การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

โดย
นางสาวสรีวรรณ ชูเดช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

โดย
นางสาวสรีวรรณ ชูเดช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

COLORIMETRIC ANALYSIS OF BLOODSTAINS FOR FORENSIC APPLICATION

By

MISS Sariwan CHUDAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์
โดย	นางสาวสรีวรรณ ชูเดช
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....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 สมีน้อย)

630720082 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : อายุของเลือด, คราบเลือด, ระบบสีอาร์จีบี

นางสาว สรีวรรณ ชูเดช: การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

คราบเลือดเป็นหนึ่งในหลักฐานทางกายภาพที่พบได้บ่อยที่สุดในสถานที่เกิดเหตุ การประมาณอายุของคราบเลือดยังถือเป็นการสืบสวนสถานที่เกิดเหตุที่น่าสนใจอีกด้วย ในการทดลองนี้มีการเตรียมตัวอย่างคราบเลือด โดยหยดเลือดลงบนกระดาษ A4 สีขาวและกระจกสไลด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วตรวจวัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ เมื่อแห้งทันที, 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 72 ชั่วโมง 168 ชั่วโมง 336 ชั่วโมง , 504 ชั่วโมง และ 720 ชั่วโมงภายหลังการแห้งของเลือด จากการอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่ระยะเวลาที่ต่างกัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าสี RGB โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 ช่วงระยะเวลา ได้แก่ ระยะสั้น (1-3 ชั่วโมง) และระยะยาว (6-720 ชั่วโมง) โดยมีการนำสมการที่ได้จากกราฟเทียบมาตรฐานมาใช้เพื่อกำหนดอายุของคราบเลือด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอาจใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพเพื่อประมาณอายุของคราบเลือดบนกระดาษ A4 สีขาวและกระจกสไลด์ เพื่อใช้ในการตรวจทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

630720082 : Major (FORENSIC SCIENCE)
Keyword : RGB color system, bloodstains, blood age

MISS Sariwan CHUDAT : Colorimetric analysis of bloodstains for forensic application Thesis advisor : Orathai Kheawpum

Bloodstain is one of the most commonly found physical evidence in a threatening crime scene. Estimating bloodstain aging is also challenging crime scene investigations. In the experiment, the bloodstain samples were prepared by dropping the blood samples on white A4 papers and glass slides and kept at ambient temperature for immediately, 3 hours, 6 hours, 12 hours, 24 hours, 72 hours, 168 hours, 336 hours, 504 hours, and 720 hours before the examination. RGB color values were obtained by using the Color Assist program. The results showed changes in RGB color value over the study. Two bloodstain age prediction ranges were also observed; a short-term (1-3 hours) and a long-term (6-720 hours) range. The equations estimated from the calibration graphs were used to determine the ages of bloodstains. The results have demonstrated that the method of image analysis might be used to estimate the age of bloodstains on white A4 paper and glass slides for forensic application.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบอายุของเลือดบนพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตากรุณาจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งคอยช่วยให้คำแนะนำและช่วยเหลือเมื่อมีปัญหาทำให้เป็นงานวิจัยที่สมบูรณ์ได้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง กรรมการ และอาจารย์ ดร.อรทัย เขียวพุ่ม กรรมการ ที่ให้คำปรึกษา แนะแนวที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย ที่ให้ความกรุณาในการแนะแนวและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นางสาวปิยาภา จันทร์มล ที่ให้คำปรึกษา การแนะแนวที่เป็นประโยชน์ รวมถึงการดูแลการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง นายณัฐชนนท์ วสุธาสวัสดิ์ ที่แนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนตลอดมาจนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สรีวรรณ ชูเดช

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 3

สมมติฐานงานวิจัย 3

ขอบเขตงานวิจัย 3

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

1. เลือด 5

2. Hemoglobin reaction kinetics 9

3. มาตรฐานของสี 10

ระบบสีอาร์จีบี (RGB Color Model) 10

ระบบสี CMYK (Cyan Magenta Yellow Key) 11

ระบบสี HLS (Hue Lightness Saturation) 12

4. การมองเห็นสีของมนุษย์ 12
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
6. กรอบแนวคิดงานวิจัย 16
วิธีดำเนินงานวิจัย 17
1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 17
2. ตัวอย่างเลือดที่ใช้ในการทดลอง 19
3. วิธีทำการทดลอง 19
4. การถ่ายภาพ 19
5. การวิเคราะห์ข้อมูล 20
6. การทำนายอายุของคราบเลือด 20
ผลการศึกษา 21
1. การวิเคราะห์อายุของเลือดบนกระจกสไลด์ 21
2. การวิเคราะห์อายุของเลือดบนกระดาษ A4 สีขาว 22
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง 23
4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้ำเงินที่ระยะต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง 26
สรุปผลและอภิปรายการศึกษา 31
ข้อเสนอแนะ 33
รายการอ้างอิง 34
ประวัติผู้เขียน 37

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว ทำซ้ำ 6 ครั้ง 23

ตารางที่ 2 สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง ทำซ้ำ 6 ครั้ง 25

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยสีน้ำเงินและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว ทำซ้ำ 6 ครั้ง 26

ตารางที่ 4 สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง ทำซ้ำ 6 ครั้ง.....28

ตารางที่ 5 อายุของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกำลังสองของค่าสีน้ำเงินเทียบกับอายุจริงของคราบเลือด 28

ตารางที่ 6 สมการแสดงความสัมพันธ์ของอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง 30

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ไขกระดูก 5

รูปที่ 2 Tetramer 7

รูปที่ 3 โครงสร้างของ Heme 7

รูปที่ 4 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือด 9

รูปที่ 5 กลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด (Hemoglobin reaction kinetics) 10

รูปที่ 6 แสดงระบบสี RGB 11

รูปที่ 7 ระบบสี CMYK 11

รูปที่ 8 ตัวอย่างค่าความเข้มและความจางของสีและค่าความสว่างของสีในระบบสี HLS 12

รูปที่ 9 การมองเห็นของมนุษย์ 13

รูปที่ 10 กระดาษ A4 สีขาว ยี่ห้อ Double A 17

รูปที่ 11 กระจกสไลด์ ขนาด 1” x 3” 18

รูปที่ 12 สมาร์ทโฟน IPhone รุ่น 15 pro 18

รูปที่ 13 โปรแกรม Color Assist 18

รูปที่ 14 ลักษณะหยดเลือดเมื่อหยดลงบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาวทันทีที่หยด 19

รูปที่ 15 ตัวอย่างค่าสีที่อ่านได้จาก โปรแกรม Color Assist 20

รูปที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของสี RGB กับอายุของเลือดที่ทดสอบ บนกระจกสไลด์ 21

รูปที่ 17 แผนภูมิแท่งการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของสี RGB กับอายุของเลือดที่ทดสอบ บนกระดาษ A4 สีขาว 22

รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยรวมค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดของกระจกสไลด์ ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง 24

รูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยรวมค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดของกระดาษ A4 สีขาว ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง 24

รูปที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดของกระจกสไลด์ ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง.....27

รูปที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดของกระดาษ A4 สีขาว ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง.....27

รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือด ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง.....29

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาอาชญากรเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกทั้งยังมีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้น และในคดีต่าง ๆ ผู้กระทำผิดมักทิ้งร่อยรอยที่จะนำไปสู่การจับกุมโดยไม่รู้ตัวได้เสมอ ร่องรอยส่วนใหญ่ที่พบและเห็นเด่นชัดที่สุดหากมีการต่อสู้กันโดยใช้อาวุธ คือ เลือด โดยปกติแล้วคนส่วนใหญ่คุ้นเคยกับการได้ยินจากผู้เชี่ยวชาญว่าตัวอย่างเลือดสามารถนำมาระบุตัวผู้ต้องสงสัยโดยการตรวจหา DNA ได้ แต่ในความเป็นจริงสามารถใช้ประโยชน์จากเลือดได้หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นองศาการกระเด็นของเลือด ความสม่ำเสมอ ขนาดของหยดเลือด รวมไปถึงการประมาณระยะเวลาเกิดเหตุหรือเสียชีวิตจากลักษณะการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะนำไปสู่การไขคดีได้

เลือดเป็นส่วนประกอบสำคัญในร่างกายสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นของเหลว ประกอบด้วยเม็ดเลือดและพลาสมา ในร่างกายมนุษย์มีเลือด 7 – 10% ของน้ำหนักตัว หรือ 4 – 6 ลิตรในผู้ใหญ่ แต่หากเลือดมีการไหลออกจากร่างกายไม่ว่าวิธีการใด เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มมีการแข็งตัวของเลือด โดยลักษณะการแข็งตัวของเลือดไม่ได้แข็งตัวพร้อมกันทั้งหมด แต่จะเริ่มแข็งตัวจากบริเวณขอบเข้าไปจนถึงด้านใน ทำให้สามารถประเมินช่วงเวลาเกิดเหตุหรือเสียชีวิตได้อย่างคร่าว ๆ ทั้งนี้การแข็งตัวของเลือดไม่ได้มีระยะเวลาที่เท่ากันเสมอไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นควบคู่ด้วย เช่น สภาพแวดล้อมในที่เกิดเหตุ ความร้อน ความชื้น ปริมาณเลือด รวมไปถึงคุณภาพเลือดของแต่ละบุคคล นอกจากนี้ยังมีกลไกสำคัญเรียกว่า Hemoglobin reaction kinetics ซึ่งเป็นกลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด เนื่องจากฮีโมโกลบินที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ที่ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปยังปอดและอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ เรียกว่า อนุพันธ์ของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin derivatives) ปกติในร่างกายของมนุษย์พบได้ 2 แบบ คือ ฮีโมโกลบินแบบที่จับกับออกซิเจนไม่ได้ (Deoxyhemoglobin) และฮีโมโกลบินแบบที่จับกับออกซิเจนได้ (Oxyhemoglobin) โดย Oxyhemoglobin จะเกิด Auto - oxidized ไปอยู่ในรูป Methemoglobin ซึ่งสามารถถูกรีดิวซ์กลับมาอยู่ในรูปเดิมได้ โดยใช้เอนไซม์ Reductase protein cytochrome b5 ส่วน Hemoglobin ที่ถูกขับมาอยู่นอกร่างกายแล้ว เมื่อมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะจะเกิด Auto - oxidized ไปอยู่ในรูป Methemoglobin ก่อนแล้วเกิดการสลายตัวเป็น Hemichrome ทำให้เลือดเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น (Shikama, 1998) และจากกลไกนี้พบว่ามีหลายผลงานวิจัยที่ได้นำเลือดมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาอายุของคราบเลือดด้วยวิธีที่ต่างกัน เพื่อใช้ในการทำนายระยะเวลาการเกิดเหตุ

ในการทำนายอายุของคราบเลือดมีเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้หลายประเภท เช่น การวิเคราะห์ด้วยค่าสี CMYK ในงานวิจัยของ (Thanakiatkrai et al., 2013) ศึกษาการทำนายอายุของคราบเลือดที่หยดบนพื้นผิวต่างชนิดกัน จากนั้นถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟนและนำไปอ่านค่าสี CMYK พบว่า เมื่อคราบเลือดมีระยะเพิ่มขึ้น ค่าสี CMYK มีความแปรปรวนสูงขึ้น และสี Magenta (M) มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาของคราบเลือดมากที่สุด และ พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับการอ่านค่าสี RGB

(บุญธรรม, 2566) ศึกษาความคงอยู่ของคราบเลือดบนผิวไม้ด้วยลูมินอล โดยศึกษาบนผิวไม้สัก ไม้ยางพารา และไม้สน เก็บไว้ที่สภาพแวดล้อมต่างกัน ได้แก่ ในอาคารที่มืด กลางแจ้ง และในอาคารที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ถึง 4 สัปดาห์ พบว่าคราบเลือดบนผิวไม้ทุกชนิดยังคงอยู่ชัดเจนแม้ระยะเวลาผ่านไปนานถึง 4 สัปดาห์

(ปาวะภินันท์, 2564)ศึกษาการประเมินอายุคราบเลือดจากการวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer และด้วยเทคนิค ATR – FTIR โดยหยดเลือดลงบนตัวอย่างผ้าฝ้ายสีขาวที่อุณหภูมิห้อง ณ ช่วงเวลาที่ต่างกัน พบว่าอายุที่ทำนายได้มีความสัมพันธ์กับค่าอายุที่แท้จริง และเมื่อใช้เทคนิค ATR – FTIR วิเคราะห์องค์ประกอบของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวที่ช่วงเวลาต่าง ๆ จนถึง 720 ชั่วโมง พบว่าเส้นสเปกตรัมของช่วง Amide I และ Amide II ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป

(เลาหบุตร., 2560) ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพ และนำค่าสีวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ได้ โดยใช้ตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัคร 15 คน จากนั้นนำอายุที่ได้จากการทำนายและอายุจริงของคราบเลือดมาสร้างกราฟพบว่า ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน โดยดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) คือ 0.9659 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีมากและจากผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าวิธีวิเคราะห์ภาพนี้สามารถนำมาทำนายอายุของคราบเลือดได้ดีในช่วงอายุ 1 ถึง 48 ชั่วโมง

(เวชอินทร์, 2567) ศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ด้วยแอปพลิเคชัน RGB color detector โดยใช้เลือดหยดลงบนผ้าฝ้ายที่มีสีต่างกัน ดังนี้ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพูและสีฟ้า เป็นระยะเวลา 720 ชั่วโมง พบว่า ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงถึง 24 ชั่วโมงแรก คราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวและสีชมพูมีการเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม ส่วนสีอื่น ๆ ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อนำไปหาสมการความสัมพันธ์ของอายุจริงของคราบเลือดและอายุที่ทำนายได้ พบว่า สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้แม่นยำที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมงแรกเท่านั้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมอาทิ อุณหภูมิ ซึ่งสามารถส่งผลต่อการออกซิเดชันของฮีโมโกลบิน ทำให้สีของเลือดเปลี่ยนแปลงไปได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว นำมาอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist และกำหนด

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างคราบเลือดภายหลังการหยดเลือดที่ระยะเวลาดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมงและ 720 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าสี RGB ที่ได้หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของสีกับระยะเวลา เพื่อนำไปหาสมการเพื่อคำนวณอายุของคราบเลือดบนพื้นผิวที่ศึกษา

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคราบเลือดบนกระดาษ A4 สีขาวและกระจกสไลด์ที่ถูกหยดไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist

สมมติฐานงานวิจัย

ค่าสีของคราบเลือดสามารถนำไปทำนายอายุที่ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดได้ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นความถูกต้องและแม่นยำจะลดลง

ขอบเขตงานวิจัย

1.ตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัคร 1 คน

2. พื้นผิวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว

3.ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือด ที่ระยะเวลา ดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมงและ 720 ชั่วโมง

4. อ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist

5. หาค่าเฉลี่ยค่าสี จากนั้นเลือกค่าสีที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)เข้าใกล้ 1 ที่สุดมาสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายอายุของคราบเลือดเปรียบเทียบกับอายุจริงของคราบเลือดต่อไป

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ กระดาษ A4 สีขาวและกระจกสไลด์

ตัวแปรตาม ได้แก่ อายุของหยดเลือด ค่าสีที่วิเคราะห์ด้วยระบบสี RGB

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ปริมาตรเลือดที่ใช้ เวลา กล้อง

นิยามศัพท์เฉพาะ

เลือด คือ ของเหลวที่สร้างมาจากไขกระดูก มีลักษณะเป็นของเหลว มีหน้าที่ลำเลียงอาหาร น้ำ และแก๊ซออกซิเจนไปทั่วร่างกาย ซึ่งเลือดประกอบไปด้วย เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือด

คราบเลือด (Blood stains) คือ รอยเลือดที่ปรากฏในสถานที่เกิดเหตุ มักพบตามเสื้อผ้า พื้น สถานที่เกิดเหตุ และอาวุธที่ใช้ก่อเหตุ หากเลือดมีลักษณะเป็นของเหลว แสดงว่าเหตุอาจยังเกิดได้ไม่นาน แต่หากเลือดมีการแข็งตัวแล้ว แสดงว่าเหตุอาจเกิดมานานแล้ว

ระบบสี RGB (RGB System) คือ ระบบสีของแสง เกิดจากการหักเหของกลายเป็นสีรุ้ง ซึ่งเป็นช่วงแสงที่คนเราสามารถมองเห็นได้ โดยแสงทั้งหมดเกิดจากสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ซึ่งทั้ง 3 สีถือเป็นแม่สีของแสง

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดเมื่อมีการสะท้อนของแสงจากวัตถุมายังตาเราและส่งต่อไปยังสมองเพื่อประมวลผลออกมาให้เป็นสีที่ตาเรามองเห็น

Hemoglobin reaction kinetics คือ กลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด โดยฮีโมโกลบินสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ 2 รูปแบบ เรียกว่า อนุพันธ์ของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin derivatives) ได้แก่ แบบที่จับกับออกซิเจนไม่ได้ (Deoxyhemoglobin) และแบบที่จับกับออกซิเจนได้ (Oxyhemoglobin) หากฮีโมโกลบินถูกขับมาอยู่นอกร่างกายจะทำให้เกิดกลไกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีนของเลือด ทำให้เลือดมีการเปลี่ยนสีจากสีแดงเข้มเป็นสีน้ำตาล

Color Assist เป็นแอพลิเคชันในสมาร์ทโฟน ใช้สำหรับอ่านค่าสี RGB

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นทางเลือกเพิ่มเติมในการตรวจหาอายุของเลือดในสถานที่เกิดเหตุได้
2. ได้ทราบถึงประโยชน์ของระบบสี RGB มากขึ้น
3. ได้ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคในการเปรียบเทียบอายุของเลือดบนตัวอย่างพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน โดยวิเคราะห์ด้วยระบบสี RGB ด้วยแอพพลิเคชันทางสมาร์ทโฟน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาเทคนิคการตรวจหาอายุของเลือดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

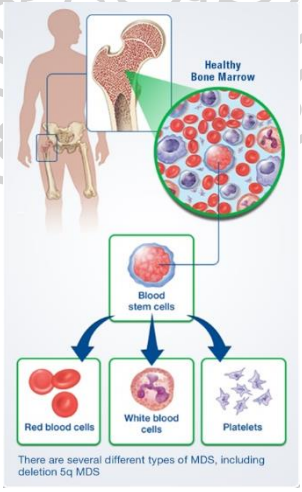
บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เลือด

เลือดสร้างจากไขกระดูก ซึ่งอยู่ในโพรงกระดูกทั่วร่างกาย มีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือด ซึ่งเลือดเป็นส่วนประกอบสำคัญในร่างกายสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นของเหลว ในร่างกายมนุษย์มีเลือด 7 –10 % ของน้ำหนักตัว หรือ 4 – 6 ลิตรในผู้ใหญ่ เลือดมีหน้าที่สำคัญ ๆ มากมาย เช่น

- กำจัดของเสีย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ สารพิษ ต่าง ๆ ออกจากร่างกาย
- ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงมีหน้าที่จับแก๊สออกซิเจน เพื่อนำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ในร่างกาย
- ช่วยป้องกันการติดเชื้อ เช่น เชื้อโรคจากแบคทีเรีย
- ลำเลียงกลูโคสไปเลี้ยงเซลล์ เพื่อนำไปสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย
- ทำให้เลือดแข็งตัวเมื่อเกิดบาดแผล
- ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ
- ลำเลียงอาหารจากระบบย่อยอาหารและลำเลียงฮอร์โมนจากต่อมต่าง ๆ ไปเลี้ยงทั่วร่างกาย



รูปที่ 1 ไขกระดูก

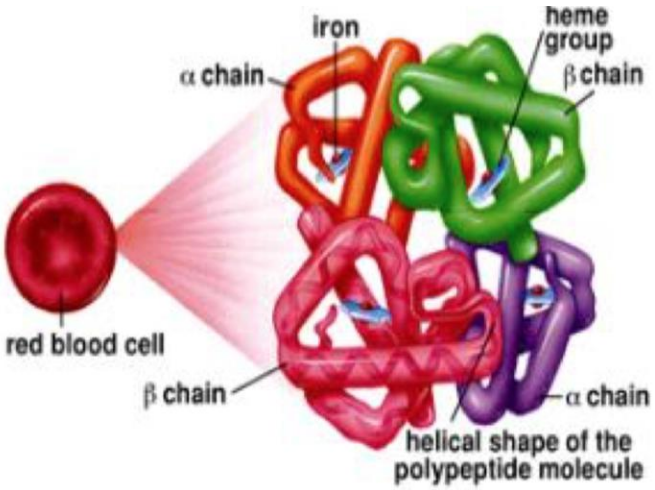
ที่มา (กัลปพฤกษ์, 2019)

เลือดถือเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ เป็นของเหลว ที่มีสีแดงตามสีของฮีโมโกลบิน โดยสีของเลือดจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เกาะอยู่กับเฮโมโกลบิน และจะไหลเวียนไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจและเส้นเลือดต่าง ๆ ในระบบหัวใจและเส้นเลือด (cardiovascular system) เลือดประกอบไปด้วย เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) เม็ดเลือดขาว (White blood cell) และเกล็ดเลือด (Platelet) ดังนี้

1. เม็ดเลือดแดง (Red blood cell หรือ erythrocyte)

เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างแตกต่างจากเซลล์ทั่วไปคือเป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส เมื่อนำไปดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง พบว่า เม็ดเลือดแดงจะมีลักษณะคล้ายกับโดนัทที่ไม่มีรูตรงกลาง และตรงกลางมีลักษณะบางกว่าบริเวณขอบเซลล์ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้ฮีโมโกลบินสามารถดักจับออกซิเจนได้ในปริมาณที่มากขึ้น โดยเซลล์เม็ดเลือดแดงมีหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย โดยอาศัยฮีโมโกลบินที่จะเป็นตัวดักจับออกซิเจน

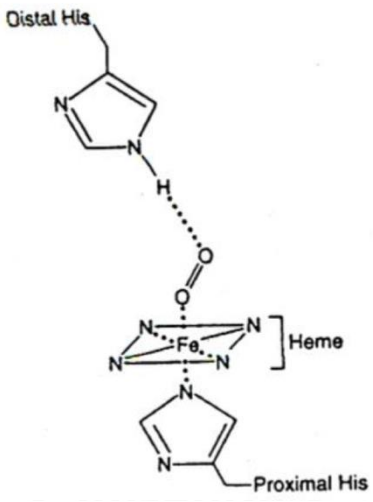
ฮีโมโกลบิน เป็นโมเลกุลของโปรตีนและเป็นส่วนสำคัญของเลือดที่ขาดไม่ได้ เป็นสารที่ทำให้เลือดมีสีแดง มีหน้าที่ดักจับออกซิเจนให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเพื่อส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมถึงควบคุมค่าความเป็นกรด - ด่าง ในเลือด ฮีโมโกลบินที่พบได้ทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดเอ ชนิดเอฟ และชนิดเอ 2 โดยทั่วไปแล้วคนปกติจะมีระดับฮีโมโกลบินต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ เพศ อายุ ความสูง รวมถึงพฤติกรรมการใช้ชีวิต ซึ่งโดยปกติ เพศชาย จะมีระดับฮีโมโกลบินอยู่ที่ 13.8 – 17.2 กรัม/เดซิลิตร เพศหญิง จะมีระดับฮีโมโกลบินอยู่ที่ 12.1 – 15.1 กรัม/เดซิลิตร ฮีโมโกลบินจะมี polypeptide 4 สายประกอบกัน โดยแต่ละสายจะยึดด้วย salt bridge และในแต่ละสายจะมีฮีม (Heme) อยู่ภายใน เรียกองค์ประกอบของฮีโมโกลบินนี้ว่า Tetramer โดยจะแบ่งเป็น peptide ชนิดแอลฟา 1 คู่ และ peptide ชนิดบีต้า, แกมมาหรือเดลต้า 1 คู่ รวมกันเป็น 4 สาย



รูปที่ 2 Tetramer

ที่มา (ศิริวัฒนอักษร, 2562)

ฮีม (Heme) เป็นสารประกอบระหว่างธาตุเหล็กและโปรตีนเชิงซ้อน มีชื่อเฉพาะว่า Ferroprotoporphyrin IX จัดเป็นสารเคมีในกลุ่ม porphyrins ฮีมเป็นส่วนประกอบสำคัญของฮีโมโกลบินในเลือด เนื่องจากเป็นสารสีที่ให้สีของเลือดเป็นสีแดง นอกจากฮีมสามารถพบได้ในเลือดแล้ว ยังสามารถพบในกล้ามเนื้อได้อีกด้วย



รูปที่ 3 โครงสร้างของ Heme

ที่มา (ศิริวัฒนอักษร, 2562)

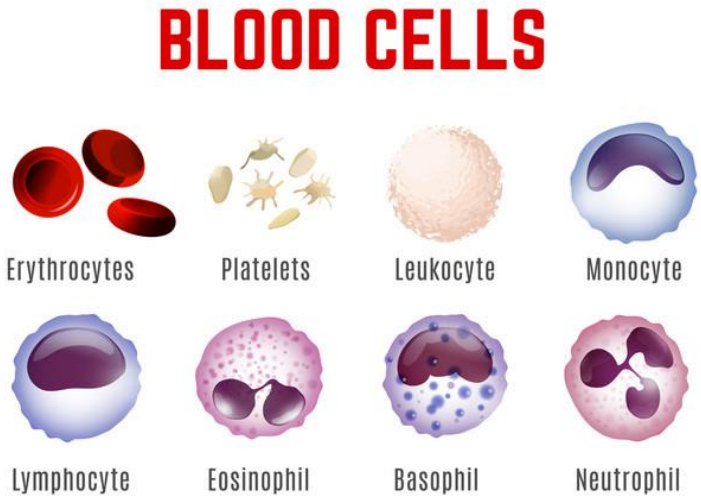
2. เม็ดเลือดขาว (White blood cell)

เม็ดเลือดขาวเป็นส่วนหนึ่งของระบบภูมิคุ้มกัน เจริญมาจาก pluripotent cell มีหน้าที่กำจัดเชื้อก่อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย ดังนั้นจึงมีการประมาณจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาว เพื่อติดตามความเป็นไปของโรค เม็ดเลือดขาวสามารถพบได้ทั่วทั้งร่างกาย โดยมี 1% ในเลือดของคนปกติ จำแนกได้ 5 ชนิด ตามลักษณะนิวเคลียส ดังนี้

- Neutrophils พบมาก 50 – 70 % เป็นเม็ดเลือดขาวที่มีนิวเคลียสหลายกระเปาะ มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียหรืออื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดการอักเสบภายในร่างกาย เม็ดเลือดขาวชนิดนี้เปรียบเสมือนด่านแรกของการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของร่างกาย
- Lymphocytes พบ 40 – 60 % เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีขนาดเล็ก มีนิวเคลียสเกือบเต็มเซลล์ มี 3 ชนิด ได้แก่ B cells มีหน้าที่ สร้างแอนติบอดี้เกาะติดกับเซลล์เป้าหมายอย่างจำเพาะ T cells มีหน้าที่ ทำลายเซลล์ที่ติดไวรัสและเซลล์มะเร็ง และ Natural killer cells มีหน้าที่ ส่งสัญญาณให้ทำลายเซลล์ติดเชื้อหรือเซลล์มะเร็ง
- Eosinophils พบ 2 – 5 % เป็นเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มี granule ย้อมติดสีแดง มีหน้าที่หลั่งเอนไซม์หรือสร้างสาร histamine เพื่อทำลายพยาธิหรือปรสิต
- Basophils พบน้อยกว่า 1 % ถือว่าน้อยมากในเลือด มีบทบาทเกี่ยวกับการหลั่ง histamine ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้รุนแรง
- Monocytes พบ 3 – 6 % เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวขนาดใหญ่ มี 1 นิวเคลียส มีหน้าที่ กำจัดเชื้อโรค โดยวิธี phagocytosis

3. เกล็ดเลือด (Platelet)

เกล็ดเลือด มีต้นกำเนิดจากไขกระดูกเช่นเดียวกับเม็ดเลือดชนิดอื่น ๆ เกล็ดเลือดจะมีลักษณะเป็นแผ่นกลมหรือรี มีขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของเม็ดเลือดแดง มีอายุขัยประมาณ 9 – 11 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายโดยม้ายและตับ เกล็ดเลือดมีหน้าที่ ทำให้เลือดแข็งตัวเมื่อเกิดบาดแผล กำจัดสิ่งแปลกปลอม และเก็บสารชีวเคมี เช่น ฮอร์โมนและเอนไซม์บางชนิด



รูปที่ 4 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือด

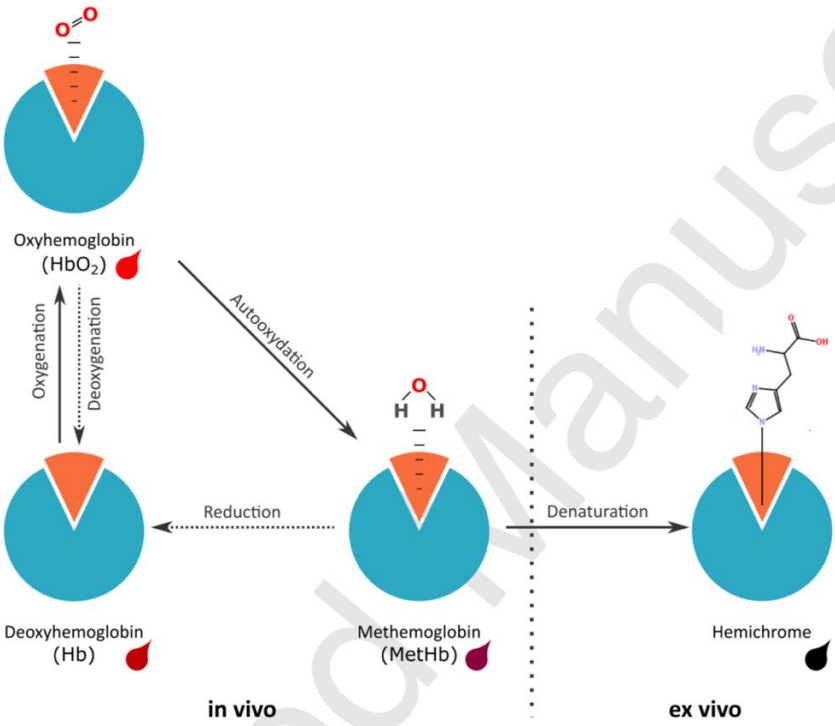
ที่มา (กัลปพฤกษ์, 2019)

2. Hemoglobin reaction kinetics

Hemoglobin reaction kinetics คือ กลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด เกิดขึ้นเนื่องจาก Hemoglobin ที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการขนส่งออกซิเจนไปยังปอดและอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางโปรตีน โดยฮีโมโกลบินสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ 2 รูปแบบ หรือเรียกว่า อนุพันธ์ของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin derivatives) ได้แก่

1. แบบที่จับกับออกซิเจนไม่ได้ หรือ Deoxyhemoglobin
2. แบบที่จับกับออกซิเจนได้ หรือ Oxyhemoglobin

โดยทั่วไปแล้วจะมีเพียง ฮีโมโกลบินแบบที่จับกับออกซิเจนได้ หรือ Oxyhemoglobin เท่านั้นที่จะเกิด Auto - oxidized ไปอยู่ในรูป Methemoglobin ซึ่งสามารถถูกรีดิวซ์กลับมาอยู่ในรูปเดิมได้ โดยใช้เอนไซม์ Reductase protein cytochrome b5 ส่วน Hemoglobin ที่ถูกขับมาอยู่นอกร่างกายแล้ว เมื่อมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะจะเกิด Auto - oxidized ไปอยู่ในรูป Methemoglobin ก่อนแล้วเกิดการสลายตัวเป็น Hemichrome ทำให้เลือดเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น (Shikama, 1998) ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีจะขึ้นกับปัจจัยสภาพแวดล้อมด้วย เช่น ความชื้นอุณหภูมิ พื้นผิว แสง



รูปที่ 5 กลไกการเปลี่ยนแปลงของเลือด (Hemoglobin reaction kinetics)

ที่มา Bergmann, 2017

3. มาตรฐานของสี

สีมีหลายระบบขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ประโยชน์ แต่แนวคิดของมาตรฐานสีโดยทั่วไปจะคล้ายกัน คือ แทนสีด้วยจุดสีในพื้นที่ 3 มิติ โดยมีการกำหนดแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีแต่ละจุด และในแต่ละจุดต้องมีความอิสระต่อกัน ตัวอย่างระบบสีที่มีการนำมาใช้ประโยชน์บ่อย เช่น ระบบสี RGB จะประกอบด้วยสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ระบบสี CMYK จะประกอบด้วยสีฟ้า สีบานเย็น สีเหลืองและสีดำ เป็นต้น (แจ่มสว่าง, 2561)

ตัวอย่างระบบสีที่นิยมนำมาใช้ อาทิ ระบบสี RGB, ระบบสี CMYK และระบบสี HLS (Hue Lightness Saturation) เป็นต้น

ระบบสีอาร์จีบี (RGB Color Model)

ระบบสีอาร์จีบี (RGB Color Model) เป็นระบบสีแบบ Additive ชื่อของระบบนี้ได้มาจากการผสมสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่ต่างกัน โดยเรียกสามสีนี้ว่าแม่สี ทำให้เกิดสีที่ต่างกัน แต่หากไม่มีสีจะทำให้มองเห็นเป็นสีดำ

และหากมีสีคราบทุกสีจะทำให้มองเห็นเป็นสีขาว จุดประสงค์ของระบบสีนี้คือ เพื่อการนำเสนองานในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน และการถ่ายภาพ เป็นต้น โดยระบบสีอาร์จีบีเป็นระบบสีที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ถ่ายภาพและแสดงผล อุปกรณ์ต่างกันมีความสามารถในการตรวจจับสีที่ต่างกันไปด้วย (ชนะชัย, 2561)

รูปที่ 6 แสดงระบบสี RGB

ที่มา (Ink On Paper Co., 2024)

ระบบสี CMYK (Cyan Magenta Yellow Key)

ระบบสี CMYK เป็นระบบสีแบบ Subtractive ประกอบด้วยสีฟ้า (cyan) สีบานเย็น (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) เรียกว่า Subtractive primaries color เมื่อเกิดการผสมของสีจะทำให้ได้สีใหม่หลากหลายสี ระบบสี CMYK นี้นิยมนำมาใช้ในงานพิมพ์สีต่าง ๆ เช่น Brochure, แผ่นพับ เป็นต้น

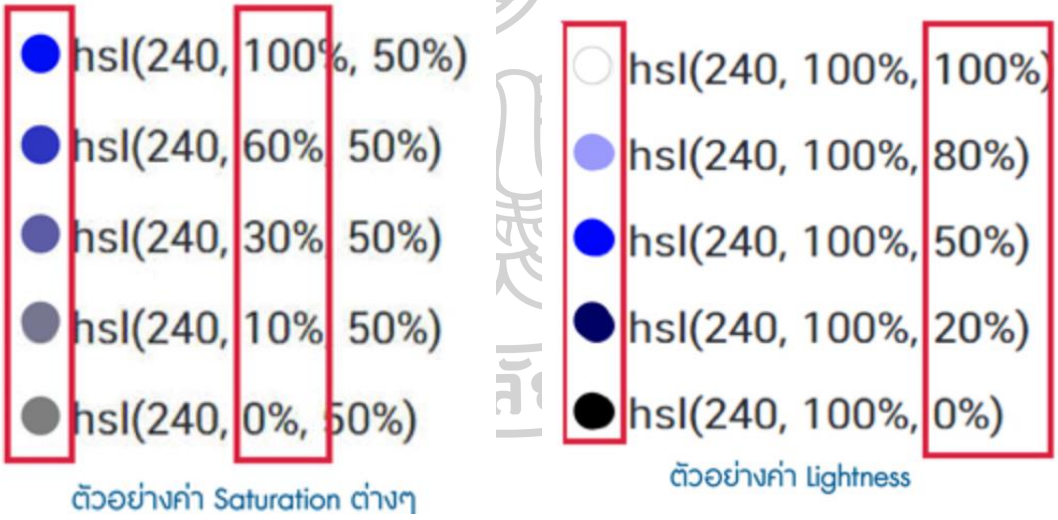
รูปที่ 7 ระบบสี CMYK

ที่มา (Ink On Paper Co., 2024)

ระบบสี HLS (Hue Lightness Saturation)

ย่อมาจาก Hue Lightness Saturation นิยมใช้ในการประมวลผลภาพที่ต้องการความหลากหลายทางแสง รวมถึงระบบนี้ สามารถนำไปศึกษาค่าความอิ่มตัวของสีต่าง ๆ ได้ และใช้ประโยชน์ในการแต่งภาพได้อย่างหลากหลาย

- Hue คือ ค่าเนื้อสีที่ยังไม่ถูกสีอื่นเข้าไปผสม ถือเป็นสีแท้ เช่น แดง เหลือง น้ำเงิน
- Saturation คือ ความเข้มและความจางของสี เป็นการเพิ่ม-ลด ปริมาณความเข้มของเนื้อสีเช่น ค่า Saturation 0% แปลว่า ไม่ได้ใส่สีเพิ่มลงไป
- Lightness คือ ความสว่างของสี การเพิ่ม Lightness คือการเอาสีขาวหรือสีดำผสมลงไปที่ Hue โดยค่าที่มากกว่า 50% ขึ้นไปจะ ทำให้ความขาวของสีมากขึ้น และค่าที่ต่ำกว่า 50% จะทำให้ความดำของสีมากขึ้น



รูปที่ 8 ตัวอย่างค่าความเข้มและความจางของสีและค่าความสว่างของสีในระบบสี HLS

ที่มา (Sang Chai Meter Co., 2024)

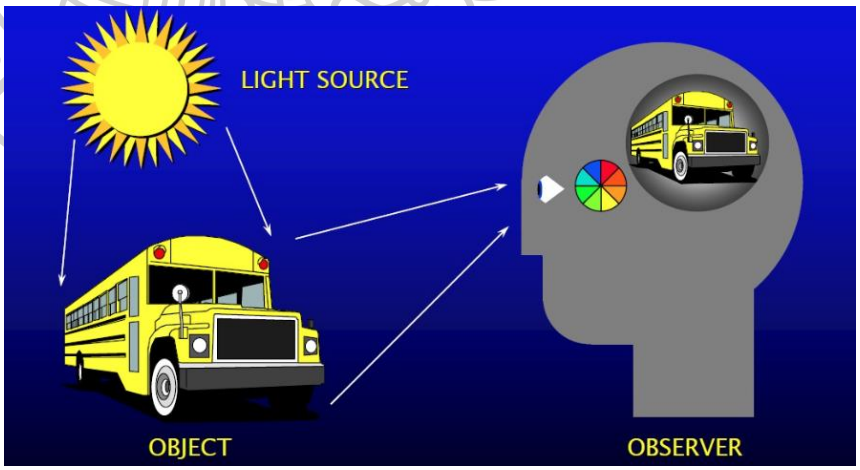
4. การมองเห็นสีของมนุษย์

มนุษย์มองเห็นสีเมื่อเกิดการสะท้อนของแสงจากวัตถุมายังตาเราและส่งต่อไปยังสมองเพื่อประมวลผลออกมาให้เป็นสีที่ตาเรามองเห็น ปัจจัยที่ทำให้มองเห็นได้ มี 3 อย่าง คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง โดยจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
    - แหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ โดยเมื่อทดลองส่องผ่านปริซึมจะเห็นว่ามีแสงถึง 7 สี คือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม สีแดง ซึ่งแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตาเรามองเห็น เมื่อแสงทุกสีรวมกัน ตาเราจะมองเห็นเป็นสีขาว เรียกว่า แสงขาว
    - แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น หลอดไฟชนิดต่าง ๆ
2. สีของวัตถุ

    เมื่อแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบกับวัตถุ หากวัตถุมีผิวเงาจะเกิดการสะท้อนของแสง เรียกว่า Specula Reflect หากผิววัตถุไม่มีความเงาเมื่อแสงมีการตกกระทบกับวัตถุจะทำให้เกิดการกระเจิงของแสง ทำให้อนุของแสงบางช่วงจะถูกดูดกลืนเก็บไว้และบางช่วงจะถูกสะท้อนออกมา ทำให้เราสามารถมองเห็นสีต่าง ๆ เรียกว่า Diffuse Reflection
3. ผู้สังเกตุการณ์มองเห็น

    เมื่อแสงกระทบเข้าสู่ตาเราที่ตำแหน่งเรตินาจะเกิดการแยกแสงด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ ส่วนที่แยกความมืดและความสว่างเรียกว่า Rod cell และส่วนที่แยกสี เรียกว่า Cones cell แบ่งเป็นส่วนที่มีความไวต่อแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน



รูปที่ 9 การมองเห็นของมนุษย์

ที่มา (เทพshop, 2024)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Thanakiatkrai et al., 2013) ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณอายุของคราบเลือดที่หยดบนพื้นผิวชนิดต่างกัน จากนั้นถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟนและนำไปอ่านค่าสี CMYK พบว่า เมื่อทิ้งระยะเวลาของคราบเลือดมากขึ้น ค่าสี CMYK มีความแปรปรวนสูงขึ้น และค่าสี Magenta (M) มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาของคราบเลือดมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)ถึง 0.966 และเมื่อนำไปหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุจริงของคราบเลือดกับอายุที่ทำนายได้ พบว่าอายุของเลือดที่ทำนายได้มีความถูกต้องและแม่นยำ ที่ระยะเวลา 5 วันและเมื่ออายุของคราบเลือดเพิ่มขึ้นความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายอายุของคราบเลือดจะลดลง นอกจากนั้นผลการทดลองยังให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการอ่านค่าสี RGB อีกด้วย

(เลาหบุตร., 2560) ศึกษาเกี่ยวกับการทำนายอายุของคราบเลือด โดยใช้ผ้าฝ้ายสีขาว ด้วยการใช้วิธีวิเคราะห์ภาพ และอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อนำมาใช้คำนวณอายุของคราบเลือด พบว่า ค่าสีของคราบเลือดมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุของคราบเลือดเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าสีที่ได้มาทำนายอายุของคราบเลือด พบว่าค่าอายุที่ได้จากการทำนายมีความใกล้เคียงกับอายุของคราบเลือดที่หยดลงไปบนผ้าฝ้ายสีขาวจริงเป็นเวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงแรก ถึงเวลา 48 ชั่วโมง แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นความถูกต้องและแม่นยำของการทำนายอายุคราบเลือดจะลดลง

(ปาวะภินันท์, 2564) ศึกษาการประเมินอายุของคราบเลือดจากการวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer และด้วยเทคนิค ATR – FTIR โดยใช้ผ้าฝ้ายสีขาวและเก็บข้อมูลที่ระยะเวลาต่างกัน จากนั้นนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคำนวณอายุของคราบเลือด พบว่าเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์สามารถหาอายุโดยประมาณได้ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)ที่ 0.9565 และเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของคราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวด้วยเทคนิค ATR – FTIR พบว่าสเปกตรัมองค์ประกอบของคราบเลือดเด่นชัดและลดลงเมื่อเวลาผ่านไปครบ 720 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของคราบเลือดทำให้ค่าสี RGB คลาดเคลื่อนไปด้วย เช่น อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม การถ่ายภาพ รวมไปถึงประเภทของพื้นผิวที่นำมาใช้ทำการทดลอง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนของเลือด ทำให้สีของคราบเลือดจากสีแดงเปลี่ยนเป็นสีที่เข้มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปอีกด้วย และสอดคล้องกับงานของ (Andrasko, 1997) ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบอายุของคราบเลือดบนผ้ากับกระดาษ พบว่า ได้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากทั้งผ้าและกระดาษล้วนมีลักษณะพื้นผิวที่มีรูพรุน สามารถดูดซับของเหลวได้ดี

(Edelman et al., 2012) ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดด้วยเทคนิค Hyperspectral imaging พบว่า ฮีโมโกลบินชนิดที่จับกับออกซิเจนได้ หรือ Oxyhemoglobin จะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นและสามารถนำไปทำนายอายุของคราบเลือดได้ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายอายุของคราบเลือดจะลดลงเรื่อย ๆ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ (Bremmer et al., 2011) ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือด โดยการหาอนุพันธ์ของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin derivatives) ด้วยเทคนิค Reflectance spectroscopy บนผ้าฝ้ายสีขาว พบว่า ฮีโมโกลบินชนิดที่จับกับออกซิเจนได้ หรือ Oxyhemoglobin จะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แต่ Methemoglobin และ hemichrome จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุจริงของคราบเลือดและอายุที่ทำนายได้ พบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะเวลาของคราบเลือดเพิ่มขึ้นความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายอายุของคราบเลือดจะลดลง

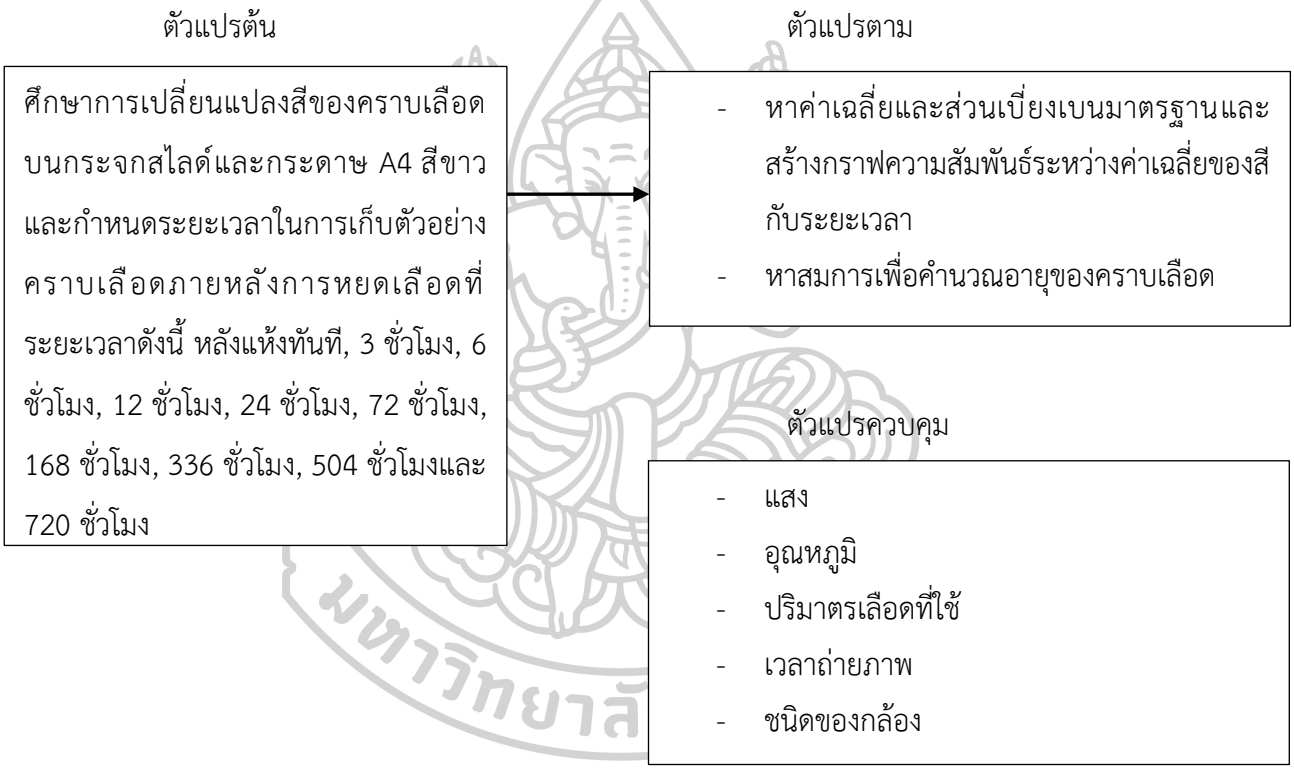
(Shin et al., 2017) ศึกษาการวิเคราะห์สีของคราบเลือด เพื่อใช้ประมาณอายุของคราบเลือด ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่เรียกว่า Smart forensic phone อ่านค่าสี RGB ที่ได้ โดยใช้พื้นผิวที่แตกต่างกัน ได้แก่ กระดาษวอลเปเปอร์ ผ้า แก้ว ไม้และกระดาษ A4 อ่านค่าสี RGB ทุก 6 ชั่วโมง พบว่าค่าสี RGB ลดลงอย่างรวดเร็วใน 42 ชั่วโมงแรกและหลังจากนั้นแทบไม่เห็นความเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำไปหาสมการแสดงความสัมพันธ์ พบว่าสามารถประมาณอายุของคราบเลือดได้อย่างคร่าว ๆ ที่ 42 ชั่วโมงแรกเท่านั้น

(เวชอินทร์, 2567) ศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ด้วยแอปพลิเคชัน RGB color detector โดยใช้เลือดหยดลงบนผ้าฝ้ายที่มีสีต่างกัน ดังนี้ สีขาว สีน้ำตาล สีชมพูและสีฟ้า เป็นระยะเวลา 720 ชั่วโมง พบว่า ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงถึง 24 ชั่วโมงแรก คราบเลือดบนผ้าฝ้ายสีขาวและสีชมพูมีการเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม ส่วนสีอื่น ๆ ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อนำไปหาสมการความสัมพันธ์ของอายุจริงของคราบเลือดและอายุที่ทำนายได้ พบว่า สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้แม่นยำที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมงแรกเท่านั้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อม อาทิ อุณหภูมิ ซึ่งสามารถส่งผลต่อการออกซิเดชันของฮีโมโกลบิน ทำให้สีของเลือดเปลี่ยนแปลงไปได้ นอกจากนั้นพบว่า ผ้าฝ้ายที่ใช้ทดลองสามารถดูดซับของเหลวได้ดี เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีรูพรุน

(Bergmann et al., 2017) ศึกษาการประเมินอายุของคราบเลือด ด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสง Spectroscopy โดยใช้ตัวอย่างเลือดของหมูที่มีอายุต่างกัน 72 ตัว และใช้ช่วงความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงที่ 400 – 640 นาโนเมตร บนพื้นผิวที่ต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์และแก้ว พบว่าเมื่อนำไปทำนายอายุของคราบเลือดได้ผลที่ดี

(Li et al., 2013) ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดที่มีอายุไม่เกิน 30 วัน ด้วยเทคนิค visible wavelength hyperspectral image พบว่า สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้อย่างแม่นยำที่สุด ในระยะเวลา 7 วันแรก ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ±0.27 หลังจากนั้นผลลัพธ์ไม่มีความน่าเชื่อถือเท่าที่ควร ทั้งนี้เป็นเพราะการเกิดออกซิเดชันของฮีโมโกลบินในเลือดที่ขึ้นกับระยะเวลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเลือด หากระยะเวลาเพิ่มขึ้นความถูกต้องในการทำนายอายุของคราบเลือดจะลดลง

6. กรอบแนวคิดงานวิจัย



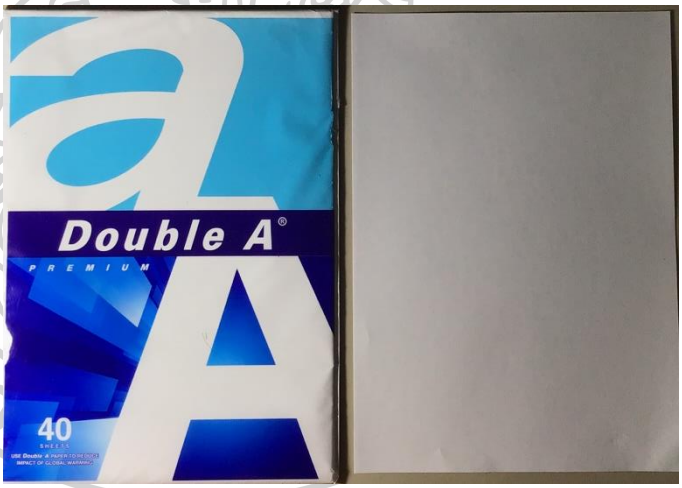
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอายุของเลือดบนกระจกสไลด์ ขนาด 1” x 3” และกระดาษ A4 สีขาวที่เก็บไว้ในระยะเวลาที่ต่างกัน ดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมง และ 720 ชั่วโมง โดยวิธีวิเคราะห์ภาพดิจิทัล จากการอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของสีกับระยะเวลา เพื่อนำไปหาสมการเพื่อคำนวณอายุของคราบเลือดบนพื้นผิวที่ศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนวิจัย ดังนี้

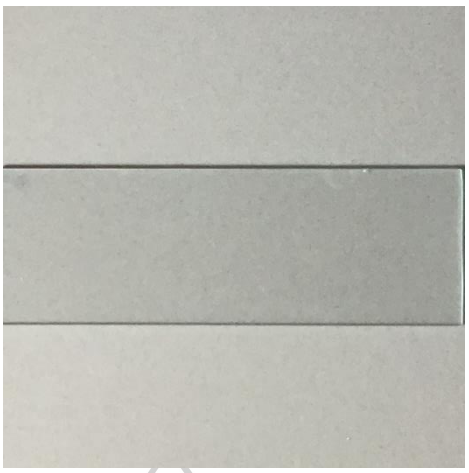
1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- กระดาษ A4 สีขาว ยี่ห้อ Double A



รูปที่ 10 กระดาษ A4 สีขาว ยี่ห้อ Double A

- กระดาษสำหรับเช็ดกระจกสไลด์
- Micropipette 20 µl
- Pipette tip ขนาด 20 µl
- กระจกสไลด์ ขนาด 1” x 3”



รูปที่ 11 กระจกสไลด์ ขนาด 1” x 3”

- สมาร์ทโฟน (IPhone รุ่น 15 pro)

รูปที่ 12 สมาร์ทโฟน IPhone รุ่น 15 pro

- โปรแกรม Color Assist

รูปที่ 13 โปรแกรม Color Assist

2. ตัวอย่างเลือดที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัคร 1 คน ลักษณะเป็นของเหลว สีแดง ไวต่อแสง เก็บไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ใช้เลือดปริมาณ 20 µl ต่อการหยด 1 หยด

3. วิธีทำการทดลอง

1. แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มค่ามาตรฐานและกลุ่ม unknown โดยจะทำควบคู่กัน ทำซ้ำกลุ่มละ 6 ครั้ง
2. เตรียมกระดาษ A4 สีขาว และกระจกสไลด์ ขนาด 1” x 3” ที่ทำความสะอาดด้วยกระจกเช็ดกระจกสไลด์แล้ว วางลงบนพื้นราบ ในส่วนกระดาษ A4 สีขาวใช้คลิปหนีบกระดาษยึดไว้
3. เขียน Label ตัวอย่างเลือด เพื่อป้องกันการสับสนของข้อมูล
4. จากนั้นใช้ Micropipette หยดตัวอย่างเลือดของอาสาสมัคร ปริมาณ 20 µl หยดลงบนพื้นผิวกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาวที่เตรียมไว้ทั้งหมด ทำซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง ระวังไม่ให้มีฟองแก๊สเกิดขึ้น หรือหากมีฟองแก๊สในปริมาณมากควรเปลี่ยน Pipette tip ทันที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอแห้ง หลีกเลี่ยงการรับแสงแดดโดยตรง หลังหยดเลือดทันทีลักษณะของหยดเลือดเป็นดังภาพ

รูปที่ 14 ลักษณะหยดเลือดเมื่อหยดลงบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาวทันทีที่หยด

4. การถ่ายภาพ

เมื่อคราบเลือดที่หยกบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาวแห้ง ถ่ายรูปด้วยสมาร์ทโฟน รุ่น IPhone 15 pro กำลังขยายภาพ 1X และใช้โปรแกรม Color Assist อ่านค่าสี RGB เพื่อวิเคราะห์ค่าสีที่ช่วงระยะเวลา ดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง,6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมงและ 720 ชั่วโมง

รูปที่ 15 ตัวอย่างค่าสีที่อ่านได้จาก โปรแกรม Color Assist

จากภาพที่ 12 รูปแบบการอ่านค่าสี RGB จากโปรแกรม Color Assist จะเห็นว่าค่าสี RGB มีปรากฏ 3 ค่า หมายถึงค่าสีแดง (R) ค่าสีเขียว (G) และค่าสีน้ำเงิน (B) ตามลำดับ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าสี RGB ทุกค่าสีที่อ่านได้มาสร้างตารางค่าสีกับระยะเวลาของคราบเลือด จากนั้นนำค่าสีที่ได้หาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสีกับระยะเวลาที่กำหนดมาเปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกสมการที่ดีที่สุดและมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) เข้าใกล้ 1 ซึ่งถือเป็นค่าที่ดี เพื่อนำไปหาสมการเพื่อทำนายอายุของคราบเลือดต่อไป

6. การทำนายอายุของคราบเลือด

หยดตัวอย่างเลือดปริมาณ 20 µl ลงบนพื้นผิวกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาวที่เตรียมไว้ทั้งกลุ่มมาตรฐานและกลุ่ม unknown ทำซ้ำกลุ่มละ 6 ครั้ง จากนั้นถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟนที่ระยะเวลาที่กำหนด ดังข้อ 4 จากนั้นอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist และสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของค่าสีกับระยะเวลา เพื่อหาสมการในการทำนายอายุของคราบเลือด จากนั้นทำนายอายุของคราบเลือดโดยใช้สมการที่หาได้ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือด หาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างอายุจริงของคราบเลือดกับอายุของคราบเลือดที่ทำนายได้ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

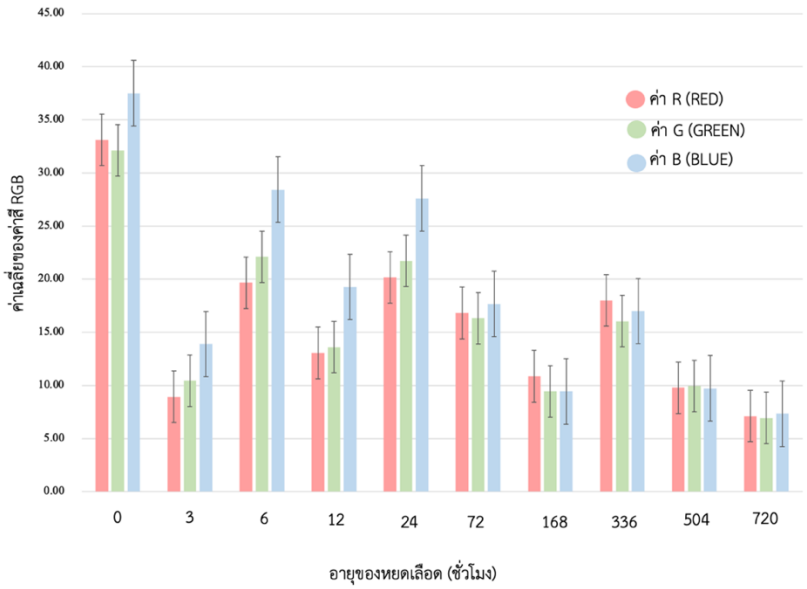
บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือด โดยการอ่านค่าสี RGB โดยหยดเลือด 20 µl ลงบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว และกำหนดระยะเวลาของการศึกษา ดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมงและ 720 ชั่วโมงภายหลังการหยดเลือด ทำซ้ำ 6 ครั้ง ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์อายุของเลือดบนกระจกสไลด์

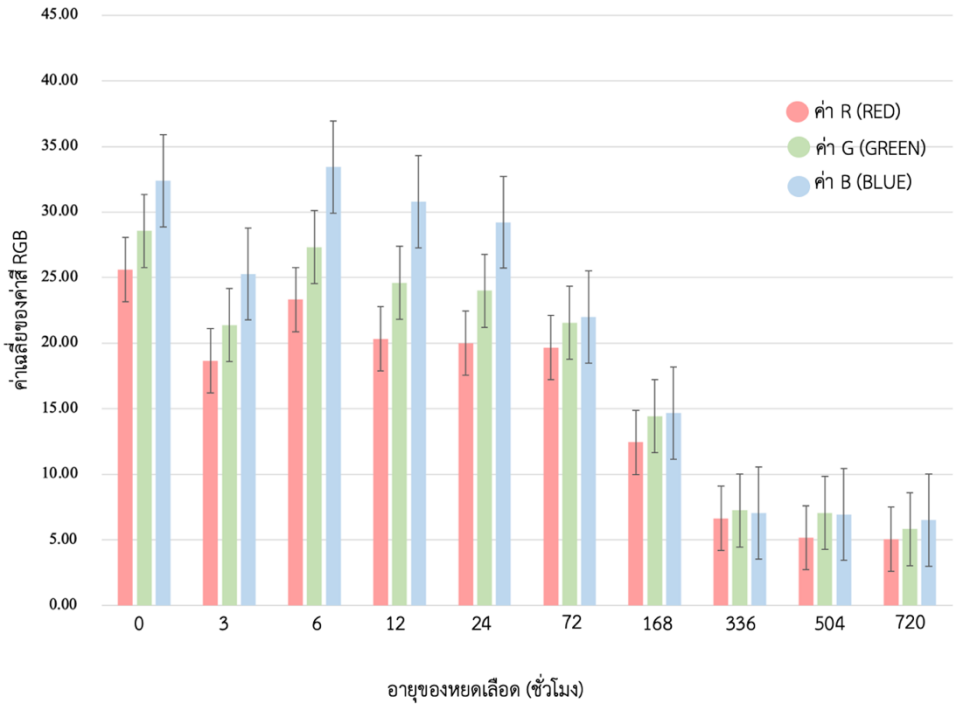
ผลการศึกษาเปรียบเทียบอายุของเลือดบนกระจกสไลด์ โดยหาค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB ของเลือดที่อ่านได้จากโปรแกรม Color Assist หลังเลือดแข็งตัว จากแผนภูมิแท่งพบว่าค่าเฉลี่ยของเลือดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 (หลังแห้งทันที) มีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดและลดลงเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง และที่ระยะเวลา 336 ชั่วโมงเป็นต้นไปค่าเฉลี่ยของเลือดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



รูปที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของสี RGB กับอายุของเลือดที่ทดสอบบนกระจกสไลด์

2. การวิเคราะห์อายุของเลือดบนกระดาษ A4 สีขาว

ผลการศึกษาเปรียบเทียบอายุของเลือดที่แห้งบนกระดาษ A4 สีขาว โดยหาค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB ของเลือด ที่อ่านได้จากโปรแกรม Color Assist จากแผนภูมิแท่งพบว่าค่าเฉลี่ยของเลือดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 (หลังแห้งทันที) มีค่าเฉลี่ยลดลง และที่ระยะเวลา 336 ชั่วโมงเป็นต้นไปค่าเฉลี่ยค่าสี RGB ของกระดาษ A4 สีขาวค่อนข้างคงท



รูปที่ 17 แผนภูมิแท่งการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของสี RGB กับอายุของเลือดที่ทดสอบบนกระดาษ A4 สีขาว

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง

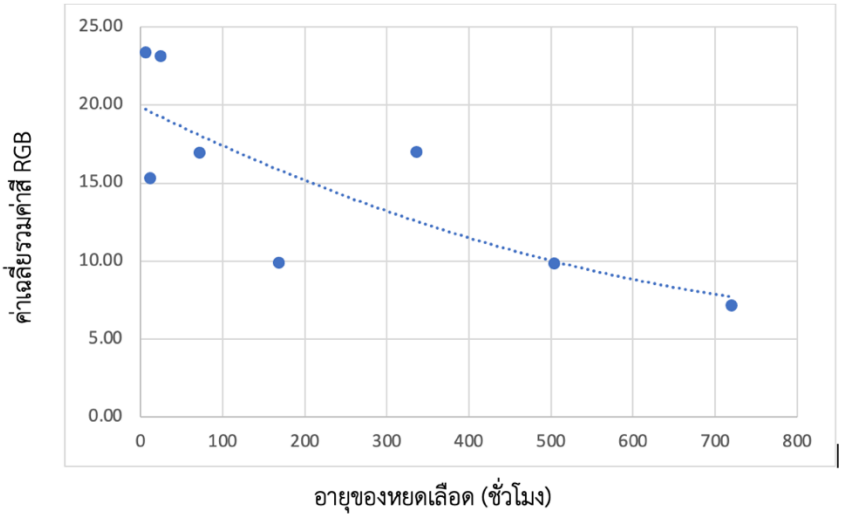
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลา เป็นเวลา 720 ชั่วโมง โดยทำซ้ำ 6 ครั้ง ได้ตารางค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว ทำซ้ำ 6 ครั้ง

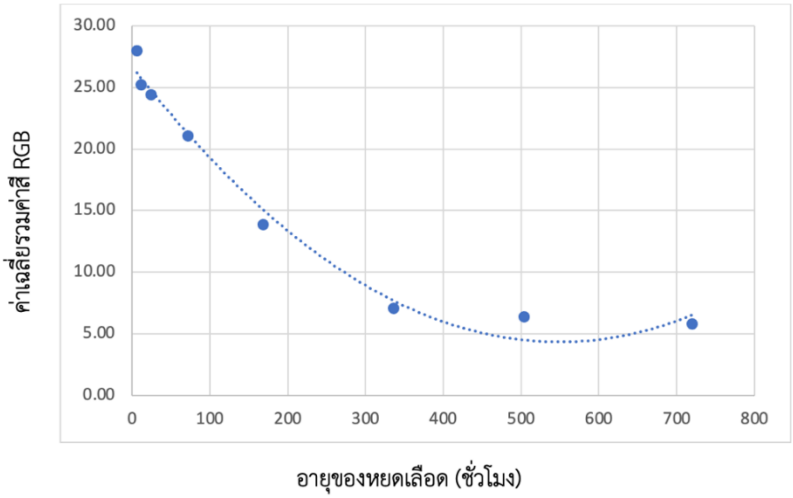
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กระจกสไลด์		กระดาษ A4 สีขาว	
	RGB	S.D.	RGB	S.D.
0	34.24	25.61	28.85	13.31
3	11.09	5.79	21.78	10.63
6	23.41	8.13	28.04	13.21
12	15.31	4.55	25.24	10.18
24	23.17	6.98	24.41	8.93
72	16.94	6.89	21.07	7.00
168	9.89	5.15	13.85	7.32
336	17.02	5.27	7.09	4.91
504	9.81	5.20	6.39	4.18
720	7.13	1.95	5.80	3.50

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB จะลงลงอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ระยะเวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป ดังนั้นจึงแบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงระยะเวลาสั้น (1-3 ชั่วโมง) และช่วงระยะเวลายาว (6-720 ชั่วโมง) แต่เนื่องจากที่ช่วงระยะเวลาสั้นไม่สามารถนำมาสร้างกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดได้ ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเฉพาะที่ช่วงระยะเวลายาว (6-720 ชั่วโมง)



รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยรวมค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดของกระจกสไลด์ ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง



รูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยรวมค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดของกระดาษ A4 สีขาว ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง จะสามารถหาค่าความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ได้ดังตารางที่ 2 ดังนี

ตารางที่ 2 สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง ทำซ้ำ 6 ครั้ง

พื้นผิวที่ศึกษา	สมการ	ค่า R^2
กระจกสไลด์	$y = 2.8116x^2 - 121.17x + 1336.1$	0.6815
กระดาษ A4 สีขาว	$y = 1.6612x^2 - 79.894x + 970.19$	0.8957

จากตารางที่ 2 พบว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) เข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)ของกระจกสไลด์ 0.6815 และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)ของกระดาษ A4 สีขาว 0.8957

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้ำเงินที่ระยะต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง

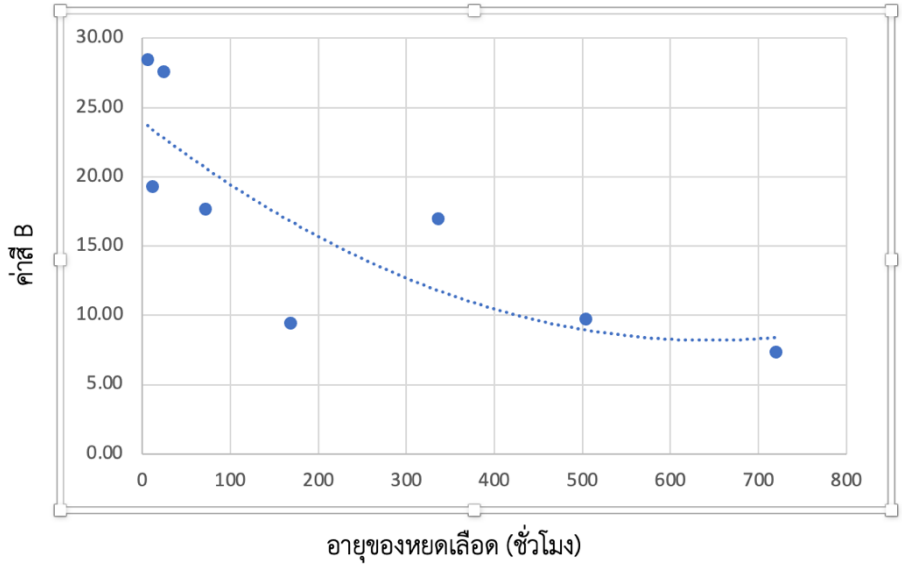
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้ำเงินที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 720 ชั่วโมง ทำซ้ำ 6 ครั้ง จากนั้นได้นำค่าสีน้ำเงินมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือด เนื่องจากพบว่าค่าสีน้ำเงินลดลงอย่างชัดเจนในช่วงระยะเวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไปภายหลังการหยดเลือด ดังตารางที่ 3 ดังนั้นจึงเลือกศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้ำเงินต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยสีน้ำเงินและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว ทำซ้ำ 6 ครั้ง

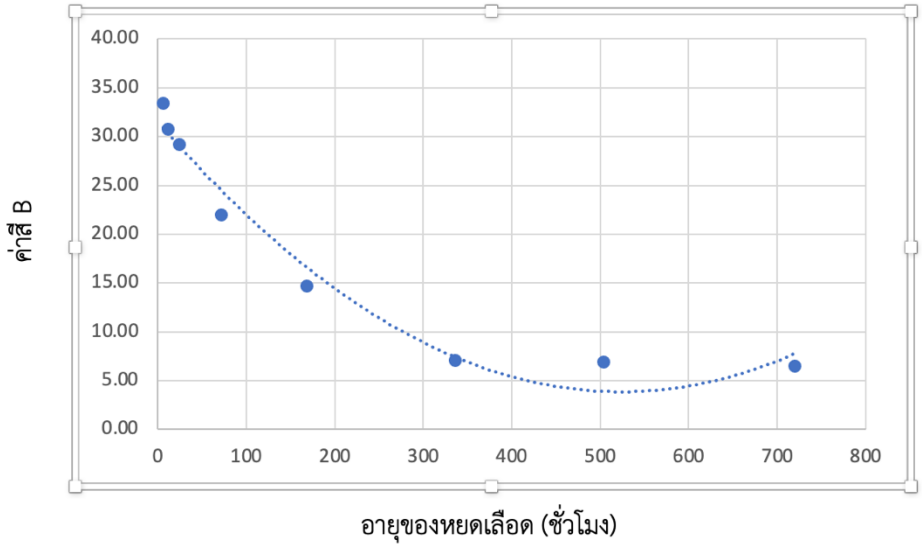
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กระจกสไลด์		กระดาษ A4 สีขาว	
	B	S.D.	B	S.D.
0	37.50	25.43	32.39	13.95
3	13.89	6.23	25.28	11.97
6	28.44	9.11	33.44	12.74
12	19.28	4.02	30.78	9.58
24	27.61	7.87	29.22	8.16
72	17.67	6.90	22.00	7.44
168	9.44	5.23	14.67	7.57
336	17.00	5.17	7.05	4.64
504	9.72	5.09	6.94	4.10
720	7.33	1.91	6.50	3.80

จากนั้นแบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงระยะเวลาสั้น (1-3 ชั่วโมง) และช่วงระยะเวลายาว (6-720 ชั่วโมง) แต่เนื่องจากที่ช่วงระยะเวลาสั้นไม่สามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเฉพาะที่ช่วงระยะเวลายาว (6-720 ชั่วโมง)



รูปที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดของกระจกสไลด์ ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง



รูปที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดของกระดาษ A4 สีขาว ตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง

จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาของคราบเลือดตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมงจะสามารถหาค่าความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ได้ดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง ทำซ้ำ 6 ครั้ง

พื้นผิวที่ศึกษา	สมการ	ค่า R^2
กระจกสไลด์	$y = 1.6133x^2 - 83.907x + 1100.9$	0.691
กระดาษ A4 สีขาว	$y = 1.1631x^2 - 65.073x + 908.76$	0.8637

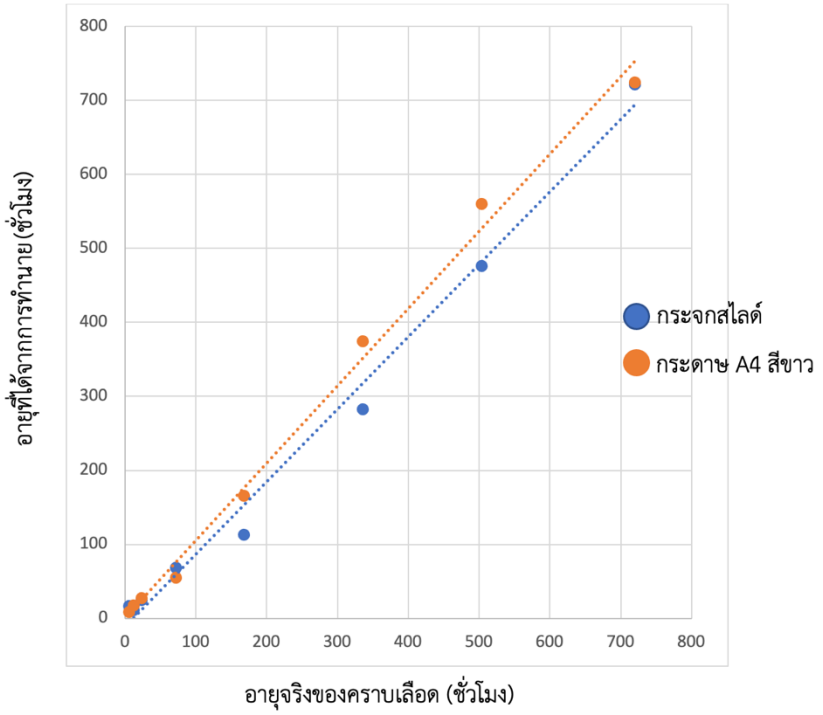
จากตารางที่ 4 พบว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) เข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดี เป็นตัวชี้วัดว่าหากนำสมการดังกล่าวมาใช้ในการประมาณอายุของคราบเลือดจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอายุจริงของคราบเลือดมากที่สุด

ดังนั้นนำสมการที่ได้มาใช้ประมาณอายุของคราบเลือดในกลุ่ม unknown ดังที่กล่าวมาแล้วตอนต้น โดยทำการทดลองเช่นเดียวกันกับกลุ่มมาตรฐาน จากนั้นนำค่าสี RGB ที่อ่านได้มาทำนายอายุของคราบเลือดโดยใช้สมการในตารางที่ 4 สร้างตารางเปรียบเทียบอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดจะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 อายุของคราบเลือดที่ทำนายได้จากสมการกำลังสองของค่าสีน้ำเงินเทียบกับอายุจริงของคราบเลือด

กระจกสไลด์		กระดาษ A4 สีขาว	
อายุจริงของคราบเลือด (ชั่วโมง)	อายุของคราบเลือดที่ทำนายได้ (ชั่วโมง)	อายุจริงของคราบเลือด (ชั่วโมง)	อายุของคราบเลือดที่ทำนายได้ (ชั่วโมง)
6	16.33	6	8.87
12	11.54	12	17.44
24	24.38	24	27.36
72	68.08	72	55.15
168	113.28	168	165.35
336	282.76	336	374.34
504	476.14	504	560.19
720	721.70	720	724.01

จากตารางที่ 5 พบว่าสมการที่ได้จากค่าสีกับระยะเวลาของคราบเลือดบนกระจกสไลด์สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง และจะคลาดเคลื่อนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น และสมการที่ได้จากค่าสีกับระยะเวลาของคราบเลือดบนกระดาษ A4 สีขาว สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงจนถึง 168 ชั่วโมง และจะคลาดเคลื่อนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดตั้งแต่เวลา 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมงจะสามารถหาค่าความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ได้ดังตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 สมการแสดงความสัมพันธ์ของอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมง ถึง 720 ชั่วโมง

พื้นผิวที่ศึกษา	สมการ	ค่า R^2
กระจกสไลด์	y = 0.9784x - 11.004	0.9907
กระดาษ A4 สีขาว	y = 1.0438x + 1.2485	0.9945

จากตารางที่ 6 พบว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ของอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) เข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดี เมื่อนำมาประมาณอายุของคราบเลือดจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอายุจริงของคราบเลือดมากที่สุด โดยค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square). ที่ศึกษาบนพื้นผิวกระจกสไลด์มีค่า 0.9907 และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ที่ศึกษาบนพื้นผิวกระดาษ A4 สีขาวมีค่า 0.9945 และเมื่อพิจารณาความชันจากสมการทำนายอายุของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว พบว่ามีค่าความชันเข้าใกล้ 1 โดยที่กระจกสไลด์มีค่าความชัน 0.9784 และกระดาษ A4 สีขาวมีค่าความชัน 1.0438 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าจุดตัดแกน (Intercept) พบว่ามีค่าไปในทิศทางเดียวกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว โดยการถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟนและใช้เทคนิคการอ่านค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Color Assist ที่ระยะเวลาต่างกัน ดังนี้ หลังแห้งทันที, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 168 ชั่วโมง, 336 ชั่วโมง, 504 ชั่วโมงและ 720 ชั่วโมง ซึ่งสามารถนำไปทำนายอายุของคราบเลือด เพื่อประมาณช่วงเวลาการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาเทคนิคการตรวจหาอายุของเลือดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคตได้

จากการศึกษาการเปรียบเทียบอายุของเลือดบนกระจกสไลด์และกระดาษ A4 สีขาว พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB จะลงลงอย่างเห็นได้ชัดที่ 24 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 336 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB บนกระดาษ A4 สีขาว มีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันรวมไปถึงปัจจัยภายนอกที่อาจผลต่อค่าสี RGB ที่อ่านได้ โดยกระจกสไลด์เป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุนทำให้สมบัติในการดูดซับของเหลวไม่ดีเท่ากระดาษ A4 สีขาว และเป็นวัสดุที่มีความแวววาวเมื่อถ่ายภาพอาจจะเกิดการสะท้อนของแสงได้มากกว่า ทำให้ค่าสี RGB มีความแปรปรวนมากกว่ากระดาษ A4 สีขาว สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ปาวะภินันท์, 2564) ที่พบว่าปัจจัยภายนอกมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของคราบเลือดทำให้ค่าสี RGB คลาดเคลื่อนไปด้วย เช่น อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม การถ่ายภาพ รวมไปถึงประเภทของพื้นผิวที่นำมาใช้ทำการทดลอง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนในเลือดเปลี่ยนแปลง ทำให้สีของคราบเลือดจากสีแดงเปลี่ยนเป็นสีที่เข้มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป

จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลา เป็นเวลารวม 720 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลาและค่าเฉลี่ยของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือค่าเฉลี่ยค่าสี RGB ลดลงอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป จึงแบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงระยะสั้น (0-3 ชั่วโมง) กับช่วงระยะเวลายาว (6-720 ชั่วโมง) แต่เนื่องจากที่ระยะเวลาสั้นไม่สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ ดังนันจึงเลือกศึกษาที่ระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง

จากนั้นเมื่อนำค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลา และค่าเฉลี่ยของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลามาสร้างกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square)

พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ที่ใกล้เคียงกัน โดยบนพื้นผิวกระจกสไลด์ ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลา มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) 0.6815 และค่าเฉลี่ยของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลา มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) 0.691 และบนพื้นผิวกระดาษ A4 สีขาว ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสี RGB กับระยะเวลา มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) 0.8957 และค่าเฉลี่ยของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลา มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) 0.8637 ดังนั้นจึงเลือกศึกษาค่าสีน้ำเงินต่อไป แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) จากสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีน้ำเงินกับระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงถึง 720 ชั่วโมง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ของกระจกสไลด์มีค่าเพียง 0.691 จึงให้ผลไม่ดีเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ของกระดาษ A4 สีขาว ที่มีค่า 0.8637

จากนั้นนำสมการที่ได้มาใช้ประมาณอายุของคราบเลือดในกลุ่ม unknown โดยทำการทดลองเช่นเดียวกันกับกลุ่มค่ามาตรฐาน ได้กราฟสมการความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ในรูปแบบที่แกน Y เป็นค่าสี และแกน X เป็นอายุของคราบเลือดที่ทำนายได้ แต่เนื่องด้วยสมการที่ได้เป็นสมการกำลังสอง จึงยากต่อการคำนวณ ดังนั้นจึงสร้างสมการใหม่ โดยเปลี่ยนแกนของกราฟเพื่อหานำมาสมการเพื่อคำนวณ โดยกำหนดให้แกน Y เป็นอายุของคราบเลือดที่ทำนายได้และแกน X เป็นค่าสี จึงได้เป็นสมการที่จะนำมาเพื่อทำนายอายุของคราบเลือดต่อไป และหลังจากนำค่าสีที่ได้มาทำนายอายุของคราบเลือด พบว่า ที่กระจกสไลด์สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง และที่กระดาษ A4 สีขาว สามารถทำนายอายุของคราบเลือดได้ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงจนถึง 168 ชั่วโมง และค่าการทำนายจะมีความถูกต้องและแม่นยำลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Choi et al., 2019) ศึกษาการประมาณอายุของคราบเลือดด้วยสมาร์ทโฟน และนำไปอ่านค่าสี RGB ทดลองบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ แก้ว ไม้ กระดาษ และผ้า เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยวัดค่าสีทุก ๆ 6 ชั่วโมง พบว่า สามารถใช้ประมาณอายุของคราบเลือดให้ผลที่ใกล้เคียงกับอายุจริงของคราบเลือดที่ระยะเวลา 9 ชั่วโมง 18 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นความแม่นยำในการประมาณอายุของคราบเลือดจะลดลง

จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุที่ทำนายได้กับอายุจริงของคราบเลือด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ของกระจกสไลด์ มีค่า 0.9907 และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ของกระดาษ A4 สีขาว มีค่า 0.9945 ดังนั้นกระดาษ A4 สีขาว จึงให้ผลในการทำนายอายุของคราบเลือดที่ดีกว่า

ผู้วิจัยเลือกศึกษาเรื่องนี้ เนื่องจากเลือดเป็นหลักฐานที่มักพบเป็นประจำบริเวณสถานที่เกิดเหตุ เสื้อผ้าที่สวมใส่ หรืออาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุ นอกจากเลือดจะสามารถระบุผู้ต้องสงสัยได้แล้ว ยัง

สามารถใช้ประโยชน์จากเลือดได้อีกมากมายหนึ่งในนั้นคือการทำนายระยะเวลาการเกิดเหตุจากการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะนำไปสู่การไขคดีได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัครโดยใช้เลือดของอาสาสมัครหลายคน เนื่องจากเลือดของแต่ละคนมีความแตกต่างกัน อาจเห็นข้อเปรียบเทียบที่ชัดเจนขึ้น
2. ควรเพิ่มชนิดของพื้นผิววัสดุให้มีความหลากหลายมากขึ้น
3. ควรเพิ่มชนิดของกล้องถ่ายภาพ เนื่องจากกล้องแต่ละตัวให้สีของภาพที่ต่างกันออกไป
4. ในการทำนายอายุของคราบเลือดควรใช้ตัวอย่างไม่ซ้ำกับกลุ่มมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Andrasko, J. (1997). The Estimation of Age of Bloodstains by HPLC Analysis. *Journal of Forensic Sciences*, *42*(4), 601-607. https://doi.org/10.1520/JFS14171J

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 Sci Int*, *278*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.05.023

Bremmer, R. H., Nadort, A., van Leeuwen, T. G., van Gemert, M. J., & Aalders, M. C. (2011). Age estimation of blood stains by hemoglobin derivative determination using reflectance spectroscopy. *Forensic Sci Int*, *206*(1-3), 166-171. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.07.034

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. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.017

Edelman, G., Manti, V., van Ruth, S. M., van Leeuwen, T., & Aalders, M. (2012). Identification and age estimation of blood stains on colored backgrounds by near infrared spectroscopy. *Forensic Science International*, *220*(1), 239-244. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.03.009

Ink On Paper Co., L. (2024). ระบบสี *RGB vs CMYK* แตกต่างกันยังไง? https://www.iop.co.th/content/6222/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B5-rgb-vs-cmyk%E0%B9%81%E0%B8%95%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%87

Li, B., Beveridge, P., O'Hare, W. T., & Islam, M. (2013). The age estimation of blood stains up to 30 days old using visible wavelength hyperspectral image analysis and linear discriminant analysis. *Sci Justice*, *53*(3), 270-277. https://doi.org/10.1016/j.scijus.2013.04.004

Sang Chai Meter Co., L. (2024). *Color Analyzer* เครื่องวัดและวิเคราะห์ค่าสีด้วยหลักการสเปคตรัม. https://www.sangchaimeter.com/support_detail/DIGICON_CA-302_ColorAnalyzer

Shikama, K. (1998). The Molecular Mechanism of Autoxidation for Myoglobin and Hemoglobin: A Venerable Puzzle. *Chem Rev*, *98*(4), 1357-1374. https://doi.org/10.1021/cr970042e

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. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.11.142

Thanakiatkrai, P., Yaodam, A., & Kitpipit, T. (2013). Age estimation of bloodstains using smartphones and digital image analysis. *Forensic Sci Int*, *233*(1-3), 288-297. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.09.027

กัลปพฤกษ์, ท. ป. (2019). ส่วนประกอบของเลือด (*Composition of blood)*. https://hd.co.th/composition-of-blood

แจ่มสว่าง, ว. (2561). โครงการการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณยา Rifampin ในเม็ดยาโดยการเทียบด้วยการประมวลภาพดิจิทัล. มหาวิทยาลัยบูรพา.

เทพshop. (2024). การมองเห็นสีของมนุษย์. https://www.aballtechno.com/article/17/เครื่องวัดสี-colorimeter

บุญธรรม, ส. (2566). การตรวจสอบความคงอยู่ของคราบเลือดบนพื้นไม้โดยวิธีทดสอบด้วยลูมินอล. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ปาวะภินันท์, จ. (2564). การประเมินอายุคราบเลือดจากการวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer และด้วยเทคนิค ATR-FTIR. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เลาหบุตร., ภ. (2560). การประมาณอายุคราบเลือดบนผ้าโดยวิธีวิเคราะห์ภาพ. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เวชอินทร์, ช. (2567). การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศิริวัฒนอักษร, ว. (2562). ชีวเคมีของเลือด.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สรีวรรณ ชูเดช
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-