

การออกแบบและสร้างชุดจำลองการศึกษาการทำงานโดย MediaPipe Holistic Design and Make a Work Study Simulation Model Using MediaPipe Holistic

กันยารัตน์ พูลเพียร

วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น พุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

Kanyarat Punpain

College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University,

110/1-4 Prachachuen Road, Thung Song Hong Lak Si District, Bangkok 10210

* Corresponding author Email: kanyarat.pun@dpu.ac.th

(Received: February 7, 2024; Revised: July 22, 2025 ; Accepted: October 16, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดจำลองการศึกษาการทำงานโดย MediaPipe Holistic สำหรับประเมินความเมื่อยล้า เพิ่มความแม่นยำในการบันทึกเวลาและองศาการเคลื่อนไหวของร่างกายในการปฏิบัติงาน เพื่อแก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดจากการจับเวลาด้วยมือและข้อจำกัดในการประเมินความเมื่อยล้า การทดสอบดำเนินการด้วยกันทั้งหมด 2 รูปแบบ: รูปแบบที่ 1 ใช้กระเบาะห่าง 42 ซม. เก้าอี้สูง 62.8 ซม. และรูปแบบที่ 2 ใช้กระเบาะห่าง 27.5 ซม. เก้าอี้สูง 54.8 ซม. ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบที่ 1 ช่วยลดความเมื่อยล้าได้ดีกว่ารูปแบบที่ 2 เนื่องจากลดการเอี้ยวตัว แต่ทั้งสองรูปแบบยังคงมีอาการปวดบ่า ไหล่ และแขนเมื่อทำงานต่อเนื่อง การวิเคราะห์เวลามาตรฐานด้วย MediaPipe Holistic ชี้ว่ารูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 9.89 วินาที/ชิ้นงาน และมีการเคลื่อนไหวต่อเนื่องกว่า ขณะที่รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 9.91 วินาที/ชิ้นงาน และเน้นความยืดหยุ่นของไหล่มากกว่า การค้นพบนี้มีประโยชน์ในการออกแบบสถานีนงานตามหลักการยศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเมื่อยล้า

คำสำคัญ: การศึกษาการทำงาน, MediaPipe Holistic, ความเมื่อยล้า, การยศาสตร์, การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว

ABSTRACT

This research aimed to design and develop a work simulation set using MediaPipe Holistic to assess fatigue, improve the accuracy of time recording, and measure body movement angles during task performance, thereby addressing issues of manual timing errors and limitations in fatigue evaluation. Testing was conducted in two configurations: Configuration 1 used a tray positioned 42 cm away with a chair height of 62.8 cm, while Configuration 2 used a tray positioned 27.5 cm away with a chair height of 54.8 cm. The study found that Configuration 1 was more effective at reducing fatigue than Configuration 2, primarily due to minimizing torso twisting; however, both configurations still resulted in shoulder and arm pain with continuous work. Standard time analysis with MediaPipe Holistic revealed that Configuration 1 had an average of 9.89 seconds per piece and demonstrated more

continuous movement, whereas Configuration 2 had an average of 9.91 seconds per piece and emphasized greater shoulder flexibility. This finding is valuable for designing ergonomic workstations to enhance efficiency and reduce fatigue.

Keyword: Work study, MediaPipe Holistic, Fatigue, Ergonomics, Motion analysis.

1. บทนำ

การศึกษาการทำงาน (Work Study) เป็นกระบวนการสำคัญที่ประกอบด้วยการวิเคราะห์วิธีการทำงาน (Method Study) และการวัดผลการทำงาน (Work Measurement) โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ รวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตและเศรษฐกิจในการดำเนินงาน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพจากทรัพยากรที่มีอยู่เดิม โดยใช้เงินลงทุนที่ลดลง ในอดีตการศึกษาในสาขาวิชานี้มักถูกเรียกว่า การศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว (Time and Motion Study) [1] ซึ่งใช้เครื่องมือจับเวลาเพื่อบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามวิธีการสังเกตและบันทึกข้อมูลด้วยตนเองนั้นอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานและการคำนวณเวลามาตรฐาน

ด้วยเหตุนี้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดจำลองการศึกษาการทำงานโดยใช้ MediaPipe Holistic เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของการทำงาน งานลักษณะนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษากการเคลื่อนไหวของร่างกายและเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมย่อยของงาน โดยอาศัยเทคโนโลยี MediaPipe Holistic เข้ามาเป็นหัวใจสำคัญในการประมวลผลข้อมูล ระบบดังกล่าวจะประมวลผลโดยการผสานรวมโมเดลของท่าทางร่างกาย ใบหน้า และมือเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้งานวิจัยยังมุ่งเน้นการหาข้อมูลระยะเวลาการทำงานของมือซ้ายและมือขวาในระหว่างการทำงาน รวมถึงการเก็บข้อมูล

เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงสรีระร่างกายให้เหมาะสมขณะปฏิบัติงาน ขอบเขตของการศึกษานี้จะรวมถึงการจัดสร้างห้องทดสอบที่ใช้ MediaPipe Holistic เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] โดยจะใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและวิดีโอด้วย โอเพ่นซีวี (OpenCV) เพื่อตรวจจับจุดสำคัญต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ศีรษะ มือ และแขน เพื่อนำมาวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนที่ของแขนและความเหมาะสมของลักษณะท่าทางขณะปฏิบัติงาน การศึกษานี้คาดว่าจะช่วยปรับปรุงพื้นที่การทำงานให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ปฏิบัติงาน และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์เวลามาตรฐาน ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงขั้นตอนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study)

เป็นระเบียบวิธีที่มุ่งวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบ รวมถึงวัดเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ทฤษฎีนี้ประกอบด้วยการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) เพื่อค้นหาวิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และการวัดเวลา (Work Measurement) เพื่อกำหนดเวลามาตรฐาน เป้าหมายหลักคือการเพิ่มผลผลิต ลดความสูญเสีย (เช่น เวลาและความพยายาม) และความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน พร้อมทั้งกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานที่เหมาะสม.

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การใช้คอมพิวเตอร์จัดการและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลเพื่อสกัดข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ เทคนิคนี้ช่วย

ปรับปรุงคุณภาพภาพและเพิ่มความแม่นยำในหลายด้าน
เช่น การแพทย์และอุตสาหกรรม

2.3 Machine Learning (ML)

ทฤษฎีที่ศึกษาอัลกอริทึมที่ช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์
"เรียนรู้" จากข้อมูลโดยไม่ต้องถูกตั้งโปรแกรมอย่างชัดเจน
มันเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองที่สามารถจดจำ
รูปแบบ ทำนายผลลัพธ์ ตัดสินใจจากข้อมูลที่ได้รับ และ
ปรับปรุงประสิทธิภาพการเรียนรู้เมื่อมีข้อมูลมากขึ้น [3]

2.4 การคำนวณมุมและองศาของร่างกายสำคัญใน แพทย์ กีฬา และวิศวกรรมศาสตร์

เพื่อเข้าใจการเคลื่อนไหวและกลไกกล้ามเนื้อ จึง
จำเป็นจะต้องมีการคำนวณมุมและองศาของร่างกาย
เทียบกับหลักสรีรศาสตร์ (รูปที่ 1) และนำองศาและมุมที่
ได้จากการคำนวณไปตั้งค่าในการออกแบบและสร้างชุด
จำลองการศึกษาการทำงาน (สมการที่ 1) โดยองศา
(Degree) เป็นหน่วยวัดมุมและสามารถแปลงเป็นเรเดียน
(Radian) ได้

$$\text{รัศมี} = \frac{\text{องศา} \times \pi}{180} \quad (1)$$

การคำนวณมุม เมื่อต้องการคำนวณมุมระหว่างจุด
2 จุดบนระนาบสองมิติ สามารถใช้สูตรคำนวณมุมระหว่าง
เวกเตอร์ (Vector) ได้โดยใช้สูตรดังสมการที่ 2

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{y_1^2 - y_1 \times y_2}{y_1 \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \right) \quad (2)$$

2.5 การวิเคราะห์ท่าทางการทำงานช่วยป้องกันปัญหา กล้ามเนื้อและกระดูก

โดยเฉพาะในงานที่ นั่งนานจำเป็นต้องปรับ
สภาพแวดล้อมการทำงานเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้นและลดการ
บาดเจ็บ [4]

รูปที่ 1 แสดงถึงท่าทางที่ดีต่อสุขภาพตามหลัก
สรีรศาสตร์ (Ergonomics healthy postures) การ
วิเคราะห์ท่าทางการทำงานเช่นนี้มีความสำคัญในการ

ป้องกันปัญหากล้ามเนื้อและกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน
งานที่ต้องนั่งเป็นเวลานาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับ
สภาพแวดล้อมการทำงานเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้นและลดการ
บาดเจ็บ [5]

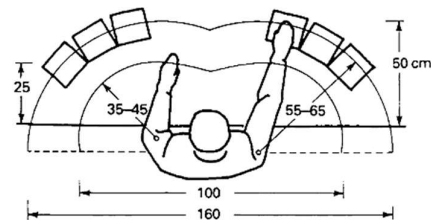


รูปที่ 1 ลักษณะท่าทางการทำงานที่เหมาะสม [6]

2.6 การออกแบบโซนทำงานควรพิจารณาระยะการ เอื้อม

ตำแหน่งอุปกรณ์ ความสูงที่เหมาะสม และการเข้าถึง
สิ่งของที่ใช้อย่างน้อย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความ
สะดวกสบาย

1) พื้นที่ทำงานปกติ คือบริเวณที่คนงานทำงานได้โดย
ไม่ต้องยืดหรือเอื้อมมาก ช่วยลดความเครียดและความ
เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ [7]



รูปที่ 2 ภาพวงพื้นที่การทำงานของแขนที่สามารถ
เอื้อมได้มากที่สุดและน้อยสุด [7]

2.7 การแปลงข้อมูลโดยใช้ Outliers

การแปลงข้อมูลช่วยลดอิทธิพลของ Outlier หรือ
ปรับการกระจายตัวให้เข้าสู่ภาวะปกติ เพื่อให้ข้อมูล
เหมาะสมกับการวิเคราะห์ทางสถิติมากขึ้น หากมีการ
ผิดพลาดในการจัดการหรือแปลงค่าผิดปกติเหล่านั้น จะ

ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีลักษณะถ้า Outliers ไม่ถูกจัดการให้เหมาะสม เช่น ไม่ตัดออก หรือไม่ได้ใช้การแทนค่าที่เหมาะสม อาจทำให้ข้อมูลมี distribution ที่เบ้ไปด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไป ผลลัพธ์ของโมเดล Machine Learning ผิดเพี้ยน ตัวอย่างการแปลงข้อมูลโดยใช้ Outliers เช่น

1. Log Transformation: แปลงข้อมูลที่มีค่าสูงมาก (เช่น รายได้)
2. Square Root Transformation: สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายบวก (เช่น จำนวนครั้ง)
3. Winsorization: การจำกัดค่า Outlier ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด [8]

2.8 Normalize Data

Normalization Data (การปรับข้อมูลให้เป็นปกติ) มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับ Machine Learning โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลล่วงหน้า (Pre-processing) ก่อนที่ข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่แบบจำลอง Machine Learning การปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการ ปรับข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบจากคุณลักษณะที่มีสเกลแตกต่างกัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างโมเดล Machine Learning [9]

2.9 MediaPipe

MediaPipe เป็นเฟรมเวิร์กโอเพนซอร์สที่พัฒนาโดย Google ซึ่งออกแบบมาเพื่อรันโมเดล Machine Learning ในแบบเรียลไทม์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสื่อสตรีมมิ่ง เช่น วิดีโอ มีความสามารถในการตรวจจับคุณลักษณะของมนุษย์ที่หลากหลาย เช่น ท่าทาง (Pose), ใบหน้า (Face), และมือ (Hands) โมเดลการตรวจจับท่าทาง (Pose Detection Model) ของ MediaPipe โดยทั่วไปจะให้จุดสำคัญ (landmarks) 33 จุด สำหรับร่างกายมนุษย์ จุดเหล่านี้ครอบคลุมบริเวณสำคัญต่างๆ ของร่างกาย เช่น ไหล่ ข้อศอก สะโพก หัวเข่า และจุดอื่น ซึ่งจะครอบคลุมทุกจุดที่ต้องการเก็บข้อมูลในงานวิจัย [10]

2.10 K-score

ระบบการให้คะแนนแบบใหม่เพื่อวัดปริมาณความเสี่ยงต่อความเหนื่อยล้า

1) Rescaling (Min-Max Normalization) คือ การปรับข้อมูลให้อยู่ในช่วง [0, 1] เพื่อลดความลำเอียงจากค่าสูงหรือต่ำ โดยใช้สูตรดังสมการที่ 3

$$X' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (3)$$

เมื่อ x = ค่าข้อมูลดั้งเดิม
 $\min(x)$ = ค่าต่ำสุดของข้อมูล
 $\max(x)$ = ค่าสูงสุดของข้อมูล
 X' = ค่าข้อมูลหลังการปรับ

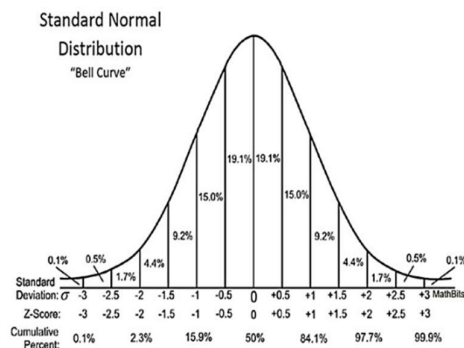
2) Mean Normalization เป็นการปรับข้อมูลให้กระจายรอบจุดศูนย์ (0) เพื่อให้ค่ามีความสมดุลระหว่างบวกและลบ โดยผลลัพธ์จะอยู่ในช่วงประมาณ [-0.5, 0.5] ต่างจาก Min-Max Normalization ที่ใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) แทนค่าต่ำสุด (Min) ในการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 4

$$X' = \frac{x - \text{average}(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4)$$

เมื่อ x = ค่าข้อมูลดั้งเดิม
 $\text{average}(x)$ = ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล
 $\max(x)$ = ค่าสูงสุดของชุดข้อมูล
 $\min(x)$ = ค่าต่ำสุดของชุดข้อมูล
 X' = ค่าหลังการปรับ

Mean Normalization ช่วยให้ข้อมูลกระจายอย่างสมดุลรอบศูนย์ ทำให้เหมาะกับอัลกอริทึมที่ไวต่อสเกลของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์เชิงสถิติและโมเดล Machine Learning บางประเภท

3) Standardization (Z-Score Normalization) (รูปที่ 5) คือ การนำข้อมูล Feature / Column มาปรับให้ Mean = 0 และ Standard Deviation = 1 (Unit Variance) ดังแสดงในสมการที่ 5



รูปที่ 3 ภาพกราฟ Standardization [11]

$$X' = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (5)$$

เมื่อ x = ค่าข้อมูลดั้งเดิม

$\bar{x}$ (หรือ mean(x)) = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในชุดข้อมูล

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในชุดข้อมูล

X' = ค่าข้อมูลหลังการปรับค่า

อัลกอริทึม Machine Learning หลาย ๆ ตัว จำเป็นต้องมีการให้ปรับข้อมูลก่อนที่จะนำเข้าข้อมูลให้ โมเดลใช้เทรน ซึ่งต้องเก็บค่า Mean และ Std ไว้ด้วย เพราะในการทดสอบค่าที่ใช้ควรจะเป็นประเภทเดียวกัน กับตอนเทรนในการปรับข้อมูล Validation Set / Test

4) Scale to Unit Length ในกรณี ที่ ข้อมูลเป็น Vector ชุดข้อมูลเหล่านั้นจะหารด้วย Euclidean Norm เพื่อปรับให้เป็น Unit Vector ดังแสดงในสมการที่ 6

$$X' = \frac{x}{\|x\|} \quad (6)$$

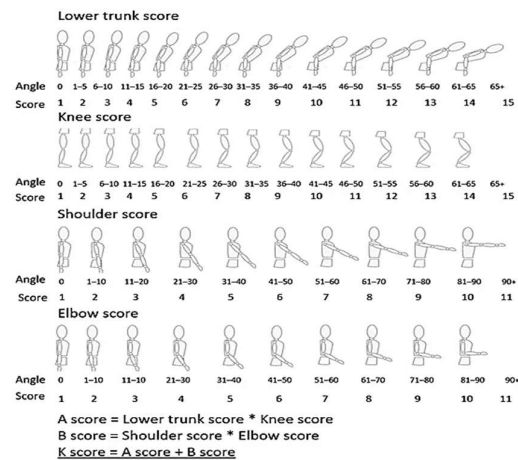
เมื่อ x = เวกเตอร์ที่ต้องการทำให้เป็นเวกเตอร์หน่วย

$\|x\|$ = ความยาว (หรือนอร์ม) ของเวกเตอร์ X

X' = เวกเตอร์หน่วยที่ได้จากการหารเวกเตอร์ X ด้วยความยาวของมันเอง

2.11 K-score (Kinematic Score)

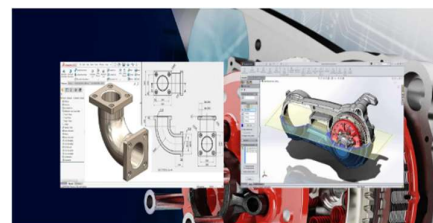
เป็นระบบคะแนนที่ประเมินความเสี่ยงต่อความเหนื่อย ล้าและการบาดเจ็บ โดยวัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อด้วย อุปกรณ์ IMU ผลลัพธ์ช่วยปรับปรุงสภาพการทำงานเพื่อ ลดปัญหากล้ามเนื้อและกระดูกในระยะยาว [12] ดังแสดง ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สูตรการคำนวณ K-score [13]

2.11 ซอลิดเวิร์กส์ (SolidWorks)

เป็นโปรแกรม CAD สำหรับการออกแบบ 2D และ 3D ช่วยจำลองชิ้นงานและวิเคราะห์ความแข็งแรง เปิดตัวในปี 2536 โดย Jon Hirschtick ปัจจุบันเป็นที่นิยมในด้านการ ออกแบบเมคคาทรอนิกส์ก่อนผลิต ดังแสดงในรูปที่ 5

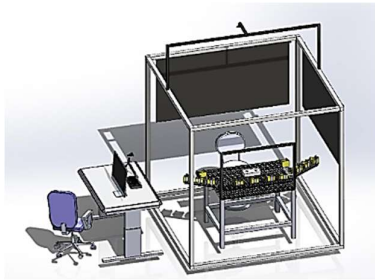


รูปที่ 5 แบบ 3 มิติในโปรแกรม SOLIDWORKS

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ชุดทดลองนี้เน้นการศึกษาการเคลื่อนไหวและสรีระ โดยใช้ Machine Learning และ Image Processing ในการประมวลผลภาพ พร้อมติดตั้งกล้อง 3 ตัวเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยตำแหน่ง

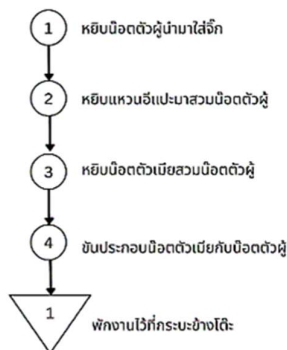
ของกล้องจะถูกติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ 1 เหนือศีรษะผู้ทำการทดสอบ ตำแหน่งที่ 2 ด้านหน้าผู้ทำการทดสอบ ตำแหน่งที่ 3 อยู่ด้านข้างผู้ทำการทดสอบ ซึ่งจะได้มุมมองภาพดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองห้องทดลอง

3.1 กำหนดการทำงานในการทดลอง

ขั้นตอนที่ทางผู้วิจัยกำหนดเพื่อการทดลองนั้น คือ แผนภูมิการไหลต่อเนื่องคือการประกอบโบลท์หัวหกเหลี่ยม (Hex Bolt) และใส่จุดพักงาน ดังแสดงในรูปที่ 7

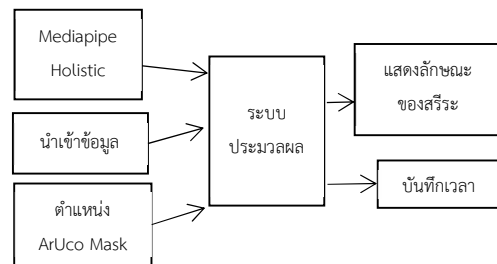


รูปที่ 7 แผนภูมิการไหลขั้นตอนการทำงาน

3.2 ระบบทำงานหลักของโปรแกรม

ระบบวิเคราะห์ภาพจากกล้องขณะปฏิบัติงาน โดยใช้ Machine Learning ผ่าน MediaPipe Holistic เพื่อตรวจจับจุดสำคัญของร่างกายและตำแหน่ง ArUco Marker ก่อนประมวลผลข้อมูลเพื่อแสดงผลขั้นตอนการปฏิบัติงาน

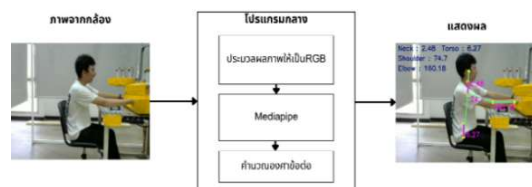
รูปที่ 8 แสดงแผนผังโครงสร้างโดยรวมของระบบ โปรแกรมที่ประกอบด้วย MediaPipe Holistic ข้อมูลนำเข้า และตำแหน่ง ArUco Mask ซึ่งทั้งหมดนี้จะถูกส่งไปยังระบบประมวลผล จากนั้นระบบประมวลผลจะแสดงผลคุณสมบัติทางสรีรวิทยาและทำการบันทึกเวลาการทำงาน



รูปที่ 8 โครงสร้างระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว

ระบบประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ระบบประมวลผลข้อมูลสำหรับจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลดิบ และระบบ MediaPipe Holistic ที่ตรวจจับจุดต่อของร่างกายจากภาพเว็บแคมเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวและท่าทาง

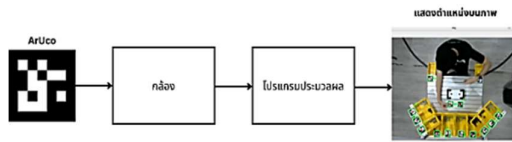
จากรูปที่ 9 แสดงถึงหน้าจอการทำงานหลักที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการบันทึกข้อมูล การเลือกแหล่งที่มาของภาพ และการตรวจสอบภาพจากมุมมองต่างๆ ในขณะที่ระบบทำการตรวจจับและประมวลผลข้อมูลร่างกายด้วย MediaPipe



รูปที่ 9 ระบบตรวจจับร่างกายด้วย MediaPipe

ArUco Marker เป็นเครื่องมือโอเพนซอร์สที่ใช้กล้องเว็บแคมและ OpenCV เพื่อตรวจจับและติดตามตำแหน่งชิ้นส่วนในพื้นที่สองมิติในการหยิบจับและประกอบ [14]

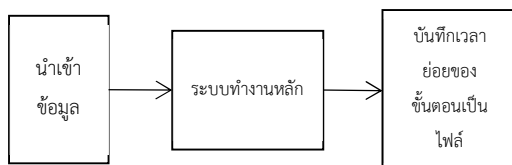
รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการทำงานจริงของระบบที่ตรวจจับร่างกายบุคคล โดยมีการซ้อนทับเส้นโครงร่างกระดูกและจุดสำคัญของร่างกายที่ MediaPipe ตรวจจับได้ พร้อมทั้งแสดงค่ามุมของข้อต่อต่าง ๆ เช่น มุมไหล่ มุมข้อศอก และมุมสะโพก รวมถึงแสดงเวลาทำงานของมือซ้ายและมือขวาแบบเรียลไทม์.



รูปที่ 10 ระบบแสดงตำแหน่ง ArUco Masker

ระบบนำเข้าข้อมูลขั้นตอนการทำงานช่วยตรวจสอบและบันทึกเวลาของแต่ละขั้นตอน หากการทำงานถูกต้องตามที่กำหนด ระบบจะบันทึกและแปลงข้อมูลเป็นไฟล์ *.CSV

รูปที่ 11 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าจุดจับเวลา ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกแขน (ซ้ายหรือขวา) และขั้นตอนการทำงานที่ต้องการกำหนดจุดจับเวลา พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งพิกัดแกน X Y Z ของจุดนั้น ๆ และมีปุ่มสำหรับตั้งค่า บันทึกตำแหน่ง หรือยกเลิกการตั้งค่า.



รูปที่ 11 ระบบนำเข้าข้อมูลเพื่อระบุขั้นตอนการทำงาน

ระบบการทำงานหลักเป็นซอฟต์แวร์ที่ประมวลผลข้อมูลจาก MediaPipe Holistic ตรวจจับร่างกาย คำนวณองศาการเคลื่อนไหว จับเวลา และบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ *.CSV พร้อมแสดงผลแบบเรียลไทม์

1.ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน ซึ่งผู้ใช้งานต้องทำการระบุลำดับขั้นตอนการทำงานและคำสั่งให้โปรแกรมทำงาน

จากรูปที่ 12 หน้าต่างโปรแกรมของผู้ใช้งานประกอบด้วย 8 ส่วนหลัก ได้แก่

ส่วนที่ 1 ช่องกรองข้อมูลสำหรับใส่ชื่อผู้ทดสอบและขั้นตอนการทำงานของมือซ้ายและมือขวา

ส่วนที่ 2 ปุ่ม OK สำหรับยืนยันข้อมูล

ส่วนที่ 3 ปุ่มตัวเลือกสำหรับเลือกแหล่งข้อมูลจากกล้องหรือวิดีโอ

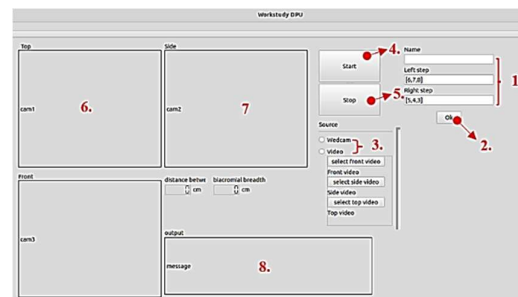
ส่วนที่ 4 ปุ่ม Start เพื่อเริ่มการทำงาน

ส่วนที่ 5 ปุ่ม Stop เพื่อหยุดการบันทึกและบันทึกไฟล์ข้อมูลเป็น *.CSV

ส่วนที่ 6 หน้าต่างภาพจากกล้องมุมมอง Bird's Eye View

ส่วนที่ 7 หน้าต่างภาพจากกล้องมุมมอง Eye View

ส่วนที่ 8 หน้าต่าง Debug แสดงข้อผิดพลาดของโปรแกรม



รูปที่ 12 หน้าต่างโปรแกรม

2.การตรวจจับร่างกายและตำแหน่งของ ArUco Masker ดำเนินการระหว่างการปฏิบัติงานของผู้เข้าทดสอบ โดยใช้ MediaPipe Holistic เพื่อระบุตำแหน่ง X, Y ของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ และสะโพกทั้งสองข้าง ระบบจะรวมโมเดลท่าทางของร่างกาย ใบหน้า และมือเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการใช้ภาพจากเว็บแคมเพื่อจับการเคลื่อนไหว ซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดมุมการเคลื่อนไหวและติดตามระยะเวลาของงานเฉพาะ เช่น เวลาทำงานของมือซ้ายและมือขวาในระหว่างการประกอบชิ้นงาน ข้อมูลที่รวบรวมได้ รวมถึงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อย จะถูกบันทึกเป็นไฟล์ CSV และใช้ OpenCV เพื่อระบุตำแหน่ง

X, Y ของ ArUco Marker แต่ละตัวที่มีเลขประจำตัวเฉพาะ

3. การตรวจสอบขั้นตอนการปฏิบัติงานและวิเคราะห์สรีระที่ไม่เหมาะสม [12] ใช้เซ็นเซอร์บนกระดานบรรจุชิ้นส่วนเพื่อส่งค่าพิกัด X, Y และคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมือกับ ArUco Marker บนจิ๊กประกอบงานโดยใช้โค้ดในการวิเคราะห์ตำแหน่งและระยะห่างอย่างแม่นยำ [15] ดังรูปที่ 13

```
def findDistance(p1, p2):
    x1, y1 = p1
    x2, y2 = p2

    dist = int(math.sqrt(((x2-x1)**2 + (y2-y1)**2)))

    return dist
```

รูปที่ 13 ฟังก์ชันโปรแกรมคำนวณระยะห่างระหว่างจุด
x1, y1 หมายถึงพิกัด (x,y) ของข้อมือ
x2, y2 หมายถึงพิกัด (x,y) ของArUco
dist หมายถึงคำนวณระยะห่างระหว่างจุดสองจุด

จากรูปที่ 14 และ รูปที่ 15 การใช้งานฟังก์ชันการคำนวณหองศาจะต่างกันตรงที่ กรณี 2 จุดใช้ในกรณีที่ไม่มีจุดที่ 3 อ้างอิง เช่น องศาการก้มหน้าจะมีจุดอ้างอิงที่ต้นคอและหู กรณี 3 จุด จะมีองศาการก้มหน้าเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ต้องมีการอ้างอิงต้นคอ และหู เป็นต้น

```
def findAngle(p1,p2):
    x1, y1 = p1
    x2, y2 = p2

    theta = math.acos((y2-y1)*(-y1) / (math.sqrt((x2 - x1)**2 + (y2 - y1)**2) * y1))
    degree = int(((180 * math.pi) + theta))
```

รูปที่ 14 ฟังก์ชันการคำนวณหองศาโดยใช้ 2 จุด
x1, y1 หมายถึงตำแหน่งของจุดที่1
x2, y2 หมายถึงตำแหน่งของจุดที่ 2
theta หมายถึงองศาที่คำนวณได้เป็นเรเดียน
degree หมายถึงแปลงองศาเรเดียนเป็นดีกรี

```
def findAngle_threepoint(p1, p2, p3):
    x1, y1 = p1
    x2, y2 = p2
    x3, y3 = p3

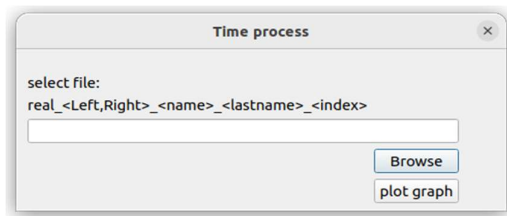
    angle = int(math.degrees(math.atan2(y3 - y2, x3 - x2) - math.atan2(y1 - y2, x1 - x2)))
```

รูปที่ 15 ฟังก์ชันการคำนวณหองศาโดยใช้ 3 จุด
x1, y1 หมายถึงตำแหน่ง x, y ของจุดที่ 1
x2, y2 หมายถึงตำแหน่ง x, y ของจุดที่ 2
x3, y3 หมายถึงตำแหน่ง x, y ของจุดที่ 3
angle หมายถึงองศาที่คำนวณ

4. เครื่องมือแสดงกราฟและการคำนวณเวลา
มาตรฐานช่วยวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ ฟังก์ชันหลักของเครื่องมือในระบบที่ออกแบบมาเพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบได้อย่างแม่นยำ โดยเครื่องมือนี้จะแสดงผลโดยแสดงกราฟเส้นของเวลาซึ่งสร้างขึ้นจากไฟล์ข้อมูล CSV เหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องมือโปรแกรมเฉพาะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกไฟล์ CSV ที่สร้างขึ้นและพล็อตเป็นกราฟเส้นได้ กราฟเหล่านี้จะแสดงค่ามาตรฐานข้อมูล (Normalized data values) บนแกน Y เทียบกับลำดับชิ้นงาน (Part number) บนแกน X การแสดงภาพนี้ช่วยในการวิเคราะห์แนวโน้มของเวลาการปฏิบัติงานและคำนวณเวลามาตรฐานได้อย่างแม่นยำ กราฟยังช่วยระบุช่วงเวลาที่เกิดความเมื่อยล้าได้อีกด้วย โดยแนวโน้มที่สูงขึ้นหรือค่าที่สูงกว่า 0 บ่งชี้ถึงเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเมื่อยล้า ในขณะที่แนวโน้มที่ลดลงหรือค่าที่ต่ำกว่า 0 บ่งบอกถึงช่วงเวลาของการพักผ่อน

การใช้ของหน้าต่างโปรแกรมสร้างกราฟเส้นของเวลา (รูปที่ 16) ประกอบงานแต่ละชิ้นและเวลาขั้นตอนย่อยมีดังต่อไปนี้

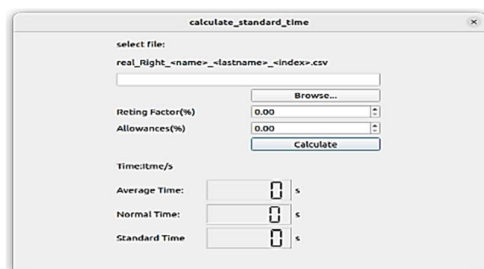
1. คลิกที่ปุ่ม Browse เพื่อเลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ
2. คลิกที่ปุ่ม plot graph เพื่อโปรแกรมประมวลผลและแสดงกราฟเส้น



รูปที่ 16 หน้าต่างโปรแกรมสร้างกราฟเส้นของเวลาประกอบงานแต่ละชิ้นและเวลาขั้นตอนย่อย

การใช้ของหน้าต่างโปรแกรมคำนวณเวลาเฉลี่ย เวลามาตรฐาน (รูปที่ 17) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คลิกที่ปุ่ม Browse เพื่อเลือกไฟล์ข้อมูล
2. กรองข้อมูลในช่อง Reting Factor(%) และ Allowances(%) ตามต้องการ
3. คลิกที่ปุ่ม Calculate เพื่อให้โปรแกรมคำนวณผลลัพธ์จะแสดงที่ Average Time, Normal Time, และ Standard Time



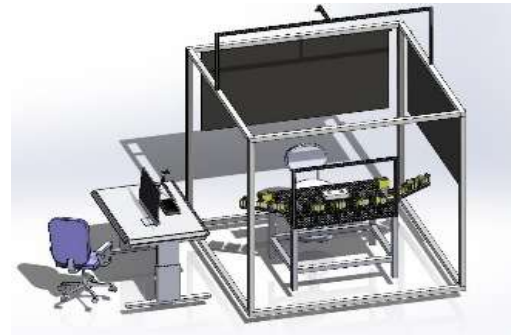
รูปที่ 17 หน้าต่างคำนวณเวลาเฉลี่ย เวลามาตรฐาน

3.3 วิธีการเก็บข้อมูล

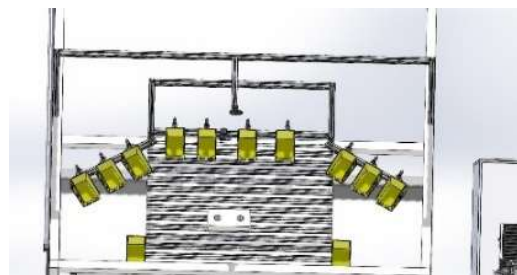
ห้องทดลองมีโครงสร้างกล่องสี่เหลี่ยม (รูปที่ 18) ขนาด 220x200 เซนติเมตร ออกแบบให้ติดตั้งอุปกรณ์และปิดกันสิ่งรบกวน มีโต๊ะและเก้าอี้ปรับระดับได้ พร้อมกล่องใส่ชิ้นส่วนโค้งเพื่อลดระยะการหยิบจับอย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบโครงสร้างห้องทดลองใช้โปรแกรม SolidWorks โดยดัดแปลงแบบโต๊ะ เก้าอี้ และโครงสร้างอลูมิเนียม พร้อมใช้ฟังก์ชัน Assembly และ MATE ในการประกอบส่วนต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 19 แสดงโต๊ะทำงานที่ติดตั้งกระบะใส่ชิ้นส่วนสำหรับการ

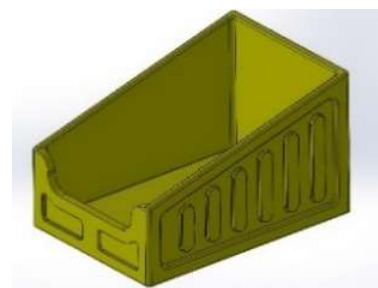
ทดสอบ โดยกระบะด้านข้างสามารถปรับหมุนโค้งได้ และรูปที่ 20 แสดงกระบะชิ้นส่วนประกอบทำจากพลาสติกเกรดโรงงาน ใช้สำหรับเก็บอะไหล่เล็ก ๆ



รูปที่ 18 ห้องทดลองการศึกษาการทำงาน



รูปที่ 19 รูปโต๊ะทำงาน



รูปที่ 20 รูปกระบะชิ้นส่วนประกอบ

รูปที่ 21 แสดงกล่อง Logitech ที่ใช้จับภาพและส่งไปยัง MINIPC สำหรับประมวลผลการทำงานของแขนทั้งสองข้าง



รูปที่ 21 กล้อง

รูปที่ 22 แสดงเก้าอี้สำหรับผู้เข้าทดสอบที่สามารถปรับระดับได้ตามสรีระผู้เข้าทดสอบเพื่อให้ได้ท่าทางที่เหมาะสม



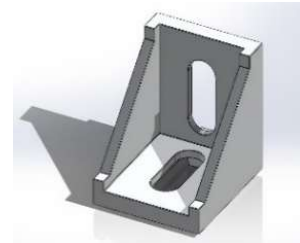
รูปที่ 22 เก้าอี้

รูปที่ 23 แสดงข้อต่อพับได้ข้อต่อแบบพับได้จะใช้สำหรับต่อลูมิเนียมที่ต้องการให้สามารถพับได้



รูปที่ 23 ข้อต่อพับได้

รูปที่ 24 แสดงฉากยึดใช้สำหรับยึดลูมิเนียม สำหรับยึดลูมิเนียม (รูปที่ 25) เข้าด้วยกัน โดยใช้น็อต M5x10 ตัวยึดโปรไฟล์



รูปที่ 24 ฉาก



รูปที่ 25 อลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 30x60 มม.

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

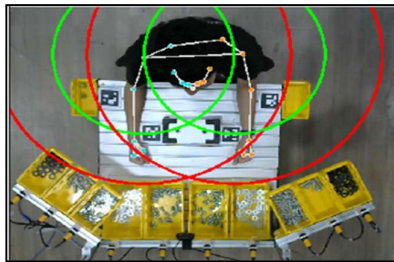
การทดสอบนี้บันทึกเวลาทำงานและองศาการเคลื่อนไหวของร่างกาย (ตารางที่ 1) โดยมี 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ใช้กระบะบรรจุชิ้นส่วนห่าง 42 เซนติเมตร. จากขอบโต๊ะ และเก้าอี้ไม่สูง 62.8 เซนติเมตร รูปแบบที่ 2 ใช้กระบะห่าง 27.5 เซนติเมตร และเก้าอี้พนักพิงสูง 54.8 เซนติเมตร การทดสอบแบ่งเป็น 2 ช่วง: ช่วงที่ 1 วัดเวลามาตรฐานในการประกอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง; ช่วงที่ 2 กำหนดให้ประกอบ 729 ชิ้นในรูปแบบที่ 1 และ 727 ชิ้นในรูปแบบที่ 2 โดยทดลองกับผู้ทดสอบ 2 คนเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน

ตารางที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

ขั้นที่	เวลาขั้นตอนย่อย (วินาที)				รวมเวลา (วินาที)	องศาข้อต่อ(ดีกรี)			
	1	2	3	4		ไหล่	ข้อศอก	ลำตัว	คอ
เวลาทั้งหมดในการทำงาน (วินาที)									

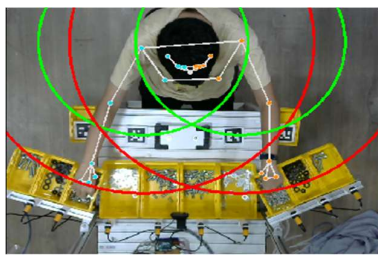
4.1 สรีระร่างกายในการปฏิบัติงาน

1) ในการทดสอบรูปแบบที่ 1 ใช้กล้อง 2 ตัวเพื่อตรวจสอบการทำงาน โดยกระเบาะบรรจุชิ้นส่วนห่างจากขอบโต๊ะ 42 เซนติเมตร ผู้ทดสอบต้องเอื้อมมือเกินระยะที่โปรแกรมคำนวณไว้ ซึ่งโปรแกรมแสดงขอบเขตพื้นที่ทำงานใกล้สุดและไกล ดังแสดงในรูปที่ 26 พบว่า ผู้ทดสอบเกิดอาการเมื่อยล้าหลังและบ่าไหล่จากการเอี้ยวตัวหยิบชิ้นส่วนที่ปลายกระเบาะ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับความสูงของกระเบาะและการออกแบบพื้นที่ทำงานให้เหมาะสม



รูปที่ 26 การคำนวณพื้นที่ทำงานของผู้ทดลอง ครั้งที่ 1
วงกลมสีแดง พื้นที่ทำงานใกล้ที่สุด
วงกลมสีเขียว พื้นที่ทำงานไกลที่สุด

2) การปรับระยะกระเบาะในรูปแบบที่ 2 ลดระยะระหว่างขอบโต๊ะกับปลายกระเบาะ ทำให้ผู้ทดสอบเอี้ยวตัวไปข้างหน้าลดลง แต่การหยิบชิ้นส่วนจากกระเบาะเล็กทำให้เกิดอาการปวดต้นแขน เนื่องจากไม่สามารถยืดแขนได้เต็มที่ ส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าหากทำงานเป็นเวลานาน ดังแสดงในรูปที่ 27

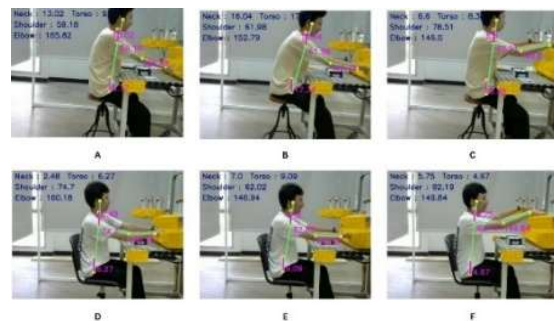


รูปที่ 27 การคำนวณพื้นที่ทำงานของผู้ทดลอง ครั้งที่ 2

3) การบันทึกภาพสรีระจากกล้องตัวที่ 2 เป็นภาพด้านข้างเพื่อวิเคราะห์หองศาข้อต่อของคอ ไหล่ ข้อศอก และสันหลัง ข้อมูลนี้ใช้ประเมินความเสี่ยงของการเกิดความเมื่อยล้าผ่านคะแนนเค (K-score) ตามเกณฑ์

ในการทดสอบรูปแบบที่ 1 คะแนนเค (K-Score) ของผู้ทดลองคนที่ 1 คือ [42, 53, 80] และคนที่ 2 คือ [41, 51, 73] ขณะที่รูปแบบที่ 2 คะแนนเคของผู้ทดลองคนที่ 1 เพิ่มขึ้นเป็น [44, 63, 90] และคนที่ 2 เป็น [55, 68, 84] ซึ่งแสดงว่ารูปแบบที่ 2 ทำให้เกิดความเมื่อยล้ามากกว่ารูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 28 รูปแบบที่ 1 ช่วงการเคลื่อนไหวของไหล่อยู่ระหว่าง 59.18° ถึง 78.51° ข้อศอกลดจาก 165.82° เป็น 146° ในขณะที่รูปแบบที่ 2 มีช่วงไหล่สูงสุดที่ 97.19° ข้อศอกเพิ่มเป็น 149.84° แสดงว่ารูปแบบที่ 2 เน้นความยืดหยุ่นของไหล่มากกว่าประมาณ 14.64% ขณะที่รูปแบบที่ 1 มีการเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่องและควบคุมมากกว่า



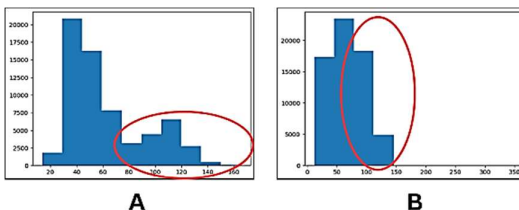
รูปที่ 28 ขั้นตอนการทำงานด้านข้างของผู้ทดลองคนที่ 2

จากตารางที่ 2 การคำนวณคะแนน K-score อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยองศาของไหล่ ข้อศอก ลำตัว และคอ โดยองศาที่สูงขึ้นจะได้คะแนนมากขึ้น เช่น ไหล่ที่องศาสูงสะท้อนถึงการใช้กล้ามเนื้อมาก การทดสอบพบว่ารูปแบบที่ 2 มีคะแนนสูงกว่ารูปแบบที่ 1 ซึ่งบ่งบอกถึงความเสี่ยงต่อความเมื่อยล้ามากกว่า เนื่องจากการใช้องศาไหล่ที่สูงทำให้กล้ามเนื้อต้นแขนเกร็งมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าเร็วกว่ารูปแบบที่ 1

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยองศาในการทดสอบรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยหน่วยองศาที่ใช้คือ ดีกรี

รูปแบบที่ 1					รูปแบบที่ 2				
คนที่	ไหล่	ข้อศอก	ลำตัว	คอ	คนที่	ไหล่	ข้อศอก	ลำตัว	คอ
1	16.52°	88.95°	4.31°	44.51°	1	32.05°	84.10°	3.92°	36.08°
2	13.37°	83.92°	6.48°	40.53°	2	36.51°	91.68°	3.09°	33.69°

จากแผนภูมิฮิสโตแกรมในรูปที่ 29 แสดงส่วน A (รูปแบบที่ 1): แผนภูมิแสดงให้เห็นว่าการสะสมของคะแนนเคทีเกิน 100 คะแนนมีจำนวนน้อยกว่า ซึ่งบ่งชี้ว่าผู้ทดสอบมีท่าทางการทำงานที่เหมาะสมกว่าและมีความเสี่ยงต่อความเมื่อยล้าในระดับต่ำถึงปานกลางเป็นส่วนใหญ่ ส่วน B (รูปแบบที่ 2): แผนภูมิแสดงให้เห็นว่ามีคะแนนเคทีเกิน 100 คะแนนจำนวนมาก และการกระจายตัวของคะแนนเคทีในรูปแบบที่ 2 มีช่วงที่แคบกว่า หรือมีการกระจุกตัวของคะแนนสูงกว่าในบางช่วง ซึ่งยืนยันว่ารูปแบบการทำงานที่ 2 ส่งผลให้ผู้ทดสอบเกิดความเมื่อยล้าได้เร็วกว่ารูปแบบที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการใช้อุปกรณ์ไหล่ที่สูงขึ้นซึ่งทำให้กล้ามเนื้อต้นแขนเกร็งมากขึ้น แผนภูมิฮิสโตแกรมนี้แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนของระดับความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นในผู้ทดสอบคนที่ 1 ระหว่างรูปแบบการทำงานทั้งสอง โดยรูปแบบที่ 2 มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความเมื่อยล้าสะสมมากกว่ารูปแบบที่ 1



รูปที่ 29 แผนภูมิฮิสโตแกรมคะแนนเคทีของผู้ทดสอบคนที่ 1

A คือรูปแบบที่ 1

B คือรูปแบบที่ 2

แกน X คือคะแนนเค

แกน Y คือจำนวนสะสมของช่วงคะแนนเค

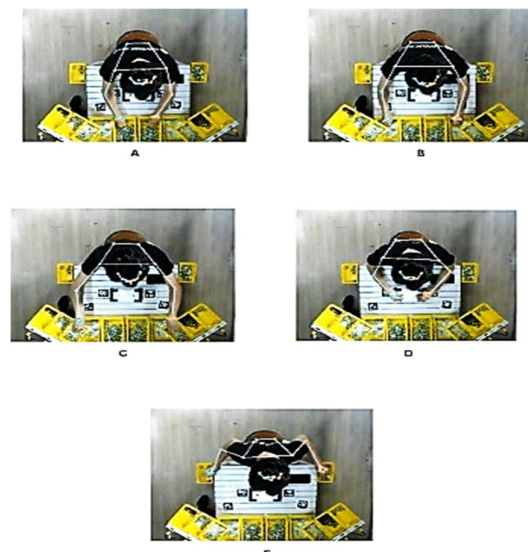
4.2 เวลามาตรฐาน

จากตารางที่ 3 การทดสอบช่วงที่ 1 เพื่อหาเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานภายใน 2 ชั่วโมง โดยมีเวลาเพื่อ 15% สำหรับพักและใช้ประสิทธิภาพการทำงาน 60% ผลการทดสอบพบว่า ผู้ทดสอบคนที่ 1 ผลิตงานได้ 1,032 ชิ้น และ 1,011 ชิ้นในรูปแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนผู้ทดสอบคนที่ 2 ผลิตได้ 899 ชิ้น และ 870 ชิ้น แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 3 จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบสามารถทำได้ในเวลา

คนที่	รูปแบบที่ 1 (ชิ้น)	รูปแบบที่ 2 (ชิ้น)
1	1,032	1,011
2	899	870

รูปที่ 30 แสดงขั้นตอนการทำงานดังนี้ A คือการหยิบน็อตตัวผู้, B หยิบแหวนอีแปะ, C หยิบน็อตตัวเมีย, D ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกัน, และ F นำชิ้นงานที่เสร็จแล้วใส่กระบะข้างโต๊ะประกอบงาน ทั้งรูปแบบที่ 1 และ 2



รูปที่ 30 แสดงขั้นตอนการทำงานจากภาพด้านบน

ตารางที่ 4 ผู้ทดสอบทั้งสองผลิตชิ้นงานได้เร็วกว่ามาตรฐาน โดยผู้ทดสอบคนที่ 1 ทำได้ 1,038 ชิ้น (142%) และ 1,050 ชิ้น (144%) ในรูปแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนผู้ทดสอบคนที่ 2 ทำได้ 843 ชิ้น (115%) และ 1,005 ชิ้น (138%) แสดงว่ามีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4 วิเคราะห์เวลามาตรฐานในการประกอบชิ้นงานของช่วงที่ 1 (หน่วยเป็นวินาที)

รูปแบบที่ 1					รูปแบบที่ 2				
คนท.	เวลาถือ	เวลาถือ	เวลาถือ	มาตรฐาน	คนท.	เวลาถือ	เวลาถือ	เวลาถือ	มาตรฐาน
			15%					15%	
1	13.5	8.1	1.22	9.31	1	13.09	7.85	1.17	9.03
2	15.17	9.1	1.37	10.47	2	15.63	9.38	1.41	10.78
รวมเฉลี่ย	14.34	8.6	1.295	9.89	รวมเฉลี่ย	14.30	8.62	1.29	9.91

4.3 เวลาที่ย่อยที่เกิดความเมื่อยล้า

การทำงานต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมงในลักษณะงานซ้ำๆ มีโอกาสทำให้เกิดความเมื่อยล้า โดยเฉพาะในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งต้องใช้สมาธิและการเคลื่อนไหวของไหล่และข้อศอกมาก ดังที่แสดงในรูปที่ 31

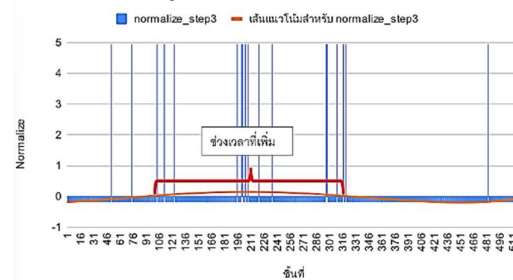


รูปที่ 31 ภาพการปฏิบัติย่อยขั้นตอนที่ 3

รูปที่ 31 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนย่อยที่ 3 ใช้สมาธิเคลื่อนไหวมากที่สุด เนื่องจากหยิบฉีดตัวเมียจากกระบะสูง มีคะแนนเคสูงที่สุด การวิเคราะห์ความเมื่อยล้าจะปรับค่าผิดปกติด้วย IQR และ Normalize ข้อมูลโดยใช้สมการพหุนามยกกำลัง 4 ค่ามาตรฐานที่ 0 แสดงเวลาในระดับปกติ ขณะที่ค่ามากกว่า 1 แสดงว่าใช้เวลาเกินปกติ

จากรูปที่ 32 - 33 ผู้ทดสอบคนที่ 1 ใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากขั้นที่ 106 ถึงสูงสุดที่ 211 ก่อนลดลงที่ขั้นที่ 316 แสดงถึงความเมื่อยล้า ส่วนผู้ทดสอบคนที่ 2 เริ่มใช้เวลามากขึ้นที่ขั้นที่ 199 สูงสุดขั้นที่ 334 ก่อนลดลงจนถึงขั้นที่ 388 โดยช่วงแรกใช้เวลานานกว่าปกติ แต่หลังจากนั้นต่ำกว่าเฉลี่ย

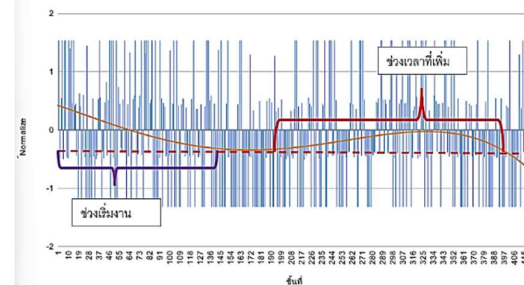
ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดลองคนที่ 1 แบบที่ 1 ช่วงที่ 2



แกน X ลำดับชิ้นงาน แกน Y ค่ามาตรฐานข้อมูล (Normalize)

รูปที่ 32 ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดสอบคนที่ 1 รูปแบบที่ 1 ช่วงที่ 2

ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดลองคนที่ 2 แบบที่ 1 ช่วงที่ 2

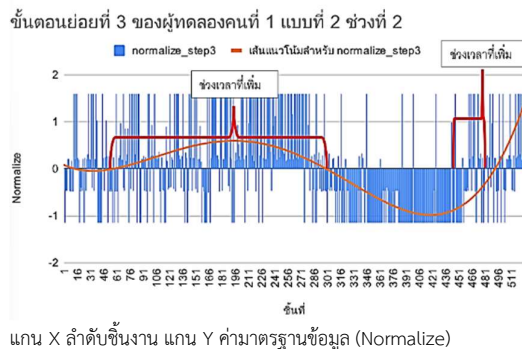


แกน X ลำดับชิ้นงาน แกน Y ค่ามาตรฐานข้อมูล (Normalize)

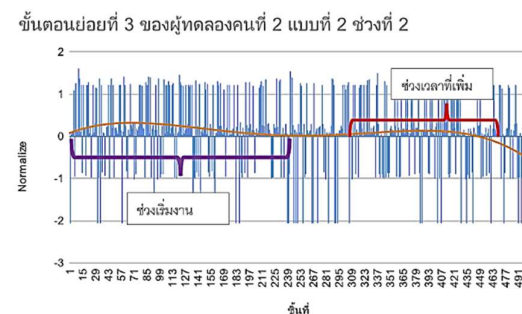
รูปที่ 33 ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดสอบคนที่ 2 รูปแบบที่ 1 ช่วงที่ 2

จากรูปที่ 34 ในการทดสอบรูปแบบที่ 2 ผู้ทดสอบคนที่ 1 ใช้เวลาเพิ่มขึ้น 2 ช่วง คือขั้นที่ 61-196 และขั้นที่ 496 เป็นต้นไป การใช้สมาธิสูงในขั้นตอนย่อยที่ 3 ทำให้เมื่อยล้ากว่าในรูปแบบที่ 1 เส้นแนวโน้มที่สูงกว่าบ่งชี้ถึงผลกระทบที่มากขึ้น แต่เมื่อหยุดพัก เวลาที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง จากรูปที่ 35 ในการทดสอบรูปแบบที่ 2 ผู้ทดลองคนที่ 2 แสดงแนวโน้มเริ่มขึ้นที่ขั้นที่ 295 และ

สูงสุดที่ขึ้นที่ 393 ก่อนจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงขึ้นที่ 435 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าช่วงเริ่มงานในรูปแบบที่ 2 ใช้เวลานานกว่าและสูงกว่ารูปแบบที่ 1 เส้นแนวโน้มลดลงจนเข้าใกล้ 0 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แสดงถึงสัญญาณความล้าที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนั้น



รูปที่ 34 ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดสอบคนที่ 1
รูปแบบที่ 2 ช่วงที่ 2



รูปที่ 35 ขั้นตอนย่อยที่ 3 ของผู้ทดสอบคนที่ 2
รูปแบบที่ 2 ช่วงที่ 2

แนวโน้มแสดงให้เห็นว่าเวลาทำงานที่เกินค่าเฉลี่ยบ่งบอกถึงความเมื่อยล้า การลดลงของแนวโน้มสะท้อนถึงการพักของผู้ทดสอบ เช่น การยืดกล้ามเนื้อหรือดื่มน้ำ

จากกราฟที่แสดงผู้ทดสอบคนที่ 1 ในรูปแบบที่ 2 มีแนวโน้มเวลาเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในรูปแบบที่ 1 ขณะที่ผู้ทดสอบคนที่ 2 ในรูปแบบที่ 2 กลับมีแนวโน้มเวลาที่ช้า

กว่าในรูปแบบที่ 1 เนื่องจากช่วงเริ่มงานที่นาน ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบคนที่ 2 ต้องหยุดพักบ่อยครั้ง

5. สรุปผล

ในการดำเนินงานที่ผ่านมาได้ออกแบบและพัฒนาชุดจำลองการศึกษาการทำงานโดย MediaPipe Holistic เพื่อเก็บข้อมูลเรียลไทม์สำหรับวิเคราะห์การปฏิบัติงานและหามาตรฐานเวลา ผลการทดสอบพบว่ารูปแบบที่ 1 ช่วยลดอาการปวดเมื่อยล้าได้ดีกว่ารูปแบบที่ 2 เนื่องจากกระเบบบรรจุชิ้นส่วนอยู่ใกล้ ลดการเอี้ยวตัว แต่ทั้งสองรูปแบบยังมีการปวดบ่า ไหล่ และแขนเมื่อทำงานต่อเนื่อง เมื่อตรวจสอบเวลามาตรฐานพบว่ารูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 9.89 วินาที/ชิ้น และรูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 9.91 วินาที/ชิ้น โปรแกรมช่วยแสดงผลเวลาเฉลี่ย เวลาปกติ และเวลามาตรฐาน พร้อมให้ผู้ใช้งานกำหนดเวลาเพื่อได้นอกเหนือจากนี้ การวิเคราะห์องค์การเคลื่อนไหวจากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งมีการยกแขนมากที่สุด ถูกนำมาสร้างกราฟเส้นแนวโน้มพหุนามยกกำลัง 4 เพื่อระบุช่วงที่เกิดความเมื่อยล้า หากส่วนโค้งของกราฟสูงกว่า 0 แสดงถึงช่วงที่ผู้ทดลองเริ่มเกิดอาการเมื่อยล้า และหากต่ำกว่า 0 บ่งบอกว่าผู้ทดลองมีช่วงพัก เช่น ยืดกล้ามเนื้อ ดื่มน้ำ หรือเข้าห้องน้ำ การวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบพื้นที่และรูปแบบการทำงานที่เหมาะสมเพื่อลดความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม และชุดจำลองที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการทำงานซ้ำๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำงานครั้งนี้ พื้นที่และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการศึกษาและปฏิบัติงานเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การทำงานสำเร็จลุล่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่ง
และบริษัทไวด์สเปรด โกรว์ จำกัด ผู้ให้ทุนสนับสนุนใน
การสร้างชุดจำลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Kanawaty, *Work Study*, 3rd (Revised) ed., trans. by W. Tantasut, C. Mahitthaphonkul, and C. Chansangawet. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press, 2007.
- [2] M. P. N. K. Rajapaksha, G. G. T. D. Rathnayake and H. M. C. K. Herath, "Skeleton Detection Using MediaPipe as a Tool for Musculoskeletal Disorders Analysis," *Int. J. Res. Eng. Appl. Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 45–50, 2024.
- [3] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, 3rd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2014.
- [4] K. Beltrán Martínez, "Risk assessment for work-related musculoskeletal injury using wearable sensors," M.S. thesis, Dept. Mech. Eng., Univ. of Alberta, Edmonton, Canada, 2021.
- [5] J. Dul and B. Weerdmeester, *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.
- [6] JORPOR TODAY. (2024). Ergonomics healthy postures [Online]. Available: <https://www.jorportoday.com/workplace-ergonomics-benefits/>.
- [7] S. Pheasant, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, London, U.K.: Taylor & Francis/CRC Press, 1996.
- [8] F. E. Meyers and J. R. Stewart Jr., *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2002.
- [9] V. K. Singh and S. Verma, "Feature Scaling and Normalization in Machine Learning: A Review," *J. Eng. Res. Appl.*, vol. 8, no. 4, pp. 24–29, 2018.
- [10] V. Bazarevsky and I. Grishchenko, "On-device, Real-time Body Pose Tracking with MediaPipe BlazePose," *Google Research Blog*, Aug. 2020.
- [11] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 8th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2021.
- [12] K. Beltrán Martínez, M. Nazarahari, and H. Rouhani, "K-score: A novel scoring system to quantify fatigue-related ergonomic risk based on joint angle measurements via wearable inertial measurement units," *Appl. Ergon.*, vol. 104, p. 103804, 2022.
- [13] K. M. Lee, M. Nazarahari, and H. Rouhani, "K-score: A novel scoring system to quantify fatigue-related ergonomic risk based on joint angle measurements via wearable inertial measurement units," *Appl. Ergon.*, vol. 100, p. 103657, 2022.
- [14] Simtec Institute, "Introducing SOLIDWORKS for industrial designers," *Simtec Blog*, Mar. 14, 2022.
- [15] L. Lu, M. Robinson, Y. Tan, K. Goonewardena, X. Guo, I. Mareels, and D. Oetomo, "Effective

Assessments of a Short-Duration Poor Posture
on Upper Limb Muscle Fatigue Before
Physical Exercise,” *Front. Physiol.*, vol. 11, p.
610216, 2020.