

บทที่ 4

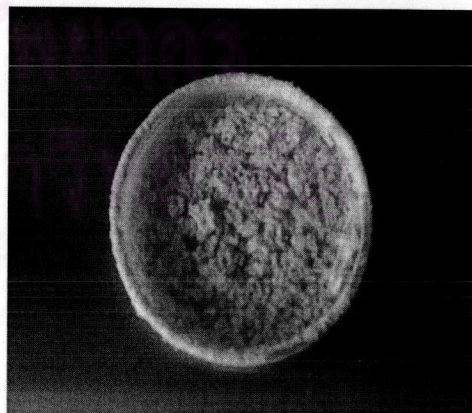
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาแนวทางในการเตรียมโฟมที่ย่อยสลายจากถุงน่องที่ใช้แล้ว และเจลาติน โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมขององค์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการเตรียมโฟม ซึ่งได้แก่ ถุงน่องและเจลาติน รวมทั้งผลของการใช้สารดัดแปร ซึ่งได้แก่ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและสัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมได้ รวมทั้งทดสอบสมบัติเชิงกล ความสามารถในการดูดซับความชื้น ความทนทานต่อสารเคมี และความสามารถในการย่อยสลายของโฟมดังกล่าว

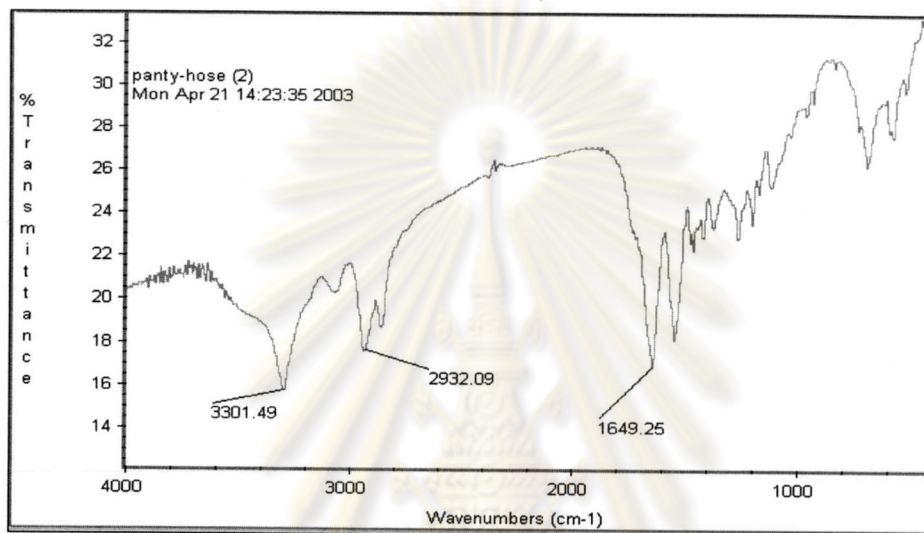
4.2 ลักษณะถุงน่องที่ผ่านการกำจัดสีและสิ่งสกปรก

ถุงน่องเมื่อผ่านการกำจัดสีและสิ่งสกปรกแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่ง เป็นส่วนที่ลอยแยกตัวออกจากสารละลายหลังจากทำให้เป็นกลางแล้ว โดยส่วนบนนี้จะมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือ เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยที่เปื่อยยุ่ย และมีสีเทาอ่อนๆ ซึ่งแตกต่างไปจากสีน้ำตาลของถุงน่องที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด ส่วนที่สอง เป็นส่วนล่างที่ละลายในสารละลาย ซึ่งเมื่อระเหยตัวทำละลายออกจะได้ ลักษณะเป็นผงผสมเกล็ดสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งคาดว่า ส่วนบนน่าจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าส่วนล่าง

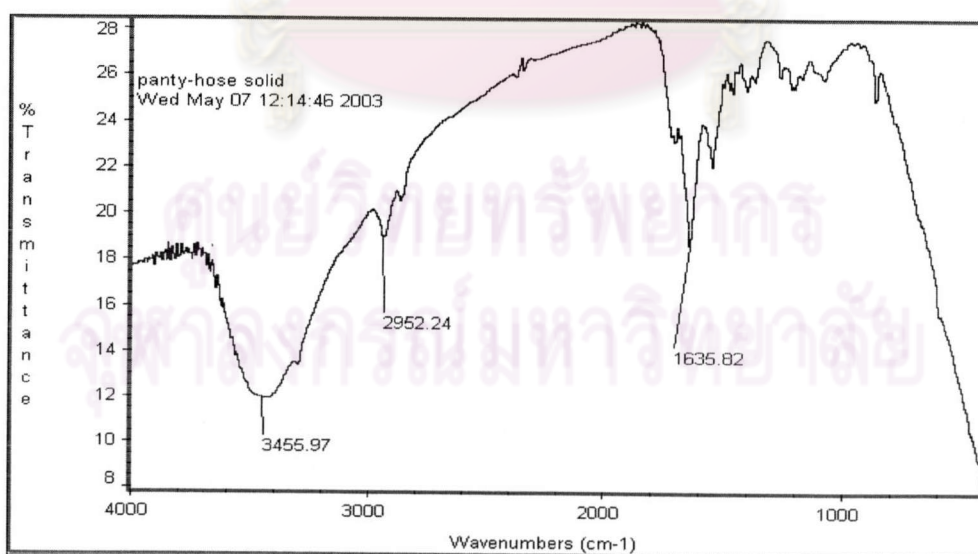


รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของถุงน่องที่ผ่านการกำจัดสีและสิ่งสกปรกในส่วนบนและส่วนล่างตามลำดับ

เมื่อนำถุงน่องทั้งสองส่วนนี้มาวิเคราะห์ด้วย FT-IR จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 โดยถุงน่องส่วนบน มีพีกที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ (CO-NH) ณ 3301 cm^{-1} และ 1649 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ ขณะที่ถุงน่องส่วนล่าง มีพีกที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ด้วยเช่นกัน ที่ตำแหน่ง 3456 cm^{-1} และ 1636 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ว่าพีกที่แสดง NH-stretching ของถุงน่องส่วนนี้มีความกว้างมากกว่าพีกของถุงน่องส่วนบน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการดูดความชื้นที่มากกว่า



รูปที่ 4.2 FT- IR สเปกตรัมของถุงน่องส่วนบน



รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของถุงน่องส่วนล่าง

เมื่อนำถุงน่องทั้งสองส่วนไปทดลองเตรียมโฟม พบว่า ถุงน่องส่วนบนจะจับตัวกันเป็นก้อน แต่ถุงน่องส่วนล่างจะกระจายตัวเข้ากับถุงน่องได้ดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำถุงน่องส่วนล่างมาใช้ในการเตรียมโฟมต่อไป

4.3 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสารละลายถุงน่องผสมเจลาตินมาขึ้นรูปด้วยการเทลงในแม่แบบ จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้

ชุดที่ 1 ลักษณะชิ้นงานที่ไม่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-X-0)



รูปที่ 4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ไม่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-X-0)

โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-0, G-5-0, G-10-0, G-15-0 และ G-20-0

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า เจลาติน (G-0-0) ที่ขึ้นรูปได้ มีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกโปร่งใส มีสีเหลือง โดยไม่เกิดเป็นโฟม แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะเกิดมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างมีสีเหลืองและโปร่งใสเหมือนกับชิ้นงานของเจลาติน (G-0-0)

ชุดที่ 2 ลักษณะชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 10 phr (G-X-10)

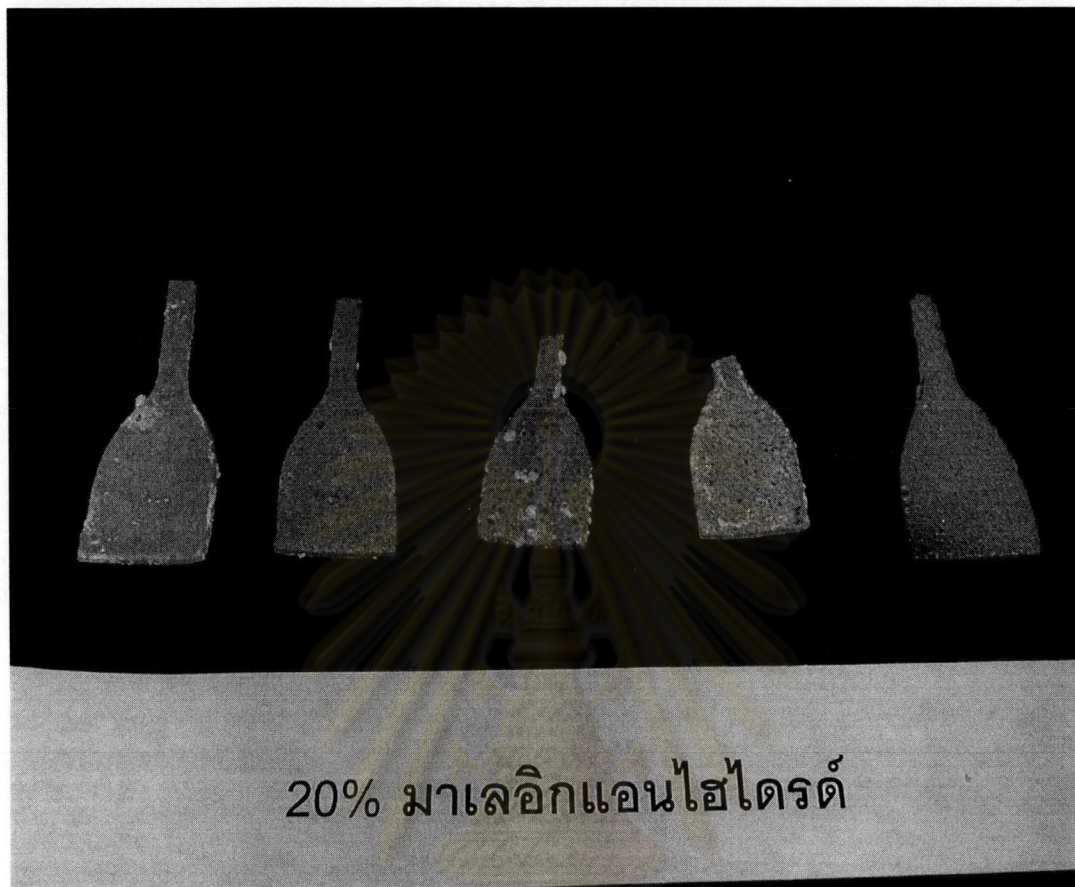


รูปที่ 4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 10 phr (G-X-10)

โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-10, G-5-10, G-10-10, G-15-10 และ G-20-10

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-10) จะเป็นแผ่นพลาสติก มีสีเหลือง โปร่งใส และไม่เกิดเป็นฟอง แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะเกิดมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างมีสีเหลืองโปร่งใสเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-10)

ชุดที่ 3 ลักษณะชิ้นงานที่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 20 phr (G-X-20)



รูปที่ 4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 20 phr (G-X-20)

โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-20, G-5-20, G-10-20, G-15-20 และ G-20-20

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-20) จะเป็นแผ่นพลาสติก มีสีเหลือง โปร่งแสง และไม่เกิดเป็นโพม แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะเกิดมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างมีสีเหลืองโปร่งแสงเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-20)

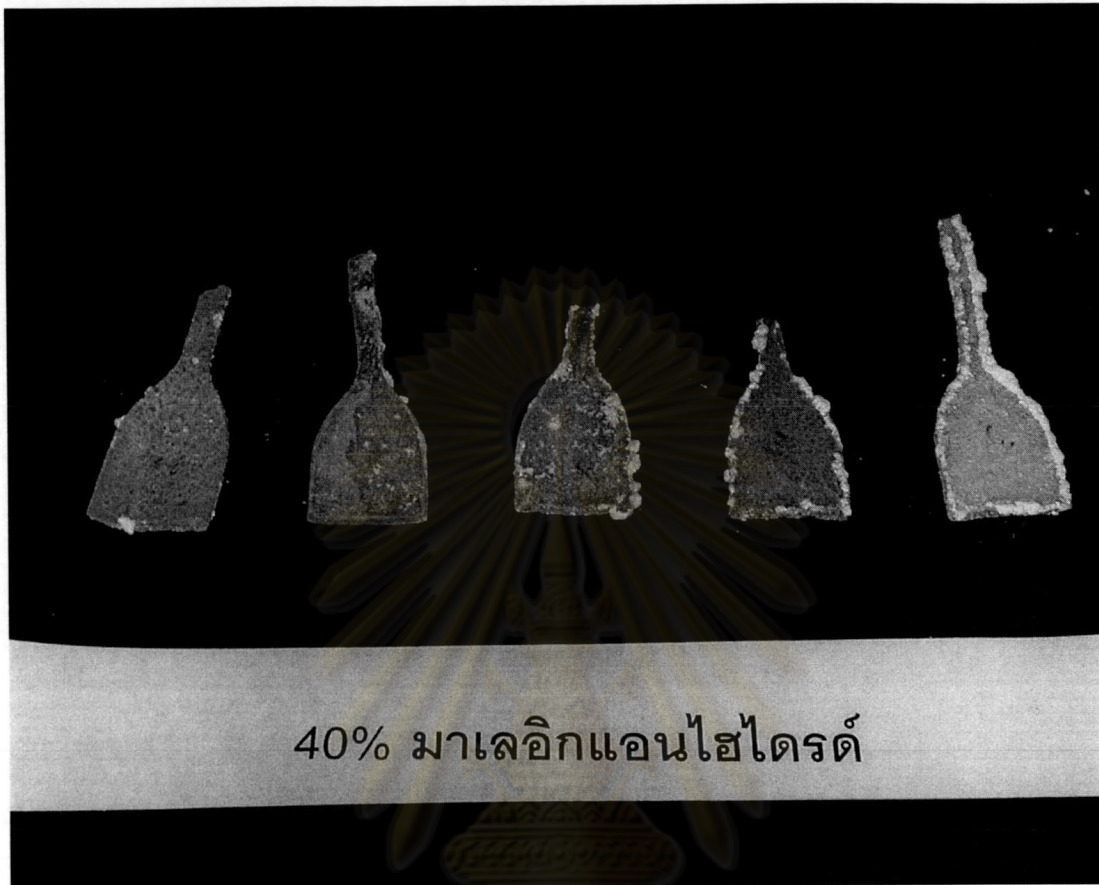
ชุดที่ 4 ลักษณะชิ้นงานที่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 30 phr (G-X-30)



รูปที่ 4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 30 phr (G-X-30)
โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-30, G-5-30, G-10-30, G-15-30 และ G-20-30

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-30) จะเป็นแผ่นพลาสติก มีสีเหลือง โปร่งแสง และไม่เกิดเป็นโฟม แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะเกิดมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างมีสีเหลืองโปร่งแสงเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-30)

ชุดที่ 5 ลักษณะชิ้นงานที่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 40 phr (G-X-40)



40% มาเลอิกแอนไฮไดรด์

รูปที่ 4.8 ลักษณะของชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 40 phr (G-X-40)

โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-40, G-5-40, G-10-40, G-15-40 และ G-20-40

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-40) จะเป็นแผ่นพลาสติก มีสีเหลือง โปร่งแสง และไม่เกิดเป็นโฟม แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างจะมีสีเหลืองโปร่งแสงเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ไม่เติมถุงน่อง (G-0-40)

ชุดที่ 6 ลักษณะชิ้นงานที่มีการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 50 phr (G-X-50)



รูปที่ 4.9 ลักษณะของชิ้นงานที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 50 phr (G-X-50)

โดยเรียงจากซ้ายไปขวา คือ สูตร G-0-50, G-5-50, G-10-50, G-15-50 และ G-20-50

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ชิ้นงานที่ไม่ได้เติมถุงน่อง (G-0-50) มีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติก สีเหลือง ค่อนข้างทึบแสง และไม่เกิดเป็นโฟม แต่เมื่อเติมถุงน่องลงไปพบว่า ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนมีลักษณะเป็นฟองสีขาว ซึ่งฟองจะเกิดมากขึ้น เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มขึ้น และส่วนล่างมีสีเหลืองค่อนข้างทึบแสงเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ไม่ได้เติมถุงน่อง (G-0-50)

โดยสรุป เมื่อพิจารณาจากผลการสังเกต จะพบว่า ปริมาณถุงน่องที่ใช้มีผลต่อการเกิดโฟมของชิ้นงาน ในขณะที่ปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ไม่ส่งผลต่อการเกิดโฟม ดังจะเห็นได้จากชิ้นงานที่เตรียมจากสูตรที่มีแต่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-0-Y) จะไม่เกิดโฟม แต่ชิ้นงานที่มีถุงน่องผสมอยู่ด้วย ทั้งที่มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-X-Y) และไม่มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-X-0) ล้วนเกิดโฟมทั้งสิ้น การเกิดโฟมของชิ้นงานเหล่านี้ สามารถสันนิษฐานได้ว่า น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่เมื่อเทสาร

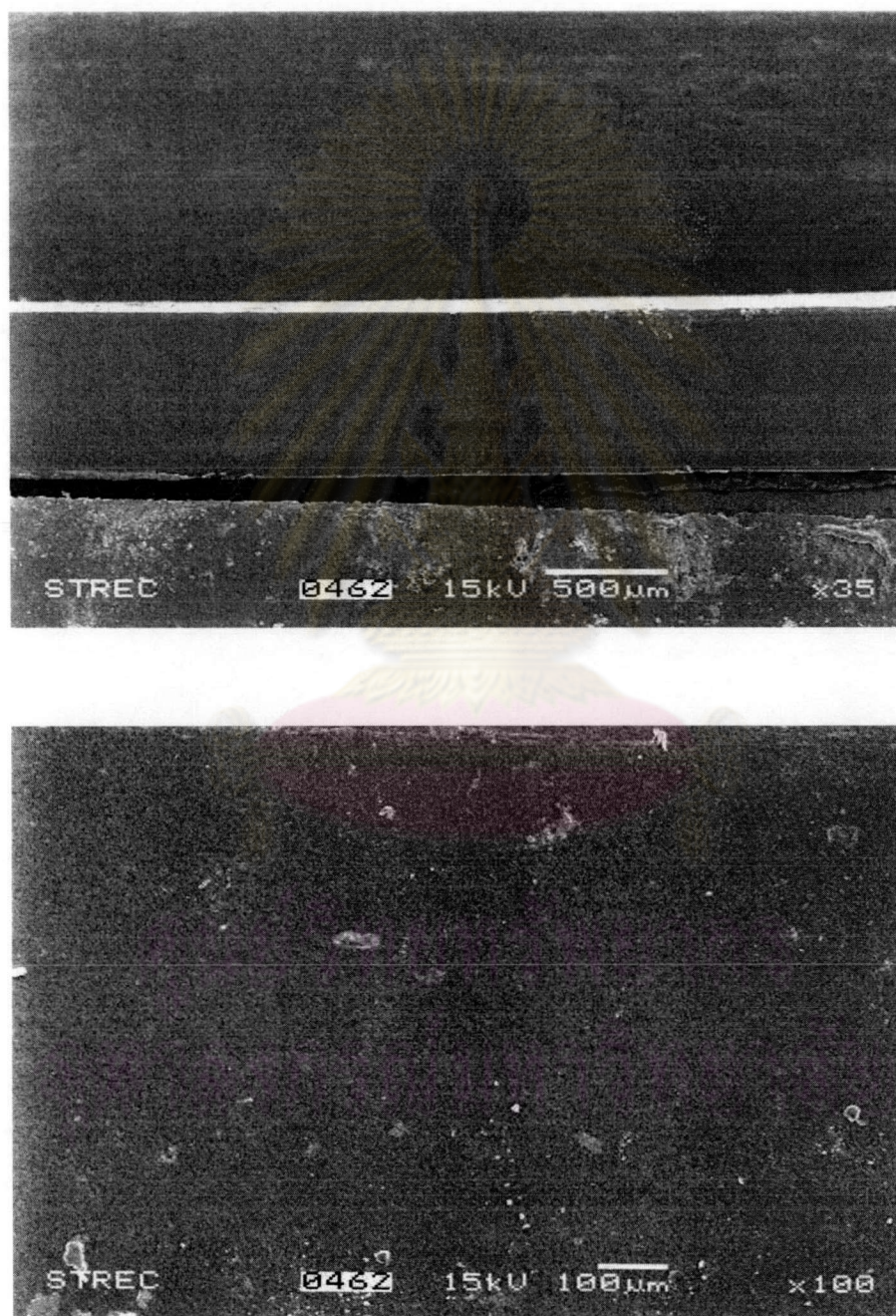
ละลายเจลาตินผสมถุงน่องลงในแม่แบบ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งนั้น ฟองที่เกิดจากการกวนจะลอยขึ้นมาทางส่วนบนของแม่แบบ และจากการที่มีถุงน่องผสมอยู่ จึงทำให้สารละลายหนืดมากกว่าชั้นงานที่ไม่มีถุงน่อง ดังนั้น จึงทำให้เกิดการกักเก็บฟองอากาศเอาไว้ เมื่อชั้นงานแห้งตัว จึงเกิดลักษณะที่เป็นโฟมขึ้นมา ดังนั้น เมื่อปริมาณถุงน่องมากขึ้น สารละลายจึงหนืดมากขึ้น จึงเกิดการกักเก็บฟองอากาศได้มากขึ้น การเกิดโฟมจึงมากขึ้นนั่นเอง

นอกจากนี้ การที่ฟองอากาศลอยขึ้นมาทางส่วนบนของแม่แบบ เนื่องมาจากน้ำหนักที่เบา กว่าของฟองอากาศ เมื่อเทียบกับเนื้อของพอลิเมอร์ จึงส่งผลให้ชั้นงานในทุกสูตรที่เกิดเป็นโฟมแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นฟองด้านบน กับส่วนที่เป็นเสมือนแผ่นพลาสติกด้านล่าง ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะของแผ่นพลาสติกดังกล่าว เทียบกับแผ่นพลาสติกที่ได้จากสูตรที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์แต่เพียงอย่างเดียว (G-0-Y) พบว่า ปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีผลต่อลักษณะทางแสงของแผ่นพลาสติก กล่าวคือ เมื่อปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์เพิ่มขึ้น ชั้นงานจะเปลี่ยนจากลักษณะโปร่งใส เป็นโปร่งแสง และค่อนข้างทึบแสง จากสูตร G-0-0, G-0-10, G-0-20, G-0-30, G-0-40 และ G-0-50 ตามลำดับ การที่ชั้นงานมีความทึบแสงเพิ่มขึ้นนั้น น่าจะเป็นผลมาจากเกลือซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำให้สารละลายเจลาตินผสมถุงน่องเป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้น เมื่อใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์มากขึ้น สารละลายเจลาตินผสมถุงน่องจะมีความเป็นกรดมากขึ้น จึงต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ส่งผลให้เกิดเกลือมากขึ้น ชั้นงานจึงมีความทึบแสงเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา

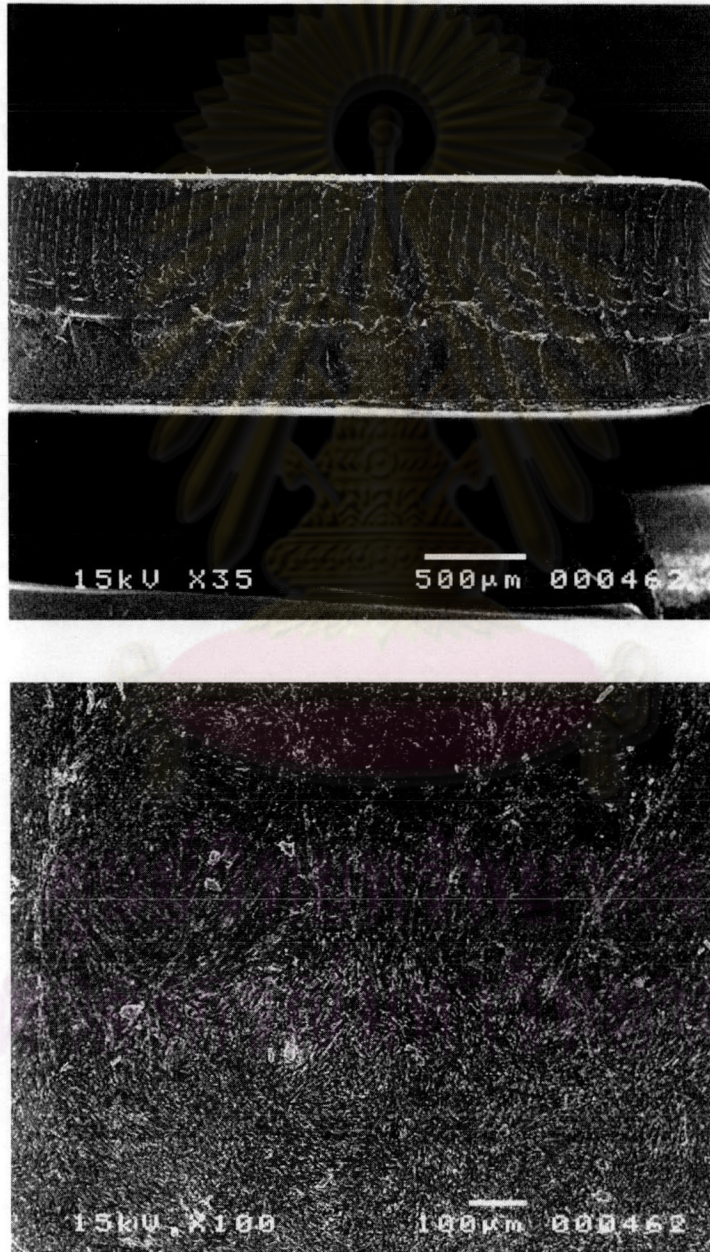
เพื่อให้การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของชั้นงานที่ได้มีความชัดเจนขึ้น จึงได้นำชิ้นงานตัวอย่างของแต่ละสูตรมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM (Scanning Electron Microscopy) ชิ้นงานตัวอย่าง 6 สูตร ได้แก่ G-0-0, G-0-10, G-10-0, G-10-10, G-20-0 และ G-20-50 โดยสาเหตุที่เลือกสูตรดังกล่าวเหล่านี้เนื่องจากในสูตร G-0-0 เป็นชั้นงานที่เจลาตินยังไม่ได้ผ่านการดัดแปร สูตร G-0-10, G-10-0 และ G-10-10 เป็นชั้นงานที่มีปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์และถุงน่องน้อย ส่วนชั้นงานสูตร G-20-0 และ G-20-50 เป็นชั้นงานที่มีปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์และถุงน่องในปริมาณที่สูง ส่วนสูตร G-0-50 ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเนื่องจากไม่มีโครงสร้างเป็นโฟม

รูปที่ 4.10 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลาตินที่ไม่ได้เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-0-0 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 จะมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกโปร่งใส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดขวาง พบว่า ชิ้นงานมีลักษณะเรียบและเป็นชั้นเดียว เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่ามีลักษณะที่เรียบเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.10 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่าของเจลาตินที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรสูตร G-0-0

รูปที่ 4.11 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลาตินที่ไม่ได้เติมถุงน่อง แต่เติมมาเลอิก-แอนไฮไดรด์ สูตร G-0-10 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 จะมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติก โปร่งใส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดขวาง พบว่า ชิ้นงานมีลักษณะเรียบและเป็นชั้นเดียว เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า มีพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อเทียบกับเจลาตินที่ไม่ได้เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-0-0) ซึ่งลักษณะขรุขระดังกล่าวน่าจะเป็นผลมาจากเกลือที่เป็นผลพลอยได้จากการทำให้สารละลายเจลาตินและถุงน่องเป็นกลาง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



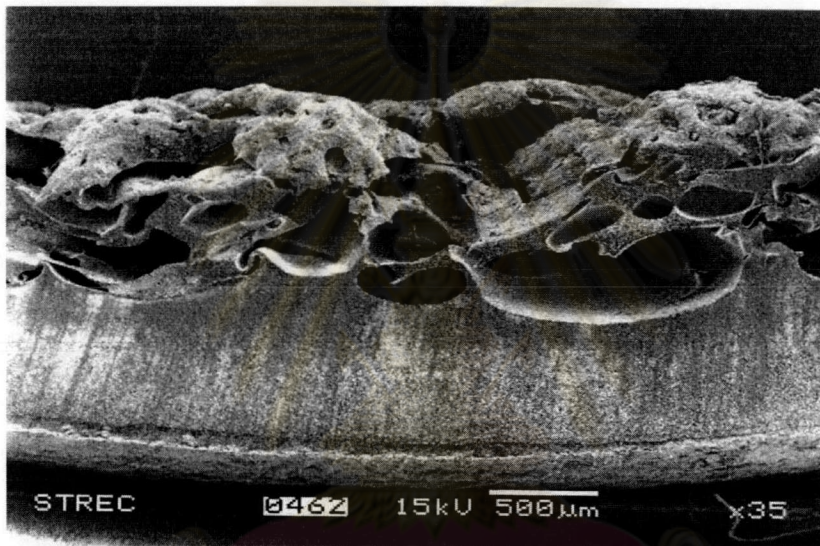
รูปที่ 4.11 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่า ของเจลาตินที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-0-10

รูปที่ 4.12 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลลาตินที่เติมถุงน่อง แต่ไม่ได้เติมมาเลอิก-แอนไฮไดรด์ สูตร G-10-0 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยด้านบนมีลักษณะเป็นโฟม และด้านล่างเป็นพลาสติกโปร่งใส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดจะเห็นชิ้นงานแยกเป็น 2 ชั้นอย่างชัดเจน โดยชั้นบนที่เป็นโฟมนั้น มีโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด มีขนาดต่างๆ กันออกไป ส่วนด้านล่างมีพื้นผิวเรียบ เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า จะเห็นเซลล์เปิดของโฟมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้งมีเศษผงบนพื้นผิวของเซลล์



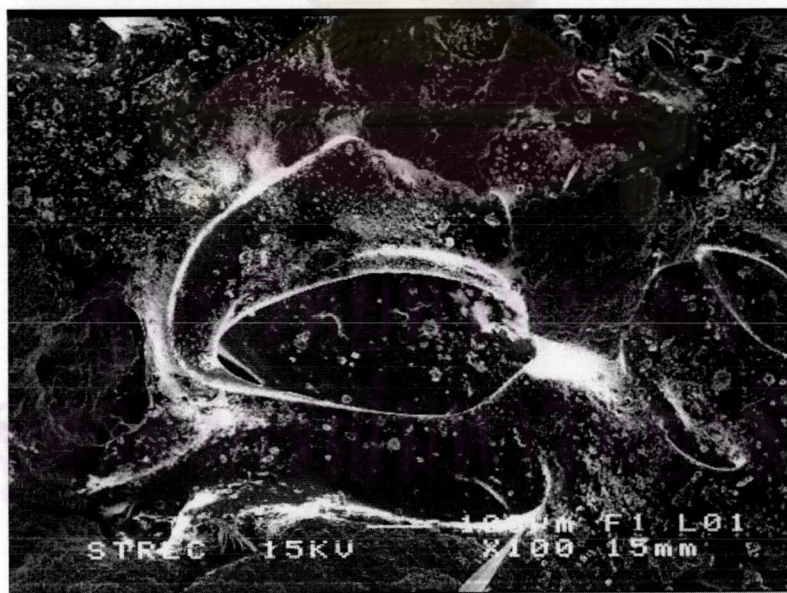
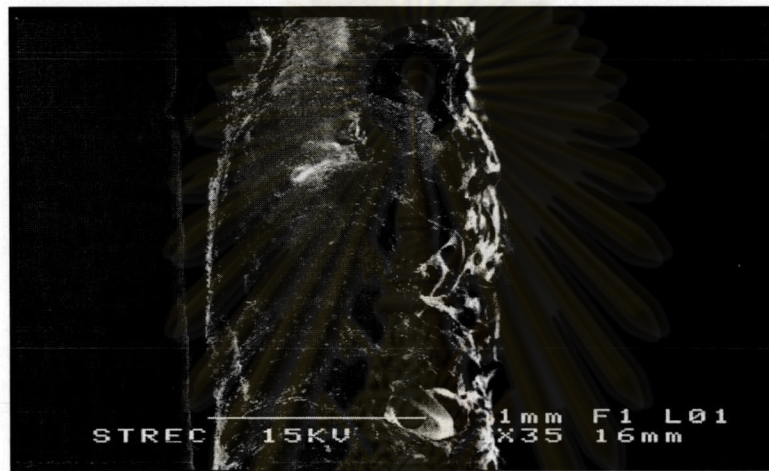
รูปที่ 4.12 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่า ของเจลลาตินที่เติมถุงน่องสูตร G-10-0

รูปที่ 4.13 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลาตินที่เติมทั้งถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-10-10 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยด้านบนมีลักษณะเป็นโฟม และด้านล่างเป็นพลาสติกโปร่งใส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดจะเห็นชิ้นงานแยกเป็น 2 ชั้นอย่างชัดเจน โดยชั้นบนที่เป็นโฟมนั้น มีโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด มีขนาดต่างๆกันออกไป ส่วนด้านล่างมีพื้นผิวเรียบ เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า จะเห็นเซลล์เปิดของโฟมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่บนพื้นผิวของเซลล์เหล่านี้ จะมีความขรุขระอันเนื่องมาจากเศษผงในปริมาณที่มากกว่าของสูตรที่ไม่ได้เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในรูปแบบที่ 4.12



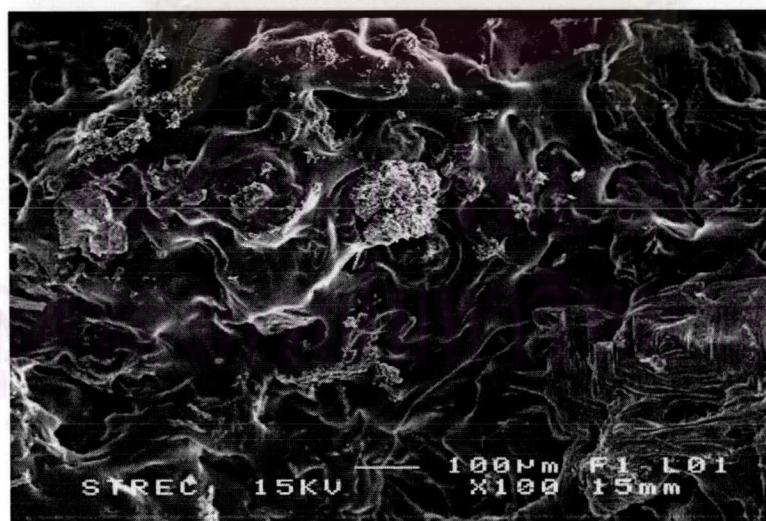
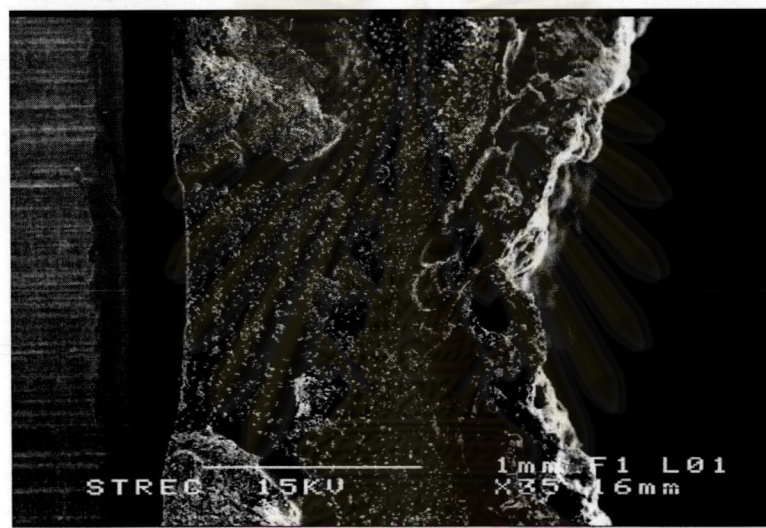
รูปที่ 4.13 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่า
ของเจลาตินที่มีถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-10-10

รูปที่ 4.14 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลาตินที่เติมถุงน่องแต่ไม่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-20-0 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยด้านบนมีลักษณะเป็นโฟม และด้านล่างเป็นพลาสติกโปร่งใส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดจะเห็นชิ้นงานแยกเป็น 2 ชั้นอย่างชัดเจน โดยชั้นบนที่เป็นโฟมนั้น มีโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด มีขนาดต่างๆ กันออกไป ส่วนด้านล่างมีพื้นผิวเรียบ เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า จะเห็นเซลล์เปิดของโฟมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่บนพื้นผิวของเซลล์เหล่านี้ จะมีเศษผงเกาะกันเป็นกลุ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.14 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่า
ของเจลาตินที่มีถุงน่อง สูตร G-20-0

รูปที่ 4.15 เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลลาตินที่เติมทั้งถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-20-50 ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าในหัวข้อที่ 4.3 ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยด้านบนมีลักษณะเป็นโฟม และด้านล่างเป็นพลาสติกค่อนข้างทึบแสง เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 35 เท่าในแนวของภาคตัดจะเห็นชิ้นงานแยกเป็น 2 ชั้นอย่างชัดเจน โดยชั้นบนที่เป็นโฟมนั้น มีโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด มีขนาดต่างๆกันออกไป ส่วนด้านล่างจะมีเศษผงเกาะกันเป็นผงกระจายอยู่ในเนื้อมากขึ้น เมื่อตรวจสอบพื้นผิวด้านหน้าที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า จะเห็นเซลล์เปิดของโฟมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่บนพื้นผิวของเซลล์เหล่านี้ จะมีความขรุขระอันเนื่องมาจากเศษผงในปริมาณที่มากกว่าของสูตรที่ไม่ได้เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในรูปที่ 4.14



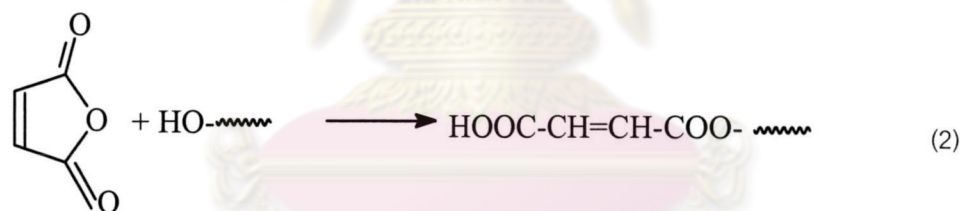
รูปที่ 4.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ กำลังขยาย 35 เท่า และ 100 เท่า ของเจลลาตินที่มีถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-20-50

ดังนั้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้นำชิ้นงานบางส่วนมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

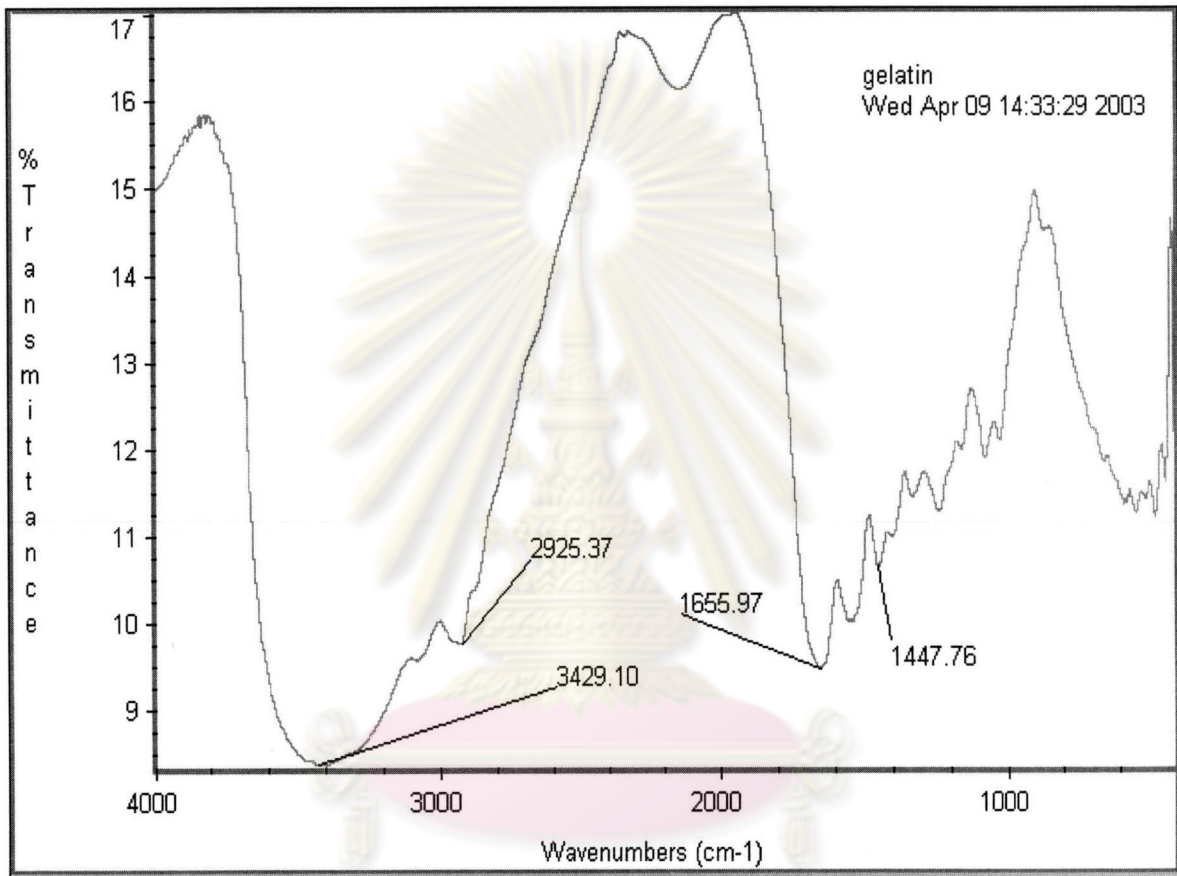
ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR จะใช้ชิ้นงานทั้งหมด 4 สูตร คือ สูตร G-10-0 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการเติมถุงน่อง แต่ไม่มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สูตร G-10-10 และ G-20-50 ซึ่งเป็นสูตรที่มีทั้งถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ รวมทั้งส่วนที่เป็นเศษผงจากสูตร G-X-Y และเจลาติน สำหรับสูตรที่มีแต่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยไม่ผสมถุงน่อง (G-0-Y) ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่สามารถบดชิ้นงานให้ละเอียดและนำมาเตรียมตัวอย่างได้

สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการตัดแปรรูปร่างและถุงน่องจะเป็นดังนี้



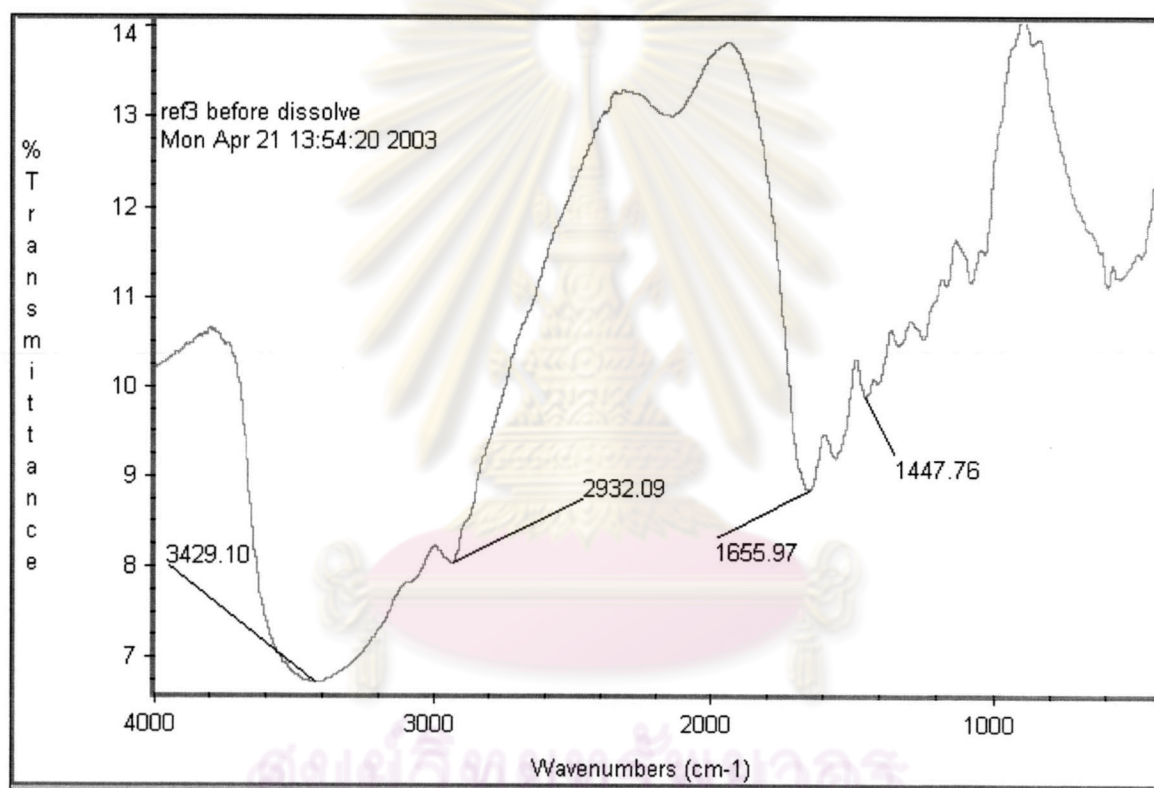
โดยหมู่เอมีนทั้งของถุงน่องและเจลาตินจะเข้าทำปฏิกิริยากับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพันธะเอไมด์และหมู่คาร์บอกซิลิก ดังสมการที่ 1 นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลของไฮดรอกซีโพรลีนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ได้เช่นเดียวกัน และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพันธะเอสเทอร์และหมู่คาร์บอกซิลิก ดังสมการที่ 2 ดังนั้น ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีนี้ จะพิจารณาจะมีพีกซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เป็นหลัก

เมื่อนำเจลาตินมาวิเคราะห์ด้วย FT-IR จะได้สเปกตรัม ดังรูปที่ 4.16 โดยมีพีกที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ ณ 3429 cm^{-1} และ 1655 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า พีกของ NH stretching นั้น มีลักษณะเป็นพีกที่กว้าง (broad peak) ซึ่งแสดงถึงการมีความชื้นอยู่ในโครงสร้างด้วย นอกจากนี้ ยังมีพีกที่ 2925 cm^{-1} ซึ่งเป็น CH stretching ของหมู่เมทิลีน (CH_2) อีกด้วย



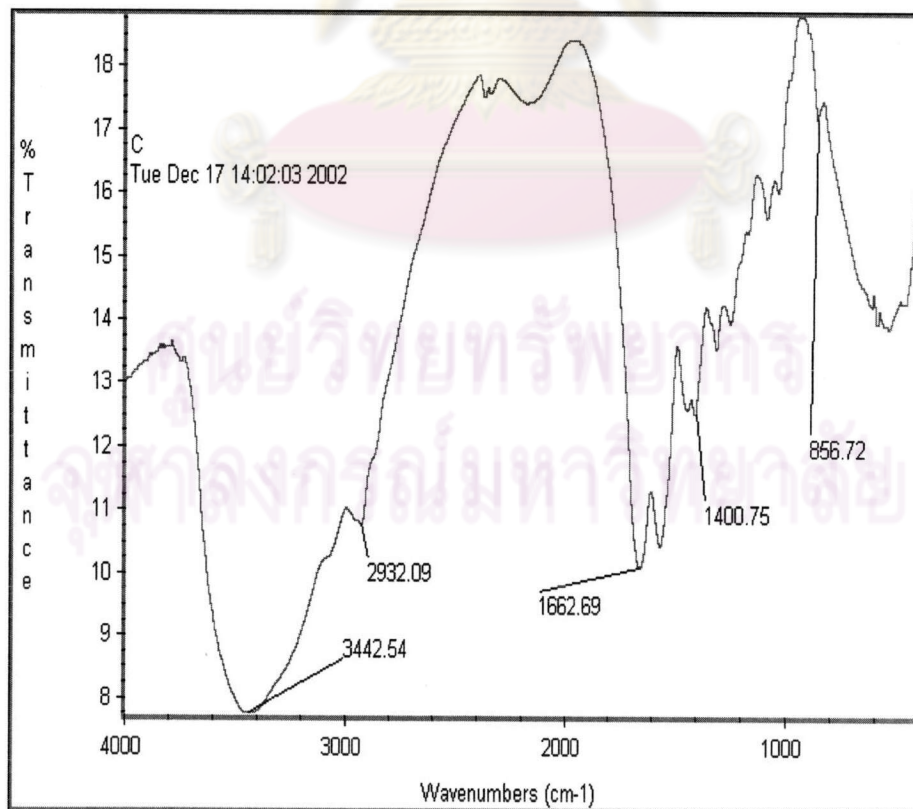
รูป 4.16 FT-IR สเปกตรัมของเจลาติน

เมื่อนำโพลีเมเจลลาตินที่เติมถุงน่อง (G-10-0) มาวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยส่วนที่นำมาวิเคราะห์นั้น เป็นโพลีส่วนบน เนื่องจากส่วนล่างไม่สามารถบดให้ผงละเอียดได้ เพราะมีความแข็งมาก เมื่อนำส่วนโพลีมาวิเคราะห์ จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.17 โดยมีพีคที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ ณ 3429 cm^{-1} และ 1655 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีพีคที่ 2932 cm^{-1} ซึ่งเป็น CH stretching ของหมู่เมทิลีน (CH_2) อีกด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสูตรนี้กับสเปกตรัมของเจลาติน ในรูปที่ 4.16 กับสเปกตรัมของถุงน่อง ในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับของเจลาตินมากกว่าของถุงน่อง แสดงว่าในส่วนของโพลีนี้ก็มีส่วนของเจลาตินรวมอยู่ด้วย

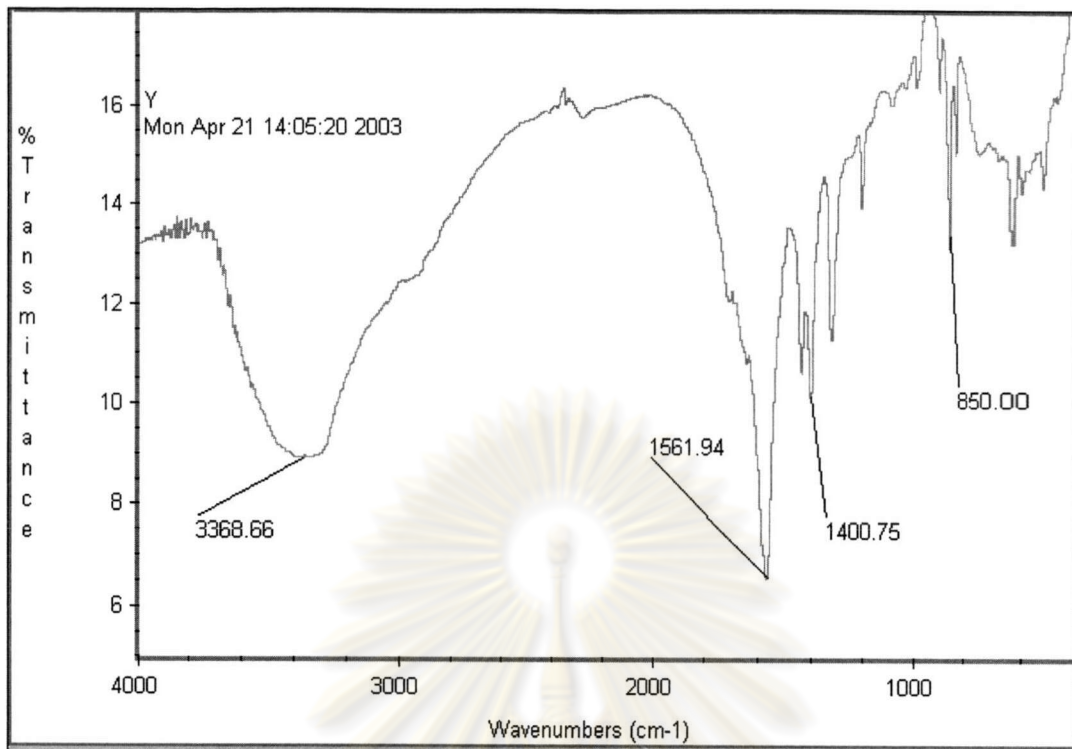


รูปที่ 4.17 FT-IR สเปกตรัมของโพลีเมเจลลาตินที่เติมถุงน่อง (G-10-0)

เมื่อนำส่วนที่เป็นโพลิเมอร์ของเจลาตินที่เติมทั้งถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในปริมาณน้อย ซึ่งได้แก่ สูตร G-10-10 มาวิเคราะห์ด้วย FT-IR จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.18 โดยมีพีกที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ ณ 3442 cm^{-1} และ 1662 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีพีกที่ 857 cm^{-1} ของ C=C bending ซึ่งแสดงถึงส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่เกิดปฏิกิริยากับเจลาตินและ/หรือถุงน่อง สำหรับพีกที่แสดงถึง COO stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์กับเจลาตินและ/หรือถุงน่องนั้น ยังเห็นไม่ชัดเจนมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของเจลาตินยังมากอยู่ จึงทำให้เห็นพีกของเจลาตินมากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อนำส่วนบนของโพลิเมอร์เจลาตินที่เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในปริมาณที่มากขึ้นซึ่งได้แก่ สูตร G-20-50 มาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จะเห็นพีกที่แสดงถึง COO stretching ของหมู่เอสเทอร์อย่างชัดเจน ณ ตำแหน่ง 1562 cm^{-1} รวมทั้งพีกที่แสดงถึง C=C bending ที่ 850 cm^{-1} ก็มีความชัดเจนมากขึ้นด้วย ในขณะที่พีกซึ่งแสดงความเป็นหมู่คาร์บอนิลของพันธะเอไมด์ของถุงน่องและเจลาติน ณ ตำแหน่ง 1650 cm^{-1} และ 1656 cm^{-1} ตามลำดับ กลับลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ รวมทั้งพีกของ NH stretching ณ 3368 cm^{-1} ก็ลดลงด้วยเช่นกัน ผลการทดลองนี้ยืนยันได้ว่า ส่วนของโพลิเมอร์ที่ได้นั้นประกอบด้วยเจลาตินผสมกับถุงน่อง ซึ่งถูกดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์



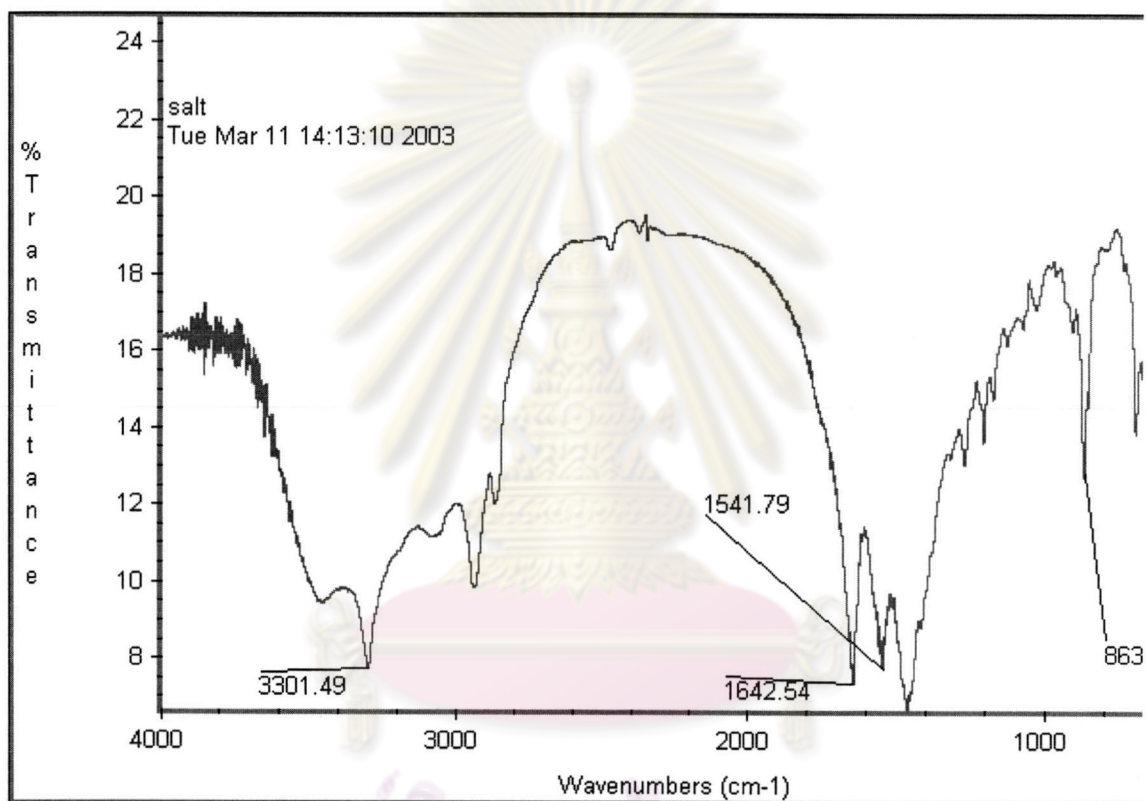
รูปที่ 4.18 FT-IR สเปกตรัมของโพลิเมอร์เจลาตินที่เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-10-10)



รูปที่ 4.19 FT-IR สเปกตรัมที่ได้จากเจลาตินที่เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-20-50)

ศูนย์วิจัยทรัพยากรชีว
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

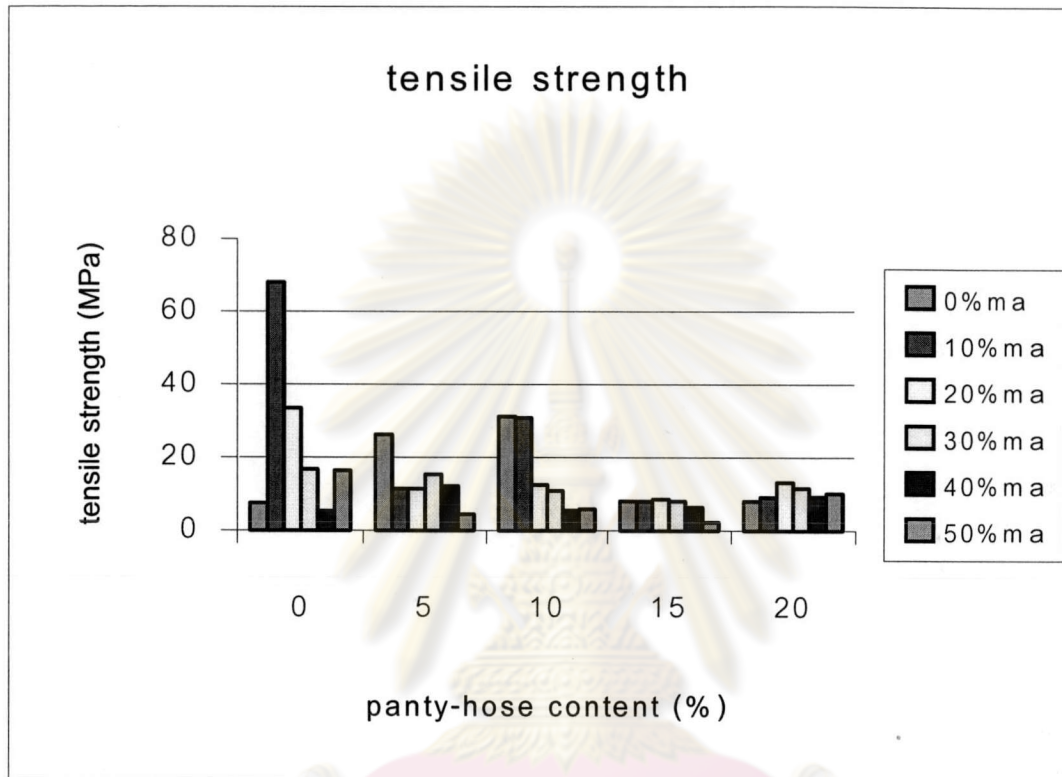
รูปที่ 4.20 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของเศษผงที่ได้จากโฟมเจลาตินที่เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (G-X-Y) โดยมีพีคที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ ณ 3301 cm^{-1} และ 1642 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีพีคที่แสดงถึง COO stretching ของหมู่เอสเทอร์ ปรากฏ ณ ตำแหน่ง 1542 cm^{-1} และพีคที่แสดงถึง C=C bending ของพันธะคู่ซึ่งเป็นส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ปรากฏ ณ ตำแหน่ง 863 cm^{-1} ตามลำดับ จาก FT-IR สเปกตรัมในรูปนี้ สามารถสันนิษฐานได้ว่า เศษผงดังกล่าวน่าจะเป็นส่วนของถุงน่องที่ตัดแปรร่วมมาเลอิกแอนไฮไดรด์



รูปที่ 4.20 FT-IR สเปกตรัมของเศษผงที่ได้จากโฟมเจลาตินที่เติมถุงน่องและมาเลอิกแอนไฮไดรด์
สูตร (G-X-Y)

4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

เมื่อนำมาทดสอบความทนต่อแรงดึง เพื่อหาค่าความทนต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยึดดึง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.21 และ 4.22



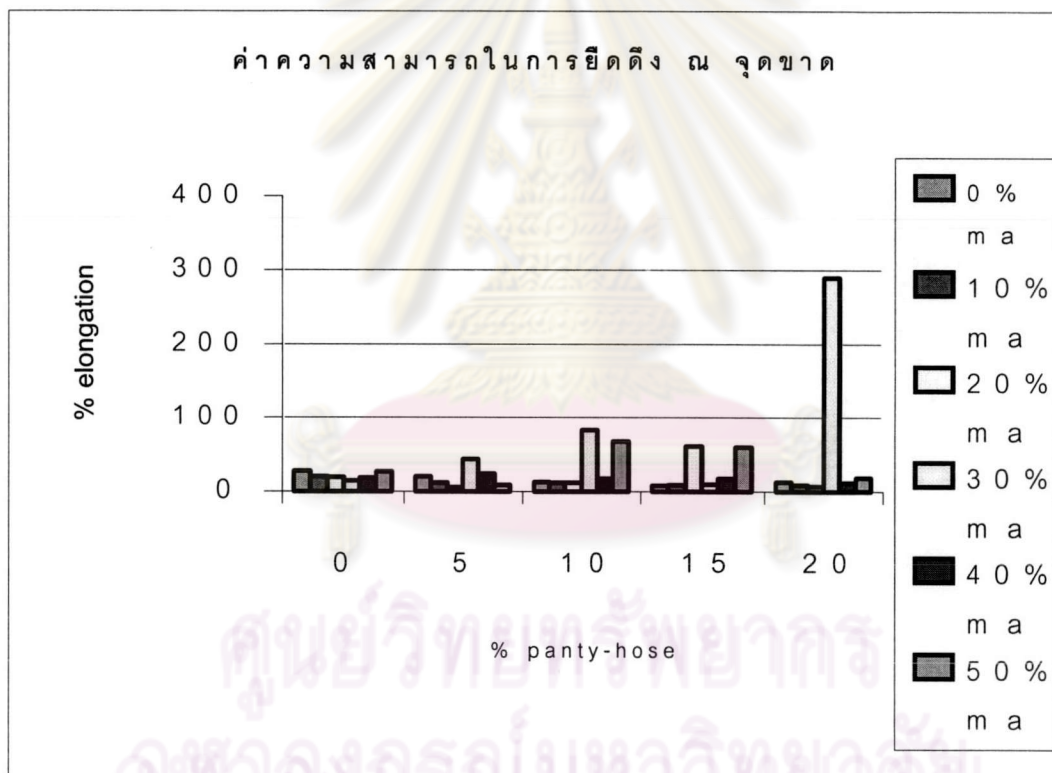
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถุงน่องกับความทนแรงดึง

จากรูป 4.21 ในสูตร G-0-0 สามารถอธิบายได้ว่า จากโครงสร้างของเจลาติน จะเห็นได้ว่า เจลาตินประกอบไปด้วยโครงสร้างที่มีสารก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น จึงทำให้โมเลกุลของเจลาตินยึดเหนี่ยวกันอย่างมาก ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามแรงดึงได้ จนทำให้ชิ้นงานมีความเปราะ ดังนั้น เมื่อทดสอบความทนแรงดึง ค่าความทนแรงดึงจึงค่อนข้างต่ำ

ในสูตร G-0-X พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจลาตินด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นการลดพันธะไฮโดรเจนลงบางส่วน ทำให้โมเลกุลของเจลาตินสามารถเคลื่อนที่ไปตามแรงดึงได้ง่ายขึ้น ชิ้นงานจึงไม่เปราะเกินไป แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มากขึ้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลงมากเกินไป จนทำให้ชิ้นงานสูญเสียความแข็งแรง ไม่สามารถทนต่อแรงดึง

ในสูตร G-X-0 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มถุงน่องไปจนถึง 10 phr ค่าความทนแรงดึงสูงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากถุงน่องซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือพอลิเอไมด์ ที่มีสมบัติในการยืดดึงสูง [16] เมื่อใส่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทนแรงดึงสูง แต่เมื่อปริมาณถุงน่องเพิ่มมากขึ้น จากลักษณะทางกายภาพ พบว่าปริมาณฟองเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับการมีส่วนกลุ่มก้อนของถุงน่อง ดังรูปที่ 4.14 จึงทำให้เกิดข้อบกพร่องในชิ้นงาน ส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงลดลง

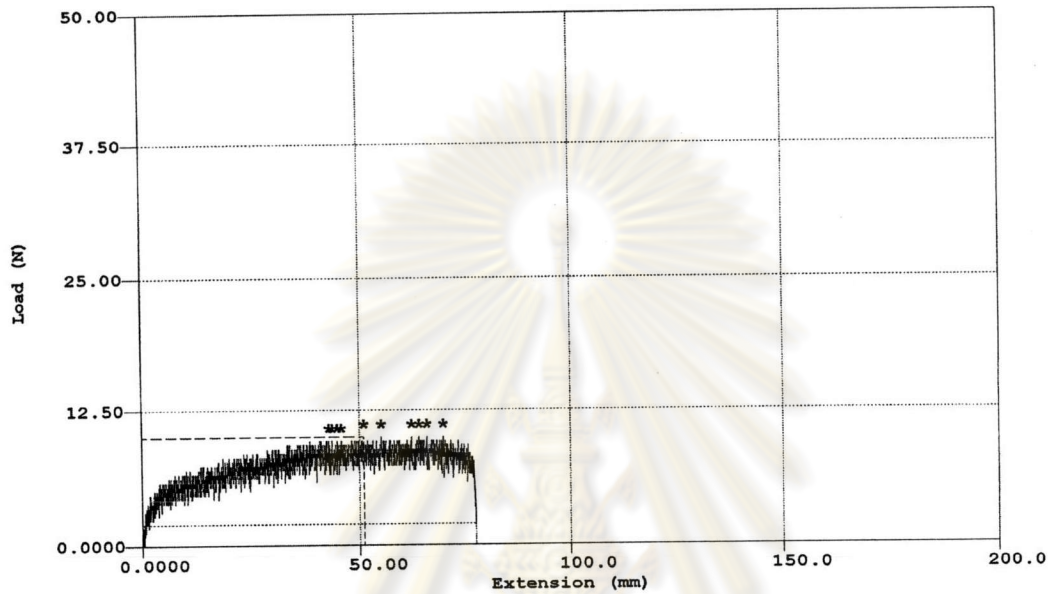
ในสูตร G-X-Y จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการเติมทั้งมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และถุงน่องจะค่อนข้างต่ำ ยกเว้นสูตร G-10-10 เพราะทั้งมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะไปลดพันธะไฮโดรเจน และถุงน่องจะไปเพิ่มสมบัติการยืดดึง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความทนแรงดึงสูง



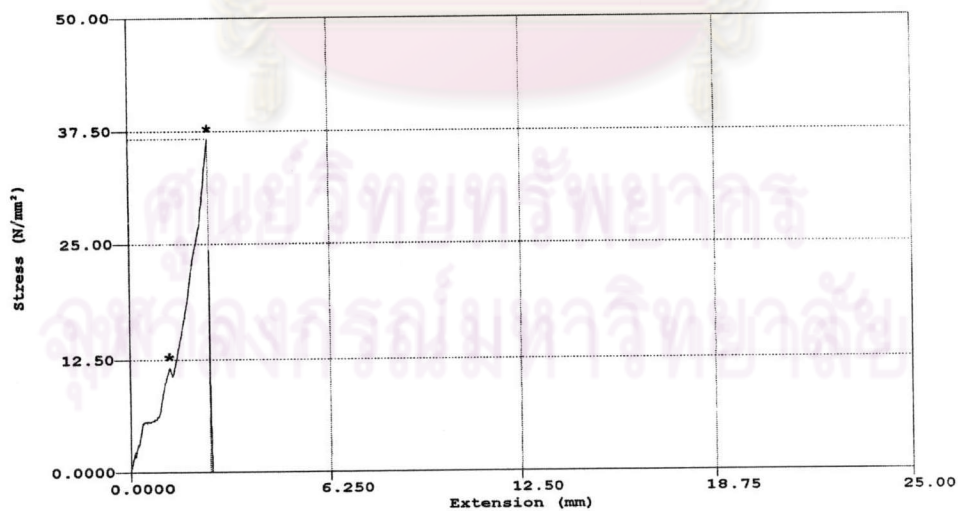
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถุงน่อง กับความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า จากสูตร G-20-30 จะพบว่าค่าความยืดตัวจะสูงแตกต่างจากสูตรอื่นมาก ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟระหว่างแรงที่ให้ (load) ต่อ การยืดตัว (extension) จะพบว่าสูตรนี้เป็นสูตรเดียวที่ลักษณะกราฟมีการยืดตัว ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สูตรนี้มีปริมาณการ

ดัดแปรที่เพียงพอที่จะทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนผ่านกันได้ดี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.23 ขณะที่สูตรอื่นๆ จะมีการยืดตัวต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการที่ชิ้นงานขาดไปก่อนเนื่องจากข้อบกพร่องข้างต้นหรือเกิดเนื่องจากการดัดแปรที่ยังไม่มากพอจึงทำให้มีพันธะไฮโดรเจนสูงอยู่ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.24



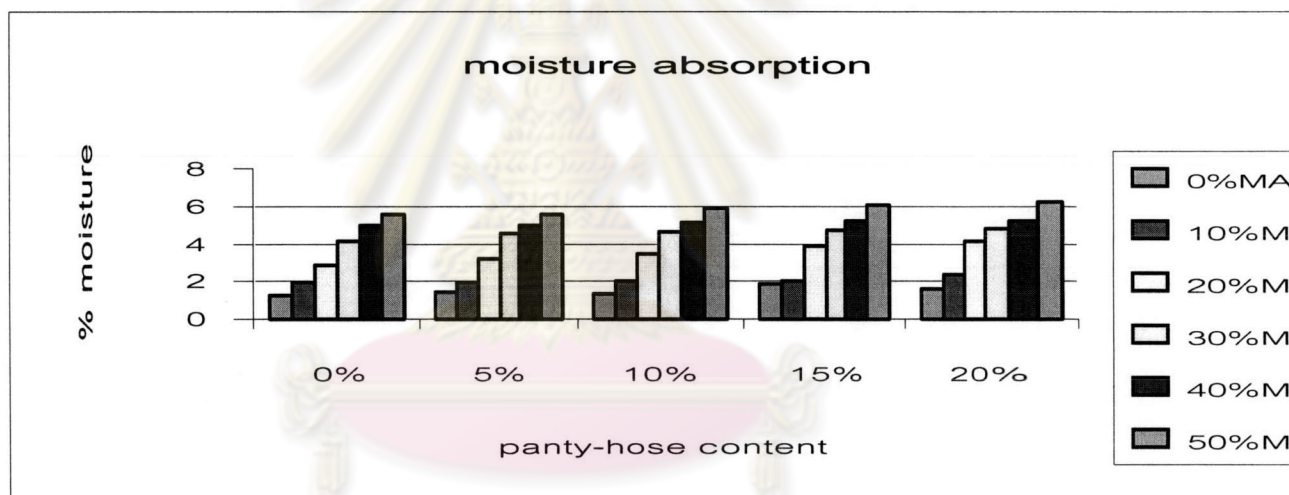
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้และการยืดตัวของชิ้นงานสูตร G-20-30



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้และการยืดตัวของชิ้นงานสูตรอื่นๆ

4.7 การทดสอบการดูดซึมความชื้น

เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้น ผลที่ได้ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.25 บ่งชี้ว่า ชิ้นงานซึ่งเตรียมจากเจลาตินที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร มีค่าการดูดซึมความชื้นต่ำที่สุด เนื่องจากเจลาตินดั้งเดิมติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของเจลาตินมีค่าน้อย ประกอบกับหมู่ที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำก็มีน้อยเช่นกัน จึงส่งผลให้ค่าการดูดซึมความชื้นต่ำ เมื่อเติมถุงน่องลงในเจลาตินที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร จะเห็นได้ว่า ปริมาณถุงน่องที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อการดูดซึมความชื้นมากนัก แต่เมื่อมีการดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์เพิ่มขึ้น การดูดซึมความชื้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้จะเป็นเพราะส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ดัดแปรเข้าไปในโครงสร้างของเจลาตินและถุงน่อง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลง เกิดพันธะเอไมดิอัสระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นด้วย การดูดซึมความชื้นจึงเพิ่มตามไปด้วย



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถุงน่องต่อการดูดซึมความชื้น

4.8 การตรวจสอบความทนทานต่อสารเคมี

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความทนทานต่อสารเคมี [30]

ชนิดของตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาท)	ความทนทานต่อ การละลาย
กรดอะซีติก	20	100	5	-
อะซีโตน	20	100	5	-
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	20	20	10	+
สารละลายกรดฟอร์มิก	20	85	5	+
1,4 ไดออกเซน	101	100	5	-
สารละลายกรดซัลฟูริก	20	59.5	20	+
สารละลายกรดซัลฟูริก	38	70	20	+
เมตา-ครีซอล	139	100	5	+
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	Tr	10	30	+/-
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	Tr	20	30	+/-
น้ำ	50	0	30	+/-
น้ำ	Tr	0	7200	+

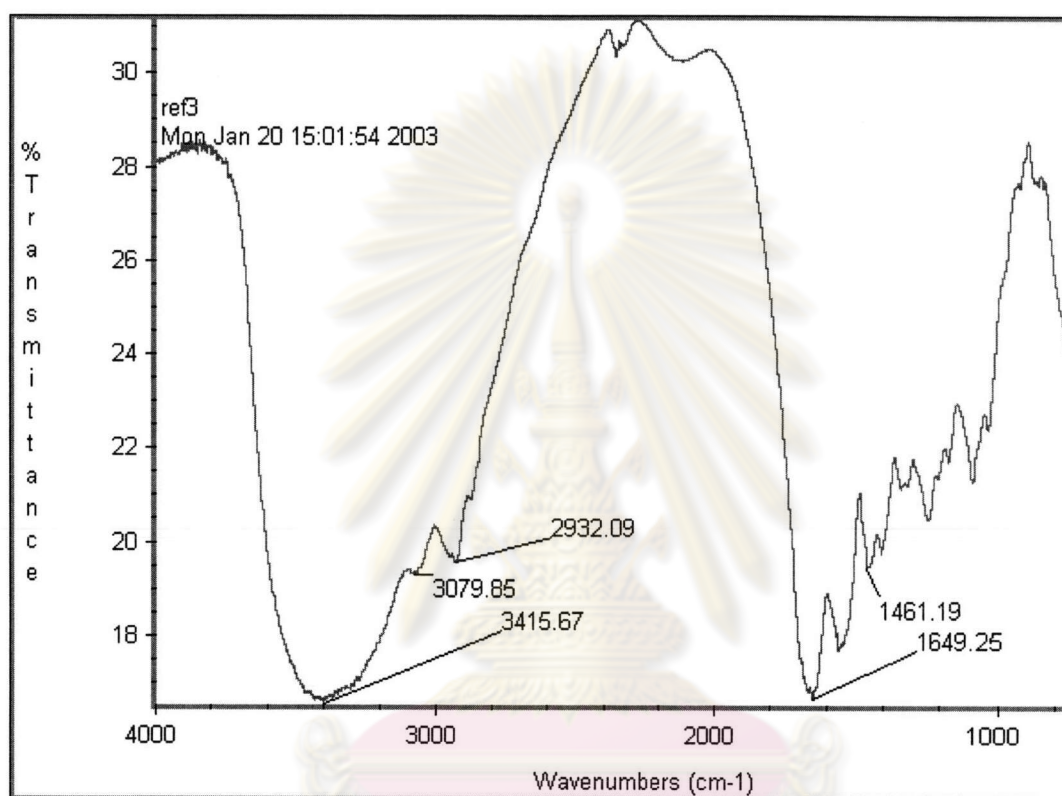
โดยที่ + หมายถึงชิ้นงานสามารถละลายในตัวทำละลายนั้นได้

- หมายถึงชิ้นงานไม่ละลายในตัวทำละลายนั้นได้

Tr หมายถึงอุณหภูมิห้อง

จากตารางข้างต้นพบว่าความทนทานต่อสารเคมีของทุกชิ้นงานจะคล้ายกับการทนต่อสารเคมีของเส้นใยไนลอน [16] คือ ในเรื่องสมบัติการทนน้ำ กล่าวคือ จะพบว่า ชิ้นงานส่วนที่เป็นส่วนล่าง จะละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที และอุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ส่วนฟองยังเหลืออยู่ จึงนำส่วนฟองมาวิเคราะห์ด้วย FT-IR ได้ดังรูปที่ 4.26 เมื่อนำสเปกตรัมดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าส่วนที่ไม่ละลายน้ำคือส่วนของถุงน่อง โดยสังเกตได้จากพีก C=O stretching ของถุงน่อง ณ 1649 cm^{-1} แต่จะเห็นได้ว่าบริเวณ NH stretching จะมีความกว้างของพีกมากกว่าปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการดูดซึมความชื้นเข้าไปในโครงสร้างของถุงน่องด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ถุงน่องดังกล่าวได้ถูกดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งยังเกิดหมู่คาร์บอกซิลิก ดังที่กล่าวไว้ก่อน

หน้านี้ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดีกับน้ำ จึงทำให้การดูดซึมความชื้นเพิ่มมากขึ้น ดังหัวข้อ 4.7 ดังนั้นเมื่อทิ้งชิ้นงานไว้ในน้ำ เป็นเวลานานขึ้นจนถึง 5 วัน พบว่า ส่วนฟองก็ละลายหมดเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ โมเลกุลของน้ำได้มีโอกาสแทรกเข้าไประหว่างโมเลกุลของถุงน่องได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้การยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุลของถุงน่องถูกทำลายจนหมด จึงทำให้สามารถละลายน้ำได้



รูปที่ 4.26 FT-IR สเปกตรัมของสูตร G-10-0 หลังทดสอบการละลายด้วยน้ำ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.9 การทดสอบการย่อยสลายด้วยวิธีการฝังดิน

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปภายหลังฝังดินนาน 5 วัน

ชิ้นงานที่	สูตร			
	G-0-0	G-10-0	G-0-10	G-10-10
1	50.99%	*	*	*
2	53.22%	*	*	*
3	68.98%	*	*	*
4	50.20%	*	*	*
5	51.96%	*	*	*

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปภายหลังฝังดินนาน 10 วัน

ชิ้นงานที่	สูตร			
	G-0-0	G-10-0	G-0-10	G-10-10
1	70.84%	*	*	*
2	76.08%	*	*	*
3	87.78%	*	*	*
4	70.94%	*	*	*
5	71.64%	*	*	*

เมื่อ * หมายถึงย่อยสลายจนมีขนาดเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจนไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักได้

จากตารางข้างต้นพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในสูตร G-0-0 ต่างจากสูตรอื่นๆ เนื่องจากเจลาตินดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของเจลาตินมีค่าน้อย ดังนั้นการซึมผ่านของน้ำ และอากาศเป็นไปได้น้อย ส่งผลให้การย่อยสลายเป็นไปได้ช้ากว่าสูตรอื่นๆ ขณะที่สูตร G-0-10 มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากกว่า ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ตัดแปรเข้าไปในโครงสร้างของเจลาตินจะทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลง เกิดพันธะเอไมดิอัสระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการซึมผ่านของน้ำ และอากาศเป็นไปได้มากกว่า รวมทั้งจากการที่ชิ้นงานละลายน้ำได้ ดังผลการทดลองในหัวข้อ 4.8 จึงส่งผลให้ชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ส่งผลให้การย่อยสลายเป็นไปได้เร็วกว่าสูตร G-0-0 ขณะที่สูตร G-10-0 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกัน

เนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างของโฟม ที่ส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำ และอากาศเป็นไปได้อย่างมาก รวมทั้งจากการที่ชั้นงานละลายน้ำได้ จึงส่งผลให้ชั้นงานเป็นชั้นเล็กชั้นน้อย ทำให้ส่งการย่อยสลายเป็นไปได้อย่างเร็วเช่นกัน และสูตร G-10-10 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกัน เนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างของโฟม รวมทั้งเป็นเพราะส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ดัดแปรเข้าไปในโครงสร้างของเจลาตินและถุงน่อง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลง เกิดพันธะเอไมด์อิสระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นด้วย ที่ส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำและอากาศเป็นไปได้อย่างมาก รวมทั้งจากการที่ชั้นงานละลายน้ำได้ จึงส่งผลให้ชั้นงานเป็นชั้นเล็กชั้นน้อย ทำให้ส่งการย่อยสลายเป็นไปได้อย่างเร็วเช่นกัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย