

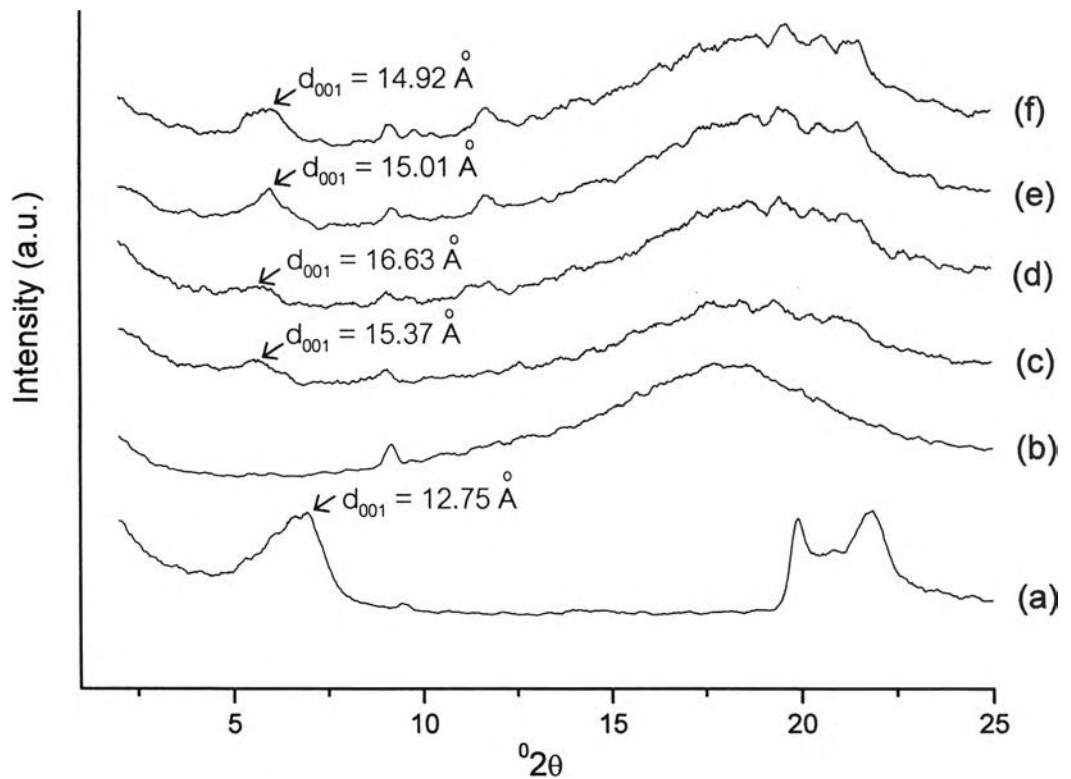
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (NR/MMT nanocomposites)

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ NR/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.1 แสดง X-ray pattern ของ MMT, NR และ NR/MMT นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ และตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของ MMT, NR และ NR/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.1 X-ray pattern ของ (a) MMT (b) NR

(c) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/2 MMT

(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/4 MMT

(e) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/6 MMT

(f) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/8 MMT

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, NR และ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	2θ ($^{\circ}$)	d_{001} ของ MMT (\AA)	ลักษณะของ นาโนคอมพอสิต
MMT	6.92	12.75	-
NR	-	-	-
100 NR/2 MMT	5.74	15.37	Intercalated
100 NR/ 4 MMT	5.30	16.63	Intercalated
100 NR/6 MMT	5.88	15.01	Intercalated
100 NR/8 MMT	5.91	14.92	Intercalated

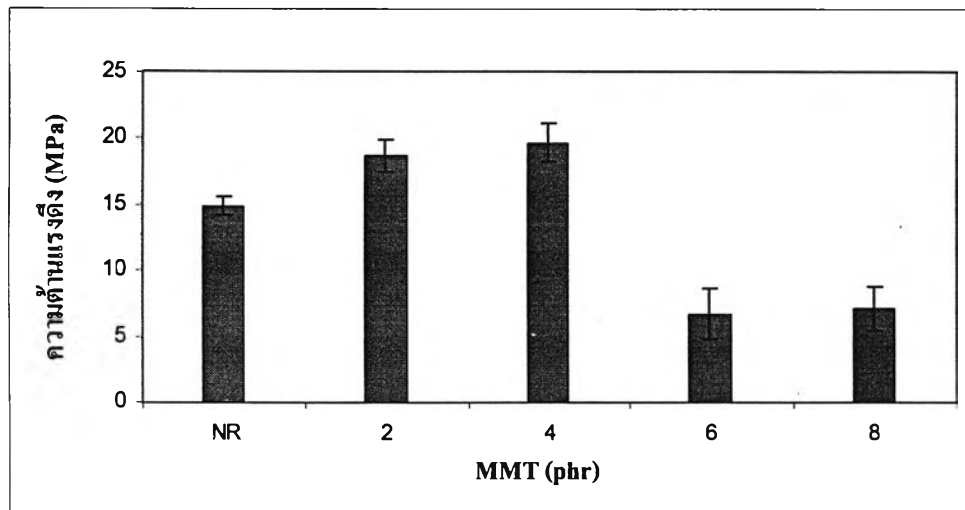
จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 แสดงพีคโครงสร้างของ MMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 6.92 และ d_{001} เท่ากับ 12.75 \AA แต่ของยางธรรมชาติไม่ปรากฏพีคให้เห็น ซึ่งแสดงถึงความเป็นออสัญฐาน ส่วนพีคโครงสร้างของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต (ทุกอัตราส่วน) ได้ย้ายมาปรากฏที่ตำแหน่งของ 2θ ที่ต่ำกว่าของ MMT แสดงถึงโครงสร้างที่เป็นแบบ intercalated เนื่องจากตำแหน่งของ 2θ ต่ำลง และ d_{001} ของ MMT เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะสายโซ่โมเลกุลของ NR ได้เข้าไปขยายชั้นของ MMT ให้กว้างขึ้นนั่นเอง โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อมีปริมาณ MMT เท่ากับ 4 phr และกลับลดลงเมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้นเป็น 6 และ 8 phr เนื่องจากการเกาะกลุ่มของ MMT บางส่วนที่ทำให้การกระจายตัวใน NR เกิดได้น้อยลง

4.1.2 สมบัติด้านแรงดึงของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

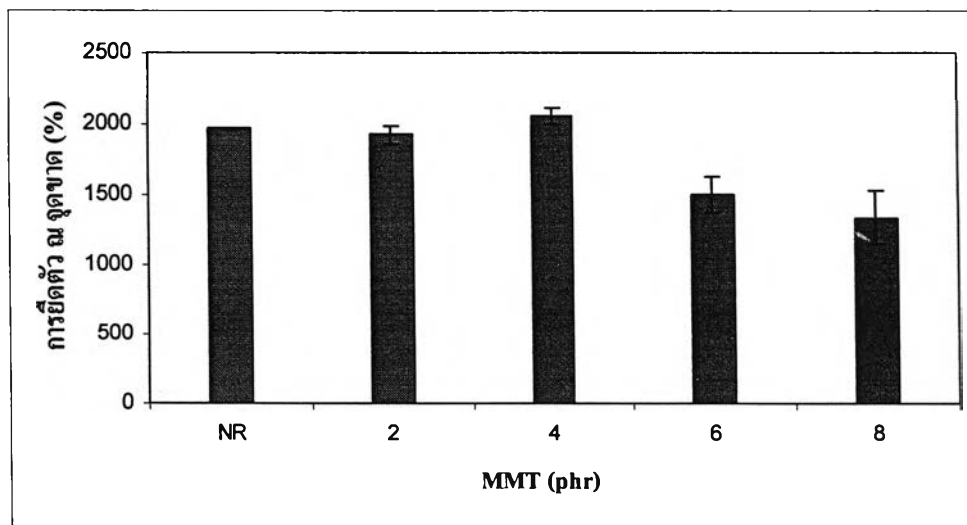
รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต ตามลำดับ และตารางที่ 4.2 แสดงทั้งค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด (%)

ตารางที่ 4.2 สมบัติด้านแรงดึงของยางธรรมชาติและ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
NR	15	1970
100 NR/2 MMT	18.6	1924
100 NR/4 MMT	19.6	2056
100 NR/6 MMT	6.7	1500
100 NR/8 MMT	7	1335



รูปที่ 4.2 ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติและ NR/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.3 การยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

รูปที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ปริมาณ 2 และ 4 phr มีความต้านแรงดึงสูงกว่าของยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลของยางธรรมชาติสามารถสอดแทรกเข้าไประหว่างชั้นในโครงสร้างของ MMT เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างยางธรรมชาติกับ MMT โดยนาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT 4 phr มีค่าความต้านแรงดึงสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ MMT เป็น 6 และ 8 phr พบว่า ความต้านแรงดึงมีค่าต่ำกว่าของยางธรรมชาติอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากปริมาณสารดิสเพอร์สของ MMT ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของระบบลดลง จึงต้องเติมสารละลายแอมโมเนียลงไปเพื่อให้คงสภาพเป็นน้ำยาง โดยส่วนหนึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนแคตไอออน กับ MMT ทำให้กลายเป็นออร์แกโนเคลย์ (organoclay) ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำยาง ออร์แกโนเคลย์บางส่วนเกิดการรวมกลุ่มอยู่ในเนื้อยาง ส่งผลให้ความต้านแรงดึงลดลง

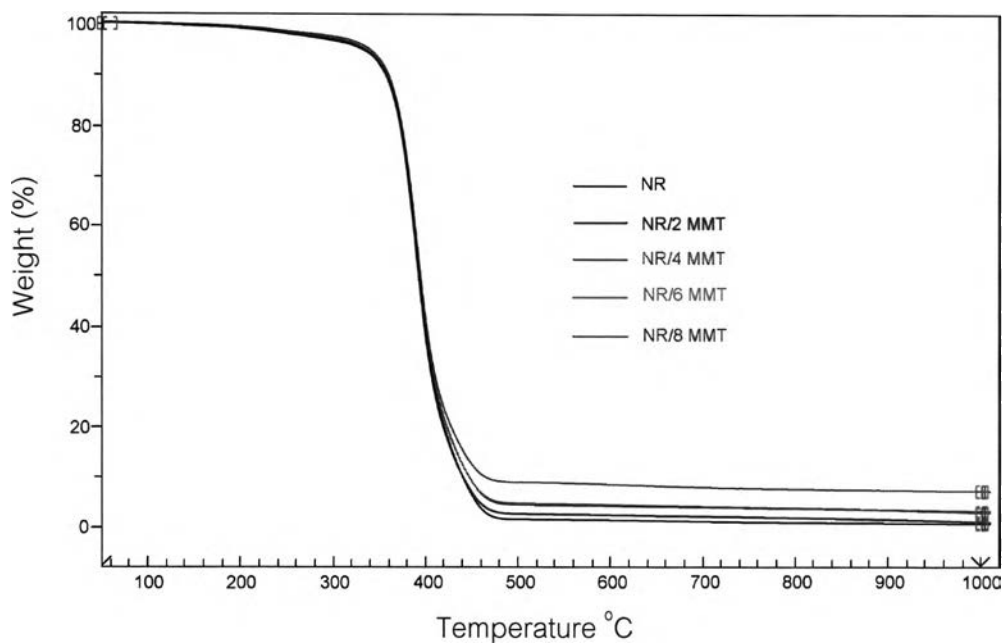
รูปที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ปริมาณ 2 และ 4 phr มีการยืดตัว ณ จุดขาด (%) โดดเด่นกับของยางธรรมชาติ ซึ่งการยืดตัวมากที่สุดเมื่อผสม MMT ปริมาณ 4 phr และปริมาณ MMT เพิ่มขึ้นเป็น 6 และ 8 phr พบว่า ความสามารถในการยืดตัวต่ำกว่าของยางธรรมชาติมาก เนื่องจากอนุภาคของ MMT ที่เพิ่มขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการยืดตัวของสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ

4.1.3. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ NR/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

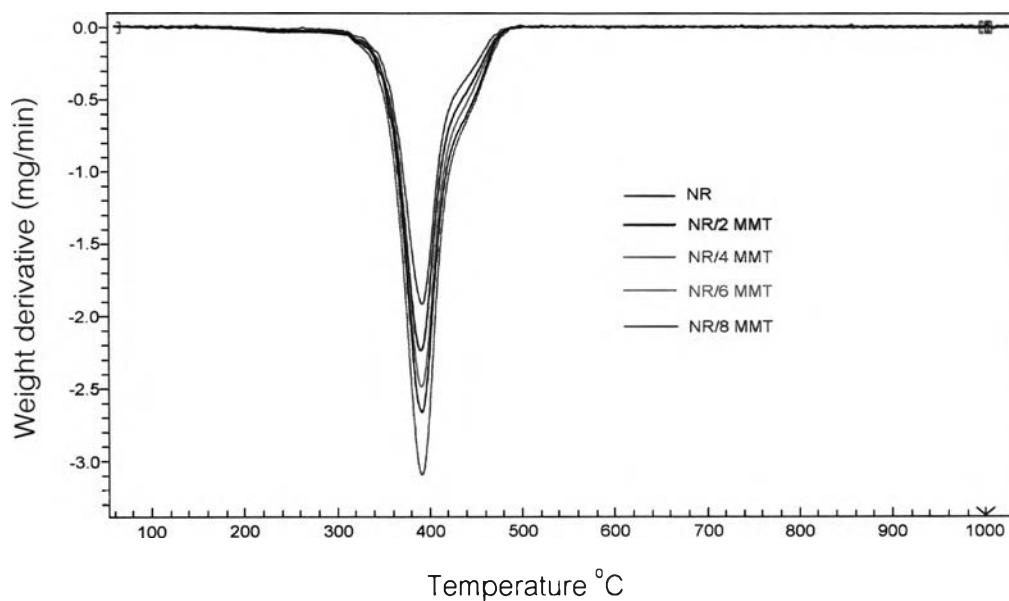
ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว (องศาเซลเซียส) และน้ำหนักที่หายไป (เปอร์เซ็นต์) ของยางธรรมชาติ และของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต ที่หาได้จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของยางธรรมชาติ และ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	T _{onset} (°C)	น้ำหนักที่หายไป (%)
NR	365.4	99
100 NR/2 MMT	366.3	99
100 NR/4 MMT	366.7	97
100 NR/6 MMT	365.6	97
100 NR/8 MMT	366	93



รูปที่ 4.4 TGA เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.5 DTG เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต

จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ได้ผลสรุปไว้ในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า NR/MMT นาโนคอมพอสิตทุกอัตราส่วนมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ กล่าวคือ การใส่ MMT ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของนาโนคอมพอสิต อย่างไรก็ตาม MMT ไม่ทำให้สมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติลดลง ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติและนาโนคอมพอสิตอยู่ในช่วง 250 ถึง 500 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักรวมที่หายไปของ

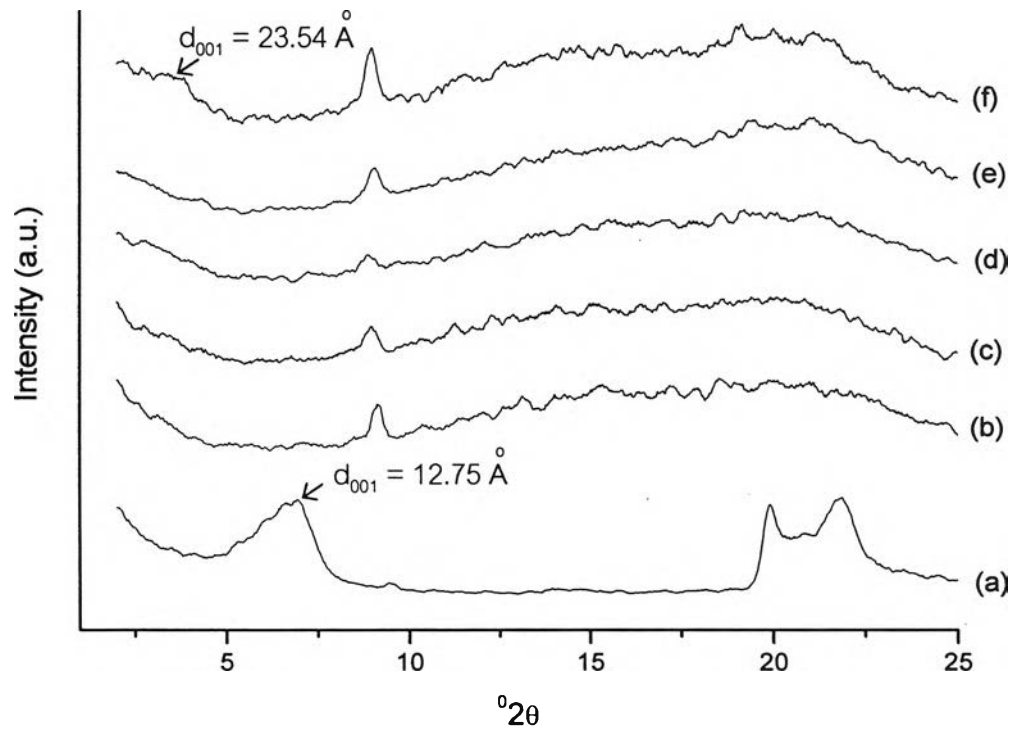
นาโนคอมพอสิตมีค่าลดลง เมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีส่วนที่เหลือจากการสลายตัว เมื่อได้รับความร้อน คือ MMT

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD การทดสอบสมบัติด้านความทนแรงดึง และการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ดังกล่าวข้างต้น อาจสรุปได้ว่ากระบวนการเตรียม NR/MMT นาโนคอมพอสิตจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง จะได้นาโนคอมพอสิตชนิด intercalate โดยที่อัตราส่วน MMT 4 phr จะให้สมบัติการต้านแรงดึงสูงที่สุด

4.2 อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (EVA/MMT nanocomposites)

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.6 แสดง X-ray pattern ของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่เตรียมได้ และตารางที่ 4.4 แสดงตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของ MMT, NR และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.6 X-ray pattern ของ (a) MMT (b) EVA

(c) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/2 MMT

(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/4 MMT

(e) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/6 MMT

(f) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/8 MMT

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	2θ ($^{\circ}$)	d_{001} ของ MMT (\AA)	ลักษณะของ นาโนคอมพอสิต
MMT	6.92	12.75	-
EVA	-	-	-
100 EVA/2 MMT	-	-	Exfoliated
100 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated
100 EVA/6 MMT	-	-	Exfoliated
100 EVA/8 MMT	3.74	23.54	Intercalated

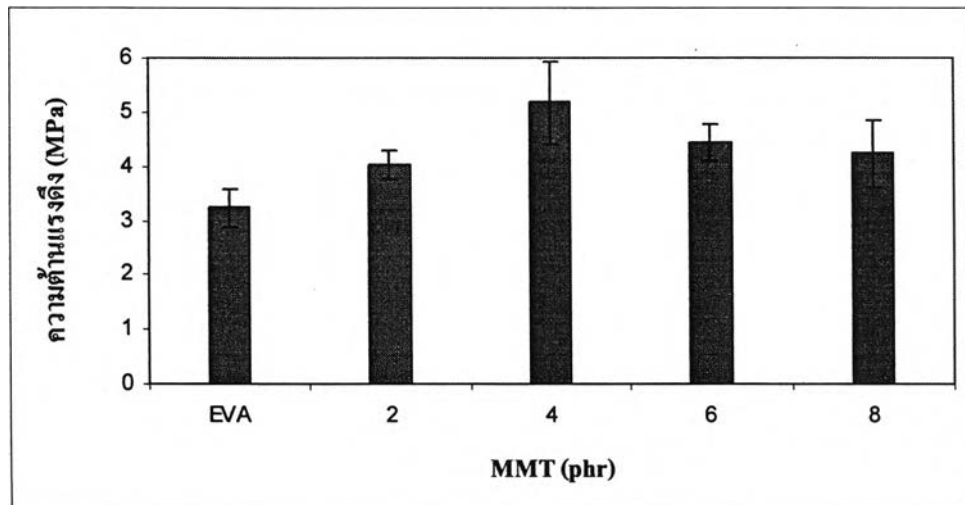
จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.4 แสดงพีคโครงสร้างของ MMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 6.92 และแสดง d_{001} เท่ากับ 12.75 \AA แต่ของ EVA ไม่ปรากฏพีคให้เห็น ซึ่งแสดงถึงความเป็นอสัณฐาน ส่วนพีคโครงสร้างของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่มี MMT ปริมาณ 2, 4 และ 6 phr พีคของระนาบ 001 ของ MMT ได้หายไป นั่นแสดงว่าสายโซ่โมเลกุลของ EVA สามารถเข้าไปในระหว่างชั้นของ MMT และทำให้โครงสร้างของ MMT ที่เคยเรียงซ้อนทับกันแตกแยกออก เกิดโครงสร้างแบบ exfoliated แต่เมื่อปริมาณ MMT เพิ่มเป็น 8 phr กลับปรากฏพีคของระนาบ 001 ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 3.74 และมี d_{001} เท่ากับ 23.54 \AA แสดงว่าสายโซ่โมเลกุลของ EVA เข้าไปขยายชั้นของ MMT ให้กว้างขึ้น ดังนั้น จึงมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ intercalated ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณ MMT ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ MMT กระจายตัวใน EVA ได้ยาก แต่ยังคงอยู่ระหว่างชั้นของ MMT และมีผลทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 เพิ่มขึ้นถึง 10.79 \AA

4.2.2 สมบัติด้านแรงดึงของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

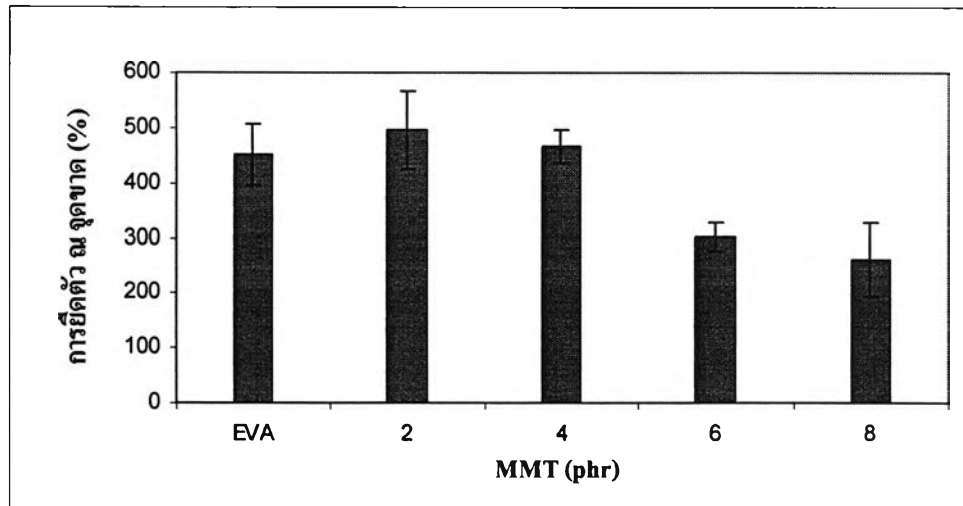
รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด ของ EVA เปรียบเทียบกับของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ตามลำดับ และตารางที่ 4.5 แสดงทั้งค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านแรงดึงของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
EVA	3.2	452
100 EVA/2 MMT	4	496
100 EVA/4 MMT	5.2	466
100 EVA/6 MMT	4.4	283
100 EVA/8 MMT	4.2	260



รูปที่ 4.7 ความต้านแรงดึงของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.8 การยึดตัว ณ จุดขาด (%) ของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

จากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงผลในรูปของแผนภูมิแท่งดังรูป 4.7 แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ในทุกอัตราส่วน มีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าของ EVA แสดงว่า MMT ได้เข้าไปช่วยเสริมแรงให้กับ EVA โดยเฉพาะนาโนคอมพอสิตที่มีลักษณะเป็นแบบ exfoliated เพราะเป็นโครงสร้างที่ให้สมบัติเชิงกลเหนือกว่าแบบ intercalated [22,23] เนื่องจากมีพื้นที่การยึดเกาะระหว่าง EVA และ MMT มากกว่า โดยนาโนคอมพอสิตที่มี MMT ปริมาณ 4 phr มีความต้านแรงดึงสูงที่สุดเช่นเดียวกับ NR/MMT นาโนคอมพอสิต และเมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้นเป็น 6 พบว่า ค่าความต้านแรงดึงมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะปริมาณ MMT ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ชั้นของดินกระจายตัวออกจากกันได้น้อยลง สำหรับ EVA/MMT นาโนคอมพอสิตที่ใส่ MMT ปริมาณ 8 phr มีความต้านแรงดึงต่ำกว่า เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ intercalated

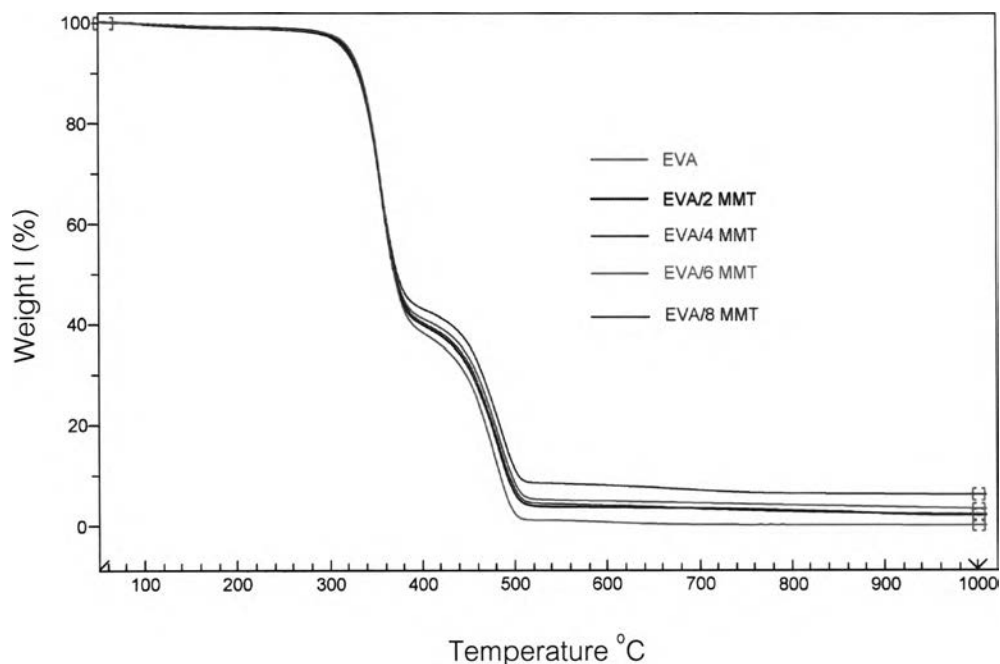
จากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงผลในรูปของแผนภูมิแท่งดังรูป 4.8 แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ปริมาณ 2 และ 4 phr มีการยึดตัว ณ จุดขาด (%) สูงกว่าของ EVA เล็กน้อย ซึ่งการยึดตัวมากที่สุดเมื่อผสม MMT ปริมาณ 2 phr และเมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้นเป็น 6 และ 8 phr พบว่า ความสามารถในการยึดตัวต่ำกว่า EVA เนื่องจากปริมาณ MMT ที่เพิ่มขึ้น จะไปขัดขวางการยึดตัวของนาโนคอมพอสิต

4.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

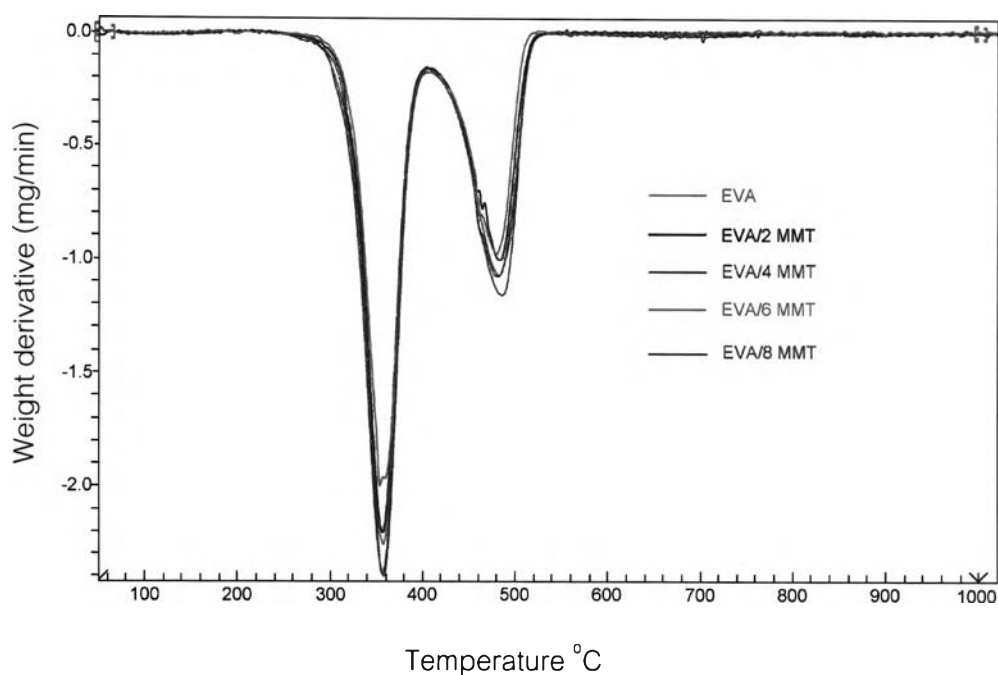
ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว และน้ำหนักที่หายไปของ EVA และของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่หาได้จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	T _{onset 1} (°C)	T _{onset 2} (°C)	น้ำหนักที่หายไป ⁽¹⁾ (%)	น้ำหนักที่หายไป ⁽²⁾ (%)	น้ำหนักที่หายไป (รวม) (%)
EVA	333	450	65	35	100
100 EVA/2 MMT	334	455	63	35	98
100 EVA/4 MMT	334	454	62	36	98
100 EVA/6 MMT	330	452	61	35	96
100 EVA/8 MMT	331	454	59	35	94



รูปที่ 4.9 TGA เทอร์โมแกรมของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.10 DTG เทอร์โมแกรมของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ได้ผลสรุปไว้ในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น คือ สลายตัวขั้นแรกอยู่ในช่วง 240 ถึง 380 องศาเซลเซียส ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสติก ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ใน ส่วนของหมู่อะซีเตตในสายโซ่โมเลกุลของ EVA [16,18] นาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ปริมาณ 2 และ 4 phr มีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับของ EVA แต่นาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ปริมาณ 6 และ 8 phr มีอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นแรกต่ำกว่าของ EVA เล็กน้อย ส่วนการสลายตัวขั้นที่สองอยู่ในช่วง 380 ถึง 520 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของพอลิเอทิลีนในสายโซ่ โมเลกุลของ EVA [16,18] โดยนาโนคอมพอสิตที่ผสม MMT ทุกอัตราส่วนมีอุณหภูมิการสลายตัว สูงกว่าของ EVA แสดงว่า MMT มีการยึดติดกับสายโซ่โมเลกุลของ EVA โดย MMT ช่วยยับยั้งการ เคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของ EVA ในระหว่างที่มีการสลายตัวทางความร้อน [17] แต่เมื่อ ปริมาณ MMT เพิ่มเป็น 6 และ 8 phr พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวในขั้นนี้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการที่ MMT มีการกระจายตัวไม่ดี เกิดการเกาะกลุ่มกันของ MMT ในเนื้อของ EVA จึง ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลง แสดงให้เห็นว่า ถ้าการกระจายตัวของ MMT ในเนื้อ EVA เกิด ได้ดี จะส่งผลทำให้การสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของ EVA ต้องให้ความร้อนในการสลายตัวที่ สูงขึ้น

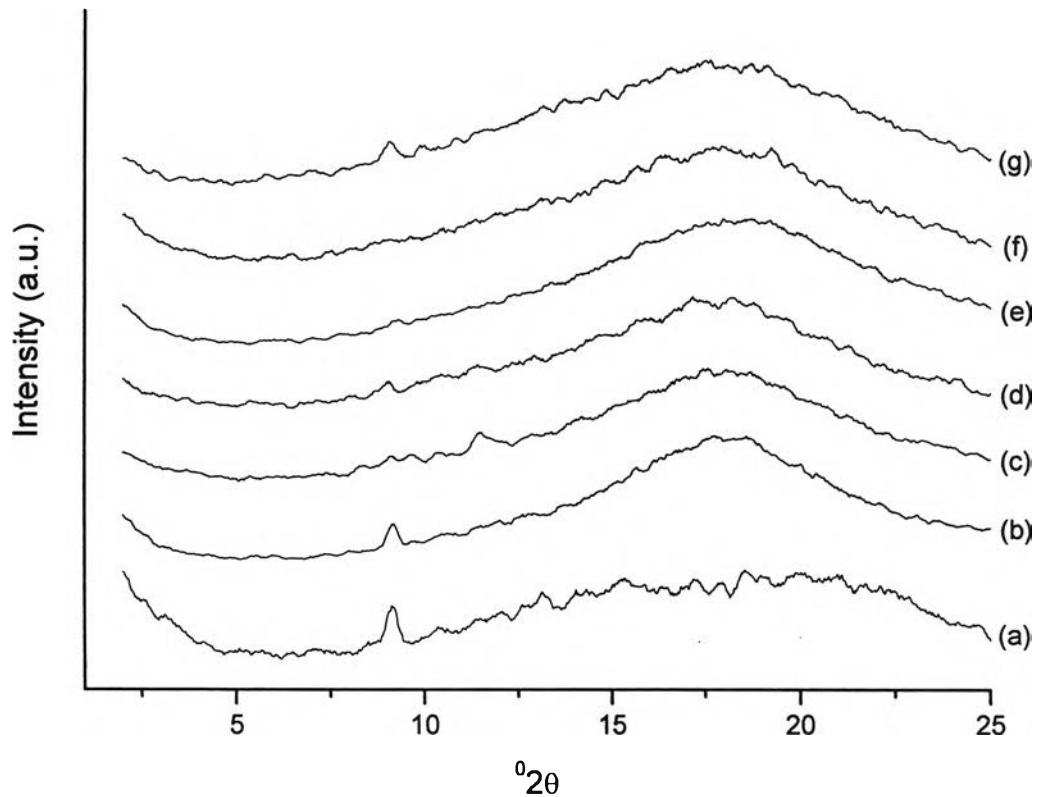
จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต พบว่า มีค่าลดลงเมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีส่วนที่เหลือจากการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน คือ MMT

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD การทดสอบสมบัติด้านความทนแรงดึง และการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการเตรียม EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีจากการใช้ MMT ในปริมาณ 4 phr เช่นเดียวกับการเตรียม NR/MMT นาโนคอมพอสิต

4.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ (NR/EVA polyblends)

4.3.1. การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.11 แสดง X-ray pattern ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/MMT ในอัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.11 X-ray pattern ของ (a) EVA (b) ยางธรรมชาติ

(c) พอลิเมอร์ผสมของ 90 NR/10 EVA

(d) พอลิเมอร์ผสมของ 80 NR/20 EVA

(e) พอลิเมอร์ผสมของ 70 NR/30 EVA

(f) พอลิเมอร์ผสมของ 60 NR/40 EVA

(g) พอลิเมอร์ผสมของ 50 NR/50 EVA

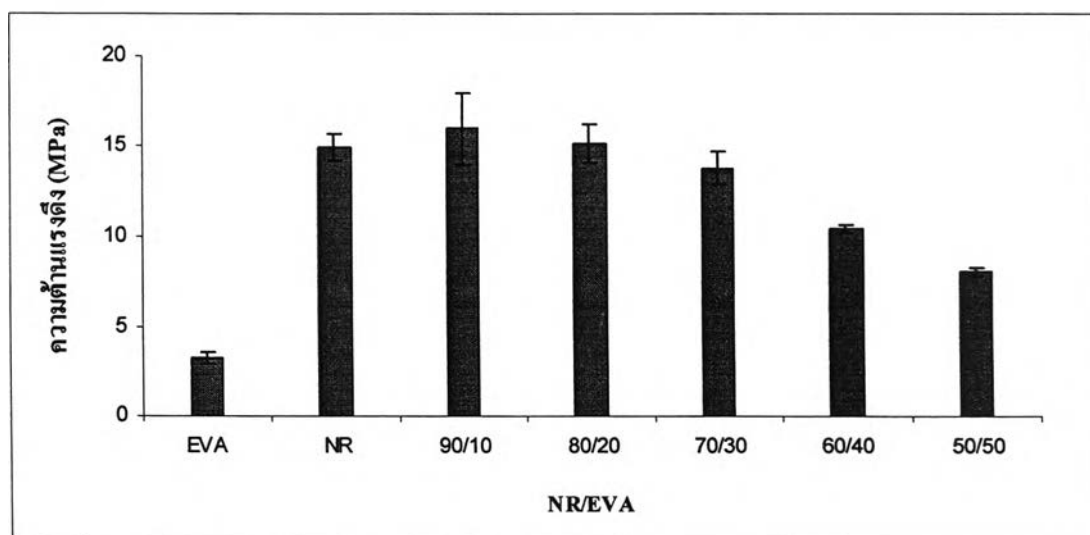
รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าการใส่ EVA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ไม่มีผลทำให้โครงสร้างของยางธรรมชาติซึ่งเป็นอสัณฐานเปลี่ยนไป และพบว่า ความเป็นผลึกของ EVA ลดลง เมื่ออยู่ในพอลิเมอร์ผสม

4.3.2 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA

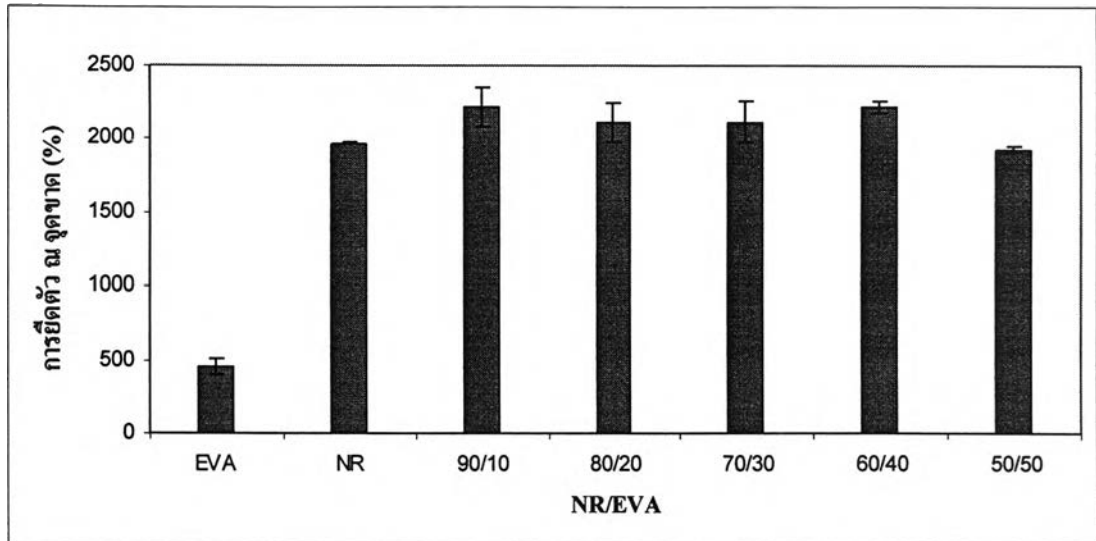
รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของ EVA, NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน และตารางที่ 4.7 แสดงทั้งค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด (%)

ตารางที่ 4.7 สมบัติด้านแรงดึงของ EVA NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
EVA	3.2	452
NR	15	1970
90 NR/10 EVA	16	2222
80 NR/20 EVA	15	2114
70 NR/30 EVA	14	2113
60 NR/40 EVA	10	2220
50 NR/50 EVA	8	1931



รูปที่ 4.12 ความต้านแรงดึงของ EVA NR และของพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.13 การยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของ EVA NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติมีความต้านแรงดึงสูงกว่า EVA มาก แต่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ที่อัตราส่วน 90/10 มีความต้านแรงดึงสูงที่สุด และสูงกว่าของยางธรรมชาติเล็กน้อย เพราะ EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีมอดุลัสสูงกว่ายางธรรมชาติ จึงช่วยเสริมความต้านแรงดึงให้สูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ชั้นทดสอบมีค่าความต้านแรงดึงค่อยๆ ลดลง เพราะมีปริมาณยางธรรมชาติลดลง

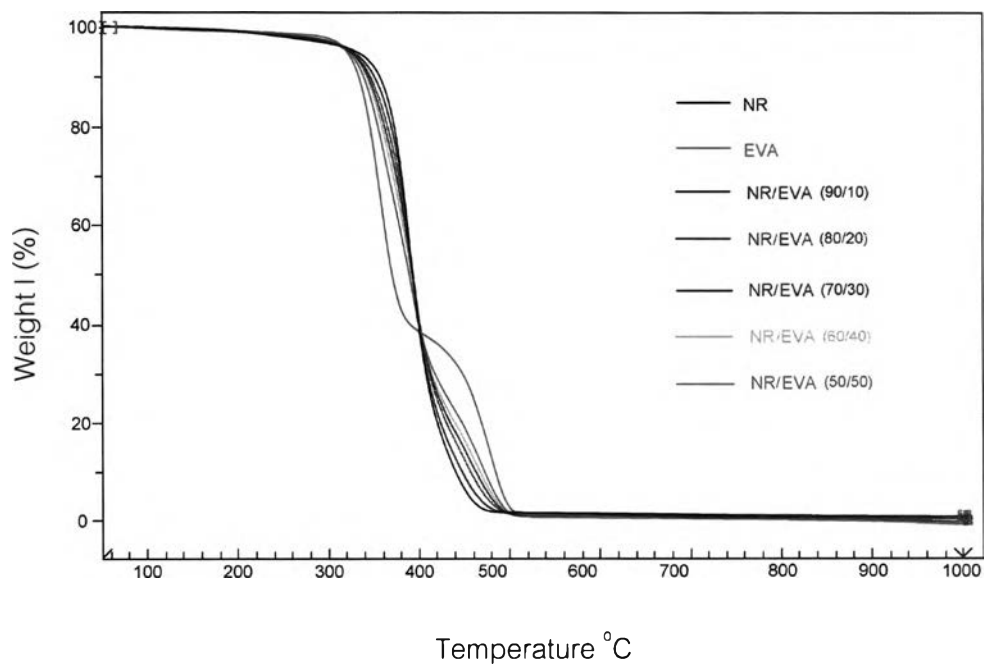
รูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติมีการยืดตัว ณ จุดขาด (%) สูงกว่า EVA มาก และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ที่อัตราส่วน 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด สูงกว่าของยางธรรมชาติเล็กน้อย และมีค่าต่ำกว่าของยางธรรมชาติเล็กน้อยที่อัตราส่วนของ NR/EVA เป็น 50/50 เนื่องจากปริมาณ EVA ที่ค่อนข้างมากนี้ได้ขัดขวางการยืดตัวของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ ชั้นทดสอบยังมีปริมาณยางธรรมชาติน้อยที่สุดอีกด้วย

4.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ด้วยเทคนิค TGA

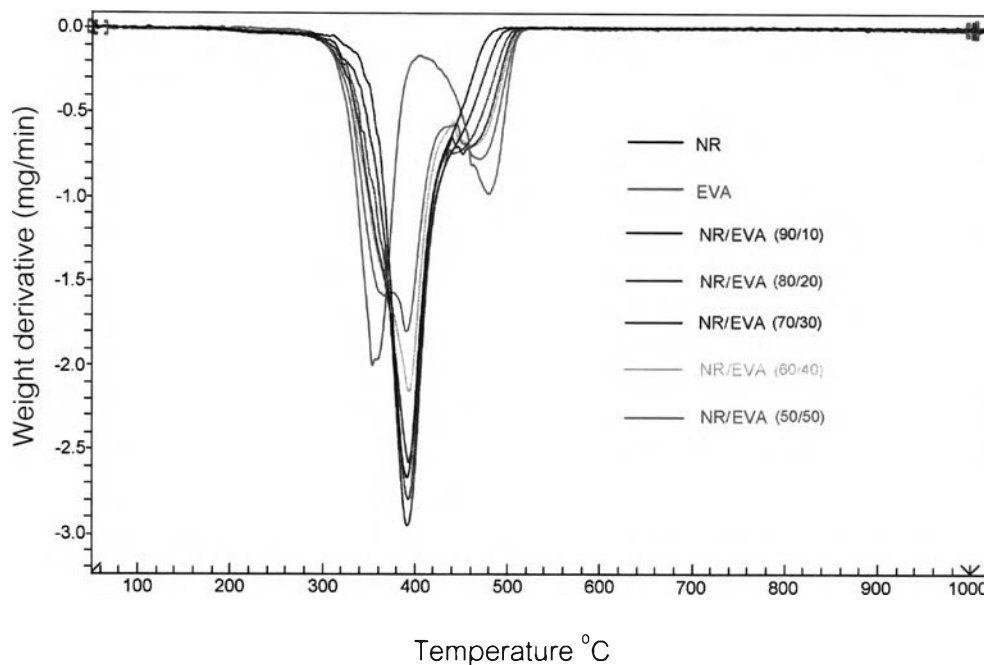
ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว และน้ำหนักที่หายไปของ EVA, NR และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ที่หาได้จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA

สูตร	T _{onset 1} (°C)	T _{onset 2} (°C)	น้ำหนักที่หายไป (1) (%)	น้ำหนักที่หายไป (2) (%)	น้ำหนักที่หายไป (รวม) (%)
EVA	333	450	65	35	100
NR	365	-	-	-	100
90 NR/10 EVA	362	-	-	-	100
80 NR/20 EVA	359	-	-	-	100
70 NR/30 EVA	348	406	70	30	100
60 NR/40 EVA	340	407	75	25	100
50 NR/50 EVA	332	408	73	27	100



รูปที่ 4.14 TGA เทอร์โมแกรมของ NR EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA

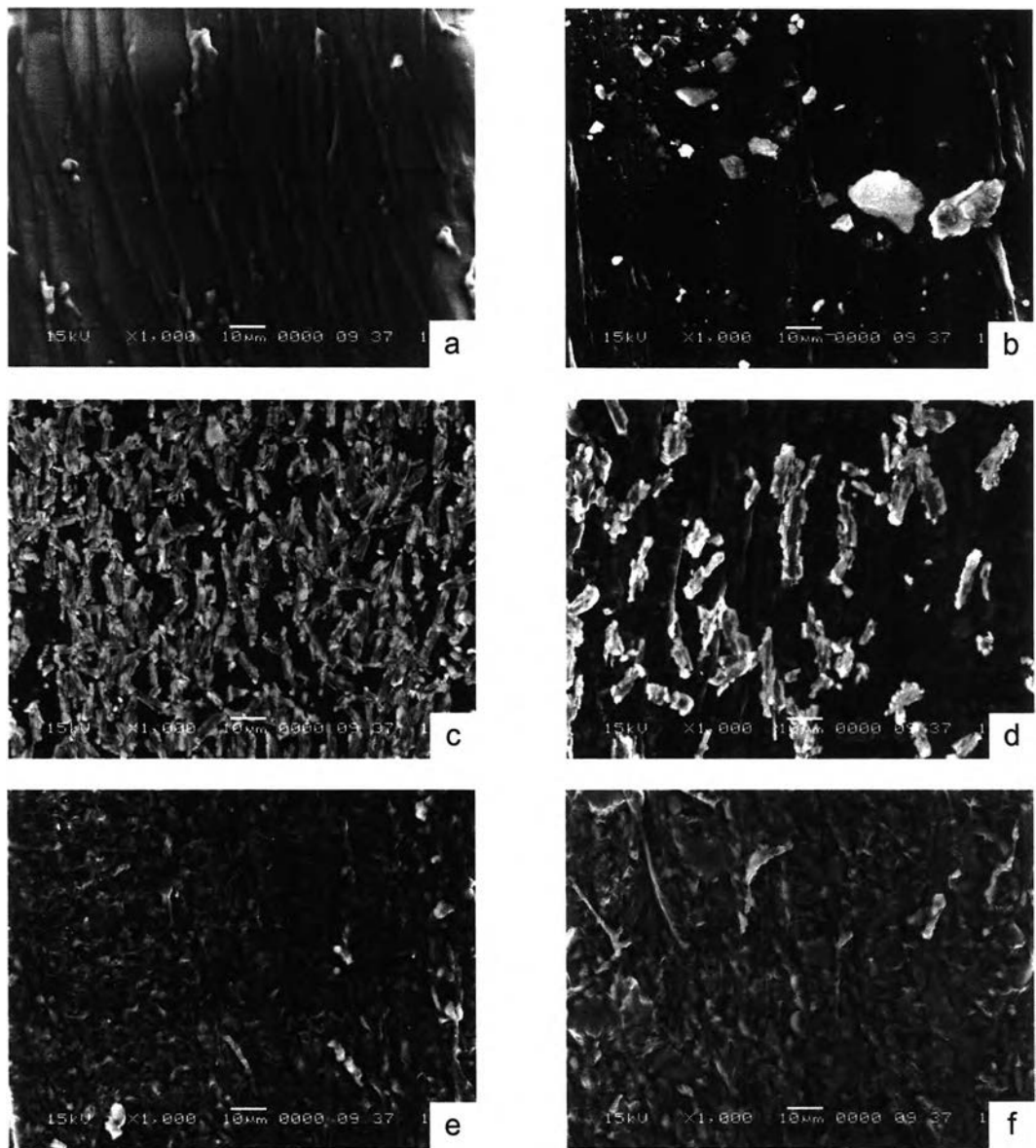


รูปที่ 4.15 DTG เทอร์โมแกรมของ NR EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA

จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ได้ผลสรุปไว้ในตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ที่อัตราส่วน 90/10 และ 80/20 มีอุณหภูมิการสลายตัวชั้นเดียว คือ สลายตัวที่อุณหภูมิ 362 และ 359 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งการสลายตัวในช่วงนี้เกิดจากการสลายตัวของสายไซโมเลกุลของยางธรรมชาติ และหมู่อะซีเตตไนโมเลกุลของ EVA โดยหมู่อะซีเตตสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจึงสลายตัวได้ก่อน และส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ที่อัตราส่วน 90/10 และ 80/20 มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 70/30, 60/40 และ 50/50 มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น โดยชั้นแรกอยู่ในช่วง 310 ถึง 400 องศาเซลเซียส เกิดจากการสลายตัวของหมู่อะซีเตต [19] โดยพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวสลายตัวในชั้นแรกนี้ที่อุณหภูมิ 348, 340 และ 332 ตามลำดับ การสลายตัวชั้นที่สอง เกิดเนื่องจากการสลายตัวของพอลิเอทิลีนไนโมเลกุลของ EVA [19] ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยสลายตัวที่อุณหภูมิ 406, 407 และ 408 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยรวมของพอลิเมอร์ทุกอัตราส่วนมีค่า 100%

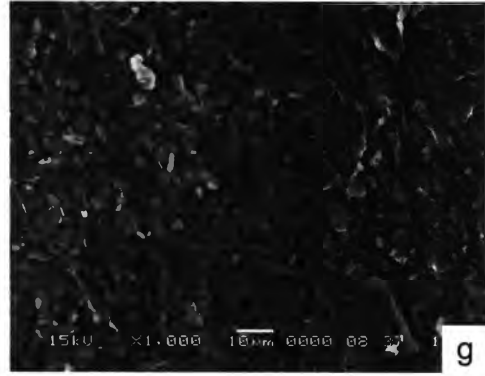
4.3.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ด้วยเทคนิค SEM

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA มีสัณฐานวิทยาแตกต่างกันไปตามปริมาณสัดส่วนของการผสม รูปที่ 4.16 แสดงสัณฐานวิทยาของ NR EVA และพอลิเมอร์ผสม ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 4.16-ก สัณฐานวิทยาของ (a) EVA (b) NR

(c) พอลิเมอร์ผสมของ 90 NR/10 EVA (d) พอลิเมอร์ผสมของ 80 NR/20 EVA
 (e) พอลิเมอร์ผสมของ 70 NR/30 EVA (f) พอลิเมอร์ผสมของ 60 NR/40 EVA



รูปที่ 4.16-ข สัณฐานวิทยาของ (g) พอลิเมอร์ผสมของ 50 NR/50 EVA

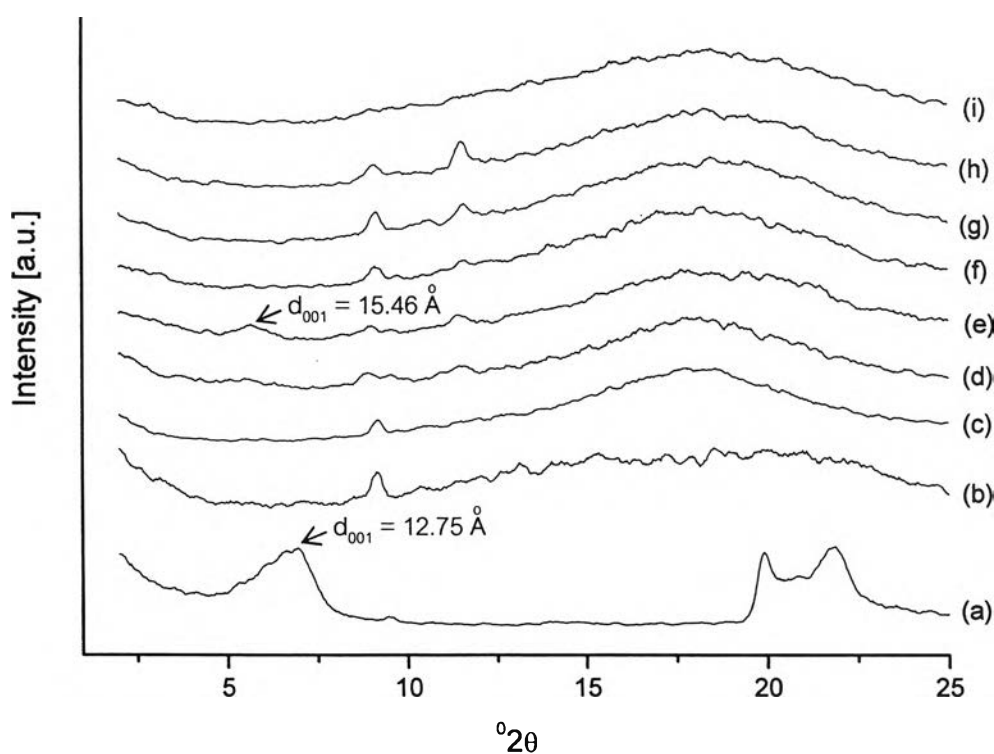
รูปที่ 4.16 (a) แสดงสัณฐานวิทยาของ EVA ที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งใดๆ และรูปที่ 4.16 (b) แสดงสัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติซึ่งผสมสารเติมแต่งที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชัน ดังนั้นจึงเห็นอนุภาคของสารเติมแต่งขนาด 2-20 ไมครอน ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค EDX พบว่าสารเติมแต่งเหล่านี้ประกอบด้วยธาตุ Zn และ S (ผลการตรวจสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ข) ส่วนรูปที่ 4.16 (c) แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 90 NR/10 EVA ซึ่งมีอนุภาคของสารเติมแต่งขนาดประมาณ 3 ไมครอน ที่ประกอบด้วยธาตุ Zn และ S (ตรวจสอบด้วยเทคนิค EDX ในภาคผนวก ข) สำหรับรูปที่ 4.16 (d) แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 80 NR/20 EVA ซึ่งมีอนุภาคของสารเติมแต่งที่ประกอบด้วยธาตุ Zn และ S เช่นเดียวกัน โดยมีขนาดประมาณ 2-8 ไมครอน กระจายอยู่ในพอลิเมอร์ผสม (ตรวจสอบด้วยเทคนิค EDX ในภาคผนวก ข) และรูปที่ 4.16 (e)-(g) แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 70 NR/30 EVA, 60 NR/40 EVA และ 50 NR/50 EVA ตามลำดับ ซึ่งไม่เห็นสารเติมแต่งการกระจายอยู่ในชิ้นงาน และจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค EDX (ภาคผนวก ข) พบว่ามีธาตุ Zn และ S ในปริมาณน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ลดลงตามปริมาณยางธรรมชาติที่ลดลง จึงทำให้สารเติมแต่งกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ผสมโดยไม่จับกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่

4.4 ยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (NR/EVA/MMT nanocomposites)

จากผลการวิเคราะห์การเตรียม NR/MMT นาโนคอมพอสิต (4.1) และการเตรียม EVA/MMT นาโนคอมพอสิต (4.2) สามารถสรุปได้ว่าปริมาณ MMT ที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนคอมพอสิตทั้งสองชนิด คือ 4 phr ซึ่งในการทดลองเตรียม NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ได้ใช้ MMT ปริมาณ 4 phr และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ NR และ EVA โดยผลการทดลองมีดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.17 แสดง X-ray pattern ของ MMT, EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่เตรียมได้ และตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของ MMT, EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.17 X-ray pattern ของ (a) MMT (b) EVA (c) NR

(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/0 EVA/4 MMT (e) นาโนคอมพอสิตของ 90 NR/10 EVA/4 MMT
 (f) นาโนคอมพอสิตของ 80 NR/20 EVA/4 MMT (g) นาโนคอมพอสิตของ 70 NR/30 EVA/4 MMT
 (h) นาโนคอมพอสิตของ 60 NR/40 EVA/4 MMT (i) นาโนคอมพอสิตของ 50 NR/50 EVA/4 MMT

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	2θ ($^{\circ}$)	d_{001} ของ MMT (\AA)	ลักษณะของนาโนคอมพอสิต
MMT	6.92	12.75	-
NR	-	-	-
EVA	-	-	-
100 NR/0 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated
90 NR/10 EVA/4 MMT	5.71	15.46	Intercalated
80 NR/20 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated
70 NR/30 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated
60 NR/40 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated
50 NR/50 EVA/4 MMT	-	-	Exfoliated

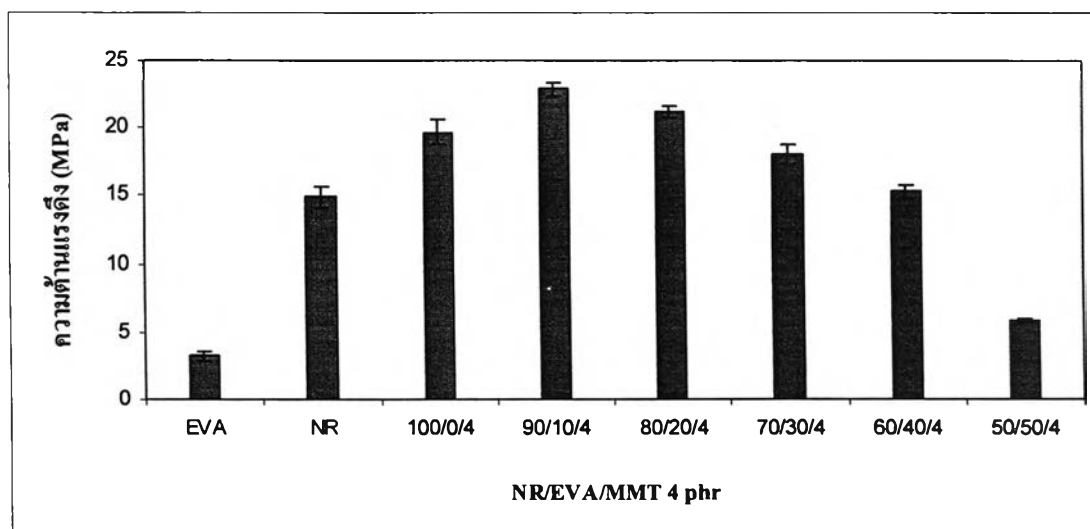
จากรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.9 แสดงพีคโครงสร้างของ MMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 6.92 และ d_{001} เท่ากับ 12.75 \AA แต่ของ NR และ EVA ไม่ปรากฏพีคให้เห็น สำหรับ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่อัตราส่วน 90/10/4 แสดงพีคของระนาบ 001 ของ MMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 5.71 (d_{001} เท่ากับ 15.46 \AA) ดังนั้น จึงมีลักษณะโครงสร้างเป็น intercalated สำหรับนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจาก NR/EVA/MMT ที่อัตราส่วน 100/0/4, 80/20/4, 70/30/4, 60/40/4 และ 50/50/4 มีลักษณะโครงสร้างเป็น exfoliated แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณอีวีเอในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น สายโซ่โมเลกุลของอีวีเอจะสามารถแทรกเข้าไประหว่างชั้นของ MMT และทำให้โครงสร้างที่เป็นชั้นแตกออก และทำให้ MMT กระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

4.4.2 สมบัติด้านแรงดึงของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

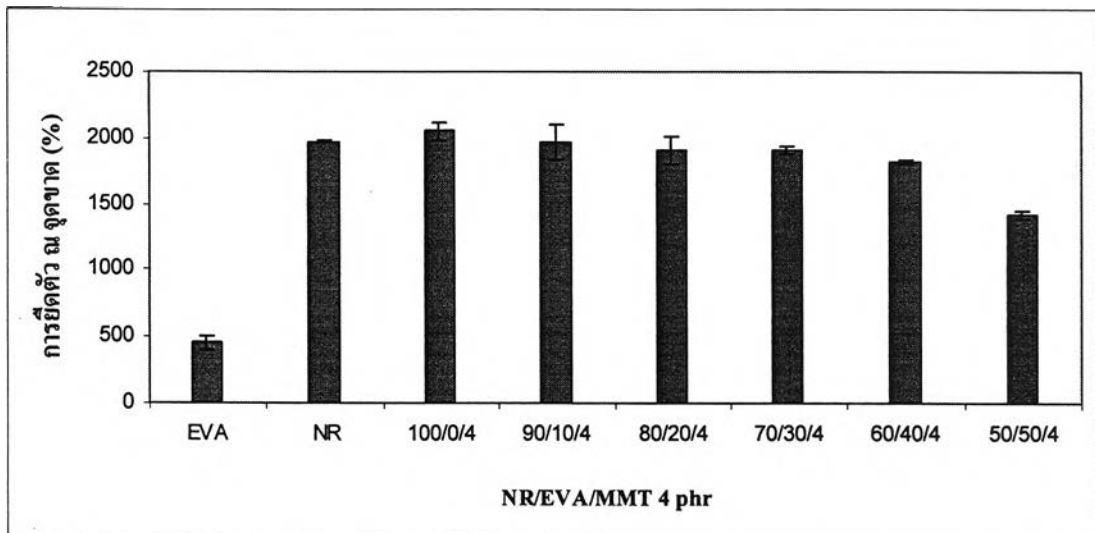
รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงค่าความต้านแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของยางธรรมชาติ EVA และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต และตารางที่ 4.10 แสดงทั้งค่าความต้านแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด (%)

ตารางที่ 4.10 สมบัติด้านแรงดึงของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
EVA	3.2	452
NR	15	1970
100 NR/0 EVA/4 MMT	19.6	2050
90 NR/10 EVA/4 MMT	23	1970
80 NR/20 EVA/4 MMT	21	1903
70 NR/30 EVA/4 MMT	18	1913
60 NR/40 EVA/4 MMT	15	1820
50 NR/50 EVA/4 MMT	5.8	1419



รูปที่ 4.18 ความต้านแรงดึงของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

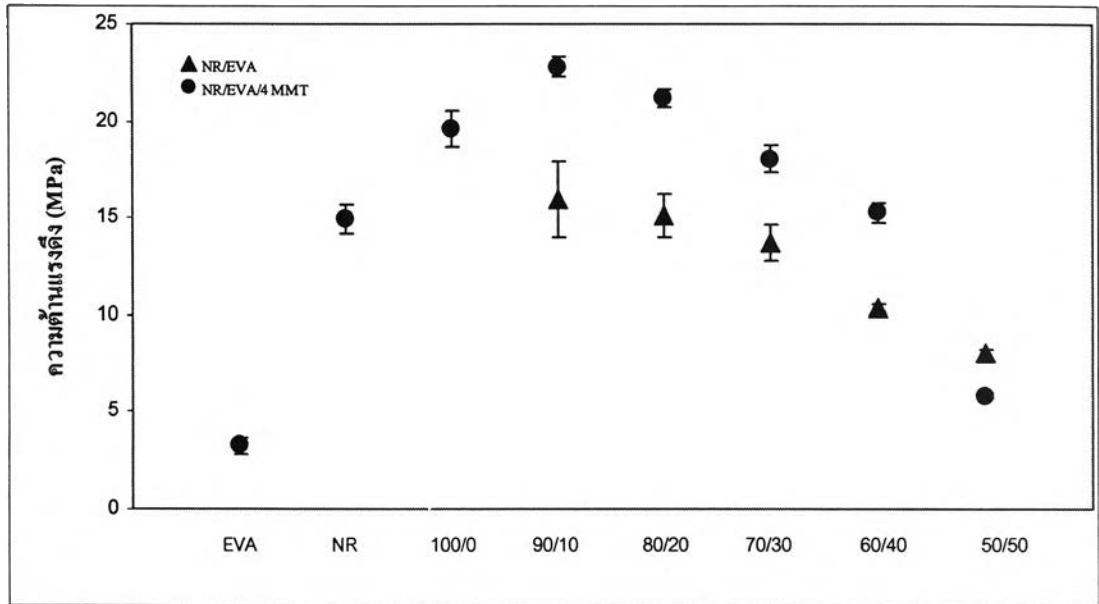


รูปที่ 4.19 การยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

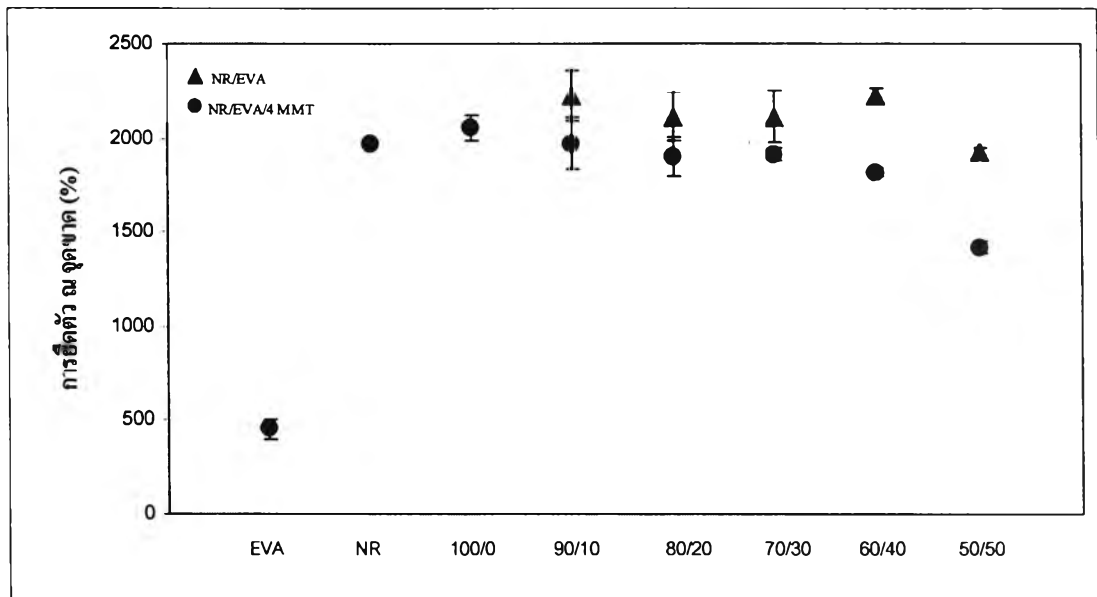
รูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่มีอัตราส่วน 90/10/4 มีค่าความต้านแรงดึงสูงที่สุด และมีค่าสูงกว่าทั้ง EVA และยางธรรมชาติ รวมทั้งสูงกว่านาโนคอมพอสิตระหว่าง NR/MMT และ EVA/MMT ทุกอัตราส่วน นอกจากนี้ พบว่า NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตที่มีอัตราส่วน 80/20/4 และ 70/30/4 ยังมีความต้านแรงดึงค่อนข้างสูง และสูงกว่าของยางธรรมชาติ เนื่องจาก MMT สามารถเข้าไปเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ผสมในระดับนาโน แต่เมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในอัตราส่วน 60/40/4 และ 50/50/4 ความต้านแรงดึงมีค่าใกล้เคียงและต่ำกว่าของยางธรรมชาติ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและ EVA เริ่มลดลง ซึ่งอาจยืนยันได้จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค SEM

รูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า 100NR/4MMT นาโนคอมพอสิต มีการยืดตัว ณ จุดขาด (%) มากที่สุด รองลงมา คือ ยางธรรมชาติ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับนาโนคอมพอสิตของ NR/EVA/MMT ที่มีอัตราส่วน 90/10/4 และมีค่าค่อยๆ ลดลงเมื่อปริมาณ EVA ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น เนื่องจาก EVA ไปขัดขวางการยืดตัวของนาโนคอมพอสิต นอกจากนี้ ชั้นทดสอบยังมีปริมาณยางธรรมชาติที่ยืดตัวได้มากลดน้อยลงอีกด้วย





รูปที่ 4.20 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA และ NR/EVA/MMT
นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.21 การยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA และ NR/EVA/MMT
นาโนคอมพอสิต

เมื่อพิจารณาผลของความสามารถในการต้านแรงดึงระหว่างพอลิเมอร์ผสมของ NR/EVA (ตารางที่ 4.7) และนาโนคอมพอสิตของ NR/EVA/MMT (ตารางที่ 4.10) สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างให้เห็นได้ดังรูปที่ 4.20 โดยพบว่า นาโนคอมพอสิตของ NR/EVA/4MMT

ที่อัตราส่วน 90/10/4, 80/20/4, 70/30/4 และ 60/40/4 จะให้ค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมของ NR/EVA โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้น 43.07%, 40.01%, 31.12% และ 47.25% ตามลำดับ ยกเว้นนาโนคอมพอสิตสูตร 50/50 ที่มีค่าความต้านแรงดึงต่ำลง เนื่องจากความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของนาโนคอมพอสิตเกิดได้ไม่ดี ซึ่งเป็นผลมาจากความหนืดของระบบที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าดังกล่าวต่ำลง

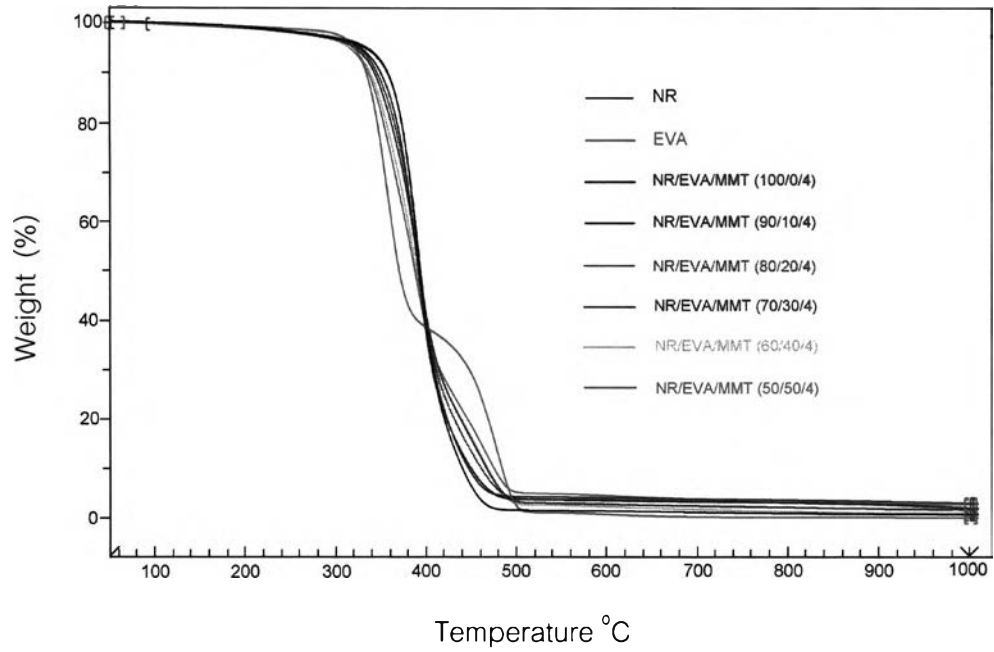
จากตารางที่ 4.7 และ 4.10 สามารถนำมาเปรียบเทียบการยืดตัว ณ จุดขาด (%) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA และนาโนคอมพอสิตของ NR/EVA/MMT ได้ดังรูปที่ 4.21 โดยจะเห็นว่านาโนคอมพอสิตทุกสูตรจะมีค่าการยืดตัวต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่ MMT สามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ เมื่อมีการดึงยืดจากการทดสอบ MMT จึงไปขัดขวางการยืดตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตทำให้การยืดตัวต่ำลง

4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

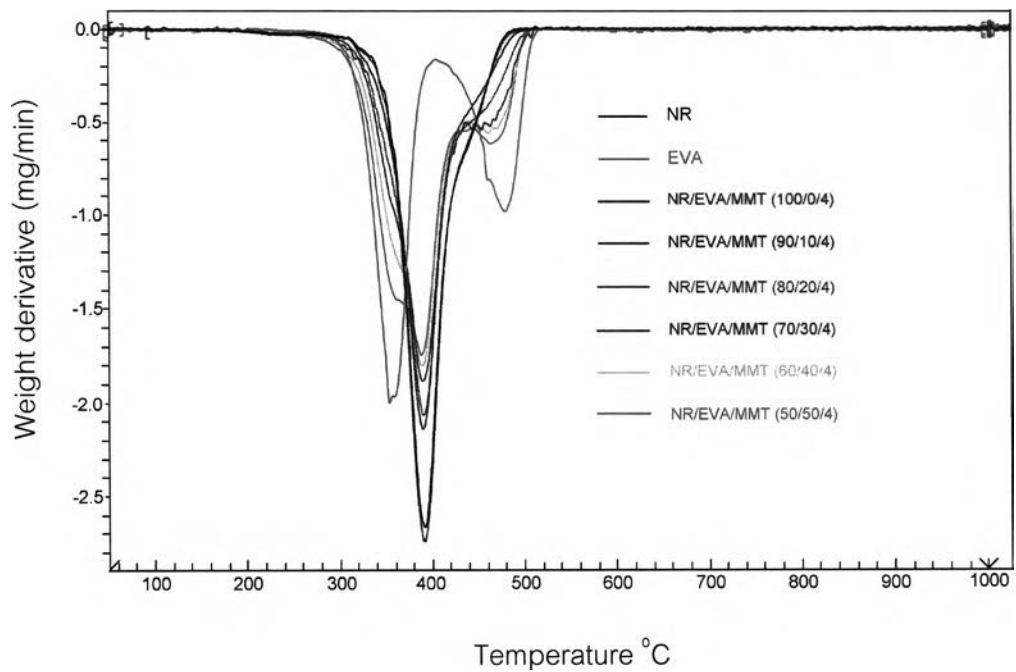
ตารางที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว และน้ำหนักที่หายไปของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่หาได้จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

สูตร	T _{onset 1} (°C)	T _{onset 2} (°C)	น้ำหนักที่หายไป (1) (%)	น้ำหนักที่หายไป (2) (%)	น้ำหนักที่หายไป (รวม) (%)
EVA	333	450	65	35	100
NR	365	-	-	-	99
100 NR/0 EVA/4 MMT	366	-	-	-	97
90 NR/10 EVA/4 MMT	362	-	-	-	98
80 NR/20 EVA/4 MMT	359	-	-	-	98
70 NR/30 EVA/4 MMT	350	405	64	34	98
60 NR/40 EVA/4 MMT	342	405	69	30	99
50NR/50 EVA/4 MMT	334	405	68	29	97



รูปที่ 4.22 TGA เทอร์โมแกรมของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต



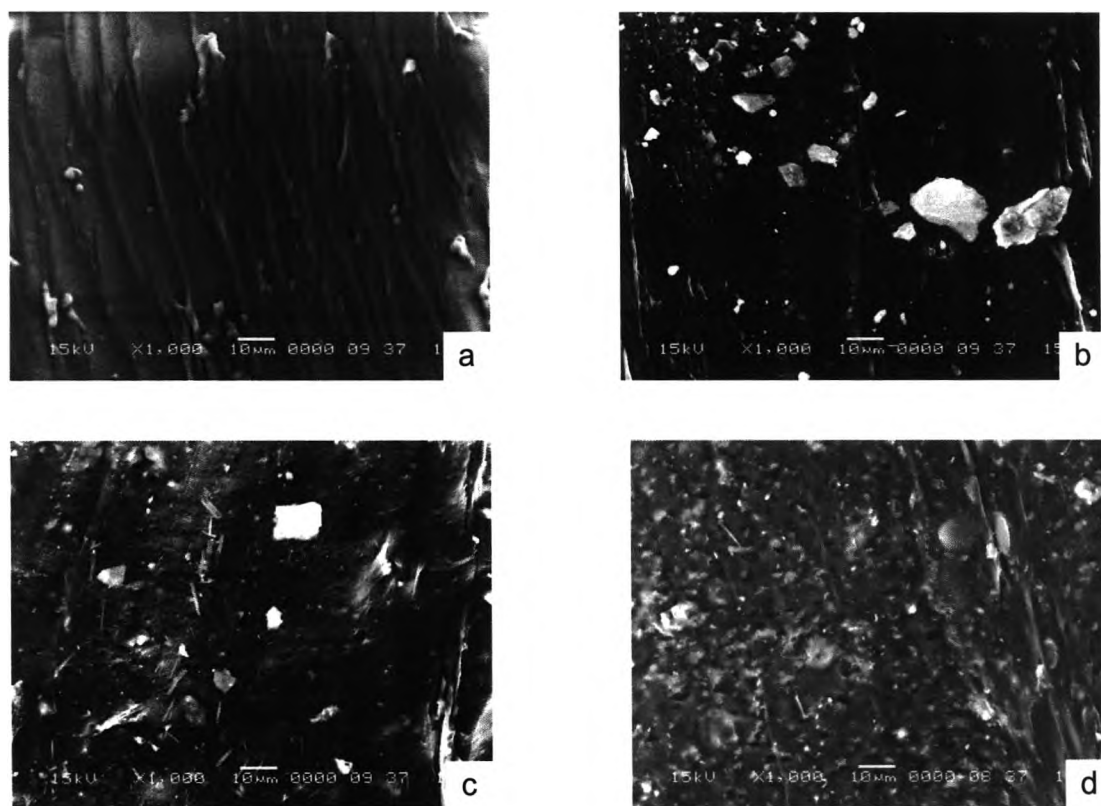
รูปที่ 4.23 DTG เทอร์โมแกรมของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต

จาก TGA และ DTG เทอร์โมแกรม ได้ผลสรุปไว้ในตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นาโนคอมพอสิตระหว่าง NR/EVA/MMT ที่มีอัตราส่วน 100/0/4, 90/10/4 และ 80/20/4 มีอุณหภูมิ การสลายตัวขั้นเดียว คือ สลายตัวที่อุณหภูมิ 366, 362 และ 359 ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิ

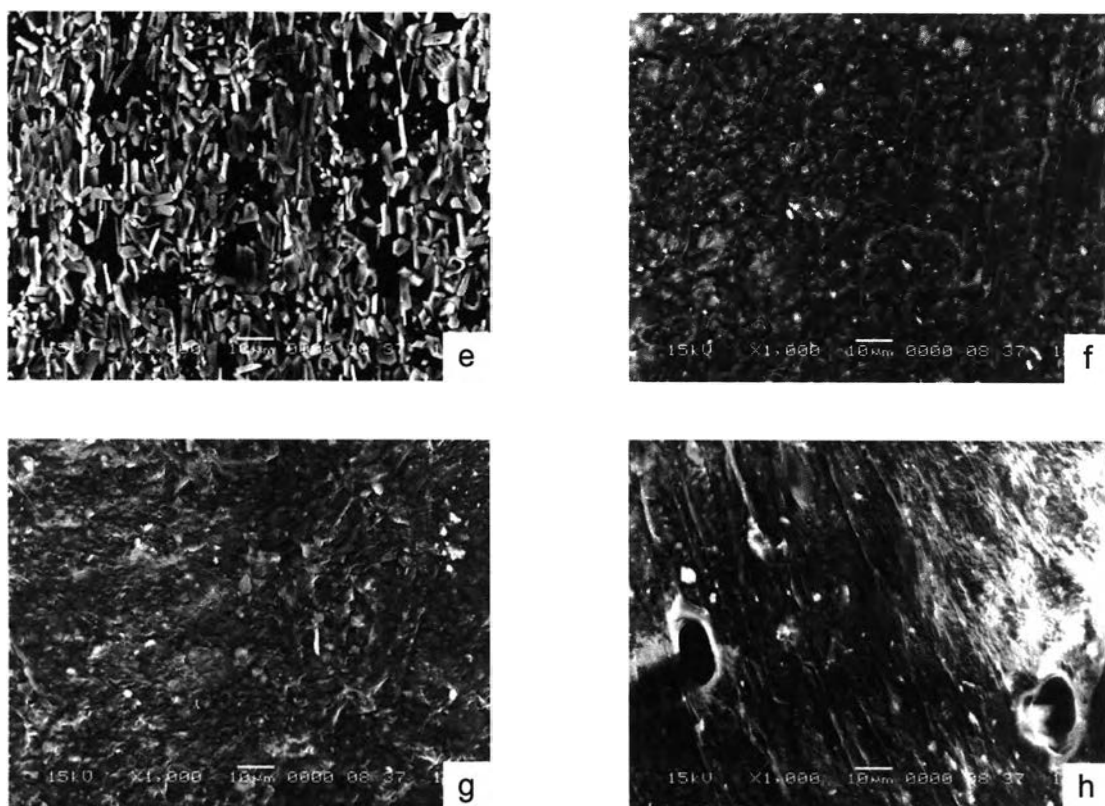
การสลายตัวใกล้เคียงกับของยางธรรมชาติ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มขึ้น เพราะการสลายตัวเกิดที่หมู่เอซีเตต ซึ่งสลายตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับนาโนคอมพอสิตที่มีอัตราส่วน 70/30/4, 60/40/4 และ 50/50/4 มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น โดยชั้นแรกมีอุณหภูมิการสลายตัวที่อุณหภูมิ 350,342 และ 334 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการสลายตัวของหมู่เอซีเตตในโมเลกุลของ EVA โดยอุณหภูมิการสลายตัวลดลงตามปริมาณ EVA ที่เพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวชั้นที่สอง เกิดจากการสลายตัวของพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นสายโซ่หลักในโมเลกุลของ EVA โดยจะสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 405 องศาเซลเซียส ทุกอัตราส่วน นอกจากนี้ ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปรวมของนาโนคอมพอสิตมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก

4.4.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค SEM

รูปที่ 4.24 แสดงสัณฐานวิทยาของ EVA NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 4.24-ก สัณฐานวิทยาของ (a) EVA (b) NR
(c) 100 NR/0 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต
(d) 90 NR/10 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต



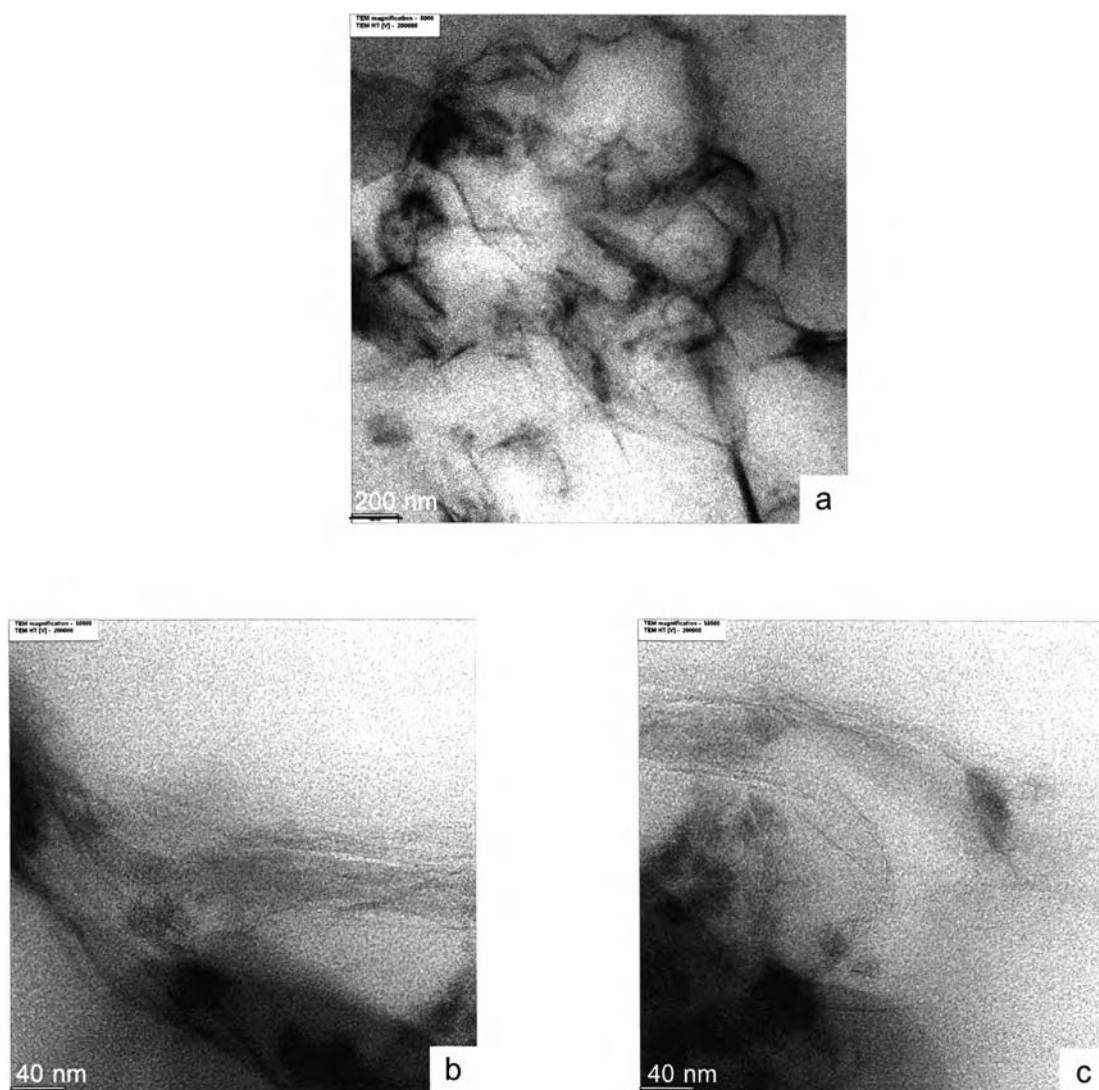
รูปที่ 4.24-ข (e) 80 NR/20 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต
 (f) 70 NR/30 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต
 (g) 60 NR/40 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต
 (h) 50 NR/50 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต

จากรูปที่ 4.24 (a) แสดงสัณฐานวิทยาของ EVA ที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง และรูปที่ 4.24 (b) แสดงสัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติซึ่งผสมสารเติมแต่งที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง ดังนั้น จึงเห็นอนุภาคของสารเติมแต่งที่มี Zn (มาจาก ZnO) และ S (มาจากสารวัลคาไนซ์ และสารเร่งวัลคาไนซ์) ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว รูปที่ 4.24 (c) แสดงสัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอสิตระหว่าง NR/MMT ที่ไม่ได้ใส่ EVA จึงยังมองเห็นอนุภาคของสารเติมแต่งที่มีธาตุ Zn และ S เป็นองค์ประกอบ ได้เช่นเดียวกัน ส่วนรูปที่ 4.24 (d) แสดงให้เห็นว่าสารเติมแต่งกระจายตัวได้ดีในนาโนคอมพอสิตและไม่เกิดการจับกันเป็นก้อน เนื่องจากมีปริมาณสารเติมแต่งในชิ้นงานน้อยลง และรูปที่ 4.24 (e) พบว่าปรากฏอนุภาคขนาด 2-8 ไมครอน ซึ่งจากการตรวจสอบด้วย EDX พบว่าเป็นอะตอมของธาตุ S และ Zn (ภาคผนวก ข) ส่วนรูปที่ 4.24 (f) และ (g) แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและ EVA ลดน้อยลง และเห็นสารเติมแต่งจับตัวเป็นก้อนน้อยลง เนื่องจากปริมาณสารเติมแต่งลดลงตามปริมาณยางในนาโนคอมพอสิตที่ลดลง จึงทำให้

กระจายตัวและจับกันเป็นก้อนน้อยลง และรูปที่ 4.24 (h) แสดงความบกพร่องในชิ้นงานมากขึ้น เพราะระบบมีความหนืดสูงมากในขณะทำการผสม จึงทำให้ความเข้ากันได้ลดลง

4.4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TEM

รูปที่ 4.25 แสดงสัณฐานวิทยาของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต ซึ่งมีอัตราส่วนผสมเป็น 90/10/4 ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค TEM โดยพิจารณาภาพรวมของชิ้นงานที่กำลังขยาย 8,000 เท่า และพิจารณาลักษณะโครงสร้างของ MMT ที่เกิดขึ้นที่กำลังขยาย 50,000



รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยา 90 NR/10 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต

- (a) กำลังขยาย 8000 เท่า (ภาพรวม), (b) กำลังขยาย 50,000 เท่า (intercalated) และ (c) กำลังขยาย 50,000 เท่า (exfoliated)

จากการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TEM ดังรูปที่ 4.25 (a) แสดงให้เห็นว่า 90 NR/10 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต มีสัณฐานวิทยาแบบผสม คือ มีทั้งแบบ intercalated [รูป (b)] และแบบ exfoliated [รูป (c)] กระจายอยู่ในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต โดยในรูป (b) แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างชั้นผลึกห่างออกจากกัน โดยมีระยะห่างระหว่างชั้นของ MMT ประมาณ 1.6 นาโนเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเข้าไปสอดแทรกระหว่างชั้นของ MMT ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ที่บ่งบอกว่าเกิดโครงสร้างแบบ intercalated และนอกจากนี้ ยังสามารถเกิดโครงสร้างแบบ exfoliated ดังรูปที่ 4.25 (c) โดย MMT บางส่วนจะแตกแยกชั้นกระจายตัวปะปนอยู่ในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต