



การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์



โดย

นางสาวชาลินี เวชอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ทางนิติ
วิทยาศาสตร์



โดย
นางสาวชานี เวชอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

COLORIMETRIC ANALYSIS OF BLOODSTAINS IN CRIME SCENCE FOR FORENSIC
APPLICATION



By
MISS Chalinee WACHIN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science FORENSIC SCIENCE
Department of FORENSIC SCIENCE
Academic Year 2023
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุ เพื่อประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์
โดย	นางสาวชาลินี เวชอินทร์
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)
..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุภาพร สมิน้อย)

650720012 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : คราบเลือด, ฮีโมโกลบิน, การตรวจจับค่าฮีอาร์จีบี, โพลีเอสเตอร์

นางสาว ซาลินี เวชอินทร์: การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

คราบเลือดถือเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ มักพบในคดีอาชญากรรมที่รุนแรง โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้การวิเคราะห์สีในการประมาณอายุของคราบเลือดจากภาพถ่ายคราบเลือดโดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Detector ในการทดลองเตรียมตัวอย่างเลือด โดยการหยดตัวอย่างเลือดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์สีต่างๆ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาต่างๆ ก่อนที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างกราฟค่าสีอ่านได้ของคราบเลือด เทียบกับอายุของคราบเลือด สมการที่ใช้ในการทำนายอายุของคราบเลือดโดยแบ่งเป็น 2 สมการ: สมการช่วงระยะเวลาสั้น (1-4 ชั่วโมง) และสมการช่วงระยะเวลายาว (5-720 ชั่วโมง) ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทำนายอายุของคราบเลือด จากการเตรียมตัวอย่างเลือด 30 ตัวอย่าง พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ตรงระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≥ 0.8031 ผลการทดลองได้พิสูจน์แล้วว่ากรวิเคราะห์สีอาจใช้ทำนายอายุของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย และผ้าโพลีเอสเตอร์สีต่างๆได้



650720012 : Major FORENSIC SCIENCE

Keyword : Bloodstain, Hemoglobin, RGB Color Detector, Polyester

MISS Chaline WACHIN : Colorimetric Analysis of Bloodstains in Crime Science
for Forensic Application Thesis advisor : Orathai Kheawpum, Ph.D.

The bloodstains are important forensic evidence often found in the serious crime case. The purpose of this study was to explore the use of colors analysis in the estimation of the age of bloodstains from bloodstain images by RGB Color Detector application. In the experiment, the bloodstain samples were prepared by dropping the blood samples on different colors of cotton fabrics and polyester fabrics and kept at ambient temperature for various periods of time. The data were employed to construct calibration graphs of color values of the bloodstain colors and the bloodstain ages. Two bloodstain age prediction equations: a short-term (1-4 hours) and a long-term (5-720 hours) equations were developed to determine the ages of bloodstains prepared from thirty blood samples. A good correlation between the estimated ages and the actual ages of the samples were obtained correlation coefficient of ≥ 0.8031 . The experimental results have proved that the colorimetric analysis may be used to predict the age of bloodstains on the different colors of the cotton cloth and polyester cloth.

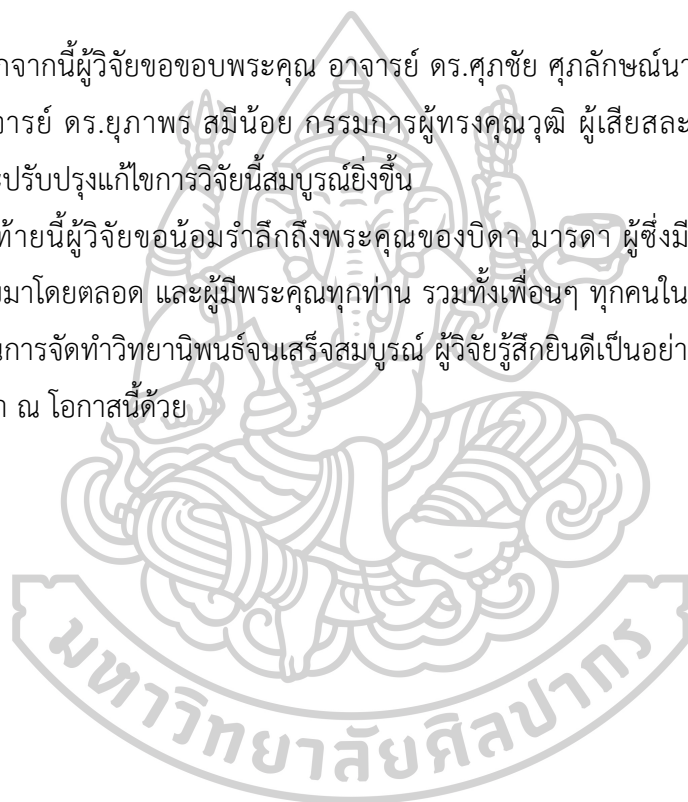


กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง "การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์" นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อรทัย เขียวพุ่ม และอาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการจัดทำโครงการวิจัย รวมทั้งคณาจารย์สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย เพื่อนำไปประยุกต์ในการจัดทำโครงการวิจัยนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เสียสละเวลาในการตรวจสอบให้คำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขการวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ผู้ซึ่งมีพระคุณสูงสุดที่ได้ให้การอุปการะผู้วิจัยมาโดยตลอด และผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนในการให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

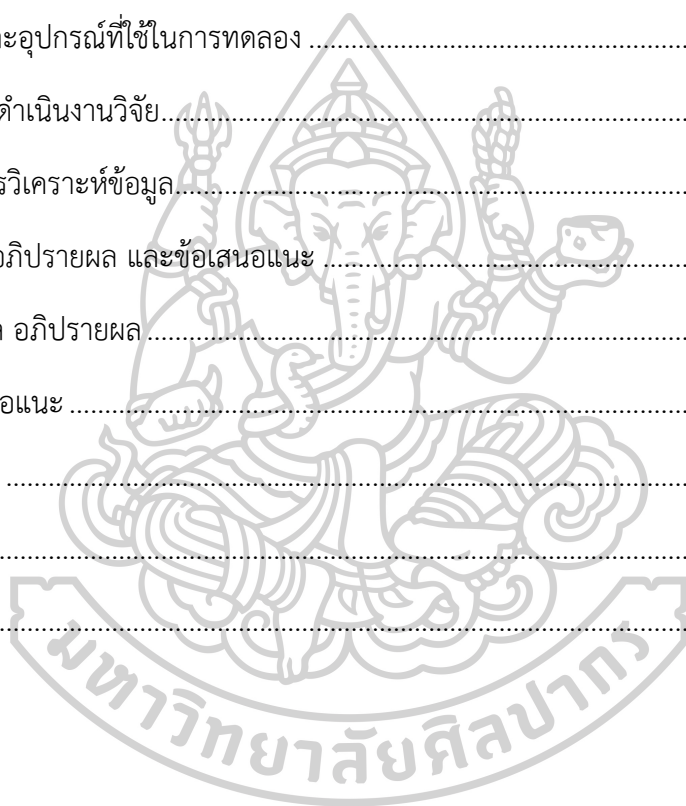


ชาลินี เวชอินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	1
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเลือด.....	1
2.2 ความรู้เกี่ยวกับการมองเห็นสีของวัตถุ.....	9
2.3 ความรู้เกี่ยวกับระบบการวัดสี.....	12
2.4 ความรู้เกี่ยวกับแอปพลิเคชัน RGB Color Detector.....	15
2.5 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าฝ้าย.....	16
2.6 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าใยสังเคราะห์.....	19

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	25
3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย	25
3.3 การกำหนดอาสาสมัคร.....	25
3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผล อภิปรายผล.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
รายการอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	44
ประวัติผู้เขียน.....	53



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า	31
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า.....	32
ตารางที่ 3 สมการความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาช่วง 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และช่วงเวลา 5	35
ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาช่วง 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และช่วงเวลา 5	35
ตารางที่ 5 ระยะเวลาจริงของคราบเลือดกับระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย	36
ตารางที่ 6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาของจริงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์.....	38
ตารางที่ 7 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว	45
ตารางที่ 8 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีน้ำตาล	46
ตารางที่ 9 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีชมพู.....	47
ตารางที่ 10 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีฟ้า.....	48
ตารางที่ 11 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว	49
ตารางที่ 12 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีน้ำตาล.....	50
ตารางที่ 13 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีชมพู	51
ตารางที่ 14 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีฟ้า	52

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีรูปร่างกลมแบนที่มีช่องเว้าตรงกลาง	3
ภาพที่ 2 ประเภทและลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดขาว	4
ภาพที่ 3 ฮีโมโกลบินที่มีลักษณะเป็น tetramer มีสายแอลฟา 2 สาย และสายบีต้า 2 สาย.....	7
ภาพที่ 4 Hemoglobin reaction kinetics ภายในและภายนอกร่างกาย	8
ภาพที่ 5 จอตาและส่วนประกอบที่มีลักษณะเป็นเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวย	10
ภาพที่ 6 วัตถุสะท้อนแสงสีแดงเข้าสู่ดวงตา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีแดง.....	11
ภาพที่ 7 วัตถุสะท้อนแสงสีแดงมากที่สุด ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีแดง.....	11
ภาพที่ 8 วัตถุสะท้อนสีน้ำเงินและสีแดงเข้าสู่ดวงตา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีม่วง	11
ภาพที่ 9 ระบบสี RGB ที่แสดงลักษณะการผสมกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน.....	12
ภาพที่ 10 ระบบสี CMYK ที่แสดงลักษณะการผสมกันของ Cyan Magenta และ Yellow.....	13
ภาพที่ 11 ระบบสี HSB.....	14
ภาพที่ 12 ระบบสี LAB	15
ภาพที่ 13 ลักษณะการแสดงผลการตรวจวัดสีของระบบสี RGB HSL HSV และ CMYK.....	16
ภาพที่ 14 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยฝ้าย.....	17
ภาพที่ 15 ลักษณะของเส้นใยฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	17
ภาพที่ 16 โครงสร้างของเส้นใยฝ้ายทั้งหมด 6 ชั้น	19
ภาพที่ 17 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์.....	20
ภาพที่ 18 ลักษณะของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	21
ภาพที่ 19 กรอบแนวคิดในการวิจัย	24
ภาพที่ 20 ตัวอย่างการหยดเลือดลงบนผ้าฝ้ายสีขาว	27

ภาพที่ 21 ภาพถ่ายคราบเลือดบนผ้าฝ้าย (A) และผ้าโพลีเอสเตอร์ (B) สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า.....	28
ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	29
ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีเขียวกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	29
ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	29
ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	30
ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีเขียวกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	30
ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	30
ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมง	33
ภาพที่ 30 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง	33
ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมง	34
ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง.....	34
ภาพที่ 33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาจริงของคราบเลือด	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพบการก่อเหตุอาชญากรรมหลากหลายรูปแบบ เช่น การทำร้ายร่างกาย การล่องละเมิดทางเพศ การก่อเหตุฆาตกรรม เป็นต้น ซึ่งกระบวนการสืบสวนเพื่อทราบผู้กระทำความผิดต้องอาศัยการรวบรวมพยานหลักฐานเพื่อยืนยันการพิสูจน์ความผิด ทั้งนี้สถานที่เกิดเหตุจึงมีความสำคัญในการสืบสวนเป็นอย่างมาก เนื่องจากสถานที่เกิดเหตุสามารถบอกได้ว่ามีการกระทำความผิดเกิดขึ้นจริง (Corpus Delicti) ซึ่งอาจมีร่องรอยหรือพยานหลักฐานที่ทำให้สามารถเชื่อมโยงไปถึงผู้กระทำความผิดได้ตามหลักการแลกเปลี่ยนของโลคาร์ด (Locard's Exchange Principle) ดังที่ เอ็ดมอนด์ โลคาร์ด (Edmond Locard) ได้กล่าวไว้ว่า “ทุกการสัมผัสย่อมทิ้งร่องรอย (Every Contact Leaves a Trace)” (กุลนิดา ชาตินาวิณ, 2564) โดยพยานหลักฐานที่อาจพบประกอบไปด้วย พยานบุคคล พยานเอกสาร พยานวัตถุ และพยานผู้เชี่ยวชาญพิเศษ ซึ่งพยานวัตถุจัดเป็นหลักฐานที่แท้จริง (Real Evidence) และเป็นพยานหลักฐานที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งเนื่องจากพยานวัตถุมีความชัดเจนของตัวเองที่สามารถนำไปเชื่อมโยงเหตุการณ์ร่วมกับพยานหลักฐานประเภทอื่นเพื่อยืนยันการกระทำความผิดที่เกิดขึ้น พยานวัตถุที่มักพบในสถานที่เกิดเหตุ อาทิ ลายนิ้วมือ (Fingerprint) เส้นผม (Hair) เนื้อเยื่อ (Tissue) รวมถึงคราบเลือด (Bloodstain) เป็นต้น (ชิตชนก ขวัญพรหม, 2018)

คราบเลือดมักพบในสถานที่เกิดเหตุในลักษณะเป็นหยดหรือเป็นคราบที่แห้งแล้ว ซึ่งในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์คราบเลือดที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุคราบเลือดมักถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ DNA Profiling เพื่อสืบหาตัวบุคคล หรือการวิเคราะห์ทิศทางและการกระจายตัวของเลือด รวมไปถึงการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด (Thanakiatkrai et al., 2013) นักนิติวิทยาศาสตร์พยายามพัฒนาวิธีการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุมาเป็นเวลานานเพื่อให้มีความแม่นยำและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น (Shin et al., 2017) โดยในการประมาณอายุของคราบเลือดต้องอาศัยกลไกการเปลี่ยนแปลงของคราบเลือดที่สำคัญคือ Hemoglobin Reaction Kinetic ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของ Hemoglobin เมื่อเลือดออกจากร่างกาย ฮีโมโกลบินจะผ่านกระบวนการสลายตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (Non-reversible Decay Process) โดย Oxyhemoglobin (HbO₂) คือ ฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจนเกิด Autooxydation ให้เปลี่ยนเป็น Methemoglobin (MetHb) จากนั้นจะเสื่อมสภาพแล้วถูกเปลี่ยนเป็น Hemichrome (HC) กระบวนการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดซึ่งเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลเข้ม (Thanakiatkrai et al., 2013)

การวิเคราะห์คราบเลือดที่พบในสถานที่เกิดเหตุไม่สามารถสังเกตหรือแยกได้ด้วยตาเปล่าได้ว่าคราบเลือดที่พบมีระยะเวลาานเท่าใด และคราบเลือดบริเวณไหนเกิดก่อนหรือเกิดหลัง ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์จึงมีการใช้ทฤษฎีระบบของสี RGB ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นระบบสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (Hassan et al., 2017) เนื่องจากระบบสี RGB เป็นระบบปริภูมิสี คือสีที่ปรากฏขึ้นตามการรับรู้ของมนุษย์ ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยนักวิจัยของ Hewlett Packard เป็นการกำหนดค่าสีภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ ทั้งนี้ในปัจจุบันจึงมีการนำค่าสี RGB ของภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดที่พบในสถานที่เกิดเหตุ (Vmountandtrim, 2022)

การประมาณระยะเวลาของคราบเลือดสามารถใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หลายประเภท อาทิ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมที่สามารถทำงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดที่สามารถมองเห็นได้ (400-1,000 นาโนเมตร) เพื่อการประมาณอายุของคราบเลือด โดยพิจารณาจากสเปกตรัมที่ได้จากการสะท้อนแสงเพื่อสังเกตสัดส่วนของอนุพันธ์ของฮีโมโกลบินที่เปลี่ยนแปลง จากการเปรียบเทียบสัดส่วนอนุพันธ์ของฮีโมโกลบินกับข้อมูลอ้างอิง พบว่าสามารถประมาณอายุของคราบเลือดได้นานถึง 200 วัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 13.4 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Edelman et al., 2012) งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการหาปริมาณของฮีโม (Heme) โดยการใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของฮีโมโกลบินในคราบเลือด โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลง Spin state ของ Fe^{3+} ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน โดยการใช้เทคนิค Electron Paramagnetic Resonance (Fujita et al., 2005) งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการหาปริมาณของออก Oxyhemoglobin ในคราบเลือด โดยการใช้เทคนิค Oxygen electrodes (Bremmer et al., 2012)

จากเทคนิคที่กล่าวในข้างต้นอาจมีเทคนิคที่ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนาน ค่าใช้จ่ายสูง และไม่สามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่เกิดเหตุ ในการศึกษาทางวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด จากการสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงของสีคราบเลือดในแต่ละช่วงเวลาด้วยแอปพลิเคชัน RGB Color Detector ที่ถูกพัฒนาโดย Raimon Gaspar Fernadez ซึ่งสามารถอ่านค่าสี RGB ของภาพถ่ายในระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการหยุดเลือด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่อ่านได้เทียบกับระยะเวลา และแสดงให้เห็นว่า เทคนิคนี้สามารถประมาณระยะเวลาของคราบเลือดได้อย่างรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อย รวมถึงแสดงประสิทธิภาพในการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในสถานที่เกิดเหตุและงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการหาระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า โดยการวิเคราะห์ค่าสี

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วัดได้กับระยะเวลาของคราบเลือดมีความแปรผันตรงกัน สามารถใช้ทำนายอายุของคราบเลือดได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ผิวที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ สีขาว สีน้ำตาล สีฟ้า และสีฟ้า
2. หยดเลือดจำนวน 5 หยด ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ระดับความสูง 2 เซนติเมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ความสูงในการหยดเลือดอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย และไม่สามารถควบคุมการกระจายตัวของหยดเลือดได้ ทำให้สีของคราบเลือดบนผ้ามีการกระจายตัวไม่เท่ากันส่งผลให้สีมีความไม่สม่ำเสมอ
2. ไม่สามารถควบคุมความเร็วของชัตเตอร์ในการถ่ายภาพได้ เนื่องจากการใช้โหมดถ่ายภาพอัตโนมัติจากสมาร์ตโฟน อาจส่งผลต่อความสว่างของภาพถ่าย และค่าสีที่วัดได้

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

Bloodstains หมายถึง คราบเลือดหรือร่องรอยของเลือด มักพบในสถานที่ที่เกิดเหตุอาชญากรรมส่วนใหญ่ อาทิ เสื้อผ้า วัตถุพยานต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งคราบเลือดมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับทิศทางกระเซ็นของเลือด หรือระยะเวลาของของคราบเลือดที่หลังออกมา

Hemoglobin หมายถึง ส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียน ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ที่เป็นหน่วยย่อยของโปรตีนเรียกว่าสายโกลบิน (globin chain) กับหมู่ฮีม (heme group) ทำหน้าที่ในการลำเลียงออกซิเจนจากปอดไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

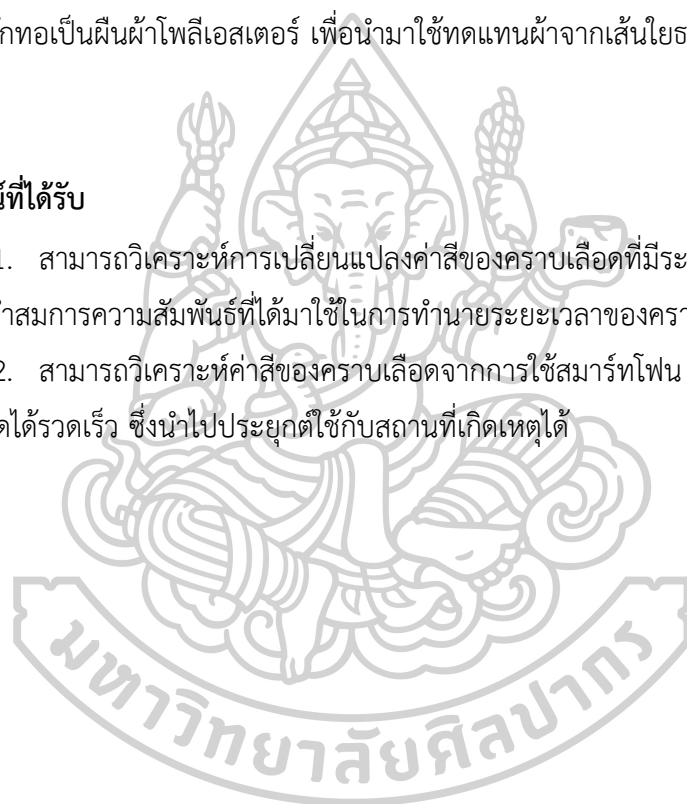
RGB หมายถึง ระบบสีของแสงที่เกิดจากการหักเหของแสงกลายเป็นสีรุ้ง ซึ่งเป็นช่วงแสงที่สายตาของมนุษย์มองเห็นได้ ซึ่ง RGB ย่อมาจาก red green และ blue มักจะถูกนำไปใช้กับสื่อที่ใช้ระบบแสงแสดงภาพ

RGB Color Detector หมายถึง แอปพลิเคชันจากสมาร์ทโฟนที่มีเซนเซอร์ตรวจจับสีจากภาพถ่าย และสามารถแปลงค่าที่วัดได้หลากหลาย อาทิ RGB CMYK HSV HTML และ HSV เป็นต้น

Polyester หมายถึง พลาสติกชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Polyethylene terephthalate มักถูกนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีและกระบวนการผลิตต่าง ๆ ก่อนนำไปทำเป็นเส้นด้ายและถักทอเป็นผืนผ้าโพลีเอสเตอร์ เพื่อนำมาใช้ทดแทนผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีของคราบเลือดที่มีระยะเวลาใกล้เคียงกันได้ และสามารถนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ในการทำนายระยะเวลาของคราบเลือด
2. สามารถวิเคราะห์ค่าสีของคราบเลือดจากการใช้สมาร์ทโฟน และทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้รวดเร็ว ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับสถานที่เกิดเหตุได้



บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานในบทนี้ เป็นการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎีที่สำคัญของนักวิชาการ รวมถึงงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานวิจัย และเป็นประโยชน์ในการกำหนดกรอบแนวคิดเบื้องต้นของงานวิจัย โดยผู้วิจัยได้ทำการสรุปสาระที่ครอบคลุมถึงประเด็นในการศึกษาไว้เป็นหัวข้อ ดังนี้

- 2.1 ความรู้เกี่ยวกับเลือด
- 2.2 ความรู้เกี่ยวกับการมองเห็นสีของวัตถุ
- 2.3 ความรู้เกี่ยวกับระบบสี
- 2.4 ความรู้เกี่ยวกับแอปพลิเคชัน RGB Color Detector
- 2.5 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าฝ้าย
- 2.6 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าใยสังเคราะห์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2.1 ความรู้เกี่ยวกับเลือด

แบ่งหัวข้อย่อยได้เป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

- 2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเลือด
- 2.1.2 องค์ประกอบของเลือด
- 2.1.3 หน้าที่ที่สำคัญของเลือด
- 2.1.4 Hemoglobin
- 2.1.5 Hemoglobin reaction kinetic
- 2.1.6 ความผิดปกติของ Hemoglobin

2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเลือด

เลือด (Blood) เป็นส่วนประกอบสำคัญของสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นของเหลว สีแดง ไหลเวียน อยู่ทั่วร่างกาย การไหลเวียนของเลือดทำให้เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายมีความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งเลือด จะมีหน้าที่ขนส่งอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย และนำของเสีย รวมถึงสารคัดหลั่งจากเนื้อเยื่อออกมา ตามกระแสเลือด โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณของเลือดในร่างกายในผู้ใหญ่ปกติ จะมีประมาณ 7-8 % ของน้ำหนัก ร่างกาย หรือประมาณ 5-6 ลิตรในเพศชาย และ 4-5 ลิตรในเพศหญิง (กรกมล วีระพันธุ์, 2563)

2.1.2 องค์ประกอบของเลือด

1. พลาสมา (Plasma)

พลาสมา คือ ของเหลวในชนิดหนึ่งเรียกอีกอย่างว่าน้ำเหลืองมีประมาณร้อยละ 55 ซึ่งมีลักษณะเป็นสี เหลืองใส ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นน้ำประมาณร้อยละ 93 และส่วนที่เป็นโปรตีนประมาณร้อยละ 7 (จินห์นิภา ปาวะภินันท์, 2564)

2. เม็ดเลือดแดง (red blood cells : RBCs)

เม็ดเลือดแดงจะมีประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ของเลือดทั้งหมด ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปร่างกลมแบน มีช่องเว้าตรงกลาง ไม่มีนิวเคลียสและไมโทคอนเดรีย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 ไมโครเมตร ซึ่งปกติร่างกายจะผลิตเม็ดเลือดแดงออกมาวันละประมาณร้อยละ 9 ของจำนวนเม็ดเลือดแดงทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกาย เม็ดเลือดแดงประกอบไปด้วยสารลิโปโปรตีน (Lipoprotein) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่จับกับธาตุเหล็ก มีหน้าที่นำก๊าซออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย และยังมีหน้าที่นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับไปยังปอดเพื่อถ่ายทิ้งผ่านเส้นเลือดดำ (ภัทราริปี เลหาบุตร, 2559)



ภาพที่ 1 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีรูปร่างกลมแบนที่มีช่องเว้าตรงกลาง
ที่มา : <http://www.student.chula.ac.th/~60370416/Red%20blood%20cell.html>

3. เม็ดเลือดขาว (white blood cells : WBCs)

เม็ดเลือดขาว เป็นเซลล์ของระบบภูมิคุ้มกันมีหน้าที่ป้องกันเชื้อก่อโรคและสารแปลกปลอม ซึ่งมาจาก pluripotent cell ในไขกระดูกที่เรียกว่า hematopoietic cell เซลล์เม็ดเลือดขาวมีลักษณะกลม ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 ไมครอน มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ เซลล์เม็ดเลือดขาวแบ่งออกได้ 5 ประเภท ดังนี้

3.1 นิวโทรฟิล (Neutrophil) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่อยู่ในไซโตพลาสซึม สร้างจากไขกระดูก มีแกรนูล ซึ่งมีจำนวน 60-70 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด ทำหน้าที่ป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลชีพอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการอักเสบภายในร่างกาย โดยการปล่อยเอนไซม์ฟาโกไซโทซิส ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายแบคทีเรียและตายไปพร้อมกับแบคทีเรีย ซึ่งเมื่อเกิดการทำงานของเอนไซม์หรือมีการตายเกิดขึ้นจะแสดงออกมาในรูปของการกลายเป็นหนอง

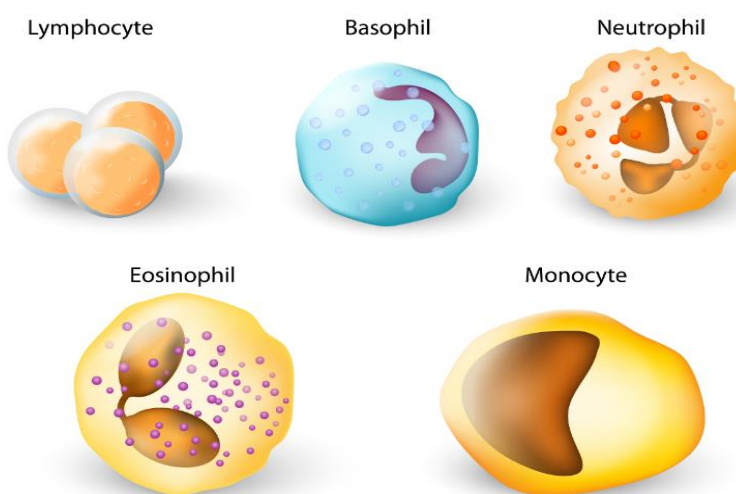
3.2 อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่อยู่ในไซโตพลาสซึม สร้างจากไขกระดูก มีแกรนูล ซึ่งมีจำนวน 2-5 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด ทำหน้าที่หลั่งเอนไซม์ หรือสาร histamine เพื่อทำลายพยาธิต่าง ๆ และจะตอบสนองเพิ่มขึ้นมีปรสิตหรือเป็นโรคภูมิแพ้

3.3 เบโซฟิล (Basophil) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่อยู่ในไซโตพลาสซึม สร้างจากไขกระดูก มีแกรนูล ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคโดยการหลั่งสาร Histamine ซึ่งทำให้เกิดการอักเสบ

3.4 ลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่อยู่ในไซโตพลาสซึม สร้างจากม้าม ต่อมไทมัส และต่อมน้ำเหลือง ซึ่งมีจำนวน 20-40 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่ T-cell และ B-cell โดย T-cell เจริญและพัฒนาจากต่อมไทมัส ทำ

หน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคที่เข้าโดยตรง ส่วน B-cell เจริญและพัฒนามาจากไขกระดูก ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดีขึ้นมาป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย

3.5 โมโนไซต์ (Monocyte) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด ซึ่งมีจำนวน 3-6 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด ทำหน้าที่ปกป้องร่างกายเช่นเดียวกับนิวโทรฟิล กำจัดเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และปรสิต โดยวิธีฟาโกไซโทซิส (ทองคำ ตะโกเผือก, 2565)



ภาพที่ 2 ประเภทและลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดขาว

ที่มา : <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/93577-scibio-sci->

4. เกล็ดเลือด (Platelet) มีต้นกำเนิดมาจากไขกระดูก เมื่อเกล็ดเลือดโตเต็มที่และออกมาสู่หลอดเลือดแล้ว จะมีรูปร่างเป็นแผ่นกลมหรือรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-4 ไมครอน เกล็ดเลือดจะมีอายุขัยประมาณ 5-9 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายส่วนใหญ่ที่ตับและส่วนน้อยที่ม้าม ทำหน้าที่ช่วยให้เลือดแข็งตัวเมื่อเกิดบาดแผล โดยการปล่อยเอนไซม์ทรอมโบพลาสตินออกมา (ทองคำ ตะโกเผือก, 2565)

2.1.3 หน้าที่สำคัญของเลือด

เลือดมีหน้าที่สำคัญหลายประการ ดังนี้

1) การขนส่ง (Transportation)

การขนส่งสารอาหาร (Nutrient transportation) ในการขนส่งอาหารหรือผลผลิตของสารอาหารต่าง ๆ ที่ได้จากการย่อยในระบบทางเดินอาหาร ดูดซึมเข้าเส้นเลือดฝอยแล้วขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ จากตับไปยังเนื้อเยื่อ แล้วกลับสู่ตับ และจากเนื้อเยื่อไปยังอีกเนื้อเยื่อหนึ่ง

การขนส่งก๊าซ (Gaseous transportation) ในการขนส่งก๊าซโดยมี ฮีโมโกลบิน ที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง และมีคุณสมบัติในการจับกับออกซิเจนเป็นออกซิฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) ที่ปอดเพื่อนำออกซิเจนไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ นำไปใช้ในปฏิกิริยาทางเคมี ขณะเดียวกันเนื้อเยื่อเหล่านี้จะมีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ขับออกจากร่างกายต่อไปที่ปอด

การขนส่งของเสีย (Waste product transportation) ในการขนส่งของเสียที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ยูเรีย กรดยูริก ครีเอตินิน เป็นต้น และพวกแร่ธาตุต่าง ๆ จะถูกขนส่งออกจากเนื้อเยื่อไปขับออกที่ไต ผิวหนัง และอวัยวะอื่น ๆ เพื่อกำจัดออกจากร่างกาย

การขนส่งฮอร์โมน (Hormone transportation) ในการขนส่งฮอร์โมน เอนไซม์ และสารอื่น ๆ ที่ผลิตได้จากต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) ที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการต่าง ๆ จะถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ เป้าหมาย (target organ) โดยเลือดจะสามารถกำจัดออกจากร่างกายได้

2) การควบคุม (Regulation)

การควบคุมความเป็นกรด-เบสของร่างกาย (Regulation of body pH) กระบวนการเมแทบอลิซึม และปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย รวมทั้งการเผาผลาญอาหารหรือผลจากการได้รับสารเคมีต่าง ๆ เข้าไป จะส่งผลต่อความเป็นกรด-เบสของร่างกาย เช่น การเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดแลคติก เป็นต้น โดยเลือดจะทำหน้าที่ เป็นบัฟเฟอร์ช่วยรักษาระดับความเป็นกรด-เบสในร่างกายให้คงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และทำงานร่วมกับปอด

การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Regulation of body temperature) เลือดควบคุมอุณหภูมิหรือความร้อนของร่างกายโดยการกระจายความร้อนและการขับเหงื่อไปยังผิวหนัง

การควบคุมน้ำในร่างกาย (Regulation of water balance) เลือดทำหน้าที่รักษาสมดุลของของเหลวในกระแสเลือดกับของเหลวในเนื้อเยื่อโดยการแลกเปลี่ยนของน้ำ ด้วยการอาศัยแรงดันออสโมติกของพลาสมาโปรตีนร่วมกับการทำงานร่วมกับไตและผิวหนัง

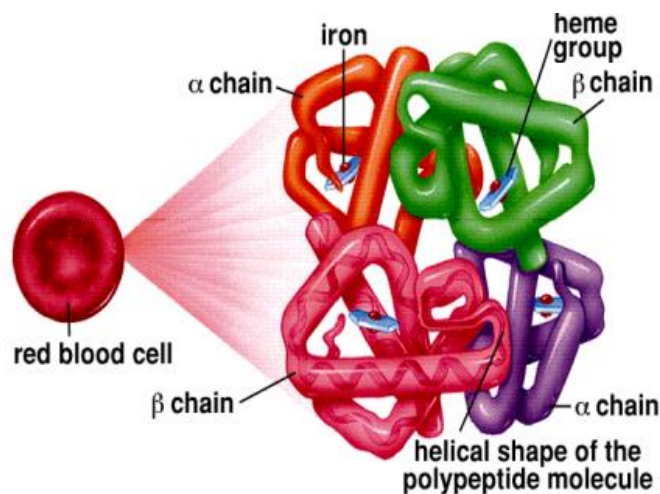
3) การป้องกัน (Protection)

การป้องกันการสูญเสียเลือด (Protection of blood loss) เมื่อเกิดบาดแผลขึ้นกับร่างกายไม่ว่าจะเป็นที่ผิวหนังภายนอกหรืออวัยวะภายในของร่างกาย เลือดจะมีกลไกการห้ามเลือดโดยอาศัยปัจจัยในการแข็งตัวของเลือดรวมถึงเกล็ดเลือดที่ช่วยให้เกิดการปิดบาดแผล

การป้องกันสิ่งแปลกปลอม (Protection of foreign body) เลือดจะช่วยในการป้องกันสิ่งแปลกปลอม ป้องกันการติดเชื้อ และทำลายพิษ โดยอาศัยกลไกการทำงานของเม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด และแอนติบอดี (antibodies) ที่ไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือด (กรกมล วีระพันธุ์, 2563)

2.1.4 Hemoglobin

ฮีโมโกลบินเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโปรตีนในเม็ดเลือดแดงมีจำนวนประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ ทำหน้าที่ในการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ และควบคุมค่าพีเอชของเลือด ฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนที่ทำให้เลือดลักษณะเป็นสีแดง โครงสร้างของฮีโมโกลบินมีลักษณะเป็น tetramer ซึ่งประกอบไปด้วยสายโพลีเปปไทด์ 4 สาย เชื่อมติดกันด้วย salt bridge และในสายโพลีเปปไทด์แต่ละสายจะมีฮีมอยู่ภายในด้วย ซึ่งทำหน้าที่จับออกซิเจน โพลีเปปไทด์สองคู่แรกจะเป็นชนิดแอลฟา ค่าที่สองจะเป็นบีต้า แกมมา หรือเดลต้าก็ได้ (วรพรรณ ศิริวัฒนอักษร และคณะ, 2562)



ภาพที่ 3 ฮีโมโกลบินที่มีลักษณะเป็น tetramer มีสายแอลฟา 2 สาย และสายบีต้า 2 สาย
ที่มา : *ชีวเคมีของเลือด* (หน้า 53), โดย วรพรรณ ศิริวัฒน์อักษร, ชัชวาล ศรีสวัสดิ์, นีโลบล เนื่องตัน,
ภัทรบุตร มาศรันต และ สมทรง เลขะกุล, 2562, กรุงเทพฯ :ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์ศิริราช
พยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

ฮีโมโกลบินประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ดังนี้

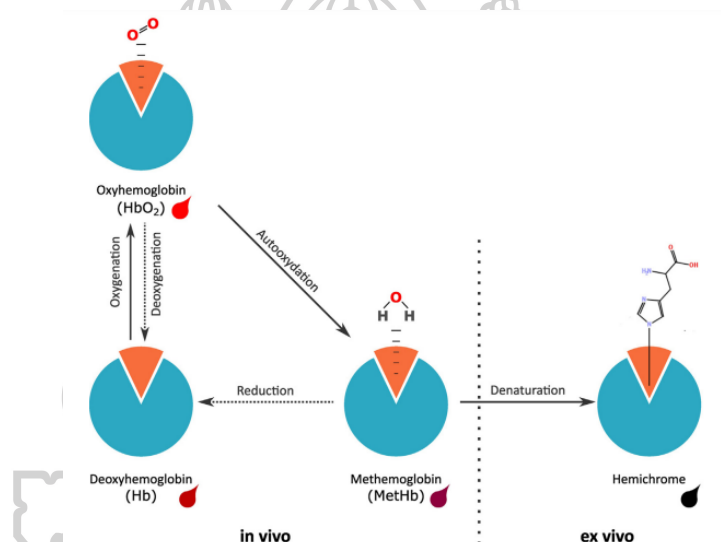
1. ฮีม (Heme) เป็นสารสีแดงที่อยู่ภายในฮีโมโกลบิน มีหน้าที่จับกับออกซิเจน ซึ่งมีชื่อเรียกทางเคมีว่า ferroprotophyrin IX เนื่องจากมีเหล็กกรวมอยู่กับ protoporphyrin ซึ่งธาตุเหล็กอาจอยู่ในรูปของ Fe^{2+} อาจอยู่ในรูปของการเป็นส่วนประกอบ Fe^{3+}
2. โกลบิน (Globin) เป็นสายของกรดอะมิโนที่เรียงตัวกันเป็นสายโพลีเปปไทด์ โดยจะมี 4 สาย ได้แก่ แอลฟา (α) บีต้า (β) แกมมา (γ) และเดลต้า (δ) โดยสายแอลฟาจะมีกรดอะมิโน 141 ตัว ส่วนสายบีต้า แกมมา และเดลต้าจะมีกรดอะมิโน 146 ตัว

การสังเคราะห์ฮีโมโกลบินจะเกิดขึ้นในเม็ดเลือดแดงอ่อน (RBC precursor, immature erythrocyte) โดยการสังเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การสังเคราะห์ฮีม ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในไมโทคอนเดรีย และการสังเคราะห์โกลบินจะเกิดขึ้นที่ไรโบโซม (วรพรรณ ศิริวัฒน์อักษร และคณะ, 2562)

2.1.5 Hemoglobin reaction kinetics

Hemoglobin reaction kinetics หรือกลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด โดย Hemoglobin จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโปรตีน และธาตุเหล็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 รูปแบบ คือ Deoxyhemoglobin (Hb) คือ Hemoglobin ไม่จับกับออกซิเจน และ

Oxyhemoglobin (HbO_2) คือ Hemoglobin จับกับออกซิเจน ซึ่งจะเกิดภายในหลอดเลือดแดงร้อยละ 90 และเกิดภายในหลอดเลือดดำร้อยละ 70 โดยมีเพียงร้อยละ 1 เกิด Autoxidized ที่อยู่ในรูป Methemoglobin (MetHb) และถูกรีดิวซ์โดยเอนไซม์ Reductase protein cytochrome b5 ให้กลับไปอยู่ในรูป Deoxyhemoglobin และเมื่อเลือดออกมาอยู่ภายนอกร่างกายของมนุษย์ฮีโมโกลบินจะจับกับออกซิเจนซึ่งอยู่ในรูป Oxyhemoglobin ทั้งนี้ Cytochrome b5 มีความจำเป็นอย่างมากต่อกระบวนการรีดักชันของ Methemoglobin หากความสามารถของ Cytochrome b5 ลดลง จะไม่สามารถทำให้ Oxyhemoglobin เปลี่ยนกลับไปเป็น Methemoglobin ได้ และเมื่อเกิด Autoxidation จะทำให้ Hemoglobin เสื่อมสภาพกลายเป็น Hemichrome (HC) (Bergmann et al., 2017)



ภาพที่ 4 Hemoglobin reaction kinetics ภายในและภายนอกร่างกาย

ที่มา : “Towards substrate-independent age of estimation of blood stains based on dimensionality reduction and k-nearest neighbor classification of absorbance spectroscopy data,” by Bergmann et. Al., 2017, *Forensic Science International*, 278,

2.1.6 ความผิดปกติของ Hemoglobin

ความผิดปกติของฮีโมโกลบินจากการถูกออกซิไดซ์ มี 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Carboxyhemoglobin

ฮีโมโกลบิน สามารถจับกับ Carbon monoxide ได้ในสัดส่วนที่เท่ากับออกซิเจน แต่ความสามารถในการจับกับ Carbon monoxide มีมากกว่าออกซิเจนถึง 210 เท่า ถึงแม้ว่าในสภาพแวดล้อมจะมี Carbon monoxide เพียงเล็กน้อย แต่มีโอกาสจับกับฮีโมโกลบินได้มากกว่า และ Carboxyhemoglobin จะไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้อีก ทั้งนี้ โดยทั่วไปแล้วจะมี Carboxyhemoglobin เกิดขึ้นในร่างกายมนุษย์ปกติประมาณ 0.5% แต่ปริมาณจะเพิ่มมากขึ้นในผู้ที่สูบบุหรี่ ผู้ที่ได้รับมลภาวะเป็นประจำ และผู้ที่มีการแตกของเม็ดเลือดแดง (Hemolytic anemia)

2. Sulfhemoglobin

เป็นฮีโมโกลบินที่มีความผิดปกติ เนื่องจากมีกำมะถันอยู่ในโมเลกุล เมื่อทดลองให้ฮีโมโกลบินทำปฏิกิริยากับ Hydrogen sulfide และออกซิเจน พบว่าฮีโมโกลบินจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เรียกว่า Sulfhemoglobin ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินอย่างถาวร ในมนุษย์ปกติจะพบได้ไม่เกิน 1% แต่จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับยาหรือสารเคมีที่ผลิตอนุมูลอิสระ (Oxidizing drug) และหากมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีอาการตัวเขียว เนื่องจาก Sulfhemoglobin ไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกายได้

3. Methemoglobin

เป็นฮีโมโกลบิน ที่ธาตุเหล็กถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูป Ferric (Fe^{3+}) ซึ่งจะมีความสามารถในการจับกับออกซิเจน ซึ่งสามารถเกิดได้จากความผิดปกติในกระบวนการเมตาบอลิซึมในเม็ดเลือดแดง และความผิดปกติทางพันธุกรรมในการสร้างฮีโมโกลบิน ทำให้ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ซึ่ง จะไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็น Reduced hemoglobin ได้

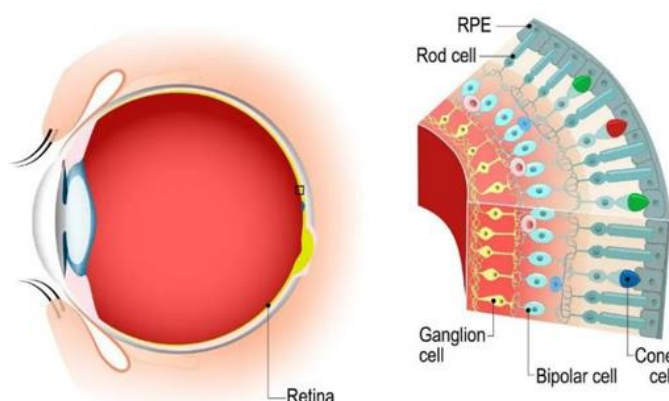
2.2 ความรู้เกี่ยวกับการมองเห็นสีของวัตถุ

แบ่งหัวข้อย่อยได้เป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

- 2.2.1 การมองเห็น
- 2.2.2 การมองเห็นแสงสีของวัตถุ
- 2.2.3 การมองเห็นสารสีของวัตถุ

2.2.1 การมองเห็น

การมองเห็นของมนุษย์เกิดจากแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุแล้วเกิดการสะท้อนไปที่ดวงตา ทำให้เกิดกระบวนการแปลความหมายของสีจากสมอง โดยภายในดวงตามีส่วนที่รับแสงเรียกว่า เรตินา ซึ่งจะประกอบไปด้วยปลายประสาทที่รับรู้ต่อแสง 2 ชนิด คือ เซลล์รูปแท่ง (Rode cells) ข้างละประมาณ 125 ล้านเซลล์ ซึ่งจะความไวต่อแสงที่มีความเข้มน้อย ส่งผลให้มองเห็นเป็นภาพขาวดำ เซลล์รูปกรวย (Cone cells) มีจำนวน 7 ล้านเซลล์ มีความไวต่อแสงที่มีความเข้มสูง ส่งผลให้สามารถจำแนกสีแต่ละสีได้



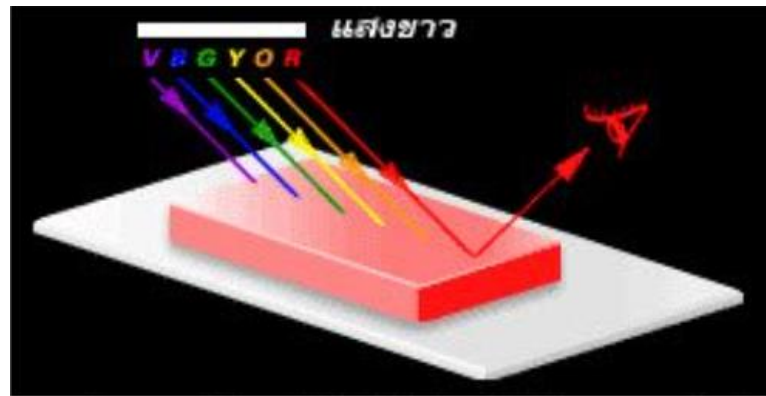
ภาพที่ 5 จอตาและส่วนประกอบที่มีลักษณะเป็นเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวย
ที่มา : <https://depositphotos.com/th/vector/eye-anatomy-rod-cells-cone-cells-arrangement-retinal-cells-shown-235967296.html>

2.2.2 การมองเห็นแสงสีของวัตถุ

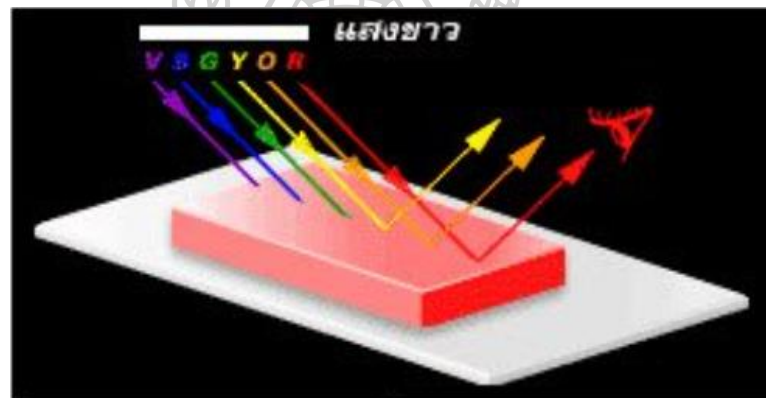
วัตถุที่เราสามารถมองเห็นได้เกิดจากการผสมสีเข้าด้วยกัน ได้แก่ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นแสงสีปฐมภูมิโดยมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถมองเห็นเป็นแสงสีขาว เนื่องจากการรวมกันแล้วเป็นช่วงของสเปกตรัมของแสงขาว และยังสามารถนำแสงสีปฐมภูมิมาผสมกันเพื่อให้ได้เป็นแสงสีต่าง ๆ ยกเว้นแสงสีดำ

2.2.3 การมองเห็นสารสีของวัตถุ

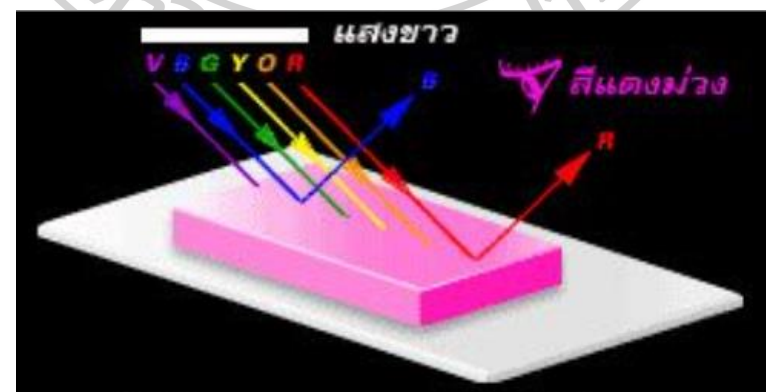
สารสีทำหน้าที่ดูดกลืนแสง วัตถุที่มีสีแตกต่างกันก็จะมีสารสีแตกต่างกันด้วย การมองเห็นสีของวัตถุเกิดจากการที่แสงสีนั้นมีความยาวคลื่นใกล้เคียงกันดูดกลืน ทำให้มองเห็นสีที่เหลือที่สะท้อนเข้าดวงตาของเรา ทำให้มองเห็นเป็นวัตถุสีต่าง ๆ เช่น การมองเห็นวัตถุสีขาวเกิดจากการที่แสงขาวไปตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนแสงทุกสีออกมาและไม่มีแสงใดถูกดูดกลืน จึงสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีขาวได้ ส่วนการมองเห็นวัตถุเป็นสีดำ เกิดจากการสารสีดำดูดกลืนทุกแสงสี จึงทำให้ไม่มีสีใดสะท้อนออกมา จึงมองเห็นวัตถุเป็นสีดำ (หทัยวัฒน์ พลศาสตร์, 2565)



ภาพที่ 6 วัตถุสะท้อนแสงสีแดงเข้าสู่ดวงตา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีแดง
ที่มา : <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7277-2017-06-13-14-42-30>



ภาพที่ 7 วัตถุสะท้อนแสงสีแดงมากที่สุด ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีแดง
ที่มา : <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7277-2017-06-13-14-42-30>



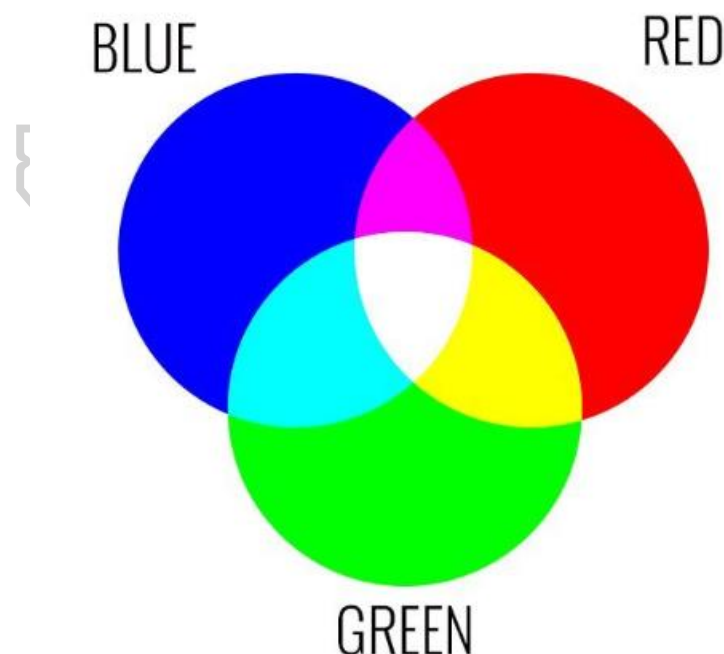
ภาพที่ 8 วัตถุสะท้อนสีน้ำเงินและสีแดงเข้าสู่ดวงตา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีม่วง
ที่มา : <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7277-2017-06-13-14-42-30>

2.3 ความรู้เกี่ยวกับระบบการวัดสี

ระบบสีประกอบด้วย แม่สี 3 สี ในการใช้สีกับงานกราฟิกในคอมพิวเตอร์ มีรายละเอียดหลายประการ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ ดังนั้นจึงควรทราบระบบสีของคอมพิวเตอร์ก่อน ระบบสีของคอมพิวเตอร์ จะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลแสงที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการแสดงผลคือ ถ้าไม่มีแสดงผลสีแดงเลย บนจอภาพจะแสดงเป็น "สีดำ" หากสีทุกสีแสดงผลพร้อมกัน จะเห็นสีบนจอภาพเป็น "สีขาว" ส่วนสีอื่น ๆ เกิดจากการแสดงสีหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกัน การแสดงผลลักษณะนี้ เรียกว่า การแสดงสีระบบ Additive สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไป มี 4 ระบบ ดังนี้

2.3.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสงที่เกิดจากการหักเหของแสง และเกิดจากการรวมกันของแม่สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยมีการผสมกันแบบ Additive หมายถึง การผสมสีแบบบวก ซึ่งเป็นการผสมกันของสีที่มีความเข้มขึ้นของสีมาก จนเกิดเป็นสีขาว โดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพต่าง ๆ สี RGB มีประมาณ 16 ล้านสี โดยแต่ละเฉดสีถูกระบุด้วยรหัสชุดตัวเลข 0-9 และ A-F ผสมกันจนครบ 6 ตัวอักษร เช่น 000000 หมายถึง สีขาว และ FFFFFFFF หมายถึง สีดำ เป็นต้น

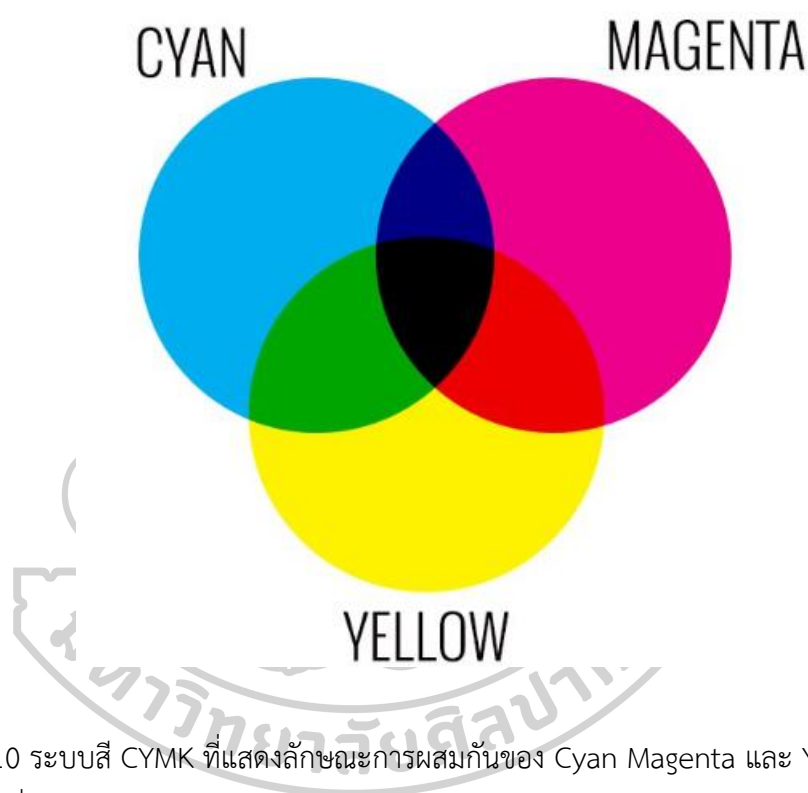


ภาพที่ 9 ระบบสี RGB ที่แสดงลักษณะการผสมกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

ที่มา : http://www.krulikz.com/3-color-mode#google_vignette

2.3.2 ระบบสี CYMK

ระบบสี CYMK เป็นหลักการแสดงสีของเครื่องพิมพ์ ซึ่ง CYMK ย่อมาจากจาก Cyan (สีฟ้าอมเขียว) Magenta (สีม่วงแดง) Yellow (สีเหลือง) และ Black (สีดำ) เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดเป็นสีดำ แต่จะไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ จึงเป็นการผสมสีแบบลบ (Subtractive) โดยหลักการในการเกิดสีของระบบสี CYMK คือ หมึกสีจะดูดกลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน (พัชรินทร์ บุญรอง, 2560)



ภาพที่ 10 ระบบสี CYMK ที่แสดงลักษณะการผสมกันของ Cyan Magenta และ Yellow
ที่มา : http://www.krulikz.com/3-color-mode#google_vignette

2.3.3 ระบบสี HSB

HSB เป็นระบบของสีที่จำลองการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่ง HSB ย่อมาจาก Hue (เนื้อสี) Saturation (ความอิ่มตัวของสี) Brightness (ความสว่างของสี) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Hue (เนื้อสี)

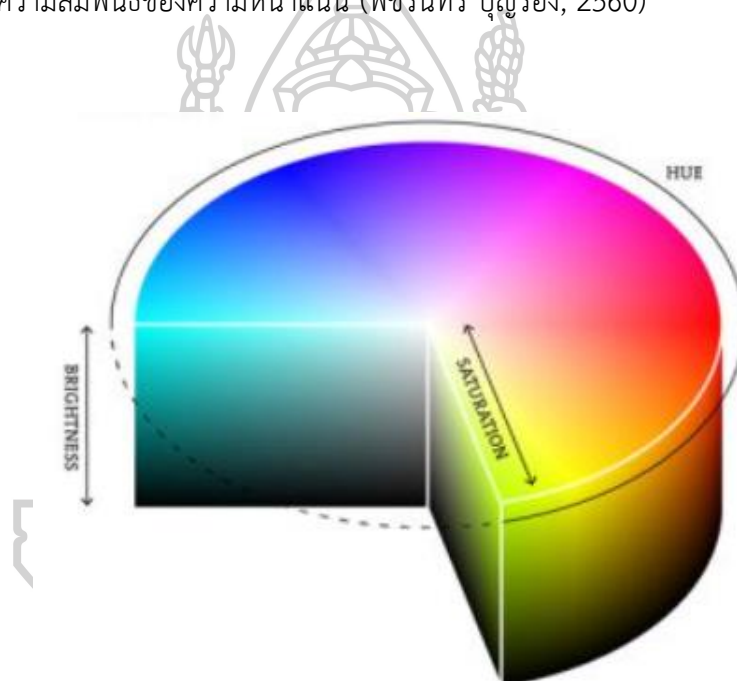
สีของวัตถุที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตา ทำให้สามารถมองวัตถุเป็นสี โดยแต่ละสีจะแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสงที่มาจากกระทบวัตถุ ค่า Hue จะบอกค่าสีเป็นองศา จาก 0 องศา หมุนไปถึง 360 องศา

2. Saturation (ความอิ่มตัวของสี)

เป็นสัดส่วนของสีเทาที่อยู่ภายในสีนั้น โดยค่าความอิ่มตัวจะอยู่ที่ 0% ถึง 100% ถ้ากำหนดให้ความอิ่มตัวของสีอยู่ 0% สีจะมีความสดน้อย หากกำหนดอยู่ที่ 100% สีจะมีความสดมาก คือไม่มีสีเทาเลย Saturation เป็นการแสดงแบบสัมพัทธ์ของแสงที่มองเห็นจากแหล่งกำเนิด การเพิ่ม Saturation สีจะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

3. Brightness (ค่าความสว่างของสี)

ค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0% ถึง 100% ถ้ากำหนดให้ความสว่างของสีอยู่ 0% ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ หากกำหนดอยู่ที่ 100% สีจะมีความสว่างมากที่สุด Brightness เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่น (พัชรินทร์ บุญรอง, 2560)

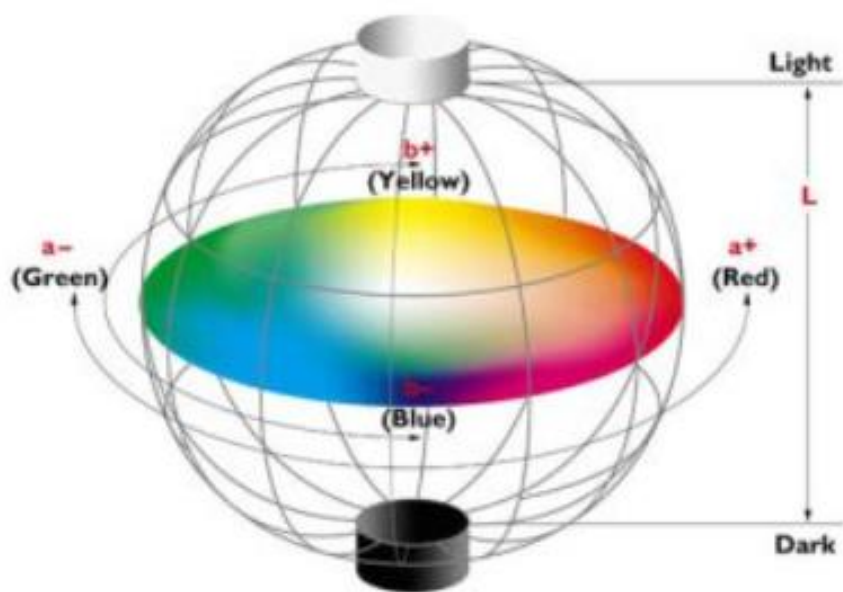


ภาพที่ 11 ระบบสี HSB

ที่มา : <https://www.vijismith.com/the-psychology-of-colors>

2.3.4 ระบบสี LAB

ระบบสี LAB ตามมาตรฐานของ CIE (Commission International d'Eclairage) ซึ่งเป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานการวัดสีทุกรูปแบบ เป็นโหมดที่สีเหมือนจริงที่สุด ซึ่ง "L" มากจาก Luminance คือการกำหนดความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ หากกำหนดค่าอยู่ที่ 100 จะกลายเป็นสีขาว "A" เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง และ "B" เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง



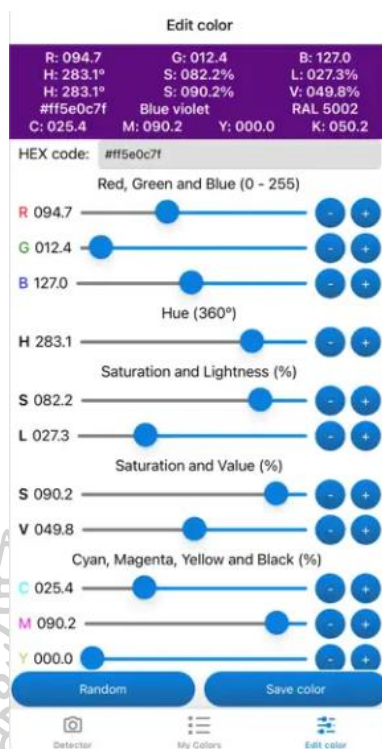
ภาพที่ 12 ระบบสี LAB

ที่มา : <https://www.vijismith.com/the-psychology-of-colors>

2.4 ความรู้เกี่ยวกับแอปพลิเคชัน RGB Color Detector

RGB Color Detector เป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ซึ่งถูกพัฒนาโดย Raimon Gaspar Fernandez เป็นแอปพลิเคชันสำหรับการตรวจจับสีที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน สามารถตรวจจับสีได้จากการใช้กล้องของสมาร์ทโฟนถ่ายภาพ หรือใช้ภาพถ่ายจากแกลเลอรีในการอัปโหลดลงบนแอปพลิเคชันเพื่อตรวจจับสีได้เช่นเดียวกัน โดยมีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้

1. สามารถใช้งานตรวจจับสีแล้วแปลงค่าสีที่ตรวจวัดออกมาได้หลายรูปแบบ เช่น RGB CMYK HSV HTML HEX HSL และ RAL
2. สามารถวิเคราะห์สีเพื่อทดสอบทางเคมีได้ อาทิ ค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสีและความเข้มข้นของสาร รวมถึงทำนายความเข้มข้นของตัวอย่าง
3. สามารถบันทึกรายการสีที่สามารถตรวจจับได้ลงบนสมาร์ทโฟนเพื่อนำไปใช้งานภายหลังได้
4. สามารถสร้างสีหรือแก้ไขสีด้วยโหมดการใช้งานเครื่องมือการเลือกสีได้ โดยการเปลี่ยนค่า RGB CMYK HSV HEX และ HSV

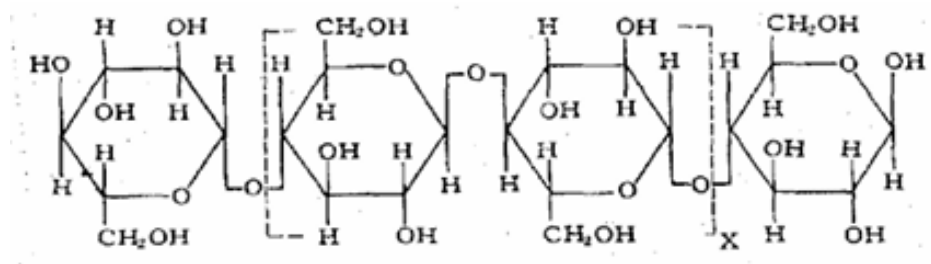


ภาพที่ 13 ลักษณะการแสดงผลการตรวจวัดสีของระบบสี RGB HSL HSV และ CMYK
ที่มา : <https://apps.apple.com/us/app/rgb-color-detector/id1610000941>

2.5 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่ทอขึ้นจากใยฝ้าย นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย อาทิ เป็นผ้าที่ใช้ประกอบกับเครื่องเรือนภายในบ้าน ใช้ประดับตกแต่ง และมักถูกนำไปใช้กับงานด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากสวมใส่สบาย ไม่ร้อน ดูบซับน้ำและความชื้นได้ดี ย้อมสีได้ง่าย ทนต่อความร้อน และระบายความร้อนได้ดี

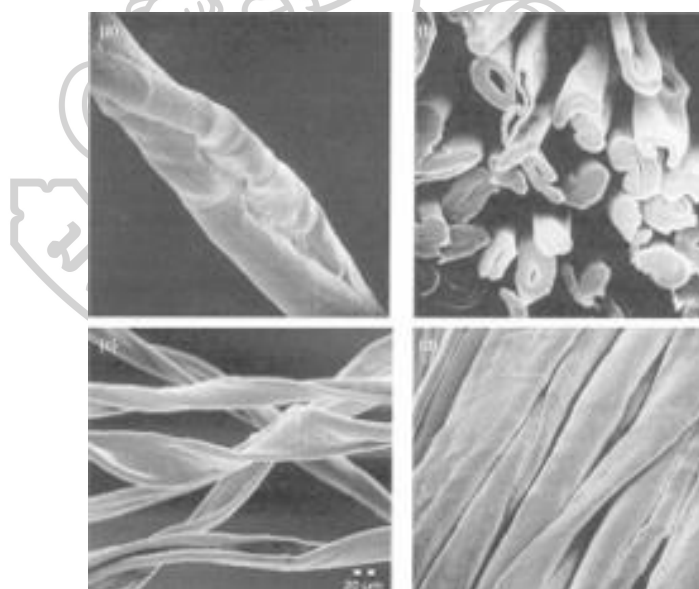
เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยจากธรรมชาติที่ได้จากเมล็ดฝ้าย ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์โดยเซลลูโลสเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ หน่วยย่อยประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง β -1,4 glycosidic bond ได้เป็นสายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส 1,000-10,000 โมเลกุล โดยเซลลูโลสมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (Cellulobiose) และทุกหน่วยที่สองของกลูโคสที่ต่อกันจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคส ทำให้ใยฝ้ายมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง และไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป



ภาพที่ 14 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

ที่มา : http://lib3.dss.go.th/fulltext/Vichakran/vichakran_ped_0062.pdf

ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย ตามยาวจะมีลักษณะเหมือนริบบิ้นที่ถูกจับบิดเป็นช่วง ๆ ด้านหน้าตัดของเส้นใยฝ้ายค่อนข้างกลม แต่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นรูปวงรี บางชนิดจะเป็นรูปไต โดยเส้นใยฝ้ายจะมีความกว้างเท่ากันหรือใกล้เคียงกันประมาณ 12-20 ไมครอน ตรงกลางของเส้นใยจะกว้างส่วนหัวและส่วนปลายของเส้นใย หากฝ้ายถูกยืดออกจะมีความคืนตัวต่ำ และยับได้ง่าย เนื่องจากมีความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ โดยปกติฝ้ายจะคงรูป ไม่ยี้ด และไม่หดมาก สามารถดูดความชื้นไว้ได้ 15-27 เปอร์เซ็นต์ มีความทนทานต่อต่าง แต่จะไม่ทนกรดของโลหะ

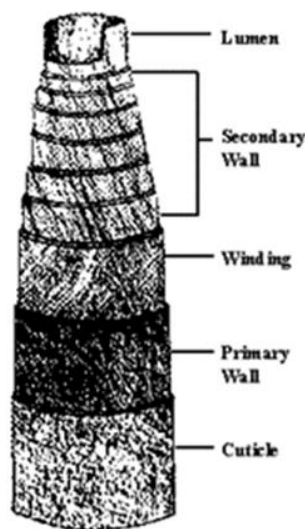


ภาพที่ 15 ลักษณะของเส้นใยฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

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

ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายแบ่งออกเป็น 6 ชั้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละชั้นดังต่อไปนี้

1. ชั้น Cuticle ซึ่งเป็นชั้นที่มีสารเคลือบอยู่นอกสุด มีส่วนประกอบของเพคติน (Pectin) และโปรตีน ทำให้ฝ้ายมีลักษณะนุ่ม และมีสารเคลือบกันน้ำ เพื่อป้องกันเส้นใย ซึ่งในชั้นนี้สามารถถูกชะล้างออกไปได้
2. ชั้น Primary wall เป็นชั้นที่ 2 ต่อจากชั้น Cuticle เป็นชั้นผนังเซลล์ที่มีความบาง และมีส่วนประกอบหลักเป็นเซลลูโลส มีการจัดเรียงเส้นใยที่เป็นระเบียบ มีความละเอียด ทำให้ดูดซับน้ำได้ดีกว่าเส้นใยที่มีการจัดเรียงแบบหยาบ
3. ชั้น Winding ชั้นนี้จะประกอบไปด้วยไฟบริล (Fibril) ที่จัดเรียงอยู่ในแนวเดียวกัน ทำมุม 40-70 องศาจากแกนกลาง
4. ชั้น Secondary wall ประกอบไปด้วยชั้นของเซลลูโลสที่มีความหนาแน่น และเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยฝ้าย เส้นใยในชั้นนี้จัดเรียงวนไปมาทำมุม 70-80 องศาจากแกนกลางของเส้นใย จึงทำให้มีความหนาแน่นและมีรูพรุนขนาดเล็ก
5. ชั้น Lumen เป็นชั้นที่แยกระหว่างชั้น Secondary wall กับชั้น Lumen ซึ่งมีความทนทานต่อสารที่ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยาต่าง ๆ มากกว่าชั้น Secondary wall
6. ชั้น Lumen เป็นชั้นที่มีความกลวงตลอดแนวของเส้นใย และเป็นที่อยู่ของ Protoplast ในระหว่างระยะที่มีการเจริญเติบโต เมื่อเส้นใยมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และส่วนของเมล็ดฝ้ายเปิดออก Protoplast จะแห้ง และชั้น Lumen จะสลายไปเหลือแต่เพียงรูกลวงตรงกลางของเส้นใย (ภัทราริปี เลหาบุตร, 2559)



ภาพที่ 16 โครงสร้างของเส้นใยฝ้ายทั้งหมด 6 ชั้น

ที่มา : <https://www.cottoninc.com/quality-products/nonwovens/cotton-fiber-tech-guide/cotton-morphology-and-chemistry/>

2.6 ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผ้าใยสังเคราะห์

ผ้าใยสังเคราะห์ ทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) เป็นเส้นใยที่เกิดจากการค้นคว้าและพัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และประโยชน์ของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้หลากหลาย ปกติแล้วจะได้มาจากพืชและขนสัตว์ โดยเริ่มแรกจะได้เส้นใยมาจากเซลลูโลสของพืชมาทำการสังเคราะห์ เส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์มี 3 ชนิด ดังนี้

1. เส้นใยเซลลูโลสสังเคราะห์ (Synthetic Cellulose Fibers)

เรยอน (Rayon) เป็นเส้นใยเซลลูโลสสังเคราะห์หรือเซลลูโลสที่นำมาผลิตขึ้นใหม่ (Regenerate cellulose) ซึ่งเรยอนมีคุณสมบัติทนต่อกรดได้น้อย และมีความทนทานต่อต่าง ยกเว้นต่างที่มีความเข้มข้นที่จะทำให้เส้นใยพองตัว และลดความแข็งแรงของเส้นใย (เดือนเพ็ญ วณิชพิมลออนันต์, 2540)

2. เส้นใยโปรตีนสังเคราะห์ (Synthetic Protein Fibers)

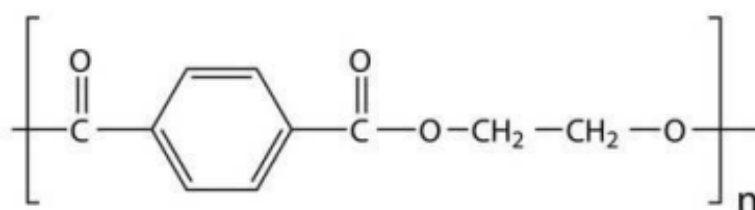
เส้นใยโปรตีนสังเคราะห์ถูกผลิตขึ้นประเทศสหรัฐอเมริกาปี ค.ศ. 1894 แต่มีคุณสมบัติที่ได้คือเมื่อถูกน้ำจะละลายได้ จึงถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1904 มีการผลิตเส้นใยโปรตีนจากหางน้ำนม (Casein) แต่คุณสมบัติของเส้นใยไม่สามารถโค้งงอได้ และรวมตัวกันได้ ทำให้ไม่สามารถนำมาปั่นเกลียวสำหรับการทอออกมาเป็นผืนได้ และในต่อมาปี ค.ศ. 1924-1935 สามารถผลิตเส้นใยจากหางน้ำนมได้สำเร็จและใช้ชื่อทางการค้าเป็นครั้งแรกว่า Lanital และหลังจากนั้นมาการผลิตเส้นใยโปรตีนสังเคราะห์จากหางน้ำนมได้ถูกเผยแพร่ไปยังประเทศอื่น ๆ (puntharee, 2018)

3. เส้นใยโพลีเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer Fibers)

เส้นใยสังเคราะห์จากสารเคมี เป็นเส้นใยที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการทางเคมี มีหลากหลาย ชนิด อาทิ ไนลอน โพลีเอสเตอร์ อะคริลิก โอลิฟิน เป็นต้น โดยเส้นใยแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้รับความนิยม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี และคล้ายกับเส้นใยธรรมชาติ นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม อาทิ เสื้อเชิ้ต เป็นต้น โดยปกติมักใช้ผสมระหว่างผ้าโพลีเอสเตอร์ 65 เปอร์เซ็นต์ และผ้าฝ้าย 35 เปอร์เซ็นต์ หรือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 50 เปอร์เซ็นต์ และผ้าฝ้าย 50 เปอร์เซ็นต์ หากต้องการผ้าที่มีความหนามากยิ่งขึ้น

3.1 ผ้าจากเส้นใยสังเคราะห์ (Polyester)

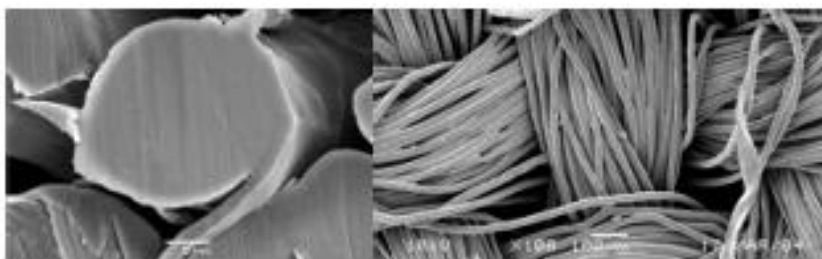
ผ้าโพลีเอสเตอร์ เป็นผ้าที่ทอขึ้นจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester fibers) เป็นใยสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยเอสเตอร์ไดไฮดริคแอลกอฮอล์ (dihydric alcohol) และกรดเทเรพทาสิก (terephthalic acid) อย่างน้อย 85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 17 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์

ที่มา : “An Experimental Study on Plastic Paver Tiles” by Balamuragan and Rafi, 2021, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 10(5), p.4299

ลักษณะทางกายภาพเส้นใยโพลีเอสเตอร์จะมีสีขาว รูปร่างภายนอกเหมือนแท่งแก้ว หน้าตัดเป็นรูปกลม มีหลายขนาด ผ้าโพลีเอสเตอร์มีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะที่ 1.34-1.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความมันมาก และมีความเหนียวประมาณ 2.4-5.5 กรัมต่อเดนเยอร์ มีความยืดหยุ่นสูงกว่าผ้าฝ้าย โดยจะยืดได้ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่ผ้าจะขาด ผ้าโพลีเอสเตอร์จึงมีความทนคงตัวสูง ทนยับได้ดี แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำน้อย สามารถดูดซับได้ประมาณ 0.4-0.8 เปอร์เซ็นต์ (ธารารัตน์ แจ่มจำรัส, 2565)



ภาพที่ 18 ลักษณะของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด
ที่มา “Polyester Fibres Finished with Polyaniline,” R. Fryczkowski et.al., 2005,
Fibres&Textile in Eastern Europe, 13, p.142

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gerda Edelman และคณะ ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดโดยเทคนิค Hyperspectral imaging โดยบันทึกค่าของ Visible reflectance spectrum ของคราบเลือดด้วย Pushbroom hyperspectral imaging system ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่า Hypercube ที่ได้จากการสร้างกราฟระหว่างค่า Reflectance ที่วัดได้จากคราบเลือดเทียบกับความยาวคลื่นของเลือดหัดใหม่และเลือดหัดเก่า ให้ค่า Reflectance แตกต่างกัน และมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนอนุพันธ์ของฮีโมโกลบินเป็นระยะเวลา 200 วัน พบว่า Oxyhemoglobin ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ Methemoglobin เพิ่มขึ้นใน 3 สัปดาห์แรกแล้วจึงลดลง และ Hemichrome เพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยมีค่ามัธยฐานของความคาดเคลื่อนอยู่ที่ 13.4% ของระยะเวลาจริง (Edelman et al., 2012)

Phuvadol Thanakiatkrai และคณะ ได้ทำการศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดโดยการถ่ายภาพจากการใช้สมาร์ทโฟน และการวิเคราะห์ภาพดิจิทัลจากการอ่านค่าสี CYMK โดยคราบเลือดจะถูกหยดลงบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน และถ่ายภาพด้วยกล้องสมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน ได้แก่ Samsung Galaxy S Plus, Apple iPhone 4 และ Apple iPad 2 และศึกษาปัจจัยสภาวะแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสง สารต้านการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การประมาณระยะเวลาคราบเลือด ค่าสี Magenta มีความสัมพันธ์กับระยะเวลากับการหยดเลือดมากที่สุด โดยค่า R^2 เท่ากับ 0.966 และค่าสีที่วัดได้จากภาพถ่ายของ Sam Samsung Galaxy S Plus เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าสีที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงและสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าของสีที่เปลี่ยนแปลงไปสอดคล้องกับกระบวนการสลายตัวของฮีโมโกลบิน ส่วนปัจจัยด้านอุณหภูมิ เมื่อ

อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นอัตราการสลายตัวของฮีโมโกลบินยิ่งเพิ่มมากขึ้น สีของคราบเลือดจะลดลง ซึ่งจะแปรผกผันกับปัจจัยด้านความชื้น เพราะความชื้นยิ่งสูงการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดยิ่งช้าลง (Thanakiatkrai et al., 2013)

Joonchul Shin และคณะ ได้ทำการศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดจากการพัฒนาระบบตรวจจับทางโทรศัพท์ที่ชื่อว่า Smart Forensic Phone ในระบบปฏิบัติการ Android จากการทดลอง ได้ทำการหยุดเลือดลงบนวัสดุที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ วอลเปเปอร์ ผ้า กระดาษ ไม้ และกระดาษ A4 โดยตรวจสอบค่า RGB (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) จากภาพถ่ายของคราบเลือดพบว่า ในช่วงระยะเวลา 42 ชั่วโมงแรก ค่าสี RGB มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าสีจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีนี้สามารถประมาณอายุของคราบเลือดได้หากอายุของคราบเลือดน้อยกว่า 42 ชั่วโมง (Shin et al., 2017)

Wooseok Choi และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่องการวัดค่าสีจากภาพถ่ายสำหรับการประมาณอายุของคราบเลือดโดยการหยุดเลือดปริมาตร 700 ไมโครลิตร ลงบนวัสดุ 4 ชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ไม้ กระดาษ กระดาษ และผ้า และใช้สมาร์ทโฟนในการถ่ายภาพเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า สามารถแยกความแตกต่างของภาพถ่ายคราบเลือดได้ชัดเจนทุกชั่วโมงจนถึง 48 ชั่วโมง ส่งผลให้สามารถนำมาใช้ประมาณอายุของคราบเลือดแบบเรียลไทม์ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ (Choi et al., 2019)

Raj Kumar และคณะ ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณระยะเวลาคราบเลือดด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและแบบจำลองเคมี โดยใช้แบบจำลองที่แตกต่างกันเพื่อประมาณระยะเวลาของคราบเลือดมนุษย์ซึ่งคราบเลือดที่ใช้จะมีอายุ 1 วัน ถึง 175 วัน โดยแบบจำลองที่ใช้ได้แก่ Curve estimation (CE), Multiple linear regression (MLR), และ Partial least squares regressions (PLSR) เพื่อเป็นการกำหนดแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายอายุคราบเลือดของมนุษย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการทดสอบกับตัวอย่าง Unknow แบบจำลอง CE มีข้อผิดพลาดในการทดลองมากที่สุด ในขณะที่แบบจำลอง MLR และ PLSR มีการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด Unknow ได้ใกล้เคียงกว่า คือ $\sim 3 \pm 1$ วัน และ $\sim 4 \pm 1$ ตามลำดับ ซึ่งผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่เคยมีการรายงาน (Kumar et al., 2020)

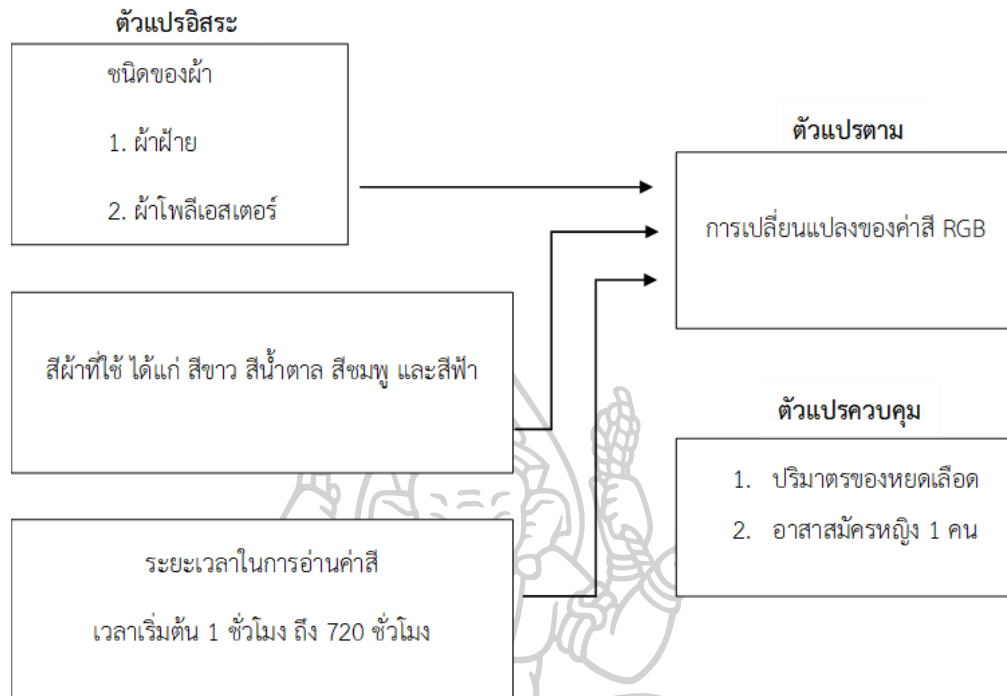
ภัทรธิป เลหาบุตร และคณะ ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณระยะเวลาคราบเลือดบนผ้าฝ้ายโดยวิเคราะห์ภาพ โดยมีตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัคร 18 คน ซึ่งนำมาหยุดเลือดลงบนผ้าฝ้ายโดยไม่ใช้สารกันเลือดแข็ง และทำการถ่ายภาพคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาอ่านค่าสี RGB โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งตัวอย่างเลือด 3 ตัวอย่างจะนำมาสร้างกราฟ

มาตรฐานระหว่างค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพกับอายุของคราบเลือด และนำไปใช้ในการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดที่เตรียมอีก 15 ตัวอย่าง และจากการศึกษาพบว่า เมื่อนำอายุของคราบเลือดที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดมาสร้างกราฟ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดี โดยมีค่าเท่ากับ 0.9659 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับอายุของตัวอย่างเลือดในช่วง 1 ชั่วโมง ถึง 48 ชั่วโมง (ภัทรธิป เลหาบุตร, 2559)

จิณห์นิภา จีปาเวภินันท์ และคณะ ได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) โดยอาศัยหลักการการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโมเลกุลของสาร โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวในช่วงคลื่น $4000-6000\text{ cm}^{-1}$ ที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง จากการทดลองพบสเปกตรัมที่เป็นองค์ประกอบของคราบเลือดของพีค Amide I และ Amide II ซึ่งจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนครบระยะเวลา 720 ชั่วโมง และเทคนิควัดค่าสีด้วย Spectrophotometer เพื่อประเมินอายุของคราบเลือดจากตัวอย่างเลือด 12 ตัวอย่าง พบว่าสามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ประมาณ 1 ชั่วโมง จนถึง 4 ชั่วโมงแรก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9565 และช่วงความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 – 16% (จิณห์นิภา ปาเวภินันท์, 2564)



2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 19 กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง (Experiment Research) เพื่อศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดจากภาพถ่ายคราบเลือดโดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Detector ในการทดลองเตรียมตัวอย่างเลือดโดยการหยดตัวอย่างเลือดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีของคราบเลือด เพื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของคราบเลือดกับระยะเวลาของคราบเลือด และนำสมการความสัมพันธ์มาใช้ในการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย
- 3.3 การกำหนดอาสาสมัคร
- 3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการหาระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า โดยการวิเคราะห์ค่าสี

3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษากการวิเคราะห์ค่าสีของคราบเลือดเพื่อการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดโดยใช้แอปพลิเคชันจากสมาร์ทโฟน ตามแนวคิด ทฤษฎี และผลงานการวิจัย โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพจากการอ่านค่าสี RGB เพื่อการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด รวมถึงแนวคิดเกี่ยวกับคราบเลือด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ได้ข้อสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยครั้งนี้

3.3 การกำหนดอาสาสมัคร

ตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัครจำนวน 1 คน ที่มีสุขภาพดี ไม่มีโรคประจำตัว ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเลือดโดยนักเทคนิคการแพทย์ซึ่งจะเก็บตัวอย่างเลือดลงในหลอดชนิดมีสารต้านการแข็งตัว

3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) พื้นผิวที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผ้าฝ้าย และผ้าโพลีเอสเตอร์ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า สีละ 3 ผืน ทั้งหมด 24 ผืน
- 2) Automatic pipette ขนาด 2-20 μ l
- 3) Tip sterile
- 4) ตะกร้าพลาสติกสำหรับซิงผ้า
- 5) คลิปหนีบกระดาษขนาดใหญ่
- 6) กระจกบดชนิดยาและเข็มชนิดยา
- 7) หลอดเลือดชนิดมีสารต้านการแข็งตัวของเลือด
- 8) สำลีชุบเอทิลแอลกอฮอล์ 70%
- 9) สมาร์ทโฟนที่ใช้ในการถ่ายภาพ ได้แก่ iPhone 7 plus

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัครเพศหญิง ที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว โดยใส่ลงในหลอดที่มีสารต้านการแข็งตัวของเลือด

3.5.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

- 1) เตรียมผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 4 สี ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า โดยตัดผ้าให้มีขนาดกว้าง 5 cm ยาว 10 cm สีละ 3 ผืน ทั้งหมด 24 ผืน จากนั้นทำความสะอาดผ้าด้วยน้ำยาทำความสะอาดผ้า และชะล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อกำจัดฝุ่นหรือคราบสกปรกต่าง ๆ
- 2) นำผ้าที่ตัดและทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาซิงกับตะกร้าพลาสติกสำหรับซิงผ้าและใช้คลิปหนีบกระดาษขนาดใหญ่ยึดผ้ากับตะกร้าให้แน่นตั้ง

3.5.3 การเตรียมตัวอย่างเลือด

ปิเปตเลือดที่อยู่ในหลอดบรรจุชนิดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดปริมาตร 20 μ l หยดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ที่เตรียมไว้จำนวนผืนละ 5 หยด ระยะความสูงในการหยด 2 cm โดยหยดเลือดลงบนผ้าแต่ละผืนให้ครบตามจำนวน จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ยกตัวอย่างการหยดเลือดลงบนผ้าฝ้ายสีชาวดังภาพที่ 2



ภาพที่ 20 ตัวอย่างการหยดเลือดลงบนผ้าฝ้ายสีขาว

3.5.4 การถ่ายภาพ

นำคราบเลือดที่หยดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์สีต่าง ๆ ใช้สมาร์ทโฟนรุ่น iPhone 7 plus โหมดการถ่ายภาพอัตโนมัติ กำลังขยายภาพ 1X โดยการถ่ายภาพระยะของกล้องจะอยู่สูงจากผ้า 15 cm. และใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Detector ในการวิเคราะห์ค่าสี RGB ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการถ่ายภาพทั้งหมด 720 ชั่วโมงโดยเริ่มถ่ายภาพและอ่านค่าสีภายหลังการหยดเลือดที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 216, 384, 552, 720 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าสี RGB ที่อ่านได้ในระยะเวลาต่าง ๆ มาบันทึกลงตารางค่าสีและระยะเวลาของคราบเลือดจากนั้นนำค่าสีที่อ่านได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับระยะเวลาต่าง ๆ ของคราบเลือด เพื่อหาสมการที่ใช้ในการทำนายระยะเวลาของคราบเลือดจากค่าสีที่อ่านได้

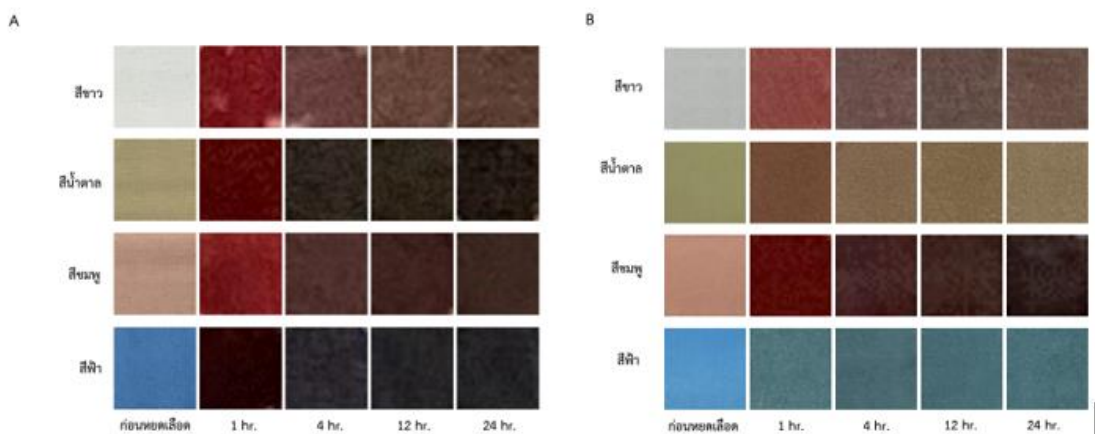
3.5.6 การทำนายอายุของคราบเลือดตัวอย่าง

เปิดตัวอย่างเลือดที่อยู่ในหลอดบรรจุชนิดที่มีสารต้านการแข็งตัวของเลือดปริมาตร 20 μl หยดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ทั้งหมด 4 สี ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า จากนั้นทำการถ่ายภาพที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการถ่ายภาพและอ่านค่าสีด้วยแอปพลิเคชัน RGB Color Detector เช่นเดียวกับข้อ 3.5.4 และนำค่าสีที่อ่านได้แทนค่าลงในสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับระยะเวลาต่าง ๆ ของคราบเลือด เพื่อนำระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการมาสร้างกราฟเทียบกับระยะเวลาจริงของคราบเลือดเพื่อดูความสัมพันธ์ของกราฟที่ได้และนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

บทที่ 4

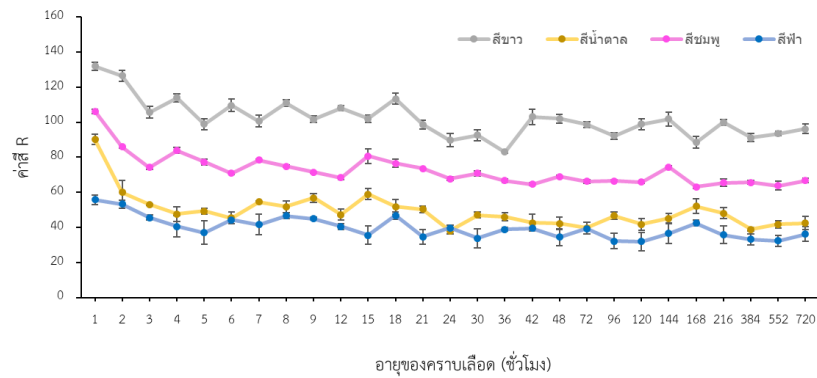
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการนำตัวอย่างเลือดปริมาตร 20 μl หยดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ทั้งหมด 4 สี ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า นำผ้าที่หยดเลือดแล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง และถ่ายภาพภายหลังจากการหยดเลือดที่ระยะเวลาต่าง ๆ จากการใช้สมาร์ทโฟน พบว่า ในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถึง 720 ชั่วโมง คราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวและสีชมพู มีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงสดเป็นสีน้ำตาลเข้มในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และผ้าฝ้ายสีน้ำตาลและสีฟ้าภายหลังจากการหยดเลือดไป 4 ชั่วโมง ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่าได้ ดังภาพที่ 21A ส่วนผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า พบว่าเลือดสามารถซึมลงบนผ้าได้อย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าภายหลังจากการหยดเลือดไป 2 ชั่วโมง ดังภาพที่ 21B

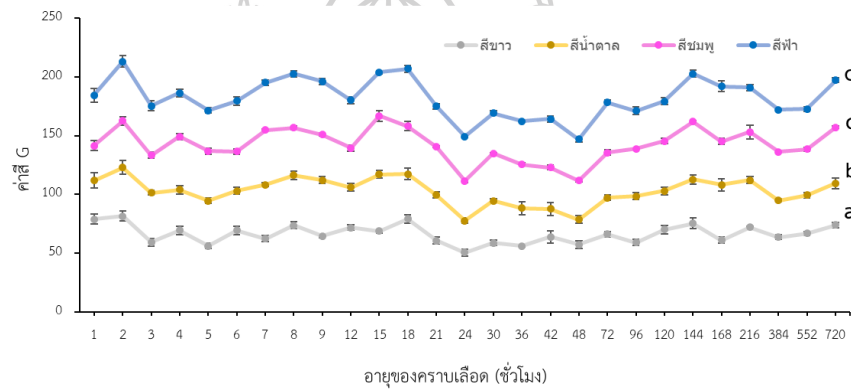


ภาพที่ 21 ภาพถ่ายคราบเลือดบนผ้าฝ้าย (A) และผ้าโพลีเอสเตอร์ (B) สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า ภาพถ่ายก่อนการหยดเลือด ภาพถ่ายที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากการหยดเลือด

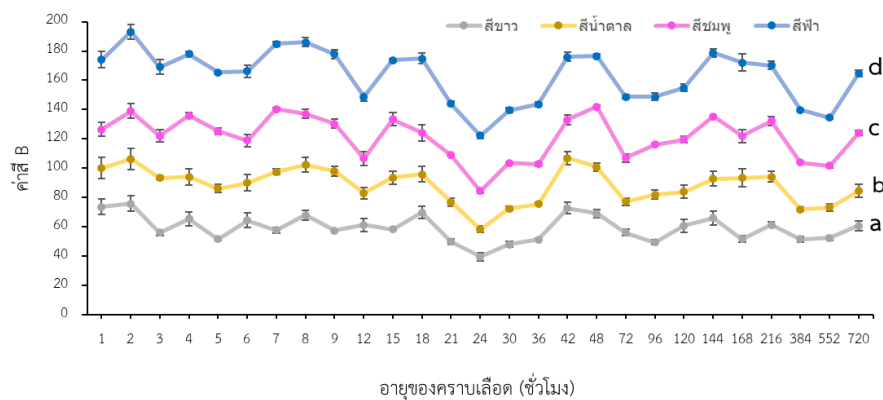
จากการหยดเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสีของคราบเลือดจากการอ่านค่าสี RGB ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง และนำมาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กับระยะเวลาของคราบเลือดดังภาพที่ 22 ถึง ภาพที่ 27



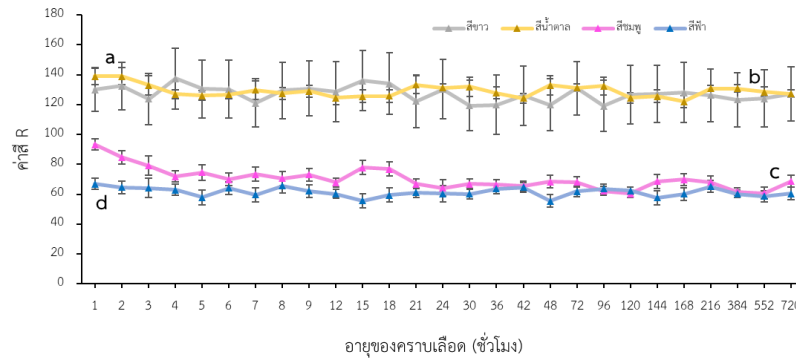
ภาพที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ค่า R กับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง โดยผ้าฝ้ายสีขาว (a) สีชมพู (b) สีนํ้าตาล (c) และสีฟ้า (d)



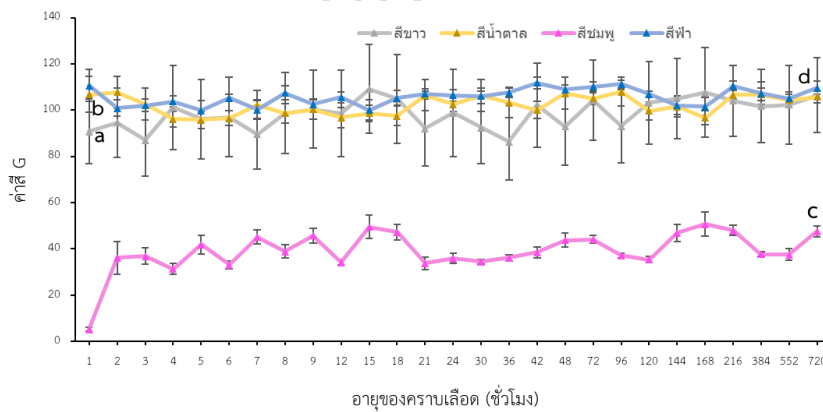
ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ค่า G เชี่ยวกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง โดยผ้าฝ้ายสีขาว (a) สีชมพู (b) สีนํ้าตาล (c) และสีฟ้า (d)



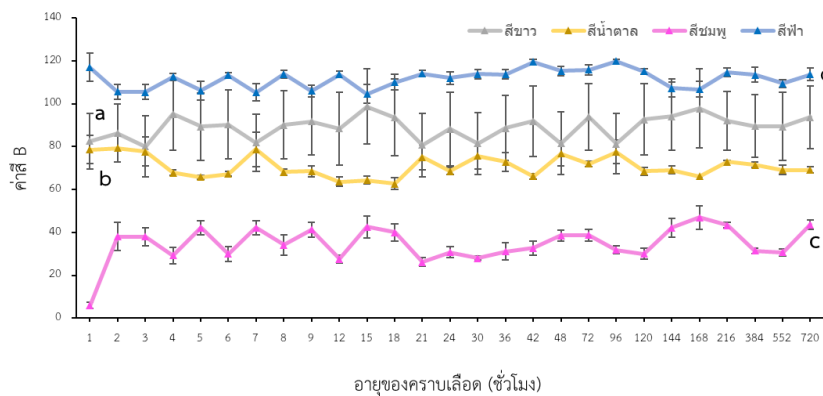
ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ค่า B กับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง โดยผ้าฝ้ายสีขาว (a) สีชมพู (b) สีนํ้าตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมงโดยผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว (a) สีชมพู (b) สีน้ำตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีเขียวกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมงโดยผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว (a) สีชมพู (b) สีน้ำตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง โดยผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว (a) สีชมพู (b) สีน้ำตาล (c) และสีฟ้า (d)

จากภาพที่ 22 ถึง ภาพที่ 27 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า มีค่าลดลงอย่างชัดเจนในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรกภายหลังการหยดเลือด และเมื่อวิเคราะห์ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ พบว่าค่าสีแดงลดลงเพียงในช่วง 3 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมงแรกเท่านั้น จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ค่าสีเขียว และค่าสีน้ำเงิน ของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเพียงช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ถึง 2 ชั่วโมงแรกเท่านั้น และเมื่อระยะเวลาผ่านไปค่าสีเขียวและสีน้ำเงินมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดงเพียงอย่างเดียวดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	สีขาว		สีน้ำตาล		สีชมพู		สีฟ้า	
	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.
1	131.89	2.22	90.19	2.96	106.15	1.25	55.75	2.89
2	126.55	3.16	59.92	6.78	86.01	0.91	53.22	2.34
3	105.61	3.38	53.03	0.37	74.16	0.91	45.57	1.50
4	113.91	2.40	47.59	4.17	83.95	1.58	40.55	6.15
5	98.89	3.26	49.25	1.49	77.31	1.61	37.06	6.74
6	109.61	3.67	45.47	3.42	70.85	0.83	44.26	0.80
7	100.66	3.19	54.55	0.34	78.51	0.56	41.69	6.03
8	110.97	1.74	51.90	3.32	74.96	0.44	46.54	1.68
9	101.72	1.98	56.79	2.61	71.41	0.31	45.03	0.87
12	108.07	1.41	47.28	3.27	68.28	1.12	40.57	1.60
15	102.01	2.05	59.06	3.16	80.65	4.04	35.46	5.22
18	113.35	3.02	51.76	3.99	76.63	2.26	46.77	2.11
21	98.63	2.63	50.31	1.77	73.61	0.22	34.63	4.16
24	89.73	3.88	38.04	1.93	67.82	0.90	39.78	1.69
30	92.61	3.18	46.98	1.72	70.88	1.49	33.78	5.38
36	83.03	0.57	46.09	2.15	66.66	0.94	38.96	1.05
42	103.09	4.43	42.61	4.77	64.70	0.71	39.53	0.48
48	102.02	2.58	42.30	3.39	69.01	0.86	34.40	4.86
72	98.69	1.66	39.75	3.38	66.19	1.18	39.39	0.61
96	92.19	1.83	46.67	2.05	66.57	0.54	32.11	4.38
120	98.87	3.27	41.84	3.41	65.87	0.90	31.96	5.15

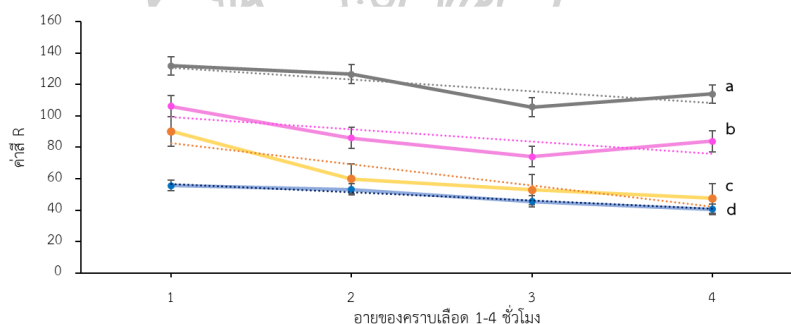
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	สีขา		สีน้ำตาล		สีชมพู		สีฟ้า	
	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.
144	101.84	3.96	45.15	2.86	74.52	0.54	36.68	5.87
168	88.54	3.40	52.11	4.30	63.09	0.89	42.45	1.62
216	99.89	1.81	48.08	3.10	65.53	2.03	35.84	5.01
384	91.21	2.37	38.91	0.95	65.65	1.08	33.17	3.13
552	93.55	1.29	41.74	2.22	63.81	2.40	32.43	3.19
720	96.23	2.65	42.49	3.74	66.75	1.26	36.17	4.21

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์สีขา สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า

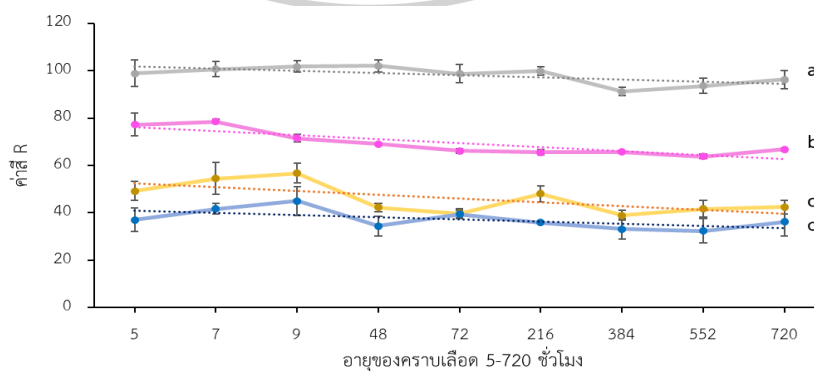
ระยะเวลา	สีขา		สีน้ำตาล		สีชมพู		สีฟ้า	
	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.
1	130.05	14.79	138.81	5.33	93.25	3.64	66.89	4.94
2	132.49	15.97	138.96	5.61	84.73	4.34	64.50	2.10
3	123.64	17.21	132.82	6.28	79.07	6.58	64.16	0.78
4	137.30	20.47	127.01	2.90	71.81	3.71	62.87	1.87
5	130.39	19.40	126.01	3.18	74.50	5.14	57.81	4.18
6	130.31	19.37	126.67	2.97	69.85	4.21	64.02	0.78
7	121.03	16.25	129.65	6.36	73.43	4.79	59.60	3.92
8	129.45	18.98	127.44	3.90	70.55	4.75	65.63	1.97
9	130.79	18.42	128.91	3.83	72.97	4.36	62.05	2.27
12	128.49	19.99	124.50	4.56	67.75	3.07	60.13	0.33
15	136.03	20.20	125.47	4.27	77.82	4.72	55.64	4.74
18	133.87	20.58	125.69	4.15	76.79	4.84	59.50	2.79
21	122.27	17.57	133.19	6.08	66.95	3.15	61.15	0.84
24	130.16	19.80	131.19	2.58	64.17	5.37	60.27	1.10
30	119.38	17.06	131.86	6.33	66.81	3.28	60.16	1.75
36	119.83	19.72	127.83	4.04	66.41	3.23	63.49	2.99
42	126.06	19.87	124.30	3.27	65.71	3.22	64.70	0.54
48	119.71	17.40	132.83	6.39	68.30	4.22	55.46	5.00
72	130.85	18.03	131.12	2.44	68.15	3.61	61.83	1.79
96	119.07	17.11	132.33	6.03	62.17	3.03	63.49	0.83
120	126.51	19.77	124.40	3.59	60.29	2.34	62.30	0.94

ระยะเวลา	สีขา		สีน้ำตาล		สีชมพู		สีฟ้า	
	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.	R	S.D.
144	127.21	19.12	125.59	4.36	68.47	4.75	57.59	4.03
168	128.04	20.32	121.91	4.12	69.75	4.16	60.14	3.46
216	126.25	17.67	130.81	1.78	68.19	4.11	65.13	1.42
384	123.25	18.18	130.79	2.61	61.70	2.41	60.18	2.63
552	124.07	19.08	128.51	3.27	60.59	3.91	58.53	0.85
720	127.05	18.33	127.22	2.56	68.68	4.19	60.43	1.69

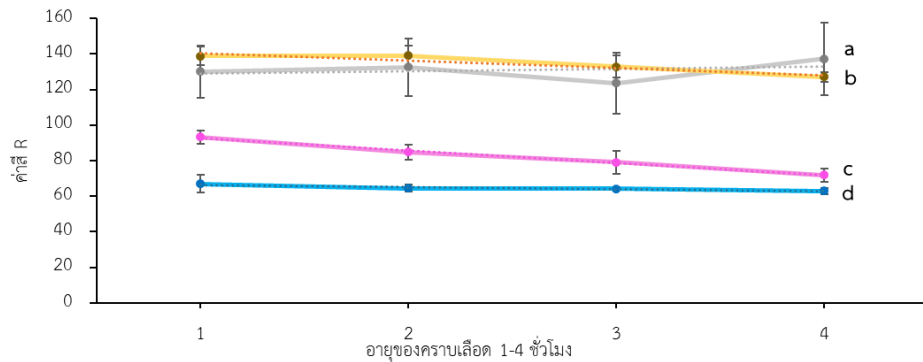
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ เป็นระยะเวลา 720 ชั่วโมง ได้นำค่าสีแดงมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือด โดยแบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงระยะเวลาน้ำ (1 - 4 ชั่วโมง) และ ช่วงระยะเวลายาว (5 - 720 ชั่วโมง) ดังภาพที่ 28 ถึง ภาพที่ 31



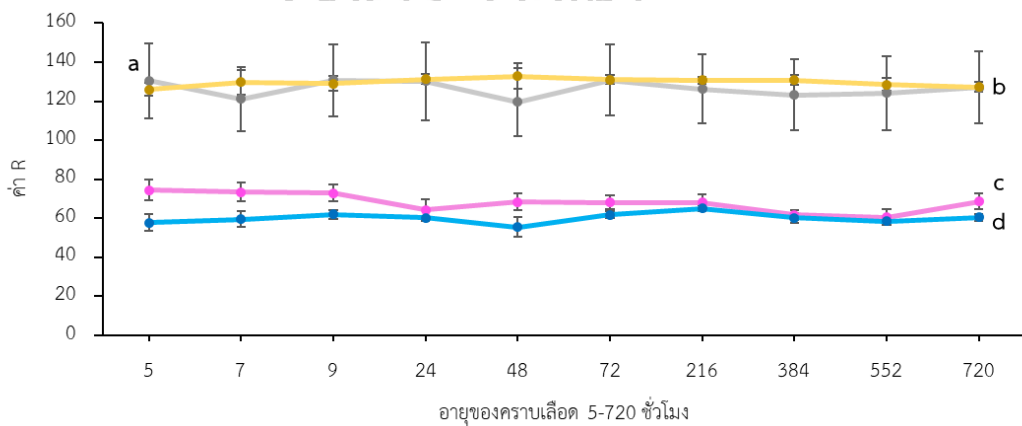
ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมงโดยผ้าฝ้ายสีขา (a) สีชมพู (b) สีน้ำตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมงโดยผ้าฝ้ายสีขา (a) สีชมพู (b) สีน้ำตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 30 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมพัทธ์กับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมง โดยผ้าโพลีเอสเตอร์สีขา (a) สีชมพู (b) สีนํ้าตาล (c) และสีฟ้า (d)



ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมพัทธ์กับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าโพลีเอสเตอร์ช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง โดยผ้าโพลีเอสเตอร์สีขา (a) สีชมพู (b) สีนํ้าตาล (c) และสีฟ้า (d)

จากภาพที่ 28 ถึง ภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่า เมื่อแบ่งกราฟความสัมพันธ์ของค่าสัมพัทธ์กับระยะเวลาของคราบเลือดออกเป็น 2 ช่วง จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ได้ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 สมการความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาช่วง 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ถึง 720 ชั่วโมง ของผ้าฝ้าย

สีผ้าฝ้าย	ระยะเวลา 1-4 ชั่วโมง		ระยะเวลา 5-720 ชั่วโมง	
	สมการ	R ²	สมการ	R ²
สีขาว	$y = -7.4873x + 138.21$	0.6561	$y = -0.9187x + 102.69$	0.4567
สีน้ำตาล	$y = -13.471x + 96.36$	0.8358	$y = -1.5903x + 53.937$	0.4493
สีชมพู	$y = -7.8453x + 107.18$	0.5694	$y = -1.6887x + 77.797$	0.7532
สีฟ้า	$y = -5.3267x + 62.09$	0.9690	$y = -0.894x + 41.712$	0.3523

ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาช่วง 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ถึง 720 ชั่วโมง ของผ้าโพลีเอสเตอร์

สีผ้าโพลีเอสเตอร์	ระยะเวลา 1-4 ชั่วโมง		ระยะเวลา 5-720 ชั่วโมง	
	สมการ	R ²	สมการ	R ²
สีขาว	$y = 1.2893x + 127.65$	0.0858	$y = -0.285x + 127.92$	0.0423
สีน้ำตาล	$y = -4.154x + 144.79$	0.8865	$y = 0.0573x + 129.39$	0.0071
สีชมพู	$y = -6.9973x + 99.71$	0.9943	$y = -1.1313x + 74.292$	0.5121
สีฟ้า	$y = -1.238x + 67.7$	0.9108	$y = 0.1684x + 59.202$	0.0379

จากตารางที่ 3 และ 4 พบว่า สมการความสัมพันธ์ของค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดของผ้าฝ้าย สีน้ำตาล สีฟ้า และผ้าโพลีเอสเตอร์สีน้ำตาล สีชมพู สีฟ้า ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และผ้าฝ้ายสีชมพูที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ถึง 720 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ติดจนเข้าใกล้ 1 เป็นตัวชี้วัดว่าเมื่อนำสมการดังกล่าวมาใช้ในการประมาณระยะเวลาของคราบเลือด จะทำให้ได้ระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้มีความใกล้เคียงระยะเวลาจริงของคราบเลือดมากที่สุด

จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดงกับระยะเวลาของคราบเลือดมาใช้ประมาณระยะเวลาของคราบเลือดตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง โดยการนำค่าสีแดงที่วัดได้ แทนลงในสมการตารางที่ 3 และตารางที่ 4 จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับระยะเวลาจริงของคราบเลือดว่ามีความใกล้เคียงหรือไม่ ดังตารางที่ 5

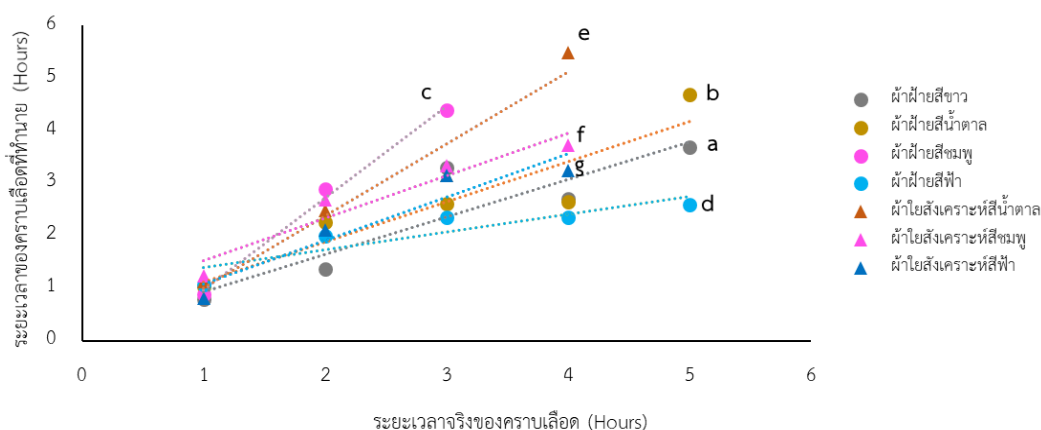
ตารางที่ 5 ระยะเวลาจริงของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงกับระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย และผ้าโพลีเอสเตอร์

ระยะเวลาของคราบเลือดจริง	ระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้									
	ผ้าฝ้าย					ผ้าโพลีเอสเตอร์				
	สีขา	% error	สีน้ำตาล	% error	สีชมพู	%error	สีฟ้า	% error	สีเทา	% error
1	0.7893	21.07	1.0288	2.88	0.8897	11.03	1.0682	6.82	1.5124	51.24
2	1.3636	31.82	2.261	13.05	2.8787	43.935	1.996	0.2	1.3573	32.135
3	3.2868	9.56	2.61	13	4.3822	46.073	2.3448	21.84		
4	2.69992	32.502	2.6471	33.825	2.4702	38.245	2.3448	41.38		
5	3.6899	26.202	4.6764	6.472	3.9657	20.686	2.5861	48.278		
6			6.0554	0.9233	5.5646	7.256	7.2841	21.401		
7	5.2138	25.517	0.2703	96.1	0.0574	99.18	1.2438	82.231		
8			0.8363	89.546	2.7814	65.2325				
9	3.3634	62.628	0.962	89.311	4.7356	47.3822			14.1053	56.726
12			4.9864	58.446	6.5713	45.2391	2.3624	80.3133	22.8772	90.6433
15	3.2545	78.303	0.3961	97.359	1.2417	91.722	9.6331	35.7793		
18			1.7795	90.114	0.6496	96.391			25.6842	42.69
21	7.4997	64.287	4.7349	77.4528	3.3144	84.217	8.2908	60.52		
24	18.602	22.491	10.9601	54.332	6.5121	72.8662	2.1387	91.0887	49.5439	81.0671

หมายเหตุ : ช่องว่าง คือ ไม่สามารถประเมินได้จากสมการในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

จากตารางที่ 5 พบว่าสมการที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ระยะเวลาของคราบเลือดที่ใช้ในการแทนค่าเพื่อทำนายระยะเวลาของคราบเลือด สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว สีนํ้าตาล สีชมพู และสีฟ้า ได้ประมาณ 1 ชั่วโมง ถึง 5 ชั่วโมงแรก โดยมีช่วงความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.2 – 48 % ส่วนผ้าโพลีเอสเตอร์สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้เพียงบนผ้าสีนํ้าตาล สีชมพู และสีฟ้า ได้ประมาณ 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมงแรก โดยมีช่วงความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 – 37 % ซึ่งความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

จากนั้นนำระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้กับระยะเวลาจริงของคราบเลือดบนผ้าฝ้าย และผ้าใยสังเคราะห์มาสร้างกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาจริงของคราบเลือดดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาจริงของคราบเลือด (Hours) ของผ้าฝ้ายสีขาว (a) สีนํ้าตาล (b) สีฟ้า (d) ที่ระยะเวลา 1-5 ชั่วโมง ผ้าฝ้ายสีชมพู (c) ที่ระยะเวลา 1-3 ชั่วโมง และผ้าโพลีเอสเตอร์สีนํ้าตาล (e) สีชมพู (f) และสีฟ้า (g) ที่ระยะเวลา 1-4 ชั่วโมง

จากภาพที่ 32 เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาจริงของคราบเลือด พบว่าผ้าฝ้ายสีขาว สีนํ้าตาล และสีฟ้า สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้ประมาณ 1 ชั่วโมง ถึง 5 ชั่วโมงแรก และผ้าฝ้ายสีชมพูสามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้ประมาณ 1 - 3 ชั่วโมงแรก ส่วนผ้าโพลีเอสเตอร์สีนํ้าตาล สีชมพู และสีฟ้า สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้ประมาณ 1-4 ชั่วโมงแรกเท่านั้น และสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาจริงของคราบเลือดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกับระยะเวลาของจริงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์

ชนิดของผ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	สีผ้า	สมการ	R ²
ผ้าฝ้าย	1-3	สีชมพู	$y = 1.7463x - 0.7756$	0.9936
	1-5	สีขาว	$y = 0.7138x + 0.2246$	0.8213
		สีน้ำตาล	$y = 0.7681x + 0.3403$	0.8567
		สีฟ้า	$y = 0.3385x + 1.0526$	0.8031
ผ้าโพลีเอ สเตอร์	1-4	สีน้ำตาล	$y = 1.3745x - 0.3755$	0.9482
		สีชมพู	$y = 0.8074x + 0.7232$	0.9197
		สีฟ้า	$y = 0.832x + 0.2423$	0.8980

จากตารางที่ 6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้กับระยะเวลาจริงของคราบเลือด 30 ตัวอย่าง พบว่าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์ที่ดี เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำการวิเคราะห์สีไปใช้ในการทำนายระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์สีต่าง ๆ ได้จริง



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาระยะเวลาของของคราบเลือดบนตัวอย่างผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์โดยการหยดเลือดลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ทั้งหมด 4 สี ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสี RGB จากภาพถ่ายโดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Detector พบว่า สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายได้ครบทุกสี คือ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า ซึ่งสามารถทำนายได้ตั้งแต่ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง จนถึง 5 ชั่วโมง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0.8031 ส่วนผ้าโพลีเอสเตอร์สามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้เพียงแค่บนผ้าสีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า ซึ่งสามารถทำนายได้ตั้งแต่ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง จนถึง 4 ชั่วโมงแรก และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0.8980 ทั้งนี้ถือว่าเป็นความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างระยะเวลาของคราบเลือดที่ทำนายได้กับระยะเวลาจริงของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภทราริพ เลหาบุตร และคณะ ที่ได้ทำการศึกษาการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวโดยวิธีวิเคราะห์ภาพ และสามารถทำนายระยะเวลาของคราบเลือดได้ใกล้เคียงกับระยะเวลาจริงในช่วง 2 ชั่วโมงแรกเท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองอาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าสีได้ อาทิ ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิ เนื่องจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมส่งผลต่อกระบวนการเกิดออกซิเดชันของฮีโมโกลบินได้ ซึ่งเลือดจะเกิดกระบวนการออกซิเดชันได้เร็วมากขึ้นเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น (ภทราริพ เลหาบุตร, 2559)

ปัจจัยทางด้านความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสีน้ำเงินจะลดลง แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยลดผลกระทบทางปัจจัยด้านความชื้นได้ (Hanson & Ballantyne, 2010)

ปัจจัยทางด้านการถ่ายภาพ จากงานวิจัยนี้ถ่ายภาพโดยใช้สมาร์ทโฟน เป็นโหมดการถ่ายภาพอัตโนมัติ และไม่สามารถปรับความเร็วของชัตเตอร์ได้ อาจส่งผลต่อสี และความสว่างของภาพถ่ายคราบเลือด อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของสมาร์ทโฟนแต่ละรุ่น ซึ่งในการทดลองนี้มีความละเอียดของกล้องอยู่ที่ 12 Megapixel ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับสมาร์ทโฟนในปัจจุบันที่มีความละเอียดของกล้องอยู่ที่ 48 Megapixel ซึ่งเมื่อนำมาอ่านค่าสีจากภาพถ่ายอาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

ปัจจัยทางด้านวัสดุที่ใช้ในการหยดเลือด จากงานวิจัยนี้ทำการทดลองตัวอย่างคราบเลือดบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพู และสีฟ้า ที่มีการดูดซับของเหลวต่าง ๆ ได้ดี ทำให้ชนิดของผ้าไม่ส่งผลกระทบต่อการอ่านค่าสี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Andrasko, 1997) ที่ได้ศึกษาการประมาณระยะเวลาของคราบเลือดโดยเปรียบเทียบระหว่างกระดาษและผ้า พบว่าไม่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งต่อไป ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพกล้องสมาร์ตโฟนที่ใช้ในงานวิจัยโดยการเปรียบเทียบกับค่าสีด้วยเครื่องมือมาตรฐานก่อนเริ่มทำการวิจัย และศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยด้านอื่นที่มีผลต่อการวัดค่าสีของคราบเลือด เช่น อุณหภูมิที่ต่างกัน ปริมาตรของเลือดที่ใช้หยดลงบนผ้า และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



รายการอ้างอิง

- Andrasko, J. (1997). The estimation of age of bloodstains by HPLC analysis. *Journal of forensic sciences*, 42(4), 601-607.
- Balamurugan, G., & Rafi, I. M. (2021). An Experimental Study on Plastic Paver Tiles. URL: <https://doi.org/10.15680/IJRSET>.
- Bergmann, T., Heinke, F., & Labudde, D. (2017). Towards substrate-independent age estimation of blood stains based on dimensionality reduction and k-nearest neighbor classification of absorbance spectroscopic data. *Forensic science international*, 278, 1-8.
- Bremmer, R. H., De Bruin, K. G., Van Gemert, M. J., Van Leeuwen, T. G., & Aalders, M. C. (2012). Forensic quest for age determination of bloodstains. *Forensic science international*, 216(1-3), 1-11.
- Choi, W., Shin, J., Hyun, K.-A., Song, J., & Jung, H.-I. (2019). Highly sensitive and accurate estimation of bloodstain age using smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*, 130, 414-419.
- Creator, P. (2566, 16 มิถุนายน 2566). ชนิดของเซลล์เม็ดเลือดขาว. <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/93577-scibio-sci->
- Edelman, G., Van Leeuwen, T. G., & Aalders, M. C. (2012). Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene. *Forensic science international*, 223(1-3), 72-77.
- edesignua. (n.d.). *Eye anatomy*. <https://depositphotos.com/th/vector/eye-anatomy-rod-cells-cone-cells-arrangement-retinal-cells-shown-235967296.html>
- Fryczkowski, R., Rom, M., & Fryczkowska, B. (2005). Polyester fibres finished with polyaniline. *Fibres*, 13(5), 141-143.
- Fujita, Y., Tsuchiya, K., Abe, S., Takiguchi, Y., Kubo, S.-i., & Sakurai, H. (2005). Estimation of the age of human bloodstains by electron paramagnetic resonance spectroscopy: Long-term controlled experiment on the effects of environmental factors. *Forensic science international*, 152(1), 39-43.
- Hanson, E. K., & Ballantyne, J. (2010). A blue spectral shift of the hemoglobin solet

- band correlates with the age (time since deposition) of dried bloodstains. *PLoS One*, 5(9), e12830.
- Hassan, M. R., Ema, R. R., & Islam, T. (2017). Color image segmentation using automated K-means clustering with RGB and HSV color spaces. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 17(2), 25-33.
- Kumar, R., Sharma, K., & Sharma, V. (2020). Bloodstain age estimation through infrared spectroscopy and Chemometric models. *Science & Justice*, 60(6), 538-546.
- puntharee. (2018, 11 June 2018). *Synthetic Fiber*.
- Shin, J., Choi, S., Yang, J.-S., Song, J., Choi, J.-S., & Jung, H.-I. (2017). Smart Forensic Phone: Colorimetric analysis of a bloodstain for age estimation using a smartphone. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 243, 221-225.
- Thanakiatkrai, P., Yaodam, A., & Kitpipit, T. (2013). Age estimation of bloodstains using smartphones and digital image analysis. *Forensic science international*, 233(1-3), 288-297.
- Vmountandtrim. (2022). *Adobe RGB and sRGB*. <https://vmountandtrim.com>
- กรกมล วีระพันธุ์. (2563). การตรวจหาคราบโลหิตที่ทา สีขาวบนเบสน้ำที่ทับด้วยวิธี LUMINOL และ BLUESTAR [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร].
- กฤติยา พลหาญ. (ม.ป.ป.). ระบบสีในงานกราฟิก. http://www.krukikz.com/3-color-mode#google_vignette
- กุลนิดา ผาตินาวิน. (2564). ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการรวบรวมพยานหลักฐาน อิเล็กทรอนิกส์ในคดีอาญา [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม].
- จิณห์นิภา ปาวะภินันท์. (2564). การประเมินอายุคราบเลือดจากการวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer และด้วยเทคนิค ATR-FTIR [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร].
- ชิตชนก ขวัญพรม, สาริสา ปิ่นคำ, ณรงค์ กุล นิตเทศ. (2018). แนวคิดในการเพิ่มความเชื่อมั่นของพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์. รายงานการประชุม Graduate School Conference, เดือนเพ็ญ วณิชพิมลอนันต์. (2540). การวิเคราะห์หาชนิดของเส้นใย. Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/Documents/vichakran_ped_0062_2.pdf
- ทองคำ ตะโกเผือก. (2565). การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร].

ธารรัตน์ แจ่มจำรัส. (2565). การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ด้วยวิธี Kastle-Meyer [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เธียรลักษณ์ พร้อมพรชัย. (ม.ป.ป.). Blood.

<http://www.student.chula.ac.th/~60370416/Red%20blood%20cell.html>

พีชรินทร์ บุญรอง. (2560). การพัฒนาระบบแลกเปลี่ยนเรียนรู้ออนไลน์ที่มีผลต่อความสามารถทางการ ออกแบบของนักออกแบบคอมพิวเตอร์กราฟิกบริษัทเอกชน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร].

ภัทรธิป เลหาบุตร. (2559). การประมาณอายุคราบเลือดบนผ้าโดยวิธีวิเคราะห์ภาพ [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร].

วรพรรณ ศิริวัฒน์อักษร, ชัชวาลย์ ศรีสวัสดิ์, นิโกลา เนืองตัน, ภัทรบุตร มาศรีตัน, สมทรง เลขะกุล.

(2562). ชีวเคมีของเลือด

https://www.si.mahidol.ac.th/department/biochemistry/home/MD/Lecture/Biochemistry_of_blood.pdf

วรรณเลิศลักษณ์, ว. (2560, 13 มิถุนายน 2560). แสงสว่างกับการมองเห็น.

<https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7277-2017-06-13-14-42-30>

วิจิสมิทธิ์. (ม.ป.ป.). สีในงานกราฟิกและความหมาย. <https://www.vijismith.com/the-psychology-of-colors->

หทัยวัฒน์ พละศักดิ์. (2565). การพัฒนาชุดทดลอง เรื่อง การผสมแสงสีและสารสีด้วยการใช้แนวคิดไมโครฟลูอิดิกอย่างง่าย สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].



ภาคผนวก

ตารางที่ 7 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาว

ผ้าฝ้าย ระยะเวลา(ชม.)	สีชาวล้นที่ 1					สีชาวล้นที่ 2					สีชาวล้นที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	129.50	123.60	133.30	132.80	130.50	133.20	126.60	128.50	134.00	134.80	127.80	131.60	135.30	138.10	138.70	131.89
2	127.20	118.90	128.10	125.20	124.30	126.30	118.90	119.30	128.00	131.00	121.00	129.00	130.00	133.70	137.30	126.55
3	110.80	105.00	114.00	110.20	107.50	107.10	97.90	97.60	105.70	108.30	96.30	101.80	105.60	106.40	110.00	105.61
4	110.20	105.10	117.60	114.90	113.50	113.80	107.30	108.90	114.10	119.90	106.70	113.80	116.80	123.10	122.90	113.91
5	105.80	97.50	108.50	100.70	99.30	99.50	90.50	91.00	96.70	101.80	90.30	98.20	98.80	101.20	103.60	98.89
6	105.60	100.30	110.80	105.90	108.70	109.00	103.10	101.90	113.60	117.60	106.50	111.50	111.90	116.80	121.00	109.61
7	105.20	101.50	108.00	104.20	101.90	102.00	90.00	91.90	100.10	105.50	91.50	98.90	100.80	103.00	105.40	100.66
8	110.70	101.70	115.20	110.00	110.80	113.90	102.70	106.00	113.70	115.10	102.70	110.30	110.90	118.50	122.30	110.97
9	104.40	98.10	109.60	103.30	102.20	101.90	95.20	95.50	101.00	104.40	90.30	99.50	105.70	107.30	107.40	101.72
12	107.10	98.60	113.00	108.20	107.60	111.30	96.70	102.80	110.40	117.10	104.00	104.70	106.30	114.70	118.50	108.07
15	102.90	99.90	108.30	106.00	101.00	99.20	93.70	96.50	102.80	106.30	93.30	100.90	103.70	106.50	109.20	102.01
18	110.90	106.20	114.30	111.80	111.40	115.10	106.50	108.10	115.40	116.90	110.30	113.40	115.70	120.90	123.40	113.35
21	101.60	94.50	106.40	103.10	99.40	98.20	86.90	89.60	99.70	104.60	89.50	99.60	102.00	105.90	98.40	98.63
24	90.20	85.10	96.20	91.70	88.30	88.10	79.60	79.50	88.20	92.60	84.10	90.60	94.60	97.50	99.70	89.73
30	98.90	91.50	101.20	97.30	92.50	93.30	84.00	86.80	95.00	94.20	85.40	91.90	93.90	95.50	87.80	92.61
36	83.40	78.80	87.80	83.30	82.40	79.10	87.90	83.40	81.90	79.70	75.60	81.70	80.60	88.20	91.50	83.03
42	83.80	90.20	108.00	105.30	103.80	105.10	97.40	99.90	106.40	112.10	99.70	104.00	105.70	108.60	116.40	103.09
48	102.20	93.00	104.20	100.90	103.90	104.40	92.30	94.20	104.50	105.80	99.00	102.90	103.50	107.40	112.10	102.02
72	98.00	91.90	103.10	98.90	97.60	100.60	91.50	91.10	101.20	103.50	92.00	99.40	99.90	101.80	109.90	98.69
96	94.90	88.30	99.00	93.80	91.70	93.50	84.40	86.70	90.00	95.90	85.70	93.40	93.40	96.60	95.50	92.19
120	100.70	91.30	100.50	95.90	94.70	99.50	89.10	91.20	102.90	104.20	95.60	100.10	102.00	104.20	111.20	98.87
144	97.60	93.30	102.20	101.10	98.90	100.60	93.20	98.30	103.90	107.20	95.40	105.30	108.60	109.40	112.60	101.84
168	92.30	85.30	95.70	92.50	88.80	86.40	80.20	81.60	85.50	89.50	83.40	90.60	90.40	92.30	93.60	88.54
216	101.80	96.30	101.90	101.60	99.20	102.40	89.80	91.90	101.60	104.10	96.30	99.70	99.30	104.40	108.00	99.89
384	91.90	85.20	95.00	91.90	89.70	92.10	81.20	81.80	92.70	97.70	85.70	93.10	92.40	96.50	101.20	91.21
552	94.40	88.30	97.60	93.90	96.30	92.70	85.30	87.10	96.30	99.00	87.70	90.80	91.80	98.30	103.80	93.55
720	96.90	90.00	98.00	96.80	96.10	96.10	87.90	89.20	96.70	100.00	91.30	98.30	97.80	100.90	107.50	96.23

ตารางที่ 8 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีน้ำตาล

สีฝ้าย ระยะเวลา(ชม.)	สีน้ำตาลเข้มที่ 1					สีน้ำตาลเข้มที่ 2					สีน้ำตาลเข้มที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	82.30	85.00	89.90	85.70	91.00	96.10	87.90	94.60	93.00	87.70	98.80	92.40	89.50	95.10	83.90	90.19
2	72.80	63.40	66.20	62.30	64.40	59.20	63.00	60.40	63.20	61.30	52.50	50.40	53.90	50.20	55.60	59.92
3	61.20	48.70	53.40	50.90	52.20	50.40	53.40	52.20	56.90	53.10	50.40	50.10	53.00	49.70	59.80	53.03
4	60.80	51.00	52.40	46.50	48.00	45.50	51.90	46.40	49.70	44.60	48.10	43.20	42.40	39.40	43.90	47.59
5	56.00	44.90	46.80	43.60	46.50	46.50	54.70	48.50	52.00	50.10	49.60	46.10	49.50	50.20	53.70	49.25
6	60.00	48.10	49.40	42.80	44.30	43.60	49.50	45.60	46.90	41.40	45.90	41.40	42.50	37.50	43.10	45.47
7	61.70	51.90	53.90	50.90	53.50	53.90	56.60	53.50	56.50	54.20	57.50	50.10	54.90	53.40	55.80	54.55
8	62.40	55.90	54.60	49.50	52.60	49.80	54.30	52.70	52.80	51.90	50.40	45.80	50.40	45.50	49.90	51.90
9	59.40	52.70	53.60	50.80	52.40	53.40	62.00	58.70	60.80	57.50	56.10	55.60	60.00	56.80	62.00	56.79
12	58.30	50.10	49.00	45.80	46.00	48.50	51.10	46.90	50.50	45.00	44.70	43.30	43.30	39.60	47.10	47.28
15	62.00	54.90	55.70	52.40	53.30	57.40	62.10	61.20	60.70	56.70	63.10	61.90	64.40	59.60	60.50	59.06
18	62.10	52.90	57.30	53.30	51.10	50.20	55.30	52.50	52.60	51.80	50.20	44.40	47.10	45.50	50.10	51.76
21	54.50	45.60	51.10	44.00	46.40	49.60	51.70	49.90	55.40	52.00	52.10	47.60	49.70	48.10	57.00	50.31
24	46.10	33.90	35.10	34.50	36.50	38.70	40.90	38.40	43.10	40.10	35.50	33.50	35.70	35.80	42.80	38.04
30	50.90	44.40	46.80	44.20	46.60	47.20	49.80	47.70	50.70	48.90	44.10	42.50	44.30	44.10	52.50	46.98
36	51.20	43.90	51.20	41.00	50.00	45.00	47.30	47.00	49.90	46.80	44.00	40.50	43.10	43.20	47.30	46.09
42	56.40	49.40	50.70	38.80	40.00	44.40	48.70	47.00	38.30	37.60	43.00	39.40	37.50	30.60	37.40	42.61
48	53.60	44.60	44.50	41.50	43.50	40.80	43.00	43.10	43.30	42.70	41.70	34.70	39.00	36.30	42.20	42.30
72	48.90	43.40	43.30	36.60	43.50	39.10	41.30	37.70	39.60	41.00	38.10	33.20	36.60	34.60	39.40	39.75
96	50.30	40.20	45.90	42.50	43.10	43.70	46.40	47.60	48.10	50.20	46.10	44.90	51.00	48.20	51.80	46.67
120	50.80	44.40	43.40	41.40	46.40	37.70	42.60	42.40	43.60	42.60	38.40	38.00	37.50	37.80	40.60	41.84
144	53.50	48.80	46.80	42.90	44.90	44.20	48.30	46.20	46.90	45.10	48.20	40.30	41.50	38.00	41.60	45.15
168	50.50	45.10	48.50	46.40	47.60	52.00	51.90	52.40	52.80	53.50	58.80	53.10	54.70	55.80	58.60	52.11
216	55.70	50.00	49.90	48.30	51.30	46.20	48.50	48.40	48.80	49.80	44.10	43.80	45.80	42.80	47.80	48.08
384	45.80	37.80	37.30	34.60	39.30	40.40	42.50	38.10	39.00	39.20	41.00	37.70	38.00	35.30	37.70	38.91
552	48.60	45.40	41.50	39.80	40.50	44.20	44.10	43.20	40.80	42.10	42.30	37.50	37.90	38.70	39.50	41.74
720	51.80	45.50	45.60	40.20	43.20	42.80	47.50	43.20	44.30	42.10	40.50	36.20	36.80	38.60	39.10	42.49

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีชมพู

สีผ้าฝ้าย หมายเลข(ชม.)	สีชมพูส่วนที่ 1					สีชมพูส่วนที่ 2					สีชมพูส่วนที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	99.00	103.40	101.40	108.20	111.50	103.40	105.20	107.50	104.20	113.90	93.40	109.10	113.40	107.00	111.60	106.15
2	93.00	93.40	88.90	85.60	73.10	92.90	95.60	84.10	80.60	77.90	92.80	86.10	91.90	78.90	75.40	86.01
3	81.80	81.60	78.50	72.40	61.70	82.20	82.90	72.50	66.80	64.40	83.70	75.60	82.20	64.70	61.40	74.16
4	89.50	86.70	87.80	81.10	67.20	92.80	94.20	83.60	76.40	71.90	95.40	87.50	93.50	76.50	75.10	83.95
5	78.20	82.20	79.70	74.00	63.50	84.40	87.30	76.50	71.00	69.60	86.00	80.40	84.20	72.30	70.30	77.31
6	77.70	80.60	75.20	69.90	55.60	78.60	79.50	69.30	63.90	60.90	78.80	71.10	77.10	63.20	61.30	70.85
7	83.00	84.20	83.00	77.70	65.90	85.10	89.80	77.50	72.50	69.60	85.80	79.40	84.60	70.80	68.70	78.51
8	81.40	81.60	77.60	73.10	63.50	80.90	82.30	73.10	69.10	67.50	83.50	75.60	82.20	67.90	65.10	74.96
9	75.70	73.70	74.70	69.80	61.50	78.50	77.70	71.40	65.50	64.20	79.60	72.60	78.00	66.30	62.00	71.41
12	76.10	74.30	70.60	66.70	59.60	73.50	75.80	65.30	63.00	63.10	75.80	67.00	73.20	59.90	60.30	68.28
15	79.00	80.30	78.90	75.70	67.90	87.10	88.30	79.60	77.80	73.30	91.80	86.10	89.90	80.20	73.90	80.65
18	83.40	84.50	82.30	76.70	67.60	84.90	82.70	75.40	70.80	69.20	82.60	77.00	79.90	67.80	64.60	76.63
21	77.20	76.30	75.80	72.20	65.30	80.30	78.20	72.30	70.50	67.00	81.00	75.90	78.10	68.30	65.70	73.61
24	74.90	74.70	72.80	66.80	55.10	74.10	76.20	65.10	62.10	59.20	77.30	68.70	74.00	58.90	57.40	67.82
30	75.00	77.60	75.60	72.10	62.10	78.50	77.80	68.80	66.00	62.10	77.20	71.20	74.90	62.80	61.50	70.88
36	72.40	71.30	71.30	66.70	55.70	73.30	72.70	66.10	62.20	60.00	72.70	65.00	71.00	63.60	55.90	66.66
42	70.70	71.30	66.60	64.10	54.50	71.40	71.00	63.00	60.10	57.70	71.00	65.80	68.70	59.40	55.20	64.70
48	72.30	71.60	70.80	68.10	61.80	76.20	73.10	64.10	62.40	65.20	77.20	67.90	74.70	65.30	64.50	69.01
72	74.00	73.90	68.90	63.20	57.50	75.80	72.70	61.60	60.50	58.80	73.20	67.70	70.30	58.60	56.20	66.19
96	71.60	71.10	69.40	66.80	55.70	74.40	73.00	63.20	61.80	61.80	74.90	64.90	69.50	59.80	60.60	66.57
120	69.00	70.30	67.20	64.50	53.80	73.50	74.80	64.40	59.00	57.80	74.40	69.80	70.60	59.30	59.70	65.87
144	77.50	79.90	77.40	70.70	66.60	81.40	81.30	71.70	71.70	69.40	82.80	74.50	77.00	68.00	67.90	74.52
168	70.00	68.10	64.40	61.50	55.50	72.60	70.00	60.20	57.70	55.70	69.80	65.20	68.20	55.00	52.50	63.09
216	70.70	72.60	69.40	65.70	58.90	72.60	72.00	63.60	60.20	60.20	72.10	64.70	66.60	56.90	56.80	65.53
384	68.20	71.20	69.50	65.00	60.20	72.20	71.80	62.30	61.90	59.00	72.20	65.90	68.60	59.00	57.80	65.65
552	68.40	69.50	69.00	65.20	59.80	69.80	69.30	60.40	57.90	59.80	68.80	62.00	64.60	56.40	56.30	63.81
720	68.90	69.30	67.40	64.80	59.10	71.60	70.60	64.70	62.00	61.80	72.20	67.60	72.00	65.60	63.60	66.75

ตารางที่ 10 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีฟ้า

สีผ้าฝ้าย ระยะเวลา (ชม.)	สีฟ้าเข้มที่ 1					สีฟ้าเข้มที่ 2					สีฟ้าเข้มที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	58.00	52.00	53.60	45.40	60.30	57.70	53.70	53.60	48.90	57.70	59.80	57.30	59.40	60.30	58.60	55.75
2	55.70	49.30	50.60	55.70	55.20	56.00	48.80	49.10	49.20	51.10	55.40	56.00	58.50	53.70	54.00	53.22
3	50.00	43.20	42.80	49.70	50.10	49.30	41.40	42.30	43.60	44.30	42.80	44.40	46.10	46.30	47.30	45.57
4	50.00	41.80	44.50	49.80	49.30	43.40	37.60	37.30	38.60	41.50	34.30	38.30	36.80	31.30	33.70	40.55
5	47.00	40.60	41.90	46.40	45.40	41.20	33.80	34.10	35.80	35.20	27.50	31.00	32.50	28.10	35.40	37.06
6	47.40	41.10	39.40	47.20	46.60	48.90	40.80	42.20	42.40	42.80	44.80	46.60	46.00	42.70	45.00	44.26
7	50.40	45.50	47.20	49.30	48.70	44.60	37.40	40.40	39.70	40.60	34.10	38.30	39.20	30.00	40.00	41.69
8	51.20	44.40	44.50	50.70	50.90	51.40	43.60	43.90	45.00	47.40	44.20	44.30	46.90	42.60	47.10	46.54
9	49.60	40.00	43.60	47.60	49.30	47.10	43.10	42.80	45.00	45.50	41.80	45.00	47.10	43.90	44.10	45.03
12	43.80	37.70	36.80	45.00	45.70	41.20	37.40	38.60	37.00	39.60	40.10	39.70	41.10	40.70	44.10	40.57
15	43.70	38.60	39.40	42.50	43.10	38.30	30.80	31.40	31.20	33.10	30.40	34.50	32.00	30.30	32.60	35.46
18	50.60	43.00	44.50	53.40	50.10	48.50	39.60	43.50	45.30	44.90	46.40	46.30	47.00	48.30	50.10	46.77
21	42.50	35.70	35.80	40.80	41.10	37.30	30.90	33.60	32.30	34.30	31.70	31.80	31.90	28.60	31.10	34.63
24	44.60	36.70	38.00	44.80	43.60	43.00	37.10	38.70	39.60	39.80	40.00	35.30	38.70	37.60	39.20	39.78
30	41.80	36.10	37.20	42.10	41.20	36.30	29.40	33.20	29.30	34.30	27.60	30.70	30.50	25.60	31.40	33.78
36	41.80	36.50	37.20	42.80	42.40	40.50	35.60	39.90	36.40	40.70	37.20	37.50	38.30	39.00	38.60	38.96
42	42.80	35.60	36.80	41.70	41.70	43.00	37.60	37.90	36.20	40.20	39.90	42.30	40.10	36.20	40.90	39.53
48	43.20	35.50	35.50	42.50	42.20	35.50	31.70	30.70	33.00	34.60	29.10	31.30	32.50	24.90	33.80	34.40
72	43.30	36.30	37.60	42.70	44.9	43.00	37.20	37.50	38.00	41.40	38.50	37.30	39.20	38.70	40.10	39.34
96	39.40	34.10	33.80	38.20	38.90	35.80	30.30	30.60	27.90	31.30	27.40	31.60	29.00	28.60	24.80	32.11
120	39.30	33.30	35.20	42.70	38.00	33.90	28.60	28.40	29.40	31.80	27.90	29.50	27.70	24.20	29.50	31.96
144	46.10	39.50	41.00	45.20	42.90	40.00	34.80	34.30	35.50	34.40	32.40	33.90	34.10	25.80	30.30	36.68
168	44.70	36.70	38.10	42.10	43.90	46.20	40.00	41.20	38.80	43.80	46.50	43.00	43.30	43.60	44.80	42.45
216	42.50	38.10	39.30	43.90	42.70	37.50	32.80	35.40	34.30	33.80	29.40	32.80	33.30	25.90	35.90	35.84
384	39.90	34.60	34.00	38.30	37.10	36.00	31.00	28.70	31.10	29.80	31.20	32.90	33.30	25.50	34.10	33.17
552	39.10	33.00	34.10	38.30	35.90	35.60	30.80	31.00	27.80	29.80	28.10	32.10	32.60	29.30	28.90	32.43
720	42.90	38.50	38.80	41.70	41.90	37.80	32.20	35.10	35.20	36.00	32.10	34.30	33.70	29.70	32.70	36.17

ตารางที่ 11 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าโพกศีรษะสตรีชาว

สีผ้าโพกศีรษะ ระยะเวลา(ชม.)	สีชาวลืมที่ 1					สีชาวลืมที่ 2					สีชาวลืมที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	118.10	114.10	114.50	114.30	116.00	146.80	146.60	146.50	144.70	140.30	124.40	132.20	139.40	128.10	124.80	130.05
2	120.80	113.30	111.90	114.10	117.50	147.90	150.40	148.60	146.40	142.80	129.00	137.00	145.00	133.20	129.40	132.49
3	109.90	103.20	101.60	104.80	111.90	144.40	141.10	140.00	139.90	138.10	119.30	126.60	135.70	119.10	119.00	123.64
4	119.90	114.00	113.70	115.00	119.70	160.80	158.40	157.20	156.30	154.20	133.30	135.50	145.00	136.10	140.40	137.30
5	115.10	110.90	109.30	109.90	115.50	154.80	153.20	149.70	148.00	148.10	123.90	125.80	136.70	124.20	130.70	130.39
6	116.50	111.40	108.60	110.20	114.30	154.80	151.50	150.60	149.30	147.50	126.70	125.30	135.60	124.90	127.50	130.31
7	110.40	102.70	98.50	101.70	109.60	144.00	136.90	136.70	134.90	132.90	116.00	119.80	133.40	118.70	119.20	121.03
8	113.50	108.80	106.10	110.60	117.00	151.80	150.30	149.10	148.30	145.90	123.90	125.50	136.20	124.20	130.60	129.45
9	115.90	109.90	109.70	112.10	117.20	151.80	149.90	148.40	149.20	149.40	125.10	125.30	139.30	125.80	132.80	130.79
12	109.90	105.90	105.00	107.30	112.00	149.90	149.40	148.40	146.90	145.80	128.70	127.00	134.50	126.60	130.70	128.49
15	115.10	113.00	113.30	113.50	114.90	156.80	156.10	153.20	152.00	149.90	134.00	139.90	148.70	139.70	140.40	136.03
18	115.20	110.40	109.40	111.20	113.80	156.80	155.40	152.00	150.70	149.40	133.20	134.50	146.90	132.00	137.10	133.87
21	107.30	100.70	99.50	103.80	110.20	143.30	139.40	138.10	138.80	137.50	116.00	123.90	135.00	121.00	119.60	122.27
24	113.40	111.30	108.00	110.40	112.50	158.50	153.40	150.00	146.40	144.90	124.00	130.30	136.10	124.70	128.50	130.16
30	107.30	101.40	98.80	98.60	105.40	142.80	137.70	136.20	134.00	131.40	111.70	120.30	131.80	118.80	114.50	119.38
36	101.00	100.50	99.80	101.30	100.30	143.50	139.00	141.80	138.60	137.00	114.20	117.00	130.90	116.40	116.10	119.83
42	103.70	103.50	101.10	106.60	110.70	148.40	146.00	142.40	143.80	142.70	122.60	122.60	145.90	126.00	126.90	126.06
48	106.00	100.40	98.30	100.90	105.50	142.50	139.60	137.20	133.70	131.50	113.40	118.60	134.70	118.60	115.30	119.71
72	114.40	112.40	111.70	113.30	112.50	154.40	149.90	147.80	147.00	145.50	129.00	127.60	142.90	125.60	128.80	130.85
96	104.60	101.60	99.30	102.20	102.70	141.50	137.50	138.20	133.80	130.50	109.90	122.00	131.20	117.70	113.30	119.07
120	109.90	102.70	100.90	105.30	108.90	147.50	145.70	141.50	143.80	145.60	122.40	121.70	136.80	130.50	134.40	126.51
144	108.00	102.10	103.80	107.90	113.40	148.60	146.30	143.40	145.40	141.60	119.80	124.60	140.50	129.10	133.70	127.21
168	109.90	103.80	103.70	104.60	105.40	147.30	146.00	144.80	145.90	140.50	129.00	129.10	140.60	131.30	138.70	128.04
216	113.20	107.00	106.40	109.20	111.30	147.90	146.30	143.60	143.70	141.80	121.90	121.20	130.40	121.70	128.20	126.25
384	108.30	105.30	103.40	104.50	106.00	145.80	143.30	140.60	141.70	137.80	116.90	119.80	135.90	118.20	121.30	123.25
552	106.50	103.50	101.90	103.10	106.40	147.10	145.20	141.30	139.70	138.40	120.70	122.80	137.80	120.90	125.70	124.07
720	109.20	108.50	108.30	107.80	108.40	148.30	149.50	145.80	142.20	139.60	122.20	126.20	142.00	122.50	125.20	127.05

ตารางที่ 12 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าไฟลีสเตอร์สีน้ำตาล

สีผ้าไฟลีสเตอร์ ระยะเวลา (ชม.)	สีน้ำตาลเข้มที่ 1					สีน้ำตาลเข้มที่ 2					สีน้ำตาลเข้มที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	133.50	133.90	133.00	133.80	132.10	144.00	142.70	140.90	144.30	147.50	140.50	138.00	136.80	139.20	142.00	138.81
2	134.40	131.70	132.20	133.70	134.40	144.90	142.90	140.40	145.60	148.70	140.60	136.00	134.80	139.50	144.60	138.96
3	131.00	126.80	125.20	125.60	126.00	141.80	138.40	134.20	139.00	143.70	136.50	129.70	126.30	130.70	137.40	132.82
4	130.00	124.60	121.60	121.50	121.30	133.00	129.30	126.90	128.50	129.00	127.40	128.30	129.20	127.90	126.90	127.01
5	128.10	123.00	120.30	121.00	120.20	130.40	128.10	126.70	129.50	129.00	126.00	127.10	127.80	126.70	126.30	126.01
6	129.40	122.10	120.80	123.00	122.50	132.20	129.50	126.70	129.20	129.80	126.90	127.50	128.90	127.50	124.00	126.67
7	133.30	124.50	122.10	123.80	126.50	142.10	135.60	131.90	136.00	139.40	129.70	123.60	121.10	124.80	129.65	
8	130.40	123.70	121.50	119.90	119.30	133.70	129.90	128.10	129.40	129.50	128.90	129.60	130.10	129.30	128.30	127.44
9	132.30	125.60	122.20	120.80	121.50	135.60	132.50	129.00	129.90	129.10	129.10	132.20	131.20	131.50	131.10	128.91
12	127.20	120.10	116.80	116.40	115.70	130.60	127.20	125.20	127.40	125.80	126.10	127.70	128.00	127.20	126.10	124.50
15	125.30	121.60	119.30	119.90	118.20	128.50	126.50	123.40	126.60	126.30	128.50	130.30	130.40	129.00	128.20	125.47
18	127.40	122.00	118.60	117.60	119.20	131.40	127.10	124.00	127.40	126.80	129.20	129.90	130.30	128.70	125.70	125.69
21	136.10	126.90	124.00	125.00	126.60	143.70	137.90	132.70	140.30	144.10	136.50	128.50	126.40	131.90	137.30	133.19
24	132.00	128.60	127.80	128.30	124.70	135.20	132.30	131.80	133.50	133.30	131.20	132.30	133.00	131.70	132.10	131.19
30	130.50	124.60	123.50	125.30	127.30	140.70	136.10	134.20	139.20	143.40	132.60	126.90	125.20	131.30	137.10	131.86
36	132.20	122.80	120.50	122.80	127.80	133.90	134.10	134.30	126.10	134.00	127.70	122.10	123.60	123.10	133.00	127.83
42	127.00	119.90	118.60	117.90	119.20	130.40	127.10	122.70	125.60	124.90	125.60	127.70	127.00	126.30	124.60	124.30
48	133.00	127.00	125.10	125.70	127.80	141.10	138.30	136.10	139.80	144.70	133.90	129.40	124.50	129.90	136.20	132.83
72	132.30	128.40	127.90	127.70	125.80	134.30	133.10	132.00	133.60	132.90	130.50	133.00	132.60	132.00	130.70	131.12
96	132.00	127.70	126.00	126.90	126.20	142.50	137.40	133.60	140.30	142.00	135.10	125.50	124.20	128.90	136.60	132.33
120	127.30	120.80	117.00	118.20	118.00	129.70	127.10	123.90	126.20	126.00	125.40	127.10	127.00	126.80	125.50	124.40
144	129.00	123.20	118.30	114.80	117.60	131.90	129.80	124.40	125.80	126.40	127.10	128.60	129.40	129.20	128.30	125.59
168	123.30	117.10	113.10	116.00	116.90	126.60	122.60	120.50	122.70	123.80	124.50	125.80	125.00	126.00	124.70	121.91
216	137.10	129.00	127.20	125.90	126.10	135.50	132.90	130.00	132.00	132.70	129.10	131.40	132.00	131.20	130.00	130.81
384	131.90	128.00	127.40	126.70	125.30	135.00	133.20	130.40	133.30	132.30	130.60	132.90	133.30	130.90	130.70	130.79
552	129.20	125.50	123.60	123.00	122.40	132.90	130.20	129.30	130.00	130.30	128.80	130.40	132.20	130.10	129.80	128.51
720	129.90	123.90	123.00	123.70	121.40	130.60	127.80	129.20	130.30	128.90	125.40	126.70	127.30	130.00	130.20	127.22

ตารางที่ 13 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าไฟฟอสเตอร์สีชมพู

สีผ้าไฟฟอสเตอร์ ระยะเวลา (ชม.)	สีชมพูเข้มที่ 1					สีชมพูเข้มที่ 2					สีชมพูเข้มที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	90.60	93.40	95.30	98.20	100.20	104.70	91.80	85.60	89.80	103.90	89.00	89.70	85.80	91.50	89.30	93.25
2	74.80	81.30	78.50	90.50	77.90	99.50	81.40	84.20	83.60	97.10	83.40	81.10	87.90	88.90	81.40	84.73
3	81.60	89.10	82.20	67.20	89.80	99.70	78.80	72.80	79.80	87.40	75.80	68.00	67.80	67.40	78.70	79.07
4	70.80	75.70	73.10	56.70	76.60	90.20	68.90	66.90	74.90	79.00	78.90	64.10	65.30	63.30	72.80	71.81
5	71.70	70.40	70.90	60.60	83.90	87.60	74.00	75.30	82.40	82.90	75.70	70.40	67.80	66.10	77.80	74.50
6	69.10	74.70	71.10	52.50	76.60	87.20	70.00	66.50	71.30	77.40	72.20	64.00	63.30	59.90	71.90	69.85
7	72.40	68.90	69.60	59.90	79.70	89.80	71.70	74.60	78.00	80.50	73.10	66.70	69.10	68.70	78.70	73.43
8	71.20	71.40	72.00	57.40	77.30	89.90	72.50	65.70	70.30	79.60	65.30	64.70	66.60	62.40	71.90	70.55
9	71.50	70.40	66.70	60.60	80.20	88.30	71.60	71.30	77.90	80.70	75.30	67.90	65.90	68.40	77.90	72.97
12	65.80	69.80	66.70	52.90	72.70	86.60	66.60	61.80	68.70	72.60	70.30	64.80	66.00	59.90	71.00	67.75
15	73.30	74.30	71.30	64.10	80.00	81.80	78.20	76.10	83.90	83.00	79.70	81.20	76.80	76.10	81.50	77.82
18	72.00	73.90	72.30	62.90	79.20	89.80	78.80	73.90	82.80	85.40	77.40	74.50	74.30	74.20	82.40	76.79
21	66.70	68.60	66.40	54.60	71.60	83.80	63.70	62.70	68.60	74.00	62.50	63.10	64.80	60.90	72.30	66.95
24	64.10	63.70	59.40	51.20	72.80	81.90	63.40	60.00	71.00	74.90	63.00	57.90	52.60	56.90	69.80	64.17
30	64.60	68.20	66.20	54.30	69.10	84.40	66.20	60.20	68.10	73.90	73.00	60.90	61.90	61.40	69.80	66.81
36	64.20	68.00	65.60	54.00	70.90	84.00	65.30	59.90	67.00	74.50	72.50	60.50	59.80	59.80	70.20	66.41
42	64.10	69.70	65.50	52.80	71.50	83.70	64.30	57.70	66.40	74.40	70.10	60.20	57.10	57.50	70.60	65.71
48	68.00	65.50	63.90	53.20	73.40	81.90	67.40	66.40	71.20	78.00	70.20	64.60	61.30	64.00	75.50	68.30
72	69.10	65.90	64.50	57.00	74.00	81.80	66.80	66.20	69.50	77.30	64.70	61.90	64.10	63.10	76.40	68.15
96	60.80	63.70	61.70	50.00	68.60	78.90	60.80	54.20	63.20	71.00	68.90	54.90	55.50	56.70	63.70	62.17
120	58.40	63.30	61.20	49.70	63.60	76.40	58.90	53.40	58.20	68.00	61.50	55.30	55.90	54.20	66.40	60.29
144	64.00	63.80	64.00	56.00	73.10	81.60	70.80	66.80	73.70	75.00	68.70	69.40	64.90	61.60	73.70	68.47
168	66.00	65.40	66.00	57.20	71.50	76.50	72.00	70.90	71.20	76.40	71.50	67.50	70.30	69.80	74.00	69.75
216	70.50	66.90	63.30	57.40	74.40	81.90	70.50	63.10	71.20	77.70	68.00	65.80	60.10	61.50	70.60	68.19
384	61.30	60.90	58.60	48.80	70.00	80.80	57.60	51.50	60.70	71.60	71.60	55.30	56.90	53.90	66.00	61.70
552	61.40	58.00	56.70	50.70	71.00	71.20	58.70	57.90	66.40	70.40	54.60	54.50	54.40	54.70	68.30	60.59
720	68.70	65.10	64.50	59.40	74.00	82.50	69.80	65.10	72.10	78.10	67.90	64.50	61.00	60.50	77.00	68.68

ตารางที่ 14 ค่าสีแดงของคราบเลือดบนผ้าฟลีเอสเตอร์สีฟ้า

สีผ้าฟลีเอสเตอร์ ระยะเวลา (ชม.)	สีฟ้าเข้มที่ 1					สีฟ้าเข้มที่ 2					สีฟ้าเข้มที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	หยดที่ 1	หยดที่ 2	หยดที่ 3	หยดที่ 4	หยดที่ 5	
1	70.00	74.70	72.50	72.00	68.80	65.80	68.20	68.20	68.40	66.00	63.60	63.00	66.60	65.40	50.10	66.89
2	67.60	66.40	64.70	67.10	62.30	66.00	65.70	65.20	67.80	64.40	63.50	62.30	65.60	62.60	56.30	64.50
3	65.10	66.10	64.20	64.20	65.60	65.80	64.60	63.50	62.10	63.50	63.50	66.00	63.40	64.00	60.80	64.16
4	63.90	63.30	64.00	63.20	63.90	65.30	64.60	64.60	63.80	62.80	63.30	59.60	60.60	59.60	60.60	62.87
5	63.50	63.60	63.20	61.50	60.30	56.30	57.70	57.20	56.40	56.10	56.00	53.90	55.70	53.00	52.70	57.81
6	63.80	64.10	64.40	64.00	64.80	65.00	65.30	65.80	64.40	62.90	66.20	62.20	62.10	61.80	63.50	64.02
7	63.80	64.70	63.90	64.10	63.90	57.00	58.80	57.70	57.40	58.80	58.00	58.60	54.40	57.00	55.90	59.60
8	67.60	66.20	67.10	66.50	67.10	67.30	66.80	67.00	66.80	65.20	64.20	61.50	63.30	62.80	65.00	65.63
9	66.20	66.00	63.70	63.80	63.60	60.20	62.20	60.00	59.50	60.70	62.20	58.80	63.20	61.00	59.60	62.05
12	60.10	58.60	59.00	59.80	61.20	61.60	58.80	60.40	60.80	60.00	63.40	58.90	58.80	58.50	62.00	60.13
15	62.20	61.60	61.00	61.20	59.30	53.70	59.60	54.10	52.50	54.10	55.20	51.00	50.20	52.90	52.00	55.64
18	63.60	64.10	61.50	63.00	61.40	58.80	60.20	56.80	57.20	56.20	59.40	57.50	56.40	58.30	58.10	59.50
21	62.60	61.50	60.20	61.70	61.90	63.70	62.10	61.70	61.50	59.40	62.00	58.40	59.20	59.60	61.70	61.15
24	61.90	62.20	60.40	61.00	61.40	59.10	58.80	59.70	58.90	59.40	61.90	61.30	59.00	60.00	59.00	60.27
30	60.60	59.90	60.80	61.20	63.70	61.60	60.40	60.90	60.90	61.70	60.10	55.80	57.30	57.00	60.50	60.16
36	68.10	66.90	66.30	65.80	64.20	59.90	61.00	69.70	66.60	62.30	63.80	61.40	57.00	56.50	62.90	63.49
42	65.00	64.10	64.20	64.60	65.40	66.70	65.50	65.80	65.30	63.00	68.40	64.20	63.20	61.80	63.30	64.70
48	60.00	6.80	59.90	60.90	61.70	55.10	57.50	57.00	57.50	58.10	57.30	60.20	60.40	61.60	57.90	55.46
72	63.70	63.70	61.00	63.40	62.10	59.40	60.00	60.00	60.00	59.40	62.40	64.50	63.00	65.10	59.70	61.83
96	64.20	63.30	61.80	63.10	65.30	65.30	64.80	63.80	63.80	63.80	65.00	60.90	62.50	61.40	63.40	63.49
120	60.20	60.90	60.70	60.70	63.60	62.50	63.70	62.30	64.10	62.20	66.70	60.40	63.00	61.40	62.10	62.30
144	63.90	63.40	61.50	60.70	61.10	56.80	56.40	55.80	55.80	56.40	57.50	54.30	52.40	54.80	53.00	57.59
168	66.50	66.30	63.60	63.20	60.90	60.40	59.20	57.70	57.80	58.10	60.10	58.50	55.30	58.10	56.40	60.14
216	68.20	66.80	66.40	66.20	66.20	65.30	64.10	63.70	64.10	64.80	65.80	65.00	63.50	64.40	62.40	65.13
384	63.80	61.70	61.00	60.90	63.00	63.10	61.20	60.20	60.90	61.00	60.30	55.70	56.60	56.20	57.10	60.18
552	60.90	60.30	57.50	57.20	58.60	58.40	58.80	57.50	56.10	57.00	60.70	60.10	57.70	58.80	58.40	58.53
720	62.70	64.00	61.60	61.50	62.10	58.30	61.00	60.10	59.20	58.60	59.90	59.70	59.20	60.90	57.70	60.43

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

ชาลินี เวชอินทร์

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2558 - มัธยมศึกษา โรงเรียนนครพนมวิทยาคม

พ.ศ. 2562 - ปริญญาตรี สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

