

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การจัดหาตัวอย่างเส้นไหมขาว (ดูลักษณะภายนอก)

เส้นไหมมีลักษณะความขาว เส้นเล็ก น้ำหนักใจละประมาณ 90 – 100 กรัม



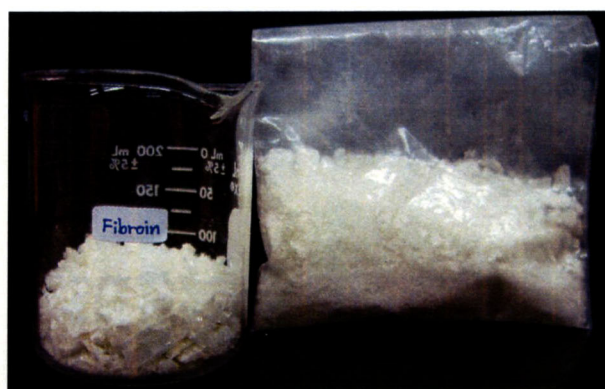
ภาพที่ 4.1 เส้นไหมขาวที่ใช้ในการทำงานทดลอง

เพื่อสกัดเอาสารจริชินออกจากเส้นไหม ให้เหลือเพียงเฉพาะไฟโบรอินสำหรับนำไปทำการละลายด้วยสารละลายเกลือผสมจะได้สารละลายไหม (ภาพที่ 4.2)

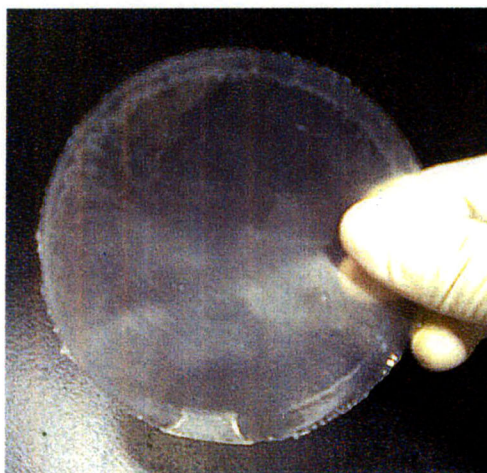


ภาพที่ 4.2 สารละลายไหม

สารละลายสีน้ำตาลเหลืองอ่อนนวล สี ซึ่งมีค่า conductivity หรือค่าการนำไฟฟ้าที่แสดงว่ามีประจุของสารละลายเกลือผสมอยู่ อยู่ที่ประมาณ 36-37 ms/cm และเมื่อทำการdialysis ด้วยน้ำบริสุทธิ์ และวัดค่า conductivity หลังจากผ่านการทำ dialysis อยู่ที่ประมาณ 328-360 μ s/cm หรือ น้อยกว่า จากนั้นทำแห้งด้วยวิธี Freeze drying จะได้ลักษณะผงไฟโบรอินสีขาว ดังภาพที่ 4.3 ก่อนนำผงไฟโบรอินไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มผสมกับสารพอลิเมอร์ต่าง ๆ (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.3 ผงโปรตีนไฟโบรอิน



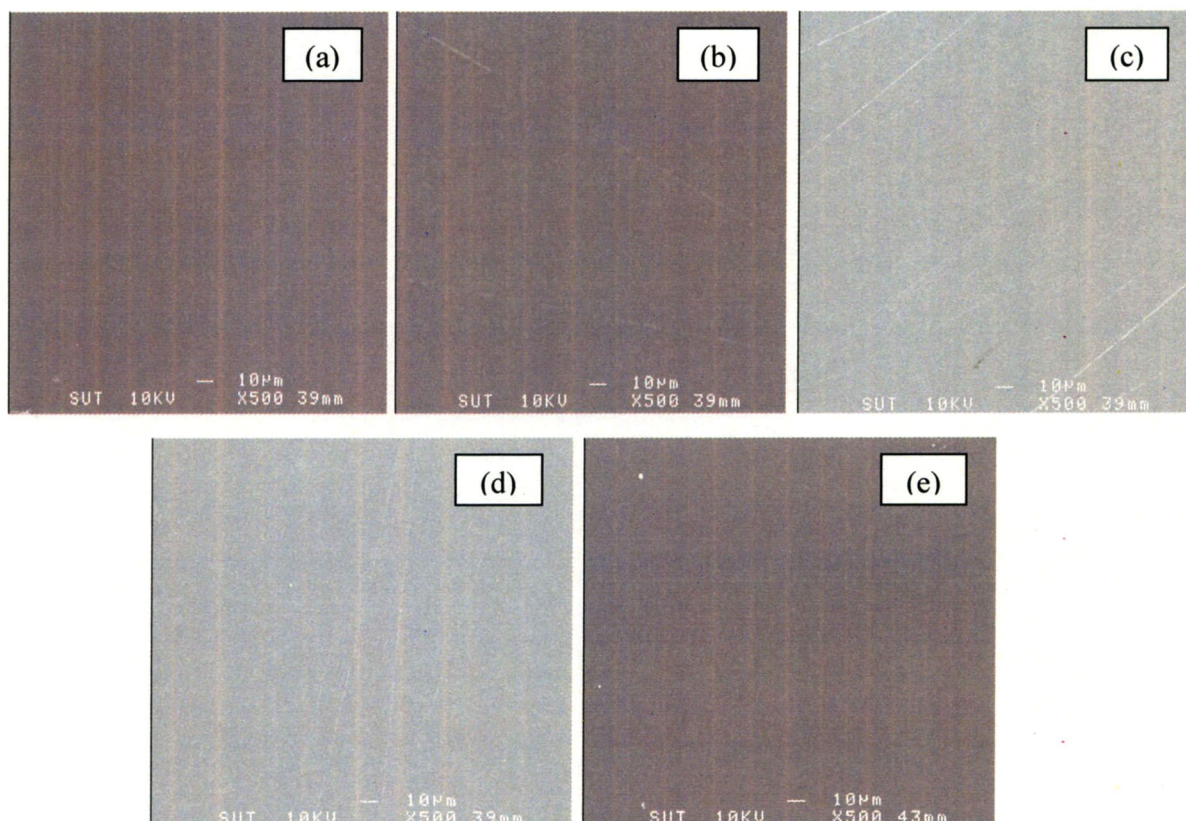
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมพอลิเมอร์

เมื่อได้แผ่นโปรตีนไฟโบรอินผสมพอลิเมอร์แล้ว นำไปทดสอบทางกายภาพต่อเช่น SEM, FTIR spectroscopy, Mechanical testing เป็นต้น

4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

4.2.1 การตรวจลักษณะแผ่นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

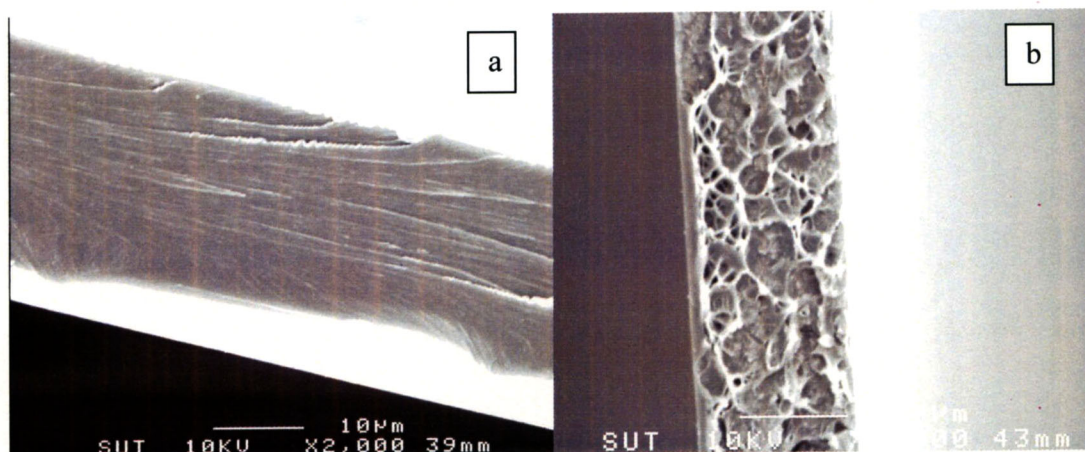
จากการศึกษาภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มและภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน วัดด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนรุ่น JSM-6400 Scanning Microscope ใช้คลื่นลำอิเล็กตรอน 10 kV ที่กำลังขยาย 500x บนพื้นผิว ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างกัน คือจากภาพที่ 4.5 จะแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของแผ่นฟิล์มมีลักษณะผิวเรียบไม่พบรูอากาศ ทั้งแผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้นจากไฟโบรอินและฟิล์มผสมระหว่างไฟโบรอินกับ PVA



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินและแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ทำแหว่งที่อุณหภูมิ 40°C (a) FB 100: PVA 0, (b) FB 70: PVA 30, (c) FB 50: PVA 50, (d) FB 30: PVA 70, (e) FB 0: PVA 100

ส่วนการศึกษาภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์ม จะสามารถสังเกตลักษณะโครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่กำลังขยาย 2,000x ของภาพตัดขวาง ของฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินและฟิล์มโปรตีน

ไฟโบรอินผสม PVA จะเห็นว่า แผ่นฟิล์มที่มีเฉพาะ PVA จะมีลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวภายในเรียบสม่ำเสมอ ส่วนแผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอิน จะมีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายร่างแห เป็นชั้นๆ ตามภาพที่ 4.6



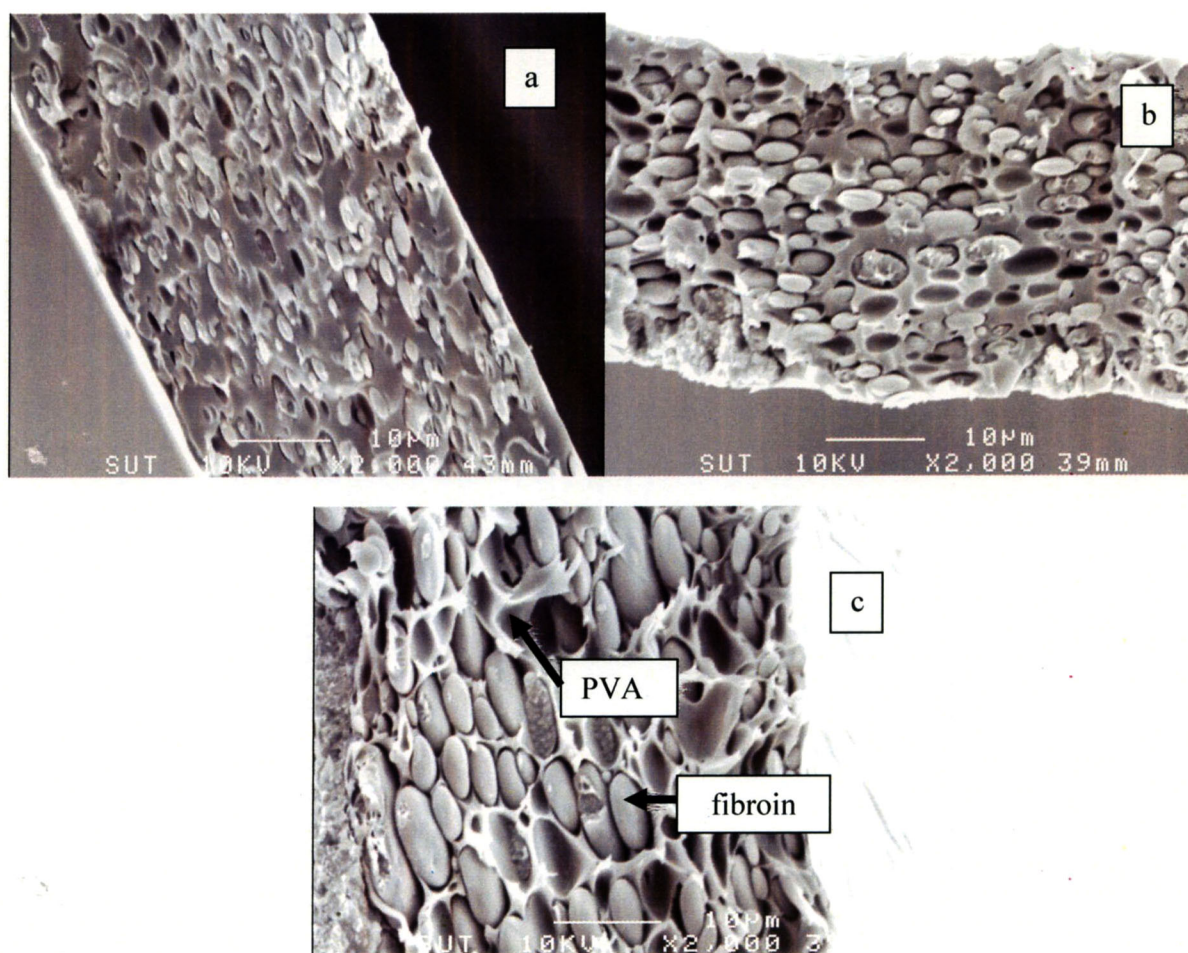
ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM (a) ภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์ม polyvinyl alcohol (PVA) เข้มข้น 1.5% (b) ภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินเข้มข้น 1.5%

ส่วนของแผ่นฟิล์มผสมโปรตีนไฟโบรอิน กับ PVA ตามอัตราส่วน จะสังเกตเห็นว่า ลักษณะโครงสร้างของแผ่นฟิล์มจะคล้ายกับ โมเลกุลของพันธะไฮโดรเจนของกรดอะมิโนในโปรตีน ยึดจับกับพันธะไฮโดรเจนของสาร PVA จึงเกิดลักษณะที่โอบล้อมโมเลกุลของไฟโบรอินให้อยู่ด้านในจากภาพถ่าย SEM ภาพที่ 4.7 พบว่าโอกาสการเกิดการแยกเฟสของสารละลายผสมระหว่างไฟโบรอินและ PVA จะสังเกตเห็นว่าเป็นสองลักษณะ อันดับแรกเห็น ลักษณะการกระจายตัวของไฟโบรอินและอีกเฟสจะเป็นเฟสต่อเนื่องของ PVA ตามภาพที่แสดงให้เห็น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสาร PVA จะทำให้การแยกของเฟสลดลง เนื่องจากการลดลงของขนาดโดเมนไฟโบรอิน (Um and Park, 2007) สามารถอธิบายได้ว่า สารละลายที่แสดงลักษณะเด่นส่วนใหญ่ จะเป็นตัวกำหนดการแยกเฟสว่าสามารถเกิดขึ้นได้หรือไม่ ซึ่งสามารถอธิบายเป็นสองลักษณะ คือ โมเลกุลของ SF มีความเสถียรในสารละลายผสม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของไฟโบรอินและโมเลกุลของ PVA

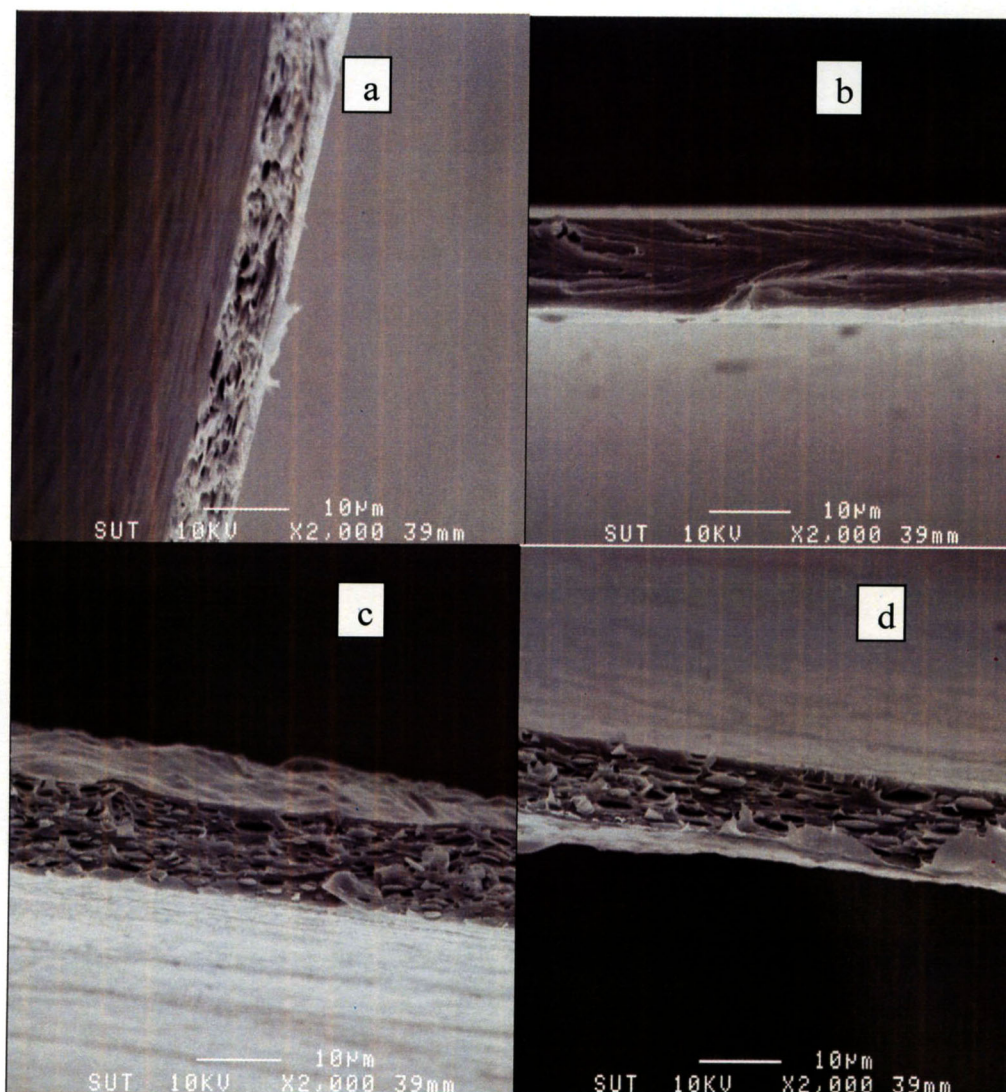
จากรายงานของ Um และคณะ (2001) พบว่า โมเลกุลของไฟโบรอิน ไม่เสถียรและเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำของกรดอะมิโน (hydrophobic amino acids) ของโมเลกุลไฟโบรอินในระบบคอลลอยด์ ก่อให้เกิดการรวมตัวกันและเกิดเจลขึ้น ในทางตรงกันข้าม โมเลกุลของ PVA ที่ละลายน้ำ จะพบเป็นสารละลายที่เสถียรในระบบคอลลอยด์ จากความแตกต่างของความเสถียรของสององค์ประกอบใน

ระบบคอลลอยด์ โมเลกุลของไฟโบรอินจะมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันและแยกออกจากกันในโดเมนของ PVA เมทริกซ์ และโมเลกุลของไฟโบรอินมี C=O และ N-H บ่งบอกความมีขั้วของพันธะ มีความเป็นไปได้ที่จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มโมเลกุลมีขั้วของอีกพอลิเมอร์หนึ่งได้

จากภาพทำให้เห็นว่าลักษณะของทรงกลมเป็นลักษณะของไฟโบรอิน ส่วนโมเลกุลที่ล้อมรอบเป็นโมเลกุลของ PVA (Um and Park, 2007)



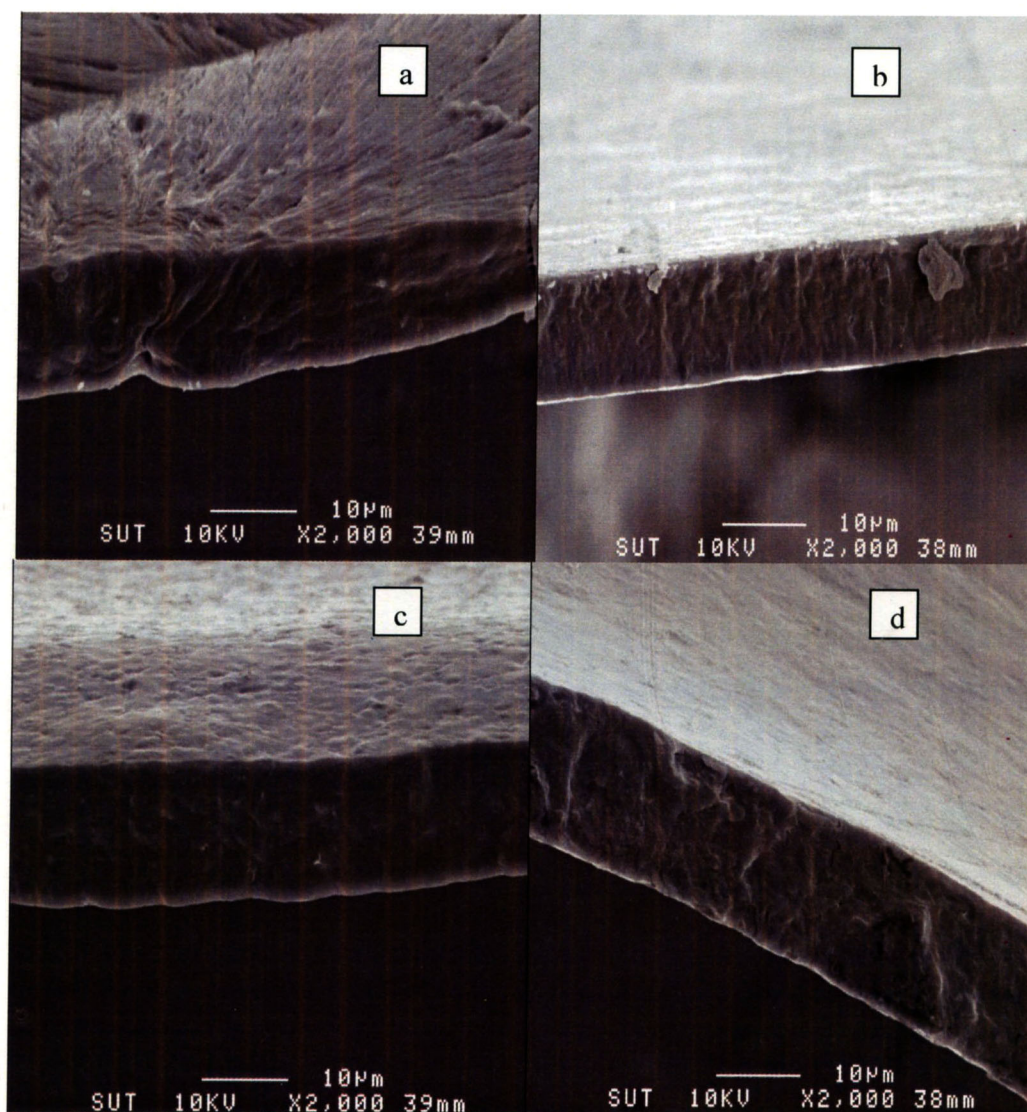
ภาพที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นฟิล์ม ผสมระหว่างไฟโบรอินกับ Poly vinyl alcohol (PVA) ตามอัตราส่วน (a) อัตราส่วน PVA 70: FB 30 (b) อัตราส่วน PVA 50: FB 50 (c) อัตราส่วน PVA 30: FB 70



ภาพที่ 4.8 แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Sodium alginate (AG) อัตราส่วน (a) AG 100: FB 0 (b) AG 70: FB 30 (c) AG 50 : FB 50 (d) AG30 : FB 70

จากภาพ SEM ที่ 4.8 จะพบว่า ลักษณะของพื้นผิวหน้าตัดของแผ่นฟิล์ม pure AG (Sodium alginate) นั้นจะมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงว่า Sodium alginate 3% นั้นมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก เพราะเมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มผสมกับสารละลายไฟโบรอิน 1.5% และศึกษาพื้นที่หน้าตัดแล้ว พบว่าพื้นผิวเรียบ ลักษณะโครงสร้างไฟโบรอินถูกล้อมรอบด้วย sodium alginate ซึ่งจะคาดได้ว่า เกิดจากพันธะไฮโดรเจนหรือ แรง dipole ที่เกิดการจับกันของ H อะตอมระหว่าง

โครงสร้างของโปรตีนกับ sodium alginate และจากผลของ FTIR ให้ผลที่แสดงได้ถึงการรวมกันของพันธะ (Roh et al., 2006)



ภาพที่ 4.9 แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Poly (ethylene) oxide อัตราส่วน (a) PEO 100: FB 0 (b) PEO 30: FB 70 (c) PEO 50: FB 50 (d) PEO 70: FB 30

จากภาพที่ 4.9 จะสังเกตได้ว่าลักษณะภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์มผสมระหว่างไฟโบรอินกับสารละลาย PEO วัดที่กำลังขยาย 2,000x มีพื้นผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์ม

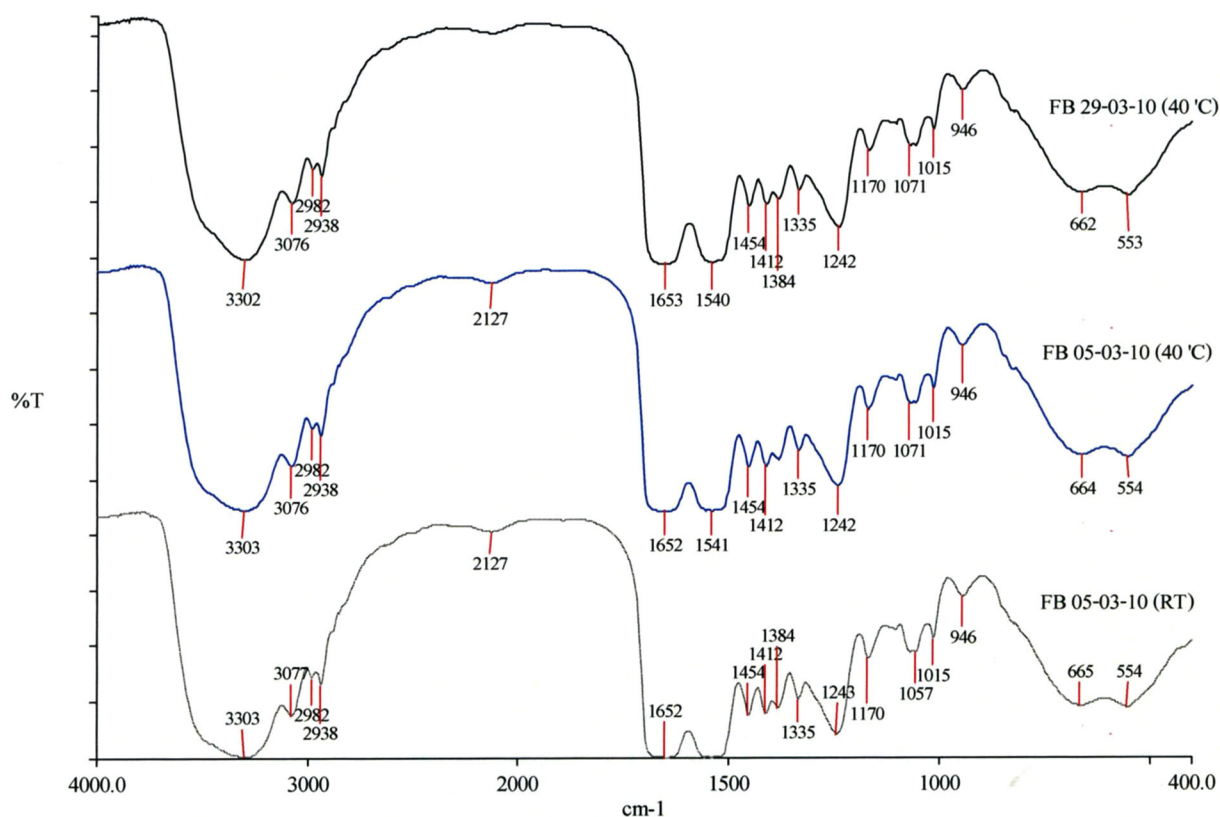
ที่มีเพียงสาร Poly (ethylene) oxide ซึ่งลักษณะที่ได้ นั้น เป็นลักษณะเนื้อเรียบเช่นเดียวกัน ทั้งอัตราส่วน PEO 70: FB 30 ที่มีปริมาณของ PEO มากกว่าไฟโบรอินซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าโปรตีนไฟโบรอินสามารถที่จะรวมตัวกับ Poly (ethylene) oxide ได้ดีทำให้เกิดลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มผสมมีความเรียบ และเมื่อสังเกตลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มจากภาพ สามารถเห็นลักษณะความเรียบของผิวหน้าได้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีขนาดบางมาก ขณะทำการทดลองจึงใช้กำลังขยาย 2,000x อาจทำให้ลักษณะภาพของแผ่นฟิล์มตัดขวางมีขนาดเล็กกว่าได้

4.2.2 ผลการตรวจวัดแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมพอลิเมอร์ ด้วยวิธี FTIR Spectroscopy

จากการวัดที่ใช้เครื่องตรวจวัด Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Perkin Elmer model Spectrum GX ใช้ รังสีอินฟราเรด wave number ในช่วง $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่ง

4.2.2.1. ผลค่า FTIR ของแผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินผสมกับ Polyvinyl alcohol (PVA)

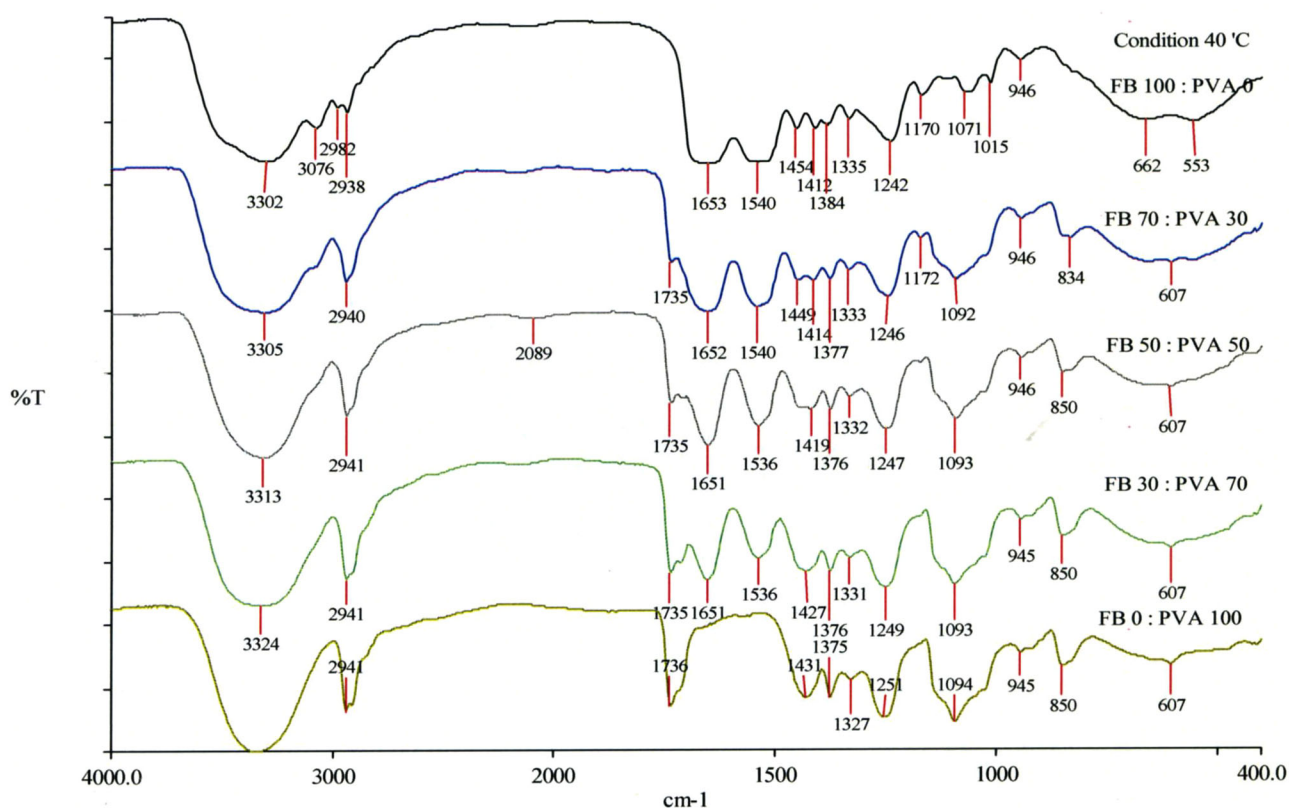
วัดค่าแผ่นฟิล์ม Pure fibroin 1.5% ที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40°C และที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของFibroin จากตัวอย่างสารละลายไฟโบรอินที่ได้จากไหมเดียวกันแต่ทำการละลายคนละรอบ No.20-03-10 และ No.05-03-10 เพื่อเปรียบเทียบว่าเมื่อเป็นสารละลายไฟโบรอินแล้วจะให้ค่า Spectra แตกต่างกันหรือไม่เมื่อทำการละลายไหมคนละรอบ และผลที่ได้จากค่า Spectra แสดงผลค่า 1653 cm^{-1} (amide I), 1540 cm^{-1} (amide II), 1242 cm^{-1} (amide III), 662 cm^{-1} (amide V) ของ random coil ของ Fibroin ที่อุณหภูมิ 40°C No. 29-03-10 ส่วนค่า spectra ที่อุณหภูมิเดียวกัน No. 05-03-10 ได้ค่า 1652 cm^{-1} (amide I), 1541 cm^{-1} (amide II), 1242 cm^{-1} (amide III), 664 cm^{-1} (amide V) ซึ่งแสดงว่าโครงสร้างเป็นลักษณะ random coil เช่นเดียวกัน และเมื่อทดสอบทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง ให้ค่า Spectra เป็น 1652 cm^{-1} (amide I), 1538 cm^{-1} (amide II), 1243 cm^{-1} (amide III), 665 cm^{-1} (amide v) ซึ่งแสดงผลเป็น random coil เช่นเดียวกันนอกจากนี้ยังมีโครงสร้างที่แสดงถึง พันธะของ (-Gly-Gly-) ที่ตำแหน่ง 1015 cm^{-1} ด้วย ดังนั้นเมื่อทำการเอาเกล็ดออกจากการทำ Dialysis แล้วผ่านกระบวนการ Freeze drying จะได้ไฟโบรอินที่มีลักษณะโครงสร้างเป็น random coil ทั้งในกรณีที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40°C และที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 4.10 แสดงเส้นกราฟ FTIR ของไฟโบรอินที่ทำแห้งด้วยตู้อบเปรียบเทียบกับตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า spectra ของฟิล์มไฟโบรอินที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 °C (FB 05-03-10, 29-03-10) และอุณหภูมิห้อง (FB 05-03-10)

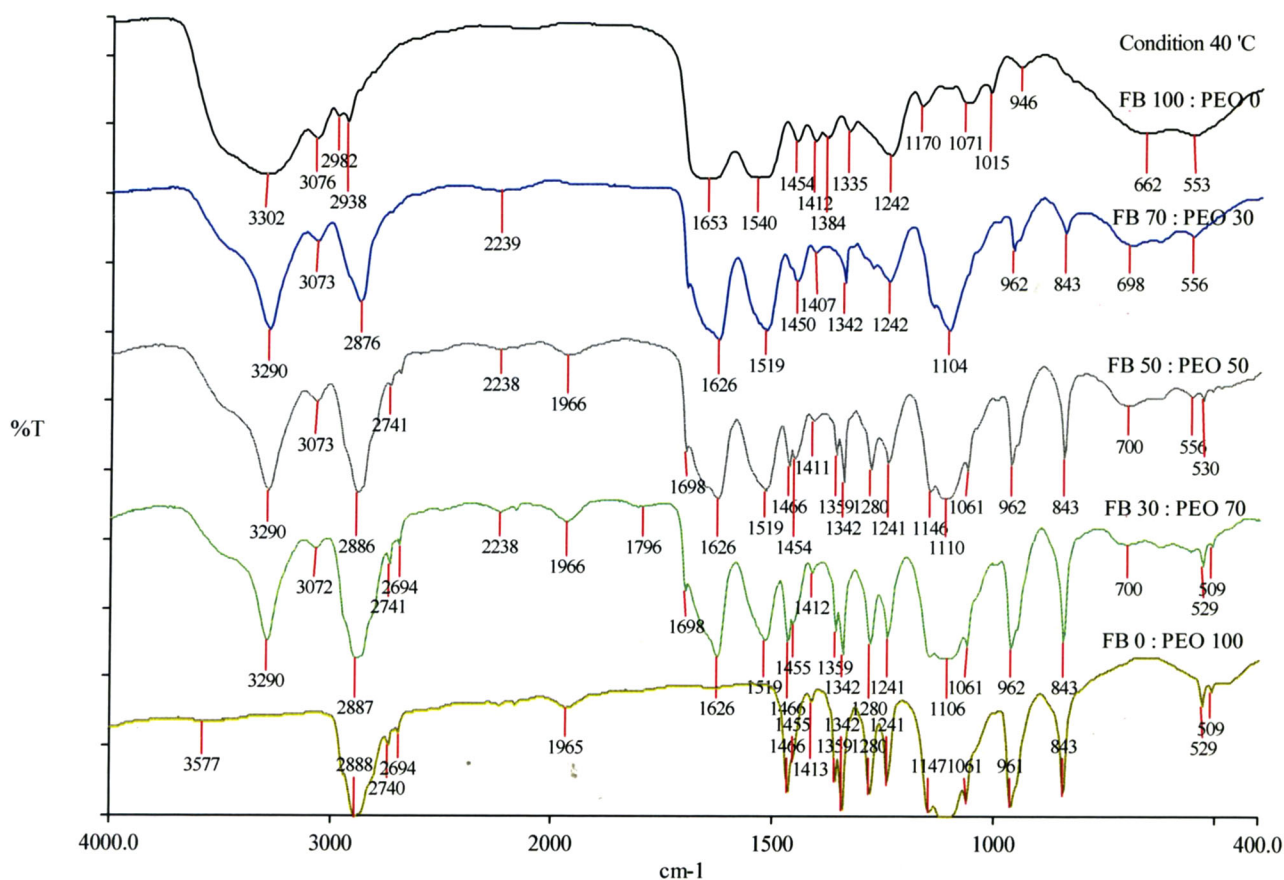
ค่า FTIR spectra ของแผ่นฟิล์มผสมระหว่างไฟโบรอิน 1.5% และ Polyvinyl alcohol (PVA) 3% ที่ได้ 1652 cm^{-1} (amide I), 1540 cm^{-1} (amide II), 1246 cm^{-1} (amide III) ของอัตราส่วน FB 70 : PVA 30 ให้ค่าลักษณะโครงสร้างเป็น random coil ส่วนแผ่นฟิล์มในอัตราส่วน FB 50 : PVA 50 ให้ค่า 1651 cm^{-1} (amide I), 1540 cm^{-1} (amide II), 1247 cm^{-1} (amide III) ซึ่งบ่งบอกลักษณะโครงสร้างของแผ่นฟิล์มเป็น random coil และที่อัตราส่วน FB 30: PVA 70 จะได้ค่า spectra เป็น 1651 cm^{-1} (amide I), 1536 cm^{-1} (amide II), 1249 cm^{-1} (amide III) ซึ่งแสดงลักษณะโครงสร้างของแผ่นฟิล์มเป็น random coil นอกจากนี้ ค่า peak บางค่าได้แสดงถึงพันธะต่างๆของโมเลกุลไฟโบรอินจับกับโมเลกุลของPVA ด้วยเช่น 3302 cm^{-1} (N-H stretching) ของไฟโบรอินและเกิดการ shift ของค่า spectra ได้ เมื่อโมเลกุลของไฟโบรอินจับกับโมเลกุลของ PVA, 1735 cm^{-1} (C=O) แสดงค่า β -sheet weak ของไฟโบรอิน, 1427 cm^{-1} (CH_2 bending), 1249 cm^{-1} (C-O) ,1093 cm^{-1} (OH blending) ซึ่งจากภาพที่ 4.11 จะสังเกตได้ว่า ค่าของ spectra

จะเลื่อนออกจากค่าเดิมของ Pure PVA หรือ สัมผัสจาก pure FB เนื่องจากอาจเกิดการจับกันใหม่ของพันธะไฮโดรเจนซึ่งจะอยู่ในช่วง $1655\text{--}1640\text{ cm}^{-1}$ (1650 cm^{-1} , 1° amide H-bond ; $1655\text{--}1640\text{ cm}^{-1}$, 2° amide, H-bond) หรืออาจเกิดจากการ shift ของ spectra เมื่อโมเลกุลของทั้งสองจับกัน แต่ยังคงแสดงออกของโครงสร้างที่จับกับแบบหลวมขึ้นกว่าเดิม จึงเกิดลักษณะดังกล่าวขึ้น ดังนั้น แผ่นฟิล์มไฟโบรอินที่ผสม PVA นี้จะให้ลักษณะโครงสร้างภายในของแผ่นฟิล์มเป็นแบบ random coil (Um and Park, 2007)



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า spectra ของฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 °C ซ้ำกัน ซึ่งเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดง ค่าอัตราส่วนของไฟโบรอินต่อ PVA เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 ตามลำดับจากบนลงล่าง

4.2.2.2. ผลค่า FTIR ของแผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินผสมกับ Polyethylene oxide (PEO) ค่า spectra ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน 1.5 % ผสม Polyethylene oxide (PEO) 3% ค่าเส้น spectra ของแผ่นฟิล์ม อัตราส่วน FB 70 : PVA 30 ได้ดังภาพที่ 4.12 คือ 1626 cm^{-1} (amide I, C-O, CN), 1519 cm^{-1} (amide II), 1242 cm^{-1} (amide III), 1104 cm^{-1} (C-O-C stretch) ซึ่งค่าที่ได้ในส่วนของ Amide I และ Amide II นั้น มีโครงสร้างเป็นแบบ β -sheet และ random coil ที่ amide III และอัตราส่วนที่ FB 50 : PEO 50 ให้ค่า 1698 cm^{-1} (amide I), 1626 cm^{-1} (amide I, C-O, CN), 1519 cm^{-1} (amide II) ซึ่งรูปแบบโครงสร้างเป็นแบบ β -sheet ส่วน 1241 cm^{-1} (amide III) มีโครงสร้างเป็นแบบ random coil, 700 cm^{-1} (amide V, NH bending) โครงสร้างเป็นแบบ β -sheet (Yang, Zhang and Park, 2000)

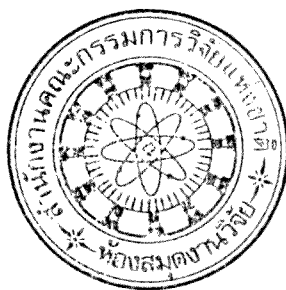


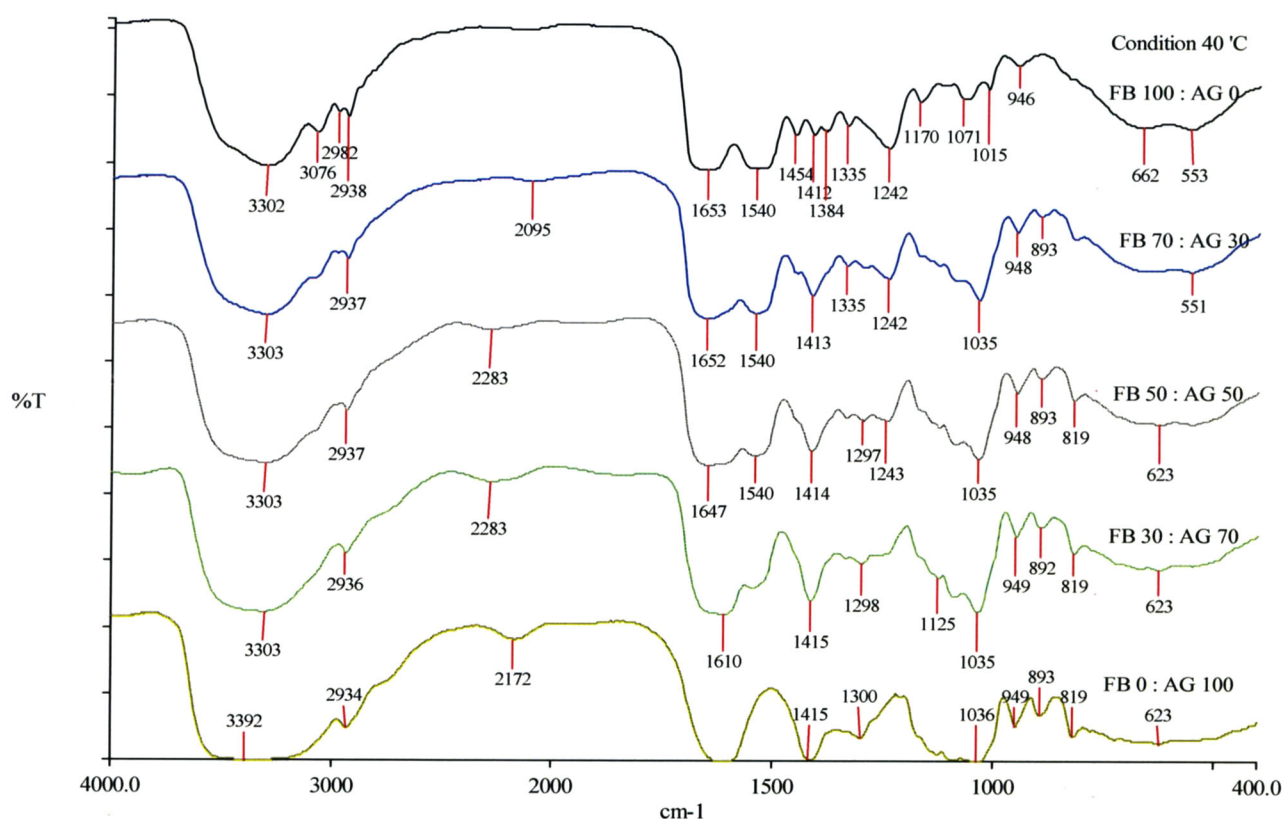
ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า spectra ของฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO ที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40°C ข้ามคืน ซึ่งเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดง ค่าอัตราส่วนของไฟโบรอินต่อ PEO เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 ตามลำดับจากบนลงล่าง

และในอัตราส่วนแผ่นฟิล์มไฟโบรอินที่ผสม PEO อัตราส่วน 70:30 ได้ค่า 1698 cm^{-1} (amide I), 1626 cm^{-1} (amide I, C-O, CN), 1519 cm^{-1} (amide II) ซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างเป็นแบบ β -sheet ส่วน 1241 cm^{-1} (amide III) มีโครงสร้างเป็นแบบ random coil, 700 cm^{-1} (amide V, NH bending) ดังนั้น แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมกับ PEO มีโครงสร้างภายในส่วนใหญ่เป็น β -sheet และมีส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบ random coil ด้วยบางส่วน แสดงว่า โมเลกุลเกาะกันในรูปแบบซ้อนทับกันหนาแน่นขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากการภาพตัดขวางของ SEM ที่มีลักษณะเหมือนเป็นเนื้อเดียวกัน อาจเกิดการบิดเกาะกันระหว่างพันธะให้อยู่ชิดกันมากขึ้น ระหว่างพันธะอาจจะมีการแลกเปลี่ยนกันระหว่างพันธะไฮโดรเจนของ C-O ได้ (Yang, Zhang and Park, 2000)

4.2.2.3. ผลค่า FTIR ของแผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินผสมกับ Sodium alginate (AG)

ค่า FTIR spectra ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน 1.5% ผสม Sodium alginate (AG) 3 % ในอัตราส่วน FB 70: AG 30 ได้ค่า spectra เป็น 1652 cm^{-1} (amide I), 1540 cm^{-1} (amide II), 1242 cm^{-1} (amide III) ซึ่งโครงสร้างเป็น random coil และที่อัตราส่วน FB 50: AG 50 ได้ค่า spectra เป็น 1657 cm^{-1} (amide I), 1540 cm^{-1} (amide II), 1243 cm^{-1} (amide III) ซึ่งโครงสร้างเป็น random coil ส่วนแผ่นฟิล์มผสมที่มีอัตราส่วน FB 30 : AG 70 จะแสดงค่า peak ที่ใกล้เคียงกับค่า peak ของ Sodium alginate ซึ่งมีค่า 1610 cm^{-1} (COO^- , asymmetric) แต่เมื่อดูค่า peak ของไฟโบรอินจะมีค่าใกล้เคียงกันกับ amide I (β -sheet) ที่มีค่า spectra เป็น 1620 cm^{-1} แต่เมื่อสังเกตลักษณะโดยรวมของ peak แล้ว ค่าสัดส่วนของ Sodium alginate มีมากกว่าไฟโบรอิน อาจทำให้เกิดการจับกันใหม่ของโครงสร้างซึ่งยังคงลักษณะของโครงสร้างในแบบของ Sodium alginate ได้ตามภาพที่ 4.13





ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า spectra ของฟิล์มไฟโบรอินผสม (Sodium alginate) AG ที่ทำแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 °C ซ้ำกัน ซึ่งเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดง ค่าอัตราส่วนของไฟโบรอินต่อ AG เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 ตามลำดับจากบนลงล่าง

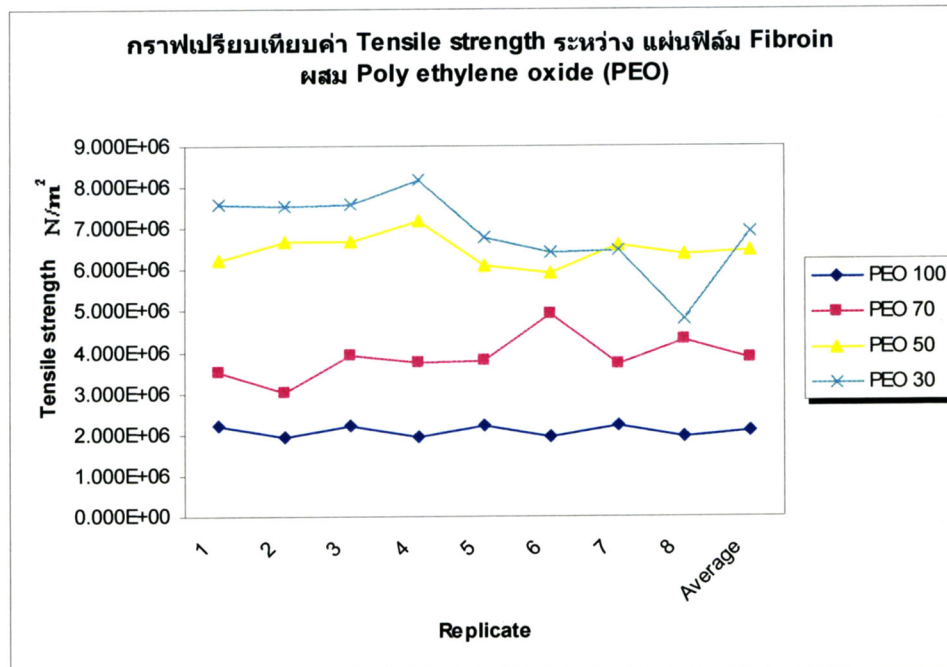
4.2.3 ผลการวัดค่า Mechanical Testing (Tensile strength และ % elongation) และเปรียบเทียบสูตรผสมของแผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินผสมโดยคำนวณทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS

จากนิยามค่า Tensile strength หมายถึง ความแข็งแรงของวัสดุ หรือ ระดับความเค้นสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้ก่อนที่จะเสียรูปร่างอย่างถาวรแบบไม่คงที่สม่ำเสมอ (non-uniform deformation) และค่า % elongation หมายถึง ระยะการยืดตัวของวัสดุ หรือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นงาน ณ จุดแตกหักเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกต่อหนึ่งหน่วยความยาวเริ่มต้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติหลังจากทำการทดลอง

1. เปรียบเทียบค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มผสม

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นว่า แนวโน้มค่า Tensile strength ของ PEO 30 จะมีค่าสูงสุด และที่ PEO 100 จะมีค่า Tensile strength ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีปริมาณของของผสม(โปรตีนไฟโบรอิน) ในสัดส่วนที่มากกว่าโดยน้ำหนักจะมีแนวโน้มของ Tensile strength อยู่ในช่วงที่สูงกว่า



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Polyethylene oxide (PEO) ตามอัตราส่วน PEO:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SAS พบว่า ที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 13.16, p-value (Pr > F) = 0.0001 ให้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ตามอัตราส่วนของ PEO ผสม Fibroin

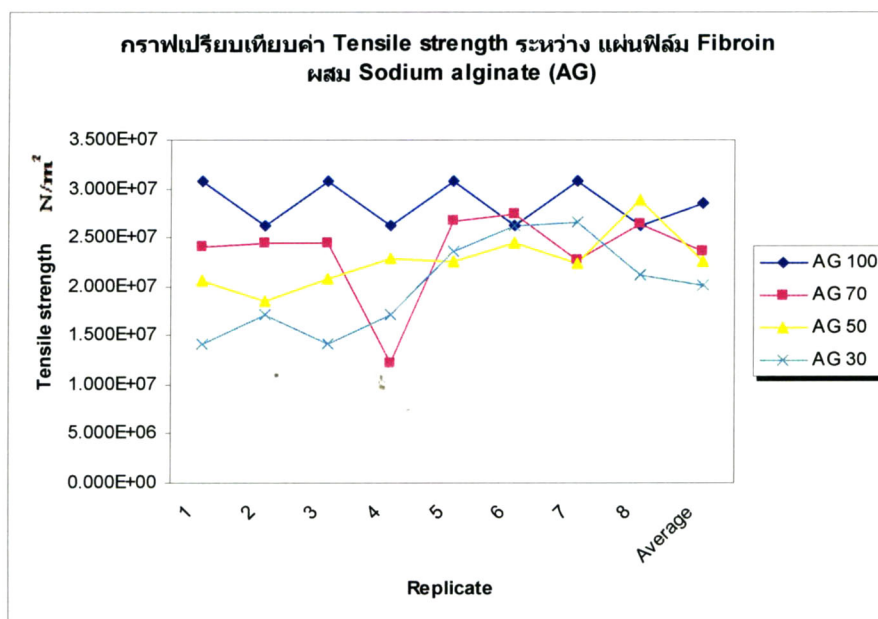
Data	Tensile strength (N/m ²)			
Replicate	PEO 100	PEO 70	PEO 50	PEO 30
1	2.233x10 ⁶	3.517 x10 ⁶	6.237 x10 ⁶	7.578 x10 ⁶
2	1.938 x10 ⁶	3.027 x10 ⁶	6.680 x10 ⁶	7.531 x10 ⁶
3	2.233 x10 ⁶	3.913 x10 ⁶	6.680 x10 ⁶	7.578 x10 ⁶
4	1.938 x10 ⁶	3.755 x10 ⁶	7.171 x10 ⁶	8.169 x10 ⁶
5	2.233 x10 ⁶	3.788 x10 ⁶	6.101 x10 ⁶	6.773 x10 ⁶
6	1.938 x10 ⁶	4.917 x10 ⁶	5.904 x10 ⁶	6.431 x10 ⁶
7	2.233 x10 ⁶	3.703 x10 ⁶	6.614 x10 ⁶	6.454 x10 ⁶
8	1.938 x10 ⁶	4.277 x10 ⁶	6.394 x10 ⁶	4.772 x10 ⁶
Average	2.086 x10 ⁶ ^C	3.862 x10 ⁶ ^B	6.473 x10 ⁶ ^A	6.911 x10 ⁶ ^A

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่า $p\text{-value} (Pr > F) = 0.0001 (P < 0.05)$ มีค่า Tensile strength เฉลี่ยของตัวอย่างฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO อย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ย Tensile strength ในกลุ่มตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO ตามอัตราส่วน PEO 100, PEO 70, PEO 50, PEO 30 มีค่า $2.086 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $3.862 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $6.473 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $6.911 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ

สรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 100 ให้ค่าเฉลี่ย Tensile strength ต่ำสุด และแตกต่างจากแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 70, PEO 50 และ PEO 30 ซึ่ง แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 50 และสูตร PEO 30 ให้ผลค่า Tensile strength เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูตร PEO 30 ให้ผลค่า Tensile strength เฉลี่ยสูงสุด

จากการทดสอบค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Sodium alginate (AG) พบว่า แนวโน้มค่า Tensile strength ของข้อมูลที่ได้ ลดลงตามปริมาณของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโปรตีนไฟโบรอินที่ผสมลงไป กล่าวคือ แผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอินที่ผสม AG ที่มีอัตราส่วนของสารพอลิเมอร์ AG มาก จะทำให้แผ่นฟิล์มผสมมีค่า Tensile strength มีแนวโน้มมากขึ้นด้วย ดังภาพที่ 4.15 อาจเป็นเพราะสัดส่วนของปริมาณ AG มีมากกว่าไฟโบรอิน ส่งผลให้แนวโน้มค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มผสมลดลงตามอัตราส่วนของปริมาณไฟโบรอินที่เพิ่มขึ้นได้



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Sodium Alginate (AG) ตามอัตราส่วน AG:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ

และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SAS พบว่าค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Sodium alginate (AG) พบว่าได้ค่าที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 17.01, p-value = 0.0025 ให้ผลดังตารางที่ 4.2

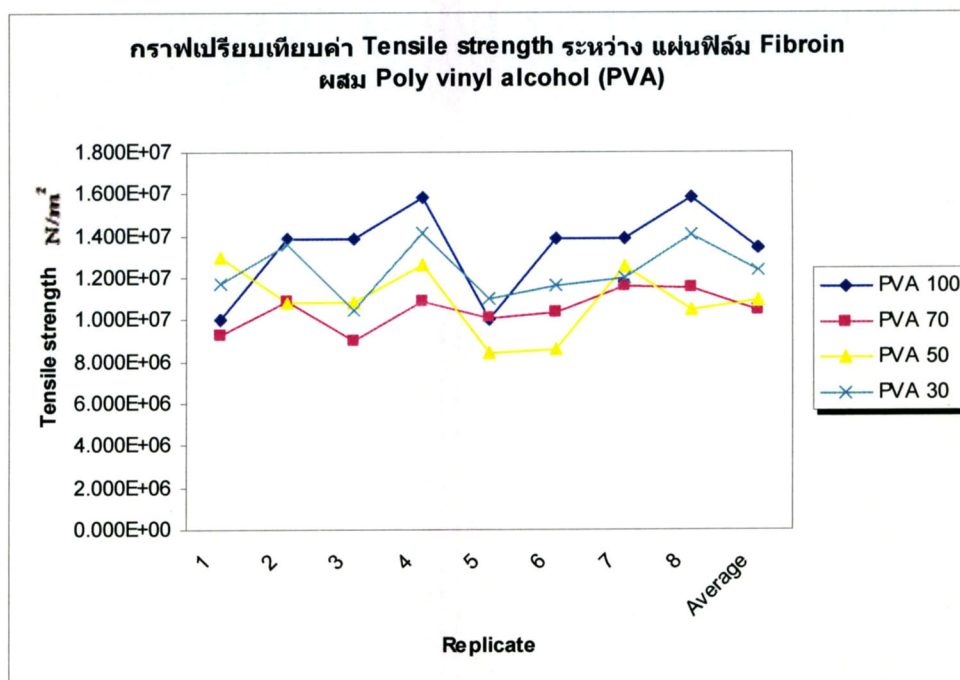
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ตามอัตราส่วนของ AG ผสม Fibroin

Data	Tensile strength (N/m ²)			
Replicate	AG 100	AG 70	AG 50	AG 30
1	3.082×10^7	2.415×10^7	2.070×10^7	1.416×10^7
2	2.616×10^7	2.446×10^7	1.847×10^7	1.722×10^7
3	3.082×10^7	2.446×10^7	2.077×10^7	1.416×10^7
4	2.616×10^7	1.229×10^7	2.296×10^7	1.722×10^7
5	3.082×10^7	2.671×10^7	2.263×10^7	2.365×10^7
6	2.616×10^7	2.752×10^7	2.448×10^7	2.628×10^7
7	3.082×10^7	2.267×10^7	2.237×10^7	2.661×10^7
8	2.616×10^7	2.642×10^7	2.883×10^7	2.118×10^7
Average	2.849×10^7 ^A	2.358×10^7 ^B	2.265×10^7 ^B	2.006×10^7 ^B

จากตารางพบว่า p-value ($Pr > F$) มีค่าเท่ากับ 0.0025 ($p < 0.05$) แสดงว่า มีค่า Tensile strength เฉลี่ยของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ย Tensile strength ในกลุ่มตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG ตามอัตราส่วน AG 100, AG 70, AG 50, AG 30 มีค่า 2.849×10^7 N/m², 2.358×10^7 N/m², 2.265×10^7 N/m², 2.006×10^7 N/m² ตามลำดับ

สรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG สูตร AG 100 ให้ค่าเฉลี่ย Tensile strength สูงสุด และแตกต่างจากแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG สูตร AG 70, AG 50 และ AG 30 ซึ่ง แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG สูตร AG 70, สูตร AG 50 และสูตร AG 30 ให้ผลค่า Tensile strength เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($AG 70 > AG 50 > AG 30$) จากการเปรียบเทียบแนวโน้มค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Polyvinyl alcohol (PVA) พบว่าค่าแนวโน้ม ค่า Tensile strength ของข้อมูลที่ได้ จะเห็นว่าแผ่นฟิล์ม PVA100 ให้ค่าแนวโน้มที่สูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 30, PVA 50 และ PVA 70 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.16 ดังนี้



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Poly vinyl alcohol (PVA) ตามอัตราส่วน PVA:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติด้วย SAS พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Tensile strength แล้วพบว่าค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม Polyvinyl alcohol (PVA) พบว่าได้ค่าที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 14.151, p-value = 0.0054 ให้ผลดังตารางที่ 4.3

ค่าเฉลี่ย Tensile strength ในกลุ่มตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ตามอัตราส่วน PVA 100, PVA 70, PVA 50, PVA 30 มีค่า 1.341×10^7 N/m², 1.048×10^7 N/m², 1.089×10^7 N/m², 1.234×10^7 N/m² ตามลำดับ

สรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 100 ให้ค่าเฉลี่ย Tensile strength ไม่แตกต่างทางสถิติกับแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 30 และแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 30 และ PVA 50 ให้ผลค่า Tensile strength เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 50 และ สูตร PVA 70 ให้ผลค่าเฉลี่ย Tensile strength ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

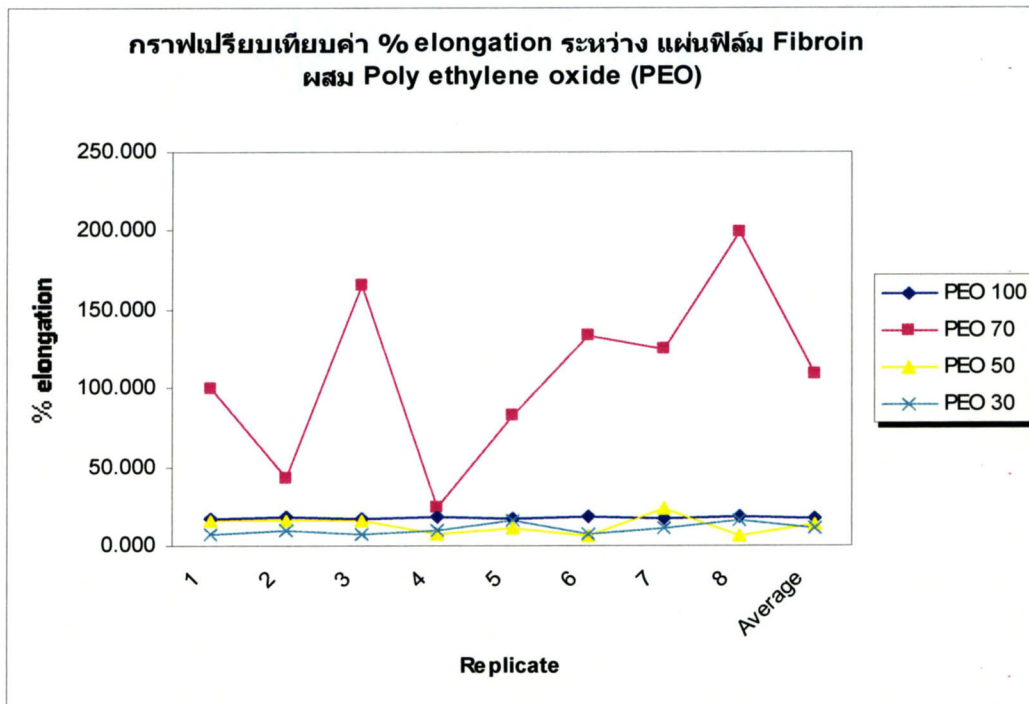
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ตามอัตราส่วนของ PVA ผสม Fibroin

Data	Tensile strength (N/m ²)			
Replicate	PVA 100	PVA 70	PVA 50	PVA 30
1	1.002 x10 ⁷	9.293 x10 ⁶	1.295 x10 ⁷	1.170 x10 ⁷
2	1.387 x10 ⁷	1.088 x10 ⁷	1.081 x10 ⁷	1.362 x10 ⁷
3	1.387 x10 ⁷	9.002 x10 ⁶	1.083 x10 ⁷	1.052 x10 ⁷
4	1.588 x10 ⁷	1.095 x10 ⁷	1.258 x10 ⁷	1.412 x10 ⁷
5	1.002 x10 ⁷	1.014 x10 ⁷	8.398 x10 ⁶	1.102 x10 ⁷
6	1.387 x10 ⁷	1.035 x10 ⁷	8.581 x10 ⁶	1.168 x10 ⁷
7	1.387 x10 ⁷	1.164 x10 ⁷	1.250 x10 ⁷	1.203 x10 ⁷
8	1.588 x10 ⁷	1.158 x10 ⁷	1.047 x10 ⁷	1.404 x10 ⁷
Average	1.341 x10 ^{7A}	1.048 x10 ^{7C}	1.089 x10 ^{7BC}	1.234 x10 ^{7AB}

จากตารางที่ 4.3 พบว่า p-value ($Pr > F$) มีค่าเท่ากับ 0.0054 ($p < 0.05$) แสดงว่า มีค่า Tensile strength เฉลี่ยของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. เปรียบเทียบค่า % elongation ของแผ่นฟิล์มผสม

จากภาพที่ 4.17 จะเห็นว่า แนวโน้มค่า % elongation ของ PEO 70 จะมีค่าสูงสุด และที่ PEO 100, PEO 50 และ PEO 30 จะมีค่า % elongation เกะกะกลุ่มกันและสูตร PEO 30 จะให้แนวโน้มค่า % elongation ต่ำสุด



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า % elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Poly ethylene oxide (PEO) ตามอัตราส่วน PEO:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ

นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย % elongation ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO ด้วยโปรแกรม SAS พบว่าได้ค่าที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 78.85, p-value = 0.0001 ให้ผลดังตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย % elongation ของตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO ที่อัตราส่วน PEO100, PEO 70, PEO 50, PEO 30 มีค่า 17.60, 109.45, 13.00 และ 10.87 ตามลำดับ

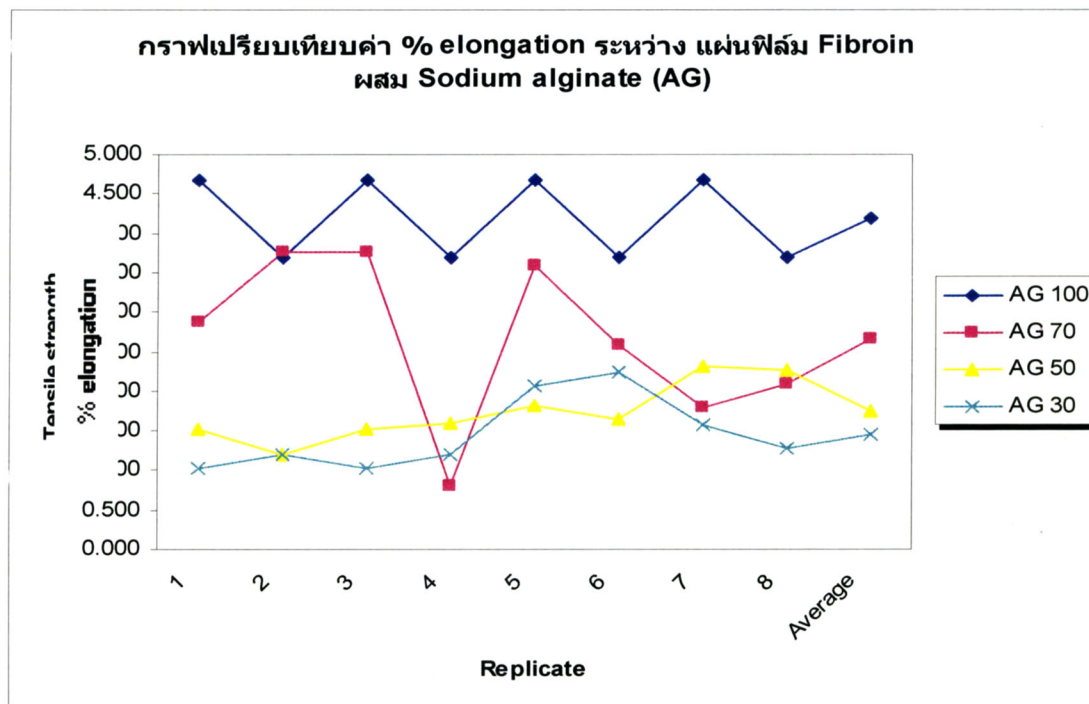
สรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 70 ให้ค่าเฉลี่ย % elongation สูงสุด และแตกต่างจากกลุ่มแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 100, PEO 50 และ PEO 30 ซึ่ง แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO สูตร PEO 100, PEO 50 และสูตร PEO 30 ให้ผลค่า % elongation เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูตร PEO 30 ให้ผลค่า Tensile strength เฉลี่ยต่ำสุด

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า % elongation ตามอัตราส่วนของ PEO ผสม Fibroin

Data	% elongation			
Replicate	PEO 100	PEO 70	PEO 50	PEO 30
1	17.023	99.760	16.210	7.083
2	18.177	43.070	16.533	10.307
3	17.023	166.420	16.533	7.083
4	18.177	25.307	7.177	10.010
5	17.023	83.133	11.163	16.493
6	18.177	133.137	6.747	7.730
7	17.023	125.390	22.923	11.593
8	18.177	199.397	6.710	16.640
Average	17.600 ^B	109.452 ^A	13.000 ^B	10.868 ^B

จากตารางที่ 4.4 สามารถ สรุปได้ว่า $p\text{-value} (Pr > F) = 0.0001$ ($P < 0.05$) มีค่า % elongation เฉลี่ยของตัวอย่างฟิล์มไฟโบรอินผสม PEO อย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ จากภาพที่ 4.18 จะเห็นว่า แนวโน้มค่า % elongation ของ AG 100 จะมีค่าสูงสุด และที่ AG 70, AG 50 และ AG 30 จะมีค่าแนวโน้ม % elongation ต่ำลงมาตามลำดับจากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย % elongation ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG ด้วยโปรแกรม SAS พบว่าได้ค่าที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 26.41, $p\text{-value} = 0.0001$ ให้ผลดังตารางที่ 4.5 สามารถสรุปได้ว่า $p\text{-value} (Pr > F) = 0.0001$ ($P < 0.05$) มีค่า % elongation เฉลี่ยของตัวอย่างฟิล์มไฟโบรอินผสม AG อย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ AG 100, AG 70, AG 50 และ AG 30 มีค่าเฉลี่ย % elongation ดังนี้ 4.177, 2.668, 1.743 และ 1.459 ตามลำดับ



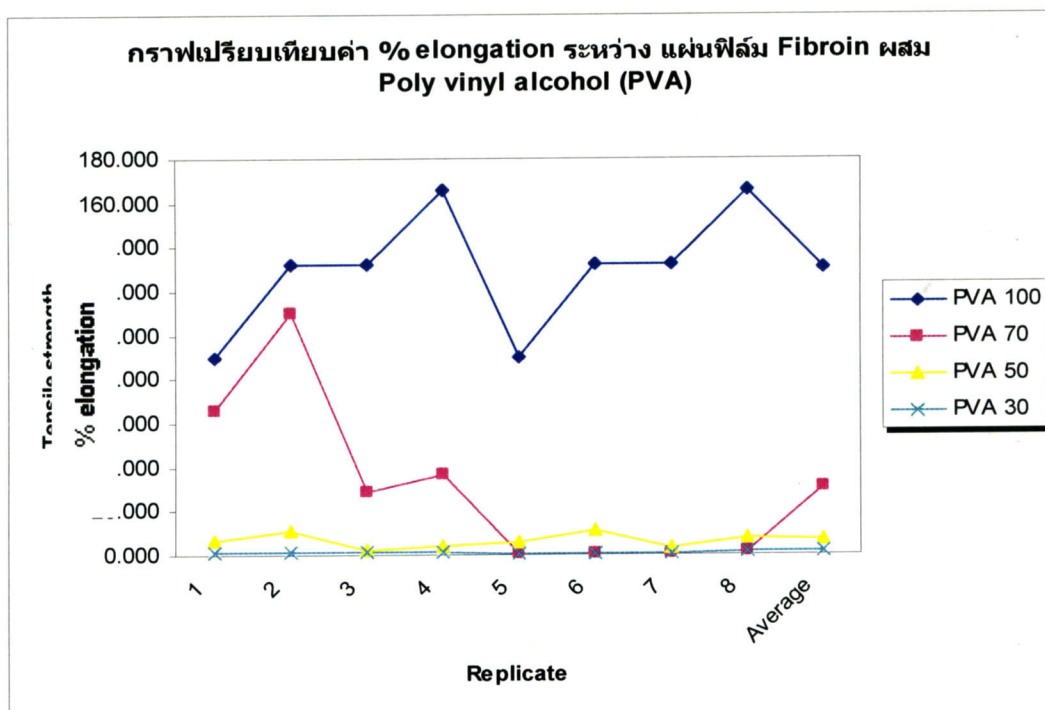
ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า % elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Sodium alginate (AG) ตามอัตราส่วน AG:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า % elongation ตามอัตราส่วนของ AG ผสม Fibroin

Data	% elongation			
Replicate	AG 100	AG 70	AG 50	AG 30
1	4.670	2.883	1.533	1.033
2	3.683	3.767	1.213	1.207
3	4.670	3.767	1.533	1.033
4	3.683	0.817	1.597	1.207
5	4.670	3.607	1.817	2.077
6	3.683	2.590	1.657	2.237
7	4.670	1.810	2.320	1.587
8	3.683	2.100	2.273	1.290
Average	4.177 ^A	2.668 ^B	1.743 ^C	1.459 ^C

สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ย % elongation ของตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG ที่อัตราส่วน AG 100 มีค่ามากที่สุด และมีค่าเฉลี่ย % elongation แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG สูตร AG 70, AG 50 และ AG 30 และในส่วนของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม AG สูตร AG 50 และ AG 30 ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

และเมื่อทำการวัดแสดงค่าแนวโน้มของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ของฟิล์มผสมสูตร PVA 100 มีค่าแนวโน้มของ % elongation สูงสุด ส่วนค่าแนวโน้มของ แผ่นฟิล์มผสมในกลุ่ม PVA 70, PVA 50 และ PVA 30 จะอยู่ใน ช่วงเดียวกันและมีแนวโน้มลดลงตาม อัตราส่วน PVA ที่ลดลง ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า % elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มผสมของไฟโบรอินกับ Poly vinyl alcohol (PVA) ตามอัตราส่วน PVA:FB เป็น 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ตามลำดับ

นำข้อมูลผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย % elongation ของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ด้วยโปรแกรม SAS พบว่าได้ค่าที่ระดับ $\alpha = 0.05$, ค่า % CV = 58.07, p-value = 0.0001 ให้ผล ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า % elongation ตามอัตราส่วนของ PVA ผสม Fibroin

Data	% elongation			
Replicate	PVA 100	PVA70	PVA 50	PVA 30
1	90.370	66.460	7.350	1.883
2	132.747	110.587	11.817	2.103
3	132.747	28.987	2.843	2.010
4	166.150	37.363	4.643	1.437
5	90.370	1.040	5.823	1.040
6	132.747	1.163	11.810	1.163
7	132.747	1.303	3.230	1.303
8	166.150	1.383	7.677	1.383
Average	130.503 ^A	31.036 ^B	6.899 ^{BC}	1.540 ^C

จากตารางที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่า p-value ($Pr > F$) = 0.0001 ($P < 0.05$) มีค่า % elongation เฉลี่ยของตัวอย่างฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA อย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

PVA 100, PVA 70, PVA 50 และ PVA 30 มีค่าเฉลี่ย % elongation ดังนี้ 130.503, 31.036, 6.899 และ 1.540 ตามลำดับ

สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ย % elongation ของตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA ที่อัตราส่วน PVA 100 มีค่ามากที่สุด และมีค่าเฉลี่ย % elongation แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กับกลุ่มแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 70, PVA 50 และ PVA 30 และในส่วนของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 70 และ AG 50 ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ และในส่วนของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสม PVA สูตร PVA 50 และ AG 30 ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

และเมื่อเปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างสูตรแผ่นฟิล์มทั้งสามพอลิเมอร์ Polyethylene oxide (PEO), Sodium alginate (AG), Polyvinyl alcohol (PVA) ให้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ค่า Tensile strength ทั้งสามพอลิเมอร์ในสูตรแผ่นฟิล์มไฟโบรินผสม (PEO, AG, PVA)

Data Replication	Tensile strength (N/m ²)												
	Poly ethylene oxide (PEO) : Fibroin (FB)				Sodium alginate (AG) : Fibroin (FB)				Poly vinyl alcohol (PVA) : Fibroin (FB)				
	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	30 : 70
1	2.233x10 ⁶	3.517 x10 ⁶	6.237 x10 ⁶	7.578 x10 ⁶	3.082 x10 ⁷	2.415 x10 ⁷	2.070 x10 ⁷	1.416 x10 ⁷	1.002 x10 ⁷	9.293 x10 ⁶	1.295 x10 ⁷	1.170 x10 ⁷	
2	1.938 x10 ⁶	3.027 x10 ⁶	6.680 x10 ⁶	7.531 x10 ⁶	2.616 x10 ⁷	2.446 x10 ⁷	1.847 x10 ⁷	1.722 x10 ⁷	1.387 x10 ⁷	1.088 x10 ⁷	1.081 x10 ⁷	1.362 x10 ⁷	
3	2.233 x10 ⁶	3.913 x10 ⁶	6.680 x10 ⁶	7.578 x10 ⁶	3.082 x10 ⁷	2.446 x10 ⁷	2.077 x10 ⁷	1.416 x10 ⁷	1.387 x10 ⁷	9.002 x10 ⁶	1.083 x10 ⁷	1.052 x10 ⁷	
4	1.938 x10 ⁶	3.755 x10 ⁶	7.171 x10 ⁶	8.169 x10 ⁶	2.616 x10 ⁷	1.229 x10 ⁷	2.296 x10 ⁷	1.722 x10 ⁷	1.588 x10 ⁷	1.095 x10 ⁷	1.258 x10 ⁷	1.412 x10 ⁷	
5	2.233 x10 ⁶	3.788 x10 ⁶	6.101 x10 ⁶	6.773 x10 ⁶	3.082 x10 ⁷	2.671 x10 ⁷	2.263 x10 ⁷	2.365 x10 ⁷	1.002 x10 ⁷	1.014 x10 ⁷	8.398 x10 ⁶	1.102 x10 ⁷	
6	1.938 x10 ⁶	4.917 x10 ⁶	5.904 x10 ⁶	6.431 x10 ⁶	2.616 x10 ⁷	2.752 x10 ⁷	2.448 x10 ⁷	2.628 x10 ⁷	1.387 x10 ⁷	1.035 x10 ⁷	8.581 x10 ⁶	1.168 x10 ⁷	
7	2.233 x10 ⁶	3.703 x10 ⁶	6.614 x10 ⁶	6.454 x10 ⁶	3.082 x10 ⁷	2.267 x10 ⁷	2.237 x10 ⁷	2.661 x10 ⁷	1.387 x10 ⁷	1.164 x10 ⁷	1.250 x10 ⁷	1.203 x10 ⁷	
8	1.938 x10 ⁶	4.277 x10 ⁶	6.394 x10 ⁶	4.772 x10 ⁶	2.616 x10 ⁷	2.642 x10 ⁷	2.883 x10 ⁷	2.118 x10 ⁷	1.588 x10 ⁷	1.158 x10 ⁷	1.047 x10 ⁷	1.404 x10 ⁷	
Average	2.086 x10 ^{6G}	3.862 x10 ^{6FG}	6.473 x10 ^{6FE}	6.911 x10 ^{6E}	2.849 x10 ^{7A}	2.358 x10 ^{7B}	2.265 x10 ^{7BC}	2.006 x10 ^{7C}	1.341 x10 ^{7D}	1.048 x10 ^{7D}	1.089 x10 ^{7D}	1.234 x10 ^{7D}	

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Tensile strength ระหว่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน ผสมสารพอลิเมอร์ทั้งสามชนิด PEO, AG และ PVA มีค่า $p - \text{value} (Pr > F) = 0.8686 > 0.05$ แสดงว่า ค่าอิทธิพลของชนิดของพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน และระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน นั้นไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p > 0.05$)

เมื่ออ่านผลจากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DUNCAN ที่ความเชื่อมั่น 95 % ใน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าพอลิเมอร์ Sodium alginate (AG) มีผลต่อค่าเฉลี่ย Tensile strength เท่ากับ $1.358 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ต่ำกว่า Polyvinyl alcohol (PVA) $1.346 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ และ Polyethylene oxide (PEO) $1.327 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ และเมื่อเปรียบเทียบสูตรผสมโปรตีนไฟโบรอินกับสารพอลิเมอร์ในแผ่นฟิล์ม ตามอัตราส่วนพอลิเมอร์ ต่อ โปรตีนไฟโบรอิน 100:0, 70:30, 50:50 และ 30:70 ตามลำดับให้ผล ดังนี้ แผ่นฟิล์มผสม AG 100:0 ให้ผลค่าเฉลี่ย Tensile strength สูงที่สุด ส่วนแผ่นฟิล์มผสม AG 70:30, AG 50:50 ให้ผลตรงลงมาและผลค่า Tensile strength ที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ AG 70:30 ให้ผลที่ดีกว่า และแผ่น ฟิล์มผสมสูตร AG 50:50 ให้ผล Tensile strength ไม่แตกต่างกับแผ่นฟิล์มสูตร AG 30:70 แผ่นฟิล์มผสมในกลุ่มของ Polyvinyl alcohol (PVA) นั้นให้ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่อัตราส่วน PVA 100:0 ให้ผลดีกว่า PVA 30:70, PVA 50:50 และ PVA 70:30 ตามลำดับ และแผ่นฟิล์มผสม PEO 30:70 ให้ผลดีกว่า แผ่นฟิล์มสูตร PEO 50:50 , PEO 70:30 และ PEO 100:0 ตามลำดับ แต่แผ่นฟิล์มสูตร PEO 30:70 ให้ผลค่าเฉลี่ย Tensile strength ไม่แตกต่างกับแผ่นฟิล์มสูตร PEO 50:50 ส่วนแผ่นฟิล์มสูตร PEO 50:50 ให้ผลค่าเฉลี่ย Tensile strength ไม่แตกต่างกับสูตร PEO 70:30 ในส่วนของ PEO 70:30 นั้นให้ผลค่าเฉลี่ย Tensile strength ไม่แตกต่างกับสูตร PEO 100:0 ทางสถิติ

จากการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเมอร์บางชนิดทำให้ค่า Tensile strength ลดลง เช่น พอลิเมอร์ PEO และ PVA แต่ในกรณีของพอลิเมอร์ AG ทำให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารพอลิเมอร์แต่ละชนิด เมื่อรวมกับสารพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน อาจทำให้คุณสมบัติทางกายภาพแสดงลักษณะความแข็งแรง ความเหนียวของแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน จึงทำให้เมื่อวัดค่า Tensile strength หรือค่าความเค้นดึงสูงสุดที่ดึงชิ้นงานจนขาดมีค่าแตกต่างกันได้ เช่นเดียวกับ %elongation หรือระยะดึงยืดของความยาวที่ขึ้นทดสอบขาด ณ จุดขาด อาจแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารพอลิเมอร์

และเมื่อเปรียบเทียบ % Elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมพอลิเมอร์ 3 ชนิด Polyethylene oxide (PEO), Sodium alginate (AG), Polyvinyl alcohol (PVA) ให้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย % elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มไฟโพรอินผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด (PEO, AG, PVA)

Data Replication	% Elongation											
	Polyethylene oxide (PEO) : Fibroin (FB)				Sodium alginate (AG) : Fibroin (FB)				Polyvinyl alcohol (PVA) : Fibroin (FB)			
	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70
1	17.023	99.760	16.210	7.083	4.670	2.883	1.533	1.033	90.370	66.460	7.350	1.883
2	18.177	43.070	16.533	10.307	3.683	3.767	1.213	1.207	132.747	110.587	11.817	2.103
3	17.023	166.420	16.533	7.083	4.670	3.767	1.533	1.033	132.747	28.987	2.843	2.010
4	18.177	25.307	7.177	10.010	3.683	0.817	1.597	1.207	166.150	37.363	4.643	1.437
5	17.023	83.133	11.163	16.493	4.670	3.607	1.817	2.077	90.370	1.040	5.823	1.040
6	18.177	133.137	6.747	7.730	3.683	2.590	1.657	2.237	132.747	1.163	11.810	1.163
7	17.023	125.390	22.923	11.593	4.670	1.810	2.320	1.587	132.747	1.303	3.230	1.303
8	18.177	199.397	6.710	16.640	3.683	2.100	2.273	1.290	166.150	1.383	7.677	1.383
Average	17.600 ^{BC}	109.452 ^A	13.000 ^{BC}	10.868 ^{BC}	4.177 ^{BC}	2.668 ^C	1.743 ^C	1.459 ^C	130.503 ^A	31.036 ^B	6.899 ^{BC}	1.540 ^C

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย % elongation ระหว่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน ผสมสารพอลิเมอร์ ทั้งสามชนิด PEO, AG และ PVA มีค่า p -value ($Pr > F$) = 0.9808 > 0.05 แสดงว่า ค่าอิทธิพลของชนิดของพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน และระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน นั้นไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p > 0.05$)

เมื่ออ่านผลจากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DUNCAN ที่ความเชื่อมั่น 95 % ในเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าพอลิเมอร์ Polyvinyl alcohol (PVA) มีผลต่อค่าเฉลี่ย % elongation เท่ากับ 29.473 ดีกว่า Sodium alginate (AG) 28.343 และ Polyethylene oxide (PEO) 25.548 และเมื่อเปรียบเทียบสูตรผสมโปรตีนไฟโบรอินกับสารพอลิเมอร์ในแผ่นฟิล์ม ตามอัตราส่วนพอลิเมอร์ต่อโปรตีนไฟโบรอิน 100:0, 70:30, 50:50 และ 30:70 ตามลำดับให้ผล ดังนี้แผ่นฟิล์มโปรตีนไฟโบรอิน ผสมสารพอลิเมอร์ สูตร PVA 100:0 ให้ค่าเฉลี่ย % elongation สูงที่สุด แต่ให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ไม่แตกต่างกันกับสูตร PEO 70:30 ในกลุ่ม % elongation ที่ีรอลงมาคือ แผ่นฟิล์มสูตร PVA 70:30, PEO 100:0, PEO 50:50, PEO 30:70, PVA 50:50 และ AG 100:0 ตามลำดับ และในกลุ่มสุดท้ายคือ แผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมพอลิเมอร์สูตร AG 70:30, AG 50:50, PVA 30:70 และ AG 30:70 ตามลำดับ ซึ่งแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมในสูตร PEO 100:0, PEO 50:50, PEO 30:70, PVA 50:50 ให้ผลค่าค่าเฉลี่ย % elongation ของข้อมูลไม่แตกต่างจากกลุ่มที่สองและกลุ่มสุดท้าย

4.2.4 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเลี้ยงเซลล์ (Pre-cell culture test)

ก่อนนำตัวอย่างแผ่นฟิล์มไปทดสอบการเลี้ยงเซลล์ จะนำแผ่นฟิล์มผสมมาซุบกับ Methanol เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย Phosphate buffer พบว่า เมื่อทดสอบสูตรในขั้นตอนแรก พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของ PVA และส่วนผสม AG หลังจากจุ่มในสารละลาย phosphate buffer แล้วแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของ PVA จะพอง ยุ่ยและ ภายในเวลา 10 นาทีถึง 24 ชั่วโมง และแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของ AG จะพอง ยุ่ยและภายใน 12-24 ชั่วโมง ส่วนแผ่นฟิล์มที่มีอัตราส่วนผสมของ PEO สูตร PEO 50:50, PEO 30:70 จะยุ่ยและได้ช้ากว่า แผ่นฟิล์มสูตรอื่นๆ ตามอัตราส่วนผสมของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณของไฟโบรอินน้อยไปมาก คือ ถ้ามีปริมาณของไฟโบรอินมากหลังจากแผ่นฟิล์มถูกจุ่มใน Methanol 30 นาที โครงสร้างของไฟโบรอินจะถูกเปลี่ยนเป็น water-insoluble ซึ่งจะ ทำให้ถูกย่อยสลายในสารละลาย phosphate buffer ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้ยากกว่า

ดังนั้นอัตราส่วนผสมของแผ่นฟิล์มที่มีความสามารถและเหมาะสมที่สุดในการนำไปทดสอบการเลี้ยงเซลล์ต่อไป คือ PEO 15:85 และ PEO 10:90

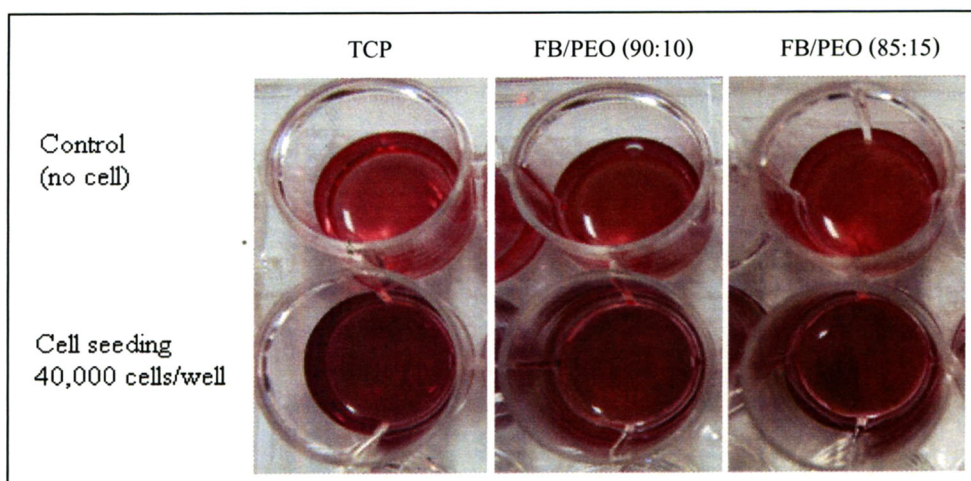


4.2.4.1. การศึกษาการยึดเกาะและการเพิ่มจำนวนของเซลล์บนแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิค

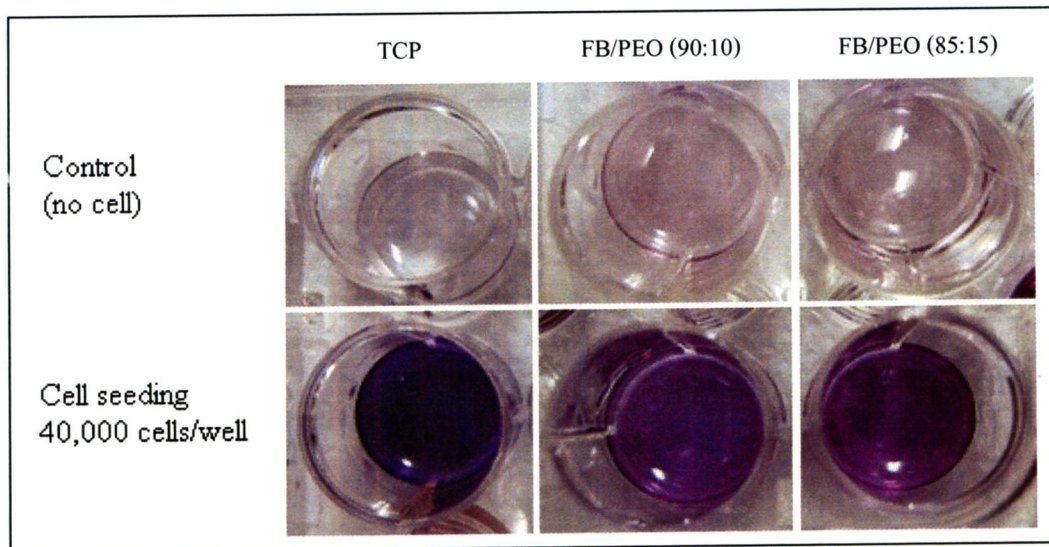
MTT assay

ความสามารถในการสนับสนุนการยึดเกาะของเซลล์เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญที่สุดของวัสดุรองรับเซลล์ (scaffolds) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวของแผ่นฟิล์ม FB/PEO ที่ได้ผลิตขึ้นด้วยวิธี MTT assay ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้และอาศัยหลักการในการวัด mitochondria's activity ของเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บนวัสดุรองรับเซลล์ที่พัฒนาขึ้น โดยทำการวัดเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บนแผ่นฟิล์ม FB/PEO เปรียบเทียบกับที่ทำการเพาะเลี้ยงในหลุมของ tissue culture plate (TCP) ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม(positive control) การเจริญของเซลล์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง, 1, 3, 5 และ 7 วัน ซึ่งช่วงระยะเวลาตั้งแต่ seeding จนถึง 24 ชั่วโมงหรือ 1 วัน นั้นถือเป็นช่วงที่เซลล์มีการยึดเกาะ(cell attachment) กับ substrate และช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 1 วันเป็นต้นไป เซลล์ก็จะเริ่มมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้น (cell proliferation)

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.20 แสดง ผลึกของ formazan สีน้ำตาลอมม่วงที่ถูกผลิตขึ้นจากเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บนผิวของ TCP, FB/PEO (90:10) และ FB/PEO (85:15) จากนั้นเมื่อทำการดูด medium ทิ้งไป และละลายตะกอน formazan ที่เกิดขึ้นด้วย DMSO ดังภาพที่ 4.21 ก็จะได้สารละลาย product ที่มีสีม่วง โดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บนผิววัสดุต่างๆ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าสีม่วงที่เกิดขึ้นในหลุมที่ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์บน substrates ชนิดต่างๆ มีความแตกต่างจาก control ที่ไม่ได้ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์อย่างชัดเจน และสีที่เกิดขึ้นในหลุมที่เพาะเลี้ยงบน TCP มีความเข้มกว่าหลุมที่เพาะเลี้ยงเซลล์บนแผ่นฟิล์ม FB/PEO



ภาพที่ 4.20 แสดง formazan crystal ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ reduction ของเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บน substrate ชนิดต่างๆ

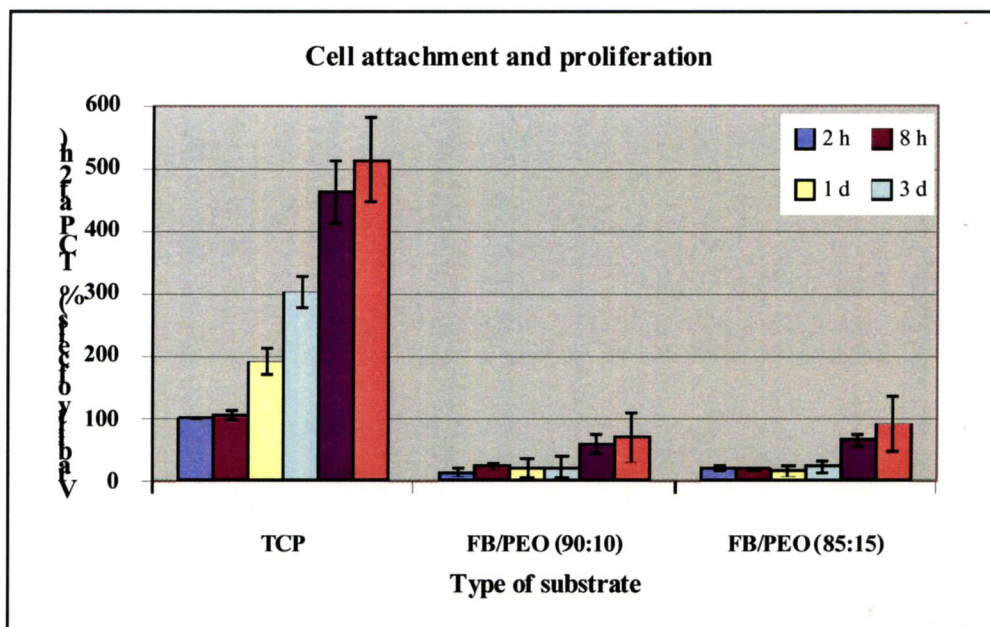


ภาพที่ 4.21 แสดงสารละลายสีม่วงที่เกิดขึ้นภายหลังจากเติม DMSO ลงไปละลาย formazan crystal ที่เกิดจากเซลล์ที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน

เพื่อเปรียบเทียบผลในเชิงปริมาณจึงนำสารละลายสีที่ได้มาวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร และคำนวณเป็น % การมีชีวิตของเซลล์ (% cell viability) ผลที่ได้รับแสดงในกราฟแท่งในภาพที่ 4.22 โดยที่ เซลล์ที่เกาะอยู่บน TCP ที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังจากการ seeding ได้ถูกใช้เป็นค่า reference เพื่อคำนวณหา % เซลล์ที่มีชีวิตที่ยึดเกาะอยู่บนแผ่นฟิล์ม FB/PEO ที่ระยะเวลาต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณของเซลล์ที่มีชีวิตและเจริญอยู่บน substrates ทุกชนิดที่ทำการทดลองค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงนานขึ้น

จากกราฟที่แสดงพบว่า ตลอดช่วงระยะเวลาการเพาะเลี้ยง เซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่เกาะอยู่บน TCP ที่เป็น positive control มีจำนวนมากกว่าเซลล์ที่ยึดเกาะอยู่บนแผ่นฟิล์ม FB/PEO ทั้งสองสูตร โดยจะเห็นได้ว่าที่เวลา 2 และ 8 ชั่วโมง เซลล์ที่เกาะอยู่บน TCP มีปริมาณไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมงไปจนถึง 7 วัน เซลล์มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ซึ่งถือเป็นเรื่องปกติของเซลล์ที่เพาะเลี้ยงใน TCP อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเซลล์ที่เกาะบนแผ่นฟิล์ม FB/PEO พบว่า ที่เวลาการเพาะเลี้ยงตั้งแต่ 2 ชั่วโมงไปจนถึง 3 วัน ปริมาณของเซลล์ที่เกาะอยู่บนแผ่นฟิล์มมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเซลล์ยังอยู่ในช่วงระยะพักและปรับตัวให้เข้ากับสภาวะใหม่เมื่อเจริญอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์ม เมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นเป็น 5 วัน และ 7 วัน พบว่าเซลล์ที่เกาะอยู่บนแผ่นฟิล์มเริ่มมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้งบน FB/PEO (90:10) และ FB/PEO (85:15) โดยปริมาณเซลล์ที่เจริญบน FB/PEO (85:15) มีแนวโน้มมากกว่าที่เจริญบน FB/PEO (90:10) เล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองนี้ถึงแม้ว่าเซลล์ที่เจริญอยู่บนแผ่นฟิล์มทั้งสองสูตรมีการเจริญเพิ่มจำนวนช้ากว่าที่เพาะเลี้ยงใน TCP แต่ก็แสดงให้เห็นว่าฟิล์ม FB/PEO ทั้งสองสูตรที่ผลิตขึ้นไม่เป็นพิษต่อเซลล์



ภาพที่ 4.22 กราฟแท่งแสดงเซลล์มีชีวิตที่เกาะอยู่บน TCP, FB/PEO (90:10) และ FB/PEO (85:15) ที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 2, 8 ชั่วโมง 1, 3, 5 และ 7 วัน โดยที่เซลล์ที่เกาะอยู่บน TCP ที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังจากการ seeding ได้ถูกใช้เป็นตัว reference เพื่อคำนวณหา %เซลล์ที่มีชีวิตที่ยึดเกาะอยู่บนแผ่นฟิล์ม FB/PEO ที่ระยะเวลาต่างๆ

4.2.4.2. การศึกษาลักษณะรูปร่างของเซลล์ที่เพาะเลี้ยงบนแผ่นฟิล์ม

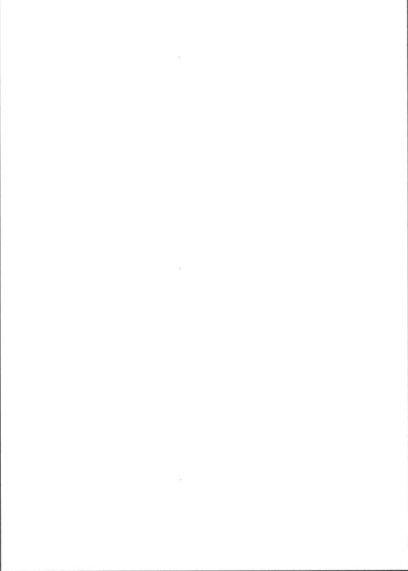
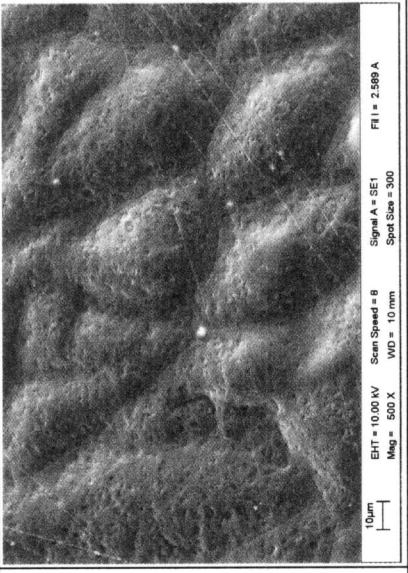
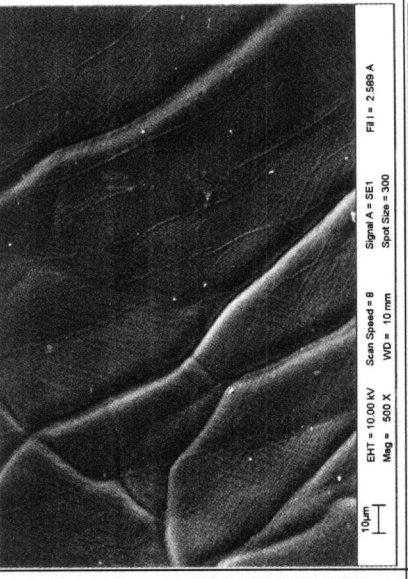
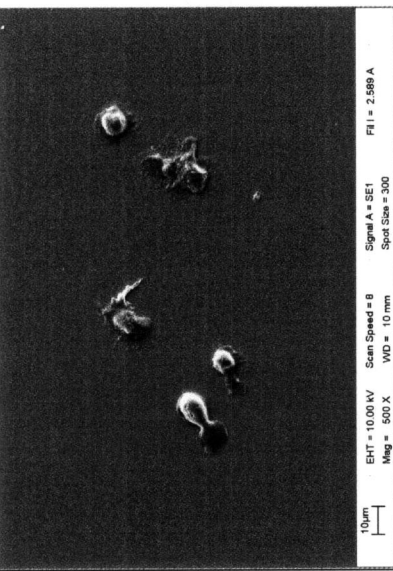
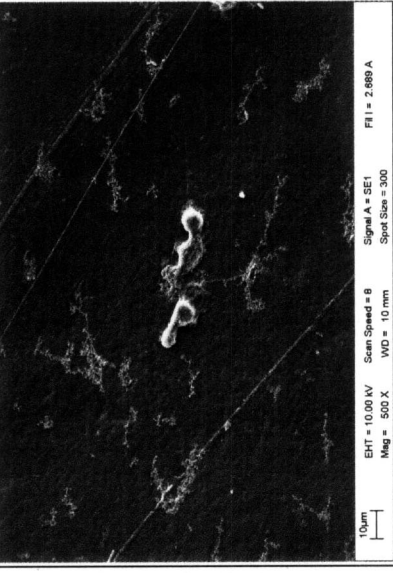
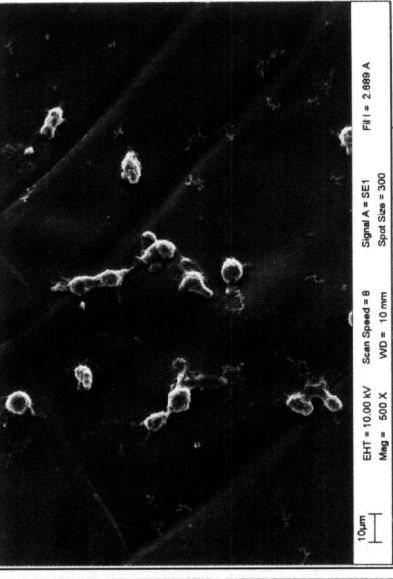
การประเมินประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มในการสนับสนุนให้เซลล์ยึดเกาะและเจริญเพิ่มจำนวนนั้น นอกจากวิธีการ MTT assay แล้ว การศึกษาการเจริญของเซลล์ด้วยเทคนิค SEM เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจาก MTT assay เป็นการศึกษาผลของ mitochondria's activity ที่เกิดจากเซลล์ที่มีชีวิตอยู่บนวัสดุที่เพาะเลี้ยงเพียงอย่างเดียว ซึ่งการศึกษาการเจริญของเซลล์ด้วย SEM นั้นนอกจากจะสามารถดูการยึดเกาะและการเพิ่มจำนวนของเซลล์ได้แล้ว ยังสามารถสังเกตลักษณะรูปร่างของเซลล์ที่เพาะเลี้ยงบนวัสดุหรือภาชนะที่ใช้ทดสอบได้อีกด้วย ซึ่งสามารถบอกได้ถึงลักษณะ phenotype ของเซลล์ การเกิด interaction กันระหว่างเซลล์ และความเป็นไปได้ในการเกิด interaction ระหว่างเซลล์และ substrates ที่เซลล์ยึดเกาะอยู่ จากตารางที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายจาก SEM

ของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (fibroblasts: HFF-1) ที่เจริญอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์ม FB/PEO และ cover glasses เป็นเวลา 2 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง, 1, 3, 5 และ 7 วัน

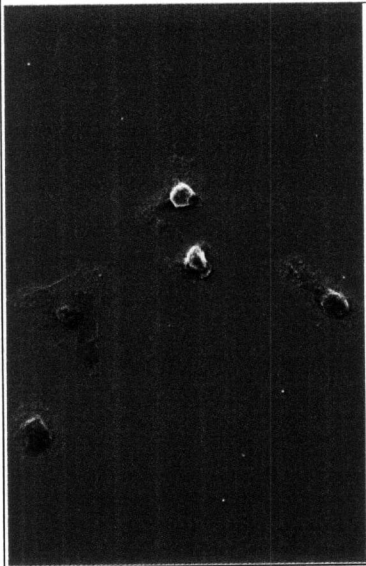
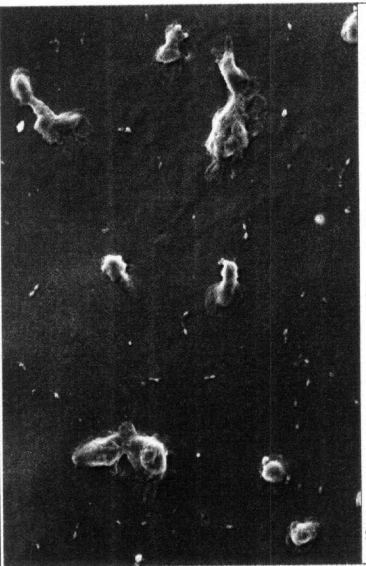
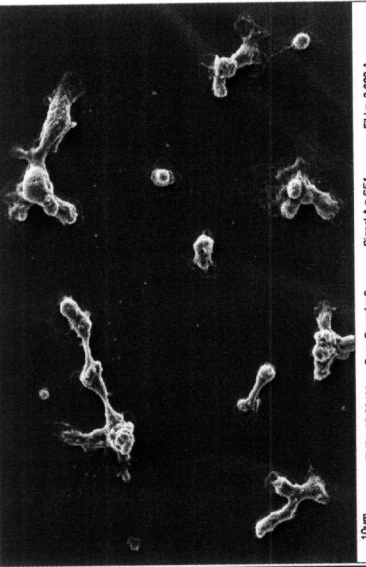
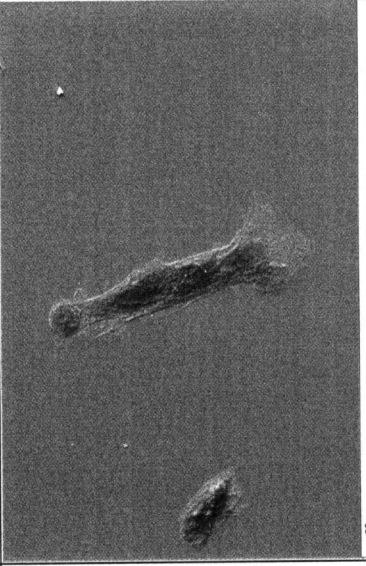
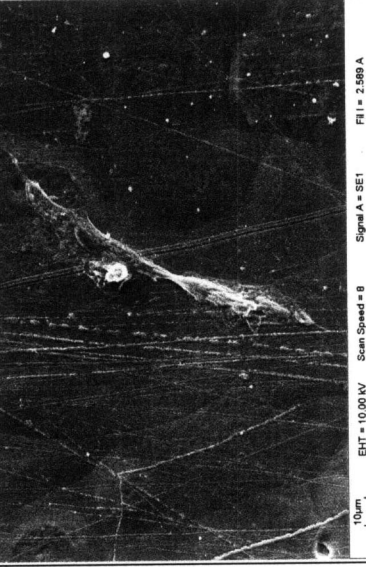
จากตารางที่ 4.9 เซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่เพาะเลี้ยงลงบน substrates ทุกชนิดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดของเซลล์ประมาณ 10 ไมครอน (μm) และจากการสังเกตพบว่า FB/PEO ฟิล์ม สูตร 85:15 มีปริมาณเซลล์ที่ยึดเกาะบนผิวมากกว่าสูตร 90:10 หลังจากระยะเวลาการเพาะเลี้ยงผ่านไป 8 ชั่วโมง เซลล์เริ่มมี lamellipodia ที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์เพื่อยึดเกาะกับแผ่นฟิล์มทั้งสองอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีการเริ่มต้นการขยายขนาดของเซลล์แล้ว (cell expansion) ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ก็พบได้ในเซลล์ที่เพาะเลี้ยงบน cover glass เช่นเดียวกัน เมื่อระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 24 ชั่วโมงหรือ 1 วัน พบว่าเซลล์ที่เจริญอยู่ทั้งบน cover glass และแผ่นฟิล์มแสดงรูปร่างคล้ายรูปกระสวย (spindle morphology) อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงลักษณะรูปร่างของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่เจริญเติบโตเต็มที่

ภาพถ่าย SEM ของเซลล์ในวันที่ 3, 5 และ 7 หลังจากการเพาะเลี้ยงพบว่า เซลล์ที่เจริญอยู่บน cover glass มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการเกิด interaction กันระหว่างเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้พบว่าเซลล์มีขนาดใหญ่และมีรูปร่างแบนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงผ่านไปจนกระทั่งถึงวันที่ 7 ซึ่งรูปร่างที่สังเกตเห็นนี้แสดงถึงการเกาะของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ส่วนการสังเกตเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่เจริญบนแผ่นฟิล์ม FB/PEO ทั้งสองสูตร พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับบน cover glass คือ เซลล์มีการเจริญเพิ่มจำนวนมากขึ้นและมีการเกิด interaction กันระหว่างเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงเมื่อระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงนานขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเซลล์ที่เจริญบนแผ่นฟิล์ม FB/PEO ส่วนใหญ่ยังคงมีรูปร่างลักษณะคล้ายกระสวยเจริญอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์ม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของ substrates ที่สนับสนุนให้เซลล์สามารถรักษารูปร่างปกติของเซลล์เอาไว้ได้ และถึงแม้ว่าการเจริญเพิ่มจำนวนของเซลล์บนแผ่นฟิล์มจะค่อนข้างช้ากว่าบน cover glass แต่ก็อาจเป็นไปได้ว่าแผ่นฟิล์ม FB/PEO มีความสามารถในการช่วยกระตุ้นให้เซลล์สร้างและหลั่ง extra cellular matrix (ECM) ออกมามากกว่า จะเห็นว่าความสามารถของแผ่นฟิล์มไฟโบรอินผสมสามารถที่จะช่วยเพิ่มจำนวนเซลล์ไฟโบรบลาสต์ได้ คล้ายกับการนำ ไฟโบรอินจากไหมป่า(ไหมที่ไม่ได้กินใบหม่อนเป็นอาหาร) ซึ่งให้ผลดีใกล้เคียงกันกับไฟโบรอินที่ได้จากหนอนไหมบ้าน (Acharya, G, and Kundu, 2009) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่กรรมวิธีการผลิตแผ่นฟิล์มแตกต่างกันโดยใช้ electrospinning (Sugihara, 2000; Min et al., 2004) หรือนำสารไฟโบรอินมาประดิษฐ์เป็นแผ่นฟิล์ม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสมานบาดแผลในสัตว์ทดลอง เช่น สุนัข หนูที่มีการดูความเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภูมิคุ้มกัน(Roh et al, 2006) เป็นต้น

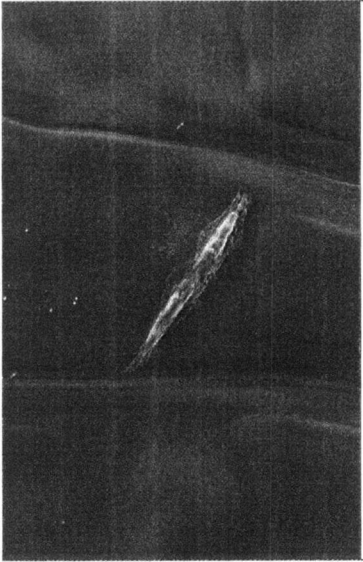
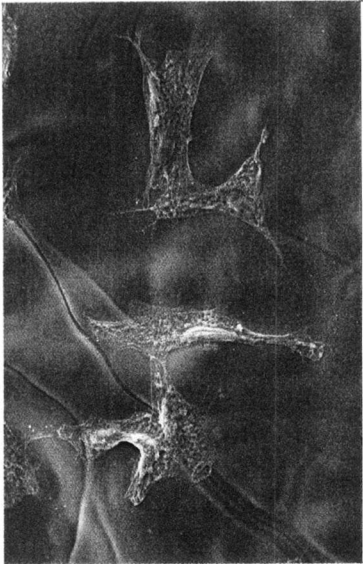
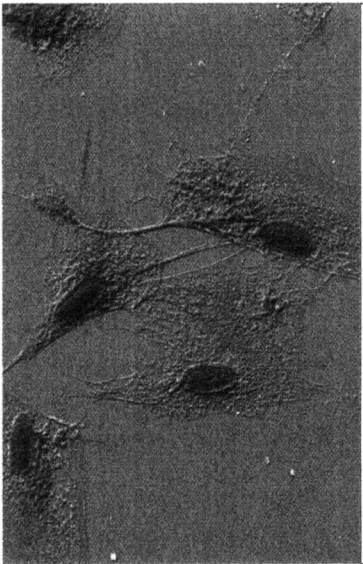
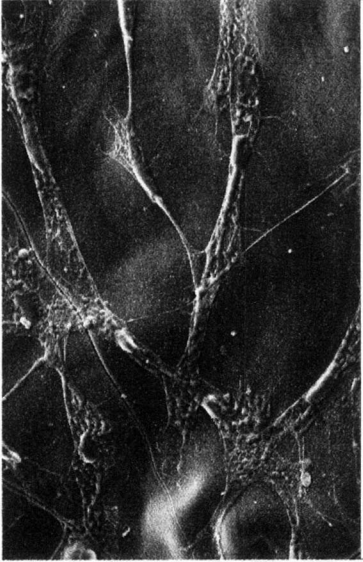
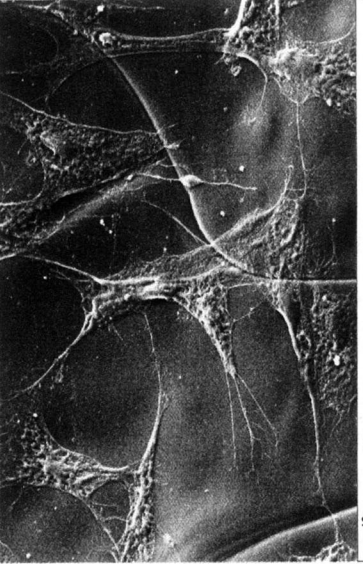
ตารางที่ 4.9 แสดงรูปร่างลักษณะของเซลล์ที่ยึดเกาะอยู่บน substrates แต่ละชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ

Cell seeding/ culturing time point		Type of substrate	
Control (no cell seeding)	Cover glass	Film FB/PEO (90:10)	Film FB/PEO (85:15)
			
2 h			

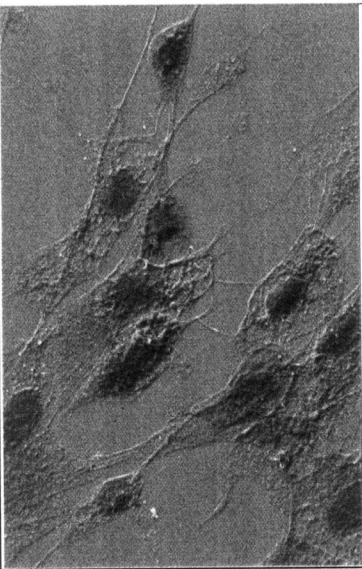
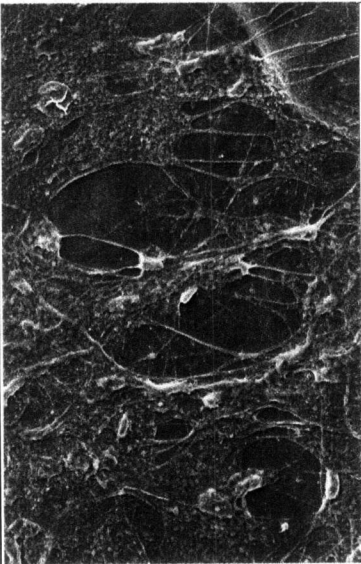
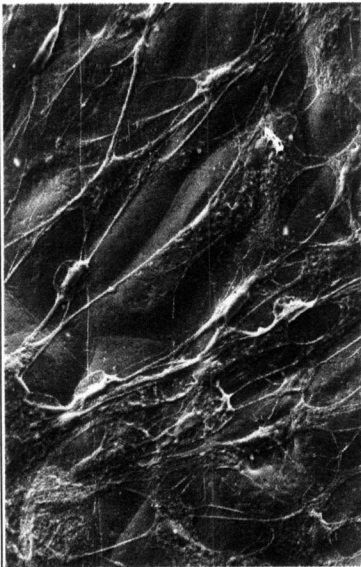
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Type of substrate			
Cell seeding/ culturing time point	Cover glass	Film FB/PEO (90:10)	Film FB/PEO (85:15)
	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A
24 h or 1 d	 20µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 20µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 11 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Type of substrate				
Cell seeding/ culturing time point	Cover glass	Film FB/PEO (90:10)	Film FB/PEO (85:15)	
3 d	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	
5 d	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Mag = 500 X WD = 10 mm Signal A = SE1 Spot Size = 300 FII = 2.589 A	

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Cell seeding/ culturing time point	Type of substrate		
	Cover glass	Film FB/PEO (90:10)	Film FB/PEO (85:15)
7 d	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Signal A = SE1 FI I = 2.569 A Mag = 500 X WD = 10 mm Spot Size = 300	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Signal A = SE1 FI I = 2.569 A Mag = 500 X WD = 10 mm Spot Size = 300	 10µm EHT = 10.00 kV Scan Speed = 8 Signal A = SE1 FI I = 2.569 A Mag = 500 X WD = 10 mm Spot Size = 300