

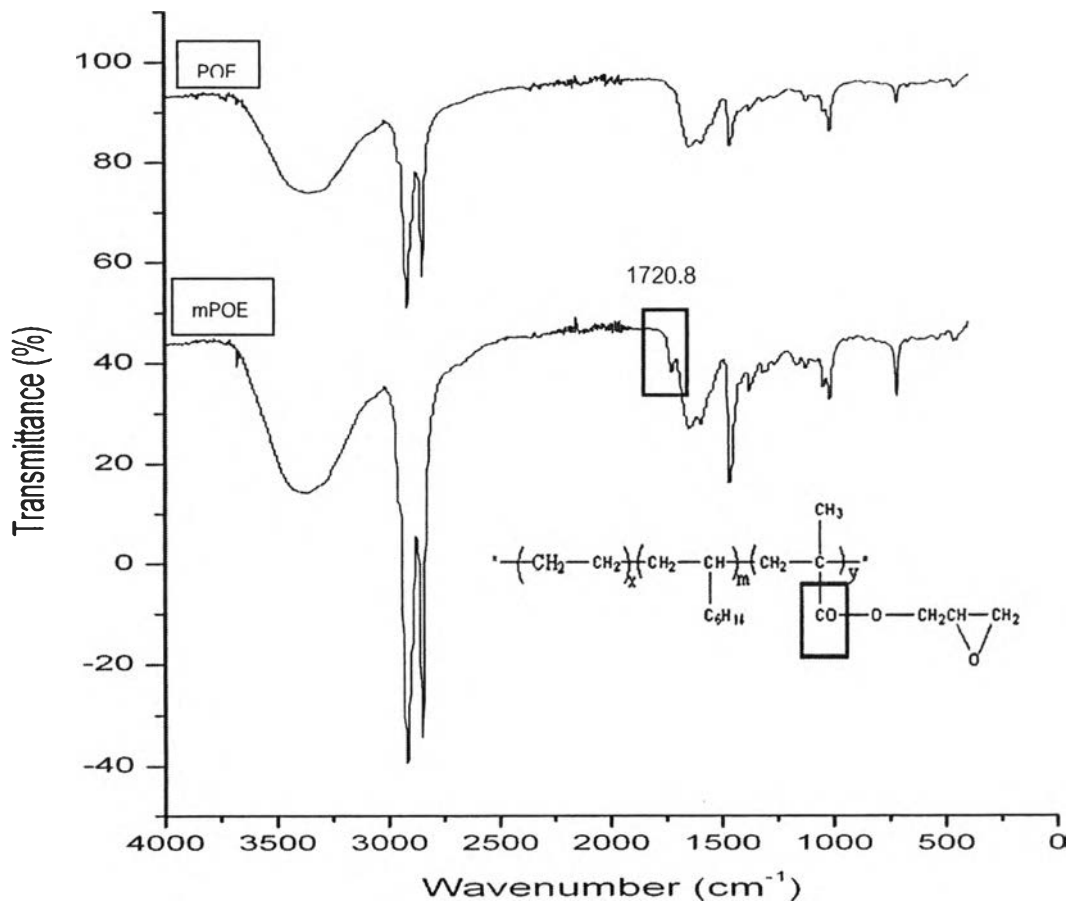


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์

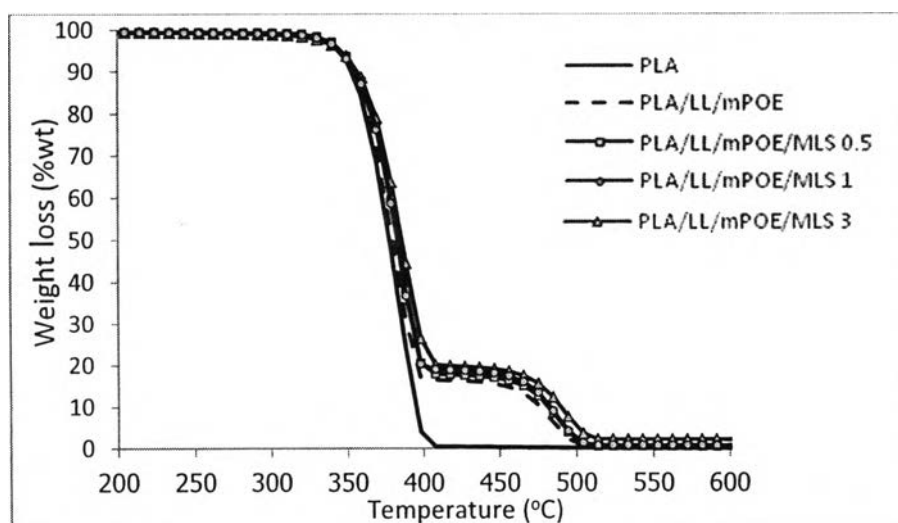
จากผลการทดลองพบว่า อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ (POE) และพอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ที่ถูกกราฟต์ด้วยไกลซีดีลเมทาคริเลต (mPOE) ปรากฏพีคที่ wave number  $1720.8 \text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (carbonyl-stretching) ของไกลซีดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ [23]

## 4.2 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม

### 4.2.1 สมบัติทางความร้อน

#### 4.2.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว ( $T_d$ )

ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis, TGA) ของพอลิแล็กติกแอซิด (PLA) ไกลซีดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์พอลิเมอร์ (mPOE) และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ไกลซีดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ และมอนอต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (MLS) ที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.2

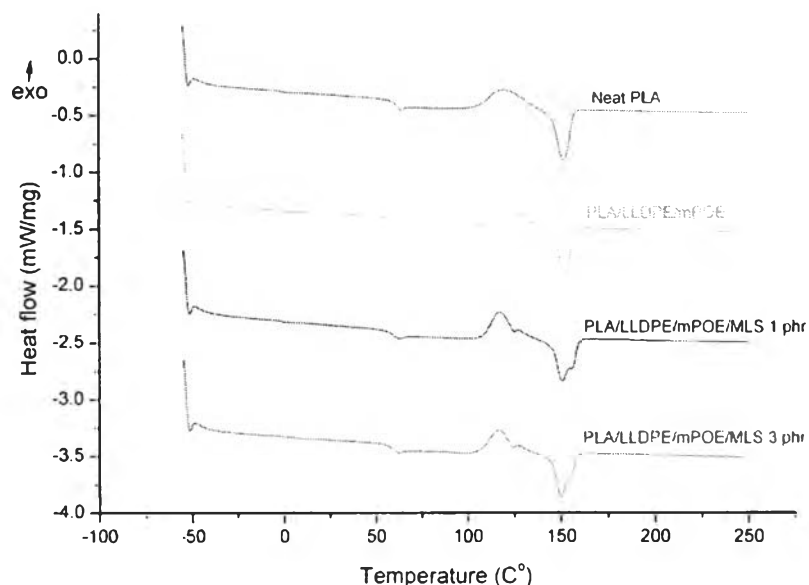


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr

จากการทดลองพบว่า พอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัว (onset degradation temperature,  $T_d$  onset) ประมาณ 338, 356.35, 358.78, 358.61 และ 359.72 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งมีความใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิด เนื่องจาก LLDPE mPOE และ MLS ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการสลายตัว [27]

4.2.1.2 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ ) อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และอุณหภูมิการเกิดผลึก ( $T_{cc}$ )

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ ) อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และอุณหภูมิการเกิดผลึก ( $T_{cc}$ ) ของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปริมาณ 1 และ 3 phr ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี โดยเมื่อมีการให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ผสม ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของ  $T_g$ ,  $T_m$  และ  $T_{cc}$  ของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 1 และ 3 phr

ตารางที่ 4.1 ค่า  $T_g$ ,  $T_m$  และ  $T_{cc}$  ของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 1 และ 3 phr

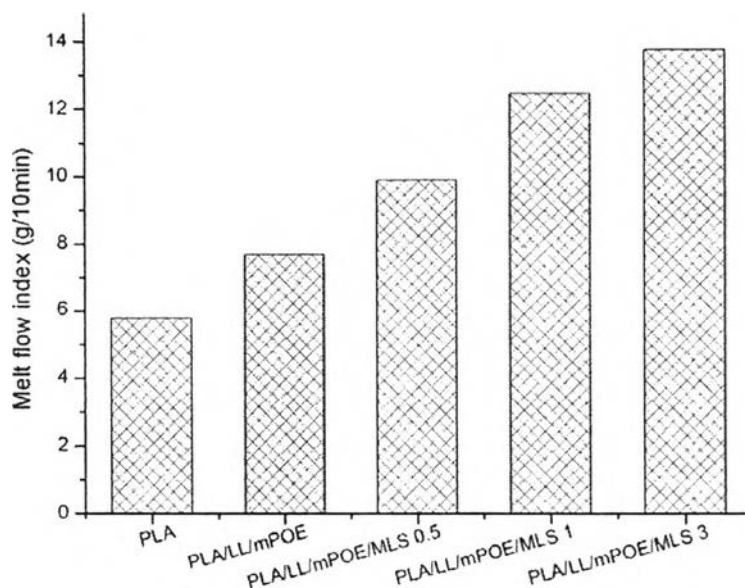
Samples	Peck, $T_g$ (°C)	Peck, $T_m$ (°C)	Peck, $T_{cc}$ (°C)	$\Delta H_m$ (J/g)	$\Delta H_{cc}$ (J/g)
neat PLA	59.7	151.5	119.1	21.34	20.66
PLA/LL/mPOE	60.2	151.5	118.9, 127.0	18.23	13.68
PLA/LL/mPOE/MLS 1 phr	58.3	150.5, 155.6	117.2, 126.9	22.02	17.71
PLA/LL/mPOE/MLS 3 phr	58.1	150, 154.9	116.5, 126.6	20.24	17.16

\*\*\*  $\Delta H_m^\circ = 94$  J/g (melt enthalpy for 100% crystallized PLA)

จากการทดลองพบว่า พอลิแล็กติกแอซิดมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ ) คือ 59.7 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ส่วนอุณหภูมิการเกิดผลึก ( $T_{cc}$ ) ของพอลิแล็กติกแอซิดมีค่าน้อยลงเมื่อมีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) ของพอลิแล็กติกแอซิดมีค่าเท่ากับ 151.5 และเมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในปริมาณที่มากขึ้น จะเกิดอุณหภูมิหลอมเหลวสองค่า (double melting point temperature) ซึ่งเกิดจากพอลิแล็กติกแอซิดเมื่อได้รับความร้อนแล้ว พอลิแล็กติกแอซิดจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยสามารถเกิดการตกผลึกได้สองแบบ คือ แบบสมบูรณ์ (perfect) ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากพอลิแล็กติกแอซิดหรือตัวมันเอง และแบบไม่สมบูรณ์ (imperfect) ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดเนื่องด้วยสาเหตุของมอนต์มอริลโลไนต์ [28-29]

#### 4.2.2 ดัชนีการหลอมไหลของคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสม

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีการหลอมไหล (melt flow index) ของคอมพาวด์ของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.4

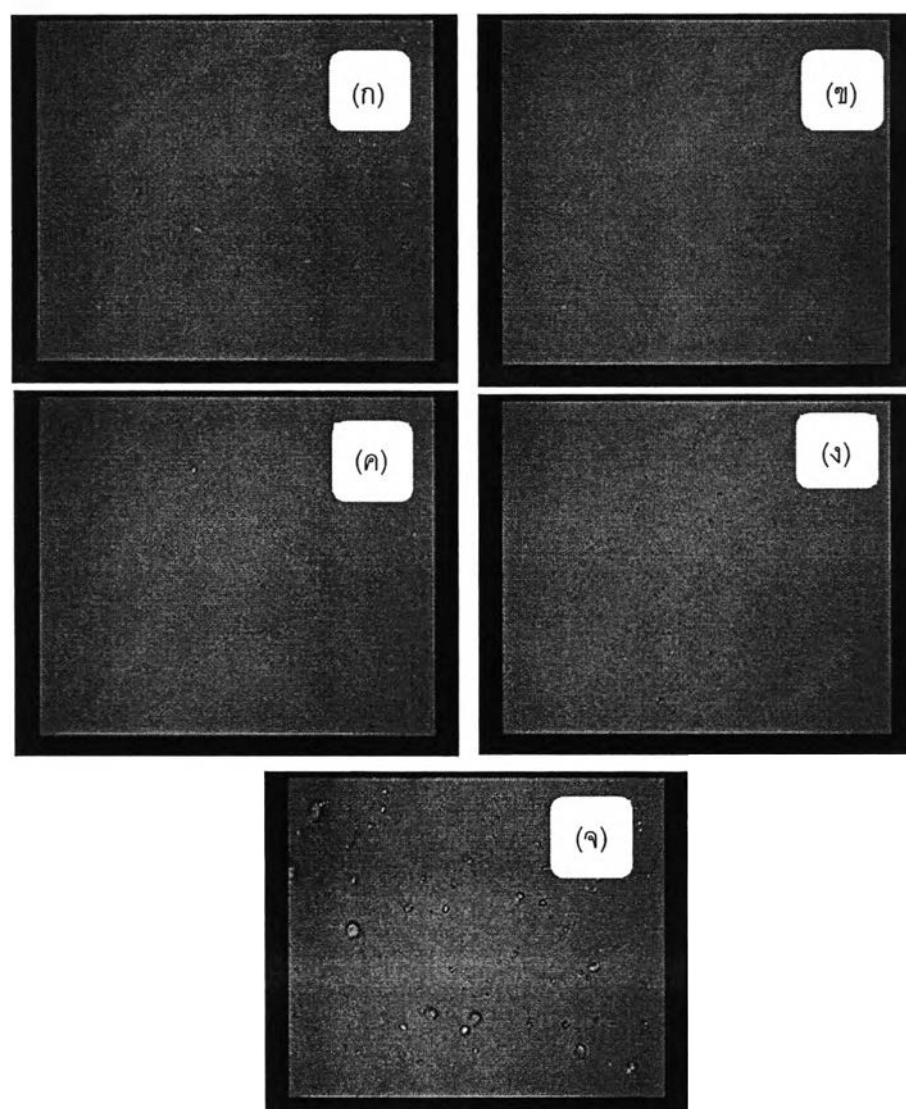


รูปที่ 4.4 ดัชนีการหลอมไหลของคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ กัน

จากการทดลองพบว่า ค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL ที่อัตราส่วน 90/10 และมีการเติม mPOE 10 phr มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของ LLDPE และ mPOE ซึ่งมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวย่างง่าย ทำให้สายโซ่ของพอลิแล็กติกแอซิดเคลื่อนไหวได้มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการไหลที่ดีขึ้น และมีค่าดัชนีการหลอมไหลเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิดเพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากเมื่อได้รับความร้อน อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์สามารถเกิดการสะสมความร้อน ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิแล็กติกแอซิดมีการเคลื่อนไหวได้มากขึ้น จึงเกิดการไหลได้ดีขึ้นเช่นกัน

### 4.3 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม

สัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของฟิล์มที่กำลังขยาย 20 เท่า : (ก) พอลิแล็กติกแอซิด (ข) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE (ค) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 0.5 (ง) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 1 และ (จ) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 3

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณที่มากขึ้น จะมีการกระจายตัวที่ดีในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE แต่เมื่อมีการเติมปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ 3 phr ในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE พบว่า มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร เริ่มมีการเกาะกลุ่มกัน และเกิดเป็นฟองอากาศ ทำให้มีจุดบกพร่องบนเนื้อฟิล์ม

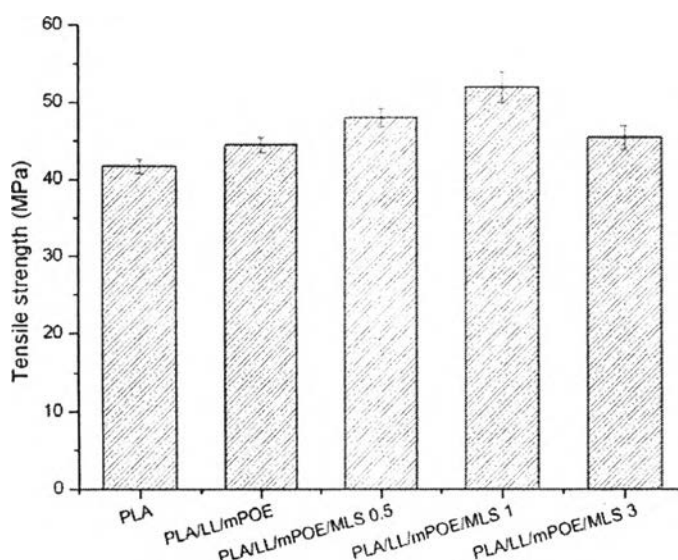
#### 4.4 สมบัติของฟิล์ม

##### 4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง

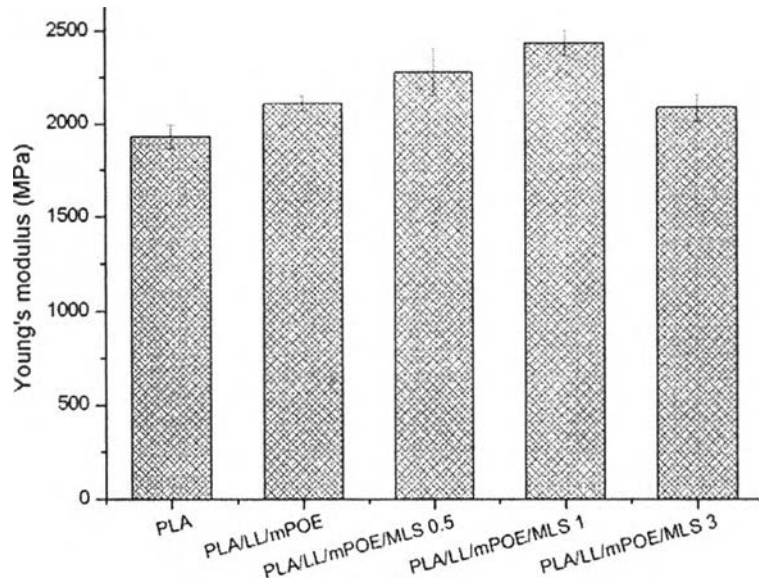
##### 4.4.1.1 ฟิล์มชั้นเดียว

##### 4.4.1.1.1 แนวตามเครื่องจักร

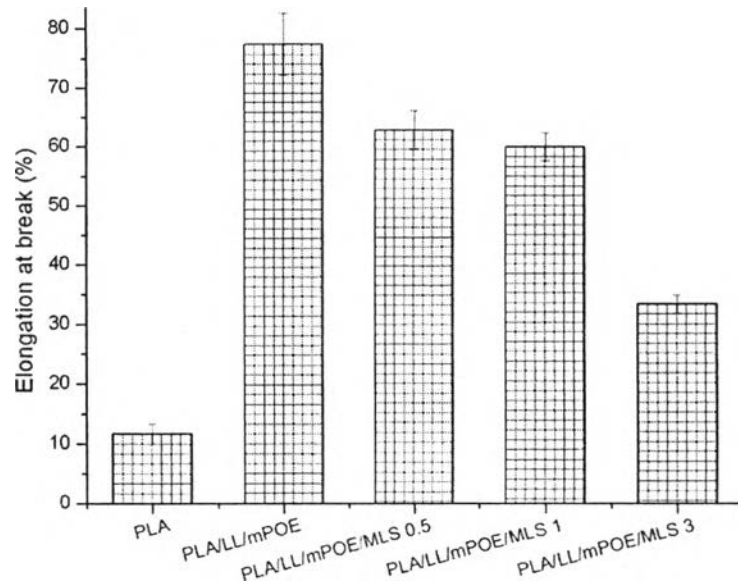
สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง (tensile strength) โมดูลัสดึง (Young's modulus) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ความทนแรงดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร



รูปที่ 4.7 มอดุลัสดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร



รูปที่ 4.8 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร



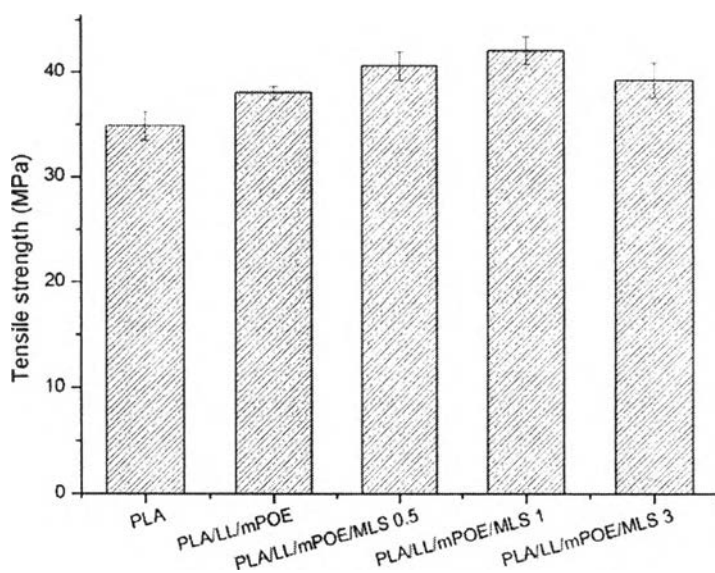
จากผลการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE เมื่อมีพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/ ในอัตราส่วน 90/10 โดยมีการเติม mPOE 10 phr มีค่าสูงขึ้นร้อยละ 11.25 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เนื่องจากสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสองและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมที่มี mPOE เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ [24-25] และยังมีแนวโน้มของค่าความทนแรงดึงสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ 1 phr จะมีค่าความทนแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เนื่องจากมีการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ดี ดังนั้นจึงช่วยเสริมแรงพอลิเมอร์ผสมได้ [30] หลังจากนั้นค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 3 phr เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเริ่มมีการเกาะกลุ่มกัน ทำให้เป็นจุดบกพร่อง (defect) ของชิ้นงาน

ค่ามอดูลัสดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในระบบ โดยจะมีค่ามอดูลัสสูงสุดเมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ 1 phr เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ไม่ได้มีการเติมมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร และเมื่อผสมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรปริมาณ 3 phr ในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE นั้นจะมีค่ามอดูลัสดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องการรวมตัวกันของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE มีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เนื่องจากสมบัติความยืดหยุ่นของ LLDPE และการใช้ mPOE เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ ทำให้ PLA และ LLDPE มีความเข้ากันได้มากขึ้น [25] แต่ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ [30]

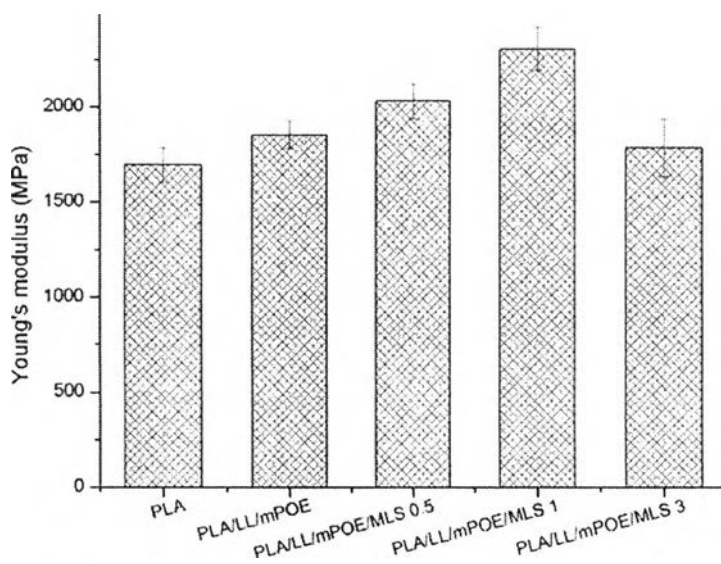
#### 4.4.1.1.1 แนวขวางเครื่องจักร

สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ในแนวขวางเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ



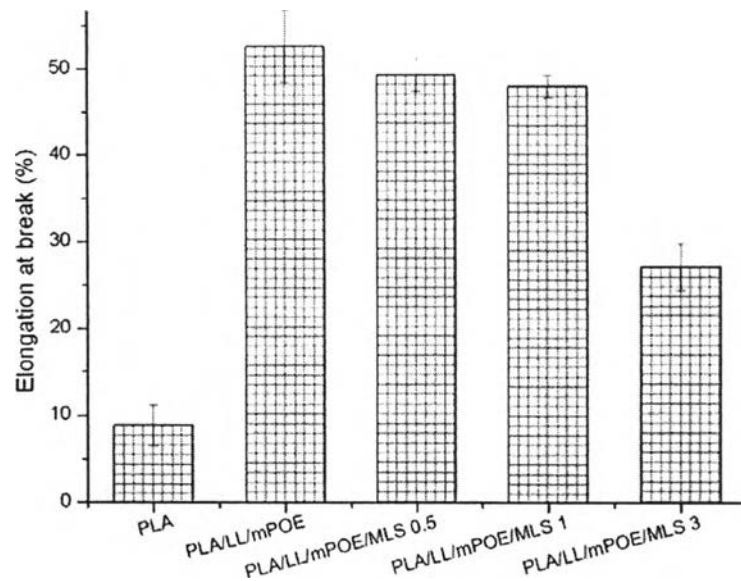
รูปที่ 4.9 ความทนแรงดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม

มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร



รูปที่ 4.10 มอดุลัสดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์

มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร



รูปที่ 4.11 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร

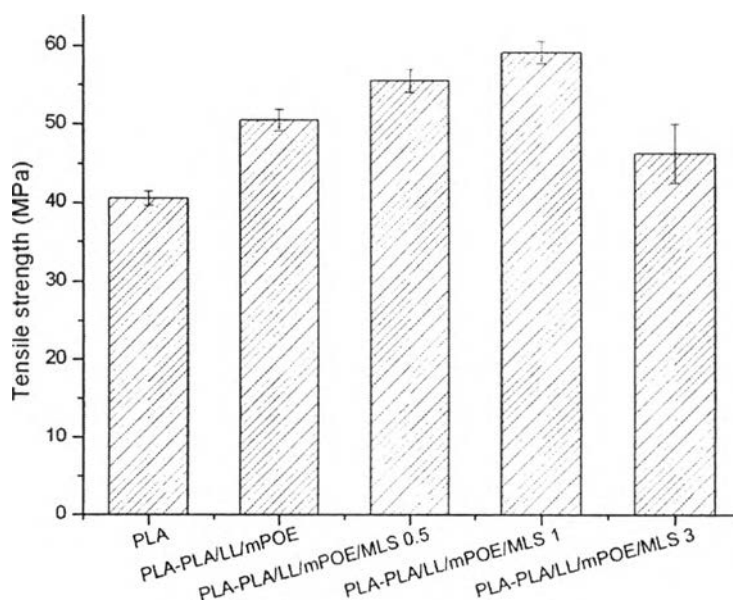
จากการทดลองพบว่า ค่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ในแนวขวางเครื่องจักรมีค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสที่สูงกว่าฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กันพบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE มีค่าความทนแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงที่สุดเมื่อมีการเสริมแรงโดยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ 1 ph ทั้งนี้ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มในแนวขวางเครื่องจักร จะมีค่าต่ำกว่าในแนวตามเครื่องจักร เพราะ เมื่อทำการดึงในแนวตามเครื่องจักร สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวขนานกับทิศทางการดึง โดยสายโซ่ในแต่ละเส้นจะเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalence bond) ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า ในขณะที่ขึ้นงานตามแนวขวางนั้นสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวตั้งฉากกับทิศทางการดึงระหว่างกระบวนการผลิต จะเชื่อมกันด้วยพันธะลำดับที่สอง (secondary bond) ซึ่งแข็งแรงน้อยกว่าพันธะโควาเลนต์ [14]

ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กันนั้น จะมีค่าในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบชิ้นงานที่ผลิตในแนวตามเครื่องจักร

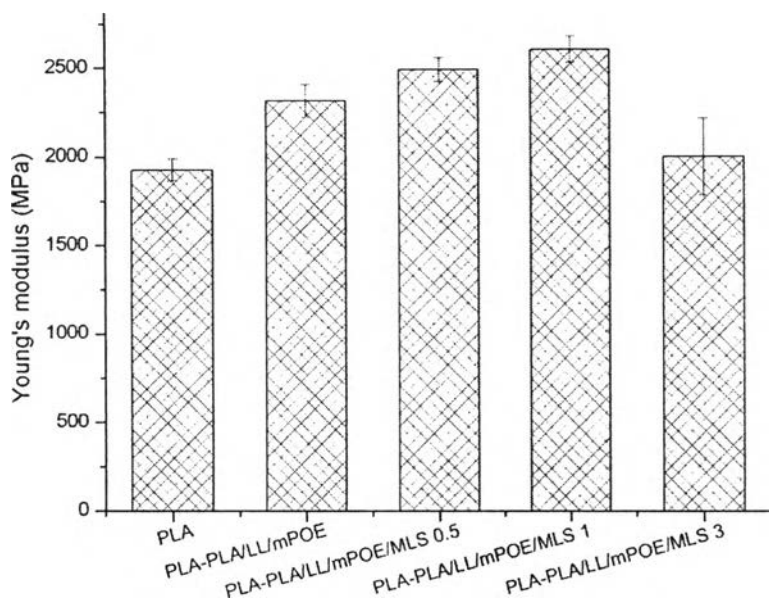
#### 4.4.1.2 ฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีการประกบด้วย PLA

##### 4.4.1.2.1 แนวตามเครื่องจักร

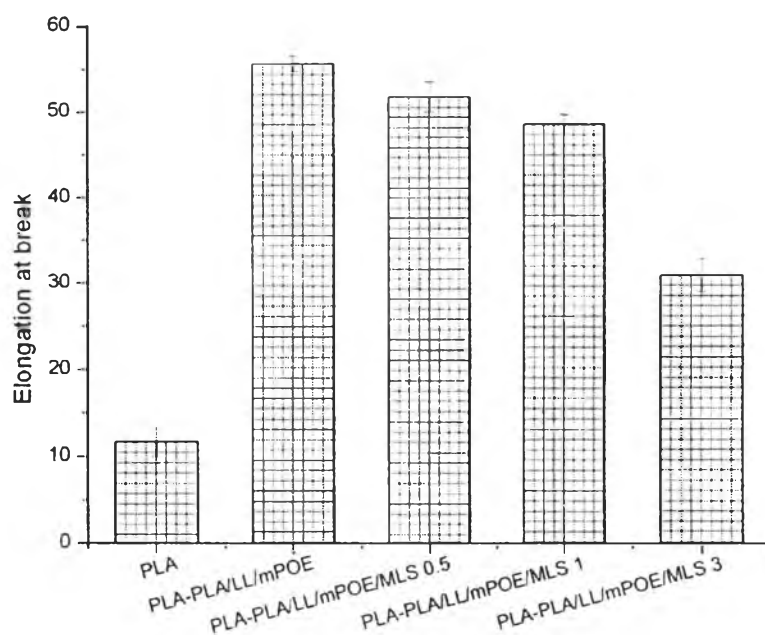
สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร



รูปที่ 4.13 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร



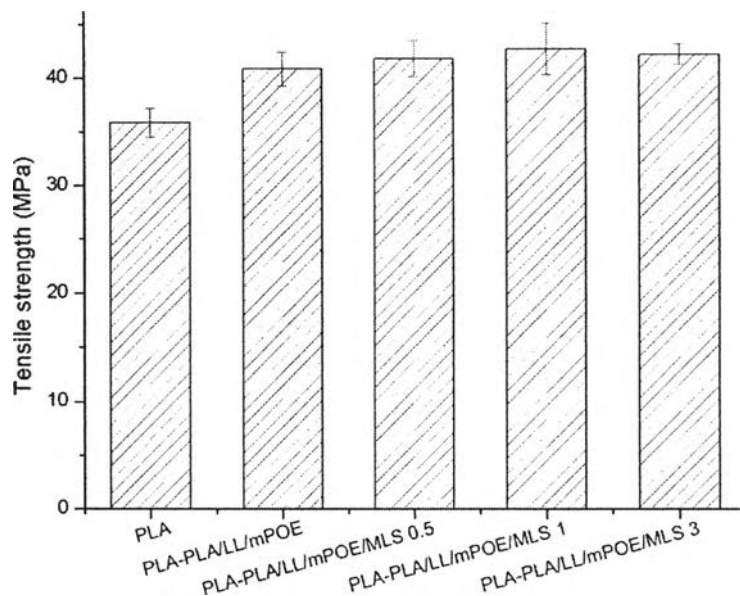
รูปที่ 4.14 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร

จากการทดลองพบว่า พิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่เตรียมในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการประกบด้วย PLA มีค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 24.7 และ 20.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องจากสมบัติของ LLDPE และ POE รวมถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้ mPOE เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ [24-25] เมื่อทำการประกบฟิล์ม PLA กับพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร พบว่าแนวโน้มของค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 1 phr จะให้ค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากค่าของฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียวถึงร้อยละ 46.1 และ 35.1 ตามลำดับ เนื่องจากการกระจายแรงที่ดีเมื่อได้รับแรงกระทำ รวมถึงการถูกประกบด้วยฟิล์ม PLA แต่ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมจะลดลงเมื่อมีการผสมของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ 3 phr เนื่องจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

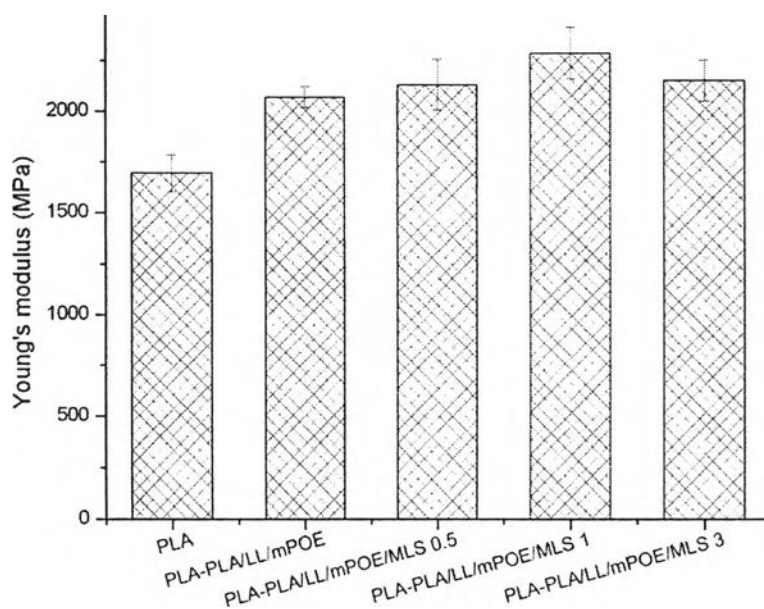
ฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการประกบด้วย PLA นั้นมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดในแนวตามเครื่องจักร สูงถึงร้อยละ 379 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องจากความยืดหยุ่นของสองพอลิเมอร์นี้ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น แต่ความยืดหยุ่นนี้จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากอนุภาคของ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล [30]

#### 4.4.1.2.2 แนวขวางเครื่องจักร

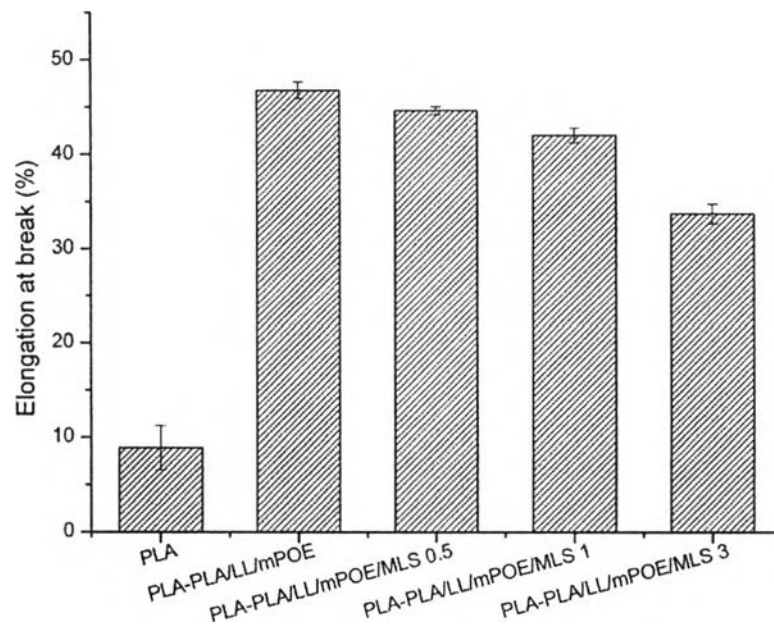
สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาดในแนวขวางเครื่องจักรของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ดังแสดงในรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลไลต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร



รูปที่ 4.16 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลไลต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร



รูปที่ 4.17 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกอบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร

จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกอบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักรนั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างกันจากฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องจากปกติความแข็งแรงในแนวของฟิล์มขวางเครื่องจักรนี้จะมีค่าต่ำกว่า ค่าที่ได้จากชิ้นงานแนวตามเครื่องจักรจึงส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันในแต่ละปริมาณมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนัก และเมื่อมีการเติมปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่มากขึ้น ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสดึงที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน

ฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกอบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักรมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของสูงกว่าฟิล์ม PLA อย่างมีนัยสำคัญแต่ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/LL/mPOE มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโล

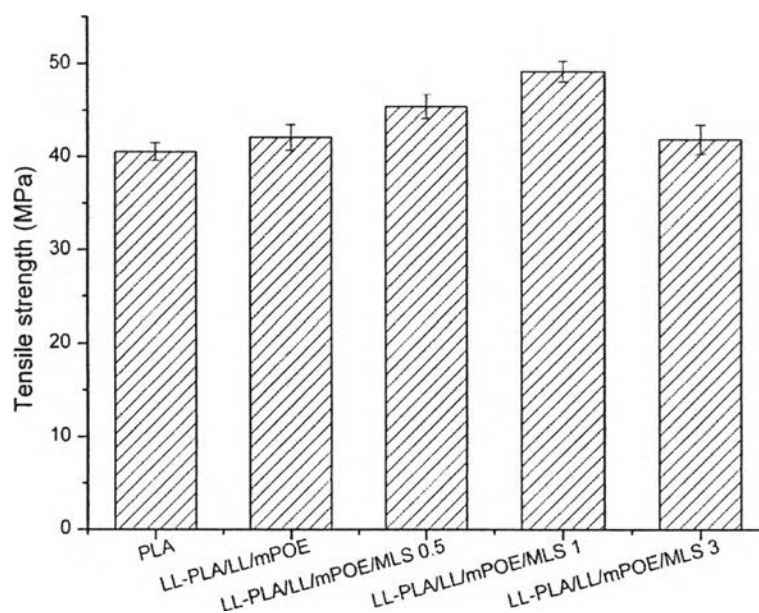


ไนต์ดัดแปรเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

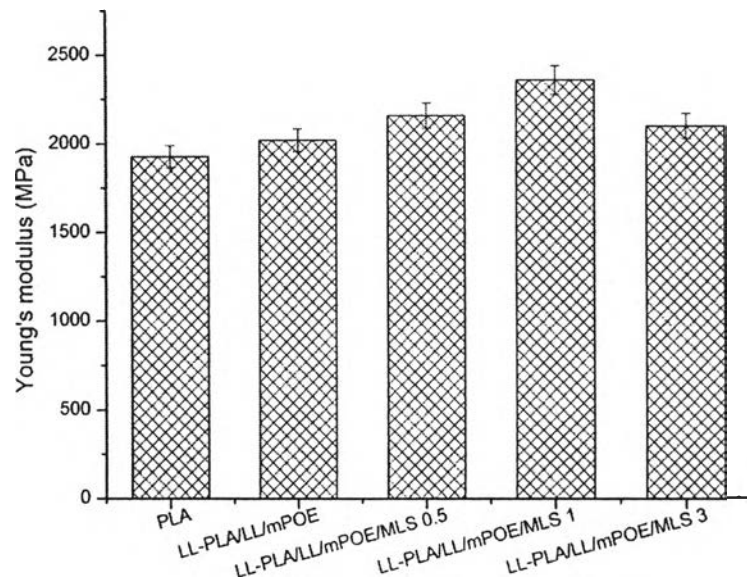
4.4.1.2 พิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการประกบกับ LLDPE

#### 4.4.1.2.1 แนวตามเครื่องจักร

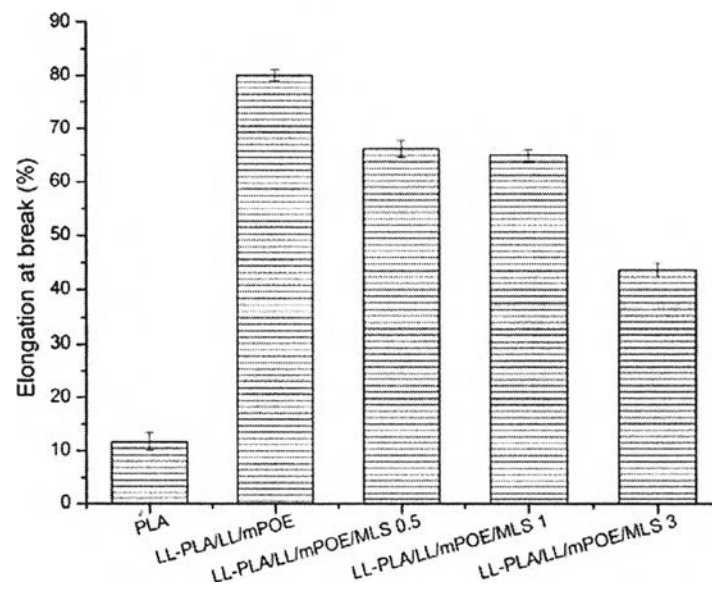
สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร



รูปที่ 4.19 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกอบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร

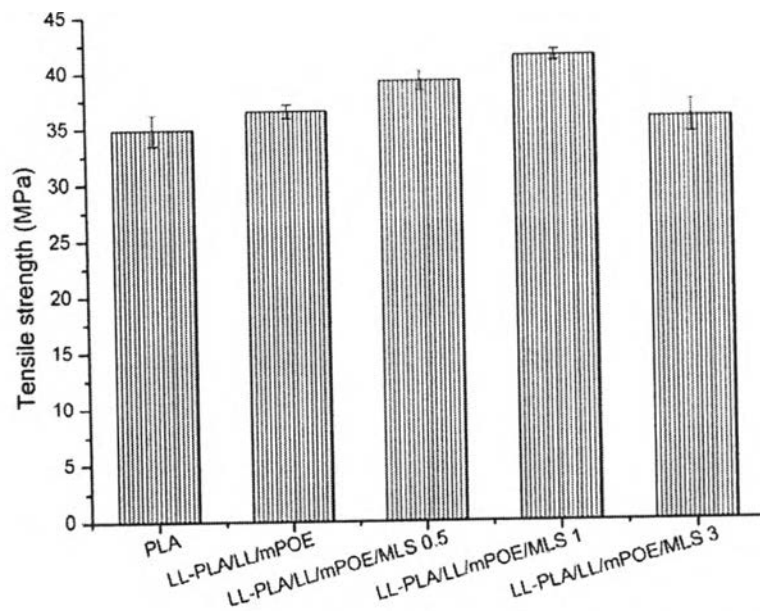


รูปที่ 4.20 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกอบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร

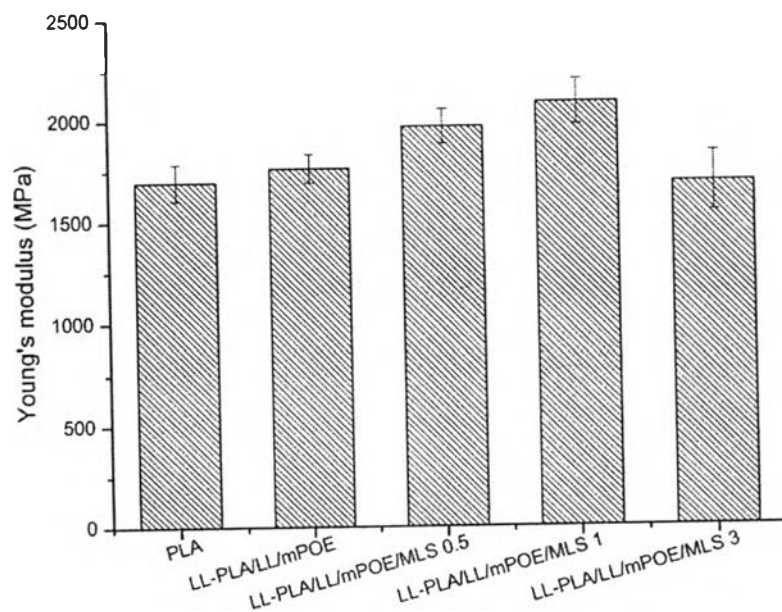
จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ไม่ได้ทำการประกบ LLDPE ส่วนความยืดสูงสุด ณ จุดขาดฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ทำการประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักรนั้นมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 589.65 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียวเนื่องจากความยืดหยุ่นของ LLDPE แต่ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสดึงมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้น เมื่อมีปริมาณการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ประกบด้วย LLDPE เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1 phr มีค่าสูงขึ้นร้อยละ 22.5 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากมีการกระจายแรงที่ดี และมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร เพิ่มขึ้นเป็น 3 phr เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ส่วนความยืดสูงสุด ณ จุดขาดมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มมากขึ้น

#### 4.4.1.2.1 แนวขวางเครื่องจักร

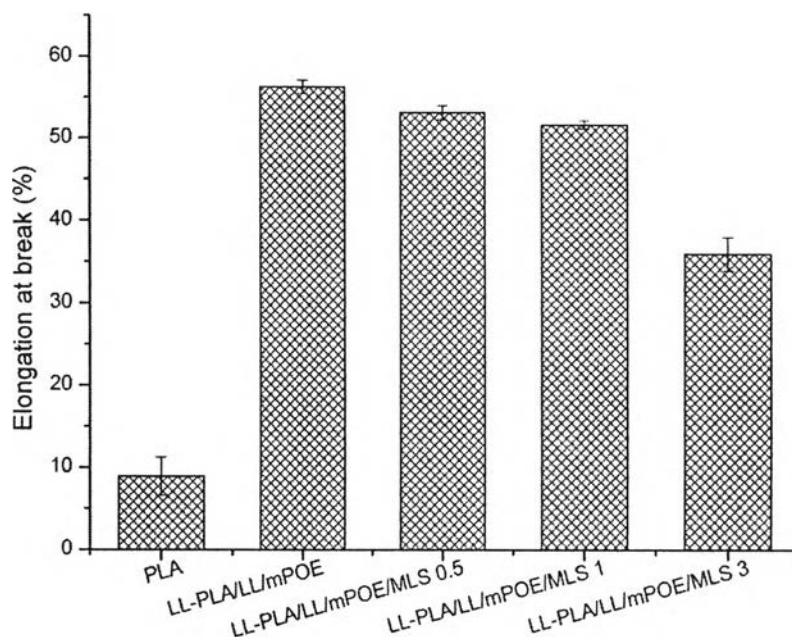
สมบัติด้านแรงดึง เช่น ความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาดในแนวขวางเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึ่นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ตัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวาง เครื่องจักร



รูปที่ 4.22 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึ่นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ตัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวาง เครื่องจักร

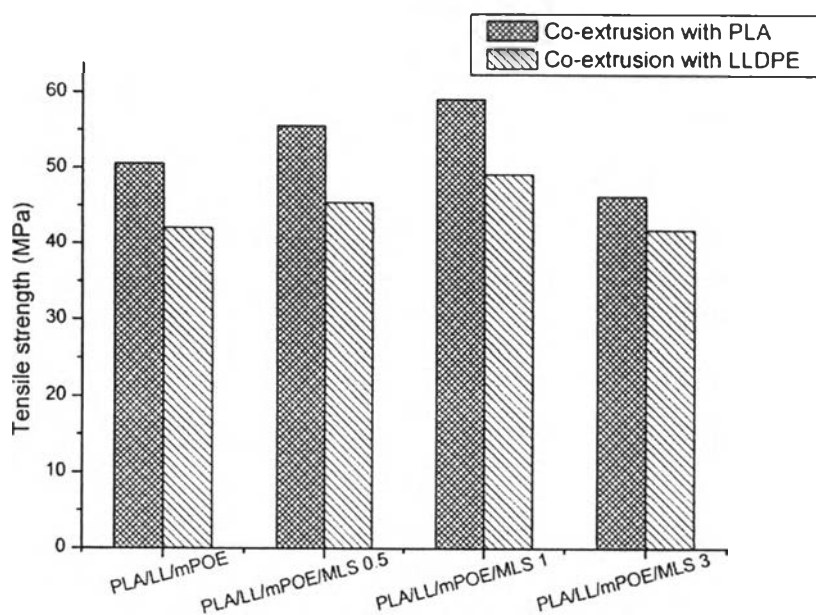


รูปที่ 4.23 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวางเครื่องจักร

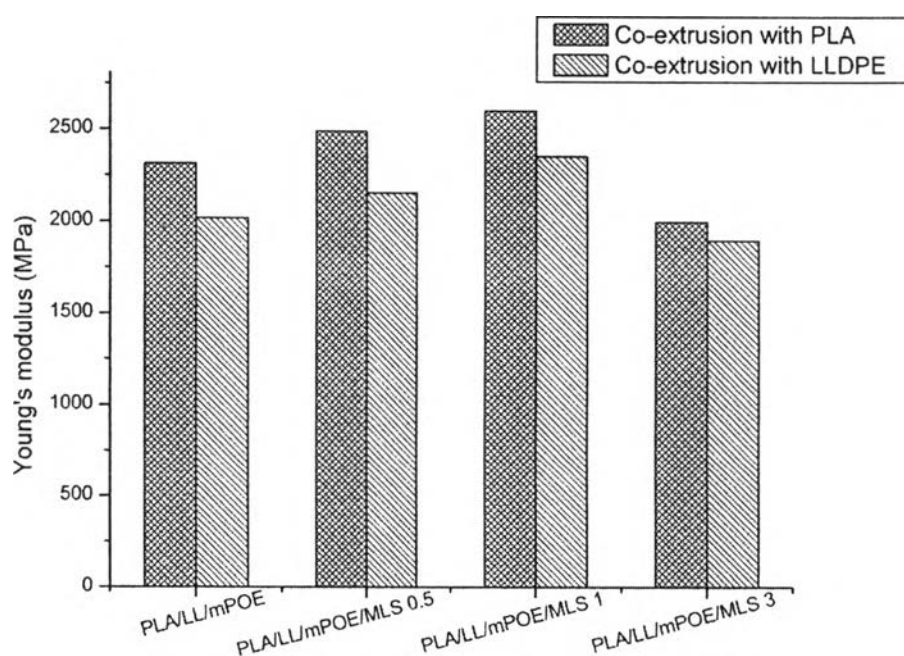
จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงดึงและค่ามอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ซึ่งเตรียมในแนวขวางเครื่องจักรนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับฟิล์มในแนวตามเครื่องจักร แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากฟิล์มทั้งสองแนวพบว่าชิ้นงานที่เตรียมจากแนวขวางเครื่องจักร จะมีค่าที่ต่ำกว่า แนวตามเครื่องจักรและความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเติมด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ในปริมาณที่มากขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ทำการประกบด้วย PLA และ LLDPE พบว่า ฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ทำการประกบด้วย PLA นั้นค่ามีสมบัติเชิงกล (ความทนแรงดึงและมอดุลัสดึง) ที่ดีกว่าฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ทำการ

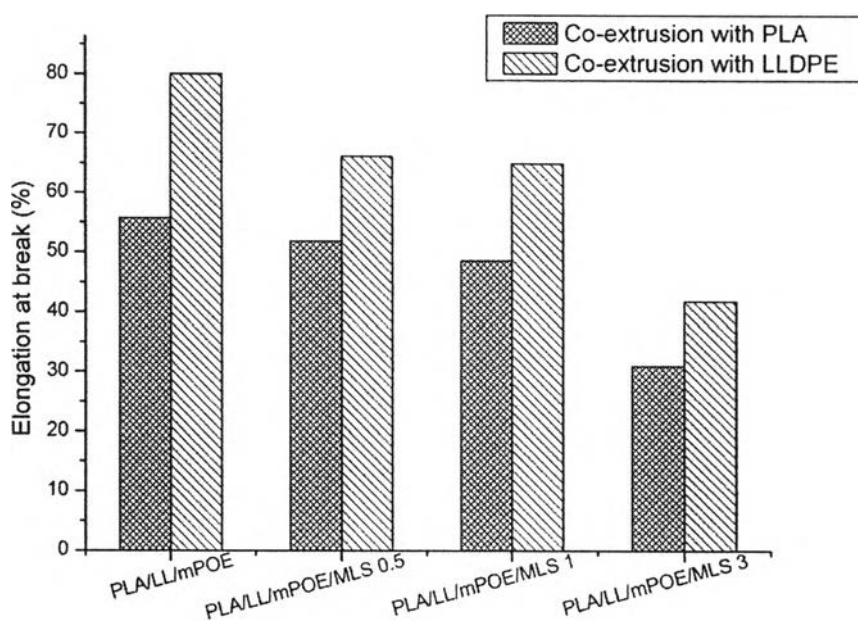
ประกบด้วย LLDPE แต่ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ทำการประกบด้วย LLDPE มีค่าที่สูงกว่าฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ทำการประกบด้วย PLA ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ โดยแสดงเพียงแนวตามเครื่องจักรเท่านั้น



รูปที่ 4.24 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันที่ทำการประกบด้วยด้วย PLA และ LLDPE



รูปที่ 4.25 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันที่ทำการประกบด้วยด้วย PLA และ LLDPE



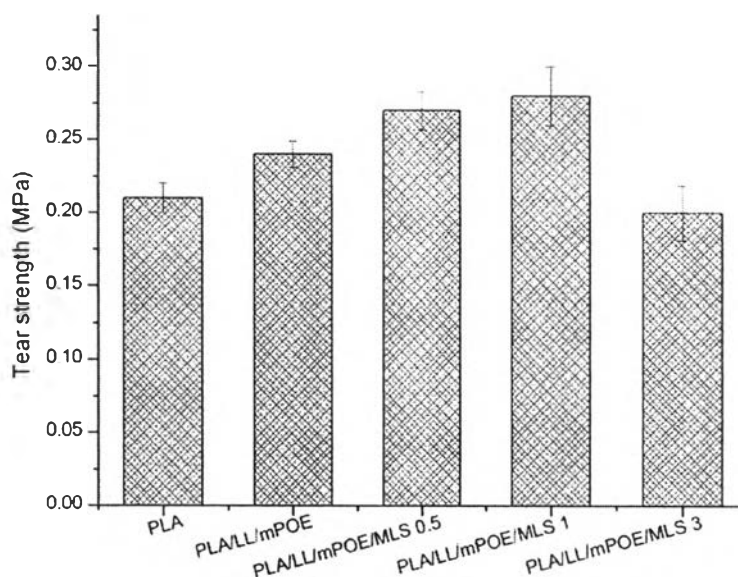
รูปที่ 4.26 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันที่ทำการประกบด้วย PLA และ LLDPE

#### 4.4.2 สมบัติความทนแรงฉีกขาด

##### 4.4.2.1 ฟิล์มชั้นเดียว

##### 4.4.2.1.1 แนวตามเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาด ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.27



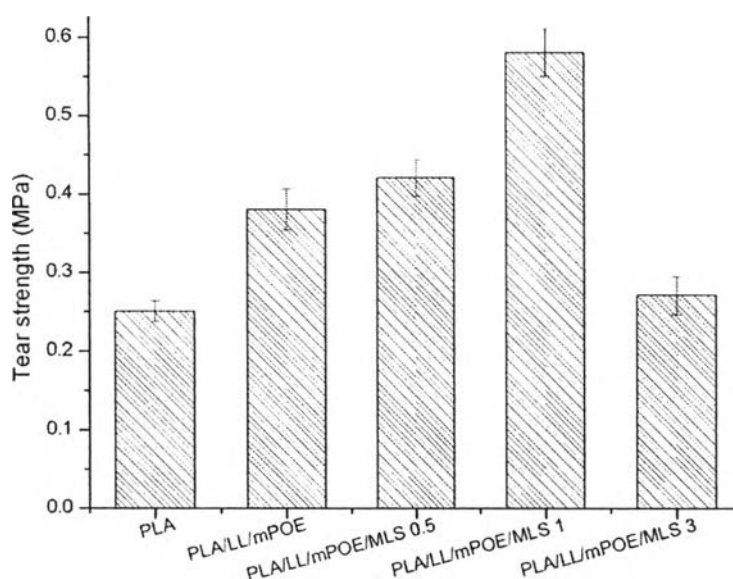
รูปที่ 4.27 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ

จากการทดลองพบว่า ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เพราะ LLDPE และ mPOE มีสมบัติที่เหนียว รวมถึงมีความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากการใช้ mPOE เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ จึงส่งผลให้มีค่าความทนแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้น [24-25] และเมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในโอลิเมอร์ผสม ค่าความทนแรงฉีกขาดของโอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องจากการถ่ายโอนแรงที่ดี และมีการขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยาก [30] แต่ค่าความทนแรงฉีกขาดจะลดลงเมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 phr เนื่องจากอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ทำให้เกิดจุดบกพร่องบนเนื้อฟิล์ม

#### 4.4.2.1.1 แนวขวางเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาด ในแนวขวางเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.28





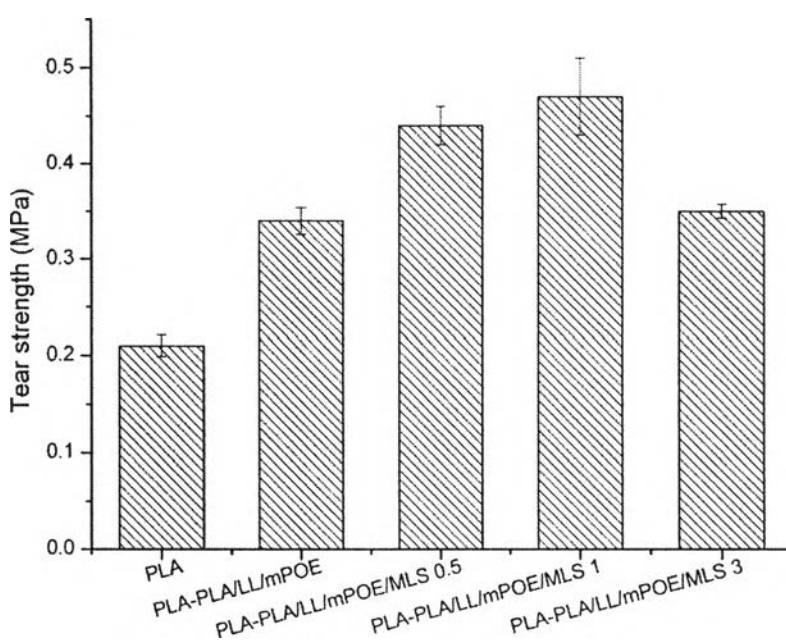
รูปที่ 4.28 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ

จากการทดลองพบว่า ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร มีค่าเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 92.86 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และค่าความทนแรงฉีกขาดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม เมื่อเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม ที่ปริมาณ 1 phr พบว่า ค่าความทนแรงฉีกขาดนั้นสูงขึ้นร้อยละ 176.21 แต่ลดลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณ 3 phr โดยค่าความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มในแนวขวางเครื่องจักรจะสูงกว่าค่าที่ได้จากฟิล์มแนวตามเครื่องจักร เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในตามเครื่องจักรนั้นมีเพียงแค่พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมกันระหว่างสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบความทนแรงฉีกขาด พันธะดังกล่าวจะสามารถถูกทำลายได้ง่าย ทำให้ความทนแรงฉีกขาดมีค่าน้อยกว่าฟิล์มในแนวขวางเครื่องจักร เพราะในแนวขวางเครื่องจักรนั้น สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางตั้งฉากกับการทดสอบ และการทำลายพันธะโควาเลนต์ของสายโซ่หลักของพอลิเมอร์นั้น ทำได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับการทำลายพันธะไฮโดรเจนของสายโซ่โมเลกุลในแนวขวางเครื่องจักร [14]

#### 4.4.2.2 พิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีการประกบด้วย PLA

##### 4.4.2.2.1 แนวตามเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาดในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ และมีการประกบด้วย PLA แสดงดังรูปที่ 4.29



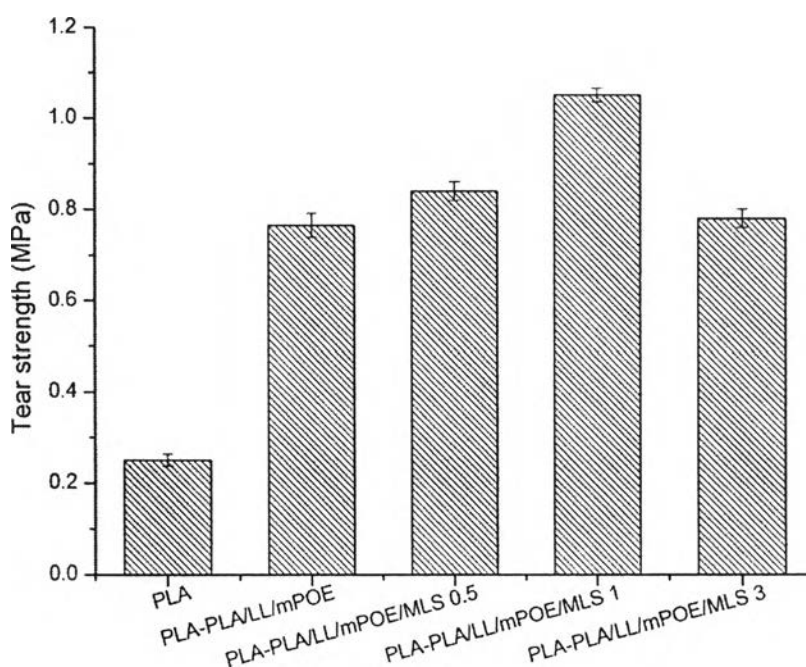
รูปที่ 4.29 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย PLA

ค่าความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA ฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่ประกบด้วย PLA นั้นมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และค่าความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ประกบด้วย PLA มีแนวโน้มที่สูงมากขึ้นเมื่อมีการผสมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร โดยพบว่าที่ปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1 phr นั้น ค่าความทนแรงฉีกขาดสูงขึ้นร้อยละ

128.6 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากเกิดการกระจายแรงไปยังมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร รวมถึงการประกบด้วย PLA ซึ่งมีสมบัติที่แข็งแรง แต่ค่าความทนแรงฉีกขาดจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็น 3 phr เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

#### 4.4.2.2.1 แนวขวางเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาด ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันของพอลิเมอร์ผสม LA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย PLA ที่ประกบด้วย PLA ดังแสดงในรูปที่ 4.30



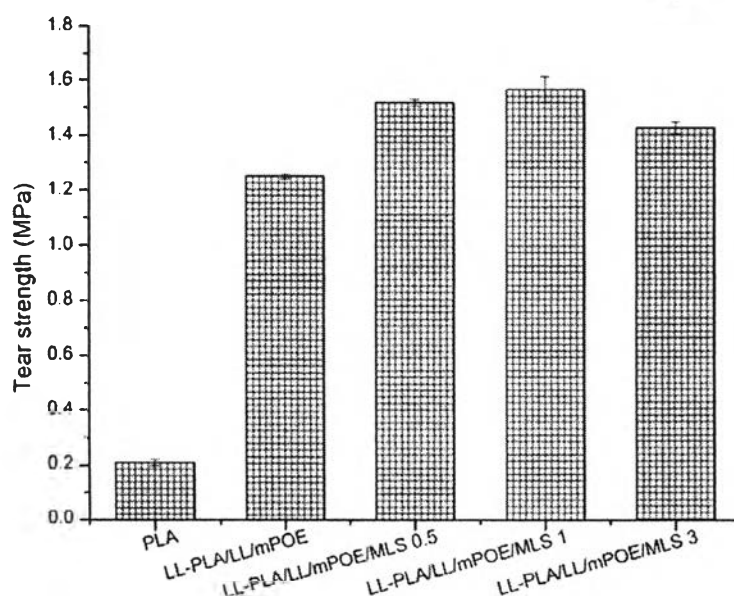
รูปที่ 4.30 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซัน LA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย PLA

ฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน พอลิเมอร์ผสม LA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักรที่มีการประกบด้วย PLA มีค่าความทนแรงฉีกขาดสูงขึ้นร้อยละ 264.28 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 1 phr ลงในฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม LA/LL/mPOE ที่ประกบด้วย PLA พบว่า ค่าความทนแรงฉีกขาดเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 398.09 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และลดลงเมื่อมีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 3 phr ในฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน พอลิเมอร์ผสม LA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักรที่มีการประกบด้วย PLA

#### 4.4.2.3 ฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีการประกบด้วย LLDPE

##### 4.4.2.3.1 แนวตามเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาด ในแนวตามเครื่องจักร ของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.31

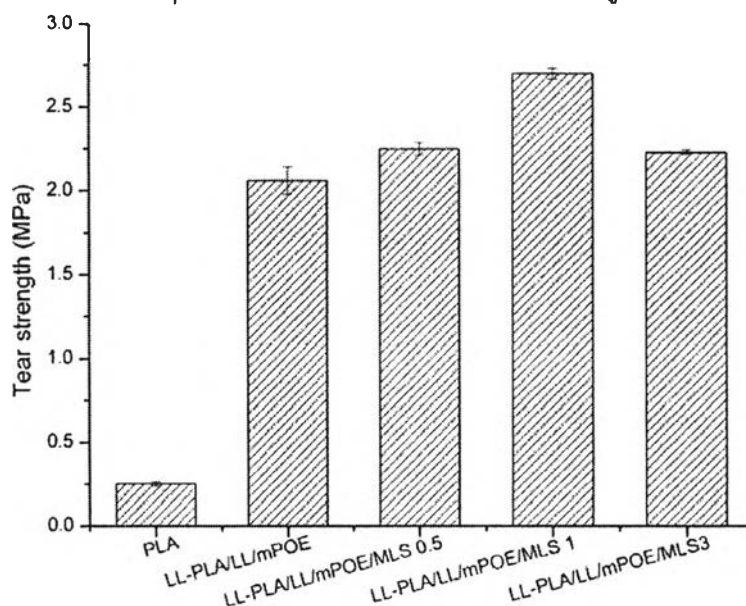


รูปที่ 4.31 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE

จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการประกบด้วย LLDPE มีค่าสูงขึ้นร้อยละ 496.70 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA และค่าความทนแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อมีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ซึ่งที่ปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE 1 phr นั้นความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 646.11 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากเกิดการกระจายแรง รวมถึงการประกบด้วย LLDPE ซึ่งมีสมบัติที่เหนียว เมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE เพิ่มขึ้นเป็น 3 phr ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันมีค่าลดลง

#### 4.4.2.3.2 แนวขวางเครื่องจักร

สมบัติความทนแรงฉีกขาด ในแนวตามเครื่องจักรของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.32



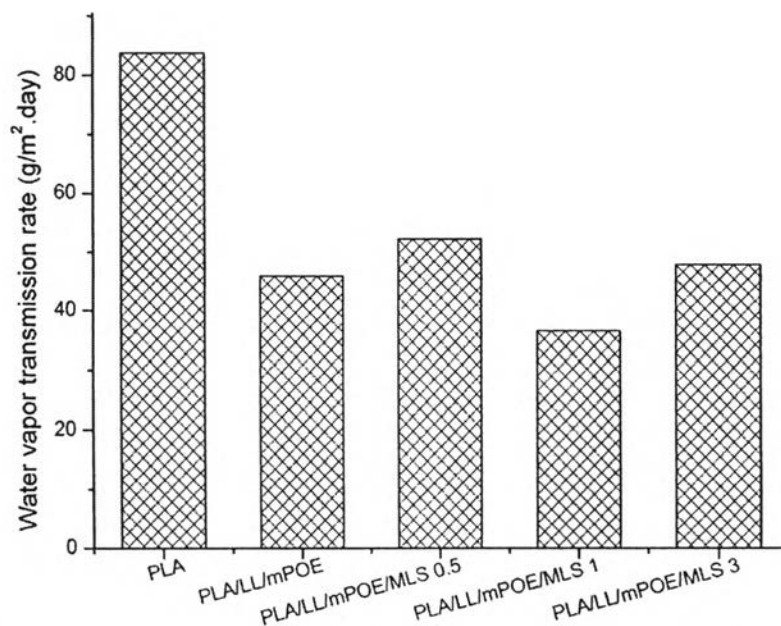
รูปที่ 4.32 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE

ฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการประกบด้วย LLDPE นั้นมีค่าความทนแรงฉีกขาดสูงขึ้นร้อยละ 880.00 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว และค่านี้จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการผสมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน PLA/LL/mPOE ที่มีการประกบด้วย LLDPE โดยเฉพาะการผสมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณ 1 phr มีค่าความทนแรงฉีกขาดสูงขึ้นถึงร้อยละ 1186.71 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว

#### 4.4.3 สมบัติการสกัดกั้น (barrier properties)

##### 4.4.3.1 การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.33

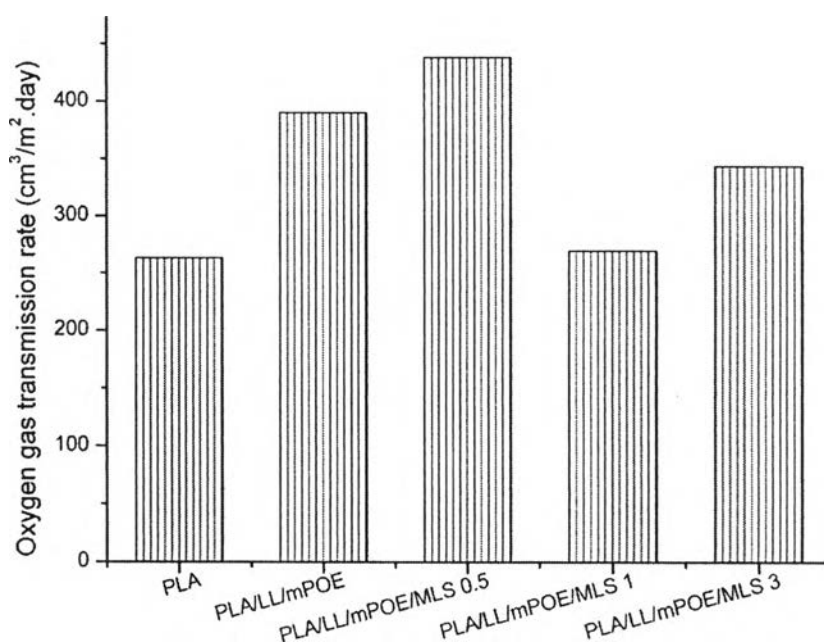


รูปที่ 4.33 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ

จากการทดลองพบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 83.8 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และเมื่อทำเป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ LLDPE โดยมี mPOE เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เนื่องจาก LLDPE และ mPOE มีสภาพความเป็นขั้วต่ำหรือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) [32] จึงทำให้น้ำมีการซึมผ่านได้น้อยลง และเมื่อทำการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมลดน้อยลงเมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว โดยที่การเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรปริมาณ 1 phr ในพอลิเมอร์ผสม มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่น้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากการการกระจายตัวที่ดีของอนุภาค มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในเนื้อของพอลิเมอร์ [32] โดยการกระจายตัวเป็นแบบแผ่น (exfoliated structure) และเกิดเป็นเส้นทางคดเคี้ยว (tortuous pathway) ทำให้เพิ่มระยะทางในการซึมผ่านของโมเลกุลของน้ำ [33]

#### 4.4.3.1 การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen gas transmission rate, OTR)

อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen gas transmission rate, OTR) ของฟิล์ม PLA ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ

จากการทดลองพบว่า อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 263 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE นั้นมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่สูงขึ้น เนื่องจาก LLDPE และ mPOE มีสายโซ่โมเลกุลที่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ และมีช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้โมเลกุลของก๊าซออกซิเจนสามารถแทรกผ่านได้ [33] และเมื่อทำการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr ในพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE พบว่าปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 0.5 phr มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์ม PLA เพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรยังไม่เพียงพอที่จะกระจายตัวได้ทั่วทั้งเนื้อพอลิเมอร์ ประกอบกับมีปริมาณ LLDPE และ mPOE อยู่ ทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวย่าง เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ แต่ที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1 phr นั้นมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลดลงมาใกล้เคียงกับค่าของพอลิเล็กทิกแอซิด อาจจะเนื่องมาจากมีการกระจายตัวของ



อนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมากขึ้น ทำให้แก๊สสามารถแพร่ผ่านได้น้อยลง [33] แต่เพราะว่า ยังมีปริมาณของLLDPE และ mPOE มีอยู่ จึงส่งผลให้แก๊สสามารถซึมผ่านได้บางส่วน