บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

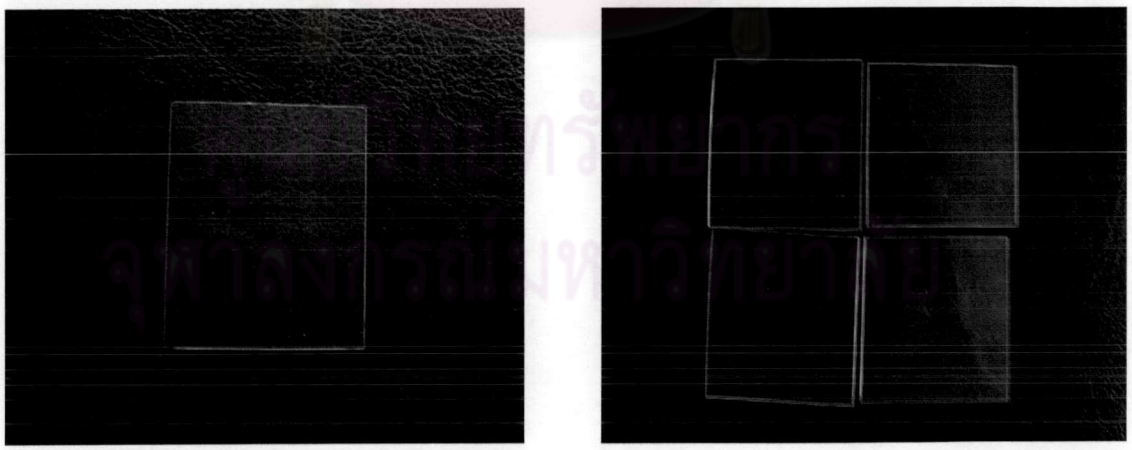
4.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรเจลาทิน ได้แก่ ปริมาณกรดสเตียริก ภาวะความเป็นกรดด่าง และระยะเวลาในการดัดแปร ทั้งนี้เพื่อนำเจลาทินดัดแปรที่ได้ไปเตรียมเป็นฟิล์ม ซึ่งมีสมบัติโดยรวมเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น มีการดูดซึมความชื้นต่ำ และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมดี ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน แต่ก็สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

4.2 การหาภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาทินดัดแปร

4.2.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์ม

เมื่อนำสารละลายเจลาทินบริสุทธิ์และสารละลายเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ภาวะความเป็นกรดด่างต่างๆกัน มาขึ้นรูปด้วยการหล่อในแม่แบบ จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้



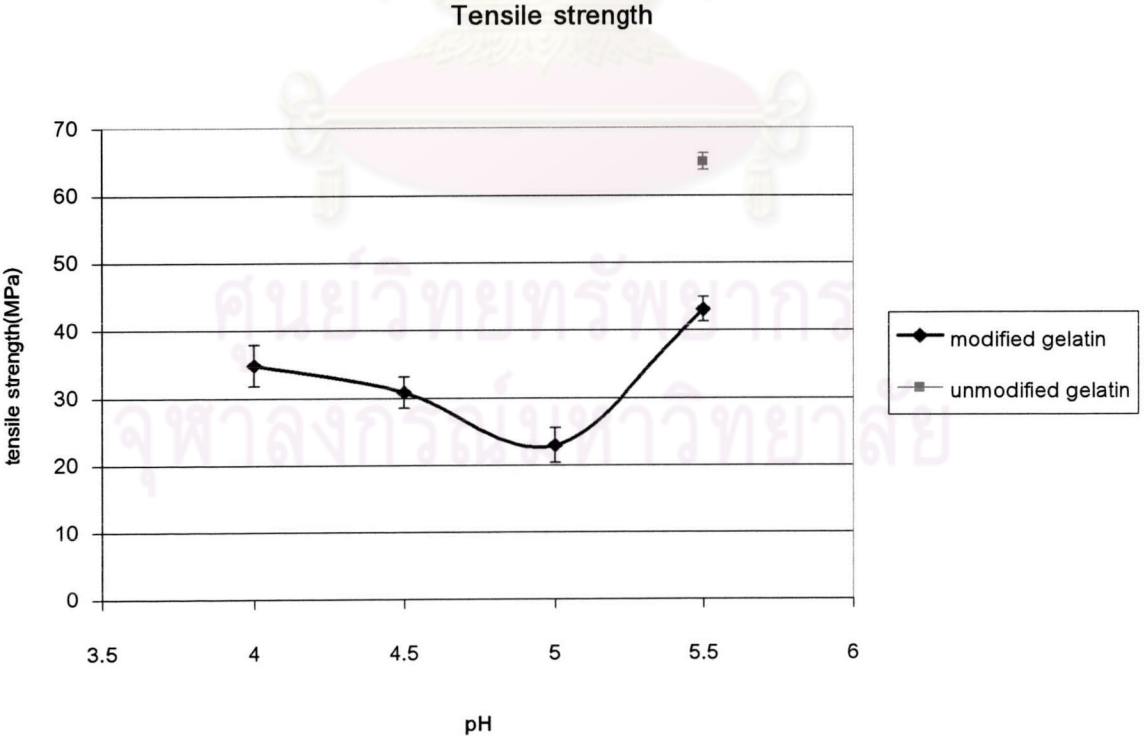
(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นงานสูตร Gstd (ก) และสูตร GM (ข) ด้านบนจากซ้ายไปขวา คือ สูตร GM4.0 กับ GM4.5 และด้านล่างจากซ้ายไปขวา คือ สูตร GM5.0 และ GM5.5

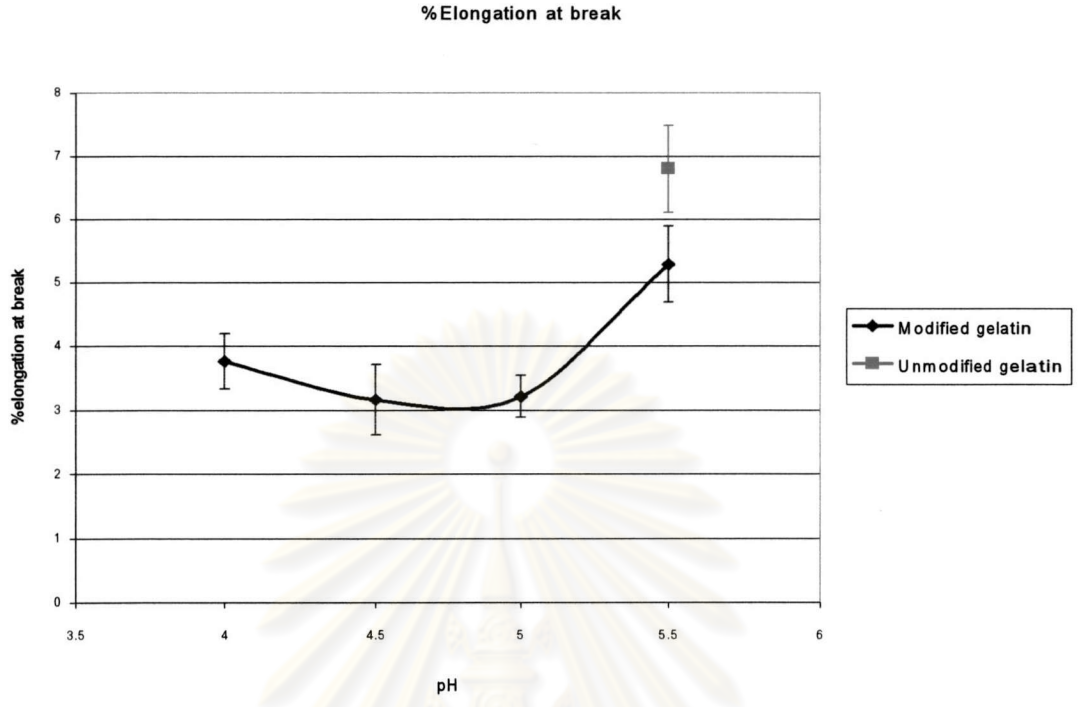
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ (Gstd) มีผิวเรียบ โปร่งใส สีเหลือง แต่ฟิล์มเจลาทินดัดแปร (GM) ที่ภาวะความเป็นกรดต่างๆกัน มีลักษณะโปร่งใส สีเหลืองอ่อน

4.2.2 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง

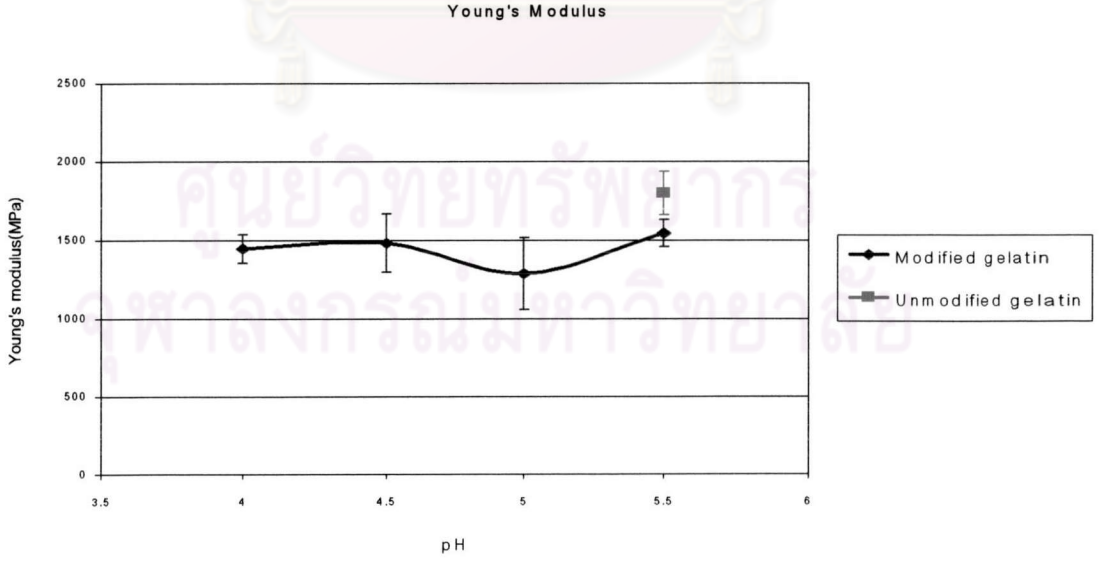
เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติด้านแรงดึง เพื่อหาความทนแรงดึง ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด และยังส์มอดุลัส ได้ผลดังรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า สำหรับฟิล์มที่เตรียมจากเจลาทินซึ่งดัดแปร ณ ความเป็นกรดด่างที่ 5.5 มีความทนแรงดึง ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด และยังส์มอดุลัสมากกว่าฟิล์มที่เตรียมจากเจลาทินซึ่งดัดแปร ณ ความเป็นกรดด่างอื่นๆ แต่มีค่าน้อยกว่าของเจลาทินบริสุทธิ์ ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดแอสิดไฮโดรลิซิสของสายโซ่โมเลกุลเจลาทิน เมื่อมีการเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไปในการปรับสภาพความเป็นกรดด่างของสารละลาย รวมทั้งกรดสเตียริกบางส่วนอาจไปไฮโดรไลซ์เจลาทินได้เช่นกัน จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลของเจลาทินสั้นลงเมื่อเทียบกับของเจลาทินบริสุทธิ สมบัติด้านแรงดึงจึงต่ำกว่า



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างกับความทนแรงดึงของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดด่างต่าง ๆกัน



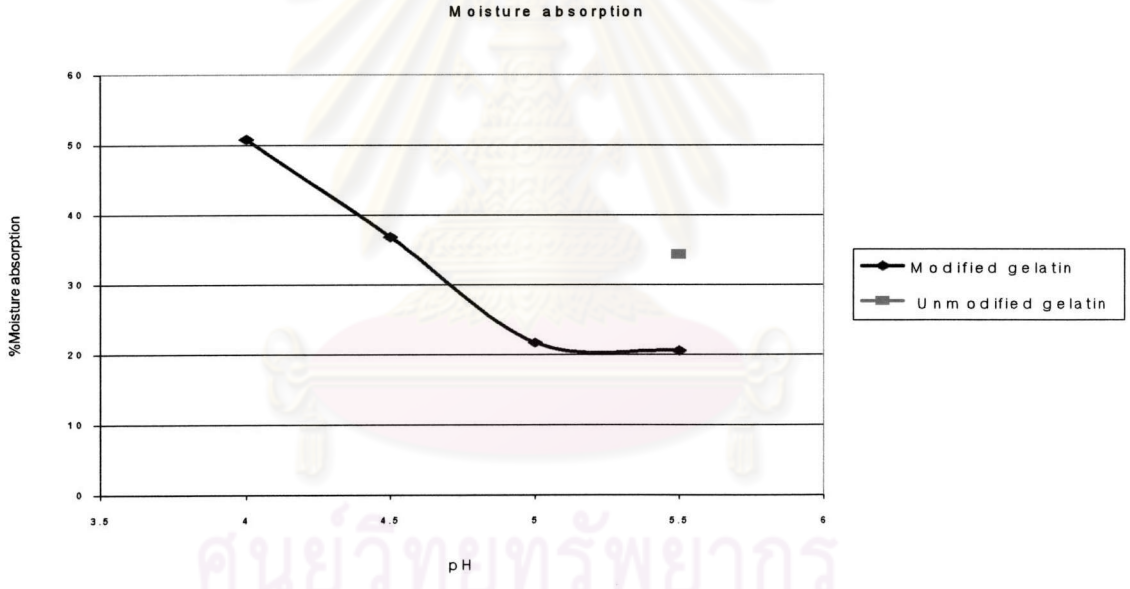
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างกับความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาดของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดด่างต่าง ๆกัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างกับยังส์มอดุลัสของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดด่างต่าง ๆกัน

4.2.3 การทดสอบการดูดซึมความชื้น

เมื่อนำฟิล์มที่ได้ข้างต้นมาทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้น จะได้ผลดังรูปที่ 4.5 ซึ่งพบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากเจลาทินซึ่งดัดแปร ณ ความเป็นกรดด่างที่ 5.5 มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นน้อยกว่าฟิล์มที่เตรียมจากเจลาทินซึ่งดัดแปร ณ ค่าความเป็นกรดด่างอื่นๆ และน้อยกว่าเจลาทินบริสุทธิ์อีกด้วย ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะ ณ ความเป็นกรดด่างที่ 5.5 ปฏิกิริยาการดัดแปรสามารถเกิดได้ดีกว่าที่ภาวะอื่น กรดสเตียริกจึงเกิดพันธะกับสายโซ่โมเลกุลของเจลาทินได้ดี ทำให้เจลาทินดัดแปรมีลักษณะไม่ชอบน้ำมากขึ้น อันเนื่องมาจากส่วนของไฮโดรคาร์บอนในกรดสเตียริกที่เพิ่มเข้ามา ความสามารถในการดูดซึมความชื้น ณ จุดนี้จึงมีค่าต่ำที่สุด และต่ำกว่าของเจลาทินบริสุทธิ์ซึ่งมีปริมาณของส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างกับการดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดด่าง ๆกัน

จากผลการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงและการดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทิน ณ ภาวะความเป็นกรดด่างต่างๆเปรียบเทียบกับเจลาทินบริสุทธิ์ พบว่า ที่ภาวะความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5 และ 5.5 มีการดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทินต่ำกว่าภาวะอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลข้างต้น พบว่า ที่ ภาวะความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.5 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์มเจลาทินดัดแปร ดังนั้น จึงใช้ภาวะความเป็นกรดด่างนี้ในการทดลองขั้นตอนอื่นต่อไป

4.3 การหาปริมาณกรดสเตียริกที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาทินดัดแปร

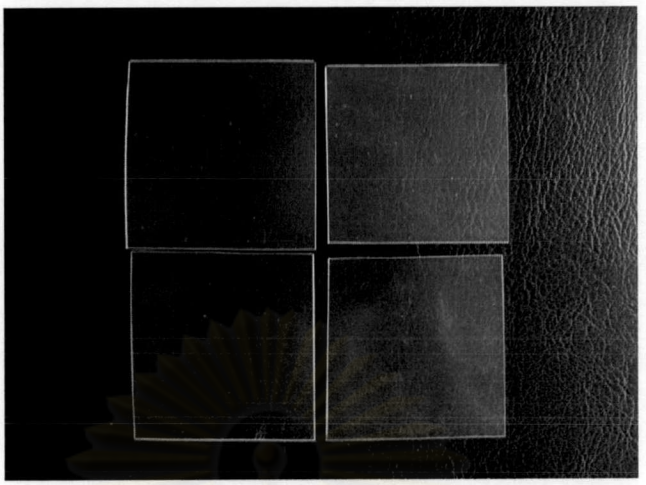
4.3.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์ม

เมื่อนำสารละลายเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริกปริมาณต่างๆกัน โดยใช้ระยะเวลาในการดัดแปรเป็น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง มาขึ้นรูปด้วยการหล่อในแม่แบบ ฟิล์มที่ได้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.14

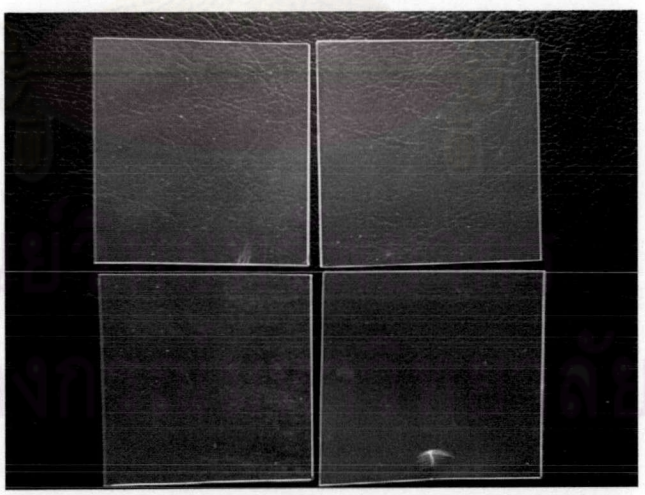
รูปที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ (G-X-0) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-0 กับ G-4-0 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-0 กับ G-8-0

จากการสังเกตพบว่า ฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ (G-X-0) มีผิวเรียบ สีเหลือง โปร่งใส เมื่อใช้ระยะเวลาการปั่นนานขึ้น ไม่เห็นความแตกต่างของฟิล์ม

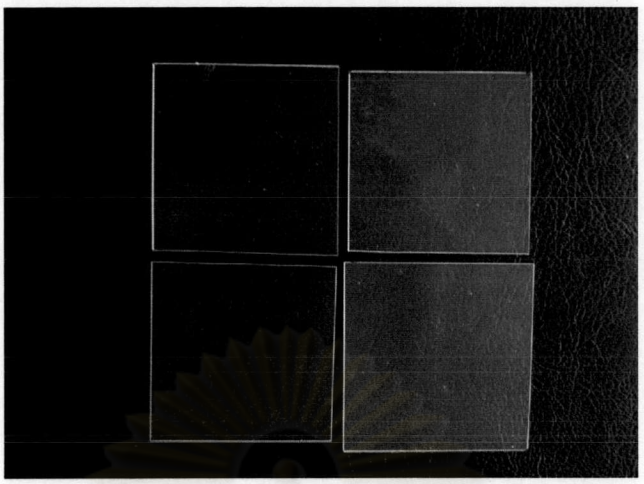
สำหรับฟิล์มเจลาทินดัดแปร (G-X-Y) ในสูตรที่ใช้ปริมาณกรดสเตียริกน้อย คือ 5-15 เปอร์เซ็นต์ ฟิล์มที่ได้ มีผิวเรียบ สีเหลืองอ่อน โปร่งใส เมื่อใช้ระยะเวลาการปั่นนานขึ้น ไม่เห็นความแตกต่างของฟิล์ม ดังรูปที่ 4.7-4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 5 เปอร์เซ็นต์ (G-X-5) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-5 กับ G-4-5 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-5 และ G-8-5

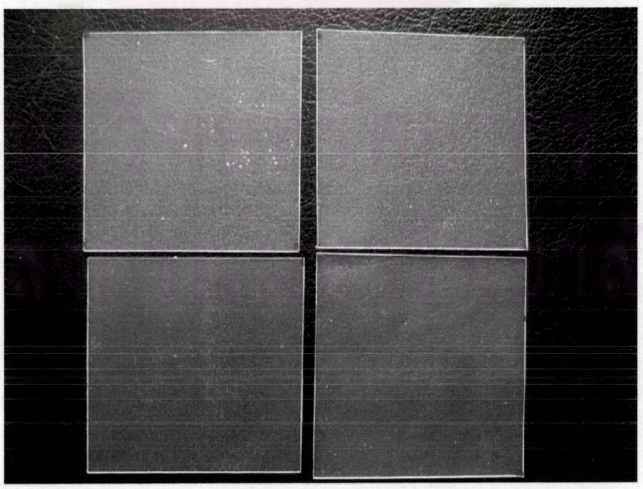


รูปที่ 4.8 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 10 เปอร์เซ็นต์ (G-X-10) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-10 กับ G-4-10 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-10 และ G-8-10

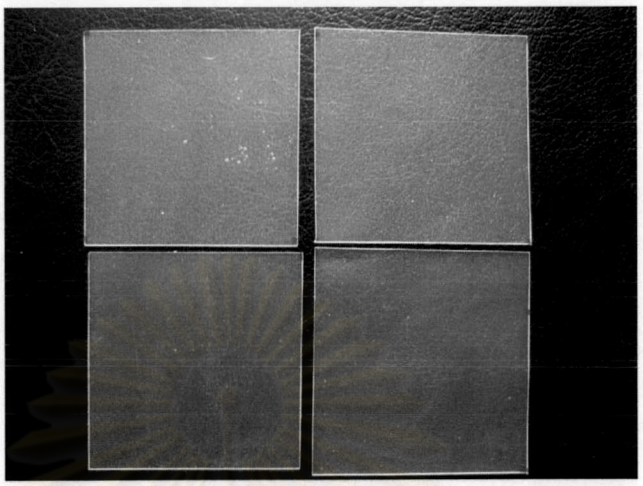


รูปที่ 4.9 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ (G-X-15) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-15 กับ G-4-15 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-15 และ G-8-15

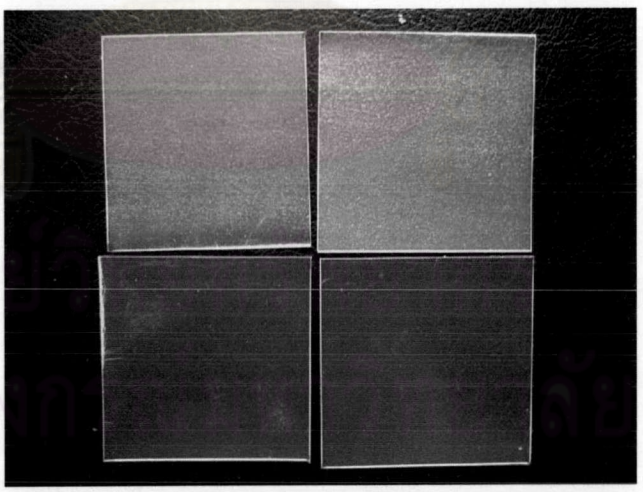
เมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกที่ใช้ในการดัดแปรเป็น 20-40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ฟิล์มเจลาทินดัดแปร ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง ได้ฟิล์มสีเหลืองอ่อน แต่มีผงสีขาวของกรดสเตียริกเกิดขึ้นบนผิวฟิล์ม เมื่อใช้เวลาการปั่นนานขึ้นที่ 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่า ผิวฟิล์มเรียบขึ้น ไม่มีผงสีขาวเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.10-4.14 ตามลำดับ



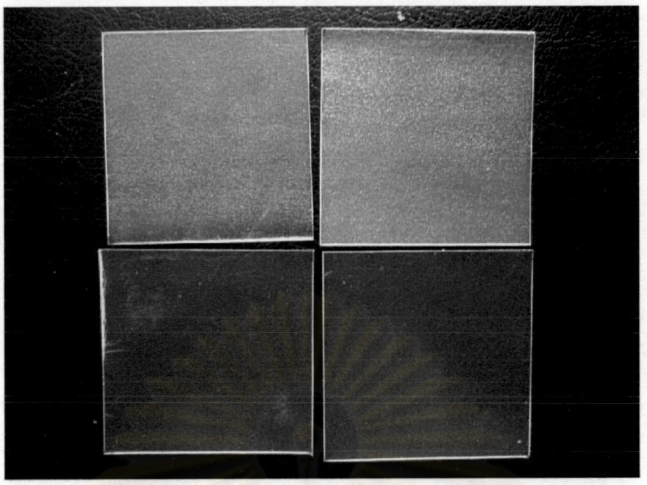
รูปที่ 4.10 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 20 เปอร์เซ็นต์ (G-X-20) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-20 กับ G-4-20 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-20 และ G-8-20



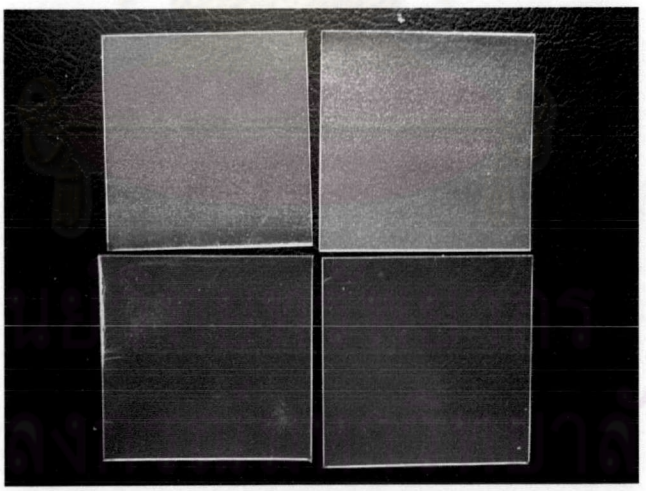
รูปที่ 4.11 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 25 เปอร์เซ็นต์ (G-X-25) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-25 กับ G-4-25 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-25 และ G-8-25



รูปที่ 4.12 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 30 เปอร์เซ็นต์ (G-X-30) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-30 กับ G-4-30 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-30 และ G-8-30



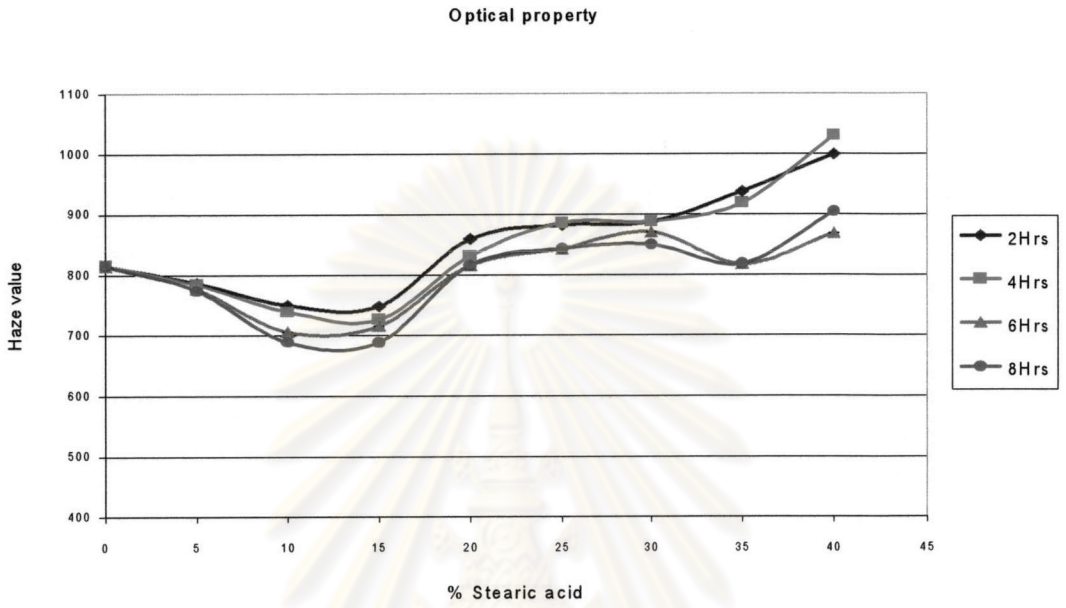
รูปที่ 4.13 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 35 เปอร์เซ็นต์ (G-X-35) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-35 กับ G-4-35 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-35 และ G-8-35



รูปที่ 4.14 ลักษณะของฟิล์มเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 40 เปอร์เซ็นต์ (G-X-40) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-40 กับ G-4-40 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-40 และ G-8-40

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้กรดสเตียริกในการดัดแปรเพิ่มขึ้น ต้องใช้เวลาในการดัดแปรนานขึ้น เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์มากขึ้น

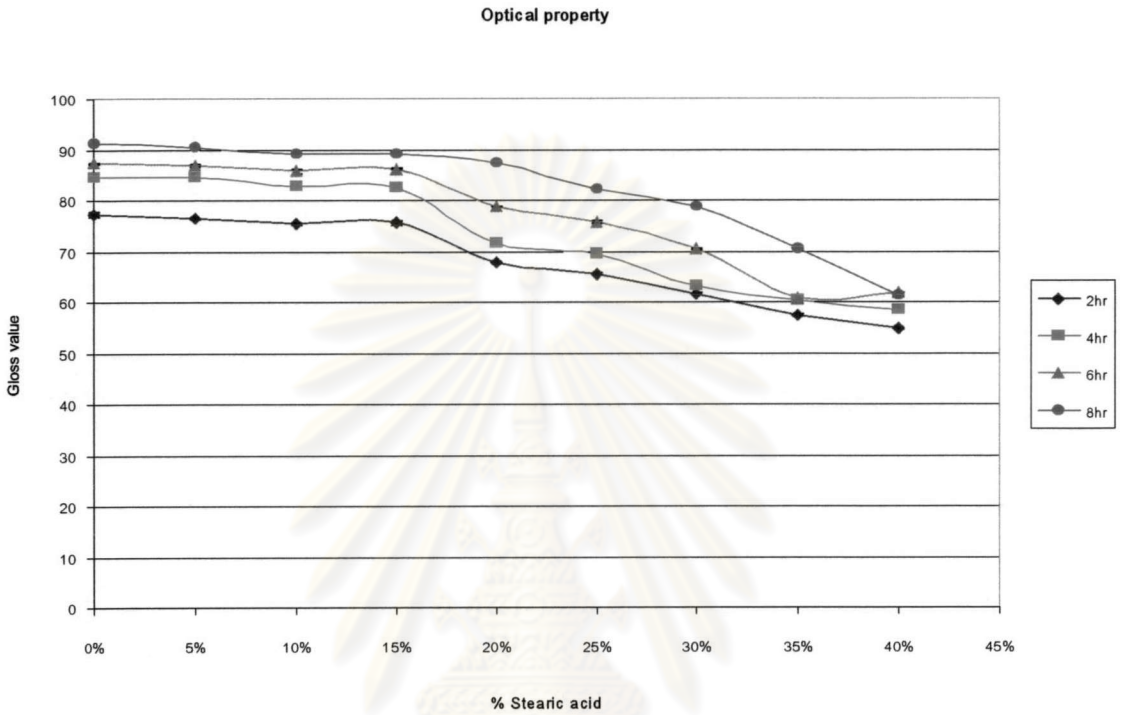
4.3.2 การทดสอบความขุ่นมัว



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความขุ่นมัวของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

เมื่อดัดแปรเจลาทินโดยใช้ปริมาณกรดสเตียริกน้อย (5-15 เปอร์เซ็นต์) ฟิล์มที่ได้มีความขุ่นน้อยกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริกไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเจลาทิน ความเป็นผลึกของฟิล์มเจลาทินดัดแปรจึงลดลง ทำให้การกระเจิงของแสงลดลง แต่เมื่อปริมาณกรดสเตียริกสูงขึ้น (ตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป) ฟิล์มที่ได้กลับมีความขุ่นมากขึ้น ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริกซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำเข้ามารวมตัวเกาะกลุ่มกัน แทนที่จะกระจายตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเจลาทินซึ่งมีลักษณะชอบน้ำ ฟิล์มที่ได้จึงมีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลง ทำให้เกิดความแตกต่างในดัชนีหักเหของเนื้อฟิล์ม การกระเจิงของแสงจึงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดัดแปร พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปั่นนานขึ้น ความขุ่นของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง น่าจะเป็นเพราะเมื่อปั่นนานขึ้น กรดสเตียริกสามารถกระจายตัวเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะกับเจลาทินได้มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น การกระเจิงของแสงจึงลดลง ฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ได้จึงมีความขุ่นลดลง

4.3.3 การทดสอบความเงา

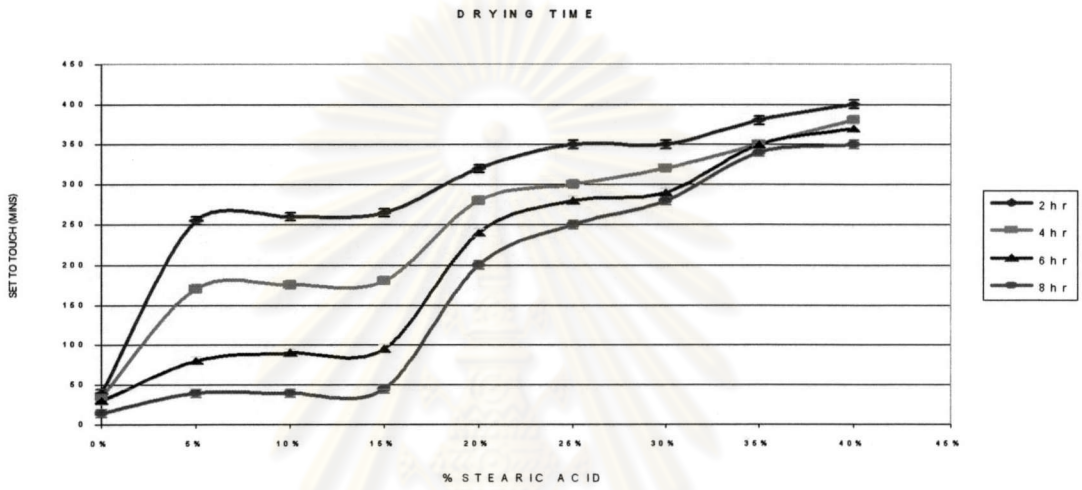


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความเงาของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

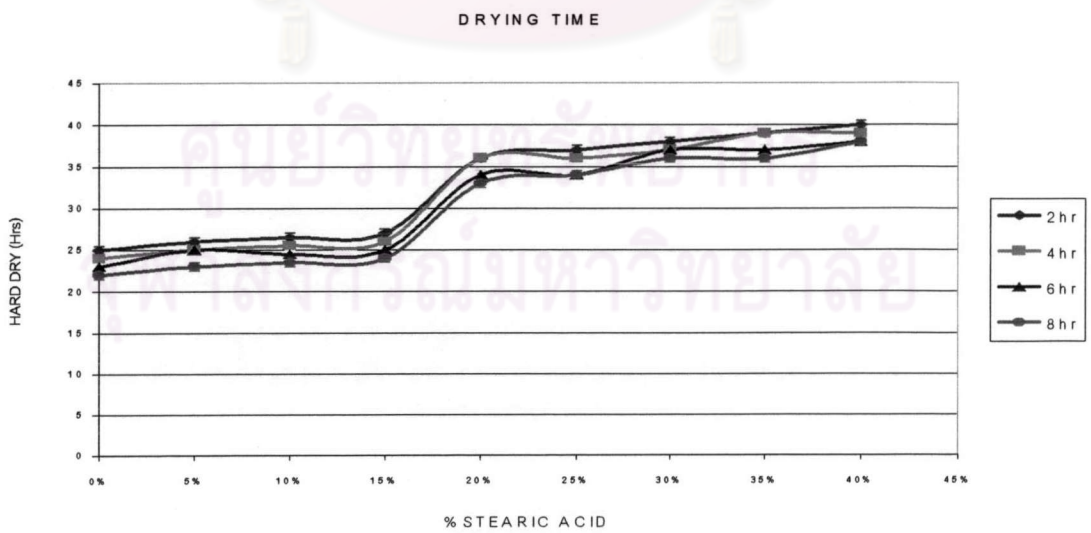
เมื่อดัดแปรเจลาทินด้วยกรดสเตียริกโดยใช้ปริมาณกรดสเตียริกน้อย (5-15 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความเงาต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์เล็กน้อย เนื่องจากความเป็นผลึกของฟิล์มเจลาทินดัดแปรลดลงเพียงเล็กน้อย ทำให้การสะท้อนของแสงลดลงไม่มากนัก แต่เมื่อปริมาณกรดสเตียริกสูงขึ้น (ตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป) ฟิล์มที่ได้มีความเงาต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มาก เนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ความเป็นผลึกลดลงมากตามปริมาณกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้น ทำให้การสะท้อนของแสงลดลงมาก ความเงาจึงต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มาก เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดัดแปรพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปั่นนานขึ้น ความเงาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นเพราะเมื่อปั่นนานขึ้น กรดสเตียริกสามารถกระจายตัวเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะกับเจลาทินได้มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น การสะท้อนของแสงจึงเพิ่มขึ้น ฟิล์มเจลาทินที่ได้จึงมีความเงาเพิ่มขึ้น

4.3.4 การทดสอบระยะเวลาในการแห้งตัว

เมื่อวัดระยะเวลาในการแห้งตัวที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 61 เปอร์เซ็นต์ในห้องควบคุมความชื้น ได้ระยะเวลาในการแห้งตัวของฟิล์มเจลาทินดังนี้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับระยะเวลาการแห้งแตะได้ของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับระยะเวลาการแห้งแข็งของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

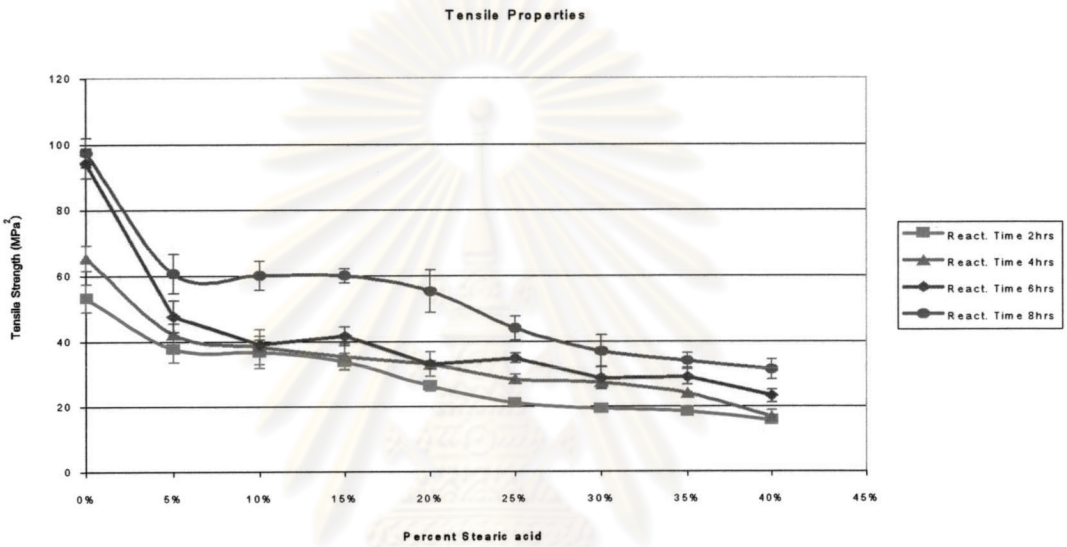
จากกราฟทั้งสอง พบว่า ฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มีแนวโน้มในการแห้งตัวได้เร็วกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะภายในโครงสร้างของเจลาทินบริสุทธิ์มีหมู่เอไมด์ซึ่งว่องไวต่อการเกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างมาก ทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลเกิดเป็นฟิล์มได้เร็วกว่าเจลาทินดัดแปร ซึ่งในโครงสร้างจะมีการขัดขวางการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุลจากหมู่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริก ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการแห้งตัวเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในช่วงการดัดแปร 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณกรดสเตียริกไม่ต่างกันมาก การขัดขวางของหมู่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริกจึงไม่มีผลมากนัก แต่หลังจากการดัดแปร 15 เปอร์เซ็นต์ไปแล้ว ระยะเวลาที่ใช้ในการแห้งตัวเพิ่มขึ้นมากตามปริมาณกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะปริมาณสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ขัดขวางการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อใช้ระยะเวลาในการปั่นนานมากขึ้น พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการแห้งตัวน้อยลง ทั้งนี้เพราะเมื่อปั่นเป็นระยะเวลานาน กรดสเตียริกสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะภายในโครงสร้างของเจลาทินได้มากขึ้น ภายในโครงสร้างจึงมีลักษณะไม่ชอบน้ำมากขึ้น การระเหยของน้ำออกจากสารละลายเจลาทินดัดแปรจึงเร็วขึ้น ส่งผลให้สามารถแห้งตัวได้เร็วกว่าฟิล์มที่เตรียมจากการปั่นที่ใช้เวลาน้อย

4.3.5 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง

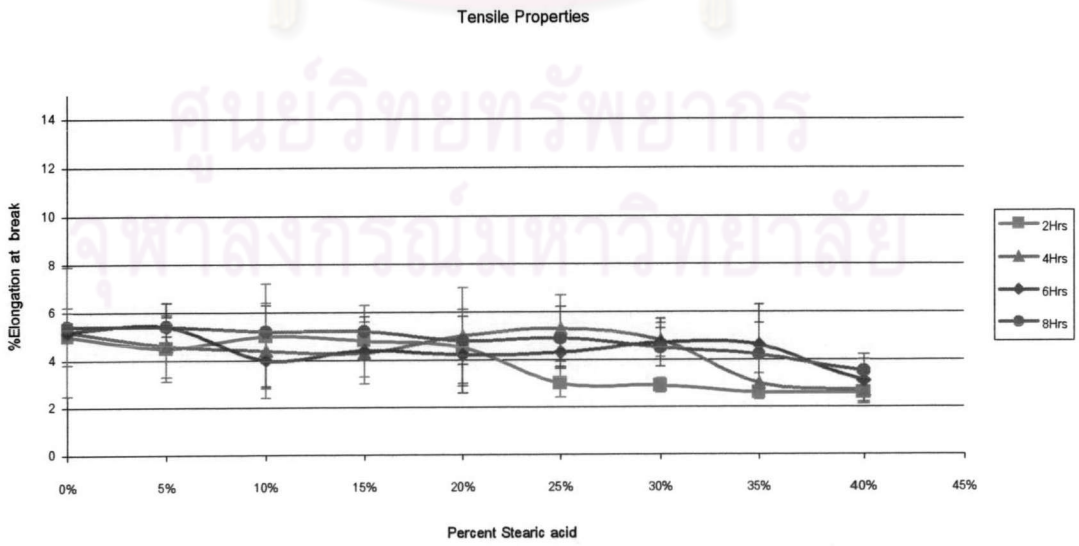
เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติด้านแรงดึง เพื่อหาความทนแรงดึง ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด และยังส์มอดุลัส จะได้ผลดังรูปที่ 4.19 4.20 และ 4.21

จากกราฟที่ 4.19 พบว่า ฟิล์มเจลาทินดัดแปรมีความทนแรงดึงต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มาก เมื่อปริมาณกรดสเตียริกที่ใช้เพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเจลาทินบริสุทธิ์มีแต่พันธะไฮโดรเจนจึงแข็งแรงมาก แต่การดัดแปรด้วยกรดสเตียริกจะไปทำให้พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างลดลง ดังนั้น เมื่อปริมาณกรดสเตียริกมากขึ้น ความทนแรงดึงจึงยิ่งลดต่ำลง เมื่อทำการดัดแปรที่ระยะเวลานานขึ้น พบว่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย ในกรณีของเจลาทินบริสุทธิ์ น่าจะเป็นเพราะเมื่อใช้ระยะเวลาดัดแปรนานขึ้น สารละลายเจลาทินดัดแปรมีความหนืดมากขึ้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลของเจลาทินใกล้ชิดกันมากขึ้น การเกิดพันธะไฮโดรเจนจึงเกิดได้มากและหนาแน่นขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

สำหรับเจลาทินดัดแปร เมื่อใช้เวลาในการดัดแปรนานขึ้นนอกเหนือจากสารละลายจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนเป็นไปได้ดีกว่าเช่นเดียวกับในกรณีของเจลาทินบริสุทธิ์แล้ว ยังเป็นผลมาจากการที่กรดสเตียริกสามารถเข้าทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะกับเจลาทินได้ทั่วถึงมากกว่า การเกาะกันของกรดสเตียริกซึ่งก่อให้เกิดข้อบกพร่องของฟิล์มจึงมีน้อยกว่า ฟิล์มจึงมีความทนแรงดึงมากกว่า

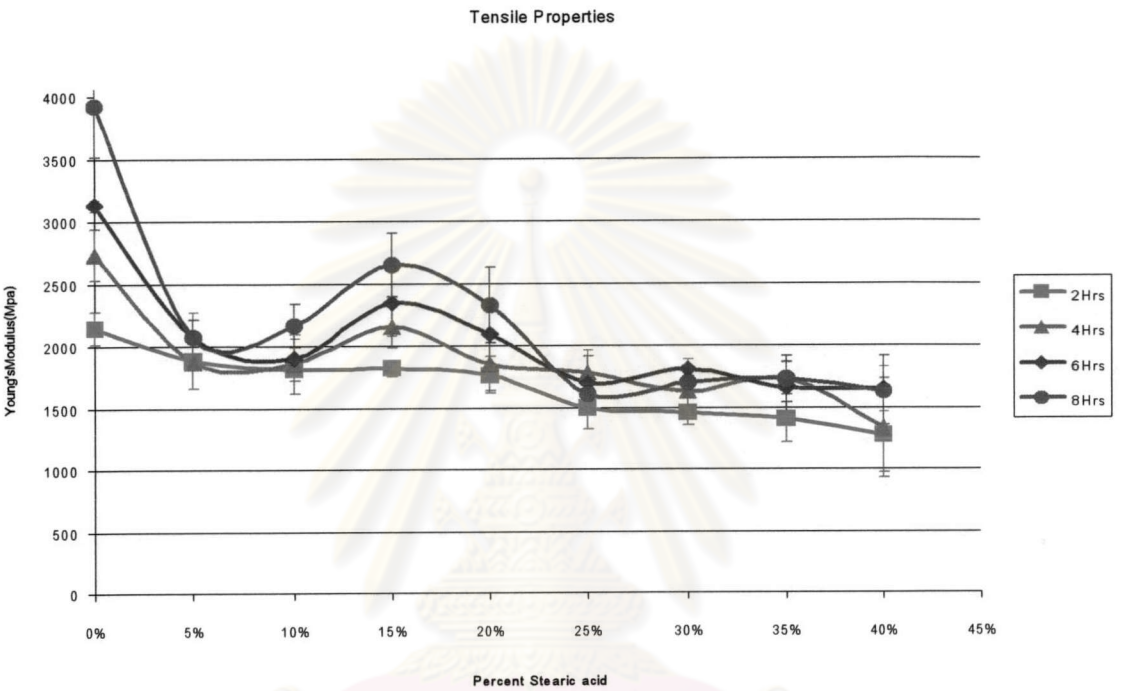


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความทนแรงดึงของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาดของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

จากกราฟ ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากภายในเนื้อของฟิล์มแต่ละสูตรอาจมีความไม่สมบูรณ์ของฟิล์มอยู่ จึงอาจทำให้ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาด มีค่าใกล้เคียงกัน

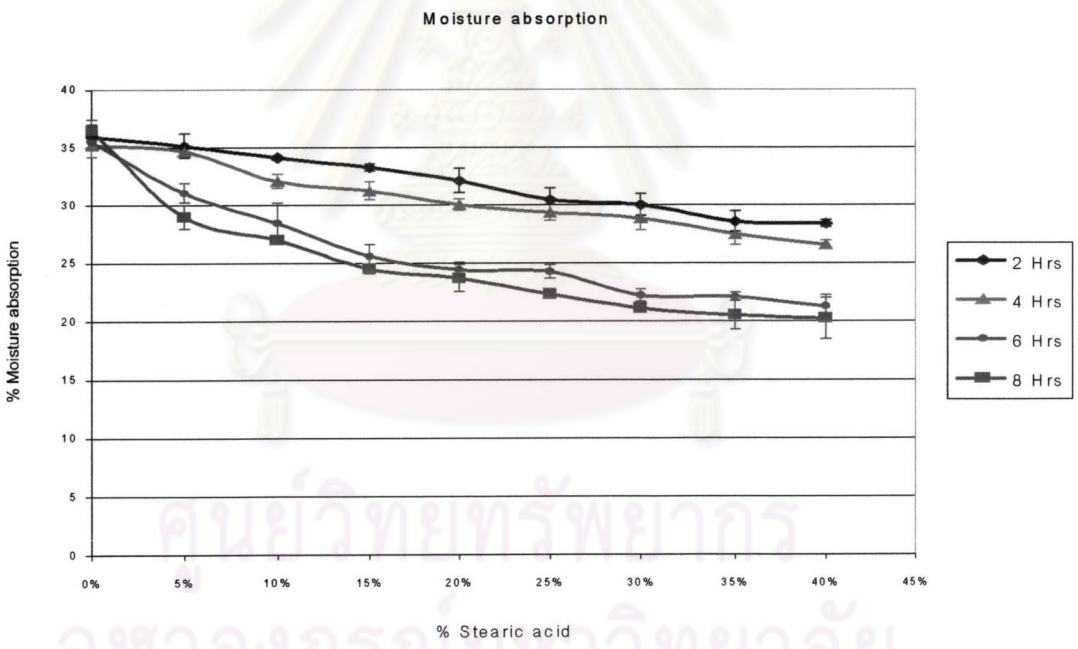


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับยังส์มอดุลัสของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

จากกราฟสามารถบอกได้ว่า ฟิล์มเจลาทินดัดแปรมีความแข็งแรงต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ เนื่องจากมีค่ายังส์มอดุลัสต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ โดยฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่จะมีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปร ณ ปริมาณกรดสเตียริกอื่นๆ นอกจากนี้ การใช้ระยะเวลาการปั่นมากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากความทนแรงดึงและความสามารถในการยืดดึง ณ จุดขาดของฟิล์มแต่ละสูตรตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.3.6 การทดสอบการดูดซึมความชื้น

จากรูปที่ 4.22 พบว่า ฟิล์มเจลาทินดัดแปรมีการดูดซึมความชื้นต่ำกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ เมื่อปริมาณกรดสเตียริกที่ใช้ในการดัดแปรมากขึ้น การดูดซึมความชื้นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อกรดสเตียริกเพิ่มขึ้น ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ทำให้ความไม่ชอบน้ำของเจลาทินดัดแปรเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทินดัดแปรจึงลดลง นอกจากนี้ การใช้เวลาในการดัดแปรนานขึ้น ทำให้การดูดซึมความชื้นของฟิล์มลดลง เนื่องจากกรดสเตียริกสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะภายในโครงสร้างของเจลาทินได้มากขึ้น ทำให้ความไม่ชอบน้ำของเจลาทินดัดแปรเพิ่มขึ้น การดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทินดัดแปรจึงลดลง



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับการดูดซึมความชื้นของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาข้างต้น พบว่า เมื่อดัดแปรเจลาทินบริสุทธิ์ด้วยกรดสเตียริกในช่วงการดัดแปร 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ได้มีสมบัติดีกว่าฟิล์มที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริกที่ปริมาณมาก (ตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป) สมบัติที่ดีขึ้นของฟิล์มเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ในช่วง 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ คือ เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นและความขุ่นลดลง เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การดัดแปรเจลาทินบริสุทธิ์ด้วยกรดสเตียริกที่ 15 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นและความขุ่นลดลงมากที่สุด แสดงว่า การดัดแปรด้วยกรดสเตียริกที่ 15 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์มเจลาทิน สำหรับระยะเวลาในการทดสอบพบว่ามีแนวโน้มว่า ที่ 8 ชั่วโมงนั้น มีสมบัติของฟิล์มที่ดีที่สุด แต่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง อาจจะมากเกินไปในทางอุตสาหกรรม จึงได้ทดสอบสมบัติอื่นๆเพิ่มเติมดังรายละเอียดในข้อ 4.4 ต่อไป เพื่อหาข้อสรุปเรื่องระยะเวลาในการเตรียมฟิล์มเจลาทินดัดแปร

4.4 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาทินดัดแปร

4.4.1 การทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน

ในการทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน ใช้ฟิล์มที่เลือกมาทั้งหมด 8 สูตร คือ สูตร G-2-0 G-4-0 G-6-0 และ G-8-0 ซึ่งสี่สูตรนี้ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ สูตร G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15 ซึ่งสี่สูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมันของฟิล์ม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความทนทานต่อไขมันและน้ำมันของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร

ชิ้นงาน	วันที่					ความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน
	1	2	3	4	5	
G-2-0	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-4-0	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-6-0	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-8-0	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-2-15	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-4-15	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-6-15	X	X	X	X	X	ทนทาน
G-8-15	X	X	X	X	X	ทนทาน

X หมายถึง สารละลายน้ำมันสนไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นฟิล์มเจลาทินได้

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ที่ระยะเวลาการปั่นต่างๆ มีความทนทานต่อน้ำมันและไขมันที่ดี เนื่องจากโครงสร้างของเจลาทินค่อนข้างมีขั้ว จึงสามารถทนต่อไขมันหรือน้ำมันซึ่งไม่มีขั้วได้ดี สำหรับฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ระยะเวลาการปั่นต่างๆ มีความทนทานต่อน้ำมันและไขมันที่ดีเช่นเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี

ในการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี ใช้ชิ้นงานที่เลือกมาทั้งหมด 6 สูตร คือ G-2-0 และ G-8-0 ซึ่งสองสูตรนี้ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15 ซึ่งสี่สูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่นที่ 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความทนทานต่อสารเคมีของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาทินดัดแปร

ชนิดของตัวทำละลาย	เวลา (นาที)	ความทนทานต่อการละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	ความทนทานต่อการละลาย
อะซิโตน	5	Y	24	Y
กรดอะซิติก	5	Y	24	Y
10% สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	5	N	24	N
เบนซีน	5	Y	24	Y
95% เอทิลแอลกอฮอล์	5	Y	24	Y
10% สารละลายโซเดียมไฮดรอไซด์	5	N	24	N
น้ำกลั่น	5	N	24	N

โดยที่ N หมายถึง ชิ้นงานสามารถละลายในตัวทำละลายนั้นได้
Y หมายถึง ชิ้นงานไม่สามารถละลายในตัวทำละลายนั้นได้
ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง = 29 องศาเซลเซียส

จากตาราง พบว่า ฟิล์มเจลาทินทุกสูตรที่ทำการทดสอบสามารถละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายเจลาทินบริสุทธิ์ สรุปได้ว่า การดัดแปรที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลทำให้ความทนทานต่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงไป

4.4.3 การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม

ในการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ใช้ชิ้นงานที่เลือกมาทั้งหมด 6 สูตร คือ G-2-0 และ G-8-0 ซึ่งสองสูตรนี้ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ใช้ระยะเวลาการปั่นที่ 2 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15 ซึ่งสี่สูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.4.3.1 น้ำหนักที่เปลี่ยนไปหลังจากเข้าเครื่องทดสอบ

ผลการทดสอบ พบว่า น้ำหนักของฟิล์มเจลาทินทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนเข้าเครื่องทดสอบน้อยมาก (ไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์)

4.4.3.2 สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนไปหลังจากเข้าเครื่องทดสอบ

ผลการทดสอบความทนแรงดึงที่เปลี่ยนไป หลังจากเข้าเครื่องทดสอบได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความทนแรงดึงของชิ้นทดสอบหลังเข้าเครื่อง Xenotest

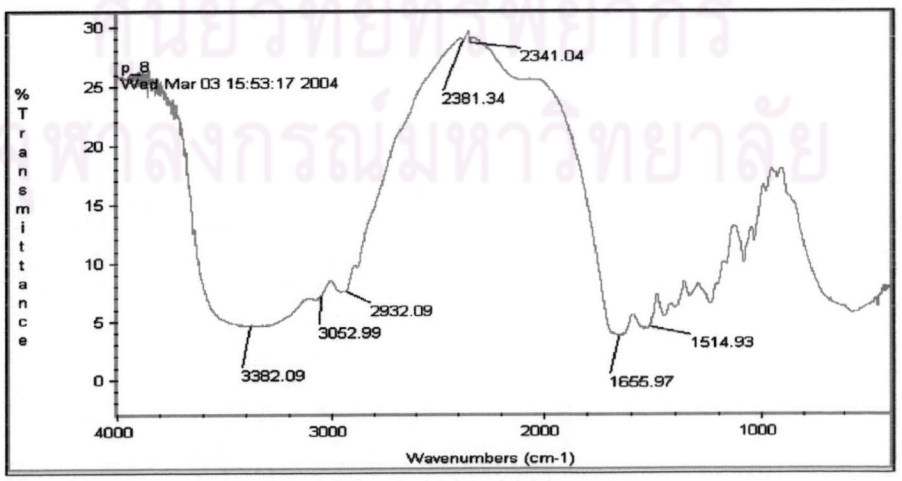
สูตร	เปอร์เซ็นต์ความทนแรงดึงที่ลดลง	เปอร์เซ็นต์ความทนแรงดึงที่เพิ่มขึ้น
G-2-0	65 $\pm$ 0.05	-
G-8-0	50 $\pm$ 0.05	-
G-2-15	-	26.6 $\pm$ 0.02
G-4-15	-	22.6 $\pm$ 0.05
G-6-15	-	19.9 $\pm$ 0.02
G-8-15	9 $\pm$ 0.03	-

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางทั้งหมดพบว่า หลังจากการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มีความทนแรงดึงลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในโครงสร้างของเจลาทินบริสุทธิ์มีหมู่โครโมฟอร์ เช่น หมู่เอมีน หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์ ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงแสงขาวและอัลตราไวโอเลต เมื่อมีการสะสมพลังงานจากแสงเหล่านี้มาก

ขึ้น ก็ส่งผลให้เกิดการขาดกันของสายโซ่โมเลกุลได้ ในกรณีของฟิล์มเจลาทินดัดแปร พบว่าความทนแรงดึงในสูตร G-2-15 G-4-15 และ G-6-15 กลับมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้นอกเหนือไปจากการที่ฟิล์มเจลาทินดัดแปรมีหมู่ไฮโดรคาร์บอนในส่วนของกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นมาแทนที่หมู่โครโมฟอร์ข้างต้น ซึ่งหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวนี้ไม่สามารถดูดกลืนแสงได้ จึงลดการสะสมของพลังงานที่ทำให้เกิดการสลายตัวของโมเลกุลเจลาทินแล้ว (ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่กล่าวมาเหล่านี้สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนดังที่จะนำเสนอในหัวข้อต่อไป) เหตุผลอีกประการหนึ่งน่าจะเป็นเพราะพลังงานแสงไปทำให้เกิดการระเหยของน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ของฟิล์มเจลาทินดัดแปร เมื่อน้ำระเหยออกไปจึงทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ ยังเห็นได้ว่า ความทนแรงดึงมีค่าเพิ่มตามระยะเวลาการปั่นที่ลดลง ซึ่งจากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้น ดังรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการปั่นลดลง ฟิล์มสามารถดูดซึมความชื้นได้มากขึ้น นั่นคือ มีปริมาณของน้ำในโครงสร้างของฟิล์มมากกว่านั่นเอง

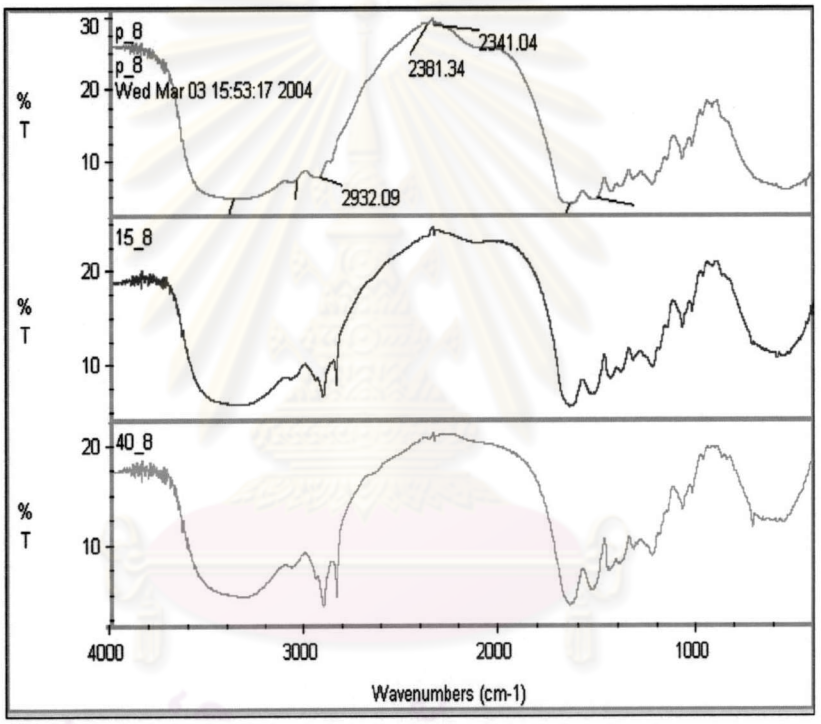
4.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ใช้ชิ้นงานที่เลือกมาทั้งหมด 6 สูตร คือ G-8-0 ซึ่งสูตรนี้ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ใช้ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15 ซึ่งสี่สูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ G-8-40 ซึ่งสูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง



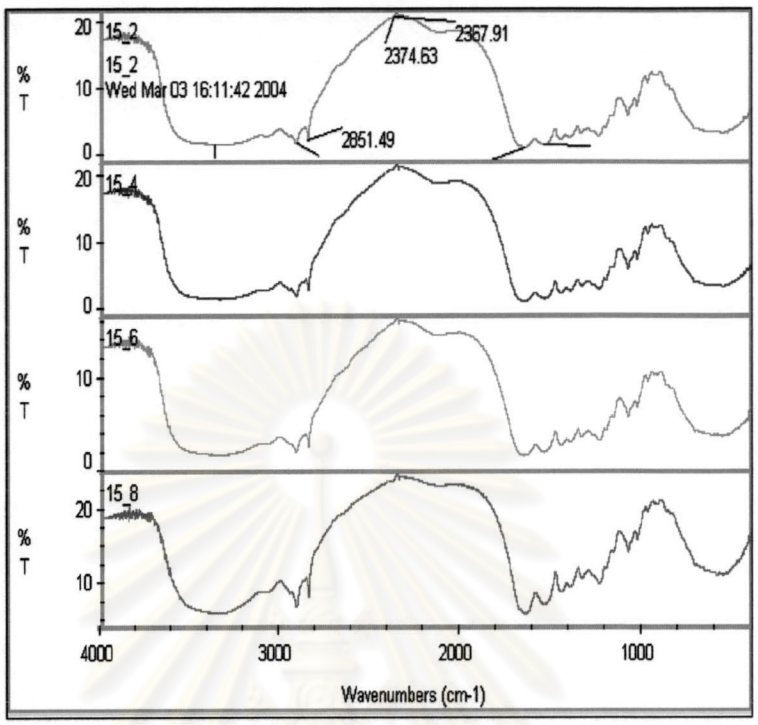
รูปที่ 4.23 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาทินบริสุทธิ์ที่ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง

เมื่อนำเจลาทินบริสุทธิ์ที่ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.23 โดยมีพีกที่แสดงถึงพันธะเอไมด์ ณ 3382.09 cm^{-1} และ 1655.97 cm^{-1} ซึ่งเป็น NH stretching และ C=O stretching ตามลำดับ อย่างไรก็ดี พีกของ NH stretching นั้นมีลักษณะเป็นพีกที่กว้างซึ่งแสดงถึงการเกิด OH stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในไฮดรอกซีโพรลีนและความชื้นที่มีอยู่ในโครงสร้างด้วย นอกจากนี้ ยังมีพีกที่ 2932.09 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ CH stretching ของไฮโดรคาร์บอนอีกด้วย



รูปที่ 4.24 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 0 15 และ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง ตามลำดับ จากบนลงล่าง

เมื่อเปรียบเทียบเจลาทินบริสุทธิ์กับเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการปั่น 8 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้ปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มมากขึ้น พบว่า พีกที่บริเวณเวฟนัมเบอร์ ช่วง 2850-2960 cm^{-1} ซึ่งแสดงการเกิด CH stretching ของไฮโดรคาร์บอนประเภทอะลิฟาติก มีความเข้มของพีกสูงขึ้นอย่างชัดเจน



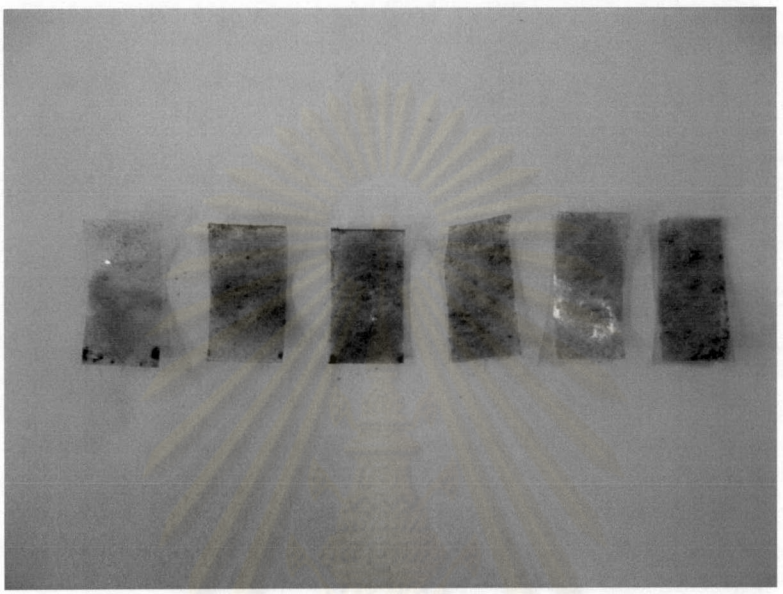
รูปที่ 4.25 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาทินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ จากบนลงล่าง

เมื่อเปรียบเทียบเจลาทินที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ณ ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมงพบว่า ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ที่ 2 4 และ 6 ชั่วโมง แต่ที่ 8 ชั่วโมง พบว่าพีกที่บริเวณเวฟนัมเบอร์ ช่วง 2850-2960 cm^{-1} ซึ่งแสดงการเกิด CH stretching ของไฮโดรคาร์บอนประเภทอะลิฟาติก มีความเข้มของพีกสูงขึ้น แสดงว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการดัดแปรนานขึ้นทำให้กรดสเตียริกสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดพันธะได้มากขึ้น

4.4.5 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน ใช้ชิ้นงานที่เลือกมาทั้งหมด 6 สูตร คือ G-2-0 และ G-8-0 ซึ่งสองสูตรนี้ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ใช้ระยะเวลาการปั่นที่ 2 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15 ซึ่งสี่สูตรนี้มีการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการปั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปฝังดินเป็นเวลา 5 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.26 ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากการฝังดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.4



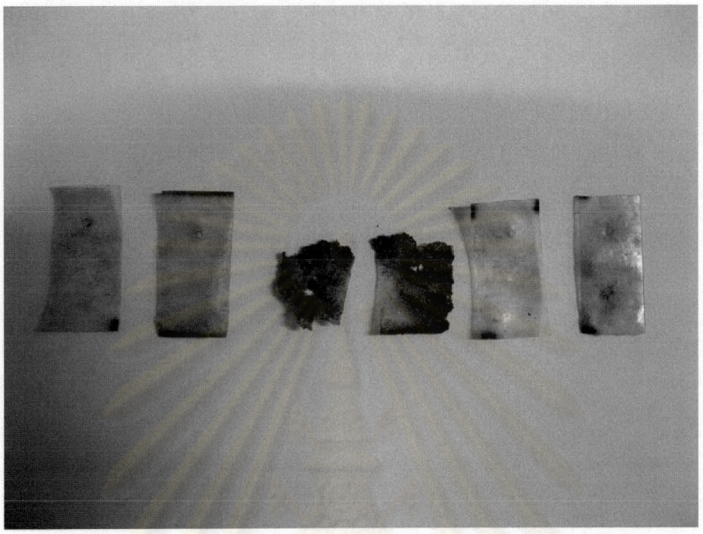
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 5 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 5 วัน

สูตร	G-2-0	G-8-0	G-2-15	G-4-15	G-6-15	G-8-15
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ย	7.72±2.5	7.54±1.1	34.9±3	32±4.4	15.4±1.1	10.2±1

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 5 วัน ของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์น้อยกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร และเมื่อระยะเวลาในการดัดแปรเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยลดลง

เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปฝังดินเป็นเวลา 7 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.27 ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากการฝังดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.5



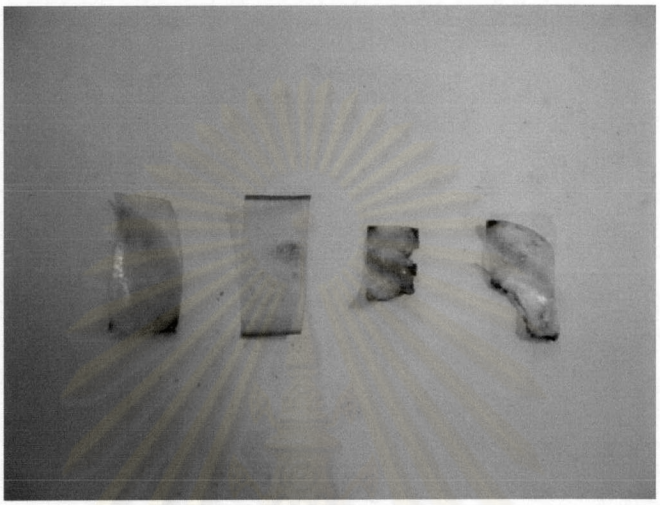
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 7 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 7 วัน

สูตร	G-2-0	G-8-0	G-2-15	G-4-15	G-6-15	G-8-15
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ย	15.3±0.8	15.1±1	83.6±4.5	78.1±5.7	30.1±1.8	29.8±2.1

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 7 วัน ของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์น้อยกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร และเมื่อระยะเวลาในการดัดแปรเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยลดลง

เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปฝังดินเป็นเวลา 10 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.28 ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากการฝังดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.6



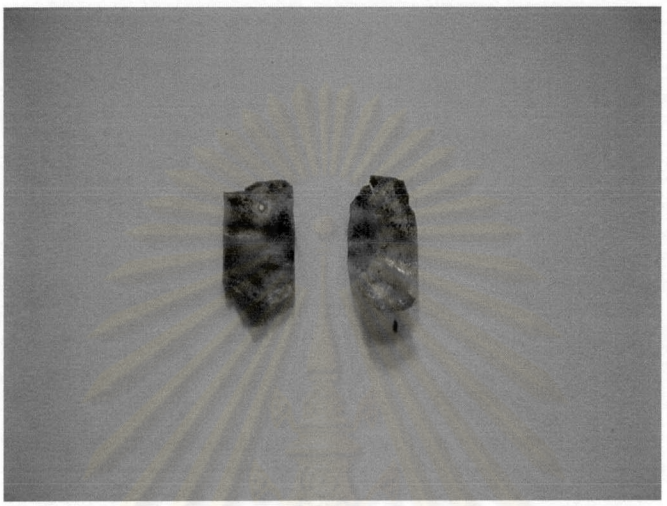
รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 10 วันโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-6-15 และ G-8-15

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 10 วัน

สูตร	G-2-0	G-8-0	G-2-15	G-4-15	G-6-15	G-8-15
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ย	30.8±2.1	30.7±2.8	100	100	73.4±4	71.3±4.3

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 10 วันของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์น้อยกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร และฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ใช้ระยะเวลาการดัดแปร 6 และ 8 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 10 วันน้อยกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ใช้ระยะเวลาการดัดแปร 2 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งถูกย่อยสลายหมดภายใน 10 วัน

เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปฝังดินเป็นเวลา 12 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.29 ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากการฝังดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 12 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาคือ สูตร G-2-0 และ G-8-0

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 12 วัน

สูตร	G-2-0	G-8-0	G-2-15	G-4-15	G-6-15	G-8-15
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ย	50.9±5.5	50.4±1.1	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 12 วันของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์น้อยกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร ซึ่งฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ใช้ระยะเวลาการดัดแปร 6 และ 8 ชั่วโมง ถูกย่อยสลายหมดภายใน 12 วัน

เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปฝังดินเป็นเวลา 15 วัน เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากการฝังดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 15 วัน

สูตร	G-2-0	G-8-0	G-2-15	G-4-15	G-6-15	G-8-15
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ย	100	100	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.8 พบว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ถูกย่อยสลายหมดภายใน 15 วัน เนื่องจากฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มีส่วนที่เป็นเนื้อเจลาทินอย่างเดียวในปริมาณมากที่สุด จึงต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยนานกว่าฟิล์มเจลาทินดัดแปร นอกจากนี้ เนื่องจากโครงสร้างของฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มีความเป็นผลึกที่สูงที่สุด ทำให้ช่องว่างที่จะทำให้น้ำ และจุลินทรีย์ผ่านเข้าไป มีน้อยกว่าของฟิล์มเจลาทินดัดแปร จึงทำให้น้ำและจุลินทรีย์ผ่านเข้าไปในฟิล์มได้น้อย ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในดินจึงน้อยกว่าเจลาทินดัดแปร โดยสรุปฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์มีระยะเวลาในการย่อยสลายนานที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ใช้ระยะเวลาดัดแปรนาน 6 และ 8 ชั่วโมง ส่วนฟิล์มเจลาทินดัดแปรที่ใช้ระยะเวลาดัดแปรนาน 2 และ 4 ชั่วโมง มีระยะเวลาในการย่อยสลายเร็วที่สุด

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่า ฟิล์มเจลาทินดัดแปรมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีกว่าฟิล์มเจลาทินบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองเหล่านี้ ยังไม่สามารถบ่งชี้ผลของระยะเวลาในการดัดแปรที่มีต่อสมบัติของฟิล์มเจลาทินดัดแปรได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้ จึงต้องพิจารณาสมบัติโดยรวมทั้งหมด ซึ่งพบว่า เวลาในการดัดแปรซึ่งให้ฟิล์มที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุดคือ 8 ชั่วโมง