



การศึกษาและพัฒนาผลงานเรื่องแสงด้วยเลนส์นาโนสำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง



โดย  
นายนภดล เข้มช้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม แบบ 1.1 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาและพัฒนาผลงานเรื่องแสงด้วยเลนส์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม แบบ 1.1 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

STUDY AND  
DEVELOPMENT OF LUMINESCENT POWDER FROM LANTHANIDE FOR LATENT  
FINGERPRINT DETECTION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Doctor of Philosophy (FORENSIC SCIENCE AND CRIMINAL JUSTICE)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University

|                      |   |
|----------------------|---|
| หัวข้อ               | การศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง |
| โดย                  | นายนภดล แซ่มซ้อย  |
| สาขาวิชา             | นิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม แบบ 1.1 ปรัชญาดุชะฎิบัณฑิต              |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ แซ่มเล็ก                               |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ แก้วขาว                                   |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุชะฎิบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุสกุลเกรียง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ แซ่มเล็ก)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ แก้วขาว)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพล แก้วนวม)

59312908 : นิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม แบบ 1.1 ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต

คำสำคัญ : ผงฝุ่นเรืองแสง, ไลยนิ้วมือแฝง, แลนทาไนด์

นาย นกตล แซ่มซ้อย: การศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ แซ่มเล็ก

ลายนิ้วมือแฝงเป็นพยานหลักฐานที่สำคัญสำหรับการตรวจพิสูจน์ยืนยันบุคคลในงานนิติวิทยาศาสตร์ การใช้วิธีผงฝุ่นเรืองแสงจากการเตรียมด้วยไอออนของกลุ่มธาตุหายากมีความน่าสนใจสำหรับการนำมาใช้ตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง มีความคมชัด และลดการรบกวนจากพื้นหลังของวัตถุพยาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง โดยทำการสังเคราะห์สารเรืองแสงที่ใช้ไอออนของแลนทาไนด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็งโดยการเตรียมแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ), ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ศึกษาลักษณะโครงสร้าง ผลของอุณหภูมิ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของผงเรืองแสง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมที่สุด ผงแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ความเข้มข้น 0.40 ร้อยละโดยโมล แสดงความเข้มของการเปล่งแสงมากที่สุด ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร บริเวณสีส้มแกมแดงที่การกระตุ้น 394 นาโนเมตร การเปล่งแสงสีส้มของซาแมเรียมมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.10 ร้อยละโดยโมล ที่ความยาวคลื่น 601 นาโนเมตร ที่การกระตุ้น 404 นาโนเมตร ผงแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียมที่ความเข้มข้น 0.05 ร้อยละโดยโมล เหมาะสมที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร ที่การกระตุ้น 484 นาโนเมตร ทั้งนี้การตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงด้วยผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมให้คุณลักษณะลายเส้นของลายนิ้วมือชัดเจนที่สุดภายใต้การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

59312908 : Major (FORENSIC SCIENCE AND CRIMINAL JUSTICE)

Keyword : Luminescent powder, Latent fingerprint, Lanthanide

MR. NOPPADON CHAMCHOI : STUDY AND DEVELOPMENT OF LUMINESCENT POWDER FROM LANTHANIDE FOR LATENT FINGERPRINT DETECTION THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. ONANONG CHAEMLEK

Latent fingerprint is one of important evidence for the person identification in forensic science. The luminescent powders from rare-earth ions doped oxides have been successfully used for latent fingerprint detection due to high efficiency, high contrast and low background interface. The purpose of this research was study and development of luminescent powder from lanthanide for latent fingerprint detection. The phosphors with various concentration of trivalent lanthanide ions were synthesized by solid state reaction method. The  $Gd_2MoB_2O_9$  doped with trivalent ions such as europium, samarium, and terbium have been prepared. The structural, temperature effect, and spectroscopic properties of these phosphors were investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy, diffuse reflectance spectroscopy, photoluminescence (PL), and decay curves studies. The results showed that these phosphors samples were optimized to 900°C sintering temperature. The 0.40 mol% of  $Eu^{3+}$  ion concentration doped in the  $Gd_2MoB_2O_9$  host lattice show highest photoluminescence emission intensity at 613 nm, in reddish orange region, monitored at 394 nm excitation. The intense orange emission peak of  $Sm^{3+}$  at 601 nm was observed under the excitation of 404 nm that the observed emission obtained show intense emission for 0.10 mol%  $Sm^{3+}$  ion concentration. The  $Gd_2MoB_2O_9:Tb^{3+}$  phosphors were excited at a wavelength of 484 nm, the emission of the optimized phosphor at 542 nm were showed. The latent fingerprints detection that developed from  $Gd_2MoB_2O_9:Eu^{3+}$  phosphors in this work exhibited clearly ridge characteristics under UV illumination that  $Gd_2MoB_2O_9:Eu^{3+}$  phosphors are potential practical forensic science applications

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แซ่มเล็ก และรองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพล แก้วนวม คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาและให้ข้อเสนอแนะทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์ และความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจนทำให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และกัลยาณมิตรทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจ และคอยสนับสนุนจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นาย นภดล แซ่มซ้อย

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                     | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                  | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                     | ฉ    |
| สารบัญ.....  | ช    |
| สารบัญตาราง.....   | ฌ    |
| สารบัญภาพ.....   | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....  | 1    |
| ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....                           | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                             | 2    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....                                   | 3    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                           | 3    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....                                     | 3    |
| บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....                       | 4    |
| องค์กรในกระบวนการยุติธรรม.....                           | 4    |
| กฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา.....                           | 5    |
| ลายนิ้วมือ.....  | 11   |
| วิธีตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือ.....                        | 18   |
| ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ.....                               | 20   |
| ธาตุแลนทาไนด์.....                                       | 21   |
| การเปล่งแสง.....   | 22   |
| หลักการของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์..... | 24   |



|  |    |
|--|----|
| หลักการของเครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ .....     | 25 |
| หลักการของเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....                 | 27 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....  | 28 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 32 |
| วัสดุและอุปกรณ์ .....  | 32 |
| สารเคมี .....  | 37 |
| วิธีการวิจัย.....  | 37 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย .....   | 41 |
| ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอนุหภูมิ .....                                 | 41 |
| ผลการวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟีของโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยยูโรเพียม ..... | 42 |
| ผลการวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟีของโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยซาแมเรียม.....  | 51 |
| ผลการวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟีของโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยเทอร์เบียม..... | 60 |
| ผลการศึกษาลักษณะของผงฝุ่นเรืองแสง .....                                | 68 |
| การศึกษาจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....                                  | 71 |
| การอภิปรายผล.....  | 72 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....                               | 76 |
| สรุปผลการวิจัย.....  | 76 |
| ข้อเสนอแนะ .....   | 77 |
| รายการอ้างอิง.....   | 78 |
| ประวัติผู้เขียน .....  | 84 |

## สารบัญตาราง

หน้า

|   |    |
|---|----|
| ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระจก 71              |    |
| ตารางที่ 2 ผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวอะลูมิเนียมพอยล์..... | 72 |



## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 1 โครงสร้างของลายนิ้วมือ .....   | 12   |
| ภาพที่ 2 เซอร์ วิลเลียม เฮอร์เชล .....  | 13   |
| ภาพที่ 3 เซอร์ ฟรานซิส กาลตัน .....   | 14   |
| ภาพที่ 4 พระองค์เจ้ารพีพัฒนศักดิ์ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์.....                       | 15   |
| ภาพที่ 5 ตัวอย่างรูปแบบลายนิ้วมือ .....   | 17   |
| ภาพที่ 6 จุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....   | 18   |
| ภาพที่ 7 ลักษณะพื้นผิวไม่มีรูพรุน.....  | 21   |
| ภาพที่ 8 ธาตุแลนทาไนด์.....   | 22   |
| ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์ .....                             | 23   |
| ภาพที่ 10 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....               | 25   |
| ภาพที่ 11 องค์ประกอบของเครื่องยูวี-วิชิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....        | 27   |
| ภาพที่ 12 องค์ประกอบของเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....                   | 28   |
| ภาพที่ 13 Rocklabs Ring Mill.....   | 33   |
| ภาพที่ 14 Planetary Ball Milling.....   | 33   |
| ภาพที่ 15 เต้าไฟฟ้า.....  | 34   |
| ภาพที่ 16 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Shimadzu XRD-6100).....          | 34   |
| ภาพที่ 17 เครื่องยูวี-วิชิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-3600) ..... | 35   |
| ภาพที่ 18 เครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Cary Eclipse) .....                | 35   |
| ภาพที่ 19 แปรจนกระรอก .....   | 35   |
| ภาพที่ 20 ไฟฉายแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต.....                                      | 36   |
| ภาพที่ 21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด .....                                   | 36   |
| ภาพที่ 22 การซั่งสารแล้วใส่ลงในเข้าหลอม.....  | 38   |

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 23 การเตรียมแต่ละตัวอย่างด้วยเครื่อง Planetary Ball Milling.....   | 39 |
| ภาพที่ 24 ลักษณะ XRD ที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส.....  | 41 |
| ภาพที่ 25 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                     | 42 |
| ภาพที่ 26 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....         | 43 |
| ภาพที่ 27 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....        | 43 |
| ภาพที่ 28 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย<br>ยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....      | 44 |
| ภาพที่ 29 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....              | 45 |
| ภาพที่ 30 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม<br>.....  | 45 |
| ภาพที่ 31 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol%<br>ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....              | 46 |
| ภาพที่ 32 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....  | 47 |
| ภาพที่ 33 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ..... | 47 |
| ภาพที่ 34 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย<br>ยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....         | 48 |
| ภาพที่ 35 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> )<br>0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....       | 48 |
| ภาพที่ 36 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol%<br>ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมฟอยล์.....   | 49 |

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 37 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระจก.....                        | 49 |
| ภาพที่ 38 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนแผ่นซีดี.....                     | 50 |
| ภาพที่ 39 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระป๋องอะลูมิเนียม.....           | 50 |
| ภาพที่ 40 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (Eu <sup>3+</sup> ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวพลาสติก จอภาพโทรทัศน์..... | 51 |
| ภาพที่ 41 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                               | 52 |
| ภาพที่ 42 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                   | 53 |
| ภาพที่ 43 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                  | 54 |
| ภาพที่ 44 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                 | 55 |
| ภาพที่ 45 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....                        | 55 |
| ภาพที่ 46 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม.....   | 56 |
| ภาพที่ 47 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....                        | 57 |
| ภาพที่ 48 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....            | 58 |
| ภาพที่ 49 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม (Sm <sup>3+</sup> ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....           | 58 |

ภาพที่ 50 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....59

ภาพที่ 51 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ )  
 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....59

ภาพที่ 52 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol%  
 ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมฟอยล์.....60

ภาพที่ 53 การใช้แกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol%  
 ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษ.....60

ภาพที่ 54 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ )  
 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....61

ภาพที่ 55 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....61

ภาพที่ 56 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....62

ภาพที่ 57 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....62

ภาพที่ 58 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ )  
 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....63

ภาพที่ 59 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 เทอร์เบียม.....64

ภาพที่ 60 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) 0.05 mol%  
 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....64

ภาพที่ 61 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
 เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....65

ภาพที่ 62 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโพลีบิตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ )  
 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....66

|  |    |
|--|----|
| ภาพที่ 63 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....        | 66 |
| ภาพที่ 64 ลักษณะ decay time แกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....                            | 67 |
| ภาพที่ 65 การใช้แกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมฟอยล์.....           | 67 |
| ภาพที่ 66 การใช้แกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระจก.....                      | 68 |
| ภาพที่ 67 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 0.40 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า.....  | 68 |
| ภาพที่ 68 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 0.40 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า.....  | 69 |
| ภาพที่ 69 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซามารีียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.10 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า.....  | 69 |
| ภาพที่ 70 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซามารีียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.10 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า.....  | 70 |
| ภาพที่ 71 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า..... | 70 |
| ภาพที่ 72 ลักษณะแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า..... | 71 |



# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

หลักสำคัญของกระบวนการยุติธรรมทางอาญาคือการตรวจสอบค้นหาความจริงเพื่อให้ได้ข้อเท็จจริงและนำความจริงนั้นไปสู่การพิพากษาลงโทษเพื่อการอำนวยความยุติธรรม โดยจำเป็นจะต้องอาศัยพยานหลักฐานเป็นสำคัญซึ่งพยานหลักฐานคือสิ่งที่สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงที่มีการกล่าวอ้าง ในการดำเนินคดีแพ่ง คดีอาญา หรือคดีประเภทอื่น ๆ ซึ่งโจทก์และจำเลยหรือคู่ความแต่ละฝ่ายจะต้องหาทางพิสูจน์ข้อกล่าวอ้างของตนโดยการนำพยานหลักฐานมาแสดงยืนยันข้อเท็จจริง (เข็มชัย ชูติวงศ์, 2563) ลายนิ้วมือเป็นพยานหลักฐานที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งสำหรับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อทราบข้อเท็จจริง ใช้พิสูจน์ความผิดหรือบริสุทธิ์ของบุคคล ยืนยันตัวผู้กระทำความผิดและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดในคดีต่าง ๆ ลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะในแต่ละบุคคลและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตจึงมีความสำคัญและนำมาใช้ประโยชน์ในการพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์และกระบวนการยุติธรรม ลายนิ้วมือที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุเป็นพยานหลักฐานที่สามารถเชื่อมโยงบุคคลที่เป็นเจ้าของลายนิ้วมือซึ่งสามารถนำไปสู่ร่องรอยของผู้ต้องสงสัยหรือผู้กระทำความผิด ดังนั้นการเก็บรวบรวมพยานหลักฐานอย่างถูกต้องและการเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมต่อประเภทของวัตถุพยานเป็นสิ่งสำคัญต่อกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์และการอำนวยความยุติธรรม

การใช้ผงฝุ่นเคมีเป็นการนำสารที่เป็นของแข็งบางอย่างมาทำเป็นผงฝุ่นสีต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสีมีคุณสมบัติและความเหมาะสมต่างกันในการทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นซึ่งวิธีการปิดผงฝุ่นเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐาน ผงฝุ่นจะเกาะติดกับสารประกอบของเหงื่อที่อยู่ในลายนิ้วมือและเกาะติดกับเส้นขนในรอยลายนิ้วมือแฝง เมื่อทำการปิดด้วยผงฝุ่นจะทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นมาซึ่งผงฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถยึดเกาะกับรอยลายนิ้วมือแฝงได้ดี (Sodhi & Kaur, 2001) วิธีการใช้ผงฝุ่นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุผิวเรียบไม่มีรูพรุนและสะดวกต่อการนำไปใช้งานทั้งในสถานที่เกิดเหตุและห้องปฏิบัติการ วิธีการใช้ผงฝุ่นเป็นวิธีที่ง่ายและไม่แพง และมักจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ (Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2004) การใช้ผงฝุ่นตรวจหาลายนิ้วมือทางนิติวิทยาศาสตร์ยังคงเป็นวิธีการที่สำคัญและมีประสิทธิภาพในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุต่าง ๆ การตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงด้วยผงฝุ่นโดยการปิดผงฝุ่นที่มีสีแตกต่างจากพื้นหลังหรือวัตถุที่ต้องการหารอยลายนิ้วมือแฝงซึ่งในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนซึ่งในกรณีที่ผงฝุ่นแบบทั่วไปอาจไม่สามารถนำมาใช้ เช่น การตรวจหารอย



ลายนิ้วมือแฝงในพื้นที่มืดหรือในสถานบันเทิงบางประเภท ทำให้การเลือกใช้ผงฝุ่นมีข้อจำกัดอาจทำให้ยากต่อการมองเห็นรอยลายนิ้วมือแฝงหรือไม่สามารถแยกความแตกต่างของรอยลายนิ้วมือแฝงกับพื้นผิววัตถุได้ชัดเจน ซึ่งผงฝุ่นเรืองแสงโดยการทำงานบนพื้นฐานของกระบวนการโฟโตลูมิเนสเซนซ์ อาจนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของข้อจำกัดนี้ คุณสมบัติของการเรืองแสงทำให้เห็นรายละเอียดและความคมชัดระหว่างรอยลายนิ้วมือและพื้นหลังมากขึ้น

การได้มาของพยานหลักฐานต่าง ๆ มีความสำคัญเป็นอย่างมากถือเป็นต้นทางของการอำนวยความสะดวกซึ่งการเลือกใช้วิธีการในการตรวจเก็บลายนิ้วมือที่มีประสิทธิภาพจะทำให้ได้ลายนิ้วมือที่มีคุณภาพ ไม่ทำลายร่องรอยของลายเส้นและจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือนั้น การพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยการเติมธาตุกลุ่มแลนทาไนด์ (lanthanide) มีความน่าสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากสามารถทำให้เกิดการเปล่งแสงที่ดีและมีความเสถียร ซึ่งได้มีการศึกษาและพัฒนาโดยมีการเติมไอออนของธาตุหายาก เช่น ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) จะทำให้เกิดการเปล่งแสงในช่วงสีส้ม (Yasaka et al., 2019) ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) จะทำให้เกิดการเปล่งแสงในช่วงสีแดง (Li, Liu, Qi, Li, & Cui, 2017; Saif et al., 2015) เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) จะทำให้เกิดการเปล่งแสงในช่วงสีเขียว (Ashwini et al., 2019) เป็นต้น เพื่อการนำมาใช้สำหรับตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงโดยมีการพัฒนาสารประกอบต่าง ๆ ในการเป็นไฮสตรที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ดีกว่า มีเสถียรภาพทางเคมีที่ดี ซึ่งสำหรับวิธีการตรวจลายนิ้วมือแฝงส่วนใหญ่มีข้อจำกัดในเรื่องการรบกวนของพื้นหลัง (background) การมีกระบวนการที่ซับซ้อน และการเห็นรายละเอียดของลายนิ้วมือที่จำกัด (Venkataravanappa et al., 2018)

ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงที่สามารถใช้ตรวจรอยลายนิ้วมือแฝง ซึ่งการศึกษาและพัฒนาการเตรียมสูตรของผงฝุ่นเรืองแสงโดยการเติมธาตุโลหะหายาก กลุ่มธาตุแลนทาไนด์ เช่น ยูโรเพียม (europium) ซาแมเรียม (samarium) เทอร์เบียม (terbium) ที่สัดส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ และคุณสมบัติทางแสงซึ่งการใช้ผงฝุ่นที่เปล่งแสงได้สำหรับการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงจะช่วยลดปัญหาความคมชัดของตัวแปรที่จะเกิดขึ้นกรณีใช้ผงฝุ่นแบบทั่วไปและเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อทางด้านนิติวิทยาศาสตร์และกระบวนการยุติธรรมต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของผงฝุ่นเรืองแสงที่ส่งผลต่อการตรวจลายนิ้วมือแฝง
3. เพื่อศึกษาการทดสอบใช้ผงฝุ่นเรืองแสงที่เจือด้วยแลนทาไนด์บนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ผงฝุ่นเรืองแสงด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (solid state reaction) โดยการพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ), ยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) สำหรับตรวจลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุนและใช้ไฟฉายแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV light) เพื่อกระตุ้นให้มีการเปล่งแสงสำหรับตรวจลายนิ้วมือแฝง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผงฝุ่นเรืองแสงที่สามารถใช้ตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงได้
2. องค์ความรู้เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ
3. เป็นแนวทางสำหรับใช้ประโยชน์ในการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์และในกระบวนการยุติธรรม

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ลายนิ้วมือแฝง หมายถึง รอยลายนิ้วมือที่มองเห็นไม่ชัดเจนหรือไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
2. ผงฝุ่นเรืองแสง หมายถึง ผงฝุ่นที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็งโดยการเจือด้วยแลนทาไนด์เพื่อให้เกิดการเรืองแสงสำหรับการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝง
3. ซาแมเรียม (samarium) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อใช้ในการพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงที่เตรียมจากซาแมเรียมออกไซด์ ( $Sm_2O_3$ )
4. ยูโรเพียม (europium) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อใช้ในการพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงที่เตรียมยูโรเพียมออกไซด์ ( $Eu_2O_3$ )
5. เทอร์เบียม (terbium) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อใช้ในการพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงที่เตรียมจากเทอร์เบียมออกไซด์ ( $Tb_2O_3$ )

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาผังฝุ่นเรื่องแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### องค์กรในกระบวนการยุติธรรม

1. พนักงานสอบสวนหรือตำรวจ พนักงานสอบสวนหมายความว่าเจ้าพนักงานซึ่งกฎหมายให้อำนาจและหน้าที่ทำการสอบสวนซึ่งตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 18 ถึงมาตรา 20 พนักงานสอบสวนหมายความว่ารวมถึงพนักงานสอบสวนที่เป็นข้าราชการตำรวจและพนักงานฝ่ายปกครอง แต่ในทางปฏิบัติ พนักงานสอบสวนที่สอบสวนคดีอาญาคือเจ้าพนักงานตำรวจที่มีตำแหน่งเป็นพนักงานสอบสวนตามระเบียบหลักเกณฑ์ของสำนักงานตำรวจแห่งชาติเท่านั้น

ตำรวจเป็นองค์กรเบื้องต้นในการดำเนินคดีอาญาที่รับผิดชอบต่อกระบวนการยุติธรรม ตำรวจเป็นผู้จับกุมผู้กระทำความผิดและทำการรวบรวมพยานหลักฐานที่ได้จากการสอบสวนแล้วส่งเรื่องหรือสำนวนสอบสวนให้พนักงานอัยการฟ้องผู้ต้องหาต่อศาล

2. ทนายความ ทนายความเป็นผู้ประกอบอาชีพกฎหมายโดยอิสระ เป็นผู้ที่จะป้องกันความผิดพลาดของการดำเนินคดีของเจ้าพนักงานและศาล ทนายความจะให้คำปรึกษาหรือดำเนินคดีแทน โดยคิดค่าบริการจากลูกความ ทนายความจึงเป็นบุคคลสำคัญคนหนึ่งในกระบวนการยุติธรรมทำหน้าที่เป็นตัวแทนของคู่ความในการดำเนินคดีในศาลซึ่งมีสิทธิที่จะรวบรวมพยานหลักฐาน เสนอพยานหลักฐาน สิทธิที่จะแถลงให้ศาลทราบและร้องขอให้ดำเนินการ หรือตรวจดูสำนวนการสอบสวน

3. อัยการ พนักงานอัยการเป็นเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งดำเนินคดีต่อจากพนักงานสอบสวน เมื่อพนักงานสอบสวนได้สอบสวนคดีเสร็จแล้ว ก็จะส่งสำนวนการสอบสวนให้พนักงานอัยการเพื่อฟ้องผู้ต้องหาต่อศาลต่อไป พนักงานอัยการจะอยู่ในฐานะผู้บริหารกระบวนการยุติธรรมทางอาญา มีอำนาจหน้าที่ในการดำเนินคดีในนามของรัฐ

4. ศาลยุติธรรม ศาลเป็นองค์กรในการดำเนินคดีอาญาของรัฐในการใช้อำนาจตุลาการ ศาลยุติธรรมทางอาญามี 3 ชั้น คือ ศาลชั้นต้น ศาลชั้นอุทธรณ์ และศาลฎีกา

5. กรมราชทัณฑ์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายราชทัณฑ์เป็นเจ้าหน้าที่ของรัฐที่เข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการยุติธรรมทางอาญาเกือบทุกขั้นตอน โดยทำหน้าที่ควบคุมผู้ต้องหาหรือจำเลยไว้ในระหว่างการดำเนินคดีอาญาไม่ว่าจะเป็นชั้นก่อนศาลพิจารณา ระหว่างการพิจารณา ตลอดจนภายหลังการพิจารณาพิพากษา ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการในศาลชั้นต้น ศาลอุทธรณ์ หรือศาลฎีกา

เจ้าหน้าที่ฝ่ายราชทัณฑ์มีหน้าที่ที่จะต้องปฏิบัติตามคำสั่งของศาล เช่น ควบคุมตัว ปล่อยตัว หรือ แม้แต่คำพิพากษาประหารชีวิต ก็เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ฝ่ายราชทัณฑ์ ที่จะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามคำพิพากษาของศาล (ธานี วรภัทร์, 2558)

### กฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา

กฎหมายวิธีพิจารณาความอาญาฉบับแรกประกาศใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2478 และได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมหลายครั้งจนถึงฉบับที่ 34 พ.ศ. 2562 โดยกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ในมาตราที่มีความเกี่ยวข้อง ได้แก่

ภาค 1 ข้อความเบื้องต้น

มาตรา 2 ในประมวลกฎหมายนี้

(1) “ศาล” หมายความว่า ศาลยุติธรรมหรือผู้พิพากษา ซึ่งมีอำนาจทำการอันเกี่ยวกับคดีอาญา

(2) “ผู้ต้องหา” หมายความว่า บุคคลผู้ถูกหาว่าได้กระทำความผิด แต่ยังมีได้ถูกฟ้องต่อศาล

(3) “จำเลย” หมายความว่า บุคคลซึ่งถูกฟ้องยังศาลแล้วโดยข้อหาว่าได้กระทำความผิด

(4) “ผู้เสียหาย” หมายความว่า บุคคลผู้ได้รับความเสียหายเนื่องจากการกระทำความผิดฐานใดฐานหนึ่ง รวมทั้งบุคคลอื่นที่มีอำนาจจัดการแทนได้ ดังบัญญัติไว้ในมาตรา 4, 5 และ 6

(5) “พนักงานอัยการ” หมายความว่า เจ้าพนักงานผู้มีหน้าที่ฟ้องผู้ต้องหาต่อศาล ทั้งนี้ จะเป็นข้าราชการในกรมอัยการหรือเจ้าพนักงานอื่นผู้มีอำนาจเช่นนั้นก็ได้

(6) “พนักงานสอบสวน” หมายความว่า เจ้าพนักงานซึ่งกฎหมายให้มีอำนาจและหน้าที่ทำการสอบสวน

(7) “คำร้องทุกข์” หมายความว่า การที่ผู้เสียหายได้กล่าวหาต่อเจ้าหน้าที่ตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้ ว่ามีผู้กระทำความผิดขึ้น จะรู้ตัวผู้กระทำความผิดหรือไม่ก็ตาม ซึ่งกระทำให้เกิดความเสียหายแก่ผู้เสียหาย และการกล่าวหาเช่นนั้นได้กล่าวโดยมีเจตนาจะให้ผู้กระทำความผิดได้รับโทษ

(8) “คำกล่าวโทษ” หมายความว่า การที่บุคคลอื่นซึ่งไม่ใช่ผู้เสียหายได้กล่าวหาต่อเจ้าหน้าที่ ว่ามีบุคคลรู้ตัวหรือไม่ก็ได้ กระทำความผิดอย่างหนึ่งขึ้น

(9) “หมายอาญา” หมายความว่า หนังสือออกตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้สั่งให้เจ้าหน้าที่ทำการจับ ชัง จำคุก หรือปล่อยผู้ต้องหา จำเลย หรือนักโทษ หรือให้ทำการค้น รวมทั้งสำเนาหมายจับหรือหมายค้นอันได้รับรองว่าถูกต้อง และคำบอกกล่าวทางโทรเลขว่าได้

ออกหมายจับหรือหมายค้นแล้ว ตลอดจนสำเนาหมายจับหรือหมายค้นที่ได้ส่งทางโทรสาร สื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือสื่อเทคโนโลยีสารสนเทศประเภทอื่น ทั้งนี้ ตามที่บัญญัติไว้ในมาตรา 77

(10) “การสืบสวน” หมายความว่า การแสวงหาข้อเท็จจริงและหลักฐานซึ่งพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ปฏิบัติไปตามอำนาจและหน้าที่ เพื่อรักษาความสงบเรียบร้อยของประชาชน และเพื่อที่จะทราบรายละเอียดแห่งความผิด

(11) “การสอบสวน” หมายความว่า การรวบรวมพยานหลักฐานและการดำเนินการทั้งหลายอื่นตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้ ซึ่งพนักงานสอบสวนได้ทำไปเกี่ยวกับความผิดที่กล่าวหา เพื่อที่จะทราบข้อเท็จจริงหรือพิสูจน์ความผิดและเพื่อจะเอาตัวผู้กระทำความผิดมาฟ้องลงโทษ

(12) “การไต่สวนมูลฟ้อง” หมายความว่า กระบวนไต่สวนของศาลเพื่อวินิจฉัยถึงมูลคดีซึ่งจำเลยต้องหา

(13) “ที่รื้อฐาน” หมายความว่า ที่ต่าง ๆ ซึ่งมีใช้ที่สาธารณสถานดังบัญญัติไว้ในกฎหมายลักษณะอาญา

(14) “โจทก์” หมายความว่า พนักงานอัยการ หรือผู้เสียหายซึ่งฟ้องคดีอาญาต่อศาล หรือทั้งคู่ในเมื่อพนักงานอัยการและผู้เสียหายเป็นโจทก์ร่วมกัน

(15) “คู่ความ” หมายความว่า โจทก์ฝ่ายหนึ่งและจำเลยอีกฝ่ายหนึ่ง

(16) “พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ” หมายความว่า เจ้าพนักงานซึ่งกฎหมายให้มีอำนาจและหน้าที่รักษาความสงบเรียบร้อยของประชาชน ให้รวมทั้งพศติ เจ้าพนักงานกรมสรรพสามิต กรมศุลกากร กรมเจ้าท่า พนักงานตรวจคนเข้าเมือง และเจ้าพนักงานอื่น ๆ ในเมื่อทำการอันเกี่ยวกับการจับกุมปราบปรามผู้กระทำความผิดกฎหมาย ซึ่งตนมีหน้าที่ต้องจับกุมหรือปราบปราม

(17) “พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจชั้นผู้ใหญ่” หมายความว่า เจ้าพนักงานดังต่อไปนี้

(ก) ปลัดกระทรวงมหาดไทย

(ข) รองปลัดกระทรวงมหาดไทย

(ค) ผู้ตรวจราชการกระทรวงมหาดไทย

(ฅ) ผู้ช่วยปลัดกระทรวงมหาดไทย

(ง) อธิบดีกรมการปกครอง

(จ) รองอธิบดีกรมการปกครอง

(ฉ) ผู้อำนวยการกองการสอบสวนและนิติการ กรมการปกครอง

(ช) หัวหน้าฝ่ายและหัวหน้างานในกองการสอบสวนและนิติการกรมการปกครอง

(ซ) ผู้ตรวจราชการกรมการปกครอง

(ฌ) ผู้ว่าราชการจังหวัด

- (ญ) รองผู้ว่าราชการจังหวัด
- (ฎ) ปลัดจังหวัด
- (ฏ) นายอำเภอ
- (ฐ) ปลัดอำเภอผู้เป็นหัวหน้าประจำกิ่งอำเภอ
- (ช) อธิบดีกรมตำรวจ
- (ฌ) รองอธิบดีกรมตำรวจ
- (ฉ) ผู้ช่วยอธิบดีกรมตำรวจ
- (ค) ผู้บัญชาการตำรวจ
- (ต) รองผู้บัญชาการตำรวจ
- (ถ) ผู้ช่วยผู้บัญชาการตำรวจ
- (ท) ผู้บังคับการตำรวจ
- (ธ) รองผู้บังคับการตำรวจ
- (น) หัวหน้าตำรวจภูธรจังหวัด
- (บ) รองหัวหน้าตำรวจภูธรจังหวัด
- (ป) ผู้กำกับการตำรวจ
- (ผ) ผู้กำกับการตำรวจภูธรจังหวัดเขต
- (ฝ) รองผู้กำกับการตำรวจ
- (พ) รองผู้กำกับการตำรวจภูธรจังหวัดเขต
- (ฟ) สารวัตรใหญ่ตำรวจ
- (ภ) สารวัตรตำรวจ
- (ม) ผู้บังคับกองตำรวจ
- (ย) หัวหน้าสถานีตำรวจซึ่งมียศตั้งแต่ชั้นนายร้อยตำรวจตรีหรือเทียบเท่า นายร้อยตำรวจตรีขึ้นไป
- (ร) หัวหน้ากิ่งสถานีตำรวจซึ่งมียศตั้งแต่ชั้นนายร้อยตำรวจตรี หรือเทียบเท่า นายร้อยตำรวจตรีขึ้นไป
- ทั้งนี้ หมายรวมถึงผู้รักษาการแทนเจ้าพนักงานดังกล่าวแล้ว แต่ผู้รักษาการแทนเจ้าพนักงานใน (ม) (ย) และ (ร) ต้องมียศตั้งแต่ชั้นนายร้อยตำรวจตรีหรือเทียบเท่า นายร้อยตำรวจตรีขึ้นไปด้วย
- (18) “สิ่งของ” หมายรวมถึงสังหาริมทรัพย์ใด ซึ่งอาจใช้เป็นพยานหลักฐานในคดีอาญาได้ ให้รวมทั้งจดหมาย โทรเลขและเอกสารอย่างอื่น ๆ

(19) “ถ้อยคำสำนวน” หมายความว่าถึงหนังสือใดที่ศาลจัดเป็นหลักฐานแห่งรายละเอียดทั้งหลายในการดำเนินคดีอาญาในศาลนั้น

(20) “บันทึก” หมายความว่าถึงหนังสือใดที่พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจัดไว้เป็นหลักฐานในการสอบสวนความผิดอาญา รวมทั้งบันทึกคำร้องทุกข์และคำกล่าวโทษด้วย

(21) “ควบคุม” หมายความว่าถึงการคุมหรือกักขังผู้ถูกจับโดยพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจในระหว่างสืบสวนและสอบสวน

(22) “ขัง” หมายความว่าถึงการกักขังจำเลยหรือผู้ต้องหาโดยศาล

มาตรา 17 พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจมีอำนาจทำการสืบสวนคดีอาญาได้

มาตรา 18 ในจังหวัดอื่นนอกจากจังหวัดพระนครและจังหวัดธนบุรี พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจชั้นผู้ใหญ่ ปลัดอำเภอ และข้าราชการตำรวจซึ่งมียศตั้งแต่ชั้นนายร้อยตำรวจตรีหรือเทียบเท่า นายร้อยตำรวจตรีขึ้นไป มีอำนาจสอบสวนความผิดอาญาซึ่งได้เกิด หรืออ้าง หรือเชื่อว่าจะได้เกิดภายในเขตอำนาจของตน หรือผู้ต้องหาที่มีที่อยู่ หรือถูกจับภายในเขตอำนาจของตนได้

สำหรับในจังหวัดพระนครและจังหวัดธนบุรี ให้ข้าราชการตำรวจซึ่งมียศตั้งแต่ชั้นนายร้อยตำรวจตรีหรือเทียบเท่า นายร้อยตำรวจตรีขึ้นไป มีอำนาจสอบสวนความผิดอาญาซึ่งได้เกิด หรืออ้าง หรือเชื่อว่าจะได้เกิดภายในเขตอำนาจของตน หรือผู้ต้องหาที่มีที่อยู่ หรือถูกจับภายในเขตอำนาจของตนได้

ภายใต้บังคับแห่งบทบัญญัติในมาตรา 19 มาตรา 20 และมาตรา 21 ความผิดอาญาได้เกิดในเขตอำนาจพนักงานสอบสวนคนใด โดยปกติให้เป็นหน้าที่พนักงานสอบสวนผู้นั้นเป็นผู้รับผิดชอบในการสอบสวนความผิดนั้น ๆ เพื่อดำเนินคดี เว้นแต่เมื่อมีเหตุจำเป็นหรือเพื่อความสะดวก จึงให้พนักงานสอบสวนแห่งท้องที่ที่ผู้ต้องหาที่มีที่อยู่ หรือถูกจับเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการสอบสวน

ในเขตท้องที่ใดมีพนักงานสอบสวนหลายคน การดำเนินการสอบสวนให้อยู่ในความรับผิดชอบของพนักงานสอบสวนผู้เป็นหัวหน้าในท้องที่นั้น หรือผู้รักษาการแทน

## ภาค 2 สอบสวน

มาตรา 130 ให้เริ่มการสอบสวนโดยมิชักช้า จะทำการในที่ใด เวลาใด แล้วแต่จะเห็นสมควร โดยผู้ต้องหาไม่จำเป็นต้องอยู่ด้วย

มาตรา 131 ให้พนักงานสอบสวนรวบรวมหลักฐานทุกชนิด เท่าที่สามารถจะทำได้ เพื่อประสงค์จะทราบข้อเท็จจริงและพฤติการณ์ต่าง ๆ อันเกี่ยวกับความผิดที่ถูกกล่าวหา เพื่อจะรู้ตัวผู้กระทำผิดและพิสูจน์ให้เห็นความผิดหรือความบริสุทธิ์ของผู้ต้องหา

มาตรา 131/1 ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามมาตรา 131 ให้พนักงานสอบสวนมีอำนาจให้ทำการตรวจพิสูจน์บุคคล วัตถุ หรือเอกสารใด ๆ โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้

ในกรณีความผิดอาญาที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงเกินสามปี หากการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่ง จำเป็นต้องตรวจเก็บตัวอย่างเลือด เนื้อเยื่อ ผิวน้ำหนัง เส้นผมหรือขน น้ำลาย ปัสสาวะ อุจจาระ สารคัดหลั่ง สารพันธุกรรมหรือส่วนประกอบของร่างกายจากผู้ต้องหา ผู้เสียหายหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง ให้พนักงานสอบสวนผู้รับผิดชอบมีอำนาจให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตรวจดังกล่าวได้ แต่ต้องกระทำเพียงเท่าที่จำเป็นและสมควรโดยใช้วิธีการที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ ทั้งจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายหรืออนามัยของบุคคลนั้น และผู้ต้องหา ผู้เสียหายหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต้องให้ความยินยอม หากผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายไม่ยินยอมโดยไม่มีเหตุอันสมควรหรือผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายกระทำการป้องกันขัดขวางมิให้บุคคลที่เกี่ยวข้องให้ความยินยอมโดยไม่มีเหตุอันสมควร ให้สันนิษฐานไว้เบื้องต้นว่าข้อเท็จจริงเป็นไปตามผลการตรวจพิสูจน์ที่หากได้ตรวจพิสูจน์แล้วจะเป็นผลเสียต่อผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายนั้น แล้วแต่กรณี

ค่าใช้จ่ายในการตรวจพิสูจน์ตามมาตรา นี้ ให้ส่งจ่ายจากงบประมาณตามระเบียบที่สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงมหาดไทย กระทรวงยุติธรรม หรือสำนักงานอัยการสูงสุด แล้วแต่กรณี กำหนดโดยได้รับความเห็นชอบจากกระทรวงการคลัง

มาตรา 132 เพื่อประโยชน์แห่งการรวบรวมหลักฐาน ให้พนักงานสอบสวนมีอำนาจ ดังต่อไปนี้

(1) ตรวจตัวผู้เสียหายเมื่อผู้นั้นยินยอม หรือตรวจตัวผู้ต้องหา หรือตรวจสิ่งของหรือที่ทางอันสามารถอาจใช้เป็นพยานหลักฐานได้ ให้รวมทั้งทำภาพถ่าย แผนที่ หรือภาพวาดจำลอง หรือพิมพ์ลายนิ้วมือ ลายมือหรือลายเท้า กับให้บันทึกรายละเอียดทั้งหลายซึ่งน่าจะกระทำให้คดีแจ่มกระจ่างขึ้น

ในการตรวจตัวผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาตามวรรคหนึ่ง หากผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาเป็นหญิง ให้จัดให้เจ้าพนักงานซึ่งเป็นหญิงหรือหญิงอื่นเป็นผู้ตรวจ ทั้งนี้ ในกรณีที่มีเหตุอันสมควร ผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาจะขอนำบุคคลใดมาอยู่ร่วมในการตรวจนั้นด้วยก็ได้

(2) ค้นเพื่อพบสิ่งของ ซึ่งมีไว้เป็นความผิด หรือได้มาโดยการกระทำผิด หรือได้ใช้หรือสงสัยว่าได้ใช้ในการกระทำผิด หรือซึ่งอาจใช้เป็นพยานหลักฐานได้ แต่ต้องปฏิบัติตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้ว่าด้วยค้น

(3) หมายเรียกบุคคลซึ่งครอบครองสิ่งของ ซึ่งอาจใช้เป็นพยานหลักฐานได้ แต่บุคคลที่ถูกหมายเรียกไม่จำเป็นต้องมาเอง เมื่อจัดส่งสิ่งของมาตามหมายแล้ว ให้ถือเสมือนว่าได้ปฏิบัติตามหมาย



(4) ยึดไว้ซึ่งสิ่งของที่ค้นพบหรือส่งมาดังกล่าวไว้ในอนุมาตรา (2) และ (3)

#### ภาค 5 พยานหลักฐาน

##### หมวด 4

##### พยานวัตถุ

มาตรา 241 สิ่งใดใช้เป็นพยานวัตถุต้องนำมาศาล

ในกรณีที่นำมาไม่ได้ ให้ศาลไปตรวจจดยางานยังที่ที่พยานวัตถุผู้นั้นอยู่ตามเวลาและวิธีซึ่งศาลเห็นสมควรตามลักษณะแห่งพยานวัตถุ

มาตรา 242 ในระหว่างสอบสวน ใ้สวนมูลฟ้องหรือพิจารณา สิ่งของซึ่งเป็นพยานวัตถุต้องให้คู่ความหรือพยานตรวจดู

ถ้ามีการแก้ห่อหรือทำลายตรา การห่อหรือตีตราใหม่ให้ทำต่อหน้าคู่ความหรือพยานที่เกี่ยวข้องนั้น

##### หมวด 5

##### ผู้เชี่ยวชาญ

มาตรา 243 ผู้ใดโดยอาชีพหรือมิใช่ก็ตาม มีความเชี่ยวชาญในการใด ๆ เช่น ในทางวิทยาศาสตร์ ศิลปะ ฝีมือ พาณิชยการ การแพทย์ หรือกฎหมายต่างประเทศ และซึ่งความเห็นของผู้ผู้นั้นอาจมีประโยชน์ในการวินิจฉัยคดี ในการสอบสวน ใ้สวนมูลฟ้องหรือพิจารณา อาจเป็นพยานในเรื่องต่าง ๆ เป็นต้นว่า ตรวจร่างกายหรือจิตของผู้เสียหาย ผู้ต้องหา หรือจำเลย ตรวจลายมือ ทำการทดลองหรือกิจการอย่างอื่น ๆ

ผู้เชี่ยวชาญอาจทำความเห็นเป็นหนังสือก็ได้แต่ต้องส่งสำเนาหนังสือดังกล่าวให้ศาล และคู่ความอีกฝ่ายหนึ่งทราบ และต้องมาเบิกความประกอบหนังสือผู้นั้น เว้นแต่มีเหตุจำเป็น หรือคู่ความไม่ติดใจซักถามผู้เชี่ยวชาญผู้นั้น ศาลจะให้รับฟังความเห็นเป็นหนังสือดังกล่าวโดยผู้เชี่ยวชาญไม่ต้องมาเบิกความประกอบก็ได้

ในกรณีที่ผู้เชี่ยวชาญต้องมาเบิกความประกอบ ให้ส่งสำเนาหนังสือดังกล่าวต่อศาล ในจำนวนที่เพียงพอล่วงหน้าไม่น้อยกว่าเจ็ดวันก่อนวันเบิกความเพื่อให้คู่ความอีกฝ่ายหนึ่งมารับไป

ในการเบิกความประกอบ ผู้เชี่ยวชาญจะอ่านข้อความที่เขียนมาก็ได้

มาตรา 244 ถ้าศาลหรือพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจชั้นผู้ใหญ่เห็นจำเป็นเนื่องในการใ้สวนมูลฟ้อง พิจารณา หรือสอบสวน ที่จะต้องตรวจศพ แม้ว่าจะได้บรรจุหรือฝังแล้วก็ตาม ให้มีอำนาจสั่งให้เอาศพนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจได้ แต่การกระทำตามคำสั่งดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงหลักทางศาสนาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงอย่างอื่น

มาตรา 244/1 ในกรณีความผิดอาญาที่มีอัตราโทษจำคุก หากมีความจำเป็นต้องใช้พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงใดที่เป็นประเด็นสำคัญแห่งคดี ให้ศาลมีอำนาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์บุคคล วัตถุ หรือเอกสารใด โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้

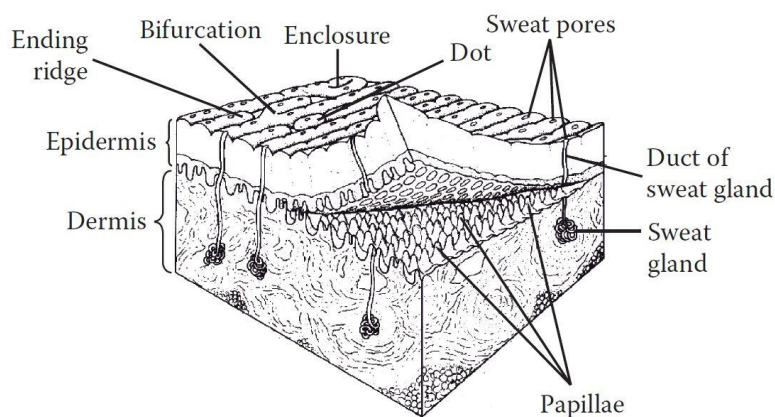
ในกรณีที่มีการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่ง จำเป็นต้องตรวจเก็บตัวอย่างเลือด เนื้อเยื่อ ผิวหนัง เส้นผมหรือขน น้ำลาย ปัสสาวะ อุจจาระ สารคัดหลั่ง สารพันธุกรรมหรือส่วนประกอบของร่างกายจากคู่ความหรือบุคคลใด ให้ศาลมีอำนาจสั่งให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตรวจดังกล่าวได้ แต่ต้องกระทำเพียงเท่าที่จำเป็นและสมควรโดยใช้วิธีการที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ทั้งจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายหรืออนามัยของบุคคลนั้น และคู่ความหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต้องให้ความยินยอม หากคู่ความฝ่ายใดไม่ยินยอมหรือกระทำการป้องขัดขวางมิให้บุคคลที่เกี่ยวข้องให้ความยินยอมโดยไม่มีเหตุอันสมควร ให้สันนิษฐานไว้เบื้องต้นว่าข้อเท็จจริงเป็นไปตามที่คู่ความฝ่ายตรงข้ามกล่าวอ้าง

ในกรณีที่พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์สามารถพิสูจน์ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงที่อาจทำให้ศาลวินิจฉัยชี้ขาดคดีได้โดยไม่ต้องสืบพยานหลักฐานอื่นอีก หรือมีเหตุอันควรเชื่อว่าหากมีการเน้นย้ำกว่าจะนำพยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์อันสำคัญมาสืบในภายหน้าพยานหลักฐานนั้นจะสูญเสียไปหรือยากแก่การตรวจพิสูจน์ เมื่อคู่ความฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งร้องขอหรือเมื่อศาลเห็นสมควร ศาลอาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ตามความในวรรคหนึ่งและวรรคสองได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้ถึงกำหนดวันสืบพยานตามปกติ ทั้งนี้ ให้นำบทบัญญัติในมาตรา 237 ทวิ มาใช้บังคับโดยอนุโลม (สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2562; สุพิชฌาย์ ศิริวัฒนา สีตะสิทธิ์ และสุพจน์ สีตะสิทธิ์, 2560)

## ลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือ (fingerprint) เกิดจากผิวหนังส่วนที่เป็นเส้นนูน (ridges) ซึ่งเส้นนูนแต่ละเส้นจะมีแนวรูเหงื่อ (pore) ส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูนจะเรียกว่า เส้นร่อง (furrows) ถ้ามีการหยิบจับหรือสัมผัสกับวัตถุ จะทำให้ปรากฏเป็นรอยลายนิ้วมือ ลายนิ้วมือเป็นลายเส้นที่ปรากฏอยู่บนผิวหนังซึ่งผิวหนังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ (1) หนังกำพรั้า (epidermis) เป็นผิวหนังชั้นนอกสุดมีหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ เป็นส่วนรับความรู้สึกและป้องกันเนื้อเยื่อชั้นใน หนังกำพรั้ามีการผลัดเปลี่ยนเซลล์อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเซลล์บริเวณชั้นฐานของหนังกำพรั้าจะสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาผลัดเปลี่ยนจากชั้นในสุดถึงชั้นนอกสุดระหว่าง 24 ถึง 45 วัน หนังกำพรั้ามีความหนาไม่เท่ากันทุกตำแหน่งของร่างกายแต่จะหนามากบริเวณที่มีการเสียดสี เช่น บริเวณฝ่ามือหรือฝ่าเท้า (2) หนังแท้ (dermis) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่หนาแน่นอย่างต่อเนื่องเป็นส่วนที่รองรับร่างกายจากความเค้นและความเครียด (stress and strain) โดยหนังแท้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 7 เท่าของหนังกำพรั้า ซึ่งในหนังแท้จะประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโครงให้เส้นใย

ประสาท หลอดเลือด ปุ่มรากขน ไขมันและต่อมเหงื่อ หนึ่งแท่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ชั้นเดอร์มัล แพพิลลี (dermal papillae) และชั้นเรติคูลาร์เดอร์มิส (reticular dermis) (3) ชั้นใต้หนัง (hypodermis) ซึ่งจะมีเซลล์ไขมัน (adipocyte) ช่วยทำหน้าที่เก็บสะสมไขมัน ช่วยรักษาอุณหภูมิร่างกาย ช่วยป้องกันอวัยวะภายในจากการกระทบกระเทือนของแรงภายนอก (วรรัช วิชชุวานิชย์, ภาชินี เดชรัตน์สุวรรณ, สิตา ใช้เฮียง, และจุฑามาศ เจียมทรัพย์, 2561)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของลายนิ้วมือ

ที่มา: James, Nordby, & Bell (2014)

รอยลายนิ้วมือในสถานที่เกิดเหตุ สามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ รอยลายนิ้วมือที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (patent fingerprint) ซึ่งอาจเป็นรอยประทับของลายนิ้วมือที่เปื้อนฝุ่นหรือเปื้อนเลือด โดยปรากฏในลักษณะสองมิติจะมองเห็นได้ทั้งส่วนกว้างและยาว และลักษณะของรอยลายนิ้วมือที่มองเห็นได้ยากด้วยตาเปล่าหรือไม่สามารถมองเห็นได้ เรียกว่า ลายนิ้วมือแฝง (latent fingerprint) ลายนิ้วมือที่มองไม่เห็นนี้เกิดจากสารที่มาจากต่อมเหงื่อและไขมันจากผิวหนัง เมื่อมีการสัมผัสกับพื้นผิววัตถุ สารเหล่านี้จะถ่ายเทมาที่พื้นผิวของวัตถุแล้วทำให้ปรากฏเป็นร่องรอยของลายนิ้วมือซึ่งวัตถุผิวแห้งและเรียบจะสามารถติดลายนิ้วมือได้ดี (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2564) ลายนิ้วมือแฝงเกิดขึ้นจากส่วนผสมของสารคัดหลั่งจากร่างกายและสารปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อม ซึ่งต่อมที่มีหน้าที่ในการหลั่งสารของผิวหนังแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) eccrine glands เป็นต่อมที่พบได้ทั่วร่างกายทำหน้าที่ผลิตเหงื่อซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้าจะมีการผลิตสารคัดหลั่งจากต่อมชนิดนี้เท่านั้น (2) apocrine glands เป็นต่อมที่พบในบริเวณขาหนีบ รักแร้ เต้านม บริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ และ (3) sebaceous glands หรือต่อมไขมันเป็นต่อมที่พบได้ทั่วร่างกาย ยกเว้นบริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้า พบต่อมชนิดนี้จำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณหน้าผากและแผ่นหลัง (Champod et al., 2004)

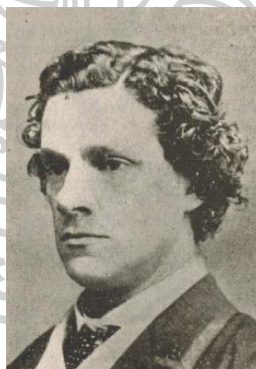
## 1. ประวัติความเป็นมาของลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นเครื่องมือในการระบุตัวตนมาอย่างยาวนานนับพันปีซึ่งมีเอกสารหลักฐานระบุว่าชาวจีนเป็นวัฒนธรรมแรกที่มีการใช้ร่องรอยลักษณะลายนิ้วมือเป็นวิธีสำหรับใช้ระบุตัวตน การกดลายนิ้วมือบนตราประทับดินเหนียว หรือบนกระดาษเอกสารต่าง ๆ

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 17 นักวิทยาศาสตร์ชาวยุโรปได้มีการรายงานเกี่ยวกับลักษณะผิวหนังของมนุษย์ ช่วงปี ค.ศ. 1684 ดร.เนเฮเมียห์ กรูว์ (Dr.Nehemiah Grew) ได้เขียนบทความเกี่ยวกับลักษณะลายเส้นของผิวหนังไว้ใน Philosophical Transactions of the Royal Society of London และได้เผยแพร่ออกไป ซึ่งถือว่าเป็นเอกสารเกี่ยวกับรอยลายนิ้วมือที่เก่าแก่ที่สุดในยุโรป

ปี ค.ศ. 1823 ดร.โยฮันน์ เพอร์คินเจ (Dr.Johannes E. Purkinje) ศาสตราจารย์ด้านพยาธิวิทยาและสรีรวิทยาแห่งมหาวิทยาลัย Breslau ประเทศเยอรมนี ได้ตั้งชื่อและจำแนกรูปแบบลายนิ้วมือออกเป็น 9 ประเภท

ปี ค.ศ. 1858 เซอร์ วิลเลียม เจมส์ เฮอริเชล (Sir William James Herschel) ได้มีการใช้รอยลายมือสำหรับการลงนามในคุสัญญาเพื่อการยืนยันตัวตนซึ่งเป็นการใช้อย่างเป็นทางการครั้งแรกโดยชาวยุโรป และได้อธิบายว่า ลายนิ้วมือมีความถาวรไม่เปลี่ยนแปลงและมีความเป็นเอกลักษณ์



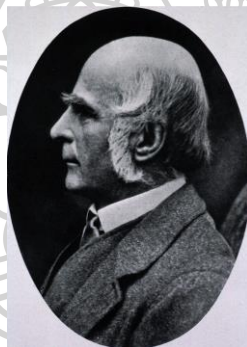
ภาพที่ 2 เซอร์ วิลเลียม เฮอริเชล

ที่มา: Daluz (2015)

ปี ค.ศ. 1880 เฮนรี ฟอลด์ส (Henry Faulds) นายแพทย์ชาวสก๊อต ได้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร Nature เสนอว่าลายนิ้วมือมีลักษณะของลายเส้นที่เป็นเอกลักษณ์ ลายนิ้วมือแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มัดหวาย (loops) และก้นหอย (whorls) และแนะนำให้ใช้ลายนิ้วมือในการสืบสวนคดีอาชญากรรมเพื่อเป็นพยานหลักฐาน

ปี ค.ศ. 1891 ฮวน วูเซทิซ (Juan Vucetich) ได้เริ่มศึกษาทดลองเกี่ยวกับลายนิ้วมือ มีการบันทึกเก็บข้อมูลลายนิ้วมือของผู้กระทำความผิด ออกแบบและพัฒนาระบบการจัดจำแนกลายนิ้วมือของประเทศอาร์เจนตินาและถูกนำไปใช้กับอเมริกาใต้ เรียกว่า ระบบวูเซทิซ (Vucetich's classification system)

ปี ค.ศ. 1892 เซอร์ ฟรานซิส กาลตัน (Sir Francis Galton) ได้ตีพิมพ์หนังสือเกี่ยวกับลายนิ้วมือชื่อ Finger Prints อธิบายเกี่ยวกับลักษณะของลายนิ้วมือแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบโค้ง (arch) มัดหวาย (loop) และก้นหอย (whorl) และไม่เปลี่ยนแปลง มีการกำหนดและตั้งชื่อลักษณะที่สามารถใช้ระบุบุคคลได้ด้วยจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นบนลายนิ้วมือ (minutiae) และลายนิ้วมือไม่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 3 เซอร์ ฟรานซิส กาลตัน

ที่มา: James, Nordby, & Bell (2014)

ปี ค.ศ. 1894 เซอร์ เอ็ดเวิร์ด ริชาร์ด เฮนรี (Sir Edward Richard Henry) ได้ขอคำแนะนำกับกาลตัน (Galton) และได้นำมาพัฒนาระบบวิธีการจัดจำแนกลายนิ้วมือโดยการกำหนดค่าตัวเลขกับลายนิ้วมือทั้ง 10 นิ้ว ซึ่งเริ่มจากนิ้วหัวแม่มือขวาไปสิ้นสุดที่นิ้วก้อยซ้ายที่มีรูปแบบลายนิ้วมือแบบก้นหอย เรียกว่า ระบบเฮนรี (Henry classification system) และได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

สำหรับในประเทศไทย พระองค์เจ้ารพีพัฒนศักดิ์ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์ พระราชโอรสพระองค์ที่ 14 ในพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาจุฬาลงกรณ์ พระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ดำริให้มีการตรากฎหมายขึ้นใหม่แทนกฎหมายเดิมและมีพระราชประสงค์ที่จะเก็บรวบรวมลายพิมพ์นิ้วมือของผู้ต้องหาในคดีอุกฉกรรจ์ จึงทรงนำเอาวิธีการพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลด้วยลายพิมพ์นิ้วมือมาใช้ โดยจัดตั้งกองพิมพ์ลายมือขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2444 และได้ทำการจัดเก็บลายนิ้วมือตามระบบเฮนรี ซึ่งถือได้ว่าพระองค์ทรงเป็นผู้ให้กำเนิดการพิมพ์ลายนิ้วมือในประเทศไทย



ภาพที่ 4 พระองค์เจ้ารพีพัฒนศักดิ์ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์  
ที่มา: เนติบัณฑิตยสภา ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2564)

ปัจจุบันได้มีการใช้ระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลและประมวลผล ทำให้การค้นหาและเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือมีประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และรวดเร็ว เรียกว่า ระบบตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (Automated fingerprint identification system, AFIS) เพื่อใช้ตรวจสอบเปรียบเทียบลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุกับลายพิมพ์นิ้วมือของอาชญากร หรือผู้ต้องสงสัย ตรวจสอบเปรียบเทียบแผ่นพิมพ์ลายนิ้วมือ 10 นิ้ว ในสารบบเพื่อการพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคล (สุนทรต์ ชูลักษณะ และวิชุดา จันทร์ช่างแรม, 2560; อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552; U.S. Department of Justice, 2011)

## 2. รูปแบบลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือแบ่งออกเป็น 9 แบบ คือ

2.1 โค้งราบ (plain arch) คือ ลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือที่ตั้งต้นจากขอบเล็บข้างหนึ่งแล้ววิ่งหรือไหลออกไปอีกข้างหนึ่ง ไม่มีเส้นพุ่งสูงขึ้นตรงกลาง ไม่มีจุดสันตอน

2.2 โค้งกระโจม (tented arch) คือ รูปแบบลายนิ้วมือแบบโค้งราบ แต่มีลักษณะลายเส้นเส้นหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งไม่ได้ไหลออกไปที่อีกข้างหนึ่ง หรือลายเส้นที่อยู่ตรงกลางของลายนิ้วมือเกิดเป็นเส้นพุ่งขึ้นเป็นลักษณะกระโจม หรือมีเส้นสองเส้นมาพบกันตรงกลางเป็นมุมแหลมคมหรือมุมฉาก

2.3 มัดหวายปัดขวา (right slant loop) คือ รูปแบบมัดหวายที่มีปลายเส้นเกือกม้าปิดปลายไปทางขวามือหรือทางด้านขวา

2.4 มัดหวายปัดซ้าย (left slant loop) คือ รูปแบบมัดหวายที่มีปลายเส้นเกือกม้าปิดปลายไปทางซ้ายมือหรือทางด้านซ้าย



ลักษณะลายนิ้วมือแบบมัดหวายจะต้องมีสันตอนเพียงหนึ่งด้าน มีเส้นวกกลับอย่างน้อย 1 รูป และมีจุดใจกลางและต้องมีเส้นจากจุดสันตอนไปถึงจุดใจกลางอย่างน้อย 1 เส้น ซึ่งต้องเป็นเส้นของเส้นวกกลับที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้น

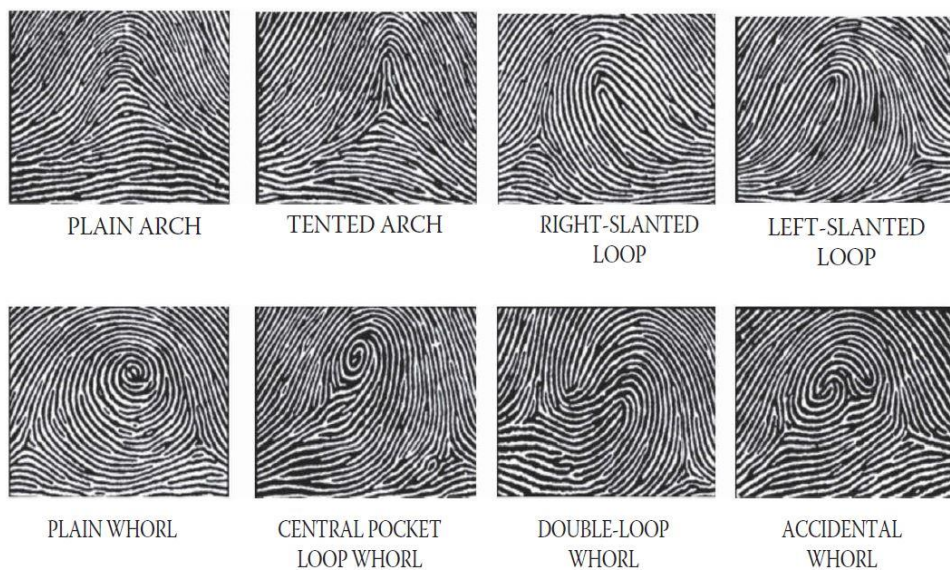
2.5 ก้นหอยธรรมดา (plain whorl) คือ ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร อาจมีลักษณะเหมือนรูปไข่หรือวงกลม โดยต้องมีสันตอน 2 แห่ง ถ้าลากเส้นสมมติจากจุดสันตอนหนึ่งไปยังจุดสันตอนอีกข้างหนึ่ง เส้นสมมติจะต้องสัมผัสหรือตัดเส้นวงจรหน้าจุดสันตอนทั้ง 2 ข้าง อย่างน้อย 1 เส้น

2.6 ก้นหอยกระเป๋ากลาง (central pocket loop whorl) คือ ลายนิ้วมือแบบก้นหอยธรรมดา แต่ต่างกันตรงที่เมื่อลากเส้นสมมติจากสันตอนหนึ่งไปยังสันตอนหนึ่ง เส้นสมมติจะไม่ตัดหรือไม่สัมผัสกับเส้นวงจรที่อยู่ตอนใน

2.7 ก้นหอยกระเป๋าข้าง (lateral pocket loop whorl) คือ ลายนิ้วมือชนิดมัดหวายคู่ แต่มีสันตอนทั้งสองสันตอนอยู่ข้างเดียวกัน

2.8 มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝด (double loop/twinned loop) คือ ลายนิ้วมือที่มีมัดหวาย 2 รูป มากอดหรือมากล้ำกัน โดยมีสันตอนสองสันตอนอยู่คนละข้างกัน และมัดหวายทั้งสองรูปที่ปรากฏนี้ไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากัน

2.9 แบบซบซ้อน (accidental whorl) คือ ลายนิ้วมือที่ไม่เหมือนลายนิ้วมือชนิดอื่นที่กล่าวมาแล้ว เป็นลายนิ้วมือที่ประกอบด้วยลายนิ้วมือตั้งแต่ 2 ชนิด หรือมากกว่ามารวมกัน ยกเว้นลายนิ้วมือชนิดโค้งราบ และอาจมีสันตอน 2 สันตอน หรือมากกว่า (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างรูปแบบลายนิ้วมือ

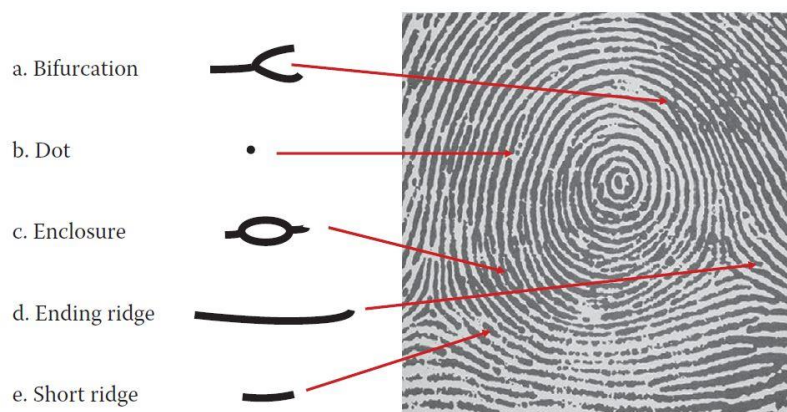
ที่มา: Daluz (2019)

ลายนิ้วมือในแต่ละรูปแบบจะมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (minutiae) ที่อยู่บนลายนิ้วมือ ประกอบด้วยลายเส้นที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น

- 1) เส้นแตก (bifurcation) มีลักษณะเป็นลายเส้นจากเส้นเดียวที่แยกออกเป็นสองเส้นหรือมากกว่า
- 2) จุด (dot) เป็นลายเส้นที่สั้นมาก มีลักษณะเป็นจุดเล็ก ๆ
- 3) เส้นทะเลสาบ (enclosure หรือ lake) เป็นลายเส้นที่แยกเป็นสองเส้นแล้วกลับมารวมกันใหม่จึงทำให้มีลักษณะเป็นพื้นที่ปิดล้อม
- 4) เส้นขาด (ending ridge) เป็นลายเส้นจากเส้นเดียวที่ขาดออกจากเส้นเดิม
- 5) เส้นสั้น ๆ (short ridge) เป็นลายเส้นที่สั้นแต่ไม่สั้นมากถึงกับเป็นจุดเล็ก ๆ

ในการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลสำหรับมาตรฐานของประเทศไทยนั้นจะใช้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตั้งแต่ 10 จุด ขึ้นไป เพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลหรือทะเบียนประวัติอาชญากร (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552)





ภาพที่ 6 จุดลักษณะสำคัญพิเศษ  
ที่มา: Mirakovits & Londino (2016)

## วิธีตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือ

รอยลายนิ้วมือในสถานที่เกิดเหตุนั้นสามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ยากจึงต้องใช้วิธีที่ทำให้รอยเหล่านั้นปรากฏขึ้นมาและสามารถเก็บไปตรวจพิสูจน์ได้ โดยวิธีการตรวจเก็บนั้นมีหลายวิธีการซึ่งประสิทธิภาพและการใช้งานจะต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวหรือลักษณะของวัตถุที่รอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่ซึ่งจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการตรวจที่เหมาะสม โดยตัวอย่างของวิธีการตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือแฝงมีดังนี้

### 1. วิธีการใช้ผงฝุ่น

วิธีการใช้ผงฝุ่นเป็นการนำสารที่เป็นของแข็งมาใช้ในแบบผงฝุ่นสำหรับทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏและใช้เทปลอกขึ้นมาติดบนกระดาษหรือที่รองรับ หรือโดยการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ลายนิ้วมือที่มีสีที่แตกต่างจากวัตถุพื้นผิวซึ่งผงฝุ่นแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น สี การยึดติด ขนาดของเม็ดผงฝุ่น ความสามารถในการติดบนพื้นผิววัตถุแต่ละชนิด ควรเลือกผงฝุ่นที่เหมาะสมกับชนิดของพื้นผิวของวัตถุ ผงฝุ่นที่จะนำมาใช้มีอยู่หลากหลายชนิดและหลากหลายสี การจะเลือกใช้ผงฝุ่นสีใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง วิธีการใช้ผงฝุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวและเหมาะสมสำหรับวัตถุพื้นผิวเรียบ ไม่ดูดซึม

วิธีการปิดผงฝุ่นเป็นการทำให้ผงฝุ่นติดที่วัตถุด้วยแปรงชนิดต่าง ๆ โดยการเทผงฝุ่นเล็กน้อยออกจากภาชนะบรรจุใส่ลงในภาชนะหรือกระดาษรองรับ ใช้แปรงแตะผงฝุ่นพอประมาณแล้วใช้แปรงปัดลงไปที่วัตถุพยานที่ต้องการตรวจหารอยลายนิ้วมือ เมื่อปรากฏลักษณะของลายเส้นลายนิ้วมือแล้วจึงปัดไปตามลักษณะลายเส้นของรูปแบบลายนิ้วมือนั้น ๆ จนลายเส้นมีความคมชัด

## 2. วิธีการทางเคมี

2.1 วิธีนินไฮดริน (ninhydrin) วิธีนี้เหมาะสำหรับวัตถุพยานประเภทพื้นผิวไม่มีรูพรุน เช่น กระดาษและเอกสารต่าง ๆ นินไฮดรินจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในเนื้อทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏเป็นสีม่วงเข้มหรือ Ruhemann's purple แล้วตรวจเก็บโดยวิธีการถ่ายภาพทันที

2.2 วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) เป็นวิธีที่ใช้สำหรับวัตถุพยานประเภทกระดาษไม้ หรือโลหะ โดยซิลเวอร์ไนเตรตจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อ เมื่อทำให้แห้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงแดดจะทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นมาเป็นสีน้ำตาลดำ

2.3 วิธีผลึกม่วง (crystal violet) วิธีนี้เหมาะสำหรับรอยลายนิ้วมือแฝงที่ติดอยู่ที่ด้านเหนียวของเทปใส เทปพันสายไฟ เป็นต้น ซึ่งด้านเหนียวของเทปนั้นไม่สามารถเก็บด้วยวิธีผงฝุ่นได้ วิธีการนี้ทำได้โดยวางเทปพันสายไฟแช่ในน้ำยาจนกระทั่งรอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏเป็นสีม่วง แล้วจึงล้างออกด้วยน้ำเพื่อล้างสีส่วนเกินออกไป จากนั้นนำไปวางบนกระดาษอครูป ใช้ความร้อนอ่อน ๆ แล้วจึงดึงเทปออกแล้วทำการตรวจเก็บด้วยการถ่ายภาพ

2.4 วิธีรมด้วยไอโอดีน (iodine fuming) เมื่อไอโอดีนได้รับความร้อนจะเกิดการระเหิดเป็นไอ โดยไอของไอโอดีนจะทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นมาเป็นสีน้ำตาล และทำการถ่ายภาพเก็บไว้ทันที

2.5 วิธีซูเปอร์กลู (Super glue) หรือไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate) เหมาะกับวัตถุพยานประเภทเครื่องหนัง กระดาษ แก้ว โลหะต่าง ๆ เป็นต้น ซูเปอร์กลูซึ่งมีส่วนผสมของสารไซยาโนอะคริเลตเอสเทอร์ (cyanoacrylate ester) เมื่อสารนี้ได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งไซยาโนอะคริเลตจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและน้ำที่อยู่ในเนื้อ ทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏลายเส้นเป็นสีขาว

## 3. วิธีการอื่น ๆ

3.1 เทคนิค Small particle reagents (SPRs) เป็นเทคนิควิธีการทางกายภาพ โดยอาศัยอนุภาคขนาดเล็กของ SPR จะไปเกาะติดกับสารประกอบพวกไขมันของรอยลายนิ้วมือแฝง ซึ่งจะใช้การฉีดพ่นหรือการจุ่มในสารละลาย ส่วนใหญ่จะใช้โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (molybdenum disulfide) ในสารละลายดีเทอร์เจนต์ (detergent) มักใช้กับวัตถุพยานพื้นผิวเรียบไม่มีรูพรุนที่อยู่ในสภาพเปียก

3.2 1,2-อินเดนไดโอน (1,2-indanedione) เป็นสารเคมีที่จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในรอยลายนิ้วมือแฝงแล้วให้เกิดการเรืองแสง อาจใช้วิธีการจุ่มหรือฉีดพ่น จะใช้แสงกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และใช้ฟิลเตอร์ 590 นาโนเมตร

3.3 ดีเอฟโอ (1,8-diazafuoren-9-one: DFO) ได้เตรียมขึ้นครั้งแรกใน ปี ค.ศ. 1950 และต่อมาได้มีการนำมาใช้ตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่มีรูพรุน ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในรอย

ลายนิ้วมือจะเกิดสีม่วงอ่อนซึ่งอาจจะใช้แสงกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และใช้ฟิลเตอร์ 590 นาโนเมตร หรือใช้แสงกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร และใช้ฟิลเตอร์ 610 นาโนเมตร

3.4 การใช้แสงโพลีไลต์ (Polilight) เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกสถานที่ มีฟิลเตอร์ที่จะตัดแสงสีต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งาน สามารถนำมาตรวจหารอยลายนิ้วมือบนวัตถุต่าง ๆ เช่น รอยลายนิ้วมือที่ติดคราบโลหิต คราบอสุจิ รอยร่องเท้า ลายนิ้วมือที่อยู่บนเอกสารต่าง ๆ เป็นต้น (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552, 2564; James, Nordby, & Bell, 2014)

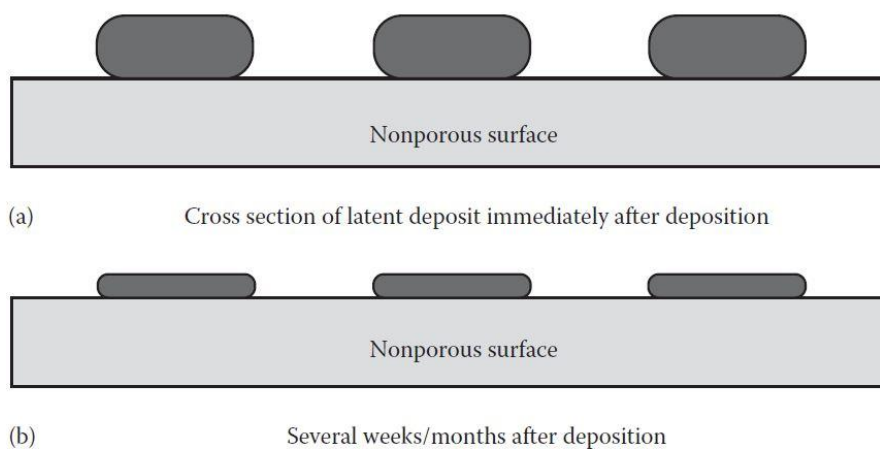
### ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ

ลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งส่งผลต่อการตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือซึ่งสามารถจำแนกลักษณะพื้นผิวที่อาจพบรอยลายนิ้วมือแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พื้นผิวที่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน

พื้นผิวที่มีรูพรุน (porous surfaces) เป็นลักษณะของพื้นผิวที่สามารถดูดซับเหงื่อและสารต่าง ๆ ของรอยลายนิ้วมือแฝงได้อย่างรวดเร็ว โดยสารประกอบที่ละลายน้ำจะถูกดูดซับเข้าไปในชั้นพื้นผิวของวัตถุภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วินาที แล้วจะเกิดการระเหยของน้ำ และเหลือองค์ประกอบอื่น ๆ ไว้ ได้แก่ กรดอะมิโน ยูเรีย และโซเดียมคลอไรด์ การแทรกซึมของสารประกอบจากร่องรอยลายนิ้วมือแฝงเข้าไปในพื้นผิวของวัตถุขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์และลักษณะความพรุนของวัตถุนั้น ๆ ในขณะที่ส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมัน จะยังคงอยู่บนพื้นผิวของวัตถุ ตัวอย่างพื้นผิวที่มีรูพรุน เช่น กระดาษ ไม้ ผ้า เป็นต้น

พื้นผิวกึ่งรูพรุน (semiporous surfaces) เป็นลักษณะของพื้นผิวที่มีคุณสมบัติก้ำกึ่งอยู่ระหว่างพื้นผิวที่มีรูพรุนและพื้นผิวไม่มีรูพรุน พื้นผิวประเภทนี้จะสามารถดูดซับส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่มีรูพรุน ส่วนองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำจะยังคงติดอยู่บนพื้นผิวได้นานกว่าพื้นผิวที่มีรูพรุนแต่ไม่นานเทียบเท่ากับพื้นผิวไม่มีรูพรุน ตัวอย่างพื้นผิวกึ่งรูพรุน เช่น พื้นผิววัตถุทาสีบางประเภท ธนบัตรพอลิเมอร์ กระดาษห่อของที่มีการเคลือบไข เป็นต้น

พื้นผิวไม่มีรูพรุน (non-porous surfaces) เป็นลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่ไม่สามารถดูดซับส่วนประกอบต่าง ๆ จากรอยลายนิ้วมือแฝงได้ แม้เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลายสัปดาห์หรือหลายเดือน ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้และส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำของลายนิ้วมือแฝงจะยังคงติดอยู่ด้านบนของพื้นผิว แต่จะเกิดการระเหยของน้ำออกไป ซึ่งส่วนประกอบที่อยู่บนพื้นผิวของวัตถุดังกล่าวอาจถูกทำลายได้โดยง่ายจึงต้องทำการตรวจเก็บด้วยความระมัดระวัง นอกจากนี้รอยลายนิ้วมืออาจถูกทำลายได้ง่ายด้วยตัวละลายอินทรีย์ ตัวอย่างพื้นผิวไม่มีรูพรุน เช่น แก้ว พื้นผิวโลหะ พลาสติก เป็นต้น (Champod et al., 2004)



ภาพที่ 7 ลักษณะพื้นผิวไม่มีรูพรุน

ที่มา: Daluz (2015)

### ธาตุแลนทาไนด์

กลุ่มธาตุแลนทาไนด์ (lanthanide) จัดอยู่ในกลุ่มธาตุหายาก (Rare earth: RE) หรือธาตุกลุ่มเอฟ (f-block) ที่แยกออกมาจากคาบที่ 6 เป็นกลุ่มธาตุที่มีอิเล็กตรอนอยู่ไม่เต็มชั้นพลังงานของออร์บิทัล f (4f) และมีการเติมอิเล็กตรอนเข้าไปในระดับพลังงานของออร์บิทัล 4f กลุ่มธาตุแลนทาไนด์มีเลขอะตอมตั้งแต่ 57-71 เริ่มตั้งแต่แลนทานัม (La, Z = 57) ไปจนถึงลูเทเทียม (Lu, Z = 71) ระดับพลังงานของออร์บิทัล 4f ของธาตุที่มีเลขอะตอมน้อยกว่า La (น้อยกว่า 57) มีพลังงานสูงกว่า 5d และ 6s ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเลขอะตอมของธาตุเท่ากับ 50 ลำดับของระดับพลังงานจะเป็น  $4f > 5d > 6s$  และเมื่อเลขอะตอมเท่ากับ 57 ออร์บิทัล 4f จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและพลังงาน โดยเมื่อธาตุกลุ่มแลนทาไนด์อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์พลังงานของออร์บิทัล 4f ลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้ขนาดของ 4f หดเล็กลง และจะถูกล้อมรอบด้วย 5s และ 5p นั่นคือ ออร์บิทัล 4f จึงอยู่ข้างในและรอบนอกถูกห่อหุ้มด้วย 5s และ 5p เปรียบเสมือนเกราะป้องกันการถูกรบกวนจากอิทธิพลภายนอกซึ่งส่งผลดีต่อสมบัติทางแสงของธาตุกลุ่มแลนทาไนด์ โดยทำให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงมีลักษณะเฉพาะตัวและมีความคมชัด เนื่องจากไม่ถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก

ซาแมเรียม (samarium) ค้นพบโดย P. L. de Boisbaudran ปี ค.ศ. 1879 เลขอะตอม 62 มวลอะตอม 150.360 กรัม/โมล การจัดเรียงอิเล็กตรอน  $[Xe] 4f^6 6s^2$  จุดเดือด 1,794 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,072 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น  $7.52 \text{ g.cm}^{-3}$

ยูโรเพียม (europium) ค้นพบโดย E. A. Demarcay ปี ค.ศ. 1901 ธาตุที่มีเลขอะตอม 63 และสัญลักษณ์คือ Eu ธาตุโลหะหายาก มวลอะตอม 151.965 กรัม/โมล การจัดเรียงอิเล็กตรอน [Xe]  $4f^7 6s^2$  จุดเดือด 1,529 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 822 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น  $5.24 \text{ g.cm}^{-3}$

เทอร์เบียม (terbium) เป็นธาตุกลุ่มแลนทาไนด์ที่ถูกค้นพบโดย Carl Gustav Mosander ในปี ค.ศ. 1843 มีเลขอะตอม 65 และสัญลักษณ์คือ Tb มีลักษณะสีเทา การจัดเรียงอิเล็กตรอน [Xe]  $4f^9 6s^2$  จุดเดือด 3,230 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,359 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น  $8.23 \text{ g.cm}^{-3}$  (สัมพันธ์ วงศ์นาวา, 2555)

The image shows a periodic table with the Lanthanide and Actinide series highlighted. The Lanthanide series (elements 57-71) is shown in orange, and the Actinide series (elements 89-103) is shown in red. A legend indicates that orange represents Lanthanides and red represents Actinides. The main body of the periodic table is in grey.

| 1     | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 H   |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 2 He   |
| 3 Li  | 4 Be  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 5 B    | 6 C    | 7 N    | 8 O    | 9 F    | 10 Ne  |
| 11 Na | 12 Mg |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 13 Al  | 14 Si  | 15 P   | 16 S   | 17 Cl  | 18 Ar  |
| 19 K  | 20 Ca | 21 Sc  | 22 Ti  | 23 V   | 24 Cr  | 25 Mn  | 26 Fe  | 27 Co  | 28 Ni  | 29 Cu  | 30 Zn  | 31 Ga  | 32 Ge  | 33 As  | 34 Se  | 35 Br  | 36 Kr  |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y   | 40 Zr  | 41 Nb  | 42 Mo  | 43 Tc  | 44 Ru  | 45 Rh  | 46 Pd  | 47 Ag  | 48 Cd  | 49 In  | 50 Sn  | 51 Sb  | 52 Te  | 53 I   | 54 Xe  |
| 55 Cs | 56 Ba | 57-71  | 72 Hf  | 73 Ta  | 74 W   | 75 Re  | 76 Os  | 77 Ir  | 78 Pt  | 79 Au  | 80 Hg  | 81 Tl  | 82 Pb  | 83 Bi  | 84 Po  | 85 At  | 86 Rn  |
| 87 Fr | 88 Ra | 89-103 | 104 Rf | 105 Db | 106 Sg | 107 Bh | 108 Hs | 109 Mt | 110 Ds | 111 Rg | 112 Cn | 113 Nh | 114 Fl | 115 Mc | 116 Lv | 117 Ts | 118 Og |
|       |       | ↓      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 57 La | 58 Ce | 59 Pr  | 60 Nd  | 61 Pm  | 62 Sm  | 63 Eu  | 64 Gd  | 65 Tb  | 66 Dy  | 67 Ho  | 68 Er  | 69 Tm  | 70 Yb  | 71 Lu  |        |        |        |
| 89 Ac | 90 Th | 91 Pa  | 92 U   | 93 Np  | 94 Pu  | 95 Am  | 96 Cm  | 97 Bk  | 98 Cf  | 99 Es  | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lr |        |        |        |

ภาพที่ 8 ธาตุแลนทาไนด์  
ที่มา: TechnologyUK (2021)

## การเปล่งแสง

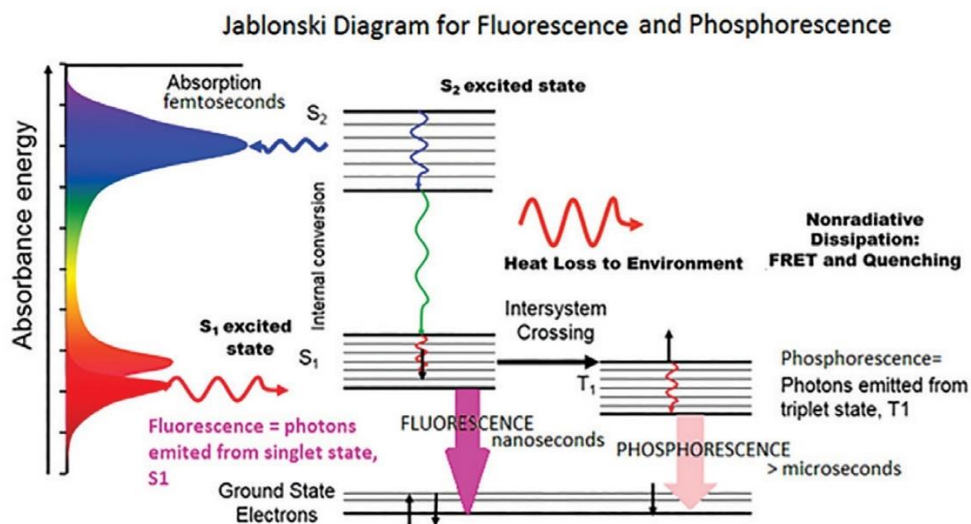
การเปล่งแสงหรือลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) เป็นปรากฏการณ์ที่สารเปล่งแสงหรือโฟตอน (photon) ออกมา เมื่อถูกกระตุ้นด้วยปัจจัยหรือกระบวนการต่าง ๆ การเปล่งแสงมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับแหล่งของพลังงานที่ทำให้โมเลกุลไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (excited state) เช่น

- เคมีลูมิเนสเซนซ์ (chemiluminescence) คือ การเปล่งแสงของโมเลกุลของสารเนื่องจากการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ไบโอลูมิเนสเซนซ์ (bioluminescence) คือ การเปล่งแสงเนื่องจากการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต



- แคโทโดลูมิเนสเซนซ์ (cathodoluminescence) คือ การเปล่งแสงเนื่องจากถูกกระตุ้นด้วยลำอิเล็กตรอน
- อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence) คือ การเปล่งแสงเนื่องจากการกระตุ้นด้วยกระบวนการทางไฟฟ้า
- โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) คือ การเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การวาวแสงหรือฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) และการเรืองแสงหรือฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence) เมื่อโมเลกุลมีการดูดกลืนพลังงานจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วขึ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (excited state) โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นนี้จะลดพลังงานที่มากเกินไปลงมาสู่สถานะพื้น (ground state) ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การลดการกระตุ้น (de-excitation) ซึ่งมีทั้งกระบวนการที่ไม่เกิดแสงและกระบวนการที่เกิดแสง ส่วนใหญ่หลังจากที่ถูกกระตุ้นไม่นาน โมเลกุลจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนที่ไปทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลในโครงสร้างวัสดุซึ่งเป็นการลดการกระตุ้นที่ไม่เกิดแสง ต่อมาโมเลกุลจึงดำเนินการลดการกระตุ้นโดยคายพลังงานออกมาในรูปของพลังงานแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในเวลาระดับนาโนวินาที หรือฟอสฟอเรสเซนซ์ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เวลาในช่วงมิลลิวินาที



ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์

ที่มา: Horiba (2022)

### หลักการของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ หรือ X-Ray Diffractometer (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ ใช้ในการศึกษาโครงสร้างผลึกในวัสดุของแข็ง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบหนึ่งโดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์วัสดุต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อรังสีเอกซ์เคลื่อนที่มาตกกระทบอะตอม ลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ หากอะตอมนั้นอยู่ในวัสดุของแข็งที่มีโครงสร้างผลึก (crystal structure) ซึ่งภายในประกอบไปด้วยอะตอมที่มีการจัดเรียงตัว รังสีเอกซ์จะเกิดการเลี้ยวเบนผ่านระนาบของอะตอม

การกระเจิงรังสีเอกซ์นั้น อาศัยกฎของแบรกก์ (Bragg's law) ที่ว่าเมื่อรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวตกกระทบผลึกหรือโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวเป็นระนาบของอะตอมอย่างมีระเบียบ โดยทำมุม  $\theta$  บางส่วนของรังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงที่ชั้นอะตอมผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของลำรังสีเอกซ์จะผ่านไปยังชั้นที่ 2 ของอะตอม บางส่วนจะเกิดการกระเจิง และส่วนที่เหลือก็จะผ่านเข้าไปยังชั้นต่อไปของอะตอม จะเกิดการสะท้อนบนระนาบของผลึกและเกิดการแทรกสอด จะทำให้เกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสี เรียกว่า diffraction pattern แสดงตามสมการของแบรกก์ (Bragg equation)

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

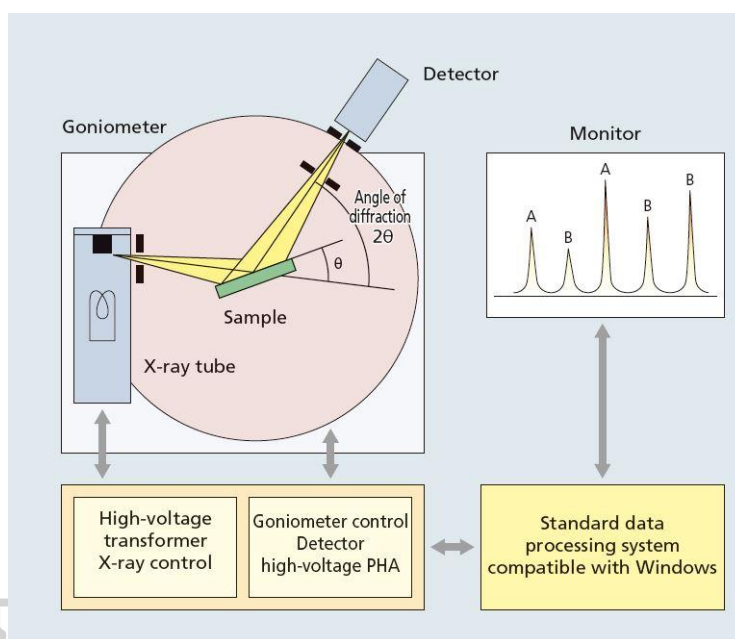
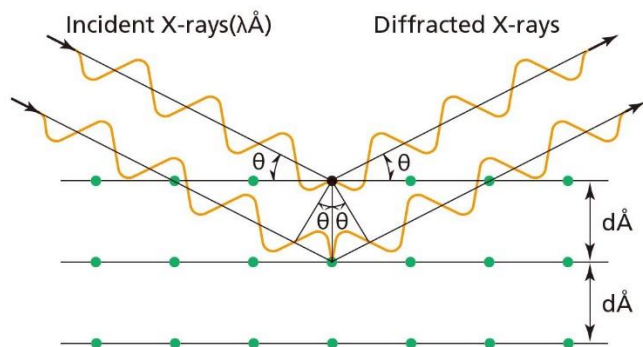
$n$  คือ ลำดับของการสะท้อน

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (h l k)

$\theta$  คือ มุมการตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบของผลึก

ตัวอย่างจะนำมาใส่บนแท่นหมุน (turn table) โดยมีตัวตรวจวัด (detector) หมุนไปรอบ ๆ ซึ่งมุม  $\theta$  ระหว่างลำแสงเอกซเรย์กับตำแหน่งของตัวอย่างจะเปลี่ยนไปจนกว่าสถานะ Bragg จะสมบูรณ์ เอกซเรย์จะสะท้อนไปยังตัวตรวจวัด เมื่อตัวอย่างหมุนไปเป็นมุม  $\theta$  ตัวตรวจวัดจะหมุนไปเป็นมุม  $2\theta$  (แม่นยำ อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552, 2555)



ภาพที่ 10 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์  
ที่มา: Shimadzu (2020)

### หลักการของเครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis-NIR Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดสเปกตรัมแสงในย่านยูวี-วิซิเบิล-เนียร์อินฟราเรดเพื่อใช้วิเคราะห์การดูดกลืนแสง (absorbance) การส่องผ่าน (transmittance) และการสะท้อนแสง (reflectance) ของสารตัวอย่าง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) สรุปได้ว่า เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านเข้าไปในสารที่มีอนุภาคที่สามารถดูดกลืนแสง พลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นหรือปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น



ระดับพลังงานในอะตอมและโมเลกุลจะเป็นควอนไทซ์ (quantized) และไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วยระดับพลังงานที่สถานะพื้น (ground state) และสถานะถูกกระตุ้น (excited state) ซึ่งแต่ละระดับพลังงานจะประกอบด้วยพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ (electronic energy) คือ พลังงานของอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (valence band) พลังงานการสั่น (vibrational energy) คือ พลังงานการสั่นของพันธะในโมเลกุล และพลังงานการหมุน (rotation energy) คือ พลังงานการหมุนของนิวเคลียสของอะตอมในโมเลกุล โดยระดับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยระดับพลังงานการสั่นหลายระดับ เช่นเดียวกันระดับพลังงานการสั่นจะประกอบด้วยระดับพลังงานการหมุนหลายระดับ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลดูดกลืนพลังงานที่มีความถี่หรือความยาวคลื่นจำเพาะ อิเล็กตรอนภายในอะตอมหรือโมเลกุลจะถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นไปยังสถานะถูกกระตุ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน เรียกว่า แทรนซิชัน (transition) จากนั้นอิเล็กตรอนจะคายพลังงานเพื่อกลับสู่สถานะพื้น โดยพลังงานที่คายออกมาจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจจับ (detector) เพื่อแปลงสัญญาณ

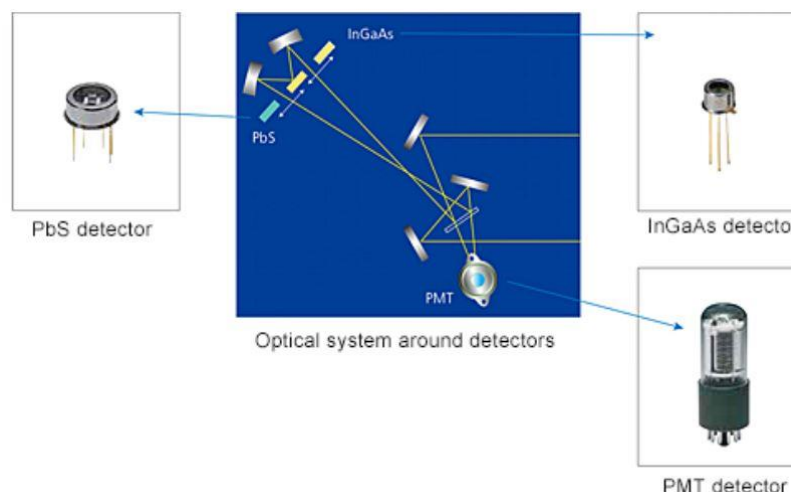
เครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิด เช่น หลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือหลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงความยาวคลื่น 160-380 นาโนเมตร และหลอดทังสเตน (tungsten lamp) ให้แสงที่มีความยาวคลื่น 240-2,500 นาโนเมตร

2. ตัวแยกแสงหรือโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงให้เป็นแสงแบบโมโนโครเมติกหรือมีความยาวคลื่นเดียว ซึ่งใช้เกรตติง (grating) จำนวน 2 ชุด ในการแยกแสง

3. ส่วนที่ใส่สารตัวอย่าง (cell compartment) หรือบางครั้งเรียกว่า คิวเวตต์ (cuvettes) มีหลายรูปแบบ รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิซิเบิล เซลล์ที่ทำด้วยควอตซ์ (quartz) และซิลิกา (silica) จะใช้วิเคราะห์ทั้งช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตและวิซิเบิล

4. ชุดตรวจจับสัญญาณ (detector) ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ความเข้มของรังสีโดยการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตัวอย่างเครื่องตรวจจับแสง เช่น ช่วง UV-Vis เป็นแบบหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) เครื่องตรวจจับแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector) ช่วง NIR ความยาวคลื่น 700-1,800 นาโนเมตร เป็นแบบชนิดอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (InGaAs) ช่วง NIR ความยาวคลื่น 1,600-3,300 นาโนเมตร เป็นแบบชนิดตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) เป็นต้น (ม้าน อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552; อรุณรัตน์ สัจฉิตกวินสกุล, 2563; Shimadzu, 2022)



ภาพที่ 11 องค์ประกอบของเครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์  
ที่มา: Shimadzu (2022)

### หลักการของเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fluorescence Spectrophotometer) เป็นการวัดการเรืองแสงที่เปล่งออกมาจากสารเปล่งแสง ซึ่งได้จากการที่โมเลกุลของสารดูดกลืนพลังงานแสงเข้าไป แล้วเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าความยาวคลื่นที่โมเลกุลดูดกลืนเข้าไป

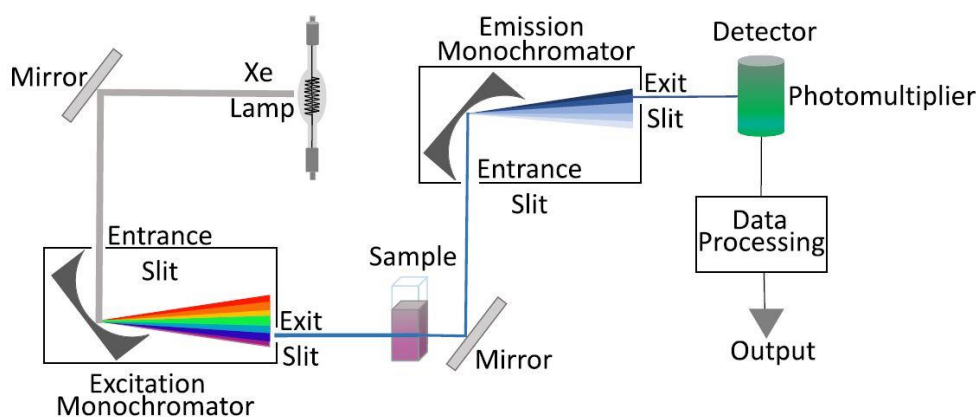
แหล่งกำเนิดแสง (light source) ที่นิยมใช้คือ หลอดซีนอน (Xenon lamp) ที่ให้ความเข้มของแสงสูงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 250-700 นาโนเมตร สามารถให้แสงได้ทั้ง continuous mode และ pulse mode กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไป คือ 150 W, เลเซอร์ (Laser) ในช่วงความยาวคลื่น 360-650 นาโนเมตร หรือ กรณีของหลอดเมอร์คิวรี (Mercury-arc lamp) มักใช้กับเครื่องที่มีการใช้ฟิลเตอร์ (filter) ด้วยเพราะแสงที่ให้ออกมาค่อนข้างคงที่และมีความเข้มของแสงที่สูง

ตัวเลือกความยาวคลื่น มีการใช้ฟิลเตอร์ (filter) สำหรับทำการตัดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการ แต่ถ้าเป็นสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (spectrofluorometer) ที่ต้องการให้มีความสามารถในการวัดซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง แล้วข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงกันซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นเกรดดี

(grating) เป็นโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ซึ่งสามารถเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ต้องการสำหรับทำให้เกิดการกระตุ้นและเลือกใช้ความยาวคลื่นของฟลูออเรสเซนซ์ที่จะทำการวัดได้ ลักษณะของฟิลเตอร์และเกรตติงจะมี 2 ส่วน คือ ตัวเลือกความยาวคลื่นการกระตุ้นและตัวเลือกความยาวคลื่นการเปล่งแสง ซึ่งจะต้องวางอยู่ในตำแหน่ง 90 องศา ของกันและกัน

เซลล์สำหรับบรรจุตัวอย่าง มักทำมาจากวัสดุประเภทควอตซ์หรือซิลิกา ต้องมีคุณสมบัติให้แสงผ่านไปโดยไม่รบกวนการดูดกลืนหรือการเปล่งแสง

เครื่องวัดฟลูออเรสเซนซ์ เนื่องจากสัญญาณจากการฟลูออเรสเซนซ์จะมีความเข้มต่ำจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) เป็นอุปกรณ์วัดแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงสีขาวย และจะมีส่วนของเครื่องบันทึกสัญญาณและเครื่องประมวลผล (แมน อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 12 องค์ประกอบของเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ที่มา: Gomes, Lunardi, Rocha, & Patience (2019)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนิรัตน์ นวลกุล และเกษศิริรินทร์ เอกสินีท์กุล (2560) ได้ทำการศึกษาพัฒนาชุดสารเคมี Small particle reagent (SPR) 3 สูตร สำหรับตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือแฝงซึ่งมีการประทับรอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน โดยทำการเตรียมตัวอย่างจากรอยลายนิ้วมือของบุคคลเพียงหนึ่งคน ใช้นิ้วหัวแม่มือสัมผัสกับบริเวณหน้าผากหรือที่ไซน แล้วทำการประทับรอยลายนิ้วมือลงบนวัตถุตัวอย่างที่ศึกษาซึ่งใช้แรงกดประทับลายนิ้วมือประมาณ 300-500 กรัม ผลการวิจัยพบว่า ชุดสารเคมี SPR ที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 สูตร สามารถใช้ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวเปียกไม่มีรูพรุนได้

ฐวีรัชญ์ สุริยวงศ์ (2556) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ผงฝุ่นเรืองแสงแบบเรียบแมกนีเซียมอะลูมิเนียมที่มีการเติมยูโรเพียม ( $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ ) ด้วยการเตรียมเป็นสารละลายยูเรีย-ไนเตรตที่มีความเข้มข้นของยูโรเพียมไอออน 7 mol% และศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารเรืองแสง และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า สารเรืองแสงมีโครงสร้างเป็นเฮกซะโกนอล มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 50 ไมโครเมตร ความยาวคลื่นในการเปล่งแสง สูงสุดเท่ากับ 455 นาโนเมตร ทำการทดสอบผงฝุ่นเรืองแสงบนพื้นผิวทั้งที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุนซึ่งกระตุ้นการเรืองแสงโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าพื้นผิวที่สามารถสังเกตเห็นการเรืองแสงได้อย่างชัดเจนนั้นส่วนใหญ่เป็นพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน

Babu, Renuka, Basavaraj, Darshan, & Nagabhushana (2019) ได้ทำการศึกษาผงฝุ่นไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการเติมยูโรเพียม  $\text{TiO}_2:\text{Eu}^{3+}$  1 mol%-11 mol โดยพิจารณาความเข้มข้นค่า pH อุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ มีการวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และศึกษาคุณสมบัติการเปล่งแสง ผลการศึกษาพบว่า ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการเติมยูโรเพียม 5 mol% มีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นสารเรืองแสงสำหรับการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซึ่งสามารถเห็นรายละเอียดของลายเส้นได้ดีกว่าผงฝุ่นทั่วไป และมีการเรืองแสงสีแดง สามารถใช้ในการพิจารณาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงสำหรับการระบุตัวบุคคลและใช้ในการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

Park, J.Y., Park, S.J., Kwak, & Yang (2018) ได้สังเคราะห์สารเรืองแสง  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}$  สำหรับการใช้ตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง มีการตรวจสอบคุณลักษณะและคุณสมบัติทางแสงด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD), รามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ผงฝุ่น  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7:3\text{Eu}^{3+}$  เกิดการเปล่งแสงสีแดงที่ 612 นาโนเมตร เมื่อกระตุ้นด้วยแสง 393 นาโนเมตร และนำผงฝุ่นมาใช้ตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น อะลูมิเนียมพอยล์ สแตนเลส กระจก แผ่นพลาสติกใส แผ่นซีดี ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นซึ่งให้ภาพของลายเส้นที่ชัดเจนสามารถใช้ตรวจหาลายนิ้วมือแฝงได้

Venkatachalaiah et al. (2018) ทำการสังเคราะห์ผงฝุ่นสำหรับตรวจลายนิ้วมือแฝงด้วยการใช้ดีเทรียมออกไซด์  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  5 mol% ที่มีการใช้ฟลักซ์ (flux) คือ KCl,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , NaF และ  $\text{NH}_4\text{F}$  เพื่อปรับปรุงความเข้มของการเปล่งแสงและประสิทธิภาพของการเรืองแสง พบว่า  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  5 mol% ที่มีการใช้  $\text{NH}_4\text{F}$  มีความเข้มของการเรืองแสงสูงสุด ทั้งนี้มีการวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งผงฝุ่นระดับนาโนที่พัฒนาขึ้นนำมาใช้ตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวต่าง ๆ

ประกอบด้วยพื้นผิวที่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่น โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร พบว่าสามารถเห็นรายละเอียดของลายนิ้วมือแฝงได้ดี มีการรบกวนของพื้นหลังเล็กน้อย และมีความเป็นพิษต่ำ

Girish, Prashantha, Naik, & Nagabhushana (2017) ทำการศึกษาพัฒนาผงเรืองแสง  $Zn_2TiO_4:Sm^{3+}$  ที่มีการใช้ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) 1-11 mol% โดย  $Zn_2TiO_4$  เป็นโฮสต์จาก ZnO-TiO<sub>2</sub> system และ  $Sm^{3+}$  สามารถให้การเปล่งแสงที่เข้ม โดยมีการวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM), diffuse reflectance spectroscopy (DRS) และพิจารณาเกี่ยวกับคุณสมบัติการเปล่งแสง ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างผลึกเป็นทรงกลมมีขนาด 27-40 นาโนเมตร ซึ่งมีการทดสอบบนวัตถุพื้นผิวต่าง ๆ ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต พบว่า  $Zn_2TiO_4:Sm^{3+}$  ที่มีการใช้ซาแมเรียม 3 mol% สามารถให้รายละเอียดของลายนิ้วมือที่มีความคมชัดซึ่งอาจนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์สำหรับการพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลได้

Li, Liu, Qi, Li, & Cui (2017) ทำการพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงจากธาตุแลนทาไนด์ด้วยการเติมยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 5-25 mol% ใน  $La_2(MoO_4)_3$  เมื่อศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า มีลักษณะแบบ tetragonal ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) จะทำให้ขนาดของโครงสร้างผลึกลดลงเล็กน้อย การกระตุ้นด้วยแสงในช่วงความยาวคลื่น 269 นาโนเมตร ทำให้เกิดสเปกตรัมการเปล่งแสงเข้มที่ความยาวคลื่น 616 นาโนเมตร และการใช้ยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 15 mol% ทำให้เกิดการเปล่งแสงดีที่สุดในเมื่อนำไปตรวจลายนิ้วมือแฝงซึ่งทดสอบบนวัตถุชนิดต่าง ๆ โดยการกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลตพบว่าการเปล่งแสงในช่วงสีแดง มีประสิทธิภาพสามารถเห็นรายละเอียดของลายเส้นคมชัด ลดปัญหาการรบกวนจากพื้นหลัง มีการเปล่งแสงที่ชัดเจน การเติมยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ใน  $La_2(MoO_4)_3$  สามารถใช้เป็นผงฝุ่นเรืองแสงชนิดใหม่สำหรับตรวจลายนิ้วมือแฝงเพื่อระบุตัวบุคคลในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

Park & Yang (2017) รายงานถึงการสังเคราะห์ผงเรืองแสงของ  $Y_4Zr_3O_{12}:Eu^{3+}$  ที่เรืองแสงสีแดงชนิดใหม่สำหรับใช้ในการตรวจลายนิ้วมือแฝง ซึ่งใช้สารประกอบ zirconate เป็นโฮสต์ โดยสังเคราะห์ด้วยวิธีการ solvothermal reaction method และมีการศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และศึกษาคุณสมบัติของการเปล่งแสง ซึ่งใช้ความเข้มข้นของยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 1-10 mol% ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของยูโรเพียมที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 mol% เมื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุนชนิดต่าง ๆ เช่น กระจก อะลูมิเนียมพอยล์ แผ่นซีดี สแตนเลส และพลาสติก ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิห้องพบว่า สามารถมองเห็นรายละเอียดของลายเส้นได้ชัดเจน



ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นผงฝุ่นเรืองแสงสีแดงสำหรับการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงได้

Wang, Lei, Ye, Zhao, & Yang (2017) ทำการศึกษาการใช้อะลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) ที่มีการเจือด้วยซีเรียม ( $Ce^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ร่วมกัน สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝงบนวัสดุชนิดต่าง ๆ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (solid-state reaction) มีการศึกษาตรวจสอบลักษณะและคุณสมบัติด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Shimadzu 6100), FLUOROMAX-4 spectrophotometer, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และมีการศึกษาคุณสมบัติทางแสงต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้อะลูมิเนียมไนไตรด์ที่มีการเจือซีเรียม ( $Ce^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ร่วมกันสามารถใช้ในการตรวจรอยลายนิ้วมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชัดเจน และเกิดการเปล่งแสงสีเขียวเมื่อทดสอบภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

Darshan et al. (2016) ศึกษาสารเรืองแสงอิตเทรียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (yttrium aluminate,  $YAlO_3$ ) ซึ่งใช้เป็นโฮสต์ที่มีการเติมเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 1-11 mol% ที่เตรียมโดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, Perkin Elmer Spectrometer, UV-Vis spectrometer และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และมีการศึกษาคุณสมบัติทางแสงต่าง ๆ ซึ่งอิตเทรียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เติมเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) แสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงมากที่สุดที่ 545 นาโนเมตร ( ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ ) จะเกิดการเปล่งแสงสีเขียว เมื่อนำไปทดสอบตรวจลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวของวัสดุที่ไม่มีรูพรุน เช่น กระจก อะลูมิเนียมพอลิ อิมพลาสติก พื้นผิวของวัสดุที่มีรูพรุน เช่น ด้ามมีด พื้นผิวของวัสดุที่มีรูพรุน เช่น ไม้ไผ่สีเขียว ซึ่งอาสาสมัครจะต้องล้างมือด้วยน้ำสบู่และรอให้แห้งเป็นเวลา 10 นาที โดยมีการใช้อิตเทรียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่มีการเติมเทอร์เบียม ( $YAlO_3:Tb^{3+}$ ) 7 mol% ในการทดสอบกับลายนิ้วมือแฝงบนวัสดุชนิดต่าง ๆ ซึ่งขนาดอนุภาคระดับนาโนจะยึดจับลายเส้นของลายนิ้วมือได้ดีซึ่งเมื่อทดสอบบนพื้นผิวของวัสดุภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตจะให้แสงสีเขียวและทำให้เห็นรอยลายนิ้วมือที่ชัดเจนขึ้น

Sodhi & Kaur (2001) ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการใช้ผงฝุ่นสำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝงซึ่งการใช้ผงฝุ่นในการหารอยลายนิ้วมือแฝงเป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุด ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน สามารถดำเนินการได้ทั้งในสถานที่เกิดเหตุหรือในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการใช้ผงฝุ่นควรเลือกให้เหมาะสมกับสถานการณ์ ซึ่งประสิทธิภาพของผงฝุ่นในการยึดติดกับรอยลายนิ้วมือขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เป็นส่วนประกอบ โดยทั่วไปผงฝุ่นที่มีอนุภาคเล็กละเอียดจะยึดติดได้ง่ายกว่าอนุภาคที่ใหญ่และหยาบ โดยผงฝุ่นเรืองแสงจากธาตุกลุ่มแลนทาไนด์มีช่วงอายุของการเรืองแสงได้นาน การเปล่งแสงในช่วงแคบ

### บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสารเคมี ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. เตาหลอม (crucible)
4. Rocklabs Ring Mill
5. Planetary Ball Milling
6. เต้าไฟฟ้า
7. เครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies
8. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) รุ่น XRD-6100 บริษัท Shimadzu
9. เครื่องยูวี-วิสิเบิล-อินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-3600 บริษัท Shimadzu
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น SU8010 บริษัท Hitachi
11. แปรงชนกระรอก (Tritech Forensics, สหรัฐอเมริกา)
12. ไฟฉายแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต
13. กระจกสไลด์
14. กล้องถ่ายภาพ
15. ถุงมือและผ้าปิดจมูก



ภาพที่ 13 Rocklabs Ring Mill

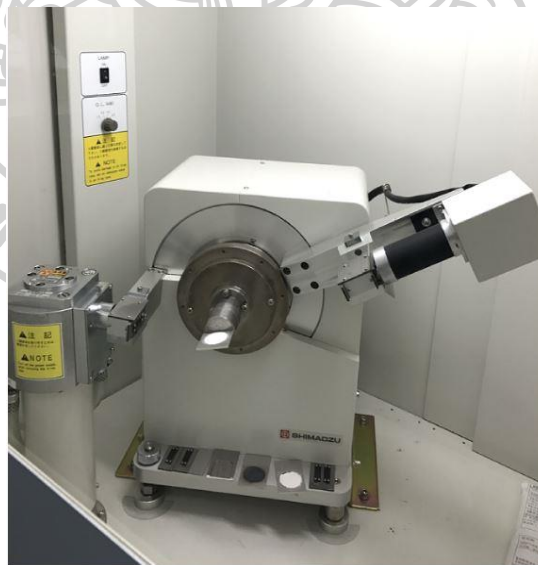


ภาพที่ 14 Planetary Ball Milling





ภาพที่ 15 เตาไฟฟ้า



ภาพที่ 16 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Shimadzu XRD-6100)



ภาพที่ 17 เครื่องยูวี-วิซิเบิล-เอ็นเออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-3600)



ภาพที่ 18 เครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Cary Eclipse)



ภาพที่ 19 แปรงขนกระรอก



ภาพที่ 20 ไฟฉายแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต



ภาพที่ 21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

## สารเคมี

1. แกโดลิเนียมออกไซด์ (gadolinium (III) oxide,  $Gd_2O_3$ ) 99.99%
2. โมลิบดีนัมออกไซด์ (molybdenum (III) oxide,  $MoO_3$ ) 99.9%
3. ซาแมเรียมออกไซด์ (samarium (III) oxide,  $Sm_2O_3$ ) 99.9%
4. ยูโรเพียมออกไซด์ (europium (III) oxide,  $Eu_2O_3$ )
5. เทอร์เบียมออกไซด์ (terbium (III) oxide,  $Tb_2O_3$ )
6. กรดบอริก (boric acid,  $H_3BO_3$ )

## วิธีการวิจัย

### การสังเคราะห์ผงฝุ่นเรืองแสง

1. การศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นผงฝุ่นเรืองแสง
2. การสังเคราะห์ผงฝุ่นเรืองแสงด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (solid state reaction) ทำการชั่งสารตามสัดส่วนที่ออกแบบทดลองและผสมสารในแต่ละสูตรเพื่อใช้เป็นไฮสเตร
3. เมื่อได้สูตรของไฮสเตรที่เหมาะสมแล้วจะทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการเติมสารกลุ่มแลนทาไนด์ 3 ชนิด คือ ยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) จากยูโรเพียมออกไซด์ ( $Eu_2O_3$ ) ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) จากซาแมเรียมออกไซด์ ( $Sm_2O_3$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) จากเทอร์เบียมออกไซด์ ( $Tb_2O_3$ ) โดยทำการชั่งและผสมสารที่มีการเจือด้วยแลนทาไนด์ในแต่ละสูตรเข้าด้วยกันแล้วนำไปทดสอบและวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเครื่องมือและโปรแกรมต่าง ๆ

### การเตรียมแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรต

1. การเตรียมแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรต (gadolinium molybdenum borate,  $Gd_2MoB_2O_9$ ) โดยใช้แกโดลิเนียมออกไซด์ ( $Gd_2O_3$ ) โมลิบดีนัมออกไซด์ ( $MoO_3$ ) และกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) ตามอัตราส่วนแล้วผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่อง Planetary Ball Milling ใช้ระยะเวลา 30 นาที แล้วนำไปกดอัดที่แรงดัน 20 ตัน หลังจากนั้นนำไปวางบนเบ้าหลอมแล้วนำเข้าเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 ชั่วโมง



2. นำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ด้วยเครื่อง Shimadzu XRD-6100 เปรียบเทียบลักษณะรูปแบบกับมาตรฐาน JCPDS

### สารประกอบที่มีการเจือด้วยซาแมเรียม, ยูโรเพียม, เทอร์เบียม

1. การเตรียมแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต (gadolinium molybdenum borate,  $Gd_2MoB_2O_9$ ) โดยใช้แกโดลิเนียมออกไซด์ ( $Gd_2O_3$ ) โมลิบดินัมออกไซด์ ( $MoO_3$ ) และกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) และมีการเจือด้วยแลนทาไนด์แต่ละชนิด จำนวน 3 ชนิด คือ (1) ยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) จาก ยูโรเพียมออกไซด์ ( $Eu_2O_3$ ) 0.1-1 mol% (2) ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) จากซาแมเรียมออกไซด์ ( $Sm_2O_3$ ) 0.01-0.40 mol%, และ (3) เทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) จากเทอร์เบียมออกไซด์ ( $Tb_2O_3$ ) 0.01-0.40 mol% ตามอัตราส่วน



ภาพที่ 22 การชั่งสารแล้วใส่ลงในเบ้าหลอม

2. สารประกอบแต่ละชนิดของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วย ยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ของแต่ละความเข้มข้นตามอัตราส่วนแล้วผสมแต่ละตัวอย่างด้วย เครื่อง Planetary Ball Milling โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที แล้วนำไปกดอัดที่แรงดัน 20 ตัน หลังจากนั้นนำไปวางบนเบ้าหลอมแล้วนำเข้าเตาเผาไฟฟ้า





ภาพที่ 23 การเตรียมแต่ละตัวอย่างด้วยเครื่อง Planetary Ball Milling

3. นำแต่ละตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ด้วยเครื่อง Shimadzu XRD-6100 เปรียบเทียบลักษณะรูปแบบกับมาตรฐาน JCPDS
4. นำมาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล-อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-3600) ในช่วงความยาวคลื่น 200-2,500 นาโนเมตร
5. นำมาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงและ decay time ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Cary Eclipse) ที่ใช้หลอดซีนอน (Xenon lamp)
6. นำตัวอย่างในแต่ละสูตรคือ แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซามาเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่มีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดสอบด้วยเครื่อง Rocklabs Ring Mill ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที
7. นำแต่ละตัวอย่างที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที ของแต่ละชนิดของแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซามาเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) มาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล-อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-3600) ในช่วงความยาวคลื่น 200-2500 นาโนเมตร
8. นำมาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงและ decay time ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Cary Eclipse) ที่ใช้หลอดซีนอน (Xenon lamp)
9. ผลการศึกษาที่ได้นำมาเข้าสู่การวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรม Origin

### การทดสอบประสิทธิภาพ

1. การทดสอบประสิทธิภาพของผงฝุ่นเรืองแสง โดยทดสอบบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุนแต่ละชนิดจะต้องเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์และทิ้งไว้ให้แห้งก่อนการประทับลายนิ้วมือ
2. ล้างมือและทิ้งไว้ให้แห้งแล้วจึงประทับลายนิ้วมือลงบนวัตถุแต่ละประเภท โดยใช้ นิ้วหัวแม่มือข้างขวาสัมผัสกับบริเวณหน้าผากหรือที่โขน หลังจากนั้นทำการกดประทับรอยลายนิ้วมือลงบนพื้นผิววัตถุ ด้วยน้ำหนัก  $500 \pm 50$  กรัม และทำการตรวจตัวอย่างรอยลายนิ้วมือที่อุณหภูมิห้อง
3. ใช้แปรงชนกระรอกปิดผงฝุ่นที่พัฒนาคือ แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ในรอยลายนิ้วมือแฝงและถ่ายภาพภายใต้แสงสีขาวยและแสงอัลตราไวโอเล็ต
4. นำภาพถ่ายที่ได้ไปตรวจสอบจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยผู้เชี่ยวชาญในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง จำนวน 3 คน จากกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ เพื่อเปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำ (KS, ประเทศญี่ปุ่น)

### การวิเคราะห์ลักษณะของผงฝุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1. เตรียมผงตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะอนุภาค โดยติดเทปคาร์บอนแบบบางลงบนที่วางตัวอย่าง (specimen stubs) ทำการโรยผงฝุ่นตัวอย่างลงบนเทปหลังจากนั้นใช้ลูกยางเป่าส่วนเกินออกและทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ในแต่ละตัวอย่าง
2. นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น SU8010 บริษัท Hitachi บันทึกผลการวิเคราะห์และภาพของตัวอย่างผงฝุ่นแต่ละชนิด
3. วัดขนาดอนุภาคของผงฝุ่นแต่ละชนิดด้วยโปรแกรม ImageJ

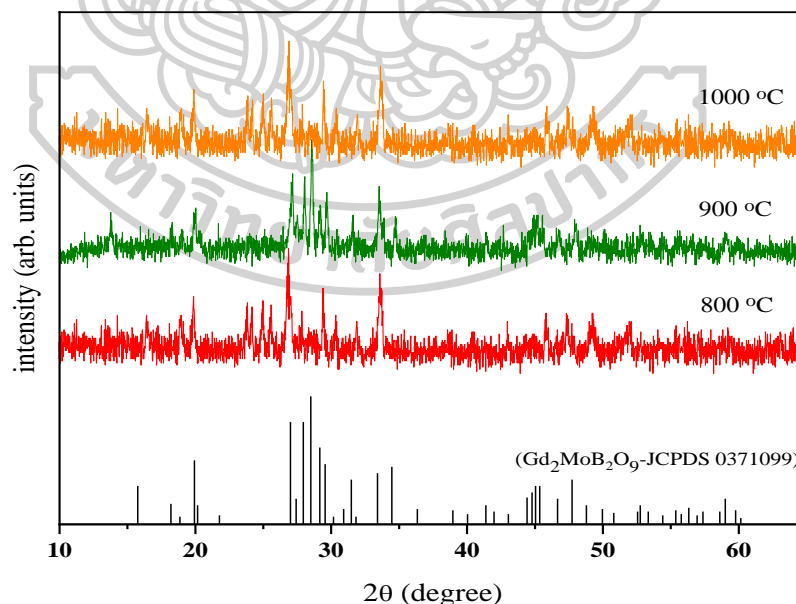


## บทที่ 4 ผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง ศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของผงฝุ่นเรืองแสงที่ส่งผลต่อการตรวจลายนิ้วมือ และทดสอบการใช้ผงฝุ่นตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัตถุเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับงานนิติวิทยาศาสตร์

### ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอุณหภูมิ

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างของไฮสเตรนโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต (gadolinium molybdenum borate,  $Gd_2MoB_2O_9$ ) โดยพิจารณาที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง พบว่า รูปแบบ XRD ของ  $Gd_2MoB_2O_9$  มีความเหมาะสมที่ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกับฐานข้อมูลของ JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric ดังนั้นจึงเลือกใช้การเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ )

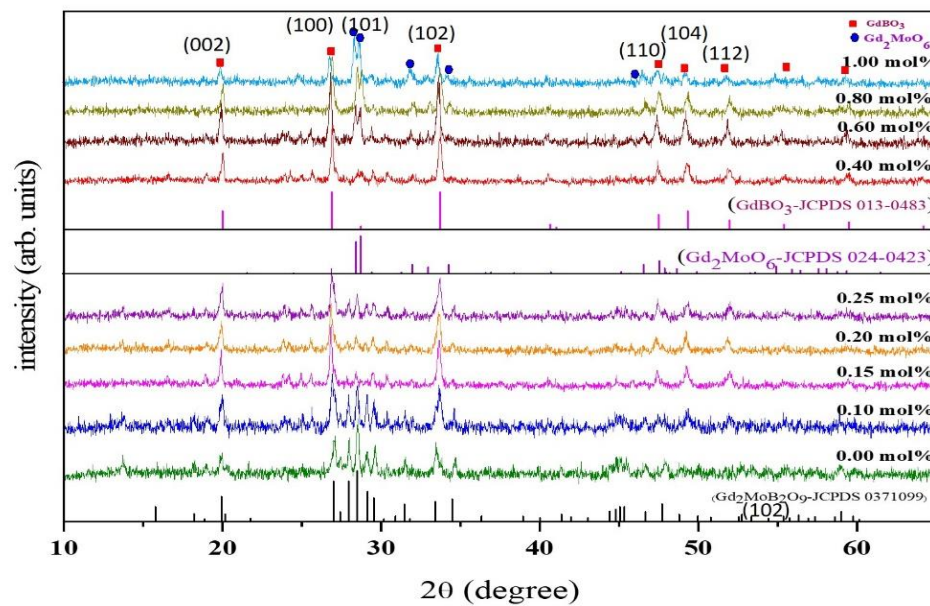


ภาพที่ 24 ลักษณะ XRD ที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส

## ผลการวิเคราะห์แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม

### 1. ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

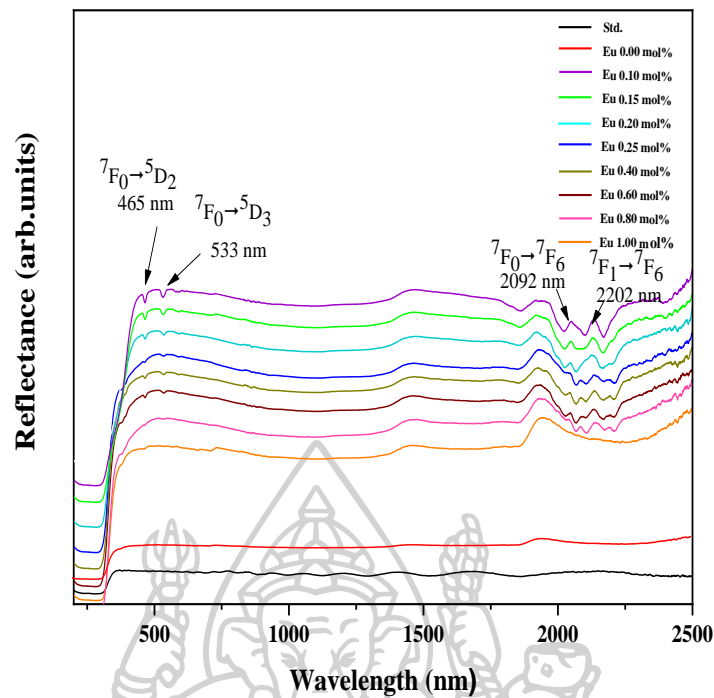
เมื่อพิจารณาลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.10-1.00 mol% พบว่า ที่ความเข้มข้นของยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) จาก 0.10-0.25 mol% ซึ่งตรงกับ  $GdBO_3$  ของฐานข้อมูล JCPDS 13-0483 มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ  $Gd_2MoB_2O_9$  ของฐานข้อมูล JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric เมื่อทำการเพิ่มการเจือของยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ที่ 0.40-1.00 mol% จะมีความสัมพันธ์กับ  $GdBO_3$  ของฐานข้อมูล JCPDS 13-0483 มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ  $Gd_2MoO_6$  ของฐานข้อมูล JCPDS 24-0423 มีโครงสร้างผลึกแบบ monoclinic



ภาพที่ 25 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

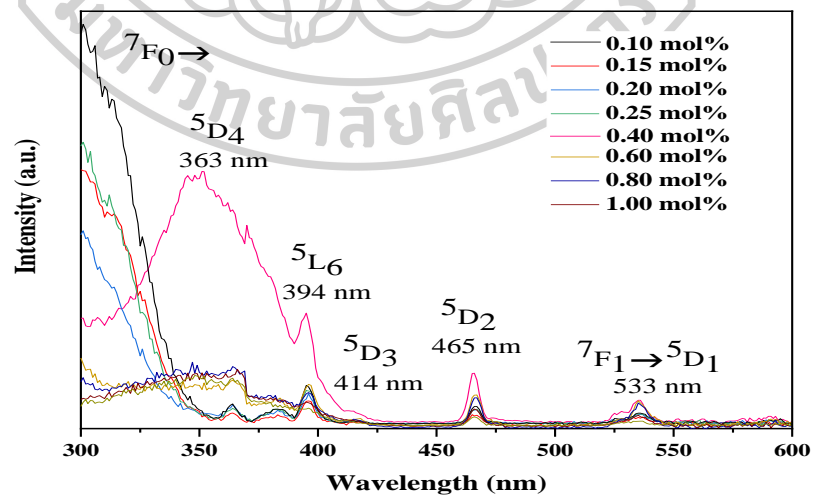
### 2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง

ลักษณะคุณสมบัติทางแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) แสดงผลสเปกตรัมการสะท้อนซึ่งแสดงคุณลักษณะที่ตำแหน่ง 465, 533, 2092 และ 2202 นาโนเมตร ที่  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_2$ ,  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_3$ ,  ${}^7F_0 \rightarrow {}^7F_6$  และ  ${}^7F_1 \rightarrow {}^7F_6$  ตามลำดับ

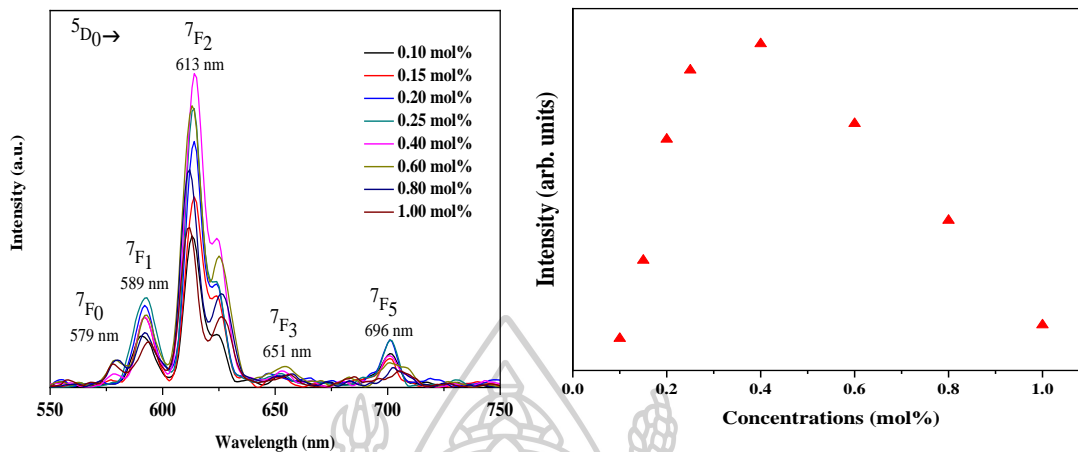


ภาพที่ 26 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดัดนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดัดนัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.1-1 mol% ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยการกระตุ้นด้วยแสง 394 นาโนเมตร



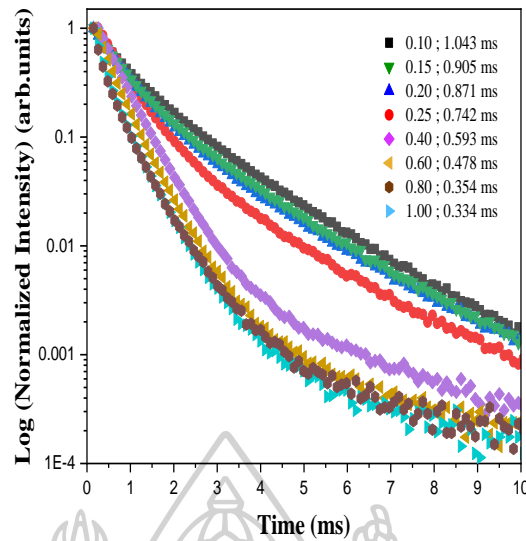
ภาพที่ 27 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดัดนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 28 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

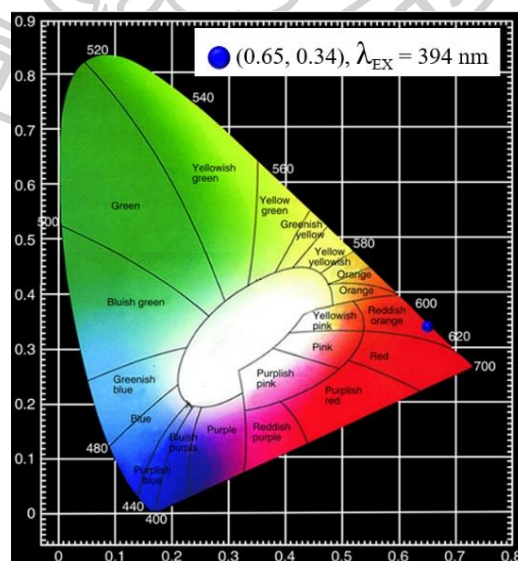
ผลการศึกษาแสดงสเปกตรัมเนื่องจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของไอออน  $\text{Eu}^{3+}$  จาก  $^5\text{D}_0$  ไปสู่  $^7\text{F}_2$  ซึ่งเรียกว่า hypersensitive transition ที่ 613 นาโนเมตร มากที่สุด และที่ค่าอื่น ๆ คือ 579, 589, 651 และ 696 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$ ,  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ ,  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$  และ  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_4$  ตามลำดับ ความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้นและมากที่สุดที่ความเข้มข้นของยูโรเพียมที่ 0.40 mol% และจะลดลงเนื่องจาก concentration quenching effect

ค่า decay time มีค่าเท่ากับ 1.043, 0.905, 0.871, 0.742, 0.593, 0.478, 0.354, และ 0.334 ms สำหรับการเจือยูโรเพียมที่ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 mol% ตามลำดับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของยูโรเพียมไอออนเพิ่มมากขึ้นจะมีแนวโน้มของค่า decay time ลดลง



ภาพที่ 29 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอโรเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอโรเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร ได้นำไปวิเคราะห์สีของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยการใช้มาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งปรากฏผลออกมาในรูปของพิกัดสี ( $x, y$ ) ลงในแผนภาพมาตรฐานสีของแสง ผลจากการวิเคราะห์พบว่า การเปล่งแสงจากสเปกตรัมให้ผลค่าพิกัดสีคือ (0.65, 0.34) บริเวณสีส้มแกมแดง แสดงดังภาพที่ 30

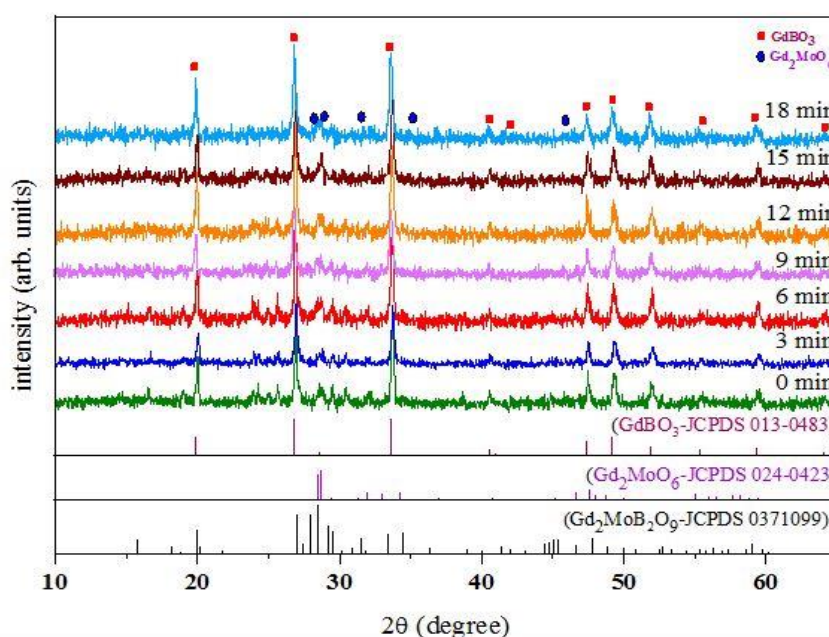


ภาพที่ 30 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอโรเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม



### 3. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยของระยะเวลา

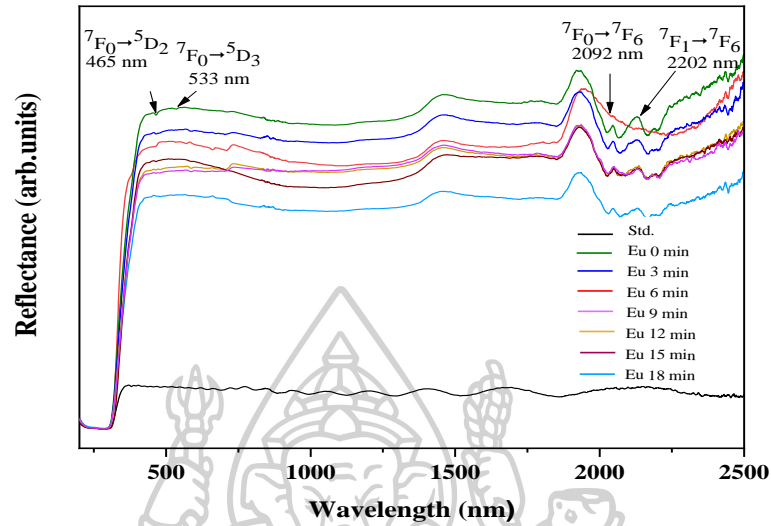
ผลการศึกษาความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้นและมากที่สุดที่ความเข้มข้นของยูโรเพียมที่ 0.40 mol% เมื่อนำมาทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้นที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที เพื่อศึกษาปัจจัยของระยะเวลาที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงพบว่า รูปแบบของ XRD ทั้งหมดสอดคล้องกับ  $GdBO_3$  ของฐานข้อมูล JCPDS 13-0483 มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ  $Gd_2MoO_6$  ของฐานข้อมูล JCPDS 24-0423 มีโครงสร้างผลึกแบบ monoclinic



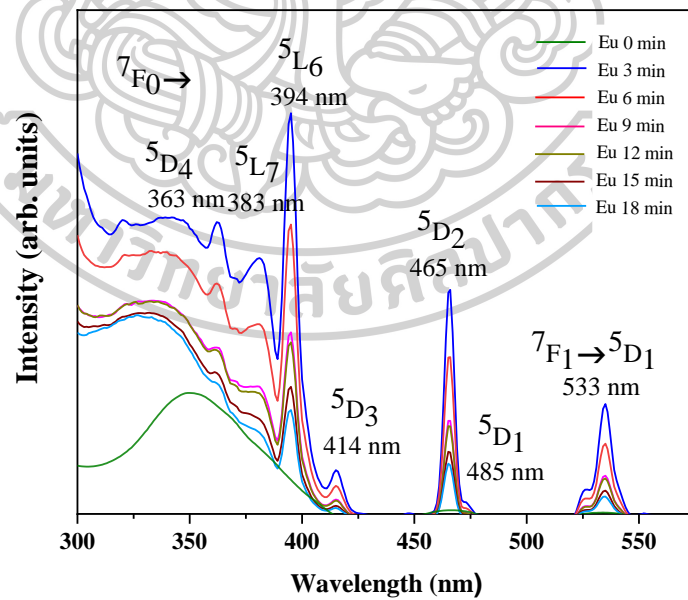
ภาพที่ 31 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เมื่อนำแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นของยูโรเพียมที่ 0.40 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงต่าง ๆ พบว่า สเปกตรัมการสะท้อนแสงของคุณลักษณะของฟลูออโรที่ตำแหน่ง 465, 533, 2092 และ 2202 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของยูโรเพียมไอออน ( $Eu^{3+}$ ) ที่  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_2$ ,  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_3$ ,  ${}^7F_0 \rightarrow {}^7F_6$  และ  ${}^7F_1 \rightarrow {}^7F_6$  ตามลำดับ และสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ที่กระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร แสดงที่ 579, 589, 613, 651 และ 696 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_0$ ,  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$ ,  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_3$  และ  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$  ตามลำดับ จะให้สเปกตรัมการ

เปล่งแสงสูงสุดที่ 613 นาโนเมตร ระยะเวลา 3 นาที และความเข้มของการเปล่งแสงจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาที่มากขึ้น

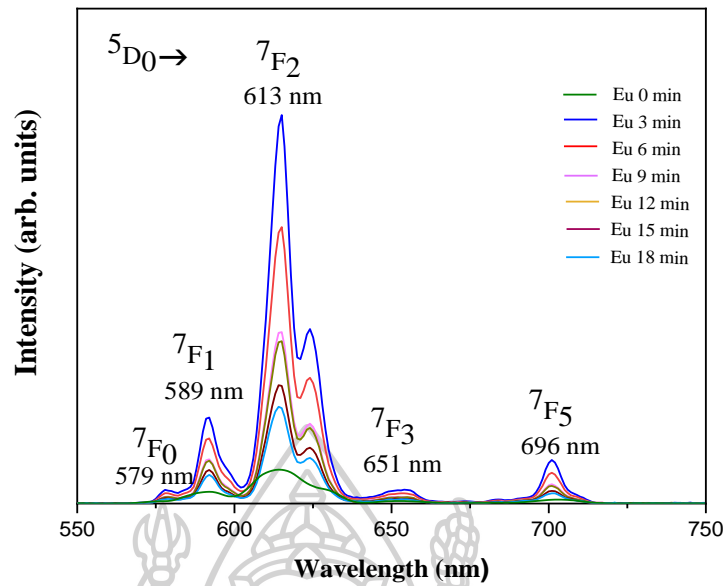


ภาพที่ 32 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดัดนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



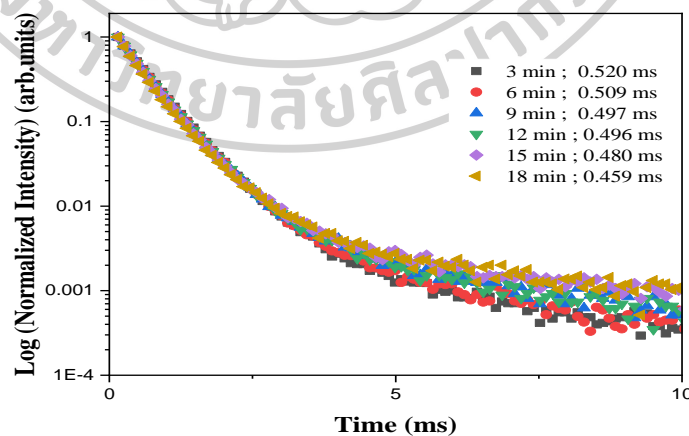
ภาพที่ 33 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดัดนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ





ภาพที่ 34 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วย ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ค่า decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้น 0.40 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที มีค่าเท่ากับ 0.520, 0.509, 0.497, 0.496, 0.480 และ 0.459 ms ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

#### 4. ผลการทดสอบตรวจลายนิ้วมือแฝง

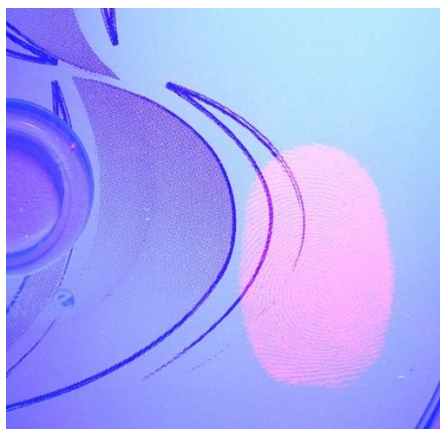
เมื่อนำแกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.40 mol% ตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน ได้แก่ อะลูมิเนียมพอยล์ กระจก แผ่นซีดี กระจกอะลูมิเนียม พื้นผิวพลาสติก โดยเมื่อใช้ไฟฉายเป็นแหล่งกำเนิดของแสงอัลตราไวโอเล็ตส่องลงไปที่ยอยลายนิ้วมือแฝงพบว่า ปรากฏการเรืองแสงของรอยลายนิ้วมือแฝงเป็นสีส้มแกมแดง



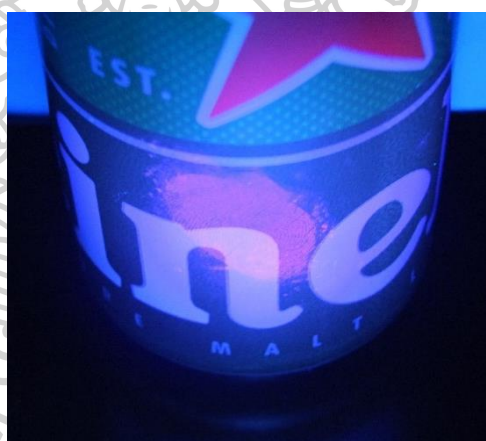
ภาพที่ 36 การใช้แกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมพอยล์



ภาพที่ 37 การใช้แกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระจก



ภาพที่ 38 การใช้แกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนแผ่นซีดี



ภาพที่ 39 การใช้แกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระป๋องอะลูมิเนียม

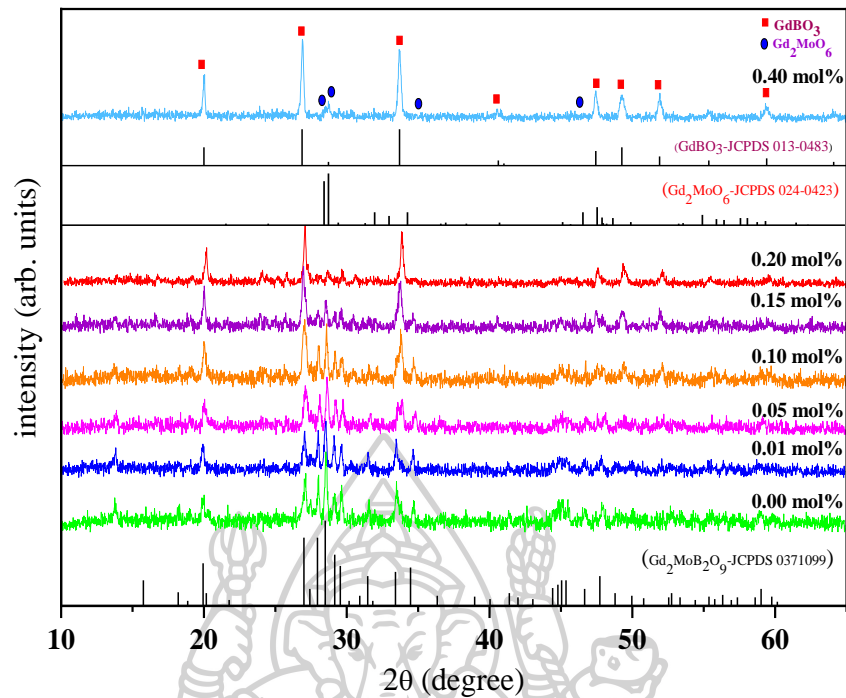


ภาพที่ 40 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวพลาสติก จอภาพโทรทัศน์

### ผลการวิเคราะห์แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม

#### 1. ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

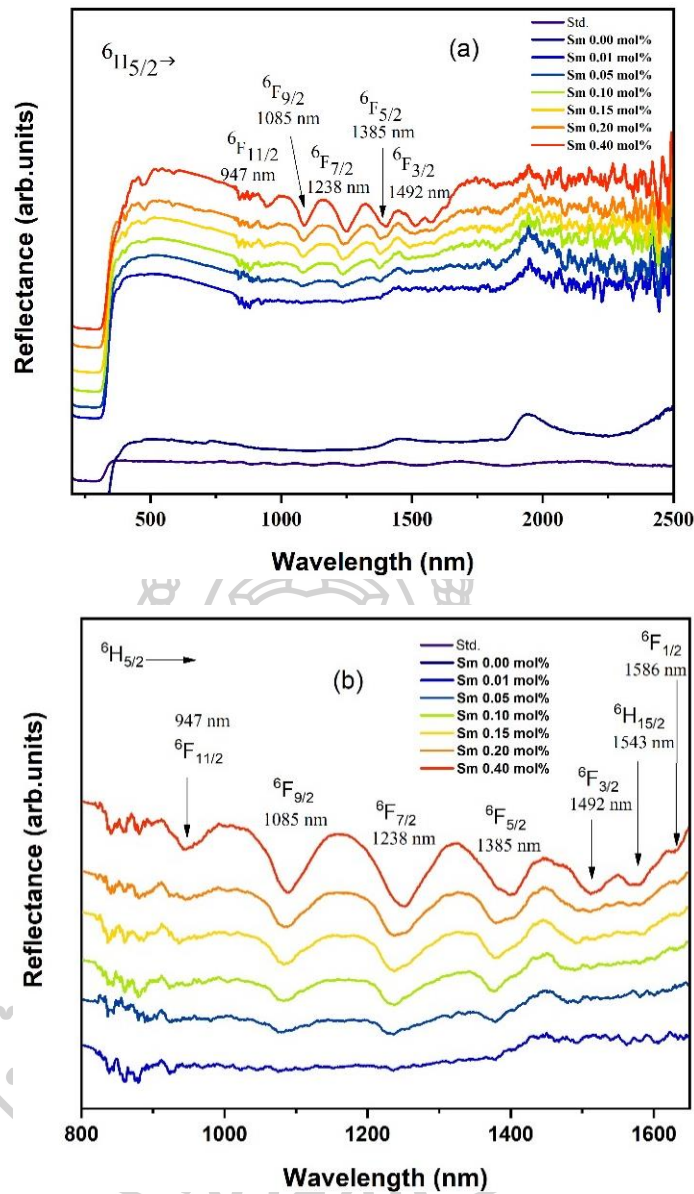
เมื่อพิจารณาลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.01-0.40 mol% พบว่า ที่ความเข้มข้นของ  $\text{Sm}^{3+}$  จาก 0.01-0.20 mol% ซึ่งตรงกับ  $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$  ของฐานข้อมูล JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric เมื่อทำการเพิ่มการเจือของซาแมเรียมที่ 0.40 mol% จะมีความสัมพันธ์กับ  $\text{GdBO}_3$  ของฐานข้อมูล JCPDS 13-0483 มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ  $\text{Gd}_2\text{MoO}_6$  ของฐานข้อมูล JCPDS 24-0423 มีโครงสร้างผลึกแบบ monoclinic



ภาพที่ 41 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

## 2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง

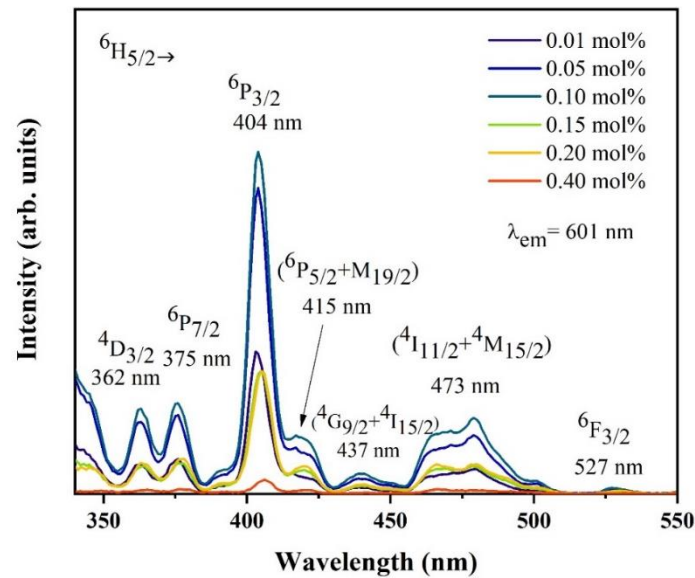
ลักษณะคุณสมบัติทางแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แสดงผลสเปกตรัมการสะท้อนซึ่งแสดงคุณลักษณะที่ตำแหน่ง 947, 1085, 1238, 1385, 1492, 1543 และ 1586 นาโนเมตร ที่  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{F}_{11/2}$ ,  ${}^6\text{F}_{9/2}$ ,  ${}^6\text{F}_{7/2}$ ,  ${}^6\text{F}_{5/2}$ ,  ${}^6\text{F}_{3/2}$ ,  ${}^6\text{H}_{15/2}$  และ  ${}^6\text{F}_{1/2}$  ตามลำดับ



ภาพที่ 42 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดิสีนัมบอเรตที่เจือด้วย  
ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

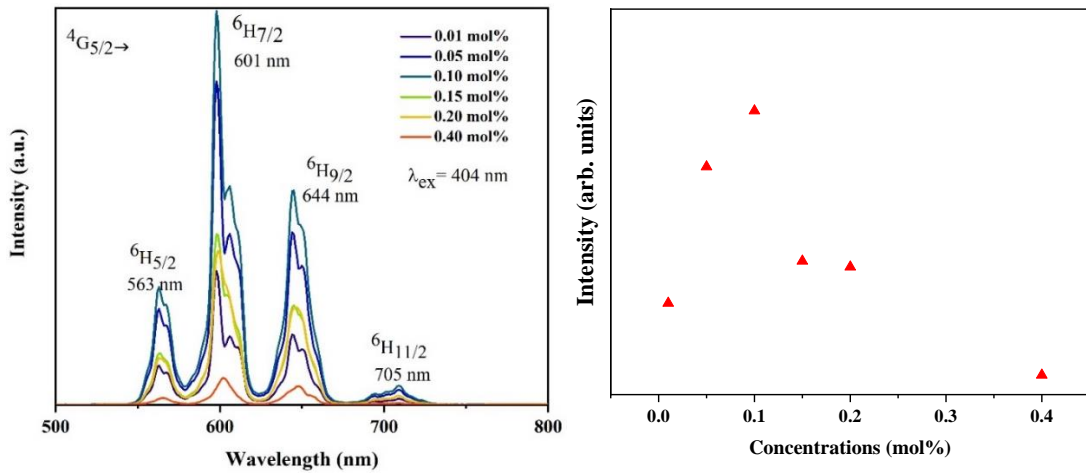
สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดิสีนัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.01-0.40 mol% ที่ความยาวคลื่น 601 นาโนเมตร แสดงพีคที่ 362, 375, 404, 415, 437, 473, และ 527 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  ${}^6H_{5/2} \rightarrow {}^4D_{3/2}$  (362 nm),  ${}^6P_{7/2}$  (375 nm),  ${}^6P_{3/2}$  (404 nm),  ${}^6P_{5/2}+M_{19/2}$  (415 nm),  ${}^4G_{9/2}+{}^4I_{15/2}$  (437 nm),  ${}^4I_{11/2}+{}^4M_{15/2}$  (473 nm), และ  ${}^4F_{3/2}$  (527 nm)





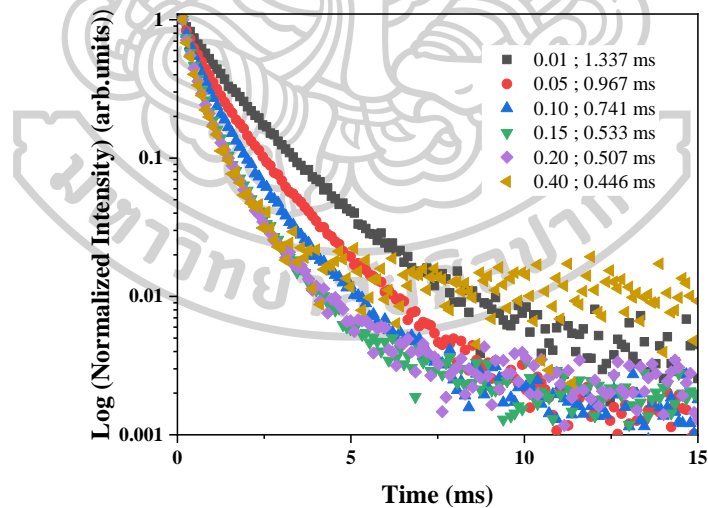
ภาพที่ 43 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรตที่เจือด้วย  
ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการศึกษาแสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงเนื่องจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของไอออน  $\text{Sm}^{3+}$  จาก  ${}^4\text{G}_{5/2}$  ไปสู่  ${}^6\text{H}_{7/2}$  ซึ่งเรียกว่า hypersensitive transition ที่ 601 นาโนเมตร มากที่สุด และที่ค่าอื่น ๆ คือ 563, 644 และ 705 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  ${}^6\text{H}_{5/2}$  (563 nm),  ${}^6\text{H}_{9/2}$  (644 nm) และ  ${}^6\text{H}_{11/2}$  (705 nm) ตามลำดับ ความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้นและมากที่สุดที่ความเข้มข้นของซาแมเรียม ที่ 0.10 mol% และจะลดลงเนื่องจาก concentration quenching effect



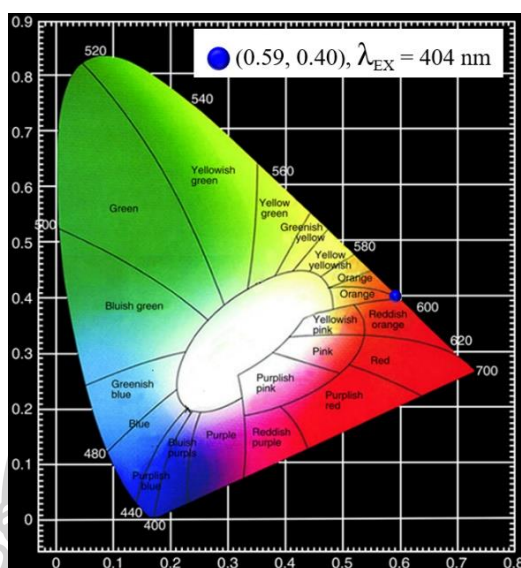
ภาพที่ 44 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ค่า decay time มีค่าเท่ากับ 1.337, 0.967, 0.741, 0.533, 0.507 และ 0.446 ms สำหรับการเจือซาแมเรียมที่ 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.40 mol% ตามลำดับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมไอออนเพิ่มมากขึ้นจะมีแนวโน้มของค่า decay time ลดลง



ภาพที่ 45 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

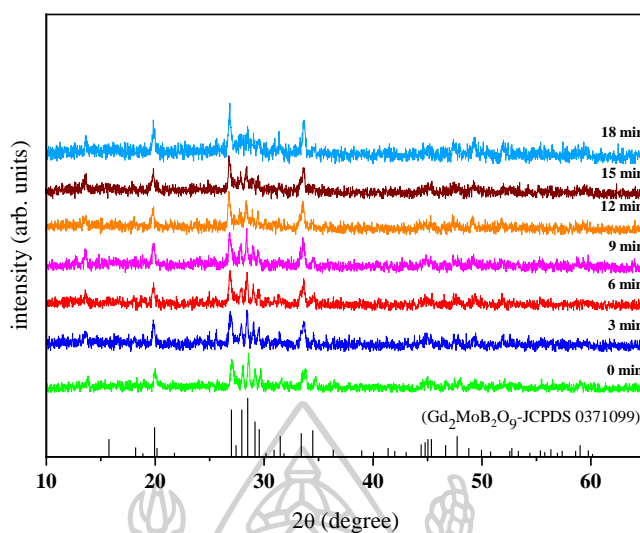
สเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร ได้นำไปวิเคราะห์สีของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยการใช้มาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งปรากฏผลออกมาในรูปของพิกัดสี (x, y) ลงในแผนภาพมาตรฐานสีของแสง ผลจากการวิเคราะห์พบว่า การเปล่งแสงจากสเปกตรัมให้ผลค่าพิกัดสีคือ (0.59, 0.40) บริเวณสีส้ม แสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม

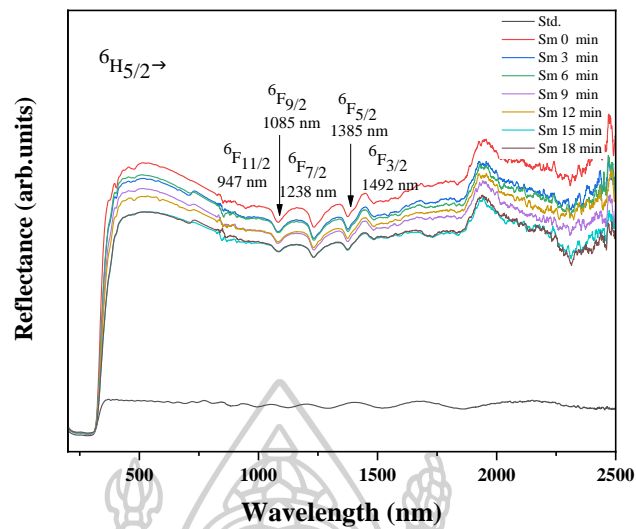
### 3. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยของระยะเวลา

ผลการศึกษาความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้นและมากที่สุดที่ความเข้มข้นของซาแมเรียมที่ 0.10 mol% เมื่อนำมาทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้นที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที เพื่อศึกษาปัจจัยของระยะเวลาที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงพบว่า รูปแบบของ XRD ทั้งหมดสอดคล้องกับ  $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$  ของฐานข้อมูล JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric

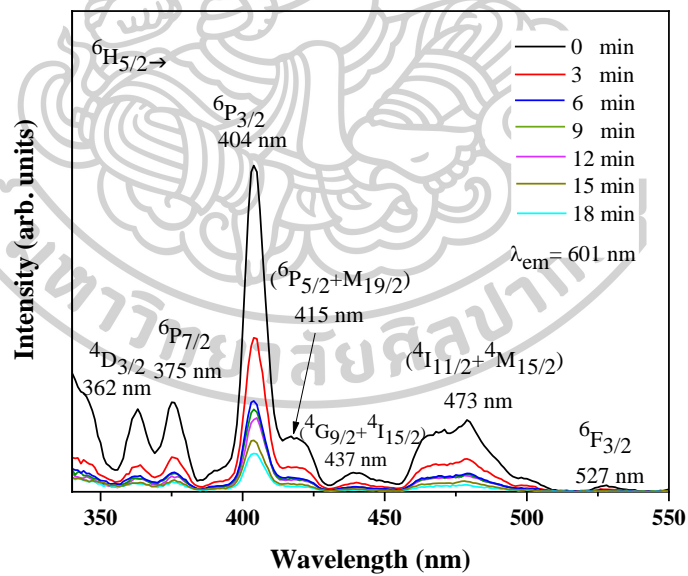


ภาพที่ 47 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

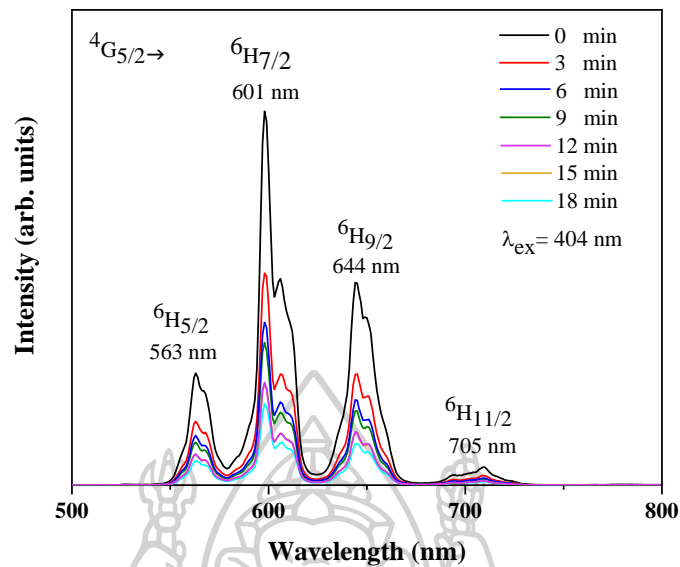
เมื่อนำแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นของซาแมเรียมที่ 0.10 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงต่าง ๆ พบว่า สเปกตรัมการสะท้อนแสงแสดงคุณลักษณะที่ตำแหน่ง 947, 1085, 1238, 1385, 1492, 1543, และ 1586 นาโนเมตร สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แสดงที่ความยาวคลื่น 362, 375, 404, 415, 437, 473, และ 527 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^4\text{D}_{3/2}$  (362 nm),  ${}^6\text{P}_{7/2}$  (375 nm),  ${}^6\text{P}_{3/2}$  (404 nm),  ${}^6\text{P}_{5/2} + \text{M}_{19/2}$  (415 nm),  ${}^4\text{G}_{9/2} + {}^4\text{I}_{15/2}$  (437 nm),  ${}^4\text{I}_{11/2} + {}^4\text{M}_{15/2}$  (473 nm), และ  ${}^4\text{F}_{3/2}$  (527 nm) และสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่กระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร แสดงที่ 563, 601, 644, และ 705 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  ${}^6\text{H}_{5/2}$ ,  ${}^6\text{H}_{7/2}$ ,  ${}^6\text{H}_{9/2}$ , และ  ${}^6\text{H}_{11/2}$  ตามลำดับ ให้สเปกตรัมการเปล่งแสงสูงสุดที่ 601 นาโนเมตร โดยเมื่อใช้ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ความเข้มของการเปล่งแสงลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาที่มากขึ้น



ภาพที่ 48 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย  
ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

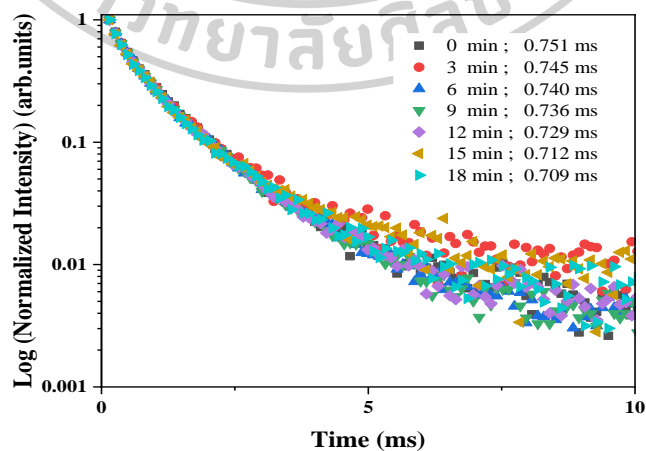


ภาพที่ 49 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วย  
ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 50 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วย  
ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ค่า decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นของซาแมเรียมที่ 0.10 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที มีค่าเท่ากับ 0.751, 0.745, 0.740, 0.736, 0.729, 0.712 และ 0.709 ms ตามลำดับ



ภาพที่ 51 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ )  
0.10 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

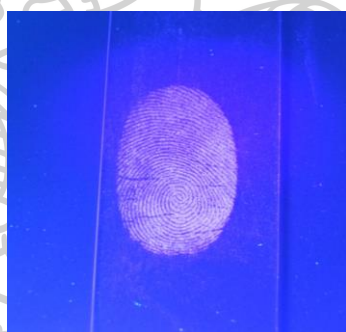


#### 4. ผลการทดสอบตรวจลายนิ้วมือแฝง

เมื่อนำ 0.10 mol% แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) ตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน ได้แก่ อะลูมิเนียมฟอยล์และกระจก โดยเมื่อใช้ไฟฉายเป็นแหล่งกำเนิดของแสงอัลตราไวโอเล็ตส่องลงไปที่รอยลายนิ้วมือแฝงพบว่า ปรากฏการเรืองแสงของรอยลายนิ้วมือแฝงเป็นสีส้ม



ภาพที่ 52 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.10 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมฟอยล์



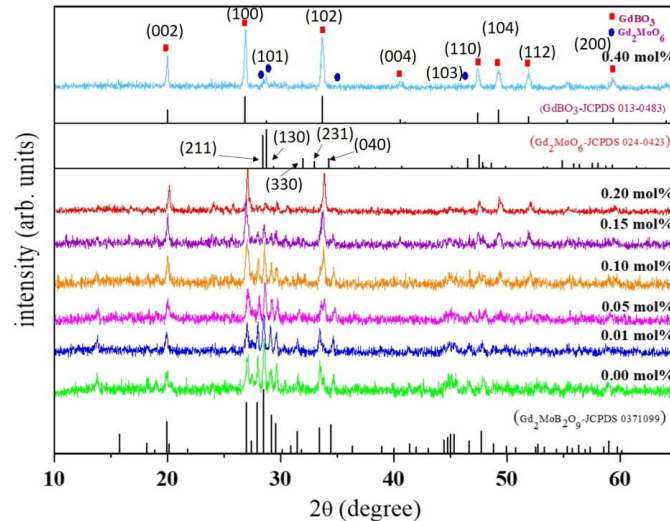
ภาพที่ 53 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.10 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระจก

#### ผลการวิเคราะห์แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม

##### 1. ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เมื่อพิจารณาลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.01-0.40 mol% พบว่า ที่ความเข้มข้นของ  $Tb^{3+}$  จาก 0.10-0.20 mol% ซึ่งตรงกับ  $Gd_2MoB_2O_9$  ของฐานข้อมูล JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric เมื่อทำการเพิ่มการเจือของเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ 0.40 mol% จะมีความสัมพันธ์

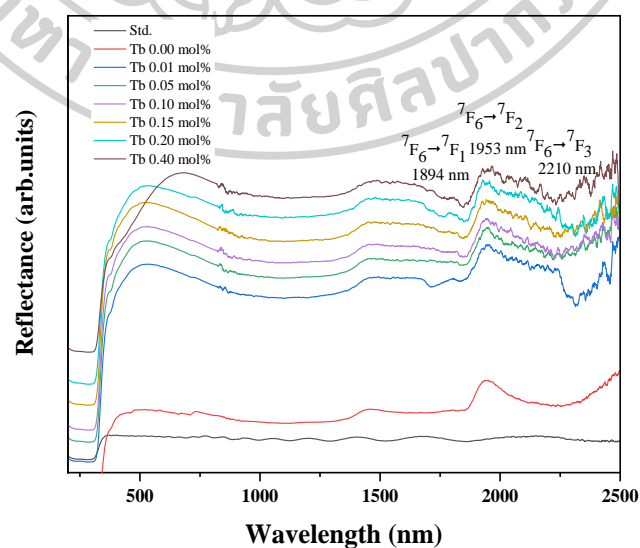
กับ  $\text{GdBO}_3$  ของฐานข้อมูล JCPDS 13-0483 มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ  $\text{Gd}_2\text{MoO}_6$  ของฐานข้อมูล JCPDS 24-0423 มีโครงสร้างผลึกแบบ monoclinic



ภาพที่ 54 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

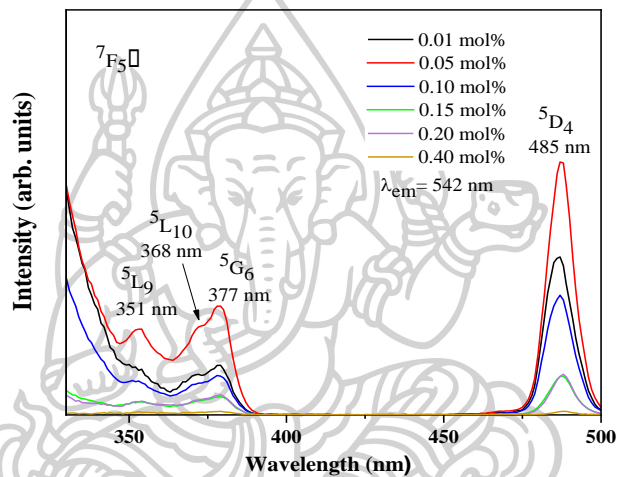
## 2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง

ลักษณะของสเปกตรัมการสะท้อนแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรต ( $\text{Gd}_2\text{MoB}_2\text{O}_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) แสดงผลสเปกตรัมการสะท้อนซึ่งแสดงคุณลักษณะที่ตำแหน่ง 1894, 1953 และ 2210 นาโนเมตร ที่  ${}^7\text{F}_6 \rightarrow {}^7\text{F}_1$ ,  ${}^7\text{F}_6 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ , และ  ${}^7\text{F}_6 \rightarrow {}^7\text{F}_3$  ตามลำดับ

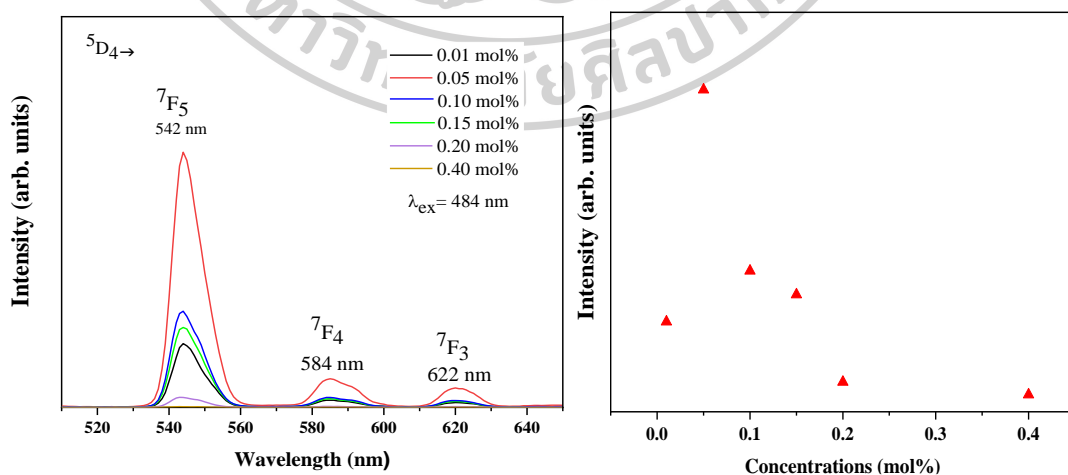


ภาพที่ 55 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดัดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.01-0.40 mol% ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร และ สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) แสดงที่ความยาวคลื่น 351, 368, 377 และ 484 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของเทอร์เบียมไอออน ( $Tb^{3+}$ ) ที่  $^7F_5 \rightarrow ^5L_9$ ,  $^7F_5 \rightarrow ^5L_{10}$ ,  $^7F_5 \rightarrow ^5G_6$  และ  $^7F_5 \rightarrow ^5D_4$  ตามลำดับ และ สเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่กระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร แสดงที่ 542, 584 และ 622 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$  และ  $^5D_4 \rightarrow ^7F_3$  ของการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของเทอร์เบียมไอออน ( $Tb^{3+}$ )



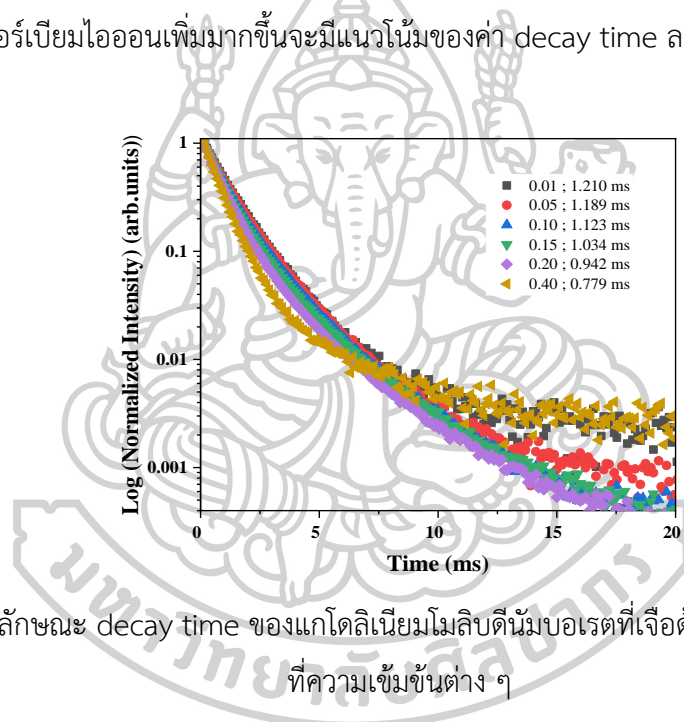
ภาพที่ 56 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 57 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

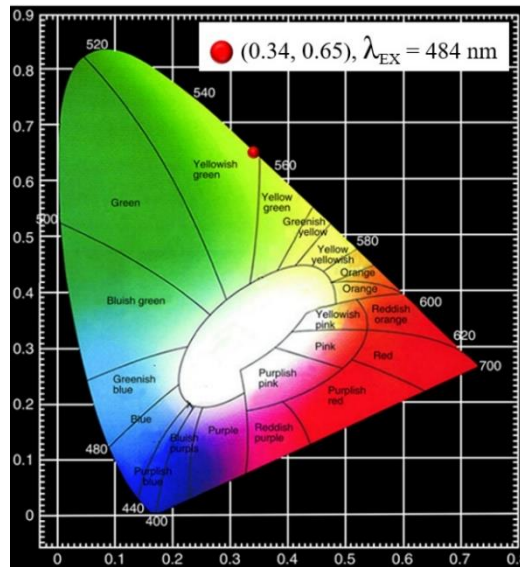
ผลการศึกษาแสดงสเปกตรัมเนื่องจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของไอออน  $Tb^{3+}$  จาก  $^5D_4$  ไปสู่  $^7F_5$  ซึ่งเรียกว่า hypersensitive transition ที่ 542 นาโนเมตร มากที่สุด และที่ค่าอื่น ๆ คือ 584 และ 622 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$  และ  $^5D_4 \rightarrow ^7F_3$  ตามลำดับ ความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้น และมากที่สุดที่ความเข้มข้นของเทอร์เบียมที่ 0.05 mol% และจะลดลงเนื่องจาก concentration quenching effect

ค่า decay time มีค่าเท่ากับ 1.210, 1.189, 1.123, 1.034, 0.942 และ 0.779 ms สำหรับการเจือเทอร์เบียมที่ 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.40 mol% ตามลำดับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเทอร์เบียมไอออนเพิ่มมากขึ้นจะมีแนวโน้มของค่า decay time ลดลง



ภาพที่ 58 ลักษณะ decay time ของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

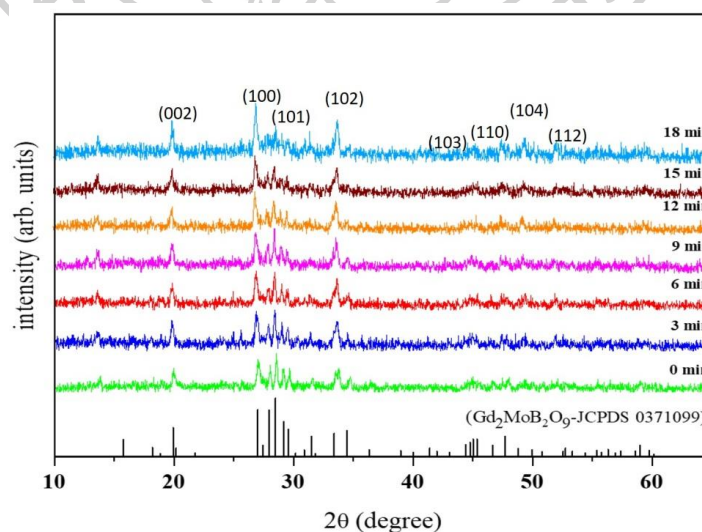
สเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร ได้นำไปวิเคราะห์สีของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยการใช้มาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งปรากฏผลออกมาในรูปของพิกัดสี (x, y) ลงในแผนภาพมาตรฐานสีของแสง ผลจากการวิเคราะห์พบว่า การเปล่งแสงจากสเปกตรัมให้ผลค่าพิกัดสีคือ (0.34, 0.65) บริเวณสีเขียวอมเหลือง แสดงดังภาพที่ 59



ภาพที่ 59 แผนภาพสีตามมาตรฐาน CIE 1931 ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม

### 3. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยของระยะเวลา

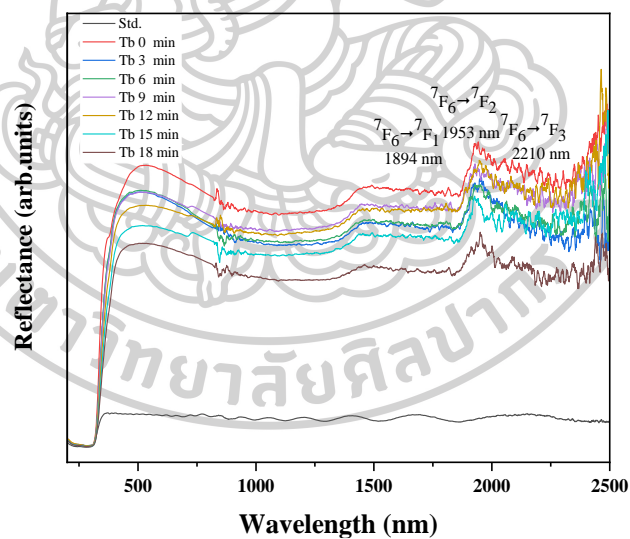
ผลการศึกษาความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) จะเพิ่มสูงขึ้นและมากที่สุดที่ความเข้มข้นของเทอร์เบียมที่ 0.05 mol% เมื่อนำมาทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้นที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที เพื่อศึกษาปัจจัยของระยะเวลาที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงพบว่า รูปแบบของ XRD ทั้งหมดสอดคล้องกับ  $Gd_2MoB_2O_9$  ของฐานข้อมูล JCPDS 37-1099 มีโครงสร้างผลึกแบบ centrosymmetric



ภาพที่ 60 ลักษณะ XRD ของแกโดลิเนียมโมลิบดัตินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

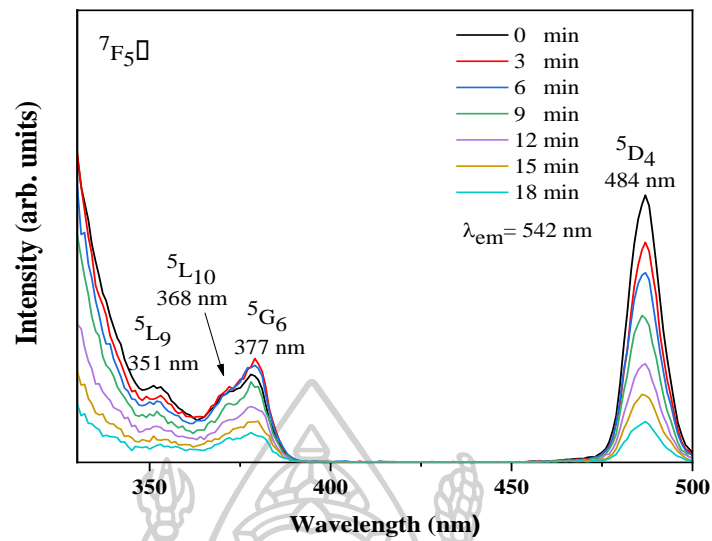


เมื่อนำแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นของเทอร์เบียมที่ 0.05 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงต่าง ๆ พบว่า สเปกตรัมการสะท้อนแสงแสดงคุณลักษณะที่ตำแหน่ง 1894, 1953, และ 2210 นาโนเมตร สเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) แสดงที่ความยาวคลื่น 351, 368, 377, และ 484 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของเทอร์เบียมไอออน ( $Tb^{3+}$ ) ที่  $^7F_5 \rightarrow ^5L_9$ ,  $^7F_5 \rightarrow ^5L_{10}$ ,  $^7F_5 \rightarrow ^5G_6$  และ  $^7F_5 \rightarrow ^5D_4$  ตามลำดับ และสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่กระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร แสดงที่ 542, 584 และ 622 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของเทอร์เบียมไอออน ( $Tb^{3+}$ ) ที่  $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$  และ  $^5D_4 \rightarrow ^7F_3$  ตามลำดับ ให้สเปกตรัมการเปล่งแสงสูงสุดที่ 542 นาโนเมตร โดยเมื่อใช้ระยะเวลาการบดให้ละเอียดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ความเข้มของการเปล่งแสงลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาที่มากขึ้น

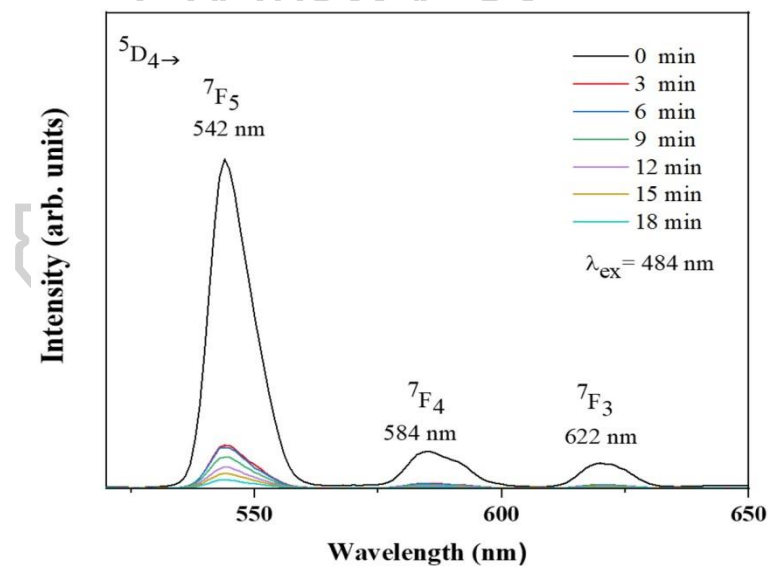


ภาพที่ 61 ลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ





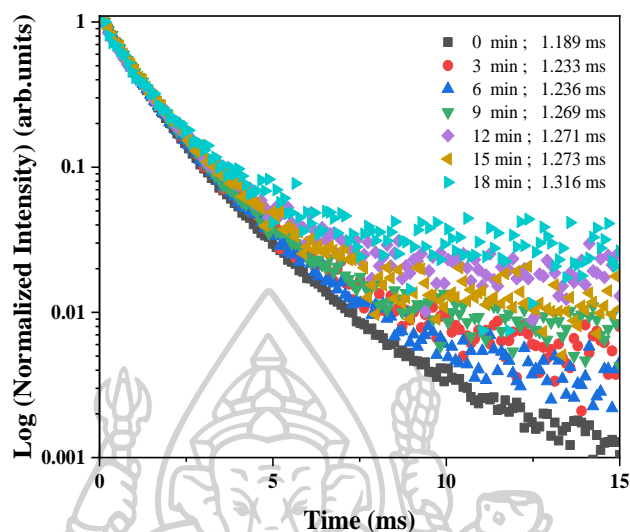
ภาพที่ 62 ลักษณะสเปกตรัมการกระตุ้นของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 63 ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ค่า decay time แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นของเทอร์เบียมที่ 0.05 mol% ที่ระยะเวลาการทำให้เป็นผงละเอียดมากขึ้น 0, 3, 6, 9, 12, 15, และ

18 นาที มีค่าเท่ากับ 1.189, 1.233, 1.236, 1.269, 1.271, 1.273 และ 1.316 ms ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มของค่า decay time เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 64 ลักษณะ decay time แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

#### 4. ผลการทดสอบตรวจลายนิ้วมือแฝง

เมื่อนำแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.05 mol% ตรวจสอบรอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน ได้แก่ อะลูมิเนียมฟอยล์ และกระจก โดยเมื่อใช้ไฟฉายเป็นแหล่งกำเนิดของแสงอัลตราไวโอเล็ตส่องลงไปที่ยอยลายนิ้วมือแฝงพบว่า ไม่ปรากฏการเรืองแสง



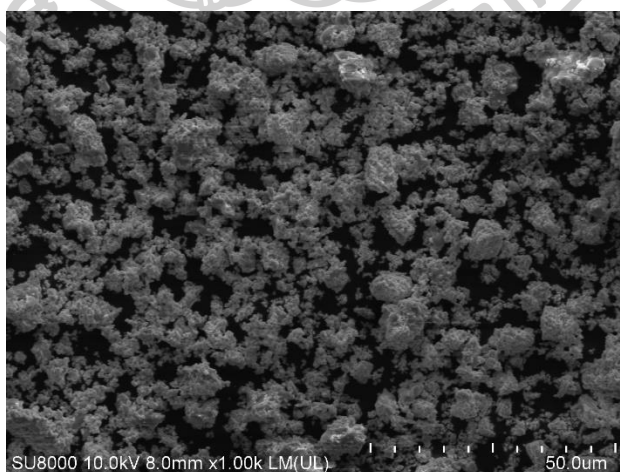
ภาพที่ 65 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนอะลูมิเนียมฟอยล์



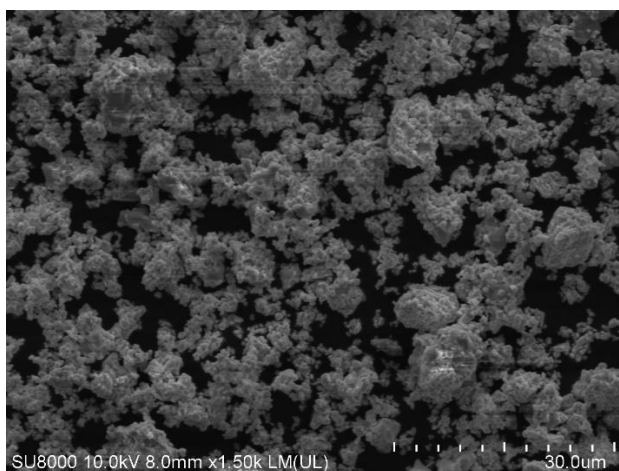
ภาพที่ 66 การใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% ทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนกระจก

### ผลการศึกษาลักษณะของผงฝุ่นเรืองแสง

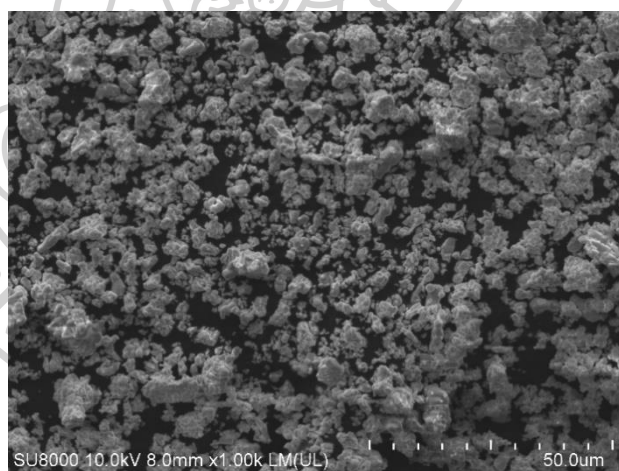
การศึกษาลักษณะของผงฝุ่นที่สังเคราะห์ ได้แก่ แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) นำมาวิเคราะห์ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น SU8010 บริษัท Hitachi ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และกำลังขยาย 1,500 เท่า พบว่าผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 0.40 mol% มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 8.91 ไมโครเมตร ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) 0.10 mol% มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 7.80 ไมโครเมตร ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) 0.05 mol% มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 7.94 ไมโครเมตร ผงฝุ่นที่สังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะของการจับรวมตัวกันที่แตกต่างกัน



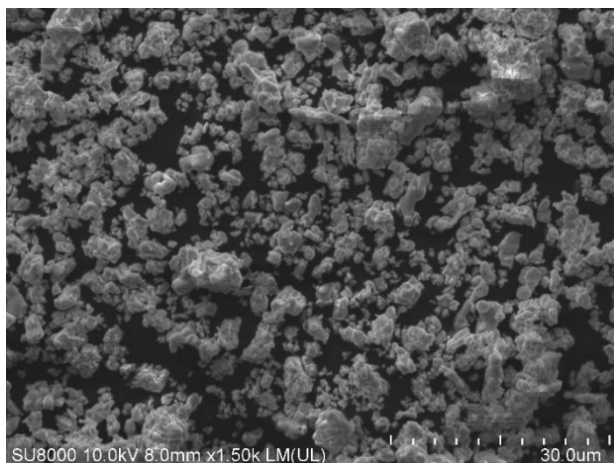
ภาพที่ 67 ลักษณะแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) 0.40 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า



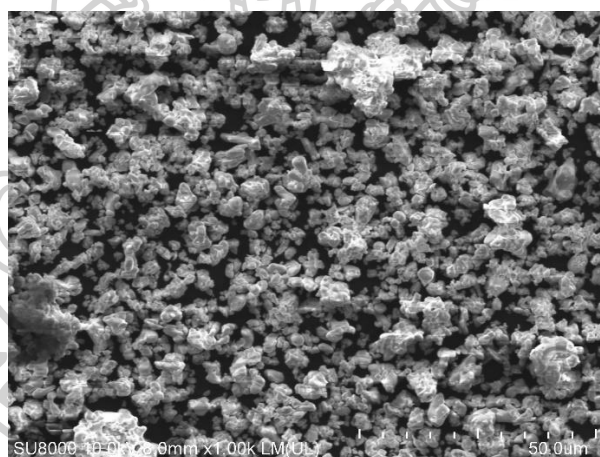
ภาพที่ 68 ลักษณะแกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) 0.40 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า



ภาพที่ 69 ลักษณะแกดโกลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า

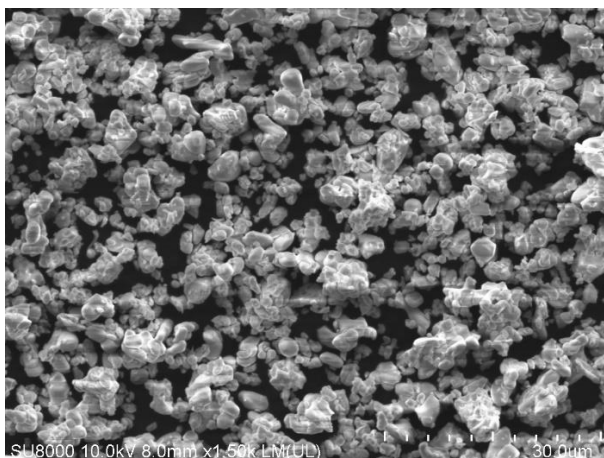


ภาพที่ 70 ลักษณะแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) 0.10 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า



ภาพที่ 71 ลักษณะแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) 0.05 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า


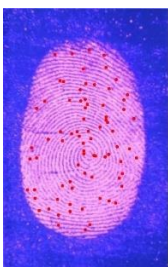
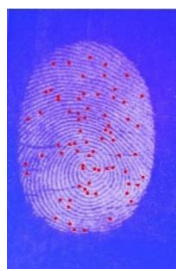





ภาพที่ 72 ลักษณะแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม (Tb<sup>3+</sup>) 0.05 mol% จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1500 เท่า





#### ผลการศึกษานำจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

ผลการศึกษานำจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงโดยให้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง จำนวน 3 คน จากกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง สำนักงานพิสูจน์หลักฐาน ตำรวจ ทำการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ใช้ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรต (Gd<sub>2</sub>MoB<sub>2</sub>O<sub>9</sub>) เมื่อทำการเจือด้วยยูโรเพียม (Eu<sup>3+</sup>) ซาแมเรียม (Sm<sup>3+</sup>) และเทอร์เบียม (Tb<sup>3+</sup>) เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำ (ประเทศญี่ปุ่น) แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวกระจก

| จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ  |   |  |   |
|---|---|--|---|
| ผงฝุ่นดำ  | Gd <sub>2</sub> MoB <sub>2</sub> O <sub>9</sub> :Eu <sup>3+</sup>                   | Gd <sub>2</sub> MoB <sub>2</sub> O <sub>9</sub> :Sm <sup>3+</sup>                    | Gd <sub>2</sub> MoB <sub>2</sub> O <sub>9</sub> :Tb <sup>3+</sup>                     |
|  |  |  |  |
| 78  | 77  | 72   | 76  |



ตารางที่ 2 ผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิว อะลูมิเนียมฟอยล์

| จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ  |   |  |   |
|---|---|--|---|
| ผงฝุ่นดำ  | $Gd_2MoB_2O_9:Eu^{3+}$  | $Gd_2MoB_2O_9:Sm^{3+}$   | $Gd_2MoB_2O_9:Tb^{3+}$  |
|  |  |  |  |
| 79  | 76  | 87   | 71  |

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เมื่อใช้ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) ที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำประเทศญี่ปุ่น พบว่า ทำให้ปรากฏจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแฝงบนกระจกและพื้นผิวอะลูมิเนียมฟอยล์ตั้งแต่ 71-87 จุด โดยส่วนใหญ่มีค่าจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงกับผงฝุ่นดำและได้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษมากกว่า 10 จุด ซึ่งเป็นจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตามมาตรฐานของประเทศไทยที่ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคล

### การอภิปรายผล

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นสำหรับการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงเพื่อใช้ในการงานนิติวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นพยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อประโยชน์แห่งการรวบรวมหลักฐานของขั้นตอนพนักงานสอบสวนซึ่งเป็นองค์การเบื้องต้นในการดำเนินคดีอาญาที่รับผิดชอบต่อกระบวนการยุติธรรม การศึกษาการเตรียมสารประกอบด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (solid state reaction) เพื่อการสังเคราะห์ผงฝุ่นเรืองแสงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และเหมาะสมต่อการสังเคราะห์ในปริมาณมาก มีประสิทธิภาพ โดยมีการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยต่างประเทศและได้ทำการศึกษาดทดลองเบื้องต้นเพื่อให้ได้โพลีเมอร์ที่เหมาะสมต่อการเจือหรือเติมสารกลุ่มแลนทาไนด์ 3 ชนิด คือ ยูโรเพียมออกไซด์ ( $Eu_2O_3$ ) ซาแมเรียมออกไซด์ ( $Sm_2O_3$ ) และเทอร์เบียมออกไซด์ ( $Tb_2O_3$ ) โดยทำการผสมสารในแต่ละสูตรเข้าด้วยกันแล้วนำไปทดสอบซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเผาและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่นานเพื่อให้ได้สารประกอบที่สมบูรณ์ เมื่อทำการทดลองเบื้องต้นแล้วพบว่า แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) มีความเหมาะสมมากที่สุด

โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800, 900, และ 1000 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ruengsri et al. (2017) พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อให้เฟสที่สมบูรณ์ของ  $Gd_2MoB_2O_9$  ซึ่งตรงกับมาตรฐานของ Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 371099

ในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาการเจือด้วยแลนทาไนด์ชนิดยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) และเทอร์เบียม ( $Tb^{3+}$ ) ในจำนวนปริมาณที่น้อยที่สุดสำหรับการทำให้เกิดการเปล่งแสงสำหรับการพัฒนาเป็นผงฝุ่นเรืองแสงเพื่อใช้ในการตรวจลายนิ้วมือแฝง การเลือกใช้ยูโรเพียม ซาแมเรียม และเทอร์เบียม เนื่องจากเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นด้วยแสงจะสามารถทำให้เกิดการเปล่งแสงที่มีความเข้มสูงและสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และการใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) เป็นการเตรียมสารประกอบที่สามารถสังเคราะห์ได้แม้ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก และแกโดลิเนียมสามารถส่งผลการเปล่งแสงของสารเจือให้ดีขึ้น โดยมีการใช้แกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรต ( $Gd_2MoB_2O_9$ ) เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.10-1.00 mol% พบว่า ที่ความเข้มข้นของยูโรเพียม 0.40 mol% เกิดการเปล่งแสงเข้มที่สุดที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร จากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ไอออนจาก  $^5D_0$  ไปสู่  $^7F_2$  (Zhang, Qiao, & Seo, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับ Park & Yang (2017) ที่ศึกษาผงเรืองแสง  $Y_4Zr_3O_{12}:Eu^{3+}$  ซึ่งกระตุ้นด้วยแสงที่ความยาวคลื่น 396 นาโนเมตร แสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงสูงที่สุดในช่วง 600-635 นาโนเมตร จากการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน ( $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ ) ซึ่งเรียกว่า hypersensitive transition ของยูโรเพียมไอออน ( $Eu^{3+}$ ) ทั้งนี้ความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $Eu^{3+}$ ) ในช่วงแรกจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของยูโรเพียมไอออนและจะมีความเข้มของการเปล่งแสงมากที่สุดเมื่อความเข้มข้นของยูโรเพียมที่ 0.40 mol% แล้วจะลดลงตามลำดับที่ 0.60, 0.80 และน้อยที่สุดคือ 1.00 mol% เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า concentration quenching effect เมื่อมีความเข้มข้นของยูโรเพียมไอออนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ระยะห่างระหว่างยูโรเพียมไอออนลดลงซึ่งส่งผลต่อการถ่ายโอนพลังงานของสารที่เจือ (dopant ion) (Li et al., 2017)

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $Sm^{3+}$ ) เมื่อกระตุ้นด้วยแสงที่ความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร พบว่า ที่ความเข้มข้นของซาแมเรียม 0.10 mol% ให้ความเข้มแสงสูงสุดและแสดงสเปกตรัมที่ 563, 601, 644 และ 705 นาโนเมตร ซึ่งเกี่ยวข้องกับ  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}, ^6H_{7/2}, ^6H_{9/2}$  และ  $^6H_{11/2}$  (Venugopal et al., 2019) ตามลำดับ และจะลดลงตามลำดับอย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมเท่ากับ 0.15, 0.20 และ 0.40 mol% เนื่องจาก concentration quenching effect โดย  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$  เกิดการเปล่งแสงเป็นสีส้มแดง

(Rajaramakrishna, Knorr, Dierolf, Anavekar, & Jain, 2014) และค่า decay time ของ 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.40 mol% เท่ากับ 1.337, 0.967, 0.741, 0.533, 0.507 และ 0.446 ms ตามลำดับ ซึ่งจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมไอออน ( $\text{Sm}^{3+}$ ) จากซาแมเรียมออกไซด์เพิ่มมากขึ้น (Sreedhar, Basavapoomima, & Jayasankar, 2014)

ความเข้มของการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) จะมีความเข้มของการเปล่งแสงมากที่สุดเมื่อความเข้มข้นของเทอร์เบียม 0.05 mol% แล้วจะลดลงตามลำดับ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ non-radiative energy transfer ระหว่างเทอร์เบียมไอออน ( $\text{Tb}^{3+}$ ) (Zeng, Huang, Hu, Miao, & Zhou, 2016) สเปกตรัมการเปล่งแสงของแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร แสดงสามช่วงความยาวคลื่นที่ 542, 584, และ 622 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของเทอร์เบียมไอออน ( $\text{Tb}^{3+}$ ) เนื่องจาก D-F transition ที่  $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_j$  ( $j=5, 4, 3$ ) (Kumar et al., 2014) ให้สเปกตรัมการเปล่งแสงสูงสุดในช่วง 542 นาโนเมตร สัมพันธ์กับ  $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$  อยู่ในช่วงแถบแสงสีเขียว (Kesavulu et al., 2017; Singh et al., 2018)

ผลการทดสอบการใช้ผงฝุ่นที่สังเคราะห์ขึ้นทั้ง 3 สูตร ที่เจือด้วยแลนทาไนด์คือ ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) เทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวไม่มีรูพรุนในครั้งนี้โดยใช้ไฟฉายเป็นแหล่งกำเนิดแสงช่วงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งการใช้ไฟฉายเป็นอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการพกพาสำหรับการนำไปใช้งานในสถานที่เกิดเหตุและเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ซึ่งเมื่อทำการวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงพบว่า มีสเปกตรัมที่มีความเข้มสูงสุดเท่ากับ 393 นาโนเมตร การใช้ไฟฉายซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากสะดวกต่อการพกพาสำหรับการนำไปใช้งานในสถานที่เกิดเหตุและเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ และการทดสอบใช้ผงเรืองแสงแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) และผงเรืองแสงแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) สามารถใช้ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุนและแสดงลักษณะลายเส้นนูนของรูปแบบลายนิ้วมือแบบกันหอยได้อย่างชัดเจนและสามารถแสดงจุดลักษณะสำคัญพิเศษ เช่น ปลายเส้น เส้นแยก (Kim, Jung, Lim, Ryu, & Lee, 2016; Mirakovits & Londino, 2016) ของลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจน แต่การศึกษาผงเรืองแสงแกโดลิเนียมโพลีดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) เมื่อนำมาใช้ในการตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงไม่เกิดการเรืองแสงเนื่องจากไฟฉายที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งให้ค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 393 นาโนเมตร ทำให้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของผงฝุ่นทั้งสามชนิด คือ ยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) กระตุ้นที่ความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร ซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ 404 นาโนเมตร และเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ 484 นาโนเมตร

การทดสอบเพื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบบนพื้นผิวไม่มีรูพรุน เช่น กระจก พลาสติก แผ่นซีดี กระจกอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมพอยล์ และได้ทำการเลือกกระจกและอะลูมิเนียมพอยล์มาทดสอบโดยใช้ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) เปรียบเทียบกับผงฝุ่นดำ ประเทศญี่ปุ่น โดยพิจารณาจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษด้วยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน จากกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญได้ตรวจจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือมีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตั้งแต่ 71-87 จุด ซึ่งผงฝุ่นที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ทำให้ปรากฏจุดลักษณะสำคัญพิเศษมีจำนวนใกล้เคียงกับผงฝุ่นดำ (KS, ประเทศญี่ปุ่น) เมื่อพิจารณาคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Dawkins, Gautam, Bandey, Armitage, & Ferguson (2020) ซึ่งได้กำหนดระดับการให้คะแนนคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงเป็นค่าตัวเลขตั้งแต่ 0-4 ซึ่งผงฝุ่นที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้จะได้ค่าระดับคะแนนเท่ากับ 4 คือ มองเห็นรอยลายนิ้วมือที่มีรายละเอียดลายเส้นสมบูรณ์ สามารถใช้พิสูจน์บุคคลได้ เช่นเดียวกับผงฝุ่นดำ (KS, ประเทศญี่ปุ่น) ที่นำมาทดสอบ แต่ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะของลายนิ้วมือ ขนาดของลายเส้น ขนาดของรอยลายนิ้วมือที่ประทับลงไปบนวัตถุที่นำมาทดสอบอาจส่งผลต่อจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ปรากฏขึ้นและตรวจนับได้ อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาถึงจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ได้จากการใช้ผงฝุ่นที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งปรากฏจำนวนของจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มากกว่า 10 จุด ขึ้นไป ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์หรือยืนยันตัวบุคคลตามหลักการการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ผงฝุ่นแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยแลนทาไนด์ทั้ง 3 ชนิด คือ แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) แกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ซึ่งผงฝุ่นชนิดแกโดลิเนียมโมลิบดีนัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ให้ลักษณะการเรืองแสงที่ปรากฏชัดเจนมากที่สุดภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้สำหรับตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวไม่มีรูพรุนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ต่อไป



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาผงฝุ่นเรืองแสงด้วยแลนทาไนด์สำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝง โดยทำการสังเคราะห์สารเรืองแสงที่ใช้ไอออนของแลนทาไนด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็งโดยการเตรียมแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม (europium,  $\text{Eu}^{3+}$ ) ซาแมเรียม (samarium,  $\text{Sm}^{3+}$ ) เทอร์เบียม (terbium,  $\text{Tb}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ศึกษาโครงสร้าง ผลของอุณหภูมิ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของผงเรืองแสง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมที่สุดในการเตรียมสารเรืองแสงแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมความเข้มข้น 0.1-1.0 mol% ซึ่งความเข้มข้น 0.40 mol% แสดงความเข้มของการเปล่งแสงมากที่สุด ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร บริเวณสีส้มแกมแดงที่การกระตุ้น 394 นาโนเมตร และเหมาะสมที่สุดที่ระยะเวลา 3 นาที ของการทำให้เป็นผงละเอียด

การเตรียมแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม ( $\text{Sm}^{3+}$ ) ที่ความเข้มข้น 0.01-0.40 mol% แสดงการเปล่งแสงสีส้มของซาแมเรียมมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.10 mol% ที่ความยาวคลื่น 601 นาโนเมตร ที่การกระตุ้น 404 นาโนเมตร ผงแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียม ( $\text{Tb}^{3+}$ ) ความเข้มข้น 0.01-0.40 mol% แสดงการเปล่งแสงสีเขียวของเทอร์เบียมมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.05 mol% เหมาะสมที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร ที่การกระตุ้น 484 นาโนเมตร ทั้งนี้การตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงด้วยผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียม ผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียม และผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยเทอร์เบียมเป็นผงฝุ่นที่มีลักษณะสีขาว ผงฝุ่นมีขนาดโดยเฉลี่ยเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ซึ่งผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมและผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมให้คุณลักษณะลายเส้นของลายนิ้วมือชัดเจนภายใต้การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่นำทดสอบลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวไม่มีรูพรุนชนิดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบผงฝุ่นทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผงฝุ่นแก๊โคลิเนียมโมลิบดินัมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมให้การเรืองแสงที่ชัดเจนมากที่สุดภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งอาจเป็นผงฝุ่นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการศึกษาและพัฒนาผลงานเรื่องแสงที่มีการเจือด้วยแลนทาไนด์ชนิดอื่น ๆ เช่น ซีเรียม ดิสโพรเซียม
2. ใช้แหล่งกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบและพิจารณาถึงชนิดที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการตรวจพิสูจน์ในการปรากฏขึ้นของรอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน
3. การทดสอบและตรวจพิสูจน์บนพื้นผิวไม่มีรูพรุนที่มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น
4. การควบคุมปัจจัยต่อลักษณะของรอยลายนิ้วมือ เช่น ลักษณะการวางปลายนิ้ว ขอบเขตของภาพที่ปรากฏ เป็นต้น และการทดสอบโดยใช้จำนวนลายนิ้วมือเพิ่มมากขึ้น





## รายการอ้างอิง

- Ashwini, S., Prashantha, S. C., Naik, R., Naik, Y. V., Nagabhushana, H., & Jnaneshwara, D. M. (2019). Photoluminescence of a novel green emitting  $\text{Bi}_2\text{O}_3:\text{Tb}^{3+}$  nanophosphors for display, thermal sensor and visualisation of latent fingerprints. *Optik*, *192*, 162956.
- Babu, K. R. V., Renuka, C. G., Basavaraj, R. B., Darshan, G. P., & Nagabhushana, H. (2019). One pot synthesis of  $\text{TiO}_2:\text{Eu}^{3+}$  hierarchical structures as a highly specific luminescent sensing probe for the visualization of latent fingerprints. *Journal of Rare Earths*, *37*(2), 134-144.
- Champod, C., Lennard, C., Margot, P., & Stoilovic, M. (2004). *Fingerprints and other ridge skin impressions*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Daluz, H. M. (2015). *Fundamentals of fingerprint analysis*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Daluz, H. M. (2019). *Fingerprint analysis laboratory workbook* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Darshan, G. P., Premkumar, H. B., Nagabhushana, H., Sharma, S. C., Daruka Prasad, B., Prashantha, S. C., & Basavaraj, R. B. (2016). Superstructures of doped yttrium aluminates for luminescent and advanced forensic investigations. *Journal of Alloys and Compounds*, *686*, 577-587.
- Dawkins, J., Gautam, L., Bandey, H., Armitage, R., & Ferguson, L. (2020). The effect of paint type on the development of latent fingermarks on walls. *Forensic Science International*, *309*, 110186.
- Girish, K. M., Prashantha, S. C., Naik, R., & Nagabhushana, H. (2017).  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$ : A novel host lattice for  $\text{Sm}^{3+}$  doped reddish orange light emitting photoluminescent material for thermal and fingerprint sensor. *Optical Materials*, *73*, 197-205.
- Gomes, A. J., Lunardi, C. N., Rocha, F. S., & Patience, G. S. (2019). Experimental methods in chemical engineering: Fluorescence emission spectroscopy. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *97*, 2168-2175.
- Horiba. (2022). Principles and theory of fluorescence spectroscopy. Retrieved from <https://www.horiba.com/bra/scientific/technologies/>

- James, S. H., Nordby, J. J., & Bell, S. (2014). *Forensic science: An introduction to scientific and investigative techniques* (4th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kesavulu, C. R., Kim, H. J., Lee, S. W., Kaewkhao, J., Kaewnuam, E., & Wantana, N. (2017). Luminescence properties and energy transfer from  $Gd^{3+}$  to  $Tb^{3+}$  ions in gadolinium calcium silicoborate glasses for green laser application. *Journal of Alloys and Compounds*, 704, 557-564.
- Kim, Y.-J., Jung, H.-S., Lim, J., Ryu, S.-J., & Lee, J.-K. (2016). Rapid imaging of latent fingerprints using biocompatible fluorescent silica nanoparticles. *Langmuir*, 32, 8077-8083.
- Kumar, V., Som, S., Kumar, V., Kumar, V., Ntwaeaborwa, O. M., Coetsee, E., & Swart, H. C. (2014). Tunable and white emission from  $ZnO:Tb^{3+}$  nanophosphors for solid state lighting applications. *Chemical Engineering Journal*, 255, 541-552.
- Li, F., Liu, S., Qi, R., Li, H., & Cui, T. (2017). Effective visualization of latent fingerprints with red fluorescent  $La_2(MoO_4)_3:Eu^{3+}$  microcrystals. *Journal of Alloys and Compounds*, 727, 919-924.
- Mirakovits, K., & Londino, G. (2016). *The basics of investigating forensic science*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Park, J. Y., Park, S. J., Kwak, M., & Yang, H. K. (2018). Rapid visualization of latent fingerprints with Eu-doped  $La_2Ti_2O_7$ . *Journal of Luminescence*, 201, 275-283.
- Park, J. Y., & Yang, H. K. (2017). Novel red-emitting  $Y_4Zr_3O_{12}:Eu^{3+}$  nanophosphor for latent fingerprint technology. *Dyes and Pigments*, 141, 348-355.
- Rajaramakrishna, R., Knorr, B., Dierolf, V., Anavekar, R. V., & Jain, H. (2014). Spectroscopic properties of  $Sm^{3+}$ -doped lanthanum borogermanate glass. *Journal of Luminescence*, 156, 192-198.
- Ruengsri, S., Insiripong, S., Sangwanateee, N., Kim, H. J., Wantana, N., Angnanon, A., & Kaewkhao, J. (2017). Development of  $Dy^{3+}$ -doped  $Gd_2MoB_2O_9$  phosphor and their luminescence behavior. *Integrated Ferroelectrics*, 177, 39-47.
- Saif, M., Shebl, M., Nabeel, A. I., Shokry, R., Hafez, H., Mbarek, A., . . . Abdel-Mottaleb, M. S. A. (2015). Novel non-toxic and red luminescent sensor based on  $Eu^{3+}:Y_2Ti_2O_7/SiO_2$  nano-powder for latent fingerprint detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 220, 162-170.

- Shimadzu. (2020). *LabX XRD-6100*. Retrieved from <https://www.shimadzu.com/an/products/elemental-analysis/x-ray-diffraction/labx-xrd-6100>
- Shimadzu. (2022). *UV-Vis-NIR Spectroscopy*. Retrieved from <https://www.shimadzu.se/uv-vis-nir-spectroscopy>
- Singh, V., Shinde, K. N., Singh, N., Singh, P. K., Hakeem, D. A., & Nagpure, A. S. (2018). Luminescent properties of green emitting Tb<sup>3+</sup> doped Sr<sub>2</sub>ZnSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub> phosphors. *Optik, 158*, 1302-1307.
- Sodhi, G. S., & Kaur, J. (2001). Powder method for detecting latent fingerprints: A review. *Forensic Science International, 120*, 172-176.
- Sreedhar, V. B., Basavapooranima, C., & Jayasankar, C. K. (2014). Spectroscopic and fluorescence properties of Sm<sup>3+</sup>-doped zincfluorophosphate glasses. *Journal of Rare Earths, 32*(10), 918-926.
- TechnologyUK. (2021). The lanthanides. Retrieved from <https://www.technologyuk.net/science/matter/lanthanides>
- U.S. Department of Justice, & National Institute of Justice. (2011). *Fingerprint Sourcebook*. Retrieved from <https://nij.ojp.gov/library/publications/fingerprint-sourcebook>
- Venkatachalaiah, K. N., Nagabhushana, H., Basavaraj, R. B., Darshan, G. P., Daruka Prasad, B., & Sharma, S. C. (2018). Flux blended synthesis of novel Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup> sensing arrays for highly sensitive dual mode detection of LFPs on versatile surfaces. *Journal of Rare Earths, 36*(9), 954-964.
- Venkataravanappa, M., Basavaraj, R. B., Darshan, G. P., Daruka Prasad, B., Sharma, S. C., Hema Prabha, P., . . . Nagabhushana, H. (2018). Multifunctional Dy (III) doped di-calcium silicate array for boosting display and forensic applications. *Journal of Rare Earths, 36*(7), 690-702.
- Venugopal, A. R., Rajaramakrishna, R., Abhiram, J., Pattar, V., Rajashekara, K. M., & Kaewkhao, J. (2019). Sm<sup>3+</sup> doped lithium strontium borate glasses for solid state lighting applications. *Glass Physics and Chemistry, 45*, 472-484.
- Wang, W., Lei, X., Ye, Z., Zhao, N., & Yang, H. (2017). The luminescent properties and latent fingerprint identification application of AlN:Ce, Tb phosphors. *Journal of*

*Alloys and Compounds*, 705, 253-261.

- Yasaka, P., Rajaramakrishna, R., Wongwan, W., Yamchumporn, P., Kim, H. J., & Kaewkhao, J. (2019). Development of ZnO–BaO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TeO<sub>2</sub> glass doped with Sm<sup>3+</sup> for orange emitting material. *Solid State Sciences*, 98, 106041.
- Zeng, C., Huang, H., Hu, Y., Miao, S., & Zhou, J. (2016). A novel blue-greenish emitting phosphor Ba<sub>3</sub>LaK(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F:Tb<sup>3+</sup> with high thermal stability. *Materials Research Bulletin*, 76, 62-66.
- Zhang, X., Qiao, X., & Seo, H. J. (2011). Photoluminescence properties of Eu<sup>3+</sup>-doped Gd<sub>2</sub>MoB<sub>2</sub>O<sub>9</sub> phosphors for LED-based solid-state-lighting. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 103, 257-261.
- เข็มชัย ชูติวงศ์. (2563). คำอธิบายกฎหมายลักษณะพยาน (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สำนักอบรมศึกษากฎหมายแห่งเนติบัณฑิตยสภา.
- ฐวีรัชญ์ สุริยวงศ์. (2556). การศึกษาการใช้สารเรืองแสง BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub>:Eu<sup>2+</sup> กับอาหารออยลายนิ้วมือ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ธานี วรภัทร์. (2558). หลักกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ตามแนวคิดของศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนนคร (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: วิญญูชน.
- เนติบัณฑิตยสภา ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2564). พระบิดาแห่งกฎหมายไทย. สืบค้นจาก <http://www.thethaibar.or.th/thaibarweb/>
- มณีนรัตน์ นวลกุล และเกษศิริรินทร์ เอกสินีทร์กุล. (2560). การตรวจหาออยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวเปียกไม่มีรูพรุนด้วย Small particle reagent โดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, 4(6), 51-68.
- แม่น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, พลกฤษณ์ แสงวงนิช, ภควดี สุทธิไวยกิจ, มาณพ สิทธิเดช, สายสุนีย์ เหลียวเรืองรัตน์, . . . วันเพ็ญ ช้อนแก้ว. (2555). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ *Principles and techniques of instrumental analysis part II chromatography and others* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์ 50.
- แม่น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, ยุวดี เชี่ยววัฒนา, อติทยา ศิริปัญญาพนธ์, ศรีวิไล โอมอภิญญาณ, และอุมาพร สุขม่วง. (2552). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ *Principles and techniques of instrumental analysis spectroscopy*. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์ 50.
- วรชัย วิชชวาณิชย์, ภาชินี เดชรัตนสุวรรณ, สิตา ใช้เฮ็ง, และจุฑามาศ เจียมทรัพย์. (2561). การศึกษาการทำให้ปรากฏขึ้นของลายนิ้วมือแฝงโดยใช้สลิปเปอร์ของเฟอริน้ำล้างหลังลายและเฟอริน้ำรับบนพื้นผิววัสดุที่แตกต่างกัน (รายงานวิจัย). นครปฐม: โรงเรียนนายร้อยตำรวจ.

สัมพันธ์ วงศ์นาวา. (2555). *ธาตุกลุ่มเอฟ: แลนทาไนด์และแอกทิไนด์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2562). *ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา*. สืบค้นจาก  
<https://www.krisdika.go.th/librarian/get?sysid=570066&ext=pdf>

สุนทรต์ ชูลักษณะ และวิชุดา จันทร์ข้างแรม. (2560). ประวัติการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์.  
*วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 45(3), 675-689.

สุพิชฌาย์ ศิริวัฒนา สีตะสิทธิ์ และสุพจน์ สีตะสิทธิ์. (2560). *กฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา เล่ม 1*.  
กรุงเทพฯ: วิญญูชน.

อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์, ณรงค์ กุลนิเทศ, ธวัชชัย เมฆประเสริฐสุข, สันดี สุขวัจน์, กำธร อยู่เจริญ, ไชย  
ณรงค์ ตั้งสุวรรณ, และคุณิโอะ ไทจิมา. (2564). *นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน*  
(ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: จี.บี.พี. เซ็นเตอร์.

อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์, เทียมศักดิ์ อัครวิทย์, ประพัฒน์ คนตรง, สุวิไล คุณาชีวะ, สมชาย ศิริพันธ์,  
ชัยวัฒน์ เขาวนดี, ..... อภิชาติ โภญจนาท. (2552). *นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวน*  
*สอบสวน* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: จี.บี.พี. เซ็นเตอร์.

อรุณรัตน์ สันฐิติกวินสกุล. (2563). *สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์*. นครปฐม: คณะวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.







## ประวัติผู้เขียน

|                 |  |
|-----------------|--|
| ชื่อ-สกุล       | นายนภดล แซ่มซ้อย   |
| สถานที่เกิด     | จังหวัดนครสวรรค์   |
| วุฒิการศึกษา    | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยมหิดล<br>วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา<br>มหาวิทยาลัยมหิดล |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี   |

