บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม คืออะไร

กรมหม่อนไหม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ให้นิยามคำว่า "ไหม" ดังนี้

ไหม คือ เส้นใยที่พ่นออกมาจากปากของตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย เพื่อมาห่อหุ้มตัว ป้องกันศัตรูทางธรรมชาติในขณะที่หนอนไหมลอกคราบจากหนอนไหมเป็นตัวดักแด้ และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หนอนไหมเป็นแมลงชนิดหนึ่งซึ่งมีการเจริญเติบโตจากไข่ไหม (ขนาดเท่าเมล็ดงา) และเป็นตัวหนอนไหม ในขณะที่เป็นตัวหนอนไหมจะเจริญเติบโตโดยการลอกคราบประมาณ 3-4 ครั้งในระยะเวลาประมาณ 20-22 วัน และจะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 10,000 เท่า โดยการกินอาหารเพียงอย่างเดียว คือใบหม่อน และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จะหยุดกินอาหาร แล้วพ่นเส้นใยออกมาห่อหุ้มตัวเอง ที่เราเรียกว่ารังไหม ซึ่งมีลักษณะกลมรีคล้ายเมล็ดถั่ว และหากเรานำรังไหมมาต้มในน้ำที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 80°C ขึ้นไป จะสามารถทำให้กาวไหม (sericin) อ่อนตัวและดึงออกมาเป็นเส้นยาวได้ ความยาวของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และการดูแลในช่วงที่เป็นหนอนไหม

สายพันธุ์ไหมในโลกนี้มีการแบ่งตามมาตรฐานของนักวิทยาศาสตร์ได้หลายอย่าง เช่น แบ่งตามจำนวนครั้งในการลอกคราบของหนอนไหม แบ่งตามสีของรังไหม แบ่งตามรูปร่างของรังไหม แบ่งตามถิ่นกำเนิด และแบ่งตามจำนวนครั้งในการฟักของไข่ไหมใน 1 ปี

การแบ่งตามจำนวนครั้งในการฟักไข่ใน 1 ปี อาจจะ 1 ครั้งหรือหลายครั้งซึ่งลักษณะของสายพันธุ์ที่มีการฟักของไข่ไหมที่ต่างกัน ก็บ่งบอกถึงลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันไปด้วย รวมทั้งผลจากสภาพแวดล้อมก็จะแตกต่างกันไปด้วยตามสายพันธุ์ ในปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการฟักของไข่ไหมสายพันธุ์ที่ฟักปีละ 1 ครั้ง เราสามารถฟักได้หลายครั้งขึ้นตามความต้องการ แต่ประเด็นของการแบ่งในลักษณะนี้ คือ พันธุกรรมที่อยู่ในแต่ละสายพันธุ์ที่ไม่เหมือนกัน คือ (คลังปัญญาไทย, การเลี้ยงไหม, 2549)

1. Monovoltine (ฟักปีละ 1 ครั้ง) เป็นพันธุ์ที่อยู่ในแถบอากาศหนาว เช่น ประเทศในแถบยุโรป หนอนไหมจะมีอายุยาวกว่าสายพันธุ์อื่น หนอนไหมมีขนาดตัวใหญ่ให้เส้นไหมมีคุณภาพดีแต่หนอนไหมไม่แข็งแรง โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้นความยาวเส้นไหมต่อรังประมาณ 1,200-1,500 เมตร

2. Bivoltine (ฟักปีละ 2 ครั้ง) เป็นพันธุ์ที่อยู่ในแถบอากาศอบอุ่นเช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี หนอนไหมมีอายุสั้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ Monovoltine หนอนไหมแข็งแรง แต่เส้นไหมมีคุณภาพ ด้อย

กว่า Monovoltine ดังนั้นจึงนิยมนำมาผสมกับ Monovoltine เพื่อให้ได้พันธุ์ไหม ที่มีคุณภาพเส้นไหมที่ดีขึ้น รังไหมมีสีขาว เหมาะสำหรับเลี้ยงในประเทศเขตอบอุ่น และนิยมเลี้ยงในฤดูร้อนของประเทศในเขตอบอุ่น ความยาวเส้นไหมต่อรังประมาณ 1,000 -1,200 เมตร

3. Polyvoltine (ฟักปีละหลายครั้ง) เป็นพันธุ์ไหมที่อยู่ในแถบอากาศร้อนชื้นเช่น ไทย ลาว หนอนไหมมีอายุสั้นกว่าทั้ง 2 สายพันธุ์ข้างต้น และมีความแข็งแรงมาก รังมีขนาดเล็ก รังไหมมีทั้งสีขาวและสีเหลือง สามารถสาวเป็นเส้นไหมได้ปริมาณน้อย แต่เส้นไหมมีความมันเงาสูง แต่จะมีปุ่มปมมาก และเป็นสายพันธุ์ที่ไม่สามารถ Hibernate (จำศีล) ได้เหมือน 2 สายพันธุ์ข้างต้น ดังนั้นไข่ไหมจึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้ ต้องใช้ไข่ไหมต่อเนื่องทั้งปี ความยาวเส้นไหมต่อรังประมาณ 200-400 เมตร

ดังนั้นสายพันธุ์ไหมที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน จึงมีการนำสายพันธุ์ต่างๆ มาผสมกัน เพื่อให้ได้ลูกผสมที่ตรงตามความต้องการ และลูกผสมที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาสายพันธุ์คือ ลูกผสมของพันธุ์จีนกับพันธุ์ญี่ปุ่น ซึ่งอาจจะเป็น Bivoltine อย่างเดียวกัน หรือมีการผสมโดยเลือดของ Monovoltine เข้าไปบ้างเพื่อให้รังไหมมีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นไหมมีความยาวมากขึ้น และคู่ที่ผสมที่น่าจับตามองอีกคู่หนึ่งก็คือ การนำสายพันธุ์ Polyvoltine ไปผสมกับสายพันธุ์ Bivoltine จนสามารถได้ลูกผสมที่มีความยาวเส้นไหมต่อรังที่ 900-1,200 เมตร รังมีขนาดใหญ่หนอนไหมแข็งแรง สามารถเลี้ยงได้ในสภาพอากาศร้อนชื้น รังไหมที่ได้อาจมีทั้งสีขาวหรือสีเหลือง แล้วแต่ความต้องการในการพัฒนา และที่สำคัญ เส้นไหมที่ได้จะมีความมันเงาสูง เส้นเรียบสม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับเส้นไหมจากพันธุ์ลูกผสมอื่นๆ จึงน่าจะเป็นอนาคตของอุตสาหกรรมไทย ที่จะหันมาพัฒนาสายพันธุ์และส่งเสริมการใช้เส้นไหม ที่เป็นทั้งพันธุ์ไทยพื้นเมือง ที่มีเอกลักษณ์ดั้งเดิมของไหมไทย และการส่งเสริมการใช้เส้นไหมที่มีการพัฒนาจากพันธุ์ไทยที่เป็นลูกผสมที่จะสามารถนำมาทำเป็นสินค้าได้หลากหลาย สามารถใช้เป็นเส้นยืนได้ ทำให้สร้างความแตกต่างให้กับสินค้าไหมไทยได้อีกด้วย

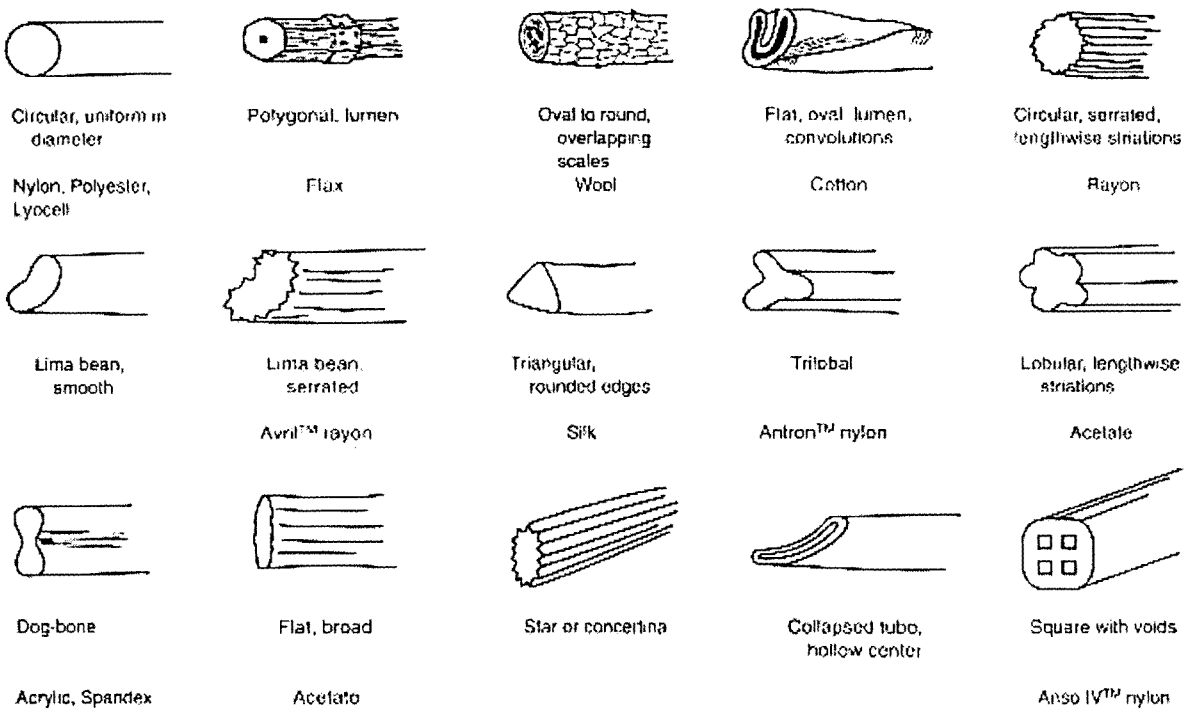
พันธุ์ไทยพื้นบ้าน เป็นพันธุ์ไหมดั้งเดิมของไทยที่มีการอนุรักษ์สืบทอดกันมา รวมทั้งพันธุ์ไหมที่มีการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติดีขึ้น โดยมีการพัฒนาพันธุ์ในประเทศไทยที่ใช้เฉพาะพันธุ์ไหมไทยดั้งเดิมเป็นเชื้อพันธุ์เท่านั้น (สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติฯ, 2549) คุณลักษณะรังไหมมีสีเหลือง รูปร่างคล้ายกระสวย ให้เส้นใยยาวประมาณ 250 – 350 เมตรต่อรัง ได้แก่ พันธุ์นางเหลือง, พันธุ์นางลาย, พันธุ์สำโรง, พันธุ์นางน้อยศรีสะเกษ 1 และ พันธุ์สำโรง x นางน้อย ศรีสะเกษ 1 เป็นต้น

พันธุ์ไทยปรับปรุงเป็นพันธุ์ไหมพันธุ์ใหม่ที่พัฒนาหรือปรับปรุงขึ้นในประเทศไทย โดยมีเชื้อพันธุ์ทั้งหมด หรือบางส่วนมาจากพันธุ์ไหมที่มิใช่พันธุ์ไทยพื้นบ้าน (สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติฯ, 2549)

พันธุ์ต่างประเทศเป็นพันธุ์ไหมที่นำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนใหญ่นำเข้าจากสาธารณรัฐประชาชนจีน

2.2 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยไหม

เส้นไหม เป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว คือมีลักษณะเป็นเส้นยาว ซึ่งต่างจากเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นที่มีลักษณะเส้นใยสั้น องค์ประกอบของเส้นไหม จะประกอบไปด้วยโปรตีนไฟโบรอิน (72-81%) และโปรตีนกาวไหมที่อยู่บริเวณรอบนอก ที่เรียกว่า ซิริซิน (19-28%) (Lee et al., 1999) ซึ่งความแตกต่างของเส้นใยไหมกับเส้นใยอื่นๆสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

ที่มา: http://sciencekkws.igetweb.com

นอกจากนี้ในเส้นไหมจะมีไขมัน และน้ำมันอยู่ประมาณ 0.5-1% และสารสีธรรมชาติประมาณ 1-1.4% ปริมาณของกาวไหมจะขึ้นกับพันธุ์ไหม (สิริรัตน์ จารุจินดา, 2548) ส่วนชนิดเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการเอากาวไหมออก จะมีผิวหยาบ ขรุขระ รูปร่างด้านหน้าตัดขวางจะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมบน ความยาวโดยวัดจากการสาวไหมหนึ่งรัง จะยาวประมาณ 1,000-1,300 หลา และบางเส้นอาจจะยาวถึง 3,000 หลา

มีความกว้าง หรือเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 9 -11 ไมครอน เส้นใยเรียบเสมอกันดี มีความมันตามธรรมชาติ ซึ่งอาจมีสีขาวหรือสีครีม หรือสีเหลือง และกรณีพันธุ์ไหมผสม จะมีความยาวเส้นไหมต่อรัง 900 – 1,200 เมตร (จุลไหมไทย, 2548) ยกเว้นเส้นไหมป่าจะมีเส้นใยไม่เรียบ มีสีน้ำตาลและมีความมันน้อย (ศรีนวล แก้วแพรก, 2532) ความเหนียวของเส้นใยไหมเมื่อแห้งจะมีความเหนียว 2.4 – 5.1 กรัมต่อดิเนียร์ เมื่อเส้นไหมเปียกจะมีความเหนียวลดลง 15- 20% การยืดหยุ่นและการยืดได้ของเส้นไหม จะยืดหยุ่นได้ดี และสามารถยืดได้มากเมื่อเส้นไหมเปียก ประมาณ 33 – 35% เมื่อดึงเส้นไหมออก 2% จะหดกลับเข้าที่เดิมเพียง 92% การดูดความชื้น เส้นใยไหม สามารถดูดความชื้นได้ที่สภาวะมาตรฐาน 11% และเมื่อมีอากาศชื้นมากจะสามารถดูดความชื้นได้มากถึง 25-35% คุณสมบัตินี้ทำให้เส้นไหมสามารถดูดย้อมติดสีได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ เส้นไหมสามารถดูดซึมของเหลวที่ไม่บริสุทธ์ได้ เช่น สารจำพวกเกลือของโลหะ ซึ่งเป็นสารที่ทำลายเส้นใยไหม ทำให้เส้นใยไหมแยกตัวและลดความแข็งแรงของเส้นไหมลงได้ (ศรีนวล แก้วแพรก, 2532)

2.3 เส้นใยไหมต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ

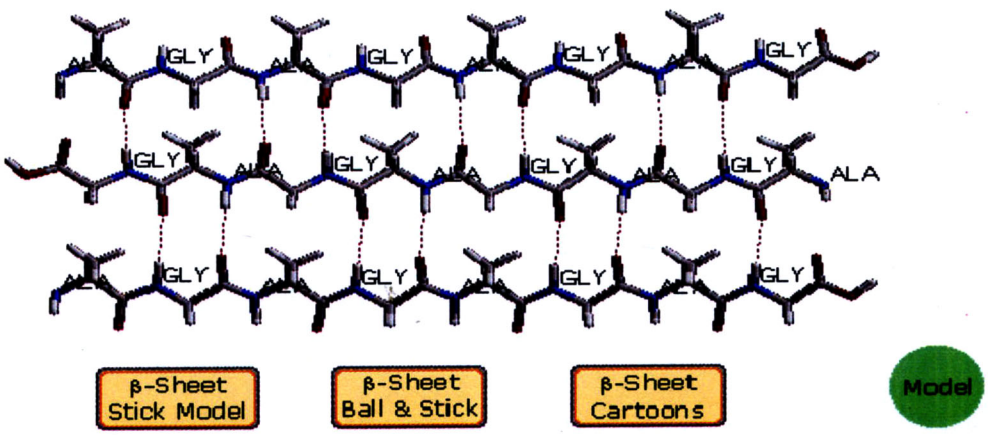
ปฏิกิริยาต่อกรด – เส้นไหมไม่ทนต่อกรดโลหะเข้มข้น จะทำให้ไหมเสื่อมคุณภาพ ส่วนกรดเกลือเข้มข้น จะทำให้เส้นไหมละลายเพราะโครงสร้างโมเลกุลของเส้นไหมจะดูดเอากรดเข้าไปอย่างรวดเร็ว และกรดจะเกาะจับกันแน่น กรดจะไปทำลายโปรตีนไฟโบรอิน แต่กรดอินทรีย์จะไม่ไปทำอันตรายต่อเส้นไหมซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในการตกแต่งผ้าไหม (จุลไหมไทย, 2548)

ปฏิกิริยาต่อด่าง – ไหมไม่ทนต่อด่างแก่ อย่างเช่น สบู่บอแรกซ์และแอมโมเนีย ถ้าไหมสัมผัสกับด่างไม่มาก หรือนานจนเกินไปจะไม่เป็นอันตรายจากโครงสร้างของโมเลกุลของเส้นไหมที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และ แรงแวนเดอวาลส์ เท่านั้น จึงทำให้เส้นไหมเกิดการไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่าง และถ้าปล่อยให้เส้นไหมอยู่ในสารละลายด่างเป็นเวลานาน ๆ ก็จะยิ่งผลทำให้พันธะเปปไทด์ของเส้นไหมเกิดการไฮโดรไลซ์และเส้นไหมก็จะถูกทำลายในที่สุด ความแข็งแรงและความเงามันก็จะลดลง ส่วนการลบรอยเปื้อนของผ้าไหมสามารถใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลบได้ (สิริรัตน์ จารุจินดา, 2548)

การทนต่อแสงแดด – แสงแดดอาจมีผลทำให้ผ้าไหมเปื่อยขาดเร็วขึ้นได้ และเส้นใยไหมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีนัก จึงสะสมประจุไฟฟ้าสถิตได้ ออกซิเจนในอากาศทำให้ไหมแยกตัวและลดความเหนียวลงได้ ดังนั้นจึงควรเก็บผ้าไหมไว้ในที่มิดชิด หรือใส่ถุงพลาสติกผนึกอย่างดี ใยไหมนำความร้อนได้ช้ากว่าใยเซลลูโลส เมื่อเวลาสวมใส่ผ้าไหมจะให้ความอบอุ่นดีกว่าในเซลลูโลส (ศรีนวล แก้วแพรก, 2532)

2.4 ไฟโบรอิน

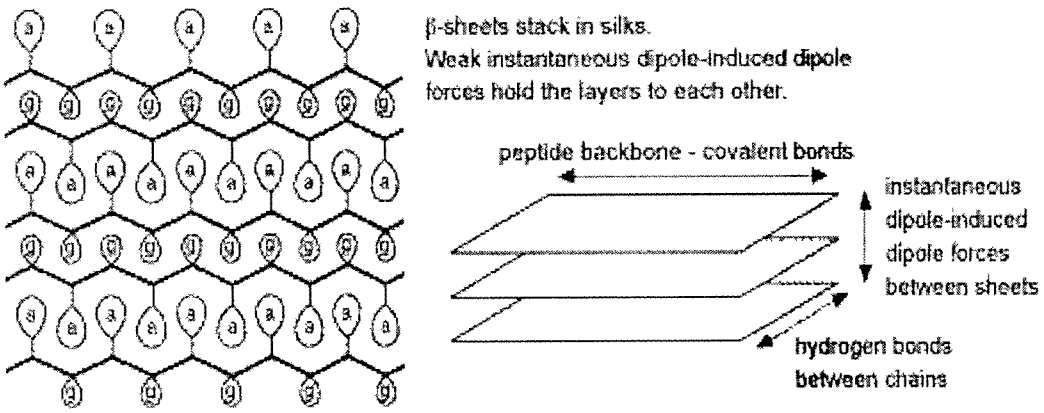
สารไฟโบรอิน เป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเส้นไหม โดยมีขนาดโมเลกุลเชิงซ้อนขนาดใหญ่ของกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด ประกอบด้วยพอลิเปบไทด์ 3 สาย คือ H-chain มีขนาดโมเลกุลประมาณ 350 kDa L-chain มีขนาดโมเลกุลประมาณ 25 kDa และ P25 มีขนาดโมเลกุลประมาณ 30 kDa L-chain จะเชื่อมกับ H-chain ด้วยการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ ส่วน P25 จะเชื่อมกับ H-L complex ด้วยแรง hydrophobic interaction (Tanaka et al.,1999) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของโปรตีนไฟโบรอินประกอบด้วยกรดอะมิโนคือ ไกลซีน (Glycine) อะลานีน (Alanine) เซอรีน (Serine) และไทโรซิน (Tyrosine) ซึ่งเรียงต่อกัน เป็นสายยาว G-Arg-G-T. . . .G-A-G-A-G-S-G-A-G-A-G-A. . . . . .G-T-Arg-G. มีปริมาณไนโตรเจน (N) 17-19% จึงทำให้เส้นไหมแตกต่างจากเส้นใยขนสัตว์ที่เป็นเส้นใยโปรตีนเหมือนกัน (สิริรัตน์ จารุจินดา, 2548) โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินส่วนใหญ่ร้อยละ 60-80 เป็นส่วนของผลึกหรือ Crystalline จึงทำให้ไฟโบรอินไม่ละลายน้ำ หรือคิดเป็น 62% ของ amino acid residue เป็นส่วนของโครงร่างผลึก และส่วนที่ถูกกระจายตัวเป็นโครงร่างที่ไม่เป็นระเบียบ (Non crystalline) มี 40% หลังจากที่แยกส่วนประกอบของไฟโบรอินเป็น large subunit และ small subunit ซึ่งส่วนที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของโครงร่างผลึกใน large subunit เป็น 55:45 (ratio of amino acid residue) ในส่วนที่เป็น Non crystalline จะมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนกว่า ของamino acid รวมทั้ง acidic amino acid และ basic amino acid ซึ่งมีส่วนของ glycine, alanine และ serine (Hojo, 2000)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างพันธะของกรดอะมิโนของไฟโบรอิน แบบ beta-pleated sheet

ที่มา : Natural product chemistry, e-book of Michigan state university department of chemistry, http://www.cem.msu.edu.

ไฟโบรอิน เป็นโปรตีนที่พบในเส้นใยไหม ซึ่งไฟโบรอินเกิดจากต่อมผลิตเส้นใยไหม เมื่ออยู่ในต่อม โปรตีนจะอยู่ในรูปของสารละลาย และเมื่อผลิตออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และมีการเรียงตัวกันแบบอสัณฐาน (amorphous structure) และมีโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นกาวให้โครงสร้างนั้นคงรูปได้ เรียกว่า ซิริซิน (sericin) และสามารถเอาซิริซินออกได้ด้วยการต้มกับน้ำสบู่ที่มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนได้ จะเหลือเพียง ไฟโบรอินซึ่ง มี polypeptides หลายเส้นเป็นองค์ประกอบ แต่ละเส้นมีการจัดเรียงตัวให้มีโครงสร้างเป็นแบบ β-sheet มีกรดอะมิโนขนาดเล็กจำพวกไกลซีนและอะลานีน ซึ่งในโปรตีนไฟโบรอินมีการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนซ้ำ ๆ กัน คือ (-gly-ser-gly-ala-gly-ala)n แต่ละตัวมีการเรียงตัวกันอยู่แบบไม่ขนาน (antipararelle) โดยหันหมู่แทนที่ของอะลานีนเข้าหากัน ในขณะเดียวกันก็หันหมู่แทนที่ของไกลซีนเข้าหากัน ทำให้ความห่างของ β-stand เป็น 3.5 °A เมื่อหมู่แทนที่ไกลซีนหันหน้าเข้าหากัน และเป็น 5.7 °A เมื่อหมู่แทนที่อะลานีน หันหน้าเข้าหากันโดยระหว่าง β-stand เชื่อมกันอยู่ด้วยพันธะไฮโดรเจน โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นได้น้อย ต่างจากโครงสร้างแบบ α- helix พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่าง β-stand นี้เรียกว่า intra hydrogen bond โครงสร้างแบบ β-sheet เมื่อมีปริมาณมากขึ้นเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าชั้น โดยแต่ละชั้นจะยึดกันด้วยแรง dipole force ดังภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3 เป็นสาเหตุให้ผ้าไหมมีลักษณะลื่น และสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้ด้วยการใช้สารเคมีประเภทรุนแรงเช่นโซดาไฟ ที่มีฤทธิ์เป็นด่างมาก ดังนั้น ความเป็นด่างสูง หรือเอนไซม์จำพวก proteinase หรือความร้อนสูงอาจทำให้ มีการทำลายพันธะไฮโดรเจนและแรง dipole มาก และทำให้เกิดการหดตัวและจัดเรียงตัวใหม่อย่างไม่มีระเบียบ (ปวีณา พงษ์ดนตรี, 2549)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างลักษณะของ การจับกันของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน ยึดเกาะกันด้วยแรง dipole และ พันธะไฮโดรเจน

ที่มา : ปวีณา พงษ์ดนตรี (2549)

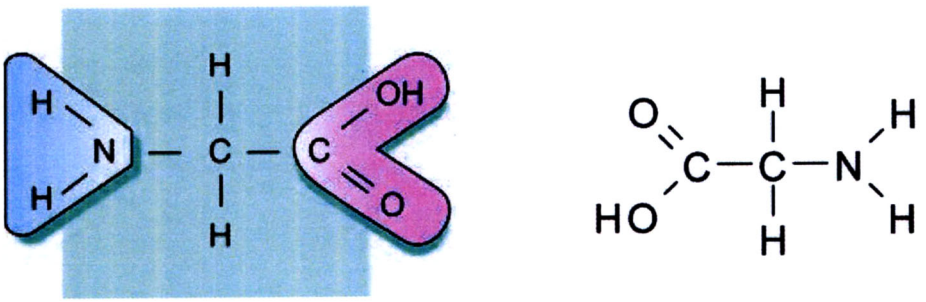
2.4.1 คุณสมบัติที่เป็นสาร antigenotoxic ของสารไฟโบรอิน

Park, Jin and Hyun (2002) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบภายใน fibroin hydrolysate ด้วยกรดออกซาลิก หรือกรดไฮโดรโครลิก และทำปฏิกิริยา hydrolysis ด้วยเอนไซม์ actinase หรือเอนไซม์ alcalase หรือ เอนไซม์ protease อื่น ๆ พบว่าสามารถย่อยไฟโบรอิน ได้กรดอะมิโนจำพวก Alanine, Glycine , Serine, Valine เป็นต้น ซึ่งพบมาก และกรดอะมิโนกลุ่มนี้อาจจะใช้เป็นสาร antigenotoxic อย่างเดี่ยวๆ ได้ ซึ่งสารไฟโบรอิน hydrolysate นั้นอาจจะอยู่ในกลุ่มเดียวกับ Protein hydrolysate อื่น ๆที่มีคุณสมบัติเป็นสาร antigenotoxic หรือสาร antimutagenic ได้แต่ยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดเท่าที่ควร ถึงอย่างไรแล้วโปรตีนไฟโบรอินที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ เป็นแหล่งของ antigenotoxic peptide และสามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคตได้ ซึ่งคุณสมบัติของกรด อะมิโนชนิดต่างๆที่พบในโปรตีนไฟโบรอินจะมีประโยชน์ และเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นร่างกายได้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและคุณประโยชน์ของกรดอะมิโนในโปรตีนไฟโบรอินที่มีต่อร่างกาย

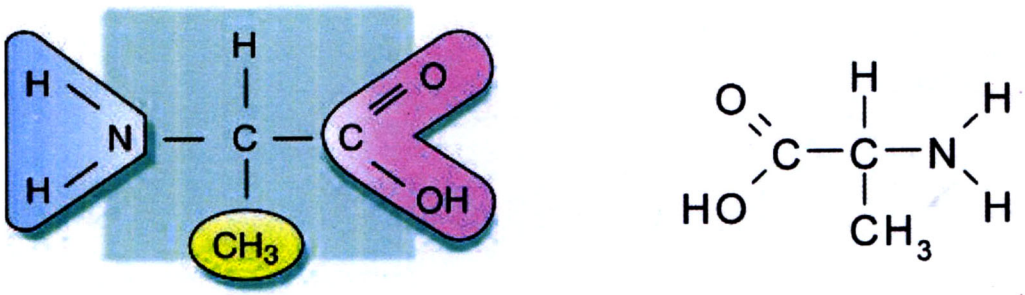
ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine	- ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล - ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับและช่วยสร้างฮอร์โมนที่เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง
Alanine	- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ,สมองและระบบประสาทส่วนกลาง - ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น - ช่วยในกระบวนการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์
Serine	- เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาล glucose ในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของ Insulin เป็นการลดน้ำตาลในเลือดซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย - ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น - สังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ nerve fibers
Aspartic acid	- ช่วยขับไล่อาการบาดเจ็บและสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, http://www.moac.go.th/builder/mu/index.php.



ภาพที่ 2.4 Glycine structure

ที่มา : http://psychology.wikia.com; http://medical-dictionary.thefreedictionary.com



ภาพที่ 2.5 Alanine structure

ที่มา : http://psychology.wikia.com; http://medical-dictionary.thefreedictionary.com

ภาพที่ 2.6 Serine structure

ที่มา : http://psychology.wikia.com; http://medical-dictionary.thefreedictionary.com

2.5 การใช้ประโยชน์จากโปรตีนไฟโบรอิน

จากองค์ประกอบภายในของไหม ทำให้ทราบว่าไหม สามารถนำมาประยุกต์ใช้จากคุณสมบัติที่ได้จากการรวบรวมข้อมูล สามารถแบ่งประโยชน์การนำไปใช้ได้ดังนี้

2.5.1. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (Cosmetic materials)

เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของผงโปรตีนไฟโบรอิน หรือ fibroin powder ได้มีการวางขายในท้องตลาดแห่งแรกมาแล้วกว่า 30 ปีและปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางชนิดต่างๆได้นำเอาผงโปรตีนไฟโบรอินเข้าร่วมเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น ครีม โลชั่น แป้งแข็ง แป้งฝุ่น hair cream, hair rinse (Nasuno and Otoi, 1983; Grillier, 1999) ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของโปรตีนไฟโบรอินจะช่วยให้เนื้อแป้งหรือ เนื้อครีมเกาะติดกับผิวหนังได้ดี ติดทนนานไม่หลุดลอกเมื่อสัมผัสกับเหงื่อ สามารถช่วยรักษาความชุ่มชื้นของผิวไว้ได้นานและมีความคงตัวดีเยี่ยม (Kiyoshi and Osami, 1990) ป้องกันผิวจากรังสี ช่วยให้เม็ดสีเมลานินกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผิวเรียบเนียนและดูสว่างใสอย่างเป็นธรรมชาติ ช่วยรักษากลิ่นน้ำหอมของเครื่องสำอางให้คงทน และยังสามารถเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีสีสันสำหรับ eye color, eye liner และ powder brush (Ichiro et al., 1999) และผสมไฟโบรอินในลิปสติก (Toru, 1992) ซึ่งสารไฟโบรอินจะจับตัวกับเม็ดสีหรือสารสีเพื่อให้โทนสีมีความคงตัว สีสวย กระจ่างใสทนต่อความร้อน แสง เกาะติดผิวได้ดี ไม่หลุดออกเมื่อเหงื่อออก นอกจากนี้ สามารถเพิ่ม amorphous silk fibroin ในสารจำพวก emulsifier เพิ่มสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ emulsifying force ซึ่งจะช่วยในเรื่องลักษณะเนื้อสัมผัสของเครื่องสำอางและ ช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของเซลล์ผิวหนังได้ดี ซึ่งจะสามารถผสมระหว่างเฟสของน้ำและไขมันในเครื่องสำอาง ซึ่งมีผลดีเยี่ยมในการดูแลผิวพรรณ (Kozo and Shiyouko, 2005) ส่วนคุณสมบัติการเกิดเจลของไฟโบรอินในสภาวะที่เป็นกรด สามารถที่จะผสมรวมตัวกันกับ polyol และทำให้ได้เจลที่มีความกระด้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเจลทั่วไป ซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางเพราะสามารถกระจายตัวและ ยึดเกาะผิวหนังและเส้นผมได้ดี และมีกรรมวิธีที่ผลิตที่ง่ายและลงทุนต่ำ (Toshio and Kazuo, 2005)

นอกจากนี้บริษัท Kanebo จำกัด มีการพัฒนาเครื่องสำอางหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหน้า จากผงโปรตีนไฟโบรอิน ทั้งนี้เพิ่มเพิ่มภาพลักษณ์ที่เลิศหรูให้แก่ไหม ซึ่งโดยปกติแล้วสิ่งสกปรกที่เป็นโปรตีนจากผิวหนังที่ตายแล้วไม่สามารถถูกกำจัดได้ด้วยสบู่ แต่สามารถกำจัดได้ด้วยเอนไซม์ โปรติเอสทำการไฮโดรไลส์สิ่งสกปรกจากโปรตีนดังกล่าว โดยความเป็นจริงแล้ว เครื่องสำอางแบบเดิมก็มีส่วนผสมของเอนไซม์โปรติเอส แต่เมื่อเวลาผ่านไป แอคติวิตี้ของโปรติเอสก็จะเปลี่ยนแปลง

ไปด้วย โดยเฉพาะเมื่อปล่อยให้โปรติเอสอยู่กับสารลดแรงตึงผิวในภาวะเปียก บริษัท Kanebo จำกัด จึงได้พัฒนาเทคนิคการตรึงเอนไซม์โปรติเอสในไฟโบรอินของไหม ซึ่งจะมีความคงตัวต่อความร้อนและแอคติวิตี้ต่อการไฮโดรไลส์ก็จะมีความคงทนเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากไฟโบรอินจะป้องกันโปรติเอสจากความร้อนและความชื้นนั่นเอง โดยแอคติวิตี้ต่อการไฮโดรไลส์ของโปรติเอสจะเปลี่ยนแปลงไปเพียง 10% หลังจากที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C นาน 300 วัน Fresh-up powder ผลิตได้จาก granules ของของผสมระหว่าง proteinase-encapsulated fibroin powder และสารลดแรงตึงผิว

2.5.2. อุตสาหกรรมอาหาร (Food material)

ในอุตสาหกรรมอาหาร โปรตีนไฟโบรอินมีส่วนช่วยในการเกิดโฟมและเพิ่มความคงตัวของอาหารที่มีลักษณะโฟม (Yoshiharu, 1998) ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะ sponge cake foam ได้มีการผลิตสารละลายไฟโบรอินจากไหมเพื่อใช้เป็น Foamed food material และในกระบวนการผลิต Thin Japanese noodles ได้เพิ่มไฟโบรอินเพื่อให้ลักษณะความยืดหยุ่นของเส้นดีขึ้นและรสชาติที่ดีขึ้น (Yasuko, 1998) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยการเติมสารละลายไฟโบรอินลงไปในผลิตภัณฑ์และในกรณีที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายเจลจะต้องปรับค่า pH ของส่วนผสมลงที่ค่าใกล้เคียง 4 ซึ่งเป็นจุด isoelectric point ทำให้ ได้เจลของไฟโบรอิน ซึ่งนำมาทดลองผลิตเครื่องดื่มชนิด extremely soft เช่น น้ำผลไม้ ซุป และเครื่องดื่มธัญญาหารเพื่อสุขภาพอื่นๆ รวมทั้งอาหารเสริมสุขภาพ และให้ลักษณะตามที่ผู้บริโภคต้องการ (Kiyoshi, 1989) นอกจากผสมลงในอาหารแล้ว ยังสามารถผลิตเป็นฟิล์มเคลือบเพื่อรักษาความสดในอุตสาหกรรมประมง ได้ เมื่อเทียบกับสารต่าง ๆ เช่น สารพอลิเมอร์ ฝ้าย ป่าน ปอ ประดายเคลือบไข และสารละลายเกลือ พบว่า การเคลือบด้วยฟิล์มไหม สามารถรักษาความสดของกุ้งสดได้นานถึง 9 วันดีกว่าวัสดุชนิดอื่น และดีกว่าน้ำแข็งที่รักษาความสดไว้ได้เพียง 7 วัน (กรมหม่อนไหม ,กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552)

2.5.3. เยื่อเลือกผ่าน (Membrane Materials)

เยื่อเลือกผ่านซึ่งสามารถที่จะผลิตได้จากโปรตีนไฟโบรอินเพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารประกอบที่ผสมกันอยู่ได้ เช่นการศึกษาของ Hirotsu and Nakajima (1994) ได้นำโปรตีนไฟโบรอินมาผลิตเป็นเยื่อเลือกผ่าน เพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารประกอบที่ผสมกันอยู่ เช่น การศึกษาของ Hirotsu and Nakajima (1994)ได้นำโปรตีนไฟโบรอินชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ผลิตเป็นเยื่อเลือกผ่าน พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ได้มีคุณสมบัติ แยกของผสมระหว่างน้ำและแอลกอฮอล์ได้ แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะผลิตเยื่อเลือกผ่านจากโปรตีนไฟโบรอินบริสุทธิ์ เนื่องจากกรดอะมิโนที่ประกอบในโครงสร้างของ

ไฟโบรอินจะมีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีหมู่ฟังก์ชันเป็น neutral polar ดังนั้น จึงต้องนำเอาโปรตีนไฟโบรอินมาผสมกับ crosslink agent เพื่อก่อให้เกิดการ copolymerized กับสารประกอบตัวอื่น ซึ่งจะส่งผลต่อเยื่อเลือกผ่านที่ผลิตขึ้นจากโปรตีนไฟโบรอินมีคุณสมบัติในการชอบน้ำ (Hydrophilic) เยื่อเลือกผ่านที่ผลิตได้จะมีความสามารถในการแยกน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์ได้

2.5.4. วัสดุชีวภาพทางการแพทย์ (Medical biomaterials)

Tsubouchi (1999a) ได้พัฒนาวัสดุปิดรแผล (wound dressing) ใช้โปรตีนทั้งส่วนที่เป็นโปรตีนซิริซินและโปรตีนไฟโบรอิน พบว่ามีส่วนช่วยให้แผลหายสนิทโดยไม่ก่อให้เกิดการหลุดลอกของผิวหนังเมื่อเปิดวัสดุปิดปากแผลออก ซึ่งเริ่มจากการศึกษาวัสดุปิดปากแผลที่เป็น non-crystalline fibroin film ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 3 -16% และมีความหนาที่ประมาณ 10 – 100 μm จากนั้นทำการศึกษาวัสดุปิดปากแผลที่มีส่วนผสมระหว่างโปรตีนไฟโบรอิน และโปรตีนซิริซิน (Tsubouchi, 1999b) โดยฟิล์มดังกล่าวมีระดับความเป็น crystalline < 10% และความหนา 10 – 30 μm มีความหนาแน่น 1,100 – 1,400 kg/m^2 ซึ่งวัสดุปิดปากแผล ดังกล่าว สามารถละลายน้ำได้น้อยกว่า 10% ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากที่มีการผลิตแผ่นฟิล์มที่ใช้เป็นฟิล์มผสมเคลือบบาดแผลที่เลือกใช้สารพอลิเมอร์ผสมกับโปรตีนไฟโบรอิน จะสามารถปรับปรุงให้อยู่ในระดับโมเลกุลที่จะยึดติด หรือสามารถที่จะเคลือบบนผิวหนังได้ดีทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สารพอลิเมอร์ด้วย (Um and Park, 2007)

จากการศึกษาวิจัยของกลุ่มนักวิจัยต่างประเทศได้ทำการจดสิทธิบัตรกรรมวิธีการผลิตเวชภัณฑ์ทางการแพทย์จากไฟโบรอิน ได้แก่ การผลิตที่นำเอาโปรตีนไฟโบรอินและไฟบริโนเจนของมนุษย์ผสมกันเพื่อใช้ในการศัลยกรรม ผลของการวิจัยพบว่าเวชภัณฑ์ที่ผลิตได้สามารถเข้ากันได้ดีกับเซลล์ (living organism) และยึดเกาะกับผิวได้ (Iwatsuki et al., 1989) นอกจากนี้ยังผลิตเป็นที่ปิดบาดแผล (wound dressing material) บริเวณผิวหนังที่เกิดจากการไหม้ (Sugihara et al., 2000) ช่วยในการปกป้องผิวสำหรับคนที่แพ้เครื่องสำอาง ชุดชั้นในและถุงเท้า ด้วยการนำเอาโปรตีนไฟโบรอินและซิริซินมาผสมกันทำให้เกิดการเป็นฟิล์ม โดยฟิล์มที่ผลิตได้ไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง สามารถยืดหยุ่นพอเพียงกับการเคลื่อนไหวของผิวหนัง (Tsubouchi, 2001) การใช้เป็นวัตถุดิบกระตุ้นในการเพิ่มเซลล์ของหนังกำพร้า โดยการนำไฟโบรอินมาผลิตเป็นฟิล์ม แล้วปรับความชื้นของฟิล์มที่ได้จากไฟโบรอินให้ได้ความชื้น 40% เติม human epidermal cell แล้วทำการบ่มเซลล์หนังกำพร้า ซึ่งจากการวิจัยได้ผลว่า เซลล์หนังกำพร้าที่ได้มีการเพิ่มขึ้นของเซลล์ 98% (Tsubouchi et al., 2002)

วัสดุปิดแผลจะเป็นวัสดุที่ใช้ปิดแผลเพื่อบรรเทาความเจ็บปวด หรือดูดซับสิ่งคัดหลั่งที่ออกมาจากบาดแผลของผู้ป่วย และป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกที่จะสัมผัสกับบาดแผลได้ ซึ่งวัสดุปิดแผลที่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 15 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 244846

ใช้ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของบาดแผล ความลึก การฉีกขาดของเนื้อเยื่อ ซึ่งวัสดุปิดแผลที่ใช้มีหลายชนิด อย่างเช่น กาวสังเคราะห์ทางการแพทย์หรือกาวติดเนื้อเยื่อ (Medical adhesive/tissue adhesive) คือ กาวไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate) เกรดที่ใช้ทางการแพทย์ เพื่อนำมาใช้ติดเนื้อเยื่อแทนการเย็บแผล หรืออาจจะใช้ร่วมกันกับการเย็บแผล เมื่อกาวได้รับความชื้นหรือน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นสร้างฟิล์มที่ยืดหยุ่นขึ้นมาเชื่อมเนื้อเยื่อที่อยู่ข้างใต้ผิวหนัง หรือบาดแผล เพื่อสมานปิดแผล ป้องกันการปนเปื้อนของจุลชีพได้ด้วย (มาริสา คุณธนวงศ์, 2552)

นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรตีนไฟโบรอินผสมเป็น fibroin membrane สามารถที่จะสร้าง guided bone ใหม่ โดยที่ศึกษาค่าของ biocompatibility ของ silk fibroin nanofiber membrane และตรวจผลของการงอกของกระดูก ใน rabbit calvarial model ซึ่งในระยะเวลา 8 สัปดาห์จะเริ่มเห็นความเปลี่ยนแปลงของการรวมกันของเนื้อเยื่อกระดูก และที่ระยะเวลา 12 สัปดาห์จะเห็นผลของการสมานตัวของกระดูกใหม่ได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับมนุษย์ได้ในอนาคต (Kim et al., 2005) และได้มีการศึกษาการประดิษฐ์เส้นประสาทเทียมโดยที่ผสมโปรตีนไฟโบรอิน เพื่อใช้ในการเชื่อมเส้นประสาทเทียม เข้ากับเส้นเลือด และ fiber scaffold ซึ่งจะช่วยในการเชื่อมยึดติดของเนื้อเยื่อระหว่างท่อเส้นประสาทได้ (Gu et al., 2008)

นอกจากนี้ พบว่ากรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินคือ glycine จะช่วยให้คอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และ alanine จะช่วยตับทำงาน เช่น ช่วยให้อาการเมาค้างกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกัน serine จะกระตุ้นทำงานของสมองในผู้สูงอายุ ไฟโบรอินจากไหมยังมีศักยภาพในการพัฒนา เป็น biosensors เพื่อตรวจจับ antibodies ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยโรคมะเร็งและโรคเอดส์ได้ ไหมได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนได้รับการขนานนามอีกอย่างหนึ่งว่า "เส้นใยสุขภาพ(health fiber)" (กรมหม่อนไหม, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552).

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการวิจัยการผลิตฟิล์มจากไฟโบรอินสำหรับใช้เป็นเวชภัณฑ์ทางการแพทย์มากเท่าที่ควร ส่วนใหญ่จะเน้นการผลิตเพื่อเป็นวัตถุดิบส่งออก ทำให้ไม่ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆรวมทั้งทางด้านการแพทย์ เป็นเหตุให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเวชภัณฑ์ดังกล่าวมาจากต่างประเทศและสูญเสียเงินจำนวนมาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการคิดค้นกรรมวิธีการผลิตที่นำวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเหมาะสมกับการนำไปใช้ในด้านการเป็นเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ ไม่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

2.6 การละลายไหม

เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงมาก กรรมวิธีการละลายไหม จึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย สำหรับนักวิจัยจึงมีการทดลองและศึกษา กรรมวิธีละลายเส้นไหม เพื่อจะนำสารละลายไหมไปใช้ในการศึกษาองค์ประกอบ หรือนำไปพัฒนาเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ ดังนั้น

2.6.1 การเตรียมตัวอย่างสารละลายไฟโบรอิน

สามารถเตรียมได้หลายวิธี ซึ่งเส้นไหมหรือ ไหมนั้น เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นผลึกไม่ละลายน้ำ มีแรงตึงสูง จับกับไขมันได้ดี มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญหลายชนิด ยิ่งกว่านี้ไหมเป็นโปรตีนที่เข้ากับร่างกายของมนุษย์ได้ดี การแพ้พบน้อยมาก ดังนั้นเราจึงพบว่าไหมถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเย็บแผล และอื่นที่ต้องสัมผัสกับอวัยวะของเรา จากการศึกษาข้อมูลในต่างประเทศพบว่ามีการคิดค้นวิธีการละลายไหมแบบต่าง ๆ ได้บ้าง ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จะพยายามลดข้อด้อยของวิธีที่ค้นพบมาก่อนหน้านี้แล้ว ทำให้ได้ผลผลิตที่สูง เหมาะสมที่จะนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป โดยจะทำออกมาในรูปของฟิล์มที่มีคุณสมบัติช่วยเร่งการหายของแผลที่ผิวหนังเป็นเบื้องต้นก่อน โดยที่ Yamada et al. (2001) ใช้สารละลาย Ajisawa's reagent ผสมกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมออกแล้ว ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75°C พร้อมกับคนให้เข้ากันจนได้สารละลายใส จากนั้นทำ dialysis ผ่านcellulose tube ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนหรือน้ำกลั่น และตรวจสอบผลสารละลายที่ผ่าน dialysis ด้วยสารละลาย $AgNO_3$ ให้ผล negative จะได้สารละลายไฟโบรอินบริสุทธิ์ หรือ

วิธีตามที่ Miyaguchi and Hu (2004) ทำละลายเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมออกแล้วด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ผสมกับสารละลาย Ethanol 20% (v/v) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 1-5 ชั่วโมง จากนั้นทำ dialysis ผ่าน cellulose ด้วยน้ำกลั่น หรือน้ำที่ปราศจากไอออน 4°C เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำสารละลายที่ผ่าน dialyzed ไป centrifuged ที่ 8000 g นาน 15 นาที จะได้สารละลายใสของไฟโบรอินอยู่ส่วนบน หรือ

วิธีจาก Kino et al. (2007) ทำละลายเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมโดยใช้ Marseilles soap (Alkaline soap) ด้วยสารละลาย LiBr ความเข้มข้น 9 M ที่อุณหภูมิ 40°C จากนั้นทำ dialysis ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน จะได้สารละลายไฟโบรอินใส หรือ

ตามวิธีของ Lin et al. (2008) ได้นำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมออกแล้ว ผสมกับสารละลายผสมต่อโมล $CaCl_2$: H_2O:C_2H_5OH (1:8:2) ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที จากนั้นกรองแล้วทำ dialysis กับน้ำบริสุทธิ์โดยผ่านเมมเบรนเป็นเวลา 3 วัน จะได้สารละลายไฟโบรอิน จากนั้นนำ

สารละลายที่ได้มาทำแห้งด้วยวิธี freeze dry จะได้ผงไฟโบรอินหรือ fibroin powder ที่มีมวลโมเลกุล 5,000 – 30,000 Mw จะเห็นว่าสารละลายไฟโบรอิน สามารถเตรียมได้หลายแบบจากที่ได้กล่าวขั้นต้น

2.6.2 การเตรียมตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอิน

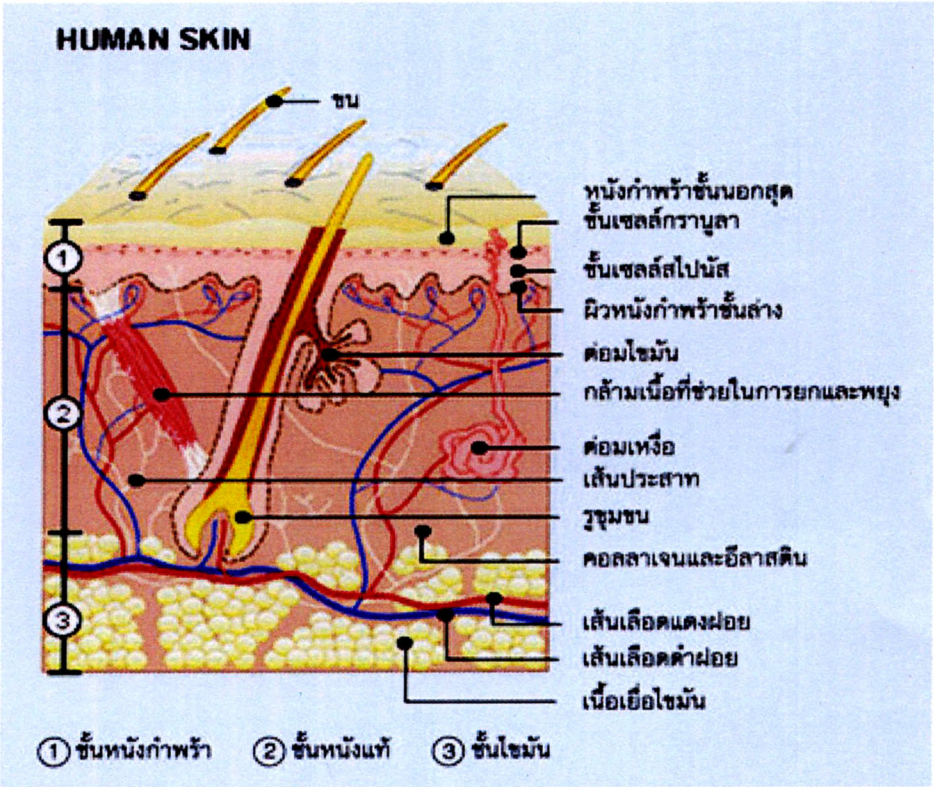
ในส่วนของการเตรียมตัวอย่างแผ่นฟิล์มไฟโบรอินสามารถเตรียมได้หลายแบบ ยกตัวอย่างเช่น การเตรียมโดยใช้สารละลายไฟโบรอินบริสุทธิ์ และจากสารละลายผสมโดยเอาสารละลายไฟโบรอินบริสุทธิ์ผสมกับสาร polymer ตัวอื่นๆ เพื่อใช้ในการขึ้นรูปของแผ่นฟิล์ม ตามที่ US Patent 5951506 (1999) เตรียมแผ่นฟิล์มไฟโบรอินโดย นำสารละลายไฟโบรอินที่ได้ (เข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก) มาเทเคลือบลงบน flat plastic plate จากนั้นทำแห้งด้วยวิธีใช้ลมเป่าที่อัตราเร็วลม 20-40 cm/sec.ในchamber ที่มีอุณหภูมิ 20°C ความชื้น 65% RH จะได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาที่ 10μm หรือนำสารละลายไฟโบรอินบริสุทธิ์ มาเทเคลือบลงบน poly stylene plate แล้วระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องหรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง(Tohru et al., 2007) หรือทำแห้งแผ่นฟิล์มโดยอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจัดเก็บแผ่นฟิล์มที่ vacuum ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง (Jinwei et al., 2002) ส่วนแผ่นฟิล์มที่ได้จากผสมของสาร polymer และไฟโบรอินบริสุทธิ์ อย่างเช่น ผสมสารละลายไฟโบรอิน เข้มข้น 10% กับตัว cross-linked agent (a water soluble epoxy resin) 20% กับสารละลาย PVA (Poly vinylalcohol) 10% ตามสัดส่วนต่างๆ แล้ว เทลงบน Stainless steel dish ทำแห้งด้วยวิธี freeze dry สลับกับตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Mingzhong et al., 2002) เป็นต้น

2.7 ผิวหนัง

ผิวหนังเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดในการปกคลุมอวัยวะของร่ายกาย ประกอบไปด้วยชั้น epidermis ชั้นหนังกำพร้า (หรือชั้น ectodermal ของตัวอ่อนในครรภ์) และชั้น dermis หนังแท้ (ชั้นmesodermal ของตัวอ่อน) สองชั้นของผิวหนังมีชั้นที่เกี่ยวกับ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันหลวมๆ เนื้อเยื่อไฟโบรบลาสต์ เซลล์เต้านม เซลล์ macrophages และชั้นที่ไขว้กันประกอบด้วยความผิดปกติของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีเส้นใยหนาแน่นมากขึ้น และเซลล์น้อยลงซึ่งมอบความยืดหยุ่นให้กับผิว ซึ่งโครงสร้างของผิวหนัง จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยผิวหนัง แบ่งได้เป็น 3 ชั้นดังภาพที่ 2.7

1. ชั้นบนสุด เรียกว่า หนังกำพร้า (epidermis) เป็นชั้นที่เรามองเห็นอยู่ด้านนอกสุด หนังกำพร้า (Epidermis) เป็นชั้นของ ผิวหนังที่ปกคลุมอยู่บนสุดจะประกอบไปด้วย เยื่อบุผิว เซลล์ ที่มีการเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ และเกิดใหม่ โดยที่เซลล์ใหม่จะถูกสร้างจากชั้นล่างสุดติดกับหนังแท้ และเจริญเติบโตขึ้น

แล้วค่อยๆเคลื่อนตัวมาทดแทนเซลล์ที่อยู่ชั้นบน จนถึงชั้นบนสุดแล้วก็กลายเป็นขี้ไคล (keratin) หลุดลอกออกไป นอกจากนี้ในชั้นหนังกำพร้ายังมีเซลล์ เรียกว่า เมลานิน ปะปนอยู่รอบๆด้วย เมลานิน มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับบุคคลและเชื้อชาติ จึงทำให้สีผิวของคนแตกต่างกันไปในชั้นของหนังกำพร้าไม่มีหลอดเลือด เส้นประสาทและต่อมต่างๆ นอกจากเป็นทางผ่านของรูเหงื่อ เส้นขนและ ไขมันเท่านั้น (Harrist et al., 1999)



ภาพที่ 2.7 ชั้นผิวหนังมนุษย์

ที่มา : http://www.atmthailand.com

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2. ชั้นกลาง เรียกว่า หนังแท้ (dermis) เป็นผิวหนังที่อยู่ชั้นล่างถัดจากหนังกำพร้าแต่หนากว่าหนังกำพร้ามาก จะประกอบด้วยโปรตีนหลัก 2 ชนิด คือ เนื้อเยื่อ คอลลาเจน (collagen) และเนื้อเยื่ออีลาสติค (elastic) คอลลาเจน(Collagen) ช่วยให้ความแข็งแรงแก่ ผิวหนัง และช่วยในการซ่อมแซม ผิวหนัง ที่บาดเจ็บ ซึ่งถ้าสร้างในปริมาณมากก็เกิดเป็น แผลเป็น นั่นเองส่วน อีลาสติน(Elastin) สร้าง ความยืดหยุ่น

ให้กับ ผิวหนัง และใน ชั้นหนังแท้ นี้ยังเป็นที่อยู่ของ หลอดเลือด เส้นประสาท กล้ามเนื้อเกาะเส้นขน ต่อมไขมัน ต่อมเหงื่อ และขุม ขนกระจายอยู่ทั่วไป (Urmacher, 1992; Harrist et al., 1999)

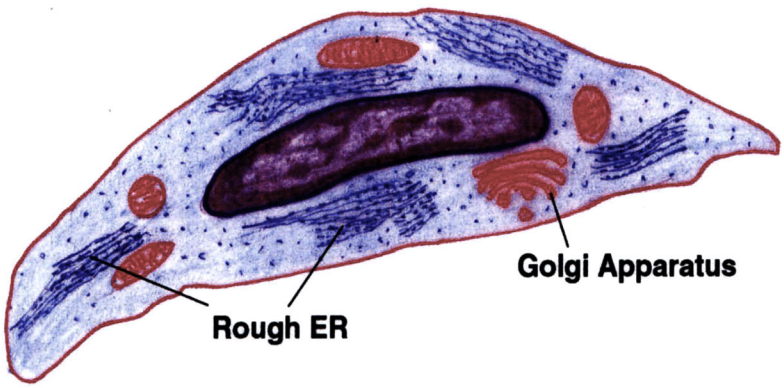
3. ชั้นล่างสุดเป็น ชั้นใต้ผิวหนัง (hypodermis, subcutaneous tissue) หรือ ชั้นไขมัน (subcutaneous) ประกอบด้วยเซลล์ไขมัน เป็นหลัก ความหนาขึ้นกับปริมาณไขมันของแต่ละบุคคล ชั้นนี้ทำหน้าที่ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย คล้ายฉนวนกันความร้อนช่วยลดแรงกระทบกระแทกจากภายนอก และชั้นไขมันที่มีมากโดยเฉพาะบริเวณสะโพก เอว ต้นขา ที่เรียกว่า cellulite คือ ไขมัน ที่มีเนื้อเยื่อคล้ายพังผืดแทรกอยู่ ทำให้เกิดการดึงรั้งผิวหนังเห็นเป็นลอนๆจากภายนอกการเกิด cellulite ไม่ขึ้นกับปริมาณของไขมัน ในร่างกายคนผอมสามารถพบ cellulite ได้ (Harrist et al., 1999)

2.8 เซลล์ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างเนื้อเยื่อ

เซลล์ที่มีส่วนช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อ ได้แก่ เซลล์ไฟโบรบลาสต์สามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ผ่าน extracellular matrix นั้น ได้โดยที่ เซลล์ Fibroblast เป็นเซลล์ differentiate กล่าวคือ กระบวนการที่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนไปเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (specialized cells) มาจาก undifferentiated mesenchymal cells ถ้ามัน active จะมีรูปร่างเป็นกระสวยยาว ไม่มี basal lamina มีนิวเคลียสรูปไข่มี ribosome และ ER จำนวนมากเพื่อสร้างโปรตีนเส้นใย เช่น collagen fiber, elastic fiber และ reticular fiber Extracellular matrix เป็นสารที่ถูกสร้างออกมาอยู่ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อทำหน้าที่ support, adhesion, movement และ regulation ให้แก่เซลล์ที่ประกอบไปด้วยไกลโคโปรตีนหลัก 3 ชนิด คือ proteoglycan, collagen และ fibronectin. เส้นใยคอลลาเจนฝังตัวอยู่ใน proteoglycan complexs ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของ proteoglycan ต่อขยายด้วยสายยาวของคาร์โบไฮเดรต ทำให้มีลักษณะคล้ายกิ่งไม้ Fibronectin จะมีลักษณะ คล้ายกาวยึด ECM ให้ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ตรงตำแหน่งของเมมเบรนโปรตีน "integrins"องค์ประกอบและโครงสร้างของ ECM จะแตกต่างกันในเซลล์แต่ละชนิด

เซลล์ในตัวอย่างที่แสดงนี้ ECM ประกอบด้วยสารพวก glycoprotein 3 ชนิดได้แก่
1. collagen fiber ที่ฝังตัวอยู่ในร่างแหของ proteoglycans ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 95 %
2. fibronectin เป็น glycoprotein ที่เกาะอยู่กับ receptor protein ที่อยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ (integrin)
3. integrin จะเชื่อมโยงระหว่าง ECM กับ microfilament ใน cytoplasm ซึ่งมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการนำสัญญาณการถูกกระตุ้นระหว่างสิ่งแวดล้อมภายนอกกับภายในเซลล์ได้การเคลื่อนที่ของ fibroblast สามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ผ่าน Extracellular matrix จะอาศัย fibronectins - ทำให้เซลล์เกาะติดกับ extracellular matrix ทุกชนิด ยกเว้นชนิดที่มี collagen type IV -ช่วยในการ

กำหนดรูปร่าง การเคลื่อนที่ และการ differentiate ของเซลล์-ประกอบไปด้วย dimmer ของ fibronectin subunits บนโมเลกุลจะพบ 6 domains ซึ่งเป็น binding site ของ cellsurface receptors หรือกล่าวได้ว่า เซลล์ไฟโบรบลาสต์เป็นเซลล์หลักในการสร้าง Collagen และ Elastin ให้กับผิวหน้ารวมทั้งโมเลกุลอื่นๆ ของในโครงสร้างของชั้นผิว (เจริญ เตชะ, 2554)



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างรูปเซลล์ไฟโบรบลาสต์และองค์ประกอบภายในเซลล์
ที่มา: http://education.vetmed.vt.edu

ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างภายถ่ายเซลล์ไฟโบรบลาสต์
ที่มา: http://fibroblast-transfection.com

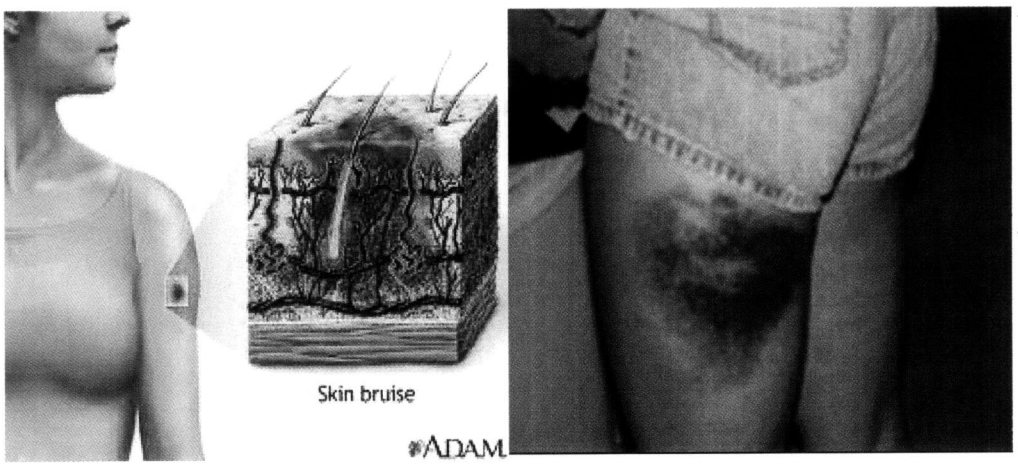
2.8.1 เซลล์ไฟโบรบลาสต์และการสมานบาดแผล

ไฟโบรบลาสต์ สามารถที่จะพบไฟโบรไซด์ที่มีชีวิต ซึ่งจะสามารถทำให้ไฟโบรบลาสต์ทำงานได้ช้าลงได้ ซึ่งคำว่าบลาสต์ที่ต่อท้ายเซลล์ต่างๆนั้น จะหมายถึงความสามารถในการกระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ได้ ลักษณะเฉพาะของไฟโบรบลาสต์ พบ endoplasmic reticulum ค่อนข้างมากและไม่เป็นระเบียบ และทำให้ไฟโบรไซด์ทำงานได้น้อย และนอกจากนี้ไฟโบรไซด์ ยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับไฟโบรบลาสต์ ไฟโบรไซด์จะถูกกระตุ้นด้วย เนื้อเยื่อที่ถูกทำลายเสียหาย และทั้งไฟโบรบลาสต์และไฟโบรไซด์ จะช่วยกันทำหน้าที่ซ่อมแซม สมานบาดแผล ถ้าบุคคลได้รับบาดเจ็บเกิดขึ้น ไฟโบรบลาสต์จะทำหน้าที่แบ่งเซลล์ และกระตุ้นการหลั่งคอลลาเจนออกมา เยื่อบุผิวไฟโบรบลาสต์สามารถสร้างเนื้อเยื่อขึ้นมาได้ในกระบวนการนี้ บทบาทของไฟโบรบลาสต์ ในการบำบัดมีความสำคัญต่อสุขภาพส่วนบุคคลและไฟโบรบลาสต์ยังมีข้อบกพร่อง หรือกระบวนการ EMT ที่มีลักษณะเป็นจำนวนของโรค ตัวอย่างเช่น กระบวนการ fibrosis การสร้างเนื้อเยื่อ จะเกี่ยวข้องกับการผลิตคอลลาเจนในปริมาณมากเกินไปโดยไฟโบรบลาสต์ ซึ่งจะส่งผลในการทำให้เกิดแผลเป็นและภาวะแทรกซ้อนในอวัยวะต่างๆของร่างกาย และอาจทำให้เกิดปัญหาเช่น ตับแข็งในตับ, Crohn ของโรคในลำไส้และโรคหัวใจได้ ถ้ามีปริมาณคอลลาเจนมากเกินความเหมาะสม

2.9 บาดแผล

บาดแผลของคนเรานั้นสามารถเกิดได้หลายสาเหตุ และมีลักษณะของบาดแผลแตกต่างกัน สามารถจำแนกบาดแผลออกเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายวิธีอย่างเช่น จำแนกตามความสะอาดของบาดแผล แบ่งตามลักษณะของการฉีกขาดของผิวหนัง แบ่งตามระยะเวลาที่เกิดแผล เป็นต้น เนื่องจากบาดแผลที่พบทั่วๆไป มักจะเกิดจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อหรือผิวหนัง ดังนั้นประเภทของบาดแผลในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะของแผลปิด และแผลเปิด

ลักษณะแผลปิด (closed wound) บาดแผลที่บริเวณผิวหนังหรือบริเวณเยื่อบุไม่ฉีกขาดออกจากกันแต่ เนื้อเยื่อที่อยู่บริเวณภายใต้ชั้นผิวหนังจะได้รับการฉีกขาดของเนื้อเยื่อและเลือดฝอยบริเวณรอบๆนั้นจึงเกิดการรวมตัวกันของเลือดเป็นก้อน (hematoma) ทำให้เกิดการเจ็บปวด ลักษณะของแผลปิดเช่นนี้มักจะเกิดจากการกระแทก ดึงรั้งหรือถูกกระตุกอย่างแรง เช่น แผลฟกช้ำ(contusion bruise) กระดูกหักโดยไม่มีแผลภายนอก แผลไหม้พอง สมองได้รับความกระทบกระเทือน (concussion of brain) เป็นต้น (วิรัตน์ ศรีนพคุณ และ ศรี ศรีนพคุณ, 2553)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะแผลฟกช้ำที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับการกระแทก

ที่มา : www.tongkatsu.com

ส่วนลักษณะของบาดแผลเปิด (opened wound) เป็นแผลที่เกิดจากผิวหนังบางส่วนฉีกขาด ซึ่งแบ่งเป็น 4 ลักษณะคือ

1.แผลถลอก (abrasion) ลักษณะแผลตื้น มีรอยเปิดเพียงชั้นนอกของผิวหนัง หรือเยื่อบุมีเลือดซึมเล็กน้อย สาเหตุมักจะเกิดจากอุบัติเหตุ เกิดเป็นรอยขีดข่วน ลื่นไถลบนพื้นที่มีผิวขรุขระ (กันยารัตน์ อุบลวรรณ, 2551)

2.แผลฉีกขาด (laceration wound) ลักษณะของบริเวณรอบๆ ขอบแผลจะฉีกขาดมีการทำลายเนื้อเยื่อแผลมาก แผลอาจลึก เสี่ยงต่อการติดเชื้อ สาเหตุมักเกิดจากอุบัติเหตุ เช่น รถล้ม ถูกสิ่งมีคมเกี่ยว ถูกสะเก็ดระเบิด (explosive wound) แผลถูกบดขยี้ (cursh wound) จากเครื่องจักร เป็นต้น (กันยารัตน์ อุบลวรรณ, 2551)

3. แผลถูกตัด (incision wound) ลักษณะของบาดแผลจะเป็นผิวเรียบซึ่งเกดิจากของมีคมตัดผ่านเข้าผิวหนัง เช่นแผลถูกมีดบาด ถูกแทง (puncture wound) ลักษณะปากแผลแคบลึกซึ่งเกิดจากวัตถุมีคมปลายแหลมทะลุผ่านชั้นผิวหนังเข้าไป เช่นแผลตะปุตำ ถูกมีดแทง ซึ่งแผลเหล่านี้เสี่ยงต่อการเกิดการติดเชื้อโรคที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่นเชื้อบาดทะยัก (กันยารัตน์ อุบลวรรณ, 2551)

4. แผลทะลุทะลวง (penetration wound) ลักษณะของบาดแผลมีการฉีกขาดและบดทำลายของเนื้อเยื่อ ซึ่งเกิดจากวัตถุแทงทะลุผ่านผิวหนังเข้าไปถึงเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกด้านใน หรือถึงอวัยวะภายในทำให้มีการตกเลือด เช่นแผลถูกยิง (gun shot wound) ซึ่งลักษระกระสุนวิ่งผ่านเนื้อเยื่อเข้าไปภายในชั้นผิวหนัง เนื้อเยื่อที่อยู่ใต้ผิวหนังเกิดการฉีกขาด (laceration) การบดทำลาย (crushing) เกิดคลื่น(shock wave) และ

เกิดช่องว่างชั่วคราว (temporary cavitation) ตามรอยแนวที่กระสุนผ่านเข้าไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและความแรงของกระสุน(วิรัตน์ ศรีนพคุณ และ ศรี ศรีนพคุณ, 2553)

2.10 ตัวอย่างสาร Polymer ที่ใช้ในการผสมเป็นสารเชื่อมกับโปรตีนไหมในการผลิตเป็นวัสดุทางการแพทย์

โดยปกติแล้ว โปรตีนไหม หรือไฟโบรอินนั้นจะมี ความแข็งแรง แต่เปราะง่าย เมื่อทำการขึ้นรูปเป็นวัสดุทางการแพทย์ จึงต้องมีการผสมสารประกอบพอลิเมอร์บางชนิดลงไป เพื่อเพิ่มลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านศัลยศาสตร์ ทางการแพทย์ ซึ่งนักวิจัยบางท่าน ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมดังกล่าว เช่น Um and Park (2007) ได้มีการนำเอาโปรตีนไฟโบรอินมาผสมกับสารพอลิเมอร์ เช่น Polyvinyl alcohol (PVA) เพื่อใช้ผลิตเป็นแผ่นฟิล์มผสม เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผล และสามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพของแผ่นฟิล์มได้โดยการ เลือกตัว co – solvent ที่ใช้ในการผสมขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม หรือในการผลิตไฮโดรเจลจากไฟโบรอินสามารถเกิดจากการผสมระหว่างสารไฟโบรอินกับสารพอลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น polyethylene glycol, polyvinyl alcohol, polyvinyl pyrolidone, และ polyacrylic acid ได้ (WO/2003/022909) และนอกจากนี้ยังมีใช้ในการประดิษฐ์ bioscaffold หรือวัสดุทดแทนกระดูกอ่อน ในเชิงวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ที่ต้องผสมสารพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเช่นเดียวกัน (WO/2008/069919)

2.10.1 Polyvinyl alcohol (PVA)

ในปี 1942 Polyvinyl alcohol ถูกค้นพบโดย Hermann และ Haehnel จากการเตรียม hydrolyzing Polyvinyl acetate ใน ethanol กับ potassium hydroxide ซึ่ง Polyvinyl alcohol ถูกผลิตขึ้นเพื่อให้อยู่ในรูปของ Polyvinyl acetate มักถูกนำไปใช้ใน continuous process ในส่วนของ acetate group จะถูก hydrolyze ด้วย การแลกเปลี่ยนสารester กับ methanol ในสถานะของ anhydrous sodium methylate หรือ สารละลาย sodium hydroxide ลักษณะโครงสร้างและลักษณะฟังก์ชันจำเพาะขึ้นอยู่กับ degree of polymerization และ degree of hydrolysis สาร Polyvinyl alcohol สามารถจัดแบ่งประเภทได้เป็นสองประเภท ส่วนแรกเป็น hydrolyzed และ full hydrolyzed อีกส่วนจะเป็น hydrolyzed PVA ที่ใช้ในอาหาร (Saxena, 2004)

ลักษณะโดยทั่วไปของ Polyvinyl alcohol

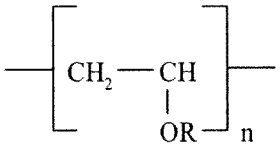
Polyvinyl alcohol สำหรับที่ใช้ในอาหาร ไม่มีกลิ่นรส แสงสามารถผ่านได้น้อย มีลักษณะผลึกเป็นสีขาวครีม คุณสมบัติการละลายสามารถละลายน้ำได้ และละลายได้ในEthanol เล็กน้อย แต่ไม่ละลายใน

organic solvent อื่นๆ ซึ่งค่า pH ของสารละลาย Polyvinyl alcohol 5% จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.0 – 6.5 จุดหลอมเหลว 180-190°C น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 26,300- 30,000 และค่า Degree of hydrolysis 86.5-89 % (Saxena, 2004)

กระบวนการผลิต Polyvinyl alcohol

อันดับแรกของการผลิต Polyvinyl alcohol เป็น vinyl acetate monomer ซึ่งจะถูกผลิตโดยปฏิกิริยา polymerization ของ vinyl acetate ซึ่งยอมให้บางส่วนถูก hydrolysis ซึ่งกระบวนการ hydrolysis เป็นส่วนหนึ่งพื้นฐานบนการทำหน้าที่แทนของ ester group ใน vinyl acetate กับ hydroxyl group และสมบูรณ์ในการอยู่ในสถานะของ aqueous sodium hydroxide ตามที่ aqueous เกิดขึ้นทีละช้าๆกลายเป็น sponification agent สาร Polyvinyl alcohol จะตกตะกอน และจากนั้นนำไปล้างและทำแห้ง ส่วนระดับของ hydrolysis จะถูกกำหนดโดยที่ time point ที่ปฏิกิริยา sponification หยุดปฏิกิริยา (Saxena, 2004)

ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของ Polyvinyl alcohol ที่สามารถจำแนกออกเป็นส่วนย่อยดังโครงสร้าง ดังนี้



โดยที่ค่า R = H or $COCH_3$

การนำ Polyvinyl alcohol ไปใช้งาน มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้านในอุตสาหกรรมอาหารที่สัมพันธ์กับสารเคลือบ ซึ่งเป็น สารเคลือบแผ่นฟิล์มเฉพาะที่กั้นความชื้นหรือป้องกันคุณสมบัติตามที่ต้องการ อย่างเช่น องค์ประกอบของสารเคลือบยาเม็ดที่ผลิตขึ้นรวมไปถึงผลิตอาหารเสริมชนิดเม็ด สาร Polyvinyl alcohol จะป้องกันการทำงานขององค์ประกอบจาก ความชื้น ก๊าซออกซิเจน และสารอื่นๆจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ขณะที่เวลาเดียวกันจะทำให้เกิดกลิ่นและรสได้ จะช่วยให้ขึ้นรูปง่ายของผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์และสะดวกในการกลืนเข้าไปในร่างกาย ความเหนียวของ Polyvinyl alcohol จะถูกนำไปใช้เป็นสารเคลือบยาเม็ด แคปซูล หรือในรูปของฟิล์มเคลือบอื่นๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสารที่มีองค์ประกอบของของแข็งที่สูงได้

ระดับปริมาณการใช้ Polyvinyl alcohol ในหมวดอาหารต่างๆ

Polyvinyl alcohol อาจจะถูกใช้ในอาหารที่มีความชื้นสูงเพื่อเก็บรวมรสชาติที่ดี เนื้อสัมผัสและคุณภาพของอาหาร ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดยังอาจมี Polyvinyl alcohol เพื่อที่จะช่วยป้องกันความชื้นได้ ระดับปริมาณการใช้ของ Polyvinyl alcohol จะถูกพัฒนาให้ใช้ 2.3 mg PVA/cm^2 ในน้ำละลายเคลือบฟิล์ม ส่วนระดับปริมาณ Polyvinyl alcohol มากสุดมักใช้สำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้าย final food โดยที่จะเลือก

ผลิตภัณฑ์ประเภทที่ไวต่อความชื้นมาก โดยประเมินค่าพื้นที่ผิวหน้าต่อองค์ประกอบ และเป็นที่เข้าใจว่าการเคลือบของพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมดประกอบด้วย Polyvinyl alcohol ดังแสดงตามตารางที่ 2.2 ปริมาณของ PVA ที่กำหนดให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสาร Polyvinyl alcohol ที่กำหนดให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Saxena, 2004)

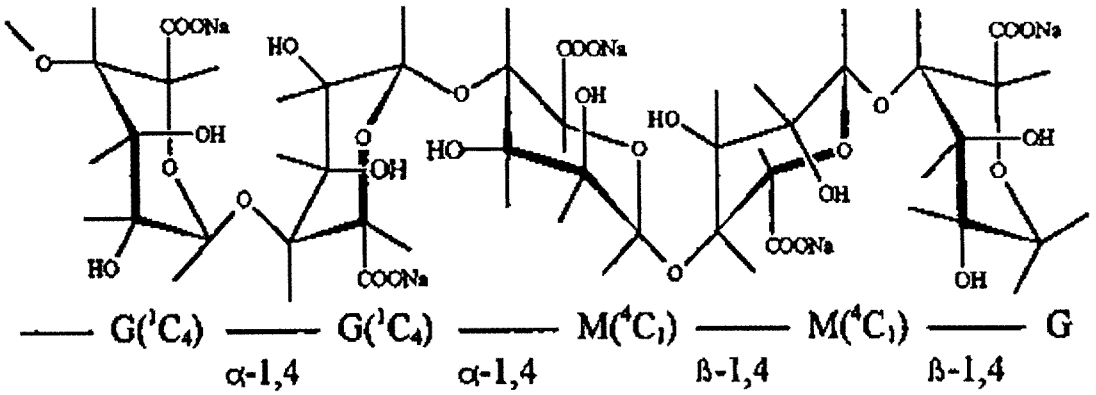
ระดับปริมาณการใช้ Polyvinyl alcohol		
หมวดของอาหาร	**ประเภทอาหารที่นำมาใช้**	**ปริมาณการใช้ Polyvinyl alcohol (%)**
Dairy-based desserts	Ice cream and frozen yogurt with inclusions	0.2
Confectionery	Multi-component chocolate Bars	1.5
Cereals and cereal products	Ready to eat breakfast cereals with dried fruits	0.5
Food supplements	Food supplement tablets	1.8
Ready to eat savories	Nut and fruit mixtures	1.5

ผลลัพธ์จากปฏิกิริยาในอาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มี Polyvinyl alcohol จะถูกเตรียมไว้เพื่อใช้ จะมีค่า pH เป็นกลางและเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำหรือที่อุณหภูมิห้อง จะไม่ทำให้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบของ PVA ในทำนองเดียวกันผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ Polyvinyl alcohol ที่มีค่า pH ช่วงเป็นกลางและไม่ส่งผลต่อระบบใด ๆ และต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เพราะว่า สารละลาย Polyvinyl alcohol จะมีความเสถียร อยู่ด้วยนั่นเอง โครงสร้างของ Polyvinyl alcohol จะไม่สามารถเป็นสื่อหรือมีพลังงานเพียงพอในการทำปฏิกิริยา hydrolysis ของกลุ่ม ester ที่เหลืออยู่ หรือเกิดปฏิกิริยากับ esterification โดย secondary alcohols กับไอออนที่ประจุลบ หรือโมเลกุลเป็นกลางที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว อย่างน้อย 1 คู่ (relatively strong nucleophiles) ภายใต้สภาวะที่แสดงถึงการใช้และการเก็บรักษา จะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สำคัญระหว่าง Polyvinyl alcohol และ องค์ประกอบของอาหาร (Saxena, 2004)

2.10.2 Sodium Alginate (โซเดียมแอลจิเนต)

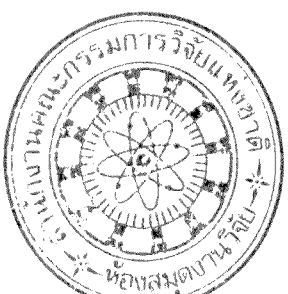
มีสูตรโครงสร้างเป็น $(C_6H_7NaO_6)_n$ มีรูปแบบการจับตัวของโครงสร้างภายในเป็นดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของ Sodium Alginate (Phillips et al, 1990)

โซเดียมแอลจิเนต จะเป็นเกลือโซเดียมของกรดแอลจินิก ซึ่งสูตรโมเลกุลเป็น $NaC_6H_7O_6$ ซึ่ง drystuffs โซเดียมแอลจิเนตเป็น กัม ชนิดหนึ่งที่สกัดจากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล โซเดียมแอลจิเนตเป็นกัมที่ไม่มีรสชาติ หรือมีรสชาติอ่อนมันใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเพิ่มความหนืด และเป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ มักใช้ในงานทันตกรรม เป็นรอยพิมพ์ของฟัน และใช้ทำยาเม็ดที่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ หลักสำคัญของการประยุกต์ใช้โซเดียมแอลจิเนต คือประยุกต์ใช้เป็นการพิมพ์ปฏิกิริยาการย้อมสี และค่าความเหนียว สำหรับตัวอิมัลซิไฟเออร์ อย่างเช่น สีย้อมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับผ้าฝ้ายในการย้อมสีสิ่งทอ และการย้อมสีบนพรม สารแอลจิเนตจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารย้อมสีนี้ และสามารถล้างออกได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจาก starch based thickeners (Wang et al., 2007)

โซเดียมแอลจิเนต เป็นสารที่สามารถรวมตัวกับสารจำพวกสารพิษจากปฏิกิริยาได้ อย่างเช่น สารไอโอดีน 131 กับสารสตรอนเทรียม 90 จากร่างกาย ที่มีการดูดซับไว้ภายในร่างกายและ ในส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยา มักจะนำโซเดียมแอลจิเนตตรึงเอนไซม์โดยรวมในสารเติมแต่งอาหารsodium alginate ใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตอาหารเจล เช่น bakers Chellies มักจะให้ลักษณะเป็นแยม alginate นอกจากนี้เครื่องเทศบรรจุในมะกอกค็อกเทล มักจะฉีดแอลจิเนตเป็นของผสมในเวลาเดียวกัน ส่วนอีกตัวอย่างหนึ่ง ของของผสมเป็นชุดต่อมาโดย immersing มะกอกในสารละลายเกลือแคลเซียมซึ่งทำให้เกิดเจล รวดเร็วโดยไฟฟ้าสถิต cross – เชื่อมโยงกัน ในกระบวนการที่คล้ายกันนี้สามารถนำมาใช้เพื่อให้เกิดลักษณะ chunks ของอาหารแมว เช่น "แฮม" ที่ขึ้นรูปใหม่หรือผลิตภัณฑ์จากปลา หรือ ชิ้นของผลไม้


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

พายที่มี E number – 401 ปัจจุบันใช้ในการทดสอบทางชีวภาพสำหรับการตรึงเซลล์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ เช่น แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์อื่นๆ ในปีล่าสุดสารโซเดียมอัลจิเนตถูกนำมาใช้ในการผสมลงในอาหาร ที่ร้านอาหารระดับโลกเช่น Ferran Adria บุกเบิกเทคนิคและได้รับตั้งแต่ใช้พ่อครัว Grant Achatz และ Heston Blumenthal โดยใช้โซเดียม แอลจิเนต ร่วมกับแคลเซียมแลกเตต หรือสารที่คล้ายกันเพื่อสร้างทรงกลมของของเหลว ล้อมรอบด้วยเยื่อแผ่นวุ้นบาง นอกจากนี้สารแอลจิเนตจัดอยู่ในกลุ่มองค์ประกอบ ถือเป็นว่ามีความปลอดภัยโดยปกติทั่วไป ตามที่องค์การอาหารและยากำหนด (GRAS by FDA) และสารแอลจิเนตไม่ได้มีการแสดงความเป็นพิษ หรือมีการกระตุ้นการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน (Espevik et al., 1993)

2.10.3 Polyethylene oxide (พอลิเอทิลีน ออกไซด์)

มีหลายชื่อเรียก epoxyethane, ethylene oxide, dimethylene oxide, oxacyclopropane สูตรโมเลกุล C_2H_4O มีมวลโมเลกุล 4.05 g mol^{-1}, จุดเดือด 10.7 °C และจุดหลอมเหลว -111.3 °C Poly ethylene oxide (PEO) เป็นโอลิโกเมอร์หรือพอลิเมอร์ของ Ethylene oxide ซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 20,000g/mol ถ้ามีมวลโมเลกุลต่างกัน ก็จะทำให้ การนำไปประยุกต์ใช้ต่างกัน และคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย อย่างเช่น ค่าความหนืด ตามความยาวของพันธะ ซึ่งคุณสมบัติทางเคมี มีโครงสร้างดังนี้

$$HO\text{-}(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O\text{-})_n\text{-}H$$

PEO สามารถที่จะเป็นตัวคั่นและนำอิเล็กตรอนตัวทำละลายในเซลล์ polymer lithium ซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิสูง ในขณะที่การตกผลึกของพอลิเมอร์สามารถที่จะ degrade performance เช่น เกลือจำนวนมากสามารถที่จะทำให้เกิด kinetic barrier เป็นผลึกได้ เอทิลีนออกไซด์จัดเป็นสารก่อมะเร็งกับมนุษย์โดย International Agency for Research on Cancer (IARC) (Zimakova and Dymenta, 1967) และปริมาณระหว่าง 250 และ700 ppm จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สารอันตรายนี้ห้ามใช้ในโรงงานตามข้อกำหนดของรัฐบาลสหภาพยุโรป (Lefort, 1935)