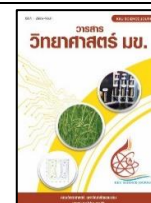




KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



การพัฒนาผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวสำหรับตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน

Development of Black Powder from a Coconut Shell for Detection of Latent Fingerprints on Non-Porous Surface Materials

กษมา สุขจันทร์¹ นูร์ไอนูน เจ๊ะเต๊ะ² ฮาซัน ดอพอ³ ณฐนน จันทาพูน⁴ และ สุรชัย คงชู^{5*}Kasama Sukchantra¹, Nur-ainoon Chek-teh², Hasan Daupor³, Nathanon Chanthapun⁴ and Surachai Kongchoo^{5*}¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110²กลุ่มงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 10 จังหวัดยะลา 95000³สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา 95000⁴กลุ่มงานตรวจทางเคมี ฟิสิกส์ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 10 จังหวัดยะลา 95000⁵กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 10 จังหวัดยะลา 95000¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110, Thailand²Crime-Scene Investigation Sub-Division, Police Forensic Center 10, Yala, 95000, Thailand³Major of Applied Chemistry, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 95000, Thailand⁴Chemistry and Physics Sub-Division, Police Forensic Science Center 10, Yala, 95000, Thailand⁵Latent Fingerprint Sub-Division, Police Forensic Science Center 10, Yala, 95000, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผงฝุ่นดำสำหรับตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน โดยนำกะลามะพร้าวซึ่งเหลือทิ้งจากภาคเกษตรมาเตรียมผงฝุ่นดำ โดยเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดให้ละเอียดก่อนนำไปร่อนแยกขนาดอนุภาคผ่านตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 200 และ 400 mesh จะได้ผงฝุ่นดำ 2 ชนิด คือ ผงฝุ่นดำร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 200 mesh (1) และผงฝุ่นดำร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 400 mesh (2) ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่า ผงฝุ่นกะลามะพร้าวก่อนเผาจะปรากฏแถบการดูดกลืนหมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างเซลลูโลส ในขณะที่ผ่านการเผาแล้วโครงสร้างเซลลูโลสจะสลายตัวหายไป ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานของผงฝุ่นดำที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำทางการค้า (3) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจวัดขนาดของธาตุ พบว่า ผงฝุ่นดำ (1) (2) และ (3) มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 46.3 10.6 และ 29.9 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อทำการศึกษเปรียบเทียบการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงระหว่างผงฝุ่นดำ (1) (2) และ (3) บนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน ได้แก่ กระดาษและขวดพลาสติกใส ผลการวิจัยพบว่า ผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิด สามารถตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนได้ ส่วนคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง พบว่า ผงฝุ่นดำ (2) บนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนทั้ง 2 ชนิด ให้รอยลายนิ้วมือแฝงที่มีความสมบูรณ์และความคมชัดมากกว่าผงฝุ่นดำ (3) และผงฝุ่นดำ (1) ตามลำดับ

*Corresponding Author, E-mail: surachai385@gmail.com

Received date: 2 April 2025 | Revised date: 23 June 2025 | Accepted date: 25 June 2025

doi: 10.14456/kkuscij.2025.24

ABSTRACT

This research presents the development of black fingerprint powder derived from agricultural waste, specifically coconut shells, for latent fingerprint detection on non-porous surfaces. The coconut shells were carbonized at 600°C for 5 hours, finely ground, and sieved through 200 and 400 mesh screens to obtain two types of powders: 200 mesh (1) and 400 mesh (2). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) confirmed the removal of cellulose functional groups after carbonization. Morphological and elemental analyses using Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that powders (1), (2), and a commercial black powder (3) had average particle sizes of 46.3, 10.6 and 29.9 μm , respectively. Latent fingerprint development was assessed on clear glass and plastic bottle surfaces. All powders successfully revealed latent fingerprints; however, powder (2) provided superior ridge clarity and completeness compared to powders (1) and (3). The results demonstrate the potential of bio-based black powder as an effective and sustainable alternative for forensic fingerprint detection.

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว รอยลายนิ้วมือแฝง พื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน ผงฝุ่นดำ

Keywords: Coconut Shell, Latent Fingerprints, Non-Porous Surface Materials, Black Powder

บทนำ

ในการก่ออาชญากรรมทั้งคดีอาญาทั่วไปและคดีความมั่นคงผู้กระทำผิดมักจะทิ้งร่องรอยหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ ตามแนวความคิดของ ดร.เอ็ดมุนด์ โลคาร์ด นักนิติวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส กล่าวไว้ว่า “ทุกการสัมผัสย่อมมีการทิ้งร่องรอย” (กิริดาและคณะ, 2564) กระบวนการสืบสวนสอบสวนทั่วโลกจึงให้ความสำคัญกับการเก็บรวบรวมพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงทางคดีในชั้นศาล หนึ่งในพยานหลักฐานที่ทั่วโลกให้ความสำคัญก็คือ “รอยลายนิ้วมือแฝง (Latent fingerprints)” ในสถานที่เกิดเหตุ ถือเป็นพยานหลักฐานที่สามารถเชื่อมโยงระบุตัวบุคคลกับสถานที่เกิดเหตุ หรือวัตถุพยานที่เกี่ยวข้องได้อย่างแม่นยำและได้รับการยอมรับในระดับสากล เนื่องจากรอยลายนิ้วมือนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตั้งแต่เกิดจนตาย และมีลักษณะพิเศษที่ไม่ซ้ำกันแม้กระทั่งฝาแฝดแท้ไขว่ไขว่เดียวกันก็ตามซึ่งหากเป็นดีเอ็นเอจะเหมือนกัน ความเป็นไปได้ที่บุคคลสองคนจะมีลายนิ้วมือ 10 นิ้วที่เหมือนกัน มีเพียง 1 ส่วน ใน 64 พันล้านคน เท่านั้น (นัฐ, 2562) จึงทำให้สามารถสืบหาตัวผู้กระทำผิดได้ช่วยคลี่คลายคดีสร้างความกระจ่างต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้สิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งเป็นลำดับแรกนั่นคือ การตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีการที่ถูกต้องและมีความคมชัดของลายเส้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือ

วิธีการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง สามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลัก ๆ คือ วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี และวิธีการทางกายภาพ-เคมี จะใช้วิธีการใดในการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงขึ้นอยู่กับชนิดพื้นผิวบนวัตถุพยาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พื้นผิวที่มีรูพรุน (Porous surface) พื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน (Non-porous surface) และพื้นผิวกึ่งรูพรุน (Semiporous surface) (เกตนันิภาและปริญญา, 2563) สำหรับการใช้ผงฝุ่นจะเป็นวิธีในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงทางกายภาพที่ง่ายและเป็นพื้นฐานมากที่สุด แต่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพรอยลายนิ้วมือแฝงและชนิดของพื้นผิววัตถุพยาน ลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสมแก่การใช้ผงฝุ่นดำ ได้แก่ พื้นผิวไม่มีรูพรุน ไม่ดูดซึม และไม่เปียกชื้น สำหรับวิธีการใช้ผงฝุ่นดำในการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง มี 3 วิธี คือ การปิดผงฝุ่นดำ การกลิ้งผงฝุ่นดำ และการเคาะเบา ๆ ในปัจจุบันผงฝุ่นดำยังคงนิยม

ใช้กันมากกับพื้นผิวบนวัตถุพยานโดยเฉพาะในสถานที่ที่เกิดเหตุซึ่งจะลดขั้นตอนการนำวัตถุพยานมาตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงในห้องปฏิบัติการ (สมหมาย, 2556)

กะลามะพร้าว (Coconut shell) เป็นของเสียจากการเกษตรที่เป็นของแข็ง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม หรือไม่มีการนำไปประโยชน์ จะสร้างความเดือดร้อนต่อผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง กะลามะพร้าวจะอยู่ระหว่างเนื้อมะพร้าวและกาบมะพร้าว ทำหน้าที่ปกป้องและห่อหุ้มส่วนด้านในของมะพร้าว การประยุกต์ใช้งานของกะลามะพร้าวพบว่ามีประโยชน์หลากหลาย เช่น การใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ถ่านกัมมันต์ สารเติมแต่ง และแหล่งพลังงาน เป็นต้น เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการดูดซับที่ดีเยี่ยม ความทนทานสูง และมีความต้านทานต่อการสึกหรออย่างมีประสิทธิภาพ การนำไปประยุกต์ใช้งานสามารถจัดให้อยู่ในรูปของอนุภาคขนาดใหญ่ (Macroparticles) อนุภาคขนาดเล็ก (Microparticles) และอนุภาคนาโน (Nanoparticles) (Ikumapayi *et al.*, 2020) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกะลามะพร้าว ประกอบด้วย $K_2O = 1.21$ เปอร์เซ็นต์ $C = 10.00$ เปอร์เซ็นต์ $SiO_2 = 0.98$ เปอร์เซ็นต์ $Cl = 0.79$ เปอร์เซ็นต์ เหล็กออกไซด์ 0.35 เปอร์เซ็นต์ $MgO = 0.31$ เปอร์เซ็นต์ $Na_2O = 0.29$ เปอร์เซ็นต์ $CaO = 0.23$ เปอร์เซ็นต์ และ $MoO_3 = 0.17$ เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Leman *et al.*, 2016)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้นำวัสดุจากธรรมชาติ เช่น แกลบดำสำเร็จรูป (รุ่งวิรัชและวรรัช, 2562) ผลมะเกลือ (กิตตินันท์และคณะ, 2567) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย (สัมฤทธิ์, 2551) ถ่านไม้ที่ทำจากไม้ยางพารา ไม้ขนุน และไม้โกงกาง (หทัยทิพย์, 2558) เป็นต้น เพื่อใช้สำหรับใช้ตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง และวิเคราะห์คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากบนพื้นผิวของวัสดุ สำหรับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับผงฝุ่นดำสำหรับใช้ในการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง ส่วนมากจะเป็นผงฝุ่นดำที่ต้องสั่งซื้อนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ อเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย เป็นต้น เนื่องจากเป็นผงฝุ่นดำที่มีความจำเพาะเจาะจงทำให้ต้องนำเข้าในราคาสูงเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณการจัดซื้อ และในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการพัฒนาผงฝุ่นดำที่มีคุณภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับที่ซื้อมาจากต่างประเทศ ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะพัฒนาผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวสำหรับตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพและทางเคมี และเปรียบเทียบคุณภาพของผงฝุ่นดำที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำทางการค้า

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าว

ทำความสะอาดกะลามะพร้าว และทุบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ตากแดดให้แห้ง ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียด ใช้ช้อนตักสารตักผงฝุ่นกะลามะพร้าว จำนวน 10 กรัม ใส่ถ้วยครุชีเบล นำเข้าเตาเผา (LHT, Carbolite Gero GmbH & Co. KG) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้บรรยากาศปกติ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำผงฝุ่นดำที่ได้ ชั่งน้ำหนักบันทึกผล ทำการบดให้ละเอียดอีกครั้งโดยใช้ครกและสาก จากนั้นทำการร่อนคัดแยกขนาดอนุภาคผ่านตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 200 และ 400 mesh ชั่งน้ำหนัก (END, EK-300i) บันทึกผลได้อีกครั้งหนึ่ง

2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี

นำผงฝุ่นดำกะลามะพร้าวที่ผ่านการร่อนแล้วและผงฝุ่นดำทางการค้า รวมทั้งหมด 3 ตัวอย่าง นำมาศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเปรียบเทียบระหว่างกัน โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR spectrometer) (Nicolet 6700, Thermo Scientific) เพื่อวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน สำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว ขนาด รูปร่าง

ของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL, JSM-6610LV) และตรวจวัดชนิดของธาตุรวมทั้งการกระจายตัวของธาตุ (FEI QUANTA 450, Oxford EDS)

3. การเตรียมตัวอย่างและการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ กรรณิกัรและคณะ (2558)

การจำลองรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน ผู้วิจัยเลือกใช้กระจกใสและขวดพลาสติกใส เนื่องจากสามารถพบได้ในชีวิตประจำวันและมักพบในสถานที่เกิดเหตุ เริ่มต้นจากการนำอาสาสมัคร 1 ราย เพศหญิง อายุ 22 ปี เป็นผู้ประทับลายนิ้วมือลงบนพื้นผิววัตถุพยานตลอดการทดลอง เพื่อควบคุมไม่ให้รูปแบบลายนิ้วมือเปลี่ยนแปลง โดยเลือกใช้นิ้วหัวแม่มือขวา เนื่องจากนิ้วหัวแม่มือขวามักพบได้บ่อยในการทิ้งร่องรอยของผู้กระทำผิดบนพื้นผิววัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ โดยให้อาสาสมัครล้างมือให้สะอาดและเช็ดให้แห้ง จากนั้นประทับลงบนพื้นผิวกระจกใสและขวดพลาสติกใส ใช้น้ำหนักแรงกดนิ้วหัวแม่มือขวาแต่ละครั้งเท่า ๆ กัน โดยควบคุมแรงกดนิ้วมืออยู่ช่วงระหว่าง 300 - 500 กรัม จากนั้นดึงมือขึ้นในแนวตั้งทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นใช้แปรงปัดฝุ่นหารอยลายนิ้วมือแฝงโดยจุ่มลงในผงฝุ่นดำที่เตรียมได้ทั้ง 2 ชนิด และผงฝุ่นดำทางการค้า เมื่อรอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นให้วางสเกลและใช้กล้องถ่ายภาพ (Nikon, D7200) ทำการบันทึกภาพ จากนั้นนำไปนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษโดยใช้เครื่องตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมือและฝ่ามืออัตโนมัติ (SPEX Forensic, PrintQuest Version 3)

4. การเปรียบเทียบคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Ponsunthia and Vichuwanich (2020) และ ทิฆัมพรและคณะ (2567)

การเปรียบเทียบคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพยานกระจกใสและขวดพลาสติกใสด้วยผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวที่เตรียมได้และผงฝุ่นดำทางการค้า ได้จากการนับจุดจำนวนลักษณะสำคัญพิเศษด้วยเครื่องตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมือและฝ่ามืออัตโนมัติ โดยใช้เกณฑ์ในการแปลผลค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ แบ่งช่วงออกเป็น 5 ระดับจากวิธีการดังนี้

$$\frac{\text{จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษสูงสุด} - \text{จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{68 - 30}{5}$$

จากการคำนวณจะได้ช่วงกว้างของแต่ละระดับ คือ 7.6 สามารถแบ่งเกณฑ์แปลค่าระดับคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแปลค่าระดับคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระจกใส

ช่วงจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	คุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงแต่ละระดับ
60.8 - 68.4	คุณภาพดีมาก
53.1 - 60.7	คุณภาพดี
45.4 - 53.0	คุณภาพปานกลาง
37.7 - 45.3	คุณภาพต่ำ
30.0 - 37.6	ไม่มีคุณภาพ

$$\frac{\text{จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษสูงสุด} - \text{จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{62 - 21}{5}$$

จากการคำนวณจะได้ช่วงกว้างของแต่ละระดับ คือ 8.2 สามารถแบ่งเกณฑ์แปลค่าระดับคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การแปลค่าระดับคุณภาพพรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวขวดพลาสติกใส

ช่วงจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	คุณภาพพรอยลายนิ้วมือแฝงแต่ละระดับ
54.2 - 62.4	คุณภาพดีมาก
45.9 - 54.1	คุณภาพดี
37.6 - 45.8	คุณภาพปานกลาง
29.3 - 37.5	คุณภาพต่ำ
21.0 - 29.2	ไม่มีคุณภาพ

ผู้วิจัยกำหนดสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพพรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระจกใส และขวดพลาสติกใสกับผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวที่เตรียมได้ และผงฝุ่นดำทางการค้า โดยวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเตรียมผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าว

จากการทดลองเมื่อนำผงฝุ่นกะลามะพร้าวมาผ่านกระบวนการเผาโดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อเตรียมผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าว พบว่า สีของกะลามะพร้าวจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการร่อนแยกขนาดอนุภาคของผงฝุ่นดำที่ได้จากการเผาด้วยตะแกรกร่อนขนาด 200 และ 400 mesh บันทึกผลน้ำหนักที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า น้ำหนักผงฝุ่นดำหลังจากการเผาได้หายไปบางส่วน เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100 - 200 องศาเซลเซียส จะเกิดการระเหยของน้ำภายในกะลามะพร้าว จากนั้นที่อุณหภูมิระหว่าง 200 - 400 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของสารอินทรีย์จำพวกสารเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัว พร้อมทั้งปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และช่วงอุณหภูมิระหว่าง 400 - 700 องศาเซลเซียส ลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ให้โครงสร้างแข็งแรงของกะลามะพร้าว จะสลายตัวช้า ๆ พร้อมทั้งเกิดการสร้างคาร์บอน และผงถ่านสีดำ (อนุสรณ์, 2560)

ตารางที่ 3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%Yield) เปรียบเทียบระหว่างผงฝุ่นกะลามะพร้าวก่อนเผาและหลังเผา

ผงฝุ่นดำที่เตรียมได้	ผงฝุ่นก่อนเผา	ผงฝุ่นหลังเผา	หลังร่อนที่ 200 mesh	หลังร่อนที่ 400 mesh	ร้อยละผลผลิตที่ได้
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(%Yield)
(1)	10.00	8.15	2.53	-	31.04
(2)	10.00	8.08	-	3.11	38.49

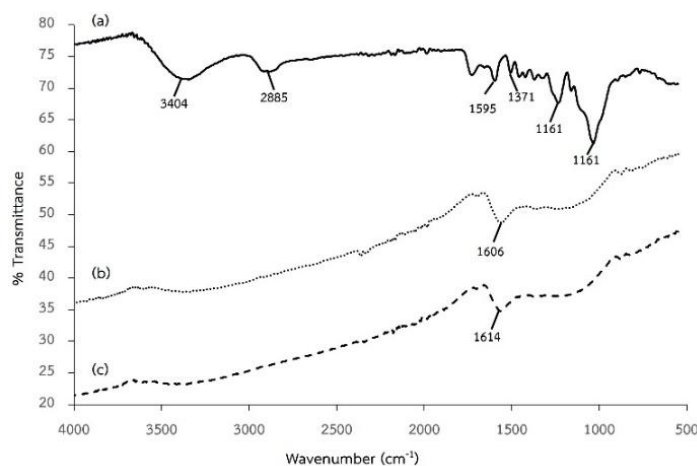
หมายเหตุ: (1) และ (2) คือ ผงฝุ่นดำหลังเผาร่อนแยกขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรกร่อนขนาด 200 และ 400 mesh ตามลำดับ



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของผงฝุ่นกะลามะพร้าวก่อนเผา (ซ้ายมือ) และหลังเผา (ขวามือ)

2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี

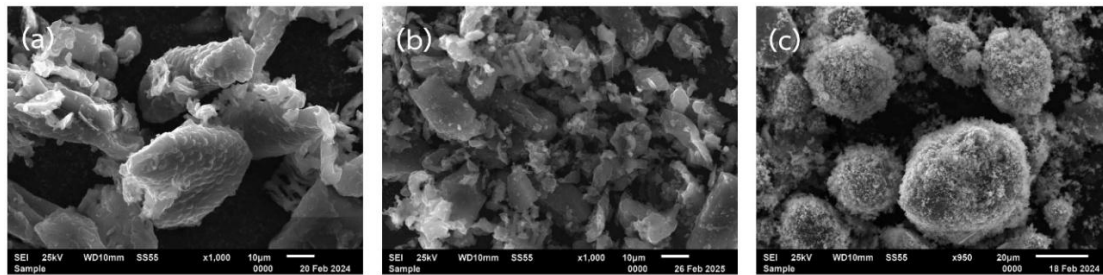
ในรูปที่ 2 (a) แสดงสเปกตรัม FT-IR ของหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างเซลลูโลสของกะลามะพร้าวก่อนเผา ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงที่ 3404 2885 1595 1371 1161 และ 1034 cm^{-1} สอดคล้องกับเซลลูโลสในธรรมชาติ กล่าวคือ แถบการดูดกลืนแสงที่เข้ม บริเวณ 3404 cm^{-1} แสดงการยืด-หดของหมู่ไฮดรอกซิล แถบการดูดกลืนแสงที่ 2885 cm^{-1} เกิดจากการยืด-หดของพันธะ C-H แถบการดูดกลืนแสงที่ 1595 cm^{-1} เกิดจากการสั่นโมเลกุลของน้ำแบบโค้งงอ แถบการดูดกลืนแสงที่ 1371 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นพันธะ O-H แบบโค้งงอ แถบการดูดกลืนแสงที่ 1161 cm^{-1} เกิดจากการยืด-หด แบบไม่สมมาตรของพันธะ C-O ที่เป็นสะพานเชื่อมภายในโครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลส และแถบการดูดกลืนแสงที่ 1034 cm^{-1} เกิดจากการสั่นพันธะ C-O-C ภายในวงแหวนไพราโนส (Pyranose ring) ของโครงสร้างหลัก (Li *et al.*, 2009) เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ในรูปที่ 2 (b) และ (c) พบว่า หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสสลายตัวหายไป แต่ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงที่ความเข้มอ่อนในช่วงระหว่าง 1606 - 1614 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นพันธะ H-O-H แบบโค้งงอภายในโมเลกุลของน้ำซึ่งเกิดจากความชื้น



รูปที่ 2 สเปกตรัม FT-IR ของตัวอย่าง (a) ผงฝุ่นจากกะลามะพร้าวก่อนเผา (b) หลังเผาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh (1) และ (c) หลังเผาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 400 mesh (2)

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผงฝุ่นหลังเผา และผงฝุ่นดำทางการค้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ผงฝุ่นดำ (1) พบว่า มีรูปทรงไม่แน่นอนกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 46.3 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของผงฝุ่นดำ (2) ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 10.6 ไมโครเมตร มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าผงฝุ่นดำ (3) ดังแสดงในรูปที่ 3 (b) อย่างไรก็ตาม สำหรับผงฝุ่นดำ (3) จะมีลักษณะเป็นอนุภาคมีรูปทรงค่อนข้างกลมเกาะเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 29.9 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 (c) การใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาดของผงฝุ่นดำ

จากกะลามะพร้าวหลังเผา มีผลต่อขนาดอนุภาคและความละเอียดทำให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการตรวจเก็บ รอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัตถุพยาน (Sodhi and Kaur, 2001)



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของผงฝุ่นดำที่กำลังขยาย 1000 เท่า ของตัวอย่าง (a) หลังเผาด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh (1) (b) หลังเผาด้วยตะแกรงขนาด 400 mesh (2) และ (c) ผงฝุ่นดำทางการค้า (3)

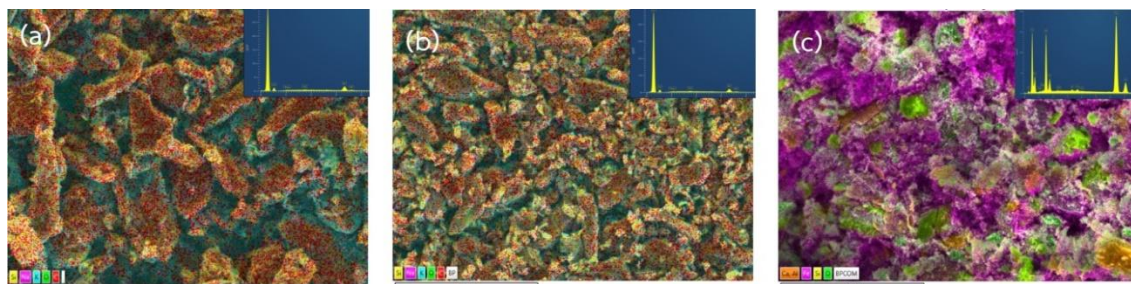
จากการศึกษาองค์ประกอบภายในผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนทั้ง 2 ขนาด เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำทางการค้า ดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นว่า ผงฝุ่นดำที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงทั้งสองขนาดมีปริมาณ สัดส่วนของธาตุสูงสุดจำนวน 2 อันดับแรก คือ ธาตุคาร์บอน และธาตุออกซิเจน ซึ่งมีความแตกต่างกับผงฝุ่นดำทางการค้าที่มี ปริมาณสัดส่วนของสูงสุด คือ ธาตุเหล็ก การที่ผงฝุ่นดำที่มาจากกะลามะพร้าวแล้วมีปริมาณธาตุคาร์บอนและออกซิเจน ในปริมาณสัดส่วนที่สูง จะมีข้อดี คือ สามารถจับกับเส้นนูนบนลายนิ้วมือได้ดี เนื่องจากคาร์บอนจะไม่สามารถดูดซับน้ำหรือ สารละลายที่มีน้ำได้ ทำให้เกิดการยึดติดที่ดีกับสารตกค้างจากเหงื่อ (Moreno *et al.*, 2021)

จากการศึกษาการกระจายตัวของธาตุ (EDX mapping) สามารถสังเกตเห็นปริมาณธาตุคาร์บอน (สีแดง) จำนวนมาก และมีการกระจายตัวบนอนุภาคสม่ำเสมอสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักคาร์บอนที่สูงของผงฝุ่นดำที่ผ่านการการร่อนด้วย ตะแกรงทั้ง 2 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 4 (a) และรูปที่ 4 (b) ส่วนปริมาณธาตุเหล็ก (สีม่วง) พบมากที่สุดถูกซ่อนทับด้วยธาตุ ออกซิเจน (สีเขียว) และธาตุอะลูมิเนียม (สีส้ม) รองลงมา ตามลำดับ กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4 (c) นอกจากนี้ ในรูปที่ 4 (b) จะเห็นว่าผงฝุ่นดำ (2) พื้นผิวมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้ธาตุคาร์บอนเกาะตัวได้ดีส่งผลให้รอยลายนิ้วมือแฝง ที่ตรวจเก็บได้มีคุณภาพที่ดี (Moreno *et al.*, 2021)

ตารางที่ 4 ธาตุองค์ประกอบภายในผงฝุ่นดำกะลามะพร้าวหลังเผาที่ผ่านการร่อน และผงฝุ่นดำทางการค้าที่ใช้กันทั่วไป

ธาตุ	(1)	(2)	ผงฝุ่นดำทางการค้า
	(Weight %)	(Weight %)	(Weight %)
Carbon (C)	88.3	89.7	5.1
Oxygen (O)	9.5	8.6	22.3
Potassium (K)	2.0	1.5	0.3
Sodium (Na)	0.1	0.1	0.3
Silicon (Si)	0.1	0.1	2.7
Iron (Fe)	-	-	55.7
Aluminum (Al)	-	-	13.0
Calcium (Ca)	-	-	0.4
Magnesium (Mg)	-	-	0.2

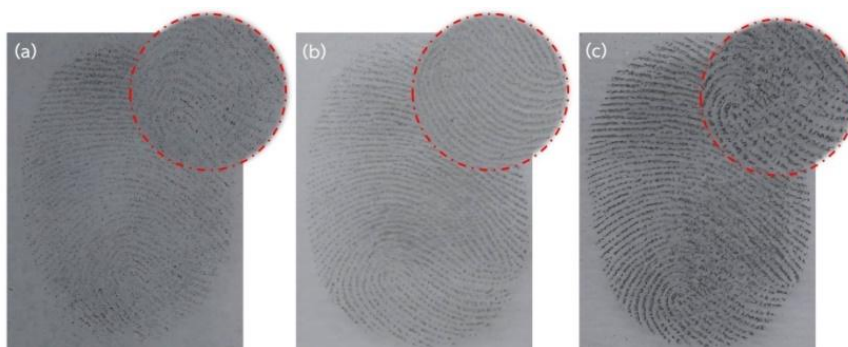
หมายเหตุ: (1) และ (2) คือ ผงฝุ่นดำหลังเผาแล้วแยกขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 200 และ 400 mesh ตามลำดับ



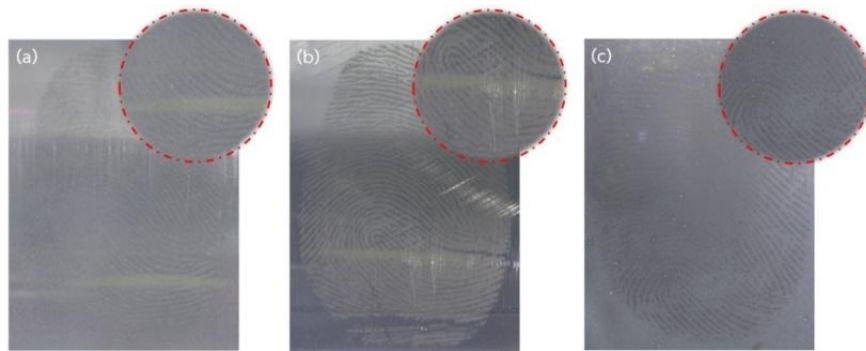
รูปที่ 4 การกระจายตัวของธาตุ (Mapping) ของผงฝุ่นดำ (a) หลังเผาด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh (1) (b) หลังเผาด้วยตะแกรงขนาด 400 mesh (2) และ (c) ผงฝุ่นดำทางการค้า (3)

3. การเปรียบเทียบคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเปรียบเทียบคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงได้จากการนำกะลามะพร้าวผ่านกระบวนการเผาเพื่อใช้เป็นผงฝุ่นสำหรับตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนสองชนิด ได้แก่ กระຈกใส และขวดพลาสติกใส ด้วยวิธีปิดผงฝุ่น โดยใช้ผงฝุ่นดำที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำทางการค้า ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นว่า ผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิดสามารถตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนทั้งสองชนิดได้ แต่หากพิจารณาความคมชัดของเส้นบนลายนิ้วมือ พบว่า ผงฝุ่นดำ (2) จะปรากฏเส้นบนที่คมชัด การไหลของเส้นต่อเนื่องไม่มีการขาดช่วง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กและธาตุคาร์บอนมีการกระจายสม่ำเสมอทำให้การยึดติดกับสารตกค้างของเหงื่อบนลายนิ้วมือเกิดขึ้นดีกว่าซึ่งแตกต่างจากผงฝุ่นดำ (3) โดยส่วนใหญ่มีธาตุหลักเป็นองค์ประกอบทำให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของลายเส้นเกิดความขรุขระของลายเส้น เสี่ยงต่อการระบุจุดลักษณะสำคัญพิเศษ เช่น เส้นหยุด เส้นสั้น เป็นต้น ส่งผลต่อการเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ นอกจากนี้ ผลการตรวจนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ได้จากการใช้เครื่องตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมือและฝ่ามืออัตโนมัติ หรือเรียกว่า Mini-AFIS/APIS วิเคราะห์โดยผู้ตรวจพิสูจน์ด้านลายนิ้วมือ กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 10 ผลการนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษและระดับคุณภาพของรอยลายนิ้วมือบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุน ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ผงฝุ่นดำ (2) ปรากฏลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวทั้งกระຈกใสและขวดพลาสติกใส ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นมากที่สุด รองลงมาเป็นผงฝุ่นดำ (3) และผงฝุ่นดำ (1) ตามลำดับ รอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระຈกใสจะมีค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษสูงกว่าพื้นผิวขวดพลาสติกใส เนื่องจากพื้นผิวกระຈกใสมีพื้นผิวที่เรียบเป็นระนาบเดียวกันต่างจากขวดพลาสติกที่รูปร่างทรงกระบอกโค้งมนการสัมผัสของลายนิ้วมือกระทำได้เพียงบางส่วนของลายนิ้วมือ โดยรอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏขึ้นบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนทั้งสองชนิดมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษสูงกว่าเกณฑ์การตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันเปรียบเทียบตัวบุคคล



รูปที่ 5 ลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระຈกใส โดยใช้ (a) ผงฝุ่นดำ (1) (b) ผงฝุ่นดำ (2) และ (c) ผงฝุ่นดำทางการค้า (3)



รูปที่ 6 ลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวขวดพลาสติกใส โดยใช้ (a) ผงฝุ่นดำ (1) (b) ผงฝุ่นดำ (2) และ (c) ผงฝุ่นดำทางการค้า (3)

ตารางที่ 5 จำนวนจุดลักษณะสำคัญและระดับคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูปพริ้นด้วยผงฝุ่นทั้งสามชนิด

ตัวอย่างพื้นผิว	ชนิดของผงฝุ่น	จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับคุณภาพ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
กระจกใส	(1)	59	30	61	50.00	17.35	ปานกลาง
	(2)	62	68	64	64.67	3.06	ดีมาก
	(3)	45	64	50	53.00	9.85	ปานกลาง
ขวดพลาสติกใส	(1)	32	30	16	26.00	8.72	ไม่มีคุณภาพ
	(2)	30	61	62	51.00	18.19	ดี
	(3)	30	21	36	29.00	7.55	ไม่มีคุณภาพ

หมายเหตุ: (1) คือ หลังเฝาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh (2) คือ หลังเฝาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 400 mesh และ (3) คือ ผงฝุ่นดำทางการค้า

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิดบนพื้นผิวกระจกใส ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ผงฝุ่นดำ (1) (2) และ ผงฝุ่นดำ (3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.00 จุด 64.67 จุด และ 53.00 จุด ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวกระจกใสจากผงฝุ่นทั้ง 3 ชนิด ได้ค่า p -value เท่ากับ 0.33 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวกระจกใสตรวจเก็บด้วยผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า ผงฝุ่นดำที่เตรียมได้และทางการค้าสามารถตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระจกใสได้โดยไม่เกิดความแตกต่างกัน คือ สามารถนำจุดลักษณะสำคัญพิเศษใช้ตรวจเปรียบเทียบเพื่อยืนยันตัวบุคคลได้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวกระจกใส

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	* p -value
ระหว่างกลุ่ม	360.22	2	180.11	1.33	0.33
ภายในกลุ่ม	814.67	6	135.78		
รวม	1174.89	8			

* $p < 0.05$

SS หมายถึง ผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนแต่ละตัวยกกำลังสอง

df หมายถึง ระดับขั้นของความเป็นอิสระ

MS หมายถึง ค่าความแปรปรวน

F หมายถึง ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการแจกแจงค่าเอฟ

ในตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ผงฝุ่นดำ (1) (2) และ ผงฝุ่นดำ (3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.00 จุด 51.00 จุด และ 29.00 จุด ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวขวดพลาสติกใสจากผงฝุ่นทั้ง 3 ชนิด ได้ค่า p -value เท่ากับ 0.09 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวขวดพลาสติกใสที่ตรวจเก็บด้วยผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า ผงฝุ่นดำที่เตรียมได้และทางการค้าสามารถตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวขวดพลาสติกใสได้โดยไม่เกิดความแตกต่างกัน คือ สามารถนำจุดลักษณะสำคัญพิเศษใช้ตรวจเปรียบเทียบเพื่อยืนยันตัวบุคคลได้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนพื้นผิวขวดพลาสติกใส

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	* p -value
ระหว่างกลุ่ม	1118.00	2	559.00	3.61	0.09
ภายในกลุ่ม	928.00	6	154.67		
รวม	2046.00	8			

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับกะลามะพร้าวซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรโดยการนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการพัฒนาผงฝุ่นดำสำหรับนำไปตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนเพื่อเป็นการใช้ทดแทนผงฝุ่นดำทางการค้าจากการวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่า วิธีการเผากะลามะพร้าวที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสมจะทำให้โครงสร้างเซลลูโลสสลายตัวหายไป และขนาดอนุภาคของผงฝุ่นดำ (1) (2) และผงฝุ่นดำทางการค้า (3) เท่ากับ 43.6 10.6 และ 29.9 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้น ผงฝุ่นดำที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 400 mesh (2) ปรากฏเส้นขนบนลายเส้นที่คมชัดมีคุณภาพสูงกว่าสามารถนำไปใช้ทดแทนที่ใช้ผงฝุ่นดำทางการค้า (3) ได้ ถึงแม้ว่าคุณภาพของรอยลายนิ้วมือที่ปรากฏไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้ผงฝุ่นดำทั้ง 3 ชนิด และจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตรวจนับได้ จะให้ค่าสูงกว่าเกณฑ์การตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลของกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝงก็ตาม สิ่งที่มีความสำคัญคือความคมชัดของเส้นขนบนลายเส้นซึ่งจะสอดคล้องกับขนาดอนุภาคของผงฝุ่นดำ กล่าวคือ ยังมีขนาดอนุภาคเล็กการเกาะติดบนเส้นขนของลายเส้นก็จะเกิดขึ้นได้ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สุพิชฌาย์และปริญญญา (2567) ได้ศึกษาการเผากะลามะพร้าวจนเป็นผงฝุ่นดำมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 20.3 ไมโครเมตร ซึ่งขนาดอนุภาคใหญ่กว่าของงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม ผลจากการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุไม่มีรูพรุนและกึ่งรูพรุน พบว่า ให้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่เพียงพอแก่การยืนยันตัวบุคคลได้ ดังนั้น การพัฒนาผงฝุ่นดำจากกะลามะพร้าวสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนผงฝุ่นดำทางการค้าได้ เนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และราคาถูกประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อผงฝุ่นจากต่างประเทศ ถือได้ว่างานวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ เอื้อทยา, กมลทิพย์ ชัตติยะวงศ์ และพิเชษฐ อนุรักษอุดม. (2558). การพัฒนาการหาลายนิ้วมือแฝงด้วยวัสดุผสมซิงค์ออกไซด์/พีพีวี. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 12: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 517 - 523.
- กิตตินันท์ ขาสอาด, วีรมลล์ ไวลิจิต และพิเชษฐ อนุรักษอุดม. (2567). การพัฒนาการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุไม่มีรูพรุน โดยใช้ผงมะเกลือนำไปใช้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 21. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 3398 - 3407.
- กิตดา ขานโบ, กิตติธัช ธนสวีสวษ์, เขมฤทัย ถามะพัฒน์, ศิริประภา รัตตัญญู, สุรินทร์ ชมเสาร์หัส, พัชรา สีนลอยมา และพิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ (2564). ผงฝุ่นวาวแสงจากแคลสสำหรับเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝง. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 16(2): 67 - 80.
- เกตน์นิภา บุญงาม และปริญญา สีลานันท์. (2563). การเปรียบเทียบวิธีการลอกเก็บลายนิ้วมือแฝงบนผิวผลไม้โดยใช้ผงฝุ่นแม่เหล็ก. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ 6(2): 31 - 44.
- ทิฆัมพร ภูที, สาธิตา นวลพลกรัง, เบญจศิลป์ เปลี่ยนสันทีเย และธนพงษ์ ผุยบัวค้อ. (2567). คุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษต่างชนิดด้วยวิธีสารเคมีนินไฮดรินและ 1,2-อินเดนไดโออน. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ 10(1): 34 - 47.
- นัฐ กองแก้ว. (2562). การศึกษาการเปรียบเทียบปรากฏของรอยลายนิ้วมือแฝงบนปลอกกระสุนปืนที่อยู่ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ 5(2): 180 - 195.
- รุ่งริย์ ทองธรรมชาติ และวรรัช วิชชาณิชย์. การพัฒนาผงฝุ่นจากแคลสดำในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ 5(2): 87 - 103.
- สมหมาย แสงแก้ว. (2556). การผลิตผงฝุ่นจากถ่านหินและการประเมินผลการใช้ตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Silpakorn University สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์และศิลปะ 6(1): 829 - 839.
- สัมฤทธิ์ ไม้พวง. (2551). การผลิตผงฝุ่นดำถ่านกัมมันต์เปลือกกล้วยตรวจลายนิ้วมือแฝง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 1 - 34.
- สุพิชฌา แสงแก้วสุข และ ปริญญา สีลานันท์. การพัฒนาผงฝุ่นคาร์บอนจากกาบมะพร้าวเผาสําหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝง. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 16(1): 26 - 38.
- หทัยทิพย์ ทิพย์รงค์. (2558). การพัฒนาผงฝุ่นดำจากถ่านไม้เพื่อใช้ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนถ้วยที่ทำจากเซรามิค พลาสติกและกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม. 54 หน้า
- อนุสรณ์ สีนสะอาด. (2560). การพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 10(2): 95 - 108.
- Ikumapayi, O.M., Akinlabi, E.T., Majumdar, J.D. and Akinlabi, S.A. (2020). Chapter four - Applications of coconut shell ash/particles in modern manufacturing: a case study of friction stir processing. In Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series. Woodhead Publishing, Cambridge. pp. 69 - 95.

- Leman, A.Z., Shahidan, S., Senin, M.S.Raihan., N.I. and Hannan, R. (2016). A preliminary study on chemical and physical properties of coconut shell powder as a filler in concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 160: 012059. doi: 10.1088/1757-899X/160/1/012059.
- Li, J., Zhang, L.P., Peng, F., Bian, J., Yuan, T.Q., Xu, F. and Sun, R.C. (2009). Microwave-assisted solvent-free acetylation of cellulose with acetic anhydride in the presence of iodine as a catalyst. *Molecules* 14(9): 3551 - 3566.
- Moreno, S., Brown, G., Klein, M., Wang, Q., Markiewicz, J.T., Alemán, E.A., Rushton, C.G. and Quiñones, R. (2021). Chemical composition effect on latent print development using black fingerprint powders. *Forensic Chemistry* 26(14): 1 - 13.
- Ponsunthia, N. and Vichuwanich, W. (2020). The quality appearance of latent fingerprint on various metals by using black dust powder. *Journal of Applied Research on Science and Technology* 19(2): 34 - 44.
- Sodhi, G.S. and Kaur, J. (2001). Powder method for detecting latent fingerprints: a review. *Forensic Science International* 120(3): 172 - 176.

