

การตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงโดยใช้ PCS gel บนพื้นผิวโลหะอลูมิเนียมสีเข้ม

The Detection of Latent Fingerprints Using PCS Gel
on Dark-Colored Aluminum Surfacesวรรณิศา กลิ่นจันทร์¹ อรทัย เขียวพุ่ม^{2*} ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง³ ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี³ ชนิกันต์ กองแก้ว¹,
ปิยาภา จันทร์มล¹ และ พงษ์พิชญ ภัคดิณรงค์¹Wannisa Klinchan¹ Orathai Kheawpum^{2*} Sirirat Choosakoonkriang³ Supachai Supaluknari³,
Chanikarn Kongkaew¹ Piyapa Chanmon¹ and Pongpitsanu Pakdeenarong¹¹ หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ประเทศไทย² ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ประเทศไทย³ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ประเทศไทย¹ Forensic Science Program Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus, Thailand² Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus, Thailand³ Department of Chemistry Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus, Thailand

*E-mail: kheawpum_o@su.ac.th Tel. (+66)0876735907

(Received 13/01/2025, Revised 25/06/2026, Accepted 26/06/2026)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอัตราการเกิดอาชญากรรมในประเทศไทยกำลังเพิ่มขึ้น หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มีบทบาทมากขึ้นในกระบวนการยุติธรรม ลายนิ้วมือแฝงเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญซึ่งมักพบจากที่เกิดเหตุ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะสีเข้ม โดยใช้เจลอิเล็กโทรไลต์ (PCS Gel) และศึกษาการใช้ไฟฉายหลายความถี่เพื่อเพิ่มความชัดเจนในการถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พื้นผิวโลหะสีเข้ม ได้แก่ แผ่นอลูมิเนียมสีชา และแผ่นอลูมิเนียมสีดำ ในการทดลองนี้ได้เตรียมและใช้เจลอิเล็กโทรไลต์หลายสูตร (โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แคลเซียมคลอไรด์ และผงซิลิกา (PCS gel)) เพื่อหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียม ผลการทดลองพบรอยนิ้วมือคุณภาพดีจากใช้เจล PCS ที่ทำจากส่วนผสมของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 2.5 % w/v แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % w/v และผงซิลิกา 5 กรัม ในสารละลาย 10 มิลลิลิตร และระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 25 นาที สำหรับการถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏบนพื้นผิวสีเข้มพบว่า การใช้ไฟฉายหลายความถี่ที่แสงสีน้ำเงิน ($\lambda = 450$ nm) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงและการตรวจหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษในการยืนยันตัวบุคคลให้ชัดเจนยิ่งขึ้นในสภาวะที่มีแสงน้อยได้ ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้กับวัตถุพื้นผิวโลหะที่มีสีเข้มและนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในกรณีจริงได้

คำสำคัญ: นิติวิทยาศาสตร์ รอยลายนิ้วมือแฝง พื้นผิวโลหะ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเจล ระบุตัวบุคคล

Abstract

Currently, the crime rate in Thailand is rising, and forensic evidence plays an increasingly important role in the justice process. Latent fingerprints are a crucial piece of forensic evidence often found at crime scenes. This research aims to detect latent fingerprints on dark-colored metal surfaces using Electrolyte Gel (PCS Gel) and to study the use of multi-wavelength flashlights to enhance the clarity of fingerprint images. In this study, dark-colored metal surfaces, specifically taupe-colored aluminum sheets and black aluminum sheets, were used for experiments. Various formulations of electrolyte gel were prepared and used, including potassium permanganate, calcium chloride, and silica powder (PCS gel), to detect latent fingerprints on both

colors of aluminum surfaces. The results showed that good-quality fingerprints were obtained using the PCS gel, which consisted of 2.5 % w/v potassium permanganate, 0.5% w/v calcium chloride, and 5 grams of silica powder in the total volume of 10 ml solution, with an optimal development time of 25 minutes. For capturing images of latent fingerprints on dark-colored surfaces, the use of multi-wavelength flashlights emitting blue light ($\lambda = 450$ nm) significantly improved the visibility of latent fingerprints and the identification of key minutiae features in low-light conditions. The findings from this research can be applied to forensic science, especially for objects with dark metal surfaces in real-life cases.

Keywords: Forensic science, Latent fingerprints, Metal surfaces, Gel-based aqueous Electrolytes, Personal identification

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการยุติธรรมมากขึ้น เนื่องจากทุกครั้งที่มีการก่ออาชญากรรมจะมีการทิ้งร่องรอยหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุเสมอ พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถทำให้ทราบว่าเกิดเหตุอย่างไร และใครเป็นผู้กระทำความผิด รวมทั้งการพิสูจน์ความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหา ซึ่งพยานหลักฐานเหล่านี้มีความสำคัญต่อการสืบสวนและสอบสวน สามารถนำมาใช้เป็นพยานหลักฐานในการพิจารณาตัดสินความในชั้นศาลได้ หนึ่งในพยานหลักฐานที่สำคัญทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้ดีที่สุดและพบมากในที่เกิดเหตุคือ ลายนิ้วมือแฝง เนื่องจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะไม่ซ้ำกันและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เกิดจนกระทั่งเสียชีวิต ดังนั้น รอยลายนิ้วมือที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุจึงเป็นวัตถุพยานที่มีค่าในการสืบสวนทางอาชญากรรม ลักษณะของลายนิ้วมือในสถานที่เกิดเหตุมี 2 ประเภท คือ ลายนิ้วมือที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible fingerprint) และลายนิ้วมือที่มองไม่เห็นหรือเห็นได้ยากด้วยตาเปล่า (Latent fingerprint) ดังนั้น การเก็บรอยลายนิ้วมือให้เหมาะสมกับวัตถุพยานแต่ละประเภท เพื่อให้ได้รอยลายนิ้วมือที่ชัดเจนและง่ายต่อการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในการเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงนั้นมีมากมายหลายวิธี อาจจะต้องใช้วิธีในการเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงมากกว่าหนึ่งวิธี ขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุพยานที่รอยลายนิ้วมือแฝงอยู่ ซึ่งที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาในหลายรูปแบบ ได้แก่ วิธีการบดผงฝุ่น (Powdering) การอบไอการชุบเปอร์กลู (Superglue Fuming) การฉายแสงความยาวคลื่นต่างๆ (Poly-light) การย้อมสี (วิธีทางเคมี) วิธีการถ่ายภาพ เป็นต้น (Chamsuwanwong, 2003) ซึ่งถ้าไม่มีเทคนิคหรือวิธีการที่ดีและเหมาะสมในการเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง อาจจะทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพยานเสียหาย หรืออาจจะต้องใช้หลายวิธีช่วยให้เห็นรอยลายนิ้วมือแฝงได้ อาทิเช่น ภายหลังการตรวจลายนิ้วมือแฝงจะผ่านการอบด้วยกาว (Cyanoacrylate) แล้วนำมาบดด้วยผงฝุ่นดำต่อ (Chamsuwanwong, 2003)

ในสถานที่เกิดเหตุมักพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัตถุพยานประเภทโลหะ ซึ่งการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะนั้นทำได้ยากและมีความท้าทายสูง Jasuja et al. (2011) ได้ศึกษาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงโดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบน้ำบนพื้นผิวโลหะหลายชนิด ได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก ทองเหลือง และสังกะสี รวมถึงพื้นผิวที่ไม่ใช่โลหะ ได้แก่ แก้วและพลาสติก ต่อมา Fairley et al. (2012) ได้ศึกษาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะโดยใช้เทคนิคสปัตเตอริง (Sputtering) ด้วยการเคลือบฟิล์มบางของทองแดงหรือทองคำที่มีความหนาประมาณ 20–30 นาโนเมตร ในปีเดียวกัน Ramos and Vieira (2012) ได้ศึกษาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยอาศัยอนุภาคทองคำและเงินที่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของไขมันและเนื้อในรอยลายนิ้วมือแฝง ในปี ค.ศ. 2013 Singh et al. (2013) ได้พัฒนาการใช้ผงซิลิกาเจล (Silica gel) สำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวหลากหลายชนิด ได้แก่ แก้ว พลาสติก กระดาษคาร์บอน กระดาษแข็ง และพื้นผิวไม้ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนบนพื้นผิวดังกล่าว ต่อมา Song et al. (2015) ได้พัฒนาน้ำยา SPR (Small Particle Reagent) สูตรใหม่ที่ประกอบด้วยสังกะสีคาร์บอเนต สำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะที่เปื่อยขึ้น โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างสังกะสีคาร์บอเนตกับกรดไขมันและส่วนประกอบที่ไม่ชอบน้ำในรอยลายนิ้วมือแฝง และในปี ค.ศ. 2016

Rohatgi and Kapoor (2016) ได้นำสารเคมี ได้แก่ คริสตัลไวโอเลต สารฟอกขาว และสังกะสีคาร์บอเนต มาพัฒนาเป็นน้ำยาอนุภาคขนาดเล็ก SPR สูตรใหม่สำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง

ในปี ค.ศ. 2016 Rohatgi et al. (2015) ได้ผลิตผงนาโนซิลิกาเพื่อใช้เป็นผงฝุ่นสีดำสำหรับตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง และ LeŚniewski (2016) ได้ศึกษาการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ผสมกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง ในปี ค.ศ. 2017 Li et al. (2017) ได้พัฒนาวัสดุนาโนซิลิกาเรืองแสงสำหรับตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่ติดฉลากเรืองแสง ในปีเดียวกัน Jasuja and Singh (2017) ได้ศึกษาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะที่ติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบเจลด้วยวิธีการทา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีบดผงฝุ่นดำ (Black Powder) วิธีอบซูเปอร์กลู (Superglue fuming) และวิธีอนุภาคขนาดเล็ก (Small Particle Reagent: SPR) นอกจากนี้ Komalasari et al. (2017) ได้ศึกษาการใช้ผงซิลิกาในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงที่เปื้อนเลือดบนพื้นผิวสีดำ เช่น ถังดำ พร้อมทั้งมีการพัฒนาวิธีการถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝงจากการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนทอง ซึ่งสามารถถ่ายภาพได้ด้วยความละเอียดสูง และแสดงรายละเอียดของรอยลายนิ้วมือแฝงได้ถึงระดับรูขุมขน ต่อมเหงื่อ และลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ได้อย่างชัดเจน

ในปี ค.ศ. 2018 Yuan et al. (2018) และ Divya et al. (2018) ได้ศึกษาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะโดยใช้ผงฝุ่นสีส้มประจุบวกและผงฝุ่นเรืองแสงตามลำดับ ต่อมา Meng et al. (2020) ได้พัฒนาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงด้วยเทคนิคไฟฟ้าเคมี ซึ่งประกอบด้วยภาพถ่ายด้วยวิธีอิเล็กโทรเคมีลูมิเนสเซนซ์ (Electrochemiluminescence: ECL) การสแกนด้วยเทคนิคไฟฟ้าเคมีโพรบ และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีอื่นๆ ในปีเดียวกัน Jasuja and Singh (2020) ได้ศึกษาการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การจุ่ม การพ่นสเปรย์ การหยด และแบบเจล สำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน โดยเตรียมจากสารเคมีที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (Electronegativity) สูง และในปี ค.ศ. 2023 Yao et al. (2023) ได้ศึกษาวิธีทางไฟฟ้าเคมีสำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะ ได้แก่ สแตนเลส ทองแดง และนิกเกิล

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า แม้จะมีการพัฒนาวิธีการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะอย่างต่อเนื่อง แต่งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาบนพื้นผิวโลหะสีอ่อนหรือพื้นผิวที่ไม่มีสีเข้ม เช่น สแตนเลส ทองแดง และอลูมิเนียมผิวธรรมชาติ (Jasuja et al., 2011; Jasuja & Singh, 2017; Yao et al., 2023) ในขณะที่พื้นผิวโลหะอลูมิเนียมที่มีสีเข้ม โดยเฉพาะอลูมิเนียมสีชาและสีดำ ซึ่งนิยมใช้เป็นวัสดุกรอบประตู หน้าต่าง และวัสดุตกแต่งภายในอาคาร ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอ ทั้งนี้พื้นผิวสีเข้มดังกล่าวสร้างความท้าทายอย่างมากต่อการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง เนื่องจากวิธีมาตรฐานที่ใช้ผงฝุ่นสีดำไม่สามารถสร้างคอนทราสต์ที่ชัดเจนเพียงพอระหว่างผงฝุ่นกับพื้นผิวได้ นอกจากนี้ วิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริงในสถานที่เกิดเหตุ เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางหรือต้องเคลื่อนย้ายวัตถุพยานเข้าห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาวิธีการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงที่มีประสิทธิภาพ สะดวกต่อการใช้งานในภาคสนาม และเหมาะสมกับพื้นผิวโลหะสีเข้มโดยเฉพาะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะสีเข้ม โดยเฉพาะแผ่นอลูมิเนียมสีชาและแผ่นอลูมิเนียมสีดำ ซึ่งเป็นพื้นผิวที่มีความท้าทายในการตรวจพิสูจน์หลักฐาน โดยใช้อิเล็กโทรไลต์แบบเจล (PCS Gel) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความสะดวกและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริง นอกจากนี้ยังมุ่งศึกษาการใช้ไฟฉายในช่วงความถี่แสงที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความชัดเจนและความแม่นยำในการถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝง อันจะเป็นประโยชน์ในการนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสถานที่เกิดเหตุจริงทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำการเตรียมตัวอย่างโดยตัดแผ่นอลูมิเนียมสีชาและแผ่นอลูมิเนียมสีดำเป็นชิ้นขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร และยาว 4 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นพื้นผิวในการทดลอง โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 สำหรับทดสอบด้วยวิธี PCS Gel และชุดที่ 2 สำหรับทดสอบด้วยวิธีปั๊มผงสีดำซึ่งเป็นวิธีควบคุม

2.2 การจำลองรอยลายนิ้วมือแฝง

ทำการจำลองรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวตัวอย่างทั้งสองชุด โดยประทับรอยลายนิ้วมือลงบนพื้นผิวโลหะที่เตรียมไว้ด้วยแรงกดประมาณ 2,000 กรัม เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อให้ได้รอยลายนิ้วมือที่มีความสม่ำเสมอและใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยใช้นิ้วมือจากผู้ทดสอบคนเดียวกันทั้งสองชุด จากนั้นทิ้งรอยลายนิ้วมือแฝงไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 15 นาที ก่อนทำการทดสอบต่อไป

2.3 การทดสอบด้วยวิธี PCS Gel

เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบเจล ประกอบด้วย สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($\text{Potassium permanganate}$, KMnO_4) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride , CaCl_2) และผงซิลิกา (Silica powder , SiO_2) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า PCS Gel โดยเตรียมสารละลาย KMnO_4 ในช่วงความเข้มข้น 0.5–5.0 %w/v สารละลาย CaCl_2 ในช่วงความเข้มข้น 0.5–5.0 %w/v และผงซิลิกา (SiO_2) ในปริมาณ 1.0–10.0 กรัม นำมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับพื้นผิวที่ศึกษา ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The ratio of the solutions of KMnO_4 : CaCl_2 : silica powder used in the experiment

KMnO_4 (w/v)	CaCl_2 (w/v)	Silica powder (g)
0.5 % -5.0%	0.5 % -5.0%	1.0 - 10.0

จากนั้น ใช้พู่กันจุ่มสาร PCS Gel แล้วทาบนพื้นผิวตัวอย่างที่เตรียมไว้ ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำ PCS Gel และศึกษาการใช้ไฟฉายหลายความถี่แสงเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมในการเพิ่มความชัดเจนของรอยลายนิ้วมือแฝง บันทึกภาพรอยลายนิ้วมือที่ปรากฏด้วยกล้องดิจิทัลในสถานะที่ควบคุม จากนั้น ส่งภาพให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจลายนิ้วมือแฝง จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินความชัดเจนและตรวจหาลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง ดังนี้

0 หมายถึง ไม่ปรากฏรอยลายนิ้วมือแฝง

1 หมายถึง คุณภาพต่ำ มองเห็นรายละเอียดของเส้นรอยลายนิ้วมือแฝงน้อยมาก

2 หมายถึง คุณภาพต่ำ มองเห็นรายละเอียดของเส้นรอยลายนิ้วมือแฝงได้บางส่วน

3 หมายถึง คุณภาพพอใช้ มองเห็นรายละเอียดของเส้นลายนิ้วมือแฝง สามารถชี้เฉพาะตัวบุคคลได้ (≤ 8 จุด)

4 หมายถึง คุณภาพดี มองเห็นรายละเอียดของเส้นลายนิ้วมือแฝง สามารถชี้เฉพาะตัวบุคคลได้ (≥ 10 จุด)

5 หมายถึง คุณภาพดีมาก มองเห็นรายละเอียดของเส้นลายนิ้วมือแฝงสามารถชี้เฉพาะตัวบุคคลได้ (≥ 12 จุด)

2.4 การทดสอบด้วยวิธีปั๊มผงสีดำ

ทำการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะตัวอย่างชุดที่ 2 ด้วยเทคนิคผงฝุ่นดำซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยใช้พู่กันปั๊มผงฝุ่นดำลงบนพื้นผิวที่มีรอยลายนิ้วมือแฝง อย่างสม่ำเสมอ จากนั้น เป่าผงฝุ่นส่วนเกินออกและบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลในสถานะเดียวกันกับวิธี PCS Gel ทุกประการ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลได้อย่างเป็นธรรมและน่าเชื่อถือ ส่งให้ผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือแฝงตรวจหาลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ให้คะแนนโดยผู้เชี่ยวชาญและนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากวิธี PCS Gel โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการคัดเลือกสูตร PCS Gel ที่เหมาะสม

จากการทบทวนวรรณกรรมในส่วนบทนำพบว่า พื้นผิวโลหะอลูมิเนียมสีเข้ม ทั้งสีชาและสีดำ เป็นวัสดุที่มักพบในที่พักอาศัยและสถานที่เกิดเหตุ เช่น กรอบประตู หน้าต่าง และวัสดุตกแต่งภายใน ซึ่งการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวดังกล่าวด้วยวิธีบัดผงสีดำแบบดั้งเดิมนั้นทำได้ยาก เนื่องจากสีพื้นผิวที่เข้มทำให้ไม่สามารถสร้างคอนทราสต์ที่ชัดเจนระหว่างผงฝุ่นและพื้นผิวได้ ดังที่ได้รับการยืนยันจากงานวิจัยของ Jasuja et al. (2011) และ Jasuja and Singh (2017) ที่แสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีประสิทธิภาพในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะได้ดีกว่าวิธีการบัดผงฝุ่น ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงเลือกพัฒนาและทดสอบวิธี PCS Gel บนพื้นผิวอลูมิเนียมสีชาและสีดำโดยเฉพาะ

ในการศึกษานี้ได้จัดเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบเจล โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวแผ่นอลูมิเนียมสีชาและสีดำ งานวิจัยนี้ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์หลัก ซึ่งมีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวสแตนเลส และอลูมิเนียมได้ (Ahmad et al., 2019) นอกจากนี้ ได้เพิ่มสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์และมีสีม่วงเข้มที่มองเห็นได้ชัดเจน เพื่อเพิ่มคอนทราสต์และความชัดเจนของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวสีเข้ม และได้เติมผงซิลิกา (SiO_2) เพื่อปรับสภาพสารละลายให้มีความหนืดเป็นเจล ทำให้สามารถทาและยึดติดบนพื้นผิวได้ดี รวมถึงสะดวกต่อการใช้งานบนพื้นผิวที่อยู่สูงหรือไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้

ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และผงซิลิกาที่เหมาะสม ได้แก่ สารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 0.5 %w/v สารละลาย KMnO_4 ความเข้มข้น 2.5 %w/v และผงซิลิกาปริมาณ 5 กรัม ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์รวมทั้งหมด 10 มิลลิลิตร โดยผงซิลิกาในปริมาณดังกล่าวทำให้สารละลายเปลี่ยนสภาพเป็นเจลที่เป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถเตรียมได้ในเวลาประมาณ 5 นาที สูตรนี้ได้รับการคัดเลือกเนื่องจากใช้ปริมาณ CaCl_2 น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น และให้ผลการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงที่ดีที่สุดบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีชาและสีดำ โดยได้รับการประเมินคะแนนคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจลายนิ้วมือแฝงอยู่ในระดับ 4 (คุณภาพดี) ดังแสดงตัวอย่างผลคะแนนการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีชาจากสูตรต่างๆ ใน Table 2

Table 2 Chemical reagents used in the experiment and evaluation of fingerprint impressions on brown aluminum surfaces

KMnO_4 (%w/v)	CaCl_2 (%w/v)	Silica Powder (g) in 10 ml solution	Quality Score
2.5	0.5	5	4
2.5	1	5	4
2.5	1.5	5	4
2.5	2	5	4
2.5	2.5	5	3
2.5	3	5	2
2.5	3.5	5	3
2.5	4	5	3
2.5	4.5	5	3
2.5	5	5	3

3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทา PCS Gel

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทา PCS Gel เพื่อให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏชัดเจนที่สุดบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีดำและสีชา ดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 ตามลำดับ พบว่า พื้นผิวอลูมิเนียมสีดำมีระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 25 นาที และพื้นผิวอลูมิเนียมสีชา มีระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 20 นาที โดยทั้งสองกรณีให้คะแนนคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงสูงสุด ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ระยะเวลา 25 นาที เป็นเวลามาตรฐานสำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ให้ผลดีที่สุดและครอบคลุมพื้นผิวอลูมิเนียมสีเข้มทั้งสองชนิด

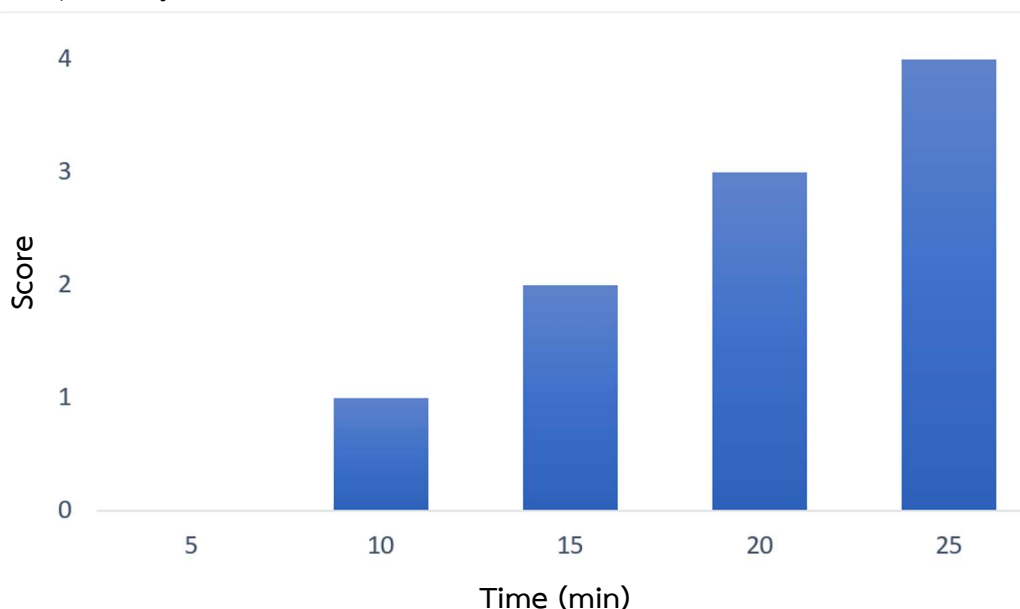


Figure 1 A graph illustrating the correlation between fingerprint impression quality, represented by scoring levels, and the application time of PCS Gel on black aluminum surfaces

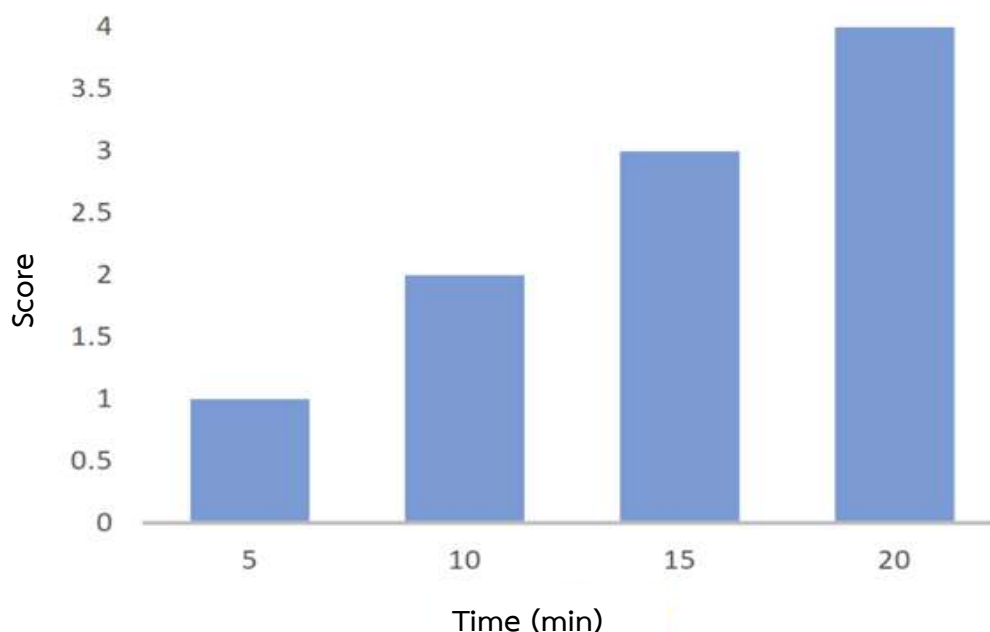


Figure 2 A graph illustrating the correlation between the quality of fingerprint impressions, represented by scoring levels, and the application time of PCS gel on brown aluminum surfaces

3.3 ผลการศึกษาการใช้ไฟฉายหลายความถี่

จากการศึกษาการใช้ไฟฉายหลายความถี่ในการถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีดํา (Figure 3) และอลูมิเนียมสีขา (Figure 4) โดยใช้ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ แสงขาว แสงม่วง (415 นาโนเมตร) แสงน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) แสงเขียว (505 นาโนเมตร) แสงเหลือง (530 นาโนเมตร) แสงส้ม (590 นาโนเมตร) และแสงแดง (650 นาโนเมตร) ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า แสงสีน้ำเงิน ($\lambda = 450$ นาโนเมตร) ให้ผลดีที่สุดในการเพิ่มความชัดเจนของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีเข้มทั้งสองชนิด ดังแสดงใน Table 3

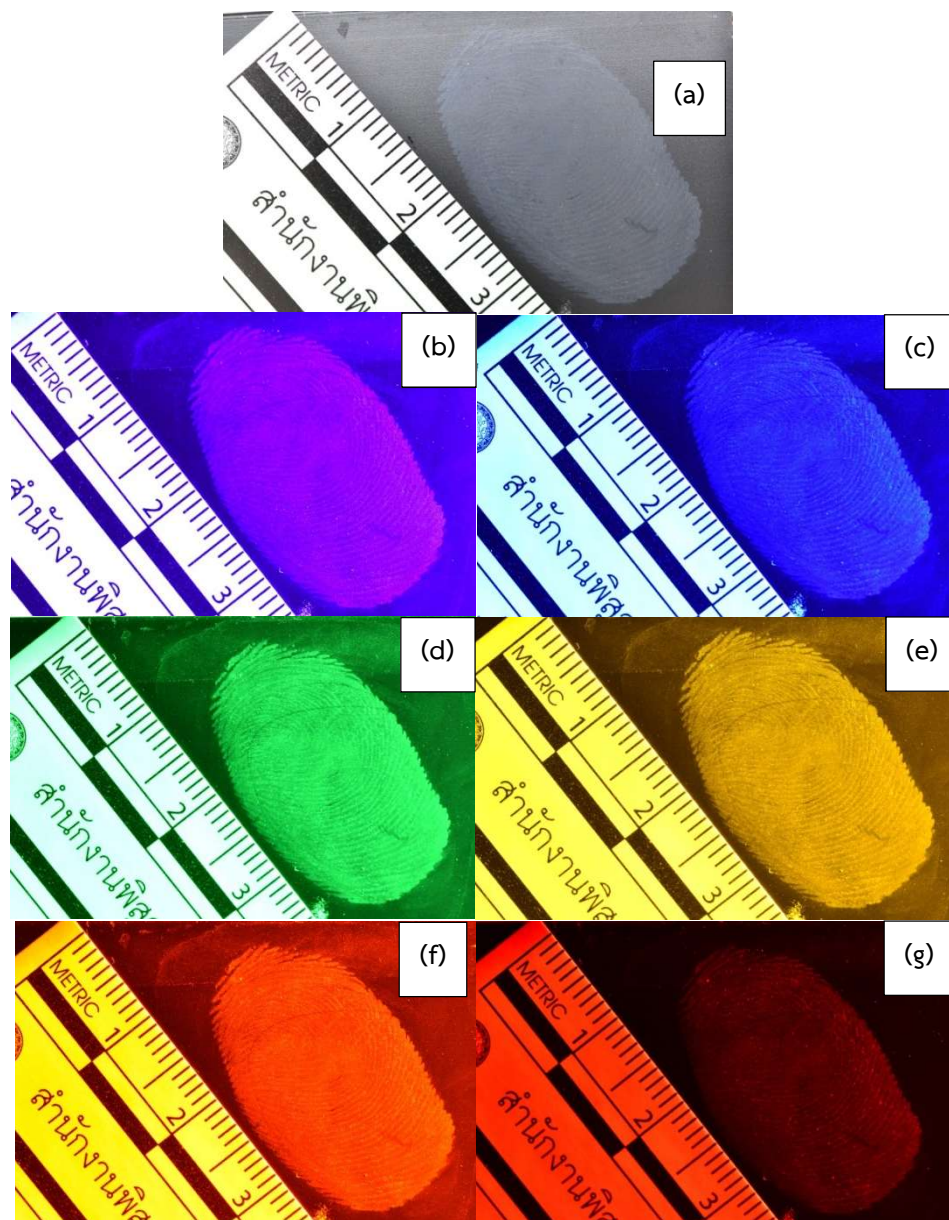


Figure 3 Latent fingerprint impressions on black aluminum surfaces developed using the optimized PCS gel formula, scoring 4, observed under: (a) white light, (b) violet light (415 nm), (c) blue light (450 nm), (d) green light (505 nm), (e) yellow light (530 nm), (f) orange light (590 nm), and (g) red light (650 nm).

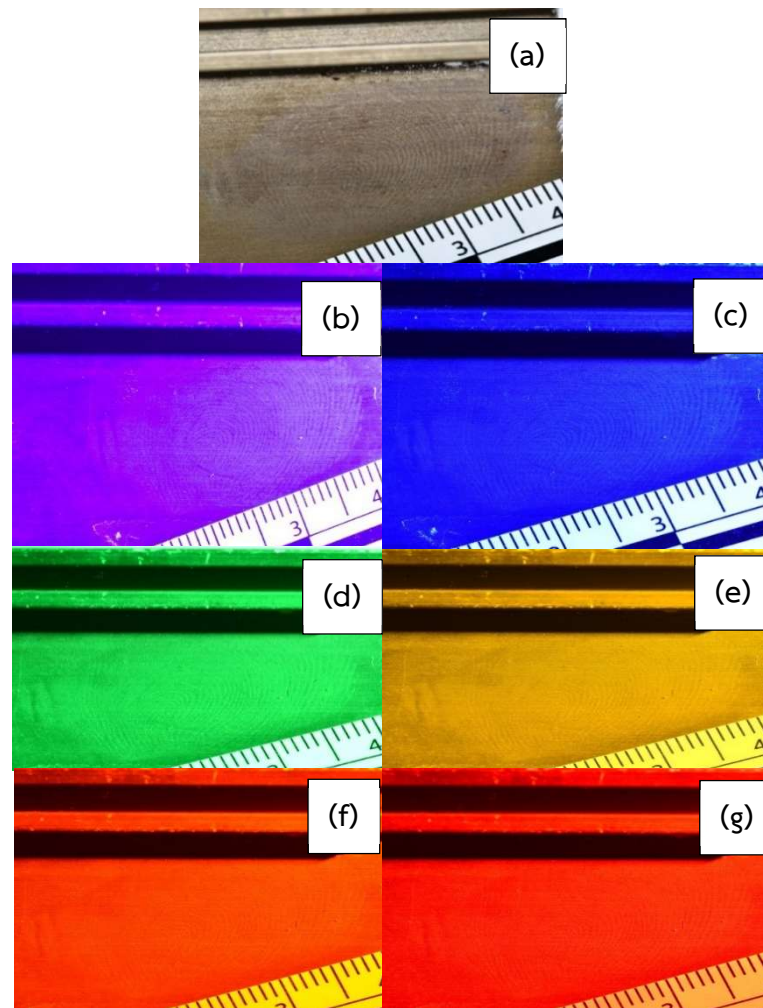


Figure 4 Latent fingerprint impressions on brown aluminum surfaces developed using the optimized PCS gel formula, scoring 4, observed under: (a) white light, (b) violet light (415 nm), (c) blue light (450 nm), (d) green light (505 nm), (e) yellow light (530 nm), (f) orange light (590 nm), and (g) red light (650 nm).

Table 3 Summary of latent fingerprint quality scores using different flashlight frequencies on black anodized aluminum and bronze anodized aluminum surfaces

Wavelength	Black Anodized Aluminum Surface (Mean Score)	Bronze Anodized Aluminum Surface (Mean Score)
White Light	4	4
Violet (415 nm)	4	4
Blue (450 nm)	5	5
Green (505 nm)	4	4
Yellow (530 nm)	3	3
Orange (590 nm)	3	3
Red (650 nm)	3	3

เมื่อใช้แสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) สามารถตรวจพบจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงใน Figure 5 (อลูมิเนียมสีดำ) และ Figure 6 (อลูมิเนียมสีเทา) เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายภายใต้แสงขาว ทั้งนี้เนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการสร้างคอนทราสต์ระหว่างรอยลายนิ้วมือแฝงที่ถูกออกซิไดซ์โดย KMnO_4 กับพื้นผิวโลหะสีเข้ม

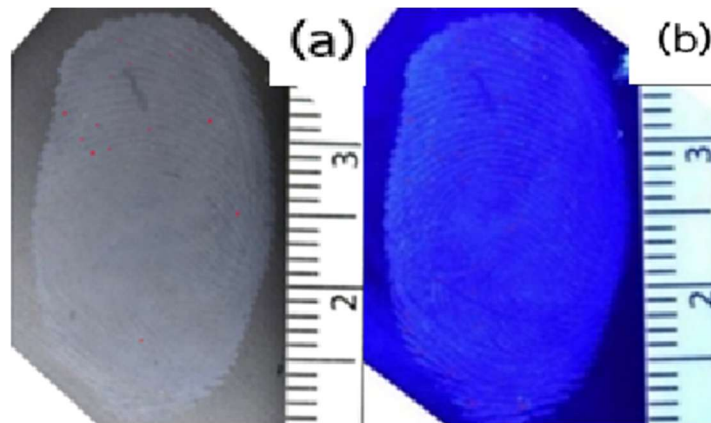


Figure 5 Key features of latent fingerprint impressions on black aluminum surfaces, compared under (a) white light and (b) blue light (450 nm).

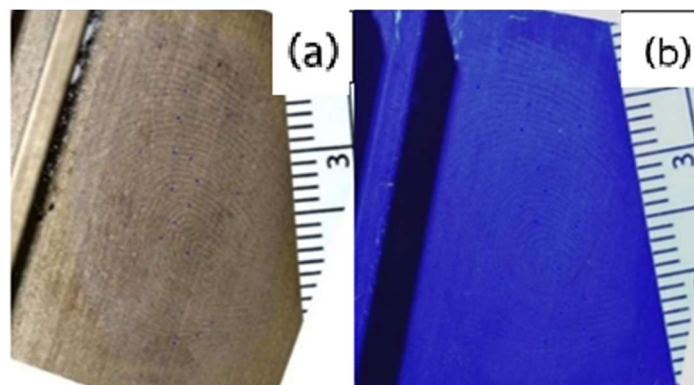


Figure 6 Key features of latent fingerprint impressions on brown aluminum surfaces, compared under (a) white light and (b) blue light (450 nm).

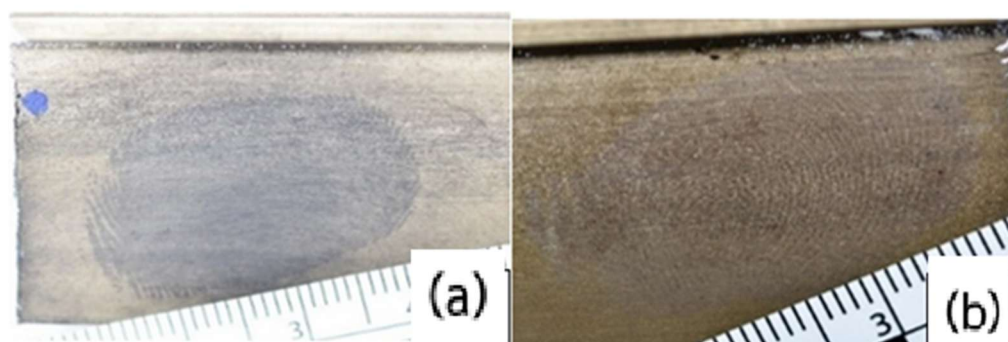


Figure 7 Latent fingerprint impressions on brown aluminum surfaces, compared between (a) the black powder method and (b) the PCS gel method.

3.4 ผลการเปรียบเทียบวิธี PCS Gel กับวิธีปัดฝุ่นผงสีดำ

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธี PCS Gel เปรียบเทียบกับวิธีปัดฝุ่นผงสีดำซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านได้ทำการประเมินคะแนนคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงจากทั้งสองวิธี ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Comparison of latent fingerprint quality scores between the PCS gel method and the black powder dusting method on bronze anodized aluminum surfaces.

Method	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Mean Score	Interpretation
PCS Gel + Blue Light (450 nm)	5	5	4	4.67	Excellent Quality
Black Powder Dusting	0	0	0	0	No Ridge Detail

จาก Table 4 และ Figure 7 พบว่า วิธีปัดฝุ่นผงสีดำ ไม่สามารถตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีชาได้เลย (คะแนนเฉลี่ย = 0) เนื่องจากพื้นผิวสีเข้มทำให้ผงฝุ่นสีดำไม่สามารถสร้างคอนทราสต์ที่ชัดเจนได้ ในขณะที่วิธี PCS Gel ร่วมกับการใช้แสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) ให้คะแนนคุณภาพเฉลี่ยสูงถึง 4.67 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก สามารถตรวจพบจุดลักษณะสำคัญพิเศษได้มากกว่า 12 จุด เพียงพอสำหรับการยืนยันตัวบุคคลในกระบวนการยุติธรรม

เมื่อวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพของวิธี PCS Gel สูงกว่าวิธีปัดฝุ่นผงสีดำอย่างชัดเจน (4.67 เทียบกับ 0.00) แสดงให้เห็นว่าวิธี PCS Gel มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีมาตรฐานในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวโลหะสีเข้มอย่างมีนัยสำคัญ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีชาและสีฟ้า ซึ่งเป็นพื้นผิวที่มักพบเจอในบ้านที่อยู่อาศัยและในสถานที่เกิดเหตุ การตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมที่มีสีเข้มมักทำได้ยากด้วยวิธีมาตรฐาน งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธี PCS gel เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 2 ประเด็นหลัก ดังนี้

ประเด็นที่ 1 สูตรและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่าสูตร PCS gel ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีเข้ม ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 %w/v โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 2.5 %w/v และผงซิลิกาปริมาณ 5 กรัม ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการทิ้งไว้หลังจากทา PCS gel บนพื้นผิวเป็นเวลา 25 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏชัดเจนและมีความคมชัดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจลายรอยนิ้วมือแฝงให้คะแนนถึง 4 คะแนน ซึ่งเป็นระดับที่สามารถนำมาใช้ยืนยันตัวบุคคลได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jasuja et al. (2011), Jasuja and Singh (2017) และ Jasuja and Singh (2020) ที่ศึกษาการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวต่าง ๆ นอกจากนี้ PCS gel มีลักษณะเป็นเจลที่สามารถเตรียมได้ในระยะเวลาอันสั้น เกาติดบนพื้นผิวอลูมิเนียมได้ดี และสามารถใช้กับพื้นผิวขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่เกิดเหตุจริง

ประเด็นที่ 2 แสงและความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุด จากการศึกษาเปรียบเทียบแสงในความยาวคลื่นต่าง ๆ พบว่า การใช้ไฟฉายหลายความถี่ที่ให้แสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการถ่ายภาพและตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏบนพื้นผิวอลูมิเนียมสีเข้ม เนื่องจากสามารถเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝง และช่วยในการตรวจหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (minutiae) ได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผงฝุ่นดำซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝง พบว่าการใช้วิธี PCS gel ร่วมกับไฟฉายหลายความถี่ที่ให้แสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ให้ผลการตรวจที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ จึงนับเป็นวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ได้อย่างเหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ “ทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขานิติวิทยาศาสตร์ จากกองทุนพัฒนามหาวิทยาลัย ศิลปากรในส่วนของคณะวิทยาศาสตร์ สาขานิติวิทยาศาสตร์” จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สัญญาเลขที่ SC-FS-2567-01

6. เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, A. A., Alawadhi, A. H., Park, J., Abdou, H. E., & Mohamed, A. A. (2019). Evaluation of diazonium gold (III) salts in forensic chemistry: Latent fingerprint development on metal surfaces. *Forensic Chemistry*, 13, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100144>
- Chamsuwanwong, A. (2003). *Forensic science 1 for crime investigation* (4th ed.). TCG Printing. [in Thai]
- Divya, V., Agrawal, B., Srivastav, A., Bhatt, P., Bhowmik, S., Agrawal, K. Y., & Maity, P. (2018). Fluorescent amphiphilic silica nanopowder for developing latent fingerprints. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 52(3), 354–367. <https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1533036>
- Fairley, C., Bleay, S. M., Sears, V. G., & NicDaeid, N. (2012). A comparison of multi-metal deposition processes utilising gold nanoparticles and an evaluation of their application to 'low yield' surfaces for finger mark development. *Forensic Science International*, 217, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.018>
- Jasuja, O. P., & Singh, K. (2017). Visualizing latent fingermarks by aqueous electrolyte gel on fixed aluminum and steel surfaces. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 50(4), 181–196. <https://doi.org/10.1080/00085030.2017.1371435>
- Jasuja, O. P., Singh, G., & Almog, J. (2011). Development of latent fingermarks by aqueous electrolytes. *Forensic Science International*, 207, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.10.011>
- Komalasari, I., Krismastuti, F. S. H., Elishian, C., Handayani, E. M., Nugraha, W. C., & Kettrin, R. (2017). Straightforward fabrication of black nano silica dusting powder for latent fingerprint imaging. *AIP Conference Proceedings*, 1904(1), 020045. <https://doi.org/10.1063/1.5011902>
- LeŚniewski, A. (2016). Hybrid organic–inorganic silica-based particles for latent fingermarks development: A review. *Synthetic Metals*, 222, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2016.03.032>
- Li, F., Li, H., & Cui, T. (2017). One-step synthesis of solid state luminescent carbon-based silica nanohybrids for imaging of latent fingerprints. *Optical Materials*, 73, 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.09.004>
- Meng, L., Ren, Y., Zhou, Z., Li, C., Wang, C., & Fu, S. (2020). Monodisperse silica nanoparticle suspension for developing latent blood fingermarks. *Forensic Sciences Research*, 5(1), 38–46. <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1446721>
- Ramos, A. S., & Vieira, M. T. (2012). An efficient strategy to detect latent fingermarks on metallic surfaces. *Forensic Science International*, 217(1–3), 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.10.047>
- Rohatgi, R., & Kapoor, A. K. (2016). Development of latent fingerprints on wet non-porous surfaces with SPR based on basic fuchsin dye. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(2), 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2015.05.007>

- Rohatgi, R., Sodhi, G. S., & Kapoor, A. K. (2015). Small particle reagent based on crystal violet dye for developing latent fingerprints on non-porous wet surfaces. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 5(4), 162–165. <https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2014.08.005>
- Singh, K., & Jasuja, O. P. (2020). *Visualization of latent fingerprints by aqueous electrolytes: New developments*. *Turkish Journal of Forensic Science and Crime Studies*, 2(2), 155–170.
- Singh, K., Sharma, S., & Garg, R. K. (2013). Visualization of latent fingerprints using silica gel G: A new technique. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 3(1), 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2012.09.001>
- Song, K., Huang, P., Yi, C., Ning, B., Hu, S., Nie, L., Chen, X., Chen, Z., & Nie, Z. (2015). Photoacoustic and colorimetric visualization of latent fingerprints. *ACS Nano*, 9(12), 12344–12348. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b05629>
- Yao, K. M., Xu, M., Huang, X. Z., Mo, D. C., & Lyu, S. S. (2023). Electrochemical deposition of copper films to develop the latent sebaceous fingerprints on metal substrates. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 941, 117526. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2023.117526>
- Yuan, C., Li, M., Wang, M., & Zhang, L. (2018). Cationic dye–diatomite composites: Novel dusting powders for developing latent fingerprints. *Dyes and Pigments*, 153, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.01.055>