บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยไหมได้ชื่อว่าเป็น "ราชินีแห่งเส้นใย" เป็นเส้นใยที่ได้จากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมา เพื่อป้องกันตัวมันเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยจะมีความยาวต่อเนื่อง (filament) ความจริงเส้นใยไหมจะถูกผลิตด้วยสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น แมงมุม แต่ไม่ค่อยนำมาพิจารณาเนื่องจากเส้นใยเล็กมาก และไม่สามารถจะเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาทำเป็นเส้นใยจำนวนมากได้ ดังนั้นในที่นี้ได้ เมื่อกล่าวถึง เส้นใยไหมจะหมายถึงเส้นใยที่ได้มาจากหนอนไหม (silk worm) เท่านั้น

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยที่มาจากธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ แต่ที่ไม่เหมือนกับเส้นใยขนสัตว์ คือ เส้นใยไหมที่ปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนน้อยมาก โดยทั่วไปสามารถจำแนกไหมออกเป็นสองประเภท ดังนี้คือ

1. <u>ไหมเลี้ยง</u> (Mulberry Silk : ไหมบอมบิกซ์ มอริ(Bombyx mori)) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยง โดยจัดหาอาหาร คือ ใบหม่อน (mulberry leaves) สดๆ ซึ่งไหมชนิดนี้จะมีสีค่อนข้างขาว และหลังการลอกกาวแล้วจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น

2. <u>ไหมป่า</u> (Wild Silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยง โดยปกติไหมทัซซาห์ (Tussah Silk) จะเป็นกลุ่มตัวแทนที่มีจำนวนมากสำหรับไหมชนิดนี้ ไหมทัซซาห์จะมีแหล่งกำเนิดอยู่ที่ประเทศจีน และอินเดีย แต่พวกนี้จะเลี้ยงตัวเองด้วยใบโอ๊ค ซึ่งไหมป่าจะเส้นใยที่มีสีน้ำตาล มีความหยาบ และไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยจากไหมเลี้ยง

จากการสำรวจพบว่าเกือบร้อยละ 80 ของการผลิตเส้นใยไหมทั่วโลกจะได้มาจากเส้นใยไหมเลี้ยง

สำหรับไหมไทยถือว่าเป็นไหมเลี้ยง (Bombyx mori) แต่ลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากเส้นใยมีสีเหลือง และค่อนข้างหยาบ ไหมไทยมีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึง 38% มากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ ซึ่งปกติมีกาวไหมเพียงร้อยละ 20-25 เท่านั้น จากลักษณะที่กล่าวมาแล้ว ทำให้เส้นใยไหมไทยมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อทอผ้า

2.1 ไหมเลี้ยง (Bombyx mori) [1]

ไหมเลี้ยงสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. <u>ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวปีละหนึ่งครั้ง (Univoltine)</u>

ไหมชนิดนี้ปกติจะอยู่ในประเทศแถบยุโรป เนื่องจากอากาศหนาวเย็น ไข่จะไม่สามารถ

ฟักตัวได้ในช่วงฤดูหนาว และสามารถฟักไข่ได้ในช่วงฤดูใบไม้ผลิเท่านั้น ดังนั้นจึงฟักตัวได้เพียงปีละครั้ง

2. ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวปีละสองครั้ง (Bivoltine)

ไหมที่จัดอยู่ในชนิดนี้ปกติจะพบอยู่ในประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลี วงจรชีวิตของไหมจะเริ่มได้ 2 ครั้งต่อปี เนื่องจากสภาวะอากาศเอื้ออำนวยในการฟักตัวได้สองครั้งต่อปี

3. ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวได้ปีละหลายๆครั้ง (Polyvoltine)

ไหมชนิดนี้มักพบในประเทศแถบร้อนชื้น เนื่องจากสภาวะแวดล้อมเหมาะสมกับการฟักตัวของไข่ได้มากกว่า 2 ครั้ง ซึ่งบางครั้งอาจฟักไข่ได้ถึงปีละ 9-10 ครั้ง

สำหรับกลุ่มที่เป็นประชากรส่วนใหญ่ของไหมเลี้ยงจะจัดในกลุ่มที่ 1 และ 2

สำหรับไหมพันธุ์ลูกผสม จะเป็นไหมที่ผสมพันธุ์ระหว่างไหมที่เป็นพันธุ์แท้ประมาณ เมื่อลูกหลานที่ออกมาจะได้ลักษณะเฉพาะตัวของพันธุ์พ่อและแม่ ทำให้หนอนไหมแข็งแรง เนื่องจากเป็นการรวมของยีนที่แข็งแรงเป็นส่วนมาก ทำให้อัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว และได้เส้นใยที่มีคุณภาพดีกว่าพันธุ์พ่อ และแม่

2.2 ไหมป่า (Wild Silk) [2]

เราสามารถเก็บรังไหมป่าได้ 2-8 ครั้งต่อปี โดยมีสีตั้งแต่น้ำตาลแกมเหลือง น้ำตาล เขียว ฯลฯ มีรูปร่างเป็นรูปไข่ วงรี โดยที่รังไหมใหญ่กว่ารังไหมเลี้ยง แต่รังจะหยาบกว่า

2.2.1 ไหมป่าซะกุกัน (Sakukan, Antheraea perny Chinese tussah)

ไหมชนิดนี้ทำกันในจีนและญี่ปุ่น โดยให้กินใบของต้นโอ๊ค และต้นเกาลัดญี่ปุ่น สีของรังเป็นสีน้ำตาลแกมเหลือง มีความยาวรัง 4-5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 2-3 ซม. รูปร่างเป็นรูปไข่ยาวๆ

2.2.2. ไหมมูก้า (Muga silk, Antheraea assama)

ทำการเลี้ยงในเมืองอัสสัม ประเทศอินเดีย ไหมพวกนี้กินใบของไม้ที่ผลัดใบ สีของรังเป็นสีน้ำตาล สีทอง มีความยาวรัง 4-5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 2 ซม. รูปร่างเป็นรูปไข่ยาวๆ เรียกว่า muga, moonga หรือ mounga

2.2.3. ไหมทัซซาห์อินเดีย (India Tussah, Antheraea mylitta)

มีการผลิตในประเทศแถบอินโดจีน กินใบของไม้ผลัดใบเช่นเดียวกัน สีของรังเป็นสีเทา

น้ำตาลแกมเหลืองซีด มีความยาวรัง 5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 3 ซม. รูปร่างเป็นวงรี เรียกว่า Tussah, Tussas, Tusser และ Tussore

2.2.4. ไหมเทนซัน (Tensan, Antheraea yamamai)

มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น กินใบของต้นโอ๊ค ต้นโอ๊คญี่ปุ่น ต้นเกาลัดญี่ปุ่น และต้นมะเดื่อ สีของรังเป็นสีขียว มีความยาวรัง 4.2-5.4 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 2.0-2.7 ซม.

2.2.5. ไหมอีรี (Eri silk, Samia cynthia ricini)

มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย กินใบจากต้น Hima สีของรังเป็นสีขาว เหลือง น้ำตาล สีใบไผ่ ชมพู มีความยาวรัง 4-5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 1-1.5 ซม. รูปร่างเป็นวงรียาวๆ เรามักเรียกชื่อว่า Eria, Eri หรือ Era

2.2.6. ไหมเตกุซุซันของไต้หวัน (Taiwan Tegususan, Saturnia pyteorum)

มีถิ่นกำเนิดในประเทศไต้หวัน กินใบการบูร ใบหลิว สีของรังเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลดำ มีความยาวรัง 4-5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรัง 2-3 ซม. รูปร่างเหมือนหลอดปั่นด้าย

2.2.7. ไหมเตกุซุซันของญี่ปุ่น (Taiwan Tegususan, Saturnia pyteorum)

มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น กินใบของต้นโอ๊ค ต้นเกาลัดญี่ปุ่น ต้นการบูร ต้นหลิว และ Japanese lacquer tree สีของรังเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลแกมเหลืองเทา รูปร่างคล้ายแห ซึ่งสามารถมองเห็นส่วนภายในได้ ชาวญี่ปุ่นเรียกกันว่า Sakashi dawara

2.2.8. ไหมชินจุซานของญี่ปุ่น (Japanease shinjusan , Samia cynthia pryeri)

แหล่งที่ผลิตคือ จังหวัดนาโกโนของญี่ปุ่น กินใบของต้น Japanese lacquer tree สีของรังเป็นสีน้ำตาลแกมเหลือง มีความยาวรัง 3-4 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรังประมาณ 1 ซม. รูปร่างวงรียาวๆ

2.3 **วงจรชีวิตของตัวหนอนไหม** [1]

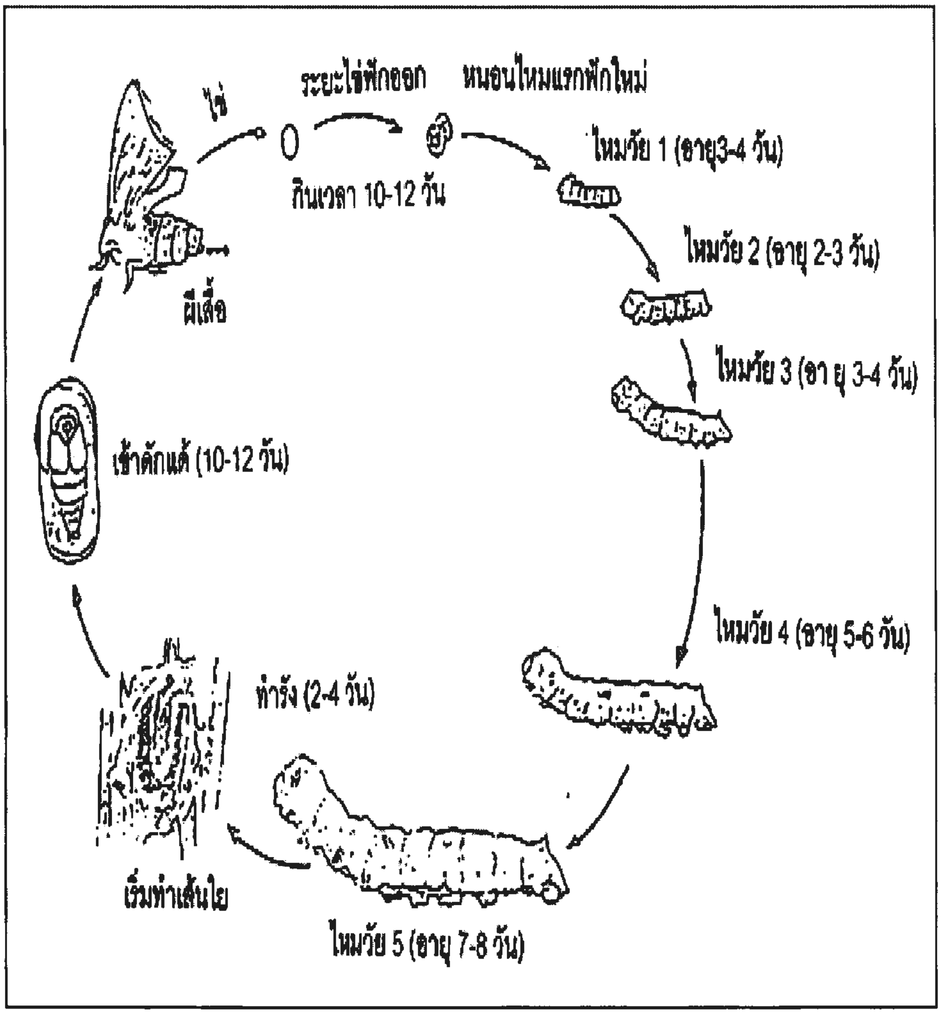
การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสมบูรณ์ของไหม ดังรูปที่ 2.1 มี 4 ขั้นตอน คือ

2.3.1 ขั้นแรก (ไข่) ซึ่งจะกลายเป็นตัวหนอน

2.3.2 ขั้นสอง (ตัวหนอน) ซึ่งมีการลอกคราบประมาณ 5 ครั้งจนเป็นตัวเต็มวัย แล้วจึงเริ่มปั่นเส้นใย มาคลุมรอบตัวมันเอง เพื่อจะเริ่มการเปลี่ยนรูปร่างเป็นตัวดักแด้

2.3.3 ขั้นสาม (ตัวดักแด้) เมื่อครบกำหนดจะกัดรังไหมออก และกลายเป็นผีเสื้อ

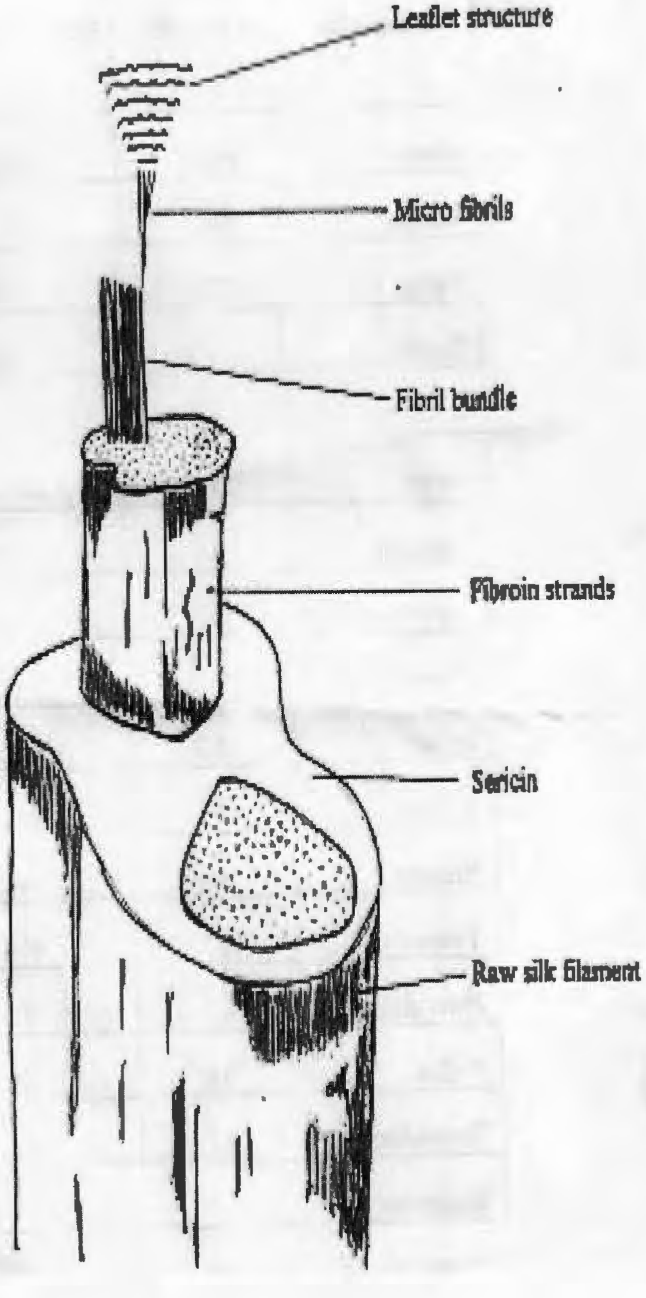
2.3.4 ขั้นสี่ (ผีเสื้อ) ซึ่งผีเสื้อตัวผู้และตัวเมียจะผสมพันธุ์กัน และตัวเมียจะวางไข่ เพื่อเริ่มวงจรชีวิตใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรชีวิตไหม

2.4 โครงสร้างของเส้นใยไหม [1]

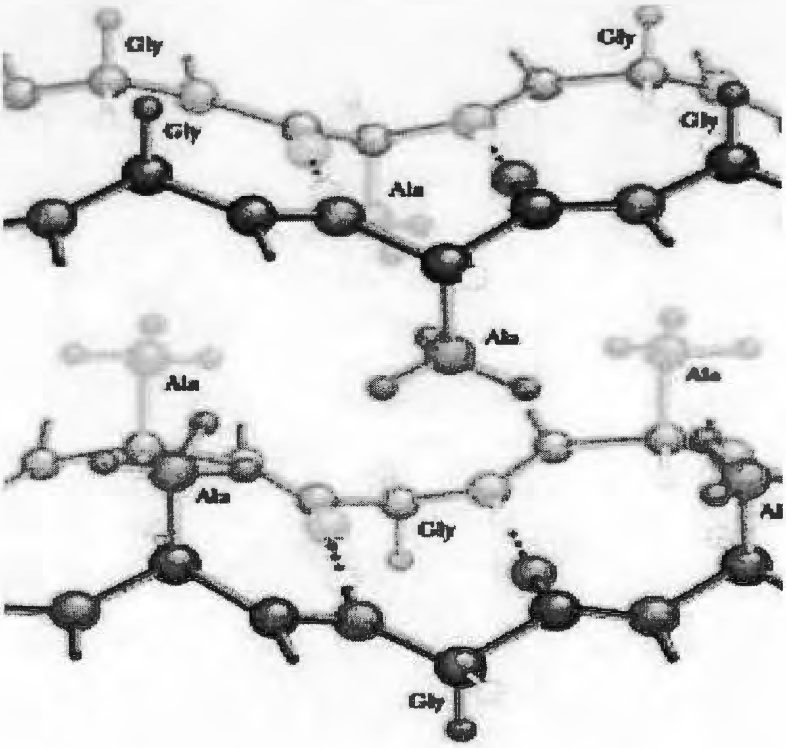
กระบวนการปั่นเส้นใยไหมอย่างง่าย คือ เมื่อตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัยเริ่มจะเป็นตัวดักแด้ จะพ่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนสารละลายนี้จะถูกอัดผ่านท่อสองท่อในหัวของตัวหนอนไหมไปสู่บริเวณที่เป็นแว่นกดเส้นใย ส่วนที่ของเหลวหนืด (ไฟโบรอิน:Fibroin) ถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง (เซริซิน:Sericin) ซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกัน เมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดจะยึดติดกัน โดยการสัมผัสกับอากาศ แล้วแข็งตัวและทำให้เกิดเส้นใยยาวต่อเนื่อง เส้นใยไหมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาวไหม (เซริซิน) และเส้นใย (ไฟโบรอิน) กาวไหมเป็นส่วนที่น้อยกว่าเส้นใย (มีปริมาณประมาณ 25 % ของน้ำหนักของไหมดิบ) และกาวไหมจะมีสิ่งเจือปน เช่น ขี้ผึ้ง ไขมัน และสปิ๊กเมนท์ กาวไหมเป็นสารที่มีสีเหลือง แข็งและไม่ยืดหยุ่นตัว ทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยยาวทั้งสองเส้นเพื่อป้องกันอันตรายให้กับเส้นใย และเป็นส่วนที่ปิดบังความมันเงาของไฟโบรอิน เซริซินเป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous) และสามารถละลายได้ในนำสบู่ร้อน ปริมาณของกาวไหมจะปรากฏมากที่สุดบริเวณด้านนอกสุดของรังไหม ส่วนด้านในจะมีกาวไหมน้อยลงเรื่อยๆ สำหรับเส้นใยไหม เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณร้อยละ 78 ของน้ำหนักของไหมดิบ) ซึ่งเส้นใยไหมนี้จะมีโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นระเบียบและมีการเรียงตัวดี ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเส้นไหมดิบ

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย พื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน มีความละเอียดมาก องค์ประกอบหลักทางเคมีคือโปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ คือ C H O N และปริมาณ S มีน้อยมาก ตามโมเลกุลข้างเคียง ลักษณะจะเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวเหยียด ดังรูปที่ 2.4 โมเลกุลจึงเรียงตัวกันยาวและเกาะตัวกันได้แน่นกว่า ส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในไฟโบรอิน อาจวิเคราะห์รายละเอียดได้ดังต่อไปนี้ [10]

คาร์บอน	48.00 – 49.00 %
ไฮโดรเจน	6.40 - 6.51 %
ไนโตรเจน	17.35 – 18.89 %
ออกซิเจน	26.00 – 27.90 %



รูปที่ 2.4 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ของไหม

2.5 **โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหม** [2]

2.5.1 **ส่วนประกอบทางเคมีของรังไหม**

ความแตกต่างของรังไหมมีเพียงเล็กน้อย ขึ้นกับชนิดและการเลี้ยงไหม แต่โดยทั่วไปแล้วเส้นใยไหมเลี้ยงมีไฟโบรอินร้อยละ 70 เซริซินร้อยละ 20-30 เส้นใยจากรังไหมร้อยละ 97 เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ และมีส่วนประกอบอื่นๆเพียงเล็กน้อย เช่น ขี้ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต วัตถุมีสีและสารอนินทรีย์ ฯลฯ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของชั้นรังไหมชนิด Bombyx mori [2]

พันธุ์ไหม	**ส่วนประกอบ / ชั้นของรังไหม**	**% น้ำ**	**% ไฟโบรอิน**	**% เซริซิน**	**% แอลกอฮอล์**	**% อีเทอร์**	**% เถ้า**
N 122	ชั้นนอก (30%)	10.69	65.86	31.36	1.44	1.36	0.893
X	ชั้นกลาง (64%)	10.24	77.30	20.97	1.03	0.70	0.904
C 122	ชั้นใน (6%)	10.06	73.57	23.57	0.96	1.69	0.922
Shuka	ชั้นนอก (32%)	10.48	70.48	27.16	1.23	1.13	0.835
X	ชั้นกลาง (60%)	10.12	77.51	19.70	1.01	0.78	0.867
Girie	ชั้นใน (8%)	9.95	79.05	18.62	1.09	1.24	0.861
	ชั้นนอก (28%)	10.37	73.25	24.13	1.42	1.20	0.804
Koishimaru	ชั้นกลาง (66%)	9.92	76.49	21.10	1.13	1.28	0.831
	ชั้นใน (6%)	9.96	77.55	21.05	1.01	1.39	0.858

ไหมป่ามีไฟโบรอินร้อยละ 75-90 เซริซินร้อยละ 5-20 และมีปริมาณเส้นใยมากกว่าเส้นใยของรังไหมเลี้ยง ทั้งส่วนประกอบอื่นๆก็มีมากกว่า เช่น คาร์โบไฮเดรต สารอนินทรีย์ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของชั้นรังไหมป่า [2]

พันธุ์ไหม	น้ำ	ไฟโบรอิน	เซริซิน	แอลกอฮอล์	อีเทอร์	เถ้า
Bombyx mori	10.76	72.92	23.80	2.59	0.44	0.92
Antheraea yamamai	10.17	74.51	17.59	6.40	0.86	5.92
Antheraea pernyi	9.83	80.82	15.10	3.57	0.61	2.42
Antheraea mylitta	10.04	84.30	12.51	2.66	0.31	2.28
Antheraea assama	9.74	82.22	13.06	3.57	0.63	4.90
Samia Cynthia ricini	9.81	89.76	7.73	2.08	0.26	1.71

2.5.2 โครงสร้างทางเคมีของเซริซิน

เส้นใยของไหมเลี้ยงมีกรดอะมิโน 4 ตัว คือ ไกลซีน (Glycine) อะลานิน (Alanine) เซอรีน (Serine) และไทโรซีน (Tyrosine) รวมกันได้ร้อยละ 83 ของกรดอะมิโนทั้งหมด ไกลซีนมีมากกว่าอะลานิน ส่วนเซอรีนมีมากกว่าไทโรซีน นอกจากนี้มีกรดอะมิโนที่มีขั้วอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีโซ่ข้างเคียงเป็นกรดหรือเบส

เซริซินเคลือบใยไฟโบรอินอยู่ มีเซอรีน (Serine) ธรีโอนีน (Threonine) ของกรดออกซีอะมิโนจำนวนมาก กรดแอสพาติค และกรดกลูตามิคของกรดอะมิโนที่เป็นกรดอาจีนีน (Arginine) และไลซีน (Lysine) ของกรดอะมิโนที่เป็นเบสจำนวนค่อนข้างมาก ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

2.5.3 โครงสร้างทางเคมีของไฟโบรอิน

ในไฟโบรอินของไหมเลี้ยง มีส่วนประกอบหลักเป็นกรดอะมิโน 4 ชนิด คือ ไกลซีน (Glycine) เซอรีน (Serine) อะลานีน (Alanine) และไทโรซีน (Tyrosine) ประมาณ ร้อยละ 85 ของกรดอะมิโนทั้งหมด มีไกลซีนมากกว่าอะลานีน และมีเซรีนมากกว่าไทโรซีน ดังตารางที่ 2.3

ในไหมป่ามีอะลานีนร้อยละ 5 ของทั้งหมดมากกว่าไกลซีน เมื่อเทียบกับไหมเลี้ยง และมี

กรดอะมิโนที่เป็นเบสจำนวนมากกว่า เช่น อาจีนีน และกรดอะมิโนที่เป็นกรด เช่น กรดออกซีอะมิโนทั้งหมดของไฟโบรอินในไหมป่า มีน้อยกว่าในไหมเลี้ยง ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซริซินและไฟโปรอิน (กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม) [2]

อะมิโน		**เซริซิน**	**ไฟโปรอิน**
Non-polar Amino acid	Glycine	8.66	41.25
	Alanine	3.51	28.87
	Valine	3.14	2.63
	Leucine	1.02	0.32
	Isoleucine	0.77	0.44
	Proline	0.66	-
	Phenylalanine	0.50	0.58
Acid amino acid	Aspartic acid	17.03	0.76
	Glutamic acid	7.46	0.69
Basic amino acid	Arginine	6.07	0.86
	Histidine	1.88	-
	Lysine	4.95	0.17
Oxy amino acid	Serine	27.32	13.22
	Threonine	7.48	0.81
	Tyrosine	4.43	10.96
Sulfur-complex Amino acid	Methionine	-	-
	Cystine	0.20	-
	รวม	95.08	101.56

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซริซินในไหมป่า (กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม) [2]

กรดอะมิโน \ พันธุ์ไหม		ชั้นของเซริซินในไหมป่า				
		Samia cynthia ricini	Antheraea pernyi	Antherara mylitta	Antheraea assama	Antheraea Yamamai
Non-polar Amino acid	Glycine	4.14	10.17	10.21	9.50	12.24
	Alanine	2.71	1.78	2.20	1.81	2.23
	Valine	1.85	0.87	0.35	2.73	0.71
	Leucine	1.42	0.07	0.06	1.46	0.45
	Isoleucine	1.23	0.05	0.12	1.99	0.99
	Proline	0.35	0.55	0.18	0.45	0.20
	Phenylalanine	0.75	0.12	0.09	2.16	0.20
Acid amino acid	Aspartic acid	16.17	17.54	17.50	13.47	16.24
	Glutamic acid	11.73	9.58	8.63	9.68	8.69
Basic amino acid	Arginine	5.22	7.64	5.06	3.63	7.03
	Histidine	3.29	4.50	3.91	3.82	4.29
	Lysine	9.44	3.24	3.58	3.51	2.91
Oxy amino acid	Serine	25.99	22.41	18.77	21.61	19.36
	Threonine	7.24	14.28	18.29	17.24	14.54
	Tyrosine	3.67	6.57	6.60	6.79	6.46
Sulfur-complex amino	Methionine	0.40	0.17	-	0.29	-
	Cystine	0.15	0.08	0.12	0.24	0.10
	รวม	96.35	99.62	95.67	100.38	96.64

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของไฟโบรอินในไหมป่า (กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม) [2]

พันธุ์ไหม / **กรดอะมิโน**		**ชั้นของไฟโบรอินในไหมป่า**						
		Samia cynthia ricini	Samaia cynthai pryeri	Antheraea pernyi	Antherara mylitta	Antheraea Yamamai	Antheraea assama	Saturnia pyretorum
Non-polar Amino acid	Glycine	26.34	26.5	24.86	23.61	21.82	22.91	19.36
	Alanine	50.50	45.47	48.82	45.48	48.60	46.26	42.03
	Valine	0.40	0.58	0.59	0.76	0.65	0.42	1.14
	Leucine	0.38	0.45	0.46	0.70	0.61	0.61	2.50
	Isoleucine	0.77	0.65	0.70	0.82	0.79	0.86	0.66
	Proline	0.41	0.20	0.43	0.20	0.20	0.20	0.49
	Phenylalanine	0.20	0.20	0.30	0.20	0.20	0.20	0.47
Acid amino acid	Aspartic acid	5.08	5.13	6.79	6.46	6.46	6.07	5.23
	Glutamic acid	0.96	0.90	1.05	0.61	0.98	0.88	1.56
Basic amino acid	Arginine	3.27	2.93	5.53	5.17	6.67	6.21	6.45
	Histidine	1.45	1.40	1.28	0.69	1.24	0.50	1.30
	Lysine	0.20	0.20	0.20	0.53	0.40	0.44	0.20
Oxy amino acid	Serine	7.11	7.08	12.08	11.80	10.99	12.90	11.01
	Threonine	0.89	1.03	1.15	0.74	1.05	1.25	1.28
	Tyrosine	10.64	9.02	8.57	8.40	8.33	8.62	8.71
Sulfur-complex amino	Methionine	-	-	-	-	-	-	-
	Cystine	-	-	-	-	-	-	-
	รวม	108.60	120.01	112.81	106.17	108.99	108.24	13.39

โมเลกุลไฟโบรอิน เป็นโครงสร้าง β-form และโมเลกุลไฟโบรอินในโครงสร้าง β-form เหมือนกับยืดตัวไปตามแนวยาว เกิดเป็นโครงสร้าง β-form ที่ไม่อยู่ในแนวขนาน และกลายเป็นโครงสร้าง 3 มิติ มีแรงระหว่างโมเลกุล คือ พันธะไฮโดรเจนที่บริเวณที่เป็นผลึกของใยไฟโบรอิน เกิดโมเลกุล β-form ที่ไม่อยู่ในแนวขนาน โซ่โมเลกุลที่พับไปในแนวที่ไม่ขนาน และเกิดโครงสร้างเป็นแผ่นรอยพับซ้อนกันหลายชั้นกันอย่างสม่ำเสมอ

2.6 **โครงสร้างทางรูปร่างของเส้นใยไหม** [2]

2.6.1 **ภาคตัดขวางของเส้นใยไหม**

ภาคตัดขวางของเส้นใยไหม เราสามารถเห็นเส้นใยต่อเนื่อง ซึ่งเรียกว่าไฟโบรอินอยู่ 2 เส้น ล้อมรอบด้วยกาวเซริซินซึ่งไม่เป็นส่วนของเส้นใย มีรูปร่างเหมือนกับแก้ว เมื่อขยายโครงสร้างภายในเส้นใยไฟโบรอิน เราสามารถสังเกตเห็นโครงสร้างกลุ่มของไฟบริล เมื่อสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์แบบออฟติคัล พบว่าเส้นใยไฟโปรอิน 1 เส้น จะมีไฟบริล 50-150 เส้น (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3-3 ไมครอน) แต่เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะปรากฏได้ชัดว่ามีไฟบริล 900-1,400 เส้น (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-0.4 ไมครอน) รวมทั้งมีไฟบริลรูปร่างคล้ายสายรัดที่ผิวของเส้นใยมีขนาดกว้าง 0.6-0.8 ไมครอน

ในพวกรังไหมป่า มีโครงสร้างเป็นกลุ่มไฟบริลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-0.4 ไมครอน โครงสร้างของไหมป่าเกือบจะเหมือนกับไหมเลี้ยง แต่ไหมทัซเซอร์ (Tusser silk) ไหมป่ายามาไม (Yamamai silk) ไฟบริลมีรูปร่างคล้ายสายรัดขนาดกว้าง 0.6 -1.0 ไมครอน ที่บริเวณใกล้ผิวเส้นใยไหม โดยทั่วๆไป เส้นใยไหมมีพื้นที่หน้าตัดเป็นมุมจนถึงวงกลมที่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไฟโบรอิน 1 เส้น ที่ชั้นนอกสุดของเส้นใย ประมาณ 80 ตารางไมครอน ที่ชั้นกลางของเส้นใยประมาณ 100 ตารางไมครอน และชั้นในของเส้นใยประมาณ 60 ตารางไมครอน จึงแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอ

เส้นไหมป่ามีความยาวและเรียว และมีรูปร่างสามเหลี่ยมหน้าจั่วถึงรูปไข่ที่เปรียบเทียบได้กับเส้นไหมเลี้ยง พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไหม 120-260 ตารางไมครอน ทั้งที่จะแตกต่างกันตามชนิด ลักษณะและสภาวะแวดล้อมมากกว่าของไหมเลี้ยง

เส้นใยไหมมีรูปร่างของภาคตัดขวางและความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ก็สามารถเกาะเกี่ยวกันได้ง่ายเนื่องจากเส้นใยไหมมีลักษณะบางมาก และสภาพที่ไม่สม่ำเสมอช่วยให้มีความเงาสละสลวยเป็นพิเศษ มีสีสัน และความนุ่มนวลดี ความไม่สม่ำเสมอนี้ และช่องว่างมากระหว่างเส้นใยไหมอันเกิดจากการลอกกาว จะช่วยควบคุมเนื้อผ้าไหม

2.6.2 ลักษณะผิวของเส้นใยไหม

เรื่องเกี่ยวกับไหมเลี้ยง โดยทั่วไปแล้วผิวของเส้นใยไหมชั้นนอกมีกาวเซริซินมาก และมีโครงสร้างเป็นคลื่นมากมายไปตามแนวความยาวปกคลุมเส้นใยไฟโบรอิน แต่เซริซินที่ชั้นกลางและชั้นใน จะมีโครงสร้างการเคลือบที่สม่ำเสมอกว่าโครงสร้างผิวของไฟโบรอินของเส้นไหมเลี้ยงที่ลอกกาวเซริซินออกหมดแล้ว ไฟบริลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.04-0.05 ไมครอน ในแนวความยาวของเส้นใยไหมจะประสานเป็นโครงสร้างทอบางๆ เราเห็นได้ว่าไฟบริลเหล่านี้พันเกลียวเข้าด้วยกันและเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย และเรายังเห็นโครงสร้างเหมือนท่อพุ่งไปตามแนวความยาวโดยมีช่องว่าง 0.2-0.3 ไมครอน

ไหมป่าไม่มีความแตกต่างกับไหมเลี้ยง โดยเฉพาะเส้นไหมอีรีมีลักษณะคล้ายกับไหมเลี้ยงมาก ส่วนไหมทัซซาห์และไหมมูก้า มีโครงสร้างที่เหมือนท่อจะลึกและจะมองเห็นรอยเส้นชัดเจน

ฉะนั้น โครงสร้างผิวที่ดูจากกล้องจุลทรรศน์ แสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่ซับซ้อนและละเอียด ซึ่งเส้นใยชนิดอื่นไม่มี และด้วยโครงสร้างนี้เองที่ให้ความเงางามสละสลวยและสีสันของใยไหม รวมทั้งรูปร่างของภาคตัดขวางและความทึบแสง

โดยทั่วไปแล้ว เส้นใยไหมเลี้ยงให้ความเงางามที่ลึกซึ้งและเยือกเย็น ส่วนเส้นไหมป่าให้ความเงามันมากเหมือนโลหะ

2.7 การเตรียมเส้นใยไหม

การเตรียมเส้นใยไหมมีหลายกระบวนการ ดังที่ทราบกันมาแล้วว่าเส้นใยไหมจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (วัสดุเส้นใย) และเซริซิน (กาว) กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของไฟโบรอิน ซึ่งจะพบไกลซีน (Glyucine) อะลานีน (Alanine) เซอรีน (Serine) และไทโรซีน (Tyrosine)ในขณะที่กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเซริซินซึ่งพบไกลซีน (Glycine) กรดแอสพาติก (Aspartic acid) เป็นองค์ประกอบหลัก

กระบวนการแรก จะต้องกำจัดกาวไหม ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักของไหม (ขึ้นกับ ชนิดและพันธุ์ไหม) เพื่อทำให้เส้นใยเหลือเพียงวัสดุเส้นใย มีความมันเงา และสีตามธรรมชาติของเส้นใย

กระบวนการที่สอง จะต้องมีการกำจัดสีธรรมชาติที่มีอยู่ในไหม เพื่อทำให้การย้อมสีเหมาะสมกับสีอ่อนๆ เช่น สีเหลืองอ่อน สีขาวนวล สีเนื้อ เป็นต้น

2.8 **สมบัติทางกายภาพของเส้นใย** [1,3]

2.8.1 **ลักษณะ และรูปร่าง**

เส้นใยเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องมีความยาวประมาณ 900 – 1,700 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 9 – 11 ไมครอน สีขอเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลืองครีม สำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีความหยาบกระด้าง ไม่เรียบ ค่อนข้างจะไม่มันเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมเลี้ยง

2.8.2 **ธรรมชาติของการดูดซึมความชื้น**

สามารถดูดซึมความชื้นประมาณร้อยละ 11 ซึ่งมากกว่าฝ้ายที่ถูกเมอร์เซอร์ไรซ์แล้ว (ร้อยละ 10.5) ความสามารถในการดูดซึมความชื้นขึ้นกับว่าเส้นใยดิบ หรือถูกลอกกาวแล้ว นอกจากนี้ยังขึ้นกับสปีชี่ส์ของหนอนไหมอีกด้วย

2.8.3 **ความแข็งแรง**

ปกติจะมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง เส้นใยไหมจะมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าๆ กัน ค่า Tenacity จะอยู่ในช่วง 2.4 – 5.1 กรัมต่อแดนเนียร์ และเมื่อเปียกน้ำจะมีความแข็งแรงลดลงประมาณร้อยละ 80 – 85

2.8.4 **สภาพยืดหยุ่น**

สามารถยืดหยุ่นตัวได้ดี อาจแปรไปบ้างตามชนิดของพันธุ์และการเจริญเติบโต สามารถยืดได้ถึงร้อยละ 20 – 25 ของความยาวเดิม เมื่อเทียบกับเส้นใยขนสัตว์ จะพบว่าสภาพยืดหยุ่นของเส้นไหมไม่ดีเท่าขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางโมเลกุลของเส้นไหม ไม่มีพันธะมาจับเอมไซม์เป็นโครงข่ายด้านล่าง ดังนั้นจึงไม่อาจดึงกลับคืนสภาพเดิมได้

2.8.5 **การคืนตัวจากแรงอัด**

เส้นใยไหมมีความสามารถในการคืนกลับได้ดี ไม่เกิดการยับย่นง่ายสามารถกลับรูปได้เพียงแขวนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง

2.8.6 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะอยู่ในระหว่าง 1.32 – 1.33 อย่างไรก็ตามเส้นใยไหมที่เพิ่มน้ำหนักจะมีค่าประมาณ 1.60

2.8.7 ความร้อน

เมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูง 140 °ซ เส้นใยจะทนได้เป็นเวลานาน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 175 °ซ เส้นใยจะสลายตัวทันที

2.8.8 รังสีอัลตราไวโอเลต

เมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเลตนานๆ จะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นน้อยลง

2.9 สมบัติทางเคมีของเส้นใย [1,3]

2.9.1 อิทธิพลของน้ำ

จะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่จะมีน้ำหนักลดลงเมื่อต้มในน้ำเดือด หรือ ไอน้ำ

2.9.2 อิทธิพลของกรดและด่าง

กรดและด่างสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเปปไทด์ได้ในเส้นใยไหมตามปกติ ค่าความเป็นกรดเบส ระหว่าง 4–8 จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อยมาก กรดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ค่อนข้างทำให้เส้นใยเสียหาย มากกว่าด่าง

กรดจะทำให้พันธะเปปไทด์ขาดออกจากกัน ในขณะที่ด่างจะตัดปลายของพันธะเปปไทด์ออกก่อน กรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจะละลายเส้นใยไหมได้ กรดไนตริกจะทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจาง จะไม่ทำลายเส้นใยไหม ด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยได้ทันที ส่วนด่างอ่อน เช่น สบู่ บอเร็กซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแค่กาวไหม แต่ถ้าต้มที่เดือดนานๆ อาจจะละลายเส้นใยไหมได้

2.9.3 อิทธิพลของสารละลายอินทรีย์

สารซักแห้งในท้องตลาด จะไม่ทำลายเส้นใย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นไหม

หรือสีย้อมที่ใช้ย้อม โดยตัวมันเองแล้วไหมสามารถซักด้วยน้ำยาซักแห้งได้

2.9.4 อิทธิพลของสารซักฟอก

เส้นใยไหมมีความทนทานต่อสารซักฟอก แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ เช่นพวกที่มีโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ผสมอยู่ แต่สารซักฟอกประเภท ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต ภายใต้สภาวะการซักปรกติจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

2.9.5 อิทธิพลของตัวออกซิไดส์

ตัวเส้นใยจริงๆ ไม่ทนทานต่อตัวออกซิไดส์ ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยไหมจะต้องระมัดระวัง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มักจะใช้สำหรับฟอกไหม

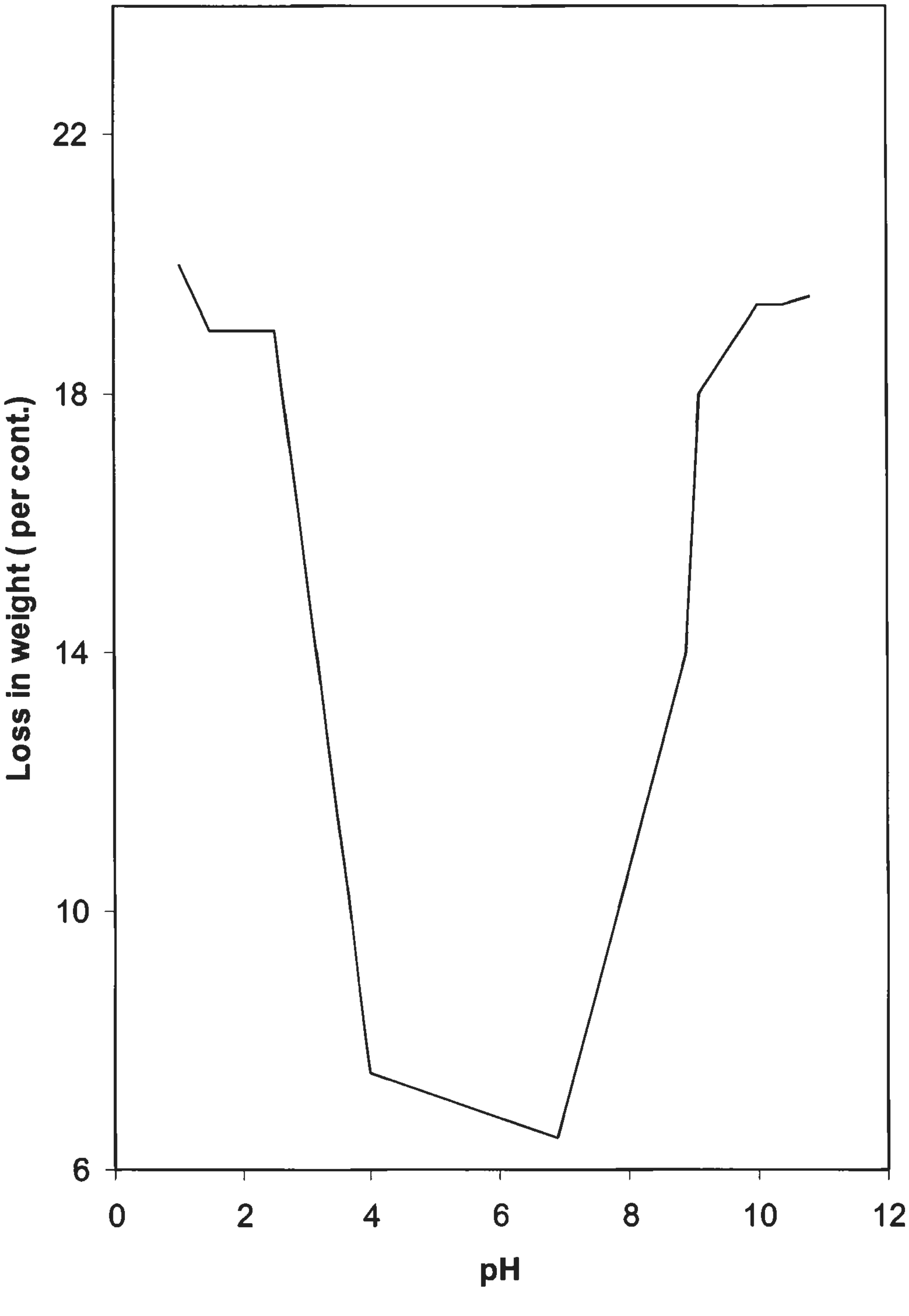
2.9.6 อิทธิพลของตัวรีดิวซ์

เส้นใยไหมจะทนทานต่อตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์

2.10 การลอกกาวไหม [1]

Degumming มาจากคำว่า Degommage ซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศส ซึ่งเป็นกระบวนการที่เป็นหัวใจของกระบวนการแบบเปียกในการผลิตเส้นใยไหม เนื่องจากเส้นใยประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ซึ่งไฟโบรอินซึ่งมีลักษณะเป็น เส้นใยยาว จะถูกเซริซินเคลือบอยู่ เซริซินจะมีไขมัน ขี้ผึ้ง เกลือ และสีปิ๊กเม้นท์ เซริซิน มีส่วนประกอบของเคมีคล้ายกับ ไฟโบรอิน แต่ปริมาณของส่วนประกอบที่เป็นกรดอะมิโนนั้นจะไม่เท่ากัน ทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกัน

ดังนั้นการลอกกาวไหมจึงจำเป็นต้องกระทำอย่างระมัดระวังในสภาวะที่ถูกต้อง และเหมาะสม เพื่อจะทำให้ไฟโบรอินไม่เสียหาย หรือถูกทำลายไป ค่าความเป็นกรดเบสอยู่ในช่วง 4 ถึง 8 นั้นถือว่าเป็นช่วงที่ปลอดภัยสำหรับไฟโบรอิน ในขณะที่เซริซินจะถูกกำจัดออกไปจากเส้นใยได้ในสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 1.5 ถึง 2 และระหว่างช่วง 9.5 ถึง 10.5 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของค่าความเป็นกรดเบสของตัวกลางในการกำจัดเซริซิน (โดยน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักที่ยังไม่ได้ลอกกาว) (เวลา อุณหภูมิ และส่วนผสมของสารละลายไม่ได้กล่าวถึง)

จุดมุ่งหมายของกระบวนการลอกกาวไหม

- เพื่อกำจัดเซริซินจากเส้นใย
- เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก (เช่น ขี้ผึ้ง ไขมัน เกลือ เป็นต้น) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการย้อมสีและกระบวนการพิมพ์
- เพื่อทำให้เส้นใยมีความสามารถในการดูดความชื้น สารเคมี สีย้อมผ้าได้
- เพื่อเปิดเผยไฟโบรอิน และเปิดเผยความมันเงาของเส้นใย
- เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการมองเห็น

กระบวนการลอกกาวไหม สามารถจำแนกได้ 5 ชนิดใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ [1]

2.8.1 การลอกกาวไหมด้วยน้ำภายใต้ความดัน ณ อุณหภูมิ 115 °ซ

จากคุณสมบัติของเส้นใยไหม จะพบว่าเส้นใยไหมจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่เส้นใยจะละลายในน้ำเดือดได้ ดังนั้นกระบวนการนี้จะทำให้เกิดแนวโน้มที่จะเป็นการไปทำลายไฟโบรอิน เมื่อเราใช้เวลานานขึ้น กระบวนการนี้ต้องการใช้หม้ออัดความดันที่ใหญ่มากเพื่อกำจัดกาวไหม ดังนั้นเป็นข้อเสียอีกอย่างหนึ่งที่ต้องลงทุนเกี่ยวกับหม้ออัดความดัน ข้อเสียอื่นๆ กระบวนการนี้จะไม่สามารถกำจัดกาวไหมออกหมดและบางที่จำเป็นต้องเติมสบู่ หรือสบู่สังเคราะห์เข้าไปเพื่อที่จะช่วยเพิ่มพลังในการซักล้างอีกขั้น ดังนั้นกระบวนการนี้จึงยากในการควบคุมและไม่ใช้แล้วในอุตสาหกรรม

2.8.2 การลอกกาวไหมด้วยสบู่ ณ อุณหภูมิ 98 °ซ

สบู่ Marseilles (สบู่ที่มาจากน้ำมันมะกอก) เป็นสบู่ที่เหมาะสมที่สุดในการลอกกาวไหม อาทิเช่น กระบวนการนี้อาจจะใช้สบู่ 10-20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 92-98 °ซ เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมงและปรับค่าความเป็นกรดเบส 10.2 ถึง 10.5 เพื่อให้เหมาะสมที่สุดที่จะกำจัดกาวไหม เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูง กระบวนการนี้มีแนวโน้มที่จะทำลายทั้งไฟโบรอิน และ เซริซิน เพราะว่าสภาพความว่องไวของไฟโบรอินของตัวมันเอง และองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกันทำได้ยากต่อการกำจัดกาวไหม โดยไม่ทำให้ไฟโบรอินถูกทำลาย อย่างไรก็ตาม ความต้องการที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้คือ น้ำอ่อน เพื่อป้องกันการเกิดสบู่แคลเซียม

2.8.3 การลอกกาวไหมด้วยสบู่สังเคราะห์ ณ อุณหภูมิ 98 °ซ

สบู่สังเคราะห์เป็นตัวหลักในการกำจัดกาวไหม เพราะสบู่สังเคราะห์มีข้อดีกว่าสบู่ธรรมดา เช่น ลดเวลาของการลอกกาว เช่น 30-40 นาที อุณหภูมิ 98 °ซ และเส้นใยถูกทำลายน้อยลง

Skula ได้แนะนำว่าสบู่สังเคราะห์ที่ไม่มีประจุช่วยในการกำจัดของเซริซิน โดยที่ไม่ทำให้ลดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง เขาแนะนำว่าสบู่สังเคราะห์ที่ไม่มีประจุขนาด 2.5 กรัมต่อลิตร ณ ค่าความเป็นกรดเบส 11.5 เป็นเวลา 30 นาที และให้ผลที่ดีที่สุดในการกำจัดกาวไหม

ปัญหาของกระบวนการนี้ก็คือใช้อุณหภูมิสูงเช่นกัน และค่าความเป็นกรดเบสถึง 11.5 ดังนั้น ณ อุณหภูมิการลอกกาวนี้ และปริมาณสบู่สังเคราะห์ที่ใช้จะต้องควบคู่อย่างถูกต้องเพื่อป้องกันไฟโบรอินถูกทำลาย

2.8.4 การลอกกาวไหมด้วยกรด ณ อุณหภูมิ 98 °ซ

กรดบางตัว เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดทาร์ทาร์ริก กรดซิตริก เป็นต้น สามารถใช้เป็นสารลอกกาวไหมได้ กระบวนการนี้ไม่ค่อยจะนิยม และไม่ค่อยมีใครสนใจนัก เนื่องจากในสภาวะด่างจะทำให้เกิดอันตรายต่อเส้นใยไหมได้น้อยกว่าในสภาวะกรด นอกจากนี้ถ้าใช้กรดแก่ เช่น กรดซัลฟิวริก และ กรดไฮโดรคลอริก จะไม่สามารถยืนยันได้ว่าไฟโบรอินจะไม่ถูกทำลาย

2.8.5 การลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์

เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สามารถทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีที่จำเพาะเจาะจง ซึ่งอาจเรียกว่า Bio-catalyst ก็ได้ โดยปกติเอนไซม์จะมีอยู่ในเซลล์ต่างๆ ดังนั้นเอนไซม์จะทำหน้าที่ในสภาวะที่มีความดันบรรยากาศ และในสภาวะที่ปานกลาง เช่น ที่อุณหภูมิ 40 °ซ ค่าความเป็นกรดเบส 8.0 เป็นต้น เอนไซม์ที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส รีดักชั่น ออกซิเดชั่น ตกตะกอน และแตกตัว สำหรับเอนไซม์ไฮโดรไลซิสจะนิยมใช้ในงานสิ่งทอ เช่น เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ทริปซิน (Trypsin) ปาเปอิน (Papain) เป็นต้น

คุณสมบัติบางอย่างของเอนไซม์จะมีดังนี้คือ

- เอนไซม์เป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักมาก และค่อนข้างซับซ้อน
- เอนไซม์จะไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งหากไม่เหมาะสมกับค่าที่เอนไซม์ต้องการอาจเกิดการแตกตัว หรือถูกทำลายได้

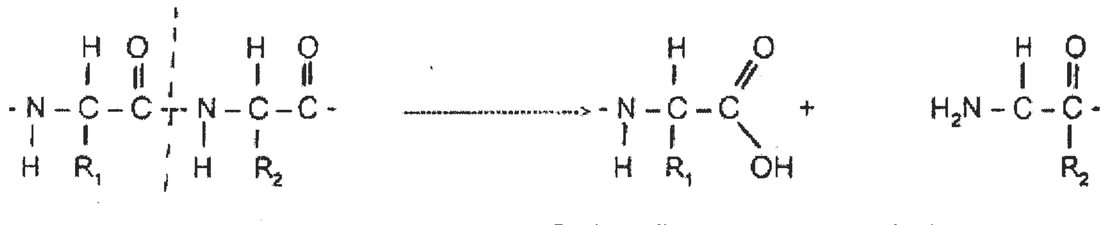
- เอนไซม์ทำปฏิกิริยาเฉพาะที่กับโมเลกุลของสาร เนื่องจากบริเวณที่ทำปฏิกิริยา และชนิดของมัน
- ปฏิกิริยาของเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ เช่น A+B ↔ C

2.8.5.1 **ปฏิกิริยาของเอนไซม์**

ทฤษฎีแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (Lock-key theory) **จะเป็นทฤษฎีที่ง่ายที่สุดที่จะ**อธิบายการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ดี เพื่อที่จะทำปฏิกิริยากับสสารอย่างที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์จะต้องมีบริเวณที่ทำปฏิกิริยา และโมเลกุลของสสารจะต้องติดกับบริเวณที่ทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ เหมือนกับลูกกุญแจที่เปิดแม่กุญแจจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอนไซม์กับสสาร สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอนไซม์กับสสารจะปล่อยผลิตภัณฑ์สุดท้าย และปลดปล่อยโมเลกุลเอนไซม์ เอนไซม์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาและจะเกิดวัฏจักรใหม่

2.8.5.2 **เอนไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวไหม**

เอนไซม์ชื่อ ทริปซิน ปาเปอิน และแบคทีเรีย เป็นเอนไซม์สำหรับลอกกาวไหม เอนไซม์ที่เป็นโปรตีเอส (Protease) เพราะว่าเอนไซม์นี้จะทำลายโปรตีน และการแตกตัวเป็นพอลิเปปไทล์ เปปไทล์ และสสารโดยการไฮโดรไลซิสของพันธะเปปไทล์ (-CO-NH-) เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของโปรตีน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาการแตกตัวของโปรตีนโดยเอนไซม์

ทริปซิน

เป็นเอนไซม์ที่สกัดจากตับอ่อน ซึ่งเอนไซม์นี้จะเป็นตัวทำลายเซอรีน (Serine) และความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในช่องความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 7-9 และอุณหภูมิ 37 $^{\circ}$ซ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทล์ระหว่างกลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิก ของไลซีน (lysine) หรือ อะ

จินีน (Arginine) และกลุ่มของกรดอะมิโนที่อยู่ติดกับชิ้นส่วนนั้นๆ ตามที่ทราบกันดีว่าเซริซิน จะมีความเป็นผลึกน้อยกว่าไฟโบรอินและมีปริมาณของไลซีน และอะจินีนจำนวนค่อนข้างมาก

ปาเปอิน

เอนไซม์ตัวนี้จะได้มาจากมะละกอ ซึ่งเป็นเอนไซม์ sulphydryl ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาระหว่าง 5.0-7.5 ที่อุณหภูมิ 70-90 °ซ ก่อนกระบวนการลอกกาวไหม ปาเปอินจะต้องถูกกระตุ้นโดยสาร sulphydryl ปาเปอินที่ถูกกระตุ้นจะทำลายพันธะเปปไทล์ระหว่างกลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิกของไลซีน หรือกลุ่มที่อยู่ติดกัน การแตกตัวนิดหน่อยอยู่ที่กลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิกของฮีสติดิน และยังเกิดกับไกลซีน (Glycine) กรดกลูตามิก (Glutamic acid) กลูตามีน (Glutamine) ลิวซีน (Leucine) และไทโรซีน (Tyrosine) เป็นต้น

เอนไซม์จากแบคทีเรีย

เอนไซม์จากแบคทีเรียมีชนิด alkalase ซึ่งผลิตโดยบริษัท Novo พบว่าเป็นเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหม เอนไซม์ชนิดนี้ถูกบริษัทอ้างว่ามีประสิทธิภาพเหนือกว่าเอนไซม์ทริปซิน และปาเปอิน และกล่าวอีกว่าสามารถจะกำจัด เซริซินอย่างสมบูรณ์ในเวลา 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 60 °ซ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 9.0

เอนไซม์ชนิดอื่น ๆ

ยังมีเอนไซม์ชนิดอื่นๆที่พบว่าเป็นเอนไซม์ที่สามารถลอกกาวไหม เช่น เอนไซม์ degummase, esperase, proteinase และ sauinase เป็นต้น

การลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์มีข้อได้เปรียบกว่าการลอกกาวไหมด้วยสบู่ที่เป็นด่างโดยปกติ ดังนี้คือ

1. เป็นปฏิกิริยาที่เฉพาะตัว ดังนั้นจะช่วยลดการทำลายไฟโบรอินให้น้อยที่สุด
2. เป็นการลอกกาวไหมที่เสี่ยงน้อยกว่าการทำลายไฟโบรอินด้วยสบู่ที่เป็นด่าง
3. น้ำหนักที่สูญเสียจะมาจากปัจจัยเกี่ยวกับการความปรับเข้มข้นของเอนไซม์ เวลาในการทำปฏิกิริยา การใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับตัวเอนไซม์
4. ด้วยกระบวนการใช้เอนไซม์ ไหมจะถูกลอกกาวออกที่อุณหภูมิต่ำกว่ามาก (เช่น ที่อุณหภูมิ 40 °ซ) ไม่เพียงแต่จะลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนแล้ว ยังลดปัญหาเส้นใยถูกทำลายอีกด้วย

5. เอนไซม์เป็นสารที่ค่อนข้างจะเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม เนื่องจากเมื่อพิจารณาแล้วเป็นสารที่สลายตัวได้กระบวนการตามธรรมชาติ
6. เมื่อไม่มีสบู่เข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์ ดังนั้นจึงไม่ค่อยทำให้เกิดปัญหาการย้อมสีที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงสบู่ที่เป็นโลหะได้

กระบวนการลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์ก็มีข้อเสียเช่นกัน

1. จำเป็นต้องมีกระบวนการก่อนการทำกระบวนการนี้ก่อน เนื่องจากกาวไหมจะต้องถูกทำให้พองตัวก่อนในอ่างของเอนไซม์ เพื่อเอนไซม์สามารถแทรกตัวเข้าไปกำจัดกาวไหม
2. เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับกระบวนการลอกกาวไหมด้วยสบู่ที่เป็นด่าง แต่อย่างไรก็ตามการลอกกาวไหมจะให้ผลการลอกที่ดีกว่าเนื่องจากสามารถควบคุมกระบวนการได้ดีกว่า ดังนั้นตามทฤษฎีแล้วไฟโบรอินน่าจะไม่ถูกทำลาย

2.11 **เครื่องสำอางธรรมชาติ** [4]

สารจากธรรมชาติที่ใช้เป็นเครื่องสำอาง แบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เป็นสารจากพืช ส่วนใหญ่เป็นน้ำมัน และสารสกัดต่างๆ โดยมิได้เตรียมจากการเกิดปฏิกิริยาใดๆ เลย เช่น น้ำมันจากพืชต่างๆ, herbal extracts, lecithin และ phytosterols เป็นต้น

2. เป็นสารอนุพันธ์ของพืช เป็นสารที่เดิมมาจากแหล่งพืช แล้วนำมาดัดแปลงทางเคมีได้เป็นอนุพันธ์ต่างๆ เช่น glyceryl monostearate และ glyceryl tricaprylatr/caprate ซึ่งเตรียมจาก glycerine stearic capric/caprylic acidได้จากธรรมชาติ

3. สารสังเคราะห์จากอนุพันธ์ของพืช เช่น alkoxylate ของน้ำมันพืช, hydrolyzed ของน้ำมัน และ hydrolyzed ของโปรตีนจากพืช

4. สารสกัดจากสัตว์โดยมิได้ทำอันตรายต่อสัตว์นั้นๆ

สารใหม่อื่นๆ จากธรรมชาติ

1. ผงไหม (Natural silkmpowder) มีใช้มากกว่า 50 ปี เป็นผลึกของไฟโบรอินที่ถูกบดเป็นผงละเอียด สกัดได้จากใยไหมซึ่งได้ขจัดเซริซินออกแล้ว ผงไหมประกอบด้วยกรดอะมิดนหลายชนิด เช่น ไกลซีน(Glycine) อะลานิน(Alanine) เซอรีน(Serine) กรดแอสพาติค(Aspartic acid) ลิวซีน (Leucine) และไทโรซีน (Tyrosine) ซึ่งเป็นอาหารที่ดีต่อเสส้นผมและผิว สามารถดูดน้ำและความชื้นได้ดีขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำให้เกิดความรู้สึกนุ่มต่อการสัมผัส ผงไหม

สามารถแขวนกระจายได้ในน้ำจึงผสมในแชมพู ครีมนวดผม ครีมทาผิว นอกจากนี้ยังสามารถกักเก็บน้ำมันได้ดีเมื่อเทียบกับ clays ทั้งหลาย จึงใช้ในแป้งผัดสำหรับคนผิวมัน ถ้าผสมในเครื่องสำอางตกแต่งที่มี mica pearl จะช่วยลดความมันวาวทำให้ผิวดูแลเป็นธรรมชาติ ผงไหมที่ผลิตด้วยความระมัดระวังจะมีความเงาสวยและปลอดเชื้อ

2. Silk Amino Acid (S.A.A) ได้จากการย่อยสลายไฟโบรอินลงเป็นส่วนผสมของกรดอะมิโนอิสระ, dipeptide, tripeptides โดยใช้กรดหรือด่างแก่ S.A.A ละลายน้ำจะได้สารละลายใส เข้าได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำและแอลกอฮอล์เข้าได้ดีกับสารที่เป็นประจุลบ ประจุบวกและแอมโฟเทอริก จึงผสมในเครื่องสำอางได้กว้าง S.A.A มีสมบัติในการรักษาสมดุลความชื้นแก่ผิวที่ดีมากเมื่อเทียบกับสารฮิวแมกแตนต์อื่นๆ เช่น ไกลซีน(Glycine) จึงเหมาะกับเส้นผมและผิว ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและรู้สึกสัมผัสที่ดี เพราะกรดอะมิโนอิสระสามารถซึมเข้าชั้น cortex ของเส้นผมได้ดี

3. Hydrolysed silk protein เป็น silk peptide ที่ได้จากไฟโบรอินซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 1000 โดยการควบคุมการย่อยสลายของไฟโบรอิน อย่างระมัดระวัง มีสมบัติละลายน้ำ และเข้ากับสารลดแรงตึงผิวได้ดี สามารถเกิดฟิล์มเงาเคลือบบนเส้นผมหรือผิว

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hiromi; Y. (2001) ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินในกระบวนการละลาย โดยนำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินออกด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (0.05 wt%) อัตราส่วนรังไหมต่อสารละลาย 1 : 50 อุณหภูมิ 100 ^{o}ซ เป็นเวลาต่างๆ กัน 5-60 นาที ทำซ้ำ 2 ครั้ง แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด ผึ่งลมให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้อง จะได้รังไหมที่ผ่านการต้มลอกกาวเซริซินออก (สารไหมไฟโบรอิน) อีกวิธี นำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลาย 8 M aqueous urea 150 มิลลิลิตร ต่อรังไหม 15 กรัม ที่อุณหภูมิ 80 ^{o}ซ เป็นเวลา 10 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง จะได้สารไหมไฟโบรอิน นำสารไหมไฟโบรอินมาต้มให้ละลายในสารละลายผสมระหว่าง $CaCl_2$:H_2O:ethanol (111:92:144 โดยน้ำหนัก) โดยใช้สารไหมไฟโบรอิน 15 กรัม ต่อสารละลายผสม 100 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 75 ^{o}ซ จนละลาย และนำสารละลายไหมไฟโบรอินที่ได้ไปไฮโดรไลส์ด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดคลอไรด์ไอออน พบว่าการต้มลอกกาวเซริซินออกด้วยสารละลาย 8 M urea จะดีกว่าการต้มลอกกาวเซริซินออกด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (0.05 wt%) [5]

Kim-Ju; P. (2002) ศึกษาการสกัดสารไหมไฟโบรอินเพื่อเป็นสารต้านความเป็นพิษ โดยตัดรังไหมให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (5 wt%) จำนวน 2.5 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง ล้างด้วยน้ำร้อนจำนวน 3 ครั้ง ผึ่ง

ให้แห้ง ได้สารไหมไฟโบรอินแล้วต้มให้ละลายด้วยสารละลายผสม $CaCl_2$:H_2O:ethanol (226.4 กรัม : 346 กรัม :280 มิลลิลิตร) โดยใช้สารไหมไฟโบรอิน 35 กรัม ต้มที่อุณหภูมิ 90 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปไฮโดรไลส์ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 2 วัน ทำให้แห้งโดยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry) และนำไปบดจะได้ผงไหมไฟโบรอินชนิดละลายน้ำ [6]

Kosuke; O. (2002) ศึกษาการสกัดสารไหมไฟโบรอินเพื่อศึกษาการเตรียมนาโนไฟเบอร์ โดยนำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลายสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (0.5 wt%) ต้มที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ต้มซ้ำ 3 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดผึ่งให้แห้ง จะได้สารไหมไฟโบรอินแล้วต้มให้ละลายด้วยสารละลายลิเทียมโบร์ไมด์ 9 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 40 °ซ จากนั้นนำไปไฮโดรไลส์ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 4 วัน ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่น และนำไปศึกษาโครงสร้างต่อไป [7]

Joo-Hong; Y. (2002) ศึกษาการสกัดสารไหมไฟโบรอิน โดยนำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลาย 0.5% (W/V) Mareseilles soap และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (0.3 wt%) ต้มที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง จะได้สารไหมไฟโบรอินแล้วต้มให้ละลายด้วยสารละลายผสม $CaCl_2$:H_2O:ethanol (1:8:2) 700 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 95 °ซ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปไฮโดรไลส์ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 4 วัน นำไปทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry) และทำการบดด้วยเครื่องบดจะได้ผงไหมไฟโบรอินชนิดละลายน้ำได้[8]

Mingzhong; L. (2002) ศึกษาพฤติกรรมของแผ่นไหมไฟโบรอินที่มีรูพรุน โดยนำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (0.05 wt%) ต้มที่อุณหภูมิ 98 ± 2 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำอุ่น ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารไหมไฟโบรอิน แล้วต้มให้ละลายด้วยสารละลายผสม $CaCl_2$:H_2O:ethanol (1:2:8) 500 ml ต้มที่อุณหภูมิ 78±2 °ซ และทำการปั่นกวน จากนั้นนำไปไฮโดรไลส์ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 3 วัน จะได้สารละลายไหมไฟโบรอิน และนำไปทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dry) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้แผ่นไหมไฟโบรอินที่มีรูพรุนที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร เมื่อนำไปเมื่อวิเคราะห์ขนาดของผงไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) พบว่า ขนาดรูพรุนในแผ่นจะใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแผ่นแตก [9]

Ying; X. (2004) ศึกษาความสามารถในการละลายและพฤติกรรมการไหลของสารละลายไหมไฟโบรอินใน N-methyl morphine N-oxide โดยนำรังไหมมาต้มลอกกาวเซริซินด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 5 กรัมต่อลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต้มซ้ำ 2 ครั้ง ล้างด้วยน้ำอุ่น ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารไหมไฟโบรอิน แล้วต้มให้ละลายด้วยสารละลายลิเทียมโบร์ไมด์ 9 โมลาร์ ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จะได้

สารละลายไหมไฟโบรอิน นำไปขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มจะได้ regenerate silk fibroin film ที่สามารถละลายได้ดีใน N-methyl morphine N-oxide ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 20 % และจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 85 – 100 °ซ [10]