การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer

โดย
ร้อยตำรวจโทหญิงธารารัตน์ แจ่มจำรัส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer

โดย
ร้อยตำรวจโทหญิงธารารัตน์ แจ่มจำรัส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

BLOODSTAIN DETECTION ON DIFFERENT LAUNDRY DETERGENT WASHEDFABRICS WITH KASTLE-MEYER METHOD

By

Police Lieutenant Thararat JAEMJAMRAS

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer
โดย	ร้อยตำรวจโทหญิงธารารัตน์ แจ่มจำรัส
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกหญิง ดร. ศิริพร นุชสำเนียง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกหญิง ดร. ศิริพร นุชสำเนียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร. นพรุจ ศักดิ์ศิริ)

640720082 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : คราบเลือด วิธีทดสอบ Kastle-Meyer ผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ร้อยตำรวจโทหญิง ธารารัตน์ แจ่มจำรัส: การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกหญิง ดร. ศิริพร นุชสำเนียง

คราบเลือดบนเสื้อผ้าถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญสำหรับการสืบสวนสอบสวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคดีฆาตกรรม การพบคราบเลือดบนเสื้อผ้าผู้ต้องสงสัยสามารถเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับผู้เสียหาย และสถานที่เกิดเหตุ จนกระทั่งนำไปสู่การจับกุมคนร้ายได้ แต่ในบางครั้งผู้ก่อเหตุจงใจปกปิดการกระทำความผิดโดยการนำเสื้อผ้าเปื้อนคราบเลือดไปซักทำความสะอาด ทำให้ไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดบนเสื้อผ้าได้ ซึ่งอาจทำให้ผู้เก็บรวบรวมวัตถุพยานมองข้ามพยานหลักฐานชิ้นสำคัญนี้ไป งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่า ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 โดยผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ตามลำดับ ในขณะที่ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน (ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%) และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14 ,21 และ 28 วัน) มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน

640720082 : Major (FORENSIC SCIENCE)
Keyword : Bloodstain Kastle-Meyer test Laundry detergent

Police Lieutenant Thararat JAEMJAMRAS : Bloodstain detection on different laundry detergent washedfabrics with Kastle-Meyer method Thesis advisor : Associate Professor Police Colonel Dr. Siriporn Nuchsamnieng

Bloodstains on clothing are important witnesses in investigations, especially in murder cases. Bloodstains on a suspect's clothes can connect the suspect to the victim and the scene of the crime, leading to an arrest. Sometimes, perpetrators deliberately cover up their crimes by washing their clothes stained with blood to remove any visible blood stains. It may cause the collectors to overlook this important piece of evidence. Therefore, this study aims to compare the discoloration times of the Kastle-Meyer reagent on blood-stained fabrics washed with different detergents and period after washing. The results revealed that different laundry detergents had different discoloration times of Kastle-Meyer reagent at a statistically significant .05 level. Bleach and active oxygen laundry detergent had the highest time for the reagent color change, followed by silver nanoparticles laundry detergent, standard laundry detergent, and stain remover, respectively. While different fabric types (100% cotton, 100% polyester, and 65% polyester mixed with 35% cotton) and length (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21, and 28 days) had no difference in color change period of the reagents.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพันธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณทั้งหลายที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะ ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่มอบให้ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร.นพรุจ ศักดิ์ศิริ และ รองศาสตรจารย์พันตำรวจเอกหญิง ดร.ศิริพร นุชสำเนียง ซึ่งเป็นผู้ที่คอยช่วยเหลือให้ความสนับสนุน คอยติดตามความคืบหน้า ตลอดจนชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ที่ได้เสียสละเวลามีส่วนช่วยสนับสนุน ให้คำแนะนำ และเติมเต็มให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ผู้วิจัยได้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณภาวิดา ภู่ทอง นักเทคนิคการแพทย์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างเลือดสำหรับงานวิจัย และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณร้อยตำรวจเอกหญิง วรวรรณ เสาวรส กลุ่มงานตรวจทางเคมีฟิสิกส์ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 ที่ให้ข้อแนะนำในการตรวจวิเคราะห์สีจากภาพเคลื่อนไหวและภาพถ่าย ร้อยตำรวจเอกทยาวีร์ ร่มแก้ว พี่ ๆ เพื่อน ๆ กลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัยตลอดจนแรงผลักดันในการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นำไปสู่ความสำเร็จของงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณปิยาภา จันทร์มล เจ้าหน้าที่สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินการด้านเอกสารตลอดจนให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัว และผู้มีพระคุณทุกท่านรวมถึงบุคคลที่มิได้เอ่ยนาม ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ร้อยตำรวจโทหญิง ธารารัตน์ แจ่มจำรัส

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 สมมติฐานการวิจัย 3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น 5
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 8
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด 8
2.2 การตรวจพิสูจน์คราบเลือด 17
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผ้าและเส้นใย 26
2.4 ผลิตภัณฑ์ทำซักผ้าและการทำความสะอาดผ้า 30
2.5 ความรู้ทั่วไปเที่ยวกับระบบการวัดสี 40
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 44

2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย 50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 51
3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย 51
3.2 การเลือกตัวอย่างสำหรับงานวิจัย 52
3.3 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 52
3.4 วิธีการทดลอง 58
3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล 62
บทที่ 4 ผลการทดลอง 64
4.1 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 66
4.2 การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 70
4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยสถิติเชิงพรรณา 71
4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย 85
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 90
5.1 สรุปผลการวิจัย 91
5.2 อภิปรายผล 97
5.3 ข้อเสนอแนะ 102
รายการอ้างอิง 104
ประวัติผู้เขียน 108

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 รูปแบบต่าง ๆ ของ Phenolphthalein เมื่อ pH เปลี่ยนไป 19

ตารางที่ 2 สรุปประเด็นที่ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 49

ตารางที่ 3 จำนวนผ้าแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง 55

ตารางที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง 56

ตารางที่ 5 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าฝ้าย 100% 66

ตารางที่ 6 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% 67

ตารางที่ 7 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% 68

ตารางที่ 8 จำนวน ความถี่ และร้อยละของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก 70

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน 72

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ 74

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว 76

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน 78

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน 80

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแปลผล ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า 82

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดผ้า 83

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามระยะเลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ 84

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบด้วย Kolmogorov-Smirnov Test 85

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test 86

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอันดับระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบรายคู่ จำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า 87

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้าด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test 88

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามระยะเวลาหลังซักด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test 88

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 องค์ประกอบของเลือด 9
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเม็ดเลือดแดง 10
ภาพที่ 3 รูปร่างของเม็ดเลือดแดง (a) และ โครงสร้างของฮีโมโกลบิน (b-c) 10
ภาพที่ 4 อนุพันธ์ของ Hemoglobin 12
ภาพที่ 5 กระบวนการทำลายเม็ดเลือดแดง 13
ภาพที่ 6 เม็ดเลือดขาวชนิด Granulocytes ที่พบในกระแสเลือด 15
ภาพที่ 7 เม็ดเลือดขาวชนิด Agranulocytes ที่พบในกระแสเลือด 16
ภาพที่ 8 โครสร้างของ Hydrogen peroxide 20
ภาพที่ 9 การเกิดปฏิกิริยาของคราบเลือดเมื่อทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 (A) และการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalin เมื่อทำปฏิกิริยากับ O_2 ที่ได้จากการสลาย H_2O_2 (B) 21
ภาพที่ 10 การเกิดปฏิกิริยาของคราบเลือดเมื่อทำปฏิกิริยากับ Leucomalachite green 21
ภาพที่ 11 กลไกลการเกิดสารเรืองแสงของ Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับคราบเลือด 22
ภาพที่ 12 โครงสร้างของ Tetramethylbenzidine 23
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสีของ Tetramethylbenzidine เมื่อทำปกิริยากับเลือด 24
ภาพที่ 14 การแปรผลของชุดทดสอบ SERATEC® HemeDirect Hemoglobin Assay 25
ภาพที่ 15 หลอดเก็บตัวอย่างของชุดทดสอบ Hexagon OBTI และผลบวกของชุดทดสอบ 26
ภาพที่ 16 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยฝ้าย 27
ภาพที่ 17 รูปร่างตามขวางและลักษณะของเส้นใยฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 28
ภาพที่ 18 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 29
ภาพที่ 19 รูปร่างตามขวางและลักษณะของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 30
ภาพที่ 20 กลไกการขจัดสิ่งสกปรกของผลิตภัณฑ์ซักผ้า 34

ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ซักผ้ากับตัวแปรต่าง ๆ 34
ภาพที่ 22 โครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวของสารลดแรงตึงผิว 35
ภาพที่ 23 reflectance curve ของวัตถุสีต่าง ๆ 42
ภาพที่ 24 การทดลองหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน (color – matching experiment) 43
ภาพที่ 25 ระบบค่าสี CIELAB แสดง L* a* และ b* 43
ภาพที่ 26 กรอบแนวคิดการวิจัย 50
ภาพที่ 27 การกำหนดจุดบนผ้าตัวอย่าง 54
ภาพที่ 28 กล่องควบคุมแสง 57
ภาพที่ 29 การวัดค่าแสดงด้วยแอปพลิเคชั่นบริเวณจุดวางผ้าตัวอย่าง 57
ภาพที่ 30 การตัดแบ่งผ้าตัวอย่างก่อนทดสอบด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 59
ภาพที่ 31 สมการคำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 60
ภาพที่ 32 ขั้นตอนการทดลอง 61
ภาพที่ 33 วิธีดำเนินการวิจัย 63
ภาพที่ 34 ความเข้มสี CIELAB ของค่า a* ที่ 1-25 เมื่อหยดน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ลงบนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าต่างชนิด 69
ภาพที่ 35 สมการคำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 69
ภาพที่ 36 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน 73
ภาพที่ 37 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ 75
ภาพที่ 38 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว 77
ภาพที่ 39 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน 79

ภาพที่ 40 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน 81

ภาพที่ 41 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า 82

ภาพที่ 42 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดของของผ้า 83

ภาพที่ 43 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามระยะเวลาหลังซัก 84

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาอาชญากรรมเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในสังคมทุกยุคทุกสมัย ไม่ว่าจะเป็นลักทรัพย์ ยาเสพติด ฆาตกรรม ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และอื่น ๆ โดยคดีที่สร้างความสะเทือนขวัญให้กับสังคมมากที่สุดคือ คดีความผิดเกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย และเพศ ซึ่งฐานความผิดดังกล่าวรวมถึงคดีฆ่าผู้อื่น ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความตาย พยายามฆ่า ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และคดีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ ที่เก็บรวบรวมการรับแจ้งเหตุตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 ตุลาคม 2564 คดีฐานความผิดเกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย และเพศมีการรับแจ้ง 12,773 คดี แบ่งเป็น คดีฆ่าผู้อื่น 937 คดี, ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความตาย 360 คดี พยายามฆ่า 1,457 คดี ทำร้ายร่างกาย 2,685 คดี ข่มขืนกระทำชำเรา 1,341 คดี และคดีอื่น ๆ 5,993 คดี (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2564) ซึ่งการก่อเหตุลักษณะดังกล่าวหลักฐานสำคัญที่อาจจะหลงเหลืออยู่ในที่เกิด หรือแม้กระทั่งติดไปกับผู้เสียหาย หรือผู้ก่อเหตุ คือ “คราบเลือด”

คราบเลือด ถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการสืบสวนทาง นิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้ในการยืนยันตัวบุคคลได้ผ่านการตรวจพิสูจน์ดีเอ็นเอ และจากการประเมินขอบเขต ลักษณะคราบเลือด ปริมาณ รูปร่าง และการกระจายตัวของเลือดในที่เกิดเหตุ ยังสามารถนำไปสู่การจำลองเหตุอาชญากรรมขึ้นมาใหม่ได้ ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ลักษณะของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเท่านั้นที่ต้องคำนึงถึง คราบเลือดที่ติดไปกับเสื้อผ้าของผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ดังกล่าวทั้งผู้ต้องสงสัย และผู้เสียหายก็สำคัญไม่แพ้กัน (Hofmann et al., 2019) แต่ในหลายคดีผู้ก่อเหตุอาจมีการล้างทำความสะอาดสถานที่เกิดเหตุ รวมไปถึงซักเสื้อผ้าที่ใช้ในการก่อเหตุเพื่ออำพรางคดีให้เหมือนว่าตนไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคดีนั้น ๆ ทำให้ผู้ตรวจสถานที่เกิดเหตุหรือผู้ตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดที่อยู่บนเสื้อผ้านั้นและอาจมองข้ามวัตถุพยานชิ้นสำคัญนี้ไป เช่น คดีฆ่าหั่นศพแม่ยัดตู้เย็น ปี 2562 ซึ่งลูกชายของผู้ตายที่ป่วยเป็นโรคซึมเศร้าเป็นคนลงมือฆ่าแม่ของตนเองพร้อมทั้งแยกชิ้นส่วนไปแช่ไว้ในตู้เย็น จากนั้นจึงทำความสะอาดห้องน้ำ อาวุธมีดที่ใช้รวมทั้งเสื้อผ้าที่ใช้ในการก่อเหตุ ภายหลังเพื่อนของแม่มาพบศพที่เก็บไว้ในตู้เย็นจึงใช้อาวุธปืนยิงตนเองและเสียชีวิตในเวลาต่อมา (ไทยรัฐออนไลน์, 2562) ทั้งนี้เทคนิคด้านนิติวิทยาศาตร์ในปัจจุบัน

สามารถตรวจสอบคราบเลือดและคราบเลือดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (คราบเลือดแฝง) เบื้องต้นได้หลายวิธี เช่น วิธีทดสอบ Kastle-Meyer (KM) หรือวิธี Phenolphthalein วิธี Leucomalachite green วิธี Tetramethylbenzidine วิธี Orthotolidine วิธี Luminol และวิธี Bluestar เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองของ Cox (1991) แสดงให้เห็นว่า การทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และวิธี Orthotolidine มีความไวสูงแต่มีความจำเพาะน้อยกว่าวิธี Phenolphthalein สอดคล้องกับผลการทดลองของ (สวรส ปุริมโน, 2555) ที่พบว่าวิธีการทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และ Phenolphthalein สามารถตรวจหาคราบเลือดได้ดีกว่าวิธี Luminol และ Bluestar

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซัก เช่น งานวิจัยของ (Sapan et al., 2021) ได้ศึกษาการระบุตัวบุคคลจากคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยเครื่องซักผ้าที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C ยังสามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า แต่คราบเลือดบนผ้าไนลอนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ที่อุณหภูมิ 60°C ทั้งนี้ผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนที่ซักด้วยอุณหภูมิ 90°C ไม่สามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามการตรวจสอบคราบโลหิตเบื้องต้นด้วย Luminol ให้ผลบวกกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C 60°C และ 90°C ในขณะที่ผ้าไนลอนให้ผลบวกที่ 40°C และ 60°C เท่านั้น และเมื่อนำคราบเลือดดังกล่าวไปตรวจสอบรูปแบบดีเอ็นเอ พบว่าทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนสามารถตรวจพบรูปแบบดีเอ็นเอที่เพียงพอในการระบุยืนยันตัวบุคคลได้เมื่อผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C แสดงให้เห็นว่าแม้เสื้อผ้าเปื้อนเลือดจะผ่านการซักที่อุณหภูมิสูงถึง 60°C ยังสามารถตรวจพบคราบเลือดได้ด้วยวิธีทดสอบเบื้องต้น ทั้งยังนำไปสู่การตรวจหาดีเอ็นเอและระบุตัวคนร้ายได้ในที่สุด ดังนั้นการตรวจหาคราบเลือดเบื้องต้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกหลักฐานและระบุตำแหน่งบริเวณที่สามารถตรวจหาดีเอ็นเอได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีการพัฒนาเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานของผู้บริโภคที่ต้องการประสิทธิภาพในการขจัดคราบฝังแน่นรวมทั้งกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดที่วางขายอยู่ทั่วไปย่อมมีความสามารถในการขจัดคราบเลือดต่างกันออกไป ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Daud และ Sundrum (2019) ที่ศึกษาการตรวจคราบเลือดบนผ้าต่างชนิดหลังซักด้วยสารซักฟอกที่วางขายในประเทศมาเลเซียด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer แสดงให้เห็นว่าสารซักฟอก Dynamo มีร้อยละการขจัดคราบเลือดในผ้าทั้ง 6 ชนิดสูงสุด ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดคราบเลือดของผลิตภัณฑ์

ซักผ้าแต่ละชนิดเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเก็บตัวอย่างวัตถุพยานที่เกี่ยวข้องในสถานที่เกิดเหตุ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าบางประเภทที่มีส่วนผสมของ Active Oxygen สามารถให้ผลลบปลอมในการทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธี Phenolphthalein และ Luminol แม้จะยังคงสามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งการที่ไม่สามารถตรวจพบและระบุตำแหน่งคราบเลือดได้นั้น อาจหมายถึงการสูญเสียหลักฐานชิ้นสำคัญที่สุดไป (Castelló et al., 2009)

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศไทยมีการพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานของผู้บริโภคมากขึ้น โดยการเพิ่มเติมสารบางอย่างลงไปในผลิตภัณฑ์ซักผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักผ้าได้ดียิ่งขึ้น เช่น สารกำจัดเชื้อโรค สารขจัดคราบ สารเพิ่มความหอม เป็นต้น ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบคราบเลือดหลังซักบนผ้าต่างชนิดเท่านั้น ยังไม่มีการเปรียบเทียบการตรวจพบคราบเลือดหลังซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดที่วางขายในประเทศไทย รวมทั้งยังไม่มีการศึกษาระยะเวลาหลังซักต่อการตรวจพบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer ทั้งนี้การศึกษาส่วนใหญ่ยังวิเคราะห์ผลการทดสอบเป็นผลบวกหรือลบเท่านั้น ไม่มีการศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาการตรวจหาคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer โดยเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ภายใต้เงื่อนไขชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกระบวนการพิสูจน์หลักฐานและการสืบสวนสอบสวนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ชนิดของผ้าที่ต่างกัน และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3.2 ชนิดของผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3.3 ระยะเวลาหลังซักต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment study) มีแบบแผนการทดลองแบบ Static-Group Comparison เลือกกลุ่มตัวอย่างมามากกว่า 2 กลุ่ม โดยไม่มีการสุ่ม กำหนดให้มีกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ให้ Treatment กับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แล้ววัดผลหลังการทดลอง

1.4.2 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย คือ ตัวอย่างเลือดของผู้วิจัย ซึ่งได้รับการตรวจร่างกายเป็นประจำทุกปี และไม่มีภาวะโลหิตจาง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่หาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาด และตัวอย่างผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% เป็นผ้าสำหรับใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

1.4.3 ขอบเขตด้านตัวแปร

1) ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1.1) ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า กำหนดให้

1 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

2 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

3 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

4 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

5 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

1.2) ชนิดของผ้า

1 = ผ้าฝ้าย 100%

2 = ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%

3 = ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%

1.3) ระยะเวลาหลังการซัก โดยเริ่มทดสอบคราบเลือดทันทีหลังซักเป็นวันที่ 0 จากนั้นทดสอบคราบเลือดหลังซักวันที่ 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer มีหน่วยเป็นวินาที

3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่

3.1) ปริมาณเลือด 20 ไมโครลิตร/จุด

3.2) ระยะเวลาทิ้งให้เลือดแห้ง 24 ชั่วโมง

3.3) ชนิดและโปรแกรมของเครื่องซักผ้า ใช้เครื่องซักผ้าฝาหน้า โปรแกรมการซัก 39 นาที อุณหภูมิ 40°C ความเร็วรอบ 1,200 rpm

3.4) ชนิดของน้ำที่ใช้ซักผ้า ใช้น้ำประปา

3.5) ปริมาณผลิตภัณฑ์ซักผ้าตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์

1.4.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา

1) ระยะเวลาในการทดลอง ระหว่างเดือน กันยายน 2565 ถึง ตุลาคม 2565 รวมระยะเวลา 1 เดือน

2) ระยะเวลาในการวิเคราะห์ผล เดือน พฤศจิกายน 2565 ถึง มกราคม 2566 รวมระยะเวลา 3 เดือน

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.5.1 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ สังเกตการเปลี่ยนสีจากใสไม่มีสี เป็นสีชมพูอมม่วงเท่านั้น

1.5.2 เครื่องซักผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องซักผ้าฝาหน้าที่มีอายุการใช้งานประมาณ 1 ปี มีการใช้งานโดยเฉลี่ยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง และสามารถใช้งานได้ปกติในชีวิตประจำวัน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 คราบเลือด หมายถึง รอยเปื้อนของเลือดที่ติดอยู่ตามวัสดุต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ หมายถึง คราบเลือดบนผ้าที่สามารถมองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1.6.2 ผลิตภัณฑ์ซักผ้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดผ้า ในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ช่วยเพิ่มการขจัดคราบติดแน่นในเนื้อผ้า โดยมีส่วนประกอบของสารเคมีที่สามารถแตกตัวให้ออกซิเจนอิสระเป็นส่วนประกอบสำคัญ เช่น Sodium carbonate peroxyhydrate หรือ Sodium percabonate ($Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$)

2) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ช่วยเพิ่มการขจัดคราบติดแน่นในเนื้อผ้า โดยมีส่วนประกอบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นส่วนประกอบสำคัญ

3) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ช่วยเพิ่มการขจัดคราบติดแน่นในเนื้อผ้าช่วยให้ผ้าขาว ขาวสะอาดยิ่งขึ้น โดยมีส่วนประกอบของสารเคมีที่สามารถแตกตัวให้คลอรีนอิสระเป็นส่วนประกอบสำคัญ เช่น Sodium hypochlorite (NaOCl)

4) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซักผ้าและกำจัดเชื้อโรค

5) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีส่วนประกอบของสารเคมีทั่วไปสำหรับการซัก ได้แก่ Sodium carbonate, Anionic Surfactant, Zeolite, Sodium carboxymethylcellulose และ/หรือ Optical brightener โดยไม่มีส่วนประกอบสำคัญอื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดคราบ

1.6.3 ผ้า หมายถึง สิ่งที่ได้จากการนำวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมาสานหรือทอจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จกล่าวถึงผ้า 3 ชนิด ดังนี้

1) ผ้าฝ้าย 100% หมายถึง ผ้าที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100%

2) ผ้ายโพลีเอสเตอร์ 100% หมายถึง ผ้าที่ทำจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 100%

3) ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% ผ้าที่ทำจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ผสมกับเส้นใยฝ้าย ในอัตราส่วนร้อยละ 65:35

1.6.4 การซักผ้า หมายถึง การทำความสะอาดหรือขจัดคราบเลือดบนผ้าด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน หรือไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้า ด้วยเครื่องซักผ้าตามโปรแกรมของเครื่องซักผ้าที่กำหนดไว้

1.6.5 การตรวจหาคราบเลือด หมายถึง การตรวจหาคราบเลือดเบื้องต้นโดยวิธีทางเคมี เช่น Luminal, Bluestar, Leucomalachite green, Benzidine, O-tolidine, Reduced Phenolphthalein (Kastle-Meyer test) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

1.6.6 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ หมายถึง ระยะเวลาหลังจากหยดน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ลงบนตัวอย่างแล้วน้ำยาทดสอบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมม่วง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยในครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1.7.1 ประโยชน์ทางด้านวิชาการ

เพื่อให้มีองค์ความรู้เกี่ยวกับการตรวจหาคราบเลือดแฝงบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยวิธีการตรวจคราบเลือดเบื้องต้น ตลอดจนชนิดของสารซักฟอกและระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับนำมาตรวจสอบคราบเลือด

1.7.2 ประโยชน์ทางด้านการประยุกต์ใช้

ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเก็บและตรวจสอบวัตถุพยานประเภทเสื้อผ้าที่ผ่านการซักของกลุ่มงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ และกลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ รวมทั้งพนักงานสอบสวนที่เกี่ยวข้องกับคดี ส่งผลให้มีการเก็บและตรวจพิสูจน์หลักฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยไม่สูญเสียหลักฐานชิ้นสำคัญในคดีไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการในบทนี้ เป็นการประมวลและสังเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับคราบเลือด และวิธีตรวจหาคราบเลือด รวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจหาคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด โดยผู้วิจัยได้กำหนดประเด็นในการศึกษา ดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด

2.2 การตรวจพิสูจน์คราบเลือด

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผ้าและเส้นใย

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ซักผ้าและการทำความสะอาดผ้า

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบการวัดสี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด

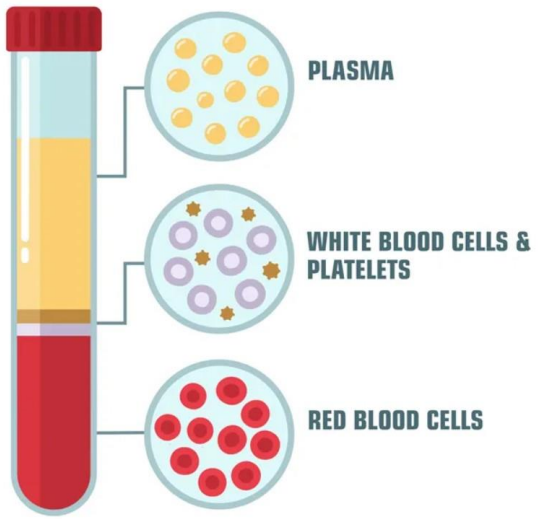
ในส่วนนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อย่อย ได้แก่ องค์ประกอบของเลือด และประโยชน์ของเลือดในการสืบสวนสอบสวน

เลือด (Blood) คือ ของเหลวสีแดงที่ไหลเวียนอยู่ในระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular system) มีหน้าที่นำสารอาหารและอากาศดี (Nutrient & Oxygen) ไปหล่อเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ นำของเสียและอากาศเสีย (Waste & Carbon dioxide) ออกมากำจัดทิ้งภายนอกร่างกาย (ยุทธนา หมั่นดี, 2551) รักษาสมดุลของร่างกาย รวมทั้งป้องและกำจัดกันสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย

2.1.1 องค์ประกอบของเลือด

เลือด จัดเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีลักษณะเป็นของเหลว ไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือด เมื่อนำเลือดใส่หลอดแก้วขนาดเล็ก (Hematocrit tube) ที่มีสารกันการแข็งตัวของเลือด เช่น Heparin หรือ EDTA แล้วนำไปปั่นแยกส่วน เลือดจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยส่วนที่เป็น

ของเหลวเรียกว่าน้ำเหลือง หรือพลาสมา (Plasma) ประมาณ 55% และส่วนที่ของแข็ง (Form element หรือ Corpuscle) ประมาณ 45% ซึ่งประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด (แสดงดังภาพที่ 1) ส่วนที่เป็นพลาสมาจะเป็นของเหลวอยู่ด้านบน เม็ดเลือดแดงจะตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ขณะที่เม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือดจะอยู่ตรงกลางระหว่างพลาสมาและเม็ดเลือดแดง การหาสัดส่วนระหว่างปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่นต่อปริมาตรเลือดทั้งหมดเรียกว่า ค่า Hematocrit (Hct) โดยในเพศชายจะมีค่าประมาณ 45% ในเพศหญิงประมาณ 40% หากมีค่าต่ำกว่านี้หมายถึงภาวะโลหิตจาง (Anemia) แต่หากสูงกว่าค่าดังกล่าวแสดงภาวะเม็ดเลือดแดงสูงกว่าปกติ เรียกว่า Polycythemia

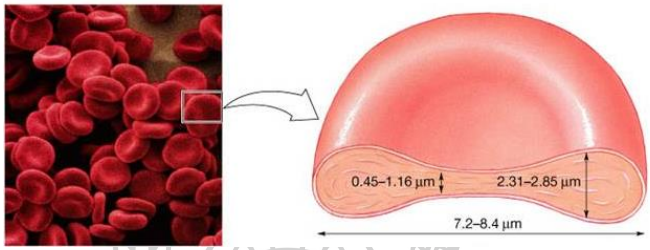


ภาพที่ 1 องค์ประกอบของเลือด

ที่มา : https://www.shalom-education.com/courses/gcse-biology/lessons/transport-systems/topic/the-composition-of-blood/

1) เม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell, RBC หรือ Erythrocyte) เจริญและพัฒนามาจาก Stem cell ที่อยู่ในไขกระดูก โดยมีฮอร์โมน Erythropoietin เป็นตัวกระตุ้นให้มีการเพิ่มจำนวนและพัฒนาเป็น Progenitor cell และ Blast cell (Erythroblast หรือ Normoblast) ตามลำดับ ซึ่งในไขกระดูก Erythroblast จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มรอบเซลล์ Macrophage โดย Macrophage ทำหน้าที่เป็นเซลล์ให้อาหารและธาตุเหล็กสำหรับการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน Erythroblast จะแบ่งตัวพัฒนาไปเป็น Reticulocyte ก่อนจะพัฒนาไปเป็นเม็ดเลือดแดงและออกสู่

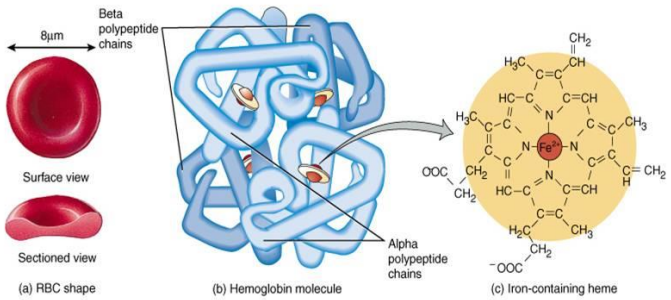
กระแสเลือด ซึ่งเม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 ไมโครเมตร มีลักษณะเว้าตรงกลางทั้งสองด้าน เพื่อให้เม็ดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นขณะเคลื่อนผ่านหลอดเลือดฝอย โดยภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่จะไม่มีนิวเคลียส เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ภายในเซลล์สำหรับการบรรจุฮีโมโกลบิน



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเม็ดเลือดแดง

ที่มา : https://www.austincc.edu/apreview/PhysText/Blood.htm

ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin, Hb) เป็นสารอินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในเม็ดเลือดแดง ประกอบด้วย Heme 4 โมเลกุล และโปรตีน Globin 4 หน่วย แต่ละหน่วยของโปรตีน Globin จะจับอยู่กับ Heme 1 โมเลกุล โดย Heme 1 โมเลกุลประกอบด้วย ธาตุเหล็ก 1 อะตอม แต่ละอะตอมจับอยู่กับ Porphyrin แสดงดังภาพที่ 3b และ 3c ซึ่งหน้าที่ของฮีโมโกลบินมีดังนี้

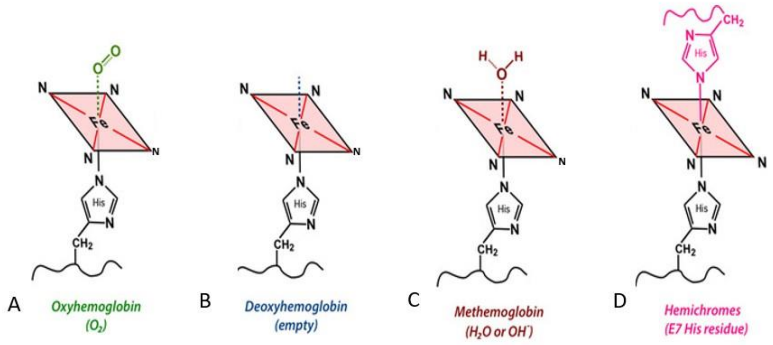


ภาพที่ 3 รูปร่างของเม็ดเลือดแดง (a) และ โครงสร้างของฮีโมโกลบิน (b-c)

ที่มา : https://www.austincc.edu/apreview/PhysText/Blood.htm

1. การขนส่งออกซิเจน

ออกซิเจนในเลือดประกอบด้วย 3% ละลายในพลาสมา และ 97% จับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน 1 โมเลกุลสามารถจับกับออกซิเจน (O_2) ได้ 4 โมเลกุล โดย O_2 แต่ละโมเลกุล จะจับอยู่กับธาตุเหล็กแต่ละอะตอม ซึ่งการจับกันของฮีโมโกลบินกับออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในกระแสเลือดเมื่อฮีโมโกลบินรวมกับออกซิเจนจะกลายเป็น Oxyhemoglobin (HbO_2) ทำหน้าที่นำออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ทั้งนี้ธาตุเหล็กจะจับกับออกซิเจนได้ต้องอยู่ในรูปของ Ferrous ion (Fe^{2+}) เมื่อเลือดถูกส่งไปถึงเนื้อเยื่อ HbO_2 จะปล่อยออกซิเจนให้แพร่ออกจากหลอดเลือดฝอยเข้าสู่เซลล์เนื้อเยื่อที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า และเมื่อฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนออกไปทำให้ธาตุเหล็กไม่ได้จับกับโมเลกุลใด เรียกฮีโมโกลบินในรูปนี้ว่า Deoxyhemoglobin ทั้งนี้โดยปกติในร่างกาย HbO_2 อาจถูกออกซิไดซ์ทำให้เหล็กอยู่ในรูป Ferric ion (Fe^{3+}) เรียกฮีโมโกลบินชนิดนี้ว่า Methemoglobin (MetHb) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของฮีโมโกลบินชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ดี หากมีปริมาณมากจะทำให้เกิดภาวะ Methemoglobinemia ทำให้สัดส่วนของ HbO_2 ที่ทำหน้าที่ขนถ่ายออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อและอวัยวะลดลง เพิ่มความรุนแรงของภาวะขาดออกซิเจนในเนื้อเยื่อและอวัยวะ นอกจากนี้ Methemoglobin ยังทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลายเพิ่มขึ้นที่ม้าม เมื่อ MetHb เกิดการสลายตัวเป็น Hemichrome มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ทำให้ผู้ป่วยมีผิวหนังปลายมือ ปลายเท้าและริมฝีปากมีสีคล้ำคล้ายภาวะ Cyanosis ในคนปกติร่างกายจะมีระดับความเข้มข้นของ MetHb ประมาณ 1% เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดอกซ์ในกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายตามปกติ และร่างกายจะมีกลไกรักษาระดับ MetHb ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยใช้เอนไซม์ NADH methemoglobin reductase (Cytochrome b5 reductase) เป็นกลไกหลักในการควบคุมระดับ MetHb ทำให้การขนส่งออกซิเจนในร่างกายดำเนินไปได้อย่างปกติ (สัมมน โฉมฉาย, 2557)



ภาพที่ 4 อนุพันธ์ของ Hemoglobin

ที่มา : https://mriquestions.com/types-of-hemoglobin.html

2. การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเลือดประกอบด้วย 3 ส่วน คือประมาณ 7% ละลายในพลาสมา 23% จับกับฮีโมโกลบินเป็น Carbaminohemoglobin (CO_2Hb) และอีก 70% ละลายในไซโตพลาสซึมของเม็ดเลือดแดง CO_2 ในเม็ดเลือดแดงจะรวมตัวกับน้ำได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) โดยมีเอนไซม์ Carbonic anhydrase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อมา H_2CO_3 จะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) โดย H^+ ที่ได้จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินหรือโปรตีนชนิดอื่นเพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยรักษาค่า pH ในเลือด ส่วน HCO_3^- จะแพร่ออกจากเม็ดเลือดแดงสู่พลาสมาและทำปฏิกิริยากับโซเดียมไอออน (Na^+) กลายเป็นโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) โดยการขนส่ง CO_2 ในร่างกายจะอยู่ในรูป HCO_3^- มากที่สุด และ HCO_3^- ที่แพร่ออกมาจะต้องแลกเปลี่ยนกับ Cl^- ที่แพร่จากพลาสมาเข้าสู่เม็ดเลือดแดง เพื่อรักษาสมดุลไอออนของเซลล์

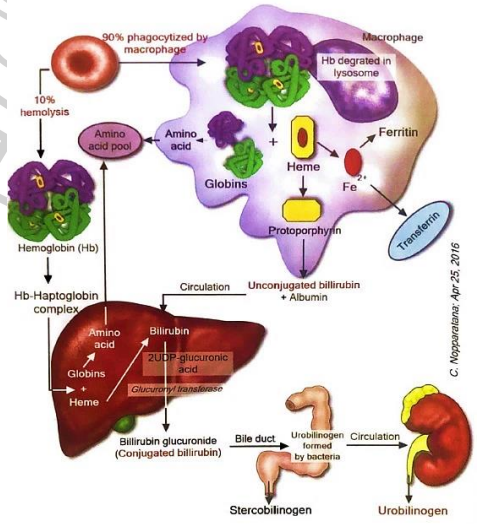
3. การแลกเปลี่ยน O_2 และ CO_2 ในถุงลม

เมื่อเลือดไหลเวียนผ่านหลอดเลือดฝอยของถุงลมในปอด ความดันของ O_2 ในถุงลมที่สูงกว่าจะแพร่เข้าสู่เลือด ทำให้ HCO_3^- ในเลือดแพร่กลับเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงแลกกับ Cl^- จากนั้น HCO_3^- ที่แพร่กลับสู่เซลล์จะทำปฏิกิริยากับ H^+ ที่แตกตัวออกมาจากฮีโมโกลบินกลายเป็น H_2CO_3 และจะแตกตัวเป็น H_2O กับ CO_2 ต่อไป จากนั้น CO_2 จะแพร่เข้าสู่ถุงลม การแพร่ของ CO_2 จะหยุดลงเมื่อความแตกต่างของความดัน CO_2 ระหว่างเลือดกับเซลล์ลดลงประมาณ 5% จากนั้น CO_2 จะถูกขับออกนอกร่างกายโดยการหายใจออก ทำให้ CO_2 ในเลือดลดต่ำลง และ O_2 จากถุงลมจะแพร่เข้าสู่เลือดและเม็ดเลือดแดง ทำให้มี Oxyhemoglobin เพิ่มขึ้น

โดยปกติเม็ดเลือดแดงมีอายุเฉลี่ยประมาณ 120 วัน การทำลายเม็ดเลือดแดงในภาวะปกติ เม็ดเลือดแดงจะถูกทำลายตามอายุขัยได้ 2 วิธี คือ

1. Intravascular hemolysis เม็ดเลือดแดงประมาณ 10% จะถูกทำลายในกระแสเลือด ส่วนใหญ่เป็นเม็ดเลือดแดงอายุมากหรือมีความผิดปกติของผนังเซลล์จากการกระแทกบ่อย ๆ หรือขณะเคลื่อนผ่านเส้นเลือดฝอย ทำให้ไม่สามารถรักษาสภาพความสมดุลของสารภายในเซลล์ได้ ทำให้เซลล์แตก (Autolysis)

2. Extravascular hemolysis เม็ดเลือดแดงประมาณ 90% จะถูกทำลายนอกกระแสเลือดโดย Macrophage ใน Reticuloendothelial (RE) system เช่น ในตับ ม้าม ไขกระดูก และต่อมน้ำเหลือง ซึ่ง RE system จะทำหน้าที่กำจัดเศษเม็ดเลือดแดงที่ผิดปกติหรือหมดอายุ โกลบินโปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน ฮีมจะถูกย่อยเป็น protoporphyrin และธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) ธาตุเหล็กจะจับกับ Transferrin และเก็บสะสมไว้ในไขกระดูกและตับในรูปของ Ferritin หรือนำไปสร้างเป็นฮีโมโกลบิน หรือ Myoglobulin ในกล้ามเนื้อหรือเก็บสะสมในเซลล์ต่าง ๆ ในรูปของ Hemosiderin ส่วน protoporphyrin เปลี่ยนเป็น Bilirubin ไปกับกระแสเลือดสู่ตับเพื่อสร้างเป็นน้ำดีส่งไปยังลำไส้ จากนั้นเปลี่ยนเป็น Urobilin และ Stercobilin ขับออกจากอุจจาระ ส่วนที่ดูดซึมเข้าลำไส้สู่กระแสเลือดจะขับออกทางปัสสาวะในรูป Urobilinogen แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการทำลายเม็ดเลือดแดง

ที่มา : *โลหิตวิทยา* (หน้า 7) โดย จำนงค์ นพรัตน์ และ ชวดี นพรัตน์, 2563, กรุงเทพมหานคร: สหมิตรการพิมพ์ (1992)

2) เม็ดเลือดขาว (White Blood Cell หรือ WBC หรือ Leucocyte) เป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีนิวเคลียสบรรจุสารพันธุกรรมอยู่ภายใน สามารถใช้ในการตรวจหาดีเอ็นเอเพื่อตรวจพิสูจน์หรือยืนยันตัวบุคคลได้ ไม่สร้างฮีโมโกลบิน สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังหลอดเลือดได้โดยวิธี Diapedesis มีหน้าที่ทำลายและป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค ช่วยกำจัดสารพิษและของเสีย และช่วยกำจัดเซลล์ที่แตกหรือหมดอายุ แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีแกรนูล (Granulocyte หรือ Granular leucocyte) ได้แก่ Neutrophil Eosinophil และ Basophil และกลุ่มที่ไม่มีแกรนูล (Agranulocyte หรือ agranular leucocyte) ได้แก่ Monocyte และ Lymphocyte

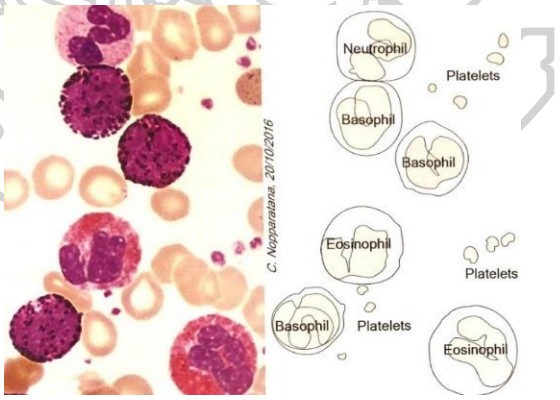
2.1) Neutrophil ลักษณะที่สำคัญคือมีนิวเคลียสหลายโลป จึงเรียกว่า Polymorphonuclear cell หรือ PMN มีแกรนูลกระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม ภายในแกรนูลประกอบด้วย Lysozyme และสารประกอบอื่น ๆ Neutrophil มีประมาณ 45-75% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-12 ไมโครเมตร มี 2-5 โลป ซึ่ง Neutrophil มีหน้าที่ทำลายเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังหลอดเลือดไปยังบริเวณที่มีการอักเสบได้ และเป็นเม็ดเลือดขาวชนิดแรกที่ไปถึงบริเวณที่มีการติดเชื้อ ซึ่งจะเข้าทำลายเชื้อโรคด้วยวิธี Phagocytosis ทั้งนี้ Neutrophil มีอายุประมาณ 10 ชั่วโมง และอายุจะสั้นลงเมื่อมีการทำลายสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรค เมื่อสลายตัวจะหลั่งสารไปกระตุ้น Neutrophil เซลล์อื่นๆ ให้เคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีการติดเชื้อ Neutrophil ที่ตายจะรวมอยู่กับเศษเซลล์ของเนื้อเยื่อและเชื้อโรคที่ถูกทำลายกลายเป็นหนองบริเวณที่มีการอักเสบ

2.2) Eosinophil มีแกรนูลขนาดใหญ่ย้อมติดสีแดงหรือสีส้มพบประมาณ 2-5% ในกระแสเลือด มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-15 ไมโครเมตร นิวเคลียสติดสีทึบคล้าย Neutrophil ส่วนใหญ่มี 2 โลป พบมากเมื่อร่างกายมีอาการอักเสบหรือติดเชื้อปรสิต

2.3) Basophil ลักษณะเด่นคือมีแกรนูลขนาดใหญ่ติดสีม่วงน้ำเงินหรือม่วงเข้ม พบน้อยกว่า 1% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-12 ไมโครเมตร นิวเคลียสรูปร่างไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่เกือบเต็มเซลล์ Basophil ทำหน้าที่เกี่ยวกับการอักเสบและภูมิแพ้ เนื่องจากในแกรนูลมีสาร Histamine และ Serotonin ทำให้หลอดเลือดขยายตัว และมี Protein receptor บนผนังเซลล์ สามารถจับกับ IgE ได้ นอกจากนี้ Basophil ยังสามารถสร้าง Heparin ซึ่งเป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดได้แต่สร้างได้ในปริมาณน้อย ทั้งนี้ Basophil ที่ถูกกระตุ้นจะหลั่ง Cytokine และ Leukotrienes ที่ทำให้เกิดอาการแพ้

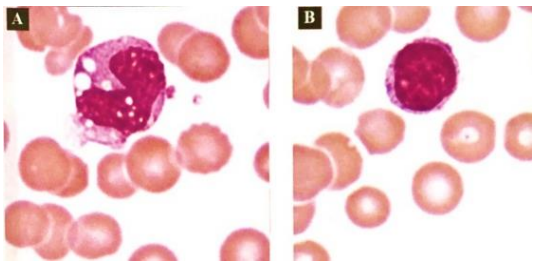
2.4) Monocyte พบประมาณ 3-10% ของเม็ดเลือดขาว จัดเป็นเซลล์ขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-15 ไมโครเมตร มีรูปร่างหลากหลายแบบ ในกระแสเลือด Monocyte มีรูปร่างกลม นิวเคลียสรูปไข่หรือเกือกม้า ติดสีน้ำเงินอ่อน ปกติจะอยู่ในกระแสเลือดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจะเคลื่อนที่ออกมานอกหลอดเลือด และพัฒนาตัวเองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น Macrophage อยู่ในเนื้อเยื่อ ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย และปล่อยสารกระตุ้นให้เซลล์อื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ Phagocyte เข้ามาสู่บริเวณที่มีการติดเชื้อหรืออักเสบ นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้เซลล์ Fibroblast เคลื่อนที่มายังเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายเพื่อทำหน้าที่ซ่อมแซมเนื้อเยื่อดังกล่าว

2.5) Lymphocyte พบประมาณ 25-33% ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย มี 2 ขนาดคือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ พบส่วนใหญ่เป็นขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 ไมโครเมตร นิวเคลียสติดสีม่วงน้ำเงิน ขนาดเกือบเต็มเซลล์ Lymphocyte จะอยู่ในกระแสเลือดช่วงสั้น ๆ หลังจากนั้นจะเข้าไปอยู่ในระบบน้ำเหลือง และจากระบบน้ำเหลืองสามารถกลับเข้าสู่กระแสเลือดได้อีกโดย Lymphocyte ในกระแสเลือดสามารถแยกได้ 3 ชนิด คือ T cell, B cell และ NK cell ซึ่ง T cell และ NK cell ทำหน้าทำลายสิ่งแปลกปลอมได้โดยธรรมชาติ (Innate immunity) ในขณะที่ B cell จะพัฒนาไปเป็น Plasma cell ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดี (Acquired Immunity)



ภาพที่ 6 เม็ดเลือดขาวชนิด Granulocytes ที่พบในกระแสเลือด

ที่มา : *โลหิตวิทยา* (หน้า 17) โดย จำนงค์ นพรัตน์ และ ชวดี นพรัตน์, 2563, กรุงเทพมหานคร: สหมิตรการพิมพ์ (1992)



ภาพที่ 7 เม็ดเลือดขาวชนิด Agranulocytes ที่พบในกระแสเลือด

A: Monocyte และ B : Lymphocyte

ที่มา : *โลหิตวิทยา* (หน้า 17) โดย จำนงค์ นพรัตน์ และ ชวดี นพรัตน์, 2563, กรุงเทพมหานคร: สหมิตรการพิมพ์ (1992)

3) เกล็ดเลือด (Platelet หรือ Thrombocyte) สร้างจากเซลล์ Megakaryocyte ในไขกระดูก มีรูปร่างคล้ายจาน (Dise shape) ขนาด 2-4 ไมโครเมตร ไม่มีนิวเคลียส มีส่วนประกอบสำคัญคือ RNA, Mitochondria, Granule และ Lysosome มีหน้าที่ทำให้ผนังหลอดเลือดแข็งแรง หลั่งเอนไซม์และปัจจัยต่าง ๆ ที่ช่วยในการแข็งตัวของเลือด การหดตัวของหลอดเลือด การจับกลุ่มกันของเกล็ดเลือดเพื่ออุดบาดแผล

4) พลาสมา (Plasma) เป็นส่วนประกอบของเหลวในเลือด มีลักษณะสีเหลืออ่อนหรือสีเหลืองฟาง ทำหน้าที่ขนส่งสารอาหารและแก๊ส ควบคุมความสมดุลของ Electrolyte และรักษาความเป็นกรด-ด่างของเลือด ส่วนประกอบของพลาสมา ประกอบด้วยน้ำ 92% นอกนั้นเป็นโปรตีน (Albumin, Globulin และ Fibrinogen) สารอาหาร และ Electrolyte (จำนงค์ นพรัตน์ & ชวดี นพรัตน์, 2563)

2.1.2 ประโยชน์ของเลือดในการสืบสวนสอบสวน

1) บอกได้ว่าที่ใดเป็นสถานที่เกิดเหตุ การตรวจพบคราบเลือดของมนุษย์ ณ บริเวณใด ให้ถือว่าบริเวณนั้นเป็นสถานที่เกิดเหตุ กรณีที่พบบ่อยคือ ผู้ตายถูกฆาตกรรมที่สถานที่แห่งหนึ่งแต่ถูกนำศพไปทิ้งในอีกสถานที่หนึ่ง เป็นต้น

2) บอกได้ว่ามีการกระทำผิดเกิดขึ้น เช่น การตรวจพบเลือดของมนุษย์ตามสถานที่ที่ไม่น่าพบ เช่น ตามกันชน ฝากระโปรง ตามชิ้นส่วนรถยนต์ สามารถบ่งชี้ได้ว่า รถคันนั้นน่าจะถูกใช้ในการกระทำผิดมาก่อน

3) บอกได้ว่าอาวุธใดเป็นอาวุธที่ใช้ในการกระทำผิด การตรวจพบคราบเลือดของมนุษย์ติดอยู่ตามอาวุธ ย่อมเป็นเครื่องบ่งชี้ว่า สิ่งนั้นน่าจะเป็นอาวุธที่ใช้ในการกระทำผิด

4) ใช้พิสูจน์คำให้การของผู้ต้องสงสัย เช่น ผู้ต้องสงสัยให้การว่าคราบเลือดที่ติดตามตัวหรือเสื้อผ้าของตน เป็นเลือดสัตว์ ไม่ใช่เลือดมนุษย์ หากจากการตรวจพิสูจน์ สามารถยืนยันได้ว่าเลือดดังกล่าวเป็นเลือดของมนุษย์จริง ย่อมสามารถใช้เป็นข้อหักล้างคำให้การของผู้ต้องสงสัยได้

5) ใช้ในการช่วยแยกแยะผู้บริสุทธิ์ออกจากผู้กระทำผิด เช่น ในกรณีที่มีผู้ต้องสงสัยหลายคน แต่มีเพียงบุคคลเดียวที่มีเลือดตรงกับคนร้าย บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องย่อมจะไม่ต้องถูกดำเนินคดี

ดังนั้น เมื่อพบรอยหรือคราบต้องสงสัยว่าจะเป็นเลือดในสถานที่เกิดเหตุ ต้องทำการตรวจพิสูจน์คราบนั้นทุกครั้ง โดยมีจุดประสงค์ว่า รอยคราบนั้นเป็นคราบเลือดหรือไม่ หากเป็นเลือดเป็นเลือดของมนุษย์หรือสัตว์ และหากเป็นเลือดของมนุษย์ เป็นเลือดของใคร โดยตรวจหาสารพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอ (อรรถพล แช่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552)

2.2 การตรวจพิสูจน์คราบเลือด

เทคนิคทางนิติวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์คราบเลือดในปัจจุบันสามารถแบ่งการตรวจพิสูจน์คราบเลือดได้เป็น 2 ประเภท คือการตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้น และการตรวจยืนยันเพื่อให้ทราบว่าคราบเลือดที่พบนั้นเป็นเลือดมนุษย์หรือไม่ ซึ่งมีวิธีการตรวจพิสูจน์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.2.1 การตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้น (Presumptive Test)

การตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้น เป็นการตรวจเพื่อให้ทราบว่าคราบเลือดที่พบนั้นเป็นเลือด หรือเป็นคราบอื่นที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับคราบเลือด ซึ่งหากตรวจแล้วพบว่าเป็นคราบเลือด การตรวจพิสูจน์เบื้องต้นนี้จะไม่สามารถระบุยืนยันได้ว่าเป็นเลือดมนุษย์หรือสัตว์ อย่างไรก็ตาม การตรวจพิสูจน์เบื้องต้นจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินวัตถุพยานที่พบในสถานที่เกิดเหตุเบื้องต้นว่าวัตถุพยานชนิดใดที่เกี่ยวข้องกับเหตุอาชญากรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคดีฆาตกรรม ซึ่งหลักฐานสำคัญที่พบในสถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่คือ คราบเลือด ที่เป็นกุญแจสำคัญนำไปสู่การตรวจหาดีเอ็นเอเพื่อยืนยันตัวผู้กระทำผิดได้ในที่สุด ทั้งนี้ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจคราบเลือดเบื้องต้นที่ได้รับความนิยมหลายวิธีหนึ่งในนั้นคือวิธี Kastle-Meyer ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการทดสอบ ราคาไม่แพง อีกทั้งให้ผลการทดสอบที่แม่นยำ ดังนั้นในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงขอแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ 1) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer 2) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธีอื่น ๆ

1) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

วิธีทดสอบ Kastle-Meyer (KM-test) หรือ Phenolphthalein เป็นวิธีทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นโดยอาศัยปฏิกิริยา Catalytic ของเลือดกับ H_2O_2 โดยมี Phenolphthalein เป็นตัวบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยา ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่ง่าย ให้ผลการทดสอบในเวลาอันรวดเร็ว และเป็นที่นิยมในการตรวจพิสูจน์คราบเลือดทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1) ประวัติการค้นพบวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

ปี ค.ศ.1818 Louis-Jacques Thenard ค้นพบ H_2O_2

ปี ค.ศ.1863 Christian Freidrich Schonbein สังเกตเห็น peroxidase-like activity ของ hemoglobin เป็นสาเหตุของปฏิกิริยา oxidation ของ hydrogen peroxide ซึ่งผลของปฏิกิริยาระหว่าง hydrogen peroxide (H_2O_2) กับ hemoglobin ทำให้มีฟองเกิดขึ้น (ไชยวัฒน์ ไชยสมบูรณ์, 2555)

ปี ค.ศ 1901 Kastle และ Shedd ค้นพบว่าเอนไซม์ Oxidase จากเซลล์สามารถเกิดปฏิกิริยา Oxidation เปลี่ยน Phenolphthalin เป็น Phenolphthalein ได้ในสภาวะที่เป็นด่าง โดย Phenolphthalein จะมีสีชมพู-แดง ในขณะที่ Phenolphthalin ไม่มีสี

ปี ค.ศ. 1903 Meyer ได้ทดลองใช้ Phenolphthalin ตรวจสอบเอนไซม์ Oxidase ในเม็ดเลือดขาว ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างระหว่างตัวอย่างธรรมดากับตัวอย่างเม็ดเลือดขาว เขาจึงบันทึกไว้ว่า Phenolphthalin สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของเลือดในปัสสาวะได้ และในปีเดียวกัน Utz ได้นำวิธี Phenolphthalein มาใช้กับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์เป็นครั้งแรก โดยเขาทำการทดลองกับคราบเลือดอายุมากกว่า 1 ปีครึ่ง พบว่าวิธีดังกล่าวให้ผลลบกับหนอง และสารคัดหลั่งอื่น ๆ ที่ประกอบด้วยเม็ดเลือดขาว หลังจากนั้นวิธีการใช้ Phenolphthalein ในการทดสอบคราบเลือดก็เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ Kastle-Meyer test

หลังจากวิธีทดสอบ Kastle-Meyer เป็นที่รู้จักและแพร่หลายไปในวงกว้าง จึงเริ่มมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงความไว และความจำเพาะของวิธีการต่อการทดสอบเลือด เช่น ในปี ค.ศ. 1908 Delearde และ Bonoit ได้ศึกษาการทดสอบ phenolphthalin กับ hemoglobin, methemoglobin, hematin chlorhydrate, reduced hemoglobin และเลือดเน่าที่เก็บไว้เป็นเวลานาน พบว่าให้ผลบวกกับการทดสอบดังกล่าว ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบกับคราบเลือดอายุ 26 ปี ก็ยังสามารถให้ผลบวกกับการทดสอบนี้ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าวิธีทดสอบ Kastle-Meyer นี้เป็นวิธีทดสอบที่มีความจำเพาะและความไวต่อเลือดสูง ต่อมามีการทดลองเจือจางเลือดในอัตราส่วนต่าง ๆ

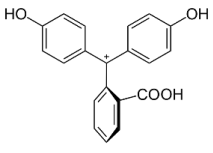
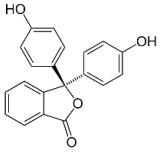
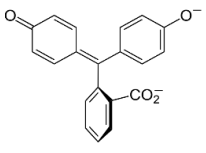
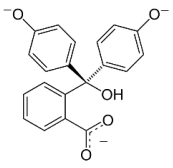
เพื่อทดสอบความไวของปฏิกิริยา Delearde และ Bonoit (1908), Girdwood (1926) และ Nicolesco (1934) พบว่าที่อัตราส่วนการเจือจาง $1:10^6$ การทดสอบ Kastle-Meyer ยังสามารถตรวจสอบเลือดและให้ผลบวกได้ ทั้งนี้ Kirk (1953) ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงความแตกต่างของระยะเวลาในการทดสอบด้วยน้ำยาดังกล่าว เมื่อทดลองนำเลือดมาเจือจางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า ที่อัตราส่วนการเจือจาง $1:10^5$ วิธีการทดสอบนี้ให้ผลบวกภายในเวลา 5 วินาที ในขณะที่อัตราส่วนการเจือจาง $1:5X10^6$ ภายในเวลา 20 วินาที ดังนั้นความเจือจางของเลือดมีผลกับระยะเวลาการทดสอบด้วยวิธี Kastle-Meyer ต่างกัน (Gaensslen, 1989)

1.2) สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

สารเคมีที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer ประกอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide หรือ H_2O_2) ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 ชนิด มีคุณลักษณะเฉพาะของสารดังนี้

1.2.1) Phenolphthalein (HIn หรือ phph) เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรโมเลกุล คือ $C_{20}H_{14}O_4$ นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ในการไทเทรตกรด-เบส โดยจะปรากฏลักษณะใสไม่มีสีเมื่อทดสอบด้วยสารละลายกรดและมีสีชมพูอมม่วงเมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบส และเมื่ออยู่ในรูปสารละลาย Phenolphthalein จะมีโครงสร้าง 4 รูปแบบ (แสดงดังตารางที่ 1) โดยรูปแบบที่ใช้ในการทดสอบ Kastle-Meyer คือรูปแบบที่เป็น Reduced phenolphthalein ($In(OH)^{3-}$) ในสภาวะที่เป็นด่างจัด

ตารางที่ 1 รูปแบบต่าง ๆ ของ Phenolphthalein เมื่อ pH เปลี่ยนไป

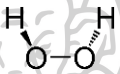
รูปแบบ	H_3In^+	H_2In	In^{2-}	$In(OH)^{3-}$
โครงสร้าง				
pH	<0	0–8.2	8.2-12.0	>13.0
สี	สีส้ม	ไม่มีสี	สีชมพูถึงชมพูอมม่วง	ไม่มีสี

ที่มา : fromhttps://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein

1.2.2) Hydrogen Peroxide (H_2O_2) เป็นสารประกอบ Peroxide ที่ประกอบด้วยออกซิเจนสองตัวเชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยว มีสภาพเป็นของเหลวใส หนืดกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม ไม่อยู่ตัว ซึ่งสามารถสลายตัวได้ออกซิเจนกับน้ำ เมื่อเจือจางจะเป็นสารละลายไม่มีสี ซึ่งโดยปกติ H_2O_2 จะสลายตัวอย่างช้า ๆ และจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ (H_2O) และแก๊สออกซิเจน (O_2) โดยมีแสงสว่างและความร้อนช่วยเร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น โดย H_2O_2 มีปฏิกิริยาการสลายตัวดังนี้

$$2H_2O_2\ (aq) \longrightarrow 2H_2O\ (l) + O_2\ (g)$$

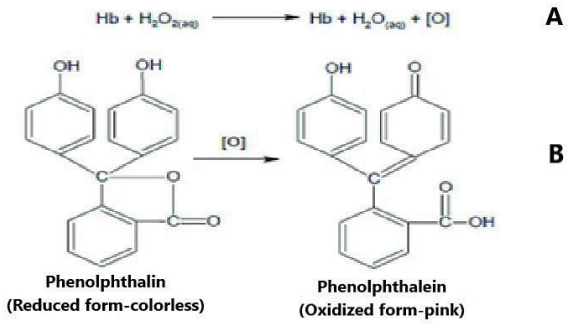
ทั้งนี้หากมีส่วนผสมของโลหะ โดยเฉพาะเหล็ก แมงกานีส และทองแดง จะทำให้เกิดการสลายตัวของ H_2O_2 เร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ H_2O_2 ยังสามารถสลายตัวเป็นน้ำได้เมื่อถูกแสงและความร้อนจึงควรเก็บรักษาสารชนิดนี้ไว้ในภาชนะทึบแสง (Wikipedia the free encyclopedia, n.d.)



ภาพที่ 8 โครสร้างของ Hydrogen peroxide
ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide

1.3) หลักการการทดสอบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

Hemoglobin ในเลือดมีคุณสมบัติคล้ายเอนไซม์ Peroxidase (Peroxidase-like activity) คือสามารถสลาย H_2O_2 ได้ผลผลิตเป็น H_2O และ O_2 จากนั้น O_2 ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยา Oxidation กับ Phenolphthalin (Reduced form) ใสไม่มีสี ให้เปลี่ยนเป็น Phenolphthalein (Oxidized form) สีชมพูอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากเหตุผลดังที่กล่าวไปข้างต้นที่ว่า หากมีส่วนผสมของโลหะโดยเฉพาะเหล็กนั้น จะทำให้ H_2O_2 เกิดการสลายตัวได้เร็วยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้การเกิดปฏิกิริยาของ H_2O_2 กับ Hemoglobin ในเลือดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุเหล็กจึงสามารถเกิดได้ไวมาก และเนื่องจาก H_2O_2 สลายตัวได้เร็ว ทำให้ O_2 ที่ได้ทำปฏิกิริยากับ Reduced Phenolphthalein เกิดสีชมพูอมม่วงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้วิธีทดสอบ Kastle-Meyer สามารถให้ผลบวกปลอมจากเอนไซม์ Peroxidase ในพืชผักและผลไม้บางชนิด เช่น มันฝรั่ง หัวผักกาด บล็อคโคลี และกะหล่ำดอก (ไชยวัฒน์ ไชยสมบูรณ์, 2555)



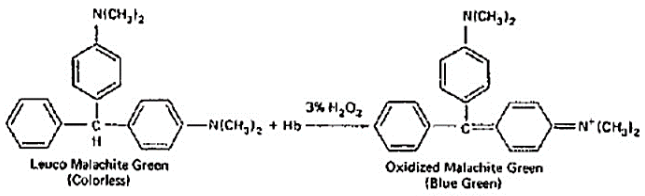
ภาพที่ 9 การเกิดปฏิกิริยาของคราบเลือดเมื่อทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 (A) และการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalin เมื่อทำปฏิกิริยากับ O_2 ที่ได้จากการสลาย H_2O_2 (B)

ที่มา : “Actual trends in the use of the Kastle-Meyer test: applicationsin different species and verification of the limit of detection of sensitivity and vestigiality,” by R. I. B. Fonseca et.al., 2019, *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 8, p. 167

2) การทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธีอื่น ๆ

2.1) วิธีทดสอบ Leucomalachite green (LMG)

Leucomalachite green เป็นวิธีทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นวิธีหนึ่งที่อาศัยหลัก catalytic activity ของเลือดเช่นเดียวกับวิธีทดสอบ Kastle-Meyer โดย hemoglobin ที่มีคุณสมบัติ peroxidase-like activity จะสลาย H_2O_2 ได้ผลผลิตเป็นน้ำและ O_2 จากนั้น O_2 ที่ได้จะเกิดปฏิกิริยา Oxidation กับ Leucomalachite green และเปลี่ยนรูปจาก reduced form ใสไม่มีสี เป็น Oxidized form สีเขียวอมน้ำเงิน

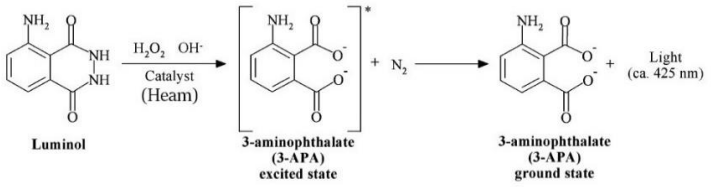


ภาพที่ 10 การเกิดปฏิกิริยาของคราบเลือดเมื่อทำปฏิกิริยากับ Leucomalachite green

ที่มา : *Forensic Science Handbook, Volume 1* (p 273), by H.C. Lee, In R. Saferstein (Ed.), 1982, New Jersey: Prentice-Hall

2.2) วิธีทดสอบลูมินอล (Luminol)

ลูมินอล เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมี คือ $C_8H_7N_3O_2$ จัดเป็นสารชนิดผงที่มีคุณสมบัติเรืองแสง (Chemiluminescence) ได้เมื่อผสมกับตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม โดยสารละลายลูมินอล จะทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กภายในโมเลกุลของ Hemoglobin ในเลือด ทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น สารละลายลูมินอลเตรียมจากผงลูมินอล และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำให้ได้ลูมินอลในรูปไดแอนไอออน (Dianaon) ซึ่งมีความเสถียรสูง จากนั้นจึงเติมสารละลาย H_2O_2 ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับเหล็กที่อยู่ในเลือด เหล็กจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์สารละลาย H_2O_2 ทำให้ได้ O_2 ซึ่งจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับลูมินอลในรูปไดแอนไอออน เกิดเป็นลูมินอลโครงสร้างไม่เสถียร (Intermediate luminol) และมีพลังงานสูง ทำให้มีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างลูมินอลที่มีความเสถียรในที่สุด (สรวง สมานหมู่ และคณะ, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 11 กลไกลการเกิดสารเรืองแสงของ Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับคราบเลือด
ที่มา : “Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection,” by F. Barni et.al., 2007, *Talata*, 72, p.900

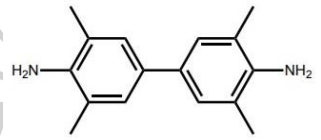
วิธีลูมินอล เหมาะที่จะนำไปใช้ตรวจที่เกิดเหตุภาคสนาม โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีบริเวณกว้าง เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว และห้องนอน การทดสอบใช้วิธีฉีดพ่นน้ำยา Luminol ไปที่บริเวณที่สงสัยว่ามีคราบเลือดตกค้างอยู่ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น คราบเลือดที่ติดอยู่ตามพื้นสีเข้ม รอยแตกของพื้นหรือผนัง และบริเวณที่ผ่านการทำความสะอาดมาแล้ว ทั้งนี้ข้อจำกัดในการตรวจด้วยวิธีนี้คือ บริเวณที่ตรวจจะต้องมืดสนิทจึงจะสามารถเห็นการเรืองแสงของคราบเลือดที่เกิดจากปฏิกิริยาของเลือดกับสารลูมินอลได้ (ศิริพร พันธศรี, 2549)

2.3) วิธีทดสอบบูลสตาร์ (Bluestar®)

บูลสตาร์ จัดเป็นสารประกอบที่สามารถเรืองแสงได้ชนิดหนึ่ง ซึ่งพัฒนามาจากลูมินอล โดยออกแบบผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอัดเม็ดเพื่อความสะดวกในการใช้งาน หลักการทั่วไปในการทดสอบคราบเลือดคือ เหล็กจากโมเลกุลของฮีโมโกลบินในเลือดจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ H_2O_2 ทำให้ได้ O_2 ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับบูลสตาร์ ทำให้บูลสตาร์ปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบแสงสีฟ้า (ความยาวคลื่น 420-440 nm) เมื่อนำบูลสตาร์มาใช้ทดสอบคราบโลหิตพบว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าลูมินอล เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเรืองแสงได้นานกว่า รวมถึงสถานที่ที่ทำการตรวจไม่จำเป็นต้องมืดสนิทก็ให้ประสิทธิภาพในการตรวจได้ชัดเจนกว่า ทั้งนี้บูลสตาร์สามารถให้ผลบวกปลอมได้กับผลิตภัณฑ์ซักล้างในบ้าน คลอรีน สีบางชนิด ทองแดง สารเมตาบอไลท์ของพืชบางชนิดที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น ไลเคน ไทม์ และมอส หรือดินที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Watkins & Brown, n.d.)

2.4.) Tetramethylbenzidine (3,3',5,5'-tetramethyl- benzidine หรือ TMB)

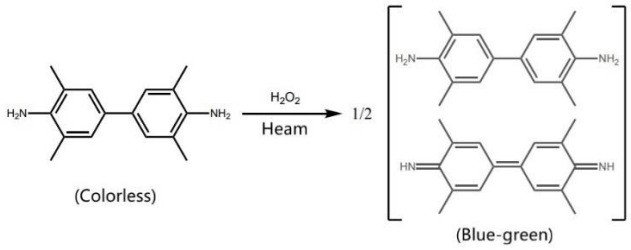
TMB ถูกสังเคราะห์และนำมาทดสอบกับคราบโลหิตโดย Holland และคณะ เมื่อปี ค.ศ. 1974 เพื่อทดแทน Benzidine และ O-tolidine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง เขาพบว่า TMB มีความไวในการทดสอบคราบเลือดมากกว่า Benzidine และ O-tolidine อีกทั้งยังมีความสามารถในการเป็นสารก่อมะเร็งน้อยกว่า จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการตรวจพิสูจน์คราบเลือด (Gaensslen, 1989)



ภาพที่ 12 โครงสร้างของ Tetramethylbenzidine

ที่มา : *Organic electronic materials for hydrogen peroxide production* (p. 53) by M. Gryszel, 2020, Linköping, Sweden: LiU-Tryck.

หลักการทดสอบของวิธี TMB อาศัยหลัก catalytic activity ของเลือดเช่นเดียวกับวิธีทดสอบ Kastle-Meyer และ Leucomalachite green โดย hemoglobin ที่มีคุณสมบัติ peroxidase-like activity จะสลาย H_2O_2 ได้ผลผลิตเป็นน้ำและ O_2 จากนั้น O_2 ที่ได้จะทำปฏิกิริยากับ TMB และเปลี่ยนรูปจาก reduced form ใสไม่มีสี เป็น Oxidized form สีเขียวอมน้ำเงิน



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสีของ Tetramethylbenzidine เมื่อทำปกิริยากับเลือด

ที่มา : *Organic electronic materials for hydrogen peroxide production* (p. 53) by M. Gryszel, 2020, Linköping, Sweden: LiU-Tryck.

2.5) Hemastix®

Hemastix® เป็นชุดทดสอบสำเร็จรูปอยู่ในรูปแบบของแผ่นพลาสติก มีแถบแผ่นกระดาษกรองที่มีสาร Tetramethylbenzidine (TMB) เคลือบอยู่ โดยปกติใช้ทดสอบเลือดในปัสสาวะซึ่งต่อมีการนำมาประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ในการตรวจหาคราบเลือดเบื้องต้น การทดสอบสามารถทำได้โดยการใช้กระดาษกรองแตะรอยหรือคราบที่สงสัย หยดน้ำกลั่น 1–2 หยด จากนั้นนำแผ่น Hemastix® ไปแตะลงบนรอยหรือคราบนั้น ผลบวกจะให้สีเขียว–น้ำเงินเข้ม ภายใน 60 วินาที ซึ่งอาศัยหลักการ Peroxidase-like activity ของเลือดเช่นเดียวกับการทดสอบ TMB

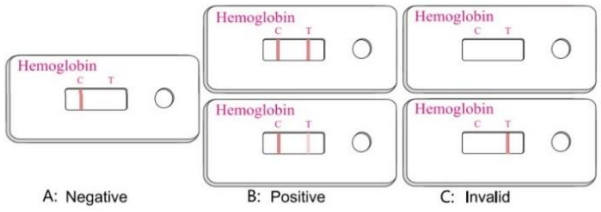
2.2.2 การตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันคราบเลือดมนุษย์ (Confirm test)

การตรวจเพื่อยืนยันคราบเลือดนี้เป็นการตรวจด้วยวิธีทาง Immunoassay ซึ่งวิธีดังกล่าว เป็นวิธีที่มีความจำเพาะสูง สามารถยืนยันได้ว่าคราบเลือดที่ตรวจนั้นเป็นคราบเลือดมนุษย์หรือไม่ โดยอาศัยการทำปฏิกิริยากันระหว่างฮีโมโกลบินของมนุษย์ และสารที่เคลือบอยู่บนชุดทดสอบ

1) SERATEC® HemeDirect Hemoglobin Assay

ในระยะแรกชุดทดสอบ SERATEC® HemeDirect Hemoglobin Assay ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจเลือดแฝงในอุจจาระและเคยถูกใช้ตรวจหามะเร็งลำไส้ในระยะเริ่มต้น แต่ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจยืนยันคราบเลือดมนุษย์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลที่แม่นยำและใช้เวลาในการตรวจสอบไม่นาน โดยชุดทดสอบนี้ใช้วิธี Chromatographic immunoassay (CIA) ในการตรวจสอบคราบเลือดตัวอย่าง ซึ่งอาศัยความจำเพาะของ Human Hemoglobin (Antigen, Ag) จากตัวอย่างคราบเลือด จับกับ monoclonal murine anti-hHb

(human hemoglobin) conjugated gold-labeled ใน extraction buffer เกิดเป็น 1st complex และเมื่อเคลื่อนที่ไปบนชุดทดสอบ 1st complex จะจับกับ monoclonal murine anti-hHb บน test line เกิดเป็นโครงสร้าง Sandwich complex (2nd complex) และปรากฏแถบสีแดงขึ้นที่ test line ขณะที่ control line จะมี polyclonal goat anti-rabbit antibodies เคลือบอยู่และจับกับ gold-labeled rabbit-antibodies ใน extraction buffer และปรากฏแถบสีแดงขึ้นที่ control line ซึ่งการแปรผลบวกนั้นต้องปรากฏแถบสีแดงขึ้น 2 แถบบนชุดทดสอบทั้ง test line และ control line ในขณะที่ผลลบจะไม่ปรากฏแถบสีแดงขึ้นที่ test line แต่จะปรากฏที่ control line ซึ่ง control line จำเป็นต้องปรากฏแถบสีแดงทุกครั้งที่ทำการทดสอบ หากไม่ปรากฏควรเป็นชุดทดสอบหรือเปลี่ยนล็อตของชุดทดสอบเพื่อทำการทดสอบอีกครั้ง



ภาพที่ 14 การแปรผลของชุดทดสอบ SERATEC® HemeDirect Hemoglobin Assay
A: ผลลบ B: ผลบวก C: ไม่สามารถแปรผลได้
ที่มา : https://www.seratec.com/docs/user_instructions/hbf07_en.pdf

ทั้งนี้การตรวจยืนยันคราบโลหิตด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดเมื่อตัวอย่างมีปริมาณเลือดมากเกินไป จะเกิด high dose hook effect คือ free-hHb ที่เหลือจากการเกิด 1st complex จะเข้าจับกับ monoclonal murine anti-hHb บน test line ทำให้ 1st complex ไม่สามารถจับกับ monoclonal murine anti-hHb บน test line ได้ จึงไม่เกิด 2nd complex และไม่ปรากฏแถบสีแดงบน test line ทำให้แปรผลได้เป็นผลลบปลอม ซึ่งข้อจำกัดนี้สามารถแก้ไขได้โดยการนำตัวอย่างเลือดไปเจือจางแล้วจึงนำมาทดสอบอีกครั้ง ซึ่งนอกจากชุดทดสอบนี้จะให้ผลบวกกับเลือดมนุษย์แล้วยังให้ผลบวกกับเลือดสัตว์ตระกูลไพรเมต (Primate family) และตัวเฟอเรตอีกด้วย (SERATEC, 2009)

2) Hexagon OBTI

Hexagon OBTI จัดเป็น Chromatographic immunoassay (CIA) วิธีหนึ่งที่จำเพาะกับเลือดมนุษย์ โดยอาศัยหลักการการจับของ Antigen/Antibody เช่นเดียวกับชุดทดสอบ SERATEC® HemeDirect Hemoglobin Assay แต่จะแสดงผลในรูปแบบแถบสีน้ำเงินบนชุดทดสอบ หากปรากฏแถบสีน้ำเงิน 2 แถบบริเวณ Test line และ control line สามารถแปรผลการทดสอบเป็นบวก (แสดงดังภาพที่ 15) หากไปปรากฏแถบสีน้ำเงินที่ test line แปรผลเป็นลบ ทั้งนี้สามารถเกิด High dose hook effect เนื่องจากปริมาณเลือดที่ทดสอบมากเกินไปได้ ซึ่งอาจทำให้แปลผลเป็นผลลบปลอม สามารถแก้ไขได้ด้วยการเจือจางตัวอย่างแล้วจึงนำมาทดสอบอีกครั้ง ซึ่งนอกจากชุดทดสอบนี้จะให้ผลบวกกับเลือดมนุษย์แล้วยังให้ผลบวกกับเลือดสัตว์ตระกูลไพรเมต (Primate family) และตัวเฟอเรตอีกด้วย (Hermon et al., 2003)

ภาพที่ 15 หลอดเก็บตัวอย่างของชุดทดสอบ Hexagon OBTI และผลบวกของชุดทดสอบ
ที่มา : “The use of the Hexagon OBTI test for detection of human blood at crime scenes and on items of evidence Part I: Validation studies and implementation,” by D. Hermon et.al., 2007, *Journal of forensic identification*, 53, p.569

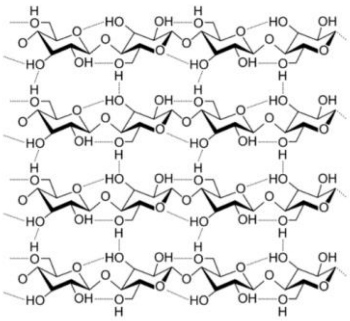
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผ้าและเส้นใย

สิ่งทอ (Textile) หมายถึง สิ่งทอหรือผลิตภัณฑ์สิ่งทอทุกชนิดที่ผลิตจากเส้นใย (fiber) ทั้งวิธีการทอและไม่ทอ (นวลแข ปาลิวนิช, 2556) “ผ้า” (fabric) จัดเป็นสิ่งทอประเภทหนึ่งที่เกิดจากการถักทอของเส้นด้ายหรือเส้นใยจนเป็นผ้าผืนที่ใช้สำหรับเป็นเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เป็นเครื่องใช้ในบ้าน ใช้สำหรับตกแต่ง หรือใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งผ้าแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเส้นใยที่นำมาประกอบเป็นผ้านั้น ๆ ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผ้าที่ใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน 2 ประเภท คือ ผ้าฝ้าย และ ผ้าโพลีเอสเตอร์

2.3.1) ผ้าฝ้าย (Cotton)

ผ้าฝ้าย เป็นผ้าที่ทอขึ้นจากใยฝ้าย ซึ่งเป็นเส้นใยเก่าแก่ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มกันมาตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน แม้จะมีเส้นใยชนิดใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมาย แต่ฝ้ายยังคงเป็นเส้นใยที่ใช้กันมากที่สุด สำหรับประวัติความเป็นมาของการปลูกฝ้ายเพื่อนำมาทอเป็นเครื่องนุ่งห่มในประเทศไทยยังไม่พบหลักฐานที่แน่ชัดว่าเริ่มมีการปลูกฝ้ายและนำมาใช้ตั้งแต่เมื่อใด ทั้งนี้ในพุทธบัญญัติได้กำหนดให้พระภิกษุใช้ผ้าห่มครองได้ 6 ชนิด และ 1 ใน 6 ชนิดนั้นคือผ้าฝ้าย และในวรรณคดีเรื่องขุนช้าง ขุนแผนก็ได้มีการกล่าวถึงไร่ฝ้ายไว้ด้วย ซึ่งจากหลักฐานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคนไทยรู้จักการปลูกฝ้ายและนำมาทอใช้กันมาช้านานแล้ว ทั้งนี้ผ้าฝ้ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถใช้เป็นเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มได้ทุกชนิด เป็นผ้าที่ใช้ประกอบกับเครื่องเรือนในบ้าน ใช้ประดับตกแต่ง และเป็นผ้าที่ใช้งานได้ดีในอุตสาหกรรม เนื่องจากสวมใส่สบาย ไม่ร้อน ซักรีดง่าย ดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดี ย้อมสีได้ง่าย ทั้งยังทนต่อความร้อนและระบายความร้อนได้ดี

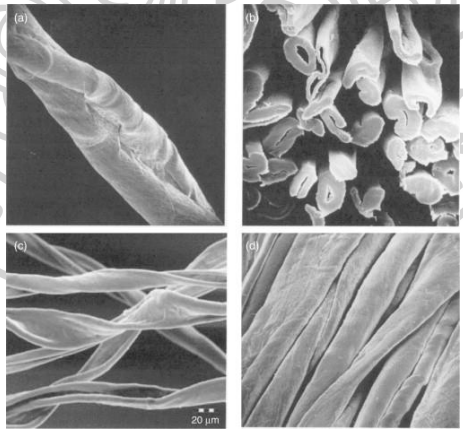
เส้นใยฝ้าย เป็นเส้นใยจากธรรมชาติที่ได้จากเมล็ดฝ้าย จัดอยู่ในกลุ่มเซลลูโลส ซึ่งหน่วยย่อยประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโลส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ต้าแหน่งบีต้า-1,4 (β-1,4 glycosidic bond) ได้เป็นสายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสกว่า 1,000 - 10,000 โมเลกุล ที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (แสดงดังภาพที่ 16) โดยเซลลูโลสจะมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (Cellobiose) และทุก ๆ หน่วยที่สองของกลูโลสที่ต่อกันในโมเลกุลของเซลลูโลสจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะ ไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคส ท้าให้ใยฝ้ายมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง และไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป



ภาพที่ 16 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

ที่มา : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080809u.pdf

ลักษณะทางกายภาพของเส้ยใยฝ้าย ตามยาวจะมีลักษณะเหมือนริบบิ้นที่ถูกจับบิดเป็นช่วง ๆ และรูปร่างด้านหน้าตัดของเส้นใยฝ้ายเป็นรูปเกือบกลม ส่วนใหญ่จะเป็นวงรี บางชนิดเป็นรูปไต (แสดงดังภาพที่ 17) เส้นใยฝ้ายจะมีขนาดความกว้างเท่า ๆ กันหรือใกล้เคียงกัน คือมีความกว้างประมาณ 12-20 ไมครอน ส่วนกลางเส้นใยจะกว้างกว่าส่วนหัวและส่วนปลาย ผ้าฝ้ายมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะที่ 1.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทั่วไปเส้นใยฝ้ายมีความมันน้อย มีความเหนียวปานกลาง ประมาณ 3.0-5.0 กรัมต่อเดนเยอร์ และจะเหนียวขึ้นเมื่อเปียก ความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ คือจะยืดได้ประมาณ 3-7% บางครั้งอาจถึง 10% ก่อนถึงจุดขาด ส่วนการหดกลับเข้าที่เดิมหากจับยืดออกเพียง 2% จะหดกลับเข้าที่เดิมได้ 74% แต่หากจับยืดออก 5% จะหดกลับที่เดิมได้เพียง 50% ทำให้ผ้าฝ้ายมีความคืนตัวต่ำ และยับได้ง่ายมาก โดยปกติผ้าฝ้ายจะคงรูป ไม่ยืด และไม่หดมาก สามาถดูดความชื้นในบรรยากาศปกติได้ 8.5% หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ที่ 95% และ 100% ผ้าฝ้ายจะดูดความชื้นไว้ได้ 15% และ 25-27% ตามลำดับ อีกทั้งยังทนต่อด่างได้ดี ซึ่งในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายต้องใช้ด่างในกระบวนการฟอกขาวและการชุบมัน สารซักฟอกและสารฟอกขาวทุกชนิดที่มีสมบัติเป็นด่างจึงไม่ทำอันตรายต่อผ้าฝ้าย ในทางกลับกันผ้าฝ้ายจะไม่ทนกรด โดยเฉพาะกรดของโลหะ ทั้งนี้ผ้าฝ้ายสามารถติดไฟได้ง่ายและเร็ว เมื่อเผาจะมีกลิ่นเหมือนเผากระดาษ

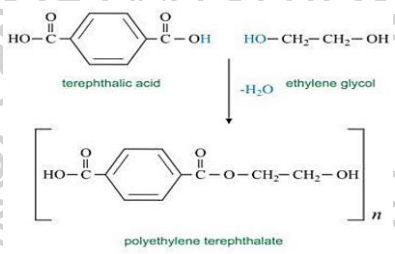


ภาพที่ 17 รูปร่างตามขวางและลักษณะของเส้นใยฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

ที่มา : *Handbook of Natural Fibres Volume1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation, by* M. Dochia et.al., 2012, Cambridge: Woodhead Publishing

2.3.2) ผ้าโพลีเอสเตอร์

ผ้าโพลีเอสเตอร์ เป็นผ้าที่ทอขึ้นจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (polyester fibers) ซึ่งเป็นใยสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยเอสเตอร์ไดไฮดริกแอลกอฮอล์ (dihydric alcohol) และกรดเทเรฟทาลิก (terephthalic acid) (แสดงดังภาพที่ 18) อย่างน้อย 85% โดยน้ำหนัก หรือเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาระหว่างไดไฮดริกแอลกอฮอล์และกรดไดคาร์บอกซิลิก ปั่นเป็นเส้นใยด้วยวิธีปั่นหลอม โดยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ชนิดแรกเกิดขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ.1930 Wallace H. Carothers ทำการวิจัยกี่ยวกับผ้าไนลอนให้กับบริษัทแห่งหนึ่งในสหรัฐอเมริกา ต่อมานักวิจัยชาวอังกฤษได้ต่อยอดผลงานวิจัยของเขาจนกระทั่งสามารถผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ชนิดแรกขึ้นได้ โดยใช้ชื่อว่า เทอริลีน (Terylene) จากนั้นได้มีการพัฒนาต่อยอดเส้นใยโพลีเอสเตอร์อย่างต่อเนื่องจนได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วและกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

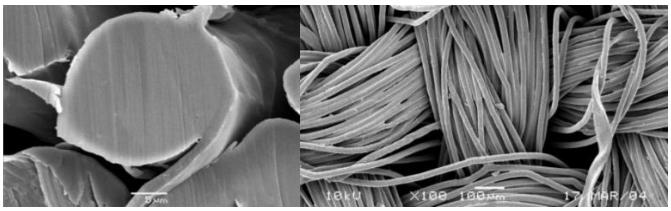


ภาพที่ 18 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์

ที่มา : https://bit.ly/3GjgXNS p164

ใยโพลีเอสเตอร์โดยปกติจะมีสีขาว รูปร่างภายนอกจะมีรูปร่างเหมือนแท่งแก้ว รูปร่างหน้าตัดจะเป็นรูปกลม (แสดงดังภาพที่ 19) ตัวเส้นใยมีหลายขนาด ผ้าโพลีเอสเตอร์มีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะที่ 1.34-1.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความมันมาก มีความเหนียวประมาณ 2.4-5.5 กรัมต่อเดนเยอร์ และความเหนียวไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปียก ความยืดหยุ่นสูงกว่าผ้าฝ้าย คือจะยืดได้ประมาณ 18% ก่อนถึงจุดขาด ความสามารถหดกลับที่เดิมได้ของเส้นใยหลังจับยืดออก 2.5% อยู่ที่ 76% ดังนั้นผ้าโพลีเอสเตอร์จึงมีความคงตัวสูง และทนยับได้ดี ทนต่อการขัดถูได้ดีกว่าผ้าฝ้าย แต่สามารถดูดความชื้นได้น้อย คือประมาณ 0.4-0.8% ละลายได้ที่อุณหภูมิ 238-290 องศาเซลเซียส คุณสมบัติเด่นของใยโพลีเอสเตอร์คือ สามารถคืนตัวได้ดี ไม่ยับ ดูแลรักษาง่าย เมื่อนำไป

ผสมกับเส้นใยชนิดอื่นจะเพิ่มคุณสมบัติให้ผ้านั้นไม่ยับ มีข้อเสียคือดูดซึมความชื้นได้น้อย เกิดไฟฟ้าสถิต และต้องใช้เทคนิคพิเศษในการย้อม



ภาพที่ 19 รูปร่างตามขวางและลักษณะของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด
ที่มา : “Polyester Fibres Finished with Polyaniline,” R. Fryczkowski et.al., 2005, *Fibres&Textile in Eastern Europe*, 13, p.142

ใยโพลีเอสเตอร์ได้รับความนิยมอย่างมากและรวดเร็ว มีปริมาณการนำไปใช้มาก เพราะคุณสมบัติที่ดีหลายประการ นอกจากนี้ใยโพลีเอสเตอร์ยังมีลักษณะคล้ายใยธรรมชาติ สามารถนำไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่น ๆ ได้ดี โดยเฉพาะใยฝ้าย ซึ่งผ้าจำนวนมากในท้องตลาดมักเป็นผ้าที่ผลิตจากใยผสม 2 ชนิดนี้ เช่น เสื้อเชิ้ต หรือเสื้อครึ่งท่อนทั่วไป จะนิยมใช้ผ้าใยผสมระหว่างโพลีเอสเตอร์ 65% และฝ้าย 35% หรือเสื้อสูทที่ต้องการผ้าเนื้อหนามากขึ้นจะนิยมใช้ผ้าใยผสมระหว่างโพลีเอสเตอร์ 50% และฝ้าย 50% (นวลแข ปาลิวนิช, 2556)

2.4 ผลิตภัณฑ์ทำซักผ้าและการทำความสะอาดผ้า

ในส่วนนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้า และการทำความสะอาดผ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ผลิตภัณฑ์ซักผ้า ตามความหมายของสำงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่กำหนดไว้ใน มอก.78-2549 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดสังเคราะห์ และ/หรือชนิดธรรมชาติเป็นส่วนประกอบ ใช้สำหรับซักผ้า ซึ่งนิยามนี้ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดผงซักฟอกเท่านั้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีการผลิตผลิตภัณฑ์แบบน้ำออกมาวางจำหน่ายเพื่อเพิ่มปรับปรุงพัฒนารูปแบบให้สะดวกต่อการใช้งานและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น สำนักงาน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงออกมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลว เพื่อใช้กำหนดหลักเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซักผ้าและยกระดับมาตรฐานอุตสาหกรรมให้เป็นที่ยอมรับในตลาดทั้งในและต่างประเทศ โดยได้กำหนดนิยามของผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลว ตาม มอก. เอส. 20-2560 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว มีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลัก ใช้สำหรับซักผ้า (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2560)

ในอดีตก่อนที่จะมีผลิตภัณฑ์ซักผ้าอย่างสบู่หรือผงซักฟอกนั้น ชาวบ้านนิยมซักผ้าด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวแล้วนำมาขยี้ด้วยมือ หรือใช้อุปกรณ์ช่วยซักผ้าคือ ไม้ทุบผ้า ที่เอาไว้ทุบเพื่อให้เกิดแรงเสียดสีทำให้คราบเหงื่อไคลบนเสื้อผ้าหลุดออก แต่หากเป็นคราบสกปรกที่ติดแน่นจะใช้น้ำด่างจากขี้เถ้าไม้แสม คือน้ำที่ได้จากการนำขี้เถ้าไม้แสมมาต้มแล้วทิ้งค้างคืนไว้ให้ขี้เถ้าตกตะกอน มาใช้เป็นน้ำแช่ผ้าเพื่อสลายคราบสกปรกก่อนนำไปทุบหรือขยี้ หลังจากนั้นอาจจะมีการนำไปต้มเพื่อขจัดคราบเหงื่อไคล แล้วจึงนำมาล้างตาก นอกจากยังมีการใช้หอมหัวใหญ่ฝานแล้วทาลงบนคราบก่อนซักได้เพื่อขจัดคราบสกปรกโดยเฉพาะผ้าเนื้อหนา เช่น ผ้าไหม (รสสุคนธ์ ไตรรงค์, 2555) แต่สำหรับหญิงชาววังนิยมทำความสะอาดโดยวิธีการต้ม วิธีต้มผ้าเริ่มตั้งแต่การต้มน้ำตามปริมาณของผ้า เมื่อน้ำเดือดจึงใส่ต้นชะลูดหอม เพื่อให้กลิ่นหอมจากน้ำที่ต้มซึมเข้าไปถึงเนื้อในผ้า จากนั้นใส่ลูกซัด ประมาณ 1 กำมือ ซึ่งเมื่อลูกซัดถูกความร้อนจะคลายยางออกมาเป็นเมือกลื่นเหนียว คล้ายแป้ง และมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ทำให้ผ้าแข็งตัว เวลาตากแห้งและนำไปรีดผ้าจะเป็นเงามันและอยู่ตัว จากนั้นจึงนำผ้าที่ต้องการต้มใส่ในหม้อต้มทีละผืน และใช้ไม้เขี่ยกลับไปมาให้สิ่งสกปรกคลายออกแล้วจึงนำขึ้น จากนั้นใส่ผ้าผืนใหม่ลงไป ส่วนผ้าแถบหรือผ้าสไบ โดยปกติเป็นผ้าที่เบาบาง ทำด้วยแพรไหม มักไม่สกปรกจึงไม่จำเป็นที่จะต้องซักหรือทำความสะอาดบ่อย ซักผ้าชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องต้ม เพียงแต่ซักน้ำให้สะอาดและตากให้แห้ง (ศันสนีย์ วีระศิลป์ชัย, 2564) จนกระทั่งเมื่อประมาณ พ.ศ. 2470 ได้มีการนำสบู่เข้ามาใช้ในประเทศไทยเป็นครั้งแรก จึงเริ่มมีการใช้สบู่ในการซักผ้านอกจากนี้ยังใช้สบู่ชำระล้างร่างกายรวมไปถึงล้างจาน หลังจากนั้นเมื่อปี พ.ศ.2475 ได้มีการผลิตผงซักฟอกใช้ในประเทศไทยเป็นครั้งแรกนับเป็นจุดเริ่มต้นการบริโภคและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซักผ้าตั้งแต่นั้น โดยชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

2.4.1.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

1) แบ่งตามรูปแบบของการซัก

1.1) ชนิดซักฟอกด้วยมือ เป็นผงซักฟอกที่เหมาะกับการซักด้วยมือ เกิดฟองเป็นจำนวนมากที่สุด ไม่มีฤทธิ์เป็นด่างมากจนเกินไปจึงช่วยถนอมมือของผู้ใช้

1.2) ชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า

1.2.1) สำหรับเครื่องซักผ้าผ้าบน เป็นผงซักฟอกที่ให้ฟองน้อย มีสมบัติเป็นด่างสูงทำให้ประสิทธิภาพการซักล้างค่อนข้างรุนแรง จึงไม่ควรนำมาใช้สำหรับการซักด้วยมือ

1.2.2) สำหรับเครื่องซักผ้าฝาหน้า เป็นผงซักฟอกที่ให้ฟองน้อย มีสมบัติเป็นด่างสูงทำให้ประสิทธิภาพการซักล้างค่อนข้างรุนแรง แต่น้อยกว่าแบบฝาบน จึงไม่ควรนำมาใช้สำหรับการซักด้วยมือ

1.3) ชนิดซักฟอกด้วยมือหรือเครื่องซักผ้า เป็นผงซักฟอกที่สามารถใช้ได้ทั้งกับเครื่องซักผ้าและการซักด้วยมือ เนื่องจากมีฤทธิ์ด่างปานกลาง ไม่ทำให้ระคายเคืองกับผิวหนัง เหมาะกับผ้าเนื้อบาง

2) แบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

2.1) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าอเนกประสงค์ (general-purpose detergents) เป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเข้มข้น ซึ่งเหมาะสำหรับซักเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มทุกชนิด

2.2) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าแบบอ่อน (light-duty detergents) ออกแบบมาสำหรับการซักผ้าด้วยมือและเครื่องซักผ้า เหมาะอย่างยิ่งสำหรับผ้าเนื้อละเอียดและบาง

2.3) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าประสิทธิภาพสูง (high efficiency (HE) detergents) เป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรพิเศษที่คิดค้นมาเพื่อใช้กับเครื่องซักผ้าแบบประหยัดน้ำโดยเฉพาะ

2.4) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ (liquid detergents) มีประสิทธิภาพในการกำจัดคราบอาหาร คราบไขมัน และคราบสกปรกบนเนื้อผ้าเป็นพิเศษ

2.5) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดผง (powder detergents) ใช้สำหรับซักผ้าสกปรกทั่วไป สารในผลิตภัณฑ์ซักผ้าประเภทนี้มีประสิทธิภาพชำระล้างดินและโคลนที่ฝังแน่นในเสื้อผ้า จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้ซักชุดนักเรียนหรือเสื้อผ้าที่เผื่อนคราบสกปรก

2.6) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพิเศษ (ultra-detergents) เป็นผงซักฟอกชนิดเข้มข้นที่มีจำหน่ายทั้งในรูปแบบน้ำและผง เมื่อเทียบกับผงซักฟอกแบบธรรมดา ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดนี้ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยใช้ช้อนหรือฝาตวงตามคำแนะนำที่ระบุไว้บนบรรจุภัณฑ์

2.7) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดใช้ครั้งเดียว (single-use detergents) มีทั้งรูปแบบผง น้ำ และแบบเม็ด เป็นผงซักฟอกสูตรเข้มข้นที่บรรจุอยู่ในภาชนะหรือห่อขนาดเล็ก โดยมีปริมาณที่เหมาะสมและสะดวกสำหรับการซักผ้าเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น

2.8) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าแบบไร้สีหรือกลิ่น (fragrance or dye-free detergents) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกมากมายที่ออกแบบมาให้ปราศจากกลิ่นและสี เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ไม่ชอบกลิ่นและสีในผงซักฟอก

2.9) สบู่ซักผ้า (soap bars) เป็นสารซักฟอกอักแท่งที่ผลิตจากไขมันสัตว์ ผสมน้ำมัน โกโก้หรือน้ำมันมะพร้าว สบู่อัดแท่งนี้มีใช้กันมานานก่อนหน้าผงซักฟอกชนิดเกล็ดและผง

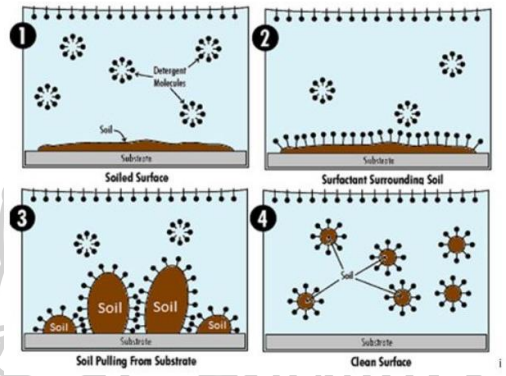
2.10) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดผสม (combination detergents) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดนี้ทำหน้าที่มากกว่าหนึ่งอย่าง มีทั้งในรูปแบบน้ำและผง อาทิเช่น ผงซักฟอกผสมน้ำยาปรับผ้านุ่ม ผงซักฟอกผสมสารฟอกสีที่ไม่ทำให้สีซีด และน้ำยาซักผ้าผสมสารฟอกพิเศษ (กองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2563)

ทั้งนี้ในปัจจุบันตลาดผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีการปรับปรุงพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น ทั้งในด้านของความสะดวกในการใช้งาน ความสามารถในการขจัดคราบและประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรค ดังจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดต่าง ๆ ที่วางขายอยู่ในท้องตลาดที่มีให้เลือกมากกว่าชนิดที่กล่าวมาข้างต้น เช่น ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคนาโน ซึ่งหลักในการทำงานของผลิตภัณฑ์ซักผ้าโดยทั่วไป มีดังต่อไปนี้

2.4.1.2 หลักการทำงานของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

สารซักฟอกหรือผลิตภัณฑ์ซักผ้า คือสารลดแรงตึงผิวชนิดหนึ่ง ดังนั้นเมื่อเติมสารดังกล่าวลงไปในน้ำ ทำให้ความตึงผิวของน้ำลดลง น้ำจะไม่เกาะอยู่บนผิวผ้าแต่จะกระจายไปบนผิวผ้าทำให้พื้นผิวของผ้าเปียกชื้น โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในสารซักฟอกประกอบด้วยส่วนหาง (Hydrophobic) เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ แต่สามารถจับหรือรวมตัวกับสิ่งสกปรกอื่น ๆ เช่น คราบไขมันหรือน้ำมันได้ ส่วนปลายอีกข้างคือส่วนหัว (Hydrophilic) เป็นส่วนที่ชอบน้ำ สามารถจับกับน้ำและโมเลกุลส่วนหัวด้วยกันเองได้ ทั้งนี้โมเลกุลทั้ง 2 ส่วนนี้จะช่วยกันขจัดสิ่งสกปรก (Soils) ออกจากผ้า โดยส่วนหางจะเข้าไปยึดเกาะกับสิ่งสกปรกไว้ ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งเข้ารวมตัวกับน้ำ จึงเกิดแรงดึงให้สิ่งสกปรกพร้อมที่จะหลุดออกจากผ้าเมื่อมีแรงขยี้หรือแรงปั่นมากระทำ ซึ่งการขยี้ การแปรง และ

การปั่นของเครื่องซักผ้าจะทำให้สิ่งสกปรกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำที่ซัก ซึ่งสิ่งสกปรกที่หลุดออกจากผ้าจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลส่วนที่ไม่มีขั้วของสารซักฟอก เกิดเป็นโครงสร้าง Micelle และไหลออกไปกับน้ำที่ซัก (แสดงดังภาพที่ 20) ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการขจัดสิ่งสกปรกของผลิตภัณฑ์ซักผ้าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เวลาในการซัก ชนิดของผ้า เงื่อนไขการเคลื่อนไหวของน้ำ โครงสร้างทางเคมีของเส้นใย อุณหภูมิที่ใช้ในการซัก ปริมาณอิเล็กโทรไลท์ ความกระด้างของน้ำ ประเภทของสิ่งสกปรก โครงสร้างและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ซักผ้า (แสดงดังภาพที่ 21)



ภาพที่ 20 กลไกการขจัดสิ่งสกปรกของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

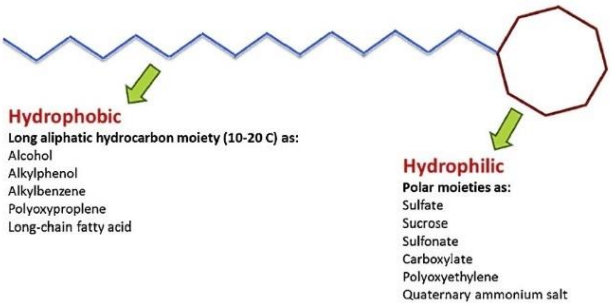
ที่มา : https://www.ipcol.com/blog/an-easy-guide-to-understanding-surfactants/

ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ซักผ้ากับตัวแปรต่าง ๆ

ที่มา : “Application of zeolite as non-phosphate detergent builder: A review,” by E. Koohsaryan et.al., 2020, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8, p.2

2.4.1.3 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

1) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ช่วยให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง โดยทั่วไปสารประกอบนี้จะผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าประมาณ 15-20% ช่วยให้การกระจายตัวของของเหลวดีขึ้น ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างอากาศกับน้ำ ผ้ากับน้ำ และสิ่งสกปรกกับน้ำ ซึ่งธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยโมเลกุลส่วนหัวที่ชอบน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว (Polar head: Hydrophilic) และส่วนหางไม่ชอบน้ำเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Non-polar tail: Hydrophobic) (แสดงดังภาพที่ 22) ส่วนหัวที่มีขั้วจะรวมตัวโมเลกุลที่มีขั้วคือน้ำและส่วนหัวด้วยกันเองเท่านั้น ในขณะที่ส่วนหางจะจับกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วอื่น ๆ คือสิ่งสกปรกและส่วนหางด้วยกัน เมื่อมีแรงมากระทำจนคราบสกปรกหลุดออกมาจากผ้า สารลดแรงตึงผิวจะสามารถรวมตัวเป็นก้อนกลม เรียกว่า Micelle ทำให้คราบสกปรกไม่สามารถกลับไปติดที่ผ้าได้อีก



ภาพที่ 22 โครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวของสารลดแรงตึงผิว

ที่มา : “Application of zeolite as non-phosphate detergent builder: A review,” by E. Koohsaryan et.al., 2020, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8, p.3

สารลดแรงตึงผิวมีหลายชนิด เช่น non-ionic, anionic และ cationic สารเคมีประเภท non-ionic เช่น อีเทอร์และเอทิลีนออกไซด์ มักใช้ในรูปของเหลว เหมาะสำหรับน้ำอุณหภูมิปกติหรือน้ำอุ่น ไม่เหมาะสำหรับน้ำร้อน เพราะสามารถละลายได้น้อยที่อุณหภูมิสูง สารลดแรงตึงผิวประเภท anionic มักใช้ในรูปแบบผง ซึ่งในประเทศไทยนิยมนำมาใช้มากที่สุด ได้แก่ สารประกอบของเกลือโซเดียมอัลคิลอะริลซัลโซเนต และโซเดียมอัลคิลซัลโซเนต เช่น Linear alkylbenzene sulfonate และSodium lauryl sulfate ซึ่งสารพวกนี้จำทำหน้าที่เป็นตัวละลายไขมันที่ดี จึงเหมาะกับรอยเปื้อนหรือคราบสกปรกที่มีส่วนผสมของไขมันและน้ำมัน จะให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้กับน้ำอุ่นและ

น้ำร้อน ส่วนสารลดแรงตึงผิวประเภท cationic ส่วนใหญ่มักใช้เป็นส่วนผสมพื้นฐานของน้ำยาฆ่าเชื้อและน้ำยาปรับผ้านุ่มที่ใช้ในการซักผ้า

2) สารเพิ่มเนื้อหรือสารสร้างเสริม (builder) เป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาด โดยช่วยลดความกระด้างของน้ำ และเพิ่มความเป็นด่างในสารละลาย ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของสารซักฟอกอยู่ที่ 10-8 ซึ่งจะช่วยในการทำความสะอาดได้ดีที่สุด โดยช่วยละลายไขมันและป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกที่หลุดออกมากลับไปติดผ้าได้อีก สารเพิ่มเนื้อที่นิยมใช้ ได้แก่

2.1) ฟอสเฟต เช่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) โดยปกติสารประเภทฟอสเฟตนั้นไม่สามารถช่วยทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากผ้าได้โดยตรง แต่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง เพื่อช่วยให้ผงซักฟอกทำงานได้ดียิ่งขึ้น แต่จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่าเมื่อฟอตเฟสถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะกระตุ้นการเจริญของพืชน้ำให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะสาหร่ายทำให้แหล่งน้ำเกิดภาวะ water bloom ทำให้น้ำมีรสและสีเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้อุปโภคบริโภค และเมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนส่งผลให้แหล่งน้ำเน่าเสีย ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ซักผ้าส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ซีโอไลท์ (Zeolite) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อทดแทนฟอสเฟตมากขึ้น (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2547)

2.2) สารประกอบคาร์บอเนต เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate หรือ soda ash) เป็นสารที่นิยมใส่เป็นสารเพิ่มเนื้อในผลิตภัณฑ์ซักผ้าส่วนใหญ่ มีสมบัติเป็นด่างแก่ไม่ทำให้น้ำเน่าเสีย แต่หากมีปริมาณมากเกินไปจะรวมกับแร่ธาตุในน้ำกระด้าง ทำให้กลายเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ หรือเป็นคราบลอยอยู่เหนือน้ำ และเกาะตามผิวผ้า ภาชนะ หรือเครื่องซักผ้า

2.3) สารประกอบซิเตรต เช่น โซเดียมซิเตรต (sodium citrate) ช่วยปรับสภาพน้ำที่กระด้างให้อ่อนลง

2.4) สารประกอบซิลิเกต เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) นิยมใส่ในสารซักฟอกชนิดอ่อน อีกทั้งยังเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันสนิมหรือการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) ของชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่เป็นส่วนประกอบของเสื้อผ้า เช่น ซิป และ กระดุม เป็นต้น

3) สารเรืองแสง (optical brightening agents หรือ OBAs) ได้แก่ สารประกอบที่มีคุณสมบัติคล้ายสีย้อมที่ไม่มีสีแต่เรืองแสงทำให้ผ้าดูขาวขึ้น โดยใช้กลไกการดูดกลืนรังสีอัลตร้าไวโอเลต แล้วคายแสงสีฟ้าอมม่วงออกมาเพื่อกลบความเหลืองหม่นของผ้า ทำให้ดูเหมือนผ้าสะอาดและขาวขึ้น

4) สารเพิ่มฟอง (Foam boosters) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่สามารถเกิดฟองได้ดีสำหรับสารซักฟอกที่ซักด้วยมือเท่านั้น เช่น Sodium lauryl ether sulfate

5) สารกดฟอง (Defoamers) ใช้สำหรับสารซักฟอกในเครื่องซักผ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องซักผ้าฝาหน้า เพื่อป้องกันฟองล้นออกจากเครื่องซัก ซึ่งสารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบซิลิโคน (Silicone defoamers)

6) สารช่วยป้องกันการตกตะกอนของสิ่งสกปรก (Anti-redeposition agents) ช่วยป้องกันสิ่งสกปรกย้อนกลับมาจับบนผ้าเมื่อหลุดออกจากผ้าและของสีย้อมที่ตกออกมาขณะซัก ได้แก่ สารในกลุ่มพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำ เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose หรือ CMC) หรือ สารประกอบพอลิอะไครเลต ซึ่งจะผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าร้อยละ 0.5-1

7) เอนไซม์ (enzyme) เช่น Protease ที่มีหน้าที่ในการช่วยย่อยคราบเหงื่อไคล เลือด และคราบโปรตีนอื่นๆ รวมถึงเอนไซม์ชนิดอื่น เช่น Lipase Pectinase ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและคราบอื่น ๆ ที่มักฝังแน่นบนผ้า (เคมีฟิสิกส์ของสิ่งทอ อาหาร และของรอบตัว, 2559)

8) สารเติมแต่ง

8.1) แอลกอฮอล์ ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ เพื่อทำให้สารละลายข้น ส่วนผสมสามารถละลายเข้ากันได้ดี เพิ่มขนาดของ micelle หรือในผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดผง ช่วยป้องกันการเกาะกันของสารซักฟอก เช่น Ethoxylated alcohol

8.2) น้ำหอม ช่วยดับกลิ่นสารเคมีและช่วยให้ผ้าหอมสดชื่น

9) สารที่ใช้ในการซักเพิ่มเติม

9.1) สารฟอกขาว สารฟอกขาวเกือบทุกชนิดเป็นประเภทสารฟอกขาวออกซิเจน (Oxygen bleach) ใช้ขจัดคราบสกปรกโดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidizing bleach) มีสารฟอกขาวไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ฟอกขาวโดยการทำปฏิกิริยารีดักชัน (reducing bleach) ซึ่งใช้สำหรับการกัดสี ส่วนที่นิยมใช้ในการซักผ้าคือ oxidizing bleach และคลอรีน

9.1.1) สารฟอกขาวคลอรีนชนิดน้ำ (Sodium hypochlorite) ใช้ฟอกขาวสำหรับการซักผ้าทั่วไป ทั้งยังมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค ราคาถูก และใช้ได้ผลดีกับเส้นใยเซลลูโลส การฟอกขาวเกิดจากการทำงานของกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid) ที่ปล่อยทิ้งไว้ระหว่างการฟอกขาว เมื่อใยเซลลูโลสอ่อนนุ่มจึงสามารถล้างสารฟอกขาวพร้อมกับคราบสกปรกออกไปได้ง่าย

9.1.2) สารฟอกขาวออกซิเจนชนิดผง เป็นสารฟอกขาวที่ใช้ได้กับผ้าทุกชนิด ปลอดภัยกับเส้นใยและผ้าสีทุกชนิด ซึ่งสารฟอกขาวชนิดนี้มีผลอ่อนกว่าคลอรีนมาก

9.1.3) สารฟอกขาวโซเดียมเปอร์บอเรต (Sodium perborate) เป็นสารฟอกขาวชนิดผง เมื่อรวมกับน้ำจะแตกตัวให้ H_2O_2 เป็นสารฟอกขาวที่ปลอดภัยกับทุกเส้นใย

9.2) โซเดียมเปอร์คาร์บอเนต (Sodium percarbonate หรือ $Na_2H_3CO_6$ หรือ Oxygen quick หรือ active oxygen หรือ พลังออกซิเจน) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างและเป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวของ H_2O_2 และ Sodium carbonate มีความสามารถในการฟอกสีจากธรรมชาติได้ดี ทำให้สามารถขจัดคราบสี เช่น ซอสมะเขือเทศ ใบไม้ หรือคราบเลือดได้ ซึ่งสารชนิดนี้ปลอดภัยต่อสีย้อมสังเคราะห์เกิน 90% จึงทำให้สามารถใช้กับผ้าสีได้อย่างปลอดภัย มีความเป็นด่างแรงพอในการขจัดกลิ่นอับจากเหงื่อไคล และช่วยละลายคราบสกปรกพวกฝุ่นผงสกปรกและไขมันออกมาได้ดี

9.3) สารฆ่าเชื้อโรค (disinfectant) สารฆ่าเชื้อโรคที่นิยมนำมาใช้ในการซักหรือทำความสะอาดผ้า ได้แก่ น้ำมันสน กรดฟีนอล คลอรีน และสารที่ได้จากถ่านหิน ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับอนุภาคนาโนของโลหะที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดี เช่น อนุภาคนาโนของเงิน (silver nanoparticles) และ สังกะสี (Zinc nanoparticles) จึงมีการนำสารดังกล่าวมาใส่เพิ่มเติมในผลิตภัณฑ์ซักผ้าด้วย

9.4) สารกำจัดรอยเปื้อนหรือสารขจัดคราบ

9.4.1) สารกำจัดรอยเปื้อนประเภทกรด สารประเภทกรดสามารถทำลายเส้นใยเซลลูโลสได้ จึงควรใช้สารละลายอย่างอ่อนในการขจัดรอยเปื้อนเพื่อถนอมผ้า เช่น น้ำส้มสายชู และ กรดออกซาลิก (Oxalic acid) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ขจัดรอยเปื้อนบางชนิดผสมกรดอะมิโดซัลโฟนิก (Amidosulfonic acid หรือ Sulfamic acid) ลงไปด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดคราบหนักได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เมื่อใช้กรดในการขจัดคราบแล้วควรนำผ้าไปล้างให้อยู่ในสภาวะเป็นกลางเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้กรดทำลายเนื้อผ้า

9.4.2) สารกำจัดรอยเปื้อนประเภทด่าง เช่น สารละลายโซดาไบคาร์บอเนตและแอมโมเนีย สามารถช่วยกำจัดคราบโปรตีนได้ ในทางกลับกันสามารถทำลายเส้นใยผ้าประเภทโปรตีนได้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรล้างออกด้วยน้ำสะอาดทุกครั้งก่อนนำไปซักต่อไป

9.4.3) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารฟอกขาวชนิดอ่อนที่ใช้ได้กับผ้าทุกชนิด และจะได้ผลดียิ่งขึ้นเมื่อผสมกับแอมโมเนีย

9.4.4) โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ เป็นสารกำจัดรอยเปื้อนโดยเฉพาะประเภทเชื้อรา หมึก สนิมเหล็ก น้ำผลไม้ สี และหญ้า

9.4.5) โซเดียมเปอร์บอเรต จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดหนึ่งที่กำจัดรอยเปื้อนสนิมเหล็กและหมึกได้ดีแต่ไม่ควรใช้กับผ้าขนสัตว์ (นวลแข ปาลิวนิช, 2556)

2.4.2 การทำความสะอาดผ้า

การทำความสะอาดผ้า หรือการซักผ้า เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เช่น คราบชา กาแฟ โคลน น้ำมัน ซอส หรือแม้กระทั่งคราบเลือด การทำความสะอาดผ้านั้นนอกจากอาศัยสารซักฟอกเป็นตัวช่วยในการขจัดคราบแล้ว รูปแบบหรือวิธีการซักผ้านับเป็นอีกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดผ้าด้วย ซึ่งรูปแบบการซักที่ต่างกันสามารถให้ผลลัพธ์ที่ต่างกันออกไป โดยรูปแบบการทำความสะอาดผ้า สามารถแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

1) ซักด้วยมือ การซักผ้าด้วยมือรวมไปถึงการใช้เครื่องทุ่นแรง เช่นแปรงขัดผ้า เป็นวิธีการทำความสะอาดผ้าที่ใช้กันมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งช่วยให้ผ้าสะอาดได้ดี สามารถขจัดคราบได้ถูกจุด ทั้งนี้วิธีดังกล่าวมีข้อเสียคือใช้แรงมากและเสียเวลา การซักผ้าด้วยมือจึงเหมาะกับการซักผ้าปริมาณน้อย ผ้าเปื้อนคราบเฉพาะจุด หรือผ้าเปื้อนคราบหนักที่ควรซักด้วยมือก่อนนำไปซักด้วยเครื่องซักผ้า

2) ซักด้วยเครื่องซักผ้า เครื่องซักผ้าเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำความสะอาดผ้า ช่วยให้การซักผ้าในง่ายขึ้น ประหยัดเวลาและประหยัดแรงงานได้มาก อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พื้นที่น้อยจึงตอบโจทย์การใช้ชีวิตในยุคปัจจุบันได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เครื่องซักผ้าในปัจจุบันมีหลายรูปแบบและหลายโปรแกรมการซักซึ่งช่วยในการขจัดคราบได้ดีไม่ต่างจากการซักผ้าด้วยมือ โดยเครื่องซักผ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

2.1) เครื่องซักผ้ากึ่งอัตโนมัติ เป็นเครื่องซักผ้าที่แยกการซักและการสลัดน้ำออกจากกัน โดยถังซักจะวางตัวอยู่ในแนวตั้ง เมื่อมีการทำงานถังซักจะหมุนในแนวตั้ง (ระบบแกนหมุน) และเมื่อซักเสร็จสามารถล้างผ้าในถังซักหรือนำผ้าออกมาล้างภายนอกถังได้ และนำผ้ากลับไปใส่ในถังสลัดน้ำเพื่อปั่นหมาดก่อนนำไปตากต่อไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่เครื่องซักผ้าชนิดกึ่งอัตโนมัติจะมีราคาถูกกว่าแบบอัตโนมัติ

2.2) เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นเครื่องซักผ้าที่สามารถซักผ้า ซักน้ำ และสลัดน้ำได้ในถังเดียว สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1) เครื่องซักผ้าแบบฝาเปิดบน เป็นเครื่องซักผ้าที่มีการวางตัวของถังซักในลักษณะแนวตั้ง เมื่อมีการทำงานถังซักจะหมุนในแนวตั้ง (ระบบแกนหมุน) ถังจะหมุนสักระยะหนึ่งแล้วหยุด แล้วหมุนกลับในทิศตรงข้ามสลับไปมา ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงภายในถัง เกิดการกระแทกระหว่างผ้าและน้ำที่มีสารซักฟอก จึงสามารถดึงความสกปรกออกจากผ้าได้ ซึ่งการทำงานลักษณะนี้ต้องใช้มอเตอร์กำลังสูงกว่าเครื่องซักผ้าแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ช่วงเวลาในการซักด้วยเครื่องซักผ้าชนิดนี้มักใช้เวลาไม่นาน สามารถเติมน้ำ เติมผ้า หรือนำผ้าออกจากเครื่องได้โดยสะดวก อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง เครื่องซักผ้าชนิดนี้จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยมียอดขายเป็นอันดับ 1 ในประเทศไทย 5 ปีซ้อน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (Marketeer, 2560)

2.2.2) เครื่องซักผ้าแบบฝาเปิดข้าง หรือฝาหน้า เป็นเครื่องซักผ้าที่มีการวางตัวของถังซักในลักษณะแนวนอน โดยภายในเครื่องจะมีถัง 2 ชั้นติดตั้งอยู่ ถังชั้นนอกเป็นถังอยู่กับที่ใช้สำหรับเก็บน้ำ ส่วนถังชั้นในเป็นถังที่ใช้สำหรับใส่ผ้า ขณะซักเครื่องจะหมุนรอบแกนในแนวนอน (ระบบจานหมุน) การทำงานของเครื่องจะเหวี่ยงตัวถังในแนวดิ่ง เมื่อเครื่องหมุนให้เสื้อผ้าเหวี่ยงขึ้นด้านบนเสื้อผ้าจะตกลงมาและช่อยู่ในน้ำที่มีสารซักฟอกผสมอยู่ด้วยแรงดึงดูดของโลกตลอดระยะเวลาการซัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้มอเตอร์กำลังสูง โดยปริมาณน้ำในการซักผ้าแต่ละครั้งใช้เพียง 1 ใน 3 ของถังเท่านั้นทำให้ใช้ปริมาณผงซักฟอกน้อยลงไปด้วย นอกจากนี้การเหวี่ยงทำให้ผ้าเสียดสีไปมาเหมือนการซักด้วยมือ ทำให้ผ้าสะอาดกว่าการซักด้วยเครื่องซักผ้า 2 ประเภทก่อนหน้า แต่มีข้อเสียคือใช้ระยะเวลาในการซักนาน สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และมีราคาแพง (เฉลิมเดช เฉลิมลาภอัศดร, 2546)

2.5 ความรู้ทั่วไปเที่ยวกับระบบการวัดสี

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากการที่วัตถุสะท้อนแสงที่ตกกระทบเข้าหาตาเราและส่งไปยังสมองเพื่อแปลผลออกมาเป็นสีที่เห็น ซึ่งอาจสรุปได้ว่าการมองเห็นสีขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ แสง วัตถุที่มีสี และประสาทตาของคน ทั้งนี้มนุษย์สามารถระบุลักษณะสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะ คือ hue, value, และ chroma

- hue หมายถึง สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง เขียว และน้ำเงิน เป็นต้น
- value (lightness) หมายถึง ความสว่างของสี โดยดูการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน
- chroma (saturation) หมายถึง ความสดใส ความเข้ม (strength) หรือความบริสุทธิ์ของสี

ทั้งนี้การระบุลักษณะสีของวัตถุชิ้นเดียวกันที่มนุษย์มองเห็นนั้นจะมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับประสบการณ์ อารมณ์ เพศ อายุ และสิ่งแวดล้อมในการมองเห็น เป็นต้น ซึ่งทำให้บุคคลไม่สามารถสื่อความหมายของสีให้เข้าใจตรงกันได้ จึงมีการพัฒนาการจัดลำดับสีหรือการวัดสีให้สามารถสื่อ

ความหมายให้เข้าใจได้ตรงกันในระดับสากล โดยระบบการวัดสีที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ระบบมันเซลล์ (Munsell system) และระบบ CIE โดยในที่นี้ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงเฉพาะระบบสี CIE เท่านั้น

2.5.1 ระบบสี CIE

ระบบ CIE เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1931 โดย Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ซึ่งเห็นความจำเป็นของระบบการวัดสีจากวัตถุที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ โดยกำหนดการวัดสีเป็นตัวเลข ซึ่งมีข้อดี คือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่บุคคล และสามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้ ดังนั้นถึงแม้วัตถุจะซีดลงตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป แต่ตัวเลขที่มีอยู่ยังทำให้ทราบได้ว่าสีเดิมเป็นอย่างไร นอกจากนี้ยังสามารถนำตัวเลขไปคำนวณและทำนายสูตรสีผสมได้ โดยปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน วัตถุที่มีสี และผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน

1) แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสี สามารถวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่น (spectral power distribution) ได้ โดยเครื่อง spectroradiometer ซึ่งระบบ CIE กำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้

- illuminants A มีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่นใกล้เคียงกับหลอดไฟทังสเตนหรือแหล่งกำเนิดแสง Incandescence อื่น ๆ ที่มีอุณหภูมิของสี ประมาณ 2,848 K

- illuminants B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminants A มาผ่านแผ่นกรองแสงมีอุณหภูมิของสี ประมาณ 4,900 K โดย Illuminants B จะใช้แทนแสงแดดในเวลาเที่ยง แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร

- illuminants C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminants A มาผ่านแผ่นกรองแสงมีอุณหภูมิของสี ประมาณ 6,700 K โดย Illuminants C จะใช้แทนแสงแดดในเวลากลางวัน

- illuminants D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงานและความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแสงแดดในช่วงกลางวัน แต่จะแบ่งย่อยตามอุณหภูมิของสี จากสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน เช่น D55 D60 D65 และ D75

2) วัตถุที่มีสี

แสงที่สะท้อนจากวัตถุสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ โดยเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งวัดปริมาณสัดส่วนของการสะท้อนแสงของวัตถุเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิง (reflectance curve) แสดงดังภาพที่ 23 วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกัน เช่น

วัตถุสีขาว แสงสะท้อนทุกความยาวคลื่น (400 – 700 nm)

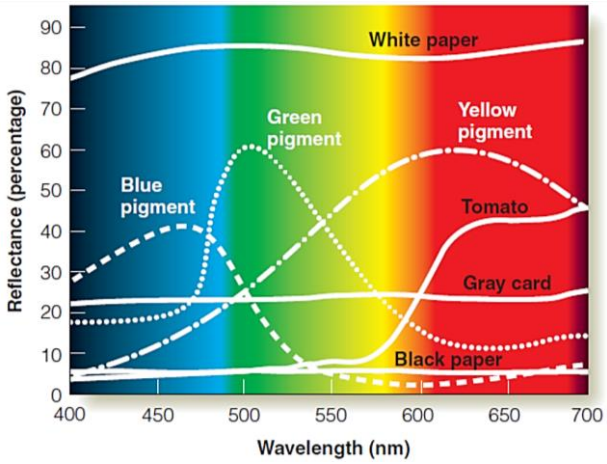
วัตถุสีน้ำเงิน แสงสะท้อนมากในช่วงความยาวคลื่น 430 – 460 nm

วัตถุสีเขียว แสงสะท้อนมากในช่วงความยาวคลื่น 500 – 530 nm

วัตถุสีเหลือง แสงสะท้อนมากในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เหลือง และแดง และมีการสะท้อนแสงต่ำมากที่ความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน

วัตถุสีแดง แสงสะท้อนมากในช่วงความยาวคลื่น 620 – 700 nm

วัตถุสีดำ มีการสะท้อนแสงต่ำมากทุกความยาวคลื่น (400 – 700 nm)

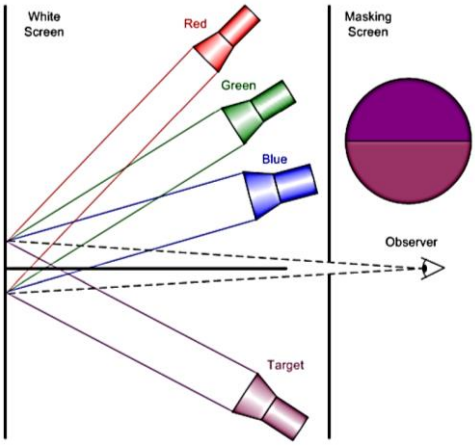


ภาพที่ 23 reflectance curve ของวัตถุสีต่าง ๆ

ที่มา : https://www.kth.se/social/files/5b0fd75456be5b88939ab897/DH2323%20SUDOA%20Color%20Perception.pdf

3) ผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน

การวัดสีออกมาเป็นตัวเลขต้องสามารถหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินได้ ซึ่ง Wright และ Guild ได้ทำการทดลองโดยฉายแสงตัวอย่างตลอดแนวความยาวคลื่น 400 – 700 nm ลงบนจอสีขาวด้านล่าง ส่วนจอด้านบนจะส่องด้วยแสงปฐมภูมิแสงสีแดงที่ความยาวคลื่น 700 nm แสงสีเขียวที่ความยาวคลื่น 546.1 nm และแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 435.8 nm ให้ผู้สังเกตการณ์ 17 คน มองผ่านช่องแคบขนาดเล็ก และเทียบสี (color match) แสงสีแดง เขียว และน้ำเงินที่ส่องมาผสมกันในปริมาณที่แตกต่างกันที่จอด้านบนกับแสงตัวอย่างที่จอด้านล่าง แสดงดังภาพที่ 24

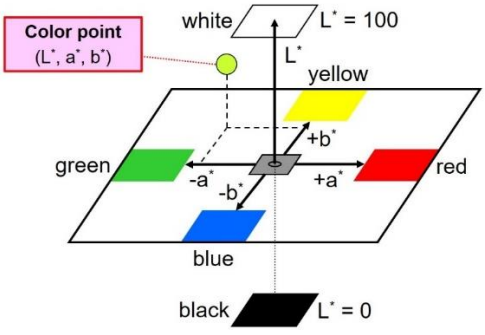


ภาพที่ 24 การทดลองหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน (color – matching experiment)

ที่มา : https://www.color.org/events/prague/5.Mahy.pdf

2.5.2 ระบบสี CIE L* a* และ b* (CIELAB)

เนื่องจากการระบุสี 2 ระบบ คือ ระบบที่ระบุตัวเลขด้วยค่า CIE tristimaulus values (X, Y และ Z) และ CIE chromaticity coordinates (x, y และ Y) ยังมีข้อเสียที่จำเป็นต้องมีปรับปรุง CIE chromaticity coordinates system ไปเป็นระบบใหม่ที่บอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ (uniform chromaticity system) ซึ่งมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกันอย่างมากจนถึงปัจจุบัน สมการที่ใช้ในการระบุสีซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง คือ CIE L*a*b* หรือ CIELAB ในปี ค.ศ.1979 มีลักษณะของ color space แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ระบบค่าสี CIELAB แสดง L* a* และ b*

ที่มา : https://knowledge.ulprospector.com/10780/pc-the-cielab-lab-system-the-method-to-quantify-colors-of-coatings/

โดย L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L* = 0 คือ สีขาวบริสุทธิ์

L* = 100 คือ สีดำบริสุทธิ์

a* ใช้กำหนดสีแดง หรือเขียว

a* มีค่าบวก คือ วัตถุมีสีออกแดง

a* มีค่าลบ คือ วัตถุมีสีออกเขียว

b* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

b* มีค่าบวก คือ วัตถุมีสีออกเหลือง

b* มีค่าลบ คือ วัตถุมีสีออกน้ำเงิน (ภัคนัย ทองทิอัมพร, 2550)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

ศศิญดา ศรีน่วม (2556) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และชุดทดสอบ FOB 1-Step Fecal Occult Blood เพื่อเปรียบเทียบความไวของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และชุดทดสอบ FOB 1-Step Fecal Occult Blood โดยใช้ตัวอย่างเลือดสัตว์จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ไก่ หมู วัว แมว สุนัข นก และเลือดมนุษย์ โดยนำตัวอย่างเลือดมาเจือจางให้มีความเข้มข้นต่างกัน 17 ระดับ (1:100 ถึง 1:1,000,000,000) รวมทั้งทดสอบตัวอย่างคราบเลือดมนุษย์บนพื้นผิวและสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน ได้แก่ คราบเลือดมนุษย์บนผ้าฝ้ายซักด้วยเครื่องซักผ้าอัตโนมัติโดยใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้า ซักด้วยน้ำเปล่าโดยวิธีการซักมือ คราบเลือดมนุษย์บนผ้าฝ้ายและผ้าก๊อสเก็บไว้มากกว่า 2 เดือน โดยวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง คราบเลือดมนุษย์บนผนังห้องที่เป็นไม้อัดผิวเรียบ กระเบื้องเคลือบ ยิปซัมบอร์ด และฝ้าเพดาน ผลการทดสอบพบว่า ชุดทดสอบ FOB 1-Step Fecal Occult Blood ให้ผลลบกับการทดสอบเลือดสัตว์ทุดตัวอย่าง ในขณะที่น้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ให้ผลบวกทุกตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบความไวในการทดสอบพบว่า ชุดทดสอบ FOB 1-Step Fecal Occult Blood สามารถตรวจพบคราบเลือดที่เจือจางที่ระดับ 1:500,000 ถึง 1:900,000 ได้ ในขณะที่ Kastle-Meyer สามารถตรวจพบคราบเลือดที่ระดับความเจือจาง 1:60,000 ทั้งนี้ น้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และชุดทดสอบ FOB 1-Step Fecal Occult Blood ไม่สามารถตรวจหาคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีสารฟอกขาวได้

วิภาวรรณ บุญช่วยเหลือ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการตรวจคราบเลือดมนุษย์บนผ้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าแคนวาส ผ้ากำมะหยี่ ผ้าไนลอน ผ้าไหม ผ้าซาติน และผ้ายีน ด้วยวิธี luminol phenolphthalein และ fluorescence หลังจากหยดคราบเลือดแล้วทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากผ่านการซักคราบเลือด 1-3 ครั้ง พบว่าการตรวจคราบเลือดด้วยวิธี

phenolphthalein สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ชัดเจนบนผ้าฝ้ายและผ้าไหมที่ผ่านการซักจำนวน 3 ครั้ง ขณะที่วิธี fluorescence สามารถตรวจหาคราบเลือดได้อย่างชัดเจนบนผ้าฝ้าย ผ้าแคนวาส และผ้าไหมที่ผ่านการซักจำนวน 3 ครั้ง อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบด้วยวิธี luminol พบว่าสามารถตรวจคราบเลือดได้ชัดเจนเมื่อหยดเลือดลงบนผ้าทั้ง 7 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าแคนวาส ผ้ากำมะหยี่ ผ้าไนลอน ผ้าไหม ผ้าซาติน และผ้ายีน ที่ผ่านการซักจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว สามารถเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมในการตรวจสอบคราบเลือดบนผ้าในงานนิติวิทยาศาสตร์ให้เหมาะสมกับชนิดของผ้าได้

วราภรณ์ สมบุรุษ (2561) ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจหาคราบเลือด ภายหลังทำความสะอาด ด้วยวิธีการตรวจลูมินอล และบลูสตาร์ โดยศึกษาระดับค่าสีและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเรืองแสง มีตัวแปรในการทดสอบได้แก่ ลักษณะพื้นผิว วิธีการทำความสะอาดคราบเลือด จำนวนครั้งที่ทำความสะอาด และวิธีการตรวจหาคราบเลือด จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และเมื่อทดสอบสมมติฐานแล้วมีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะของพื้นผิวและวิธีการทำความสะอาดคราบเลือดมีปฏิสัมพันธ์ต่อการตรวจหาระดับค่าสีของปฏิกิริยา ลักษณะของพื้นผิวและจำนวนครั้งของการทำความสะอาด มีปฏิสัมพันธ์ต่อการตรวจหาระดับค่าสีและระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้วิธีทำความสะอาดคราบเลือดและจำนวนครั้งที่ทำความสะอาดคราบเลือด ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อการตรวจหาระดับค่าสีและระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา และจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการตรวจหาคราบเลือดพบว่า วิธีการตรวจหาคราบเลือดด้วยลูมินอลและบลูสตาร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธีบลูสตาร์ มีค่าเฉลี่ยของระดับค่าสีและระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาเรืองแสงในการตรวจหาคราบเลือดมากกว่าลูมินอล

2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Castelló et.al. (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ใช้ในครัวเรือนที่มีส่วนผสมของ active oxygen ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการขจัดคราบหลายชนิดและสามารถขจัดคราบได้บนพื้นผิวที่หลากหลาย ในการทดลองนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดดังกล่าวกับคราบเลือดที่อาจหลงเหลืออยู่ในสถานที่เกิดเหตุ โดยใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดคราบเลือด จากนั้นทำความสะอาดด้วยผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของ active oxygen เมื่อนำผ้าที่ทำความสะอาดแล้วนำมาตรวจสอบคราบเลือดด้วย phenolphthalein, luminol และ human

hemoglobin พบว่าให้ผลลบทุกตัวอย่าง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ซักล้างชนิดนี้ทำปฏิกริยากับคราบเลือดจนไม่สามารถตรวจพบได้โดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ซึ่งการที่ไม่สามารถตรวจไม่พบและระบุตำแหน่งคราบเลือดได้นั้น อาจหมายถึงการสูญเสียหลักฐานชิ้นสำคัญที่สุดไป เพราะเหตุนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ที่ทำการสืบสวนสอบสวนต้องตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวเพื่อที่จะสามารถหาหลักฐานอื่นมาชดเชยข้อด้อยนี้ได้

Edler et.al. (2017) ได้ทำการศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการตรวจหาเลือดและดีเอ็นเอบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักโดยสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และ Chemiluminescence คือ Luminol ช่วยในการตรวจคราบเลือดเบื้องต้น โดยศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผ้าที่ต่างกัน ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกัน วิธีการซักที่ต่างกัน ได้แก่ การแช่ผ้า การซักด้วยมือ และการซักด้วยเครื่องซักผ้า จากผลการทดลองพบว่าวิธี Chemiluminescence สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ร้อยละ 95.9 ในขณะที่ทุกตัวอย่างสามารถมองเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า ทั้งนี้เมื่อนำตัวอย่างหลังซักไปวิเคราะห์รูปแบบดีเอ็นเอ พบว่ามีรูปแบบดีเอ็นเอที่สมบูรณ์หรือสามารถยืนยันอัลลีล ของแต่ละบุคคลได้ร้อยละ 93.3

Howard et.al. (2019) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การตรวจหาคราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ซักด้วย Sodium percarbonate โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยวิธีทดสอบ Tetramethylbenzidine (TMB), Luminol, Bluestar® Magnum, ABAcard® Hematrace® และ RSID™-Blood โดยนำผ้าที่มีคราบเลือดมาซักด้วยน้ำร้อนและเย็น ในสภาวะที่มีและไม่มี Sodium percarbonate จากการทดลองพว่า RSID™-Blood ให้ผลบวกทุกตัวอย่าง โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องอุณหภูมิของน้ำหรือการเติม Sodium percarbonate ในขณะที่การทดสอบอื่นให้ผลบวกเฉพาะการทดลองที่ไม่มี Sodium percarbonate เท่านั้น ทั้งนี้การตรวจสอบคราบโลหิตด้วย Luminol ในสภาวะที่มีการเติม Sodium percarbonate ในน้ำเย็นให้ผลการทดสอบเป็นบวก ในขณะที่การทดสอบในน้ำร้อนให้ผลเป็นลบ จึงแสดงให้เห็นว่า RSID™-Blood ให้ผลการทดสอบคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักด้วย Sodium percarbonate ได้ดีกว่าชุดทดสอบคราบโลหิตอื่น ๆ ทั้งนี้ผลการทดสอบด้วย Luminol ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการซัก อย่างไรก็ตามผลการทดสอบด้วย Luminol สามารถให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าการทดสอบด้วย TMB และ Bluestar

Nakanishi et.al. (2020) ได้ศึกษาการตรวจสอบคราบโลหิตและรอยพิมพ์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยมือ โดยหยดเลือดลงบนเสื้อยืดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100% และโพลีเอสเตอร์ 100% หลังจากทิ้งคราบเลือดให้แห้ง นำมาซักด้วยมือโดยใช้สบู่สำหรับซักมือ น้ำยาล้าง

จาน ผงซักฟอก สบู่ และน้ำ จนกระทั่งมองไม่เห็นคราบ ทิ้งให้แห้งและนำมาสกัด DNA และ RNA โดยชุดสกัดสำเร็จรูป RNA จะถูกถอดรหัสไปเป็น DNA จากนั้นจึงตรวจสอบยีน *HBB, ACBT* และยีน 18S rRNA ใน mRNA สำหรับการตรวจสอบปริมาณ DNA ด้วยวิธี real-time PCR แล้วจึงตรวจสอบชิ้นส่วน STR ด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป ในการทดลองนี้ใช้วิธีทดสอบ Luminol และ Leucomalachite green สำหรับการตรวจสอบคราบเลือดเบื้องต้น และใช้ชุดทดสอบ immune-chromatography สำหรับทดสอบยืนยันเลือดมนุษย์ ผลการทดลองพบว่า DNA จากเสื้อที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100% มีปริมาณมากกว่าเสื้อใยโพลีเอสเตอร์ 100% โดยคราบเลือดเกือบทั้งหมดให้ค่า Ct สำหรับยีน *HBB* และ *18S rRNA* ในขณะที่ส่วนน้อยที่ให้ค่า Ct สำหรับยีน *ACTB* ทั้งนี้ทุกตัวอย่างให้ผลบวกกับวิธีทดสอบ Luminol ตัวอย่างบางส่วนให้ผลลบกับวิธีทดสอบ Leucomalachite green และการทดลองส่วนใหญ่ให้ผลลบกับการทดสอบด้วยชุดทดสอบ immune-chromatography ซึ่งจากผลการทดลองสมารถระบุได้ว่าการทดสอบยืนยันคราบโลหิตมนุษย์และรอยพิมพ์ DNA ยังคงสามารถตรวจสอบได้หลังจากเสื้อผ้าเปื้อนคราบโลหิตนั้นถูกซักไปแล้ว

Daud & Sundram (2019) ได้ศึกษาการระบุคราบโลหิตบนผ้าต่างชนิดหลังซักด้วยสารซักฟอกที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศมาเลเซีย ด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer โดยใช้ผ้า 6 ชนิดทำให้เกิดคราบเลือด จากนั้นนำมาแช่ในสารซักฟอกด้วยเวลาที่แตกต่างกัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารซักฟอก Dynamo มีร้อยละการขจัดคราบเลือดในผ้าทั้ง 6 ชนิดสูงที่สุด ในขณะเดียวกันที่ระยะเวลาการแช่ผ้า 60 นาที ทุกชนิดสารซักฟอกแสดงการขจัดคราบเลือดได้สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกันที่ระยะเวลา 20 นาที ซึ่งผ้าฝ้ายมีร้อยละการคงอยู่ของคราบเลือดหลังซักสูงที่สุดในทุกชนิดสารซักฟอก ซึ่งการวิจัยนี้จะสามารถช่วยผู้ตรวจพิสูจน์ด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการที่จะติดตามตรวจสอบคราบเลือดที่มองไม่เห็น เช่น เสื้อผ้าที่ซักแล้วในการวิเคราะห์คดีต่าง ๆ ได้

Hofmann et.al. (2019) ได้ศึกษาความสามารถในการตรวจสอบคราบเลือดหลังจากซักด้วยเครื่องซักผ้า ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการซักคราบเลือดด้วยเครื่องซักผ้าในผ้าฝ้ายและผ้าใยสังเคราะห์ อิทธิพลของสารซักฟอก ชนิดของเครื่องซักผ้า อุณหภูมิขณะซัก และระยะเวลาที่ทิ้งไว้ให้คราบเลือดแห้งก่อนนำไปซัก รวมไปถึงอุณหภูมิขณะทิ้งไว้ให้แห้ง นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุลของตัวอย่างย่อยในแต่ละการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ถึงแม้ว่าคราบเลือดจะมีลักษณะค่อนข้างจางแต่การปรากฏของคราบเลือดบนเส้นใยผ้ายังสามารถตรวจสอบได้ในหลายกรณี ซึ่งเลือดสามารถส่งผ่านไปสู่ผ้าที่ไม่มีคราบเลือดได้ระหว่างการซัก ทำให้ได้ผลการทดสอบเป็นบวกกับ Luminol และ Combur® ทั้งนี้การตรวจสอบร่องรอยของเลือดสามารถตรวจสอบได้โดยปฏิกิริยา

Luminol และการระบุยืนยันตัวบุคคลจากเลือดด้วยดีเอ็นเอซึ่งในการทดลองนี้ประสบความสำเร็จร้อยละ 28

Sapan et.al. (2021) ได้ศึกษาการระบุยืนยันตัวบุคคลจากคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและไนลอน ที่ถูกซักด้วยสารซักฟอกที่ 40°C 60°C และ 90°C โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซัก นำไปสู่การวิเคราะห์ดีเอ็นเอเพื่อยืนยันตัวบุคคล จากผลการทดลองพบว่าผ้าไนลอนมีการสูญเสียดีเอ็นเอมากกว่าผ้าฝ้ายเมื่อสัมผัสกับปัจจัยภายนอก อย่างไรก็ตามอัตราการคงอยู่ของดีเอ็นเอจากเลือดบนผ้าต่างชนิดที่ถูกซักด้วยอุณหภูมิต่างกันสามารถสรุปได้ว่า ดีเอ็นเอที่เพียงพอต่อการใช้ยืนยันตัวบุคคลทางนิติวิทยาศาสตร์ได้จากผ้าไนลอนและผ้าฝ้ายที่ถูกซักที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 90°C มีปริมาณดีเอ็นเอไม่เพียงพอต่อการตรวจพิสูจน์ ทั้งยังแสดงให้เห็นว่าถึงแม้คราบเลือดจะถูกซักที่ 60°C แต่เสื้อผ้าที่ถูกซักแล้วยังสามารถที่จะนำมาพิจารณาในฐานะหลักฐานทางกายภาพของคดี และยังสามารถเชื่อมโยงเข้ากับสถานที่เกิดหตุ ผู้กระทำผิดและผู้เสียหายได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 2 สรุปประเด็นที่ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

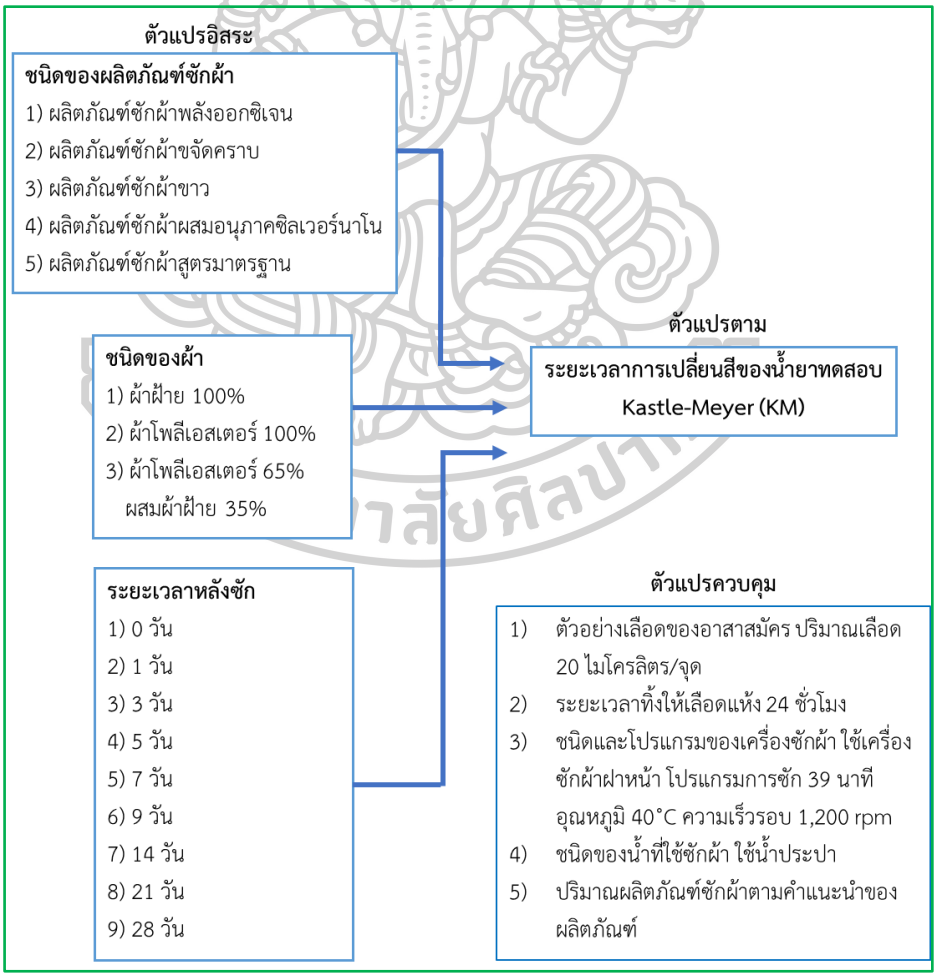
ประเด็นที่ศึกษา	นักวิจัย									
	ศศิญดา	วิภาวรรณ	วราภรณ์	Edler	Castelló	Howard	Nakanishi	Daud	Hofmann	Sapan
1. การปฏิบัติก่อนการซักผ้า				x				x	x	
2. ชนิดของผ้า		x		x			x	x	x	x
3. ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า	x		x	x	x		x	x	x	
4. ระยะเวลาทำให้เลือดแห้งก่อนการซัก					x				x	
5. วิธีการซักผ้าที่แตกต่างกัน	x			x						
6. ชนิดของเครื่องซักผ้า									x	
7. อุณหภูมิของการซักผ้า						x			x	x
8. จำนวนครั้งของการซักผ้า		x	x							
9. อุณหภูมิที่ทิ้งให้คราบเลือดแห้งหลังซักผ้า									x	
10. วิธีการทำให้ผ้าแห้งหลังซัก				x						
11. วิธีการตรวจสอบคราบเลือดหลังซักที่แตกต่างกัน	x	x	x		x	x	x		x	
12. การตรวจพบดีเอ็นเอหลังซัก				x			x		x	x

จากการทบทวนวรรณกรรมและวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสู่การกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยและสร้างข้อค้นพบใหม่ จะเห็นได้ว่าประเด็นที่ศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาการตรวจหาคราบเลือดบนผ้าต่างชนิดที่ผ่านการซักภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน และใช้วิธีการตรวจสอบคราบเลือดหลังซักที่ต่างกัน รวมไปถึงการตรวจหาดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ถูกซักดังกล่าว ทั้งนี้ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการตรวจสอบคราบเลือดเบื้องต้นด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer จะศึกษาเพียง

การตรวจพบหรือตรวจไม่พบเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ภายใต้เงื่อนไขชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าหรือชนิดของผ้าที่ต่างกัน อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาการตรวจพบคราบเลือดหลังซักที่ระยะเวลาต่างกัน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซักต่อการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าและชนิดของผ้าที่ใช้ในชีวิตประจำวันของบุคคลทั่วไปและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด เพื่อเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการสืบสวนสอบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 26 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Design) แบบ Static-Group Comparison เลือกกลุ่มตัวอย่างมามากกว่า 2 กลุ่ม โดยไม่มีการสุ่ม กำหนดให้มีกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ให้ Treatment กับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แล้ววัดผลหลังการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการวิจัยเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 การเลือกตัวอย่างสำหรับงานวิจัย

3.3 การเตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 การนำเสนอรายงานการวิจัย

3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์ข้อมูล จากเอกสารหรือการวิจัยเชิงเอกสาร (Documentary research) ด้วยการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ เอกสารวิชาการ วารสาร และบทความจากสื่อสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือดการตรวจพิสูจน์คราบเลือด ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลและนำไปกำหนดแนวทางในการออกแบบวิธีการทดลอง การรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.2 การเลือกตัวอย่างสำหรับงานวิจัย

3.2.1 ตัวอย่างเลือด เป็นเลือดของผู้วิจัย ซึ่งได้รับการตรวจร่างกายเป็นประจำทุกปี และไม่มีภาวะโลหิตจาง

3.2.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่หาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาด

3.2.3 ตัวอย่างผ้าที่ใช้ เป็นผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% เป็นผ้าสำหรับใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

3.3 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1) ไมโครปิเปตขนาด 200 ไมโครลิตร
2) ปิเปตทิปขนาด 200 ไมโครลิตร
3) หลอดเก็บตัวอย่าง Ethylenediamine tetra acetic acid (EDTA)
4) Phenolphthalein
5) Potassium hydroxide (KOH)
6) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI)
7) ผงสังกะสี (Zinc powder)
8) absolute ethanol
9) ขวดรูปชมพู่พร้อมอุปกณ์ดักไอน้ำ
10) ขวดแก้วสีชาพร้อมหลอดหยดสาร
11) กระบอกตวง
12) hot plate magnetic stirrer
13) แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสาร
14) เครื่องชั่งสารทศนิยม 3 ตำแหน่ง
15) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน
16) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ
17) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว
18) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน
19) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

20) ผ้าฝ้าย 100%
21) ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%
22) ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%
23) เครื่องซักผ้าฝาหน้า LG รุ่น FV1412S2B
24) กล้องถ่ายภาพ Cannon EOS 80D
25) กล่องควบคุมแสงสำหรับบันทึกภาพ

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างเลือด

เก็บตัวอย่างเลือดของผู้วิจัยโดยนักเทคนิคการแพทย์ (ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพเลขที่ ท.น.14835 วันหมดอายุใบอนุญาต 14 พฤษภาคม 2568) ที่มีประสบการณ์ในการเจาะเลือดเป็นผู้เจาะเลือดเก็บตัวอย่าง โดยจะทำการเก็บเลือดตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง บริเวณหลอดเลือดดำที่ข้อพับแขนข้างซ้าย เลือดที่ได้จะทำการเก็บไว้ในหลอดเก็บตัวอย่างเลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดชนิด EDTA บันทึกวันเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C

3.3.2 การเตรียมน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

เตรียม Phenolphthalin Stock Solution โดย ชั่งสาร Phenolphthalein 2 กรัม, KOH 20 กรัม และผงสังกะสี 20 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดด้วยอุปกรณ์ดักไอน้ำ นำไปต้มบน hot plate magnetic stirrer โดยใช้เทคนิค reflux เพื่อให้ไอของสารที่ระเหยระหว่างการต้มไหลกลับลงมาในขวดต้มและอุณหภูมิของปฏิกิริยาคงที่ตลอดระยะเวลาการทำปฏิกิริยาประมาณ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี เติมผงสังกะสีเล็กน้อยเพื่อคงสภาพสารละลายให้อยู่ในรูป Reduced form จากนั้นนำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เมื่อต้องการใช้งานให้เตรียมสารละลายทดสอบเป็น Phenolphthalin Working Solution โดยผสม Phenolphthalin Stock Solution 20 มิลลิลิตร และ absolute ethanol 80 มิลลิลิตร (Lee, 1982)

3.3.3 การเตรียมเครื่องซักผ้า

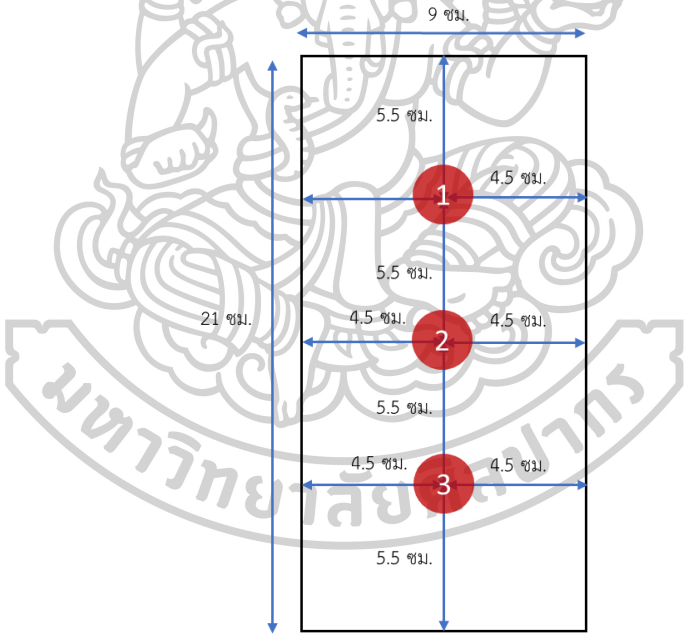
เครื่องซักผ้าที่ใช้ในการวิจัยนี้จัดอยู่ในประเภทเครื่องซักผ้าฝาหน้า มีความจุในการซัก 12 กิโลกรัม การเตรียมเครื่องซักผ้าก่อนการทดลอง โดยการล้างช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าให้สะอาด จากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงานโดยเลือกโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40 °C และความเร็วรอบ 1,200 rpm จำนวน 1 ครั้ง เพื่อขจัดผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่อาจจะตกค้างจากการซักก่อนหน้า

3.3.4 การเตรียมผ้าตัวอย่าง

3.3.4.1 ตัดผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตร จำนวนชนิดละ 63 ผืน

3.3.4.2 นำผ้าจากข้อ 3.3.4.1 มาซักด้วยเครื่องซักผ้าที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.4 โดยไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า จากนั้นเลือกโปรแกรมซัก Mix Fabric อุณหภูมิ 60°C ความเร็วรอบ 1,400 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำความสะอาดและกำจัดสารเคลือบบนผ้าก่อนการใช้งาน

3.3.4.3 นำผ้าจากข้อ 3.3.4.2 มากำหนดจุดในการหยดเลือดจำนวน 3 จุด ต่อผ้า 1 ผืน โดยวัดระยะจากขอบผ้าด้านบน 5.5 เซนติเมตร ด้านข้าง 4.5 เซนติเมตร กำหนดเป็นจุดที่ 1 จากนั้นวัดระยะห่างจากจุดที่ 1 ลงมา 5.5 เซนติเมตร กำหนดเป็นจุดที่ 2 และวัดระยะห่างจากจุดที่ 2 ลงมา 5.5 เซนติเมตร กำหนดเป็นจุดที่ 3 แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การกำหนดจุดบนผ้าตัวอย่าง

3.3.4.4 แบ่งผ้าที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.4.3 เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ตัวอย่างทดลอง ชนิดละ 45 ผืน ตัวอย่างควบคุมบวก ชนิดละ 9 ผืน และ ตัวอย่างควบคุมลบ ชนิดละ 9 ผืน

3.3.4.5 ใช้ไมโครปิเปต ปิเปตเลือดจากหลอด EDTA หยดลงบนผ้าที่เตรียมไว้สำหรับตัวอย่างทดลอง และตัวอย่างควบคุมบวก 3 จุดต่อผืน ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร และ

ปิเปตน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงบนผ้าที่เตรียมไว้สำหรับตัวอย่างควบคุมลบ 3 จุดต่อผืน ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน จึงนำไปซักแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ตารางที่ 3 จำนวนผ้าแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดผ้า / ชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า	ผ้าฝ้าย 100% (ผืน)	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% (ผืน)	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย35% (ผืน)	รวมจำนวนผ้า (ผืน)
1. พลังออกซิเจน	9	9	9	27
2. ขจัดคราบ	9	9	9	27
3. ซักผ้าขาว	9	9	9	27
4. ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	9	9	9	27
5. สูตรมาตรฐาน	9	9	9	27
6. ตัวอย่างควบคุมบวก (ไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้า)	9	9	9	27
7. ตัวอย่างควบคุมลบ (ไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าและไม่หยดเลือดบนผ้า)	9	9	9	27
รวมจำนวนผ้า (ผืน)	63	63	63	189

3.3.4 การเตรียมผลิตภัณฑ์ซักผ้า

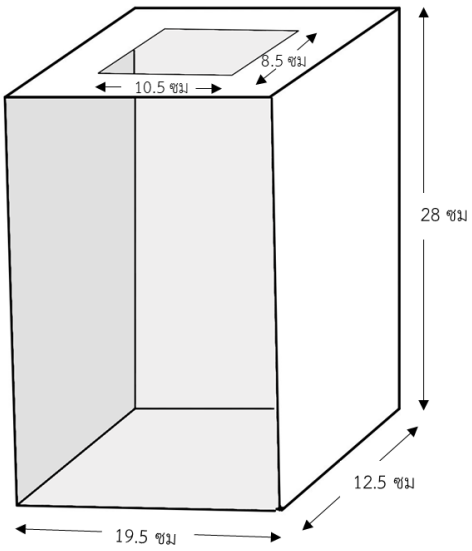
ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 5 ประเภท โดยชั่งผลิตภัณฑ์ซักผ้าตามคำแนะนำการใช้ผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	ผลิตภัณฑ์ซักผ้า	ปริมาณที่แนะนำ
1.	พลังออกซิเจน	60 กรัม
2.	ขจัดคราบ	60 มิลลิลิตร
3.	ซักผ้าขาว	80 มิลลิลิตร
4.	ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	35 กรัม
5.	สูตรมาตรฐาน	35 กรัม

3.3.5 การเตรียมกล่องควบคุมแสงสำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหว

เพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมในการบันทึกภาพให้เหมาะสม และป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกที่อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์สีของตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงออกแบบกล่องควบคุมแสง โดยใช้กล่องพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 19.5 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และลึก 12.5 เซนติเมตร ที่มีด้านเปิด 1 ด้าน สำหรับการหยดสารละลายทดสอบ บุผนังกล่องด้านในทั้ง 5 ด้านด้วยกระดาษสีขาว จากนั้นเจาะรูด้านบนขนาดกว้าง 10.5 เซนติเมตร ยาว 8.5 เซนติเมตร สำหรับวางกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว แสดงดังภาพที่ 28 และวางหลอดไฟด้านหน้ากล่องควบคุมแสงเพื่อให้มีแสงสว่างเพียงพอในการบันทึกภาพเคลื่อนไหว โดยใช้แอปพลิเคชั่นสำหรับการวัดค่าความเข้มแสงวัดค่าความเข้มแสงบริเวณจุดวางผ้าตัวอย่าง ให้อยู่ที่ 490 LUX (แสดงดังภาพที่ 29) จากนั้นกำหนดค่ากล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวให้มีค่าความไวแสง (ISO) 3200 รูรับแสง (F) 8.0 และ ค่าความเร็วชัตเตอร์ (speed shutter) 1/160 วินาที



ภาพที่ 28 กล่องควบคุมแสง

ภาพที่ 29 การวัดค่าแสดงด้วยแอปพลิเคชั่นบริเวณจุดวางผ้าตัวอย่าง

3.4 วิธีการทดลอง

ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

3.4.1 การซักผ้าตัวอย่าง

3.4.2 การทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.3 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดค่าเกณฑ์ในการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.4 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.1 การซักผ้าตัวอย่าง

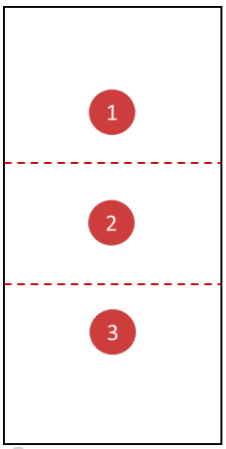
3.4.1.1 นำผ้าตัวอย่างทดลอง ชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าฝาหน้า โดยเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าลงในช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 1 ชนิดต่อ 1 รอบการซัก กำหนดโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40 °C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการทำงานของเครื่องซักผ้า นำผ้าออกจากเครื่อง และเตรียมเครื่องซักผ้าตามข้อ 3.3.3

3.4.1.2 ทำซ้ำในข้อ 3.4.1.1 โดยเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้าจนครบ 5 ชนิด

3.4.1.3 นำผ้าตัวอย่างควบคุมบวก และตัวอย่างควบคุมลบ ชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าโดยไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า กำหนดโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40°C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm (ดัดแปลงจากวิธีการทดลองของ Duad & Sundrum 2019)

3.4.2 การทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.2.1 เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการซัก นำผ้าตัวอย่างทดลอง ที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด รวมทั้งตัวอย่างควบคุมบวก และตัวอย่างควบคุมลบที่ผ่านการซัก 1 ผืนต่อชนิดผ้า มาทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ทันทีหลังซัก (วันที่ 0) โดยตัดแบ่งผ้าตัวอย่างออกเป็น 3 ชิ้น/ผืน (แสดงดังภาพที่ 30) เพื่อทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งต่อ treatment จากนั้นวางผ้าตัวอย่างที่ตัดแบ่งแล้วในกล่องควบคุมแสงที่มีกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวอยู่ด้านบน



ภาพที่ 30 การตัดแบ่งผ้าตัวอย่างก่อนทดสอบด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.2.2 กดบันทึกภาพเคลื่อนไหว จากนั้นหยด Phenolphthalin working solution และทิ้งไว้ 10 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการเปลี่ยนสีเนื่องจากสีของตัวอย่าง จากนั้นหยด 3% H_2O_2 ลงบนคราบเลือด สังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอย่างชัดเจนจึงกดหยุดการบันทึกภาพ

3.4.2.3 นำผ้าที่เหลือ ผึ่งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ให้ผ้าสัมผัสแสงแดดโดยตรง

3.4.2.4 นำผ้าซักแล้วที่เก็บไว้ตามข้อ 3.4.2.3 เป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน มาทดสอบหาคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยตัดแบ่งผ้าตัวอย่างตามข้อ 3.4.2.1 จากนั้นทำตามวิธีทดสอบในข้อ 3.4.2.2 จนครบ 28 วัน

3.4.3 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดค่าเกณฑ์ในการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

3.4.3.1 นำไฟล์ภาพเคลื่อนไหวตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซัก 1 วัน มาแตกไฟล์เป็นภาพนิ่ง โดยใช้โปรแกรม Free Video to JPG Converter

3.4.3.2 นำภาพหลังจาก 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้าเป็นระยะเวลา 15 วินาที มาวิเคราะห์ค่าสี CIELAB โดยขยายภาพที่กำลังขยาย 3,200 เท่า เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า L* a* และ b* แต่ละพิกเซลทั้งในบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ และบริเวณที่น้ำยา

ทดสอบเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมม่วงเข้ม สังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่า L* a* และ b* และกำหนดค่าที่น้ำยาทดสอบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมม่วงเพื่อใช้เป็นค่าเกณฑ์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่อไป

3.4.4 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

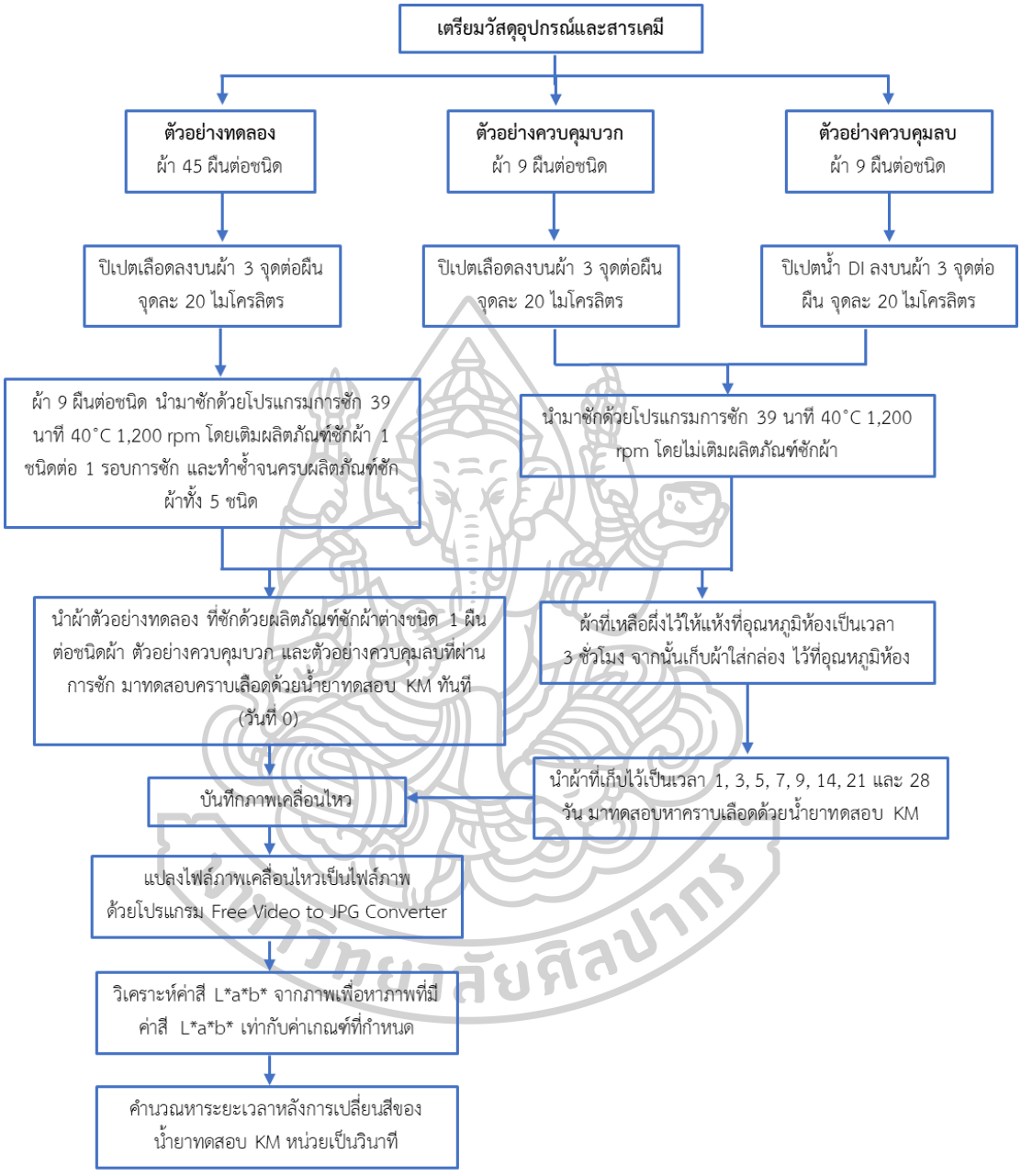
3.4.4.1 นำไฟล์ภาพเคลื่อนไหวของตัวอย่างผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด ตัวอย่างควบคุมบวกและลบ ที่ระยะเวลาหลังซัก 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน มาแปลงเป็นไฟล์ภาพนิ่ง โดยใช้โปรแกรม Free Video to JPG Converter

3.4.4.2 นำภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า และภาพถัดจากภาพดังกล่าวไปวิเคราะห์ครั้งละ 1 ภาพ ขยายภาพที่กำลังขยาย 3,200 เท่า เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า L* a* และ b* แต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีที่เป็นเกณฑ์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมบวกในข้อ 3.4.3.2 เป็นค่าที่ใช้ระบุถึงการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ หากพบภาพใดเป็นภาพแรกที่มีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่ากับค่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้จดบันทึกเลขภาพและนำไปคำนวณหาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ (แสดงดังภาพที่ 31) โดยอัตราการบันทึกภาพของกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว Cannon EOS 80D มีค่าเท่ากับ 30 ภาพ/วินาที

$$\text{ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ} = \frac{\text{เลขภาพแรกที่น้ำยาทดสอบเปลี่ยนสีเท่ากับค่าเกณฑ์ - เลขภาพแรกที่ } H_2O_2 \text{ หยดลงบนผ้า}}{\text{30 ภาพ/วินาที}}$$

ภาพที่ 31 สมการคำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

รายละเอียดขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น นำเสนอดังแผนภาพ



ภาพที่ 32 ขั้นตอนการทดลอง

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการวิคราะห์ข้อมูลตามความมุ่งหมายและสมมติฐานของการวิจัย โดยทำการประมวลผลข้อมูลในการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 กำหนดค่าตัวแปร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

1) ชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า ข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal scale)

1 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

2 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

3 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

4 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

5 = ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

2) ชนิดของผ้า ข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal scale)

1 = ผ้าฝ้าย 100%

2 = ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%

3 = ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%

3) ระยะเวลาหลังการซัก หน่วยเป็นวัน ข้อมูลระดับอันดับ (Ordinal scale) โดยเริ่มทดสอบคราบเลือดทันทีหลังซักเป็นวันที่ 0 จากนั้นทดสอบคราบเลือดหลังซักวันที่ 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

4) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยสังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบทันทีหลังจากหยด Phenolphthelin working solution และบันทึกเวลาหน่วยเป็นวินาที ข้อมูลระดับอันตรภาค (Interval scale)

3.5.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสูด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5.3 วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบค่าสถิติด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยวิธีของ Scheffe แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย

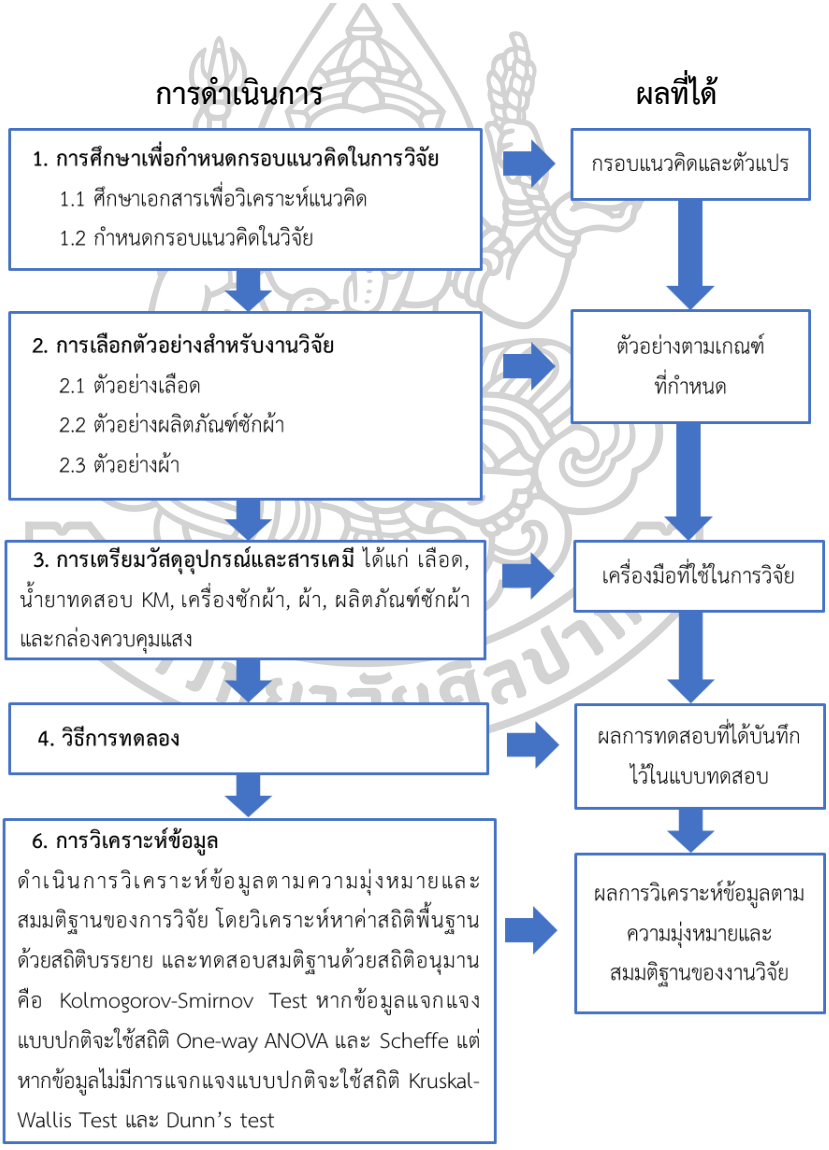
อันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn's test

3.5.5 การแปลผลระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer (Gefrides & Welch, 2006) กำหนดให้ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ

0 – 15 วินาที ผลบวก ตรวจพบคราบเลือด

มากกว่า 15 วินาที ผลลบ ตรวจไม่พบคราบเลือด

รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น นำเสนอดังแผนภาพ



ภาพที่ 33 วิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 หัวข้อดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

4.2 การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยสถิติเชิงพรรณา

4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ โดยวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยวิธีของ Scheffe แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn’s test ตามสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานที่ 2 ชนิดของผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานที่ 3 ระยะเวลาหลังซักต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้สัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

Mean	หมายถึง ค่าเฉลี่ย
Mean Rank	หมายถึง ค่าเฉลี่ยอันดับ
S.D.	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
N	หมายถึง จำนวนครั้งในการทดลอง
P	หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นสำหรับบอกนัยสำคัญทางสถิติ
Chi square	หมายถึง สถิติทดสอบ Chi square
df	หมายถึง องศาแห่งความอิสระ
*	หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4.1 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

4.1.1) ผ้าฝ้าย 100%

ตารางที่ 5 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าฝ้าย 100%

Pixel color	ค่าความเข้มสี		
	L*	a*	b*
	81	1	0
	81	2	0
	81	3	-1
	81	4	-1
	80	5	-2
	78	6	-4
	78	7	-3
	78	8	-5
	77	9	-6
	76	10	-6
	76	11	-6
	74	12	-7
	73	13	-7
	71	14	-8
	71	15	-10
	71	16	-10
	71	17	-11
	71	18	-12
	71	19	-12
	70	20	-12
	69	21	-12
	68	22	-15
	68	23	-15
	67	24	-16
	66	25	-17

4.1.2 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%

ตารางที่ 6 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%

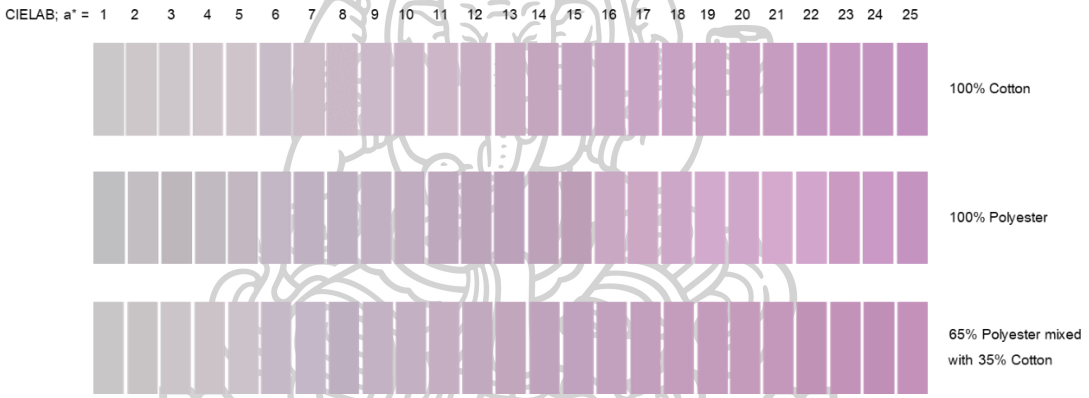
Pixel color	ค่าความเข้มสี		
	L*	a*	b*
	77	1	-1
	77	2	-1
	75	3	-1
	76	4	-3
	76	5	-3
	76	6	-5
	74	7	-7
	73	8	-7
	74	9	-7
	73	10	-7
	71	11	-8
	70	12	-8
	69	13	-9
	69	14	-8
	68	15	-8
	72	16	-9
	73	17	-9
	73	18	-12
	74	19	-12
	73	20	-12
	74	21	-12
	73	22	-13
	69	23	-13
	69	24	-16
	67	25	-16

4.1.3 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%

ตารางที่ 7 ความเข้มสี CIELAB บนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%

Pixel color	ค่าความเข้มสี		
	L*	a*	b*
	80	1	0
	80	2	0
	80	3	-1
	80	4	-1
	79	5	-3
	76	6	-5
	76	7	-7
	73	8	-7
	74	9	-7
	74	10	-7
	74	11	-7
	72	12	-8
	71	13	-7
	70	14	-9
	70	15	-10
	70	16	-10
	69	17	-10
	69	18	-10
	69	19	-10
	69	20	-11
	68	21	-12
	66	22	-12
	66	23	-13
	65	24	-14
	66	25	-14

เมื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มสีจากตารางที่ 5-7 พบว่าค่า L* และ b* ลดลง ในขณะที่ค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ทั้ง 3 ชนิดผ้า ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า a* เพียงค่าเดียวในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และเมื่อเปรียบเทียบค่าสีจำแนกตามชนิดผ้าพบว่า ค่า a* = 1-4 เป็นค่าสีของบริเวณผ้าที่น้ำยาทดสอบซึมไปไม่ถึง ซึ่งหมายถึงค่ารบกวน (background noise) ที่ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แต่อาจเกิดจากสีของผ้าแต่ละชนิด หรือการสะท้อนของสีชมพูในกล่องควบคุมแสง ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลของ background noise ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า a* = 6 เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เนื่องจากน้ำยาทดสอบมีการเปลี่ยนสีจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอ่อนอย่างชัดเจนและใกล้เคียงกับการมองเห็นด้วยตาเปล่าทั้ง 3 ชนิดผ้า



ภาพที่ 34 ความเข้มสี CIELAB ของค่า a* ที่ 1-25 เมื่อหยดน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ลงบนตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าต่างชนิด

การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ทำได้โดย บันทึกเลขภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า และเลขภาพแรกที่น้ำยาทดสอบเปลี่ยนสีเท่ากับค่าเกณฑ์ คือ a* = 6 โดยแทนค่าในสมการ แสงดังภาพที่ 35

$$\text{ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ} = \frac{\text{เลขภาพแรกที่น้ำยาทดสอบเปลี่ยนสีเท่ากับค่า a*=6 - เลขภาพแรกที่ } H_2O_2 \text{ หยดลงบนผ้า}}{\text{30 ภาพ/วินาที}}$$

ภาพที่ 35 สมการคำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

4.2 การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 8 จำนวน ความถี่ และร้อยละของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก

ตัวแปร	จำนวน	ความถี่	ร้อยละ
ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า			
1. พลังออกซิเจน	405	81	20
2. ขจัดคราบ	405	81	20
3. ซักผ้าขาว	405	81	20
4. ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	405	81	20
5. สูตรมาตรฐาน	405	81	20
ชนิดของผ้า			
1. ผ้าฝ้าย 100%	405	135	33.3
2. ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	405	135	33.3
3. ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%	405	135	33.3
ระยะเวลาหลังซัก			
0 วัน	405	45	11.1
1 วัน	405	45	11.1
3 วัน	405	45	11.1
5 วัน	405	45	11.1
7 วัน	405	45	11.1
9 วัน	405	45	11.1
14 วัน	405	45	11.1
21 วัน	405	45	11.1
28 วัน	405	45	11.1

จากตารางที่ 8 พบว่าข้อมูลระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า คือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน ชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้าละ 81 รายการ รวมเป็น 405 รายการ คิดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดร้อยละ

20 รวมเป็นร้อยละ 100 จำแนกตามชนิดของผ้า คือ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ชนิดผ้าละ 135 รายการ รวมเป็น 405 รายการ คิดเป็นชนิดของผ้าร้อยละ 33.3 รวมเป็นร้อยละ 100 และจำแนกตามระยะเวลาหลังซัก คือ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน วันละ 45 รายการ รวมเป็น 405 รายการ คิดเป็นจำนวนระยะเวลาหลังซักร้อยละ 11.1 รวมเป็นร้อยละ 100

4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยสถิติเชิงพรรณา

ในส่วนนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

4.3.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และแปลผลการทดสอบ

4.3.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบของตัวแปรแต่ละประเภท

4.3.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ในส่วนนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

1) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

2) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

3) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

4) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

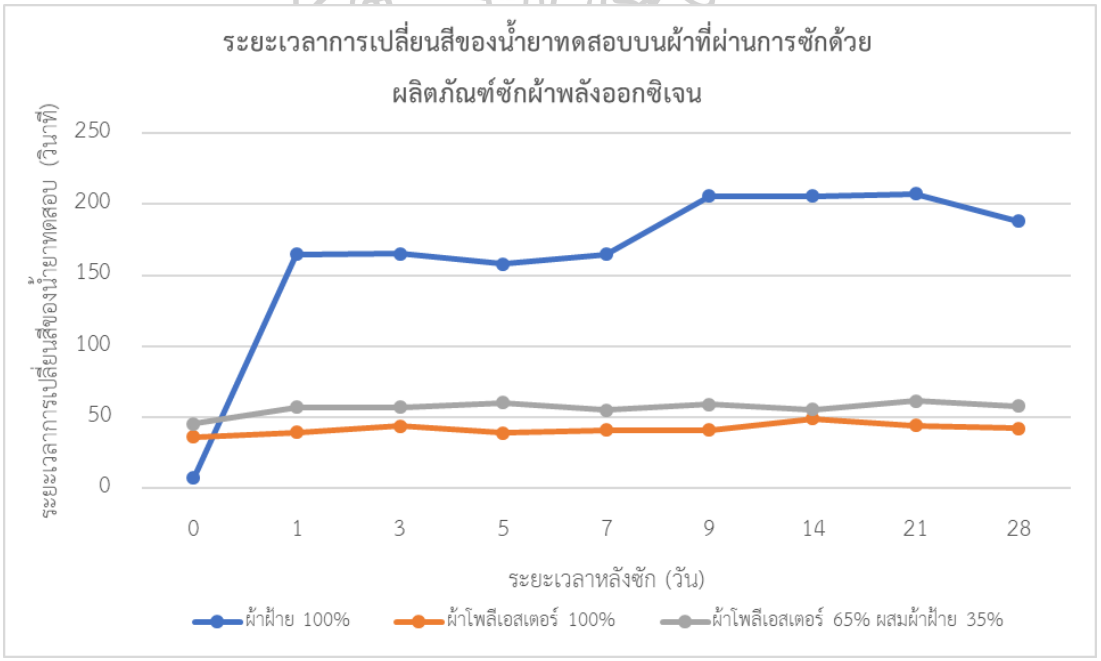
5) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

1) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน				
ระยะเวลาหลังซัก (วัน)		ชนิดผ้า		
		ผ้าฝ้าย 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%
0	mean	7.3000	36.3111	45.5333
	S.D.	.12019	4.35052	3.16667
1	mean	164.5222	39.3222	57.1667
	S.D.	34.72752	3.46608	12.53719
3	mean	164.9889	43.7000	57.1667
	S.D.	46.22688	2.13776	12.53719
5	mean	158.0000	39.1889	60.4000
	S.D.	1.95021	8.48065	12.04801
7	mean	164.7556	40.9111	55.1000
	S.D.	15.31438	.45010	1.33708
9	mean	205.8000	41.1778	59.2778
	S.D.	13.69700	6.64039	.39487
14	mean	205.6889	49.0667	55.3667
	S.D.	13.19176	3.55074	6.36510
21	mean	207.4333	44.0333	61.3000
	S.D.	9.74086	9.21762	7.08872
28	mean	187.8222	42.2111	57.9667
	S.D.	5.24609	9.18588	12.81497

จากตารางที่ 9 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 7.3 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 แปลผลเป็นบวก คือตรวจพบคราบเลือด ระยะเวลาการเปลี่ยนสีสูงสุด มีค่าเท่ากับ 207.4333 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 21 ทั้งนี้การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1-28 มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมากกว่า 15 วินาที แปลผลเป็นลบ คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% มีค่ามากกว่า 15 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 แปลผลเป็นลบ ซึ่งค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุดของผ้าทั้ง 2 ชนิด มีค่า 36.3111 วินาที และ 45.5333 วินาที ตามลำดับ ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 49.0667 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 14 และ 61.3000 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 21 ตามลำดับ



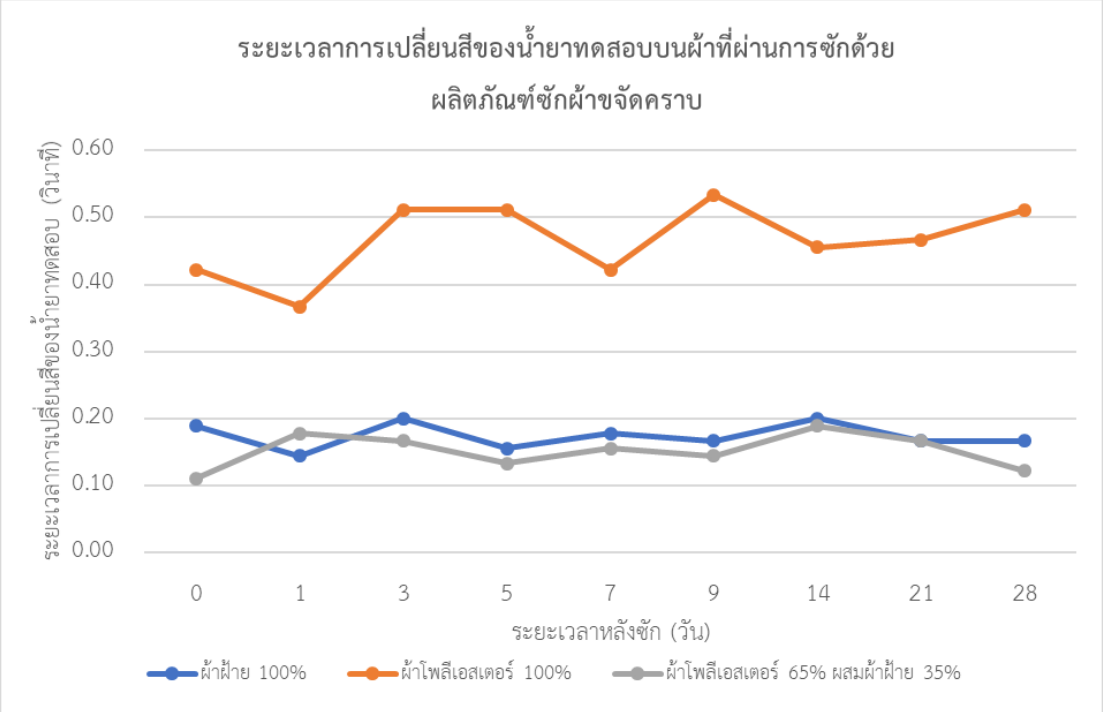
ภาพที่ 36 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน

2) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ				
ระยะเวลาหลังซัก (วัน)		ชนิดผ้า		
		ผ้าฝ้าย 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%
0	mean	.1889	.4222	.1111
	S.D.	.06939	.06939	.03849
1	mean	.1444	.3667	.1778
	S.D.	.01925	.03333	.01925
3	mean	.2000	.5111	.1667
	S.D.	.05774	.05092	.03333
5	mean	.1556	.5111	.1333
	S.D.	.01925	.06939	0.00000
7	mean	.1778	.4222	.1556
	S.D.	.01925	.05092	.01925
9	mean	.1667	.5333	.1444
	S.D.	0.00000	.05774	.05092
14	mean	.2000	.4556	.1889
	S.D.	0.00000	.06939	.05092
21	mean	.1667	.4667	.1667
	S.D.	.03333	.08819	.03333
28	mean	.1667	.5111	.1222
	S.D.	.03333	.08389	.01925

จากตารางที่ 10 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 0.1111 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.5333 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 9 ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงสุดของผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% มีค่าเท่ากับ .1889 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 14 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยต่ำที่สุดของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% มีค่าท่ากับ .3667 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1 ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุดบนผ้าฝ้าย 100% มีค่าเท่ากับ .1444 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1 และค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด เท่ากับ .2000 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 3 และ 14 ซึ่งระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 มีค่าต่ำกว่า 15 วินาที จึงสามารถแปลผลได้เป็นบวก คือ ตรวจพบคราบเลือด



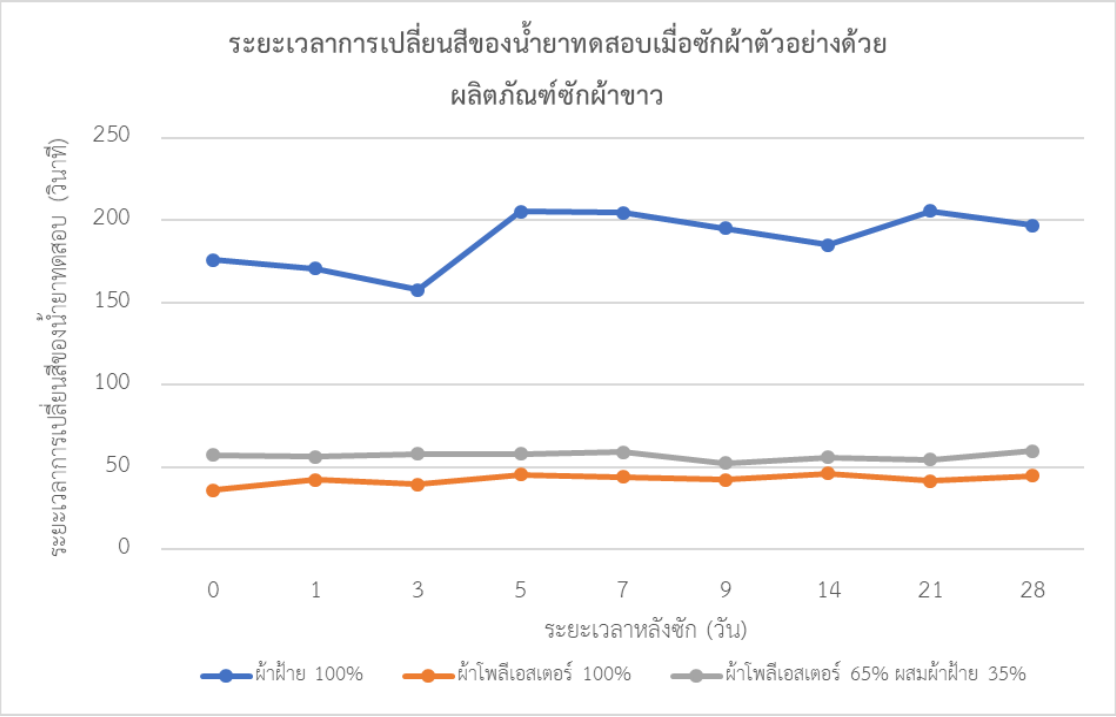
ภาพที่ 37 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

3) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว				
ระยะเวลาหลังซัก (วัน)		ชนิดผ้า		
		ผ้าฝ้าย 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%
0	mean	175.8778	36.0444	57.5556
	S.D.	24.63551	3.37051	1.46869
1	mean	170.7222	42.5444	56.2889
	S.D.	48.19920	5.54430	2.18335
3	mean	157.5667	39.7333	58.0111
	S.D.	29.38312	5.46331	5.61212
5	mean	205.3556	45.4778	58.1000
	S.D.	10.09677	2.92771	4.58597
7	mean	204.5444	44.1444	59.1222
	S.D.	12.42535	6.04652	1.45844
9	mean	195.0333	42.2889	52.5000
	S.D.	23.03869	6.76481	2.64344
14	mean	184.8444	46.1889	55.9111
	S.D.	8.73571	7.72761	2.18742
21	mean	205.5111	41.8111	54.5778
	S.D.	5.52613	1.84311	3.08407
28	mean	196.8556	44.7333	60.0333
	S.D.	4.37751	6.12209	4.04145

จากตารางที่ 11 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 36.0444 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 205.5111 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 21 ทั้งนี้การค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุดของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% มีค่าเท่ากับ 46.1889 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 14 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยต่ำที่สุดของผ้าฝ้าย 100% มีค่าท่ากับ 157.5667 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 3 ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% มีค่าเท่ากับ 52.5000 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 9 และค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด เท่ากับ 60.0333 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 28 ซึ่งระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 มีค่ามากกว่า 15 วินาที จึงสามารถแปลผลได้เป็นลบ คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด



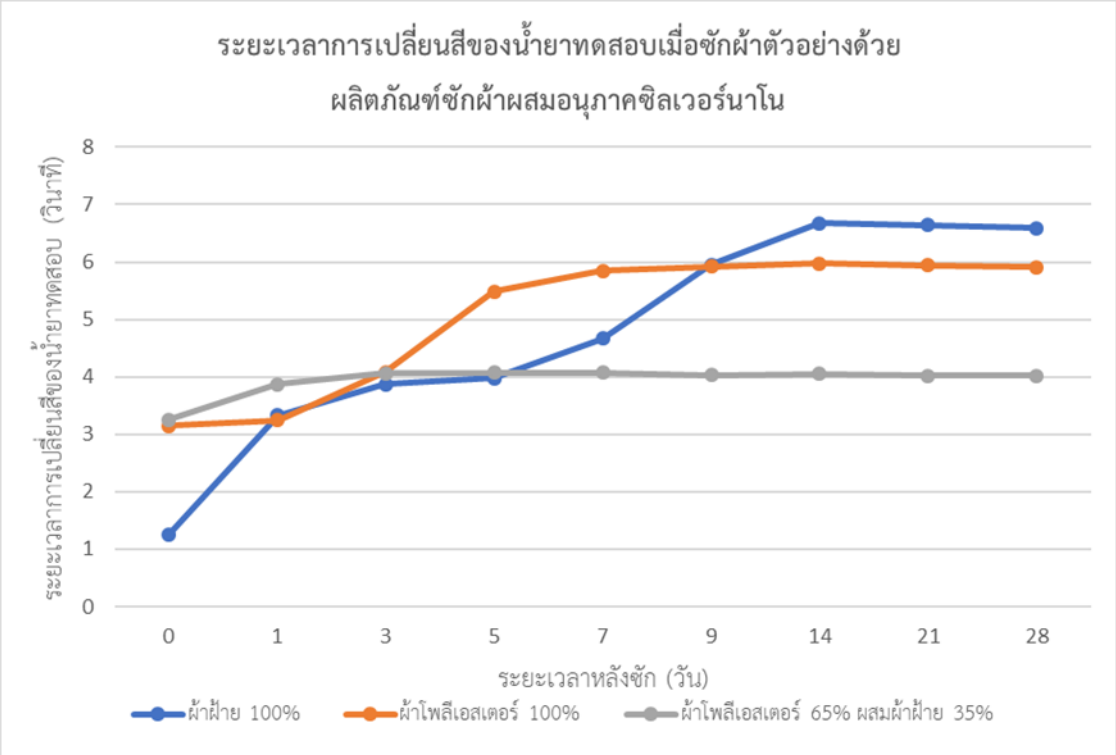
ภาพที่ 38 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

4) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน				
ระยะเวลาหลังซัก (วัน)		ชนิดผ้า		
		ผ้าฝ้าย 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%
0	mean	1.2556	3.1444	3.2556
	S.D.	.05092	.01925	.10715
1	mean	3.3333	3.2444	3.8667
	S.D.	.03333	.09623	.08819
3	mean	3.8667	4.0889	4.0667
	S.D.	.08819	.05092	.03333
5	mean	3.9778	5.4889	4.0778
	S.D.	.08389	.01925	.05092
7	mean	4.6667	5.8444	4.0778
	S.D.	.13333	.10184	.01925
9	mean	5.9556	5.9222	4.0333
	S.D.	.11706	.05092	.05774
14	mean	6.6778	5.9778	4.0556
	S.D.	.05092	.03849	.01925
21	mean	6.6444	5.9444	4.0222
	S.D.	.08389	.06939	.01925
28	mean	6.5889	5.9111	4.0222
	S.D.	.01925	.05092	.03849

จากตารางที่ 12 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1.2556 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.6778 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 14 ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด 3.1444 วินาที และ 3.2556 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดมีค่า 5.9778 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 14 และ 4.0778 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 5 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 มีค่าต่ำกว่า 15 วินาที จึงสามารถแปลผลได้เป็นบวก คือ ตรวจพบคราบเลือด



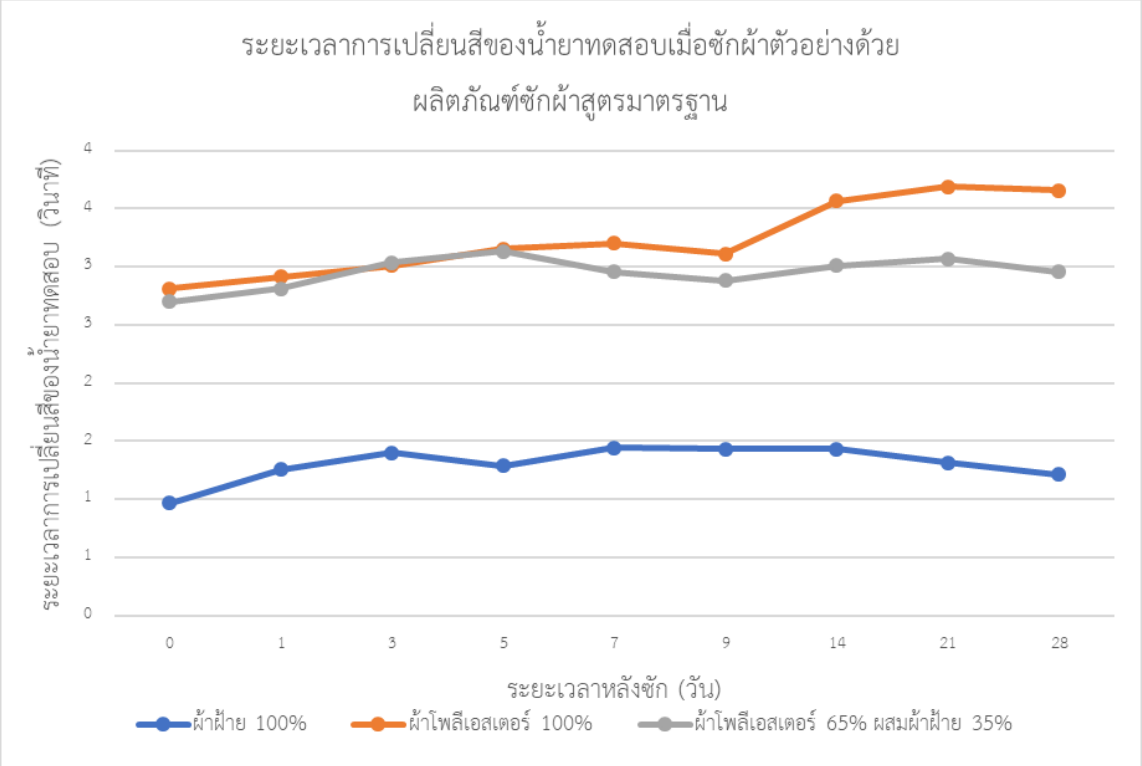
ภาพที่ 39 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

5) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน				
ระยะเวลาหลังซัก (วัน)		ชนิดผ้า		
		ผ้าฝ้าย 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%
0	mean	.9667	2.8111	2.7000
	S.D.	.05774	.06939	.15275
1	mean	1.2556	2.9111	2.8111
	S.D.	.05092	.13472	.15031
3	mean	1.4000	3.0111	3.0333
	S.D.	.03333	.01925	.15275
5	mean	1.2889	3.1556	3.1333
	S.D.	.07698	.03849	.18559
7	mean	1.4444	3.2000	2.9556
	S.D.	.09623	.06667	.05092
9	mean	1.4333	3.1111	2.8778
	S.D.	.05774	.06939	.06939
14	mean	1.4333	3.5667	3.0111
	S.D.	.06667	.08819	.15753
21	mean	1.3111	3.6889	3.0667
	S.D.	.01925	.16443	.17638
28	mean	1.2111	3.6556	2.9556
	S.D.	.01925	.08389	.05092

จากตารางที่ 13 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักสูตรมาตรฐาน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ .9667 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.6889 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 21 ทั้งนี้การค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุดของผ้าฝ้าย 100% มีค่าเท่ากับ 1.4444 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 7 ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยต่ำสุดของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% มีค่าท่ากับ 2.8111 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% มีค่าเท่ากับ 2.7000 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด เท่ากับ 3.1333 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 5 ซึ่งระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 มีค่าน้อยกว่า 15 วินาที จึงสามารถแปลผลได้เป็นบวก คือ ตรวจพบคราบเลือด



ภาพที่ 40 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

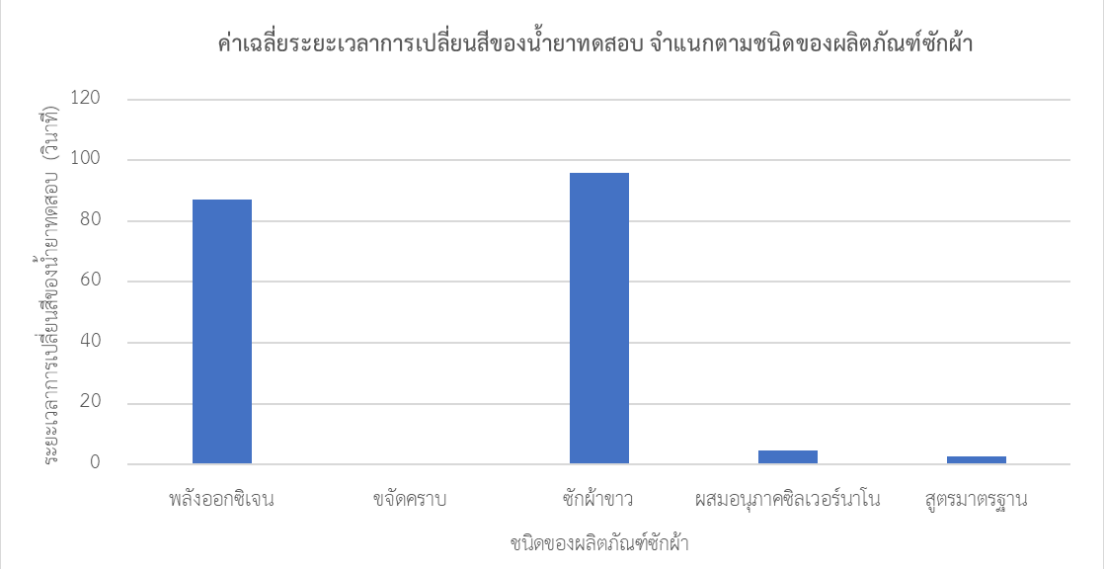
4.3.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบของตัวแปรแต่ละประเภท

ตัวแปรที่ 1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแปลผล ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ผลิตภัณฑ์ซักผ้า	Mean	S.D.	การแปลผล
1. พลังออกซิเจน	87.0930	65.04801	ลบ
2. ขจัดคราบ	.2642	.15355	บวก
3. ซักผ้าขาว	95.9770	67.73109	ลบ
4. ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	4.5930	1.31738	บวก
5. สูตรมาตรฐาน	2.4963	.88517	บวก

จากตารางที่ 14 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า พบว่า ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยที่สุด เท่ากับ .2642 วินาที และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมากที่สุด คือ 95.9770 วินาที



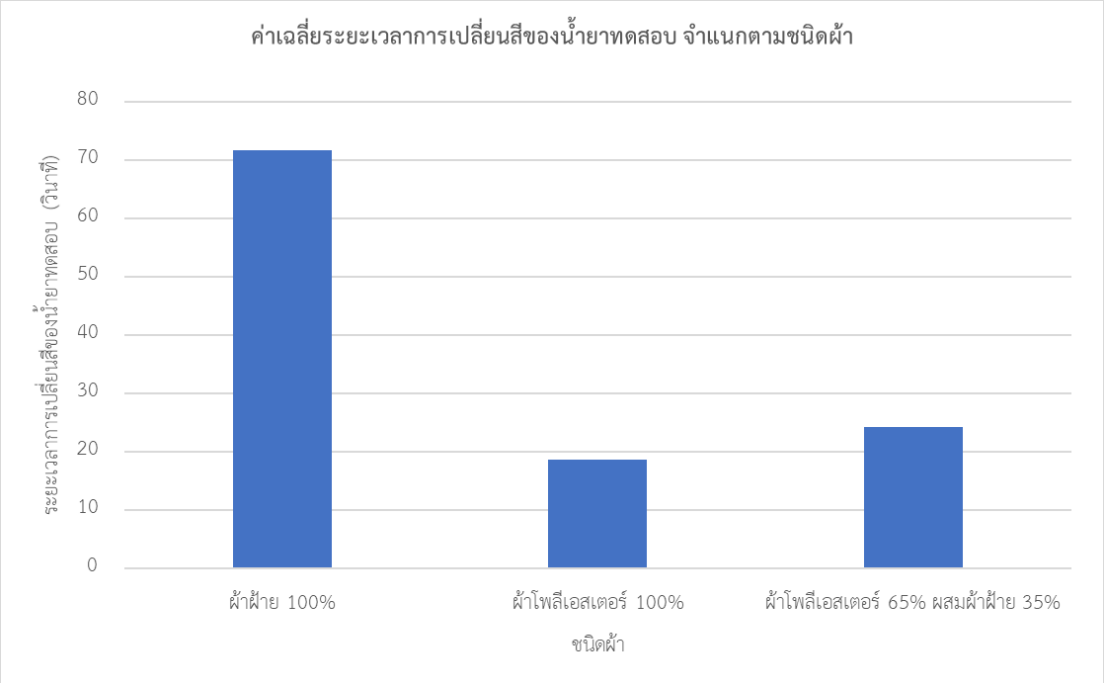
ภาพที่ 41 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ตัวแปรที่ 2 ชนิดของผ้า

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดผ้า

ชนิดผ้า	Mean	S.D.	การแปลผล
1. ผ้าฝ้าย 100%	71.5311	90.69028	ลบ
2. ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	18.6170	19.69430	ลบ
3. ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35%	24.1059	27.09579	ลบ

จากตารางที่ 15 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดผ้า พบว่า ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยที่สุด เท่ากับ 18.6170 วินาที และผ้าฝ้าย 100% มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมากที่สุด คือ 71.5311 วินาที



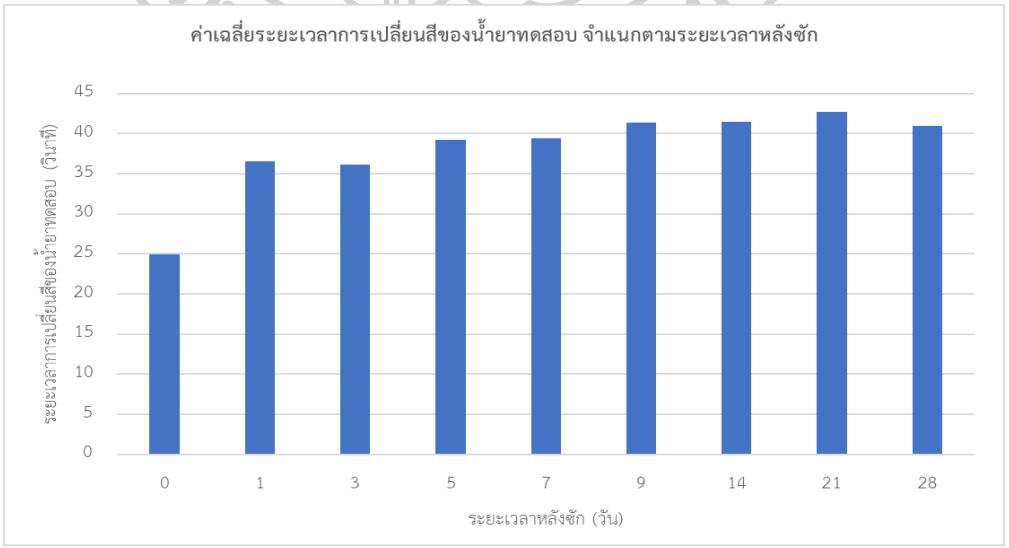
ภาพที่ 42 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดของของผ้า

ตัวแปรที่ 3 ระยะเวลาหลังซัก

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามระยะเลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ

ระยะเวลาหลังซัก (วัน)	Mean	S.D.	การแปลผล
0	24.8985	45.34884	ลบ
1	36.5785	57.49342	ลบ
3	36.1007	55.29205	ลบ
5	39.2296	61.23586	ลบ
7	39.4348	61.89642	ลบ
9	41.3504	66.64800	ลบ
14	41.5089	64.87538	ลบ
21	42.6763	68.42598	ลบ
28	40.9844	63.92373	ลบ

จากตารางที่ 16 การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามระยะเวลาหลังซัก พบว่า ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยที่สุด เท่ากับ 24.8985 วินาที และระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมากที่สุด วันที่ 21 เท่ากับ 42.6763 วินาที



ภาพที่ 43 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามระยะเวลาหลังซัก

4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ โดยวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยวิธีของ Scheffe แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn's test ตามสมมติฐานดังนี้

4.4.1 วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov Test

เป็นการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ เพื่อให้สามารถเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

สมมติฐานทางสถิติ

H_0: ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบมีการแจกแจงปกติ

H_1: ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่มีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบด้วย Kolmogorov-Smirnov Test

	N	Mean	S.D.	Test Statistic	P
ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ	405	38.0847	60.54682	.301	.000*

*มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 17 ค่า P ที่คำนวณได้เท่ากับ .000 มีค่าน้อยกว่า .05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 สรุปได้ว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่มีการแจกแจงปกติ ดังนั้นการทดสอบทางสถิติในงานวิจัยนี้จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยลำดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn's test ในการวิเคราะห์สมมติฐานต่อไป

4.4.2 การวิเคราะห์สมมติฐาน

สมมติฐานที่ 1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

ชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า	N	Mean Rank	df	Chi-square	P
พลังออกซิเจน	81	320.19	4	364.536	.000*
ขจัดคราบ	81	41.00			
ซักผ้าขาว	81	328.81			
ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	81	198.31			
สูตรมาตรฐาน	81	126.69			

*มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 18 ค่า P ที่คำนวณได้เท่ากับ .000 มีค่าน้อยกว่า .05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 สรุปได้ว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn’s test

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอันดับระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบรายคู่ จำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า

ชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า	พลังออกซิเจน	ขจัดคราบ	ซักผ้าขาว	ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน	สูตรมาตรฐาน
พลังออกซิเจน	-	.000*	1.000	.000*	.000*
ขจัดคราบ		-	.000*	.000*	.000*
ซักผ้าขาว			-	.000*	.000*
ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน				-	.001*
สูตรมาตรฐาน					-

*มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 19 เมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่พบว่า ค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จำนวน 9 คู่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว กับ ผลิตซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

สมมติฐานที่ 2 ชนิดของผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้าด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

ชนิดของผ้า	N	Mean Rank	df	Chi-square	P
ผ้าฝ้าย 100%	135	214.41	2	2.004	.367
ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%	135	195.29			
ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%	135	199.30			

*มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 20 ค่า P ที่คำนวณได้เท่ากับ .367 มีค่ามากกว่า .05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 คือ ชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 ระยะเวลาหลังซักและระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยลำดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามระยะเวลาหลังซักด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

ระยะเวลาหลังซัก (วัน)	N	Mean Rank	df	Chi-square	P
0	45	171.69	8	4.745	.784
1	45	192.71			
3	45	202.94			
5	45	205.64			
7	45	207.93			
9	45	208.11			
14	45	215.43			
21	45	213.43			
28	45	209.10			

*มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 21 ค่า P ที่คำนวณได้เท่ากับ .806 มีค่ามากกว่า .05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 สรุปได้ว่าระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบบ Static-group comparison มีวิธีการดำเนินการวิจัยโดยแบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย 2) การเลือกตัวอย่างสำหรับงานวิจัย 3) การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 4) การดำเนินการทดลอง และ 5) การวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำตัวอย่างเลือดของผู้วิจัย หยดลงบนผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% จากนั้นนำไปซักในเครื่องซักผ้าฝาหน้า โดยใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน ตามลำดับ โดยกำหนดให้ผ้าหยดเลือดที่ไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าขณะซัก เป็นตัวอย่างควบคุมบวก และตัวอย่างผ้าที่หยดน้ำกลั่นและนำไปซักโดยไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้า เป็นตัวอย่างควบคุมลบ จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการซักโดยมีระยะเวลาหลังซัก 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน มาตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และบันทึกภาพเคลื่อนไหวขณะหยดน้ำยาทดสอบ จากนั้นนำไฟล์ภาพเคลื่อนไหวในการทดสอบมาแปลงเป็นไฟล์ภาพนิ่งโดยใช้โปรแกรม Free Video to JPG Converter นำภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า และภาพถัดจากภาพดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพครั้งละ 1 ภาพ ขยายภาพที่กำลังขยาย 3,200 เท่า เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า L* a* และ b* แต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีที่เป็นเกณฑ์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมบวก เป็นค่าที่ใช้ระบุถึงการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ หากพบภาพใดเป็นภาพแรกที่มีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่ากับค่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้จดบันทึกเลขภาพและนำไปคำนวณหาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทำการประมวลผลข้อมูลในการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS แบ่งออกเป็น 1) การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ค่าสีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 2) การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใชในการทดลอง 3) การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยค่าสถิติเชิงพรรณา 4) การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย โดยวิเคราะห์การแจกแจงของ

ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov Test และเปรียบเทียบความแตกต่างระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ เมื่อผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างกัน ชนิดผ้าต่างกัน และระยะเวลาหลังซักต่างกัน โดยใช้ Kruskal-Wallis test และทดสอบค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test ภายใต้สมมติฐาน ผู้วิจัยมีการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยขอนำเสนอข้อสรุปเพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัยและสมมติฐานของการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ค่าสีในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

5.1.2 การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

5.1.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยสถิติเชิงพรรณา

5.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย

5.1.1 การวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อกำหนดเกณฑ์ค่าสีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

เนื่องจากการมองเห็นสีของแต่ละบุคคลอาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ เพศ อายุ อารมณ์ และสิ่งแวดล้อมในการมองเห็น ผู้วิจัยจึงใช้ค่าสีมาตรฐานคือ CIELAB ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเพื่อให้ได้ค่าสีที่เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าสี CIELAB ในตัวอย่างควบคุมบวกของผ้าฝ้าย 100%, ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% พบว่า ค่า L* และ b* ลดลง ในขณะที่ค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ตามความเข้มของสีชมพูอมม่วงที่ปรากฏ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า a* เพียงค่าเดียวในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ และเมื่อพิจารณาค่ารบกวน (background noise) ที่ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า a* = 6 เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากสามารถสังเกตเห็นสี

ของน้ำยาทดสอบเป็นสีชมพูอมม่วงอ่อนอย่างชัดเจนโดยไม่มีอิทธิพลร่วมของ background noise ที่ค่า a* = 6

5.1.2 การวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้ จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน ความถี่ชนิดละ 81 รายการ จำนวนรวม 405 รายการ คิดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดร้อยละ 20 เมื่อจำแนกตามชนิดของผ้า คือ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย ความถี่ชนิดละ 135 รายการ จำนวนรวม 405 รายการ คิดเป็นชนิดผ้าแต่ละชนิดผ้าร้อยละ 33.3 และจำแนกตามระยะเวลาหลังซัก คือ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน ความถี่ชนิดละ 45 รายการ จำนวนรวม 405 รายการ คิดเป็นระยะเวลาแต่ละวัน ร้อยละ 33.3

5.1.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer และแปลผลด้วยสถิติเชิงพรรณา

ผู้วิจัยขอนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่

5.1.3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และแปลผลการทดสอบ

5.1.3.2 วิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบของตัวแปรแต่ละประเภท

5.1.3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และแปลผลการทดสอบ

ผู้วิจัยขอนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อ คือ 1) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน 2) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ 3) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว 4) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และ 5) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

1) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก บนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุด เท่ากับ 7.3 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด 207.4333 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 21 เมื่อแปลผลการตรวจพิสูจน์จากระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแล้ว พบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 0 (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ 7.3 วินาที) เท่านั้น ในขณะที่การทดสอบบนผ้าฝ้ายที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1-28 และการทดสอบบนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% รวมไปถึงผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 ตรวจไม่พบคราบเลือด (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มากกว่า 15 วินาที)

2) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก บนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุด เท่ากับ .1111 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด .5333 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 9 เมื่อแปลผลการตรวจพิสูจน์จากระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแล้ว พบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ ทั้ง 3 ชนิดผ้า (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ น้อยกว่า 15 วินาที) ที่ระยะเวลาหลังซักตั้งแต่วันที่ 0-28

3) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวเมื่อเปรียบเทียบชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก บนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุด เท่ากับ 36.0444 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด 205.5111 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 21 เมื่อแปลผลการตรวจพิสูจน์จากระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ พบว่า ตรวจไม่พบคราบเลือด ทั้ง 3 ชนิดผ้า (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ มากกว่า 15 วินาที) ที่ระยะเวลาหลังซักตั้งแต่วันที่ 0-28

4) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน เมื่อเปรียบเทียบชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก บนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่

ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุด เท่ากับ 1.2556 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด 6.6778 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 14 เมื่อแปลผลการตรวจพิสูจน์จากระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแล้ว พบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ ทั้ง 3 ชนิดผ้า (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ น้อยกว่า 15 วินาที) ที่ระยะเวลาหลังซักตั้งแต่วันที่ 0-28

5) ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก บนผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน พบว่า ระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบต่ำที่สุด เท่ากับ .9667 วินาที บนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 และระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด 3.6889 วินาที บนผ้าโพลีเอสเตอร์ ที่ระยะเวลาหลังซัก วันที่ 21 เมื่อแปลผลการตรวจพิสูจน์จากระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแล้ว พบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ ทั้ง 3 ชนิดผ้า (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ น้อยกว่า 15 วินาที) ที่ระยะเวลาหลังซักตั้งแต่วันที่ 0-28

5.1.3.2 วิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบของตัวแปรแต่ละประเภท

ผู้วิจัยขอนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ คือ 1) ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า 2) ชนิดของผ้า และ 3) ระยะเวลาหลังซัก

1) ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer จำแนกตามชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า พบว่า ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ .2642 วินาที รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน 2.4963 วินาที ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน 4.5930 วินาที โดยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยเมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า 3 ชนิดดังกล่าว น้อยกว่า 15 วินาที หมายถึง ตรวจพบคราบเลือด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ย 87.0930 วินาที และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยสูงสุด คือ 95.9770 วินาที คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด

2) ชนิดของผ้า เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer จำแนกตามชนิดผ้า พบว่า ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยา

ทดสอบต่ำที่สุด คือ 18.6170 วินาที รองลงมาคือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% คือ 27.1059 วินาที และผ้าฝ้าย 100% มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด คือ 71.5311 วินาที เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบตามชนิดของผ้าพบว่ามีระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยมากกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า หมายถึงตรวจไม่พบคราบเลือด

3) ระยะเวลาหลังซัก เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer จำแนกตามระยะเวลาหลังซัก พบว่า ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 24.8985 วินาที และมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาหลังซัก โดยมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุดวันที่ 21 เท่ากับ 42.6763 วินาที เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบตามระยะเวลาหลังซัก พบว่ามีระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยมากกว่า 15 วินาที ตั้งแต่ระยะเวลาหลังซัก 0-28 วัน หมายถึง ตรวจไม่พบคราบเลือด

ทั้งนี้การเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ทั้ง 3 ตัวแปรดังกล่าว จะสามารถสรุปผลความแตกต่างในแต่ละตัวแปรได้ในหัวข้อถัดไป คือ การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย

5.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เพื่อตอบสมมติฐานของงานวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยลำดับรายคู่ (Pairwise comparison) ด้วยวิธี Dunn’s test

สมมติฐานที่ 1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เมื่อจำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า พบว่า ค่า P เท่ากับ .000 หมายถึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับรายคู่ ด้วยวิธี Dunn's test พบว่าค่าเฉลี่ยลำดับมีความแตกต่างกันจำนวน 9 คู่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว กับ ผลิตซักผ้าสูตรมาตรฐาน, ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน กับ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน

สมมติฐานที่ 2 ชนิดของผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เมื่อจำแนกตามชนิดของผ้า พบว่า ค่า P เท่ากับ .367 หมายถึง ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 สรุปได้ว่าชนิดของผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 ระยะเวลาหลังซักและระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เมื่อจำแนกตามระยะเวลาหลังซัก พบว่า ค่า P เท่ากับ .784 หมายถึง ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 สรุปได้ว่าระยะเวลาหลังซักที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน

5.2 อภิปรายผล

ผู้วิจัยขอแบ่งการอภิปรายผลออกเป็น 3 ส่วน ตามประเภทของตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง คือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า, ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก

5.2.1) ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน พบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แตกต่างกัน เนื่องจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละประเภทต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการขจัดคราบที่ต่างกันออกไป โดย

1) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ประกอบด้วย Sodium percarbonate ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถขจัดคราบจากธรรมชาติ เช่น คราบเลือดได้ดี สามารถละลายในน้ำและแตกตัวได้ H_2O_2 ขณะซัก ดังนั้นการที่ตรวจไม่พบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวบนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1-28 บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 นั้น อาจเป็นเพราะปริมาณของ H_2O_2 ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากขณะซัก ประกอบกับคุณสมบัติของฮีโมโกลบินที่สามารถสลาย H_2O_2 ได้ จึงเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวขณะซักพร้อม ๆ กัน (Castelló et al., 2009) ทำให้เมื่อผ่านการซักฮีโมโกลบินที่อาจเหลืออยู่บนผ้าไม่สามารถสลาย H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ได้ขณะทำการทดสอบการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลามากกว่า 15 วินาที เนื่องจาก O_2 ในบรรยากาศหรือปัจจัยอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากับน้ำยาทดสอบได้ช้า นอกจากนี้คุณสมบัติในการขจัดคราบได้ดีอาจเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณเลือดบนผ้าตัวอย่างลดลงจนไม่สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Howard et al., 2019) ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักด้วย sodium percarbonate ที่อุณหภูมิ 24°C และ 40°C จากนั้นล้างด้วยน้ำและทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน พบว่าที่อุณหภูมิ 40°C ตรวจไม่พบคราบโลหิตเมื่อทดสอบด้วย TMB, Luminol และ Bluestar Magnum ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นเช่นเดียวกับ KM-Test และ Castelló และคณะ (Castelló

et al., 2009) ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน (NeutrexTM) โดยแช่ผ้าที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจากนั้นล้างออกด้วยน้ำและทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน เมื่อทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าให้ผลเป็นลบ คือตรวจไม่พบคราบเลือด

ทั้งนี้การตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 (ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบที่ 7.3 วินาที) ในขณะที่ผ้า 2 ชนิดที่เหลือตรวจไม่พบคราบเลือดที่ระยะเวลาหลังซักดังกล่าวนั้น อาจเพราะผ้าฝ้ายผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้คราบสกปรกต่าง ๆ ยึดเกาะได้ดี และเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 95-100% สามารถดูดความชื้นได้ถึง 25-27% ทำให้แห้งช้าเมื่อเปียกชื้น ในขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์ผลิตจากใยสังเคราะห์ มีความมันเงาและลื่น การยึดเกาะของโปรตีนบนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ไม่ดีนัก (Edler et al., 2017) ดูดความชื้นได้น้อย คือ 0.4-0.8% ทำให้แห้งเร็วเมื่อเปียกชื้น (นวลแข ปาลิวนิช, 2556) ทำให้ผ้าฝ้ายสามารถดูดซับโมเลกุลฮีโมโกลบินไว้ได้มากที่สุดแม้จะผ่านการซัก ส่งผลให้ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 มีลักษณะเปียกชื้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับผ้าอีก 2 ชนิดที่เหลือ ซึ่งการที่ผ้ายังเปียกชื้นนั้นอาจหลงเหลือโมเลกุลของฮีโมโกลบินที่ยังไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทำให้เกิดผลบวกกับน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ได้ ในขณะเดียวกันบนผ้าที่เปียกชื้นนั้นก็อาจหลงเหลือผลิตภัณฑ์ซักผ้าตกค้างอยู่ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินได้เช่นกัน เมื่อระยะเวลาหลังซักครบ 1 วัน ปฏิกิริยาระหว่างฮีโมโกลบินและผลิตภัณฑ์ซักผ้าเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลานานมากกว่า 15 วินาที คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด ขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์และผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้ายสามารถดูดซับโมเลกุลของฮีโมโกลบินได้น้อยขณะซัก รวมทั้งดูดซับความชื้นและผลิตภัณฑ์ซักผ้าได้น้อยเช่นกัน จึงตรวจไม่พบคราบเลือดตั้งแต่วันที่ 0

2) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ประกอบด้วย H_2O_2 ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer น้อยกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า หมายถึง ตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว ซึ่งแตกต่างจากผลการตรวจคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนที่สามารถสลายตัวในน้ำได้ H_2O_2 นั้นอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของ H_2O_2 ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินบนผ้าได้อย่างสมบูรณ์ และ H_2O_2 ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการขจัดคราบจัดเป็นสารฟอกขาวชนิดอ่อน (นวลแข ปาลิวนิช, 2556) ซึ่งสามารถแตกตัวได้ Perhydroxyl anion (OH_2^-) เมื่อ pH ของสารละลายเป็นด่าง (pH

10-12) โดย OH_2^- เป็นสารประกอบสำคัญสำหรับการซักฟอกหรือขจัดคราบบนเสื้อผ้าเปื้อนคราบชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงคราบเลือด (Zeronian & Inglesby, 1995) สอดคล้องกับข้อแนะนำในการใช้ผลิตภัณฑ์ระบุ “ใช้ร่วมกับผงซักฟอกหรือผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ” เพื่อให้สภาวะในการซักเหมาะสมกับกับการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบดังกล่าว ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่านั้น จึงไม่มีการเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ จึงไม่เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของ H_2O_2 อาจทำให้ไม่เกิด OH_2^- หรือเกิดน้อยจนไม่สามารถขจัดคราบเลือดบนผ้าทั้ง 3 ชนิดได้ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบสามารถขจัดคราบได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน และเมื่อทำการทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ฮีโมโกลบินที่เหลืออยู่บนผ้าสามารถทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมบวก

3) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ประกอบด้วย Sodium Hypochlorite (NaOCl) จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดคลอรีนน้ำ จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน และมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมลบ เนื่องจากเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความสะอาดรวมทั้งฆ่าเชื้อโรคหลายชนิด โดยสารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสารประกอบชีวโมเลกุลที่หลากหลาย เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และดีเอ็นเอ (Fukuzaki, 2006) ซึ่งเลือดถือเป็นสารชีวโมเลกุลอย่างหนึ่งซึ่งสามารถถูกกำจัดได้โดย Sodium Hypochlorite สอดคล้องกับผลการทดลองของ Edler และคณะ (Edler et al., 2020) ที่ศึกษาผลของสารฟอกขาวกับการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนพื้นผิวต่างชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ฟอกขาวที่ประกอบด้วยคลอรีนอิสระ และ Sodium percarbonate สามารถทำความสะอาดคราบเลือดได้ดีไม่ต่างกันบนพรมขนสั้น พรมขนยาว กระเบื้อง ลามิเนต ปาเกต์ และ PVC

4) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคทั้งในผลิตภัณฑ์ซักผ้า เครื่องสำอางค์ อุปกรณ์การแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร สีทาผนัง เป็นต้น (Siemianowicz & Likus, 2017) ทั้งนี้เมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน พบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดอื่นรวมทั้งผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน อาจเป็นเพราะอนุภาคซิลเวอร์นาโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของ

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคของเหล็ก (Roto et al., 2017) ในโมเลกุลฮีโมโกลบินได้ ทำให้ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนช้ากว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานเล็กน้อย

5) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีส่วนประกอบของสารเคมีทั่วไปสำหรับการซักได้แก่ Sodium carbonate, Anionic Surfactant, Zeolite, Sodium carboxymethylcellulose และ/หรือ Optical brightener โดยไม่มีส่วนประกอบสำคัญอื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดคราบ ผลการทดลองพบว่าเมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดดังกล่าว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยกว่า 15 วินาที คือตรวจพบคราบเลือดในทุกชนิดผ้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Daud และ Sundram (Daud & Sundram, 2019) ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่แตกต่างกันเมื่อซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ใช้ทั่วไปในประเทศมาเลเซีย เมื่อตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่แช่ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo, Breeze, Fab และ Top เป็นระยะเวลา 20 นาที ให้ผลบวกกับน้ำยาทดสอบทุกชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทั้งนี้เมื่อแช่ผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo 20 นาที ให้ผลลบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้า Breeze, Fab และ Top ให้ผลบวกที่ระยะเวลาการแช่ผ้า 20 นาที ซึ่งอาจเป็นเพราะสารประกอบลดแรงตึงผิวของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทำให้ความสามารถของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดต่างกัน

5.2.2) ชนิดของผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า ได้แก่ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย35% พบว่าชนิดผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Nakanishi และคณะ (Nakanishi et al., 2020) ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดและรอยพิมพ์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยมือ โดยหยดเลือดลงบนเสื้อยืดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100% และใยโพลีเอสเตอร์ 100% หลังจากทิ้งคราบเลือดให้แห้ง นำมาซักด้วยมือ โดยใช้สบู่สำหรับซักมือ, น้ำยาล้างจาน, ผงซักฟอก สบู่ และน้ำจนกระทั่งมองไม่เห็นคราบ จากนั้นนำมาตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วย LMG Luminol และ Anti-human Hb พบว่า ผ้าฝ้าย 100% ให้ผลบวกมากกว่า ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และการทดลองของ Edler และคณะ (Edler et al., 2017) ที่พบว่าเมื่อนำผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายเปื้อนคราบเลือดมาซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าเอนกประสงค์ ผลิตภัณฑ์ซักผ้ากำจัดเชื้อโรค ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสี

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบเลือด ที่อุณหภูมิ 20°C, 30°C, 60°C และ 95°C ให้ความเข้มแสงของ Luminol น้อยกว่าผ้าฝ้าย ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการดูดความชื้นและการยึดติดของโปรตีนบนผ้าฝ้ายได้ดีกว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งผลการทดลองที่แตกต่างกันนั้นอาจเป็นเพราะน้ำยาทดสอบและวิธีที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ต่างกัน โดยการศึกษาก่อนหน้ามักใช้การสังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบด้วยเปล่า นำมาเทียบเกณฑ์ความเข้มสีแล้วให้คะแนนความเข้มสีตามสิ่งที่มองเห็น จากนั้นแปลเป็นผลบวก บวกอ่อน หรือลบ ซึ่งการมองเห็นสีของแต่ละบุคคลนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์ และสภาพแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ซึ่งการที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยหรือมากนั้นแปรผกผันกับปริมาณคราบเลือดที่หลงเหลืออยู่หลังการซัก หากมีเลือดเหลืออยู่ปริมาณมากการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจะใช้เวลาน้อย (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 วินาที) และหากมีเลือดปริมาณน้อยระยะเวลาการเปลี่ยนสีจะใช้เวลามาก (มากกว่า 15 วินาที) โดยใช้การแปลผลจากภาพนิ่งซึ่งถูกแปลงจากภาพเคลื่อนไหวขณะทำการทดลอง ทำให้สามารถตรวจสอบผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบได้อย่างถูกต้องแม่นยำแม้จะมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเพียงเล็กน้อยในระยะเวลาอันสั้นซึ่งสายตามนุษย์อาจไม่ทันสังเกตเห็น ทำให้ผลการตรวจพิสูจน์ คือ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกันบนผ้าทั้ง 3 ชนิด

5.2.3) ระยะเวลาหลังซัก

จากการวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซักที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน พบว่าระยะเวลาหลังซักต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะการซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ช่วยขจัดคราบเลือดที่ติดอยู่บนผิวผ้าให้เหลือเพียงคราบเลือดฝังแน่นที่อยู่ในเนื้อผ้าเพียงเท่านั้น ทำให้เลือดที่อาจฝังแน่นอยู่ในเนื้อผ้าเกิดปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมได้ยากเนื่องจากถูกเก็บไว้ในกล่องปิดที่ป้องกันการสัมผัสกับอากาศและแสงแดดโดยตรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรอนงค์ ปันทา และคณะ (อรอนงค์ ปันทา และคณะ, 2565) ที่ศึกษาการตรวจสอบคราบโลหิตของมนุษย์บนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสมด้วยวิธีบลูสตาร์ โดยตรวจสอบคราบเลือดที่ถูกทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเจือจางตัวอย่างเลือด 1:100 หยดลงบนเส้นใยประเภทต่าง ๆ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30.14 ± 1.78 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 73.75 ±6.97 ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% ให้ผลบวกไม่ต่างกัน (+++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา ขณะที่เส้นใยธรรมชาติคือผ้าสาลูให้ผลบวกแตกต่างจากผ้าชนิดอื่นเล็กน้อย (++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยขอจำแนกการนำเสนอออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ และ ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้

1) จากข้อค้นพบที่ว่า ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้วัตถุพยานประเภทผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าบางชนิดยังสามารถตรวจพบคราบเลือดอยู่แม้จะผ่านการซักเป็นเวลานานถึง 28 วัน ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวมรวมพยานหลักฐาน สามารถทดสอบคราบเลือดจากเสื้อผ้าเปื้อนเลือดที่ผ่านซักได้ในสถานที่เกิดเหตุด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer หรือเก็บวัตถุพยานประเภทผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักไปตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาและดีเอ็นเอเพื่อตรวจหาคราบเลือดหรือดีเอ็นเอต่อไปได้ ทั้งนี้หากผ้านั้นถูกซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนควรรีบส่งวัตถุพยานมายังห้องปฏิบัติการโดยด่วนขณะที่ผ้ายังเปียกชื้น หรือระยะเวลาหลังซักไม่เกิน 24 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนที่ตกค้างอยู่บนผ้าสามารถทำปฏิกิริยากับเลือดต่อไปได้ ซึ่งการส่งวัตถุพยานล่าช้าอาจหมายถึงการสูญเสียหลักฐานชิ้นสำคัญไป

2) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยการตรวจวัดด้วยค่าสี CIELAB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop สามารถตรวจสอบได้ง่ายและทำได้รวดเร็ว ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในโปรแกรมขั้นสูงก็สามารถใช้งานได้ ทั้งยังสามารถกำหนดค่าสี (a*) ที่เหมาะสมตามการใช้งานของแต่ละห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งค่าสีดังกล่าวสามารถนำมาการประยุกต์ใช้กับการตรวจพิสูจน์คราบเลือดในกรณีที่มีคราบเลือดอยู่น้อยหรือมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเป็นสีอ่อนเพียงเล็กน้อยจนทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์ไม่มั่นใจว่ามีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบหรือไม่ การใช้ค่าสีดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ตรวจพิสูจน์มีมาตรฐานเดียวกันในการตรวจพิสูจน์และมีความมั่นใจในผลการตรวจพิสูจน์มากขึ้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ด้านประเด็นที่ศึกษา

1.1) ด้านระยะเวลาในการวิจัย ควรมีระยะเวลาการวิจัยที่มากกว่า 28 วัน เนื่องจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 3 จาก 5 ชนิด ยังสามารถตรวจพบคราบเลือดได้ที่ระยะเวลาหลังการซัก 28 วัน ซึ่งในสถานการณ์จริงมีความเป็นไปได้ที่ผู้ก่อเหตุอาจซุกซ่อนวัตถุพยานเสื้อผ้าเปื้อนเลือดที่ผ่านการซักไว้นานมากกว่า 28 วัน นอกจากนี้ควรศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสี

ของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ที่ระยะเวลาหลังซัก 0-24 ชั่วโมง เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่แน่นอนในการตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว ซึ่งจะสามารถใช้ระบุกรอบเวลาในการเก็บวัตถุพยานจากสถานที่เกิดเหตุเพื่อส่งตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

1.2) ด้านสภาวะในการทดลอง เนื่องจากวิธีการซักผ้าของแต่ละบุคคลอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ในการซัก ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาในสภาวะที่ต่างกัน เช่น การซักผ้าด้วยมือ การซักด้วยเครื่องซักผ้าฝาบน การซักผ้ามากกว่า 1 ครั้ง การใช้น้ำเย็นในการซัก หรือการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2) ด้านระเบียบวิธีการวิจัย งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง จึงควรมีการดำเนินการวิจัยโดยใช้เครื่องมือการวิจัยอื่น เช่น Real-Time PCR ในการตรวจวัดปริมาณดีเอ็นเอจากคราบเลือด และ Capillary Electrophoresis (CE) ในการวิเคราะห์รูปแบบดีเอ็นเอคราบเลือดที่ตรวจพบหลังการซัก เพื่อให้ได้ดีเอ็นเอที่สามารถใช้ในการยืนยันตัวบุคคลได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Castelló, A., Francès, F., Corella, D., & Verdú, F. (2009). Active oxygen doctors the evidence. *Naturwissenschaften*, 96(2), 303-307. https://doi.org/10.1007/s00114-008-0466-9

Cox, M. (1991). A study of the sensitivity and specificity of four presumptive tests for blood. *J Forensic Sci*, 36(5), 1503-1511.

Daud, S. M. S. M., & Sundram, S. (2019). Identification of Bloodstains on Different Fabrics after Washing with Commonly Used Detergent in Malaysia. *Journal of Management and science*, 17(1), 57-65.

Edler, C., Gehl, A., Kohwagner, J., Walther, M., Krebs, O., Augustin, C., & Klein, A. (2017). Blood Trace Evidence on Washed Textiles - a systematic approach. *International Journal of Legal Medicine*, 131. https://doi.org/10.1007/s00414-017-1549-y

Gaensslen, R. E. (1989). *Sourcebook in Forensic Serology, Immunology and Biochemistry*. National Institute of justice, U.S. Department of Justice.

Gefrides, L. A., & Welch, K. E. (2006). Serology and DNA. In A. Mozayani & C. Noziglia (Eds.), *The forensic laboratory handbook : procedures and practice* (pp. 1-33). Humana Press.

Hermon, D., Shpitzer, M., Oz, C., Azoury, M., & Gafny, R. (2003). The use of the Hexagon OBTI test for detection of human blood at crime scenes and on items of evidence Part I: Validation studies and implementation. *Journal of Forensic Identification*, 53(5), 566-575.

Hofmann, M., Adamec, J., Anslinger, K., Bayer, B., Graw, M., Peschel, O., & Schulz, M. (2019). Detectability of bloodstains after machine washing. *International Journal of Legal Medicine*, 133, 1-14. https://doi.org/10.1007/s00414-018-1897-2

Howard, D., Chaseling, J., & Wright, K. (2019). Detection of blood on clothing laundered with sodium percarbonate. *Forensic Science International (Online)*, 302. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109885

Lee, H. C. (1982). Indentification and Grouping of Bloodstain. In R. Saferstein (Ed.), *Forensic Science Handbook* (pp. 267-277). Prentice-Hall,Inc.

Marketeer. (2560). เครื่องซักผ้าพรีเมี่ยมคือโอกาส. สืบค้นจาก https://marketeeronline.co/archives/20451

Nakanishi, H., Ohmori, T., Yoneyama, K., Hara, M., Takada, A., & Saito, K. (2020). Bloodstain examination and DNA typing from hand-washed bloodstains on clothes. *Legal Medicine*, 47, 101758. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101758

Sapan, T. Ü., Erdoğan, I. T., & Atasoy, S. (2021). Human identification from washed blood stains. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1), 148. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00600-3

SERATEC. (2009). *SERATEC® HemDirect Hemoglobin Assay*. Retrieved from https://www.seratec.com/docs/user_instructions/hbf07_en.pdf

Watkins, D., & Brown, K. (n.d.). *Blood detection*. Retrieved from https://www.bluestar-forensic.com/wp-content/uploads/2020/09/watkins_brown_luminol_bs.pdf

Wikipedia the free encyclopedia. (n.d.). *Hydrogen Peroxide*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide

เคมีฟิสิกส์ของสิ่งทอ อาหาร และของรอบตัว. (2559). วิทยาศาสตร์ของผงซักฟอกและน้ำยาซักผ้า. สืบค้นจาก https://www.facebook.com/textile.phys.and.chem/posts/1153834037988362/

เฉลิมเดช เฉลิมลาภอัศดร. (2546). เครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้า. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

ไชยวัฒน์ ไชยสมบูรณ์. (2555). การทดสอบ Kastle-Meyer และการประยุกต์ใช้ในทางวิทยาศาสตร์การแพทย์. วารสารนิติเวชศาสตร์, 4(2), 179-184.

ไทยรัฐออนไลน์. (2562). ฆ่าหั่นศพแม่แช่ในตู้เย็น ลูกชายโหด เรียนวิศวะปี 2. สืบค้นจาก https://www.thairath.co.th/news/crime/1711910

กองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2563). ผงซักฟอกมีกี่ชนิดและมีชนิดใดบ้าง. สืบค้นจาก http://siweb.dss.go.th/index.php/th/search-form/1724-2020-01-20-01-58-53

จำนงค์ นพรัตน์ และ ชวดี นพรัตน์. (2563). โลหิตวิทยา. สหมิตรการพิมพ์ (1992).

นวลแข ปาลิวนิช. (2556). ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่). ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บัญญัติ สุขศรีงาม. (2547). ซีโอลท์ในผงซักฟอกมีความสำคัญอย่างไร. สืบค้นจาก http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=789

ภัคนัย ทองทิอัมพร. (2550). การมองเห็นและการวัดสี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สืบค้นจาก https://www.dss.go.th/images/st-article/pep_7_2550_Color_Measurement.pdf

ยุทธนา หมั่นดี. (2551). เลือดและผลิตภัณฑ์เลือด. วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่, 41(2), 53-61.

รสสุคนธ์ ไตรรงค์. (2555). สยามสมัยไร้ผงซักฟอก. สืบค้นจาก https://www.gotoknow.org/posts/430693

วราภรณ์ สมบุรุษ. (2561). ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีทำความสะอาดคราบเลือดที่มีผลต่อการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธี *Luminol* และ *Blustar* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วิภาวรรณ บุญช่วยเหลือ, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, & ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. (2560). การตรวจคราบเลือดของมนุษย์ด้วยวิธีลูมินอล ฟีนอล์ฟธาลีนแลฟลูออเรซซีน บนผ้าชนิดต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 14(2), 70-77.

ศศิญดา ศรีน่วม. (2556). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยา *Kastle mayer* และชุดทดสอบ *FOB* 1-*Step Fecal Occult Blood* เพื่อใช้ตรวจคราบโลหิตมนุษย์ในงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศันสนีย์ วีระศิลป์ชัย. (2564). วิธีซักรีดผ้าของชาววัง ในวันที่ไม่มีผงซักฟอก-น้ำยาปรับผ้านุ่ม-เตารีดไฟฟ้า. สืบค้นจาก https://www.silpa-mag.com/culture/article_8238

ศิริพร พันธศรี. (2549). การตรวจพิสูจน์คราบเลือด. วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่, 39(3), 25-28.

สรวง สมานหมู่ และคณะ. (ม.ป.ป.). การตรวจร่องรอยเลือดจากการเรืองแสงของลูมินอล. สืบค้นจาก https://nstda.or.th/sciencecamp/th/file/4432738T9UBODRSK5.pdf

สวรส ปุริมโน. (2555). การตรวจวัดคราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟธาลีน เตตระเมทิลเบนซิดีน ลูมินอล และบูลสตาร์ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สัมมน โฉมฉาย. (2557). ภาวะเมธฮีโมโกลบินนีเมียจากพิษของสารกำจัดวัชพืช. In จ. ศรีอาภา (Ed.), ยาต้านพิษ 4 (pp. 68-74). สมุทรปราการ: สแกน แอนด์ พริ้นท์.

สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2564). สถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ. สืบค้นจาก https://bit.ly/3uhKp4H

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2549). มอก. 78-2549 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก. สืบค้นจาก http://appdb.tisi.go.th/tis_dev/p3_tis/fulltext/TIS-78-2549m.pdf

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2560). มาตรฐานอุตสาหกรรมเอส มอก. เอส. 20-2560 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าเหลว. สืบค้นจากhttps://www.tisi.go.th/assets/website/pdf/tiss/20-2561.pdf

อรรถพล แช่มสุวรรณวงศ์ และคณะ. (2552). นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อกากรสืบสวนสอบสวน. บริษัท จี.บี.พี. เซ็นเตอร์ จำกัด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ร้อยตำรวจโทหญิง ธารารัตน์ แจ่มจำรัส
วัน เดือน ปี เกิด	26 มกราคม 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	216 หมู่ 4 ตำบลแพรกษาใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280

มหาวิทยาลัยศิลปากร