



การเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุสิ่งทอให้เป็นถุงมือกันไฟ

The Value Added of Textile Waste to be Fireproof Gloves

นายมณฑล ศรีเพ็ชร

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2561

การเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุสิ่งทอให้เป็นถุงมือกันไฟ

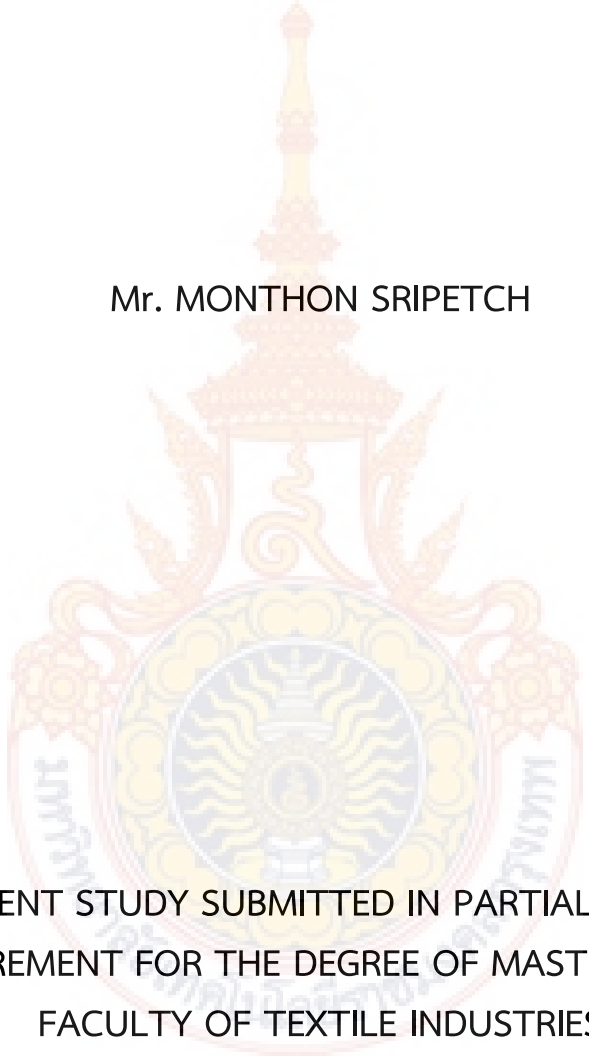
นายมณฑล ศรีเพ็ชร



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2561

THE VALUE ADDED OF TEXTILE WASTE TO BE FIREPROOF GLOVES

Mr. MONTHON SRIPETCH



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
FACULTY OF TEXTILE INDUSTRIES
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP
2018

ชื่อสารนิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุสิ่งทอให้เป็นถุงมือกันไฟ
โดย	นายมนทล ศรีเพ็ชร
สาขาวิชา	สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์	รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ อนุมัติให้นับสารนิพนธ์นี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

..... คณบดีคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรานิษฐ์ สิทธิพนธ์)

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยยนต์ ไชยยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปทุมทิพย์ ปราบพาล)

หน้าลิขสิทธิ์

สารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการศึกษาค้นคว้าอิสระขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ดังนั้นงานวิจัยในสารนิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และข้อความต่างๆ ในสารนิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายมนทล ศรีเพ็ชร
(ผู้จัดทำสารนิพนธ์)



COPYRIGHT © 2018

ลิขสิทธิ์ พ.ศ 2561

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP

FACULTY OF TEXTILE INDUSTRIES

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

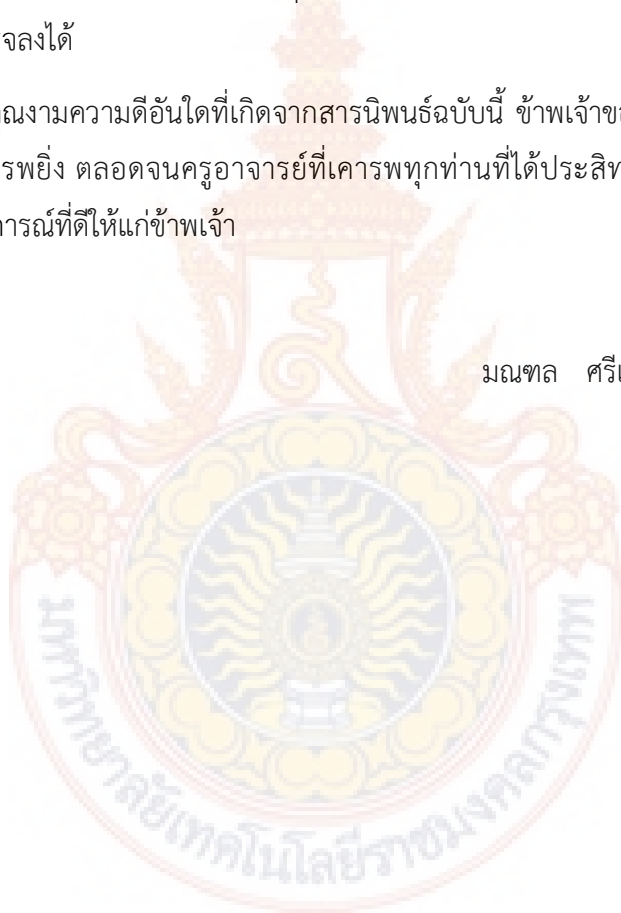
กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เล่มนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าขาดความร่วมมือจาก คุณบุญเกิด โชคสุขขลาลัย ผู้จัดการโรงงาน บริษัท ยูไอพี จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ รวมไปถึง วัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักร วัตถุดิบต่างๆ ในการทำสารนิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้ง ยังช่วยให้ข้อมูล และข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ขนิษฐา เจริญลาภ ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งในส่วนของการช่วยแนะแนว แก้ไข ปรับปรุง และให้ความคิดเห็นที่มีประโยชน์ และทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไชยยันต์ ไชยยะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปทุมทิพย์ ปราบพาล กรรมการสอบสารนิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากสารนิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

มณฑล ศรีเพ็ชร

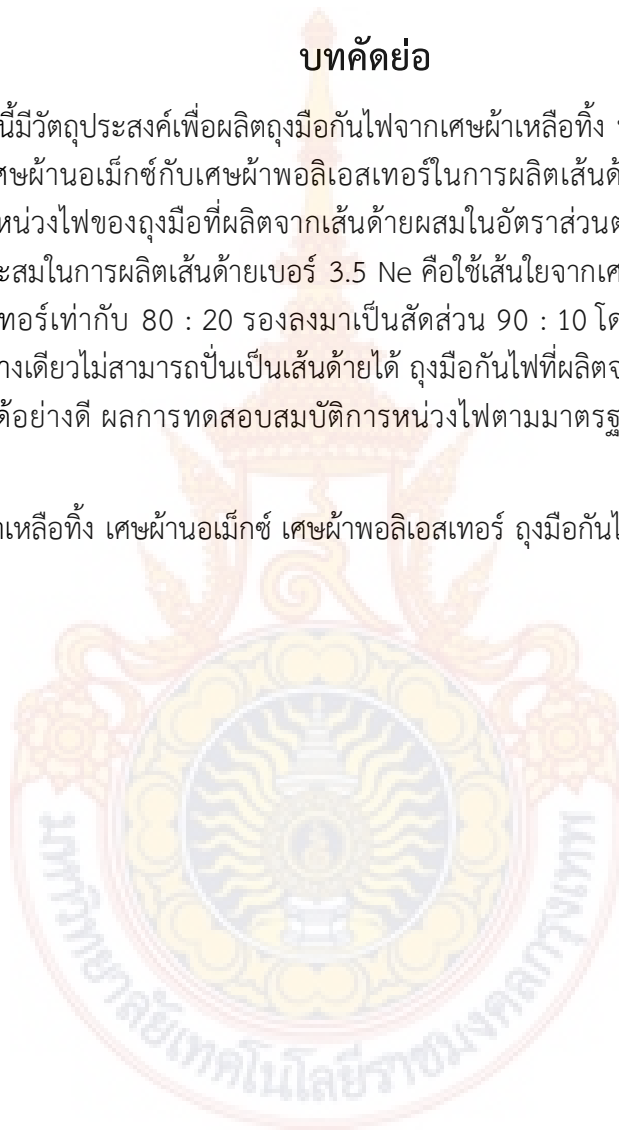


ชื่อสารนิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุสิ่งทอให้เป็นถุงมือกันไฟ
โดย	นายมนทล ศรีเพ็ชร
สาขาวิชา	สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์	รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตถุงมือกันไฟจากเศษผ้าเหลือทิ้ง ทดลองโดยศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยจากเศษผ้าเนื้อเมกซ์กับเศษผ้าพอลิเอสเตอร์ในการผลิตเส้นด้ายผสมเบอร์ 3.5 Ne และศึกษาสมบัติการทอของไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นด้ายผสมในอัตราส่วนต่างๆ ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเส้นด้ายเบอร์ 3.5 Ne คือใช้เส้นใยจากเศษผ้าเนื้อเมกซ์ต่อเส้นใยจากเศษผ้าพอลิเอสเตอร์เท่ากับ 80 : 20 รองลงมาเป็นสัดส่วน 90 : 10 โดยการใช้เส้นใยจากเศษผ้าเนื้อเมกซ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถปั่นเป็นเส้นด้ายได้ ถุงมือกันไฟที่ผลิตจากเส้นด้ายทั้ง 2 สัดส่วน มีสมบัติทอไฟได้ดี ผลการทดสอบสมบัติการทอไฟตามมาตรฐาน EN407 อยู่ในระดับ 4 (ระดับดีที่สุด)

คำสำคัญ: เศษผ้าเหลือทิ้ง เศษผ้าเนื้อเมกซ์ เศษผ้าพอลิเอสเตอร์ ถุงมือกันไฟ



Independent Study	The Value Added of Textile Waste to be Fireproof Gloves
Author	Mr. Monthon Sripetch
Major	Textiles and Garment
Advisor	Asst. Prof. Khanittha Charoenlarp
Academic Year	2018

Abstract

This research aims to produce fireproof gloves from waste textile materials. Experiment by studying the ratio of fibers from Nomex rags and polyester fibers to produce 3.5 Ne blended yarns and study the fire-retardant properties of gloves produced from mixed yarns in various ratios. The results showed that the optimum ratio for the production of 3.5 Ne blended yarns was fibers from Nomex fibers and polyester fibers equal to 80: 20, followed by 90: 10 ratio and fibers from 100% Nomex rag could not be spun into yarn. Fire-resistant gloves that are produced from both yarns have good fire-retardant properties. The results of the fire-retardant properties according to EN407 are at level 4 (the best level).

keyword: waste textile materials, Nomex rags, polyester rag, fire-resistant gloves



สารบัญ

หน้าลิขสิทธิ์	
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 นิยามศัพท์.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เส้นใยสังเคราะห์.....	4
2.2 เส้นด้าย	12
2.3 ถูมือ	16
2.4 สิ่งทอป้องกันความร้อนและเปลวไฟ	23
2.5 การประเมินความสามารถการติดไฟของผ้า.....	30
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	36
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ.....	36
3.2 วิธีการทดลอง.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	38
4.1 การเตรียมใยจากเศษผ้าเหลือใช้จากการตัดเย็บชุดทหาร.....	38
4.2 การปั่นเส้นด้าย	40
4.3 การทดสอบสมบัติทนไฟของถูมือจากใยที่ได้จากเศษผ้าผ่านอเม็กซ์.....	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ประวัติผู้เขียน	51

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1.1	เส้นใยธรรมชาติ (natural fibre)	5
ตารางที่ 2.1.2	เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fibre)	5
ตารางที่ 2.1.3	ข้อดีข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์	6
ตารางที่ 2.1.4	สมบัติของเส้นใยพารา-อะรามิด	10
ตารางที่ 2.1.5	การเปรียบเทียบเชิงกลของคาร์บอนไฟเบอร์และเหล็กกล้าในน้ำหนักที่เท่ากัน	11
ตารางที่ 2.2.1	ขั้นตอนการผลิต วัตถุประสงค์และชื่อของผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอน	
	การผลิตเส้นด้ายใยสั้น	13
ตารางที่ 2.3.1	ข้อแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันมือ	19
ตารางที่ 2.3.2	ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN388	21
ตารางที่ 2.3.3	ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN407	22
ตารางที่ 2.3.4	ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN374	22
ตารางที่ 2.4.1	ดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ของเส้นใยชนิดต่างๆ	26
ตารางที่ 2.5.1	ระดับความทนทานต่อเปลวไฟของมาตรฐาน EN407	32
ตารางที่ 2.5.2	ระดับความทนทานต่อความร้อนของมาตรฐาน EN407	33
ตารางที่ 2.5.3	ระดับการหน่วงความร้อนของมาตรฐาน EN407	33
ตารางที่ 2.5.4	ระดับความต้านทานต่อรังสีความร้อนของมาตรฐาน EN407	33
ตารางที่ 2.5.5	ระดับความทนทานการทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดเล็กของมาตรฐาน EN407	34
ตารางที่ 2.5.6	ระดับความทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดใหญ่ ของมาตรฐาน EN407	34
ตารางที่ 4.2.1	จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดในการรัดปุ๋ยด้วยเครื่องรัดปุ๋ยที่ 1	42
ตารางที่ 4.2.2	จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดในการรัดปุ๋ยด้วยเครื่องรัดปุ๋ยที่ 2	42
ตารางที่ 4.2.3	จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดที่เครื่องปั่น OE ต่อ 10 นาที	43
ตารางที่ 4.3.1	ผลทดสอบกันไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ สัดส่วน 80 : 20	44
ตารางที่ 4.3.2	ผลทดสอบกันไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ สัดส่วน 80 : 20	45

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1.1	ลักษณะของเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว	7
รูปที่ 2.1.2	ตัวอย่างภาคตัดขวางของเส้นใยแต่ละชนิด	8
รูปที่ 2.1.3	โครงสร้างเส้นใยอะรามิด	9
รูปที่ 2.2.1	เครื่องผสมและทำความสะอาดเส้นใย (blow room machine)	14
รูปที่ 2.2.2	เครื่องสาวใย (carding machine)	15
รูปที่ 2.2.3	ระบบลูกกลิ้งและเครื่องรีดปุ๋ย (drafting roller and draw frame)	15
รูปที่ 2.2.4	เครื่องโรฟวิง (roving machine)	16
รูปที่ 2.3.1	ความหนาของถุงมือ	20
รูปที่ 2.3.2	ความยาวของถุงมือ	20
รูปที่ 2.3.3	ขนาดของถุงมือ	21
รูปที่ 2.4.1	องค์ประกอบของการติดไฟ	23
รูปที่ 2.4.2	การเผาไหม้และการขยายพื้นที่ในการเผาไหม้	24
รูปที่ 2.4.3	กระบวนการเผาไหม้ของเส้นใยเซลลูโลส	25
รูปที่ 2.5.1	แผนผังสรุปโดยย่อของการดูค่ามาตรฐาน EN407	35
รูปที่ 4.1.1	ขั้นตอนการผลิตเส้นใยนอแม็กซ์ด้วยเครื่องฉีกสับผ้า	38
รูปที่ 4.1.2	ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์ด้วยเครื่องฉีกสับผ้า	39
รูปที่ 4.2.1	การเตรียมวัตถุดิบเส้นใยในอัตราส่วนต่าง	40
รูปที่ 4.2.2	สไลเวอร์ที่ได้จากเครื่องสาวใย	41
รูปที่ 4.2.3	การรีดปุ๋ยเส้นสไลเวอร์	42
รูปที่ 4.2.4	การนำสไลเวอร์ที่ได้หลังจากการรีดปุ๋ยเข้าเครื่องปั่น OE	43
รูปที่ 4.2.5	ถุงมือห่วงไฟจากใยที่ได้จากเศษผ่านอแม็กซ์	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

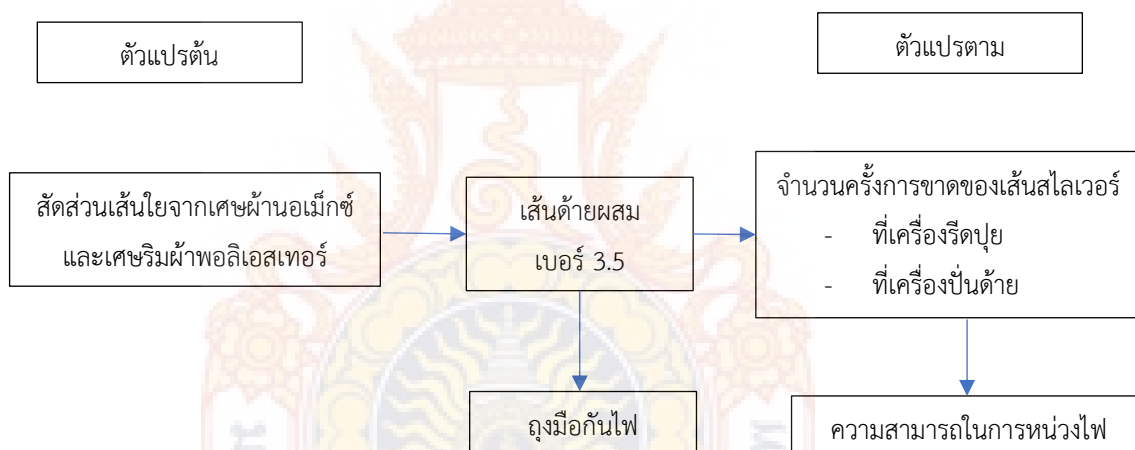
อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทยมีส่วนมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเป็นอันดับ 4 รองจากอุตสาหกรรมเครื่องจักร อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และอุตสาหกรรมยานยนต์ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่า 245 พันล้านบาท หรือร้อยละ 2.2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมทั้งประเทศ โดยมูลค่า GDP ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ระหว่างปี 2550 - 2554 มีมูลค่าการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเฉลี่ยประมาณ 150,000 ล้านบาทต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทยสูง (การดี และ ภูมิพร, n.d.) ยังมีปริมาณการผลิตมากย่อมหมายถึงการมีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น เศษเส้นใย เศษเส้นด้าย เศษผืนผ้า พบว่าปัจจุบันมีปริมาณเศษวัสดุสิ่งทอเหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้นทุกวัน (Halimi, Hassen, and Sakli 2008; Ütebay, Çelik, and Çay 2019; พิราอร อำนวยพรสกุล 2557) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการหาแนวทางต่างๆ เพื่อลดผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมจากวัสดุของเสียสิ่งทอ และแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างยั่งยืน มีรายงานการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งทอในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การรีไซเคิลโดยส่งออกเป็นเส้นใยมือสองไปยังประเทศกำลังพัฒนา (DEFRA n.d.; Hawley 2006; Baden and Barber 2005) ซึ่งวิธีนี้พบว่าส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอในท้องถิ่น (Hawley 2006; Baden and Barber 2005; Amankwah-Amoah 2015) การนำเศษผ้ามาแปรรูปเป็นสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ (กมลวรรณ พัชรพรพิพัฒน์ 2560; จิราพัทธ์ แก้วศรีทอง และคณะ. 2559; ตยานิตย์ มิตรแปง และ ไอลดา พรหมสัถ 2559; พิราอร อำนวยพรสกุล 2557) การรีไซเคิลโดยใช้เครื่องจักรกลดัดเศษผ้าให้เป็นเส้นใย แล้วนำไปผลิตเป็นเส้นด้ายชิ้นใหม่ (Heifetz 1994; Esteve-Turrillas and de la Guardia 2017; Halimi, Hassen, and Sakli 2008; อัสชา, บุษรา, และ ประพาฬภรณ์ 2014) หรือการนำเส้นใยที่ได้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ผ้าไม่ทอเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น พรม วัสดุดูดซับเสียง วัสดุกั้นความร้อน วัสดุสิ่งทอเทคนิค และวัสดุคอมโพสิตอื่นๆ (Dissanayake et al. 2018; Briga-Sá et al. 2013) จากการทบทวนเอกสารพบว่าส่วนใหญ่จะเป็นการรีไซเคิลเส้นใยที่ได้จากผ้าฝ้าย แต่เนื่องจากเศษผ้าบางชนิดทำจากเส้นใยพิเศษที่มีความแข็งแรง โดยจะมีทั้งค่าความทนแรงดึง (tensile strength) และค่าโมดูลัส (Young's modulus) ที่สูง ซึ่งได้แก่เส้นใยโนแม็กซ์ (Nomax) เคฟลาร์ (Kevlar) และสเปกตรา (Spectra) ซึ่งจัดเป็นเส้นใยไฮเทค (high technology fibers) ที่มีราคาแพง โดยพบว่าโรงงานตัดเย็บชุดทหารที่มีส่วนผสมของเส้นใยโนแม็กซ์จะมีเศษผ้าเหลือทิ้งจากการตัดเย็บชุดทหาร การวิจัยนี้จึงสนใจรีไซเคิลเส้นใยโนแม็กซ์จากเศษผ้าจากโรงงานตัดเย็บชุดทหารที่มีส่วนผสมของเส้นใยโนแม็กซ์ มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับเส้นใยโนแม็กซ์ ทั้งนี้พบว่าจากการทำงานในภาคอุตสาหกรรมพบว่านิ้วและมือ ของผู้ปฏิบัติงานมักมีโอกาสดังได้รับอันตรายอยู่เสมอ เช่น การถูกของมีคมบาดหรือตัด การถูกไฟลวก การถูกความร้อน การถลอก เป็นต้น เนื่องจากมือเป็นอวัยวะที่สำคัญในการทำงานเกือบทุกอย่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันตามความเหมาะสม ดังนั้นการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันมือจึงมี

วัตถุประสงค์หลักเพื่อลดการบาดเจ็บของอวัยวะส่วนนิ้วมือ และแขนอันเนื่องมาจากการทำงานได้ (Dianat, Haslegrave, and Stedmon 2012) งานวิจัยนี้จึงสนใจนำเส้นใยนอเม็กซ์จากเศษผ้าเหลือทิ้งมาผลิตเป็นถุงมือกันไฟ และทดสอบคุณสมบัติทนวงไฟของถุงมือที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยจากเศษผ้า นอเม็กซ์ และเศษริมนผ้าพอลิเอสเตอร์ ในการผลิตเส้นด้ายผสมสำหรับการทำถุงมือกันไฟ
- (2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทนวงไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นใยผสมที่มีส่วนประกอบมาจากเศษผ้า นอเม็กซ์ และเศษริมนผ้าพอลิเอสเตอร์

1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย



1.4 ขอบเขตการวิจัย

- (1) วัตถุดิบที่ใช้ คือ เศษริมนผ้าพอลิเอสเตอร์จากเครื่องทอผ้า Water-Jet และ เศษผ้า นอเม็กซ์ที่หมดอายุการใช้งาน รวมไปถึงเศษผ้า นอเม็กซ์ที่เหลือจากการตัดเย็บ
- (2) ตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้

ตัวแปรต้น สัดส่วนของวัตถุดิบเส้นใยที่ได้จากเศษผ้า นอเม็กซ์ และเศษริมนผ้า พอลิเอสเตอร์ ศึกษาในสัดส่วนดังนี้ 80 : 20, 90 : 10, 100 : 0

ตัวแปรตาม

- จำนวนครั้งการขาดของเส้นสไลเวอร์ที่เครื่องรีดปุ๋ย
- จำนวนครั้งการขาดของเส้นสไลเวอร์ที่เครื่องปั่นด้าย
- สมบัติการทนวงไฟของถุงมือกันไฟ

ตัวแปรควบคุม ขนาดเส้นด้ายผสมที่ผลิตเบอร์ 3.5

- (3) ผลิตเส้นด้ายด้วยวิธีการปั่นด้ายแบบปลายเปิด (open-end spinning) ด้วยเครื่อง rotor spinning
- (4) ผลิตถุงมือด้วยเครื่องถักถุงมืออัตโนมัติ 7 เกท ยี่ห้อ Shima seiki รุ่น 3A
- (5) ทดสอบสมบัติการทนวงไฟของถุงมือ EN407

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) เพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์จากเศษผ้าเหลือทิ้ง
- (2) ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการกำจัดเศษวัสดุผ้าเหลือทิ้ง
- (3) ได้พัฒนาสินค้าตัวใหม่และเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มของถุงมือที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน

1.6 นิยามศัพท์

สิ่งทอทนวงไฟ (flame retardant textile) - ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ โดยการไปรบกวนวงจรการลุกไหม้ของวัสดุสิ่งทอ ไม่ให้ดำเนินไปได้ตามปกติ

เศษวัสดุสิ่งทอเหลือทิ้งหมายถึง คือ เศษผ้าอเนกซ์ที่หมดอายุการใช้งาน และเศษผ้าอเนกซ์ที่เหลือจากการตัดเย็บ

Nomex - ชื่อทางการค้าของวัสดุสิ่งทอที่ผลิตจากเส้นใยอะรามิด ของบริษัท ดูปองท์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้าง การผลิตที่เชื่อมโยงต่อเนื่องกันอย่างครบวงจร ประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อยต่าง ๆ ในขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ ต้นทางที่เรียกว่า อุตสาหกรรมต้นน้ำ ได้แก่ การผลิตเส้นใย และการปั่นด้าย แล้วจึงส่งผลผลิตที่ได้ต่อไปยัง อุตสาหกรรมกลางน้ำ คือ การทอผ้า ถักผ้า ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwoven) รวมถึงการฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ และขั้นตอนสุดท้าย คือ อุตสาหกรรมปลายน้ำ โดยการนำวัตถุดิบจากชั้นกลางน้ำมาออกแบบสร้างคุณค่า และมูลค่าเพิ่มผลิตเป็นเสื้อผ้าสำเร็จรูป หรือผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำเร็จรูปอื่นๆ เพื่อประโยชน์ในการใช้งาน การพัฒนาอุตสาหกรรมต้นน้ำจึงเป็นจุดเริ่มต้นที่จะพัฒนาเส้นใยสิ่งทอให้เกิดความหลากหลายตามความต้องการของผู้ใช้ โดยเส้นใยนับว่าเป็นวัสดุสิ่งทอที่เล็กที่สุดที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.1.1 การแบ่งประเภทเส้นใย

เส้นใยที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งทอ แยกออกได้เป็นสองกลุ่มคือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fibre) และเส้นใยประดิษฐ์ (man-made fibre)

(1) เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ คือเส้นใยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ ได้แก่ พืช สัตว์ แร่ และยาง ในช่วงที่มนุษย์ยังไม่สามารถผลิตเส้นใยประดิษฐ์ได้นั้น เส้นใยจากพืชเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด รองลงมาเป็นเส้นใยจากสัตว์ คือ ไหม และขนแกะ ปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยประดิษฐ์เพื่อทดแทนเส้นใยธรรมชาติได้แล้ว แต่เส้นใยธรรมชาติก็ยังคงเป็นที่นิยมเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ให้ความสบายในการสวมใส่ และย้อมสีได้ง่าย เป็นต้น เส้นใยจากธรรมชาตินั้นมี 4 ประเภท แสดงในตารางที่ 2.1.1

ตารางที่ 2.1.1 เส้นใยธรรมชาติ (natural fibre)

เส้นใยจากพืช (cellulose fibre)	เส้นใยจากสัตว์ (protein fibre)	แร่	ยาง
จากเมล็ด ใยฝ้าย (cotton) ใยุ่น (kapok) จากลำต้น ป่านลินิน (flax) ป่านรามี่ (ramie) กัญชง (hemp) ปอกระเจา (jute) จากผล ใยมะพร้าว (coir) จากใบ ใยสับปะรด (pine apple)	ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair)	ใยหิน (asbestos)	ยางธรรมชาติ (rubber)

ที่มา : (วีระศักดิ์ 2542)

(2) เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fibre)

เส้นใยประดิษฐ์ คือเส้นใยที่เกิดจากการคิดค้นและพัฒนาของมนุษย์ เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ และเพื่อตอบสนองความต้องการเฉพาะด้าน อาทิ การทหาร การแพทย์ และอุตสาหกรรม ซึ่งผลิตขึ้นโดยการนำสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติ คือ เซลลูโลส หรือสารเคมีโมเลกุลเล็กที่ได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียมไปทำปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสมจนได้เป็นสารพอลิเมอร์ตั้งต้นเพื่อนำไปฉีดเป็นเส้นใย โดยทั่วไปแบ่งเส้นใยประดิษฐ์ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เส้นใยประดิษฐ์ที่สังเคราะห์จากเซลลูโลส เส้นใยประดิษฐ์ที่สังเคราะห์จากสารเคมี และเส้นใยประดิษฐ์จากแร่และเหล็ก ซึ่งเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแรกของโลกที่มนุษย์สามารถผลิตได้ คือ เส้นใยเรยอน

ตารางที่ 2.1.2 เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fibre)

สังเคราะห์จากเซลลูโลส (man-made cellulose fibre)	สังเคราะห์จากสารเคมี (synthetic fibre)	แร่และเหล็ก (inorganic)
เรยอน (rayon) อะซิเตท (acetate) ไตรอะซิเตท (triacetate)	พอลิเอสเตอร์ (polyester) ไนลอน (nylon) สแปนเด็กซ์ (spandex) อะคริลิก (acrylic) อารามิด (aramid)	โลหะ (metal) แก้ว (glass) เซรามิก (ceramic) กราไฟต์ (graphite)

ที่มา : (วีระศักดิ์ 2542)

2.1.2 คุณสมบัติของเส้นใยที่มีผลต่อคุณสมบัติและการนำไปใช้งานเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์มีข้อดีข้อเสีย แตกต่างกันซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2.1.3

ตารางที่ 2.1.3 ข้อดีข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใย	คุณสมบัติ	
	ข้อดี	ข้อเสีย
เส้นใยธรรมชาติ	1. สวมใส่สบาย 2. ย่อยสลายง่าย 3. ย้อมติดสีง่าย 4. ระบายอากาศได้ดี 5. เป็นทรัพยากรที่ไม่หมดสิ้น 6. ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมธรรมชาติ 7. มีสมบัติที่ดีบางประการ - น้ำหนักเบา - ไม่เป็นพิษ - เป็นฉนวนความร้อน / เสียงดี - มีศักยภาพในการเสริมแรงวัสดุอื่น - ย่อยสลายได้	1. อายุการใช้งานค่อนข้างสั้น 2. ไม่ทนต่อการซักล้าง 3. มีข้อจำกัดในการใช้งาน 4. ปรับปรุงสมบัติได้น้อย 5. คุณภาพไม่คงที่ 6. ราคาไม่คงที่ 7. ไม่ทนความร้อน 8. ดูดความชื้น 9. ติดไฟง่าย 10. เสียหายง่ายระหว่างการผลิต 11. มีข้อจำกัดในการนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่
เส้นใยสังเคราะห์	1. นำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย 2. ทนต่อการซักล้าง 3. สามารถปรับปรุงสมบัติได้หลากหลาย	1. สวมใส่แล้วร้อน 2. ย่อยสลายยาก 3. ระบายอากาศได้น้อย

ในส่วนของเส้นใยประดิษฐ์ ที่สามารถปรับปรุงสมบัติได้หลากหลาย ดังนั้นเส้นใยประดิษฐ์แต่ละประเภทจะถูกนำไปใช้งานที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของเส้นใยแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น

(1) เส้นใยประดิษฐ์ที่มีความทนต่อการขัดถู (abrasion resistance) คือ เส้นใยที่มีความทนต่อการใช้งาน การสวมใส่ การซัก ทำความสะอาด เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอน และสแปนเด็กซ์ โดยนำมาใช้กับงาน ที่ต้องการความทนทานต่อการขัดถู อาทิ ผ้าบุโซฟา ผ้าบุชั้นใน กระเป๋า ผ้าทำกระเป๋ากางเกง และผ้าซับในรองเท้า

(2) เส้นใยประดิษฐ์ที่มีการยืดตัวและความยืดหยุ่น (elongation & elasticity) เป็นคุณสมบัติของเส้นใยที่สามารถยืดตัวออกเมื่อถูกดึง และสามารถหดกลับได้เมื่อปล่อยแรงดึง (elastic recovery) เส้นใยที่มีคุณสมบัติ ดังกล่าว คือ เส้นใยสแปนเด็กซ์ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตจะใช้เส้นใยสแปนเด็กซ์เป็นแกนกลาง พันด้วยเส้นใยชนิดต่าง ๆ เช่น ฝ้าย พอลิเอสเตอร์ ไนลอน แล้วจึงนำไปถักหรือทอเป็นชุดชั้นใน ชุดว่ายน้ำ และถุงน่อง เป็นต้น

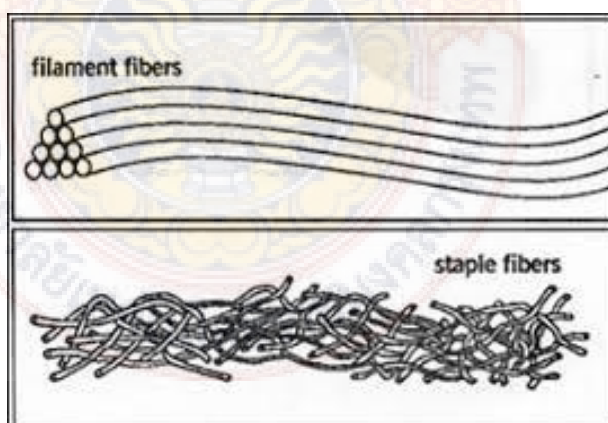
(3) การทนต่อความร้อน (thermal resistance) เส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่เมื่อได้รับความร้อนจะติดไฟง่ายและลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ส่วนเส้นใยสังเคราะห์เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อร้อนจนถึงจุดหลอมละลาย เส้นใยจะหลอมเหลวเป็นยางเหนียวคล้ายพลาสติก สำหรับเส้นใยประดิษฐ์ที่มีคุณสมบัติการทนต่อ ความร้อนได้ดี ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน และเส้นใยอารามิด

2.1.3 ลักษณะภายนอกของเส้นใยที่มีผลต่อคุณสมบัติ และการนำไปใช้งานเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

ลักษณะภายนอกของเส้นใยที่จะมีผลต่อคุณสมบัติ และการนำไปใช้งานเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ประกอบด้วย

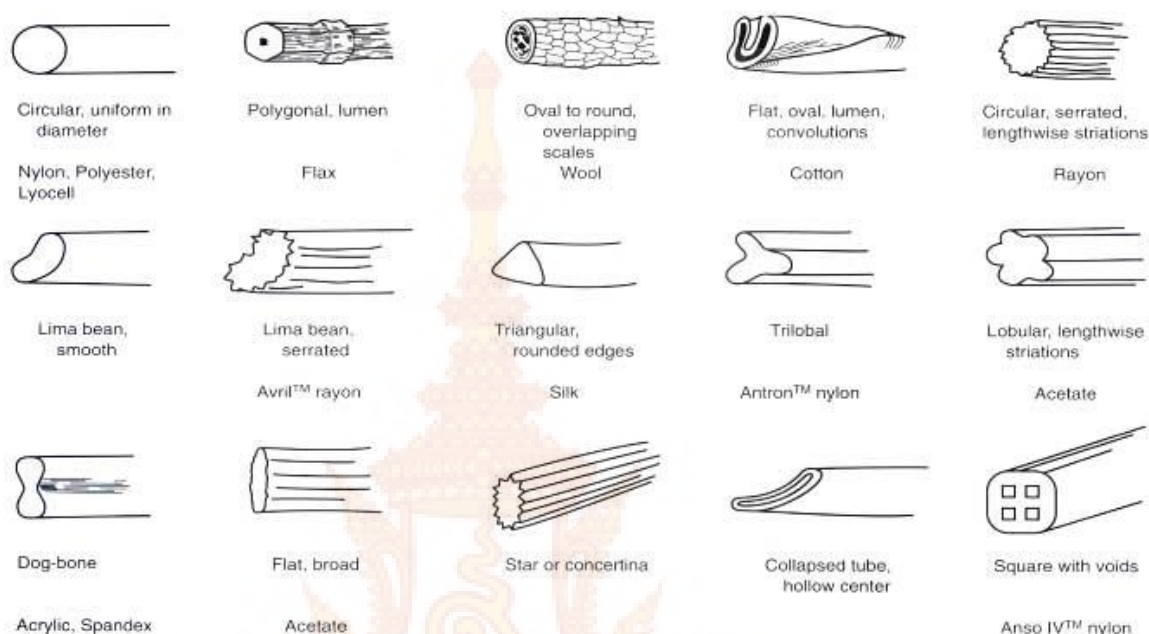
(1) ความยาวของเส้นใย (fibre length) จะมีผลต่อคุณสมบัติและการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ แบ่งความยาวของเส้นใยได้ 2 ประเภท คือ

- เส้นใยสั้น (staple fibre) เป็นเส้นใยที่มีขนาดความยาวอยู่ในช่วง 2 ถึง 46 เซนติเมตร ซึ่งเส้นใยธรรมชาติเกือบทุกชนิดจะเป็นเส้นใยสั้น เช่น ฝ้าย นุ่น และขนสัตว์ ยกเว้นเส้นใยไหมที่เป็นเส้นใยยาว โดยเส้นใยธรรมชาติเมื่อนำมาปั่นรวมกันให้เป็นเส้นด้ายแล้วจะเรียกเส้นด้ายที่ผลิตออกมาว่า เส้นด้ายปั่น (spun yarn) ส่วนเส้นใยประดิษฐ์ทุกชนิดจะเริ่มจากกระบวนการผลิตให้เป็นเส้นใยยาวก่อนเสมอ จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นเส้นใยสั้น ตามความยาวที่ต้องการ โดยเส้นใยยาวที่ถูกนำไปตัดเป็นเส้นใยสั้นจะเรียกว่า filament tow
- เส้นใยยาว (filament fibre) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องไม่สิ้นสุด มีหน่วยวัดความยาว เป็นเมตรหรือหลา เส้นใยยาวส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นไหมที่เป็นเส้นใยยาวที่มาจากธรรมชาติโดยเส้นใยยาวแบ่งเป็น เส้นใยยาวเดี่ยว (monofilament fibre) คือ เส้นใยที่มีการฉีดยาออกมาเพียงเส้นเดียวจากหัวฉีด ใช้ในการผลิต แห อวน เอ็นตกปลา และขนแปรงสีฟัน และเส้นใยยาวกลุ่ม (multifilament fibre) คือ เส้นใยที่มีการ ฉีดยาออกมาหลายเส้นพร้อมกันจากหัวฉีด แล้วควบเส้นใยรวมกัน



รูปที่ 2.1.1 ลักษณะของเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว
ที่มา : (truents 2011)

(2) ภาคตัดขวาง (cross section) คือ รูปร่างตามแนวตัดขวางของเส้นใย (รูปที่ 3) ซึ่งรูปร่าง ภาคตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติเกิดจากลักษณะการสร้างเซลล์โลสในขณะที่พืชเจริญเติบโตหรือในกระบวนการสร้างโปรตีนของสัตว์ สำหรับเส้นใยประดิษฐ์รูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยสามารถกำหนดได้จากรูของหัวฉีด หรือเรียกว่า spinneret



รูปที่ 2.1.2 ตัวอย่างภาคตัดขวางของเส้นใยแต่ละชนิด
ที่มา : (Clothingindustry n.d.)

(3) ความมันเงาของเส้นใย (luster) คือ ปริมาณของแสงที่สะท้อนออกจากผิวของเส้นใยสู่สายตาของผู้มอง เส้นใยธรรมชาติที่มีความมันเงาสูง คือ เส้นใยไหม ส่วนเส้นใยฝ้ายและขนสัตว์ จะมีความมันเงาน้อยกว่า สำหรับเส้นใยประดิษฐ์ผู้ผลิตสามารถควบคุมความมันเงาของเส้นใยได้โดยการควบคุมปริมาณของสีที่ผสม หรือการเติมสารลดความมัน คือไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ลงไปในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งระดับ ความมันเงาของเส้นใยประดิษฐ์ได้ 3 ระดับ คือ สว่าง (bright) กึ่งทึบ (semi dull) และทึบ (dull)

2.1.4 เส้นใยไฮเทค (high-technology fibers)

เส้นใยไฮเทค หรือเดิมรู้จักในชื่อเส้นใยสมรรถนะสูง (high-performance fibres) หมายถึงเส้นใยที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงกว่าที่ใช้ผลิตเส้นใยทั่วไป เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่ต้องการสมบัติเฉพาะและสมรรถนะสูง ดังนั้นเส้นใยเหล่านี้จะมีสมบัติและลักษณะที่ผ่านการออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก ตัวอย่างของเส้นใยไฮเทคได้แก่

(1) ไลโอเซล (Lyocell)

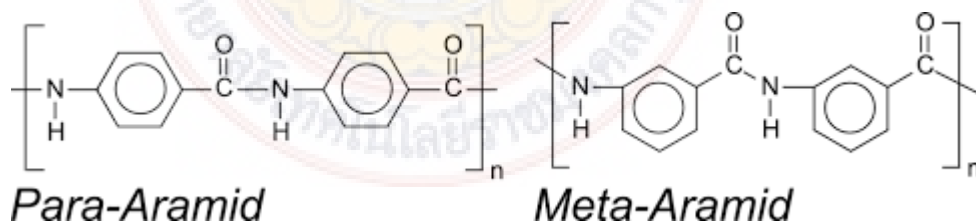
ไลโอเซลถูกผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1984 (พ.ศ. 2527) และเริ่มผลิตเพื่อการค้าในปี ค.ศ. 1988 (พ.ศ. 2531) ซึ่งมีชื่อทางการค้าต่าง ๆ นานา เช่น Tencel และ Lenzing เป็นต้น

ไลโอเซล เป็นเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ที่ผลิตจากเยื่อไม้ (wood pulp) โดยการละลายเยื่อไม้ด้วยสารละลายเอมีนออกไซด์ซึ่งไม่มีความเป็นพิษและไม่อันตราย ส่วนใหญ่ใช้ N-methylmorpholine oxide (NMMO) เป็นตัวทำละลาย แล้วผ่านน้ำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเส้นใย ส่วน NMMO จะถูกแยกออกจากเส้นใยในขั้นตอนการล้างเส้นใย และถูกนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยในกระบวนการผลิตสามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่าร้อยละ 99.5 เนื่องจาก NMMO นั้นมีราคาแพงมาก (1,000 เหรียญดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อกิโลกรัม)

ในการผลิตไลโอเซล เซลลูโลสในเยื่อไม้จะถูกละลายโดยตรงด้วยสารละลาย NMMO เข้มข้นประมาณร้อยละ 75-80 แล้วนำทำให้แข็งตัวเป็นเส้นใยในน้ำ โดยอัตราการแข็งตัวเป็นเส้นใยนั้นจะค่อยๆ เกิดขึ้น ทำให้สารละลายของเส้นใยนั้นค่อยๆ ปล่อย NMMO ออกมาอย่างช้าๆ ทำให้เส้นใยที่เกิดขึ้นนั้นมีความแน่น ไม่มีรูพรุนในเส้นใย ส่งผลทำให้เส้นใยที่ได้นั้นมีความแข็งแรงได้ดีทั้งขณะแห้งและเปียก

(2) เส้นใยอะรามิด (aramid fibres)

เส้นใยอะรามิดเป็นเส้นใยพอลิเอไมด์ (เส้นใยไนลอนชนิดหนึ่ง) ที่มีหมู่วงแหวนเบนซีนอยู่ในสายโซ่พอลิเอไมด์ (aromatic polyamide) อย่างน้อยร้อยละ 85 ด้วยความแตกต่างทางโครงสร้างที่ชัดเจน The Federal Trade Commission ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2517 จึงกำหนดชื่อให้เป็นเส้นใยอะรามิด เส้นใยอะรามิดแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างคือ พารา-อะรามิด (para-aramid) และเมตา-อะรามิด (meta-aramide) โดยสังเกตจากตำแหน่งของหมู่เอไมด์ (CONH) บนวงแหวนเบนซีนที่ต่างกัน



รูปที่ 2.1.3 โครงสร้างเส้นใยอะรามิด

ที่มา: (Tentang n.d.)

เส้นใยอะรามิดชนิดแรกที่ผลิตโดยบริษัท ดูปองท์ ในปี พ.ศ. 2510 โดยมีชื่อทางการค้าว่า “นอเม็กซ์ (Nomex)”

ผ้า Nomex ทำจากเส้นใยอะรามิด (Aramid) ผลิตโดย บริษัท ดูปองท์ (DuPont) มีโครงสร้างโมเลกุล ลักษณะพิเศษซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานเปลวไฟในตัวเอง ทนต่อการขีดข่วน และแรงอัดกระแทกได้เป็นอย่างดี เส้นใยอะรามิด (aramid) มีสองชนิดคือ Meta-Aramid และ Para-Aramid โดยชนิดแรกนั้นจะเป็นกลุ่มที่ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการทนความร้อน กรองฝุ่น เป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้า ส่วนชนิด Para-Aramid มีคุณสมบัติเหมือนๆ กัน คือ มีความแข็งแรงต่อการรับน้ำหนัก ทนต่ออุณหภูมิสูง และ การขีดข่วนได้ดี และได้รับมาตรฐานในการรองรับ ที่ช่วยให้ผู้สวมใส่มั่นใจว่าสามารถช่วยป้องกันอันตรายจากความร้อนได้ คือ

- EN ISO 11612 การป้องกันความร้อนและเปลวไฟ
- EN ISO 11611 การป้องกันสะเก็ดไฟหรือที่มีประกายไฟ
- EN 1149-5 ป้องกันไฟฟ้าสถิต

คุณสมบัติเด่นของอะรามิด

- มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง
- มีน้ำหนักเบา (low weight)
- การคืนตัวจากแรงอัด สามารถทนได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Nomex ที่ผลิตเป็นผ้ารักษารูปทรงได้ดี แม้เส้นใยจะมีลักษณะกระด้างบ้าง แต่ก็มีความสามารถในการทิ้งเหมาะสมพอที่จะนำมาทำเครื่องนุ่งห่ม เช่น ชุดดับเพลิง เป็นต้น
- ความร้อน เส้นใยอะรามิดเป็นเส้นใยที่ทนความร้อนได้สูง และโดยตัวเส้นใยเองมีสมบัติในการนำความร้อนไม่ดี
- การติดไฟ ไม่หลอมหรือหยด เมื่อถูกเปลวไฟอุณหภูมิที่สูงเกิน 371 องศา อาจทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพเกิดการหดเป็นก้อน แต่เมื่อเอาเปลวไฟออกเส้นใยดับได้ด้วยตัวเอง โดยอะรามิดมีความแข็งแรงกว่าเหล็ก 5 เท่าที่น้ำหนักเท่ากัน จึงมีการใช้งานอะรามิดใน เสื้อกันกระสุน

เหมาะกับงานโรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เหมาะสำหรับเป็นชุดปฏิบัติงานภาคสนาม งานเชื่อมทั่วไป งานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับไฟ/สะเก็ดไฟ เจ้าหน้าที่ดับเพลิงชุดสำหรับนักเดินเรือ

ตารางที่ 2.1.4 สมบัติของเส้นใยพารา-อะรามิด

สมบัติ	Kevlar (DuPont)	Twaron (AKZO)	Technora (Teijin)
ความแข็งแรง (gpd/GPa)	21-25/5.65-3.2	21-23/2.6-2.85	24-28/3.0-3.4
โมดูลัส (gpd/GPa)	450-1000/57-127	440-800/54-99	450-850/55-104
ความยาวเมื่อดึงยืด (%)	2-4	3.2-3.8	4.4-4.6
Tg(oC)	360	-	-
Tm(oC) เริ่มสลายตัว	560	-	>500
ความถ่วงจำเพาะ	1.44	1.4	1.39
ความเป็นผลึก (%)	72	71	73
การจัดเรียงตัว (%)	91	91	92
ขนาดของผลึก (nO)	49	-	23

(3) เส้นใยคาร์บอน (carbon Fibre)

ในปี 1957 กองทัพสหรัฐต้องการพัฒนาชิ้นส่วนที่ใช้ในการสร้างเครื่องบินขึ้นใหม่ ซึ่งต้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีความทนทานสูง จนเป็นที่มาให้เกิดการพัฒนาคาร์บอนไฟเบอร์อย่างจริงจัง เกิดขึ้น ในช่วงแรก Union carbide parma technology center ของสหรัฐอเมริกาสามารถทำคาร์บอนไฟเบอร์จนสำเร็จจากการใช้ความร้อนในการเปลี่ยนเรยอนให้เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่ามี ความแข็งแรงและความแข็งตึง (stiffness) ที่ต่ำ จนปี 1960 Union carbide ก็สามารถพัฒนาการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์โดยทำการเปลี่ยนวัสดุดิบในการผลิตจากเรยอนมาเป็น Polyacrylonitrile (PAN) โดยใช้ความร้อนในการแยกเส้นใยคาร์บอนที่อุณหภูมิ 1200 – 3000 องศาเซลเซียส ซึ่งคาร์บอนไฟเบอร์ที่ได้จาก PAN มีผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้นกว่าที่ผลิตได้จากเรยอน (Edie, 1998)

คาร์บอนไฟเบอร์ (carbon fiber) เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จากคาร์บอนที่ประสบความสำเร็จ และใช้ในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์มาช้านานเกือบ 35 ปี เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและทนทานมาก มีน้ำหนักเบา ทำให้เส้นใยคาร์บอนเป็นที่ต้องการของตลาดและมีปริมาณความต้องการสูง ตั้งแต่การใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬา อุปกรณ์เกี่ยวกับรถ จนถึงชิ้นส่วนที่ใช้ทำโครงสร้างเกี่ยวกับเครื่องบิน

องค์ประกอบของเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เป็นวัสดุทางวิทยาศาสตร์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อยร้อยละ 90 โดยเส้นใยคาร์บอนจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.005 - 0.10 มิลลิเมตร โดยส่วนมากแล้วเส้นใยคาร์บอนที่ผลิตได้นั้นจะถูกควั่นเป็นเส้นด้าย เมื่อนำเส้นใยคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเหล่านี้มารวมกันก็จะได้เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ขึ้น คุณสมบัติบัติของคาร์บอนไฟเบอร์เมื่อทำการเปรียบเทียบเชิงกลกับเหล็กกล้าในน้ำหนักที่เท่ากัน พบว่าคาร์บอนไฟเบอร์มีความแข็งแรงกว่าเหล็กกล้า ดังแสดงในตารางที่ 2.1.5

ตารางที่ 2.1.5 การเปรียบเทียบเชิงกลของคาร์บอนไฟเบอร์และเหล็กกล้าในน้ำหนักที่เท่ากัน

วัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความต้านทานแรงดึง (GPa)	ค่าโมดูลัสแรงดึง (GPa)	ความแข็งแรงเฉพาะ (GPa)
คาร์บอนไฟเบอร์	1.75	3.5	230.0	2.00
เหล็กกล้า	7.87	1.3	210.0	0.17

ที่มา: (Thaicarbonfiber n.d.)

นอกจากนี้คุณสมบัติที่เด่นชัดของคาร์บอนไฟเบอร์ ยังพบว่า มีความแข็งแรงต่อแรงดึงในทิศทางที่ตั้งฉาก ทนต่อการขัดถู (abrasion resistance) ทนทานต่อการกระแทก (impact resistance) ทนความร้อนทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี ทนต่อสารเคมี (chemical resistance) ในส่วนของข้อเสียของคาร์บอนไฟเบอร์นั้นพบว่า คาร์บอนไฟเบอร์เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงต่อแรงดึงในทิศระนาบต่ำและการนำไปใช้ต้องใช้เครื่องมือพิเศษสำหรับตัดคาร์บอนโดยเฉพาะเท่านั้น ซึ่งมีราคาแพงมาก

ตามคุณสมบัติที่กล่าวมาของคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้วัสดุทางวิทยาศาสตร์ชิ้นนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย เช่น การนำคาร์บอนไฟเบอร์มาใช้ในรูปของคอมโพสิตใน

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน การใช้คาร์บอนไฟเบอร์มาทำเป็นตัวถังรถยนต์เนื่องจากจะทำให้รถมีน้ำหนักเบาและแข็งแรง นอกจากนี้คาร์บอนไฟเบอร์ก็ยังถูกนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬาเพิ่มมากขึ้น เช่น ไม้เทนนิส ไม้กอล์ฟกระดานโต้คลื่น ไม้เบดมินตัน กระดานสกี คันเบ็ดตกปลา หมวกกันน็อก ไม้เบสบอล เป็นต้น (Thaicarbonfiber n.d.)

2.2 เส้นด้าย

2.2.1 ความหมายและชนิดของเส้นด้าย

เส้นด้าย หมายถึงกลุ่มของเส้นใยที่รวมตัวกัน หรือฟิลาเมนต์ที่มีความยาวต่อเนื่องต่อเนื่องกัน เป็นเส้น มีความยาวเป็นหลายร้อยเท่าของภาคตัดตามขวาง ซึ่งอาจมีเกลียว (twist) หรือไม่มีเกลียวก็ได้ มีคุณสมบัติและลักษณะเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานด้านสิ่งทอ เส้นด้ายควรจะมี ความเหนียว (tenacity) และความยืดหยุ่น (flexibility) ในตัวเองดีพอสมควร ด้ายแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ ด้ายจากเส้นใยสั้น (spun yarn) ด้ายจากเส้นใยยาว (filament yarn) และด้ายชนิดพิเศษ (special yarn) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2004)

หากจำแนกเส้นด้ายตามขนาดความยาว รูปลักษณะ และการเรียงตัวของเส้นใยที่นำมาผลิตเป็นเส้นด้าย จะได้เส้นด้าย 2 ประเภท คือ

(1) ด้ายใยสั้น (spun yarn) คือด้ายที่ประกอบด้วยใยสั้น ปกติจะยาวประมาณ $\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$ นิ้ว นำมาเข้าเกลียวรวมกันเป็นเส้นด้าย ด้ายใยสั้นผิวสัมผัสจะไม่เรียบ เมื่อนำไปทอผ้าจะได้ผ้าเนื้อไม่เรียบ เส้นด้ายใยสั้นมีสมบัติด้านความแข็งแรงและความสม่ำเสมอดีปานกลาง เมื่อนำไปทำเป็นผืนผ้า จะทำให้สวมใส่สบาย มีการแผ่ปกคลุมสูงและผิวสัมผัสอ่อนนุ่มมาก (Goswami, Martindale, and Scardino 1977) สำหรับผ้าที่ทำจากเส้นด้ายใยสั้นเมื่อถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดเป็นปุ่มเล็กๆ ปรากฏบนผืนผ้า เกิดรอยเปื้อนหรือสกปรกได้ง่าย อัตราการยืดตัวของเส้นด้ายขึ้นกับจำนวนเกลียว และการดูดซึมน้ำหรือความชื้น ถ้าสามารถดูดซึมน้ำหรือความชื้นได้ดีจะทำให้สามารถลดไฟฟ้าสถิตได้น้อยลง

(2) ด้ายใยยาว (filament yarn) คือด้ายที่ประกอบด้วยใยยาวมาจัดเรียงรวมกัน อาจเข้าเกลียวเล็กน้อย ด้ายใยยาวจะมีผิวสัมผัสเรียบและตรง ใยแต่ละเส้นจะเรียงขนานกันตลอดเส้นด้าย เมื่อนำไปทอผ้าจะได้ผ้าเนื้อเรียบ ส่วนด้ายใยยาวที่ผลิตจากใยยาวที่ผิวสัมผัสไม่เรียบและเนื้อใยฟู จะได้ใยยาว ผิวสัมผัสฟูเป็นคลื่น เรียกว่าด้ายใยยาวฟู (bulk filament yarn)

ด้ายใยยาวจากใยสังเคราะห์ (ด้ายพอลิเอสเตอร์ และไนลอน) และด้ายที่ปั่นจากใยสั้น เช่น ด้ายฝ้าย ด้ายลินิน และด้ายขนสัตว์ รวมทั้งด้ายจากใยสังเคราะห์ชนิดสั้น (spun yarns) จะมีลักษณะ และสมบัติแตกต่างไปจากใยยาว

2.2.2 กระบวนการปั่นด้าย

การปั่นด้ายเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำให้เส้นใยเป็นเส้นด้าย การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ นำเศษผ้าที่เหลือจากการตัดชุดทหารมาตะกุกให้เป็นเส้นด้ายใยสั้น ดังนั้นจะขอกล่าวถึงกระบวนการในการปั่นด้ายใยสั้น (spun yarn processing)

การปั่นด้ายใยสั้น (staple fiber) คือการนำเอาเส้นใยมารวมกันให้เป็นเส้นยาวยึดกันอยู่ได้ ด้วยการบิดพันเป็นเกลียว มีความแข็งแรงคงทนต่อแรงดึงและแรงกระทบในกระบวนการทอได้ ในการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้นที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยประดิษฐ์ หรือเส้นใยทั้งสองอย่างมาผสมกัน แล้วผลิตเป็นเส้นด้าย โดยกรรมวิธีของกระบวนการปั่นด้ายโดยให้เส้นใยเหล่านี้ยึดติดกันด้วยความฝืดของผิวเส้นใยเอง และควมเกลียวประมาณ 10-25 เกลียวต่อนิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นด้ายที่จะผลิต และสมบัติด้านความยาวและความละเอียดของเส้นใยที่ใช้ ขั้นตอนการปั่นด้ายใยสั้นแสดงในตารางที่ 2.2.1

ตารางที่ 2.2.1 ขั้นตอนการผลิต วัตถุประสงค์และชื่อของผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตเส้นด้ายใยสั้น

ชื่อเครื่อง	วัตถุประสงค์และหน้าที่	ชื่อผลผลิต
เครื่องแยกและผสมเส้นใย	1. แยกเส้นใยที่อัดแน่นในเบล 2. ผสมเส้นใยเกรดต่างๆ 3. ทำความสะอาดเส้นใย 4. จัดเส้นใยที่ผสมและทำความสะอาดแล้วให้อยู่ในม้วนแลบ	เส้นใยที่ออกจากเบล ↓ แลบ (lap)
เครื่องสาวใย	1. แยกเส้นใยให้กระจายตัวเป็นอิสระ 2. ทำความสะอาดเส้นใย 3. ลดขนาดเส้นใยให้เล็กลง (draft)	↓ สไลเวอร์ (sliver)
เครื่องรีดปุ๋ย (2เครื่อง)	1. ผสมเส้นใยต่างประเภทโดยการนำสไลเวอร์จากเครื่องสาวใยจำนวน 6 เส้นขึ้นไป 2. ลดขนาดเส้นใยให้เล็กลง (draft) 3. ทำเส้นใยให้เรียงตัวขนานกัน	↓ สไลเวอร์ (sliver)
เครื่องโรฟวิ่ง	1. ลดขนาด (draft) 2. ตีเกลียว 3. พันเส้นด้ายเข้าหลอด	↓ โรฟวิ่ง (roving)
เครื่องปั่นด้าย	1. ลดขนาด (draft) 2. ตีเกลียว 3. พันเส้นด้ายเข้าหลอด	↓ เส้นด้าย (yarn)
เครื่องกรอด้าย	1. ให้ได้ความยาวตามต้องการ 2. กำจัดข้อบกพร่องของเส้นด้าย 3. หล่อลื่นเส้นด้าย	↓ หลอดด้าย

(1) การผสมและการทำความสะอาดเส้นใย (opening and cleaning)

โดยทั่วไปเส้นใยจะถูกอัดแน่นเป็นมัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ เรียกว่า เบล (bale) หนักประมาณ 478 ปอนด์ ห่อด้วยกระสอบป่านหรือพลาสติก เบลของเส้นใยที่อัดแน่นหลายๆ เบล จะถูกเปิดออกนำไปใส่ในเครื่องผสมเส้นใย โดยที่เครื่องจักรจะรวมเป็นชุดเรียงต่อเนื่องกันตลอดเรียกว่า ห้องผสมเส้นใย (blowroom) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องป้อนและผสมเส้นใย (blending feeders) เครื่องแยกและทำความสะอาดเส้นใย (opening and cleaning machines) และเครื่องทำแผ่นม้วนเส้นใย (picking machine) ซึ่งเป็นเครื่องสุดท้ายที่แยกเส้นใยให้เป็นก้อนเล็กลงมากๆ และรวบรวมเป็นแผ่นลักษณะเหมือนม้วนสำลีเรียกว่าแลป (lap) ให้มีขนาดน้ำหนักตามต้องการและเหมาะสมกับการผลิตขั้นตอนต่อไป เครื่องต่างๆ ในห้องผสมเส้นใยจะมีหลักการคล้ายคลึงกัน คือประกอบด้วยตัวตีเส้นใยที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และมีหนามยื่นออกมาขนาดใหญ่เล็กตามแต่ชนิด หมุนด้วยความเร็วสูงตีเส้นใยที่อัดกันอยู่ให้แยกออกจากกันเป็นก้อนเล็กลง และสิ่งสกปรกต่างๆ หลุดออกไป ดังรูปที่ แสดงเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในห้องผสมเส้นใย ในกรณีการปั่นด้ายเส้นใยสังเคราะห์ เช่นการปั่นด้ายพอลิเอสเตอร์ จะใช้เครื่องจักรเหมือนกับการผลิตเส้นด้ายฝ้าย แต่จะแตกต่างกันที่มีจำนวนเครื่องจักรน้อยกว่า เพราะเส้นใยสังเคราะห์มีความสะอาดดีแล้ว จึงเพียงแค่แยกเส้นใยออกจากกันเป็นก้อนเล็กลงเท่านั้น



รูปที่ 2.2.1 เครื่องผสมและทำความสะอาดเส้นใย (blow room machine)
ที่มา (“Flow Chart of Blow Room in Cotton Spinning” 2019)

(2) การสาวใย (carding)

หลังจากเส้นใยได้ผ่านห้องผสมเส้นใยและทำเป็นแผ่นม้วนแล้ว เส้นใยยังมีสิ่งสกปรกติดอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการแยกแยะกลุ่มเส้นใยให้ออกจากกันโดยอิสระ ทำให้สิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอมหลุดออกไป ทั้งยังเป็นการช่วยจัดเส้นใยสั้นๆ ออกไปด้วย รวบรวมเส้นใยที่สะอาดแล้วนี้ให้เป็นเส้นใยยาว เรียกว่าสไลเวอร์ ที่มีขนาดและรูปร่างเหมาะสมกับการผลิตขั้นตอนต่อไป เครื่องสาวใยประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาดใหญ่หลายลูกที่หุ้มด้วยหนามที่มีทิศทางการหมุนและความเร็วที่แตกต่างกัน ส่วนด้านบนจะมีแท่งแผ่นหนาม (flats) ขนาดเล็กจำนวนมากและเคลื่อนที่ช้ามาก เส้นใยจึงถูกดึงแยกออกจากกันระหว่างหนามต่างๆ เหล่านี้ แผ่นม้วนเส้นใยจะป้อนเข้าด้านหลังเครื่อง และรวมตัวกันเป็นสไลเวอร์ที่หน้าเครื่องบรรจุลงในสไลเวอร์ต่อไป



รูปที่ 2.2.2 เครื่องสาวใย (carding machine)

ที่มา: (“Textile Chapter: What Is Carding in Textile? Function of Carding Process in Spinning” 2019)

(3) การรีดปุ๋ย (drawing)

เนื่องจากเส้นใยที่ประกอบเป็นสไลเวอร์ มีลักษณะไม่เหยียดตรงและไม่เรียงตัวขนานกันตามแนวทแยงยาวของสไลเวอร์ดีพอ ประกอบกับเส้นใยและขนาดของสไลเวอร์จากเครื่องสาวใยแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการรีดปุ๋ยเส้นใยเพื่อให้ได้สไลเวอร์ที่มีความสม่ำเสมอและมีขนาดรูปร่างตามต้องการ สไลเวอร์จำนวนหลายๆ เส้นจะป้อนเข้าทางหลังเครื่องรีดปุ๋ยผ่านระบบลูกกลิ้ง (drafting roller) ที่วางซ้อนกันเป็นคู่ๆ โดยที่ลูกกลิ้งคู่หน้าสุดจะวิ่งด้วยความเร็วผิวสูงกว่าลูกกลิ้งคู่หลังสุด ดังรูปที่ แสดงระบบลูกกลิ้งและเครื่องรีดปุ๋ยในการผสมเส้นใยต่างชนิดกัน เช่น ฝ้ายกับพอลิเอสเตอร์ นิยมทำที่เครื่องรีดปุ๋ยนี้ โดยการนำสไลเวอร์ของเส้นใยฝ้าย และพอลิเอสเตอร์ป้อนเข้าหลังเครื่อง จำนวนเส้นสไลเวอร์ที่ใช้ของเส้นใยแต่ละชนิดต้องเป็นไปตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด



รูปที่ 2.2.3 ระบบลูกกลิ้งและเครื่องรีดปุ๋ย (drafting roller and draw frame)

ที่มา: (Ranishka 2019)

(4) การโรฟวิ้ง (roving)

เป็นการลดขนาดของสไลเวอร์ให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการปั่นด้าย เส้นโรฟวิ้งจะมีลักษณะยาวตลอด มีเกลียวเล็กน้อยเพื่อให้เส้นใยจับยึดกันและมีความแข็งแรง ดังรูปที่ แสดงเครื่องโรฟวิ้ง โดยที่สไลเวอร์แต่ละเส้นจะถูกป้อนเข้าด้านหลังเครื่อง ผ่านระบบลูกกลิ้งเพื่อลดขนาดและพับม้วนเข้าหลอดขนาดใหญ่



รูปที่ 2.2.4 เครื่องโรฟวิ้ง (roving machine)

ที่มา: (Truents 2011)

2.3 ถุงมือ

ถุงมือเป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยป้องกันอันตรายต่างๆ ที่เกิดจากการทำงานได้ เช่น อันตรายจากการสัมผัสสารเคมี อันตรายจากการถูกของมีคม บาด ตัด หรือขูดขีดผิวหนัง อันตรายจากการจับของร้อน เป็นต้น ดังนั้นมีความจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน เพราะหากเกิดอันตรายจากการเลือกใช้ถุงมือที่ไม่เหมาะสม อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียมือจนกลายเป็นคนพิการได้ จากสถิติของสำนักงานประกันสังคม พบว่า ผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากการทำงานมีจำนวนเฉลี่ยสูงถึง 96,714 ราย อวัยวะที่ได้รับอันตรายที่มีจำนวนการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน สูงสุด 5 อันดับของปี 2556 - 2560 คือ นิ้วมือ/นิ้วหัวแม่มือ โดยเฉลี่ย 5 ปี มีลูกจ้างประสบอันตรายร้อยละ 28.73 ต่อปี ของจำนวนการประสบอันตรายทั้งหมด รองลงมา คือ ตา ร้อยละ 15.29 ต่อปี และบาดเจ็บหลายส่วน บาดเจ็บตามร่างกาย ร้อยละ 7.82 ต่อปี ตามลำดับ (กระทรวงแรงงาน 2561) บางรายเป็นผู้ที่สูญเสียมือกลายเป็นผู้พิการที่ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ จะเห็นได้ว่ามือเป็นอีกหนึ่งอวัยวะที่สำคัญที่ต้องดูแลเป็นอย่างดี โดยการเลือกใช้ถุงมืออย่างเหมาะสม

2.3.1 ประเภทของถุงมือ

ประเภทของถุงมือแบ่งตามลักษณะการใช้งาน (CPL Group, 2562)

(1) ถุงมือใช้ครั้งเดียวทิ้ง (disposable gloves)

เป็นถุงมือที่ นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทดลอง หรือทางการแพทย์ ถุงมือชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อป้องกันผู้สวมใส่และวัตถุที่ถูกจับต้อง เช่น ใช้ป้องกันการติดเชื้อ เป็นต้น โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการใช้งานคือ เพื่อใช้ครั้งเดียวในสถานการณ์ที่จำเป็นต้องใช้ประสาทสัมผัสรับรู้ทางนี้ และการต้องการ

ความคล่องตัวในเวลาเดียวกัน ดังนั้นถุงมือชนิดนี้จึงมีความบาง โดยทั่วไปจะบางประมาณ 4 - 8 มิลลิเมตร ถุงมือมีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง ช่วยลดแรงตึงและความเมื่อยล้าของผู้สวมใส่ ทำให้ความทนทานของถุงมือชนิดนี้มีไม่มากนัก โดยถุงมือชนิดนี้ส่วนใหญ่ผลิตจากยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ เช่น ไนไตรล์ (nitrile) ไวนิล (vinyl) และพอลิเอทิลีน (polyethylene) เป็นต้น สำหรับการนำถุงมือใช้ครั้งเดียวทิ้งไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะต้องผ่านมาตรฐานความปลอดภัยขององค์การอาหารและยาก่อนเท่านั้น

(2) ถุงมือนำกลับมาใช้ใหม่ (reusable gloves)

ถุงมือนำกลับมาใช้ใหม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันและความทนทานสูงกว่าถุงมือใช้ครั้งเดียวทิ้ง เนื่องจากความหนาของถุงมือมีมากกว่า ความหนาของถุงมือชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 18 - 28 มิลลิเมตร ทำให้ผู้สวมใส่มีความคล่องตัวน้อยกว่าถุงมือแบบใช้ครั้งเดียว วัสดุที่ใช้ในการผลิตถุงมือนำกลับมาใช้ใหม่ได้แก่ ไนไตรล์ นีโอพรีน ยางธรรมชาติ และ พิวรีซี นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ปีโตรเคมี

(3) ถุงมือหนัง (leather gloves)

เป็นถุงมือที่ผลิตจากหนังสัตว์ หรือหนังฟอก ใช้ป้องกันอันตรายจากประกายไฟ (sparks) หรือสะเก็ดไฟจากงานเชื่อมหรือรังสี ใช้ป้องกันความร้อนได้ในระดับปานกลาง และใช้สวมทับถุงมือกันไฟฟ้า เพื่อป้องกันการฉีกขาดและยืดการใช้งานของถุงมือนำด้านใน

(4) ถุงมืออะลูมิเนียม (aluminized gloves)

ถุงมืออะลูมิเนียมจะเสริมด้วยวัสดุสังเคราะห์ (synthetic materials) ซึ่งตัววัสดุสังเคราะห์จะมีคุณสมบัติต้านทานความร้อน และความเย็นได้ นิยมใช้ในงานเชื่อม เตาไฟ และโรงหล่อหลอมโลหะ เพราะถุงมือชนิดนี้สามารถสะท้อนและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้

(5) ถุงมือกันบาด เส้นใยสแตนเลส

เป็นถุงมือที่ผลิตจากลวด หรือเหล็กไร้สนิม มีลักษณะเป็นลวดเส้นเล็กๆ นำมาถักเป็นรูปถุงมือ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยเฉพาะงานที่ต้องมีของมีคมเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะถุงมือชนิดนี้มีความสามารถในการป้องกันการตัดและเฉือนได้ ช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากการโดนของมีคมบาด

(6) ถุงมือกันบาดเส้นใยชนิดพิเศษ

เป็นถุงมือที่ผลิตจาก HPPE (High Performance Polyethylene) ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว ทนทาน มากกว่าเหล็ก สามารถป้องกันการเฉือนได้

(7) ถุงมือผ้า และถุงมือเคลือบชนิดต่างๆ (fabric gloves)

เป็นถุงมือที่ทอด้วยผ้าฝ้ายหรือใยผ้าอื่นๆ ให้ระดับการป้องกันแตกต่างกันไปขึ้นกับความหนาของชั้นผ้า มีคุณสมบัติช่วยป้องกันฝุ่น สะเก็ด การขีด การครูด หรือช่วยป้องกันการลื่นในขณะจับวัตถุ เช่น ก้อนอิฐ เส้นลวดต่างๆ แต่ไม่สามารถให้การป้องกันที่เพียงพอสำหรับการใช้งานกับวัตถุที่หยาบ ขรุขระ แหลุมคมหรือมีน้ำหนักรวมถึงไม่สามารถป้องกันอันตรายจากการสัมผัสสารเคมีได้

ถุงมือผ้าดิบ หรือ ถุงมือผ้าทอ ออกแบบมาเพื่อใช้ในงานหยิบจับทั่วไป ทั้งงานเบาและงานหนัก การเลือกถุงมือให้เหมาะกับการใช้งาน ชนิดของถุงมือผ้าที่มีการผลิตในปัจจุบันได้แก่

(7.1) ถุงมือทอผ้าฝ้าย

ผลิตโดยนำใยฝ้ายเส้นสั้น (ประมาณ 3.0-3.5 เซนติเมตร) มาปั่นเป็นเส้นด้าย ข้อดีของถุงมือผ้าฝ้าย คือไม่ระคายเคืองผิวเพราะทำจากวัสดุธรรมชาติทั้งหมด มีความโปร่งของเนื้อผ้า ซึมซับน้ำได้ดี ซึมซับสิ่งสกปรกที่เป็นของเหลวต่างๆ ได้ดี ใส่แล้วไม่ร้อน อบ เพราะมีรูระบายอากาศ ซึมซับของเหลวได้ดี ทำให้ผิวของถุงมือแห้ง (เพราะของเหลวซึมเข้าไปในเนื้อถุงมือแล้ว) ใช้งานได้ค่อนข้างนานหลายชั่วโมง ด้วยเหตุนี้ถุงมือที่ทำจากใยฝ้ายจะเปื้อนง่ายและซักออกยาก การใช้งานถุงมือผ้าฝ้ายนั้นควรใช้กับงานที่ไม่ต้องหยิบจับหรือสัมผัสกับสิ่งสกปรกต่างๆ จะทำให้เปื้อน และไม่จำเป็นต้องซักบ่อย แต่ถ้าใช้ถุงมือกับงานที่แห้ง ก็สามารถใช้งานได้หลายครั้ง หากยังมีสภาพที่สามารถใช้งานได้ดี เพราะเนื้อผ้าอาจจะหมดสภาพและยืด หย่อนยานได้เร็ว

ในปัจจุบันถุงมือทอ หรือถุงมือผ้าดิบ มีการผลิตที่น้ำหนักต่างกัน เช่น 3.5 กรัม 4 กรัม 5 กรัม 6 กรัม 7 กรัม โดยน้ำหนักมาก จะเป็นถุงมือที่หนามาก ใช้ในงานที่แตกต่างกัน

(7.2) ถุงมือไมโครเทค

ถ้ามาจากผ้าใยสังเคราะห์ไมโครไฟเบอร์เทคโนโลยี หรือเรียกสั้นๆ ว่า ผ้าไมโครเทค การถักทอผ้าชนิดนี้ได้จากการใช้เส้นใยขนาดเล็ก ละเอียดเล็กกว่าเส้นใยธรรมชาติมากกว่า 10 เท่า ทำให้เนื้อผ้าที่ได้มีความอ่อนนุ่ม ละเอียด และไม่ต้องให้เกิดรอยขีดข่วนกับวัสดุที่ประาะบาง ตัวอย่างเช่น ผ้าสำหรับเช็ดแว่นตา หรือทำความสะอาดแผ่นซีดี เป็นต้น เป็นผ้าที่ทำจากเส้นใยไมโครไฟเบอร์ ดังนั้นเมื่อนำเส้นใยแบบนี้มาทำถุงมือผ้าจึงช่วยให้งานหยิบจับสิ่งของต่างๆ นั้น ไม่เกิดความเสียหาย หรือรอยขีดข่วน และมีความทนทานและซึมซับน้ำได้ดี

(7.3) ถุงมือถักพอลิเอสเตอร์

ถุงมือถักพอลิเอสเตอร์ หรือถุงมือ TK ทำจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีผู้ใช้มากที่สุดในกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหลาย เนื่องจากมีราคาถูกที่สุด ข้อดีของถุงมือที่ทำจากพอลิเอสเตอร์ คือมีความยืดหยุ่นสูง ไม่ยับง่าย เหนียว ทนทาน ดูดซับน้ำได้ไม่ดี แต่ดูดซับน้ำมันได้ดี ดังนั้นเมื่อสวมไปนานๆ มือจะชุ่มเหงื่อ ทำให้รู้สึกไม่ค่อยสบาย แต่สิ่งสกปรกก็ติดยาก และเนื่องจากใยพอลิเอสเตอร์ มีความยืดหยุ่นสูง เมื่อนำมาทำถุงมือสวมใส่ที่มือนั้นจะทำให้กระชับมือมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับการเลือกใช้ขนาดที่พอดีกับมือของผู้ใช้งานด้วย เนื่องจากถุงมือนี้อุดซับไขมันได้ดี เมื่อเปื้อนไขมันก็จะซักทำความสะอาด ออกได้ยาก ดังนั้นถุงมือแบบนี้ไม่ควรใช้หรือสัมผัสกับไขมันชนิดต่างๆ ทั้งไขมันพืชหรือไขมันสัตว์ และเนื่องจากเป็นใยสังเคราะห์ ที่ทนทาน จึงทนต่อการขัดสีได้ดี จึงสามารถใช้งานได้นาน แต่ข้อเสียคือ อาจจะมีปัญหาเรื่องระคายเคืองผิวสำหรับคนที่แพ้ง่าย

(7.4) ถุงมือผ้า TC

ถุงมือผ้า TC คำว่า TC ย่อมาจาก Tetron Cotton โดยเป็นส่วนผสมของ ฝ้าย ร้อยละ 35 พอลิเอสเตอร์ ร้อยละ 65 โดยพอลิเอสเตอร์ กับฝ้าย ต่างก็มีข้อดี-เสีย กันคนละแบบ ฝ้ายจะไม่ทำให้ผู้

สวมใส่ระคายเคืองผิวหนัง ดูดซับน้ำได้ง่าย ขาดง่าย ส่วนพอลิเอสเตอร์ จะทนทาน เหนียว เก็บได้นาน ไม่เป็นเชื้อรา แต่คันทัดไม่ยับง่าย การรวมข้อดีของเส้นใยธรรมชาติ คือผ้าฝ้าย และเส้นใยสังเคราะห์ คือพอลิเอสเตอร์ มารวมกันเพื่อลบข้อเสียของเส้นใยทั้งสองชนิดออกไป ถุงมือผ้า TC จึงมีข้อดีของทั้งสองแบบ แต่มีคุณสมบัติที่จะเอนเอียงไปทางพอลิเอสเตอร์ (เนื่องจากผสมพอลิเอสเตอร์ ในปริมาณสูงกว่า) และถ้ามีการพับริมเพื่อให้ถุงมือเกิดความกระชับข้อมือ ไม่หลุดง่าย ทำให้ผู้สวมใส่เกิดความมั่นใจในการหยิบจับสิ่งของต่างๆ ได้มั่นคงยิ่งขึ้น ปัจจุบันถุงมือผ้า TC จึงได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ

ในการเลือกใช้ถุงมือ ผู้ใช้ต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน ซึ่งสรุปข้อแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันมือ ตามตารางที่ 2.3.1

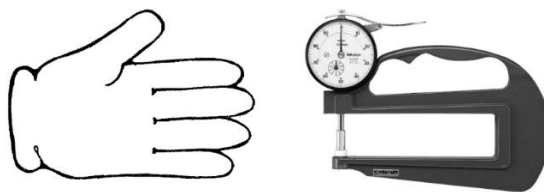
ตารางที่ 2.3.1 ข้อแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันมือ

ประเภทของงาน	ชั้นของอันตราย	ประเภทวัสดุอุปกรณ์ป้องกัน
- งานขีด	- อันตรายมาก - อันตรายน้อย	- ถุงมือยางชนิดหนาพิเศษ ถุงมือหนังเสริมพิเศษ - ถุงมือยาง พลาสติก หนัง ยางสังเคราะห์ ไนล่อน ผ้าฝ้าย
- งานของมีคม	- อันตรายมาก - อันตรายปานกลาง - อันตรายน้อย	- ถุงมือเสริมโลหะ ถุงมือชนิดพิเศษ - ถุงมือหนัง ถุงมือผ้าชนิดหนาไม่มีตะเข็บ - ถุงมือหนังชนิดบาง หนังสังเคราะห์ ไนล่อน ผ้าฝ้าย
- งานสารเคมี, ของเหลว	- ขึ้นกับชนิดของสารเคมีตามมาตรฐาน ACGIH	- วัสดุที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทสารเคมี เช่น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ พีวีซี เป็นต้น
- งานความเย็น		- ถุงมือหนัง ฉนวนกันความเย็นทำจาก พลาสติก ขนสัตว์ ผ้าฝ้าย
- งานไฟฟ้า		- ถุงมือยางซึ่งผ่านการทดสอบ สภาพความเป็นฉนวน มาตรฐาน Z 259- M 1979 และสวมถุงมือหนังทับ
- งานกันการติดเชื้อ		- ถุงมือพลาสติกชนิดบาง ถุงมือหนังชนิดบาง ผ้าพอลิเอสเตอร์ ไนล่อน
- งานรังสี		- ถุงมือยางบุตะกั่ว ถุงมือพลาสติกหรือหนัง
- งานความร้อน		- ถุงมือพิเศษ ชนิดมีฉนวนกันความร้อนหุ้ม
- งานทั่วไป		- ถุงมือผ้า ถุงมือหนัง

2.3.2 ลักษณะทั่วไปของถุงมือ

(1) ความหนาของถุงมือ (thickness)

โดยทั่วไปในการวัดความหนาของถุงมือ มีหน่วยวัดเป็น Gauge หรือ mil โดยที่ 1 mil = 0.001" (นิ้ว-Inches) ตัวอย่างเช่น ถุงมือหนา 10 Gauge หรือ 10 mil หมายความว่ามีความหนาเท่ากับ 0.010 นิ้ว เป็นต้น ถ้างานต้องการความยืดหยุ่นและความรู้สึกจากการสัมผัส ควรเลือกถุงมือที่มีความหนาน้อย (Low Gauge Gloves)



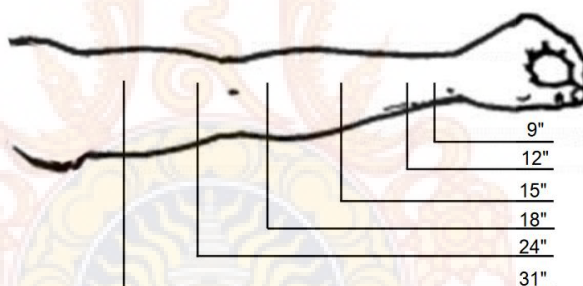
รูปที่ 2.3.1 ความหนาของถุงมือ

ที่มา: (CPL Group, 2562)

(2) ความยาวของถุงมือ (length)

การวัดความยาวของถุงมือ มีหลักการพิจารณาให้สัมพันธ์กับระยะหรือตำแหน่งที่ต้องการได้รับการป้องกัน เช่น

- ป้องกันมือและข้อมือ เลือกใช้ถุงมือที่มีความยาว 9 – 14 นิ้ว (23 - 26 เซนติเมตร)
- ป้องกันท่อนแขนช่วงล่างถึงข้อศอก เลือกใช้ถุงมือที่มีความยาว 14 – 18 นิ้ว (36 - 46 เซนติเมตร)
- ป้องกันตลอดทั้งแขนจนถึงหัวไหล่ เลือกใช้ถุงมือที่มีความยาว 31 นิ้ว (76 เซนติเมตร)



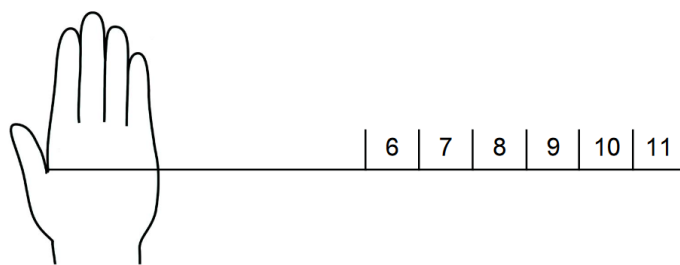
รูปที่ 2.3.2 ความยาวของถุงมือ

ที่มา: (CPL Group, 2562)

(3) ขนาดของถุงมือ (size)

ควรพิจารณาเลือกถุงมือให้มีขนาดที่สวมใส่ได้พอดี ไม่คับหรือหลวมจนเกินไป ถ้าถุงมือมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้รู้สึกไม่สบายมือ มีเหงื่อออกมาก อาจทำให้ถุงมือปริแตกหรือฉีกขาดได้ ถ้าถุงมือขนาดใหญ่หรือหลวมเกินไปก็จะมีผลต่อความคล่องแคล่วของมือในการทำงาน อาจทำให้ลื่นหลุดจากมือ หรืออาจไปเกี่ยวพันเข้ากับส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรทำให้เกิดอันตรายได้

การวัดขนาดของถุงมือ ใช้สายวัดวัดระยะเส้นรอบวงฝ่ามือ (hand circumference) เช่น ถ้าวัดได้เท่ากับ 9 นิ้ว ให้เลือกใช้ถุงมือที่มีขนาดกลาง (medium, M) และหากวัดได้ 9.5 นิ้ว เลือกใช้ขนาดใหญ่ (large, L) เป็นต้น



GLOVE SIZE GUIDE

10 - 11	= Extra Large
9 - 10	= Large
8 - 9	= Medium
7 - 8	= Small
6 - 7	= Extra Small

รูปที่ 2.3.3 ขนาดของถุงมือ

ที่มา: (CPL Group, 2562)

2.3.2 สัญลักษณ์มาตรฐานของถุงมือ

(1) EN 388 - การป้องกันในลักษณะทางกายภาพเชิงกลของถุงมือ (mechanical protection, general work) แสดงด้วยรูปสัญลักษณ์ตามด้วยตัวเลขสี่ตัว (ระดับประสิทธิภาพ) ซึ่งแต่ละตัวแสดงถึงประสิทธิภาพการทดสอบกับอันตรายที่เฉพาะเจาะจง

ตารางที่ 2.3.2 ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN388

	Performance level		1	2	3	4	5
	A. ความทนทานต่อการขีดสี	Based on the number of cycles required to abrade through the sample glove (Unit: cycle)	100	500	2000	8000	-
	B. ความทนทานต่อการบาด	Based on the number of cycles required to cut through the sample at constant speed (Unit: index)	12	25	5.0	10.0	20.0
	C. ความทนทานต่อการฉีกขาด	Based on the amount of force required to tear the sample (Unit: Newton)	10	25	50	75	-
	D. ความทนทานต่อการเจาะทะลุ	Based on the amount of force required to pierce the sample with a standard sized point (Unit: Newton)	20	60	100	150	-

(2) EN 407 - การป้องกันความร้อน (heat protection) แสดงด้วยรูปสัญลักษณ์ตามด้วยชุดของระดับประสิทธิภาพหกอันดับที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน (A -F) ระดับที่สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพป้องกันความร้อนได้มากขึ้น

ตารางที่ 2.3.3 ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN407

	Performance level		1	2	3	4
	A. ระยะเวลาของวัสดุต่อการหยุดติดไฟ	The length of time is measured for how long the material either glows or burns (Unit: Seconds)	≤20	≤10	≤3	≤2
	B. ความทนทานในการสัมผัสความร้อน	15 seconds is the minimum accepted length of time for approval (Unit: Degree °C)	100°	250°	350°	500°
	C. ความทนทานในการนำพาความร้อน	The amount of time is measured for the heat from a gas flame (8 0 kw/kvm) to increase the temperature of the glove's inside material by 24 °C (Unit: Seconds)	≤4	≤7	≤10	≤18
	D. ความทนทานในการสะท้อนรังสีความร้อน	The average time is measured for heat penetration of 2.5 kw/kvm (Unit: Seconds)	≤5	≤30	≤90	≤150
	E. ความทนทานต่อหยดโลหะหลอมขนาดเล็ก	The total number of drops of molten metal required to increase the temperature by 40 °C between the inside of the glove and the skin (Unit: Number or drop)	≥5	≥15	≥25	≥35
	F. ความทนทานต่อโลหะหลอมปริมาณมาก	The total number of grams is measured of how much molten metal is required to damage the simulated skin (Unit: Gram)	30	60	120	200

(3) EN 374 - การป้องกันการซึมผ่านของสารเคมี (chemical protection) ปัจจุบันมีการใช้ สารเคมีมากกว่า 15,000 ชนิด เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มากกว่า 60,000 ชนิด ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต การก่อสร้าง เกษตรกรรม ฯลฯ ดังนั้นการใช้ถุงมือป้องกันสารเคมีที่ผ่านการทดสอบและรับรองแล้วจะช่วยลดปัญหาการซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ร่างกายได้อย่างดี

ตารางที่ 2.3.4 ค่ามาตรฐานของถุงมือ EN374

	The 'Chemical resistant' glove pictogram must be accompanied by a 3-digit code. This code refers to the code letters of 3 chemicals (from a list of 12 standard defined chemicals) for which a breakthrough time of at least 30 minutes has been obtained	code letter	chemical	code letter	chemical
		A	Methanol	G	Diethylamine
		B	Acetone	H	Tetrahydrofuran
		C	Acetonitrile	I	Ethyl acetate
		D	Dichloromethane	J	n-heptane
		E	Carbon disulfide	K	Sodium hydroxide 40%
		F	toluene	L	Sulfuric acid 96%

2.4 สิ่งทอป้องกันความร้อนและเปลวไฟ

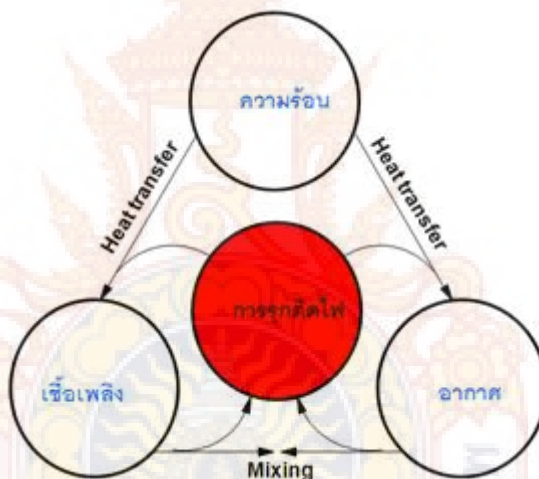
เพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินจากอัคคีภัยและความร้อน หลายประเทศจึงได้ออกกฎระเบียบและมาตรฐานทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟหรือต้านทานความร้อนสูงของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ISO ASTM NFPA เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานมีข้อแตกต่างกันที่ แหล่งให้ความร้อน เชื้อเพลิง เวลาที่ใช้จ่อเปลวไฟบนชิ้นทดสอบ และลักษณะการวางชิ้นทดสอบ

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการติดไฟ

การที่จะเกิดไฟขึ้นได้นั้น ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ (รูปที่ 2.4.1)

- เชื้อเพลิง (fuel) ซึ่งจะอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส
- ออกซิเจน (oxygen) ซึ่งมีอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ 21 โดยประมาณ
- ความร้อน (heat) พอเพียงที่จะติดไฟได้

เมื่อมีองค์ประกอบทั้ง 3 ครบแล้ว ไฟจะเกิดลุกไหม้ขึ้น และเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่



รูปที่ 2.4.1 องค์ประกอบของการติดไฟ

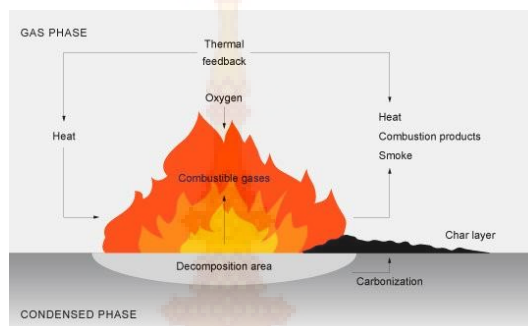
ที่มา: (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ n.d.)

2.4.2 กระบวนการเผาไหม้ของเส้นใย

ในการเผาไหม้ของเส้นใยพอลิเมอร์ มีกระบวนการ 2 แบบ ที่แตกต่างกัน คือการเผาไหม้แบบมีเปลวไฟเช่นการไหม้ของไม้ขีดไฟ และการเผาไหม้แบบไม่มีเปลว เช่น การเผาไหม้ของปลายมวนบุหรี่

กระบวนการทั่วไปของการเผาไหม้เกิดขึ้น ดังนี้ เมื่อเส้นใยได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการสลายตัว (degradation) ให้สารประกอบที่สามารถติดไฟได้ออกมารวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในกระบวนการเผาไหม้ในสถานะแก๊ส การเผาไหม้เป็นกระบวนการคายความร้อน พลังงานที่คายออกมาจะทำให้พื้นผิวของเส้นใยเกิดการเสื่อมสภาพ และปลดปล่อยสารประกอบที่ติดไฟออกมาอีก กลายเป็นวัฏจักรของการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4.2

การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์สามารถเกิดผ่านกระบวนการที่แตกต่างกันขึ้นกับโครงสร้างของพอลิเมอร์แต่ละชนิด เช่นการแตกของมอนอเมอร์ที่ปลายสายโซ่พบในเส้นใยประเภทพอลิเมอร์อะคริลิก การแตกตัวของมอนอเมอร์แบบสุ่มไม่ระบุตำแหน่งพบในสารพวกไนลอนและพอลิสไตรีน การแตกของอะตอมหรือกลุ่มที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักของพอลิเมอร์พบในเส้นใยเซลลูโลสที่ปลดปล่อยน้ำ และพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ปลดปล่อยกรดไฮโดรคลอริก สารแอโรมาติกและถ่าน นอกจากการแตกตัวแล้วยังสามารถเกิดการสร้างพันธะเชื่อมระหว่างสายโซ่ได้ถ่านพบในอะครีโลไนไตรล์



รูปที่ 2.4.2 การเผาไหม้และการขยายพื้นที่ในการเผาไหม้

ที่มา: (“Mode of Action | FLAMERETARDANTS-ONLINE” n.d.)

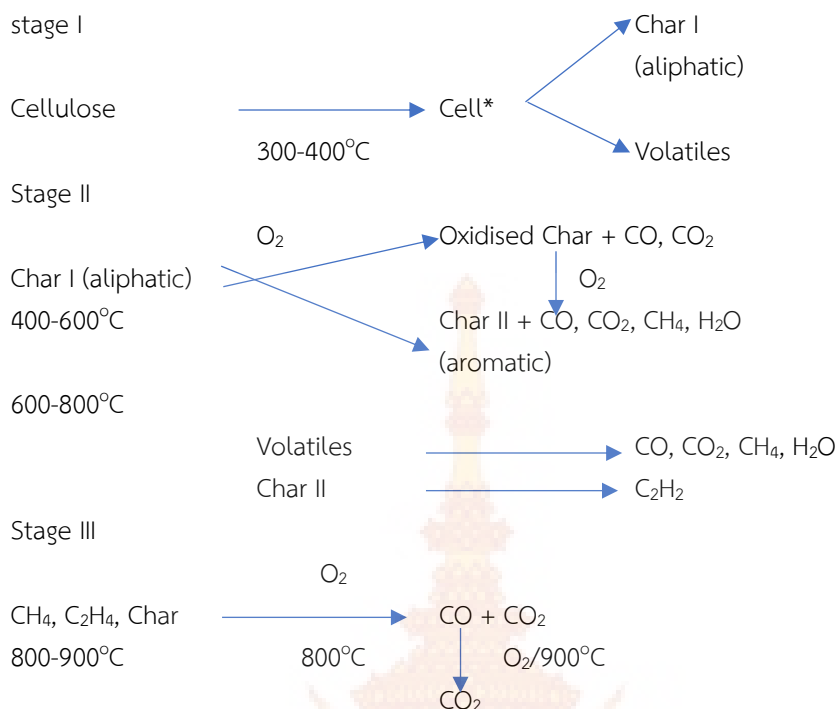
กระบวนการเผาไหม้ของเส้นใยเซลลูโลสแบบฝ้าย มี 3 ขั้นตอน ดังนี้ (รูปที่ 2.4.3)

ขั้นที่ 1 เกิดที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส เส้นใยฝ้ายจะเกิดการสลายตัวผ่านการแข่งขันของปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันและดีพอลิเมอไรเซชัน ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านจากการเผาไหม้ (char) ซึ่งจะทำตัวเป็น ฉนวนความร้อนที่ผิว ส่วนปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชันจะทำให้เกิดเลโวกลูโคซาน (levoglucan) ซึ่งสลายตัวให้สารที่มีความสามารถติดไฟสูง และทำให้การสลายตัวของเส้นใยเซลลูโลสเกิดมากขึ้น

ขั้นที่ 2 เกิดที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส โดยในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส ถ่านจากการเผาไหม้จะกลายเป็นสารแอโรมาติก จากนั้นเมื่ออุณหภูมิระหว่าง 600-800 องศาเซลเซียส จะสลายตัวได้อะเซทิลีน

ขั้นสุดท้าย เกิดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เซลลูโลสจะลุกไหม้ทันทีที่สัมผัสเปลวไฟ ไม่เกิดการหลอมหรือหดตัว เมื่อลุกไหม้มีกลิ่นคล้ายกระดาษไหม้ไฟ และเกิดถ่านเล็กน้อย (Price and Horrocks 2013)



รูปที่ 2.4.3 กระบวนการเผาไหม้ของเส้นใยเซลลูโลส
ที่มา: (Price and Horrocks 2013)

ผ้าหรือเครื่องนุ่งห่มที่ทำจากเส้นใยฝ้ายเป็นผ้าที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากผ้าฝ้ายสามารถดูดซับเหงื่อและความชื้นจากร่างกายได้ดี ทำให้สวมใส่สบาย ดังนั้น ผ้าฝ้ายจึงถูกนำมาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่มหลายชนิดทั้งเครื่องนุ่งห่มที่ใช้ในชีวิตประจำวันทั่วไป รวมถึงเครื่องนุ่งห่มที่ใช้ในงานเฉพาะกิจต่างๆ เช่น ชุดทำงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (industrial work wear) หรือผู้ที่ต้องทำงานในสภาวะที่ต้องเจอกับความร้อนและสะเก็ดไฟ หรือชุดผจญเพลิง เส้นใยฝ้ายแม้ว่าจะมีข้อดีหลายอย่าง แต่เป็นเส้นใยที่ติดไฟได้ง่าย ทนต่อความร้อนต่ำ เนื่องจากมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (limiting oxygen index, LOI) มีค่าร้อยละ 18.4 โดยเส้นใยที่มีค่า LOI ต่ำกว่า 21.0 ถือว่าเป็นเส้นใยที่ติดไฟได้ดี เส้นใยที่มีค่า LOI ระหว่าง 21.0 – 25.0 ถือว่าติดไฟปานกลาง ส่วนเส้นใยที่มีค่า LOI สูงกว่า 25.0 ถือว่าเป็นเส้นใยที่ติดไฟยาก และมักผ่านข้อกำหนดในการทดสอบความหน่วงไฟ (Price and Horrocks 2013) เส้นใยแต่ละชนิดจะมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดแสดงในตารางที่ 2.4.1

ตารางที่ 2.4.1 ดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ของเส้นใยชนิดต่างๆ

เส้นใย	ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (ร้อยละ)
Acrylic	18.2
Cotton	18.4
Cellulose acetate**	18.4
Cellulose triacetate**	18.6
polypropylene	18.6
rayon	18.9
polyester	20-21
Nylon 6	20-21.5
Nylon6,6	20-21.5
Silk**	22.8
wool	25
modacrylic	29-30

** (Szwartz and Goodman, 1982; Guan et al, 2009)

ที่มา: (A. Richard Horrocks 2011)

จากคุณสมบัติที่ดีของผ้าฝ้าย และมีข้อเสียคือผ้าฝ้ายติดไฟง่าย ดังนั้นการตกแต่งให้ผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติหน่วงการติดไฟ (flame retardant) สำหรับนำไปใช้ทำเครื่องนุ่งห่มที่ใช้ในงานเฉพาะกิจต่างๆ สำหรับผู้ที่ต้องทำงานในสภาวะที่ต้องเจอกับความร้อนและสะเก็ดไฟ หรือชุดผจญเพลิง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

2.4.3 สารหน่วงไฟ

สารหน่วงไฟ (flame retardant) คือสารที่ช่วยลดอัตราการเผาไหม้ของวัสดุ โดยวิธีการยับยั้งการลุกลาม ทำให้ได้หลายวิธีดังนี้

- (1) นำวัสดุออกจากเปลวไฟ
- (2) เพิ่มอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุอันเป็นอุณหภูมิที่จะเกิดสารระเหยติดไฟง่าย
- (3) ลดแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้โดยทำให้เกิดการถ่านจากการเผาไหม้ที่ผิววัสดุ
- (4) ป้องกันออกซิเจนเข้าไปในบริเวณที่เกิดการลุกลาม
- (5) เพิ่มอุณหภูมิที่ต้องการในการเผาไหม้ โดยสารหน่วงไฟแต่ละชนิด หน่วงไฟได้หลายแบบ

(A. Richard Horrocks, Price, and Price 2001)

วิธีการเติมสารหน่วงไฟเข้าไปยังวัสดุต่างๆ เช่น พลาสติก สิ่งทอ และวัสดุอื่น มี 3 วิธีคือ

- (1) เติมสารหน่วงไฟเข้าไปในตัววัสดุโดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นวิธีที่ประหยัด รวดเร็ว แต่ต้องใช้สารหน่วงไฟปริมาณมาก และอาจเกิดผลกระทบกับความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุ

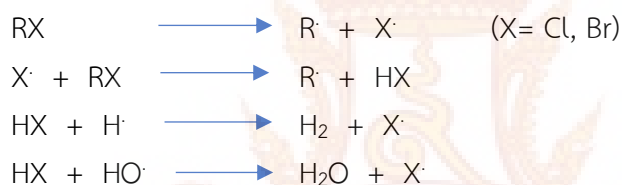
(2) ใช้สารหน่วงไฟที่หน่วงฟุ้งขึ้น ที่จะทำพันธะกับวัสดุ วิธีนี้ให้ผลคงทนและมีประสิทธิภาพสูง แต่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของตัวพอลิเมอร์ได้ และทำได้ยากในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมสำหรับ เส้นใย สิ่งทอ และโฟมยืดหยุ่น

(3) ปรับปรุงพื้นผิวโดยกระบวนการที่หลากหลาย เช่นการเคลือบด้วยสารหน่วงไฟ ซึ่งมีราคาสูงและมีคุณภาพดี และยังสภาพเดิมของวัสดุตั้งเดิมได้ค่อนข้างมาก การเคลือบสารหน่วงไฟมีกระบวนการหลายแบบ เช่นการเคลือบแบบโซลเจล แบบพลาสมา เป็นต้น

ประเภทของสารหน่วงไฟแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี ได้ 5 ประเภท (Kim, Dutta, and Bhattacharyya 2018; A. Richard Horrocks, Price, and Price 2001; Price and Horrocks 2013)

(1) สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน (halogen-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน ได้แก่สารประกอบโบรมีน และสารประกอบคลอรีน ถือเป็นสารหน่วงไฟที่มีประสิทธิภาพดีและมีความคงทนสูง ซึ่งมีกลไกการหน่วงไฟด้วยการขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาของ $H\cdot$ และ $OH\cdot$ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระซึ่งมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ (pyrolysis) ของวัสดุในวัฏภาคแก๊ส



โดยทั่วไปมักใช้สารหน่วงไฟประเภทนี้ร่วมกับแอนติโมนีออกไซด์ ซึ่งมีหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมประสิทธิภาพการหน่วงไฟ (synergist) เช่น antimony trioxide (Sb_2O_3) และ pentoxide (Sb_2O_5) อย่างไรก็ตามสารหน่วงไฟประเภทนี้ เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดแก๊สฮาโลเจน ได้แก่กรดไฮโดรโบรมิก (hydrobromic acid, HBr) และกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric, HCl) ถือเป็นสารก่อมะเร็ง โดยเป็นแก๊สพิษที่มีฤทธิ์ในการทำลายปอดและระบบทางเดินหายใจ หากได้รับแก๊สนี้ในปริมาณมากอาจถึงแก่ความตายได้ นอกจากนี้สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน โดยเฉพาะโบรมีนเมื่อถูกเผาจะก่อให้เกิดสารจำพวกไดออกซิน (dioxine) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้สหภาพยุโรปจึงได้ออกกฎหมายข้อบังคับห้ามใช้สารหน่วงไฟที่มีสารประกอบของสารฮาโลเจนบางชนิดเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เพนตะโบรมิไดฟีนีลอีเทอร์ (penta bromodiphenyl ether, penta BDE) ออกตะโบรมิไดฟีนีลอีเทอร์ (octa bromodiphenyl ether, octa BDE) ยกเว้นเดคะโบรมิไดฟีนีลอีเทอร์ (deca bromodiphenyl ether, deca BDE) ซึ่งยังไม่พบว่าเป็นมิตรต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีส่วนผสมของ deca BDE ได้ถูกสั่งห้ามวางขาย ตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2551

(2) สารหน่วงไฟประเภทอนินทรีย์ (inorganic flame retardants)

สารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟ หรือใช้เป็นองค์ประกอบร่วมในระบบหน่วงไฟกับสารประกอบโบรมีน สารประกอบฟอสฟอรัส หรือสารประกอบไนโตรเจน มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ แกรไฟต์ ซิลิกา โลหะ โลหะออกไซด์ และอะลูมิเนียมซิลิเกตเคลย์ เป็นต้น สารหน่วงไฟประเภทนี้ นอกจากจะมีราคาถูก ไม่เป็นพิษ มีสมบัติในการหน่วงไฟแล้ว ยังมีสมบัติในการลดควันที่เกิดจากการเผาไหม้ แต่มีข้อเสียที่สมบัติความคงทนต่ำ

(3) สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน (nitrogen-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน ได้แก่ เมลามีน เมลามีนไฮยานูเรต เมทิลอลเมลามีน สารประกอบกัวดินีน ยูเรีย ไฮยานาไดเอไมด์ เป็นต้น ทำหน้าที่ในรูปแบบการเกิดอินทูเมสเซนซ์ (intrumescent) ในลักษณะการพองตัวเป็นชั้นของชาร์ที่คล้ายโฟม ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันวัสดุจากการสัมผัสกับความร้อนแก๊สออกซิเจน การใช้สารประกอบไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว จะมีประสิทธิภาพการหน่วงไฟไม่ดี อาจจำเป็นต้องใช้มากถึงร้อยละ 17 จึงจะช่วยให้เซลลูโลสมีความสามารถในการหน่วงไฟได้ปานกลาง

(4) สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส (phosphorus-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้หาได้ง่าย ให้ประสิทธิภาพในการหน่วงไฟกับวัสดุที่มีปริมาณออกซิเจนสูง เช่น พอลิเอทิลีน เซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยมีกลไกควบคุมการหน่วงไฟทั้งการขัดขวางทางกายภาพและทางเคมีในวัฏภาคแก๊สและวัฏภาคของแข็ง การใช้สารหน่วงไฟประเภทนี้ร่วมกับฮาโลเจนหรือไนโตรเจนจะช่วยเสริมประสิทธิภาพการหน่วงไฟ (synergism) ให้ดีขึ้นได้ เมื่อได้รับความร้อนสารหน่วงไฟชนิดนี้จะสลายตัวกลายเป็นกรดฟอสฟอริก และกรดพอลิฟอสฟอริก ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นของของเหลวหนืดปกคลุมผิววัสดุ นอกจากนี้กรดยังไปเร่งให้เกิดการเผาไหม้บนผิวหน้าของวัสดุ ให้กลายเป็นชั้นของชาร์คาร์บอน (char) เคลือบผิววัสดุ ซึ่งช่วยป้องกันวัสดุจากความร้อน เปลวไฟและออกซิเจน ซึ่งจะเกิดพร้อมๆ กับการปลดปล่อยน้ำออกมาเจือจางสารระเหยที่ติดไฟ และทำให้อุณหภูมิของระบบลดลง

กลไกการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส แสดงได้ดังนี้



สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสถูกใช้แพร่หลายมากขึ้นหลังจากสารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจนถูกระงับใช้เนื่องจากการก่อให้เกิดอันตราย โดยสารกลุ่มฟอสฟอรัส มีข้อดีคือ ใช้ค่าน้อย และความเป็นพิษต่ำ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้คือ ฟอสฟอรัสแดง ฟอสฟีน ฟอสฟีนออกไซด์ ฟอสฟิเนตและฟอสเฟต

สารเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาที่สถานะควบแน่นโดยเปลี่ยนเส้นทางการสลายตัวของพอลิเมอร์ และลดแก๊สที่จะเผาไหม้โดยเกิดถ่านจากการเผาไหม้กลุ่มที่ผิวของพอลิเมอร์

สารหน่วงไฟสำหรับผ้าฝ้ายมีการพัฒนาอย่างจริงจังในช่วง ค.ศ. 1950-1980 มีทั้งแบบคงทนและแบบคงทนปานกลาง ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่พบในช่วงแรกได้แก่ แอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต กลีเซอรีน(ไฮดรอกซีเมทิล) ฟอสฟอเนียม และสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฮาโลเจน เป็นต้น ในช่วงปี ค.ศ. 2000 มีการพัฒนาสารหน่วงไฟ โดยเน้นที่ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (A. R. Horrocks et al. 2005) สารหน่วงไฟสำหรับผ้าฝ้ายจะถูกเติมในกระบวนการตกแต่งสำเร็จขึ้นกับลักษณะทางเคมี ค่าใช้จ่าย และความคงทนในการซักล้างของสารหน่วงไฟที่ต้องการ ถ้าต้องการความหน่วงไฟเพียงชั่วคราวก็ใช้สารประเภทเกลือที่ละลายน้ำ เช่นแอมโมเนียมฟอสเฟต พอลิฟอสเฟต และโบรไมด์ เป็นต้น ถ้าต้องการความหน่วงไฟแบบถาวร ก็ต้องเลือกใช้สารที่มีความว่องไว เช่นอนุพันธ์ของแอคิลฟอสฟานาไมด์ เป็นต้น สำหรับผ้าฝ้ายนั้นสารหน่วงไฟที่นิยมมักเป็นสารประเภทฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสร่วมกับสารอื่น

2.4.4 สารหน่วงไฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สารหน่วงไฟถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของเครื่องนุ่งห่ม และสิ่งทอที่ใช้ในงานด้านต่างๆ โดยทั่วไปใช้ในรูปแบบของสารเติมแต่งไม่ได้ทำพันธะกับเส้นใย ดังนั้นสารเติมแต่งจึงสามารถหลุดออกมาปนเปื้อนอยู่ในธรรมชาติได้ จากการศึกษาพบว่าสารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจนโดยเฉพาะกลุ่มโบรมีนที่นิยมใช้ใน ช่วงปี 2547 – 2558 มีการปนเปื้อนในธรรมชาติค่อนข้างมาก รวมถึงพบในนมและเนื้อเยื่อ โดยพบมากในประเทศสหรัฐอเมริกาเกินกว่าบริเวณอื่นๆ (Venier, Salamova, and Hites 2015) ดังนั้นสารหน่วงไฟที่ใช้ควรเป็นสารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสารดังกล่าวต้องสัมผัสกับร่างกายมนุษย์ และมีโอกาสปนเปื้อนสูงมาก

คุณสมบัติอันพึงประสงค์ของสารหน่วงไฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คือ ต้องไม่มีการสะสมทางชีวภาพ ไม่เป็นพิษกับมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศน์ ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ดิน น้ำ อากาศ)

สารประกอบกลุ่มโบรมีนและคลอรีน ถูกะงับการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดไดออกซินและฟิวแรนเมื่อเกิดการเผาไหม้ ซึ่งสารทั้งสองชนิดมีการสะสมทางชีวภาพ และเป็นพิษกับมนุษย์ นอกจากนี้การเติมแอนติโมนีออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหน่วงไฟยังมีผลในการเกิดไดออกซินอีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้งานแอนติโมนีออกไซด์ยังคงแพร่หลายทั้งกับเฟอร์นิเจอร์และสิ่งทออื่นๆ เนื่องจากยังไม่มีผลรายงานถึงความเป็นพิษของออกไซด์ดังกล่าว

สารหน่วงไฟที่ใช้กับผ้าฝ้ายในปัจจุบัน เป็นสารกลุ่มฟอสฟอรัสเป็นหลัก ไม่มีรายงานเรื่องความเป็นพิษ แต่เนื่องจากกระบวนการตกแต่งต้องผ่านกระบวนการเติมลงไปทั้งพื้นผิวผ้าทำให้ผ้าที่ได้แข็ง ด้าน หรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ และสีย้อมที่ใช้อาจได้รับผลกระทบจากค่าพีเอชจากขั้นตอนการเติมสารหน่วงไฟ

จะเห็นการใช้สารหน่วงไฟตกแต่งบนเส้นใย มีค่าใช้จ่ายทั้งสารเคมี และกระบวนการตกแต่งที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งสารเคมียังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการเลือกใช้เส้นใยที่มีความสามารถทนไฟโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการตกแต่งเส้นใยจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

2.5 การประเมินความสามารถการติดไฟของผ้า

การประเมินความสามารถการติดไฟของผ้า (evaluation of fabric flammability) แสดงได้ด้วยความสามารถในการติดไฟ การขยายของเปลวไฟ และความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความร้อน (thermal analysis) วัดโดยวิธีการ thermal gravity analysis (TGA) differential thermal analysis (DTA) และ differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการไฟโรไลซิสและการเผาไหม้

การวัดการขยายของเปลวไฟ (flame spread) ทำได้โดยการทดสอบเผาตัวอย่าง จากนั้นวัดค่าการขยายตัวของเปลวไฟ การติดไฟ และความร้อนที่ใช้เพื่อให้คงสภาพการติดไฟ

ค่าดัชนีออกซิเจน (oxygen index) หาโดยวัดค่าความเข้มข้นออกซิเจนต่ำสุดในแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนและไนโตรเจน เพื่อหาความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ของตัวอย่าง วิธีนี้สามารถใช้หากลไกหน่วงไฟที่สถานะแก๊สได้

อัตราการปลดปล่อยความร้อนระหว่างเผาไหม้ (heat release rate, HRR) บอกถึงความสามารถการเผาไหม้ของวัสดุ ยิ่งปลดปล่อยความร้อนมากก็ยิ่งเผาไหม้มาก สารหน่วงไฟนี้จะลดค่านี้ทำให้การเผาไหม้ลดน้อยลง การวัดความสารพัดไปพร้อมกับการวัดค่า mass loss rate, effective heat of combustion, total heat released, specific extinction area, time to sustained ignition และ CO/CO₂ formation ด้วยวิธีโคนแคลอริมิเตอร์ (cone calorimeter)

ความเป็นพิษ (toxicity) อาศัยการวิเคราะห์เขม่าจากการเผาไหม้ โดยใช้การวิเคราะห์ cone calorimeter ร่วมกับ FTIR (Kozłowski and Przybylak 2001)

การทดสอบความสามารถในการต้านไฟบนผืนผ้า (16CFR Part 1610: The flammability of Clothing Textiles) ใช้ทดสอบเพื่อหาความสามารถในการติดไฟของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ใช้สำหรับทำเสื้อผ้า โดยแบ่งระดับการติดไฟเป็น 3 คลาสตามผลการทดสอบ โดยสรุปจากกลุ่มผลที่ได้จากตัวอย่างทั้งก่อนและหลังซัก (ในบางกรณีต้องทำทั้งสองชนิด)

2.5.1 การทดสอบความสามารถในการติดไฟของสิ่งทอ

การทดสอบผ้าติดไฟ 45° Flammability 16 CFR 1610 (Test ASTM D 1230) มีวิธีทดสอบดังนี้ (D13 Committee n.d.)

- (1) เพื่อหลีกเลี่ยงความชื้นที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นตัวอย่างทดสอบ ต้องเริ่มทดสอบตั้งแต่นำชิ้นตัวอย่างมายึดติดกับตัว holder และจุดติดไฟให้เสร็จภายใน 45 วินาที
- (2) ชิ้นทดสอบมีขนาด 2x6 นิ้ว

(3) จุดติดไฟขึ้นทดสอบด้วย butane gas ที่มีความยาวของเปลวไฟ 5/8 นิ้ว เป็นเวลา 1 วินาที

(4) จับเวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายไปยังขึ้นทดสอบ และสังเกตลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น เช่น ชี้อ้า ลักษณะการหลอม การลุกลไหม้ต่อเนื่องหรือไม่ หรือเปลวไฟดับหรือไม่ เป็นต้น

ผ้าที่มีลักษณะเป็น plain weave แบ่งการเผาไหม้ได้ดังนี้

class1 การเผาไหม้ปกติที่สามารถยอมรับได้ และใช้เป็นเสื้อผ้าได้ (acceptable for apparel) เวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายมากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 วินาที

class 3 การเผาไหม้รุนแรงและรวดเร็ว ไม่สามารถยอมรับที่จะใช้เป็นเสื้อผ้าได้ (unsuitable for apparel) เวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายน้อยกว่า 3.5 วินาที

ผ้าที่มีลักษณะเป็นผ้าชุดขน แบ่งการเผาไหม้ได้ดังนี้

class1 การเผาไหม้ปกติ เวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายมากกว่า 7 วินาที

class2 การเผาไหม้ระดับกลาง เวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายมากกว่า 4 - 7 วินาที

class3 การเผาไหม้รุนแรงและรวดเร็ว เวลาที่เปลวไฟแผ่กระจายน้อยกว่า 4 วินาที

หมายเหตุ การทดสอบนี้จะเน้นเฉพาะผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ

การทดสอบเสื้อผ้าเด็กจะใช้วิธีการทดสอบการติดไฟแบบแนวตั้ง (vertical flammability test) ซึ่งต้องการมุมที่ใช้ในการทดสอบมากกว่า 45°

หลักการทดสอบการติดไฟแบบแนวตั้ง

(1) ขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ 3.5 x 10 นิ้ว ที่มีปลายเปิด แขนงในแนวตั้งที่มีการหึงตัวอิสระในตู้ทดสอบ

(2) ใช้แก๊สมีเทน เป็นแก๊สติดไฟ และมีความยาวเปลวไฟ 1.5 นิ้ว จุดไฟที่ชิ้นตัวอย่างเป็นเวลา 3 วินาที

(3) วัด char length ที่เกิดจากการเผาไหม้ การผ่านการทดสอบของตัวอย่างจะพิจารณาที่ความยาวของชี้อ้าจะต้องยาวไม่เกิน 7 นิ้ว และจะต้องไม่มีขึ้นทดสอบใดมีความยาวชี้อ้า 10 นิ้ว การทดสอบวิธีนี้ใช้ขึ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น

การทดสอบพรม ใช้ขึ้นทดสอบขนาด 9x9 นิ้ว ทดสอบแบบ pill test มีหลักการที่ใช้ทดสอบคือ ใช้เม็ดของ methylene amine วางใจกลางขึ้นทดสอบ แล้วติดไฟให้เม็ดสารเคมีเผาไหม้เป็นเวลา 90-120 วินาที ขึ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบจะต้องมีปริมาณชี้อ้าที่เกิดขึ้นไม่เกิน 3 นิ้วจากจุดที่เม็ด methylene amine ถูกไหม้ พรมที่นำมาทดสอบจะผ่านการทดสอบ เมื่อขึ้นทดสอบ 7 ชิ้นจาก 8 ชิ้นผ่านการทดสอบ

การทดสอบพูก หรือที่นอน ใช้วิธีทดสอบแบบบุหรีที่เรียกว่า cigarette test การทดสอบทำโดยการวางบุหรีที่ไม่มีก้นกรองที่จุดแล้ว 9 มวน ในตำแหน่งที่กำหนดบนที่นอน ประเมินโดยการวัด

ความยาวของซี่งี้ (char length) รอบๆ บุหรี่จะต้องไม่เกินกว่า 2 นิ้วทุกทิศทาง หรือโดยที่เปลวไฟไม่เผาไหม้ฟุ้งเกินกว่าระยะ 2 นิ้ว จากจุดที่วางบุหรี่

การทดสอบ the limiting oxygen index (LOI) ซึ่ง LOI คือปริมาณออกซิเจนที่น้อยที่สุดที่ต้องการในบรรยากาศ เพื่อให้วัสดุทดสอบเกิดการเผาไหม้ต่อไปได้ ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุที่มีค่า LOI ต่ำ แสดงว่าวัสดุนั้นเกิดการเผาไหม้ได้ง่าย วัสดุที่มีค่า LOI มากกว่า 25 โดยทั่วไปจะดับได้ด้วยตัวเองในอากาศ ส่วนวัสดุที่มีค่า LOI ต่ำคือน้อยกว่า 21 วัสดุนั้นจะเกิดการเผาไหม้ได้ง่าย ทั้งนี้เพราะในบรรยากาศมีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 21 ซึ่งมีออกซิเจนเพียงพอที่จะทำให้การเกิดการเผาไหม้สำหรับวัสดุที่มีค่า LOI ต่ำกว่า 21

การทดสอบ LOI ทำได้โดยการตั้งขึ้นทดสอบในแนวดิ่งในตู้ทดสอบที่สามารถควบคุมอัตราการเกิดแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนได้ หลังจากนั้นจุดไฟที่ส่วนบนของชิ้นทดสอบ แล้ววัดปริมาณออกซิเจนที่ทำให้เกิดการเผาไหม้

การทดสอบควัน จะวัดปริมาณควันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้วัสดุ โดยการหาความหนาแน่นของควัน (smoke density) โดยการวัดการกระจายของแสง (transmission of light) ผ่านควัน วิธีเผาชิ้นทดสอบแล้วเก็บควันบนตัวกรอง (filter) เพื่อวัดความถ่วงจำเพาะ (gravity measurement)

2.5.2 มาตรฐานการหน่วงไฟของถูงมือ (EN407)

มาตรฐานการวัดค่าการหน่วงไฟของถูงมือมีมาตรฐานเฉพาะ โดยมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลคือมาตรฐาน EN407 เป็นมาตรฐานของสหภาพยุโรป ที่ใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 และยังได้รับการยอมรับเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (“Getting to the Bottom of EN407: Thermal Protection” 2019) มาตรฐานนี้จะกำหนดความสามารถของถูงมือต่อการทนความร้อนและไฟ โดยจะถูกระบุค่าความสามารถด้วยตัวเลข (0-4) และมีวิธีการทดลองทั้งหมดแบ่งออกเป็น 6 วิธีการ ได้แก่

- (1) ความทนทานต่อเปลวไฟ (resistance to flammability) (คะแนนความสามารถ 0- 4)

ความทนทานต่อเปลวไฟขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่วัสดุถูงมือไหม้ไฟและลามออกมา หลังจากได้นำสิ่งของที่ติดไฟออกไปแล้ว โดยที่ตะเข็บของถูงมือไม่หลุดออกมาหลังจากที่ติดไฟเวลา 15 วินาทีโดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.1

ตารางที่ 2.5.1 ระดับความทนทานต่อเปลวไฟของมาตรฐาน EN407

เวลาหลังจากจุดไฟ (วินาที)	เวลาที่ไฟลาม (วินาที)	คะแนนที่ได้รับ
20 วินาที	ไม่หยุดลาม	1
10 วินาที	ต่ำกว่า 120 วินาที	2
3 วินาที	ต่ำกว่า 25 วินาที	3
2 วินาที	ต่ำกว่า 5 วินาที	4

(2) ความทนทานต่อการสัมผัสความร้อน (contact heat resistance)

ความทนทานต่อการสัมผัสความร้อน ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิ (100-500 องศาเซลเซียส) ที่ผู้ใช้งานจะไม่รู้สึกเจ็บปวดอย่างน้อย 15 วินาที ซึ่งถ้าหากได้ EN ข้อมูลระดับ 3 หรือสูงกว่าในการทดสอบนี้จะถือว่าผลิตภัณฑ์นี้ได้ EN อย่างน้อย 3 ระดับในการทดสอบเปลวไฟด้วย แต่ถ้าหากไม่ได้ ระดับสูงสุดจะได้เพียงที่ระดับ 2 เกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.2

ตารางที่ 2.5.2 ระดับความทนทานต่อความร้อนของมาตรฐาน EN407

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	คะแนนที่ได้รับ
100	1
250	2
350	3
500	4

(3) การหน่วงความร้อน (convective heat resistance)

การหน่วงความร้อนขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ถุงมือสามารถหน่วงเวลาการโอนความร้อนจากเปลวไฟ โดยระดับประสิทธิภาพนี้จะถูกระบุก็ต่อเมื่อถ้าได้ประสิทธิภาพ level 3 หรือ 4 ในการทดสอบ flammability เกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.3

ตารางที่ 2.5.3 ระดับการหน่วงความร้อนของมาตรฐาน EN407

การหน่วงความร้อน (วินาที)	คะแนนที่ได้รับ
4	1
7	2
10	3
18	4

(4) ความต้านทานต่อรังสีความร้อน (radiant heat resistance)

ความต้านทานต่อรังสีความร้อนทดสอบขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ถุงมือสามารถหน่วงเวลาการโอนความร้อนจากรังสีความร้อน โดยระดับประสิทธิภาพนี้จะถูกระบุก็ต่อเมื่อถ้าได้ประสิทธิภาพ level 3 หรือ 4 ในการทดสอบ flammability เกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.4

ตารางที่ 2.5.4 ระดับความต้านทานต่อรังสีความร้อนของมาตรฐาน EN407

ความต้านทานรังสีความร้อน (วินาที)	คะแนนที่ได้รับ
5	1
30	2
90	3
150	4

- (5) การทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดเล็ก (resistance to small splashes of molten metal)

ถุงมือจะถูกทดสอบโดยการหยดโลหะหลอมเหลว เช่น ทองแดง (copper) ลงไปจำนวนหนึ่ง และทำการตรวจวัด โดยจะหยดโลหะหลอมเหลวไปเรื่อยๆ จนกว่าอีกด้านของถุงมือจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบจะระบุระดับความสามารถเพียงเมื่อถุงมือผ่านผลการทดสอบระดับ 3 หรือ 4 เท่านั้น โดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.5

ตารางที่ 2.5.5 ระดับความทนทานการทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดเล็กของมาตรฐาน EN407

จำนวนหยด	คะแนนที่ได้รับ
<5	1
<15	2
<25	3
<35	4

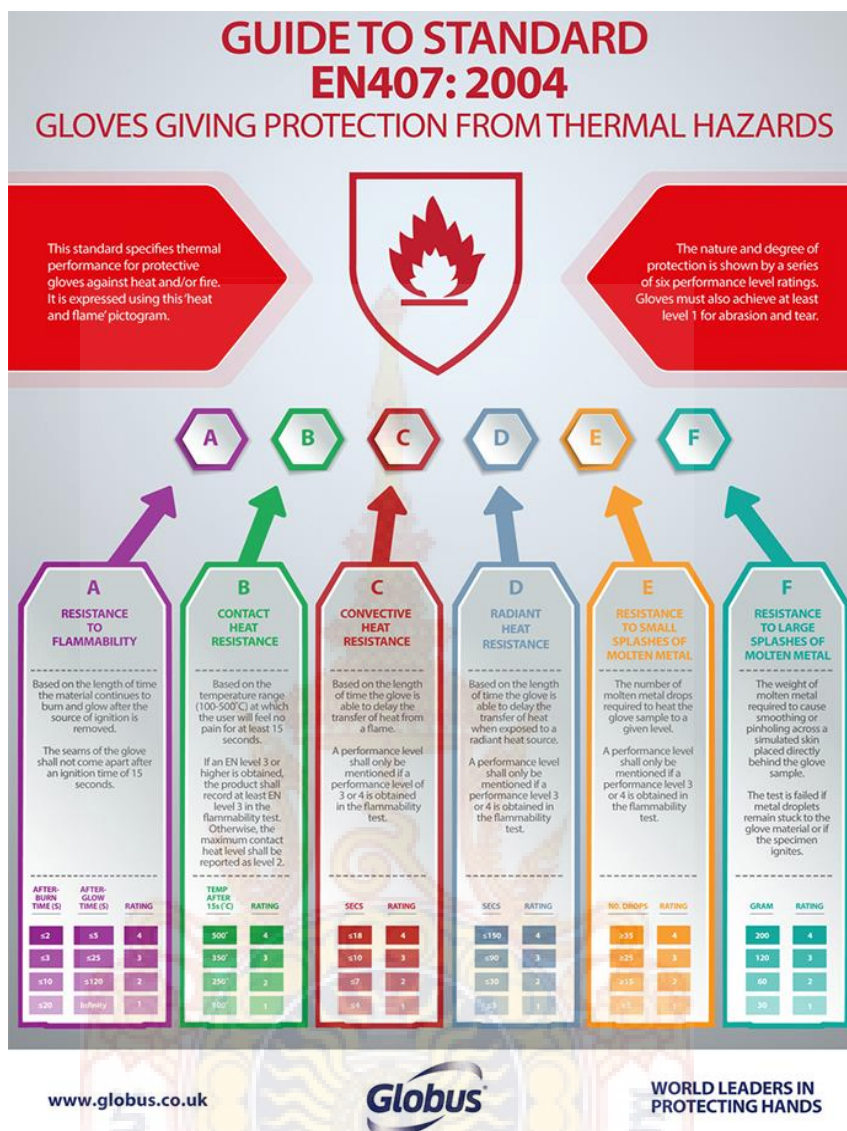
- (6) การทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดใหญ่ (Resistance to large splashes of molten metal)

ถุงมือจะถูกทดสอบโดยการใช้โลหะหลอมเหลวขึ้นใหญ่วางบนขึ้นตัวอย่างถุงมือ ซึ่งการทดสอบ จะนำผิวหนังจำลอง (แผ่น PVC) วางไว้ภายในถุงมืออีกทีหนึ่ง (เสมือนคนกำลังใส่ถุงมืออยู่) น้ำหนักของโลหะหลอมเหลว จะก่อให้เกิดรอยร้าวบนขึ้นถุงมือ ซึ่งจะซึมผ่านไปถึงผิวหนังจำลอง ขึ้นงานจะไม่ผ่านผลการทดสอบหากโลหะหลอมเหลวติดกับขึ้นถุงมือ โดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 2.5.6

ตารางที่ 2.5.6 ระดับความทนต่อสะเก็ดโลหะหลอมขนาดใหญ่ ของมาตรฐาน EN407

ปริมาณของโลหะหลอมขนาดใหญ่ (กรัม)	คะแนนที่ได้รับ
30	1
60	2
120	3
200	4

นอกจากนี้ถุงมือที่จะนำมาทดลองด้วยมาตรฐาน EN407 นั้นต้องผ่านระดับความสามารถระดับ 1 สำหรับการทดสอบการขูดขีด และฉีกขาดมาแล้วเท่านั้น (Abrasion and tear test) หมายความว่าถุงมือนั้นต้องสามารถทนการเสียดสีอย่างน้อย 100 รอบ และทนต่อแรงเฉือนได้มากกว่า 10 นิวตัน (“Glove Standards and Cut Ratings - The Glove Company” n.d.)



รูปที่ 2.5.1 แผนผังสรุปโดยย่อของการดูค่ามาตรฐาน EN407
ที่มา: (“Getting to the Bottom of EN407: Thermal Protection” 2019)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ

3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- (1) เครื่องสับ ฉีก และตะกรุย (opening and cleaning process)
- (2) เครื่องสาวใย (carding machine)
- (3) เครื่องรีดปุย (drawing machine) ยี่ห้อ Cherry 400
- (4) เครื่องปั่นด้ายโรเตอร์ (rotor spinning) แบบปลายเปิด รุ่น DB 2000
- (5) เครื่องถักถุงมือ (glove knitting machine) ยี่ห้อ Shima Seiki 7 เกท รุ่น IIIA (3A)

3.1.2 วัสดุ

- (1) เศษฝ้ายนอเม็กซ์ที่หมดอายุการใช้งาน รวมไปถึง เศษผ้าจากการตัดเย็บชุดทหาร
- (2) เศษริมผ้าพอลิเอสเตอร์

3.2 วิธีการทดลอง

- (1) การเตรียมใยจากเศษผ้าเหลือใช้จากการตัดเย็บชุดทหาร

นำเศษผ้าเหลือใช้จากการตัดเย็บชุดทหาร มาฉีก สับ เพื่อให้เศษผ้ากลายเป็นเส้นใย ให้เหมาะสมกับการที่จะนำมาปั่นใหม่

- (2) การปั่นเส้นด้าย

(2.1) นำเศษฝ้ายนอเม็กซ์มาผสมกับเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์เพื่อให้ได้สัดส่วนตามที่กำหนดไว้ โดยจะทดลองในสามอัตราส่วน (นอเม็กซ์ : พอลิเอสเตอร์) ดังนี้ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20

(2.2) นำส่วนผสมทั้งหมดเข้าเครื่องตะกั่ว เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเส้นใยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

(2.3) นำเศษเส้นใยที่ได้ไปสาวใยที่ได้ด้วยเครื่องสาวใย โดยการสาวใยจะทำให้เส้นด้ายสามารถเรียงตัวได้ดีขึ้น กำจัดเส้นใยที่มีขนาดสั้น อีกทั้งยังเป็นการทำความสะอาดเส้นใยอีกด้วย เรียกผลผลิตนี้ว่าสไลเวอร์ (sliver)

(2.4) นำสไลเวอร์ของเส้นใยที่ได้ ไปรีดปุย กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการรีดปุย (drawing) โดยประโยชน์ของการรีดปุย คือ การควบคุมน้ำหนักของสไลเวอร์ และช่วยกำจัด ตะขอ (hook) ของสไลเวอร์ก่อนที่จะนำไปปั่นเข้าเครื่องปั่น OE

(2.5) หลังจากที่ได้ส่วนผสมตามที่ต้องการแล้ว นำมาปั่นเป็นเส้นด้ายด้วยเครื่องปั่นโรเตอร์ จะได้เส้นด้ายที่มีส่วนประกอบของเส้นใยพอลิเอสเตอร์ และเส้นใยอะรามิด โดยเส้นด้ายที่จะนำไปใช้สำหรับการถักถุงมือในการค้นคว้านี้ จะใช้เส้นด้ายเบอร์ 3.5 Ne

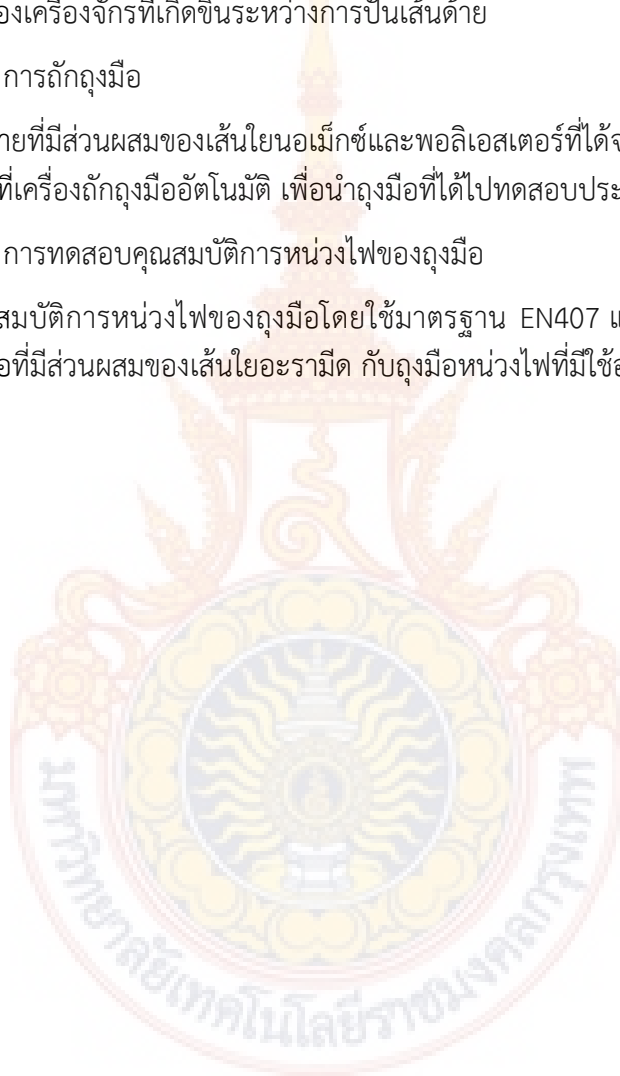
(2.6) บันทึกผลการทดลองหาสัดส่วนของเส้นด้ายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปถักเป็นถุงมือ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของโรงงานเป็นตัวตั้ง ด้วยการสังเกตประสิทธิภาพในการปั่นด้าย รวมทั้งความเป็นไปได้ในกระบวนการผลิต และบันทึกข้อบกพร่อง เช่น การขาดของเส้นด้ายที่เครื่องโรเตอร์ หรือ การติดขัดของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นระหว่างการปั่นเส้นด้าย

(3) การถักถุงมือ

นำเส้นด้ายที่มีส่วนผสมของเส้นใยนอเม็กซ์และพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากกระบวนการปั่นด้าย ไปทดลองถักถุงมือ ที่เครื่องถักถุงมืออัตโนมัติ เพื่อนำถุงมือที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

(4) การทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของถุงมือ

ทดสอบสมบัติการหน่วงไฟของถุงมือโดยใช้มาตรฐาน EN407 และเปรียบเทียบสมบัติการหน่วงไฟของถุงมือที่มีส่วนผสมของเส้นใยอะรามิด กับถุงมือหน่วงไฟที่มีอยู่ในท้องตลาด



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมใยจากเศษผ้าเหลือใช้จากการตัดเย็บชุดทหาร

(1) การเตรียมเส้นใยจากเศษผ้าอเนกซ์

นำเศษผ้าอเนกซ์ มาผ่านกระบวนการฉีกและสับผ้าด้วยเครื่องฉีกสับผ้า เพื่อให้เส้นใยอะรามิดมีลักษณะเป็นเศษผ้าแสดงดังรูปที่ 4.1.1



เศษผ้าอเนกซ์และผ้าเส้นใยอเนกซ์



เครื่องฉีกสับเครื่องที่ 1



ลักษณะผ้าหลังผ่านเครื่องฉีกสับผ้าเครื่องที่ 1



เครื่องฉีกสับเครื่องที่ 2



ลักษณะเส้นใยหลังผ่านเครื่องฉีกสับเครื่องที่ 2

รูปที่ 4.1.1

ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอเนกซ์ด้วยเครื่องฉีกสับผ้า

จากการนำเศษผ้าอ้อมเม็กซิกัน และสับ เพื่อลดขนาดให้เป็นเศษชิ้นเล็กๆ โดยเข้าเครื่องฉีกสับผ้าจำนวน 2 เครื่อง หลังจากผ่านการสับผ้าในเครื่องที่หนึ่ง ได้เศษผ้าขนาดประมาณ 5x5 เซนติเมตร ซึ่งจะต้องนำมอดขนาดต่อด้วยเครื่องสับเครื่องที่สอง เพื่อให้เศษผ้าที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกับเส้นใยมากที่สุด โดยหลังจากผ่านเครื่องสับเครื่องที่สองจะได้เส้นใยอะรามิด ที่มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 2 เซนติเมตร

(2) การเตรียมเส้นใยจากเศษริมผ้าพอลิเอสเตอร์

นำเศษริมผ้าพอลิเอสเตอร์ มาผ่านกระบวนการฉีกและสับผ้าด้วยเครื่องฉีกสับผ้า ลักษณะของเศษริมผ้าที่ผ่านเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 4.1.2



เศษริมผ้าพอลิเอสเตอร์ก่อนสับ



เครื่องฉีกสับเครื่องที่ 1



ลักษณะเส้นใยพอลิเอสเตอร์

รูปที่ 4.1.2 ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์ด้วยเครื่องฉีกสับผ้า

จากการนำริมผ้าพอลิเอสเตอร์ มาลดขนาดผ้า พบว่าริมผ้าพอลิเอสเตอร์ผ่านเครื่องสับเครื่องที่ 1 เพียงเครื่องเดียว ได้เส้นใยขนาดที่เหมาะสมสำหรับนำไปปั่นด้าย เนื่องจากเศษริมผ้ามีลักษณะคล้ายเส้นด้ายเดี๋ยวยอยู่แล้ว อีกทั้งไม่ได้ผ่านการทอที่มีการขัดสาน เส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ได้ที่มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 5-10 เซนติเมตร

4.2 การปั่นเส้นด้าย

(1) การผสมวัตถุดิบ

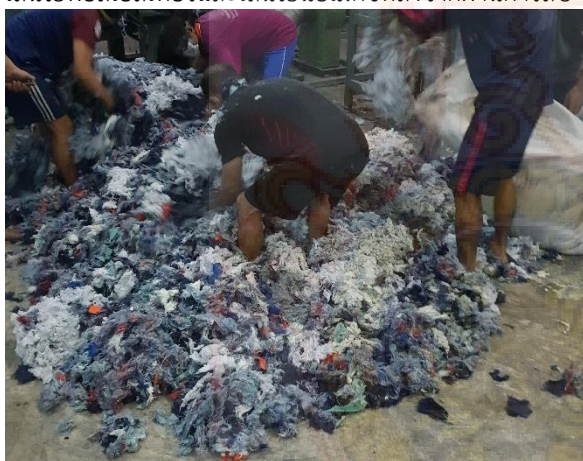
ผสมเส้นใยนอเม็กซ์ และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ในอัตราส่วนเส้นใยนอเม็กซ์ ต่อเส้นใยพอลิเอสเทอร์ สามอัตราส่วน คือ 100 : 0, 90 : 10, และ 80 : 20 (รูปที่ 4.2.1 – 4.2.2)



เส้นใยพอลิเอสเทอร์และเส้นใยนอเม็กซ์หลังจากผ่านการสับ



การชั่งวัตถุดิบ



ผสมวัตถุดิบ

รูปที่ 4.2.1 การเตรียมวัตถุดิบเส้นใยในอัตราส่วนต่างๆ

โดยทั่วไปการผสมวัตถุดิบจะผสมที่เครื่องรีดปุ๋ย แต่การทดลองนี้ผสมวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าสู่เครื่องสางใย เนื่องจาก

- เศษริมผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ใช้ผสมมีจำนวนน้อยมาก มีผลทำให้เกิดปัญหาของการผสมที่ไม่แน่นอนในระหว่างการรีดปุ๋ย
- การรีดปุ๋ยเส้นใยนอเม็กซ์เพียงอย่างเดียวทำได้ยาก เพราะเส้นใยมีขนาดเล็ก เนื่องจากถูกสับมาจากผ้าสำเร็จรูป จึงทำให้สไลเวอร์ไม่มีความแข็งแรงพอที่จะผ่านเข้าเครื่องรีดปุ๋ยได้

(2) การสาวใย

หลังจากผสมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้วทั้งสามอัตราส่วน จะนำวัตถุดิบในแต่ละอัตราส่วนเข้าเครื่องตะกวยเส้นใย และเครื่องสาวใย เพื่อทำความสะอาดเส้นใยและปรับขนาดให้เส้นใยมีขนาดเหมาะสม (รูปที่ 4.2.2)



เครื่องตะกวยเส้นใย



เส้นใยหลังผ่านเครื่องตะกวย



เครื่องสาวใย



เส้นใยหลังผ่านเครื่องสาวใย (สไลเวอร์)

รูปที่ 4.2.2 สไลเวอร์ที่ได้จากเครื่องสาวใย

เส้นใยผสมหลังจากผ่านเครื่องตะกวยเส้นใยและเครื่องสาวใย ได้เป็นสไลเวอร์ ที่มีลักษณะใหญ่และหยาบ อีกทั้งยังมีสิ่งเจือปนของเศษผ้าบ้างเล็กน้อย

(3) การรีดปุ๋ย

นำสไลเวอร์ที่ได้จากเครื่องสาวใยเข้าเครื่องรีดปุ๋ย เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นสไลเวอร์ให้มีน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับการปั่นด้าย โดยน้ำหนักที่เหมาะสมของสไลเวอร์ เพื่อที่จะนำไปปั่นเส้นด้ายเบอร์ 3.5Ne อยู่ที่ 260 เกรน ต่อความยาว 6 หลา นอกจากนี้ในขั้นตอนการรีดปุ๋ยยังช่วยกำจัดตะขอกที่เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นใยซ้อนกันอีกด้วย โดยจะนำเส้นสไลเวอร์เข้าเครื่องรีดปุ๋ยสองครั้ง เพื่อกำจัดตะขอกทั้งสองข้าง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.3 และตารางที่ 4.2.1 – 4.2.2



นำสไลเวอร์เข้าเครื่องรีดปุยที่ 1



นำสไลเวอร์เข้าเครื่องรีดปุยที่ 2

รูปที่ 4.2.3 การรีดปุยเส้นสไลเวอร์

ตารางที่ 4.2.1 จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดในการรีดปุยด้วยเครื่องรีดปุยที่ 1

สัดส่วนเส้นใย (นอเม็กซ์ : พอลิเอสเทอร์)	จำนวนครั้งที่ขาดต่อการปั่น 100 กิโลกรัม
80 : 20	3 ครั้ง
90 : 10	14 ครั้ง
100 : 0	ไม่สามารถปั่นได้
การผลิตด้วยกระบวนการปกติด้วยผ้า TC	น้อยกว่า 1 ครั้ง

ตารางที่ 4.2.2 จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดในการรีดปุยด้วยเครื่องรีดปุยที่ 2

สัดส่วนเส้นใย (นอเม็กซ์:พอลิเอสเทอร์)	จำนวนครั้งที่ขาดต่อการปั่น 100 กิโลกรัม
80 : 20	2 ครั้ง
90 : 10	4 ครั้ง
100 : 0	ไม่สามารถปั่นได้
การผลิตด้วยกระบวนการปกติด้วยผ้า TC	น้อยกว่า 1 ครั้ง

จากการรีดปุยเส้นสไลเวอร์ที่ได้จากการผสมเส้นใยนอเม็กซ์ และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าสไลเวอร์ที่มีสัดส่วนของเส้นใยนอเม็กซ์ 100% ไม่สามารถเข้าเครื่องรีดปุยได้ สไลเวอร์จะขาดตลอดเวลา เมื่อไม่สามารถควบคุมน้ำหนักของสไลเวอร์ได้ตามเป้าหมาย (260 เกรน ต่อ 6 หลา) จึงทำให้ไม่สามารถนำวัสดุเส้นใยที่เป็นเส้นใยนอเม็กซ์ 100% เข้าเครื่องปั่นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนของสไลเวอร์ที่เป็นเส้นใยนอเม็กซ์ ต่อเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ในอัตราส่วน 90 : 10 สามารถนำเส้นสไลเวอร์เข้าเครื่องรีดปุยได้แต่มีผลทำให้เครื่องรีดปุยหยุดบ่อยมาก และจำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดต่อการปั่น 100 กิโลกรัม มีมากกว่าการใช้สัดส่วนของสไลเวอร์ที่เป็นเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ในอัตราส่วน 80 : 20 ดังนั้นสัดส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดคือ สัดส่วนของสไลเวอร์ที่เป็นเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ในอัตราส่วน 80 : 20

(4) การปั่นด้าย

นำสไลเวอร์ที่ได้ จากการรีดปูไปปั่นด้ายด้วยเครื่องปั่นด้ายแบบ open-end ขนาดเบอร์ด้าย กำหนดไว้คือ 3.5Ne และทำการจดบันทึกจำนวนครั้งการขาดต่อเวลาการปั่นด้าย 10 นาที ได้ผล แสดงในรูปที่ 4.2.4 และตารางที่ 4.2.3



รูปที่ 4.2.4 การนำสไลเวอร์ที่ได้หลังจากการรีดปูเข้าเครื่องปั่น OE

ตารางที่ 4.2.3 จำนวนครั้งที่เส้นสไลเวอร์ขาดที่เครื่องปั่น OE ต่อ 10 นาที

สัดส่วนเส้นใย (นอเม็กซ์ : พอลิเอสเทอร์)	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 3	เครื่องที่ 4	เครื่องที่ 5	ค่าเฉลี่ย 5 เครื่อง
80 : 20	1	0	1	2	0	0.8
90 : 10	1	2	3	1	2	1.8
100 : 0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
การผลิตด้วยกระบวนการปกติด้วยผ้า TC	0	0	0	1	0	0.2

จากการปั่นด้ายจากเส้นสไลเวอร์ที่ได้จากการผสมเส้นใยนอเม็กซ์ และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ พบว่าในการปั่นด้าย จำนวนครั้งของการขาดของเส้นสไลเวอร์มากกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด และสัดส่วนเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ในอัตราส่วน 80 : 20 มีจำนวนครั้งการขาดน้อยกว่า อัตราส่วน 90 : 10 ทั้งนี้เนื่องจากเศษผ้า นอเม็กซ์ นั้นผ่านการทอมาแล้ว และนำมาสับให้ละเอียด ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็ก จึงทำให้ปั่นยาก และทำให้เกิดปัญหาการขาดที่เครื่องปั่นบ่อยครั้ง อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตจริงควรเพิ่มขั้นตอนการเตรียมเส้นด้าย เช่น ผ่านกระบวนการสาบใยให้ละเอียด กว่านี้ ควบคุมกระบวนการรีดปูให้แม่นยำมากขึ้น จะสามารถลดอัตราการขาดของเส้นด้ายที่เครื่อง OE ได้ แต่เมื่อสาบใยมากขึ้นจะทำให้ของเสียที่เกิดจากการผลิตมากขึ้นเช่นกัน

(5) การผลิตถุงมือกันไฟ

นำเส้นด้ายที่มีส่วนผสมของสัดส่วนเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ อัตราส่วน 90 : 10 และ 80 : 20 ไปถักเป็นถุงมือ ที่เครื่องถักถุงมือ ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.6



เครื่องถักถุงมือ



ถุงมือหนังไฟ

รูปที่ 4.2.5 ถุงมือหนังไฟจากใยที่ได้จากเศษผ้าอเม็กซ์

ถุงมือหนังไฟจากใยที่ได้จากเศษผ้าอเม็กซ์ที่ได้ มีความหนา 7 เกท ความยาว 9 นิ้ว และมีน้ำหนักต่อคู่ประมาณ 58 กรัม

4.3 การทดสอบสมบัติหนังไฟของถุงมือจากใยที่ได้จากเศษผ้าอเม็กซ์

นำถุงมือจากใยที่ได้จากสัดส่วนเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ในอัตราส่วน 80 : 20 และ 90 : 10 ไปทดสอบสมบัติการหนังไฟตามมาตรฐาน EN407 ถุงมือสำหรับป้องกันงานที่ใช้ความร้อนสูง ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3.1 และ 4.3.2

ตารางที่ 4.3.1 ผลทดสอบกันไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ สัดส่วน 90 : 10

Bottom edge ignition		Length Direction		
Trial	1	2	3	Average
After flame time (s)	0	0	0	0
After glow time (s)	0	0	0	0
Performance level	4			

ผลการทดสอบอยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง เวลาหลังจากจุดไฟ 15 วินาที ไฟติดหลังจุด น้อยกว่า 2 วินาที และเวลาที่ไฟลามต่ำกว่า 5 วินาที

ตารางที่ 4.3.2 ผลทดสอบกันไฟของถุงมือที่ผลิตจากเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์
สัดส่วน 80 : 20

Bottom edge ignition	Length Direction			
Trial	1	2	3	Average
After flame time (s)	0	0	0	0
After glow time (s)	0	0	0	0
Performance level	4			

ผลการทดสอบอยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง เวลาหลังจากจุดไฟ 15 วินาที ไฟติดหลังจุด น้อยกว่า 2 วินาที และเวลาที่ไฟลามต่ำกว่า 5 วินาที



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

(1) สัดส่วนของเส้นใย

สัดส่วนของเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการปั่นเส้นด้ายอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้สำหรับทำเส้นใยนอเม็กซ์นั้นมาจากเศษผ้า จึงต้องทำการสับให้ละเอียดหลายครั้ง ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดสั้น และทำให้ประสิทธิภาพในการปั่นเส้นด้ายลดลง นอกจากนี้พบว่า เมื่อสัดส่วนของเส้นใยพอลิเอสเตอร์เพิ่มมากขึ้น การรีดปุ๋ยที่เครื่องรีดปุ๋ยสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากขนาดของเส้นใยพอลิเอสเตอร์มาจากกริมผ้าพอลิเอสเตอร์ที่มีขนาดยาวกว่า ส่งผลให้จำนวนการขาดที่เครื่องรีดปุ๋ยนั้นลดลง ดังนั้นสัดส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดคือ สัดส่วนของสไลเวอร์ที่เป็นเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ในอัตราส่วน 80 : 20 รองลงมาเป็น สัดส่วน 90 : 10 โดยการใช้เส้นใยจากเศษผ้า นอเม็กซ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถปั่นเป็นเส้นด้ายได้

(2) ถูมือกันไฟจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง

ถูมือกันไฟจากใยที่ได้จากเศษผ้า นอเม็กซ์ มีความหนา 7 เกท ความยาว 9 นิ้ว และมีน้ำหนักต่อคู่ประมาณ 58 กรัม

(3) สมบัติการหน่วงไฟ

จากการทดสอบการหน่วงไฟจากถูมือที่ผลิตจากเส้นด้ายผสมของเส้นใยนอเม็กซ์ต่อเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ที่สัดส่วน 80 : 20 และ 90 : 10 พบว่าถูมือจากเส้นด้ายทั้งสองมีสมบัติในการหน่วงไฟที่ดีไม่สามารถทำให้ไฟติด และไม่ลามไฟ อีกทั้ง ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานระดับสากล (มาตรฐาน EN407) สามารถนำไปจำหน่ายเป็นถูมือกันไฟได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากประสิทธิภาพในการปั่นด้ายที่มีส่วนผสมของเส้นใยนอเม็กซ์ยังดีไม่เท่ากับการปั่นถูมือพอลิเอสเตอร์ผสมผ้าใยที่ใช้อยู่ในโรงงาน ดังนั้นจึงควรศึกษาสัดส่วนของเส้นใยนอเม็กซ์และของเส้นใยพอลิเอสเตอร์ เพิ่มเติมเพื่อให้ประสิทธิภาพในการปั่นเส้นด้ายสูงขึ้น โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกันไฟลดลง เช่น การปรับเปลี่ยนสัดส่วนของเศษผ้า นอเม็กซ์ ต่อ เศษริมนผ้าพอลิเอสเตอร์ เป็น 70 : 30 , 60 : 40 และ 50 : 50 ตามลำดับโดยไม่ทำให้คุณสมบัติในการหน่วงไฟลดลง

เอกสารอ้างอิง

- Amankwah-Amoah, Joseph. 2015. "Explaining Declining Industries in Developing Countries: The Case of Textiles and Apparel in Ghana." *Competition & Change* 19 (1): 19–35. <https://doi.org/10.1177/1024529414563004>.
- Baden, Sally, and Catherine Barber. 2005. "The Impact of the Second-Hand Clothing Trade on Developing Countries | Oxfam Policy & Practice." Policy & Practice. 2005. <https://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/>.*.
- Briga-Sá, Ana, David Nascimento, Nuno Teixeira, Jorge Pinto, Fernando Caldeira, Humberto Varum, and Anabela Paiva. 2013. "Textile Waste as an Alternative Thermal Insulation Building Material Solution." *Construction and Building Materials* 38 (January): 155–60. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>.
- Clothingindustry. n.d. "Properties of Textile Fibers and Their Testing Method." Accessed February 3, 2019. <https://clothingindustry.blogspot.com/2018/01/properties-textile-fibers.html>.
- D13 Committee. n.d. "Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)." ASTM International. Accessed April 6, 2019. https://doi.org/10.1520/D6413_D6413M-15.
- DEFRA. n.d. "Sustainable Clothing Action Plan." 2010. GOV.UK. Accessed March 24, 2019. <https://www.gov.uk/government/publications/sustainable-clothing-action-plan>.
- Dianat, Iman, Christine M. Haslegrave, and Alex W. Stedmon. 2012. "Using Pliers in Assembly Work: Short and Long Task Duration Effects of Gloves on Hand Performance Capabilities and Subjective Assessments of Discomfort and Ease of Tool Manipulation." *Applied Ergonomics* 43 (2): 413–23. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.06.016>.
- Dissanayake, D.G.K., D.U. Weerasinghe, K.A.P. Wijesinghe, and K.M.D.M.P. Kalpage. 2018. "Developing a Compression Moulded Thermal Insulation Panel Using Postindustrial Textile Waste." *Waste Management* 79 (September): 356–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.001>.
- Edie, D. D. 1998. "The Effect of Processing on the Structure and Properties of Carbon Fibers." *Carbon* 36 (4): 345–62. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(97\)00185-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(97)00185-1).

- Esteve-Turrillas, F.A., and M. de la Guardia. 2017. "Environmental Impact of Recover Cotton in Textile Industry." *Resources, Conservation and Recycling* 116 (January): 107–15. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.034>.
- "Flow Chart of Blow Room in Cotton Spinning." 2019. *Textile Chapter All about Textiles* (blog). 2019. <https://www.textileflowchart.com/2015/08/flow-chart-of-blow-room-in-cotton.html>.
- "Getting to the Bottom of EN407: Thermal Protection." 2019. HexArmor. 2019. <https://www.hexarmor.com/posts/getting-to-the-bottom-of-en407-thermal-protection>.
- "Glove Standards and Cut Ratings - The Glove Company." n.d. The Glove Company Live Site. Accessed April 6, 2019. <https://www.theglovecompany.com.au/glove-info/glove-ratings/>.
- Goswami, Bhuvnesh Chandra, J. G Martindale, and F. L Scardino. 1977. *Textile Yarns: Technology, Structure, and Applications*. New York: Wiley.
- Halimi, Mohamed Taher, Mohamed Ben Hassen, and Faouzi Sakli. 2008. "Cotton Waste Recycling: Quantitative and Qualitative Assessment." *Resources, Conservation and Recycling* 52 (5): 785–91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.11.009>.
- Hawley, Jana M. 2006. "Digging for Diamonds: A Conceptual Framework for Understanding Reclaimed Textile Products." *Clothing and Textiles Research Journal* 24 (3): 262–75. <https://doi.org/10.1177/0887302X06294626>.
- Heifetz, David S. 1994. Recycled yarns from textile waste and the manufacturing process therefor. United States US5331801A, filed January 24, 1992, and issued July 26, 1994. <https://patents.google.com/patent/US5331801A/en>.
- Horrocks, A. R., B. K. Kandola, P. J. Davies, S. Zhang, and S. A. Padbury. 2005. "Developments in Flame Retardant Textiles – a Review." *Polymer Degradation and Stability*, 9th European Conference on Fire Retardant Polymers, 88 (1): 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2003.10.024>.
- Horrocks, A. Richard. 2011. "Flame Retardant Challenges for Textiles and Fibres: New Chemistry versus Innovative Solutions." *Polymer Degradation and Stability*, Fire Retardant Polymers Meeting Poznan 2009, 96 (3): 377–92. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.03.036>.
- Horrocks, A. Richard, D. Price, and Dennis Price. 2001. *Fire Retardant Materials*. Woodhead Publishing.
- Kim, N. K., S. Dutta, and D. Bhattacharyya. 2018. "A Review of Flammability of Natural Fibre Reinforced Polymeric Composites." *Composites Science and Technology* 162 (July): 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.04.016>.

- Kozlowski, Ryszard, and Maria Władyka – Przybylak. 2001. “Natural Polymers, Wood and Lignocellulosic Materials.” In *Fire Retardant Materials*, 293–317. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855737464.293>.
- “Mode of Action | FLAMERETARDANTS-ONLINE.” n.d. Accessed April 6, 2019. <https://www.flameretardants-online.com/flare-retardants/mode-of-action>.
- Price, Dennis, and Richard Horrocks. 2013. “Combustion Processes of Textile Fibres.” In *Handbook of Fire Resistant Textiles*, 1–25. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Ranishka, Yeashan. 2019. “New Developments on Draw Frame Machines.” 2019. <https://textilelearner.blogspot.com/2014/02/new-developments-on-draw-frame-machines.html>.
- Tentang, Rifqi. n.d. “Aramid | Rifqi’s Blog.” Accessed February 3, 2019. <https://ahmadrifqi01.wordpress.com/2013/04/29/aramid/>.
- “Textile Chapter: What Is Carding in Textile? Function of Carding Process in Spinning.” 2019. *Textile Chapter* (blog). 2019. <https://textilechapter.blogspot.com/2016/12/carding-textile-spinning-objects-function.html>.
- Thaicarbonfiber. n.d. “คาร์บอนไฟเบอร์ คาร์บอนไฟเบอร์ป้องกันแผ่นดินไหว เสริมแรงโครงสร้าง ด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ Carbonfiber Reinforced.” Accessed February 3, 2019. <http://www.thaicarbonfiber.com/ProductC5.html>.
- truents. 2011. “Physical Classification of Fibers.” *Textile School* (blog). June 14, 2011. <https://www.textileschool.com/299/physical-classification-of-fibers/>.
- Truents. 2011. “Roving Frames in Ring Spinning Systems.” *Textile School* (blog). August 17, 2011. <https://www.textileschool.com/436/roving-frames-in-ring-spinning-systems/>.
- Venier, Marta, Amina Salamova, and Ronald A. Hites. 2015. “Halogenated Flame Retardants in the Great Lakes Environment.” *Accounts of Chemical Research* 48 (7): 1853–61. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.5b00180>.
- Ütebay, Burçin, Pınar Çelik, and Ahmet Çay. 2019. “Effects of Cotton Textile Waste Properties on Recycled Fibre Quality.” *Journal of Cleaner Production* 222 (June): 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.033>.
- กมลวรรณ พืชพรพิพัฒน์. 2560. “แนวทางในการพัฒนาศักยภาพ ทางารออกแบบผลิตภัณฑ์แฟชั่น ประเภทกระเป๋าจากเศษผ้า : กรณีศึกษาผ้าทอไทลื้อบ้านเฮี้ย อำเภอบัว จังหวัดน่าน.” *วารสารวิจัยศิลป* 8 (1): 60–105.
- กระทรวงแรงงาน. 2561. “สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน ปี 2556 - 2560.” สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน. <file:///C:/Users/User/Desktop/fe4bf98524ca20d6768e7ded43dabb4d.pdf>.

- การดี, เลี้ยวไฟโรจน์, และ ธรรมสถิตย์เดช ภูมิพร. n.d. “แผนปฏิบัติการส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อมรายสาขา อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม.”
- จิราพัทธ์ แก้วศรีทอง, วิรินยา อินทะกัณฑ์, ยินดี วิวัฒน์, และ คงมี อำภรณ์. 2559. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์จากเศษผ้าทอลายดอกป๊อป.” *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร* 3 (1): 384–92.
- ตยานิตย์ มิตรแปง, และ ไอลดา พรหมสัก. 2559. “การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องประดับ จากเศษผ้า กรณีศึกษาห้องเสื้อวรัญญา จังหวัดเชียงใหม่.” In *วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ*, 12:1854–62. มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.
- พิราอร อำนวยพรสกุล. 2557. “ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษผ้ายืดเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม ขนาดย่อมเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบใหม่สู่ผู้บริโภค.” มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วีระศักดิ์, อุดมกิจเดชา. 2542. *วิทยาศาสตร์เส้นใย = Fiber science*. Vol. 2542. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2004. “วิทยาศาสตร์สิ่งทอ.” ความรู้และเทคโนโลยีสิ่งทอ. 2004. <http://www2.mtec.or.th/th/research/textile/yarns.html>.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. n.d. “สิ่งทอป้องกันความร้อนและเปลวไฟ.” Rasika. Accessed February 3, 2019. <https://www.thaitextile.org/th/innovation/detail.3.1.2.html>.
- อัสชา, หัตยานนท์, สร้อยระย้า บุชรา, และ ธรรมงคล ประพาฬภรณ์. 2014. “Development of textile in SLUB yarn fabric from textile material waste,” June. <http://repository.rmutp.ac.th/handle/123456789/1282>.
- CPL Group. “อุปกรณ์ป้องกันมือ.” n.d. www.pangolin.co.th. Accessed April 6, 2019. <http://www.pangolin.co.th/download.php>.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย มณฑล ศรีเพ็ชร
วัน เดือน ปีเกิด	30 เมษายน 2537
ที่อยู่	27 ถนนวงศ์ แขวง จักรวรรดิ เขต สัมพันธวงศ์ กรุงเทพฯ 10170
ประวัติการศึกษา	2558 Bachelor of Economics (International trade and Finance), University of Queensland, Brisbane, Australia 2558 Bachelor of Arts (Extended major in Korean), University of Queensland, Brisbane, Australia
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การวางแผนการผลิตผ้าผืน 2.) การออกแบบโครงสร้างผ้า 3.) การออกแบบลายพิมพ์ผ้า
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2559	ตำแหน่ง นักวิจัย สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย - โครงการการประมาณการและปฏิรูปกลไกการบริหารจัดการกำลังคนใน สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมของประเทศไทย ของสำนักงาน คณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - รายงานยุทธศาสตร์การเชื่อมโยงคลัสเตอร์อุตสาหกรรมแฟชั่นไทยกับ ภูมิภาคอาเซียน ของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม - รายงานยุทธศาสตร์การสร้างโอกาสทางการค้าการลงทุนรายประเทศ (AEC) ของสำนักงานนโยบายยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์
พ.ศ.2560-ปัจจุบัน	ตำแหน่ง ผู้จัดการทั่วไป บริษัท โนวอลล์เท็กซ์ เท็กซ์ไทล์ จำกัด - ออกแบบและจำหน่ายสิ่งทอ ทั้งในและต่างประเทศ
พ.ศ.2560-ปัจจุบัน	ตำแหน่ง ผู้จัดการทั่วไป บริษัท มิโดริ แฟบรีค เทรดดิง จำกัด - ออกแบบและจำหน่ายสิ่งทอ ทั้งในและต่างประเทศ