การพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินท่าในการออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย: การตรวจสอบท่ายืน และการวัดมุมงอของข้อเข่าระหว่างการสควอท

DEVELOPMENT OF EVALUATION IN EXERCISE POSTURE THROUGH IMAGE PROCESSING TECHNIQUE: Measurement of stance and degrees of knee flexion during squatting

นางสาวอ้อมแก้ว อินทรภักดี

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2563

การพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินท่าในการออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย: การตรวจสอบท่ายืน และการวัดมุมงอของข้อเข่าระหว่างการสควอท

DEVELOPMENT OF EVALUATION IN EXERCISE POSTURE THROUGH IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

: Measurement of stance and degrees of knee flexion during squatting

นางสาวอ้อมแก้ว อินทรภักดี

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงงานวิศวกรรม

เรื่อง

การพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินท่าในการออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย: การตรวจสอบท่ายืน และการวัดมุมงอของข้อเข่าระหว่างการสควอท

โดย

นางสาวอ้อมแก้ว อินทรภักดี

ได้รับอนุมัติจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ รอดอัมพร)

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชไมพร สุขแจ่มศรี)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ จันทร์วิเมลือง)

การพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินท่าในการออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย: การตรวจสอบท่ายืน และการวัดมุมงอของข้อเข่าระหว่างการสควอท

โดย

นางสาวอ้อมแก้ว อินทรภักดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินท่าในการออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย ตรวจสอบท่ายืน และการวัดมุมงอของข้อเข่าระหว่างการสควอท โดยใช้กรรมวิธีการประมวลผลภาพจากภาพวีดีโอ 2 มิติ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยใดสามารถวิเคราะห์ท่าสควอทด้วยภาพ 2 มิติ จากด้านหน้า และด้านข้างอย่างแม่นยำโดยไม่ติดตั้งอุปกรณ์บนร่างของผู้ออกกำลังกายได้ มีขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การรับภาพ 2) การจำแนกวัตถุออกจากฉาก 3) การหาตำแหน่งข้อต่อโดยการหาตำแหน่งข้อต่อหัวไหล่ ข้อเท้า และปลายเท้า ในภาพด้านหน้า หาตำแหน่งสะโพก ข้อต่อเข่า และปลายเท้า ในภาพด้านข้าง 4) การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า 5) การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกันโดยมีการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างภาพทั้ง 2 ด้าน

ผลการทดลองของโครงงานวิศวกรรมนี้แบ่งออกเป็น 4 ผลการทดลอง เปรียบเทียบผลการทดลองจากการกำหนดจุดข้อต่อโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจประกอบด้วย 1) การทดลองหาตำแหน่งข้อต่อมีค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุด 19.174 พิกเซล และมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 7.274 พิกเซล 2) การทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และหามุมงอเข่า มีค่าความถูกต้องของระยะข้อไหล่เท่ากับร้อยละ 93.81 ระยะข้อเท้าเท่ากับร้อยละ 92.93 และระยะปลายเท้าเท่ากับร้อยละ 93.43 3) การทดลองหาเฟรมอ้างอิง มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างภาพด้านหน้าและภาพด้านข้างมากที่สุด 2 เฟรม และน้อยที่สุด 1 เฟรม และ 4) การทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกันมีค่าความไวร้อยละ 72.96 ความจำเพาะร้อยละ 82.88 และความถูกต้องร้อยละ 81.12

คำสำคัญ: สควอท ระยะยืน มุมงอเข่า

DEVELOPMENT OF EVALUATION IN EXERCISE POSTURE THROUGH IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

: Measurement of stance and degrees of knee flexion during squatting

By

Miss Ormkaew Intrapakde

Advisor

Assoc. Prof. Theekapun Charoenpong, Ph. D

Abstract

An incorrect posture of squats exercise may cause an exerciser injured. In this paper, we propose a method to measure standing posture and degrees of knee flexion during squatting for squat posture verification with 2 dimensional video from frontal and side view. This method consists of five main steps; namely 1) Receive input, 2) Human extraction, 3) Joints segmentation, 4) Joints distance and Knee angle analysis, and 5) Posture verification. Squats posture is analyzed by using 2 view of image.

The performance of the proposed method is tested by comparing the results with markers on the body. This paper has 4 experimental results. The results of this paper are effective consisted of 1) the joint position experiment has a maximum error of 19.174 pixels and a minimum error of 7.274 pixels. 2) the experiment of calculating the joints distance and the knee flexion degree have an accuracy of shoulder distance 93.81%, ankle distance 92.93% and toe distance 93.43%. 3) the experiment of find reference frames has a maximum error between the front image and the side image 2 frames and a minimum is no reference frame error. 4) the efficiency of a squatting posture verification has a sensitivity 72.96%, specificity 82.88% and accuracy 81.12%.

Keywords: Squatting, Standing distance, Knee angle

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนการชี้แนะในการหาคำตอบในปัญหาต่าง ๆ ระหว่างจัดทำโครงงานนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใด ๆ จากโครงงานวิศวกรรมนี้

อ้อมแก้ว อินทรภักดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎี	3
2.1.1 การทำสควอท	3
2.1.2 การออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัย	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	7
3.1 การรับภาพ	8
3.2 การจำแนกวัตถุออกจากฉาก	10
3.3 การหาตำแหน่งข้อต่อ	12
3.3.1 การสร้างฮีสโตแกรม	12
3.3.2 การหาความสูง	13
3.3.3 การหาตำแหน่งข้อไหล่	14
3.3.4 การหาตำแหน่งข้อเท้า	16
3.3.5 การหาตำแหน่งปลายเท้าในภาพด้านหน้า	16
3.3.6 การหาตำแหน่งข้อสะโพก	18
3.3.7 การหาตำแหน่งข้อเข่า	18

3.3.8 การหาตำแหน่งปลายเท้าในภาพด้านข้าง 19
3.4 การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า 20
3.4.1 การคำนวนระยะข้อต่อในภาพด้านหน้า 20
3.4.2 การวัดมุมงอเข่า 21
3.5 การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอท 22
3.5.1 ลักษณะการทำท่าสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านหน้า 22
3.5.2 ลักษณะการทำท่าสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านข้าง 23
3.5.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกัน 24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 27
4.1 การทดลองหาตำแหน่งข้อต่อ 27
4.1.1 วิธีการทดลอง 27
4.1.2 ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า 27
4.1.3 ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง 33
4.1.4 อภิปรายผลการทดลอง 37
4.2 การทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า 40
4.2.1 วิธีการทดลอง 40
4.2.2 ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ 41
4.2.3 ผลการทดลองคำนวนมุมงอเข่า 42
4.2.4 อภิปรายผลการทดลอง 43
4.3 การทดลองหาเฟรมอ้างอิง 44
4.3.1 วิธีการทดลอง 44
4.3.2 ผลการทดลองการหาค่าส่วนสูงที่ต่ำที่สุด 44
4.3.3 ผลการทดลองเชื่อมเฟรมที่ตรงกันระหว่างภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง 45
4.3.4 อภิปรายผลการทดลอง 55
4.4 การทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน 56
4.4.1 วิธีการทดลอง 57
4.4.2 ผลการทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน 57
4.4.3 อภิปรายผลการทดลอง 63

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปผล 64
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
เอกสารอ้างอิง 65
ภาคผนวก ก 67
ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน 88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางเปรียบเทียบข้อจำกัดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2 รายการอุปกรณ์ ข้อกำหนดในการเก็บภาพเคลื่อนไหว	9
3 ตารางแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องจากภาพด้านหน้า	29
4 ตารางแสดงค่าระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อจากภาพด้านข้าง	33
5 ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ	40
6 ค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำในการวัดมุมงอเข่า	41
7 ตารางแสดงผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง	43
8 ตารางแสดงจำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อน	44
9 ตารางแสดงเงื่อนไขการวิเคราะห์ของระบบ	55
10 ตารางแสดงประสิทธิภาพของระบบ	56

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะการทำท่าสควอททที่ปลอดภัย	4
3.1 แผนผังการทำงานของระบบ	7
3.2 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหว	8
3.3 ตัวอย่างภาพที่บันทึกวีดีโอ	9
3.4 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก	10
3.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก	10
3.6 แสดงตำแหน่งของข้อต่อที่ใช้ในการวิเคราะห์	12
3.7 แสดงการสร้างฮีสโตแกรม	13
3.8 แสดงการหาค่าความสูงของผู้ออกกำลังกาย	14
3.9 แสดงวิธีการหาตำแหน่งข้อไหล่	15
3.10 แสดงการหาตำแหน่งข้อเท้า	16
3.11 ภาพแสดงการหาตำแหน่งปลายเท้า	17
3.12 ภาพแสดงการหาตำแหน่งสะโพก	18
3.13 ภาพแสดงการหาตำแหน่งข้อเข่า	19
3.14 ภาพแสดงการหาตำแหน่งปลายเท้าจากภาพด้านข้าง	20
3.15 แสดงมุมงอเข่า(θ)	22
3.16 ภาพตัวอย่างการทำสควอททที่ถูกต้องจากภาพด้านหน้า	22
3.17 ภาพตัวอย่างการทำสควอททที่ถูกต้องจากภาพด้านข้าง	23
3.18 กราฟแสดงผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง	25
3.19 แผนภาพแสดงการอธิบายการหาเฟรมเริ่มต้น	26
4.1 การหาระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า	28
4.2 ภาพการตรวจจับข้อต่อจากภาพด้านหน้า	30
4.3 การหาระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง	33
4.4 ภาพการตรวจจับข้อต่อจากภาพด้านข้าง	34
4.5 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งข้อต่อ	37
4.6 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อน	38
4.7 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อเท้า และปลายเท้าที่คลาดเคลื่อน	39

4.8 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อต่อที่คลาดเคลื่อนในภาพด้านข้าง 39
4.9 ลักษณะการคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่าที่คลาดเคลื่อน 43
4.10 ผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง 46
4.11 ภาพเฟรมที่ระบบคำนวนได้ว่าเป็นเฟรมเริ่มต้น 53
4.12 ภาพแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอท จากเฟรมที่ระบบคำนวนได้ว่าเป็นเฟรมเดียวกัน 58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การทำสควอท (Squat) เป็นการออกกำลังกายที่แพร่หลาย และสามารถใช้สำหรับฟื้นฟูร่างกาย [1] เนื่องจากเป็นท่าที่ไม่ซับซ้อน และสามารถทำได้ทุกที่ การทำสควอทจึงถูกใช้ในการฝึกร่างกายของนักกีฬา และเป็นท่าที่ใช้ในกีฬายกน้ำหนัก จากงานวิจัยมีการใช้การทำสควอทในการป้องกันโรคเบาหวาน [7] และโรคข้อเข่าเสื่อม [8] ซึ่งเป็นโรคเกี่ยวกับกระดูกที่พบมากในผู้สูงอายุ [12] ซึ่งอาจนำไปสู่ความพิการ และมีผลเสียต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย[13] อีกทั้งการทำท่าสควอทยังมีประโยชน์ในการเผาผลาญไขมัน สร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อและเส้นเอ็น[2][6] เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบไหลเวียนโลหิต [7] รวมถึงช่วยในการปรับสมดุลของระบบร่างกาย [1] แต่การทำสควอทที่ไม่ถูกต้องนั้นมีผลเสียต่อร่างกาย อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณข้อเข่า (Knee Complex) บริเวณกระดูกสันหลัง (Spine) และบริเวณข้อต่อสะโพก (Hip Joint) [2][3]

การทำท่าสควอทที่ถูกต้องนั้นเมื่อย่อตัวลงอยู่ในท่าสควอทระยะการยืน (ระยะเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างปลายเท้ากับระยะห่างระหว่างข้อเท้า) จะต้องเท่ากับหรือกว้างกว่าความกว้างร้อยละ 171 ของระยะไหล่ ตำแหน่งของเข่าต้องอยู่ไม่เกินตำแหน่งปลายเท้า [4][15] และมุมงอเข่าต้องไม่เกิน 100 องศา เนื่องจากการทำท่าสควอทจะทำให้เกิดความเครียด และแรงเฉือนบริเวณข้อเข่า [5][16] และเมื่อทำผิดซ้ำหลายครั้งสมองจะเกิดการจดจำท่าทางที่ผิด ทำให้เกิดการอักเสบของกล้ามเนื้อซ้ำซ้อนและเกิดผลเสียต่อร่างกายในระยะยาว [9] ดังนั้นเพื่อลดอันตรายจากการทำท่าสควอทที่ไม่ถูกต้องและสามารถชี้แจงให้ผู้ออกกำลังกายทราบถึงข้อผิดพลาดได้จึงต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอท

งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดอาการบาดเจ็บจากการทำท่าสควอทด้วยวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบว่าท่าสควอทถูกต้องหรือไม่ จากการหาตำแหน่งของข้อต่อหัวไหล่ สะโพก เข่า ปลายเท้า ข้อเท้า และมุมงอของเข่า จากภาพ 2 มิติ ทั้งจากด้านหน้า และด้านข้าง สำหรับผู้ที่ต้องเข้ารับการบำบัด นักกีฬา และผู้ที่ต้องการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทอย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อหารูปแบบอัลกอริทึมที่สามารถจำแนกความถูกต้องของท่าสควอทจากภาพด้านหน้าและด้านข้างร่วมกันได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถวิเคราะห์ภาพวีดีโอที่แสดงผู้ออกกำลังกายแบบเต็มตัวและอยู่ในระยะ3-4 เมตรจากกล้องเท่านั้น

1.3.2 ภาพวีดีโอ ที่ใช้เป็นภาพวีดีโอที่มีอัตราเฟรม 30 fps ซึ่งถูกบันทึกไว้แล้วจาก 2 มุม คือ ด้านหน้าและด้านข้าง

1.3.3 ผู้ออกกำลังกายเป็นวัตถุเดียวที่เคลื่อนที่ภายในฉาก

1.3.4 ผู้ออกกำลังกายต้องสวมเสื้อผ้าที่ไม่ใช่สีใกล้เคียงกับสีฉาก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ความถูกต้องของการทำท่าสควอทจากด้านหน้าและด้านข้างร่วมกัน สามารถยกระดับการประเมินผลของท่าสควอทได้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ใช้การสควอทในการบำบัดร่างกาย และต่อผู้ที่มีความสนใจในการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทอย่างถูกวิธี

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับท่าออกกำลังกายสควอท

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 การทำสควอท

สควอทคือการออกกำลังกายที่ผู้ฝึกจะลดสะโพกลงจากท่ายืนแล้วลุกขึ้นยืน ในระหว่างการการทำสควอทนั้นข้อต่อสะโพกและข้อเข่าจะงอในขณะที่ข้อต่อที่ข้อเท้าจะกระดกขึ้น ในทางกลับกันข้อสะโพกและหัวเข่าจะยืดในขณะที่ข้อต่อที่เท้าจะงองุ้มเข้าหาฝ่าเท้า การทำสควอทเป็นการออกกำลังกายที่สำคัญสำหรับการเพิ่มความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกาย

กล้ามเนื้อที่ใช้ในระหว่างการสควอทประกอบด้วย กลุ่ม Agonist muscles ได้แก่ Quadriceps femoris, Gluteus maximus, Adductor magnus, Soleus และกลุ่ม Stabilizing muscles ได้แก่ Erector spinae, Rectus abdominis, Internal and external obliques, Hamstrings, Gluteus medius, Gluteus minimus, Gastrocnemius

2.1.2 การออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัย

การออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัยจะไม่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บหลังการออกกำลังกาย โดยการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัยมีหลักในการตรวจสอบ ดังนี้

2.1.2.1 ระยะยืนของผู้ออกกำลังกาย

ขณะทำการสควอทระยะยืนของผู้ออกกำลังกายควรมีความกว้างเท่ากับระยะไหล่ และควรอยู่ในระยะ 130% - 171% ของระยะระหว่างไหล่ทั้งสองข้างในการสควอทแบบลึก [4][15]

2.1.2.2 องศาของปลายเท้า

ที่ระยะยืนเท่ากับระยะระหว่างไหล่ ปลายเท้าแยกออกจากกันข้างละ 20 องศา [4]

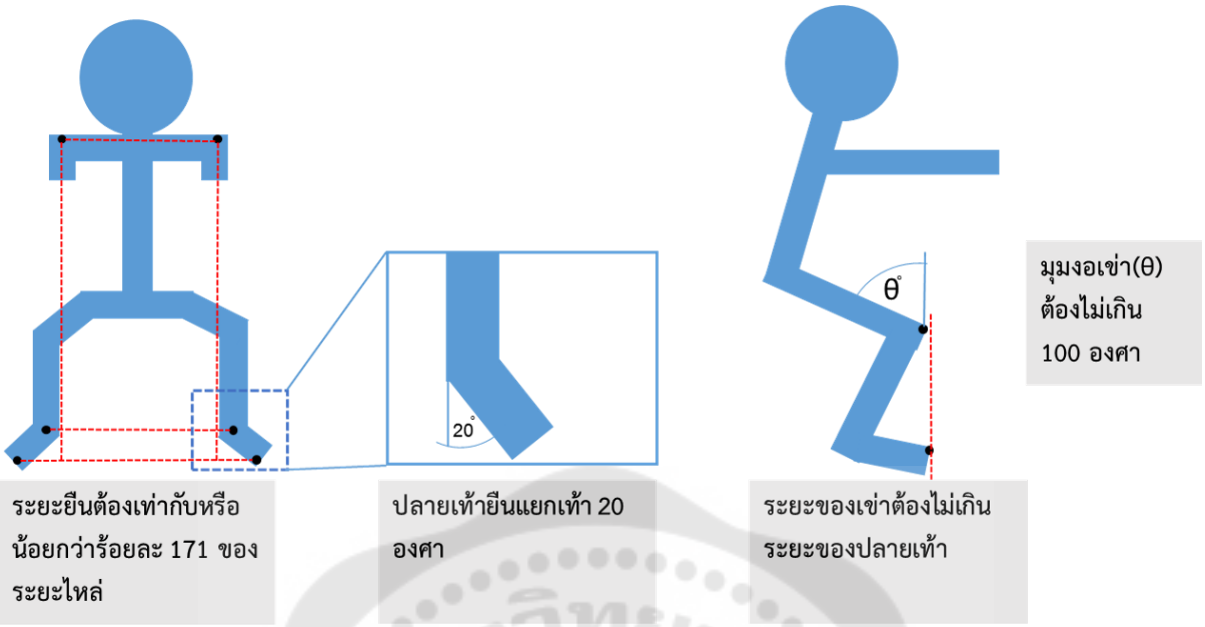
2.1.2.3 ระยะของเข่า

ระยะเข่าเมื่อเลยจากจุดปลายเท้าจะเพิ่มแรงกด และแรงเฉือนที่เข่าบริเวณเข่า [3][5]

2.1.2.4 มุมงอของเข่า

สำหรับผู้ป่วยองศาการงอเข่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 50 องศา และสำหรับบุคคลสุขภาพดีสามารถทำการสควอทได้ระหว่าง 0 ถึง100 องศา [16]

ลักษณะการทำท่าสควอทที่ปลอดภัยแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการทำท่าสควอทที่ปลอดภัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้แสดงรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบท่าสควอท มีทั้งหมด 4 งานวิจัย ดังนี้

2.2.1 SQUAT EXERCISE ABNORMALITY DETECTION BY ANALYZING JOINT ANGLE FOR KNEE OSTEOARTHRITIS REHABILITATION

จากการศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าในปี ค.ศ.2015 Abu Hassan และคณะได้ศึกษาในหัวข้อ SQUAT EXERCISE ABNORMALITY DETECTION BY ANALYZING JOINT ANGLE FOR KNEE OSTEOARTHRITIS REHABILITATION ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการใช้ท่าสควอทสำหรับบำบัดอาการของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม โดยใช้กล้องจับภาพ 3 มิติ Kinect sensor ในการจับภาพ และระบุท่าทางของกระดูกช่วงล่างของผู้ป่วยโดยปราศจากการติดอุปกรณ์ใด ๆ ลงบนร่างกายของผู้ป่วย แล้วทำการเก็บค่าของมุมและลักษณะการวางตัวของกระดูกจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่า Mean Squared Error (MSE) และใช้เป็นค่าสำหรับตรวจสอบว่าท่าสควอทถูกต้องหรือไม่งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการใช้กล้องประเภท กล้อง 3 มิติเท่านั้น[8]

2.2.2 Squat Movement Recognition Using Hidden Markov Models

ในปี ค.ศ.2018 Nantana Rungsawasdisap และคณะได้ศึกษาในหัวข้อ Squat Movement Recognition Using Hidden Markov Models มีจุดมุ่งหมายในการตรวจจับท่าสควอทที่ถูกต้อง 1 รูปแบบ และไม่ถูกต้อง 5 รูปแบบ ทำการตรวจจับท่าทางโดยใช้อุปกรณ์ Perception Neuron (PN) ติดตั้งบนร่างกายของผู้ทดสอบ และจำแนกรูปแบบโดยใช้วิธี hidden Markov models (HMMs) งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์บนตัวของผู้ป่วยจึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ได้[14]

2.2.3 Evaluation of posture exercise through image processing techniques: A checking standing distance and a measurement of degrees of knee flexion during squatting

ในปี ค.ศ.2018 Karaked krasairchon ได้ทำการศึกษาในหัวข้อ Evaluation of posture exercise through image processing techniques : A checking standing distance and a measurement of degrees of knee flexion during squatting มีจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบความปลอดภัยของการทำท่าสควอท ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทจากภาพ 2 มิติได้ โดยผลที่ได้จะมาจากภาพด้านหน้า และด้านข้างของผู้ทดสอบ แต่ยังไม่สามารถวิเคราะห์ผลร่วมกันได้

2.2.4 Squat Angle Assessment Through Tracking Body Movements

ในปี ค.ศ.2019 Zulkifley, M. A. และคณะได้ศึกษาในหัวข้อ Squat Angle Assessment Through Tracking Body Movements มีจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบท่าสควอทว่าเป็นท่าสควอทแบบใดด้วยการหาขนาดของมุมที่เข่าขณะทำการสควอท โดยใช้เทคนิค deep learning tracking และ deep belief networks regressor ร่วมกับการระบุตำแหน่งกรอบของบริเวณที่สนใจในภาพด้านหน้าของข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบ โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทด้วยมุมงอเข่า [17]

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปข้อดี และข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าวได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบข้อจำกัดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

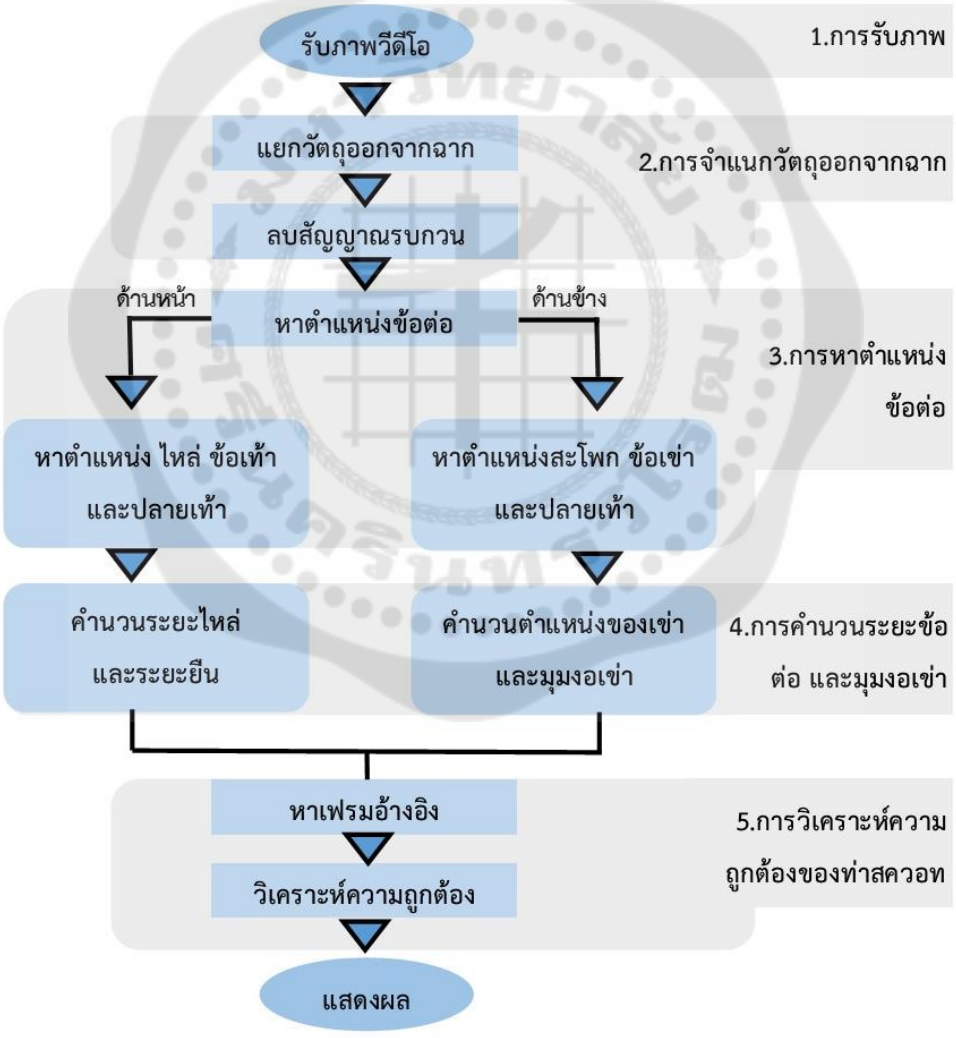
ผู้ทำวิจัย	หัวข้องานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
Rungsawasdisap, N., et al [14]	Squat Movement Recognition Using Hidden Markov Models	- สามารถระบุความถูกต้องของท่าสควอทที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ	- จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ติดตั้งบนร่างกายผู้ทดสอบ
Abu Hassan [8]	Squat Exercise Abnormality Detection By Analyzing Joint Angle For Knee Ostearrritis Rehabilitation	- การรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อการใช้งานน้อย	- จำเป็นต้องใช้กล้อง 3D ในการทำงาน

Zulkifley, M. A.[17]	Squat Angle Assessment Through Tracking Body Movements	- มีการรับภาพจากภาพด้านหน้าเพียงภาพเดียว	- ตรวจสอบท่าสควอทด้วยมุมงอเข่าเท่านั้น
Karaked krasairchon [18]	Evaluation of posture exercise through image processing techniques : A checking standing distance and a measurement of degrees of knee flexion during squatting.	- สามารถระบุความถูกต้องของท่าสควอทในแต่ละด้านได้	- มีปัญหาการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม - ไม่สามารถวิเคราะห์ความถูกต้องจากภาพด้านหน้าและด้านข้างร่วมกันได้

จากตารางที่ 1 สรุปปัญหาที่พบในงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้น คือ ปัญหาเรื่องการใช้อุปกรณ์ที่เป็นข้อจำกัด เช่นอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งบนร่างกายของผู้ออกกำลังกาย หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพจำเป็นต้องเป็นกล้อง 3 มิติเท่านั้น และการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทโดยตรวจสอบเพียงพารามิเตอร์เดียว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการตรวจสอบท่าสควอทด้วยการใช้ตัวแปร เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะยืนกับระยะข้อไหล่ร่วมกับมุมงอของข้อเข่า และตำแหน่งของข้อเข่าเทียบกับปลายเท้า ด้วยการใช้กล้อง 2 มิติ จากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้างร่วมกัน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

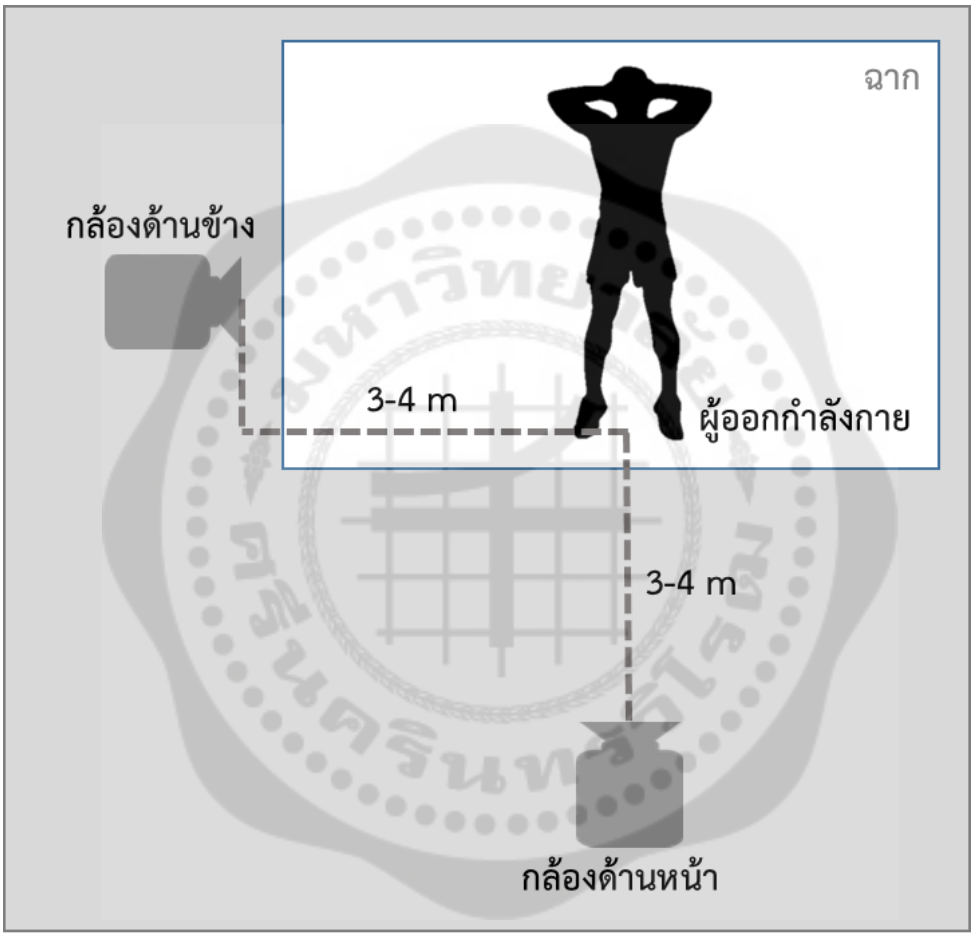
การพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Matlab version R2018a ในการดำเนินงานโดย ระบบประกอบไปด้วย ฟังก์ชั่นหลัก 1 ฟังก์ชั่น และฟังก์ชั่นย่อย 3 ฟังก์ชั่น มีขั้นตอนการทำงานภายในระบบแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) การรับภาพ 2) การจำแนกวัตถุออกจากฉาก 3) การหาตำแหน่งข้อต่อ โดยการหาตำแหน่งข้อต่อหัวไหล่ ข้อเท้า และปลายเท้า ในภาพด้านหน้า หาตำแหน่งสะโพก ข้อต่อเข่า และปลายเท้า ในภาพด้านข้าง 4) การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า 5) การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอท ตรวจสอบโดยอ้างอิงตามนิยามการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัยในหัวข้อ 2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบ

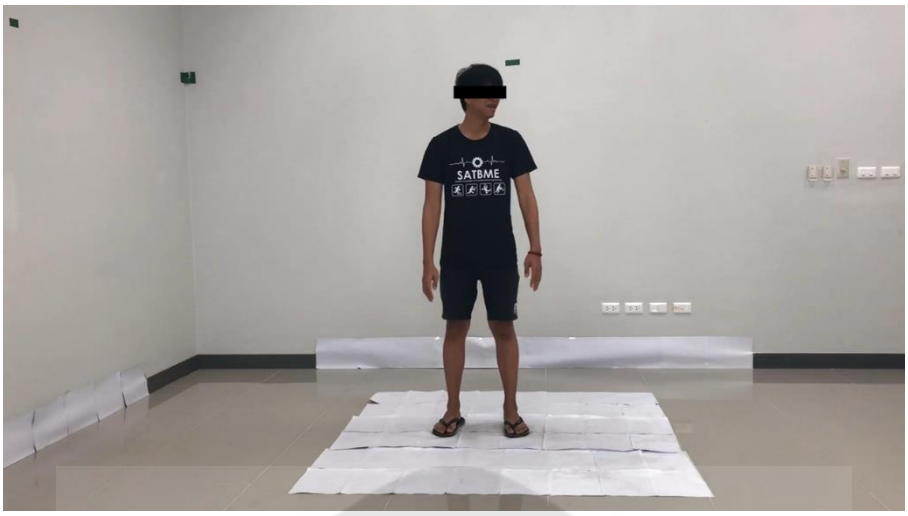
3.1 การรับภาพ

ในขั้นตอนนี้จะทำการรับภาพวีดีโอของผู้ออกกำลังกายเข้ามาในระบบ โดยภาพที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นภาพที่ได้จากการบันทึกวีดีโอของผู้ออกกำลังกายขณะทำการสควอท 1-3 ครั้ง จากกล้องด้านหน้า และกล้องด้านข้าง ซึ่งอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร และอยู่ห่างจากตัวผู้ออกกำลังกายด้านละ 3-4 เมตร มีแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหว

ภาพที่บันทึกจะต้องแสดงภาพของผู้ออกกำลังกายแบบเต็มตัว ผู้ออกกำลังกายเป็นวัตถุเดียวที่เคลื่อนที่ภายในฉาก ผู้ออกกำลังกายต้องสวมเสื้อผ้าที่ไม่ใช่สีใกล้เคียงกับสีฉาก และเริ่มบันทึกเมื่อผู้ออกกำลังกายอยู่ในท่าทางที่พร้อมจะทำการสควอทแล้วเท่านั้น ตัวอย่างการบันทึกภาพผู้ออกกำลังกายด้านหน้า และด้านข้าง ดังแสดงในภาพที่ 3.3(ก) และ 3.3(ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างภาพที่บันทึกวีดีโอ (ก)จากกล้องด้านหน้า (ข)จากกล้องด้านข้าง

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหวมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายการอุปกรณ์ ข้อกำหนดในการเก็บภาพเคลื่อนไหว

อุปกรณ์	ข้อกำหนด
ยี่ห้อและรุ่นของกล้องวีดีโอ	Canon G12 และ iphone8
ความละเอียดของภาพวีดีโอ	1920x1080 pixel
เฟรมเรท	30 fps

3.2 การจำแนกวัตถุออกจากฉาก

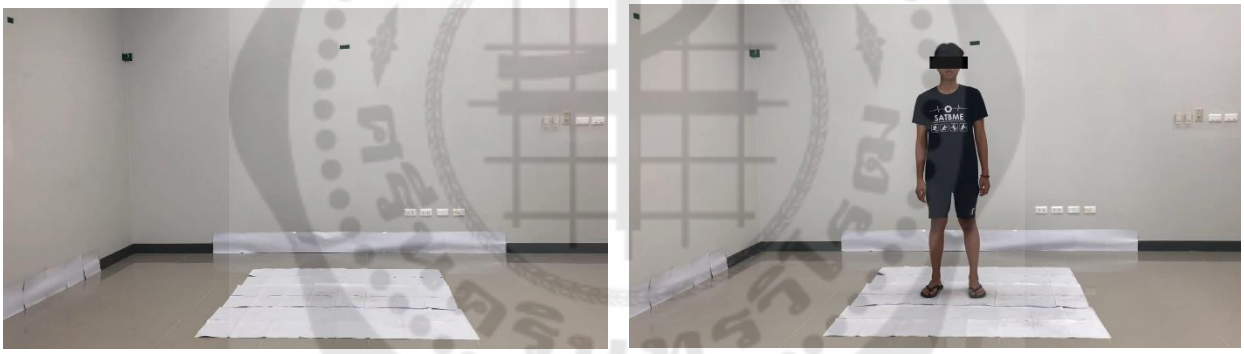
ในขั้นตอนนี้จะทำการแยกผู้ออกกำลังกายออกจากฉากเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยทำการรับภาพจากวีดีโอทั้งด้านหน้าและด้านข้างมาแปลงเป็นภาพขาวดำ(gray scale) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก (Background Subtraction) ด้วยสมการที่ 1 ทำการแยกผู้ทดสอบออกจากฉากหลังโดยการใช้ภาพจากเฟรมแรกของคลิปวีดีโอซึ่งเป็นฉากหลัง ดังแสดงในภาพที่ 3.4(ก) นำมาลบกับภาพเฟรมที่ผู้ทดสอบเข้ามาในฉาก ดังแสดงในภาพที่ 3.4(ข) จากนั้นทำการลบสัญญาณรบกวน (Noise removal) ออกจากภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3.5

$$Dif_G = |F_{Gray} - BG_{Gray}| \quad (1)$$

เมื่อ Dif_G คือ เมทริกซ์ของภาพจากความแตกต่างของค่าเมทริกซ์จากภาพปัจจุบันสีเทา และภาพพื้นหลังสีเทา

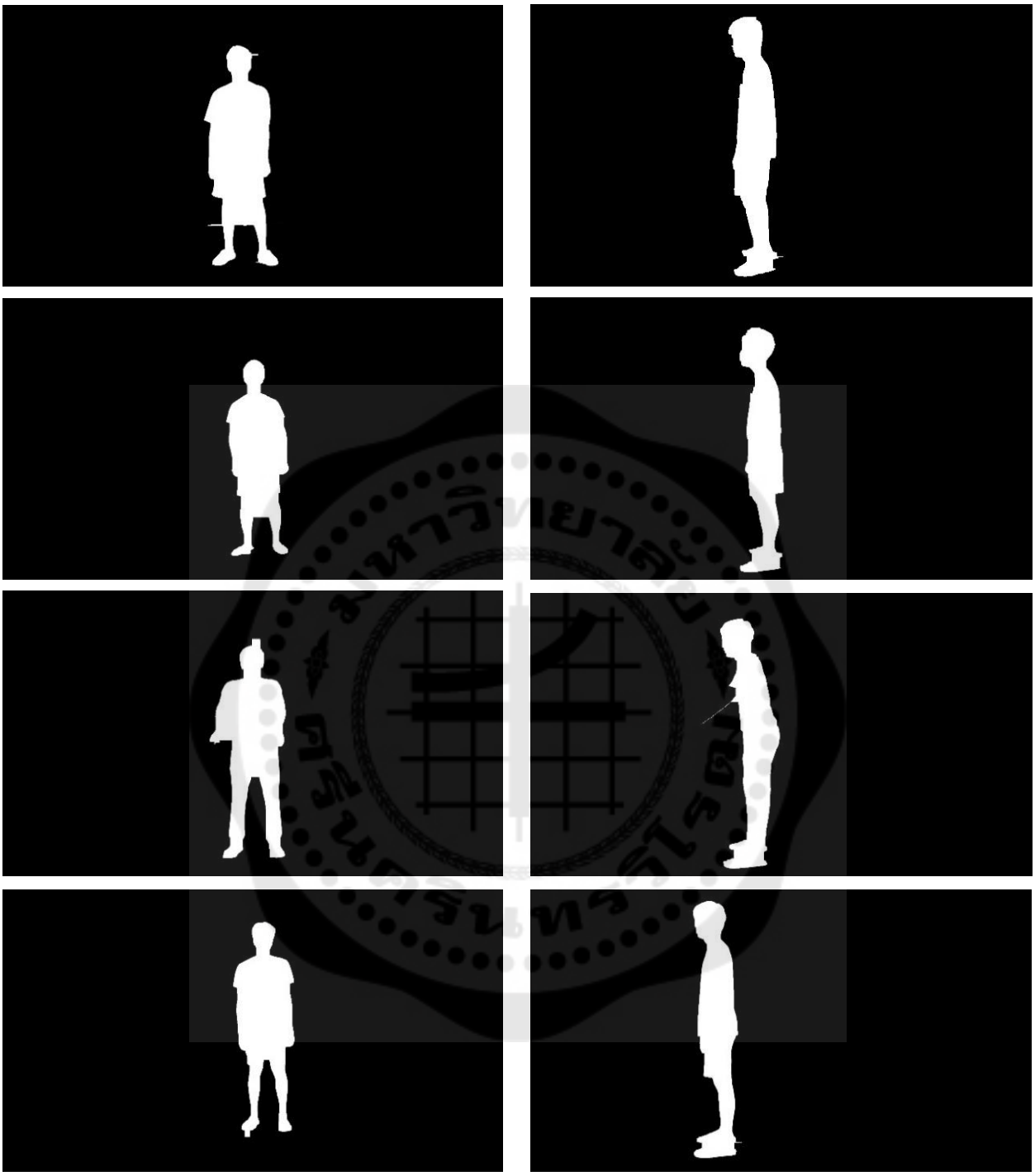
F_{Gray} คือ เมทริกซ์ของภาพปัจจุบันสีเทา (ค่าเฉลี่ยจากภาพอาร์จีบีทั้งสามชั้น)

BG_{Gray} คือ เมทริกซ์ของภาพพื้นหลังสีเทา (ค่าเฉลี่ยจากภาพอาร์จีบีทั้งสามชั้น)



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก (ก) ตัวอย่างภาพฉาก (ข) ตัวอย่างภาพขณะมีผู้ออกกำลังกาย



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก (ก) จากภาพด้านหน้า (ข) จากภาพด้านข้าง

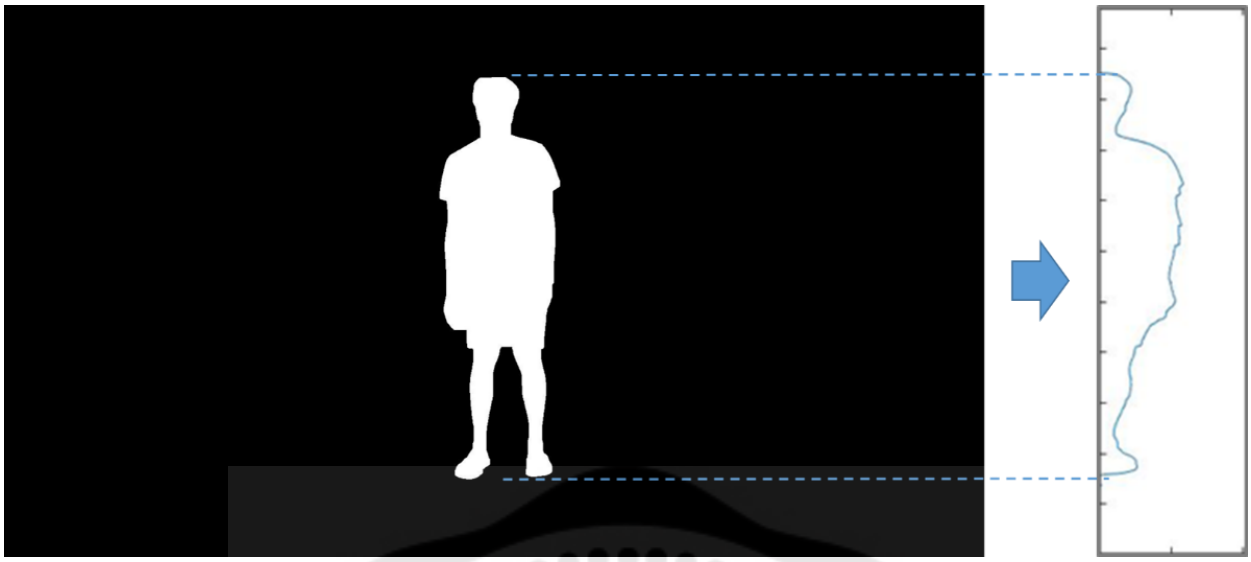
3.3 การหาตำแหน่งข้อต่อ

การหาตำแหน่งข้อต่อเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ อ้างอิงตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้าดังนี้ ข้อต่อหัวไหล่, ข้อต่อบริเวณข้อเท้า, ข้อต่อบริเวณปลายเท้า หรือบริเวณข้อต่ออะโครเมียม(Acromion), เมลลีโอลัส (Malleolus) และพรอกซิมอลเฟแลงซ์ที่สามThird proximal Phalanx ตามลำดับ อ้างอิงตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้างดังนี้ ข้อต่อสะโพก, ข้อต่อข้อเข่า, และข้อต่อปลายเท้า หรือบริเวณข้อต่อ เกรเทอร์ทอร์ชานเทอร์(Greater trochanter), แลตเทอร์รอล อิพิคอนดาย ของกระดูกฟิเมอร์(Lateral epicondyle of the femur), และดิสทอลเฟแลงซ์เฮดที่สอง(Second proximal phalanx head) ดังแสดงในภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6 แสดงตำแหน่งของข้อต่อที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1 การสร้างฮีสโตแกรม

ทำการสร้างฮีสโตแกรมจากภาพที่ผ่านกระบวนการ Background Subtraction และ Noise removal โดยการนับจำนวนพิกเซลสีขาวภายในภาพตามแนวแกน y (Horizontal histogram) และนับจำนวนพิกเซลสีขาวภายในภาพตามแนวแกน x (Vertical histogram) ตัวอย่างการสร้างฮีสโตแกรมจากภาพที่ผ่านจำแนกวัตถุออกจากฉาก แสดงในภาพที่ 3.7



(ก) (ข)

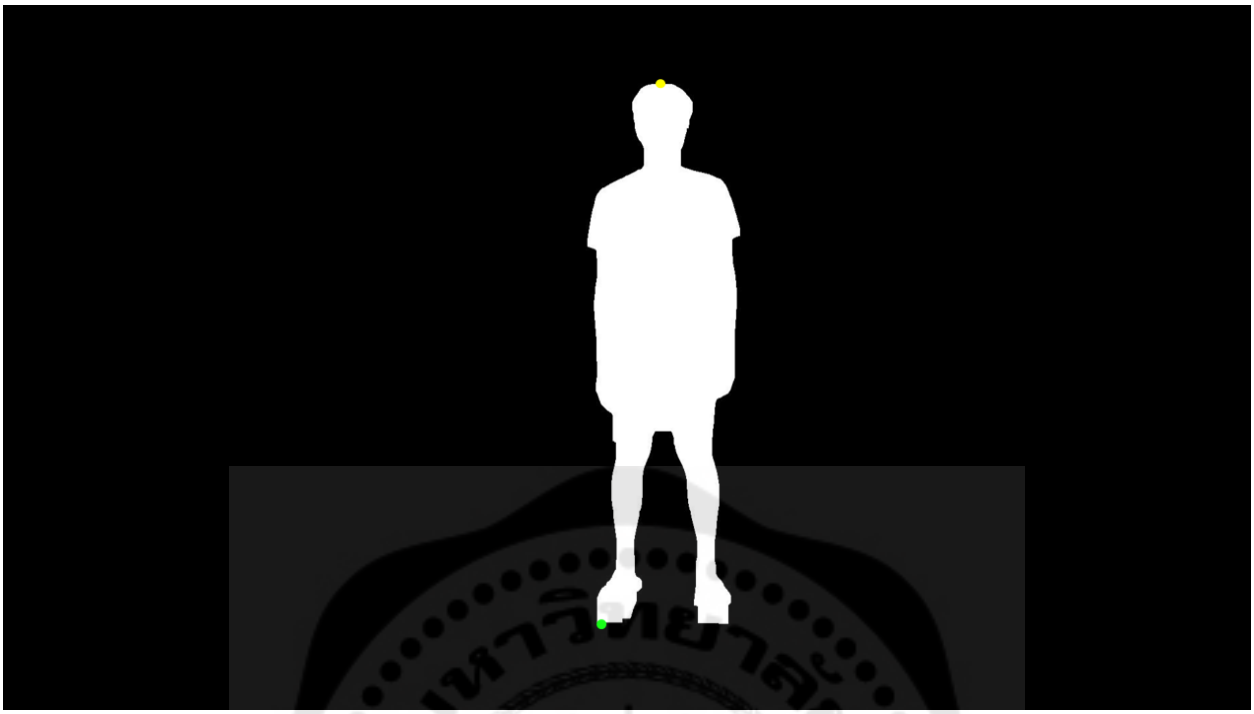
ภาพที่ 3.7 แสดงการสร้างฮีสโตแกรม

(ก) ภาพจากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก

(ข) ฮีสโตแกรมที่สร้างจากภาพ ก) โดยฮีสโตแกรมในแนวนอน(x-axis) คือจำนวนของพิกเซลสีขาว และแนวตั้ง(y-axis) คือลำดับของแถวจากภาพ ก)

3.3.2 การหาค่าความสูง

การหาค่าความสูงของผู้ออกกำลังกายจะวัดจากการใช้พิกัดของพิกเซลสีขาวแถวแรก (First point) นับจากด้านบนสุดจนถึงตำแหน่งของพิกเซลสีขาวที่แถวสุดท้าย (Last point) จากด้านล่าง เพื่อหาลำดับของแถวแรกของพิกเซลสีขาวด้านบน (First row) กับลำดับแถวสุดท้ายของพิกเซลสีขาวด้านล่าง (Last low) นำมาหาผลต่างเพื่อหาค่าความสูงของผู้ออกกำลังกายในแต่ละเฟรม ซึ่งค่าความสูงที่ใช้ในการทำงานของระบบประกอบด้วย ค่าส่วนสูงจริง (True high) คือค่าส่วนสูงที่มากที่สุด ใช้ในการอ้างอิงค่าส่วนสูงของทั้งวีดีโอ และกำหนดเฟรมอ้างอิง และค่าส่วนสูงแต่ละเฟรม (Frame high) ใช้ระบุว่าผู้ออกกำลังกายกำลังสควอทอยู่ในขั้นตอนเตรียมสควอทหรือขั้นตอนขณะกำลังสควอท ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงการหาค่าความสูงของผู้ออกกำลังกาย กรอบสีน้ำเงินเป็นกรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย จุดสีเหลืองแสดงตำแหน่งพิกเซลสีขาวจุดแรก (First point) ใช้ในการกำหนดแถวแรก (First row) จุดสีเขียวแสดงตำแหน่งพิกเซลสีขาวสุดท้าย (Last point) ใช้ในการระบุแถวสุดท้าย (Last low)

3.3.3 การหาตำแหน่งข้อไหล่

หาตำแหน่งข้อไหลโดยการวิเคราะห์ความชันกราฟฮีสโตแกรมของแถวตามสมการที่ 2 โดยลักษณะของความชันฮีสโตรแกรมของศีรษะเมื่อไล่จากด้านบนจนถึงคอจะมีค่าเป็นช่วง 2 ช่วงคือช่วงที่หนึ่ง ค่าความชันจะมากกว่า 0 และช่วงที่สองคือค่าความชันจะน้อยกว่า 0 ทำการหาความยาวของศีรษะ (LH) โดยการไล่ค่าความชันตั้งแต่พิกเซลสีขาวแถวแรกด้านบนสุดของศีรษะจนถึงลำคอ หาตำแหน่งไหล่โดยใช้ค่า ครึ่งหนึ่งของความยาวศีรษะ (hLH) บวกกับความยาวของศีรษะ จะได้แถวของตำแหน่งไหล่ (Row of Shoulder) ตามสมการที่ 3 จากนั้นหาพิกัดที่ภาพมีค่าสีมากกว่า 0 ในแถวเดียวกันเป็นจุดไหล่ขวา แล้วเลื่อนพิกเซลในแนวนอนต่อจนกว่าค่าสีจะเปลี่ยนเป็น 0 จะเป็นพิกัดจุดไหล่ซ้าย[18] ดังแสดงในภาพที่ 3.9

$$slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} \tag{2}$$

เมื่อ slope คือ ค่าความชันกราฟ

Δy คือ ผลต่างระหว่างพิกัดบนแกน y

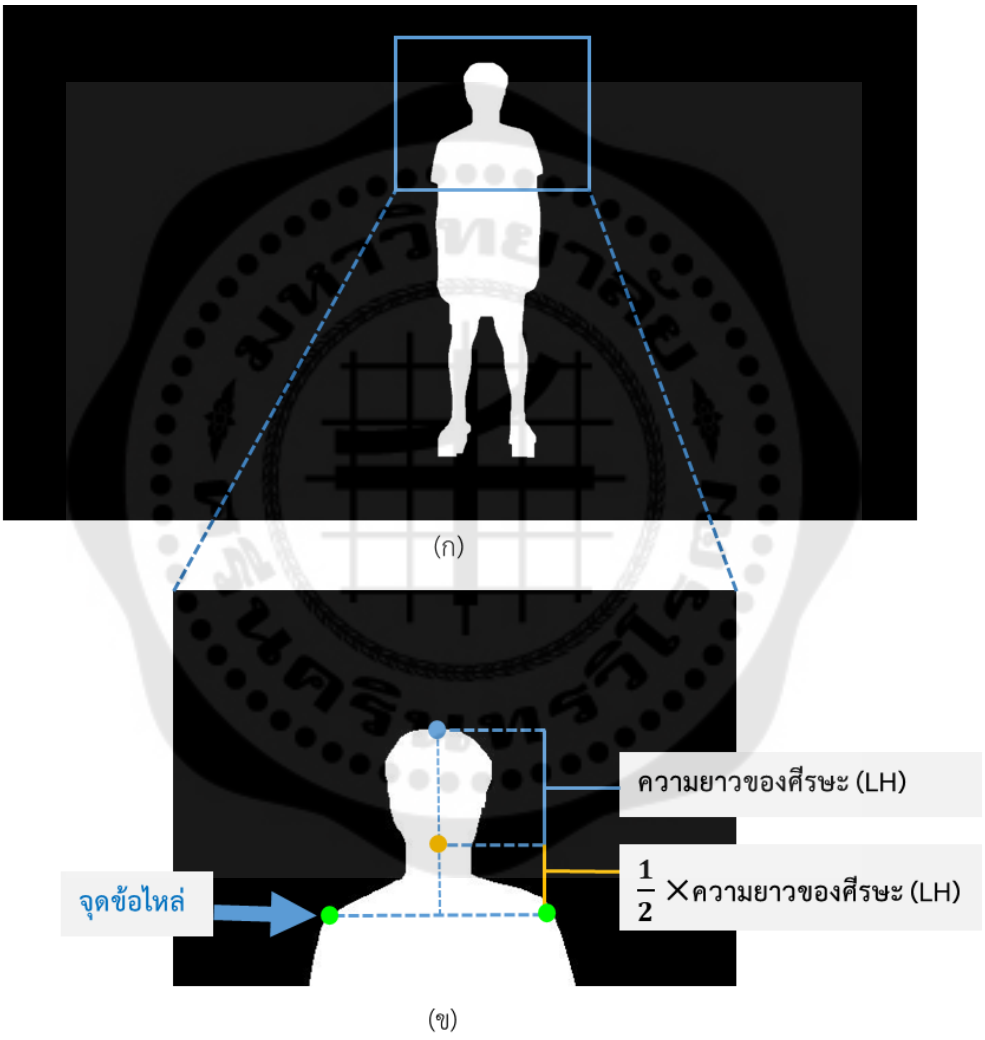
Δx คือ ผลต่างระหว่างพิกัดบนแกน x

$$Row\ of\ Shoulder\ =\ LH\ +\ hLH \tag{3}$$

เมื่อ Row of Shoulder คือ แถวของตำแหน่งไหล่

LH คือ ความยาวของศีรษะ

hLH คือ ครึ่งหนึ่งของความยาวศีรษะ



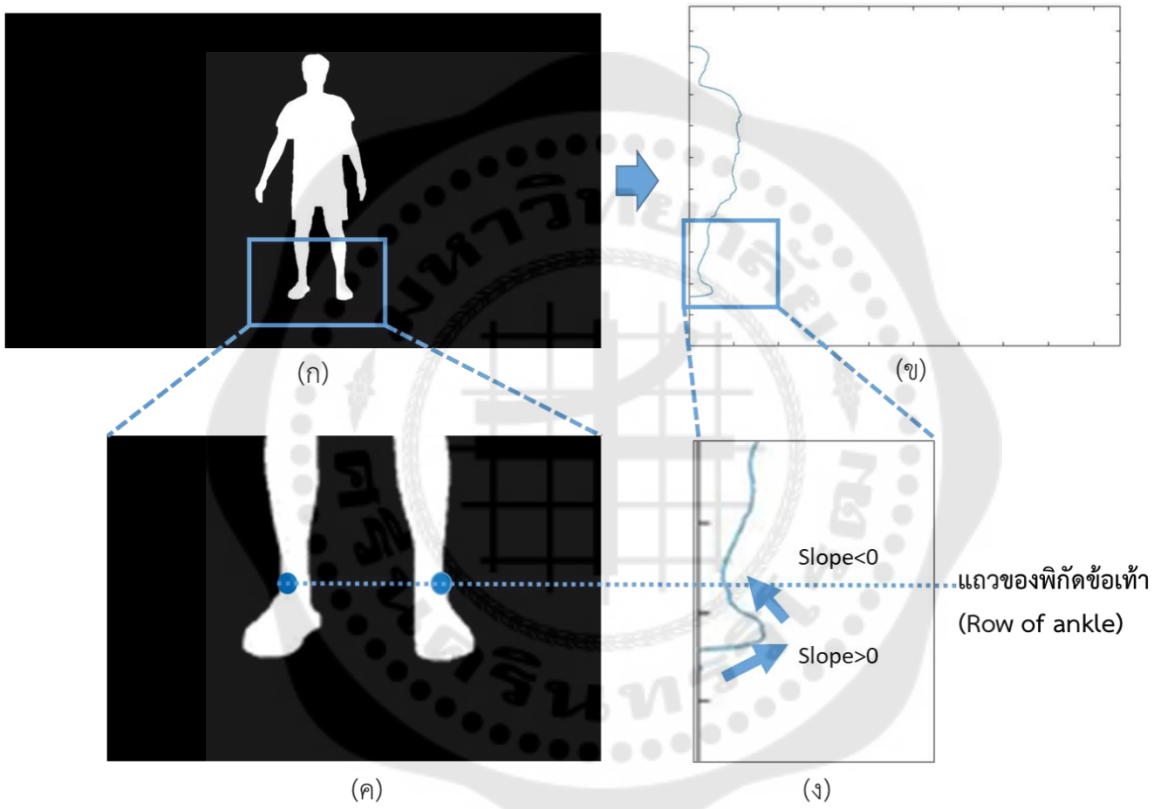
ภาพที่ 3.9 แสดงวิธีการหาตำแหน่งข้อไหล่

(ก) ภาพจากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก

(ข) ภาพขยายจากภาพ ก) แสดงการหาจุดข้อไหล่ โดยพิกเซลที่แสดงจุดข้อไหล่แสดงด้วยจุดสีเขียว ความยาวของศีรษะ (LH) เริ่มวัดจากตำแหน่งบนสุดของศีรษะแสดงดังจุดสีน้ำเงิน จนถึงตำแหน่งคอแสดงดังจุดสีเหลือง

3.3.4 การหาตำแหน่งข้อเท้า

หาตำแหน่งข้อเท้าจากภาพที่ผ่านกระบวนการจำแนกวัตถุ ภาพที่ 3.9 (ก) โดยการวิเคราะห์ความชันกราฟฮีสโตแกรม ภาพที่ 3.9 (ข) ลักษณะของความชันกราฟฮีสโตรแกรมของข้อเท้าเมื่อไล่จากพิกเซลด้านล่างสุดจนถึงแถวของพิกัดข้อเท้าจะมีค่าเป็นช่วง 2 ช่วงคือช่วงแรก ค่าความชันจะมากกว่า 0 และช่วงที่สองคือค่าความชันจะน้อยกว่า 0 เมื่อค่าความชันเริ่มเปลี่ยนเป็นมากกว่า 0 อีกครั้ง จะกำหนดให้พิกัดดังกล่าวเป็นแถวของพิกัดข้อเท้า (Row of ankle) ดังภาพที่ 3.9 (ง) และแสดงพิกัดของข้อเท้าในภาพที่ 3.9 (ค)



ภาพที่ 3.10 แสดงการหาตำแหน่งข้อเท้า

(ก) ภาพจากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก

(ข) ฮีสโตแกรมจากภาพ ก)

(ค) ภาพขยายจากภาพ ก) จุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งข้อเท้า

(ง) ภาพขยายจากภาพ ข) แสดงการหาแถวของตำแหน่งข้อเท้า (Row of ankle)

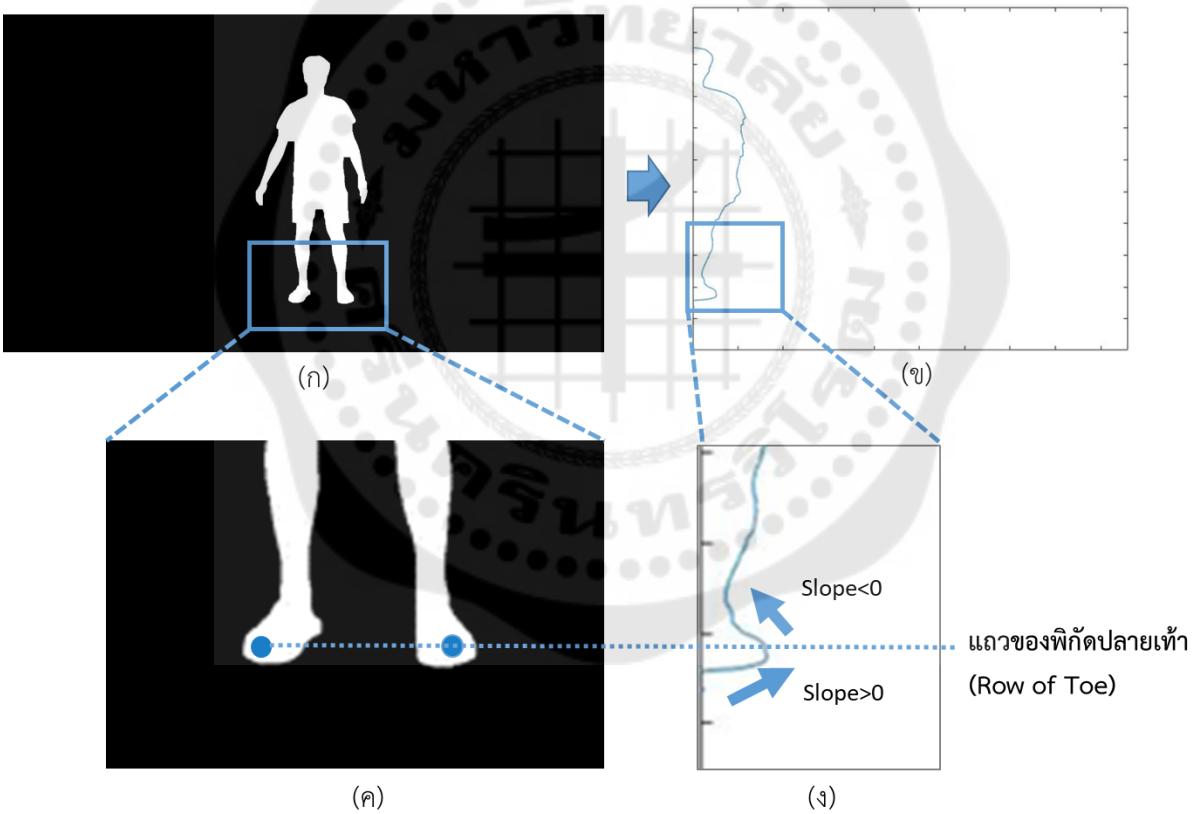
3.3.5 การหาตำแหน่งปลายเท้าในภาพด้านหน้า

หาตำแหน่งปลายเท้าจากภาพที่ผ่านกระบวนการจำแนกวัตถุ ภาพที่ 3.10 (ก) โดยการวิเคราะห์ความชันกราฟฮีสโตแกรม ภาพที่ 3.10 (ข) ลักษณะของความชันฮีสโตรแกรมของเท้าเมื่อไล่จากพิกเซลด้านล่างสุดจนถึงพิกเซลที่ตำแหน่งปลายเท้า ค่าความชันจะมากกว่า 0 เมื่อค่าความชันเริ่มเปลี่ยนเป็นน้อยกว่า 0 จะให้แถวดังกล่าวเป็นแถวของพิกัดจุดปลายเท้า ดังภาพที่ 3.10 (ง) จากนั้นลบค่าที่ได้เข้าหาลำตัว 2Hpix พิกเซล ซึ่งค่า Hpix หาได้จากสมการที่ 4 เพื่อให้ใกล้เคียงกับจุดข้อต่อมากที่สุด พิกัดปลายเท้าแสดงดังภาพที่ 3.10 (ค)

$$Hpix = \frac{\mathbf{MaxH}}{\mathbf{100}} \tag{4}$$

เมื่อ Hpix คือ ระยะกำหนด

MaxH คือ ส่วนสูงเต็มของผู้ออกกำลังกาย



ภาพที่ 3.11 ภาพแสดงการหาตำแหน่งปลายเท้า

(ก) ภาพจากกระบวนการจำแนกวัตถุออกจากฉาก

(ข) ฮีสโตแกรมจากภาพ ก)

(ค) ภาพขยายจากภาพ ก) แสดงตำแหน่งปลายเท้า

(ง) ภาพขยายจากภาพ ข. แสดงการหาตำแหน่งปลายเท้า

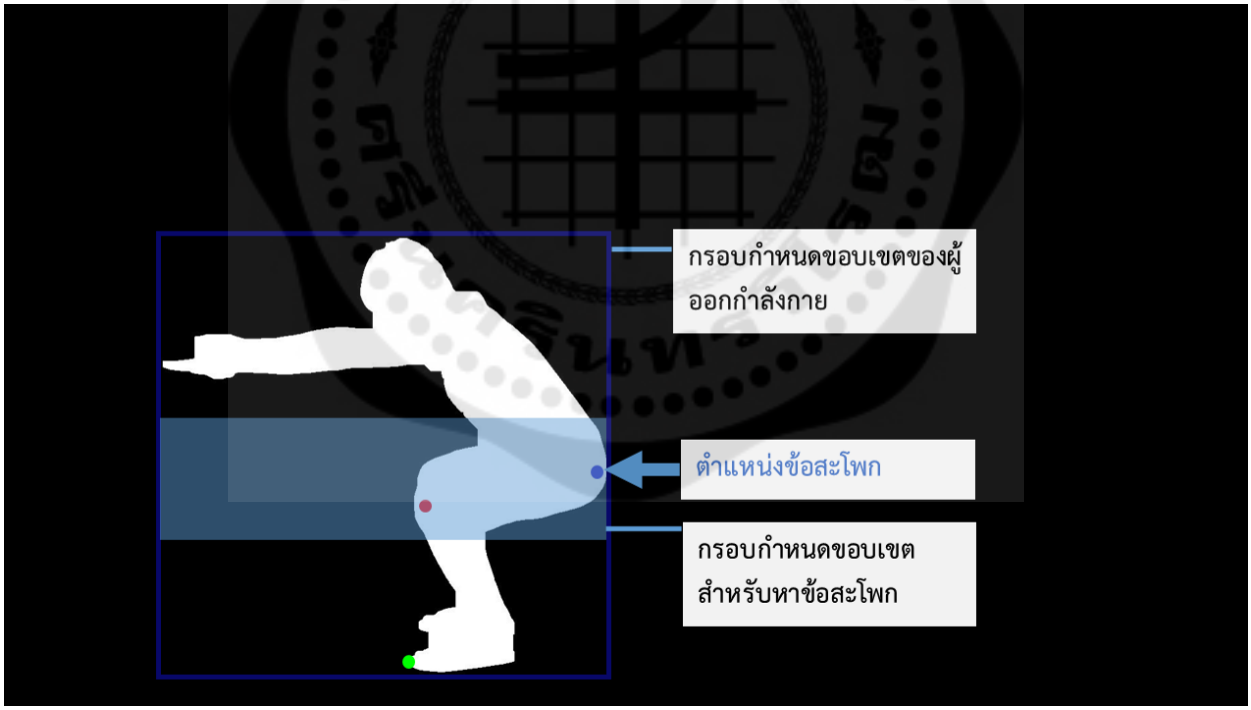
3.3.6 การหาตำแหน่งข้อสะโพก

หาตำแหน่งของสะโพกจากภาพด้านข้าง ใช้การกำหนดขอบเขตสำหรับหาข้อสะโพก โดยในแนวแกน x จะกำหนดโดยใช้กรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย ส่วนในแนวแกน y จะกำหนดช่วง โดยเริ่มที่ความสูงตั้งแต่ 1 ใน 3 ของส่วนสูงของผู้ออกกำลังกายจนถึง 2 ใน 3 ของส่วนสูงของผู้ออกกำลังกาย ตามสมการที่ 5 โดยอ้างอิงจากความสูงของผู้ออกกำลังกาย (MaxH) และตำแหน่งของสะโพกในขณะที่กำลังอยู่ในท่าสควอท จากนั้นหาจุดสีขาวภายในขอบเขตที่กำหนดจากด้านหลังมาด้านหน้าของผู้ออกกำลังกาย เมื่อเจอตำแหน่งพิกเซลสีขาวแรก จะทำการลบค่า Hpix พิกเซล เพื่อให้ได้ค่าพิกัดข้อสะโพก

ตำแหน่งของข้อสะโพก = $\{\left(x_{Hip}, y_{Hip}\right) \mid \frac{1}{3} \times MaxH \geq y_{Hip} \geq \frac{2}{3} \times MaxH\}$ (5)

เมื่อ x_{Hip} คือ พิกัดข้อเข่าในแนวแกน x

y_{Hip} คือ พิกัดข้อเข่าในแนวแกน y



ภาพที่ 3.12 ภาพแสดงการหาตำแหน่งสะโพก กรอบสีน้ำเงินแสดงกรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย กรอบสีฟ้าแสดงกรอบกำหนดขอบเขตสำหรับหาข้อสะโพก จุดสีน้ำเงินแสดงพิกัดข้อสะโพก

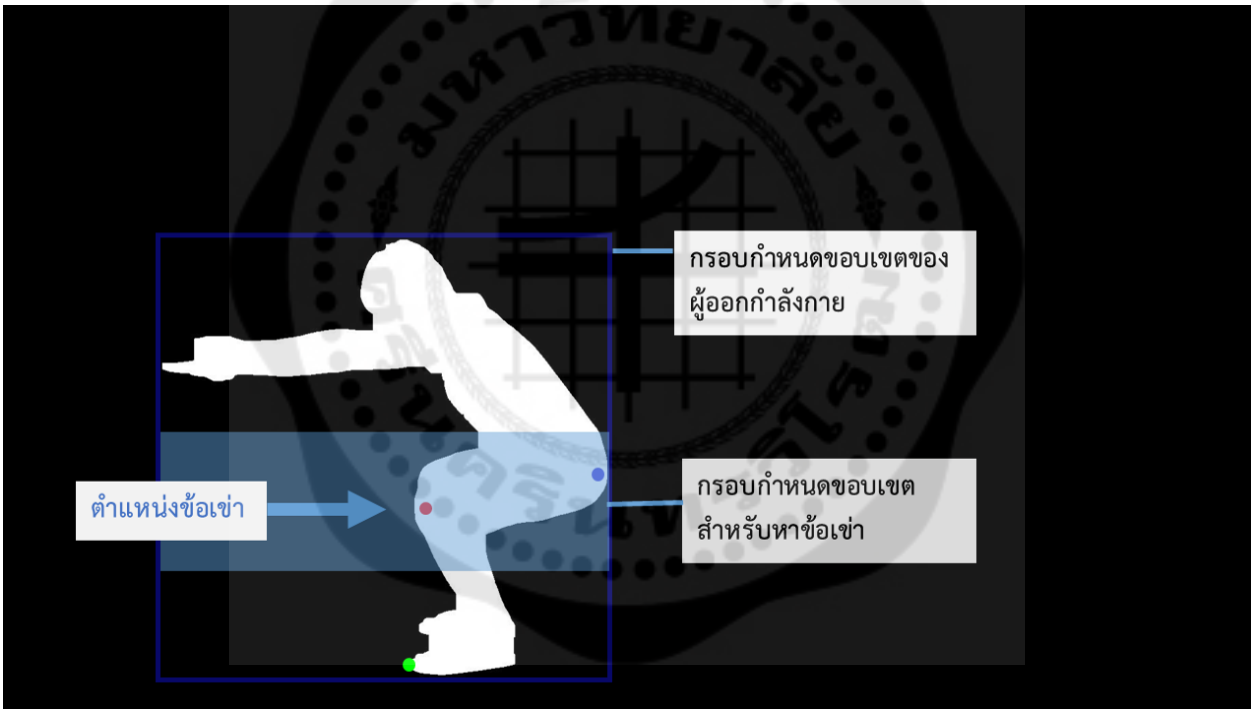
3.3.7 การหาตำแหน่งข้อเข่า

หาตำแหน่งของสะโพกจากภาพด้านข้าง ใช้การกำหนดขอบเขตสำหรับหาข้อสะโพก โดยในแนวแกน x จะกำหนดโดยใช้กรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย ส่วนในแนวแกน y จะกำหนดช่วงโดยเริ่มที่ความสูงตั้งแต่ 3 ใน 5 ส่วนของสูงของผู้ออกกำลังกายนับจากด้านบนจนถึง 4 ใน 5 ของส่วนสูงของผู้ออกกำลังกาย ตามสมการที่ 6 โดยอ้างอิงจากความสูงของผู้ออกกำลังกาย (MaxH) และตำแหน่งของเข่าในขณะที่กำลังอยู่ในท่าสควอท จากนั้นไล่หาจุดสีขาวภายในขอบเขตที่กำหนดจากบนลงล่าง และจากด้านหน้ามาด้านหลังของผู้ออกกำลังกาย เมื่อเจอตำแหน่งพิกเซลสีขาวแรก จะทำการบวกค่า Hpix พิกเซล เพื่อให้ได้ค่าพิกัดข้อเข่า

ตำแหน่งของข้อเข่า = $\{(x_{Knee}, y_{Knee}) \mid \frac{3}{5} \times MaxH \geq y_{Knee} \geq \frac{4}{5} \times MaxH\}$ (6)

เมื่อ x_{Knee} คือ พิกัดข้อเข่าในแนวแกน x

y_{Knee} คือ พิกัดข้อเข่าในแนวแกน y



ภาพที่ 3.13 ภาพแสดงการหาตำแหน่งข้อเข่า กรอบสีน้ำเงินแสดงกรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย กรอบสีฟ้าแสดงกรอบกำหนดขอบเขตสำหรับหาข้อเข่า จุดสีแดงแสดงพิกัดข้อเข่า

3.3.8 การหาตำแหน่งปลายเท้าในภาพด้านข้าง

หาตำแหน่งของปลายเท้าในภาพด้านข้างใช้การกำหนดขอบเขตสำหรับหาปลายเท้า โดยในแนวแกน x จะกำหนดโดยใช้กรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย ส่วนในแนวแกน y จะกำหนดช่วงโดยเริ่มที่ความสูง

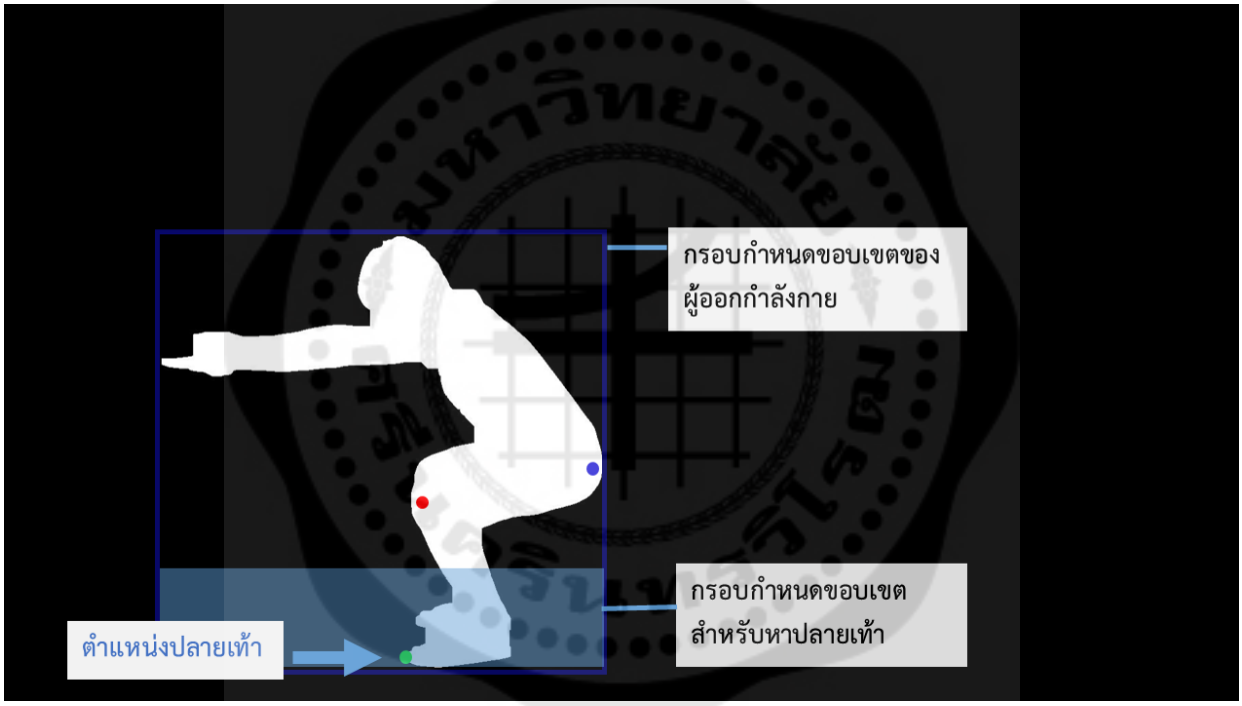
ตั้งแต่ 7 ใน 8 ส่วนของสูงของผู้ออกกำลังกายนับจากด้านบนจนถึงแถวสุดท้ายของภาพ (Last low) ดังสมการที่ 7 อ้างอิงจากความสูงของผู้ออกกำลังกายและตำแหน่งของปลายเท้าในขณะที่กำลังอยู่ในท่าสควอท จากนั้นไล่หาจุดสีขาวภายในขอบเขตที่กำหนดจากด้านหน้ามาด้านหลังของผู้ออกกำลังกาย

$$\text{ตำแหน่งของปลายเท้า} = \{(x_{Toe}, y_{Toe}) \mid \frac{7}{8} \times MaxH \geq y_{Toe} \geq Last\ low\} \quad (7)$$

เมื่อ x_{Toe} คือ พิกัดปลายเท้าในแนวแกน x

y_{Toe} คือ พิกัดปลายเท้าในแนวแกน y

Last low คือ แถวลำดับสุดท้ายในภาพ



ภาพที่ 3.14 ภาพแสดงการหาตำแหน่งปลายเท้าจากภาพด้านข้าง กรอบสีน้ำเงินแสดงกรอบกำหนดขอบเขตของผู้ออกกำลังกาย กรอบสีฟ้าแสดงกรอบกำหนดขอบเขตสำหรับหาข้อเข่า จุดสีเขียวแสดงพิกัดปลายเท้า

3.4 การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า

ในหัวข้อนี้จะคำนวนระยะข้อต่อเพื่อนำไปคำนวนหาระยะยืนของผู้ทดสอบในภาพด้านหน้า และคำนวนมุมงอเข่าเพื่อนำไปตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทในภาพด้านข้าง

3.4.1 การคำนวนระยะข้อต่อในภาพด้านหน้า

นำระยะห่างระหว่างจุดมาคำนวนหาความกว้างของไหล่ ปลายเท้า และข้อเท้า จากสมการที่ 8 และระยะยืนคำนวนได้จากสมการที่ 9

$$PL - PR = distance \quad (8)$$

เมื่อ distance คือ ระยะห่างระหว่างจุด

PR คือ ตำแหน่งจุดทางขวา

PL คือ ตำแหน่งจุดทางซ้าย

$$\text{standing distance} = \frac{\text{ankle distance+toe distance}}{2} \quad (9)$$

เมื่อ standing distance คือ ระยะยืน

ankle distance คือ ระยะระหว่างข้อเท้า

toe distance คือ ระยะระหว่างปลายเท้า

3.4.2 การวัดมุมงอเข่า

การวัดมุมงอเข่าสามารถทำได้โดยใช้มุมระหว่างเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับแนวระนาบกับเวกเตอร์ที่สร้างจากระยะระหว่างสะโพกจนถึงหัวเข่ามาคำนวนโดยใช้สูตรทางตรีโกณมิติ โดยสามารถหาขนาดเวกเตอร์ได้จากสมการที่ 10 และหามุมงอเข่าได้จากสมการที่ 11

$$|A| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (10)$$

เมื่อ (x_1, y_1) คือ พิกัดของตำแหน่งข้อสะโพก

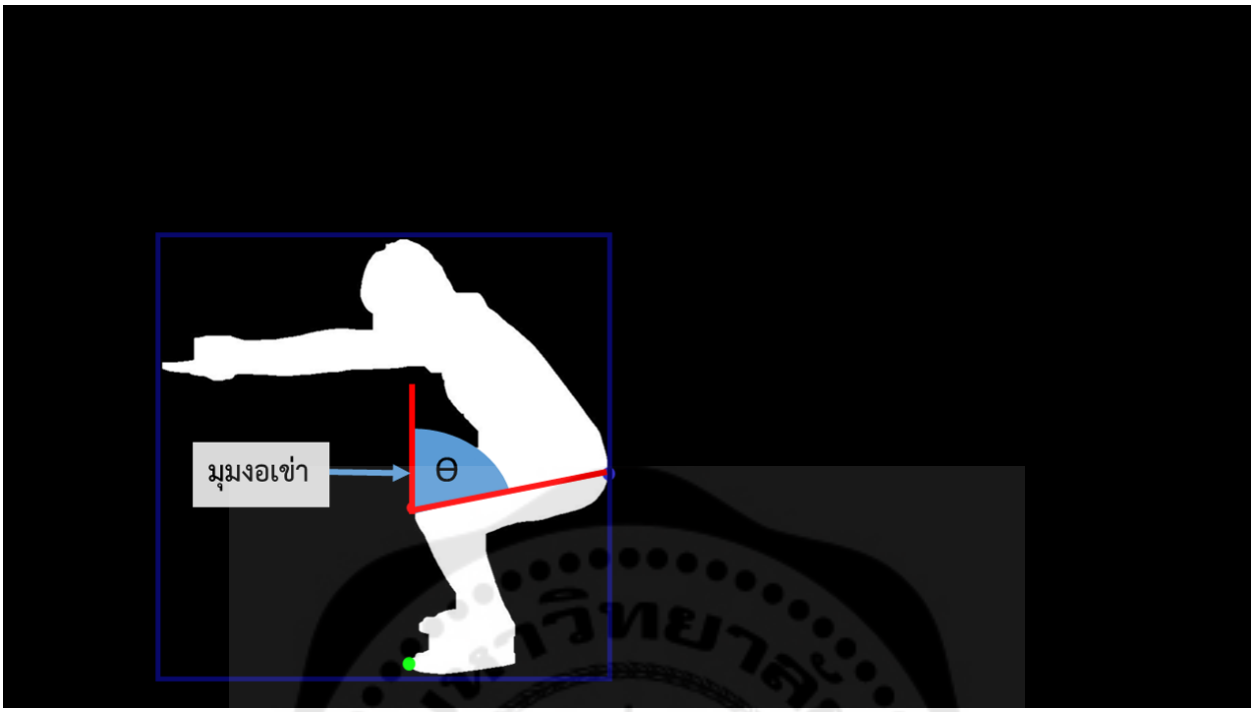
(x_2, y_2) คือ พิกัดของตำแหน่งข้อเข่า

$$\theta = \arccos\frac{a}{b} \quad (11)$$

เมื่อ θ คือ มุมงอเข่า

a คือ ขนาดเวกเตอร์เส้นที่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ที่อยู่ระหว่างตำแหน่งเข่าและสะโพก

b คือ ขนาดเวกเตอร์จากหัวเข่าถึงสะโพก



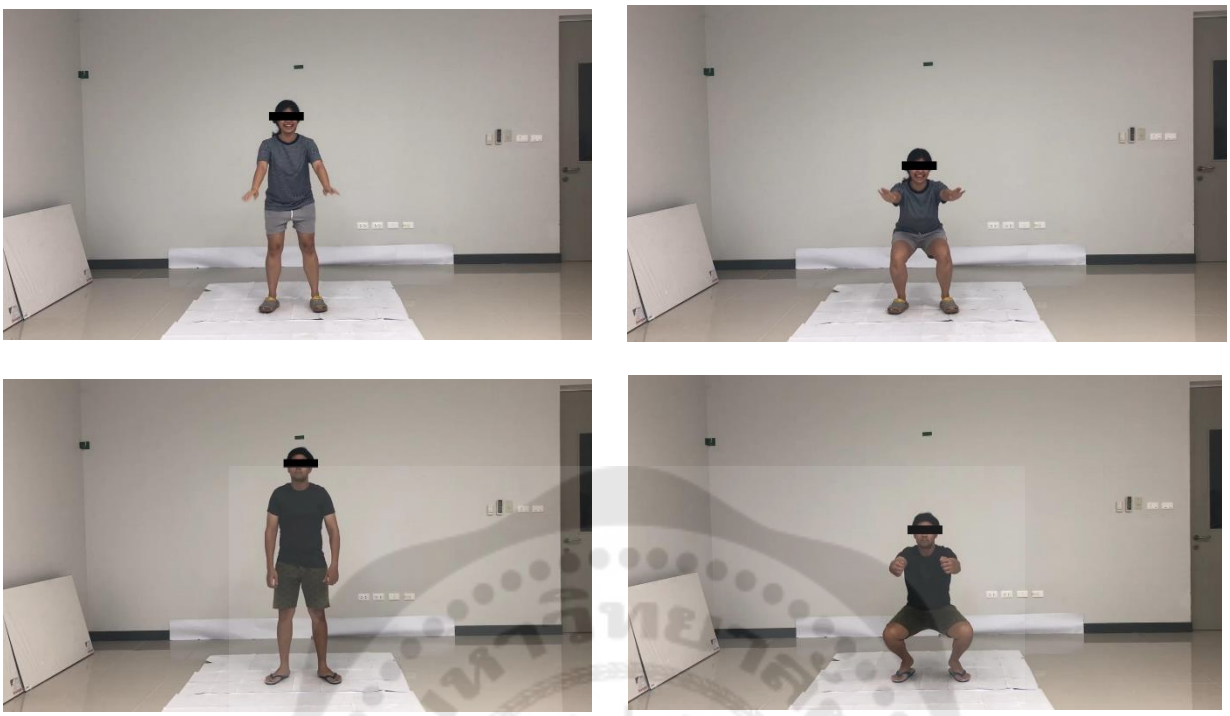
ภาพที่ 3.15 แสดงมุมงอเข่า (θ)

3.5 การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอท

ในหัวข้อนี้จะนำระยะไหล่ ระยะยืน ตำแหน่งข้อเข่า ตำแหน่งปลายเท้าในภาพด้านข้าง และมุมงอเข่ามาใช้ในการจำแนกท่าสควอทตามหลักการการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่ปลอดภัยในหัวข้อ 2.1.2

3.5.1 ลักษณะการทำท่าสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านหน้า

การตรวจสอบความถูกต้องของการทำท่าสควอทในภาพด้านหน้า จะดำเนินการตรวจสอบว่าระยะการยืนมีความยาวอยู่ระหว่างระยะไหล่จนถึงร้อยละ 171 ของระยะไหล่หรือไม่ ตัวอย่างท่าสควอทที่ถูกต้องในภาพด้านหน้าแสดงในภาพที่ 3.16



(ก) (ข)

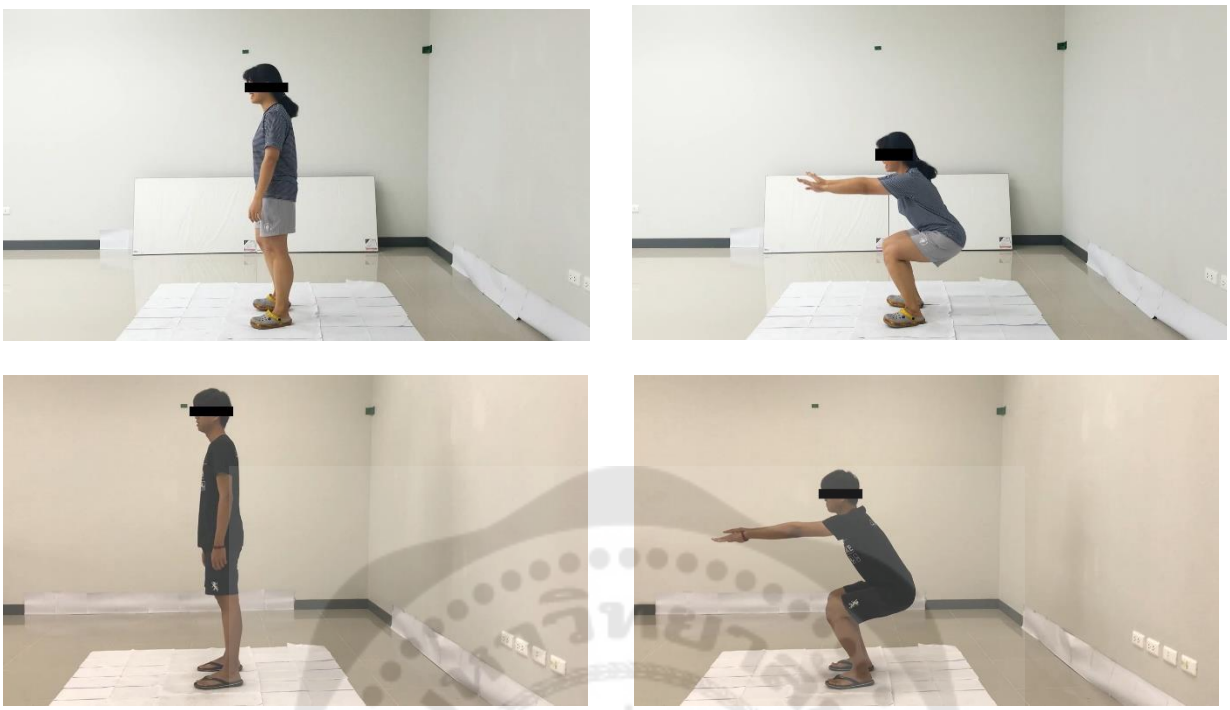
ภาพที่ 3.16 ภาพตัวอย่างการทำสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านหน้า

(ก) ขณะเตรียมสควอท

(ข) ขณะสควอท

3.5.2 ลักษณะการทำท่าสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านข้าง

การตรวจสอบท่าสควอทในภาพด้านข้างจะตรวจสอบจากระยะข้อเข่า และขนาดของมุมงอเข่า โดยระยะเข่าจะต้องไม่เกินระยะปลายเท้า และขนาดของมุมงอเข่าจะต้องไม่เกิน 100 องศา ตัวอย่างท่าสควอทที่ถูกต้องแสดงในภาพที่ 3.17



(ก) (ข)

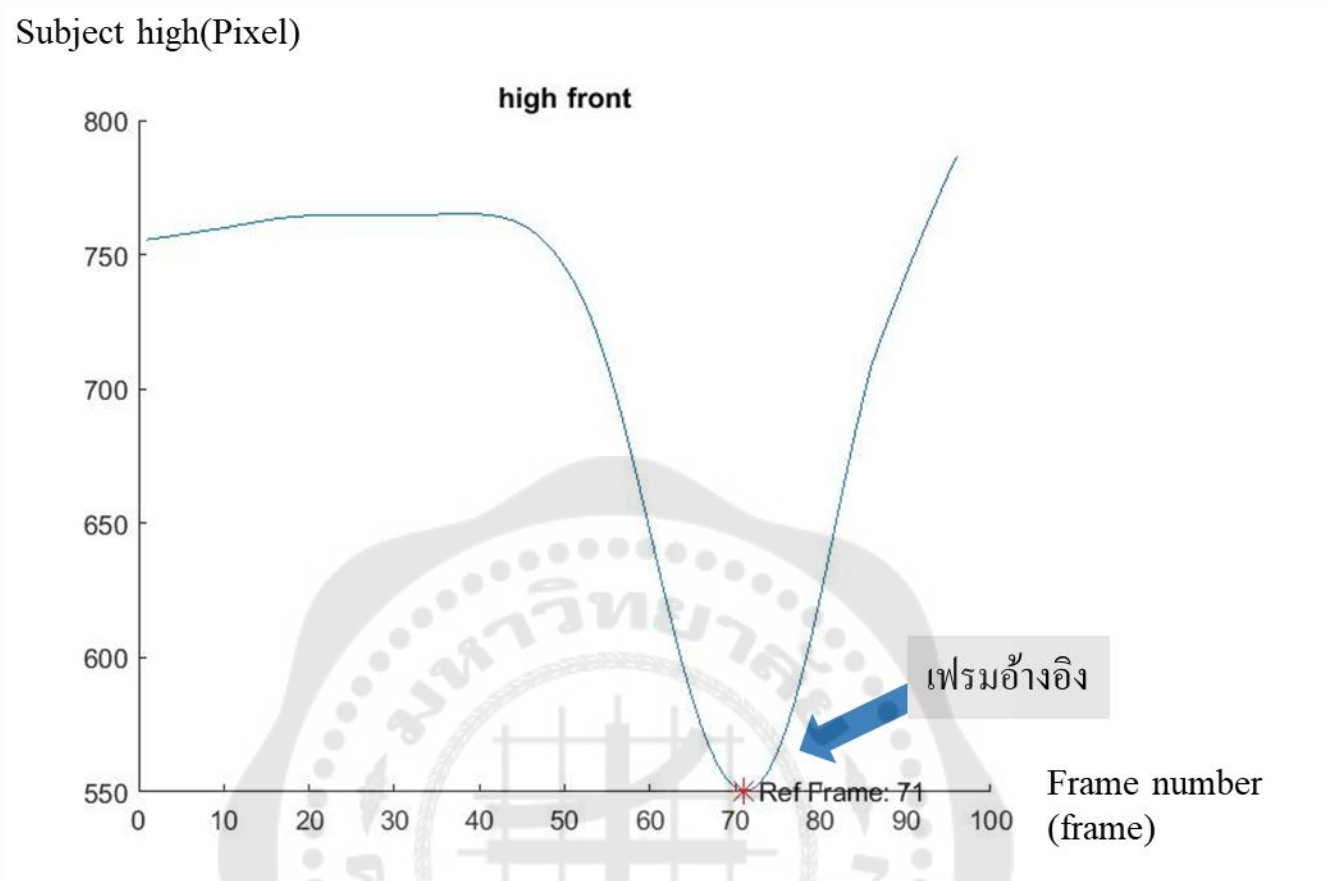
ภาพที่ 3.17 ภาพตัวอย่างการทำสควอทที่ถูกต้องจากภาพด้านข้าง

(ก) ขณะเตรียมสควอท

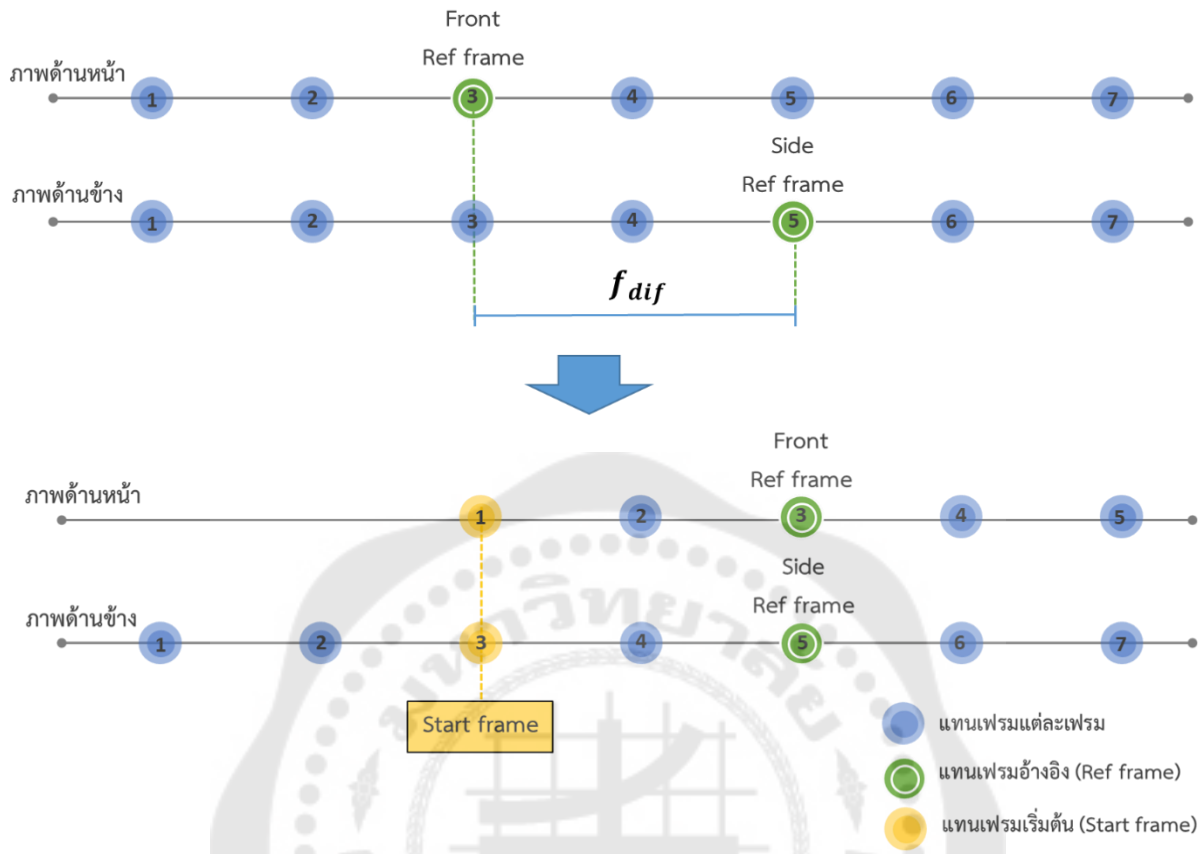
(ข) ขณะสควอท

3.5.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกัน

เริ่มจากการหาเฟรมอ้างอิงทำได้โดยการนำค่าความสูงของผู้ออกกำลังกายมาตรวจสอบหาเฟรมที่มีค่าความสูงน้อยที่สุดทั้งจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง โดยการนำค่าความสูงมาสร้างเป็นกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 3.18 แล้วหาความชันกราฟเพื่อหาตำแหน่งจุดวกกลับจุดแรกที่มีค่าความชันเป็น 0 ดังสมการที่ 2 เป็นการหาเฟรมที่ทำการสควอทครั้งแรกถึงจุดต่ำสุด กำหนดให้เป็น เฟรมอ้างอิง (Ref frame) ตัวอย่างการหาเฟรมอ้างอิงแสดงในภาพที่ 3.18 จากนั้นนำตำแหน่งของเฟรมดังกล่าวจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้างมาหาผลต่าง (f_{dif}) เพื่อทราบจำนวนผลต่างของเฟรมที่เหลื่อมกัน ทำให้สามารถกำหนด เฟรมเริ่มต้น (Start frame) เพื่อนำมาใช้ในการเริ่มวิเคราะห์ความถูกต้องพร้อมกันได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.18 กราฟแสดงผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของผู้ออกกำลังกาย ในแนวแกน y (พิกเซล) และลำดับของเฟรมในแนวแกน X (เฟรม) จุดสีแดงแสดงตำแหน่งเฟรมอ้างอิง (Ref frame)



ภาพที่ 3.19 แผนภาพแสดงการอธิบายการหาเฟรมเริ่มต้น (Start frame)

จากภาพที่ 3.19 ลำดับของเฟรมที่อยู่ตรงกันเริ่มจาก เฟรมเริ่มต้น (Start frame) จะนับว่าเป็นเฟรมเดียวกัน และจะดำเนินการวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกัน โดยนำค่าความถูกต้องของท่าสควอทจากภาพด้านหน้าและภาพด้านข้างมาใช้ในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 กรณี คือ ขณะเตรียมสควอท และขณะสควอท โดยในขณะเตรียมสควอทจะใช้การวิเคราะห์จากภาพด้านหน้าเท่านั้น ส่วนในขณะสควอทจะเริ่มนับเมื่อส่วนสูงของผู้ออกกำลังกายลดลงน้อยกว่า 8 ใน 9 ส่วนของส่วนสูงเต็ม และจะทำการวิเคราะทั้งภาพด้านหน้าและภาพด้านข้างที่คาดว่าว่าเป็นเฟรมเดียวกัน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะแสดงผลจากการทดลองซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ประกอบไปด้วย 1) การทดลองหาตำแหน่งข้อต่อ 2) การทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และหามุมงอเข่า 3) การทดลองหาเฟรมอ้างอิง 4) การทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน การทดลองทั้งหมดใช้ผู้ทดสอบสุขภาพดีจำนวน 10 คน ซึ่งได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการสควอทอย่างปลอดภัย สภาพห้องที่ใช้ในการทดลองได้รับแสงจากไฟบนเพดานห้องเท่านั้น

4.1 การทดลองหาตำแหน่งข้อต่อ

การทดลองเพื่อหาตำแหน่งข้อต่อเป็นการทดสอบความแม่นยำในการหาตำแหน่งของข้อต่อของระบบแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย คือ 1) ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า และ 2) ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง

4.1.1 วิธีการทดลอง

ดำเนินการเก็บผลการทดลองจากผู้ออกกำลังกาย 10 คน เก็บผลจากภาพวีดีโอด้านหน้าวีดีโอละ 10 เฟรม ทั้งหมด 10 วีดีโอ รวม 100 เฟรม เก็บผลจากภาพวีดีโอด้านข้างวีดีโอละ 10 เฟรม ทั้งหมด 10 วีดีโอ รวม 100 เฟรม โดยจะเริ่มบันทึกวีดีโอของผู้ออกกำลังกายขณะเริ่มทำการสควอทจนสิ้นสุดการทำสควอทแล้วนำภาพวีดีโอที่บันทึกกับภาพฉากมาหาตำแหน่งข้อต่อจากระบบเทียบกับค่าตำแหน่งของข้อต่อจริงซึ่งระบุโดยผู้เชี่ยวชาญ

4.1.2 ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า

ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า ประกอบด้วย ผลของระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อไหล่ด้านซ้าย ข้อไหล่ด้านขวา ข้อเท้าด้านซ้าย ข้อเท้าด้านขวา ปลายเท้าด้านซ้าย และปลายเท้าด้านขวา โดยแสดงค่าระยะที่คลาดเคลื่อนของข้อต่อระหว่างตำแหน่งข้อต่อจริง กับตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบดำเนินการหาระยะความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 13

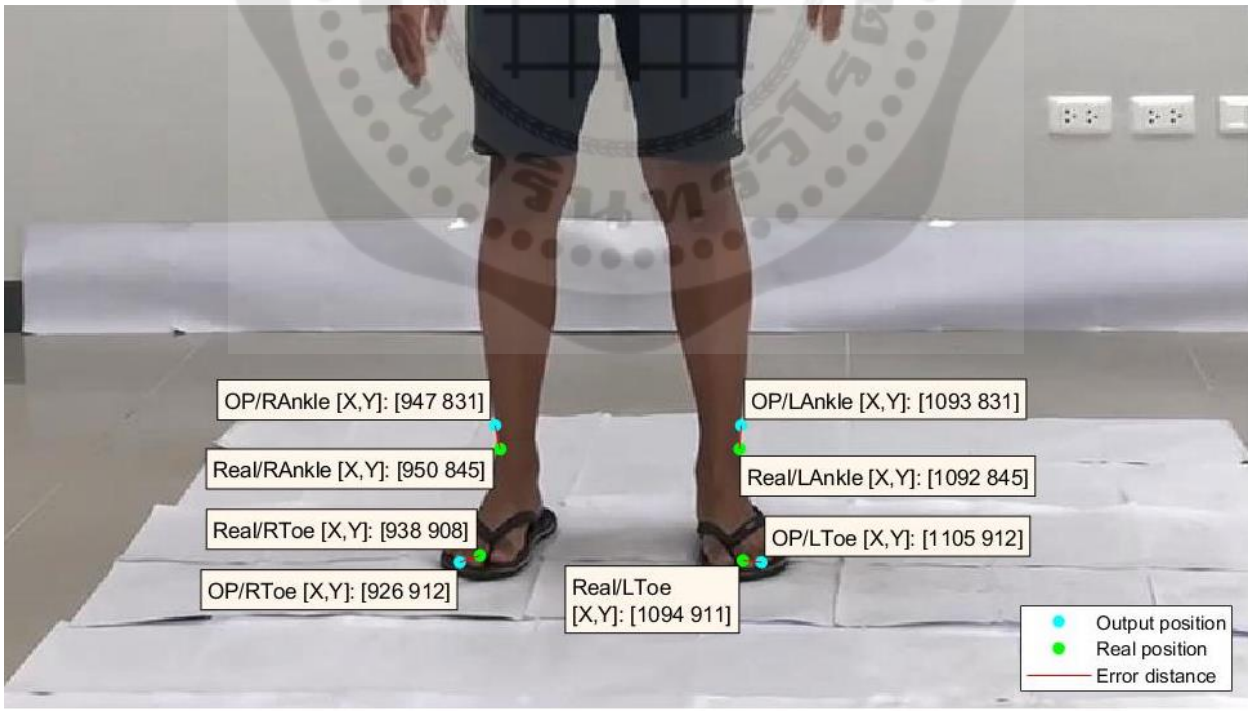
$$|D| = \sqrt{\left(\mathrm{x_r} - \mathrm{x_{op}}\right)^2 + (\mathrm{y_r} - \mathrm{y}_{op})^2} \tag{13}$$

เมื่อ $(\mathrm{x_r}, \mathrm{y_r})$ คือ พิกัดของตำแหน่งข้อต่อจริง

$(\mathrm{x_{op}}, \mathrm{y_{op}})$ คือ พิกัดของตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบ

การหาระยะความคลาดเคลื่อนของข้อต่อไหล่ซ้าย และข้อต่อไหล่ขวาแสดงในภาพที่ 4.1 (ก) การหาระยะความคลาดเคลื่อนของข้อเท้าด้านซ้าย ข้อเท้าด้านขวา ปลายเท้าด้านซ้าย และปลายเท้าด้านขวาแสดงในภาพที่ 4.1 (ข)

(ก)



(ข)

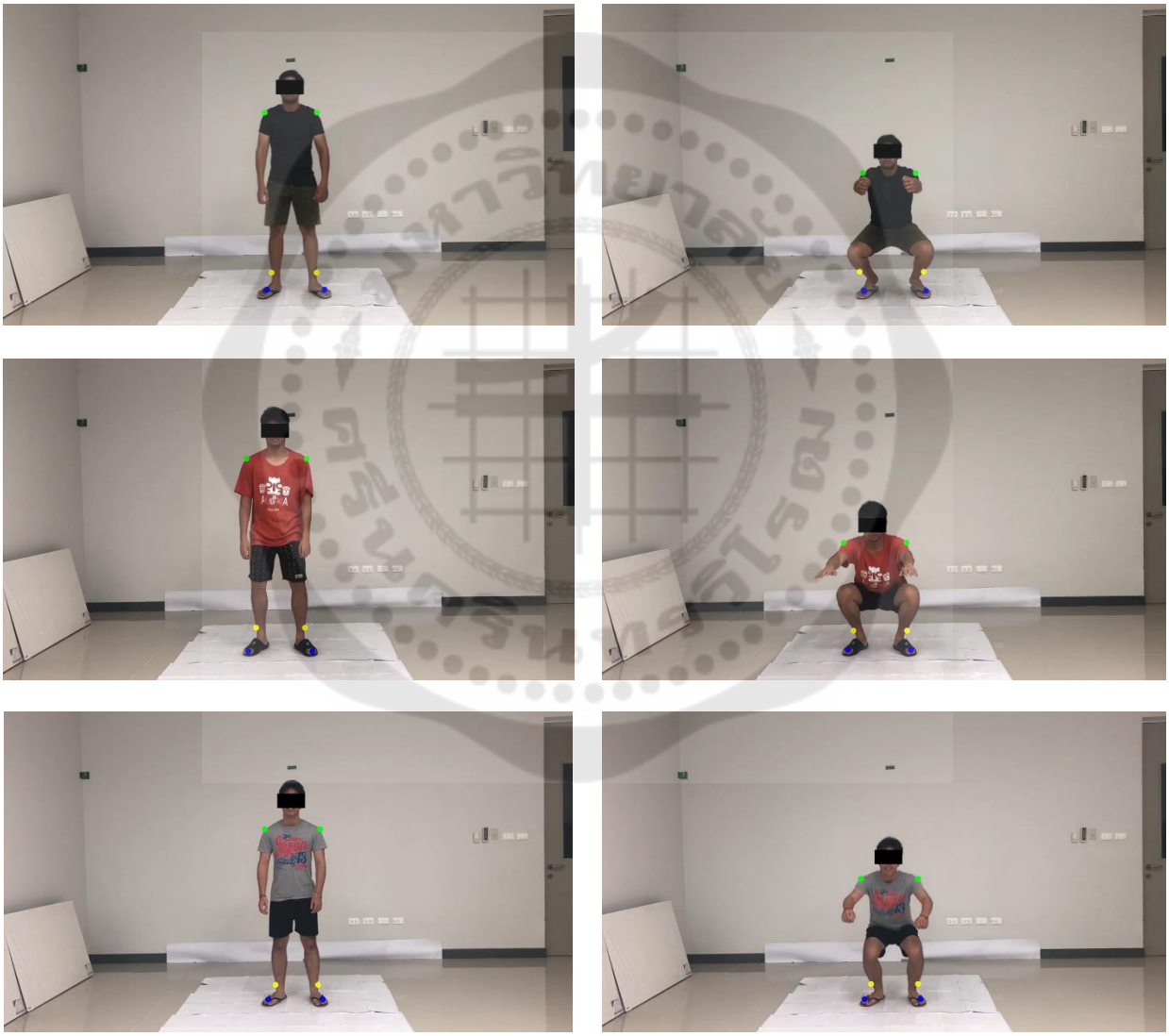
ภาพที่ 4.1 การหาระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้า โดยจุดสีฟ้าแสดงค่าตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบ (Output position) จุดสีเขียวแสดงตำแหน่งข้อต่อจริง (Real position) และเส้นสีแดงแสดงระยะที่คลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบกับตำแหน่งข้อต่อจริง (Error distance) (ก) ตำแหน่งตำแหน่งข้อไหล่ด้านซ้าย และข้อไหล่ด้านขวา (ข) ตำแหน่งข้อเท้าด้านซ้าย ข้อเท้าด้านขวา ปลายเท้าด้านซ้าย และปลายเท้าด้านขวา

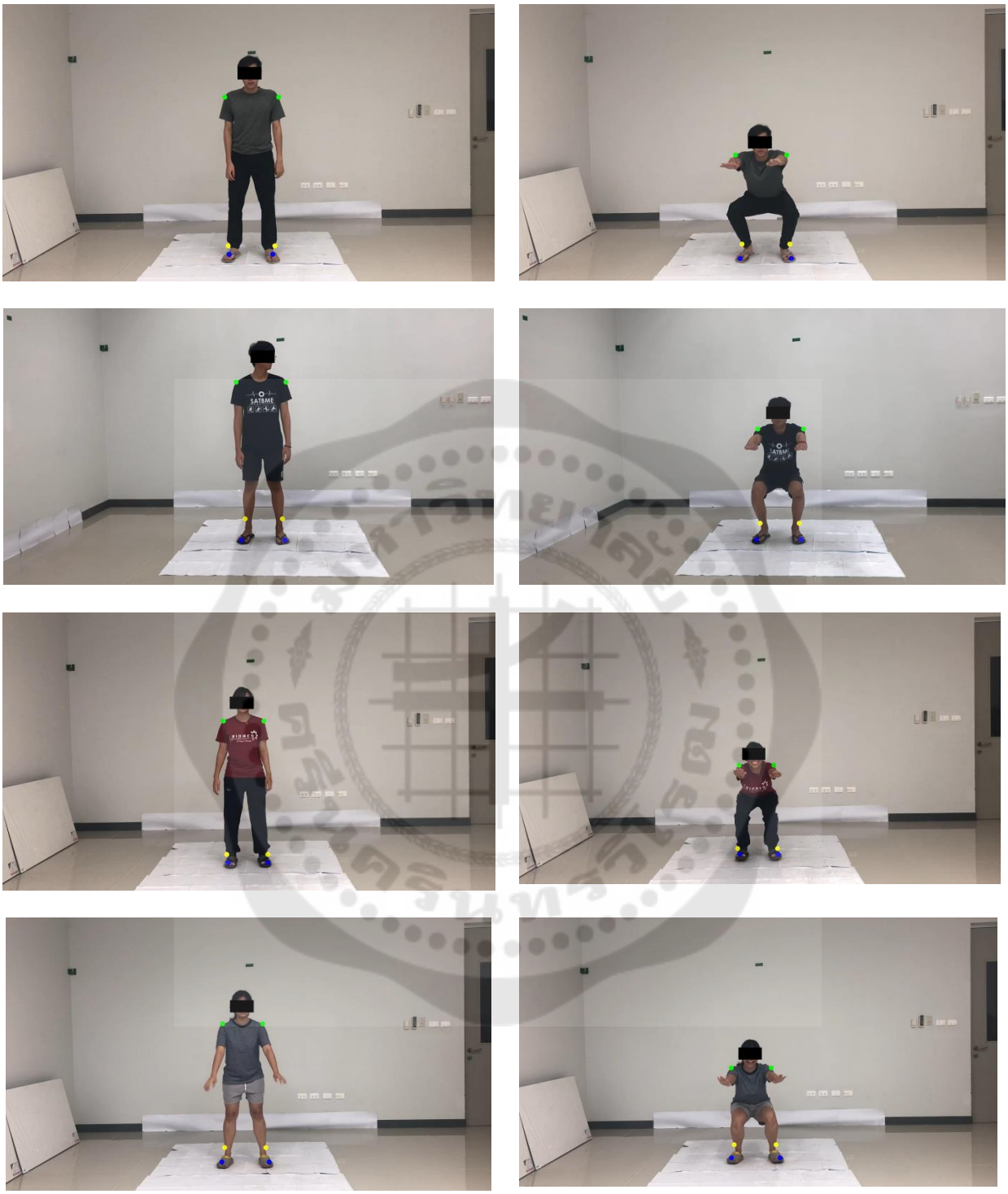
ผลลัพธ์จากการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้าแสดงในตารางที่ 3 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้าแสดงในภาพที่ 4.2

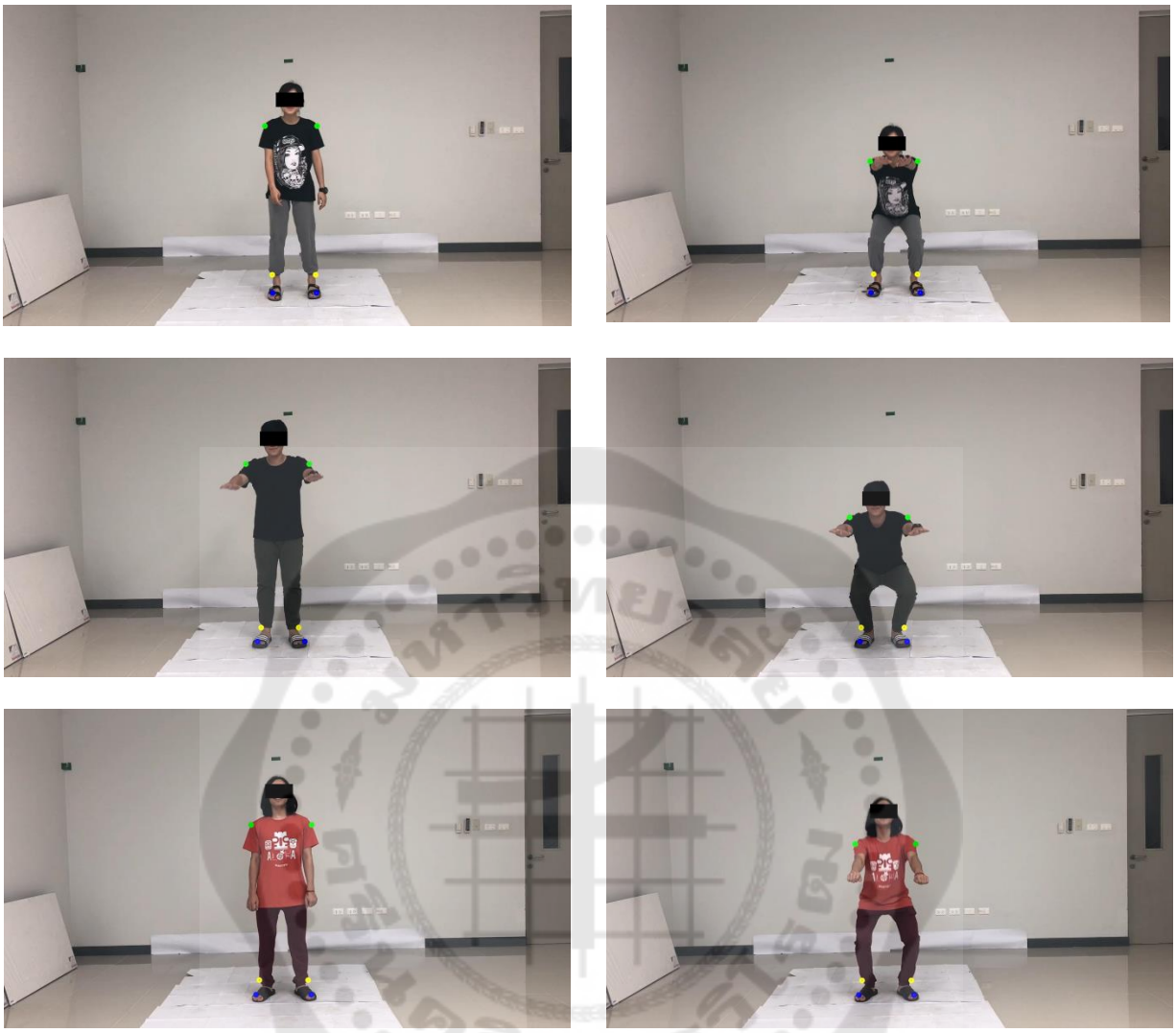
ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องจากภาพด้านหน้า

วีดีโอ	ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อ (พิกเซล)					
	ข้อไหล่ซ้าย	ข้อไหล่ขวา	ข้อเท้าซ้าย	ข้อเท้าขวา	ปลายเท้าซ้าย	ปลายเท้าขวา
1	16.45	18.67	18.74	25.32	14.17	18.85
2	5.98	7.03	17.57	16.38	5.59	8.14
3	10.58	5.12	11.48	6.85	7.02	5.04
4	29.93	24.75	5.23	4.45	3.67	2.50
5	10.04	2.78	24.40	27.00	6.67	2.41
6	15.39	15.43	8.90	1.00	7.52	5.88
7	18.70	7.13	13.08	14.42	3.00	7.61
8	22.77	17.93	7.00	9.16	8.97	11.53
9	31.00	19.60	8.61	9.04	10.40	5.00
10	30.90	16.06	6.61	5.87	5.73	13.29
S.D.	9.185	7.363	6.257	8.733	3.286	5.186
เฉลี่ย	19.174	13.45	12.162	11.949	7.274	8.025

จากตารางที่ 3 ผลการทดลองหาตำแหน่งของข้อต่อจากภาพด้านหน้า มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของข้อไหล่ซ้าย เท่ากับ 19.174 พิกเซล ข้อไหล่ขวา เท่ากับ 13.504 พิกเซล ข้อเท้าซ้าย เท่ากับ 12.162 พิกเซล ข้อเท้าขวา เท่ากับ 11.949 พิกเซล ปลายเท้าซ้าย เท่ากับ 7.274 พิกเซล และปลายเท่าขวา เท่ากับ 8.025 พิกเซล โดยค่าความคลาดเคลื่อนของข้อไหล่ซ้ายมีค่ามากที่สุด คือ 19.174 พิกเซล และค่าความคลาดเคลื่อนของปลายเท้าซ้ายมีค่าน้อยที่สุด คือ 7.274 พิกเซล







(ก) (ข)

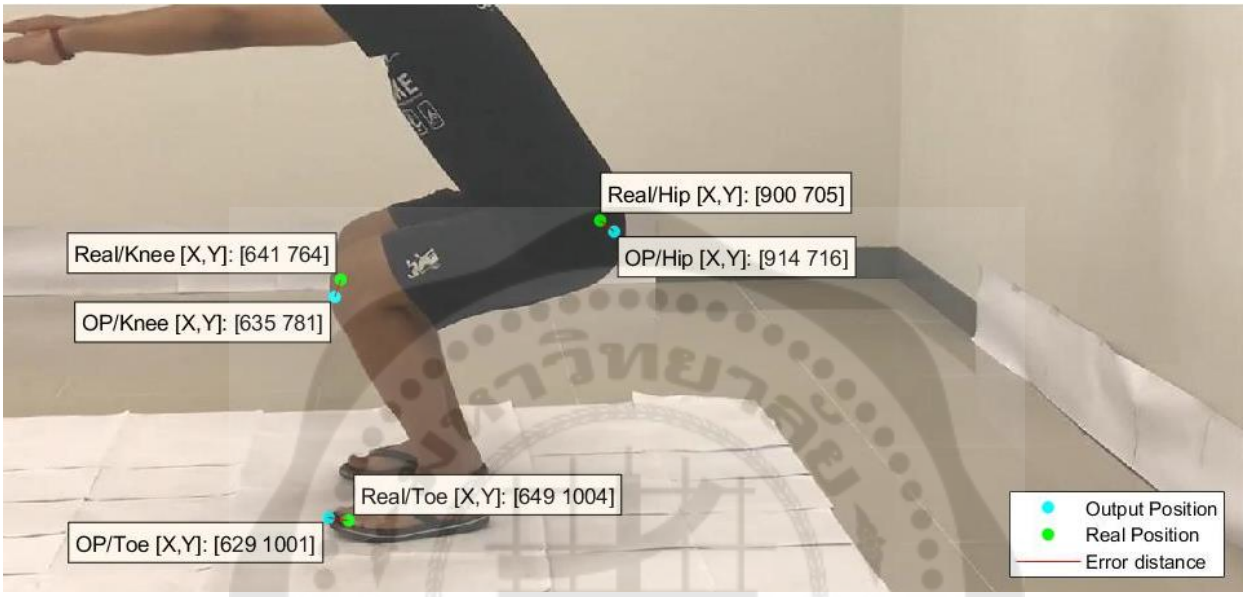
ภาพที่ 4.2 ภาพการตรวจจับข้อต่อจากภาพด้านหน้าโดยจุดสีเขียวแสดงจุดข้อไหล่ จุดสีเหลืองแสดงจุดข้อเท้า และจุดสีน้ำเงินแสดงจุดปลายเท้า

(ก) ขณะเตรียมสควอท

(ข) ขณะทำท่าสควอท

4.1.2 ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง

ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง ประกอบด้วย ผลของระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อเข่า ข้อสะโพก และปลายเท้า โดยหาระยะที่คลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งข้อต่อจริงกับตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบจากสมการที่ 13 การหาระยะความคลาดเคลื่อนของข้อต่อในภาพด้านข้างแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การหาระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้าง โดยจุดสีฟ้าแสดงค่าตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบ (Output position) จุดสีเขียวแสดงตำแหน่งข้อต่อจริง (Real position) และเส้นสีแดงแสดงระยะที่คลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งข้อต่อที่ได้จากระบบกับตำแหน่งข้อต่อจริง (Error distance)

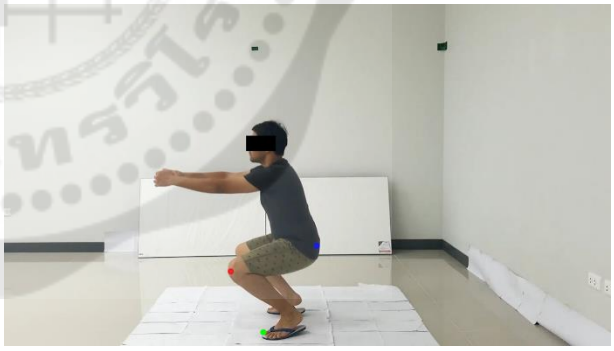
ผลลัพธ์จากการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านข้างแสดงในตารางที่ 4 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อในภาพด้านหน้าแสดงในภาพที่ 4.4

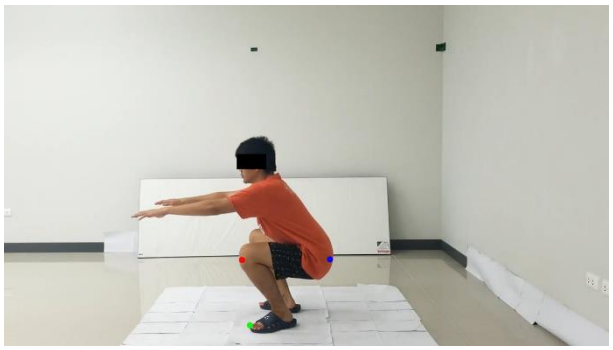
ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าระยะที่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อจากภาพด้านข้าง

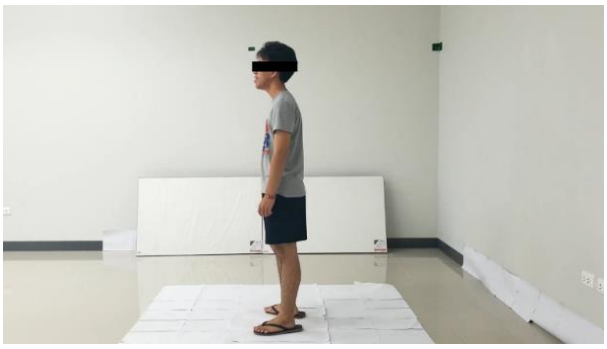
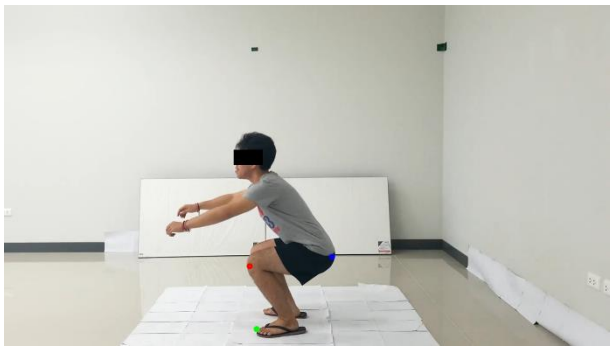
วีดีโอ	ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อ(พิกเซล)		
	ข้อเข่า	ข้อสะโพก	ปลายเท้า
1	1.6	2.2	16.66
2	9.3	11.92	9.3
3	12.9	15.27	10.03

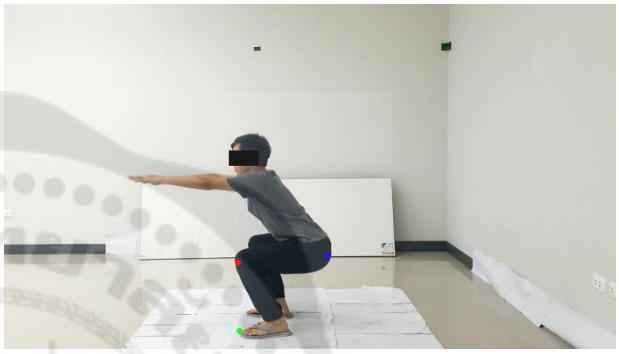
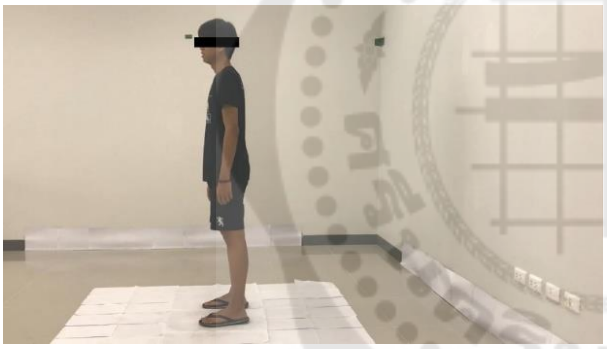
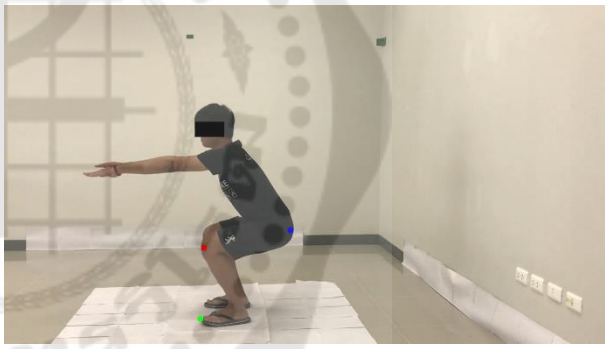
4	11.93	15.52	16.36
5	12.63	13.2	14.8
6	12.47	14.04	9.63
7	10.54	14.43	7.83
8	11.7	15.85	11.33
9	38.2	16.46	20.45
10	9.82	10.33	13.83
S.D.	9.416	4.212	4.048
เฉลี่ย	13.109	12.922	13.022

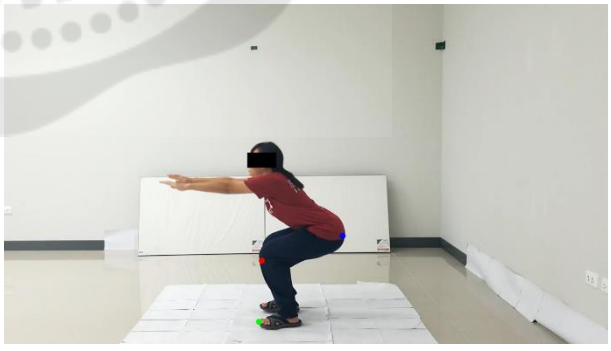
จากตารางที่ 4 ผลการทดลองหาตำแหน่งของข้อต่อจากภาพด้านข้าง มีค่าเฉลี่ยระยะที่คลาดเคลื่อนของข้อเข่า เท่ากับ 13.109 พิกเซล ข้อสะโพก เท่ากับ 12.922 พิกเซล และปลายเท้า เท่ากับ 13.022 พิกเซล โดยค่าความคลาดเคลื่อนของข้อเข่ามีค่ามากที่สุด คือ 13.109 พิกเซล และค่าความคลาดเคลื่อนของข้อสะโพกมีค่าน้อยที่สุด คือ 12.922 พิกเซล

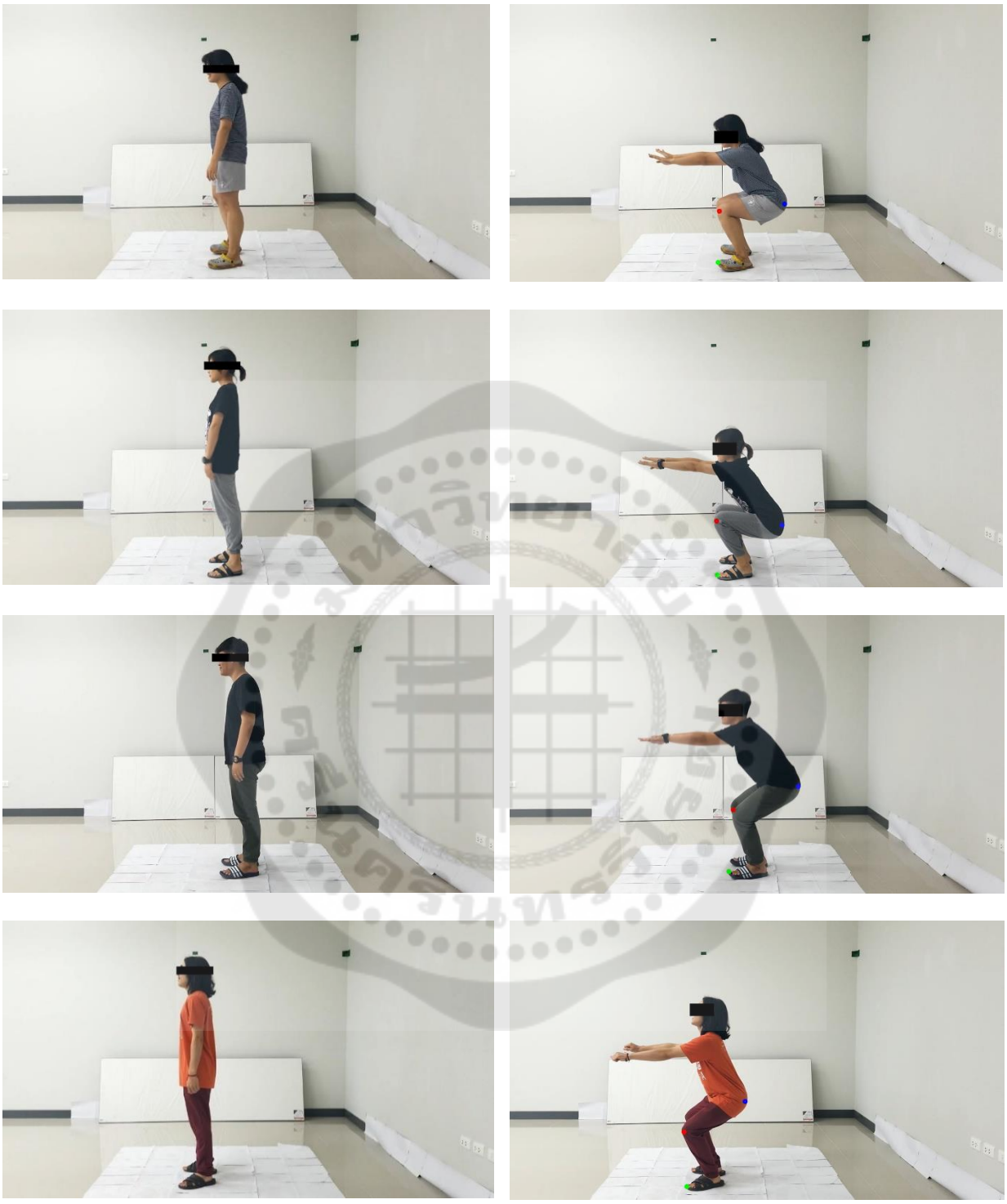








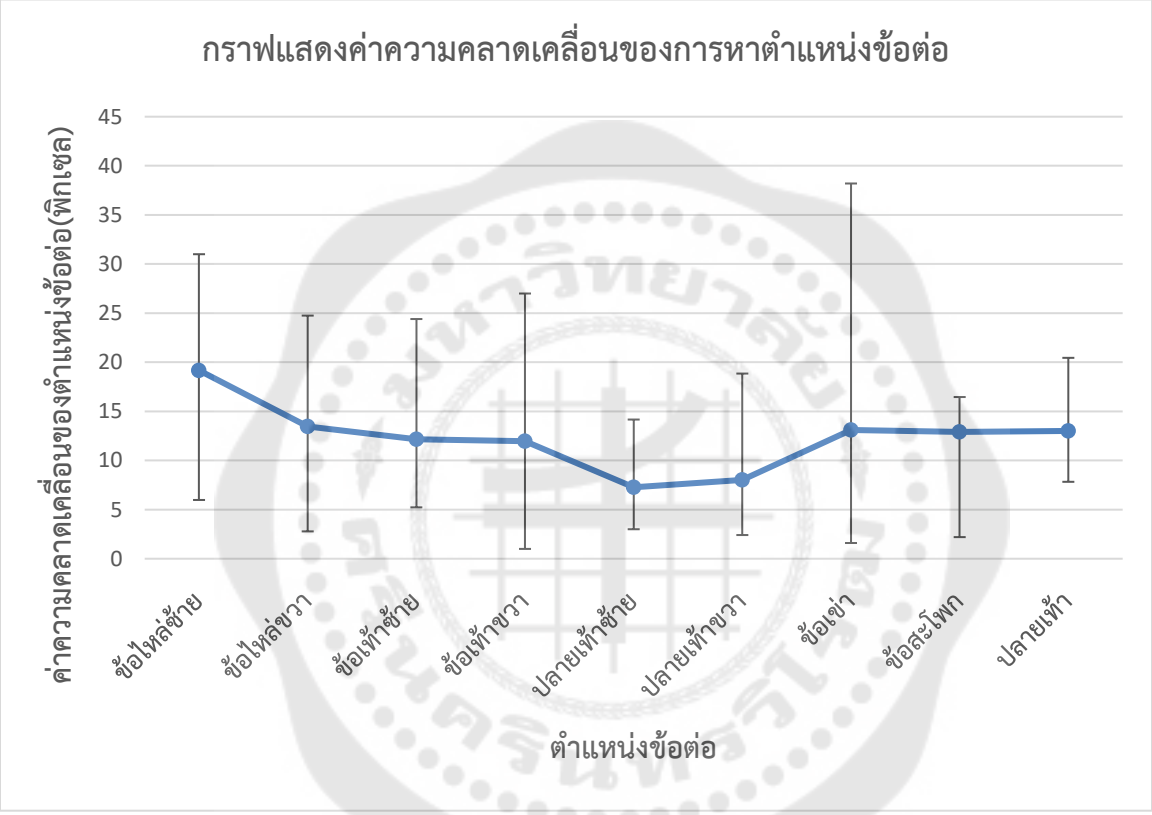
(ก) (ข)

ภาพที่ 4.4 ภาพการตรวจจับข้อต่อจากภาพด้านข้าง โดยจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งข้อต่อสะโพก จุดสีแดงแสดงตำแหน่งข้อเข่า และจุดสีเขียวแสดงตำแหน่งปลายเท้า

(ก) ขณะเตรียมสควอท

(ข) ขณะทำท่าสควอท

สรุปการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อต่อมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ตำแหน่งข้อเข่า 38.20 พิกเซล และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดที่ตำแหน่งข้อเท้าขวา 1.00 พิกเซล แสดงในภาพที่ 4.5



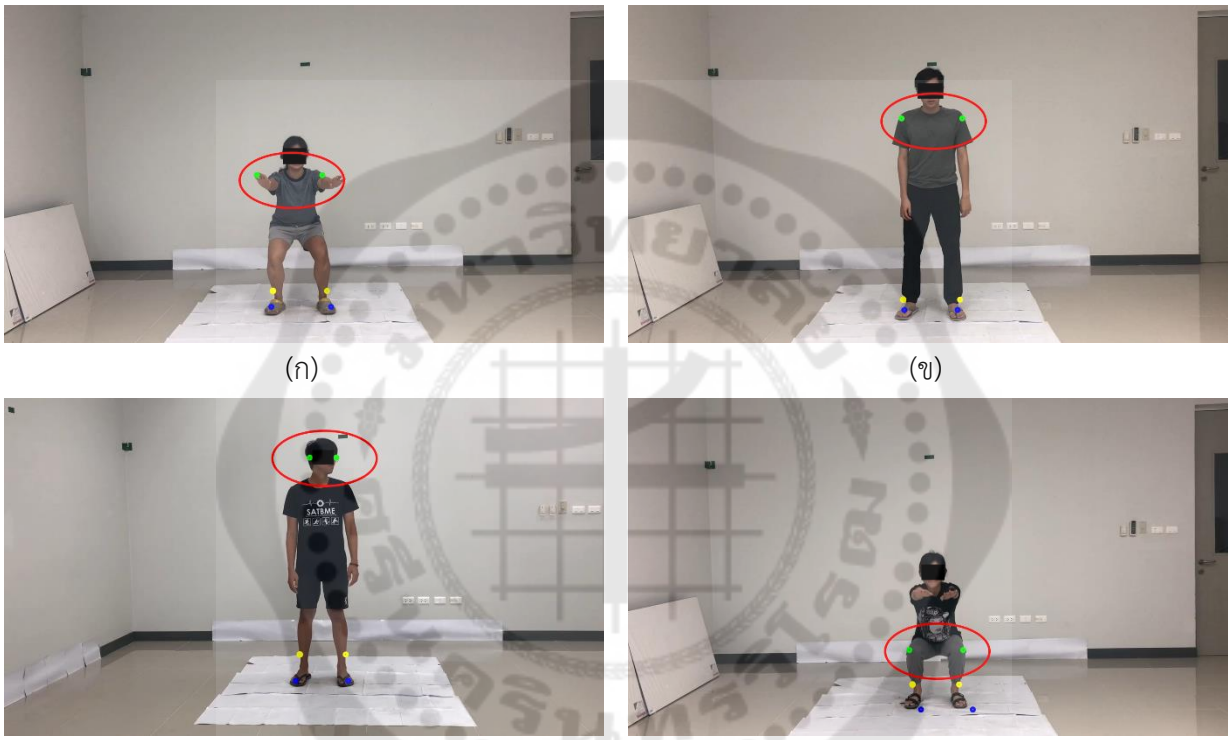
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งข้อต่อ โดยแนวตั้ง(แกน y) แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของข้อต่อ(พิกเซล) และแนวนอน(แกน x) แสดงตำแหน่งข้อต่อ กราฟแต่ละค่าแสดงค่ามากสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของค่าความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งแต่ละข้อต่อ

4.1.3 อภิปรายผลการทดลอง

การหาตำแหน่งข้อต่อจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง ตำแหน่งข้อต่อมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ข้อไหล่ซ้าย เท่ากับ 19.174 พิกเซล และตำแหน่งข้อต่อมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ปลายเท้าซ้ายจากภาพด้านหน้า เท่ากับ 7.274 พิกเซล ความคลาดเคลื่อนจากการหาตำแหน่งของข้อต่อเกิดจากหลายปัจจัยตาม

ตำแหน่งของข้อต่อ ในภาพด้านหน้า แบ่งเป็น ตำแหน่งข้อไหล่ ข้อเท้า และปลายเท้า ในภาพด้านข้าง แบ่งเป็น ตำแหน่งข้อสะโพก ข้อเข่า และปลายเท้า

โดยข้อต่อไหลจะเกิดความผิดพลาดจากลักษณะท่าทางของผู้ทดสอบได้แก่ การที่ผู้ออกกำลังกายยกมือบังในระดับเดียวกับข้อไหล่ การยกไหล่ เกิดจากการที่ผู้ออกกำลังกายใส่แว่นตา เกิดจากความผิดพลาดในการจำแนกวัตถุออกจากฉากทำให้ระยะไหล่คลาดเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ



(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพที่ 4.6 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อน
(ก) การที่ผู้ออกกำลังหายยกมือบังในระดับเดียวกับข้อไหล่
(ข) จากการยกไหล่
(ค) การที่ผู้ออกกำลังกายใส่แว่นตา
(ง) จากความผิดพลาดในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก

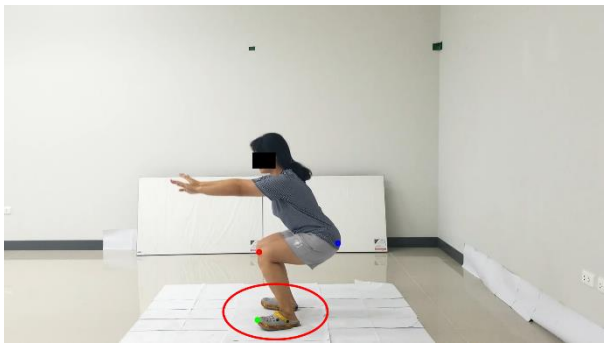
ข้อเท้า และปลายเท้าจะเกิดความผิดพลาดจากลักษณะท่าทางของผู้ทดสอบได้แก่ การที่ผู้ออกกำลังยกขาข้างใดข้างหนึ่ง และเกิดจากความผิดพลาดในการจำแนกวัตถุออกจากฉากซึ่งถูกรบกวนจากเงาที่เท้าทำให้ระยะปลายเท้า และข้อเท้าคลาดเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

(ก) (ข)

ภาพที่ 4.7 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อเท้า และปลายเท้าที่คลาดเคลื่อน
(ก) การที่ผู้ออกกำลังยกขาข้างใดข้างหนึ่ง
(ข) จากความผิดพลาดในการจำแนกวัตถุออกจากฉากซึ่งถูกรบกวนจากเงาที่เท้าทำให้ระยะข้อเท้าคลาดเคลื่อน

ข้อสะโพก ข้อเข่า และปลายเท้าในภาพด้านข้างจะเกิดความผิดพลาดจาก รอยยับของเครื่องแต่งกาย หรือชายเสื้อด้านหลังทำให้ตรวจจับข้อสะโพกคลาดเคลื่อน ตำแหน่งของเข่าอีกข้างทำให้ระยะข้อเข่าคลาดเคลื่อน และลักษณะของรองเท้าของผู้ออกกำลังกายที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดเท้าจริงทำให้ตรวจจับตำแหน่งปลายเท้าคลาดเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.8 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ

(ก) (ข)



(ค)

ภาพที่ 4.8 ลักษณะการหาตำแหน่งข้อต่อที่คลาดเคลื่อนในภาพด้านข้าง

(ก) จากชายเสื้อด้านหลัง

(ข) ตำแหน่งของเข่าอีกข้าง

(ค) ลักษณะของรองเท้าของผู้ออกกำลังกายที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดเท้าจริง

4.2 การทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า

การทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่าเป็นการทดสอบความแม่นยำของระบบในการคำนวนระยะข้อต่อ และความแม่นยำในการคำนวนมุมงอเข่า โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็นการทดลองย่อย 2 การทดลอง คือ 1) ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และ 2) ผลการทดลองคำนวนมุมงอเข่า

4.2.1 วิธีการทดลอง

ดำเนินการเก็บผลการทดลองจากผู้ออกกำลังกาย 10 คน จากภาพวีดีโอด้านหน้าวีดีโอละ 20 เฟรม ทั้งหมด 10 วีดีโอ รวม 200 เฟรม ใช้สำหรับการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และจากภาพวีดีโอด้านข้างวีดีโอละ 20 เฟรม ทั้งหมด 10 วีดีโอ รวม 200 เฟรม ใช้สำหรับการทดลองคำนวนมุมงอเข่า ในการคำนวนระยะข้อต่อระหว่างระยะข้อต่อจริง กับระยะข้อต่อที่ได้จากระบบ และระหว่างขนาดของมุมงอเข่าจริง กับขนาดของมุมงอเข่าที่ได้จากระบบ โดยการคำนวนระยะข้อต่อสามารถคำนวนได้จากสมการที่ 8 การคำนวนมุมงอเข่าสามารถคำนวนได้จากสมการที่ 11 วัดประสิทธิภาพจากการคำนวนค่าร้อยละความความแม่นยำ (%Accuracy) ของระยะข้อต่อที่ได้จากระบบเทียบกับระยะข้อต่อจริงซึ่งได้จากการกำหนดตำแหน่งจากผู้เชี่ยวชาญ และความแม่นยำของขนาดมุมงอเข่าที่ได้จากระบบ สามารถคำนวนได้จากสมการที่ 15

$$\%Error = \left|\frac{x_m - x_t}{x_t}\right| \times 100 \quad (14)$$

เมื่อ $\%Error$ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

x_m คือ ค่าที่คำนวนได้จากระบบ (measure value)

x_t คือ ค่าจริง (True value)

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (15)$$

4.2.2 ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ

ผลการทดลองการคำนวนระยะข้อต่อ ประกอบด้วยการหาระยะไหล่ ระยะข้อเท้า และระยะปลายเท้า และค่าความแม่นยำของระยะข้อต่อแต่ละส่วน ผลลัพธ์จากการทดลองหาระยะข้อต่อในภาพด้านหน้าดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ

วีดีโอ	ระยะไหล่			ระยะข้อเท้า			ระยะปลายเท้า		
	ค่าจริง (พิกเซล)	ค่าที่วัดได้(พิกเซล)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)	ค่าจริง (พิกเซล)	ค่าที่วัดได้(พิกเซล)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)	ค่าจริง (พิกเซล)	ค่าที่วัดได้(พิกเซล)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)
1	154.03	174.60	86.64	181.00	179.40	99.12	220.00	208.80	94.91
2	201.01	206.40	97.32	158.00	176.80	88.10	215.00	209.80	97.58
3	183.00	185.20	98.80	143.00	143.80	99.44	186.02	184.40	99.13
4	185.33	210.80	86.56	167.19	187.40	87.91	176.07	191.00	91.52
5	184.53	191.00	96.49	151.08	149.60	99.02	153.01	170.60	88.50
6	154.16	156.80	98.29	149.01	159.60	92.89	137.06	149.00	91.29
7	167.03	166.08	99.43	160.00	170.60	93.38	179.02	190.40	93.64
8	167.00	171.00	97.60	144.17	148.00	97.34	166.23	170.80	97.25
9	177.41	206.20	83.77	123.00	146.60	80.81	137.00	156.00	86.13
10	187.45	200.20	93.20	152.65	166.00	91.25	185.07	174.60	94.34
เฉลี่ย			93.81			92.93			93.43

จากตารางที่ 5 ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อค่าเฉลี่ยความแม่นยำของระยะไหล่ เท่ากับ 93.81 ระยะข้อเท้า เท่ากับ 92.93 และระยะปลายเท้า เท่ากับ 93.43

4.2.3 ผลการทดลองคำนวนมุมงอเข่า

ผลการทดลองคำนวนมุมงอเข่า แสดงผลค่ามุมงอเข่าที่ได้จากระบบ เทียบกับค่ามุมงอเข่าจริง โดยแสดงประสิทธิภาพของระบบจากร้อยละความแม่นยำของขนาดของมุมงอเข่า ผลลัพธ์จากการทดลองหาขนาดมุมงอเข่าแสดงในตารางที่ 6

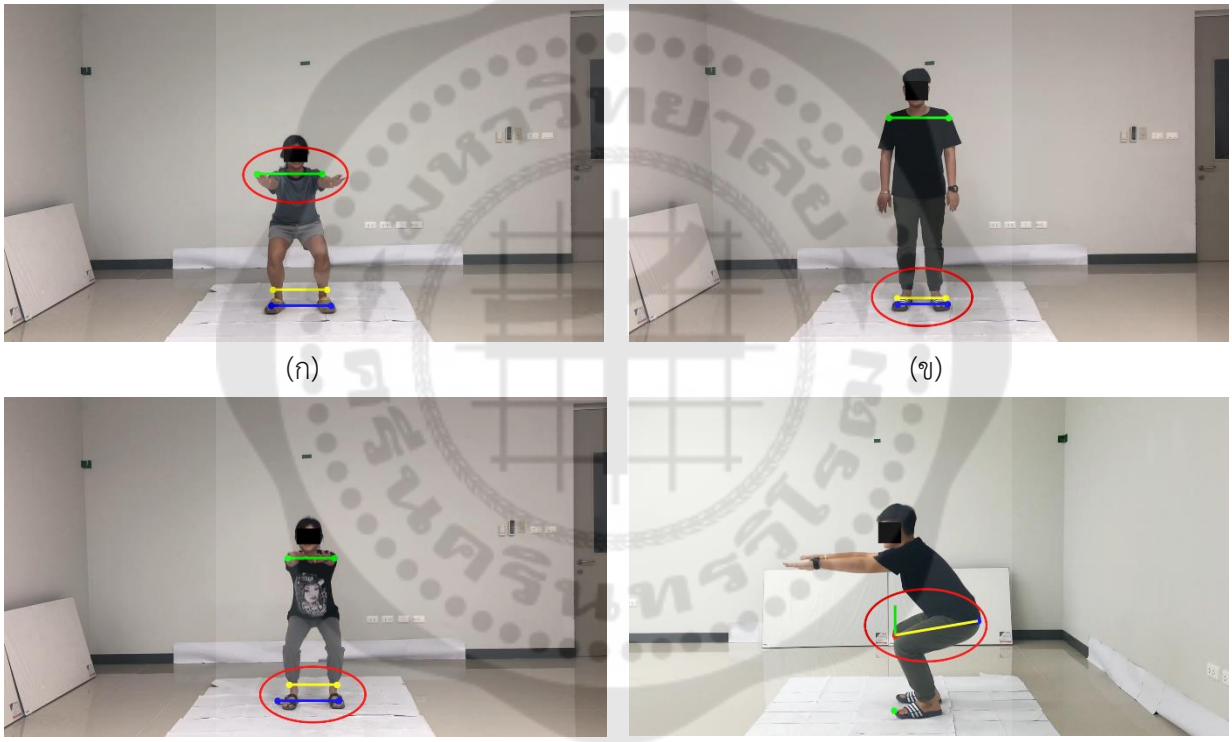
ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำในการวัดมุมงอเข่า

วีดีโอ	ค่าจริง(องศา)	ค่าที่วัดได้(องศา)	ความแม่นยำ(ร้อยละ)
1.	70.14	72.66	96.41
2.	87.07	88.36	98.52
3.	80.87	84.46	95.56
4.	84.44	85.67	98.54
5.	77.16	78.61	98.12
6.	70.89	73.17	96.78
7.	84.20	82.94	98.50
8.	92.77	89.25	96.21
9.	72.96	82.04	87.55
10.	58.68	60.90	96.22
เฉลี่ย			96.241

จากตารางที่ 6 ค่าร้อยละความแม่นยำในการวัดมุมงอเข่าเฉลี่ย เท่ากับ 96.241 โดยมีค่าร้อยละความแม่นยำต่ำที่สุด เท่ากับ 87.55 และมีค่าร้อยละความแม่นยำสูงที่สุด เท่ากับ 98.54

4.2.4 อภิปรายผลการทดลอง

การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่า สืบเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งข้อต่อ ทำให้การคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่ามีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย เช่น การคำนวนระยะข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจุดข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อนจากการที่ผู้ออกกำลังกายยกมือบังในระดับเดียวกับข้อไหล่ การคำนวนระยะข้อเท้า และปลายเท้าคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดจากเงาที่เท้าในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก และการคำนวนมุมงอเข่าคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งของข้อเข่าที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งของเข่าอีกข้าง แสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ลักษณะการคำนวนระยะข้อต่อ และมุมงอเข่าที่คลาดเคลื่อน
(ก) การคำนวนระยะข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจุดข้อไหล่ที่คลาดเคลื่อนจากการที่ผู้ออกกำลังกายยกมือบังในระดับเดียวกับข้อไหล่
(ข) การคำนวนระยะข้อเท้าคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดจากเงาที่เท้าในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก
(ค) การคำนวนระยะปลายเท้าคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดจากเงาที่เท้าในการจำแนกวัตถุออกจากฉาก
(ง) การคำนวนมุมงอเข่าคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งของข้อเข่าที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งของเข่าอีกข้าง

4.3 การทดลองหาเฟรมอ้างอิง

การทดลองหาเฟรมอ้างอิงเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการเชื่อมเฟรมที่อยู่ในขณะเวลาเดียวกันจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง ผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิงแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ 1) การทดลองการหาค่าส่วนสูงที่ต่ำที่สุด และ 2) การทดลองเชื่อมเฟรมที่ตรงกันระหว่างภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง

4.3.1 วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองโดยระบบจะทำการหาเฟรมอ้างอิง (Ref frame) จากการคำนวนค่าความสูงของผู้ออกกำลังกายทั้งภาพวีดีโอด้านหน้าและด้านข้าง แล้วหาค่าความสูงที่ต่ำที่สุดของแต่ละวีดีโอมาเชื่อมเป็นเฟรมอ้างอิง (Ref frame) แล้วเชื่อมเฟรมอื่น ๆที่เป็นภาพจากเวลาเดียวกัน วิเคราะห์ความถูกต้องของท่าสควอทโดยการวิเคราะห์เฟรมที่จับคู่กันเริ่มจากเฟรมเริ่มต้นไปจนจบวีดีโอ การทดลองแรกเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของการเชื่อมเฟรมระหว่างภาพด้านหน้ากับภาพด้านข้างสามารถหาได้จากสมการที่ 16

$$\mathrm{R_e} = \left| f_{dif} - f_t \right| \tag{16}$$

เมื่อ $\mathrm{R_e}$ คือ จำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อน

f_{dif} คือ จำนวนผลต่างของเฟรมที่ได้จากการวัด

f_t คือ จำนวนผลต่างจริงของเฟรม

ดำเนินการทดลองโดยใช้ภาพวีดีโอการทำสควอทจากผู้ออกกำลังกาย 10 คน โดยบันทึกวีดีโอจากด้านหน้า 10 วีดีโอ และด้านข้าง 10 วีดีดโอ รวมทั้งสิ้น 20 วีดีโอ

4.3.2 ผลการทดลองการหาค่าส่วนสูงที่ต่ำที่สุด

ผลการทดลองการหาค่าส่วนสูงที่ต่ำสุดของผู้ออกกำลังกาย แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลการทดลองหาค่าความสูงต่ำสุดของผู้ออกกำลังกาย

วีดีโอ	ภาพด้านหน้า			ภาพด้านข้าง		
	ค่าความสูงต่ำสุด (พิกเซล)		ความแม่นยำ(ร้อยละ)	ค่าความสูงต่ำสุด (พิกเซล)		ความแม่นยำ(ร้อยละ)
	ค่าจริง	ค่าที่ได้		ค่าจริง	ค่าที่ได้	
1	549	551	99.64	689	693	99.42

2	541	543	99.63	626	626	100
3	651	658	98.92	651	652	99.85
4	540	547	98.70	644	644	100
5	578	612	94.12	714	714	100
6	502	505	99.40	578	582	99.31
7	523	532	98.28	613	615	99.67
8	487	512	94.87	595	601	98.99
9	563	599	93.60	681	682	99.85
10	628	633	99.20	749	767	97.60
เฉลี่ย			97.636			99.469

จากตารางที่ 7 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของค่าความสูงที่ต่ำที่สุดจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง เท่ากับ 97.636 และ 99.469 ตามลำดับ

4.3.3 ผลการทดลองเชื่อมเฟรมที่ตรงกันระหว่างภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง

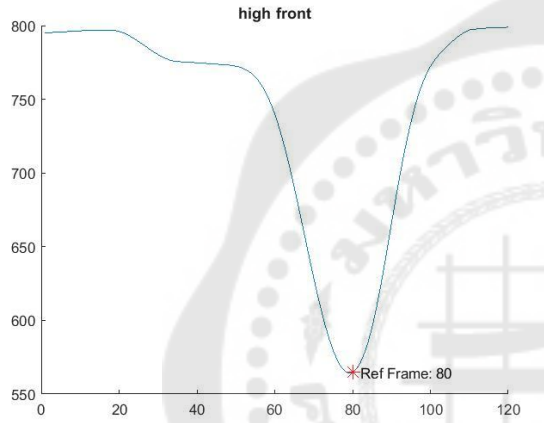
ผลการทดลองหาจำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่ 8 ภาพแสดงเฟรมที่ถูกระบุว่าเป็นเฟรมอ้างอิงแสดงในภาพที่ 4.10 (ก) และ 4.10 (ข) ตามลำดับ และภาพเฟรมที่ถูกกำหนดให้เป็นเฟรมเริ่มต้นจากภาพด้านหน้า และภาพด้านข้าง แสดงในภาพที่ 4.11 (ก) และ 4.11 (ข) ตามลำดับ

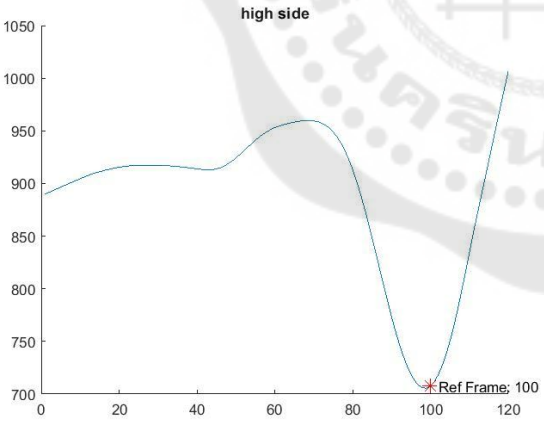
ตารางที่ 8 ตารางแสดงจำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อน

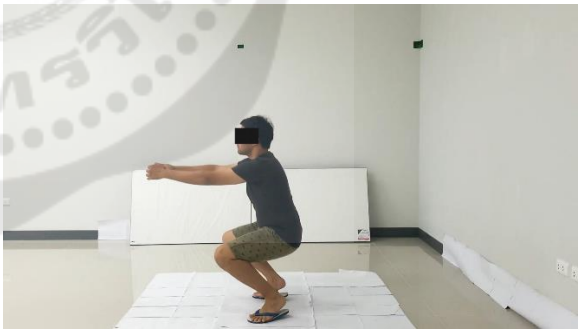
วีดีโอ	**จำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อนจากเฟรมที่ค่าความสูงต่ำสุด (เฟรม)**		**จำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อนระหว่างด้านหน้าและด้านข้าง(เฟรม)**
	ด้านหน้า	**ด้านข้าง**	
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	0	0
4	0	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0

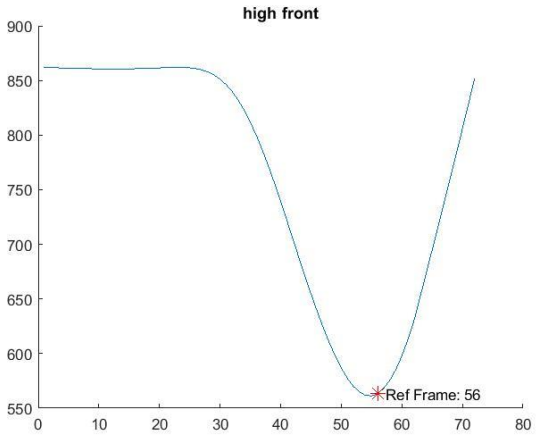
7	3	1	2
8	1	1	0
9	0	1	1
10	1	2	1

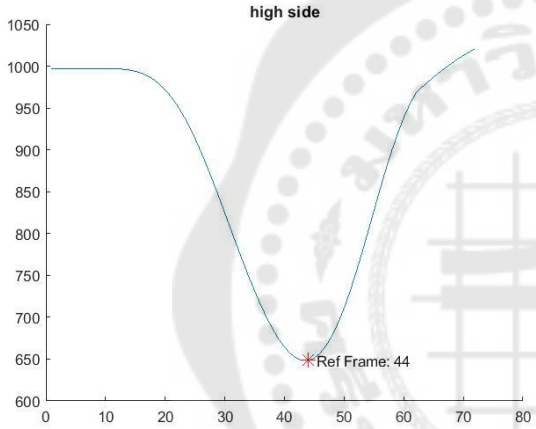
จากตารางที่ 8 ผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2 เฟรม จากวีดีโอที่ 7 และคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0 เฟรม จากวีดีโอที่ 1, 3, 4, 6, และ 8

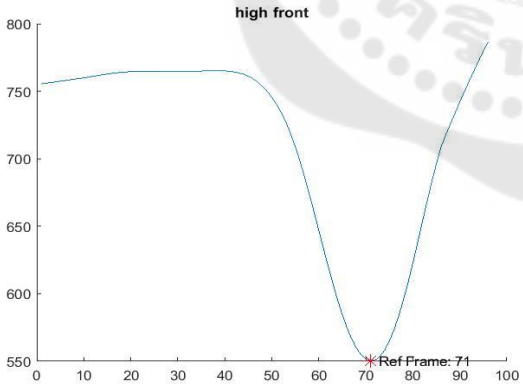


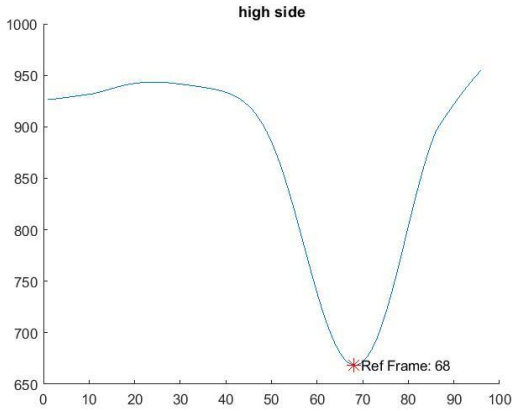


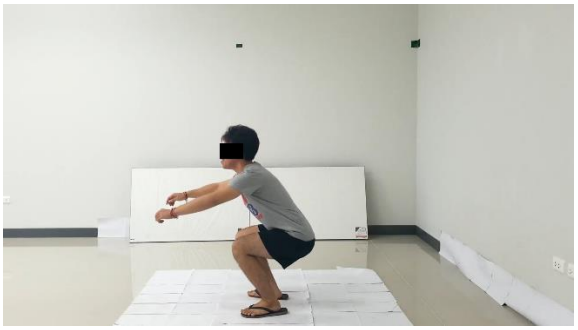


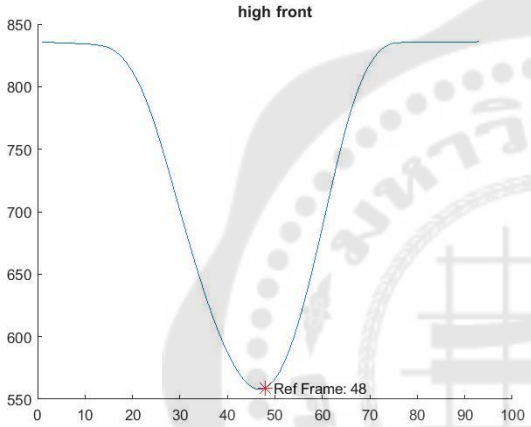

high front
900
850
800
750
700
650
600
550
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Ref Frame: 56

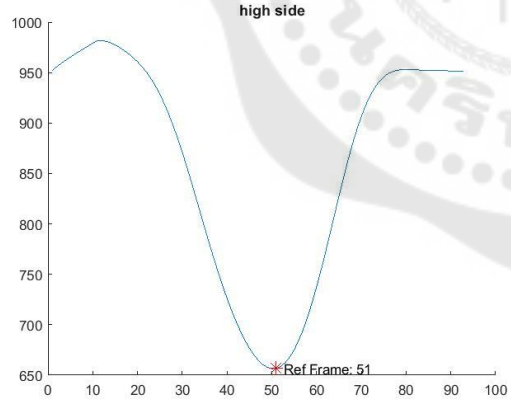

high side
1050
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Ref Frame: 44

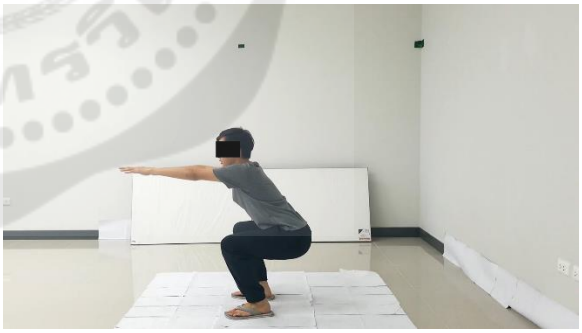

high front
800
750
700
650
600
550
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Ref Frame: 71

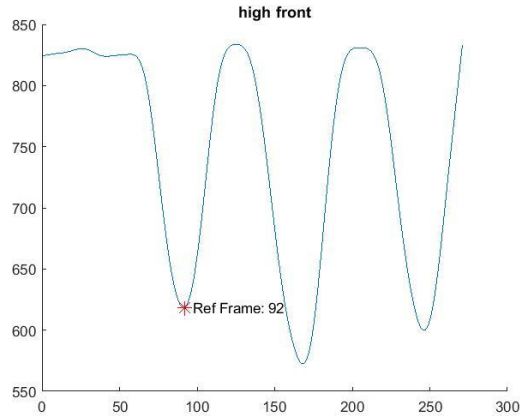

high side
Ref Frame: 68

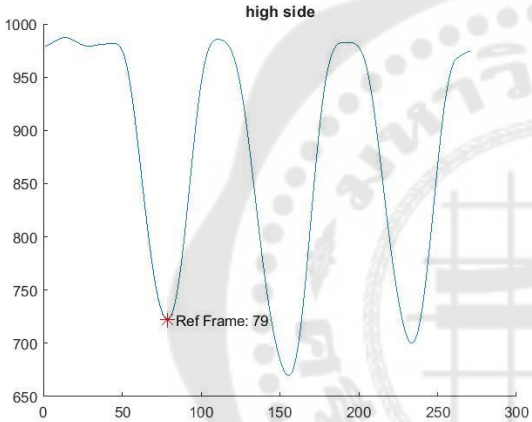


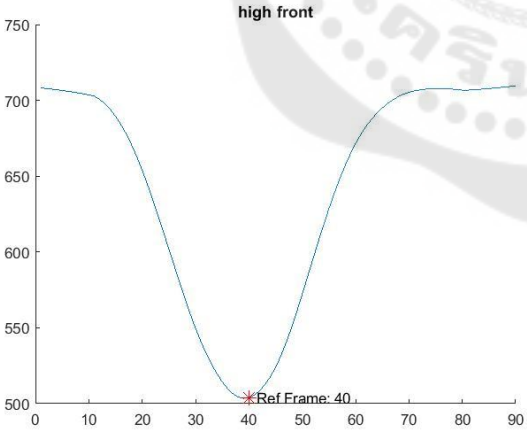

high front
Ref Frame: 48

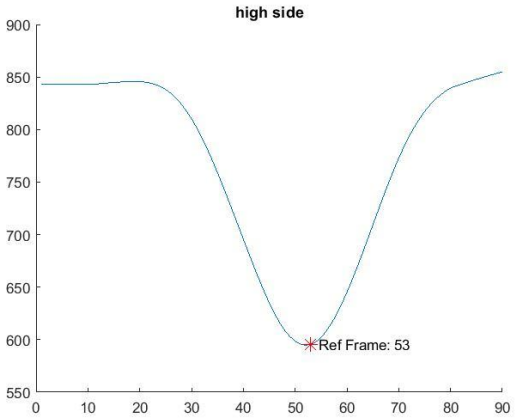

high side
Ref Frame: 51

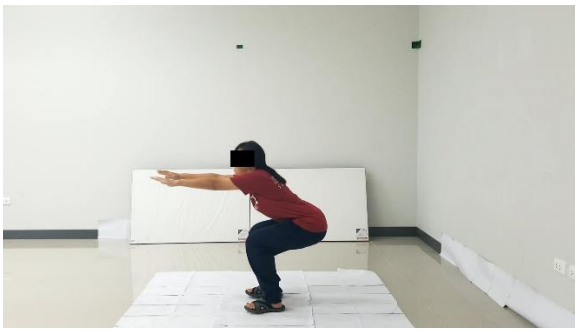


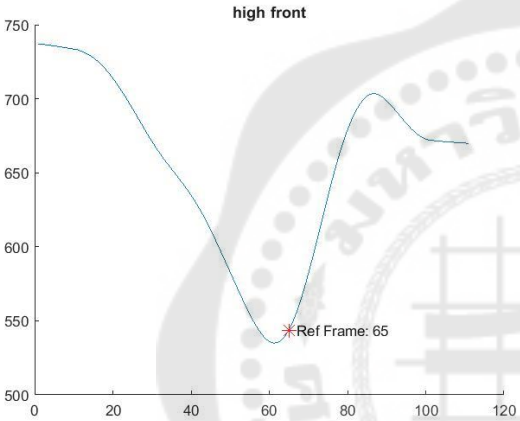

high front
Ref Frame: 92

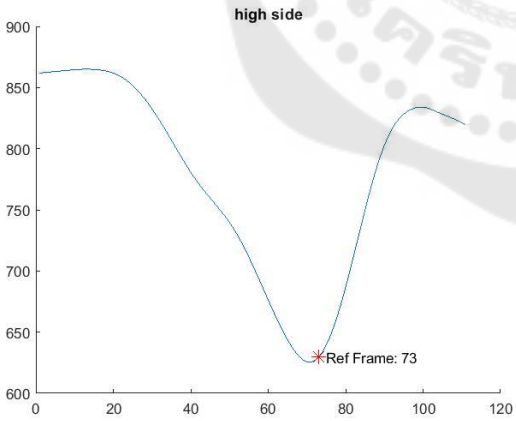

high side
Ref Frame: 79

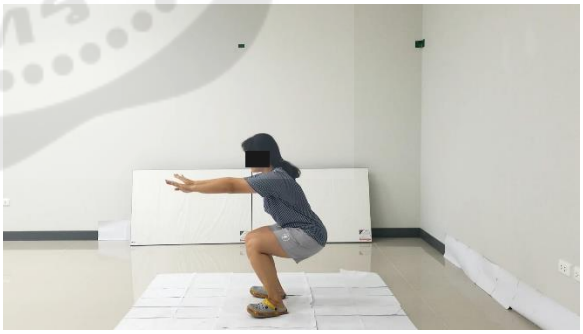

high front
Ref Frame: 40

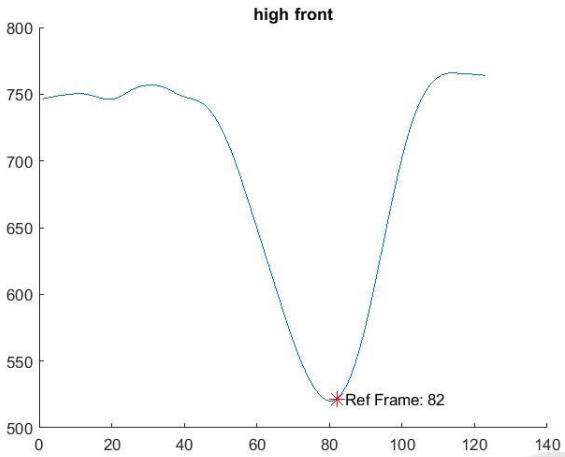

high side
900
850
800
750
700
650
600
550
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Ref Frame: 53

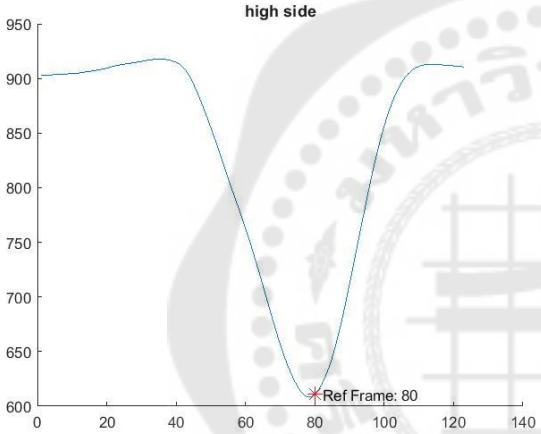


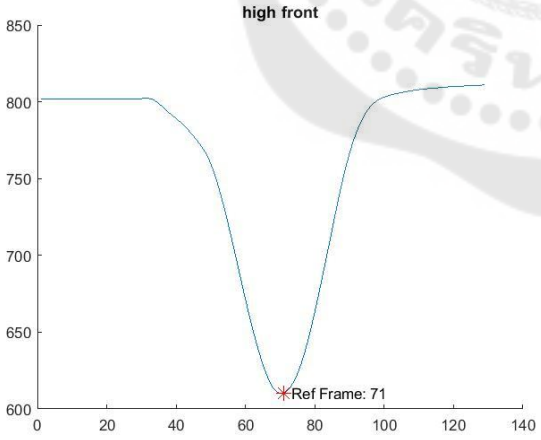

high front
750
700
650
600
550
500
0
20
40
60
80
100
120
Ref Frame: 65

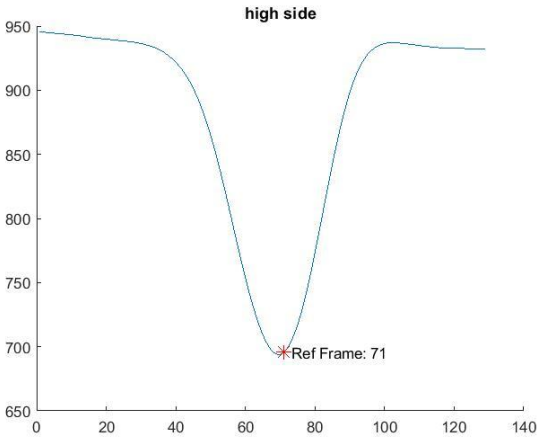

high side
900
850
800
750
700
650
600
0
20
40
60
80
100
120
Ref Frame: 73

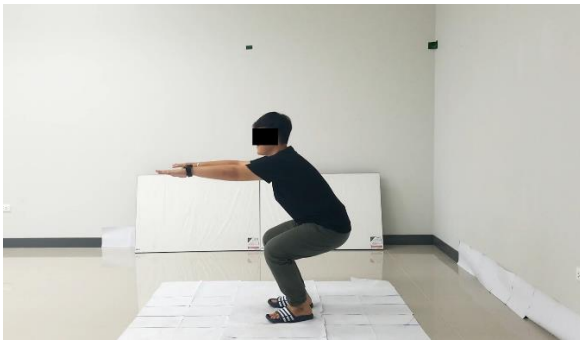


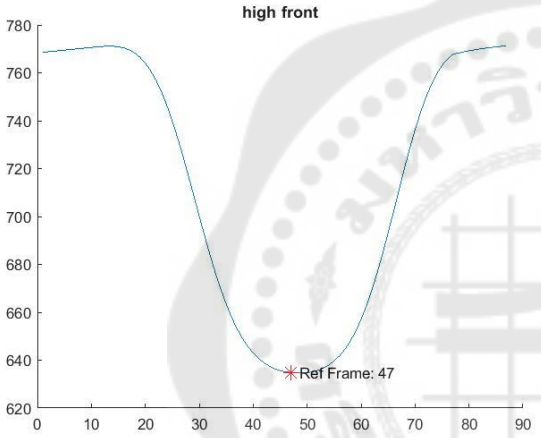

high front
800
750
700
650
600
550
500
0
20
40
60
80
100
120
140
Ref Frame: 82

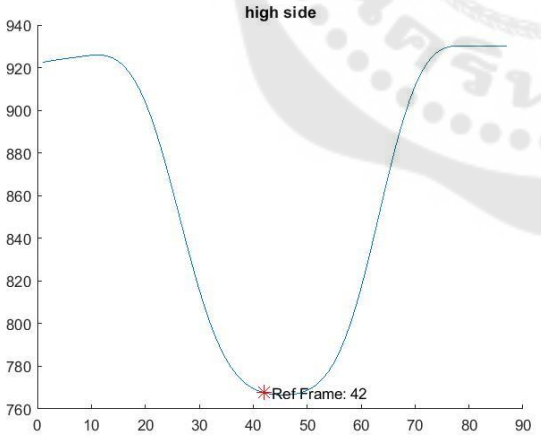

high side
950
900
850
800
750
700
650
600
0
20
40
60
80
100
120
140
Ref Frame: 80


high front
850
800
750
700
650
600
0
20
40
60
80
100
120
140
Ref Frame: 71







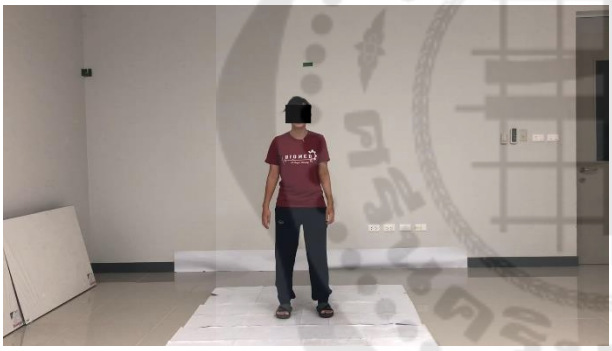
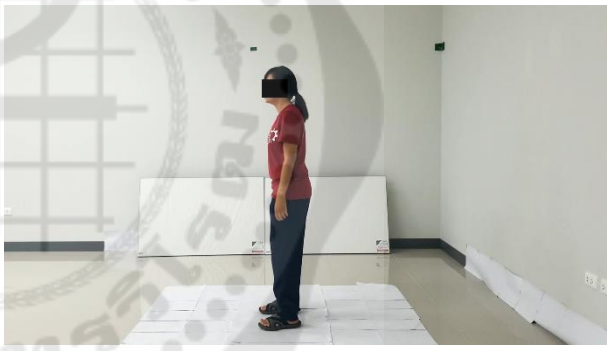
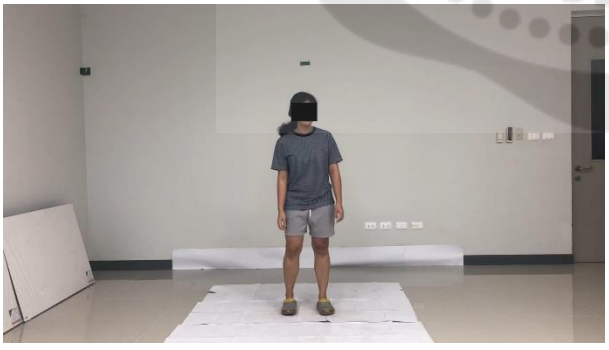


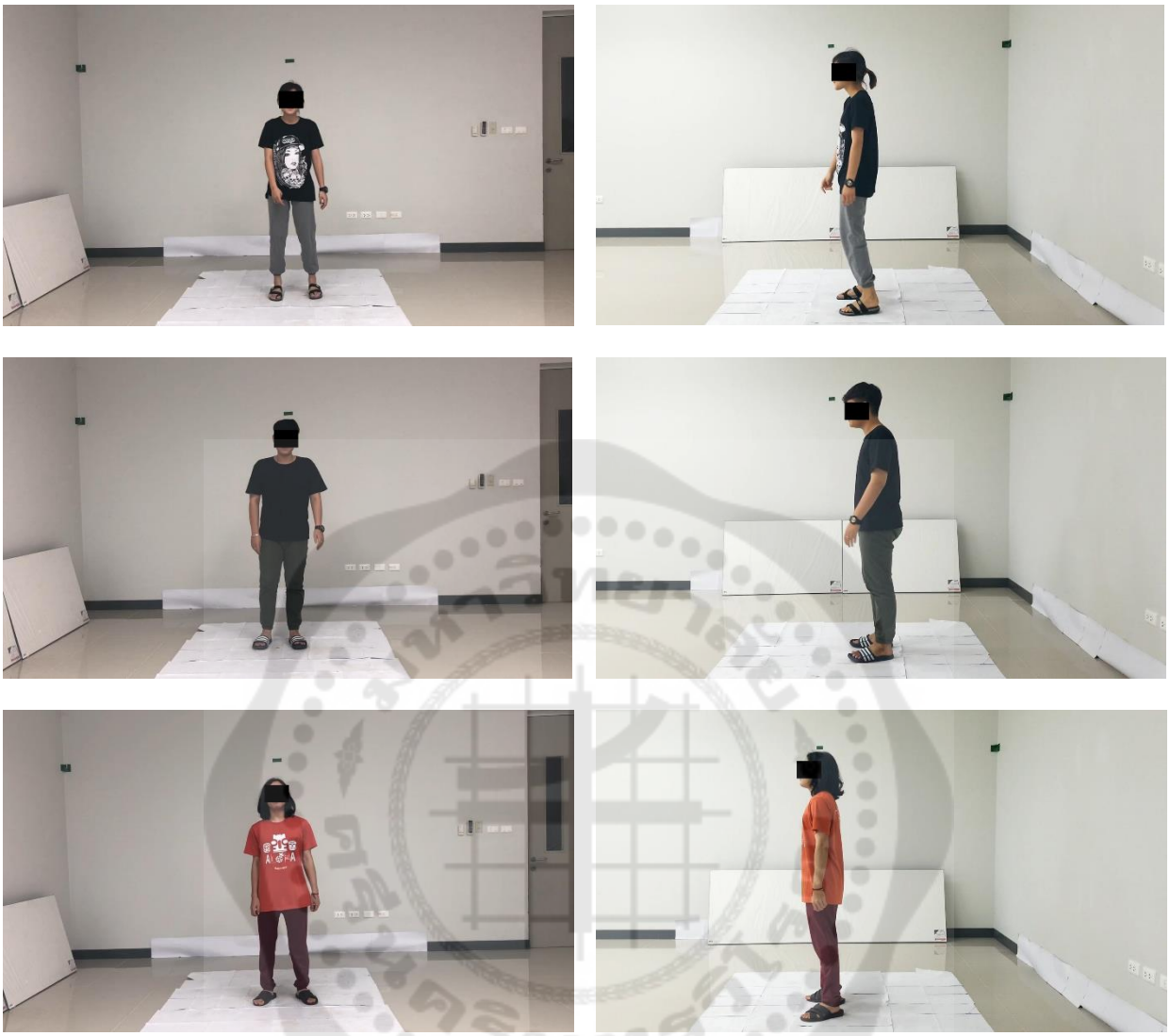
(ก) (ข)

ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง

(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของผู้ออกกำลังกายในแนวแกน y (พิกเซล) และลำดับของเฟรมในแนวแกน X (เฟรม) จุดสีแดงแสดงตำแหน่งเฟรมอ้างอิง (Ref frame) จากภาพด้านหน้า

(ข) เฟรมที่ถูกระบุว่าเปนเฟรมอ้างอิง (Ref frame)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.11 ภาพเฟรมที่ระบบคำนวนได้ว่าเป็นเฟรมเริ่มต้น (Start frame)

(ก) ภาพด้านหน้า

(ข) ภาพด้านข้าง

4.3.2 อภิปรายผลการทดลอง

การหาเฟรมอ้างอิงสามารถหาได้จาก เฟรมที่มีค่าความสูงต่ำที่สุดเทียบเป็นเวลาขณะที่ผู้ออกกำลังกายทำสควอทต่ำสุดในรอบแรก จำเป็นต้องใช้ภาพที่ผ่านการจำแนกวัตถุออกจากฉากในการหาค่าส่วนสูง ซึ่งผลจากการรบกวนโดยเงา และเครื่องแต่งกายของผู้ออกกำลังกาย ทำให้ภาพที่ผ่านกระบวนการจำแนกวัตถุซึ่ง

นำมาใช้ในขั้นตอนนี้มีความคลาดเคลื่อนจากรูปร่างของผู้ทดสอบจริง ทำให้ค่าความสูงที่ได้มีความคลาดเคลื่อน และการหาค่าต่ำสุดของการทำสควอทมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงตามไปด้วย แต่เนื่องจากจำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อนในภาพด้านหน้า และภาพด้านข้างมักจะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันทำให้จำนวนเฟรมที่คลาดเคลื่อนระหว่างภาพด้านหน้าและด้านข้างมีค่าน้อย

4.4 การทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน

การทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกันเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ค่าความไว (Sensitivity) ค่าความจำเพาะ (Specificity) และค่าความถูกต้อง (accuracy) คำนวนได้จากสมการที่ 17, 18, และ 19 ตามลำดับ เป็นเกณฑ์เงื่อนไขการวิเคราะห์ของระบบซึ่งอ้างอิงจาก Confusion Matrix แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงเงื่อนไขการวิเคราะห์ของระบบ

ค่าที่วัดได้จากระบบ	ค่าจริง	
	ท่าสควอทที่ปลอดภัย	ท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย
ท่าสควอทที่ปลอดภัย	True Positive (TP)	False Negative (FN)
ท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย	False Positive (FP)	True Negative (TN)

เมื่อ TP คือ ค่าของท่าสควอทที่ถูกต้องจริง และระบบวัดได้ว่าถูกต้อง

FP คือ ค่าของท่าสควอทที่ไม่ถูกต้อง แต่ระบบวัดได้ว่าถูกต้อง

TN คือ ค่าของท่าสควอทที่ถูกต้องจริง แต่ระบบวัดได้ว่าไม่ถูกต้อง

FN คือ ค่าของท่าสควอทที่ไม่ถูกต้อง และระบบวัดได้ว่าไม่ถูกต้อง

ค่าความไว ค่าความจำเพาะ และค่าความถูกต้องสามารถหาได้จากสูตร

$$\text{ค่าความไว(Sensitivity)} = \frac{\mathbf{TP}}{\mathbf{TP+FP}} \times 100 \quad (17)$$

$$\text{ค่าความจำเพาะ(Specificity)} = \frac{\mathbf{TN}}{\mathbf{FN+TN}} \times 100\ \% \quad (18)$$

$$\text{ค่าความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\mathbf{TP + TN}}{\mathbf{TP + TN + FP + FN}} \times 100\% \quad (19)$$

4.4.1 วิธีการทดลอง

ระบบจะทำการนำเฟรมอ้างอิงที่ได้จาก การทดลองที่ 4.3 มาหาค่าเฟรมเริ่มต้นของวีดีโอจากภาพทั้งสองด้านโดยการหาผลต่างของเฟรมอ้างอิง เพื่อนำผลต่างไปกำหนดเฟรมเริ่มต้น จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความถูกต้องของท่าทางเริ่มจากเฟรมเริ่มต้นจนจบวีดีโอ ถ้าหากเงื่อนไขที่กำหนดถูกต้องทั้งหมดจึงจะระบุว่าเป็นท่าสควอทที่ปลอดภัย โดยอ้างอิงจากเอกสารที่เกี่ยวข้องเรื่องการทำสควอทที่ปลอดภัยในหัวข้อที่ 2.1.2

4.4.2 ผลการทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน

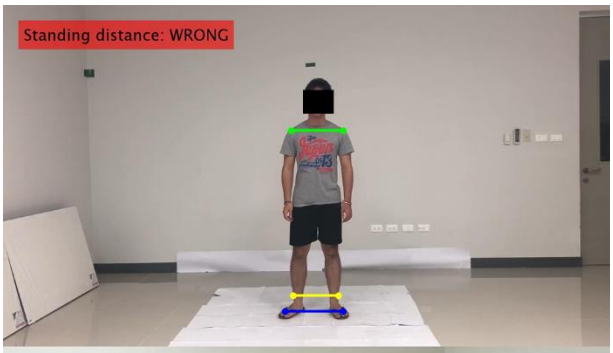
ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกันของระบบซึ่งอ้างอิงตามตารางเงื่อนไขของระบบตามตารางที่ 9 ผลลัพธ์ของระบบแสดงในตารางที่ 10 ภาพตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกัน โดยแสดงภาพเฟรมที่ระบบตรวจสอบได้ว่าเป็นเฟรมเดียวกัน และทำการระบุความถูกต้องของท่าทางตามเงื่อนไขแสดงดังภาพที่ 4.12

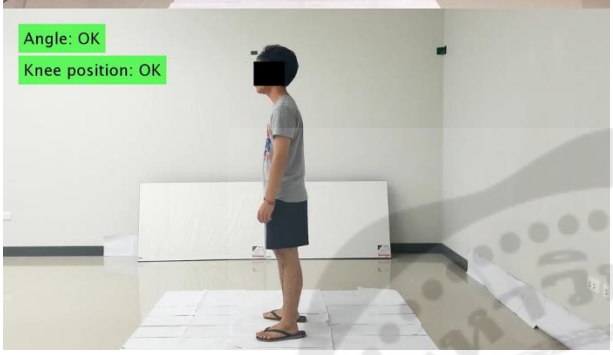
ตารางที่ 10 ตารางแสดงประสิทธิภาพของระบบ

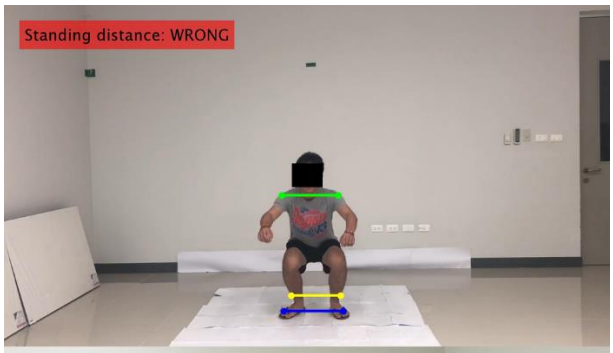
ค่าที่ระบบวิเคราะห์ได้ (เฟรม)	ค่าจริง (เฟรม)	
	ท่าสควอทที่ปลอดภัย	ท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย
ท่าสควอทที่ปลอดภัย	143	157
ท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย	53	760

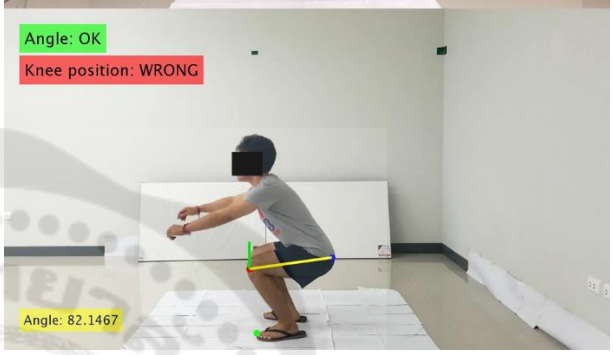
จากตารางที่ 10 ระบบมีค่าความไว (Sensitivity) คือความสามารถในการระบุว่าเป็นท่าสควอทที่ปลอดภัย หรืออัตราผลบวกจริง เท่ากับร้อยละ 72.96 ค่าความจำเพาะ(Specificity) คือความสามารถในการระบุว่าเป็นท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย หรืออัตราผลลบจริง เท่ากับร้อยละ 82.88 และค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับร้อยละ 81.12

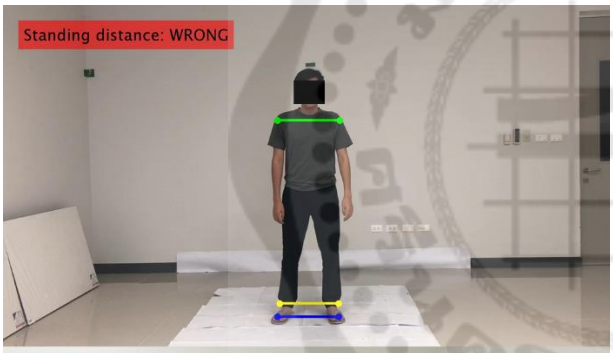
Standing distance: OK
Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: OK
Knee position: WRONG
Angle: 74.4434
Standing distance: WRONG
Standing distance: WRONG
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: OK
Knee position: WRONG
Angle: 89.5893

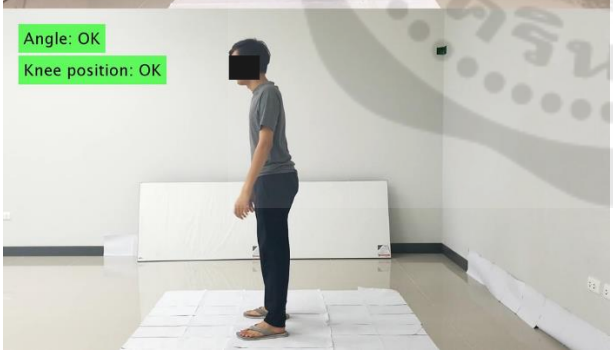

Standing distance: WRONG

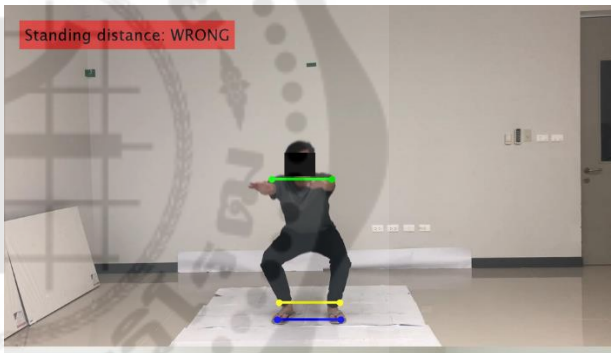

Angle: OK
Knee position: OK

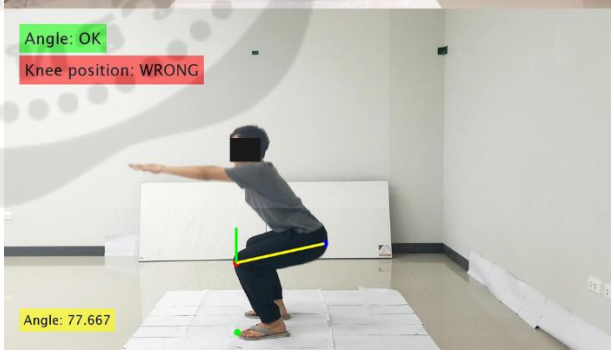

Standing distance: WRONG

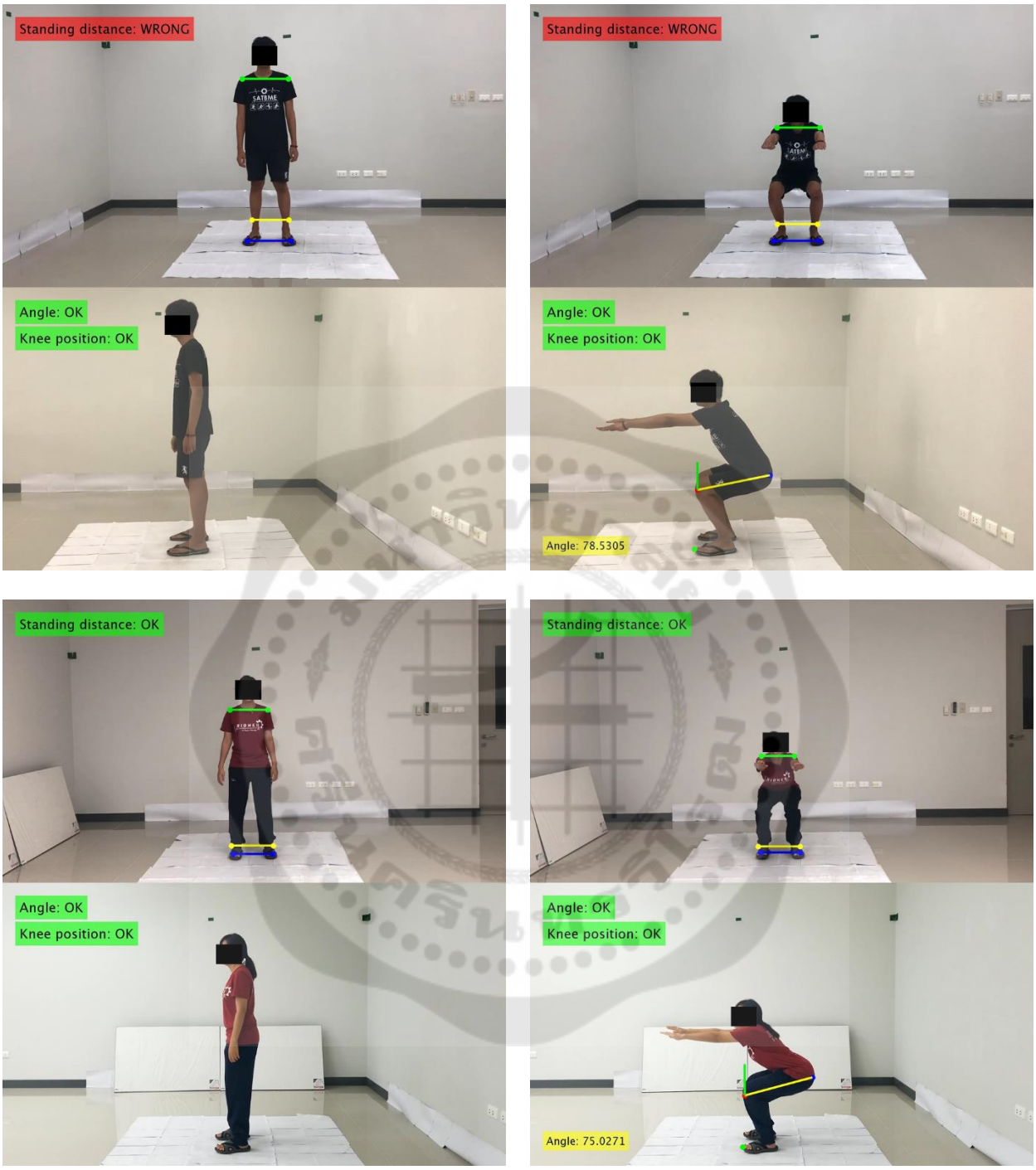

Angle: OK
Knee position: WRONG
Angle: 82.1467

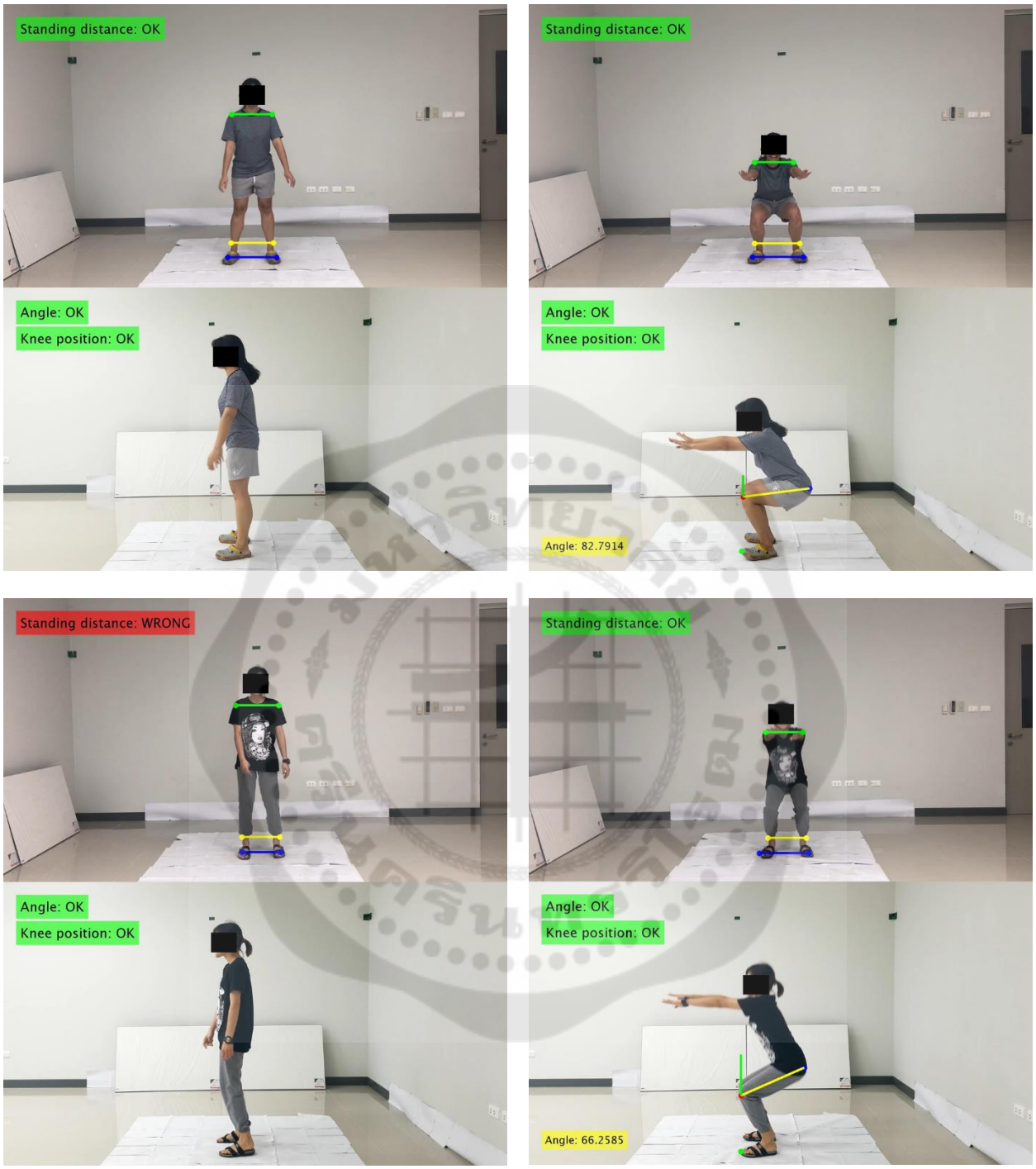

Standing distance: WRONG

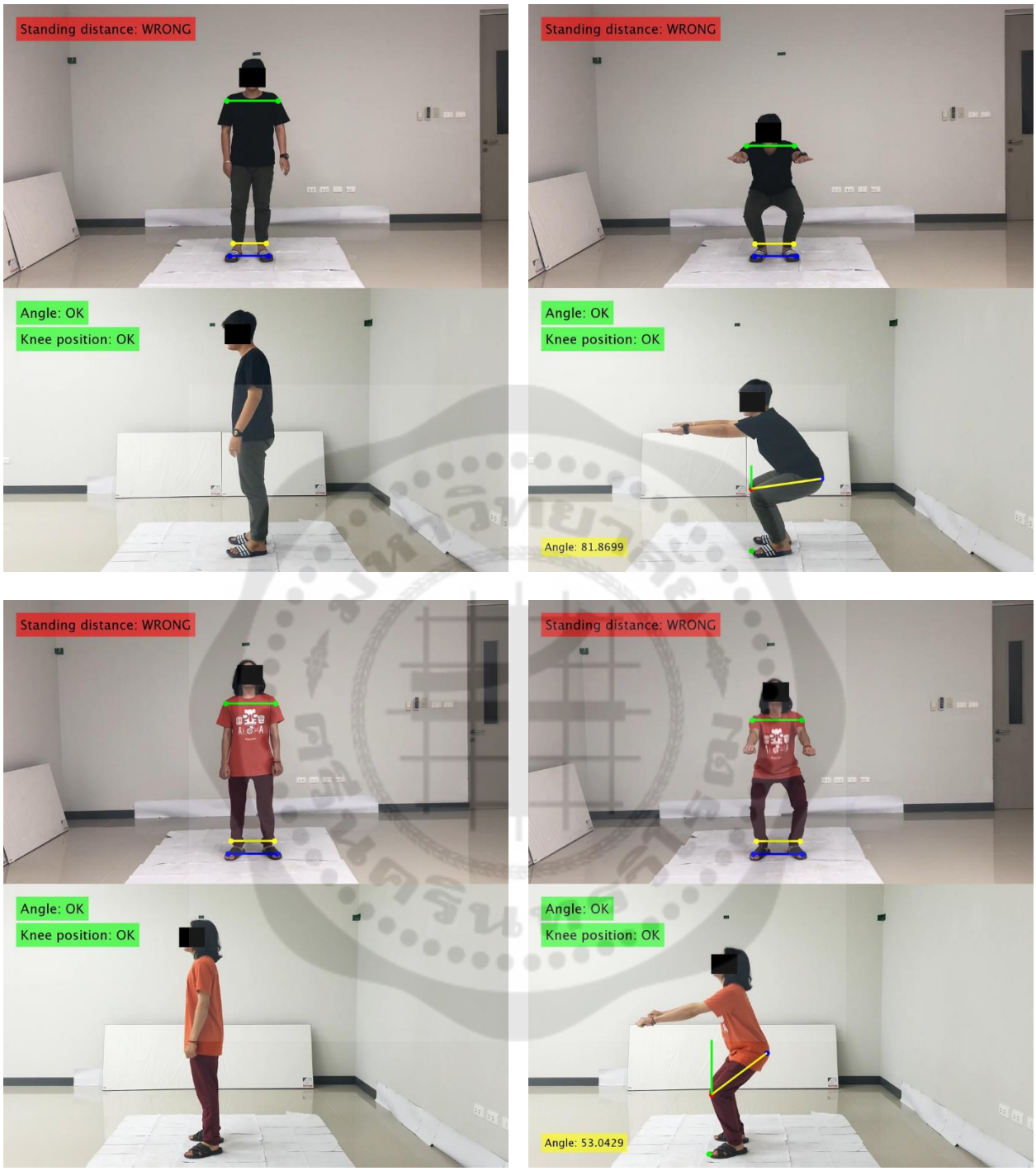

Angle: OK
Knee position: OK


Standing distance: WRONG


Angle: OK
Knee position: WRONG
Angle: 77.667


Standing distance: WRONG
Angle: OK
Knee position: OK
Standing distance: WRONG
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: 78.5305
Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: 75.0271


Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: 82.7914
Standing distance: WRONG
Angle: OK
Knee position: OK
Standing distance: OK
Angle: OK
Knee position: OK
Angle: 66.2585



ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทจากเฟรมที่ระบบคำนวนได้ว่าเป็นเฟรมเดียวกัน โดยกรอบสีเขียวแสดงท่าทางที่ถูกต้อง และกรอบสีแดงแสดงท่าทางที่ผิด ภาพด้านหน้าแสดงความถูกต้องของระยะยืนที่คำนวนได้จากระบบที่มุมซ้ายบนของภาพ ภาพด้านข้างแสดงความ

ถูกต้องของระยะข้อเข่า และมุมงอเข่าที่ซ้ายบนของภาพ และแสดงขนาดของมุมงอเข่าบริเวณกรอบสีเหลืองด้านซ้ายล่างของภาพในขณะที่ผู้ออกกำลังกายกำลังทำการสควอท

4.4.3 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกันพบว่าการตรวจสอบท่าสควอทสามารถตรวจสอบท่าที่ไม่ปลอดภัยได้แม่นยำกว่าการตรวจสอบท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย และอาจมีความคลาดเคลื่อนในการสรุปผล เพราะอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่เป็นท่าสควอทที่ปลอดภัยมีน้อยกว่าข้อมูลตัวอย่างที่เป็นท่าสควอทที่ไม่ปลอดภัย เนื่องด้วยเมื่อตรวจสอบเงื่อนไขจากภาพด้านหน้าและภาพด้าข้างร่วมกันแล้ว ภาพส่วนใหญ่จะมีความถูกต้องเพียงภาพด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น จึงทำให้เมื่อนำมาตรวจสอบร่วมกันสรุปได้ว่าเป็นภาพที่ผิดเงื่อนไข และจากการที่การเชื่อมเฟรมที่เป็นเฟรมเดียวกันมีความคลาดเคลื่อนของผลต่างระหว่างเฟรมอยู่เล็กน้อย จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุความถูกต้องของเงื่อนไขบริเวณช่วงรอยต่อระหว่างขณะที่กำลังเปลี่ยนจากการทำสควอทถูกเงื่อนไขไปเป็นผิดเงื่อนไข หรือกลับกันได้

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินท่าออกกำลังกายด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย โดยใช้การตรวจจับข้อต่อโดยกระบวนการทางการประมวลผลภาพถ่าย ในการวิเคราะห์ความถูกต้องของการออกกำลังกายท่าสควอทที่ปลอดภัย โดยแบ่งเป็น 4 การทดลอง ประกอบด้วย 1) ผลการทดลองหาตำแหน่งข้อต่อ 2) ผลการทดลองคำนวนระยะข้อต่อ และหามุมงอเข่า 3) ผลการทดลองหาเฟรมอ้างอิง 4) ผลการทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบท่าสควอทร่วมกัน

ซึ่งระบบสามารถเชื่อมโยงเฟรมของวีดีโอที่ไม่ได้เริ่มพร้อมกันได้ใกล้เคียงกับผลต่างจริงของวีดีโอ ผลการตรวจสอบความถูกต้องจากภาพด้านหน้า 3.ผลการตรวจสอบความถูกต้องจากภาพด้านข้าง แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจหาพิกัดของข้อต่อทั้งจากด้านหน้าและด้านข้างได้ในระดับดี ซึ่งยังมีข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากผลกระทบของฉาก เช่น แสง เงา และการเคลื่อนไหวของผู้ออกกำลังกาย และ 4.ผลการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทร่วมกัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องของท่าสควอทได้ แต่มีค่าความถูกต้องน้อยลงจากการตรวจสอบความถูกต้องแบบแยกภาพด้านหน้าและภาพด้านข้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการแยกผู้ออกกำลังกายออกจากฉากมีความสำคัญอย่างมากต่อการวิเคราะห์ ในขั้นต่อไป ผู้พัฒนาเสนอแนะให้พัฒนาขั้นตอนการแยกผู้ออกกำลังกายออกจากฉากให้ได้รับผลกระทบจากการเกิดสัญญาณรบกวนน้อยลง การกำหนดและควบคุมแสงและเงาภายในพื้นที่ทำการทดลอง การจำกัดเสื้อผ้าของผู้ออกกำลังกายบางชนิดที่มีผลรบกวนการตรวจจับข้อต่อ การแจ้งผู้ออกกำลังกายเมื่อมีการยืนที่ผิดปกติ จะสามารถช่วยให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้

การพัฒนาเพื่อต่อยอดสามารถทำเป็นแอพลิเคชั่นในโทรศัพท์มือถือ และเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตเพื่อตรวจสอบสภาพการออกกำลังกายของผู้ออกกำลังกายได้

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Gullett, J.C., et al., A Biomechanical Comparison of Back and Front Squats in Healthy Trained Individuals. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2009. 23(1): p. 284-292.

2. Schoenfeld, B. and M. Williams, Are Deep Squats a Safe and Viable Exercise? Vol. 34. 2012. 34-36.

3. Fry, A., J. Smith, and B. K Schilling, Effect of Knee Position on Hip and Knee Torques During the Barbell Squat. Vol. 17. 2003. 629-33.

4. Lorenzetti, S., et al., How to squat? Effects of various stance widths, foot placement angles and level of experience on knee, hip and trunk motion and loading. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 2018. 10(1): p. 14.

5. Schoenfeld, B.J., Squatting Kinematics and Kinetics and Their Application to Exercise Performance. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2010. 24(12): p. 3497-3506.

6. Panariello, R.A., S.I. Backus, and J.W. Parker, The effect of the squat exercise on anterior-posterior knee translation in professional football players. Am J Sports Med, 1994. 22(6): p. 768-73.

7. Philips, J.C., M. Marchand, and A.J. Scheen, Haemodynamic changes during a squat test, pulsatile stress and indices of cardiovascular autonomic neuropathy in patients with long-duration type 1 diabetes. Diabetes and Metabolism, 2012. 38(1): p. 54-62.

8. Abu Hassan, M.F., M.A. Zulkifley, and A. Hussain, Squat exercise abnormality detection by analyzing joint angle for knee osteoarthritis rehabilitation. Jurnal Teknologi, 2015. 77(7): p. 19-24.

9. Kritz, M., J. Cronin, and P. Hume, The Bodyweight Squat: A Movement Screen for the Squat Pattern. Strength & Conditioning Journal, 2009. 31(1): p. 76-85.

10. Piccardi, M. Background subtraction techniques: a review. in 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No.04CH37583). 2004.

11. Gupta, A., et al. An efficient automated method for exudates segmentation using image normalization and histogram analysis. in 2016 Ninth International Conference on Contemporary Computing (IC3). 2016.

12. Keele University, OSTEOARTHRITIS IN GENERAL PRACTICE Data and perspectives. Arthritis Research UK,2013.

13. นิมิตรอานันท์, สถานการณ์ทางระบาดวิทยาและการประเมินความเสี่ยงโรคข้อเข่าเสื่อมในคนไทย The Epidemiological Situation and Risk Assessment of Knee Osteoarthritis among Thai People. Journal of The Royal Thai Army Nurses, 2014. 15(3):p. 185-94.

14. Rungsawasdisap, N., et al. Squat movement recognition using hidden Markov models. in 2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT). 2018.

15. Escamilla, R.F., et al., A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. Med Sci Sports Exerc, 2001. 33(6): p. 984-98.

16. Escamilla, R.F., Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. Med Sci Sports Exerc, 2001. 33(1): p. 127-41.

17. Zulkifley, M. A., N. A. Mohamed, and N. H. Zulkifley. "Squat Angle Assessment through Tracking Body Movements." IEEE Access 7 (2019): 48635-44.

18. Karaked krasairchon, et al., Evaluation of posture exercise through image processing techniques: A checking standing distance and a measurement of degrees of knee flexion during squatting., 2018.

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

คู่มือการใช้งานโปรแกรมประกอบด้วยขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม 6 ขั้นตอน และ Source code ทั้งหมดของโปรแกรม

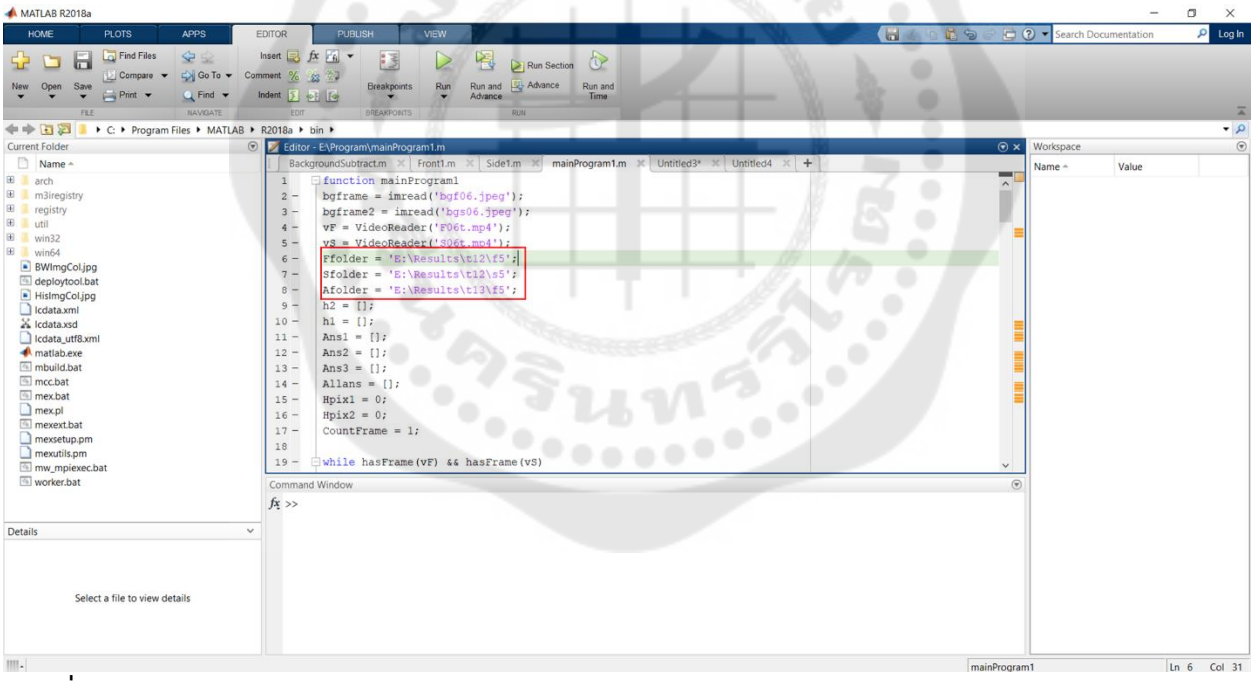
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

1. ติดตั้งโปรแกรม Matlab R2018a

2. ดาวน์โหลดไฟล์ mainProgram1.m, BackgroundSubtract.m, Front1.m, และSide1.m

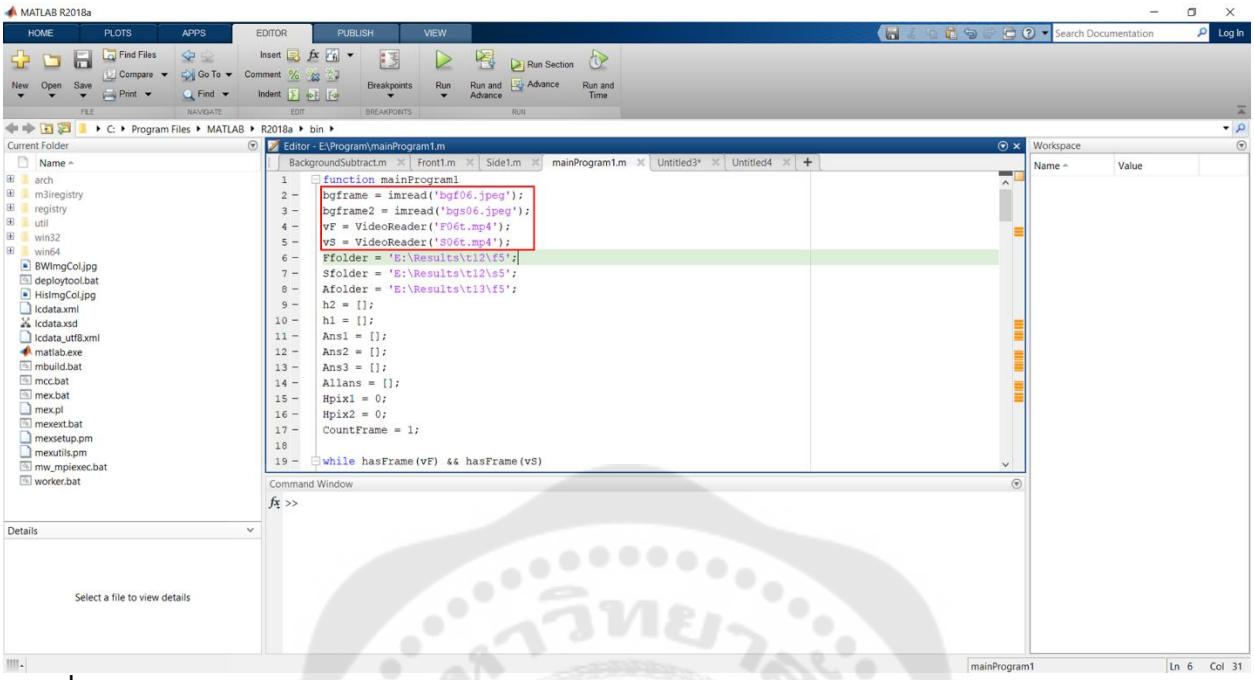
3. สร้างFolder สำหรับเก็บข้อมูล ภาพผลลัพธ์จากภาพด้านหน้า, ภาพผลลัพธ์จากภาพด้านข้าง, และภาพผลลัพธ์สุดท้าย

4. ใส่ที่อยู่ของโฟลเดอร์ในข้อ 3) ลงในโปรแกรม mainProgram1.m ดังแสดงในภาพที่ 1



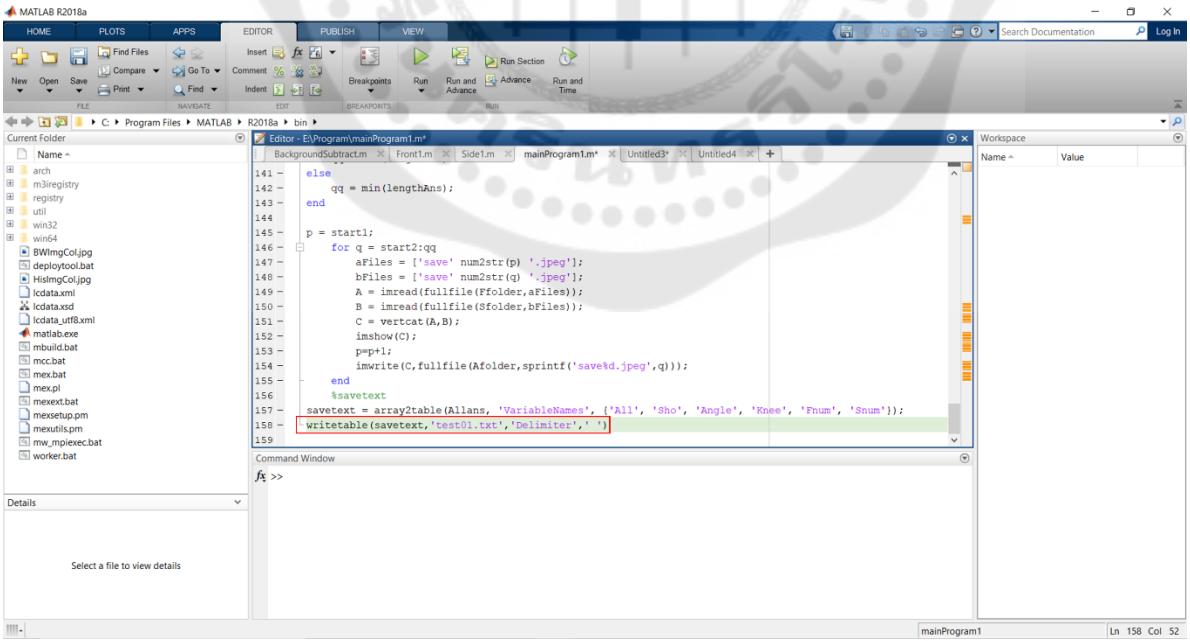
ภาพที่ 1 ตำแหน่งโฟลเดอร์ผลลัพธ์

5. ใส่ข้อมูลไฟล์ภาพภาพฉากด้านหน้า ภาพฉากด้านข้าง วีดีโอการทำสควอทด้านหน้า และวีดีโอการทำสควอทด้านข้าง ลงในโปรแกรม mainProgram1.m ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งโฟลเดอร์ข้อมูลนำเข้า

6. กำหนดชื่อไฟล์สำหรับเก็บผลเป็นข้อมูล .text โดยผลจะบันทึกใน Current Folder ลงในโปรแกรม mainProgram1.m ในบรรทัดที่ 158



ภาพที่ 3 ตำแหน่งชื่อไฟล์ผลลัพธ์.text

Source code

แสดงโค้ดทั้งหมดของโปรแกรม โดยโปรแกรมประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นหลัก 4 ฟังก์ชั่น ดังนี้ mainProgram1.m, BackgroundSubtract.m, Front1.m, และSide1.m

Source code: (Mainprogram1)

```
function mainprogram1
%กำหนดโฟลเดอร์ข้อมูลนำเข้า
bgframe = imread('bgf06.jpeg');
bgframe2 = imread('bgs06.jpeg');
vF = VideoReader('F06t.mp4');
vS = VideoReader('S06t.mp4');
%กำหนดโฟลเดอร์ผลลัพธ์
Ffolder = 'E:\Results\t12\f5';
Sfolder = 'E:\Results\t12\s5';
Afolder = 'E:\Results\t13\f5';
h2 = [];
h1 = [];
Ans1 = [];
Ans2 = [];
Ans3 = [];
Allans = [];
Hpix1 = 0;
Hpix2 = 0;
CountFrame = 1;
while hasFrame(vF) && hasFrame(vS)
  frame = readFrame(vF);
  frame2 = readFrame(vS);
```

```
[bgSub,bgh] = BackgroundSubtract(bgframe,frame);
[bgSub2,bgh2] = BackgroundSubtract(bgframe2,frame2);
[correctF,high1,pic1] = Front1(bgSub,bgh,frame,Hpix1);
[correct1,correct2,high2,pic2,angle] = Side1(bgSub2,bgh2,frame2,Hpix2);
Ans1(1,CountFrame) = correctF;
Ans2(1,CountFrame) = correct1;
Ans3(1,CountFrame) = correct2;
h1(1,CountFrame) = high1;
h2(1,CountFrame) = high2;
angleD(1,CountFrame) = angle;
Hpix1 = max(h1)/100;
Hpix2 = max(h2)/100;
if correctF == 0
  insert1 = insertText(pic1,[50 50],'Standing distance: WRONG','FontSize',50,'BoxColor','red');
else
  insert1 = insertText(pic1,[50 50],'Standing distance: OK','FontSize',50,'BoxColor','green');
end
imwrite(insert1,fullfile(Ffolder,sprintf('save%d.jpeg',CountFrame)));
if high2 > 8/9* max(h2)
    insert2 = insertText(frame2,[50 50],'Angle: OK','FontSize',50,'BoxColor','green');
    insert3 = insertText(insert2,[50 150],'Knee position: OK','FontSize',50,'BoxColor','green');
    imwrite(insert3,fullfile(Sfolder,sprintf('save%d.jpeg',CountFrame)));
else
    if correct1 == 0
        insert2 = insertText(pic2,[50 50],'Angle: WRONG','FontSize',50,'BoxColor','red');
    else
```

```
        insert2 = insertText(pic2,[50 50],'Angle: OK','FontSize',50,'BoxColor','green');
    end
    if correct2 == 0
        insert3 = insertText(insert2,[50 150],'Knee position: WRONG','FontSize',50,'BoxColor','red');
    else
        insert3 = insertText(insert2,[50 150],'Knee position: OK','FontSize',50,'BoxColor','green');
    end
    insert4 = insertText(insert3,[50 950],['Angle: ' num2str(angle)],'FontSize',40);
    imwrite(insert4,fullfile(Sfolder,sprintf('save%d.jpeg',CountFrame)));
  end
  CountFrame = CountFrame + 1;
end
hh1 = smooth(h1,20,'lowess');
hh = smooth(h2,20,'lowess');
pts1=findchangepts(hh1,'Statistic','linear','MinThreshold',10000);
pts=findchangepts(hh,'Statistic','linear','MinThreshold',10000);
for e = 1:length(pts1)
    if hh1(pts1(e)) < (max(hh1)+min(hh1))/2
        coop1 = pts1(e);
        break;
    end
end
for e = 1:length(pts)
    if hh(pts(e)) < (max(hh)+min(hh))/2
        coop = pts(e);
        break;
```

```
    end
end
dl = abs(coop-coop1);
if coop1 > coop
    lengthAns = [(length(Ans1)-dl) length(Ans2)];
    for e = 1:min(lengthAns)
        if hh(e) >= 8/9 * max(hh)
            Allans(e,1) = Ans1(dl+e);
            Allans(e,2) = Ans1(dl+e);
            Allans(e,3) = 1;
            Allans(e,4) = 1;
            Allans(e,5) = dl+e;
            Allans(e,6) = e;
        else
            Allans(e,1) = Ans1(dl+e) * Ans2(e) * Ans3(e);
            Allans(e,2) = Ans1(dl+e);
            Allans(e,3) = Ans2(e);
            Allans(e,4) = Ans3(e);
            Allans(e,5) = dl+e;
            Allans(e,6) = e;
        end
    end
elseif coop1 < coop
    lengthAns = [length(Ans1) (length(Ans2)-dl)];
    for e = 1:min(lengthAns)
        if hh(e) >= 8/9 * max(hh)
```

```
            Allans(e,1) = Ans1(e);
            Allans(e,2) = Ans1(e);
            Allans(e,3) = 1;
            Allans(e,4) = 1;
            Allans(e,5) = e;
            Allans(e,6) = dl+e;
        else
            Allans(e,1) = Ans1(e) * Ans2(e+dl) * Ans3(e+dl);
            Allans(e,2) = Ans1(e);
            Allans(e,3) = Ans2(e+dl);
            Allans(e,4) = Ans3(e+dl);
            Allans(e,5) = e;
            Allans(e,6) = dl+e;
        end
    end
else
    lengthAns = [length(Ans1) length(Ans2)];
    for e = 1:min(lengthAns)
        if hh(e) >= 8/9 * max(hh)
            Allans(e,1) = Ans1(e);
            Allans(e,2) = Ans1(e);
            Allans(e,3) = 1;
            Allans(e,4) = 1;
            Allans(e,5) = e;
            Allans(e,6) = e;
        else
```

```
            Allans(e,1) = Ans1(e) * Ans2(e) * Ans3(e);
            Allans(e,2) = Ans1(e);
            Allans(e,3) = Ans2(e);
            Allans(e,4) = Ans3(e);
            Allans(e,5) = e;
            Allans(e,6) = e;
        end
    end
end
start1 = Allans(1,5);
start2 = Allans(1,6);
if start1 < start2
    qq = max(lengthAns);
else
    qq = min(lengthAns);
end
p = start1;
    for q = start2:qq
        aFiles = ['save' num2str(p) '.jpeg'];
        bFiles = ['save' num2str(q) '.jpeg'];
        A = imread(fullfile(Ffolder,aFiles));
        B = imread(fullfile(Sfolder,bFiles));
        C = vertcat(A,B);
        imshow(C);
        p=p+1;
        imwrite(C,fullfile(Afolder,sprintf('save%d.jpeg',q)));
```

```
    end
```

%บันทึกไฟล์ผลลัพธ์.text

```
savetext = array2table(Allans, 'VariableNames', {'All', 'Sho', 'Angle', 'Knee', 'Fnum', 'Snum'});
writetable(savetext,'test01.txt','Delimiter',' ')
```

Source code: (BackgroundSubtract) – จำแนกวัตถุออกจากฉาก

```
function [bgSub,bgh] = BackgroundSubtract(bgframe,frame)
bgGray = rgb2gray(bgframe);
fGray = rgb2gray(frame);
I = bgGray - fGray;
I2 = edge(I,'Canny',0.2);
se1 = strel('cube',25);
se2 = strel('cube',25);
se3 = strel('cube',10);
I3 = imdilate(I2,se1);
I4 = imfill(I3,'holes');
I5 = imerode(I4,se2);
I6 = imerode(I5,se3);
I7 = imdilate(I6,se3);
s  = regionprops(I7,'Area');
ss = numel(s);
s2  = regionprops(I5,'Area');
ss2 = numel(s2);
if ss > 1
```

```
    [m,index] = max([s.Area]);
else
    m = s.Area;
end
I8 = bwareaopen(I7,m);
if ss2 > 1
    [m,index] = max([s2.Area]);
else
    m = s2.Area;
end
I5h = bwareaopen(I5,m);
bgSub = I8;
bgh = I5h;
```

Source code: (Front1) – ตรวจสอบท่าสควอทจากภาพด้านหน้า

```
function [correctF,high1,pic1] = Front1(bgSub,bgh,frame,Hpix1)
slope=[];
numFirst=[];
numLast=[];
bw = bgSub;
bwh = bgh;
[rows, columns] = size(bw);
stats = regionprops(bwh,'Area','BoundingBox');
    area = cat(1,stats.Area);
    for count = 1 : length(stats)
        if area == max(area)
```

```
        BB = stats(count).BoundingBox;
        high1 = BB(4);
        end
    end
     if Hpix1 == 0
         Hpix1 = high1/100;
     end
xi= 0;
    for i = 1 : rows
        for j = 1 : columns
            if bw(i,j) >0.5
                xi = xi+1;
            end
        end
    RowValue(i) =  xi;
    xi=0;
    end
    %Find Row Shoulder
    RowShoulder=[];
    %find slope every 30 pixel
    for i = 1:rows-30
         slope(1,i) = ((i+30) - (i))/(RowValue(i+30) - RowValue(i));
         if slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf
            numFirst = i;
            break;
         end
```

```
end
for i = 1:rows-30
    slope(1,i) = ((i+30) - (i))/(RowValue(i+30) - RowValue(i));
    if slope(i) < 0 && slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf
        count = 2;
    end
    if count == 2 && slope(i) > 0 && slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf
        numLast = i;
        break;
    end
end
        num  = numLast+((numLast-numFirst)/2);
        RowShoulder = int16(num);
%Find Row Ankle
RowAnkle = [];
c = 0;
for i = rows-20:-1:1
    slope(i) = ((i+20) - (i))/(RowValue(i+20) - RowValue(i));
    if slope(i) > 0 && slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf
        c = 1;

    if slope(i) < 0 && slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf && c==1
        RowAnkle = i;
        break;
    end
end
```

```
    %Find Row Toe
    RowToe = [];
    for i = rows-10:-1:1
        slope(i) = ((i+10) - (i))/(RowValue(i+10) - RowValue(i));
        if slope(i) > 0 && slope(i) ~= -Inf && slope(i) ~= Inf
            RowToe = i;
            break;
        end
    end
    %Show picture plot
    TF = 2;
    %plot Shoulder point\
    TF = isempty(RowShoulder);
    if TF == 0
        for ColShoulder1 = 1:columns
                if bw(RowShoulder,ColShoulder1) > 0.5
                    RGB = insertShape(frame,'circle',[ColShoulder1+Hpix1 RowShoulder
5],'LineWidth',10,'Color','green');
                    break
                end
        end

        for ColShoulder2 = columns:-1:1
                if bw(RowShoulder,ColShoulder2) > 0.5
                    RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColShoulder2-Hpix1 RowShoulder
5],'LineWidth',10,'Color','green');
```

```
                RGB = insertShape(RGB,'line',[ColShoulder1+Hpix1 RowShoulder ColShoulder2
RowShoulder],'LineWidth',8,'Color','green');
                break
            end
        end
    end
    %plot Ankle point
    TF = isempty(RowAnkle);
    if TF == 0
        for ColAnkle1 = 1:columns
            if bw(RowAnkle,ColAnkle1) > 0.5
                RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColAnkle1 RowAnkle
5],'LineWidth',10,'Color','yellow');
                break
            end
        end
        for ColAnkle2 = columns:-1:1
            if bw(RowAnkle,ColAnkle2) > 0.5
                RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColAnkle2 RowAnkle
5],'LineWidth',10,'Color','yellow');
                RGB = insertShape(RGB,'line',[ColAnkle1 RowAnkle ColAnkle2
RowAnkle],'LineWidth',8,'Color','yellow');

                break
            end
        end
```

```
    end
    %plot Toe point
    TF = isempty(RowToe);
    if TF == 0
        for ColToe1 = 1:columns
            if bw(RowToe,ColToe1) > 0.5
                RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColToe1+2*Hpix1 RowToe
5],'LineWidth',10,'Color','blue');
                break
            end
        end
        for ColToe2 = columns:-1:1
            if bw(RowToe,ColToe2) > 0.5
                RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColToe2-2*Hpix1 RowToe
5],'LineWidth',10,'Color','blue');
                RGB = insertShape(RGB,'line',[ColToe1+2*Hpix1 RowToe ColToe2-2*Hpix1
RowToe],'LineWidth',8,'Color','blue');

                break
            end
        end
    end

    ToeDistance = (ColToe2-Hpix1) - (ColToe1+Hpix1);
    AnkleDistance = ColAnkle2 - ColAnkle1;
    ShoDistance = ColShoulder2-Hpix1 - ColShoulder1+Hpix1;
```

```
    if (ShoDistance)<=((ToeDistance + AnkleDistance)/2) && ((ToeDistance + AnkleDistance)/2) <=
(1.71*ShoDistance)
        correctF = 1;
    else
        correctF = 0;
    end
   pic1 = RGB;
```

Source code: (Side1) – ตรวจสอบท่าสควอทจากภาพด้านข้าง

```
function [correct1,correct2,high2,pic2,angle] = Side1(bgSub2,bgh2,frame2,Hpix2)
breakNum = 0;
angle = [];
    bw = bgSub2;
    bwh = bgh2;
    stats = regionprops(bwh,'Area','BoundingBox');
    area = cat(1,stats.Area);
    RGB = [];
    for count = 1 : length(stats)
        if area == max(area)
        BB = stats(count).BoundingBox;
        high2 = BB(4);
        end
    end
      if Hpix2 == 0
         Hpix2 = high2/100;
      end
           colLast = int16(BB(1))+ int16(BB(3));
```

```
colFirst = int16(BB(1));
rowLast = int16(BB(2))+ int16((1/3)*BB(4));
rowFirst = int16(BB(2))+ int16((2/3)*BB(4));
 %find hip
for ColHip = colLast:-1:colFirst
    for RowHip = rowFirst:-1:rowLast
        if bw(RowHip,ColHip) > 0.5
           RGB = insertShape(frame2,'circle',[ColHip-Hpix2 RowHip 5],'LineWidth',10,'Color','blue');
           breakNum = 1;
        break
        end
    end
    if breakNum == 1
    break
    end
end
breakNum = 0;
 %find knee
colLast2 = int16(BB(1))+ int16(BB(3));
colFirst2 = int16(BB(1));
rowFirst2 = int16(BB(2))+ int16(0.6*(BB(4)));
rowLast2 = int16(BB(2))+ int16((0.8)*(BB(4)));
for ColKnee = colFirst2:1:colLast2
    for RowKnee = rowLast2:-1:rowFirst2
       if bw(RowKnee,ColKnee) > 0.5
           RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColKnee+Hpix2 RowKnee 5],'LineWidth',10,'Color','red');
           breakNum = 1;
```

```
            break
            end
        end
        if breakNum == 1
        break
        end
    end
    breakNum = 0;
     %find toe
    colLast3 = int16(BB(1))+ int16(BB(3));
    colFirst3 = int16(BB(1));
    rowFirst3 = int16(BB(2))+ int16(5/6*BB(4));
    rowLast3 = int16(BB(2))+ int16(BB(4))-1;
    for ColToeS = colFirst3:1:colLast3
        for RowToeS = rowFirst3:1:rowLast3
            if bw(RowToeS,ColToeS) > 0.5
                RGB = insertShape(RGB,'circle',[ColToeS RowToeS 5],'LineWidth',10,'Color','green');
                breakNum = 1;
                break
            end
        end
        if breakNum == 1
        break
        end
    end
if isempty(RGB) == 0
RGB = insertShape(RGB,'line',[ColKnee+Hpix2 RowKnee ColHip-Hpix2 RowHip; ColKnee+Hpix2 RowHip-50
ColKnee+Hpix2 RowKnee],'LineWidth',8,'Color',{'yellow','green'});
```

```
 %Check correctness
a0 = RowKnee - RowHip;
b0 = (ColHip-Hpix2) - (ColKnee+Hpix2);
a = double(a0);
b = double(b0);
angle = rad2deg(atan(b/a));
 %find angle
if angle <= 100
    correct1 = 1;
else
    correct1 = 0;
end
if ColKnee+Hpix2 >= ColToeS
    correct2 = 1;
else
    correct2 = 0;
end
else
    correct1 = 0;
    correct2 = 0;
    RGB = frame2;
end
pic2 = RGB;
 if isempty(angle)== 1
   angle = 0;
 end
```

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ชื่อ ชื่อสกลุ	นางสาวอ้อมแก้ว อินทรภักดี
วันเดือนปเกิด	31 กรกฎาคม 2540
สถานที่อยูปจจุบัน	30/9 หมู่ 5 ต.ระแหง
	อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี
หมายเลขโทรศัพทติดตอ	095-921-0476

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559	มัธยมศึกษาปที่ 6
	จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี
พ.ศ. 2563	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย
	คณะวิศวกรรมศาสตร หมาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ