๆ ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกของดิน

4.4.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอลิเมอร์

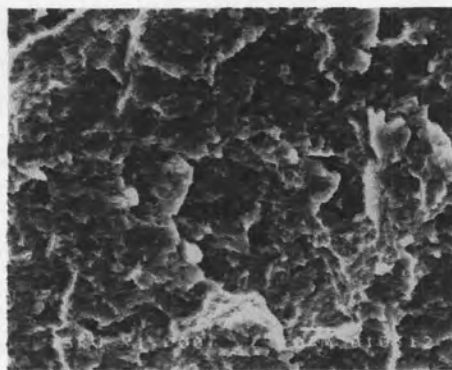
รูปที่ 4.19 แสดงสัณฐานวิทยาตามภาคตัดขวางของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอลิเมอร์ ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



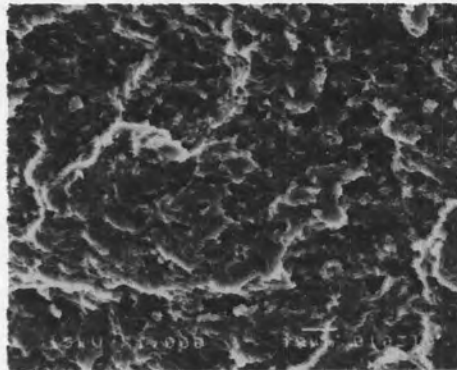
(a) 100 PVC/2.5 EVA/0 OMMT



(b) 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT

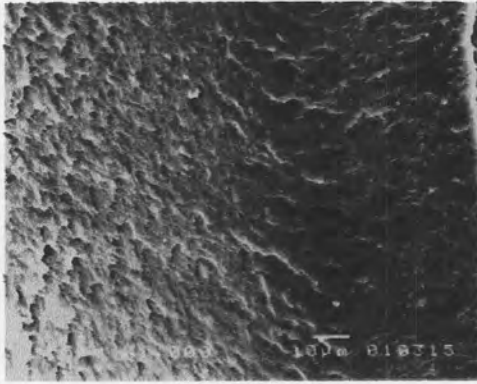


(c) 100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT

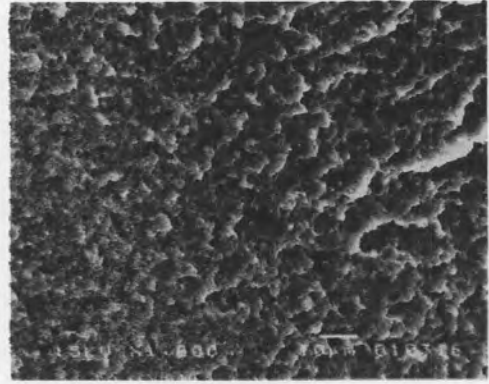


(d) 100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT

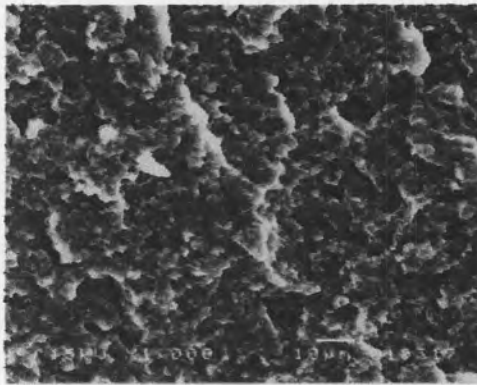
รูปที่ 4.19-ก สัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอลิเมอร์ : (a) 100 PVC/2.5 EVA/0 OMMT, (b) 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT, (c) 100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT และ (d) 100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT



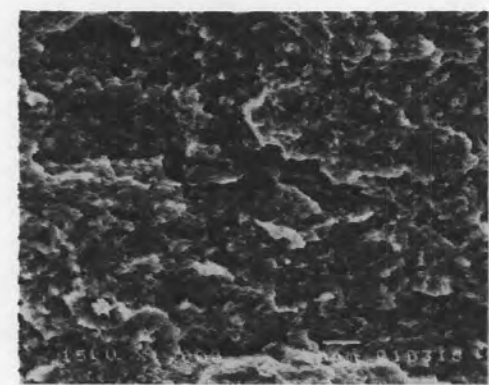
(e) 100 PVC/5 EVA/0 OMMT



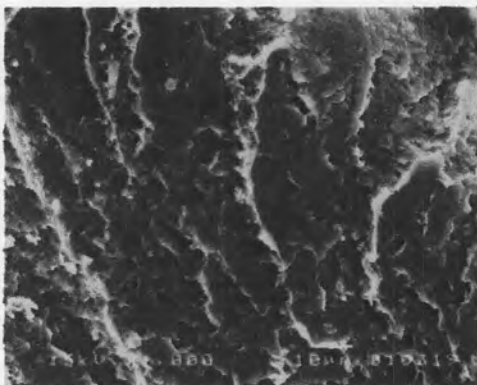
(f) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT



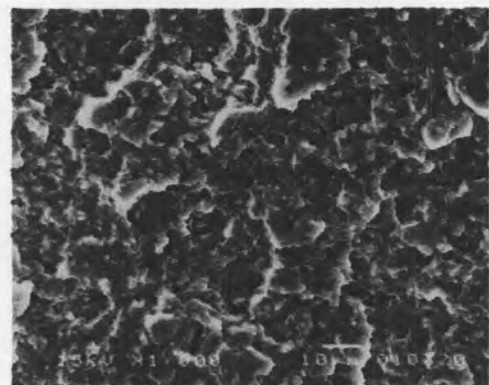
(g) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT



(h) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT

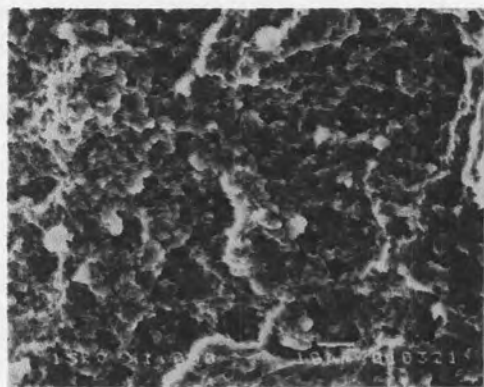


(i) 100 PVC/7.5 EVA/0 OMMT

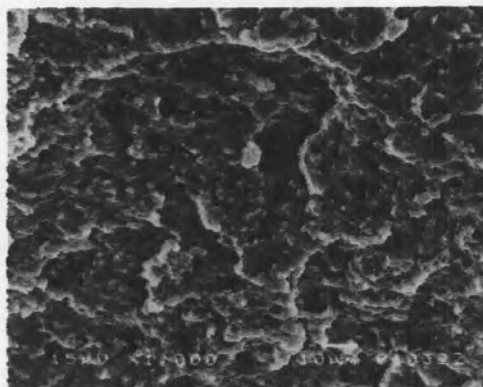


(j) 100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT

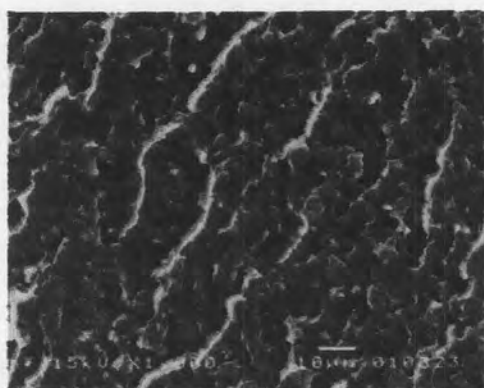
รูปที่ 4.19-๑ ลักษณะวิทยาของนาโนคอมพอสิต : (e) 100 PVC/5 EVA/0 OMMT, (f) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT, (g) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT, (h) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT, (i) 100 PVC/7.5 EVA/0 OMMT และ (j) 100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT



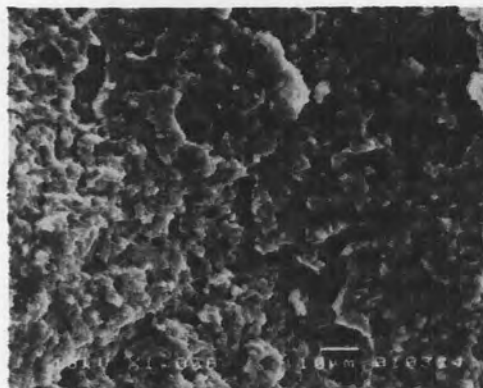
(k) 100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT



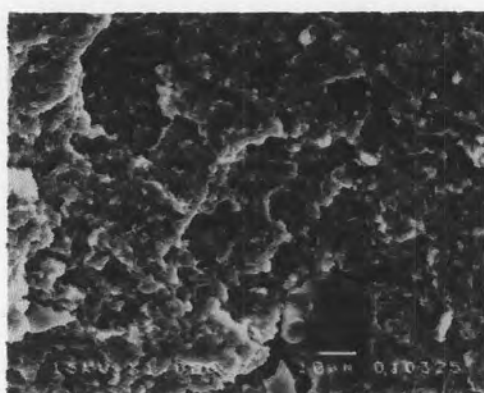
(l) 100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT



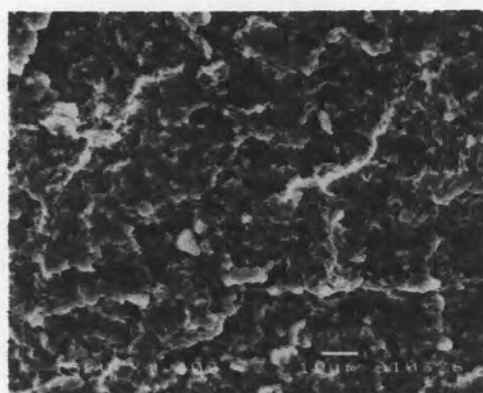
(m) 100 PVC/10 EVA/0 OMMT



(n) 100 PVC/10 EVA/2 OMMT



(o) 100 PVC/10 EVA/4 OMMT



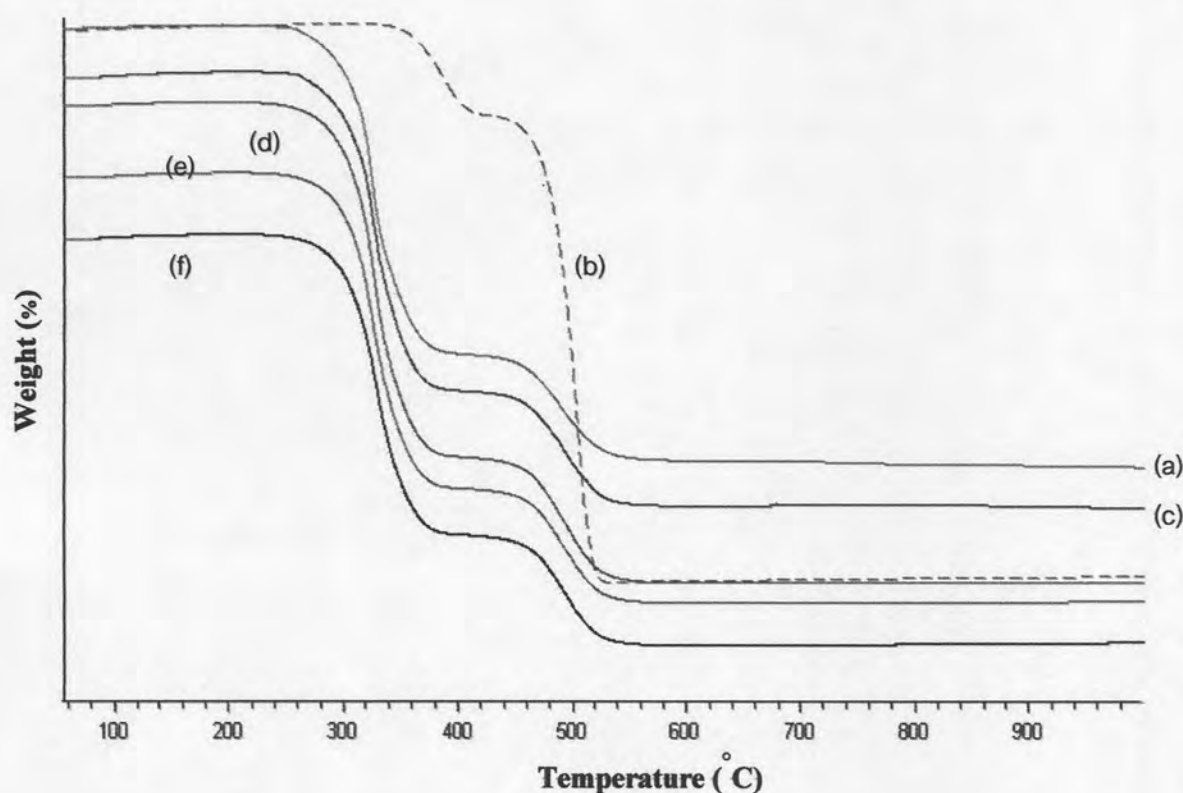
(p) 100 PVC/10 EVA/6 OMMT

รูปที่ 4.19-ค สัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอสิต : (k) 100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT, (l) 100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT, (m) 100 PVC/10 EVA/0 OMMT, (n) 100 PVC/10 EVA/2 OMMT, (o) 100 PVC/10 EVA/4 OMMT และ (p) 100 PVC/10 EVA/6 OMMT

จากรูปที่ 4.19 พบว่า สัณฐานวิทยาของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณ EVA และ OMMT โดยนาโนคอมพอสิตที่มี EVA ปริมาณ 7.5 และ 10 phr มีเนื้อหยาบกว่า ที่มี EVA ปริมาณ 2.5 และ 5 phr เนื่องจากความเข้ากันได้ของ PVC และ EVA ลดลงตามปริมาณ EVA ที่เพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ ปริมาณและขนาดของรูพรุนที่เกิดในพอลิเมอร์เมทริกซ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณ OMMT ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการจับกลุ่มกันของ OMMT บางส่วน ทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุ

4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

รูปที่ 4.20 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของ PVC, EVA และ 100 PVC/5 EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณ OMMT ต่างๆ กัน ซึ่งแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเหล่านี้ โดยรายละเอียดของอุณหภูมิการสลายตัวแสดงไว้ในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) PVC, (b) EVA, (c) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA, (d) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT nanocomposite, (e) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT nanocomposite และ (f) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT nanocomposite

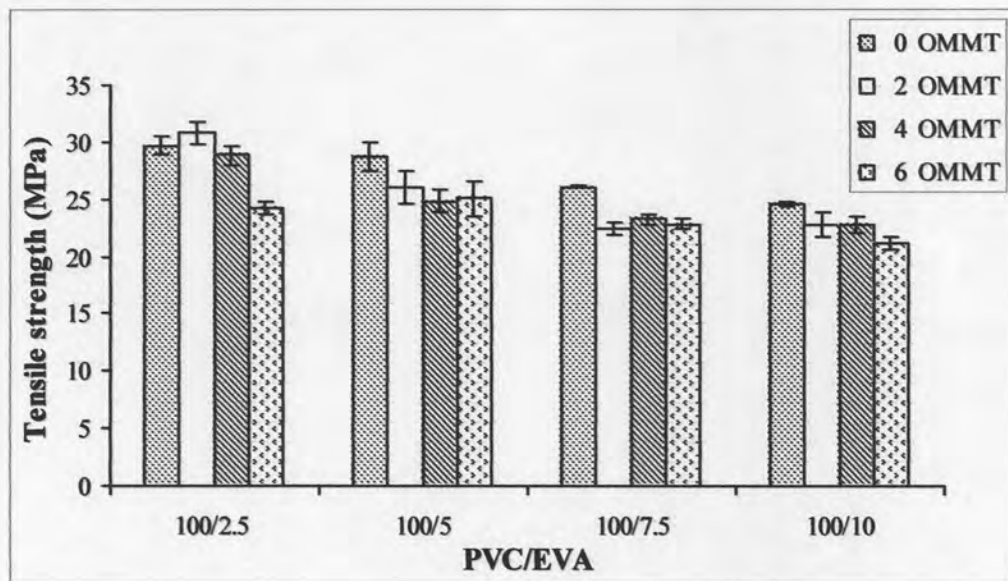
ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC, EVA, พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA และ 100 PVC/5 EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	T _{onset 1}	T _{onset 2}
PVC	292	449
EVA	330	455
100 PVC/5 EVA	290	457
100 PVC/5 EVA/2 OMMT	286	439
100 PVC/5 EVA/4 OMMT	282	430
100 PVC/5 EVA/6 OMMT	278	431

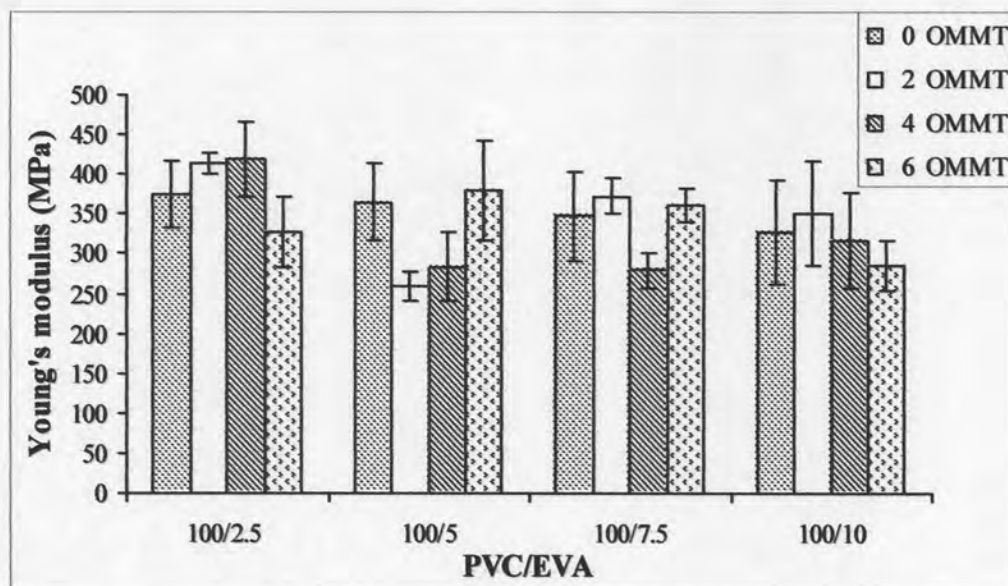
อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC, EVA และพอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.3.2 และเมื่อพิจารณาการสลายตัวของ 100 PVC/5 EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณ OMMT ต่างๆ กัน พบว่า มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น คือ การสลายตัวขั้นแรก (T_{onset 1}) และการสลายตัวขั้นที่สอง (T_{onset 2}) ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวทั้งสองชั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ OMMT ในวัสดุนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำกว่าของ PVC และของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 100 PVC/5 EVA ทั้งนี้เนื่องจาก เกิดการสลายตัวของออกตะเดซิลเอมีนที่ใช้ตัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ขึ้นก่อน ซึ่งอาจไปเหนี่ยวนำให้ PVC เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำลง [22, 28, 29] ดังนั้นเมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวมีแนวโน้มลดลง จึงอาจกล่าวได้ว่าการเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตของ PVC/EVA/OMMT ไม่ได้ปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ แต่ก็ไม่ได้ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนลดต่ำลงมากนัก ยังคงสามารถนำไปใช้งานได้

4.4.4 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต

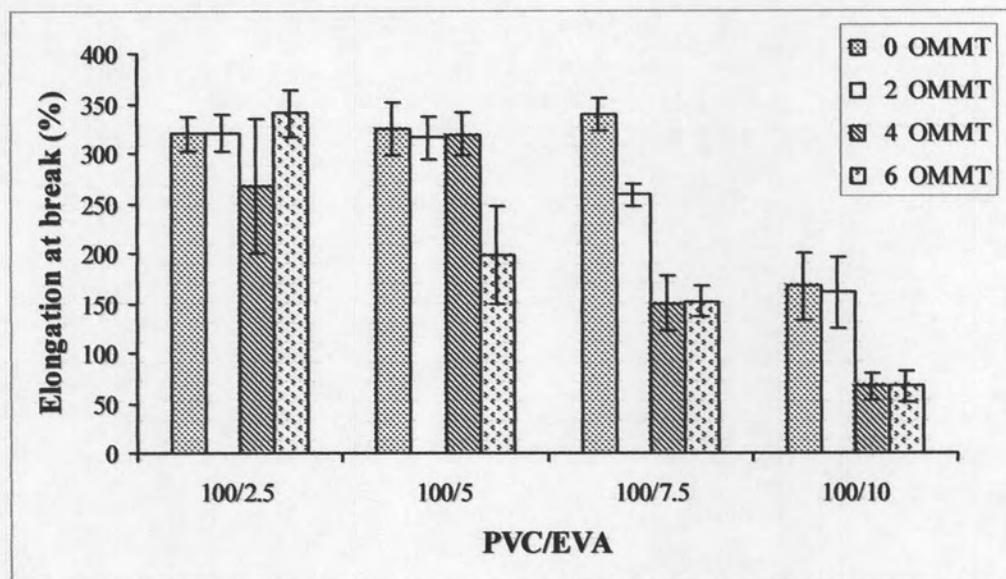
รูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 แสดงค่าความต้านแรงดึง, ยั่งส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ตามลำดับ ของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต รายละเอียดของสมบัติเหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.21 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.22 ยั่งส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT
นาโนคอมพอสิต

ตารางที่ 4.9 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT
นาโนคอมพอสิต

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
100 PVC/2.5 EVA	29.64	319.56	374.34
100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT	30.82	320.03	413.68
100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT	28.86	244.94	418.57
100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT	24.18	340.05	311.33
100 PVC/5 EVA	28.73	324.39	365.11
100 PVC/5 EVA/2 OMMT	26.05	315.38	303.74
100 PVC/5 EVA/4 OMMT	24.81	319.27	283.93
100 PVC/5 EVA/6 OMMT	25.05	184.27	358.47
100 PVC/7.5 EVA	26.10	339.23	347.84
100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT	22.40	258.67	343.76
100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT	23.27	149.98	278.97
100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT	22.86	151.71	361.25
100 PVC/10 EVA	24.58	166.66	327.74
100 PVC/10 EVA/2 OMMT	22.87	160.70	324.23
100 PVC/10 EVA/4 OMMT	22.85	66.38	316.60
100 PVC/10 EVA/6 OMMT	21.17	66.43	286.05

จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ความต้านแรงดึงของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตทุกอัตราส่วน มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเติม OMMT ในปริมาณมากจะทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น และเกิดการจับกลุ่มของ OMMT บางส่วน จึงกระจายตัวได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น ความสามารถในการเสริมแรงจึงลดต่ำลง และเมื่อพิจารณาความต้านแรงดึงของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณ OMMT เท่าๆ กัน พบว่า เมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความต้านแรงดึงมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะ EVA ทำ

หน้าที่เสมือนเป็น macromolecular plasticizer ให้กับ PVC จึงทำให้ PVC มีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

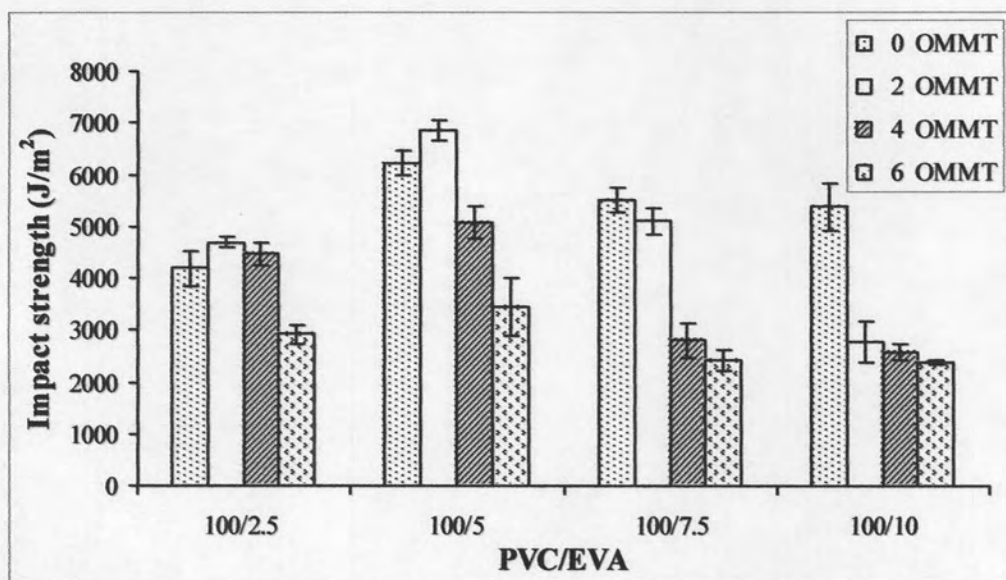
จากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ค่ายังสัมมูล์ของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอลิสมิแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก EVA ทำหน้าที่เสมือนเป็น macromolecular plasticizer ให้กับ PVC ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม การเติม OMMT สามารถปรับปรุงสมบัติของนาโนคอมพอลิสมิให้มีค่ายังสัมมูล์ที่เพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นนาโนคอมพอลิสมิของ 100 PVC/5 EVA/OMMT เนื่องจาก OMMT มีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์

จากรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอลิสมิ มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง เมื่อปริมาณ OMMT เพิ่มขึ้น เนื่องจาก อนุภาคของ OMMT ที่จับกลุ่มกัน ชัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้นาโนคอมพอลิสมิยืดตัวได้น้อยลง

จากผลการทดสอบ อาจกล่าวได้ว่า สมบัติด้านความต้านแรงดึงของนาโนคอมพอลิสมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อปริมาณ EVA และ OMMT เพิ่มขึ้น เนื่องจากเทคนิคในการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง และการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ เกิดแรงเฉือนไม่สูงพอในการทำให้พอลิเมอร์สอดแทรกเข้าไประหว่างชั้นดินได้มากนัก ทำให้ OMMT มีการกระจายตัวที่ไม่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพในการเสริมแรงของ OMMT จึงไม่เด่นชัด อย่างไรก็ตาม นาโนคอมพอลิสมิของ 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT มีความต้านแรงดึงสูงที่สุด

4.4.5 ความต้านแรงกระแทกของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต

รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.10 แสดงค่าความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.24 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต

ตารางที่ 4.10 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT
นาโนคอมพอสิต

สูตร	ความต้านแรงกระแทก (J/m ²)
100 PVC/2.5 EVA	4190.54
100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT	4682.61
100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT	4460.26
100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT	2913.49
100 PVC/5 EVA	6223.73
100 PVC/5 EVA/2 OMMT	6859.07
100 PVC/5 EVA/4 OMMT	5066.42
100 PVC/5 EVA/6 OMMT	3437.31
100 PVC/7.5 EVA	5518.85
100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT	5092.96
100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT	2797.58
100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT	2402.08
100 PVC/10 EVA	5369.60
100 PVC/10 EVA/2 OMMT	2774.26
100 PVC/10 EVA/4 OMMT	2582.89
100 PVC/10 EVA/6 OMMT	2385.18

เมื่อพิจารณาค่าความต้านแรงกระแทกจากรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.10 พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง 100 PVC/5 EVA มีความต้านแรงกระแทกมากที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มขึ้นเป็น 7.5 และ 10 phr ทั้งนี้เนื่องจากความเข้ากันได้ของ PVC และ EVA ลดลง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมต้านแรงกระแทกได้น้อยลง และเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA ทุกอัตราส่วนมาผสมกับ OMMT ในปริมาณ 2, 4 และ 6 phr พบว่า 100 PVC/5 EVA/2 OMMT นาโนคอมพอสิต มีค่าความต้านแรงกระแทกสูงที่สุดและสูงกว่าความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ใส่ OMMT (100 PVC/5 EVA) แสดงว่า การเตรียมนาโนคอมพอสิตของ PVC/EVA/OMMT

ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงสมบัติความต้านแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งอาจสรุปได้ว่า การผสม PVC/EVA ในอัตราส่วน 100:5 โดยน้ำหนัก เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมและวัสดุนาโนคอมพอสิตในงานวิจัยนี้เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความต้านแรงกระแทกสูง และเมื่อพิจารณาปริมาณ OMMT ที่เหมาะสม พบว่า การใส่ OMMT ในปริมาณ 2 phr จะทำให้มีการปรับปรุงสมบัติความต้านแรงกระแทก เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่ OMMT ส่วนการใส่ OMMT ในปริมาณ 4 และ 6 phr กลับทำให้ความต้านแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการจับกลุ่มของ OMMT บางส่วน ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของ OMMT ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ลดลง นอกจากนี้ ในการเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตหากใส่ EVA จำนวนมาก มีผลทำให้ความมีตัวของระบบเพิ่มขึ้น การเข้าร่วมตัวกับ OMMT จึงลดลง