PBRU SCIENCE JOURNAL
2023.20(2) : 27-41

การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

Bloodstain Detection on Washed Fabrics with Different Laundry Detergents using the Kastle-Meyer Method

ธารารัตน์ แจ่มจำรัส[1*] และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ[2]

Thararat Jaemjamras[1*] and Noparuj Saksiri[2]

[1]*หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม*

[2]*ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 ชลบุรี*

[1] *Forensic Science program, Faculty of science, Silpakorn University, Nakhon Pathom*

[2] *Police Forensic Science Center 2, Chonburi*

***Corresponding author; E-mail:** thararat.jaemjamras@gmail.com

Received: 02 February 2023 /Revised: 15 March 2023 /Accepted: 08 May 2023

บทคัดย่อ

คราบเลือดบนเสื้อผ้าถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญสำหรับการสืบสวนสอบสวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคดีฆาตกรรม การพบคราบเลือดบนเสื้อผ้าผู้ต้องสงสัยสามารถเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับผู้เสียหาย และสถานที่เกิดเหตุ จนกระทั่งนำไปสู่การจับกุมคนร้ายได้ แต่ในบางครั้งผู้ก่อเหตุจงใจปกปิดการกระทำความผิดโดยการนำเสื้อผ้าเปื้อนคราบเลือดไปซักทำความสะอาด ทำให้ไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดบนเสื้อผ้าได้ ซึ่งอาจทำให้ผู้เก็บรวบรวมวัตถุพยานมองข้ามพยานหลักฐานชิ้นสำคัญนี้ไป งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 โดยผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลจากความแตกต่างในการขจัดคราบของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิด ในขณะที่ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน (ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%) และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน) มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์คราบเลือดหรือคราบที่คาดว่าเป็นคราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งถือเป็นประโยชน์สำหรับกระบวนการสืบสวนสอบสวน

คำสำคัญ: คราบเลือด วิธีทดสอบ Kastle-Meyer ผลิตภัณฑ์ซักผ้า

Abstract

Bloodstains on clothing are important witnesses in investigations, especially in murder cases. Bloodstains on a suspect's clothes can connect the suspect to the victim and the scene of the crime, leading to an arrest. Sometimes, perpetrators deliberately cover up their crimes by washing their clothes stained with blood to remove any visible blood stains. It may cause the collectors to overlook this important piece of evidence. Therefore, this study aims to compare the discoloration times of the Kastle-Meyer reagent on blood-stained fabrics washed with different detergents and the period after washing. The results revealed that different laundry detergents had different discoloration times of Kastle-Meyer reagent at a statistically significant 0.05 level. Bleach and active oxygen laundry detergent had the highest time for the reagent color change, followed by silver nanoparticles laundry detergent, standard laundry detergent and stain remover, respectively. This may be due to differences in stain removal between detergents. While different fabric types (100% cotton, 100% polyester, and 65% polyester mixed with 35% cotton) and length (0, 1, 3, 5, 7,9,14, 21, and 28 days) had no difference in color change period of the reagents. This research could help the analysis of bloodstains or similar bloodstains on washed clothes at the crime scene and it is useful for investigative processes.

Keyword: Bloodstain, Kastle-Meyer test, Laundry detergent

บทนำ

ปัญหาอาชญากรรมเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในสังคมทุกยุคทุกสมัย ไม่ว่าจะเป็นลักทรัพย์ ยาเสพติด ฆาตกรรม ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และอื่น ๆ โดยคดีที่สร้างความสะเทือนขวัญให้กับสังคมมากที่สุด คือ คดีความผิดเกี่ยวกับชีวิตร่างกาย และเพศ ซึ่งฐานความผิดดังกล่าวรวมถึงคดีฆ่าผู้อื่น ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความตาย พยายามฆ่า ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และคดีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ ที่เก็บรวบรวมการรับแจ้งเหตุตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 ตุลาคม 2564 คดีฐานความผิดเกี่ยวกับชีวิตร่างกาย และเพศมีการรับแจ้ง 12,773 คดี แบ่งเป็นคดีฆ่าผู้อื่น 937 คดี, ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความตาย 360 คดี พยายามฆ่า 1,457 คดี ทำร้ายร่างกาย 2,685 คดี ข่มขืนกระทำชำเรา 1,341 คดี และคดีอื่น ๆ 5,993 คดี[1] ซึ่งการก่อเหตุลักษณะดังกล่าว หลักฐานสำคัญที่อาจหลงเหลืออยู่ในที่เกิด หรือแม้กระทั่งติดไปกับผู้เสียหาย หรือผู้ก่อเหตุ คือ “คราบเลือด”

คราบเลือด ถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้ในการยืนยันตัวบุคคลได้ผ่านการตรวจพิสูจน์ดีเอ็นเอ และจากการประเมินขอบเขต ลักษณะคราบเลือด ปริมาณ รูปร่าง และการกระจายตัวของเลือดในที่เกิดเหตุ ยังสามารถนำไปสู่การจำลองเหตุอาชญากรรมขึ้นมาใหม่ได้ ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ลักษณะของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเท่านั้นที่ต้องคำนึงถึง คราบเลือดที่ติดไปกับเสื้อผ้าของผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ดังกล่าวทั้ง

ผู้ต้องสงสัย และผู้เสียหายก็สำคัญไม่แพ้กัน[2] แต่ในหลายคดีผู้ก่อเหตุอาจมีการล้างทำความสะอาดสถานที่เกิดเหตุ รวมไปถึงซักเสื้อผ้าที่ใช้ในการก่อเหตุเพื่ออำพรางคดี ให้เหมือนว่าตนไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคดีนั้น ๆ ทำให้ผู้ตรวจสถานที่เกิดเหตุหรือผู้ตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดที่อยู่บนเสื้อผ้านั้นและอาจมองข้ามวัตถุพยานชิ้นสำคัญนี้ไป ทั้งนี้การตรวจพิสูจน์คราบเลือดและคราบเลือดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (คราบเลือดแฝง) เบื้องต้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทดสอบ Kastle-Meyer (KM) หรือวิธี Phenolphthalein วิธี Leucomalachite green วิธี Tetramethylbenzidine วิธี Orthotolidine วิธี Luminol และวิธี Bluestar เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองของ Cox[3] แสดงให้เห็นว่า การทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และวิธี Orthotolidine มีความไวสูงแต่มีความจำเพาะน้อยกว่าวิธี Phenolphthalein สอดคล้องกับผลการทดลองของสวรส ปุริมโน[4] ที่พบว่าวิธีการทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และ Phenolphthalein สามารถตรวจหาคราบเลือดได้ดีกว่าวิธี Luminol และ Bluestar

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซัก เช่น งานวิจัยของ Sapan และคณะ[5] ได้ศึกษาการระบุตัวบุคคลจากคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยเครื่องซักผ้าที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40˚C และ 60˚C ยังสามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า แต่คราบเลือดบนผ้าไนลอนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ที่อุณหภูมิ 60˚C ทั้งนี้ผ้าฝ้าย และผ้าไนลอนที่ซักด้วยอุณหภูมิ 90˚C ไม่สามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบคราบเลือดเบื้องต้นด้วย Luminol ให้ผลบวกกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40˚C, 60˚C และ 90˚C ในขณะที่ผ้าไนลอนให้ผลบวกที่ 40˚C และ 60˚C เท่านั้น และเมื่อนำคราบเลือดดังกล่าวไปตรวจสอบรูปแบบดีเอ็นเอ พบว่าทั้งผ้าฝ้าย และผ้าไนลอนสามารถตรวจพบรูปแบบดีเอ็นเอเพียงพอที่จะสามารถระบุยืนยันตัวบุคคลเมื่อผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40˚C และ 60˚C แสดงให้เห็นว่าแม้เสื้อผ้าเปื้อนเลือดจะผ่านการซักที่อุณหภูมิสูงถึง 60˚C ยังสามารถตรวจพบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบเบื้องต้นได้ นำไปสู่การตรวจวิเคราะห์ดีเอ็นเอและระบุยืนยันตัวผู้เสียหายรวมทั้งคนร้ายได้ในที่สุด ดังนั้นการตรวจหาคราบเลือดเบื้องต้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกวัตถุพยานและระบุตำแหน่งบริเวณที่สามารถตรวจหาดีเอ็นเอได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีการพัฒนาไปมากเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานของผู้บริโภคที่ต้องการประสิทธิภาพในการขจัดคราบฝังแน่นรวมทั้งกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มเติมสารบางอย่างลงไปในผลิตภัณฑ์ซักผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักผ้า เช่น สารกำจัดเชื้อโรค สารขจัดคราบ สารเพิ่มความหอม เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดคราบเลือดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิด ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยของ Sapan และคณะ[5] และวิภาวรรณ และคณะ[6] มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบคราบเลือดหลังซักบนผ้าต่างชนิดเท่านั้น ยังไม่มีการเปรียบเทียบการตรวจพบคราบเลือดหลังซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดที่วางขายในประเทศไทย รวมทั้งยังไม่มีการศึกษา

ระยะเวลาหลังซักต่อการตรวจพบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer ทั้งนี้ยังวิเคราะห์ผลการทดสอบเป็นผลบวกหรือลบเท่านั้น ไม่มีการศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาการตรวจหาคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer โดยเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบดังกล่าว ภายใต้เงื่อนไขชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเก็บตัวอย่างวัตถุพยานที่เกี่ยวข้องในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกระบวนการพิสูจน์หลักฐานและการสืบสวนสอบสวนต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมเครื่องซักผ้า

เพื่อป้องกันการตกค้างของผลิตภัณฑ์ซักผ้าก่อนการทดลอง ในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเครื่องซักผ้าก่อนการใช้งานทุกครั้ง โดยล้างช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าให้สะอาดปราศจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าปนเปื้อน จากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงานโดยเลือกโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40°C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm จำนวน1 ครั้ง เพื่อขจัดผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่อาจหลงเหลืออยู่จากการซักก่อนหน้า

2. การเตรียมผ้าตัวอย่าง

ก่อนเริ่มการทดลองนำผ้า 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ขนาด 9x21 ซม. ชนิดละ 63 ผืน รวม 189 ผืน มาซักด้วยเครื่องซักผ้าที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองโดยไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า จากนั้นเลือกโปรแกรมซัก Mix Fabric อุณหภูมิ 60°C ความเร็วรอบ 1,400 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำความสะอาดและกำจัดสารเคลือบบนผ้าก่อนการใช้งาน จากนั้นทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำตัวอย่างเลือดของผู้วิจัย ซึ่งเก็บในหลอดเก็บตัวอย่างที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดชนิด EDTA มาหยดลงบนผ้าตัวอย่าง ชนิดละ 54 ผืน โดยหยดบริเวณกึ่งกลางผ้าให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันจำนวน 3 จุด/ผืน (สำหรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ) ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร และหยดน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI water) ลงบนผ้าชนิดละ 9 ผืน จำนวน 3 จุด/ผืน ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร ลงบนผ้าที่เตรียมไว้สำหรับตัวอย่างควบคุมลบ และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน

3. การซักผ้าตัวอย่าง

3.1 นำผ้าตัวอย่างชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าชนิดฝาหน้าที่เตรียมไว้ และใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 5 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน โดยเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าลงในช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 1 ชนิดต่อ 1 รอบการซัก กำหนดโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40 °C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการทำงานของเครื่องซักผ้า นำผ้าออกจากเครื่อง และเตรียมเครื่องซักผ้าใหม่สำหรับการซักรอบถัดไป จากนั้นนำผ้าตัวอย่างชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าที่เตรียมไว้โดยเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้าจนครบ 5 ชนิด

3.2 กำหนดให้ตัวอย่างที่ผ่านการผ้าหยดเลือด ชนิดละ 9 ผืน และน้ำปราศจากไอออน ชนิดละ

9 ผืน ที่ซักโดยไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าเป็นตัวอย่างควบคุมบวก และลบ ตามลำดับ (ดัดแปลงจากวิธีการทดลองของ Daud และ Sundrum[7])

4. การทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

4.1 เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการซัก นำผ้าตัวอย่างทดลอง ที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด รวมทั้งตัวอย่างควบคุมบวก และตัวอย่างควบคุมลบที่ผ่านการซัก 1 ผืนต่อชนิดผ้า มาทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ทันทีหลังซัก (วันที่ 0) โดยบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้อง Canon EOS 80D อัตราการบันทึกภาพเท่ากับ 30 ภาพ/วินาที กำหนดค่าความไวแสง (ISO) 3200 รูรับแสง (F) 8.0 และ ค่าความเร็วชัตเตอร์ (speed shutter) 1/160 วินาที จากนั้นหยด Phenolphthalein working solution และทิ้งไว้ 10 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการเปลี่ยนสี เนื่องจากสีของตัวอย่าง แล้วจึงหยด 3% H_2O_2 ลงบนคราบเลือด สังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอย่างชัดเจน จึงกดหยุดการบันทึกภาพ

4.2 นำผ้าที่เหลือจากข้อ 4.1 ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ให้ผ้าสัมผัสแสงแดดโดยตรง และนำผ้าที่ผ่านการซักแล้วที่เก็บไว้เป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วันมาทดสอบหาคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ตามข้อ 4.1

5. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

5.1 นำไฟล์ภาพเคลื่อนไหวจากการทดสอบคราบเลือดของตัวอย่างผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด ตัวอย่างควบคุมบวก และลบ ที่ระยะเวลาหลังซัก 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน มาแปลงไฟล์เป็นภาพนิ่ง และนำภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า และภาพถัดจากภาพดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า L* a* และ b* แต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีที่เป็นเกณฑ์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมบวกเป็นค่าที่ใช้ระบุถึงการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ หากพบภาพใดเป็นภาพแรกที่มีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่ากับค่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้จดบันทึกเลขภาพและนำไปคำนวณหาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ดังสมการ

ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer (วินาที) = $(I_p-I_0)/(30$ ภาพ/วินาที)

I_p แทน เลขภาพแรกที่น้ำยาทดสอบเปลี่ยนสีเท่ากับค่าเกณฑ์

I_0 แทน เลขภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า

5.2 การแปลผลระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer[8] กำหนดให้ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ

0 - 15 วินาที เป็น ผลบวก หมายถึง ตรวจพบคราบเลือด

มากกว่า 15 วินาที เป็น ผลลบ หมายถึง ตรวจไม่พบคราบเลือด

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบค่าสถิติด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก ความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยวิธีของ Scheffe แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test

ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1. การวิเคราะห์ค่าสีที่ใช้เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 2. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าตัวอย่าง และ3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. การวิเคราะห์ค่าสีที่ใช้เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

จากการวิเคราะห์ค่าสี CIELAB ในตัวอย่างควบคุมบวกพบว่า พบว่าค่า L* และ b* ลดลง ในขณะที่ค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ทั้ง 3 ชนิดผ้า ผู้วิจัยจึงใช้ค่า a* เพียงค่าเดียวในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสีจำแนกตามชนิดผ้าพบว่า ค่า a* = 1-4 เป็นค่าสีของบริเวณผ้าที่น้ำยาทดสอบซึมไปไม่ถึง ซึ่งหมายถึงค่ารบกวน (background noise) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า a* = 6 เป็นเกณฑ์ในการระบุการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เนื่องจากน้ำยาทดสอบมีการเปลี่ยนสีจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอ่อนอย่างชัดเจนและใกล้เคียงกับการมองเห็นด้วยตาเปล่าทั้ง 3 ชนิดผ้า แสดงดัง Figure 1.

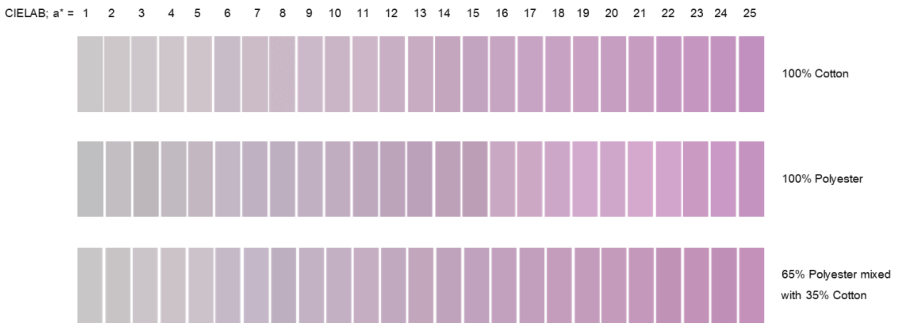

Figure 1. Comparison of a* intensity on positive control of 100% cotton, 100% polyester and 65% polyester mixed with 35% cotton

2. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าตัวอย่าง

เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน และระยะเวลาหลังซักที่ต่างกัน โดยกำหนดค่า a* = 6 เป็นค่าเกณฑ์ในการทดสอบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลบวก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยสูงกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า

ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลลบ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำกว่า 15 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 เท่านั้น สามารถแปลผลได้เป็นผลบวก โดยผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยสูงกว่า 15 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลลบ แสดงดัง Table 1.

Table 1. Average discoloration time of Kastle-Meyer reagent on different laundry detergents, fabrics and period after washing

table	detergent	Active oxygen			Stain remover			Bleach			Silver nanoparticles			Standard		
	fabric	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC
0	mean	7.30(+)	36.31	45.53	0.19(+)	0.42(+)	0.11(+)	175.88	36.04	57.56	1.26(+)	3.14(+)	3.26(+)	0.97(+)	2.81(+)	2.70(+)
	S.D.	0.12	4.35	3.17	0.07	0.07	0.04	24.64	3.37	1.47	0.05	0.02	0.11	0.06	0.07	0.15
1	mean	164.52	39.32	57.17	0.14(+)	0.37(+)	0.18(+)	170.72	42.54	56.29	3.33(+)	3.24(+)	3.87(+)	1.26(+)	2.91(+)	2.81(+)
	S.D.	34.73	3.47	12.54	0.02	0.03	0.02	48.20	5.54	2.18	0.03	0.10	0.09	0.05	0.13	0.15
3	mean	164.99	43.70	57.17	0.20(+)	0.51(+)	0.17(+)	157.57	39.73	58.01	3.87(+)	4.09(+)	4.07(+)	1.40(+)	3.01(+)	3.03(+)
	S.D.	46.23	2.14	12.54	0.06	0.05	0.03	29.38	5.46	5.61	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.15
5	mean	158.00	39.19	60.40	0.16(+)	0.51(+)	0.13(+)	205.36	45.48	58.10	3.98(+)	5.49(+)	4.08(+)	1.29(+)	3.16(+)	3.13(+)
	S.D.	1.95	8.48	12.05	0.02	0.07	0.00	10.10	2.93	4.59	0.08	0.02	0.05	0.08	0.04	0.19
7	mean	164.76	40.91	55.10	0.18(+)	0.42(+)	0.16(+)	204.54	44.14	59.12	4.67(+)	5.84(+)	4.08(+)	1.44(+)	3.20(+)	2.96(+)
	S.D.	15.31	0.45	1.34	0.02	0.05	0.02	12.43	6.05	1.46	0.13	0.10	0.02	0.10	0.07	0.05
9	mean	205.80	41.18	59.28	0.17(+)	0.53(+)	0.14(+)	195.03	42.29	52.50	5.96(+)	5.92(+)	4.03(+)	1.43(+)	3.11(+)	2.88(+)
	S.D.	13.70	6.64	0.39	0.00	0.06	0.05	23.04	6.76	2.64	0.12	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
14	mean	205.69	49.07	55.37	0.20(+)	0.46(+)	0.19(+)	184.84	46.19	55.91	6.68(+)	5.98(+)	4.06(+)	1.43(+)	3.57(+)	3.01(+)
	S.D.	13.19	3.55	6.37	0.00	0.07	0.05	8.74	7.73	2.19	0.05	0.04	0.02	0.07	0.09	0.16
21	mean	207.43	44.03	61.30	0.17(+)	0.47(+)	0.17(+)	205.51	41.81	54.58	6.64(+)	5.94(+)	4.02(+)	1.31(+)	3.69(+)	3.07(+)
	S.D.	9.74	9.22	7.09	0.03	0.09	0.03	5.53	1.84	3.08	0.08	0.07	0.02	0.02	0.16	0.18
28	mean	187.82	42.21	57.97	0.17(+)	0.51(+)	0.12(+)	196.86	44.73	60.03	6.59(+)	5.91(+)	4.02(+)	1.21(+)	3.66(+)	2.96(+)
	S.D.	5.25	9.19	12.81	0.03	0.08	0.02	4.38	6.12	4.04	0.02	0.05	0.04	0.02	0.08	0.05
Total	mean	87.09			0.26(+)			95.98			4.59(+)			2.50(+)		
	N	81			81			81			81			81		
Chi-square		364.54														
df		4														
Sig.		0.000*														

Note: C = 100% cotton, P = 100% polyester, PC = 65% polyester mixed with 35% cotton, (+) = positive (< 15 second),

* Statistically significant difference level of 0.05

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยขอแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล และการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

เมื่อวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่มีการแจกแจงปกติ (K-S = 0.301, p-value = 0.000) ดังนั้นการทดสอบทางสถิติในงานวิจัยนี้จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test

3.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test พบว่าค่าเฉลี่ยอันดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงดัง Table 1. และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test พบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีเพียงผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวและผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนเท่านั้นที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกัน แสดงดัง Table 2.

Table 2. Result of the post hoc Dunn's multiple comparisons test, showing the significance of different laundry detergents.

Laundry detergent	Active oxygen	Stain remover	Bleach	Silver nanoparticles	Standard
Active oxygen	-	0.000*	1.000	0.000*	0.000*
Stain remover	-	-	0.000*	0.000*	0.000*
Bleach	-	-	-	0.000*	0.000*
Silver nanoparticles	-	-	-	-	0.001*
Standard	-	-	-	-	-

*Statistically significant difference level of 0.05

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้า (ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%) และระยะเวลาหลังซัก (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน) ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test พบว่ามีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน (ชนิดของผ้า: χ^2 = 2.004, p-value = 0.367, ระยะเวลาหลังซัก: χ^2 = 4.745, p-value = 0.784)

อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า 2. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า และ 3. การวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซัก ดังนี้

1. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน พบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แตกต่างกัน เนื่องจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละประเภทต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการขจัดคราบที่ต่างกันออกไป ดังนี้

1.1 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ประกอบด้วย Sodium percarbonate ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถขจัดคราบจากธรรมชาติ เช่น คราบเลือดได้ดี อีกทั้งยังสามารถละลายในน้ำและแตกตัวได้ H_2O_2 ขณะซัก ผลการทดลอง พบว่าตรวจไม่พบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1-28 บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 นั้น อาจเป็นเพราะปริมาณของ H_2O_2 ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากขณะซัก และคุณสมบัติของฮีโมโกลบินที่สามารถทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ได้ เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวขณะซักพร้อม ๆ กัน[9] ทำให้ฮีโมโกลบินที่อาจเหลืออยู่บนผ้าที่ผ่านการซักไม่สามารถสลาย H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ได้ขณะทำการทดสอบ การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลามากกว่า 15 วินาที เนื่องจาก O_2 ในบรรยากาศหรือปัจจัยอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากับน้ำยาทดสอบได้ช้า นอกจากนี้คุณสมบัติในการขจัดคราบได้ดีอาจเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณเลือดบนผ้าตัวอย่างลดลงจนไม่สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Howard และคณะ[10] ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักด้วย sodium percarbonate ที่อุณหภูมิ 24˚C และ 40˚C พบว่าที่อุณหภูมิ 40˚C ตรวจไม่พบคราบโลหิตเมื่อทดสอบด้วย TMB, Luminol และ Bluestar Magnum ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นเช่นเดียวกับ KM-Test และ Castelló และคณะ[9] ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน (Neutrex™) โดยแช่ผ้าที่อุณหภูมิ 40˚C เมื่อทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าให้ผลเป็นลบ คือตรวจไม่พบคราบเลือด

ทั้งนี้การตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ในขณะที่ผ้า

2 ชนิดที่เหลือตรวจไม่พบคราบเลือดที่ระยะเวลาหลังซักดังกล่าวนั้น อาจเพราะผ้าฝ้ายผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้คราบสกปรกต่าง ๆ ยึดเกาะได้ดี สามารถดูดความชื้นได้มากทำให้แห้งช้าเมื่อเปียกชื้น ในขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์ผลิตจากใยสังเคราะห์ มีความมันเงาและลื่น ทำให้โปรตีนยึดเกาะบนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้ไม่ดี[11]และดูดความชื้นได้น้อยทำให้แห้งเร็วเมื่อเปียกชื้น[12] อาจทำให้ผ้าฝ้ายสามารถดูดซับน้ำและโมเลกุลฮีโมโกลบินไว้ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าอีก 2 ชนิดที่เหลือทำให้เกิดผลบวกกับน้ำยาทดสอบ Kastle-Mayer ได้ ในขณะเดียวกันอาจมีผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวตกค้างอยู่ได้เช่นกัน เมื่อระยะเวลาหลังซักครบ 1 วัน ปฏิกิริยาระหว่างฮีโมโกลบินและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่เหลืออยู่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลานานมากกว่า 15 วินาที คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด ขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์และผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย สามารถดูดซับความชื้นและโมเลกุลของฮีโมโกลบินได้น้อย จึงตรวจไม่พบคราบเลือดตั้งแต่วันที่ 0

1.2 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ประกอบด้วย H_2O_2 ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer น้อยกว่า 15 วินาที หมายถึง ตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวซึ่งแตกต่างจากผลการตรวจคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนที่สามารถสลายตัวในน้ำได้ H_2O_2 นั้นอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของ H_2O_2 ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินบนผ้าได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้ง H_2O_2 จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดอ่อน[12] สามารถแตกตัวได้ Perhydroxyl anion (OH_2^-) เมื่อ pH ของสารละลายเป็นด่าง (pH 10-12) โดย OH_2^- เป็นสารประกอบสำคัญสำหรับการซักฟอกหรือขจัดคราบบนเสื้อผ้าเปื้อนคราบชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงคราบเลือด[13] สอดคล้องกับข้อแนะนำในการใช้ผลิตภัณฑ์ระบุ “ใช้ร่วมกับผงซักฟอกหรือผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ” เพื่อให้สภาวะในการซักเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบดังกล่าวและสามารถขจัดคราบได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่านั้น จึงไม่มีการเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ จึงไม่เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของ H_2O_2 อาจทำให้ไม่เกิด OH_2^- หรือเกิดน้อยจนไม่สามารถขจัดคราบเลือดบนผ้าได้ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบสามารถขจัดคราบได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน และเมื่อทำการทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ฮีโมโกลบินที่เหลืออยู่บนผ้าสามารถทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถตรวจพบคราบเลือดได้บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดนี้

1.3 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ประกอบด้วย Sodium Hypochlorite (NaOCl) จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดคลอรีนน้ำ จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน เนื่องจากเป็นสาร

ออกซิไดซ์ที่รุนแรง ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความสะอาดรวมทั้งฆ่าเชื้อโรคหลายชนิด โดยสารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสารประกอบชีวโมเลกุลที่หลากหลาย เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และดีเอ็นเอ[14] ซึ่งเลือดถือเป็นสารชีวโมเลกุลอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถถูกกำจัดได้โดย Sodium Hypochlorite สอดคล้องกับผลการทดลองของ Edler และคณะ[15] ที่ศึกษาผลของสารฟอกขาวกับการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนพื้นผิวต่างชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ฟอกขาวที่ประกอบด้วยคลอรีนอิสระ และ Sodium percarbonate สามารถทำความสะอาดคราบเลือดได้ดีไม่ต่างกันบนพรมขนสั้น พรมขนยาว กระเบื้องลามิเนต ปาเกต์ และ PVC

1.4 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรค ทั้งในผลิตภัณฑ์ซักผ้า เครื่องสำอาง อุปกรณ์การแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร สีทาผนัง เป็นต้น[16] ทั้งนี้เมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลการทดลองพบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว แต่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดอื่น รวมทั้งผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน อาจเป็นเพราะอนุภาคซิลเวอร์นาโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคของเหล็ก[17] ในโมเลกุลฮีโมโกลบินได้ ทำให้ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ช้ากว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานเล็กน้อย

1.5 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีส่วนประกอบของสารเคมีทั่วไปสำหรับการซัก ได้แก่ Sodium carbonate, Anionic Surfactant, Zeolite, Sodium carboxymethylcellulose และ/หรือ Optical brightener โดยไม่มีส่วนประกอบสำคัญอื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดคราบ ผลการทดลองพบว่าเมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดดังกล่าว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยกว่า 15 วินาที หมายถึงตรวจพบคราบเลือด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Daud และ Sundram[7] ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่แตกต่างกันเมื่อซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ใช้ทั่วไปในประเทศมาเลเซีย เมื่อตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่แช่ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo, Breeze, Fab และ Top เป็นระยะเวลา 20 นาที ให้ผลบวกกับน้ำยาทดสอบทุกชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทั้งนี้เมื่อแช่ผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo 20 นาที ให้ผลลบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้า Breeze, Fab และ Top ให้ผลบวกที่ระยะเวลาการแช่ผ้า 20 นาที ซึ่งอาจเป็นเพราะสารประกอบลดแรงตึงผิวของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทำให้ความสามารถของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดต่างกัน

2. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า ได้แก่ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% พบว่าชนิดผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่

แตกต่างกัน และตรวจไม่พบคราบเลือดบนผ้าทั้ง 3 ชนิดนี้ หมายถึง ตัวแปรชนิดของผ้าไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Nakanishi และคณะ[18] ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดและรอยพิมพ์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยมือ โดยหยดเลือดลงบนเสื้อยืดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100% และใยโพลีเอสเตอร์ 100% หลังจากทิ้งคราบเลือดให้แห้ง นำมาซักด้วยมือ โดยใช้สบู่สำหรับซักมือ, น้ำยาล้างจาน, ผงซักฟอก สบู่ และน้ำ จนกระทั่งมองไม่เห็นคราบ จากนั้นนำมาตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วย LMG Luminol และ Anti-human Hb พบว่า ผ้าฝ้าย 100% ให้ผลบวกมากกว่า ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และการทดลองของ Edler และคณะ[11] ที่พบว่าเมื่อนำผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายเปื้อนคราบเลือดมาซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าเอนกประสงค์ ผลิตภัณฑ์ซักผ้ากำจัดเชื้อโรค ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสี ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบเลือด ที่อุณหภูมิ 20˚C, 30˚C, 60˚C และ 95˚C ให้ความเข้มแสงของ Luminol น้อยกว่าผ้าฝ้าย ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการดูดความชื้นและการยึดติดของโปรตีนบนผ้าฝ้ายได้ดีกว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งผลการทดลองที่แตกต่างกันนั้นอาจเป็นเพราะน้ำยาทดสอบและวิธีที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ต่างกัน โดยการศึกษาก่อนหน้ามักใช้การสังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบด้วยตาเปล่า นำมาเทียบกับเกณฑ์ความเข้มสีแล้วให้คะแนนความเข้มสีตามสิ่งที่มองเห็น จากนั้นแปลเป็นผลบวก บวกอ่อน หรือลบ ซึ่งการมองเห็นสีของแต่ละบุคคลนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์ และสภาพแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ซึ่งการที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยหรือมากนั้นแปรผกผันกับปริมาณคราบเลือดที่หลงเหลืออยู่หลังการซัก หากมีเลือดเหลืออยู่ปริมาณมากการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจะใช้เวลาน้อย (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 วินาที) และหากมีเลือดปริมาณน้อยระยะเวลาการเปลี่ยนสีจะใช้เวลามาก (มากกว่า 15 วินาที) โดยใช้การแปลผลจากภาพนิ่งซึ่งถูกแปลงจากภาพเคลื่อนไหวขณะทำการทดลอง ทำให้สามารถตรวจสอบผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แม้จะมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเพียงเล็กน้อยในระยะเวลาอันสั้นซึ่งสายตามนุษย์อาจไม่ทันสังเกตเห็น ทำให้ผลการตรวจพิสูจน์ คือ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกันบนผ้าทั้ง 3 ชนิด

3. การวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซัก

จากการวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซักที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน พบว่าระยะเวลาหลังซักต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน และตรวจไม่พบคราบเลือดที่ระยะเวลาหลังดังกล่าว หมายถึง ตัวแปรระยะเวลาหลังซักไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด ซึ่งอาจเป็นเพราะการซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ช่วยขจัดคราบเลือดที่ติดอยู่บนผิวผ้าให้เหลือเพียงคราบเลือดฝังแน่นที่อยู่ในเนื้อผ้าเพียงเท่านั้น ทำให้เลือดที่อาจฝังแน่นอยู่ในเนื้อผ้าเกิดปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมได้ยากเนื่องจากถูกเก็บไว้ในกล่องปิดที่ป้องกันการสัมผัสกับอากาศและแสงแดดโดยตรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรอนงค์ ปันทา และคณะ[19] ที่ศึกษาการตรวจสอบคราบโลหิต

ของมนุษย์บนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสมด้วยวิธีบลูสตาร์ โดยตรวจสอบคราบเลือดที่ถูกทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเจือจางตัวอย่างเลือด 1:100 หยดลงบนเส้นใยประเภทต่าง ๆ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30.14±1.78 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 73.75±6.97 ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% ให้ผลบวกไม่ต่างกัน (+++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา ขณะที่เส้นใยธรรมชาติคือผ้าสาลูให้ผลบวกแตกต่างจากผ้าชนิดอื่นเล็กน้อย (++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา

สรุป

ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีผลต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แตกต่างกันโดยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด และระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ตามลำดับ ทั้งนี้จากการแปลผลการตรวจพิสูจน์คราบเลือดสามารถตรวจพบคราบเลือดได้ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ เท่านั้น และเมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้า ฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% และระยะเวลาหลังซักที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน พบว่ามีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ชนิดของผ้าและระยะเวลาหลังซักดังกล่าวไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้

1.1 จากข้อค้นพบที่ว่า ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้วัตถุพยานประเภทผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าบางชนิดยังสามารถตรวจพบคราบเลือดอยู่แม้จะผ่านการซักเป็นเวลานานถึง 28 วัน ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวมรวมพยานหลักฐานสามารถทดสอบคราบเลือดจากเสื้อผ้าเปื้อนเลือดที่ผ่านซักได้ในสถานที่เกิดเหตุด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer หรือเก็บวัตถุพยานประเภทผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักไปตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาและดีเอ็นเอเพื่อตรวจหาคราบเลือดหรือดีเอ็นเอต่อไปได้

1.2) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยการตรวจวัดด้วยค่าสี CIELAB สามารถตรวจสอบได้ง่ายและทำได้รวดเร็ว ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในโปรแกรมขั้นสูงก็สามารถใช้งานได้ ทั้งยังสามารถกำหนดค่าสี (a*) ที่เหมาะสมตามการใช้งานของแต่ละห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งค่าสีดังกล่าวสามารถนำมาการประยุกต์ใช้กับการตรวจพิสูจน์คราบเลือดในกรณีที่มีคราบเลือดอยู่น้อยหรือมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเป็นสีอ่อนเพียงเล็กน้อยจนทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์ไม่มั่นใจว่ามีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบหรือไม่ การใช้ค่าสีดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ตรวจพิสูจน์

มีมาตรฐานเดียวกันในการตรวจพิสูจน์และมีความมั่นใจในผลการตรวจพิสูจน์มากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาการถ่ายโอนของคราบเลือดบนผ้าจากบริเวณที่มีคราบเลือด ไปสู่บริเวณที่ไม่มีคราบเลือดเมื่อซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดเพิ่มเติม เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักเฉพาะจุดที่ทำการหยดเลือดลงบนผ้าเท่านั้น และไม่มีการนำผ้าไม่เปื้อนเลือดมาซักรวมกับผ้าเปื้อนเลือดในแต่ละผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทั้งนี้ในชีวิตประจำวันมักมีการซักผ้ารวมกันหลายชิ้นต่อการซัก 1 ครั้ง ผู้ก่อเหตุอาจซักทั้งผ้าที่เปื้อนเลือดและผ้าไม่เปื้อนเลือดรวมกัน ซึ่งหากมีการถ่ายโอนเลือดจากผ้าเปื้อนเลือดสู่ผ้าที่ไม่เปื้อนเลือด อาจทำให้การเก็บวัตถุพยานจากสถานที่เกิดเหตุเข้าสู่สำนวนคดีมีความผิดพลาดไป

2.2 ควรศึกษาเปรียบเทียบปริมาณดีเอ็นเอหรือรูปแบบดีเอ็นเอที่ตรวจพบ หลังจากซักผ้าด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ที่ทำการทดสอบด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ให้ผลเป็นบวก เนื่องจากการตรวจพบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น สามารถระบุได้เพียงว่าตรวจพบหรือไม่พบคราบเลือดเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถยืนยันได้ว่าคราบเลือดที่ตรวจพบนั้นมีดีเอ็นเอเพียงพอในการยืนยันตัวบุคคลหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ ครอบครัว อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พี่ ๆ เพื่อน ๆ กลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ และกลุ่มงานตรวจทางเคมีฟิสิกส์ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. สถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ 2564 [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 28 มกราคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: สืบค้นจาก https://bit.ly/3uhKp4H.
2. Hofmann M, Adamec J, Anslinger K, Bayer B, Graw M, Peschel O, et al. Detectability of bloodstains after machine washing. Int J Legal Med 2019;133:1-14.
3. Cox M. A study of the sensitivity and specificity of four presumptive tests for blood. J Forensic Sci 1991;36:1503-11.
4. สวรส ปุริมโน. การตรวจวัดคราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟธาลีน เตตระเมทิลเบนซิดีน ลูมินอล และบูลสตาร์. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2555.
5. Sapan TÜ, Erdogan IT, Atasoy S. Human identification from washed blood stains. Bull Natl Res Cent 2021;45:148.
6. วิภาวรรณ บุญช่วยเหลือ, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. การตรวจคราบเลือดของมนุษย์ด้วยวิธีลูมินอล ฟีนอล์ฟธาลีนและฟูลออเรซีน บนผ้าชนิดต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2560;14:70-7.

7. Daud SMSM, Sundram S. Identification of bloodstains on different fabrics after washing with commonly used detergent in Malaysia. JMAS 2019;17:57-65.
8. Gefrides LA, Welch KE. Serology and DNA. In: Mozayani A, Noziglia C, editors. The forensic laboratory handbook: procedures and practice. New Jersey: Humana Press; 2006. p. 1-33.
9. Castelló A, Francès F, Corella D, Verdú F. Active oxygen doctors the evidence. Natur wissenschaften 2009;96:303-7.
10. Howard D, Chaseling J, Wright K. Detection of blood on clothing laundered with sodium percarbonate. FSI 2019;302.
11. Edler C, Gehl A, Kohwagner J, Walther M, Krebs O, Augustin C, et al. Blood Trace Evidence on Washed Textiles - a systematic approach. Int J Legal Med 2017;131:1179-89.
12. นวลแข ปาลิวนิช. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2556.
13. Zeronian SH, Inglesby MK. Bleaching of cellulose by hydrogen peroxide. Cellulose 1995;2:265-72.
14. Fukuzaki S. Mechanism of action of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection process. Biocontrol Science 2006;11:147-57.
15. Edler C, Krebs O, Gehl A, Palatzke K, Tiedemann N, Schröder AS, et al. The effect of bleaching agents on the DNA analysis of bloodstains on different floor coverings. Int J Legal Med 2020;134:921-7.
16. Siemianowicz K, Likus W. The risk of silver nanoparticles to the human body. In: Cao H, editor. Silver nanoparticles for antibacterial devices: biocompatibility and toxicity. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2017. p.193-210.
17. Roto R, Marcelina M, Aprilita N, Mudasir M, Natsir T, Mellisani B. Investigation on the Effect of Addition of Fe^{3+} Ion into the Colloidal AgNPs in PVA Solution and Understanding Its Reaction Mechanism. Indonesian J Chem 2017;17:439.
18. Nakanishi H, Ohmori T, Yoneyama K, Hara M, Takada A, Saito K. Bloodstain examination and DNA typing from hand-washed bloodstains on clothes. Legal Medicine 2020;47:101758.
19. อรอนงค์ ปันทา, กัลยาณี มั่นเกษวิทย์, ณัฐกมล ชโยทัย, พีรพงษ์ บุญฤกษ์. การตรวจสอบคราบโลหิตของมนุษย์บนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสมด้วยวิธีบลูสตาร์. วารสารวิชาการอาชญวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์ 2565;8:17-29.