

สมบัติทางกล และสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

อไพพรรณ รัตนพันธ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวม ทำการผสมด้วยเครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกล จากการศึกษพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงกระแทกและค่าความแข็งของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และพบว่าสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีค่าสูงกว่าเมื่อผสมด้วยผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว การศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาพบว่าพลาสติก PLA กับผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสามารถผสมกันได้ดีกว่าพลาสติก PLA กับผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

คำสำคัญ : พลาสติก PLA, นาโนเคลย์, สมบัติทางกล, สัณฐานวิทยา

Mechanical Properties and Morphology of PLA Filled with Nanoclay

Apaipan Rattanapan

Abstract

This research was to study the mechanical properties and morphology of Poly lactic acid (PLA) filled with varying amount of nanoclay at 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 (% wt), respectively. Mixing and shaping procedures of the PLA/nanoclay specimen were carried out by single screw extrusion and injection moulding, respectively. Mechanical properties of the PLA/nanoclay composites were investigated. As a result, the effect of percentage of the nanoclay showed that the tensile strength and elongation at break of the PLA filled with nanoclay tended to decrease with the increasing amount of nanoclay, whereas impact strength and hardness of the PLA filled with the nanoclay particles seemed to be increased when the content of nanoclay increased. Besides, the mechanical properties of the PLA filled with treated nanoclay became higher than those of PLA filled with untreated nanoclay. The morphology of the PLA/nanoclay composites indicated that PLA filled with treated nanoclay would be better in mixing than those mixed with untreated nanoclay.

Keywords : PLA, Nanoclay, Mechanical properties, Morphology

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้พลาสติกสังเคราะห์อย่างพลาสติก PLA (Polylactic Acid) ได้เป็นพลาสติกที่น่าสนใจในวงการวิทยาศาสตร์มากขึ้นทั้งนี้เพราะเป็นพลาสติกที่ใช่แปงเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต และแปงที่ใช้นี้มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable Resources) เช่น แปงข้าวโพด แปงมันสำปะหลัง อีกทั้งเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยสามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน ทำให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ต่างกับการผลิตพลาสติกชนิดอื่นๆที่ใช่ปิโตรเลียมในการผลิตซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่เพื่อทดแทนได้และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการนำพลาสติก PLA นี้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เช่นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ แผ่นฟิล์มสำหรับใช้ในเกษตรกรรม หรือวัสดุทางการแพทย์ แต่อย่างไรก็ตามพลาสติก PLA ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเช่น สมบัติ ทางกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊ส [1,2] ซึ่งได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติก PLA ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นเพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้งาน เช่นในปี 2003 K.Oksman, M.Skrifvar และ J-F. Selin [3] ได้ทำการเสริมแรงพลาสติก PLA ด้วยเส้นใยจากธรรมชาติโดยเลือกเสริมแรงจากเส้นใยต้นปอ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความต้านทานแรงกระแทก ในปี 2008 B.Bax และ J.Mussig [4] ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติที่ทำการเสริมแรงด้วยเส้นใยเรยอนและผสมเส้นใยจากต้นปอ พบว่าพลาสติก PLA ผสมเส้นใยเรยอนมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้

นอกจากนี้ได้มีงานวิจัยที่ได้มีการนำพลาสติก PLA มาปรับปรุงสมบัติโดยการใส่สารตัวเติมอย่างนาโนเคลย์ ดังตัวอย่างงานวิจัยในปี 2009 E. Nieddu และคณะ[5] ได้ทำการเตรียม และศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ PLA/Clay Composites เพื่อการนำไปใช้งานในทางการแพทย์ โดยการนำ

พลาสติก PLA มาเติมนาโนเคลย์ 5 และ 10 % ผลที่ได้พบว่าสามารถได้พลาสติกที่มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น และนาโนเคลย์สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายได้ ในปีเดียวกันนี้ K.Fukushima และคณะ[6] ได้ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PLA และพลาสติก PLA ผสมนาโนเคลย์ที่ปรับปรุงผิว 5 % w/w พบว่าการเติมนาโนเคลย์สามารถช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายได้มากขึ้น และในปี 2007 L. Jiang, J.Zhang และ M.C.Wolcott [7] ได้ทำการเสริมแรงพลาสติก PLA ด้วย Nano-size Calcium Carbonate และ Montmorillonite Clay ในปริมาณ 2.5, 5 และ 7.5 wt% ซึ่งพบว่าการเสริมแรงด้วย Nano-size Calcium Carbonate ส่งผลให้ค่าความสามารถในการยึดดึงที่ดีกว่า Montmorillonite Clay ขณะที่การเติม Montmorillonite Clay ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่า

ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ได้มุ่งสนใจในการพัฒนาพลาสติก PLA โดยการใส่สารตัวเติมเป็นอนุภาคนาโนเคลย์ ทั้งนี้เพราะนาโนเคลย์สามารถช่วยเพิ่มสมบัติทางกลและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีขึ้น นอกจากนี้เคลย์ยังเป็นสารตัวเติมที่มีความปลอดภัยในการนำไปใช้กับอาหาร เครื่องสำอางค์ หรืออุปกรณ์ทางการแพทย์อีกด้วย อีกทั้งถ้าใช้เคลย์ที่มีอนุภาคระดับนาโนก็จะยังสามารถเพิ่มสมบัติทางกลให้กับพลาสติก PLA ได้ดียิ่งขึ้น [1,2] ในงานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดในการนำพลาสติก PLA มาเพิ่มสมบัติทางกลโดยการเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในอัตราส่วนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยใช้ปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ตั้งแต่ 5-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษา 2 ตัวแปร นั่นคือเปอร์เซ็นต์ของนาโนเคลย์ที่เติมลงไป และผลของการปรับปรุงพื้นผิว (Surface Treatment) ของนาโนเคลย์ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (Untreated) และผ่านการปรับปรุงผิว (Treated) (2) เพื่อศึกษาถึงปริมาณของผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่เติมลงไป ในพลาสติก PLA ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของพลาสติก และ (3) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และผ่านการปรับปรุงผิวเพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของนาโนเคลย์

3. วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุ

ในการศึกษานี้ใช้เม็ดพลาสติก PLA เกรด 2002D จากบริษัท Natureworks จำกัด และผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่มีความละเอียดต่ำกว่า 2 ไมครอน จากบริษัท พอลิเมอร์ อิน โนวชัน จำกัด ซึ่งมี 2 เกรด คือผงอนุภาคนาโนเคลย์ผ่านการปรับปรุงผิว เกรด Siclay 2 และผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว เกรด FH 100

3.2 การผสมพลาสติก PLA กับนาโนเคลย์

เตรียมเม็ดพลาสติก PLA และผงอนุภาคนาโนเคลย์โดยการนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น แล้วผสมพลาสติก PLA กับผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและผ่านการปรับปรุงผิวในอัตราส่วน 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวม ด้วยเครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว นำพลาสติกที่ได้จากการผสมข้างต้นมาชั่งด้วยเครื่องชั่งพลาสติก หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติก

3.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ISO 8256 (3) ทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ISO 180 (1) และทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D 2240

3.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุ

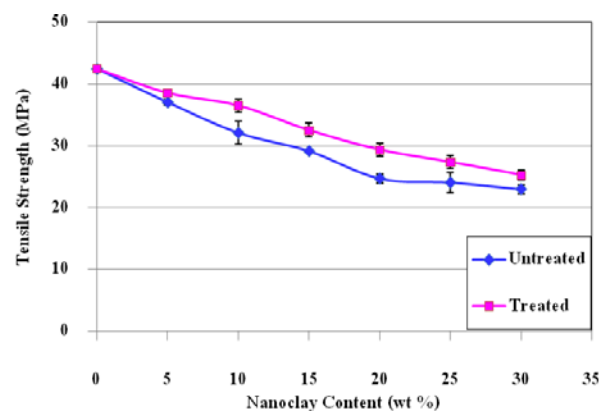
โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงในอัตราส่วน 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวม มาทำการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้สัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron)

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและผ่านการปรับปรุงผิว

4.1.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

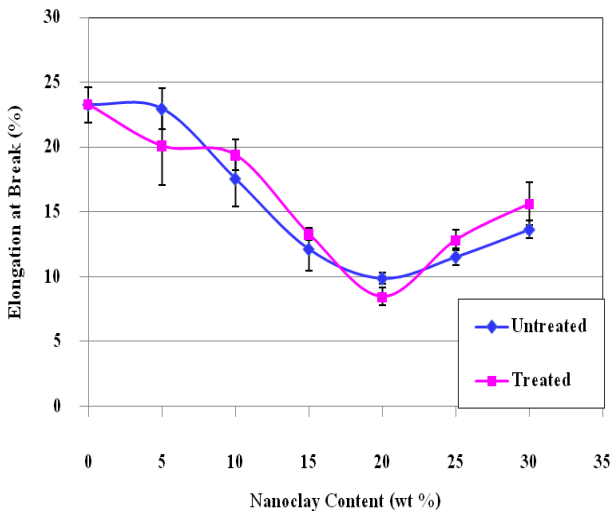
พบว่าเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์มากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงจะค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในขั้นตอนการผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์กับพลาสติก PLA ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องผสมเป็นเครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ซึ่งทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างการผสมน้อย ส่งผลให้ผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่เติมลงไปนั้นมีการแตกตัว (Dispersion) ที่ไม่ดีทำให้มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวของพอลิเมอร์เข้าไปในชั้นของอนุภาคนาโนเคลย์เกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้จากการแตกตัวของนาโนเคลย์ที่ไม่ดีดังกล่าวก็ส่งผลให้การยึดติดระหว่างผิวของนาโนเคลย์กับ พลาสติกเกิดได้ไม่ดีด้วย จึงส่งผลให้สมบัติทางกลด้านการทนต่อแรงดึงลดลง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

4.1.2 ผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด

รูปที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณต่างๆ พบว่าเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์มากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด มีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะพลาสติกที่ไม่ได้เติมสาร ตัวเติมเมื่อได้รับแรงดึง สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกที่มีการพันกันอยู่ ก็จะสามารถยึดได้เต็มที่จนถึงจุดขาด แต่เมื่อทำการผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ลงไป ในพลาสติก สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกได้เข้าไปแทรกในระหว่างชั้นของผงอนุภาคนาโนเคลย์ ทำให้ผงอนุภาคนาโนเคลย์ไปขัดขวางการเคลื่อนไหวของสายโซ่พลาสติก อีกทั้งเมื่อเพิ่มปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ จะทำให้สัดส่วนที่เป็นพลาสติกลดลง ส่งผลให้พลาสติกมีความสามารถในการยึดตัวลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวกับผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดจะลดลงเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น

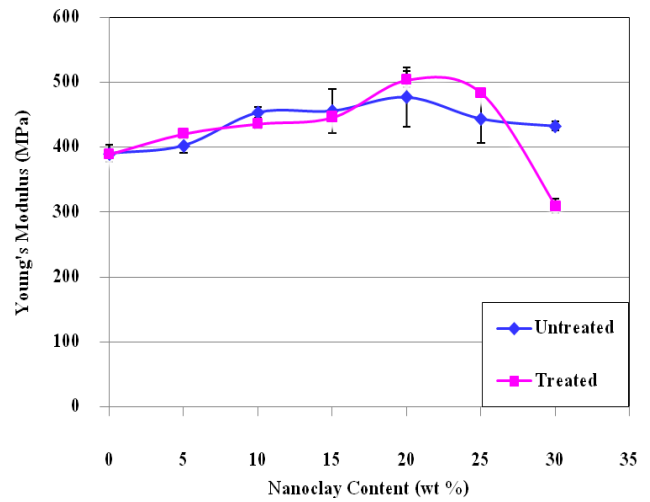


รูปที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

4.1.3 ผลการทดสอบค่ายังสัมมอดูลัส

จากผลการทดสอบค่ายังสัมมอดูลัสพบว่าเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์มากขึ้น ค่ายังสัมมอดูลัสจะสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะ

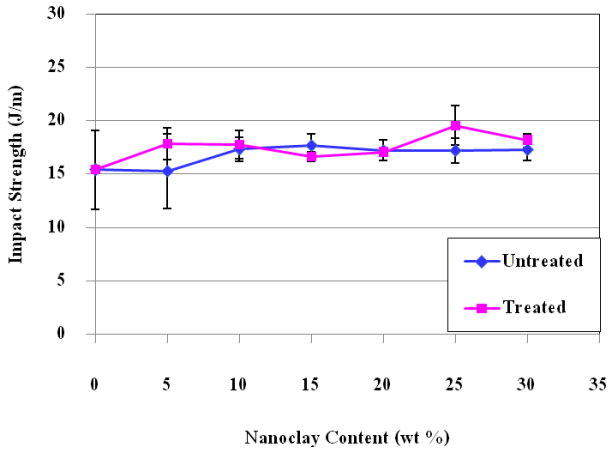
สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสามารถแทรกตัวในชั้นนาโนเคลย์ที่มีการแตกตัว และเกิดการยึดติดระหว่างเฟสพลาสติก PLA และชั้นนาโนเคลย์มากขึ้น ทำให้เมื่อพลาสติกได้รับแรงดึง ผงอนุภาคนาโนเคลย์จะช่วยให้การรับแรง ส่งผลให้พลาสติกมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากขึ้น ค่ายังสัมมอดูลัสจึงมีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงค่ายังสัมมอดูลัสของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

4.1.4 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก

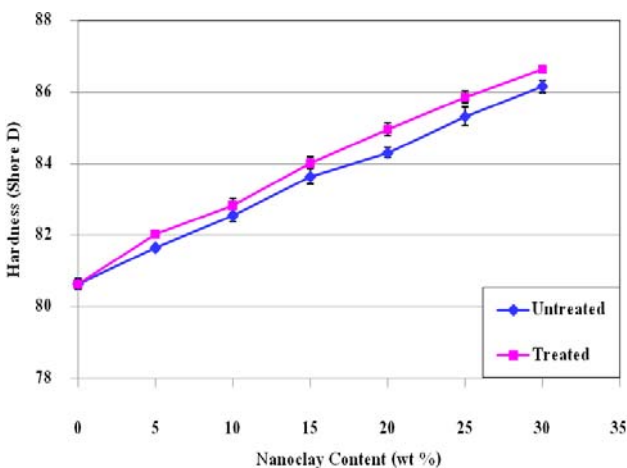
เมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์มากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อผงอนุภาคนาโนเคลย์เกิดการแตกตัวและสายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสามารถเข้าไปแทรกตัวในชั้นนาโนเคลย์แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างโมเลกุลที่เป็นแบบอสัณฐานของพลาสติก PLA ที่มีสมบัติค่อนข้างเปราะรับแรงกระแทกได้น้อย ให้เป็นพลาสติกที่สามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น โดยผงอนุภาคนาโนเคลย์จะช่วยให้การดูดซับแรงที่มากกระแทกส่งผลให้พลาสติกมีความต้านทานต่อการกระแทกได้มากขึ้นดังแสดงรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพลาสติก PLAผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

4.1.5 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

รูปที่ 5 แสดงค่าความแข็งของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์มากขึ้น ค่าความแข็งจะสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ลงในพลาสติก ผงอนุภาคนาโนเคลย์จะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติก โดยผงอนุภาคนาโนเคลย์ดังกล่าวจัดเป็นวัสดุประเภทเซรามิกที่มีค่าความแข็งมากกว่าพลาสติก ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ลงในพลาสติก จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์



รูปที่ 5 แสดงค่าความแข็งของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์

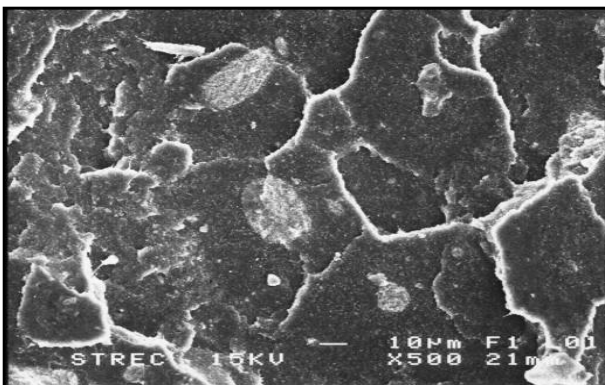
และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลไม่ว่าจะเป็นค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ค่ายังสัมมอดูลัส ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก และค่าความแข็ง (ดังรูปที่ 1-รูปที่ 5) ของพลาสติก PLA ที่มีการเติมผงอนุภาค นาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวกับที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) พบว่าแนวโน้มจะไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือพลาสติกที่เติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลนมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า ทั้งนี้เพราะไซเลนเป็นสารคู่ควบปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างสารอินทรีย์อย่าง นาโนเคลย์และพลาสติก PLA ที่เป็นสารอินทรีย์ โดยสามารถเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวระหว่างเฟสของชั้นนาโนเคลย์กับพลาสติก PLA ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเฟสของโมเลกุลมากขึ้นและสารคู่ควบปฏิกิริยายังสามารถช่วยในการแตกตัว (Dispersion) ของอนุภาคสารตัวเติมได้ [8] ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เมื่อปรับปรุงผิวผงอนุภาคนาโนเคลย์ด้วยไซเลนแล้วจะสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของผงอนุภาคนาโนเคลย์ โอกาสที่พลาสติกจะแทรกตัวในชั้นของนาโนเคลย์สูงขึ้น และเกิดแรงยึดติดที่ผิวระหว่างพลาสติกและผงอนุภาคนาโนเคลย์ได้ดี ส่งผลให้สามารถเพิ่มสมบัติทางกลได้

ในการนำพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ไปใช้เป็นวัสดุในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ต้องการคุณสมบัติแตกต่างกันนั้น สามารถนำผลจากการทดสอบสมบัติทางกลตามการทดลองข้างต้นมาใช้ในการพิจารณา จากการทดลองนี้พบว่า หากต้องการนำพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติด้านการรับแรง เช่น ภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ ควรใช้พลาสติก PLA ที่เติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในอัตราส่วน 80 : 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักรวม แต่หากต้องการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติด้านการรับแรง เช่น ถังหรือฟิล์ม ควรใช้พลาสติก PLA ที่เติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณไม่มาก ซึ่งจากการทดลองนี้คือ อัตราส่วน 95 : 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักรวม นอกจากนี้ผลจากการทดลองยังพบว่า การใช้ผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) นั้นส่งผลให้สมบัติทางกลของพลาสติก PLA ดีกว่าการใช้ผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

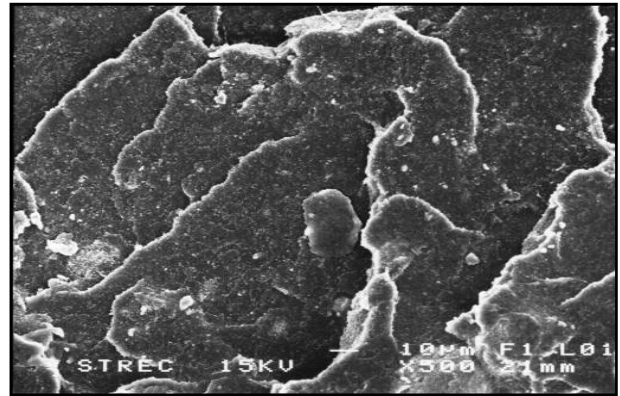
4.2 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและผ่านการปรับปรุงผิว

4.2.1 ศึกษาการแตกตัวของผงอนุภาคนาโนเคลย์ในพลาสติก PLA ที่กำลังขยาย 500 เท่า

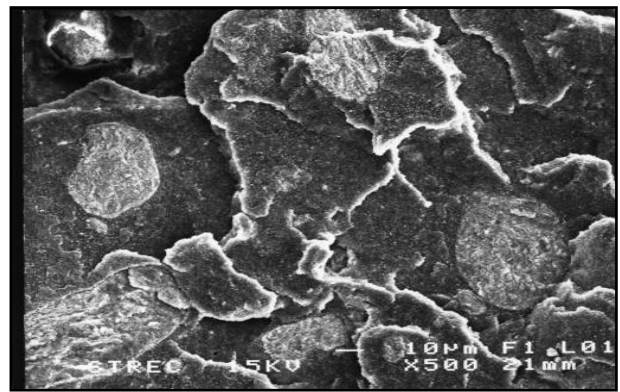
จากผลการศึกษาการแตกตัวของผงอนุภาคนาโนเคลย์ปริมาณต่างๆ ในพลาสติก PLA ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 9 พบว่าการแตกตัวในพลาสติก PLA ของผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) มีการแตกตัวที่ดีกว่า (ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 9) ทั้งนี้เนื่องจากสารไซเลนเป็นสารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) ที่ทำหน้าที่ในการช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารอินทรีย์อย่างนาโนเคลย์กับสารอินทรีย์อย่างพลาสติก PLA และสารคู่ควบปฏิกิริยายังสามารถช่วยให้เกิดการแตกตัวของชั้นนาโนเคลย์มากขึ้น ในขณะที่ลักษณะการแตกตัวของผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวนั้นพบว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ชอบที่จะจับตัวกันเองเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) มากกว่าที่จะเกิดการแตกตัวเพื่อกระจายตัวในเนื้อพื้นพลาสติก PLA (ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 8)



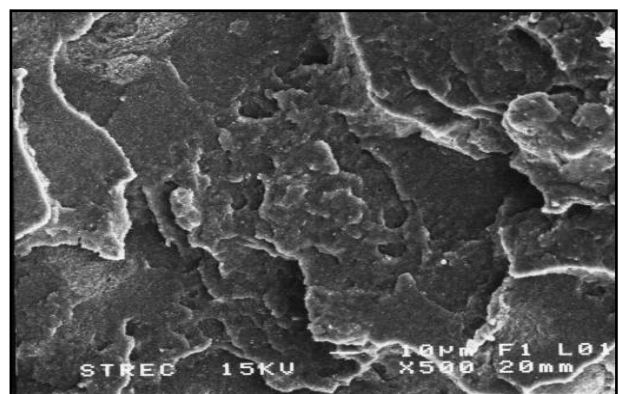
รูปที่ 6 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวในอัตราส่วน 90 : 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 7 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 90 : 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 500 เท่า



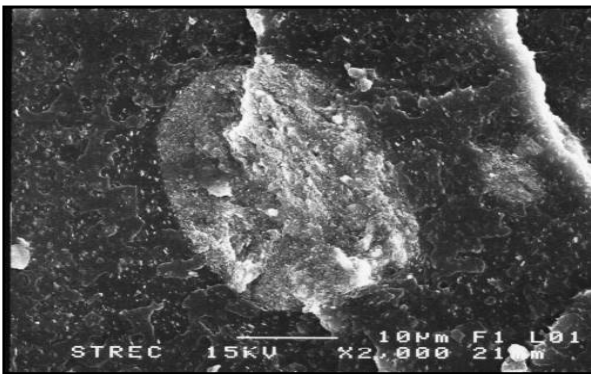
รูปที่ 8 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 70 : 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 500 เท่า



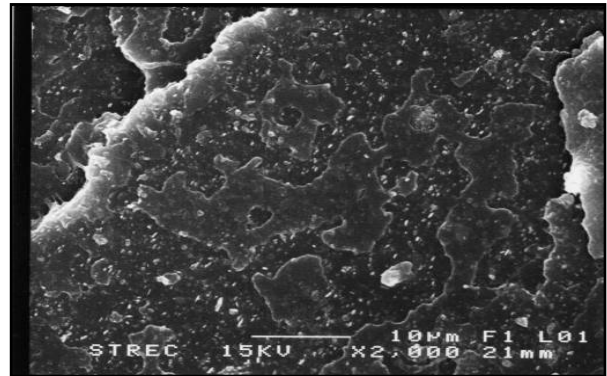
รูปที่ 9 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ผ่านการปรับปรุงผิวในอัตราส่วน 70 : 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 500 เท่า

4.2.2 ศึกษาการยึดติดโมเลกุลของพลาสติก PLA กับ ผงอนุภาคนาโนเคลย์ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

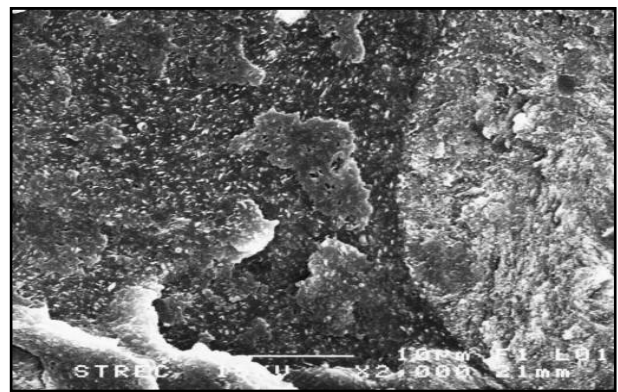
จากผลการศึกษาการยึดติดโมเลกุลของผงอนุภาคนาโนเคลย์ปริมาณต่างๆในพลาสติก PLA ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า แสดงดังรูปที่ 10 ถึงรูปที่ 13 พบว่ามีการยึดติดของโมเลกุลระหว่างพลาสติก PLA และผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวมีการยึดติดของโมเลกุลที่ไม่ดี ในขณะที่การยึดติดระหว่างโมเลกุลของพลาสติก PLA และผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) มีการยึดติดเชื่อมระหว่างเฟสได้ดีกว่า เนื่องจากไซเลนเป็นสาร คู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) ที่ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างนาโนเคลย์และพลาสติก PLA โดยมีโครงสร้างที่สามารถช่วยเพิ่มแรงยึดติดที่ผิวระหว่างชั้น นาโนเคลย์กับพลาสติก PLA ดังนั้นเมื่อปรับปรุงผิวผงอนุภาคนาโนเคลย์ด้วยไซเลนแล้วจึงสามารถทำให้ความสามารถในการยึดติดโมเลกุลระหว่างเฟสพลาสติก PLA และผงอนุภาคนาโนเคลย์ได้ดีมากขึ้น



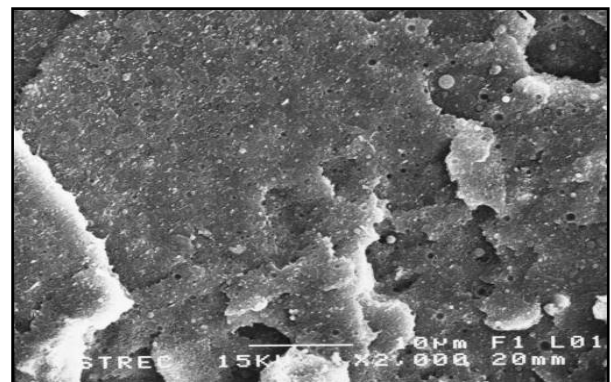
รูปที่ 10 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 90 : 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 11 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 90 : 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 12 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 70 : 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 13 แสดงพลาสติก PLA : ผงอนุภาคนาโนเคลย์ผ่านการปรับปรุงผิว ในอัตราส่วน 70 : 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก รวม กำลังขยาย 2000 เท่า

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีค่าสูงกว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในส่วนค่ายังสัมมูลัส ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก และค่าความแข็งของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่เติมลงไปและความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของผงอนุภาคนาโนเคลย์กับพลาสติก PLA ซึ่งพบว่าสมบัติดังกล่าวของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีค่าสูงกว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และจากการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์พบว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้น มีการแตกตัวบนเนื้อพื้นพลาสติก PLA ที่คิดว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และพบว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้น มีการเชื่อมยึดติดระหว่างเฟสของโมเลกุลได้คิดว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.M. Rasal, A.V. Janorkar and D.E. Hirt. "Poly(lactic acid) modifications." *Progress in Polymer Science*. 35, 2010, pp. 338–356.
- [2] L.T. Lim, R. Auras and M. Rubino. "Processing technologies for poly(lactic acid)." *Progress in Polymer Science*. 33, 2008, pp. 820–852.
- [3] K. Oksman, M. Skrifvars and J.F. Selin. "Natural fibers as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites." *Composites Science and Technology*, 63, 2003, pp. 1317-1324.
- [4] B. Bax and J. Mussig. "Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites." *Composites Science and Technology*, 68, 2008, pp. 1601-1607.
- [5] E. Nieddu, L. Mazzucco, P. Gentile, T. Benko, R. Mandrile and G. Ciardelli. "Preparation and biodegradation of clay composites of PLA." *Reactive & Functional Polymers*, 69, 2009, pp. 371–379.
- [6] K. Fukushima, C. Abbate, D. Tabuani, M. Gennari and G. Camino. "Biodegradation of poly(lactic acid) and its nanocomposites." *Polymer Degradation and Stability*, 94, 2009, pp. 1646–1655.
- [7] L. Jiang, J. Zhang and M.P. Wolcott. "Comparison of polylactide/nano-size calcium carbonate and polylactide/ montmorillonite composites: reinforcing effects and toughening mechanisms." *Polymer* 48, 2007, pp. 7632-7644.
- [8] P.G. Pape. "Adhesion Promoters: Silane Coupling Agents", *Applied Plastics Engineering Handbook*, 2011.