# อิทธิพลของตัวทำละลาย เซลลูโลสชนิดเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรตในสารละลายนินไฮดรินต่อการตรวจจับลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน

# Influence Of Solvent, Cellulose Acetate Butyrate in Ninhydrin Solution on The Detection of Latent Fingerprints on Thermal Paper

*มัทนพร สาหร่าย,[1] กุลนาถ ชนาชินรัฐ[2] และสุธินี เกิดเทพ[3*]*

***Muttanaporn Sarai, [1] Gulanat Chanachinrat [2] and Sutinee Girdthep[3*]***

*Received 20 May 2024, Revised 7 August 2024, Accepted 7 August 2024*

## ABSTRACT

This research studies the influence of solvent, cellulose acetate butyrate in ninhydrin solution on the detection of latent fingerprints on thermal paper. Thermal paper is often used as financial evidence in bank automatic teller machine (ATM) transactions and as receipts from convenience stores. These receipts are considered as forensic evidence that can help detect the fingerprints of suspects. The study found that acetone discolors thermal paper more brown-black than petroleum either. Adding cellulose acetate butyrate (CAB) to both types of ninhydrin solution, it was found that the brown-black color of the thermal paper had decreased. Optimal concentration of CAB in solution of acetone/ninhydrin and petroleum ether/ninhydrin were 1.0 and 0.5 %wt., respectively. It suggested the whiteness index of the thermal paper being 80.78 ± 3.63 % and 61.28 ± 11.89 %, respectively. In addition, the latent fingerprints examined with all types of ninhydrin solution in this research before and after the ageing study at different times showed that the minutiae of latent fingerprints were similar to using the forensic ninhydrin solution. It was found that the minutiae of latent fingerprints showed a value more than 10 points, which could use to verify a person. Moreover, the CAB incorporation indicated that the rate of decline of minutiae of latent fingerprints decreased, especially in the case of 0.5 % wt. CAB/ ninhydrin/ petroleum ether. The ninhydrin solution in this research is considered an alternative

[1] สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
Department of Forensic science, Faculty of Science, Silpakorn University Sanam Chandra Palace Campus, Phra Pathommachedi, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

[2] กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 ต.ถนนขาด อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
Latent fingerprint Sub-Division, Police Forensic Science Center 7, Thanon Khad, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

[3*] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Phra Pathommachedi, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

[*] Corresponding author: E-mail address: S.GIRDTHEP@gmail.com, GIRDTHEP_S@SU.ac.th

method for detecting latent fingerprints on thermal paper by manually counting minutiae with the naked eye, without using an AFIS machine. In addition, it is inexpensive in chemical composition and easier to prepare.

**Keywords:** Cellulose acetate butyrate, Ninhydrin, Minutiae, Thermal paper, Forensic ninhydrin solution.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลาย เซลลูโลสชนิดเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรตในสารละลายนินไฮดรินต่อการตรวจจับลายนิ้วมือแฝงลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน โดยกระดาษความร้อนมักถูกใช้เป็นหลักฐานทางการเงินในการทำธุรกรรมผ่านเครื่องรับจ่ายเงินอัตโนมัติ (เอทีเอ็ม) ของธนาคาร และใช้เป็นใบเสร็จจากการซื้อสินค้าที่ร้านสะดวกซื้อ ใบเสร็จเหล่านี้ถือเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยตรวจจับลายนิ้วมือของผู้ต้องสงสัยได้ จากการศึกษาพบว่าอะซิโตนทำให้กระดาษความร้อนมีสีที่เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล-ดำมากกว่าปิโตรเลียม อีเทอร์ โดยเมื่อเติมเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรต (CAB) ลงไปในสารละลายนินไฮดรินทั้งสองชนิด พบว่าคราบดำของกระดาษความร้อนลดลง โดยที่ปริมาณ CAB ที่เหมาะสมในสารละลาย acetone/ninhydrin และ petroleum ether/ninhydrin ได้แก่ 1.0 และ 0.5 %wt. ตามลำดับ โดยแสดงค่าดัชนีความขาวของกระดาษความร้อนเท่ากับ 80.78 ± 3.63 % และ 61.28 ± 11.89 % ตามลำดับ นอกจากนี้ลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจด้วยน้ำยานินไฮดรินทุกสูตรก่อนและหลังการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงที่เวลาต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงที่ใช้สารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยพบว่ามีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษนั้นมีค่าเกินกว่า 10 จุดซึ่งสามารถใช้ระบุตัวบุคคลได้ อีกทั้งการเติม CAB ชี้ให้เห็นว่าอัตราการลดลงของจุดลักษณะสำคัญพิเศษลดลงโดยเฉพาะกรณีของ 0.5 %wt. CAB/ninhydrin/petroleum ether น้ำยานินไฮดรินในงานวิจัยนี้ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนด้วยการนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยตาเปล่าได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องเอฟิส นอกจากนี้มันมีองค์ประกอบของสารเคมีที่ไม่แพงและง่ายต่อการเตรียมอีกด้วย

**คำสำคัญ:** เซลลูโลสชนิดเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรต นินไฮดริน จุดลักษณะสำคัญพิเศษ กระดาษความร้อน สารละลายนินไฮดรินในงานนิติวิทยาศาสตร์

## คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาเศรษฐกิจไม่ว่าจะเป็น ปัญหาทางด้านการเมือง ภัยธรรมชาติ ขาดแคลนเงินทุน ราคาน้ำมัน วิกฤตเศรษฐกิจของประเทศคู่ค้า ความตกต่ำของเศรษฐกิจโลก จึงก่อให้เกิดปัญหาการก่ออาชญากรรมต่าง ๆ ตามมาอย่างมาก Edmund Locard นักนิติวิทยาศาสตร์และศาสตราจารย์ทางอาชญาวิทยาชาวฝรั่งเศสที่เชื่อว่าทุกการสัมผัสมีการทิ้งร่องรอย (Every contact leaves a trace) โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่างๆ มีหลักการ คือ เมื่อวัตถุสองชิ้นสัมผัสกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้นเกิดเป็นวัตถุพยานที่เกี่ยวข้องในสถานที่เกิดเหตุสามารถนำมาใช้สืบสวนหาตัวผู้กระทำความผิดได้ (Inman & Rudin, 2000) วัตถุพยานที่สามารถพบได้ในที่เกิดเหตุมีหลายประเภท เช่น รอยลายนิ้วมือแฝง สารพันธุกรรม รอยเฉี่ยวชน รอยงัดแงะ รวมถึงรอยประทับต่าง ๆ โดยรอยลายนิ้วมือแฝงจัดเป็นวัตถุพยานที่มีโอกาสพบได้ง่ายและมีความสำคัญอย่างมาก สามารถนำไปใช้ในการระบุตัวบุคคลผู้เกี่ยวข้องกับสถานที่เกิดเหตุได้ เนื่องจากลายนิ้วมือ ฝ่ามือและฝ่าเท้ามีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคลไม่ซ้ำกัน และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต (Ashbaugh, 1989) รูปแบบลายนิ้วมือของบุคคลที่

ปรากฏอยู่บนผิวหนังมีการพัฒนาเกิดขึ้นตั้งแต่เป็นตัวอ่อนอยู่ในครรภ์มารดา เซลล์ในส่วนที่พัฒนาขึ้นเป็นผิวหนังมีความเกี่ยวพันของเนื้อเยื่อบริเวณชั้นหนังแท้ (Dermis) และชั้นหนังกำพร้า (Epidermis) ในชั้น Basal Layer ดังนั้นเมื่อผิวหนังนิ้วมือมีความเสียหายเกิดขึ้นจากการขูดขีด การกัดกร่อน หรือถูกของมีคมบาดจึงไม่สามารถทำให้รูปแบบของลายนิ้วมือเปลี่ยนแปลงไปได้ (Polson, 1950) เซลล์ในชั้น Basal Layer จะแบ่งตัวเพื่อสร้างเซลล์ผิวหนังขึ้นใหม่ในรูปแบบเดิมทดแทนเซลล์ผิวหนังเก่าที่เสียหาย และดันให้หลุดลอกออกไป จึงสามารถนำคุณสมบัติของลายนิ้วมือไปใช้ในการยืนยันตัวบุคคลได้อย่างแม่นยำ ลายนิ้วมือที่พบในสถานที่เกิดเหตุมี 2 ประเภท คือ ลายนิ้วมือที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น รอยประทับของลายนิ้วมือเปื้อนฝุ่น เปื้อนเลือด คราบน้ำมัน และลายนิ้วมือที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากรอยประทับของลายนิ้วมือที่มีสารคัดหลั่งธรรมชาติที่มาจากต่อมเหงื่อ (Sweat gland) ต่อมไขมัน (Sebaceous gland) และไขมันจากผิวหนัง (Sirirat, 2013) ลงบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ เช่น กระจก พลาสติก กระดาษ ฯลฯ ลายนิ้วมือที่มองเห็นได้ยากด้วยตาเปล่านี้เรียกว่าลายนิ้วมือแฝง

ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเป็นวัตถุพยานที่พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดรูปแบบต่าง ๆ สามารถพบได้ทั้งลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษทั่วไป และลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน หรือกระดาษเทอร์มอล (Thermal paper) งานวิจัยนี้จึงศึกษาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนเนื่องจาก กระดาษความร้อนโดยกระดาษความร้อนมักถูกใช้เป็นหลักฐานทางการเงินในการทำธุรกรรมผ่านเครื่องรับจ่ายเงินอัตโนมัติ (เอทีเอ็ม) ของธนาคาร และใช้เป็นใบเสร็จจากการซื้อสินค้าที่ร้านสะดวกซื้อ ใบเสร็จเหล่านี้ถือเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยตรวจจับลายนิ้วมือของผู้ต้องสงสัยได้

สำหรับการตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนนั้นโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีนินไฮดริน (Ninhydrin method) ในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนวัสดุพื้นผิวที่มีรูพรุนจำพวกกระดาษ นินไฮดรินเป็นสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในเหงื่อได้เป็นสารประกอบสีม่วงที่เรียกว่า “Ruhemann’s purple” (Chegg, 2010) จึงทำให้ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษปรากฏเป็นลายเส้นสีม่วงได้อย่างชัดเจน เทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำและได้สารเคมีสำหรับตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงที่มีประสิทธิภาพ วิธีการเตรียมสารละลายนินไฮดรินทำได้ง่าย สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอะซิโตน (Acetone) ซึ่งเป็นสารเคมีทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่แพง

การใช้นินไฮดรินตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนแม้ว่าจะได้ลายเส้นนิ้วมือสีม่วงเช่นเดียวกับกระดาษชนิดอื่น แต่พบว่ามีข้อจำกัดประการหนึ่งคือพื้นหลังของกระดาษความร้อนเปลี่ยนสีเข้มขึ้นจนเกือบดำส่งผลให้ความแตกต่างของลายเส้นสีม่วงกับพื้นหลังกระดาษลดลง งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการเกิดรอยดำบนกระดาษความร้อน เมื่อใช้สารละลายนินไฮดรินตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหารอยดำบนพื้นหลังกระดาษความร้อนด้วยการเติมสารพอลิเมอร์ ชนิดต่าง ๆ ผสมลงไปในสารละลายนินไฮดริน เช่น พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinyl pyrrolidone, PVP) (Schwarz & Klenke, 2010) เซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรต (Cellulose Acetate Butyrate, CAB) (Jenjira, 2018) รวมถึงการใช้สารเคมี 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) ผสมกับ PVP (Luo *et al.*, 2013) เพื่อช่วยลดปัญหาการเกิดพื้นหลังสีดำของกระดาษความร้อน

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาการลดการเกิดพื้นหลังสีดำของกระดาษความร้อน เมื่อใช้สารละลายนินไฮดรินตรวจเก็บลายนิ้วมือด้วยการผสมพอลิเมอร์ตระกูลเซลลูโลสชนิด CAB เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับกระดาษซึ่งมีแนวโน้มในความเข้ากันได้ดี (Miscibility) กับพื้นผิวของกระดาษ

ความร้อน นอกจากนี้ CAB ไม่เป็นพิษ และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ที่อยู่ในรูปของอะซิทิล (Acetyl group) จำนวนมากแสดงใน Figure 1

มีงานวิจัยก่อนหน้ามีการรายงานถึงการนำ CAB มาแก้ปัญหาการเกิดคราบตำบนกระดาษความร้อนโดยนำมาผสมใช้เป็นน้ำยานินไฮดรินเพื่อตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝง แต่มีการใช้สารละลายหลายชนิดมากเกินไปรวมถึงยังไม่มีการศึกษาผลของตัวทำละลายเดี่ยวโดยมี CAB เป็นองค์ประกอบเพื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพลายนิ้วมือ (Jenjira, 2018)

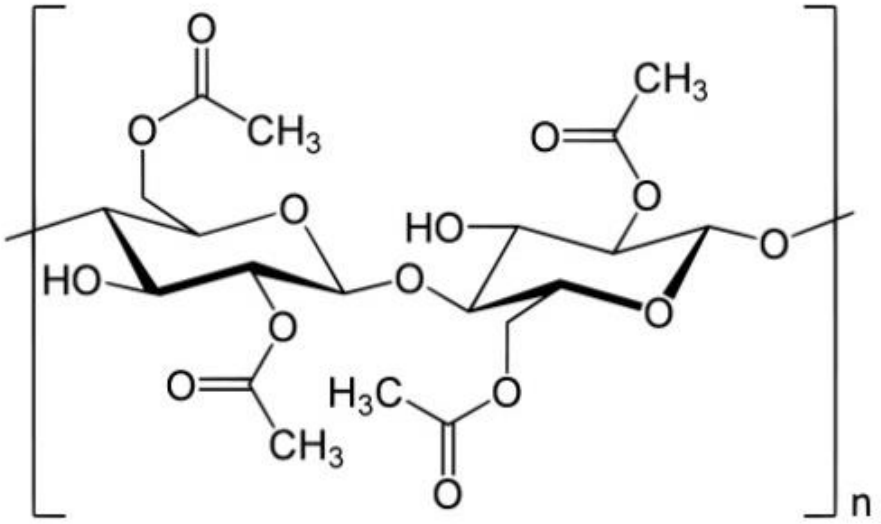


**Figure 1** The chemical structure of repeating unit of CAB.

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดของตัวทำละลายและปริมาณของ CAB ในสารละลายเดี่ยวที่มีผลต่อการเกิดคราบสีดำบนกระดาษความร้อน โดยตัวทำละลายเดี่ยวที่ต่างกัน 2 ชนิดได้แก่ อะซิโตน (Acetone) และปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether) มีการศึกษาการคงอยู่ของรอยลายนิ้วมือเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบคุณภาพของการหาลายนิ้วมือแฝงกับสารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic ninhydrin solution) ที่มีการใช้งานในหน่วยงานพิสูจน์หลักฐานในปัจจุบันด้วย พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้สารละลายนินไฮดรินที่ผสมพอลิเมอร์ CAB ตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนในเทอมของคุณภาพของลายนิ้วมือแฝง ต้นทุน เพื่อแสดงให้เห็นถึงทางเลือกใหม่ในอนาคตในการใช้สารละลายนินไฮดรินที่เตรียมได้ในราคาต่ำลง ลดการนำเข้าสารละลายจากต่างประเทศโดยอาศัยการใช้พอลิเมอร์ CAB มาเป็นส่วนประกอบในการลดรอยดำที่เกิดขึ้น ทางเลือกใหม่ในการตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมสารละลายนินไฮดรินสำหรับตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือบนกระดาษความร้อน

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจเก็บลายนิ้วมือบนกระดาษความร้อนของสารละลายนินไฮดรินถูกเตรียมขึ้นโดยมีองค์ประกอบของ CAB (CAB-500-5, Eastman™ Cellulose Esters,

EASTMAN CHEMICAL COMPANY) โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ อะซิโตน (RCI Labscan™, AR grade, 99.5%) และปิโตรเลียม อีเทอร์ (RCI Labscan™, AR grade) ทั้งนี้เนื่องจากมีการรายงานว่าอะซิโตนมักถูกนิยมใช้ในการเตรียมสารละลายนินไฮดริน (Jenjira, 2018) และปิโตรเลียม อีเทอร์นั้นเป็นตัวทำละลายที่ไม่ละลายหมึกที่ใช้พิมพ์บนกระดาษความร้อน (Jenjira, 2018) สำหรับในการเตรียมสารละลายนินไฮดรินจะคงที่ที่ความเข้มข้น 0.50 %wt ซึ่งอ้างอิงจากความเข้มข้นจากสารละลายนินไฮดรินที่นิยมใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ (Trozzi, 2000) โดยสารละลายนินไฮดรินที่ถูกเตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้มีอัตราส่วนตาม Table 1 โดยที่ 1.0%CAB/Ninhydrin/acetone หมายถึง สารละลายนินไฮดรินนี้มีอะซิโตนเป็นตัวทำละลายโดยมีองค์ประกอบของสารละลายนินไฮ ดรินปริมาณคงที่ที่ความเข้มข้น 0.50 %wt และมี CAB ปริมาณ 1.0 %wt

สำหรับสารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ ถูกเตรียมเพื่อเปรียบเทียบกับสารละลายนินไฮดรินที่มีส่วนผสมของ CAB เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตรวจสอบลายนิ้วมือ มีวิธีการเตรียมโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเตรียมสารละลายนินไฮดรินเข้มข้น (Ninhydrin stock solution) และสารละลายทำงาน (Working solution) สำหรับสารละลายเข้มข้นจะละลายนินไฮดริน 35.00 ก. ในเอทานอลบริสุทธิ์ (Ethanol absolute) จำนวน 425.00 มล. กวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมสารละลายเอทิล อะซิเตท (Ethyl Acetate) จำนวน 35.00 มล. และกรดอะซีติก (Acetic Acid) จำนวน 40.00 มล.กวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ประมาณ 10 นาที จะได้สารละลายนินไฮดรินเข้มข้น จากนั้นเก็บสารละลายที่ได้ใส่ขวดสีชาและเก็บไว้ในที่ทึบแสง (Sompat, 2017) เมื่อต้องการนำไปตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝงจะมีการเตรียมเป็นสารละลายทำงานโดยนำสารละลายนินไฮดรินเข้มข้นที่เตรียมได้ 65.00 มล. เติมลงในสารละลายเฮกซะฟลูออโรโพรพิลเมทิลอีเทอร์ (Hexafluoropropyl methyl ether, HFE) จำนวน 935.00 มล. กวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันจะได้เป็นสารละลายทำงานสำหรับตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝง (ความเข้มข้นของนินไฮดรินเท่ากับ 0.5 %wt) เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาและเก็บไว้ในที่ทึบแสง (Sompat, 2017)

**Table 1** Prepared ninhydrin solutions

| | **CAB content (%wt)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.50 %wt of ninhydrin in acetone | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 |
| 0.50 %wt of ninhydrin in petroleum ether | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | n/d |
| Forensic ninhydrin solution (Ninhydrin stock solution + Working solution) | | | | | | | |

*n/d, CAB could not dissolve.

**2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจเก็บลายนิ้วมือบนกระดาษความร้อน**

**2.1 การศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อน**

ในการศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อนจะทำโดยการนำกระดาษความร้อน โดยจุ่มสารละลายเดี่ยวแต่ละชนิด (อะซิโตน และ ปิโตรเลียม อีเทอร์) จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 วินาที ทำการบันทึกภาพลักษณะปรากฏของกระดาษความร้อนด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อ Samsumg รุ่น Galaxy S22 plus ความละเอียดกล้อง 50 ล้านพิกเซล จากนั้นนำกระดาษความร้อนก่อนและหลังการจุ่มลงในตัวทำละลายมาตรวจสอบค่าดัชนีความขาว (Whiteness, WI) ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีหัววัดตัวอย่างของแข็ง (UV-Visible Spectrophotometer with

solid probe, Cary 60, Agilent) โดยค่าที่ได้จะรายงานในหน่วย % โดยที่ หากกระดาษมีความขาวมากจะแสดงค่าที่มาก โดยวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

**2.2 การศึกษาผลของเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรตในสารละลายนินไฮดรินที่มีต่อการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน**

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจเก็บลายนิ้วมือบนกระดาษความร้อนจะทำการเตรียมตัวอย่างลายนิ้วมือโดยใช้นิ้วหัวแม่มือขวาประทับ โดยก่อนประทับลายนิ้วมือนั้นให้ใช้นิ้วมือสัมผัสใบหน้าบริเวณจมูกหรือหน้าผากก่อนการประทับ จากนั้นประทับลงบนกระดาษความร้อนยี่ห้อ ONE (Officemate Thai Limited) ที่ตัดเตรียมไว้ (ขนาด 2 x 2 เซนติเมตร) โดยใช้แรงกดประมาณ 500-800 ก. ต่อการประทับและค้างไว้เป็นเวลา 3-5 วินาที จากนั้นทำการตรวจเก็บลายนิ้วมือภายใน 24 ช.ม. (Pacheco *et al*, 2021) ทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ ทำการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน โดยการจุ่มตัวอย่างลายนิ้วมือแฝงลงในสารละลายนินไฮดรินแต่ละชนิด โดยจุ่มสารละลายนินไฮดรินแต่ละชนิดจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 วินาที แล้วผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยงานวิจัยนี้ดำเนินการในช่วงเดือน เมษายน พ.ศ. 2566 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2566 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28 °C – 38 °C โดยประมาณ

จากนั้นทำการบันทึกภาพลักษณะปรากฏของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนด้วยกล้องโทรศัพท์ และทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีความขาว (ทำเช่นเดียวกับ 2.1 การศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อน) โดยเลือกวิเคราะห์กระดาษความร้อนที่บริเวณพื้นหลังหรือบริเวณที่ไม่มีลายนิ้วมือปรากฏ โดยวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพลายนิ้วมือโดยการนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ด้วยเครื่องตรวจสอบลายนิ้วมือกับระบบตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติหรือเอฟิส (Automated Fingerprints Identification System, AFIS) (Gulanat & Sutinee, 2023)

ในการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างไว้ในถุงซิปล็อคพลาสติกใสในที่มืด เนื่องจากต้องการควบคุมตัวอย่างไม่ให้ถูกรบกวนจากปัจจัยที่มาจากแสง และต้องการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงโดยจำลองการเก็บรักษาวัตถุพยานในกรณีที่ยังไม่สามารถถ่ายภาพเข้าระบบตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติได้ในทันที โดยการเก็บในที่มืดนั้นจะเป็นการจำลองจากสภาวะปกติในการปฏิบัติงานของหน่วยงานพิสูจน์หลักฐาน ซึ่งจะศึกษาเป็นระยะเวลา 0 7 14 และ 30 วัน จากนั้นทำการบันทึกภาพลักษณะปรากฏของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนด้วยกล้องโทรศัพท์เมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นตรวจสอบลายนิ้วมือกับสารบบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงถึงปัจจัยและอิทธิพลของ CAB ที่มีต่อสารละลายนินไฮดริน ดังนั้นจึงทำการศึกษาเฉพาะกระดาษเทอร์มอลที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเท่านั้น ส่วนกระดาษเทอร์มอลที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีการนำไปศึกษาต่อในอนาคต

สารละลายนินไฮดรินที่เตรียมขึ้นสูตรที่ดีที่สุดในแต่ละตัวทำละลาย ได้แก่ 1.0 %wt. CAB/Ninhydrin/acetone และ 0.5 %wt. CAB/Ninhydrin/petroleum ether พบว่ามีประสิทธิภาพดีมากที่สุด เมื่อใช้ตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนถูกนำมาประเมินประสิทธิภาพจะพิจารณาจากจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ต้นทุน โดยเปรียบเทียบกับสารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือบนกระดาษความร้อนที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน โดยพิจารณาจากจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษจะต้องมีค่ามากกว่า 10 จุดขึ้นไปจึงจะถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้ยืนยันตัวบุคคลได้ (Attaphol, 2001) อีกทั้งในการปฏิบัติงานของผู้ชำนาญด้านการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือในประเทศไทยกำหนดให้ใช้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไปในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลเช่นกัน นอกจากนี้

ตัวอย่างลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนจะถูกนำไปตกแต่งภาพเพื่อทำการปรับแต่งภาพ (Adobe photoshop, Trial version) ให้มีความคมชัดเพื่อ

พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการตรวจนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยตาเปล่าจากผู้ชำนาญซึ่งถือการทางเลือกในการตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนโดยที่ไม่ต้องอาศัยการใช้เทคนิคเอฟิสด้วย

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย (Average) ส่วนเบี่ยงเบน (Standard deviation) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้หลักสถิติด้วยวิธี ANOVA ด้วยการทดสอบของ Tukey ที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ($p<0.05$) (Girdthep *et al*, 2022)

**Figure 2** Physical appearance of thermal paper (a) before and after being dipped in acetone and petroleum ether solution.

## ผลการทดลอง

### 1. การศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อน

ในการศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อน ได้แสดงลักษณะทางกายภาพของกระดาษความร้อนก่อนการทดสอบโดยใช้สารละลายอะซิโตนและปิโตรเลียม อีเทอร์แสดงใน Figure 2 พบว่าอะซิโตนทำให้กระดาษความร้อนมีสีที่เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล-ดำ (Figure 2b) ในขณะที่กระดาษความร้อนไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อใช้สารละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษความร้อนก่อนการทดสอบ (Figure 2a) โดยสอดคล้องกับค่าดัชนีความขาวของกระดาษความร้อนที่แสดงใน Figure 3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากระดาษความร้อนก่อนการทดสอบมีค่าดัชนีความขาว (Whiteness, WI= 99.20 ± 0.12 %) ที่ลดลงเมื่อมีการใช้สารละลายทั้งสอง โดยที่กระดาษมีความขาวลดลงมากที่สุด ได้แก่ อะซิโตน (WI = 30.24 ± 12.99) > ปิโตรเลียม อีเทอร์ (WI= 98.48 ± 0.80)

### 2. การศึกษาผลของเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรตในสารละลายนินไฮดรินที่มีต่อการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน

เมื่อทำการผสมนินไฮดรินลงไปในสารละลายทั้งสองชนิดคืออะซิโตนและปิโตรเลียม อีเทอร์ เพื่อเตรียมเป็นน้ำยาในการตรวจวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน ลักษณะปรากฏของลายนิ้วมือที่ปรากฏเมื่อใช้สารละลายนินไฮดรินที่ไม่มีและมีพอลิเมอร์ CAB ที่ความ

เข้มข้นต่างๆ แสดงดัง Figure 3 และค่าดัชนีความขาวของกระดาษความร้อนแสดงดัง Figure 4

จาก Figure 4 พบว่า Ninhydrin/acetone มีลักษณะที่มีรอยเปื้อนสีดำรบกวนโดยที่ผลสีดำที่รบกวนนี้ให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อทดสอบในกระดาษ (Figure 2) โดยที่ Ninhydrin/petroleum ether ก็พบว่ากระดาษความร้อนเกิดการเปลี่ยนสีเช่นเดียวกันแต่น้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีความขาวที่แสดงใน Figure 4 ชี้ให้เห็นว่าการผสมนินไฮดรินลงไปในตัวทำละลายโดยไม่มี CAB มีผลทำให้กระดาษความร้อนเปลี่ยนเป็นสีคล้ำได้เพิ่มขึ้น โดยค่าดัชนีความขาวลดลงในอะซิโตน จาก WI = 30.24 ± 12.99 เป็น 12.29 ± 6.04 % และในปิโตรเลียม อีเทอร์ จาก WI = 98.48 ± 0.80 เป็น 50.80 ± 16.67 %

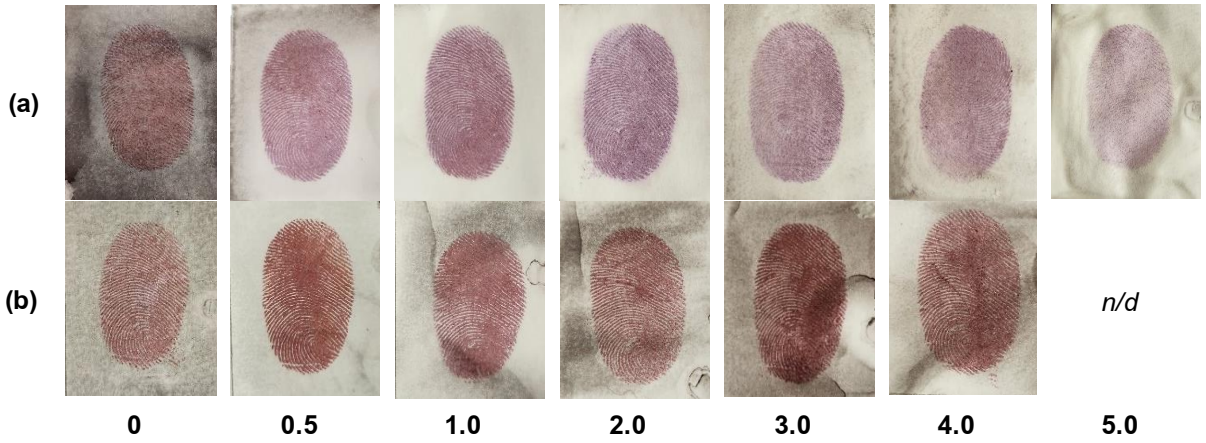


**Figure 3** Physical appearance of latent fingerprints on thermal paper using 0.5 %wt of ninhydrin solution in (a) acetone/ninhydrin and (b) petroleum ether/ninhydrin with difference of CAB concentration (0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0 %wt).

เมื่อเติม CAB ลงไปใน acetone/ninhydrin เป็นปริมาณเพิ่มขึ้นพบว่าพื้นผิวของกระดาษความร้อนมีรอยดำลดลงเมื่อเติม CAB ลงไปเป็นปริมาณ 0.5 %wt และพื้นผิวของกระดาษความร้อนปรากฏรอยดำน้อยที่สุดเมื่อเติม CAB เป็นปริมาณ 1.0 %wt และลักษณะความขาวของกระดาษความร้อนเริ่มลดลงเมื่อเติม CAB เป็นปริมาณ 2.0 %wt โดยลักษณะความขาวที่ปรากฏสอดคล้องกับค่าดัชนีความขาว (WI) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติม CAB เป็นปริมาณ 1.0 %wt ใน acetone/ninhydrin ทำให้ลดการเกิดรอยดำบนกระดาษความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเติม CAB ปริมาณ 2.0 %wt. ขึ้นไป โดยค่า WI มีค่าลดลงจาก 80.78 ± 3.63 เป็น 68.03 ± 3.92 % (Figure 4) นอกจากนี้กระดาษความร้อนมีลักษณะที่แข็งและย่นเพิ่มขึ้นเมื่อเติม CAB เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3 จนถึง 5 %wt ส่งผลให้ลายนิ้วมือแฝงเกิดการโค้งงอตามรูปกระดาษความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ CAB ที่สูงทำให้เกิดเป็นฟิล์ม CAB ที่หนาเคลือบผิวบนกระดาษความร้อน สำหรับ petroleum ether/ninhydrin พบว่ารอยดำปรากฏน้อยที่สุดเมื่อเติม CAB เป็นปริมาณ 0.5 %wt มีค่า WI = 61.28 ± 11.89 % โดยเมื่อเติม CAB เป็นปริมาณเพิ่มขึ้นพบว่ามีรอยดำปรากฏเพิ่มขึ้นด้วย

จากผลข้างต้นจะพบว่าสูตรที่ดีที่สุดเมื่อเลือกจากสารละลายสองชนิด คือ 1.0 %wt CAB/acetone/ninhydrin และ 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether นอกจากนี้พบว่ากระดาษความร้อนเมื่อใช้ 1.0 %wt CAB/acetone/ ninhydrin มีค่า WI ที่มากกว่า 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether ประมาณ 31%

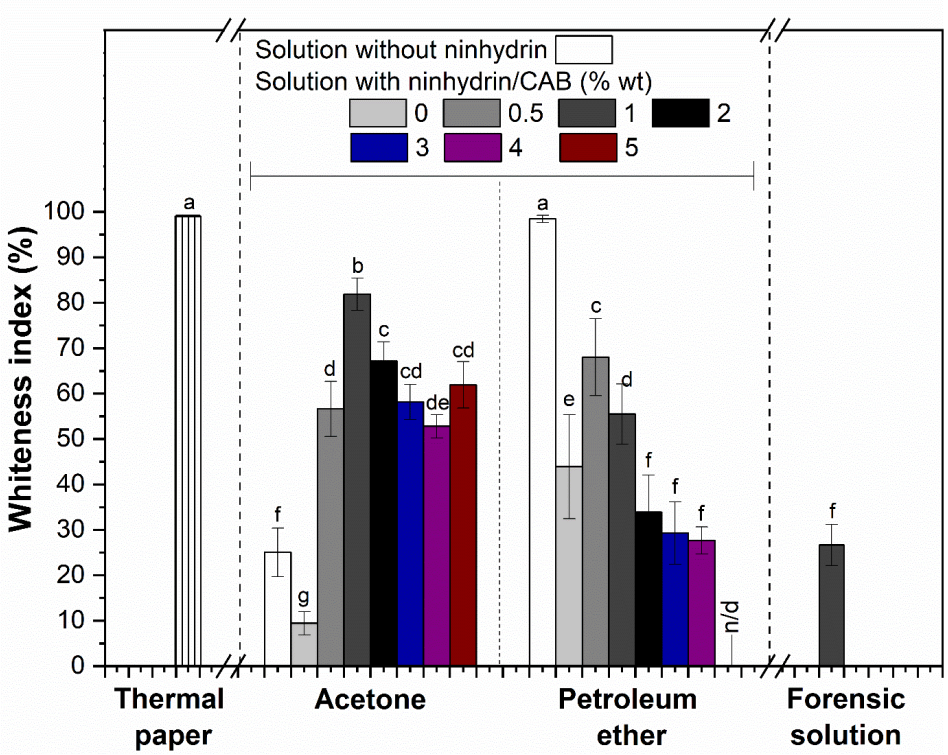


**Figure 4** Whiteness index (%) of thermal paper before and after using acetone and petroleum ether with and without 0.5 %wt of ninhydrin solution and with difference of CAB concentration (0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0 %wt) comparable to forensic solution.

**3. การศึกษาคุณภาพและการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน**

สารละลายนินไฮดรินทั้ง 5 ชนิดที่มีองค์ประกอบของนินไฮดริน 0.5 %wt ได้แก่ petroleum ether/ ninhydrin, acetone/ ninhydrin, 1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone, 0.5 %wt CAB/ ninhydrin/petroleum ether และสารละลายนินไฮ ดริน สำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ ถูกนำมาศึกษาคุณภาพและการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนเมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 0 7 14 และ 30 วัน ลักษณะปรากฏของลายนิ้วมือแฝงเมื่อเวลาผ่านไปแสดงดัง Figure 5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าลักษณะปรากฏของลายนิ้วมือแฝงมีการซีดจางลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะวันที่ 30 สอดคล้องผลของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ และลักษณะจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงจากโดยเปรียบเทียบวันที่ 0 และ 30 ด้วยเทคนิคเอฟิสแสดงดัง Figure 6 และ Figure 7 ตามลำดับ

จาก Figure 6 พบว่าอัตราการลดลงน้อยที่สุดของจุดลักษณะสำคัญพิเศษเมื่อเวลาผ่านไปจากเริ่มต้น (วันที่ 0) จนถึงวันที่ 30 เป็นลำดับ ดังนี้ acetone/ ninhydrin < 0.5 %wt CAB/ ninhydrin / petroleum ether < 1.0 %wt CAB/ ninhydrin / acetone < Forensic ninhydrin solution < petroleum ether/ninhydrin

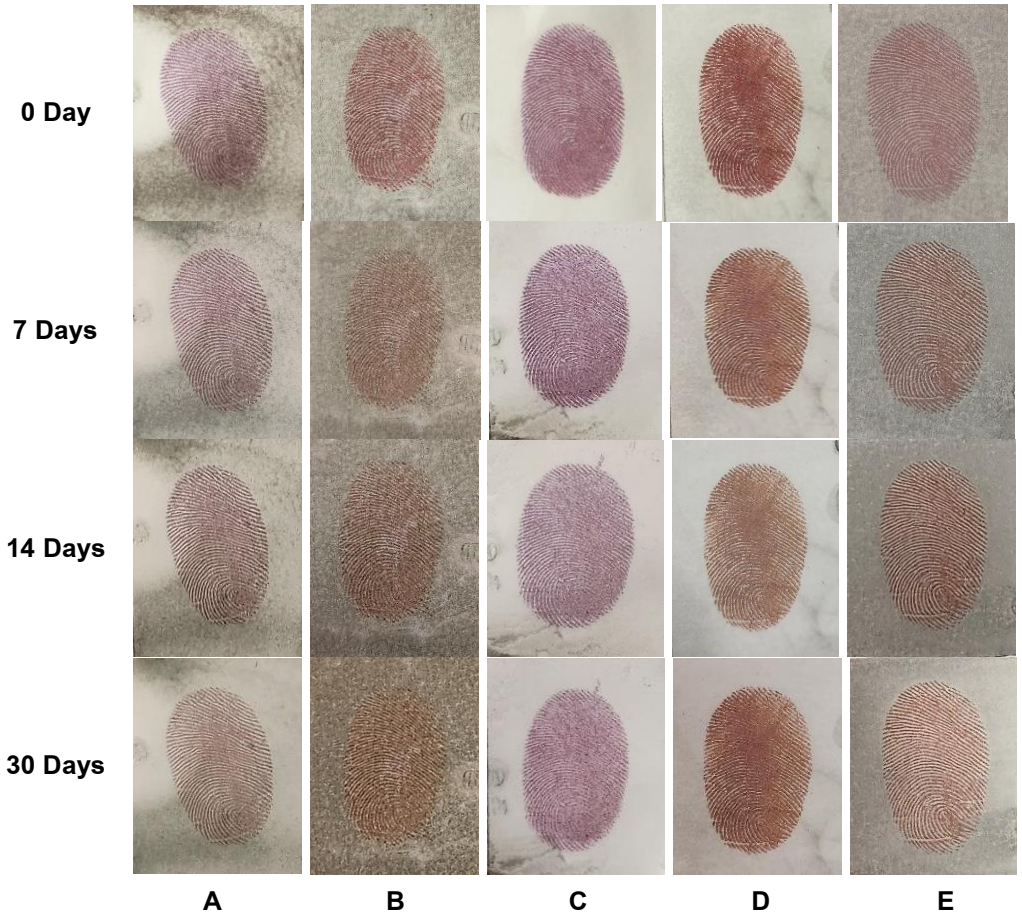


**Figure 5** Physical appearance of latent fingerprints on thermal paper using solution of A; acetone/ninhydrin, B; petroleum ether/ninhydrin, C; 1.0 %wt CAB/Ninhydrin/acetone, D; 0.5 %wt CAB/ Ninhydrin/ petroleum ether and E; Forensic ninhydrin solution at 0, 7, 14 and 30 Days. (The represented latent fingerprint was the one closest to the mean of the experimental results.)

เมื่อพิจารณาที่เวลาผ่านไป 30 วันจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มากที่สุดสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ petroleum ether/ninhydrin > acetone/ ninhydrin > 1.0 %wt CAB/ ninhydrin/ acetone > 0.5 %wt CAB/ ninhydrin/ petroleum ether > Forensic ninhydrin solution โดยที่จุดลักษณะสำคัญพิเศษในวันที่ 30 พบว่าการเติม CAB ส่งผลให้จุดลักษณะสำคัญพิเศษคงอยู่เพิ่มมากขึ้นในกรณีของ 0.5 %wt CAB/ ninhydrin/petroleum ether (จุดลักษณะสำคัญพิเศษ = 31.0 ± 3.5) เมื่อเทียบกับไม่เติม CAB (จุดลักษณะสำคัญพิเศษ = 39.7 ± 0.6)

นอกจากนี้เมื่อผ่านไปเป็นเวลา 30 วัน พบว่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงที่คงอยู่เมื่อใช้ 0.5 %wt CAB/Ninhydrin/petroleum ether มีค่าใกล้เคียงกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงที่คงอยู่สารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ด้วย อย่างไรก็ตามแม้ว่าสารละลายนินไฮดรินที่เตรียมขึ้นทั้ง 4 สูตร (acetone/ ninhydrin, petroleum ether/ ninhydrin, 1.0 %wt CAB/ Ninhydrin/ acetone, 0.5 %wt CAB/Ninhydrin/petroleum ether) มีจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มีค่าต่ำกว่าสารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ แต่ก็ยังคงจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษนั้นมีค่ามากกว่า 10 จุดโดยสามารถระบุตัวบุคคลได้ โดยเฉพาะ 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether นั้นสามารถนำมาใช้เป็นสารละลายเพื่อหาลายนิ้วมือแฝงได้ในกรณีที่วัตถุพยานมีหมึกบนกระดาษความร้อน เนื่องจาก petroleum ether ไม่ละลายหมึกบนกระดาษความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายนินไฮดรินที่ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (acetone/ninhydrin และ 1.0 %wt CAB/ninhydrin/ acetone) (Jenjira, 2018)

นอกจากนี้วัตถุพยานที่ไม่มีหมึกบนกระดาษความร้อนก็ยังสามารถเลือกใช้สารละลายนินไฮดรินที่มีอะซิโตนเป็นตัวทำละลายได้เช่นกัน (acetone/ninhydrin และ 1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone) โดย acetone/ninhydrin แสดงการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนได้ดีกว่า 1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone (Figure 6) ในขณะที่ 1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone มีลักษณะของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนที่ชัดเจนเนื่องจากการเติม CAB ทำให้ลดการรบกวนของรอยดำลง (Figure 5)

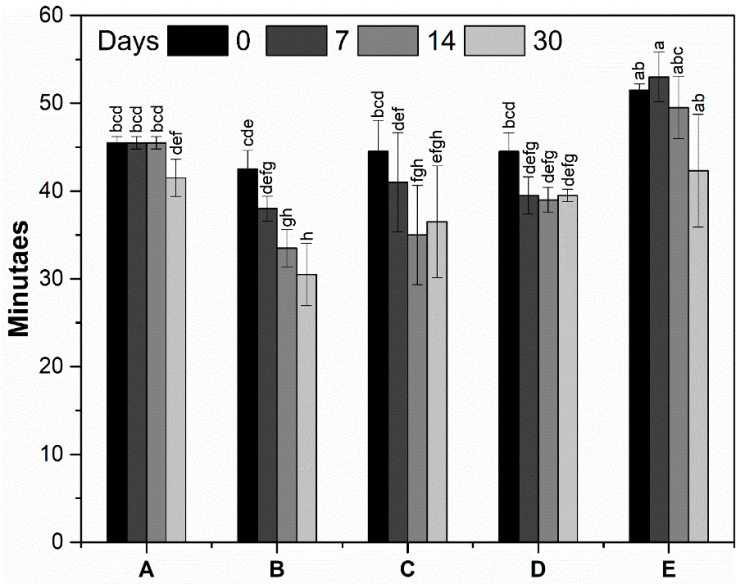


**Figure 6** Minutiae of latent fingerprints using AFIS at at 0, 7, 14 and 30 Days: A; acetone/ninhydrin, B; petroleum ether/ninhydrin, C; 1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone, D; 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether and E; Forensic ninhydrin solution.

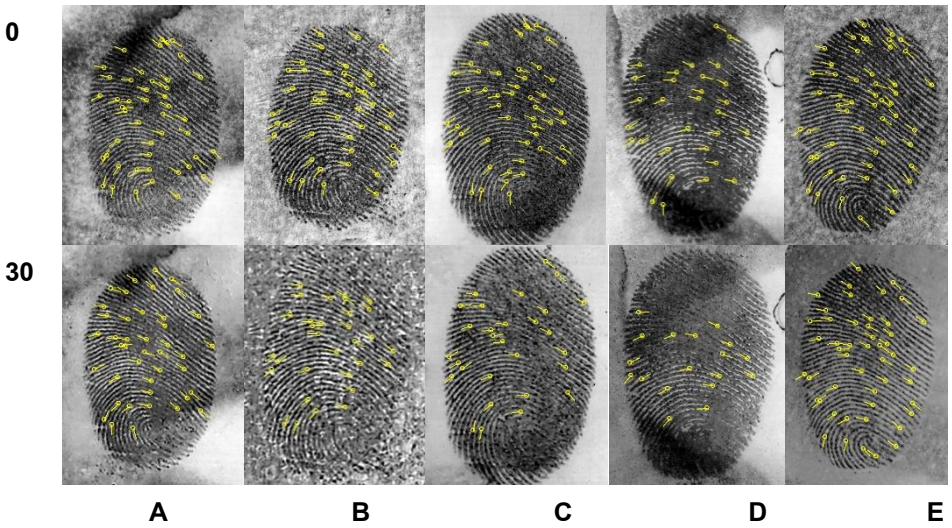


**Figure 7** Latent fingerprint using AFIS at 0 and 30 Days, A; acetone/ ninhydrin, B; petroleum ether/ ninhydrin, C; 1.0 %wt CAB/ ninhydrin/ acetone, D; 0.5 %wt CAB/ ninhydrin/ petroleum ether and E; Forensic ninhydrin solution. (The represented latent fingerprint was the one closest to the mean of the experimental results.).

**4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน**

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนนั้น หากใช้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้และทำการนับจุดด้วยเอฟิสโดยผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือ พบว่าลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยสารละลายนินไฮดรินที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ให้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษลายนิ้วมือมากกว่าการใช้สารละลายนินไฮดรินที่มีการเติมพอลิเมอร์ชนิด CAB แม้ว่าจะมีลักษณะลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน เป็นลายเส้นสีม่วง-ชมพูสลับเทาเนื่องจากมีรอยดำที่พื้นหลังของกระดาษความร้อน แต่อย่างไรก็ตามผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือก็ยังสามารถใช้เครื่องเอฟิสช่วยกำหนดจุดลักษณะสำคัญพิเศษในเบื้องต้นแล้วจึงทำการแก้ไขให้มีเฉพาะจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มีอยู่จริงตามหลักวิชาการตรวจลายนิ้วมือแฝงได้

จากข้อดีดังกล่าวทำให้ผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือสามารถนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยตนเองเพื่อตรวจสอบว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องเอฟิสในการนับจุดเพียงอย่างเดียวนอกจากนี้ยังสามารถใช้โปรแกรมตกแต่งภาพเพื่อทำการปรับแต่งภาพให้มีความคมชัดและขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยไม่ปรากฏพื้นหลังที่เป็นสีดำรบกวนโดยเฉพาะสารละลายนินไฮดรินที่มีการผสมพอลิเมอร์ ชนิด CAB ลงไป (1.0 %wt CAB/ ninhydrin/ acetone และ 0.5 % wt CAB/ninhydrin/petroleum ether) แสดงใน Figure 8 ซึ่งทำให้มีความชัดเจนขึ้นในการนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนวัตถุพยานที่เป็นกระดาษความร้อน

นอกจากนี้ จาก Table 2 ที่แสดงถึงต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ พบว่าต้นทุนของสารละลายนินไฮดรินในงานวิจัยนี้ที่มีการผสมพอลิเมอร์ ชนิด CAB มีราคาที่ต่ำกว่าสารละลายนินไฮดรินที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้สารละลายราคาไม่แพงมากสำหรับตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนโดยเฉพาะสารละลายนินไฮดริน 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether

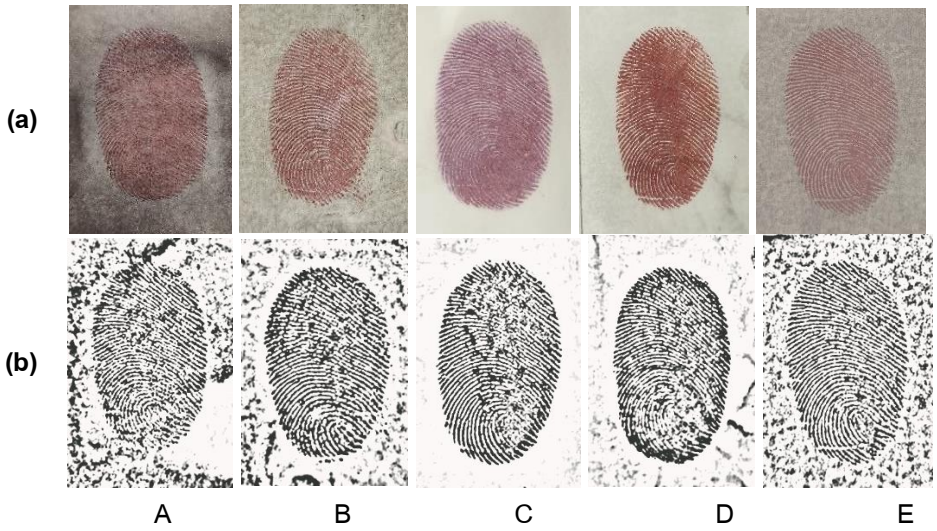


**Figure 8** The comparison of (a) Physical appearance of latent fingerprints on thermal paper and (b) Digital image of inked fingermark used artificial latent fingermarks creation using Adobe photoshop after used the solution of A; acetone/ ninhydrin, B; petroleum ether/ ninhydrin, C; 1.0 %wt CAB/ ninhydrin/ acetone, D; 0.5 %wt CAB/ ninhydrin/ petroleum ether and E; Forensic ninhydrin solution. (The represented latent fingerprint was the one closest to the mean of the experimental results.

**Table 2** Cost comparisons of ninhydrin solutions, A; 1.0 % wt CAB/ ninhydrin/ acetone, B; 0.5 % wt CAB/ninhydrin/petroleum ether and forensic ninhydrin solution.

| **Chemicals** | **A** | **B** | **Forensic ninhydrin solution** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ninhydrin stock solution | working solution |
| | (Net = 100 ml) | (Net = 100 ml) | (Net = 500 ml) | (Net = 1,000 ml) |
| Acetone (0.40 Baht/ml)[a] | 0.40 x 100 ml = 40.00 Baht | | | |
| Petroleum ether (0.79 Baht/ml)[a] | | 0.79 x 100 ml = 79.00 Baht | | |
| CAB (0.30 Baht/g)[b] | 0.30 x 1.0 g = 0.30 Baht | 0.30 x 0.5 g = 0.15 Baht | | |
| Ninhydrin (76.0 Baht/g)[a] | 76.0 x 0.5 g = 38.00 Baht | 76.0 x 0.5 g = 38.00 Baht | 76.0 x 35.0 g = 2,660 Baht | |
| Ethanol (0.69 Baht/ml)[a] | | | 0.69 x 425 ml = 293.2 Baht | |
| Ethyl Acetate (0.56 Baht/ml)[a] | | | 0.56 x 35 ml = 19.8 Baht | |
| Acetic Acid (0.48 Baht/ml)[a] | | | 0.4816 x 40 ml = 19.6 Baht | |
| | | | ***Ninhydrin stock solution*** 2,992.6 / 500 ml = 5.98 Baht/ml | 5.98 x 65 ml = 389 Baht |
| Hexafluoropropyl methyl ether, HFE (3M Novec 7100 Engineering Fluids) (4.42 Baht/ml)[c] | | | | 4.42 x 935 ml = 4,133 Baht |
| ***Price (Baht per 100 ml)*** | ≈ 78.3 | ≈ 117.2 | | ≈ 452.2 |

[a] M&P IMPEX Limited Partnership [b] Eastman Chemical Company [C] 3M Thailand Co.,Ltd.

## วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของตัวทำละลายที่มีต่อกระดาษความร้อนตามที่ปรากฏลักษณะใน Figure 9 สามารถอธิบายกลไกการเปลี่ยนสีของกระดาษความร้อนไปเป็นสีน้ำตาล-ดำดังแสดงใน Figure 9d ทั้งนี้เนื่องจากกระดาษความร้อนถูกเคลือบด้วยชั้นของสารเคมีที่เป็นส่วนผสมของแข็งที่มีองค์ประกอบของสีย้อมลิวโก้ (Leuco dye) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารที่สามารถรับโปรตรอนได้ เมื่อใช้อะซิโตนจึงมีโอกาสทำให้โมเลกุลของสีย้อมลิวโก้ ได้รับโปรตอนมากกว่าใช้ปิโตรเลียม อีเทอร์เนื่องจากหมู่คาร์บอนิล (>C=O) ในอะซิโตนสามารถดึงอิเล็กตรอนได้ดีกว่าหมู่อีเทอร์ (-O-) ดังแสดงโครงสร้างทางเคมีใน Figure 9a-b จึงทำให้มีโอกาสให้โปรตอนแก่โมเลกุลของสีย้อมลิวโก้ได้ ทำให้วงแลคโทน

(Lactone) ของโมเลกุลของสีย้อมลิวโก้ถูกเปิดออก ซึ่งจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารที่มีสี (Luo *et al*, 2013) ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าอะซิโตนเป็นสารละลายที่สามารถทำให้เกิดการรบกวนลายนิ้วมือแฝงที่จะปรากฏบนกระดาษความร้อนได้หากมีการประยุกต์ใช้เป็นน้ำยาตรวจสอบลายนิ้วมือแฝง

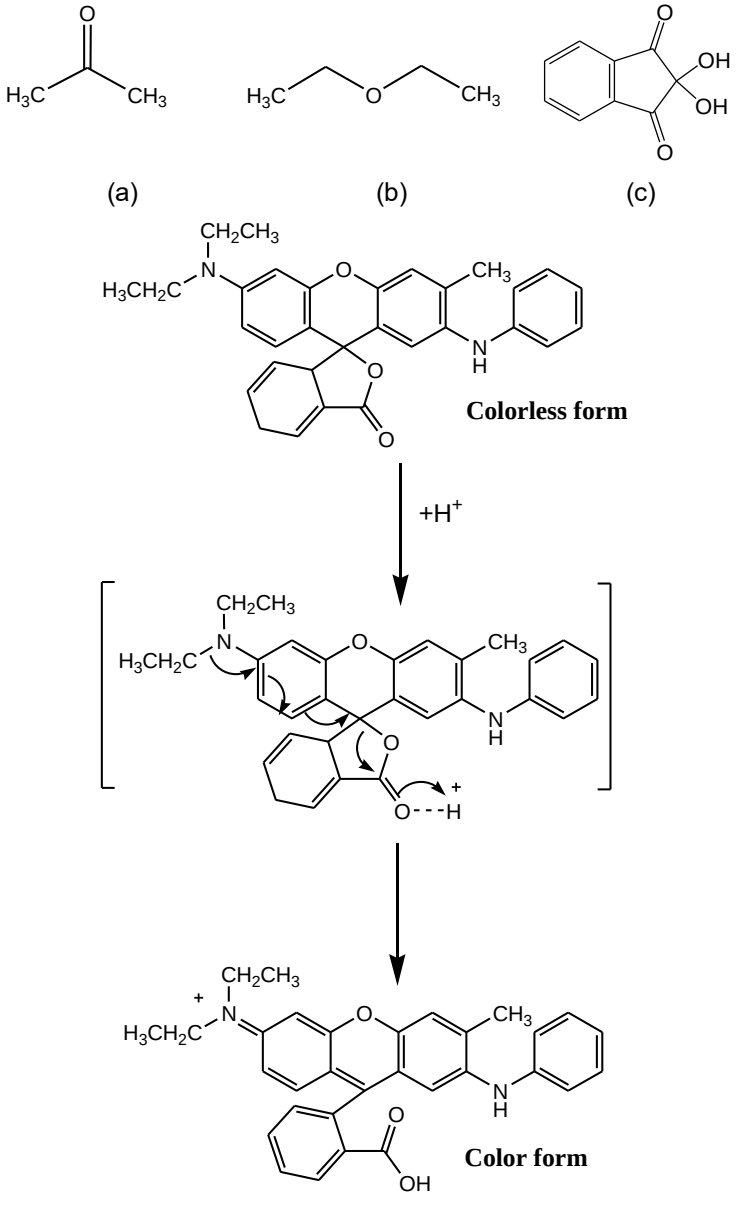


**Figure 9** Chemical structure of (a) acetone, (b) petroleum ether, (c) ninhydrin molecule and (d) Proposed mechanism of the reaction of Leuco dye.

เมื่อผสมนินไฮดรินลงไปสารละลายอะซิโตน (Ninhydrin/acetone) พบคราบสีดำที่รบกวนซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อทดสอบในกระดาษ โดยมีผลทำให้กระดาษความร้อนเปลี่ยนเป็นสีคล้ำได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของนินไฮดริน (Figure 9d) เป็นโครงสร้างที่สามารถให้โปรตอน ($H^+$) กับโมเลกุลของสีย้อมลิวโก้ได้ทำให้เกิดเป็นสารประกอบของสีย้อมลิวโก้ที่เป็นรูปแบบมีสีเกิดขึ้นบนพื้นผิวกระดาษความร้อน

ผลของเซลลูโลสอะซิเตทบิวทิเรตในสารละลายนินไฮดรินที่มีต่อการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน พบว่าปริมาณ CAB ที่เหมาะสมโดยลดคราบดำของกระดาษความร้อนลงสำหรับ acetone/ninhydrin และ petroleum

ether/ninhydrin ได้แก่ 1.0 และ 0.5 %wt ตามลำดับ โดยเมื่อเติม CAB เป็นปริมาณเพิ่มขึ้นพบว่ามีรอยดำปรากฏเพิ่มขึ้นด้วย อาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของ CAB มาก ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงส่งผลให้สารละลายระเหยออกไปจากพื้นผิวกระดาษความร้อนยาก และแห้งช้า (Liu *et al*, 2017) ทำให้มีเวลามากขึ้นทำให้โอกาสเกิดปฏิกิริยากับสีย้อมลิวโก้เพื่อเปลี่ยนเป็นรูปแบบมีสีมากขึ้น จึงทำให้เกิดคราบดำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า CAB สามารถละลายได้ใน petroleum ether/ninhydrin ได้น้อยกว่า acetone/ninhydrin ทั้งนี้เนื่องจากค่าการละลายของ petroleum ether ค่าการละลาย Diethyl ether = 7.4 $(cal/cm^3)^{0.5}$ มีความแตกต่างจากค่าการละลายของ CAB (CAB = 12.0 $(cal/cm^3)^{0.5}$ (Ross *et al*, 2014)) มากกว่าอะซิโตน (acetone 9.9 $(cal/cm^3)^{0.5}$ (Joseph *et al*, 2011)) จึงทำให้ CAB ละลายได้น้อยใน petroleum ether เมื่อเทียบกับอะซิโตน

สำหรับการศึกษาคุณภาพและการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อน พบว่าลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจด้วยน้ำยานินไฮดรินทุกสูตรก่อนและหลังการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงที่เวลาต่าง ๆ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษนั้นมีค่ามากกว่า 10 จุดโดยสามารถระบุตัวบุคคลได้ การเติม CAB ชี้ให้เห็นว่าอัตราการลดลงของจุดลักษณะสำคัญพิเศษลดลง โดยส่งผลให้จุดลักษณะสำคัญพิเศษคงอยู่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะกรณีของ 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether เมื่อเทียบกับไม่เติม CAB ทั้งนี้เนื่องมาจาก CAB นั้นช่วยทำหน้าที่ลดการเกิดปฏิกิริยารอยดำที่พื้นหลังของกระดาษความร้อน ทำให้ยังคงเห็นรอยนิ้วมือและจุดลักษณะสำคัญพิเศษได้ชัดเจนอยู่เมื่อเวลาผ่านไป โดยพบว่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษนี้มีค่าใกล้เคียงกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงที่ใช้สารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์

ในงานวิจัยนี้สารละลายนินไฮดรินที่มีการผสมพอลิเมอร์ชนิด CAB ลงไป (1.0 %wt CAB/ninhydrin/acetone และ 0.5 %wt CAB/ninhydrin/petroleum ether) ถึงแม้ว่าจะได้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษน้อยกว่าการใช้สารละลายนินไฮดรินที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์แต่ก็ทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏขึ้นมีลายเส้นสีม่วงสลับขาวชัดเจนเนื่องจากพอลิเมอร์ที่เติมลงไปสามารถช่วยลดรอยคราบดำที่พื้นหลังของกระดาษความร้อน ช่วยให้ผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือสามารถมองเห็นจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มีอยู่จริงตามหลักวิชาการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมากจากสีย้อมลิวโก้เปลี่ยนกลับไปเป็นโมเลกุลรูปแบบไม่มีสีโดยมีพอลิเมอร์ CAB โดยที่หมู่อะซิเตทที่อยู่ในโครงสร้าง CAB ทำหน้าที่กำจัดโปรตอนบนหมู่คาร์บอกซิลิกและตามด้วยการปิดวงแหวนเพื่อสร้างสไปโรแลคโทน (Spirolactone) ในโมเลกุลสีลิวโก้ขึ้นใหม่ทำให้สีย้อมลิวโก้กลับคืนมาในรูปแบบที่ไม่มีสี ซึ่งสามารถแก้ไขการเกิดรอยดำบนกระดาษความร้อนได้เช่นเดียวกับ PVP (Luo *et al*, 2013) โดยปกติแล้วกลไกการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลสีย้อมลิวโก้จากรูปแบบที่มีสีเป็นไม่มีสีจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ทั้งนี้กลไกที่เป็นไปได้ถูกนำเสนอใน Figure 10 ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าพอลิเมอร์ CAB สามารถทำให้ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏด้วยตาเปล่า

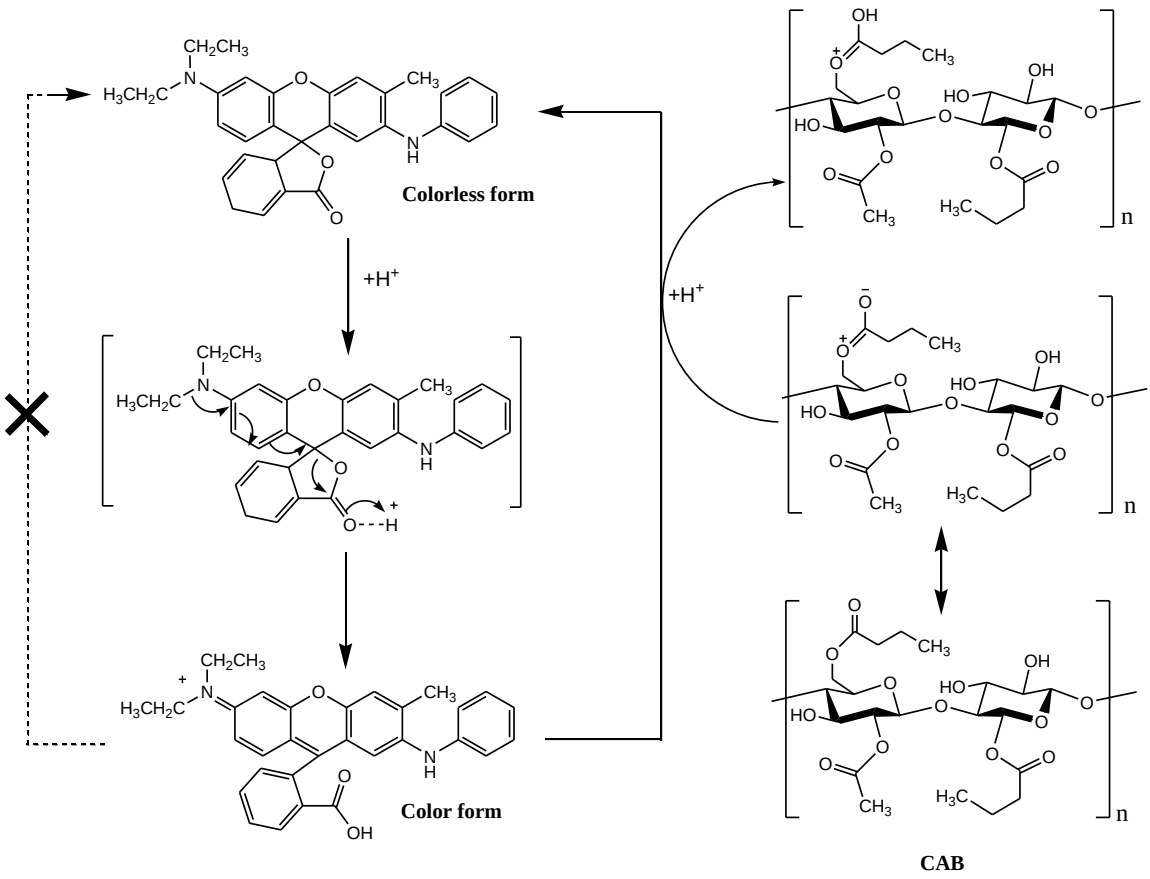


**Figure 10.** Proposed mechanism of the reaction of color to colorless form of Leuco dye via CAB.

## สรุปผลการทดลอง

อะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่ทำให้กระดาษความร้อนมีสีที่เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล-ดำมากกว่าปิโตรเลียม อีเทอร์ นอกจากนี้การเติมนินไฮดรินลงไปในสารละลายทั้งสองชนิดก็ทำให้กระดาษความร้อนมีสีที่เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล-ดำเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความขาวของพื้นผิวกระดาษความร้อนมีค่าลดลง เมื่อเติม CAB ลงไปในสารละลายนินไฮดรินทั้งสองชนิดคราบดำของกระดาษความร้อนลงเมื่อเติม CAB

ปริมาณเหมาะสมของ CAB สำหรับ acetone/ ninhydrin และ petroleum ether/ ninhydrin ได้แก่ 1.0 และ 0.5 %wt ตามลำดับ แต่เมื่อเติม CAB เป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะพบว่ามีรอยดำปรากฏเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องมาจากจากความเข้มข้นของ CAB ที่เพิ่มขึ้นทำให้สารละลายมีความหนืดสูง ส่งผลให้สารละลายระเหยออกไปจากพื้นผิวกระดาษความร้อนยาก และแห้งช้า ทำให้โอกาสเกิดปฏิกิริยากับสีย้อมลิวโก้เพื่อเปลี่ยนเป็นรูปแบบมีสีมากขึ้น จึงพบคราบดำมากขึ้น

นอกจากนี้ลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจด้วยน้ำยานินไฮดรินทุกสูตรก่อนและหลังการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงที่เวลาต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงที่ใช้สารละลายนินไฮดรินสำหรับการหาลายนิ้วมือที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยที่มีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษนั้นมีค่ามากกว่า 10 จุดโดยสามารถระบุตัวบุคคลได้ อีกทั้งการเติม CAB ชี้ให้เห็นว่าอัตราการลดลงของจุดลักษณะสำคัญพิเศษลดลงโดยส่งผลให้จุดลักษณะสำคัญพิเศษคงอยู่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะกรณีของ 0.5 %wt CAB/ninhydrin/ petroleum ether เมื่อเทียบกับไม่เติม CAB โดยพบว่าพอลิเมอร์ CAB ที่เติมลงไปนั้นสามารถทำให้ลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏด้วยตาเปล่าโดยหมู่อะซิเตทที่อยู่ในโครงสร้าง CAB ทำหน้าที่กำจัดโปรตอนบนหมู่คาร์บอกซิลิก และตามด้วยการปิดวงแหวนเพื่อสร้างสไปโรแลคโทน

ในโมเลกุลสีลิวโก้ขึ้นใหม่ทำให้สีย้อมลิวโก้กลับคืนมาในรูปแบบที่ไม่มีสีจึงทำให้ไม่ปรากฏคราบดำบนกระดาษความร้อนเมื่อเติม CAB ลงไป

นอกจากนี้ต้นทุนของสารที่เคมีที่ใช้ในน้ำยานินไฮดรินในงานวิจัยนี้ยังพบว่ามีราคาที่ต่ำกว่าสารละลายนินไฮดรินที่ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน มีวิธีการเตรียมสารละลายที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก ดังนันถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้สารละลายราคาไม่แพงมากสำหรับตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนด้วย โดยจากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใช้ CAB นั้นทำให้สามารถทำให้ตัวทำละลายที่มีราคาไม่สูงผสมกับนินไฮดรินเพื่อเป็นน้ำยาตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษความร้อนได้โดยการลดรอยดำของกระดาษความร้อนลงทำให้ลายนิ้วมือปรากฏความคมชัดขึ้นและยังสามารถนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยตาเปล่าได้ด้วยตนเองเพื่อตรวจสอบว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องเอฟิส

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาในหลักสูตรบัณฑิตศึกษา เพื่อเป็นผู้ช่วยวิจัย จากงบประมาณเงินรายได้ในส่วนของ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2563 (SCSU-STA _2563-10) สำหรับนางสาวมัทนพร สาหร่าย ขอขอบคุณสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 ที่ได้ช่วยตรวจสอบคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ และเตรียมสารละลายนินไฮดรินของนิติวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

Ashbaugh, D. R. (1989). *Ridgeology : modern evaluative friction ridge identification*. Royal Canadian Mounted Police. https://onin.com/fp/ridgeology.pdf

Attaphol, C. (2001). *Forensic science 2 for crime investigation*. Daoroek.

Gulanat, C. & Sutinee, G. (2023). The comparative study of fingerprint developing methods on narcotics packaging which collected latent fingerprints for identification in Police Forensic Science Center 7. Journal of Science and Technology Kasetsart University, *12*(1), 41-57. https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/jstku/article/view/5303/2528

Chegg. (2010). *Amino Acid Reaction with Ninhydrin*. https://www.chegg.com/learn/chemistry/organic-chemistry/amino-acid-reaction-with-ninhydrin

Sutinee, G., Wanich, L. & Winita, P. (2022). Non-isothermal cold crystallization, melting, and moisture barrier properties of silver-loaded kaolinite filled poly(lactic acid) films. *Materials Chemistry and Physics*, *276*, 125227. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125227

Inman, K., & Rudin, N. (2000). *Principles and practice of criminalistics: the profession of forensic science.* CRC Press.

Jenjira, W. (2018). Development of latent fingerprint using Ninhydrin/Cellulose Acetate Butyrate on Thermal paper. [Unpublished master's thesis]. Kasetsart University

Joseph, G. B., Cristopher, C., Steve, K., Paraj, V. M. (2011). *Consumable analytical plasticware comprising high-solubility plastics*. (International Publication No. WO2011091237A1). WIPO Patent. https://patentimages.storage.googleapis.com/7f/eb/03/52d7557d728330/WO2011091237A1.pdf

Luo, Y. P., Zhao, Y. B., & Liu, S. (2013). Evaluation of DFO/ PVP and its application to latent fingermarks development on thermal paper. *Forensic Science International*, *229*( 1- 3) , 75- 79. https: / / doi. org/ 10. 1016/j.forsciint.2013.03.045

Liu, X., Baldursdottir, S. G., Aho, J., Qu, H., Christensen, L. P., Rantanen, J., & Yang, M. (2017). Electrospinnability of Poly Lactic-co-glycolic Acid (PLGA): the role of solvent type and solvent composition. *Pharmaceutical Research*, *34*(4), 738-749. https://doi.org/10.1007/s11095-017-2100-z

Pacheco, B. S., Da Silva, C. C., Da Rosa, B. N., Mariotti, K. C., Nicolodi, C., Taís, P., Segatto, N. V., Collares, T., Seixas, F. K., Paniz, O., Carreño, N. L. V., & Pereira, C. M. P. (2021). Monofunctional curcumin analogues: evaluation of green and safe developers of latent fingerprints. *Chemical Papers*, *75*(7), 3119-3129. https://doi.org/10.1007/s11696-021-01556-4

Polson, C. J. (1950). Finger prints and finger printing: an historical study. *Journal of Criminal Law & Criminology*, *41*(4), 495-517.

Ross, S., Topham, P. D., & Tighe, B. J. (2014). Identification of optically clear regions of ternary polymer blends using a novel rapid screening method. *Polymer international*, *63*(1), 44-51.

Sirirat Theangtheantham. (2013). Development of latent fingerprints on objects submerged in natural water by using small particle reagent and black powder. [Master's thesis, Silpakorn University]. Silpakorn University Central Library. https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/11938

Sompat Sookphanich. (2017). Comparison of Age Fingerprints Detection on Thermal Paper by using Iodine Fuming, Ninhydrin and 1,2-Indanedione. [Master's thesis, Silpakorn University]. Silpakorn University Central Library. https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/26051

Schwarz, L., & Klenke, I. (2010). Improvement in latent fingerprint detection on thermal paper using a one- step ninhydrin treatment with polyvinylpyrrolidones (PVP). *Journal of Forensic Sciences*, *55*(4), 1076-1079.

Trozzi, T.A., Schwartz, R.L. and Hollars, M.L. (2000). *Processing Guide for Developing Latent Prints*. U.S. Department of Justice.