



การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์สำหรับการตรวจหาลายนิ้วมือแฝง A Synthesis of Silicon Dioxide Nanoparticles for Latent Fingerprints Detection

สุทธิกานต์ ไชยกุล¹ ธิติ มหาเจริญ² และ ศุภวรรณ วิชพันธุ์³

^{1,2}คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

³ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

Suttikan Chaikul¹ Thiti Mahacharoen² and Supawan Vichuphund³

^{1,2}Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

³National Metal and Materials Technology Center

รับบทความ (Received): 23 เมษายน 2562, แก้ไขบทความ (Revised): 1 สิงหาคม 2562, ยอมรับการตีพิมพ์ (Accepted): 8 สิงหาคม 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการโซลเจล รวมถึงศึกษาการดัดแปลงพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลิกา และการใช้สารสีย้อมเรืองแสงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝง โดยเริ่มต้นศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์โดยใช้ TEOS เป็นสารตั้งต้น และ NH_4OH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาอัตราการไหลของ NH_4OH ที่อัตรา 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหลของ NH_4OH ที่ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ให้มีขนาดเล็กและมีผลผลิตได้มากกว่าร้อยละ 86.5 ในการดัดแปลงพื้นผิวอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ได้เติมสารควบู่ไซเลนชนิด CES ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-60 นาที พบว่า การเติม CES เวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากอนุภาคมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ จากนั้นศึกษาการเติมสารสีย้อมเรืองแสงชนิด Rhodamine B เพื่อเพิ่มความคมชัดให้กับลายนิ้วมือและการนำอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่เตรียมได้มาตรวจหาคุณภาพลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุที่แตกต่างกัน 4 กลุ่มชนิด พบว่าอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง วิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุด

การวิจัยนี้สรุปได้ว่าอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ผ่านการดัดแปลงพื้นผิวและย้อมสารเรืองแสง มีความสามารถในการยึดเกาะของเฟสอินทรีย์บนลายนิ้วมือ และทำให้เกิดความคมชัดของลายนิ้วมือ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงต่อไป

คำสำคัญ: อนุภาคนาโน, ซิลิกอนไดออกไซด์, กระบวนการโซลเจล, ลายนิ้วมือแฝง



Abstract

This research focuses on the synthesis of silicon dioxide nanoparticles by sol-gel technology, surface modification and the use of luminescent dyes for effective latent fingerprints detection. Firstly, SiO₂ nanoparticles (SNPs) were synthesized by tetraethyl orthosilicate as a precursor and ammonium hydroxide as a catalyst. The effect of NH₄OH flow rate (0.1-1.0 ml/min) on the particle size of SNPs was investigated. The NH₄OH flow rate at 0.2 ml/min was the optimum condition to achieve the maximum yield of SiO₂ nanoparticles, as it could synthesize uniform SiO₂ nanoparticles, yielding over 86.5%. Then, the researchers conducted surface modification of silicon dioxide nanoparticles using a silane coupling agent with carboxyl silanetriol sodium salt 25% in water, as with different reaction time of 10-60 minutes. Due to surface modification process, the average particle size of modified SNPs was larger. The addition of CES at 60 min showed the optimum condition as the particles were well-dispersed. Next, dye doped SNPs using a rhodamine B were prepared by different three methods to reduce background and increase sharpness of the fingerprints. Finally, the quality of latent fingerprints was detected by depositing dye-modified SNPs on four different surface types. It was found that high-quality patterns of fingerprints were achieved when using dye-modified SNPs prepared from method (3) RB-CES-SNPs. In conclusion, dye-modified SNPs developed from this research have high selectivity and good contrast. Therefore, it is possible to use these nanoparticles in latent fingerprints detection.

Keywords: Nanoparticle, Silicon Dioxide, Sol-gel Process, Latent Fingerprint.

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาทางด้านอาชญากรรมได้เกิดขึ้นบ่อยครั้งซึ่งสร้างความเดือดร้อนให้กับประชาชนในหลายๆ ด้าน อาชญากรรมที่พบได้บ่อยคือ การลักทรัพย์ หรือการชิงทรัพย์ ซึ่งลักษณะการทำงานส่วนใหญ่จะยึดหลักง่าย รวดเร็วและมีการวางแผนเล็กน้อย ส่วนใหญ่คนร้ายอาจสวมหน้ากากหรือใช้วัสดุอื่นเพื่อปิดบังใบหน้า แต่จะไม่สนใจในเรื่องของการทิ้งร่องรอยหลักฐานอื่น ๆ ในสถานที่เกิดเหตุ พยานหลักฐานที่สำคัญทางด้านนิติวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งคือ ลายนิ้วมือ เนื่องจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะไม่ซ้ำกันและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เกิดจนกระทั่งเสียชีวิต ซึ่งลายนิ้วมือเกิดขึ้นเมื่อมีการจับสัมผัสวัตถุ ซึ่งเกิดจากตะกอนของเหงื่อที่ถูกขับออกจากต่อมเหงื่อที่อยู่บนผิวหนังของนิ้วมือที่มีลักษณะนูนขึ้นมา บางครั้งเป็นรอยที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือมองเห็นได้ไม่ชัด เรียกว่า ลายนิ้วมือแฝง



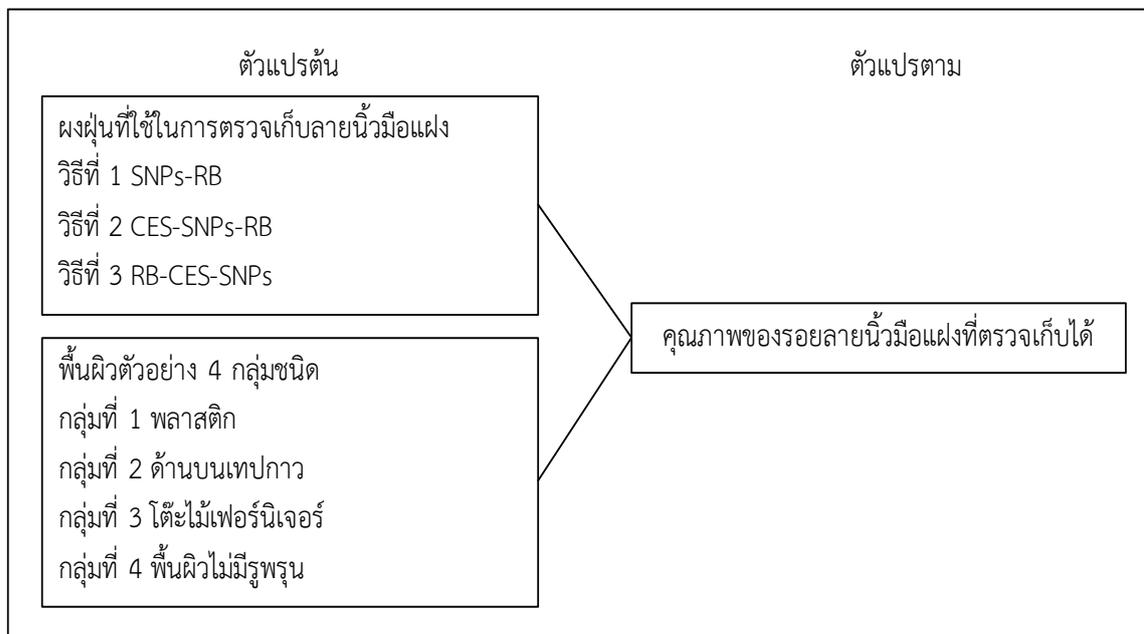
ซึ่งเป็นลายนิ้วมือที่พบได้บ่อยในสถานที่เกิดเหตุ และเพื่อให้ได้รอยลายนิ้วมือที่ชัดเจนของลายเส้น จึงต้องมีวิธีการเก็บรอยลายนิ้วมือให้เหมาะสมกับพื้นผิววัตถุพยานแต่ละประเภท

ปัจจุบันได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งการตรวจสอบลายนิ้วมือโดยการใช้อนุภาคนาโนมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กกว่าความกว้างของลายเส้นลายนิ้วมือ อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติทางแสง ทำให้เกิดการเรืองแสงและลดการรบกวนพื้นหลัง และสามารถเตรียมและตัดแปลงโครงสร้างได้ง่าย เพื่อให้เกิดการยึดติดกับลายนิ้วมือได้ดี (Sebastien, 2016) ดังนั้นจากข้อดีดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้อนุภาคนาโนเพื่อตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง โดยศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล สำหรับการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่แตกต่างกันด้วยวิธีการปิดผงฝุ่น ซึ่งข้อดีของการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจลเป็นวิธีที่ง่าย ทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กและละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง และสามารถกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการได้ง่าย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล และการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้ จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ โดยวิธีการปิดผงฝุ่นบนพื้นผิวตัวอย่าง 4 กลุ่มชนิดที่ต่างกัน

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ทบทวนวรรณกรรม

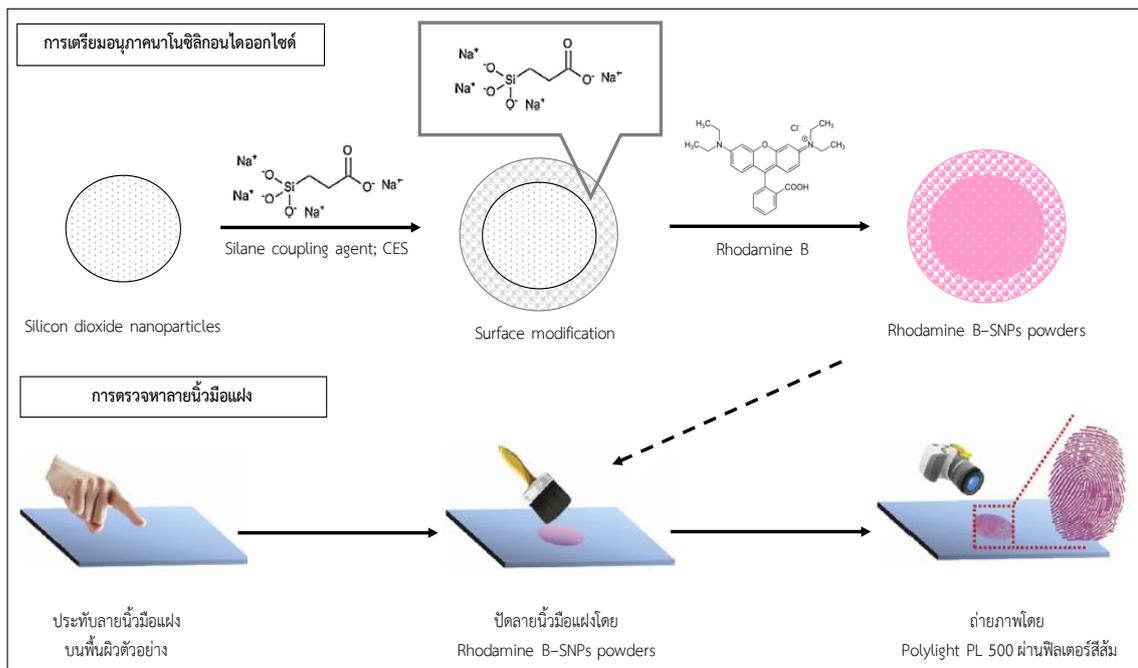
ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคนาโน (Nanoparticles) สำหรับการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงโดยการใช้อนุภาคนาโนมีข้อดีหลายประการ ประการแรกขนาดของอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กมาก สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบที่มีความละเอียดสูง ประการที่สอง อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติทางแสง ที่ทำให้เกิดการเรืองแสงของลายนิ้วมือได้ นำมาใช้เพื่อลดการรบกวนพื้นผิว และ ประการสุดท้ายพื้นผิวของอนุภาคนาโนมีความสามารถในการยึดติดกับรอยนิ้วมือได้ดี โดยการเปลี่ยนโครงสร้างบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนทำได้ง่ายอาจจะทำโดยการเติมโซโม่เลกุล หรือกลุ่มฟังก์ชันทางเคมี เพื่อเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างสารคัดหลั่งของลายนิ้วมือแฝงและอนุภาคนาโนซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการยึดติดของลายนิ้วมือได้ดีขึ้น การใช้อนุภาคนาโนเป็นการเพิ่มความไว ความคมชัดและทำให้เกิดภาพลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจนโดยไม่กลืนกับพื้นผิว (Sebastien, 2016) อนุภาคนาโนโลหะออกไซด์ มักใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีสมบัติทาง Optical เช่น Titanium dioxide (TiO_2) Zinc oxide (ZnO) หรือ Iron oxide (Fe_2O_3) ซึ่งมักจะประยุกต์โดยการทำให้เป็นผงแห้ง บางครั้งเกาะกันเป็นกลุ่ม อินทรีย์สารโดยการเพิ่มน้ำซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับไขมันของลายนิ้วมือบนพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนหรือบนด้าน เทปกาวได้โดยใช้กระบวนการแบบเปียก ผง หรือ Small particle reagent (SPR) แทนการใช้แปรงปิด ผงฝุ่น หรือการนำพื้นผิววัตถุตัวอย่างเช่นในสารแขวนลอยก่อนที่จะล้างด้วยน้ำ ซึ่งลายนิ้วมือแฝงสามารถตรวจเก็บได้จากการกักเก็บของอนุภาคโลหะออกไซด์กับไขมันบนลายนิ้วมือ (Becue, et al., 2010)

งานวิจัยของ Moret, Becue & Champod (2016) ได้ศึกษาการนำไปใช้ของอนุภาคนาโน ซิลิกอนออกไซด์กับกลุ่มสารเคมีต่าง ๆ ที่ผสมในสารละลายถูกนำมาใช้ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการหลั่ง สารตกค้างที่รอยนิ้วมือกับอนุภาคนาโนและทำความเข้าใจในกลไกระหว่างการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยมีจุดประสงค์ที่สำรวจความเป็นไปได้ในการนำอนุภาคนาโนซิลิกอนออกไซด์มาใช้ในการตรวจสอบ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพและเปรียบเทียบเงื่อนไขการตรวจสอบการนำไปใช้ของเทคนิคต่าง ๆ และการย้อมสีเรืองแสง ทดสอบกับพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนเช่น แก้ว หรือ เหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งใช้อนุภาคนาโน ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 700 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับวิธี Cyanoacrylate โดยเฉลิยแล้ว ทั้งสองเทคนิคมีวิธีการดำเนินการทดลองคล้ายกันแต่อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ตรวจพบรอยแตก ที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้นและได้รับผลกระทบของความแปรปรวนจากตัวอย่างลายนิ้วมือ ของอาสาสมัครน้อยลง เทคนิคการใช้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ยังคงที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจสอบลายนิ้วมือต่อไป



ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการวิจัยเชิงทดลอง โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ และการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงโดยใช้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนพื้นผิววัสดุที่แตกต่างกัน โดยได้ศึกษาตามขั้นตอนดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์และการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง (ดัดแปลงมาจาก Yuan, Wang & Zhang, 2018)

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ได้แก่ Tetraethyl Orthosilicate (TEOS 99.0%, Aldrich), Ethanol (ACI Labscan), NH_4OH (NH_3 30%, Panreac Applichem), Rhodamine B (Himedia), Carboxyethyl Silanetriol Sodium Salt 25% in Water (CES 25%, Carbosynth) และน้ำกลั่น

โดยมีขั้นตอนในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์โดยกระบวนการโซลเจล ดังนี้ ในส่วนแรกทำการศึกษามลของอัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.1-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการไหล NH_4OH มีผลต่อขนาดของอนุภาคและร้อยละของผลผลิตของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ซึ่งได้ดัดแปลงจากวิธีการของ Jafarzadeh, Rahman & Sipaut (2009) ดังนี้ ละลาย TEOS 5 มิลลิลิตรใน Ethanol 30 มิลลิลิตร ภายใต้ Sonication จากนั้นเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวน 90 นาที เติมสารละลาย NH_4OH 2 มิลลิลิตร เพื่อเร่งปฏิกิริยาโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของ NH_4OH ในช่วง 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ จากนั้นทำการปั่นกวนของผสม

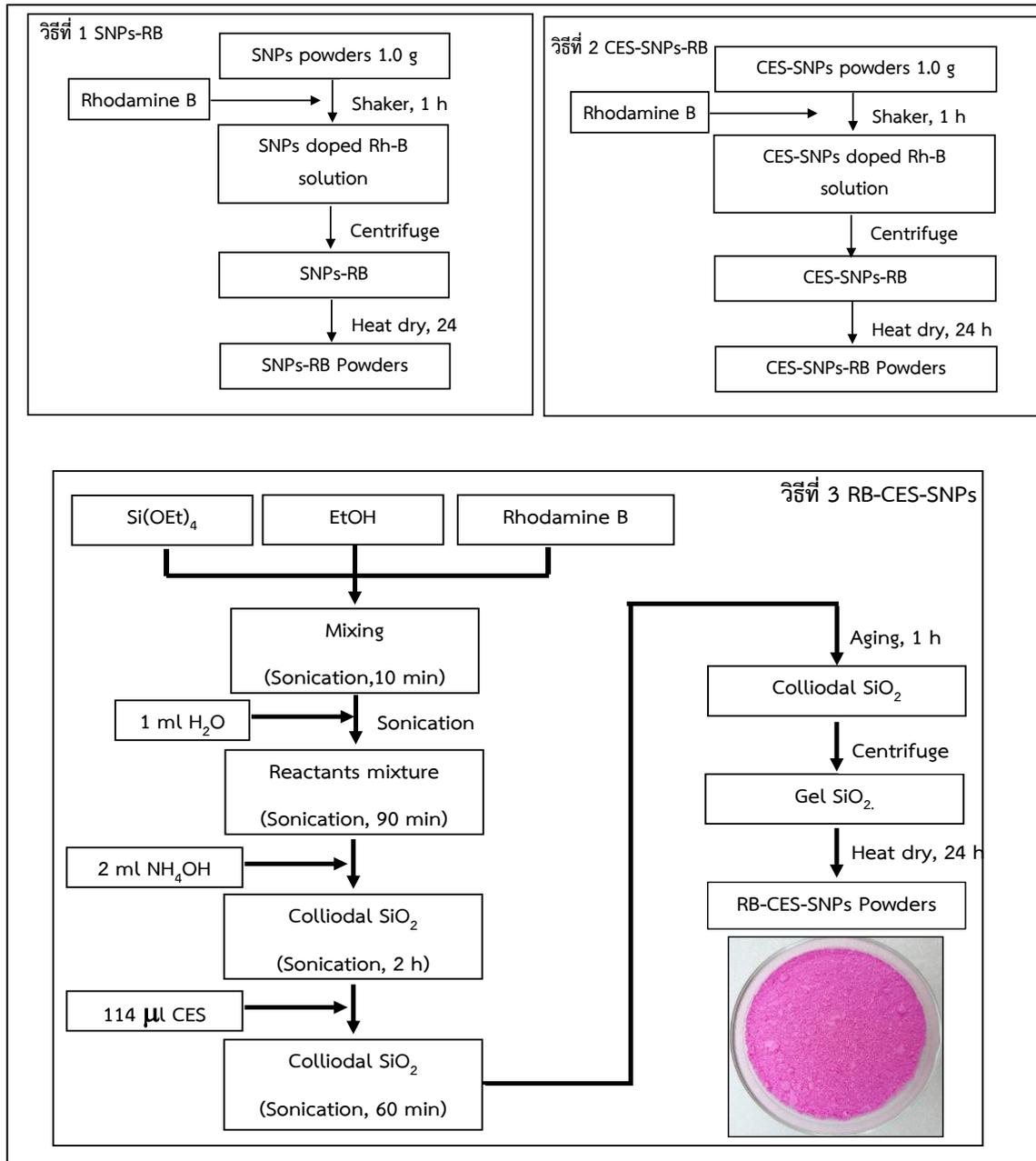
3 ชั่วโมง แล้วทำการตกตะกอนอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ นำสารตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะได้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เป็นผงสีขาว เก็บไว้ในตู้ความชื้น

ขั้นตอนการดัดแปลงพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ดัดแปลงตามวิธีของ Lee, et al. (2011) ดังนี้ ละลาย TEOS 5 มิลลิลิตร ใน Ethanol 30 มิลลิลิตร ภายใต้ Sonication จากนั้นเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวน 90 นาที จากนั้นเติมสารละลาย NH_4OH 2 มิลลิลิตรที่อัตราการใช้ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการปั่นกวนของผสม 3 ชั่วโมง จากนั้นเติม CES 114 ไมโครลิตร โดยใช้ระยะเวลาขณะทำปฏิกิริยาหลังจากเติม CES ที่ 10 30 และ 60 นาที ตามลำดับ แล้วทำการตกตะกอนอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ นำสารตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้ง จะได้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เป็นผงสีขาว เก็บไว้ในตู้ความชื้น

ในส่วนของการเติมสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาขั้นตอนการเติมสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B (Sebastien, 2016) เพื่อให้เกิดความคมชัดของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวต่าง ๆ 3 วิธีได้แก่ (1) วิธี SNPs-RB เป็นการนำผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ และยังไม่ได้ทำการดัดแปลงพื้นผิวมาผสมกับ Rhodamine B (2) วิธี CES-SNPs-RB เป็นการนำผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ดัดแปลงพื้นผิวโดยการเติม CES (CES-SNPs) มาผสมกับ Rhodamine B ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Yuan, Wang & Zhang (2018) และ (3) วิธี RB-CES-SNPs เป็นการผสม Rhodamine B และเติม CES ขณะทำการสังเคราะห์สารอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจลในขั้นตอนเดียว รายละเอียดดังภาพที่ 3

ในขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง โดยประกอบไปด้วย การเตรียมพื้นผิวตัวอย่างและตัวอย่างลายนิ้วมือ และการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีการปิดผงฝุ่น

การเตรียมพื้นผิวตัวอย่างและตัวอย่างลายนิ้วมือ พื้นผิวตัวอย่างในงานวิจัยจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่ 1 พลาสติก ประกอบด้วย กล่องพลาสติก PP ขวดน้ำพลาสติก PET และแก้วน้ำพลาสติก EPP กลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว ประกอบด้วย เทปพลาสติกใส เทปกาวสีขา เทปพันสายไฟและเทปกาวผ้า กลุ่มที่ 3 โตะไม้เฟอร์นิเจอร์ ประกอบด้วย ไม้พาลาทแบบเคลือบมันและไม้พาลาทแบบไม้เคลือบมัน และกลุ่มที่ 4 พื้นผิวไม่มีรูพรุน ประกอบด้วย กระจกสไลด์และอลูมิเนียมพอยล์ และการเตรียมตัวอย่างลายนิ้วมือ โดยอาสาสมัครเพศชาย 1 คน ที่มีลักษณะเหงื่อออกง่าย ไม่ต้องล้างมือประทับลายนิ้วมือด้วยนิ้วหัวแม่มือบนตัวอย่างพื้นผิวที่เตรียมไว้เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นเก็บตัวอย่างลายนิ้วมือทิ้งไว้ข้ามคืนโดยไม่ควบคุมสภาวะใด ๆ



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเติมสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B แบบวิธีที่ 1 (SNPs-RB) แบบวิธีที่ 2 (CES-SNPs-RB) และแบบวิธีที่ 3 (RB-CES-SNPs)

ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงใช้วิธีการปิดผงฝุ่น มีขั้นตอนดังนี้ นำผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ที่เตรียมทั้ง 3 วิธี มาปิดเบาๆ บนตัวอย่างพื้นผิวที่เตรียมไว้ หาลายนิ้วมือแฝงด้วยโพลีไลท์ (PL 500) พร้อมกับถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Nikon D200) ผ่านฟิลเตอร์สีส้ม หลังจากนั้นนำภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่ได้ไปอ่านค่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutia) ด้วยเครื่องตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (MINI AFIS) สำหรับการวิเคราะห์การตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง อาศัยเกณฑ์การแปลงค่าเฉลี่ยของการนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutia) ด้วยเครื่อง MINI AFIS แล้วนำมาแบ่งเป็นระดับ

คุณภาพของลายนิ้วมือแฝงจำนวน 5 ระดับ เพื่อใช้อธิบายความหมายของระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝง (Songnonlek, 2012) ดังนี้

$$\frac{\text{จำนวน minutia ที่ตรวจพบสูงสุด} - \text{จำนวน minutia ที่ตรวจพบต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{90 - 0}{5} = 18$$

ดังนั้น ช่วงความกว้างของแต่ละระดับที่คำนวณได้ คือ 18 และสามารถแบ่งเกณฑ์ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับคุณภาพของลายนิ้วมือจากการอ่านค่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutia) ด้วยเครื่องตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (MINI AFIS)

จำนวน minutia	ความหมายของแต่ละระดับ	ระดับ
73-90 จุด	คุณภาพของลายนิ้วมืออยู่ในระดับสูงมาก	*****
55-72 จุด	คุณภาพของลายนิ้วมืออยู่ในระดับสูง	****
37-54 จุด	คุณภาพของลายนิ้วมืออยู่ในระดับพอใช้	***
19-36 จุด	คุณภาพของลายนิ้วมืออยู่ในระดับต่ำ	**
0-18 จุด	คุณภาพของลายนิ้วมืออยู่ในระดับต่ำมาก	*

ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SNPs)

1.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SNPs) โดยกระบวนการโซลเจล โดยมี NH_4OH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสารที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว น้าหนักเบา ดังภาพที่ 4



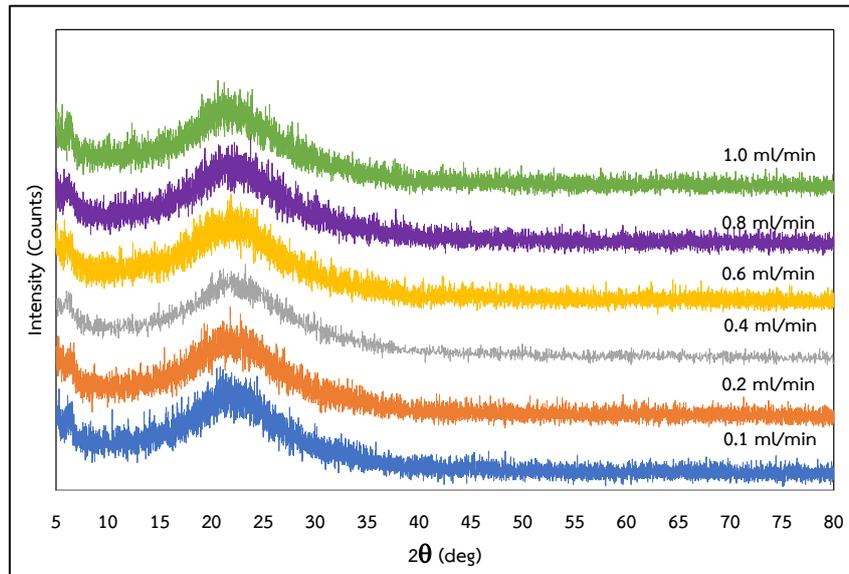
ภาพที่ 4 ลักษณะผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้โดยกระบวนการโซลเจล



ตารางที่ 2 ผลผลิตร้อยละและขนาดอนุภาค SNPs ที่มีอัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.1-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

อัตราการไหล NH_4OH (มิลลิลิตรต่อนาที)	ผลผลิตร้อยละ (%yield)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (นาโนเมตร)	การกระจายตัวของอนุภาค (นาโนเมตร)	ภาพถ่าย FESEM ของอนุภาคนาโน ซิลิกอนไดออกไซด์
0.1	54.93	65.4	51.64 - 84.51	
0.2	86.47	75.9	63.38 - 93.90	
0.4	92.61	92.1	72.77 - 107.98	
0.6	80.44	83.8	65.73 - 119.72	
0.8	93.84	99.5	72.77 - 122.07	
1.0	89.53	97.2	82.16 - 131.46	

จากตารางที่ 2 พบว่า อัตราการไหลของ NH_4OH ที่ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถผลิตอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ แต่ผลผลิตร้อยละที่ได้จากสภาวะนี้ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่อัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.4-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น มีผลผลิตมากกว่าร้อยละ 80 และมีช่วงการกระจายตัวของอนุภาคที่กว้างขึ้น ส่วนอัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ให้มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 75.9 นาโนเมตร รวมทั้งมีผลผลิตมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในการทดลองในลำดับต่อไป เมื่อพิจารณาลักษณะเฟสของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สภาวะอัตราการไหล NH_4OH ในช่วง 0.1-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ดังภาพที่ 5 พบว่าโครงสร้างของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสภาวะอยู่ในรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) โดยมีมุม 2θ อยู่ที่ประมาณ 21 องศา



ภาพที่ 5 XRD ของอนุภาค SNPs สภาวะอัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.1-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

1.2 ผลการดัดแปลงพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ เมื่อทำการเติมสารควบคู่ไซเลนชนิด CES ที่ 10 30 และ 60 นาที จากตารางที่ 3 พบว่าขนาดอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์หลังจากการดัดแปลงพื้นผิว (ตัวอย่างที่ 2-4) มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 68.08-117.37 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคนาโนที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปลง (ตัวอย่างที่ 1) และจากภาพถ่าย FESEM จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเมื่อเติม CES ที่นานขึ้น อนุภาคจะมีขนาดที่สม่ำเสมอมากขึ้น ในกรณีการเติม CES เป็นระยะเวลา 60 นาที อนุภาคจะมีการกระจายตัวและการจัดเรียงตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอมากที่สุด โดยสภาวะนี้จะถูกนำไปใช้ในการเติมสารสีย้อมเรืองแสงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 3 ขนาดอนุภาค SNPs เมื่อดัดแปลงพื้นผิวหลังจากเติม CES ที่ระยะเวลา 10 30 และ 60 นาที

ตัวอย่าง	CES (นาที)	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (นาโนเมตร)	การกระจายตัวของอนุภาค (นาโนเมตร)	ภาพถ่าย FESEM ของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ดัดแปลงพื้นผิวแล้ว
1	0	75.9	63.38-93.90	
2	10	83.0	70.42-98.59	
3	30	88.1	68.08-117.37	
4	60	82.7	68.08-115.02	



1.3 ผลการเติมสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B ทั้ง 3 วิธี พบว่า ผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นของสี Rhodamine B ที่ต่างกันตามวิธีการเติม โดยลำดับความละเอียดของผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ วิธีที่ 3 RB-CES-SNPs > วิธีที่ 2 CES-SNPs-RB > วิธีที่ 1 SNPs-RB และมีลำดับของความเข้มข้นของสีจากมากไปน้อยได้แก่ วิธีที่ 1 SNPs-RB > วิธีที่ 3 RB-CES-SNPs > วิธีที่ 2 CES-SNPs-RB ดังแสดงในภาพ 6



ภาพที่ 6 ผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่เติมสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B

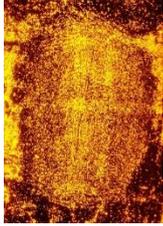
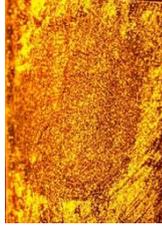
2. การตรวจหาลายนิ้วมือแฝง

2.1 พื้นผิวกลุ่มที่ 1 พลาสติก พบว่าผงวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs ปรากฏลายเส้นลายนิ้วมือแฝงทุกตัวอย่างพื้นผิว สำหรับลักษณะคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงพบว่า ผงฝุ่นที่ใช้ในการตรวจเก็บวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุดบนพื้นผิวชนิดขวดน้ำพลาสติก PET ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 1 พลาสติก

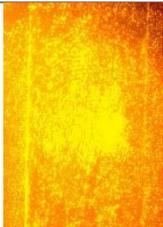
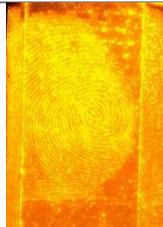
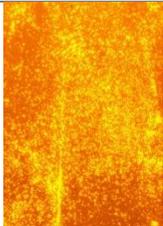
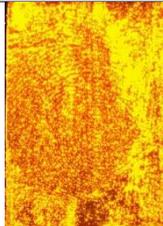
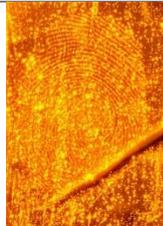
ตัวอย่างพื้นผิว กลุ่มที่ 1 พลาสติก	วิธีที่ 1 SNPs-RB	วิธีที่ 2 CES-SNPs-RB	วิธีที่ 3 RB-CES-SNPs
กล่องพลาสติก PP			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	***
ขวดน้ำพลาสติก PET			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	****

ตารางที่ 4 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 1 พลาสติก (ต่อ)

ตัวอย่างพื้นผิว	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
กลุ่มที่ 1 พลาสติก	SNPs-RB	CES-SNPs-RB	RB-CES-SNPs
แก้วน้ำพลาสติก EPP			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	*

2.2 พื้นผิวกลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว พบว่าผงฝุ่นวิธีที่ 1 SNPs-RB ปรากฏรอยลายนิ้วมือบนตัวอย่างพื้นผิวด้านบนเทปพันสายไฟและเทปกาวผ้า ผงฝุ่นวิธีที่ 2 CES-SNPs-RB ปรากฏรอยลายนิ้วมือบนตัวอย่างพื้นผิวด้านบนเทปพลาสติกใสและเทปกาวผ้า และผงฝุ่นวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs ปรากฏรอยลายนิ้วมือบนตัวอย่างพื้นผิวด้านบนเทปพลาสติกใสและเทปกาวสีชา สำหรับลักษณะคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงพบว่าผงฝุ่นวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุดบนพื้นผิวด้านบนเทปกาว ชนิดเทปพลาสติกใส ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว

ตัวอย่างพื้นผิว	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
กลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว	SNPs-RB	CES-SNPs-RB	RB-CES-SNPs
เทปพลาสติกใส			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	***
เทปกาวสีชา			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	*



ตารางที่ 5 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว (ต่อ)

ตัวอย่างพื้นผิว	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
กลุ่มที่ 2 ด้านบนเทปกาว	SNPs-RB	CES-SNPs-RB	RB-CES-SNPs
เทปพันสายไฟ			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	*
เทปกาวผ้า			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	**	**	*

2.3 พื้นผิวกลุ่มที่ 3 โต้ะไม้เฟอร์นิเจอร์ พบว่า มีเพียงผงฝุ่นวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs เท่านั้นที่สามารถปรากฏรอยลายนิ้วมือบนตัวอย่างพื้นผิวไม้พาลาทแบบเคลือบมัน สำหรับลักษณะคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงพบว่าผงฝุ่นวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุด บนพื้นผิวไม้พาลาทแบบเคลือบมัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 3 โต้ะไม้เฟอร์นิเจอร์

ตัวอย่างพื้นผิว	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
กลุ่มที่ 3 ไม้เฟอร์นิเจอร์	SNPs-RB	CES-SNPs-RB	RB-CES-SNPs
ไม้พาลาทแบบเคลือบมัน			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	***
ไม้พาลาทแบบไม่เคลือบมัน			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*	*	*

2.4 พื้นผิวกลุ่มที่ 4 พื้นผิวไม่มีรูพรุน พบว่าผงฝุ่นทั้ง 3 วิธีสามารถปรากฏรอยลายนิ้วมือทุกพื้นผิวตัวอย่าง สำหรับลักษณะคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงพบว่าผงฝุ่นวิธีที่ 1 SNPs-RB มีคุณภาพระดับสูงมากบนพื้นผิวอลูมิเนียมพอยล์ และผงฝุ่นวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีคุณภาพของลายนิ้วมือระดับพอใช้บนพื้นผิวกระจกสไลด์ และมีคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงระดับสูงมากบนพื้นผิวตัวอย่างอลูมิเนียมพอยล์จากการทดสอบในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่าผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จาก วิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุดบนพื้นผิวอลูมิเนียมพอยล์ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ภาพถ่ายและระดับคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนตัวอย่างพื้นผิวกลุ่มที่ 4 พื้นผิวไม่มีรูพรุน

ตัวอย่างพื้นผิว	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
กลุ่มที่ 4 พื้นผิวไม่มีรูพรุน	SNPs-RB	CES-SNPs-RB	RB-CES-SNPs
กระจกสไลด์			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	**	*	***
อลูมิเนียมพอยล์			
ระดับคุณภาพลายนิ้วมือแฝง	*****	*	*****

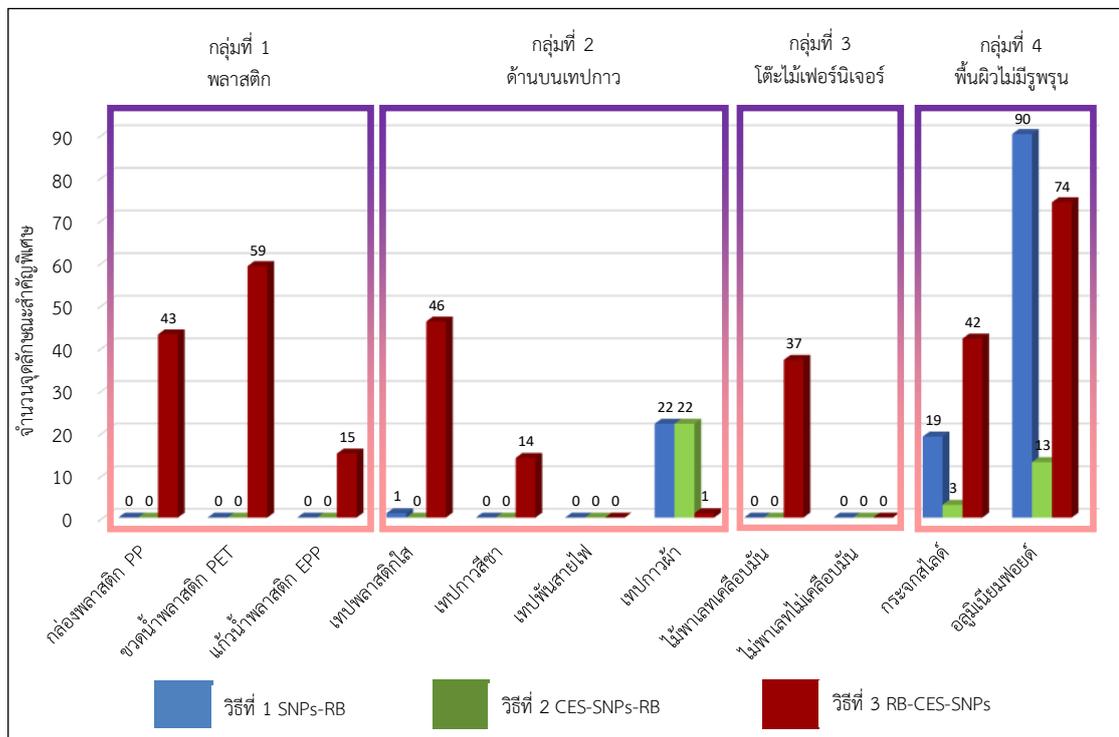
สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล โดยใช้ NH_4OH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาอัตราการไหลของ NH_4OH ที่ 0.1-1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ที่อัตราการไหล NH_4OH ที่ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคเฉลี่ยเนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหล NH_4OH สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rahman, Padavettan, Sipaut & Ismail (2006) ได้อธิบายว่าการเพิ่มอัตราการไหลของ NH_4OH จะทำให้ในระบบมีปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) เพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นและก่อให้เกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น



การศึกษาการดัดแปลงพื้นผิวอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์โดยการเติมสารควบคู่ไซเลนชนิด CES เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจเก็บลายนิ้วมือได้ดีขึ้น ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเมื่อเติมสาร CES ที่เวลา 10-60 นาที พบว่า การเติมสาร CES ที่เวลา 60 นาที เหมาะสมที่จะทำให้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำกว่า 100 นาโนเมตร และจากงานวิจัยของ Rahman & Padavettan (2012) ได้แนะนำสถานะในการดัดแปลงพื้นผิวอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์โดยกระบวนการทางเคมีโดยใช้สาร Silane Coupling Agent พบว่าการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง SNPs และ สารควบคู่ไซเลนที่นานขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของเฟสอินทรีย์และอนินทรีย์บนพื้นผิวซิลิกาได้ดีขึ้น และจากการศึกษาขั้นตอนการเติมสารสีย้อมเรืองแสงชนิด Rhodamine B 3 วิธี พบว่าลำดับการเติมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (ความละเอียดของผงอนุภาค) และการมองเห็น (ความเข้มของสี)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มชนิดสรุปได้ว่า ผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีที่ 3 RB-CES-SNPs มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงมากที่สุด ดังแสดงในแผนภูมิการเปรียบเทียบค่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบค่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutia) บนพื้นผิวที่แตกต่างกัน 4 กลุ่มโดยใช้ผงฝุ่นที่เตรียมได้ 3 วิธี (1) SNPs-RB (2) CES-SNPs-RB และ (3) RB-CES-SNPs



ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล รวมทั้งทำการดัดแปลงพื้นผิว พร้อมกับการเติมสารสีย้อมเรืองแสงในขั้นตอนเดียว มีประสิทธิภาพในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงและมีความสามารถในการเลือกการยัดเกาะของเฟสอินทรีย์บนลายนิ้วมือ และทำให้เกิดความคมชัดของลายนิ้วมือ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงต่อไป

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของรอยลายนิ้วมือแฝง ก่อนนำมาตรวจเก็บด้วยผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้
- 2) ควรมีการศึกษาสารสีย้อมชนิดอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงเพิ่มเติม นอกเหนือจากสารสีย้อมเรืองแสง Rhodamine B
- 3) สามารถนำวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ เช่น แก้วกลบ มาสกัดเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้น ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการใช้สารเคมีและเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 4) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงด้วยผงฝุ่นชนิดอื่น ๆ เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงด้วยผงอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้และผงฝุ่นชนิดต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- Becue, A., Moret, S., Champod, C., & Margot, P. (2010). Use of stains to detect fingermarks. *Journal of the Biological Stain Commission*. 86(3), 140–160.
- Chamsuwanwong, A., et al. (2009). *Forensic Science 2 for Crime Investigation*. Vol.6. Bangkok : G.B.P. Center (In Thai).
- Jafarzadeh, M., Rahman, I.A., & Sipaut, C.S. (2009). Synthesis of silica nanoparticles by modified sol-gel process: the effect of mixing modes of the reactants and drying techniques. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 50, 328-336.
- Lee, C.N., Park, S.H., Chung, W., Kim, J.Y., & Kim, S.H. (2011). Preparation and characterization of surface modified silica nanoparticles with organo-silane compounds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 384 (1-3), 318-322.
- Moret, S., Becue, A., & Champod, C. (2016). Functionalised silicon oxide nanoparticles for fingerprint detection. *Forensic Science International*. 259, 10-18.



- Rahman, I.A., Padavettan, V., Sipaut, C.S., & Ismail, J. (2006). Effect of anion electrolytes on the formation of silica nanoparticles via the sol-gel process. **Ceramics International**. 32, 691-699.
- Rahman, I.A., & Padavettan, V. (2012). Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites-A Review. **Journal of Nanomaterials**. 2012, 1 – 15.
- Songnonlek, N. (2012). **Development of latent fingerprint on non-porous surface by using turmeric powder**. Master of science program in forensic science Silpakorn University. (In Thai).
- Yuan, C., Li, M., Wang, M., & Zhang, L. (2018). Cationic dye-diatomite composites: Novel dusting powders for developing latent fingerprints. **Dye and Pigment**. 153, 18-25.

ผู้เขียน

คำนำหน้า ชื่อสกุล

หน่วยงาน/สังกัด

ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด

E-mail:

นางสาวสุทธิกานต์ ไชยกุล

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

เลขที่ 90 หมู่ 7 อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

suttikan.ck@gmail.com

คำนำหน้า ชื่อสกุล

หน่วยงาน/สังกัด

ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด

E-mail:

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท ดร.ธิตี มหาเจริญ

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

เลขที่ 90 หมู่ 7 อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

m_thiti@yahoo.com

คำนำหน้า ชื่อสกุล

หน่วยงาน/สังกัด

ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด

E-mail:

ดร.ศุภวรรณ วิชพันธ์

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

supawank@mtec.or.th