



ระบบช่วยทำกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์

นายณัฐปภัทร์ ลิไชยกุล


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ  
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2564


ระบบช่วยทำกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์

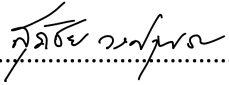
นายณัฐปคัลภ์ ลิไชยกุล วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

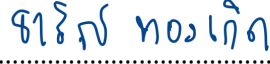
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ  
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ดร.สุริยา นัฐสุกักพงค์)

  
..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(รศ. ดร.สยาม เจริญเสียง)

  
..... กรรมการ  
(ผศ. ดร.สุภชัย วงศ์บุญยั้ง)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ชาริณี ทองเกิด)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบช่วยทำกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายณัฐปภัทร์ ลิไชยกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.สยาม เจริญเสียง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
คณะ	สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
ปีการศึกษา	2564

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผู้ช่วยโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ซึ่งเรียกว่า "ViHab" (วีแฮ็บ) สำหรับกายภาพบำบัดโดยการวิเคราะห์ท่าทางทางกายภาพจากการประมวลผลภาพดิจิทัลและการเรียนรู้ของเครื่องบนสมาร์ตโฟนที่ใช้แอนดรอยด์ เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถทำกายภาพบำบัดได้ทุกที่ สดวกสบาย ในทุกแนวคิด บันทึกทางกายภาพบำบัดของผู้ป่วยจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนคลาวด์ แพทย์จึงสามารถตรวจสอบพฤติกรรมทางกายภาพของผู้ป่วยในรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแดชบอร์ดการแสดงผลภาพของระบบ ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าท่าทางของการทำกายภาพบำบัดสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยการรู้จำร่างกายมนุษย์โดยใช้โมเดลโพสต์เน็ต (PoseNet Model) และสามารถบันทึกคะแนนความถูกต้องในการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยเพื่อใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสมรรถภาพและประกอบการวินิจฉัยโรคของบุคลากรทางการแพทย์

คำสำคัญ: กายภาพบำบัด / การประมวลผลภาพดิจิทัล/ การฟื้นฟูสมรรถภาพ / การเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์วิทัศน์ / ท่าทางกายภาพ / ระบบผู้ช่วย / สมาร์ตโฟน / แอนดรอย

Thesis Title	Computer vision Based Rehabilitation Assistant System
Thesis Credits	12
Candidate	Nudpakun Leechaikul
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Siam Charoenseang
Program	Master of Engineering
Field of Study	Robotics and Automation
Faculty	Institute of Field Robotics
Academic Year	2021

#### Abstract

This research aims to develop a computer vision based assistant system called "ViHab" for physiotherapy by analyzing physical posture from the digital image processing and machine learning on an Android-based smartphone so that patients can perform physical therapy anywhere conveniently in the everywhere concept. The patient's physical therapy records are stored in a cloud-based database. Doctors can therefore monitor the physical behavior of the patient in more details by the system's visualization dashboard. The preliminary result showed that the pose of physical therapy can be detected from the proposed system to grade the performance of rehabilitation.

Keywords: Android Smartphone / Assistant System/ Computer Vision / Digital Image Processing

Machine Learning / Physical Posture / Physical Therapy / Physiotherapy / Rehabilitation

Smartphone

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนสาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติรุ่นที่ 14 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและแจ้งข่าวสารของมหาวิทยาลัยที่เป็นประโยชน์ รวมถึงมิตรภาพและกำลังใจที่มีให้เสมอ

## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
<b>บทที่</b>	
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
<b>บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	<b>44</b>
3.1 การออกแบบระบบ	44
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ	50
3.3 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ	51
3.4 ส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งาน (User Interface)	53
3.5 การปรับตำแหน่งสภาพแวดล้อม	63
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>64</b>
4.1 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ	65
4.2 การประเมินความสามารถในการใช้งานระบบ	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงกายภาพ	69
4.4 การประเมินความแม่นยำในการทำท่ากายภาพของระบบ	71
4.5 ผลจากการตอบแบบสอบถามของผู้ร่วมการทดลอง	72
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>77</b>
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	77
5.2 สรุป	80
5.3 ข้อเสนอแนะ	81
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>82</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ก ตารางการบันทึกคะแนนการประเมิน	89
ข ใบรับรองการประเมินจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์	104
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>106</b>

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมของ MobileNet	24
2.2 ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูทางกายภาพที่บ้าน	40



## รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 เครื่องมองภาพสามมิติ (Stereoscope) [1]	5
2.2 กล้องสามมิติแบบกระจกสะท้อนแสงและปริซึมหักเห [2]	6
2.3 กล้องสามมิติของบรูว์สเตอร์ [2]	6
2.4 กล้องสามมิติของโอลิเวอร์ เวนเดลล์ โฮล์มส์ (Oliver Wendell Holmes) [2]	7
2.5 กล้องสมาร์ทโฟนเครื่องแรก [5]	11
2.6 กล้องสมาร์ทโฟนปัจจุบัน [7]	11
2.7 แสดงผลการใช้งานของ Leap Motion [10]	12
2.8 แสดงไดอะแกรมของคิเนค [12]	9
2.9 เครื่อง Azure Kinect [18]	9
2.10 ลักษณะการวิเคราะห์จุดสำคัญของอวัยวะจาก Azure Kinect [19]	10
2.11 แสดงข้อต่อที่ตัวรับสัญญาณวิเคราะห์ได้ [21]	14
2.12 แสดงการวิเคราะห์การแยกประเภทของวัตถุภายในภาพ [23]	15
2.13 แสดงการวิเคราะห์ภาพด้วย Deep Learning [25]	16
2.14 แสดงการจับใบหน้าและดวงตาของ OpenCV [28]	18
2.15 แสดงการวิเคราะห์และประมวลผลตำแหน่งสำคัญของร่างกายโดย OpenPose [30]	19
2.16 สถาปัตยกรรมของ MobileNet [36]	22
2.17 ระยะเวลาเปรียบเทียบระหว่างสมาร์ทโฟนที่มีหน่วยประมวลผลเล็กและใหญ่ [37]	22
2.18 การประยุกต์ใช้ MobileNet Model ในการวิเคราะห์ภาพที่แตกต่างกัน [36]	23
2.19 ลักษณะเปรียบเทียบการทำงานของ AI และ Machine learning [36,37]	25
2.20 สมาร์ทโฟน [40]	26
2.21 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ [55]	37
2.22 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านระบบประสาท [55]	38
2.23 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านกีฬา [55]	38
3.1 การแสดงผลจากการประมวลผลภาพโดย PoseNet Model [16]	45
3.2 ภาพรวมของระบบ	45
3.3 แสดงหลักการการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ด้วย TensorFlow [16]	46
3.4 แสดงลักษณะการวิเคราะห์ภาพของโพสเน็ต [16]	47

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

### รูป หน้า

3.5	แสดงระยะห่างในการประมวลผลภาพ [16]	47
3.6	แสดงลักษณะของการวิเคราะห์ภาพเพื่อค้นหาจุดสำคัญของร่างกาย	48
3.7	แสดงโครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับ API ไปยังฐานข้อมูล	49
3.8	แสดงข้อมูลที่ใช้สื่อสารในรูปแบบ json ระหว่าง front-end กับ API	49
3.9	แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสำหรับผู้ประเภทนักกายภาพบำบัด	51
3.10	แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสำหรับผู้ประเภทยแพทย์	52
3.11	แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัด	54
3.12	ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของท่ากายภาพบำบัด	55
3.13	หน้าจอแสดงตำแหน่งของร่างกายที่ถูกบันทึกและเลือกส่วนการติดตาม	56
3.14	แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ประเภทยผู้ป่วย	58
3.15	แสดงขั้นตอนของท่ากายภาพบำบัดที่ผู้ป่วยต้องปฏิบัติตาม	59
3.16	แสดงหน้าจอแอปพลิเคชันขณะท่ากายภาพบำบัด	60
3.17	แสดงแบบสอบถามเกี่ยวกับความเจ็บปวด (Pain Score)	60
3.18	แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ประเภทยแพทย์	62
3.19	แสดงการจัดตำแหน่งของสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม	63
4.1	แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากนักกายภาพบำบัด (n = 8)	66
4.2	แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากอาสาสมัคร (n = 20)	67
4.3	แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากแพทย์ผู้ใช้งานระบบ (n = 8)	67
4.4	แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของนักกายภาพ (n = 8)	68
4.5	แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของอาสาสมัคร (n = 20)	68
4.6	แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถของผู้ใช้งานในการใช้งานระบบของแพทย์ (n = 8)	69
4.7	แผนภูมิแสดงผลการประเมินความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อของอาสาสมัคร (n = 20)	70
4.8	แผนภูมิแสดงผลความถูกต้องในการทำท่ากายภาพบำบัดของอาสาสมัคร (n = 20)	71
4.9	แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ย ของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของนักกายภาพ (n = 8)	72

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

## รูป หน้า

- 4.10 แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการทำงาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของอาสาสมัคร (n = 20) 73
- 4.11 แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการทำงาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของแพทย์ (n = 8) 73

## รายการสัญลักษณ์

Avg	=	ค่าเฉลี่ย
Conv	=	Convolution
dw	=	Depthwise
$I$	=	Monocular Image
FC	=	Fully Connected
$n$	=	ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
$q$	=	ทิศทาง
S.D.	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
$x$	=	ตำแหน่งของคาร์ที่เขียนเฟรม
$\hat{x}$	=	ค่าที่เกิดจากการประมาณการณ์ (estimated)

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันมีผู้ป่วยจำนวนมากที่จำเป็นต้องได้รับการรักษาด้วยการกายภาพบำบัดอย่างต่อเนื่อง เพื่อฟื้นฟูสภาพร่างกายในส่วนนั้นให้สามารถกลับมาใช้งานได้ปกติหรือใกล้เคียงเดิมมากที่สุด ดังนั้นเพื่อความสะดวกแก่ตัวผู้ป่วยแพทย์จึงมีคำสั่งให้ผู้ป่วยสามารถกลับบ้าน และทำกายภาพบำบัดด้วยตนเองที่บ้าน โดยผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องเข้ารับการทำกายภาพเฉพาะที่โรงพยาบาลเท่านั้น จากนั้นนัดผู้ป่วยกลับมายังโรงพยาบาลอีกครั้ง เพื่อเข้ารับการตรวจสภาพการฟื้นฟูทางร่างกายและวิเคราะห์ผลของการฟื้นฟูสภาพร่างกายต่อการรักษา และทำการกายภาพบำบัดร่วมกับการพูดคุยซักถามกับผู้ป่วยเกี่ยวกับการทำกายภาพบำบัดในช่วงเวลาที่ผ่านมา ทั้งนี้ได้มีการเก็บข้อมูลการกายภาพบำบัดของผู้ป่วยในทุกครั้ง ดังนั้นแพทย์ผู้ทำการรักษาจึงมีโอกาที่จะได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วนของอาการผิดปกติ ความเจ็บปวด รวมถึงการติดตามการกายภาพบำบัดของผู้ป่วยได้ และอาจทำให้แพทย์ไม่สามารถวินิจฉัยอาการต่างๆ แนะนำ หรือปรับตารางการกายภาพบำบัดให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ป่วยในปัจจุบันได้ ซึ่งหากอาการดังกล่าวเกิดจากการที่ผู้ป่วยทำกายภาพบำบัดที่ผิดทำ อาจส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการรักษาเพิ่มขึ้นจากแผนที่แพทย์ได้วางไว้ หรืออาจเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูกในตำแหน่งอื่นได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์และพัฒนาระบบสำหรับกายภาพบำบัดด้วยการวิเคราะห์ท่ากายภาพบำบัดจากการประมวลผลภาพดิจิทัลบนสมาร์ตโฟน (Smartphone) ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อเข้าถึงผู้ป่วยได้ง่ายขึ้นเนื่องจากปัจจุบันสมาร์ตโฟนเป็นสิ่งที่ทุกคนมีติดตัวอยู่แล้ว จึงทำให้เป็นระบบผู้ช่วยที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ป่วยกับแพทย์ โดยแพทย์สามารถจัดตารางการกายภาพบำบัดได้โดยการนำท่ากายภาพบำบัดที่นักกายภาพบำบัดได้ทำการบันทึกไว้ในไลบรารี (Library) ของระบบ จากนั้นติดตามสถานะการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยได้อย่างต่อเนื่องและชัดเจนผ่านทางารแสดงภาพบนแดช

บอร์ด (Visualization Dashboard) ของระบบ ทั้งนี้ข้อมูลที่ระบบทำการบันทึกจะเป็นข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ย  
ในการทำกายภาพในแต่ละท่า ความถูกต้องของการทำกายภาพของผู้ป่วยในแต่ละท่า รวมถึงค่าคะแนน

ความเจ็บปวด (Pain Score) ที่ผู้ป่วยได้ตอบแบบสอบถามหลังจากการทำกายภาพบำบัดทุกครั้ง ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการกายภาพบำบัดข้างต้นระบบจะทำการบันทึกลงบนฐานข้อมูลที่อยู่บนคลาวด์ นอกจากนี้ผู้ป่วยยังสามารถดูผลความก้าวหน้าของการกายภาพบำบัดของตนเองผ่านทางแอปพลิเคชัน โดยตรงได้อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ในการวิเคราะห์ท่าทาง (Posture) ของมนุษย์
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบช่วยทำกายภาพบำบัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์
- 1.2.3 เพื่อติดตามและประเมินผลการกายภาพบำบัดของผู้ป่วยเพื่อแสดงผลให้บุคลากรทางการแพทย์ใช้ประกอบการวินิจฉัยโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ระบบสามารถนับจำนวนครั้งของการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยแต่ละท่าได้
- 1.3.2 ระบบสามารถบันทึกการเพิ่มหรือลดท่าการกายภาพบำบัดจากบุคลากรทางการแพทย์ได้
- 1.3.3 ระบบสามารถบันทึกแผนการกายภาพบำบัดที่ผู้ป่วยจัดการเองได้
- 1.3.4 ระบบสามารถบันทึกแผนการกายภาพบำบัดจากบุคลากรทางการแพทย์ที่กำหนดให้กับผู้ป่วยแต่ละรายได้
- 1.3.5 ระบบสามารถบันทึกคะแนนความเจ็บปวดของผู้ป่วยหลังจากการกายภาพบำบัดในแต่ละครั้งได้
- 1.3.6 ระบบสามารถแสดงข้อมูลการกายภาพบำบัดให้กับบุคลากรทางการแพทย์ได้

## 1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ระบบช่วยให้ผู้ป่วยสามารถรับการถ่ายภาพบำบัดได้ครบตามแพทย์กำหนด

1.4.2 ระบบช่วยให้ผู้ป่วยสามารถรับการถ่ายภาพบำบัดได้ในสถานที่ และเวลาที่สะดวกได้ตามต้องการ

1.4.3 ระบบช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถติดตามการถ่ายภาพบำบัดของผู้ป่วยได้

1.4.4 ระบบช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยได้ชัดเจนกว่าคำบอกเล่าจากผู้ป่วย

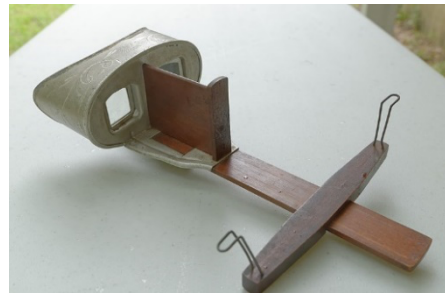


## บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 เครื่องดูภาพสามมิติ (Stereoscope)

เครื่องดูภาพสามมิติ (Stereoscope) เป็นเครื่องมือสำหรับดูภาพสามมิติผ่านเลนส์ (Lens) ซ้ายและขวาในระนาบเดียวกัน[1] โดยแยกภาพเดียวกันที่อยู่บนพื้นหลังเดียวกันออกจากกันเป็นภาพซ้ายและภาพขวา และมีจุดทับซ้อนกันอย่างลงตัวดังรูปที่ 2.1 เพื่อให้ตาของผู้มองรับภาพทำงานสอดคล้องกันเสมือนการมองเห็นจากวัตถุจริง ซึ่งผู้มองจะต้องมองด้วยตาซ้ายและตาขวากันเลนส์ซ้ายและขวาในเวลาเดียวกัน จะทำให้เห็นภาพเป็นสามมิติ มีความลึกเข้าไปในภาพเหมือนมองภาพจริงด้วยตาเปล่า ซึ่งเลนส์ที่ใช้ในกล้องสามมิติจะเป็นเลนส์ขยายทำให้การมองเห็นผ่านกล้องใหญ่ขึ้นและไกลขึ้น สำหรับคนที่สามารถปรับการรับภาพของตาได้ก็จะเห็นภาพลอยขึ้นจากพื้นหลัง



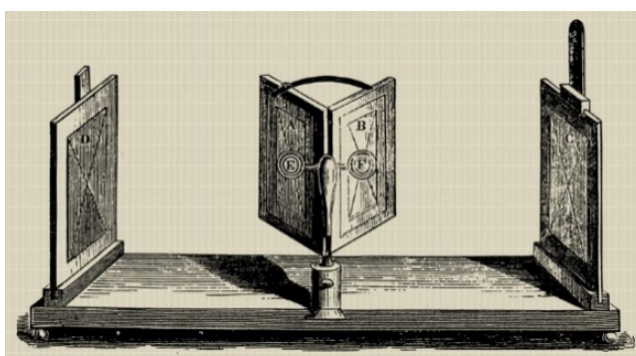
รูปที่ 2.1 เครื่องดูภาพสามมิติ (Stereoscope) [1]

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้พื้นหลังในภาพดูเหมือนอยู่นอกกรอบ ทำให้วัตถุในภาพดูเหมือนยื่นออกมานอกภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพ และมุมมองที่จัดเตรียมขึ้นเพื่อให้ไม่ต้องเพ่งมองมากเกินไปจนดวงตาอ่อนล้า

ผู้ที่ฝึกปรับสายตาให้คุ้นเคยกับการมองภาพเหมือนกันที่แยกเป็นซ้าย-ขวา ด้วยตาเปล่า โดยไม่ต้องมองผ่านกล้องสามมิติ แต่การรวมภาพของดวงตาจะไม่ใช่ธรรมชาติเหมือนกับการมองภาพจริง ทำให้การมองไม่เป็นไปตามธรรมชาติของสายตาจึงมีผลทำให้สายต้อ่อนล้าและปวดตา

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1850 - 1930 กล้องคู่ 3 มิติ จากรูปภาพที่ออกแบบให้มองเห็นเป็นภาพสามมิติ ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

กล้องสามมิติที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้ "กระจกสะท้อนแสงและปริซึมหักเห" ได้ถูกคิดค้นโดย เซอร์ชาร์ลส์วีทสโตน และสร้างโดยช่างแว่นตาอาร์เมอร์เรย์ ในปี ค.ศ.1833[2] ดังรูปที่ 2.2 โดยใช้กระจกสองบานทำมุม 45 องศา กับดวงตาของผู้มอง สะท้อนภาพที่อยู่ด้านข้างซ้ายและขวาในตำแหน่งเดียวกัน ภาพทั้งสองที่เห็นจะเกิดการซ้อนทับกัน ทำให้ผู้มองรู้สึกว่ามีวัตถุในภาพลอยสูงขึ้นและพื้นหลังอยู่ลึกลงไป



รูปที่ 2.2 กล้องสามมิติแบบกระจกสะท้อนแสงและปริซึมหักเห [2]



รูปที่ 2.3 กล้องสามมิติของบรูว์สเตอร์ [2]

ต่อมา เดวิด บรูว์สเตอร์ (David Brewster) มอบแนวคิดที่เขย่งกล่าวถึงในช่วงต้นปี ค.ศ. 1823 ให้ มิสเตอร์เอลเลียต (Mr. Elliot) ซึ่งเป็นครุคณิตศาสตร์ จากเอดิเนบอร์ก (Edinburgh) และได้สร้าง “สเตริโอสโคปแบบเรียบง่าย แบบไม่มีเลนส์หรือกระจก (A simple stereoscope without lenses or mirrors) ซึ่งทำด้วยกล่องไม้ยาว 18 นิ้ว กว้าง 7 นิ้ว และสูง 4 นิ้ว ดังรูปที่ 2.3 เพื่อใช้ดูภาพวาดที่วาดขึ้นในแนวนอน เนื่องจากในขณะนั้นการถ่ายภาพยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เลนส์ในการรวมภาพที่ต่างกัน ในปี ค.ศ. 1849 จึงกล่าวได้ว่า กล้องสามมิติแบบใช้เลนส์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ของเดวิด บรูว์สเตอร์ (David Brewster) [3]

ต่อมา บรูว์สเตอร์ ได้นำกล้องสามมิติ ไปฝรั่งเศส ให้ จูลส์คูออสก์ (Jules Duboscq) ทำการปรับปรุงกล้องสามมิติ และ ดากูเออร์โรไทป์สามมิติ (daguerreotypes) ทำให้อุตสาหกรรม 3 มิติได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการผลิตกล้องสามมิติ 250,000 ตัว ขายภาพสามมิติ และอุปกรณ์ ซึ่งทั้งหมดถูกขายหมดในเวลาอันรวดเร็ว

ในปี ค.ศ. 1861 โอลิเวอร์ เวนเดลล์ โฮล์ม ได้พัฒนากล้องสามมิติให้สะดวกในการพกพามากขึ้น ราคาถูกลง และได้ทำการจดสิทธิบัตรดังรูปที่ 2.4



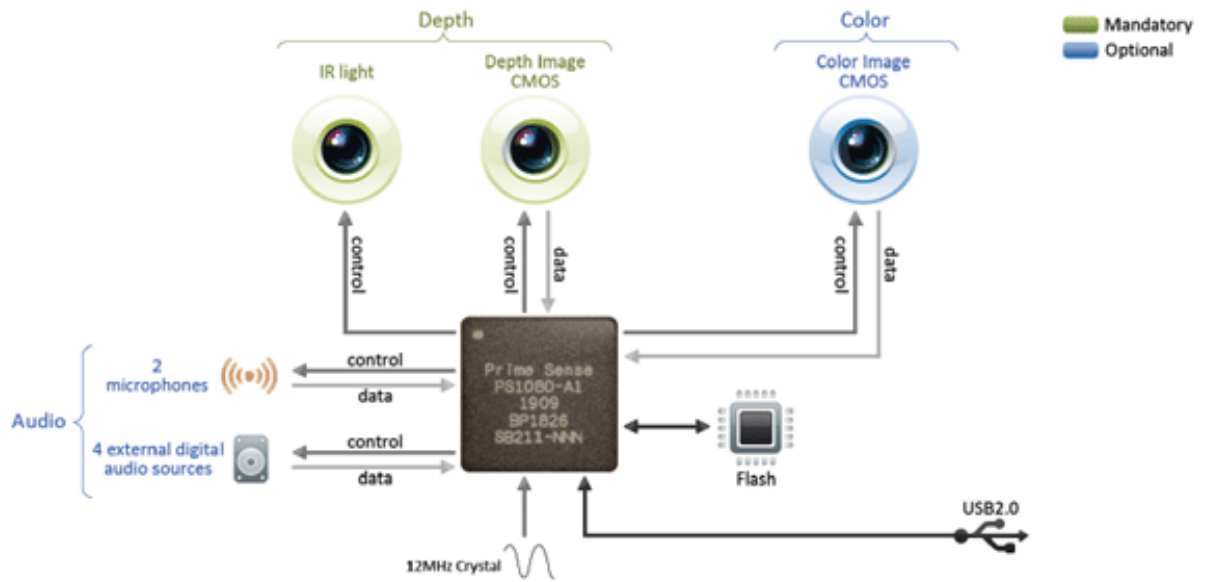
รูปที่ 2.4 กล้องสามมิติของโอลิเวอร์ เวนเดลล์ โฮล์ม (Oliver Wendell Holmes) [2]

หลักการของกล้องสามมิติ (Stereoscope) คือการทำให้คนมองภาพ 2 ภาพที่เหมือนกัน ในมุมที่ต่างกันเล็กน้อย ตาแต่ละข้างทำให้รู้สึกถึงความลึกและโฟกัสรวมกันทำให้เกิดเป็นมิติขึ้น

### 2.1.2 กล้องวัดความลึก (Depth Camera)

กล้องที่สามารถจับความลึกของวัตถุเหมือนการมองเห็นด้วยตาปกติของมนุษย์ เพื่อให้เห็นความเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายผู้สเก็ตที่เคลื่อนไหวได้ชัดเจนมากขึ้น เช่นการเอียงศรียะ เอียงตัว ยกไหล่ ยกแขน งอแขน ยกขา งอเข่า หรือกระดกปลายเท้า ซึ่งกล้องบางรุ่นยังสามารถตรวจจับใบหน้าและการแสดงอารมณ์ของผู้สเก็ตได้ นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกฉากหลังและแยกออกจากวัตถุให้เห็นได้อย่างชัดเจน โดยมีหลักการทำงานร่วมกันระหว่าง Stereo Camera เพื่อทำการวัดระยะด้วยการ Mapping จากนั้น Depth Sensor จะทำการวัดระยะความลึกของวัตถุจริง เพื่อเพิ่มความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีกล้องวัดความลึกรูปแบบต่าง ๆ อย่าง คิเนค (Kinect) ซึ่งถูกผลิตมาเพื่อเพิ่มความสมจริงและความสนุกสนานในการเล่นเกม ภายในคิเนคประกอบด้วย อุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด (Infrared) กล้องวัดความลึกของภาพ (Depth Camera) กล้องวิดีโอ (Video Camera) ไมโครโฟน และ เซนเซอร์ (Sensor) ประมวลผล [12] มีการทำงานเริ่มจากการฉายแสงอินฟราเรดออกจากตัวคิเนค ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แสงที่ถูกฉายออกมาจะมีลักษณะเป็นจุดตามแนวตั้ง dop จุด แนวนอน qdp จุด แต่ละจุดห่างกัน 7 มิลลิเมตร (ที่ระยะสองเมตรจากแหล่งกำเนิดแสง) [13,14,15] หลังจากนั้น กล้องวัดความลึกจะรับภาพระดับความสว่างของแสงอินฟราเรดที่ตกกระทบลงบนวัตถุ ส่งไปให้เซนเซอร์ เพื่อทำการวัดความลึกตามแนวแกน Z (Axis-Z) ดังรูปที่ 2.8 ทำให้สามารถจำลองสภาพแวดล้อมเป็นสามมิติได้ [16] หากความสว่างมีมากแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ใกล้ ในทางตรงกันข้ามหากมีความสว่างน้อยลงแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ไกลออกไป รายละเอียดไดอะแกรมของคิเนคแสดงดังรูปที่ 2.8 [17] เมื่อได้ระดับความลึกของภาพแล้ว ทำให้เซนเซอร์ของคิเนคสามารถแยกผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมภายในห้องได้



รูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมของคิเนค [12]

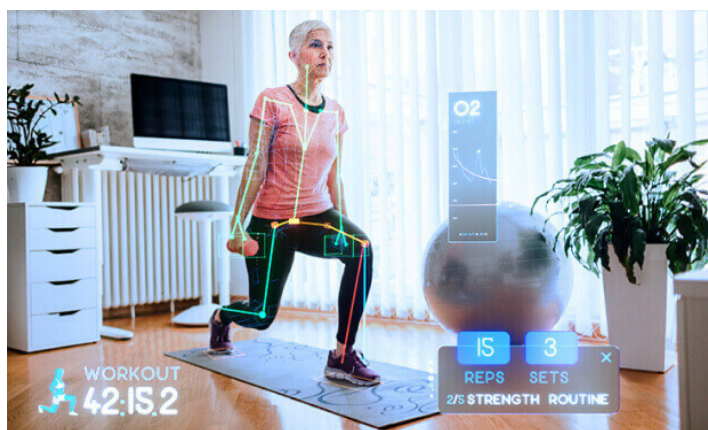
สำหรับ Azure Kinect เป็นชุดอุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์พีซี ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการประมวลผลและการพูด เป็นการพัฒนาต่อจากกลุ่ม Microsoft Kinect และปัจจุบันสามารถต่อเชื่อมกับ Microsoft Azure Cloud ได้แล้ว ด้วยเซ็นเซอร์วัดความลึกที่ได้ถูกแสดงในช่วงปีค.ศ. 2018 ISSCC.



รูปที่ 2.6 เครื่อง Azure Kinect [18]

ชุด Azure Kinect ประกอบด้วยกล้อง RGB 12 ล้านพิกเซลเสริมด้วยกล้องจับความลึก 1 ล้านพิกเซล สำหรับตรวจจับส่วนต่างๆ ของร่างกายดังรูปที่ 2.10 นอกจากนี้ยังมีอาร์เรย์ไมโครโฟนแบบ 360 องศา 7 ตัวและเซ็นเซอร์แนวระนาบ ระหว่างที่การพัฒนา Kinect บริษัท Microsoft ได้มุ่งเป้าหมายหลักไปที่

กลุ่มการเล่นเกมที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ก็ได้มุ่งเป้าไปยังผู้ใช้ในระดับต่างๆ ในวงกว้าง และยังสามารถเพิ่มเป้าหมายให้แก่ครอบครัวไปยังตลาดอื่นๆ อีกมากมาย เช่น การขนส่ง หุ่นยนต์ การค้าปลีก และการดูแลสุขภาพ



รูปที่ 2.7 ลักษณะการวิเคราะห์จุดสำคัญของอวัยวะจาก Azure Kinect [19]

การทำงานของ Azure Kinect จะคล้ายกับการทำงานของ Kinect คือสามารถตรวจจับวัตถุ ความเคลื่อนไหวของวัตถุดังรูปที่ 2.10 แต่มีการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพมากขึ้น Azure Kinect ยังสามารถเชื่อมโยงกับ Microsoft Azure Cloud ทำให้มีความสะดวก รวดเร็วในการส่งและกระจายข้อมูลไปยังผู้ร่วมงานหรือเครือข่ายที่อยู่ห่างไกล การใช้ Azure Kinect ในองค์กรการผลิต การค้าปลีก การดูแลสุขภาพ และสื่อ จะทำให้ได้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ด้วย เซ็นเซอร์ AI ทำให้มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมากขึ้น และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ปรับปรุงผลผลิตให้กับผู้ใช้ได้ด้วย [18]

### 2.1.3 กล้องของสมาร์ทโฟน

ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือได้ถูกพัฒนาให้มีกล้องดิจิทัลที่สามารถบันทึกภาพนิ่งและวิดีโอได้ [4] เมื่อบันทึกภาพหรือคลิปวิดีโอแล้วสามารถนำไปปรับแต่งหรือใช้งานได้ทันที ในโทรศัพท์มือถือบางค่ายบางรุ่นได้มีการพัฒนาจอภาพหรือคลิปวิดีโอที่ถูกบันทึกมีความละเอียดสูง แต่มีขนาดของไฟล์ภาพที่เล็กลง ทำให้ไม่เปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บ การบันทึกภาพหรือคลิปวิดีโอด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือจึงมีความสะดวกสบายและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น

กล้องของสมาร์ตโฟน เซิงพาณิชย์เครื่องแรกคือ Kyocera Visual Phone VP-210 วางจำหน่ายในประเทศไทยในปีในเดือน พฤษภาคม ค.ศ. 1999 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.8 กล้องสมาร์ตโฟนเครื่องแรก [5]

กล้องของสมาร์ตโฟนส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบมาให้ใช้งานง่ายกว่ากล้องปกติ แต่เนื่องจากมีเซ็นเซอร์ที่ขนาดเล็กทำให้มีข้อจำกัดในการถ่ายในที่ที่มีแสงน้อยและไม่สามารถเชื่อมต่อ USB หรือเพิ่มการ์ดหน่วยความจำแบบถอดได้ จึงต้องใช้การโอนถ่ายข้อมูลภาพด้วยบลูทูธ (Bluetooth) [6]



รูปที่ 2.9 กล้องสมาร์ตโฟนปัจจุบัน [7]

กล้องของสมาร์ตโฟนสะดวกสำหรับผู้ที่พกพาโทรศัพท์มือถืออยู่แล้วเพราะกล้องได้ถูกออกแบบมาให้เป็นส่วนหนึ่งของโทรศัพท์มือถือ ผู้ใช้เพียงเรียนรู้เพิ่มเติมการใช้งานแอปพลิเคชันของกล้องในมือถือก็สามารถใช้งานได้ดังรูปที่ 2.6 การปรับโฟกัสภาพก็สะดวกเพียงแค่แตะที่ตำแหน่งของภาพที่ต้องการให้

โฟกัส แอปพลิเคชันก็จะทำการโฟกัสให้ไม่ต้องมีการปรับเลนส์ให้ยุ่งยาก ในกล้องสมาร์ทโฟนบางรุ่นสามารถซูมได้หลายเท่า อีกทั้งบางรุ่นยังได้รับการพัฒนาให้มีระบบป้องกันการสั่นไหวของภาพ [8,9]

#### 2.1.4 เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor)

เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว มีหลากหลายรูปแบบ โดย Leap Motion Controller คือหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีการใช้งานด้วยมือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ใช้มือในการสั่งงานได้ดังรูปที่ 2.8 นอกจากมือแล้วยังสามารถใช้วัตถุอื่นๆ ที่เป็นรูปทรงคล้ายมือหรือนิ้วมือแทนได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับหน้าจอคอมพิวเตอร์ การทำงานของ Leap Motion Controller จะคล้ายกับการทำงานของ Kinect ของ Microsoft ที่ใช้จับการเคลื่อนไหวของวัตถุเช่นกัน แต่อุปกรณ์ของ Leap Motion จะมีขนาดเล็กกว่าและมีราคาที่ถูกกว่ามาก คุณสมบัติของอุปกรณ์ Leap Motion Controller จะมีเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการตรวจจับได้ละเอียดกว่า 100 เท่า ทำให้สามารถตรวจจับข้อมือและทุกข้อนิ้วมือได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลภาพถึง 120 fps และแม่นยำถึง 0.01 mm เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสาย usb ซึ่งในอนาคตจะมีการพัฒนาจนสามารถเชื่อมต่อแบบไร้สาย



รูปที่ 2.10 แสดงผลการใช้งานของ Leap Motion [10]

อย่างไรก็ดี Leap Motion มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น



1. เมื่ออยู่กลางแจ้งที่มีแสงแดด หรือในห้องที่มีแสงไฟบางประเภทที่รบกวนต่อการตรวจจับของ Leap Motion จะทำให้ประสิทธิภาพการตรวจจับของ Leap Motion ลดลง หรืออาจผิดพลาดได้
2. วัตถุสะท้อนแสงมากเกินไป, วัตถุที่โปร่งใส, วัตถุที่สะท้อนแสงน้อย หรือไม่สะท้อนแสงเลยก็จะมีผลให้ Leap Motion ทำงานผิดพลาดหรือทำงานไม่ได้เลย
3. Leap Motion ไม่สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวของมือหรืออุปกรณ์ทดแทนที่ถูกทับซ้อน
4. ไม่สามารถตรวจจับมือหรือวัตถุที่อยู่ใกล้ Censor มากเกินไป

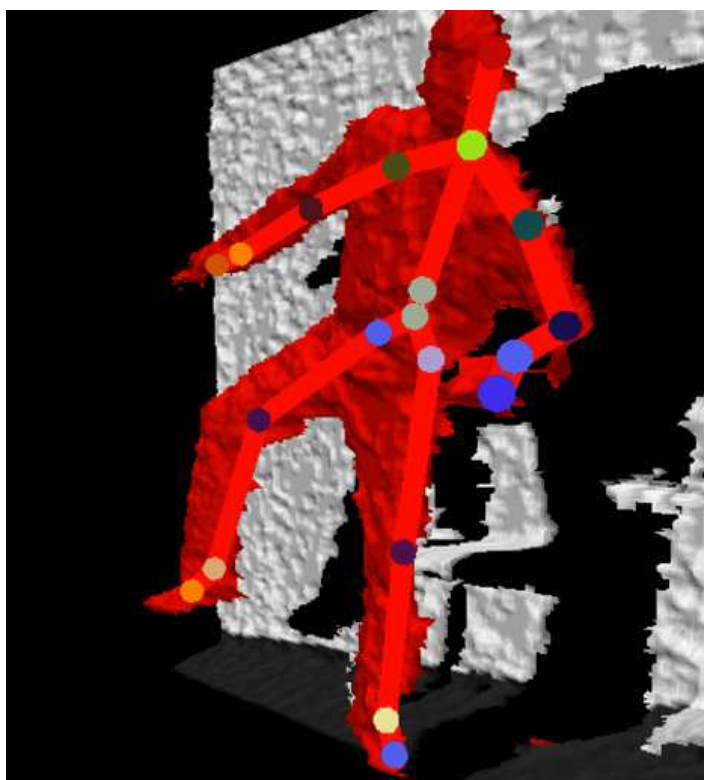
การใช้งาน Leap Motion ต้องมีการเรียนรู้และทำความเข้าใจกับการทำงานของมัน เช่น

1. แสงที่เหมาะสมพอดีและไม่มีแสงที่รบกวนการทำงานของ Leap Motion มุมที่แสงเข้า มุมที่แสงตกกระทบ ความสะท้อนของแสงกับวัตถุต่าง ๆ ภายในห้อง หรือผนังห้องและเพดาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดเงารบกวนการตรวจจับของ Leap Motion
2. โดยปกติระยะห่างที่เหมาะสม จะอยู่ในระยะประมาณ 1 ฟุต ซึ่งถ้าเกินจากนั้นหรือใกล้มากกว่านั้น Leap Motion อาจจะไม่ตรวจจับได้ไม่ชัดเจน จึงต้องพยายามรักษาระยะให้พอดีตลอดเวลา
3. ตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการให้ Leap Motion ตรวจจับ ต้องไม่ให้นิ้วมือทับซ้อนกัน หรือชิดกันมากเกินไปในขณะที่เคลื่อนไหว
4. ความเร็วของการเคลื่อนไหว ไม่เร็วและไม่ช้าจนเกินไป [11]

### 2.1.7 การรับรู้การเคลื่อนไหวของผู้เล่น

คิเนคมีระบบการรับรู้การเคลื่อนไหวของผู้เล่นอยู่ภายในเซนเซอร์เองซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วย โดยจะมีการส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวของผู้เล่นในลักษณะต่างๆ เข้าไปเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นท่าทางการนั่งยืน การเอียงตัว การขว้าง ลูกบอล การหยิบสิ่งของ หรือแม้แต่กระทั่งการวัดมือ ข้อมูลการเคลื่อนไหวเหล่านี้จะถูกประมวลผลเหลือเพียงการเคลื่อนไหวของโครงกระดูก [20] ซึ่งคิเนคจะวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละข้อรวมทั้งสิ้น 20 ข้อต่อเพื่อนำไปวิเคราะห์อีกครั้งว่าขณะนี้ผู้เล่นกำลังแสดงท่าทางอะไรอยู่ [21,22] สิ่งที่ระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้เล่นของคิเนคแตกต่างจากระบบอื่น คือ คิเนคสามารถที่จะแยกแยะผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมที่เป็นฉากหลังได้ดีกว่าเนื่องจากคิเนคมองภาพที่รับมาเป็นสามมิติ ไม่ใช่ระบบสองมิติ

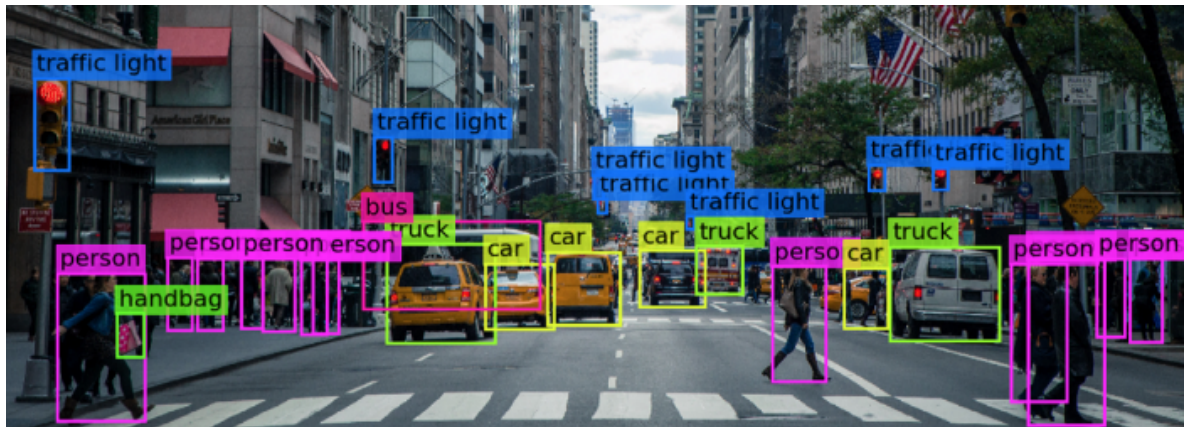
ซึ่งจะต้องใช้อัลกอริทึม (Algorithm) อีกจำนวนมากในการแยกผู้เล่นออกจากฉากหลัง หรือยากต่อการวิเคราะห์ว่าสิ่งใดบ้างที่เคลื่อนไหวในฉากนั้น โดยส่วนใหญ่จะแสดงออกมาในรูปข้อต่อของร่างกายที่ตัวรับสัญญาณสามารถวิเคราะห์ได้ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงข้อต่อที่ตัวรับสัญญาณวิเคราะห์ได้ [21]

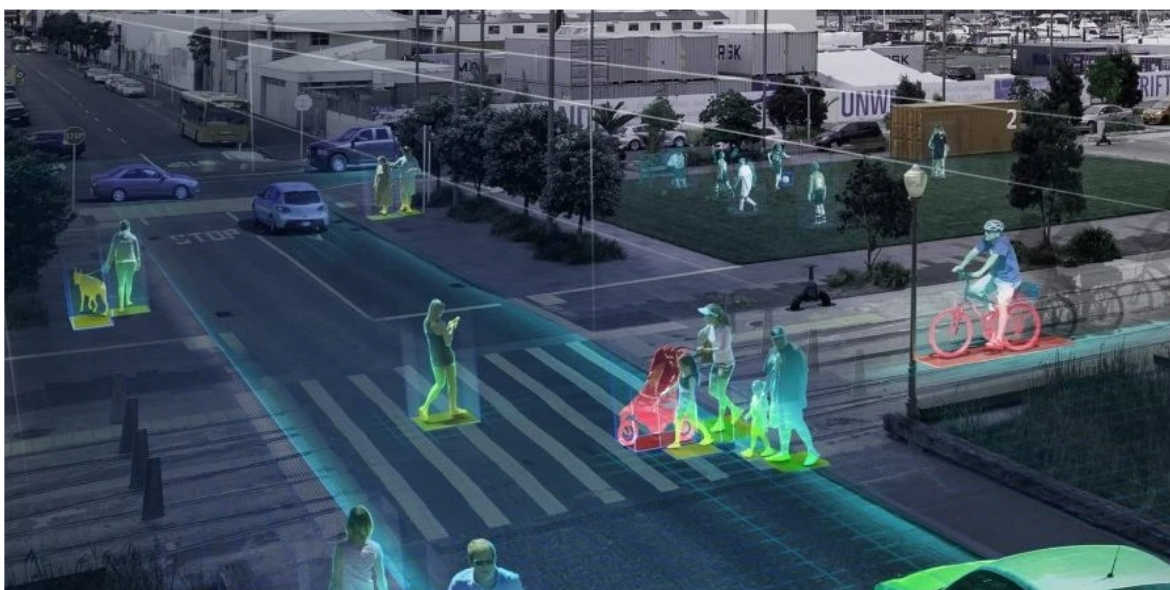
### 2.1.8 คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) คือ การเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในระดับสูงที่จะเข้าใจภาพดิจิทัลหรือภาพวิดีโอ โดยศึกษาจากมุมมองทางวิศวกรรมเพื่อพัฒนาให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการนำภาพมาวิเคราะห์ผลได้เหมือนการมองด้วยตาของมนุษย์โดยทั่วไป



รูปที่ 2.12 แสดงการวิเคราะห์การแยกประเภทของวัตถุภายในภาพ [23]

การทำงานของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ได้รวมเอาวิธีการตรวจจับภาพด้วยเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับและส่งต่อข้อมูลของภาพด้วยการแปลงของคลื่นแสงที่สะท้อนจากวัตถุ ซึ่งอาจจะอยู่ในสภาพของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ และประมวลผลภาพดิจิทัลผ่านอัลกอริทึม ซึ่งการประมวลผลภาพดิจิทัลจะทำให้ใช้อัลกอริทึมได้หลากหลายและลดปัญหาความผิดพลาดในการประมวลผลได้ดีกว่าภาพแบบอะนาล็อก[24] ดังรูปที่ 2.12 การวิเคราะห์จะเป็นการดึงเอาข้อมูลสำคัญจากภาพดิจิทัลด้วยวิธีการประมวลผล การทำความเข้าใจภาพดิจิทัลและดึงข้อมูลจากโลกความจริงเพื่อนำมาสร้างเป็นข้อมูลเป็นระบบตัวเลข หรือเชิงสัญลักษณ์ ภายใต้รูปแบบของการตัดสินใจ การทำความเข้าใจในบริบทนี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของภาพที่เรตินามองเห็น และสร้างเป็นคำอธิบายที่เหมาะสมกับกระบวนการทำงานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.13 แสดงการวิเคราะห์ภาพด้วย Deep Learning [25]

กระบวนการ "เข้าใจภาพ" เป็นเสมือนการแยกแยะข้อมูลเชิงสัญลักษณ์จากข้อมูลของภาพโดยการสร้างแบบจำลองโดยใช้เรขาคณิต พีสิคส์ สถิติ และ ทฤษฎีการเรียนรู้

หลักการทางวิทยาศาสตร์ของคอมพิวเตอร์วิทัศน์นั้นมีความเชื่อมโยงกับทฤษฎีเบื้องหลังของระบบจำลองที่ใช้ดึงรายละเอียดข้อมูลจากภาพซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น การลำดับภาพวิดีโอ มุมมองจากเทคโนโลยี Multi-Camera ข้อมูลภาพจากเครื่องสแกน 3 มิติ ภาพที่ถ่ายด้วยกล้อง 3 มิติ อุปกรณ์สแกนทางการแพทย์

ด้วยหลักการของมุมมองของคอมพิวเตอร์ได้พยายามปรับและพัฒนาทฤษฎีและรูปแบบไปสู่ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ดังรูปที่ 2.13

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ยังประกอบด้วยสาขาย่อยต่าง ๆ ได้แก่ การจัดสร้างฉากกราฟิก 3 มิติ การตรวจจับเหตุการณ์ การติดตามวิดีโอ การจดจำวัตถุ การประเมินท่า 3 มิติ การเรียนรู้ การสร้างดัชนี การประมาณค่าการเคลื่อนไหว เซอร์โวกภาพ การสร้างแบบจำลองฉาก 3 มิติและการฟื้นฟูภาพ [26]

### 2.1.9 Gesture recognition

Gesture recognition หรือการรู้จำท่าทาง คือ การวิเคราะห์ท่าทางจากการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกาย รวมทั้งมือและใบหน้า เพื่อให้รู้ว่าทำอะไรและมีการเคลื่อนไหวไปในทิศทางไหน นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์อารมณ์และความรู้สึกของมนุษย์ในขณะนั้นได้อีกด้วย

การทำงานของ Gesture recognition เป็นการป้อนข้อมูลด้วยท่าทางการเคลื่อนไหว แบบ real time และ คอมพิวเตอร์มีการประมวลผลทันที โดยใช้กล้องดิจิทัลส่งภาพไปยังอุปกรณ์ตรวจจับที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้การประมวลผลจากการคำนวณค่าความลึก

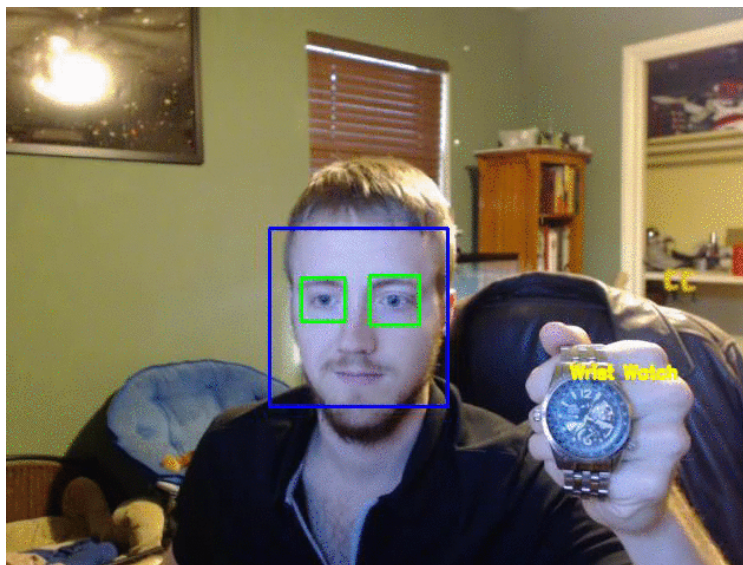
ซอฟต์แวร์ที่ใช้จะได้รับการออกแบบมาเพื่อระบุท่าทางที่มีความหมายตามที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้าและจับคู่แต่ละท่าทางกับคำสั่งของโปรแกรม ประมวลผลท่าทางโดยใช้ library ที่สร้างขึ้น เพื่อระบุความหมายที่ตรงกันหลังจากที่โปรแกรมตีความข้อมูลท่าทางที่ได้รับแล้ว

ตัวอย่างเช่น การทำงานของ Kinect จะมองลักษณะต่าง ๆ ของมนุษย์เพื่อจดจำคำสั่งท่าทางธรรมชาติที่ดีที่สุดของมนุษย์และยังสามารถติดตาม โครงร่างและใบหน้าได้ด้วย นอกจากนี้ยังมีการจดจำเสียงและความลึกของภาพพื้นหลังโดย Kinect สร้างข้อมูลขึ้นมาใหม่เป็นแบบจำลอง 3 มิติ และการพัฒนาล่าสุด Kinect ได้รับการพัฒนาให้ตรวจจับความสูงของผู้ใช้ได้อีกด้วย [27]

### 2.1.10 Open Source Computer Vision หรือ OpenCV

OpenCV เป็น Open-Source ที่มีไลบรารีฟังก์ชันการเขียนโปรแกรม (Library of Programming Functions) ซึ่งเน้นไปที่การแสดงผลแบบเรียลไทม์ ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดย Intel ในปี 1999

OpenCV มีขอบเขตการใช้งานที่ค่อนข้างกว้างและมีความสามารถจัดการภาพได้ทั้งภาพนิ่งและภาพวิดีโอ อัลกอริทึมที่ใช้ใน OpenCV มีตั้งแต่ระดับพื้นฐานจนถึงระดับสูงรวมถึงการสร้าง Machine Learning หรือ AI ในการจำแนกวัตถุเช่น คน สุนัข แมว รถยนต์ ตู้เย็น ตลอดถึงการจดจำใบหน้า นอกจากนี้ยังสามารถจัดการภาพหรือวิดีโอ ลดสัญญาณรบกวน ทำให้ภาพออกมาคมชัด ไม่ว่าจะมาจากแหล่งข้อมูลใด เช่น กล้องวงจรปิด กล้องสมาร์ทโฟน ภาพถ่าย วิดีโอ หรือ เว็บแคม ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการจับใบหน้าและดวงตาของ OpenCV [28]

OpenCV มีชุดเครื่องมือที่มีคุณลักษณะทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ สามารถตรวจจับระยะห่างได้ขณะเคลื่อนที่ (Egomotion Estimation), มีระบบจดจำใบหน้า (Facial recognition system), สามารถจดจำท่าทางได้ (Gesture recognition), มีความสามารถในการตอบโต้ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human-Computer Interaction; HCI) โดย OpenCV เป็นไลบรารีแบบข้ามแพลตฟอร์ม (Cross-Platform) และสนับสนุนเฟรมเวิร์กการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Frameworks) ได้แก่ TensorFlow, Torch/Pytorch และ Caffe โดย OpenCV ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C++ สามารถเรียกใช้ผ่าน Python, Java และ MATLAB/OCTAVE-API และใช้ได้ทั้งบน Windows, OS X, Linux, iOS, Android [29]

### 2.1.11 OpenPose

OpenPose เป็นไลบรารีที่ใช้ประมาณท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์แบบ 2 มิติ ที่สามารถตรวจจับจุดสำคัญของร่างกายมนุษย์ บนใบหน้า มือ พร้อมกัน 135 จุด ในภาพเดี่ยว และสามารถตรวจจับได้พร้อมกันหลายๆ คน ทั้งจากภาพนิ่ง ภาพวิดีโอ หรือความเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ดังรูปที่ 2.15 เป็นการแทนค่าแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ซึ่งเรียกว่า Part Affinity Fields (PAFs) เพื่อเข้าใจและเชื่อมโยงจุดเส้นต่าง ๆ ของร่างกาย กับคนในภาพ แบบล่างขึ้นบนซึ่งมีความแม่นยำสูงและมีความสามารถตรวจจับได้โดยไม่คำนึงถึงจำนวนของคนในภาพ



รูปที่ 2.15 แสดงการวิเคราะห์และประมวลผลตำแหน่งสำคัญของร่างกายโดย OpenPose [30]

OpenPose เปิดตัวครั้งแรกโดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Carnegie Mellon ในรูปแบบของโค้ด Python, C++, และ Unity Plugin ซึ่งการทำงานของ OpenPose นั้นจะทำการตรวจจับ หู จมูก และจุดข้อต่อใหญ่ๆ ตามร่างกาย ตั้งแต่หัวไหล่ทั้งสองข้าง ข้อพับแขน ข้อมือ สะโพก หัวเข่า ข้อเท้า แล้วเชื่อมโยงด้วยเส้น เป็นโครงร่างของมนุษย์ และมีการเคลื่อนไหวจุดต่างๆ ที่ตรวจจับได้ตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์ได้ด้วย ซึ่งเกิดจากการสร้าง AI เลียนแบบการมองและวิเคราะห์ด้วยสายตาของคนตามปกติ เพื่อเรียนรู้และเข้าใจการเคลื่อนไหว

มีการนำเอา OpenPose มาใช้ตรวจจับความเคลื่อนไหวของคนเพื่อแยกแยะลักษณะ ท่าทาง การเคลื่อนไหว เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับท่าตั้งต้นที่กำหนดไว้ตามแต่ลักษณะของงาน

การใช้ OpenPose จะต้องมีคอมพิวเตอร์ การ์ดแสดงผลภาพ CPU ที่มีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผล ปัญหาของ OpenPose ที่พบมีดังนี้ จำนวนคนที่มากเกินไป ขนาดของคนที่แตกต่างกัน ระยะและตำแหน่งที่ต่างกันของคนแต่ละคน คนทับซ้อนกันหรือใกล้กันมากเกินไป ความซับซ้อนของฉากพื้นหลัง ความคมชัดของภาพที่ต้องการตรวจจับ [31, 32, 33]

### 2.1.12 โปสเน็ตโมเดล (PoseNet Model)

PoseNet Model คือ Deep Learning สำหรับ TensorFlow โดยพัฒนาต่อเนื่องมาจาก MobileNet Model มีไว้เพื่อจับภาพเคลื่อนไหวแบบ Real-time และนำข้อมูลภาพที่ตรวจจับไปประมวลผลกับข้อมูลภาพ 80,000 ภาพ ที่ถูกจัดเก็บไว้ในคลังภาพ และแสดงผลออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องตามลักษณะท่าทางของผู้แสดงแบบ โดย PoseNet Library ได้รับความร่วมมือจากทีมงานของ Google Creative Lab ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยทำงานร่วมกับ TensorFlow.js

PoseNet เป็น Open Source ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Google จัดว่าเป็น AI ที่เรียกว่า Move Mirror ที่เกิดจากไลบรารี JavaScript ที่ชื่อ TensorFlow.js สามารถทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ และการประมวลผลเป็นแบบ off-line บนเครื่องของตัวเอง โดยไม่ต้องส่งภาพที่ตรวจจับได้ออกไปยัง Google เพื่อประมวลผล [34]

PoseNet เป็น Library ที่ใช้ภาพ RGB จากกล้องในการตรวจจับท่าทาง และเรียนรู้ท่าทาง การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจจับข้อต่อของร่างกาย 17 จุด คือ 1. จมูก 2. ตาซ้าย 3. ตาขวา 4. หูซ้าย 5. หูขวา 6. ไหล่ซ้าย 7. ไหล่ขวา 8. ศอกซ้าย 9. ศอกขวา 10. ข้อมือซ้าย 11. ข้อมือขวา 12. สะโพกซ้าย 13. สะโพกขวา 14. เข่าซ้าย 15. เข่าขวา 16. ตาคู่ซ้าย 17. ตาคู่ขวา แต่ไม่มีการแยกเพศ และความสูง โดยข้อมูลที่ตรวจจับได้จะถูกประมวลผลแบบออฟไลน์ไม่มีการเก็บข้อมูล ภาพที่ PoseNet ตรวจจับได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในคลังภาพที่มีขนาด 80,000 ภาพ จากนั้นภาพที่ใกล้เคียงที่สุด 1 ภาพ กับท่าโพสที่ตรวจจับได้จะถูกส่งกลับมา โดยเป็นการแสดงข้อมูลแบบ Real-time ทำให้ภาพที่ถูกแสดงออกมามีความเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการเคลื่อนไหวของโมเดล ได้ทันที และยังสามารสร้างไฟล์ GIF จากภาพที่ Match ออกมาได้อีกด้วย โดยทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 5 มิลลิวินาทีในการคำนวณแต่ละเฟรม ซึ่งการใช้งาน PoseNet นั้นมีรากฐานมาจาก GoogLeNet จาก ImageNet ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ในระยะประมาณ 2 เมตร และ 3 องศา สำหรับฉากกลางแจ้งที่มีขนาดใหญ่ และความแม่นยำในอาคารอยู่ที่ 0.5 เมตร และ 5 องศา ซึ่งจะนำข้อมูลมาจากการเรียนรู้ขนาดใหญ่ที่มีหลากหลายสภาวะ อาทิ ที่มีแสงน้อย ความเบลอจากการเคลื่อนไหว ลักษณะของกล้องที่แตกต่างกัน แม้กระทั่งฉากหลังที่อยู่ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน อาทิ ฤดูหนาว ฤดูร้อน มรสุม ถูกจัดเก็บในโมเดลของ PoseNet ด้วยเช่นกัน



ประสิทธิภาพของ PoseNet Library มีความแม่นยำ (mAP: Mean Average Precision) อยู่ที่ 45.6 และใช้ระยะเวลาในการประมวลผลดังนี้

Pixel 5 – CPU 4 Threads	80	มิลลิวินาที (ms)
Pixel 5 – GPU	40	มิลลิวินาที (ms)
Raspberry Pi 4 – CPU 4 Threads	338	มิลลิวินาที (ms)

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับ PoseNet คือ กล้องเว็บแคม, กล้องมือถือที่จับภาพเคลื่อนไหวได้ หรือ กล้องวิดีโอที่ต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ได้ [34, 35]

ทั้งนี้ PoseNet ถูกพัฒนาขึ้นจาก VGG-16 Network ซึ่งมีความแม่นยำใกล้เคียงกับ GoogLeNet ซึ่งมีอัตราการผิดพลาด 5 อันดับแรกอยู่ที่ร้อยละ 7.3 เมื่อเทียบกับบน GoogLeNet ที่มีความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 6.67 ซึ่งข้อเสียหลักของการเทรนและทดสอบบน VGG-16 คือช้ากว่าด้วยจำนวนของพารามิเตอร์มีจำนวนมาก และมีสมการสำหรับฟังก์ชัน Loss คือ

$$loss(I) = \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\|_2 + \beta \left\| \hat{\mathbf{q}} - \frac{\mathbf{q}}{\|\mathbf{q}\|} \right\|_2 \quad (2.1)$$

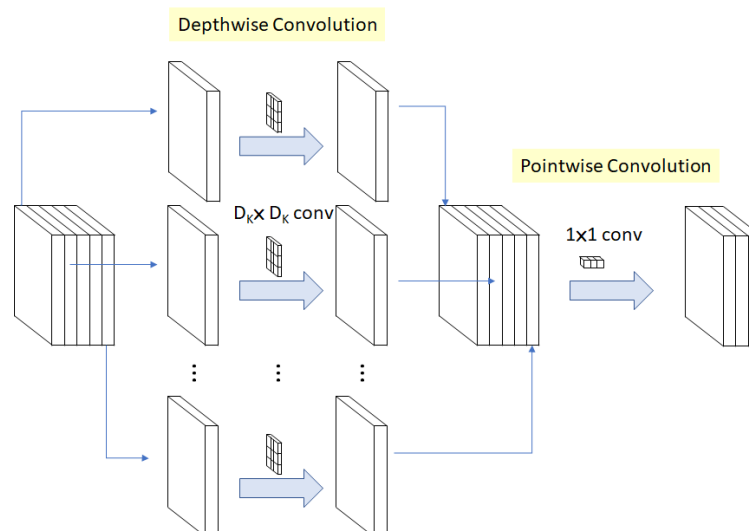
โดย  $\mathbf{x}$  คือ ตำแหน่งของคาร์ทีเซียนเฟรม

$\mathbf{q}$  คือ ทิศทาง

ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้นั้นนำมาจากมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ (University of Cambridge) และใช้มุมมองเออร์ สำหรับชุดข้อมูล NCLT โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

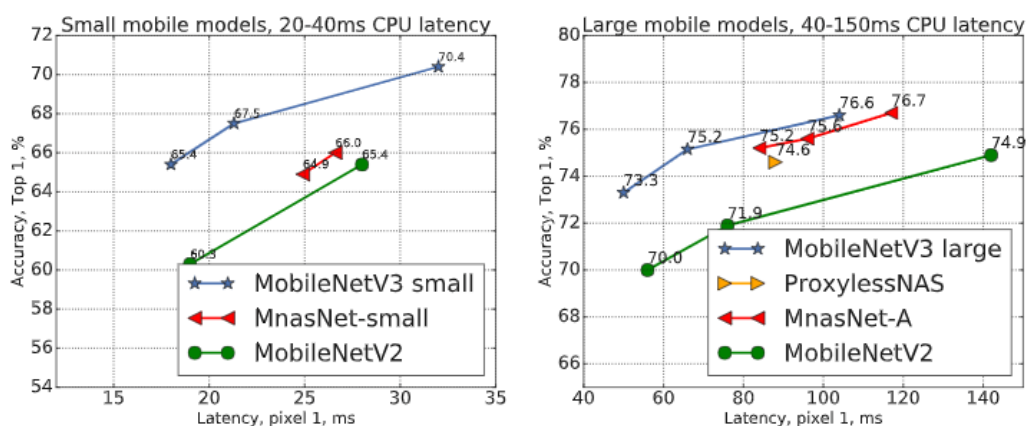
1. ลดขนาดภาพจาก 1920 x 1080 พิกเซล ให้จนเหลือขนาดเล็กที่สุดอยู่ที่ 256 พิกเซล
2. สร้างการครอบตัดรูปภาพแบบสุ่ม โดยใช้ขนาด 224 x 224 พิกเซล
3. ทำการเชื่อมโยงพื้นดินกับความสอดคล้องกันระหว่างท่าทางกับควอเทอร์เนียนของแต่ละภาพ
4. ทำการระบุตำแหน่งของท่าทางตามแนวแกน  $x$   $y$  และ  $z$  และระบุตำแหน่งของทิศทางตามแนวแกน  $w$   $x$   $y$  และ  $z$

### 2.1.13 โมบายเน็ต โมเดล (MobileNet Model)



รูปที่ 2.16 สถาปัตยกรรมของ MobileNet [36]

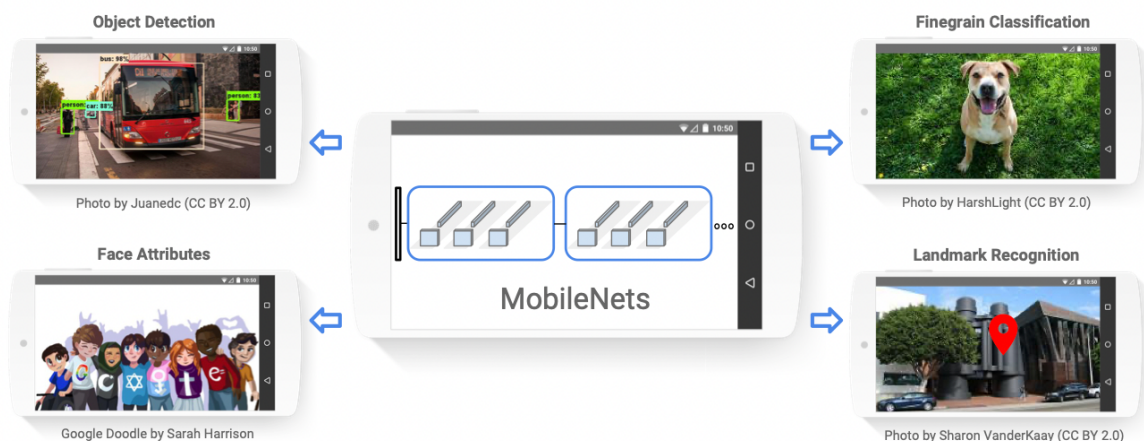
MobileNet เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์พกพาทั้ง iOS และ Android โดยขนาดที่เล็กของ MobileNet ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังในการคำนวณมากเท่ากับรุ่นอื่นๆ ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานบนสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตซึ่งเป็นอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีกำลังในการประมวลผลจำกัด นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณแบนด์วิดท์ที่จำเป็นสำหรับการรับส่งข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ไปยังอุปกรณ์ ซึ่งจะปรับปรุงการตอบสนองของแอปพลิเคชัน AI ที่ทำงานอยู่ในอุปกรณ์



รูปที่ 2.17 ระยะเวลาเปรียบเทียบระหว่างสมาร์ทโฟนที่มีหน่วยประมวลผลเล็กและใหญ่ [37]

MobileNet อยู่ในตระกูล Convolutional Networks (ConvNets) ซึ่งต่างจาก ConvNets แบบอื่นๆ ด้วยเหตุนี้จึงใช้ทรัพยากรในการคำนวณน้อยแต่มีประสิทธิภาพมากกว่า ConvNets อื่นๆ โดย MobileNet ถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีแนวโน้มสำหรับนำมาพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่อย่างสมาร์ทโฟน และแท็บเล็ตอย่างแพร่หลาย ซึ่ง MobileNet สามารถรู้จำได้ดังนี้

- การประมวลผลภาษาธรรมชาติ
- การจำแนกรูปภาพ
- การตรวจจับวัตถุ
- การตรวจจับใบหน้า
- การตรวจจับคนเดินเท้า



รูปที่ 2.18 การประยุกต์ใช้ MobileNet Model ในการวิเคราะห์ภาพที่แตกต่างกัน [36]

โครงสร้างของ MobileNet ถูกสร้างขึ้นโดยทำการ Convolution แยกส่วนในเชิงลึก และ Convolution แบบสมบรูณ์ในเลเยอร์แรก สถาปัตยกรรมของ MobileNet ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะใช้เทคนิคการเทรน Machine Learning ด้วย BatchNorm และความ Nonlinearity ReLU ทั้งนี้การ Sampling จะถูกแบ่งส่วนด้วยการทำ Depthwise Convolution แบบขั้นบันได เช่นเดียวกับในเลเยอร์แรก การแยกเลเยอร์มีทั้งหมด 28 เลเยอร์ โดยเฉลี่ยขั้นสุดท้ายจะลดความละเอียดเชิงพื้นที่เป็น 1 ก่อนที่แต่ละเลเยอร์จะถูกเชื่อมต่อกันอย่างสมบรูณ์ โครงสร้างแบบจำลองของเราทำให้การคำนวณเกือบทั้งหมดเป็นการบิด  $1 \times 1$  ที่หนาแน่น สามารถนำไปปฏิบัติได้ด้วยฟังก์ชันการคูณเมทริกซ์ทั่วไป (GEMM) ที่ปรับให้เหมาะสมที่สุด GEMM มักใช้ convolutions แต่ต้องมีการจัดลำดับใหม่ในหน่วยความจำที่เรียกว่า im2col เพื่อจับคู่กับ

GEMM ตัวอย่างเช่น วิธีนี้ใช้ในแพ็คเกจ Caffe ยอดนิยม การบิดแบบ  $1 \times 1$  ไม่ต้องการการเรียงลำดับใหม่ ในหน่วยความจำและสามารถนำไปใช้โดยตรงกับ GEMM ซึ่งเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมพีชคณิตเชิงเส้นเชิงตัวเลขที่ปรับให้เหมาะสมที่สุด MobileNet ใช้เวลาคำนวณ 95% ในการบิด  $1 \times 1$  ซึ่งมีพารามิเตอร์ 75% ตามที่เห็นในตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์เพิ่มเติมเกือบทั้งหมดอยู่ในเลเยอร์ที่เชื่อมต่อย่างสมบูรณ์ [37]

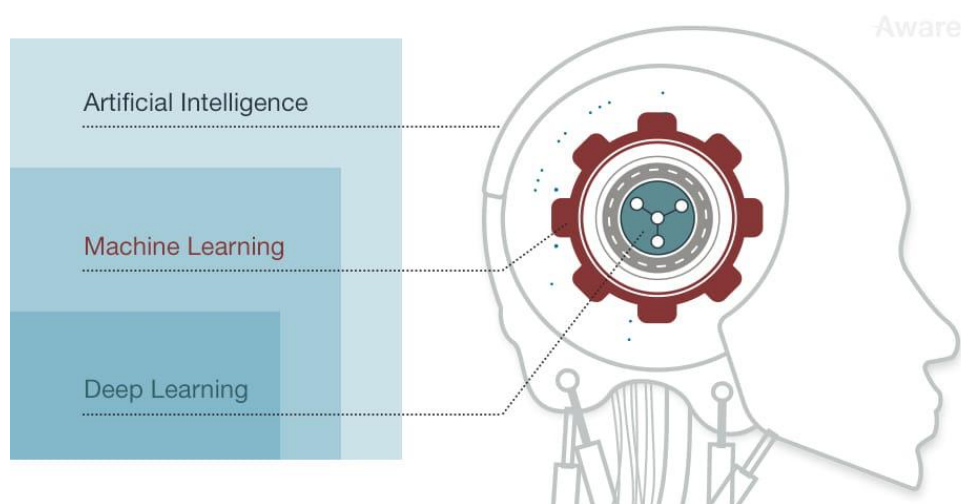
ตารางที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของ MobileNet

Type / Stride	Filter Shape	Input Size
Conv / s2	$3 \times 3 \times 3 \times 32$	$224 \times 224 \times 3$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 32$ dw	$112 \times 112 \times 32$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 32 \times 64$	$112 \times 112 \times 32$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 64$ dw	$112 \times 112 \times 64$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 64 \times 128$	$56 \times 56 \times 64$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 128$ dw	$56 \times 56 \times 128$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 128 \times 128$	$56 \times 56 \times 128$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 128$ dw	$56 \times 56 \times 128$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 128 \times 256$	$28 \times 28 \times 128$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 256$ dw	$28 \times 28 \times 256$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 256 \times 256$	$28 \times 28 \times 256$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 256$ dw	$28 \times 28 \times 256$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 256 \times 512$	$14 \times 14 \times 256$
5× Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 512$ dw	$14 \times 14 \times 512$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 512 \times 512$	$14 \times 14 \times 512$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 512$ dw	$14 \times 14 \times 512$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 512 \times 1024$	$7 \times 7 \times 512$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 1024$ dw	$7 \times 7 \times 1024$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 1024 \times 1024$	$7 \times 7 \times 1024$
Avg Pool / s1	Pool $7 \times 7$	$7 \times 7 \times 1024$
FC / s1	$1024 \times 1000$	$1 \times 1 \times 1024$
Softmax / s1	Classifier	$1 \times 1 \times 1000$

### 2.1.14 Machine Learning

Machine Learning คือ ส่วนการเรียนรู้ของเครื่อง ถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองของ AI (Artificial Intelligence) แสดงดังรูปที่ 2.19 เราอาจพูดได้ว่า AI ใช้ Machine Learning ในการสร้างความฉลาด มักจะใช้เรียกโมเดลที่เกิดจากการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ ไม่ได้เกิดจากการเขียนโดยใช้มนุษย์ มนุษย์มีหน้าที่เขียนโปรแกรมให้ AI (เครื่อง) เรียนรู้จากข้อมูลเท่านั้น ที่เหลือเครื่องจัดการเอง

Machine Learning เรียนรู้จากสิ่งที่เราส่งเข้าไปกระตุ้น แล้วจดจำเอาไว้เป็นมันสมอง ส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวเลข หรือรหัส (Code) ที่ส่งต่อไปแสดงผล หรือให้เจ้าตัว AI นำไปแสดงการกระทำ Machine Learning เองสามารถเอาไปใช้งานได้หลายรูปแบบ ต้องอาศัยกลไกที่เป็นโปรแกรม หรือเรียกว่า อัลกอริทึม (Algorithm) ที่มีหลากหลายแบบ โดยมี Data Scientist เป็นผู้ออกแบบ หนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมสูง คือ Deep Learning ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย และประยุกต์ใช้ได้หลายลักษณะงาน อย่างไรก็ตาม ในการทำงานจริง Data Scientist จำเป็นต้องออกแบบตัวแปรต่างๆ ทั้งในตัว ของ Deep Learning เอง และต้องหาอัลกอริทึมอื่นๆ มาเป็นคู่เปรียบเทียบกับ เพื่อมองหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง [38,39]



รูปที่ 2.19 ลักษณะเปรียบเทียบการทำงานของ AI และ Machine learning [38,39]

### 2.1.15 อุปกรณ์ในการแสดงผล

จอภาพ (Display Device) เป็นอุปกรณ์แสดงผลที่ใช้แสดงผลออกมาเป็นภาพทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว ซึ่ง จอภาพ จะแสดงผลได้เมื่อมีพลังงานไฟฟ้ามาเลี้ยงอุปกรณ์ และจะไม่สามารถแสดงผลได้เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้า เราเรียกอุปกรณ์ประเภทนี้ว่า Soft Copy ซึ่งต่างกับอุปกรณ์แสดงผลประเภท Hard Copy

จอภาพ (Monitor) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการพัฒนาจอภาพมาโดยตลอด สีที่แสดงบนจอภาพ แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. Monochrome เป็นจอภาพที่แสดงภาพเพียงสีเดียวทำให้ภาพที่แสดงออกมาเป็นสีขาว-ดำ
2. Gray-Scale มีการแสดงสีคล้ายจอภาพแบบขาว-ดำ แต่เฉดสีจะออกเป็นสีเทา ปัจจุบันมักจะมี การใช้ในอุปกรณ์แสดงผลเล็กๆ เช่นเครื่องคิดเลข เครื่องเล่นเกมสแบบพกพาบางชนิด
3. Color Monitors เป็นจอภาพที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จอภาพจะแสดงภาพออกมาพร้อมกับปรับการ แพร่รังสี RGB (แดง - เขียว - น้ำเงิน) จอภาพประเภทนี้สามารถแสดงกราฟิกที่มีความละเอียดสูงได้ [38,39]

### 2.1.16 สมาร์ทโฟน

สมาร์ทโฟน คือ โทรศัพท์มือถือที่ใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการโทรศัพท์พูดคุยกันด้วยคำพูด ในปัจจุบันสมาร์ทโฟนมีระบบสัมผัสหน้าจอและสามารถตอบโต้กับผู้ใช้ได้ดังรูปที่ 2.20 สมาร์ทโฟน สามารถส่งข้อความด้วยตัวอักษร รับ-ส่งอีเมลล์ ใช้งานอินเทอร์เน็ต และมีซอฟต์แวร์โปรแกรมเหมือน คอมพิวเตอร์ มีแอปพลิเคชันมากมายที่ใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟน ทำให้สมาร์ทโฟนเป็นที่นิยมทั้งการใช้ ส่วนตัว และใช้ในธุรกิจต่างๆ รวมถึงการใช้ดูหนัง ฟังเพลง เล่นเกมส์ ได้อย่างสะดวกคล่องตัว



รูปที่ 2.20 สมาร์ทโฟน [42]

นอกจากนี้สมาร์ทโฟนยังมีกล้องที่ใช้บันทึกได้ทั้งภาพนิ่งและวิดีโอซึ่งมีความละเอียดสูง ทำให้บันทึกภาพได้อย่างคมชัดและยังสามารถใช้เป็นกล้องส่งภาพทางไกลได้ด้วยความสามารถของสมาร์ทโฟนที่ใช้อินเทอร์เน็ตได้ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเอกสาร, ข้อมูลภาพ ข้อมูลเสียง ไปยังสมาร์ทโฟนที่อยู่ห่างไกล และจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวบนคลาวด์ (Cloud) โดยการใช้สมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ในการอัปโหลด รวมถึงการถ่ายทอดสดวิดีโอทางไกลอีกด้วย [43]

### 2.1.17 แอปพลิเคชัน (Application)

แอปพลิเคชันหรือที่ทุกคนเรียกกันสั้นๆ ว่า แอป (App) มันคือ โปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ที่ออกแบบมาสำหรับสมาร์ทโฟน (Smartphone) แท็บเล็ต (Tablet) หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เรารู้จักกัน ซึ่งในแต่ละระบบปฏิบัติการจะมีผู้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นมามากมายเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีให้ดาวน์โหลดทั้งฟรีและจ่ายเงิน ทั้งในด้านการศึกษา ด้านการสื่อสารหรือแม้แต่ด้านความบันเทิงต่างๆ เป็นต้น

แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาสำหรับอุปกรณ์สมาร์ทโฟนจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เนทีฟ แอปพลิเคชัน (Native Application), ไฮบริด แอปพลิเคชัน (Hybrid Application) และ Web Application (เว็บแอปพลิเคชัน)

1. เนทีฟ แอปพลิเคชัน คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนามาด้วย ไลบรารี (Library) หรือ เอส ดี เค (SDK) เครื่องมือที่เอาไว้สำหรับพัฒนาโปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน ของระบบปฏิบัติการบนมือถือ (OS Mobile) นั่นๆ โดยเฉพาะ อาทิ แอนดรอยด์ (Android) ใช้ แอนดรอยด์ เอส ดี เค (Android SDK), ไอ โอ เอส (iOS) ใช้ ออบเจกทีฟ ซี (Objective-C), วินโดวส์ โฟน (Windows Phone) ใช้ ซีชาร์ป (C#) เป็นต้น
2. ไฮบริด แอปพลิเคชัน (Hybrid Application) คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการให้สามารถรันบนระบบปฏิบัติการได้ทุก OS โดยใช้ เฟรมเวิร์ก (Framework) เข้าช่วยเพื่อให้สามารถทำงานได้ทุกระบบปฏิบัติการ
3. เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) คือ แอปพลิเคชันที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อเป็น บราวเซอร์ (Browser) สำหรับการใช้งานเว็บเพจต่างๆ ซึ่งถูกปรับแต่งให้แสดงผลแต่ส่วนที่จำเป็น เพื่อเป็นการลดทรัพยากรในการประมวลผล ของตัวเครื่องสมาร์ทโฟน หรือ แท็บเล็ต ทำให้โหลดหน้า

เว็บไซต์ได้เร็วขึ้น อีกทั้งผู้ใช้งานยังสามารถใช้งานผ่าน อินเทอร์เน็ตและอินเทอร์เน็ตในความเร็วดำ  
ได้ [44]

## 2.1.18 ภาษาในการเขียนโปรแกรมและแอปพลิเคชัน

### 1. Kotlin

Kotlin เป็นภาษาโปรแกรมข้ามแพลตฟอร์มที่ได้รับการออกแบบให้ทำงานร่วมกับ Java ได้อย่าง  
สมบูรณ์ และเวอร์ชัน JVM ของไลบรารีมาตรฐานของ Kotlin ขึ้นอยู่กับ Java Class Library แต่ช่วยให้  
Syntax มีความกระชับมากขึ้น เป้าหมายหลักของ Kotlin คือ JVM แต่ก็สามารถคอมไพล์ไปเป็น  
JavaScript เช่น ใช้ React สำหรับ Front-end ของ Web Applications หรือ Native Code (via LLVM)  
เช่น Native iOS Apps แลกเปลี่ยน Business Logic ด้วย Android Apps ซึ่ง JetBrains เป็นผู้ออก  
ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา แต่ Kotlin เป็นผู้ถือลิขสิทธิ์เครื่องหมายการค้า Kotlin

เมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2019 Google ได้ประกาศให้ภาษาโปรแกรม Kotlin เป็นภาษาที่ใช้ในการ  
พัฒนาแอปพลิเคชันบน Android ทำให้นักพัฒนาโปรแกรมจำนวนมากเปลี่ยนมาใช้ Kotlin และตั้งแต่  
เปิดตัว Android Studio 3.0 ในเดือนตุลาคม 2017 เป็นต้นมา Kotlin ได้ถูกรวมไว้เป็นอีกหนึ่งทางเลือก  
ของคอมไพเลอร์ ของ ภาษา Java, Kotlin เป็นคอมไพเลอร์บน Android โดยกำหนดค่าเริ่มต้นที่ Java 6  
แต่ให้โปรแกรมเมอร์สามารถเลือกกำหนด Target ได้ที่ Java 8 ไปจนถึง 13 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและ  
คุณสมบัติอื่นๆ

ชื่อ Kotlin ได้มาจาก Kotlin Island ซึ่งอยู่ใกล้ St. Petersburg เป็นการตั้งชื่อตามชื่อเกาะ  
เช่นเดียวกับ Java ที่ตั้งชื่อตามเกาะชวา ของ ประเทศอินโดนีเซีย Kotlin v1.0 วางจำหน่ายเมื่อวันที่ 15  
กุมภาพันธ์ 2016 ซึ่งนับเป็นรุ่นแรกที่เสถียรอย่างเป็นทางการและ JetBrains มีความมุ่งมั่นที่จะใช้งาน  
ต่อเนื่องไปยาวนานจากการเริ่มต้นที่เวอร์ชันนี้



Andrey Breslav หัวหน้าทีมพัฒนา Kotlin กล่าวว่า Kotlin ได้รับการออกแบบเชิงวัตถุที่มีความแข็งแกร่งทางโครงสร้างและเป็น ภาษาที่ดีกว่า Java แต่ก็ยังสามารถใช้ร่วมกับ Java Code ได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถเปลี่ยนจาก Java ไปเป็น Kotlin ได้อย่างค่อยเป็นค่อยไป [45, 46]

## 2. จาวา (Java)

Java คือภาษาโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ ที่ใช้แนวคิดของ object ที่ประกอบด้วย ตัวแปรและเมธอด (Method) ซึ่งตัวแปรเป็นข้อมูลที่ใช้กำหนดคุณลักษณะของวัตถุ (Object) และเมธอดจะเป็น ฟังก์ชันการทำงานที่ object สามารถทำงานได้ โดยที่การสร้าง object จะอยู่ภายใต้การกำหนดของ class ซึ่งเป็นการกำหนดว่า object จะมี member อะไรบ้าง และกำหนดการทำงานของ method ดังนั้น object จะสร้าง class เราเรียก object ว่า instances ของ class

เมื่อเปรียบเทียบ Java กับภาษาอื่น ๆ ที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ เช่น C++ C# Python PHP Ruby โดย Java ถือว่าเป็นภาษาของวัตถุ (Object) อย่างแท้จริง การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุเป็นการพัฒนารูปแบบการเขียนโปรแกรมไปอีกขั้นหนึ่งจากการเขียนโปรแกรมแบบ Procedural programming

การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ OOP มีข้อดีว่าการเขียนโปรแกรมแบบที่ผ่านมามากมาย เช่น

1. Code Reuse สามารถนำโค้ดของโปรแกรมกลับมาใช้ใหม่ได้
2. Maintenance ง่ายต่อการปรับปรุงและพัฒนา เนื่องจากแต่ละ Class มีขอบเขตที่แน่นอนและมี Method ของแต่ละคลาส (Class)
3. Inheritance สามารถพัฒนาต่อเติมความสามารถจาก Class เดิมที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการนำ Code ที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ซ้ำ
4. Polymorphism สามารถจัดการคุณสมบัติของวัตถุ (Object) ที่มีหลากหลายได้จาก Base Class ของแต่ละวัตถุ (Object)
5. Encapsulation เป็นการรวมคุณสมบัติของ Class ทำให้ไม่จำเป็นต้องรู้การทำงานภายในแต่ละ Class แต่มันสามารถทำงานให้เกิดผลออกมาได้

6. Abstraction เป็นการอธิบายการทำงานของ Class และ Method แบบนามธรรม เพื่อนำไปใช้กับ Object ที่มีการทำงานแตกต่างกัน เช่น สัตว์สามารถเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ เป็น นามธรรม เพราะสัตว์แต่ละชนิดเคลื่อนที่แตกต่างกันทั้งหลายเหล่านี้เป็นคุณสมบัติของ OOP ที่สำคัญและใช้กับการเขียนโปรแกรมขั้นสูง [47]

### 3. Flutter

Flutter คือ Framework ข้าม Platform ที่ใช้ในการพัฒนา Native Mobile Application ทั้ง Android และ iOS ได้รับการพัฒนาขึ้น โดย Google ด้วยภาษา Dart ที่มีความคล้ายกับภาษา C# และ Java

ข้อดีของ Flutter คือ มีความยืดหยุ่นในการสร้าง UI (User Interface) แยกออกจากการออกแบบ โดยเน้นประสบการณ์ของผู้ใช้ UX (User Experience) โดยที่รูปแบบของ UI จะมีความใกล้เคียงกับ Native และตรงตาม Design Guideline ที่ถูกต้อง และมีความสามารถในการทำ Hot Reload ทำให้การแก้ไขและปรับปรุงโค้ดสามารถแสดงผลได้ในระหว่างที่รันแอปพลิเคชัน และนอกจากนี้ Flutter ยังมี Widget ให้เลือกใช้ได้อีกมากมาย ทำให้การพัฒนาแอปพลิเคชันมีความสะดวกรวดเร็วเหมาะสมกับงานพัฒนาแอปพลิเคชันที่ต้องการความสวยงามและมีประสิทธิภาพในการทำงาน

Flutter เป็นที่นิยมใช้ในการจัดการ Local/Global State เพื่อรองรับระบบที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน เพื่อให้ได้ผลงานที่สวยงามจัดการง่าย และยังสามารถเขียนโค้ดที่ทำงานร่วมกับ Native API ด้วยภาษา Kotlin และ Swift เพื่อรองรับ Requirement ที่ต้องมีการเชื่อมต่อกับ Native และ iOS [46]

ข้อดีของ Flutter คือ ปุ่ม Hot Reload ช่วยให้ Developer ทำงานได้สะดวกรวดเร็วขึ้น สามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงในส่วนที่แก้ไข code ภายในได้ในขณะที่ Software ทำงานอยู่ ด้วยการกดปุ่ม Hot Reload มี Widgets, ตัวควบคุม และ Libraries มากมายที่ปรับแต่งได้ตามต้องการ และยังมีกระบวนการพัฒนา UI ที่รวดเร็วด้วย

นอกจากนี้ยังมี Screen Reader ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เสียง อำนวยความสะดวกให้กับ Developer ที่มีปัญหาด้านสายตา และ Flutter มีการ Render ที่รวดเร็ว ทำให้สามารถสร้างรูปและโมเดล 2D ได้อย่างรวดเร็ว สามารถสร้าง UI ที่ใช้ได้ทั้ง iOS และ Android บน IntelliJ, Android Studio และ Visual Studio Code เป็น Open source สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังมี Themes ให้เลือกใช้ได้

มากมาย แต่ข้อเสียของ Flutter คือ ยังรองรับการทำงาน Web Browser จึงใช้ได้เพียงในสมาร์ตโฟนเท่านั้น

ภาษา Dart เป็นภาษาโปรแกรมที่ไม่ค่อยนิยมใช้เหมือน Java หรือ Kotlin ซึ่ง Developer ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน เพราะมีความคุ้นเคยและมี UI Frame ที่มากพอกับการใช้งานอยู่แล้ว ถึงแม้ว่า Dart จะมีข้อดีมากกว่า Java ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน แต่ก็ยังน้อยกว่า Kotlin แต่อย่างไรก็ตาม บางฟังก์ชันของ Flutter เช่น Hot Reload จะไม่ทำงานหากไม่มี Dart

Flutter ไม่รองรับอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น แอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นด้วย Flutter ไม่สามารถใช้ได้บน 32-bit iOS ทำให้ iOS รุ่นแรก ๆ เช่น iPhone 5 ลงไป จึงไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายของ Flutter

Flutter เป็น Framework ใหม่จึงยังไม่ค่อยมี libraries ที่จำเป็นในการใช้งานมากเหมือนภาษาอื่น ๆ ทำให้ Developers ที่ใช้ Flutter ต้องสร้าง libraries ส่วนใหญ่ขึ้นเองซึ่งทำให้เสียเวลาในการทำงานมากขึ้น [49]

#### 4. PHP

ภาษา PHP เป็น Web-based Programming (ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมบนเว็บ) เนื่องจากโค้ดคำสั่งที่เขียนขึ้น หรือ สคริปต์ทั้งหมดที่เขียนขึ้นจะถูกจัดเก็บไว้บน Web Server ที่เดียว และให้ผู้ใช้งาน (Client) เรียกใช้งานผ่าน เว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ เช่น Mozilla Firefox, Internet Explorer, Google Chrome, Opera, Safari เป็นต้น เพื่อให้โปรแกรมแสดงผลขึ้นบนหน้าจอของผู้ใช้งาน

PHP ย่อมาจาก Personal Home Page Tool ปัจจุบันได้เพิ่มคำต่อท้ายเป็น PHP Hypertext Preprocessor ซึ่งเป็น ภาษาสคริปต์ (Script Language) มีกระบวนการทำงานแบบโปรแกรมแปลคำสั่ง ทุกครั้งที่มีการเรียกสคริปต์ โดยไม่ต้องนำไปประมวลผลใหม่ เมื่อมีการนำโปรแกรมไปใช้งานหรืออัปเดตก็สามารถอัปเดตขึ้นไปทับไฟล์เดิมที่มีอยู่แล้วและใช้งานได้ทันที

Joomla, Wordpress, OpenCart, Drupal, SMF, phpBB, Moodle ซึ่งมีระบบจัดการเนื้อหา (Content management system, CMS) และมีการจัดการผ่านทางหน้าเว็บได้ ล้วนแต่สร้างด้วยภาษา PHP ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บเป็นไฟล์ และบางส่วนจะอยู่ในรูปของฐานข้อมูลซึ่งปกติจะใช้ฐานข้อมูล MySQL

นักพัฒนาสามารถสร้างโปรแกรมจัดการไฟล์และฐานข้อมูลด้วยภาษา PHP เพื่อใช้ในการบริหารจัดการเว็บไซต์ที่มีระบบฐานข้อมูลหรือมีข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้สะดวกและง่ายขึ้น

นักพัฒนาที่จะใช้ภาษา PHP สร้างเว็บไซต์จำเป็นต้องรู้จัก

1. HTML ซึ่งเป็นคำสั่งสำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์เพราะเป็นหลักในการสร้างเว็บไซต์
2. JQuery ที่เป็น Javascript Framework เพื่อการเขียน JavaScript
3. CSS ซึ่งเป็นคำสั่งในการตกแต่งเว็บไซต์ให้สวยงามและการจัดรูปแบบบนเว็บไซต์รวมถึง Framework ที่ใช้ในการปรับขนาดหน้าจอให้ใช้บนอุปกรณ์ที่ต่างขนาดกัน (Responsive)
4. PHP Framework ที่จะช่วยให้พัฒนาแอปพลิเคชันได้เร็วขึ้น และ OOP, MVC ใน Framework ที่เลือกใช้ [48]

## 5. PHP Framework

PHP Framework เป็นการจัดวางโครงสร้างของภาษา PHP ให้เป็นระเบียบมีความปลอดภัยของระบบมากขึ้น และง่ายให้นำไปใช้พัฒนาต่อ โดยเฉพาะการทำงานร่วมกันเป็นทีม การใช้ Framework จะทำให้ระบบจัดการเรื่อง Template ที่ต้องเปลี่ยนเนื้อหาของ Web Application บ่อยๆ จะทำได้โดยง่ายไม่ยุ่งยากกับการเขียนโค้ด ไม่ต้องเขียน Class เองเพื่อนำมาใช้กับระบบจัดการข้อมูล

โดยทั่วไป Framework จะเป็นรูปแบบการเขียนคำสั่งที่มีการใช้กันอยู่ในระบบต่างๆ เช่นระบบ ล็อกอิน การจัดการ session สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายเหมาะกับนักพัฒนาทุกระดับ การใช้ Framework จะแยกการเขียนโค้ดส่วนต่าง ๆ เป็นระเบียบ ไม่ปะปนกัน เช่น User Interface, การเชื่อมโยงฐานข้อมูล, การประมวลผลข้อมูล เป็นต้น ตามหลัก MVC (Model View Controller) หากต้องการแก้ไขหรือพัฒนาต่อก็สามารถทำได้สะดวก ถ้าทำงานเป็นทีมก็สามารถปรึกษากันได้เมื่อเกิดปัญหาเพราะใช้รูปแบบเดียวกัน หรือมอบงานให้คนอื่นนำไปพัฒนาต่อ แต่ทั้งนี้ผู้ที่ใช้งาน Framework ต้องมีความรู้ในเรื่อง mvc และ OOP (Object Oriented Programming)

PHP Framework จะเหมือนระบบทั่วไปคือ มีระบบ Generator ที่เตรียม Generate Code สำหรับการเพิ่มข้อมูล (Insert) ปรับปรุงข้อมูล (Update) หรือลบข้อมูล (Delete) ไว้ให้เลือกใช้ได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเขียนโค้ดในส่วนนี้เอง นอกจากนี้ยังมีระบบที่สามารถเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูลได้หลายชนิด เช่น MySQL, MS SQL, ProgreSQL, SQLite และอื่น ๆ ตามความสามารถของ Framework [49]

### 2.1.19 ฐานข้อมูล MySQL

MySQL ถูกพัฒนาโดย MYSQLAB ในสวีเดน ต่อมา Sun Microsystems ได้รับช่วงกิจการต่อ ค.ศ. 2008 และถูกรวมเข้ากับ Oracle ค.ศ. 2010 มีฟังก์ชันในการทำงานแบบ "relation database management system" (RDBMS) โดยใช้ Structured Query Language (SQL) เป็นภาษาในการสื่อสาร MySQL รันได้ทั้งบน Linux, UNIX และ Windows ซึ่งนักพัฒนาส่วนใหญ่จะใช้กับ web-based จึงมีการออกแบบให้ MySQL เป็นส่วนหนึ่งในระบบ open source enterprise stack (LAMP)

MySQL ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL ที่ต้องใช้ร่วมกับโปรแกรมหรือเครื่องมืออื่นอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ระบบงานตามจุดประสงค์ของผู้ใช้ ตัวอย่างการทำงานร่วมกับ web server เพื่อทำต่อเชื่อมกับ Script Language เช่น php php.net หรือ jsr เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับ Application Program เช่น Visaul Basic.net, Java หรือ C# เป็นต้น ซึ่ง MySQL สามารถทำงานได้บนหลายระบบปฏิบัติการ (OS; Operating System)

MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล (DataBase Management System = DBMS) มีลักษณะเป็นโครงสร้างการเก็บข้อมูล ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้ง ฐานข้อมูล และ ระบบจัดการฐานข้อมูล โดยมีลักษณะเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลแบบ relational ทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางแทนการเก็บข้อมูลลงในไฟล์เพียงไฟล์เดียว แต่ละตารางที่จัดเก็บข้อมูลสามารถเชื่อมต่อกันหรือจัดรวมเป็นกลุ่มข้อมูลได้ โดยใช้ SQL ในการเข้าถึงข้อมูล ทั้งนี้ MySQL มีไคลเอนต์แบบสแตนด์โลนที่ให้ผู้ใช้งานได้ตอบโดยตรงกับฐานข้อมูล MySQL โดยใช้ SQL [52,53]

## 2.1.20 SQL

SQL คือภาษาโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้จัดการกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลในรูปแบบตารางที่เป็นสดมภ์ (Column) และแถว (Row) ซึ่ง SQL เป็นระบบเปิด (Open System) นักพัฒนาสามารถใช้คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้โดยไม่ติดขัดกับฐานข้อมูลใดฐานข้อมูลหนึ่ง SQL มีโครงสร้างภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพสูง ไม่ต้องเขียนคำสั่งมากก็สามารถทำงานซับซ้อนได้ Database ที่รองรับ SQL เช่น Oracle, DB2, MS-SQL, MS-Access ซึ่งสามารถใช้เขียนร่วมกับภาษาโปรแกรมอื่นๆ เช่น ภาษา C/C++, Visual Basic และ Java ภาษา SQL แบ่งออกเป็นส่วนประกอบต่างๆ คือ

Clauses คือ องค์ประกอบหนึ่งของ statement และ query (ส่วนนี้เป็น Optional)

Expressions คือ การสร้าง table ที่ประกอบด้วย column และ row จากข้อมูล

Predicates คือ เงื่อนไขที่เป็น true/false/unknown (Boolean)

Queries เป็นส่วนสำคัญ คือ การดึงข้อมูลตามเงื่อนไข (clause)

SQL Query แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ

1. Select query สำหรับดึงข้อมูลในรูปแบบ table เป็น row และ column
2. Update query สำหรับแก้ไขข้อมูลที่มีอยู่ใน table
3. Insert query สำหรับเพิ่มข้อมูลใน table
4. Delete query สำหรับลบข้อมูลใน table

Statements มีผลต่อโครงสร้างข้อมูล, จัดการข้อมูล transactions, program flow, session หรือวิเคราะห์ปัญหา ต้องจบด้วย semicolon (;) จำเป็นที่ต้องมีทุกครั้งสำหรับ SQL

Insignificant whitespace หรือ ช่องว่าง ใน SQL statement และ query ทำให้ SQL สามารถเขียนในหลายรูปแบบอย่างสวยงาม [54,55]

### 2.1.21 RMDBS

Database คือ การจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจัดเก็บเป็นไฟล์ และ เป็นฐานข้อมูล โดยที่ฐานข้อมูลจะมีการจัดเก็บในรูปแบบตาราง ซึ่งแต่ละตารางมีการกำหนดค่าให้แต่ละตารางมีความสัมพันธ์ เรียกว่า Database Management System (DBMS) โดย Relational Database Management System (RDBMS) เป็นส่วนขยายของ DBMS เป็นชุดของข้อมูลในแต่ละตารางที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งเข้าถึงข้อมูลได้โดยใช้ SQL ในการจัดการ ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บมีลักษณะเป็น Database ในรูปแบบ ตาราง โดยมี Primary Key เป็นตัวระบุ นอกจากนี้ยังเป็นการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลเชิงความสัมพันธ์ (Relational Database) สำหรับข้อมูลเชิงโครงสร้าง (Structured Data) ที่มีปริมาณข้อมูลไม่มากในขนาดใหญ่ (Big Data) ซึ่งทำให้ภาษา SQL ได้รับความนิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เพราะเป็นภาษาที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อดึงข้อมูลจาก RDBMS โดยเฉพาะ จึงทำให้เป็นคุณสมบัติเด่นของ SQL มีการจัดเก็บข้อมูลแบบตาราง (Table) อย่างง่าย ๆ คือ 1 แถว (Row) มีหลายสดมภ์ (Column) และในแต่ละตารางจะมีจำนวนสดมภ์ที่แน่นอน [56] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำ RMDBS มาใช้ในการเก็บข้อมูลเชิงความสัมพันธ์เนื่องจากข้อมูลแต่ละชุดมีความต่อเนื่องกัน

### 2.1.22 การทำกายภาพบำบัด (Physical Therapy)

กายภาพบำบัด คือ การกระทำในการช่วยเหลือผู้ป่วยเพื่อบำบัด ป้องกัน แก้ไข และฟื้นฟูการเสื่อมสมรรถภาพ หรือความพิการของร่างกาย หรือจิตใจ ด้วยวิธีการทางกายภาพบำบัด ซึ่งได้แก่ การตัด การดึง การประคบ การนวด การบริหารร่างกาย หรืออวัยวะส่วนหนึ่งส่วนใดของผู้ป่วย ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการกระทำด้วยวิธีการต่างๆ ดังกล่าว ตามหลักวิทยาศาสตร์ หรือการกระทำอื่นที่รัฐมนตรีประกาศเป็นวิธีการทางกายภาพบำบัด หรือการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ตามหลักวิทยาศาสตร์ที่รัฐมนตรีประกาศเป็นเครื่องมือกายภาพบำบัด [57]

กายภาพบำบัด (Physical Therapy) เป็นวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพของประชาชน ทั้งในแง่ส่งเสริม, ป้องกัน, รักษา และฟื้นฟูสภาพร่างกายและจิตใจ โดยใช้วิธีตามหลักวิทยาศาสตร์ และเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางกายภาพบำบัด เช่น การออกกำลังกายเพื่อการรักษา, การรักษาด้วยการตัด – ดึง, การใช้เครื่องไฟฟ้า, ความร้อน – ความเย็นในการรักษา โดยมี

เป้าหมายเพื่อให้ประชาชนมีสุขภาพและมีความสามารถในการทำงานของร่างกายอย่างเต็มที่ ซึ่งปัจจุบันนี้งานกายภาพบำบัดจะแบ่งออกเป็นสาขางานต่างๆ ดังนี้

#### กระบวนการการรักษาทางกายภาพบำบัดประกอบด้วย

1. การรักษาด้วยมือ (Manual Therapy) คือ การยืด การตัด การดึง การกด การนวด การขยับข้อต่อ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของพังผืดที่ก่อตัวยึดติดทำให้การเคลื่อนไหวติดขัด ผ่อนคลายกล้ามเนื้อที่เกร็งตัว ทำให้การเคลื่อนไหวของข้อต่อดีขึ้น ในกรณีที่เกิดพังผืดยึดติด กล้ามเนื้อตึง ข้อต่อติด เป็นต้น
2. การใช้เครื่องมือไฟฟ้า (Electro Therapy) เช่น เครื่องกระตุ้นด้วยไฟฟ้า เครื่องอัลตราซาวด์ การประคบร้อน การประคบเย็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เลเซอร์ เป็นต้น เพื่อลดอาการอักเสบ ช้ำบวม กระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ไปเลี้ยงส่วนที่มีอาการผิดปกติ
3. การบริหารร่างกายบำบัด (Therapeutic Exercise) เพื่อสร้างความแข็งแรง เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับกล้ามเนื้อ สร้างความแข็งแรงและสมดุลของระบบโครงร่าง กระตุ้นระบบไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ และระบบประสาทต่าง ๆ ให้มีความตื่นตัว

#### งานกายภาพบำบัดจะแบ่งออกเป็นสาขาต่างๆ ดังนี้

1. กายภาพบำบัดด้านระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เช่น ผู้ป่วยที่มีปัญหาข้อติดเคลื่อนไหวร่างกายไม่สะดวก, มีการปวดที่มีสาเหตุจากความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ, การออกกำลังกายที่ไม่เหมาะสมหรือการบาดเจ็บจากการทำงาน, ผู้ป่วยกระดูกหักและหรือได้รับการผ่าตัด รวมถึงผู้ที่มีความพิการจากการสูญเสียอวัยวะ แสดงดังรูปที่ 2.21





รูปที่ 2.21 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ [57]

2. กายภาพบำบัดด้านระบบประสาท ได้แก่ ผู้ป่วยที่มีปัญหาในการเคลื่อนไหวหรือผู้ที่มีปัญหาจากการช่วยเหลือตนเองในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีสาเหตุจากความผิดปกติของระบบประสาท เช่น ผู้ป่วยอัมพาต, ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง, ผู้ป่วยเด็กที่มีปัญหาทางการเคลื่อนไหว เช่น สมองพิการแต่กำเนิด, ผู้ป่วยพาร์กินสัน รวมถึงผู้ป่วยที่ประสบอุบัติเหตุที่ทำให้สมองหรือไขสันหลังได้รับบาดเจ็บ แสดงดังรูปที่ 2.22
3. กายภาพบำบัดด้านระบบทรวงอกหลอดเลือดและหัวใจ (ปอดและหัวใจ) ผู้ป่วยที่มีปัญหาในการหายใจหรือการทำงานของหัวใจ เช่น ผู้ป่วยโรคปอดที่มีเสมหะคั่งค้างหรือเกิดการติดเชื้อ, ผู้ป่วยโรคหัวใจ รวมถึงผู้ป่วยทั้งก่อนและหลังผ่าตัด



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านระบบประสาท [57]

4. กายภาพบำบัดด้านกีฬา เช่น การดูแลรักษาและฟื้นฟูสมรรถภาพนักกีฬาทั้งก่อนและหลังการแข่งขัน แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างผู้ที่จำเป็นต้องได้รับการทำกายภาพบำบัดด้านกีฬา [57]

5. กายภาพบำบัดในชุมชน เป็นงานกายภาพบำบัดที่เน้นการทำงานในเชิงรุก เพื่อให้การดูแลประชาชนได้อย่างทั่วถึง ไม่ว่าจะเป็นผู้สูงอายุ หรือผู้พิการที่ด้อยโอกาสไม่สามารถเดินทางมารักษาที่โรงพยาบาลได้ การให้คำแนะนำแก่ประชาชนในงานส่งเสริมการออกกำลังกายในชุมชน งานกายภาพบำบัดด้านอื่นๆ เช่น การออกกำลังกายในสตรีตั้งครรภ์ทั้งก่อนและหลังคลอด, การดูแลผู้ป่วยเบาหวาน [57]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาพถ่ายบำบัดเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการรักษาความผิดปกติของการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยจากการผ่าตัดอุบัติเหตุ โรคระบบประสาทและอื่น ๆ เพื่อความสะดวกของผู้ป่วยผู้ป่วยสามารถทำการฟื้นฟูที่บ้านได้ภายใต้การดูแลของแพทย์ แพทย์จำเป็นต้องติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์ผลของการฟื้นฟูสมรรถภาพที่บ้านโดยการนัดหมาย อย่างไรก็ตามไม่ได้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายบำบัดของผู้ป่วยทุกครั้ง ดังนั้นนักกายภาพบำบัดอาจได้รับข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนเกี่ยวกับอาการของความเจ็บปวดและการบำบัดทางกายภาพของผู้ป่วย แพทย์สามารถวินิจฉัยแนะนำและวางแผนการทำกายภาพบำบัดไม่ได้ผล สิ่งนี้นำไปสู่การรักษาที่ยาวนานกว่าแผนเดิม

ระบบการฟื้นฟูสมรรถภาพตามบ้านได้รับการแสดงในงานวิจัยก่อนหน้านี้จำนวนมาก งานก่อนหน้านี้หลายชิ้นจำเป็นต้องมีคอมพิวเตอร์และ Microsoft Kinect กล้องความลึก 3 มิติ (3D Dept Camera) หรืออุปกรณ์เว็บแคม (Webcam) [1-13] ระบบเฝ้าติดตามและติดตามได้รับการพัฒนาเพื่อรวบรวมข้อมูลเมื่อผู้ป่วยเข้ารับการกายภาพบำบัดที่บ้าน สรุปวิธีการพัฒนาได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูทางกายภาพที่บ้าน

งานวิจัย	อุปกรณ์ที่ใช้				การประเมินผลทันที	การบันทึกทำกายภาพต้นแบบ	การจัดการทำกายภาพบำบัด	การสรุปผล
	Kinect	Webcam	RGB-D Camera	Smartphone				
1	*				*			*
2	*	*			*	*		*
3	*				*	*	*	*
4	*	*	*		*			
5	*				*			*
6					*			*
7		*			*			*
8		*			*			
9	*				*			*
10		*			*			
11	*				*	*		
12					*			*
13			*		*			*
ViHab				*	*	*	*	*

เทคโนโลยี Machine Learning (ML) ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการวิจัยเกี่ยวกับการจดจำวัตถุ และรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุในภาพถูกจำแนกโดยการเรียนรู้ของเครื่อง ในงานที่เสนอนี้การเรียนรู้

ของเครื่องจะใช้ในการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์และเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อต่อบนร่างกายของผู้ป่วยโดยนำเข้าแบบจำลองข้อมูลการฝึกท่าโพสท่า หากระบบสามารถวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ได้อย่างแม่นยำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวินิจฉัยและการฟื้นฟูสมรรถภาพของแพทย์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอและพัฒนาระบบผู้ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์วิชั่นที่เรียกว่า "ViHab" เพื่อวัตถุประสงค์ในการบำบัดทางกายภาพโดยการวิเคราะห์ท่าทางของผู้ป่วยโดยอาศัยการประมวลผลภาพดิจิทัลบนสมาร์ตโฟน Android กำหนดการของการทำกายภาพบำบัดจะถูกปรับโดยแพทย์ ท่าทางในการบำบัดทางกายภาพจะถูกบันทึกโดยนักกายภาพบำบัดไว้ในระบบ ระบบที่นำเสนอจะบันทึกเวลาออกกำลังกายโดยเฉลี่ยของแต่ละท่าทางของท่าทางของผู้ป่วยและคะแนนความเจ็บปวดที่ผู้ป่วยตอบสนองผ่านแบบสำรวจคะแนนความเจ็บปวด ข้อมูลของระบบกายภาพบำบัดที่นำเสนอจะถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลที่อยู่บนเซิร์ฟเวอร์

**Chuan-Jun Su ในปี 2013** ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบไคเนค (Kinect-base system) เพื่อให้ผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องทำกายภาพบำบัดด้วยตนเองที่บ้าน หรือ Kinect-base system for ensuring home-base rehabilitation (KHRD) โดยการใช้ Dynamic Time Warping (DTW) เป็นตัวตรวจวัดความแม่นยำในเรื่องของระยะเวลาในการทำท่ากายภาพนั้นๆ และใช้ Fuzzy Logic เป็นตัวประเมินความสามารถในการทำท่ากายภาพนั้นๆ

ซึ่ง DTW จะวัดความแม่นยำของความสามารถในการทำท่ากายภาพบำบัดโดยการวิเคราะห์ความต่างของเวลา สาเหตุที่ Chuan-Jun Su เลือกใช้ DTW เป็นตัวตรวจวัดความสามารถในการทำกายภาพบำบัดเนื่องจากหากใช้ Euclidean distance เป็นการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการทำกายภาพบำบัดโดยวิเคราะห์จากความห่างขององศา หรือ ท่าในการทำกายภาพบำบัดนั้น ซึ่งในผู้ป่วยบางรายสามารถทำท่ากายภาพได้เท่าเดิมและองศาเหมือนเดิมทุกครั้งแต่จะมีการใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงทำให้ Euclidean distance ไม่สามารถวิเคราะห์ความสามารถของผู้ป่วยต่อการทำกายภาพได้อย่างแท้จริง เนื่องจากระยะเวลาในการทำท่ากายภาพให้สมบูรณ์ได้นั้นมีความสอดคล้องกับความสามารถในการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อและร่างกายเช่นกัน

นอกจากนี้ Chuan-Jun Su ยังใช้ Fuzzy Logic ในการวิเคราะห์ความสามารถในการทำท่ากายภาพบำบัดแทนวิธี Traditional logic theory เนื่องจากวิธี Traditional logic theory เป็นวิธีที่มีการวัดผลเพียงแค่ 2 แบบเท่านั้น คือ “ทำได้” และ “ทำไม่ได้” เท่านั้น ขณะที่ Fuzzy Logic สามารถวัดผลเป็นช่วงของความสามารถ จาก 0-1 และแสดงผลเป็นค่าทศนิยม ทำให้การวัดผลของความสามารถในการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

ดังนั้น เมื่อนักกายภาพบำบัดนำผลการประเมินที่ได้จากระบบมาวิเคราะห์ความสามารถของผู้ป่วย จะทำให้นักกายภาพบำบัดสามารถประเมินผลการรักษาและปรับท่ากายภาพหรือปรับการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อตัวผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น [57]

**Javier Dorado และคณะ ในปี 2019** ได้ทำการศึกษาโดยการนำ Computer-vision-based-system มาประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยโรครูมาตอยด์ (Rheumatoid Arthritis) ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องทำกายภาพบำบัดอย่างต่อเนื่องและจำเป็นต้องมีความถูกต้องแม่นยำด้วย ดังนั้น Javier Dorado และคณะ จึงเลือกใช้ Computer-vision-based-system เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยสามารถทำกายภาพบำบัดที่บ้านได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยการใช้ Kinect เป็นตัวตรวจจับท่าในการทำกายภาพบำบัด ซึ่ง Kinect ไม่เพียงแค่จับและวิเคราะห์ท่าการทำกายภาพเท่านั้น แต่ยังสามารถบันทึกท่าการทำกายภาพและวิเคราะห์ต่อด้วย ArthiriKin ซึ่งจะเป็นตัวตรวจวัดความแม่นยำของท่ากายภาพแต่ละครั้งแล้วแสดงผลเป็นคะแนนของความแม่นยำ 0-100 และแบ่งเกรดจากคะแนนเป็น 4 ช่วง ได้แก่ Excellent, Good, OK, Poor เพื่อให้นักกายภาพบำบัดได้ประเมินผลการทำกายภาพของผู้ป่วยและวางแผนเพื่อปรับการรักษาให้เหมาะสมต่อไป [58]

**Yiwen Gu และคณะ** ได้ทำการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งกลุ่มโรคที่มีความจำเป็นต้องทำกายภาพบำบัด โดยที่ Yiwen Gu และคณะ ได้เลือกใช้ Kinect ในการจับภาพและบันทึกภาพ โดยแพทย์และนักกายภาพจะมีการบันทึกภาพของท่าที่ถูกต้องและท่าที่ผู้ป่วยสามารถทำได้ในครั้งแรกไว้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับท่าการทำกายภาพที่บ้านในครั้งต่อไป และใช้ deep learning เป็นตัวประเมินความถูกต้องแม่นยำ [59]

**D. Gonzalez-Ortega** และคณะ ในปี 2013 ทำการศึกษาโดยใช้ Kinect ร่วมกับระบบ 3D computer vision ในการวิเคราะห์และประเมินการทำกายภาพบำบัดในผู้ป่วย ซึ่งเป็นระบบที่ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง และมีความแม่นยำในการจับการเคลื่อนไหวได้ดี จึงทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ [60]

**Alejandro Reyes-Amaro** และคณะ ในปี 2012 มีการนำคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) มาประยุกต์ใช้ในการทำกายภาพบำบัดกับผู้ป่วยที่ไม่สามารถขยับร่างกายได้บางส่วน โดยระบบจะถูกพัฒนามาในลักษณะของเกมส์เพื่อให้ผู้ป่วยเล่น ดังนั้นขณะที่ผู้ป่วยเล่นเกมส้นั้น ผู้ป่วยจะมีความพยายามในการขยับกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น [61]

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้กล้อง **Kinect** ในการตรวจจับท่าทางกายภาพของผู้ป่วยและมีการประเมินผลแบบทันที แต่จะมีงานวิจัยบางส่วนที่ใช้กล้องเว็บแคม ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการติดตั้งโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ใช้พื้นที่ในการติดตั้ง และในการติดตั้งแต่ละครั้งจะเป็นการติดตั้งลักษณะถาวร ซึ่งไม่มีงานวิจัยใดที่ใช้สมาร์ทโฟนในการทำระบบช่วยกายภาพบำบัด

## บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินงานและรายละเอียดของการออกแบบและพัฒนางานวิจัย โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มาวิเคราะห์เพื่อให้งานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพรวมถึงอำนวยความสะดวกให้กับบุคลากรทางการแพทย์และผู้ป่วยมากขึ้น

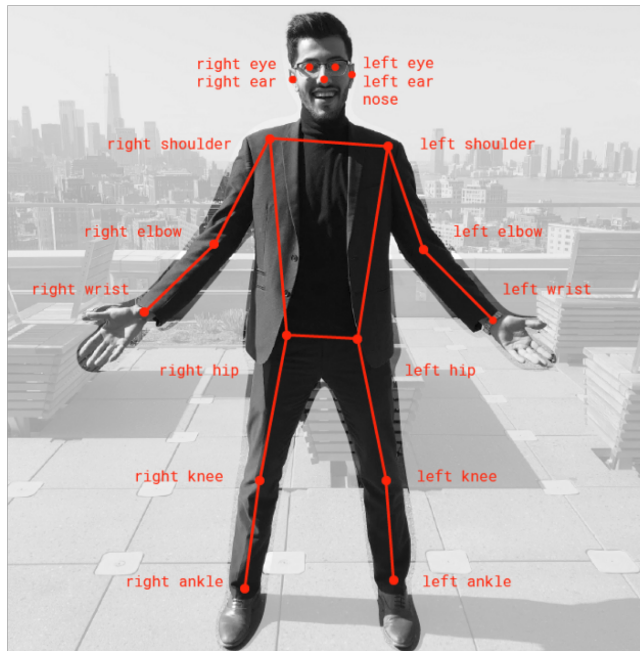
### 3.1 การออกแบบระบบ

#### 3.1.1 ภาพรวมของระบบ

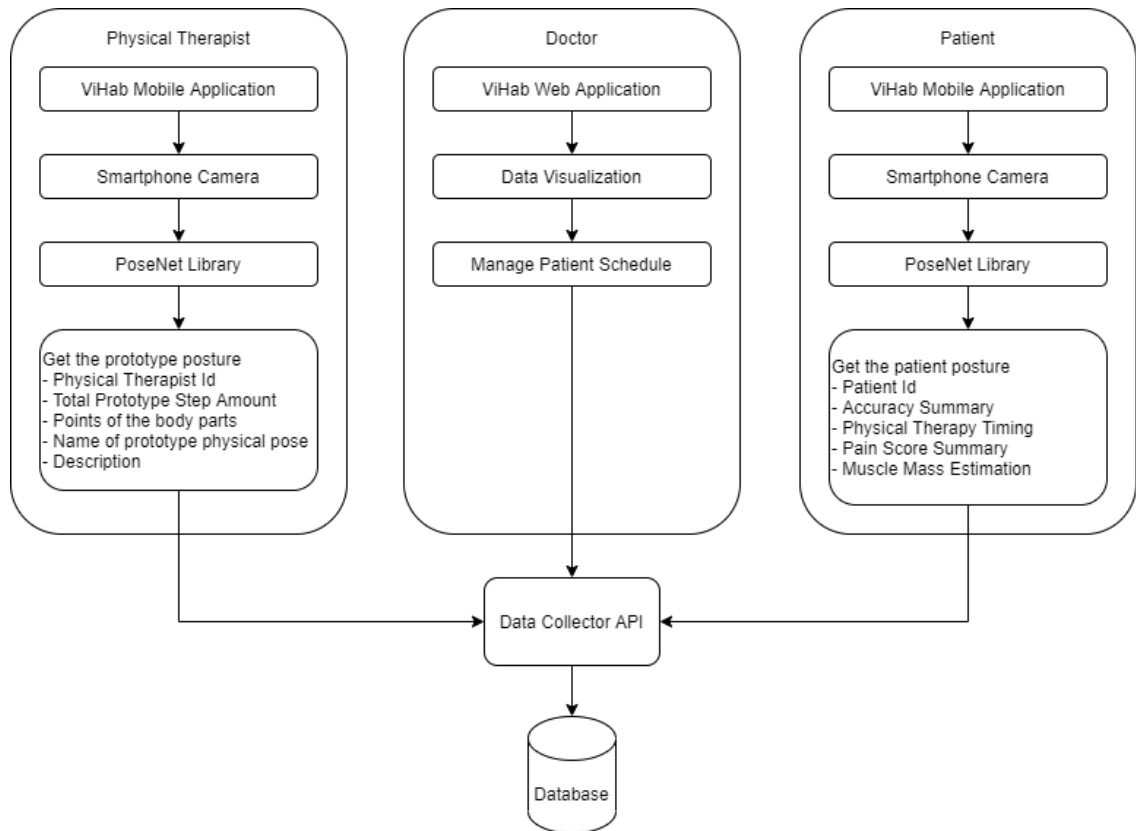
จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ นำ Microsoft Kinect และอุปกรณ์อื่นเข้ามาใช้ในการจับการเคลื่อนไหวของท่าทางกายภาพภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows ซึ่งล้วนเป็นอุปกรณ์เสริมที่ผู้ใช้ต้องนำมาติดตั้งเพิ่มกับคอมพิวเตอร์ แต่ระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงระบบได้สะดวกขึ้น จึงพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android)

งานวิจัยนี้จะมีการพัฒนา 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและเว็บแอปพลิเคชัน โดยส่วนของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนจะพัฒนาโดยใช้โพสเน็ตโมเดล (PoseNet Model) สำหรับการท่าทางหลัก โมเดลนี้เป็นแบบจำลองเพื่อใช้ในการจดจำท่าทางกายภาพของมนุษย์จากรูปภาพและวิดีโอสตรีมมิ่ง และแบบจำลองนี้จะทำการระบุข้อต่อที่สำคัญของร่างกายมนุษย์ทั้ง 17 จุด เริ่มตั้งแต่จมูกจนไปถึงข้อเท้า ดังรูปที่ 3.1 โดยระบบจะทำการรับวิดีโอจากกล้องของสมาร์ตโฟนจากผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยและส่งภาพที่รับเข้าไปประมวลผลยังโพสเน็ตโมเดลเพื่อทำการวิเคราะห์ท่าทางกายภาพบำบัดตามที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ระบบนี้มีการวิเคราะห์ร่างกายมนุษย์จากภาพ 2 มิติเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมในการใช้งาน สำหรับผู้ใช้ประเภทแพทย์จะทำการวิเคราะห์ผลของผู้ป่วยได้จากเว็บแอปพลิเคชันของระบบ โดยระบบทั้งหมดจะทำการส่งข้อมูลผ่าน Data Collector API เพื่อจัดการข้อมูลทั้งการ ซึ่งการจัดการข้อมูลจากผู้ป่วย นักกายภาพบำบัด และแพทย์มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.2 โดยงานวิจัยนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมใดๆ





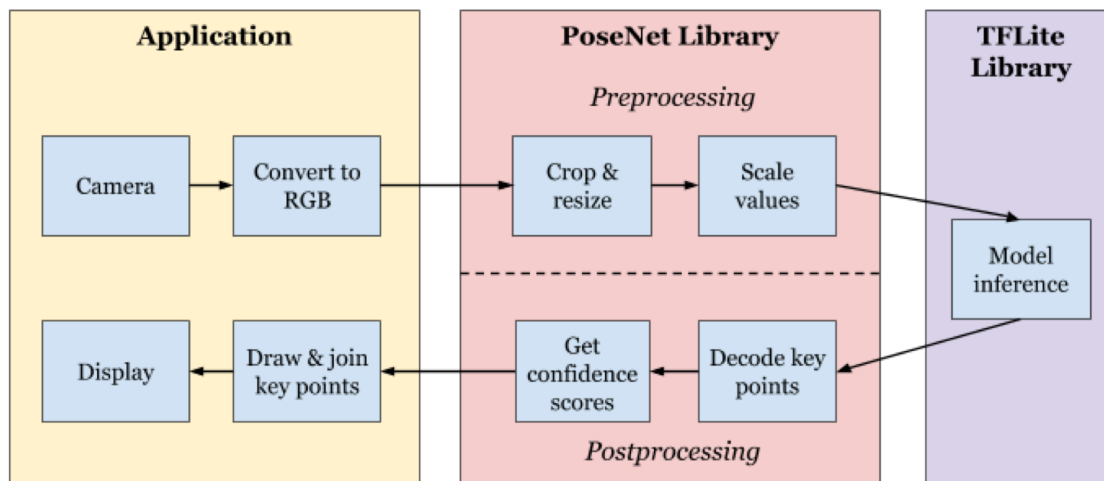
รูปที่ 3.1 การแสดงผลจากการประมวลผลภาพโดย PoseNet Model [16]



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของระบบ

### 3.1.2 การจดจำท่าทางกายภาพ (Posture Recognition)

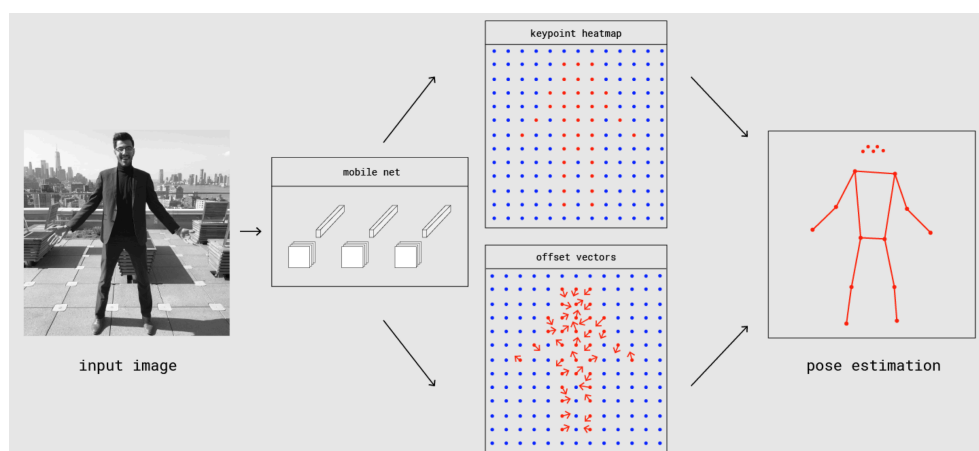
งานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) โดยใช้โพสเน็ตไลบรารี (PoseNet Library) เพื่อใช้ในการจดจำท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของแอปพลิเคชัน, โพสเน็ตไลบรารี และ TFLite Library โดยจะเริ่มจากแอปพลิเคชันนำภาพจากกล้องของสมาร์ตโฟนเข้ามาแล้วทำการแปลงภาพที่นำเข้ามาเป็นภาพลักษณะ RGB หลังจากแปลงภาพเสร็จแล้วแอปพลิเคชันจะทำการส่งภาพที่แปลงได้ไปยังโพสเน็ตไลบรารีเพื่อทำการครอบตัด (Crop) และปรับขนาดของภาพใหม่เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพจากโมเดล (Model Inference) ของ TFLite Library และส่งกลับไปยังโพสเน็ตไลบรารีเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งที่สำคัญของร่างกายและส่งกลับไปยังแอปพลิเคชันเพื่อแสดงตำแหน่งที่สำคัญของร่างกายทั้ง 17 จุด ดังรูปที่ 3.2



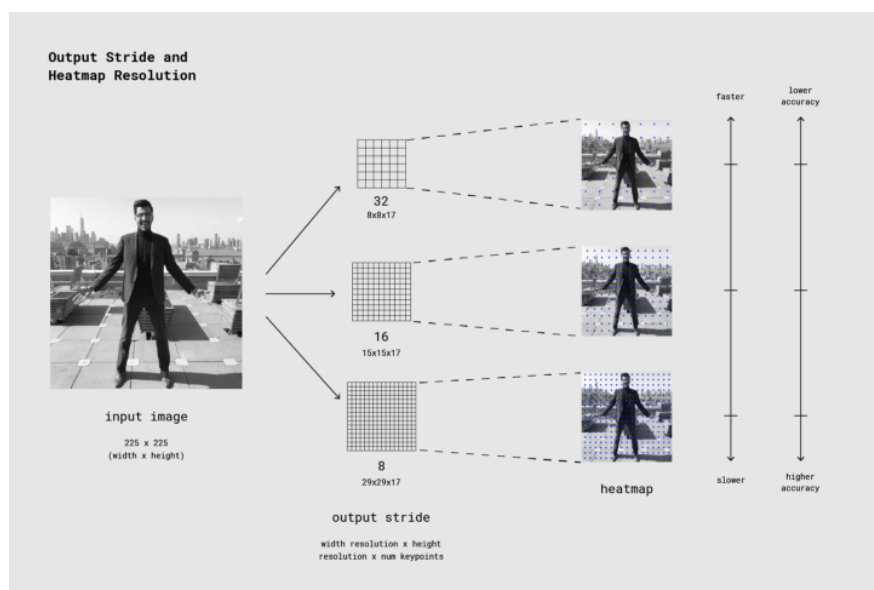
รูปที่ 3.3 แสดงหลักการการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ด้วย TensorFlow [16]

จากคีย์พ้อยฮีทแมป (Keypoint Heatmap) รูปที่ 3.3 ซึ่งผลลัพธ์ที่แม่นยำของการประมวลผลจากฮีทแมปและการชดเชยเวกเตอร์ (Vector Offset) จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของระยะห่างของการประมวลผล (Output Stride) โดยสามารถระบุค่าได้ 3 ค่า คือ 8, 16 และ 32 ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งค่าระยะห่างที่ 8

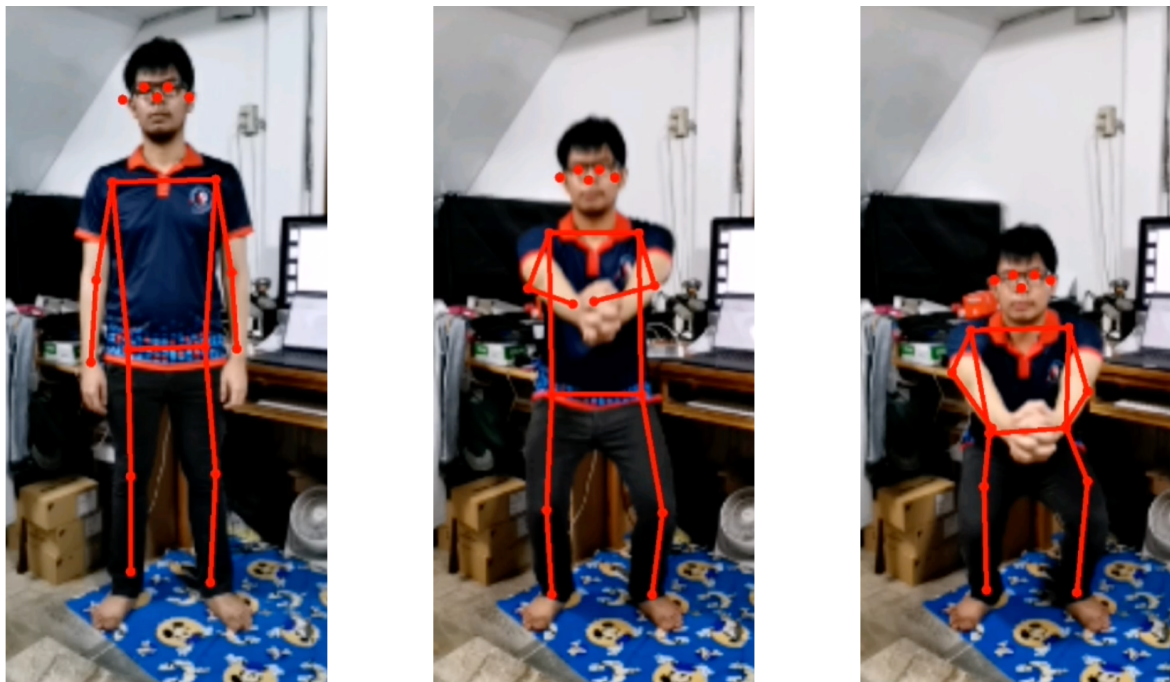
จะมีความแม่นยำสูงที่สุด แต่จะใช้ระยะเวลาการประมวลผลช้าที่สุด แต่ค่าระยะห่างที่ 32 นั้นจะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่เร็วที่สุด แต่มีความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของร่างกายต่ำที่สุด โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าระยะห่างที่ 16 ซึ่งมีระยะเวลาการประมวลผลและความแม่นยำที่เหมาะสม อยู่ในเกณฑ์รับได้ และทำให้ระบบนี้รองรับการใช้งานได้กับอุปกรณ์สมาร์ตโฟนหลายรุ่น การระบุตำแหน่งของร่างกายจะมีทั้งหมด 17 จุด แต่ละตำแหน่งมีดังนี้ จมูก, ตา, หู, หัวไหล่, ข้อศอก, ข้อมือ, กระดูกเชิงกราน, หัวเข่า, และข้อเท้า ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการวิเคราะห์ภาพของโพสเน็ต [16]



รูปที่ 3.5 แสดงระยะห่างในการประมวลผลภาพ [16]



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของการวิเคราะห์ภาพเพื่อค้นหาจุดสำคัญของร่างกาย

### 3.1.3 การเชื่อมต่อของระบบ

งานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ต (Internet) ในการเชื่อมโยงข้อมูลของบัญชีผู้ใช้แต่ละประเภทผ่านสัญญาณ WiFi เนื่องจากระบบถูกออกแบบลักษณะรวมข้อมูลเป็นศูนย์กลางบนระบบฐานข้อมูลเดียวกัน ซึ่งจะทำงานร่วมกันระหว่างแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและเว็บแอปพลิเคชัน โดยจะเชื่อมต่อผ่าน Data Collector API เพื่อรับและส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลซึ่งเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS: Relational Database Management System) ด้วยภาษาเอสคิวแอล (SQL: Structured Query Language) บนฐานข้อมูล MySQL ดังรูปที่ 3.7 ระบบทั้งหมดนี้ถูกติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu LTS รุ่น 14.04.6 ซึ่งทำงานอยู่บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ โดยระบบจะทำการจัดเก็บข้อมูลตำแหน่งส่วนสำคัญของร่างกายทั้ง 17 จุด จากการบันทึกท่าทางกายภาพจากนักกายภาพบำบัดจากแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนจากบัญชีของนักกายภาพบำบัด ซึ่งฐานข้อมูลนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้โครงสร้างที่ยืดหยุ่น รองรับข้อมูลที่ซับซ้อน ส่วนการจัดการข้อมูลนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ ExpressJS ซึ่งเป็น Web Application Framework บน

Node.js โดยทำหน้าที่เป็น Middleware ในการจัดการรีเควส (Request) และการตอบสนอง (Response) ซึ่ง API นี้จะทำงานแบบ RESTful API และรับ-ส่งข้อมูลในรูปแบบ JSON ดังรูปที่ 3.8 เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานมากขึ้นในส่วนของรหัสผ่านของผู้ใช้แต่ละบัญชีจะทำการเข้ารหัสข้อมูลด้วย BASE64



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับ API ไปยังฐานข้อมูล

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost:3010/users/3'. The main content area shows a JSON array containing one object representing a user record.

```
[{"id":3,"role":"PATIENT","username":"patient","password":"patient","first_name":"Patient","last_name":"User","gender":"MALE","age":0,"height":0,"weight":0,"bmi":0,"position":"","institution":""}]
```

รูปที่ 3.8 แสดงข้อมูลที่ผู้ใช้สื่อสารในรูปแบบ json ระหว่าง front-end กับ API

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

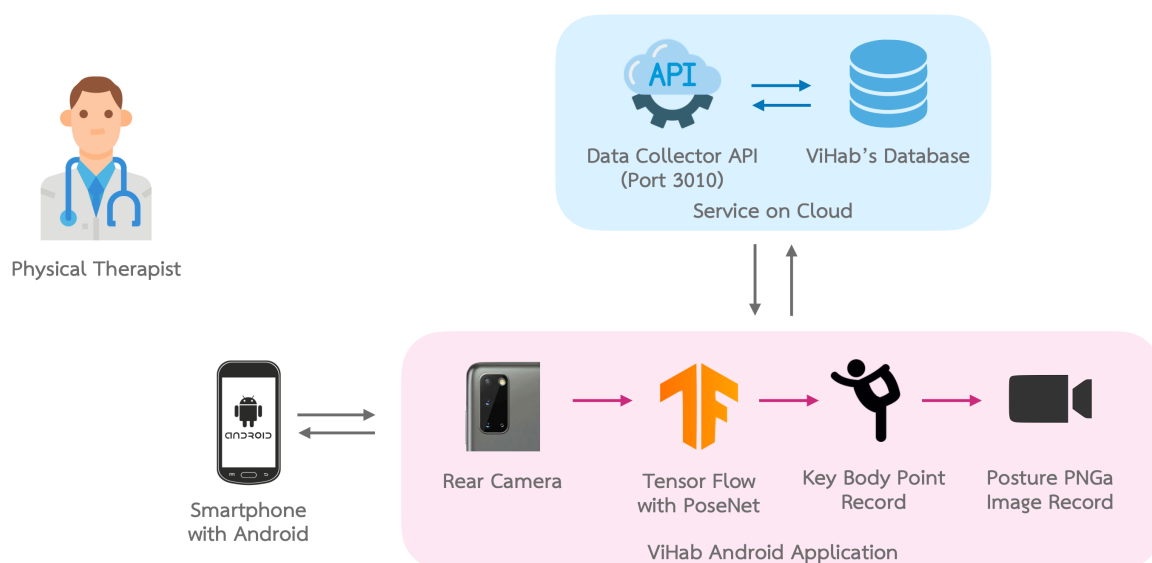
งานวิจัยนี้มีการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการพัฒนาระบบ ดังนี้

- 1) TensorFlow with PoseNet Model เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์โดยค้นหาตำแหน่งของส่วนสำคัญของร่างกายมนุษย์ทั้ง 17 จุด โดยเริ่มจากจมูก ตา หู จนถึงข้อเท้า โดย TensorFlow ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม อาทิ แอนดรอยด์, ไอโอเอส และเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) โดยจะประมวลผลได้ทันทีโดยการนำเข้าได้ทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวจากกล้องของสมาร์ทโฟนหรือเว็บแคม ภาพที่นำเข้านั้นจะเป็นการใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ของโพสเน็ตโมเดล ซึ่งจะใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน สำหรับบัญชีผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วย
- 2) Android Studio เป็น IDE Tool (Integrated Development Environment) ที่ใช้สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับสมาร์ทโฟนบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยรองรับทั้งภาษา Java และภาษา Kotlin นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ (GUI: Graphic User Interface) ที่สามารถแสดงตัวอย่างให้เห็นได้ทันทีโดยไม่ต้องรันแอปพลิเคชันบนโปรแกรมจำลอง (Emulator)
- 3) Visual Studio Code เป็น Editor สำหรับพัฒนาส่วนของเว็บแอปพลิเคชันและส่วนของ Data Collector API (Application Programming Interface) ของงานวิจัยนี้
- 4) MySQL Server Community เป็น Open Source ที่ใช้ในการจัดการฐานข้อมูลที่มีฟังก์ชัน (Function) การทำงานแบบ Relation Database Management System (RDBMS) โดยภาษา Structured Query Language (SQL) โดยข้อมูลทั้งหมดของระบบจะเก็บอยู่ในฐานข้อมูลนี้
- 5) Cicool CRUD Builder เป็นเฟรมเวิร์ก (Framework) ใช้สำหรับสร้างเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบัญชีผู้ใช้ประเภทแพทย์ เพื่อให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้ป่วยได้ และสามารถจัดการตารางการออกกำลังกายของผู้ป่วยได้
- 6) ExpressJS เป็นเฟรมเวิร์กที่ทำงานบน Node.js ใช้พัฒนา Data Collector API สำหรับรับและส่งข้อมูลแบบ RESTful API ระหว่างแอปพลิเคชันและฐานข้อมูลของระบบ

### 3.3 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ

#### 3.3.1 ผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ใช้งานประเภทผู้ป่วย

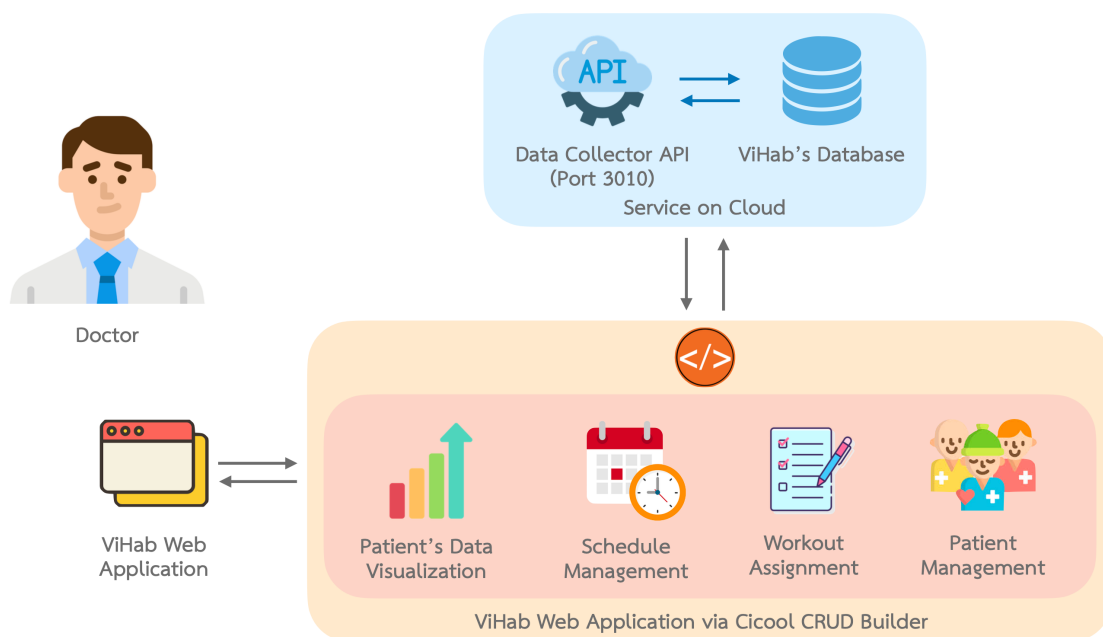
ผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยจะใช้งานระบบผ่านแอปพลิเคชัน ViHab ที่ถูกติดตั้งบนสมาร์ตโฟนบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งแอปพลิเคชันจะทำการรับภาพจากกล้องของสมาร์ตโฟน จากนั้นจะทำการนำข้อมูลภาพที่ได้รับไปประมวลผลเพื่อวิเคราะห์หาจุดสำคัญของร่างกาย และทำการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อดึงข้อมูลท่ากายภาพบำบัดและข้อมูลผู้ใช้โดยส่งผ่าน Data Collector API ไปยังเซิร์ฟเวอร์ของฐานข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงผลในแอปพลิเคชันสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่ากายภาพบำบัดของผู้ป่วยในลำดับถัดไปดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสำหรับผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัด

### 3.3.3 ผู้ใช้งานประเภทแพทย์

ผู้ใช้งานประเภทแพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์จะใช้งานระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชันของ ViHab โดยเข้าถึงด้วยเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งเว็บแอปพลิเคชันจะทำการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อดึงข้อมูลคะแนนการถ่ายภาพบำบัดและข้อมูลผู้ใช้โดยส่งผ่าน Data Collector API ไปยังเซิร์ฟเวอร์ของฐานข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลจากนั้นทำการสรุปผลเป็นข้อมูลเชิงกราฟ เพื่อให้แพทย์สามารถวินิจฉัยได้ รวมถึงแพทย์ยังสามารถจัดการตารางการกายภาพของผู้ป่วยผ่านระบบได้อีกด้วย ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสำหรับผู้ใช้งานประเภทแพทย์

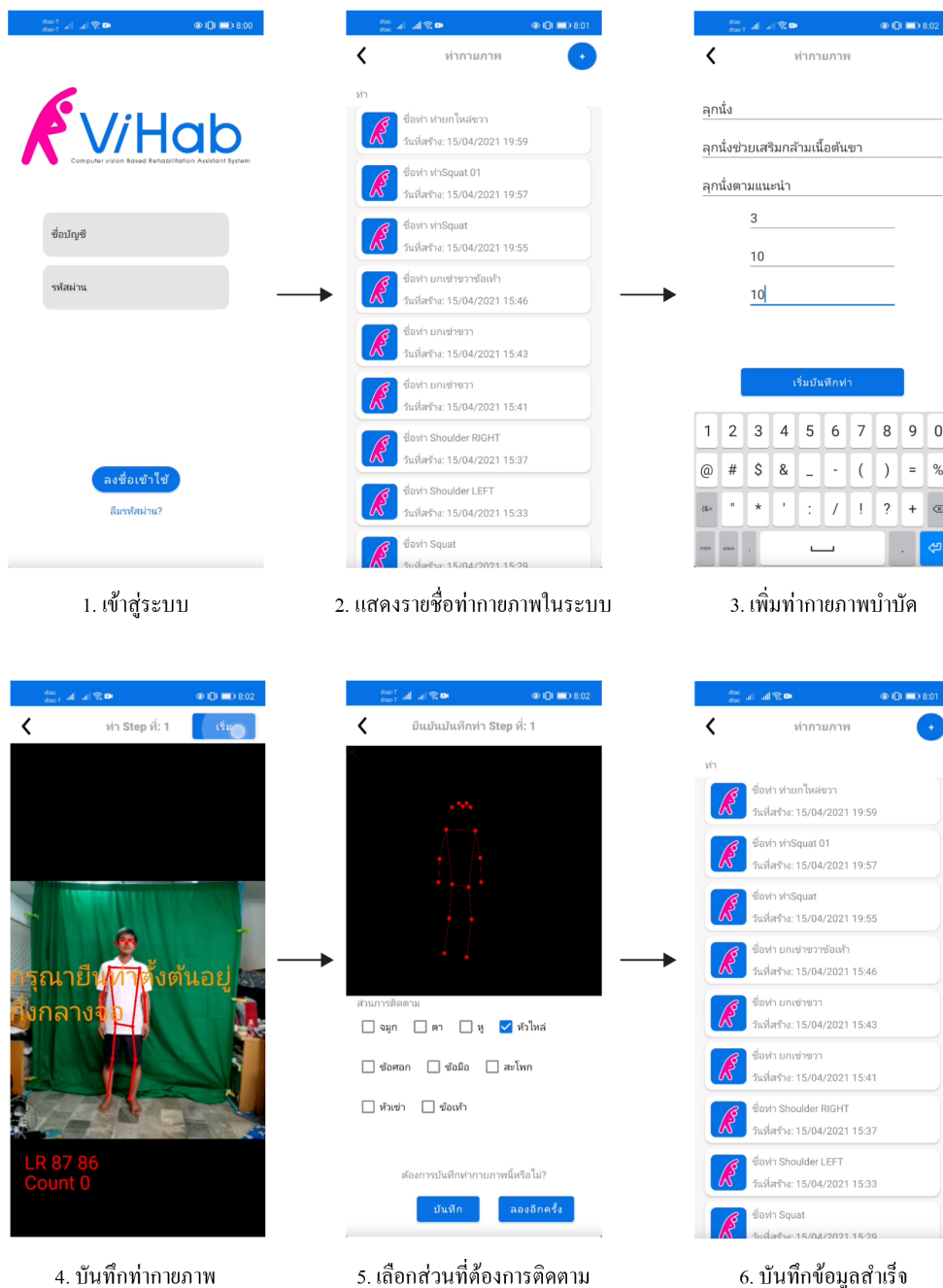


### 3.4 ส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของผู้ใช้ในแต่ละประเภท จึงทำให้มีแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งโดยปกติผู้ใช้จะใช้การตรวจจับท่าทางโดย Accelerometer ที่ถูกติดตั้งพร้อมใช้งานในสมาร์ตโฟน แต่สำหรับงานวิจัยนี้คุณสมบัติหลักของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนคือการนำเข้าท่ากายภาพบำบัดจากท่าทางของผู้ป่วยและนักกายภาพบำบัด ซึ่งจะใช้การประมวลผลภาพเพื่อค้นหาจุดสำคัญของร่างกายทั้ง 17 จุด และทำการเปรียบเทียบหรือบันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูลของระบบ และเว็บแอปพลิเคชันใช้สำหรับแพทย์เพื่อดูผลการกายภาพบำบัดประกอบการวินิจฉัยรายงานความก้าวหน้าของผู้ป่วยจึงถูกแสดงผลในรูปแบบของเว็บดังรูปที่ 3.11 ซึ่งแอปพลิเคชันทั้ง 2 ประเภท มีรายละเอียดของผู้ใช้แต่ละประเภทดังต่อไปนี้

### 3.4.1 แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

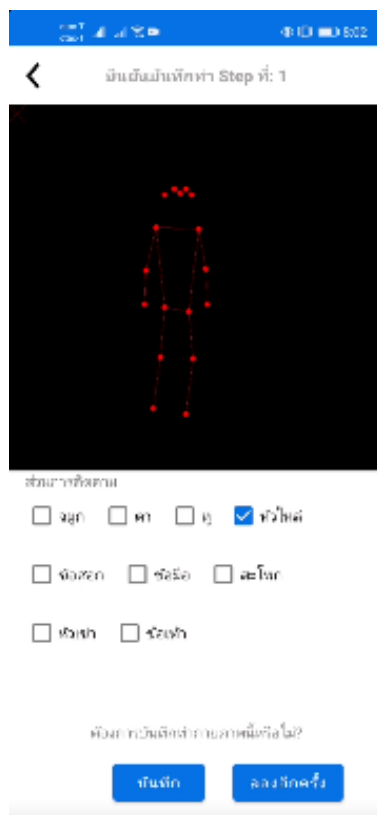
#### 3.4.1.1 แอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัด



รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัด

การออกแบบระบบส่วนของผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดจะเน้นการทำงานในส่วนการจัดการทำสำหรับกายภาพบำบัด เพื่อให้ให้นักกายภาพบำบัดสามารถเพิ่มหรือลบท่ากายภาพได้ตามต้องการ โดยท่ากายภาพบำบัดที่ถูกเพิ่มเข้าสู่ระบบจะถูกประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ทำงานอยู่บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และบันทึกลงบนฐานข้อมูลของระบบ ซึ่งนักกายภาพบำบัดสามารถกำหนดขั้นตอนของท่ากายภาพนั้น ได้ด้วยการกำหนดจำนวนขั้นตอนของท่ากายภาพบำบัดก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการบันทึกท่า ดังรูปที่ 3.12 นอกจากนี้นักกายภาพบำบัดยังสามารถระบุตำแหน่งของร่างกายเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถติดตาม (Track) เฉพาะจุดสำคัญของร่างกายตามที่นักกายภาพกำหนดได้หลังแอปพลิเคชันได้จับ (Capture) ท่ากายภาพแต่ละขั้นตอนสำเร็จ รูปที่ 3.13 ระบบจะทำการบันทึกท่าทั้งหมดลงบนฐานข้อมูล โดยท่ากายภาพบำบัดทั้งหมดที่บันทึกลงบนฐานข้อมูลจะถูกแสดงบนแอปพลิเคชันของผู้ป่วยและแพทย์เพื่อใช้ประโยชน์จากท่ากายภาพที่นักกายภาพบำบัดได้บันทึกไว้

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการบันทึกท่ารายละเอียดของท่ากายภาพบำบัด



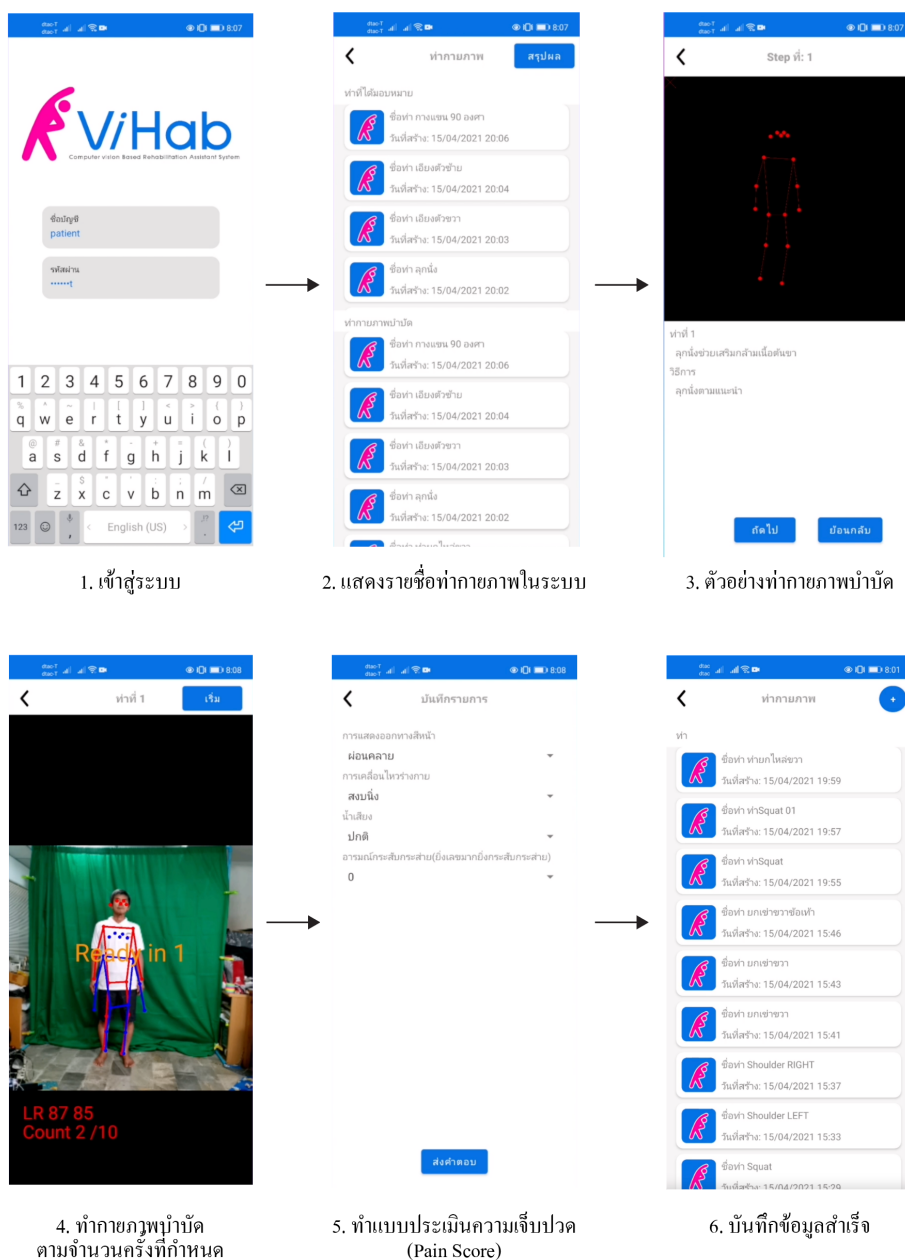
รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงตำแหน่งของร่างกายที่ถูกบันทึกและเลือกส่วนการติดตาม

#### 3.4.1.2 แอปพลิเคชันสำหรับผู้ประเภผู้ป่วย

ส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้สำหรับผู้ประเภผู้ป่วยถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ป่วยเข้าถึงการกายภาพบำบัดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นระบบในส่วนของผู้ใช้งานประเภผู้ป่วยจึงถูกออกแบบมาให้มีความยืดหยุ่นของสถานที่และเวลาในการรับกายภาพบำบัดด้วยการใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์บนสมาร์โฟนที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์อีกทั้งยังไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมแต่อย่างใด การประมวลผลการกายภาพบำบัดนั้นจะมีการเก็บผลจำนวนครั้งที่ถูกต้อง จำนวนครั้งที่ไม่สามารถทำได้ในระยะเวลาที่กำหนด ระยะเวลาในการทำกายภาพบำบัดในแต่ละขั้นตอน รวมถึงการบันทึกอาการเจ็บปวด (Pain Score) หลังจากทำกายภาพบำบัดเสร็จ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกไปยังฐานข้อมูลของระบบเพื่อให้แพทย์

สามารถเข้าถึงเพื่อประกอบการวินิจฉัยในลำดับถัดไปดังรูปที่ 3.14 ความสามารถของแอปพลิเคชันในส่วนของผู้ใช้ประเภทผู้ป่วยมีรายละเอียดดังนี้

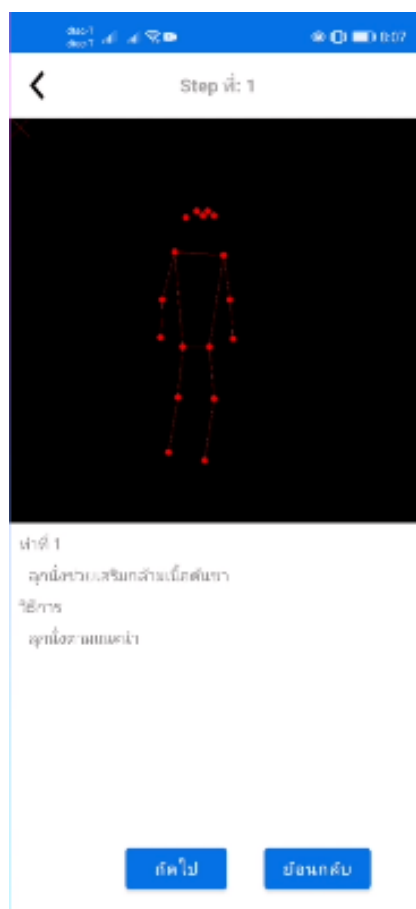
- มีคำแนะนำและคอยให้กำลังใจผู้ป่วย เพื่อเพิ่มความสนใจในการออกกำลังกาย
- มีการแนะนำการออกกำลังกายให้ถูกทำตามหลักการกายภาพบำบัด
- มีการติดตามอาการเจ็บปวดของผู้ป่วย (Pain Score) ด้วยแบบสอบถามอย่างง่าย
- มีการจับองศาการทำมุมตามข้อต่างๆ ของร่างกาย
- มีรายงานสรุปความก้าวหน้าของการออกกำลังกายรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน
- มีการชดเชยการออกกำลังกายที่ขาดไปได้
- ผู้ป่วยออกกำลังกายได้ตามที่แพทย์กำหนดได้



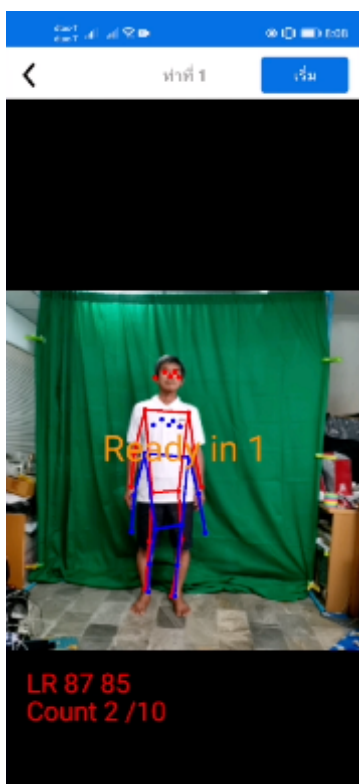
รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ประเภทผู้ป่วย

ผู้ป่วยสามารถดูขั้นตอนการทำกายภาพในท่าต่างๆ ได้ก่อนเริ่มกายภาพบำบัดโดยจะมีจุดและเส้นสีแดงเพื่อแสดงลักษณะการปฏิบัติในแต่ละท่า ดังรูปที่ 3.15 และหลังจากนั้นจะเป็นการเริ่มการทำกายภาพบำบัดโดยผู้ป่วยจะมีปฏิสัมพันธ์กับระบบด้วยการทำกายภาพบำบัดตามท่าทางที่นักกายภาพบำบัดได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูลข้อมูลของระบบเท่านั้น ซึ่งในแต่ละท่าจะมีการกำหนดจุดสำคัญของร่างกายที่

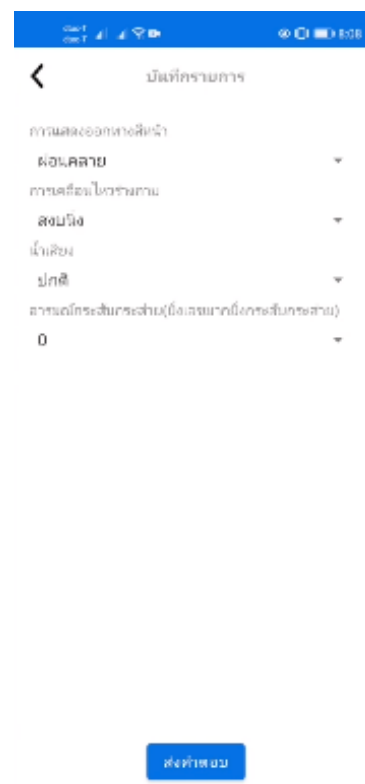
แอปพลิเคชันจะติดตามเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของท่ากายภาพบำบัดของผู้ป่วยว่าตรงตามที่ ถูกบันทึกไว้หรือไม่ โดยแอปพลิเคชันจะทำการสร้างจุดสำคัญของร่างกายทั้ง 17 จุด พร้อมทั้งเส้น (Edge) สีน้ำเงินเพื่อแสดงให้เห็นถึงท่ากายภาพบำบัดต้นแบบที่ถูกบันทึกไว้ให้เป็นแนวทางสำหรับผู้ช่วยในการ ท่ากายภาพบำบัดดังรูปที่ 3.16 ระบบจะทำการประเมินค่าจากจุดที่นักกายภาพกำหนดไว้ในแต่ละขั้นตอน โดยกำหนดค่าสำหรับเปรียบเทียบจุดสำคัญของร่างกายแต่ละจุดที่ 10 และ -10 ของจุดสำคัญที่นำเข้ามาจาก แอปพลิเคชันของผู้ป่วย เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความยืดหยุ่นต่อการเปรียบเทียบระหว่างค่าท่าทางของ ผู้ป่วย และค่าท่าทางของนักกายภาพบำบัดที่ถูกบันทึกไว้ เนื่องจากปัจจุบัน PoseNet Model ยังไม่สามารถ คำนวณส่วนสูงของมนุษย์ได้จึงอาจมีความแตกต่างทางกายภาพระหว่างค่าต้นแบบกับผู้ป่วย และเมื่อ ผู้ป่วยได้ทำการกายภาพเสร็จสิ้น แอปพลิเคชันจะไปสู่หน้าแบบประเมินความเจ็บปวด เพื่อให้ผู้ป่วยบันทึก ความเจ็บปวดในการกายภาพบำบัดครั้งนั้นเข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนของท่ากายภาพบำบัดที่ผู้ป่วยต้องปฏิบัติตาม



รูปที่ 3.16 แสดงหน้าจอแอปพลิเคชันขณะทำ  
กายภาพบำบัด



รูปที่ 3.17 แสดงแบบสอบถามเกี่ยวกับความ  
เจ็บปวด (Pain Score)

ทั้งนี้การสรุปผลการกายภาพบำบัดของผู้ป่วยจะแสดงผลบนแอปพลิเคชันและเข้าสู่หน้าแบบสอบถามเกี่ยวกับความเจ็บปวดในการกายภาพแต่ละครั้ง เพื่อสำรวจและบันทึกอาการลงฐานข้อมูล และแสดงข้อมูลเหล่านี้ให้กับนักกายภาพบำบัดหรือแพทย์ผู้ดูแลสำหรับประกอบการวินิจฉัยในลำดับถัดไป



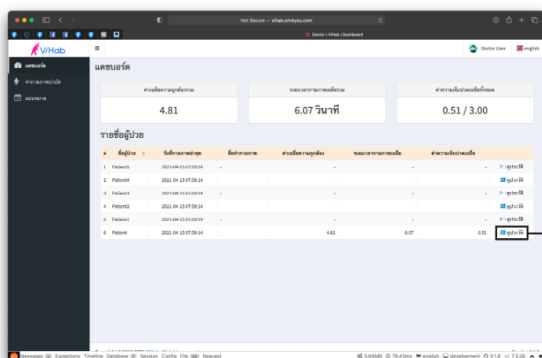
### 3.4.2 เว็บแอปพลิเคชัน

การใช้งานสำหรับแพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ผู้วินิจฉัยโรค จะถูกพัฒนาในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้สามารถแสดงผลข้อมูลผู้ป่วยได้อย่างชัดเจน และง่ายต่อการใช้งาน โดยแพทย์สามารถสร้าง ปรับ และมอบหมายแผนการกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยได้ตามความเหมาะสม ดังรูปที่ 3.18

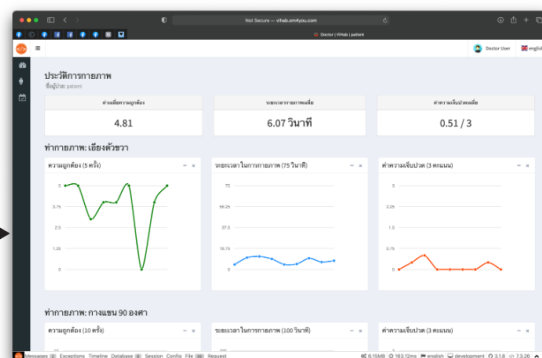
แพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ผู้วินิจฉัยโรคสามารถใช้งานระบบมีรายละเอียดดังนี้

- สามารถดูความถี่ในการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยแต่ละรายได้
- สามารถดูคะแนนความเจ็บปวด (Pain Score) ของผู้ป่วยได้
- สามารถดูรายงานระยะเวลาและจำนวนครั้งที่ผู้ป่วยออกกำลังกายในแต่ละชุดได้
- สามารถกำหนดเป้าหมายการออกกำลังกายในแต่ละวันให้แก่ผู้ป่วยได้
- สามารถดูอัตราความก้าวหน้าของผู้ป่วยได้

แดชบอร์ด

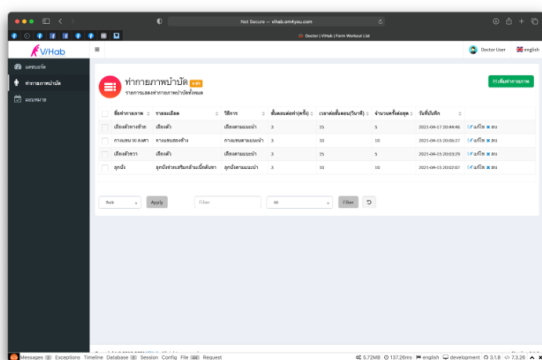


หน้าหลักของแดชบอร์ด



ประวัติการกายภาพ

ทำกายภาพบำบัด

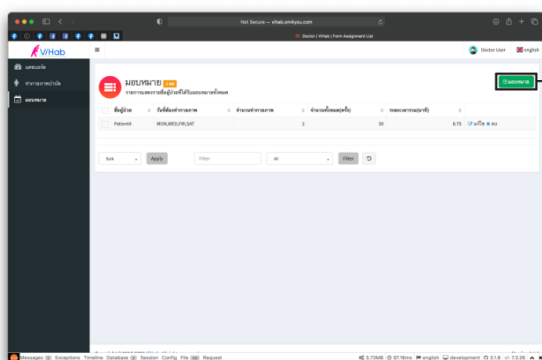


รายการทำกายภาพบำบัด

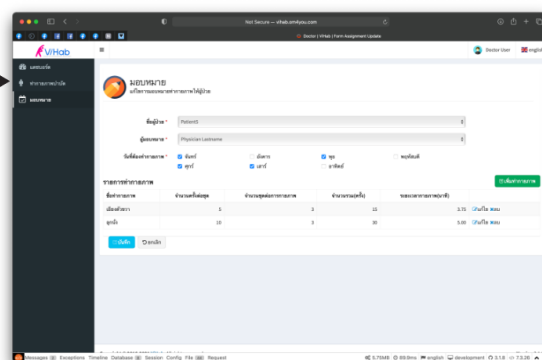


ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน ViHab สำหรับเพิ่มทำกายภาพ

มอบหมาย



รายการมอบหมายทำกายภาพบำบัด



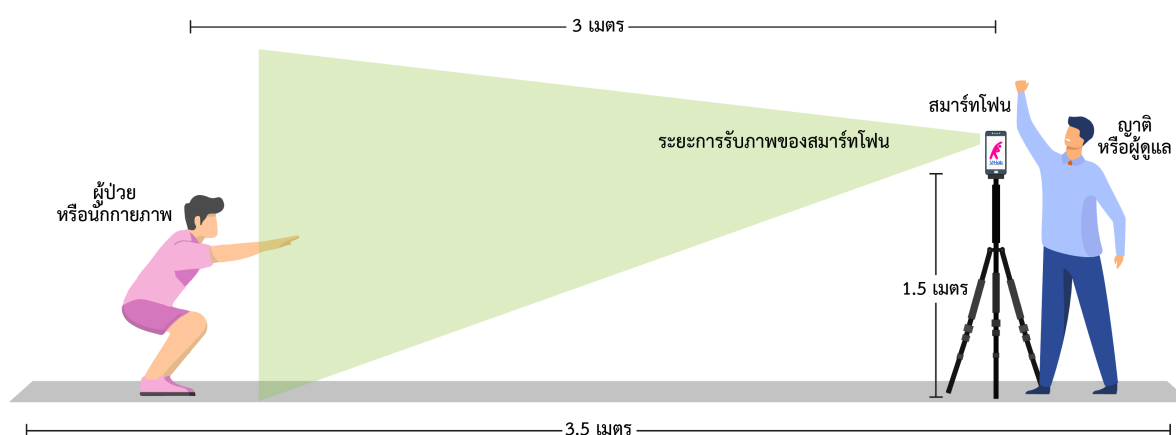
มอบหมายทำกายภาพให้กับผู้ป่วย

รูปที่ 3.18 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ประเภทแพทย์

### 3.5 การปรับตำแหน่งสภาพแวดล้อม

เพื่อให้การวิเคราะห์และประมวลผลภาพของระบบมีประสิทธิภาพสูง สำหรับผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยจำเป็นต้องปรับตำแหน่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมก่อนเริ่มใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ขาตั้งกล้องขนาดสูง 150 เซนติเมตรในการตั้งสมาร์ทโฟน เพื่อยึดตำแหน่งการรับภาพให้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมเสมอ และขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้จะมีขนาดกว้าง 1.5 เมตร และยาว 3.5 เมตร โดยตำแหน่งของสมาร์ทโฟนและผู้ป่วยจะอยู่ในระยะ 3 เมตร ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งเป็นระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับระบบเนื่องจากระบบสามารถรับภาพผู้ป่วยหรือนักกายภาพบำบัดได้เต็มตัวและยังมีพื้นที่ไว้ให้เคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างสะดวก อีกทั้งญาติหรือผู้ดูแลยังสามารถช่วยแนะนำผู้ป่วยจากการดูท่าที่แนะนำบนหน้าจอของแอปพลิเคชันได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้การรับผ่านทางกล้องด้านหลังของสมาร์ทโฟน และเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย ทางผู้วิจัยจึงออกแบบระบบให้ญาติผู้ดูแลเข้ามาช่วยแนะนำท่าการกายภาพบำบัดตามที่ระบบแสดงในหน้าจอ และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการกายภาพบำบัดให้กับผู้ป่วยตามคำแนะนำของนักกายภาพบำบัดที่เข้าร่วมการทดลองงานวิจัย



รูปที่ 3.19 แสดงการจัดตำแหน่งของสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

## บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการให้อาสาสมัครและนักกายภาพบำบัดใช้แอปพลิเคชันเพื่อทำการค้นหาจุดสำคัญบนร่างกายทั้ง 17 จุด พบว่าการทำงานของ PoseNet นั้นมีการรู้จำจุดสำคัญบนร่างกายที่ค่อนข้างแม่นยำ แม้ว่าจะเป็นท่าที่มีความซับซ้อนระหว่างแขนกับตัวก็ตาม โดยผู้ใช้สามารถใช้งานระบบจากสมาร์ตโฟนได้ง่าย เนื่องจากสมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานส่วนตัวอยู่แล้ว และเพื่อกระตุ้นให้ผู้ใช้รับการกายภาพบำบัดอย่างสม่ำเสมอตามตารางการกายภาพบำบัดโดยบุคลากรทางการแพทย์ จึงมีการให้คะแนนแก่ผู้ใช้ และผู้ใช้จะต้องทำแบบประเมินความเจ็บปวด (Pain Score) หลังจากได้ทำการกายภาพบำบัดเสร็จสิ้นทุกครั้ง ทั้งนี้ระบบจะทำการบันทึกความถูกต้อง ระยะเวลา และแบบประเมินความเจ็บปวด (Pain Score) ในการทำกายภาพบำบัดไปยังฐานข้อมูลและแสดงผลไปยังแพทย์ผู้ดูแลให้สามารถวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยได้

งานวิจัยนี้มีการประเมินผลประสิทธิภาพการวิเคราะห์ท่ากายภาพผ่านระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) โดยการทดลองจับการกายภาพบำบัดของผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วย รวมถึงเสถียรภาพของการเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนกับเซิร์ฟเวอร์ที่มีการสื่อสารผ่าน Data Collector API และประเมินผลความสามารถในการใช้งานระบบจากผู้ใช้งานทั้ง 3 ประเภท คือ แพทย์ นักกายภาพบำบัด และผู้ป่วย โดยวัดจากระยะเวลาการเรียนรู้ขั้นตอนการใช้งานของผู้ใช้งานจนถึงการใช้งานจริงตามภารกิจของผู้ใช้งานแต่ละประเภทที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ให้ สำหรับการอบรมการใช้งานผู้วิจัยเป็นผู้ให้การฝึกอบรมขั้นตอนการใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์ที่พัฒนาขึ้นในชื่อของ ViHab และผู้ร่วมการทดลองอยู่ในบทบาทของผู้รับการฝึกอบรมตามบริบทของผู้ใช้แต่ละประเภท โดยผู้วิจัยจะวัดผลหลังจากการใช้งาน โดยให้ผู้ร่วมการทดลองการทำแบบสอบถาม USE Questionnaire [62] เพื่อวัดความอรรถประโยชน์ (Usefulness) ความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) ความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และความพึงพอใจ (Satisfaction) รวมถึงการทำแบบสอบถามเกี่ยวกับคุณค่าเฉพาะทาง (Value for Specific Task) และข้อเสนอทั้งเชิงบวกและเชิงลบของผู้ร่วมการทดลองทุกคน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

### สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดไว้ดังนี้

**n** แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

$\bar{X}$  แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

**S.D.** แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เกณฑ์การแบ่งระดับคะแนนมาตรฐานแบ่งออกเป็น 5 ระดับ โดยนำค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) สำหรับจัดระดับความพึงพอใจตามแนวคิดของเบสต์ (Best) [62] โดยมีรายละเอียดการแบ่งระดับดังนี้

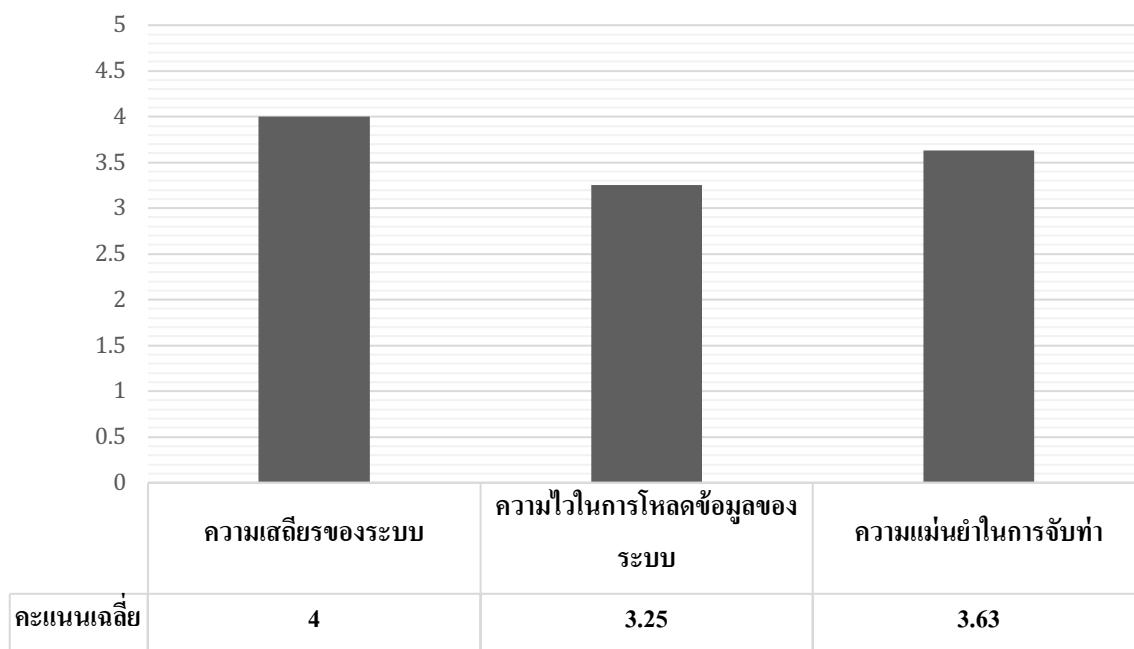
คะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
4.51 – 5.00	มากที่สุด
3.51 – 4.50	มาก
2.51 – 3.50	ปานกลาง
1.51 – 2.50	น้อย
1.00 – 1.50	น้อยที่สุด

#### 4.1 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

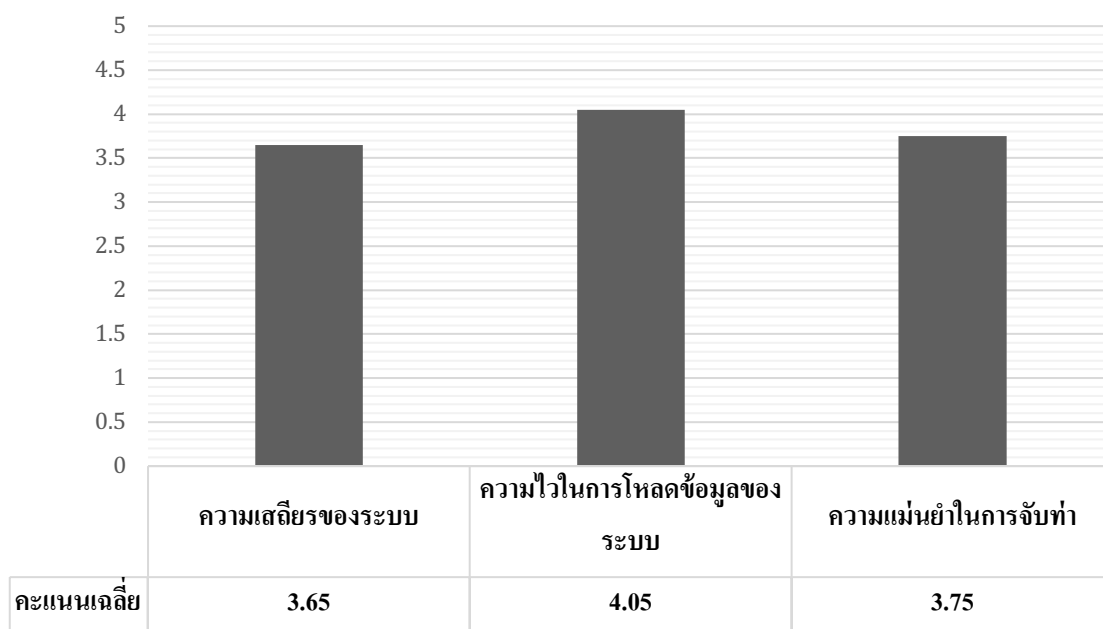
การประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งานของระบบของผู้เข้าร่วมทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผู้ใช้ระบบบนแอปพลิเคชัน ViHab บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ คือ ผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัด และผู้ป่วย และผู้ใช้ระบบบนเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) คือ ผู้ใช้ประเภทแพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ โดยระบบทั้ง 2 ส่วนจะมีรูปแบบการใช้งาน การออกแบบส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) ที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง แต่มีการทำงานร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ซึ่งการสื่อสารจะส่งผ่านระบบ Server และ Client จำนวนของผู้ใช้งาน ณ เวลาเดียวกันจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของการทำงานของการประมวลผลของข้อมูล

การประเมินผลของระบบส่วนผู้ใช้ประเภทนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยจะวัดผลจากการประมวลผลตำแหน่งของจุดสำคัญบนร่างกายทั้ง 17 จุด เพื่อให้ระบบสามารถประมวลผลและตอบสนองได้ตามการเคลื่อนไหวร่างกาย โดยให้ผู้ใช้ทดลองติดตั้งแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ผล

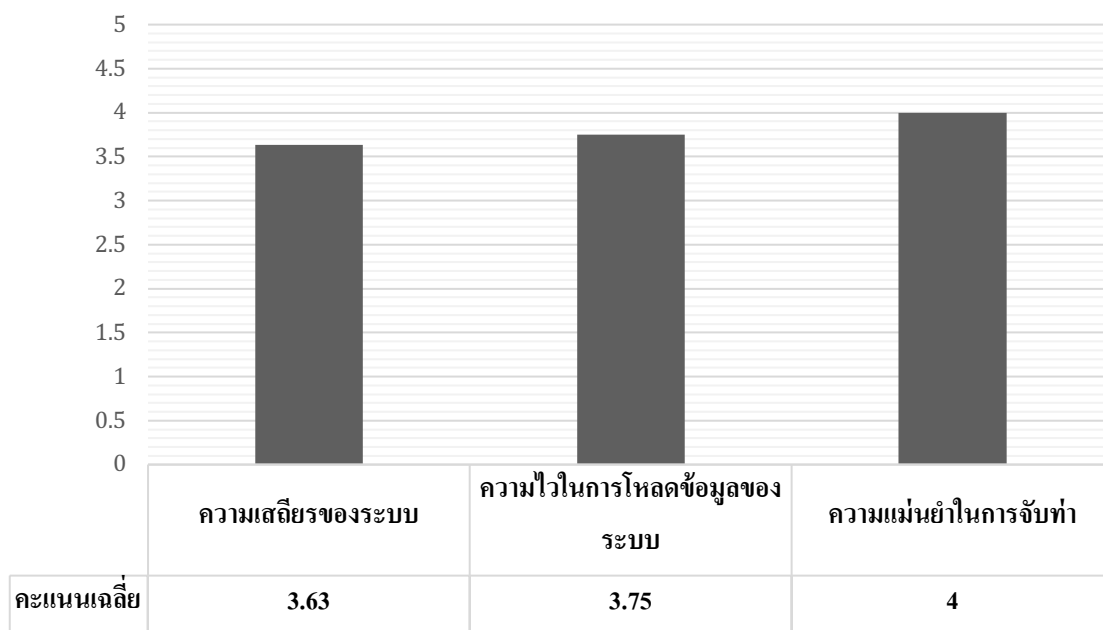
การประเมินผลของระบบส่วนผู้ใช้ประเภทแพทย์หรือนักการทางการแพทย์จะประเมินผลจากความไวในการรับ-ส่งข้อมูล และความถูกต้องของข้อมูล



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากนักกายภาพบำบัด (n = 8)

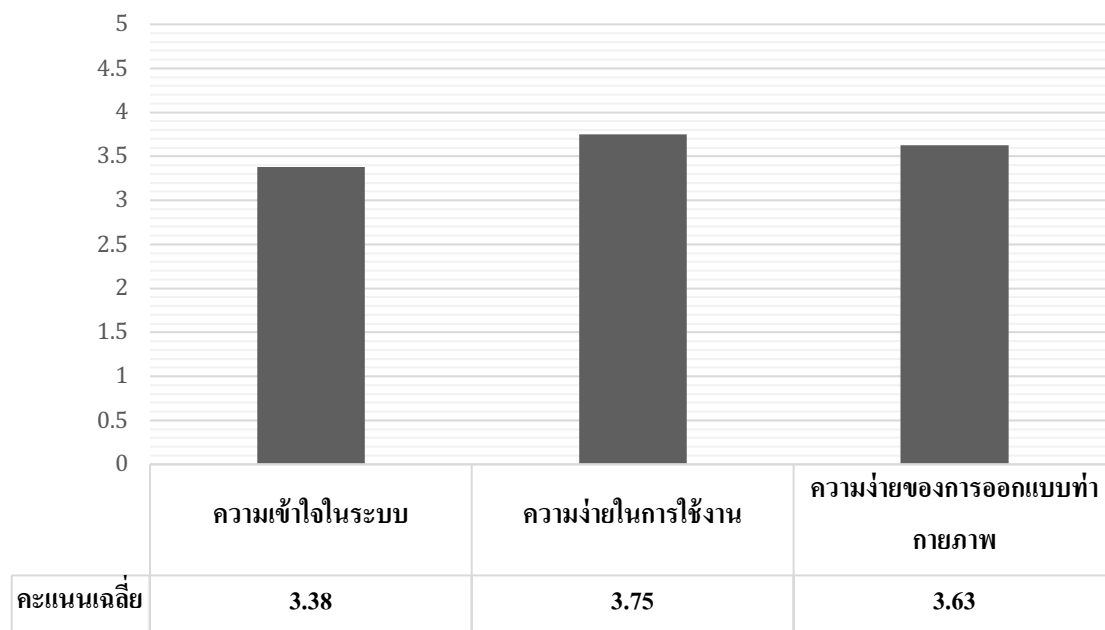


รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากอาสาสมัคร (n = 20)

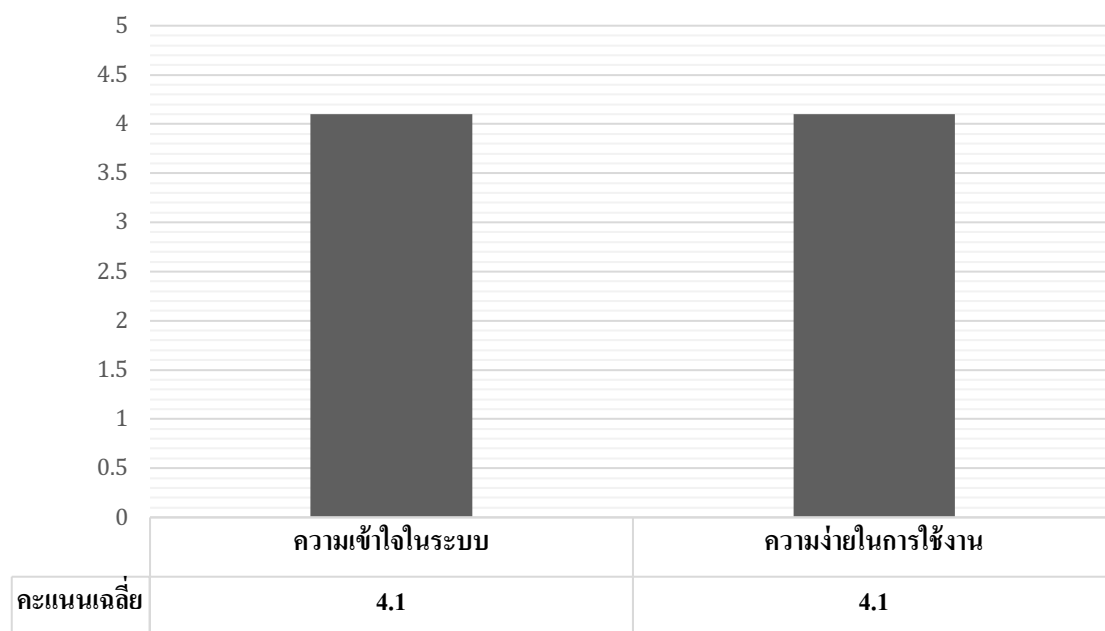


รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากแพทย์ผู้ใช้งานระบบ (n = 8)

## 4.2 การประเมินความสามารถในการใช้งานระบบ

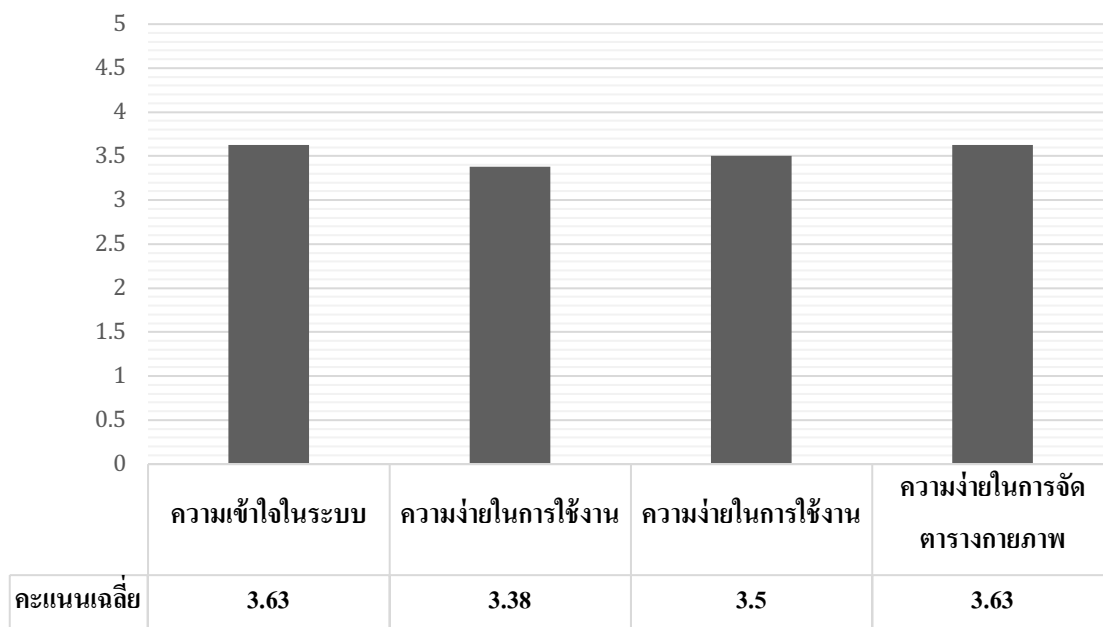


รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของนักถ่ายภาพ (n = 8)



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของอาสาสมัคร (n = 20)





รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการประเมินความสามารถของผู้ใช้งานในการใช้งานระบบของแพทย์ (n = 8)

### 4.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงกายภาพ

การเก็บผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงกายภาพจะมีแบบสอบถามสำหรับประเมินความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในอาสาสมัคร โดยแบบการประเมินจะถูกแบ่งเป็น 4 ลักษณะ โดยแต่ละลักษณะจะมีระดับการประเมิน 4 ระดับ แบ่งเป็นรายละเอียดดังนี้

การแสดงออกทางสีหน้า

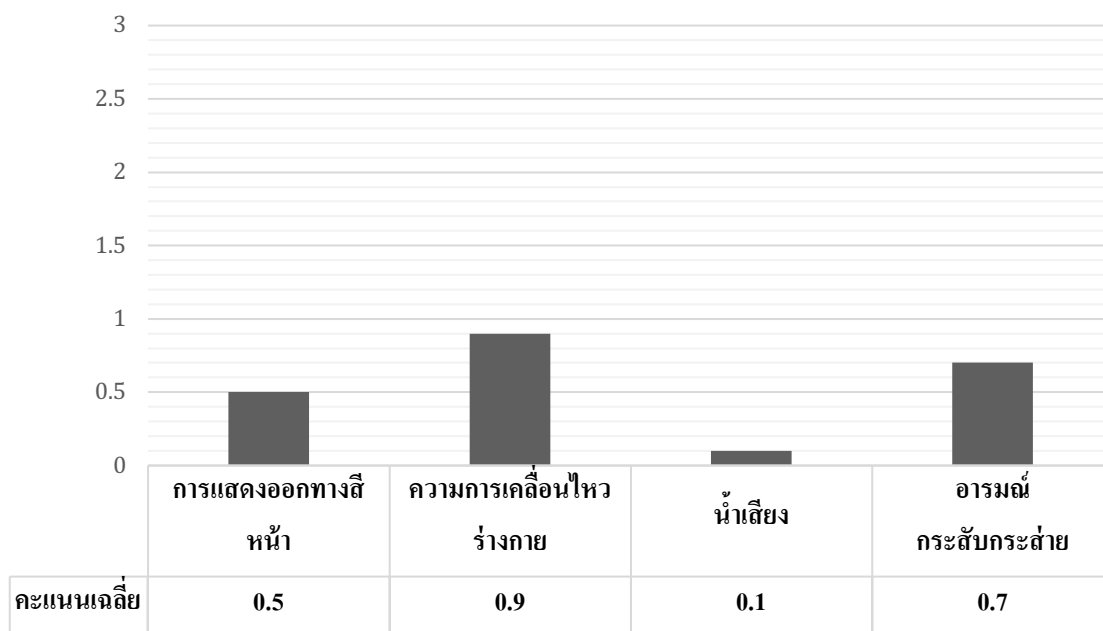
- 0) ผ่อนคลาย
- 1) หน้านี้วี่ขมวด
- 2) หลับตาแน่น
- 3) กัดฟัน

### การเคลื่อนไหวร่างกาย

- 0) สงบนิ่ง
- 1) เกร็งกล้ามเนื้อ
- 2) บิดไปบิดมา
- 3) กำมือแน่น

### น้ำเสียง

- 0) ปกติ
- 1) ร้องครวญคราง
- 2) ร้องไห้
- 3) ร้องกรีด



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงผลการประเมินความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อของอาสาสมัคร (n = 20)

#### 4.4 การประเมินความแม่นยำในการทำกายภาพของระบบ

การประเมินความแม่นยำในการทำกายภาพของระบบนักกายภาพบำบัดได้ทำการแบ่งทำกายภาพทั้งหมดออกเป็น 4 ท่าในการทดลอง ดังนี้

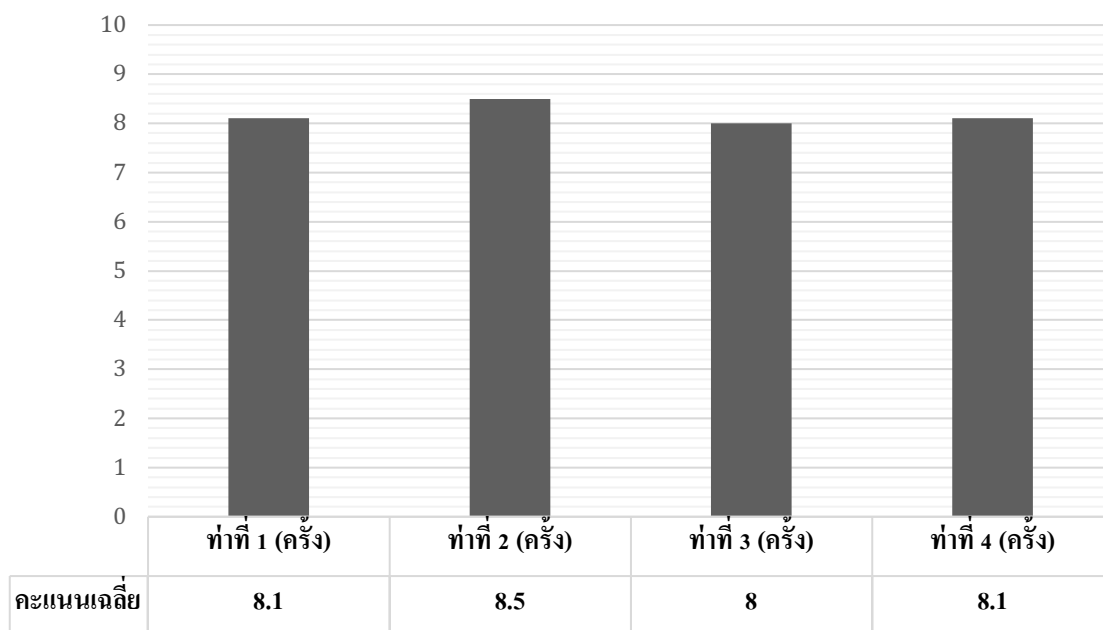
ท่าที่ 1 ท่าลุกนั่ง

ท่าที่ 2 ท่ากางแขน 90 องศา

ท่าที่ 3 ท่าเอียงตัวซ้าย

ท่าที่ 4 ท่าเอียงตัวขวา

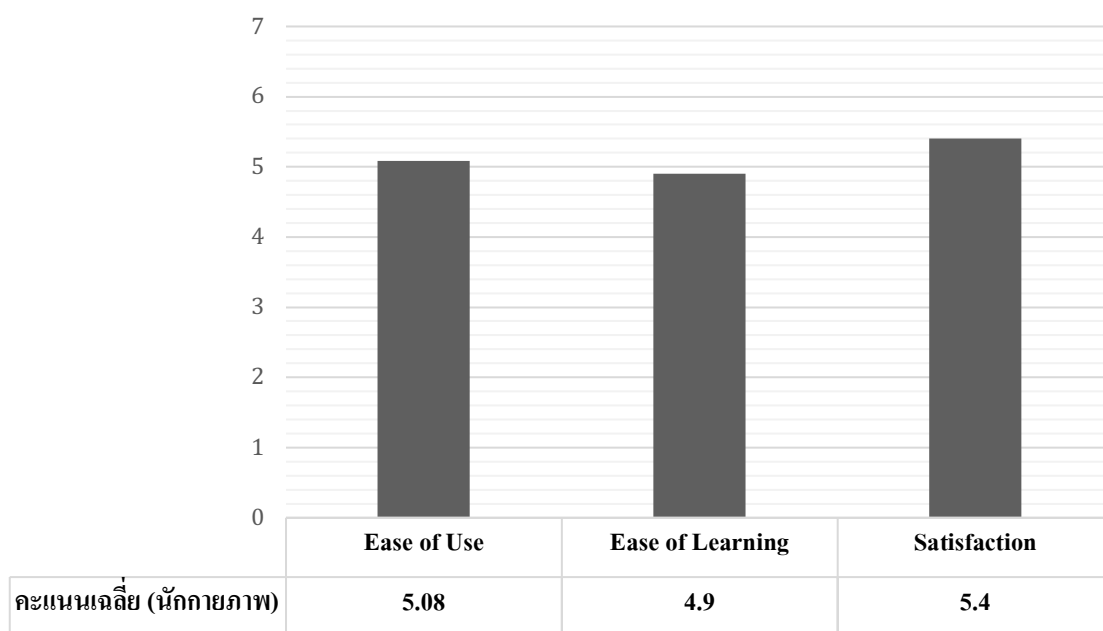
โดยแต่ละท่าจะมีการประเมินการทำกายภาพบำบัดจากอาสาสมัครเพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการตรวจสอบท่า อาสาสมัครจะต้องทำการกายภาพในแต่ละท่าจำนวนท่าละ 10 ครั้ง



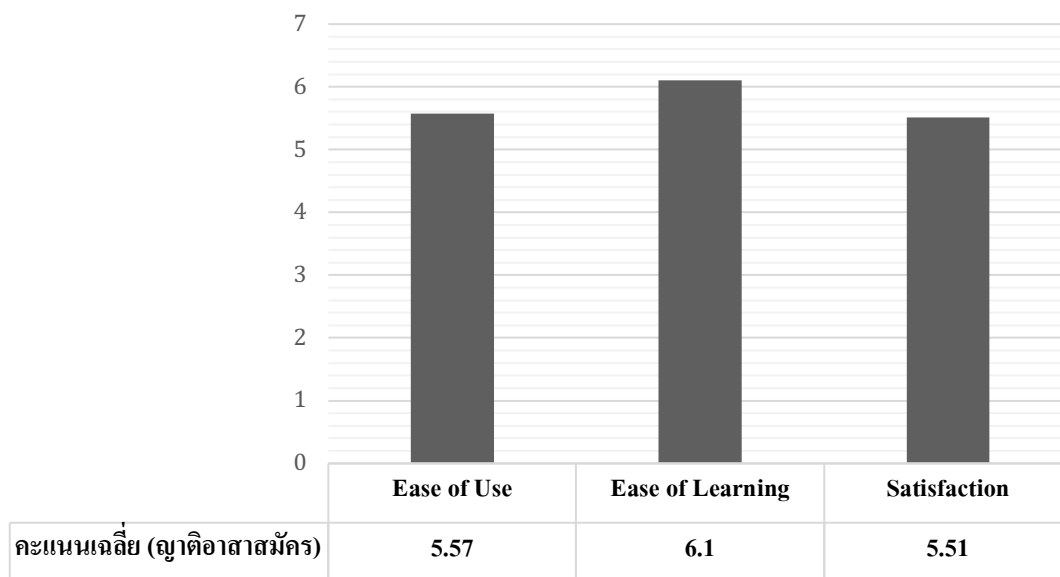
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงผลความถูกต้องในการทำท่ากายภาพบำบัดของอาสาสมัคร (n = 20)

#### 4.5 ผลจากการตอบแบบสอบถามของผู้ร่วมการทดลอง

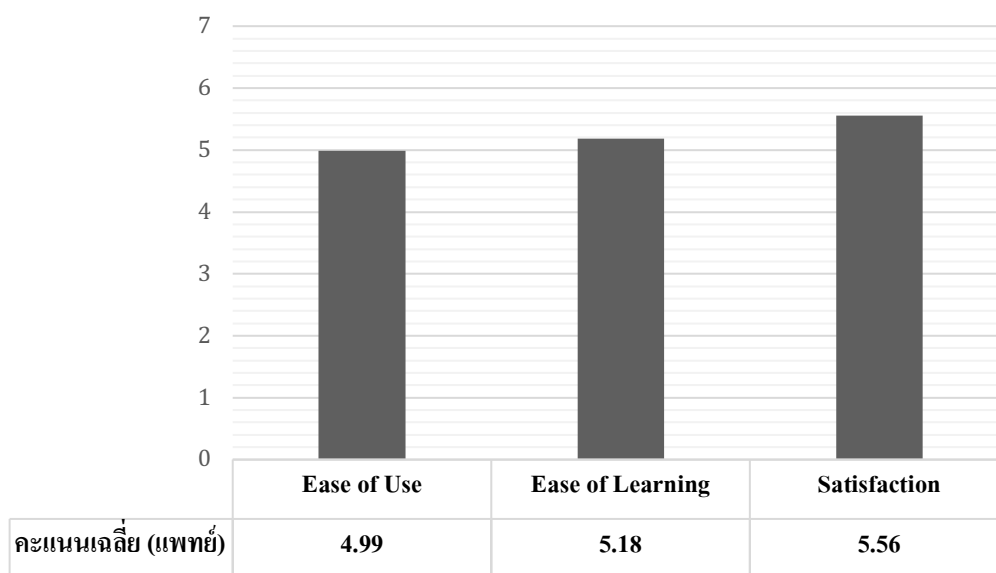
ผู้วิจัยได้เลือก USE Questionnaire [62] มาใช้ในการตั้งคำถามเพื่อให้ผู้ร่วมทดลองตอบแบบสอบถาม และนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละหมวดหมู่เพื่อใช้ในการแปลผลในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของนักกายภาพ (n = 8)



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของอาสาสมัคร (n = 20)



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) และคะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของแพทย์ (n = 8)

## ข้อเสนอแนะ

### สำหรับผู้ใช้งานประเภทนักกายภาพบำบัด

#### ด้าน User Interface

1. ผู้ใช้แนะนำว่าให้มีกราฟิกเป็นภาพตัวอย่างบนพื้นหลังสีขาวและปรับปรุงจุดกับเส้นแนะนำให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สังเกตได้ง่าย
2. ในส่วนนี้ควรมีคำแนะนำและคำอธิบายในการทำาบริหารที่ละเอียดขึ้น

#### ด้านการใช้งานระบบ

- การใช้งานของระบบใช้ง่าย แต่ในเรื่องของทำาบริหาร เราไม่สามารถรู้ได้ว่า ผู้ป่วยคนนั้นมีอาการบาดเจ็บขณะทำาบริหาร ได้ไหม เนื่องจากทำาบริหารที่ส่งต่อผู้ป่วยจะต้องทำตามต้นแบบที่นักกายภาพเป็นคนที่เตรียมไว้ให้

#### ด้านประสิทธิภาพของระบบ

1. ภาพที่แสดงผลจากกล้องมีอาการหน่วงอย่างเห็นได้ชัด
2. ระยะเวลารับภาพของระบบไกลเกินไป ทำให้ไม่สามารถเห็นรายละเอียดขณะออกทำาบริหารได้มากนัก
3. เรื่องของตัวแปรการประเมินผลผ่านทางระบบไม่สามารถรู้ได้ว่า วัดมาจากความคลาดเคลื่อนของทำาบริหาร หรือระยะห่างของระยะเวลารับภาพ

#### ข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. เป็นระบบที่น่าสนใจหากพัฒนาได้ดี การสอนทำาบริหารหลังคำแนะนำของนักกายภาพสามารถส่งต่อถึงผู้ป่วยได้ ควรปรึกษากับนักกายภาพโดยตรงเพื่อพัฒนาต่อไป
2. เป็นระบบที่น่าสนใจ ในการส่งต่อทำาบริหารผู้ป่วยไปทำที่บ้านได้ แต่ไม่สามารถประเมินเรื่องความเจ็บปวดผ่านทำาบริหารได้ และควรปรึกษานักกายภาพบำบัดโดยตรงในการพัฒนาระบบนี้

## สำหรับผู้ประเภแพทย์

### *ด้าน User Interface*

- User Interface เข้าใจได้ง่ายว่าส่วนประกอบต่างๆ มีหน้าที่อย่างไร

### *ด้านการใช้งานระบบ*

- ระบบเข้าใจง่าย แต่ค่าความเจ็บปวดวัดได้จากอะไร ตัวแปรในส่วนนี้เกิดจากความผิดพลาดที่ทำให้ทำไม่ถูกต้องหรือไม่ และไม่สามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาวินิจฉัยหรือประเมินผู้ป่วยว่าอาการดีขึ้นหรือลดลง

### *ด้านประสิทธิภาพของระบบ*

- เรื่องของตัวแปรการประเมินผลผ่านทางระบบไม่สามารถรู้ได้ว่า วัดมาจากความคลาดเคลื่อนของท่าบริหาร หรือระยะห่างของระยะการรับภาพ

### *ข้อเสนอแนะอื่นๆ*

- เป็นระบบที่น่าสนใจ ในการส่งต่อท่าบริหารผู้ป่วยไปทำที่บ้านได้ แต่ไม่สามารถประเมินเรื่องความเจ็บปวดผ่านท่าบริหารได้ และควรปรึกษานักกายภาพบำบัดโดยตรงในการพัฒนาระบบนี้

## สำหรับผู้ประเภทอาสาศาสตร์

### *ด้าน User Interface*

1. ผู้ใช้ต้องการให้รูปประกอบกับชื่อท่าสอดคล้องกัน
2. ในการใช้งานบางครั้งเมนูสำหรับเลือกท่ากายภาพบำบัดหายไป เมื่อทำการสลับแอปพลิเคชันกลับไปกลับมา และบางครั้งแอปกลับไปหน้าจอ Login ใหม่
3. โดยรวมดูสบายตาเข้าใจง่ายไม่ยุ่งยาก แต่ขนาดตัวอักษรค่อนข้างตัวเล็ก
4. ขั้นตอนการอธิบายท่ากายภาพบำบัดควรเป็นรูปภาพขั้นตอนการทำท่ากายภาพ เนื่องจากปัจจุบันเป็นจุดและเส้นที่ถูกบันทึกจากการนำเข้าท่ากายภาพในฐานข้อมูล อาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำตามท่ากายภาพบำบัดได้ตามท่าที่ต้องการ
5. หน้าท่ากายภาพ ชื่อท่าควรเน้นเป็นตัวหนาเพื่อความชัดเจน
6. ปุ่ม ถัดไป กับปุ่ม ย้อนกลับ ค่อนข้างเล็ก
7. ขนาดตัวอักษรตอนกำลังทำท่ากายภาพค่อนข้างดูยากและทับกับเส้นจุดๆ ที่จับตามลำตัว
8. อยากให้มีสีสันให้น่าใช้ขึ้น เพื่อจูงใจให้ผู้ป่วยอยากทำท่ากายภาพบำบัด

### ด้านการใช้งานระบบ

1. พัฒนาให้มีความเสถียรมากกว่านี้
2. เพิ่มการใช้งานกล้องด้านหน้า จะได้เห็นตัวเอง
3. หลัง Login น่าจะแยกเป็นหัวข้อๆเป็น ทำทำตามที่ได้รับมอบหมาย, คู่มือศัพท์ที่เคยทำไป หรือ ทำทำแบบต่างๆไป เพิ่มเสียงตอนอธิบายทำว่าทำอะไรเช่น เริ่มค้นเอาแขนไว้ข้างลำตัว แล้วกางแขนขึ้น แล้วเอามือลง เพิ่มเสียงตอนทำท่ากายภาพอยู่ เช่น ตอน READY อาจมีเสียง เอามือไว้ข้างลำตัว พอระบบให้กางแขน ก็ส่งเสียงว่า ให้กางแขนขึ้น หน้าสรุปผลอาจจะแบ่งเพิ่มเป็นการมอบหมายครั้งที่1 สรุปผลโดยรวมของครั้งที่1 เพื่อคุณภาพรวมของแต่ละครั้ง
4. มีเสียงประกอบ
5. อาจเพิ่มการแจ้งเตือนด้วยเสียง หรือการอธิบายด้วยเสียง เพื่อเพิ่มความเข้าใจ

### ด้านประสิทธิภาพของระบบ

1. แอปเด็งออกง่ายยังไม่มีความเสถียร
2. กล้องมีอาการกระตุก ควรปรับปรุงเรื่องการจัดการทรัพยากร
3. หลังจากกดอนุญาตสิทธิ์ใช้กล้อง กดกลับแล้วมีการเด็งหลุดออกจากแอปพลิเคชัน
4. หลังจากเลื่อนหน้าสรุปผลเลื่อนไปข้างล่างเร็วๆ มีการหลุดออกจากแอปพลิเคชัน
5. ตอนกำลังทำท่ากายภาพแล้วกดกลับมีการหลุดจากแอปพลิเคชัน
6. แอปพลิเคชันตรวจจับร่างกายยากในที่แสงน้อย

### ข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ควรแบ่งหมวดหมู่การออกกำลังกาย และเพิ่มท่าทางให้หลากหลาย
2. เพิ่มกล้องหน้าให้สามารถใช้งานแบบด้านหน้าได้
3. อยากให้มีการตั้งคำถามไว้ให้หมดตอบกลับได้



## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้ผู้วิจัยได้จัดทำข้อสรุปเกี่ยวกับการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองทางด้านประสิทธิภาพของระบบ ความสามารถในการใช้งานระบบ และคุณค่าเฉพาะทางของระบบ รวมถึงแนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1.1 ด้านประสิทธิภาพของระบบ

ในการวิจัยนี้ได้ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยจะเห็นว่าคะแนนประเมินจากนักกายภาพบำบัดและอาสาสมัครด้านความเสถียรของ ความไวในการโหลดข้อมูลของระบบ และความแม่นยำในการจับเฉลี่ยอยู่ที่ 3.83 3.65 และ 3.69 ตามลำดับ โดยเป็นการประเมินจากนักกายภาพบำบัดจำนวน 8 คน และอาสาสมัคร จำนวน 20 คน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ถูกออกแบบมาให้ภาระการประมวลผลภาพเพื่อค้นหาจุดสำคัญของร่างกายนั้นประมวลผลบนสมาร์ตโฟน และมีความเร็วของการประมวลผลที่แตกต่างกันในแต่ละรุ่น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การประมวลผลในสมาร์ตโฟนของนักกายภาพบำบัดและอาสาสมัครใช้งานได้ไม่ลื่นไหลตามที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ยังใช้การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งอาจส่งผลในเรื่องของเสถียรภาพของระบบด้วย

ส่วนของการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากแพทย์ผู้ใช้งานเพื่อดูข้อมูลประวัติการกายภาพบำบัดโดยมีคะแนนด้านความเสถียรของระบบ ความไวในการโหลดข้อมูลของระบบ และความถูกต้องของข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 3.63 3.75 และ 4.00 ตามลำดับ เป็นการประเมินจากแพทย์ผู้ใช้งานจำนวน 8 คน ความเสถียรและความไวในการโหลดข้อมูลของระบบนั้นแปรผันตามความเร็วในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์และความเร็วของอินเทอร์เน็ตฝั่งผู้ใช้ ซึ่งระบบส่วนนี้จะถูกใช้บนคอมพิวเตอร์เข้าถึงผ่านเว็บเบราว์เซอร์และเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต และความถูกต้องของข้อมูลที่แพทย์

ได้รับนั้นคือผลต่อเนื่องมาจากการบันทึกผลความแม่นยำในการจับท่าของอาสาสมัคร จึงทำให้ความถูกต้องของข้อมูลบางส่วนไม่สมบูรณ์

### 5.1.2 ด้านความสามารถในการใช้งานระบบ

จากสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้คืองานวิจัยนี้สามารถช่วยให้นักกายภาพบำบัดสามารถติดตามสถานะการท่ากายภาพบำบัดของผู้ป่วยในระยะไกลได้นั้นผู้วิจัยและแพทย์สามารถวิเคราะห์ผลการท่ากายภาพบำบัดได้นั้นได้รับการประเมินจากการตอบแบบสอบถามด้านความสามารถในการใช้ระบบจากนักกายภาพบำบัด แพทย์ และอาสาสมัคร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

นักกายภาพบำบัดมีความเข้าใจในระบบเฉลี่ยอยู่ที่ 3.38 (ปานกลาง) ส่วนความง่ายในการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75 (มาก) และการออกแบบท่ากายภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 3.63 (มาก) และคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.08 ซึ่งแปลผลคือ มาก นักกายภาพเห็นด้วยว่าระบบสามารถใช้งานได้ง่าย และสามารถออกแบบท่ากายภาพบำบัดได้ง่าย แต่นักกายภาพบำบัดมีความเข้าใจระบบในระดับปานกลางจึงใช้เวลาในการทำความเข้าใจในส่วนของระบบการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และขั้นตอนการเพิ่มท่ากายภาพบำบัดในสมาร์ตโฟน ส่วนคะแนนของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.90 ซึ่งแปลผลคือ มาก และคะแนนของความพึงพอใจของนักกายภาพบำบัด (Satisfaction) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.40 ซึ่งแปลผลคือ มาก นักกายภาพบำบัดเห็นด้วยว่าสามารถเรียนรู้ในการใช้งานระบบได้อย่างรวดเร็วในการใช้งานเพียงไม่กี่ครั้ง และ มีความพึงพอใจในการใช้งานระบบในระดับมาก

แพทย์มีความเข้าใจในระบบและความสามารถในการวินิจฉัยมาก ส่วนความง่ายในการใช้งานและความง่ายในการจัดตารางกายภาพแปลผลได้ปานกลาง และคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.99 ซึ่งแปลผลคือ มาก แพทย์เห็นด้วยว่าระบบสามารถทำความเข้าใจและช่วยให้วินิจฉัยอาการของผู้ป่วยได้ดี เนื่องจากระบบมีการแสดงข้อมูลการท่ากายภาพบำบัดของผู้ป่วยอยู่ในรูปแบบกราฟจึงทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยได้ชัดเจน ส่วนการใช้งานระบบนั้นแพทย์มีความเห็นว่าสามารถใช้งานระบบและจัดตารางการท่ากายภาพบำบัดมีความง่ายในระดับปานกลาง ส่วน

คะแนนของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.18 ซึ่งแปลผลคือ มาก และคะแนนของความพึงพอใจของแพทย์ (Satisfaction) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.56 ซึ่งแปลผลคือ มาก แพทย์เห็นด้วยว่าสามารถเรียนรู้ในการใช้งานระบบได้อย่างรวดเร็วในการใช้งานเพียงไม่กี่ครั้ง และ มีความพึงพอใจในการใช้งานระบบในระดับมาก

สำหรับอาสาสมัครมีความเข้าใจในระบบและระบบมีความง่ายในการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับอยู่ที่ 4.10 (มาก) และคะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.57 ซึ่งแปลผลคือ มาก อาสาสมัครเห็นด้วยว่าระบบสามารถใช้งานและทำความเข้าใจได้ง่าย เนื่องจากมีวิธีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนจึงทำให้เข้าใจได้ง่ายและเรียนรู้ได้ไว ส่วนคะแนนของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 6.10 ซึ่งแปลผลคือ มาก และคะแนนของความพึงพอใจของอาสาสมัคร (Satisfaction) เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 5.51 ซึ่งแปลผลคือ มาก อาสาสมัครเห็นด้วยว่าสามารถเรียนรู้ในการใช้งานระบบได้อย่างรวดเร็วในการใช้งานเพียงไม่กี่ครั้ง และ มีความพึงพอใจในการใช้งานระบบในระดับมาก

ผู้เข้าร่วมทดลองในส่วนของนักกายภาพบำบัดและอาสาสมัครนั้นมีประสบการณ์การใช้งานสมาร์ทโฟน (Smartphone) เป็นอย่างดีแต่ไม่มีประสบการณ์การใช้งานแอปพลิเคชันตรวจจذبร่างกายมาก่อนจึงทำให้ต้องใช้เวลาในการทำความคุ้นเคยกับระบบก่อน แต่ในระบบสำหรับแพทย์นั้นเป็นเว็บแอปพลิเคชันจึงทำความเข้าใจการใช้ระบบได้ และผลจากการแปลผลแบบสอบถามแสดงความเห็นโดยผู้เข้าร่วมทดลองทั้งนักกายภาพบำบัด อาสาสมัคร และแพทย์พบว่าผู้ใช้งานทั้งหมดลงความเห็นว่าระบบมีความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) มาก ซึ่งนักกายภาพเห็นด้วยกับการนำระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์

### 5.1.3 ด้านคุณค่าเฉพาะทาง

ในส่วนของคุณค่าเฉพาะทางของระบบที่พัฒนานั้น ผู้ร่วมการทดลองเห็นด้วยกับการใช้ระบบช่วยทำกายภาพบำบัด โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการช่วยให้นักกายภาพบำบัด แพทย์ และผู้ป่วยได้รับการรักษาที่มีความสะดวกมากขึ้น โดยส่วนของผู้รักษาคือนักกายภาพบำบัดและแพทย์สามารถนำเข้าทำกายภาพบำบัด มอบหมาย และวินิจฉัยผลความก้าวหน้าทางการกายภาพของผู้ป่วยได้ เนื่องจากเมื่อ

นักกายภาพบำบัดสามารถสอนให้ญาติและผู้ป่วยใช้งานระบบเป็นแล้ว จะช่วยให้นักกายภาพบำบัดไม่จำเป็นต้องพบผู้ป่วยในทุกๆ ครั้งของการรักษา สามารถลดขั้นตอนในการเข้ามาใช้บริการของผู้ป่วยในโรงพยาบาลได้ และแพทย์สามารถติดตามผลการรักษาได้ตลอดเวลา และในส่วนของผู้ป่วยก็สามารถที่จะทำกายภาพบำบัดได้ที่บ้านของตัวเอง นอกจากนี้ผู้ร่วมทดลองยังเห็นด้วยว่าระบบช่วยทำกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์นั้นสามารถวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ได้โดยมีผลการทดลองที่น่าพึงพอใจ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มท่ากายภาพบำบัดเข้าไปในระบบ หรือการให้ผู้ป่วยทำกายภาพบำบัดให้ตรงกับตำแหน่งที่กำหนดไว้ ระบบก็สามารถวิเคราะห์ท่าทางได้

## 5.2 สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการนำระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ท่าทางทางกายภาพของมนุษย์โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลและการรู้จำส่วนสำคัญของร่างกายมนุษย์โดยใช้สมาร์ตโฟนเป็นหลัก โดยมีการแบ่งประเภทผู้ใช้ทั้งหมด 3 ประเภท คือ นักกายภาพบำบัด แพทย์ และผู้ป่วย โดยนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยจะเข้าถึงระบบผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และแพทย์จะเข้าถึงระบบผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์

ระบบส่วนของนักกายภาพบำบัดและผู้ป่วยจะเน้นพัฒนาในด้านการรู้จำร่างกายมนุษย์ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ไลบรารี TensorFlow with PoseNet Model เป็นเครื่องมือหลักสำหรับช่วยวิเคราะห์ตำแหน่งสำคัญของร่างกายทั้ง 17 จุด จากการรับภาพผ่านกล้องหลังของสมาร์ตโฟนแล้วนำภาพเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ท่าทางทางกายภาพของมนุษย์ ในระบบส่วนของนักกายภาพจะทำ การตรวจสอบตำแหน่งสำคัญของร่างกายและบันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูล และในส่วนของผู้ป่วยนั้นจะเป็นเรื่องของการวัดผลการกายภาพว่าผู้ป่วยได้ทำท่ากายภาพถูกต้องตามที่นักกายภาพกำหนดหรือไม่ โดยระบบจะทำการนำข้อมูลที่ถูกบันทึกจากนักกายภาพบำบัดเข้าสู่ระบบ แล้วนำมาเทียบกับภาพกายภาพบำบัดของอาสาสมัครเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำท่ากายภาพในแต่ละครั้ง และเมื่อจบการทำกายภาพระบบจะเข้าสู่แบบประเมินความเจ็บปวดเพื่อให้ผู้ป่วยได้ทำการประเมินอาการหลังทำกายภาพทุกครั้ง จากนั้นระบบจะบันทึกคะแนนความถูกต้องในการทำกายภาพของผู้ป่วยเข้าสู่ฐานข้อมูล

ระบบส่วนของแพทย์นั้นเป็นส่วนที่เข้าถึงเพื่อใช้ในการเข้าถึงข้อมูลการถ่ายภาพบำบัดของผู้ป่วย ในการดูแลแต่ละคนว่าผู้ป่วยได้ปฏิบัติตามมอบหมายหรือไม่ และในแต่ละท่ากายภาพมีความถูกต้องอย่างไร มีความเจ็บปวดในแต่ละครั้งอย่างไร เพื่อใช้ผลเหล่านี้ในการประกอบการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยได้

งานวิจัยนี้ถือว่าบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้ คือเพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ โดยให้ระบบสามารถติดตามการถ่ายภาพบำบัดของผู้ป่วยเพื่อแสดงผลให้กับบุคลากรทางการแพทย์เพื่อใช้ประกอบการวินิจฉัยได้ อีกทั้งยังสามารถประเมินผลการช่วยท่ากายภาพบำบัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้นักกายภาพได้ให้ความเห็นว่าแอปพลิเคชันควรพัฒนาให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น โดยรองรับระบบปฏิบัติการทั้ง iOS และแอนดรอยด์ และต้องการให้ปรับปรุงแอปพลิเคชันให้สามารถใช้งานกับสมาร์ตโฟนในรุ่นที่สเปคไม่สูงได้ เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายคือผู้ป่วย ซึ่งมีการใช้งานสมาร์ตโฟนที่ค่อนข้างหลากหลาย รวมถึงออกแบบการใช้งานในส่วนของการวิเคราะห์ท่ากายภาพให้มีขั้นตอนในการใช้งานที่ง่ายขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Lisa Spiro, 2012, **History through the Stereoscope: Stereoscopy and Virtual Travel**, CONNEXIONS, Rice University, Houston, Texas, 26 October 2012
2. Wikipedia contributors., **Stereoscope** [Online], Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stereoscope&oldid=1038468861> [2021, October 2].
3. Wade, Nicholas J., 2002, Perception, **Pion publication**, volume 31, pages 265-272  
Charles Wheatstone (1802 – 1875) (sagepub.com)
4. Wade, Nicholas J., 2019, "Ocular Equivocation: The Rivalry Between Wheatstone and Brewster" **Vision 3**, no. 2: 26. <https://doi.org/10.3390/vision3020026>
5. Ting Chen, 2003, **DIGITAL CAMERA SYSTEM SIMULATOR AND APPLICATIONS**, Stanford university, June 2003, page 1
6. John Callaham, 2021, **Smartphone** [Online], Available: <https://www.androidauthority.com/first-camera-phone-anniversary-993492/>
7. Nattha Thepbamrung, **กล้องสมาร์ตโฟนในปัจจุบัน** [Online], Available: <https://thethaiger.com/th/news/163053/> [2021, October 2].
8. ปิ่นทอง ทองเฟื่อง และ รัชชชัย สหพงษ์, 2558, การพัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ เรื่อง รักสุขภาพ, การประชุมวิชาการระดับชาติการเทคโนโลยีและนวัตกรรมครั้งที่ 1, 12-13 พฤษภาคม 2558, Pages 14-15
9. Wikipedia contributors., **Camera phone** [Online], Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Camera\\_phone&oldid=1071438280](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Camera_phone&oldid=1071438280). [2021, October 2].
10. Hachmag, **Leap motion** [Online], Available: <https://hackmag.com/coding/lets-code-for-leap-motion/> [2021, October 2].

11. นาย รัฐวิษ นุริตานนท์, **Leap Motion** [Online],  
Available at: <http://itsasontad.blogspot.com/2013/08/leap-motion-controller.html>
12. Javier Dorado, Xavier del Toro, Maria J Santofimia, Alfonso Parren, Ruben Cantarero, Ana Rubio I and Juan C Lopez, 2019, **A computer-vision-based system for at-home rheumatoid arthritis rehabilitation. Biomedical Sensing in the Application of Brain/Body Imaging.** Vol. 15(9) (2019)
13. Yiwen Gu, Shreya Pandit, Elham Saraee, Timothy Nordahl, Terry Ellis, and Margrit Betke, 2019, Home-based Physical Therapy with an Interactive Computer Vision System., **IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop.**, IEEE, Boston (2019)
14. Chuan-Jun Su, 2013, Personal Rehabilitation Exercise Assistant with Kinect and Dynamic Time Warping. **IJIET.** V3.316, 448-454
15. Steffi L. Colyer, Murray Evans, Darren P. Cosker, Aki I. T. Salo, 2018, **A Review of the Evolution of Vision-Based Motion Analysis and the Integration of Advanced Computer Vision Methods Towards Developing a Markerless System.** Sport Medicine-open.
16. A. Azim and O. Aycard, 2012, "Detection, classification and tracking of moving objects in a 3D environment", **2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**, pp. 802-807
17. Antoni Jaume-i-Capó, Pau Martínez-Bueso, Biel Moyà-Alcover, and Javier Varona., 2014, Interactive Rehabilitation System for Improvement of Balance Therapies in People With Cerebral Palsy. **IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering**, Vol. 22, NO. 2, 419-426.
18. Wikipedia contributors., **Azure Kinect** [Online], Available:  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Azure\\_Kinect&oldid=1053922592](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Azure_Kinect&oldid=1053922592).  
[2021, October 2].
19. การวิเคราะห์จุดสำคัญของอวัยวะจาก **Azure Kinect**,  
<https://azure.microsoft.com/en-us/services/kinect-dk/#industries>

20. Z. Zhang, 2012, "Microsoft Kinect Sensor and Its Effect", **IEEE MultiMedia**, vol. 19, no. 2, pp. 4-10, Feb. 2012, doi: 10.1109/MMUL.2012.24.
21. Yeti Li, Catherine M. Burns, Dana Kulić, 2015, Ecological Interface Design for Knee and Hip Automatic Physiotherapy Assistant and Rehabilitation System., **International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care**, Advancing the Cause. (2015)
22. L. Enrique Sucar, Roger Luis, Ron Leder, Jorge Herna´ndez and Israel Sa´nchez, 2010, "Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation", 32<sup>nd</sup>, **Annual International Conference of the IEEE EMBS**, pp. 3690--3693. IEEE, Argentina. (2010)
23. Safwan Khan, 2019, **Computer Vision** [Online], Available: <https://medium.com/@safk8899/computer-vision-in-autonomous-vehicles-21dffa873b23> [2021,October 5].
24. Azriel Rosenfeld, 1996, **Image Analysis and Computer Vision**, **Computer Vision and Image Understanding**, Volume 63, Issue 3, 1996, Pages 568-612
25. การวิเคราะห์ภาพด้วย **Deep Learning**, <https://viso.ai/deep-learning/why-computer-vision-is123-difficult/>
26. Wikipedia contributors., **Computer vision** [Online], Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer\\_vision&oldid=1068186305](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer_vision&oldid=1068186305) [2021,October 5].
27. **Gesture recognition**, [https://whatistechtarget.com/definition/gesturerecognition#:~:text=Gesture%20recognition%20is%20the%20mathematical,perceptual%20user%20interface%20\(PUI\).](https://whatistechtarget.com/definition/gesturerecognition#:~:text=Gesture%20recognition%20is%20the%20mathematical,perceptual%20user%20interface%20(PUI).)
28. การจับใบหน้าและดวงตาของ **Open CV**, <https://pythonprogramming.net/loading-images-python-opencv-tutorial/>



29. Nuttakan Chuntra, **OpenCV** [Online], Available: [https://medium.com/@nut.ch40/opencv-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-8771e2a4c414#:~:text=OpenCV%20\(Open%20source%20Computer%20Vision,%E0%B8%96%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%94%E0%B8%A2%20Intel\)](https://medium.com/@nut.ch40/opencv-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-8771e2a4c414#:~:text=OpenCV%20(Open%20source%20Computer%20Vision,%E0%B8%96%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%94%E0%B8%A2%20Intel)) [2021, October 5].
30. การวิเคราะห์และประมวลผลตำแหน่งสำคัญของ **OpenPose**,  
<http://www.rwcreations.com/2020/07/08/post-estimation-using-open-pose/>
31. **OpenPose**, <https://www.patanasongsivilai.com/blog/ai-real-time-pose-estimation/>
32. **OpenPose**, <https://ichi.pro/th/srup-xeksar-wicay-khxng-openpose-kar-praman-kha-thathang-2-miti-hlay-khn-phrxm-kar-reiyn-ru-cheing-luk-3668880227942>
33. **OpenPose**, <https://www.google.com/search?q=%E0%B9%81%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B2&oq=&aqs=chrome.0.35i39i362l8...8.72371097j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
34. **PoseNet Library**, <https://today.line.me/th/v2/article/kaKqRJ>
35. **PoseNet Library**, <https://www.adpt.news/2018/07/24/google-ai-experiment-let-you-make-gif-file-by-watching-your-pose/>
36. Sik-Ho Tsang, 2018, Review: **MobileNetV1 — Depthwise Separable Convolution (Light Weight Model)** [Online], Available: <https://towardsdatascience.com/review-mobilenetv1-depthwise-separable-convolution-light-weight-model-a382df364b69> [2021, October 21].
37. Surapong Kanoktipsatharporn, **MobileNet คืออะไร** [Online], Available: <https://www.bualabs.com/archives/3439/tensorflow-js-tutorial-build-image-classification-javascript-mobilenet-pretrained-model-tfjs-ep-7/> [2021, October 21].
38. D. González-Ortega, F.J. Díaz-Pernas, M. Martínez-Zarzuela, M. Antón-Rodríguez., 2014, **A Kinect-based system for cognitive rehabilitation exercises monitoring**. J.cmpb. 113, 620--631

39. Matana Wiboonyasake, **Machine Learning** [Online], Available: <https://www.aware.co.th/machine-learning-คืออะไร> [2021, October 5].
40. **จอภาพ**, [http://sornsini2122.blogspot.com/p/blog-page\\_17.html](http://sornsini2122.blogspot.com/p/blog-page_17.html)
41. **จอภาพ**, <https://region5.cad.go.th/main.php?filename=knowledge5>
42. Thanh Phong đoàn, **Smart Phone** [Online], Available: <https://www.thegioididong.com/tin-tuc/top-1-va-top-2-thi-phan-smartphone-tai-viet-nam-la-ai-1271908> [2021, October 5].
43. Computer Hope, **SmartPhone** [Online], Available: <https://www.computerhope.com/jargon/s/smartphone.htm#:~:text=A%20smartphone%20is%20a%20cell,users%20to%20interact%20with%20them.> [2021, October 5].
44. Vinay Venkataraman, Pavan Turaga, Nicole Lehrer, Michael Baran, Thanassis Rikakis, and Steven L. Wolf., 2013, Attractor-Shape for Dynamical Analysis of Human Movement: Applications in Stroke Rehabilitation and Action Recognition., **Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops**, pp. 514--520. IEEE, Arizona (2013)
45. **Kotlin**, <https://tha.small-business-tracker.com/what-is-kotlin-java-alternative-explained-389292>
46. Wikipedia contributors., **Kotlin (programming language)** [Online], Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kotlin\\_\(programming\\_language\)&oldid=10709051](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kotlin_(programming_language)&oldid=10709051)
87. [2021, October 12].
47. **Java**, <http://kcn01.blogspot.com/2018/12/java-2-instances-java-cc-python-php.html>
48. **Flutter**, <https://www.codemobiles.co.th/online/course.php?id=flutter#:~:text=Flutter%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20Cross%2DPlatform%20Framework,%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B2%20C%23%20%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%20Java>
49. **Flutter**, <https://www.thaiprogrammer.org/2019/11/flutter-framework/>

50. **PHP**, <https://medium.com/@sunzandesign/php%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-2d749639b101>
51. มานพ กองอุ้น, **PHP Framework** [Online], Available: <https://programmerthailand.com/blog/view/114/%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89-framework-%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2-web-application-%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B2-php> [2021, October 12].
52. **ฐานข้อมูล MySQL**, <https://saixiii.com/what-is-mysql/>
53. **ฐานข้อมูล MySQL**, [http://www.networks365.net/indexac6b.html?route=product/product&product\\_id=110#:~:text=MySQL%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3,%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%88%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B2](http://www.networks365.net/indexac6b.html?route=product/product&product_id=110#:~:text=MySQL%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3,%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%88%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B2)
54. Suphakit Annopornchai, **SQL** [Online], Available: <https://saixiii.com/sql-statement/> [2021, October 12].
55. สุพัศตรา สุวรรณศิริ, **SQL** [Online], Available: <https://sites.google.com/site/supatrasuwannasiri25/sql-khux-xari> [2021, October 12].
56. **RMDBS**, <https://www.sub-brain.com/datait/what-is-dbms/#:~:text=Relational%20Database>

%20Management%20System,%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%20DBMS

57. **กายภาพบำบัด**, [https://srth.moph.go.th/health\\_rcn/pt/whatPT.htm#:~:text=%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%9A%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%94%20\(Physical%20therapy\)%20%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%9E,%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%2C%20%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1](https://srth.moph.go.th/health_rcn/pt/whatPT.htm#:~:text=%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%9A%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%94%20(Physical%20therapy)%20%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%9E,%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%2C%20%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1)
58. Alejandro Reyes-Amaro, Yanet Fadruga-gonzalez, Oscar Luis Vera-Perez, Elizabeth Dominguez-campillo, Jenny Nadarse-Ravelo, Alejandro Mesejo-Chiong, Biel Moya-Alcover, Antoni Jaume-i-Capo., 2012, Rehabilitation of Patients with Motor Disabilities using Computer Vision Based Techniques. **JACCES**. 2(1), 62--70 (2012)
59. Huaqiang Jiang, Xiang Jie., 2013, Kinect-Based Rehabilitation Training Assistant System Research and Implementation, **International Conference on Software Engineering and Computer Science**. ICSECS, China (2013)
60. Nunzio Alberto Borghese, Michele Pirovano, Renato Mainetti, Pier Luca Lanzi., 2012, **An Integrated Low-Cost System for At-Home Rehabilitation**, pp 553--556. IEEE. (2012)
61. Isaac Pastor, Heather A. Hayes, Stacy J. M. Bamberg., 2012, A Feasibility Study of an Upper Limb Rehabilitation System Using Kinect and Computer Games., 34<sup>th</sup>, **Annual International Conference of the IEEE EMBS**, pp. 1286--1289. IEEE, USA (2012)
62. Lund, A.M., 2021, **Measuring Usability with the USE Questionnaire**, STC Usability SIG Newsletter.

ภาคผนวก ก

ตารางการบันทึกคะแนนการประเมิน

ตารางที่ ก.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากนักกายภาพบำบัดผู้ใช้ระบบเพื่อบันทึกทำ  
กายภาพ

นักกายภาพ	ความเสถียร ของระบบ	ความไวในการโหลดข้อมูล ของระบบ	ความแม่นยำ ในการจับทำ
1	4	3	4
2	4	3	3
3	4	3	4
4	5	4	4
5	3	3	2
6	3	3	4
7	4	3	4
8	5	4	4
$\bar{X}$	4.00	3.25	3.63
S.D.	0.76	0.46	0.74
การแปลผล	มาก	ปานกลาง	มาก

ตารางที่ ก.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากญาติอาสาสมัครเพื่อทำกายภาพบำบัด

ญาติอาสาสมัคร	ความเสถียร ของระบบ	ความไวในการโหลด ข้อมูลของระบบ	ความแม่นยำ ในการจับทำ
1	4	5	4
2	4	4	3
3	4	5	4
4	4	5	4
5	4	4	4

ตารางที่ ก.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากญาติอาสาสมัครเพื่อทำกายภาพบำบัด (ต่อ)

6	3	4	3
7	4	4	4
8	4	4	4
9	3	5	3
10	4	4	4
11	3	5	4
12	5	4	5
13	4	5	4
14	4	2	3
15	3	4	4
16	5	3	4
17	1	3	3
18	3	3	2
19	3	4	5
20	4	4	4
$\bar{X}$	3.65	4.05	3.75
S.D.	0.90	0.82	0.73
การแปลผล	มาก	มาก	มาก

ตารางที่ ก.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากแพทย์ผู้ใช้ระบบเพื่อดูข้อมูลประวัติการกายภาพ

แพทย์	ความเสถียร ของระบบ	ความไวในการโหลดข้อมูล ของระบบ	ความถูกต้องของ ข้อมูล
1	3	3	4
2	3	4	4
3	4	4	5
4	5	4	4
5	2	3	2
6	3	4	4
7	4	4	5
8	5	4	4
$\bar{X}$	3.63	3.75	4.00
S.D.	1.06	0.46	0.93
การแปลผล	มาก	มาก	มาก



## 4.2 การประเมินความสามารถในการใช้งานระบบ

ตารางที่ ก.4 การประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของนักกายภาพ

นักกายภาพ	ความเข้าใจในระบบ	ความง่ายในการใช้งาน	ความง่ายของการ ออกแบบท่ากายภาพ
1	4	4	5
2	4	4	4
3	3	4	4
4	4	4	3
5	2	3	2
6	3	3	4
7	3	4	4
8	4	4	3
$\bar{X}$	3.38	3.75	3.63
S.D.	0.74	0.46	0.92
การแปลผล	ปานกลาง	มาก	มาก

ตารางที่ ก.5 การประเมินความสามารถในการใช้งานระบบของญาติอาสาสมัคร

ญาติอาสาสมัคร	ความเข้าใจในระบบ	ความง่ายในการใช้งาน
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5
6	4	4
7	4	4
8	3	3
9	4	5
10	4	4
11	4	5
12	5	5
13	4	3
14	3	3
15	3	4
16	3	4
17	4	3
18	4	3
19	4	3
20	4	4
$\bar{X}$	4.10	4.10
S.D.	0.72	0.85

ตารางที่ ก.6 ความสามารถของผู้ใช้งานในการใช้งานระบบของแพทย์

แพทย์	ความเข้าใจในระบบ	ความง่ายในการใช้งาน	ความง่ายในการจัดตารางกายภาพ	ความสามารถในการวินิจฉัย
1	4	4	3	4
2	4	3	3	3
3	4	3	4	4
4	3	4	4	5
5	3	3	3	1
6	4	3	3	3
7	4	3	4	4
8	3	4	4	5
$\bar{X}$	3.63	3.38	3.50	3.63
S.D.	0.52	0.52	0.53	1.30
การแปลผล	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก

ตารางที่ ก.7 แสดงผลความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อของอาสาสมัคร

ญาติอาสาสมัคร	การแสดงออก ทางสีหน้า	การเคลื่อนไหว ร่างกาย	น้ำเสียง	อารมณ์ กระสับกระส่าย
1	0	0	0	0
2	0	1	0	1
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	1	1	1
7	0	0	0	0
8	0	1	0	1
9	0	2	0	2
10	1	1	0	0
11	0	2	0	0
12	0	1	0	1
13	2	1	0	1
14	3	1	0	0
15	0	0	0	0
16	1	1	0	2
17	0	2	0	2
18	0	2	1	0
19	3	1	0	2
20	0	1	0	1
$\bar{X}$	0.50	0.90	0.10	0.70
S.D.	1.00	0.72	0.31	0.80

ทำกายภาพทั้งหมดมีการปฏิบัติดังนี้

ท่าที่ 1 ท่าลูกนั่ง

ท่าที่ 2 ท่ากางแขน 90 องศา

ท่าที่ 3 ท่าเอียงตัวซ้าย

ท่าที่ 4 ท่าเอียงตัวขวา

ตารางที่ ก.8 การประเมินความแม่นยำในการทำกายภาพของระบบ

ญาติอาสาสมัคร	ท่าที่ 1 (ครั้ง)	ท่าที่ 2 (ครั้ง)	ท่าที่ 3 (ครั้ง)	ท่าที่ 4 (ครั้ง)
1	9	10	4	4
2	8	9	4	4
3	10	10	5	5
4	7	10	5	5
5	10	8	5	5
6	8	9	4	4
7	9	10	4	4
8	7	7	3	4
9	7	7	4	4
10	9	8	4	4
11	7	10	4	4
12	9	8	4	4
13	8	9	4	4
14	8	8	4	4
15	8	8	3	3
16	8	10	4	4

ตารางที่ ก.8 การประเมินความแม่นยำในการทำทากายภาพของระบบ (ต่อ)

17	6	6	3	3
18	6	5	3	3
19	9	9	5	5
20	9	9	4	4
$\bar{X}$	8.10	8.50	4.00	4.05
S.D.	1.17	1.43	0.65	0.60
การแปลผล	มาก	มาก	น้อย	น้อย

#### 4.5 ผลจากการตอบแบบสอบถามของผู้ร่วมการทดลอง

ผู้วิจัยได้เลือก USE Questionnaire [43] มาใช้ในการตั้งคำถามเพื่อให้ผู้ร่วมทดลองตอบแบบสอบถาม และนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละหมวดหมู่เพื่อใช้ในการแปลผลในลำดับต่อไป

ตารางที่ ก.9 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) ของนักกายภาพ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	It is easy to use.	5.17
2	It is simple to use.	5.17
3	It is user friendly.	5.67
4	It requires the fewest steps possible to accomplish what I want to do with it.	5.17
5	It is flexible.	5.17
6	Using it is effortless.	5.00
7	I can use it without written instructions.	4.00
8	I don't notice any inconsistencies as I use it.	4.83
9	Both occasional and regular users would like it.	4.67

ตารางที่ ก.9 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) ของนักกายภาพ (n = 8) (ต่อ)

10	I can recover from mistaken quickly and easily.	4.83
11	I can use it successfully every time.	4.83
$\bar{X}$		5.08
S.D.		0.42
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.10 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) ของญาติอาสาสมัคร (n = 20)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	It is easy to use.	5.35
2	It is simple to use.	5.70
3	It is user friendly.	5.55
4	It requires the fewest steps possible to accomplish what I want to do with it.	6.05
5	It is flexible.	5.70
6	Using it is effortless.	5.75
7	I can use it without written instructions.	4.80
8	I don't notice any inconsistencies as I use it.	5.65
9	Both occasional and regular users would like it.	5.30
10	I can recover from mistaken quickly and easily.	5.50
11	I can use it successfully every time.	5.80
$\bar{X}$		5.57
S.D.		0.33
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.11 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) ของแพทย์ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	It is easy to use.	5.25
2	It is simple to use.	5.25
3	It is user friendly.	5.63
4	It requires the fewest steps possible to accomplish what I want to do with it.	5.75
5	It is flexible.	5.38
6	Using it is effortless.	5.13
7	I can use it without written instructions.	4.00
8	I don't notice any inconsistencies as I use it.	4.63
9	Both occasional and regular users would like it.	4.50
10	I can recover from mistaken quickly and easily.	4.50
11	I can use it successfully every time.	4.88
$\bar{X}$		<b>4.99</b>
S.D.		<b>0.54</b>
การแปลผล		มาก



ตารางที่ ก.12 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) ของนักกายภาพ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I learned to use it quickly.	5.25
2	I easily remember how to use it.	5.00
3	It is easy to learn to use it.	4.50
4	I quickly became skillful with it.	4.50
5	I can use it successfully every time.	5.25
$\bar{X}$		<b>4.90</b>
S.D.		<b>0.38</b>
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.13 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) ของญาติอาสาสมัคร  
(n = 20)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I learned to use it quickly.	6.10
2	I easily remember how to use it.	6.25
3	It is easy to learn to use it.	6.25
4	I quickly became skillful with it.	6.20
5	I can use it successfully every time.	5.70
$\bar{X}$		<b>6.10</b>
S.D.		<b>0.23</b>
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.14 คะแนนเฉลี่ยของความสะดวกในการเรียนรู้ (Ease of Learning) ของแพทย์ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I learned to use it quickly.	5.25
2	I easily remember how to use it.	5.13
3	It is easy to learn to use it.	5.13
4	I quickly became skillful with it.	4.88
5	I can use it successfully every time.	5.50
$\bar{X}$		5.18
S.D.		0.22
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.15 คะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของนักกายภาพ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I am satisfied with it.	5.63
2	I would recommend it to a friend.	5.38
3	It is fun to use.	5.13
4	It works the way I want it to work.	5.75
5	It is wonderful.	4.75
6	I feel I need to have it.	5.75
$\bar{X}$		5.40
S.D.		0.40
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.16 คะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของอาสาสมัคร (n = 20)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I am satisfied with it.	5.90
2	I would recommend it to a friend.	5.30
3	It is fun to use.	5.45
4	It works the way I want it to work.	5.40
5	It is wonderful.	5.25
6	I feel I need to have it.	5.75
$\bar{X}$		5.51
S.D.		0.26
การแปลผล		มาก

ตารางที่ ก.17 คะแนนเฉลี่ยของความพึงพอใจ (Satisfaction) ของแพทย์ (n = 8)

ลำดับ	คำถามในแบบสอบถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	I am satisfied with it.	5.75
2	I would recommend it to a friend.	5.88
3	It is fun to use.	5.25
4	It works the way I want it to work.	5.50
5	It is wonderful.	5.00
6	I feel I need to have it.	6.00
$\bar{X}$		5.56
S.D.		0.39
การแปลผล		มาก

ภาคผนวก ข

ใบรับรองการประเมินจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์



สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ  
กรุงเทพฯ 10140

### หนังสือรับรอง

หนังสือฉบับนี้ออกให้เพื่อรับรองว่า นายณัฐปคัลภ์ ลิไชยกุล เป็นนักศึกษาในระดับปริญญาโท รหัสนักศึกษา 59340700002 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ สังกัดสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

ทั้งนี้ นักศึกษาได้ทำหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง “ระบบช่วยทำการกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์” ได้ลงทะเบียนเรียนในวิชา FRA 661 วิทยานิพนธ์ จำนวน 12 หน่วยกิต สอบผ่านไปแล้ว 7 หน่วยกิต คงเหลือ 5 หน่วยกิต คาดว่าจะสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2563

ให้ไว้ ณ วันที่ 23 เมษายน 2564

(รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง )

ผู้อำนวยการ

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นาย ณัฐปคัลภ์ ลิไชยกุล
วัน เดือน ปีเกิด	28 มกราคม 2534
ประวัติการศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี ปีการศึกษา 2551
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2555
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2564
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประจำปีการศึกษา 2559
ประวัติการทำงาน	ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท โอม ฟอรั ยู จำกัด พ.ศ. 2558 - ปัจจุบัน
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Nudpakun Leechaikul and Siam Charoenseang, 2021, “Computer Vision Based Rehabilitation Assistant System”, <b>Advances in Intelligent Systems and Computing</b> , Vol. 1322, pp. 408-414.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่.....7.....เดือน.....เมษายน..... พ.ศ. 2565.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....ณัฐปคัลภ์.....ลิไชยกุล.....

รหัสประจำตัว.....59340700002.....เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ระดับ  ประกาศนียบัตรบัณฑิต  ปริญญาโท  ปริญญาเอก

หลักสูตร.....วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต..... สาขาวิชา.....วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ.....

คณะ.....สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม..... อยู่บ้านเลขที่.....69/40..... หมู่..... 2 .....

ต.รอก/ซอย.....-.....ถนน.....-.....

ตำบล/แขวง.....บางคูวัด..... อำเภอ/เขต.....เมืองปทุมธานี.....

จังหวัด.....ปทุมธานี..... รหัสไปรษณีย์.....12000..... เป็น “ผู้โอน”

ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี

.....รศ. ดร.สยาม เจริญเสียง..... ตำแหน่ง...ผู้อำนวยการสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม...

เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง.....

.....ระบบช่วยทำกายภาพบำบัดโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์.....

ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ.....รศ. ดร.สยาม เจริญเสียง.....อาจารย์ที่ปรึกษา และ/หรือ

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าใน

วิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตาม

พระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้า

จะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการ

เผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลง

หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมี

ค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน

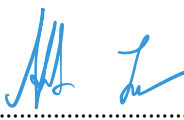
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็น

สิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามใน

ข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย

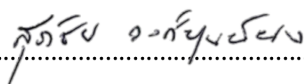
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมทั้งได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ..........ผู้โอนลิขสิทธิ์  
(.....นายณัฐปคัลภ์ ลิไชยกุล.....)  
นักศีกษา

ลงชื่อ.....ผู้รับ โอนลิขสิทธิ์  
(.....รศ. ดร.สยาม เจริญเสียง.....)  
ผู้อำนวยการสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม

ลงชื่อ..........พยาน  
(.....ดร.สุริยา นักสุภคพงศ์.....)

ลงชื่อ..........พยาน  
(.....ผศ. ดร.สุภชัย วงศ์บุญยง.....)