

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะพื้นฐานวิทยา เสถียรภาพทางความร้อน และการดูดกลืนอินฟราเรดของพอลิเมอร์ผสม โดยทำการศึกษาปริมาณของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแล้วให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมมีค่าดีที่สุด โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม (Fusabond MB 226 D) ที่ 0 5 10 และ 15 % การศึกษาปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Ca-Zn Heat stabilizer) ที่ 0 1 3 5 และ 7 % และสุดท้ายเป็นการศึกษาปริมาณสารละลายวานิลลาที่ใช้เป็นสารให้กลิ่นที่ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ อาศัยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวช่วยในการผสมสารต่างๆ เข้าด้วยกันที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที จากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วมาขึ้นรูปโดยกระบวนการเป่าให้เป็นฟิล์มบางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว หนา 0.04 มิลลิเมตร สุดท้ายนำฟิล์มบางที่ได้ไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ เช่น ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ใช้มือสัมผัส หรือการใช้จมูกดมกลิ่นได้ การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เพื่อตรวจหาหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่สำคัญของสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมและใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันเมื่อสารละลายวานิลลาเกิดการสลายตัวออกไปจากพอลิเมอร์ การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อนเพื่อใช้หาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม การตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อตรวจสอบพื้นฐานวิทยาและความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม การทดสอบสมบัติเชิงกลเป็นการทดสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเมื่อนำไปใช้งานจริง การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบการสลายตัวของสารให้กลิ่นที่ได้เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม และการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ เป็นต้น ผลที่ได้จากการทดสอบต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

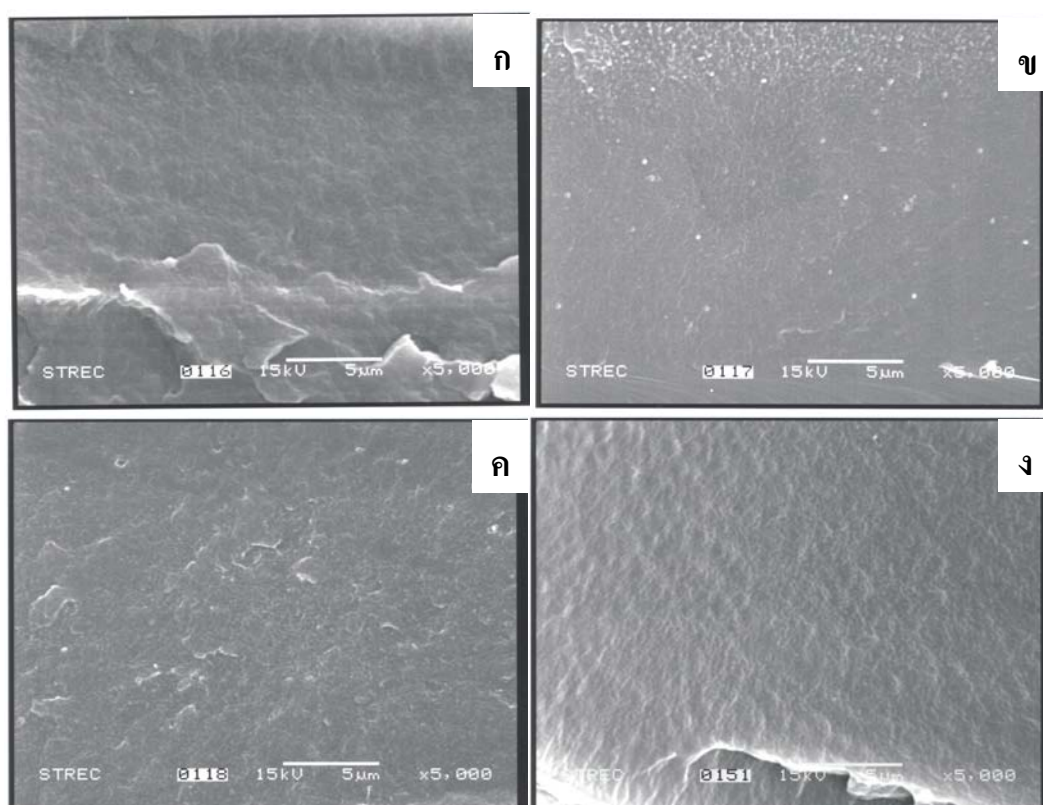
1. ผลที่ได้จากการศึกษาสารตัวเติมในเบื้องต้น
2. ผลที่ได้จากการศึกษาสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ กัน
3. ผลที่ได้จากการศึกษาสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณต่างๆ กัน
4. ผลที่ได้จากการศึกษาสารละลายวานิลลาในปริมาณต่างๆ กัน

4.1 ผลที่ได้จากการศึกษาสารตัวเติมในเบื้องต้น

เป็นการศึกษาผลของสารตัวเติมแต่ละชนิดที่มีผลต่อฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ได้ผลดังนี้

4.1.1 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

เมื่อนำฟิล์มพลาสติกที่ได้หลังจากการผสมสูตรและขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าเป็นถุงพลาสติก มาทำการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาเพื่อดูความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งต่างชนิดกัน

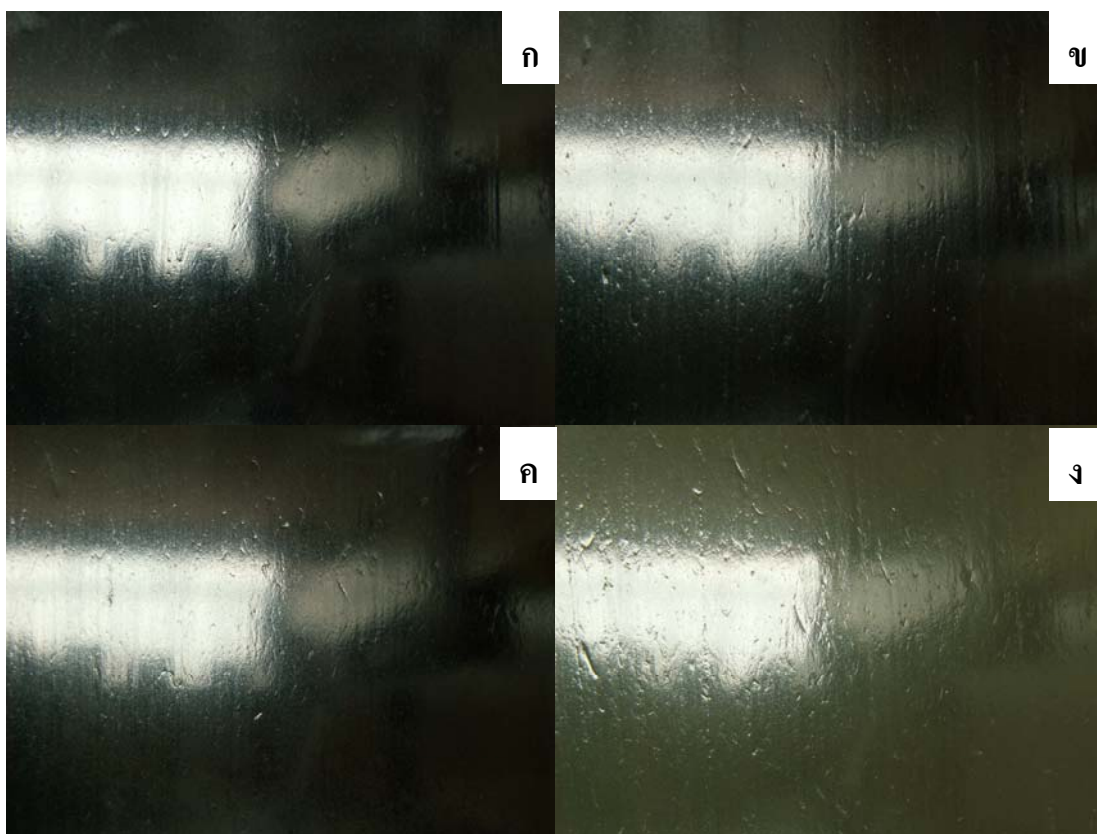
- ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
- ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารช่วยผสม 10 %
- ค) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 %
- ง) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารละลายวานิลลา 2 %

จากรูปที่ 4.1 ก. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพียงอย่างเดียว พบว่ามีพื้นผิวค่อนข้างเรียบแต่มีส่วนที่เกิดจากการหักชันงานเหลืออยู่ รูปที่ 4.1 ข. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารช่วยผสม 10 % พบการกระจายตัวของสารช่วยผสมอย่างสม่ำเสมอที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมโดยสังเกตจากจุดทรงกลมสีขาวๆ ที่กระจายตัวกันอยู่บนพื้นผิวของพอลิเมอร์ รูปที่ 4.1 ค. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 % พบว่ามีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ แต่อาจมีริ้วรอยเกิดเนื่องจากการหักชันงานที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่ที่ทำให้เกิดรอยของชันงานที่ยึดเกิดขึ้น รูปที่ 4.1 ง. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารละลายวานิลลา 2 % พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่พบการแบ่งวัฏภาคอย่างชัดเจน

4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่ได้จากการเป่าขึ้นรูปนี้ จะอาศัยวิธีที่ไม่ยุ่งยากในการตรวจสอบโดยอาศัยการสังเกตด้วยตาเปล่า การใช้มือสัมผัสกับพื้นผิวฟิล์ม หรือการใช้มุกดูดลม ก็สามารถตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นได้ เช่น ความใส สี ความมันเงา ความขรุขระของพื้นผิว และกลิ่นของสารละลายวานิลลาที่เติมเข้าไป เป็นต้น ซึ่งลักษณะทางกายภาพจะเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

ในการทดลองนี้จะทำการถ่ายภาพฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน โดยทำการติดตั้งชันงานให้มีระยะห่าง 1 นิ้วจากเลนส์กล้องถ่ายรูป และกำหนดสภาวะให้มีแสงส่องผ่านมาจากทางด้านหลังของฟิล์มเพื่อที่จะได้เห็นลักษณะต่างๆ ของฟิล์มพอลิเมอร์ได้อย่างชัดเจน ทั้งความใส ความขรุขระ และสีของฟิล์มพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังใช้การดูดดมกลิ่นของสารละลายวานิลลาที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ผสมด้วยว่ามีความเข้มข้นของกลิ่นต่างกันมากน้อยเพียงไร โดยฟิล์มที่ได้จากการเป่าขึ้นรูปมีลักษณะทางกายภาพ ดังนี้



รูปที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งต่างชนิดกัน

- ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
- ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารช่วยผสม 10 %
- ค) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 %
- ง) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมกับสารละลายวานิลลา 2 %

จากรูปที่ 4.2 เป็นลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปจากกระบวนการเป่า โดยทำการถ่ายภาพฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์หลังจากการเป่าขึ้นรูป พบว่าฟิล์มทั้ง 4 ชนิดมีความใส ผิวเรียบมัน แต่เมื่อพิจารณาให้ดีแล้วพบว่าความใสของพื้นผิวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในรูป 4.2 ก. จะมีมากกว่าสูตรที่เติมสารเติมแต่ง สังเกตจากบริเวณกรอบแสงสีขาวภายในรูปพบว่ารูป 4.2 ก. จะเห็นกรอบรอบแสงสีขาวนั้นค่อนข้างชัดเจน เมื่อมีการเติมสารช่วยผสมและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเข้าไปกรอบแสงที่ส่องมาจากด้านหลังเริ่มลดความชัดเจนลงไปเล็กน้อยดังรูป 4.2 ข. และ 4.2 ค. ตามลำดับ เนื่องจากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนี้เกิดความขุ่นขึ้นเล็กน้อย และรูป 4.2 ง. เป็นฟิล์ม พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีการเติมสารละลายวานิลลาลงไป พบว่าสีของฟิล์มกลายเป็นสีเหลืองอ่อนใส ยังสามารถมองเห็นแสงที่ส่องมาจากด้านหลังได้แต่ไม่สามารถระบุองค์ประกอบของภาพที่อยู่ด้านหลังฟิล์มนั้นได้ นอกจากสีเหลืองที่พบในฟิล์มแล้วโดยอาศัยการสุดคมยังตรวจพบกลิ่นของสารละลายวานิลลาจางๆ ได้อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์กับสัณฐานวิทยาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM พบว่าลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สูตรที่ผสมกับสารช่วยผสม 10 % สูตรที่ผสมกับสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 % และสูตรที่ผสมกับสารละลายวานิลลา 2 % มีพื้นผิวที่เรียบคล้ายกันทั้ง 4 สูตร เมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันคือมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบใกล้เคียงกัน

4.2 ผลที่ได้จากการศึกษาสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ กัน

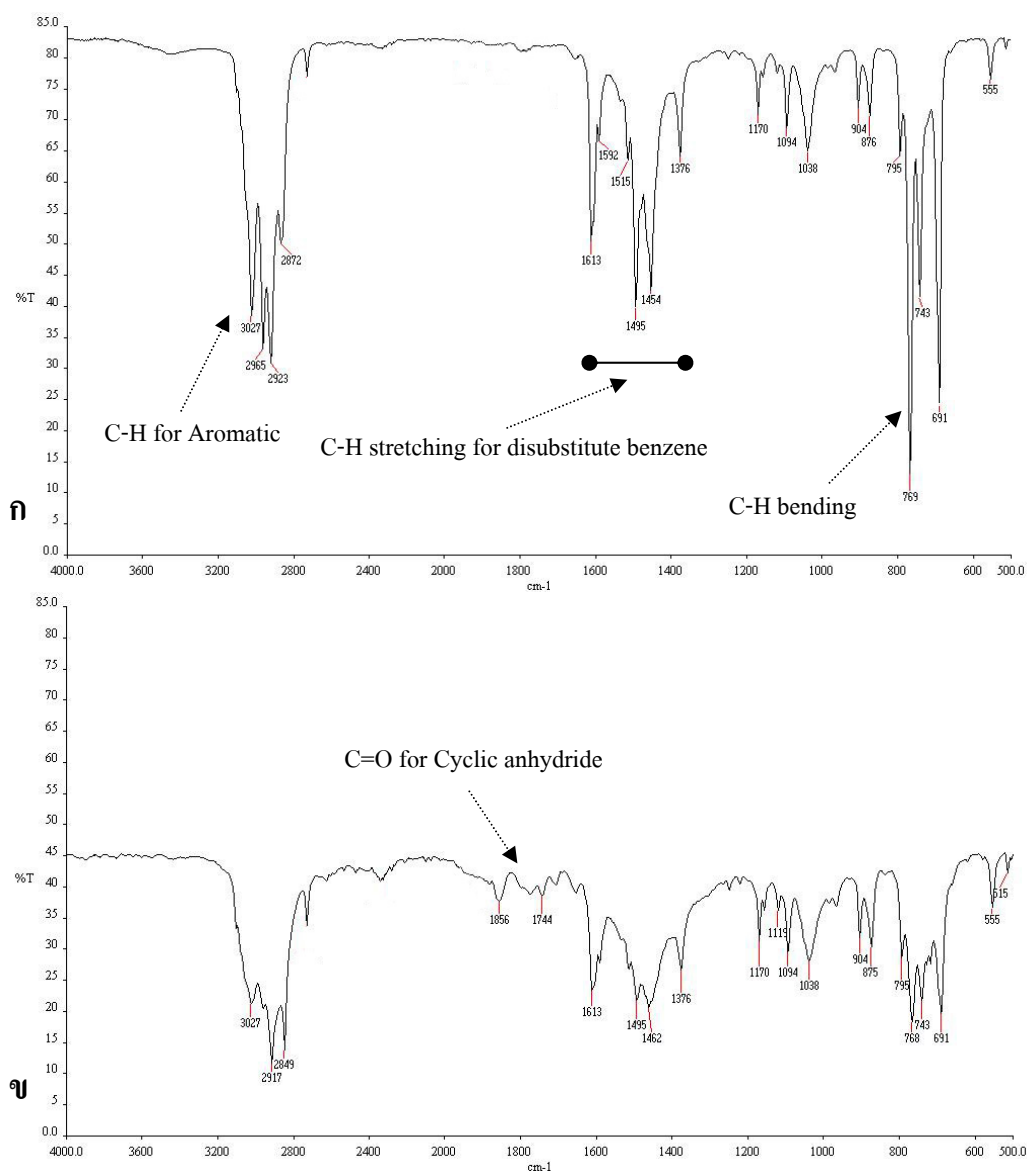
4.2.1 การตรวจวิเคราะห์การดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจะอาศัยเครื่องมือ FTIR เพื่อตรวจหาหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่สำคัญของสารเดิมแต่งที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม เช่น หมู่ฟังก์ชัน O-H ของสารละลายวานิลลา หมู่ฟังก์ชัน C=O ของสารช่วยผสม หมู่ฟังก์ชัน C-H ของวงอะโรมาติก เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ยังสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันเมื่อเวลาผ่านไปได้อีกด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ มีดังนี้

ตารางที่ 4.1 พันธะและตำแหน่งของพิกที่สำคัญในงานวิจัย [42]

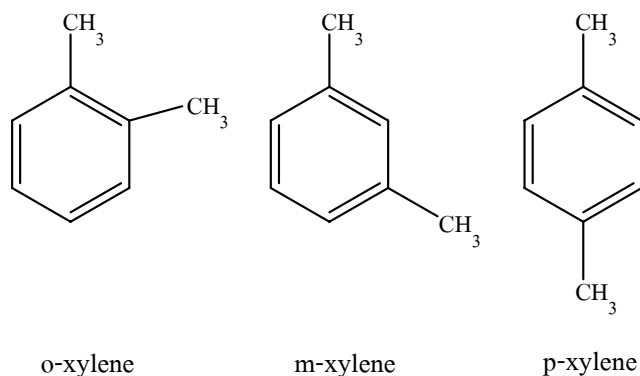
พันธะ	ตำแหน่งเลขคลื่นที่พบพิก (cm^{-1})
O-H stretching	3600 - 3200
C-H for Aromatic	3100 - 3010
C-H stretching	3000 - 2800
C=O for Cyclic anhydride	1850 และ 1750
C=O for Aromatic aldehyde	1710 - 1690
C-H stretching for Aromatic	1600 - 1450
C-H bending for CH_2	1463
C-H bending for CH_3	1377
C-O stretching for Aromatic ether	1275 – 1200 และ 1080 - 1040
C-H rocking for CH_2	729

การหาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารช่วยผสมในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้จากวิธีการบดเม็ดพอลิเมอร์ผสมรวมกับสาร KBr แบบผงแล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีขนาดบางได้ เนื่องจากปริมาณสารช่วยผสมที่เติมเข้าไปมีอัตราส่วนน้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากทำให้ไม่สามารถตรวจสอบฟังก์ชันที่สำคัญของสารช่วยผสมได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสมบัติการละลายของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้สารละลายไซลีนและให้ความร้อนเล็กน้อยเพื่อละลายพอลิเมอร์ผสม เมื่อได้เป็นสารละลายใสแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารช่วยผสมที่พบในสารละลายนั้น ได้ผลดังนี้

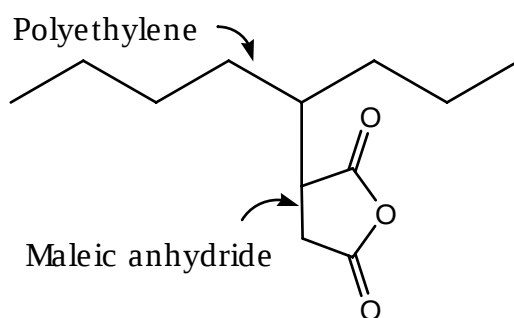


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของไซลีน (ก.) และพอลิเมอร์ผสมที่ละลายด้วยไซลีน (ข.)

จากรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารละลายไซลีนกับสารละลายไซลีนที่ละลายพอลิเมอร์ผสม พบว่าสเปกตรัมของไซลีน (เส้น ก.) มีพีกของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือ ที่เลขคลื่น $3100 - 3010 \text{ cm}^{-1}$ ของ C-H for Aromatic ที่เลขคลื่น $1620 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ ของ C-H stretching for disubstitute benzene ที่เลขคลื่น $790 - 690 \text{ cm}^{-1}$ ของ C-H bending และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของสารละลายไซลีนที่ละลายพอลิเมอร์ผสม (เส้น ข.) พบความแตกต่างของทั้ง 2 สเปกตรัม ที่เลขคลื่น 1850 และ 1740 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของหมู่ฟังก์ชัน C=O ของ Cyclic anhydride เป็นพีกที่เพิ่มขึ้นมาในสเปกตรัมรูปที่ 4.3 ข. จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าภายในโครงสร้างของสารไซลีนในจะมีแต่พันธะ C-H เท่านั้นดังนั้นหมู่ฟังก์ชัน C=O ที่เพิ่มขึ้นมาในรูป 4.3 ข. จึงเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารช่วยผสมดังโครงสร้างในรูปที่ 4.5 จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าภายในพอลิเมอร์ผสมนั้นมีสารช่วยผสมอยู่จริง

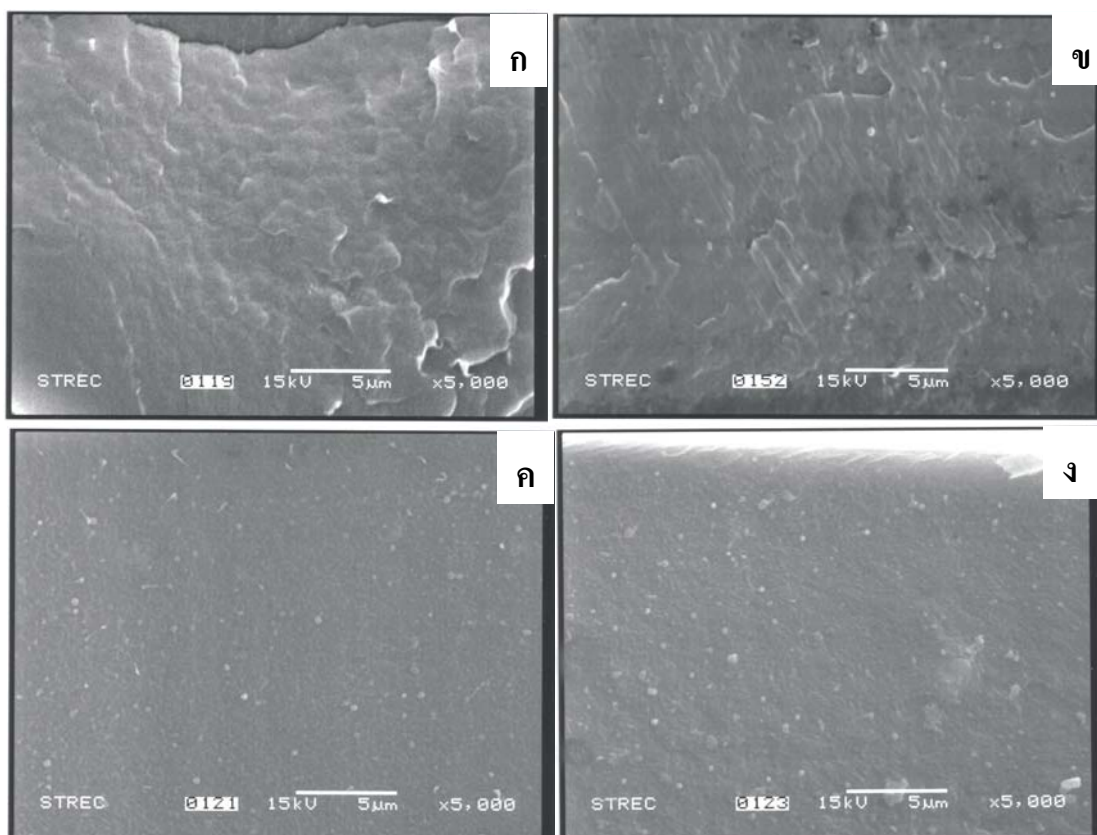


รูปที่ 4.4 โครงสร้างของสารไซลีน [43]



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของสารช่วยผสม (MAPE) [11]

4.2.2 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

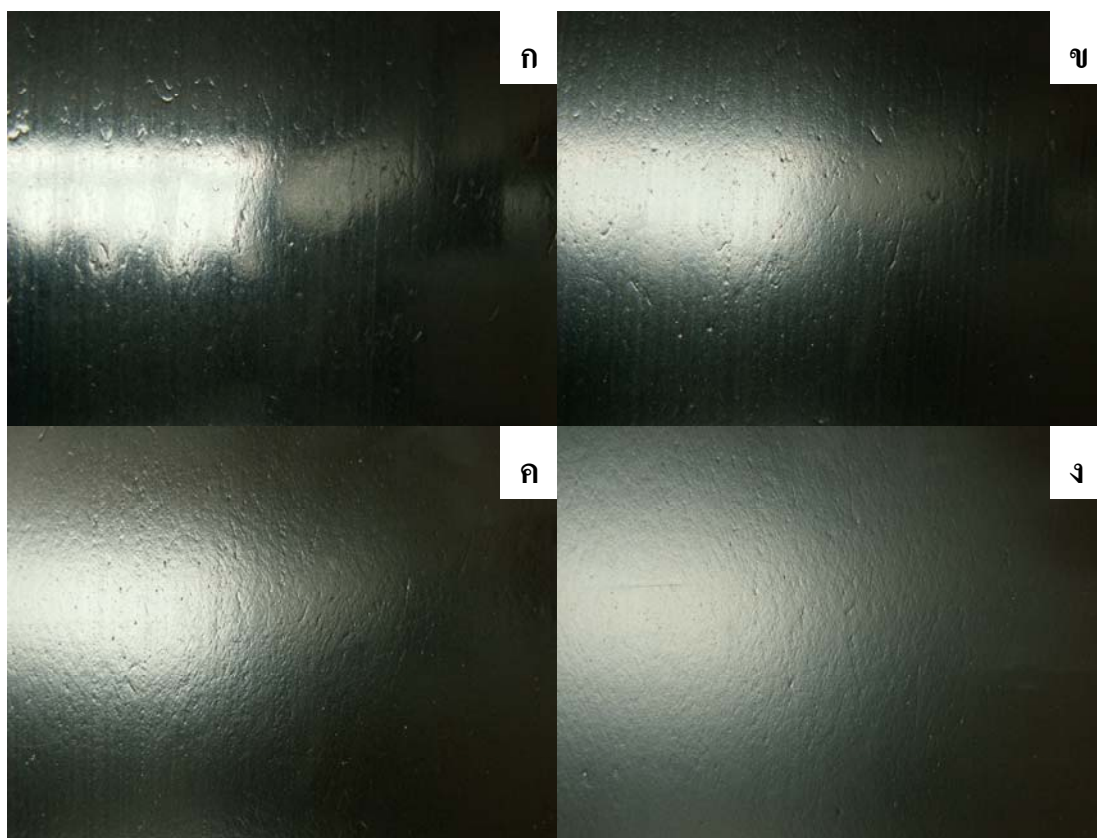


รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารช่วยผสมปริมาณต่างๆ กัน

- ก) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 0 %
- ข) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 5 %
- ค) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 10 %
- ง) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 15 %

จากรูปที่ 4.6 ก. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม พบว่าที่พื้นผิวของพอลิเมอร์มีลักษณะค่อนข้างเรียบ ส่วนในกรณีรูปที่ 4.6 ข. และ 4.6 ค. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารช่วยผสม 5 % และ 10 % ตามลำดับ พบว่ามีการกระจายตัวของสารช่วยผสมที่พื้นผิวค่อนข้างสม่ำเสมอสังเกตจากจุดทรงกลมสีขาวในรูปที่ 4.6 ค. ที่มีการกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมเป็น 15 % พบว่าการกระจายตัวของสารช่วยผสมไม่ค่อยสม่ำเสมอดังรูปที่ 4.6 ง. เริ่มมีการรวมตัวหนาแน่นอยู่ตรงบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนพื้นผิวเนื่องจากปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของสารช่วยผสมไม่สม่ำเสมอเท่ากับสูตรที่เติมสารช่วยผสม 10 %

4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ



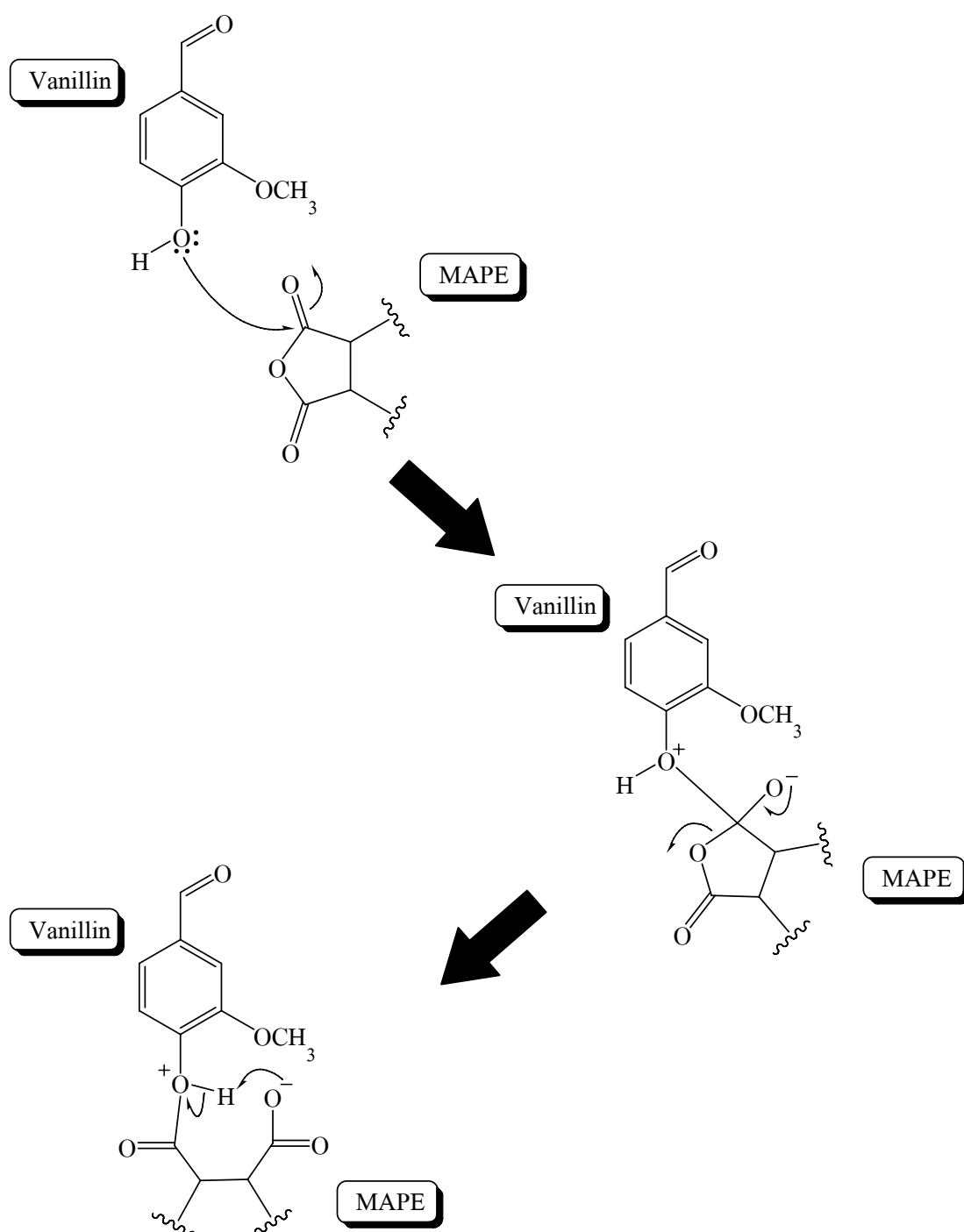
รูปที่ 4.7 ลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ กัน

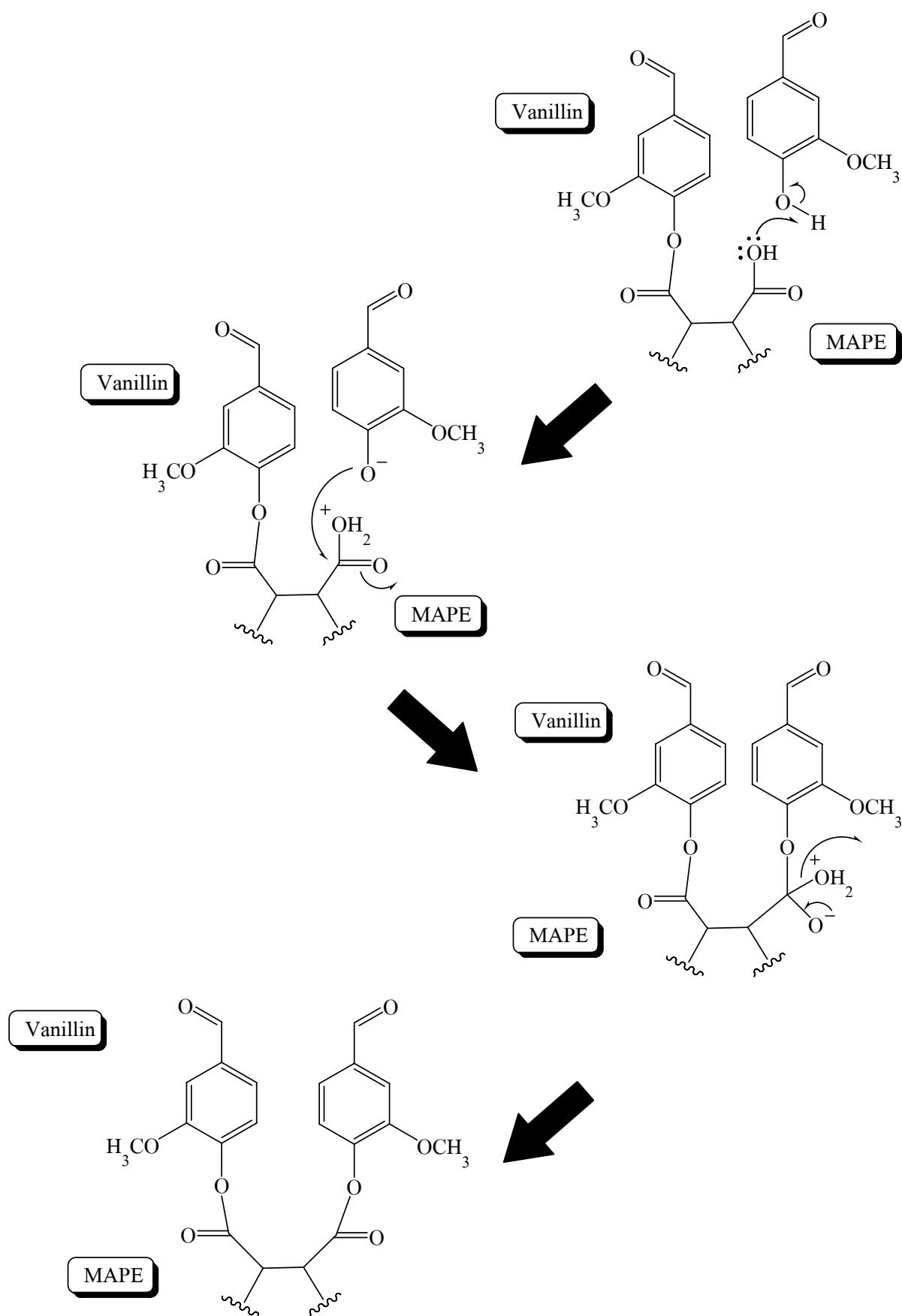
- ก) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 0 %
- ข) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 5 %
- ค) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 10 %
- ง) LDPE : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % : MAPE 15 %

จากรูปที่ 4.7 เป็นการพิจารณาปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม โดยทำการถ่ายภาพฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์หลังจากการเป่าขึ้นรูป มีจุดที่น่าสังเกตคือ องค์ประกอบของแสงที่ส่องมาจากทางด้านหลังของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พบว่ารูปที่ 4.7 ก. เป็นฟิล์มของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม รูปนี้ยังพอที่จะมองเห็นองค์ประกอบทางด้านหลังของฟิล์มพอลิเมอร์อยู่บ้างเล็กน้อย แม้จะไม่ชัดเจนแต่สามารถมองเห็นผ่านได้บ้างแตกต่างจากสูตรที่มีการเติมสารช่วยผสม 5 % 10 % และ 15 % ดังรูปที่ 4.7 ข. 4.7 ค. และ 4.7 ง. ตามลำดับ พบว่าการมองเห็นแสงที่ผ่านมาจากทางด้านหลังของฟิล์มนั้นเริ่มทำได้ยาก

ขึ้นตามลำดับ เมื่อพิจารณาการมองเห็นทะลุผ่านฟิล์มในรูปที่ 4.7 ง. นั้นพบว่าไม่มีทางเป็นไปได้เลยที่จะมองเห็นแสงที่ทะลุผ่านมาจากด้านหลัง จะเห็นเป็นเพียงแสงมัวๆ

เนื่องจากปริมาณสารช่วยผสมที่มีอยู่ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนั้นมีมากเกินไปจนทำให้สารช่วยผสมนั้นรวมตัวกันแน่นส่งผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะขุ่นจนทำให้แสงไม่สามารถทะลุผ่านได้ นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มจะมีสีเหลืองอ่อนและมีกลิ่นของวานิลลารวมอยู่ด้วยเมื่อทำการสุกคั่ว เนื่องจากสารช่วยผสมจะเข้าไปสร้างพันธะกับสารละลายวานิลลา ดังรูปที่ 4.8 [44] ทำให้สามารถตรวจพบสมบัติของสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมนี้ได้





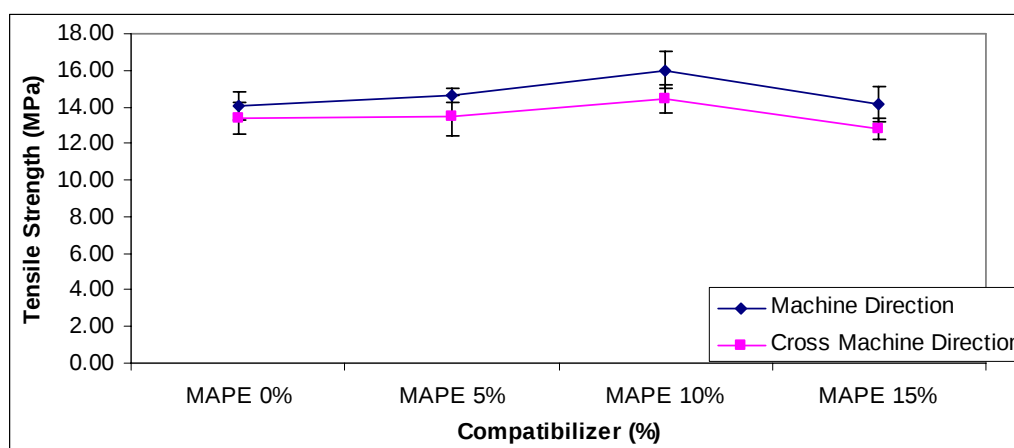
รูปที่ 4.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารช่วยผสมกับสารวานิลลิน [44]

4.2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

เป็นการทดสอบสมบัติของฟิล์มที่จะทนทานต่อแรงดึงยึดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก หรือเสียสภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้ฟิล์มที่มีความหนา 0.04 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

4.2.4.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จะทำการตัดชิ้นงานให้มีรูปร่างคล้ายคัมเบลล์ เพื่อให้ชิ้นงานตัวอย่างเกิดการขาดที่บริเวณตรงกลางของชิ้นงานโดยมีความยาวเกจ 25 มิลลิเมตร การตัดชิ้นงานในรูปแบบคัมเบลล์จะใช้ทดสอบตัวอย่างที่มีการดึงยึดได้สูง ในแต่ละสูตรตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะทำการตรวจวัดจากชิ้นงานจำนวน 24 ชิ้น ทั้งทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางขวางเครื่องจักรนำไปทดสอบแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

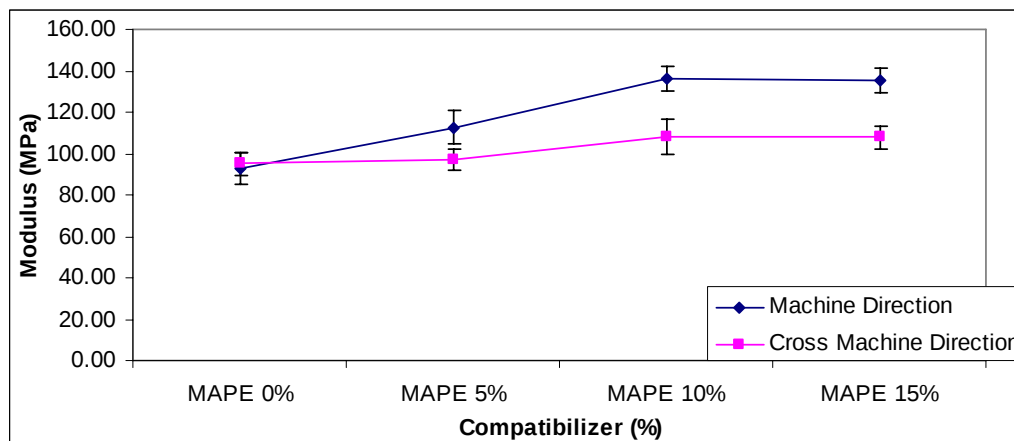


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.9 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสมแล้ว ค่าความแข็งแรงดึงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น สูตรของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารช่วยผสม 10 % จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุดและเมื่อทำการเติมสารช่วยผสมเพิ่มเป็น 15 % พบว่าค่าความแข็งแรงดึงนั้นกลับลดลง เนื่องจากสารช่วยผสมที่ใส่ลงไปมีปริมาณมากเกินไปทำให้สารช่วยผสมเกิดการรวมตัวกันอย่างหนาแน่นในบริเวณหนึ่งๆ ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาที่พบว่าสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารช่วยผสม 15 % ในรูปที่ 4.6 ง. จะมีการกระจายตัวของสารช่วยผสมที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ชิ้นงานที่ตัดเป็นรูปคัมเบลล์เมื่อทดสอบการดึงยึดแล้วไม่ขาดตรงตำแหน่งกึ่งกลางเสมอไป ดังนั้นการเติมสารช่วยผสมในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดการแบ่งวิภาคภายในพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากการสร้างพันธะกันเองระหว่างสารช่วยผสม [45] และส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มลดลงตามไปด้วย

4.2.4.2 การทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus)

ค่ามอดุลัสแรงดึงจะเป็นค่าที่บอกลถึงความแข็งเปราะ (stiffness) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม สามารถหาได้จากความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด (stress-strain curve) โดยตัดชิ้นงานทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางตามขวางเครื่องจักร ทิศทางละ 24 ชิ้น นำไปทดสอบแล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

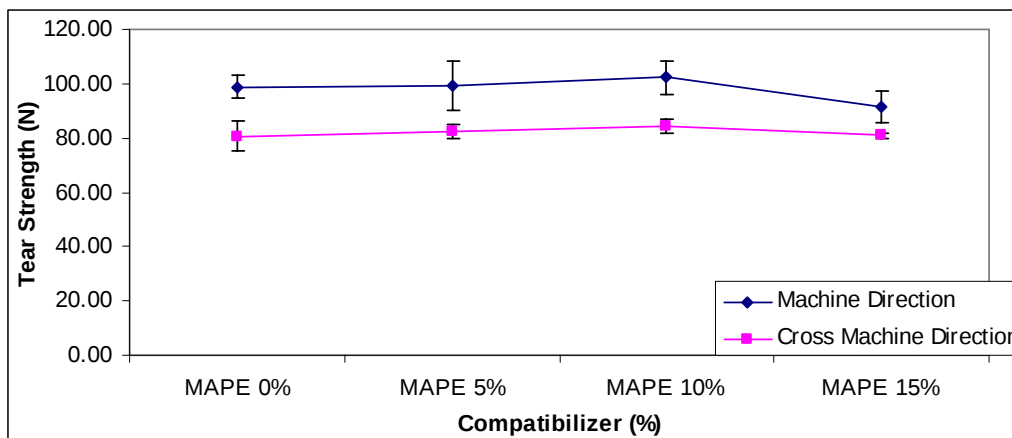


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส กับ ปริมาณสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.10 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสมให้มีค่ามากขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยค่ามอดุลัสที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสมเข้าไปในงานวิจัยนี้เมื่อเติมสารช่วยผสม 10 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะทำให้ได้ค่ามอดุลัสสูงสุด อาศัยการพิจารณาจากฐานวิทยาในรูปที่ 4.6 ก. พบการกระจายตัวของสารช่วยผสมอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม จากผลของสารช่วยผสมที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์นี้ทำให้รอยต่อที่เกิดจากแต่ละวัฏภาคในพอลิเมอร์ผสมลดลง ส่งผลให้พอลิเมอร์มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงในการดึงที่ได้จากรูปที่ 4.9

4.2.4.3 การทดสอบการฉีกขาด (Tear test)

เป็นการทดสอบค่าความต้านทานในการฉีกขาด จะทำให้ทราบถึงแรงที่ทำให้ชิ้นงานเริ่มฉีกขาด ซึ่งจะเป็นค่าความเครียดสูงสุด (maximum stress) ของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางตามขวางเครื่องจักร ทิศทางละ 24 ชิ้น นำไปทดสอบแล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

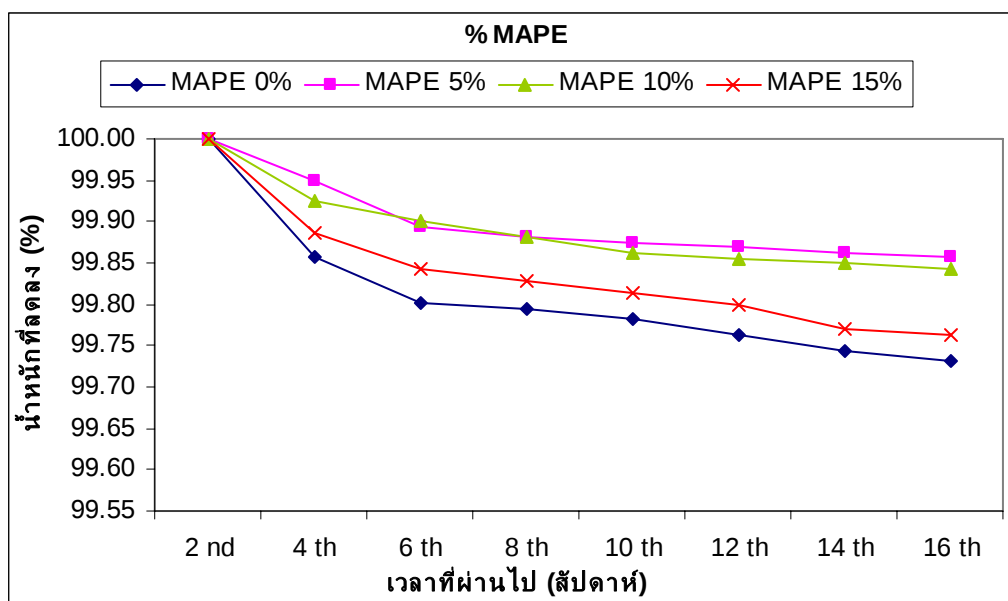


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาดกับปริมาณสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะให้ค่าความต้านทานในการฉีกขาดเพิ่มขึ้นเมื่อมีสารช่วยผสม 10 % เนื่องจากสารช่วยผสมจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นที่ปริมาณสารช่วยผสม 10 % มีการกระจายตัวรับแรงที่เข้ามากระทำได้เท่าๆ กันดังลักษณะวิทยาในรูปที่ 4.6 ค. ทำให้ค่าความต้านทานในการฉีกขาดมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมเป็น 15 % กลับมีค่าความต้านทานในการฉีกขาดลดลง พิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความแข็งแรงคล้ายกับสูตร 10 % เมื่อพิจารณาจากค่ามอดูลัสในรูปที่ 4.10 แต่เนื่องจากที่ปริมาณสารช่วยผสม 15 % เป็นปริมาณสารช่วยผสมที่มีมากเกินไปทำให้ฟิล์มมีลักษณะขุ่นดังรูปที่ 4.7 ง. เกิดการแยกตัวมากขึ้นในพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากปริมาณสารช่วยผสมที่มีมากเกินไปจะเกิดสร้างพันธะกันเองระหว่างสารช่วยผสม โดยค่าความต้านทานในการฉีกขาดที่ลดลงจะให้ผลสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดิ่งที่ลดลงด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.9

4.2.5 การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก

การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก อาศัยการชั่งจากเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งในช่วงเวลาต่างๆ กัน ซึ่งจะชั่งทุกๆ 2 สัปดาห์เป็นเวลานาน 4 เดือน จะสามารถช่วยติดตามเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมได้ โดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง สันนิษฐานได้ว่าเกิดจากการสลายตัวของสารละลายวานิลลาที่ได้เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ดังรูปที่ 4.27 ที่บ่งบอกถึงการสลายตัวของสารละลายวานิลลาที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสม จากการชั่งน้ำหนักได้ผลดังนี้

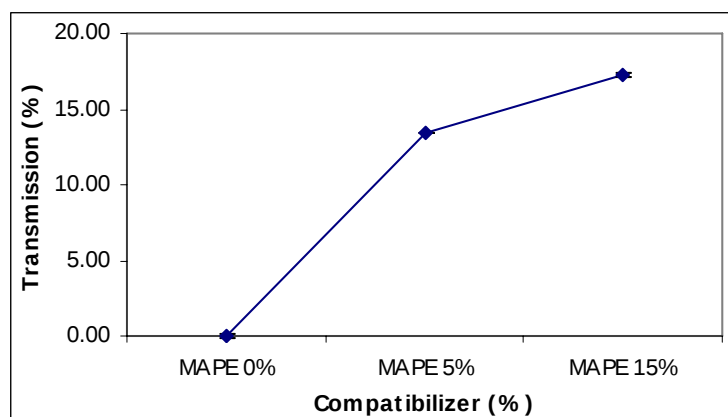


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก กับ เวลา เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสมในปริมาณที่ต่างกันเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าสูตรที่ไม่เติมสารช่วยผสมจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักมากที่สุด สูตรที่เติมสารช่วยผสม 5 % และ 10 % มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมเป็น 15 % พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงใกล้เคียงกับสูตรที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม เนื่องจากสารช่วยผสมในปริมาณ 15 % นั้นมีปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกันเนื่องจากเกิดการสร้างพันธะกันเอง ดังนั้นเมื่อสารละลายวานิลลาซึ่งเป็นส่วนที่มีขี้ผึ้งเติมเข้าไปจึงไม่ถูกสร้างพันธะกับสารช่วยผสม ทำให้สารละลายวานิลลานั้นเกิดการสูญหายออกจากพอลิเมอร์ผสมได้ง่าย ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมลดลงมากตามไปด้วย

4.2.6 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

เป็นนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ ที่ได้จากการะบวนการเป่าขึ้นรูปมาทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ เพื่อสังเกตแนวโน้มของการซึมผ่านของไอน้ำ ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของไอน้ำ กับ ปริมาณสารช่วยผสมที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.13 เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของไอน้ำกับปริมาณสารช่วยผสมที่แตกต่างกันในพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อมีปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งได้ผลที่สอดคล้องกับสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 4.6 เมื่อมีสารช่วยผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีโอกาสเกิดการแยกวัฏภาคเพิ่มขึ้นโดยที่ปริมาณสารช่วยผสม 15 % จะมีการแยกวัฏภาคอย่างชัดเจนทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด

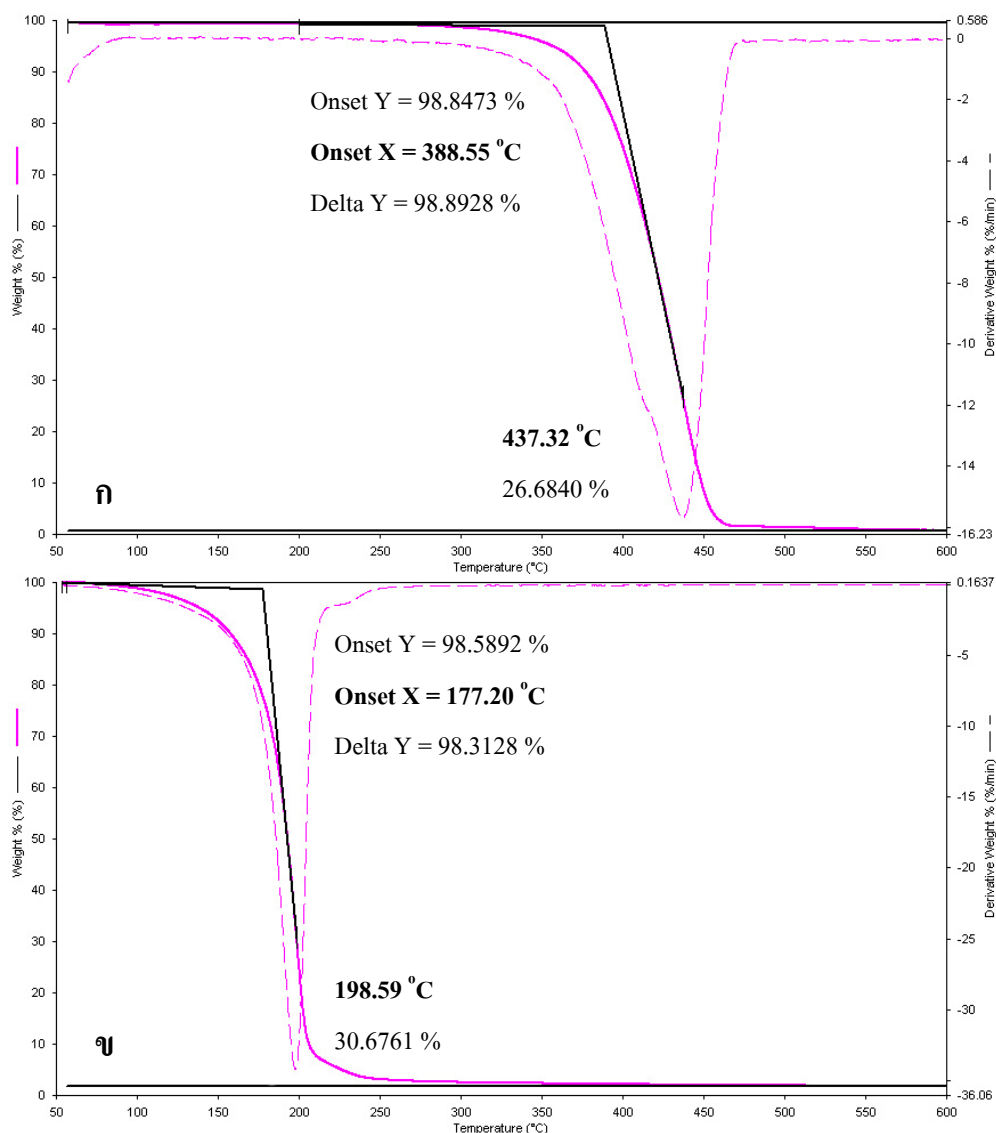
เมื่อเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์กับสัณฐานวิทยาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM พบว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน โดยสูตรที่มีสารช่วยผสม 0 % ฟิล์มจะมีลักษณะใสสามารถมองทะลุผ่านได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมเป็น 5 % 10 % และ 15 % พบว่าความสามารถในการมองทะลุผ่านค่อยๆ ลดลงตามลำดับ เนื่องจากสารช่วยผสมจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในกรณีที่มีสารช่วยผสมในปริมาณน้อยแต่เมื่อมีปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เริ่มมีการรวมตัวกันหนาแน่นส่งผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะขุ่นจนไม่สามารถมองทะลุผ่านได้

นอกจากนี้การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของสูตรที่มีสารช่วยผสม 15 % จะทำให้เกิดการแยกวัฏภาคขึ้นภายในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง และความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

4.3 ผลที่ได้จากการศึกษาสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณต่างๆ กัน

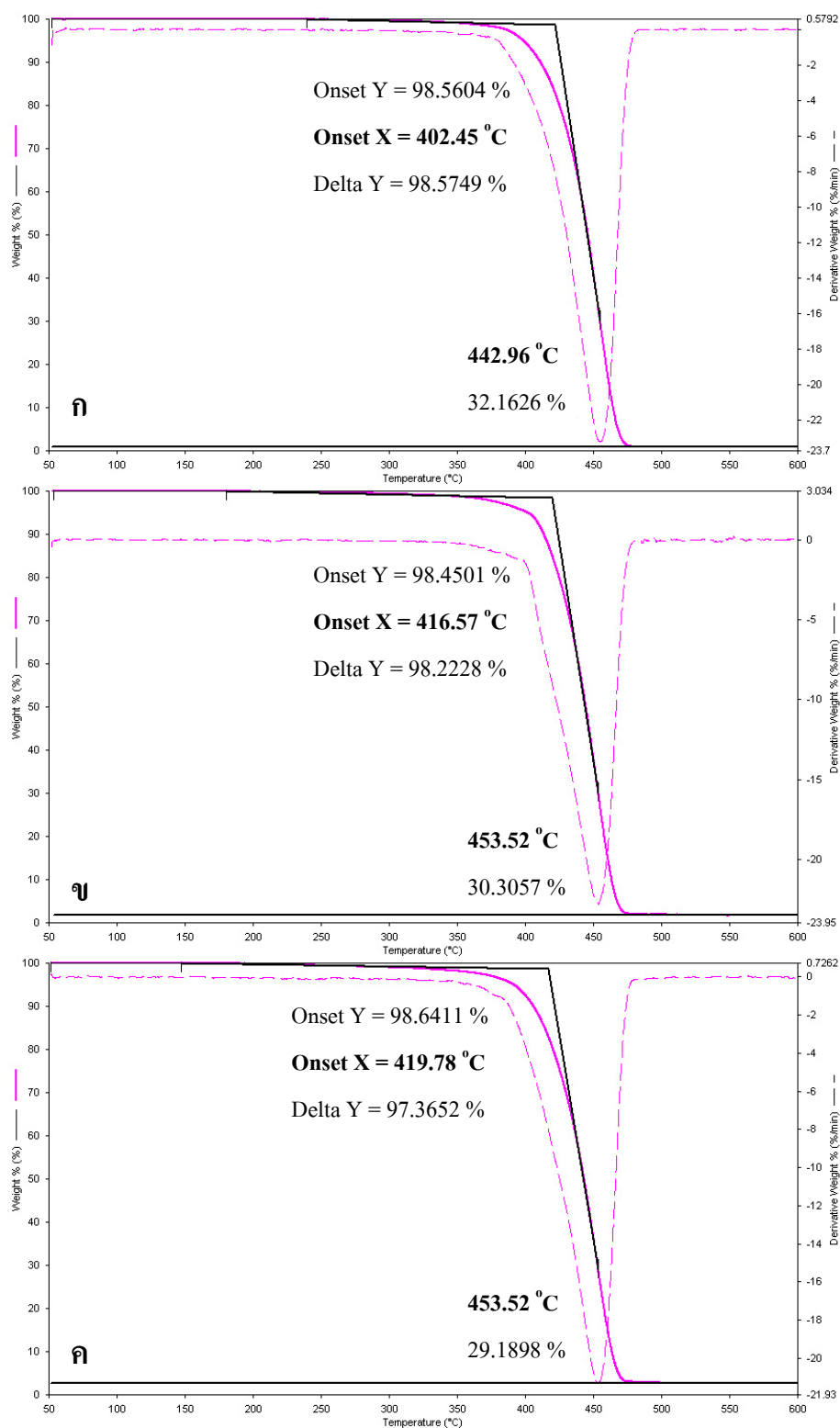
4.3.1 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

การตรวจวิเคราะห์ด้วย TGA ใช้ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature, T_d) หรือเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (ก.) และสารวานิลลา (ข.)

จากรูป 4.14 ก. และ 4.14 ข. เป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและสารละลายวานิลลา ตามลำดับ พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 388.55 °C และสลายตัวหมดที่อุณหภูมิ 437.32 °C ส่วนสารละลายวานิลลาเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 177.20 °C และสลายตัวหมดที่อุณหภูมิ 198.59 °C จากเทอร์โมแกรมพบว่าสารละลายวานิลลามีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าทำให้ระเหยได้ง่ายกว่า LDPE



รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนต่างกัน

ก) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 %

ข) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 3 %

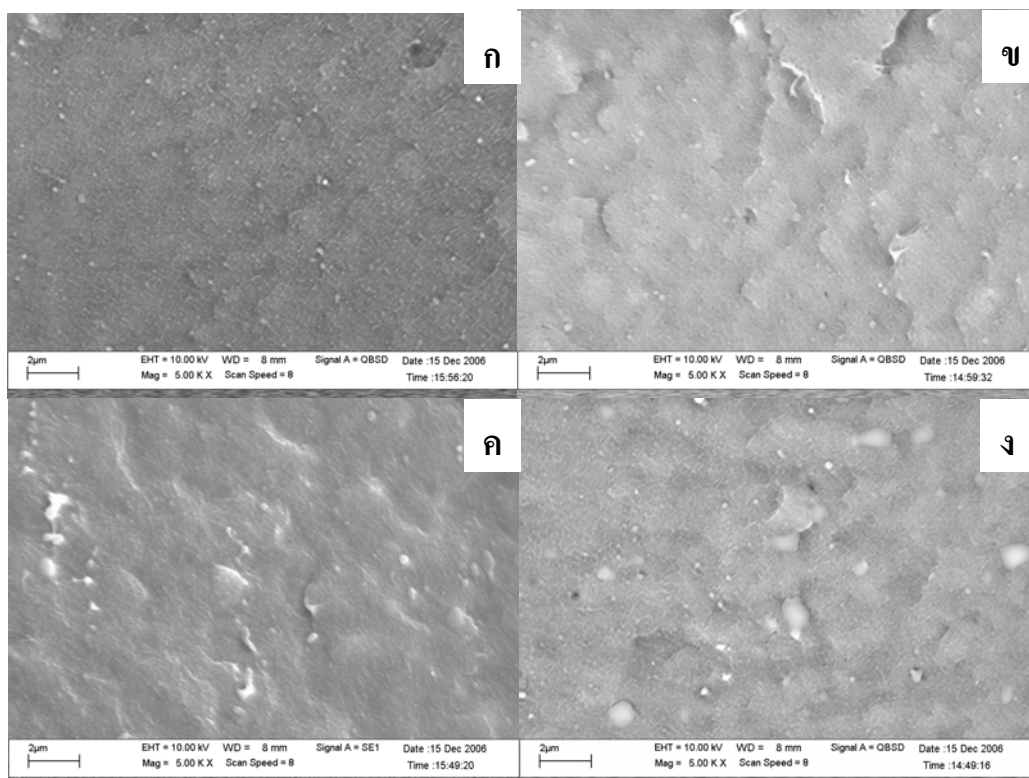
ค) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 5 %

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม ที่มีการปรับปรุงโดยการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

พอลิเมอร์	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
LDPE	388.55
LDPE+MAPE+Vanilla+Ca/Zn 1 %	402.45
LDPE+MAPE+Vanilla+Ca/Zn 3 %	416.57
LDPE+MAPE+Vanilla+Ca/Zn 5 %	419.78

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.15 เป็นการพิจารณาผลของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม โดยรูปที่ 4.15 ก. 4.15 ข. และ 4.15 ค. เป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 % 3 % และ 5 % ตามลำดับ พบว่าปริมาณของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีค่ามากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมค่อยๆ มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่ใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมด้วย เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.14 ก. ที่เป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพียงสารเดียว พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าประมาณ 15 – 20 °C หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 4 – 10 %

4.3.2 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

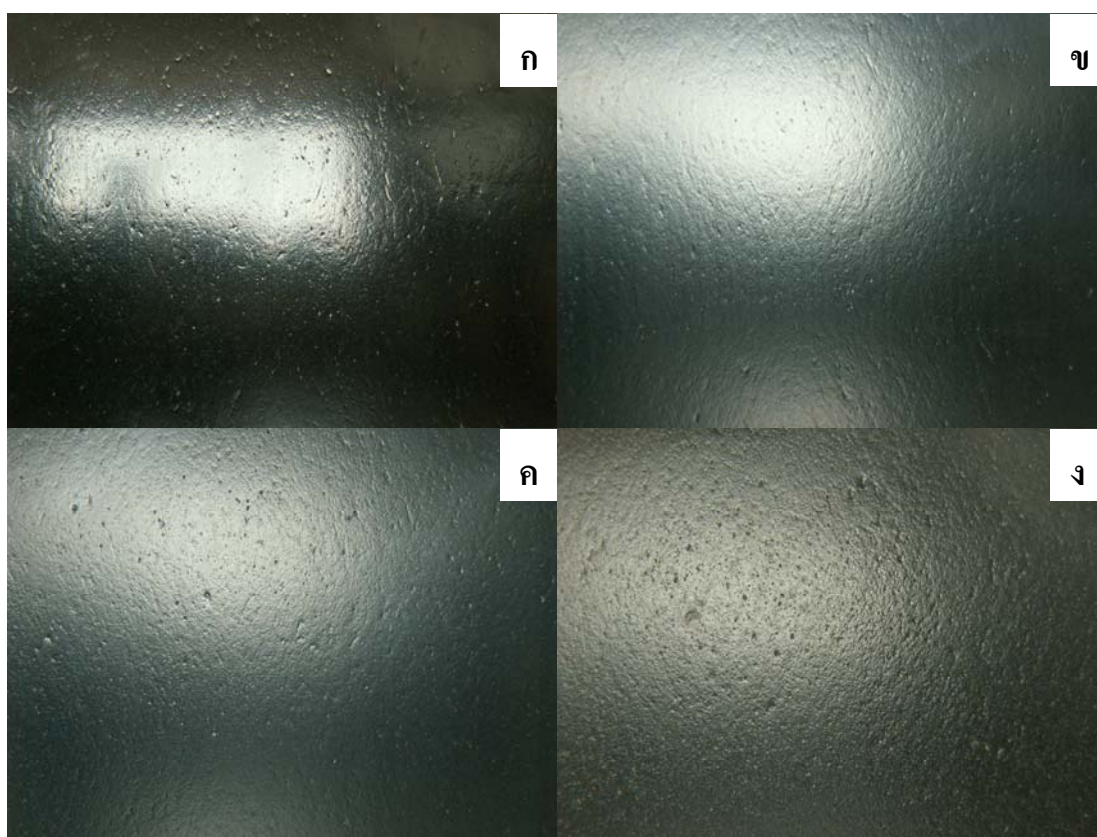


รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน ปริมาณต่างๆ กัน

- ก) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 0 %
- ข) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 %
- ค) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 3 %
- ง) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 5 %

จากรูปที่ 4.16 ก. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน พบว่ามีพื้นผิวค่อนข้างเรียบใกล้เคียงกับรูปที่ 4.16 ข. ซึ่งเป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 1 % ส่วนรูป 4.16 ค. และ ง. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 3 % และ 5 % ตามลำดับ พบว่าที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมเริ่มมีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนทรงกลมขนาดใหญ่ของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน พบว่าสูตรที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 5 % จะมีการรวมตัวกันมากที่สุดทำให้เกิดเป็นรอยต่อขึ้นในระหว่างวัฏภาค

4.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ



รูปที่ 4.17 ลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณต่างๆ กัน

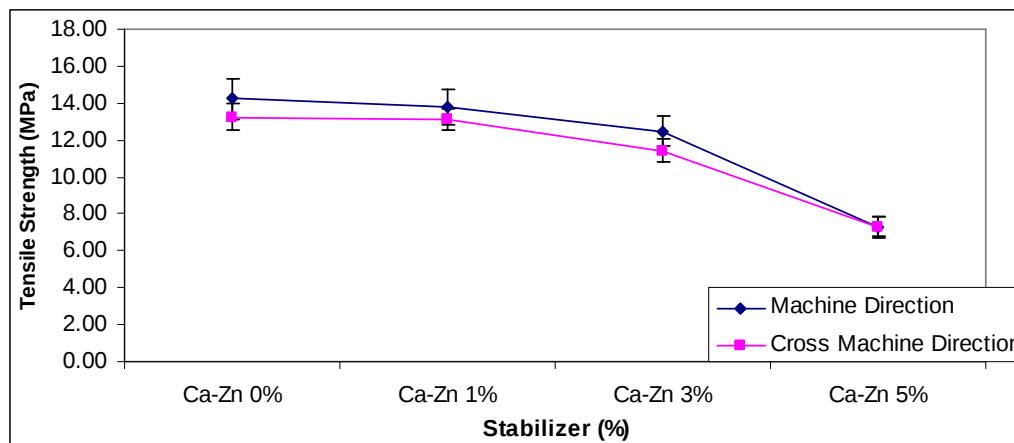
- ก) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 0 %
- ข) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 %
- ค) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 3 %
- ง) LDPE : Vanilla 2 % : MAPE 10 % : Ca-Zn 5 %

จากรูปที่ 4.17 เป็นการพิจารณาปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม โดยทำการถ่ายภาพฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์หลังจากการเป่าขึ้นรูป พบว่ารูปที่ 4.17 ก. เป็นรูปที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนทำให้ลักษณะของฟิล์มที่เห็นนั้นยังสามารถมองเห็นทะลุผ่านได้เล็กน้อย แต่เมื่อเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเริ่มมีความขุ่นจนไม่สามารถมองเห็นทะลุผ่านได้ นอกจากนี้ที่ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 3 % และ 5 % ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจะมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ความขรุขระนี้เกิดจากการรวมตัวกันของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีมากเกินไปดังรูปที่ 4.16 ค. และ 4.16 ง. ซึ่งเป็นฐานวิทยาศาสตร์ของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิด หากใช้มือสัมผัสที่พื้นผิวของฟิล์มจะสามารถสัมผัสได้ถึงความขรุขระที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้การเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณมากจะส่งผลให้สีและกลิ่นที่เกิดจากสารละลายวานิลลามีเพิ่มมากขึ้นด้วย

4.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

เป็นการทดสอบสมบัติของฟิล์มที่จะทนทานต่อแรงดึงยืดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก หรือเสียหาย ในงานวิจัยนี้ใช้ฟิล์มที่มีความหนา 0.04 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

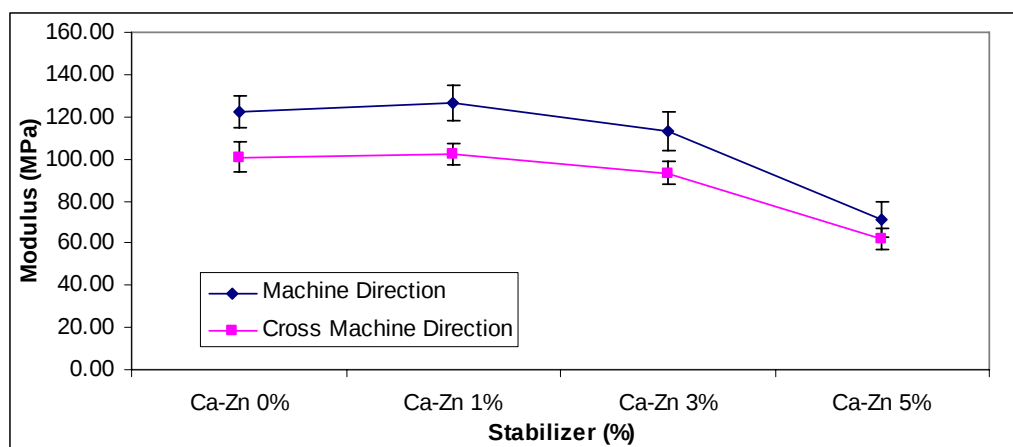
4.3.4.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์ผสม

พิจารณารูปที่ 4.18 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อทำการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้มีปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในรูปที่ 4.17 พบว่าพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณ 3 % และ 5 % ดังรูปที่ 4.17 ค. และ 4.17 ง. ตามลำดับจะมีพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในรูปที่ 4.17 ก. และเมื่อพิจารณาฐานฐานวิทยาที่ได้จากเครื่อง SEM ดังรูปที่ 4.16 ค. และ 4.16 ง. พบว่ามีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่พื้นผิวทำให้เกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาคขึ้น จากผลที่วิเคราะห์ได้นี้ทำให้ทราบได้ว่าปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มลดลง

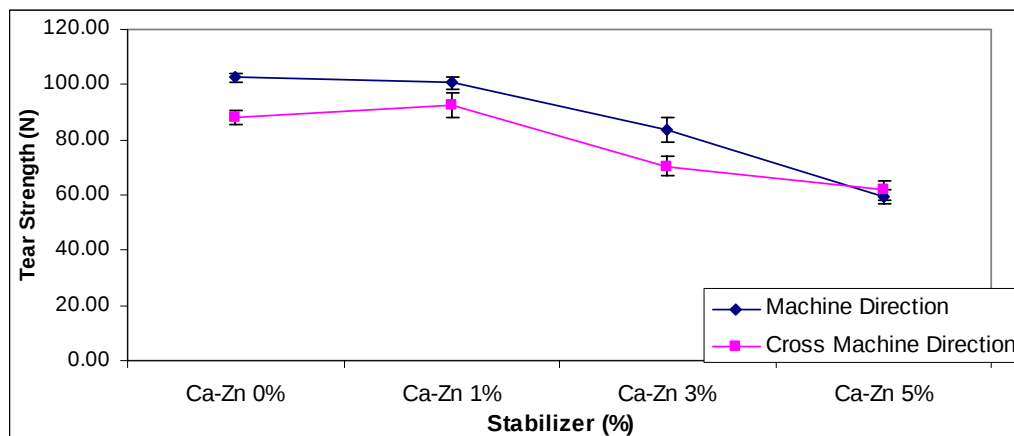
4.3.4.2 การทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส กับ ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.19 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น 1 % 3 % และ 5 % มีผลทำให้ค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเอทิลีนและวัฏภาคของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน พิจารณาได้จากรูปที่ 4.16 ค. และ 4.16 ง. ที่เป็นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ด้วยเหตุนี้ทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความเหนียวลดลงด้วย ประกอบกับการพิจารณารูปที่ 4.18 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงที่ลดลงให้ผลที่สอดคล้องกับการลดลงของค่ามอดุลัสเช่นเดียวกัน

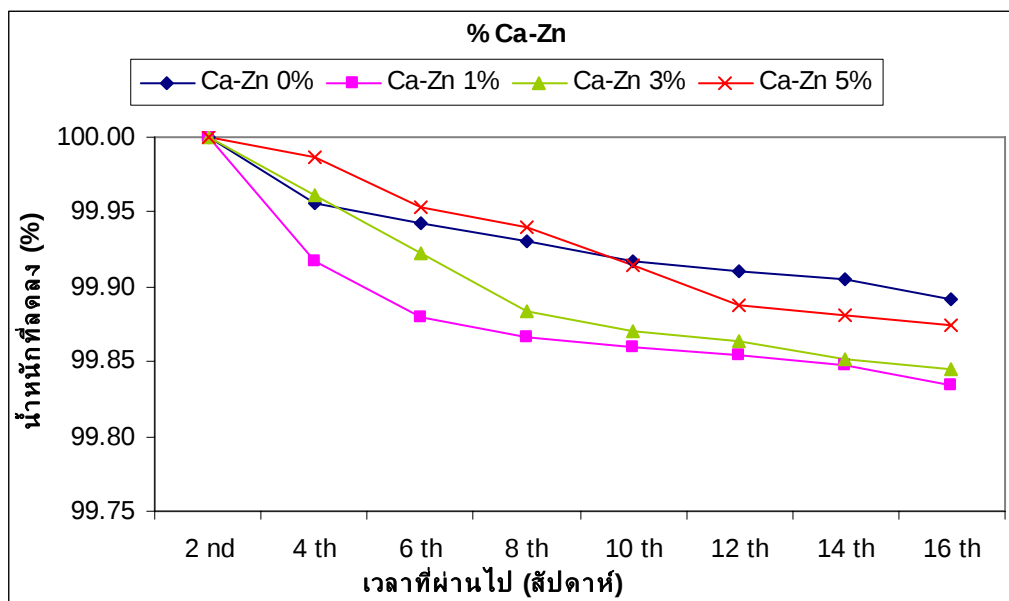
4.3.4.3 การทดสอบการฉีกขาด (Tear test)



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาด กับ ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.20 พบว่าการลดลงของค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีการลดลงดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ ค่าความต้านทานการฉีกขาดจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีปริมาณมากจะไม่เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จะรวมตัวกันอยู่เป็นกลุ่มก้อนเกิดเป็นดังเช่นสัณฐานวิทยาที่ 4.16 ง. ทำให้พื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความขรุขระเกิดขึ้นดังรูปที่ 4.17 ง. เมื่อออกแรงดึงขึ้นงานพบว่าชิ้นงานที่มีพื้นผิวขรุขระมากจะมีค่าความต้านทานการฉีกขาดที่ต่ำ เนื่องจากอนุภาคของสารเพิ่มเสถียรภาพที่รวมตัวกันนี้จะไปขัดขวางการรับแรงที่เข้ามาทำกับชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดในบริเวณที่อนุภาคนั้นรวมตัวกันอยู่ได้ง่าย

4.3.5 การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก

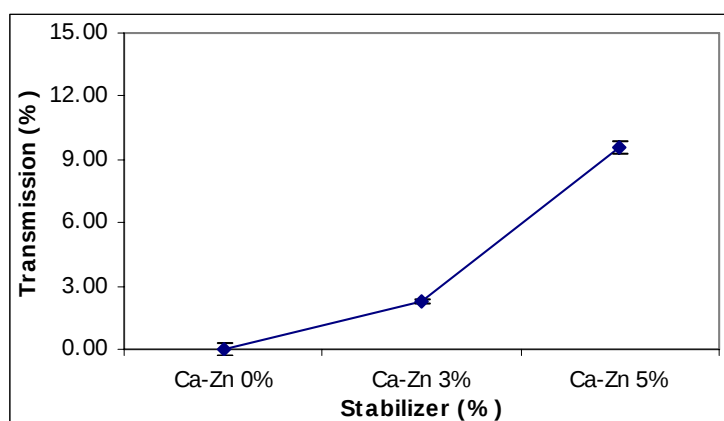


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก กับ เวลา เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.21 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณที่ต่างกันเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าสูตรที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักน้อยที่สุด จะมีแค่สารช่วยผสมเท่านั้นที่จะสร้างพันธะกับสารละลายวานิลลา [44] แต่เมื่อมีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเข้าไปพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะเข้าไปแทรกอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ผสมทำให้สารละลายวานิลลาที่ไม่ได้สร้างพันธะกับสารช่วยผสมสลวยตัวออกได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่ 1 % และ 5 % พบว่าการลดลงของน้ำหนักลดน้อยลง เนื่องจากปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่มีมากขึ้นจะเข้าไปรวมตัวกับสารละลายวานิลลาที่หลุดจากการสร้างพันธะกับสารช่วยผสมได้มากขึ้น ทำให้เหลือปริมาณสารละลายวานิลลาที่จะระเหยออกจากพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 4.17 ซึ่งพบว่าที่ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 5 % จะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีสีเหลืองเข้มที่สุด

4.3.6 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

เป็นนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆ ที่ได้จากการะบวนการเป่าขึ้นรูปมาทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ เพื่อสังเกตแนวโน้มของการซึมผ่านของไอน้ำ ได้ผลดังนี้



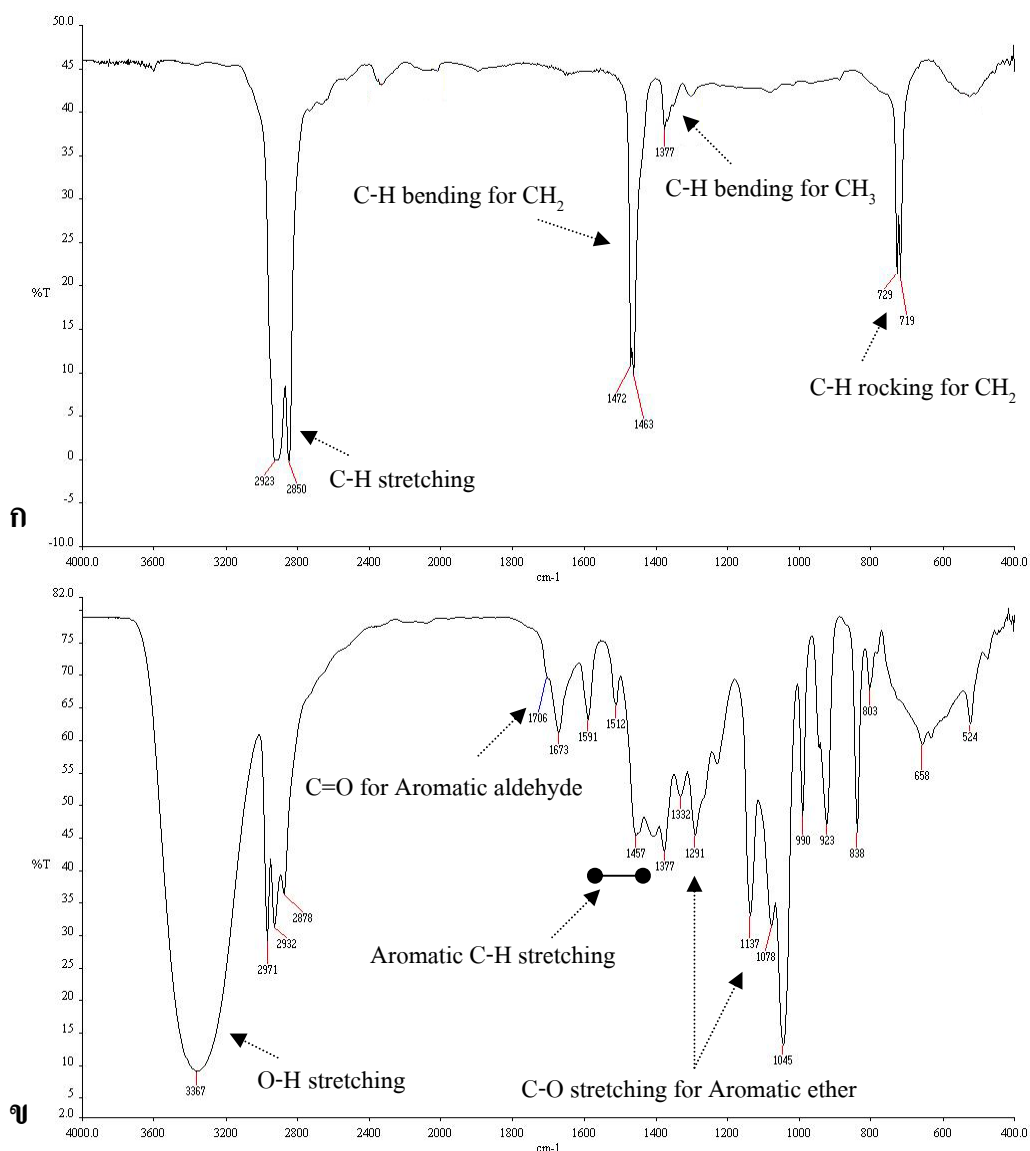
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของไอน้ำ กับ ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่แตกต่างกัน

พิจารณาปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.22 ซึ่งได้ผลที่สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 4.17 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวกันที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมเกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาคเกิดขึ้น เนื่องจากรอยต่อของวัฏภาคนี้อาจทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณต่างๆ กัน พบว่าผลที่จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวฟิล์มที่มีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม โดยพบว่าสูตรที่มีสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน 5 % จะให้พื้นผิวของฟิล์มขรุขระมากที่สุด นอกจากนี้รอยต่อที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดิ่งมีค่าลดลง และความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มมากขึ้น

4.4 ผลที่ได้จากการศึกษาสารละลายวานิลลาในปริมาณต่างๆ กัน

4.4.1 การตรวจวิเคราะห์การดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

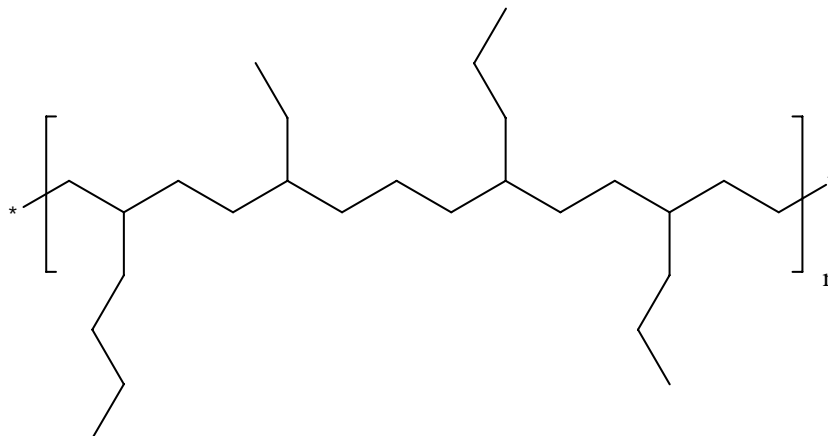


รูปที่ 4.23 สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (ก.) และสารวานิลลา (ข.)

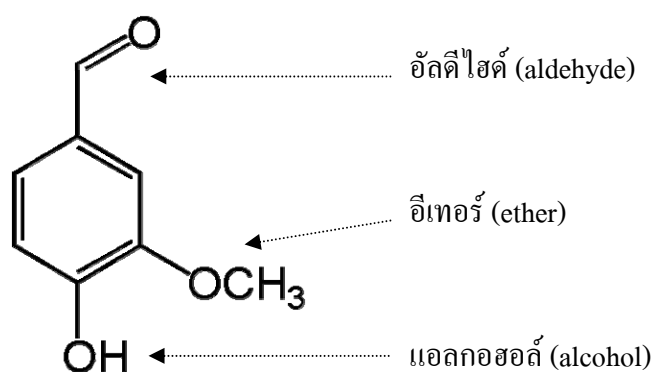
จากรูปที่ 4.23 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับสารละลายวานิลลา พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (เส้น ก.) มีพีกที่สำคัญคือ ที่เลขคลื่น $3000 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ ของ C-H stretching ที่เลขคลื่น 1463 cm^{-1} ของ C-H bending for CH_2 ที่เลขคลื่น 1377 cm^{-1} ของ C-H bending for CH_3 ที่เลขคลื่น 729 cm^{-1} ของ C-H rocking for CH_2 และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของสารละลายวานิลลา (เส้น ข.) พบพีกที่สำคัญคือ ที่เลขคลื่น $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ของ O-H stretching ซึ่งมีขนาดพีกที่ค่อนข้างกว้าง ที่เลขคลื่น $1710 - 1690 \text{ cm}^{-1}$ ของ C=O for

Aromatic aldehyde ที่เลขคลื่น $1600 - 1450 \text{ cm}^{-1}$ ของ Aromatic C-H stretching ที่เลขคลื่น $1275 - 1200$ และ $1080 - 1040 \text{ cm}^{-1}$ ของ C-O stretching for Aromatic ether

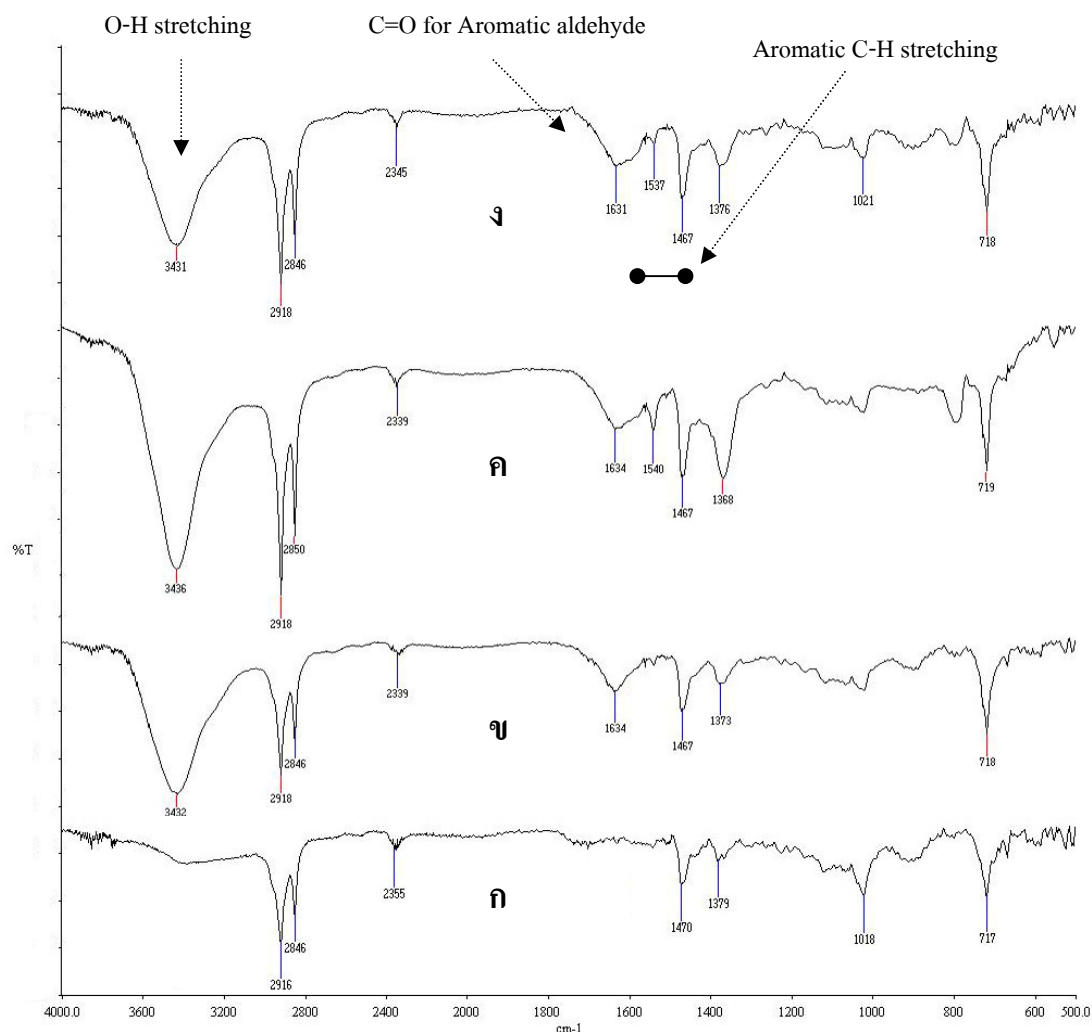
จากโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำดังรูปที่ 4.24 พบว่าภายในโครงสร้างมีกิ่งสาขาขยาวต่อออกจากพอลิเมอร์หลัก ซึ่งโซ่กิ่งเหล่านี้จะเพิ่มปริมาตรแต่ลดความหนาแน่นของพอลิเมอร์ลง ตลอดทั้งโครงสร้างเป็นโมเลกุลของ CH_2 ทำให้สเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 4.24 ก. ด้วยเหตุนี้จึงพบแต่พันธะของ C-H แต่มีการสั่นในรูปแบบที่ต่างกันออกไป พบทั้งการสั่นแบบ stretching และ bending แล้วเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของสารละลายวานิลลาในรูปที่ 4.24 ข. พบตำแหน่งของพีคที่สามารถระบุได้ถึงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่อยู่ในโครงสร้างของสารวานิลลินทั้ง 3 หมู่ คือ หมู่ฟังก์ชันของอัลดีไฮด์ อีเทอร์ และ แอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 4.25 ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $1710 - 1690$ $1080 - 1040$ และ $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารวานิลลินในการสังเกตเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารละลายวานิลลาแล้วมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ FTIR



รูปที่ 4.24 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [12]



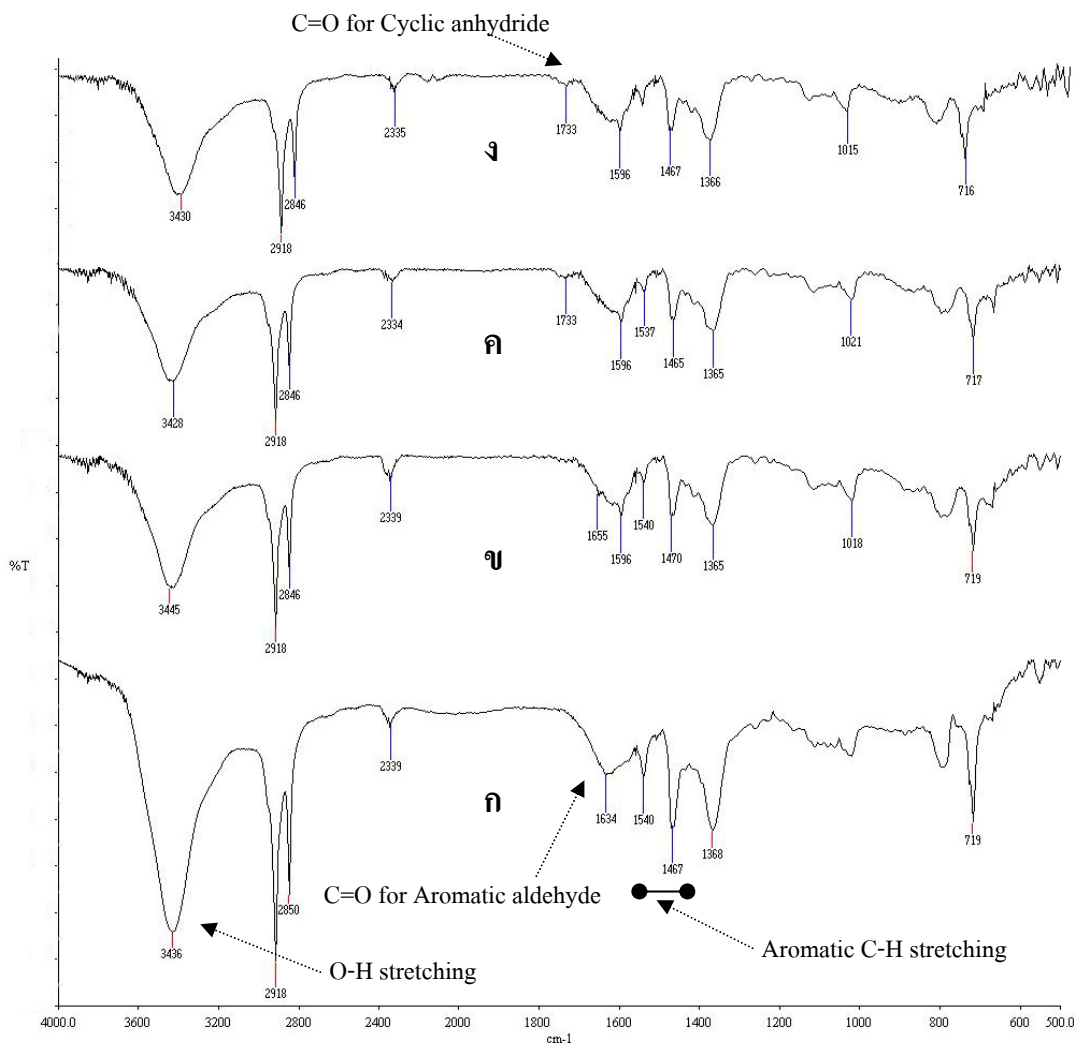
รูปที่ 4.25 หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโครงสร้างของสารวานิลลิน [2]



รูปที่ 4.26 สเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารละลายวานิลลาในปริมาณต่างๆ กัน

- ก) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 0 %
- ข) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 1 %
- ค) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 %
- ง) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 3 %

จากรูปที่ 4.26 แสดงสเปกตรัมเส้น ก. ข. ค. และ ง. ซึ่งเป็นสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารละลายวานิลลาต่างๆ กัน คือ 0 1 2 และ 3 % โดยนำน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำตามลำดับ พบตำแหน่งพีกที่แตกต่างกับสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่เลขคลื่น $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ของ O-H stretching ที่เลขคลื่น $1710 - 1690 \text{ cm}^{-1}$ ของ C=O for Aromatic aldehyde ที่เลขคลื่น $1600 - 1450 \text{ cm}^{-1}$ ของ Aromatic C-H stretching จากพีกในสเปกตรัมในรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของสารวานิลลานั้นแทรกอยู่ในพอลิเมอร์ผสม โดยปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พีก O-H stretching สูงขึ้น ทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลาเพิ่มมากขึ้นเมื่อสุกดม

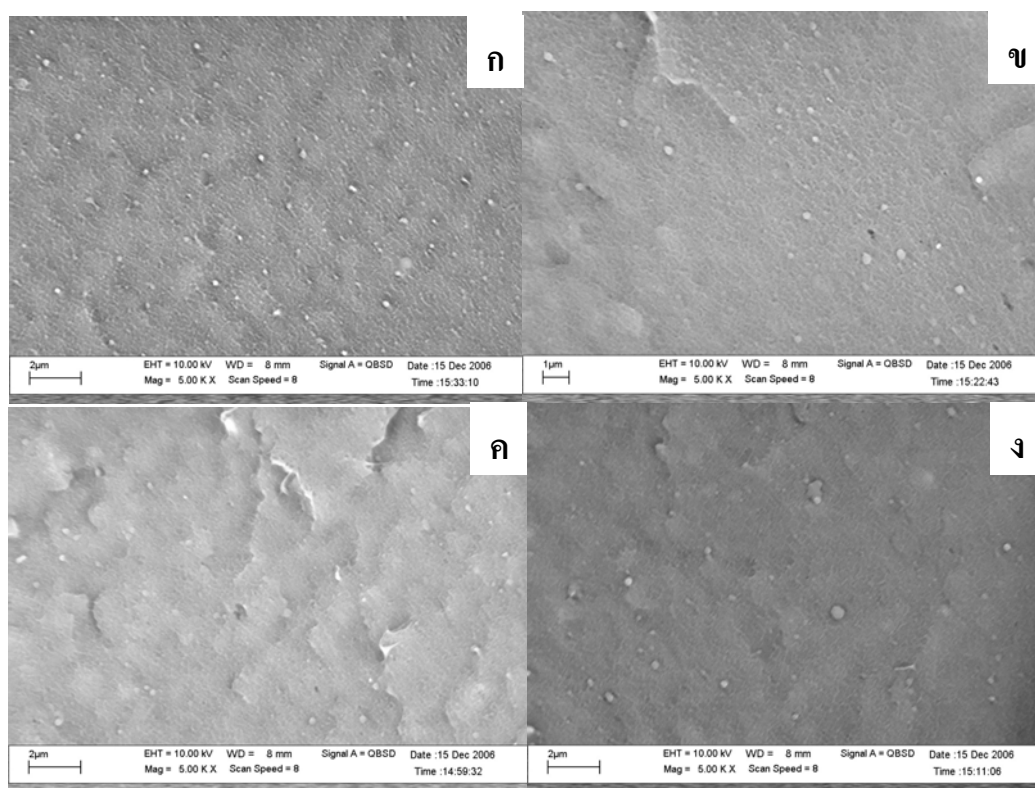


รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารวานิลลา 2 %

- ก) เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์
- ข) เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์
- ค) เมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์
- ง) เมื่อเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.27 แสดงสเปกตรัมเส้น ก. ข. ค. และ ง. ซึ่งเป็นสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารวานิลลา 2 % ในช่วงเวลาต่างๆ กัน คือ ช่วงสัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ พบว่ามีการลดลงของพีคที่เห็นได้ชัดเจนคือ ที่เลขคลื่น $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ของ O-H stretching ที่เลขคลื่น $1710 - 1690 \text{ cm}^{-1}$ ของ C=O for Aromatic aldehyde และที่เลขคลื่น $1600 - 1450 \text{ cm}^{-1}$ ของ Aromatic C-H stretching ทำให้สังเกตเห็นพีคที่ถูกบดบังได้ คือ ที่เลขคลื่น 1730 cm^{-1} ของ C=O for Cyclic anhydride แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมจะลดน้อยลงโดยพิจารณาจากการลดลงของพีค O-H stretching รวมทั้งคลื่นของสารละลายวานิลลาที่จางลงไปด้วย

4.4.2 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

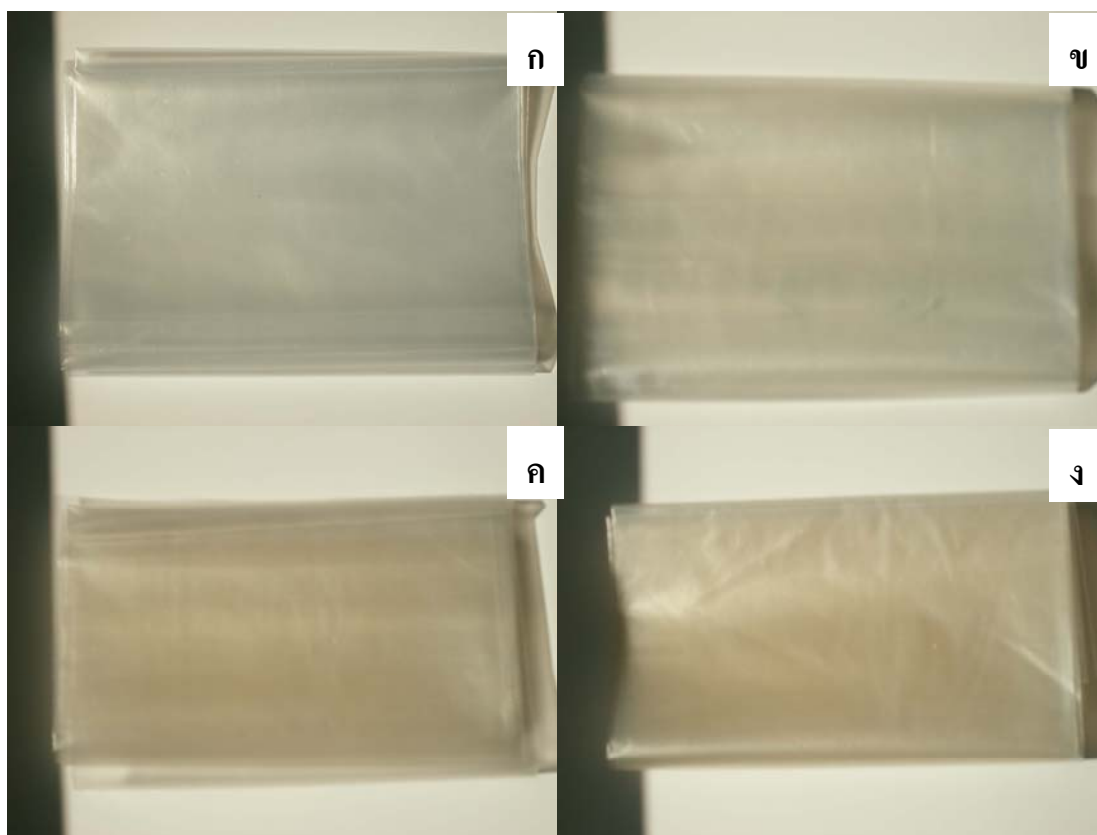


รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของพอลิเมอร์ที่มีสารละลายวานิลลาปริมาณต่างๆ กัน

- ก) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 0 %
- ข) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 1 %
- ค) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 %
- ง) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 3 %

จากรูปที่ 4.28 ก. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารละลายวานิลลา พบว่ามีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ ส่วนรูปที่ 4.28 ข. ก. และ ง. เป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารละลายวานิลลา 1 % 2 % และ 3 % ตามลำดับ พบว่าพื้นผิวมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันคือ ขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีปริมาณสารละลายวานิลลาเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีการแบ่งภูมิภาคอย่างชัดเจนระหว่างพอลิเมอร์และสารละลายวานิลลา ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการพิจารณาค่าความแข็งแรงดึง โดยค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมสูตรที่เติมสารละลายวานิลลาจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติมสารละลายวานิลลา เนื่องจากความขรุขระของฟิล์มที่เกิดขึ้นจะส่งผลกับค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์

4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ



รูปที่ 4.29 ลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสารละลายวานิลลาในปริมาณต่างๆ กัน

- ก) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 0 %
- ข) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 1 %
- ค) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 %
- ง) LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 3 %

จากรูปที่ 4.29 เป็นการพิจารณาปริมาณสารละลายวานิลลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม โดยทำการถ่ายภาพฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์หลังจากการเป่าขึ้นรูป พบว่าสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ สีเหลือง และกลิ่นหอมของวานิลลา เมื่อทำการเติมสารละลายวานิลลาเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมในปริมาณที่ต่างกันก็จะทำให้สมบัติทั้ง 2 ของสารละลายวานิลลาที่มีในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมต่างกันไปด้วย พิจารณารูปที่ 4.29 ก. เป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารละลายวานิลลาทำให้ได้ฟิล์มที่มีสีใสและไม่พบกลิ่นหอมของวานิลลาแต่เมื่อทำการเติมสารละลายวานิลลาเข้าไป 1 % 2 % และ 3 % ดังรูปที่ 4.29 ข. ค. และ ง. พบว่าฟิล์มจะมีสีเหลืองและกลิ่นหอมของวานิลลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ

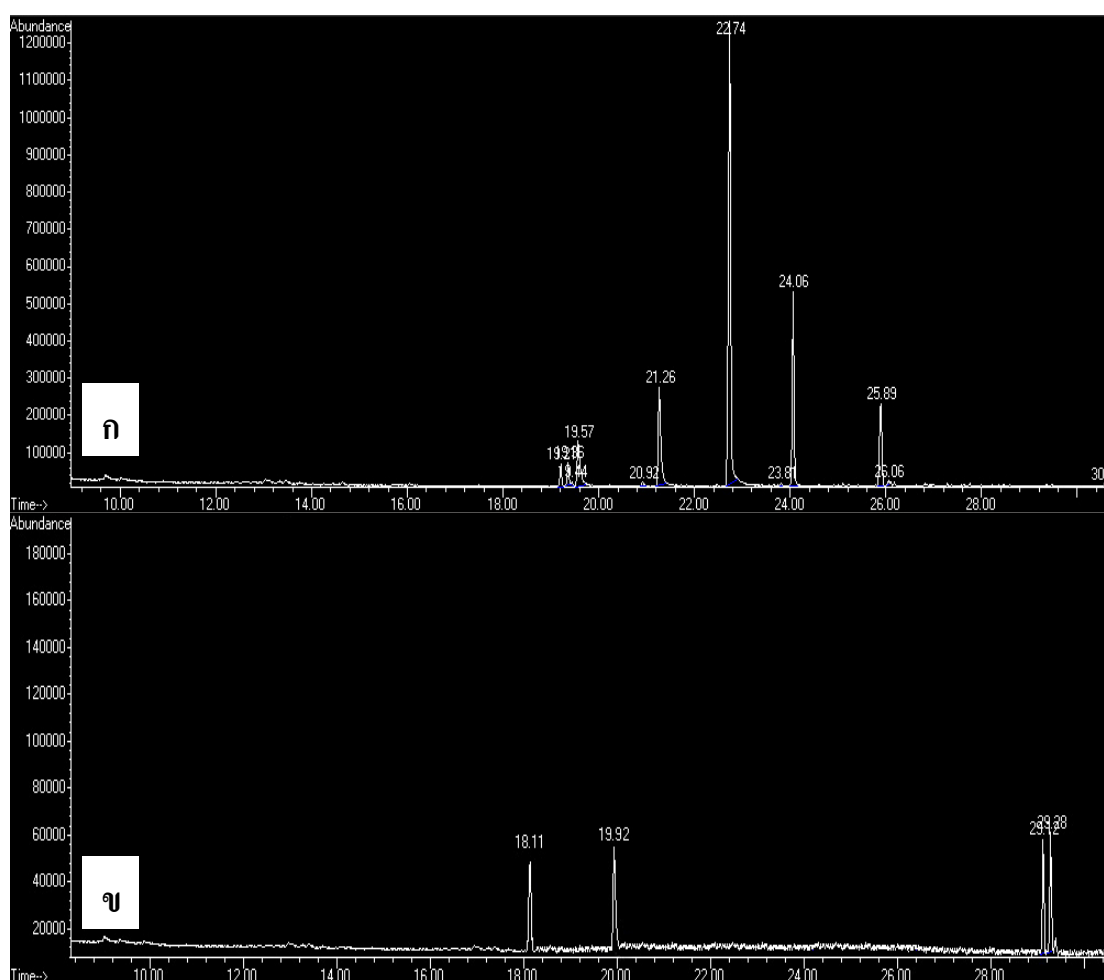
ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตร

สูตร	ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม
LDPE	ใสสามารถมองเห็นทะลุผ่านได้ ผิวเรียบมัน
LDPE + MAPE 10%	ใส ผิวเรียบมัน เป็นเนื้อเดียวกัน
LDPE + Ca-Zn 1%	ใส ผิวเรียบมัน เป็นเนื้อเดียวกัน
LDPE + Vanilla 2%	มีสีเหลืองอ่อน ใส มีกลิ่นของสารละลายวานิลลาอ่อนๆ
0 % MAPE	มีสีเหลือง ใส ผิวเรียบมัน มีกลิ่นของสารละลายวานิลลาอ่อนๆ
5 % MAPE	มีสีเหลือง ขุ่น ผิวเรียบมัน มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
10 % MAPE	มีสีเหลือง ขุ่นมากกว่าสูตร 5 % มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
15 % MAPE	มีสีเหลือง ขุ่นมากกว่าสูตร 10 % มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
0 % Ca-Zn	มีสีเหลือง ใส ผิวเรียบมัน มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
1 % Ca-Zn	มีสีเหลือง ขุ่น ผิวเรียบมัน มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
3 % Ca-Zn	มีสีเหลือง ขุ่น ผิวขรุขระ มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
5 % Ca-Zn	มีสีเหลือง ขุ่น ผิวขรุขระมากกว่าสูตร 3 % มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
7 % Ca-Zn	เหลือปริมาณสาร Ca-Zn ที่ไม่รวมเข้ากับพอลิเมอร์ผสม ไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง
0 % Vanilla	ขุ่น ผิวเรียบมัน เป็นเนื้อเดียวกัน
1 % Vanilla	ขุ่น ผิวเรียบมัน มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นของสารละลายวานิลลา
2 % Vanilla	ขุ่น ผิวเรียบมัน มีสีเหลืองเข้มและมีกลิ่นของสารละลายวานิลลามากกว่าสูตร 1 %
3 % Vanilla	ขุ่น ผิวเรียบมัน มีสีเหลืองเข้มและมีกลิ่นของสารละลายวานิลลามากกว่าสูตร 2 %
4 % Vanilla	เหลือปริมาณสารละลายวานิลลาที่ไม่รวมเข้ากับพอลิเมอร์ผสม ไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง

จากตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์มโดยปริมาณสารช่วยผสมจะมีผลต่อความใสและความขุ่นของฟิล์ม ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนมีผลต่อความเรียบและความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม ปริมาณสารละลายวานิลลามีผลต่อสีและกลิ่นของฟิล์ม เมื่อเติมสารเติมแต่งในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นด้วย

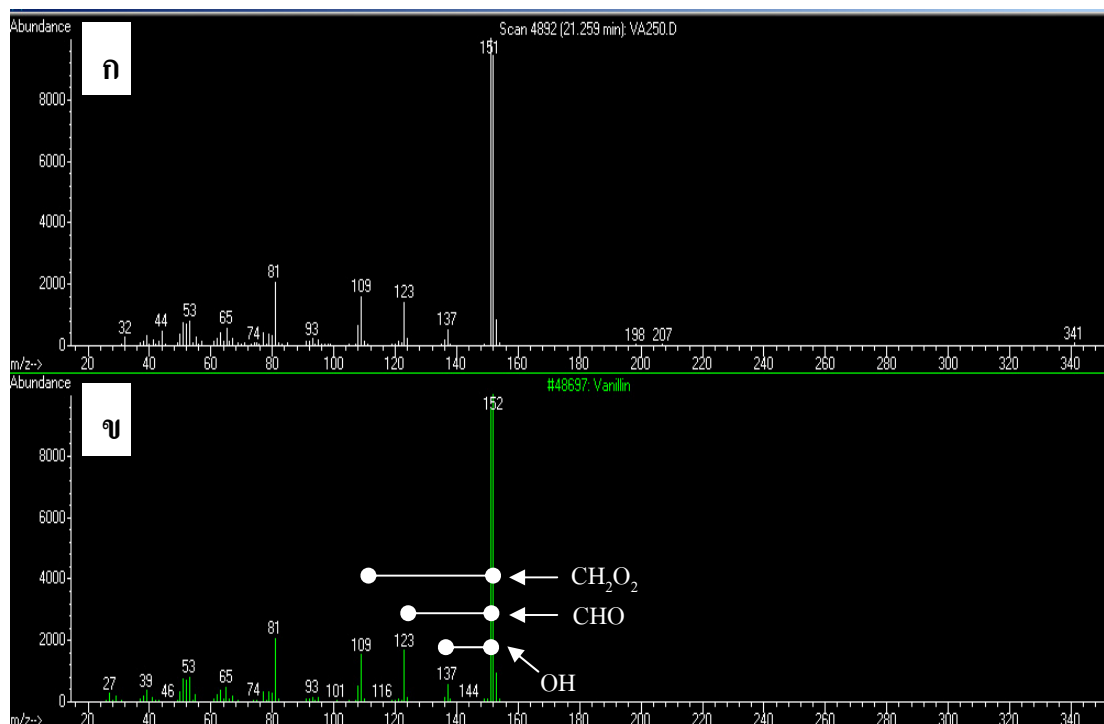
4.4.4 การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry : GC-MS)

เป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่สามารถระเหยได้ (Volatile organic compounds : VOCs) ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้อย่างค่อนข้างแม่นยำ โดยอาศัยการวิเคราะห์จากเครื่อง GC เพื่อแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอที่มีอยู่ในตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบ ก่อนที่จะเข้าสู่ detector ซึ่งเป็นส่วนของเครื่อง MS เพื่อตรวจสอบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลอ้างอิง จะได้ทราบว่าองค์ประกอบต่างๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC นั้น มีเลขมวลเป็นเท่าไร ซึ่งเลขมวลของแต่ละองค์ประกอบจะเป็นเลขที่มีลักษณะเฉพาะของสารนั้นๆ



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากเครื่อง GC ในกรณีที่วิเคราะห์พอลิเมอร์ผสม LDPE : MAPE 10 % : Ca-Zn 1 % : Vanilla 2 % เมื่อเดือนที่ 1 (รูป ก.) และเดือนที่ 5 (รูป ข.)

จากรูปที่ 4.30 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ขึ้นรูปในเวลาที่แตกต่างกันประมาณ 4 เดือน โดยรูปที่ 4.30 ก. เป็นสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการเป่าขึ้นรูปไว้เมื่อเดือนที่ 1 และรูปที่ 4.30 ข. เป็นสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการเป่าขึ้นรูปไว้แล้วนำกลับมาวิเคราะห์อีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน พบว่ารูปที่ 4.30 ก. ในช่วงเวลาที่สนใจสามารถตรวจพบพิกหลักๆ ได้หลายตำแหน่ง เช่น ที่ตำแหน่ง 19.57 นาทีเป็นของสาร Piperonal และที่ตำแหน่ง 2.74 นาทีเป็นของสาร Ethyl Vanillin เป็นต้น แต่ตำแหน่งพิกที่สนใจในงานวิจัยนี้คือ พิกของสารวานิลลินซึ่งในรูปที่ 4.30 ก. จะพบที่ตำแหน่ง 21.26 นาที ได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นพิกของสารวานิลลินที่เป็นสารประกอบสำคัญในการให้กลิ่นของสารละลายวานิลลาที่ได้เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม แล้วเมื่อพิจารณารูปที่ 4.30 ข. พบว่าไม่ปรากฏพิกของสารวานิลลินที่สนใจที่ตำแหน่ง 21.26 นาทีเหมือนกับรูปที่ 4.30 ก. เนื่องจากในระยะเวลา 4 เดือนที่ทำการทดลองสารวานิลลินจะมีการระเหยออกไปอย่างสม่ำเสมอซึ่งสอดคล้องกับกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FTIR ในรูปที่ 4.27 ทำให้ปริมาณสารวานิลลินที่เหลืออยู่ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงสังเกตได้จากปริมาณความเข้มข้นของกลิ่นที่จางลงเมื่อทำการสูดดม ผลจากสเปกตรัมทั้ง 2 ในรูปที่ 4.30 จึงสามารถยืนยันได้ว่าปริมาณของสารละลายวานิลลาที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมนั้นจะมีการระเหยออกมาและกลิ่นของสารละลายวานิลลาที่เติมเข้าไปสามารถคงอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้นานอย่างน้อย 4 เดือน แม้เครื่องมือ GC-MS ไม่สามารถตรวจพบพิกของสารวานิลลินใน พอลิเมอร์ผสมที่ทำการขึ้นรูปไว้นาน 4 เดือนได้ แต่หากทดสอบโดยใช้การสูดดมยังสามารถได้กลิ่นจางๆ ของวานิลลาที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้



รูปที่ 4.31 เลขมวลที่มีลักษณะเฉพาะของสารที่ระเหยได้ในพอลิเมอร์ผสม (ก.) เปรียบเทียบกับเลขมวลของสารวานิลลินที่มีอยู่ในฐานข้อมูลอ้างอิง (ข.)

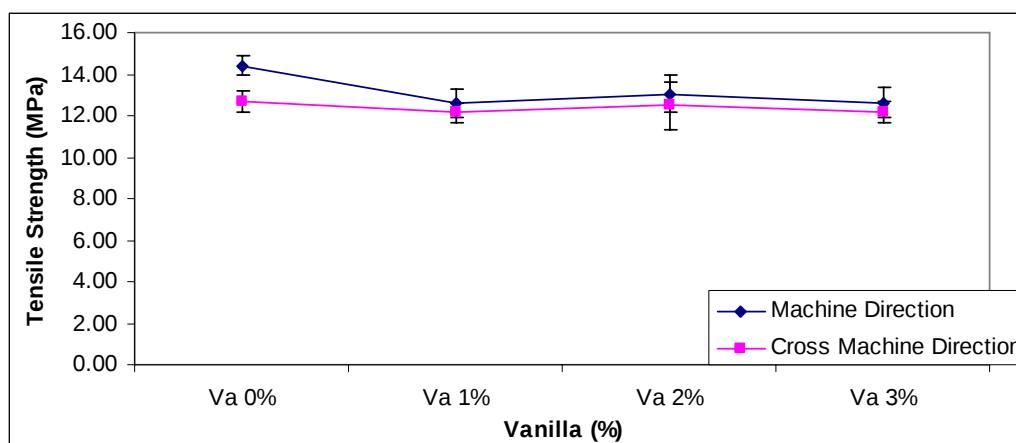
จากรูปที่ 4.31 เป็นการเปรียบเทียบเลขมวลที่มีลักษณะเฉพาะของสารที่ระเหยได้ในพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการทดลอง กับเลขมวลของสารวานิลลินที่มีอยู่ในฐานข้อมูลอ้างอิงของเครื่องมือ GC-MS ดังรูปที่ 4.31 ก. และรูปที่ 4.31 ข. ตามลำดับ ซึ่งเลขมวลเป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC ด้วยเครื่อง Mass Spectrometry (MS) พบว่าเลขมวลของพิกพอลิเมอร์ผสมที่ตำแหน่ง 21.26 นาที ในรูปที่ 4.30 ก. มีความใกล้เคียงกับเลขมวลของสาร วานิลลินที่พบได้จากฐานข้อมูลอ้างอิงในรูปที่ 4.31 ข.

ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ในรูปที่ 4.30 และ 4.31 สามารถยืนยันได้ว่าองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมเป็นองค์ประกอบของสารวานิลลินซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการให้กลิ่นของสารละลายวานิลลา และสารวานิลลินที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมนี้สามารถระเหยออกมาได้จริง

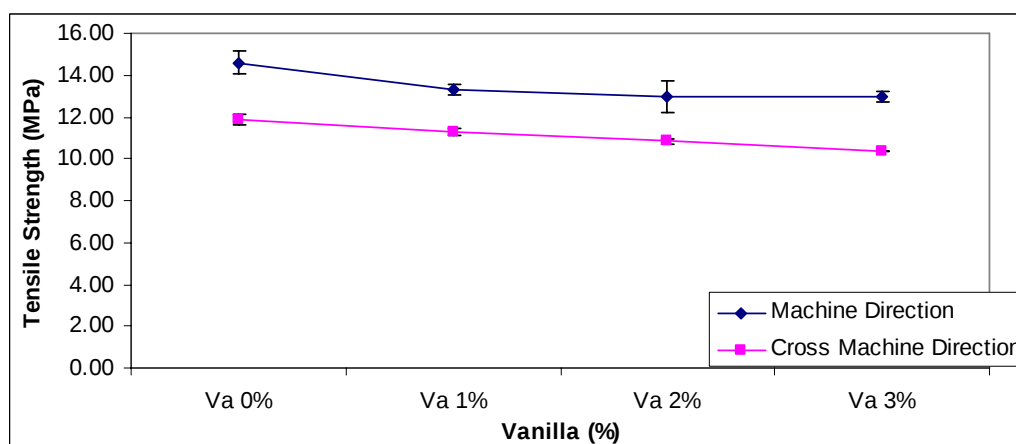
4.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

เป็นการทดสอบสมบัติของฟิล์มที่จะทนทานต่อแรงดึงยืดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก หรือเสียหาย ในงานวิจัยนี้ใช้ฟิล์มที่มีความหนา 0.04 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

4.4.5.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



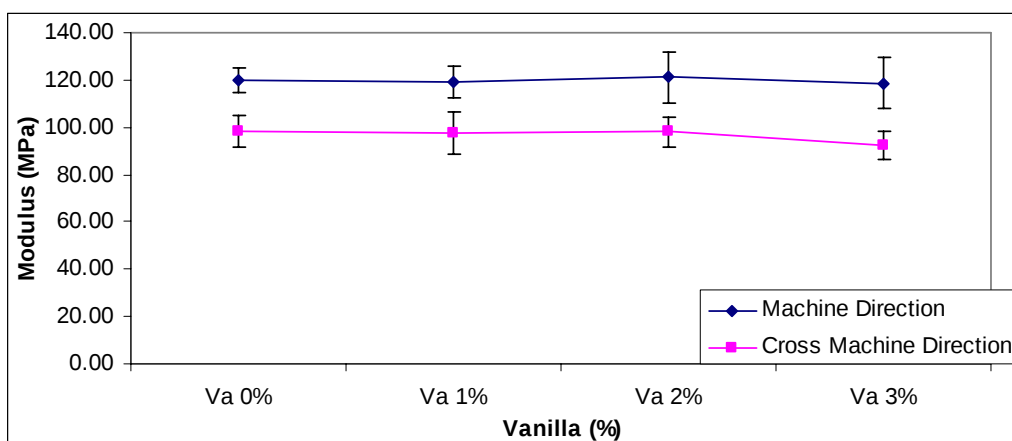
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณสารละลายวานิลลินในพอลิเมอร์ผสม



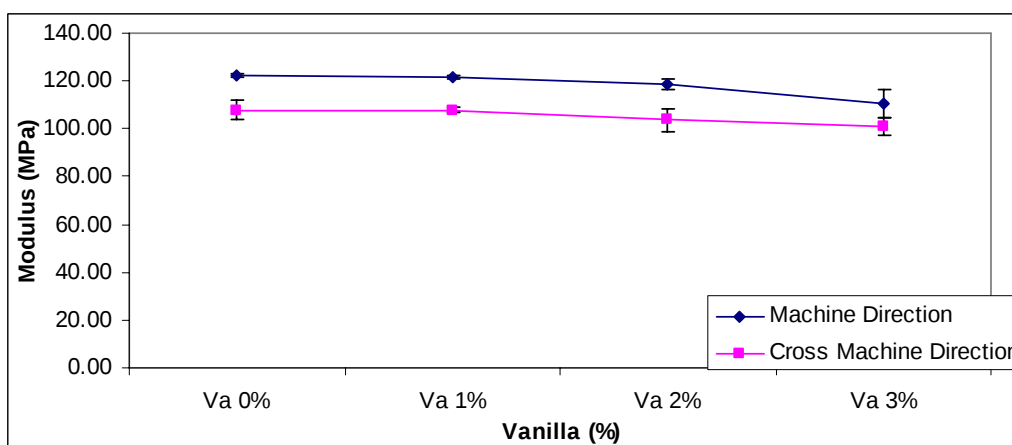
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณสารละลายวานิลลินในพอลิเมอร์ผสม
เมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน

พิจารณารูปที่ 4.32 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารละลายวานิลลาจะมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารละลายวานิลลาเล็กน้อย เนื่องจากสารละลายวานิลลาที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะทำให้การรับและส่งผ่านแรงในสายโซ่พอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอทำให้รับแรงดึงได้ต่ำลง เมื่อพิจารณาฐานวิทยารูปที่ 4.28 พบว่าพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเติมสารละลายวานิลลาเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม ความขรุขระนี้ไม่ได้ทำให้เกิดการแบ่งวัฏภาคกันอย่างชัดเจนของพอลิเมอร์ผสมแต่ส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าความแข็งแรงดึง และเมื่อนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้ทำการขึ้นรูปไปแล้วเป็นเวลานาน 4 เดือนมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึงอีกครั้ง พบว่าแนวโน้มการลดลงของค่าความแข็งแรงดึงในรูปที่ 4.33 ยังคงให้ผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบ 4 เดือนก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 แต่ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไปคือความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมที่เหลืออยู่เพียงแค่อ่อนๆ เท่านั้น ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ดังรูปที่ 4.27 และการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 4.38 ที่บ่งบอกว่าเมื่อเวลาผ่านไปสารวานิลลาที่มีในพอลิเมอร์ผสมจะค่อยๆ สลายตัวลดลง

4.4.5.2 การทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus)



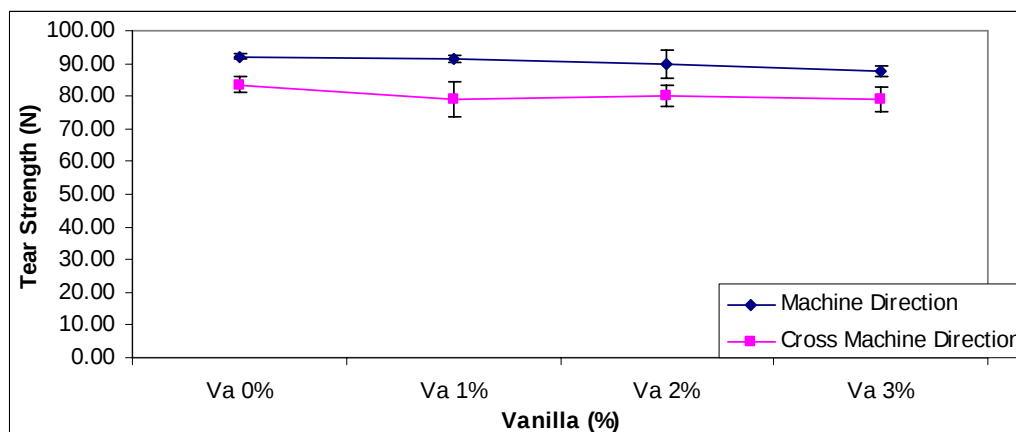
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส กับ ปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสม



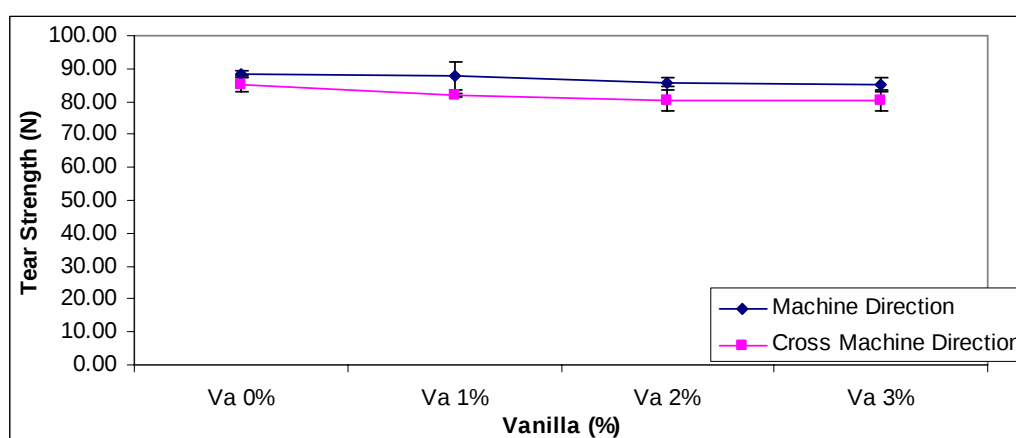
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส กับ ปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมเมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.34 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปริมาณสารละลายวานิลลาที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าคงที่ เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.35 ซึ่งเป็นการนำฟิล์มพอลิเมอร์สูตรเดียวกันนี้ที่ได้ทำการขึ้นรูปแล้วเป็นเวลานาน 4 เดือนมาทดสอบหาค่ามอดุลัสอีกครั้ง พบว่าแนวโน้มการลดลงของค่ามอดุลัสยังคงลดลงสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบ 4 เดือนก่อนหน้านี้จากรูปที่ 4.34 เนื่องจากโมเลกุลของสารวานิลลินจะกระจายและแทรกตัวอยู่กับสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยอาศัยสารช่วยผสมเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะกันระหว่างสารทั้ง 2 ชนิด ซึ่งการเติมสารละลายวานิลลานั้นจะทำให้สายโซ่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีปริมาตรอิสระเพิ่มมากขึ้น สายโซ่ของพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นหรือเรียกได้ว่าพอลิเมอร์มีความนิ่มมากขึ้น ทำให้ค่ามอดุลัสมีค่าลดลง

4.4.5.3 การทดสอบการฉีกขาด (Tear test)



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาด กับ ปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสม

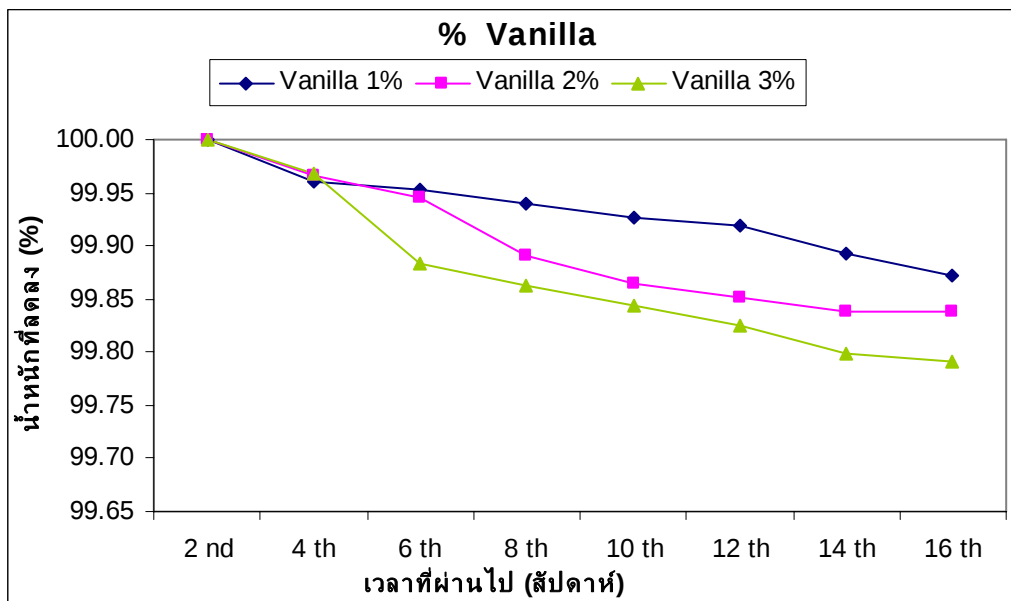


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาด กับ ปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์เมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน

จากรูปที่ 4.36 พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ค่าความต้านทานการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.37 ซึ่งเป็นการนำฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้ทำการขึ้นรูปแล้วเป็นเวลานาน 4 เดือนมาทดสอบค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าอีกครั้ง พบว่าแนวโน้มการลดลงของค่าความต้านทานการนำไฟฟ้ายังคงให้ผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบ 4 เดือนก่อนหน้านี้ในรูปที่ 4.36 เนื่องจากสารละลายวานิลลาในพอลิเมอร์ผสมเปรียบเสมือนตัวนำไฟฟ้าที่กระจายของพอลิเมอร์ซึ่งส่งผ่านแรงไปยังพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ไม่ดีเท่ากับการส่งผ่านระหว่างพอลิเมอร์ด้วยกัน ดังนั้นปริมาณสารละลายวานิลลาจำนวนมากที่มีในพอลิเมอร์ผสมทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของตัวนำไฟฟ้าที่กระจายของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้มีค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ต่ำลง

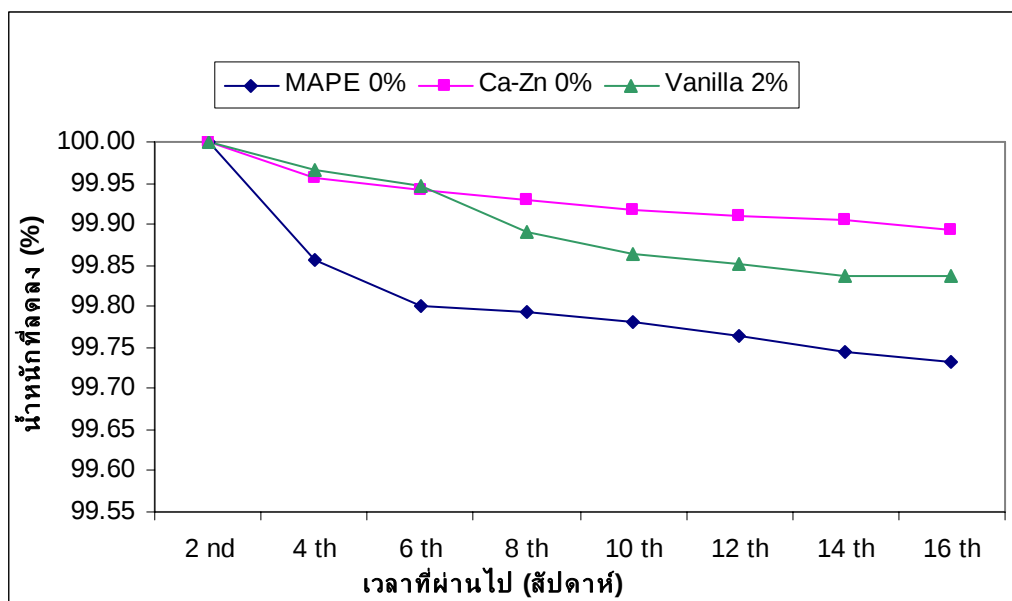
ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนการเป่า 3 : 1 อัตราการดึง 5 เมตรต่อนาที เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความหนา 0.04 มิลลิเมตรเท่าๆ กัน เมื่อพิจารณาทิศทางการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์กับค่าความแข็งแรงดึง พบว่าพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกับเครื่องจักรจะมีความแข็งแรงดึงค่ามอดุลัส และมีค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าสูงกว่า เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวกันได้ดีกว่าในระหว่างทำการขึ้นรูป ทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวในทิศทางขวางแนวการทำงานของเครื่องจักร

4.4.6 การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก กับ เวลา เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารละลายวานิลลาในปริมาณต่างๆ กัน

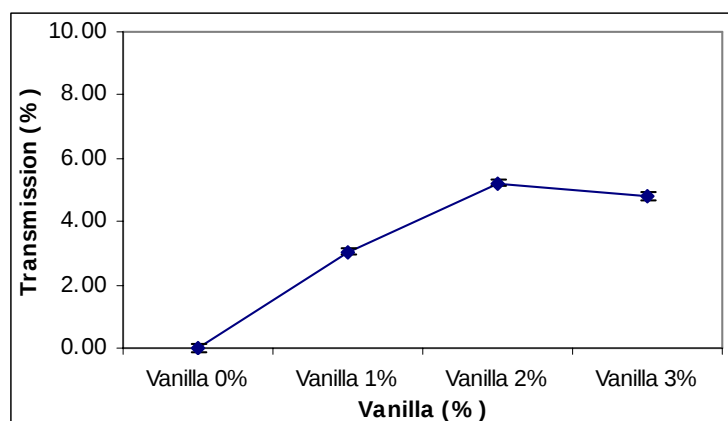
จากรูปที่ 4.38 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารละลายวานิลลาในปริมาณที่ต่างกันเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 สูตรลดลงอย่างสม่ำเสมอ โดยสูตรที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดลงมากที่สุดคือสูตรที่เติมสารละลายวานิลลา 3 % รองลงมาคือ 2 % และ 1 % ตามลำดับ เนื่องจากการใส่สารละลายวานิลลาที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณอัตราส่วนระหว่างส่วนที่มีขั้วคือสารละลายวานิลลา และส่วนที่ไม่มีขั้วคือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณสารช่วยผสมที่(เลือกจากสูตรที่ให้ผลดีที่สุด) 10 % ที่เติมลงไปไม่สามารถสร้างพันธะกับสารละลายวานิลลาได้ทั้งหมด ทำให้เหลือสารละลายวานิลลาอยู่อีกจำนวนหนึ่งในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งวานิลลาส่วนที่ไม่ได้สร้างพันธะกับสารช่วยผสมนี้จะสามารถสลายออกจากพอลิเมอร์ผสมได้ง่าย ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ดังรูปที่ 4.27 ที่บ่งบอกถึงการสลายตัวของสารละลายวานิลลาที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสูตรของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารละลายวานิลลามากทำให้เกิดการสลายตัวได้มาก ทำให้น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมลดลงมากด้วย



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก กับ เวลา เปรียบเทียบกันระหว่าง พอลิเมอร์ผสมสูตรที่ไม่เติมสารช่วยผสม สูตรที่ไม่เติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และสูตรที่มีทั้งสารช่วยผสมและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

จากรูปที่ 4.39 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมสูตรที่ไม่เติมสารช่วยผสม สูตรที่ไม่เติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และสูตรที่มีทั้งสารช่วยผสมและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน โดยทั้ง 3 สูตรมีการเติมสารละลายวานิลลาในปริมาณ 2 % เท่าๆ กัน พบว่าสมบัติของสารช่วยผสมจะช่วยในการสร้างพันธะระหว่างส่วนที่มีขั้วของสารละลายวานิลลากับส่วนที่ไม่มีขั้วของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ส่วนสมบัติของสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะเข้าไปแทรกในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สารละลายวานิลลาที่ไม่ได้สร้างพันธะกับสารช่วยผสมสามารถสลายตัวออกจากพอลิเมอร์ผสมได้ง่าย จากสมบัติทั้ง 2 ส่งผลให้สูตรที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสมจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักมากที่สุดเนื่องจากไม่เกิดการสร้างพันธะยึดเกาะกันระหว่างสารละลายวานิลลากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำทำให้การสลายตัวของสารละลายวานิลลาเกิดขึ้นได้ง่ายที่สุดสอดคล้องกับผลในรูปที่ 4.12 ส่วนสูตรไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักต่ำที่สุดเนื่องจากมีสารช่วยผสมคอยสร้างพันธะระหว่างส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วทำให้การสลายตัวของสารวานิลลาเกิดขึ้นได้ยากสอดคล้องกับผลในรูปที่ 4.21 ทำให้กลิ่นของสารละลายวานิลลาที่ได้นั้นค่อนข้างอ่อน แต่สูตรที่เติมทั้งสารช่วยผสมและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนแม้จะไม่ได้มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักต่ำที่สุด แต่จะนำสมบัติของสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิดมารวมกัน คือ ทั้งช่วยสร้างพันธะระหว่างส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วและช่วยในด้านการให้กลิ่นสลายตัวออกมาได้มากขึ้น

4.4.7 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของไอน้ำ กับ ปริมาณสารละลายวานิลลาที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณสารละลายวานิลลาที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.40 เนื่องจากโมเลกุลของสารวานิลลินจะเข้าไปแทรกหรือเข้าไปสร้างพันธะอยู่กับสายโซ่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ทำให้ปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์มีมากขึ้น การซึมผ่านของไอน้ำที่เกิดจากช่องว่างเหล่านี้เพิ่มมากขึ้นด้วย