การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน

โดย
นางสาวทองคำ ตะโกเผือก

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

การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน

โดย
นางสาวทองคำ ตะโกเผือก

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

DETECTION OF HUMAN BLOOD STAIN ON SHOES SOLES AFTER WASHING WITH TOILET CLEANER BY LUMINOL AND PHENOLPHTHALEIN METHODS

By

MISS Thongkham TAKOPHUEAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน
โดย	นางสาวทองคำ ตะโกเผือก
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัติศัย)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร. พงษ์พิษณุ ภักดีณรงค์)

60312310 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : วิธีลูมินอล, วิธีฟีนอล์ฟทาลีน, คราบเลือด, น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ

นางสาว ทองคำ ตะโกเผือก: การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

คราบเลือดถือเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญซึ่งมักจะพบในการเกิดเหตุอาชญากรรม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการใช้วิธีฟีนอฟทาลีนและลูมินอลในการตรวจสอบคงอยู่ของคราบเลือดบนพื้นรองเท้าโดยวิธีการทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำที่แตกต่างกัน วิธีการทดลองทำได้โดยนำเลือด 1.0 มิลลิลิตรทาบริเวณพื้นรองเท้าทั้งสองข้าง และนำพื้นรองเท้าแช่ลงในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นให้นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ซึ่งจำนวนครั้งที่ทำการล้างน้ำสะอาดแบ่งออก 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้ง นำรองเท้าที่ล้างแล้วมาผึ่งลมให้แห้งและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนการตรวจวิเคราะห์ จากการทดลองพบว่าการทดสอบด้วยลูมินอลสามารถตรวจคราบเลือดบนพื้นรองเท้าได้ในตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา ในขณะที่คราบเลือดบนพื้นรองเท้าที่แช่น้ำยาล้างห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาทีและล้างน้ำสะอาด 20 ครั้ง ไม่สามารถตรวจพบได้โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับตัวอย่างคราบเลือดที่ผ่านล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ การออกแบบในการศึกษานี้ซึ่งอาจพบได้ในตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ในสถานที่เกิดเหตุจริง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

60312310 : Major (FORENSIC SCIENCE)
Keyword : Luminol method, Phenolphthalein method, Bloodstains, Toilet cleaner

MISS THONGKHAM TAKOPHUEAK : DETECTION OF HUMAN BLOOD STAIN ON SHOES SOLES AFTER WASHING WITH TOILET CLEANER BY LUMINOL AND PHENOLPHTHALEIN METHODS THESIS ADVISOR : SIRIRAT CHOOSAKOONKRIANG, Ph.D.

Bloodstains are important forensic evidence normally found in serious crimes. The objective of this work is to investigate into the utilization of phenolphthalein and luminol methods in the persistence of bloodstains on shoe soles that had been subjected to different washing procedures with toilet cleaner. Initially, 1.0 milliliters of blood were applied onto the shoe soles and the samples was then soaked with toilet cleaner for 5 minutes. After soaking, the sample was then cleaned by hand washing. The washing protocol was repeated on each sample for 1, 2, 3, 5, 7, 10 and 20 times. The washed sample was air dried and stored at room temperature before examination. It was found that the luminol test could be used to detect the bloodstains on shoe soles for all samples studied, while the bloodstains on the soles that were soaked for 5 minutes and washed for 20 times, were not detectable with the phenolphthalein test. Nevertheless, the results provide useful information on the tested samples of bloodstain designed in this study that may be encountered in authentic forensic samples.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้โอกาส ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี และขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร. พงษ์พิษณุ ภักดีณรงค์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณพนักงานห้องปฏิบัติการทดลอง ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมี และขอขอบคุณเพื่อนทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

นางสาว ทองคำ ตะโกเผือก

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 13

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 13

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 15

3. สมมติฐานของการศึกษา 15

4. ขอบเขตการศึกษา 15

5. ข้อจำกัดการวิจัย 16

6. ประโยชน์ที่ได้รับ 16

บททที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด 17

2. ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด 22

3. การตรวจหาคราบเลือด 29

4. วัสดุพื้นรองเท้า 32

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 38

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45

บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ 72
สรุป อภิปราย 72
ข้อเสนอแนะ 73
รายการอ้างอิง 74
ประวัติผู้เขียน 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประเภทของเม็ดเลือดขาว 21

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยและแหล่งที่มา 38

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยและแหล่งที่มา 39

ตารางที่ 4 ระดับการปรากฏสีที่ได้จากการตรวจคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล 44

ตารางที่ 5 แสดงระดับการปรากฏสีภายหลังทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนก้าวต่างๆ แล้วตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลและผลการปรากฏสีจากการเฉลี่ย 6 ช่อง และผลจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากรองเท้าทั้ง 2 ข้าง(ข้างซ้ายและข้างขวา)..... 58

ตารางที่ 6 แสดงระดับการปรากฏสีภายหลังทำการทดลองแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ แล้วตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล และผลจากการปราฏสีโดยเฉลี่ย 6 ช่อง..... 70

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แหล่งผลิตเม็ดเลือด 18

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเลือด 18

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดง 19

รูปที่ 4 โครงสร้างของฮีม 20

รูปที่ 5 เซลล์เม็ดเลือดขาว 22

รูปที่ 6 ไมเซลล์ (Micell) 23

รูปที่ 7 กระบวนการขจัดคราบไขมันของผงซักฟอก 24

รูปที่ 8 ปฏิกิริยาการขจัดคราบของน้ำยาล้างห้องน้ำ 26

รูปที่ 9 การทำปฏิกิริยาของลูมินอล 30

รูปที่ 10 การสังเคราะห์ฟีนอล์ฟทาลีน 30

รูปที่ 11 โครงสร้างของเตตระเมทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine) 31

รูปที่ 12 ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ 33

รูปที่ 13 ผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์ 33

รูปที่ 14 การเตรียมตัวอย่างพื้นรองเท้า 42

รูปที่ 15 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 0 ก้าว (Blank) 46

รูปที่ 16 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 0 ก้าว (Blank). 47

รูปที่ 17 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 100 ก้าว 48

รูปที่ 18 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 100 ก้าว 49

รูปที่ 19 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 300 ก้าว 50

รูปที่ 20 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 300 ก้าว 51

รูปที่ 21 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 700 ก้าว 52

รูปที่ 22 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 700 ก้าว 53

รูปที่ 23 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 1,000 ก้าว 54

รูปที่ 24 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 1,000 ก้าว..... 55

รูปที่ 25 แสดงผลการทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นนคอนกรีต จำนวน 5,000 ก้าว 56

รูปที่ 26 แสดงผลการทดสอบด้วยลูมินอล หลังทำจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 5,000 ก้าว 57

รูปที่ 27 ระดับการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากพื้นรองเท้าข้างขวาและข้างซ้ายกับจำนวนก้าว เมื่อทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล 60

รูปที่ 28 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 0 ครั้งของการแช่..... 62

รูปที่ 29 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 1 ครั้งของการแช่..... 63

รูปที่ 30 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 2 ครั้งของการแช่..... 64

รูปที่ 31 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 3 ครั้งของการแช่..... 65

รูปที่ 32 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 5 ครั้งของการแช่..... 66

รูปที่ 33 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 7 ครั้งของการแช่..... 67

รูปที่ 34 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 10 ครั้งของการแช่..... 68

รูปที่ 35 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 20 ครั้งของการแช่..... 69

รูปที่ 36 ระดับการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากพื้นรองเท้ากับจำนวนครั้งของการแช่ เมื่อตรวจคราบเลือด
จากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย 6 ช่อง บนพื้นรองเท้าแล้วทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล 71

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสถานการณ์โรคติดต่อโควิด 19 ทำให้สภาพเศรษฐกิจตกต่ำลง จึงทำให้มีแนวโน้มในการก่ออาชญากรรมมากขึ้น อีกทั้งยังมีสื่อสิ่งพิมพ์ที่เข้าถึงง่ายและเข้าถึงได้ทุกเพศทุกวัย ซึ่งอาจก่อให้เกิดพฤติกรรมเลียนแบบ เช่น การดูสื่อสิ่งพิมพ์จากข่าวสารแล้วเกิดคึกคะนองอยากทำตาม การเล่นเกมต่อสู้ ใช้กำลังรุนแรง จนในบางครั้งเกิดนำมาเลียนแบบในชีวิตประจำวัน เป็นต้น

สถานที่เกิดเหตุเป็นแหล่งที่สามารถพบวัตถุพยานที่ใช้เป็นหลักฐานในการระบุตัวผู้กระทำความผิด หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับคดีได้ ซึ่งวัตถุพยานที่มักพบในสถานที่เกิดเหตุได้แก่ เส้นผม เส้นขน ก้นบุหรี่ ลายนิ้วมือแฝง และวัตถุพยานที่มักพบได้บ่อยในคดีฆาตรกรรมได้แก่ คราบเลือด ซึ่งสามารถใช้ระบุตัวผู้ที่กระทำความผิดหรือผู้ที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ แม้จะใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม เนื่องจากเลือดมีสารพันธุกรรมดีเอ็นเอ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่สามารถใช้เป็นหลักฐานได้ (Johansson & Somasundaran, 2007)

เม็ดเลือดสามารถสร้างได้จากไขกระดูก ซึ่งแบ่งออกเป็น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ซึ่งเม็ดเลือดแดงมีฮีโมโกบินที่หน้าที่ลำเลียงออกซิเจนไปยังอวัยวะต่างๆ และนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กลับมายังปอด (ทรูปลูกปัญญา, 2560) โครงสร้างของฮีโมโกบินประกอบไปด้วยสายโพลีเปปไทด์และกลุ่มฮีม ส่วนฮีมเป็นสารสีแดงที่จับกับออกซิเจนเพราะมีเหล็กรวมอยู่กับ protoporphyrin (วรพรรณ ศิริวัฒนอักษร et al., 2562)

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือนที่นิยมใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ สบู่ ผงซักฟอก น้ำยาซักผ้าขาว และน้ำยาล้างห้องน้ำ ซึ่งในผลิตภัณฑ์ข้างต้นมักผสมสารเคมีบางชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดคราบสิ่งสกปรก เช่น ในน้ำยาซักผ้าขาวมีส่วนผสมหลักเป็นโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เป็นสารเคมีที่ออกฤทธิ์เป็นเบส ในการขจัดคราบสิ่งสกปรกและฆ่าเชื้อโรคในตัว แต่โซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารเคมีที่รบกวนการเรืองแสงของลูมินอล ทำให้สังเกตการเรืองแสงได้ยาก น้ำยาล้างห้องน้ำมีส่วนผสมหลักเป็นกรดไฮโดรคลอริก ออกฤทธิ์เป็นกรดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรง สามารถขจัดคราบสิ่งสกปรกและรอยเปื้อน คราบฝังแน่น กร่อนคราบสกปรกทั้งคราบหินปูน คราบสบู่ ผงซักฟอก ยาสีฟัน แชมพู คราบดำบนยาแนวกระเบื้อง คราบสนิม รวมถึงคราบเลือด ให้หลุดออกมาได้ (Waymagazine, 2016)

ปัจจุบันคนเรามักสวมใส่รองเท้าในการดำเนินชีวิตประจำวัน ซึ่งวัสดุพื้นรองเท้าที่มีขายตามท้องตลาดได้แก่ พื้นไม้ พื้นยางและพื้นผ้า พื้นยางสังเคราะห์เป็นพื้นรองเท้าที่สามารถผลิตและหาซื้อได้ง่ายและมีราคาที่ไม่สูง นิยมใช้ในกลุ่มคนทุกกลุ่มทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ทั้งหญิงและชาย (กรมส่งเสริม

อุตสาหกรรม, 2549) ชนิดพื้นรองเท้าที่พบเห็นในชีวิตประจำวันได้แก่ พื้นยางธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทนแต่การฉีกขาด แต่ไม่ทนต่อความร้อน ,พื้นยางสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ความร้อนและสารเคมีกัดกร่อน ,พื้นอีวีเอ (EVA) เป็นยางสังเคราะห์จากการทำ polymerization ของ ethylene monomer มีข้อดีคือน้ำหนักเบา ยืดหยุ่นได้ดี ,พื้นพียู (PU) และ พื้นพีวีซี (PVC) เป็นพื้นยางแข็ง กันลื่นได้ไม่ดี ซึ่งพื้นที่ได้รับความนิยม คือ พื้นอีวีเอ ซึ่งมีขายตามท้องตลาด หาซื้อง่าย ราคาไม่แพง มีน้ำหนักเบา ใส่สบาย และมีสีสันสดใส ถ้าหากผู้กระทำความผิดสวมใส่รองเท้าในระหว่างการกระทำผิด คราบเลือดอาจติดอยู่บริเวณพื้นรองเท้า ซึ่งอาจเชื่อมโยงไปหาตัวผู้กระทำความผิดได้ ดังนั้นการตรวจหาคราบเลือดจึงมีความสำคัญกับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

การตรวจคราบเลือดแบบเบื้องต้นที่นิยมในปัจจุบันคือ Phenolphthalein Luminol และ Fluorescein ซึ่งต่อมามีการนำ Phenolphthalein มาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการตรวจหาฮีโมโกลบิน ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งจะเปลี่ยนสีจากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพู ซึ่งต่อมาเรียกว่า Kastle-Meyer Test Meyer (Meyer, 1903) หลังจากนั้นได้เริ่มนำ Luminol มาใช้ตรวจหาคราบเลือดบนวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ การตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Luminol ซึ่งสามารถตรวจคราบเลือดที่มีปริมาณน้อยในสถานที่เกิดเหตุได้ (Watkins & Brown, 2006) หลังจากนั้นได้มีการพัฒนา Luminol จนเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการตรวจคราบโลหิต แต่สาร Sodium carbonate (Na_2CO_3) และ Sodium percarbonate (Na_2CO_3) เกิดปฏิกิริยา การ Oxidation กับเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดการเรืองแสงในระยะสั้นและเรืองแสงได้น้อย ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่เสถียรและมีความเป็นพิษสูง จนต่อมาได้มีการปรับปรุงสูตรโดยใช้ Sodium hydroxide (NaOH) ซึ่งส่วนผสมใหม่ของ Luminol นี้ เมื่อใช้ต้องเก็บให้พ้นแสง และสารเรืองแสงจากคราบโลหิตมีข้อจำกัดในการถ่ายภาพ คือต้องถ่ายในที่มืดและต้องใช้กล้องสำหรับถ่ายภาพตอนกลางคืน (Cheeseman & DiMeo, 1995)

Joanne, Jonathan และ Terence (Webb et al., 2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจคราบโลหิตที่ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ 5 วิธี ได้แก่ วิธี Luminol ที่เป็นสาร Chemiluminescent และวิธี Phenolphthalein (Kastle-Meyer), Leucomalachite green, Hemastix และ Forensic light source ที่ไม่ใช่สาร Chemiluminescent จากการศึกษาพบว่า การตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Luminol เป็นเทคนิคที่มีความไวต่อการตรวจคราบโลหิตมากที่สุด และมีความปลอดภัย และยังสามารถนำไปตรวจหาดีเอ็นเอ (DNA) หรือสารพันธุกรรมต่อไปได้ ส่วน Fluorescein สามารถใช้ในการตรวจคราบโลหิตได้ดีซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้นานกว่าสาร Luminescence ที่อยู่ใน Luminol แต่ Fluorescein จะต้องเตรียมบ่อยครั้งกว่า Luminol เพราะมีความไวสูง ต่อ Hemassociated สามารถตรวจหาคราบเลือดที่เจือจางมากๆถึง 1:105,000 โดยปริมาตรได้เมื่อนำลูมินอลมาทดสอบกับคราบเลือดจะเกิดการเรืองแสงสีฟ้าในที่มืดสนิท ซึ่งแสงสีฟ้านี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในที่มืด แต่การตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Fluorescein มีข้อจำกัดคือ

จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร จึงสามารถมองเห็นได้ในที่มืดสนิท (Cheeseman & DiMeo, 1995)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบการคงอยู่ของคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล
2. เพื่อตรวจสอบการคงอยู่ของคราบเลือดหลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 0, 100, 300, 700, 1,000, 5,000 ก้าว
3. เพื่อตรวจสอบความคงอยู่ของคราบเลือดหลังจากแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำจำนวน 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่

3. สมมติฐานของการศึกษา

1. การตรวจสอบการคงอยู่ของเลือดด้วยวิธีลูมินอลและวิธีฟีนอล์ฟทาลีน สามารถทำให้คราบเลือดปรากฏได้อย่างชัดเจน
2. การคงอยู่ของคราบเลือดหลังจากเดินบนพื้นคอนกรีตจำนวน 0, 100, 300, 700, 1,000, 5,000 ก้าว สามารถตรวจพบการปรากฏของคราบเลือดด้วยวิธีลูมินอลและวิธีฟีนอล์ฟทาลีนได้
3. การคงอยู่ของคราบเลือดหลังจากแช่ด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำจำนวน 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ วิธีลูมินอลยังสามารถตรวจพบคราบเลือดได้จากการปรากฏสี

4. ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นรองเท้าที่ใช้ในการวิจัย คือ รองเท้าลำลองสีดำ พื้นอีวีเอ
2. ตัวอย่างเลือดของมนุษย์ได้รับจากอาสาสมัครบรรจุในหลอดเคลือบด้วยสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 เซลเซียส
3. ศึกษาการคงอยู่ของคราบเลือดบนพื้นรองเท้าภายหลังการเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวน 0 (Blank), 100, 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว
4. ศึกษาการคงอยู่คราบเลือดบนพื้นรองเท้าหลังแช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำที่จำนวน 0 (Blank), 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่
5. การตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Phenolphthalein และ Luminol

5. ข้อจำกัดการวิจัย

การตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Luminol จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในช่วงประมาณ 1- 3 ชั่วโมง หลังจากการเตรียมสารเพื่อสำหรับใช้งาน ซึ่งสามารถมองเห็นการเรืองแสงสีฟ้าได้ในที่มืดด้วยตาเปล่า

6. ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในคดีอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องได้
2. สามารถตรวจสอบเลือกใช้วิธีในการตรวจสอบการคงอยู่ของคราบเลือดได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พยานหลักฐานเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการค้นหาตัวผู้กระทำความผิด ไม่ว่าจะเป็นบุคคล พยานเอกสาร หรือ วัตถุพยานก็ตาม ในอดีตที่มักจะให้ความสำคัญกับประจักษ์พยาน ซึ่งเป็นพยานบุคคลมากกว่าพยานหลักฐานประเภทอื่น แต่เนื่องจากการก่ออาชญากรรมในบางครั้งเกิดในที่ที่ไม่มีบุคคลพบเห็น เช่น เกิดขึ้นยามวิกาล ประกอบกับเมื่อเวลาล่วงเลยไปพยานบุคคลอาจมีความจำผิดพลาดคลาดเคลื่อนไปจากเดิมได้ ทำให้การพิสูจน์ความผิดของผู้ต้องหาหรือจำเลยทำได้ยาก และไม่สามารถลงโทษผู้ก่ออาชญากรรมนั้นได้ ด้วยเหตุนี้ จึงเริ่มหันมาให้ความสำคัญกับวัตถุพยานที่มีการนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพิสูจน์หลักฐานให้ถูกต้องแท้จริงตามหลักวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นพยานหลักฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ มีความถูกต้องแม่นยำค่อนข้างมาก จึงมีความน่าเชื่อถือ (ศรันยา สีมา,2563) ส่วนใหญ่แล้วในสถานที่เกิดเหตุ เป็นแหล่งที่มักพบวัตถุพยานต่างๆ เช่น ลายนิ้วมือแฝง รอยเท้าแฝง เส้นผม เส้นขน และวัตถุพยานอีกชนิดหนึ่งที่พบได้บ่อยในคดีอาชญากรรม คือ คราบเลือด ซึ่งสามารถนำมาตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันการกระทำความผิดของบุคคลนั้นได้ แม้จะใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

การวิจัยเรื่อง การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด ห้องน้ำ โดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน ผู้วิจัยได้กำหนดประเด็นศึกษาไว้ ดังนี้

1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด

2. ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

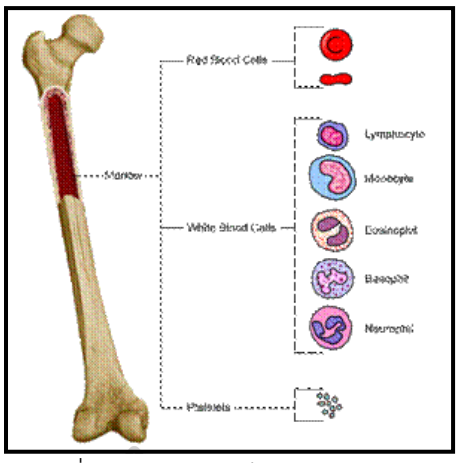
3. การตรวจหาคราบเลือด

4. วัสดุพื้นรองเท้า

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเลือด

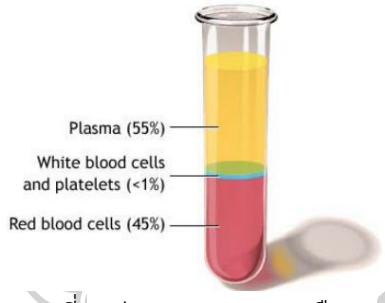
ในร่างกายของคนเรามีเลือดประมาณ 5 ลิตร หรือ 7-8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในที่นี้เป็นเม็ดเลือดประมาณ 40% และอีก 60% เป็นส่วนของของเหลวที่เรียกว่า พลาสมา ในพลาสมาจะประกอบด้วยน้ำ 90% และอื่นๆอีก 10% เป็นส่วนของโปรตีน และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ฮอร์โมน, สารอาหาร ร่างกายสามารถสร้างเม็ดเลือดได้จากไขกระดูกที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำภายในเป็นแหล่งผลิตเม็ดเลือดให้แก่ร่างกาย โดยอาศัยการทำงานร่วมกับอวัยวะอื่นๆ ได้แก่ ตับ ม้ามและต่อมน้ำเหลือง ดังแสดงรูปที่ 1 (ปวีณา อุดมวิบูลย์ชัย, 2557)



รูปที่ 1 แหล่งผลิตเม็ดเลือด

ที่มา https://www.samitivejhospitals.com/th/article/detail/สายธารแห่งชีวิต

<u>ส่วนประกอบของเลือด</u> ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า น้ำเลือดหรือพลาสมา (Plasma) และของแข็ง ซึ่งเป็นส่วนของเซลล์เม็ดเลือดและเกล็ดเลือด



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเลือด

ที่มา http://www.student.chula.ac.th/~60370416/Home.html

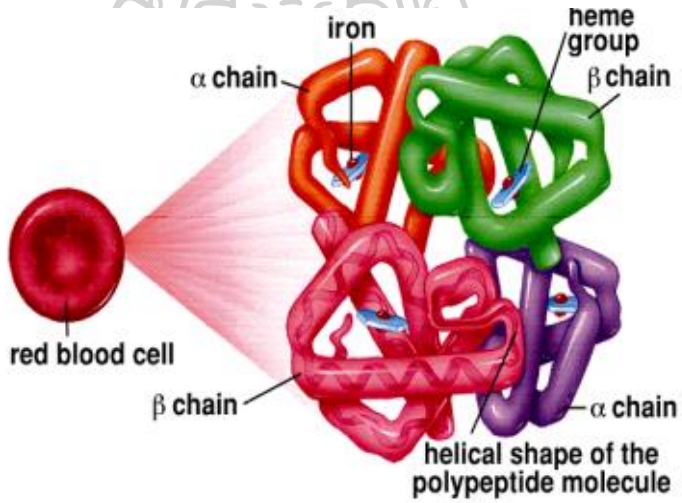
<u>1.1 น้ำเลือดหรือพลาสมา (Plasma)</u>

ในเลือดมีน้ำเลือดหรือพลาสมาอยู่ร้อยละ 55 ซึ่งส่วนมากจะเป็นน้ำและมีส่วนน้อยจะเป็นโปรตีน เกลือแร่ วิตามิน เอนไซม์ และอื่นๆ ซึ่งจะถูกลำเลียงไปยังเซลล์และอวัยวะต่างๆตามร่างกาย จากนั้นพลาสมาจะรับของเสียจากเซลล์หรืออวัยวะต่างๆ เพื่อนำไปกำจัดออกนอกร่างกายต่อไป (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

1.2 เซลล์เม็ดเลือด

1.2.1 เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red Blood Cells, RBCs หรือ Erythrocytes)

ในร่างกายจะมีเซลล์เม็ดเลือดแดงอยู่ 45 เปอร์เซ็นต์ของเลือดทั้งหมด เซลล์เม็ดเลือดแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 ไมครอน มีลักษณะกลมแบนตรงกลางมีรอยบุ๋ม ไม่มีนิวเคลียสและไมโทคอนเดรีย มีหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ต่าง ๆ และนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาที่ปอด ซึ่งรอยบุ๋มตรงกลางจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการขนส่งอออกซิเจน เซลล์เม็ดเลือดแดงประกอบด้วยฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ โดยจะสร้างจากไขกระดูก และเมื่อมีอายุครบ 120 วัน จะถูกส่งไปทำลายที่ตับ ม้าม ในเม็ดเลือดแดงประกอบไปด้วยโปรตีนร้อยละ 98 ที่เรียกว่า ฮีโมโกลบิน ซึ่งทำให้เกิดเป็นสีแดงของเลือด มีหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และควบคุม pH ของเลือด

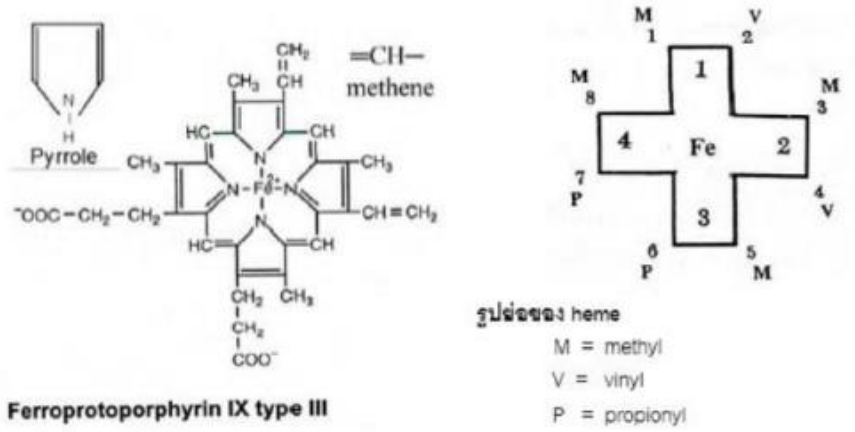


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดง

ที่มา

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

ฮีม (heme) คือ เป็นสารสีแดงที่อยู่ในของฮีโมโกบิน มีหน้าที่จับกับออกซิเจน ฮีมจึงมีชื่อเรียกทางเคมีว่า ferroprotoporphyrin IX เพราะมีเหล็กรวมอยู่กับ protoporphyrin



รูปที่ 4 โครงสร้างของฮีม

ที่มา

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

โครงสร้างของฮีมจะมีพันธะ coordinate bonds อยู่ 6 แขน จับอยู่กับเหล็ก Fe^{2+} โดยมี 4 แขนจะแยกไปจับกับไนโตรเจนของ pyrrole rings ทั้ง 4 ส่วนแขนที่ 5 จะจับกับไนโตรเจนของ imidazole ring ของ histidine ในสายโกลบิน และแขนที่6 จะจับกับ O_2 ถ้าเหล็ก Fe^{2+} เปลี่ยนไปเป็น Fe^{3+} จะจับ O_2 ไม่ได้ อาจจะไปจับกับหมู่ OH ได้เป็น hematin หรือจับ กับ Cl ได้เป็น hemin เฮโมโกลบินที่เหล็กเปลี่ยนเป็น Fe^{3+} มีชื่อเรียกว่า methemoglobin ในภาวะปกติพบได้บ้างจำนวนน้อยไม่เกิน 1.5% ของเฮโมโกลบินทั้งหมด

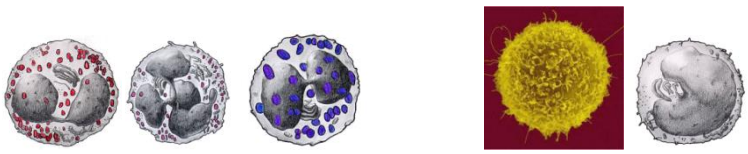
protoporphyrin เป็นสารพอร์ไฟรินชนิดหนึ่ง (พอร์ไฟริน คือ สารที่มี pyrrole rings 4 วง รวมอยู่ด้วยกันด้วย 4 methane bridge) แต่มีสายข้างทั้ง 8 ที่เป็น methyl vinyl และ propionyl เรียงเฉพาะในแต่ละที่ จากตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 จึงจะเป็น protoporphyrin IX type III เพื่อจะรวมกับ Fe^{2+} ได้เป็นฮีม จากนั้นจึงรวมกับโกลบิน ได้ เป็น Hb ของคนปกติต่อไป ถ้าสายข้างทั้ง 8 นี้ผิดไปแม้เพียงแห่งหนึ่งแห่งใดจากที่กำหนด จะได้เป็น isomer ชนิดต่างๆ ของพอร์ไฟรินซึ่งนำมา สร้าง Hb ในคนไม่ได้ แต่อาจพบได้ในฮีมของพืชหรือสัตว์ ชนิดต่างๆ ข้อนี้นับว่ามีประโยชน์ทาง นิติเวชวิทยาในการใช้พิสูจน์เลือด ว่าจะเป็นเลือดจากคนหรือสัตว์ได้ (วรพรรณ ศิริวัฒนอักษร et al., 2562)

1.2.2 เซลล์เม็ดเลือดขาว (White Blood Cells, WBCs หรือ Leucocytes)

เซลล์เม็ดเลือดขาวมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 ไมครอน มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ มีอายุ 2-14 วัน ทำหน้าที่ต่อสู้กับเชื้อโรค แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ตารางที่ 1 ประเภทของเม็ดเลือดขาว

ประเภทของเม็ดเลือดขาว	1) เซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีแกรนูล	2) เซลล์เม็ดเลือดขาวประเภทที่ไม่มีแกรนูล
แหล่งที่สร้าง	อยู่ในไซโตพลาซึม สร้างจากไขกระดูก	อยู่ในไซโตพลาซึม สร้างจากม้าม ต่อมไทมัส และต่อมน้ำเหลือง
ชนิดของเม็ดเลือดขาว	1. นิวโทรฟิล (Neutrophil) มีจำนวน 60-70 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดทั้งหมด ทำหน้าที่ดักจับเชื้อราและแบคทีเรีย โดยการปล่อยเอนไซม์ วิธีฟาโกไซโทซิส ออกมาย่อยสลายแบคทีเรียและจะตายไปพร้อมกับแบคทีเรียและกลายสภาพเป็นหนอง 2. อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) หน้าที่ป้องกันการแพ้พิษ และต่อสู้กับปรสิตโดยวิธีฟาโกไซโทซิสเช่นเดียวกับนิวโทรฟิล 3. เบโซฟิล (Basophil) มีหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคโดยการหลั่งสารฮิสตามีน ซึ่งทำให้เกิดการอักเสบ	1. ลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิด T-cell และชนิด B-cell ชนิด T-cell ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคเข้ามาโดยตรง ซึ่งเจริญและพัฒนาที่ต่อมไทมัส ส่วน B-cell ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างการโดยวิธีการสร้างแอนติบอดี้ขึ้นมาเพื่อต่อต้าน ซึ่งชนิด B-cell นี้ เจริญและพัฒนาที่ไขกระดูก 2. โมโนไซต์ (Monocyte) เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่กำจัดแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา และปรสิตโดยวิธีฟาโกไซโทซิส ซึ่งโมโนไซต์ นี้จะมีรูปร่างของนิวเคลียสมีลักษณะคล้ายไต



เซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีแกรนูล เซลล์เม็ดเลือดขาวไม่ที่มีแกรนูล

รูปที่ 5 เซลล์เม็ดเลือดขาว

ที่มา http://web.sut.ac.th/dsa/unit/medical_clinic/images/stories/heath/cbc.pdf

1.3 เกล็ดเลือดหรือเพลตเลต (Platelet)

เกล็ดเลือดหรือเพลตเลต ไม่มีนิวเคลียส พบได้ในไขกระดูก อายุของเกล็ดเลือดประมาณ 5-9 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายที่ตับและม้าม เกล็ดเลือดทำหน้าที่ช่วยให้เลือดแข็งตัว โดยการปล่อยเอนไซม์ทรอมโบพลาสติน ออกมา ทรอมโบพลาสตินจะไปกระตุ้นโพรทรอมบินให้กลายเป็นทรอมบิน ทรอมบินกระตุ้นไฟบริโนเจนให้กลายเป็นไฟบริน ซึ่งจะรวมตัวสานกันในลักษณะตาข่ายเพื่อปิดบาดแผลไว้ (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

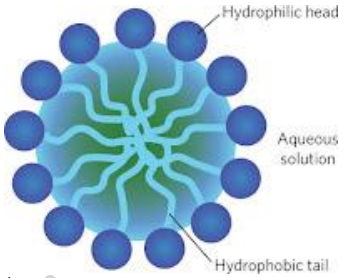
2. ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทำความสะอาดในชีวิตประจำวันมีหลากหลายชนิด เช่น น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาซักผ้าขาว น้ำยาละลายสิ่งอุดตันในท่อน้ำทิ้ง และสารซักฟอก ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารเคมีที่มีความเป็นกรดหรือด่าง เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์(ด่าง) กรดไฮโดรคลอริก (กรด) กรดมีฤทธิ์กัดกร่อนทำให้เกิดสะเก็ดแผลและเนื้อตายแบบแข็งเป็นก้อน ซึ่งจะเกิดเฉพาะบริเวณที่เกิดสารเท่านั้น ส่วนด่างมีฤทธิ์ทำให้เกิดเนื้อตายแบบเปื่อยยุ่ยเป็นน้ำและลุกลามไปยังบริเวณข้างเคียง (ปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ, 2556)

2.1 สบู่ (SOAP)

คือสารเคมีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำมันที่มาจากสัตว์หรือพืช ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า สปอนซิฟิเคชัน (Saponfication) คุณสมบัติของสบู่ หรือผลที่ได้จากการ สปอนซิฟิเคชันนี้ จะสามารถละลายได้ทั้งในน้ำและไขมัน และสามารถเก็บไขมันไว้ได้ จึงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดได้เป็นอย่างดี ในทางเคมีสบู่คือเกลือของกรดไขมัน สบู่ในบ้านเรือนใช้ชะล้าง อาบและใช้ในการทำความสะอาดบ้าน โดยสบู่ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว และน้ำมันอิมัลซิไฟเออร์เพื่อให้สบู่ไหลไปกับน้ำได้ในอุตสาหกรรม เมื่อสบู่ละลายน้ำจะแตกเป็นไอออน ไอออนบวกของโลหะจะถูกน้ำล้อมรอบ เกิดแรงดึงดูดระหว่างไอออนกับน้ำ เรียกว่าไฮเดรตชัน ส่วนไอออนลบของสบู่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคาร์บอกซิเลต (- COO -) เป็นส่วนที่มีขั้ว จะยึดกับน้ำโดยมี

โมเลกุลน้ำล้อมรอบ และส่วนที่ไม่มีขั้วเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจะหันเข้าหากัน แล้วจับกันเป็นกลุ่มก้อน เรียกว่า ไมเซลล์ (Micell) (สารานุกรมเสรี, 2565)



รูปที่ 6 ไมเซลล์ (Micell)

ที่มา https://touchzy-sci.blogspot.com/2016/11/blog-post_94.html

2.2 น้ำยาล้างจาน

หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ทำความสะอาดจาน ชาม รวมถึงภาชนะอื่นๆที่ใช้ในครัวเรือน เพื่อช่วยกำจัดคราบไขมัน และเศษอาหารให้ออกได้ง่าย นอกจากนั้น ยังใช้เพื่อทำความสะอาดในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ทำความสะอาดภาชนะต่างๆ เป็นต้น

ส่วนประกอบของน้ำยาล้างจาน

ส่วนประกอบของน้ำยาล้างจานที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์จะประกอบด้วยสารเคมีในกลุ่มสารลดแรงตึงผิวที่ให้ประจุลบ เมื่อละลายน้ำจะมีฤทธิ์เป็นกรด และทำให้เกิดฟองจำนวนมาก สามารถแทรกซึมสู่พื้นผิวของภาชนะได้ดีทำให้คราบไขมัน และเศษอาหารหลุดออกได้ง่าย ส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่

1. Sodium Alkyl Benzene Sulphonate หรือ Linear Alkyl Benzene Sulphonate (น้ำยา N70) 12.8 – 14.4% w/w
2. Sodium Lauryl Ether Sulphate 3.5% w/w
3. Cocamidopropyl Betaine 0.5% w/w
4. สารสกัดจากพืช เช่น น้ำมะนาว น้ำมะกรูด

ชนิดของน้ำยาล้างจาน

1. น้ำยาล้างจานจากพืช เป็นน้ำยาล้างจานที่ผลิตได้จากส่วนผสมของพืชเป็นหลัก เช่น น้ำมะกรูด น้ำมะนาว เป็นต้น มักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในภาคครัวเรือนเพื่อใช้เองหรือผลิตเพื่อการจำหน่ายขนาดเล็กเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน

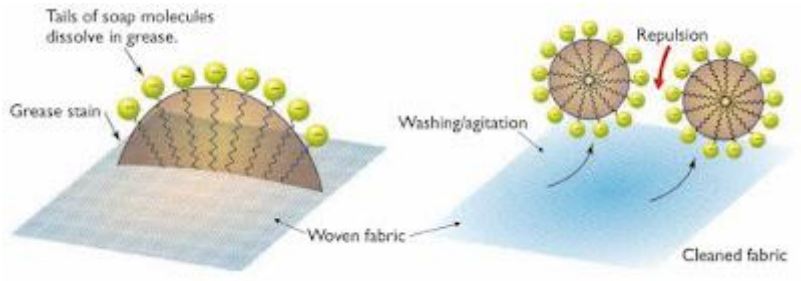
2. น้ำยาล้างจานจากสารเคมี เป็นน้ำยาล้างจานที่มีส่วนผสมของสารเคมีเป็นหลัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมากในภาคอุตสาหกรรม

3. น้ำยาล้างจานจากสารเคมี และจากพืช เป็นน้ำยาล้างจานที่มีส่วนผสมของสารเคมี และสารสกัดจากพืชเป็นหลัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิต และใช้มากในปัจจุบัน ทั้งในภาคอุตสาหกรรม และครัวเรือน

ผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานที่มีการผลิต และใช้มากในปัจจุบันมักเป็นผลิตภัณฑ์จากสารเคมี และผลิตภัณฑ์จากสารเคมีมีส่วนผสมของสารสกัดจากพืชเป็นหลัก มีลักษณะสีเหลืองหรือสีใสข้น ส่วนน้ำยาล้างจานจากพืชมักพบผลิต และมีการใช้น้อยที่สุด ซึ่งจะพบได้ในภายในครัวเรือนหรือเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน (Siamchemi, ม.ป.ป.)

2.3 ผงซักฟอก (detergents)

ผงซักฟอก คือ เกลือของกรดซัลโฟนิก มีสมบัติชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายได้เช่นเดียวกับสบู่เป็นสารซักล้างที่ผลิตขึ้นมาใช้แทนสบู่ ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมซัลโฟเนต ผงซักฟอกมีข้อดีเหนือสบู่คือสามารถทำงานได้ดีแม้ในน้ำกระด้างที่มีไอออน Ca^{2+} Fe^{2+} Fe^{3+} และ Mg^{2+}(อนิษา จันปาน,2555) ส่วนประกอบที่มีอยู่ในผงซักฟอกเป็นสารเคมีที่หากมีการสะสมอยู่ในแหล่งน้ำมากๆ อาจเกิดผลเสียหรือมลภาวะของสิ่งแวดล้อม เช่น สารพวกฟอสเฟตในผงซักฟอก เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ อาจกลายเป็นปุ๋ยทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งขัดขวางการคมนาคมทางน้ำ ทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ และเมื่อพืชน้ำตายลง ทำให้น้ำเน่าเสีย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำเกิดการขาดออกซิเจนและตายลงได้ น้ำซักล้างต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมการใช้ผงซักฟอกทั้งภายในบ้านเรือนหรือภายนอก โดยเฉพาะจากร้านค้าหรือสถานบริการที่รับซักรีดเสื้อผ้าที่ปัจจุบันพบเห็นอยู่เป็นจำนวนมาก สถานที่เหล่านี้จัดเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำซักล้างที่เกิดจากการใช้ผงซักฟอกมากที่สุด ดังนั้นจึงควรที่จะมีมาตรการในการควบคุมและบังคับให้มีการบำบัดน้ำทิ้งประเภทนี้เสียก่อนที่จะระบายลงสู่แม่น้ำลำคลอง เพื่อช่วยลดมลภาวะน้ำเสียที่เกิดจากการใช้ผงซักฟอกต่อไป (นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร, 2552)



รูปที่ 7 กระบวนการขจัดคราบไขมันของผงซักฟอก

ที่มา https://touchzy-sci.blogspot.com/2016/11/blog-post_94.html

2.4 น้ำยาซักผ้าขาว(Sodium hypochlorite)

โครงสร้างทางเคมีและกลไกการขจัดคราบ

โซเดียมไฮโปคลอไรท์มีสูตรทางเคมี คือ NaOCl ในน้ำยาซักผ้าขาวโซเดียมไฮโปคลอไรท์ จะแตกตัวออกเป็นโซเดียมไอออน (Na^+) และไอออนของเปอร์คลอไรด์ ClO^- ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือ NaOH และ HClO โซเดียมไฮโปคลอไรท์ซึ่งเป็นสารออกซิแดนท์ที่ความรุนแรงเกิดการปลดปล่อยแอคทีฟออกซิเจน [O] ที่เป็นตัวการในการฟอกขาวให้กับเสื้อผ้า

$$NaOCl + H_2O <-----> NaOH + HOCl <-----> Na^+ + OH^- + H^+ + OCl^-$$

ในผลิตภัณฑ์น้ำยาซักผ้าขาวบางชนิดอาจมีส่วนผสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้สารมีความเป็นด่างเพราะในบางครั้งหากน้ำที่ใช้ตามบ้านมีความเป็นกรดเล็กน้อยจะไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรท์เกิดเป็นแก๊สคลอรีนซึ่งมีความเป็นพิษและลดประสิทธิภาพการทำงานของน้ำยาซักผ้าขาว

$$NaOCl + 2HCl ----->Cl_2 + H_2O + NaCl$$

การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น แต่มีข้อควรระวังการใช้ ในกรณีที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมากลงไป จะทำให้มีความเป็นด่างสูงประกอบกับมีโซเดียมโปคลอไรท์จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงขึ้น หากเทใส่โดยเสื้อผ้าโดยตรงอาจกัดกร่อนจนขาดได้ ดังนั้นจึงต้องอ่านฉลากแนะนำการใช้รวมถึงวิธีการใช้และปริมาณน้ำที่ใช้ในการการเจือจาง เพื่อความปลอดภัยในการใช้และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

การใช้เป็นน้ำยาซักผ้าขาว

สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำยาซักผ้าขาวมีอยู่ประมาณ 3-6 % ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่ค่อยเสถียร เสื่อมสลายไปตามระยะเวลา โซเดียมไฮโปคลอไรท์ออกฤทธิ์ขจัดคราบเปื้อนออกจากเสื้อผ้าได้ดี โดยเฉพาะที่ทำจากผ้าฝ้าย นอกจากนี้ยังจัดเป็นน้ำยาซักผ้าขาวเพียงชนิดเดียวที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียไปด้วยในตัว ความเป็นพิษโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในน้ำยาซักผ้าขาวไม่เพียงแต่จะมีความสามารถในการขจัดคราบเปื้อนบนเสื้อผ้าแล้ว สารนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงและเป็นสารออกซิแดนท์ที่แรงจึงต้องระมัดระวังในการใช้ไม่ให้การสัมผัสถูกผิวหนังโดยตรงหรือกระเด็นเข้าตาหรือการสูดดมโดยตรงจากขวดผลิตภัณฑ์ (K-ME แหล่งความรู้เคมี, 2560)

2.5 น้ำยาล้างห้องน้ำ

หมายถึง น้ำยาทำความสะอาดที่ประกอบด้วยกรด และสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับทำความสะอาด และขจัดคราบสกปรกในห้องน้ำยาล้างห้องน้ำทุกชนิดจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid)

$$CaCO_3(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

รูปที่ 8 ปฏิกิริยาการขจัดคราบของน้ำยาล้างห้องน้ำ

https://sites.google.com/site/chemistrybykruann/3bi-khwam-ru-ptikiriya-khemi-ni-chiwit-praca-wan

ไฮโดรคลอริกซึ่งเป็นกรดแก่ มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีฤทธิ์กัดก่อนโลหะ
2. ทำปฏิกิริยากับโลหะหรือสารเคมีอื่นจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ที่มีฤทธิ์ระคายเคืองต่อระบบหายใจ
3. เมื่อเปิดทิ้งไว้หรือขณะใช้จะเกิดไอระเหยของก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์
4. ทำปฏิกิริยากับหินปูนทำให้เกิดก๊าซ CO_2 (Siamchemi, ม.ป.ป.)

2.5.1 น้ำยาล้างห้องน้ำมี 2 ประเภท ได้แก่ แบบใช้ประจำวัน และ มีกรดกัดสนิม

2.5.1.1 น้ำยาล้างห้องน้ำประจำวัน เป็นสูตรที่ใช้เป็นประจำวัน เนื่องจากไม่มีส่วนผสมของกรดหรือสารที่ทำลายพื้นผิวกระเบื้องหรือยาแนว มีกลิ่นหอม ไม่ฉุน มีคุณสมบัติ ไม่มีส่วนผสมของกรด ไม่ทำลายผิวของสุขภัณฑ์ต่างๆ วิธีใช้ ผสมน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำกับน้ำสะอาด อัตราส่วน 100 มิลลิลิตร ต่อ น้ำสะอาด 10 ลิตร หลังจากนั้นเทลงบนพื้นหรือสุขภัณฑ์ต่างๆ แล้วเช็ดทำความสะอาดตามปกติ

2.5.1.2 น้ำยาล้างห้องน้ำขจัดคราบหนัก(กัดสนิม) เป็นสูตรเข้มข้น มีส่วนผสมของกรดที่ช่วยในการขจัดคราบหนัก คราบฝังแน่น พร้อมทั้งฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ในขั้นตอนเดียวกัน ไม่ควรใช้ติดต่อกันทุกวัน ควรเลือดใช้ เมื่อต้องการทำความสะอาดบริเวณที่มีคราบฝังแน่นจริงๆหรือใช้สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เนื่องจากเป็นสูตรเข้มข้นอาจทำลายผิวกระเบื้องหรือกัดเซาะร่องยาแนวได้ ถ้าใช้เป็นประจำทุกวัน คุณสมบัติ คือ มีส่วนผสมของกรด และใช้ขจัดคราบฝังแน่น คราบสนิม คราบหินปูน วิธีใช้ เทผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดห้องน้ำลงบนพื้นหรือโถสุขภัณฑ์ หรือบริเวณที่ต้องการทำความสะอาด แล้วทิ้งไว้ 10 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด (Taokae, 2022)

2.5.2 สารทำความสะอาดในน้ำยาล้างห้องน้ำ ได้แก่

2.5.2.1 กรดไฮโดรคลอริก(Hydrochloric acid, HCl) ชนิดมีฤทธิ์เป็นกรดและมีฤทธิ์กัดกร่อน ที่รุนแรง สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ คือ กรดเกลือ ซึ่งมีส่วนผสมหลักที่อยู่ในน้ำยาล้างห้องน้ำเป็นสารออกฤทธิ์ทำความสะอาด สามารถขจัดคราบสิ่งสกปรกและรอยเปื้อน คราบฝังแน่นภายในไม่กี่นาที เนื่องจากไฮโดรคลอริกมีฤทธิ์เป็นกรดที่สามารถทำปฏิกิริยากัดกร่อนคราบสกปรกทั้งคราบหินปูน คราบสบู่ ผงซักฟอกยาสีฟัน แชมพู คราบดำบนยาแนวกระเบื้อง คราบสนิม รวมถึงคราบเลือด ให้หลุดออกมาได้

2.5.2.2 โซเดียมลอริอีเธอร์ซัลเฟต(sodium lauryl ether sulphate:SLES) สารซักฟอกและสารลดแรงตึงผิว (surfactant) พบได้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ทำให้เกิดฟอง เช่น สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม น้ำยาถูพื้น เนื่องจากเป็นสารช่วยลดแรงตึงผิว จึงทำให้คราบสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนกระเบื้องหรือสุขภัณฑ์หลุดออกได้ง่าย แต่สัมผัสสารโซเดียมลอริลออีเธอร์ซัลเฟตเข้าไปในปริมาณมากก็สามารถทำให้มีปัญหากับระบบหายใจและอาการหอบหืดได้ (Waymagazine, 2016)

2.5.3 สารเคมีในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่รบกวนการปรากฏสีของลูมินอล

ในปี 2003 Creamer และคณะ ได้ทำการศึกษาสารเคมีทางอุตสาหกรรม ภายในประเทศและสิ่งแวดล้อมที่อาจรบกวนการทดสอบลูมินอล มีการประเมินสารเคมีหรือสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน 250 ชนิด และวัดค่าแสงโดยใช้กล้อง CCD ที่มีหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ และตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบแบ่งเกรด โดยนำมาเปรียบเทียบกับเลือด ทองแดง สีเคลือบฟัน โซเดียมไฮโปคลอไรท์ สีสเปรย์สีเขียวเข้ม หัวผักกาด มะรุม และน้ำยาขัดเฟอร์นิเจอร์ กำหนดความเข้มเฉลี่ยของเลือดอยู่ที่ 236 ± 12 หน่วย แล้วทำซ้ำ 8 ครั้ง ในขณะที่ค่าความเข้มเฉลี่ยของสารเคมีที่ทดสอบอยู่ระหว่าง 255 ถึง 44 หน่วย พบว่าผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดใช้ขจัดคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุได้ เนื่องจากไม่สามารถตรวจหาการปรากฏสีของลูมินอลได้ ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีการทำความสะอาดและขจัดคราบเลือดออกจนหมดแล้วหรือส่วนประกอบในน้ำยาทำความสะอาดรบกวนปฏิกิริยา ซึ่งนำไปสู่การแปลผลที่ผิดพลาดแม้ว่าจะมีเลือดหลงเหลืออยู่ก็ตาม (Creamer et al., 2003)

2.5.3.1 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite)

สารฟอกขาวหรือโซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารทำความสะอาดในครัวเรือนทั่วไป ซึ่งมี pH>11ประสิทธิภาพในการขจัดคราบและกลิ่น รวมทั้งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคอีกด้วย โซเดียมไฮโปคลอไรท์สามารถทำปฏิกิริยาได้หลายอย่าง saponification, neutralization และ chloramination ซึ่ง saponification เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไขมันเป็นสบู่และกลีเซอรอล neutralization เกิดขึ้นเมื่อกรดอะมิโนถูกทำให้เป็นกลางเกิดเป็นน้ำและเกลือ chloramination คือการผลิตคลอรามีนเมื่อกรดอะมิโนและกรดไฮโปคลอรัสทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ด้วยปฏิกิริยาหลักทั้งสามนี้

โซเดียมไฮโปคลอไรท์จึงเป็นสารทำความสะอาดที่สามารถขจัดคราบบนวัสดุบนพื้นผิว ฆ่าเชื้อโรค และขจัดกลิ่น (Estrela et al., 2002)

ในปี 2005 Creame และคณะ ศึกษาผลกระทบของสารฟอกขาวที่มีต่อคราบเลือดเมื่อใช้ลูมินอล เปรียบเทียบคราบเลือดเปียกและคราบเลือดแห้งบนพื้นกระเบื้อง (โดยคราบแห้งจะขจัดออกได้ยากกว่า) และทำความสะอาดโดยการใช้กระดาษเช็ดมือชุบน้ำหรือน้ำยาฟอกขาวแล้ว เช็ดรูด 1ครั้ง เพื่อทำความสะอาด โดยการรูดแต่ละครั้งถือเป็นการทำความสะอาด รวมทำความสะอาดทั้งหมด 14 ครั้ง โดยใช้กล้อง CCD ที่มีตัวกรองสัญญาณรบกวนและใช้ photomultiplier เพื่อให้ได้การวัดเชิงปริมาณของ chemiluminesce พบว่าเมื่อล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหลายๆครั้ง จะทำให้ความเข้มของ chemiluminesce ลดลง ส่วนวิธีการล้างด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำพบว่า เมื่อล้างทำความสะอาดมากขึ้นจะทำให้ความเข้มของ chemiluminesce ลดลง ได้เช่นกัน (Creamer et al., 2003)

2.5.3.2 โซเดียมเปอร์คาร์บอเนต (Sodium percarbonate)

โซเดียมเปอร์คาร์บอเนต ซึ่งใช้ในผงซักฟอกเพื่อปรับปรุงความสามารถในการขจัดคราบสกปรก พบว่ามีผลต่อการทดสอบ luminol และ Bluestar® Forensic โดยทำให้เกิดผลเป็นลบแม้ว่าจะมีเลือดอยู่ก็ตาม (Johansson & Somasundaran, 2007)

Castello และคณะ ค้นพบว่าสารซักฟอกที่ใช้โซเดียมเปอร์คาร์บอเนต/โซเดียมเปอร์ออกไซด์ เมื่อทดสอบด้วยลูมินอล ฟีนอลฟาลีน ให้ผลการตรวจคราบเลือดเป็นลบ วิธีการทดทองคือเตรียมตัวอย่างผ้า 3 ชนิด (ผ้าฝ้าย ยีนส์ และผ้าเช็ดตัว) โดยใช้เลือดสดที่ใส่สาร EDTA และไม่ใส่สาร EDTA แล้วทิ้งไว้ช่วงเวลาต่างๆ ระหว่าง 1 ถึง 40 วัน แล้วตัดตัวอย่างออกและล้างด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ(ยี่ห้อ Neutrex) ขั้นตอนการซักทำโดยการเพิ่มสารซักฟอกลงในน้ำร้อนและทิ้งผ้าไว้เป็นเวลาสองชั่วโมง จากนั้นนำผ้าไปล้างน้ำและปล่อยให้แห้งเป็นเวลาหนึ่งวัน คราบสกปรกสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและแสง UV ก่อนทำการทดสอบ ตัวอย่างควบคุมทั้งหมดให้ผลบวก ในขณะที่ตัวอย่างที่ซักแล้วทั้งหมดมีค่าเป็นลบ (โดยไม่คำนึงถึงการมองเห็นของคราบ) และทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยใช้น้ำร้อน (40 องศาเซลเซียส) และน้ำเย็น โดยไม่ใส่สารซักฟอกและใส่สารโซเดียมเปอร์คาร์บอเนต เพื่อให้แน่ใจถึงสารโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตได้ดียิ่งขึ้นซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นลบ ตัวอย่างผ้าที่ไม่ใส่สารโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตให้ผลเป็นค่าบวก และตัวอย่างผ้าที่มีสารโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตในการใช้น้ำเย็นจะให้ผลเป็นค่าลบ ถึงแม้จะมีการเรืองแสงสีน้ำเงินเล็กน้อย ซึ่งจะไม่ถือว่าเป็นผลการทดสอบที่เป็นบวก ผงซักฟอกที่มีโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตร่วมกับการซักด้วยน้ำร้อนหรือน้ำเย็น ช่วยป้องกันไม่ให้ตัวอย่างคราบเลือด มีผลการทดสอบที่เป็นบวก Castello สรุปว่า อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อโซเดียมเปอร์คาร์บอเนตละลายในน้ำจะไปยับยั้งการการเกิดปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับฮีม (Castello et al., 2002)

3. การตรวจหาคราบเลือด

เลือดเป็นวัตถุพยานที่สำคัญที่สุดในการนำไปใช้ตรวจหาหมู่เลือดและดีเอ็นเอ เพื่อเชื่อมโยงผู้เสียหาย ผู้ต้องสงสัยและสถานที่เกิดเหตุเข้าไว้ในเหตุการณ์เดียวกัน โดยอาศัยลักษณะของคราบเลือดที่ปรากฏในที่เกิดเหตุ เช่น ปริมาณเลือด รอยลาก การกระเซ็นของเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ลักษณะรูปร่างของหยดเลือด ยังบ่งบอกถึงระยะและทิศทางของเลือดที่มาตกกระทบพื้นผิวได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ล้วนเป็นประโยชน์นำไปใช้ประกอบการพิจารณาถึงพฤติการณ์ของคดีที่เกิดขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายคุณสมบัติของเลือด ได้แก่ เวลา การเกิดสนิมของอาวุธ ความร้อน ความชื้น และการซักล้างกรณีเป็นคราบที่เสื้อผ้า เป็นต้น

<u>วิธีการเก็บและรักษาเลือดสด</u>

ใช้ dropper ดูดเลือด 5-10 mL เก็บใส่หลอดแก้วหรือขวดแก้วที่สะอาด และมีสารกันเลือดแข็งตัว เช่น potassium oxalate, EDTA, sodium fluoride, heparin ปิดจุกให้สนิท เก็บตัวอย่างไว้ใน ตู้เย็นช่องธรรมดาที่อุณหภูมิ 4 องศา ห้ามแช่แข็ง เพราะจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ทำให้ตรวจหมู่เลือดได้ยาก อีกวิธีคือ การใช้ cotton swab หรือเศษผ้าซับเลือด ผึ่งตัวอย่างเลือดให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิห้องแล้วบรรจุใส่ซองกระดาษ นำใส่ในซองกระดาษ เพื่อนำมาส่งตรวจ

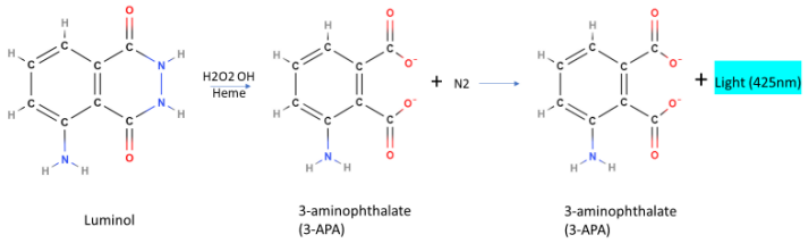
<u>วิธีการเก็บและรักษาคราบเลือดแห้ง</u>

เก็บคราบเลือดที่ติดอยู่บนวัตถุส่งให้ห้องปฏิบัติการทั้งชิ้น ถ้าเป็นวัตถุชิ้นใหญ่ให้ใช้มีดบางๆ ขูดออกหรืออาจใช้ก้านสำลีชุบน้ำกลั่นให้หมาดๆแล้วเช็ดบริเวณที่พบคราบเลิด แล้วผึกให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ใส่บรรจุ ซองกระดาษเพื่อนำมาส่งตรวจ กรณีคราบเลือดที่ติดอยู่ตามร่างกายใช้ cotton swab ชุบน้ำกลั่นหมาดๆเช็ดออก และใช้ cotton swab อีกอันเช็ดบริเวณใกล้เคียงที่ไม่มีคราบเลือด ผึ่ง swab ทั้งสองให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง แยกใส่ในซองกระดาษหรือหลอดแก้ว ส่งตรวจตัวอย่าง กรณีคราบเลือดที่ติดอยู่ที่เล็บมือ ให้ใช้วิธีการขูดออกหรือตัดปลายเล็บออก โดยแยกเล็บมือข้างซ้ายและข้างขวา ใส่ซองกระดาษข้างละซอง กรณีเสื้อผ้าที่มีคราบเลือดติดอยู่ต้องผึ่งให้ แห้งสนิทในที่ร่มก่อนที่จะบรรจุในถุงกระดาษเพื่อนำส่งตรวจ (ศิริพร พันธศรี, 2549)

<u>3.1 ลูมินอล(Luminol)</u>

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้มีการใช้ลูมินอลในการตรวจหาคราบเลือดที่พบในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งลูมินอล (Luminol ; $C_8H_7N_3O_2$) เป็นสารเคมีที่เป็นของแข็งมีลักษณะเป็นผงละเอียด คุณสมบัติในการเรืองแสง เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับเลือดจะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น การเตรียมสารละลายลูมินอล เตรียมได้จากการผสมลูมินอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ลูมินอลอยู่ในรูปแอนไอออน ซึ่งมี

ความเสถียรสูง จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปทำปฏิกิริยากับเหล็กทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วแล้วทำให้โครงสร้างของลูมินอลไม่เสถียรที่มีพลังงานสูง ทำให้มีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสีฟ้า (สรวง สมานหมู่ และคณะ, 2554)

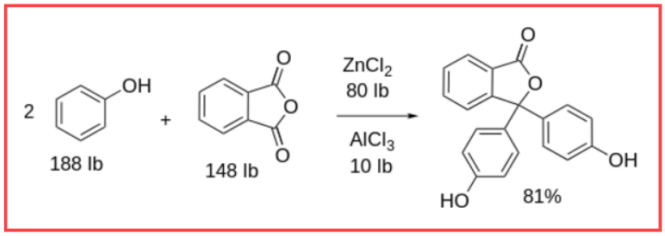


รูปที่ 9 การทำปฏิกิริยาของลูมินอล

ที่มา https://open.bu.edu/bitstream/handle/2144/42150/GomezMarquez_bu_0017N_15839.pdf?sequence=7&isAllowed=y

3.2 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

ฟีนอล์ฟทาลีนสามารถสังเคราะห์ได้จากการควบแน่นของทาลิกแอนไฮไดรด์กับฟีนอลสองตัวภายใต้สภาวะเป็นกรด กระบวนการนี้ค้นพบในปี ค.ศ. 1871 โดยดอล์ฟ ฟอน ไบเออร์



รูปที่ 10 การสังเคราะห์ฟีนอล์ฟทาลีน

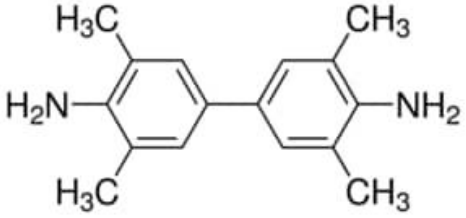
ที่มา http://www.digitalschool.club/digitalschool/science

ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมี ($C_{20}H_{14}O_4$) นิยมใช้เป็นตัว indicator ในการไทเทรตกรด-เบส โดยจะไม่มีสี เมื่อทดสอบด้วยสารละลายกรดและมีสีชมพูอมม่วงเมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบส นอกจากนี้ยังใช้เป็นยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ ร่วมกับเมทิลเรด บรอมอไทมอลบลูและไทมอลบลู

หลักการในการทดสอบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ทาลีน เริ่มจากฮีโมโกบิลในเม็ดเลือดแดงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายเอมไซม์เปอร์ออกซิเดส แล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากไม่มีสีเป็นสีชมพู (ไชยวัฒน์ ไชยสมบูรณ์, 2555)

3.3 เตตระเมทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine)

เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นมาใช้แทน benzidine ที่ถูกระงับการใช้ในการตรวจพิสูจน์ เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง โดยคณะผู้วิจัยต่างประเทศได้ทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติและองค์ประกอบทั่วไปของเตตระเม ทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine) พบว่ามีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ benzidine อีกทั้งยังปลอดภัยแก่ผู้นำมาใช้ปฏิบัติงาน จึงเหมาะสมที่จะนำใช้ในการตรวจพิสูจน์คราบเลือด (Garner and Cano,1976)



รูปที่ 11 โครงสร้างของเตตระเมทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine)
ที่มา https://www.sigmaaldrich.com/TH/en/product/aldrich/860336

หลักการในการทดสอบคราบเลือดของเตตระเมทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine) คือ ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้น้ำและออกซิเจน จากนั้นออกซิเจนจากสารเตตระเมทิลเบนซิดีน (Tetramethylbenzidine) จะเปลี่ยนสี จากที่ไม่มีสีเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน (Frey et al., 2000)

3.4 บลูสตาร์ (Blue Star)

พัฒนาขึ้นมาจากลูมินอล โดย Dr.Loric Blum เมื่อปี ค.ศ. 2000 โดยออกแบบผลิตภัณฑ์ในรูปแบบบลูสตาร์อัดเม็ดเพื่อความสะดวกในการนำมาปฏิบัติงาน หลักการทั่วไปของการทดสอบคราบเลือด คือ ไอออนของเหล็ก(Fe^{2+}) จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกซิเดช ทำให้ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสีฟ้า เมื่อนำบลูสตาร์มาใช้ทดสอบคราบเลือด พบว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าลูมินอล ในหลายๆด้าน โดยในช่วงที่ทำการทดสอบคราบเลือด บลูสตาร์จะทำปฏิกิริยากับเลือดทำให้เกิดการเรืองแสงที่สว่างและนานกว่าลูมินอล อีกทั้งสถานที่ที่ทำการตรวจสอบนั้นไม่จำเป็นต้องมืดสนิทก็สามารถแสดงประสิทธิภาพในการตรวจได้ชัดเจนกว่า จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสม (สวรส ปุริมโน, 2555)

3.5 วิธีฟลูออเรสซีน (Fluorescein)

ฟลูออเรสซีนเป็นสีย้อม fluochrome ทั่วไป มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็ง ผงละเอียดสีส้ม-แดง ไม่มีกลิ่น มีสูตรเคมี คือ $C_{20}H_{12}O_5$ ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้ในกรดเจือจางและด่างเจือจาง ได้จากการควบแน่นของ phthalic anhydride กับ resorcin เมื่อให้ความร้อน ถูกนำมาใช้ในการย้อมไหมและขนสัตว์ เป็นสารประกอบหลักของ eosin ทั้งหมดเป็นอนุพันธ์โบรมีนของฟลูออเรสซีน ซึ่งใช้ในการย้อมสิ่งทอ การผลิตหมึก ในการแต่งสีเครื่องสำอาง ในสีน้ำมันเบนซิน และเป็นโทนเนอร์ eosin เป็นองค์ประกอบของ Wright stain ซึ่งดัดแปล Nocht's stain และ eosin-methylene blue เกลือโซเดียมของฟลูออเรสซีน เรียกว่า uranine ซึ่งใช้ในการย้อมไหมและขนและสีในเคมีเกษตร ปุ๋ย สารซักฟอก และสารต้านการแข็งตัว Fluorescein sodium (uranine) เป็นผงผลึกสีส้มแดง ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ เมื่อละลายน้ำจะได้สีเขียวเหลืองเรืองแสงได้ ในทางชีววิทยจะใช้เป็นตัวตรวจจอประสาทตาโดยการฉีดสีเพื่อดูความผิดปกติของหลอดเลือด เช่น จอประสาทตาบวม หลอดเลือดดำในตาอุดตัน และวางแผนการรักษาโดยการยิงแสงเลเซอร์ ในทางนิติวิทยาศาสตร์นำมาใช้ตรวจคราบเลือดได้ดีในสถานที่เกิดเหตุที่มีการทำลายหลักฐานโดยการล้างทำความสะอาดเพื่อปกปิดการกระทำความผิดหรือสถานที่เกิดเหตุที่ผ่านมานานแล้ว

Fluorescein จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้เนื่องจากไม่ทำลายดีเอ็นเอ (DNA) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่า Fluorescein สามารถเรืองแสงได้นานกว่า Luminol แต่มีข้อด้อย คือ Fluorescein จะต้องเตรียมบ่อยครั้งกว่า Luminol (chemicalland21)

3.5 วิธีบลูสตาร์ (Bluestar)

บลูสตาร์พัฒนามาจากลูมินอล โดยมีการออกแบบเป็นแบบอัดเม็ด เพื่อความสะดวกในการใช้งาน หลักการในการทดสอบเลือดคือ ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จากนั้นเหล็ก (Fe^{2+}) จะกระตุ้นเอนไซม์เปอร์ออกซิเดซซึ่งมีพลังงานสูง จึงปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบคราบเลือดด้วยวิธีบลูสตาร์และวิธีลูมินอล พบว่าบลูสตาร์มีประสิทธิภาพมากกว่าลูมินอลเนื่องจากมองเห็นการเรืองแสงที่นานกว่าและไม่จำเป็นต้องทดสอบในพื้นที่มืดสนิท อีกทั้งยังมีความไวในการเกิดปฏิกิริยา (กรกมล วีระพันธุ์, 2563)

4. วัสดุพื้นรองเท้า

ปัจจุบันคนเรามักสวมใส่รองเท้าในการดำเนินชีวิตประจำวัน ซึ่งวัสดุพื้นรองเท้าที่มีขายตามท้องตลาดได้แก่ พื้นไม้ พื้นยางและพื้นผ้า พื้นยาง เป็นรองเท้าที่สามารถผลิตและหาซื้อได้ง่ายและมีราคาที่ไม่สูง นิยมใช้ในกลุ่มคนทุกกลุ่มทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ทั้งหญิงและชาย (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2549)

ยางพื้นรองเท้าผลิตมาจากยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ หรือยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ ซึ่งรองเท้าในปัจจุบันมีอยู่ 3 แบบ คือ พื้นยางแข็ง พื้นยางฟองน้ำ และพื้นพีวีซี (ดารณี เจริญสุข, 2556)

ชนิดของพื้นรองเท้า

4.1 ยางธรรมชาติ

เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นยาง มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทนต่อการฉีกขาด และการสึกหรอ แต่ไม่ทนต่อตัวทำละลายพวกน้ำมันปิโตรเลียมและมักเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ความร้อน ออกซิเจน และโอโซน รูปยางแห้ง จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตรองเท้า ยางรถจักรยาน ยางรถยนต์

รูปที่ 12 ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ

ที่มา http://designtechnology.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/83/2018/12/ยาง.pdf

4.2 ยางสังเคราะห์

เป็นยางที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีปรับปรุงคุณภาพให้ดีกว่ายางธรรมชาติ ซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึงและการฉีกขาด ความทนต่อเปลวไฟ สภาพ อากาศ แสงแดด สารเคมีและน้ำมัน ยางสังเคราะห์มีหลายประเภท มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามความ เหมาะสมในการใช้งาน อีกทั้งยางสังเคราะห์มีความทนทานต่อการใช้งานและเสื่อมสภาพได้ช้ากว่ายางธรรมชาติส่งผลให้ในปัจจุบันยางสังเคราะห์ได้รับความนิยมนำมาใช้งาน

รูปที่ 13 ผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์

ที่มา http://designtechnology.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/83/2018/12/ยาง.pdf

4.3 พื้นยางสังเคราะห์ชนิด EVA หรือที่นิยมเรียกกันติดปากว่า แผ่นโฟม EVA เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งได้จากการทำโพลิเมอร์ไรเรชั่น (Polymerization) ของสารเอทิลีนโมโนเมอร์ (Ethylene Monomer) กับสารไวนิลอะซีเตดโมโนเมอร์ (Vinyl Acetate Monomer - VAM เป็นวัตถุสำคัญที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมภาคต่างๆ เช่น วัตถุดิบในการทำรองเท้า พื้นรองเท้า แผ่นรองเม้าส์ ทำกระเป๋า เป็นต้น อีวีเอมีความนุ่ม น้ำหนักเบา ทนทาน สามารถปั๊มเป็นลวดลายต่างๆ ได้ด้วยระบบ Hot Press และ Cold Press ผสมทุกอย่างที่เป็นผงเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ เช่น นุ่ม แข็งแรง ยืดหยุ่น มีสีสดใส ด้วยสาเหตุนี้พื้นรองเท้าจึงเป็นที่นิยม (I.E., ม.ป.ป.)

4.4 พื้นยางสังเคราะห์พียู (PU) ย่อมาจาก Polyurethane เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่เกิดจาก การ Polymerization ของโมโนเมอร์ของยูรี เทน (Urethane) ไม่สามารถหลอมเหลวหรือขึ้นรูปได้ใหม่คุณสมบติทนต่อการเสียดสีได้ดีมาก ทนต่อการอัดลมได้สูงมาก ทนน้ำมันและทนความร้อนได้ -40 °C ถึง 100°C ผลิตครั้งแรกในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้ทดแทนยางธรรมชาติ และยังใช้ผลิตผ้าที่มีความทนทาน เคลือบผิวเครื่องบินเป็นโลหะเพื่อป้องกันการกดกร่อนของสารเคมี ปัจจุบันยางสังเคราะห์พียู (PU) ผลิตออกมาหลายรูปแบบ ได้แก่ ท่อลมอัดโฟมยืดหยุ่น โฟมแข็ง สารเคลือบป้องกันสารเคมีพื้นรองเท้านิรภัย เป็นต้นส่วนยางสังเคราะห์ทีพียู(TPU) ย่อมาจาก Thermoplastic polyurethanes เป็นอีกขั้น หนึ่งงของยางสังเคราะห์พียู(PU) มีลกัษณะอ่อน แต่ไม่อ่อน เท่าเนื้อของยางสังเคราะห์พียู(PU) มีความลื่นและมีความแข็งกว่า ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ เป็นยางกันกระแทกเพราะมีความคงทนกว่า ไม่เกิดการย้วยทนน้ำมัน และทนความร้อนได้-50 °C (Howard, 2002)

4.5 พื้น PVC พีวีซี เป็นสารสังเคราะห์ชนิดเทอร์โมพลาสติก หรือพลาสติกที่ใช้ความร้อนไม่สูงในการเปลี่ยนรูปได้ง่าย มีองค์ประกอบของโมเลกุลขนาดใหญ่ของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและคลอรีน ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันในขั้นต้นจะได้แนฟทาเมื่อนำมาผ่านการกลั่นให้บริสุทธิ์และกระบวนการอื่นๆ อีกหลายขั้นตอนจะได้เอทิลีน ซึ่งเมื่อนำมาผ่านกระบวนการรวมตัวกันทางเคมีจะได้ก๊าซไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ หลังจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันหรือการนำไวนิลคลอไรด์โนเมอร์มาเชื่อมต่อกันทางเคมีจะได้โมเลกุลสายขนาดใหญ่เรียกว่า โพลีไวนิลคลอไรด์ (เกรียงประภา, 2016) มีคุณสมบัติด้านความปลอดภัยที่ดีน้ำหนักเบา กันสารเคมีดี แต่แข็งและกันลื่นได้ไม่ดีนัก เหมาะสำหรับงานความเสี่ยงต่ำทั่วไป เช่นงานขับรถส่งสินค้า (PCL, 2021)

4.6 พื้นไม้ รองเท้าไม้ เดิมเรียกว่า เกือก เป็นของใช้ที่ชาวบ้านใส่ไปทำงานในป่า เพื่อป้องกันหนามตำเท้า มีการคิดทำรองเท้าใส่มีมาแต่อดีตแล้ว ในครั้งแรกอาจใช้หนังสัตว์ที่ล่าได้มาเจาะรูร้อยเส้นเถาวัลย์หรือเชือกมัดหุ้มรอบเท้าป้องกันอันตรายต่าง ๆ จนกระทั่งมีการใช้ไม้แผ่นมาตัดเป็นพื้นรองเท้าและใช้เชือกหนังสัตว์เป็นสายรองเท้า รองเท้าไม้คิดทำขึ้น เน้นในการใส่เข้าป่า การทำรองเท้าไม้ ใช้แผ่นไม้สักหนา 1-2 เซนติเมตร ความยาวขนาดเท้าของผู้ใส่ ทำเป็นพื้นรองเท้า ถากแผ่นไม้

รูปร่างเหมือนเท้าสองแผ่น เจาะรูกลมไว้ร้อยสายรองเท้าสามรู สายรองเท้าจะใช้เชือกปอ เวลาใช้จะต้องจุ่มน้ำหรือเอาน้ำลูบหูรองเท้าเสียก่อน เพราะทำให้สายรองเท้านิ่ม ไม่กัดซอกนิ้วเท้า ต่อมาจึงมีการพัฒนามาใช้รองเท้ายางและฟองน้ำที่ใช้โดยทั่วไปในสมัยนี้ (สนม ครุฑเมือง, 2534)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1งานวิจัยภายในประเทศ

5.1.1 จุฑามาศ ยิ้มนุ่น ได้ตรวจสอบคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยฟีนอล์ฟทาลีน ลูมินอล และฟูลออ- เรซซีนบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ โดยทำการนำโลหิตมนุษย์มาหยดบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการตรวจวัดคราบโลหิตที่ระยะเวลา 1 2 4 6 และ 8 สัปดาห์ พบว่าสามารถตรวจวัดด้วยลูมินอลได้ วิธีทดสอบทั้ง 3 วิธี และสามารถตรวจพบคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าที่ทำจากเอทิลีนไวนิลอะ ซิเตด ยางธรรมชาติและไบเก้นในขณะที่คราบโลหิตที่หยดบนพื้นผิวที่ทำจากไม้ไม่สามารถตรวจด้วยวิธีฟูลออเรซซีนได้ (จุฑามาศ ยิ้มนุ่น, 2559)

5.1.2 วราภรณ์ สมบุรุษ ศึกษาเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทำความสะอาดคราบเลือดที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีลูมินอลและบลูสตาร์ ซึ่งได้ศึกษาการซักล้างเลือดบนพื้นผิว 3 ชนิด ได้แก่ กระเบื้อง ไม้อัด และพรม โดยทำการซักล้างด้วยน้ำเปล่า น้ำยาซักผ้าและน้ำยาล้างห้องน้ำ พบว่าการทำความสะอาดคราบเลือดด้วยวิธีล้างน้ำเปล่าและน้ำยาล้างห้องน้ำ ทำให้มีการตรวจหาระดับค่าสีความเข้มของปฏิกิริยาการเรืองแสงในการตรวจหาคราบเลือดต่างกัน อาจเป็นเพราะในน้ำยาล้างห้องน้ำมีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อน คราบสกปรก คราบหินปูนรวมถึงคราบเลือดให้หลุดออกมาได้ เมื่อใช้น้ำยาล้างห้องน้ำคราบเลือดถูกชะออกไป นอกจากนี้ในน้ำยาล้างห้องน้ำยังมีสารช่วยลดแรงตึงผิวจึงทำให้สามารถขจัดคราบเลือดได้ (วราภรณ์ สมบุรุษ & นพรุจ ศักดิ์ศิริ, 2562)

5.1.3 พินิตา กรทอง ศึกษาการตรวจเปรียบเทียบคราบโลหิตโดยวิธี Kastle-Meyer, Luminol และ Bluestar® บนพื้นผิวมีรูพรุนและไม่มีรูพรุน พบว่าบนกระดาษ 80 แกรมวิธี Kastle-Meyer สามารถตรวจ คราบโลหิตเจือจางได้ถึงอัตราส่วน 1:1,000,000,000 ส่วนบนพื้นผิวกระจก Luminol และBluestar® ให้ประสิทธิภาพการตรวจเท่ากัน (พินิตา กรทอง, 2558)

5.2. งานวิจัยในต่างประเทศ

5.2.1 Jonathan Finnis , Jennie Lewis and Andrew Davidson เปรียบเทียบการปรากฏ ของเลือดบนพื้นผิวสีเข้มโดยใช้Luminol, fluorescein พบว่าเลือดที่มีการเจือจาง Luminol มีความไวที่สุด (Finnis et al., 2013)

5.2.2 Webb และคณะ ได้ศึกษาการทดสอบคราบเลือดโดยวิธี KM, LMG, Hemastix® และ Polilight® เปรียบเทียบกับ luminol ในแง่ของความไว ความปลอดภัย และความเป็นพิษ ตลอดจนการเสื่อมสภาพของคราบเลือด วิธีการทดสอบหยดเลือด 50 µL ลงบนผ้าแล้วตามด้วยสารละลาย โดยสันนิษฐานการทดสอบทั้งหมดว่าทำงานได้ดี ผลการทดลองพบว่า luminol เป็นวิธีที่ดีที่สุด มีความไวถึง 1:5,000,000 ตามด้วยวิธี Hemastix® ซึ่งมีความไวที่1:1,000,000 และ KM ซึ่งมีความไวที่ 1:100,000 ส่วนวิธี LMG และ วิธี Polilight® มีความไวน้อยที่สุดโดยมีความไวที่ 1:1,000 และ 1:100 ตามลำดับ (Webb et al., 2006)

5.2.3 ValentinaBrenzini and RahulPathak ได้ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นผิวที่ทาสีและทำความสะอาดด้วย luminol โดยใช้สีที่ใช้น้ำและตัวทำละลายการศึกษานี้ยังตรวจสอบประสิทธิภาพในการลดการตรวจคราบเลือดบนกระเบื้องเซรามิกโดยใช้วิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ น้ำบริสุทธิ์ น้ำสบู่ ผ้าเช็ดทำความสะอาดแบบเปียก และสารฟอกขาว ในการทดลองคราบเลือดที่ทำความสะอาดในช่วงเวลาต่างๆ หลังจากการทาทับ (1 นาที 15 นาที และ 1 ชั่วโมง) จากการศึกษาพบว่าคราบเลือดที่ปกปิดโดยชั้นของสีที่มีตัวทำละลาย ใช้วีลูมินอลตรวจพบได้น้อย เมื่อเทียบกับสี (Brenzini & Pathak, 2018)

5.2.4 Joanne, Jonathan and Terence ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจคราบโลหิตที่ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ 5 วิธี ได้แก่ วิธีLuminol ที่เป็นสาร Chemiluminescent และ Forensic light®และวิธี Phenolphthalein (Kastle-Meyer), Leucomalachite green, Hemastix source ที่ไม่ใช่สาร Chemiluminescent จากการศึกษาพบว่า การตรวจคราบเลือดโดยวิธี Luminol เป็นเทคนิคที่มีความไวมากที่สุดและมีความปลอดภัย (Webb et al., 2006)

5.2.5 Quickenend and Cooper ได้ปรับปรุงการทดสอบ luminol ให้มีความจำเฉพาะมากขึ้น สำหรับเลือด โดยการเปรียบเทียบการเรืองแสงของเลือดกับสารฟอกขาว การวัดสเปกตรัมของการเรืองแสงจำเป็นต้องใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวน Barr และ Stroud CGS2 ที่ติดตั้งมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อที่จะหมุนได้ สิ่งนี้ทำให้แสงที่ปล่อยออกมา เครื่องตรวจจับแสงที่ใช้คือหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ สัญญาณที่สร้างขึ้นและบันทึกบนคอมพิวเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า luminol ทำปฏิกิริยากับเลือดสร้างความเข้มสูงสุดที่ 455 ± 2 นาโนเมตร ในขณะที่สารฟอกขาวมีค่าสูงสุดที่ 430 ± 3 นาโนเมตร ทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ (Frey et al., 2000)

5.2.6 Webb et.al. ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ BlueStar Forensic® กับลูมินอล โดยการเปรียบเทียบการเจือจางเลือด 1:100 ถึง 1:1,000,000 บนวัสดุปูพื้นรวมถึงพรม เสื่อน้ำมัน แผ่นพื้น ผนังแห้ง อิฐ ไม้โอ๊ค กระเบื้องและไม้ และศึกษาการเก็บไว้ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศกับในห้องที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาฟาเรนไฮต์ โดยศึกษา

เป็นระยะเวลา 4 วัน 4 สัปดาห์และ 7 สัปดาห์ พบว่าวันที่ 4 คราบเลือดที่เจือจางมากกว่า 1:100,000 นั้นไม่สามารถมองเห็นได้ ยกเว้นบนผนังแห้งและกระเบื้อง Luminol ทำงานได้ดีกับคราบสกปรกจากห้องร้อนมากกว่าห้องเย็น ในขณะที่ BlueStar® ไม่แสดงความแตกต่างตามอุณหภูมิ จากการศึกษา 4 สัปดาห์พบว่าคราบเลือดที่เจือจาง 1:10,000 ขึ้นไปให้ผลเป็นลบ ยกเว้นบน drywall และกระเบื้อง ผลการศึกษา 7 สัปดาห์พบว่าคราบเลือดที่เจือจาง 1:10,000 ขึ้นไปให้ผลเป็นลบ ยกเว้นบนพรมและพื้นแห้ง BlueStar® มีประสิทธิภาพเหนือกว่า luminol ในความสามารถในการตรวจจับคราบเลือดที่เจือจางมาก (Webb et al., 2006)

จากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้สนใจศึกษาการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้า ชนิดอีวีเอ เนื่องจากเป็นรองเท้าที่มีน้ำหนักเบา ใส่สบาย มีสีสดใส เป็นที่นิยมขายในท้องตลาด โดยการทดลองหาคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลภายหลังจากการเดินและการแช่ด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำ เนื่องจากวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลเป็นวิธีที่มีความไวสูง สะดวก รวดเร็วปลอดภัยและราคาไม่แพง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อตรวจหาคราบเลือดที่ยังคงอยู่ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน และลูมินอลบนพื้นรองเท้า มีขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยและแหล่งที่มา

อุปกรณ์	แหล่งที่มา
รองเท้าลำลอง พื้นอีวีเอ	ยี่ห้อ Sport
ก้านสำลี	ยี่ห้อ Evergreen
Dropper	ยี่ห้อ Pyrex

น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ	ยี่ห้อ วิกซอลพิ้งค์
บีกเกอร์	ยี่ห้อ Glassco
ถุงมือยาง	ยี่ห้อ ศรีตรังโกลฟส์

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยและแหล่งที่มา

สารเคมี	**แหล่งที่มา**
Luminol	Sigma-Aldrich Corporation
Phenopthalein	Carlo Erba Reagents Group
ผงสังกะสี	บริษัทพลวัตเคมิคอลจำกัด
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	Merck Schuchardt OHG
น้ำกลั่น	-
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	Fluka
เอทานอล	Qrec,Newzealand
โซเดียมไฮดรอกไซด์	Merck Chemicals

3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเลือด

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างเลือด

ตัวอย่างเลือดมนุษย์จากอาสาสมัคร บรรจุในหลอดเคลือบด้วยสาร EDTA (Ethylene diamine tetra acetic acid) ที่มีคุณสมบัติจับกับแคลเซียม (Ca^{2+}) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือดและเพื่อรักษาสภาพของเม็ดเลือดเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.3 วิธีเตรียมน้ำยาทดสอบ

3.3.1 การเตรียมน้ำยาทดสอบ

3.3.1.1การเตรียมฟีนอล์ฟทาลีน มี 2 ขั้นตอนโดยมีส่วนผสมดังนี้

สารฟีนอล์ฟทาลีน	1 กรัม
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	10 กรัม
ผงสังกะสี	10 กรัม
น้ำกลั่น	50 มิลลิลิตร
เอทานอล	20 มิลลิลิตร
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (3% H_2O_2)	10 มิลลิลิตร

การเตรียม Solution Stock

นำสารฟีนอล์ฟทาลีน , โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) , ผงสังกะสี ที่เตรียมไว้ละลายในน้ำกลั่น แล้วนำไปต้มด้วย Reflux condenser ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลาย ไม่มีสีจะได้สารละลาย ฟีนอล์ฟทาลีนรอให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเก็บไว้ในขวดสีชาแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การเตรียม Working Solution (สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 20 % ในเอทานอล)

ให้เตรียม โดยการนำสารละลาย Solution Stock มาผสมเอทานอล โดยการนำ Solution Stock 5 มิลลิลิตรมาผสมเอทานอล 20 มิลลิลิตร

วิธีใช้

ให้นำก้านสำลี swab บนพื้นรองเท้าแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด ลงบนก้านสำลีตามด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 หยด สังเกตุผลถ้ามีคราบเลือดสำลีจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นชมพูเกิดขึ้นภายใน 10 วินาที ให้ทำการถ่ายรูปบันทึกผล

3.3.1.2 วิธีการเตรียมสารลูมินอล มีส่วนผสมดังนี้

สารลูมินอลมา	0.25	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	2.50	กรัม
น้ำกลั่น	50	มิลลิลิตร
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (3% H_2O_2)	10	มิลลิลิตร

การเตรียม Working Solution

นำลูมินอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ละลายในน้ำกลั่น และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วิธีใช้

ให้นำสารละลายลูมินอล (Working Solution) ใส่ขวดสเปรย์แล้วสเปรย์บนพื้นรองเท้า สังเกตุผลถ้ามีคราบเลือดจะเรืองแสงได้ในที่มืดสนิท ให้ทำการถ่ายรูปบันทึกผลภายใน 10 วินาที

3.4 การเตรียมภาชนะสำหรับแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ

ใช้น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำยี่ห้อ Vixol pink มีฤทธิ์เป็นกรด (HCl 10.50 % w/w) ปริมาณ 300 มิลลิลิตร เทลงในถาดพลาสติก กว้าง x ยาว x สูง ประมาณ 26 x 39 x 9.5 เซนติเมตร สำหรับการนำมาใช้แช่รองเท้าภายหลังจากการทาเลือด

3.5 เตรียมตัวอย่างรองเท้า

นำมาใช้เป็นรองเท้าลำลองสีดำ พื้นอีวีเอ โดยแบ่งพื้นที่บนพื้นรองเท้าเป็น 6 ช่อง แสดงดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 การเตรียมตัวอย่างพื้นรองเท้า

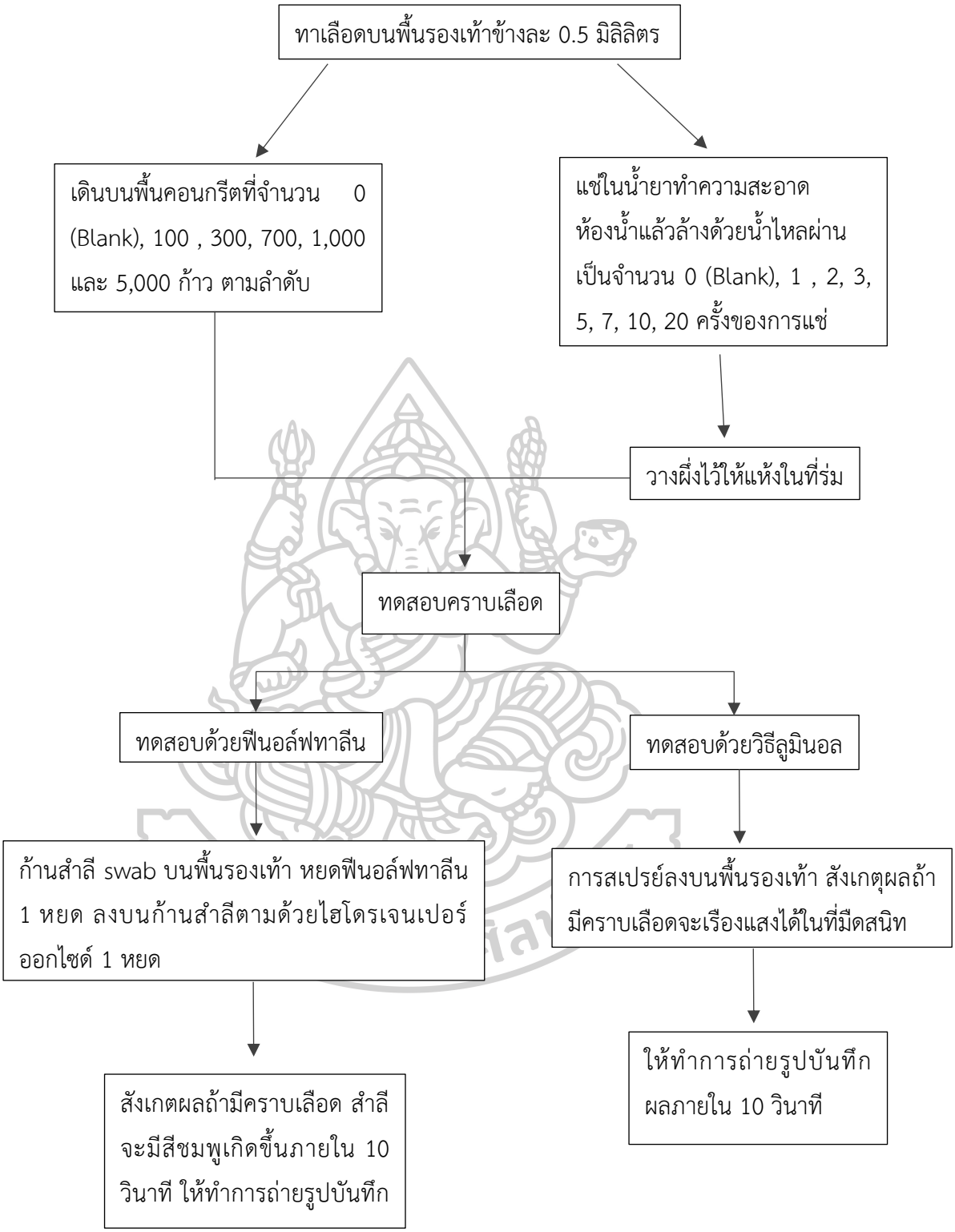
3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 ทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีต

หยดเลือดลงไปบนพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง มาถูกัน ให้ทั่วพื้นรองเท้าแล้วให้อาสาสมัครทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตเป็นจำนวน 0 (Blank), 100 , 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว ตามลำดับ โดยใช้ตัวควบคุม (Blank) คือ เลือด จากนั้นนำมาตรวจการปรากฏสีของเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล ถ่ายรูปและบันทึกผลภายใน 10 วินาที

3.6.2 การแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ

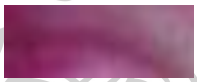
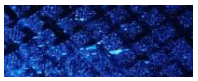
หยดเลือดลงไปบนพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง มาถูกัน ทาเลือดให้ทั่วพื้นรองเท้าแล้วแช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที เป็นจำนวน 0 (Blank), 1 , 2, 3, 5, 7, 10, 20 ครั้งของการแช่ หลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำและล้างด้วยน้ำไหล่ผ่านแล้ววางผึ่งไว้ให้แห้งในที่ร่ม โดยใช้ตัวควบคุม (Blank) คือ เลือด จากนั้นนำมาตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล ถ่ายรูปและบันทึกผลภายใน 10 วินาที หลังจากทำการทดลอง


ทาเลือดบนพื้นรองเท้าข้างละ 0.5 มิลิลิตร
เดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวน 0 (Blank), 100 , 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว ตามลำดับ
แช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่านเป็นจำนวน 0 (Blank), 1 , 2, 3, 5, 7, 10, 20 ครั้งของการแช่
วางผึ่งไว้ให้แห้งในที่ร่ม
ทดสอบคราบเลือด
ทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีน
ทดสอบด้วยวิธีลูมินอล
ก้านสำลี swab บนพื้นรองเท้า หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด ลงบนก้านสำลีตามด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 หยด
การสเปรย์ลงบนพื้นรองเท้า สังเกตุผลถ้ามีคราบเลือดจะเรืองแสงได้ในที่มืดสนิท
สังเกตผลถ้ามีคราบเลือด สำลีจะมีสีชมพูเกิดขึ้นภายใน 10 วินาที ให้ทำการถ่ายรูปบันทึก
ให้ทำการถ่ายรูปบันทึกผลภายใน 10 วินาที

3.7 การวิเคราะห์ผลการตรวจหาคราบเลือด

เปรียบเทียบการปรากฏสีที่ได้จากการตรวจคราบเลือดด้วยวิธี ฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจพิสูจน์ดีเอ็นเอ ซึ่งกำหนดระดับการปรากฏสี 4 ระดับ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับการปรากฏสีที่ได้จากการตรวจคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล

ระดับ	การปรากฏสี	การปรากฏสี	
		ตัวอย่างภาพ ฟีนอล์ฟทาลีน	ตัวอย่างภาพ ลูมินอล
0	ไม่มีการปรากฏสี		
1	การปรากฏสีเล็กน้อย		
2	การปรากฏสีปานกลาง		
3	การปรากฏสีอย่างชัดเจน		

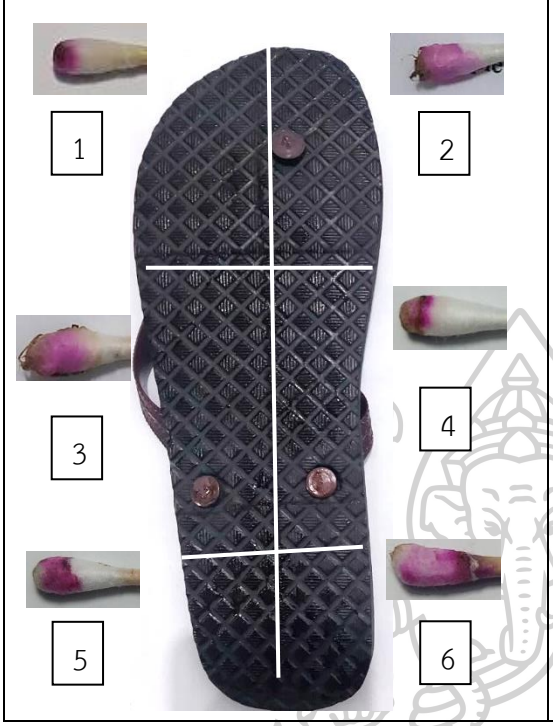
การแปลผลการทดลอง ให้นำระดับการปรากฏสีบนพื้นรองเท้าทั้ง 6 ช่อง นำมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ระดับการปรากฏสีบนพื้นรองเท้าแต่ละข้างโดยเฉลี่ย ในการทดลองได้ทำ 2 ซ้ำ (รองเท้าข้างขวาและข้างซ้าย) ให้นำผลเฉลี่ยจากรองเท้าทั้ง 2 ข้าง มาหาค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนการปรากฏสีที่จำนวนต่างๆ โดยที่การบันทึกผลเป็นจำนวนเต็ม 0 – 3 ส่วนค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนการปรากฏสีที่จำนวนต่างๆ มีเลขเป็นทศนิยมให้ถือว่าการปรากฏสีอยู่ระหว่างระดับการปรากฏสี 2 สีนั้น

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

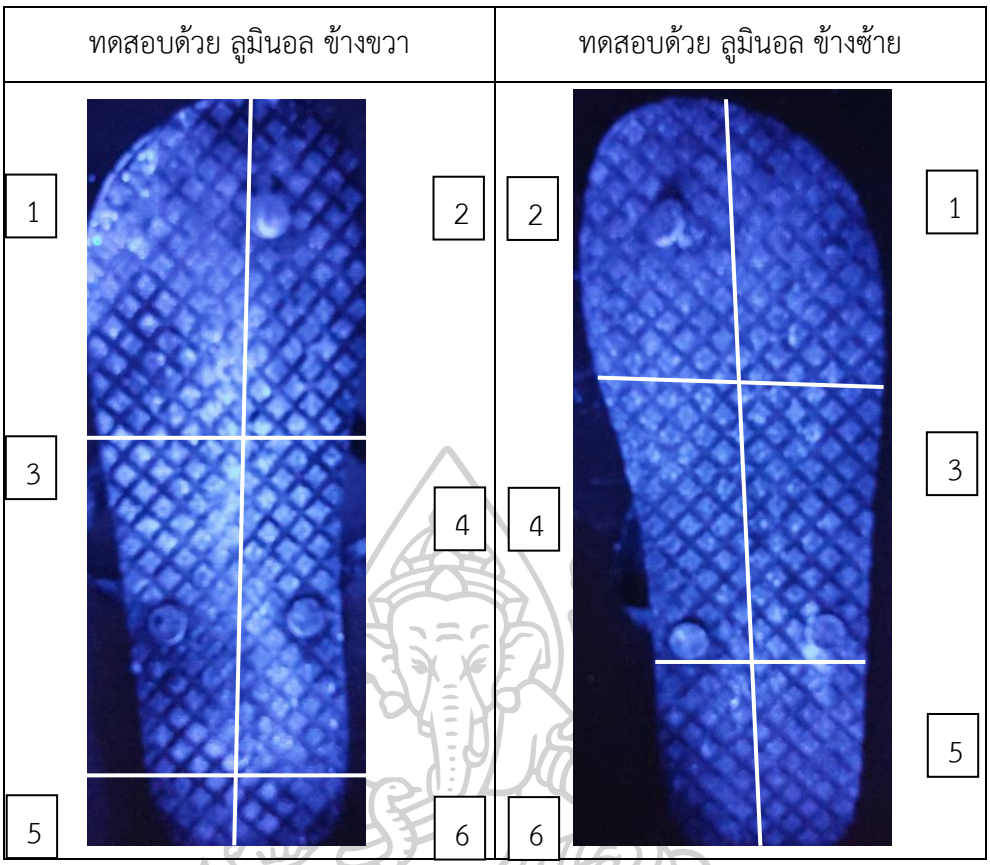
จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากทำการทดลองทั้งสองวิธี ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล โดยใช้รองเท้าลำลองสีดำ พื้นอีวีเอ ทำการกำหนดพื้นที่บนพื้นรองเท้าเป็น 6 ช่อง ทาเลือดให้ทั่วพื้นรองเท้าทั้งสองข้าง โดยนำพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง มาถูกัน แล้วทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตเป็นจำนวน 0 (Blank), 100, 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว และศึกษาการแช่พื้นรองเท้าที่ทาเลือดในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาที แล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 0 (Blank), 1, 2, 3, 5, 7, 10, 20 ครั้งของการแช่ หลังจากทดลองทั้งสองวิธีแล้วให้ทำการตรวจหาคราบเลือดที่คงอยู่บนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล จากนั้นทำการถ่ายรูปและบันทึกผลภายใน 10 วินาที หลังจากนั้นนำค่าระดับการปรากฏสีทั้ง 6 ช่อง นำมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ระดับการปรากฏสีบนพื้นรองเท้าแต่ละข้างโดยเฉลี่ย ในการทดลองได้ทำ 2 ซ้ำ (รองเท้าข้างขวาและข้างซ้าย) ให้นำผลเฉลี่ยจากรองเท้าทั้ง 2 ข้าง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนการปรากฏสีที่จำนวนต่างๆ โดยให้บันทึกผลเป็นจำนวนเต็ม 0 – 3 ส่วนค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนการปรากฏสีที่จำนวนต่างๆมีเลขเป็นทศนิยมให้ถือว่าการปรากฏสีอยู่ระหว่างระดับการปรากฏสี 2 สีนั้น

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการทาเลือดบนพื้นรองเท้าแล้วทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตเป็นจำนวน 0 (Blank), 100, 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว ให้ผลการทดลองดั้งนี้แสดงดังรูปที่ 15-26

ทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน ข้างขวา	ทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลี ข้างซ้าย
	

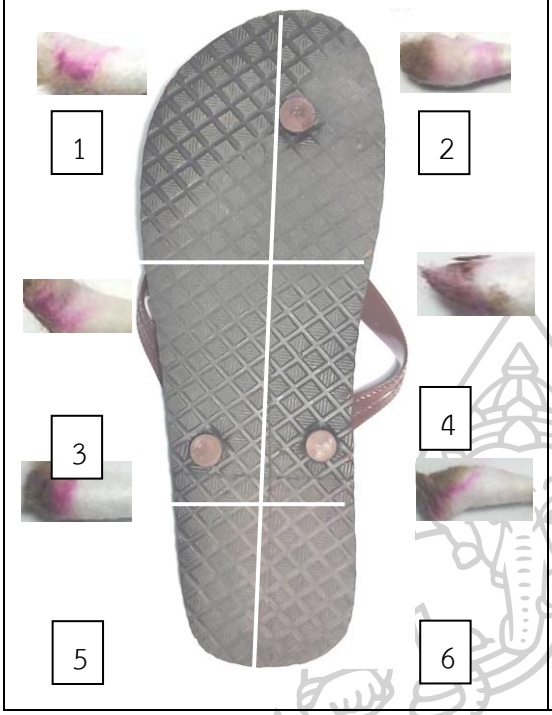
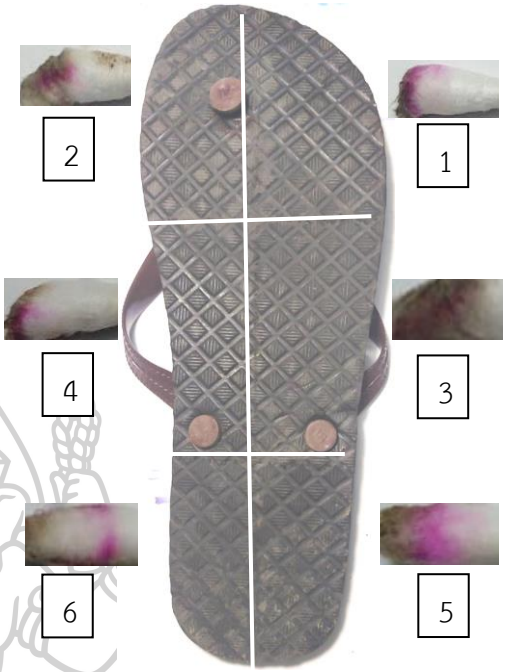
รูปที่ 15 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 0 ก้าว (Blank)

มหาวิทยาลัยศิลปากร



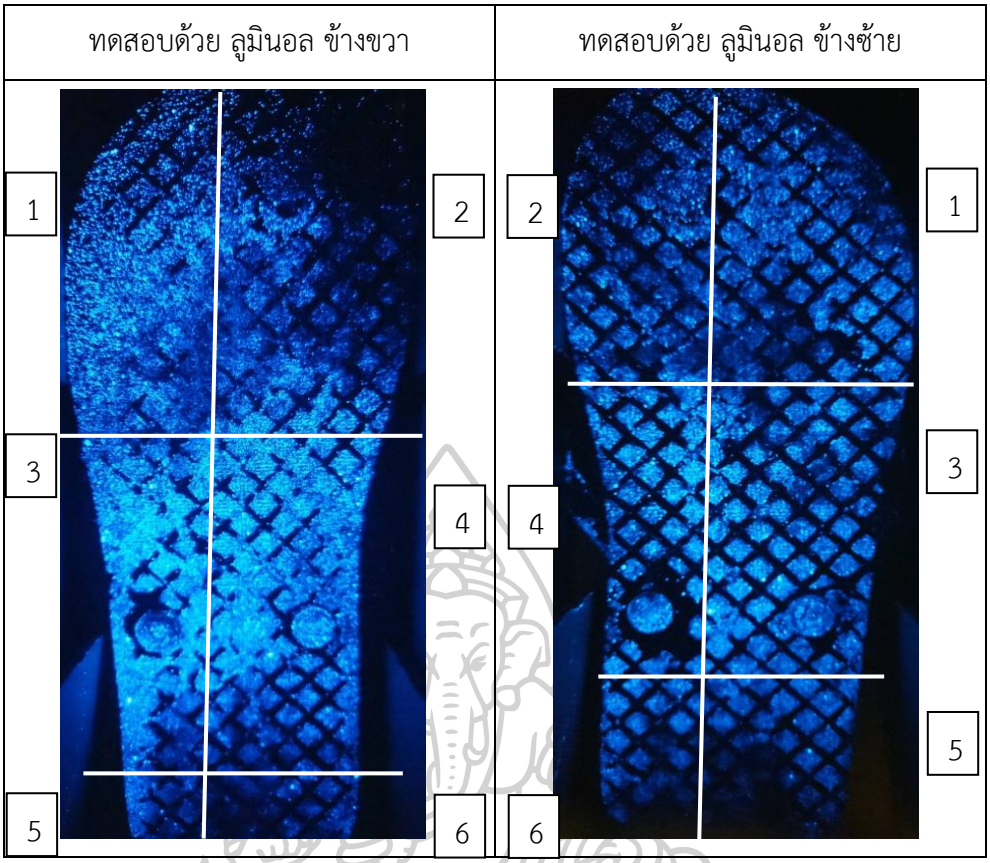
รูปที่ 16 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 0 ก้าว (Blank)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน ข้างขวา	ทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน ข้างซ้าย
	

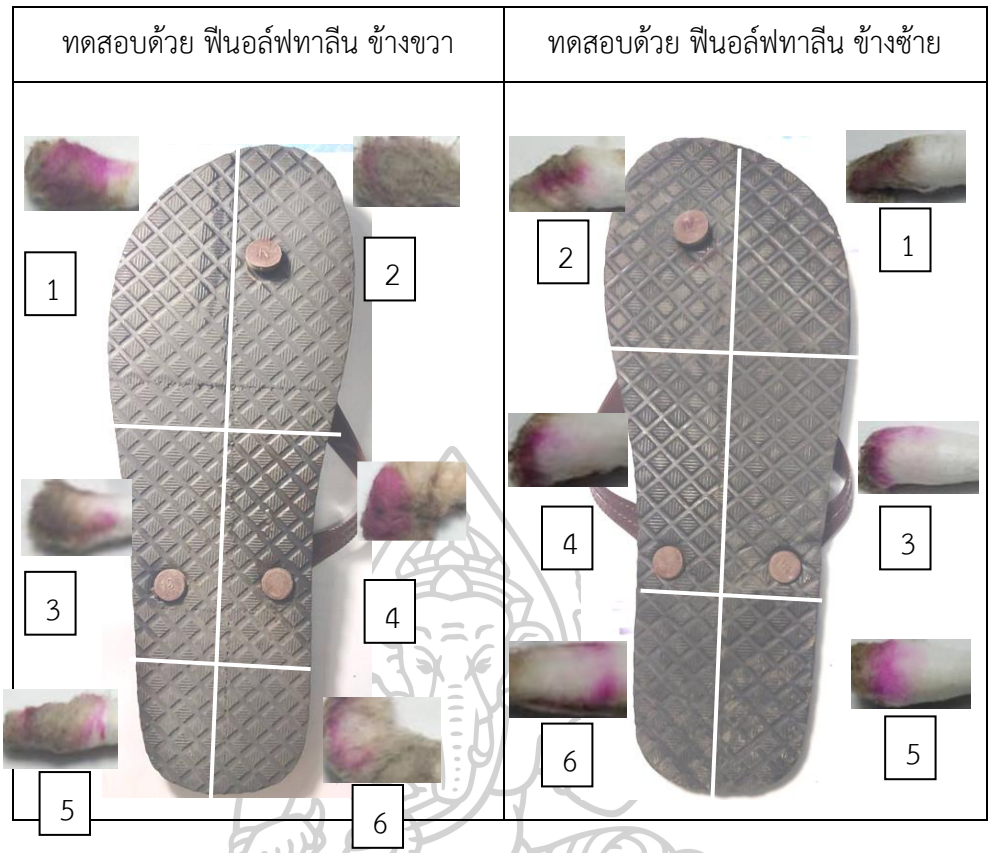
รูปที่ 17 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 100 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



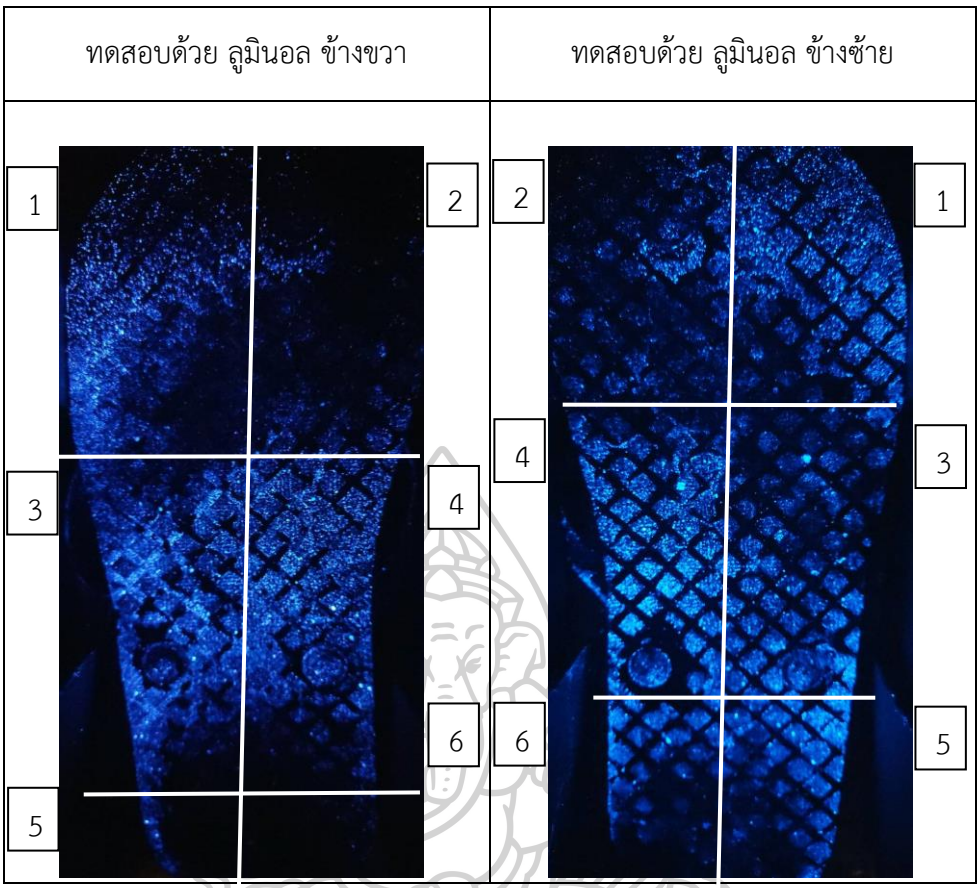
รูปที่ 18 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 100 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



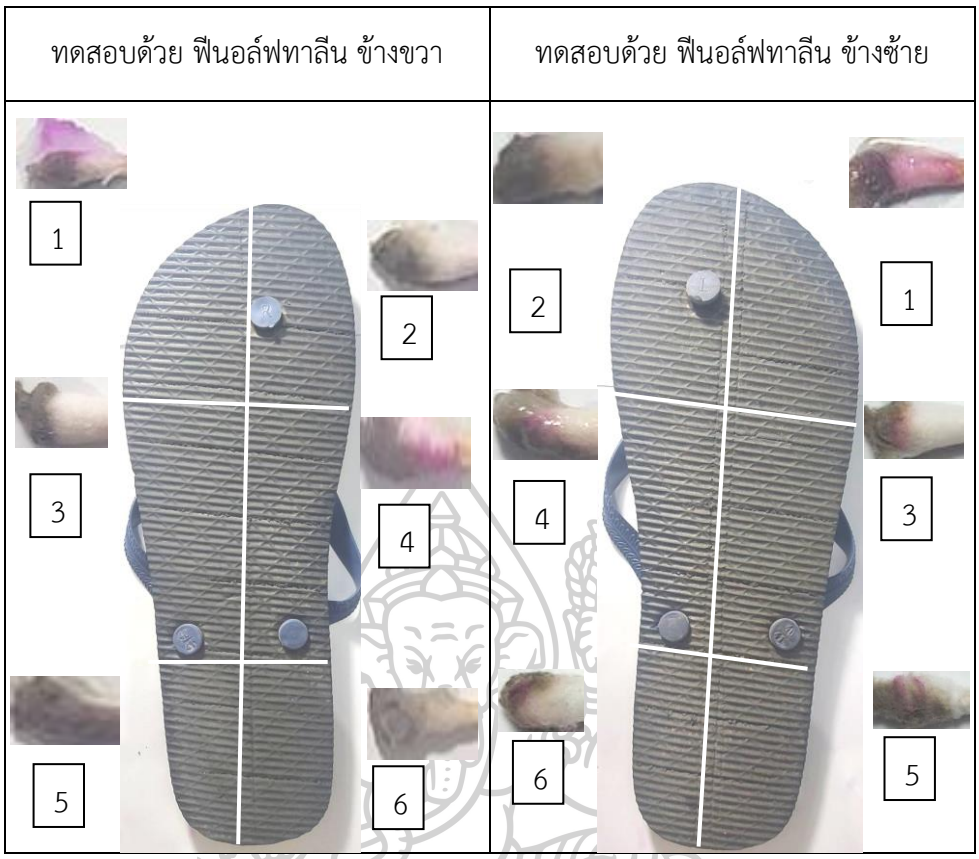
รูปที่ 19 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 300 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



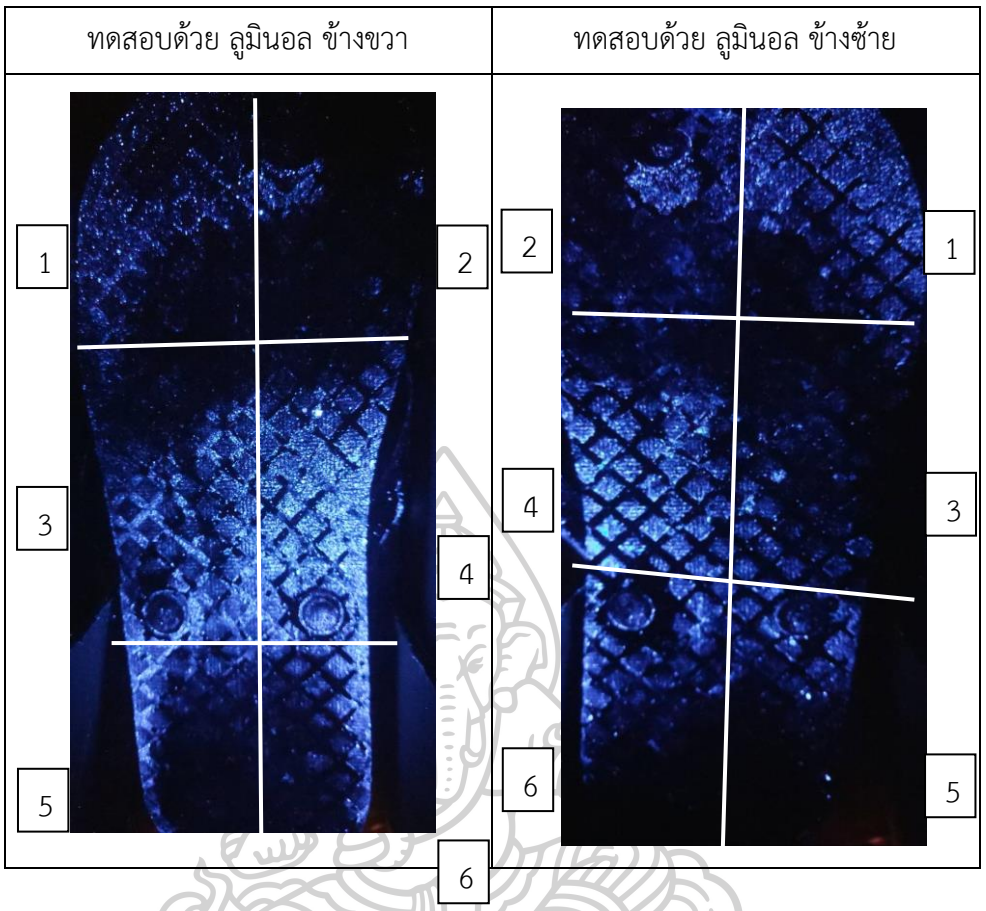
รูปที่ 20 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 300 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



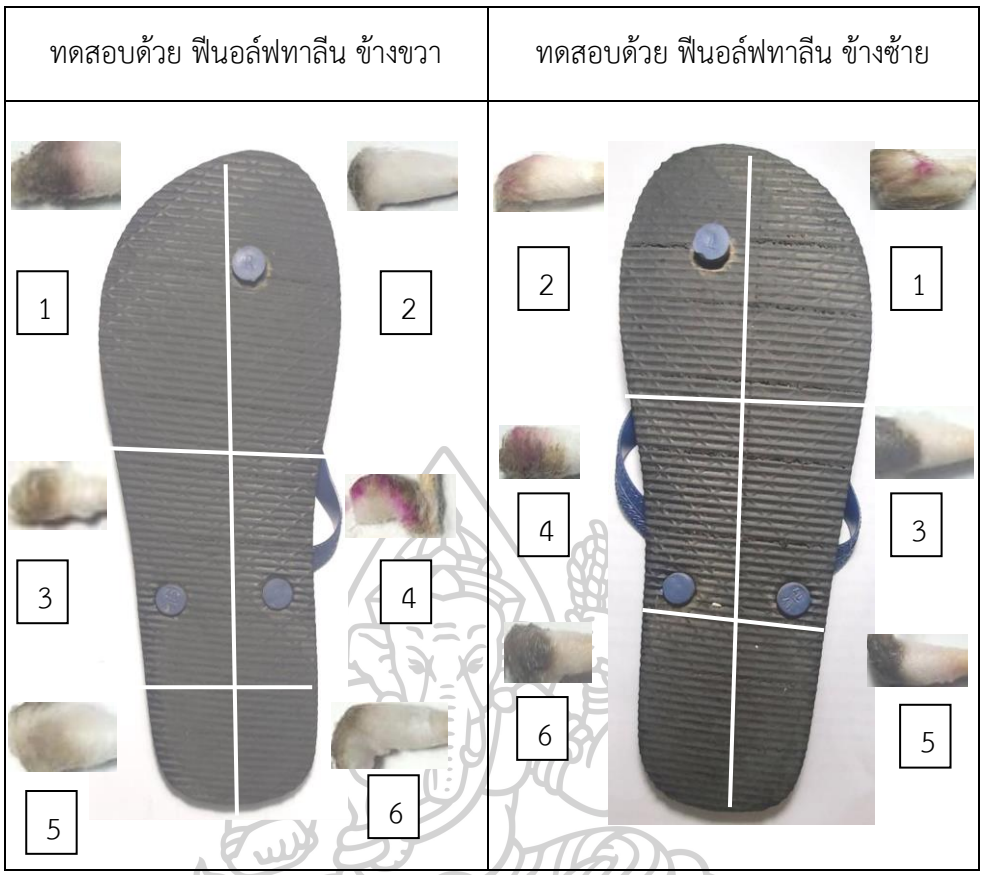
รูปที่ 21 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 700 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

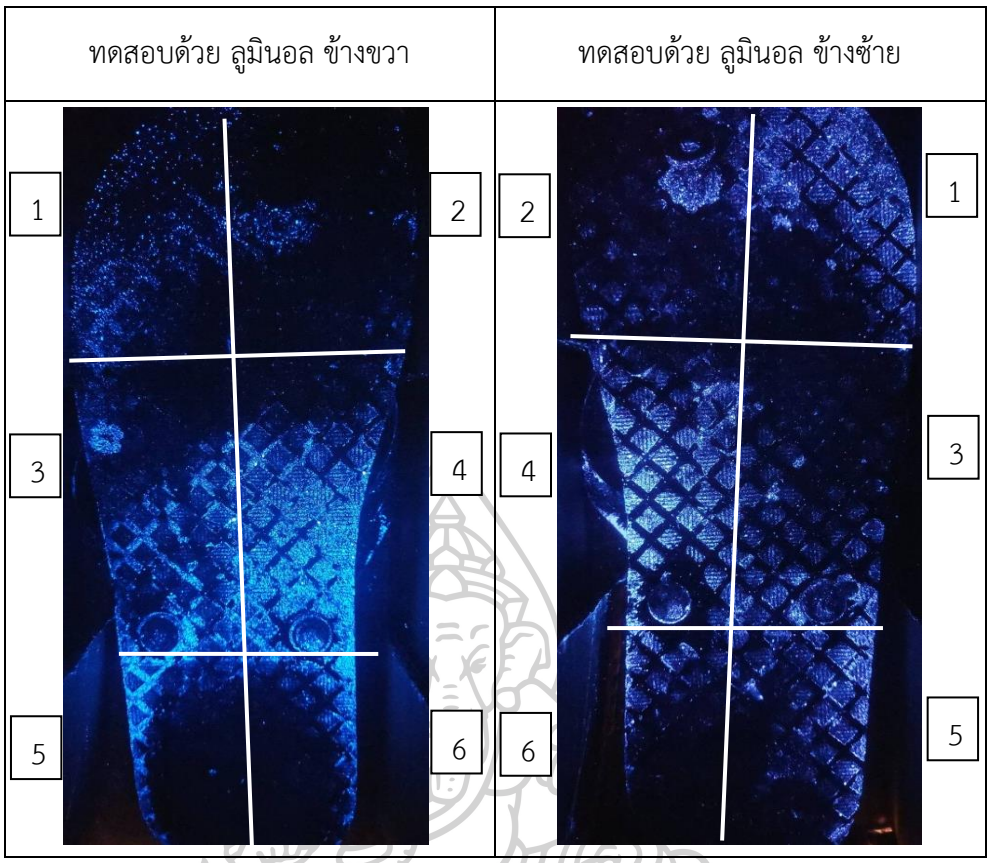


รูปที่ 22 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 700 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

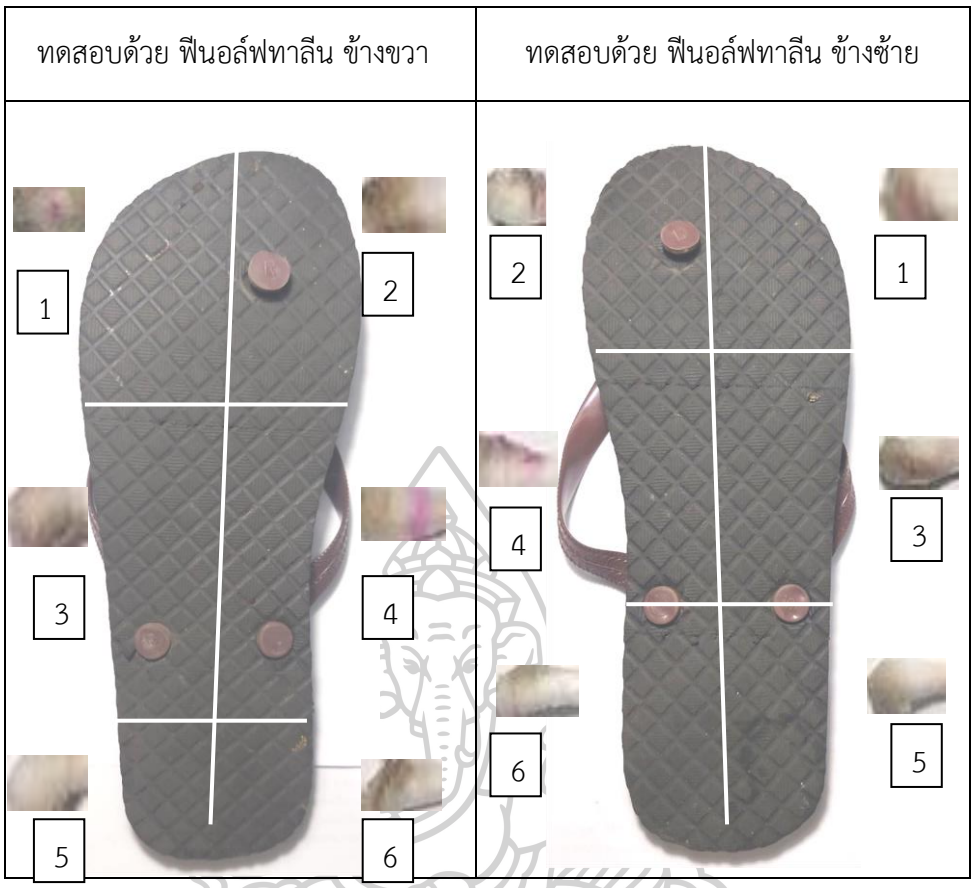


รูปที่ 23 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 1,000 ก้าว



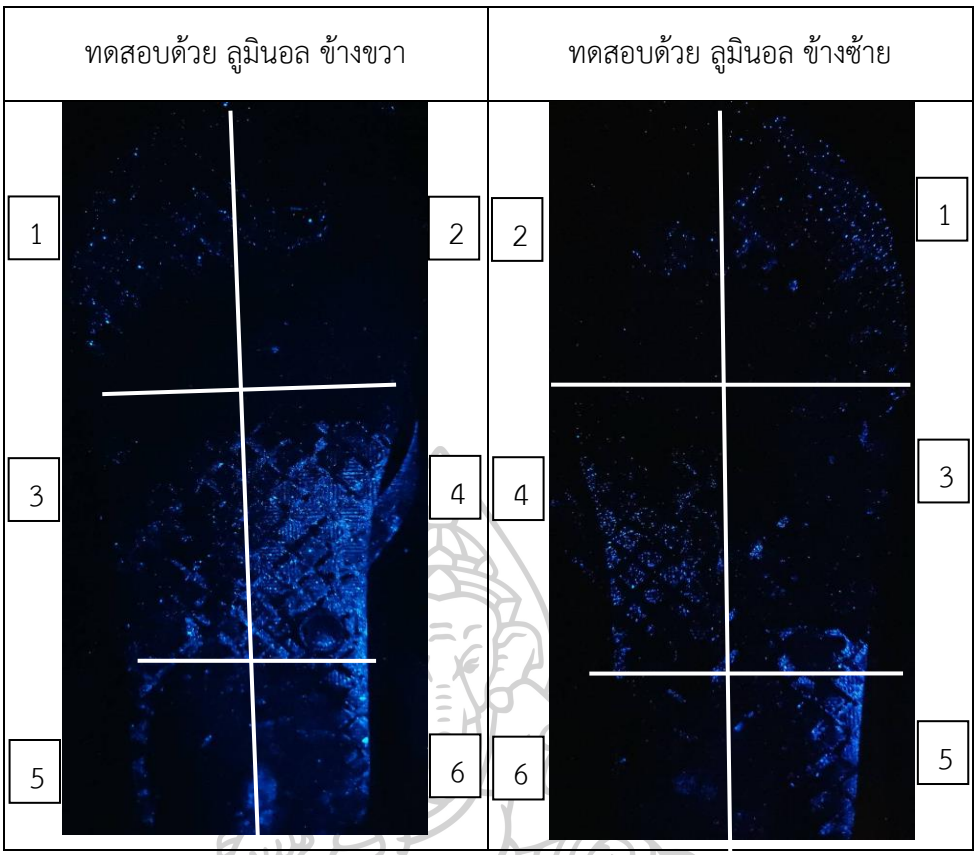
รูปที่ 24 แสดงผลการทดสอบด้วยวิธีลูมินอล หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 1,000 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 25 แสดงผลการทดสอบด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน หลังจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 5,000 ก้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 26 แสดงผลการทดสอบด้วยลูมินอล หลังทำจากเดินบนพื้นคอนกรีต จำนวน 5,000 ก้าว

เมื่อนำผลการทดลองมาบันทึกลงตารางและเปรียบเทียบระดับการปรากฏสีที่ได้จากการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าที่ด้วยวิธี ฟีนอล์ฟทาลีน และ ลูมินอล ภายหลังการเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนก้าวต่างๆ พบว่ามีระดับการปรากฏสีที่ลดลงตามลำดับเมื่อระดับจำนวนก้าวเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงระดับการปรากฏสีภายหลังทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนก้าวต่างๆ แล้วตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลและผลการปรากฏสีจากการเฉลี่ย 6 ช่อง และผลจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากรองเท้าทั้ง 2 ข้าง(ข้างซ้ายและข้างขวา)

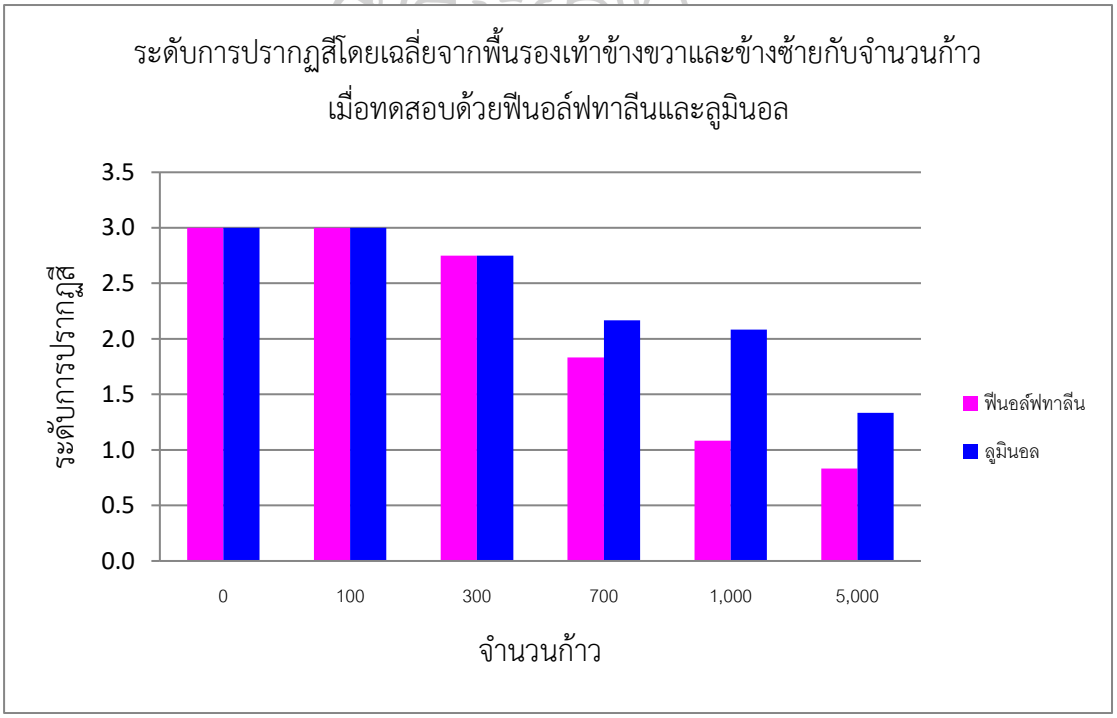
ชุดน้ำยาทดสอบ	จำนวนก้าว	ข้าง	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	ช่องที่ 6	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย (ทั้ง 2 ข้าง)
Phenolphthalein	0(Blank)	ขวา	3	3	3	3	3	3	3.0	3.0
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3.0	
	100	ขวา	3	3	3	3	3	3	3.0	3.0
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3.0	
	300	ขวา	3	2	3	3	2	2	2.5	2.8
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3.0	
	700	ขวา	3	0	1	3	2	1	1.7	1.8
		ซ้าย	3	2	2	3	1	1	2.0	
	1,000	ขวา	2	0	1	3	0	0	1.0	1.1
		ซ้าย	2	1	1	3	0	0	1.2	
	5,000	ขวา	1	0	1	3	0	0	0.8	0.8
		ซ้าย	1	0	1	3	0	0	0.8	
		ซ้าย	1	1	1	3	1	1	1.3	

ตารางที่ 5 แสดงระดับการปรากฏสีภายหลังทำการทดลองเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนก้าวต่างๆ แล้วตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลและผลการปรากฏสีจากการเฉลี่ย 6 ช่อง และผลจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากรองเท้าทั้ง 2 ข้าง(ข้างซ้ายและข้างขวา) (ต่อ)

ชุดน้ำยาทดสอบ	จำนวนก้าว	ข้าง	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	ช่องที่ 6	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย (ทั้ง 2 ข้าง)
		ซ้าย	1	0	1	3	0	0	0.8	
Luminol	0(Blank)	ขวา	3	3	3	3	3	3	3	3.0
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3	
	100	ขวา	3	3	3	3	3	3	3.0	3.0
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3.0	
	300	ขวา	3	2	3	3	2	2	2.5	2.8
		ซ้าย	3	3	3	3	3	3	3.0	
	700	ขวา	2	1	3	3	2	2	2.2	2.2
		ซ้าย	2	2	2	3	2	2	2.2	
	1,000	ขวา	2	1	3	3	2	2	2.2	2.1
		ซ้าย	2	2	1	3	2	2	2.0	
	5,000	ขวา	1	0	2	3	1	1	1.3	1.3
		ซ้าย	1	1	1	3	1	1	1.3	

จากผลการทดลองภายหลังจากการทาเลือดบนพื้นรองเท้าแล้วเดินบนพื้นคอนกรีตเป็นจำนวน 100 ก้าว แล้วทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล พบว่าสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีอย่างชัดเจน(ระดับ 3) เฉลี่ยจากรองเท้าข้างขวาและข้างซ้าย แต่เมื่อจำนวนก้าวในการเดินบนพื้นคอนกรีตมากขึ้นพบว่าสามารถตรวจพบคราบเลือดได้น้อยลง ที่การเดินบนพื้นคอนกรีตจำนวน 5,000 ก้าว พบว่าสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีซึ่งเป็นสีที่อยู่ระหว่างปรากฏสีเล็กน้อยถึงไม่ปรากฏสี (ระดับ 0.8) เฉลี่ยจากรองเท้าข้างขวาและข้างซ้าย

เมื่อตรวจหาคราบเลือดจากการปรากฏสีบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล แล้วนำมาเปรียบเทียบหลังจากทำการทดลองโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าการปรากฏสีของพื้นรองเท้าทั้ง 2 ข้าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล ยังคงสามารถตรวจพบการคงอยู่ของคราบเลือดได้ แสดงดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ระดับการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากพื้นรองเท้าข้างขวาและข้างซ้ายกับจำนวนก้าว เมื่อทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล

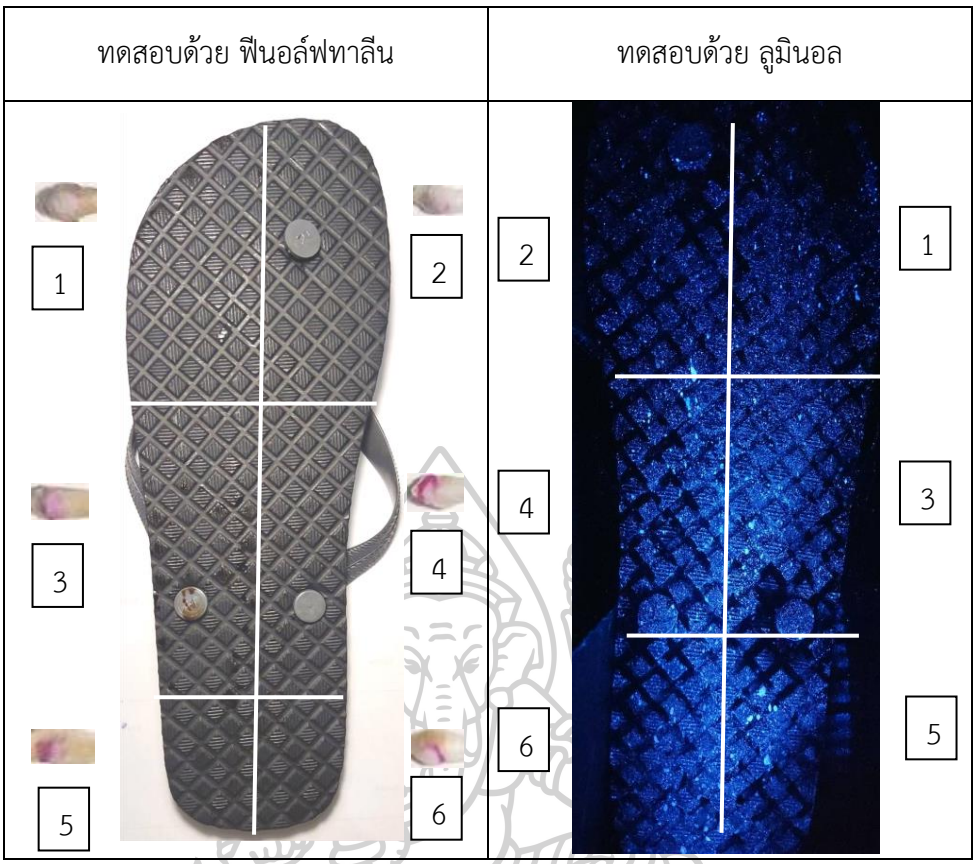
จากรูปที่ 27 ภายหลังจากการทาเลือดบนพื้นรองเท้าแล้วเดินบนพื้นคอนกรีตเป็นจำนวน 0 (blank), 100, 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว พบว่าจำนวนก้าวในการเดินมากขึ้นจะสามารถตรวจพบการคงอยู่ของคราบเลือดได้น้อยลง เมื่อทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล และพบว่าจำนวน 5,000 ก้าว วิธีฟีนอล์ฟทาลีนสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย (ระดับ0.8) ซึ่งเป็นการปรากฏสีเล็กน้อยถึงไม่ปรากฏสีในขณะที่วิธีลูมินอลสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย(ระดับ 1.3) ซึ่งเป็นการปรากฏสีเล็กน้อยถึงปานกลาง ดังนั้นวิธีลูมินอลมีประสิทธิภาพในการปรากฏคราบเลือดได้ดีกว่าวิธีฟีนอล์ฟทาลีน

เมื่อศึกษาการตรวจคราบเลือดบนพื้นรองเท้าโดยแช่พื้นรองเท้าที่ทาเลือดในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาที และล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 0 (Blank), 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ พบว่าหลังทำการแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นจำนวน 3 ครั้งของการแช่ จะตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีอย่างชัดเจน(ระดับ 3) ทั้งวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล แสดงดังรูปที่ 29-31 และเมื่อทำการแช่พื้นรองเท้าที่ทาเลือดในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นจำนวน 5 ครั้งของการแช่ แล้วนำมาตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน พบการปรากฏสีปานกลาง (ระดับ 2) ส่วนวิธีลูมินอลยังคงสามารถตรวจสอบคราบเลือดพบการปรากฏสีอย่างชัดเจน (ระดับ 3) แสดงดังรูปที่ 32 และเมื่อแช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นจำนวน 20 ครั้งของการแช่ แล้วนำมาตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนจะไม่พบการปรากฏสี (ระดับ 0) แต่เมื่อนำมาตรวจสอบคราบเลือดด้วยวิธีลูมินอลยังคงพบการปรากฏสีเล็กน้อย (ระดับ 1) แสดงดังรูปที่ 35

มหาวิทยาลัยศิลปากร

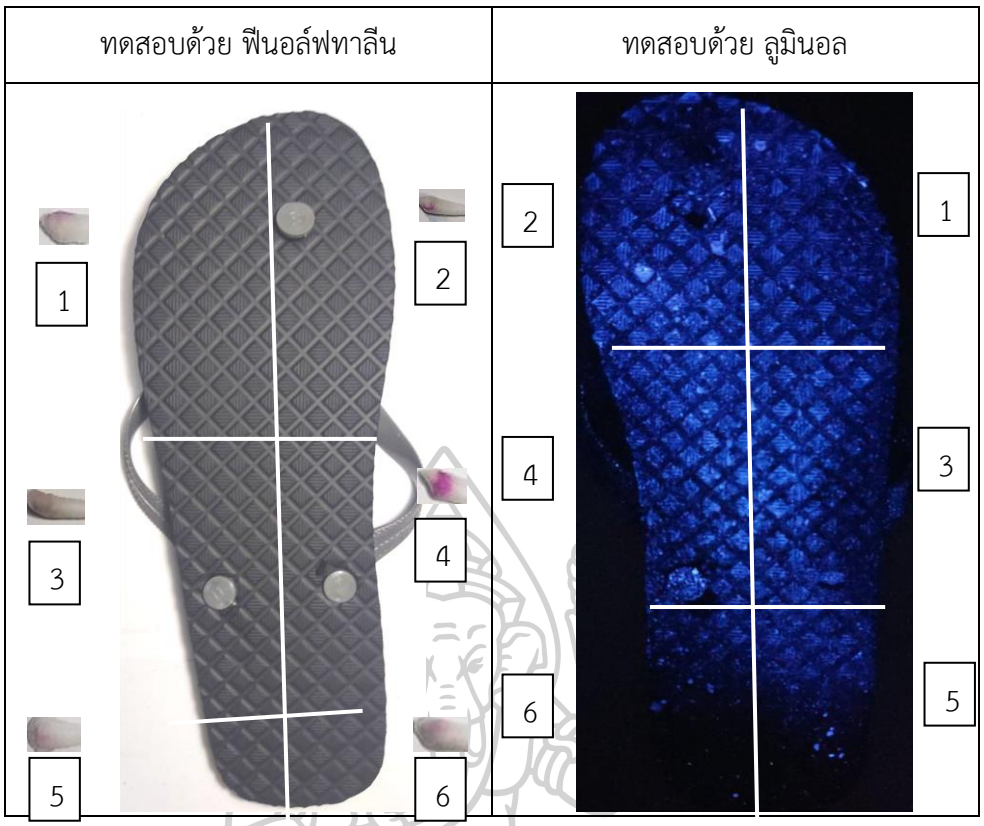
รูปที่ 28 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 0 ครั้งของการแช่

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 29 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 1 ครั้งของการแช่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

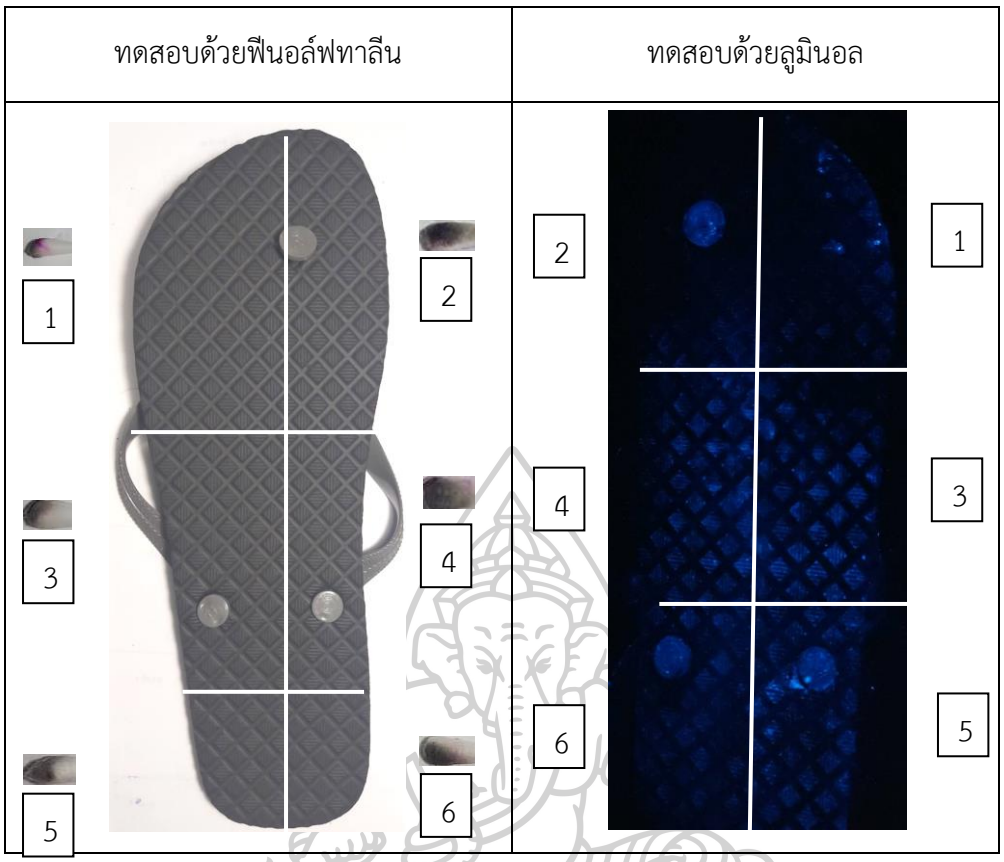


รูปที่ 30 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 2 ครั้งของการแช่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รูปที่ 31 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 3 ครั้งของการแช่

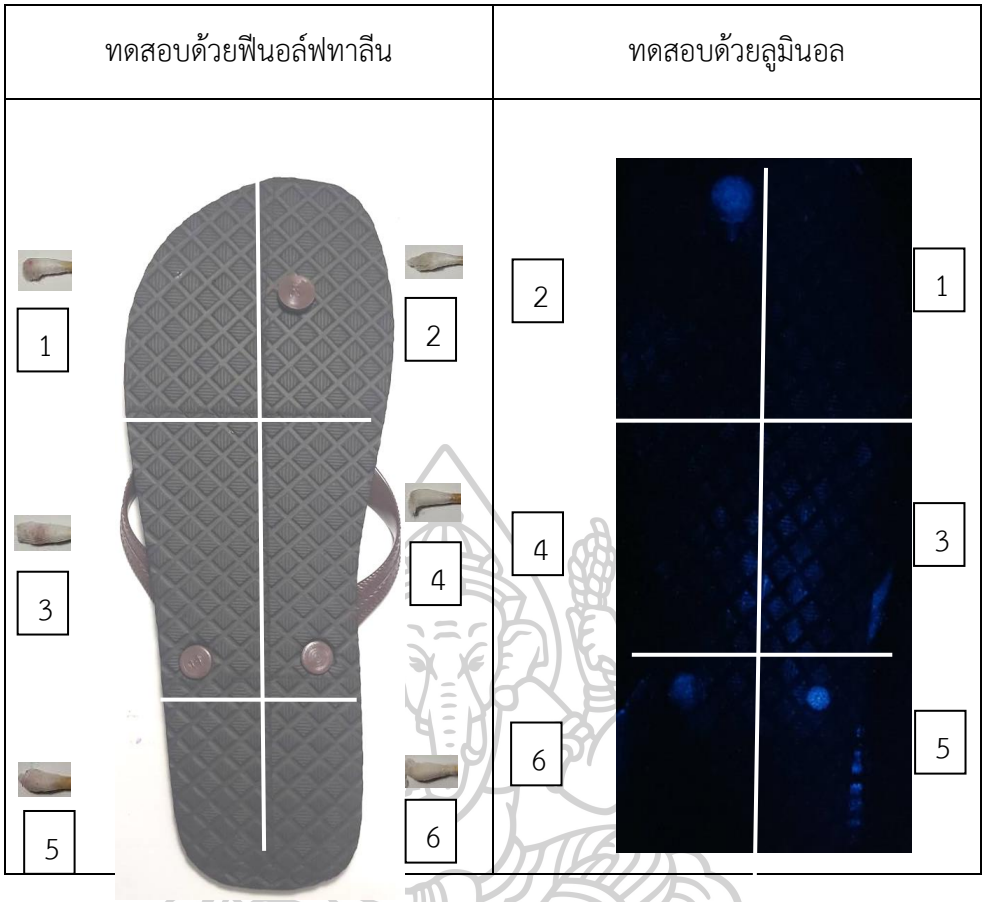
มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 32 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 5 ครั้งของการแช่

รูปที่ 33 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 7 ครั้งของการแช่

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 34 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 10 ครั้งของการแช่

รูปที่ 35 แสดงผลการทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอลหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ จำนวน 20 ครั้งของการแช่

เมื่อนำผลการทดลองมาบันทึกลงตารางและเปรียบเทียบระดับการปรากฏสีที่ได้จากการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล ภายหลังการแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำที่จำนวนครั้งของการแช่ต่างๆ พบว่ามีระดับการปรากฏสีที่ลดลงตามลำดับเมื่อระดับจำนวนครั้งของการแช่เพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 6

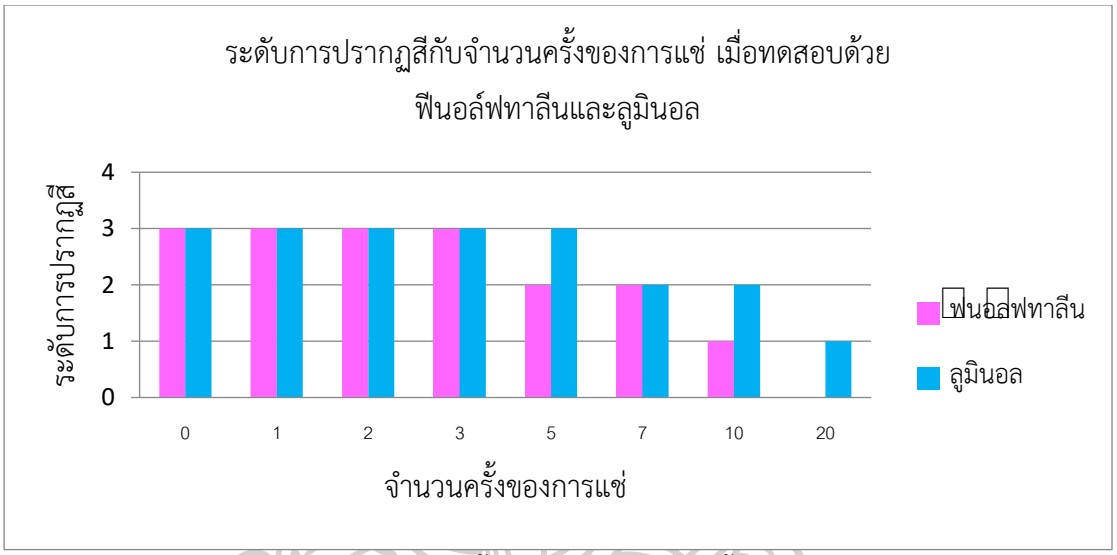
ตารางที่ 6 แสดงระดับการปรากฏสีภายหลังทำการทดลองแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ แล้วตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล และผลจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย 6 ช่อง

ชุดน้ำยาทดสอบ	จำนวนครั้งของการแช่	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	ช่องที่ 6	ค่าเฉลี่ย
วิธีฟีนอล์ฟทาลีน	0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ลูมินอล	0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	10	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

จากตารางที่ 6 พบว่าเมื่อนำพื้นรองเท้าที่ทาเลือดแล้วแช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่านเป็นจำนวน 3 ครั้งของการแช่ สามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีอย่างชัดเจนโดยเฉลี่ย(ระดับ 3) เมื่อทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล แต่เมื่อแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำจำนวน 5 ครั้งของการแช่วิธีฟีนอล์ฟทาลีน ตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีปาน

กลางโดยเฉลี่ย (ระดับ 2) ส่วนวิธีลูมินอลสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีอย่างชัดเจนโดยเฉลี่ย (ระดับ 3) และเมื่อแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำจำนวน 20 ครั้งของการแช่ ทดสอบด้วยวิธีลูมินอลยังคงสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏของสีเล็กน้อยโดยเฉลี่ย (ระดับ 1)

เมื่อนำผลการตรวจคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจาก 6 ช่องบนพื้นรองเท้า ในตารางที่ 6 มาสร้างกราฟแสดงระดับการปรากฏสีโดยเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการแช่ แสดงดังรูป 36



รูปที่ 36 ระดับการปรากฏสีโดยเฉลี่ยจากพื้นรองเท้ากับจำนวนครั้งของการแช่ เมื่อตรวจคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย 6 ช่อง บนพื้นรองเท้าแล้วทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและลูมินอล

จากรูปที่ 36 พบว่าวิธีลูมินอลเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าที่ผ่านการแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ โดยเมื่อทำการแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที เป็นจำนวน 20 ครั้งของการแช่ ยังคงสามารถตรวจพบการปรากฏของคราบเลือดได้ในขณะที่วิธีฟีนอล์ฟทาลีนไม่ปรากฏสี

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุป อภิปราย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคงอยู่ของเลือดบนพื้นรองเท้าหลังการเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวน 0(Blank), 100, 300, 700, 1,000 , 5,000 ก้าว และศึกษาการคงอยู่คราบเลือดบนพื้นรองเท้าหลังแช่ในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำที่จำนวน 0 (Blank), 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ แล้วทดสอบด้วยวิธีลูมินอลและวิธีฟีนอล์ฟทาลีน โดยทำการทดลองหยดเลือดข้างละ 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำพื้นรองเท้าทั้งสองข้างมาถูกันให้เลือดติดทั่วบริเวณพื้นรองเท้า จากนั้นนำรองเท้าไปใส่เดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวน 0 (Blank), 100, 300, 700, 1,000 และ 5,000 ก้าว และวิธีการแช่ลงในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำเป็นเวลา 5 นาที แล้วล้างน้ำสะอาด 30 วินาที ที่จำนวน 0 (Blank), 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 20 ครั้งของการแช่ วางตัวอย่างรองเท้าที่ล้างให้แห้ง แล้วนำมาทดสอบคราบเลือดด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล พบว่าภายหลังจากการเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนสูงสุด 5,000 ก้าว สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ทั้งวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล ส่วนการทดสอบด้วยวิธีแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน เป็นจำนวน 20 ครั้ง ไม่สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน แต่เมื่อทดสอบด้วยวิธีลูมินอลสามารถใช้ตรวจคราบเลือดบนพื้นรองเท้าได้

เมื่อทดสอบหาคราบเลือดหลังการเดินบนพื้นคอนกรีตที่จำนวนก้าวต่างๆ พบว่าเมื่อจำนวนก้าวในการเดินมากขึ้นจะสารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีได้น้อยลง เมื่อทดสอบด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล และพบว่าจำนวน 5,000 ก้าว วิธีฟีนอล์ฟทาลีนสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย(ระดับ0.8) ซึ่งเป็นการปรากฏสีเล็กน้อยถึงไม่ปรากฏสีในขณะที่วิธีลูมินอลสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีโดยเฉลี่ย(ระดับ 1.3) ซึ่งเป็นการปรากฏสีเล็กน้อยถึงปานกลาง ดังนั้นวิธีลูมินอลมีประสิทธิภาพในตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีได้ดีกว่าวิธีฟีนอล์ฟทาลีนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน วิธีฟลูออเรสเซนต์ และลูมินอล บนพื้นรองเท้าชนิดต่าง พบว่า เมื่อทดสอบด้วย วิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล หลังจากการหยดเลือดทิ้งไว้นาน 8 สัปดาห์ สามารถพบคราบเลือดบนพื้น อีวีเอ(EVA) ได้ในอัตราส่วนที่เจือจางสุด 1: 1,000 และ 1:50,000 โดยปริมาตร ตามลำดับ (จุฑามาศ ยิ้มนุ่น,2559) เมื่อทดสอบหาคราบเลือดหลังจากแช่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่านที่จำนวนต่างๆของการแช่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการแช่น้ำยาทำความสะอาดมากขึ้น จะสามารถตรวจพบคราบเลือดจากการปรากฏสีได้น้อยลง ซึ่งวิธีลูมินอลเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการตรวจหาคราบเลือดบนพื้นรองเท้าที่ผ่านการแช่น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ โดยเมื่อทำการแช่น้ำยาทำความสะอาด

ห้องน้ำแล้วล้างด้วยน้ำไหลผ่าน(ความเร็วของน้ำ 74 ml/s) เป็นเวลา 30 วินาที เป็นจำนวน 20 ครั้ง ของการแช่ ยังคงสามารถตรวจพบการปรากฏของคราบเลือดได้ในขณะที่วิธีฟีนอล์ฟทาลีนไม่ปรากฏสี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทำความสะอาดคราบเลือดที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีลูมินอลและบลูสตาร์ ซึ่งได้ศึกษาการซักล้างเลือดบนพื้นผิว 3 ชนิด ได้แก่ กระเบื้อง ไม้อัด และพรม โดยทำการซักล้างด้วยน้ำเปล่า น้ำยาซักผ้าและน้ำยาล้างห้องน้ำ พบว่าการทำความสะอาดคราบเลือดด้วยวิธีล้างน้ำเปล่าและน้ำยาล้างห้องน้ำ ทำให้มีการตรวจหาระดับค่าสีความเข้มของปฏิกิริยาการเรืองแสงในการตรวจหาคราบเลือดต่างกัน อาจเป็นเพราะในน้ำยาล้างห้องน้ำมีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อน คราบสกปรก คราบหินปูนรวมถึงคราบเลือดให้หลุดออกมาได้ เมื่อใช้น้ำยาล้างห้องน้ำคราบเลือดถูกชะออกไป นอกจากนี้ในน้ำยาล้างห้องน้ำยังมีสารช่วยลดแรงตึงผิวจึงทำให้สามารถขจัดคราบเลือดได้ (วราภรณ์ สมบุรุษ & นพรุจ ศักดิ์ศิริ, 2562)

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นศึกษาการล้างทำความสะอาดบนพื้นรองเท้าชนิดเดียวครั้งต่อไปควรศึกษาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆและการขจัดคราบเลือดบนพื้นรองเท้าโดยใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดอื่น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Brenzini, V., & Pathak, R. (2018). A comparison study of the detection of bloodstains on painted and cleaned surfaces with luminol. *Forensic science international*, 289, 75-82.

Castello, A., Alvarez, M., & Verdu, F. (2002). Accuracy, reliability, and safety of luminol in bloodstain investigation. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 35(3), 113-121.

Cheeseman, R., & DiMeo, L. A. (1995). Fluorescein as a field-worthy latent bloodstain detection system. *Journal of Forensic Identification*, 45(6), 631-646.

chemicalland21. *FLUORESCEIN SODIUM* http://www.chemicalland21.com/specialtychem/finechem/FLUORESCEIN%20SODIUM.htm

Creamer, J., Quickenden, T., Apanah, M., Kerr, K., & Robertson, P. (2003). A comprehensive experimental study of industrial, domestic and environmental interferences with the forensic luminol test for blood. *Luminescence: The journal of biological and chemical luminescence*, 18(4), 193-198.

Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*, 13, 113-117.

Finnis, J., Lewis, J., & Davidson, A. (2013). Comparison of methods for visualizing blood on dark surfaces. *Science & Justice*, 53(2), 178-186.

Frey, A., Meckelein, B., Externest, D., & Schmidt, M. A. (2000). A stable and highly sensitive 3, 3′, 5, 5′-tetramethylbenzidine-based substrate reagent for enzyme-linked immunosorbent assays. *Journal of immunological methods*, 233(1-2), 47-56.

Howard, G. T. (2002). Biodegradation of polyurethane: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49(4), 245-252.

I.E., G. C. (ม.ป.ป.). https://www.temco.co.th/gallery/083831_1feec2f2f093bde45a91897dfe88b09d.pdf

Johansson, I., & Somasundaran, P. (2007). *Handbook for Cleaning/decontamination of Surfaces*. Elsevier.

K-ME แหล่งความรู้เคมี. (2560). สารเคมีในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์ภายใน ห้องน้ำและครัว (น้ำยาซักผ้าขาว). http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.phpoption=com_content&task=view&id=1686&Itemid=4&limit=1&limitstart=2

Meyer, E. (1903). Beiträge zur Leukocytenfrage. *Münchner Medizinische Wochenschrift*, 50, 1489-1493.

PCL, P. D. (2021). พื้นรองเท้าเซฟตี้. https://thai-safetywiki.com/safety-shoe-sole/

Siamchemi. (ม.ป.ป.). น้ำยาล้างห้องน้ำ ประโยชน์ และพิษน้ำยาล้างห้องน้ำ. https://www.siamchemi.com/น้ำยาล้างห้องน้ำ/

Taokae. (2022). น้ำยาล้างห้องน้ำ. https://taokae.net/product/น้ำยาล้างห้องน้ำ

Watkins, M. D., & Brown, K. (2006). Blood Detection: A Comparison of Visual Enhancement Chemicals for the Recovery of Possible Bloodstains at the Crime Scene, Luminol Vs Bluestar. *Rouget Communication*.

Waymagazine. (2016). ทำความสะอาดห้องแห่งความสุข. https://waymagazine.org/20160115report/

Webb, J. L., Creamer, J. I., & Quickenden, T. I. (2006). A comparison of the presumptive luminol test for blood with four non-chemiluminescent forensic techniques. *Luminescence: The journal of biological and chemical luminescence*, 21(4), 214-220.

ไชยวัฒน์ ไชยสมบูรณ์. (2555). การทดสอบ Kastle-Meyer และการประยุกต์ใช้ในทางวิทยาศาสตร์. วารสารนิติเวชศาสตร์, 4(2), 179-183.

กรกมล วีระพันธุ์. (2563). การตรวจหาคราบโลหิตที่ทาสีขาวเบสน้ำทับด้วยวิธี*LUMINOL* และ *BLUESTAR* มหาวิทยาลัยศิลปากร].

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2549). แบบอย่างการลงทุน:รองเท้าแตะพื้นยาง. https://www.ryt9.com/s/ryt9/51938

จุฑามาศ ยิ้มนุ่น. (2559). การตรวจหาคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน วิธีฟลูออเรสเซนต์และลูมินอล บนพื้นรองเท้าชนิดต่าง ๆ มหาวิทยาลัยศิลปากร].

ดารณี เจริญสุข. (2556). ยางพื้นรองเท้า.ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหากรรมยางไทย.

http://www.mahidolrubber.org/lc_rtec/rubber_product/2556_soles_rtec.pdf

ทรูปลูกปัญญา. (2560). ส่วนประกอบของเลือด. https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/60781/-scibio-sci-

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร. (2552). ผงซักฟอก. http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=2739

ปวีณา อุดมวิบูลย์ชัย. (2557). เลือด: สายธารแห่งชีวิต. https://www.samitivejhospitals.com/th/article/detail/สายธารแห่งชีวิต

ปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ. (2556). อันตรายจากสารกัดกร่อนในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดครัวเรือน. วารสาร มฉก.วิชาการ, 16(32), 157-168.

พินิตา กรทอง. (2558). เปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตโดยวิธี *Kastle-Meyer, Luminol* และ *Bluestar*® บนพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].

วรพรรณ ศิริวัฒนอักษร, ชัชวาล ศรีสวัสดิ์, นิโลบล เนื่องตัน, & ภัทรบุตร มาศรัตน. (2562). ชีวเคมีของเลือด.

วราภรณ์ สมบุรุษ, & นพรุจ ศักดิ์ศิริ. (2562). ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทำความสะอาด คราบเลือดที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธีลูมินอลและบลูสตาร์. วารสารวิทยาศาสตร์แห่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 16, 55-68.

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

สนม ครุฑเมือง. (2534). สารานุกรมของใช้พื้นบ้านไทยในอดีต. https://www.sac.or.th/databases/traditional-objects/th/equipment-detail.php?ob_id=267

สรวง สมานหมู่ และคณะ. (2554). การตรวจร่องรอยเลือดจากการเรืองแสงของลูมินอล. ค่ายเยาวชนเรืองแสง ณ อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งชาติ. https://nstda.or.th/sciencecamp/th/file/4432738T9UBODRSK5.pdf

สวรส ปุริมโน. (2555). การตรวจวัดคราบโลหิตโดยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน เตตระเมทิลเบนซิดีน ลูมินอล และบลูสตาร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร].

สารานุกรมเสรี. (2565). สบู่. https://th.wikipedia.org/wiki/สบู่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ทองคำ ตะโกเผือก
วัน เดือน ปี เกิด	30 พฤษภาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เคมี) มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	49/1 หมู่ 2 ตำบลลานตากฟ้า อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม