

ผงฝุ่นวาแสงจากเกลบสำหรับเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝง  
RICE HUSK-BASED FLUORESCENT POWDERS FOR ENHANCING  
THE VISUALIZATION OF LATENT FINGERPRINTS

กิรดา ขานโบ<sup>1</sup> กิตติธัช ธนสิวะวงษ์<sup>2</sup> เขมฤทัย ถามะพัฒน์<sup>2\*</sup> ศิริประภา รัตตัญญู<sup>3</sup> สุรินทร์ ชมเสาร์หัส<sup>3</sup>  
พัชรา สินลอยมา<sup>1</sup> และ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ สามพราน นครปฐม 73110

<sup>2</sup>ห้องปฏิบัติการสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากเคมีสีเขียว ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์  
เพื่อคำตอบของสังคม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

<sup>3</sup>กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Kirada Khanbo<sup>1</sup>, Kittidhaj Dhanasiwawong<sup>2</sup>, Kheamrutai Thamaphat<sup>2\*</sup>, Siriprapa Rattanyu<sup>3</sup>,  
Surin Chomsaohus<sup>3</sup>, Patchara Sinloyma<sup>1</sup> and Pichet Limsuwan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program of Forensic Science, Forensic Science Faculty, Royal Police Cadet, Sam Phran, Nakhon Pathom 73110

<sup>2</sup>Green Synthesis and Application Laboratory, Applied Science and Engineering  
for Social Solution Research Center, Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University  
of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

<sup>3</sup>Central Police Forensic Science Division, Office of Police Forensic Science, Royal Thai Police,  
Pathum Wan, Bangkok 10330

\*E-mail: kheamrutai.tha@kmutt.ac.th

Received: 2021-05-23

Revised: 2021-05-27

Accepted: 2021-06-10

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ผงฝุ่นวาแสงด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวของวัตถุพยาน โดยนำเกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกา (SiNPs) ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.90 % หลังจากนั้นจึงนำสีย้อมเรืองแสงโรดามีน 6 จี มาเคลือบบนพื้นผิวของอนุภาค SiNPs จะได้อนุภาคนาโนซิลิกาวาแสง (SiNPs-R6G) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย  $25 \pm 1$  nm มีลักษณะเป็นผงสีส้ม เมื่อนำ SiNPs-R6G นี้ไปตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงโดยอาศัยวิธีการกดทับซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายลายเส้นแทนการปัดผงฝุ่น พบว่า SiNPs-R6G สามารถเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวของวัตถุชนิดต่าง ๆ ทั้งพื้นผิวมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน ทั้งพื้นผิวเรียบและพื้นผิวขรุขระได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเมื่อถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือที่ปรากฏด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลผ่านฟิลเตอร์สีส้ม ภายใต้แสงจากเครื่องโพลีไลท์ที่มีความยาวคลื่น 505 nm ภาพที่ได้ปรากฏรายละเอียดของลายเส้นลายนิ้วมือที่มีสีเหลือง (570 nm) ตัดกับพื้นผิว

ของวัตถุได้อย่างคมชัด แสดงให้เห็นว่าผงฝุ่นวาวแสงและวิธีการหารอยลายนิ้วมือแฝงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้งานตรวจพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

**คำสำคัญ:** ผงฝุ่นวาวแสง รอยลายนิ้วมือแฝง แกลบ อนุภาคนาโนซิลิกา โรดามีน 6 จี

## ABSTRACT

In this work, the fluorescent powders were synthesized using green method for enhancing the visualization of latent fingerprints (LFPs) on physical evidence surfaces. Rice husks, which are one of the major agricultural wastes, were used to synthesize silica nanoparticles (SiNPs) with high purity up to 99.8%. The prepared SiNPs were subsequently coated with fluorescent dyes called rhodamine 6G to obtain the fluorescent silica nanoparticles (SiNPs-R6G) with an average diameter of  $25 \pm 1$  nm. The synthesized SiNPs-R6G were powders in orange color. They were used for the detection of fresh LFPs with non-dusting technique. The results showed that the SiNPs-R6G could efficiently enhance the visualization of LFPs on porous surfaces, semi-porous surfaces, and non-porous surfaces. The best visual contrast of the yellow fingerprints (570 nm) on both smooth and rough surfaces was imaged using orange filter with digital camera under the beam of Polilight with a wavelength of 505 nm. The resultant findings indicated that the developed fluorescent powders and LFPs detection technique proposed herein can be used for criminal investigation in forensic science.

**Keywords:** fluorescent powder, latent fingerprints, rice husk, silica nanoparticles, rhodamine 6G

## บทนำ

การเก็บรวบรวมพยานหลักฐานในกระบวนการสืบสวนสอบสวนเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลการตรวจพิสูจน์โดยพยานหลักฐานที่ถูกเก็บรวบรวมมาจากสถานที่เกิดเหตุสามารถบอกได้ว่าการกระทำผิดเกิดขึ้น และการกระทำผิดนั้นเกิดขึ้นด้วยวิธีการใดและประสงค์ต่อสิ่งใด ทำให้สามารถเชื่อมโยงไปยังผู้กระทำความผิดหรือพิสูจน์ความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหาได้ โดยผู้กระทำผิดมักจะทิ้งร่องรอยหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ ดังทฤษฎีที่พัฒนามาจากแนวความคิดของ ดร.เอตมิง โลคาร์ต นักนิติวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ที่กล่าวไว้ว่า “ทุกการสัมผัสย่อมมีการทิ้งร่องรอย” (Suteerakune, 2018) ซึ่งมีการพิสูจน์และนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่าง ๆ โดยมีหลักการ คือ เมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น การนำมาใช้ที่เห็นเด่นชัดที่สุด คือ การตรวจหารอยลายนิ้วมือ (fingerprints) ของผู้ต้องสงสัย ซึ่งเป็นพยานหลักฐานที่พบได้บ่อยครั้งในสถานที่เกิดเหตุและถือเป็นวัตถุพยานที่สำคัญมาก เนื่องจากลายนิ้วมือของมนุษย์ (ridge pattern) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะมีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมือนกันแม้กระทั่งฝาแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันซึ่งมีดีเอ็นเอ (DNA) เหมือนกัน ก็ยังมีลายนิ้วมือที่แตกต่างกัน ดังนั้นรอยลายนิ้วมือจึงเป็นพยานหลักฐานสำคัญที่สามารถนำมาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล (uniqueness) เพื่อยืนยันตัวผู้กระทำผิดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ (Daluz, 2015)

รอยลายนิ้วมือที่พบในสถานที่เกิดเหตุแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ รอยลายนิ้วมือที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible fingerprints) และรอยลายนิ้วมือที่มองไม่เห็นหรือมองเห็นด้วยตาเปล่าไม่ชัดเจน ที่เรียกว่า

รอยลายนิ้วมือแฝง (latent fingerprints หรือ LFPs) โดยรอยลายนิ้วมือส่วนใหญ่ที่พบในที่เกิดเหตุจะเป็นประเภท LFPs ซึ่งเกิดจากคราบเหงื่อและคราบไขมัน (สารคัดหลั่ง) ที่ติดอยู่บนเส้นขนของลายนิ้วมือ เมื่อนิ้วมือไปสัมผัสกับวัตถุ ทำให้เส้นขนที่ประกอบไปด้วยความชื้นและกรดไขมันนี้ถูกกดลงบนพื้นผิวของวัตถุ เกิดการจำลองลายนิ้วมือที่มีลักษณะใสไม่มีสี ทำให้ลายนิ้วมือที่ปรากฏนั้นไม่ชัดเจน ดังนั้นงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องการวิธีทางแสง ฟิสิกส์ หรือเคมี มาช่วยในการทำให้ LFPs บนพื้นผิวต่าง ๆ ปรากฏชัดเจนขึ้น (Champod et al., 2004; Azman et al., 2019) ซึ่งวิธีการเพิ่มความคมชัดของ LFPs ที่สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจนิยมใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การปิดผงฝุ่น (powder-dusting method) การจุ่มในสารละลายนินไฮดริน (ninhydrin dipping) การอบไอระเหยจากกาว (cyanoacrylate fuming) และการรมควันไอโอดีน (iodine fuming) วิธีการปิดผงฝุ่นเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมนำไปใช้มากที่สุดสถานที่เกิดเหตุ อนุภาคของผงฝุ่นจะไปเกาะติดที่ LFPs บนพื้นผิวของวัตถุพยาน เนื่องจากความชื้นและองค์ประกอบของไขมันที่ตกค้างอยู่ ซึ่งความสามารถในการเกาะติดของอนุภาคขึ้นกับขนาด รูปร่าง และการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ซึ่งอนุภาคที่กลมและมีขนาดเล็กจะเกาะติดได้กว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และหยาบ ดังนั้นผงฝุ่นโดยทั่วไปจึงมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 10  $\mu\text{m}$  (Rajan et al., 2018) ซึ่งผงฝุ่นทางการค้า ที่นิยมนำมาใช้ในการหา LFPs คือ ผงฝุ่นดำ (black powder) ที่ประกอบด้วย เหล็กออกไซด์สีดำ (black iron oxide) ยางสน (rosin) เขม่าดำที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมัน (lamp black) ฟลูเลอร์เอิร์ท (fuller's earth) และแมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) ที่ทำหน้าที่เป็นสารให้สีและสารเพิ่มการยึดเกาะ (Lee & Gaensslen, 2012) นอกจากนั้นยังมีผงฝุ่นทางการค้าชนิดอื่น ๆ อีก ซึ่งจำแนกออกเป็นประเภทหลัก ๆ ได้แก่ ผงฝุ่นโลหะ (metal powder) ผงฝุ่นแม่เหล็ก (magnetic powder) ผงฝุ่นสี (colored powder) และผงฝุ่นวาวยางแสง (fluorescent powder) การเลือกใช้ผงฝุ่นแต่ประเภทจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความมีรูพรุน ความเรียบ และสีของพื้นผิว วัตถุพยาน อายุของ LFPs และปริมาณองค์ประกอบของสารคัดหลั่งที่หลงเหลือบนพื้นผิวของวัตถุพยาน (Sears et al., 2012; Dhall et al., 2016)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้อาศัยเทคโนโลยีนาโนเข้ามาช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคชนิดต่าง ๆ ได้แก่ 1) อนุภาคนาโนโลหะ เช่น อนุภาคนาโนเงิน และอนุภาคนาโนทอง 2) อนุภาคนาโนโลหะออกไซด์ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ สังกะสีออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ยูโรเพียมออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลิกา และ 3) อนุภาคนาโนเรืองแสง เช่น แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอต แคดเมียมซีลีไนด์ควอนตัมดอต คาร์บอนดอต และอนุภาคนาโนของแร่โลหะหายาก เป็นต้น (Prabakaran & Pillay, 2021) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหา LFPs ทั้งในรูปของอนุภาคแขวนลอย (wet powder suspension) เพื่อใช้เคลือบแบบโลหะชนิดเดียว (single metal deposition) และแบบโลหะหลายชนิด (multi metal deposition) และรูปของผงฝุ่น (Azman et al., 2019) จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกา (silica nanoparticles หรือ SiNPs) ถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มความคมชัดของ LFPs เนื่องจาก SiNPs มีความสามารถในการยึดจับแน่นกับโมเลกุลของน้ำสูง และสามารถจับกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโน โปรตีน และลิพิด ที่เป็นองค์ประกอบของ LFPs ผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนพื้นผิวของ SiNPs ได้ (Garg et al., 2011; Hazarika et al., 2012; Huang et al., 2015; Kim et al., 2016) อย่างไรก็ตาม ผงฝุ่นทางการค้ารวมถึงผงฝุ่นที่ถูกพัฒนาขึ้นในหลายงานวิจัยยังไม่สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มความคมชัดของ LFPs บนพื้นผิววัตถุทุกประเภทได้ จะเหมาะสมเพียงแค่พื้นผิวกึ่งรูพรุน (semi-porous surface) และพื้นผิวไม่มีรูพรุน (non-porous surface) เท่านั้น แต่ไม่สามารถนำไปหา LFPs บนพื้นผิวที่มีรูพรุน (porous surface) ได้ หรือหากนำไปใช้ได้ก็ยังไม่มีความคมชัดของพื้นผิวทั้ง 3 ประเภท ทั้งพื้นผิวเรียบและพื้นผิวขรุขระ ส่งผลให้เจ้าหน้าที่

ตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุต้องพิจารณาลักษณะพื้นผิวของวัตถุพยานก่อนในเบื้องต้น เพื่อเลือกชนิดของผงฝุ่นให้เหมาะสมกับการใช้งาน (Prabakaran & Pillay, 2021; Rajan et al., 2018; Thongthammachad & Witchuwanich, 2019; Azman et al., 2019; Rajan et al., 2019; Jenie et al., 2020)

แกลบ (rice husk หรือ RH) เป็นวัสดุเหลือทิ้งหลักจากกระบวนการสีข้าวและอุตสาหกรรมชีวมวล จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าในแต่ละปีมีปริมาณแกลบเหลือทิ้งสูงถึง 5 - 6 ล้านตัน/ปี (Boonsrila, 2016) แกลบประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (30%) เฮมิเซลลูโลส (20%) และลิกนิน (25-30%) และเถ้า (17-23%) โดยในเถ้ามีซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 90% ที่เหลือจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์ของโลหะออกไซด์ต่าง ๆ เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) อลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และเหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Pacheco-Torgal et al., 2015) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำแกลบมาใช้ในการสังเคราะห์ SiNPs แทนการใช้สารประกอบทางเคมีเตตระเอทอกซีไซเลน (tetraethoxysilane หรือ TEOS) หลังจากนั้นจะนำ SiNPs ที่สังเคราะห์ได้มาทำการเจือด้วยโมเลกุลของสีย้อมเรืองแสงอินทรีย์โรดามีน 6 จี (rhodamine 6G หรือ R6G) เพื่อใช้เป็นผงฝุ่นวาวแสง (SiNPs-R6G) สำหรับตรวจหา LFPs บนพื้นผิววัตถุได้ทุกประเภททั้งพื้นผิวที่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน ทั้งพื้นผิวเรียบและพื้นผิวขรุขระ ทั้งวัตถุพยานที่มีพื้นผิวสีเข้มและสีอ่อน โดยใช้วิธีการกดทับแทนการปิดผงฝุ่นที่ต้องอาศัยความชำนาญและอาจทำลายเส้นรอยลายนิ้วมือแฝงได้

## วิธีการ

### 1. การสังเคราะห์ SiNPs จากแกลบด้วยวิธีการสกัดและการตกตะกอน

นำแกลบข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 ซึ่งได้รับมาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ศูนย์ข้าวชุมชน บ้านอุ่มแสง (กลุ่มเกษตรกรทิพย์) จังหวัดศรีสะเกษ มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water หรือ DI) เป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อชะล้างสิ่งสกปรก เช่น เศษดินและเศษทรายที่ติดมากับแกลบ จากนั้นจึงนำแกลบที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และบดหยาบให้มีขนาดเล็กลง นำผงแกลบไปชะล้างด้วยกรด (acid leaching) HCl ความเข้มข้น 2 M ภายใต้กระบวนการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 90 นาที เพื่อกำจัดออกไซด์ของโลหะออก เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงนำผงแกลบมาล้างด้วยน้ำ DI จนกระทั่งเป็นกลาง (pH = 7) แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ออกโดยใช้ความร้อน ผู้วิจัยจึงนำผงแกลบไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (thermogravimetric analysis หรือ TGA) โดยใช้เครื่อง TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo) เพื่อพิจารณาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในแกลบออกไปได้ทั้งหมด พบว่าการสลายตัวทางความร้อนของแกลบจะเริ่มจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C ตามด้วยการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 180-310 °C 320-410 °C และสูงกว่า 410 °C ตามลำดับ ทั้งนี้มวลของแกลบจะเกิดสลายตัวกว่า 70% ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำผงแกลบไปเผาภายใต้บรรยากาศออกซิเจนด้วยเตาเผาความร้อนสูง (Humanlab, DMF-12) ที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และให้ได้ซีเถ้าที่มีปริมาณของซิลิกาอสัณฐานมากที่สุด นำซีเถ้าที่ได้ไปสังเคราะห์  $\text{SiO}_2$  บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการสกัดและการตกตะกอน โดยต้มในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2.5 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยการปรับค่า pH จนมีค่า pH เป็น 2 ด้วยสารละลายกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 2 M หลังจากนั้นจึงปรับค่า pH ให้เป็น 8.5 ด้วยสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$

ความเข้มข้น 2 M เพื่อให้  $\text{SiO}_2$  บริสุทธิ์ที่ถูกสกัดตกตะกอนออกมา จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 10 mbar ด้วยเตาอบสุญญากาศ (Binder, VD series) จะได้  $\text{SiO}_2$  บริสุทธิ์ หลังจากนั้นจึงนำ  $\text{SiO}_2$  บริสุทธิ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรด สกัด และตกตะกอนอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์และลดขนาดของซิลิกาให้กลายเป็น SiNPs ที่มีความบริสุทธิ์สูง

## 2. การเตรียมผงฝุ่นวาวแสง SiNPs-R6G

นำผง SiNPs ที่สังเคราะห์ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาผสมกับสารละลาย R6G ในอัตราส่วน 1 : 10 เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นแยกเอาผงออกจากสารละลาย R6G และล้างพื้นผิวของอนุภาคด้วยน้ำ DI ภายใต้การปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดโมเลกุลของ R6G ที่เคลือบไม่ติดออกจากนั้นนำผงที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 10 mbar ด้วยเตาอบสุญญากาศ จะได้เป็นผงฝุ่นวาวแสง SiNPs-R6G สำหรับนำไปใช้ตรวจหา LFPs ในขั้นตอนต่อไป

## 3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางแสง

หลังจากทำการสังเคราะห์ SiNPs และ SiNPs-R6G จะนำไปวิเคราะห์ห่องค์ทางเคมีที่เป็นธาตุและสารประกอบ รวมถึงความบริสุทธิ์ของ  $\text{SiO}_2$  โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (PANalytical, MiniPal4) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างของโมเลกุลโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Shimadzu, IR prestige-21) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (Rigaku, Miniflex) วิเคราะห์ขนาดและรูปร่างของอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (LEO, 1450VP) และวิเคราะห์สมบัติทางแสงโดยใช้เครื่องวัดการเรืองแสง (Jasco, FP-6200)

## 4. การเตรียมตัวอย่างรอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพยาน

ในการจำลอง LFPs บนพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ เริ่มจากเลือกตัวแทนของวัตถุพยานโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของพื้นผิว คือ พื้นผิวแบบมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน ซึ่งตัวอย่างที่ใช้สำหรับพื้นผิวแบบมีรูพรุน ได้แก่ กระดาษถ่ายเอกสารสีขาว (80แกรม) และกระดาษเทอร์มอล (ใบเสร็จรับเงินสะดวกซื้อ) ส่วนพื้นผิวแบบกึ่งรูพรุน ได้แก่ ธนบัตรฉบับละ 20 บาท และพื้นหนัง และพื้นผิวแบบไม่มีรูพรุน ได้แก่ กระดาษสไลด์ แผ่นทองแดง เหรียญกษาปณ์ กุญแจสแตนเลส อลูมิเนียมพอยล์ ถุงดำ ถุงสีขาวขุ่น ถุงจากร้านสะดวกซื้อเซเว่น และถุงจากห้างสรรพสินค้า ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งที่มิใช้อยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันและมักพบเจอในสถานที่เกิดเหตุ โดยวัตถุพยานตัวอย่างจะถูกนำมาตัดให้มีขนาด  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  สำหรับตัวอย่างพื้นผิวแบบไม่มีรูพรุนจะถูกล้างทำความสะอาดโดยนำไปแช่ในอะซิโตน เอทานอล ล้างด้วยน้ำ DI และทิ้งไว้ให้แห้ง เพื่อนำไปจำลอง LFPs ต่อไป

ในการจำลอง LFPs นั้น ทำโดยให้อาสาสมัคร 1 คน เป็นผู้ประทับลายนิ้วมือตลอดการทดลองเพื่อให้รูปแบบลายนิ้วมือไม่เปลี่ยนแปลง โดยก่อนประทับลายนิ้วมืออาสาสมัครต้องทำความสะอาดมือด้วยการล้างน้ำสบู่และน้ำสะอาด เช็ดให้แห้ง จากนั้นใช้นิ้วมือป้ายไปตรงบริเวณ T-zone แล้วไปประทับนิ้วมือลงบนพื้นผิวตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยการวางแผ่นตัวอย่างบนฐานรองรับแล้วประทับลายนิ้วมือไปบนตำแหน่งที่กำหนด จากนั้นปล่อยให้ลูกตุ้มลงมากดทับนิ้วมือด้วยแรง 9.8 นิวตัน ไว้ เป็นเวลา 10 วินาที เพื่อควบคุมแรงกดให้เท่ากันทุก ๆ ครั้ง

## 5. การศึกษาความสามารถของ SiNPs-R6G ในการเพิ่มความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวแบบมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน

สำหรับวิธีทดลองหา LFPs โดยใช้ผงฝุ่นวาวแสง SiNPs-R6G ที่เตรียมขึ้นมานั้น เริ่มจากนำผง SiNPs-R6G ใส่ในภาชนะรองรับ แล้วนำตัวอย่างวัตถุพยานที่ต้องการหา LFPs มาคว่ำลงบนผง SiNPs-R6G จากนั้น

ใช้ลูกตุ้มวางทับตัวอย่างด้านบนด้วยแรงกด 1.96 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที เพื่อเพิ่มแรงกดทับให้ LFPs กับผงฝุ่นสามารถเกาะติดกันได้มากขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างมาเคาะผงส่วนเกินออกจากพื้นผิว แล้วนำมาวางบนแท่นถ่ายภาพทำการกระตุ้นให้เกิดการวาวแสงด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 505 nm จากเครื่องฉายแสงโพลิไลท์ที่ถูกติดตั้งให้ทำมุม 45 องศา กับตัวอย่าง แล้วเก็บหลักฐานโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Nikon, D200) ผ่านฟิลเตอร์สีส้มในโหมดโฟกัสแบบอัตโนมัติ (Autofocus: AF) โดยมีค่าความไวแสง (ISO) เท่ากับ 800 และค่ารูรับแสง (F number) เท่ากับ 3.2

### ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนหลัก ๆ คือ ผลการสังเคราะห์ SiNPs และ SiNPs-R6G และการนำผงฝุ่นวาวแสงที่เตรียมขึ้นไปศึกษาความสามารถในการตรวจหา LFPs โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

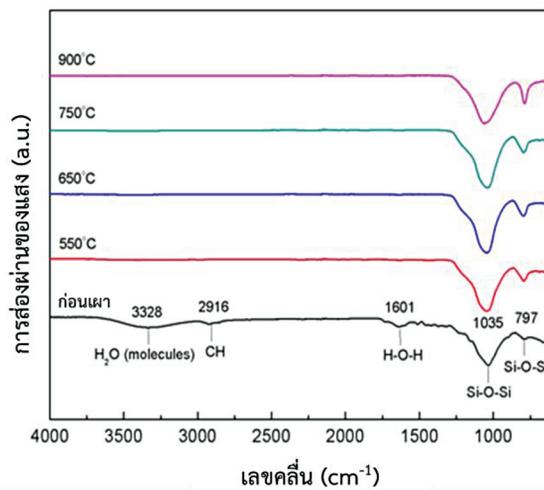
#### 1. ผลการสังเคราะห์ SiNPs และ SiNPs-R6G



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนสีของแกลบหลังผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรด เผา สกัด และตกตะกอน

จากการทดลองเมื่อนำแกลบมาผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรด เผา สกัด และตกตะกอน เพื่อสังเคราะห์  $\text{SiO}_2$  จากแกลบ พบว่าสีของแกลบจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีขาวซึ่งเป็นสีของ  $\text{SiO}_2$  ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence spectrometry หรือ XRF) ที่พบว่าแกลบก่อนผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรดประกอบด้วยสารประกอบหลัก คือ  $\text{SiO}_2$  96.40%  $\text{K}_2\text{O}$  1.15%  $\text{CaO}$  0.97% และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.12% แต่ภายหลังผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรดปริมาณ  $\text{K}_2\text{O}$  และ  $\text{CaO}$  ลดลงจนไม่สามารถตรวจวัดได้ (N/A) และปริมาณ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ลดลงเหลือ 0.01% ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการชะล้างด้วยกรดซึ่งเป็นวิธีการละลายสารประกอบในสถานะที่สารละลายเป็นกรด สารประกอบจำพวกโลหะออกไซด์จะถูกกำจัดออกไปจากแกลบผ่านการสลายตัวให้อยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์  $\text{KCl}$   $\text{CaCl}_2$  และ  $\text{FeCl}_3$  ที่สามารถละลายในน้ำได้ (Laganá & Parker, 2018)

เมื่อนำเคลือบหลังการชะล้างด้วยกรดไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C (550, 650, 750 และ 900 °C) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ โมเลกุลสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform infrared หรือ FTIR) ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่ไม่พบ 1) องค์กรประกอบของน้ำปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3,328  $\text{cm}^{-1}$  2) สารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน (CH) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2,916  $\text{cm}^{-1}$  และ 3) H-O-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1,601  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้อง กับเอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน (Vibuljan, 2005) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้อุณหภูมิในการเผา เท่ากับ 650 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เนื่องจากให้ซีเมนต์ของเคลือบที่มีปริมาณของซิลิกาอสัณฐานมากที่สุด (99.30%) และสีของซีเมนต์หลังการเผามีความขาวมากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 3

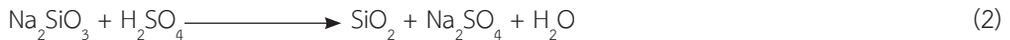


ภาพที่ 2 FTIR สเปกตรัมของเคลือบหลังการชะล้างด้วยกรดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

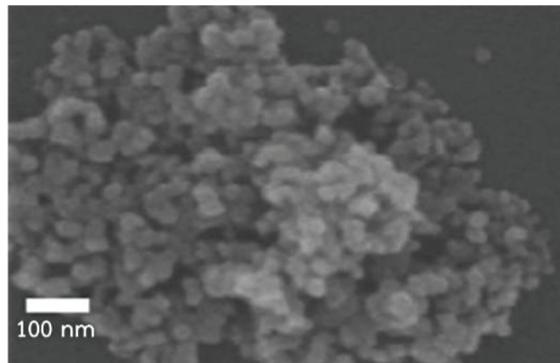


ภาพที่ 3 ซีเมนต์เคลือบหลังการชะล้างด้วยกรดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

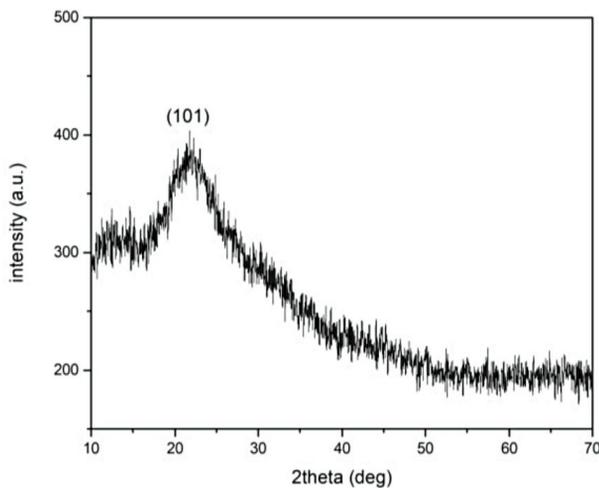
เมื่อนำซีเถ้าหลังผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรดและเผาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ไปทำการสกัดและตกตะกอนเพื่อสังเคราะห์เอา SiO<sub>2</sub> ออกมา โดยการต้มในสารละลายที่เป็นด่างเพื่อให้ SiO<sub>2</sub> ที่อยู่ในซีเถ้าของแกลบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate หรือ Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวใสไม่มีสี หลังจากนั้นจึงเติมกรดลงไปนในสารละลายของ Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนเป็น SiO<sub>2</sub> และยังเป็นกรปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งส่งผลให้อนุภาค SiO<sub>2</sub> มีขนาดเล็กถึง (Ghorbani et al., 2015) ดังแสดงในสมการที่ (1) -(2)



จากสมการที่ (2) เมื่อกำจัด Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ออก ผลการทดลองพบว่าจะได้ SiO<sub>2</sub> ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว (ภาพที่ 1) มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.84% และเมื่อนำผง SiO<sub>2</sub> เหล่านี้ไปผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรด สกัด และตกตะกอนอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์และลดขนาดของซิลิกาให้กลายเป็น SiNPs ผลการทดลองพบว่าจะได้ SiNPs ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.90% มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโดยเฉลี่ย 27 ± 1 nm ดังแสดงในภาพที่ 4 จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction หรือ XRD) พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD pattern) แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งปรากฏพีกค่อนข้างกว้าง ณ ตำแหน่งการเลี้ยวเบน 2θ ประมาณ 21.9 °C สอดคล้องกับระนาบ (101) ตาม JCPDS หมายเลข 00-011-0695 ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเป็น SiO<sub>2</sub> ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐาน (Rojas et al., 2019) และมีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตร



ภาพที่ 4 ภาพถ่าย SiNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นจากแกลบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 5 XRD pattern ของ SiNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นจากแคลบ



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายผงฝุ่น SiNPs-R6G ที่เตรียมขึ้นจากการทดลอง

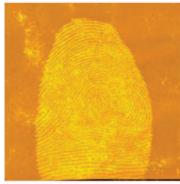
เมื่อนำ SiNPs บริสุทธิ์สูงที่สังเคราะห์ขึ้นนี้ไปทำการเคลือบด้วย R6G จะได้ผงฝุ่น SiNPs-R6G ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพพบว่าเป็นผงฝุ่นละเอียดที่มีสีส้ม เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี พบว่าผง SiNPs-R6G จะเกิดการวาวแสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น (emission wavelength) 570 nm เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น (excitation wavelength) 505 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นมาตรฐานที่กลุ่มงานตรวจสอบที่เกิดเหตุใช้ดูการวาวแสงของสาร R6G ทั้งนี้การย้อมสี R6G บนพื้นผิวอนุภาคของ SiNPs ไม่ส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะหรือโมเลกุลบนพื้นผิวของ SiNPs-R6G และยังคงพบหมู่ฟังก์ชัน ซิลอกเซน (siloxane) Si-O-Si ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1,035\text{ cm}^{-1}$  และ  $797\text{ cm}^{-1}$  ที่เกิดจากการสั่นแบบยืดหดแบบไม่สมมาตร (asymmetric stretching vibration) และการสั่นแบบยืดหดแบบสมมาตร (symmetric stretching vibration) ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของ  $\text{SiO}_2$  (Nhung et al., 2017)

## 2. ผลการศึกษาความสามารถของ SiNPs-R6G ในการเพิ่มความคมชัดของ LFPs

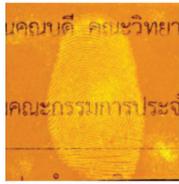
หลังจากสังเคราะห์ผงฝุ่นวาวแสง SiNPs-R6G เสร็จเรียบร้อยแล้วในตอนที่ 1 จึงนำผงฝุ่นที่เตรียมขึ้นไปตรวจหา LFPs บนพื้นผิวของตัวอย่างวัตถุแบบมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน ทั้งตัวอย่างที่มีพื้นผิวเรียบและพื้นผิว

ขรุขระ มีสีสว่างและมีเม็ด จำนวนทั้งสิ้น 13 ชนิด โดยอาศัยวิธีการกดทับด้วยผง SiNPs-R6G แล้วนำไปส่องภายใต้แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 505 nm โดยใช้เครื่องฉายแสงโพลิไลท์ ผลการทดลองพบว่าทุกตัวอย่างจะปรากฏรอยลายนิ้วมือที่สว่างแสงสีเหลืองให้เห็นอย่างเด่นชัด โดย R6G นอกจากจะช่วยให้เพิ่มความคมชัดระหว่างรูปแบบของรอยลายนิ้วมือและพื้นผิววัตถุพยานเนื่องจากคุณสมบัติการรวมแสงแล้ว ยังเพิ่มคุณสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) มากขึ้นด้วยเพราะในสาร R6G มีองค์ประกอบเป็นออกซิเจนที่สามารถเข้าไปจับและสร้างพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่มีอยู่มากใน SiNPs ส่งผลให้ SiNPs-R6G แสดงสมบัติน้ำมากขึ้น จึงช่วยในยึดติดกับสารคัดหลั่งบน LFPs ได้ดียิ่งขึ้น ภาพที่ 7 แสดงผลจากการเพิ่มความคมชัดของ LFPs บนตัวอย่างวัตถุพยานชนิดต่าง ๆ โดยใช้ผงฝุ่นรวมแสง SiNPs-R6G ร่วมกับวิธีการกดทับ ที่เก็บหลักฐานโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลผ่านฟิลเตอร์สีส้ม

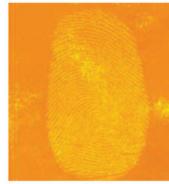
หลังจากที่ได้ทำการตรวจหา LFPs บนตัวอย่างวัตถุพยานทุก ๆ พื้นผิวแล้ว ผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายทุกภาพที่ได้จากผลการทดลองไปให้ พ.ต.อ.หญิง สุรินทร์ ชมเสาร์หัตถ์ นักวิทยาศาสตร์ (สบ.4) กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลโดยอาศัยหลักการการตรวจเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (special characteristics) หรือจุดตำหนิ (minutiae) ที่จะต้องมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นตรงกันอย่างน้อย 10 จุด (ศาลไทย) เพื่อลองความเห็นว่าเป็นลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกัน (Azman et al., 2019) ซึ่งจากการตรวจเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษระหว่างภาพถ่ายลายนิ้วมือที่บันทึกได้จากการตรวจหา LFPs โดยใช้ SiNPs-R6G ร่วมกับวิธีการกดทับที่พัฒนาขึ้น กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือของอาสาสมัคร พบว่าทุกภาพสามารถยืนยันเอกลักษณ์บุคคลได้ (ภาพที่ 8) แสดงให้เห็นว่าผง SiNPs-R6G สามารถเพิ่มความคมชัดให้กับเส้นรอยลายนิ้วมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากคุณสมบัติในการรวมแสงนั้นทำให้เส้นลายนิ้วมือที่ปรากฏติดกับพื้นผิวของวัตถุพยานได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นการลดการรบกวนจากพื้นหลัง นอกจากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าผง SiNPs-R6G ที่ถูกพัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปใช้ในงานพิสูจน์หลักฐานได้จริง ผู้วิจัยจึงได้สอบถามข้อคิดเห็นเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้ SiNPs-R6G จาก พ.ต.อ.หญิง สุรินทร์ ชมเสาร์หัตถ์ ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการชี้จุดสำคัญพิเศษมานานกว่า 20 ปี ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความเห็นว่าการใช้ SiNPs-R6G ในการเพิ่มความคมชัดของ LFPs นั้นสามารถเพิ่มการมองเห็นของเส้นลายนิ้วมือให้ชัดเจนขึ้นได้แม้มองด้วยตาเปล่า สะดวกต่อการใช้งานเนื่องจากสามารถใช้ได้กับพื้นผิวที่หลากหลาย ทำให้ไม่เสียเวลาในการเปลี่ยนไปใช้ผงฝุ่นชนิดอื่น ๆ



กระดาดถ่ายภาพเอกสารสีขาว



กระดาดถ่ายภาพเอกสารแบบ  
มีตัวหนังสือที่พื้นหลัง

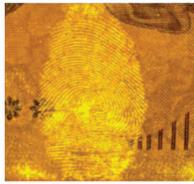


กระดาดเทอร์มอลสีขาว

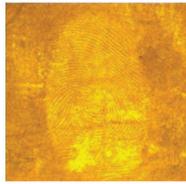


กระดาดเทอร์มอลแบบมี  
ตัวหนังสือที่พื้นหลัง

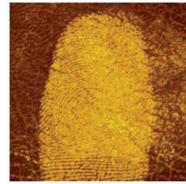
ตัวอย่างวัตถุประเภทที่มีพื้นผิวแบบมีรูพรุน



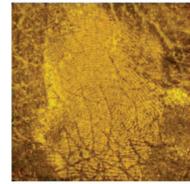
ธนบัตรฉบับละ 20 บาท  
(ด้านหน้า)



ธนบัตรฉบับละ 20 บาท  
(ด้านหลัง)

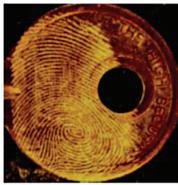


แผ่นหนังสืออ่อน

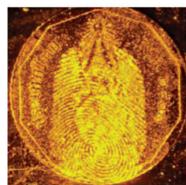


แผ่นหนังสือแข็ง

ตัวอย่างวัตถุประเภทที่มีพื้นผิวแบบกึ่งรูพรุน



กุกุญแจสแตนเลส



เหรียญกษาปณ์



กระจกสไลด์



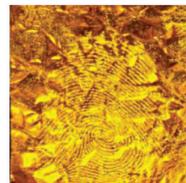
แผ่นทองแดง



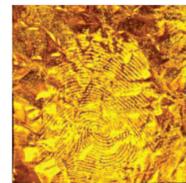
อลูมิเนียมฟอยล์  
แบบเรียบด้านเงา



อลูมิเนียมฟอยล์  
แบบเรียบด้านไม่เงา



อลูมิเนียมฟอยล์  
แบบยับด้านเงา



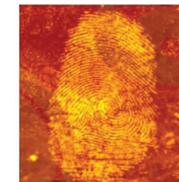
อลูมิเนียมฟอยล์  
แบบยับด้านไม่เงา



ถุงสีขาวขุ่น



ถุงจากร้านสะดวกซื้อ



ถุงจากห้างสรรพสินค้า



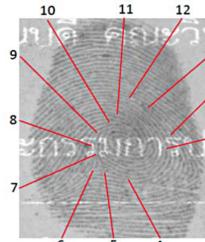
ถุงดำ

ตัวอย่างวัตถุประเภทที่มีพื้นผิวแบบไม่มีรูพรุน

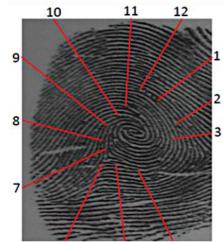
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายลายนิ้วมือที่ปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดเมื่อใช้ผงฝุ่น SiNPs-R6G ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้  
ร่วมกับวิธีการกดทับแทนการใช้วิธีการปิดผงฝุ่น สำหรับตรวจหา LFPs



ภาพถ่ายลายนิ้วมือที่ปรากฏบนกระดาษ  
ถ่ายเอกสารแบบมีตัวหนังสือที่พื้นหลัง  
ภายใต้แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 505 nm  
จากเครื่องฉายแสงโพลิโธร์ ผ่านฟิลเตอร์สี  
ส้ม เมื่อเพิ่มความคมชัดโดยใช้ฟังก์ชัน  
SINPs-R6G



ภาพถ่ายลายนิ้วมือที่ปรากฏบนกระดาษถ่ายเอกสารแบบ  
มีตัวหนังสือที่พื้นหลัง หลังเปลี่ยนเป็นภาพสีขาว-ดำ  
เพื่อให้ง่ายกับการชี้จุดสำคัญพิเศษ



ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ภาพที่ 8 ตัวอย่างการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลโดยอาศัยหลักการการตรวจเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

## สรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการนำแคลบซึ่งเป็นวัสดุจากภาคเกษตรกรรมที่เหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมากในแต่ละปี มาเพิ่มมูลค่าด้วยการนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการพัฒนาผงฝุ่นนาแวแสงชนิดใหม่โดยใช้วิธีการสกัดและตกตะกอนเพื่อเอา  $\text{SiO}_2$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักหนึ่งในแคลบมาเพิ่มความบริสุทธิ์และลดขนาดอนุภาคให้อยู่ในระดับนาโนเมตร แล้วจึงเคลือบด้วยสีย้อมเรืองแสงอินทรีย์ R6G เพื่อให้เป็นผงฝุ่นนาแวแสงที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 27 nm มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งจะยิ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างอนุภาคของผงฝุ่นกับความชื้นและไขมันที่ตกค้างอยู่บน LFPs ผ่านพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโน โพรตีน และลิปิด กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคได้ โดยวิธีนำผงฝุ่นนาแวแสง SINPs-R6G ไปประยุกต์ในการตรวจหา LFPs เพื่อเพิ่มความคมชัดนั้น จะใช้วิธีการกดทับระหว่างผงฝุ่นกับพื้นผิวของวัตถุพยานโดยใช้ระยะเวลาเพียงแค่ 10 วินาที ก็สามารถเห็นเส้นลายนิ้วมือปรากฏขึ้นอย่างชัดเจนโดยไม่ต้องใช้วิธีการปิดและการลอกเทปที่ต้องอาศัยความชำนาญเพราะอาจทำลายลายเส้นของ LFPs ได้ อย่างไรก็ตามในกรณีที่วัตถุพยานไม่ได้มีรูปร่างเป็นแผ่นแบบเรียบ สามารถใช้การปิดแทนการกดทับได้ ซึ่งผลการทดลองจากงานวิจัยแสดงให้เห็นเชิงประจักษ์ว่าผงฝุ่นนาแวแสงชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีที่เด่นชัดกว่าผงฝุ่นทางการค้าหรือผงฝุ่นที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยอื่น คือ สามารถตรวจหา LFPs บนพื้นผิวของวัตถุพยานทั้งแบบไม่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และมีรูพรุน ได้ โดยพื้นผิวนั้นอาจเป็นพื้นผิวเรียบหรือพื้นผิวขรุขระ มีสีเข้มหรือสีสว่างก็ได้ ทำให้ง่ายต่อการใช้งานของเจ้าหน้าที่ตรวจสถานที่เกิดเหตุที่ไม่จำเป็นต้องเลือกวิธีการหา LFPs ให้เหมาะสมกับลักษณะของพื้นผิววัตถุพยาน ยิ่งไปกว่านั้นลายนิ้วมือที่ปรากฏขึ้นยังมีความคมชัดตัดกับสีของพื้นหลัง สามารถนำไปชี้จุดลักษณะสำคัญพิเศษเพื่อตรวจเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ง่าย จึงได้รับการยอมรับที่จะนำไปใช้ในทางตรวจพิสูจน์หลักฐานจริง ซึ่งนอกจากจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้นแล้ว ยังช่วยลดงบประมาณของภาครัฐในการสั่งซื้อสารเคมีหรือผงฝุ่นทางการค้าที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

นอกจากที่ผู้วิจัยนำ SINPs ที่เตรียมขึ้นจากแคลบมาพัฒนาเป็นผงฝุ่นนาแวแสงชนิดใหม่แล้ว ผู้วิจัยยังได้นำ SINPs ไปเคลือบด้วยสีย้อมจากธรรมชาติเพื่อพัฒนาเป็นผงฝุ่นสีต่าง ๆ สำหรับใช้ตรวจหา LFPs บนพื้นผิวของวัตถุพยานทั้งแบบไม่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และมีรูพรุน โดยพื้นผิวนั้นอาจเป็นพื้นผิวเรียบหรือพื้นผิวขรุขระได้อีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายแสงโพลิไลต์ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Azman, A.R., Mahat, N.A., Wahub, R.A., Ahmad, W.A., Huri, M.A.M., & Hamzah, H.H. (2019). Relevant visualization technologies for latent fingerprints on wet objects and its challenges: a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9(23), 1-13.
- Boonsrila, M. (2016). *Community-based participatory design and development of environmentally friendly products from rice husk*. (Doctoral dissertation). Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani.
- Champod, C., Lennard, C., Margot, P., & Stollovic, M. (2004). *Fingerprint and other ridge skin impressions*. (1<sup>st</sup> ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Daluz, H.M. (2015). *Fundamentals of fingerprint analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Dhall, J.K., & Kapoor, A.K. (2016). Development of latent prints exposed to destructive crime scene conditions using wet powder suspensions. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(4), 396-404.
- Garg, R.K., Kumari, H., & Kaur, R. (2011). A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: a rhizomatous herbaceous Plant (*Curcuma longa*). *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 1(1), 53-57.
- Ghorbani, F., Sanati, A., & Maleki, M. (2015). Production of silica nanoparticles from rice husk as agricultural waste by environmental friendly technique. *Environmental Studies of Persian Gulf*, 2(1), 56-65.
- Hazarika, P., & Russell, D.A. (2012). Advances in fingerprint analysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(15), 3524-3531.
- Huang, W., Li, X., Wang, H., Xu, X., Liu, H., & Wang, G. (2015). Synthesis of amphiphilic silica nanoparticles for latent fingerprint detection. *Analytical Letters*, 48(9), 1524-1535.
- Jenie, S.N.A., Krismastuti, F.S.H., Ningrum, Y.P., Kristiani, A., Yuniati, M.D., Astuti, W., & Petrus, H.T.B.M. (2020). Geothermal silica-based fluorescent nanoparticles for the visualization of latent fingerprints. *Materials Express*, 10(2), 258-266.
- Kim, Y., Jung, H., Lim, J., Ryu, S., & Lee, J. (2016). Rapid imaging of latent fingerprints using biocompatible fluorescent silica nanoparticles. *Langmuir*, 32(32), 8077-8083.
- Laganá, A., & Parker, G.A. (2018). *Chemical reaction: basic theory and computing*. (1<sup>st</sup> ed.). Cham: Springer.

- Lee, H.C., & Gaenssien, R.E. (2012). **Lee and Gaenssien's: advances in fingerprint technology.** (3<sup>rd</sup> ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Nhung, D.T.T., Hoa, T., Trinh, N.T.N., Phu, D.V., Tuan, P.D., & Hien, N.O. (2017). Synthesis of silica nanoparticles from rice husk ash. **Science and Technology Development Journal**, 20(K7), 50-54.
- Pacheco-Torgal, F., Lourenço, P.B., Labrincha, J.A., Kumar, S., & Chindaprasirt, P. (2015). **Eco-efficient masonry bricks and blocks: design, properties and durability.** Cambridge: Woodhead Publishing.
- Prabakaran, E., & Pillay, K. (2021). Nanomaterials for latent fingerprint detection: a review. **Journal of Materials Research and Technology**, 12(1), 1856-1885.
- Rajan, R., Zakaria, Y., Shamsuddin, S., & Hassan, N.F.N. (2018). Nanocarbon powder for latent fingermark development: a green chemistry approach. **Egyptian Journal of Forensic Sciences**, 8(60), 1-10.
- Rajan, R., Zakaria, Y., Shamsuddin, S., & Hassan, N.F.N. (2019). Fluorescent variant of silica nanoparticle powder synthesised from rice husk for latent fingerprint development. **Egyptian Journal of Forensic Sciences**, 9(50), 1-9.
- Rojas, D.F.H., Gómez, P.P., & Rivera, A.R. (2019). Production and characterization of silica nanoparticles from rice husk. **Advanced Materials Letters**, 10(1), 67-73.
- Sears, V.G., Bleay, S.M., Bander, H.L., & Bowman, V.J. (2012). A methodology for fingermark research. **Science & Justice**, 52(3), 145-160.
- Suteerakune, P. (2018). **The use of forensic investigation (facial recognition) in the field of integrated security.** (Report in National Defence College class). Bangkok: Royal Thai Police.
- Thongthammachad, R., & Witchuwanich, W. (2019). The development of fingerprint powder made from black rice husk for detecting latent fingerprints on different types of surfaces. **Journal of Criminology and Forensic Science**, 5(2), 87-103.
- Vibuljan, S. (2005). **Organic chemistry.** Bangkok: Mahidol University Press.
- .....