การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน

MICROPLASTIC CONTAMINATION FROM WASHING WASTEWATER DISCHARGES FROM HOUSEHOLD

สิวพร ธีระธรรมพิทักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน

สิวพร ธีระธรรมพิทักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MICROPLASTIC CONTAMINATION FROM WASHING WASTEWATER DISCHARGES FROM HOUSEHOLD

SIWAPORN THEERATAMPITAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Environmental Technology & Resources Management)

Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน

ของ

สิวพร ธีระธรรมพิทักษ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

....

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

....

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

.... ที่ปรึกษาหลัก	.... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล)
	.... กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร.อรินทม์ งามนิยม)

ชื่อเรื่อง การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน
ผู้วิจัย สิวพร ธีระธรรมพิทักษ์
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วิชชากร จารุศิริ

การเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมทำให้ก่อเกิดของเสียจากการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน การทำความสะอาดและซักล้างในชีวิตประจำวันส่งผลต่อการก่อเกิดไมโครพลาสติกและปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทำให้มีการสะสมของไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิตและสิ่ง แวดล้อม และอาจส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการก่อกำเนิดและปนเปื้อนไมโครพลาสติกที่เกิดจากการซักล้างทำความสะอาดเสื้อผ้าในครัวเรือน ตัวอย่างที่ใช้ศึกษามาจากผ้าสามชนิด (ผ้าฝ้าย ผ้าโพลิเอสเตอร์ และผ้าโทเร) โดยใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีการผสมเม็ดบีดส์ (ผงซักฟอก น้ำยาซักผ้า เจลบอลชนิดที่1 เจลบอลชนิดที่2 เจลบอลชนิดที่3) โดยควบคุมสภาวะดำเนินการในเครื่องซักผ้าที่มีกำหนดระยะเวลาการซักการปั่นแห้ง เก็บตัวอย่างน้ำที่ปล่อยในขั้นตอนการซักด้วยผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและการชะล้างก่อนการปั่นแห้งปริมาตร 1 ลิตร กรองด้วยกระดาษกรองวอตต์แมนตรวจนับจำนวนไมโครพลาสติก และรูปร่างด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโครป และใช้เทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟาเรด สเปคโตรเมตรี ในการบ่งชี้ชนิดของไมโครพลาสติก ผลการศึกษาพบว่าการซักผ้าด้วยผงซักฟอกก่อเกิดไมโครพลาสติกมากที่สุด 295 เส้นใย รองลงมาคือน้ำยาซักผ้า 220 เส้นใย เจลบอลชนิดที่1136 เส้นใย เจลบอลชนิดที่ 2 126 เส้นใย และเจลบอลชนิดที่ 3 148 เส้นใย เมื่อวิเคราะห์ชนิดของไมโครพลาสติกที่ก่อเกิดจากการซักผ้าส่วนใหญ่เป็นไมโครพลาสติกจำพวกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเอทิลีน พอลิเอสเตอร์ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดกันในขณะที่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการก่อเกิดไมโครพลาสติกจำพวกเส้นใย และปริมาณของไมโครพลาสติกนั้นมีความแตกต่างกันเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก, ไมโครบีดส์, ผงซักฟอก, น้ำยาซักผ้า, เจลบอล

Title MICROPLASTIC CONTAMINATION FROM WASHING WASTEWATER DISCHARGES FROM HOUSEHOLD

Author SIWAPORN THEERATAMPITAK

Degree MASTER OF SCIENCE

Academic Year 2022

Thesis Advisor Associate Professor Dr. Witchakorn Charusiri

The fast growth in economic and social development, including resource consumption, has affected the discharge of several types of wastes into the ecosystem and impacted the environment. Daily cleaning and washing also affects the contamination of microplastics and tends to result in the accumulation of microplastics in the environment. The aim of this laboratory study was to investigate the contribution of microplastics released during household washing from three fabrics (cotton, polyester and toray fabrics) using cleaning products with beads (detergents, laundry detergents, gel ball types one, two and three). By controlling the operation in the washing machine, which determines the washing time, drying by collecting the water samples released in the washing process with cleaning products, and washing before spinning, volume one liter, filtered with Whatman filter paper. Then, the number of microplastics and shapes were counted and to use the Fourier Transform Infrared Spectroscopy to indicate the type of microplastics. The study found that washing with detergent creates the most microplastics (295 fibers), washing with laundry detergent (220 fibers), washing with gel ball type one (136 fibers), washing with gel ball type two (126 fibers) and washing with gel ball type three (148 fibers). The types of microplastics were identified by FT-IR and contained polyvinyl alcohol, polyethylene and polyester. There was no significant difference at the 95% confidence level when using different detergents. However, the significance factor affects the contribution of microplastics in several types of fibers and the amount of microplastics will depend on different cleaning products.

Keyword : Microplastic, Microbeads, Powdered detergent, Liquid detergent, Gel ball

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากหลาย ๆ ท่าน และได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาผู้มีสมรรถะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2565-2566 ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล ผู้ทรงคุณภายนอกมหาวิทยาลัย ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.อรินทม์ งามนิยม กรรมการบริหารหลักสูตร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อสังเกต และคำแนะนำในหลากหลายประเด็นให้ปริญญานิพนธ์นี้มีความถูกต้องครบถ้วน สมบูรณ์ มีความลึกซึ้งของเนื้อหา และคุณค่าต่อการต่อยอดเพื่อศึกษาวิจัยต่อไปภายหน้า

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชชากร จารุศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยใส่ใจดูแลเป็นอย่างยิ่ง ให้คำปรึกษา เสนอแนะความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการวิจัย ตั้งแต่เริ่มวางแผนการดำเนินการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การติดตามความก้าวหน้าในการวิจัย รวมถึงคอยชี้แนะวิธีการแก้ปัญหาในการดำเนินการวิจัยตลอดจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่แนะนำความรู้ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานของคณะในการดำเนินการด้านเอกสารต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมารดา บิดา และผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจจะศึกษาหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

สิวพร ธีระธรรมพิทักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ........ ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง........ ญ

สารบัญภาพ .... ฎ

บทที่ 1 บทนำ........ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย........ 3

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ........ 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 4

1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย 5

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง........ 6

2.1.1 ความหมายของไมโครพลาสติก 6

2.1.2 ประเภทของไมโครพลาสติก........ 6

2.1.3 ปัญหาของพลาสติก........ 7

2.1.4 ความหมายของเส้นใย........ 8

2.1.5 โครงสร้างของเส้นใย (Fiber Structure)........ 9

2.1.6 คุณสมบัติของเส้นใย 10

2.1.7 การวิเคราะห์เส้นใย 14
2.1.8 การแบ่งชนิดเส้นใย (Fibers Classification) 15
2.1.9 ความหมายของผ้า 19
2.2.10 พลาสติกและไมโครพลาสติก 20
2.1.11. เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย 29
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 32
3.1 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง 32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 33
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 36
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง 36
3.3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 36
3.3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ 37
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผล 38
4.1 ผลการวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค FTIR 38
4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นใยไมโครพลาสติกที่พบด้วยเทคนิค FTIR 42
4.2.1 ไมโครพลาสติกที่ได้จากการซัก 42
4.2.2 การวิเคราะห์เส้นใยที่ได้จากการซักโดยใช้เทคนิค FTIR 45
4.2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย 49
บทที่ 5 สรุปผล 52
ข้อเสนอแนะ 53
บรรณานุกรม 54
ประวัติผู้เขียน 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้รีดกับชนิดของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยชนิดต่าง ๆ 12

ตาราง 2 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง 32

ตาราง 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ 33

ตาราง 4 หมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏของผ้าแต่ละชนิด 39

ตาราง 5 จำนวนเส้นใยไมโครพลาสติกในขั้นตอนการซัก 42

ตาราง 6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การก่อเกิดไมโครพลาสติกเมื่อเทียบกับการซักด้วยผงซักฟอก ... 43

ตาราง 7 ชนิดและจำนวนของไมโครพลาสติกจากการบ่งชี้ด้วย FT-IR 45

ตาราง 8 การวิเคราะห์เกี่ยวกับประเภทการซักและชนิดของผ้า 49

ตาราง 9 การวิเคราะห์เกี่ยวกับชนิดของผ้าและประเภทของไมโครพลาสติก 50

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ผังกรอบแนวคิดในการวิจัย 5

ภาพประกอบ 2 แสดงลักษณะของ Monomer และ Polymer 9

ภาพประกอบ 3 ลักษณะตัวอย่างของรูปทรงภาคตัดขวางของเส้น 11

ภาพประกอบ 4 Alexander Parkes ผู้ผลิตพลาสติกคนแรกของโลก 21

ภาพประกอบ 5 พลาสติกประเภทพอลีเอทิลีน 22

ภาพประกอบ 6 พลาสติกประเภทพอลีโพรพิลีน 23

ภาพประกอบ 7 พลาสติกประเภทพอลีสไตรีน 23

ภาพประกอบ 8 พลาสติกประเภทไนลอน 24

ภาพประกอบ 9 พลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ 25

ภาพประกอบ 10 พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต 25

ภาพประกอบ 11 งพลาสติกประเภทพอลิคาร์บอเนต 26

ภาพประกอบ *12* แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy 29

ภาพประกอบ 13 ผ้าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ a) ผ้าฝ้าย b) ผ้าพอลิเอสเตอร์ c) ผ้าโทเร 38

ภาพประกอบ 14 จำนวนเส้นใยที่ได้จากการกรองภายใต้กล้องสเตอริโอ ไมโครสโคป 39

ภาพประกอบ 15 Infrared spectrum ของผ้าฝ้าย (Cotton 100%) 40

ภาพประกอบ 16 Infrared spectrum ของผ้าโพลิเอสเตอร์ (Polyester 100%) 40

ภาพประกอบ 17 Infrared spectrum ของผ้าผสม Polyester 65% + Cotton 35% 41

ภาพประกอบ 18 Infrared spectrum ของ PVA (Polyvinyl Alcohol) 47

ภาพประกอบ 19 Infrared spectrum ของ PE (Polyethylene) 47

ภาพประกอบ 20 Infrared spectrum ของ PL (Polyester) 48

ภาพประกอบ 21 Infrared spectrum ของ CO (Cotton) 48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไมโครพลาสติก หมายถึง พลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรไปจนถึง 1 นาโนเมตร พลาสติกชนิดนี้ประกอบด้วย อะตอม ของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่จับกันเป็นสายโซ่โพลีเมอร์ สารเคมีอื่นๆ เช่น พทาเลตโพลีโบรมิเนตเต็ดไดฟีนิลอีเทอร์ (PBDEs) มักมีอยู่ในไมโครพลาสติกด้วย และสารเคมีเหล่านี้หลายชนิดจะรั่วไหลออกจากพลาสติกหลังจากเข้าสู่สิ่งแวดล้อม โดยไมโครพลาสติกแบ่งได้จากขั้นตอนของการผลิตของตัวเม็ดพลาสติกขนาดเล็กได้โดยตรง มี 2 ประเภท ประกอบไปด้วย ปฐมภูมิและทุติยภูมิ ตัวอย่างของไมโครพลาสติกแบบปฐมภูมิ ได้แก่ ไมโครบีดส์ที่พบในผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล เม็ดพลาสติก (หรือเนิร์ดเดิล) ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและเส้นใยพลาสติกที่ใช้ในสิ่งทอสังเคราะห์ (เช่นไนลอน) ไมโครพลาสติกปฐมภูมิเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงผ่านช่องทางต่างๆ เช่น การใช้ผลิตภัณฑ์ (เช่น ผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลที่ถูกชะล้างลงในระบบน้ำเสียจากครัวเรือน) การสูญเสียโดยไม่ได้ตั้งใจจากการหกรั่วไหลระหว่างการผลิตหรือการขนส่ง หรือการขัดสีระหว่างการล้าง (เช่น การซักล้าง เสื้อผ้าที่ทำด้วยผ้าใยสังเคราะห์) ไมโครพลาสติกทุติยภูมิเกิดจากการแตกหักของพลาสติกขนาดใหญ่ สิ่งนี้มักเกิดขึ้นเมื่อพลาสติกขนาดใหญ่กว่าผ่านการผุกร่อน เช่น การกระทำของคลื่น การเสียดสีของลม และรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดด การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal-Degradation) การย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Degradation) การย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) รวมถึงการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ (Bio-Degradation) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ไม่ได้ทำให้ขนาดของพลาสติกเล็กลงเพียงอย่างเดียว แต่ทำให้สารเคมีในโครงสร้างของพลาสติกถูกปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมด้วย เนื่องจากไมโครพลาสติกมาจากหลายแหล่ง รวมถึงจากเศษพลาสติกขนาดใหญ่ที่ย่อยสลายเป็นฯชิ้นเล็กลงเรื่อย ๆ นอกจากนี้ไมโครบีดส์ซึ่งเป็นไมโครพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งถูกเติมสารขัดผิวในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและความงาม เช่น น้ำยาทำความสะอาดและยาสีฟันบางชนิด อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผ่านระบบกรองน้ำได้อย่างง่ายดาย ไมโครพลาสติกสามารถปนเปื้อน แพร่กระจายร่วมถึงสะสมและอาจตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้ง่าย โดยการแพร่กระจายของพลาสติกในสิ่งแวดล้อมพบได้ทั้งในน้ำจืด ตะกอนดินและในทะเล ซึ่งอาจเป็นภัยคุกคามต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กมากยากต่อการเก็บและการกำจัด รวมไปถึงย่อยสลายได้ยาก จึงง่ายที่จะ

ปนเปื้อนแพร่กระจาย สะสม และตกค้างในสิ่งแวดล้อม ไมโครพลาสติกถูกบริโภคโดยสิ่งมีชีวิตในน้ำและสะสมทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหาร เดินทางจากเครื่องกรองอาหารไปจนถึงผู้ล่าที่ปลายยอด เราบริโภคไมโครพลาสติกที่อิ่มตัวท็อกซินในอาหารทะเล เช่น หอยแมลงภู่ แต่มีแนวโน้มที่จะบริโภคไมโครพลาสติกในอาหารมากขึ้นผ่านทางฝุ่นที่ตกลงมาในอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต

การปนเปื้อนของขยะพลาสติกเข้าสู่ทั้งบนบกและแหล่งน้ำผ่านการทิ้งขยะ การจัดการขยะที่ไม่ดี การไหลบ่าของพายุ เรือประมง เรือบรรทุกสินค้าและเรือสำราญ และอื่นๆ พลาสติกจำนวนมากลอยอยู่ ดังนั้นสิ่งของพลาสติกจำนวนนับไม่ถ้วนในทุกรูปแบบและทุกขนาดจึงล่องไปตามกระแสน้ำและในที่สุดก็ถึงมหาสมุทร เกิดได้จากการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่มีไมโครพลาสติกเป็นส่วนประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของเม็ดบีดส์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไมโครบีดส์เป็นสารกัดกร่อนขนาดเล็ก ซึ่งมักเป็นพอลิเอทิลีน ซึ่งพบในเครื่องสำอางแบบล้างออก คลีนเซอร์ และยาสีฟัน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหน้าและผิวกายและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดภายในครัวเรือน ในน้ำเสียจากการซักล้างและทำความสะอาด แล้วถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ปากแม่น้ำ ปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน (Eerkes-Medrano, Thompson, & Aldridge, 2015) (Horton & Dixon, 2018) จากการศึกษาของ (Napper & Thompson, 2016) พบว่าการใช้สครับที่มีเม็ดบีดส์เป็นส่วนผสมล้างหน้า 1 ครั้ง ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของเม็ดบีดส์ในน้ำเสียจากครัวเรือนมากถึง 4,594–94,500 ชิ้น และยังพบอีกว่าประชากร 1 คน ก่อให้เกิดการปนเปื้อนไมโครพลาสติก (ชนิด PE) ประมาณ 40.5–215 กรัมต่อวัน แม้ว่าในปัจจุบันน้ำเสียจากครัวเรือนและแหล่งชุมชนนั้น โดยส่วนมากจะถูกรวบรวมและนำไปบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ หากแต่ไมโครพลาสติกนั้นเป็นสารมลพิษที่มีขนาดเล็ก ไม่ละลายน้ำ และมีน้ำหนักเบา ทำให้มลพิษชนิดนี้ไม่สามารถถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ จึงเล็ดรอดออกจากระบบบำบัดน้ำเสียออกมาพร้อมกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสู่ธรรมชาติได้ในที่สุด (Browne et al., 2011) (McIlwraith et al., 2019)

ในปัจจุบันมีการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือนลงสู่แหล่งน้ำ ที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการซักผ้าทุกครั้งในเครื่องซักผ้า เส้นใยสังเคราะห์ก็จะมีการหลุดไปกับน้ำทิ้ง โดยที่ตัวกรองไม่สามารถกรองได้ และไปปนเปื้อนแหล่งน้ำตามธรรมชาติในที่สุด โรงบำบัดน้ำเสียไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดอนุภาคทั้งหมด ดังนั้นจึงอาจมีการปะปนของไมโครพลาสติกลงสู่ทางน้ำผ่านทางน้ำทิ้งได้ หากไมโครพลาสติกถูกกำจัดออกในระหว่างกระบวนการบำบัดไมโครพลาสติกเหล่านั้นสามารถคงอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียที่อาจนำไปใช้เป็นปุ๋ยในแปลงเกษตร

ได้ พวกมันยังคงสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ทางน้ำผ่านการไหลบ่า นอกจากนี้ ไมโครพลาสติกยังสามารถลอยอยู่ในอากาศ และเข้าสู่ทางน้ำผ่านฝุ่นที่ตกลงมาและการไหลบ่าของพื้นผิวเมื่อมีฝนตก สัตว์น้ำที่บริโภคไมโครพลาสติกเข้าไป เป็นไปได้ยากที่จะประเมินไมโครพลาสติกที่หลุดจากเสื้อผ้าที่ผ่านกระบวนการซักผ้าจะลงไปอยู่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติมากน้อยแค่ไหน เพราะปัจจัยที่ทำให้ ไมโครพลาสติกหลุดจากเสื้อผ้ามากน้อยแค่ไหนนั้น ขึ้นอยู่กับ ชนิดของผ้าเส้นใยสังเคราะห์ อายุของเสื้อผ้า ชนิดของผงซักฟอกหรือน้ำยาซักผ้า อุณหภูมิ รวมไปถึงชนิดของเครื่องซักผ้า ซึ่งทางผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงมีความสนใจที่จะศึกษาทดลองการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน เพื่อตรวจสอบการปลดปล่อยเส้นใยของเสื้อผ้าจากกระบวนการซักผ้า จากการใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทเจลบอล ซึ่งเจลบอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารประกอบโครงสร้างโพลิเมอร์มีขั้ว ที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ หรือมีชื่อทางเคมีว่า Polyvinyl alcohol: PVA) ที่คล้ายกับฟิล์มพลาสติกบาง ๆ นำมาใช้ในการบรรจุน้ำยาซักผ้า รวมถึงน้ำยาปรับผ้านุ่มไปในตัว และเพื่อวิเคราะห์ถึงการปลดปล่อยของเส้นใยในกระบวนการซักผ้า และเสนอแนวทางในการเลือกใช้ประเภทของน้ำยาซักผ้า ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาทดลองการก่อเกิดของไมโครพลาสติกจากภาวะดำเนินการซักผ้าที่ปลดปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการก่อกำเนิดเกิดของไมโครพลาสติกและจำแนกการก่อเกิดของไมโครพลาสติก ที่ปลดปล่อยจากภาวะดำเนินการซักผ้าประเภทต่าง ๆ

1.2.3 เพื่อจำแนกหาความสัมพันธ์ของการก่อเกิดไมโครพลาสติกที่ปลดปล่อยจากภาวะดำเนินการซักผ้าประเภทต่าง ๆ ในครัวเรือน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบไมโครพลาสติกจากกระบวนการซักผ้าแบบทั่วไปกับการซักผ้าด้วย เจลบอล เพื่อดูจำนวนของไมโครพลาสติกที่ปลดปล่อยจากกระบวนการซักผ้า และนำข้อมูลทั้งหมดมารวบรวม วิเคราะห์ สังเคราะห์ เพื่อเสนอแนวทางในการเลือกใช้ประเภทของน้ำยาซักผ้า ต่อไป

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

ไมโครพลาสติก (Microplastic) หมายถึง พลาสติกชิ้นเล็ก ๆยาวน้อยกว่า 5 มม. (0.2 นิ้ว) ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมอันเป็นผลมาจากมลพิษพลาสติก ไมโครพลาสติกมีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลากหลาย ตั้งแต่เครื่องสำอางเสื้อผ้าสังเคราะห์ ไปจนถึงถุงพลาสติกและขวด ผลิตภัณฑ์จำนวนมากเหล่านี้พร้อมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของเสีย

การซัก (Washing) หมายถึง การทำความสะอาดโดยปกติจะใช้น้ำและสบู่หรือผงซักฟอก การซักและล้างร่างกายและเสื้อผ้าเป็นส่วนสำคัญของสุขอนามัยและสุขภาพที่ดี

ผ้า (Fabric) เป็นผ้าหรือวัสดุ อื่นที่เกิดจากการทอฝ้ายไนลอนขนสัตว์ไหมหรือด้าย อื่น ๆ ผ้าใช้สำหรับทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า ผ้าม่านและผ้าปูที่นอน

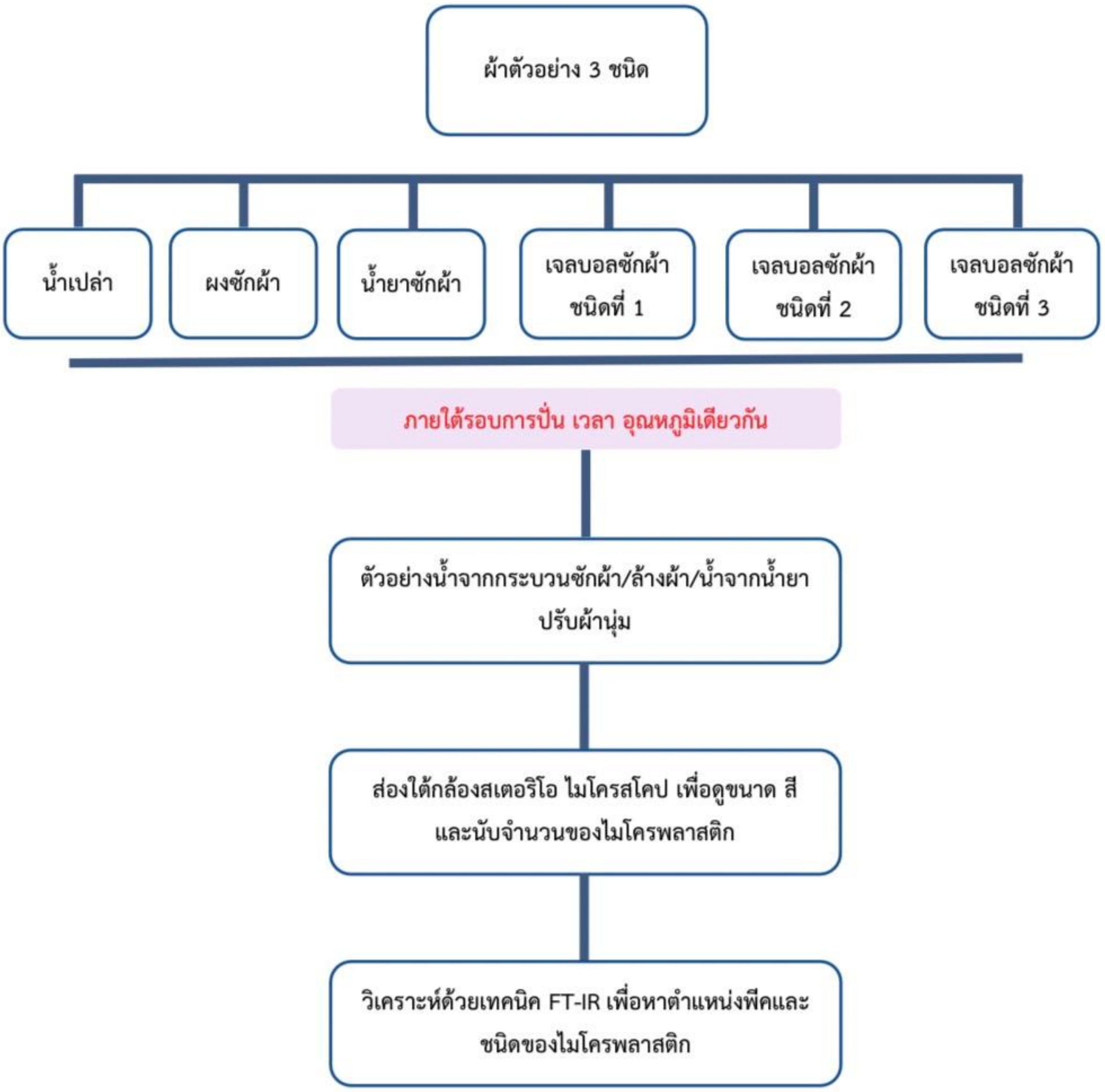
เส้นใย (Fibers) หมายถึง ผ้าหรือวัสดุที่ได้จากธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีความยาวมากกว่าความกว้าง และยังสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นผ้าได้ โดยเป็นส่วนประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า โดยแยกประเภทตามความยืดหยุ่น (flexibility) ความละเอียด (fineness)

เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fibers) หมายถึง เส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน และประโยชน์ใช้สอยของเส้นใยเพื่อความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่ได้จากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทต่าง ๆ ที่ภาวะดำเนินการ
2. ทราบถึงปริมาณการก่อเกิดชนิด และจำนวนโดยการยืนยันหมู่ฟังก์ชั่นของไมโครพลาสติกจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือนโดยใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าและภาวะดำเนินการต่าง ๆ และสามารถประเมินการก่อเกิดไมโครพลาสติกในครัวเรือน

1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 ผังกรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความหมายของไมโครพลาสติก

ไมโครพลาสติก เป็นชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็กมากที่อาจมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า สามารถปนเปื้อนได้ในสิ่งแวดล้อม โดยไม่ได้หมายถึงพลาสติกประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นการเฉพาะ แต่อาจหมายถึงเศษพลาสติกใด ๆ ที่มีขนาดตามเกณฑ์ที่กำหนด มีรายงานพบไมโครพลาสติกมากขึ้นในระบบภาคพื้นดิน และเนื่องจากการหมุนเวียนที่ช้า อาจค่อยๆ เพิ่มขึ้นผ่านการเพิ่มเติม เช่น สารปรับปรุงดิน พลาสติกคลุมดิน การให้น้ำ น้ำท่วม การป้อนบรรยากาศ และการทิ้งขยะหรือไหลบ่าไปตามถนน และได้มีการให้คำนิยามเฉพาะของไมโครพลาสติก ไว้ว่า พลาสติกหรืออนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 100 นาโนเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร(Kemsawasd, 2016)

2.1.2 ประเภทของไมโครพลาสติก

1. ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) คือ พลาสติกถูกสร้างขึ้นโดยผู้ผลิตให้มีขนาดเล็กตามวัตถุประสงค์เฉพาะ สิ่งที่คุณอาจเคยได้ยินมากที่สุดคือไมโครบีดส์ พวกมันเป็นพลาสติกทรงกลมขนาดเล็กที่ใช้ในการล้างหน้า เครื่องสำอาง และยาสีฟันเพื่อขัดผิวหรือขัดผิว พวกมันมักทำจากพอลิเอทิลีน (หรือพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต หรือไนลอน) ดังนั้นโปรดระวังคำเหล่านี้เมื่อคุณซื้อผลิตภัณฑ์ที่ร้านขายยา ตามเนื้อผ้า มีการใช้ สารจากธรรมชาติเช่น อัลมอนด์บด เกลือ หรือข้าวโอ๊ต แต่เริ่มถูกแทนที่ด้วยพลาสติกเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว ไมโครพลาสติกยังใช้สำหรับเทคโนโลยีการพ่นด้วยอากาศ พลาสติกชิ้นเล็ก ๆ (โดยปกติจะเป็นอะคริลิก เมลามีน หรือพอลิเอสเตอร์) จะถูกทำลายด้วยแรงดันสูงที่เครื่องจักร เครื่องยนต์ หรือตัวเรือเพื่อกำจัดสีหรือสนิม ใช้ซ้ำจนกว่าจะใช้ไม่ได้ผลจึงปนเปื้อนโลหะหนักได้ ไมโครพลาสติกยังใช้ในการวิจัยทางชีวการแพทย์สำหรับเทคนิคต่างๆ

2.ไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics) คือ พลาสติกชิ้นใหญ่สามารถย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไปและปล่อยชิ้นส่วนขนาดเล็กเหล่านี้ออกสู่สิ่งแวดล้อม สภาพดินฟ้าอากาศ เช่น จากคลื่น แสงแดด หรือความเครียดทางกายภาพอื่นๆ ทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยปกติแล้วจะเกิดจากขยะที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ตัวอย่างเช่น ขยะใน “ แผ่นขยะ ”

ย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กๆ และมีขยะ ถุงพลาสติกและอุปกรณ์ตกปลาเป็นตัวอย่างของขยะทั่วไปที่ย่อยสลายได้ ไมโครพลาสติกเหล่านี้มักจะมีรูปร่างที่หลากหลายกว่า และยังพบอีกว่าการเกิดของไมโครพลาสติกประเภทเส้นใยที่เกิดจากการหลุด หรือการฉีกขาดของเส้นใยพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งทอ จากกระบวนการซักเสื้อผ้า (Napper & Thompson, 2016)

รูปร่างของไมโครพลาสติกแต่ละชนิดอาจแสดงด้วยโพลิเมอร์ประเภทต่างๆ เนื่องจากผู้ผลิตพยายามผลิตพลาสติกที่มีคุณสมบัติเฉพาะ (เช่น ความยืดหยุ่น ความขรุขระ ความต้านทาน และความทนทาน) อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์ประเภทนี้ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น โพลียูรีเทน (PU) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตโฟมที่ยืดหยุ่นได้ ทำจากโมโนเมอร์ที่เป็นพิษสูงต่อมนุษย์ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้ผลิตขึ้นหลายล้านตันต่อปีซึ่งอาจเพิ่มขึ้น มีการตรวจพบไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิตในทะเลตั้งแต่แพลงก์ตอนไปจนถึงวาฬ ในอาหารทะเลเชิงพาณิชย์ และแม้แต่ในน้ำดื่ม น่าตกใจที่โรงบำบัดน้ำมาตรฐานไม่สามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้ทั้งหมด เพื่อให้เรื่องซับซ้อนยิ่งขึ้น ไมโครพลาสติกในมหาสมุทรสามารถจับกับสารเคมีอันตรายอื่นๆ ก่อนที่สิ่งมีชีวิตในทะเลจะกลืนเข้าไป

2.1.3 ปัญหาของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุพอลิเมอร์ นั่นคือวัสดุที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มาก มักจะมีลักษณะคล้ายโซ่ยาวที่ประกอบขึ้นจากชุดของการเชื่อมโยงที่ดูเหมือนไม่มีที่สิ้นสุด พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่นยางและไหมมีอยู่มากมาย แต่ "พลาสติก" จากธรรมชาติไม่ได้เกี่ยวข้องกับมลภาวะ ต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่คงอยู่ในสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ทุกวันนี้ ผู้บริโภคทั่วไปสัมผัสทุกวันกับวัสดุพลาสติกทุกชนิดที่ได้รับการพัฒนาโดยเฉพาะเพื่อเอาชนะกระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุที่ส่วนใหญ่มาจากปิโตรเลียมที่สามารถขึ้นรูป หล่อ ปั่น หรือทาเคลือบได้ เนื่องจากพลาสติกสังเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้พวกมันมักจะคงอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติยิ่งไปกว่านั้น ผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวน้ำหนักเบาและวัสดุบรรจุภัณฑ์จำนวนมาก ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของพลาสติกทั้งหมดที่ผลิตได้ จะไม่ถูกนำไปฝากในภาชนะเพื่อนำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ ศูนย์รีไซเคิล หรือเตาเผาขยะในภายหลัง แต่จะถูกกำจัดอย่างไม่เหมาะสมในหรือใกล้กับตำแหน่งที่พวกมันหมดประโยชน์ต่อผู้บริโภค หล่นลงบนพื้น โยนออกจากกระจกรถ กองไว้บนถังขยะที่มีเต็มอยู่แล้ว หรือถูก ลมพัดพาไปโดยไม่ได้ตั้งใจสิ่งเหล่านี้เริ่มก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ปัญหาของไมโครพลาสติกเป็นเช่นเดียวกับพลาสติกทุกขนาด พวกมันไม่แตกตัวเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอันตราย พลาสติกอาจใช้เวลาหลายร้อยหรือหลายพันปีในการย่อยสลาย และในขณะเดียวกันก็สร้างความเสียหายให้กับสิ่งแวดล้อม บนชายหาดไมโครพลาสติกจะมองเห็นเป็นเม็ดพลาสติก เล็กๆ หลากสีในทราย ในมหาสมุทรมลพิษไมโครพลาสติกมักถูกใช้โดยสัตว์ทะเล มลพิษทางสิ่งแวดล้อมบางส่วนมาจากการทิ้งขยะ แต่ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากพายุ น้ำที่ไหลบ่า และลมที่พัดพาพลาสติก ทั้งวัตถุที่ไม่บุบสลายและไมโครพลาสติกลงสู่มหาสมุทรของเรา พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว พลาสติกที่ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น หลอด เป็นแหล่งที่มาหลักของพลาสติกทุติยภูมิ ในสิ่งแวดล้อม

อีกทั้งน้ำเสียจากชุมชนที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของไมโครพลาสติกที่จะปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียที่ถูกปล่อยโดยตรงไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ ซึ่งมีโอกาสในปนเปื้อนของไมโครพลาสติกปฐมภูมิ และเส้นใยสังเคราะห์ได้มากกว่า ไม่ว่าจะเป็นการอาบน้ำ ชำระล้างร่างกาย การทำความสะอาด การซักล้างในครัวเรือน เป็นต้น ในขณะที่น้ำเสียชุมชนบางส่วนที่ผ่านการบำบัด บางส่วนยังคงมีการพบไมโครพลาสติกในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วนั้น และถูกปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยส่วนมากไมโครพลาสติกที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจะมีปริมาณของการตกค้างและการสะสมตัวในกากตะกอนเป็นฯจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนไมโครพลาสติกต่อผิวดินในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ซึ่งในบางครั้งน้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างผิวดิน หรือสิ่งก่อสร้าง เช่น ถนน อาคารบ้านเรือนที่เป็นตัวกลางในการชะล้างและนำพาขยะพลาสติกทั้งที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กไปจนถึงขนาดของไมโครพลาสติกที่ตกค้างบนพื้นผิวเหล่านั้นไปปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้ โดยที่แหล่งกำเนิดในส่วนนี้มักเป็นจุดที่ถูกละเลยรวมไปถึงยากต่อการกำจัดและจัดการที่ไม่ถูกต้องในระบบรวบรวมน้ำฝน หรือหลุมฝังกลบขยะเช่นเดียวกัน (Zhang et al., 2018) ประกอบด้วยคุณสมบัติของพลาสติกที่มีทั้งขนาดและน้ำหนักเบา การเคลื่อนที่ด้วยการพัดพาของอากาศไปสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งน้ำและดินย่อมเป็นส่วนสำคัญที่ควรพิจารณาเช่นเดียวกัน

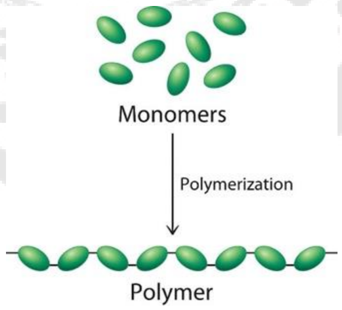
2.1.4 ความหมายของเส้นใย

เส้นใย (Fibers) คือ วัสดุที่มีลักษณะบาง ยาว ยืดหยุ่น และมีโครงสร้างคล้ายขนหรือด้ายเส้นใยมักจะได้รับจากสองแหล่งหลักพืชและสัตว์ เส้นใยเหล่านี้เรียกว่าเส้นใยธรรมชาติ ผ้าฝ้าย ขนสัตว์ ผ้าไหมเป็นตัวอย่างของเส้นใยธรรมชาติ นอกเหนือจากเส้นใยธรรมชาติแล้ว ยังมีเส้นใยสังเคราะห์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ด้วยความช่วยเหลือจากเครื่องจักรและเทคโนโลยีใน

อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยเหล่านี้เรียกอีกอย่างว่าเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้น เรยอน ไนลอนและโพลีเอสเตอร์เป็นตัวอย่างของเส้นใยสังเคราะห์ ไม่สามารถย่อยสลายได้จากการกระทำเชิงกล มีองค์ประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน และมีออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์เพียงเล็กน้อยน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว โดยแต่ละห่วงโซ่ของโมเลกุลจะมีโครงสร้างเหมือนกันจึงเรียกว่า โซ่โมเลกุล (molecular chain) (Grancio & Williams, 1970)

2.1.5 โครงสร้างของเส้นใย (Fiber Structure)

โครงสร้างลักษณะทางกายภาพของเส้นใย เช่น วัดได้จากความยาว ความหยาบ ความละเอียด ลักษณะผิวของเส้นใยมีผลต่อสมบัติด้านความรู้สึกที่เกิดจากการสัมผัส เส้นใย เส้นด้าย ส่วนประกอบของผ้า และการตกแต่งสำเร็จเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลต่อความสวยงาม ความทนทาน การดูแล และความสบายของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ การปั่นของเส้นใย เส้นด้าย ลักษณะโครงสร้างทางเคมีมีผลต่อสมบัติในด้านความแข็งแรง การยืดตัว ความหนาแน่น ความชื้นที่เส้นใยดูดซึมได้ การรับสีย้อม เป็นต้น เกิดจากโครงสร้างโมเลกุลที่ยาวต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (polymer) โพลิเมอร์ (polymer) หมายถึง สารโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) และมีน้ำหนักของโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ ที่เรียกว่า “Mer” หรือ “repeating unit” เป็นจำนวนมากยาว (Grancio & Williams, 1970)



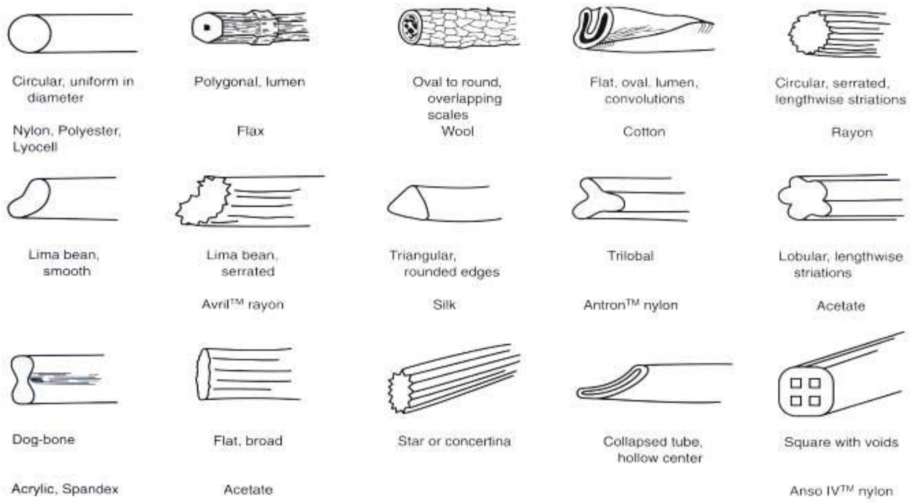
ภาพประกอบ 2 แสดงลักษณะของ Monomer และ Polymer

ที่มา : http://webmis.highland.cc.il.us/~jsullivan/principles-of-general-chemistry-v1.0/s16-08-polymeric-solids.html

2.1.6 **คุณสมบัติของเส้นใย**

1. สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

- ความยาวของเส้นใย (Fiber Length) เส้นใยแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แบบเส้นใยขนาดสั้น (staple fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวสั้น ความยาวของเส้นใยจะพิจารณาจากเส้นใยธรรมชาติเป็นหลัก เนื่องจากเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถควบคุมทั้งความยาวและความละเอียดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเส้นใยฝ้าย ความยาวเส้นใยฝ้ายมีความสำคัญ เนื่องจากความยาวอาจแตกต่างกันไปในแต่ละเส้นใย
- ความละเอียดเส้นใย (Fiber Fineness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของไฟเบอร์ ความละเอียดของเส้นใยกำหนดจำนวนเส้นใยที่มีอยู่ในส่วนตัดขวางของเส้นด้ายที่มีความหนาที่กำหนด จำเป็นต้องมีเส้นใยขั้นต่ำสามสิบเส้นในส่วนตัดขวางของเส้นด้าย แต่โดยปกติจะมีเป็นร้อย สำหรับกระบวนการปั่นใหม่เกือบทั้งหมด หนึ่งร้อยนั้นมีค่าประมาณขีดจำกัดล่าง ความละเอียดของไฟเบอร์ จะวัดเป็นค่าไมโครแนร์ (MIC)”
- รูปทรงภาคตัดขวาง ของเส้นใยและสภาพพื้นผิวเป็นการแสดงจุดตัดของวัตถุด้วยระนาบตามแนวแกน หน้าตัดเป็นรูปร่างที่เกิดจากของแข็ง (เช่น กรวย ทรงกระบอก ทรงกลม) เมื่อตัดด้วยระนาบ มีผลต่อความมัน เงาของเส้นใย
- ความหยิกตัวของเส้นใย (Fiber Crimp) เป็นการเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดจากการงอตามโครงสร้างหรือมีการดัดแปลงรุปร่างในระหว่างกระบวนของการผลิต ช่วยให้ตัวของเส้นใยนั้นมีการเกาะตัวกันอย่างเหนียวแน่น ทนทานต่อแรงขูดขีดและแรงกดทับ สามารถคงสภาพและคืนตัวได้ดี สามารถดูดซึมน้ำได้ดี แต่ความเงามันวาวลดลง ก่อให้เกิดควาสบายเมื่อสัมผัส (Xu, Pourdeyhimi, & Sobus, 1993)



ภาพประกอบ 3 ลักษณะตัวอย่างของรูปทรงภาคตัดขวางของเส้น

ที่มา : https://ttcexpert.thai-forum.net/t59-topic

- ความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber Strength) เส้นใยต้องมีความทนทานและแข็งแรงพอที่จะสามารถนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายหรือทนทานเพียงพอต่อการทอเป็นผืนโดยไม่ฉีกขาดจากกัน โดยต้องพิจารณาค่า “tenacity” หรือความทนแรงดึงจากจุดขาด ว่ามีความทนทานเพียงพอหรือไม่ โดยเส้นใยต้องมีค่าความทนททานจากแรงดึง มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 2 g/denier
- ความสม่ำเสมอ (Uniformity) เส้นใยควรคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน เช่น ความยาว ขนาด ความกว้าง หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง การบิดตัวหรือโค้งงอที่ลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้การนำเส้นใยไปผลิตในขั้นตอนอื่น ๆ ทำได้ง่ายขึ้น
- ความสามารถในการดัดงอ (Flexibility) เส้นใยที่จะนำไปทอต้องมีคุณสมบัติผ้าที่มีการบิดตัวหรือการโค้งงอได้ โดยไม่หักหรือฉีกขาดได้ง่าย เมื่อปล่อยสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ คุณสมบัติของเส้นใยในข้อนี้จะส่งผลโดยตรงต่อความทนทาน ความสวยงาม การทิ้งตัวของเสื้อผ้าที่ผลิตโดยเส้นใยมีความทนทานสูง
- ความมัน (Luster) เกิดจากปริมาณของแสงที่ตกสะท้อนจากพื้นผิวของเส้นใยที่สามารถวัดได้จากระดับของแสงและความสว่างของแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากการตกกระทบ

- การดูดซึมความชื้น (Moisture Regain) ความสามารถในการดูดซึมความชื้นของเส้นใยเนื้อผ้าส่งผลต่อความสบายผิวเมื่อสัมผัสหรือสวมใส่
- สภาพยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเสื้อผ้า สภาพของเส้นใยที่ยืดหยุ่นสามารถยืดตัวออกเมื่อถูกแรงดึง และหดตัวกลับสภาพเดิมเมื่อเอาแรงออก
- การนำไฟฟ้า การนำความร้อน (Electrical and Thermal Conductivity) เป็นความสามารถของเส้นใยในการส่งผ่านประจุไฟฟ้า เนื่องจากเส้นใยมีหมู่มีที่ขั้วในโครงสร้าง เส้นใยที่นำไฟฟ้าต่ำ ๆ มักจะมีการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต ทำให้การสวมใส่ไม่สบาย
- ความทนทานต่อความร้อน (Thermal Resistance) ในเส้นใยแต่ละชนิดจะทนต่อความร้อนแตกต่างกัน โดยเส้นใยจากเซลลูโลสจะติดไฟง่ายและลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ขณะที่ ขนสัตว์ เส้นไหม เมื่อติดไฟแล้วจะดับได้ด้วยตัวเอง ส่วนของเส้นใยแก้วและเส้นใยหินจะไม่ติดไฟ

ตาราง 1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้รีดกับชนิดของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยชนิดต่าง ๆ

เส้นใยผ้า	**อุณหภูมิที่ใช้รีด** °C
ผ้าฝ้าย	220
ผ้าลินิน	230
ผ้าไหม	150
ผ้าขนสัตว์	150
ผ้าเรยอน	190
ผ้าไนลอน	180
ผ้าพอลิเอสเตอร์	160
ผ้าอะซิเตท	160
ผ้าสเปนแดกซ์	150
ผ้าฝ้าย	220
ผ้าลินิน	230

ที่มา: (THAMMAJONG & Supalaknari, 2020)

2. สมบัติทางเคมี (Chemical Properties) สมบัติทางเคมีของเส้นใยส่งผลต่อการเลือกใช้ การเลือกใช้สารเคมีเพื่อการตกแต่งผ้า การนำไปใช้งาน และความสะดวกในการทำความสะอาด

- กรด-ด่าง กรดหรือด่างเป็นอันตรายต่อเซลลูโลสและเส้นใยโปรตีน ดังนั้นจึงต้องทราบผลกระทบของกรดและด่างในระหว่างการฟอกสี การย้อม และการตกแต่ง เส้นใยที่แตกต่างกันทำปฏิกิริยากับกรดและด่างต่างกัน ตัวอย่างเช่น ฝ้ายและลินินเสียหายเมื่อถูกตรวจสอบ กรดไฮโดรคลอริก ซัลฟิวริก และกรดไนตริก นอกจากนี้สารละลายที่เจือจางของกรดเหล่านั้นยังสามารถทำอันตรายต่อเส้นใยได้ ในทางกลับกัน สารละลายด่างไม่เป็นอันตรายต่อผ้าฝ้ายและผ้าลินิน ขนสัตว์ไม่ได้รับผลกระทบจากสารละลายกรดเจือจาง แต่สรุป กรดและด่างทำลายขนสัตว์ได้ง่าย ดังนั้นต้องเลือกกรดหรือด่างให้เหมาะสมเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์และกระบวนการต่างๆ
- น้ำ น้ำเป็นสิ่งสำคัญมากในการกำหนดคุณสมบัติของเส้นใย ตามพฤติกรรมของเส้นใยกับน้ำ เส้นใยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ไม่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ น้ำใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น ขัดถู ย้อมสี เป็นต้น
- คืนความชุ่มชื้น การคืนความชื้นแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักแห้งในเตาอบของวัสดุต่อน้ำหนักของน้ำในวัสดุนี้และคูณด้วยร้อย
- ความชื้น ปริมาณความชื้นจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ด้วย เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักแห้งในเตาอบของวัสดุต่อน้ำหนักรวม (น้ำหนักแห้งในเตาอบ + น้ำหนักของน้ำในวัสดุนี้) ของวัสดุ
- การดูดซึม โดยปกติแล้วเส้นใยสิ่งทอจะดูดซับความชื้น ความสามารถของเส้นใยในการดูดซับความชื้นเรียกว่าการดูดซับ การดูดซับจะแสดงในรูปของการคืนความชุ่มชื้น ในบรรดาเส้นใยฝ้ายที่ดูดซับได้ง่าย สำหรับคุณสมบัติ ฝ้ายต้องใช้เวลาในการทำให้แห้งนานขึ้น การคืนความชื้นของผ้าขนสัตว์คือ 16% มันเป็น 10% สำหรับผ้าไหม แต่ดูเหมือนว่าจะแห้งหลังจากฟื้นผ้าไหม ผ้าที่เราสวมใส่จะสบายกว่าซึ่งความสามารถในการดูดซับจะสูงกว่า
- ความร้อน ผลกระทบของความร้อนคือจุดสำคัญระหว่างการย้อม การรีด การนึ่ง และการทำงานอื่นๆ เส้นใยต่าง ๆ จะทำงานแตกต่างกันภายใต้ความร้อน เส้นใยบางชนิดไหม้เกรียมเมื่อใช้ความร้อน เส้นใยบางชนิดไม่ติดไฟ เช่น ใยแร่ ใยแก้ว เป็นต้น ฝ้ายติดไฟง่าย ขนสัตว์เป็นเส้นใยที่แทบไม่ติดไฟ
- แสงแดด เมื่อเราสวมใส่ผ้าหรือผ้าจะสัมผัสกับแสงแดด มันคุ้นเคยกับเราเป็นอย่างดี ผลกระทบของแสงแดดสำหรับคนทั่วไปควรคำนึงถึง แสงแดดลดความแข็งแรงของฝ้ายและกลายเป็นสีเหลือง ผ้าลินินดีกว่าผ้าฝ้ายในแสงแดด แต่ผ้าฝ้ายนั้นดีกว่าผ้าไหม

3. สมบัติทางชีวภาพ (Biological Properties) คุณสมบัติทางชีวภาพของเส้นใยจะแสดงออกและเปลี่ยนแปลง ก็ต่อเมื่อเส้นใยถูกสัมผัสหรือถูกกัดกินโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา เชื้อแบคทีเรีย จะเห็นจุดดำบนเส้นใยซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงคงทนของเส้นใยลดลง ความสำคัญของเส้นใยที่จุลินทรีย์เกาะติดหรือไม่โดยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน และเรยอนถูกเชื้อรากัดกิน ไหม ขนสัตว์ อะซีเตต ไตรอะซีเตต และสแปนเด็กซ์มีความทนทานต่อโรคราน้ำค้างและแมลงอื่นๆ ได้ดีกว่า

- เส้นใยธรรมชาติมีน้ำหนักน้อย มีความแข็งแรงจำเพาะสูง และมีความแข็งจำเพาะสูง เนื่องจากเส้นใยเหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- เส้นใยจากสัตว์มีมูลค่ามหาศาลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยนี้แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่หลากหลายและประกอบด้วยโปรตีน ขนของสัตว์เกือบทั้งหมดประกอบด้วยโปรตีนที่เรียกว่าเคราติน
- เส้นใยประดิษฐ์มีความแข็งแรงมาก เส้นใยสังเคราะห์มีความทนทานและทนต่อรอยยับได้ดีกว่าไหมหรือขนสัตว์ จึงใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นส่วนประกอบทดแทน เส้นใยสังเคราะห์ดูดซับน้ำน้อยกว่าไหมหรือฝ้าย

2.1.7 การวิเคราะห์เส้นใย

การวิเคราะห์ตรวจของเส้นใยโดยใช้สายตาและการสัมผัส

1. การทดสอบด้วยการเผา (Burning Test) ในขณะที่การเผาเส้นใยมีการติดไฟทันทีหรือมีการหดตัว สังเกตการลุกไหม้ต่อไปหรือค่อย ๆ ดับเอง ดมกลิ่นควัน โดยใช้วิธีใช้มือโบกควันมาใกล้จมูก สังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงและลักษณะของเถ้า ข้อจำกัดคือ คุณลักษณะที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบการเผาไหม้อาจได้รับผลกระทบจากหลายสิ่ง หากผ้า/เส้นด้ายมีเส้นใยผสม การระบุเส้นใยแต่ละชนิดอาจทำได้ยาก เส้นใยที่แตกต่างกันสองหรือสามชนิดที่เผารวมกันในเส้นด้ายเส้นเดียวอาจแยกแยะได้ยากเช่นกัน พื้นผิวที่ใช้กับผ้าสามารถเปลี่ยนลักษณะที่สังเกตได้
2. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Examination) ให้สังเกตลักษณะของโครงสร้างเส้นใยรวมถึงลักษณะของรูปทรง ความยาวและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย
3. ความสามารถในการละลาย (Solubility Test) ให้สังเกตปฏิกิริยาของเส้นใยว่ามีการทนต่อกรด-ด่างหรือไม่ รวมถึงการละลายตัวของเส้นใยต่อสารเคมีเฉพาะอย่าง

4. การทดสอบโดยการย้อมสี (Staining Test) โดยทำการทดสอบด้วยชุดสีย้อม สังเกตุลักษณะของผ้ารวมไปถึงสีของผ้าที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วเทียบมาตรฐานของสีหลัก (อัมพฤกษ์, 2012)

2.1.8 **การแบ่งชนิดเส้นใย** (Fibers Classification)

การแบ่งเส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) ได้แก่

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber)

1.1 Cellulose fibers

- ฝ้าย (Cotton) เป็นเส้นใยที่ผลิตได้จากเมล็ดมีการนำมาใช้งานมากที่สุด ฝ้ายเป็นเส้นใยหลักซึ่งหมายความว่าประกอบด้วยเส้นใยที่แตกต่างกันและมีความยาวต่างกัน ฝ้ายทำมาจากเส้นใยธรรมชาติของต้นฝ้าย ฝ้ายมีองค์ประกอบหลักจากเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อโครงสร้างของพืช และเป็นวัสดุที่นุ่มและฟู คำว่า ฝ้าย หมายถึง ส่วนของต้นฝ้ายที่เติบโตในการต้ม ซึ่งห่อหุ้มเส้นใยฝ้ายที่ฟูนุ่ม ฝ้ายถูกปั่นเป็นเส้นด้ายที่ถักทอเพื่อสร้างผ้าที่นุ่มและทนทานสำหรับเสื้อผ้าประจำวัน เช่น เสื้อยืด และของใช้ในบ้าน เช่น ผ้าปูที่นอน มีทั้งลายพิมพ์ผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายทึบ
- นุ่น (Kapok) ใยนุ่นได้จากเมล็ดของต้นนุ่น (Seed fiber) ฝักนุ่นมีลักษณะยาวหัวท้ายแหลม เมื่อแก่เปลือกจะแห้งแตกเปิดให้เห็นเส้นใยหรือปุยนุ่นซึ่งติดอยู่กับเมล็ดแล้วจึงนำปุยนุ่นแยกออกจากเมล็ด นุ่นเป็นวัสดุที่ยั่งยืนซึ่งผลิตด้วยวิธีเดียวกับผ้าฝ้ายแต่มีความละเอียดอ่อนกว่า ต้นนุ่นพบขึ้นในป่าดิบชื้นและยืนต้นสูงตระหง่านเหนือต้นไม้อื่นที่ความสูง 20-30 เมตร เมล็ดนุ่นมีสีน้ำตาลและกลมเหมือนเมล็ดถั่วและพบอยู่ภายในฝัก ฝักมีลักษณะเรียบและมีสีเขียวอ่อน และแตกออกในขณะที่ยังอยู่บนต้นหลังจากใบร่วงแล้ว เป็นทางเลือกที่แสนสบายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับไส้พอลีเอสเตอร์ที่สมบูรณ์แบบสำหรับใช้ในหมอน ผ้านวม เบาะ และตุ๊กตา
- ลินิน (Linen or flax) ผ้าลินินเป็นผ้าที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงมากซึ่งทำจากต้นแฟลกซ์ ผ้าลินินเป็นวัสดุทั่วไปที่ใช้สำหรับผ้าขนหนู ผ้าปูโต๊ะ ผ้าเช็ดปาก และผ้าปูเตียง และคำว่า "ผ้าปูเตียง" ซึ่งก็คือผ้าปูเตียงยังคงหมายถึงของใช้ในครัวเรือนเหล่านี้ แม้ว่าจะไม่ได้ทำจากผ้าลินินเสมอไป วัสดุนี้ยังใช้สำหรับชั้นในของแจ็ค

เก็ต ดังนั้นชื่อ "ซับใน" เป็นผ้าที่ดูดซับและระบายอากาศได้อย่างไม่น่าเชื่อ จึงเหมาะสำหรับเสื้อผ้าฤดูร้อน เนื่องจากคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบาทำให้อากาศผ่านได้และทำให้อุณหภูมิของร่างกายลดลง

1.2 เส้นใยธรรมชาติจากสัตว์ (Protein Fiber)

กลุ่มเส้นใยโปรตีนประกอบด้วยเส้นใยจากสัตว์ (ขนสัตว์และขนสัตว์อื่นๆ หรือที่เรียกว่า เส้นใย α-keratin) และเส้นใยจากแมลง (ไหม ซึ่งเป็น เส้นใย ไฟโบรอิน) ทั้ง α-keratin และ fibroin เป็นโปรตีนที่มีเส้นใย การวิเคราะห์องค์ประกอบแสดงคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เปอร์เซ็นต์กำมะถันสูง (ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่พบในขนสัตว์และขนของสัตว์อื่นๆ ผ้าขนสัตว์มีน้ำหนักที่เบากว่าเมื่อเทียบกับผ้าที่ทำจากเส้นใยพืช ที่มีค่าของความหนาแน่นเท่ากัน ทนต่อการลุกไหม้ของไฟ ให้กลิ่นเหมือนการเผาไหม้ของเส้นผม เกิดเป็นขี้เถ้าสีดำ และมีลักษณะความเปราะใช้สบู่หรือน้ำยาซักล้างที่มีคุณสมบัติเป็นกลางหรือด่างอ่อน ๆ ในการทำความสะอาด และแสงแดดจะทำให้ผ้าเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองได้

- ขนสัตว์ (Wool) เป็นเส้นใยที่มีขนาดสั้น องค์ประกอบหลักคือ ธาตุ C, H, O, N, และ S สมบัติทางกายภาพของขนสัตว์ มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นความยาว 2.5-50 เซนติเมตร ลักษณะสีขาว ครีม น้ำตาล เทา ดำ ความมันเงาของเส้นใยขนสัตว์จะขึ้นอยู่กับชนิดพันธ์และถิ่นกำเนิดของสัตว์ที่ผลิตเส้นใย มีผ้าวูลเป็นผ้าธรรมชาติที่ทำจากขนของสัตว์ ขนแกะอาจเป็นที่รู้จักมากที่สุด แต่ขนอัลปาก้า จามรี และแพะก็พบได้ทั่วไปเช่นกัน ผ้าขนสัตว์มักจะให้ความอบอุ่น แข็งแรง ระบายอากาศได้ดี และดูดความชื้นได้ดี ผ้าขนสัตว์มีความเสถียรต่อกรดในระดับหนึ่ง และกรดเจือจางแทบจะไม่สร้างความเสียหายให้กับผ้าขนสัตว์ แต่กรดเข้มข้น อุณหภูมิสูง และการรักษาเป็นเวลานานจะทำให้เส้นใยผ้าไม่แข็งแรง
- ไหม (Silk) สมบัติทางกายภาพของผ้าไหม ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่หนอนไหมซึ่งเป็นแมลงผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นรังและรังไหม ผ้าไหมเป็นที่รู้จักในด้านความ เงางามและความนุ่มนวลเป็นวัสดุ เป็นวัสดุที่ทนทานและแข็งแรงอย่างเหลือเชื่อพร้อมผ้าม่านที่สวยงามและเงางาม ผ้าไหมใช้สำหรับเครื่องแต่งกายที่เป็นทางการ เครื่องประดับ เครื่องนอน เบาะ และอื่นๆ ผ้าไหมมีความเสถียรต่อกรดได้ดี แต่ไม่เสถียรเท่าผ้าขนสัตว์ กรดเข้มข้นสามารถไฮโดรไลซ์ไหมไฟ

โบรอิน ซึ่งจะเข้มข้นขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลาในการรักษาเพิ่มขึ้น

1.3 เส้นใยธรรมชาติจากแร่ธาตุ (Mineral Fiber)

- แร่ใยหิน (Asbestos) เป็นกลุ่มของแร่ซิลิเกตที่เกิดตามธรรมชาติ แร่ใยหินมีผลึกที่เป็นเส้นใย แร่ใยหินเป็นแร่ก่อมะเร็ง ประกอบด้วยเส้นใยยืดหยุ่นที่ทนทานต่อความร้อน ไฟฟ้า และการกัดกร่อน คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้แร่มีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์มากมาย และยังก่อให้เกิดความเป็นพิษจากการสัมผัสแร่ใยหิน ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เนื่องจากเศษใยหินเล็ก ๆ จะแตกหักและสามารถผ่านเข้าสู่ปอดผู้สวมใส่ เป็นสาเหตุของโรงมะเร็งปอด
- ใยแก้ว (Glass Fiber) เส้นใยแก้วเป็นองค์ประกอบทางเคมีคือ ซิลิกา (SiO_2) ที่เหลือจะเป็นออกไซด์ชนิดต่าง ๆ เช่น Al_2O_3, CaO, MgO, Na_2CO_3 ใยแก้วทนความร้อนได้ถึง 700 °C ทำจากก้อนแก้วหรือเศษแก้วที่หลอมแล้วปั่นเป็นเส้นใยแก้ว ซึ่งสามารถให้ความร้อนและขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่างๆ เช่น ใยแก้ว ใยแก้วทอแผ่น ใยแก้ว เทป

2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-Made Fiber)

คือ เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นเส้นใยที่องค์ประกอบ ทางเคมี โครงสร้าง และคุณสมบัติต่างๆ ได้รับการปรับเปลี่ยนอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกระบวนการผลิต เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นถูกปั่นและทอเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมจำนวนมาก รวมถึงเสื้อผ้า เช่น เสื้อเชิ้ต ผ้าพันคอ และร้านขายชุดชั้นใน ของตกแต่งบ้านเช่น เบาะ พรม ผ้าม่าน และชิ้นส่วนอุตสาหกรรม เช่น สายยาง ยางกันไฟ สายพานขับเคลื่อน สารประกอบทางเคมีที่ผลิตเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นเรียกว่าโพลิเมอร์ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเป็นโมเลกุลยาวคล้ายสายโซ่ที่มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลสูง พอลิเมอร์หลายชนิดที่ประกอบเป็นเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นเหมือนหรือคล้ายกับสารประกอบที่ประกอบเป็นพลาสติก ยาง กาว และสารเคลือบพื้นผิว และยังถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้เส้นใยจำนวนมาก ตั้งแต่หน้าต่างซองกระดาษแก้ว ไปจนถึง พลาสติกใส ขวดน้ำอัดลม เส้นใยเหล่านี้มีค่าความแข็งแรง ความเหนียว ความต้านทานต่อความร้อนและโรคราน้ำค้าง และความสามารถในการยืดหยุ่นและทนทานต่อแรงกดทับ

- เรยอน (Rayon) เส้นใยประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ เรยอนเป็นผ้ากึ่งสังเคราะห์ที่ทำจากเส้นใยจากเยื่อไม้ ถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกแทนผ้าไหมในราคาย่อมเยา วิสโคสและโมดอลเป็นผ้าประเภทหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับเรยอน มีลักษณะที่นุ่มและระบายอากาศและผ้าม่านได้ดี แต่ก็ไม่ทนทานเป็นพิเศษ
- อะซิเตท (Acetate) ผ้าอะซิเตทประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสปั่นที่มาจากเยื่อไม้ จัดเป็นผ้ากึ่งสังเคราะห์หรือเส้นใยเคมี ผสมผสานกับผ้าขนสัตว์ ผ้าไหม หรือผ้าฝ้ายเพื่อให้ทนทาน ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยยาว เงางามคล้ายไหม ลักษณะของเส้นในมีความใส กึ่งทึบ ทึบ มีความแข็งแรงต่ำ ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ 3-6% ไม่ทนต่อกรดและด่างที่มีความเข้มข้น
- ไนลอน (Nylon) เป็นเส้นใยประดิษฐ์ที่มีเนื้อเส้นใยเป็นโซ่โมเลกุลยาวของโพลิเอไมด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น เส้นใยไนลอนแตกต่างจากเส้นใยอินทรีย์หรือกึ่งสังเคราะห์อื่นๆ ตรงที่เส้นใยไนลอนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าเส้นใยเหล่านี้ไม่มีพื้นฐานมาจากวัสดุอินทรีย์ เส้นใยจะลักษณะเป็นมีสีขาว ความมันสูง ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ 4.0-4.5% ทนต่อด่างไม่ทนต่อกรด ซักแห้งได้ ทนต่อสารละลายอินทรีย์ เชื้อราและแมลง
- โพลิเอสเตอร์ (Polyester) โพลีเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มนุษย์สร้างขึ้นจากปิโตรเคมี เช่น ถ่านหินและปิโตรเลียม ผ้าโพลีเอสเตอร์มีลักษณะที่ทนทาน อย่างไรก็ตามมันไม่ระบายอากาศและไม่ดูดซับของเหลวเช่นเหงื่อ เส้นใยโพลีเอสเตอร์ทนทานต่อกรดและด่างอ่อนๆ และมีความเสถียรสูงต่อสารออกซิแดนท์และสารรีดิวซ์ต่างๆ ไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและเตตระคลอโรเอทิลีน เส้นใยโพลีเอสเตอร์มีความทนทานต่อแสงที่ดีเยี่ยม แม้ว่าความแข็งแรงของเส้นใยจะลดลงในองศาต่างๆ กันภายใต้แสงแดด แต่ความทนทานต่อแสงเป็นรองเพียงเส้นใยอะคริลิกในเส้นใยสังเคราะห์เท่านั้น
- อะคริลิก (Acrylic) ผ้าใยอะคริลิกทำมาจากโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่เรียกว่าอะคริโลไนไทรล์ เส้นใยชนิดนี้ผลิตโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีจากปิโตรเลียมหรือถ่านหินกับโมโนเมอร์หลายชนิด ซึ่งหมายความว่าผ้าอะคริลิกเป็นเส้นใยจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เส้นใยอะคริลิกมีความคงตัวต่อกรดสูง ความแข็งแรงโดยทั่วไปไม่เปลี่ยนแปลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 65% หรือสารละลายกรดไนตริก 45% แต่

ความต้านทานต่อด่างต่ำ มันจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อถูกด่างและความแข็งแรงจะลดลง ยิ่งความเข้มข้นของอัลคาไลสูงเท่าใด เวลาในการรักษาก็จะยิ่งนานขึ้นเท่านั้น และความเสียหายจะรุนแรงมากขึ้น เส้นใยอะคริลิกมีความเสถียรที่ดีต่อสารออกซิแดนท์และตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป (เช่น เบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เตตระคลอโรเอทิลีน ฯลฯ) แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายร้อน เช่น ไดเมทิลฟอร์มาไมด์และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ เส้นใยอะคริลิกมีความทนทานต่อแสงดีที่สุดในบรรดาเส้นใยที่สวมใส่ได้ ดังนั้นจึงมักใช้เป็นผ้าสำหรับเสื้อผ้ากลางแจ้ง

- สเปนเดกซ์ (Spandex) สแปนเด็กซ์เป็นผ้าใยสังเคราะห์ที่มีความยืดหยุ่น ตรงกันข้ามกับความเชื่อที่ได้รับความนิยม คำว่า "สแปนเด็กซ์" ไม่ใช่ชื่อแบรนด์ และคำนี้ใช้เพื่ออ้างถึงผ้าโพลิเมอร์โพลีอีเทอร์-โพลียูเรียโดยทั่วไปซึ่งผลิตด้วยกระบวนการผลิตที่หลากหลาย คำว่า spandex, Lycra และ elastane มีความหมายเหมือนกัน ผ้านี้สามารถยืดได้ถึง 5-8 เท่าของขนาดปกติ และมักใช้ในเครื่องแต่งกายสำหรับผู้บริโภคที่เข้ารูป คุณสมบัติทางเคมีของสแปนเด็กซ์ค่อนข้างคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงโดยพื้นฐานในตัวทำละลายที่เป็นกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ แต่สามารถละลายได้ง่ายในสารละลายด่างร้อน และละลายหรือขยายตัวในสารละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์อุ่น ความทนทานต่อแสงไม่ดีเท่าเส้นใยอะคริลิก ความแข็งแรงของเส้นใยจะค่อยๆ ลดลง และสีของมันจะเปลี่ยนไปเมื่อถูกแสงแดดเป็นเวลานาน

2.1.9 ความหมายของผ้า

ผ้า (Fabric) สารที่ยืดหยุ่นซึ่งมักสร้างขึ้นจากกระบวนการทอ การอัดเป็นแผ่น หรือการถักโดยใช้วัสดุธรรมชาติหรือวัสดุสังเคราะห์ คำว่า 'ผ้า' มาจากภาษาอังกฤษโบราณ clað ซึ่งแปลว่า "ผ้าทอ หรืออัดเป็นแผ่นสำหรับพันร่างกาย" แม้ว่าผ้าจะเป็นผ้าประเภทหนึ่ง แต่ผ้าบางประเภทไม่สามารถจัดประเภทเป็นผ้าได้ เนื่องจากความแตกต่างในกระบวนการผลิต คุณสมบัติทางกายภาพและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัสดุที่ทอ ถัก ทอเป็นกระจุกหรือผูกปมจากเส้นด้ายเรียกว่าผ้า ในขณะที่วอลเปเปอร์ ผลิตภัณฑ์เบาะพลาสติก พรม และวัสดุนอนวูฟเวนเป็นตัวอย่างของผ้า ประเภทของผ้าแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

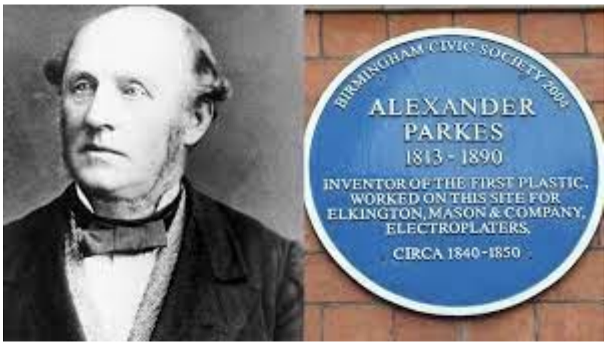
- ประเภทผ้าทอ (weaving fabric) เป็นการผลิตผ้าโดยการพันเส้นด้ายสองชุดให้ไขว้กันโดยปกติทำมุมฉาก มักสำเร็จด้วย เครื่อง ทอมือหรือเครื่องทอไฟฟ้า คือ

เส้นด้ายยืน (Warp yarn) และเส้นด้ายพุ่ง (Weft yarn) ผ้าทอส่วนใหญ่ทำด้วยขอบด้านนอกในลักษณะที่หลีกเลี่ยงการปัดเศษ สิ่งเหล่านี้เรียกว่าริมจะถักตามยาวขนานกับเส้นด้ายยืน การทอพื้นฐานสามแบบคือธรรมดา สิ่งทอลายทแยงและผ้าซาติน ผ้าทอแฟนซี

- ประเภทผ้าถัก (Knitted fabric) เป็นกระบวนการพันระหว่างเส้นด้ายหรือการต่อตาข่ายระหว่างลูป คุณสมบัติแตกต่างจาก ผ้าทอตรงที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าและสามารถนำมาประกอบเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ง่ายกว่า จึงเหมาะสำหรับทำถุงเท้าและหมวก
- ประเภทผ้าไม่ถักไม่ทอ หรือผ้านอน วูฟเวน (Non-woven fabric) เป็นผ้าที่ผลิตโดยกระบวนการทางกล ความร้อน หรือเคมี แต่ไม่มีการทอและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนเส้นใยเป็นเส้นด้าย เนื่องจากเส้นใยไฟเบอร์ถูกยึดเข้าด้วยกันอันเป็นผลมาจากแรงเสียดทานโดยธรรมชาติ จากเส้นใยหนึ่งไปยังอีกเส้นใยหนึ่ง ด้วยการการยึดเกาะกัน ผ้านอนวูฟเวนมีลักษณะที่หลากหลาย มากมาย เหมาะแก่การนำมาใช้สอยที่ยอดเยี่ยม เป็นผ้าน้ำหนักเบา เหนียวแต่ยืดหยุ่น ระบายอากาศได้ดี นุ่ม ทนทาน และกำจัดเส้นใยน้อยกว่าผ้าชนิดอื่นมาก ป้องกันน้ำและของเหลว

2.2.10 **พลาสติกและไมโครพลาสติก**

1. ความเป็นมาของพลาสติก (สุกฤตา ปุณยอุปพัทธ์ & ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2019) พลาสติก (Plastic) มีจุดเริ่มต้นจากการเป็นสารสังเคราะห์ไนโตรเซลลูโลส(nitrocellulose)หรือ Parkesine ในปี ค.ศ. 1856 ซึ่งผลิตโดย Alexander Parkes และเกิดกระบวนการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และ ปี ค.ศ. 1907 มาสู่การค้นพบวิธีการผลิตสารสังเคราะห์สารฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน (phenol formaldehyde resin) หรือ Bakelite โดย Leo Baekeland จัดเป็นเทอร์โมเซติ้งพลาสติก (Thermosetting plastic) ซึ่งเป็นหนึ่งในประเภทของพลาสติกที่ทนความร้อนได้สูง ติดไฟช้า นำความร้อนได้ไม่ดี จึงถูกนำมาใช้เป็นมือจับสำหรับอุปกรณ์เครื่องครัว และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ



ภาพประกอบ 4 Alexander Parkes ผู้ผลิตพลาสติกคนแรกของโลก

ที่มา: https://tinhbotxanh.vn/en/the-history-of-plastic-first-man-made-plastic-by-alexander-parkes/

นอกจากนี้ Bakelite ยังนำไปพัฒนาปรับปรุงให้เป็นวัสดุประเภทโฟมที่นิยมใช้เป็นทุ่นลอยในน้ำ และเสริมความแข็งแรงในเครื่องบิน การพัฒนาวิธีการผลิตพลาสติกสังเคราะห์ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องหลายทศวรรษ (ค.ศ. 1907 - 1954) จนกระทั่ง เกิดการค้นพบ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC) ในปี ค.ศ. 1926 พอลีสไตรีน ในปีค.ศ. 1931 (Polystyrene: PS) พอลิเอทิลีน(Polyethylene: PE) ในปีค.ศ. 1933 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) ในปีค.ศ. 1941 และพอลิโพรพิลีน(Polypropylene: PP) ในปีค.ศ. 1954 ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติก ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไปทำให้พลาสติกได้รับความนิยมและใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกทั้งในระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับอุตสาหกรรมจนกระทั่งปัจจุบัน

2. คุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติกเป็นสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ ที่เกิดจาก โมโนเมอร์หลายๆตัวมาต่อกันด้วยพันธะโควาเลนซ์ ปะกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และ/หรือ ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก อาจเติมแต่ง ด้วยสารประกอบ คลอรีน ไนโตรเจน ฟลูออรีน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส หรือซิลิกอน คุณสมบัติโดยทั่วไป ของพลาสติก คือ ความหนาแน่นต่ำซึ่งทำให้พลาสติกมีน้ำหนักเบา ทนทานต่อการสึกกร่อนในสภาวะ แวดล้อมปกติ สามารถรีดหรือสร้างเป็นรูปร่างตามแบบพิมพ์ได้โดยง่าย นำไฟฟ้าและความร้อนต่ำ แต่ พลาสติกบางประเภทอาจทนความร้อนได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส พลาสติดสามารถแบ่งประเภท ออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เทอร์โมพลาสติกเป็นเรซินที่แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง แต่จะนิ่มเมื่อได้รับความร้อน และในที่สุดกลายเป็นของเหลวอันเป็นผลมาจากการละลายของผลึก หรือจากการข้ามผ่านอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกไม่เกี่ยวข้องกับพันธะเคมี และสามารถเทลงในแม่พิมพ์เพื่อทำให้เย็นและแข็งตัวเป็นรูปร่างที่ต้องการ เทอร์โมพลาสติกสามารถอุ่น รีไซเคิล และขึ้นรูปใหม่ได้โดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการใช้วัสดุเหล่านี้ในกระบวนการต่างๆ รวมถึงการอัดขึ้นรูป การขึ้นรูปด้วยความร้อน และการฉีดขึ้นรูปภาพพื้นหลังพลาสติกทั่วไปประกอบด้วยพอลิเอทิลีน (PE) พอลิคาร์บอเนต (PC) และพอลิคาร์บอเนตคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลีสไตรีน (PS)) และพอลิเอทิลีนเลนเธอราฟทาเลต (PET) โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกันอย่างไรก็ตามจะต้องไม่ถูกคัดออก เทอร์โมพลาสติกที่ใช้ก่อนหน้านี้ต่างๆ ประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรอุตสาหกรรมและถุงพลาสติกสำหรับขายปลีก บรรจุภัณฑ์พลาสติกสามารถอ่อนตัวเปลี่ยนรูปและเตรียมกระบวนการวิเคราะห์สำหรับบางครั้ง

พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้า ออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร แบ่งออกเป็น

พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงหรือ HDPE ค่อนข้างพิเศษเมื่อเทียบกับประเภทอื่นๆ มีสายโซ่พอลิเมอร์ที่ไม่มีการต่อสายยาวซึ่งทำให้มีความหนาแน่นสูง จึงแข็งแรงและหนากว่า PET HDPE เป็นพลาสติกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ทำถุงใส่ของชำ, นมขุ่น, ที่ใส่น้ำผลไม้, ขวดแชมพู และขวดยา

พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ หรือ LDPE ส่วนใหญ่ใช้สำหรับถุง (ร้านขายของชำ ซักแห้ง ขนมปัง ถุงอาหารแช่แข็ง หนังสือพิมพ์ ขยะ) พลาสติกแปลรูป สารเคลือบกล่องนมกระดาษและถ้วยเครื่องดื่มร้อนและเย็น ขวดบีบได้ (น้ำผึ้ง มัสตาร์ด) ภาชนะเก็บอาหาร ฝาภาชนะ นอกจากนี้ยังใช้สำหรับหุ้มสายไฟและสายเคเบิล

ภาพประกอบ 5 พลาสติกประเภทพอลีเอทิลีน

ที่มา: : https://tinyurl.com/3wxsjdst

พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งและทนความร้อนได้ดีกว่า PP นิยมใช้กับภาชนะบรรจุอาหารร้อน คุณภาพความแข็งแรงอยู่ระหว่าง LDPE และ HDPE เช่นเดียวกับ LDPE PP ถือเป็นตัวเลือกพลาสติกที่ปลอดภัยกว่าสำหรับการใช้กับอาหารและเครื่องดื่ม เป็นวัสดุที่ดีสำหรับขวดนมเด็ก ตราบเท่าที่ทำจากพลาสติกเกรดอาหาร และระบุว่า " ปลอดสาร BPA "

ภาพประกอบ 6 พลาสติกประเภทพอลีโพรพิลีน

ที่มา: https://tinyurl.com/3wxsjdst

พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่างไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร โพลิสไตรีน (PS) คือสไตโรโฟมที่เราใช้กันทั่วไปสำหรับภาชนะบรรจุอาหาร กล่องไข่ ถ้วยและชามแบบใช้แล้วทิ้ง บรรจุภัณฑ์ และหมวกกันน็อคจักรยาน เมื่อสัมผัสกับอาหารที่ร้อนและมัน PS สามารถชะสารสไตรีนที่เป็นพิษต่อสมองและระบบประสาทได้ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อยีน ปอด ตับ และระบบภูมิคุ้มกัน นอกเหนือจากความเสี่ยงทั้งหมดแล้ว PS ยังมีอัตราการรีไซเคิลที่ต่ำ

ภาพประกอบ 7 พลาสติกประเภทพอลีสไตรีน

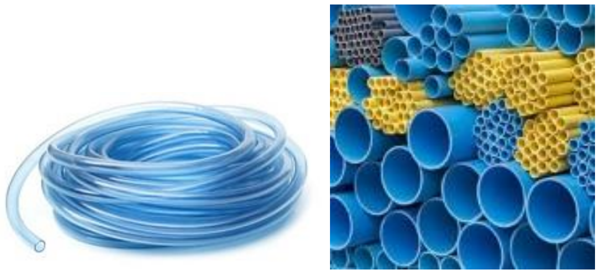
ที่มา: https://tinyurl.com/3wxsjdst

ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่กลุ่มโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตเครื่องแต่งกายและสินค้าอุปโภคบริโภคประเภทต่างๆ เส้นใยไนลอนแตกต่างจากเส้นใยอินทรีย์หรือกึ่งสังเคราะห์อื่นๆ ตรงที่เส้นใยไนลอนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าเส้นใยเหล่านี้ไม่มีพื้นฐานมาจากวัสดุอินทรีย์

ภาพประกอบ 8 พลาสติกประเภทไนลอน

ที่มา: https://www.contrado.co.uk/blog/what-is-nylon/

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) โดยทั่วไป PVC จะใช้ในของเล่น ห่อตุ่มพลาสติกห่อ ขวดผงซักฟอก แฟ้มเอกสาร ถุงเลือด และท่อทางการแพทย์ พลาสติกประเภทนี้เคยเป็นเม็ดพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากเป็นอันดับสองของโลก (รองจากโพลิเอทิลีน) ก่อนที่กระบวนการผลิตและการกำจัดพีวีซีจะถูกประกาศว่าเป็นสาเหตุของความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงและปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ในแง่ของความเป็นพิษ PVC ถือเป็นพลาสติกที่อันตรายที่สุด การใช้อาจปล่อยสารเคมีที่เป็นพิษหลายชนิด เช่น บิสฟีนอล เอ (BPA), ตะกั่ว, ไดออกซิน, ปรอท และแคดเมียม สารเคมีหลายชนิดที่กล่าวถึงอาจก่อให้เกิดมะเร็ง นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดอาการแพ้ในเด็กและรบกวนระบบฮอร์โมนของมนุษย์ PVS ไม่ค่อยได้รับการยอมรับจากโครงการรีไซเคิล นี่คือเหตุผลที่ PVC ดีกว่าที่จะหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายทั้งหมด



ภาพประกอบ 9 พลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์

ที่มา: https://tinyurl.com/3wxsjdst

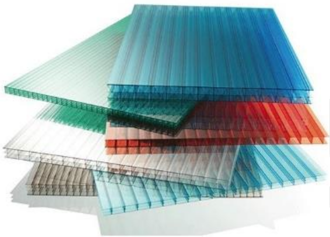
พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นเส้นใยที่ปราศจากริ้วรอย แตกต่างจากถุงพลาสติกที่เราเห็นทั่วไปตามซุปเปอร์มาร์เก็ต โพลิเมอร์พลาสติกประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ในการบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากความสามารถที่แข็งแกร่งในการป้องกันออกซิเจนไม่ให้เข้าไปและทำให้ผลิตภัณฑ์ภายในเน่าเสีย นอกจากนี้ยังช่วยไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มอัดลมออกไป

PET มักจะถูกหยิบขึ้นมาโดยโครงการรีไซเคิลแต่พลาสติกประเภทนี้มีแอนติโมนีไตรออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่ถือว่าเป็นสารก่อมะเร็งที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งในเนื้อเยื่อที่มีชีวิตได้ ยิ่งของเหลวถูกทิ้งไว้ในภาชนะ PET นานเท่าใด ศักยภาพในการปลดปล่อยแอนติโมนีก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น อุณหภูมิที่อุ่นภายในรถยนต์ โรงรถ และที่เก็บของแบบปิดก็สามารถเพิ่มการปล่อยสารอันตรายได้เช่นกัน

ภาพประกอบ 10 พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ที่มา: https://tinyurl.com/3wxsjdst

พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยืดและแรงกระแทก ได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นพลาสติกที่พบมากที่สุดในประเภทนี้ ไม่ได้ใช้มากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับบิสฟีนอล เอ (BPA) พีซีเป็นที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ: Lexan, Makrolon และ Makroclear PC มักใช้สำหรับขวดนมเด็ก ถ้วยหัดดื่ม ขวดน้ำ แกลลอนน้ำ กระป๋องโลหะสำหรับใส่อาหาร ภาชนะซอสมะเขือเทศ และวัสดุอุดหลุมร่องฟัน เนื่องจากความเป็นพิษ หลายประเทศจึงห้ามใช้ PC สำหรับขวดนมเด็กและบรรจุภัณฑ์สูตรสำหรับทารก



ภาพประกอบ 11 งพลาสติกประเภทพอลิคาร์บอเนต

ที่มา : https://tinyurl.com/3wxsjdst

2.2) เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (Thermosetting plastic) พลาสติกเทอร์โมเซต หรือที่เรียกว่าเทอร์โมเซตติงเรซินหรือเทอร์โมเซตติงโพลิเมอร์ มักเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อนหรือเติมสารเคมี มักจะผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาฉีดขึ้นรูป (RIM) หรือเรซินถ่ายโอนแม่พิมพ์ (RTM) และสร้างพันธะเคมีถาวรในระหว่างกระบวนการบ่ม พันธะเคมีเหล่านี้ระหว่างสายโซ่มอนอเมอร์ภายในวัสดุที่เรียกว่าครอสลิงค์ ยึดโมเลกุลให้อยู่กับที่และเปลี่ยนธรรมชาติของวัสดุ ป้องกันไม่ให้ละลายและกลับสู่สถานะของเหลว เมื่อได้รับความร้อนแล้ว พลาสติกเทอร์โมเซ็ตจะถูกทำให้อยู่ในรูปแบบเฉพาะ แม้ว่าการให้ความร้อนสูงเกินไปจะทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพโดยไม่เข้าสู่เฟสของไหล พลาสติกเทอร์โมเซ็ตเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในสถานการณ์ที่ความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่ง เช่น กับตัวเรือนและเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์แปรรูปทางเคมี เนื่องจากความสมบูรณ์ของโครงสร้างที่สูงกว่าและความทนทานต่อทั้งความร้อนและสารเคมี สามารถต้านทานการเสียรูปและแรงกระแทกได้ เทอร์โมเซ็ตทั่วไปประกอบด้วยอีพอกซีเรซิน พอลิเอไมด์และฟีนอลิก ซึ่งมักใช้ในวัสดุผสม

3. ผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบจากพลาสติกและไมโครพลาสติกเป็นที่สนใจของนักวิชาการในวงกว้าง โดยเฉพาะไมโครพลาสติกเพราะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกในแต่ละชนิดนั้นแตกต่างจากพลาสติกนั้น ๆ แต่ด้วยลักษณะที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มม. ทำให้เกิดการแพร่กระจายตัว และปนเปื้อนใน สิ่งแวดล้อมได้ในวงกว้างมากกว่าเดิม หากตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเพิ่มโอกาสการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตซึ่งทำให้เกิดผลกระทบอันสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น การเกิดรอยถลอกที่สร้างความเสียหายแก่เนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตหากรับเข้าสู่ร่างกาย การขัดขวางทางระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต การเพิ่มอัตราการเสียชีวิต การลดความสามารถทางการขยายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต ขัดขวางกระบวนการเมตาบอลิซึม การปลดปล่อยสารปนเปื้อนเติมแต่งอื่น ๆ ที่เป็นพิษออกมาด้วย และการเป็นตัวกลางแก่มลพิษอื่น ๆ ตัวอย่างที่ยกขึ้นมานี้เป็นผลกระทบที่ขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง ประเภทของพลาสติกที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นที่พบด้วย (Zhang et al., 2018)

มีรายงานการว่ากลืนกินไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิตในทะเลหลากหลายชนิดจากระดับโภชนาการที่แตกต่างกัน หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นว่าสิ่งมีชีวิตในทะเลที่มนุษย์บริโภคเข้าไปนั้นกินไมโครพลาสติกโดยตรงจากน้ำทะเลหรือจากระดับอาหารที่ต่ำกว่า ยืนยันว่าอนุภาคไมโครพลาสติกเหล่านี้ได้แทรกซึมเข้าไปในระบบ นิเวศทางทะเลและปัจจุบันถูกประเมินต่ำเกินไป15 เศษพลาสติกจะลอยผ่านน้ำทะเลหรือจมลงเมื่อถูกปกคลุมด้วยไบโอฟิล์ม และตกตะกอนในตะกอน อนุภาคพลาสติกทุกขนาดไม่เพียงแต่มีสารเติมแต่งเท่านั้น แต่ยังมีสารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น สารเคมีอินทรีย์ที่ถูกดูดซับจากน้ำทะเลโดยรอบ สารมลพิษเหล่านี้รวมถึงสารที่ตกค้างยาวนาน การสะสมทางชีวภาพ และสารที่เป็นพิษ (PBT) เช่น สารพอลีคลอริเนตเต็ดไบฟีนิล (PCB) และสารไดออกซิน เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของสารก่อมลพิษ สารปนเปื้อนเหล่านี้จึงมีความใกล้ชิดกับพลาสติกมากกว่าน้ำทะเลและตะกอนตามธรรมชาติ อนุภาคของไมโครพลาสติกดูเหมือนจะทำหน้าที่เป็นพาหะนำสารปนเปื้อนเหล่านี้ไปสู่สัตว์ป่า เมื่อสิ่งมีชีวิตในทะเลกินเข้าไป PBTs จะถูกปล่อยไปยังของเหลวในทางเดินอาหารและสามารถถ่ายโอนไปยังเนื้อเยื่อได้อสารเคมีเหล่านี้สามารถแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ ทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลที่สำคัญ และทำให้ต่อมไร้ท่อหยุดชะงักได้อนอกจากนี้ พลาสติกไม่เพียงแต่มีศักยภาพในการขนส่งสิ่งปนเปื้อนเท่านั้น แต่ยังสามารถเพิ่มการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย คณะของ Rist et al. (2016) พบว่า พลาสติกประเภทพอลิไวนิล คลอรีน หรือ PVC ขนาด 1–50 ไมโครเมตรส่งผลกระทบต่อการหายใจ การกรองอาหาร การสร้าง สารเมือก และเพิ่มอัตราการตายของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*: green

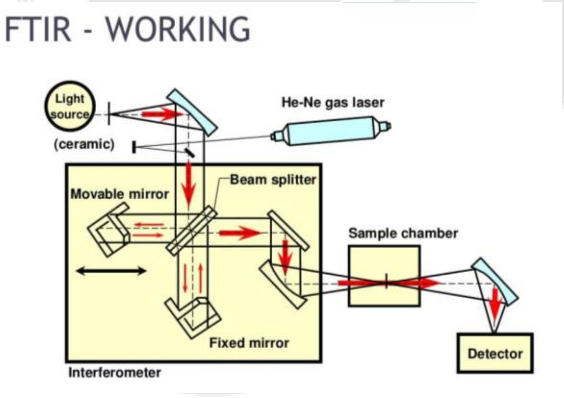
mussel) รวมไปถึงหอยนางรม (Ostrea edulis และ Mytilus edulis) ถูกรายงานว่าได้รับผลกระทบจากไมโครพลาสติกต่อระบบการกรองน้ำและอาหารโดยทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น (Green, Boots, O'Connor, & Thompson, 2017)

แม้ว่าจะมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องและหลากหลายเกี่ยวกับผลกระทบของไมโครพลาสติก แต่ยัง ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้โดยตรงถึงการประเมินผลกระทบที่แท้จริง เพราะยังต้องการจุดเชื่อมต่อระหว่างการศึกษาภาคสนามและการศึกษาเกี่ยวกับพิษวิทยานิเวศในห้องปฏิบัติการในกรณีที่ประเมินผลกระทบเฉพาะตัวของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำผิวดินเพียงอย่างเดียวอาจสามารถกล่าวได้ว่าผลกระทบดังกล่าวค่อนข้างต่ำแต่อย่างไรก็ตามหากมีการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ให้ลึกซึ้ง เช่น สัณฐานวิทยาของไมโครพลาสติก หรือการส่งผ่านและปนเปื้อนต่อไปยังห่วงโซ่อาหารร่วมด้วยก็อาจจะมีการส่งผลกระทบที่สูงขึ้นซึ่งต้องระมัดระวังต่อไป นอกจากนี้ไมโครพลาสติกยังสามารถแตกตัว ออกเป็นชิ้นที่เล็กกว่าเดิมได้อีกจนถึงขนาดที่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร เรียกว่า นาโนพลาสติก ("Nanoplastic should be better understood," 2019) ซึ่งพิจารณาว่าอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศมากกว่าไมโครพลาสติก และไม่สามารถตรวจสอบด้วยเครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์ทั่วไป แต่หากต้องใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างและ การวิเคราะห์ในขั้นที่สูงขึ้นไป การพบนาโนพลาสติกได้รับการยืนยันว่าสามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไป และลอยตัวอยู่ภายในวงวนขนาดใหญ่ในมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ (the North Atlantic Subtropical Gyre) (Hernandez, Yousefi, & Tufenkji, 2017)

2.1.11. เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

หลักการของเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปคโตรสโคปี(Fourier Transform Infrared Spectroscopy) FT-IR เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการทางวิชาการเพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างของโมเลกุลแต่ละตัวและองค์ประกอบของส่วนผสมของโมเลกุล FTIR สเปกโทรสโกปีใช้พลังงานอินฟราเรดกลางแบบมอดูเลตเพื่อตรวจหาตัวอย่าง แสงอินฟราเรดถูกดูดกลืนที่ความถี่เฉพาะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพลังงานพันธะการสั่นของอะตอมต่ออะตอมในโมเลกุล เมื่อพลังงานพันธะของการสั่นสะเทือนและพลังงานของแสงอินฟราเรดช่วงกลางมีค่าเท่ากัน พันธะจะสามารถดูดซับพลังงานนั้นได้ พันธะที่แตกต่างกันในโมเลกุลจะสั่นด้วยพลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงดูดซับรังสี IR ที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ตำแหน่ง (ความถี่) และความเข้มของแถบการดูดกลืนแสงแต่ละแถบจะส่งผลต่อสเปกตรัมโดยรวม ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของโมเลกุลนิยมใช้วิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ และใช้ได้ดีกับสารที่มีความบริสุทธิ์สูงทั้งที่อยู่ในรูปของแข็งของเหลว และก๊าซ (Movasaghi, Rehman, & ur Rehman, 2008)



ภาพประกอบ *12* แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy

ที่มา : https://pt.slideshare.net/aishuanju/ftir-45012578/6?smtNoRedir=1

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Browne et al. (2011) ได้ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียจากเครื่องซักผ้าในประเทศ และพบว่าเสื้อผ้าเพียงชิ้นเดียวสามารถผลิตเส้นใยได้มากกว่า 1900 เส้นต่อการซัก และได้ทำการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นเส้นทางสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งได้สกัดไมโครพลาสติกจากของเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานบำบัดและตรวจสอบการสะสมของไมโครพลาสติกในตะกอนน้ำเสียโดยเฉลี่ยในน้ำทิ้งมี   ไมโครพลาสติก 1 อนุภาคต่อลิตร ซึ่งรวมถึงโพลิเอสเตอร์ (67%) อะคริลิก (17%) และโพลิเอไมด์ (16%)

Napper and Thompson (2016) ได้ทำการตรวจสอบการปลดปล่อยเส้นใยสิ่งทอจากผ้าสามชนิดที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตเสื้อผ้า (Polyester, Polyester-Cotton, Acrylic) ผลปรากฏว่าการซักผ้า 6 กิโลกรัม สามารถปลดปล่อยเส้นใยได้ระหว่าง137,951–728,789 เส้นใยต่อการซัก ซึ่งบ่งชี้ว่าผลกระทบที่สำคัญของการซักจากผงซักฟอกสองชนิดและน้ำยาปรับผ้านุ่มหนึ่งชนิดนั้นเกี่ยวข้องกับระยะเวลาของการซักและความเร็วในการปั่น ตลอดจนอุณหภูมิ ผงซักฟอก และน้ำยาปรับผ้านุ่ม ซึ่งสามารถช่วยในการกำหนดว่าในการซักผ้าแต่ละครั้งสามารถช่วยลดการปลดปล่อยเส้นใยได้หรือไม่

Sillanpää and Sainio (2017) ได้ทำการหาจำนวนและมวลของเส้นใยสิ่งทอทั่วไปสองเส้นใยสิ่งทอ ที่ปล่อยจากการซักด้วยเครื่องตามลำดับไปยังท่อระบายน้ำ จำนวนและมวลของไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมาจากสิ่งทอโพลีเอสเตอร์และผ้าฝ้ายในการซักครั้งแรกแตกต่างกันไปในช่วง 2.1×10^{5} - 1.3×10^{7} และ 0.12 - 0.33% w/w ตามลำดับ ปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมามีแนวโน้มลดลงในการล้างตามลำดับการปล่อยโพลีเอสเตอร์และไมโครไฟเบอร์ต่อปีจากเครื่องซักผ้าในครัวเรือนอยู่ที่ประมาณ 154,000 และ 411,000 กิโลกรัม ตามลำดับ ทำการศึกษาในประเทศฟินแลนด์ที่มีประชากร 5,500,000 คน

De Falco et al. (2018) ได้ทำการตรวจสอบบทบาทของกระบวนการซักผ้าทอสังเคราะห์ต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติก วัดปริมาณการหลุดร่วงของไมโครไฟเบอร์จากผ้าใยสังเคราะห์ 3 ประเภท ได้แก่ โพลิเอสเตอร์แบบทอ โพลิเอสเตอร์แบบนิตติ้ง และโพรพิลีนทอ ในระหว่างการล้างการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์จากผ้าโพลีเอสเตอร์แบบทอ จากสารซักฟอก พารามิเตอร์การซัก

และการซักทางอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน จำนวนไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมาจากการซักโดยทั่วไปของผ้าโพลีเอสเตอร์ 5 กิโลกรัม มีมากกว่า 6,000,000 ชิ้น ขึ้นอยู่กับประเภทของผงซักฟอกที่ใช้ การใช้น้ำยาปรับผ้านุ่มในระหว่างการซักช่วยลดจำนวนไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมาได้มากกว่า 35%

De Felice, Antenucci, Ortenzi, and Parolini (2022) ได้ทำศึกษาการปลดปล่อยของไมโครไฟเบอร์สังเคราะห์ (โพลิเอสเตอร์-ฝ้าย) และไมโครไฟเบอร์จากธรรมชาติ (ฝ้าย ขนสัตว์) จากหน้ากากอนามัยที่ใช้ซ้ำได้และแบบใช้แล้วทิ้งของผ้าห้าชนิดที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้วงจรการซักด้วยเครื่องซักผ้าที่รอบการปั่นหมาดเท่ากัน หลังจากการซักหน้ากากอนามัยสามารถปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์โดยเฉลี่ยที่ 284.94 $\pm$ 73.66 โดยไม่ขึ้นกับเนื้อผ้า และพบว่าหน้ากากอนามัยที่ทำจากโพลียูรีเทน (Polyurethane) มีการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์ 541.33 $\pm$ 51.84 ไมโครไฟเบอร์และหน้ากากอนามัยแบบผ้าฝ้าย มีการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์ 823.00 $\pm$112.3 ไมโครไฟเบอร์ซึ่งเป็นปริมาณการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์สังเคราะห์และไมโครไฟเบอร์ธรรมชาติสูงสุดตามลำดับ จากการศึกษาการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์สังเคราะห์และไมโครไฟเบอร์ธรรมชาติ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติและนับจำนวนของไมโครพลาสติกจากการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือนที่ใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทเจลบอล โดยมีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 **ผ้าที่ใช้ในการทดลอง**

สำหรับผ้าที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโทเร (65% polyester 35% cotton) ผ้าTK (100% polyester)

ตาราง 2 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของผ้า	**ลักษณะ**
ผ้าฝ้าย 100% Cotton	
ผ้าโทเร (Torero) 65% Polyester 35% Cotton	
ผ้า TK 100% Polyester	

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 3 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
เครื่อง FT-IR ยี่ห้อPerkinElmer Scientific รุ่น Spectrum Two FT-IR Spectrometer	
เครื่องซักผ้า ยี่ห้อ Samsung รุ่น WA10T5260BY/ST ขนาดถังซัก 10 กิโลกรัม รอบปั่นหมาด 700 รอบ/นาที	
กล้องสเตอริโอ ไมโครสโคป	
ตู้อบ	
เครื่องกรองสาร	

ตาราง 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ (ต่อ)

เครื่องมือและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
ผงซักผ้า	
น้ำยาซักผ้า	
ซักด้วยเจลบอลชนิดที่ 1	
ซักด้วยเจลบอลชนิดที่ 2	
ซักด้วยเจลบอลชนิดที่ 3	

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ตาราง 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ (ต่อ)

เครื่องมือและอุปกรณ์	**ภาพประกอบ**
น้ำยาปรับผ้านุ่ม	[redacted]
ขวดน้ำขนาด 1 ลิตร	
ปากคีบ (Forceps)	
กระดาษ Whatman No 1	

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

1. นำผ้าทั้ง 3 ชนิด(ผ้าฝ้าย, ผ้าโทเร, ผ้าTK) จำนวน 5 กิโลกรัม แล้วนำไปซักที่เครื่องซักผ้าที่มีรอบการปั่น 700รอบ/นาที เป็นเวลา45 นาที ซักโดยการใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังนี้ (ด้วยผงซักผ้า 40 กรัม/ ซักด้วยน้ำยาซักผ้า 35 มิลลิลิตร / ซักด้วยเจลบอลซักผ้า 2 ก้อนเจล) จากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างของน้ำที่ได้จากขั้นตอนการซักผ้า 1 ลิตร และน้ำจากรอบการปั่นหมาด 1 ลิตร
2. นำผ้าที่ซักแล้วเติมน้ำล้างเพื่อล้างผ้า แล้วปั่นผ้าเป็นเวลา 10 นาที เก็บตัวอย่างน้ำจากขั้นตอนการล้างผ้าจำนวน 1 ลิตร และน้ำจากการปั่นหมาด 1 ลิตร
3. เติมน้ำยาปรับผ้านุ่มปริมาณ 30 มิลลิลิตร แล้วปั่นในเครื่องซักผ้าเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างของน้ำที่ได้จำนวน 1 ลิตร และน้ำจากการปั่นหมาดอีก 1 ลิตร
4. ทำในทำนองเดียวกันกับการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทอื่น ๆ

3.3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างน้ำจากการซักทั้งหมด (น้ำจากการซัก, การปั่นแห้ง, น้ำจากการล้างผ้า, การปั่นแห้ง, น้ำจากน้ำยาปรับผ้านุ่ม, การปั่นแห้ง) กรองด้วยกระดาษ Whatman No 1 นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 20 นาที หรือทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้อง
2. นำตัวอย่างที่ได้ไปจรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ หรือ สเตอริโอไมโครสโคป (Stereo-microscope) มีสังเกตสี ขนาด ความยาวโดยแยกออกเป็นแบบ Fiber หรือแบบ Fragment นับจำนวนและจดบันทึกข้อมูล (ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดสีของผ้าแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบเส้นใยที่ได้จากการซักว่าเป็นผ้าชนิดใด)
3. จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งพีคและชนิดของไมโครพลาสติก รวมทั้งหาหมู่ฟังก์ชันของไมโครพลาสติกที่ได้จากการวิเคราะห์

3.3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วัดความแตกต่างของปริมาณ (เช่น จำนวนไมโครไฟเบอร์ทั้งหมด และจำนวนไมโครไฟเบอร์/กรัมของเส้นใย) และความยาวของไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมาจากผ้าชนิดต่าง ๆ หลังจากการซักในเครื่องซักผ้าในครัวเรือน ใช้การทดลอง One-Way ANOVA โดยการเปรียบเทียบแบบคู่ โดยใช้การทดสอบ Tukey's HSD test และใช้ความเชื่อมั่น 95% ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของไมโครพลาสติกที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการซักที่ใช้น้ำยาซักผ้าที่ต่างประเภทกัน โดยใช้ซอฟต์แวร์สถิติ SPSS

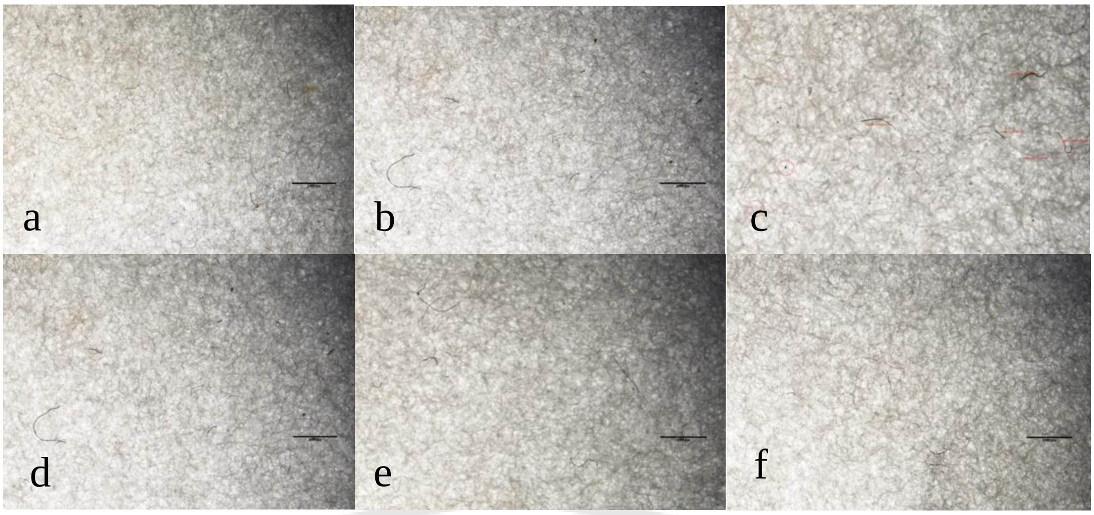
บทที่ 4
ผลและอภิปรายผล

ในการทดลองนี้ได้ทำการควบคุมปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการปลดปล่อยของเส้นใย โดยการเลือกชนิดของผ้าที่แตกต่างกันรวมไปถึงสีของชนิดผ้าเพื่อให้ง่ายต่อการจำแนกชนิดของผ้าและเส้นใยไมโครพลาสติกว่าหลุดร่วงมาจากผ้าชนิดใน ทำการซักด้วยน้ำเปล่าโดยการแช่น้ำทิ้งไว้ 15 นาที ก่อนการซักครั้งแรก โดยไม่มีการปั่นหรือบิดผ้า เพื่อลดการเสียดสีของเนื้อผ้าที่อาจจะส่งต่อการลุดร่วงของเส้นใย รวมไปถึงมีการควบคุมเวลาการการซัก เวลาในการปั่นภายใต้เครื่องซักผ้า และเวลาเดียวกัน รวมไปถึงก่อนการซักทุกครั้งจะทำการล้างเครื่องซักผ้าก่อนการซักเพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนของเส้นใยจากการซักก่อนหน้า เพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนและอาจส่งผลคลาดเคลื่อนต่อการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างของผ้าด้วยเทคนิค FTIR พบว่าตำแหน่งพีคในสเปกตรัมของผ้าแต่ละชนิดของตัวอย่างมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไปตามหมู่ฟังก์ชั่น ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบแล้วพบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างของผ้า ตามวัสดุของเส้นใยที่ผลิตคือ เส้นใยจากธรรมชาติ ได้แก่ ผ้าฝ้าย (Cotton 100%) เส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ผ้าพอลิเอสเตอร์ (Polyester 100%) และผ้าโทเร (Polyester 65% + Cotton 35%) ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชั่นของผ้า Cotton และ หมู่ฟังก์ชั่นของผ้า Polyester ดังภาพสเปกตรัมที่ปรากฏในภาพที่ 7 ภาพที่ 8 และภาพที่ 9

ภาพประกอบ 13 ผ้าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ a) ผ้าฝ้าย b) ผ้าพอลิเอสเตอร์ c) ผ้าโทเร

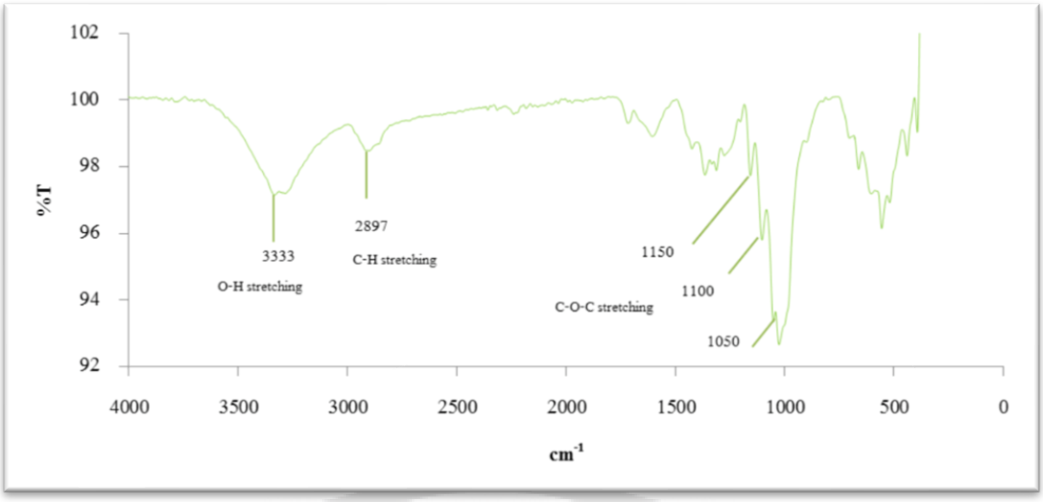


ภาพประกอบ 14 จำนวนเส้นใยที่ได้จากการกรองภายใต้กล้องสเตอริโอ ไมโครสโคป

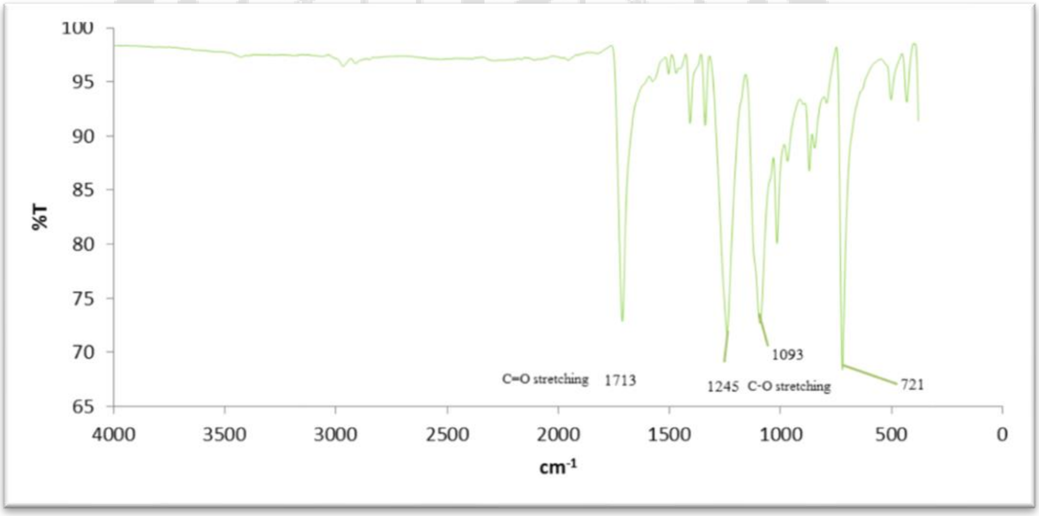
a) ซักด้วยน้ำเปล่า b) ซักด้วยผงซักฟอก c) ซักด้วยน้ำยาซักผ้า d) ซักด้วยเจลบอล 1
e) ซักด้วยเจลบอล 2 f) ซักด้วยเจลบอล

ตาราง 4 หมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏของผ้าแต่ละชนิด

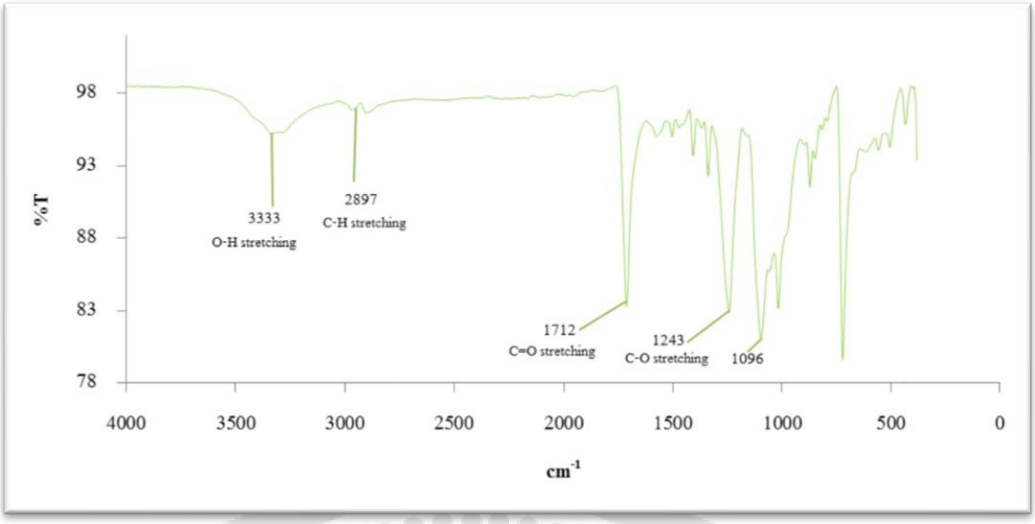
กลุ่มที่	ผ้า	หมู่ฟังก์ชั่น
กลุ่มที่ 1 ผ้า Cotton	ผ้าฝ้าย Cotton 100%	- ที่ความยาวคลื่น 3333 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น O-H stretching - ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1}, และ1150 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C-O-C stretching - ที่เลขคลื่น 2897 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C-H stretching
กลุ่มที่ 2 ผ้า Polyester	ผ้าโพลิเอสเตอร์ Polyester 100%	- ที่ความยาวคลื่น 1713 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C=O stretching ซึ่งเป็นหมู่ของ ester เป็นหมู่ฟังก์ชั่น - ที่ความยาวคลื่น 1245 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C-O stretching และหมู่ฟังก์ชั่นของ C-H bending
กลุ่มที่ 3 ผ้าผสม	ผ้าโทเร (Toray) Polyester 65% + Cotton 35%	- ที่ความยาวคลื่น 3333 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น O-H stretching - ที่ความยาวคลื่น 2897 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C-H stretching - ที่ความยาวคลื่น 1712 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C=O stretching ซึ่งเป็นหมู่ของ ester - ที่ความยาวคลื่น 1243 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชั่น C-O stretching



ภาพประกอบ 15 Infrared spectrum ของผ้าฝ้าย (Cotton 100%)



ภาพประกอบ 16 Infrared spectrum ของผ้าโพลิเอสเตอร์ (Polyester 100%)



ภาพประกอบ 17 Infrared spectrum ของผ้าผสม Polyester 65% + Cotton 35%

4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นใยไมโครพลาสติกที่พบด้วยเทคนิค FTIR

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการซักผ้าชนิดที่ต่างกันรวมไปถึงการใช้น้ำยาซักผ้าและผงซักฟอกที่ต่างกันในครัวเรือนอาจแสดงถึงการเพิ่มไมโครพลาสติก ไมโครไฟเบอร์สังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติในระบบบำบัดน้ำที่ตัวกรองไม่สามารถกรองได้เข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

4.2.1 ไมโครพลาสติกที่ได้จากการซัก

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าค่าต่าง ๆ ของสิ่งทอ ซึ่งรวมถึงประเภทของผ้า ประเภทของเส้นใยและโครงสร้างของสิ่งทอ อาจส่งผลต่อการปล่อยไมโครพลาสติก ไมโครไฟเบอร์ระหว่างการซัก ดังนั้น พารามิเตอร์เดียวกันสามารถส่งผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติก ไมโครไฟเบอร์จากเสื้อผ้าที่ใช้ การศึกษานี้แสดงให้เห็นจากการซักผ้าในครัวเรือนที่ใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าแตกต่างกันสามารถปลดปล่อยจำนวนของไมโครไฟเบอร์หลังการซักโดยไม่ขึ้นกับชนิดของผ้า ปริมาณของไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับชนิดของผ้าที่ใช้ทดสอบและสภาวะการซัก/ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผ้า โดยสามารถแยกเป็นการซักด้วยการใช้น้ำเปล่าปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์ 63เส้นใย ผงซักฟอก 295 เส้นใย น้ำยาซักผ้า 220 เส้นใย ซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 1 136 เส้นใย ซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 2 126 เส้นใย และซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 3 148 เส้นใย โดยพบปริมาณของไมโครไฟเบอร์ที่ซักด้วยผงซักฟอกมีปริมาณการปลดปล่อยที่มากที่สุด (ตารางที่ 6)

ตาราง 5 จำนวนเส้นใยไมโครพลาสติกในขั้นตอนการซัก

ชนิดผ้า	ประเภทผลิตภัณฑ์ที่ใช้					
	น้ำเปล่า	ผงซักฟอก	น้ำยาซักผ้า	เจลบอล 1	เจลบอล 2	เจลบอล 3
ผ้าฝ้าย	18.00±1.00	58.33±1.53	49.00±2.00	35.67±2.08	31.33±2.08	33.67±5.03
ผ้าพอลิเอสเตอร์	24.00±1.00	160.33±1.53	114.67±4.04	52.00±4.58	49.00±2.00	51.00±2.00
ผ้าโทเร	21.00±2.00	76.33±1.53	56.67±1.53	48.33±1.53	45.67±1.53	64.00±3.00
รวม	63	295	220	136	126	148

การปลดปล่อยจำนวนเส้นใยไมโครไฟเบอร์จากการซักด้วยผงซักฟอก สามารถอธิบายได้ เมื่อพิจารณาว่าไมโครไฟเบอร์ประกอบด้วยสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ซีโอไลต์ (Zeolites) ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียดสีกับเนื้อผ้า นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่ปล่อยออกมายังสัมพันธ์กับค่า pH ที่สูงขึ้นของผงซักฟอกอีกด้วย แม้ว่าผงซักฟอกที่มีส่วนผสมกับอัลคาไลน์(Alkaline) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดคราบ แต่ก็มีข้อมูลบ่งชี้ว่าสารดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดความเสียหายทางเคมีบนผ้าโพลิเอสเตอร์ได้ด้วยวิธีไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่พื้นผิวอย่างช้า ๆ ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้เมื่อพิจารณาระหว่าผงซักฟอกและพารามิเตอร์การซัก เวลาของการซัก ที่อาจทำให้ผ้าสัมผัสเสียดสีกันนานขึ้น โดยส่วนใหญ่จะพบไมโครพลาสติกที่ได้จากกระบวนการในขั้นตอนการซักด้วย ที่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกมากกว่าขั้นตอนอื่น ๆ ทั้งการล้าง และการปั่นหมาด

ตาราง 6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การก่อเกิดไมโครพลาสติกเมื่อเทียบกับการซักด้วยผงซักฟอก

ชนิดผ้า	น้ำเปล่า	ผงซักฟอก	น้ำยาซักผ้า	เจลบอล 1	เจลบอล 2	เจลบอล 3
ผ้าฝ้าย	-	69.14%	-19.05%	-63.55%	-86.17%	-73.27%
ผ้าพอลิเอสเตอร์	-	85.03%	-39.83%	-208.33%	-227.21%	-314.38%
ผ้าโทเร	-	72.49%	-34.71%	-57.93%	-67.15%	-19.27%

จากตารางจะเห็นได้ว่าอันตราการก่อเกิดจำนวนของไมโครพลาสติกต่อการซักผ้าเมื่อเทียบการซักด้วยผงซักฟอกเทียบกับการซักด้วยน้ำเปล่า อัตราการก่อเกิดเฉลี่ยสูงมากกว่า 70% และเมื่อเทียบกับการซักผงซักฟอกกับการซักด้วยผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มีอัตราการเกิดลดลง

และพบว่าชนิดผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน โดยเส้นใยผ้าที่มีส่วนประกอบของพอลิเอสเตอร์ส่วนใหญ่มีการปลดปล่อยที่สูงมากว่าผ้าผสมหรือผ้าฝ้ายถึงแม้ว่าการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์ของผ้าฝ้ายจะต่ำกว่าผ้าชนิดอื่นแต่ก็ยังคงสูงมากเช่นกัน อาจเกิดจากความทนทานที่ต่ำกว่าหรือองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างของเส้นใยที่ประกอบเป็นผ้าฝ้ายเมื่อเทียบกับผ้าใยสังเคราะห์ ความจริงแล้วความสามารถในการละลายน้ำของเส้นใยเซลลูโลสอาจส่งต่อความสามารถในการเปียกน้ำของเส้นใยผ้าฝ้ายในระหว่างการซัก

ช่วยเพิ่มการหลุดร่วงออกจากเนื้อผ้า นอกจากนี้การเสียดสีของผ้าฝ้ายระหว่างการซักยังมีมาก เนื่องจากเส้นใยมีการพองตัวและสร้างเส้นใยที่อาจแตกได้จากการกระทำทางกลหรือแรงทางกายภาพของกระบวนการซัก

แม้ว่าเส้นใยธรรมชาติจะไม่ถือว่าเป็นพลาสติก แต่อาจเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากการแพร่กระจายเป็นวงกว้าง ตลอดจนความสามารถในการดูดซับสารเคมีและส่งเสริมการกระจายตัวของเส้นใย เส้นใยผ้าฝ้ายที่เข้าสู่แหล่งน้ำจืดอันเป็นผลมากจากการสึกหรอของผ้าหรือจากการซัก แสดงให้เห็นได้ทั่วไปในน้ำทิ้ง ดังนั้นการตรวจสอบเส้นใยผ้าฝ้ายจึงมีความสำคัญในการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมพอๆ กับเส้นใยสังเคราะห์ ในความเป็นจริงแม้ว่าไมโครไฟเบอร์จากผ้าฝ้ายจะสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่ผ้าฝ้ายมักได้รับการเคลือบผิวเพื่อการใช้งานรวมถึงสารปรับความนุ่มเพื่อให้รู้สึกสบายมือ แรงกดที่ทนทานต่อรอยยับและความคงตัวของเนื้อผ้า การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวมีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของเส้นใยฝ้าย (Zambrano, Pawlak, Daystar, Ankeny, & Venditti, 2021) ส่งผลให้เกิดการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อมและอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาจำนวนมากได้แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสไมโครไฟเบอร์สังเคราะห์ที่มีขนาดแตกต่างกันและองค์ประกอบพอลิเมอร์สามารถถูกกลืนกินโดยสิ่งมีชีวิตในน้ำ ตั้งแต่สัตว์จำพวกครัสเตเชียนไปจนถึงปลา ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับไมโครไฟเบอร์จากธรรมชาติ แต่พฤติกรรมความเป็นพิษต่อระบบนิเวศที่คล้ายคลึงกันไม่สามารถแยกออกได้

4.2.2 การวิเคราะห์เส้นใยที่ได้จากการซักโดยใช้เทคนิค FTIR

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของเส้นใยที่ได้จากกระบวนการซักด้วยเทคนิค FTIR พบว่าตำแหน่งพีคในสเปกตรัมของเส้นใยแต่ละชนิดของตัวอย่างที่พบมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไปตามหมู่ฟังก์ชั่น ดังนี้ PVA (Polyvinyl Alcohol) ซึ่งเป็นไมโครพลาสติกที่ที่เคลือบเจลบอล มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ สามารถละลายน้ำได้ พบส่วนมากในการซักด้วยเจลบอลชนิดต่าง ๆ PE (Polyethylene) ที่พบมากส่วนใหญ่ได้จากกในการซักด้วยผงซักฟอกที่มีไมโครบีดส์เป็นองค์ประกอบ และได้จากผ้าที่มีพอลิเอสเตอร์เป็นองค์ผลิต PL (Polyester) พบได้ส่วนมากจากเส้นใยที่ปลดปล่อยออกมานิยมใช้ในการผลิตเสื้อผ้าส่วนใหญ่ CO (Cotton) เส้นใยที่ได้จากผ้าฝ้ายแสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 7 ชนิดและจำนวนของไมโครพลาสติกจากการบ่งชี้ด้วย FT-IR

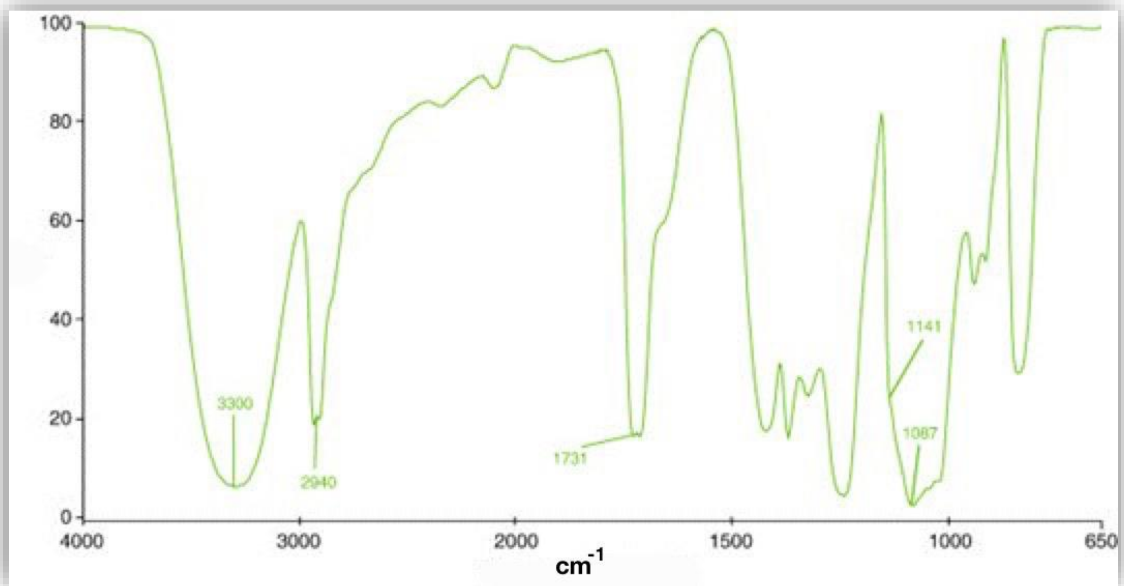
ประเภทการซัก	**ชนิดของไมโครพลาสติก**			
	PVA (Polyvinyl Alcohol)	PE (Polyethylene)	PL (Polyester)	CO (Cotton)
น้ำเปล่า	-	20.67±1.53	29.00±4.36	18.00±1.00
ผงซักฟอก	-	94.67±2.52	147.67±3.06	58.33±1.53
น้ำยาซักผ้า	-	51.00±1.00	118.33±7.36	49.00±2.00
เจลบอล 1	44.33 ±2.52	25.67±1.53	28.33±2.52	35.67±2.08
เจลบอล 2	51.00 ±2.00	24.33±3.06	27.33±2.08	31.33±2.08
เจลบอล 3	38.67 ±0.58	31.67±0.58	30.33±3.21	33.67±5.03
รวม	134	248	381	226

จะเห็นได้ว่าจำนวนของไมโครพลาสติกที่ได้จากการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันนั้น ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน ในการซักด้วยผงซักฟอกและน้ำยาซักผ้าที่มีไมโครบีดส์เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะพบชนิดของพลาสติกจำพวก PL และ PE ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำไมโครบีดส์ ซึ่งไมโครบีดส์นี้นั้นมีขนาดเล็กกว่าหน่วย 1 มิลลิเมตร บางแห่งก็ว่าเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร แต่อาจจะทำออกมาได้เล็กกว่านั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน วัตถุประสงค์ที่

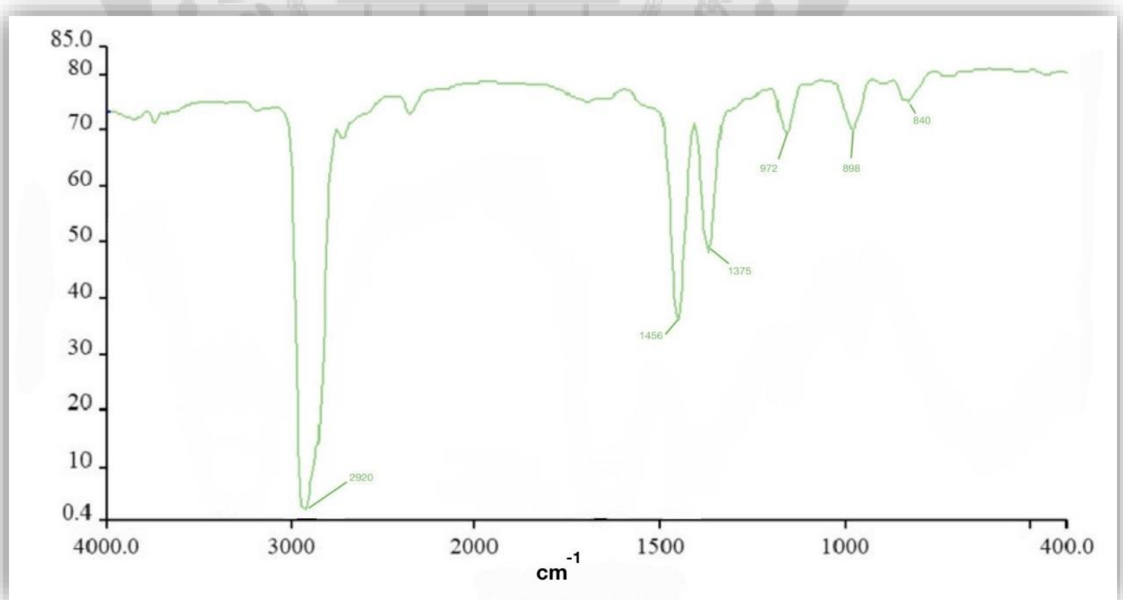
ไมโครบีดส์ได้ถูกคิดค้นให้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และผงซักฟอก เพราะเชื่อว่ามีคุณสมบัติช่วยสครับผิว ทำความสะอาดผิวในระดับลึกกว่าการขัดฏธรรมดา แต่ก็มีหลายการทดสอบบอกว่าเป็นอันตรายกับผิวมากกว่า โดยทำให้ผิวอักเสบและเป็นรอยได้ง่าย แต่ก็ยังได้รับความนิยมนำมาใช้อยู่มาก แต่หลายประเทศก็ได้ออกกฎหมายห้ามใช้ผลิตภัณฑ์ที่ใส่ไมโครบีดส์

สำหรับการซักด้วยเจลบอลชนิดต่าง ๆ นั้น ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเจลบอลมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทน้ำยาซักผ้า แต่มีการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA) ที่เป็นไมโครพลาสติกที่ใช้ในการเคลือบเจลบอล พบว่าปริมาณการพบ PVA ในการซักด้วยผลิตภัณฑ์ประเภทเจลบอลชนิดต่าง ๆ สูงกว่าการซักด้วยผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องจากว่า PVA เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เจลบอลซักผ้าที่มีลักษณะคล้ายฟิล์มบาง ๆ ละลายน้ำได้ดี ซึ่งพลาสติกชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับสารเคมี สารปนเปื้อนอันตรายหรือโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง และไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ โดยผ่านโรงงานบำบัดน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม นำมาใช้ในการแพ็คบรรจุน้ำยาซักผ้า น้ำยาสลายคราบสกปรกฝังแน่น รวมทั้ง น้ำยาที่ช่วยถนอมเนื้อผ้าให้หอมและนุ่มไปในตัว ซึ่งในปัจจุบันมีการนิยมใช้เจลบอลซักผ้ากันหลากหลายมากยิ่งขึ้น ทำให้ไมโครพลาสติกประเภทพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีการสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมมีประมาณมากยิ่งขึ้น อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อนิเวศทางสิ่งแวดล้อม แต่เมื่อเทียบกับการปลดปล่อยจำนวนเส้นใยไมโครไฟเบอร์ทั้งหมดเทียบกับการซักแบบอื่น ๆ การซักด้วยเจลบอลทั้งสามชนิด พบว่าการปลดปล่อยเส้นใยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการซักด้วยผงซักฟอกและการซักด้วยน้ำยาซักผ้า แต่มีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับการซักโดยใช้เพียงน้ำเปล่า เนื่องจากในตัวของผลิตภัณฑ์เจลบอลบางชนิดมีการแบ่งสัดส่วนปริมาณของน้ำยาที่ใช้ซักและปริมาณของของน้ำยาปรับผ้านุ่มไปในตัว ซึ่งมีการทดลองว่าการใช้น้ำยาปรับผ้านุ่มในระหว่างการซักนั้นสามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยจำนวนของไมโครไฟเบอร์ลงได้มากถึง 35% เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยออกมาระหว่างการภายใต้สภาวะเดียวกันเพียงใช้แต่น้ำยาซักผ้าเท่านั้น

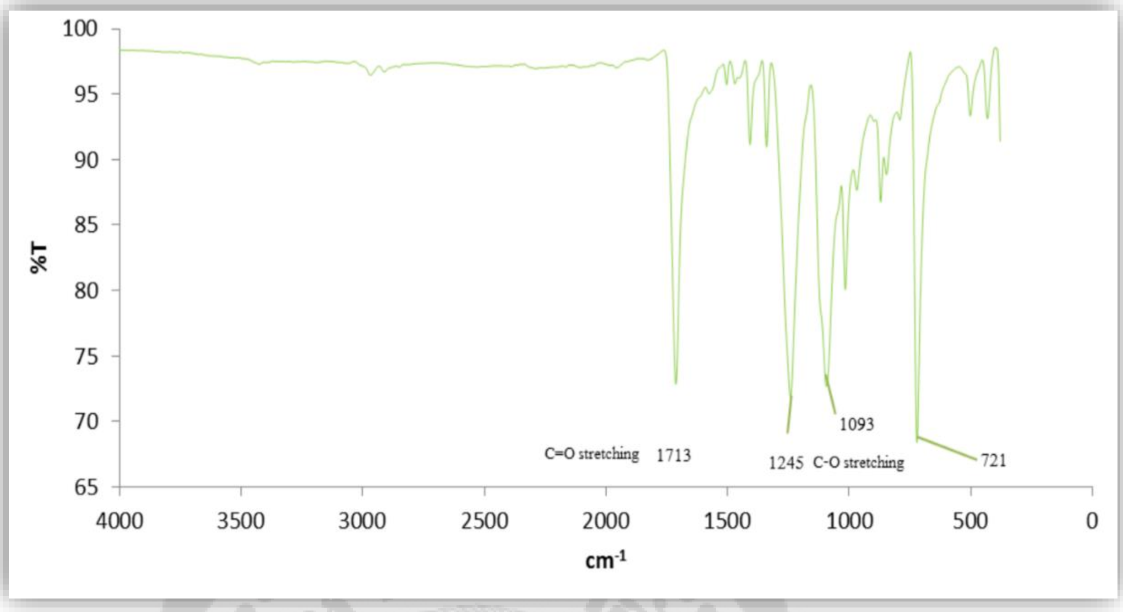
และเมื่อเทียบกับการซักด้วยน้ำเปล่ากับการใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทต่าง ๆ แล้วนั้น การซักด้วยน้ำเปล่าก่อให้เกิดไมโครพลาสติกน้อยที่สุดในการซัก แต่ก็ยังคงก่อให้เกิดไมโครพลาสติกเช่นกัน เนื่องจากว่าเส้นใยของเสื้อผ้านั้นมีส่วนประกอบของไมโครพลาสติกเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ ที่อาจลุดร่วงมาในระหว่างการกระบวนการซัก ปั่น ล้าง ที่มีการเสียดสี ฉีกขาดของตัวเนื้อผ้าและเส้นใยของเนื้อผ้าเอง



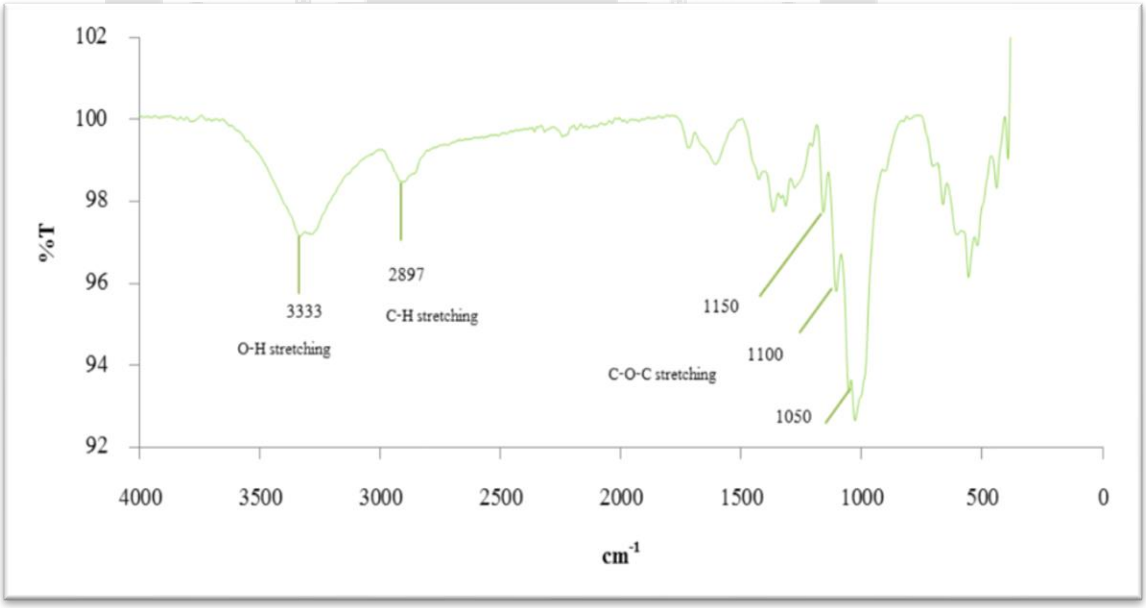
ภาพประกอบ 18 Infrared spectrum ของ PVA (Polyvinyl Alcohol)



ภาพประกอบ 19 Infrared spectrum ของ PE (Polyethylene)



ภาพประกอบ 20 Infrared spectrum ของ PL (Polyester)



ภาพประกอบ 21 Infrared spectrum ของ CO (Cotton)

4.2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานที่ 1 ชนิดผ้าและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน

H_0 : ชนิดผ้าและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน

H_1 : ชนิดผ้าและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 8 การวิเคราะห์เกี่ยวกับประเภทการซักและชนิดของผ้า

การปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติก		Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
ชนิดของผ้า	Between Groups	11.500	16	.719	1.438	.583
	Within Groups	.500	1	.500		
	Total	12.000	17			
ผลิตภัณฑ์ซักผ้า	Between Groups	50.500	16	3.156	1.578	.562
	Within Groups	2.000	1	2.000		
	Total	52.500	17			

จากตาราง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติก มีค่า Sig. สูงกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก(H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) หมายความว่าชนิดผ้าและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่ไม่แตกต่างกัน

แสดงให้เห็นว่าจากการซักผ้าทั้งหมดการปลดปล่อยเส้นใยในระหว่างการซักของผ้าแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันถึงแม้ว่าปริมาณของการปลดปล่อยของเส้นใยไมโครพลาสติกถ้าดูจากจำนวนการซักด้วยผงซักฟอกให้ปริมาณการปลดปล่อยเส้นใยที่มากที่สุดถึง 291 เส้นใย แต่ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการปลดปล่อยเส้นใยการการซักด้วยน้ำเปล่าที่มีการปลดปล่อยเส้นใยเพียง 62 เส้นใย แสดงให้เห็นในการซักการปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของผ้าและผลิตภัณฑ์ซักผ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมมติฐานที่ 2 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน

H_0 : ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน

H_1 : ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยไมโครพลาสติกที่ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 9 การวิเคราะห์เกี่ยวกับชนิดของผ้าและประเภทของไมโครพลาสติก

การปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติก		Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
ผลิตภัณฑ์ซักผ้า	Between Groups	62.500	18	3.472	2.315	.180
	Within Groups	7.500	5	1.500		
	Total	70.000	23			
ประเภทของไมโครพลาสติก	Between Groups	19.000	18	1.056	.480	.885
	Within Groups	11.000	5	2.200		
	Total	30.000	23			

จากตาราง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การปลดปล่อยเส้นใยไมโครพลาสติก มีค่า Sig. สูงกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก(H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) หมายความว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการปลดปล่อยของเส้นใยไมโครพลาสติกที่ไม่แตกต่างกัน

แสดงให้เห็นว่าจากการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันสามารถปลดปล่อยประเภทของเส้นใยไมโครพลาสติกที่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ ประเภทของผลิตภัณฑ์ซักผ้าส่งผลต่อการก่อเกิดประเภทของเส้นใยไมโครพลาสติกไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการซักด้วยน้ำเปล่าก่อให้เกิดประเภทของเส้นใยไมโครพลาสติกไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าอื่น ๆ แม้ว่าการซักด้วยน้ำเปล่าจะไม่พบพลาสติกประเภท PVA ซึ่งส่วนใหญ่พบได้จากการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทเจลบอล แต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบการซักด้วยประเภทอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แม้ว่าการทดสอบทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการปลดปล่อยของประเภทพลาสติกกับประเภทของการซักจะแสดงผลไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในความเป็นจริงปริมาณของเส้นในที่พบเมื่อเทียบกับการซักด้วยน้ำเปล่าเปรียบเทียบกับการซักด้วยผลิตภัณฑ์อื่น ๆ การซักด้วยน้ำเปล่าก่อให้เกิดไมโครพลาสติกน้อยกว่าชนิดอื่น พบว่าการซักด้วยผงซักฟอกก่อให้เกิดไมโครพลาสติก

มากที่สุดถึง 291 เส้นใย และส่วนใหญ่พบพลาสติกจำพวกพอลิเอสเตอร์ (PL) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญของเม็ดบีดส์ซักผ้าที่พบมากที่สุดในระหว่างการซัก การซักด้วยน้ำยาซักผ้าพบไมโครพลาสติกรองลงมาจากการซักด้วยผงซักฟอก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีส่วนประกอบของเม็ดบีดส์ซักผ้าเช่นเดียวกันกับผงซักผ้า ทำให้พลาสติกส่วนใหญ่ที่พบจากการซักด้วยน้ำยาซักผ้าเป็นพลาสติกจำพวกพอลิเอสเตอร์ (PL) ที่มากถึง 121 เส้นใย ในการซักด้วยเจลบอลชนิดต่าง ๆ พบไมโครพลาสติกและจำนวนการปลดปล่อยเส้นใยที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากส่วนประกอบของเจลบอลส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยน้ำ ทำให้พบไมโครพลาสติกที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการซักด้วยผงซักฟอกและน้ำยาซักผ้า แต่พบว่าการซักด้วยเจลบอลทั้งสามชนิด ก่อเกิดไมโครพลาสติกและก่อเกิดเส้นใยพลาสติกมากว่าการซักด้วยน้ำเปล่า โดยที่กรซักด้วยเจลบอลจะพบพลาสติกจำพวก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นหลักพบมากถึง 47 39 และ49 ตามลำดับเมื่อเทียบกับเจลบอลชนิดที่1 เจลบอลชนิดที่2 และเจลบอลชนิดที่3 ซึ่งเหตุผลที่พบพลาสติกชนิดนี้มากที่สุดเนื่องจากว่าองค์ประกอบของเจลบอลทำจากพลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เป็นพลาสติกฟิล์มบาง ๆ ใช้ในการเคลือบเจลบอล เมื่อเมื่อละลายน้ำจะก่อให้เกิดพลาสติกชนิดขึ้น จึงเป็นเหตุให้พบพลาสติกชนิดนี้ในเฉพาะการซักด้วยเจลบอล

จะเห็นได้ว่าจากการทดลองการเก็บตัวอย่างของน้ำในแต่ละขั้นตอนทั้งการ ซัก ล้าง และปั่นแห้ง นั้นเก็บตัวอย่างละเพียง 1ลิตร ก็สามารถก่อให้เกิดไมโครพลาสติกเป็นจำนวนในการซักผ้าแต่ละครั้งของครัวเรือนใช้ปริมาณเฉลี่ยมากถึง 50-100ลิตรต่อการซักหนึ่งครั้ง ซึ่งประเทศไทยมีถึง 21,404,086 ครัวเรือน แสดงว่าการซักเพียงหนึ่งครั้งก็ก่อให้เกิดจำนวนของไมโครพลาสติกเป็นจำนวนมาก ซึ่งไมโครพลาสติกเป็นพลาสติกมีผลกระทบเป็นวงกว้างทั้งต่อมนุษย์ สัตว์หรือสิ่งมีชีวิตในทะเล สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

บทที่ 5
สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้จัดทำการศึกษาของการปลดปล่อยไมโครพลาสติกจากกระบวนการซักผ้าในครัวเรือน เพื่อศึกษาจำนวน ขนาด สี และชนิดของไมโครพลาสติกที่ปล่อยออกจากการซักผ้าในครัวเรือน ภายใต้การซักของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผ้าฝ้าย,ผ้าผ้าโพลิเอสเตอร์ และผ้าโทเรจากกระบวนการซักที่น้ำยาซักผ้าที่ต่างประเภทกัน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

การศึกษาทางกายภาพของไมโครพลาสติก จากการซักด้วยผงซักฟอก มีความสามารถในการปลดปล่อย เส้นใยไมโครพลาสติกได้มากกว่าการซักด้วยน้ำยาซักฟอกและการซักด้วยเจลบอล เนื่องจากเม็ดบีดส์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่ช่วยในการขจัดคราบสกปรก เนื่องจากไม่สามารถละลายน้ำได้ อีกทั้งยังมีขนาดที่เล็กมาก ทำให้มันยังสามารถไปเสียดสีกับเส้นใยของผ้าและอาจทำให้เส้นใยผ้ามีการฉีดขาดได้ มีการเสียดสีของเสื้อผ้าเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดก่อแตกหักของเส้นใยและเส้นใยไมโครพลาสติกสามารถปลดปล่อยจำนวนของไมโครไฟเบอร์ โดยสามารถแยกเป็นการซักด้วยการใช้น้ำเปล่าเพียงอย่างเดียวปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์ 62 เส้นใย ซักด้วยผงซักฟอก 295 เส้นใย ซักด้วยน้ำยาซักผ้า 220 เส้นใย ซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 1 136 เส้นใย ซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 2 126 เส้นใย และซักด้วยเจลบอลซักผ้าชนิดที่ 3 148 เส้นใย โดยพบปริมาณของไมโครพลาสติกที่ซักด้วยผงซักฟอกมีปริมาณการปลดปล่อยที่มากที่สุด และการใช้เจลบอลพบว่ามีไมโครพลาสติกลดลงมากกว่า 65% เมื่อเทียบกับการซักด้วยผงซักฟอก

จากผ้าทั้ง 3 ชนิด ผ้าพอลิเอสเตอร์มีการปลดปล่อยไมโครไฟเบอร์จำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าชนิดอื่นภายใต้สภาวะการซักเดียวกัน และพบว่าจากตัวอย่างการซักโดยใช้ผลิตภัณฑ์ซักฟอกทั้งหมดส่วนใหญ่เป็นพลาสติกจำพวกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (13.54%) พอลิเอทิลีน (23.97%)พอลิเอสเทอร์ (39.12%) และเส้นใยจากฝ้าย (23.37%) ที่มีขนาดเล็กและสามารถหลุดรอดจากตัวกรองในเครื่องซักผ้าและไปปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และส่งผลกระทบอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเส้นใยไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กและสามารถเล็ดลอดหรือหลุดผ่านตัวกรองในเครื่องซักผ้าและไปปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ สามารถถูกกินโดยแพลงก์ตอนหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และเข้าสู่สายใยอาหารของมนุษย์ แสดงให้เห็นว่าการซักผ้าในครัวเรือน มีส่วนทำให้ปริมาณไมโครพลาสติกสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการสะสมของไมโครพลาสติกเหล่านั้นในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตรวมถึงระบบนิเวศ จึงควรให้ความใส่ใจต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ชะล้างทำความสะอาดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าไมโครพลาสติกเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแถบทุก

ประเทศของโลกและยังคงเป็นปัญหาที่ต้องการงานวิจัยเพื่อให้ได้วิธีการและกระบวนการที่สามารถนำไปใช้ในการลดปริมาณของไมโครพลาสติกเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ลดปริมาณการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม หรือกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังมีความจำเป็นต้องศึกษาในเชิงลึกในด้านต่าง ๆ เช่น การสะสม การส่งถ่ายไมโครพลาสติกในห่วงโซ่อาหาร และผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการได้รับไมโครพลาสติกทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังในสิ่งมีชีวิต

ข้อเสนอแนะ

ไมโครพลาสติกที่ได้จากกระบวนการซักผ้า และวัสดุซักผ้าที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการก่อเกิดไมโครพลาสติกเป็นจำนวนมาก ทุกครัวเรือนจึงมีโอกาสที่จะทำให้ไมโครพลาสติกก่อเกิดและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เราควร

1. เลือกใช้ชนิดผ้าที่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกน้อย หรือส่งผลต่อการปล่อยปล่อยไมโครพลาสติกน้อย การซักผ้าด้วยผ้าฝ้ายมีอัตราการปลดปล่อยเส้นใยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผ้าชนิดอื่น แต่การใช้ผ้าฝ้ายที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดเส้นใยธรรมชาติเป็นฯจำนวนมากเช่นกัน แม้ว่าเส้นใยธรรมชาติจะไม่ใช้พลาสติกแต่ก็ยังคงมีสารเคลือบผิวผ้าที่เป็นมลพิษเช่นเดียวกัน

2. เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกน้อย จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการซักด้วยเจลบอลมีอัตราการก่อเกิดไมโครพลาสติกน้อยเมื่อเทียบกับการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทผงซักฟอกและน้ำยาซักผ้า

3. ใช้อุปกรณ์ดักจับไมโครไฟเบอร์ในเครื่องซักผ้า เช่น ถุงกรองเส้นใย หรือกระดาษกรองในทุกการซักร่วมกับใช้ถุงซักผ้า Guppy friend ซึ่งผลิตจากวัสดุพิเศษที่สามารถกรองไมโครไฟเบอร์โดยปล่อยน้ำซึมผ่านได้ หรือมีการติดตั้งเครื่องกรองไมโครไฟเบอร์ก่อนปล่อยน้ำทิ้งจากเครื่องซักผ้า

บรรณานุกรม

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology,* 45(21), 9175-9179.

De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., . . . Villalba, R. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution,* 236, 916-925.

De Felice, B., Antenucci, S., Ortenzi, M. A., & Parolini, M. (2022). Laundering of face masks represents an additional source of synthetic and natural microfibers to aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment,* 806, 150495.

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research,* 75, 63-82.

Grancio, M., & Williams, D. (1970). The morphology of the monomer–polymer particle in styrene emulsion polymerization. *Journal of Polymer Science Part A*-1: *Polymer Chemistry,* 8(9), 2617-2629.

Green, D. S., Boots, B., O'Connor, N. E., & Thompson, R. (2017). Microplastics Affect the Ecological Functioning of an Important Biogenic Habitat. *Environ Sci Technol,* 51(1), 68-77.

Hernandez, L. M., Yousefi, N., & Tufenkji, N. (2017). Are There Nanoplastics in Your Personal Care Products? *Environmental Science & Technology Letters,* 4(7), 280-285.

Horton, A. A., & Dixon, S. J. (2018). Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water,* 5(2), e1268.

Kemsawasd, V. (2016). ไมโคร พลาสติก: จาก เครื่องสำอาง สู่ สาร ป น เปื้อน ใน อาหาร. *Thai Journal of Toxicology,* 31(1), 50-61.

McIlwraith, H. K., Lin, J., Erdle, L. M., Mallos, N., Diamond, M. L., & Rochman, C. M. (2019). Capturing microfibers–marketed technologies reduce microfiber emissions

from washing machines. *Marine Pollution Bulletin,* 139, 40-45.

Movasaghi, Z., Rehman, S., & ur Rehman, D. I. (2008). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews,* 43(2), 134-179.

Nanoplastic should be better understood. (2019). *Nat Nanotechnol,* 14(4), 299.

Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin,* 112(1-2), 39-45.

Rist, S. E., Assidqi, K., Zamani, N. P., Appel, D., Perschke, M., Huhn, M., & Lenz, M. (2016). Suspended micro-sized PVC particles impair the performance and decrease survival in the Asian green mussel Perna viridis. *Mar Pollut Bull,* 111(1-2), 213-220.

Sillanpää, M., & Sainio, P. (2017). Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. *Environmental Science and Pollution Research,* 24(23), 19313-19321.

THAMMAJONG, S., & Supalaknari, S. (2020). *ATR-FTIR ANALYSIS OF FABRICS AND THEIR THERMALLY TREATED SAMPLES FOR FORENSIC EXAMINATION.* Silpakorn University.

Xu, B., Pourdeyhimi, B., & Sobus, J. (1993). Fiber cross-sectional shape analysis using image processing techniques. *Textile research journal,* 63(12), 717-730.

Zambrano, M. C., Pawlak, J. J., Daystar, J., Ankeny, M., & Venditti, R. A. (2021). Impact of dyes and finishes on the aquatic biodegradability of cotton textile fibers and microfibers released on laundering clothes: Correlations between enzyme adsorption and activity and biodegradation rates. *Marine Pollution Bulletin,* 165, 112030.

Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2018). Microplastic pollution in China's inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Science of The Total Environment,* 630, 1641-1653.

สุกฤตา ปุณยอุปพัทธ์, S. P.-p., & ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, P. P.-p. (2019). ไมโครพลาสติก : จุดกำเนิด ผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และ วิธีการจัดการ MICROPLASTICS : ORIGIN, ENVIRONMENTAL IMPACT, ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND MANAGEMENT METHODS. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT,* 15(2), 88-105.

อัมพฤกษ์, จ. ว. (2012). การ วิเคราะห์ เส้นใย ธรรมชาติ และ เส้นใย สังเคราะห์ ใน งาน ทาง นิติวิทยาศาสตร์ โดย *Fourler Trunsform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติผู้เขียน