

การศึกษาความแตกต่างของขนาดและตำแหน่งเส้นอ้างอิง  
สำหรับการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยใช้ภาพถ่าย 2 มิติ

Study of the differences in size and position of reference line for anthropometry by 2D Image

ณัฐพล พุฒยงกูร<sup>1</sup> และ ไพโรจน์ รัตวิจิตรกุล<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<sup>1,2</sup>

E-mail: ninenat15@gmail.com<sup>1</sup>, phairoat@hotmail.com<sup>2</sup>

**บทคัดย่อ**

การวัดสัดส่วนร่างกายโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัล 2 มิติ เป็นเทคนิคทางเลือกที่ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน เพื่อให้มีการเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น โดยกระบวนการสำคัญคือการถ่ายภาพดิจิทัล 2 มิติ ที่มีเส้นอ้างอิงกำหนดไว้เพื่อกำหนดค่าอัตราส่วนมาใช้คำนวณหาขนาดสัดส่วนร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามอาจมีโอกาสดังที่ต้องปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเส้นอ้างอิงในระหว่างการเก็บข้อมูล อันจะส่งผลกระทบต่อค่าความแม่นยำได้ ดังนั้นการศึกษานี้คือ เปรียบเทียบผลการวัดขนาดสัดส่วนของวัตถุตัวอย่างระหว่างเทคนิคภาพถ่ายดิจิทัล 2 มิติ และอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกาย จากเงื่อนไขความสัมพันธ์ของขนาด และทิศทางของเส้นอ้างอิง ณ จุดกึ่งกลางในระนาบแนวนอน และแนวตั้ง รวมถึงบนตำแหน่งต่างๆ ของภาพถ่าย โดยผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ถ่ายภาพ Raspberry Pi 4 Camera Module V2 สามารถใช้งานได้ตามหลักการวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย ตำแหน่งของสัดส่วนวัตถุเป้าหมาย และเส้นอ้างอิงที่ตั้งอยู่จุดกึ่งกลางภาพถ่าย มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ บนภาพถ่าย ในกรณีที่มีการเลือกใช้ขนาดวัตถุเป้าหมายที่มีความแตกต่างจากเส้นอ้างอิง เสนอแนะให้เลือกใช้

ขนาดความแตกต่างที่น้อยที่สุด เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน รวมถึงสนับสนุนให้ใช้ทิศทางของวัตถุเป้าหมายและเส้นอ้างอิงที่มีทิศทางเดียวกัน

**คำสำคัญ:** การวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย, เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย, การยศาสตร์

**Abstract**

Anthropometric measurements using 2D digital imaging are an alternative technique currently being developed to facilitate efficient and swift data collection. The key process involves capturing 2D digital images with predetermined reference lines to determine the ratio to use in calculating body dimensions. However, there may be a chance that the position of the reference lines needs adjustment during data collection, which could impact measurement accuracy. Therefore, this study aims to compare the measurement results of the dimensions of a sample object between the 2D digital image technique and anthropometer. The results of the study can conclude that the Raspberry Pi 4 Camera Module V2 imaging device can be used

according to anthropometry's principles. The position of the target object's dimensions and reference lines at the center point of the captured images is the most suitable when compared to other positions in the photographs. In cases where there are differences between the target object's size and the reference lines, it is recommended to choose the size with the least difference to minimize measurement errors. Furthermore, it is recommended to use the orientation of the target object and reference lines that share the same direction.

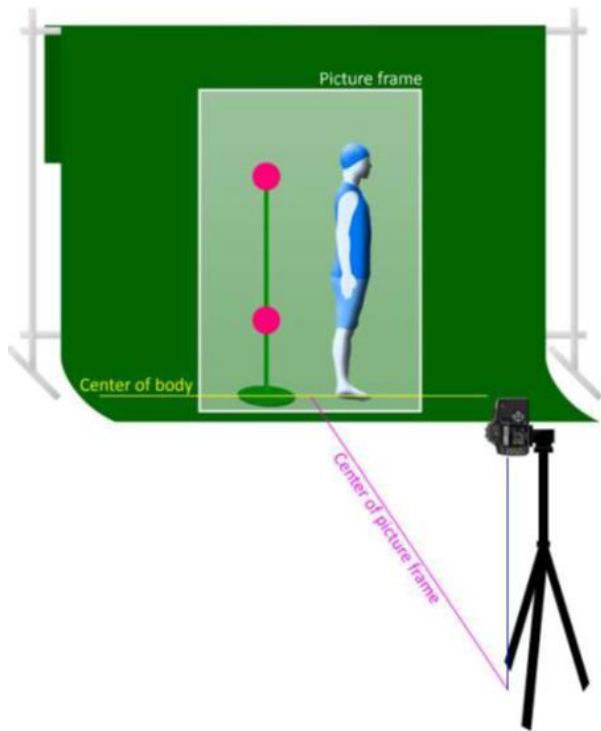
**Keywords:** Anthropometry, Anthropometer, Ergonomics

## 1. บทนำ

Anthropometry เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นความสำคัญมากต่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ตลอดจนการออกแบบสถานงาน ข้อมูลจากการวัดดังกล่าวจะช่วยให้นักการยศาสตร์ผู้ออกแบบสามารถทำงานเน้นไปยังผู้ใช้ได้อย่างเฉพาะเจาะจง[1] เนื่องจากกลุ่มผู้ใช้งานนั้นมีความหลากหลายและเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ดังเช่น กลุ่มเด็กเล็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ จนถึงผู้บกพร่องทางกาย เป็นต้น ในประเทศไทยยังคงขาดฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพต่อการใช้งานกับกลุ่มประชากร รวมถึงในปัจจุบัน เนื่องจากอุปสรรคทางงบประมาณ ทั้งเครื่องมือ อีกทั้งกระบวนการเก็บข้อมูล[2]

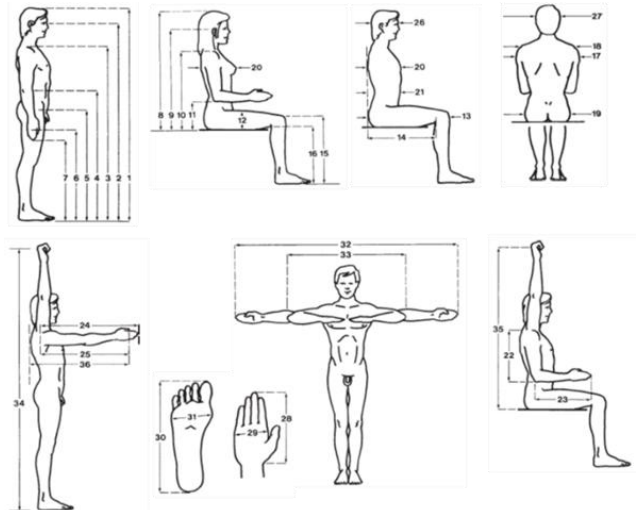
อดีตที่ผ่านมาการดำเนินการศึกษาดังกล่าวจะใช้เครื่องวัดขนาดสัดส่วนร่างกายเป็นหลัก ซึ่งหากเป็นการศึกษากับกลุ่มประชากรจำนวนมาก จะส่งผลให้มีความต้องการเก็บข้อมูลจำนวนมากตาม ดังเช่น การศึกษาของ สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ดำเนินการเพื่อสร้างฐานข้อมูลสัดส่วนร่างกายของประชากรไทย ซึ่งมีระยะเวลาโครงการที่ยาวนาน เนื่องจากมีความจำเป็นต้องครอบคลุมต่อจำนวนและความหลากหลายของประชากร[3] เพื่อให้กระบวนการออกแบบมีความมั่นใจ และความน่าเชื่อถือเพียงพอ ซึ่งอาจจะไม่สอดคล้องกับงบประมาณ รวมถึงระยะเวลาดำเนินโครงการที่มีอยู่อย่างจำกัด ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคทางเลือกหลากหลายวิธี ซึ่งแตกต่างกันตามความเหมาะสมและความต้องการของผู้ใช้งาน โดยเทคนิคการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัล 2 มิติ[4] นับเป็นเทคนิคทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ และใช้งานหลากหลาย เนื่องจากมีความสะดวก และก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการถ่ายภาพ ทำให้ปัจจุบันมีอุปกรณ์ถ่ายภาพดิจิทัลมีคุณสมบัติที่หลากหลายให้เลือกใช้ รวมถึงมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำกว่า และสะดวกรวดเร็วกว่า เมื่อเทียบกับการใช้ Anthropometer[5] ส่งผลให้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานศึกษาวิจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสร้างฐานข้อมูล[6] ใช้พัฒนาเทคนิคคำนวณ[7][8] หรือการออกแบบสถานีกิจกรรมงานในกลุ่มประชากรเฉพาะต่างๆ เพื่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย[9][10][11] โดยกระบวนการสำคัญของเทคนิคดังกล่าวคือการถ่ายภาพดิจิทัล 2 มิติที่มีเส้นอ้างอิงกำหนดไว้ เพื่อกำหนดค่าอัตราส่วนมาใช้

คำนวณหาขนาดสัดส่วนร่างกายเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 1

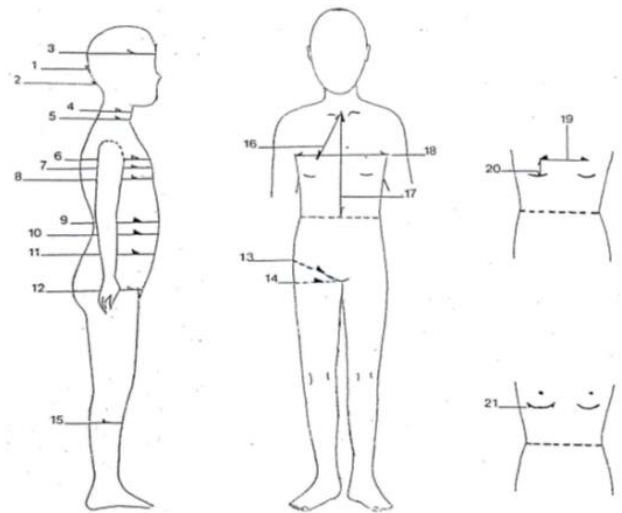


รูปที่ 1 ตัวอย่างการวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย โดยใช้ภาพถ่าย 2 มิติ[4]

ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้าพบว่า ความละเอียดของภาพถ่ายมีผลต่อความคลาดเคลื่อน รวมถึงการตั้งเส้นอ้างอิงที่จำเป็นต้องตั้งอยู่ในระนาบเดียวกันกับสัดส่วนที่ต้องการวัด โดยใกล้จุดกึ่งกลางของภาพถ่ายเพื่อให้เกิดความแม่นยำมากที่สุด[4] แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานเก็บข้อมูลจริงอาจพบข้อจำกัดอันเนื่องมาจากความหลากหลายของสัดส่วนที่ต้องการวัด ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 แนวทางการวัดสัดส่วนของ Pheasant [12]



รูปที่ 3 แนวทางการวัดสัดส่วนของ สมอ.[3]

อีกทั้งความหลากหลายของกลุ่มตัวอย่าง ดังเช่น เด็ก ผู้สูงอายุ รวมถึงผู้ที่มีความบกพร่องทางกาย ทำให้มีโอกาสที่ต้องกำหนดเส้นอ้างอิงอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของภาพถ่าย รวมถึงปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเส้นอ้างอิงเพื่อหลบหลีกการบดบังเส้นอ้างอิงในระหว่างการเก็บข้อมูลเนื่องจากข้อจำกัดของร่างกาย ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงท่าทางของกลุ่มตัวอย่าง จะส่งผลต่ออัตราส่วนที่ใช้ในการคำนวณเปลี่ยนแปลง อันจะกระทบต่อการคำนวณขนาดสัดส่วนจริงออกมาคลาดเคลื่อนได้ ปัจจุบันยังไม่มีแนวทางการเลือกใช้ขนาด และตำแหน่งเส้นอ้างอิงที่เหมาะสมของเทคนิคดังกล่าว ทั้งนี้หากมีการศึกษาประเด็นดังกล่าว จะส่งผลให้มีแนวทางในการพิจารณาออกแบบสถานการณ์ หรือท่าทางของกลุ่มตัวอย่างในกระบวนการเก็บข้อมูลที่มีความเหมาะสมลดการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเส้นอ้างอิง และทำให้กระบวนการเก็บข้อมูลที่มีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นสมมติฐานของการศึกษานี้คือ ขนาด ตำแหน่ง และทิศทางของเส้นอ้างอิงที่อยู่บนภาพถ่าย 2 มิติ มีค่าความแม่นยำที่แตกต่างกัน และความสัมพันธ์ระหว่างเส้นอ้างอิงและขนาดสัดส่วนที่วัดมีผลต่อความแม่นยำในการวัด

## 2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

### 2.1 วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบผลการวัดขนาดสัดส่วนของวัตถุตัวอย่างระหว่างเทคนิคภาพถ่ายดิจิทัล 2 มิติ และอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometer) Martin's Type ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น

1) ศึกษาการวัดวัตถุตัวอย่างจากเงื่อนไขความสัมพันธ์ของขนาด และทิศทางของเส้นอ้างอิง จุดกึ่งกลางในระนาบแนวนอน และแนวตั้ง

2) ศึกษาผลการวัดวัตถุตัวอย่างโดยใช้เส้นอ้างอิงบนตำแหน่งต่างๆ ของภาพถ่าย

### 2.2 ขอบเขตการศึกษา

1) ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล 2 มิติ จากชุดอุปกรณ์ Raspberry Pi 4 Camera Module V2 ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยมีขนาดความละเอียดของภาพถ่าย 8 MP ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของอุปกรณ์

2) กำหนดปัจจัยเส้นอ้างอิงออกเป็น 2 เรื่อง คือ ขนาด และตำแหน่ง โดยกำหนดวัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาให้มีลักษณะแบนราบ เพื่อให้อยู่ในระนาบที่ใกล้เคียงกับเส้นอ้างอิงมากที่สุด

3) กำหนดความสว่างทั่วไปของห้องไม่น้อยกว่า 400 Lux



รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายแบบ Martin's Type

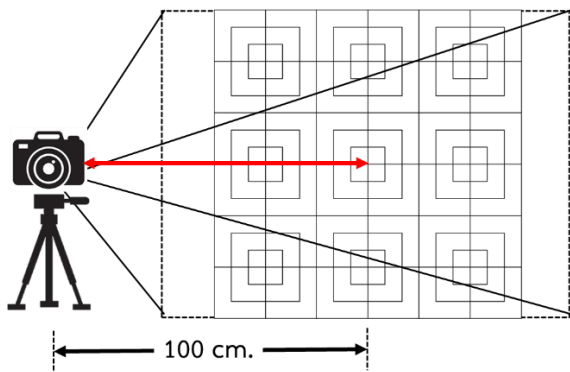


รูปที่ 5 อุปกรณ์ถ่ายภาพ

Raspberry Pi Camera Module V2

### 3. ขั้นตอนการศึกษา

1) ตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ระยะ 1 เมตร โดยมีระนาบตั้งฉากตรงจุดกึ่งกลางครอบคลุมแผ่นอ้างอิงขนาด  $90\text{ cm}^2$  ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ระยะการตั้งกล้อง

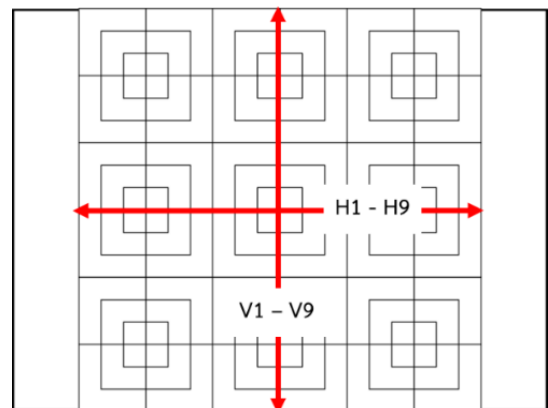
2) เตรียมวัตถุตัวอย่างโดยใช้ Anthropometer ในการวัดขนาดที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 cm

3) ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่าง และแผ่นอ้างอิงที่ติดตั้งอยู่ในระนาบเดียวกัน โดยนำมาประมวลผลแบ่งตามวัตถุประสงค์คือ

การศึกษา A การวัดวัตถุตัวอย่างจากเงื่อนไขความสัมพันธ์ของขนาด และทิศทางของเส้นอ้างอิง ณ จุดกึ่งกลางในระนาบแนวนอน และแนวตั้ง โดย

กำหนด H1 ถึง H9 แทนเส้นอ้างอิงแนวนอนจากจุดกึ่งกลาง และ V1 ถึง V9 แทนเส้นอ้างอิงแนวตั้งจากจุดกึ่งกลาง โดยทั้ง 2 ระนาบมีขนาด 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 cm ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อคำนวณหาขนาดวัตถุตัวอย่างที่มีขนาด 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 cm ในระนาบแนวนอนและแนวตั้ง โดยกำหนดเป้าหมายการคำนวณออกเป็น 4 กรณีคือ

- A1 วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน
- A2 วัตถุตัวอย่างแนวนอน และเส้นอ้างอิงแนวตั้ง
- A3 วัตถุตัวอย่างแนวตั้ง และเส้นอ้างอิงแนวนอน
- A4 วัตถุตัวอย่าง และเส้นอ้างอิงแนวตั้ง



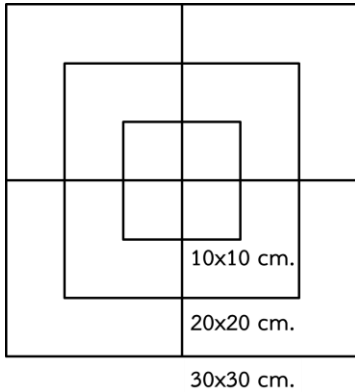
รูปที่ 7 ลำดับของขนาดและทิศทางของเส้นอ้างอิงที่ใช้ใน

การศึกษา A

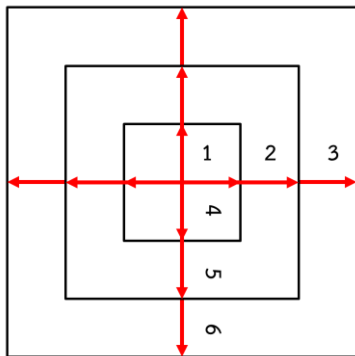
การศึกษา B หาความแม่นยำของการวัดวัตถุตัวอย่างขนาด 30 cm ตรงจุดกึ่งกลางภาพในแนวตั้งและแนวนอน จากเส้นอ้างอิง ขนาด 10, 20 และ 30 cm ในแนวตั้งและแนวนอน ณ ตำแหน่งต่างๆ บนภาพถ่าย โดยแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 9 ช่องโดยแต่ละช่องมีขนาด 30 cm และคำนวณตามลำดับ 1 ถึง 6 โดยทำซ้ำที่ตำแหน่ง R1 ถึง R9 ของภาพถ่าย ดังแสดง

ในรูปที่ 8 ถึง 10 ตามลำดับ และกำหนดเป้าหมายการคำนวณออกเป็น 4 กรณีคือ

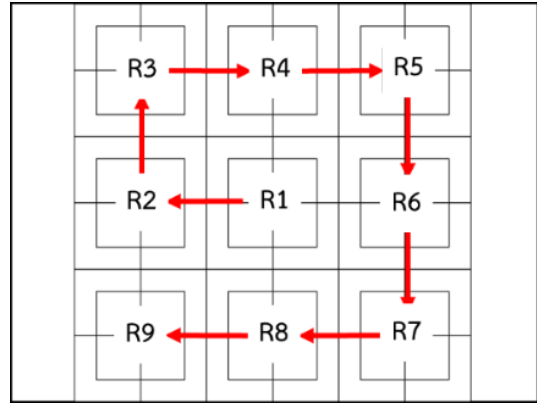
- B1 วัดวัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน
- B2 วัดวัตถุตัวอย่างแนวนอน และเส้นอ้างอิงแนวตั้ง
- B3 วัดวัตถุตัวอย่างแนวตั้ง และเส้นอ้างอิงแนวนอน
- B4 วัดวัตถุตัวอย่าง และเส้นอ้างอิงแนวตั้ง



รูปที่ 8 ขนาดช่องย่อยบนแผ่นอ้างอิงของการศึกษา B



รูปที่ 9 ลำดับการคำนวณเส้นอ้างอิงของช่องย่อยในการศึกษา B



รูปที่ 10 ลำดับการศึกษาตำแหน่ง R1 ถึง R9 ในการศึกษา B

#### 4. ผลการศึกษา

จากผลการศึกษา A พบผลลัพธ์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน (0.00 cm), ค่าที่วัดขนาดได้เล็กกว่าวัตถุตัวอย่าง (ร้อยละ -x.xx) และค่าที่วัดขนาดได้ใหญ่กว่าวัตถุตัวอย่าง (ร้อยละ +x.xx) ซึ่งแบ่งตามตารางที่ 1 ถึง 4 โดยผลลัพธ์ทั้ง 4 กรณีในรูปแบบของตารางที่แสดงถึงร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดวัตถุตัวอย่าง และ ขนาดเส้นอ้างอิงมีหน่วยเป็น รวมถึงกำหนดสีอ่อนแทนระดับของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดไปยังสีเข้มที่มีค่าสูงที่สุด ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงกรณี A1 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดวัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน (%)

|        | Obj 10 | Obj 20 | Obj 30 | Obj 40 | Obj 50 | Obj 60 | Obj 70 | Obj 80 | Obj 90 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | 0.00   | 0.00   | 0.25   | 0.47   | 0.75   | 1.12   | 1.50   | 1.87   | 2.00   |
| Ref 20 | 0.00   | 0.00   | 0.25   | 0.47   | 0.75   | 1.12   | 1.50   | 1.87   | 2.00   |
| Ref 30 | -0.25  | -0.25  | 0.00   | 0.22   | 0.50   | 0.87   | 1.25   | 1.62   | 1.74   |
| Ref 40 | -0.47  | -0.47  | -0.22  | 0.00   | 0.28   | 0.65   | 1.02   | 1.40   | 1.52   |
| Ref 50 | -0.74  | -0.74  | -0.50  | -0.28  | 0.00   | 0.37   | 0.74   | 1.12   | 1.24   |
| Ref 60 | -1.11  | -1.11  | -0.86  | -0.65  | -0.37  | 0.00   | 0.37   | 0.74   | 0.86   |
| Ref 70 | -1.48  | -1.48  | -1.23  | -1.01  | -0.74  | -0.37  | 0.00   | 0.37   | 0.49   |
| Ref 80 | -1.84  | -1.84  | -1.59  | -1.38  | -1.10  | -0.74  | -0.37  | 0.00   | 0.12   |
| Ref 90 | -1.96  | -1.96  | -1.71  | -1.50  | -1.22  | -0.86  | -0.49  | -0.12  | 0.00   |

ตารางที่ 2 แสดงกรณี A2 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจาก  
วัตถุตัวอย่างแนวนอนและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง (%)

|        | Obj 10 | Obj 20 | Obj 30 | Obj 40 | Obj 50 | Obj 60 | Obj 70 | Obj 80 | Obj 90 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | 0.38   | 0.38   | 0.63   | 0.85   | 1.13   | 1.50   | 1.88   | 2.26   | 2.38   |
| Ref 20 | 0.38   | 0.38   | 0.63   | 0.85   | 1.13   | 1.50   | 1.88   | 2.26   | 2.38   |
| Ref 30 | 0.00   | 0.00   | 0.25   | 0.47   | 0.75   | 1.12   | 1.50   | 1.87   | 2.00   |
| Ref 40 | -0.19  | -0.19  | 0.06   | 0.28   | 0.56   | 0.93   | 1.31   | 1.68   | 1.81   |
| Ref 50 | -0.60  | -0.60  | -0.35  | -0.13  | 0.15   | 0.52   | 0.89   | 1.27   | 1.39   |
| Ref 60 | -0.99  | -0.99  | -0.74  | -0.53  | -0.25  | 0.12   | 0.49   | 0.87   | 0.99   |
| Ref 70 | -1.27  | -1.27  | -1.02  | -0.81  | -0.53  | -0.16  | 0.21   | 0.58   | 0.70   |
| Ref 80 | -1.61  | -1.61  | -1.37  | -1.15  | -0.88  | -0.51  | -0.14  | 0.23   | 0.35   |
| Ref 90 | -1.64  | -1.64  | -1.39  | -1.18  | -0.90  | -0.53  | -0.16  | 0.20   | 0.33   |

ตารางที่ 3 แสดงกรณี A3 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจาก  
วัตถุตัวอย่างแนวตั้งและเส้นอ้างอิงแนวนอน (%)

|        | Obj 10 | Obj 20 | Obj 30 | Obj 40 | Obj 50 | Obj 60 | Obj 70 | Obj 80 | Obj 90 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | -0.37  | -0.38  | 0.00   | 0.19   | 0.60   | 1.00   | 1.28   | 1.64   | 1.66   |
| Ref 20 | -0.37  | -0.37  | 0.00   | 0.19   | 0.60   | 1.00   | 1.28   | 1.64   | 1.66   |
| Ref 30 | -0.62  | -0.62  | -0.25  | -0.06  | 0.35   | 0.75   | 1.03   | 1.39   | 1.41   |
| Ref 40 | -0.84  | -0.84  | -0.47  | -0.28  | 0.13   | 0.53   | 0.81   | 1.16   | 1.19   |
| Ref 50 | -1.11  | -1.12  | -0.74  | -0.56  | -0.15  | 0.25   | 0.53   | 0.88   | 0.91   |
| Ref 60 | -1.48  | -1.48  | -1.11  | -0.93  | -0.52  | -0.12  | 0.16   | 0.51   | 0.53   |
| Ref 70 | -1.84  | -1.85  | -1.48  | -1.29  | -0.89  | -0.49  | -0.21  | 0.14   | 0.16   |
| Ref 80 | -2.21  | -2.21  | -1.84  | -1.65  | -1.25  | -0.86  | -0.58  | -0.23  | -0.20  |
| Ref 90 | -2.33  | -2.33  | -1.96  | -1.77  | -1.37  | -0.98  | -0.70  | -0.35  | -0.33  |

ตารางที่ 4 แสดงกรณี A4 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจาก  
วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง (%)

|        | Obj 10 | Obj 20 | Obj 30 | Obj 40 | Obj 50 | Obj 60 | Obj 70 | Obj 80 | Obj 90 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | 0.00   | 0.00   | 0.38   | 0.56   | 0.98   | 1.38   | 1.66   | 2.02   | 2.05   |
| Ref 20 | 0.00   | 0.00   | 0.38   | 0.56   | 0.98   | 1.38   | 1.66   | 2.02   | 2.05   |
| Ref 30 | -0.37  | -0.37  | 0.00   | 0.19   | 0.60   | 1.00   | 1.28   | 1.64   | 1.66   |
| Ref 40 | -0.56  | -0.56  | -0.19  | 0.00   | 0.41   | 0.81   | 1.09   | 1.45   | 1.47   |
| Ref 50 | -0.97  | -0.97  | -0.60  | -0.41  | 0.00   | 0.40   | 0.68   | 1.03   | 1.06   |
| Ref 60 | -1.36  | -1.36  | -0.99  | -0.80  | -0.40  | 0.00   | 0.28   | 0.63   | 0.66   |
| Ref 70 | -1.64  | -1.64  | -1.27  | -1.08  | -0.68  | -0.28  | 0.00   | 0.35   | 0.38   |
| Ref 80 | -1.98  | -1.98  | -1.61  | -1.43  | -1.02  | -0.63  | -0.35  | 0.00   | 0.03   |
| Ref 90 | -2.01  | -2.01  | -1.64  | -1.45  | -1.05  | -0.65  | -0.37  | -0.03  | 0.00   |

จากตารางสามารถสรุปขั้นต้นได้ดังต่อไปนี้  
กรณี A1 วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือร้อยละ 0.00
- ผลการวัดเล็กกว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 1.96 จากวัตถุขนาด 10 และ 20 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 90 cm
- ผลการวัดใหญ่กว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ 2.00 จากวัตถุขนาด 90 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 10 และ 20 cm

กรณี A2 วัตถุตัวอย่างแนวนอนและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ 0.00 cm
- ผลการวัดเล็กกว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 1.64 จากวัตถุขนาด 10 และ 20 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 90 cm
- ผลการวัดใหญ่กว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 2.38 จากวัตถุขนาด 90 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 10 และ 20 cm

กรณี A3 วัตถุตัวอย่างแนวตั้งและเส้นอ้างอิงแนวนอน

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ 0.00 cm
- ผลการวัดเล็กกว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 2.33 cm จากวัตถุขนาด 10 และ 20 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 90 cm
- ผลการวัดใหญ่กว่าขนาดวัตถุตัวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 1.66 จากวัตถุขนาด 90 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 10 และ 20 cm



กรณี A4 วัดตุตวอย่างและเส้นอ้างอิงในแนวตั้ง

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ 0.00 cm
- ผลการวัดเล็กกว่าขนาดวัดตุตวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 2.01 จากวัดตุขนาด 10 และ 20 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 90 cm
- ผลการวัดใหญ่กว่าขนาดวัดตุตวอย่างสูงสุดคือ ร้อยละ 2.05 จากวัดตุขนาด 90 cm ที่เส้นอ้างอิงขนาด 10 และ 20 cm

ภาพรวมผลการศึกษา A

พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันกับทั้ง 4 กรณีดังต่อไปนี้คือ

1) วัดตุตวอย่างและเส้นอ้างอิงที่อยู่ในระนาบและทิศทางเดียวกันแล้ว ทุกระยะที่มีขนาดเท่ากันจะไม่พบค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด โดยหากอยู่ในระนาบที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

2) กลุ่มที่วัดตุตวอย่างกับเส้นอ้างอิงมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันเล็กน้อย จะพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดอื่นๆ ที่มีความแตกต่างกันมาก

3) ทุกกรณีวัดตุตวอย่างที่มีขนาดใหญ่ที่สุดกับเส้นอ้างอิงที่มีขนาดเล็กที่สุดจะพบค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดรูปแบบที่เล็กกว่าวัดตุตวอย่าง โดยวัดตุตวอย่างที่มีขนาดเล็กที่สุดกับแต่เส้นอ้างอิงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะพบค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดรูปแบบที่ใหญ่กว่าวัดตุตวอย่าง

จากผลการศึกษา B พบผลลัพธ์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน (0.00 cm), ค่าที่วัดขนาดได้เล็กกว่าวัดตุตวอย่าง (ร้อยละ -x.xx) และค่าที่วัดขนาดได้ใหญ่กว่าวัดตุตวอย่าง (ร้อยละ +x.xx) ซึ่งแบ่งตามรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 โดยผลลัพธ์ทั้ง 4 กรณี จะนำเสนอถึงค่าความคลาดเคลื่อนจากความสัมพันธ์ระหว่างวัดตุตวอย่างขนาด 30 cm และขนาดเส้นอ้างอิงขนาด 10, 20 และ 30 cm ณ ตำแหน่ง R1 ถึง R9 รวมถึงกำหนดสีอ่อนแทนระดับของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดไปยังสีเข้มที่มีค่าสูงที่สุด ดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงผลกรณี B1 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจากวัดตุตวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน (cm)

| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| R3     | R4     | R5     |        |        |        |        |        |        |
| -2.32  | -2.14  | -1.96  | -0.50  | -0.31  | -0.37  | -1.23  | -1.23  | -0.99  |
| R2     | R1     | R6     |        |        |        |        |        |        |
| -3.37  | -3.37  | -2.90  | 0.25   | 0.25   | 0.00   | -2.31  | -2.49  | -2.19  |
| R9     | R8     | R7     |        |        |        |        |        |        |
| -3.37  | -3.20  | -3.14  | -1.59  | -1.59  | -1.83  | -2.32  | -2.49  | -2.43  |

Ref 10 Ref 20 Ref 30 Ref 10 Ref 20 Ref 30 Ref 10 Ref 20 Ref 30

ตารางที่ 6 แสดงกรณี B2 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจากวัดตุตวอย่างแนวนอนและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง (cm)

| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| R3     | R4     | R5     |        |        |        |        |        |        |
| -1.23  | -1.05  | -0.74  | -1.23  | -1.23  | -0.86  | -0.86  | -0.68  | -0.37  |
| R2     | R1     | R6     |        |        |        |        |        |        |
| -0.50  | -0.87  | -1.23  | 0.63   | -0.63  | 0.25   | -0.50  | -0.68  | -0.74  |
| R9     | R8     | R7     |        |        |        |        |        |        |
| -3.38  | -3.73  | -4.19  | -4.06  | -4.23  | -3.60  | -3.38  | -3.38  | -2.79  |

Ref 10 Ref 20 Ref 30 Ref 10 Ref 20 Ref 30 Ref 10 Ref 20 Ref 30



ตารางที่ 7 แสดงกรณี B3 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจากวัตถุตัวอย่างแนวตั้งและเส้นอ้างอิงแนวนอน (cm)

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |
| R3     |        |        | R4     |        |        | R5     |        |        |
| -2.56  | -2.38  | -2.20  | -0.74  | -0.56  | -0.62  | -1.48  | -1.48  | -1.23  |
| R2     |        |        | R1     |        |        | R6     |        |        |
| -3.61  | -3.61  | -3.14  | 0.00   | 0.00   | -0.25  | -2.56  | -2.73  | -2.44  |
| R9     |        |        | R8     |        |        | R7     |        |        |
| -3.62  | -3.44  | -3.38  | -1.84  | -1.84  | -2.08  | -2.56  | -2.74  | -2.68  |
| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |

ตารางที่ 8 แสดงกรณี B4 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดจากวัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง (cm)

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |
| R3     |        |        | R4     |        |        | R5     |        |        |
| -1.48  | -1.29  | -0.99  | -1.48  | -1.48  | -1.11  | -1.11  | -0.93  | -0.62  |
| R2     |        |        | R1     |        |        | R6     |        |        |
| -0.75  | -1.11  | -1.48  | 0.38   | 0.38   | 0.00   | -0.74  | -0.93  | -0.99  |
| R9     |        |        | R8     |        |        | R7     |        |        |
| -3.62  | -3.97  | -4.43  | -4.30  | -4.47  | -3.84  | -3.62  | -3.62  | -3.03  |
| Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 | Ref 10 | Ref 20 | Ref 30 |

จากตารางสามารถสรุปขั้นต้นได้ดังต่อไปนี้

กรณี B1 วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงแนวนอน

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.00 ที่ขนาดเส้นอ้างอิง 30 cm ที่ตำแหน่ง R1
- ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ร้อยละ 3.37 ที่ขนาดเส้นอ้างอิง 10 และ 20 cm ที่ตำแหน่ง R2 และ ขนาดเส้นอ้างอิง 10 cm ที่ตำแหน่ง R9

กรณี B2 วัตถุตัวอย่างแนวนอนและเส้นอ้างอิงแนวตั้ง

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.25 ที่ขนาดเส้นอ้างอิง 30 cm ที่ตำแหน่ง R1

- ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ร้อยละ 4.23 ขนาดเส้นอ้างอิง 20 cm ที่ตำแหน่ง R8

กรณี B3 วัตถุตัวอย่างแนวตั้งและเส้นอ้างอิงแนวนอน

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.00 ที่ขนาดเส้นอ้างอิง 10 และ 20 cm ที่ตำแหน่ง R1
- ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ร้อยละ 3.62 ขนาดเส้นอ้างอิง 10 cm ที่ตำแหน่ง R9

กรณี B4 วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงในแนวตั้ง

- ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.00 ที่ขนาดเส้นอ้างอิง 30 cm ที่ตำแหน่ง R1
- ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ร้อยละ 4.47 ขนาดเส้นอ้างอิง 20 cm ที่ตำแหน่ง R8

ภาพรวมผลการศึกษา B

พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันดังต่อไปนี้คือ

1) ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดของทุกกรณีอยู่ที่ตำแหน่ง R1 โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำสุดของทุกกรณีอยู่ที่ตำแหน่ง R1 เช่นเดียวกัน ซึ่งคือจุดที่วัตถุตัวอย่างและเส้นอ้างอิงอยู่ตรงกึ่งกลางของภาพถ่าย

2) ที่ตำแหน่ง R1 หากเป็นกรณีที่วัตถุและเส้นอ้างอิงอยู่ในแนวทิศทางเดียวกันค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนจะเป็นรูปแบบใหญ่กว่าวัตถุตัวอย่าง โดยหากเป็นกรณีที่วัตถุและเส้นอ้างอิงอยู่ในแนวทิศทางตั้งฉากกันค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนจะเป็นรูปแบบเล็กกว่าวัตถุตัวอย่าง

3) ค่าความคลาดเคลื่อนสูงส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่ง R7, R8 และ R9 หรือแนวด้านล่างของภาพถ่าย

## 5. สรุปผล

### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการวัดขนาดโดยใช้การถ่ายภาพ 2 มิติ จากอุปกรณ์ถ่ายภาพ Raspberry Pi 4 Camera Module V2 สามารถใช้งานได้ตามหลักการวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปศึกษาต่อยอด พัฒนาเทคนิคดังกล่าว รวมถึงศึกษาเพื่อนำมาใช้งานในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ เพื่อสร้างเทคนิคทางเลือกการวัดที่มีประสิทธิภาพต่อไป ทั้งนี้ยังสามารถสรุปประเด็นสำคัญเพื่อตอบวัตถุประสงค์การศึกษา รวมถึงนำไปใช้พิจารณาเป็นแนวทางการออกแบบกระบวนการเก็บข้อมูลจากเทคนิคดังกล่าวได้ดังนี้

5.1.1) ตำแหน่งของสัดส่วนวัตถุเป้าหมายและเส้นอ้างอิงที่ตั้งอยู่จุดกึ่งกลางภาพถ่ายมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากผลลัพธ์การศึกษาพบค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ บนภาพถ่าย แต่ในกรณีที่ต้องเลือกเส้นอ้างอิงระดับแรกแนะนำให้มีการเลือกออกจากจุดศูนย์กลางได้แต่ควรอยู่ในทิศทางเดียวกันกับสัดส่วนที่ต้องการวัด หรือหากไม่สามารถอยู่ในทิศทางเดียวกันได้ แนะนำให้พิจารณาถึงตำแหน่งศูนย์กลางแต่ตั้งฉากกันทดแทน

5.1.2) ขนาดของวัตถุเป้าหมาย และเส้นอ้างอิงที่มีขนาดเท่ากัน โดยมีทิศทางเดียวกัน ใน

ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของภาพถ่าย จะได้ผลการวัดที่ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน แต่หากเป็นกรณีที่เป็นทิศทางที่ตั้งฉากกัน จะได้ผลการวัดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย โดยกรณีของวัตถุในแนวนอนจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีขนาดใหญ่กว่า และกรณีของวัตถุในแนวตั้งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีขนาดเล็กกว่า

5.1.3) ในกรณีที่มีการเลือกใช้ขนาดวัตถุเป้าหมายที่มีความแตกต่างจากเส้นอ้างอิง เสนอแนะให้เลือกใช้ขนาดความแตกต่างที่น้อยที่สุด เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน หรือไม่เกิน 20 cm เพื่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1 และเลือกใช้ขนาดความแตกต่างที่ไม่เกิน 40 cm เพื่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.5 รวมถึงสนับสนุนให้ใช้ทิศทางของวัตถุเป้าหมายและเส้นอ้างอิงที่มีทิศทางเดียวกัน

5.1.4) ผลการศึกษาพบว่าภาพถ่ายที่ได้มีลักษณะการบิดเบือนตรงขอบภาพอันเป็นผลมาจากเลนส์ของอุปกรณ์ถ่ายภาพ โดยส่งผลต่ออัตราส่วนในการคำนวณระหว่างขนาดจริงและจุดภาพในภาพถ่ายคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยเฉพาะในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุกับเส้นอ้างอิงมากยิ่งขึ้นก็จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นตาม รวมถึงการที่วัตถุ หรือเส้นอ้างอิงอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับขอบภาพถ่ายก็จะได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน

5.1.5) ผลการทดลองทำให้สามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่า เลนส์ของอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการศึกษานี้มีความเป็นไปได้ที่จะมีลักษณะไม่สมมาตรกัน โดยจะเห็นชัดเจนที่สุดเฉพาะในแนวนอนเนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด และเมื่อเทียบกับระหว่างแนวนอนและล่างซึ่งขาดความ

สอดคล้องกัน รองลงมาคือพื้นที่โดยรอบ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามมุมของภาพถ่าย

## 5.2 แนวทางการศึกษาต่อในอนาคต

5.2.1) เนื่องจากผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงการบิดเบือนของภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพ ทำให้จำเป็นต้องศึกษาหาพื้นที่และรูปแบบของการบิดเบือนดังกล่าว รวมถึงเปรียบเทียบเกี่ยวกับอุปกรณ์ถ่ายภาพประเภทต่างๆ ที่สามารถใช้งานในเทคนิคนี้ เพื่อเป็นแนวทางพิจารณาเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับเงื่อนไขของการศึกษาที่หลากหลายได้

5.2.2) ศึกษาเพิ่มเติมในทิศทางของวัตถุ หรือเส้นอ้างอิงนอกเหนือจากระนาบแนวตั้งหรือแนวนอน เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการศึกษานี้ รวมถึงตำแหน่งลึกลงระหว่างวัตถุเป้าหมายและเส้นอ้างอิงที่อาจจะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้

5.2.3 ออกแบบการทดลองปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าความคลาดเคลื่อน ดังเช่น แสงเงาที่เกิดขึ้นบนขอบของวัตถุที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของเทคนิคนี้ หรือรูปแบบเครื่องแต่งกาย อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางวัฒนธรรม และความไม่สะดวกส่วนบุคคล[13]

5.2.4 ทำการศึกษาอุปกรณ์ Raspberry Pi 4 Camera Module V2 เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐาน ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ เพื่อพัฒนาเป็นเทคนิคทางเลือกในการนำไปใช้ศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ต่อไป รวมถึงเปรียบเทียบเกี่ยวกับอุปกรณ์ถ่ายภาพประเภท

ต่างๆ ให้สามารถพิจารณาเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติ อินทรานนท์, การยศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [2] ณัฐพล พุฒยางกูร และไพโรจน์ อดาวิจิตรกุล. “ขนาดสัดส่วนร่างกาย: ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบ และพัฒนาผลิตภัณฑ์.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ, ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน ม.ค. - มิ.ย. 2563, หน้า 97-111, 2563.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, รายงานการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4: พ.ศ. 2543 - 2544. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2544.
- [4] ณัฐพล พุฒยางกูร. “การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยโปรแกรมประยุกต์การหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัลแบบ 2 มิติ” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2552.
- [5] Nathapon Puttyangkura and Phairoat Ladavichitkul. (2018). An accuracy study of human body measurement by 2-D photo from digital camera. The 5<sup>th</sup> Southeast Asian Ergonomics Conference (SEANES2018). 12-14 December 2018. Thailand.
- [6] สุธาวรรณ ลีไพฑูรย์. “ข้อมูลสัดส่วนร่างกายและอัตราส่วนขนาดร่างกายของเด็กนักเรียน

- ประถมศึกษา เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องเรือนในห้องเรียน” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2554.
- [7] อนุธิดา ฉิมทับ. “การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล 2 มิติ โดยถ่ายภาพที่ระยะใกล้” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2556.
- [8] ศศิธร สิมสวัสดิ์. “โปรแกรมชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิตแบบ 2 มิติโดยใช้แท็บเล็ต” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2557.
- [9] พงศธร พรหมสกล. “ผลกระทบของความสูงเก้าอี้ต่อท่าทางและพื้นที่ขันท่าในการลุกขึ้นยืนของผู้ใหญ่ตอนปลายและผู้สูงอายุ” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2561.
- [10] นพมาศ เวียงเกตุ. “ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งความสูงของอุปกรณ์ห้องน้ำด้วยวิธีจำลองสถานงานกับข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุ” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2561.
- [11] วรวิมล ขอบเจริญ. “ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบทางเดินสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย โดยวิเคราะห์ท่าทางการเดิน” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ; 2561.
- [12] Stephen Pheasant and Christine M. Haslegrave, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design 3<sup>rd</sup>*. London: Taylor & Francis Ltd, 2005.
- [13] ณัฐพล พุฒยงกูร และไพโรจน์ อดาวิจิตรกุล. “การศึกษาข้อจำกัดทางวัฒนธรรมของคนไทยเบื้องต้นในการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์โดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนม.ค. - มิ.ย.2564, หน้า 1-12, 2564.