การตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอฟธาลีน ลูมินอล และฟูลออเรซซีน บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ

โดย

นางสาวจุฑามาศ ยิ้มนุ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอฟธาลีน ลูมินอล และฟูลออเรซซีน บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ

โดย
นางสาวจุฑามาศ ยิ้มนุ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DETECTION OF HUMAN BLOODSTAINS ON VARIOUS TYPES OF SHOE SOLES BY THE METHODS OF PHENOLPHTHALEIN, LUMINOL AND FLUORESCEIN

By

MISS Jutamas YIMNOON

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Science Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอฟธาลีน ลูมินอล และฟูลออเรซซีน บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ
โดย	จุฑามาศ ยิ้มนุ่น
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(อาจารย์ ดร. ยุภาพร สมีน้อย)

57312335 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : คราบโลหิตของมนุษย์ พื้นรองเท้า ฟีนอฟธาลีน ลูมินอล ฟูลออเรซซีน

นางสาว จุฑามาศ ยิ้มนุ่น: การตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอฟธาลีน ลูมินอล และฟูลออเรซซีน บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบการตรวจวัดคราบโลหิตของมนุษย์บนวัสดุต่างชนิดที่ใช้ทำพื้นรองเท้า ด้วยวิธีฟีนอฟธาลีน ลูมินอล และฟูลออเรซซีน เริ่มทำการทดลองโดยนำโลหิตของมนุษย์มาหยดบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และทำการตรวจวัดคราบโลหิตที่ระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า คราบโลหิตที่หยดลงบนพื้นรองเท้าทุกชนิด สามารถตรวจพบได้โดยวิธีลูมินอล แม้ว่าคราบโลหิตจะถูกทิ้งไว้นานถึง 8 สัปดาห์ นอกจากนี้ พบว่า วิธีทดสอบทั้งสามวิธีสามารถใช้ตรวจพบคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าที่ทำจากเอทิลีนไวนิลอะซิเตด ยางธรรมชาติ และไบเก้นในขณะที่คราบโลหิตที่หยดบนพื้นผิวที่ทำจากไม้ไม่สามารถใช้ในการตรวจวัดด้วยวิธีฟูลออเรซซีนผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการตรวจวัดคราบโลหิตด้วยวิธีทั้งสามนี้สามารถใช้ในการตรวจวัดคราบโลหิตเก่าบนพื้นรองเท้าถ้าหากว่าเลือกวิธีที่เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้า

มหาวิทยาลัยศิลปากร

57312335 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : Bloodstains Shoe soles Phenolphthalein Luminol Fluorescein

MISS Jutamas YIMNOON : DETECTION OF HUMAN BLOODSTAINS ON VARIOUS TYPES OF

The objective of this work was to carry out a comparison study on the detection of human bloodstains deposited on different materials of shoe soles using phenolphthalein, luminol and fluorescein tests. Initially, the blood samples were applied onto the substrates and the specimens were kept at room temperature for 1, 2, 4, 6 and 8 weeks before testings. It was found that the bloodstains on all types of material studied can be detected by the luminol test even these on specimens kept for 8 weeks. Moreover, the three test methods can be used to detect the bloodstains on the ethylene vinyl acetate, natural rubber and birkenstock substrates while the bloodstains on the wooden soles were not detectable with the fluorescein test. The results demonstrated that three methods can be used to detect the ageing bloodstains on shoe soles if they were used appropriately to the types of material of shoe sole.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน และหลายหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องเรียบร้อย และสมบูรณ์ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี กรรมการ อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และอาจารย์ยุภาพร สมีน้อย ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีมีความถูกต้อง เรียบร้อย และสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ หน่วยห้องปฏิบัติการโครโมโซม โรงพยาบาลจุฬาภรณ์ ในความอนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย และนักเทคนิคการแพทย์ ห้องปฏิบัติการกลาง โรงพยาบาลจุฬาภรณ์ ในความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่างโลหิต ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ เพื่อน และเพื่อนร่วมงาน ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฑามาศ ยิ้มนุ่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

สมมติฐานของการศึกษา 3

ขอบเขตการศึกษา 4

ข้อจำกัดในงานวิจัย 4

ประโยชน์ที่จะได้รับ 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ความสำคัญของนิติวิทยาศาสตร์ 6

วัตถุพยาน และการเก็บวัตถุพยาน 7

ความรู้เกี่ยวกับโลหิต 9

การตรวจพิสูจน์คราบโลหิต 10

ชนิดของพื้นรองเท้า 16

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....21
ตัวอย่างพื้นรองเท้าที่ใช้ในการวิจัย.....21
อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....30
การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....31
วิธีเก็บตัวอย่างโลหิต และเจือจางตัวอย่างโลหิต.....32
วิธีการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ผลการตรวจคราบโลหิต.....33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....36
การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein.....37
การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol.....38
การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein.....39
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....47
สรุป และอภิปรายผล.....47
ข้อแนะนำในการทำวิจัย.....51
ภาคผนวก.....52
รายการอ้างอิง.....89
ประวัติผู้เขียน.....93

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ และแหล่งที่มา 22

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งที่มา.....30

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งที่มา.....30

ตารางที่ 4 การเตรียม Phenolphthalein 31

ตารางที่ 5 การเตรียม Luminol.....31

ตารางที่ 6 การเตรียม Fluorescein.....32

ตารางที่ 7 ลักษณะคราบโลหิตมนุษย์ที่แตก และหลุดล่อนออกจากพื้นรองเท้า.....36

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ 41

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....77

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....81

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ 85

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของโลหิต (Composition of the blood).....9

รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ Phenolphthalein 12

รูปที่ 3 โครงสร้างของสาร Phenolphthalein เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต 13

รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของ Luminol 14

รูปที่ 5 โครงสร้างของสาร Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต 14

รูปที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของ Fluorescein.....15

รูปที่ 7 โครงสร้างของสาร Fluorescein เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต.....16

รูปที่ 8 กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า.....16

รูปที่ 9 การตัดพื้นรองเท้า ขนาดกว้าง 1.5 cm และยาว 1.5 cm 21

รูปที่ 10 ตัวอย่างโลหิตของมนุษย์ในหลอดที่เคลือบด้วยสาร EDTA (Ethylene diamine tetra-acetic acid) 32

รูปที่ 11 วิธีการเจือจางโลหิตในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยน้ำกลั่น 33

รูปที่ 12 วิธีการทดลองการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein..34

รูปที่ 13 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไม้ ด้วยวิธี Phenolphthalein.....38

รูปที่ 14 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) และพื้นไม้ ด้วยวิธี Luminol 39

รูปที่ 15 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Fluorescein.....40

รูปที่ 16 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Fluorescein 40

รูปที่ 17 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ 43

รูปที่ 18 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ 44

รูปที่ 19 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์.....44

รูปที่ 20 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์.....45

รูปที่ 21 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์.....46

รูปที่ 22 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....53

รูปที่ 23 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....54

รูปที่ 24 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....55

รูปที่ 25 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....56

รูปที่ 26 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....57

รูปที่ 27 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....58

รูปที่ 28 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....59

รูปที่ 29 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....60

รูปที่ 30 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....61

รูปที่ 31 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....62

รูปที่ 32 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....63

รูปที่ 33 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....64

รูปที่ 34 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....65

รูปที่ 35 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....66

รูปที่ 36 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....67

รูปที่ 37 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Luminol
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....68

รูปที่ 38 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....69

รูปที่ 39 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....70

รูปที่ 40 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....71

รูปที่ 41 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....72

รูปที่ 42 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....73

รูปที่ 43 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....74

รูปที่ 44 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....75

รูปที่ 45 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Fluorescein
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์.....76

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานที่เกิดเหตุ มักพบวัตถุพยานที่เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นหลักฐานสำคัญในการพิสูจน์ความผิดของคนร้าย หรือเพื่อใช้เป็นแนวทางในการช่วยสืบหาผู้กระทำความผิดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถพบลายพิมพ์นิ้วมือแฝงบนวัตถุพยาน หรือในสถานที่เกิดเหตุได้ คราบโลหิต เป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในโลหิตนั้นมีดีเอ็นเอ (DNA) หรือรหัสพันธุกรรมที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงในแต่ละบุคคล จึงสามารถใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อนำไปสู่ความยุติธรรมในคดีได้ [1] [2]

โลหิต มีสารฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เป็นสารที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเม็ดเลือดแดง (Red blood cell) ทำหน้าที่นำออกซิเจน (O_2) ไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย โครงสร้างโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ประกอบสายโปรตีนที่เรียกว่า โพลีเปปไทด์ (Polypeptide) หรือสายโกลบิน (Globin) กับกลุ่มของฮีม (Heme) ส่วนของฮีม (Heme) จะมีพอไพริน (Porphyrin) จับอยู่กับเหล็ก (Fe^{+}) ซึ่งจะจับกับออกซิเจน (O_2) เพื่อนำไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย [3]

ในปัจจุบัน บุคคลทั่วไปจะสวมใส่รองเท้าในชีวิตประจำวัน โดยพื้นรองเท้าที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 3 ชนิด คือ พื้นยางแข็ง พื้นยางฟองน้ำ และพื้นพีวีซี (PVC) โดยยางพื้นรองเท้านั้นสามารถแบ่งออกเป็น ยางที่ผลิตจากยางธรรมชาติ (Natural rubber) หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) หรือยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ โดยมีอุปกรณ์การผสม ได้แก่ เครื่องบดผสม แม่พิมพ์ และเครื่องตัดพื้นรองเท้า ซึ่งวิธีการผลิตพื้นรองเท้านั้น จะทำการออกแบบสูตรก่อนผลิต หลังจากนั้นขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัด หรือแม่พิมพ์แบบฉีด ขึ้นกับลักษณะชิ้นงานที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายคือ การตัดพื้นรองเท้าให้เป็นไปตามแบบที่ต้องการ [4] เมื่อคนร้ายสวมใส่รองเท้าระหว่างกระทำความผิดอาจจะทำให้คราบโลหิตติดอยู่ในร่อง หรือติดอยู่บนพื้นรองเท้าที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้า จึงมีความสำคัญในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

การตรวจคราบโลหิตในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์นั้นมีหลายวิธีที่น่าเชื่อถือและนิยมในปัจจุบัน ได้แก่ วิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein โดยวิธีการตรวจคราบโลหิตมีหลายวิธีที่นิยม คือ Phenolphthalein หรือ Kastle-Meyer (KM test) โดยปัจจุบันใช้เป็นวิธีทดสอบคราบโลหิตแบบเบื้องต้นซึ่ง Louis-Jacques Thenard ค้นพบ Hydrogen peroxide ต่อมา Christian Freidric

Schonbein สังเกตเห็น Peroxidase-like activity ของ Hemoglobin เป็นสาเหตุของ Oxidation ของ Hydrogenperoxide ผลของปฏิกิริยาระหว่าง Hydrogen peroxide กับ Hemoglobin ทำให้มีฟองเกิดขึ้น [5] ต่อมา Kastle ได้ใช้ Phenolphthalein เป็น Color indicator ของการตรวจ Hemoglobin ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Peroxides ที่ทำให้เกิดการ Oxidation ทำให้ Phenolphthalein เกิดการเปลี่ยนสีจากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพู [6]ต่อมา Meyer ได้ปรับปรุง และพัฒนาการทดสอบจึงเรียกว่า Kastle-Meyer Test Meyer [7] ต่อมา Specht เริ่มนำ Luminol มาใช้ตรวจหาคราบโลหิตบนวัตถุพยาน [8] การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol เป็นวิธีที่ค่อนข้างมีความจำเพาะเจาะจง และสามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางมากได้ [9] หลังจากนั้น Grodsky ได้พัฒนา Luminol โดยใช้ Sodium carbonate (Na_2CO_3) และ Sodium percarbonate ($Na_2CO_3 3H_2O_2$) ผสมกับน้ำกลั่น และเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการตรวจคราบโลหิตในคดีอาชญากรรม แต่สารดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาการ Oxidation ของเม็ดเลือดแดงช้า จึงทำให้เกิดสารเรืองแสงไม่มาก และระยะสั้น เป็นวิธีที่ไม่เสถียร และเป็นพิษสูง [10] จนต่อมา Weber ได้ปรับปรุงสูตร โดยใช้ Sodium hydroxide (NaOH) เป็นส่วนประกอบใหม่ใน Luminol แต่สารละลายดังกล่าวต้องเก็บในที่เย็น และต้องเก็บให้พ้นแสง และสารเรืองแสงที่ได้จากการตรวจคราบโลหิตต้องถ่ายภาพมีข้อจำกัด คือ ต้องถ่ายภาพในที่มืด และต้องใช้กล้องสำหรับถ่ายภาพตอนกลางคืน (Night-vision) [11] Joanne, Jonathan และ Terence ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจคราบโลหิตที่ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ 5 วิธี ได้แก่ วิธี Luminol ที่เป็นสาร Chemiluminescent และวิธี Phenolphthalein (Kastle-Meyer), Leucomalachite green, Hemastix® และ Forensic light source ที่ไม่ใช่สาร Chemiluminescent จากการศึกษาพบว่าการตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Luminol เป็นเทคนิคที่มีความไวต่อการตรวจคราบโลหิตมากที่สุด และมีความปลอดภัย [12] และสามารถนำคราบโลหิตที่ผ่านการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol ตรวจหาดีเอ็นเอ (DNA) หรือสารพันธุกรรมต่อไปได้ [13] Fluorescein เป็นทางเลือกนอกจาก Luminol ที่นำมาใช้ในการตรวจคราบโลหิตในสถานที่เกิดเหตุโดยไม่ทำลายดีเอ็นเอ (DNA) [14] อีกทั้งยังมีการศึกษาพบว่าสาร Fluorescence ที่อยู่ใน Fluorescein จะทำปฏิกิริยาได้นานกว่าสาร Luminescence ที่อยู่ใน Luminol แต่ Fluorescein จะต้องเตรียมบ่อยครั้งกว่า Luminol ซึ่งมีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Fluorescein มีความไวสูง (Highly sensitive) ต่อ Hemassociated molecules (Enzymes and iron) ในเซลล์เม็ดเลือดแดง สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วน 1:105,000 โดยปริมาตร ได้ การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต สามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าในที่มืดสนิทด้วยตาเปล่า แต่การตรวจคราบโลหิต

ด้วยวิธี Fluorescein สามารถมองเห็นได้ในที่มืดสนิท แต่จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่มีความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier [15] โดย Jakovish ได้ทำศึกษาการตรวจหา Short Tandem Repeat (STRs) analysis จากการ Swab คราบโลหิตบนพื้นพรมที่ผ่านการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol, Fluorescein และ BlueStar มาตรวจวิเคราะห์ STRs 13 ตำแหน่งตามฐานข้อมูลลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint) ที่เรียกว่า Combined DNA Index System (CODIS) พบว่า การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol, Fluorescein และ BlueStar ไม่มีผลต่อการยับยั้ง Short Tandem Repeat (STR) analysis [16]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Phenolphthalein Luminol และ Fluorescein เนื่องจากทั้ง 3 วิธีนี้ เป็นวิธีที่แสดงผลในการตรวจคราบโลหิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบมีความสะดวก รวดเร็ว และไม่เป็นอันตราย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไปได้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน
2. เพื่อศึกษาการตรวจคราบโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วนที่ต่างกันด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein
3. เพื่อศึกษาความไวของการตรวจคราบโลหิตที่ถูกทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างกันด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein

สมมติฐานของการศึกษา

Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein สามารถตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ได้ แม้ตัวอย่างโลหิตนำมาเจือจางในอัตราส่วนที่มากและคราบโลหิตที่หยดทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานมากได้

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นรองเท้าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ชนิดละ 3 ตัวอย่าง ที่แตกต่างกัน รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยผู้ศึกษาวิจัยจะศึกษาเฉพาะบริเวณพื้นรองเท้าที่สัมผัสกับพื้นเท่านั้น

2. ตัวอย่างโลหิตของมนุษย์เป็นโลหิตที่ได้จากอาสาสมัคร บรรจุในหลอดเคลือบด้วยสาร EDTA (Ethylene diamine tetra-acetic acid) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C [17]

3. ตัวอย่างโลหิตนำมาเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000 และ 1:1,000,000 โดยปริมาตร [9]

4. การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ คือ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ [18]

ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol จะสามารถมองเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่าในที่มืดสนิท และสารละลาย Luminol จะมีประสิทธิภาพดี หลังจากเตรียมสารสำหรับใช้งาน (Working solution) 1-3 ชั่วโมง [19]

2. การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) คือ Forensic light source (FLS) หรือสามารถใช้ Light-emitting diodes (LED); Alternate light source (ALS); Strong ultraviolet (UV) Light และ Barrier filter (Deep yellow or orange) เนื่องจากสาร Fluorescein จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและเหล็ก (Iron ions) ที่พบได้ใน Hemoglobin ในเม็ดเลือดแดง และเปล่งแสง (Exposed/excited) ออกมาที่ความยาวคลื่น 420-485 nm ช่วงที่ดีที่สุดคือ 460-480 nm (Blue light, near ultraviolet) และสารละลาย Fluorescein จะมีประสิทธิภาพดีหลังจากเตรียมสารสำหรับใช้งาน (Working solution) 1-3 ชั่วโมง [20]

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ที่เป็นวัตถุพยานในคดีอาชญากรรมได้

2. สามารถเลือกใช้วิธีการตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ จากโลหิตที่ถูกเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ ได้

3. สามารถเลือกใช้วิธีการตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ จากโลหิตที่ถูกทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ ได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญของนิติวิทยาศาสตร์

นิติวิทยาศาสตร์ คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขา เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คอมพิวเตอร์ และกีฏวิทยา มาประยุกต์ใช้ในการเก็บและพิสูจน์หลักฐาน ตรวจร่างกาย และวัตถุพยาน สำหรับนำมาใช้พิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดี เพื่อนำไปสู่การบังคับใช้กฎหมาย และการลงโทษในคดีอาญาตามกระบวนการยุติธรรมได้อย่างถูกต้องและชัดเจน ดังนั้นประเทศที่พัฒนาแล้วจึงมีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ในการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์

1. การตรวจทางฟิสิกส์ (Forensic physics) เป็นการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพและการตรวจวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบวัตถุพยาน และค้นหาแหล่งที่มาของวัตถุพยาน เช่น ประเภทผ้าและเส้นใย ระเบิด ชิ้นส่วนยานยนต์ เศษกระจก หิน ดิน ทราย เป็นต้น

2. การตรวจทางเคมี (Forensic chemistry) การตรวจวัตถุพยานทางเคมีในงานพิสูจน์หลักฐาน เป็นการตรวจวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพวิเคราะห์ และการตรวจพิสูจน์ด้านปริมาณวิเคราะห์ สามารถตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เช่น ยาเสพติด วัตถุมีพิษหรือยาพิษ วัตถุระเบิด เขม่าดินปืน โลหะหนักที่เป็นพิษ เป็นต้น

3. การตรวจทางชีววิทยา (Biological trace evidence) การตรวจวัตถุพยานทางชีววิทยาในงานพิสูจน์หลักฐานเป็นการตรวจวัตถุพยานที่มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น คราบโลหิต คราบอสุจิ เส้นผม เส้นขน น้ำลาย การตรวจหาดีเอ็นเอ (DNA) เป็นต้น

4. การตรวจทางนิติเวช (Forensic medicine) เป็นวิชาแพทย์สาขาหนึ่งที่นำเอาวิชาแพทย์ทุกสาขามาประยุกต์เกี่ยวข้องกับกระบวนการยุติธรรม โดยแยกออกเป็นวิชาย่อยหลายสาขา ได้แก่ นิติพยาธิวิทยา พิษวิทยา นิติเวชคลินิก วัตถุพยานทางชีววิทยา นิติจิตเวชศาสตร์ การตรวจฟันทางนิติเวชศาสตร์ และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์ เป็นต้น

5. การตรวจสถานที่เกิดเหตุ และการถ่ายรูป (Crime scene investigation and forensic) ประเทศไทยกำหนดให้เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ตำรวจที่ทำหน้าที่พนักงานสอบสวน ร่วมกับเจ้าหน้าที่ตำรวจจากกองพิสูจน์หลักฐานที่ดำเนินการตรวจหาวัตถุพยานหรือพยานทางกายภาพอื่นๆ ในคดีอาชญากรรม หรือเมื่อมีการตายเกิดขึ้น

6. การตรวจลายพิมพ์นิ้วมือ ฝ่ามือ และฝ่าเท้า (Fingerprint palm print and footprint)
7. การตรวจเอกสาร (Document) เช่น ตรวจลายเซ็น ลายมือเขียน เป็นต้น
8. การตรวจอาวุธปืน และกระสุนปืนของกลาง (Forensic ballistics) [21]

วัตถุพยาน และการเก็บวัตถุพยาน

วัตถุพยาน หมายถึง พยานหลักฐานเชิงวัตถุที่จับต้องได้และเป็นสิ่งที่สามารถนำมาเสนอในชั้นศาลที่มีส่วนเกี่ยวกับคดี และพบในสถานที่เกิดเหตุ วัตถุพยาน ได้แก่ ศพ รถจักรยานยนต์ รถยนต์ เศษผ้า สารเคมี ภาพถ่าย ภาพวิดีโอ ภาพจากกล้องวงจรปิด เป็นต้น สถานที่ที่สามารถพบวัตถุพยาน เช่น สถานที่เกิดเหตุ ที่ตัวของผู้เสียหาย หรือที่ตัวของคนร้าย เป็นต้น

ตามประมวลกฎหมายวิธี ป.วิอาญา มาตรา 226 ซึ่งบัญญัติไว้ว่า “ พยานวัตถุ พยานเอกสาร หรือพยานบุคคล ซึ่งน่าจะพิสูจน์ได้ว่า จำเลยมีผิดหรือบริสุทธิ์ให้อ้างเป็นหลักฐานได้ แต่ต้องเป็นพยานชนิดที่มิได้เกิดจากการจูงใจ มีคำมั่นสัญญา ขู่เข็ญ หลอกลวง หรือโดยมิชอบประการอื่น และให้สืบตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้หรือกฎหมายอื่นอันว่าด้วยการสืบพยาน ”

เมื่อมีการเกิดอาชญากรรมขึ้น ไม่ว่าจะเป็นคดีอาญา หรือคดีแพ่งการที่จะเอาตัวผู้กระทำความผิด มาลงโทษตามกระบวนการยุติธรรม ต้องมีการรวบรวมพยานหลักฐานมายืนยันให้สามารถพิสูจน์ความผิดได้อย่างถูกต้อง และชัดเจนโดยการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาพัฒนาใช้ในการพิสูจน์หลักฐานต่างๆ ให้ได้ผลที่ถูกต้องแท้จริง โดยสามารถแบ่งประเภทของวัตถุพยานได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. พยานเอกสาร หมายถึง ข้อความใดๆ ในเอกสารที่มีการอ้างเป็นพยาน เช่น ภาพถ่าย การบันทึกภาพเสียงและวีดีทัศน์ เอกสารผลการตรวจพิสูจน์คราบอสุจิ โลหิต หรือดีเอ็นเอ (DNA) จากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เอกสารผลการตรวจพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2. พยานบุคคล หมายถึง บุคคลที่มาเบิกความต่อศาลด้วยวาจา เช่น คำให้การจากพนักงานสอบสวน คำให้การจากพนักงานอัยการ คำรับสารภาพความผิดของจำเลย คำให้การของพยานบุคคล คำให้การของผู้เสียหาย เป็นต้น

3. พยานวัตถุ หมายถึง วัตถุสิ่งของที่คู่ความอ้างเป็นพยานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

3.1 วัตถุพยานทั่วไป เป็นวัตถุพยานที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น อาวุธปืน เขม่าดินปืน มีด สารพิษ เสื้อผ้า รองเท้าเปื้อนโลหิต เตียงนอน หมอน ผ้าปูที่นอน ถุงยางอนามัย เป็นต้น

3.2 วัตถุพยานทางชีววิทยา เป็นวัตถุพยานที่ได้มาจากสิ่งที่มีชีวิต หรือเป็นส่วนของสิ่งมีชีวิตมาก่อน เช่น เส้นผม เส้นขน คราบโลหิต คราบอสุจิ รอยนิ้วมือ รอยถูกเล็บมือข่วน เป็นต้น

4. ผู้ชำนาญการพิเศษ หมายถึง พยานบุคคลที่มีความรู้เชี่ยวชาญในศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่ง และมาเบิกความโดยการให้ความเห็น ได้แก่ ผู้ชำนาญการพิเศษสถาบันนิติเวชวิทยา นักจิตวิทยาแพทย์ นักนิติวิทยาศาสตร์ และนักวิทยาศาสตร์ เป็นต้น [22]

ในคดีอาญาถือว่าวัตถุพยานทางชีววิทยา (Biological evidences) เป็นวัตถุพยานที่ได้มาจากสิ่งที่มีชีวิต หรือเป็นส่วนของสิ่งมีชีวิตมาก่อน เช่น เส้นผม เส้นขน คราบโลหิต คราบอสุจิ รอยนิ้วมือ รอยถูกเล็บมือข่วน เป็นต้น ซึ่งวัตถุพยานทางชีววิทยา เป็นวัตถุพยานเพียงประเภทเดียวที่สามารถแสดงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับตัวผู้ต้องหา หรือผู้เสียหายได้ การเก็บวัตถุพยาน และการส่งวัตถุพยานไปตรวจจึงต้องทำอย่างถูกต้องตามหลักความต่อเนื่องของการครอบครองรักษาวัตถุพยาน (Chain of custody) ประกอบกับการตรวจโดยละเอียดและถูกต้อง จะทำให้เป็นประโยชน์ในการสืบสวนหาตัวผู้กระทำความผิดหรือการพิสูจน์ความผิดของผู้ต้องหาเป็นอย่างมาก

หลักความต่อเนื่องของการครอบครองรักษาวัตถุพยาน (Chain of custody) คือ ความต่อเนื่องของวัตถุพยานที่มีการบันทึกเอกสาร และบุคคลที่ได้ครอบครองวัตถุพยาน โดยปกติเป็นลำดับของลายมือชื่อที่แสดงการผ่านจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งโดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. การจัดการ (Talking) โดยการระบุวัน เดือน ปี เวลาที่เก็บตัวอย่าง วาดแผนผังหรือถ่ายรูปรายละเอียดต่างๆ ของวัตถุพยานนั้นจากสถานที่เกิดเหตุจริง

2. การเก็บ (Keeping) แสดงให้เห็นว่า ทำการเก็บวัตถุพยานนั้นถูกต้องตามหลักวิชาการ มีการแยกเก็บ และจำกัดให้เกี่ยวข้องได้เฉพาะผู้ที่จำเป็นเท่านั้น

3. การขนส่ง (Transporting) แสดงให้เห็นว่า ไม่มีการสับสน หรือปะปนกับของกลางหรือวัตถุพยานอื่นๆ รวมทั้งแสดงให้เห็นว่า วัตถุพยานนั้นได้ถูกบรรจุหีบห่อ ปิดผนึก และติดฉลากได้อย่างเหมาะสม

4. การส่งมอบ (Delivering) แสดงให้เห็นว่า ของกลางนั้นได้ส่งมอบให้แก่ผู้รับอย่างถูกต้อง และเหมาะสมโดยมีหลักฐานแสดง วัน เดือน ปี เวลาที่รับของกลาง รายละเอียดของของกลาง และให้ผู้รับลงรายมือชื่อพร้อมทั้งวันเวลาในสำเนาหนังสือนำส่งด้วยทุกครั้ง [23]

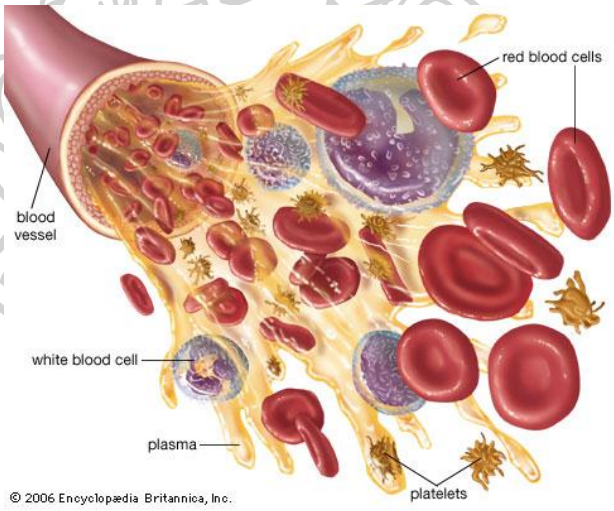
ความรู้เกี่ยวกับโลหิต

โลหิต (Blood) มีลักษณะสีแดงสด เมื่ออยู่ใกล้เส้นเลือดแดง (Arteries) และมีสีแดงคล้ำเมื่อผ่านในเส้นเลือดดำ (Veins) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางติดต่อระหว่างเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย การไหลเวียนของโลหิตจะทำให้เซลล์เหล่านั้นคงที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม โลหิตจะนำอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกายพร้อมนำของเสียและสารคัดหลั่งจากเนื้อเยื่อเหล่านั้นออกมาตามกระแสโลหิตไปยังอวัยวะหรือเนื้อเยื่อเพื่อนำไปใช้หรือกำจัดออก โดยเฉลี่ย มนุษย์จะมีโลหิตปริมาณ 7-8% ของน้ำหนักร่างกาย หรือ 5-6 ลิตร

1. ส่วนประกอบของโลหิต (Composition of the blood)

1.1 เซลล์เม็ดเลือด (Blood cell) ประมาณ 45% โดยปริมาตร ประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cells) เม็ดเลือดขาว (White blood cells) และเกล็ดเลือด (Blood platelets) ในเพศชายจะมีปริมาณเม็ดเลือดประมาณ 45% และในเพศหญิงมีประมาณ 42%

1.2 พลาสมา (Plasma) คือ ส่วนที่เป็นน้ำ หรือของเหลว มีประมาณ 55% โดยปริมาตร ประกอบด้วยน้ำ 90-92% โปรตีน 8-9% เกลืออินทรีย์ 0.9% สารอินทรีย์ แก๊สต่างๆ และอื่นๆ [3]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของโลหิต (Composition of the blood)

ที่มา : Encyclopedia Britannica, Inc. *Blood components*. 2006 [cited 2016 11/08]; Available from http://kids.britannica.com/elementary/art-88528/Blood-is-made-up-of-red-blood-cells-white-blood

2. ชนิดของเม็ดเลือด

2.1 เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) มีลักษณะกลมแบน ตรงกลางเว้าทั้ง 2 ด้าน (Biconcave disc) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-8 ไมโครเมตร และหนา 2 ไมโครเมตร ผนังของเซลล์ไม่แข็งจึงทำให้ยืดหยุ่น และเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ขณะผ่านไปตามหลอดเลือด เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส (Nucleus) เซลล์เม็ดเลือดแดง จะประกอบด้วยสารประกอบ โปรตีน เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ซึ่งมีธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดขึ้นเมื่อรวมตัวกับออกซิเจน (O_2) จะกลายเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) เพื่อทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจน (O_2) ออกจากปอดไปยังเซลล์ต่างๆ ของเนื้อเยื่อ และนำคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกจากเนื้อเยื่อไปสู่ปอด นอกจากนี้ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดยังช่วยรักษาความสมดุลกรดด่างของเลือดอีกด้วย เซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์ชนิดที่พบมากที่สุดในเลือด สร้างมาจากไขกระดูกแดง (Red bone marrow) เมื่อเจริญเต็มที่จะออกมาอยู่ในกระแสเลือด เซลล์เม็ดเลือดแดงมีอายุประมาณ 120 วัน และเมื่อหมดอายุจะถูกทำลายที่ตับและม้าม

2.2 เซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cells) เป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีนิวเคลียส (Nucleus) ปกติพบประมาณ 5,000-10,000 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรของเลือด เซลล์เม็ดเลือดขาวที่พบในกระแสเลือด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Granulocytes เป็นพวกที่มี Specific granules ในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) มี 3 ชนิดได้แก่ Neutrophil, Eosinophil และ Basophil และกลุ่ม Agranulocytes เป็นพวกที่ไม่มี Specific granules ในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) มี 2 ชนิด ได้แก่ Lymphocyte และ Monocyte

2.3 เกล็ดเลือด (Blood platelet) เป็นชิ้นส่วนส่วนของเซลล์ กำเนิดมาจากเซลล์เรียกว่า Megakaryocyte ที่อยู่ในไขกระดูก เกล็ดเลือดมีขนาดเล็ก รูปร่างเป็นแผ่นแบนนูนทั้ง 2 ด้าน (Biconvex) ไม่มีสี ไม่มีนิวเคลียส (Nucleus) มีขนาดประมาณ 2-4 ไมโครเมตร มีความสำคัญในกระบวนการแข็งตัวของเลือด [24]

การตรวจพิสูจน์คราบโลหิต

การตรวจคราบโลหิต แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

1. ตรวจว่าเป็นคราบโลหิตหรือไม่ โดยใช้วิธี Benzidine, O-tolidine, Phenolphthalein, Leucomalachite green และ Luminol เป็น Catalytic test โดย Benzidine และ O-tolidine มีความไวสูงกว่า แต่มีความจำเพาะน้อยกว่าวิธี Phenolphthalein และ Leucomalachite green และยังพบว่า

วิธี Benzidine และ O-tolidine เป็นสารก่อมะเร็งจึงไม่นิยมใช้กัน และแต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ วิธี Phenolphthalein เนื่องจากมีความไวสูงกว่าวิธี Leucomalachite green

2. ตรวจว่าเป็นโลหิตมนุษย์หรือไม่ โดยวิธีทาง Immunology ได้แก่ Precipitin test เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจคราบโลหิต โดยมีหลักการคือ แอนติบอดี้ (Antibody) เมื่อจับกับแอนติเจน (Antigen) จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อกัน ถ้าเป็นโลหิตมนุษย์ จะเกิดตะกอนขุ่นสีขาว Precipitin test มีความไวสูง สามารถให้ผลบวกกับคราบโลหิตแห้งแม้โลหิตนั้นจะถูกเก็บไว้นาน 10-15 ปี และจะไม่ให้ผลบวกกับโลหิตของสัตว์อื่นๆ ยกเว้นโลหิตของลิง

3. ตรวจว่าเป็นโลหิตของใคร โดยมีการตรวจ 2 ลักษณะ คือ การตรวจหาหมู่เลือดระบบ ABO ถึงแม้ว่าเม็ดเลือดแดงจะแตกหมดแล้ว แต่แอนติเจน (Antigen) และแอนติบอดี (Antibody) ยังคงอยู่ในคราบโลหิต จึงสามารถตรวจหาสารหมู่โลหิตได้ และการตรวจเพื่อเปรียบเทียบดีเอ็นเอ (DNA) หรือสารพันธุกรรม

สำหรับวิธีการเก็บ และรักษาสภาพของคราบโลหิต เนื่องจากโลหิตเป็นวัตถุพยานที่มักจะตรวจพบได้จากสถานที่เกิดเหตุ เช่น พื้นห้อง ฝาผนัง ลูกบิดประตู ก๊อกน้ำ เสื้อผ้า รองเท้า ของใช้ต่างๆ และอาวุธ เป็นต้น ถ้าจำเป็นต้องตรวจหายา หรือสารพิษจากตัวอย่างโลหิตดังกล่าว การเก็บ และรักษาสภาพของคราบโลหิตที่ถูกวิธีจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง วิธีเก็บตัวอย่างคราบโลหิตขึ้นอยู่กับลักษณะต่างๆ ของคราบโลหิต ดังนี้

1. โลหิตสด

1.1 ใช้ Dropper หรือ Syringe ดูดโลหิต 5-10 ml เก็บใส่หลอดแก้วหรือขวดแก้วที่สะอาด และมีสารกันเลือดแข็ง เช่น Sodium fluoride, Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA), Heparin หรือ Potassium oxalate ปิดจุกให้สนิท ถ้าหากไม่สามารถนำส่งห้องปฏิบัติการได้ในทันที ต้องเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นช่องเย็นธรรมดา ห้ามเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง เพราะจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ทำให้ยากแก่การตรวจหมู่โลหิต

1.2. ใช้ไม้พันสำลี หรือเศษผ้าฝ้ายสีขาวซับโลหิต ผึ่งตัวอย่างเลือดให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง นำใส่ในซองกระดาษ หรือหลอดแก้ว อุดปากหลอดแก้วด้วยจุกสำลีเพื่อนำตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการ

2. คราบโลหิตแห้ง

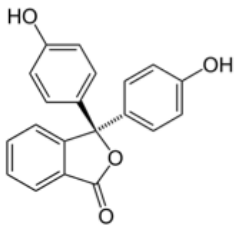
2.1 คราบโลหิตที่ติดอยู่บนวัตถุขนาดเล็ก หรือวัตถุที่เคลื่อนย้ายได้ ให้เก็บส่งตรวจทั้งชิ้น แต่ถ้าเป็นวัตถุขนาดใหญ่ และไม่สามารถนำส่งตรวจทั้งชิ้นได้ หรือเป็นคราบโลหิตที่ติดอยู่บนผนัง หรือพื้นห้อง ให้ใช้มีดบางคมขูดออก หรือใช้ไม้พันสำลี ชุบน้ำกลั่นหมาดๆ เช็ดออก และใช้ไม้พันสำลี อีกอันชุบน้ำกลั่นหมาดๆ เช็ดบริเวณใกล้เคียงที่ไม่มีคราบโลหิตเป็นตัวอย่างควบคุม

ผึ่งไม้พันสำลีทั้งสองให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง แยกใส่ในซองกระดาษ หรือหลอดแก้ว อุดปากหลอดแก้วด้วยจุกสำลีเพื่อนำมาส่งตรวจ

2.1 คราบโลหิตที่ติดอยู่ตามร่างกายใช้ไม้พันสำลี ชุบน้ำกลั่นหมาดๆ เช็ดออก และใช้ไม้พันสำลี อีกอันเช็ดบริเวณใกล้เคียงที่ไม่มีคราบโลหิต ผึ่งไม้พันสำลีทั้งสองให้แห้งสนิท ที่อุณหภูมิห้อง แยกใส่ในซองกระดาษหรือหลอดแก้ว อุดปากหลอดแก้วด้วยจุกสำลีเพื่อนำไปส่งตรวจ [25]

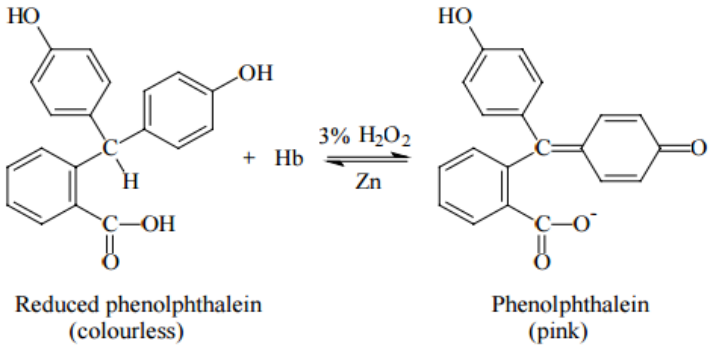
การตรวจคราบโลหิตในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์นั้นมีหลายวิธีที่น่าเชื่อถือและนิยมในปัจจุบัน ได้แก่ วิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein

1. Phenolphthalein เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมี คือ $C_{20}H_{14}O_4$ ใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ในการไทเทรตกรด-เบส เมื่อทดสอบด้วยสารละลายกรดจะเป็นสารละลายที่ไม่มีสี และเมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบสจะเป็นสีชมพูอมม่วง โดยปัจจุบันใช้เป็นวิธีทดสอบคราบโลหิตแบบเบื้องต้น โดย Louis-Jacques Thenard ได้ค้นพบ Hydrogen peroxide ต่อมา Christian Freidrich Schonbein สังเกตเห็น Peroxidase-like activity ของ Hemoglobin เป็นสาเหตุของ Oxidation ของ Hydrogenperoxide ผลของปฏิกิริยาระหว่าง Hydrogen peroxide กับ Hemoglobin ทำให้มีฟองเกิดขึ้น [5] ต่อมา Kastle ได้ใช้ Phenolphthalein เป็น Color indicator ของการตรวจ Hemoglobin ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Peroxides ทำให้เกิดการ Oxidation ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalein จากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพู [6] ต่อมา Meyer ได้ปรับปรุงและพัฒนาการทดสอบจึงเรียกว่า Kastle-Meyer Test [7] แต่ก็มีการพบว่า Phenolphthalein สามารถเกิดผลบวกปลอม (False positive) ที่เกิดจากสาร Oxidizing agent เช่น พืชผักผลไม้ น้ำยาฟอกขาว ด่างทับทิม และพืชบางชนิดที่มีเอนไซม์ Peroxidase เช่น ผักกาด บล็อกโคลี กะหล่ำดอก รวมทั้งน้ำลาย หนอง และเกลือของโลหะหนักบางชนิด [26]



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ Phenolphthalein

ที่มา : Wikipedia. *Phenolphthalein*. [cited 2016 12/09]; Available from https://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein

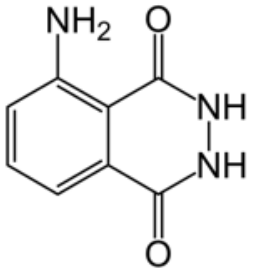


รูปที่ 3 โครงสร้างของสาร Phenolphthalein เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต

ที่มา : XII-Biotech-A-Blood Detection. *Blood detection by chemical methods*. [cited 2016 12/29]; Available from http://nzic.org.nz/ChemProcesses/biotech/12A.pdf

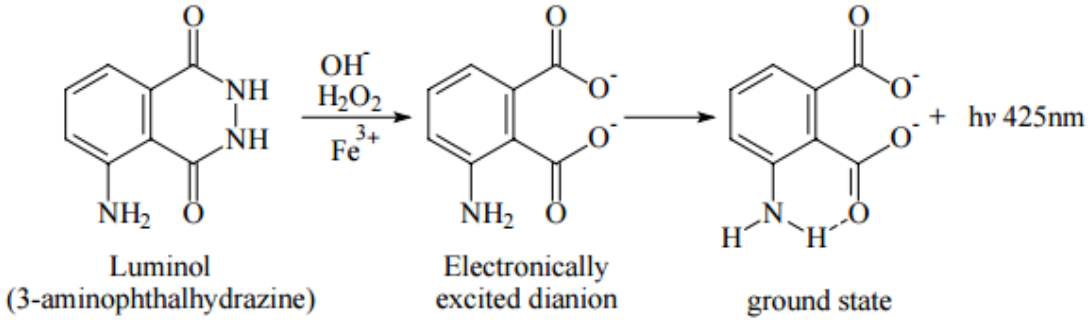
2. Luminol (3-Aminophthalhydrazide) เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีคือ $C_8H_7N_3O_2$ เป็นสารชนิดผงที่มีคุณสมบัติเรืองแสง (Chemiluminescence) ได้รับการยอมรับให้นำมาใช้ตรวจคราบโลหิตนานถึง 40 ปี เมื่อผสมกับตัว Oxidize ที่เหมาะสม จะทำปฏิกิริยากับเหล็ก (Fe^+) ที่อยู่ในโลหิต ทำให้เกิดสารเรืองแสงขึ้น โดยสารละลาย Luminol เตรียมจากสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) ทำให้ Luminol อยู่ในรูป Dianion ซึ่งมีความเสถียรสูง จากนั้นจึงเติมสารละลาย Hydrogen peroxide (H_2O_2) เพื่อทำปฏิกิริยากับเหล็ก (Fe^+) ที่อยู่ในโลหิต ซึ่งเหล็ก (Fe^+) ทำหน้าที่เป็นตัว Reduce สารละลาย Hydrogen peroxide (H_2O_2) ทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ Luminol ในรูป Dianion เกิดเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียร (Intermediate luminol) และมีพลังงานสูง ทำให้ต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างของ Luminol ที่เสถียรในที่สุด โดยมีความยาวคลื่น 425-454 nm [27] โดย Specht ได้นำ Luminol มาใช้ตรวจหาคราบโลหิตบนวัตถุพยาน [8] การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol เป็นวิธีที่ค่อนข้างมีความจำเพาะเจาะจง และสามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางมากๆ ได้ จน Grodsky ได้พัฒนา Luminol โดยใช้ Sodium carbonate (Na_2CO_3) และ Sodium percarbonate ($Na_2CO_3 3H_2O_2$) ผสมกับน้ำกลั่น และเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการตรวจราบโลหิตในคดีอาชญากรรม แต่สารดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาการ Oxidation ของเม็ดเลือดแดงช้า จึงทำให้เกิดสารเรืองแสงไม่มาก และระยะสั้น เป็นวิธีที่ไม่เสถียรและเป็นพิษสูง [10] ต่อมา Weber ใช้ Sodium hydroxide (NaOH) เป็นส่วนประกอบใหม่ใน Luminol แต่สารละลายดังกล่าวต้องเก็บไว้ในที่เย็นและต้องเก็บให้พ้นแสง

และสารเรืองแสงที่ได้จากการตรวจคราบโลหิตต้องถ่ายภาพมีข้อจำกัด คือ ต้องถ่ายภาพในที่มืด และต้องใช้กล้องสำหรับถ่ายภาพตอนกลางคืน (Night-vision) [11]



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของ Luminol

ที่มา : Wikipedia. *Luminol*. [cited 2016 12/29]; Available from https://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein

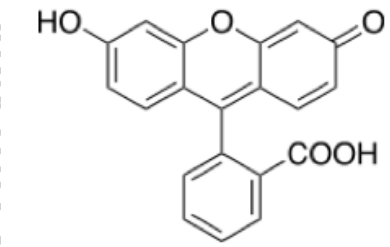


รูปที่ 5 โครงสร้างของสาร Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต

ที่มา : XII-Biotech-A-Blood Detection. *Blood detection by chemical methods*. [cited 2016 12/29]; Available from http://nzic.org.nz/ChemProcesses/biotech/12A.pdf

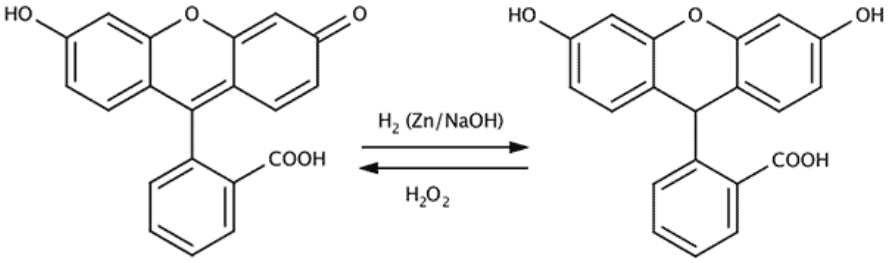
3. วิธี Fluorescein สารประกอบที่มีสูตรเคมี คือ $C_{20}H_{12}O_5$ เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ เป็นผงสีส้มหรือแดง เมื่อละลายน้ำ และแอลกอฮอล์จะได้สีเขียวเหลืองเรืองแสงได้ มักใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์เพื่อการตรวจจอประสาทตาโดยการฉีดสีเพื่อดูความผิดปกติของหลอดเลือด เช่น ภาวะจุดรับภาพบวมจากสารน้ำ จะเห็นตำแหน่งที่มีสีรั่วและวางแผนการรักษาโดยการยิงแสงเลเซอร์ หรือในทางนิติวิทยาศาสตร์ นำมาใช้ตรวจคราบโลหิต โดยสามารถนำมาใช้ได้ดีที่สุดกับการตรวจคราบโลหิตในสถานที่เกิดเหตุเก่า สถานที่เกิดเหตุที่คาดว่า มีการทำความสะอาด

เพื่อปกปิดรอยโลหิต สถานที่เกิดเหตุทั้งภายในและภายนอกที่ไม่สามารถเห็นคราบโลหิตได้ด้วยตาเปล่า สถานที่เกิดที่โดนฝนชะล้างและทำไม่ให้ไม่สามารถมองเห็นคราบโลหิตได้ และเสื้อผ้าของคนร้ายเปื้อนโลหิตที่ผ่านการซักล้าง เป็นต้น [20] Fluorescein จึงเป็นทางเลือกนอกจาก Luminol ที่นำมาใช้ในการตรวจคราบโลหิตในสถานที่เกิดเหตุโดยไม่ทำลายดีเอ็นเอ (DNA) [14] อีกทั้งยังมีการศึกษาพบว่าสาร Fluorescence ที่อยู่ใน Fluorescein จะทำปฏิกิริยาได้นานกว่าสาร Luminescence ที่อยู่ใน Luminol แต่ Fluorescein จะต้องเตรียมบ่อยครั้งกว่า Luminol [28] สาร Fluorescein มีความไวสูง (Highly sensitive) ต่อ Hemassociated molecules (enzymes and iron) ในเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีการศึกษาว่า สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วน 1:105,000 โดยปริมาตร [29] การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิตสามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าในที่มืดสนิทด้วยตาเปล่า แต่ Fluorescein จะต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่ความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier สามารถมองเห็นการเรืองแสงสีเขียวเหลืองได้ในที่มืดสนิท [15]



รูปที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของ Fluorescein

ที่มา : Wikipedia. *Fluorescein*. [cited 2016 12/30]; Available from https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescein



รูปที่ 7 โครงสร้างของสาร Fluorescein เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต

ที่ ม า : Bvda. *Chemical information of Fluorescein*. [cited 2016 12/ 30] ; Available from http://www.bvda.com/en/luminol#tab30

ชนิดของพื้นรองเท้า

พื้นรองเท้าที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 3 ชนิด คือ พื้นยางแข็ง พื้นยางฟองน้ำ และพื้นพีวีซี (PVC) โดยยางพื้นรองเท้านั้นสามารถแบ่งออกเป็น ยางพื้นรองเท้าที่ผลิตจากยางธรรมชาติ (Natural rubber) หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) หรือยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ โดยมีอุปกรณ์การผสม ได้แก่ เครื่องบดผสม แม่พิมพ์ และเครื่องตัดพื้นรองเท้า ซึ่งวิธีการผลิตพื้นรองเท้านั้น จะทำการออกแบบสูตรก่อนผลิต แล้วทำการบดผสมยางกับสารเคมีให้เข้ากันด้วยเครื่องบดผสมที่อุณหภูมิที่เหมาะสม และบ่มยางที่ผสมแล้วอย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนขึ้นรูป หลังจากนั้นขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัด หรือแม่พิมพ์แบบฉีด ขึ้นกับลักษณะชิ้นงานที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายคือ การตัดพื้นรองเท้าให้เป็นไปตามแบบที่ต้องการ [4]

รูปที่ 8 กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า

ที่มา : ดารณี เจริญสุข. *ยางพื้นรองเท้า-ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย*. 2560 [cited 2016 12/29]; Available from http://www.rubbercenter.org/files/soles.pdf

1. พื้นยางสังเคราะห์ (Synthesis rubber) คือ ยางเทียมที่มีลักษณะทางเคมี และคุณสมบัติคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติ ผลิตจากโมโนเมอร์ที่แตกต่างกันออกไปแต่ละชนิด เช่น ยางไนไตรล์ (Acrylonitrile butadiene rubber หรือ Nitrile rubber), ยางคลอโรพรีน (Cloroprene rubber) และยางฟองน้ำ (Sponge rubber) เป็นต้น โดยจะมีคุณสมบัติทนน้ำมันสูงกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากมีความเป็นขั้วสูง [30]

2. พื้นอีวีเอ (EVA) ย่อมาจาก Ethylene vinyl acetate อยู่ในกลุ่มพลาสติก เป็นโคโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของเอทิลีน (Ethylene monomer) และไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate monomer) หรือ VA นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [31] ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาวิจัยเพื่อนำอีวีเอ (EVA) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมรองเท้า รวมทั้งส่วนของพื้นรองเท้า พื้นกันลื่น หีบห่อบรรจุภัณฑ์ กาว เส้นลวด และอื่นๆ [32]

3. พื้นยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นโพลิเมอร์ขนาดใหญ่ โดยมีโมเลกุลยาวประกอบมาจากโมโนเมอร์หลายพันหน่วยมาต่อเข้าด้วยกัน ยางธรรมชาติในสภาพน้ำยางดิบมีการใช้งานที่ยังไม่กว้างขวางนัก จึงต้องมีการแปรรูปขั้นต้นของน้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม โดยต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้น้ำยางจับตัวกันเป็นก้อนก่อนนำมาแปรรูป ยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) เวลาดึงจะมีการไหล ไม่เสถียรเมื่ออยู่ในสภาวะที่ร้อน และถูกแสงจ้า หรือแข็งเหนียวจนเกินไปที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ยางธรรมชาติไม่ทนต่อน้ำมันปิโตเลียม หรือน้ำมันชนิดอื่นๆ และไม่ทนต่อสารเคมี [30] [33]

4. พื้นไม้ เป็นวัสดุที่ผลิตจากไม้ที่ได้จากธรรมชาติ

5. พื้นไบเก้น (Birkenstock) เป็นรองเท้าเพื่อสุขภาพ และมีชื่อเสียงในด้านความเป็นธรรมชาติ และใส่ใจสิ่งแวดล้อม ผลิตในประเทศเยอรมัน โดยผลิตจากวัสดุหลัก คือ ไม้ก๊อก น้ำยางธรรมชาติ เส้นใยปอกระเจา และ Ethylene vinyl acetate (EVA) พื้นรองเท้าจึงสามารถยืดหยุ่นปรับรูปทรงตามเท้าของผู้สวมใส่ ทำให้ช่วยลดอาการปวดหลัง ปวดขา หรือปวดเข่าได้ [34]

6. พื้นยางสังเคราะห์พียู (PU) ย่อมาจาก Polyurethane เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการ Polymerization ของโมโนเมอร์ของยูรีเทน (Urethane) ไม่สามารถหลอมเหลวหรือขึ้นรูปได้ใหม่ มีคุณสมบัติทนต่อการเสียดสีได้ดีมาก ทนต่อการลมอัดได้สูงมาก ทนน้ำมัน และทนความร้อน

ได้ -40 °C ถึง 100°C ผลิตครั้งแรกในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้ทดแทนยางธรรมชาติ และยังใช้ผลิตผ้าที่มีความทนทาน เคลือบผิวเครื่องบิน โลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี ปัจจุบันยางสังเคราะห์พียู (PU) ผลิตออกมาหลายรูปแบบ ได้แก่ ท่อลมอัด โฟมยืดหยุ่น โฟมแข็ง สารเคลือบป้องกันสารเคมี พื้นรองเท้านิรภัย เป็นต้น [35] ส่วนยางสังเคราะห์ทีพียู (TPU) ย่อมาจาก Thermoplastic polyurethanes เป็นอีกขั้นหนึ่งของยางสังเคราะห์พียู (PU) มีลักษณะอ่อน แต่ไม่อ่อนเท่าเนื้อของยางสังเคราะห์พียู (PU) มีความลื่นและมีความแข็งกว่า ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นยางกันกระแทก เพราะมีความคงทนกว่า ไม่เกิดการย้วยทนน้ำมัน และทนความร้อนได้ -50 °C ถึง 220°C ปัจจุบันยางสังเคราะห์ทีพียู (TPU) เป็นสินค้าที่สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย โดยส่วนมากจะนำมาใช้เป็นยางกันกระแทกของตัวกระบอกสูบ พื้นร้องเท้านิรภัย เป็นต้น [36]

7. พื้นพีวีซี (PVC) ย่อมาจาก Polyvinyl chloride กระบวนการ Polymerization ของโมโนเมอร์ของไวนิลคลอไรด์ (Vinylcloride monomer) หรือ (VCM) และเป็นที่รู้จักกันในปี ค.ศ. 1872 โดย Baumann เป็นคนแรกที่ค้นพบผลิตภัณฑ์ของ Polyvinyl chloride โดยบังเอิญ โดยเขาพบว่า เมื่อ Vinylcloride monomer สัมผัสกับแสงแดดแล้ว จะกลายเป็นวัสดุที่เป็นของแข็ง และมีสีขาว ที่สามารถทนความร้อนได้ถึง 130 °C โดย Polyvinylcloride monomer หรือ PVC นิยมนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง เช่น งานด้านสถาปัตยกรรม อิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมเคมี บรรจุภัณฑ์ และการขนส่ง [37] ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพีวีซี (PVC) ได้แก่ เฟอร์นิเจอร์หนังเทียม ม่านในห้องน้ำ ตู้เย็น ผ้าปูโต๊ะอาหาร กระเป๋ากันน้ำ รองเท้า เสื้อกันฝน ท่อต่างๆ กระเบื้อง ฉนวนสายไฟเคเบิล เป็นต้น [38]

8. พื้นไฟล่อน (Phylon) คือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเข้าเครื่องฉีดผ่านโมลด์ หรือแม่พิมพ์ ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิสูง มีน้ำหนักเบา จึงนิยมนำมาใช้เป็นพื้นกันลื่น และพื้นรองเท้า [39]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยภายในประเทศ

1.1 เสาวรส ปุริมโน ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตที่เจือจางบนพื้นผิวที่มีรูพรุน และไม่มีรูพรุน โดยวิธี Phenolphthalein, Tetramethylbenzidine, Luminol และ BlueStar ทำการทดลองโดยนำโลหิตมาเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ จนความเข้มข้นต่ำสุดที่ 1:100,000,000 โดยปริมาตร จากนั้นนำมาหยดลงบนพื้นผิวทั้ง 2 ประเภท หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจคราบโลหิตภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ระยะเวลา 8 สัปดาห์ วิธี Phenolphthalein และ Tetramethylbenzidine สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุดบนพื้นผิวที่มีรูพรุน คือ กระดาษถ่ายเอกสารสีขาว (80 แกรม) กระดาษร้อยปอนด์ ซองจดหมาย ผ้าป่านมัสลิน ผ้าฝ้าย และพรม และในพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน พบว่า วิธี Tetramethylbenzidine ตรวจคราบโลหิตได้มากกว่าวิธี Phenolphthalein บนพื้นผิวกระเบื้อง กระจก และไม้อัด ในขณะที่วิธี BlueStar สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางได้มากกว่าวิธี Luminol บนทั้งพื้นผิวที่มีรูพรุน และไม่มีรูพรุน และให้ผลการตรวจคราบโลหิตเช่นเดียวกันกับพื้นผิวผ้าป่านมัสลิน ไม้อัด พรม และกระดาษร้อยปอนด์ [18]

1.2 พินิตา กรทอง ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Kastle-Meyer, Luminol และ BlueStar® บนพื้นผิวที่มีรูพรุน และไม่มีรูพรุน พบว่า บนพื้นผิวแผ่นใสพลาสติกและกระจก ในวัสดุที่ไม่มีรูพรุน เมื่อหยดคราบโลหิตและทิ้งไว้ให้แห้ง พบว่า โลหิตไม่ยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุ เนื่องจากมีลักษณะเรียบ ลื่น เมื่อมีการขัด ถู หรือขูด อาจจะทำให้มีปริมาณโลหิตลดน้อยลง และส่งผลให้การตรวจคราบโลหิตตรวจพบได้น้อยลง [40]

2. งานวิจัยต่างประเทศ

2.1 Petersen และ Kovacs ได้ศึกษาพบว่า Phenolphthalein สามารถเกิดผลบวกปลอม (False positive) ที่เกิดจากสาร Oxidizing agent เช่น พืชผัก ผลไม้ น้ำยาฟอกขาว ด่างทับทิม และพืชบางชนิดที่มีเอนไซม์ Peroxidase เช่น ผักกาด บล็อกโคลี กะหล่ำดอก รวมทั้งน้ำลาย หนอง และเกลือของโลหะหนักบางชนิด [26]

2.2 Joanne, Jonathan และ Terence ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจคราบโลหิตที่ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ 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 [12]

2.3 Watkins และ Brown ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol และ BlueStar® โดยใช้โลหิตที่เจือจางในอัตราส่วน 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000 และ 1:1,000,000 โดยปริมาตร บนผนังที่ทาสี ไม้ ผ้า ไม้อัด กระดาษพรม และกระเบื้องไวนิล ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน 20 วัน และ 30 วัน ผลการทดลองพบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน วิธี BlueStar® มีประสิทธิภาพการตรวจคราบโลหิตดีว่าวิธี Luminol โดยสามารถตรวจคราบโลหิตบนพื้นพรมได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุดในอัตราส่วน 1:1,000,000 โดยปริมาตร และสามารถตรวจคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางต่ำที่สุดในอัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร บนพื้นไม้อัด [9]

2.4 Cheeseman และ DiMeo ได้ศึกษาวิธีการตรวจคราบโลหิตโดยใช้ Fluorescein ในโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วน 1:1,000-1:105,000 โดยปริมาตร เนื่องจาก Fluorescein มีความไวสูง (Highly sensitive) ต่อ Hemassociated molecules (Enzymes and iron) ในเซลล์เม็ดเลือดแดง จากการทดลอง พบว่า Fluorescein สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วน 1:105,000 โดยปริมาตร และสาร Fluorescence ที่อยู่ใน Fluorescein จะทำปฏิกิริยาได้นานกว่าสาร Luminescence ที่อยู่ใน Luminol การตรวจคราบโลหิตจะเห็นการเรืองแสงสีเขียวเหลือง สามารถมองเห็นในที่มืดสนิท ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier [15]

2.5 Jakovich ได้ทำศึกษาการตรวจหา Short Tandem Repeat (STR) analysis จากคราบโลหิตบนพื้นพรมที่ผ่านการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol, Fluorescein และ BlueStar โดยทำการหยดโลหิตลงบนพื้นพรม ขนาด 24” x 18” ทิ้งไว้ให้แห้งอย่างน้อย 5 วัน หลังจากนั้นตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol, Fluorescein และ BlueStar และทำการ Swab บนพื้นพรมที่ผ่านการตรวจคราบโลหิตมาวิเคราะห์ STRs 13 ตำแหน่ง ตามฐานข้อมูลลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint) ที่เรียกว่า Combined DNA Index System (CODIS) จากการทดลองพบว่า การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol, Fluorescein และ BlueStar ไม่มีผลต่อการยับยั้ง Short Tandem Repeat (STR) analysis แต่อย่างใด [16]

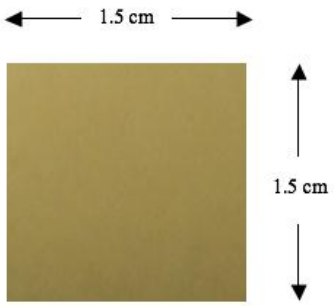
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิจัยเชิงทดลอง เพื่อตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังนี้

ตัวอย่างพื้นรองเท้าที่ใช้ในการวิจัย

1. พื้นยางสังเคราะห์
2. พื้นอีวีเอ (EVA)
3. พื้นยางธรรมชาติ
4. พื้นไม้
5. พื้นไบเก้น
6. พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU)
7. พื้นพีวีซี (PVC)
8. พื้นไฟล่อน

ชนิดละ 3 ตัวอย่างที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งตัวอย่างพื้นรองเท้าชนิดละ 150 ส่วน ขนาดกว้าง 1.5 cm และยาว 1.5 cm สำหรับการทดลองตัวอย่างโลหิตเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000 และ1:1,000,000 โดยปริมาตร และหยดโลหิตทิ้งไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ คือ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ รวมทั้งตัวอย่างควบคุม คือ โลหิตที่ไม่เจือจาง และน้ำกลั่น



รูปที่ 9 การตัดพื้นรองเท้า ขนาดกว้าง 1.5 cm และยาว 1.5 cm

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ และแหล่งที่มา

ตัวอย่างพื้นรองเท้า	แหล่งที่มา
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)	ร้านสะดวกซื้อ 7-11
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)	ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล ลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)	ห้างสรรพสินค้าไอทีแสควร์ กรุงเทพมหานคร

อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 1) 	Index Living Mall กรุงเทพมหานคร
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 2) 	ตลาดนัดเรียบด่วน รามอินทรา กรุงเทพมหานคร
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 3) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร

ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 1) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 2) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 3) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร

ไม้ (ตัวอย่างที่ 1) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ไม้ (ตัวอย่างที่ 2) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ไม้ (ตัวอย่างที่ 3) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร

ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 1) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 2) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 3) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร

พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 1) 	ห้างสรรพสินค้าเทสโก้ โลตัสสาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 2) 	ห้างสรรพสินค้าโลตัส สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 3) 	ห้างสรรพสินค้าโลตัส สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร

พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 1) 	ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล แจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 2) 	ห้างสรรพสินค้าเทสโก้ โลตัส สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 3) 	ร้านย่งเฮง คลองสาน กรุงเทพมหานคร

ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 1) 	ห้างสรรพสินค้า Big C สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 2) 	ห้างสรรพสินค้า Big C สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 3) 	ห้างสรรพสินค้า Big C สาขาแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งที่มา

อุปกรณ์	**แหล่งที่มา**
หลอดทดลอง	FINEX® BOROSILICATE
ตะแกรงใส่หลอดทดลอง	-
Pipette ขนาด 20-200 µl และ 100-1000 µl	ACURA 825 autoclavable
เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง	DENVER INSTRUMENT
บีกเกอร์	SCHOT DURAN
ถุงมือยาง	ยี่ห้อศรีตรังโกลฟส์
ถุงพลาสติก	ห้างสรรพสินค้าโลตัส สาขาแจ้งวัฒนะ
กล้องถ่ายภาพดิจิตอล	ยี่ห้อ FujifilmX-A216MP CMOS Sensor
หลอดไฟ LED สีฟ้า	HomrPro
ฟิลเตอร์สีส้ม (Orange barrier)	ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งที่มา

สารเคมี	**แหล่งที่มา**
Phenolphthalein	Carlo Erba Reagents Group
Luminol	Sigma-Aldrich Corporation
Fluorescein	BDH Chemicals Poole England
KOH (Potassium hydroxide)	Fluka
Zinc Powder	บริษัท พลวัตเคมิคอล จำกัด
NaOH (Sodium hydroxide)	Merck Chemicals
H_2O_2 (Hydrogen peroxide)	Merck Schuchardt OHG
น้ำกลั่น	-
โลหิตมนุษย์	ห้องปฏิบัติการกลาง โรงพยาบาลจุฬาภรณ์

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 4 การเตรียม Phenolphthalein [25]

สารเคมี	ปริมาณ
Phenolphthalein	1 g
KOH (Potassium hydroxide)	10 g
Zinc powder	10 g
น้ำกลั่น	50 ml
Ethanol	20 ml
3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide)	-

การเตรียม Phenolphthalein โดยชั่งสาร Phenolphthalein 1 g KOH 10 g Zinc powder 10 g และน้ำกลั่น 50 ml นำไปต้มโดยใช้ Reflux condenser ต้มประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายไม่มีสี จะได้สารละลาย Phenolphthalein เก็บไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 °C เมื่อต้องการนำมาใช้ให้นำสารละลาย Phenolphthalein 5 ml ผสมกับ Ethanol 20 ml ใส่ขวดสีชาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

ตารางที่ 5 การเตรียม Luminol [19]

สารเคมี	ปริมาณ
Luminol	0.25 g
NaOH (Sodium hydroxide)	2.5 g
3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide)	50 ml
น้ำกลั่น	50 ml

การเตรียม Luminol โดยชั่งสาร Luminol 0.25 g และ NaOH 2.5 g ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml และ 3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide) ในน้ำกลั่น 50 ml

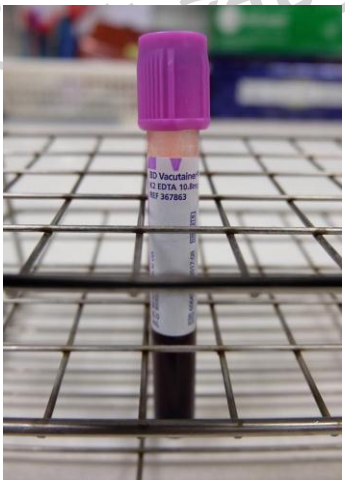
ตารางที่ 6 การเตรียม Fluorescein [41]

สารเคมี	ปริมาณ
Fluorescein	0.1 g
Zinc powder	2 g
NaOH (Sodium hydroxide)	1 g
น้ำกลั่น	20 ml
3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide)	-

การเตรียม Fluorescein ชั่งสาร Fluorescein 0.1 g และ Zinc powder 2 g ใส่ในบีกเกอร์ ผสมกับน้ำกลั่น 20 ml ผสมให้เข้ากันหลังจากนั้นเติม NaOH (Sodium hydroxide) 1 g นำไปแช่ในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 37 °C เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ของ Fluorescein เป็น Fluorescin เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4°C เมื่อต้องการนำมาใช้ ให้นำสาร Fluorescein เจือจางในน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:100 โดยปริมาตร (Fluorescein 1 ml และน้ำกลั่น 99 ml)

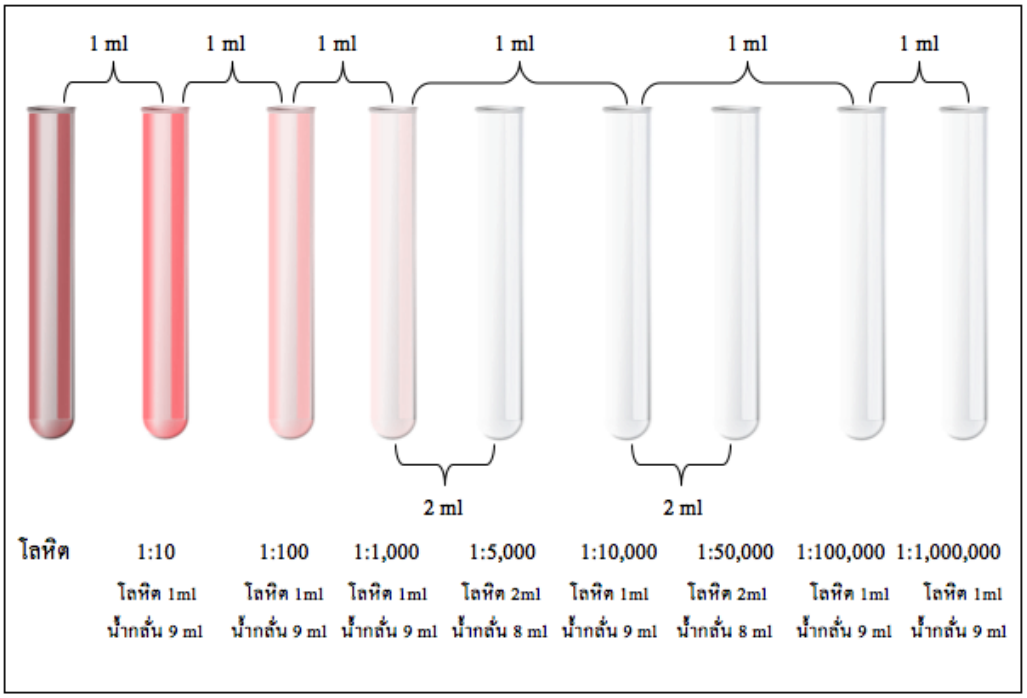
วิธีเก็บตัวอย่างโลหิต และเจือจางตัวอย่างโลหิต

1. เก็บตัวอย่างโลหิตของมนุษย์จากอาสาสมัคร 10 ml บรรจุในหลอดเคลือบด้วยสาร EDTA (Ethylene diamine tetra-acetic acid) ที่มีคุณสมบัติจับกับแคลเซียม (Ca) เพื่อป้องกันการแข็งของโลหิต รักษาสภาพและรูปร่างของเม็ดเลือดให้เหมือนเดิม เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C [17]



รูปที่ 10 ตัวอย่างโลหิตของมนุษย์ในหลอดที่เคลือบด้วยสาร EDTA (Ethylene diamine tetra-acetic acid)

2 . นำโลหิตของมนุษย์ เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000, และ 1:1,000,000 โดยปริมาตร มีวิธีการเตรียมตามรูปดังนี้



รูปที่ 11 วิธีการเจือจางโลหิตในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยน้ำกลั่น

วิธีการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ผลการตรวจคราบโลหิต

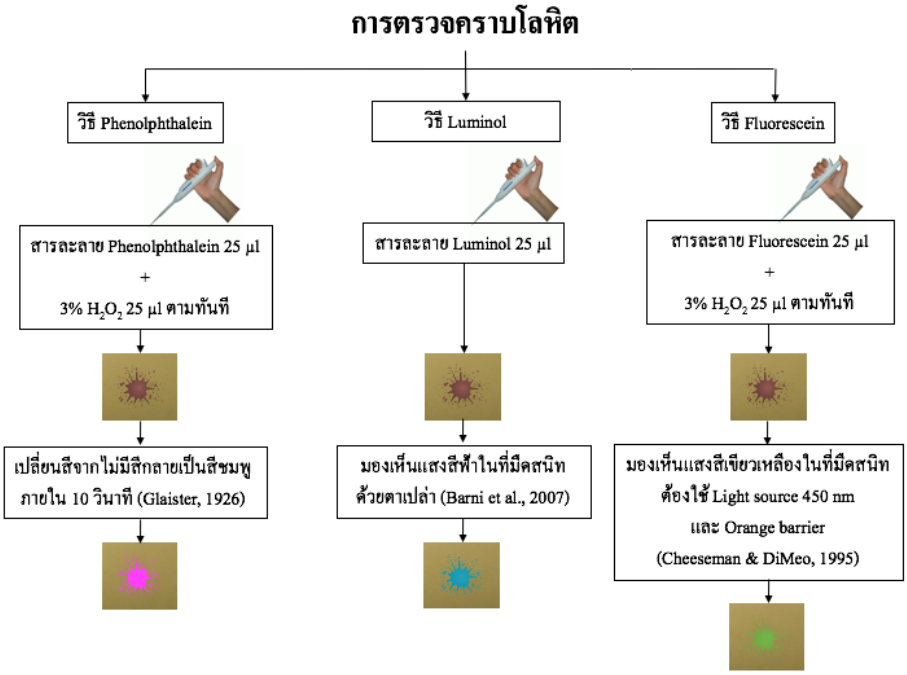
1. นำโลหิตที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนข้างต้นมาหยดลงบนพื้นชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นยางพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน รวมทั้งตัวอย่างควบคุมคือ น้ำกลั่น ปริมาตร 25 µl หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วบรรจุเก็บในซองพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ

2. ตรวจคราบโลหิตในตัวอย่างพื้นรองเท้า ดังนี้

2.1 การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein โดยหยด Phenolphthalein 25 µl ลงบนตัวอย่างพื้นรองเท้า และหยด 3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide) 25 µl ตามทันที สาร Phenolphthalein จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Peroxides ทำให้เกิดการ Oxidation ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalein จากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพู ภายใน 10 วินาที และถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล [6] [7]

2.2 การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol โดยหยด Luminol 25 µl ลงบนตัวอย่างพื้นรองเท้า ซึ่ง Luminol เมื่อผสมกับตัว Oxidize ที่เหมาะสม จะทำปฏิกิริยากับเหล็ก (Fe^{+}) ในโลหิต ทำให้เกิดสารเรืองแสง สารละลาย Luminol เตรียมจากสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) ทำให้ Luminol อยู่ในรูป Dianion ซึ่งมีความเสถียรสูง จากนั้นจึงเติมสารละลาย Hydrogen peroxide (H_2O_2) เพื่อทำปฏิกิริยากับเหล็ก (Fe^{+}) ที่อยู่ในโลหิต ซึ่งเหล็ก (Fe^{+}) ทำหน้าที่เป็นตัว Reduce สารละลาย Hydrogen peroxide (H_2O_2) ทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสาร Luminol ในรูป Dianion เกิดเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียร (Intermediate luminol) และมีพลังงานสูง ทำให้ต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างของ Luminol ที่เสถียรในที่สุด สามารถมองเห็นในที่มืดสนิท และถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล [27]

2.3 การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein โดยหยด Fluorescein 25 µl ลงบนตัวอย่างพื้นรองเท้า และหยด 3% H_2O_2 (Hydrogen peroxide) 25 µl ตามทันที Fluorescein จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและเหล็ก (Iron ions) ที่พบได้ในฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดง และจะเปล่งแสง (Exposed/excited) ออกมาที่ความยาวคลื่น 420-485 nm ซึ่งช่วงที่ดีที่สุดคือ 460-480 nm (Blue light, near ultraviolet) การตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Fluorescein สามารถมองเห็นการเรืองแสงสีเขียวเหลืองได้ในที่มืดสนิท จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่มีความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier [15]



รูปที่ 12 วิธีการทดลองการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein

3. การวิเคราะห์ผลการตรวจคราบโลหิต

นำภาพถ่ายมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลการตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้า โดยเปรียบเทียบความเข้มของสีที่ได้จากการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein โดยกำหนดความเข้มของสีไว้ 4 ระดับ ดังนี้

ความเข้มของสีสูงที่สุด	แทนด้วย	+++
ความเข้มของสีปานกลาง	แทนด้วย	++
ความเข้มของสีต่ำที่สุด	แทนด้วย	+
ไม่ปรากฏสี	แทนด้วย	-

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

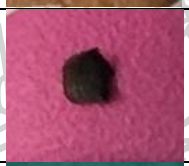
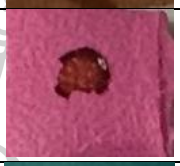
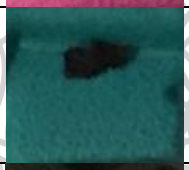
งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู(PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ชนิดละ 3 ตัวอย่างที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยนำโลหิตมาเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000 และ 1:1,000,000 โดยปริมาตร หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วบรรจุเก็บในซองพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ และตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนตัวอย่างพื้นรองเท้าทั้งหมดด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein บันทึกผลและถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล

ผลจากการศึกษา พบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ให้แห้งแล้วบรรจุเก็บในซองพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับนั้น คราบโลหิตที่ไม่เจือจางและคราบโลหิตที่เจือจางอัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร ที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน มีลักษณะแตก และหลุดล่อนออกจากพื้นรองเท้า เนื่องจากพื้นรองเท้ามีลักษณะมันทำให้คราบโลหิตไม่ยึดเกาะติดกับพื้นรองเท้า ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 7 ลักษณะคราบโลหิตมนุษย์ที่แตก และหลุดล่อนออกจากพื้นรองเท้า

ชนิดของพื้นรองเท้า	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)	
	โลหิต	1:10
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 1)		
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 2)		
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 3)		

ตารางที่ 7 ลักษณะคราบโลหิตมนุษย์ที่แตก และหลุดล่อนออกจากพื้นรองเท้า (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)	
	โลหิต	1:10
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 1)		
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 2)		
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 3)		
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 1)		
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 2)		
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 3)		

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein จะเกิดการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalein จากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพูภายใน 10 วินาที [6] [7] โดยพบว่าภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้นาน 8 สัปดาห์ สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:1,000 โดยปริมาตร พื้นยางธรรมชาติ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบคราบโลหิตเจือจาง 1:100 โดยปริมาตร ในขณะที่คราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางน้อยที่สุด คือ 1:10 โดยปริมาตร ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 13

พื้นอีวีเอ (EVA)	พื้นยางสังเคราะห์	พื้นไม้
พบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:1,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์	พบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:10 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์	พบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:10 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์

รูปที่ 13 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไม้ ด้วยวิธี Phenolphthalein

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol

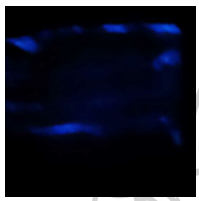
การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า สามารถมองเห็นในที่มืดสนิท เปล่งแสงได้นาน 10-15 นาที [27] โดยพบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:100,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:50,000 โดยปริมาตร พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 50,000 โดยปริมาตร บนพื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 10,000 โดยปริมาตร ตามลำดับ ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้นานถึง 8 สัปดาห์ ส่วนคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางน้อยที่สุด คือ 1:100 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:10 โดยปริมาตร และยังพบว่า เมื่อทำการตรวจวัดคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าได้เพียง 5 นาที เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจวัดคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดอื่นๆ จะสามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าได้นาน 10-15 นาที ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 14

พื้นอีวีเอ (EVA)

พบได้ในอัตราส่วนโลหิต
เจือจาง 1:100,000 โดยปริมาตร
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์

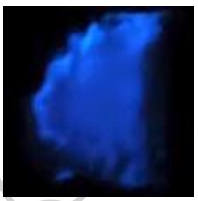
พื้นอีวีเอ (EVA)

พบได้ในอัตราส่วนโลหิต
เจือจางลดลง คือ 1:50,000 โดยปริมาตร
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์



พื้นไม้

พบได้ในอัตราส่วนโลหิต
เจือจาง 1:100 โดยปริมาตร
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์



พื้นไม้

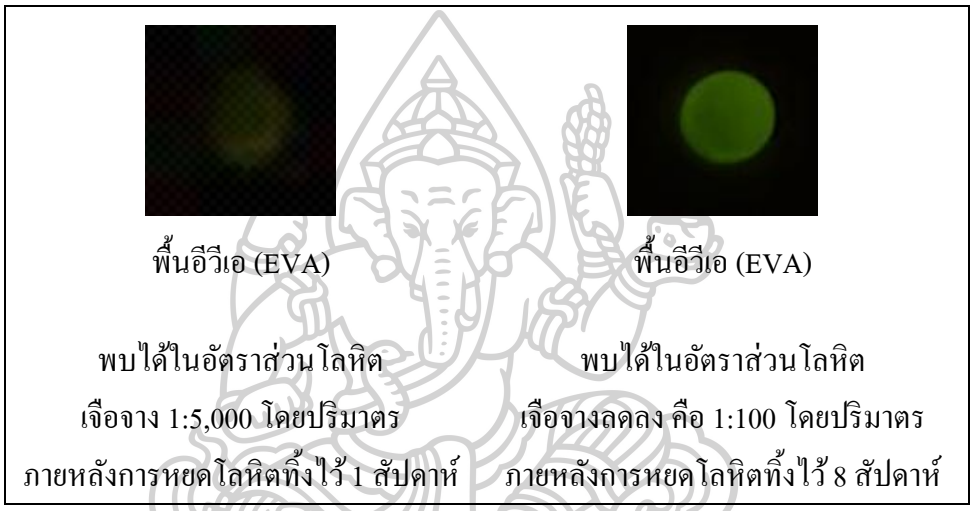
พบได้ในอัตราส่วนโลหิต
เจือจางลดลง คือ 1:10 โดยปริมาตร
ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์

รูปที่ 14 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) และพื้นไม้ ด้วยวิธี Luminol

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein เกิดการเปล่งแสง (Exposed/excited) ออกมาที่ความยาวคลื่น 420-485 nm สามารถมองเห็นสีเขียวเหลืองในที่มืดสนิท ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่มีความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier [15] โดยพบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:5,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:100 โดยปริมาตร ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 15

คราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ พื้นยางธรรมชาติ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:1,000 โดยปริมาตร บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:100 โดยปริมาตร ตามลำดับ ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์ ในขณะที่การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตที่ไม่เจือจางเท่านั้น ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนานถึง 8 สัปดาห์ ไม่สามารถตรวจพบได้ในตัวอย่างโลหิตที่ไม่เจือจาง แต่สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:10 โดยปริมาตร ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Fluorescein

รูปที่ 16 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Fluorescein

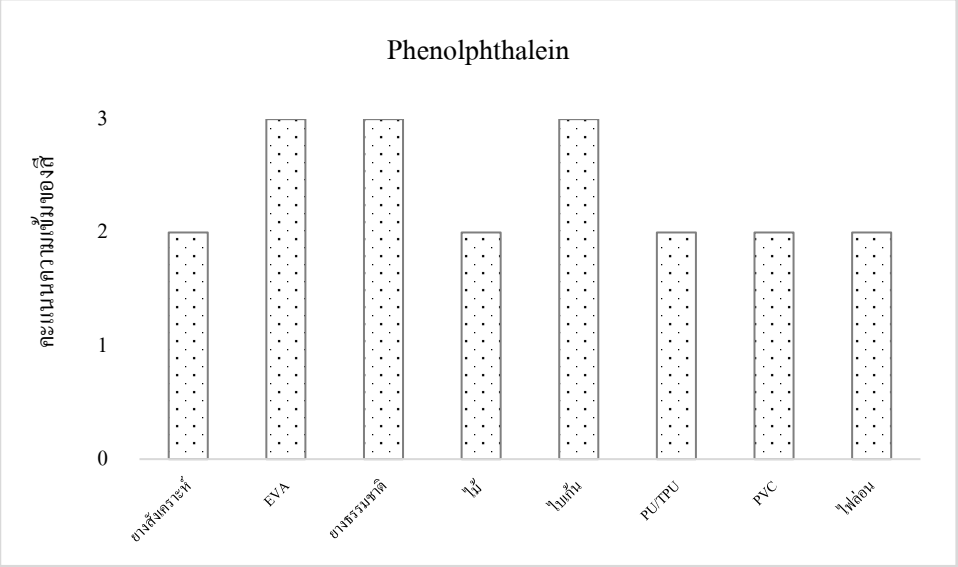
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ชนิดของพื้นรองเท้า	**ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)**	**คะแนนความเข้มของสี**		
		Phenolphthalein	**Luminol**	**Fluorescein**
ยางสังเคราะห์	1	2	3	3
	2	2	3	3
	4	2	3	3
	6	2	3	3
	8	2	3	3
อีวีเอ (EVA)	1	3	3	3
	2	3	3	3
	4	3	3	3
	6	3	3	3
	8	3	3	3
ยางธรรมชาติ	1	3	3	3
	2	3	3	3
	4	3	3	3
	6	3	3	3
	8	3	3	3
ไม้	1	2	3	1
	2	2	3	1
	4	3	3	3
	6	2	3	1
	8	2	3	0
ไบเก้น	1	3	3	3
	2	3	3	3
	4	3	3	3
	6	3	3	3
	8	3	3	3

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

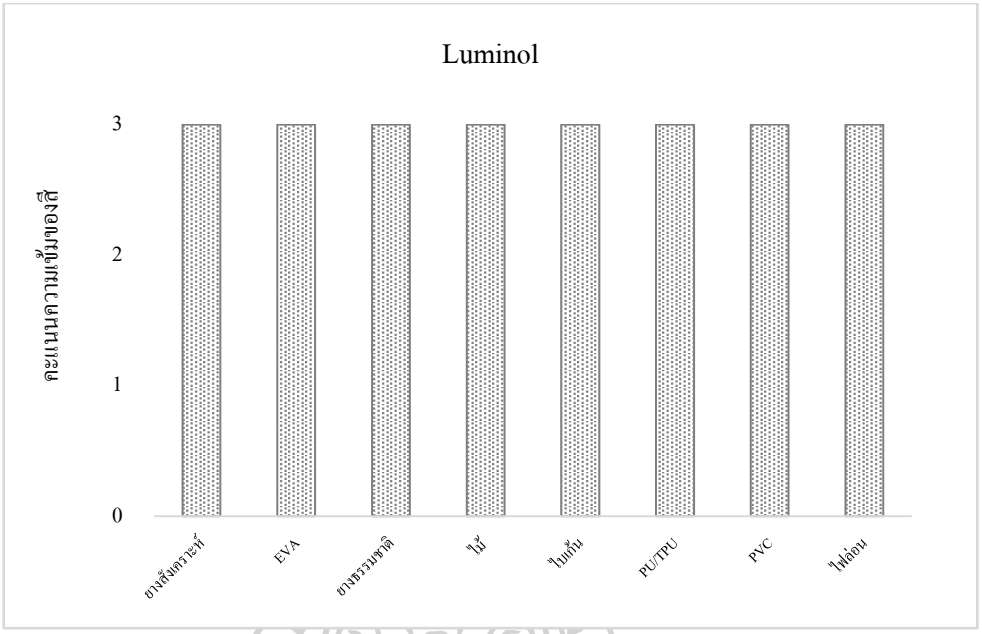
ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	คะแนนความเข้มของสี		
		Phenolphthalein	Luminol	Fluorescein
พียู/ทีพียู (PU/TPU)	1	2	3	3
	2	2	3	3
	4	2	3	3
	6	2	3	3
	8	2	3	3
พีวีซี (PVC)	1	2	3	3
	2	2	3	3
	4	2	3	3
	6	2	3	3
	8	2	3	3
ไฟล่อน	1	2	3	3
	2	2	3	3
	4	2	3	3
	6	2	3	3
	8	2	3	3

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไปข้างต้น จึงนำมาแสดงแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และFluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์



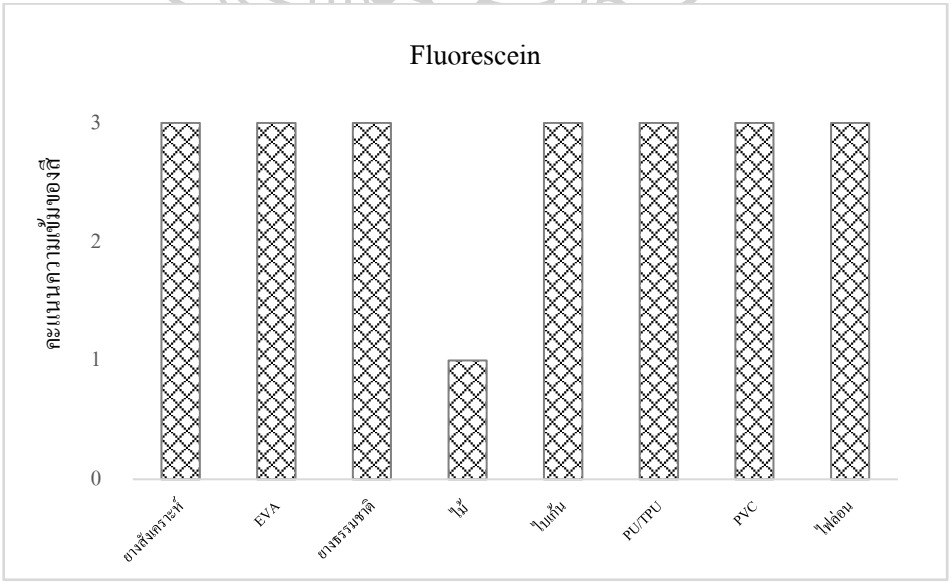
รูปที่ 17 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์

จากรูปที่ 17 พบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ Phenolphthalein สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าได้ทุกชนิด โดยพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุด ขณะที่พื้นยางสังเคราะห์ พื้นไม้ พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีปานกลาง



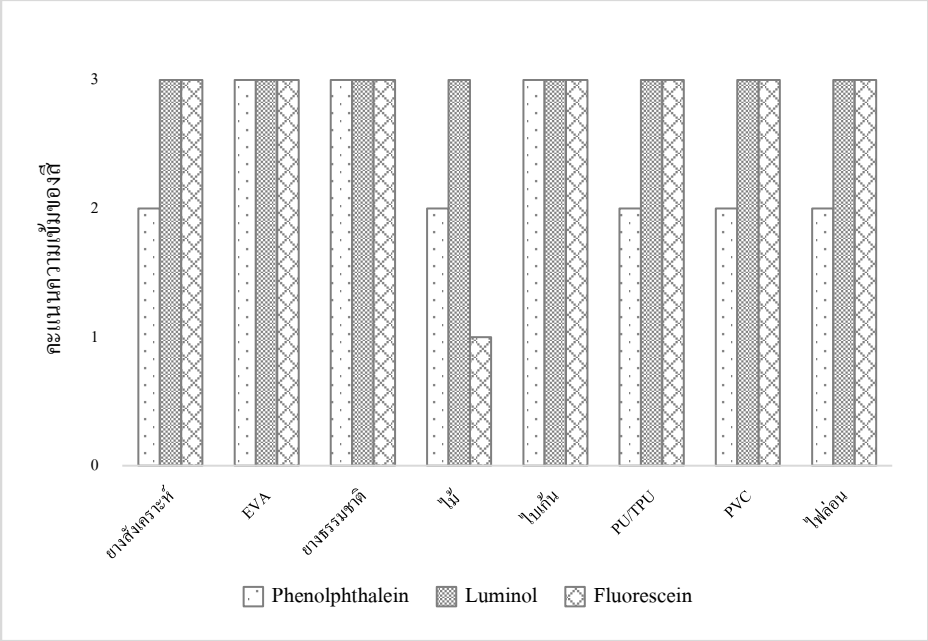
รูปที่ 18 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์

จากรูปที่ 18 พบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ Luminol สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าได้ทุกชนิด และสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุด



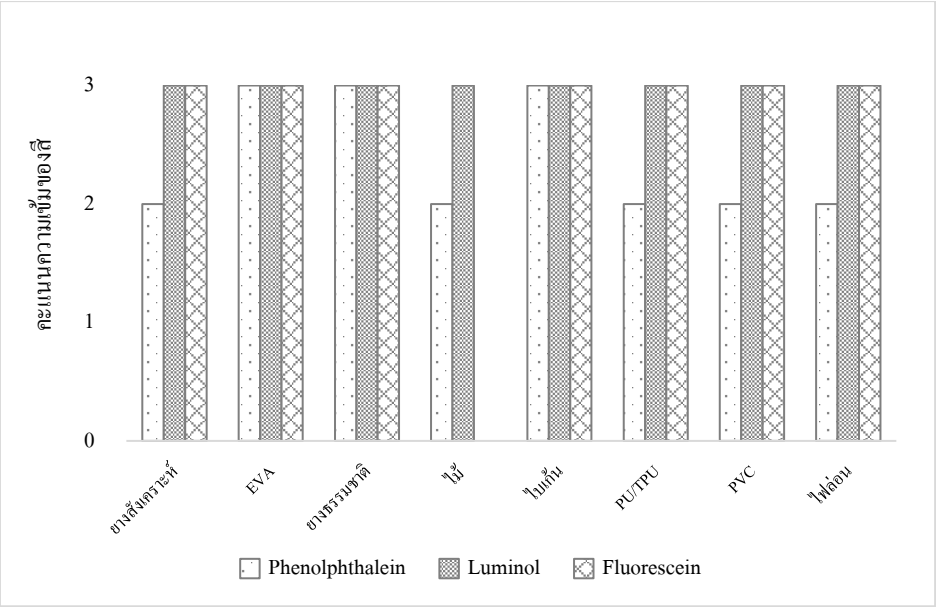
รูปที่ 19 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์

จากรูปที่ 19 พบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ Fluorescein สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทุกชนิด โดยมีความเข้มของสีสูงที่สุด ยกเว้นบนพื้นไม้ ที่สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีต่ำที่สุด



รูปที่ 20 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์

จากรูปที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตทั้ง 3 วิธี ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ พบว่า การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุดบนพื้นรองเท้าทุกชนิด การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุดบนพื้นรองเท้าทุกชนิด ยกเว้นบนพื้นไม้ ที่สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีต่ำที่สุด และการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ และพื้นไบเก้น ที่มีความเข้มของสีสูงที่สุด ขณะที่พื้นยางสังเคราะห์ พื้นไม้ พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีปานกลาง



รูปที่ 21 เปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้ง 8 ชนิด ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์

จากรูปที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีจากการตรวจคราบโลหิตทั้ง 3 วิธี ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์ พบว่า การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol ยังคงสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุดบนพื้นรองเท้าทุกชนิด การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein ยังคงสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุดบนพื้นรองเท้าทุกชนิด แต่บนพื้นไม้ ไม่สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ และการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein ยังคงสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ และพื้นใบเก้นที่มีความเข้มของสีสูงที่สุด และพื้นยางสังเคราะห์ พื้นไม้ พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ก็ยังสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีปานกลางเช่นเดิม

บทที่ 5
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นไม้ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน โดยนำโลหิต และโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000 และ 1:1,000,000 โดยปริมาตร หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วบรรจุเก็บในซองพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ และตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทั้งหมดด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein บันทึกผลและถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล

สรุป และอภิปรายผล

ผลจากการศึกษา พบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ให้แห้งแล้วบรรจุเก็บในซองพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับนั้น คราบโลหิตที่ไม่เจือจาง และคราบโลหิตอัตราส่วนเจือจาง 1:10 โดยปริมาตร ที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน มีลักษณะแตกและหลุดล่อนออกจากพื้นรองเท้า เนื่องจากพื้นรองเท้ามีลักษณะมันทำให้คราบโลหิตของมนุษย์ไม่ยึดเกาะติดกับพื้นรองเท้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พินิตา กรทอง ที่ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตกระต่าย โดยวิธี Kastle-Meyer, Luminol และ Bluestar® บนพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน พบว่า ลักษณะของพื้นผิวกระจกในวัสดุที่ไม่มีรูพรุน มีผิวที่เรียบ และลื่น ไม่ยึดเกาะกับสารละลาย เมื่อมีการถู ขูด หรือลอกคราบโลหิตออกไป ส่งผลให้โลหิตมีปริมาณน้อยลง ทำให้ผลการตรวจคราบโลหิตได้ลดน้อยลง [40]

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein, Luminol และ Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ พบว่า การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Phenolphthalein จะเกิดการเปลี่ยนสีของ Phenolphthalein จากไม่มีสีกลายเป็นสีชมพูภายใน 10 วินาที [6] [7] โดยพบว่า ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้นาน 8 สัปดาห์ สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:1,000 โดยปริมาตร พื้นยางธรรมชาติ พื้นไบเก้น พื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบคราบโลหิตเจือจาง 1:100 โดยปริมาตร ในขณะที่คราบโลหิต

ที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางน้อยที่สุด คือ 1:10 โดยปริมาตร

การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสีฟ้า สามารถมองเห็นในที่มืดสนิท เปล่งแสงได้นาน 10-15 นาที [27] โดยพบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:100,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:50,000 โดยปริมาตร บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 50,000 โดยปริมาตร บนพื้นยางสังเคราะห์ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 10,000 โดยปริมาตร ตามลำดับ ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้นานถึง 8 สัปดาห์ และส่วนคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางน้อยที่สุด คือ 1:100 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:10 โดยปริมาตร และยังพบว่า เมื่อทำการตรวจวัดคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าได้เพียง 5 นาที เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจวัดคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดอื่นๆ จะสามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าได้นาน 10-15 นาที

การตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Fluorescein เกิดการเปล่งแสง (Exposed/excited) ออกมาที่ความยาวคลื่น 420-485 nm สามารถมองเห็นสีเขียวเหลืองได้ในที่มืดสนิท ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่มีความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier [15] โดยพบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:5,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนาน 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางลดลง คือ 1:100 โดยปริมาตร บนพื้นยางสังเคราะห์ พื้นยางธรรมชาติ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:1,000 โดยปริมาตร บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไฟล่อน สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:100 โดยปริมาตร ตามลำดับ ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 8 สัปดาห์ ในขณะที่การตรวจวัดคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตที่ไม่เจือจางเท่านั้น ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ และเมื่อเวลาผ่านไปนานถึง 8 สัปดาห์ ไม่สามารถ

ตรวจพบได้ในตัวอย่างโลหิตที่ไม่เจือจาง แต่สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจาง 1:10 โดยปริมาตร

จากผลการศึกษานี้ ทำให้สรุปได้ว่า การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ถึงแม้ว่าเวลาจะผ่านไปนานถึง 8 สัปดาห์ การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol ยังคงสามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุดบนพื้นรองเท้าทุกชนิด เมื่อศึกษาเปรียบเทียบความไว (Sensitivity) ของการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol พบว่า สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:50,000 โดยปริมาตร ในขณะที่การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein และวิธี Phenolphthalein สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:1,000 โดยปริมาตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Joanne W. L., Jonathan C. I. และ Terence Q. I. ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจคราบโลหิตที่ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ 5 วิธี ได้แก่ วิธี Luminol ที่เป็นสาร Chemiluminescent และวิธี Phenolphthalein, Leucomalachite green, Hemastix® และ Forensic light source ที่ไม่ใช่สาร Chemiluminescent จากการศึกษาพบว่า การตรวจคราบโลหิตโดยวิธี Luminol เป็นเทคนิคที่มีความไวในการตรวจคราบโลหิตมากที่สุด และมีความปลอดภัย [12]

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของพื้นรองเท้า พบว่า การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ และพื้นไบเก้น สามารถตรวจพบคราบโลหิตที่มีความเข้มของสีสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการตรวจวัดคราบโลหิตทั้ง 3 วิธี เนื่องจากพื้นอีวีเอ (EVA) จัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกเป็นโคโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของเอทิลีน (Ethylene monomer) และไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate monomer) หรือ VA นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [31] ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาวิจัยเพื่อจะนำอีวีเอ (EVA) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมรองเท้า รวมทั้งส่วนของพื้นรองเท้า พื้นกันลื่น [32] พื้นยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นโพลิเมอร์ขนาดใหญ่ โดยมีโมเลกุลยาว ประกอบมาจากโมโนเมอร์หลายพันหน่วยมาต่อเข้าด้วยกัน มีการแปรรูปขั้นต้นของน้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา ยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) [30] [33] และพื้นไบเก้น (Birkenstock) เป็นรองเท้าที่ผลิตจากไม้ก๊อก น้ำยางธรรมชาติ เส้นใยปอกระเจา และ Ethylene vinyl acetate (EVA) [34] จึงทำให้โลหิตยึดเกาะพื้นรองเท้าได้ดี และไม่ซึมลงไปในพื้นวัสดุ ทำให้สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ชัดเจนมากกว่าพื้นรองเท้าที่ทำจากวัสดุอื่นๆ และยังพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิต

ในอัตราส่วนเจือจางต่างๆ ด้วยวิธี Luminol สามารถตรวจพบได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุด คือ 1:50,000 โดยปริมาตร ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้นานถึง 8 สัปดาห์ ซึ่งตรวจพบได้มากกว่าวิธี Phenolphthalein และวิธี Fluorescein มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Watkins และ Brown ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจคราบโลหิต ด้วยวิธี Luminol และ BlueStar® โดยใช้โลหิตที่เจือจางในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า หลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 30 วัน การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol สามารถตรวจคราบโลหิตบนพื้นพรม ได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางมากที่สุดในอัตราส่วน 1:1,000,000 โดยปริมาตร [9] ในขณะที่คราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ เมื่อตรวจด้วยวิธี Luminol สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ในอัตราส่วนโลหิตเจือจางเพียง 1:10 โดยปริมาตรเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สวรส ปุริมโน ที่ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการตรวจคราบโลหิตที่เจือจางบนพื้นผิวที่มีรูพรุน และไม่มีรูพรุน ด้วยวิธี Phenolphthalein, Tetramethylbenzidine, Luminol และ BlueStar และตรวจคราบโลหิตภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ พบว่า บนพื้นผิวไม้อัด (พื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน) สามารถตรวจคราบโลหิตที่เจือจางในอัตราส่วนได้น้อยกว่าพื้นผิวอื่นๆ [18] และยังพบอีกว่า เมื่อตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Fluorescein ไม่สามารถตรวจพบได้ เนื่องจาก พื้นไม้ จัดว่าเป็นพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน จึงทำให้สามารถตรวจพบคราบโลหิตได้ไม่ชัดเจนเท่าพื้นชนิดอื่น

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าทุกชนิดด้วยวิธี Luminol จะมองเห็นการเปล่งแสงได้นาน 10-15 นาที ยกเว้นบนพื้นไม้ จะเห็นการเปล่งแสงได้นานเพียง 5 นาที เท่านั้น แต่การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein จะมองเห็นการเปล่งแสงได้นาน 20-30 นาที ซึ่งนานกว่าการตรวจวัดด้วยวิธี Luminol เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาข้างต้น มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheeseman และ DiMeo ที่ศึกษาพบว่า สาร Fluorescence ที่อยู่ใน Fluorescein จะทำปฏิกิริยาได้นานกว่าสาร Luminescence ที่อยู่ใน Luminol และการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหิต สามารถมองเห็นการเปล่งแสงสีฟ้าในที่มืดสนิทด้วยตาเปล่า แต่การตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Fluorescein สามารถมองเห็นได้ในที่มืดสนิท ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ที่มีความยาวคลื่น 450 nm และ Orange barrier ซึ่งการเตรียมสารเคมี และอุปกรณ์ที่ยุ่งยากกว่าการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธี Luminol [15]

การตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าด้วยวิธี Luminol จึงเป็นวิธีที่มีประโยชน์สำหรับวัตถุพยาน พื้นรองเท้าที่พบในสถานที่เกิดเหตุในที่มืด หรือวัตถุพยานพื้นรองเท้าที่มีลักษณะหรือสีที่กลมกลืนกับพื้นผิวที่พบในสถานที่เกิดเหตุ เป็นเทคนิคที่มีความไวต่อการตรวจคราบโลหิต

แม้คราบโลหิตนั้นจะถูกเจือจางที่มาก สามารถใช้ในการตรวจวัดคราบโลหิตเก่าบนพื้นรองเท้า และเป็นวิธีการตรวจคราบโลหิตที่มีความสะดวก รวดเร็ว ไม่เป็นอันตราย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้จริง

อย่างไรก็ตาม การตรวจคราบโลหิตทั้ง 3 วิธี สามารถเลือกใช้ได้ในการตรวจคราบโลหิตภายหลังการหยดทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ บนพื้นรองเท้าได้

ข้อแนะนำในการทำวิจัย

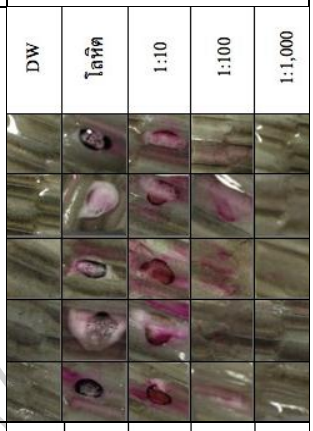
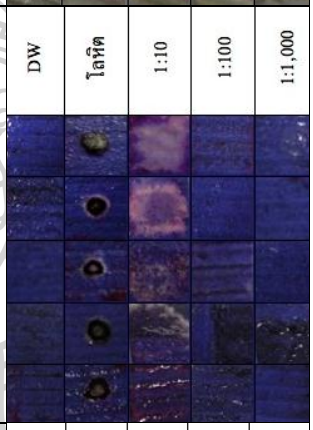
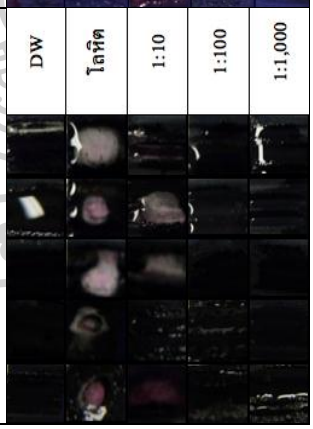
1. ควรทำการศึกษาและเปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติมบนทุกบริเวณของรองเท้าที่หลากหลายชนิดขึ้น

2. เนื่องจากการวิจัยนี้ ศึกษาตรวจคราบโลหิตบนพื้นรองเท้า ซึ่งศึกษาเฉพาะบริเวณพื้นที่สัมผัสกับพื้นเท่านั้น จึงควรทำการศึกษาและเปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตเพิ่มเติมทุกบริเวณของรองเท้า

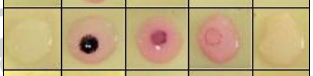
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น ที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

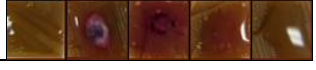
ภาคผนวก

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 1 1 2 4 6 8	
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 2 1 2 4 6 8	
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 3 1 2 4 6 8	

รูปที่ 22 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

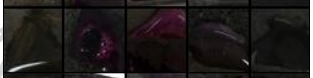
รูปที่ 23 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

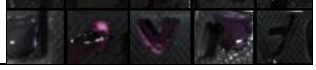
รูปที่ 24 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
ไม้ ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไม้ ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไม้ ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

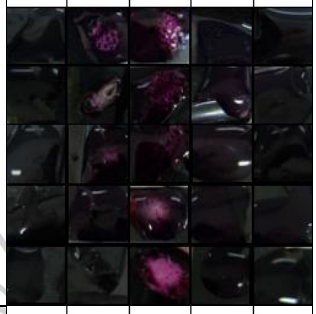
รูปที่ 25 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

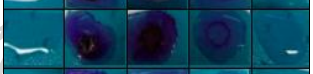
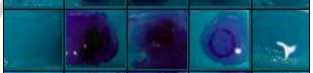
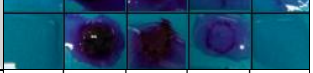
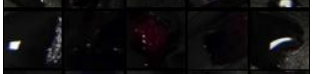
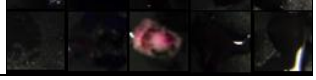
รูปที่ 26 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

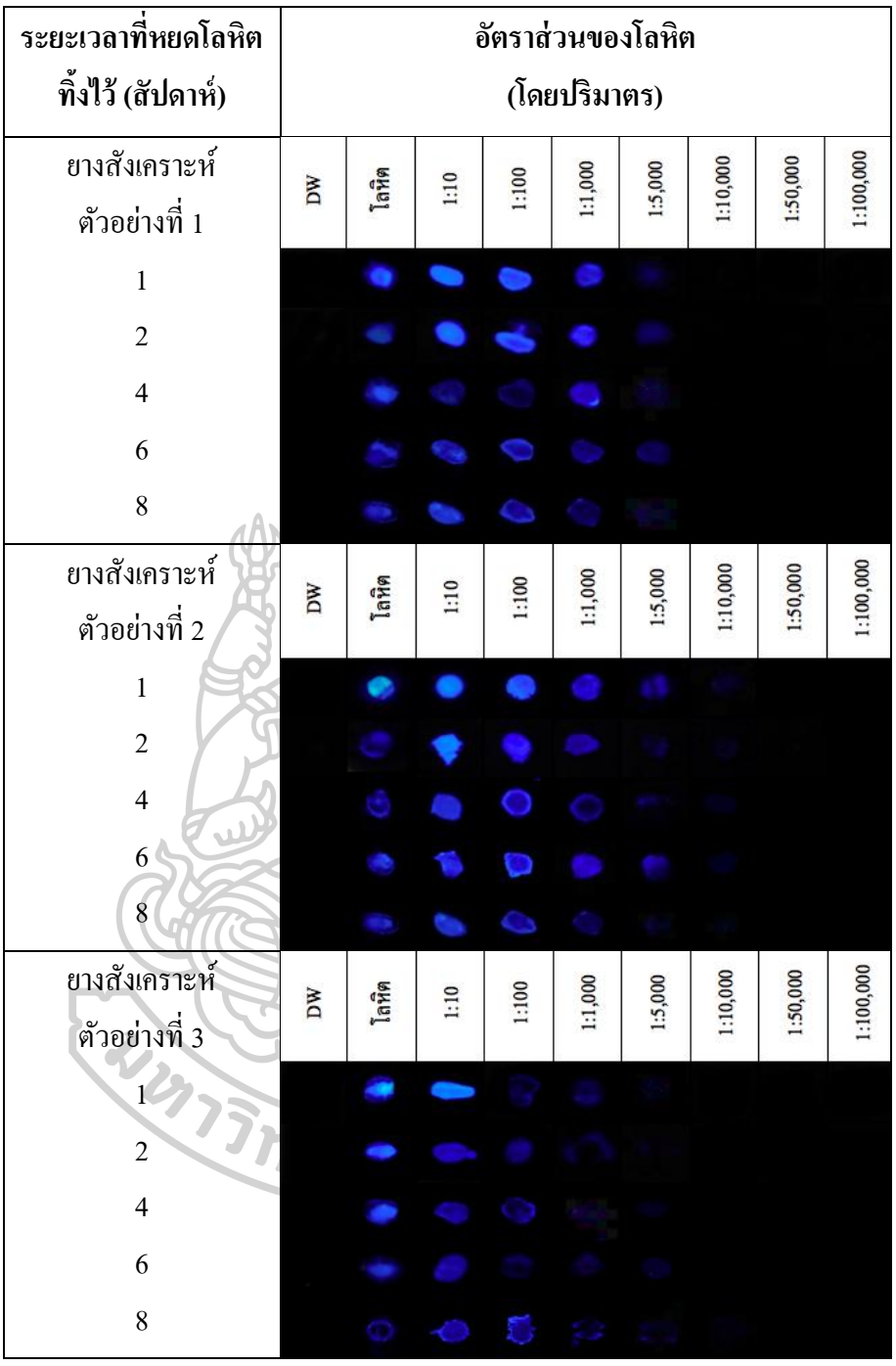
รูปที่ 27 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

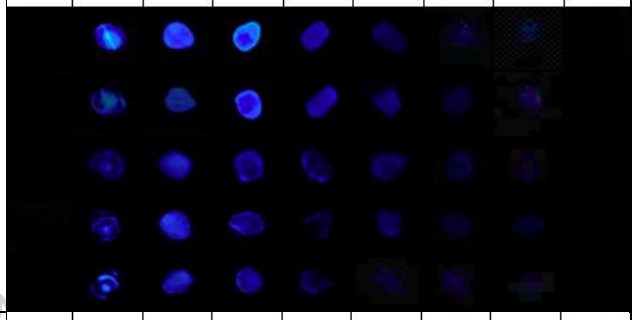
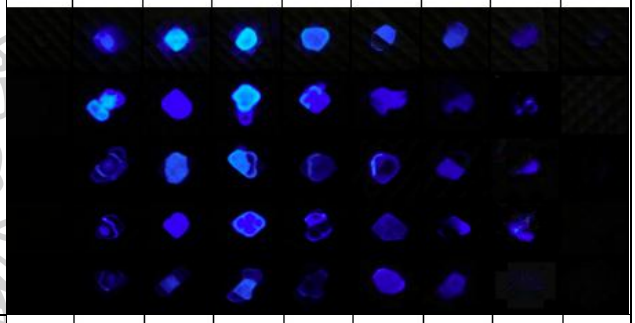
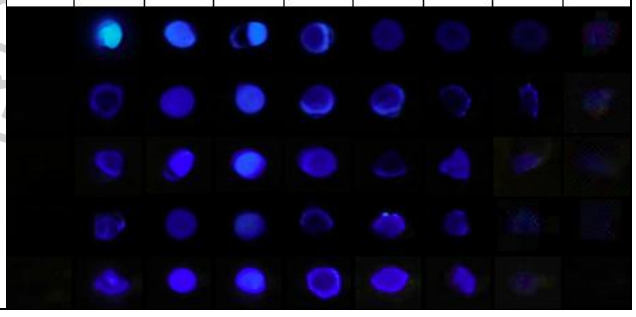
รูปที่ 28 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
1					
2					
4					
6					
8					

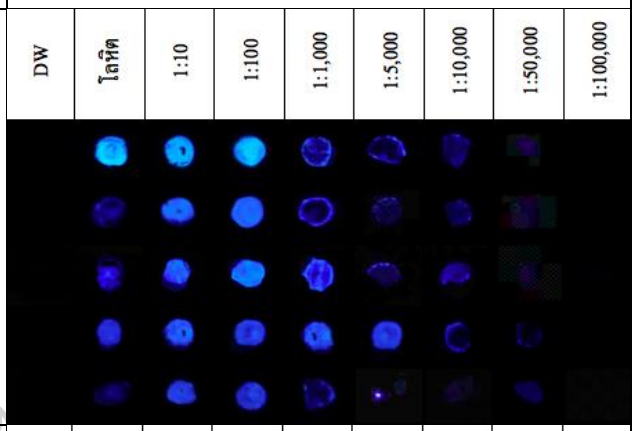
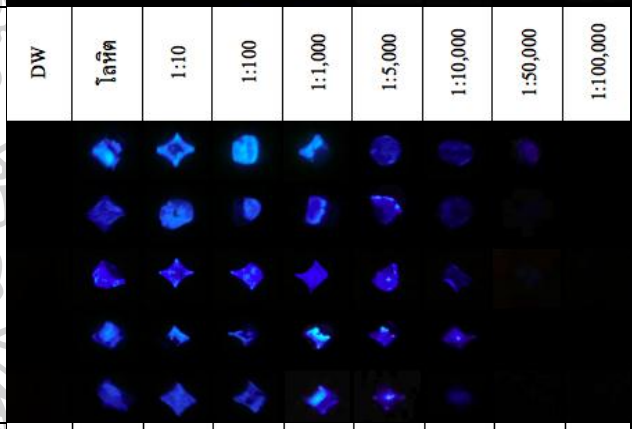
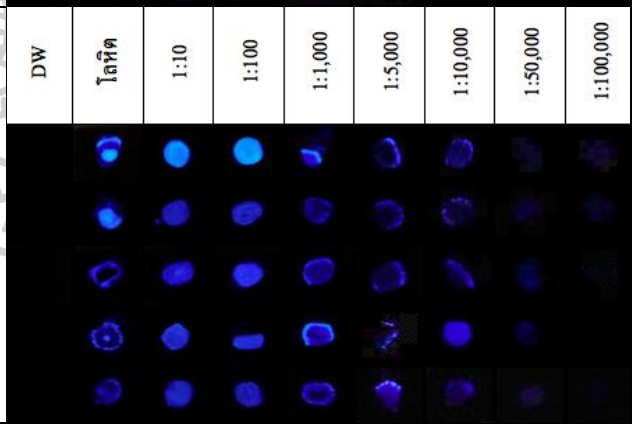
รูปที่ 29 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์



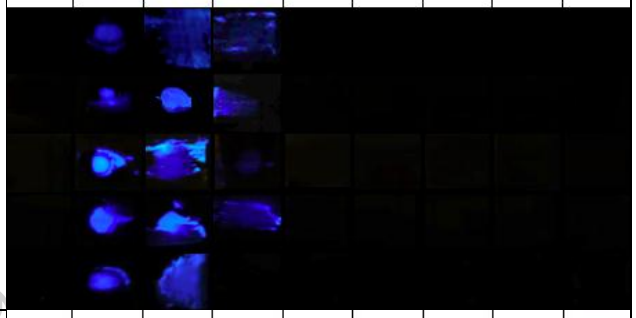
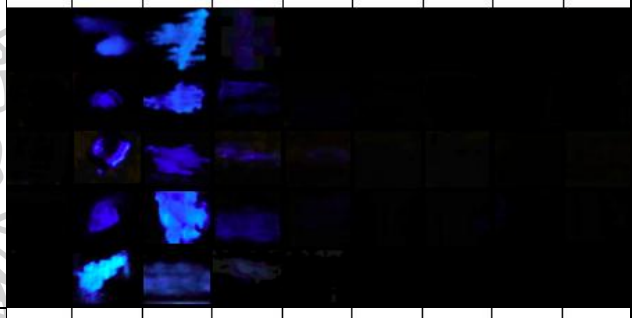
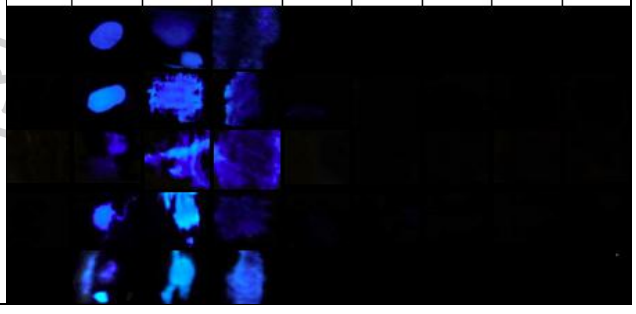
รูปที่ 30 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 1	DW, โลหิต, 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000
1	
2	
4	
6	
8	
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 2	DW, โลหิต, 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000
1	
2	
4	
6	
8	
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 3	DW, โลหิต, 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:5,000, 1:10,000, 1:50,000, 1:100,000
1	
2	
4	
6	
8	

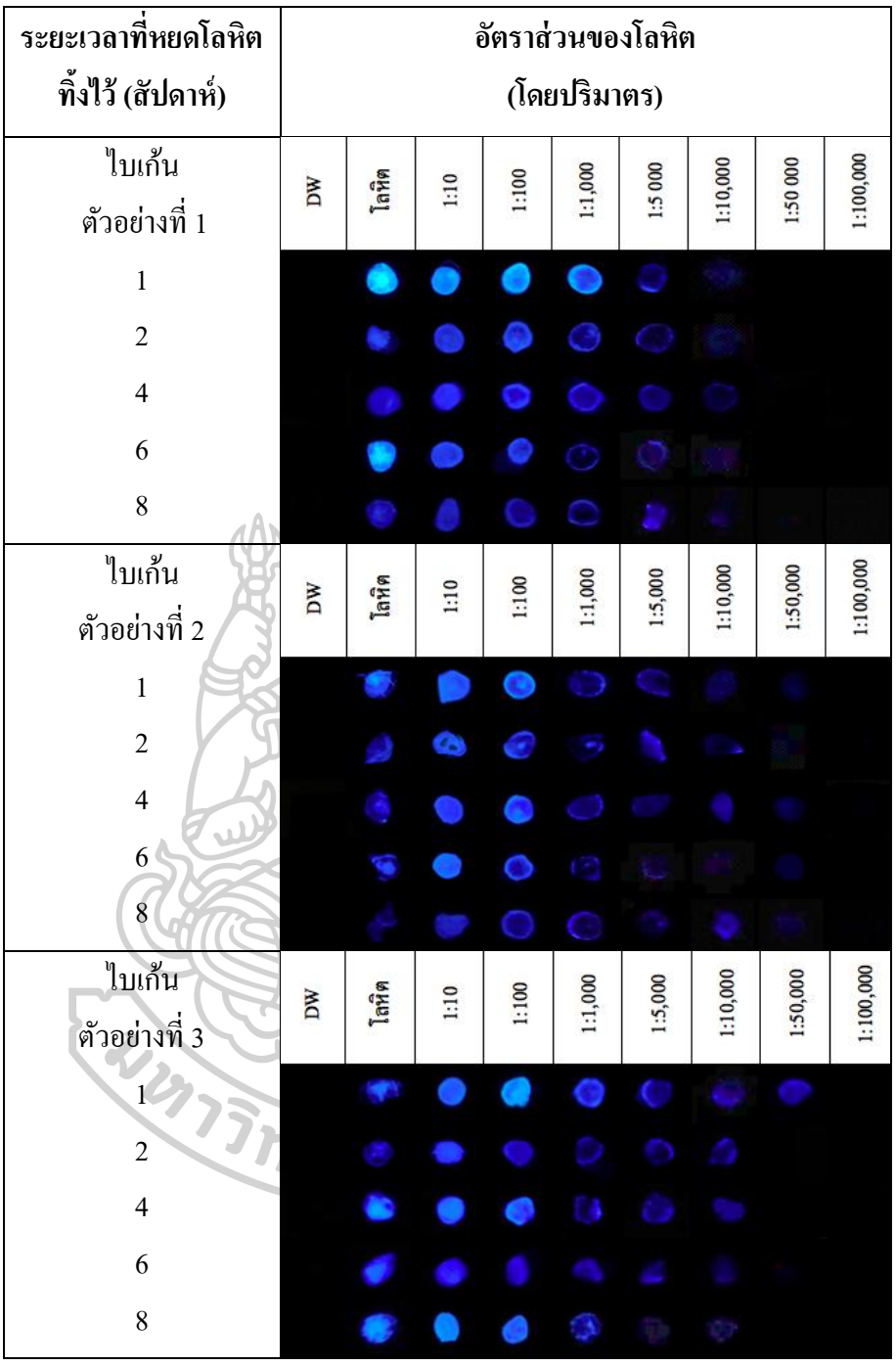
รูปที่ 31 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 1	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 2	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 3	
1	
2	
4	
6	
8	

รูปที่ 32 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
ไม้ ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									
ไม้ ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									
ไม้ ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									

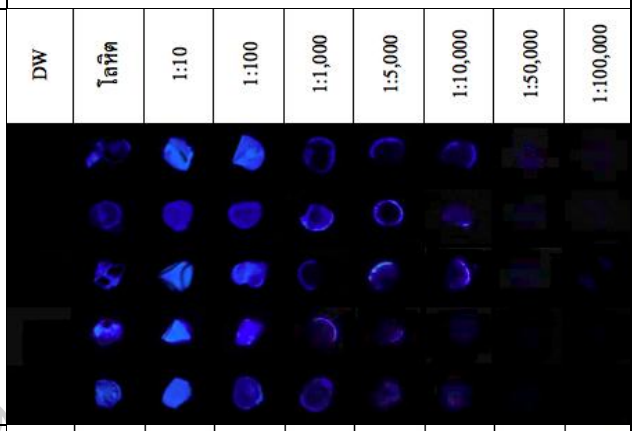
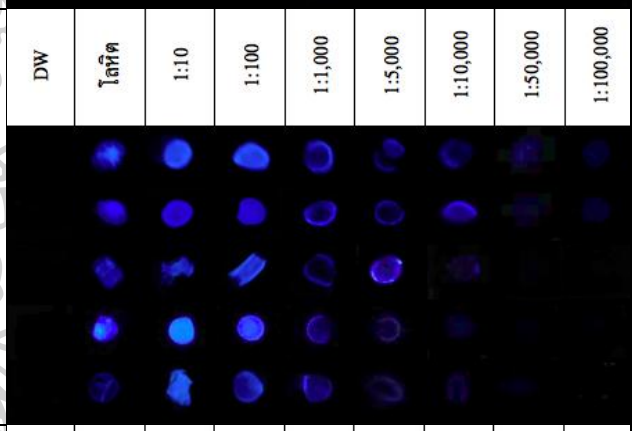
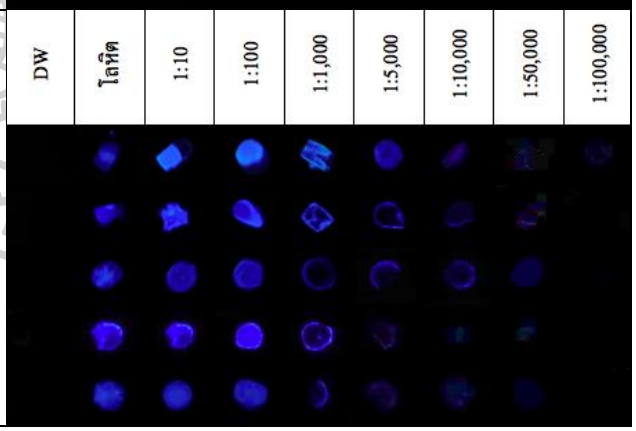
รูปที่ 33 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์



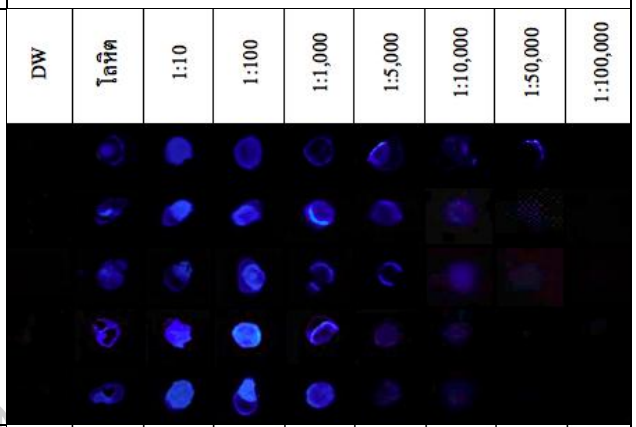
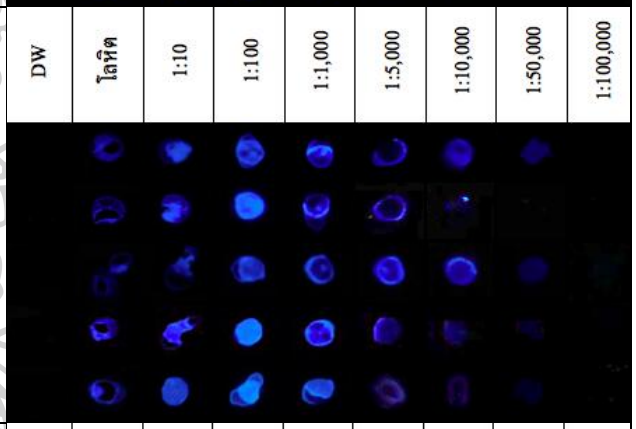
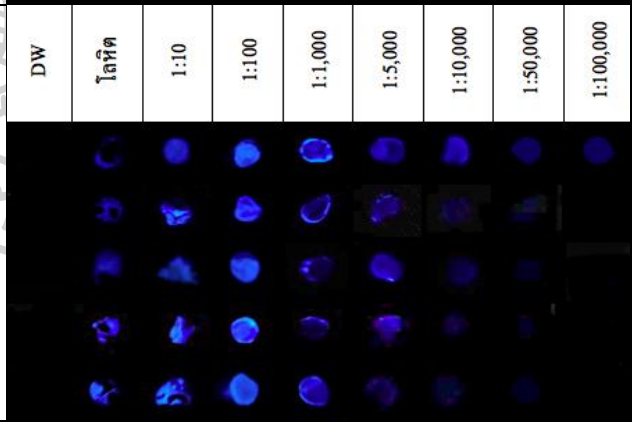
รูปที่ 34 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
1									
2									
4									
6									
8									

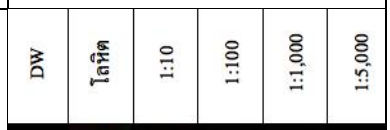
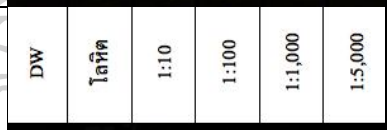
รูปที่ 35 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 1	
1	
2	
4	
6	
8	
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 2	
1	
2	
4	
6	
8	
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 3	
1	
2	
4	
6	
8	

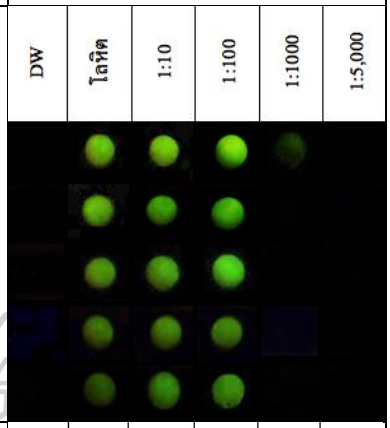
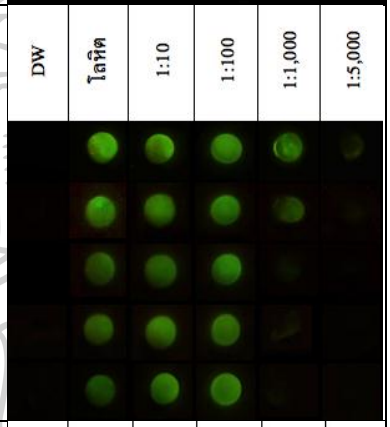
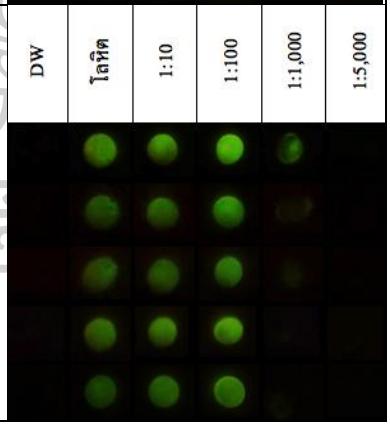
รูปที่ 36 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 1 1 2 4 6 8	
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 2 1 2 4 6 8	
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 3 1 2 4 6 8	

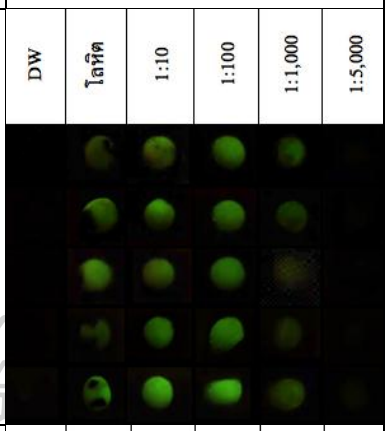
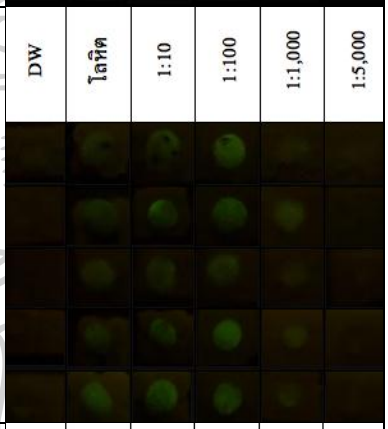
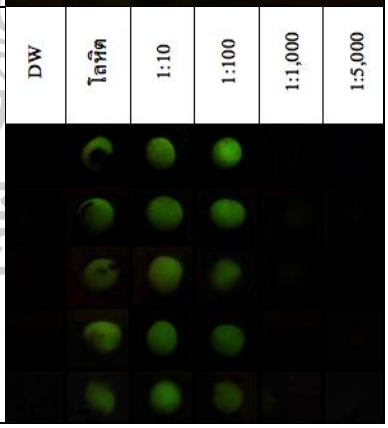
รูปที่ 37 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 1	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 2	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางสังเคราะห์ ตัวอย่างที่ 3	
1	
2	
4	
6	
8	

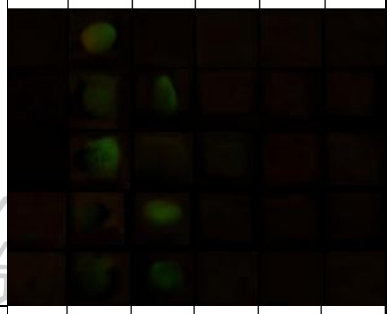
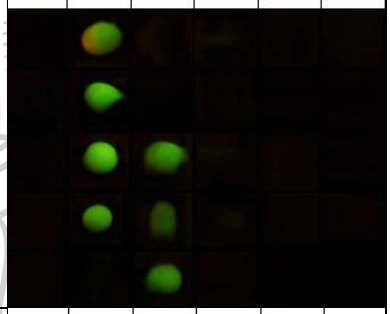
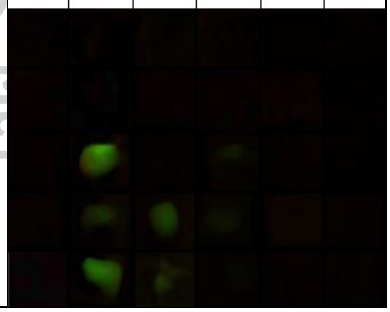
รูปที่ 38 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางสังเคราะห์ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 1 1 2 4 6 8	
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 2 1 2 4 6 8	
อีวีเอ (EVA) ตัวอย่างที่ 3 1 2 4 6 8	

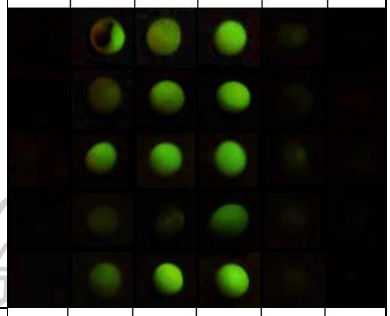
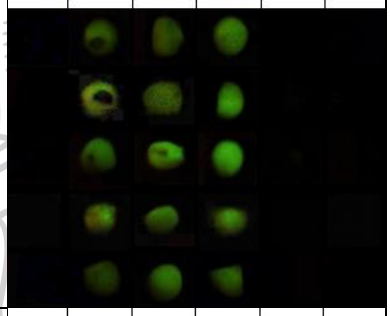
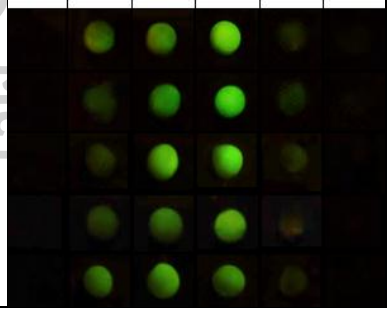
รูปที่ 39 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นอีวีเอ (EVA) ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 1	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 2	
1	
2	
4	
6	
8	
ยางธรรมชาติ ตัวอย่างที่ 3	
1	
2	
4	
6	
8	

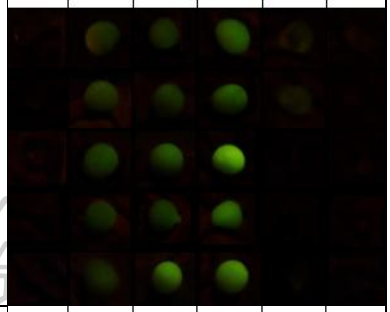
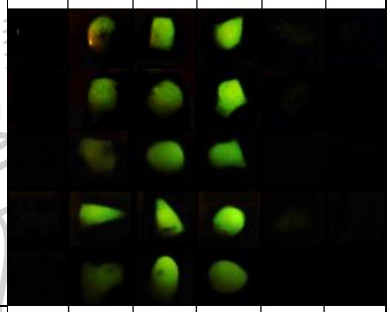
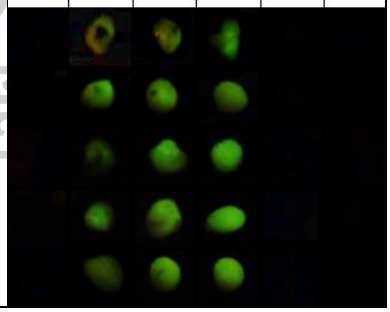
รูปที่ 40 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นยางธรรมชาติ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
ไม้ ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
ไม้ ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
ไม้ ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						

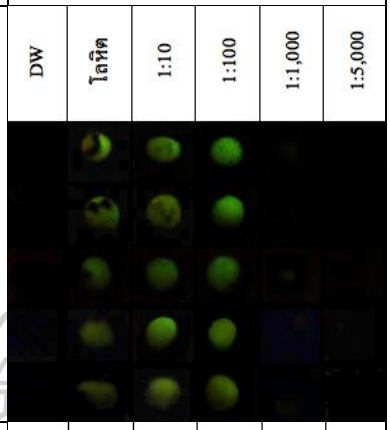
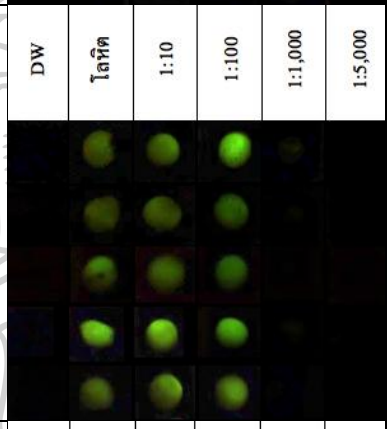
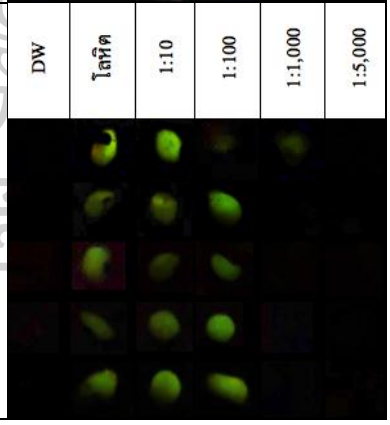
รูปที่ 41 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไม้ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
ไบเก้น ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						

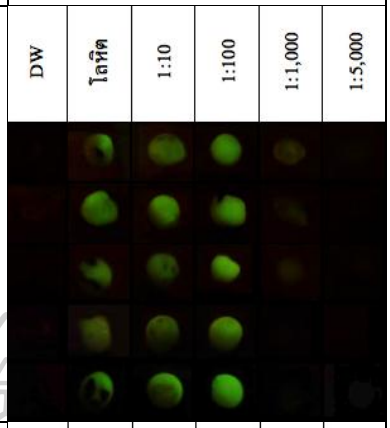
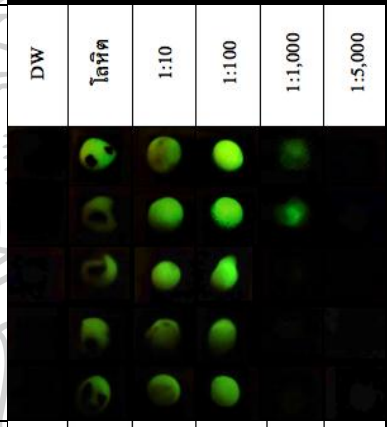
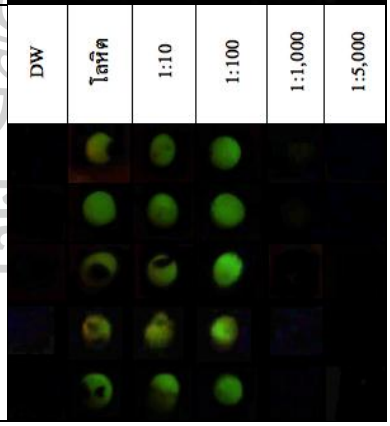
รูปที่ 42 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไบเก้น ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 1	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 2	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						
พียู/ทีพียู (PU/TPU) ตัวอย่างที่ 3	DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
1						
2						
4						
6						
8						

รูปที่ 43 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพียู/ทีพียู (PU/TPU) ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 1 1 2 4 6 8	
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 2 1 2 4 6 8	
พีวีซี (PVC) ตัวอย่างที่ 3 1 2 4 6 8	

รูปที่ 44 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นพีวีซี (PVC) ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 1 1 2 4 6 8	
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 2 1 2 4 6 8	
ไฟล่อน ตัวอย่างที่ 3 1 2 4 6 8	

รูปที่ 45 ผลภาพการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นไฟล่อน ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	++	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+	++	-	-
	2	-	+	++	-	-
	4	-	+	++	-	-
	6	-	+	++	-	-
	8	-	+	++	-	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	++	+	+	-
	2	-	++	+	+	-
	4	-	++	+	-	-
	6	-	++	+	-	-
	8	-	++	+	-	-
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	++	+	-
	4	-	++	++	+	-
	6	-	++	++	+	-
	8	-	++	++	+	-
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	++	+
	2	-	+++	+++	++	+
	4	-	+++	+++	++	+
	6	-	+++	+++	++	+
	8	-	+++	+++	++	+
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+
	2	-	+++	+++	+++	+
	4	-	+++	+++	+++	+
	6	-	+++	+++	+++	+
	8	-	+++	+++	+++	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	-
	2	-	+++	+++	+++	-
	4	-	+++	+++	+++	-
	6	-	+++	+++	+++	-
	8	-	+++	+++	+++	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	+++	++	-
	4	-	++	+++	++	-
	6	-	++	+++	++	-
	8	-	++	+++	++	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	++	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	++	-	-	-
	2	-	++	-	-	-
	4	-	++	-	-	-
	6	-	++	-	-	-
	8	-	++	-	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	++	+	-	-
	2	-	++	+	-	-
	4	-	+++	+	-	-
	6	-	++	+	-	-
	8	-	++	+	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	++	++	-	-
	2	-	++	+	-	-
	4	-	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	++	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	++	+	-
	4	-	++	++	+	-
	6	-	++	++	+	-
	8	-	++	++	+	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+	+	+	-
	2	-	+	+	+	-
	4	-	+	+	+	-
	6	-	+	+	+	-
	8	-	+	+	+	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	++	+++	-
	2	-	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	-
	6	-	+++	+++	+++	-
	8	-	+++	+++	+++	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	++	+	-
	4	-	++	++	+	-
	6	-	++	++	+	-
	8	-	++	++	+	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Phenolphthalein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)				
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	++	+++	+	-
	2	-	++	+++	+	-
	4	-	++	+++	+	-
	6	-	+	+++	+	-
	8	-	+	+++	+	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	++	+	-
	4	-	++	++	+	-
	6	-	++	++	+	-
	8	-	+	++	+	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	-
	4	-	+++	+++	+++	-
	6	-	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	++	++	+	-
	2	-	++	++	+	-
	4	-	++	++	+	-
	6	-	++	++	+	-
	8	-	++	++	+	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	++	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+	++	+	-
	2	-	+	++	+	-
	4	-	+	++	+	-
	6	-	+	++	+	-
	8	-	+	++	+	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	++	+	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+	+	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+	+	-	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	++	++	+	-	-	-
	2	-	+++	+++	+++	++	+	-	-	-
	4	-	+++	+++	+++	++	+	-	-	-
	6	-	+++	+++	+++	++	++	-	-	-
	8	-	+++	+++	+++	++	++	-	-	-
อีวีเอ(EVA) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	++	++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	++	++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	++	++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	++	++	++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	++	++	++	++	-
อีวีเอ(EVA) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
อีวีเอ(EVA) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	++	++	++	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	4	-	+++	+++	++	-	-	-	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	8	-	+++	+++	-	-	-	-	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	++	-	-	-	-	-
	2	-	+++	+++	++	-	-	-	-	-
	4	-	+++	+++	++	-	-	-	-	-
	6	-	+++	+++	++	-	-	-	-	-
	8	-	+++	+++	+	-	-	-	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-	-	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Luminol ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)								
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000	1:10,000	1:50,000	1:100,000
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+	+	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	+	+	+	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+++	++	++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	++	++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	++	++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	++	+	-	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	++	+	+	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	++	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	++	++	+	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	2	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+++	++	+	+	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	++	-	-
	2	-	+++	+++	++	-	-
	4	-	+++	+++	++	-	-
	6	-	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	++	-	-
ยางสังเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	++	-	-
	2	-	+++	+++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+	-	-
	6	-	+++	+++	++	-	-
	8	-	+++	+++	+	-	-
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	+	+
	2	-	+++	+++	+++	++	+
	4	-	+++	+++	+++	++	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
อีวีเอ (EVA) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	++	-
	8	-	+++	+++	+++	++	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	++	+	++	+	-
	2	-	+	++	++	+	-
	4	-	+	+	+	+	-
	6	-	+	+	++	+	-
	8	-	++	++	++	+	-
ยางธรรมชาติ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+	-	-	-	-
	2	-	+	+	-	-	-
	4	-	++	-	-	-	-
	6	-	-	+	-	-	-
	8	-	+	+	-	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	-	-	-	-
	2	-	+++	-	-	-	-
	4	-	+++	+++	-	-	-
	6	-	+++	+++	-	-	-
	8	-	-	+++	-	-	-
ไม้ (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	4	-	+++	-	-	-	-
	6	-	+	++	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
ไบเก้น (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	+	-
	8	-	+++	+++	+++	+	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
พียู/ทีพียู (PU/TPU) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความชัดเจนของสีจากการตรวจคราบโลหิตที่อยู่บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Fluorescein ภายหลังการหยดโลหิตทิ้งไว้ 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ (ต่อ)

ชนิดของพื้นรองเท้า	ระยะเวลาที่หยดโลหิตทิ้งไว้ (สัปดาห์)	อัตราส่วนของโลหิต (โดยปริมาตร)					
		DW	โลหิต	1:10	1:100	1:1,000	1:5,000
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	++	-
	2	-	++	++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
พีวีซี (PVC) (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+	+	-
	2	-	+++	++	++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 1)	1	-	+++	+++	+++	+	-
	2	-	+++	+++	+++	+	-
	4	-	+++	+++	+++	+	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 2)	1	-	+++	+++	+++	++	-
	2	-	+++	+++	+++	++	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-
ไฟล่อน (ตัวอย่างที่ 3)	1	-	+++	+++	+++	-	-
	2	-	+++	+++	+++	-	-
	4	-	+++	+++	+++	-	-
	6	-	+++	+++	+++	-	-
	8	-	+++	+++	+++	-	-

*หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจไม่พบคราบโลหิต

รายการอ้างอิง

1. Goodwin, W., A. Linacre, and S. Hadi, *Forensic Human Identification - An Introduction*. 2007, Boca Raton: CRC Press
2. Castro, D.M. *Biological Evidence Collection and Forensic Blood Identification*. 2013 [cited 2016 12/ 30] ; Available from: http: / / www. identacode. org/ Castro_Review_ Biological_Evidence_2011.pdf.
3. รำแพน พรเทพเกษมสันต์, กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์ 4ed. 2541, กรุงเทพมหานคร: โสภณการพิมพ์.
4. ดารณี เจริญสุข. ยางพื้นรองเท้า-ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหากรรมยางไทย. 2560 [cited 2017 01/31]; Available from: http://www.rubbercenter.org/files/soles.pdf.
5. Stock, J.T. and J.D. Stuart, *The decomposition of hydrogen peroxide by blood. George center's discovery of the enzyme involved.* Bull. Hist. Chem, 2005. **30**: p. 113-117.
6. Kastle, J.H. and O.M. Shedd, *Phenolphthalein as a reagent for the oxidizing ferments.* Am Chem J, 1901. **26**: p. 526.
7. Meyer, E., *Beitrage zur leukocytenfrage.* Muench Med Wochenshr, 1903. **50**(35): p. 1489.
8. Specht, W., *The Chemiluminescense of Hemin as a means of finding and recognizing blood traces of forensic importance.* Angew Chem, 1937. **50**: p. 155-157.
9. Watkins, M.D. and K.C. Brown. *A comparison of visual enhancement chemicals study for the recovery of possible blood stains at the crime scene luminol vs. blue star®*. 2006 [cited 2017 02/20]; Available from: http://docplayer.net/11075020-Blood-detection-a-comparison-of-visual-enhancement-chemicals-for-the-recovery-of-possible-blood-stains-at-the-crime-scene-luminol-vs.html.
10. Grodsky, M., K. Wright, and P.L. Kirk, *Simplified preliminary blood testing: an improved technique and a comparative study of methods.* Journal of Criminal Law, Criminology and Police Science 1951. **42**(1): p. 95-104.
11. Weber, K., *Die andwendung der chemiluminescenz des luminols in der gerichtlichenmedizin und toxicologie.* Deutsche Zeitschriftfür die GesamteGerichtlicheMedizin 1966. **57**: p. 410-423.

12. Joanne, W.L., C.I. Jonathan, and Q.I. Terence, *A comparison of the presumptive luminol test for blood with four non-chemiluminescent forensic techniques.* The Journal of Biological and Chemical Luminescence, 2006. **21**: p. 214-220.

13. Gross, A.M., K.A. Harris, and G.L. Kaldun, *The effect of luminol on presumptive tests and DNA analysis using the polymerase chain reaction.* J Forensic Sci, 1999. **44**(4): p. 837-40.

14. Martin, L.A. and C.F. Cahill, *Recovery of DNA from latent blood after identification by fluorescein.* J Forensic Sci, 2004. **54**(6): p. 660-67.

15. Cheeseman, R. and L. DiMeo, *Fluorescein as a Field-worth Latent Bloodstain Detection System.* J Forensic Sci, 1995. **45**(6): p. 637-339.

16. J., J.C., *STR Analysis Following Latent Blood Detection by Luminol, Fluorescein, and Bluestar.* J Forensic Sci, 2007. **57**(4): p. 193.

17. Banfi, G., G.L. Salvagno, and G. Lippi, *The role of ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) as in vitro anticoagulant for diagnostic purposes.* Clin Chem Lab Med, 2007. **45**(5): p. 565-76.

18. สวรส ปุริมโน, การตรวจวัดคราบโลหิตโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เตตระเมทิลเบนซิดีนลูมินอล และบลูสตาร์. . 2555, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

19. สรวง สมานหมู่. การตรวจร่องรอยเลือดจากการเรืองแสงของลูมินอล. 2554 [cited 2016 12/30]; Available from: http://nstda.or.th/sciencecamp/th/file/4432738T9UBODRSK5.pdf.

20. Tomboc, R. *The Fluorescein Method of Latent Blood Detection*. 2011 [cited 2017 02/20]; Available from: http://www.crime-scene-investigator.net/fluoresceinmethod.html.

21. เลี้ยง หุยประเสริฐ. การชันสูตรพลิกศพและตรวจสถานที่เกิดเหตุ. 2549 [cited 2017 02/10]; Available from: http://www.ifm.go.th/th/ifm-book/ifm-textbook/113-lesson-2.html

22. ศรันยภัทร เสียงสูง, การรับฟังพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีอาญาของประเทศไทย : กรณีศึกษาพยานหลักฐานทางชีววิทยาตามแนวคำพิพากษาศาลฎีกา, in การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ *53*. 2553: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

23. สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ. วัตถุพยานทางนิติวิทยาศาสตร์. 2551 [cited 2016 12/28]; Available from: http://www.ajarnpat.com/data/forensic-evidence.pdf.

24. วิไล ชินธเนศ ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกาน ตันสถิตย์, กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์. 3 ed. 2539, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เฟื่องฟ้า.

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

26. Petersen, D. and F. Kovacs, *Phenolphthalein false-positive reactions from legume root nodules.* J Forensic Sci, 2014. **59**(2): p. 481-4.

27. Barni, F., et al., *Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection.* Talanta, 2007. **72**(3): p. 896-913.

28. Budowle, B., et al., *The Presumptive Reagent Fluorescein for Detection of Dilute Bloodstains and Subsequent STR Typing of Recovered DNA.* J Forensic Sci, 2000. **45**(5): p. 1090-92.

29. Cheeseman, R., *Direct Sensitivity Comparison of the Fluorescein and Luminol Bloodstain Enhancement Techniques.* J. Forensic Sci, 1999. **49**(3): p. 262.

30. อ้อยใจ ทองเฌอ และนันทินา มูลประสิทธิ์, การศึกษาเบื้องต้นการผสมน้ำยางสังเคราะห์และน้ำยางธรรมชาติ และการศึกษาสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์ผสมที่ได้. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547.

31. Haque, M.M.-U. and M. Pracella, *Reactive compatibilization of composites of ethylene–vinyl acetate copolymers with cellulose fibres.* Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2010. **41**(10): p. 1545-1550.

32. Mills, N.J., *Chapter13-running shoes case study*. 2007, Oxford: Polymer forms handbook, Butterworth-Heinemann.

33. วราภรณ์ ขจรไชยกลู, ยางธรรมชาติการผลิตและการใช้งาน. 2549, กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

34. Morton, M. *Raw material in the production of birkenstocks shoes*. 2014 [cited 2017 05/01]; Available from: http://www.designlife-cycle.com/birkenstock.

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

36. Oertel, G., *Polyurethane handbook*. 1989, Munich: Hanser Publisher.

37. Abbas, H., *Photostabillization of Poly (vinyl) chloride by Bis(2-amino acetate benzothiazole) complexes*. 2008, M. Sc. Thesis, College of Science, Al Nahrain University.

38. Yousif, E., et al., *New stabilizers for PVC based on some diorganotin(IV) complexes with benzamidoleucine.* Arabian Journal of Chemistry, 2016. **9**: p. S1394-S1401.

39. Global Sources, *Market Interlligence: Casual footwear*. 2004, Chaina.

40. พินิตา กรทอง, เปรียบเทียบการตรวจคราบโลหิตโดยวิธี *Kastle-Meyer, Luminol* และ *Bluestar* บนพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน. 2558, วิทยาพิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

41. Serology. *Fluorescein Detection of Latent Bloodstains*. 2002 [cited 2017 02/20]; Available from: http://www.latent-prints.com/fluorescein2.htm.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	น.ส. จุฑามาศ ยิ้มนุ่น
วัน เดือน ปี เกิด	1 พฤศจิกายน 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดพิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์การแพทย์) มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
ที่อยู่ปัจจุบัน	132/146 หมู่ 2 The Airport Residence (914) แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210