



กทปส

## รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์  
Leverage of the AI system for forensic investigation of sex crimes

### คณะนักวิจัย

- |                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| 1. ผศ.ดร. นริศ หนูหอม           | นักวิจัยหัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ.นพ. ปภาณู สุทธิประสิทธิ์  | นักวิจัยร่วม           |
| 3. ดร. สุเมธ ยืนยง              | นักวิจัยร่วม           |
| 4. ดร. กลกรณ์ วงศ์ภาติกะเสรี    | นักวิจัยร่วม           |
| 5. ดร. เอกชัย วารินศิริรักษ์    | นักวิจัยร่วม           |
| 6. น.ส. นริศรา อุปถัมภ์         | นักวิจัยร่วม           |
| 7. ศ. ดร. วิรัช ศรีเลิศล้ำวาณิช | ที่ปรึกษา              |

เมษายน พ.ศ. 2566

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ  
(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

## รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา  
สัญญารับทุนเลขที่ A64-1-(3)-031

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์  
Leverage of the AI system for forensic investigation of sex crimes

### คณะนักวิจัย

- |                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| 1. ผศ.ดร. นริศ หนูหอม           | นักวิจัยหัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ.นพ. ปภาณ สุทธิประสิทธิ์   | นักวิจัยร่วม           |
| 3. ดร. สุเมธ ยืนยง              | นักวิจัยร่วม           |
| 4. ดร. กลกรณ์ วงศ์ภาคิกะเสรี    | นักวิจัยร่วม           |
| 5. ดร. เอกชัย วารินศิริรักษ์    | นักวิจัยร่วม           |
| 6. น.ส. นริศรา อุปถัมภ์         | นักวิจัยร่วม           |
| 7. ศ. ดร. วิรัช ศรีเลิศล้ำวาณิช | ที่ปรึกษา              |

ได้รับทุนอุดหนุนจาก

กองทุนวิจัยและพัฒนาโครงการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ  
(สำนักงาน กสทช.)

เมษายน พ.ศ. 2566

แบบ กทปส. ME-003

## บทสรุปผู้บริหาร

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

เมษายน พ.ศ. 2566

ผลกระทบจากปัญหาอาชญากรรมเกี่ยวกับความผิดทางเพศ เป็นการตอกย้ำมิติของปัญหาที่ก่อความเสียหายทั้งแก่บุคคล สังคม เศรษฐกิจ รวมถึงกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม ในกระบวนการยุติธรรมทางอาญาของประเทศไทยมีการใช้ผลทางนิติวิทยาศาสตร์ประกอบการพิจารณา คดีความ การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญของกระบวนการยุติธรรมในคดีความผิดทางเพศ การเก็บพยานวัตถุในทางนิติเวชศาสตร์ โดยการตรวจหาสารคัดหลั่งจากร่างกายของผู้กระทำที่พบบนร่างกายของผู้เสียหาย เป็นหลักฐานที่สำคัญมากในการพิสูจน์ข้อเท็จจริง สารคัดหลั่งที่พบจะเป็นคราบอสุจิ หรือน้ำอสุจิ ซึ่งการตรวจหาตัวอสุจินั้นต้องอาศัยประสบการณ์ ความเชี่ยวชาญของผู้ตรวจพิสูจน์อย่างยิ่ง คดีความผิดทางเพศในประเทศไทยเป็นหนึ่งในปัญหาที่มีอัตราการก่อเหตุเพิ่มขึ้นทุกปี สวนทางกับจำนวนบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่ยังเป็นสาขาขาดแคลน ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์จึงใช้เวลานาน ส่งผลถึงรูปคดี รวมถึงสภาพจิตใจของผู้ถูกระทำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเปราะบาง

โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยการนำระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิเข้าไปอินทิเกรตกับระบบเดิม เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันหรือทดแทนการทำงานบางส่วนของบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในขั้นตอนของการตรวจหาตัวอสุจิและตรวจนับจำนวนตัวอสุจิในภาพดิจิทัลทางการแพทย์ ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนำร่องนี้ มีข้อบ่งชี้ว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศ สามารถช่วยให้กระบวนการตรวจพิสูจน์ทำได้เร็วขึ้น โดยจากระบบเดิม บุคลากรสามารถทำการตรวจพิสูจน์ได้ประมาณ 28 เคสต่อวัน หรือใช้เวลาในการตรวจพิสูจน์โดยเฉลี่ยเฉลี่ย 17 นาที เมื่อนำระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยตรวจพิสูจน์ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มขีดความสามารถการตรวจพิสูจน์ได้ถึง 160 เคสต่อวัน หรือสามารถร่นระยะเวลาการตรวจพิสูจน์เหลือเพียง 3 นาทีต่อเคส ซึ่งช่วยให้บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ทำงานได้เร็วกว่าเดิมถึง 5.7 เท่า โดยระบบมีความถูกต้องแม่นยำสูงถึงร้อยละ 97.4

## การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ผศ.ดร. นริศ หนูหอม

เมษายน พ.ศ. 2566

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์หรือตัวบ่งชี้สำคัญในคดีความผิดทางเพศ และศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ในคดีความผิดทางเพศ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและการพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และส่วนที่ 2 คือ การอบรมการใช้งานเครื่องมือให้กับนักวิชาการวิทยาศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า ระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศได้ โดยหากพบส่วนหัวของอสุจิมากกว่า 2 ตัว บนภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์กล้องจุลทรรศน์ จะถือว่ามี การถูกกระทำชำเรา โดยผลลัพธ์จากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์บนสถาปัตยกรรม YOLOv5m ได้ผลลัพธ์ความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 97.4 และสามารถนำมาเชื่อมต่อการใช้งานผ่านระบบเว็บไซต์ และเมื่ออบรมการใช้งานระบบให้กับนักวิชาการวิทยาศาสตร์ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถช่วยให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศมีความรวดเร็วขึ้น เอื้อประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม สามารถดำเนินคดีได้อย่างรวดเร็ว และมีมาตรฐาน ทั้งเพื่อรักษาความยุติธรรมแก่ผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหา ทั้งนี้ ยังเป็นการสนับสนุนการป้องกันและปราบปรามการก่ออาชญากรรมในอนาคตได้

## Leverage of the AI system for forensic investigation of sex crimes

Asst. Prof. Narit Hnoohom, Ph.D.

April, 2023

This research aims to develop an artificial intelligence-based sperm detection system to be used as forensic evidence or an important indicator in sexual offense cases. To study the feasibility of utilizing an artificial intelligence-based sperm detection system in sexual offense cases, the study was divided into two parts: (1) the development of an artificial intelligence system for sperm detection and the development of the sperm detection website; and (2) the training of forensic scientists in the use of the tool. According to the results of the study, an artificial intelligence-based sperm detection system can simplify the forensic evidence verification process in sexual offense cases. From the condition of sperm detection, which found more than two sperm heads on the digitally scanned image from semen microscope slides, the case will be considered sexual intercourse. As a result of the development of the artificial intelligence system, the results are accurate at 97.4 percent on the YOLOv5m architecture and can be integrated with the website system. The sperm detection website was satisfied by forensic scientists as the system can help speed up the forensic evidence verification process in sexual offense cases. Conducive to the justice process, the system can prosecute quickly and with standards. This system is also able to both maintain justice for the victims and the accused. This will also further support the prevention and suppression of crimes in the future.

## สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1. บทนำ</b>	
1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
<b>บทที่ 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎี และแนวความคิด	5
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
<b>บทที่ 3. ระเบียบวิธีวิจัย</b>	
3.1 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอนปัญญาประดิษฐ์	28
3.2 การออกแบบระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	34
3.3 การพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	83
<b>บทที่ 4. ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล</b>	
4.1 ผลการทดสอบระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	120
4.2 ผลการทดสอบระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ (Web-based AI-sperm).	123
4.3 ผลการทดสอบระบบแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูล ภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์	127
4.4 การวิจารณ์ผล	140

## สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 5. ผลการฝึกอบรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา</b>	
5.1 รายงานผลการฝึกอบรมวิธีการใช้งานเว็บไซต์ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวสุจิและการพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวสุจิ	142
5.2 การวิจารณ์ผล	153
<b>บทที่ 6. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ</b>	
6.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	155
6.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาระบบการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	160
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>162</b>
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	<b>164</b>

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 คำอธิบายความหมายของแต่ละ field ในโครงสร้างข้อมูล	112
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ของการฝึกสอนโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ	121
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของภาพและผลลัพธ์ของการทดสอบส่งภาพ WSI ไปประมวลผล	134
ตารางที่ 5.1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ	149
ตารางที่ 5.2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอายุ	149
ตารางที่ 5.3 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามการศึกษา	150
ตารางที่ 5.4 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประสบการณ์ทำงาน	150
ตารางที่ 5.5 ความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม	151
ตารางที่ 5.6 ความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน	151
ตารางที่ 5.7 ด้านการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	152

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Convolution	9
รูปที่ 2.2 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Correlation	9
รูปที่ 2.3 การกำหนด Region of Interest	10
รูปที่ 2.4 อินพุตและเอาต์พุตของโมเดลรู้จำภาพ	11
รูปที่ 2.5 หลักการของ Gradient Descent	12
รูปที่ 2.6 กระบวนการ Transfer learning สำหรับสถาปัตยกรรม Xception	13
รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงการตรวจหาตัวอสุจิ โดยการใช้โครงข่าย RetinaNet	14
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงาน Yolo	16
รูปที่ 2.9 แสดงการทำงาน YoloV5	16
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการตรวจจับตัวอสุจิ	22
รูปที่ 2.11 แสดงความแตกต่างระหว่าง (ก) ตัวอสุจิที่ปรากฏใน Public dataset ที่ไม่ผ่านการย้อมสี และ (ข) ตัวอสุจิที่ปรากฏในงานวิจัยที่ผ่านการย้อมสี	23
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 0.52 เท่า	24
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 4.13 เท่า	24
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 16.5 เท่า	25
รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 50 เท่า	25
รูปที่ 2.16 ภาพวาดจำลองลักษณะของประเภทอสุจิที่พบในมนุษย์เพศชาย	26
รูปที่ 2.17 การจำแนกมาตรฐานของตัวอสุจิของมนุษย์ปกติและผิดปกติทางสัณฐานวิทยา	27
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์	29
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	31
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างที่ Labeler ทำการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิเรียบร้อยแล้ว อยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบของ Reviewer	33
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าการกำกับข้อมูลในแต่ละภาพ	34
A64-1-(3)-031	ช

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศ	35
รูปที่ 3.6 ระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	36
รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ ขนาด 512 x 512 พิกเซล	37
รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างภาพตัวอสุจิที่มีการตีกรอบ	
โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์	38
รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของอัลกอริทึม YoloV5	39
รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับตัวอสุจิ	40
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานของระบบ (System Flow)	41
รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของผู้ใช้ระบบ (Use Case Diagram)	42
รูปที่ 3.13 แพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์	81
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของแพลตฟอร์มการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์	81
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์	83
รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ	84
รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างภาพตัวอสุจิที่มีการตีกรอบ	
โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์	85
รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งตัวอสุจิในภาพ	86
รูปที่ 3.19 แสดงความละเอียดภาพตัวอสุจิในภาพ	86
รูปที่ 3.20 ผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	87
รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างของระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	88
รูปที่ 3.22 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER-Diagram)	89
รูปที่ 3.23 แสดงหน้า Login	91
รูปที่ 3.24 แสดงหน้า Forgot password	91
รูปที่ 3.25 แสดงหน้า Logout	92
รูปที่ 3.26 แสดงหน้าผลการตรวจสอบ	92
รูปที่ 3.27 แสดงหน้าอัปโหลด	93
รูปที่ 3.28 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ	93
A64-1-(3)-031	ซ

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.29 แสดงหน้ากำลังส่งตรวจสอบ	94
รูปที่ 3.30 แสดงหน้า Login	94
รูปที่ 3.31 แสดงหน้า Forgot password	95
รูปที่ 3.32 แสดงหน้า Logout	95
รูปที่ 3.33 แสดงหน้าจัดการรายการ	96
รูปที่ 3.34 แสดงหน้าจัดการผู้ใช้งานระบบ	96
รูปที่ 3.35 แสดงหน้าประวัติ	97
รูปที่ 3.36 แผนผังการทำงานในส่วนของ การตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ	98
รูปที่ 3.37 แสดงหน้าลงชื่อเข้าใช้งาน	99
รูปที่ 3.38 แสดงหน้าการอัปโหลด	100
รูปที่ 3.39 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ	100
รูปที่ 3.40 แสดงหน้ากำลังส่งตรวจสอบ	100
รูปที่ 3.41 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ	101
รูปที่ 3.42 แสดงหน้าผลตรวจสอบ	101
รูปที่ 3.43 แสดงหน้าผลลัพธ์บนหน้าผลตรวจสอบ	102
รูปที่ 3.44 แสดงผลลัพธ์ที่มีการระบุค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.9	103
รูปที่ 3.45 แสดงตัวอสุจิที่ถูกตรวจพบที่จะถูกล้อมกรอบด้วยสีแดง ภายใต้ค่าความเชื่อมั่นที่ระบุไว้	104
รูปที่ 3.46 แสดงวิธีการกลับออกไปที่ระดับการซูมใกล้สุด	104
รูปที่ 3.47 แสดงวิธีการดูผลลัพธ์จำนวนของอสุจิ	105
รูปที่ 3.48 แสดงสรุปผลจำนวนตัวอสุจิแต่ละประเภทในรูปแบบของตาราง	105
รูปที่ 3.49 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่โมเดลปัญญาประดิษฐ์ตอบในรูปแบบ โครงสร้างข้อมูลประเภท JSON	106
รูปที่ 3.50 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	107
รูปที่ 3.51 หน้าแสดงผล งานที่กำลังรอการประมวลผล และความคืบหน้าของงานที่กำลังประมวลผลอยู่	108
รูปที่ 3.52 คิวงานของระบบ	109
A64-1-(3)-031	ณ

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.53 โครงสร้างข้อมูลประเภท NoSQL สำหรับเก็บผลลัพธ์จากการประมวลผล	111
รูปที่ 4.1 ภาพตัวอย่างจากชุดข้อมูล	120
รูปที่ 4.2 การฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ บนสถาปัตยกรรม YOLOv5s	122
รูปที่ 4.3 การฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ บนสถาปัตยกรรม YOLOv5m	122
รูปที่ 4.4 ภาพตัวอย่างการตรวจจับตัวอสุจิบนชุดข้อมูลทดสอบ	123
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างหน้าลงชื่อเข้าใช้งาน	124
รูปที่ 4.6 แสดงรายการของทุกงานที่ผู้ใช้งานได้ส่งประมวลผล	124
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าอัปโหลด	125
รูปที่ 4.8 เลือกไฟล์ภาพสไลด์ที่จะส่งไปประมวลผล	125
รูปที่ 4.9 ยืนยันการส่งภาพแผ่นสไลด์ประมวลผล	126
รูปที่ 4.10 สถานะความคืบหน้าของภาพแต่ละแผ่นสไลด์	126
รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	127
รูปที่ 4.12 เงื่อนไข /enqueue_job success (normal job)	128
รูปที่ 4.13 เงื่อนไข /enqueue_job success (VIP job)	128
รูปที่ 4.14 เงื่อนไข /enqueue_job fails	129
รูปที่ 4.15 เงื่อนไข /check_progress success (running job)	129
รูปที่ 4.16 เงื่อนไข /check_progress success (finished job)	130
รูปที่ 4.17 เงื่อนไข /check_progress fails	130
รูปที่ 4.18 เงื่อนไข /read_result success	131
รูปที่ 4.19 เงื่อนไข /read_result fails	132
รูปที่ 4.20 เงื่อนไข /dequeue_job success	133
รูปที่ 4.21 เงื่อนไข /dequeue_job fails	133
รูปที่ 4.22 ภาพที่ซูมออกจนเห็น WSI ทั้งหมด	134
รูปที่ 4.23 ภาพย่อยขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 14,000, 14,000	136
รูปที่ 4.24 ภาพย่อยขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 28,080, 55,600	138
A64-1-(3)-031	ญ

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.25 ภาพย่อขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 38,320, 26,800	140
รูปที่ 5.1 ภาพการอบรมในวันที่ 27 มีนาคม 2566	143
รูปที่ 5.2 ภาพการอบรมในวันที่ 28 มีนาคม 2566	143
รูปที่ 5.3 แบบสอบถามที่ใช้ในการอบรม	145
รูปที่ 6.1 การแก้ไขตามข้อเสนอแนะการนำการลงทะเบียนด้วยบัญชีของ Google ออก	156
รูปที่ 6.2 แสดงการแก้ไขการนำการเลือก/ยกเลิก การกรอง Labeler หรือ Reviewer	156
รูปที่ 6.3 แสดงการแก้ไขการเลือกเรียงชื่อ Labeler หรือ Reviewer ตามตัวอักษร	157
รูปที่ 6.4 แสดงการแก้ไขการค้นหาภาพจากชื่อไฟล์ภาพ	157
รูปที่ 6.5 แสดงการแก้ไขการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจพิสูจน์ตัวสุจริตด้วยค่า Confidence	158
รูปที่ 6.6 แสดงการแก้ไขการเพิ่ม upload timeout	159

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ

การคุกคามทางเพศ การล่วงละเมิดทางเพศ และความรุนแรงทางเพศ ล้วนคือภาวะการคุกคาม ความมั่นคงของมนุษย์ ซึ่งเป็นปัญหาทางสังคมที่มีแนวโน้มจะรุนแรงและมีอุบัติการณ์สูงขึ้นดังที่ปรากฏในสื่อต่าง ๆ ที่พบว่าประเทศไทยมีสถิติความรุนแรงต่อผู้หญิงสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ผู้หญิงถูกละเมิดทางเพศ ถูกกระทำความรุนแรงทางร่างกายหรือจิตใจ มีสถิติเข้ารับการรักษา แจ้งความร้องทุกข์ประมาณปีละ 30,000 ราย หรือถ้าเทียบเป็นวันในหนึ่งวัน อาจมีคนโดนล่วงละเมิดถึง 7 คน โดยพบการเข้าถึงกระบวนการยุติธรรมจากการถูกทำร้ายร่างกาย จิตใจ สุขภาพ และสังคมเพียงร้อยละ 29 และมีเพียงร้อยละ 27 ของคดีทั้งหมดที่ผู้กระทำความรุนแรงถูกดำเนินคดี [1] ความรุนแรงทางเพศดังกล่าว เป็นหนึ่งในเหตุการณ์ที่เจ็บปวดมากที่สุดที่บุคคลหนึ่งจะประสบได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์คุกคามทางเพศหรือล่วงละเมิดทางเพศ ผู้ถูกกระทำจะได้รับผลกระทบทางลบโดยตรงแบบลูกโซ่เป็นวงกว้าง ไม่ว่าจะทั้งทางร่างกายหรือจิตใจ อีกทั้งผลกระทบเหล่านี้ ยังส่งผลกระทบต่อครอบครัวและผู้คนรอบข้าง ในขณะที่ผลกระทบในทางเศรษฐกิจ ผู้ที่ตกเป็นเหยื่อของการล่วงละเมิดทางเพศจะมีปัญหาที่ส่งผลกระทบมาจากทางด้านสุขภาพ ที่ส่งผลกระทบต่อภาคการทำงาน ทำให้มีประสิทธิภาพและผลิตภาพในการทำงานลดลง และส่งผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจ เพราะหากประเทศมีสถิติปัญหาการล่วงละเมิดทางเพศหรือคุกคามทางเพศอยู่ในระดับที่สูง ย่อมมีผลกระทบในทางลบต่อภาพลักษณ์และความมั่นคงทางเศรษฐกิจของชาติ ผลกระทบจากการถูกล่วงละเมิดทางเพศ ไม่เพียงแต่สร้างบาดแผลและความเสียหายทางสภาพจิตใจต่อเหยื่อ แต่เป็นการตอกย้ำอีกมิติของปัญหาที่ก่อความเสียหายทั้งแก่บุคคล สังคม เศรษฐกิจ รวมถึงกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม

แนวทางในการจัดการกับการล่วงละเมิดหรือคุกคามทางเพศ จำเป็นต้องหามาตรการเพื่อมุ่งไปสู่การแก้ปัญหาทั้ง 3 ภาคส่วน ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหานี้ คือ สังคม เหยื่อ และ ผู้กระทำผิด โดยการปรับกระบวนการยุติธรรม การสร้างเจตคติ ค่านิยม และปลูกฝังมายาคติสังคมที่ถูกต้อง หยุดวัฒนธรรมการโทษเหยื่อ สร้างความเป็นธรรมต่อเหยื่อล่วงละเมิดทางเพศ และการดำเนินคดีอย่างโปร่งใส ลงโทษผู้กระทำผิดอย่างเหมาะสม ทั้งเพื่อรักษาความยุติธรรมและเพื่อลดโอกาสที่ผู้กระทำจะไปคุกคามเหยื่อรายใหม่ หนึ่งในกลไกการขับเคลื่อนให้เกิดผลเป็นรูปธรรมได้ คือ กระบวนการยุติธรรม ผู้ที่ถูกกระทำต้องเข้าถึงกระบวนการยุติธรรม ได้รับความเป็นธรรมทุกคน อย่างแรกที่ทำได้ คือการ

A64-1-(3)-031 1

ดำเนินคดีอย่างรวดเร็วและโปร่งใส พร้อมเกณฑ์ที่ชัดเจนและมาตรฐานเดียวกันกับทุกคน เพื่อไม่ให้เกิดความไม่เป็นธรรมแก่ผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหา ดังนั้น กระบวนการยุติธรรมจะต้องเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพซึ่งหมายถึงมีความสะดวก รวดเร็ว มีมาตรฐาน อีกทั้งยังต้องมีความทันสมัยและนวัตกรรมสอดคล้องกับพลวัตทางสังคมที่เปลี่ยนแปลงด้วย โดยกระบวนการยุติธรรมจะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงตามสถานการณ์และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น การเปลี่ยนแปลงของสังคม เศรษฐกิจ การเมือง เทคโนโลยีและนวัตกรรม

การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญของกระบวนการยุติธรรมในคดีความผิดทางเพศ ในอันที่จะพิสูจน์ความผิดหรือความบริสุทธิ์ของผู้ต้องหา โดยแนวทางการปฏิบัติบริการทางการแพทย์เพื่อให้ได้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นหลักฐานพิสูจน์คดีนั้น ในขั้นตอนการตรวจร่างกายผู้เสียหาย [2] แพทย์จะมีการขอตรวจสารคัดหลั่ง ซึ่งส่วนใหญ่สารคัดหลั่งที่พบจะเป็นคราบอสุจิ หรือน้ำอสุจิ ซึ่งเป็นหลักฐานที่สำคัญมากในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงว่าเกิดเหตุล่วงละเมิดทางเพศหรือไม่ และรีบดำเนินการส่งวัตถุพยานที่เก็บนั้นส่งไปตรวจพิสูจน์ยังห้องปฏิบัติการทันที การตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการโดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ สิ่งส่งตรวจที่ผ่านขั้นตอนการตรวจเชิงสารเคมีมาแล้วจะอยู่ใน Cover slip การตรวจนับปริมาณอสุจิจะมีอยู่ 2 แบบ แบบแรกคือ นำ Cover slip ไปตรวจโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40-100 เท่า เพื่อตรวจนับปริมาณอสุจิ แบบที่สองคือนำ Cover slip ไปเข้าเครื่องสแกนซึ่งจะได้เป็นไฟล์ภาพดิจิทัล จากนั้นจะทำการตรวจนับปริมาณอสุจิจากไฟล์ภาพดิจิทัลนี้โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าตรวจพบก็ทำเครื่องหมายไว้ แล้วรายงานผล ปัจจุบันที่โรงพยาบาลศิริราชใช้วิธีการตรวจนับทั้งสองแบบคือใช้กล้องจุลทรรศน์กับภาพดิจิทัลทางการแพทย์ ซึ่งในขั้นตอนการตรวจนับปริมาณอสุจิทั้งสองแบบนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางในการตรวจสอบและยืนยันผล คดีความผิดทางเพศในประเทศไทยเป็นหนึ่งในปัญหาที่มีอัตราการก่อเหตุเพิ่มขึ้นทุกปี สวนทางกับจำนวนบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เช่น นักวิชาการวิทยาศาสตร์ และนิติพยาธิแพทย์ ที่ยังเป็นสาขาขาดแคลน ซึ่งภาระงานที่มากขณะที่ยังมีบุคลากรจำนวนน้อยซึ่งต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการทำงาน นอกจากนี้ก็มีข้อจำกัดของมนุษย์ที่จะต้องพิจารณาอยู่เสมอคือ ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน ความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ในคดีความผิดทางเพศจึงใช้เวลานาน ส่งผลถึงรูปคดี รวมถึงสภาพจิตใจของผู้ถูกกระทำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเปราะบาง ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

โครงการนี้จึงมีแนวคิดในการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ โดยการพัฒนาระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

(Deep learning) เพื่อใช้ในการตรวจหาตัวอสุจิและตรวจนับจำนวนตัวอสุจิในภาพดิจิทัลทางการแพทย์ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานร่วมกันหรือทดแทนการทำงานบางส่วนของบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ ในขั้นตอนของการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ ซึ่งขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์จะเข้าไปอินทิเกรตในระบบเดิม โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์/นิติพยาธิแพทย์นำสิ่งส่งตรวจ (วัตถุพยานทางชีววิทยา) ที่ได้จากร่างกายผู้เสียหาย โดยจะนำคราบตะกอนสกัดจากสิ่งส่งตรวจหยดลงบนแผ่นสไลด์แล้วนำไปเข้าเครื่องถ่ายภาพแผ่นสไลด์เพื่อสร้างข้อมูลภาพดิจิทัล แล้วใช้ระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์ตรวจนับจำนวนตัวอสุจิเพื่อช่วยลดขั้นตอนเวลาในการตรวจนับ จากนั้นใช้คนตรวจสอบผลลัพธ์เพื่อนำส่งผลแลปไปใช้ในการยืนยันทางคดีความต่อไป ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักฐานหรือตัวบ่งชี้การมีเพศสัมพันธ์ได้ เพื่อช่วยเพิ่มน้ำหนักของวัตถุพยาน สามารถใช้เป็นประโยชน์ในการดำเนินคดีหรือพยานหลักฐานในคดีที่มีการล่วงละเมิดทางเพศหรือการกระทำชำเรา ซึ่งระบบที่ใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ จะเป็นเครื่องมือช่วยเหลือในการให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจหาตัวอสุจิที่พบในสารคัดหลั่งจากร่างกายของผู้กระทำที่พบบนร่างกายของผู้เสียหาย ซึ่งจะช่วยให้การตรวจพิสูจน์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น เอื้อประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม ผู้ที่ถูกกระทำเข้าถึงกระบวนการยุติธรรม ดังนั้นด้วยการวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงนี้ จึงเป็นการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศของประเทศไทย อีกทั้งยังทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่จะทำให้การพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมทางด้านนิติเวชศาสตร์แพร่หลายมากขึ้น โดยจะสอดคล้องกับการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์หรือตัวบ่งชี้สำคัญในคดีความผิดทางเพศ
2. ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานระบบตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ด้วยปัญญาประดิษฐ์ในคดีความผิดทางเพศ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ จะถูกติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ณ โรงพยาบาลศิริราช ซึ่งให้บริการการตรวจวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์และนิติเวชศาสตร์

โดยห้องปฏิบัติการวัตถุพยานสาขาวิชาวัตถุพยาน ให้บริการในการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ

2. งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของงานบริการที่นำระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาใช้ในส่วนงานให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศของภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ณ โรงพยาบาลศิริราช

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยเพิ่มขีดความสามารถในการปฏิบัติงานของบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ สามารถช่วยให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศมีความรวดเร็วและแม่นยำขึ้น
2. บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มีแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ได้แก่ ระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่ประกอบด้วย ระบบปัญญาประดิษฐ์และเว็บไซต์ และระบบการตีกรอบตัวอสุจิในภาพ
3. บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มีเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ในขั้นตอนของการตรวจหาตัวอสุจิและตรวจนับจำนวนตัวอสุจิในภาพดิจิทัลทางการแพทย์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี

##### 2.1.1 ภาพรวมด้านเทคโนโลยีและด้านนิติเวช

การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในกระบวนการยุติธรรมทางอาญาในคดีความผิดทางเพศ เป็นพยานหลักฐานที่ได้รับการยอมรับและมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการพิสูจน์ข้อเท็จจริง ในกระบวนการยุติธรรมทางอาญาของประเทศไทยมีการใช้ผลทางนิติวิทยาศาสตร์ประกอบการพิจารณาคดีความ แต่ปัจจุบันยังคงมีปัญหาในการแสวงหาพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ หลายคดีมีความล่าช้าในการตรวจวินิจฉัยทางนิติเวช หนึ่งในสาเหตุของความล่าช้าดังกล่าวคือ ในกระบวนการตรวจนั้น บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ต้องมีความรู้ขั้นสูง และต้องอาศัยประสบการณ์ และความเชี่ยวชาญอย่างมาก แต่บุคลากรที่มีความสามารถทางนิติวิทยาศาสตร์ก็ยังคงเป็นที่ขาดแคลน ดังนั้น จึงได้นำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาพัฒนาใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานต่าง ๆ ให้ได้ผลที่ถูกต้องแท้จริงตามหลักวิทยาศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อให้บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ ซึ่งใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ผสานกับหลักนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยทำให้ระบบการตรวจพิสูจน์มีความรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กระบวนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศเป็นบทบาทที่สำคัญในกระบวนการยุติธรรม ในอันที่จะพิสูจน์ความผิดหรือความบริสุทธิ์ของผู้ต้องหา โดยผู้ที่เข้าไปตรวจสอบคดีความผิดทางเพศประกอบด้วยคน 3 กลุ่มหลัก คือ (1) พนักงานสอบสวนหรือร้อยเวรประจำสถานีตำรวจ (2) แพทย์สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ และ (3) เจ้าหน้าที่หน่วยกู้ภัย เจ้าหน้าที่ตำรวจพร้อมด้วยคณะ [2] โดยมีขั้นตอนและปฏิบัติการที่มีรายละเอียดตามสถานการณ์หรือบริบทและปัจจัยต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนการเก็บสิ่งส่งตรวจทางนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในกระบวนการยุติธรรม การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถกระทำได้ตามขั้นตอนหลังจากการตรวจชันสูตรบาดแผลและการบาดเจ็บต่าง ๆ จากแพทย์นิติเวชเพื่อบันทึกร่องรอยการล่วงละเมิดทางเพศกับผู้เสียหายทั้งชายและหญิง (รวมเพศที่ 3) โดยในขั้นตอนการตรวจร่างกาย

ผู้เชี่ยวชาญ แพทย์จะมีการขอตรวจสารคัดหลั่งเพื่อพิสูจน์ว่ามีการล่วงละเมิดทางเพศเกิดขึ้นจริงหรือไม่ ส่วนใหญ่สารคัดหลั่งที่พบจะเป็นคราบอสุจิ หรือน้ำอสุจิ ซึ่งเป็นน้ำหลังจากอวัยวะเพศชาย ที่สามารถระบุได้ว่าเกิดเหตุล่วงละเมิดทางเพศหรือไม่ กรณีเพศหญิง การเก็บสารคัดหลั่งจากในช่องคลอดจะทำการป้ายเก็บบริเวณอวัยวะเพศตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่แพทย์เห็นสมควร แล้วขีดระหว่างแคมใน (Vestibule) ให้มากที่สุด อีกส่วนหนึ่งจะต้องทำการป้ายเก็บในส่วนที่ลึกด้วย โดยเฉพาะที่หลังปากมดลูก (Posterior fornix) ทั้งนี้เพราะเป็นตำแหน่งที่ตัวอสุจิจะค้างอยู่มากที่สุด กรณีเพศชาย จะทำการเก็บวัตถุพยานโดยการ Swab ที่ช่องทวารหนัก พร้อมทั้งบันทึกบาดแผลและความผิดปกติของทวารหนักด้วย ภายหลังจากเก็บวัตถุพยานแล้ว ทิ้งไว้ให้แห้ง และรีบดำเนินการส่งวัตถุพยานที่เก็บนั้นส่งไปตรวจพิสูจน์ยังห้องปฏิบัติการทันที [2]

การตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการสำหรับผู้ถูกล่วงละเมิดทางเพศ มีแนวทางในการปฏิบัติที่แตกต่างกันไปตามบริบทของวัตถุประสงค์ เช่น การตรวจเพื่อวินิจฉัยโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ การตรวจเลือดหรือปัสสาวะเป็นการตรวจเพื่อหายาหรือสารเสพติด การตรวจวินิจฉัยการตั้งครรภ์ และการตรวจเพื่อยืนยันการมีเพศสัมพันธ์ ซึ่งการตรวจพบตัวอสุจิในช่องคลอดหรือช่องทวารหนักจะช่วยพิสูจน์ว่ามีการร่วมประเวณีหรือมีการกระทำชำเรา โดยแนวคิดและหลักการในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงและพัฒนากระบวนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาตีพิมพ์ขึ้น กระทำชำเราโดยชาย ในการตรวจเพื่อยืนยันการมีเพศสัมพันธ์ ณ ห้องปฏิบัติการนิติวิทยาศาสตร์สำหรับผู้ถูกล่วงละเมิดทางเพศ นิยมใช้วิธีการดังนี้ [3-4]

1. การตรวจหาเซลล์อสุจิภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Sperm detection by light microscopy

การตรวจหาเชื้ออสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะสูงที่สุดถือเป็น Gold standard ในการตรวจยืนยันการผ่านการร่วมประเวณี สามารถตรวจพบเชื้ออสุจิในช่องคลอดได้ตั้งแต่เมื่อมีการหลั่งน้ำอสุจิ จนกระทั่งถึงมากกว่า 120 ชั่วโมง ภายหลังจากการมีเพศสัมพันธ์ โดยโอกาสในการตรวจพบตัวอสุจิมิแนวโน้มลดลงสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณีที่ผู้กระทำผิด มีภาวะเชื้ออสุจิน้อยกว่าปกติ (Oligospermia) หรือภาวะไม่มีเชื้ออสุจิ (Aspermia) อาจทำให้ตรวจไม่พบเชื้ออสุจิ

2. การตรวจหาเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส Acid phosphatase (AP)

การตรวจหา AP ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นจากต่อมลูกหมากและมีปริมาณสูงมากในน้ำอสุจิ ระดับของการตรวจพบ AP จะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการมีเพศสัมพันธ์ สามารถตรวจพบได้ภายใน 72 ชั่วโมงหลังจากการมีเพศสัมพันธ์ การตรวจ AP ถือเป็นวิธีที่นิยมในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก และเห็นผลอย่างรวดเร็ว เป็นการทดสอบหาเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสที่ผสมอยู่ในคราบต้องสงสัย และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นหลังจากที่นำคราบต้องสงสัยมา

ทำปฏิกิริยากับสารเคมี อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อจำกัด ผลที่ได้ยังไม่สามารถยืนยันได้แน่นอนว่าคราบต้องสงสัยเป็นคราบอสุจิจริงหรือไม่ เนื่องจากเอนไซม์แอสิดฟอสฟาเทสเป็นน้ำย่อยที่พบได้ในสารคัดหลั่งหลายชนิดจากร่างกาย ได้แก่ น้ำอสุจิ น้ำลาย และน้ำย่อยจากทางเดินอาหาร ดังนั้น อาจมีผลบวกลวงค่อนข้างมาก จำเป็นต้องทดสอบร่วมกับวิธีอื่นเพื่อการยืนยันว่าเป็นคราบอสุจิอย่างแท้จริง

### 3. การตรวจหาสารจำเพาะต่อมลูกหมาก Prostate-specific antigen (PSA, P30)

PSA เป็นโปรตีนที่สร้างจากเซลล์ต่อมลูกหมาก สามารถตรวจพบภายหลังการมีเพศสัมพันธ์ได้ภายในเวลา 48 ชั่วโมง การตรวจหา PSA ในคราบต้องสงสัยนั้น ใช้หลักการจับกันของสารก่อภูมิคุ้มกัน (Antigen) และสารภูมิคุ้มกัน (Antibody) วิธีการคือนำคราบต้องสงสัยมาผ่านการดูดซับบนแผ่นเยื่อที่มีการใส่สารภูมิคุ้มกัน Anti-PSA antibody เอาไว้ ใช้เวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที การตรวจด้วย PSA เพื่อหาส่วนประกอบของตัวอสุจิ มีความเหมาะสมกว่าการตรวจด้วย AP เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ควรใช้ทั้งการตรวจ PSA และ AP ร่วมกับการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับการหาหลักฐานการร่วมประเวณี

### 4. DNA Typing

การตรวจ DNA สามารถตรวจได้ในเซลล์ทุกชนิดที่มีนิวเคลียส ตัวอย่างสิ่งส่งตรวจที่นิยมเก็บมาวิเคราะห์ในงานนิติพันธุศาสตร์ ได้แก่ เลือด ตัวอสุจิ น้ำลาย เยื่อบุกระพุ้งแก้ม และเส้นผม เป็นต้น

แม้จะมีการตรวจพิสูจน์หลายวิธี แต่วิธีการตรวจพบตัวอสุจียังเป็นที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการตรวจวัตถุพยาน เนื่องจากการตรวจพบตัวอสุจิถือว่าการยืนยันน้ำอสุจิที่มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ทั้งนี้ในปัจจุบันวิธีนี้ยังคงถือว่าเป็นวิธีการตรวจมาตรฐานอย่างดี (Gold Standard) ซึ่งการตรวจในปัจจุบันคือการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ และมีการย้อมสี (Stain) ที่หลากหลาย แต่วิธีการย้อมที่นิยมมากที่สุดโดยทั่วไป คือ การย้อมด้วย Hematoxylin และ Eosin เนื่องจากทำได้สะดวกและมองเห็นตัวอสุจิได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ โดยหัวของอสุจิจะติดสีน้ำเงินม่วงในขณะที่พื้นหลังเป็นสีชมพู นอกจากนี้ ยังมีวิธีการย้อมพิเศษที่มีผลต่อการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเป็นทางเลือกคือ Fluorescence in situ hybridization (FISH)-based methods ที่เพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการตรวจพบ และสามารถร่นระยะเวลาอ่านสไลด์ได้มาก ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อการพิจารณาเพื่อความไวในการตรวจพบตัวอสุจิ และพิจารณาในแง่ต้นทุนของห้องปฏิบัติการ [5] การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยวิธีดังกล่าวต้องใช้ความชำนาญในการย้อมสูง และต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40-100 เท่า เพื่อการตรวจนับปริมาณอสุจิ และเมื่อตรวจพบตัวอสุจิแล้ว อาจจะนำสิ่งที่สงสัยนั้นมาทำการสกัดดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid) และนำมาตรวจหาแบบแผนพันธุกรรม (DNA fingerprint) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นน้ำอสุจิที่หลั่งออกมาจากผู้ใด โดยเปรียบเทียบกับแบบแผนพันธุกรรมของตัวอย่างที่ได้จากชายผู้ถูกกล่าวหาหรือผู้ต้องสงสัย และผู้เสียหายนั้น

จะเห็นได้ว่าการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจินั้นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้ตรวจพิสูจน์อย่างยิ่ง หากผู้ทำการตรวจพิสูจน์ขาดความชำนาญ ก็อาจทำให้ผลตรวจนั้นเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

### 2.1.2 แนวความคิดที่เกี่ยวข้องในการพัฒนา

การพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยปัญญาประดิษฐ์ ในส่วนของทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องในการพัฒนานั้น ได้แก่ การพัฒนาระบบตรวจจับภาพ การสร้างโมเดลการตรวจจับด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

#### 1. การพัฒนาระบบตรวจจับภาพ (Image detection)

ในการพัฒนาระบบตรวจจับภาพ จะต้องมีขั้นตอนการเตรียมการตรวจจับภาพ ได้แก่ การกรองข้อมูลภาพ และ การหาบริเวณที่เราสนใจ

##### 1.1 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering)

การกรองข้อมูลภาพ คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เนื่องจากในการใช้งานจริง ภาพที่ได้มามีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะแก่การประมวลผลในขั้นต่อไป โดยวิธีและขั้นตอนในการกรองข้อมูลภาพ ได้เลือกใช้ 2 เทคนิค คือ การกรองโดยวิธี Convolution และ Correlation

- Convolution เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งของภาพ ที่มีลักษณะใกล้เคียงหรือเหมือนกับภาพขนาดเล็กที่ต้องการ (Mask) โดยการนำภาพขนาดเล็กดังกล่าวมาหมุน 180 องศาแล้วจึงหมุนวน Mask นั้นไปทั่วภาพ เพื่อคำนวณหาตำแหน่ง โดยภาพส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันมาก จะปรากฏเป็นจุดสว่างบนภาพ ส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันน้อย จะยังมีสีมืด ทำให้สามารถบอกตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการหาได้

Rotated $w$	Convolution result	Full convolution result
$\begin{bmatrix} 9 & 8 & 7 \\ 6 & 5 & 4 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 5 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

รูปที่ 2.1 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Convolution

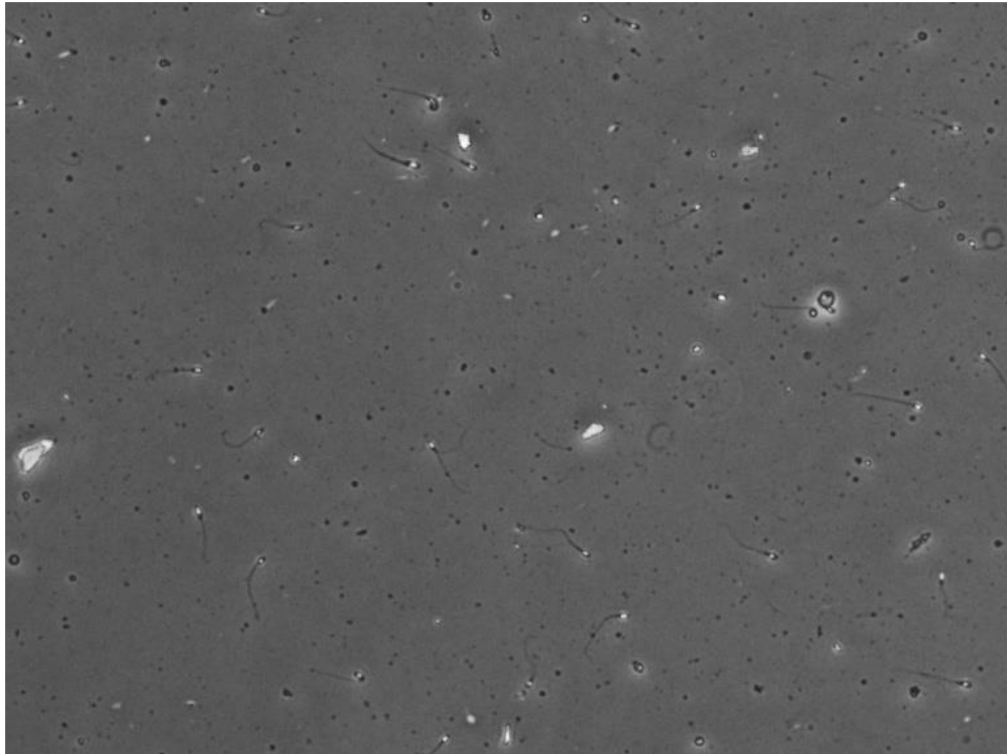
- Correlation เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งของภาพเช่นเดียวกับ Convolution แต่จะนำภาพขนาดเล็กที่ต้องการหามาวิ่งวนภายในภาพเลย โดยไม่ต้องหมุน 180 องศา

Initial position for $w$	Correlation result	Full correlation result
<b>1</b> 2 3 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0
4 <b>5</b> 6 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
7 8 <b>9</b> 0 0 0 0	0 <b>9</b> 8 7 0	0 0 <b>9</b> 8 7 0 0
0 0 0 <b>1</b> 0 0 0	0 <b>6</b> 5 4 0	0 0 <b>6</b> 5 4 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 <b>3</b> 2 1 0	0 0 <b>3</b> 2 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0

รูปที่ 2.2 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Correlation

### 1.2 การกำหนดบริเวณที่สนใจภายในภาพ (Region of Interest: ROI)

การกำหนดบริเวณที่สนใจภายในภาพ คือการหาบริเวณที่เราสนใจ จำเป็นต้องให้คอมพิวเตอร์เข้าใจว่าพื้นที่แต่ละส่วนแสดงถึงข้อมูลอะไร อาจจะเป็นบริเวณใดภายในภาพก็ได้ โดยการตีกรอบล้อมรอบบริเวณที่สนใจ ด้วยกรอบวงกลม กรอบสี่เหลี่ยม หรือกรอบทรงอิสระใด ๆ เพื่อนำภาพเฉพาะส่วนดังกล่าวมาประมวลผล หรือเปลี่ยนแปลงภาพตามต้องการ โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆ ซึ่งใน 1 ภาพ สามารถกำหนดบริเวณที่เราน่าสนใจได้หลาย ๆ บริเวณ เมื่อกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ แล้ว จะสร้าง Mask ที่เป็น Binary Mask สำหรับใช้กำหนดขอบเขตที่จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในรูปภาพนั้น ๆ โดยให้ค่าส่วนที่สนใจเป็น 1 หรือสีขาว และให้ส่วนอื่น ๆ เป็น 0 หรือสีดำ

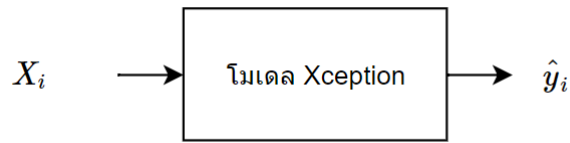


รูปที่ 2.3 การกำหนด Region of Interest

## 2. การสร้างโมเดลการตรวจจับด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning)

การฝึกสอนโมเดล จะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นภาพที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนนี้ต้องการให้โมเดลมีค่าเอาต์พุตเป็น 0 อีกส่วนหนึ่งคือภาพที่มีเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งต้องการให้โมเดลมีค่าเอาต์พุตเป็น 1 ดังนั้นสามารถเขียนชุดข้อมูลได้ ดังนี้  $(x_i, y_i)$  โดย  $x$  หมายถึงภาพ ส่วน  $y$  หมายถึงเอาต์พุตที่ต้องการสำหรับภาพนั้น และ  $i$  คือเลขเรียงลำดับของชุดข้อมูล โมเดลเมื่อได้รับอินพุต  $x_i$  จะทำการประมวลผล และตอบออกมาเป็นเอาต์พุต  $\hat{y}_i$  การฝึกสอนโมเดล คือการทำให้ค่าของ  $\hat{y}_i$  ใกล้เคียงกับ  $y_i$  ให้มากที่สุด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ภายในตัวเอง (พารามิเตอร์ คือเลขที่นำไปคูณกับตัวแปรอิสระ เช่นในสมการ  $y = 5x$  พารามิเตอร์คือเลข 5) ให้ค่าความสูญเสีย (Loss value) ลดลง โดยนิยามของค่าความสูญเสีย ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{loss}_i = J(\hat{y}_i, y_i) \quad (1)$$



รูปที่ 2.4 อินพุตและเอาต์พุตของโมเดลรู้จำภาพ

$J$  คือฟังก์ชันที่สองตัวแปรที่มีอินพุตสองค่าคือ  $y_i$  และ  $\hat{y}_i$  ให้ออกมาเป็นเอาต์พุต 1 ค่าที่เป็นตัววัดว่า  $\hat{y}_i$  กับ  $y_i$  ใกล้เคียงกันระดับใด ฟังก์ชัน  $J$  ในแต่ละการใช้งานโมเดลจะแตกต่างกันไป สำหรับการรู้จำภาพ  $J$  คือฟังก์ชัน Cross Entropy ที่มีนิยามดังต่อไปนี้

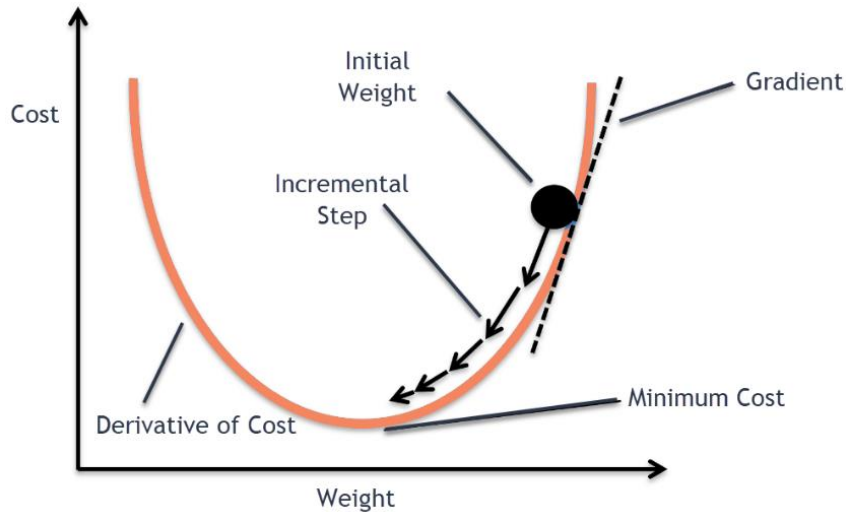
$$J_i = -(y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)) \quad (2)$$

ในการฝึกสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกในทางปฏิบัติ อินพุตหลาย ๆ ภาพจะถูกป้อนเข้าโมเดลพร้อมกัน เพื่อความเร็วจากการประมวลผลแบบขนาน (Parallel computing) อินพุตหนึ่งชุดซึ่งประกอบด้วยภาพหลายภาพ เรียกว่า Batch การคำนวณค่าความสูญเสียจะคำนวณโดยการเฉลี่ยค่าความสูญเสียของแต่ละภาพ ดังสมการต่อไปนี้

$$J_{\text{mean}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J_i \quad (3)$$

ในการฝึกสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก พารามิเตอร์ทุกค่าในโมเดลจะถูกปรับค่าให้ค่า  $J_{\text{mean}}$  ลดลง โดยการหาฟังก์ชันอนุพันธ์ของ  $J_{\text{mean}}$  จากมุมมองของพารามิเตอร์แต่ละตัวในโมเดล (Gradient) และปรับค่าพารามิเตอร์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับที่เวกเตอร์ Gradient ชี้ไป (Gradient Descent) รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของ Gradient Descent สำหรับพารามิเตอร์ 1 ค่า เริ่มต้นด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสุ่ม (วงกลมสีดำ) เส้นสีส้มคือกราฟของฟังก์ชันสูญเสีย และเส้นประสีดำ คือเวกเตอร์ของ Gradient ซึ่งก็คือความชันของกราฟฟังก์ชันสูญเสีย ณ ค่าพารามิเตอร์

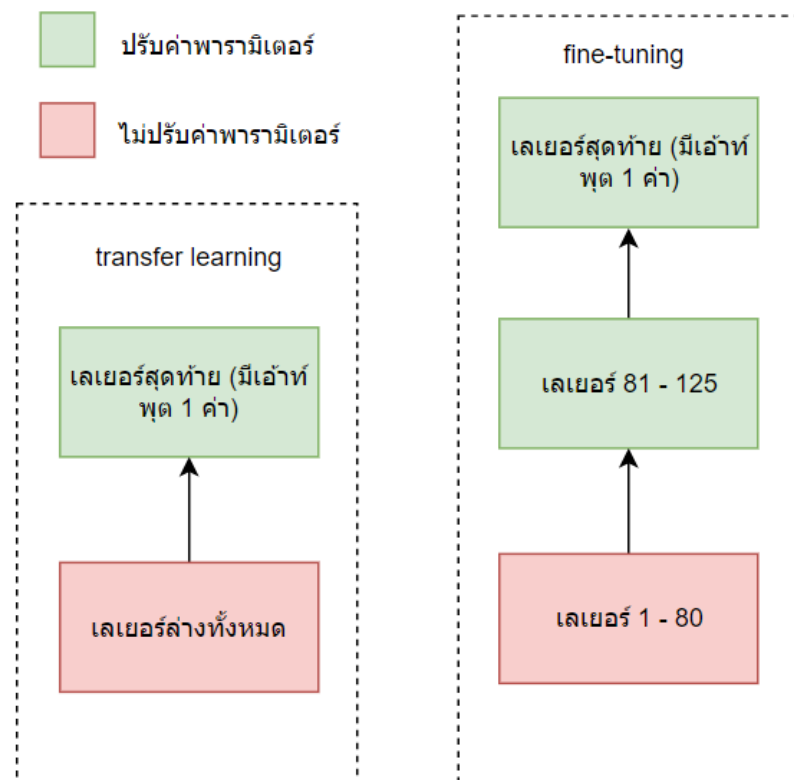
ที่จุดสีดำ การปรับค่าพารามิเตอร์จะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับความชันของกราฟ โดยการคูณค่าติดลบของ Gradient กับค่าขนาดเล็กที่เรียกว่า อัตราการเรียนรู้ (Learning rate)



รูปที่ 2.5 หลักการของ Gradient Descent

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการใช้งานโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ส่วนใหญ่ไม่ได้ทำการฝึกสอนโมเดลตั้งแต่เริ่มต้นด้วยข้อมูลฝึกสอนของตนเอง เหตุผลเนื่องจากขนาดของโมเดลนั้นใหญ่มาก ตามหลักการของสถิติ การฝึกสอนโมเดลที่มีจำนวนพารามิเตอร์มาก จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณมากตามไปด้วย สำหรับการฝึกสอนโมเดลที่ดี ปริมาณข้อมูลระดับนี้ (มากกว่า 1 ล้านภาพ) มากเกินกว่าจะสามารถเก็บได้ในทางปฏิบัติสำหรับปัญหาที่ต้องการนำโมเดลไปใช้งานส่วนใหญ่ ดังนั้น ในปัจจุบันการใช้งานโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก จะนำโมเดลที่ฝึกสอนด้วยฐานข้อมูล ImageNet (มีจำนวนภาพทั้งหมดมากกว่า 14 ล้านภาพ) มาปรับใช้กับปัญหาที่ต้องการแก้ โดยการทำให้ Transfer learning หรือการฝึกสอนแบบปรับย้ายโมเดลที่ฝึกสอนมาแล้วให้สามารถใช้งานได้กับข้อมูลชุดใหม่ กระบวนการนี้ประกอบด้วยสองส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.6 ลำดับแรกหลังจากที่นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการฝึกสอนบนข้อมูลขนาดใหญ่มาทำการเปลี่ยนเลเยอร์ (Layer) สุดท้ายออก และใส่เลเยอร์ใหม่ที่มีจำนวนเอาต์พุตเท่ากับจำนวนประเภทของภาพที่ต้องการจำแนกเข้าไป ในกรณีที่มีจำนวนประเภทเพียงสองประเภท ตัวอย่างเช่น การจำแนกภาพว่ามีหรือไม่มีมือสุจิ เลเยอร์สุดท้ายจะมีเอาต์พุตเพียง 1 ค่า ซึ่งค่านี้คือ ความน่าจะเป็นที่อินพุตมาจากประเภทของภาพที่นิยามไว้ว่าเป็นประเภทที่ 1 (อีกประเภทหนึ่ง

คือประเภทที่ 0) ขั้นตอน Transfer learning จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์เฉพาะเลเยอร์ใหม่ที่เปลี่ยนเข้าไปเท่านั้น ส่วนค่าพารามิเตอร์ของเลเยอร์อื่น ๆ จะคงไว้เหมือนเดิม ลำดับที่สอง กระบวนการ Fine-tuning จะทำการฝึกสอนค่าพารามิเตอร์ตั้งแต่เลเยอร์ที่ 81 ถึงเลเยอร์สุดท้าย ด้วยค่าอัตราการเรียนรู้ที่น้อยกว่าตอน Transfer learning ประมาณ 10 เท่า



รูปที่ 2.6 กระบวนการ Transfer learning สำหรับสถาปัตยกรรม Xception

### การตรวจหาตัวอสุจิ

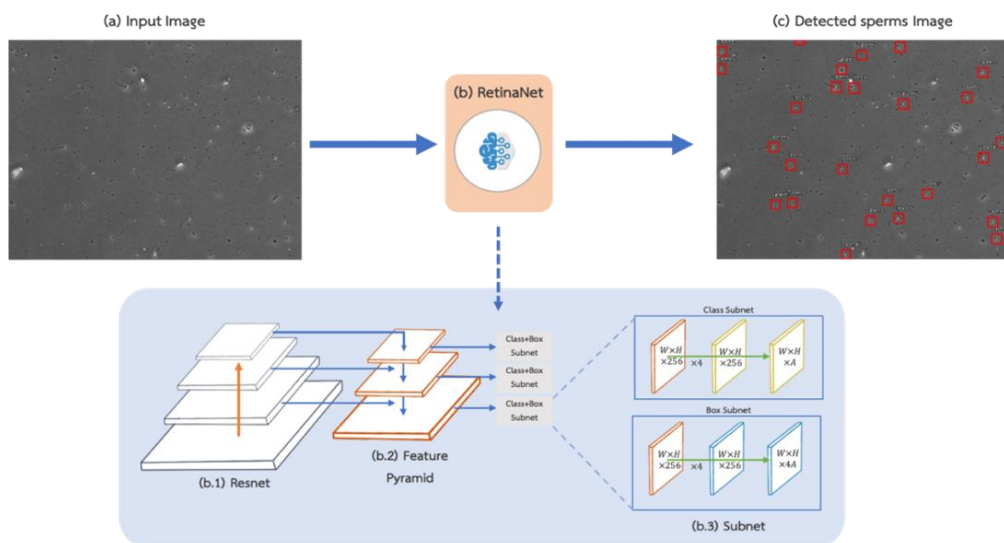
ในส่วนของขั้นตอนการตรวจหาอสุจิ จะกล่าวถึงในรายละเอียด ดังนี้

#### 1) การตรวจจับตัวอสุจิ

งานการตรวจจับวัตถุ คือ การตีกรอบล้อมรอบวัตถุที่สนใจในภาพ ปัจจุบันมีโมเดลการตรวจจับวัตถุ 4 ตระกูลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ RetinaNet [6], RCNN [7], SSD [8] และ Yolo [9] เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้นำโมเดล RetinaNet และ Yolo มาใช้ในการตรวจจับอสุจิ

##### 1.1) โมเดลตรวจจับวัตถุ RetinaNet

คณะผู้วิจัยได้นำโมเดล RetinaNet มาศึกษาเพื่อใช้ในการตรวจจับอสุจิหรือสเปิร์มบนภาพ โมเดล RetinaNet พัฒนาโดย Keras และ TensorFlow เนื่องจาก RetinaNet เป็นเครือข่ายเชิงลึก แบบขั้นเดียวที่สามารถตรวจจับได้ดีแม้วัตถุที่มีขนาดเล็ก ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ RetinaNet ในการแยก คุณสมบัติของตัวอสุจิก่อน โดยการใช้ Featured image pyramids ในการตรวจจับที่มีมาตราส่วน ต่างกันในภาพ Featured image pyramids จะสร้างคุณลักษณะจากรูปภาพที่เกิดการซูมตัวอย่าง เป็นความละเอียดที่ต่ำกว่าและรูปภาพขนาดเล็กกว่า ตัวอสุจิเป็นวัตถุขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติ บางอย่าง เช่น ความสว่าง รูปร่างพิเศษของหัวและหาง เป็นต้น



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงการตรวจหาตัวอสุจิ โดยใช้โครงข่าย RetinaNet

รูปที่ 2.7 คณะผู้วิจัยใช้ RetinaNet [6] เป็นตัวตรวจจับตัวอสุจิ โดย RetinaNet เป็น โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Deep Convolutional ซึ่งประกอบด้วยสามส่วนหลัก ส่วนแรกเป็น โครงข่ายแกนหลัก ส่วนที่สองเป็นตัวจำแนกประเภท และส่วนที่สามใช้สำหรับ Class subnet และ Box subnet เครือข่ายแกนหลักใน RetinaNet ที่ใช้ก็คือ ResNet50 [10] ที่ด้านบนสุดของ ResNet มีการใช้ Feature Pyramid Network (FPN) เพื่อพัฒนาการแยกคุณลักษณะของ FPN ถูกฝังอยู่ใน โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Deep Convolutional เพื่อแยก Multi-scale feature pyramid จาก ภาพนำเข้า จากนั้นตัวจำแนกประเภทจะจำแนกวัตถุจากการตรวจจับตำแหน่งเชิงพื้นที่ที่เป็นไปได้ และ Box regression คือการค้นหาค่าตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจพบโดยโครงข่ายเทียบกับ ตำแหน่งจริงของวัตถุบนภาพ โดยตัวจำแนกประเภทและ Box regression เป็นผลลัพธ์ของการ ตรวจจับตัวอสุจิ

RetinaNet ใช้ Focal Loss [11] ซึ่งเป็นฟังก์ชันการสูญเสีย และฟังก์ชันการสูญเสียมีส่วนช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวตรวจจับวัตถุ ในระหว่างการฝึกสอนโมเดลตรวจจับวัตถุ ฟังก์ชันการสูญเสียของภาพตัวอย่าง แสดงผลของค่าที่มากกว่าตัวอย่างภาพที่ง่าย ดังนั้น การสูญเสียแบบโฟกัสจึงมุ่งเน้นไปที่ตัวอย่างภาพที่ยาก โดยทำการใช้การปรับแก้กับฟังก์ชันการสูญเสียแบบ Cross-entropy ทำให้เกิด Focal loss เพื่อใช้ในการปรับปรุงความแม่นยำของ RetinaNet

## 1.2) โมเดลตรวจจับวัตถุ Yolo

คณะผู้วิจัยได้นำโมเดล Yolo มาศึกษาเพื่อใช้ในการตรวจจับข้อเท็จ เนื่องจากโมเดลตระกูลนี้มีการผสมผสานระหว่างความเร็วการอนุมานที่รวดเร็ว และในขณะเดียวกันก็ให้ความแม่นยำที่สูง Yolo เป็นโมเดลตรวจจับวัตถุแบบ Single-pass ที่ออกแบบมาให้มีการฝึกสอนแบบผ่านรอบเดียวตลอดสาย ในเวอร์ชันแรก รูปภาพจะถูกแบ่งออกเป็นตารางขนาด  $7 \times 7$  เซลล์ แต่ละเซลล์มีหน้าที่ในการตรวจจับวัตถุไม่เกิน 2 ชิ้น ที่มีพิกัดของเซนทรอยด์ของวัตถุอยู่ในเซลล์ เอาต์พุตเป้าหมายของโมเดล คือ อาร์เรย์ 3 มิติของรูปร่าง  $7 \times 7 \times L$  ป้ายชื่อคลาสและพิกัดกล่องขอบเขตของแต่ละวัตถุ (หรือสองวัตถุ) ถูกบรรจุอยู่ในเวกเตอร์ขนาด  $1 \times L$  ที่ เรียกว่า หลอด ภายในหลอดจะมีตัวเลขที่เป็นความน่าจะเป็นที่เซลล์นี้มีวัตถุ โดยกำหนดให้เป็น 1 สำหรับเซลล์ที่มีวัตถุจริง ๆ และกำหนดให้เป็น 0 สำหรับเซลล์ที่ไม่มีวัตถุ ฟังก์ชันการสูญเสียที่ใช้ปรับปรุงค่าน้ำหนักของโมเดล แยกออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งคือ ผลรวมถ่วงน้ำหนักของการสูญเสีย SoftMax ซึ่งการสูญเสียประเภทนี้ใช้กับโจทย์ในการจำแนกประเภทวัตถุ และส่วนที่สองคือ ค่าความสูญเสียกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error) ซึ่งใช้กับการวิเคราะห์การถดถอย สาเหตุที่เป็นความสูญเสีย 2 ประเภทนี้ เนื่องจากการตรวจจับวัตถุ ความจริงแล้วเป็น 2 โจทย์ที่รวมอยู่ด้วยกัน ได้แก่ การจำแนกประเภทวัตถุ และการหาพิกัดของกล่องที่ตีกรอบล้อมรอบตัววัตถุ โดยโจทย์ที่ 2 เป็นประเภทการวิเคราะห์การถดถอย เพราะพิกัดมุมซ้ายบนและขวาล่างของกรอบนั้น เป็นจำนวนจริง ไม่ใช่ค่าที่เป็นป้ายกำกับประเภท สำหรับ Yolo ในเวอร์ชันต่อ ๆ มาได้เสนอการปรับปรุงต่าง ๆ เช่น การปรับพิกัดของขอบกล่องให้อยู่ในขอบเขตระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง (Bounding box normalization) กล่องยึด (Anchor box คือ กล่องรอบวัตถุที่เตรียมไว้แล้วสำหรับวัตถุขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ และให้โมเดลเรียนรู้ที่จะแปลงกล่องเหล่านี้ ให้มีขนาดพอดีกับแต่ละวัตถุที่ตรวจจับได้ แทนที่จะทำการวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาพิกัดของกล่องโดยตรง) ความละเอียดของอินพุตที่เพิ่มขึ้น และการปรับความเร็วในการทำงานของโมเดลให้เร็วมากขึ้น



คือ เซลล์ที่มีหน้าที่รับผิดชอบวัตถุ ส่วนในด้านลึก 30 ประกอบไปด้วยตัวเลข 2 ชุดด้วยกันสำหรับ 2 วัตถุ ตัวเลขแต่ละชุด ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นวัตถุ พิกัดของกล่องล้อมรอบวัตถุ (Bounding box) และเวกเตอร์ระบุประเภทของวัตถุซึ่งมีเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ตรงกับลำดับประเภทของวัตถุ และที่เหลือเป็น 0 ทั้งหมด (One hot class label vector)

## 2) ผลลัพธ์และการประเมินผล (Result and Evaluation)

ในการทดสอบผลลัพธ์จากโมเดลมีโอกาสนในการทำนายผิดหรือถูก ทางคณะผู้วิจัยจึงต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลกับ Test set โดยการประเมินผลสำหรับงานวิจัยนี้ ได้พิจารณาตัวชี้วัดจำนวน 3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย Precision, Recall, และ Mean Average Precision

### ▪ Precision

Precision คือ ความแม่นยำในการทำนาย True Positive (TP) จากผลการทำนายทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

### ▪ Recall

Recall คือ ตัวชี้วัดแสดงถึงความแม่นยำในการทำนาย True Positive (TP) จาก Class ที่เป็น Positive ทั้งหมด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่มีความเหมาะสมต่อการประเมินประสิทธิภาพ Model ตรวจสอบข้อสุจิ โดยสามารถคำนวณ Recall ได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

\* เมื่อ *TP* หรือ True Positive หมายถึง สิ่งที่ไม่เดลทำนายว่าจริง และเฉลยเป็นจริง

\* เมื่อ *FN* หรือ False Negative หมายถึง สิ่งที่ไม่เดลทำนายว่าไม่จริง และเฉลยเป็นจริง

### ▪ Mean Average Precision (mAP)

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ทางคณะผู้วิจัยได้ใช้ตัวชี้วัด mAP ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ได้รับความนิยมสำหรับงานประเภท Object detection โดยหลักการคำนวณ mAP จะต้องนำตัวชี้วัดอีก 2 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์รวม คือ Precision (4) และ Recall (5)

การคำนวณ mAP จะมาจากผลการทำนายของชุด Test set ที่จัดเตรียมและทำการจัดอันดับ Confidence level เรียงลำดับจากมากไปน้อย จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทำนาย (Correctness) โดยมีเงื่อนไข (Criteria) ดังสมการต่อไปนี้

$$Correctness = \begin{cases} False, IoU < 0.5 \\ True, IoU > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

\*เมื่อ IoU แทนค่า Intersection Over Union ระหว่าง Prediction และ Ground Truth

เมื่อทราบ Correctness แล้วทำการหา Precision และ Recall สะสมทีละลำดับ โดยเรียงลำดับจาก Confidence level อันดับสูงสุดไปยังต่ำสุด จากนั้นคำนวณ Average Precision (AP) แต่ละ Class ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{Recall_i} Precision (Recall_i) \quad (7)$$

สำหรับการคำนวณ mAP คือการหาค่าเฉลี่ย AP ทุก Class สามารถคำนวณได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (8)$$

เมื่อ N แทน จำนวน Class ของวัตถุเนื่องจากงานวิจัยนี้จำนวน Class ของวัตถุมีจำนวนเพียง 1 Class ดังนั้น mAP จึงมีค่าเท่ากับ AP

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุคลากรที่มีความสามารถทางนิติวิทยาศาสตร์ยังเป็นที่ขาดแคลนในประเทศไทย ทั้งภาระงานที่มากขณะที่ยังมีบุคลากรจำนวนน้อย ซึ่งต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการทำงาน ดังนั้น การตรวจหาตัวอสุจิ หากมีวิธีการอ่านผลอัตโนมัติก็จะช่วยลดภาระงานของนักวิชาการ

วิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ลงไปได้ การใช้เครื่องสแกนสารคัดหลั่งที่ย้อมสีแล้วออกมาเป็นรูปภาพ และให้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ว่าเป็นตัวอสุจิหรือไม่นั้น เป็นแนวทางที่จะช่วยให้ตรวจหาตัวอสุจิได้รวดเร็วมากขึ้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial intelligence (AI) โดยอาศัยสารคัดหลั่งที่ได้รับการวินิจฉัยจากนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์แล้วว่าพบตัวอสุจิ และใช้กระบวนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ในการสอนให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกตัวอสุจิได้ต่อไป ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยการทำงานของนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ในปัจจุบันนั้น จะใช้การสแกนสารคัดหลั่งที่ย้อมสีทั้งหมดและทำการตรวจนับตัวอสุจิผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ แต่ด้วยการวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงนี้ จะเก็บภาพที่สแกนไว้บนระบบคลาวด์ (Cloud) ซึ่งสามารถเรียกดูและเรียกใช้ข้อมูลได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การต่อยอดด้วยการพัฒนา AI ที่สามารถช่วยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ในการอ่านผลสำหรับการตรวจหาตัวอสุจิจึงจะเป็นประโยชน์อย่างมาก

กระบวนการที่เลือกคุณลักษณะของภาพด้วยมือ ทำการสกัดคุณลักษณะ และทำการฝึกสอนโมเดลให้ทำการจำแนกโดยดูจากคุณลักษณะ ในปัจจุบัน เรียกกระบวนการลักษณะนี้ว่า การเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิม (Traditional machine learning) แนวทางนี้จำเป็นต้องสร้างกระบวนการประมวลผลใหม่ทุกครั้งสำหรับปัญหาที่ต้องการจำแนกแต่ละปัญหา และสำหรับงานประมวลผลภาพนั้น ไม่มีอะไรเป็นตัวบ่งชี้ว่าคุณลักษณะควรจะต้องเป็นอะไรบ้าง เปรียบเทียบกับการจำแนกภาพระหว่างสุนัขและแมว ซึ่งเป็นสิ่งที่เด็กก็สามารถทำได้โดยง่าย แต่การจะเขียนโปรแกรมสำหรับจำแนกภาพสุนัขและแมวกลับกลายเป็นปัญหาที่ยากมาก เพราะมีความหลากหลายทั้งภายในคลาส (ประเภท) เดียวกันและคลาสดังกล่าว การจำแนกภาพหรือการตรวจหาตัวอสุจิก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกัน เพราะว่าตัวอสุจิมีความหลากหลายทั้งขนาด รูปร่าง และสี

ตั้งแต่ประมาณปี 2010 การเรียนรู้เชิงลึกได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากทั้งในแวดวงวิชาการและภาคอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่ทำให้การเรียนรู้เชิงลึกแตกต่างจากการเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิมได้แก่การที่โมเดลสามารถเรียนรู้คุณลักษณะจากข้อมูลเอง ทำให้โมเดลเดียวกันสามารถนำไปใช้กับปัญหาที่หลากหลาย เพียงแค่เปลี่ยนข้อมูลและทำการฝึกสอนโมเดลใหม่เท่านั้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการเลือกและสกัดคุณลักษณะด้วยมือ ซึ่งใช้เวลานานและอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ นอกเหนือจากนั้น การเรียนรู้เชิงลึกได้แสดงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวิธีอื่นในหลายขอบเขต เช่น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural language processing) และงานทางด้านสุขภาพ เป็นต้น

จากการทบทวนวรรณกรรม มีผลงานการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ช่วยในการตรวจหาตัวอสุจิ และจำแนกชนิดของอสุจิอยู่ 4 รายงาน รายงานวิจัยแรก Javadi et al. [14] งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับการวิเคราะห์รูปลักษณะของอสุจิ (Sperm morphology analysis) ซึ่งใช้ในการตรวจวินิจฉัยภาวะมีบุตรยาก นักวิจัยได้ทำการเตรียมชุดข้อมูล ที่ประกอบด้วยภาพตัวอสุจิทั้งหมด 1,540 ภาพ จากผู้มีบุตรยากทั้งหมด 235 คน งานวิจัยได้นำเสนอวิธีการเสริมข้อมูลด้วยการประมวลผลภาพ และการสุ่มเพื่อแก้ปัญหาจำนวนภาพแต่ละประเภทไม่เท่ากัน (Data imbalance) และได้นำเสนอโครงสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อใช้ในการค้นหาการผิดปกติรูปร่างในส่วนต่าง ๆ ของตัวอสุจิ ได้แก่ ส่วนหัวทั้งหมด ส่วนหัวเฉพาะด้านนอก (Acrosome) และบริเวณกลาง (Vacuole) จุดเด่นของโมเดลคือสามารถใช้งานได้ในภาพที่ไม่มีการย้อมสี และภาพที่มีความละเอียดต่ำ

Iqbal et al. [15] งานวิจัยนี้เสนอการใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Convolutional neural network ที่ออกแบบเฉพาะสำหรับการตรวจสอบรูปร่างของส่วนหัวของตัวอสุจิ โดยใช้หลักการคล้ายกับ Pyramid network หรือการดูภาพที่หลาย ๆ ความละเอียดโดยการนำสัญญาณจากเลเยอร์ต่าง ๆ ของโมเดลมาประกอบกันก่อนที่จะส่งไปที่เลเยอร์สุดท้ายที่เป็นขั้นตอนจำแนกภาพ ผลการทดสอบบนชุดข้อมูล SCIAN และชุดข้อมูล HuSHeM มีความแม่นยำถึงร้อยละ 95

Rahimzadeh et al. [16] งานวิจัยนี้เสนอการตรวจจับตัวอสุจิจากภาพวิดีโอ ตัวอสุจินั้นเป็นวัตถุที่มีขนาดเล็ก และอนุภาคอื่น ๆ ในสารคัดหลั่งอาจมีรูปลักษณะที่คล้ายคลึงกับส่วนหัวของตัวอสุจิ ทำให้ยากในการตรวจจับ ลักษณะเด่นหนึ่งของตัวอสุจิคือลักษณะการเคลื่อนไหว ทำให้การตรวจจับด้วยวิดีโอมีความเหมาะสมกว่าการตรวจจับจากภาพนิ่ง งานวิจัยใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก RetinaNet และเสนอแนวคิดที่จะใส่ภาพสองเฟรมติดกันเข้าไปในโมเดล เพื่อให้สามารถคำนึงถึงการเคลื่อนไหวของตัวอสุจิได้ เมื่อสกัดตัวอสุจิออกจากฉากหลังได้แล้ว การเคลื่อนที่ของอสุจิ ที่สื่อให้เห็นว่าตัวไหนมีความแข็งแรง ถูกติดตาม (Tracking) ด้วยขั้นตอนวิธี CSR-DCF ที่เป็นวิธีการทางประมวลผลภาพที่ใช้ในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ งานวิจัยรายงานผลความแม่นยำในการตรวจจับสูงถึงร้อยละ 99.1

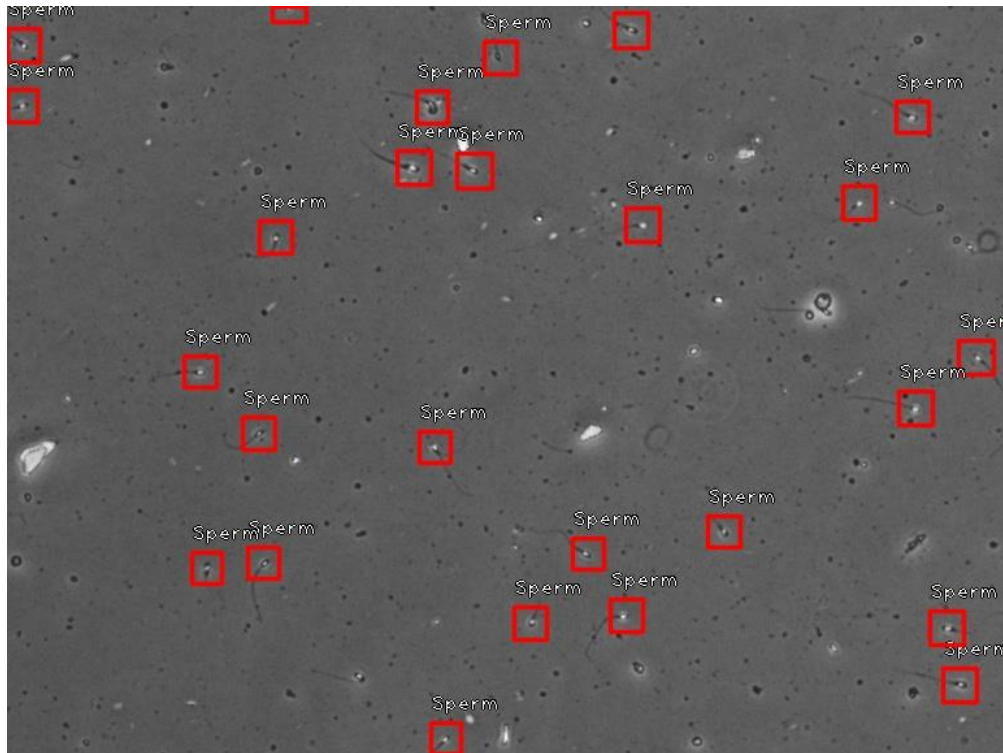
Hicks et al. [17] งานวิจัยนี้เสนอการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอสุจิอัตโนมัติ โดยดูจากการเคลื่อนที่ในวิดีโอ ชุดข้อมูลประกอบด้วยวิดีโอทั้งหมด 85 คลิป ประกอบกับข้อมูลประกอบของผู้เข้าร่วมทดสอบ เพื่อทำนายความสามารถในการเคลื่อนที่ของอสุจิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการตั้งครรรภ์ งานวิจัยได้ใช้เทคนิคหลากหลายตั้งแต่วิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิม เช่น Linear regression ไปจนถึงโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Convolutional neural network (CNN) นอกจากนี้ ได้เสนอวิธีการนำข้อมูลของบุคคล ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทตาราง นำมาประกอบเข้าไปใน CNN ซึ่งโดย

ปกติใช้กับข้อมูลแบบเป็นภาพ และพบว่าความแม่นยำในการทำนายความสามารถในการเคลื่อนที่สูงมากขึ้น

Golomingi et al. [18] เสนอการตรวจจับอสุจิโดยแสดงวิธีประเมิน 2 แนวทางที่แตกต่างกันโดยใช้ CNN ตรวจพบเฉพาะการมีหรือไม่มีเซลล์สเปิร์มในภาพโดยใช้ VGG19 และการใช้ VGG19-CAM ซึ่งใช้ VGG19 แต่มีสถาปัตยกรรมที่เปลี่ยนแปลงเพื่อสร้าง Class Activation Maps (CAM) ซึ่งสามารถใช้เพื่อเน้นบริเวณที่ตรวจพบสเปิร์ม ในข้อมูลการทดสอบ CAM สามารถให้แสดงภาพของอสุจิที่เด่นชัดขึ้นเพื่อตรวจสอบการจำแนกเพื่อแสดงความถูกต้อง ใน VGG19 จำแนกภาพอสุจิ 22 ภาพผิดว่าไม่พบเซลล์อสุจิ (False negatives) ในขณะที่ VGG19-CAM ทำข้อผิดพลาดน้อยกว่าสามารถจำแนกเพียง 14 ภาพจาก 186 ภาพอสุจิที่ไม่พบเซลล์อสุจิ จากมุมมองทางนิติเวช ผลวิจัยชี้ว่าพบอสุจิในภาพที่ไม่มีอสุจินั้นไม่ค่อยเป็นปัญหา เนื่องจากสามารถตรวจสอบได้ง่ายใน VGG19-CAM ด้วยการตีกรอบ Bounding box อย่างไรก็ตาม การไม่พบเซลล์อสุจิในภาพที่มีอสุจิเป็นปัญหาที่ควรแก้ไข เนื่องจากสามารถทำให้การวินิจฉัยผิดพลาด

Liu et al. [19] เสนอวิธีการเรียนรู้แบบ Transfer learning โดยใช้ AlexNet เพื่อจำแนกอสุจิออกเป็น 4 ประเภท ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยการวิเคราะห์และการแยกคุณสมบัติของอสุจิ นอกจากนี้ ผู้วิจัยออกแบบเครือข่ายการจำแนกประเภทโดยเพิ่ม Batch Normalization (BN) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโมเดล ผู้วิจัยได้ใช้ชุดข้อมูล HuSHeM ซึ่งเป็นชุดข้อมูลสาธารณะสำหรับการประเมินอัลกอริทึมการจำแนกอสุจิ เนื่องจากข้อมูลมีจำกัด เพื่อให้ใช้ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพ หัวสเปิร์มจึงถูกครอบตัดและหมุนไปในทิศทางเดียวกันก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เครือข่าย จากการวิจัยโมเดลที่เพิ่ม Batch Normalization สามารถจับลักษณะของข้อมูลที่ป้อนเข้าได้ดีขึ้น และปรับปรุงการถดถอยของการจำแนกประเภท เมื่อเพิ่ม Dropout สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดหมวดหมู่ได้เล็กน้อย วิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของโมเดลตั้งต้นก่อนหน้านี้ในชุดข้อมูล HuSHeM งานวิจัยรายงานผลความแม่นยำในการตรวจจับ สูงถึงร้อยละ 99.1

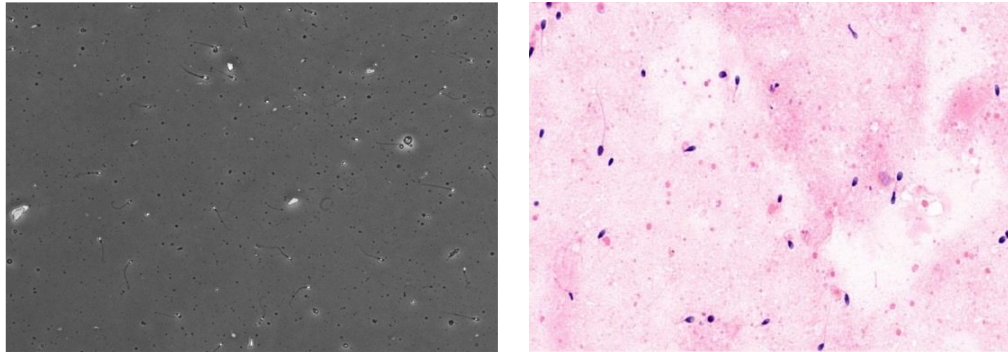
ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างโมเดลการตรวจจับตัวอสุจิจากชุดข้อมูลสาธารณะ (Public dataset) ของ Royan institute Research Lab เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลสาธารณะเดียวที่มีข้อมูลการตีกรอบตัวอสุจิโดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงผลลัพธ์การตรวจจับตัวอสุจิ ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการตรวจจับตัวอสุจิ

อย่างไรก็ตาม การค้นหาตัวอสุจิบนภาพที่สแกนจากแผ่นสไลด์ในงานตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ จะมีขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลที่แตกต่างจากข้อมูลของชุดข้อมูลสาธารณะดังนี้

- ความแตกต่างจุดแรก คือ รายละเอียดของขั้นตอนในการนำวัตถุพยานที่เก็บด้วยสำลีหรือวัสดุซึมซับมาผ่านการย้อมสี Stain เพื่อช่วยให้ทำการตรวจหาตัวอสุจิได้ง่ายขึ้น เนื่องจากหัวอสุจิจะมีความคล้ายคลึงกับเซลล์อื่น ๆ ในร่างกาย หลังผ่านการย้อมสี พื้นหลังของภาพจะเป็นสีชมพูและส่วนหัวของอสุจิจะติดสีน้ำเงินม่วง ซึ่งจะแตกต่างจากตัวอสุจิที่ปรากฏใน ชุดข้อมูลสาธารณะที่จะมีพื้นหลังเป็นสีขาว โดยมีรายละเอียดของลักษณะภาพที่ได้จากเครื่องสแกนหลังการย้อมสี ดังรูปที่ 2.11

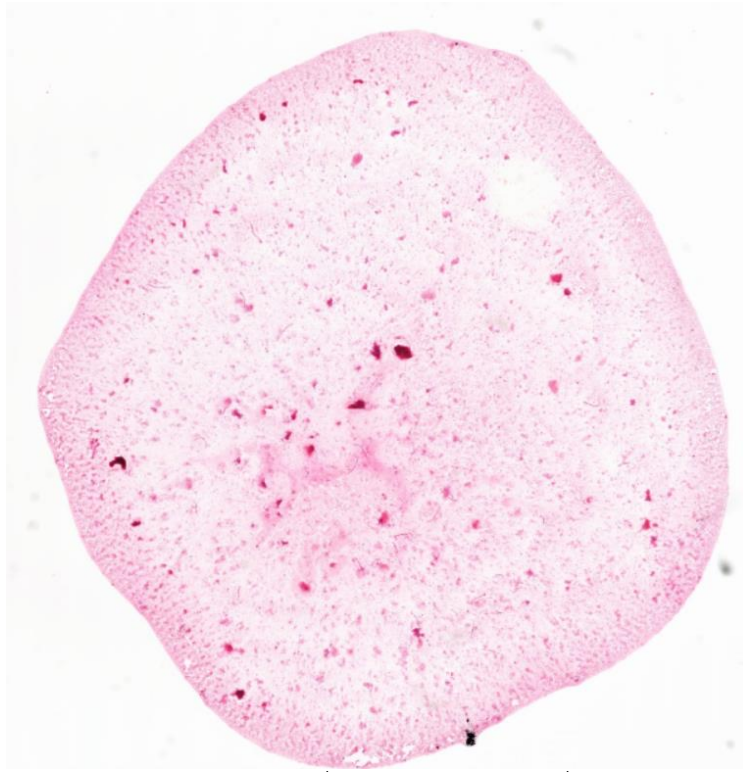


(ก)

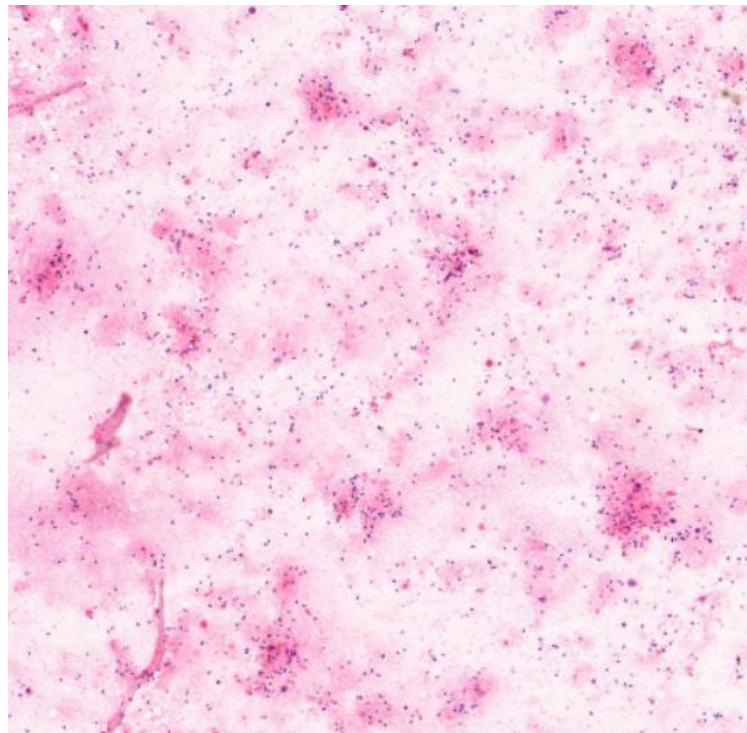
(ข)

รูปที่ 2.11 แสดงความแตกต่างระหว่าง (ก) ตัวอสุจิที่ปรากฏในชุดข้อมูลสาธารณะที่ไม่ผ่านการย้อมสี และ (ข) ตัวอสุจิที่ปรากฏในงานวิจัยที่ผ่านการย้อมสี

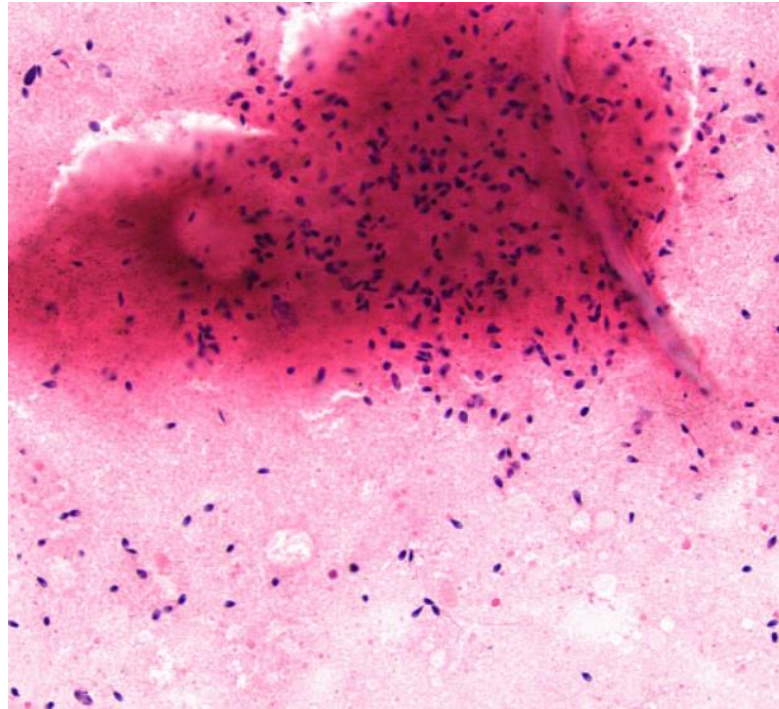
- นอกจากลักษณะตัวอสุจิที่ปรากฏในชุดข้อมูลสาธารณะจะเป็นอสุจิที่ไม่ผ่านการย้อมสีแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นอสุจิที่มียังชีวิตหรืออสุจิที่เพิ่งตาย ทำให้รูปร่างของอสุจิอยู่ในสภาพครบสมบูรณ์ มีทั้งส่วนหัวและส่วนหางติดกัน แต่ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับอสุจิที่ตายแล้ว ซึ่งจะเหลือเฉพาะส่วนหัว หางอสุจิจะหลุดเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง จากข้อมูลที่ผ่านมา ผู้เสียหายที่ถูกกระทำชำเราส่วนใหญ่จะเข้ารับการตรวจพิสูจน์ที่ล่าช้า ทำให้อสุจิที่พบจะเหลือเฉพาะส่วนหัวเท่านั้น ในงานวิจัยนี้ จึงนำเฉพาะส่วนหัวอสุจิเข้าฝึกสอน AI โดยมีรายละเอียดของลักษณะภาพที่ได้จากเครื่องสแกนหลังการย้อมสีที่ผ่านกำลังขยายแตกต่างกัน (0.52-50 เท่า) ดังรูปที่ 2.12-2.15



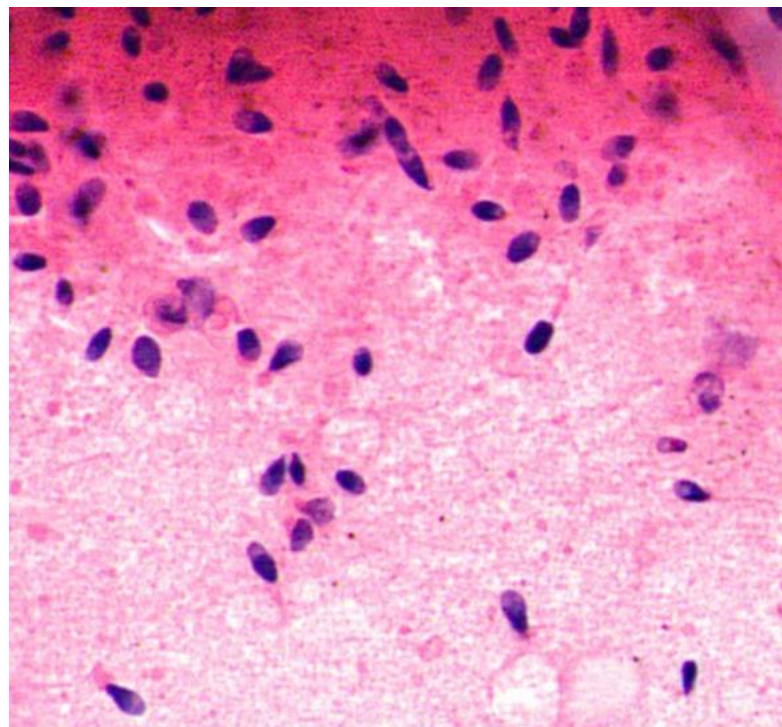
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 0.52 เท่า



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 4.13 เท่า



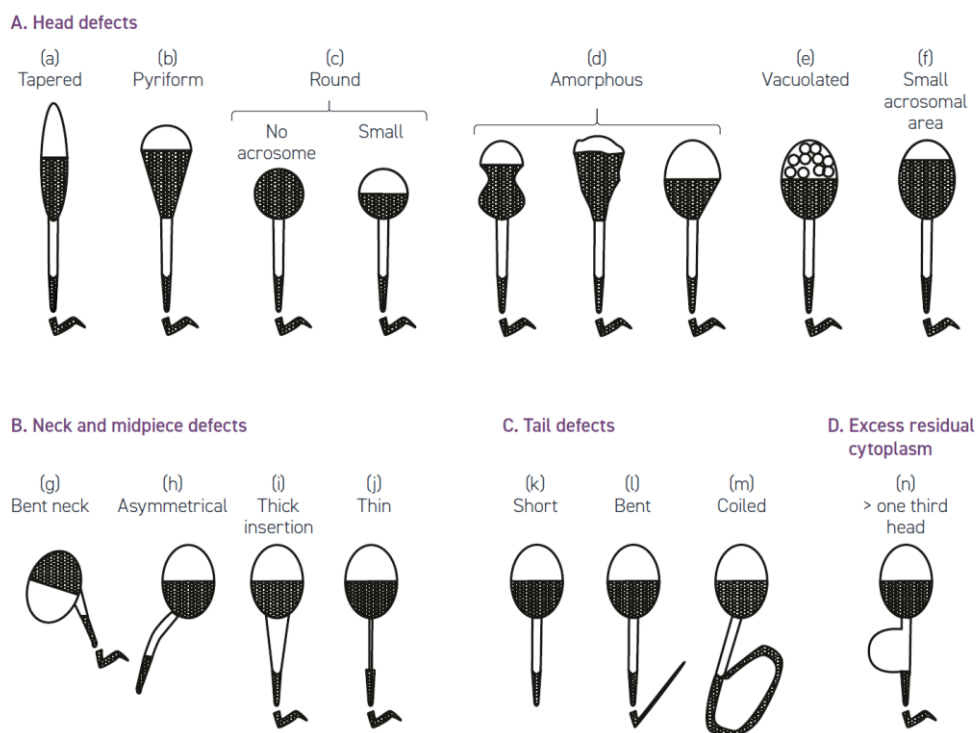
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 16.5 เท่า



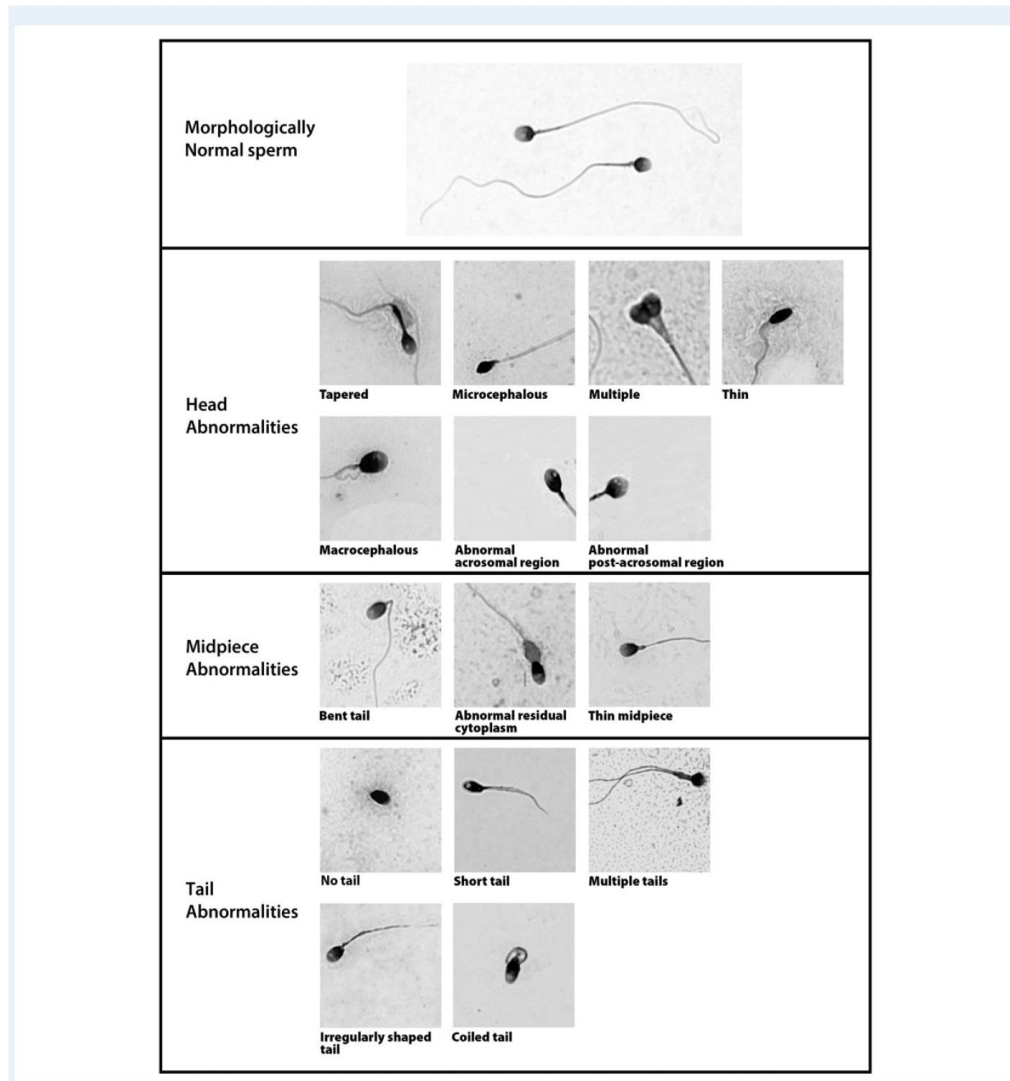
รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ที่ผ่านการขยาย 50 เท่า

- ในงานวิจัยนี้ ยังมีความสนใจรายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องรูปร่างของตัวอสุจิที่ปกติและผิดปกติ (จำนวนที่มากเกินไปเกินหนึ่งอัตรส่วน Acrosome) ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกจากกลุ่มของ Head defects (ในรูปอ้างอิงที่ 2.16) เข้ามาฝึกสอน AI

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องสร้างชุดข้อมูล (Dataset) สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ เพื่อนำมาใช้สร้างระบบ AI ตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ในคดีความผิดทางเพศ



รูปที่ 2.16 ภาพวาดจำลองลักษณะของประเภทอสุจิที่พบในมนุษย์เพศชาย [12]



**Figure 1** Standardized classification of normal and abnormal human sperm morphology. Morphologically normal spermatozoa are defined as in the 5th WHO manual (World Health Organization, 2010) except that all borderline aspects are considered normal (decision rules for borderline aspects are presented in Supplementary data, Figure S1); tapered head: increased major axis length and normal minor axis length; thin head: normal major axis length and decreased minor axis length; microcephalic: decreased major and minor axes lengths; macrocephalic: increased major and minor axes lengths; multiple heads: more than one head per sperm cell; abnormal post-acrosomal region: any type of outline and/or size and/or texture abnormality of the posterior part of the head; abnormal acrosomal region: any type of outline and/or size and/or texture abnormality of the anterior part of the head; abnormal (or excess) residual cytoplasm (or abnormal cytoplasmic remnant): residual cytoplasmic area > 30% of the head area, in any part of the sperm cell; thin midpiece: midpiece diameter, smaller than the principal piece diameter for > 40% of the whole midpiece length; bent/misaligned tail: may include neck anomalies, misalignment of the head major axis and midpiece axis or an acute angle ( $\leq 120^\circ$ ) between the head major axis and midpiece axis or an acute angle ( $\leq 120^\circ$ ) between the midpiece and the principal piece axes; no tail: isolated head, no tail observed; short tail: a tail length (midpiece + principal piece) no more than five times the major axis length of the head; irregularly shaped tail: irregular or changing calibre along the tail; coiled tail: completely or partially coiled tail, with the coil close to or around the head (flat coiling or coiling at the extremity of the tail reminiscent of hypo-osmotic coiling aspects should not be included in this category); multiple tails: more than one tail per sperm cell. Many of the spermatozoa presented more than one type of abnormality. The classification method encompasses all the abnormalities of each cell and the calculation of multiple anomalies index (MAI) (World Health Organization, 2010).

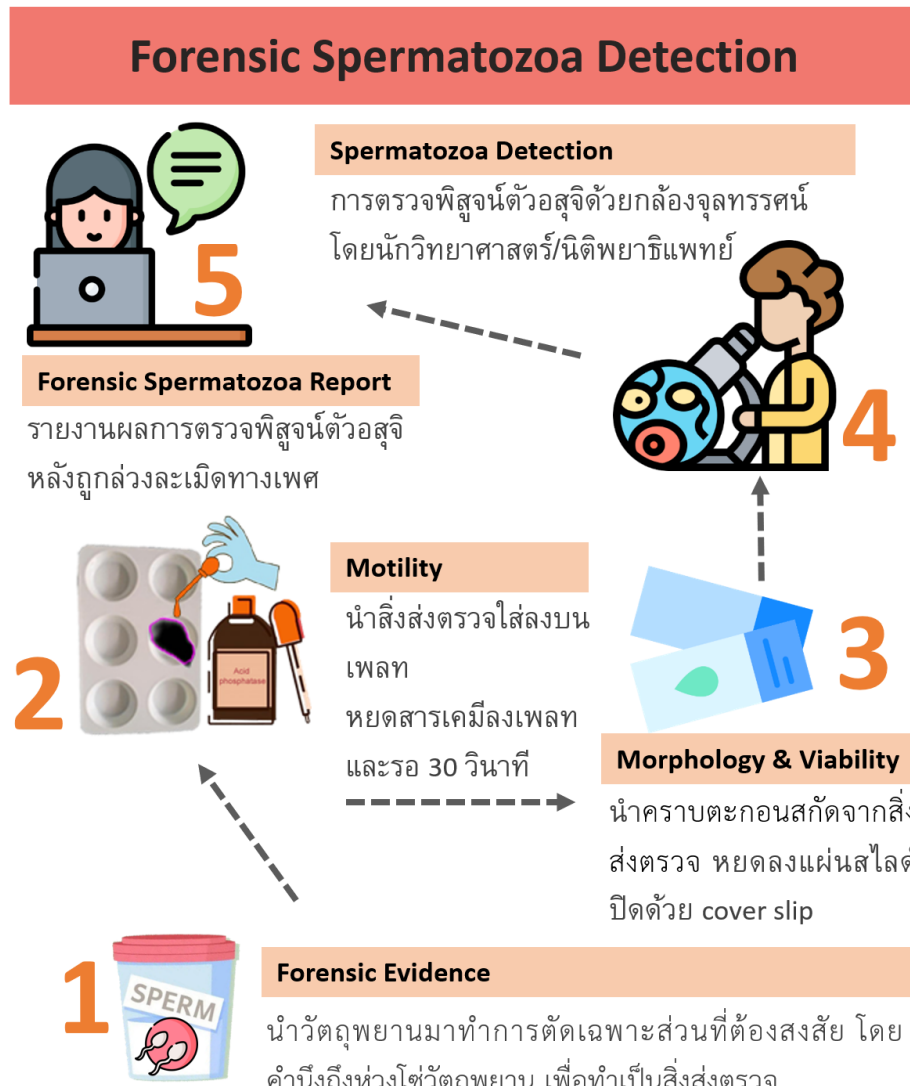
รูปที่ 2.17 การจำแนกมาตรฐานของตัวอสุจิของมนุษย์ปกติและผิดปกติทางสัณฐานวิทยา [13]

### บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอนปัญญาประดิษฐ์

##### 3.1.1 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์

การตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ โดยห้องปฏิบัติการวัตถุพยาน กระบวนการดำเนินงานในระบบเดิมนั้น มีขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์

โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์

ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์จะแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งจะนำ 2 ส่วนแรกมาทำการตรวจเชิงสารเคมี โดยตรวจคัดกรองเพื่อตรวจหาส่วนประกอบของน้ำอสุจิ ส่วนที่ตรวจทางเคมีแล้ว จะนำมาสกัดตรวจหาตัวอสุจิอีกครั้ง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอน Screening test จะมีความสำคัญน้อยกว่าขั้นตอนการตรวจอสุจิ ส่วนที่เหลืออีก 1 ส่วน จะเป็นขั้นตอนของการตรวจตัวอสุจิ โดยจะนำคราบตะกอนสกัดจากสิ่งส่งตรวจหยดลงบนแผ่นสไลด์ แล้วทำการปิดด้วย

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

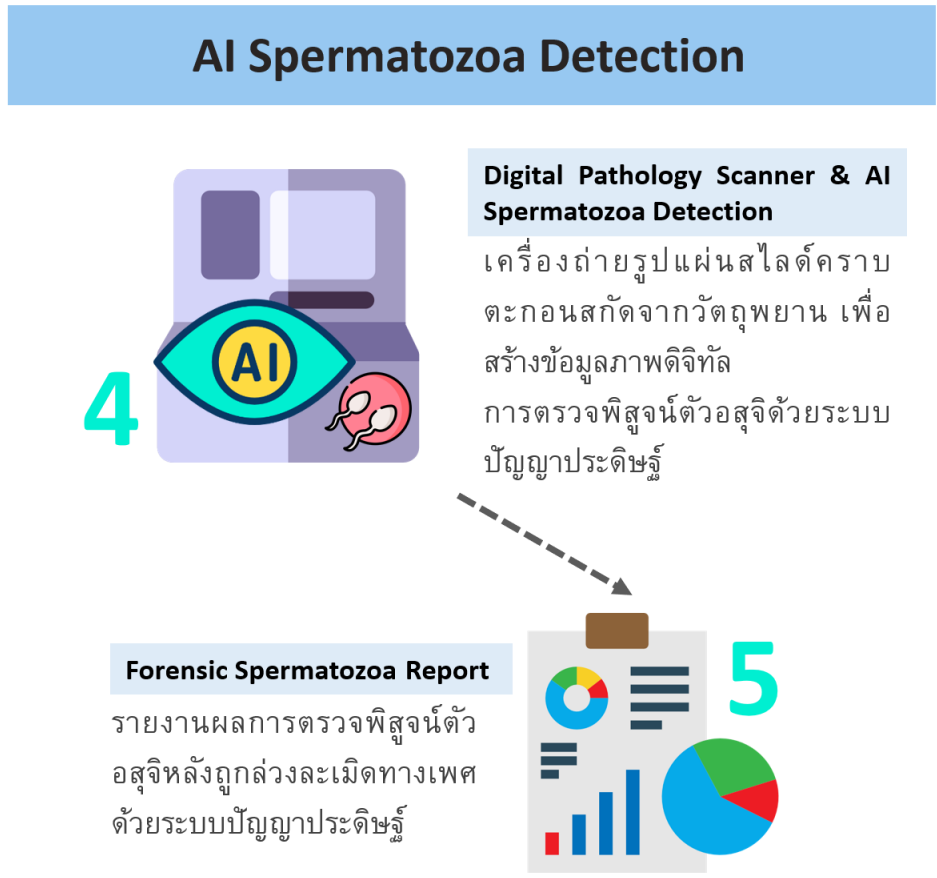
Cover slip จากนั้นนักวิชาการวิทยาศาสตร์ทำการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วรายงานผลการตรวจพิสูจน์ดังกล่าวไปยังนิติพยาธิแพทย์เพื่อยืนยันผลการตรวจพิสูจน์

### 3.1.2 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่มีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เข้าไปอินทิเกรตในระบบเดิม (รูปที่ 3.2) การทำงานขั้นตอนที่ 1-3 ยังเป็นรูปแบบเดิม จะแตกต่างในขั้นตอนที่ 4 และ 5 โดยระบบ AI จะทำการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิบนภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ และรายงานผลการตรวจพิสูจน์นั้น แล้วนักวิชาการวิทยาศาสตร์ที่มีความชำนาญสูงหรือนิติพยาธิแพทย์ จะทำการตรวจสอบรายงานผลการตรวจพิสูจน์ดังกล่าวอีกครั้ง เพื่อยืนยันผลการตรวจพิสูจน์

จุดมุ่งหมายของโครงการนี้ คือ 1) การสร้าง AI ตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่มีประสิทธิภาพ ด้วยองค์ความรู้ของนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญของโรงพยาบาลศิริราช และ 2) การเพิ่มขีดความสามารถในการรับตรวจพิสูจน์ของโรงพยาบาลศิริราช จากการทำงานร่วมกันของนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ และ AI ทำให้โรงพยาบาลสามารถรับเคสตรวจพิสูจน์ได้มากขึ้น

ในการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอนปัญญาประดิษฐ์นั้น นักวิชาการวิทยาศาสตร์จะทำการจัดเก็บภาพจากแผ่นสไลด์ โดยนำแผ่นสไลด์ไปสแกนเป็นไฟล์รูปภาพ ด้วยเครื่อง Slide scanner เมื่อได้ภาพดังกล่าวแล้ว นักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์จะเป็นผู้ตรวจหาตัวอสุจิในภาพเพื่อความชัดเจนในการชี้วัด ภาพที่ใช้ในการระบุตำแหน่งจะเป็นภาพที่ผ่านการขยาย 40 เท่า เมื่อพบตัวอสุจิ จะทำการตีกรอบล้อมรอบเพื่อระบุตำแหน่งของตัวอสุจิทั้งหมดในภาพ เพื่อนำภาพที่ผ่านกระบวนการระบุตำแหน่งแล้วนั้น ไปฝึกสอน AI



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

### 3.1.3 ระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ

หลังจากได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน (IRB) จากโรงพยาบาลศิริราชแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือ การจัดเตรียมสไลด์ที่มีสารคัดหลั่งในห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาคกีฏวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช โดยการนำแผ่นสไลด์แก้วไปทำการสแกนเพื่อแปลงให้เป็นภาพดิจิทัล จากนั้นทำการอ่านผลทางนิติพยาธิวิทยา เพื่อระบุตำแหน่งที่มีตัวอสุจิ พร้อมกับการระบุชนิดของตัวอสุจิบนภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ ผ่านระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ โดยใน 1 สไลด์จะได้รับการวินิจฉัยจากนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนักวิชาการวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญ/นิติพยาธิแพทย์ จำนวนอย่างน้อย 2 ท่าน

คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ เพื่อสร้างเครื่องมือการตีกรอบ (Labeling Tool) ให้กับนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ใช้ในการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิที่อยู่ใน

ภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ (Whole Slide Image: WSI) ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ทำการตีกรอบในแต่ละภาพมาจัดเตรียมเพื่อใช้ในการฝึกสอน AI โดยระบบตีกรอบตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นนั้น จะมีการแบ่งหน้าที่ของผู้ใช้งานออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 Labeler

กลุ่มที่ 2 Reviewer

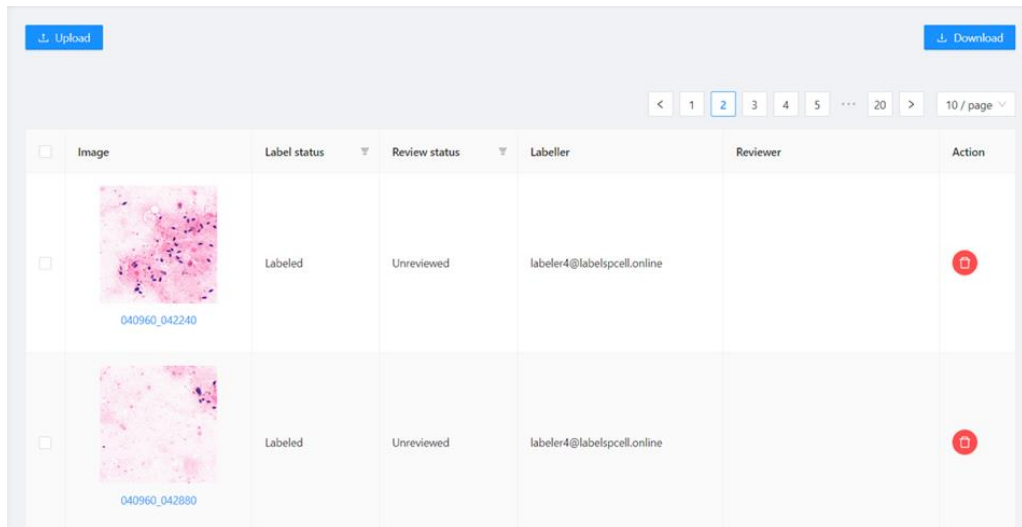
สำหรับกลุ่มที่ 1 Labeler จะเป็นกลุ่มของนักวิชาการวิทยาศาสตร์ที่มีหน้าที่ในการตีกรอบล้อมรอบตัวอย่างที่อยู่ในภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ สำหรับกลุ่มที่ 2 Reviewer จะเป็นกลุ่มของนักวิชาการวิทยาศาสตร์ที่มีความชำนาญสูงหรือนิติพยาธิแพทย์ จะทำหน้าที่ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ตีกรอบมาแล้ว หากพบเจอความผิดพลาด (รูปที่ 21) Reviewer จะสามารถปรับแก้ไขได้ โดยมีกรณีต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนี้

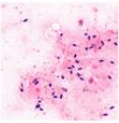

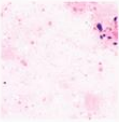

กรณีที่ Labeler ทำการตีกรอบล้อมรอบตัวอย่างผิดพลาด

กรณีที่ Labeler ทำการระบุชนิดของส่วนหัวของตัวอย่างผิดพลาด

กรณีที่ Labeler ทำการตีกรอบล้อมรอบตัวอย่างไม่ครบ

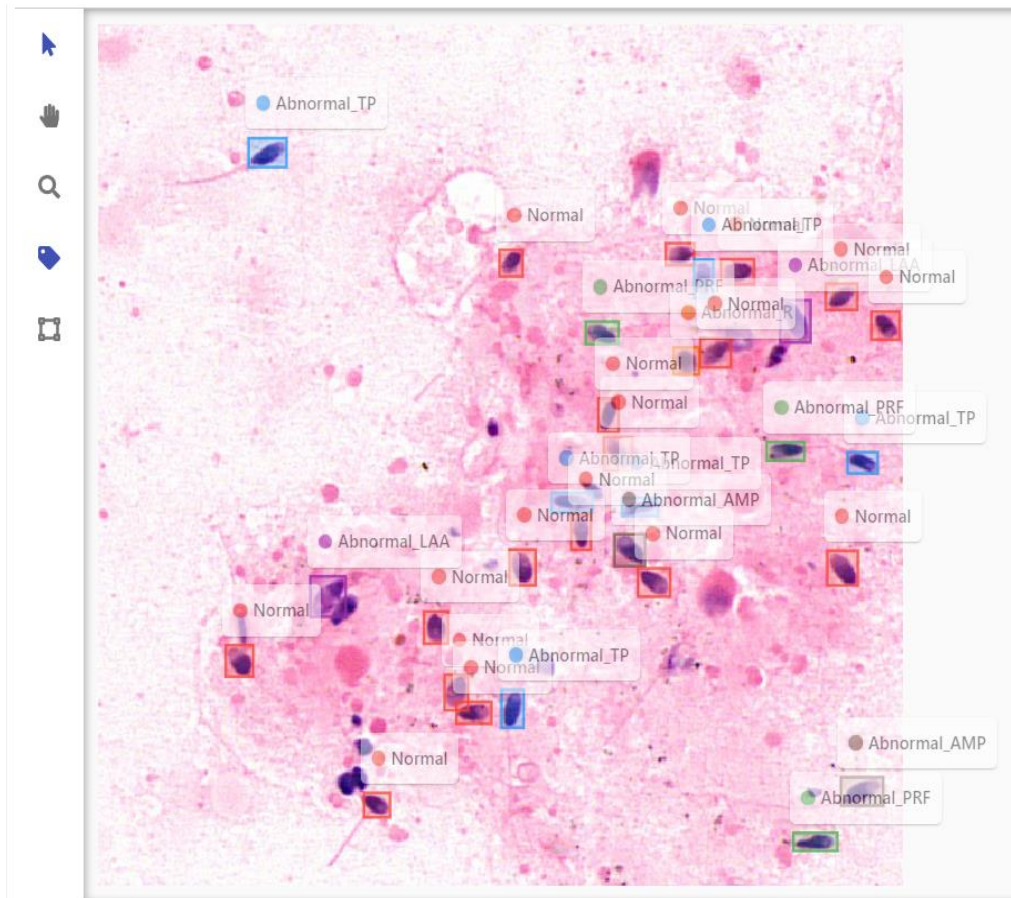
รูปที่ 3.3 หน้าจอหลักของระบบตีกรอบตัวอย่าง ภาพหลักแสดงแต่ละรูปภาพย่อย (Patch) ที่ตัดออกมาจากภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์ เป็นภาพที่มีขนาด 512 x 512 พิกเซล ผู้ใช้งานสามารถคลิกบนภาพใด ๆ เพื่อเข้าไปสู่กระบวนการตีกรอบและระบุชนิดตัวอย่างได้ ผู้ใช้งานสามารถรองสถานะเพื่อดูเฉพาะรูปภาพที่กำลังทำแล้วหรือยังไม่ทำก็ได้ และ/หรือรูปภาพที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลที่ตีกรอบมาแล้ว หรือยังไม่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง โดยแต่ละรูปภาพจะเก็บข้อมูลไว้ว่า Labeler ผู้ใดเป็นผู้กำกับข้อมูล และ Reviewer ผู้ใดเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล



<input type="checkbox"/>	Image	Label status	Review status	Labeller	Reviewer	Action
<input type="checkbox"/>	 040960_042240	Labeled	Unreviewed	labeler4@labelspcell.online		
<input type="checkbox"/>	 040960_042880	Labeled	Unreviewed	labeler4@labelspcell.online		

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างที่ Labeler ทำการตีกรอบล้อมรอบตัวอย่างเซลล์เรียบร้อยแล้ว อยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบของ Reviewer

รูปที่ 3.4 แสดงหน้าการกำกับข้อมูลในแต่ละภาพ ผู้ใช้งานสามารถกดเลือกแถบเครื่องมือทางซ้ายเพื่อทำการตีกรอบรอบตัวอย่างเซลล์ได้ หลังจากตีกรอบแต่ละอันแล้ว ระบบจะให้ผู้ใช้งานเลือกชนิดของตัวอย่างเซลล์ตามที่ได้กำหนดไว้ จากภาพจะเห็นว่าตัวอย่างเซลล์ทุกตัวได้รับการตีกรอบ และระบุชนิดของตัวอย่างเซลล์เรียบร้อยแล้ว



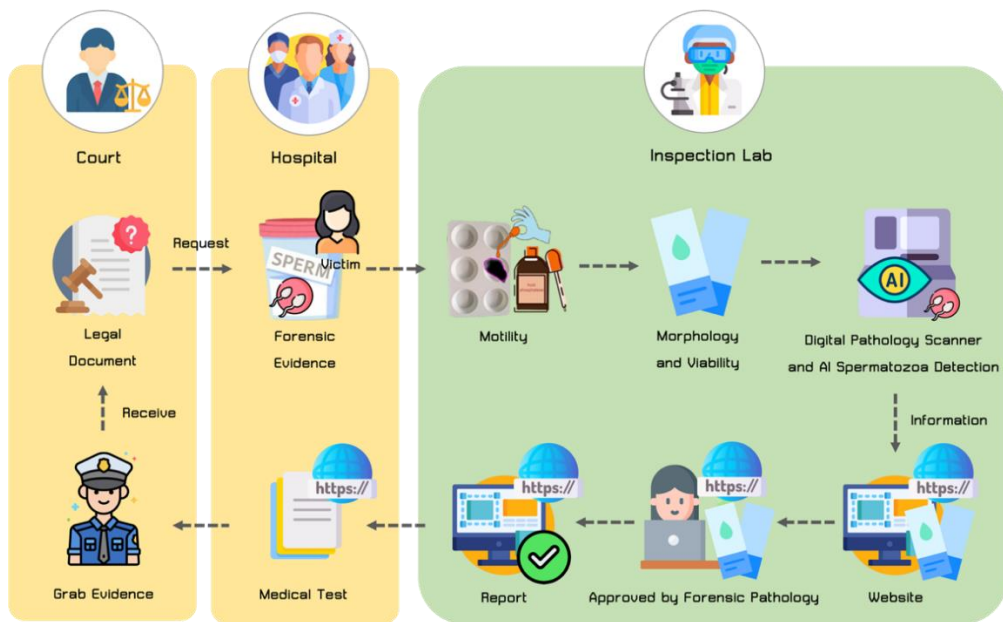
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าการกำกับข้อมูลในแต่ละภาพ

### 3.2 การออกแบบระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

#### 3.2.1 กระบวนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศ

ปัจจุบันในกระบวนการยุติธรรมทางอาญาของประเทศไทยให้ความสำคัญต่อพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสิ่งที่แสดงออกถึงข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกับประเด็นแห่งคดีอยู่ในตัววัตถุเอง โดยศาลนำสืบสำนวน และสามารถขอหลักฐานการตรวจทางชีววิทยาเพิ่มเติม พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในพยานหลักฐานที่มีน้ำหนักและความน่าเชื่อถือ สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงที่มีการกล่าวอ้างในการดำเนินคดี ทั้งนี้ การที่ศาลจะเชื่อและยอมรับในพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ ย่อมต้องอาศัยพยานผู้เชี่ยวชาญในการอธิบายผล ดังนั้น กระบวนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศจึงเป็นบทบาทที่สำคัญในการแสวงหาพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ ในแต่ละกระบวนการต้องให้ความถูกต้องตามหลักวิชาการ และถูกต้องตามหลักกฎหมาย

ในการออกแบบระบบการตรวจพิสูจน์ตัวสวณั้น จะมีขั้นตอนที่นักวิชาการวิทยาศาสตร์/นิติพยาธิ แพทย์นำสิ่งส่งตรวจ (วัตถุพยานทางชีววิทยา) ที่ได้จากร่างกายผู้เสียหาย โดยจะนำคราบตะกอนสกัด จากสิ่งส่งตรวจหยดลงบนแผ่นสไลด์แล้วนำไปเข้าเครื่องถ่ายภาพรูปแผ่นสไลด์เพื่อสร้างข้อมูลภาพดิจิทัล แล้วใช้ระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์มาตรวจหาตัวสวณและตรวจนับจำนวนตัวสวณเพื่อช่วยลดชั้น เวลาในการตรวจนับ จากนั้นใช้คนตรวจสอบผลลัพธ์เพื่อนำส่งผลกลับไปใช้ในการยืนยันทางคดีความ ต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนเกี่ยวเนื่องกันกับกระบวนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศ ดังแสดง ในรูปที่ 3.5

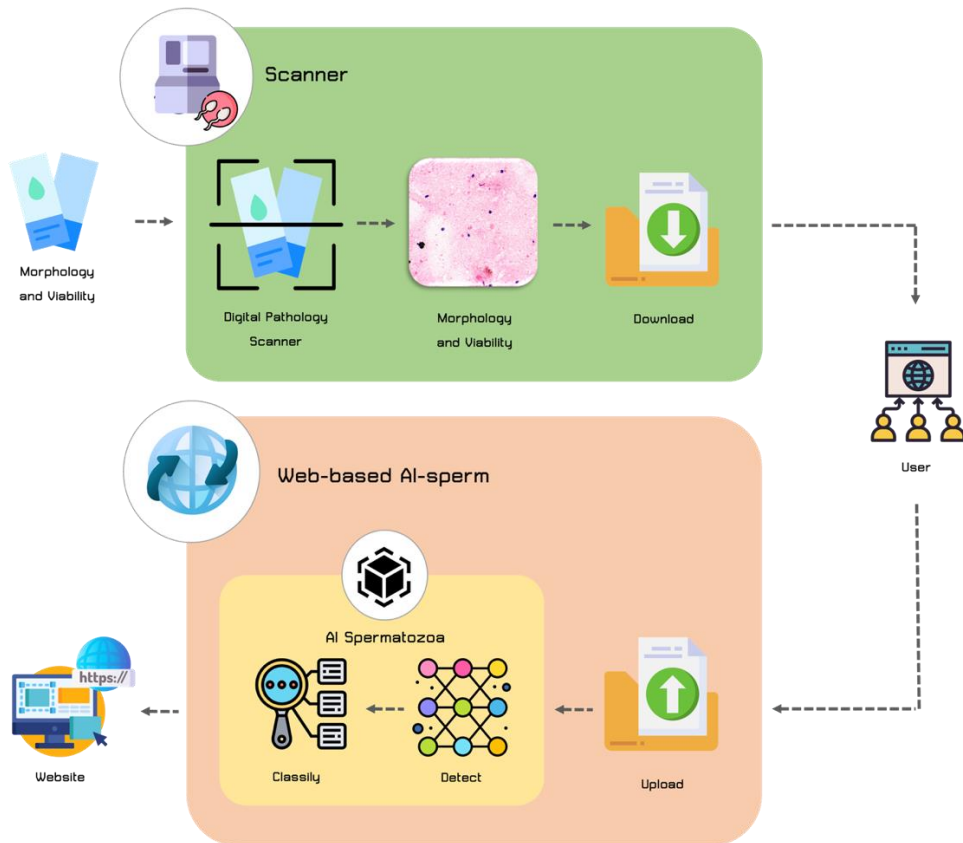


รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศ

ในขั้นตอนการออกแบบระบบการตรวจพิสูจน์ตัวสวณั้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การ ออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวสวณ การออกแบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ ตัวสวณ และ การออกแบบแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบ ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวสวณ โดยแต่ละขั้นตอนย่อย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.2 การออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

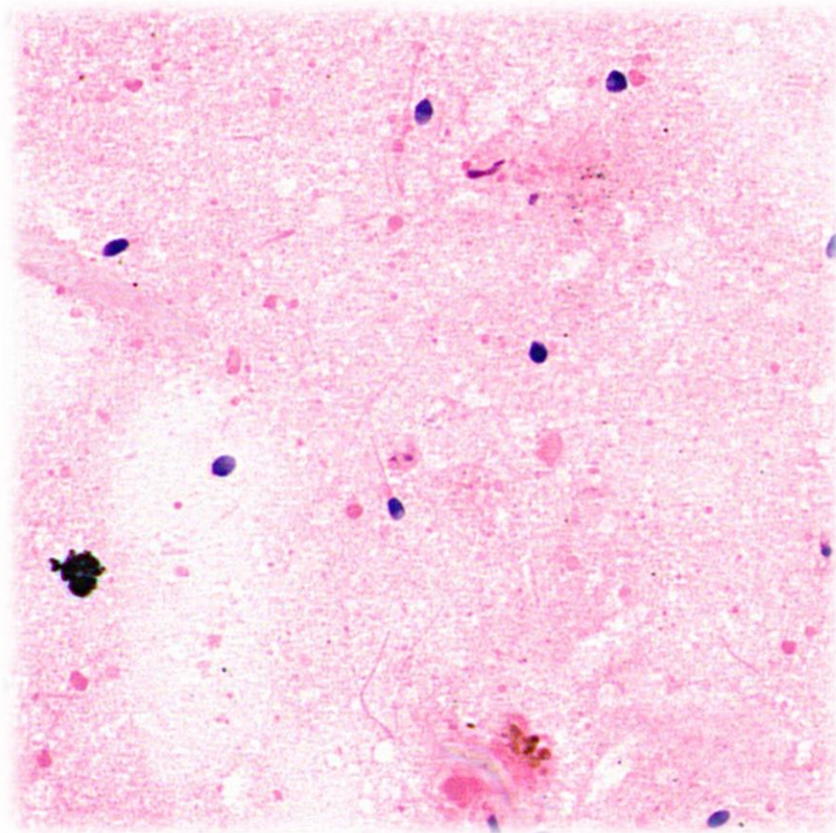
ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ โดยการออกแบบแบ่งเป็น 3 ส่วนที่เกี่ยวข้อง คือ เครื่องสแกนสไลด์ โมเดลการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และเว็บไซต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

#### 1. เครื่องสแกนสไลด์ (Scanner)

เครื่องสแกนสไลด์ คือ เครื่องถ่ายรูปแผ่นสไลด์เพื่อสร้างข้อมูลภาพดิจิทัล โดยการนำแผ่นสไลด์แก้วเข้ากระบวนการสแกนเพื่อแปลงภาพอนาล็อกให้เป็นภาพดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง จากนั้นทำการตัดเป็นภาพดิจิทัลเป็นช่วง ๆ ไม่ซ้อนทับกัน ให้ภาพมีขนาด 512 x 512 พิกเซล รูปตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ ขนาด 512 x 512 พิกเซล

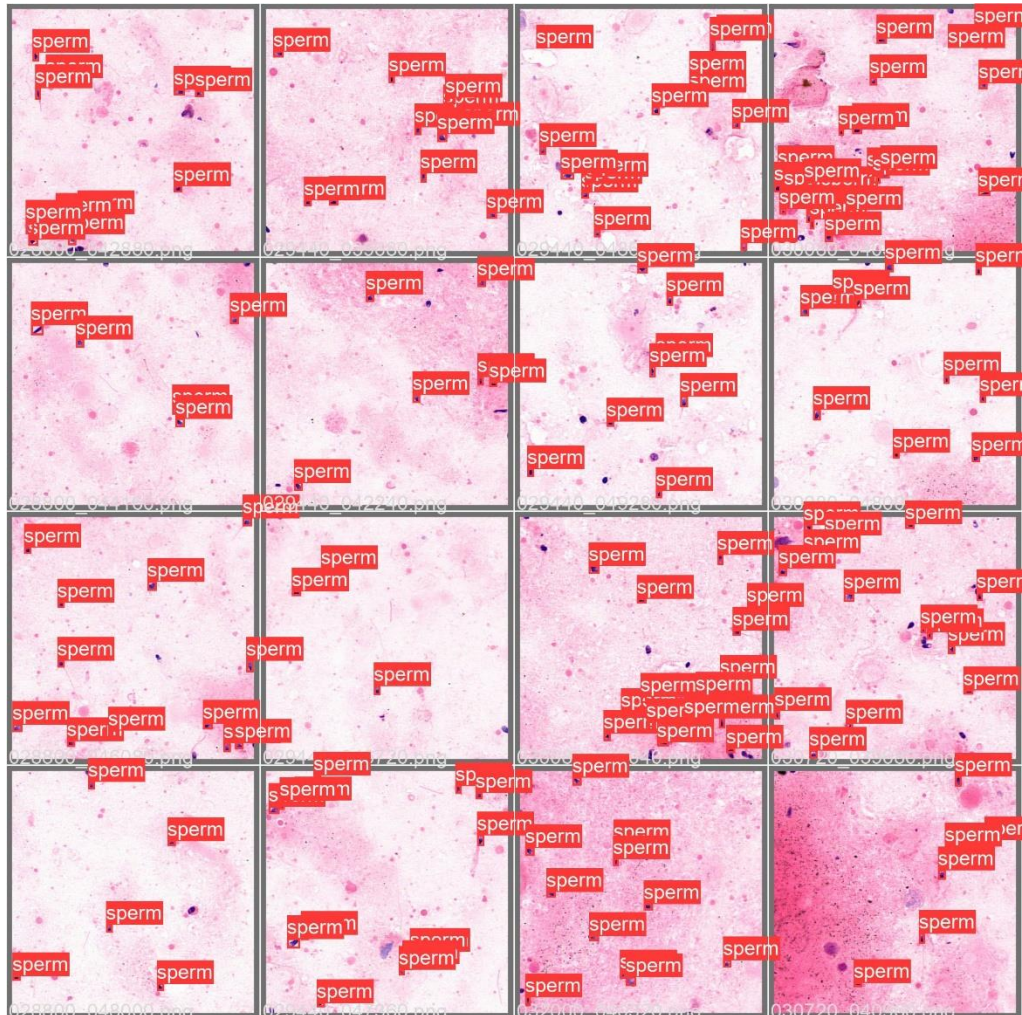
## 2. การสร้างโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ (Sperm detection model)

ขั้นตอนในการสร้างโมเดลตรวจจับตัวอสุจิสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ชุดข้อมูล โมเดล และผลลัพธ์และการประเมินผล

### 1) ชุดข้อมูล (Dataset)

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการพัฒนาเครื่องมือระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ เพื่อให้ให้นักวิชาการ วิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ใช้ในการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิที่อยู่ในภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่น สไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ผู้เชี่ยวชาญนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ได้ใช้เครื่องมือตี กรอบตัวอสุจิที่พัฒนาขึ้น ในการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิที่อยู่ในภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งในแต่ละภาพอาจจะมีหรือไม่ตัวอสุจิจะมีทั้งหมด

สำหรับการจัดเตรียมชุดข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ประกอบด้วย ชุดข้อมูลฝึกสอน (Training set) ร้อยละ 70 ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation set) ร้อยละ 20 และ ชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) ร้อยละ 10

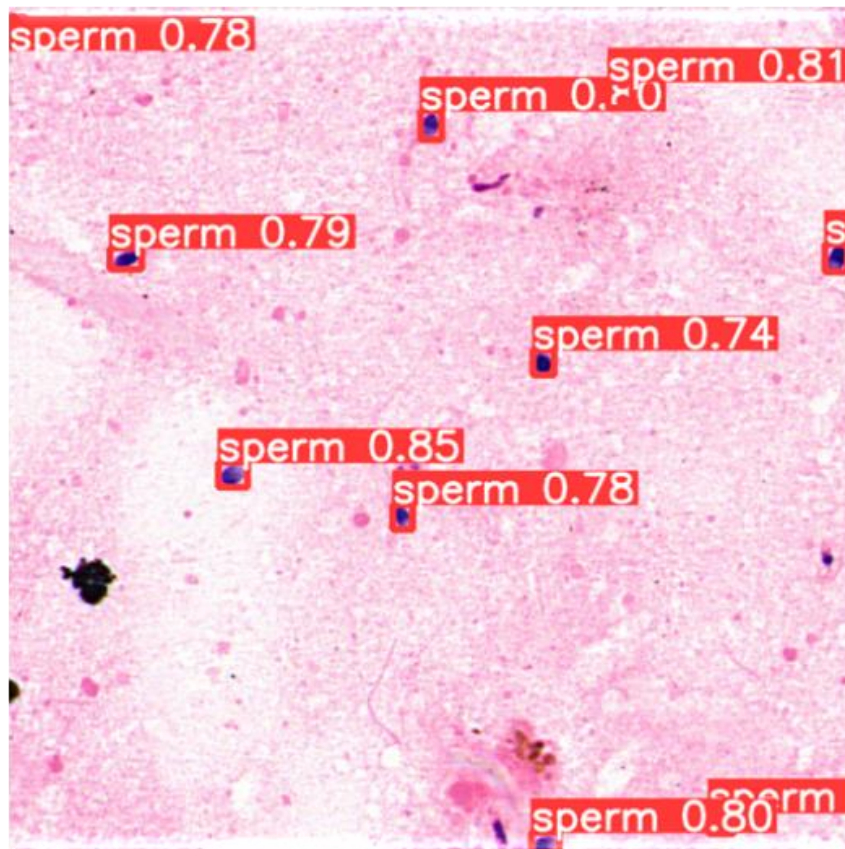


รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างภาพตัวอสุจิที่มีการตีกรอบ โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์

## 2) โมเดล (Model)

ขั้นตอนของการตรวจจับตัวอสุจิบนภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ คณะผู้วิจัยใช้โมเดลตรวจจับวัตถุ YoloV5 เนื่องจาก YoloV5 เป็นเครือข่ายเชิงลึกแบบขั้นเดียวที่ใช้วิธีการ Fast single-shot detection ที่สามารถตรวจจับตัวอสุจิได้ดี แม้ตัวอสุจิที่มีขนาดเล็ก โดยใช้หลักการโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน อัลกอริทึม Yolo มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย Yolo มีหลายรุ่น (Version) ซึ่งแต่ละรุ่นจะมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันอัลกอริทึม YoloV5 ถือ





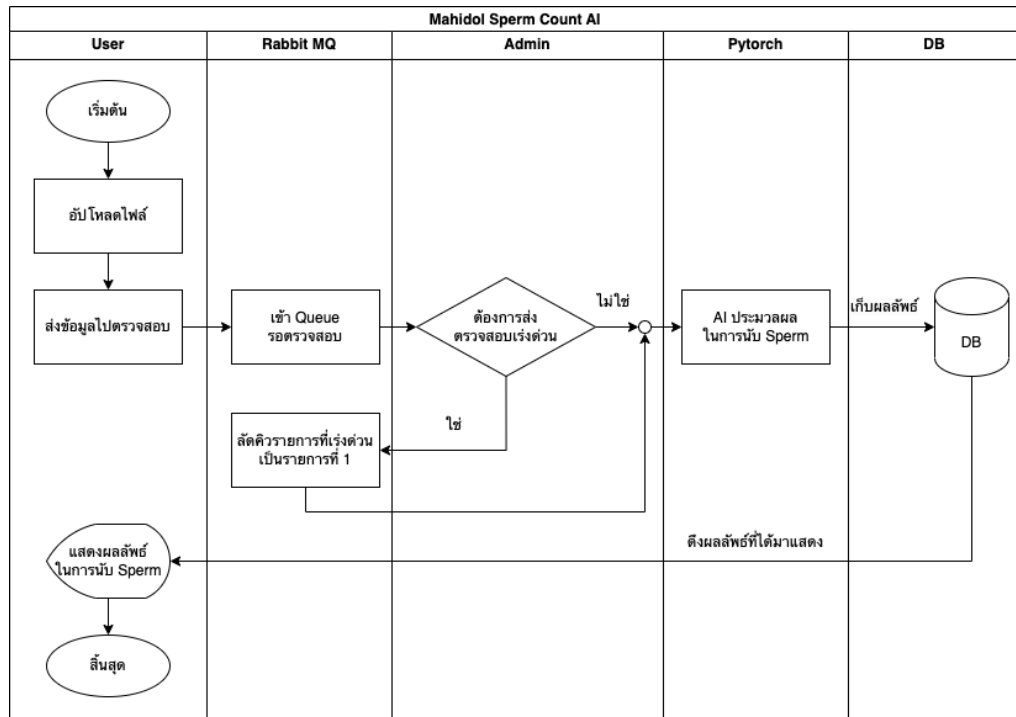
รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับตัวอสุจิ

### 3.2.3 การออกแบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

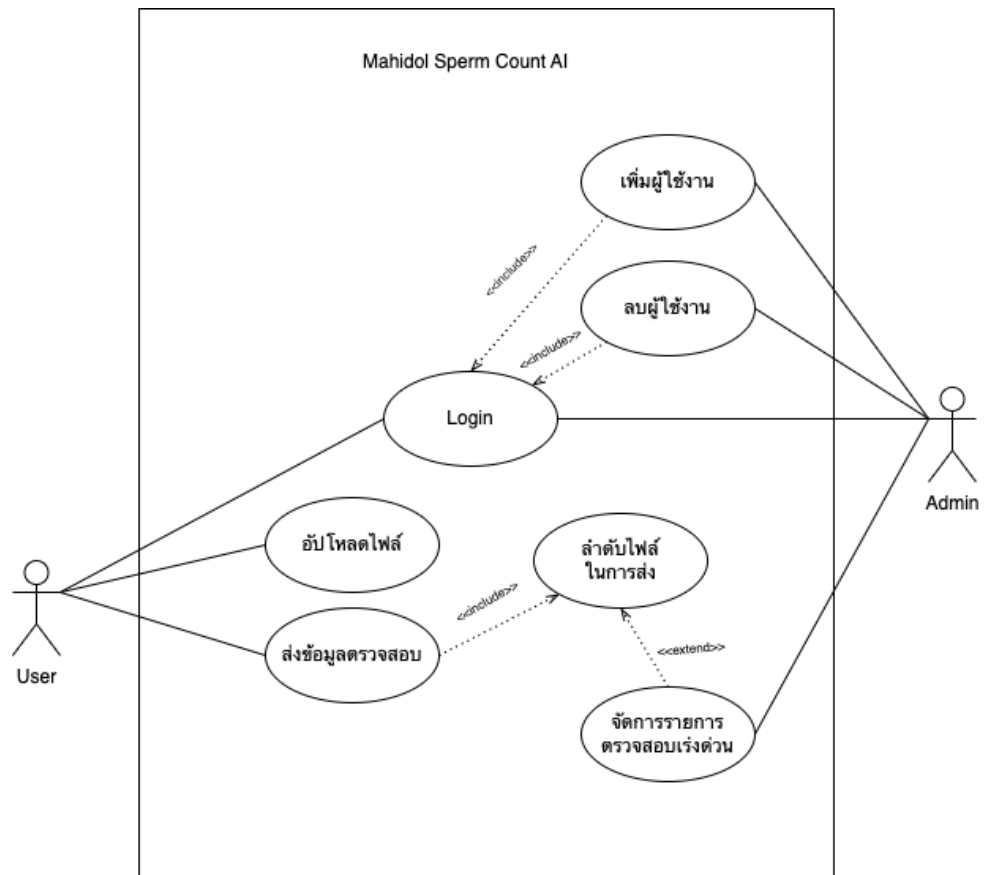
คณะผู้วิจัยได้ออกแบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิสำหรับนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ โดยเป็นส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้งาน เพื่อนำโมเดลตรวจจับตัวอสุจิที่ฝึกสอนสำเร็จแล้วไปใช้งานจริง เว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

1. ขั้นตอนการทำงานของระบบ (System Flow)

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานของระบบ (System Flow)



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของผู้ใช้ระบบ (Use Case Diagram)




โดยมีรายละเอียดของ คำอธิบาย Use Case Diagram (Use Case Diagram Documentation) ดังนี้

1. เพิ่มผู้ใช้งาน

Use Case ID : MHD_01	Use Case Name : เพิ่มผู้ใช้งาน
Actor : Admin	
Purpose : เพื่อเพิ่มบัญชีผู้ใช้งานระบบ	
Level : Primary Use Case	
Preconditions : -	
Postconditions : เพิ่มบัญชีผู้ใช้งานสำเร็จ	
Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ Admin ทำการกดปุ่มเพิ่มผู้ใช้งาน 2. กรอกข้อมูล Full Name, Email และข้อมูล Password 3. กรอก Password ในช่อง Confirm Password เพื่อทำการยืนยัน	

<p>4. กดปุ่ม ยืนยัน เพื่อทำการยืนยันการเพิ่มบัญชีผู้ใช้งาน</p> <p>5. เพิ่มบัญชีผู้ใช้งานสำเร็จ</p>
Alternate Course1 : Admin กรอก Password ในช่อง Confirm Password ไม่ถูกต้อง

## 2 ลบผู้ใช้งาน

Use Case ID : MHD_02	Use Case Name : ลบผู้ใช้งาน
Actor : Admin	
Purpose : เพื่อลบบัญชีผู้ใช้งาน	
Level : Primary Use Case	
Preconditions : ต้องมีบัญชีผู้ใช้งานก่อน	
Postconditions : ลบบัญชีผู้ใช้งานสำเร็จ	
Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อมีบัญชีผู้ใช้งาน	
<p>2. กดปุ่ม  เพื่อลบบัญชีผู้ใช้งานออกจากระบบ</p> <p>3. กดปุ่ม “Yes” เพื่อยืนยันการลบข้อมูลบัญชีผู้ใช้งาน</p> <p>4. ลบบัญชีผู้ใช้งานสำเร็จ</p>	
Alternate Course1 : ไม่มีบัญชีผู้ใช้งาน	
Alternate Course2 : ไม่ได้กดปุ่ม 	
Alternate Course3 : กดปุ่ม “No” หลังจากกดปุ่ม 	

## 3 Login เข้าสู่ระบบ

Use Case ID : MHD_03	Use Case Name : Login เข้าสู่ระบบ
Actor : User, Admin	
Purpose : เพื่อเข้าใช้งานระบบ	
Level : Primary Use Case	
Preconditions : Admin ทำการเพิ่มผู้ใช้งาน	
Postconditions : เข้าสู่ระบบสำเร็จ	



Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ Admin ทำการเพิ่มผู้ใช้งาน 2. เข้าสู่ระบบด้วย E-mail และ Password 3. เข้าสู่ระบบได้สำเร็จ
Alternate Course1 : ไม่มีบัญชีผู้ใช้งาน
Alternate Course2 : User กรอกข้อมูล E-mail และหรือ Password ผิด

a) อัปโหลดไฟล์ข้อมูล


Use Case ID : MHD_04	Use Case Name : อัปโหลดไฟล์ข้อมูล
Actor : User	
Purpose : เพื่ออัปโหลดไฟล์ข้อมูล	
Level : Primary Use Case	
Preconditions : เข้าสู่ระบบสำเร็จ	
Postconditions : อัปโหลดไฟล์ข้อมูลสำเร็จ	
Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ User เข้าสู่ระบบสำเร็จ 2. เลือกเมนู “อัปโหลด” 3. กดปุ่ม “เพิ่มรูปภาพ” เพื่อเริ่มทำการอัปโหลด 4. เลือกไฟล์ที่ต้องการอัปโหลด 5. รอไฟล์อัปโหลด 6. อัปโหลดไฟล์ข้อมูลสำเร็จ	
Alternate Course1 : เข้าสู่ระบบไม่สำเร็จ	
Alternate Course2 : ไม่ได้เลือกเมนู “อัปโหลด”	
Alternate Course3 : กด “ยกเลิก” ขณะเลือกไฟล์ที่ต้องการอัปโหลด	
Alternate Course4 : กดปุ่ม ✕ ขณะกำลังรอไฟล์อัปโหลด	

b) ส่งข้อมูลไปตรวจสอบ

Use Case ID : MHD_05	Use Case Name : ส่งข้อมูลไปตรวจสอบ
Actor : User	
Purpose : เพื่อทำการส่งข้อมูลที่ได้อัปโหลดไปตรวจสอบ	

Level : Primary Use Case
Preconditions : อัปโหลดไฟล์ข้อมูลสำเร็จ
Postconditions : ส่งข้อมูลไปตรวจสอบสำเร็จ
Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ User อัปโหลดไฟล์ข้อมูลสำเร็จ 2. เลือกเมนู “ส่งตรวจสอบ” 3. กดเลือกรายการที่ต้องการส่งตรวจสอบ 4. กดปุ่ม  เพื่อส่งตรวจสอบ 5. รอตรวจสอบไฟล์ 6. อัปโหลดไฟล์ข้อมูลสำเร็จ
Alternate Course1 : ไม่มีไฟล์ที่อัปโหลดสำเร็จ
Alternate Course2 : ไม่ได้เลือกเมนู “ส่งตรวจสอบ”
Alternate Course3 : กดปุ่ม  ขณะกำลังรอตรวจสอบไฟล์

c) จัดการรายการตรวจสอบเร่งด่วน

Use Case ID : MHD_06	Use Case Name : จัดการรายการตรวจสอบเร่งด่วน
Actor : Admin	
Purpose : เพื่อจัดการรายการตรวจสอบเร่งด่วน	
Level : Extend Use Case	
Preconditions : User ส่งข้อมูลไปตรวจสอบสำเร็จ	
Postconditions : ส่งรายการตรวจสอบเร่งด่วนสำเร็จ	
Main Flows : 1. Use Case จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ User ส่งข้อมูลไปตรวจสอบสำเร็จ 2. เลือกเมนู “จัดการรายการ” 3. กดเลือกรายการที่ต้องการส่งตรวจสอบเร่งด่วน 4. กดปุ่ม  เพื่อส่งตรวจสอบเร่งด่วน 5. รอตรวจสอบไฟล์ 6. ส่งรายการตรวจสอบเร่งด่วน	
Alternate Course1 : ไม่มีไฟล์ที่ User ส่งตรวจสอบ	

Alternate Course2 : ไม่ได้เลือกเมนู “จัดการรายการ”
Alternate Course3 : กดปุ่ม <b>X</b> ขณะกำลังรอตรวจสอบไฟล์

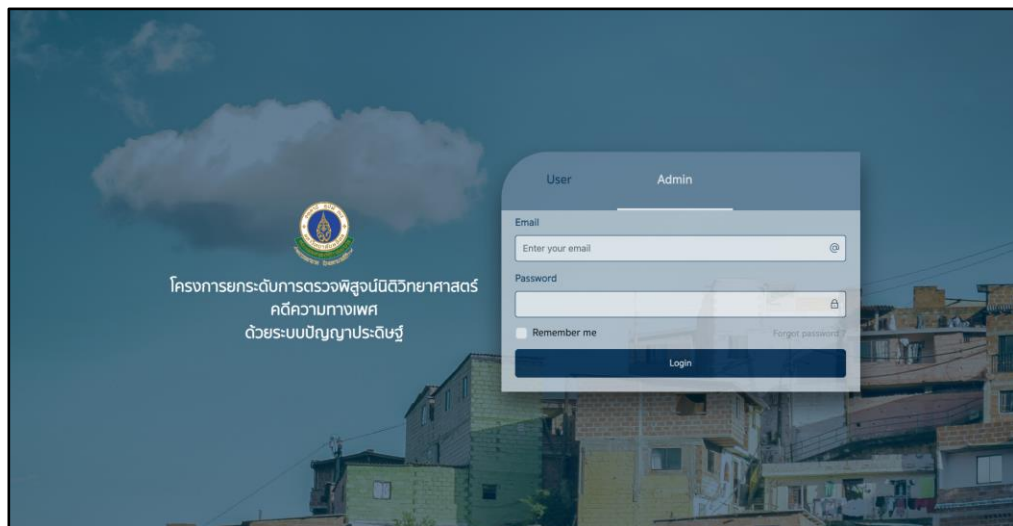
## 2 ประเภทของผู้ใช้งานในระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

เว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิสำหรับนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ประกอบด้วยผู้ใช้งานสองกลุ่ม คือ ผู้ใช้งานระดับผู้ดูแลระบบ (Admin) และ ผู้ใช้งานทั่วไป (User)

### การใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิส่วนผู้ใช้งานระดับผู้ดูแลระบบ Admin

#### 1. หน้าจอในส่วนของการเข้า-ออกระบบ (Login, Logout)

- หน้า Login สำหรับผู้ใช้งานระดับ Admin



#### การทำงานของหน้าจอ:

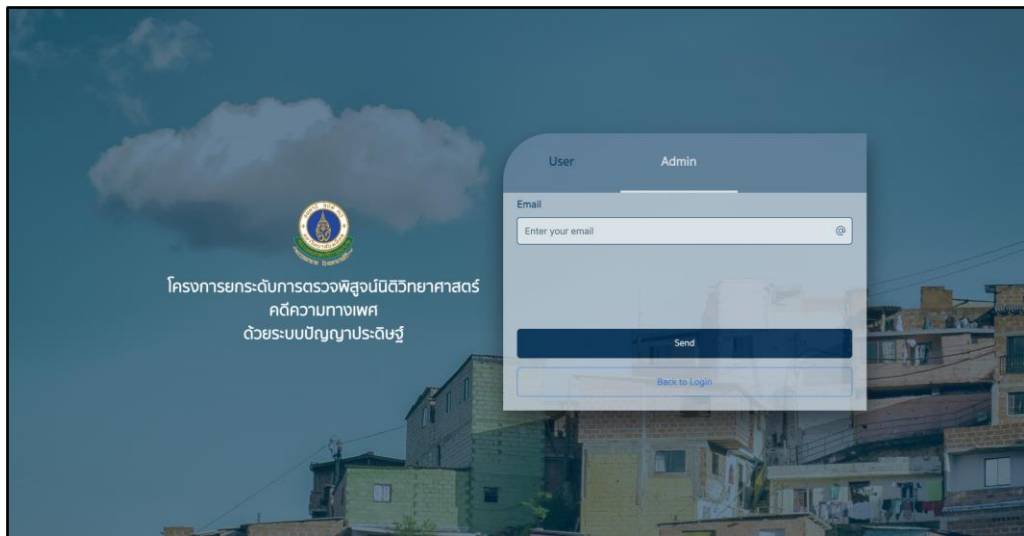
เป็นหน้าแรกของการเข้าสู่ระบบ ซึ่งมีไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานระดับ Admin ทำการล็อกอินเพื่อใช้งานระบบ

- 1) ผู้ใช้งานกรอกอีเมล (Email) และรหัสผ่าน (Password) เพื่อทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบ

Email
Enter your email <input type="text"/> @
Password
<input type="password"/> <input type="password"/>

- 2) กดเลือก “Remember me”  Remember me เพื่อให้ระบบจดจำ Email กับ Password ของผู้ใช้งาน
- 3) กดปุ่ม “Forgot password”  เพื่อไปยังหน้า Forgot password
- 4) กดปุ่ม “Login”  เพื่อทำการเข้าสู่ระบบ

■ หน้า Forgot password



การทำงานของหน้าจอ:

เป็นหน้าสำหรับให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล Email เพื่อทำการ Reset รหัสผ่านใหม่

- 1) ผู้ใช้งานกรอก Email ในช่อง “Email”

- 2) กดปุ่ม “Send”

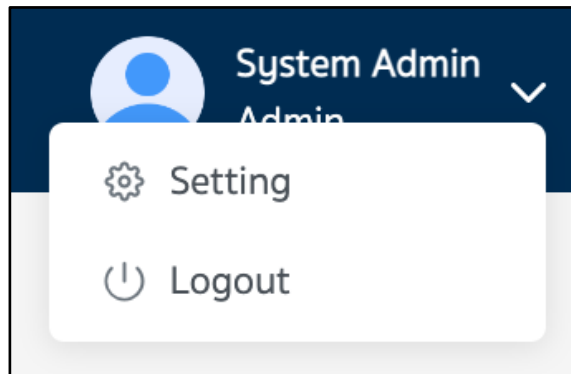
เพื่อให้ระบบทำการส่งอีเมล Reset รหัสผ่านใหม่

- 3) กดปุ่ม “Back to Login”

เพื่อทำการกลับไปยังหน้า Login

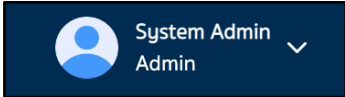

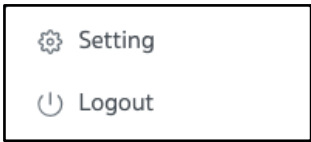


- หน้าเมนูด้านบน หลัง Login เข้าสู่ระบบ

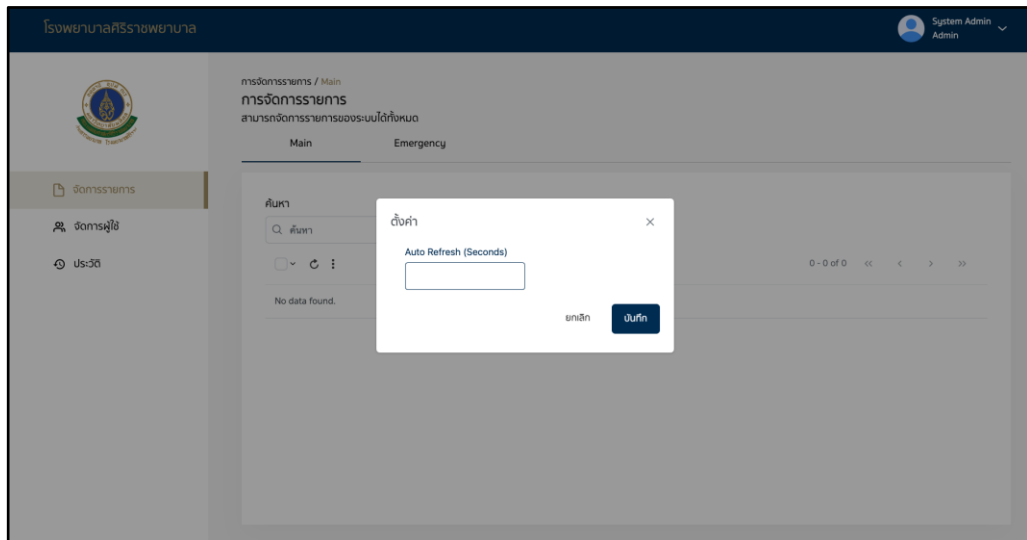




**การทำงานของหน้าจอ:**

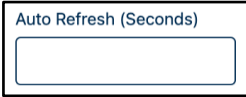


เมนูด้านบน ซึ่งมีไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานเลือกทำการ Logout เพื่อออกจากระบบ ประกอบไปด้วย

- 1)  แสดงโปรไฟล์ของผู้ใช้งานระบบ
- 2) กดปุ่ม  เพื่อแสดงตัวเลือก  

- 3) กดปุ่ม “Setting”  เพื่อทำการตั้งค่า Auto Refresh และไปยังหน้า Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh
- 4) กดปุ่ม “Logout”  เพื่อออกจากระบบ และไปยังหน้า Pop-up Confirm การออกจากระบบ
  - หน้า Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh

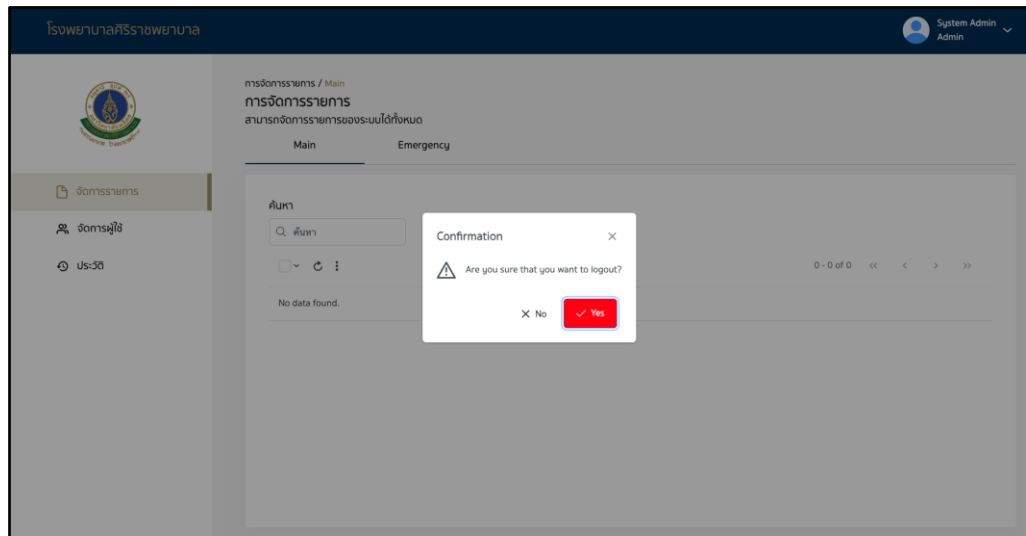


**การทำงานของหน้าจอ:**

แสดง Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh เพื่อทำการตั้งค่าเวลาสำหรับตั้งค่า Auto Refresh

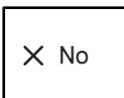
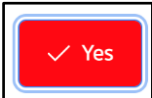
- 1) กรอกข้อมูลในช่อง “Auto Refresh (Seconds)”  เพื่อตั้งเวลา Auto Refresh
- 2) กดปุ่ม “ยกเลิก”  เพื่อยกเลิกการตั้งค่า Auto Refresh
- 3) กดปุ่ม “บันทึก”  เพื่อบันทึกการตั้งค่า Auto Refresh และกลับไปยังหน้าผลการตรวจสอบทั้งหมด

- หน้า Pop-up Confirm การออกจากระบบ



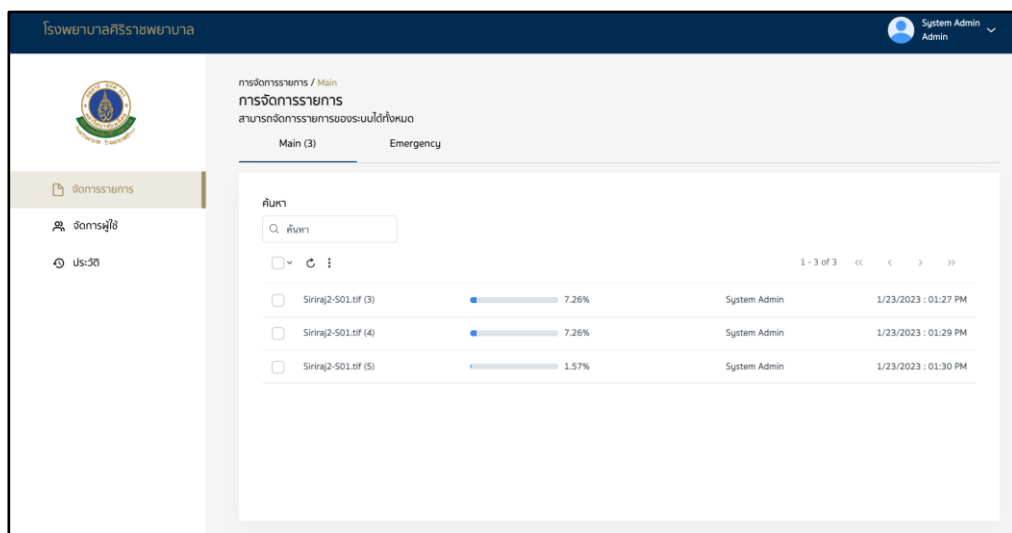
### การทำงานของหน้าจอ:

แสดง Pop-up สำหรับให้ผู้ใช้ยืนยันการออกจากระบบ

- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการออกจากระบบ
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการออกจากระบบ และกลับไปยังหน้า Login

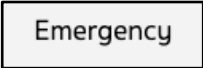
### 2. หน้าจอในส่วนของการจัดการรายการ


- หน้าจัดการรายการ (Main)



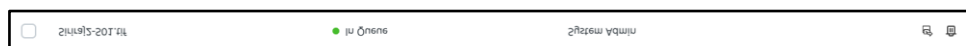
### การทำงานของหน้าจอ:



สำหรับให้ผู้ดูแลระบบทราบสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้งานระบบ ทั้งหมดที่ทำการส่งผลตรวจ และสามารถจัดการรายการผลตรวจที่อยู่ใน Queue ได้ กรณีที่ต้องการ ส่งตรวจเร่งด่วน จะสามารถเลือกรายการที่ต้องการตรวจเร่งด่วนได้ โดยการเลือกรายการนั้นส่งไปยัง แท็บเมนู Emergency ได้


- 1) กดปุ่ม “Emergency”  เพื่อไปยังหน้าจัดการรายการ (Emergency)


- 2)  ข้อมูลการจัดการรายการที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ สถานะการตรวจสอบ ชื่อผู้ตรวจสอบ และวัน เวลา ที่ข้อมูลส่งเข้ามา


- 3) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ย้ายไปยัง Emergency” และ “ลบ” ออกมา

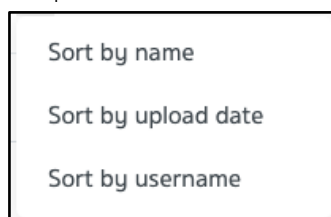


- กดปุ่ม  เพื่อย้ายข้อมูลนี้ไปยังหน้าจัดการ Emergency
- กดปุ่ม  เพื่อลบรายการการจัดการ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลในหน้าการจัดการ Main



- 4) กรอกข้อมูลที่ช่อง “ค้นหา”  ค้นหา เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล

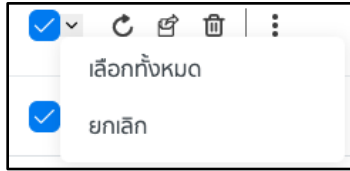
- 5) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

- 6) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้





- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อไฟล์
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด
- Sort by username คือ แสดงข้อมูลตามรายชื่อ Admin

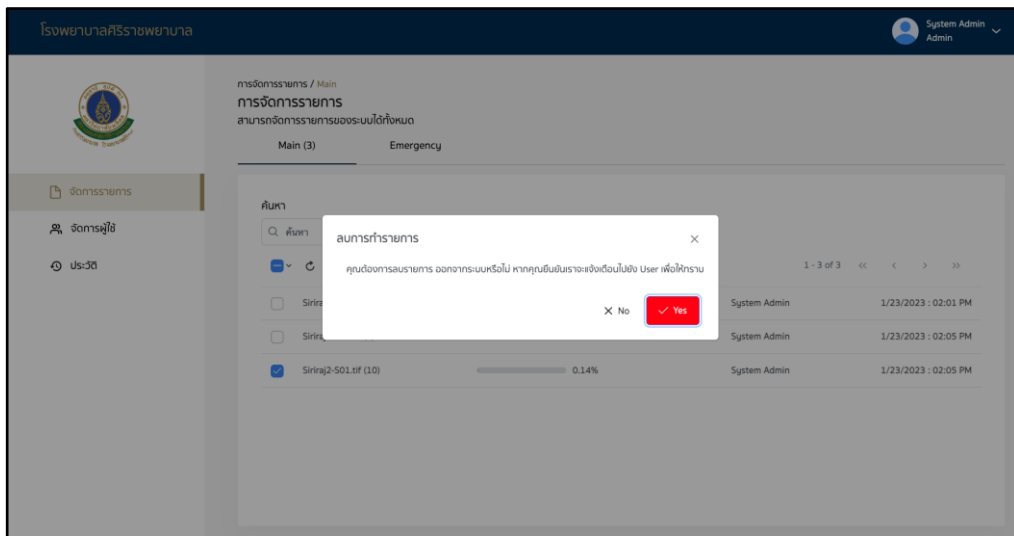
- 7) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูล หรือกดปุ่ม  เพื่อทำการเลือกข้อมูลทั้งหมด และยกเลิกการเลือกข้อมูล ดังรูป



และหลังจากกดเลือกข้อมูลแล้วจะแสดงปุ่มเพิ่มเติมดังนี้

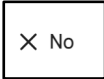

- กดปุ่ม  เพื่อย้ายข้อมูลนี้ไปยังหน้าจัดการ Emergency
- กดปุ่ม  เพื่อลบรายการการจัดการ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลในหน้าการจัดการ Main

- หน้า Pop-up ยืนยันการลบรายการการจัดการ

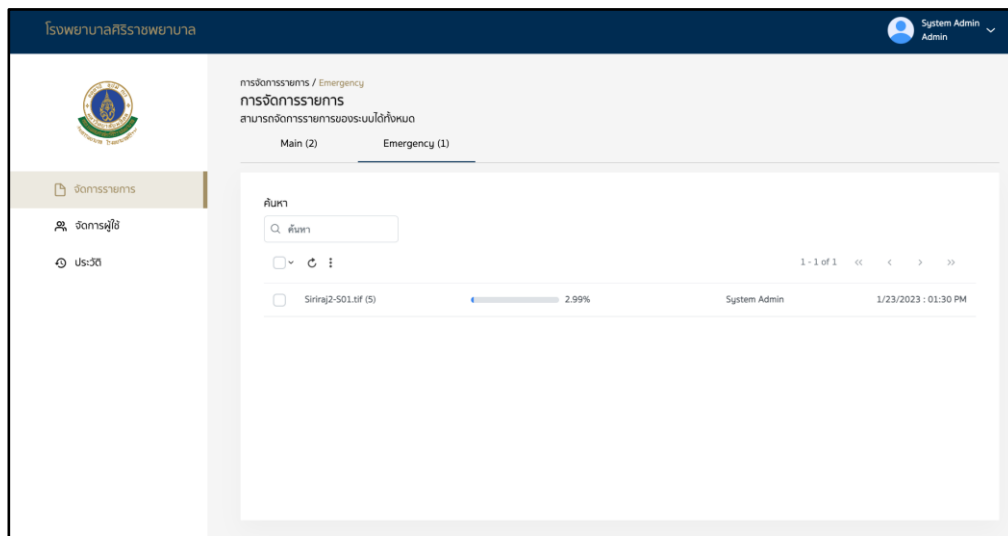


การทำงานของหน้าจอ:

เป็นหน้า Pop-up สำหรับให้ผู้ใช้งานยืนยันการลบรายการการจัดการ

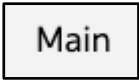
- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบข้อมูล
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบข้อมูล


■ หน้าจัดการรายการ (Emergency)



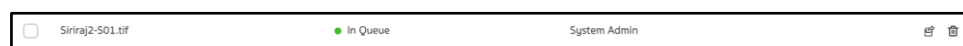
การทำงานของหน้าจอ:



เป็นหน้าแสดงรายการที่ต้องการตรวจเร่งด่วน


- 1) กดปุ่ม “Main”  เพื่อไปยังหน้าจัดการรายการ (Main)


- 2)   
ข้อมูลการจัดการรายการที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ สถานะการตรวจสอบ  
ชื่อผู้ตรวจสอบ และวัน เวลา ที่ข้อมูลส่งเข้ามา


- 3) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ย้ายไปยังหน้า Main” และ “ลบ” ออกมา

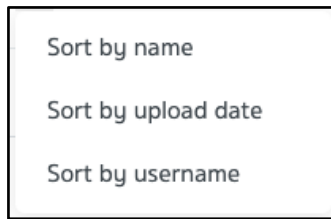


- กดปุ่ม  เพื่อย้ายข้อมูลนี้ไปยังหน้าจัดการ Main
- กดปุ่ม  เพื่อลบรายการการจัดการ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลในหน้าการจัดการ Emergency



- 4) กรอกข้อมูลที่ช่อง “ค้นหา”   
เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล

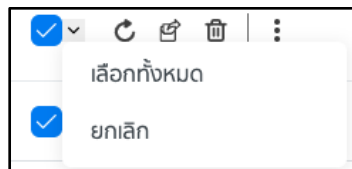
- 5) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

- 6) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้




- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อไฟล์
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด
- Sort by username คือ แสดงข้อมูลตามรายชื่อ Admin

7) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูล หรือกดปุ่ม  เพื่อทำการเลือกข้อมูลทั้งหมด และยกเลิกการเลือกข้อมูล ดังรูป

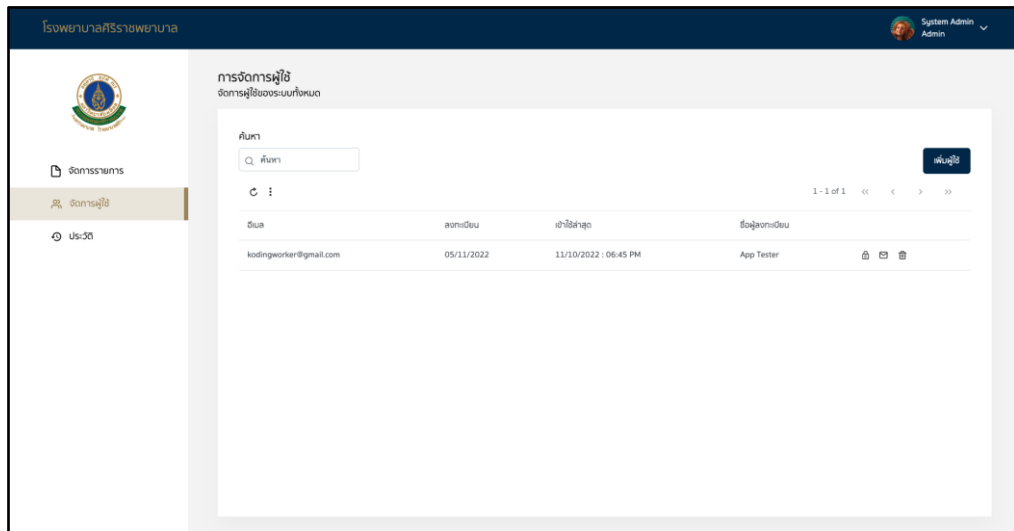


และหลังจากกดเลือกข้อมูลแล้วจะแสดงปุ่มเพิ่มเติมดังนี้

- กดปุ่ม  เพื่อย้ายข้อมูลนี้ไปยังหน้าจัดการ Main









กดปุ่ม  เพื่อลบรายการการจัดการ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลในหน้าการจัดการ Emergency

3. หน้าจอในส่วนของการจัดการผู้ใช้งาน
  - หน้าจัดการผู้ใช้งาน



#### การทำงานของหน้าจอ:

สำหรับให้ผู้ดูแลระบบทำการเพิ่มผู้ใช้งานระบบ รีเซ็ตรหัสผ่านกรณีที่ผู้ใช้งานจำรหัสผ่านไม่ได้ และสามารถลบผู้ใช้งานออกจากระบบ

- 1) กรอกข้อมูลที่อยู่ในช่อง “ค้นหา”  เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล
- 2) กดปุ่ม “เพิ่มผู้ใช้”  เพื่อเพิ่มผู้ใช้งานในระบบ
- 3)  ข้อมูลผู้ใช้งานที่แสดงหน้าจอ ประกอบด้วย อีเมล วันที่ลงทะเบียน วันที่เข้าใช้ล่าสุด ชื่อผู้ใช้งาน
- 4) กดปุ่ม  เพื่อรีเซ็ตรหัสผ่าน
- 5) กดปุ่ม  เพื่อทำการส่งอีเมล สำหรับรีเซ็ตรหัสผ่าน
- 6) กดปุ่ม  เพื่อลบผู้ใช้งาน
- 7) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่
- 8) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้

Sort by email

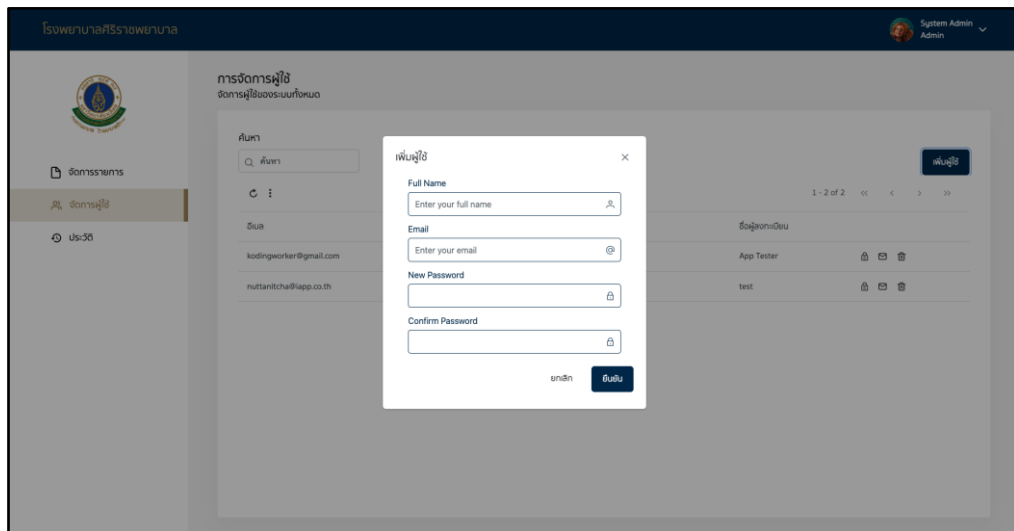
Sort by name

Sort by register date

Sort by logon date

- Sort by email คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามอีเมล
- Sort by name คือ แสดงข้อมูลตามชื่อผู้ใช้งาน
- Sort by register date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่เพิ่มผู้ใช้งาน
- Sort by logon date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ผู้ใช้งานเข้าใช้งานล่าสุด

■ หน้า Pop-up เพิ่มผู้ใช้งาน



การทำงานของหน้าจอ:

สำหรับให้ผู้ดูแลระบบทำการเพิ่มผู้ใช้งานระบบ

1) กรอกชื่อผู้ใช้งานในช่อง “Full Name”

Full Name

2) กรอกอีเมลผู้ใช้งานในช่อง “Email”

Email

3) กรอกรหัสผ่านในช่อง “New Password”

New Password

- 4) กรอกยืนยันรหัสผ่านในช่อง “Confirm Password”

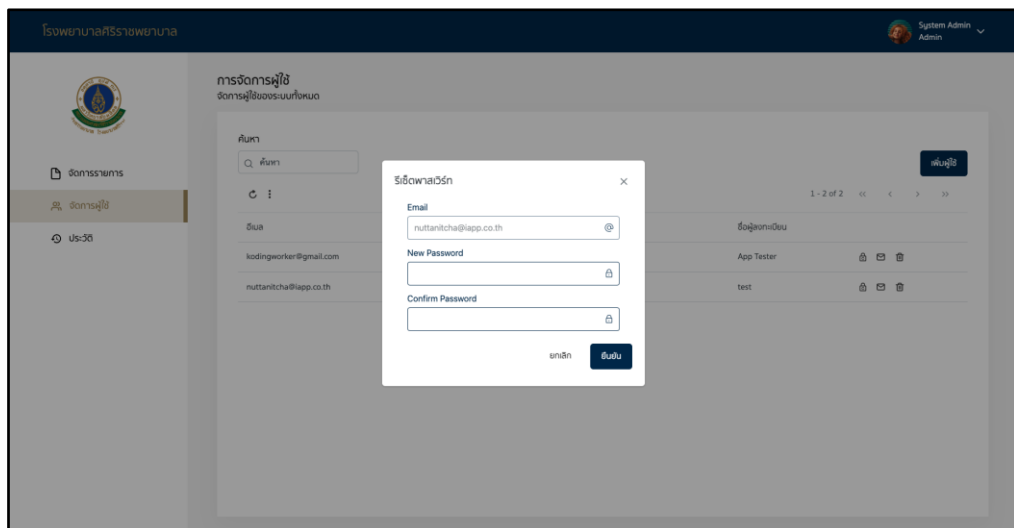
ยกเลิก

- 5) กดปุ่ม “ยกเลิก” เพื่อยกเลิกการเพิ่มผู้ใช้งาน

ยืนยัน

- 6) กดปุ่ม “บันทึก” เพื่อยืนยันการเพิ่มผู้ใช้งาน

- หน้า Pop-up รีเซ็ตรหัสผ่าน



#### การทำงานของหน้าจอ:

หน้าสำหรับให้ผู้ดูแลระบบทำการรีเซ็ตรหัสผ่านของผู้ใช้งานระบบ

- 1) แสดงอีเมลของผู้ใช้งาน

- 2) กรอกรหัสผ่านใหม่ในช่อง “New Password”

- 3) กรอกยืนยันรหัสผ่านใหม่ในช่อง “Confirm Password”

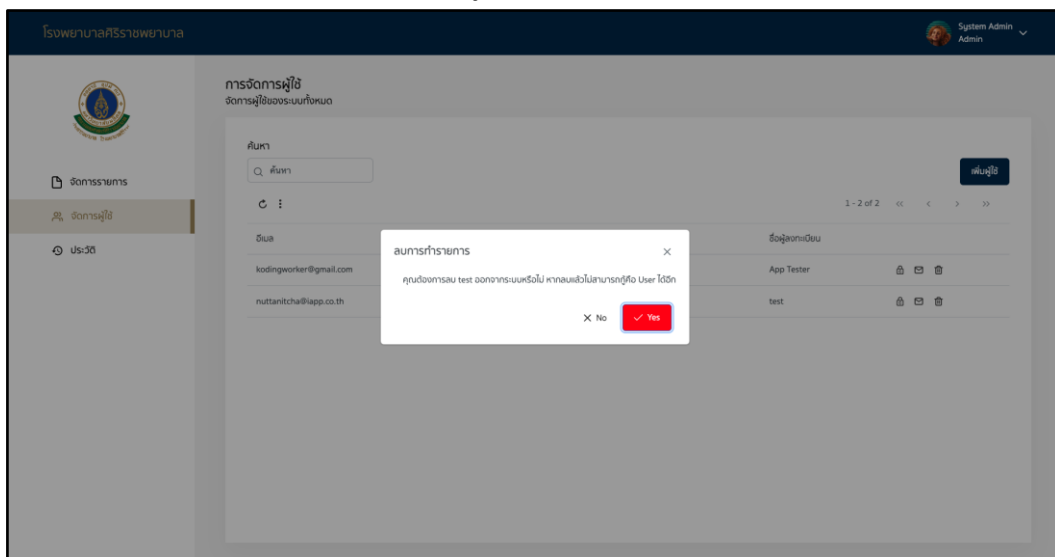
ยกเลิก

- 4) กดปุ่ม “ยกเลิก” เพื่อยกเลิกการเพิ่มผู้ใช้งาน

ยืนยัน

- 5) กดปุ่ม “บันทึก” เพื่อยืนยันการเพิ่มผู้ใช้งาน

- หน้า Pop-up ยืนยันการลบผู้ใช้งาน



#### การทำงานของหน้าจอ:

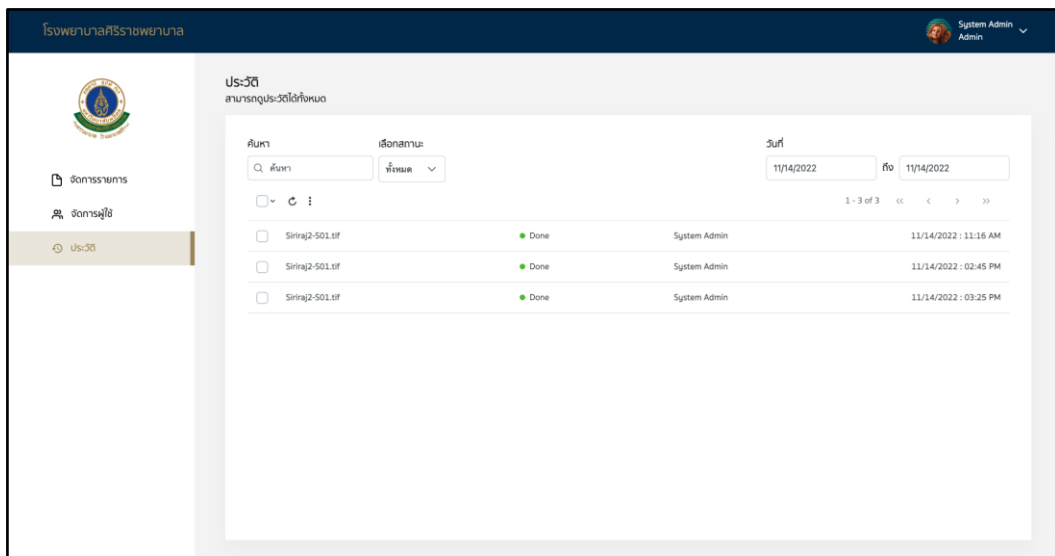
เป็นหน้า Pop-up สำหรับให้ผู้ใช้ยืนยันการลบผู้ใช้งานในระบบ

- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบผู้ใช้งาน

- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบผู้ใช้งาน

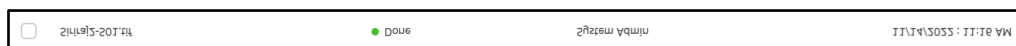
4. หน้าจอในส่วนของประวัติ

- หน้าประวัติรายการผลตรวจ



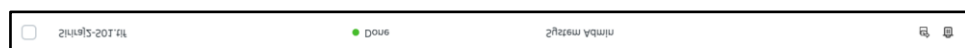
### การทำงานของหน้าจอ:



หน้าสำหรับให้ผู้ใช้และระบบสามารถดูประวัติของรายการผลตรวจได้ โดยสามารถเลือกดูจากการค้นหาชื่อไฟล์ สถานะ และวันที่ส่งตรวจ





ข้อมูลประวัติรายการผลตรวจที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ สถานะการตรวจสอบ ชื่อ Admin ที่ทำการตรวจสอบ และวัน เวลา ที่ทำการตรวจสอบ

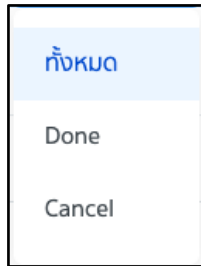
- 1) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ดาวน์โหลด” และ “ลบ” ออกมา




- กดปุ่ม  เพื่อดาวน์โหลดผลการตรวจสอบข้อมูลนี้
- กดปุ่ม  เพื่อลบผลการตรวจสอบข้อมูลนี้ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูล


- 2) กรอกข้อมูลที่ช่อง “ค้นหา”  เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล

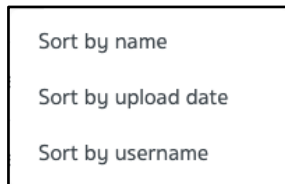
- 3) กดเลือก “เลือกสถานะ”  เพื่อเลือกสถานะของผลการตรวจสอบข้อมูล ดังนี้





- ทั้งหมด คือ แสดงรายการผลตรวจทั้งหมด
- Done คือ แสดงรายการผลการตรวจสอบสำเร็จ
- Cancel คือ แสดงรายการยกเลิกผลการตรวจสอบ

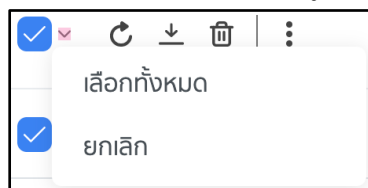
4) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

5) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้





- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อ
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด
- Sort by username คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามชื่อของ Admin

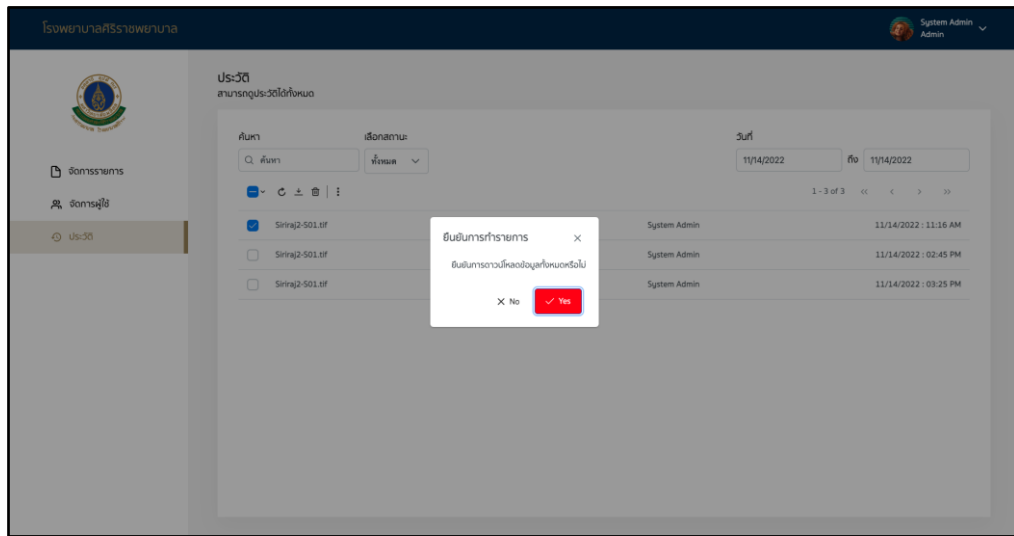
6) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูล หรือกดปุ่ม  เพื่อทำการเลือกข้อมูลทั้งหมด และยกเลิกการเลือกข้อมูล ดังรูป



และหลังจากกดเลือกข้อมูลแล้วจะแสดงปุ่มเพิ่มเติมดังนี้

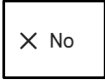

- กดปุ่ม  เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลที่เลือก เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการดาวน์โหลดข้อมูล
- กดปุ่ม  เพื่อทำการลบข้อมูล เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลที่เลือก

- หน้า Pop-up ยืนยันการดาวน์โหลดรายการผลการตรวจสอบ

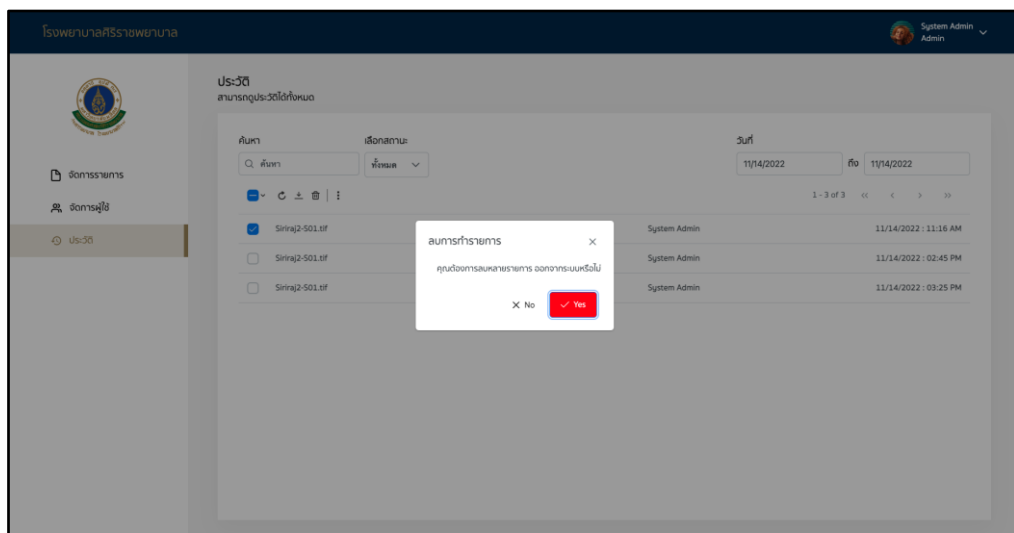


การทำงานของหน้าจอ:

หน้า Pop-up ยืนยันการดาวน์โหลดรายการผลการตรวจสอบ

- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการดาวน์โหลดรายการผลการตรวจสอบ
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการดาวน์โหลดรายการผลการตรวจสอบ

- หน้า Pop-up ยืนยันการลบรายการผลการตรวจสอบ



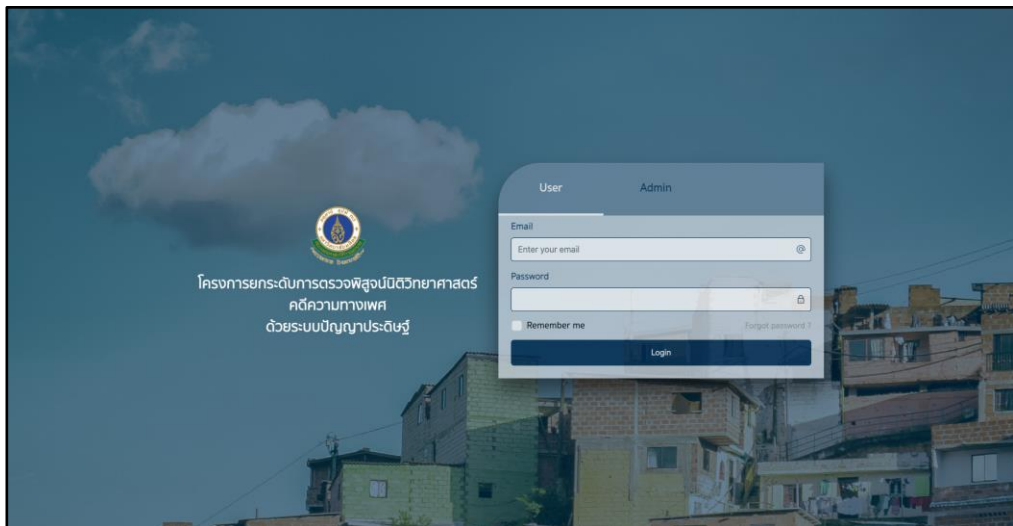
### การทำงานของหน้าจอ:

หน้า Pop-up ยืนยันการลบบรายการผลการตรวจสอบ

- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบบรายการผลการตรวจสอบ
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบบรายการผลการตรวจสอบ

### การใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิส่วนผู้ใช้งาน (User)

1. หน้าจอในส่วนของการเข้า-ออกระบบ (Login, Logout)
  - หน้า Login



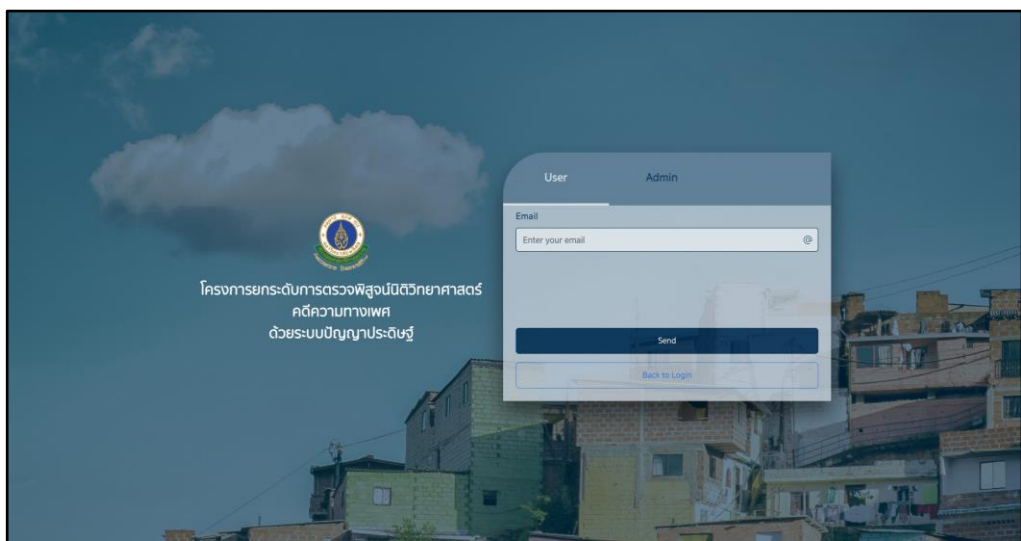
### การทำงานของหน้าจอ:

เป็นหน้าแรกของการเข้าสู่ระบบ ซึ่งมีไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานทำการล็อกอิน เพื่อใช้งานระบบ

- 1) ผู้ใช้งานกรอกอีเมล (Email) และรหัสผ่าน (Password) เพื่อทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบ

- 2) กดเลือก “Remember me”  Remember me เพื่อให้ระบบจดจำ Email กับ Password ของผู้ใช้งาน
- 3) กดปุ่ม “Forgot password”  เพื่อไปยังหน้า Forgot password
- 4) กดปุ่ม “Login”  เพื่อทำการเข้าสู่ระบบ

■ หน้า Forgot password



การทำงานของหน้าจอ:

เป็นหน้าสำหรับให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล Email เพื่อทำการ Reset รหัสผ่านใหม่

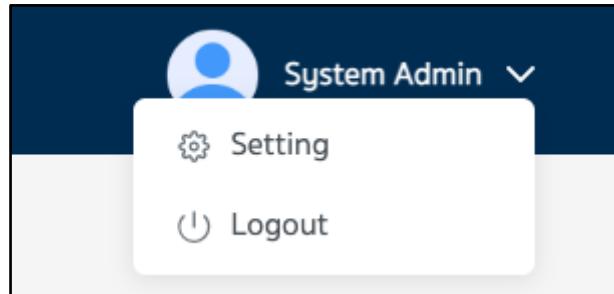
- 1) ผู้ใช้งานกรอก Email ในช่อง “Email”

- 2) กดปุ่ม “Send”  เพื่อให้ระบบทำการส่งอีเมล Reset รหัสผ่านใหม่

- 3) กดปุ่ม “Back to Login”

เพื่อทำการกลับไปยังหน้า Login

■ หน้าเมนูด้านบน หลัง Login เข้าสู่ระบบ

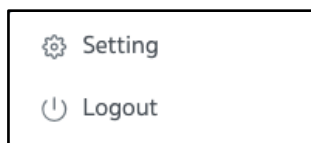


### การทำงานของหน้าจอ:


เมนูด้านบน ซึ่งมีไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานเลือกทำการ Logout เพื่อออกจากระบบ หรือเลือก Setting เพื่อทำการตั้งค่า Auto Refresh ประกอบไปด้วย

1)  แสดงโปรไฟล์ของผู้ใช้งานระบบ

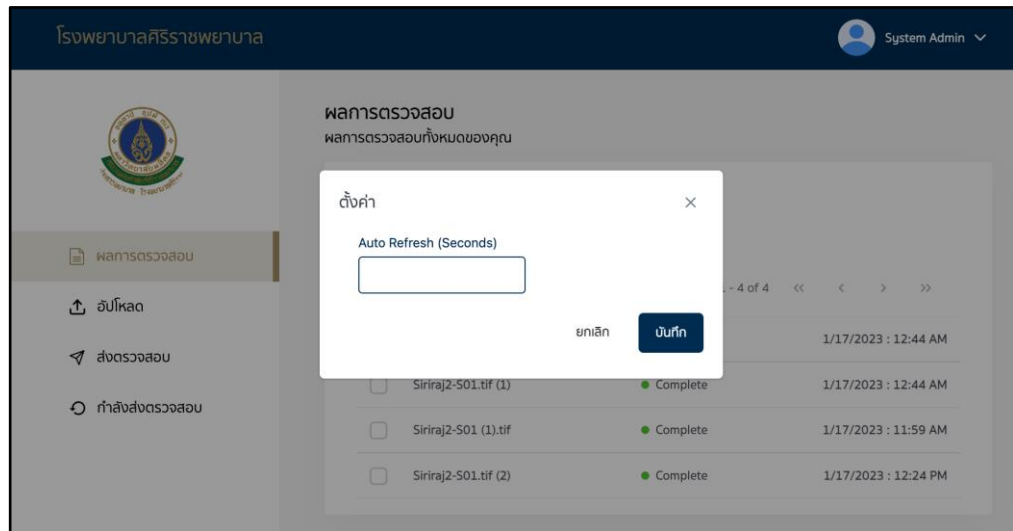
2) กดปุ่ม  เพื่อแสดงตัวเลือก



3) กดปุ่ม “Setting”  เพื่อทำการตั้งค่า Auto Refresh และไปยังหน้า Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh

4) กดปุ่ม “Logout”  เพื่อออกจากระบบ และไปยังหน้า Pop-up Confirm การออกจากระบบ

- หน้า Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh

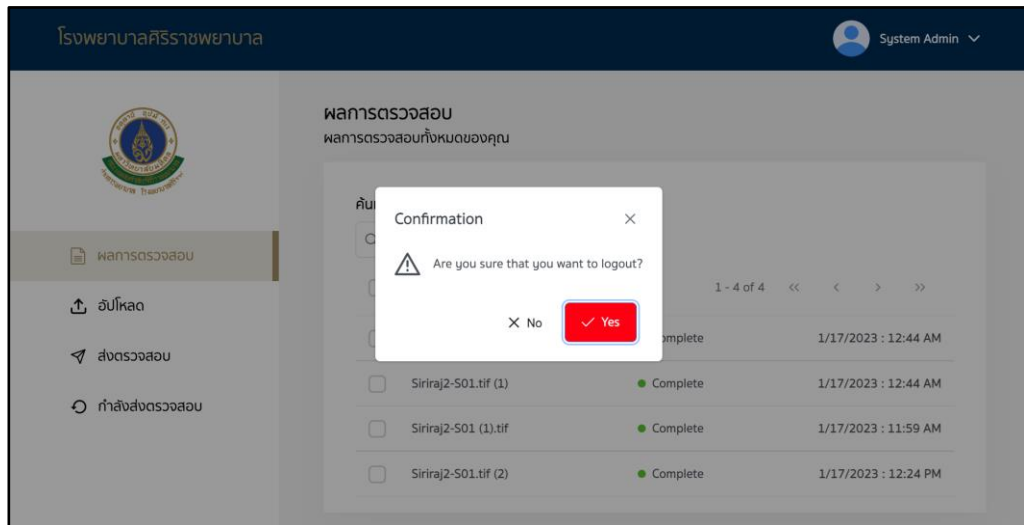


#### การทำงานของหน้าจอ:

แสดง Pop-up ตั้งค่า Auto Refresh เพื่อทำการตั้งค่าเวลาสำหรับตั้งค่า Auto Refresh

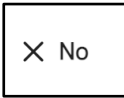
- 1) กรอกข้อมูลในช่อง “Auto Refresh (Seconds)”  เพื่อตั้งเวลา Auto Refresh
- 2) กดปุ่ม “ยกเลิก”  เพื่อยกเลิกการตั้งค่า Auto Refresh
- 3) กดปุ่ม “บันทึก”  เพื่อบันทึกการตั้งค่า Auto Refresh และกลับไปยังหน้าผลการตรวจสอบทั้งหมด

- หน้า Pop-up Confirm การออกจากระบบ



### การทำงานของหน้าจอ:

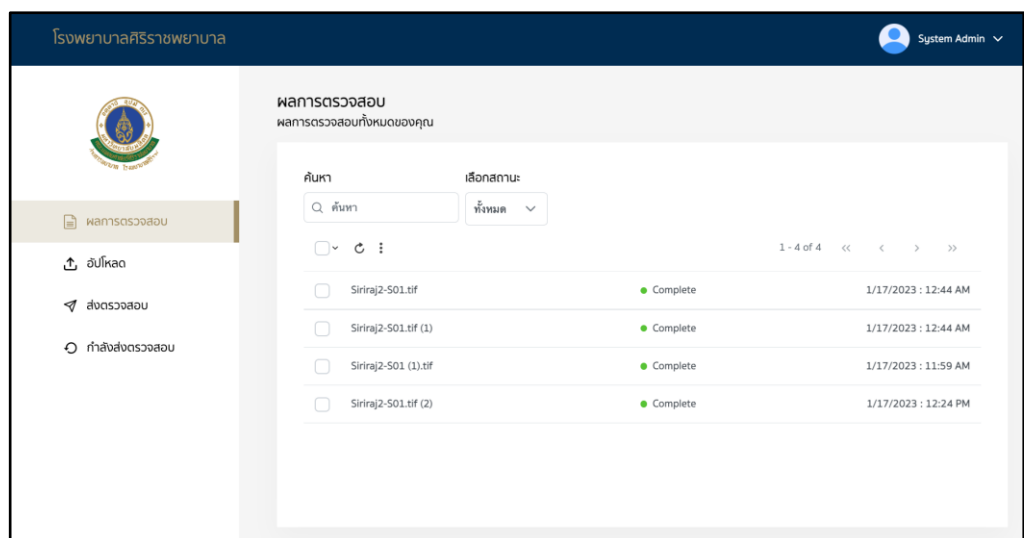
แสดง Pop-up ยืนยันการออกจากระบบ

1) กดปุ่ม "No"  เพื่อยกเลิกการออกจากระบบ

2) กดปุ่ม "Yes"  เพื่อยืนยันการออกจากระบบ และกลับไปยังหน้า Login

### 2. หน้าจอในส่วนของผลการตรวจสอบ

- หน้าผลการตรวจสอบทั้งหมด



### การทำงานของหน้าจอ:



หน้าสำหรับแสดงสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมด


- 1) 

ข้อมูลผลการตรวจสอบที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ สถานะการตรวจสอบ และวัน เวลา ที่ทำการตรวจสอบ กดที่ข้อมูลเพื่อแสดงข้อมูลผลการตรวจสอบ

- 2) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ดาวน์โหลด” และ “ลบ” ออกมา

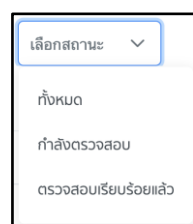


- กดปุ่ม  เพื่อดาวน์โหลดผลการตรวจสอบข้อมูลนี้
- กดปุ่ม  เพื่อลบผลการตรวจสอบข้อมูลนี้ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูล


- 3) กรอกข้อมูลที่ช่อง “ค้นหา” 


เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล

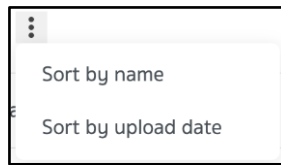
- 4) กดเลือก “เลือกสถานะ”  เพื่อเลือกสถานะของผลการตรวจสอบข้อมูล ดังนี้





- ทั้งหมด คือ แสดงผลการตรวจสอบทั้งหมด
- กำลังตรวจสอบ คือ แสดงผลการตรวจสอบ ที่อยู่ในขั้นตอนกำลังตรวจสอบ
- ตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว คือ แสดงผลการตรวจสอบ ที่ทำการตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว

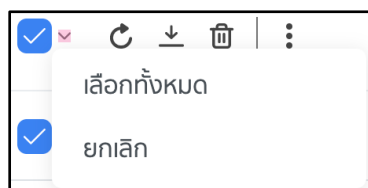
- 5) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

- 6) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้





- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อ
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด

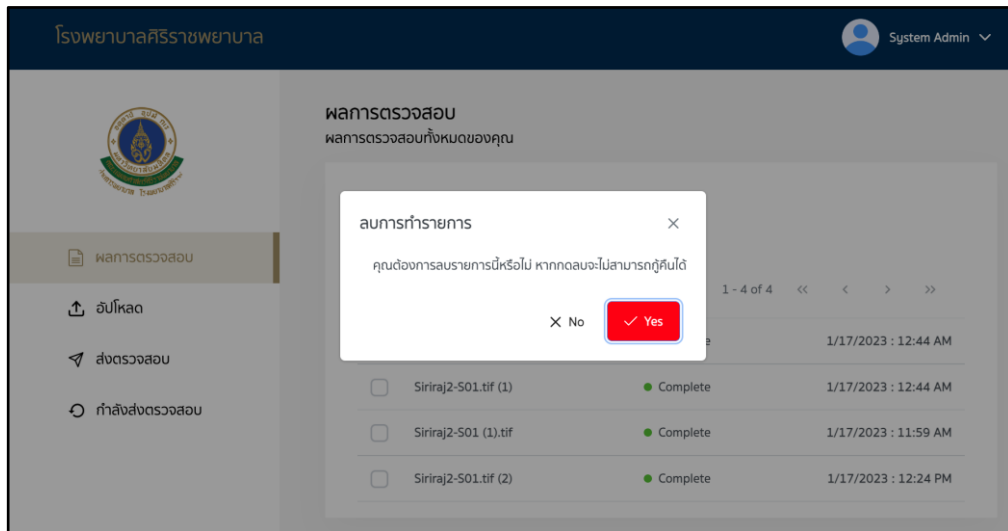
7) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูล หรือกดปุ่ม  เพื่อทำการเลือกข้อมูลทั้งหมด และยกเลิกการเลือกข้อมูล ดังรูป



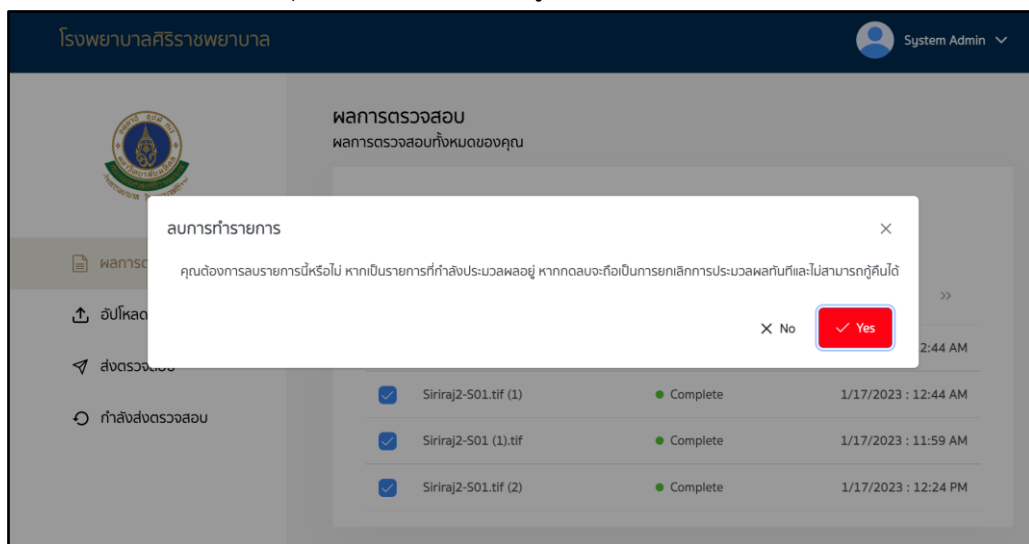
และหลังจากกดเลือกข้อมูลแล้วจะแสดงปุ่มเพิ่มเติม ดังนี้

- กดปุ่ม  เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลที่เลือก  
เมื่อกดปุ่มจะทำการดาวน์โหลดข้อมูลลงไปยังเครื่อง
- กดปุ่ม  เพื่อทำการลบข้อมูล เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลที่เลือก

■ หน้า Pop-up ยืนยันการลบผลการตรวจสอบ  
การแสดงผลการกดปุ่มลบจากข้อมูลใดข้อมูลหนึ่ง



### การแสดงผลการกดปุ่มลบจากการเลือกข้อมูลทั้งหมด



### การทำงานของหน้าจอ:

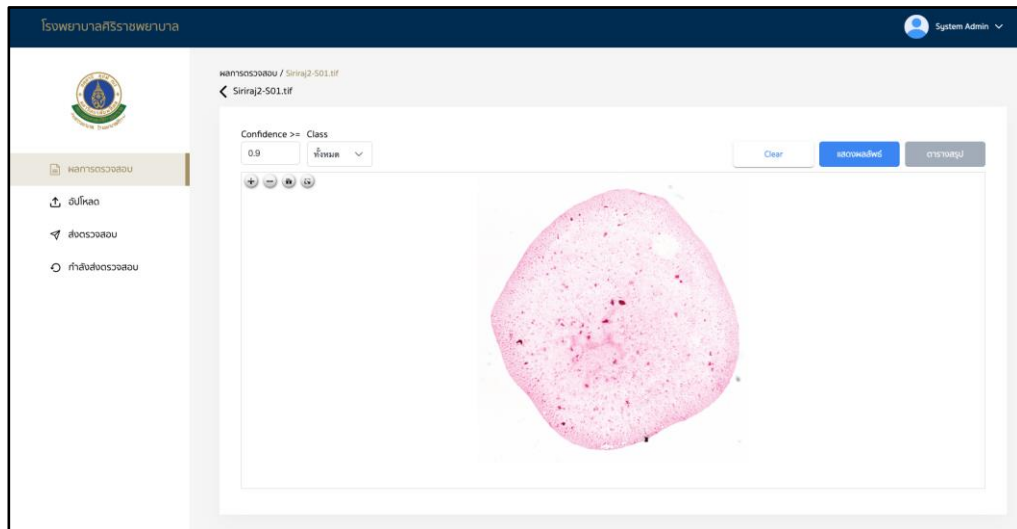
หน้าแสดง Pop-up เพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันการลบผลการตรวจสอบ

1) กดปุ่ม  เพื่อยกเลิกการลบผลการตรวจสอบ และปิด Pop-up

กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบผลการตรวจสอบ

2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบผลการตรวจสอบทั้งหมดที่ผู้ใช้งานได้ทำการเลือก

■ หน้าผลการตรวจสอบ



การทำงานของหน้าจอ:

หน้าแสดงรูปภาพผลการตรวจสอบ ที่ผู้ใช้งานได้ทำการส่งไปตรวจสอบ

- 1) กรอกระดับความ Confidential ที่ต้องการทราบ ในช่อง “Confidence”

Confidence >=

- 2) เลือกประเภทของ Sperm ที่ต้องการจะทราบในช่อง “Class”

Class

ทั้งหมด

ทั้งหมด

อสุจิปกติ

อสุจิมัดปกติ Tapered




อสุจิมัดปกติ Pyriform

โดยสามารถเลือกได้ดังนี้

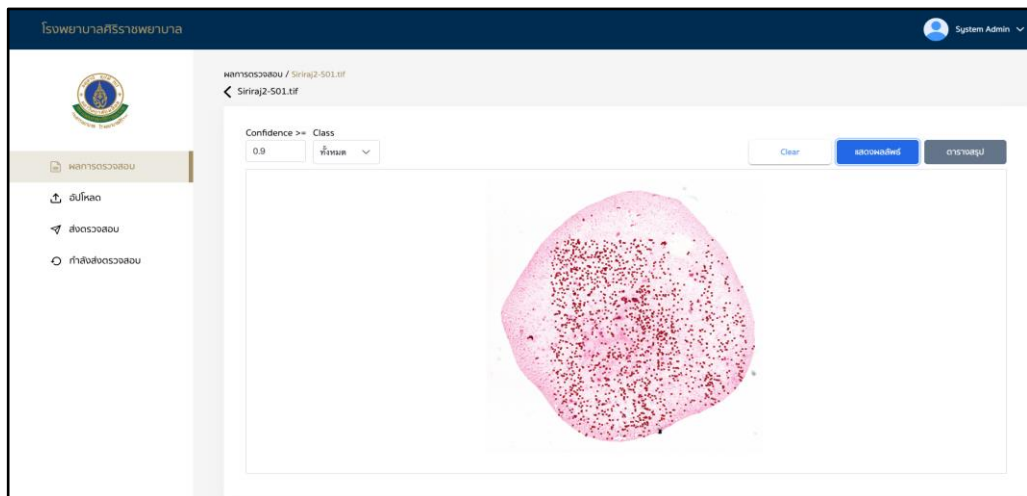
- อสุจิปกติ
- อสุจิมัดปกติ Tapered
- อสุจิมัดปกติ Pyriform

- 3) กดปุ่ม “แสดงผลลัพธ์”  เพื่อแสดงผลการตรวจสอบ

- 4) กดปุ่ม  เพื่อเพิ่มขนาดของภาพให้ใหญ่ขึ้น






- 5) กดปุ่ม  เพื่อลดขนาดของภาพให้เล็กลง
- 6) กดปุ่ม  เพื่อกลับไปยังรูปภาพขนาดปกติ
- 7) กดปุ่ม  เพื่อขยายรูปภาพเต็มหน้าจอ

■ หน้าแสดงรูปภาพผลการตรวจสอบ



การทำงานของหน้าจอ:

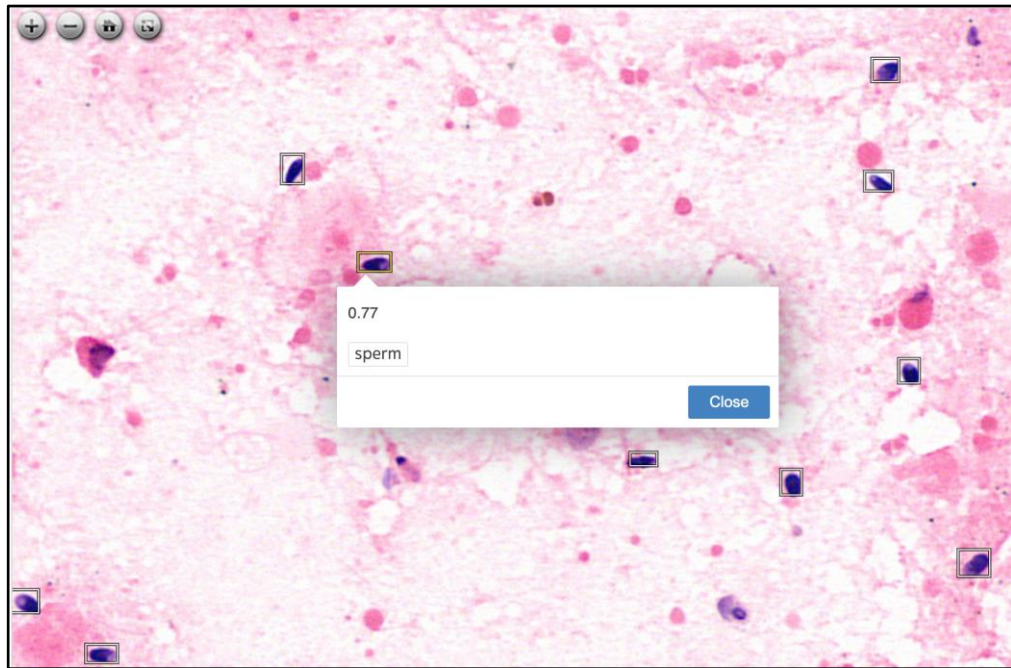
หน้าแสดงรูปภาพผลการตรวจสอบในลักษณะของการใช้ AI ตรวจจับข้อมูล

- 1) กดปุ่ม “Clear”  เพื่อเคลียร์ผลการค้นหา
- 2) กดปุ่ม  เพื่อเพิ่มขนาดของภาพให้ใหญ่ขึ้น
- 3) กดปุ่ม  เพื่อลดขนาดของภาพให้เล็กลง
- 4) กดปุ่ม  เพื่อกลับไปยังรูปภาพขนาดปกติ
- 5) กดปุ่ม  เพื่อขยายรูปภาพเต็มหน้าจอ

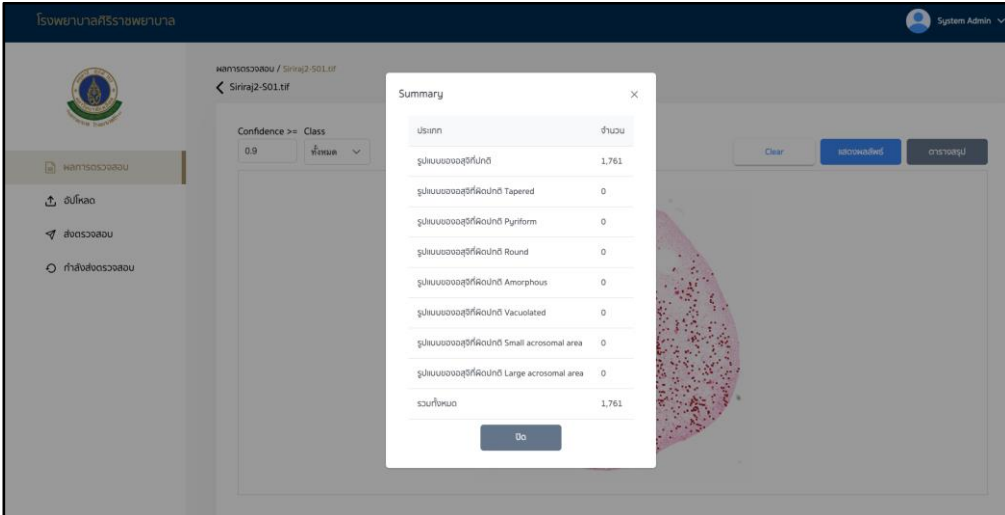
เพิ่มเติมในส่วนของเมื่อผู้ใช้งานขยายรูปภาพ

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

จะแสดงผลการตรวจสอบโดย AI เมื่อกดไปในส่วนที่มีการตรวจจับจะแสดงค่า Confidence ของ Sperm ดังรูป และกดปุ่ม “Close”  เพื่อปิดรายละเอียดของ Sperm ตัวนั้น



#### ■ หน้าแสดงตารางสรุปผลการตรวจสอบ



ประเภท	จำนวน
รูปร่างของสเปิร์มหัว	1,761
รูปร่างของสเปิร์มหัว Tapered	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Pyramidal	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Round	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Amorphous	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Vacuolated	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Small acrosomal area	0
รูปร่างของสเปิร์มหัว Large acrosomal area	0
รวมทั้งหมด	1,761

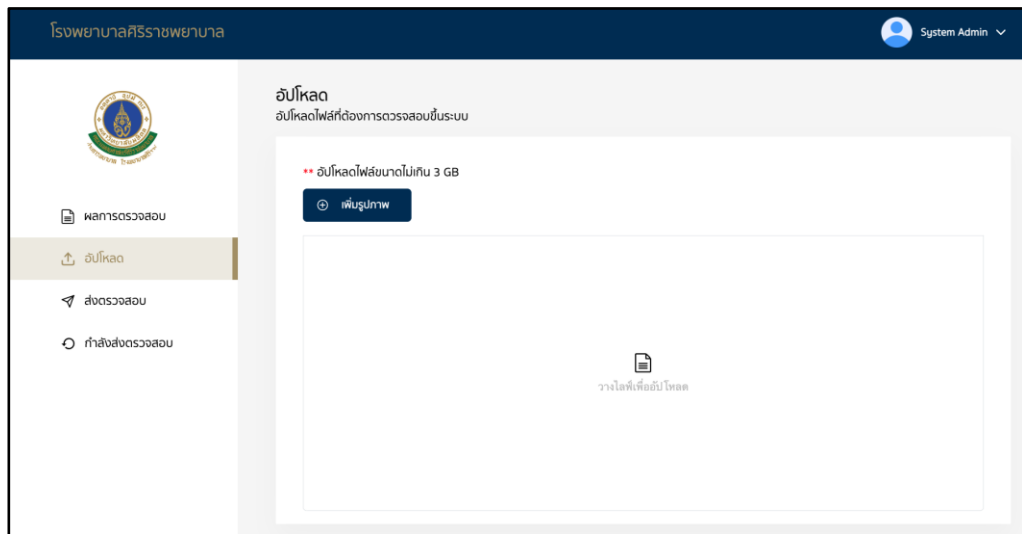
การทำงานของหน้าจอ:

หน้าแสดงตารางผลการตรวจสอบในลักษณะของการใช้ AI ตรวจจับข้อมูล

- 1) กดปุ่ม  เพื่อปิด Pop-up
- 2) กดปุ่ม “ปิด”  เพื่อปิด Pop-up และกลับไปหน้าผลการตรวจสอบ

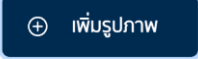
### 3. หน้าจอในส่วนของการอัปโหลดไฟล์

#### ▪ หน้าอัปโหลดไฟล์



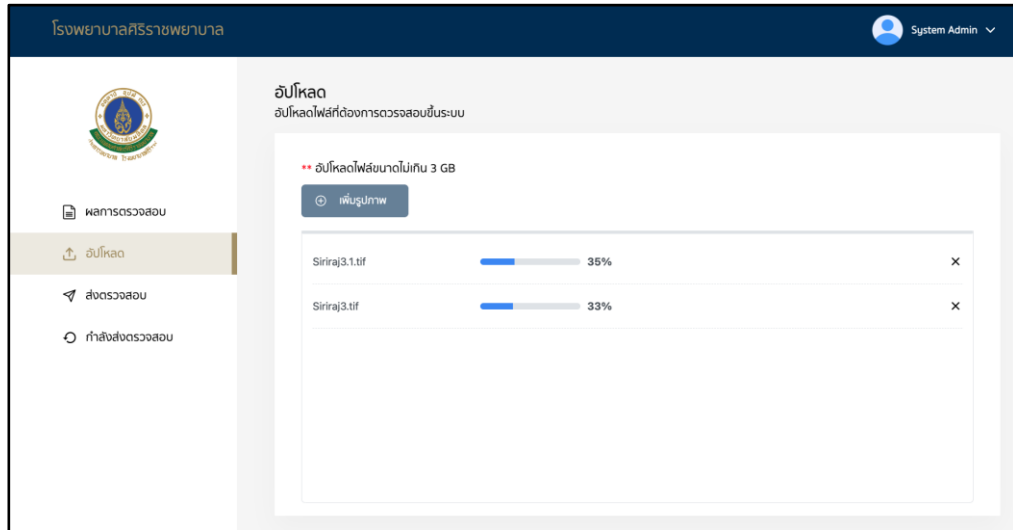
#### การทำงานของหน้าจอ:

หน้าสำหรับให้ผู้ใช้งานทำการอัปโหลดไฟล์ โดยไฟล์ที่อัปโหลดจะต้องมีขนาดไม่เกิน 3 GB ซึ่งสามารถอัปโหลดได้ครั้งละ 5 ไฟล์

- 1) กดปุ่ม “เพิ่มรูปภาพ”  เพื่ออัปโหลดไฟล์รูปภาพ โดยสามารถอัปโหลดได้เฉพาะไฟล์ .tif เท่านั้น

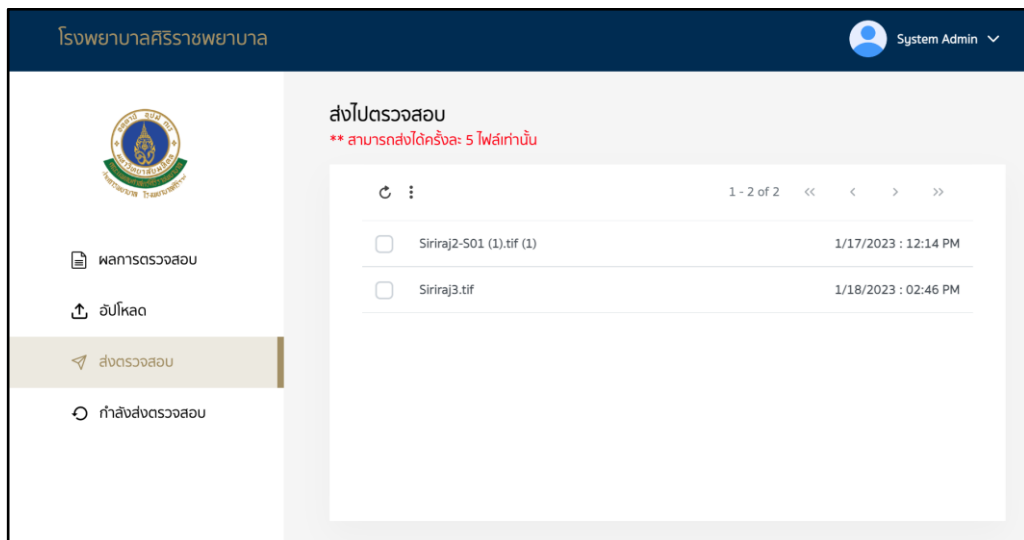
2) แสดงลำดับการอัปโหลด หลังจากทำการเพิ่มรูปภาพ (กรณีอัปโหลดหลายไฟล์) และกดปุ่ม

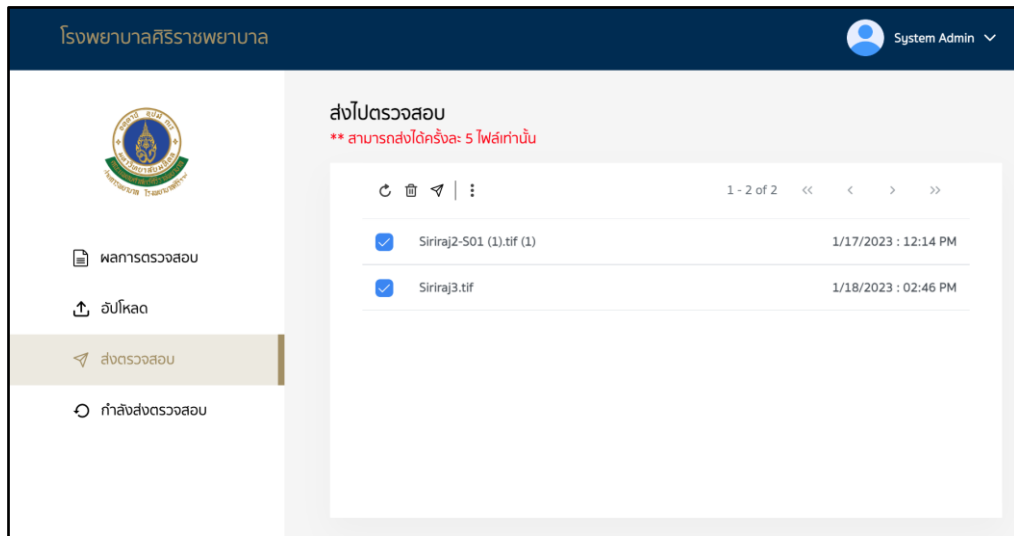
 เพื่อยกเลิกการอัปโหลดไฟล์รายการนั้น



4. หน้าจอในส่วนของส่งข้อมูลไปตรวจสอบ

- หน้าส่งข้อมูลไปตรวจสอบ





#### การทำงานของหน้าจอ:


หน้าสำหรับให้ผู้ใช้งานทำการเลือกส่งข้อมูลภาพที่ทำการอัปโหลดเรียบร้อยแล้ว เพื่อส่งไปตรวจสอบพิสูจน์ ซึ่งในการส่งไปตรวจสอบแต่ละครั้งจะสามารถส่งได้ครั้งละ 5 ไฟล์เท่านั้น




ข้อมูลผลการตรวจสอบที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ และวัน เวลา ที่ทำการอัปโหลด กติข้อมูลเพื่อแสดงข้อมูลผลการตรวจสอบ


2) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ลบ” และ “ส่งข้อมูล” ออกมา

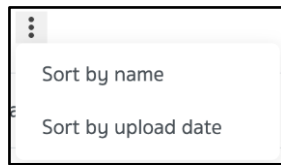


- กดปุ่ม  เพื่อลบผลการตรวจสอบข้อมูลนี้ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูล




- กดปุ่ม  เพื่อทำการส่งข้อมูลไปตรวจสอบ

3) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

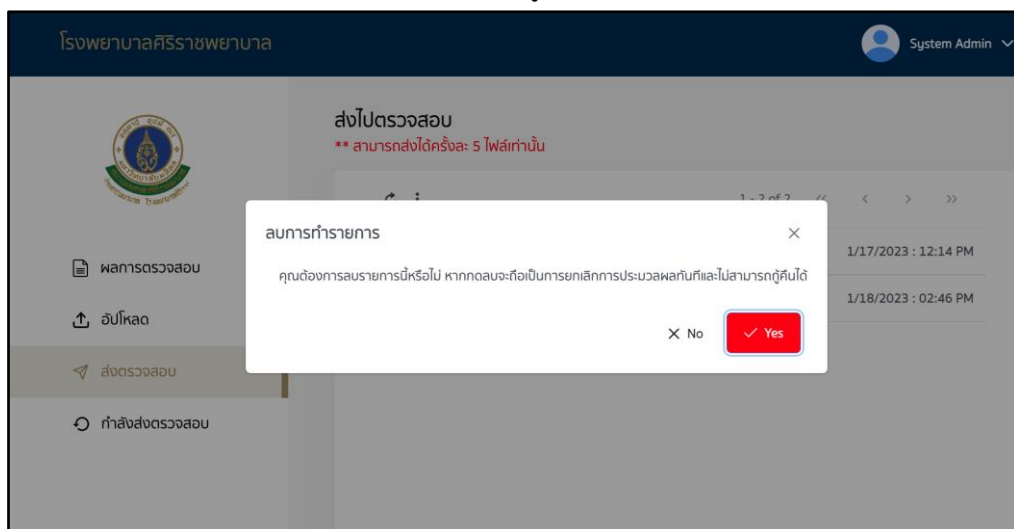
4) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้



- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อ
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด

- 5) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปตรวจสอบ โดยสามารถเลือกส่งได้ครั้งละ 5 ไฟล์เท่านั้น
- 6) กดปุ่ม  เพื่อส่งข้อมูล que เลือกไปตรวจสอบ
- 7) กดปุ่ม  เพื่อทำการลบข้อมูล เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูล que เลือก

- หน้า Pop-up ยืนยันการลบการส่งข้อมูล

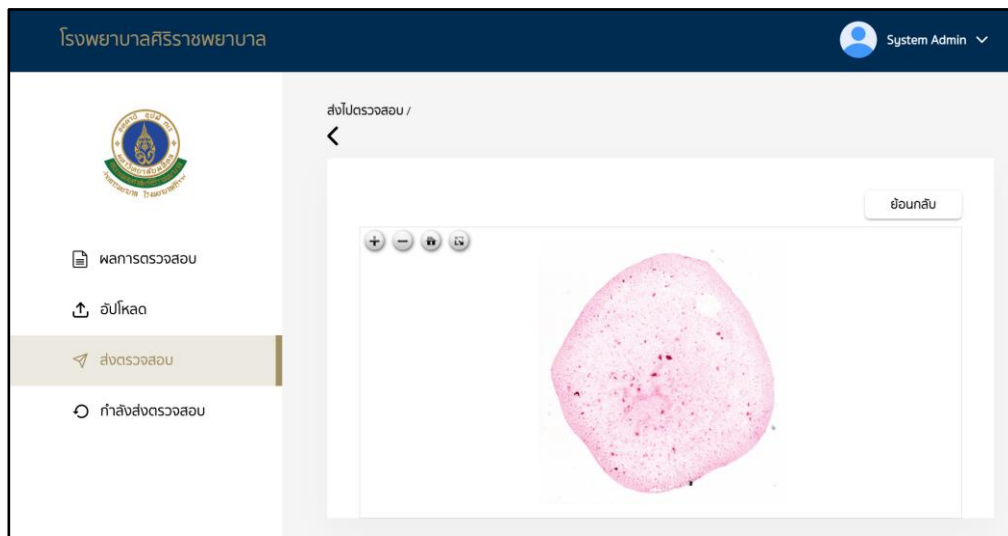


#### การทำงานของหน้าจอ:

หน้าแสดง Pop-up เพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันที่จะลบข้อมูลที่จะส่งไปตรวจสอบ






- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบข้อมูล
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบข้อมูลที่จะส่งไปตรวจสอบ

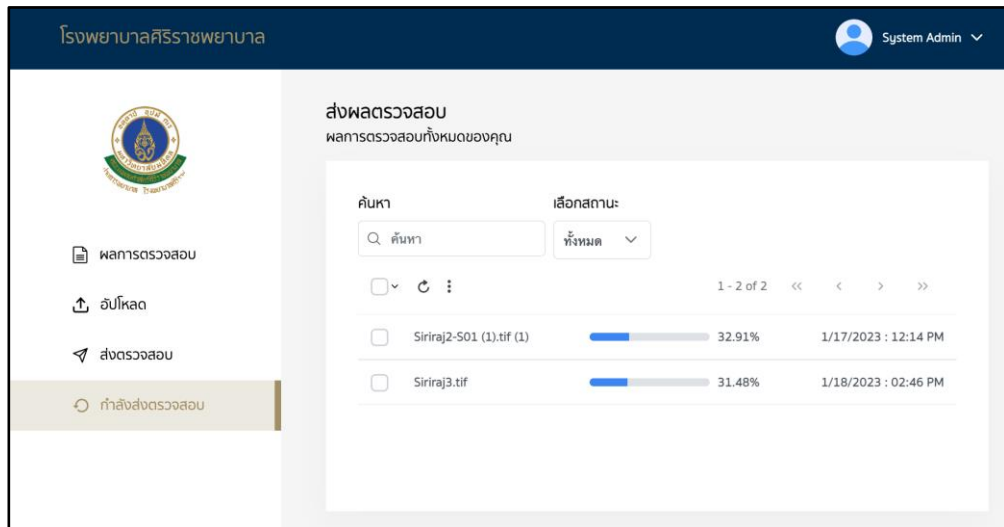
■ หน้ารูปภาพที่อัปโหลด



การทำงานของหน้าจอ:

แสดงรูปภาพที่ได้ทำการอัปโหลด ในหน้าอัปโหลดไฟล์

- 1) กดปุ่ม “ย้อนกลับ”  เพื่อกลับไปยังหน้าส่งข้อมูลไปตรวจสอบ
  - 2) กดปุ่ม  เพื่อเพิ่มขนาดของภาพให้ใหญ่ขึ้น
  - 3) กดปุ่ม  เพื่อลดขนาดของภาพให้เล็กลง
  - 4) กดปุ่ม  เพื่อกลับไปยังรูปภาพขนาดปกติ
  - 5) กดปุ่ม  เพื่อขยายรูปภาพเต็มหน้าจอ
5. หน้าจอในส่วนของกำลังส่งตรวจสอบ
- หน้ากำลังส่งข้อมูลตรวจสอบ



### การทำงานของหน้าจอ:


หน้าสำหรับให้ผู้ใช้งานทราบสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการส่งตรวจสอบข้อมูล




ข้อมูลที่กำลังส่งตรวจสอบที่แสดงบนหน้าจอประกอบด้วย ชื่อไฟล์ สถานะการตรวจสอบ และวัน เวลา ที่ทำการตรวจสอบ กดที่ข้อมูลเพื่อแสดงข้อมูลผลการตรวจสอบ

2) เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ข้อมูลจะแสดงปุ่ม “ลบ” ออกมา

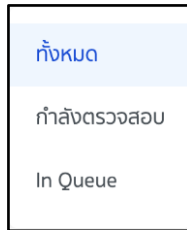


- กดปุ่ม  เพื่อลบผลการตรวจสอบข้อมูลนี้ เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูล


3) กรอกข้อมูลที่ช่อง “ค้นหา” 


เพื่อทำการค้นหาตามเงื่อนไขที่กรอกข้อมูล

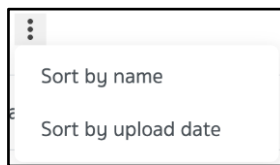
4) กดเลือก “เลือกสถานะ”  เพื่อเลือกสถานะของผลการตรวจสอบข้อมูล ดังนี้



- ทั้งหมด คือ แสดงข้อมูลการส่งตรวจสอบทั้งหมด
- กำลังตรวจสอบ คือ แสดงข้อมูล ที่อยู่ในขั้นตอนกำลังส่งตรวจสอบ
- In Queue คือ แสดงข้อมูลที่อยู่ในคิวการส่งตรวจสอบ

5) กดปุ่ม  เพื่อรีเฟรชข้อมูลขึ้นมาใหม่

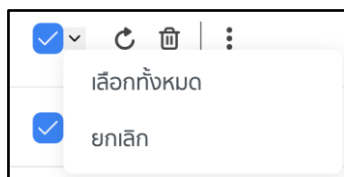
6) กดปุ่ม  เพื่อเลือกการแสดงผลข้อมูลตามประเภทที่เลือก ดังนี้




- Sort by name คือ แสดงข้อมูลที่เรียงตามตัวอักษรของชื่อ
- Sort by upload date คือ แสดงข้อมูลตามวันที่ ที่ทำการอัปโหลด

7) กดปุ่ม  เพื่อเลือกข้อมูล หรือกดปุ่ม  เพื่อทำการเลือกข้อมูลทั้งหมด

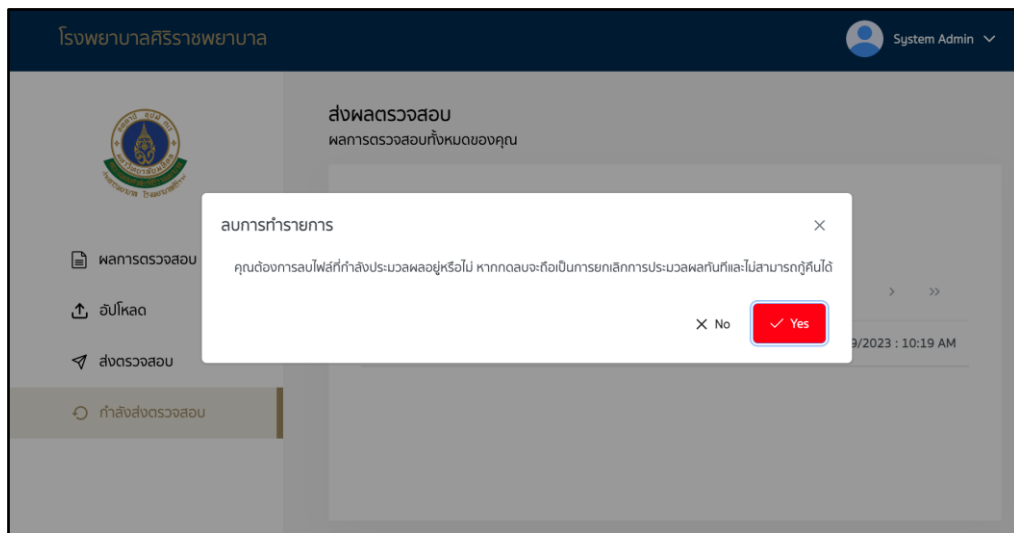
และยกเลิกการเลือกข้อมูล ดังรูป



และหลังจากกดเลือกข้อมูลแล้วจะแสดงปุ่มเพิ่มเติมดังนี้

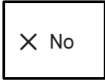

- กดปุ่ม  เพื่อทำการลบข้อมูล เมื่อกดปุ่มจะแสดง Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลที่เลือก

- หน้า Pop-up ยืนยันการลบข้อมูลที่กำลังส่งตรวจสอบ



#### การทำงานของหน้าจอ:

หน้าแสดง Pop-up เพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันที่จะลบข้อมูลที่ส่งไปตรวจสอบ

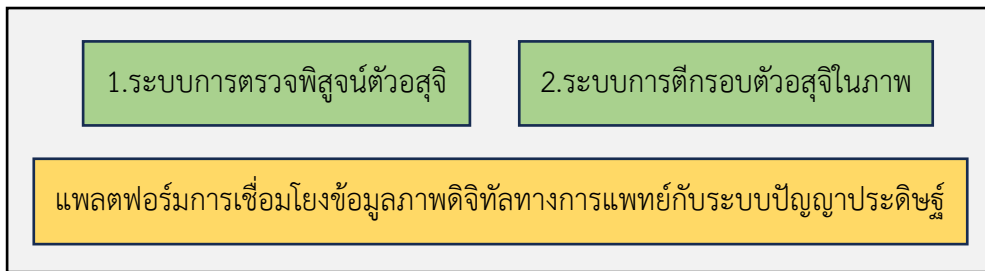
- 1) กดปุ่ม “No”  เพื่อยกเลิกการลบการส่งข้อมูล
- 2) กดปุ่ม “Yes”  เพื่อยืนยันการลบข้อมูลที่กำลังส่งไปตรวจสอบ

### 3.2.4 การออกแบบแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

ภาพรวมของโครงการย่อย แพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์เป็นการสร้างแพลตฟอร์มที่ใช้แนวคิดการจัดการแบบ Microservices เนื่องจากมีการบูรณาการระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยมีการสร้าง Service จำนวน 2 Services ประกอบด้วยระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และระบบการตีกรอบตัวอสุจิในภาพ

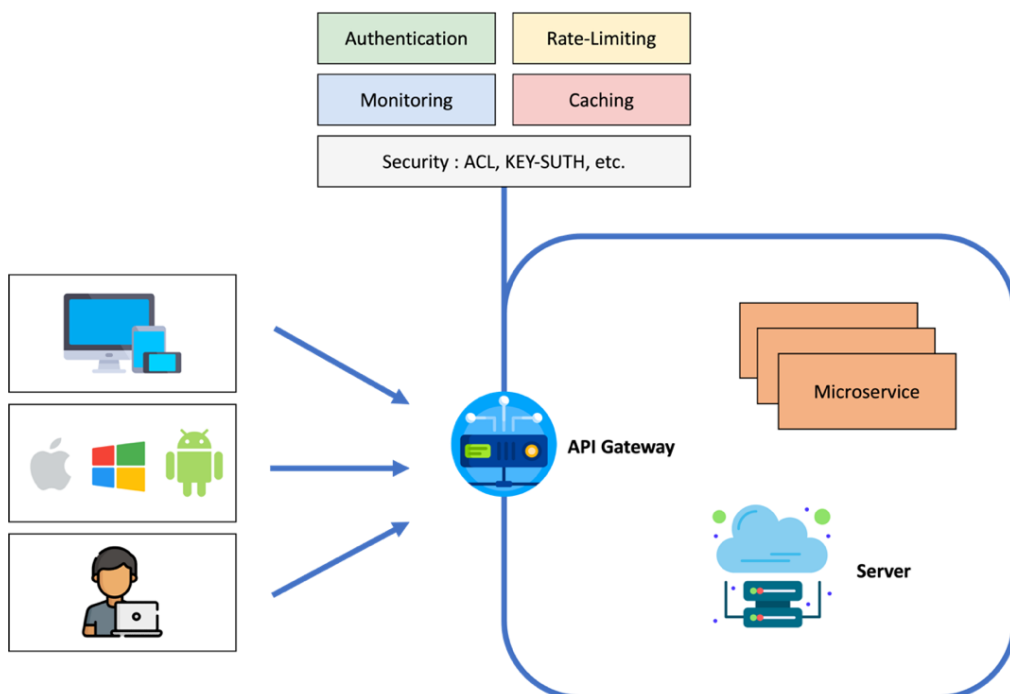
#### 1. ระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์ ภายใต้แนวคิดแพลตฟอร์มเปิด (รูปที่ 3.13) ซึ่งจะทำให้ทุก ๆ ระบบที่จะถูกพัฒนาขึ้น สามารถติดตั้งและทำงานได้อย่างถูกต้อง รวมถึงทุก ๆ ระบบ สามารถใช้งาน Service ที่มีอยู่แล้วได้



รูปที่ 3.13 แพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์

โดยแต่ละระบบจะทำการออกแบบและพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ให้อยู่ในรูปแบบของ Microservice แยกเป็นชุดของการให้บริการ (Service) ย่อยออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งแต่ละระบบจะทำงานอย่างเป็นอิสระ ถ้าต้องการข้อมูลจาก Service อื่น ก็สามารถเรียกใช้ผ่าน Application Programming Interface Gateway (API Gateway) ที่รองรับการกำหนดการเข้าถึงการใช้งาน (Authentication) ตรวจสอบ (Monitoring) บันทึกลง (Caching) นอกจากนี้ ยังออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ ได้ง่าย และมีระบบการส่งข้อมูลที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โครงสร้างของแพลตฟอร์มการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์

แพลตฟอร์มการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้

- ฟังก์ชันตรวจสอบการทำงานของ Service (Monitor service) ฟังก์ชันการควบคุมการเข้าถึงระบบ (API Gateway) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับแพลตฟอร์ม โดยจะมีการจัดการการเข้าถึงจากผู้ใช้ภายนอก ทั้งยังเสริมความปลอดภัยให้การเข้าถึงจากผู้ใช้ภายใน (Internal API)
- ฟังก์ชันการยืนยันตัวตน (Authentication) เพื่อยืนยันตัวตนก่อนเข้าการใช้งานระบบต่าง ๆ ที่มีให้บริการ (Service) อยู่บนแพลตฟอร์ม
- ฟังก์ชันการกำหนดปริมาณการเรียกใช้บริการ (Rate limiting) เพื่อควบคุม Traffic การเรียกใช้บริการของระบบ (Traffic management) โดยสามารถกำหนดจำนวนครั้งต่อวินาที (Request per second) หรือจำนวนครั้งต่อนาที (Request per minute) หรือจำนวนครั้งต่อชั่วโมง (Request per hour)
- ฟังก์ชันตรวจสอบการทำงานของ Service (Monitor service) สำหรับการแสดงสถานะของ Service แต่ละตัวที่ทำงานอยู่บนแพลตฟอร์ม

โดยระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ประกอบด้วย ระบบปัญญาประดิษฐ์ และเว็บไซต์

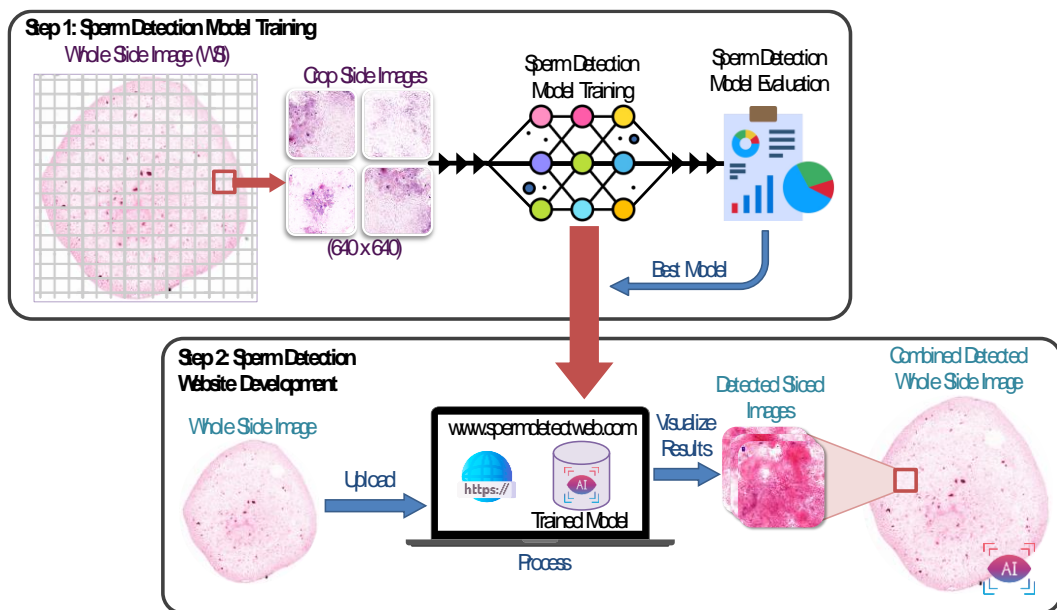
- 1) ระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) จะทำการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ถ่ายจากแผ่นสไลด์ที่ผู้ใช้งานส่งเข้ามา โดยโมเดลจะทำการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิ พร้อมทั้งระบุตำแหน่งและค่าความเชื่อมั่น
- 2) เว็บไซต์ (Website) จะใช้การแสดงผลผลลัพธ์ จำนวนภาพตัวอสุจิที่อยู่ภาพดิจิทัลที่ถ่ายจากแผ่นสไลด์และระบุหมายเลขสไลด์ พร้อมทั้งข้อมูลของผู้ใช้งาน โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลรูปภาพที่มีการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิ พร้อมระบุชนิดของอสุจิและจำนวนอสุจิ

## 2. ระบบการตีกรอบตัวอสุจิในภาพ

ผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบการตีกรอบตัวอสุจิในภาพ ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ นอกจากนี้ ในกรณีที่ผู้ใช้งานของโรงพยาบาลอื่น ๆ ต้องการนำข้อมูลภาพดิจิทัลที่ถ่ายจากแผ่นสไลด์ของโรงพยาบาลตนเองมาจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอน AI ที่พัฒนาขึ้นเองในอนาคตก็สามารถใช้ระบบการตีกรอบตัวอสุจิในภาพนี้ได้เช่นกัน

### 3.3 การพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ การพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ การพัฒนาการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ และการพัฒนาแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



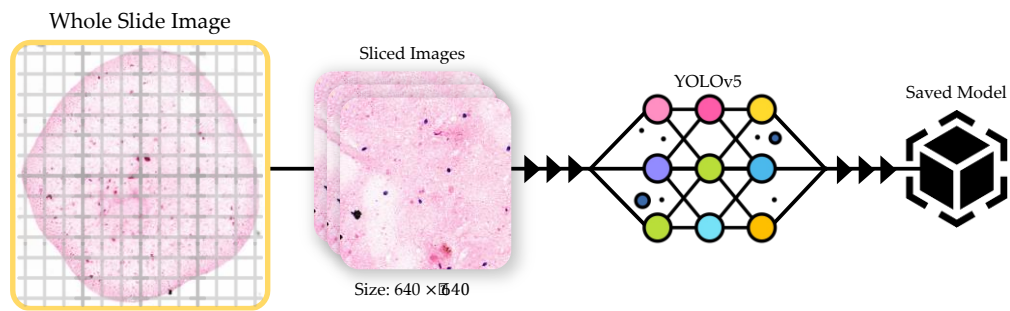
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการพัฒนาการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

#### 3.3.1 การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

ในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ขั้นตอนการพัฒนาโมเดลด้วยวิธีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้เชิงลึกนั้น จะใช้ข้อมูลจากขั้นตอน “การออกแบบระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์”

##### การสร้างโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ (Sperm detection model)

ในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์เพื่อการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ ได้มีขั้นตอนการพัฒนาโดยการจัดเตรียมข้อมูลฝึกสอนโมเดลซึ่งประกอบด้วยภาพตัดขวางตัวอสุจิ และนำข้อมูลภาพเข้าฝึกสอน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โมเดลตรวจจับวัตถุ (Object detection) จากสถาปัตยกรรม YOLOv5s และ YOLOv5m ในการฝึกสอน เพื่อนำโมเดลมาใช้งานตรวจจับตัวอสุจิ ดังแสดงในรูปที่ 3.16

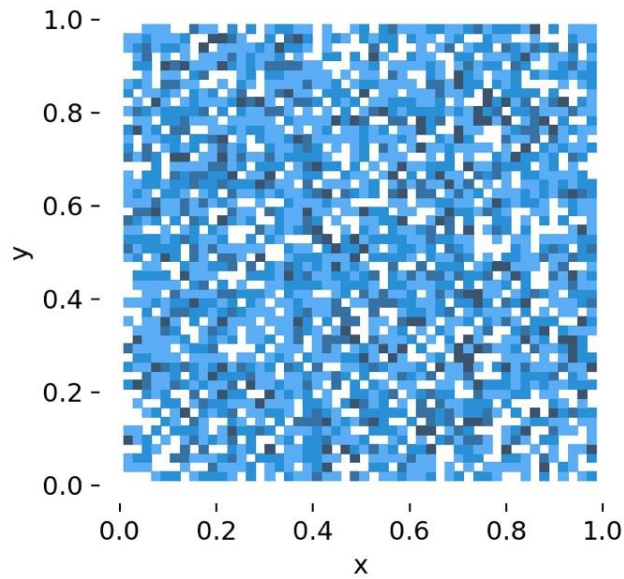


รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ

### 1. ชุดข้อมูลฝึกสอนโมเดล

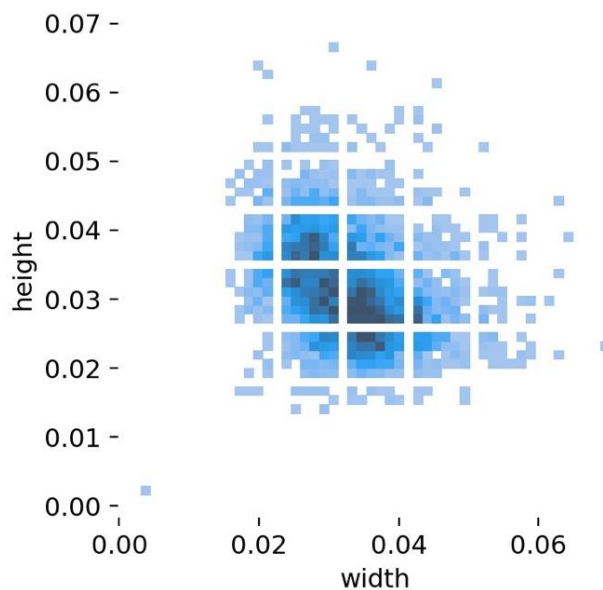
ผู้เชี่ยวชาญนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ได้ใช้เครื่องมือตีกรอบตัวอสุจิที่พัฒนาขึ้นในการตีกรอบล้อมรอบตัวอสุจิที่อยู่ในภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์กล้องจุลทรรศน์ของกลุ่มผู้ทดสอบ จำนวนทั้งสิ้น 30 ราย จากนั้นภาพแผ่นสไลด์จะนำมาตัดเป็นภาพย่อยที่มีขนาด 640 x 640 พิกเซล โดยมีภาพทั้งหมด จำนวน 4,730 ภาพ การแสดงข้อมูลทำการตีกรอบตัวอสุจิจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ซึ่งในแต่ละภาพอาจจะมีหรือไม่ตัวอสุจิจะมีทั้งหมด จำนวน 13,245 ภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.17





รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งตัวอสุจิในภาพ

รูปที่ 3.19 แสดงข้อมูล Heatmap ความละเอียดภาพตัวอสุจิ โดย Width แสดงความกว้างของภาพ และ y แสดงความสูงของภาพ จากรูปที่ 3.19 พบว่า ตัวอสุจิมีความละเอียดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.04 กล่าวคือ ตัวอสุจิเล็กสุดขนาด  $0.02 \times 640 = 12.8$  พิกเซล และตัวอสุจิขนาดใหญ่  $0.04 \times 640 = 25.6$  พิกเซล ซึ่งพบว่าภาพตัวอสุจิที่สนใจมีความละเอียดที่ต่ำมาก อาจส่งผลให้โมเดลไม่สามารถจำแนกได้อย่างถูกต้อง

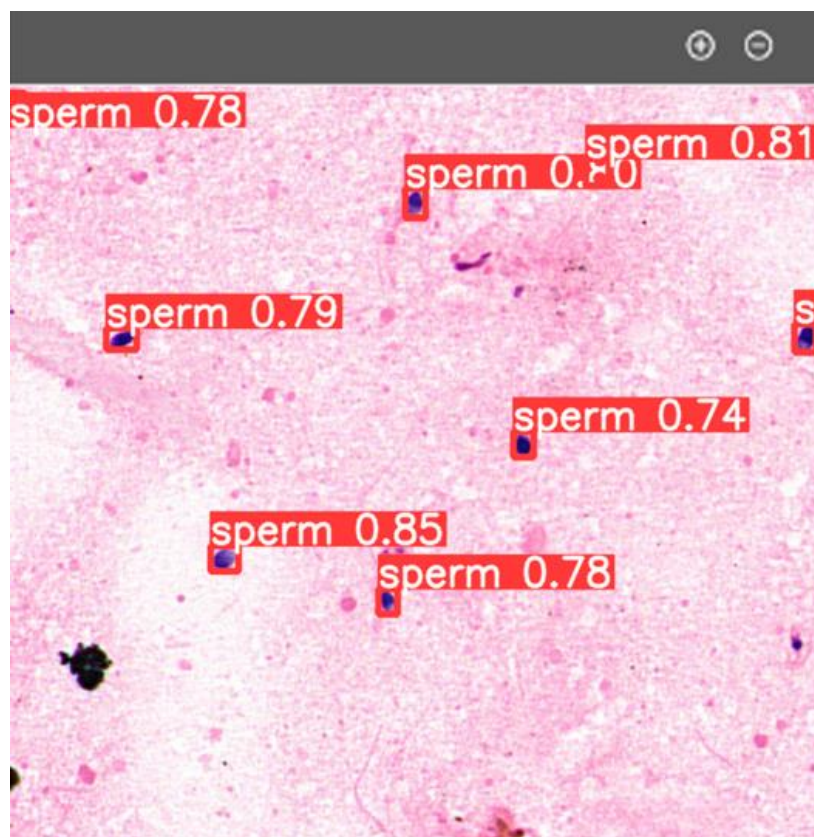


รูปที่ 3.19 แสดงความละเอียดภาพตัวอสุจิในภาพ

ในส่วนของการจัดเตรียมชุดข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ประกอบด้วย ชุดข้อมูลฝึกสอน (Training set) ร้อยละ 70 ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation set) ร้อยละ 20 และ ชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) ร้อยละ 10

## 2. โมเดล (Model)

ขั้นตอนของการตรวจจับตัวอสุจิบนภาพดิจิทัลที่สแกนจากแผ่นสไลด์ คณะผู้วิจัยใช้โมเดลตรวจจับวัตถุ YoloV5 นำภาพ (Input Image) มาทำการตรวจจับอสุจิ (1 ภาพสามารถมีตัวอสุจิได้มากกว่า 1) โมเดลทำการจำแนกประเภทและนับอสุจิในภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.20



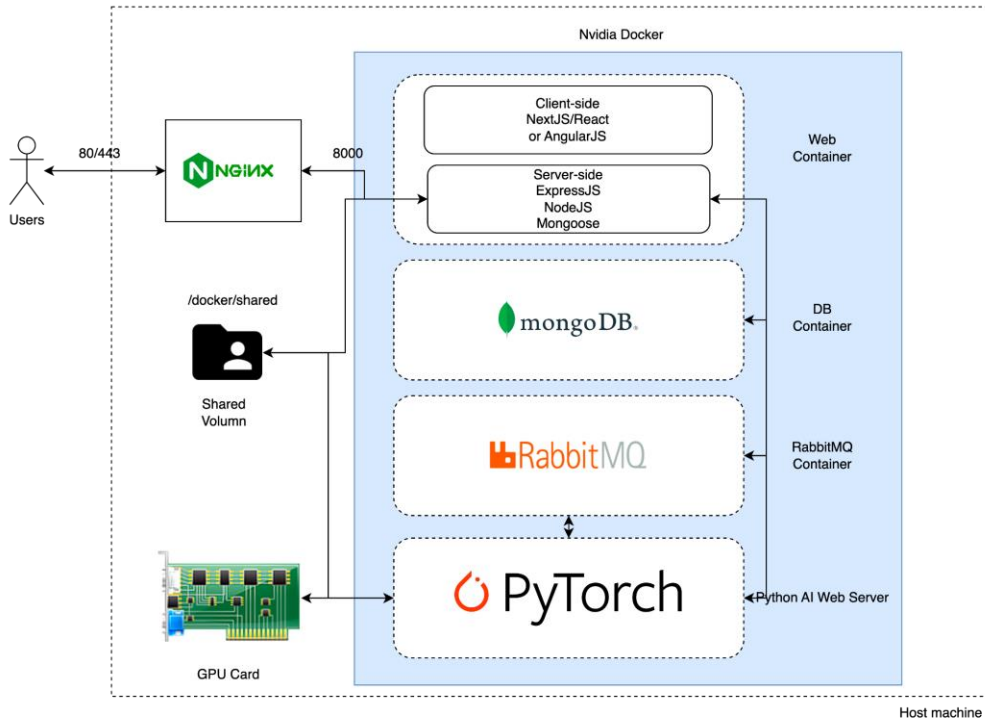
รูปที่ 3.20 ผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

### 3.3.2 การพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

#### 1. แนวทางการออกแบบและพัฒนาระบบงาน

### 1.1 โครงสร้างระบบ

โครงสร้างของระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างของระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

### 1.2 ระบบและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

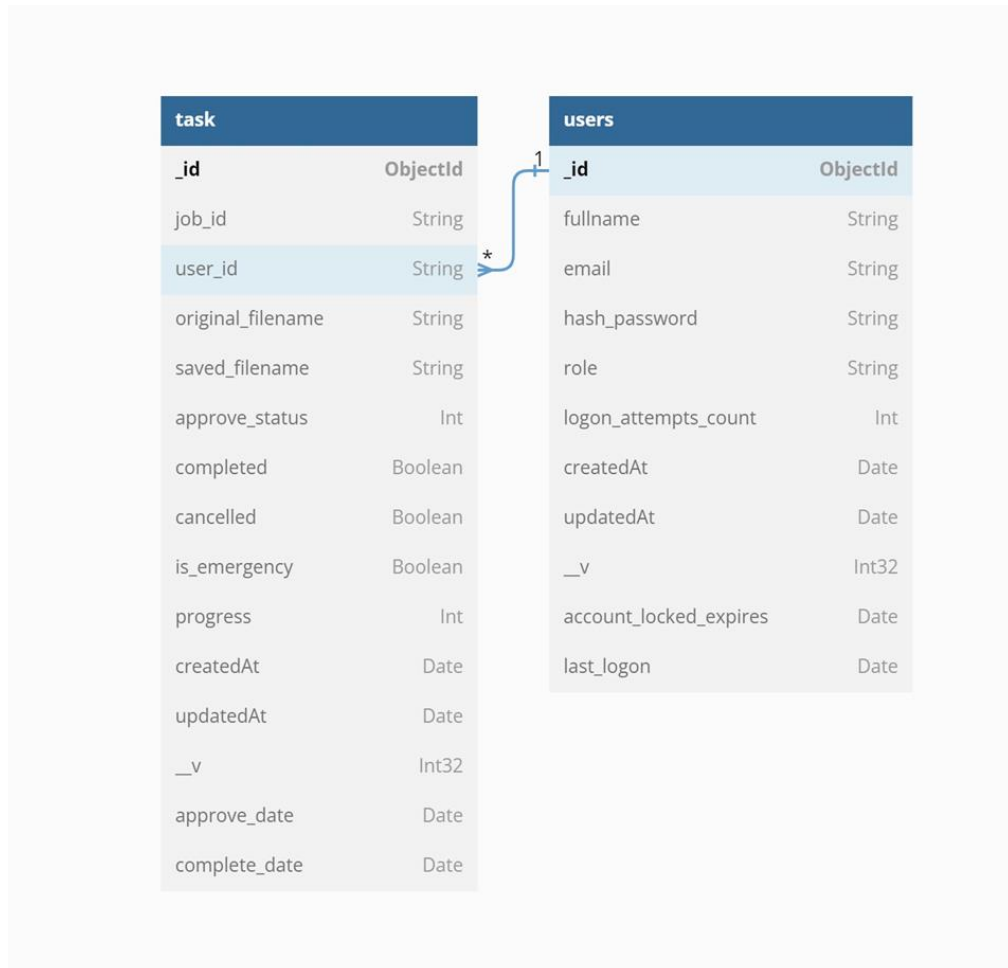
- OS: Debian 10
- Web Application: JavaScript, Angular
- CSS: PrimeNG
- NodeJS 16.16.0
- Nginx Web Server
- Database: MongoDB, Redis 7.0
- Pytorch

### 1.3 โปรแกรมเบราว์เซอร์ และระบบปฏิบัติการที่สนับสนุน

- Google Chrome Version 90.0 หรือสูงกว่า
- Firefox Version 90.0 หรือสูงกว่า
- Safari Version 12.0 หรือสูงกว่า

- Microsoft Edge Version 97.0 หรือสูงกว่า

#### 1.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER-Diagram)



รูปที่ 3.22 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER-Diagram)

- TASKS

_id	Object ID
job_id	Job ID
user_id	User ID (User ที่สร้างรายการนี้)
original_filename	ชื่อไฟล์ที่ user upload
saved_filename	ชื่อไฟล์ที่บันทึกไว้ใช้ในระบบ
approve_status	สถานะการส่งตรวจสอบ

completed	สถานะการตรวจสอบสำเร็จ
cancelled	สถานะยกเลิกการตรวจสอบ
is_emergency	สถานะ emergency task
progress	เปอร์เซ็นต์การตรวจสอบ 0 - 100%
createdAt	วันที่สร้างรายการ
updatedAt	วันที่อัปเดตรายการล่าสุด
__v	เวอร์ชัน
approve_date	วันที่ส่งตรวจสอบ

■ USER

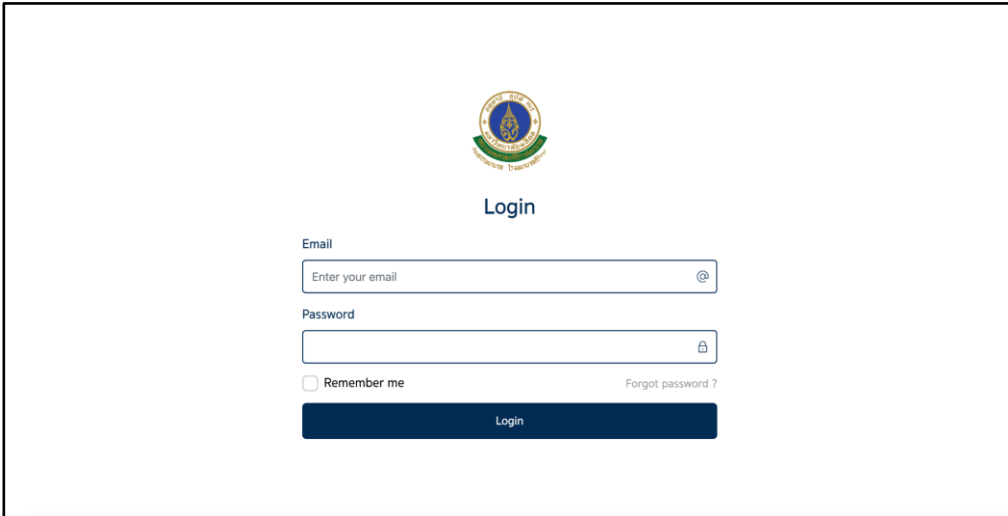
_id	Object ID
fullname	ชื่อ-นามสกุล
email	อีเมล
hash_password	รหัสผ่านที่เข้ารหัส
role: role	role
logon_attempts_count	จำนวนครั้งที่มีการเข้าสู่ระบบไม่ผ่านติดต่อกัน
createdAt	วันที่สร้างรายการ
updatedAt	วันที่อัปเดตรายการล่าสุด
__v	เวอร์ชัน
account_locked_expires:	วันที่สิ้นสุดการล็อก account
last_logon	วันที่เข้าสู่ระบบล่าสุด

2. หน้าจอบริบทการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ส่วนผู้ใช้งาน (User)

2.1 หน้าจอในส่วนของการเข้า-ออกระบบ (Login, Logout)

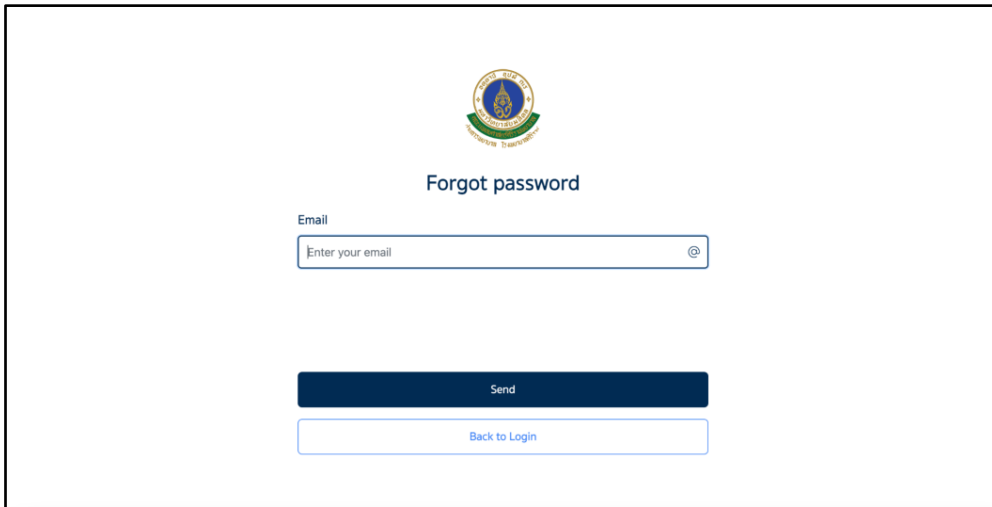
1) หน้า Login

เป็นหน้าแรกของการเข้าสู่ระบบ ซึ่งที่มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานเข้ามาทำการล็อกอินเพื่อใช้งานระบบ



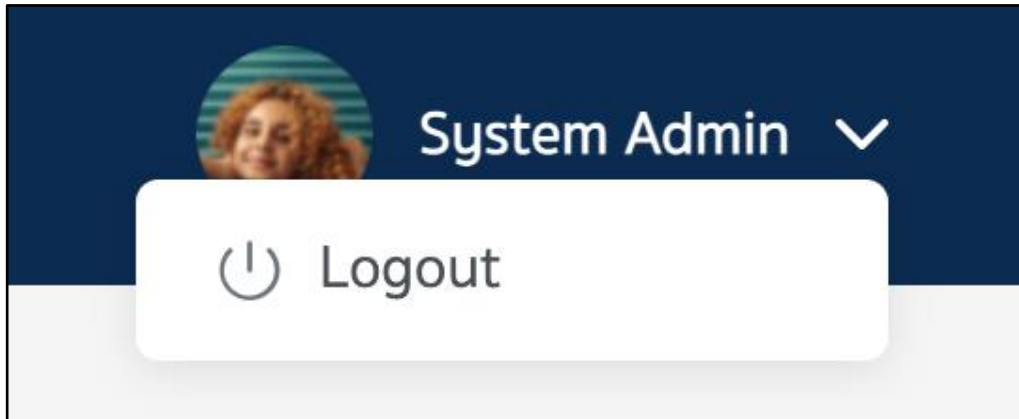
รูปที่ 3.23 แสดงหน้า Login

2) หน้า Forgot password  
สำหรับให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล Email เพื่อทำการ Reset รหัสผ่านใหม่



รูปที่ 3.24 แสดงหน้า Forgot password

3) หน้า Logout  
สำหรับให้ผู้ใช้กดคลิกเพื่อออกจากระบบ

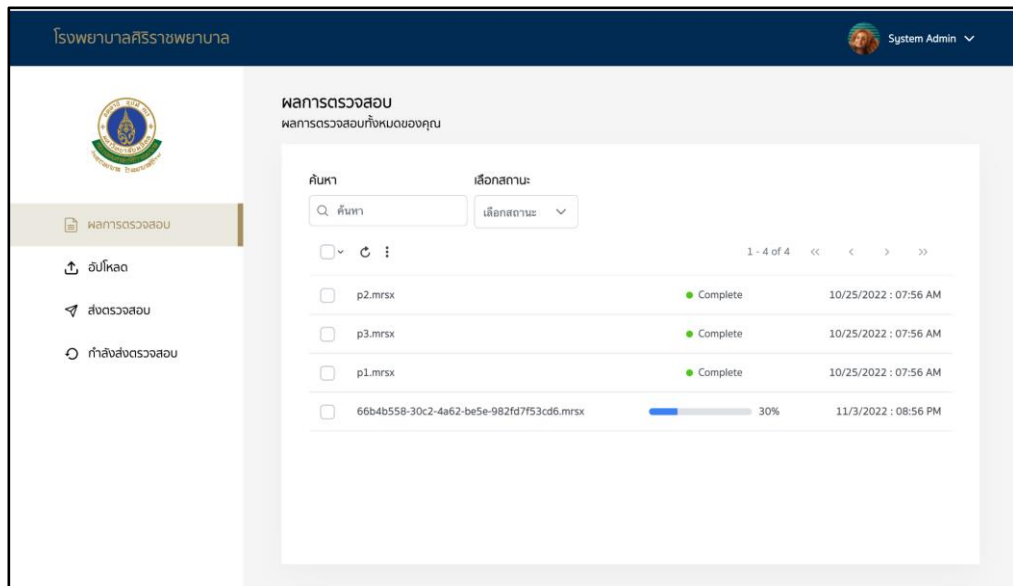


รูปที่ 3.25 แสดงหน้า Logout

## 2.2 หน้าจอในส่วนของเมนูผลการตรวจสอบ

### 1) ผลการตรวจสอบ

สำหรับให้ผู้ใช้งานทราบสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการตรวจสอบข้อมูล

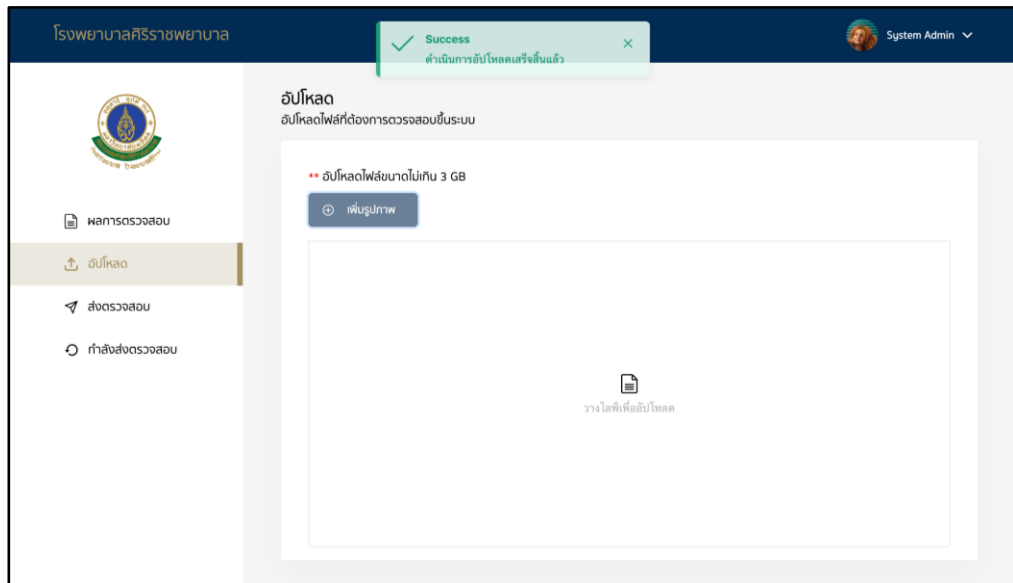


รูปที่ 3.26 แสดงหน้าผลการตรวจสอบ

## 2.3 หน้าจอในส่วนของเมนูการอัปโหลด

### 1) อัปโหลด

สำหรับให้ผู้ใช้งานทำการอัปโหลดไฟล์ โดยไฟล์ที่อัปโหลดจะต้องมีขนาดไม่เกิน 3 GB

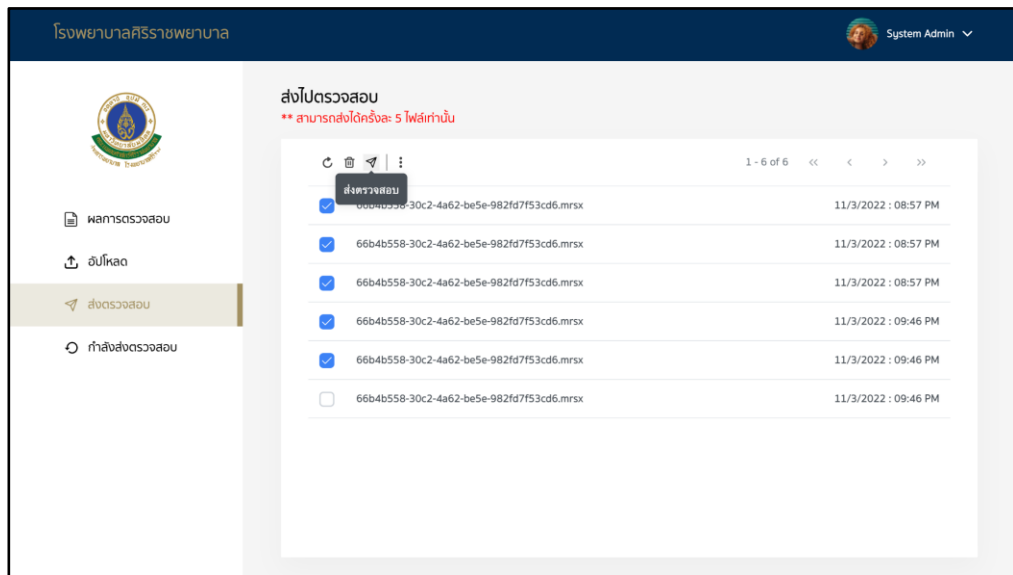


รูปที่ 3.27 แสดงหน้าอัปโหลด

#### 2.4 หน้าจอในส่วนของเมนูการส่งตรวจสอบ

##### 1) ส่งตรวจสอบ

สำหรับให้ผู้ใช้งานทำการเลือกส่งข้อมูลภาพที่ทำการอัปโหลดเรียบร้อยแล้ว เพื่อส่งไปตรวจสอบพิสูจน์ ซึ่งในการส่งไปตรวจสอบแต่ละครั้งจะสามารถส่งได้ครั้งละ 5 ไฟล์เท่านั้น

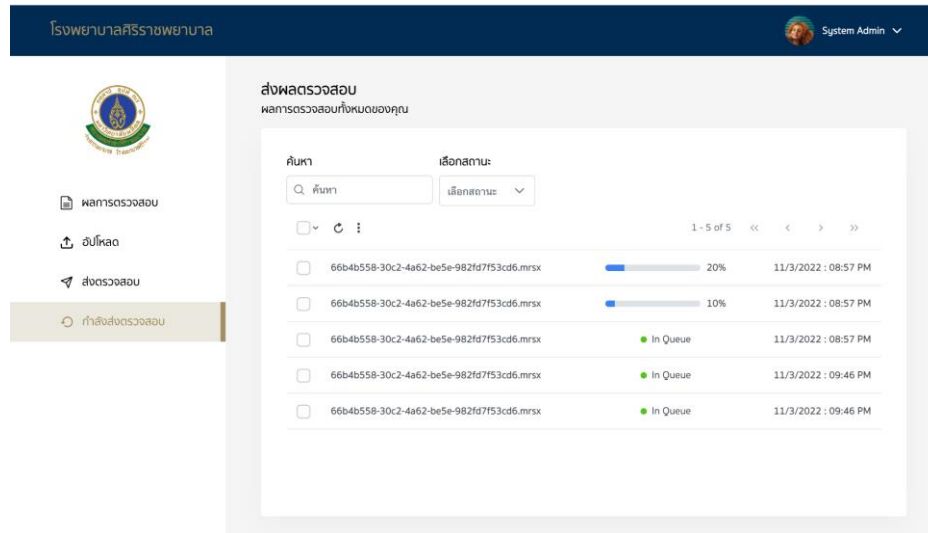


รูปที่ 3.28 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ

## 2.5 หน้าจอในส่วนของเมนูกำลังส่งตรวจสอบ

### 1) กำลังส่งตรวจสอบ

สำหรับให้ผู้ใช้งานทราบสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการส่งตรวจสอบข้อมูล



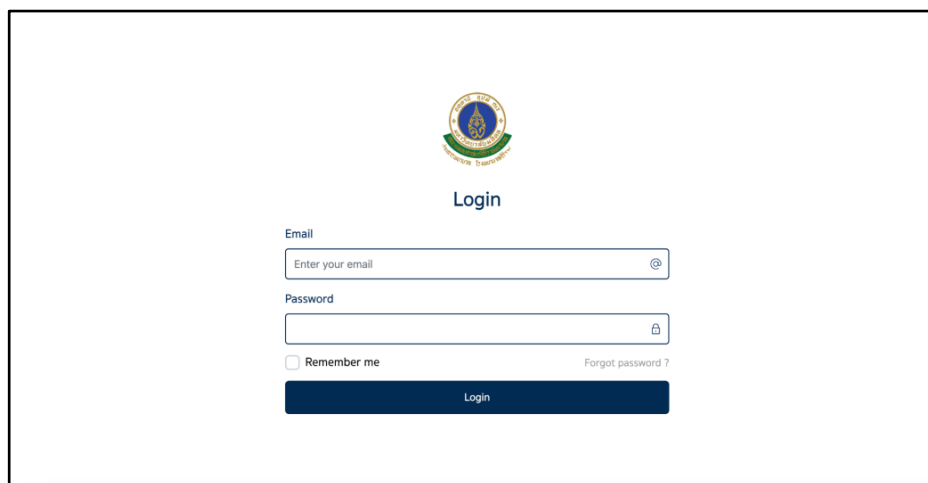
รูปที่ 3.29 แสดงหน้ากำลังส่งตรวจสอบ

## 3. หน้าจอระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ส่วนผู้ดูแลระบบ (Admin)

### 3.1 หน้าจอในส่วนของการเข้า-ออกระบบ (Login, Logout)

#### 1) หน้า Login

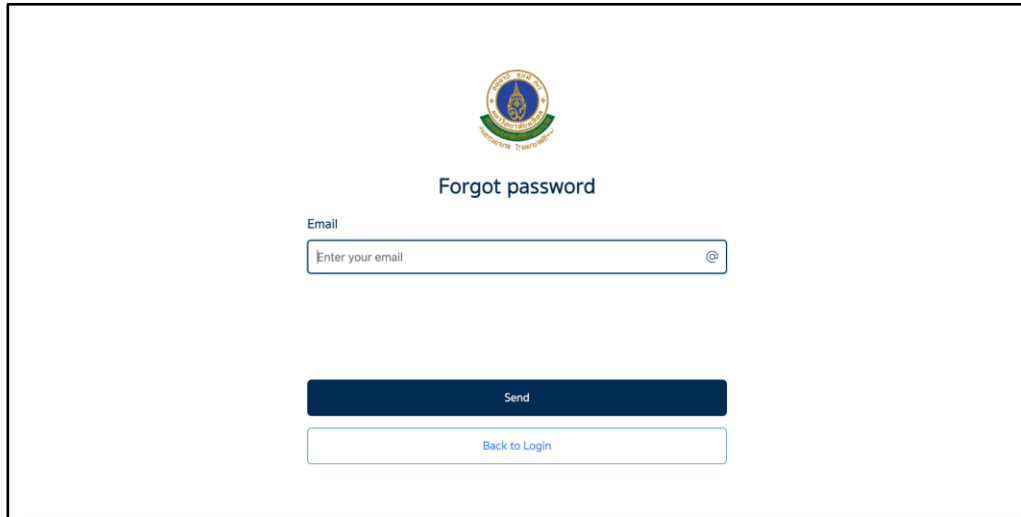
เป็นหน้าแรกของการเข้าสู่ระบบ ซึ่งที่มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้ดูแลระบบเข้ามาทำการล็อกอินเพื่อใช้งานระบบ



รูปที่ 3.30 แสดงหน้า Login

2) หน้า Forgot password

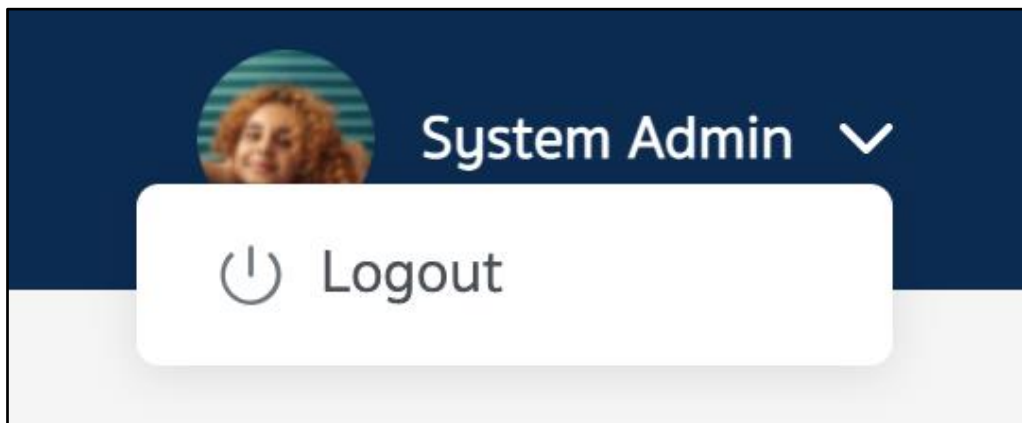
เป็นหน้าที่มีไว้สำหรับให้ผู้ดูแลระบบกรอกข้อมูล Email เพื่อทำการ Reset รหัสผ่านใหม่



รูปที่ 3.31 แสดงหน้า Forgot password

3) หน้า Logout

สำหรับผู้ดูแลระบบคลิกเพื่อออกจากระบบ



รูปที่ 3.32 แสดงหน้า Logout

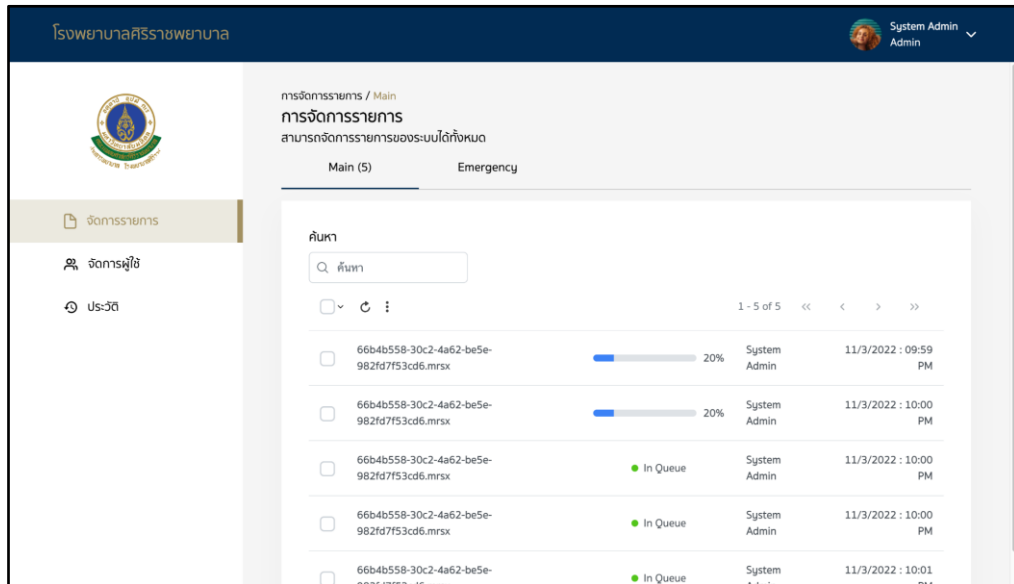
3.2 หน้าจอในส่วนของเมนูจัดการรายการ

1) จัดการรายการ

สำหรับผู้ดูแลระบบทราบสถานะ หรือ ความคืบหน้า ในการตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้งาน ระบบทั้งหมดที่ทำการส่งผลตรวจ และสามารถจัดการรายการผลตรวจที่อยู่ใน Queue ได้ กรณีที่

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ต้องการส่งตรวจเร่งด่วน จะสามารถเลือกรายการที่ต้องการตรวจเร่งด่วนได้ โดยการเลือกรายการนั้น  
ส่งไปยังแท็บเมนู Emergency ได้

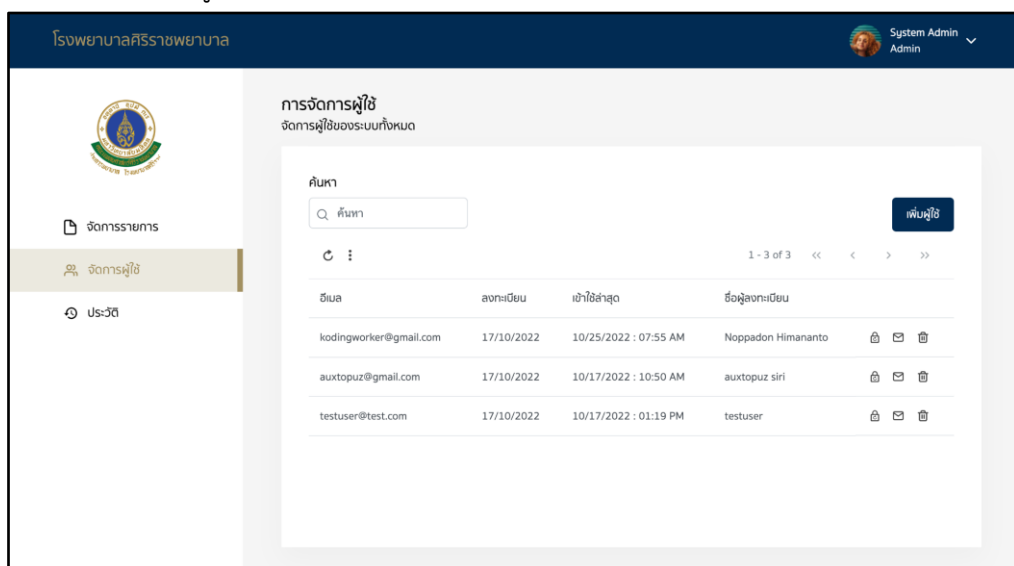


รูปที่ 3.33 แสดงหน้าจัดการรายการ

### 3.3 หน้าจอในส่วนของเมนูจัดการผู้ใช้งาน

#### 1) จัดการผู้ใช้งาน

สำหรับให้ผู้ดูแลระบบทำการเพิ่มผู้ใช้งานระบบ Reset รหัสผ่านกรณีที่ผู้ใช้งานจำรหัสผ่าน  
ไม่ได้ และสามารถลบผู้ใช้งานออกจากระบบ

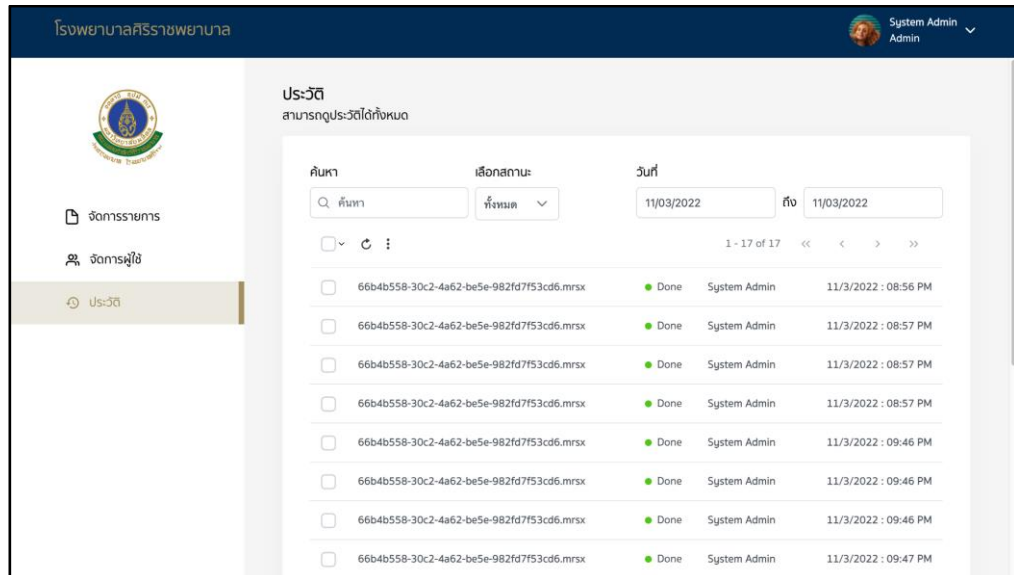


รูปที่ 3.34 แสดงหน้าจัดการผู้ใช้งานระบบ

### 3.4 หน้าจอในส่วนของเมนูประวัติ

#### 1) ประวัติ

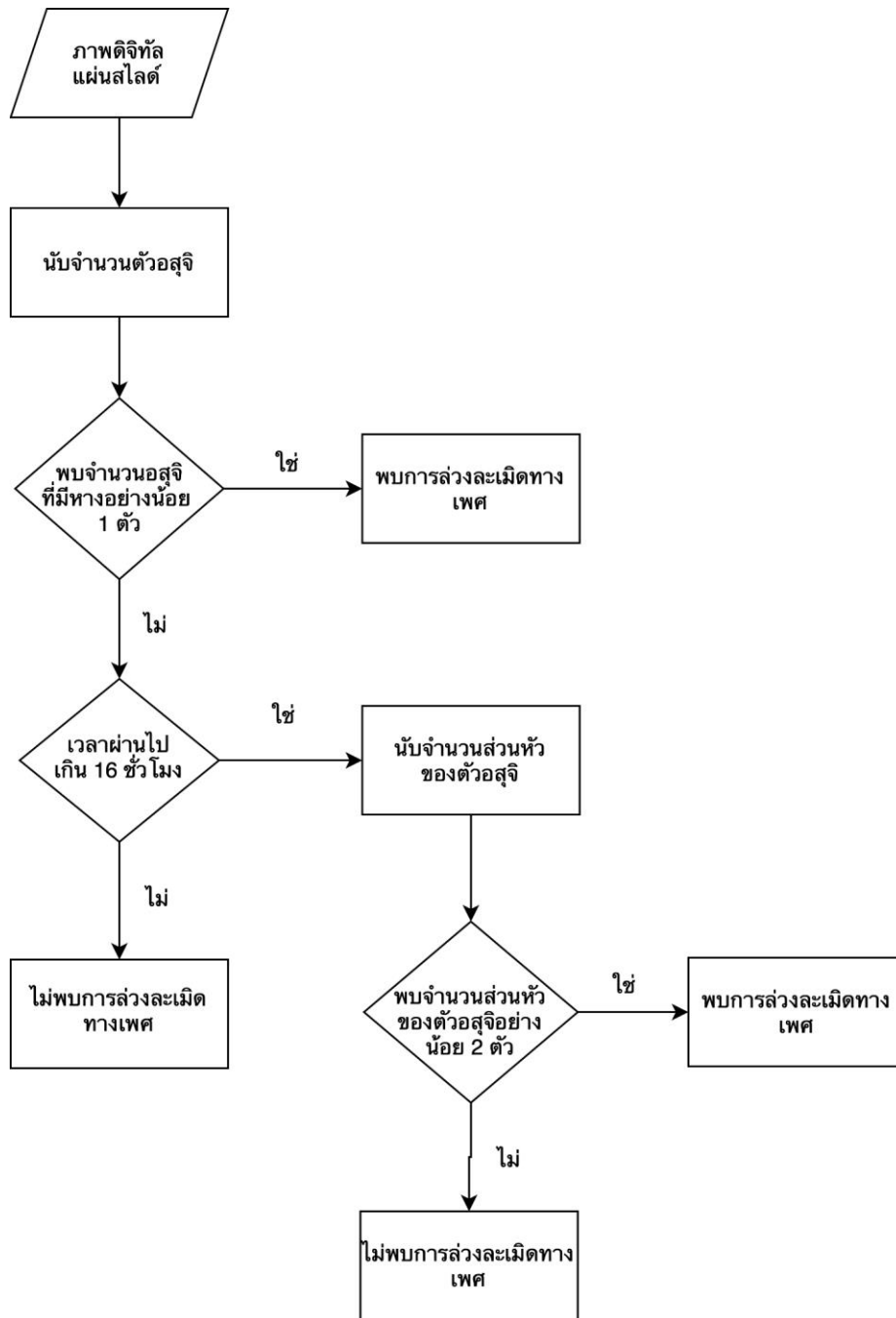
สำหรับให้ผู้ดูแลระบบสามารถดูประวัติของรายการผลตรวจได้ โดยสามารถเลือกดูจากการค้นหาชื่อไฟล์ สถานะ และวันที่ส่งตรวจ



รูปที่ 3.35 แสดงหน้าประวัติ

### 3.3.3 การพัฒนาการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ

หลังจากพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence model) แล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการพัฒนาการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ เพื่อใช้ในการแสดงผลการตรวจนับตัวอสุจิที่ตรวจพบบนไฟล์ภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์ ขั้นตอนการตรวจสอบการถูกกระทำซ้ำเราในปัจจุบัน คณะผู้วิจัยได้เรียนรู้จากการปฏิบัติงานของผู้เชี่ยวชาญนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ และได้นำข้อมูลมาเขียนเป็นแผนผัง (Flowchart) ที่ใช้แทนความหมายการทำงานในส่วนของการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิโดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 แผนผังการทำงานในส่วนของการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ

ขั้นตอนการใช้งานในภาพรวมของการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ จะเริ่มจากการนำภาพไฟล์ภาพถ่ายดิจิทัลแผ่นสไลด์ขึ้นระบบ และนำโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาแล้วมาทำการประมวลผลภาพ

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

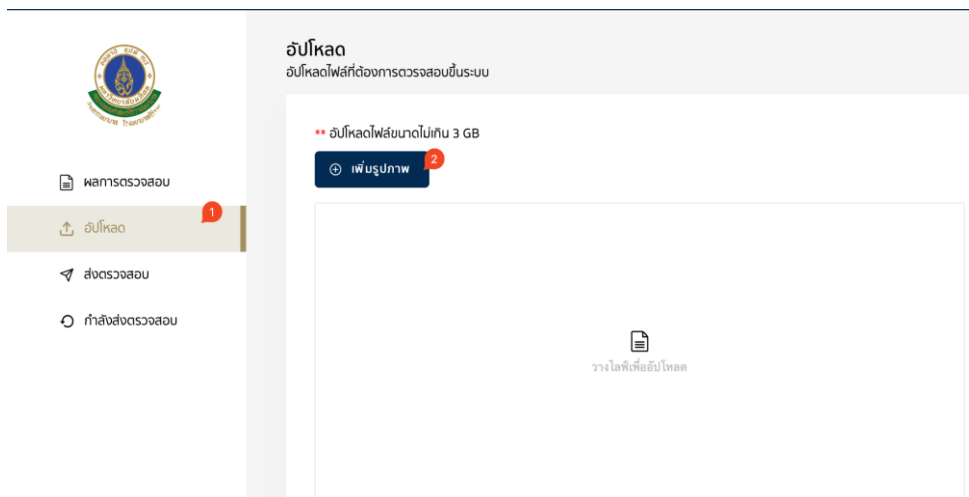
ย่อยของทั้งภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์ตามระดับความเชื่อมั่นที่ระบุ เมื่อระบบประมวลผลเสร็จ จะแสดงผลจำนวนตัวอสุจิที่ตรวจพบ

หน้าลงชื่อเข้าใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานลงชื่อเข้าใช้งานสำเร็จ จะปรากฏหน้าหลักที่มีเมนูทางด้านซ้าย 4 เมนู ประกอบด้วย ผลการตรวจสอบ อับโหลด ส่งตรวจสอบ และกำลังส่งตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.37

ลำดับการใช้งานเว็บไซต์ผู้ใช้งานจะต้องทำการอัปโหลดไฟล์ภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์เข้าไปในระบบก่อน การอัปโหลดไฟล์ที่ต้องการตรวจสอบขึ้นระบบสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

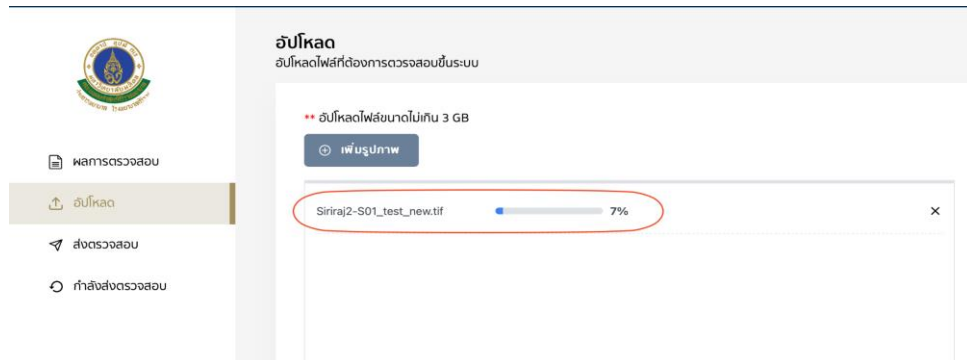
วิธีที่ 1: ผู้ใช้งานทำการเลือกเมนูอัปโหลด (1) ที่อยู่ทางด้านซ้าย จากนั้นกดปุ่มเพิ่มรูปภาพ (2)

วิธีที่ 2: ผู้ใช้งานทำการลากไฟล์ภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์เข้ามาในกล่องที่เตรียมไว้ (ซึ่งกล่องวางไฟล์เพื่ออัปโหลด)



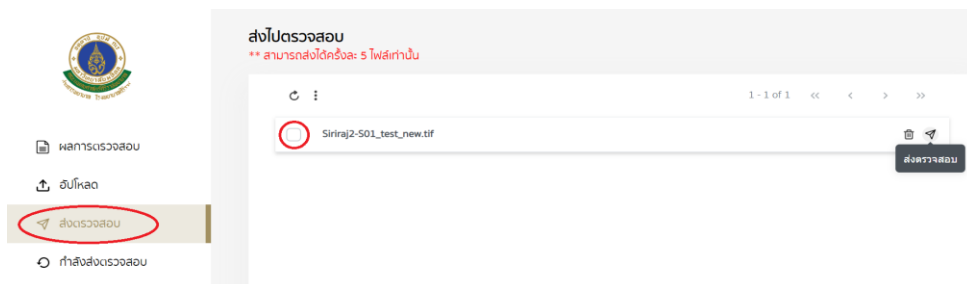
รูปที่ 3.37 แสดงหน้าลงชื่อเข้าใช้งาน

เมื่อทำการเลือกไฟล์ภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์แล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการอัปโหลด เนื่องจากภาพดิจิทัลแผ่นสไลด์มีขนาดไฟล์ใหญ่หลาย 100 MB หรืออาจมีขนาดใหญ่จนถึงระดับเป็น GB คณะผู้วิจัยจึงได้เตรียมการแสดงผลความก้าวหน้าการอัปโหลดในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.38



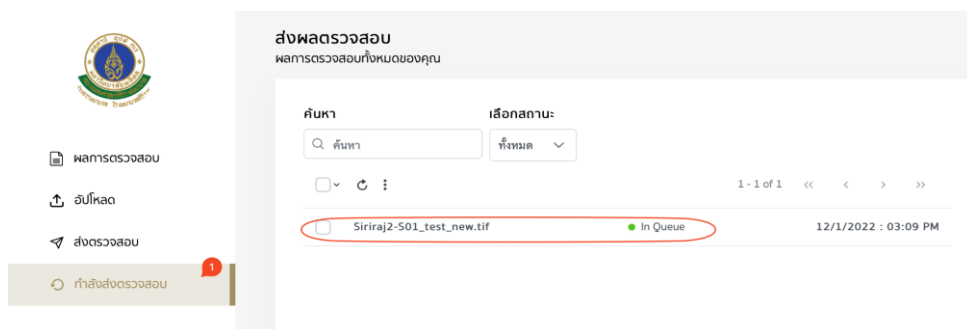
รูปที่ 3.38 แสดงหน้าการอัปโหลด

ไฟล์ภาพดิจิทัลที่อัปโหลดสำเร็จแล้วจะปรากฏอยู่ในหน้า ส่งตรวจสอบ ผู้ใช้งานสามารถคลิกเลือกไฟล์ภาพที่ต้องการส่งไปตรวจสอบ จากนั้นกดปุ่มส่งตรวจสอบ ทางด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ

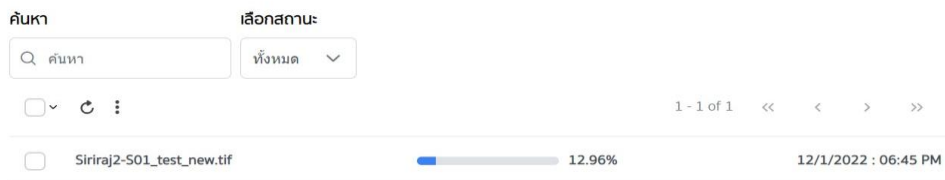
เนื่องจากการตรวจสอบอาจใช้เวลาหลายนาที รูปที่กำลังตรวจสอบอยู่จะปรากฏอยู่ในหน้า กำลังส่งตรวจสอบ (1) และจะเข้าไปรอคิวเพื่อรอระบบว่างที่จะประมวลผล หากมีผู้ใช้งานส่งไฟล์ภาพมาตรวจสอบพร้อมกันหลายรูป แต่ละงาน (Job) จะเข้าคิวตามลำดับของการส่ง จากรูปที่ 3.40 จะเห็นไฟล์ภาพที่ส่งก่อนหน้ากำลังเข้าคิวอยู่



รูปที่ 3.40 แสดงหน้ากำลังส่งตรวจสอบ

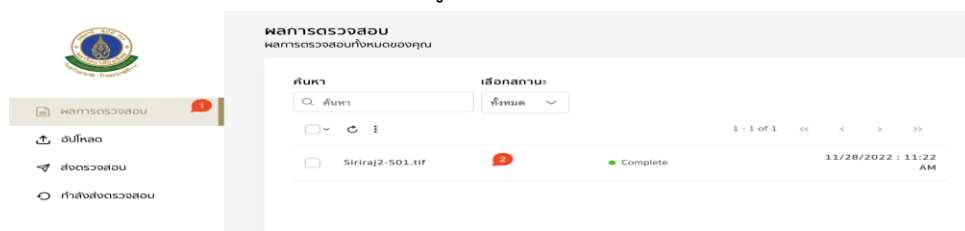
เมื่อระบบเริ่มประมวลผลแล้วจะมีแถบสถานะความคืบหน้าให้ผู้ใช้งานทราบ ดังแสดงในรูปที่

3.41



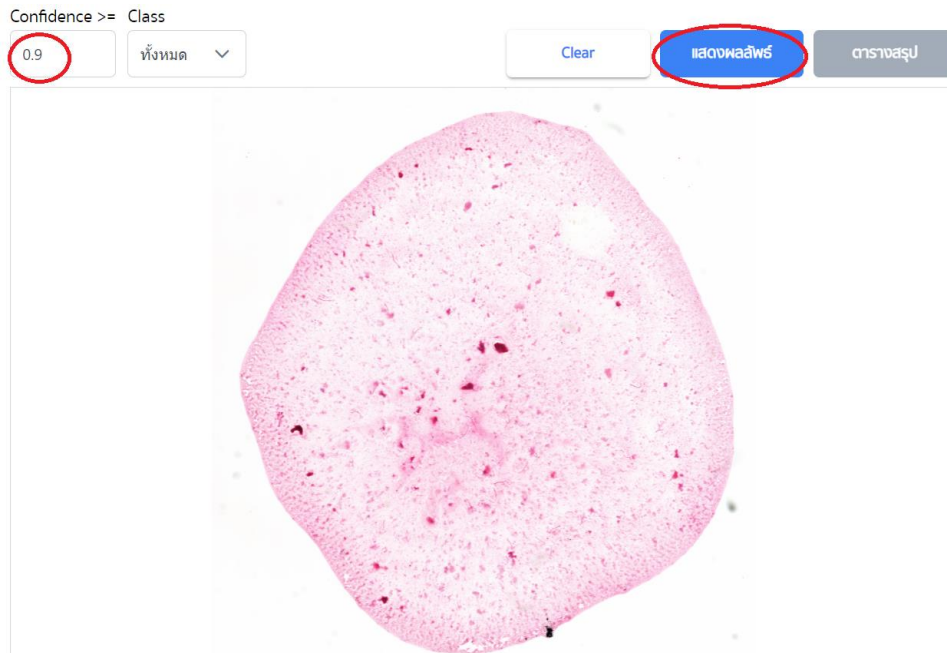
รูปที่ 3.41 แสดงหน้าส่งตรวจสอบ

เมื่อตรวจสอบเสร็จแล้ว ไฟล์ภาพจะไปปรากฏอยู่ในหน้า ผลการตรวจสอบ (1) เมื่อกดเข้าไป จะปรากฏงาน (Job) ที่มีสถานะเป็น Complete และผู้ใช้งานสามารถเข้าไปอ่านผลได้โดยการกดใน แถวของงาน (Job) ที่ต้องการ (2) ดังแสดงในรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 แสดงหน้าผลตรวจสอบ

เมื่อกดเข้ามาแล้วจะปรากฏไฟล์ภาพดิจิทัลทั้งแผ่นสไลด์ (Whole slide image: WSI) ในแบบซูมใกล้สุด และยังไม่มีการแสดงตำแหน่งของตัวอสุจิที่ตรวจพบ ผู้ใช้งานสามารถระบุค่าความเชื่อมั่น (Confidence value) ที่ต้องการได้ว่าจะให้แสดงผลตัวอสุจิที่ถูกตรวจพบด้วยค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ค่าเท่าใดขึ้นไป โดยค่าความเชื่อมั่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0-1.0 ซึ่งค่ายิ่งมากแสดงถึงความเชื่อมั่นที่ยิ่งสูงว่าสิ่งที่ตรวจพบเป็นตัวอสุจิจริง ๆ ในตัวอย่างของภาพที่แสดงในรูปที่ 3.43 ระบุค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.9



รูปที่ 3.43 แสดงหน้าผลลัพธ์บนหน้าผลตรวจสอบ

อย่างไรก็ตาม หากระบุค่าความเชื่อมั่นสูงเกินไป อาจทำให้ตัวอสุจิไม่มีการแสดงบนผลลัพธ์เลยแม้แต่ตัวเดียว ในกรณีเช่นนี้ผู้ใช้งานสามารถค่อย ๆ ปรับค่าความเชื่อมั่นลดลงได้

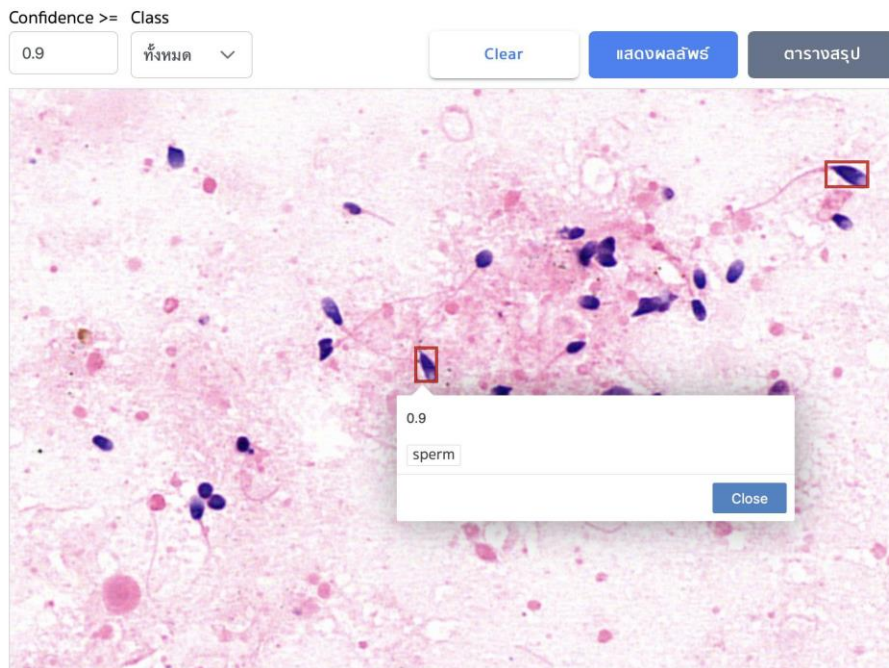
เมื่อระบุค่าความเชื่อมั่นแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่ม แสดงผลลัพธ์ และเมื่อกดปุ่ม แสดงผลลัพธ์แล้ว ตัวอสุจิทุกตัวที่ถูกตรวจพบภายใต้ค่าความเชื่อมั่นที่ระบุไว้จะถูกแสดงด้วยกรอบสีแดง จากรูปที่ 3.44 เนื่องจากตัวอสุจิมีขนาดเล็กกว่าภาพดิจิทัลทั้งแผ่นสไลด์เป็นอย่างมาก จึงทำให้ดูเหมือนเป็นจุดแดงเท่านั้น การอ่านผลจำเป็นต้องซูมเข้าไปใกล้ขึ้น โดยสามารถกดปุ่มซูม ที่เป็นเครื่องหมายบวกได้ (1) ดังแสดงในรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 แสดงผลลัพธ์ที่มีการระบุค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.9

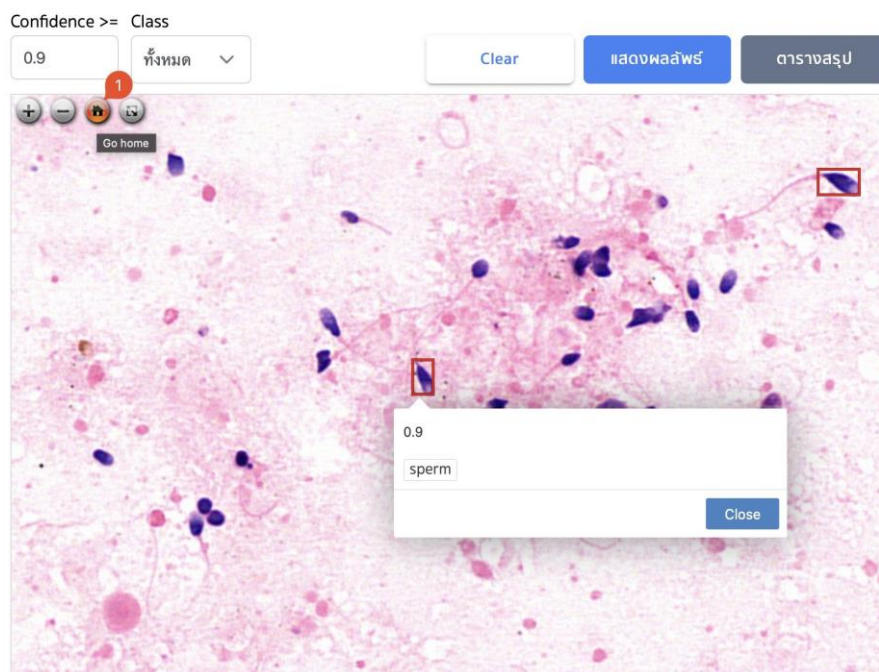
เมื่อซูมเข้ามาจนถึงระดับที่ใกล้พอจะเห็นตัวอสุจิชัดเจนแล้ว ตัวอสุจิที่ถูกรวบรวมจะถูกล้อมกรอบด้วยสีแดง ดังแสดงในรูปที่ 3.45 ผู้ใช้งานสามารถกดที่กรอบสีแดงเพื่อดูประเภทของตัวอสุจิได้ สำหรับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้เป็นการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิเพียงอย่างเดียว แต่ยังไม่สามารถจำแนกประเภท จึงปรากฏเพียงชื่อว่าเป็น Sperm เท่านั้น

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์



รูปที่ 3.45 แสดงตัวอสุจิที่ถูกตรวจพบที่จะถูกล้อมกรอบด้วยสีแดง ภายใต้ค่าความเชื่อมั่นที่ระบุไว้

หากต้องการกลับออกไปที่ระดับการซูมไกลสุด ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มรูปบ้าน (1) เพื่อทำการซูมออกไปจนสุดได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 แสดงวิธีการกลับออกไปที่ระดับการซูมไกลสุด

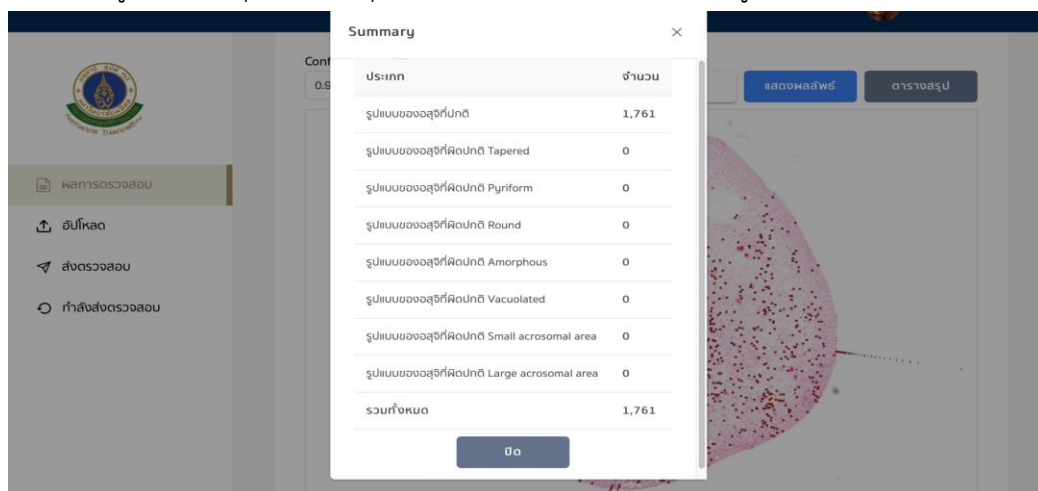
การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่ม ตารางสรุป เพื่อแสดงสรุปผลจำนวนตัวอสุจิแต่ละประเภทในรูปแบบของตารางได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 แสดงวิธีการดูผลลัพธ์จำนวนของอสุจิ

เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม ตารางสรุป แล้วจะเห็นผลลัพธ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 แสดงสรุปผลจำนวนตัวอสุจิแต่ละประเภทในรูปแบบของตาราง

### ข้อมูลที่โมเดลปัญญาประดิษฐ์ตอบ

เมื่อส่งภาพไฟล์ภาพดิจิทัลทั้งแผ่นสไลด์ไปตรวจสอบ โมเดลปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence model) จะตอบกลับมาด้วยโครงสร้างข้อมูลประเภท JSON ดังแสดงในรูปที่ 3.49

```
25 {
26   "x-coord": 14640,
27   "y-coord": 14000,
28   "bboxes": [
29     {
30       "class": "sperm",
31       "conf": 0.82,
32       "xmin": 596,
33       "ymin": 264,
34       "xmax": 612,
35       "ymax": 287
36     },
37     {
38       "class": "sperm",
39       "conf": 0.84,
40       "xmin": 201,
41       "ymin": 274,
42       "xmax": 218,
43       "ymax": 298
44     },
45   ]
46 }
```

รูปที่ 3.49 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่โมเดลปัญญาประดิษฐ์ตอบในรูปแบบโครงสร้างข้อมูลประเภท JSON

โครงสร้างข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นระดับชั้น ได้แก่ ระดับที่เป็นภาพย่อย (Patch) ที่มีขนาด 640 x 640 พิกเซล สาเหตุที่ต้องแบ่งภาพไฟล์ภาพดิจิทัลทั้งแผ่นสไลด์ออกเป็นภาพย่อยเป็นจำนวนหลาย ๆ ภาพ เนื่องจากภาพไฟล์ภาพดิจิทัลทั้งแผ่นสไลด์มีขนาดที่ใหญ่มาก ไม่สามารถประมวลผลทั้งภาพในครั้งเดียวได้ จึงจำเป็นต้องแบ่งออกเป็นภาพย่อย และส่งเข้าโมเดลปัญญาประดิษฐ์ทีละภาพย่อย

ส่วนโครงสร้างข้อมูลระดับชั้นเล็กลงไป คือระดับที่เป็นกล่องล้อมกรอบ (Bounding box) กล่องล้อมกรอบแต่ละอันก็คือกรอบสีแดงที่ล้อมรอบตัวอสุจิแต่ละตัวที่ตรวจพบ ดังภาพด้านใน เว็บไซต์หน้าที่เป็นผลการตรวจสอบ (รูปที่ 3.43) กล่องล้อมกรอบทำหน้าที่ระบุพิกัดของอสุจิที่ตรวจพบแต่ละตัว โดยอ้างอิงจากจุดซ้ายบนของภาพย่อยที่ตรวจพบตัวอสุจิ

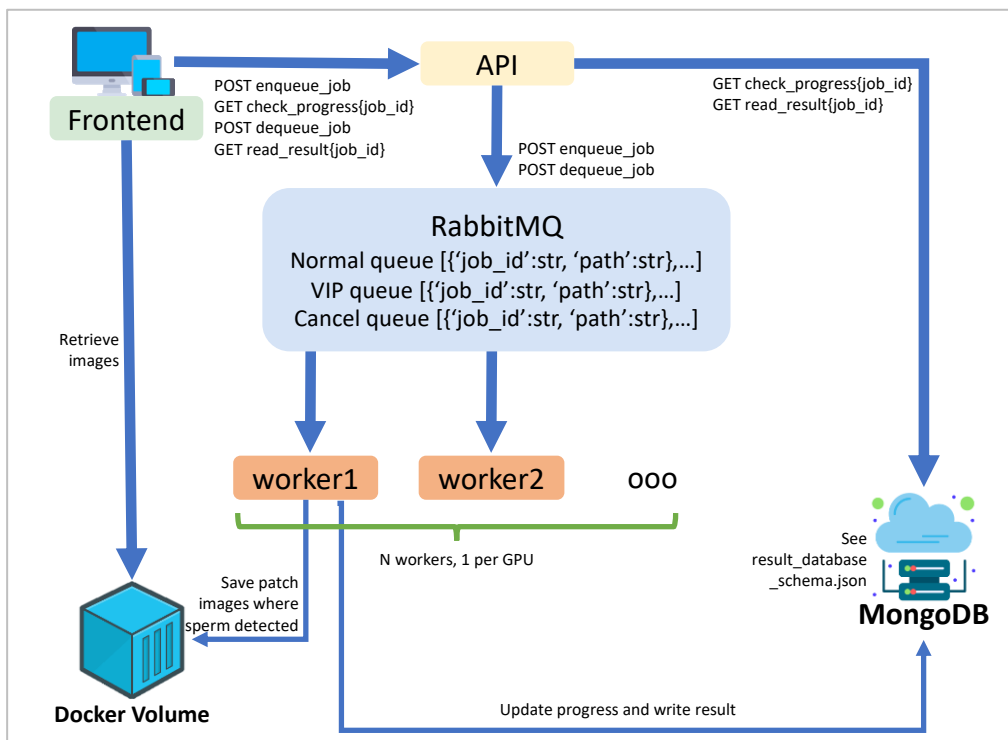
ดังนั้น การที่จะระบุตำแหน่งของตัวอสุจิแต่ละตัว ในพิกัดใหญ่ของภาพดิจิทัลทั้งภาพ ก่อนอื่นจะต้องทราบว่าภาพย่อยที่ตรวจพบอยู่ที่พิกัดใด โดยในโครงสร้างข้อมูลเก็บไว้ที่ตัวแปรชื่อว่า “x-

coord” และ “y-coord” ที่เท่ากับ 14,640 และ 14,000 ตามลำดับ จากรูปที่ 91 พิกัด 2 ค่านี้คือเปรียบเทียบกับมุมซ้ายบนของภาพดิจิทัลทั้งภาพ

เมื่อระดับภาพย่อยโครงสร้างข้อมูล ก็จะมีกล่องล้อมกรอบของอสุจิแต่ละตัวที่เก็บไว้ในอาร์เรย์ที่ชื่อว่า “bboxes” สมาชิกแต่ละตัวของอาร์เรย์อันนี้ คือพิกัดมุมซ้ายบนและขวาล่างของกล่องล้อมกรอบ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมซ้ายบนของภาพย่อยปัจจุบัน นอกจากนี้ อสุจิแต่ละตัวยังมีค่าความเชื่อมั่นกำกับไว้ ซึ่งสามารถนำมาใช้กรองผลลัพธ์ตอนแสดงผลได้ว่าต้องการดูผลลัพธ์ที่มีความเชื่อมั่นตั้งแต่ค่าใดขึ้นไป

### 3.3.4 การพัฒนาแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์

#### 1. การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 3.50 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

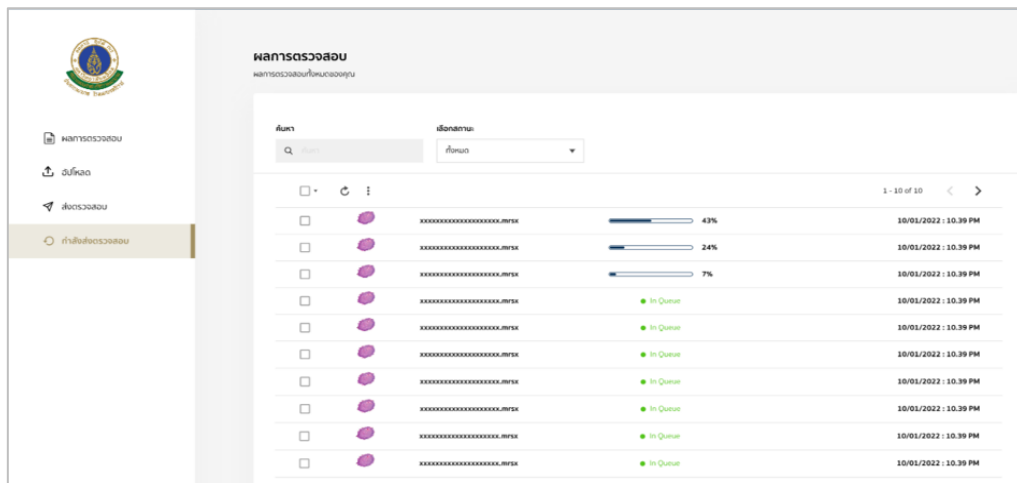
ระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ แยกออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) ส่วนหน้าบ้านติดต่อกับผู้ใช้งาน (Frontend)

- 2) API เชื่อมระหว่างส่วนหน้าบ้านกับส่วนหลังบ้าน
- 3) ส่วนหลังบ้าน (Backend)

หลักการในการออกแบบระบบ เนื่องจากระบบต้องประมวลผลภาพ WSI ซึ่งเป็นภาพขนาดใหญ่ที่มีขนาดมากกว่า  $10,000 \times 10,000$  การประมวลผลจำเป็นต้องใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก (Graphic processing unit - GPU) และระบบต้องรองรับผู้ใช้งานหลายคน ที่สามารถส่งคำขอประมวลผล (Job request) มากกว่าหนึ่งภาพพร้อมกันได้ ลักษณะงานแบบนี้จะไม่เหมือนกับเว็บแอปพลิเคชันทั่วไป ที่หนึ่งคำขอ (Request) สามารถประมวลผลได้ภายในเวลาน้อยกว่า 1 วินาทีและไม่ได้ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก แต่ประมวลผลภาพ WSI อาจใช้เวลามากกว่า 1 นาที ซึ่งนานกว่าเวลามาตรฐานในการ Timeout ของคำขอประเภท http และจำเป็นต้องใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก

ดังนั้น การออกแบบต้องบริหารจัดการแบ่งทรัพยากร GPU ให้กับผู้ใช้งานหลายคน และทำการประมวลผลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) กล่าวคือ เมื่อส่งคำขอประมวลผลแล้ว ระบบหน้าบ้านจะไม่รอให้การประมวลผลเสร็จสิ้น แต่จะตอบกลับไปหาผู้ใช้งานว่าการส่งคำขอสำเร็จแล้ว ระบบหน้าบ้านจะมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งจะแสดงงานที่ได้ส่งคำขอสำเร็จแล้ว กำลังรอการประมวลผล ความก้าวหน้าของงานที่กำลังประมวลผลอยู่ และงานที่ประมวลผลเสร็จแล้วพร้อมที่จะอ่านผล ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 หน้าแสดงผลงานที่กำลังรอการประมวลผล และความคืบหน้าของงานที่กำลังประมวลผลอยู่

การบริหารจัดการทรัพยากร GPU เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลายผู้ใช้งาน และหลายงาน ประมวลผลพร้อมกันได้นั้น สามารถทำได้โดยใช้โครงสร้างข้อมูลประเภทคิว (Queue) รูปที่ 3.51 คือ ส่วนย่อยที่เป็นคิว จากรูปที่ 3.52

```
RabbitMQ
normal queue [{'job_id':str, 'path':str},...]
VIP queue [{'job_id':str, 'path':str},...]
cancel queue ['job_id',...]
```

รูปที่ 3.52 คิวงานของระบบ

แต่ละงานคำขอประมวลผลจะมีไอดีกำกับ ซึ่งจะต้องไม่ซ้ำกับงานอื่น ๆ ทุกตัว ทั้งที่ยังไม่ได้ส่ง คำขอและที่ได้ประมวลผลไปแล้ว ระบบหน้าบ้านมีหน้าที่สร้างไอดีเหล่านี้ ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม สำเร็จรูป UUID (Universal unique ID) ทั่วไปได้ และอาจจะเพิ่มวันที่และเวลาเข้าไปด้วย เพื่อให้ การค้นหาที่ประมวลผลแล้วทำได้สะดวกขึ้น

ระบบจะมีสองคิวด้วยกัน ได้แก่ คิวที่เป็นงานปกติ และคิวที่เป็นงาน VIP เมื่อทรัพยากร GPU ตัวใดตัวหนึ่งว่าง ระบบก็จะดันงานที่อยู่ในคิว VIP เป็นลำดับแรกไปประมวลผลบน GPU ตัวนั้น และ หากคิว VIP ว่าง ก็จะดันงานที่อยู่ในคิวปกติไปประมวลผลแทน งานที่ส่งคำขอมาใหม่ จะถูกบรรจุเข้าไป อยู่ข้างหลังของคิว VIP หรือปกติตามทีเลือก นอกจากนี้ ยังสามารถยกเลิกคำขอการประมวลผลได้ โดยการลบงานออกจากคิว

API endpoint ที่ทำหน้าที่โต้ตอบกับคิว มีอยู่ด้วยกันสองตัวคือ /enqueue\_job และ /dequeue\_job โดย /enqueue\_job มีหน้าที่เพิ่มงานใหม่เข้าไปในคิว ส่วน /dequeue\_job มี หน้าที่ลบงานที่ต้องการยกเลิกออกจากคิว

งานที่มาถึงหน้าสุดของคิวจะถูกส่งไปประมวลผล เมื่อทรัพยากร GPU ว่าง ขณะกำลัง ประมวลผลอยู่ หน่วยประมวลผลที่ทำหน้าที่รีโมเดลปัญญาประดิษฐ์ จะทำการอัปเดตสถานะ ความก้าวหน้าเป็นระยะ และระบบหน้าบ้าน สามารถตรวจสอบความก้าวหน้าของการประมวลผลได้ ที่ API endpoint /check\_progress/{job\_id} โดย {job\_id} หมายถึง ให้แทนค่าด้วยไอดีกำกับของ งานที่ต้องการตรวจสอบ API จะแจ้งเปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าและสถานะ ว่าประมวลผลเสร็จแล้วหรือ ยัง ซึ่งระบบหน้าบ้านสามารถนำไปแสดงผลให้ผู้ใช้งานดูได้

ขณะที่กำลังประมวลผลอยู่นั้น เมื่อโมเดลปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับวัตถุ ตรวจสอบวัตถุที่เป็นตัว อสุจิ จะทำการเก็บพิกัดของกรอบล้อมกรอบตัววัตถุ (Bounding box) และพิกัดของภาพย่อย (Patch) ที่มีการตรวจพบวัตถุ ตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป พร้อมกับบันทึก (Save) รูปของภาพย่อยที่มีการ

วาดภาพกรอบ Bounding box ล้อมวัตถุที่ตรวจพบตัวสperm ในภาพ ไปที่ Path ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า Path เก็บข้อมูลนี้เป็นแบบ Bind mount ที่สามารถจับคู่ Path ใดก็ได้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลไปเป็น Path ภายในที่ระบบ (Docker container) เห็นที่ /output/{job\_id} กล่าวคือ จะมีแฟ้มข้อมูลย่อยที่ชื่อเดียวกันกับไอดีกำกับของงาน เมื่อประมวลผลเสร็จแล้ว สามารถเข้ามาดูภาพผลลัพธ์ได้ที่แฟ้มข้อมูลนี้

## 2. โครงสร้างข้อมูลภายในฐานข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผล ผู้ออกแบบเลือกใช้ฐานข้อมูลประเภท NoSQL ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการเก็บข้อมูลมากกว่าการเก็บแบบเป็นตาราง SQL โครงสร้างข้อมูลนี้แสดงในรูปแบบที่ 3.53 และตารางที่ 3.1 อธิบายความหมายของ field แต่ละตัวในโครงสร้างข้อมูล

```
{
  "job_id": "some-id", // the job id assigned by the frontend
  "completed": false, // becomes true when job finished
  "progress": 50, // update by worker
  "cancelled": false, // this job was cancel or not
  // the list of patches where sperm(s) were detected
  "patches": [
    {
      // path to image of the patch with overlay bboxes
      "patch_path": "docker_volume/<wsi_name>/img_<x-coord>_<y-coord>.jpg",
      // coordinate of top-left corner of the patch (global coordinate with respect to the entire WSI)
```

```
"x-coord": 50000,  
  
"y-coord": 50000,  
  
// list of all bboxes detected within this patch  
  
"bboxes": [  
  
  {  
  
    "class": "the sperm's classname",  
  
    // coordinates of the bboxes are with respect to this patch  
  
    "xmin": 100,  
  
    "ymin": 100,  
  
    "xmax": 100,  
  
    "ymax": 100  
  
  }  
  
  // ...  
  
]  
  
}  
  
// ...  
  
],  
  
}
```

รูปที่ 3.53 โครงสร้างข้อมูลประเภท NoSQL สำหรับเก็บผลลัพธ์จากการประมวลผล

ตารางที่ 3.1 คำอธิบายความหมายของแต่ละ field ในโครงสร้างข้อมูล

Key	Type	Description
job_id	string	ไอดีกำกับที่ไม่ซ้ำ
completed	boolean	เป็นจริงถ้าการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วและเป็นเท็จถ้ายังไม่เสร็จสิ้น
progress	int	เปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของการประมวลผล
cancelled	boolean	เป็นจริงถ้าการประมวลผลถูกยกเลิก และเป็นเท็จถ้าไม่ได้ถูกยกเลิก
patches	array	อาร์เรย์ของวัตถุภาพย่อย
patch_path	string	ตำแหน่งในอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ภาพย่อยนี้ถูกจัดเก็บ
x-coord	int	พิกัด x ของมุมซ้ายบนของภาพย่อย เมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดของภาพ WSI อันใหญ่
y-coord	int	พิกัด y ของมุมซ้ายบนของภาพย่อย เมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดของภาพ WSI อันใหญ่
bboxes	array	อาร์เรย์ของวัตถุรอบล้อมรอบที่ตรวจพบในภาพย่อยภาพนี้
class	string	ประเภทของอสุจิที่ตรวจพบ
xmin	int	พิกัด x ของมุมซ้ายบนของกรอบล้อมรอบวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพย่อยภาพนี้
ymin	int	พิกัด y ของมุมซ้ายบนของกรอบล้อมรอบวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพย่อยภาพนี้
xmax	int	พิกัด x ของมุมขวาล่างของกรอบล้อมรอบวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพย่อยภาพนี้
ymax	int	พิกัด y ของมุมขวาล่างของกรอบล้อมรอบวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพย่อยภาพนี้

### 3. คำอธิบายการใช้งานของ API

API ประกอบด้วย endpoints 4 ตัว ดังต่อไปนี้

- 1) POST enqueue\_job
- 2) POST dequeue\_job
- 3) GET check\_progress/{job\_id}
- 4) GET read\_result/{job\_id}

#### 1. POST /enqueue\_job

Attribute	Type	Required	Description
job_id	string	yes	job ID
input_path	string	yes	path to WSI file
model_type	string	no	options: small, medium, large, xlarge (default: small)
iou_thres	float	no	from 0-1 (default: 0.45)
conf_thres	float	no	from 0-1 (default: 0.25)
batch_size	int	no	typically 8-32 (default: 8)
priority	bool	no	true for vip job (default: false)

```
curl --request POST --header "Content-Type:application/json" \
  --data '{"job_id": "<job_id>",
  "input_path": "<input_path>",
  "iou_thres": 0.5,
  "conf_thres": 0.8,
  "batch_size": 10, "priority": false,
  "model_type": "small"}'
  "http://localhost/enqueue_job"
```

Response

200: OK

```
{
  "success": true,
  "message": "Job <job_id> has been enqueued"
}
```

422: Bad Request

```
{
  "detail": [{"loc": ["body", "message"], "msg": "field required", "type": "value_error.missing"}]
}
```

Message	Description
FILENOTFOUND	given input_path not found in the server

2. POST /dequeue\_job

Attribute	Type	Required	Description
job_id	string	yes	the job_id to cancel

```
curl --request POST --header "Content-Type:application/json" \
  --data '{"job_id": "<job_id>"}' "http://localhost/dequeue_job"
```

Response

200: OK

```
{
  "success": true,
  "message": "Job <job_id> has been cancelled"
}
```

#### 422: Bad Request

```
{
  "detail": [{"loc": ["body", "message"], "msg": "field required", "type": "value_error.missing"}]
}
```

Message	Description
NOTFOUND	given job_id not found in the server

#### 3. GET /check\_progress/{job\_id}

Attribute	Type	Required	Description
job_id	string	yes	the job_id to check progress

```
curl "http://localhost/check_progress/<job_id>"
```

Response

200: OK

```
{
  "success": true,
  "data": {
    "job_id": "<job_id>",
    "completed": false,
    "progress": 5.52,
    "cancelled": false,
    ...

    "error": false,
    "timestamp": "21/10/2022 13:36:57"
  },
  "message": ""
}
```

422: Bad Request

```
{
  "success": false,
  "data": null,
  "message": "COMPLETED"
}
```

Message	Description
COMPLETED	job_id is not running
NOTFOUND	given job_id not found in the server

4. GET /read\_result/{job\_id}

Attribute	Type	Required	Description
job_id	string	yes	the job_id to read result

```
curl "http://localhost/read_result/<job_id>"
```

Response

200: OK

```
{
  "success": true,
  "data": {
    "job_id": "<job_id>",
    "completed": true,
    "progress": 100,
    "cancelled": false,
    "error": false,
    "patches": [
      {
        "x-coord": 14000,
        "y-coord": 14000,
        "bboxes": [
          {
            "class": "sperm",
            "conf": 0.83,
            "xmin": 588,
            "ymin": 143,
            "xmax": 606,
            "ymax": 162
          }
        ]
      }
    ]
  },
  "summary": {
    "sperm": 1
  },
  "timestamp": "21/10/2022 13:36:57"
},
"message": ""
}
```

#### 422: Bad Request

```
{  
  "success": false,  
  "data": null,  
  "message": "NOTFOUND"  
}
```

Message	Description
NOTFOUND	given job_id not found in the server

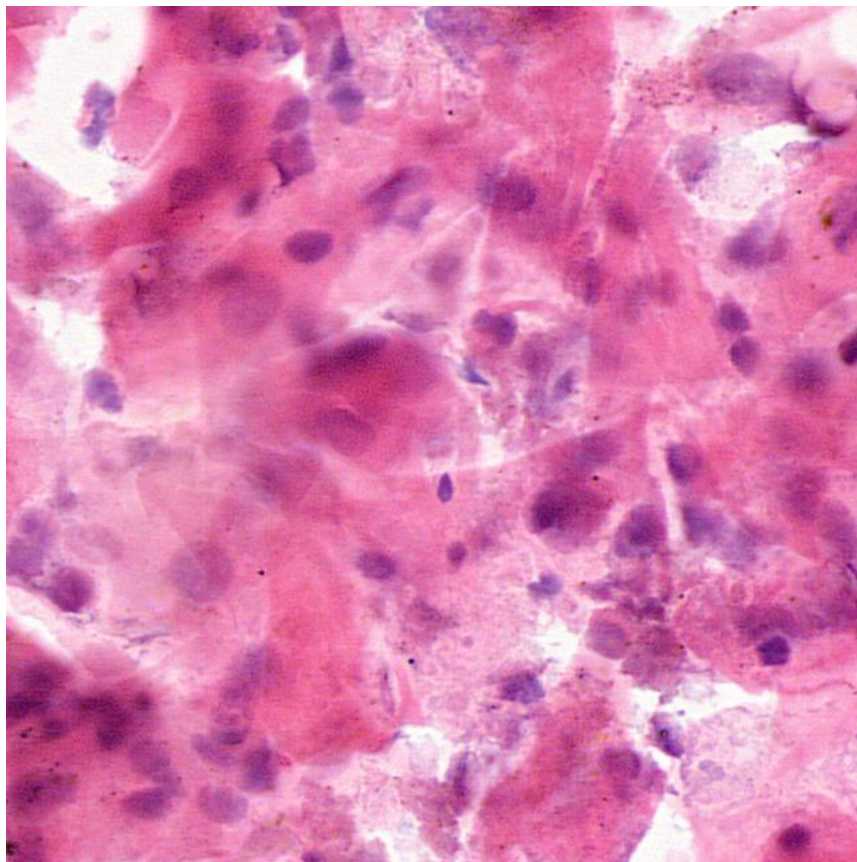
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล

#### 4.1 ผลการทดสอบระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ โดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบที่ผ่านการตีกรอบและระบุชนิดของหัวอสุจิบนแผ่นสไลด์ที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้แก่การฝึกสอนในการตรวจจับตัวอสุจิ โดยทำการประมวลผลภาพถ่ายอสุจิชุดใหม่จากสแกนเนอร์เข้าไปยังโมเดลเพื่อทำการประมวลผล ผ่านสถาปัตยกรรมของ YoloV5

ในชุดข้อมูลที่ทำกรเก็บรวบรวมเพิ่มขึ้นมานั้น ได้นำข้อมูลภาพมาจากชุดข้อมูลที่มีความหลากหลายที่มีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น สาร หรือซากส่วนอื่น ๆ ในช่องคลอด นอกเหนือจากตัวอสุจิภายในภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพตัวอย่างจากชุดข้อมูล

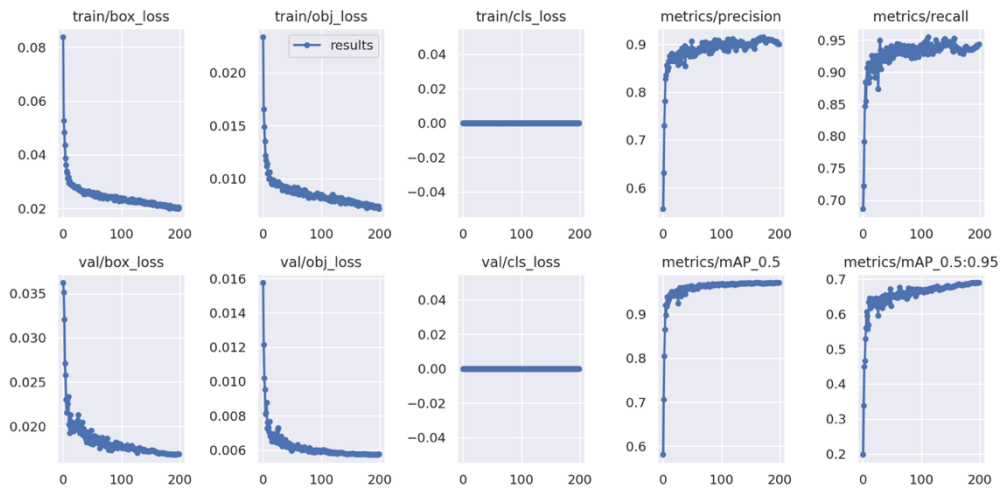
จากนั้นนำ YoloV5 มาใช้ในการฝึกสอนการตรวจจับและค้นหาตัวอสุจิ โดยคณะผู้วิจัยจะสนใจแต่การตีกรอบตรวจจับตัวอสุจิโดยไม่สนใจประเภท เนื่องจากการการตรวจพิสูจน์ต้องการพบตัวอสุจิในแผ่นสไลด์ที่เกิน 16 ชั่วโมง เมื่อพบตัวอสุจิอย่างน้อย 2 ตัว ซึ่งจะถือว่าได้ถูกส่งละเมิดทางเพศ นอกเหนือจากที่กล่าวจะถือว่าไม่ถูกส่งละเมิดทางเพศ ดังนั้น การตรวจจับตัวอสุจิที่มีประสิทธิภาพจึงมีส่วนสำคัญ

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ โดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบที่ผ่านการตีกรอบห้วอสุจิ โดยการนำภาพแผ่นสไลด์ดิจิทัล ส่งเข้าประมวลผล ผ่านสถาปัตยกรรม YOLO ผลลัพธ์จากการทดสอบจะถูกตีกรอบบริเวณห้วอสุจิพร้อมกับแสดงค่าความเชื่อมั่น จากการฝึกสอน จำนวน 200 รอบ ด้วยชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลตรวจสอบ และได้ทำการประเมินผลบนชุดข้อมูลทดสอบ โดยการวัดผลใช้ตัวชี้วัด Precision, Recall และ mAP จากการทดลองพบว่าโมเดล YOLOv5m มีค่า Precision สูงที่สุด ด้วยผลลัพธ์เท่ากับ 0.908 และ mAP ที่ IoU 0.5 ด้วยผลลัพธ์เท่ากับ 0.974 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ของการฝึกสอนโมเดลตรวจจับตัวอสุจิ

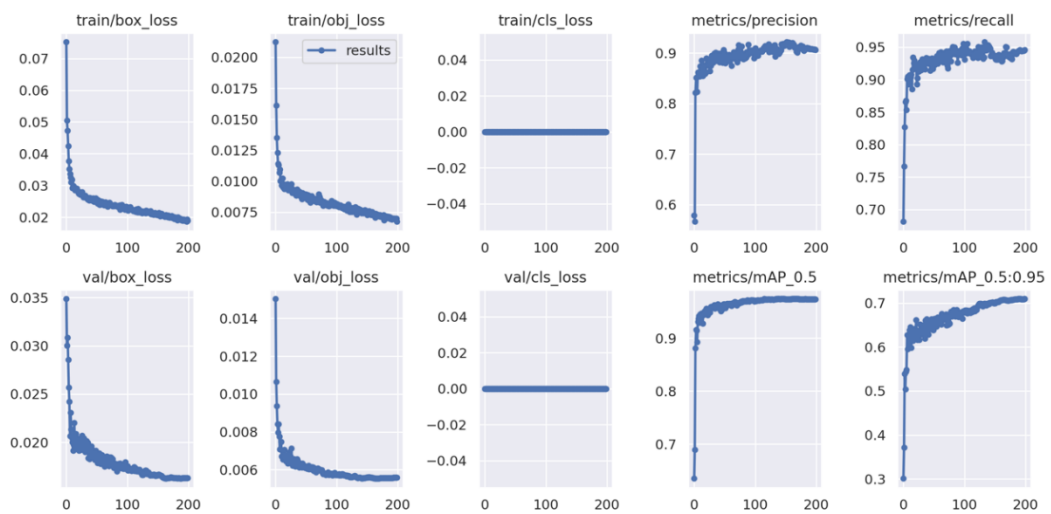
สถาปัตยกรรม	Precision	Recall	mAP@0.5	mAP
YOLOv5s	0.901	0.943	0.971	0.690
YOLOv5m	0.908	0.945	<b>0.974</b>	0.710

ผลจากการฝึกสอนพบว่า โมเดล YOLOv5m สามารถการตรวจจับภาพอสุจิได้ดีกว่า โมเดล YOLOv5s จากรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลลัพธ์การฝึกสอน ได้แก่ ค่า Loss ในการฝึกสอน และทดสอบ และค่าประเมินประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่ Precision, Recall, mAP ที่ IoU 0.5 จากกราฟ mAP จะพบว่า ในการฝึกสอนของโมเดล YOLOv5s และโมเดล YOLOv5m ค่า Loss สามารถเข้าสู่ค่า 0 ได้รวดเร็วและไม่กระจายตัว รวมไปถึงค่าประเมินประสิทธิภาพมีค่าที่เข้าใกล้ 1 มากในทั้งสองโมเดล ซึ่งสอดคล้องกับค่าตามตารางที่ 4.1 อย่างไรก็ตาม โมเดล YOLOv5m ได้ค่าประเมินประสิทธิภาพของโมเดลที่สูงกว่าโมเดล YOLOv5s ดังนั้น โมเดล YOLOv5m จึงถูกนำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.2 การฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิบนสถาปัตยกรรม

YOLOv5s

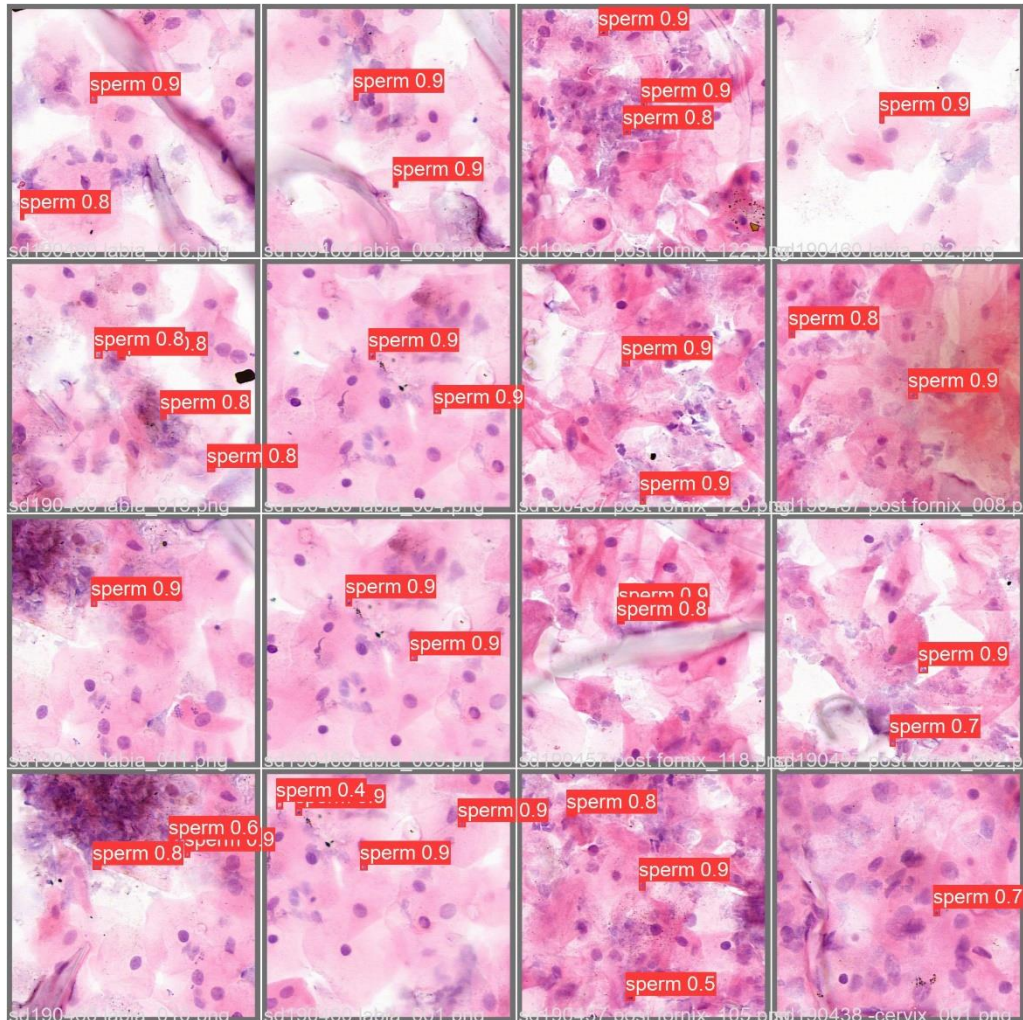


รูปที่ 4.3 การฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิบนสถาปัตยกรรม

YOLOv5m

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ โดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบใหม่ที่โมเดลไม่เคยเห็นมาก่อน (Unseen dataset) ผลลัพธ์จากการทดสอบจะถูกตีกรอบบริเวณหัวอสุจิพร้อมกับแสดงค่าความเชื่อมั่น โดยทำการประมวลผลภาพถ่ายอสุจิจากสแกนเนอร์เข้าไปยังโมเดลเพื่อทำการประมวลผล ผ่านสถาปัตยกรรมของ YoloV5m ผลลัพธ์จากการทดสอบจะถูกตี

กรอบล้อมรอบบริเวณหัวสpermพร้อมกับแสดงค่าความเชื่อมั่น โดยมีค่าระหว่าง 0.0-1.00 รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัวอย่างในการตรวจจับตัวสperm แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถตรวจจับสpermได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.4 ภาพตัวอย่างการตรวจจับตัวสperm บนชุดข้อมูลทดสอบ

ในการพัฒนาระบบการตรวจจับสperm ได้นำโมเดล YoloV5m มาใช้รวบรวมเพื่อพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวสperm โดยสร้างโครงสร้างประกอบด้วย โมเดลที่ฝึกสอน ไฟล์ที่บันทึกการตั้งค่าการฝึกสอนโมเดล และการระบุประเภททีกรอบ เพื่อนำไปเข้ากับระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวสperm ต่อไป

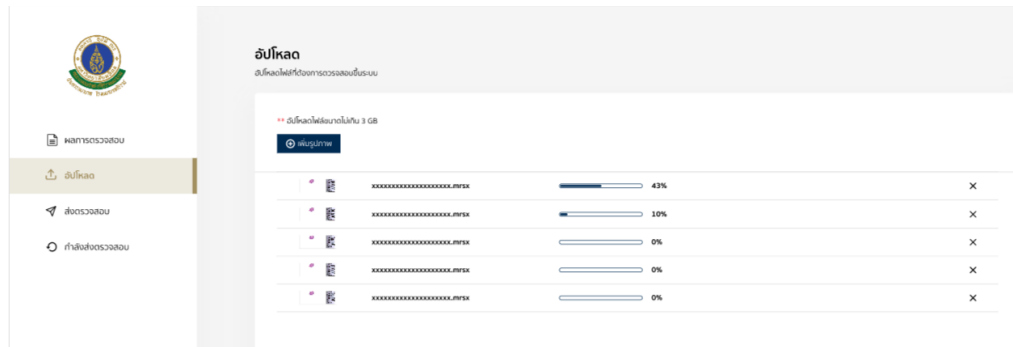
#### 4.2 ผลการทดสอบระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวสperm (Web-based AI-sperm)

คณะผู้วิจัยได้ทดสอบระบบเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวสperm สำหรับนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติแพทย์ มีขั้นตอนการทดสอบ ดังต่อไปนี้



### 3. หน้าอัปโหลด (Upload page)

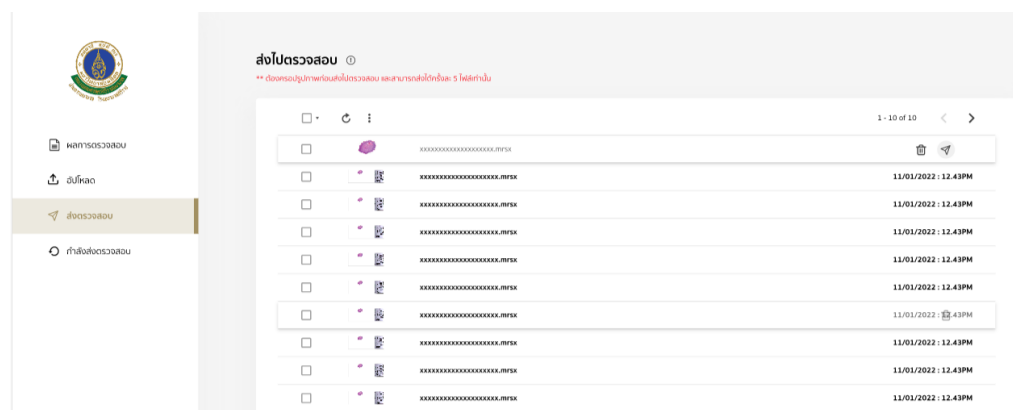
แสดงข้อมูลอัปโหลดภาพ พร้อมทั้งสถานะการอัปโหลด โดยจะมีแถบแสดงความก้าวหน้าในการอัปโหลดให้ผู้ใช้งานทราบสถานะ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



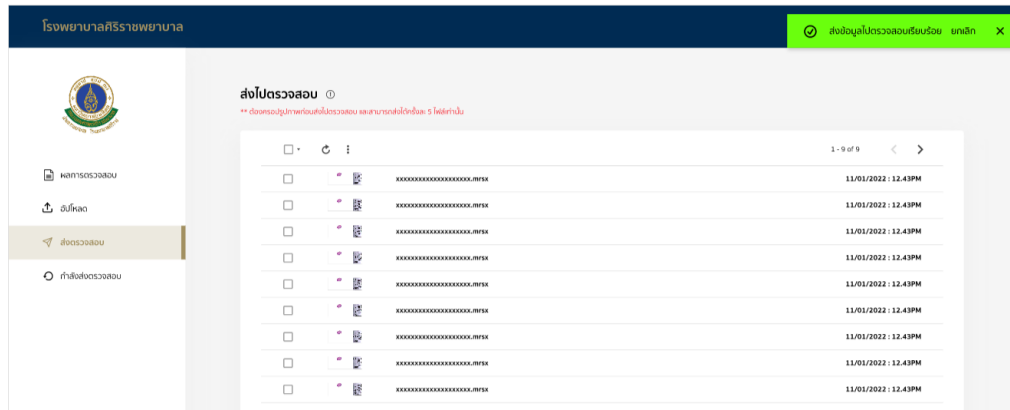
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าอัปโหลด

### 4. หน้าส่งงาน (Task job)

แสดงหน้ารายการรอการกดยืนยันเพื่อส่งการประมวลผลภาพดิจิทัล เนื่องจากแต่ละภาพแผ่นสไลด์ใช้เวลาการประมวลผลหลายนาที ระบบจึงออกแบบให้รองรับการส่งภาพแผ่นสไลด์เป็นชุด แต่ละชุดไม่เกิน 5 ภาพ โดยระยะเวลาในการรอประมวลผลขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและทรัพยากรของระบบ Back-End ดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.9



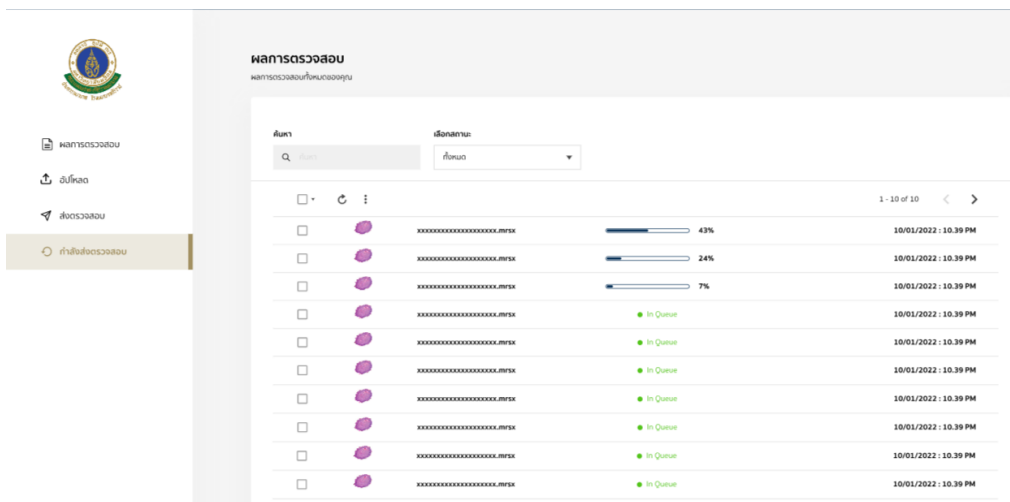
รูปที่ 4.8 เลือกไฟล์ภาพสไลด์ที่จะส่งไปประมวลผล



รูปที่ 4.9 ยืนยันการส่งภาพแผ่นสไลด์ประมวลผล

### 5. สถานะการประมวลผลแผ่นสไลด์

แสดงหน้ารายการสถานะการประมวลผลแผ่นสไลด์ เนื่องจากแต่ละแผ่นสไลด์ใช้เวลาการประมวลผลหลายนาที ระบบจึงออกแบบให้รองรับการแสดงผลสถานะการประมวลผลที่หลายแผ่นสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

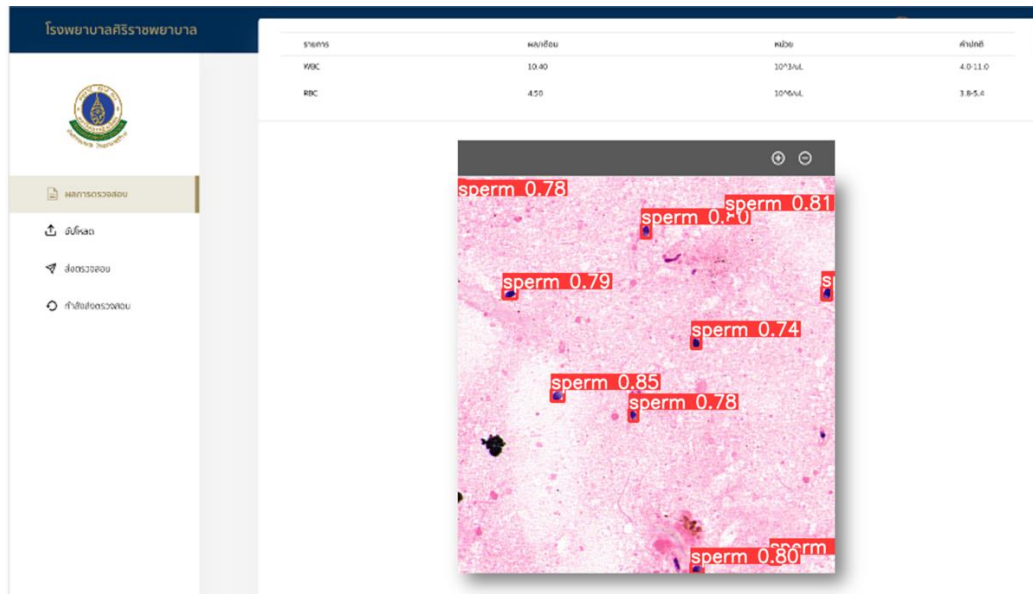


รูปที่ 4.10 สถานะความคืบหน้าของภาพแต่ละแผ่นสไลด์

### 6. หน้าอ่านผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

แสดงผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ประกอบด้วยข้อมูล ตำแหน่งของตัวอสุจิ และความเชื่อมั่นของคำตอบที่ตรวจจับตัวอสุจิบนภาพแผ่นสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์



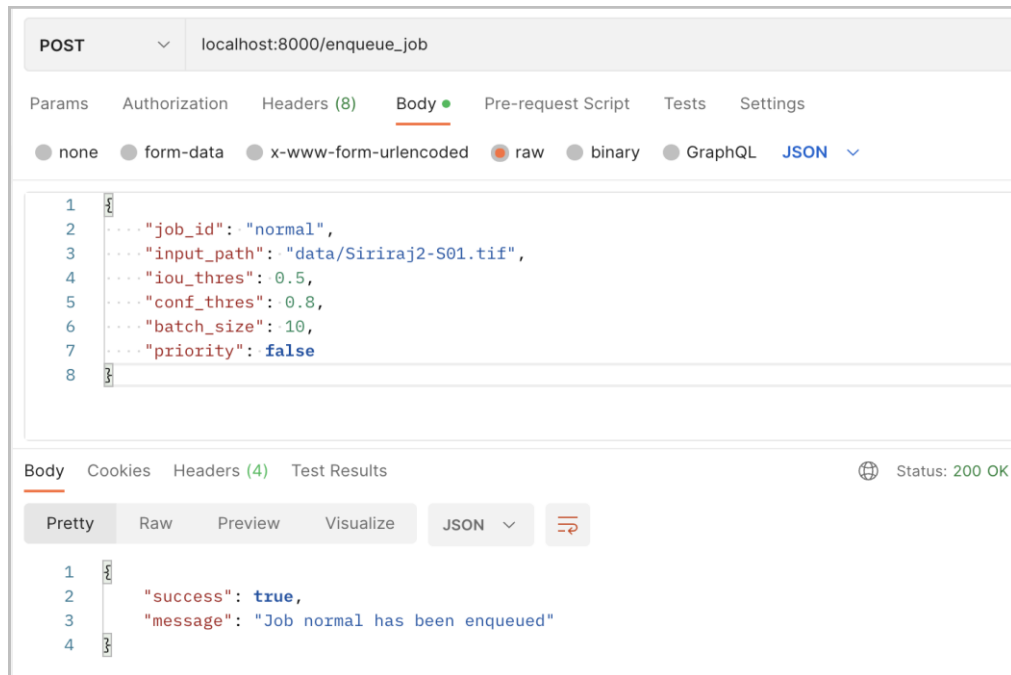
รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

#### 4.3 ผลการทดสอบระบบแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์

##### 4.3.1 ผลการทดสอบ API

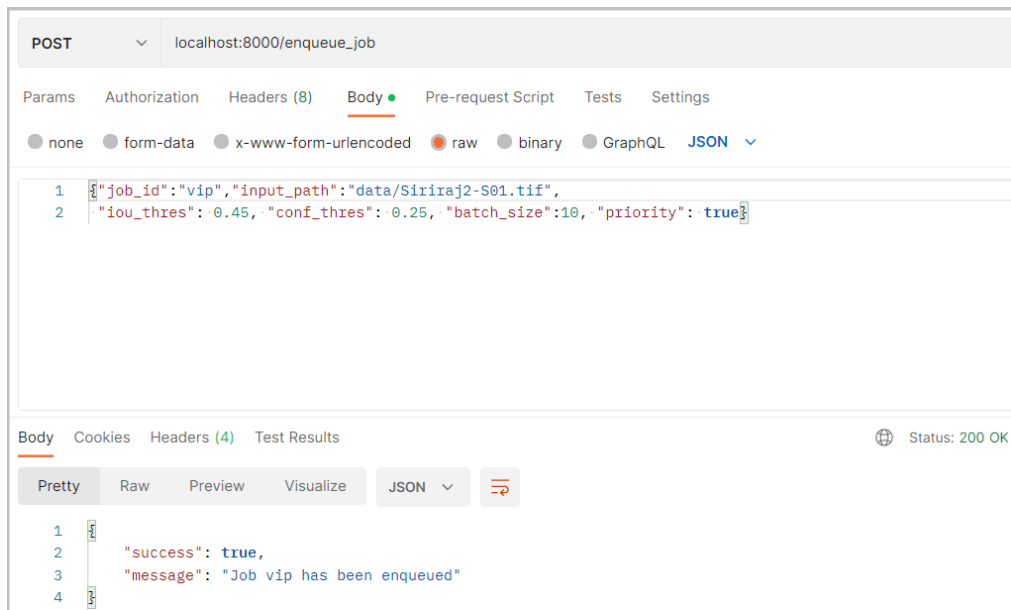
การทดสอบทำโดยใช้โปรแกรม Postman ส่งคำขอไปที่ API endpoint และเงื่อนไขต่าง ๆ กัน

/enqueue\_job success (normal job)



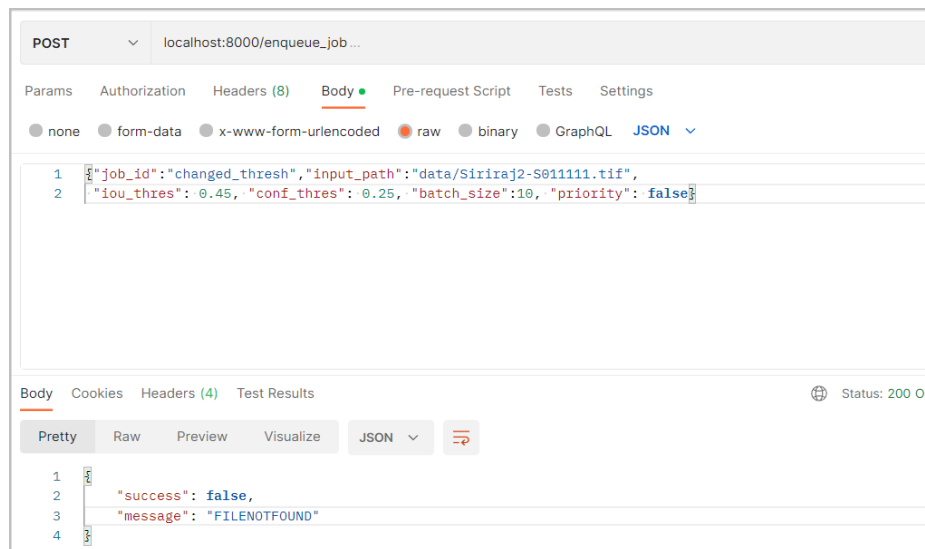
รูปที่ 4.12 เงื่อนไข /enqueue\_job success (normal job)

### /enqueue\_job success (VIP job)



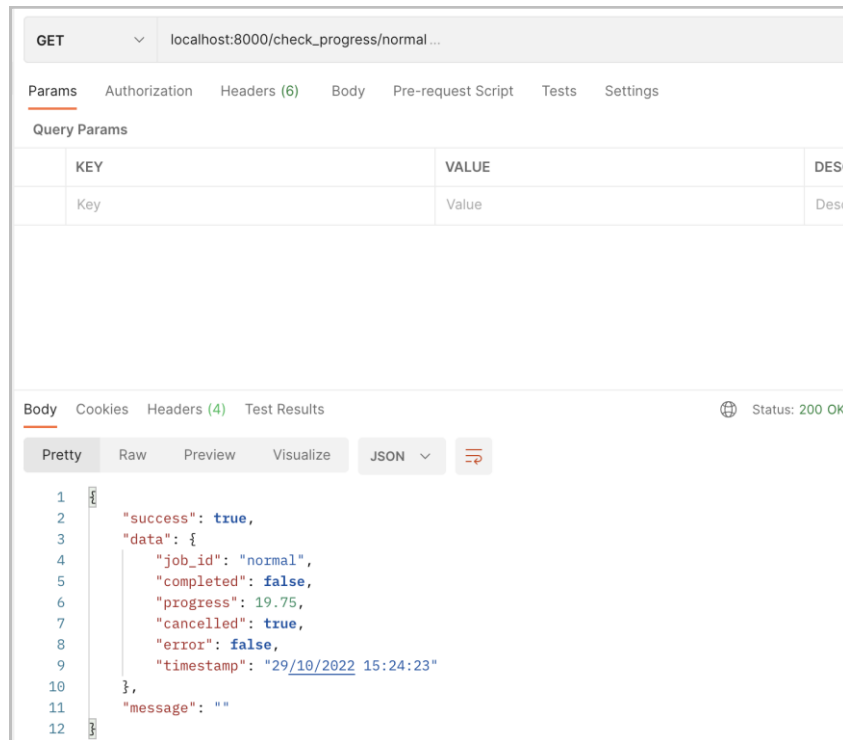
รูปที่ 4.13 เงื่อนไข /enqueue\_job success (VIP job)

### /enqueue\_job fails



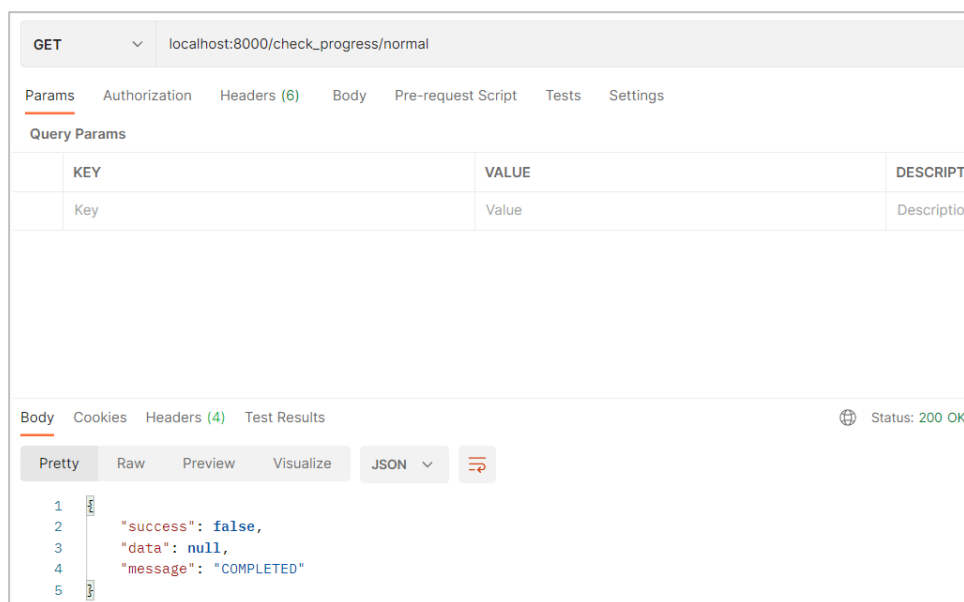
รูปที่ 4.14 เงื่อนไข /enqueue\_job fails

/check\_progress success (running job)



รูปที่ 4.15 เงื่อนไข /check\_progress success (running job)

/check\_progress success (finished job)



รูปที่ 4.16 เงื่อนไข /check\_progress success (finished job)

### /check\_progress fails

GET localhost:8000/check\_progress/asdfasdf

Params Authorization Headers (6) Body Pre-request Script Tests Settings

Query Params

KEY	VALUE	DESCRIPTION
Key	Value	Description

Body Cookies Headers (4) Test Results Status: 200 OK

Pretty Raw Preview Visualize JSON

```
1  
2  "success": false,  
3  "data": null,  
4  "message": "NOTFOUND"  
5
```

รูปที่ 4.17 เงื่อนไข /check\_progress fails

### /read\_result success

GET localhost:8000/read\_result/normal

Params Authorization Headers (6) Body Pre-request Script Tests Settings

Query Params

KEY	VALUE	DESCRIPTION
Key	Value	Description

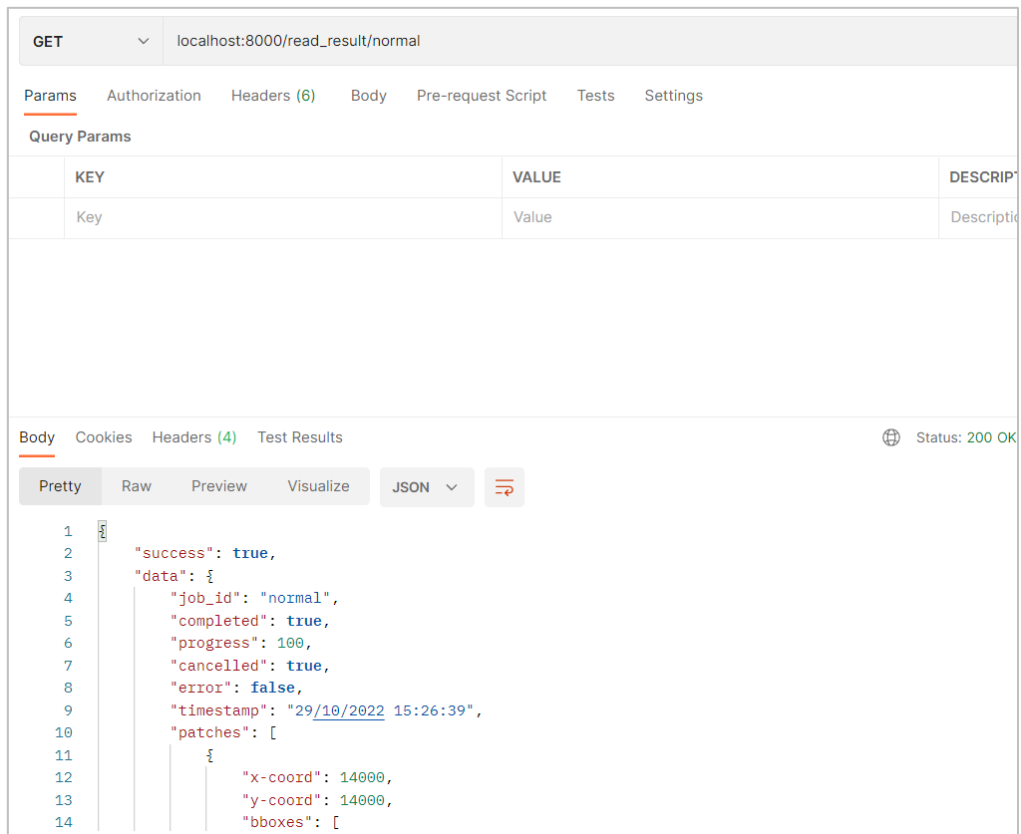
Body Cookies Headers (4) Test Results Status: 200 OK

Pretty Raw Preview Visualize JSON

```
1  
2  "success": true,  
3  "data": {  
4    "job_id": "normal",  
5    "completed": true,  
6    "progress": 100,  
7    "cancelled": true,  
8    "error": false,  
9    "timestamp": "29/10/2022 15:26:39",  
10   "patches": [  
11     {  
12       "x-coord": 14000,  
13       "y-coord": 14000,  
14       "bboxes": [  
15
```

รูปที่ 4.18 เงื่อนไข /read\_result success

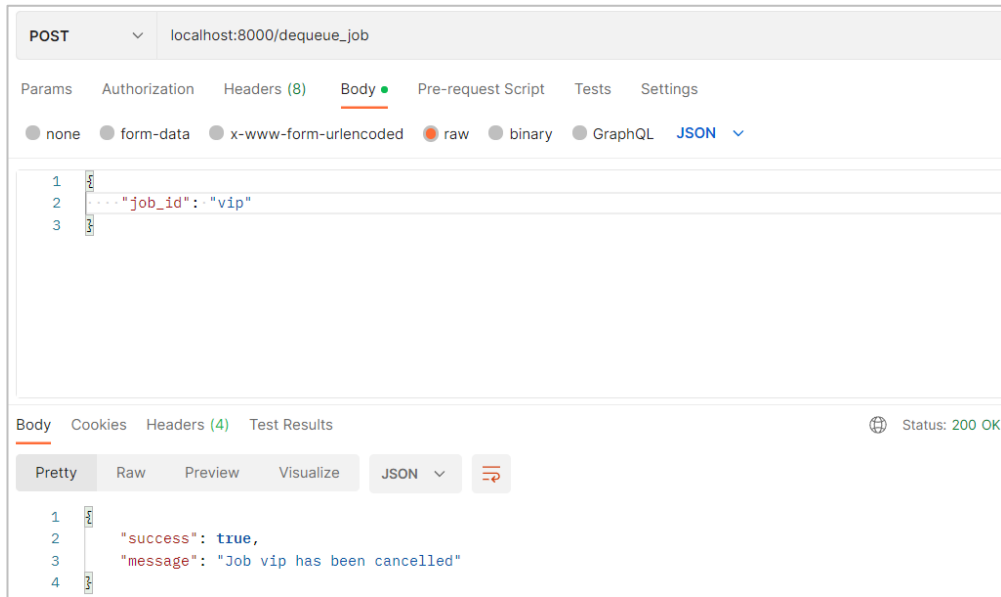
/read\_result fails



รูปที่ 4.19 เงื่อนไข /read\_result fails

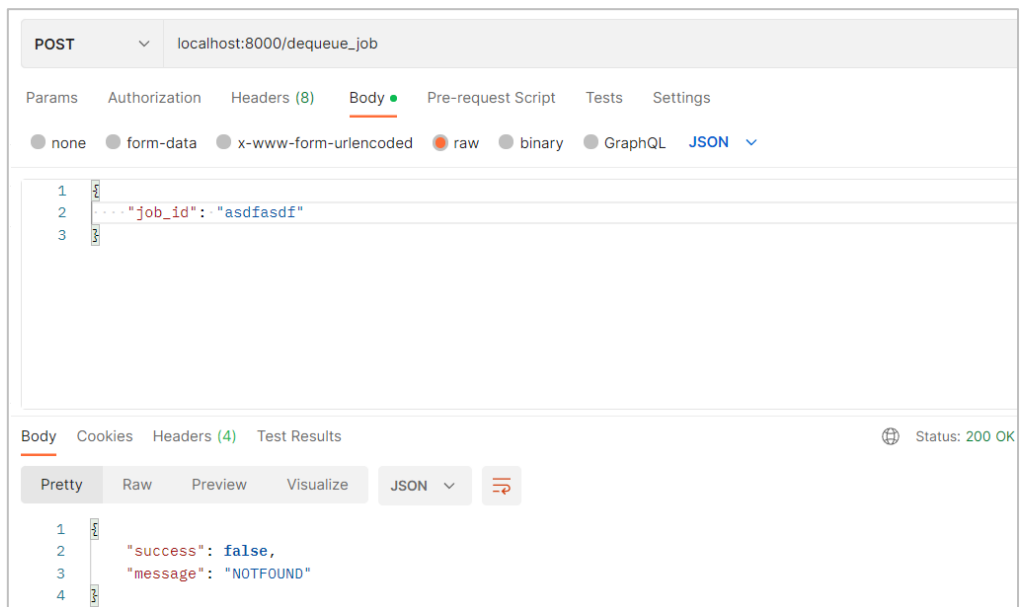
/dequeue\_job success

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์



รูปที่ 4.20 เงื่อนไข /dequeue\_job success

/dequeue\_job fails



รูปที่ 4.21 เงื่อนไข /dequeue\_job fails

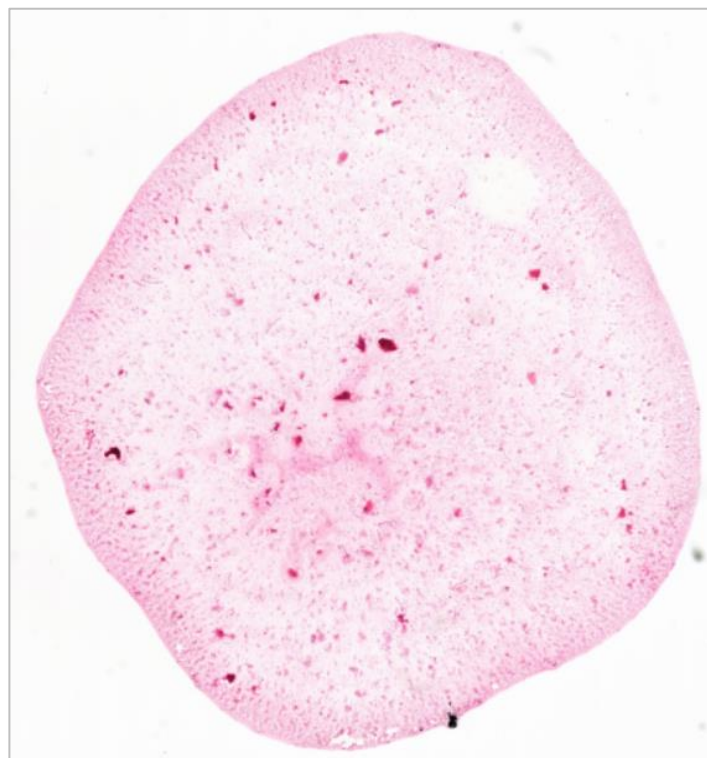
#### 4.3.2 ผลการทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์

การทดสอบทำโดยส่งภาพ WSI ไปประมวลผล โดยมีรายละเอียดของภาพและผลลัพธ์ที่ได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของภาพและผลลัพธ์ของการทดสอบส่งภาพ WSI ไปประมวลผล

ชื่อไฟล์	Siriraj2-S01.tif
ขนาดของไฟล์	861 MB
ขนาดกว้างยาวของภาพ	60,489 × 64,000
จำนวนภาพย่อยที่พบวัตถุ	4,402
จำนวนวัตถุทั้งหมดที่พบ	51,077

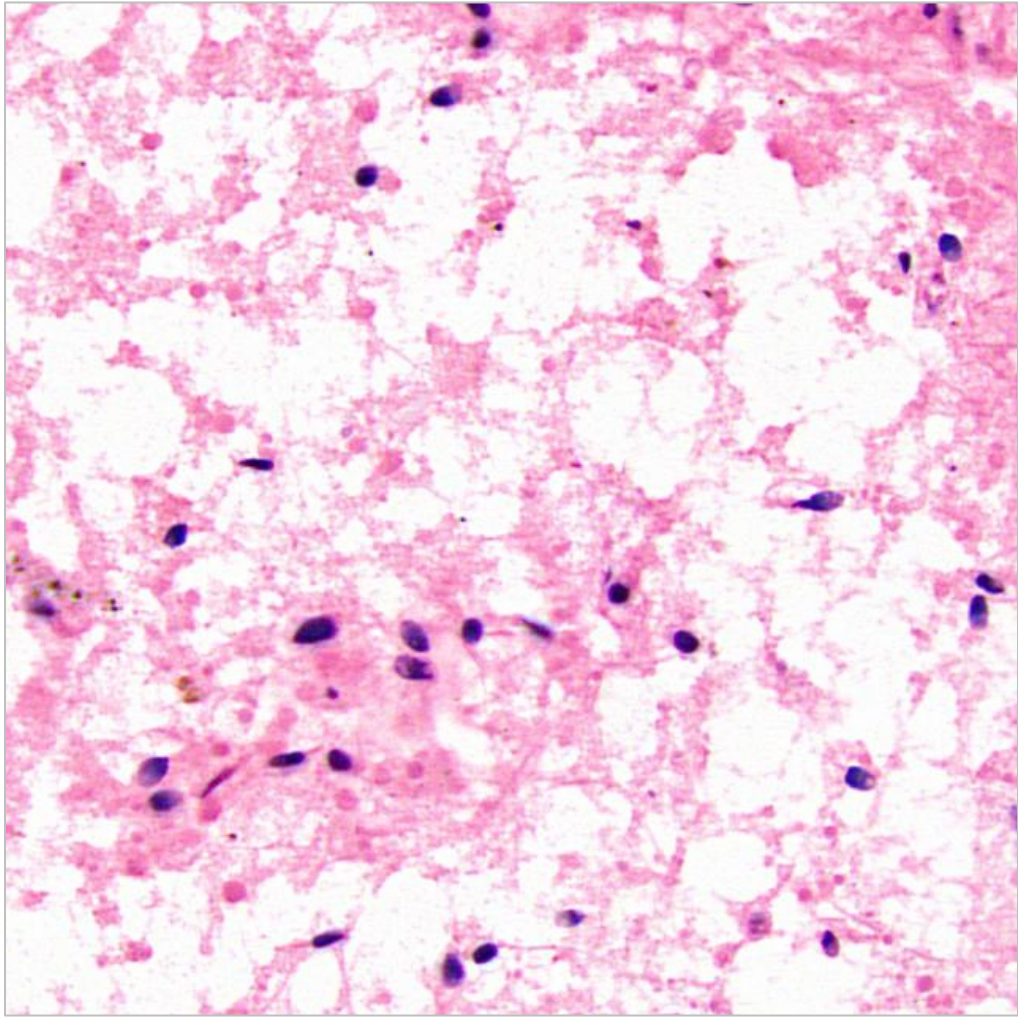
ภาพที่ซูมออกจนเห็น WSI ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.22



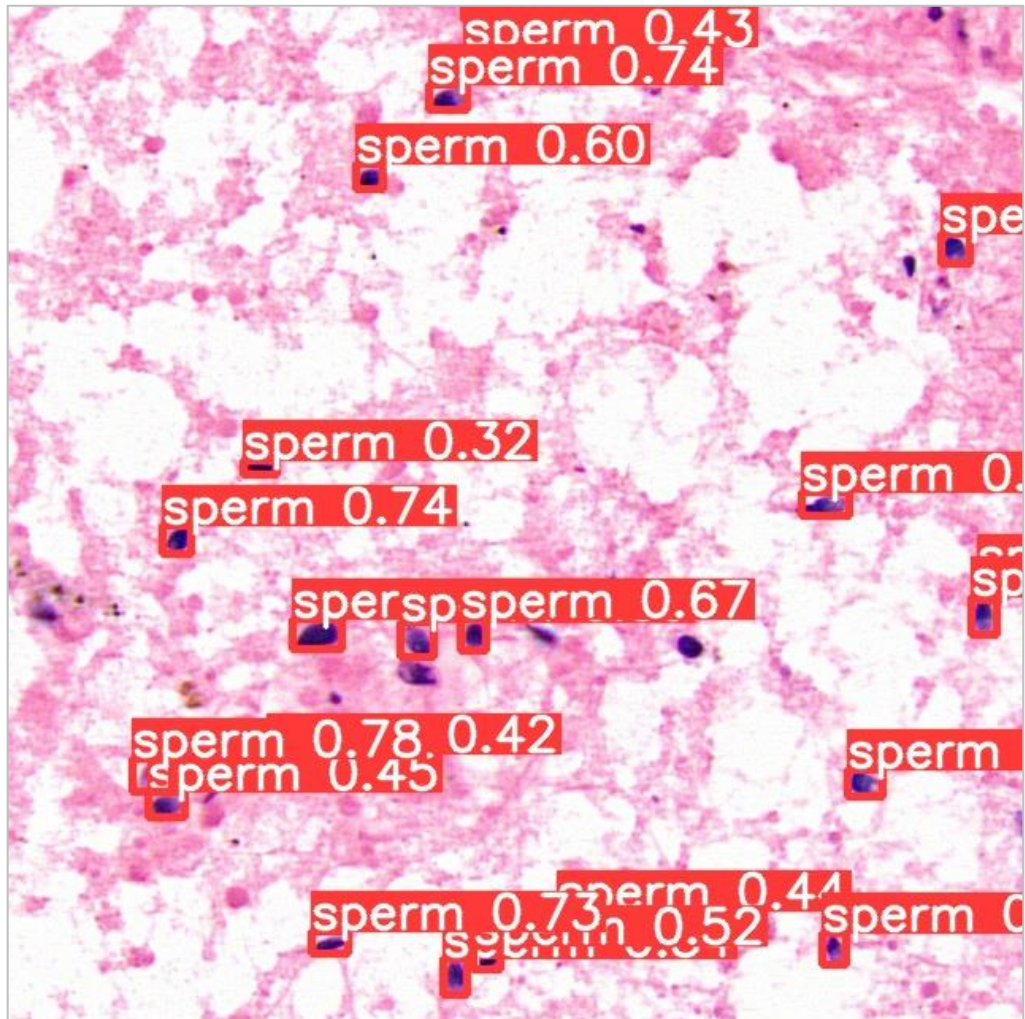
รูปที่ 4.22 ภาพที่ซูมออกจนเห็น WSI ทั้งหมด

### 4.3.3 ตัวอย่างของภาพย่อยที่ตรวจพบวัตถุ

1. ภาพย่อยขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 14,000, 14,000 ดังแสดงในรูปที่ 4.23



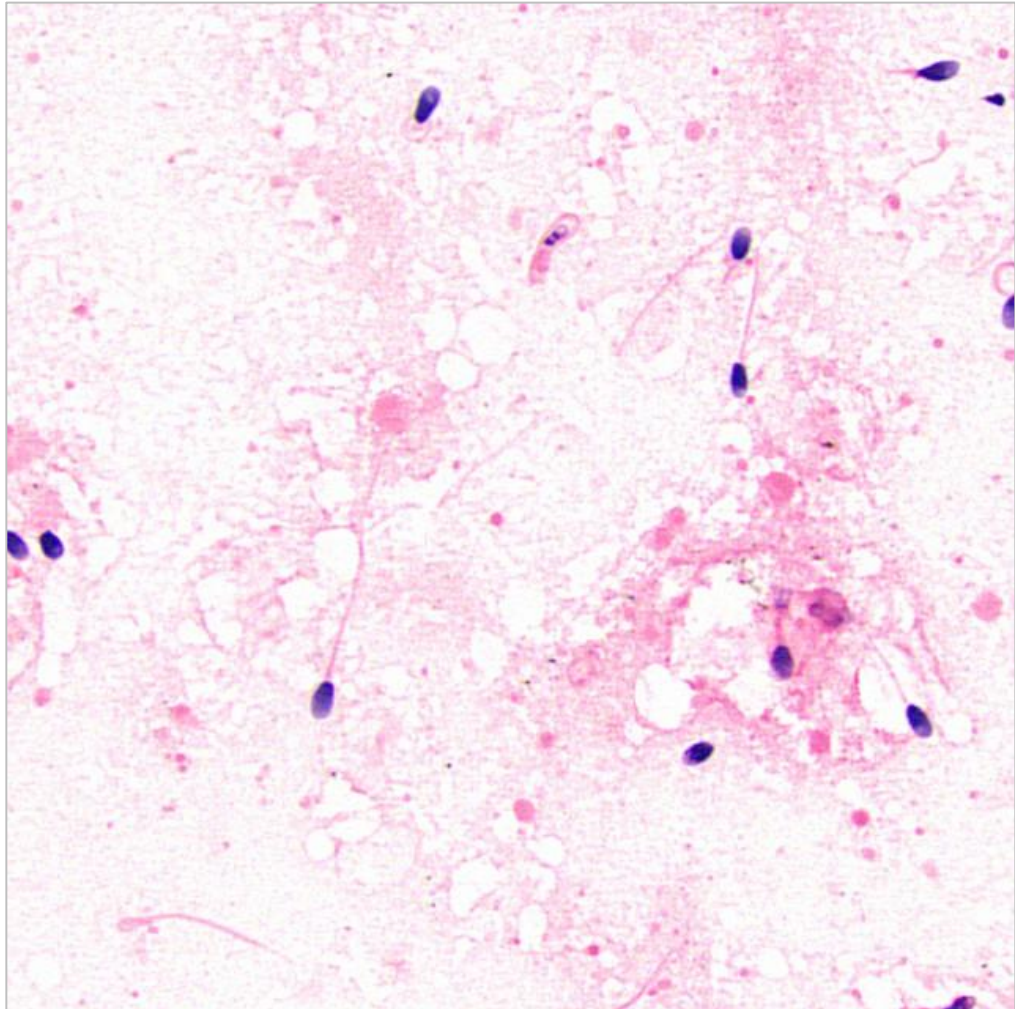
(1)



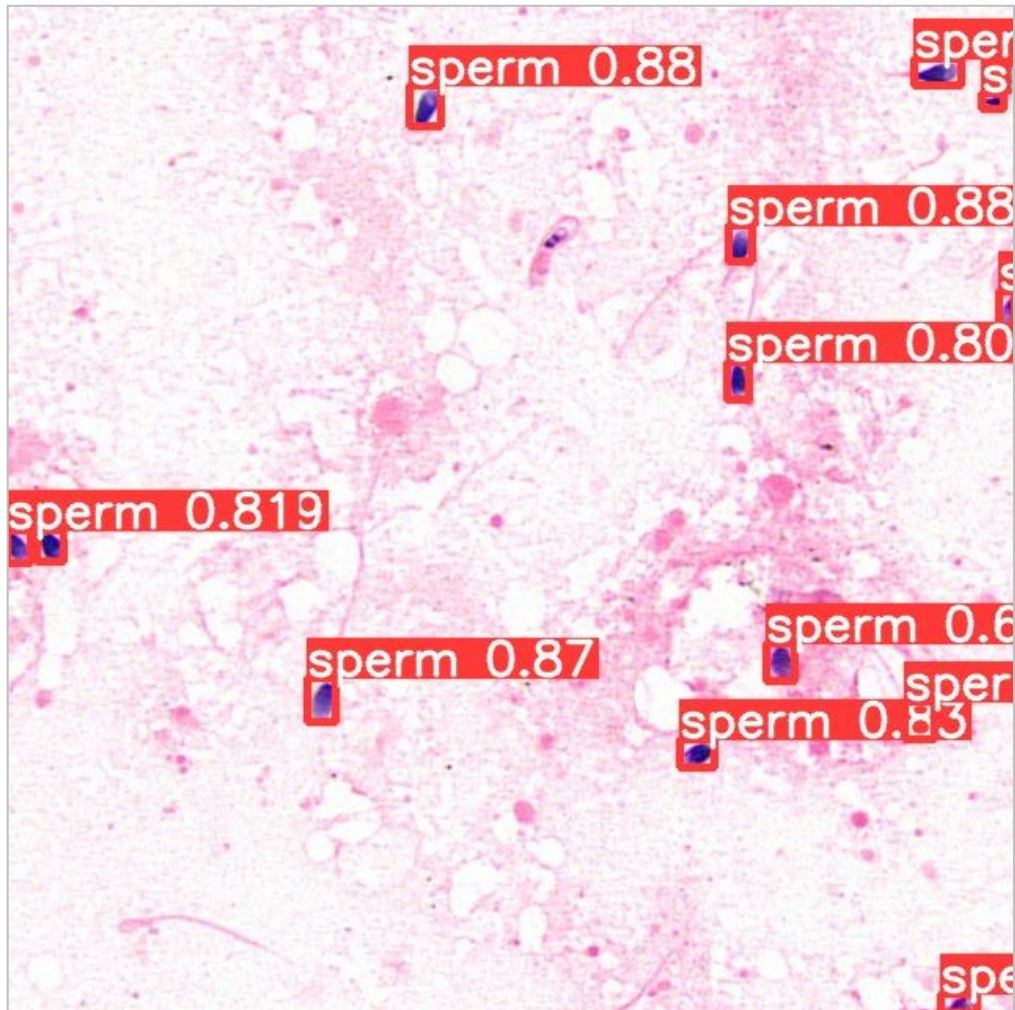
(2)

รูปที่ 4.23 ภาพย่อขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 14,000, 14,000

2. ภาพย่อขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 28,080, 55,600 ดังแสดงในรูปที่ 4.24



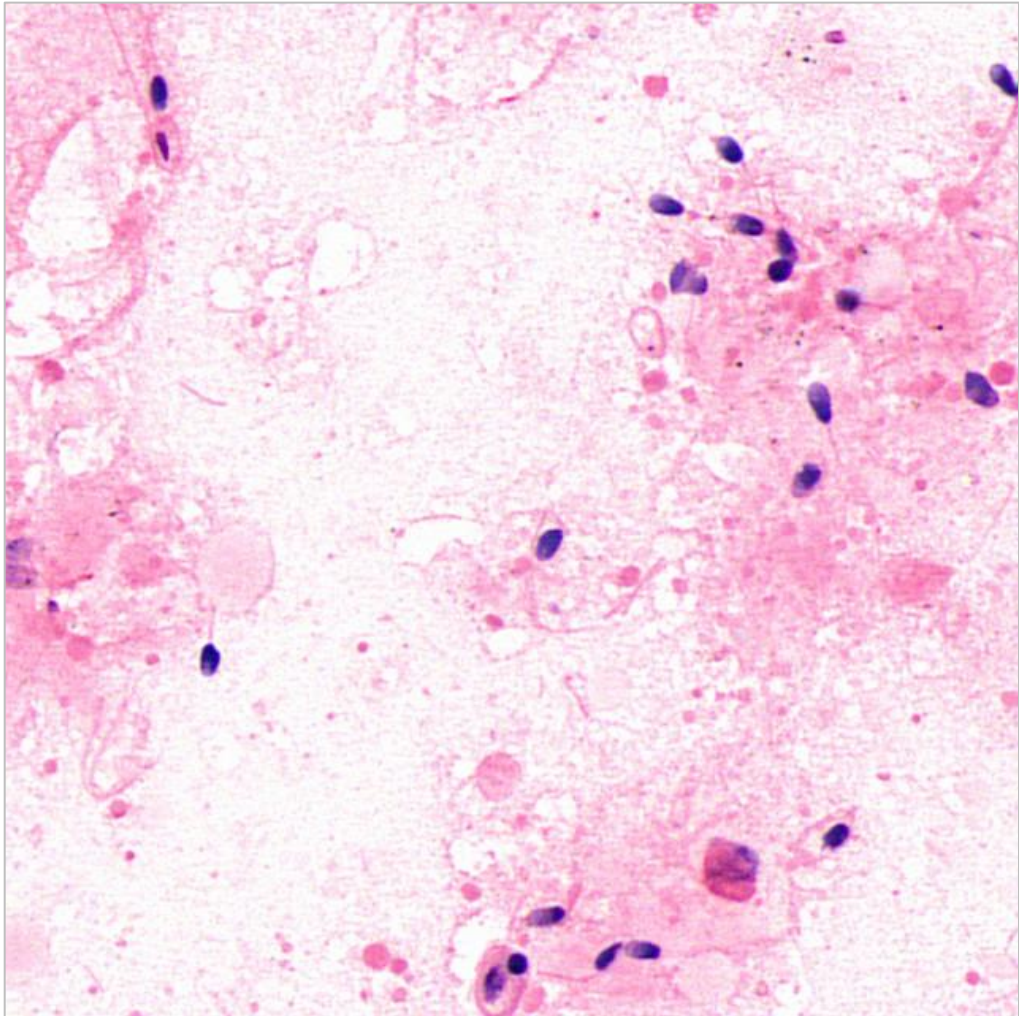
(1)



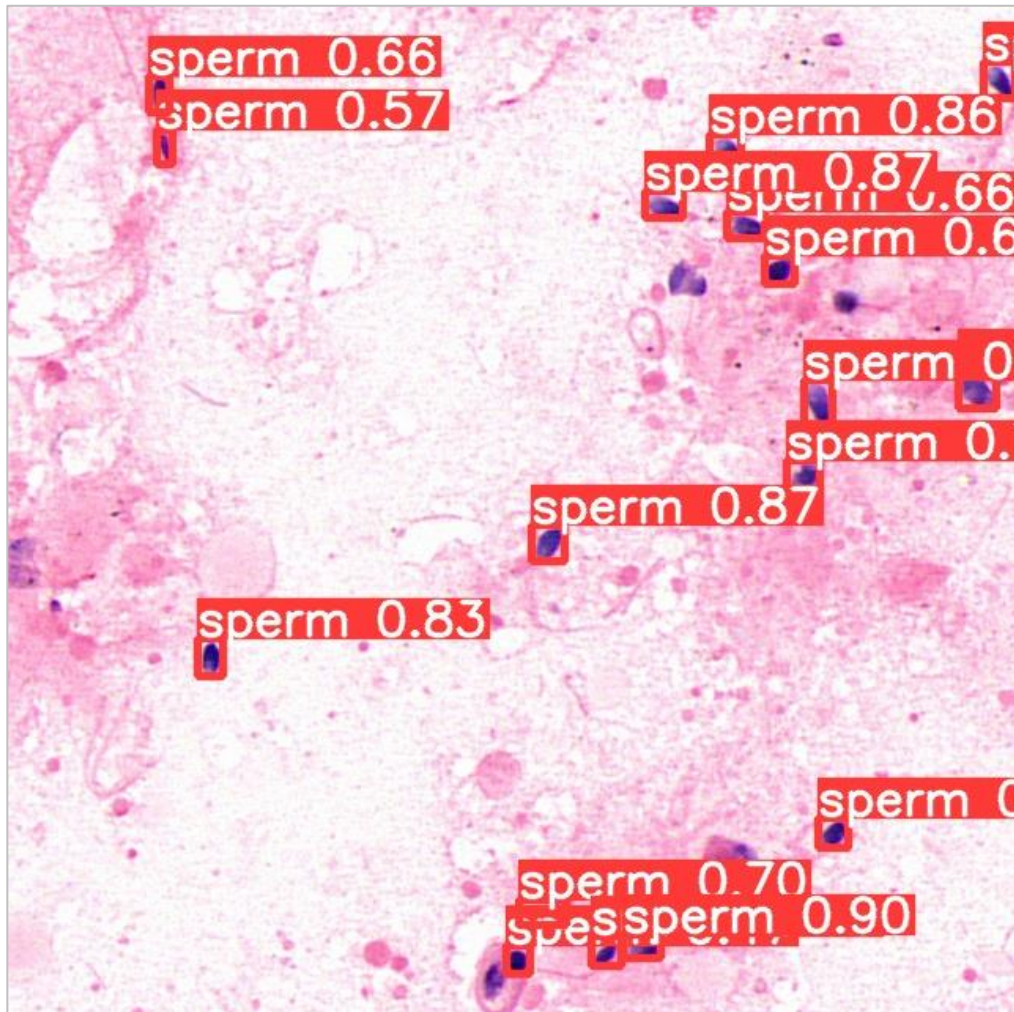
(2)

รูปที่ 4.24 ภาพย่อยขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 28,080, 55,600

3. ภาพย่อขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 38,320, 26,800 ดังแสดงในรูปที่ 4.25



(1)



(2)

รูปที่ 4.25 ภาพย่อขนาด 640 × 640 ที่ตำแหน่ง 38,320, 26,800

#### 4.4 การวิจารณ์ผล

##### 4.4.1 การวิจารณ์ผลการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

จากการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน ได้ผลลัพธ์ค่า Precision ที่ 0.91 ค่า Recall ที่ 0.95 และ mAP ที่ร้อยละ 97.4 แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถตรวจจับตัวอสุจิ และมีความแม่นยำที่สูง จากผลลัพธ์ข้างต้นพบว่า การตรวจจับยังมีคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดจากข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่อง

ขนาดของตัวอย่าง ความละเอียดของภาพแผ่นสไลด์ดิจิทัล และจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ แนวทางการพัฒนาคือ ต้องใช้เครื่องสแกนที่กำลังขยายและความละเอียดสูง สำหรับใช้ในการสแกนสารคัดหลั่งที่ย้อมสี เพื่อให้ได้ภาพแผ่นสไลด์ดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงขึ้น และเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น กระบวนการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ หากสามารถนำข้อมูลภาพแผ่นสไลด์ดิจิทัลที่มีความละเอียดมากขึ้น และมีกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนและความหลากหลายมากขึ้น จะส่งผลให้โมเดลปัญญาประดิษฐ์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการพิสูจน์ตัวอย่างได้ดีมากขึ้น

## บทที่ 5

### ผลการฝึกอบรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา

#### 5.1 รายงานผลการฝึกอบรมวิธีการใช้งานเว็บไซต์ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและการพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

การฝึกอบรมวิธีการใช้งานเว็บไซต์ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และการพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ได้จัดการบรรยาย ณ ห้องประชุมชั้น 1 อาคารศูนย์วิจัยการแพทย์ศิริราช (SiMR) คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล เขตบางกอกน้อย ภายในวันที่ 27 มีนาคม 2566 เวลา 09:00 – 16:00 น. และ วันที่ 28 มีนาคม 2566 เวลา 09:00 – 12:00 น.

โดยการอบรมในวันที่ 27 มีนาคม 2566 ได้วางกำหนดการบรรยายครอบคลุมความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ และการฝึกสอนปัญญาประดิษฐ์เพื่อรู้จำและตรวจจับวัตถุภาพในภาพ โดยการใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) การอบรมในวันที่ 28 มีนาคม 2566 ได้วางกำหนดการบรรยายครอบคลุมการอธิบาย และสอนวิธีการใช้งานเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

##### 5.1.1 ภาพการจัดอบรม

ภาพประกอบการอบรมในวันที่ 27 มีนาคม 2566 การบรรยายครอบคลุมความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ และภาพประกอบการอบรมในวันที่ 28 มีนาคม 2566 การบรรยายครอบคลุมการอธิบายและสอนวิธีการใช้งานเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ ดังรูปที่ 5.1-5.2



รูปที่ 5.1 ภาพการอบรมในวันที่ 27 มีนาคม 2566



รูปที่ 5.2 ภาพการอบรมในวันที่ 28 มีนาคม 2566

### 5.1.2 แบบสอบถาม

ผู้ทำวิจัยได้ออกแบบสอบถามซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน พร้อมกับวิธีการตอบคำถามดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 เป็นคำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบคำถาม ได้แก่ อายุ เพศ การศึกษา และประสบการณ์ทำงาน ลักษณะคำถามเป็นคำถามปลายปิดแบบให้เลือกคำตอบ

ส่วนที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิด ซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัดประมาณค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึงค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

ส่วนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งานของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิด ซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัด ประมาณค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึงค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

ส่วนที่ 4 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิด ซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัดประมาณค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึงค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

แบบประเมินความพึงพอใจ

โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ “การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์”

ในระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2566 เวลา 09.00 – 16.00 น.

ณ ห้องประชุม ชั้น 1 อาคารศูนย์วิจัยการแพทย์ศิริราช (SiMR) คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ

โปรดแสดงความคิดเห็นของท่านโดยทำเครื่องหมาย ✓ เพื่อประโยชน์ในการจัดอบรมครั้งต่อไป

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ  
 ชาย                       หญิง
2. อายุ  
 20 – 29 ปี               30 – 39 ปี                       40 – 49 ปี                       50 ปีขึ้นไป
3. การศึกษา  
ปริญญาตรี              ปริญญาโท                      ปริญญาเอก                       อื่นๆ โปรดระบุ.....
4. ประสบการณ์การทำงาน  
 0 – 5 ปี               6 – 10 ปี                       11 – 15 ปี                       15 ปีขึ้นไป

ตอนที่ 2 ระดับความคิดเห็นในการอบรม

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
ด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์					
1. ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้ารับการอบรม					
2. ประโยชน์ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการอบรม					
3. ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม					
4. การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้					
5. ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ					
ด้านวิทยากร					
1. มีความรู้ ประสบการณ์ตรงกับหัวข้อที่บรรยาย					
2. ลำดับเนื้อหาเข้าใจง่าย คัดเนื้อหา					
3. ภาษาที่ใช้ในการบรรยายมีความเหมาะสม					
4. ตอบคำถามตรงประเด็น เข้าใจง่าย					
5. ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของวิทยากร					
ด้านการใช้งานระบบตรวจพิสูจน์ด้วยดีวีดีและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ด้วยดีวีดี					
1. ก่อนเข้ารับการอบรมท่านมีความรู้เรื่องนี้มากเพียงใด					
2. หลังเข้ารับการอบรมท่านมีความรู้เพิ่มขึ้นเพียงใด					
3. ก่อนเข้ารับการอบรมท่านมีความเข้าใจเรื่องนี้เพียงใด					
4. หลังเข้ารับการอบรมท่านมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้นเพียงใด					
5. การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้					

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

รูปที่ 5.3 แบบสอบถามที่ใช้ในการอบรม

### 5.1.3 การสรุปผลการจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามของงานวิจัยการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามลำดับ ดังนี้

#### 1. ประเภทของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) ที่ใช้แบบสอบถามแบบปลายปิด (Close-ended Questionnaire) โดยผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้กรอรายละเอียดข้อมูลในแบบสอบถามด้วยตนเอง

#### 2. ประชากร

ประชากรที่ใช้ศึกษา คือ บุคคลทั่วไปที่เข้าร่วมกิจกรรมอบรม ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาคือ บุคคลทั่วไปจำนวน 25 คน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลในการแจกแบบสอบถาม โดยการจัดกิจกรรมอบรมการใช้งานเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ และทำแบบสอบถามเพื่อเก็บผลการวิจัยจำนวน 30 ชุด สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในครั้งนี้จะใช้ จำนวน 30 คน เพื่อเป็นการสำรองไว้สำหรับการตอบแบบสอบถามที่ไม่สมบูรณ์

#### 3. ประเภทของข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการศึกษา ได้แก่ การจัดทำข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลความและการสรุปผล ประกอบด้วย ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากแหล่งข้อมูลโดยตรง ด้วยการใช่แบบสอบถาม (Questionnaire) เพื่อเก็บข้อมูลของกลุ่มประชากรตัวอย่าง

#### 4. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างแบบสอบถามเป็นขั้นตอน ดังนี้

- 1) ทบทวนวัตถุประสงค์ของการศึกษาและตัวแปรที่ศึกษา
- 2) ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามจากเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 3) สร้างแบบสอบถามเพื่อถามความคิดเห็นในประเด็นต่อไปนี้ คือ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม และ ข้อมูลเกี่ยวกับการได้รับผลประโยชน์จากการอบรมของผู้ตอบแบบสอบถาม
- 4) เก็บผลแบบสอบถามจากประชากรตัวอย่างจำนวน 30 ราย

#### 5. การตรวจสอบเครื่องมือ

การตรวจสอบเครื่องมือผู้วิจัยได้นำเสนอแบบสอบถามที่ได้สร้างขึ้นต่อผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อตรวจสอบความครบถ้วน และความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบสอบถามที่ตรงกับเรื่องที่จะศึกษา การตรวจสอบความเชื่อมั่นจากการเก็บแบบสอบถามโดยกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ชุด

#### 6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) ผู้วิจัยอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาภายในงานวิจัย การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ แก่ผู้เข้าร่วมกิจกรรม เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเข้าใจในงานวิจัยก่อนทำแบบสอบถาม
- 2) ผู้วิจัยหรือตัวแทนและทีมงานได้แจกแบบสอบถามให้กลุ่มเป้าหมาย และรอจนกระทั่งตอบคำถามครบถ้วน ซึ่งในระหว่างนั้นถ้าผู้เข้าร่วมมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคำถาม ผู้วิจัยหรือทีมงานจะตอบข้อสงสัยนั้น

#### 7. การแปลผลข้อมูล

ผู้วิจัยได้กำหนดค่าอันตรภาคชั้นสำหรับการแปลผลข้อมูล โดยคำนวณค่าอันตรภาคชั้นเพื่อ กำหนดช่วงชั้น ด้วยการใช้สูตรคำนวณและคำอธิบายสำหรับแต่ละช่วงชั้น ดังนี้

$$\text{อันตรภาคชั้น} = \frac{\text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{5 - 1}{5} = 0.80$$

ช่วงชั้นของค่าคะแนน	คำอธิบายสำหรับการแปลผล
1.00 – 1.80	ระดับน้อยที่สุด
1.81 – 2.61	ระดับน้อย
2.62 – 3.42	ระดับปานกลาง
3.43 – 4.23	ระดับมาก
4.24 – 5.00	ระดับมากที่สุด

#### 8. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้กำหนดค่าสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลอธิบายตัวแปรของการศึกษาคั้งนี้ไว้ ดังนี้

การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่ได้ทั้งหมดมาตรวจสอบแล้ววิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาสำหรับการอธิบายผลการศึกษาในเรื่องต่อไปนี้ คือ

- 1) ตัวแปรด้านคุณสมบัติของตัวอย่าง ได้แก่ อายุ เพศ การศึกษา และ ประสบการณ์ทำงาน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้มาตรวจวัดแบบนามบัญญัติ เนื่องจากไม่สามารถวัดเป็นมูลค่าได้ และผู้วิจัยต้องการบรรยายเพื่อให้ทราบถึงจำนวนตัวอย่างจำแนกตามคุณสมบัติเท่านั้น ดังนั้นสถิติที่เหมาะสม คือ ค่าความถี่ (จำนวน) และค่าร้อยละ (จุฑาภา วิทยายุทธพิบูล, 2554)
- 2) ตัวแปรด้านระดับความคิดเห็น ได้แก่ ความพึงพอใจ หรือ ด้านความรู้ความเข้าใจ เป็นข้อมูลที่ใช้มาตรวจวัดอันตรภาค เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดค่าคะแนนให้แต่ละระดับ และผู้วิจัยต้องการทราบจำนวนตัวอย่าง และค่าเฉลี่ยคะแนนของแต่ละระดับความคิดเห็นของตัวอย่าง สถิติที่ใช้จึงได้แก่ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550)

#### 5.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาระบบการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ

บทนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการอธิบาย และการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมจากแบบสอบถามที่มีคำตอบครบถ้วนสมบูรณ์ จำนวนทั้งสิ้น 30 ชุด ผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ส่วนประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 เป็นคำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบคำถาม ได้แก่ อายุ เพศ การศึกษา และ ประสบการณ์ทำงาน ลักษณะคำถามเป็นคำถามปลายปิดแบบให้เลือกคำตอบ

ส่วนที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิดซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัดประมาณค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึงค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

ส่วนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งานของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิดซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัด ประมาณค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึง ค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

ส่วนที่ 4 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิดซึ่งประกอบด้วยคำตอบ

ย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยใช้มาตรวัด ประเมินค่า (Rating Scale) และให้คะแนนแต่ละระดับ ตั้งแต่ค่าคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 ถึงค่าคะแนนมากที่สุดคือ 5

1. ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

การนำเสนอในส่วนนี้เป็นผลการศึกษเกี่ยวกับ ข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ เพศ การศึกษา และ ประสบการณ์ทำงาน สถิติที่นำมาใช้ ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ผล ดังกล่าวปรากฏในตารางและคำอธิบายต่อไปนี้

ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 30 ท่านและได้ทำแบบประเมินเป็นจำนวน 30 ฉบับ โดยสามารถแบ่งผลการศึกษตามตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 56.67 และเป็นผู้ชายร้อยละ 43.33

ตารางที่ 5.1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ชาย	13	43.33
หญิง	17	56.67
รวม	30	100

ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 30 ท่าน และได้ทำแบบประเมินเป็นจำนวน 30 ฉบับ โดยสามารถแบ่งผลการศึกษตามตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะ อยู่ในช่วงอายุ 30-39 ปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 56.67

ตารางที่ 5.2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอายุ

อายุ (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
20-29	7	23.33
30-39	17	56.67
40-49	6	20
มากกว่า 50	0	0
รวม	30	100

ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 30 ท่าน และได้ทำแบบประเมินเป็นจำนวน 30 ฉบับ โดยสามารถแบ่งผลการศึกษตามตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ผ่านการ ศึกษาขั้นต่ำคือปริญญาตรี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 56.67 ตามด้วยปริญญาโท และ ปริญญาเอก

ตารางที่ 5.3 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามการศึกษา

การศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ปริญญาตรี	17	56.67
ปริญญาโท	11	36.67
ปริญญาเอก	2	6.66
อื่นๆ	0	0
รวม	30	100

ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 30 ท่าน และได้ทำแบบประเมินเป็นจำนวน 30 ฉบับ โดยสามารถแบ่งผลการศึกษตามตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะมีประสบการณ์ทำงานอยู่ในช่วงระยะเวลา 6-10 ปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30

ตารางที่ 5.4 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประสบการณ์ทำงาน

ประสบการณ์ทำงาน (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
0-5	8	26.67
6-10	9	30
11-15	7	23.33
มากกว่า 15	6	20
รวม	30	100

2. ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวข้องกับด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม

การนำเสนอในส่วนที่ 2 นี้เป็นการเสนอผลการศึกษาเป็นคำถามเกี่ยวข้องกับด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม ประกอบด้วยความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้ารับการอบรม ประโยชน์ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการอบรม การได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้

ระดับคะแนนในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ โดยการเลือกใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ การหาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) สรุปผลได้ตามตารางและคำอธิบายดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม ซึ่งอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.93

ตารางที่ 5.5 ความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม

ด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้ารับการอบรม	3.10	5.70	ระดับปานกลาง
ประโยชน์ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการอบรม	4.30	7.65	มากที่สุด
ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม	4.37	8.69	มากที่สุด
การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้	4.47	8.25	มากที่สุด
ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ	4.40	7.35	มากที่สุด
<b>ผลรวม</b>	<b>4.13</b>	<b>6.93</b>	<b>ระดับมาก</b>

- ส่วนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งานของผู้เข้าร่วม ซึ่งเป็นคำถามลักษณะปลายปิดซึ่งประกอบด้วยคำตอบย่อยที่แบ่งเป็น 5 ระดับ

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งานของผู้เข้าร่วม ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 7.40

ตารางที่ 5.6 ความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน

ความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
มีความรู้ ประสบการณ์ตรงกับหัวข้อที่บรรยาย	4.70	9.25	มากที่สุด
ลำดับเนื้อหาเข้าใจง่าย ต่อเนื่อง	4.30	7.04	มากที่สุด

ความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
ภาษาที่ใช้ในการบรรยายมีความเหมาะสม	4.40	7.35	มากที่สุด
ตอบคำถามตรงประเด็น เข้าใจง่าย	4.40	7.35	มากที่สุด
ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของวิทยากร	4.70	9.25	มากที่สุด
<b>ผลรวม</b>	4.50	7.40	ระดับมากที่สุด

4. ส่วนที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิของผู้เข้าร่วม

การนำเสนอในส่วนที่ 4 นี้เป็นการเสนอผลการศึกษาเป็นคำถามเกี่ยวข้องกับด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของผู้เข้าร่วม ประกอบด้วย ก่อนเข้ารับการอบรมมีความรู้เรื่องนี้มากเพียงใด หลังเข้ารับการอบรมมีความรู้เพิ่มมากขึ้นเพียงใด ก่อนเข้ารับการอบรมมีความเข้าใจเรื่องนี้เพียงใด หลังเข้ารับการอบรมมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้นเพียงใด และการอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้

ระดับคะแนนในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ โดยการเลือกใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ การหาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) สรุปผลได้ตามตารางและคำอธิบายดังต่อไปนี้ ผลการศึกษาตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.32 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.15

ตารางที่ 5.7 ด้านการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ และเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

ด้านการใช้งานระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้ารับการอบรม	2.23	6.04	น้อย
ประโยชน์ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการอบรม	3.87	6.75	มาก
ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม	2.20	6.00	น้อย
การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้	3.97	7.78	มาก
ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ	4.33	6.96	มากที่สุด
<b>ผลรวม</b>	3.32	6.15	ระดับปานกลาง

### 5.1.5 สรุปผลการศึกษาการจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาการตรวจนับจำนวนตัวอสุจิ

ผลการศึกษาด้านคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถามและผลสรุปตามวัตถุประสงค์มีดังนี้

1. ผลสรุปข้อมูลด้านคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถาม ผลสรุปได้ว่า จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามมีทั้งหมด 30 ท่าน โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง และมีอายุอยู่ในช่วง 30-39 ปี มีการศึกษาขั้นต่ำที่ปริญญาตรี และมีประสบการณ์การทำงาน 6-10 ปี
2. ผลสรุปตามวัตถุประสงค์ ด้านปัจจัยความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความพึงพอใจโดยรวมอยู่ใน ระดับมาก ได้แก่ การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ ความพึงพอใจในภาพรวมของความรู้ที่ได้รับ ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม ประโยชน์ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการอบรม และ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้ารับการอบรม ตามลำดับ
3. ปัจจัยด้านความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความพึงพอใจโดยรวมอยู่ใน ระดับมากที่สุด และความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้ความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละเรื่อง ได้แก่ มีความรู้ ประสบการณ์ตรงกับหัวข้อที่บรรยาย ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของวิทยากร ภาษาที่ใช้ในการบรรยายมีความเหมาะสม ตอบคำถามตรงประเด็น เข้าใจง่าย และ ลำดับเนื้อหาเข้าใจง่าย ต่อเนื่องตามลำดับ
4. ปัจจัยด้านความรู้ความเข้าใจด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง และความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้ความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละเรื่อง ได้แก่ การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ หลังเข้ารับการอบรมมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น หลังเข้ารับการอบรมมีความรู้เพิ่มมากขึ้น ก่อนเข้ารับการอบรมมีความรู้เรื่องนี้มากเพียงใด และ ก่อนเข้ารับการอบรมมีความเข้าใจเรื่องนี้เพียงใด ตามลำดับ

## 5.2 การวิจารณ์ผล

### 5.2.1 การวิจารณ์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานระบบตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์

จากแบบสอบถามจากผู้เข้าอบรม จำนวน 30 ชุด ผลสรุปข้อมูลด้านคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถามสรุปได้ว่า จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามมีทั้งหมด 30 ท่าน โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วน

ใหญ่เป็นเพศหญิง และมีอายุอยู่ในช่วง 30-39 ปี มีการศึกษาชั้นต่ำที่ปริญญาตรี และมีประสบการณ์การทำงาน 6-10 ปี ผลสรุปตามวัตถุประสงค์ด้านปัจจัยด้านความพึงพอใจในด้านวิทยากรในด้านการเรียนรู้ในการใช้งาน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความพึงพอใจโดยรวมอยู่ใน ระดับมากที่สุด และความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้ความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละเรื่อง ได้แก่ มีความรู้ ประสบการณ์ตรงกับหัวข้อที่บรรยาย ระดับความพึงพอใจในภาพรวมของวิทยากร ภาษาที่ใช้ในการบรรยายมีความเหมาะสม ตอบคำถามตรงประเด็น เข้าใจง่าย และ ลำดับเนื้อหาเข้าใจง่าย ต่อเนื่อง

ปัจจัยด้านการใช้งานระบบตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความพึงพอใจโดยรวมอยู่ใน ระดับปานกลาง และความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้ความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละเรื่อง ได้แก่ การอบรมเป็นประโยชน์และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ หลังเข้ารับการอบรมมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น หลังเข้ารับการอบรมมีความรู้เพิ่มมากขึ้น

สำหรับการได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรมซึ่งอยู่ในระดับน้อย คณะผู้วิจัยพบว่า หนึ่งในปัจจัยสำคัญ คือ ความรู้และความถนัดในการใช้เทคโนโลยี เนื่องจากการปฏิบัติงานในระบบเดิมนั้น ผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่ใช้กล้องจุลทรรศน์ มีผู้เข้าอบรมเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ภาพแผ่นสไลด์ดิจิทัลแล้วอ่านไฟล์ภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบรม แนวทางพัฒนารูปแบบการอบรมจึงควรมีการส่งเสริม พัฒนาคู่มือสำหรับผู้ปฏิบัติงานให้มีทักษะ มีความรู้ มีความเข้าใจในวิธีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่มาใช้ในการปฏิบัติงาน โดยคณะผู้วิจัยมีแนวทางในการดำเนินการ ดังนี้

- การขยายระยะเวลาการอบรม และเพิ่มหัวข้อการอบรมด้านทักษะความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยี
- การเพิ่มความหลากหลายในการทำ Workshop โดยอิงจากบริบทงานของผู้เข้าอบรม เน้นให้ผู้เข้าอบรมฝึกปฏิบัติด้วยการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ เป็นการสร้างความชำนาญ และสร้างความคุ้นชินต่อการปฏิบัติงาน
- การจัดกิจกรรมกลุ่มย่อยโดยมีสมาชิกในกลุ่มหลากหลายทั้งความถนัดและบริบทงาน เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้กัน
- จัดให้มีการทำแบบทดสอบก่อนและหลังการฝึกอบรม (Pre-Test/Post-Test)

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

##### 6.1.1 การพัฒนาปรับปรุงเว็บไซต์การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

หลังจากพัฒนาเว็บไซต์การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ ทางคณะผู้วิจัยได้ให้ผู้ใช้งานทดสอบการใช้งานเพื่อรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเว็บไซต์ ให้ตอบโต้กับผู้ใช้งานมากขึ้น โดยข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อเสนอแนะระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ และ ข้อเสนอแนะเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

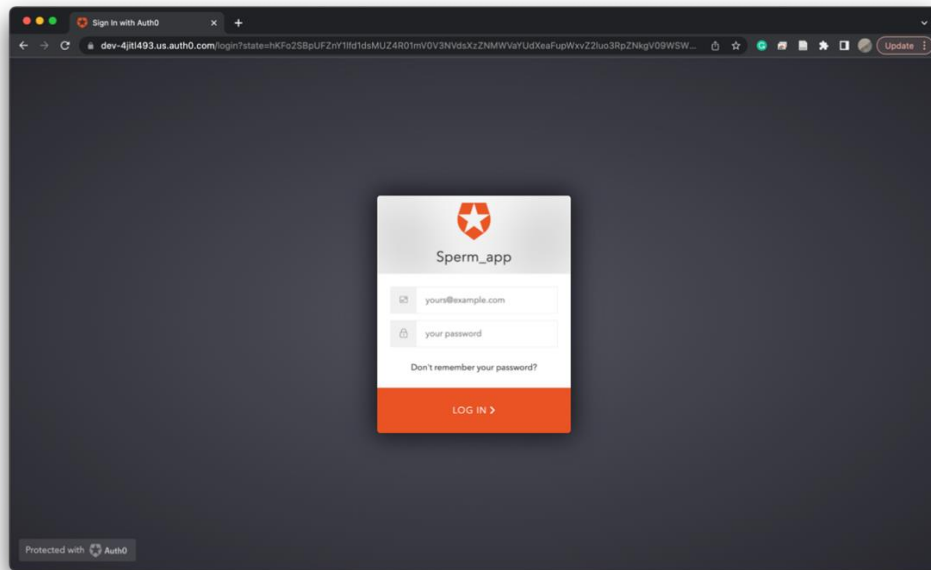
##### 1. ระบบตีกรอบตัวอสุจิในภาพ

หลังจากได้รับการข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานแล้ว ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงเว็บไซต์ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานมากขึ้น โดยอ้างอิงจากรายการข้อเสนอแนะ ดังนี้

- นำการลงทะเบียนด้วยบัญชีของ Google ออก
- สามารถนำการเลือก/ยกเลิก การกรอง Labeler หรือ Reviewer
- สามารถเลือกเรียงชื่อ Labeler หรือ Reviewer ตามตัวอักษร
- สามารถค้นหาภาพจากชื่อไฟล์ภาพ

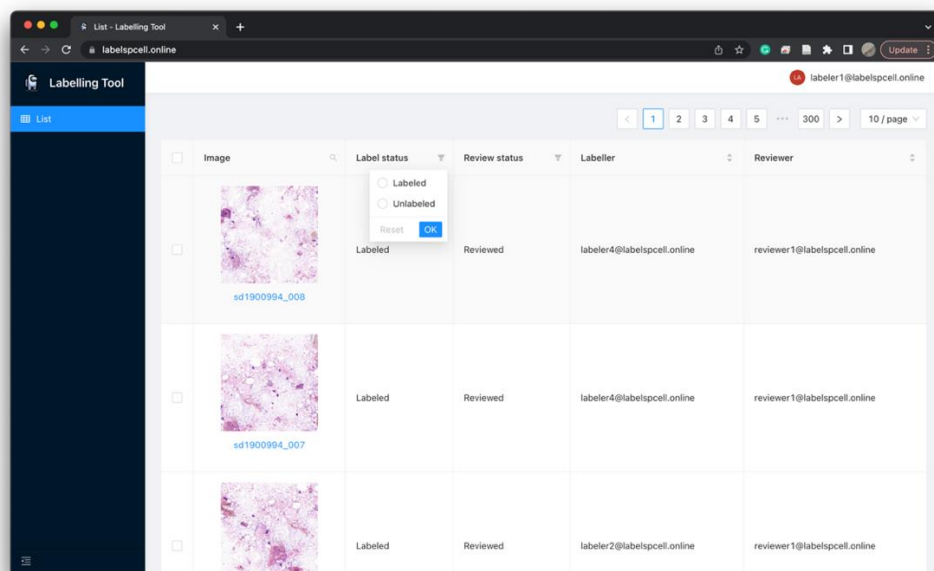
จากรูปที่ 6.1 แสดงหน้าเว็บไซต์หลังการแก้ไขตามข้อเสนอแนะ การนำการลงทะเบียนด้วยบัญชีของ Google ออก เนื่องจากการป้องกันการเข้าถึงข้อมูลจากผู้ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนงาน

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์



รูปที่ 6.1 การแก้ไขตามข้อเสนอแนะการนำการลงทะเบียนด้วยบัญชีของ Google ออก

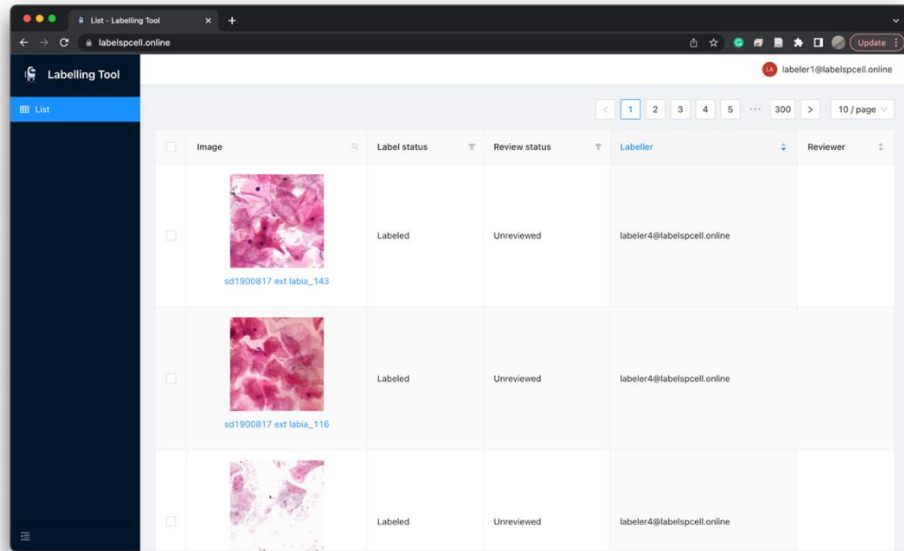
จากรูปที่ 6.2 แสดงหน้าเว็บไซต์หลังการแก้ไขการนำการเลือก/ยกเลิก การกรอง Labeler หรือ Reviewer เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานในการค้นหาข้อมูลผู้รับผิดชอบไฟล์ภาพงานดีกรอบ



รูปที่ 6.2 แสดงการแก้ไขการนำการเลือก/ยกเลิก การกรอง Labeler หรือ Reviewer

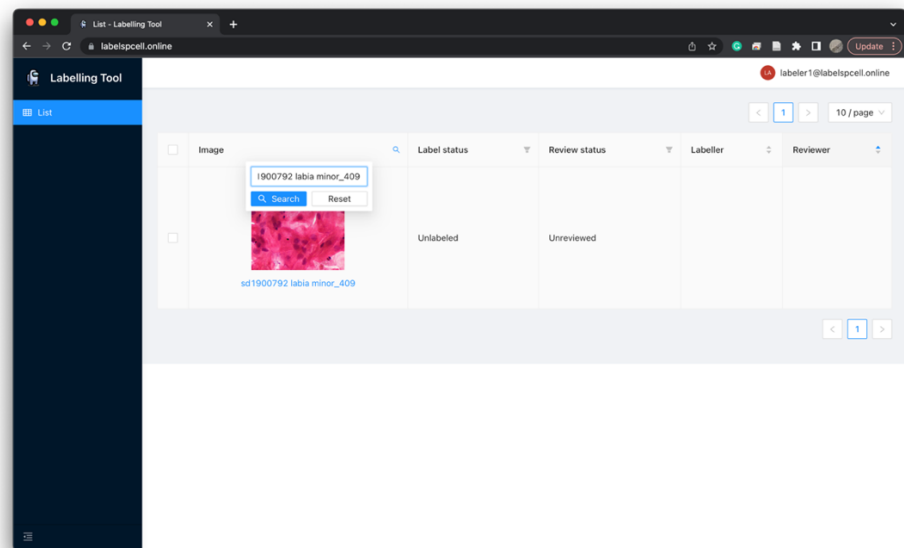
การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

จากรูปที่ 6.3 แสดงหน้าเว็บไซต์หลังการแก้ไขการเลือกเรียงชื่อ Labeler หรือ Reviewer ตามตัวอักษร เพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงานในการค้นหาข้อมูลผู้รับผิดชอบไฟล์ภาพงานตีกรอบ



รูปที่ 6.3 แสดงการแก้ไขการเลือกเรียงชื่อ Labeler หรือ Reviewer ตามตัวอักษร

จากรูปที่ 6.4 แสดงหน้าเว็บไซต์หลังการแก้ไขการค้นหาภาพจากชื่อไฟล์ภาพ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงานในการค้นหาไฟล์ภาพงานตีกรอบ



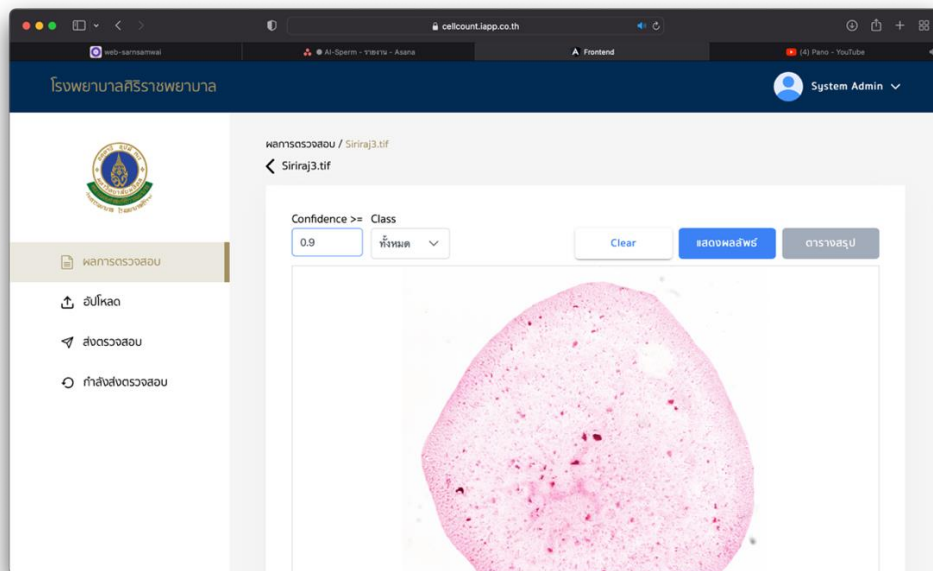
รูปที่ 6.4 แสดงการแก้ไขการค้นหาภาพจากชื่อไฟล์ภาพ

## 2. เว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ

หลังจากได้รับการข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานแล้ว ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงเว็บไซต์ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานมากขึ้น โดยอ้างอิงจากรายการข้อเสนอแนะ ดังนี้

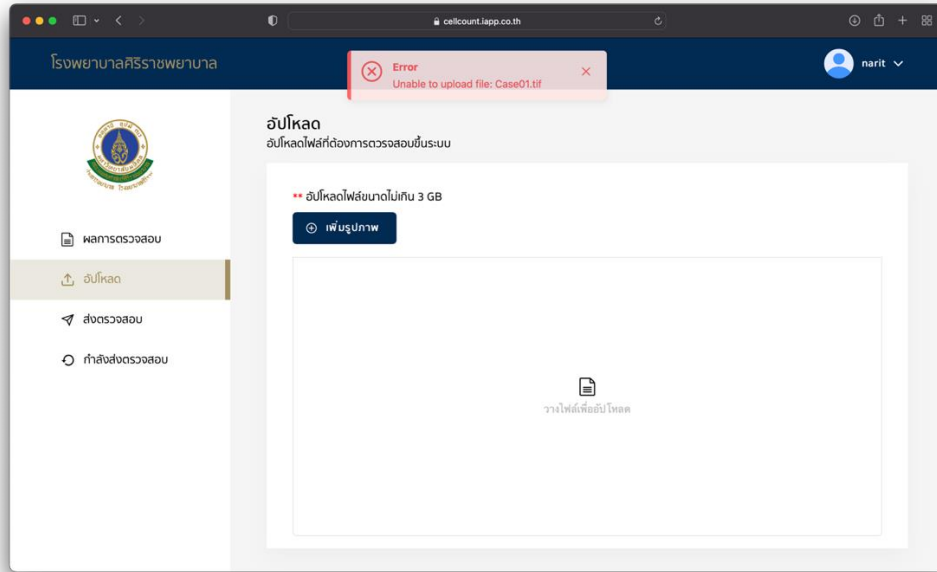
- เพิ่มความแม่นยำในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยค่า Confidence
- การเพิ่ม Upload timeout

จากรูปที่ 6.5 แสดงหน้าเว็บไซต์หลังการแก้ไขการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยค่า Confidence โดยผู้ใช้งานสามารถปรับค่า Confidence ที่ต้องการเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และการกรองผลลัพธ์การตรวจพิสูจน์ที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงขึ้น



รูปที่ 6.5 แสดงการแก้ไขการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยค่า Confidence

จากรูปที่ 6.6 แสดงหน้าเว็บไซต์ที่เกิดปัญหา Upload timeout เนื่องจากการกำหนดเวลานำเข้าภาพสู่เว็บไซต์ไม่มากพอในการนำเข้าภาพสไลด์ไฟล์ตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่มีขนาดใหญ่มาก ผู้พัฒนาจึงเพิ่มเวลาในการนำเข้าข้อมูล เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำเข้าภาพสไลด์ไฟล์ตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิที่มีขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 6.6 แสดงการแก้ไขการเพิ่ม Upload timeout

### 6.1.2 การสรุปผลการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

การแสวงหาพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ หลายคดีมีความล่าช้าในการตรวจวินิจฉัยทางนิติเวช จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ โดยห้องปฏิบัติการวัตถุพยานนั้น กระบวนการดำเนินงานในระบบเดิม มีขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ ที่ต้องอาศัยประสบการณ์ และความเชี่ยวชาญของผู้ตรวจพิสูจน์ ในขณะที่บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ก็ยังเป็นสาขาขาดแคลน ดังนั้น การนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ โดยการผลิตเครื่องมือขึ้นอย่างทันสมัย ผสานกับหลักนิติวิทยาศาสตร์ จะช่วยทำให้ระบบการตรวจพิสูจน์มีความรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ (1) ยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยพัฒนาแพลตฟอร์มการเชื่อมโยงข้อมูลภาพดิจิทัลทางการแพทย์กับระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ได้แก่ ระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ ที่ประกอบด้วย ระบบปัญญาประดิษฐ์และเว็บไซต์ และระบบการตีกรอบตัวอสุจิ เพื่อให้บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานทางชีวภาพในคดีทางเพศ (2) ศึกษาความเป็นไปได้ของงานบริการที่นำระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาใช้ในส่วนงานให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติ

วิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศของภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ณ โรงพยาบาลศิริราช โดยการอบรมวิธีการใช้งานเว็บไซต์ และถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิและการพัฒนาเว็บไซต์การตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิ หลังจากคณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบ และเก็บรวบรวมข้อมูลเสร็จสิ้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศ โดยเพิ่มขีดความสามารถในการปฏิบัติงานของบุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ สามารถช่วยให้บริการการตรวจพิสูจน์มีความรวดเร็วและแม่นยำขึ้น จากระบบเดิม บุคลากรสามารถทำการตรวจพิสูจน์ได้ประมาณ 28 เคสต่อวัน หรือใช้เวลาในการตรวจพิสูจน์โดยเฉลี่ยเคสละ 17 นาที เมื่อนำระบบอัตโนมัติปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยตรวจพิสูจน์ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มขีดความสามารถการตรวจพิสูจน์ได้ถึง 160 เคสต่อวัน หรือสามารถร่นระยะเวลาการตรวจพิสูจน์เหลือเพียง 3 นาทีต่อเคส ซึ่งช่วยให้บุคลากรทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ทำงานได้เร็วกว่าเดิมถึง 5.7 เท่า โดยระบบมีความถูกต้องแม่นยำสูงถึง 97.4 เปอร์เซ็นต์

2. งานให้บริการการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีความผิดทางเพศของภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ณ โรงพยาบาลศิริราช เมื่อนำระบบการตรวจพิสูจน์ตัวอสุจิด้วยปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาใช้ในสำนักงานโดยการทดสอบการใช้งานเพื่อรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุง และการอบรมวิธีการใช้งาน รวมถึงถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ให้กับนักวิชาการวิทยาศาสตร์และนิติพยาธิแพทย์ พบว่าผลสรุปตามวัตถุประสงค์ ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ ได้มีการปรับปรุงระบบให้มีความเหมาะสม และตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานมากขึ้น

## 6.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาระบบการยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

### 6.2.1 ข้อเสนอแนะด้านงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนำร่องนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องสแกนความละเอียดสูงสำหรับใช้ในการสแกนสารคัดหลั่งที่ย้อมสีให้อยู่ในรูปแบบภาพดิจิทัลทางการแพทย์ และจำนวนกลุ่มตัวอย่าง สำหรับงานวิจัยในอนาคต คณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะว่า มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องสแกนที่มีความ

การยกระดับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ ด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ละเอียดสูงเพื่อให้ภาพภาพดิจิทัลทางการแพทย์มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น

นอกจากนี้ กระบวนการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์มีข้อจำกัดเรื่องการนำข้อมูลที่มีความละเอียดภาพดิจิทัลทางการแพทย์ค่อนข้างน้อยมาใช้ในการฝึกสอนระบบปัญญาประดิษฐ์ หากสามารถเพิ่มข้อมูลสำหรับการฝึกสอนระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มีความละเอียดภาพดิจิทัลทางการแพทย์สูงขึ้น ระบบจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการพิสูจน์ตัวอสุจิได้ดีมากขึ้น

## 6.2.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการสื่อสาร

ผลที่ได้จากงานวิจัยนำร่องนี้ มีข้อบ่งชี้ว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์ มีแนวโน้มที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการตรวจสอบหลักฐานคดีความผิดทางเพศ สนับสนุนให้การดำเนินการในการให้บริการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์คดีความผิดทางเพศ สามารถให้บริการได้รวดเร็วมากขึ้น

คณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะว่า อาจมีการกำหนดนโยบายสนับสนุนการพัฒนาเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ และการสนับสนุนเครือข่ายที่มีความเร็วสูงและมีความปลอดภัยในการขยายผลการใช้งานเทคโนโลยีให้เกิดวงกว้างแก่สถาบัน/โรงพยาบาล/หน่วยงานตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ให้สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าว

## บรรณานุกรม

- [1] ThaiHealth Official. (2565). รายงาน สถานการณ์ความรุนแรงต่อเด็กและผู้หญิงพิการ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.). <https://www.thaihealth.or.th/รายงาน-สถานการณ์ความรุนแรง/>
- [2] ฉัตรสุมน พุทธิภิญโญ และนิทัศน์ ศิริโชคิรัตน์. (2557). กระบวนการสอบสวนและหลักฐานคดีความผิดทางเพศ. *วารสารกระบวนการยุติธรรม*, 7(1), 17-23.
- [3] อานนท์ จำลองกุล. (2560). การดูแลผู้ถูกล่วงละเมิดทางเพศ: ร่างกาย จิตใจ และการเยียวยาทางกฎหมาย. *จุฬาลงกรณ์เวชสาร*, 61(5), 611.
- [4] คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. (2559). *การพัฒนาแนวทางการรับฟังพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์ความจริงในคดี*. <https://rabi.coj.go.th/th/content/category/detail/id/39/iid/176580>
- [5] ปภาณ สุทธิประสิทธิ์. (2561). การตรวจพิสูจน์น้ำอสุจิทางนิติเวชศาสตร์. *ธรรมศาสตร์เวชสาร*, 18(3), 421.
- [6] Lin, T.-Y., Dollár, P., Girshick, R., He K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature Pyramid Networks for Object Detection. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 2117–2125). IEEE.
- [7] Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 580-587). IEEE.
- [8] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. *European conference on computer vision* (pp. 21-37). Springer, Cham.
- [9] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779-788). IEEE.
- [10] He, K., Zhang X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770–778). IEEE.

## บรรณานุกรม

- [11] Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He K., & Dollár, P. Focal Loss for Dense Object Detection. *IEEE*, 42(2), 318 - 327. DOI: 10.1109/TPAMI.2018.2858826
- [12] World Health Organization. (2021, July). *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen*.  
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240030787>
- [13] Auger, J., Jouannet, P., & Eustache, F. (2016). Another look at human sperm morphology. *Hum Reprod*, 31(1), 10-23. doi: 10.1093/humrep/dev251.
- [14] Javadi, S., & Mirroshandel, S. A. (2019). A novel deep learning method for automatic assessment of human sperm images. *Computers in biology and medicine*, 106, 182-194.
- [15] Iqbal, I., Mustafa, Ghulam., & Ma, J. (2020). Deep learning-based morphological classification of human sperm heads. *Diagnostics*, 10(5), 325.  
<https://www.mdpi.com/2075-4418/10/5/325>
- [16] Rahimzadeh, M., Mohammadi, M. R., & Attar, A. (2020). Sperm detection and tracking in phase-contrast microscopy image sequences using deep learning and modified CSR-DCF. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.04034>
- [17] Hicks, S. A., Andersen, J. M., Witczak, O., Thambawita, V., Halvorsen, P., Hammer, H. L., Haugen, T. B., & Riegler, M. A. (2019). Machine learning-based analysis of sperm videos and participant data for male fertility prediction. *Scientific Reports*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53217-y>
- [18] Raffael, G., Cordula, H., Akos, D., Sören, K., & Lars, E. (2022). Sperm hunting on optical microscope slides for forensic analysis with deep convolutional networks – a feasibility study. *Forensic Science International: Genetics*, 56, 102602.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.10260>
- [19] Rui, L., Mingmei, W., Min, W., Jianqin, Y., Yixuan, Y., & Jun L. (2021). Automatic Microscopy Analysis with Transfer Learning for Classification of Human Sperm. *Applied Sciences* 2021, 11(12), 5369. <https://doi.org/10.3390/app11125369>



กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์  
สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.)