

การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์  
โดยโปรแกรมประยุกต์การหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัลแบบ 2 มิติ



นาย ณัฐพล พุฒยางกูร

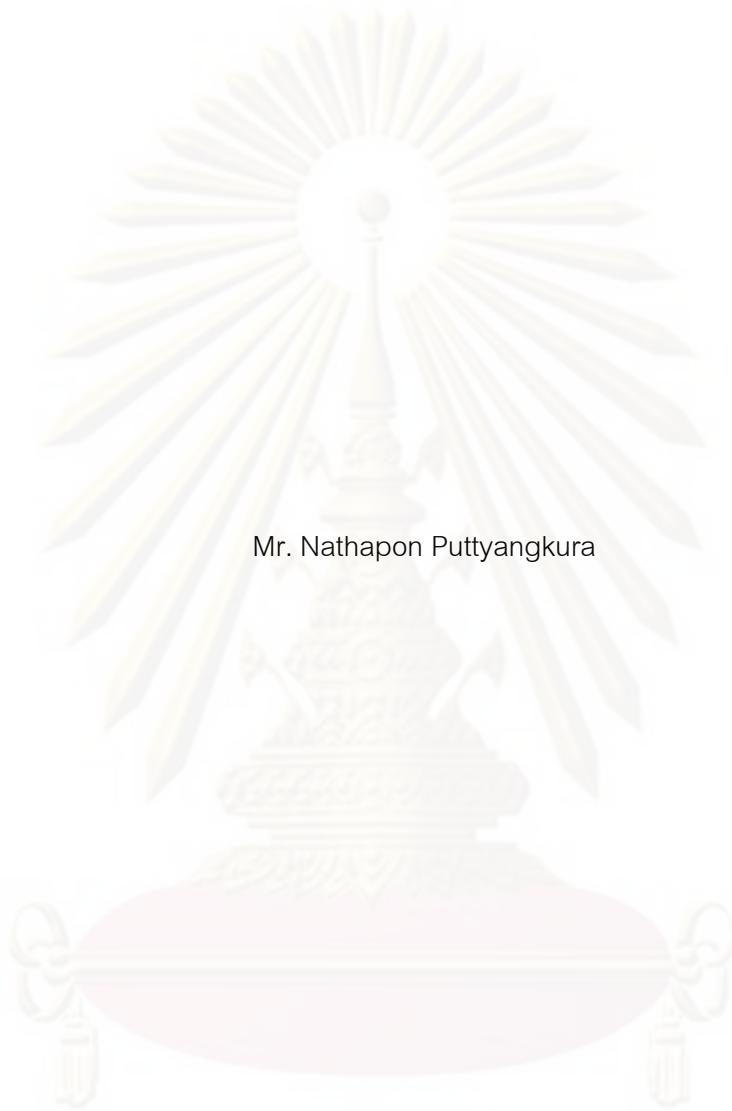
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ANTHROPOMETRY BY 2D EDGE DETECTION PROGRAM



Mr. Nathapon Puttyangkura

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยโปรแกรมประยุกต์

การหาขอบวัดจากภาพถ่ายดิจิทัลแบบ 2 มิติ

โดย

นายณัฐพล พุดมยางกูร

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

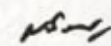
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

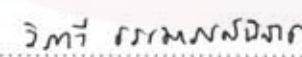
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

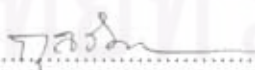
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

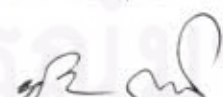
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ บุญดีสกุลโชค)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กุลริตา เตศวรสินสกุล)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเท็งจิตร)

ณัฐพล พุฒมายากร : การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยโปรแกรมประยุกต์การหาขอบ  
วัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัลแบบ 2 มิติ (AN ANTHROPOMETRY BY 2D EDGE  
DETECTION PROGRAM). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล,  
157 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนากระบวนการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์แบบมิติ  
เส้นตรง ในแนวแกน 2 มิติจากภาพถ่ายดิจิทัล โดยมีระยะอ้างอิงในภาพเทียบกับระยะอ้างอิง  
จริง ซึ่งกระบวนการในการหาขนาดถูกแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ หาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุดและ  
สูงที่สุดโดยใช้ขอบในภาพ และหาขนาดสัดส่วนที่สนใจโดยหาระยะห่างระหว่างพิกัด 2 จุด

การศึกษาเบื้องต้นจากหุ่นทดลองพบว่า เงื่อนไขการติดตั้งอุปกรณ์ที่ให้ความ  
คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุที่ 7 เมตร และขนาดของภาพถ่ายที่มี  
ความละเอียดมากกว่าเท่ากับ 6 ล้านพิกเซล

จากการนำไปใช้งานจริง และทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างโปรแกรม และ  
เทคนิคนี้ กับการใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ พบว่าสามารถวัดได้ในทุกสัดส่วน โดยจะ  
มีสัดส่วนที่แม่นยำที่สุดในสัดส่วนความสูง, ความสูงระดับสายตาขณะยืน, ระยะกางแขน, ระยะ  
กางศอก, ความสูงของระยะเอี๊ยมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่านั่ง, ความสูงระดับไหล่ขณะยืน,  
ความสูงสะโพก, ความสูงระดับนิ้วมือ, ความสูงระดับข้อศอกขณะนั่ง, ความหนาของต้นขา,  
ความสูงของเข่าขณะนั่ง, ความกว้างไหล่อ้างอิงปุ่มหัวไหล่, ความกว้างสะโพก และความหนา  
ช่องท้อง ซึ่งสัดส่วนอื่นๆ นอกเหนือไปจากที่ได้กล่าวไปนั้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้  
เช่นเดียวกัน



ภาควิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ      ลายมือชื่อนิสิต .....  
สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ      ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....  
ปีการศึกษา : 2552 .....

# # 4970306521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANTHROPOMETRY / IMAGE PROCESSING / EDGE DETECTION

NATHAPON PUTTYANGKURA : AN ANTHROPOMETRY BY 2D EDGE  
DETECTION PROGRAM. THESIS ADVISOR : PHAIROAT LADAVICHITKUL,  
Ph.D., 157 pp.

The objectives are design and develop a 2D linear dimension anthropometry using a digital image. Dimensions are estimated via comparison of the real reference distance (centimeters) and a reference distance in an image (pixels). This approach provides two measurement tools: an end-to-end distance of a subject using edge detection and two desired points distance.

According to the studies with a model, a camera with the resolution of 6 Megapixels or more which be placed in front of the subject about 7 meters provides the smallest of dimensions' errors.

From the result of hypothesis testing of differences between this introduced approach and traditional anthropometry, All standard postures are able to be measured properly. Dimensions that have the minimum errors are stature, eye height, span, elbow span, vertical grip reach (sitting), shoulder height, hip height, fingertip height, sitting elbow height, thigh thickness, knee height, shoulder breadth (biacromial), hip breadth and abdominal depth. Otherwise is also acceptable while its error is slightly greater.

Department : Industrial Engineering ..... Student's Signature 

Field of Study : Industrial Engineering... Advisor's Signature 

Academic Year : 2009.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ฤดาภิวัตร์กุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ บุญดี สกุลโชค ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กุลธิดา เตชวรสินสกุล และรองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บันเทิงจิตร ที่กรุณาช่วยแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ป้า และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยเป็นกำลังใจและสนับสนุนความช่วยเหลือด้านการศึกษแก่ผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนสามารถศึกษาและทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณกลุ่มอาสาสมัครในการเก็บข้อมูลที่ทำให้ความอนุเคราะห์ในการทำการวิจัย ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน สำหรับมิตรภาพที่มอบให้กันและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	17
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	17
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	18
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์.....	19
2.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย.....	19
2.3 การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์.....	20
2.4 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล.....	23
2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพ.....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบ และพัฒนาโปรแกรม และกระบวนการวัด.....	41
3.2 การเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์.....	59
3.3 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
4. ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของโปรแกรมโดยการวัดวัตถุชนิดเป็น แผ่นเรียบ.....	65
4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดการใช้งานโดยทดสอบกับหุ่นที่มี สัดส่วนโค้งเว้า คล้ายมนุษย์.....	65

4.3 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วน ร่างกายกับโปรแกรมโดยใช้หุ่นจำลองที่มีสัดส่วนโค้งเว้าคล้ายมนุษย์.....	68
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (error) และช่วงความเชื่อมั่นระหว่างการ ใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายกับโปรแกรมโดยทำการวัดกับมนุษย์.....	68
5. สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	73
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น.....	75
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	78
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก มาตรฐานการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ของ Pheasant	
ภาคผนวก ข แบบฟอร์มยินยอมในการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของอาสาสมัคร	
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน โดยทำการเปรียบเทียบจากการวัด โดยใช้เครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์กับการหาขนาดโดยการวัด โปรแกรม	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	157



## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงชุดเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน.....	15
รูปที่ 2 แสดงการใช้ Anthropometer วัดความยาวจากข้อศอก.....	15
รูปที่ 3 แสดงความกว้างของฝ่ามือ (hand breadth).....	20
รูปที่ 4 แสดงความสูงของข้อศอกขณะยืน (elbow height).....	21
รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือวัดขนาดของเท้า.....	21
รูปที่ 6 แสดงการใช้เทปวัดตัววัดขนาดรอบทรงอก.....	22
รูปที่ 7 แสดงภาพสเกตช์เพื่อเตรียมการถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพ 3 กล้อง ประกอบไปด้วยด้านบน ด้านข้าง และด้านหน้า.....	23
รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างโปรแกรมประเภท OCR (Optical Character Recognition) โดยใช้ ทฤษฎีเครือข่ายประสาท (Neural Network) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ.....	26
รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ (Real-Time License Plate Recognition).....	26
รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการนำเอา Digital Image Processing มาใช้ในการตรวจสอบ สภาพยางก่อนที่จะนำเข้ามาประกอบเข้ากับตัวรถของบริษัท GM (General Motors).....	27
รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน Digital Image Processing เพื่อให้ คอมพิวเตอร์เข้าใจความหมายของภาพหรือ Image Understanding.....	27
รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างลักษณะของภาพที่ถูกกระทำด้วยกระบวนการ Low Level Image Processing.....	28
รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างการประมวลผลภาพระดับสูง หรือ Face Detections.....	29
รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างการหาขอบภาพ.....	31
รูปที่ 15 แสดงลักษณะภายในภาพที่ถูกจัดว่าเป็นขอบ.....	31
รูปที่ 16 แสดงการหาลายนิ้วมือโดยวิธีการหาขอบอัลกอริทึมแบบ Canny.....	32
รูปที่ 17 แสดงการหาขอบของวัตถุทั้งหมดในภาพ.....	32
รูปที่ 18 แสดงกระบวนการหาขอบโดย Gradient method.....	33
รูปที่ 19 แสดงกระบวนการหาขอบโดย Laplacian method.....	33
รูปที่ 20 แสดงรูปถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการเปรียบเทียบโดย Argialas และ Mavrantza	34

รูปที่ 21 การหาขอบแบบ Canny ในงานวิจัยนี้.....	36
รูปที่ 22 แสดงกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	43
รูปที่ 23 แสดงเก้าอี้ปรับระดับความสูงขณะนั่ง.....	44
รูปที่ 24 แสดงฉากหลัง และพื้นปูยีนสีเขียว.....	45
รูปที่ 25 แสดงอุปกรณ์อ้างอิงระยะ.....	46
รูปที่ 26 แสดงลักษณะการสวมใส่หมวกคลุมผมว่ายน้ำในการวิจัยนี้.....	47
รูปที่ 27 แสดงเครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์.....	47
รูปที่ 28 แสดงการจัดท่าทางในการถ่ายภาพ โดยอ้างอิงจากงานวิจัย Pheasant.....	48
รูปที่ 29 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ทั้งหมด.....	49
รูปที่ 30 แสดงภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการหลักของการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยใช้โปรแกรมหาขนาด.....	50
รูปที่ 31 แสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม.....	51
รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างภาพจริงกับภาพที่เกิดขึ้น.....	52
รูปที่ 33 ขั้นตอนการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ (Auto).....	54
รูปที่ 34 ตัวอย่างภาพของการหาตัวบอตำแหน่งวงกลม, จุดศูนย์กลาง และระยะห่าง ระหว่างกัน.....	55
รูปที่ 35 ขั้นตอนการหาอัตราส่วนโดยตนเอง (Manual).....	56
รูปที่ 36 แสดงภาพต้นฉบับ และภาพสีของแต่ละแชนแนลสี.....	57
รูปที่ 37 แสดงผลลัพธ์กระบวนการแยกแชนแนลสี.....	57
รูปที่ 38 แสดงภาพผลจากการทำ Binary Threshold และส่วนขยายแสดงจุดหรือเส้นที่ไม่ ต้องการรอบๆวงกลม.....	58
รูปที่ 39 แสดงการหาวงกลม.....	59
รูปที่ 40 แสดงการหาจุดศูนย์กลางของวงกลม.....	59
รูปที่ 41 แสดงขั้นตอนการหาระยะอ้างอิงของโปรแกรม.....	60
รูปที่ 42 แสดงขั้นตอนการหาขนาดสัดส่วน.....	61
รูปที่ 43 แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย.....	63
รูปที่ 44 แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัล.....	64
รูปที่ 45 แสดงวัตถุที่เป็นแผ่นเรียบ.....	65
รูปที่ 46 แสดง ผลกระทบจาก ระยะทางระหว่างกล้องต่อวัตถุที่มีความหนา.....	66
รูปที่ 47 แสดงหุ่นจำลองที่มีความหนา หรือส่วนโค้งคล้ายมนุษย์.....	67

รูปที่ 48 แสดงกราฟผลหลักของการทดลอง.....	71
รูปที่ 49 แสดงกราฟผลอันตรกิริยาของการทดลอง.....	71
รูปที่ 50 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 1 หรือความสูงขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์.....	75
รูปที่ 51 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 8 หรือความสูงขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	76
รูปที่ 52 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของของสัดส่วนที่ 32 หรือระยะกางแขนเป็นเปอร์เซ็นต์.....	76
รูปที่ 53 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 33 หรือระยะกางศอกเป็นเปอร์เซ็นต์.....	77
รูปที่ 54 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงของของสัดส่วนที่ 35 หรือระยะเอื้อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่านั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	77
รูปที่ 55 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 23 หรือระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์.....	78
รูปที่ 56 เป็นเปอร์เซ็นต์ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 28 หรือความยาวของมือ.....	78
รูปที่ 57 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 3 หรือความสูงระดับไหล่ขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์.....	81
รูปที่ 58 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 5 หรือความสูงสะโพกเป็นเปอร์เซ็นต์.....	81
รูปที่ 59 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 7 หรือความสูงระดับนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์.....	82
รูปที่ 60 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 11 หรือความสูงระดับข้อศอกขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	82
รูปที่ 61 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 15 หรือความสูงของเข่าขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	83
รูปที่ 62 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 18 หรือความกว้างไหล่ อ่างอิงปุ่มหัวไหล่เป็นเปอร์เซ็นต์.....	83
รูปที่ 63 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 19 หรือความกว้างสะโพกเป็นเปอร์เซ็นต์.....	84

รูปที่ 64 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 2 หรือความสูงระดับสายตาขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์.....	85
รูปที่ 65 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 4 หรือความสูงระดับข้อศอกขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์.....	85
รูปที่ 66 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 6 หรือความสูงระดับข้อนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์.....	86
รูปที่ 67 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 9 หรือความสูงระดับสายตาขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	86
รูปที่ 68 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 10 หรือความสูงระดับไหล่ขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	87
รูปที่ 69 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 16 หรือความสูงของข้อพับเข่าขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์.....	87
รูปที่ 70 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 22 หรือระยะระดับไหล่ถึงข้อศอกเป็นเปอร์เซ็นต์.....	88
รูปที่ 71 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 24 หรือระยะไหล่ถึงปลายนิ้วเป็นเปอร์เซ็นต์.....	88
รูปที่ 72 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 25 หรือระยะไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำเป็นเปอร์เซ็นต์.....	89
รูปที่ 73 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 26 หรือความยาวศีรษะเป็นเปอร์เซ็นต์.....	89
รูปที่ 74 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 27 หรือความกว้างศีรษะเป็นเปอร์เซ็นต์.....	90
รูปที่ 75 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 29 หรือความกว้างของมือเป็นเปอร์เซ็นต์.....	90
รูปที่ 76 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 36 หรือระยะเอื้อมด้านหน้าเป็นเปอร์เซ็นต์.....	91
รูปที่ 77 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 12 หรือความหนาของต้นขาเป็นเปอร์เซ็นต์.....	92

รูปที่ 78 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 13 หรือความยาวจากกันถึงหัวเข้าเป็นเปอร์เซ็นต์.....	92
รูปที่ 79 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 14 หรือความยาวจากกันถึงข้อพับเข้าเป็นเปอร์เซ็นต์.....	93
รูปที่ 80 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 17 หรือความกว้างไหล่ อ้างอิงกล้ามเนื้อเป็นเปอร์เซ็นต์.....	93
รูปที่ 81 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 20 หรือความหนาหน้าอกเป็นเปอร์เซ็นต์.....	94
รูปที่ 82 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 21 หรือความหนาช่องท้องเป็นเปอร์เซ็นต์.....	94
รูปที่ 83 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน จากการสวมใส่เสื้อผ้าแบบปกติและแบบรัดรูปของผู้ถูกวัด.....	95

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมตามกระบวนการทดสอบของ Pratt และ Rosenfeld.....	35
ตารางที่ 2 แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล.....	68
ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ....	69
ตารางที่ 4 แสดงผลการเก็บข้อมูลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล.....	70
ตารางที่ 5 แสดงผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของวัตถุที่มีส่วนโค้งเว้า และความ หนาคล้ายคลึงกับมนุษย์.....	72
ตารางที่ 6 แสดงสัดส่วนที่ใช้การหาขนาดกว้างสุดและสูงสุด ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับ สมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการคำนวณที่นำมาทดสอบสมมติฐาน และการ ทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบ.....	74
ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และช่วงความเชื่อมั่นของค่าความ คลาดเคลื่อนที่ 95 และ 99 % ของการเปรียบกับโปรแกรมในส่วนของ การหา ขนาดสัดส่วนที่สนใจ.....	71

# บทที่ 1

## บทนำ

การยศาสตร์หมายความว่า “ศาสตร์ในการจัดสภาพงานให้เหมาะกับคนทำงาน” หรือ “การศึกษาคนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน” นั่นเอง และอีกความหมายหนึ่ง คือ การศึกษาสภาวะแวดล้อมของการทำงาน โดยใช้หลักคิดว่า “เราจะทำให้ คนทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพได้อย่างไร” สภาพแวดล้อมอย่างไร ที่จะทำให้คนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด เพื่อให้ผลผลิตออกมามากที่สุด ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความเกี่ยวข้องกับ Anthropometry

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

Anthropometry หรือ การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์ตลอดจนสถานี่งานให้มีความเหมาะสมกับผู้ใช้งาน ดังเช่น ระดับความสูงต่ำ หรือระยะในการใช้มือหยิบฉวยของงาน หรือ สถานีปฏิบัติงาน, ระดับของสายตาที่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งพื้นที่ และระยะสำหรับการเคลื่อนที่ขณะปฏิบัติงาน ซึ่งจากที่ได้กล่าวมานั้น ได้มีการศึกษา และวิจัยกันอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศ และนอกประเทศ

ซึ่งปัญหาเรื่องเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องใช้ รวมถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีขนาดไม่เหมาะสม หรือไม่พอดีกับผู้ใช้งานนั้น นับเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ และความปลอดภัยการดำเนินงาน รวมถึงการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยสาเหตุประการหนึ่งของปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นมีมาจาก เครื่องจักร อุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ได้มีการออกแบบโดยอ้างอิงจากมาตรฐานสัดส่วนร่างกายของประเทศผู้ผลิตนั้นๆ หรืออ้างอิงจากมาตรฐานของคนเอเชีย ซึ่งนับว่าไม่ถูกต้อง หรือยังไม่เหมาะสมเพียงพอต่อกลุ่มประชากรคนไทย

จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ (2534), ได้กล่าวไว้ในเรื่องรูปร่าง สัดส่วน และการเจริญเติบโตของร่างกายคนมีปัจจัยดังต่อไปนี้

- 1) ปัจจัยที่ทำให้คนสูงใหญ่ขึ้น ปัจจัยที่มีผลให้คนเตี้ยแคระ สำหรับเด็ก หรือทารก ได้แก่ รายได้ของประชากรต่อหัวที่สูงขึ้น, นิสัยการกินอยู่ที่ดีขึ้น, ระดับการศึกษาของแม่ โดยจะส่งผลต่อการเลี้ยงดูทารก และเด็ก, การออกกำลังกาย และการพักผ่อน รวมถึงการรักษาสุขภาพให้ดี, ลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งถ้าพ่อแม่และแม่เป็นคนตัวเล็ก และตัวเตี้ย ก็ส่งผลให้โอกาสที่ลูกจะตัวสูงมีน้อย รวมถึงความผิดปกติทางด้านฮอร์โมน และโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ

2) ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดร่างกายสำหรับผู้ใหญ่ ซึ่งในผู้ใหญ่ที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปี ขึ้นไป ขนาดความสูงจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่น้อยมาก แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนต่างๆ แทน ซึ่งเป็นผลมาจากโภชนาการ, การออกกำลังกาย, สภาพภูมิอากาศ หรือภูมิประเทศที่อาศัย, โรคภัยไข้เจ็บ, สภาพสังคม และวัฒนธรรม, อาชีพ และนิสัยเคยชินในการทำงาน

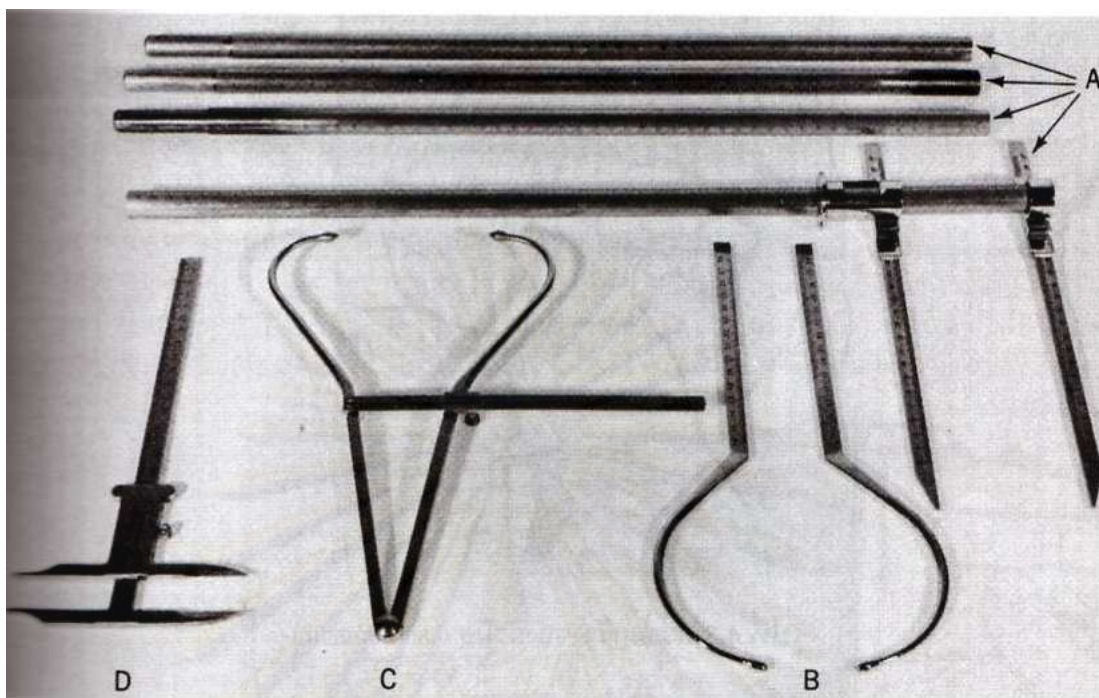
โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทำการศึกษขนาดสัดส่วนร่างกายของคนไทย เพื่อที่จะนำไปใช้ในออกแบบ ปรับปรุง และพัฒนา เครื่องจักร อุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว อาทิเช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, ได้ร่วมมือกับบริษัท ไทยวาโก้ จำกัด (มหาชน) และบริษัทในเครือ จัดทำโครงการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทยจนถึงปัจจุบัน เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างร่างกาย รวมถึงพัฒนาการ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างร่างกายของคนไทยในสภาวะปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบ รวมถึงปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ ให้มีขนาด และความเหมาะสมกับร่างกาย และการใช้งานมากยิ่งขึ้น รวมทั้งหมด 4 ระยะ อันประกอบไปด้วย ระยะที่ 1 (2524-2528), ระยะที่ 2 (2529-2533), ระยะที่ 3 (2536-2537), ระยะที่ 4 (2543-2544), การวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้นของชายไทยในอุตสาหกรรมของอนันต์ ตันทุสสุกิจวิณิช (2546), การวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้นของหญิงไทยในอุตสาหกรรมของศรีวิรินทร์ ชมภูศรี (2547) เป็นต้น

และจากการศึกษาพบว่าในขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัยต่างๆ นั้น จะใช้เครื่องมือในการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน (Anthropometer) เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 1 และมีตัวอย่างในการใช้เครื่องมือในการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน รวมถึงขั้นตอนในการดำเนินงานหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

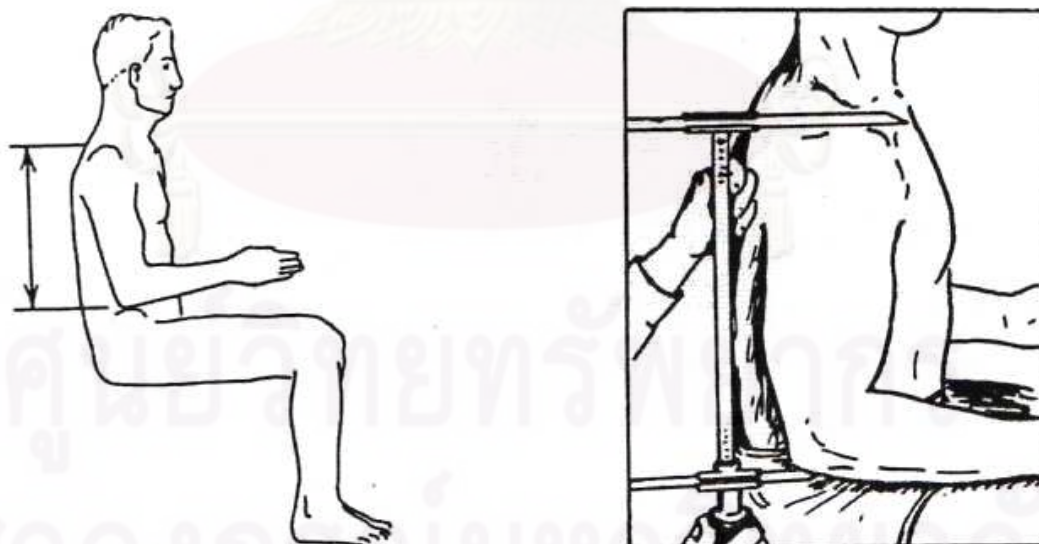
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 1 แสดงชุดเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน

A คือ anthropometer ด้ามตรง, B คือ ด้ามโค้งของ anthropometer,  
C คือ spreading calipers และ D คือ sliding compass ยังมีเทปวัดตัวอีก 1 ม้วน



รูปที่ 2 แสดงการใช้ anthropometer วัดความยาวจากข้อศอก  
ถึงหัวไหล่ (shoulder-elbow length)

ซึ่งจากการวิเคราะห์การศึกษาหาขนาดสัดส่วนของร่างกายมนุษย์นั้น จะว่าพบอุปสรรคที่เกิดขึ้นจะมีดังต่อไปนี้คือ

1) ความผิดพลาดในการวัด

- เนื่องจากการวัดอาจเกิดการผิดพลาดได้ เนื่องจากการวัดด้วยมือ และในหลายสัดส่วนที่ไม่สามารถอ้างอิงได้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดความไม่เที่ยงตรง หรือผิดพลาด โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทำการศึกษา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน

2) ใช้เวลาในการดำเนินการสูง

- ในขั้นตอนการวัดนั้นเป็นการวัดโดยใช้มือ ซึ่งการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายในแต่ละครั้งมีความจำเป็นที่ต้องเก็บเป็นจำนวนหลายสัดส่วน ทำให้การวัดแต่ละครั้งใช้เวลาในการดำเนินการสูง ส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการเก็บตัวอย่างที่มีจำนวนมากๆ เช่น งานวิจัยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่ได้ทำการศึกษานาขนาดสัดส่วนร่างกายของประชาชนชาวไทย ระยะที่ 4 ซึ่งใช้ตัวอย่างเป็นจำนวน 13,347 คน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2544

3) สูญเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

- การเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายโดยปกตินั้น ทำโดยการใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ (Anthropometer) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาที่สูงมาก อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการชำรุดได้ง่าย หากมีการกระทบกระเทือน อีกทั้งในกรณีที่มีความจำเป็นที่ต้องไปเก็บข้อมูลสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างในหลายสถานที่ต่างๆ อุปกรณ์ที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอก็การใช้งาน ทำให้ต้องจัดการหาอุปกรณ์เพิ่ม เพื่อให้เพียงพอต่อจำนวนของผู้เก็บข้อมูล และมีความสมดุลต่อระยะเวลาโครงการที่ได้ตั้งไว้

4) ใช้บุคลากรในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก

- ในการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายนั้น มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก เพื่อให้การออกแบบครอบคลุมถึงความต้องการ หรือกลุ่มประชากรได้อย่างใกล้เคียง และถูกต้องที่สุด เป็นเหตุผลทำให้การเก็บข้อมูลระดับประชากรนั้น จำเป็นต้องมีผู้ทำการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากขึ้นตาม

### 5) ข้อจำกัดทางวัฒนธรรม

- เนื่องจากในการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่างหญิงนั้น ทางผู้ถูกทำการวัดนั้นอาจมีความไม่สะดวกที่จะให้วัดสัดส่วนร่างกาย หรือในบางสัดส่วนที่เป็นส่วนตัว ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเก็บข้อมูล และค่าที่ได้ผิดไปจากความจริงที่ควรเป็น

สรุปคือ จากการศึกษา และวิเคราะห์ของผู้ดำเนินการวิจัยพบว่า การวัดขนาดแบบเก่านั้น มีอุปสรรคหลักๆ 4 ประการ คือ ความผิดพลาดในการวัด สูญเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง รวมถึงความไม่สัมพันธ์กันระหว่างจำนวนของตัวอย่างกับกำหนดเวลาที่ได้วางไว้ อีกทั้งข้อจำกัดทางวัฒนธรรม ดังนั้นจากอุปสรรคที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงจำเป็นต้องศึกษา ค้นคว้า วิธีการวัดที่รวดเร็วกว่า และมีประสิทธิภาพมากกว่า

## 1.2 วัดอุปประสงค์ของงานวิจัย

ออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ จากภาพถ่ายดิจิทัล โดยวิธีการหาขอบวัดในภาพถ่าย รวมถึงศึกษาเงื่อนไข ขอบเขตของการใช้งาน และวิธีติดตั้งของอุปกรณ์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายในแนวระนาบ โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลประเภทสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (Single Lens Reflex หรือ SLR) และภาพถ่ายดิจิทัลประเภท Joint Photographic Experts Group (JPEG) เก็บข้อมูลผู้ถูกทดสอบเป็นอาสาสมัครจำนวน 30 คน (ชาย 13 คน และหญิง 17 คน) โดยมีตำแหน่งวัด 33 สัดส่วน ในสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ และอ้างอิงจากมาตรฐานการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์จากงานวิจัยของ Pheasant ดังแสดงในภาคผนวก ก

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาที่มา และความสำคัญของปัญหา
- 2) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3) กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย
- 4) ออกแบบ และพัฒนาโปรแกรม รวมถึงกระบวนการวัด
- 5) เก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์
- 6) วิเคราะห์ข้อมูล
- 7) สรุปผลการวิจัย
- 8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

กิตติ (2548) ได้กล่าวว่า Anthropometry เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นความสำคัญมากต่อการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนการออกแบบสถานงาน โดยข้อมูลจากการวัดดังกล่าวนี้จะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบทำงาน หรือการปฏิบัติงานโดยเน้นไปยังผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง และเฉพาะเจาะจง ข้อมูลสมบัติทางกายภาพ และสัดส่วนร่างกายนั้นได้มีผู้รวบรวม และตีพิมพ์สามารถพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้อยู่มากมาย ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลของประชากรต่างเพศ อายุ และจากแหล่งต่างๆ ทั่วโลก ทั้งนี้ข้อมูลเหล่านี้ได้แบ่งออกเป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ในระดับต่างๆ เช่น เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 10, 50, 90 และ 95 เป็นต้น

แต่ก่อนที่จะนำตารางข้อมูลสมบัติทางกายภาพ และสัดส่วนร่างกายไปใช้ ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจกลุ่มประชากรที่เป็นเจ้าของข้อมูลก่อน ในการออกแบบสิ่งใดๆ สำหรับผู้ชายที่เป็นผู้ใหญ่ และข้อมูลที่ใช้ถูกรวบรวมมาจากกลุ่มประชากรที่มีอาชีพเป็นทหาร จะเกิดข้อสงสัยว่า ข้อมูลที่นำมาใช้นั้นจะเป็นตัวแทนของผู้ชายที่เป็นผู้ใหญ่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ หรือการใช้ข้อมูลสำหรับชายอายุ 18-55 ปี หรือช่วงอายุที่แคบไปกว่านั้น โดยเอามาจากกลุ่มคนงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ออกแบบนั้นจะต้องมีความเข้าใจในข้อมูลที่จะนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง เพราะถ้าต้องการออกแบบห้องเก็บเครื่องกีฬาสำหรับนักกีฬาชายของโรงเรียนมัธยม ข้อมูลที่จะใช้ควรจะมาจากรุ่นนักเรียนมัธยม ถ้าเป็นของนักกีฬาอาชีพ ข้อมูลควรจะเป็นของนักกีฬาอาชีพที่เกี่ยวข้องโดยตรงเช่นเดียวกัน

### 2.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการวัด ได้แก่

- 1) การวัดเพื่อข้อมูลสถิต (static measurements) วัดเมื่อร่างกายหยุดนิ่ง ซึ่งหมายความรวมทั้งขนาดของร่างกายภายนอก หรือโครงสร้างของร่างกาย เช่น ความสูงทำยืน ความสูงขณะนั่ง เป็นต้น วิธีการนำเสนอข้อมูล อาจอยู่ในรูปของตาราง หรือในรูปที่มีสัดส่วนสัมพันธ์กับสัดส่วนอื่นของร่างกาย

2) การวัดเพื่อข้อมูลพลวัต (dynamic measurements) วัดเมื่อร่างกายกำลังทำงาน เช่น ระยะเอื้อมถึง ความยาวของร่างกาย และความสูงขณะคลาน ความสูงขณะคุกเข่า และมุมของข้อต่อต่างๆ ในขณะเคลื่อนไหว เป็นต้น

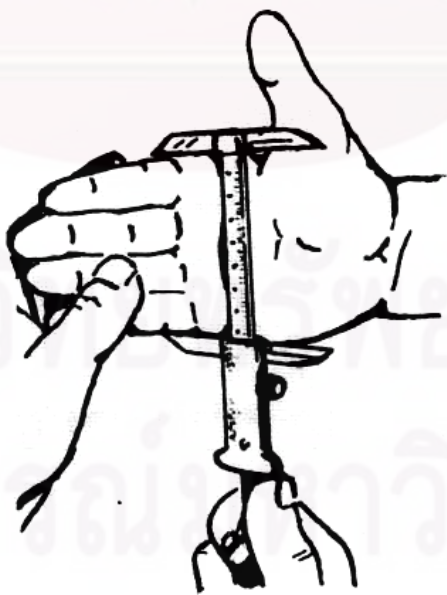
ในทางการยศาสตร์แล้วจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทั้ง 2 ประเภท คือข้อมูลสถิต และข้อมูลพลวัต เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ปรับปรุงสถานที่ทำงาน เครื่องมือ และผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผู้ใช้หรือที่เรียกว่า user-centered-design (การออกแบบโดยผู้ใช้เป็นหลัก)

### 2.3 การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

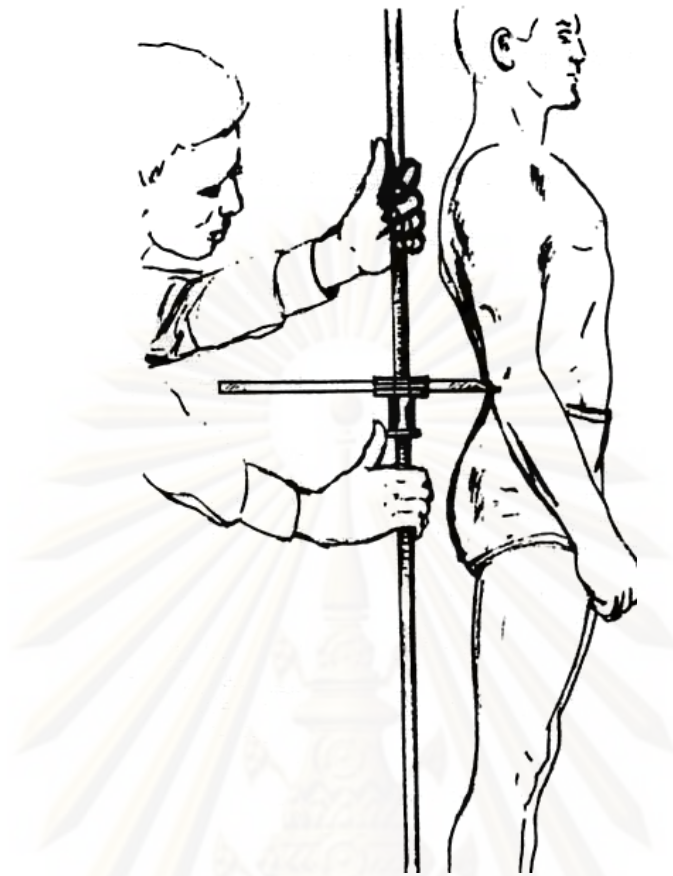
โดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี คือ วิธีใช้เครื่องมือวัดโดยตรง และวิธีการทางภาพถ่าย

#### 1) วิธีใช้เครื่องมือวัดโดยตรง

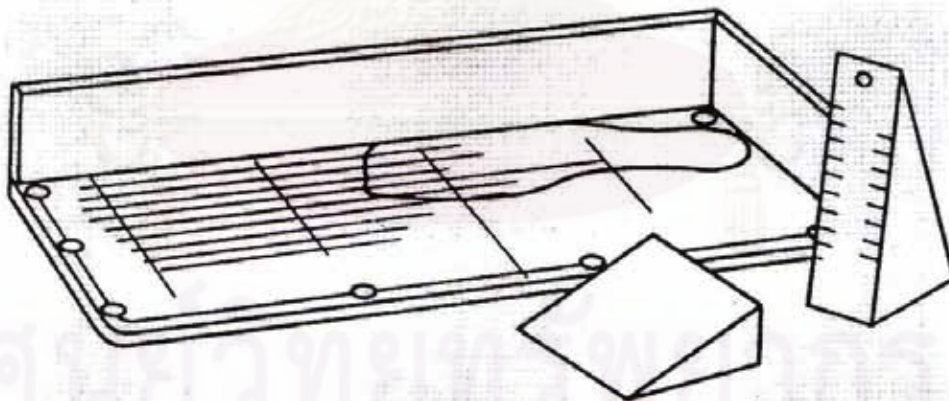
โดยการใช้เครื่องมือวัดในแนวเส้นตรง และแนวเส้นโค้ง คำว่า มิติเส้นตรง (linear dimension) หมายถึง ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดบนร่างกาย โดยปกติเป็นความยาวของกระดูก หรือความกว้าง หรือความลึกของร่างกาย ก่อนการวัดจะต้องมีการทำเครื่องหมายจุดต่างๆ บนร่างกายที่ต้องการวัดระยะทาง จุดเหล่านั้นเรียกว่า จุดกำหนด (land mark) ถ้าเป็นความยาวของอวัยวะของร่างกาย (body links) จะเป็นจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดของอวัยวะของร่างกายส่วนนั้น ส่วนคำว่า มิติเส้นรอบ (circumferential dimensions) หมายถึง การวัดระยะทางตามพื้นผิวของร่างกายแล้วมาบรรจบที่จุดเริ่มต้นเดียวกัน



รูปที่ 3 แสดงความกว้างของฝ่ามือ (hand breadth)

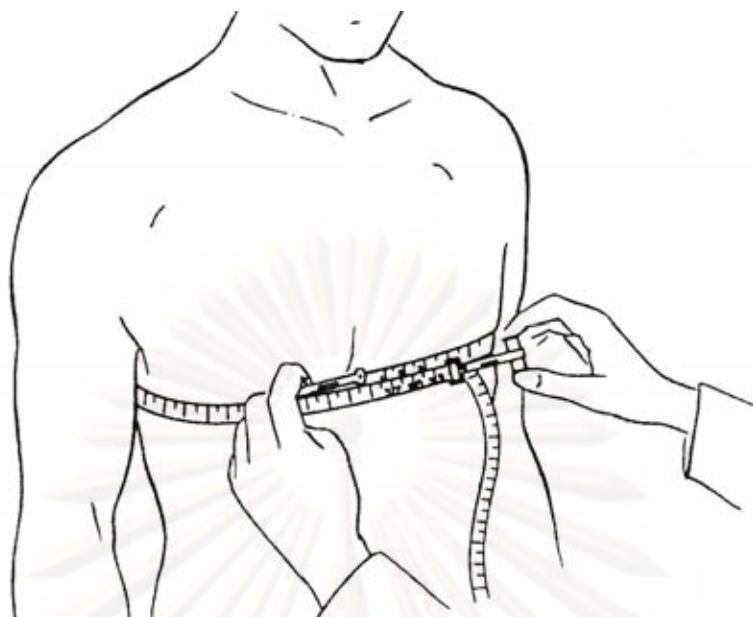


รูปที่ 4 แสดงความสูงของข้อศอกขณะยืน (elbow height)



รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือวัดขนาดของเท้า

ศูนย์วิจัยทรงพัสการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6 แสดงการใช้เทปวัดตัววัดขนาดรอบทรวงอก

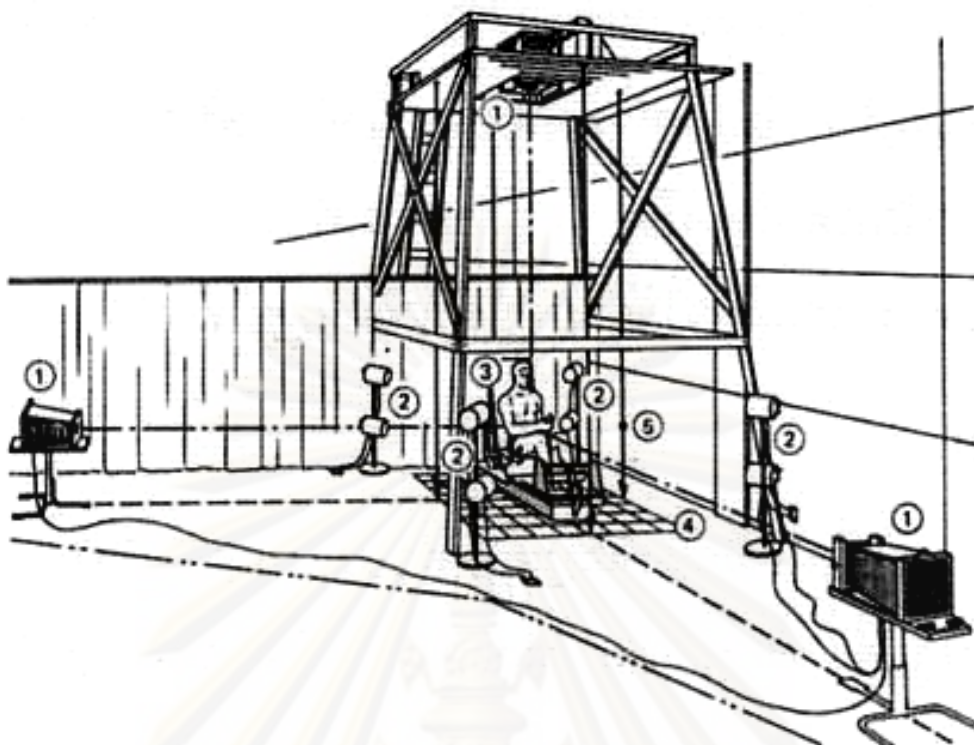
## 2) วิธีการทางภาพถ่าย

การใช้ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลสัดส่วนร่างกาย ทั้งในแนวตรง และในแนวเส้นโค้ง ตลอดจนในแนวลึกเป็นความสูงต่ำ (contours) วิธีการทางภาพถ่ายนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยเทคโนโลยีอื่นๆเข้ามาช่วยในการประมวลผล เช่น คอมพิวเตอร์ หรือหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก (Microprocessor) เป็นต้น วิธีการหาขนาดจะนำภาพถ่ายมาเทียบกับจุดหรือระยะอ้างอิง และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ตีความหมายอีกครั้ง คล้ายกับวิธีการของช่างสำรวจทำแผนที่โดยใช้รูปถ่าย (photogrammetry)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 7 แสดงภาพสเกตช์เพื่อเตรียมการถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพ 3 กล้อง ประกอบไปด้วยด้านบน ด้านข้าง และด้านหน้า

Chaffee (1961) ได้เสนอระบบที่เรียกว่า Andrometric Camera System (ดังแสดงในรูปที่ 8) เพื่อวัดสัดส่วนของร่างกายนักบิน โดยวัดท่าทรงตัวของนักบินในขณะที่นั่งอยู่ในเก้าอี้นักบิน และเตรียมการที่จะติดตนเองออกจากเก้าอี้เพื่อหนีภัย กล้องถ่ายภาพทั้งสามถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่เป็นแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน มีการทำเครื่องหมายบนร่างกายของนักบิน เพื่อเป็นจุดอ้างอิง เมื่อถ่ายภาพได้แล้วจะนำภาพถ่ายมาเทียบกับระยะที่แท้จริงเพื่อหาขนาดสัดส่วนได้

## 2.4 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

อรวินท์ เมฆพิรุณ (2549), ได้อธิบายถึงประเภท และการทำงานของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลไว้ดังต่อไปนี้

### 2.4.1 ประเภทของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในระดับผู้ใช้งานถ่ายภาพทั่วไป ส่วนใหญ่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

#### - กล้องดิจิทัลขนาดเล็ก (Compact Camera)

เป็นกล้องชนิดพกพาที่ไม่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ เป็นกล้องที่ออกแบบให้ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน เน้นด้านระบบอัตโนมัติ หรือฟังก์ชันช่วยเหลือผู้ใช้งานมากกว่า การปรับตั้งค่าเอง รูปร่างหน้าตาของกล้องมีตั้งแต่เล็กกะทัดรัด ไปจนถึงขนาดที่จับถนัดมือ หรือบางตัวก็เลียนแบบหน้าตาของกล้อง SLR แบบย่อส่วน เช่น เซอร์รี่ภาพมีขนาดเล็ก

#### - กล้องดิจิทัลสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (Single Lens Reflex Camera)

กล้องชนิดนี้เป็นกล้องดิจิทัลที่สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ และเป็นกล้องที่ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ในการถ่ายภาพดีพอสมควร เนื่องจากมีฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อน และมีลูกเล่นต่างๆ เพิ่มเข้ามามากกว่า อีกทั้งผู้ใช้งานสามารถปรับตั้งค่าต่างๆ ได้ตามต้องการ รูปร่างของกล้องค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากขนาดของเซนเซอร์รับภาพใหญ่กว่า และยังคงรองรับเลนส์ และฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อนอีกด้วย

### 2.4.2 รูรับแสง และความเร็วชัตเตอร์

- รูรับแสง หรือบางครั้งก็เรียกกันว่าหน้ากล้อง เป็นช่องที่ควบคุมให้แสงสามารถผ่านเข้าไปตกที่เซนเซอร์รับแสงในปริมาณที่แตกต่างกันได้ ขนาดของรูรับแสงนั้นจะวัดเป็นหน่วย F-number โดยที่ค่า F-number มาก หมายถึงรูรับแสงแคบ แสงสามารถผ่านเข้าไปได้น้อย ส่วนค่า F-number น้อย หมายถึงรูรับแสงกว้าง แสงสามารถผ่านเข้าไปได้มาก เช่น ขนาดรูรับแสงอยู่ระหว่าง F/2.8 (กว้างสุด) – F/11 (แคบสุด) เป็นต้น สำหรับค่า F-number นั้นจะเพิ่มเป็นขั้น (stop) เช่น F/2.0, F/2.8, F/4.0, F/5.6, F/8, F/11, F/16, F/22 โดยในแต่ละขั้นจะให้แสงเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

- ความเร็วชัตเตอร์ เป็นความเร็วในการเปิดช่องรับแสง เพื่อควบคุมปริมาณของแสงที่จะผ่านเข้ามาตกบนเซนเซอร์ ความเร็วชัตเตอร์แสดงเป็นตัวเลขในหน่วยวินาที โดยที่ความเร็วชัตเตอร์สูง หมายถึง เวลาที่แสงสามารถผ่านเข้าสู่กล้องน้อย จะได้ภาพที่หยุดการเคลื่อนไหวของวัตถุ เช่น 1/500 หรือ 1/125 วินาที เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างรูรับแสง และความเร็วชัตเตอร์นั้นอยู่ที่การเปิดรับแสงนั่นเอง โดยมีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อรูรับแสงกว้าง จะต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์สูง แต่ถ้ารูรับแสงแคบความเร็วชัตเตอร์จะต้องต่ำ แสงจึงจะพอดี

### 2.4.3 ค่าความไวแสง (ISO)

ค่าความไวแสง หรือ ISO Sensitivity นี้ หากเป็นกล้องฟิล์มจะเป็นคุณสมบัติทางเคมีของฟิล์มแต่ละม้วนหนึ่งๆ เทียบกับเลือก ISO ได้ค่าเดียว แต่สำหรับกล้องดิจิตอลสามารถเลือกค่า ISO ได้รูปต่อรูป หรือเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ค่าดังกล่าวจะมีผลกับการคำนวณทุกอย่างของกล้องในการกำหนดความเร็วชัตเตอร์ และค่ารับแสง โดยค่า ISO ที่มากขึ้นจะมีความไวแสงมากขึ้น ทำให้สามารถถ่ายภาพในที่แสงน้อยหรือเวลากลางคืนได้ดี แต่ก็ยังมีข้อเสียคือ ถ้ากำหนดสูงเกินไปจะเป็นการเร่งขยายและบันทึกสัญญาณภาพที่อ่อนมากๆ จนขยายสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า (Noise) ที่มีมาโดยปกติเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพ และอาจไม่สามารถแก้ไขปรับปรุงคุณภาพของภาพได้อีกด้วย

## 2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพ

สิทธิโชค ยอดระยับ (2550) ได้อธิบายถึง พื้นฐานของการประมวลผลภาพไว้ดังนี้คือ

### 2.5.1 การประมวลผลภาพถ่ายดิจิตอล (Digital Image Processing)

เรียกกันสั้นๆ ว่า Image Processing หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอน หรือกรรมวิธีใดๆ มากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัดที่มากขึ้น, การประหยัดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูล เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ของ Image Processing คือ

- Image Processing: Image In Image Out

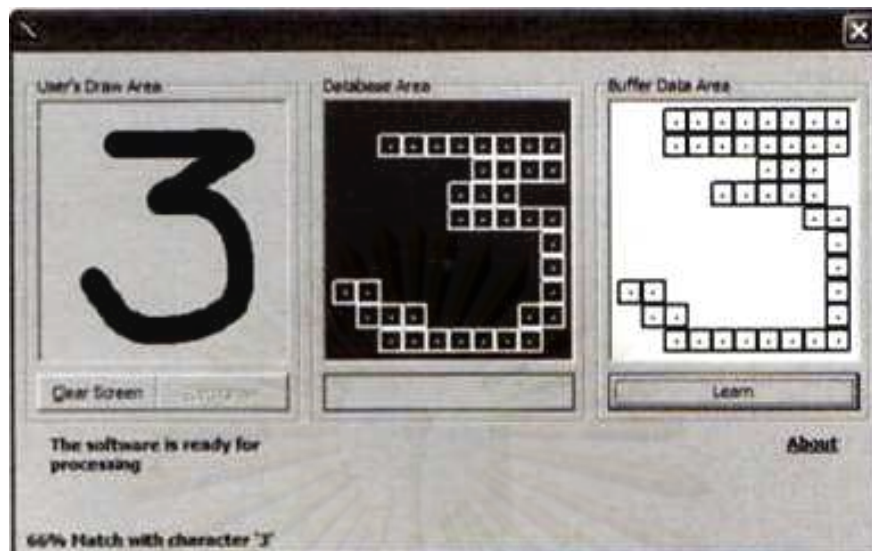
วิธีนี้จะใช้กระบวนการทาง DIP (Digital Image Processing) เพื่อให้ได้ภาพออกมา เช่น การตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม Photoshop เป็นต้น

- Image Analysis: Image In Measurement Out

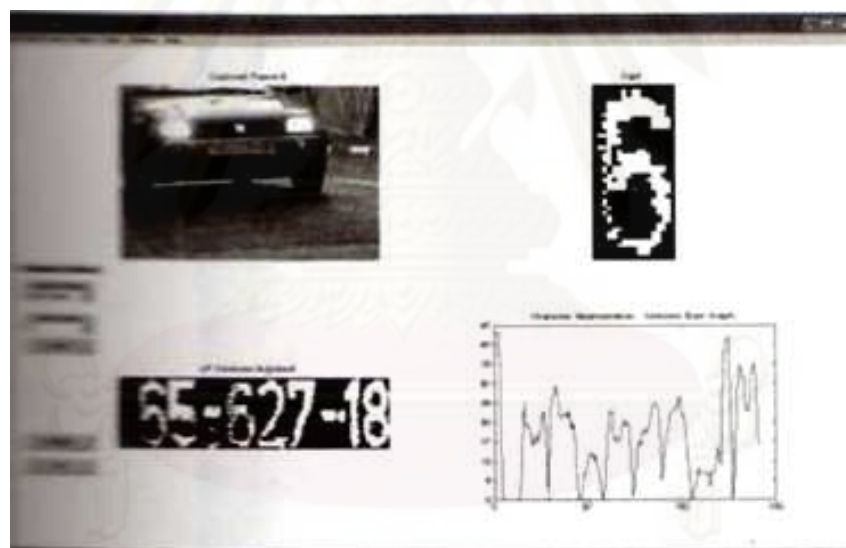
วิธีนี้จะใช้กระบวนการทาง DIP (Digital Image Processing) เพื่อให้ได้ค่าการวัดออกมา เช่น การวัดขนาดในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

- Image Understanding: Image In High-level Description Out

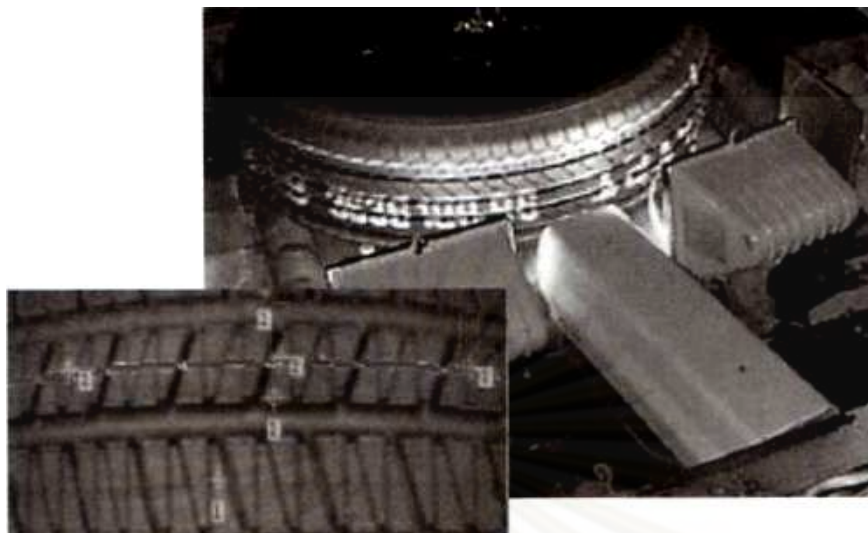
วิธีนี้จะใช้กระบวนการทาง DIP (Digital Image Processing) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความหมาย เช่น การจดจำตัวอักษร (Optical Character Recognition: OCR) ดังแสดงในรูปที่ 9 กับ 10, การพิจารณาดอกยางของยางล้อรถ ดังแสดงในรูปที่ 11 และการรู้จักและเข้าใจความหมายของภาพในรูปที่ 12 เป็นต้น





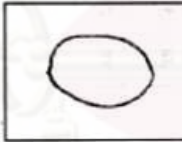

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างโปรแกรมประเภท OCR (Optical Character Recognition) โดยใช้ทฤษฎีเครือข่ายใยประสาท (Neural Network) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ



รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ (Real-Time License Plate Recognition)



รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการนำเอา Digital Image Processing มาใช้ในการตรวจสอบสภาพยางก่อนที่จะนำเข้ามาประกอบเข้ากับตัวรถของบริษัท GM (General Motors)

Input: image	Output: Interpretation (Description)
	 "KAISION"
	 "circle"

รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน Digital Image Processing เพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจความหมายของภาพหรือ Image Understanding

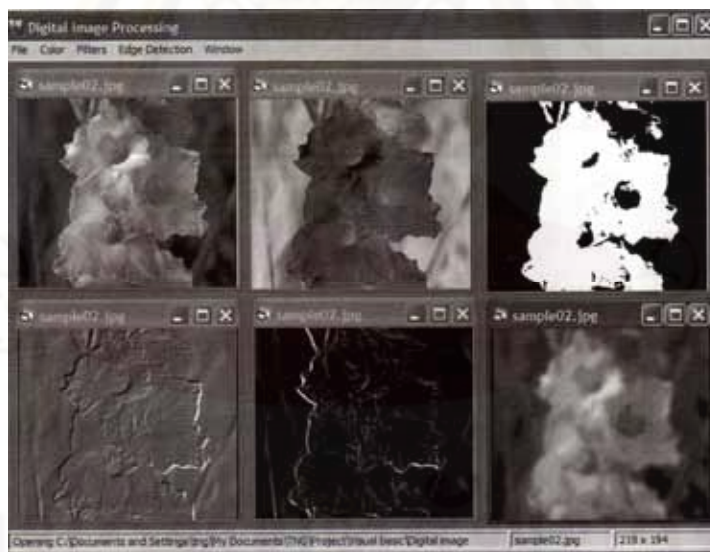
การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยนำภาพที่ได้มาจากกล้องหรือแหล่งกำเนิดภาพ (Image Source) ต่างๆ ซึ่งเป็นสัญญาณ Analog แล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นรหัสเชิงตัวเลข 0 กับ 1 (Binary) ที่สามารถใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ และการประมวลผลข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ได้

การประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ

- การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing)
- การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing)

- การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing)

เป็นการประมวลผลภาพขั้นแรกสุดก่อนที่จะนำไปสู่การประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป นั่นคือหลังจากที่เราได้ภาพมา ภาพที่ได้ก็จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ รวมถึงสิ่งที่ไม่ต้องการและสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้ภาพไม่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลได้ ดังนั้นการประมวลผลภาพระดับต่ำจึงประกอบไปด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction), การทำภาพให้ชัด (High Pass Filter), การหาขอบภาพ (Edge Detection), การแปลงภาพเป็นภาพไบนารี (Binary Image) และการแบ่งแยกรูปร่างวัตถุ (Image Segmentation) เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 13 เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ และนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป



รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างลักษณะของภาพ

ที่ถูกกระทำด้วยกระบวนการ Low Level Image Processing

- การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing)

เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จัก และเข้าใจภาพนั้นได้ เช่น การจดจำใบหน้าคน หรืออาจจะเป็นการจดจำตัวอักษร ดังตัวอย่างในรูปที่ 14 เป็นต้น ความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำ และระดับสูง คือข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผล โดยการประมวลผลระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่าง หรือความเข้มของแสงโดยตรง ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูง ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะถูกแสดงในรูปแบบของสัญลักษณ์โดยสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพ และการใช้ตัวแปรที่ได้จากการประมวลผลภาพระดับต่ำ มาอธิบายถึงสัญลักษณ์เหล่านี้ การประมวลผลภาพระดับสูงนั้นส่วนใหญ่มักจะใช้ทฤษฎีต่างๆ เข้ามาใช้เป็นตัวช่วยในการทำงาน เช่น Fuzzy Logic หรือเครือข่ายใยประสาท (Neural Network) เป็นต้น



รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างการประมวลผลภาพระดับสูง หรือ Face Detections

### 2.5.2 ภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผล

โดยทั่วไปแล้วภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้นแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลักๆ คือ

- 1) ภาพเคลื่อนไหว
- 2) ภาพสี หรือภาพนิ่ง

### 1) ภาพเคลื่อนไหว

ความจริงแล้วภาพเคลื่อนไหว คือ การนำภาพนิ่งมาแสดงติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการรับภาพทางสายตาของมนุษย์เมื่อนำภาพนิ่งมาฉายติดต่อกันมากกว่า 24 รูปต่อหนึ่งวินาทีแล้ว มนุษย์ก็จะมองภาพนั้นว่าเป็นการเคลื่อนไหวเพราะสายตาเราแยกไม่ออก เนื่องจากมีความเร็วมากเกินไป แต่หากนำภาพนิ่งมาฉายติดต่อกันน้อยกว่า 24 รูปต่อหนึ่งวินาทีแล้ว เราจะมองเห็นว่าภาพนั้นไม่ต่อเนื่อง

### 2) ภาพสี หรือภาพนิ่ง

ความหมายของภาพนิ่งก็คือมีอยู่ภาพเดียว ซึ่งภาพที่จะนำเข้ามาประมวลผลในคอมพิวเตอร์นั้นมีระบบสีหลายแบบ เช่น HSI, RGB และ Grayscale เป็นต้น ในระบบสีแบบ RGB จะประกอบไปด้วยความเข้มแสงของสีแต่ละสี คือ สีแดง (Red), สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ในการประมวลผลภาพโดยทั่วไปมักใช้ระบบสีแบบ HSI ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อสี (Hue), ความเข้มของสี (Saturation) และความเข้มแสงของสี (Intensity) โดยในการเลือกใช้ระบบสีนั้นจะแตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้ทำการประมวลผลภาพ นอกจากนี้ระบบสีสามารถแปลงกลับไปกลับมาโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ได้

ภาพนิ่งที่นำมาใช้มีอยู่หลายรูปแบบ (Format) ซึ่งแตกต่างกันไปตามการบีบอัดข้อมูลของภาพ เช่น BMP (Bitmap) หรือ JPEG (Joint Photographic Experts Group) เป็นต้น ในการเลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม โดยส่วนใหญ่จะเป็น BMP เพราะไม่ต้องถอดรหัสก่อน เนื่องจากภาพที่เป็น JPEG นั้นมีการบีบอัดภาพให้มีขนาดเล็ก ดังนั้นหากจะนำมาใช้จะต้องคลายข้อมูลออกมาก่อนที่จะนำภาพไปประมวลผลต่อไป แต่ในทางกลับกันภาพที่บีบอัดเป็น JPEG จะมีขนาดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลน้อยกว่ามาก



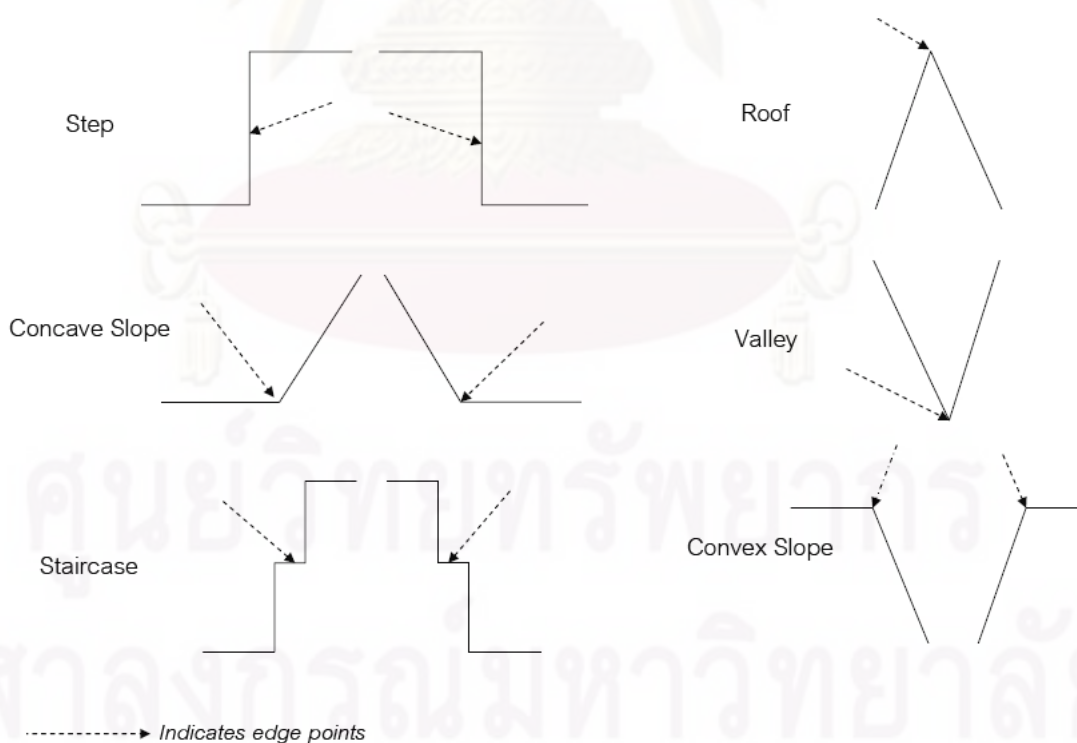
## 2.5.3 การหาขอบภาพ



รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างการหาขอบภาพ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

(ก) แสดงภาพระดับสีเทาขนาด  $9 \times 7$  พิกเซล (ข) แสดงตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงชัดเจน และ (ค) แสดงผลของภาพขอบที่หาได้จากจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง

การหาขอบ คือ กระบวนการของการระบุหรือบ่งบอกความไม่ต่อเนื่องที่ชัดเจนภายในภาพ ซึ่งบริเวณที่มีความแตกต่างของความเข้มแสงที่มาก (ดังแสดงในรูปที่ 15) ก็คือ ขอบภายในภาพ นั่นเอง ลักษณะรูปแบบที่ถูกจัดว่าเป็นขอบนั้น มีอยู่ 6 รูปแบบ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 แสดงลักษณะภายในภาพที่ถูกจัดว่าเป็นขอบ

กระบวนการหาขอบของวัตถุหรือรายละเอียดต่างๆภายในภาพถือว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งในการแยกคุณลักษณะของภาพออกมาก่อนจะนำไปหาข้อมูลหรือวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป จากอดีตจนถึงปัจจุบันอัลกอริทึมของการหาขอบได้ถูกพัฒนากันมากมาย โดยที่อัลกอริทึมที่มักนิยมนำมาใช้หาขอบ ได้แก่ Sobel (1968) และที่รู้จักกันดี คือ Canny (1986)

กระบวนการหาขอบถูกนำมาใช้ในกระบวนการหาหรือแยกคุณลักษณะในงานมากมาย เช่น การหาขอบของลายนิ้วมือ (ดังรูปที่ 17) หรือการหาขอบของวัตถุทั้งหมดในภาพก่อน (ดังรูปที่ 18) เป็นต้น ซึ่งหลังจากนั้นอาจจะนำเอาขอบที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลหรือนำไปแยกคุณลักษณะอีกทีหนึ่งตามความต้องการของผู้ทำกระบวนการ



รูปที่ 16 แสดงการหาลายนิ้วมือโดยวิธีการหาขอบอัลกอริทึมแบบ Canny



รูปที่ 17 แสดงการหาขอบของวัตถุทั้งหมดในภาพ

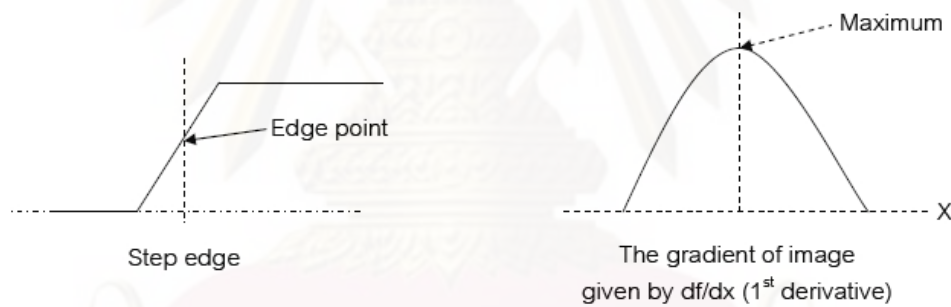
วิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักตามวิธีการทำ คือ Gradient method และ Laplacian method โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Gradient method

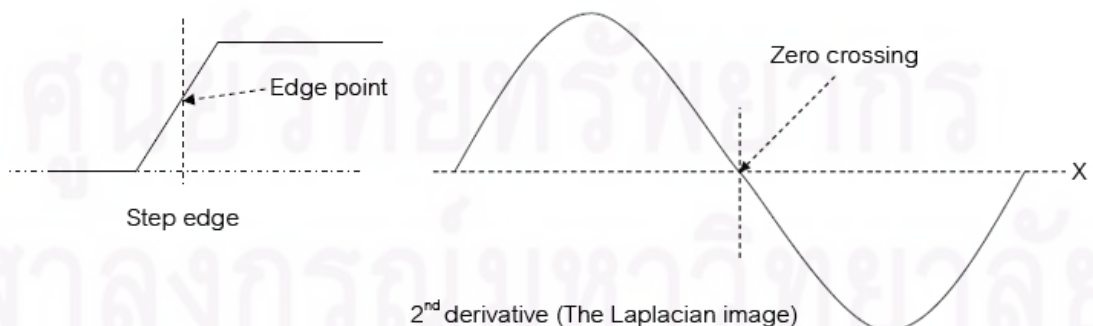
หาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel เป็นต้น ดังรูปที่ 19

- Laplacian method

หาขอบโดยการหาอนุพันธ์อันดับ 2 ของภาพโดยจุดที่ค่า  $y$  เท่ากับ 0 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าด้านบวกไปด้านลบหรือด้านลบไปด้านบวก (Zero crossing) ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น LoG (Laplacian of Gaussian) และ Marrs-Hildreth เป็นต้น ดังรูปที่ 20



รูปที่ 18 แสดงกระบวนการหาขอบโดย Gradient method

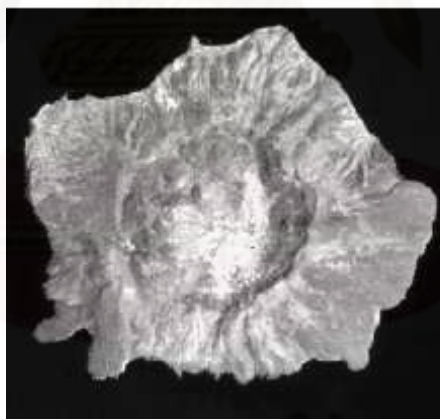


รูปที่ 19 แสดงกระบวนการหาขอบโดย Laplacian method

งานวิจัยนี้จะนำกระบวนการหาขอบมาใช้หาขอบของสัดส่วนผู้ถูกวัด และนำมาหาระยะห่างระหว่างขอบด้านหนึ่งไปยังสุดขอบของอีกด้านหนึ่ง โดยมีความต้องการจากผลของการหาขอบดังต่อไปนี้

1. ขอบที่ได้ต้องมีความใกล้เคียงกับขอบที่แท้จริงจากภาพให้มากที่สุด
2. ไม่มีขอบที่เกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise) ที่อยู่ในภาพถ่าย
3. สามารถแบ่งแยกผู้ถูกวัดออกจากฉากหลังได้ชัดเจน

จากการศึกษาของ Argialas และ Mavrantza เพื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมของการหาขอบแบบต่างๆ ได้แก่ Canny, Rothwell, Black, Susan, Iverson-Zucker, Bezdek, Edison และ Fitton and Cox โดย Argialas และ Mavrantza โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการหาขอบจากภาพของแต่ละอัลกอริทึมเหล่านี้ตามวิธีการของ Pratt (Abdou and Pratt, 1979) และ Rosenfeld (Kitchen and Rosenfeld, 1981) รูปที่นำมาใช้ในการหาขอบเป็นรูปภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม LANDSAT TM-5 ดังรูปที่ 21 รวมทั้งนำเอารูปถ่ายดังกล่าวไปทำ DEM (Digital Elevation Model) หรือการนำเสนอพื้นผิวของพื้นที่แบบดิจิทัล



รูปที่ 20 แสดงรูปถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการเปรียบเทียบโดย Argialas และ Mavrantza

จากการเปรียบเทียบแตกต่างกับขอบที่แท้จริงกับขอบที่ได้จากภาพมีความแม่นยำมากน้อยแค่ไหน มีผลที่ได้ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมตามกระบวนการทดสอบของ Pratt และ Rosenfeld

Algorithms	PRATT/ROSENFELD METRICS	PRATT/ROSENFELD
	ON LANDSAT TM-5	METRICS ON THE DEM
CANNY	0.4680 / 0.6263	0.4332 / 0.6494
ROTHWELL	0.4508 / 0.6529	0.4693 / 0.6318
BLACK	0.4773 / 0.5765	0.4642 / 0.6364
SUSAN	0.3171 / 0.6097	0.3068 / 0.8003
IVERSON-ZUCKER	0.4967 / 0.6297	0.2635 / 0.7357
BEZDEK	0.4428 / 0.6595	0.4286 / 0.7442
EDISON	0.4507 / 0.6379	0.4359 / 0.6513
FITTON-COX	0.3017 / 0.7858	0.3716 / 0.7824

Argialas และ Mavranta สรุปไว้ว่าอัลกอริทึมของการหาขอบแบบ Canny ให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมการหาขอบแบบอื่น โดยที่อัลกอริทึม Rothwell ทำงานได้ดีรองลงมา นอกจากนี้การหาขอบแบบ Canny เพราะเป็นอัลกอริทึมที่ได้ผลที่ดีที่สุด โดยมีข้อดีอยู่ 3 ข้อ ดังต่อไปนี้

- การตรวจจับที่ดี (Good Detection) คือ สามารถหาขอบที่แท้จริงได้มากเท่าที่สามารถจะทำได้ และขอบที่เป็นขอบที่แท้จริงจะมีโอกาสสูญหายไปน้อยที่สุดด้วย

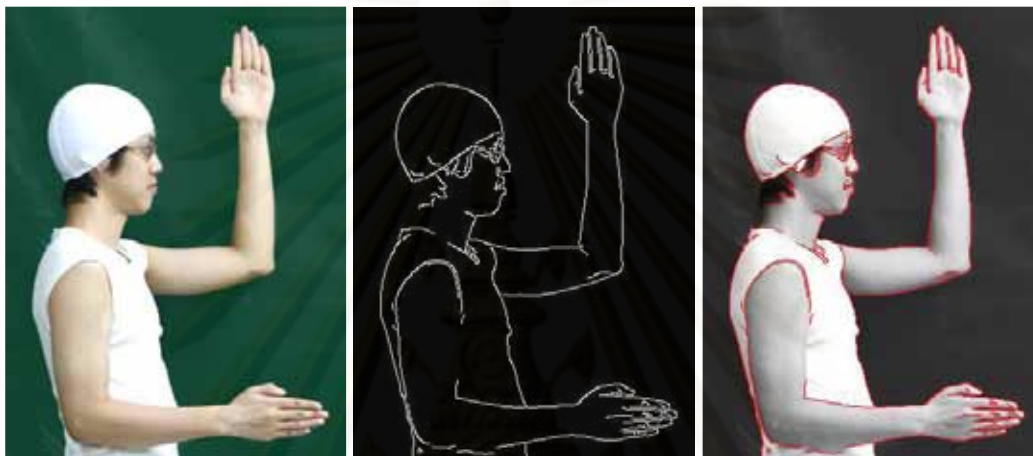
- การจำกัดวงที่ดี (Good Localization) คือ ขอบที่หาได้จะอยู่ใกล้เคียงกับขอบในภาพจริงมากที่สุด หรือหมายความว่าระยะห่างระหว่างขอบภาพที่ได้กับขอบที่แท้จริงมีค่าน้อยที่สุด

- การตอบสนองน้อยที่สุด (Minimal Response) คือ สิ่งที่ไม่ใช่ขอบจากภาพจริง เช่น สัญญาณรบกวน เป็นต้น ส่วนใหญ่จะไม่ถูกนำมาเป็นขอบของภาพ

นอกจากนี้วิธีการหาขอบแบบ Canny ยังให้ขอบที่มีขนาดบางและเล็กเมื่อเทียบกับวิธีการหาขอบแบบอื่นๆ คือ มีความหนาเพียง 1 พิกเซลเท่านั้น สำหรับส่วนที่

เป็นขอบที่หาได้ ซึ่งหมายความว่าวิธีการนี้มีอัตราความคลาดเคลื่อนต่ำ (Low error rates) ซึ่งเป็นข้อดีที่สุดที่ทำให้เหมาะสมต่อการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของภาพขอบที่ได้จากวิธีการหาขอบแบบ Canny โดยได้ใช้อุปกรณ์และฉากที่จัดเอาไว้ทดสอบ พบว่าการหาขอบแบบ Canny ให้ผลได้ตรงตามความต้องการของงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี คือ ได้ขอบที่ชัดเจนดังตัวอย่างในรูปที่ 22 ด้านล่าง



รูปที่ 21 การหาขอบแบบ Canny ในงานวิจัยนี้ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

(ก) แสดงภาพที่นำมาทดสอบ, (ข) แสดงภาพขอบที่หาได้โดยใช้วิธีการหาขอบแบบ Canny และ (ค) แสดงความถูกต้องของขอบโดยการนำขอบที่หาได้มาซ้อนทับกับภาพเดิม

#### 2.5.4 ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของ Canny (Canny Edge Detection Algorithm)

ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนตามลำดับดังต่อไปนี้

- 1) Smoothing with Gaussian filter
- 2) Gradient Calculation
- 3) Nonmaxima Suppression
- 4) Thresholding

การทำงานของ Canny edge detection นั้นเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) ก่อนเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่อาจทำให้เกิดขอบที่ไม่ต้องการได้ หลังจากนั้นจะคำนวณค่าขนาด

(magnitude) และทิศทาง (orientation) ของ gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ถัดมาจึงใช้ Nonmaxima Suppression กับขนาด (magnitude) ของ gradient เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนนี้สุดท้ายจะใช้ Double Thresholding Algorithm เพื่อหาพิกเซลที่เป็นขอบ และทำการเชื่อมต่อบริเวณ (Canny 1986 : 679-698 ; Green 2002 ) โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1) Smoothing with Gaussian filter

ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ Gaussian filter สามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian filter ดังสมการที่ 2.1

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] \times I[i, j] \quad (2.1)$$

กำหนดให้

$\sigma$	เป็น spread of the Gaussian (ควบคุมระดับของการปรับภาพให้เรียบ)
$I[i, j]$	เป็นภาพที่ต้องการหาขอบ
$G[i, j, \sigma]$	เป็น Gaussian smoothing filter
$S[i, j]$	เป็น smoothing image

### 2) Gradient Calculation

ในขั้นแรกนำ smoothing image  $S[i, j]$  จากขั้นตอนที่แล้วนำมาสร้าง partial derivatives ของ x หรือ  $P[i, j]$  และของ y หรือ  $Q[i, j]$  ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$P[i, j] = \frac{S[i, j+1] - S[i, j] + S[i+1, j+1] - S[i+1, j]}{2} \quad (2.2)$$

$$Q[i, j] = \frac{S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1]}{2} \quad (2.3)$$

หลังจากนั้นนำค่า  $x, y$  partial derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐาน สำหรับการแปลงรูปแบบจาก rectangular ไปเป็น polar (rectangular-to-polar conversion) เพื่อหาขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของ gradient ตามสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$M[i, j] = P[i, j]^2 + Q[i, j]^2 \quad (2.4)$$

$$O[i, j] = \arctan(Q[i, j] / P[i, j]) \quad (2.5)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม  $\theta$  ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน  $\arctan(x, y)$  และขนาด (Magnitude) ดังกล่าวยังเป็นตัวบ่งบอกความชัดเจนของขอบในแต่ละพิกเซลอีกด้วย

### 3) Nonmaxima Suppression

จุดมุ่งหมายของ Nonmaxima Suppression หรือการลดความหนาของขอบภาพ (Edge Thinning) คือ การลดความหนาของขอบให้เหลือเพียง 1 พิกเซลเท่านั้น ซึ่งจุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ และมีทิศทางเดียวกันกับ gradient ด้วย ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaxima Suppression จะได้ผลลัพธ์เป็นรูปภาพแบบไบนารี (Binary image) ที่ทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น local maxima points จะมีค่าเป็นศูนย์ และจุดอื่นๆจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง

### 4) Thresholding

แม้ว่าภาพจะผ่านการ smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงหรือขอบที่ต้องการปรากฏอยู่ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายและมีรายละเอียดมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดใช้ค่า threshold ขึ้นมา 2 ค่าเข้ามาช่วย (Double Threshold) คือ High Threshold (T1) และ Low Threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า threshold ทั้งสองนั้น การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง (Neighborhood Pixel) หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (พิกเซลที่เป็นขอบมีค่ามากกว่า T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นหนึ่งในขอบภาพด้วยเช่นกัน



การปรับค่า threshold นี้ ถ้าปรับให้ค่าต่ำเกินไปจะทำให้มีขอบภาพที่ไม่ต้องการหรือผิดพลาดเกิดขึ้น ในทางกลับกันถ้าปรับให้ค่ามากเกินไปจะทำให้ขอบภาพบางส่วนหายไปด้วย

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Haitao H., Zhizhong L., Jingbin Y., Xiaofang W., Hui X., Jiyang D. และ Li Z. (2005) ได้ศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุในเขตปักกิ่ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในการดำรงชีวิตที่เกี่ยวข้องกับผู้สูงอายุ อีกทั้งสามารถพัฒนาไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ในประเทศได้ด้วย โดยในการเก็บข้อมูลนั้นจะทำการวัดสัดส่วนร่างกายทั้งหมด 47 สัดส่วน และวัดสมรรถภาพอีก 3 แบบ ซึ่งทำการวัดผู้สูงอายุชายจำนวน 50 คน โดยมีอายุระหว่าง 65.2-85.1 ปี และผู้สูงอายุหญิงจำนวน 58 คน โดยมีอายุระหว่าง 65.0-80.7 ปี และนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบโดยแบ่งออกเป็นช่วงของอายุพบว่า สัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุในกลุ่มอายุ 65-69 ปี เทียบกับ 70-74 ปีนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในกลุ่มอายุ 70-74 ปี และ 75 ปีขึ้นไปพบว่ามีเพียงสัดส่วนร่างกายบริเวณสะโพกเท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Jinky L. (2006) ได้ทำการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายของคนงานชาวฟิลิปปินส์ จำนวน 1805 คน จาก 31 อุตสาหกรรม รวม 70 สัดส่วน ประกอบไปด้วยสัดส่วนต่างๆ ขณะยืน นั่ง สัดส่วนของมือ และเท้า รวมถึงความกว้าง และเส้นรอบวงของส่วนต่างๆ ในร่างกาย เพื่อนำค่าที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบสถานีทำงาน เครื่องป้องกันส่วนบุคคล อุปกรณ์เครื่องมือ ให้มีความปลอดภัย และเหมาะสมสำหรับคนงานชาวฟิลิปปินส์ อีกทั้งยังสามารถจำแนกถึงความแตกต่างของสัดส่วนร่างกายของคนชาวฟิลิปปินส์โดยการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ของต่างประเทศได้อีกด้วย

กฤษฎา กัลยศิริวิวัฒน์ และฐิติ กันตถาวร (2548) ได้ทำการศึกษา และพัฒนาระบบตรวจหา และอ่านทะเบียนรถยนต์ รวมถึงนำข้อมูลไปใช้ประมวลอีกด้วย โดยการทำงานนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ก็คือ ระบบในการตรวจหาบริเวณที่น่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถ และระบบที่ใช้ในการอ่านตัวอักษร และตัวเลขที่อยู่ในป้ายทะเบียนนั้น กระบวนการทำงานของโปรแกรมนี้ เริ่มจากการนำภาพถ่ายจากกล้องที่เป็นภาพสี 24 Bits (16,776,960 สี) มาแปลงให้เป็นภาพแบบ Grayscale (256 สี) แล้วจึงแปลงต่อให้เป็นภาพแบบไบนารี (2 สี =

ขาว และดำ) จากนั้นจึงทำการแยกภาพออกมาเป็นตัวอักษรที่เราต้องการโดยใช้วิธีจดจำรูปแบบด้วยเครือข่ายประสาท (Neural Network) เพื่อระบุหมายเลขทะเบียนรถ และแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ รวมถึงเก็บข้อมูลที่ได้ลงฐานข้อมูล

จาร์วี ฉันทสิทธิ์พิพร (2548) ได้ศึกษาวิธีการจำแนกชนิดยาเม็ดจากภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคเครือข่ายประสาท (Neural Network) เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบชนิดของยาเม็ด โดยใช้ระบบรู้จำภาพ ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ การประมวลผลภาพเบื้องต้นและการแบ่งส่วนภาพหาขอบเม็ดยาในภาพถ่าย การแยกคุณลักษณะทางรูปร่าง 5 คุณลักษณะ และคุณลักษณะทางสี 3 คุณลักษณะ รวมถึงคุณลักษณะภายใน เม็ดยา สุดท้ายจะเป็นการจำแนกชนิดยาเม็ดโดยใช้เครือข่ายประสาท (Neural Network) จำแนกรูปร่างโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณลักษณะทางรูปร่างที่แตกต่างกัน และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ร่วมกับคุณลักษณะทางสี และคุณลักษณะภายในเพื่อบอกถึงชนิดยาเม็ด จากผลการทดลองพบว่าอัลกอริทึมนี้ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกชนิดเม็ดยาได้สูงสุดร้อยละ 99.39

จิรภา ประยูรศักดิ์ (2549) ได้ทำการศึกษาพัฒนาระบบรู้จำตัวบุคคลโดยใช้ภาพถ่ายใบหู วัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางหนึ่งในการที่จะแสดงตัวบุคคลได้ โดยการถ่ายภาพเบื้องต้นของใบหูในการทดสอบ แปลงสนามแรงของภาพถ่ายใบหูให้เป็นลักษณะเด่นของภาพ แล้วจึงทำการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล การวัดประสิทธิภาพของระบบจะใช้วิธีการประเมินค่าความแม่นยำ พบว่าความแม่นยำของระบบการรู้จำใบหูของมนุษย์นั้น มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ดิสรณ์ นบธีรานุภาพ (2547) เสนอวิธีการหาความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด คือ ค่าที่บอกขนาดของการเบี่ยงเบนของผลที่วัดได้ โดยที่ค่าจริงของสิ่งที่เราต้องการวัดนั้นไม่สามารถวัดได้อย่างแน่นอน ดังนั้นค่าจริงที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ค่าจริงที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ยอมรับได้ในความไม่แน่นอนของค่านั้น ความไม่แน่นอนสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิด ชนิดแรก คือ ความไม่แน่นอนแบบสุ่ม (Random Uncertainty) ที่หาค่าของความสามารถวัดได้ซ้ำของขบวนการวัด และชนิดที่สองความไม่แน่นอนของระบบ (Systematic Uncertainty) ที่ระบุในคู่มือของเครื่องสอบเทียบมาตรฐาน, การสอบเทียบของเครื่องสอบเทียบมาตรฐาน และความละเอียดหรือความสามารถในการวัด นำค่าทั้งสองชนิดมาคำนวณเป็นค่ารวมของความไม่แน่นอน และใช้ค่ารวมที่ได้นี้ในช่วงความ

เชื่อมั่นที่ 95% เพื่อเป็นค่าที่ยอมรับได้ของอุปกรณ์ ซึ่งค่ารวมดังกล่าวยังทำให้ทราบความไม่แน่นอนในการวัด และความเที่ยงตรงแม่นยำของเครื่องมือวัดอีกด้วย

วรากร คำแก้ว (2543) ได้ศึกษาการประมวลผลภาพสำหรับการรู้จำลายนิ้วมือ โดยเริ่มจากการนำภาพที่ได้จากเครื่องอ่านภาพมาประมวลผลขั้นต้น เพื่อแยกบริเวณที่เป็นภาพฉากหลัง บริเวณที่มีคุณภาพต่ำ และบริเวณที่เป็นลายนิ้วมือออกจากกัน จากนั้นจะทำการปรับเพิ่มคุณค่าลายนิ้วมือ เพื่อให้ได้เส้นลายนิ้วมือเด่นชัดขึ้น หลังจากนั้นจะทำภาพให้เป็นขาวดำ และทำให้เป็นเส้นโครงร่าง เพื่อหาจุดรอยละเอียดบนนิ้วมือ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบจุดปลาย และแบบจุดสองง่าม เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบโดยใช้คุณลักษณะเฉพาะ โดยการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น ทำโดยใช้นิ้วมือที่แตกต่างกัน 10 นิ้วมือ โดยอ่านภาพนิ้วมือละ 10 ครั้ง และทำการวัดค่าอัตรายอมรับความผิดพลาดได้เป็น 0.111% จากการทดสอบ 9000 ครั้ง และอัตราปฏิเสธที่ผิดพลาดได้เป็น 4.667% จากการทดสอบ 900 ครั้ง

สมโชติ รัตนสุสติกุล และวัชรชัย ภูมรินทร์ (2545) ได้ศึกษาระบบการตรวจจับรอยแตกร้าวของแท่งอลูมิเนียมด้วยการประมวลผลภาพ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยระบบประมวลผลภาพสีที่มีความละเอียด 500\*480 พิกเซล และทำการให้แสงทางอ้อมแก่ชิ้นงาน เพื่อลดแสงสะท้อนบางส่วนที่เกิดจากการให้แสงทางตรงแก่ชิ้นงาน โดยการสร้างกล่องให้แสงที่ประกอบด้วยหลอด ควอทซ์ฮาโลเจนจำนวน 2 หลอด และชุดควบคุมความสว่าง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถตรวจจับรอยแตกร้าวได้ จึงเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ออกแบบ และสร้างเครื่องจักรที่ทำหน้าที่คัดแยกอลูมิเนียมที่มีรอยแตกร้าวก่อนเข้ากระบวนการผลิตได้

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2524-2544) ได้ร่วมมือกับบริษัท ไทยวาโก้ จำกัด (มหาชน) และบริษัทไนเคอริโอ จัดทำโครงการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทยจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งหมด 4 ระยะ อันประกอบไปด้วย ระยะที่ 1 (2524-2528) ระยะที่ 2 (2529-2533) ระยะที่ 3 (2536-2537) ระยะที่ 4 (2543-2544) ซึ่งในระยะที่ 4 ได้ดำเนินการสำรวจสัดส่วนร่างกายของเด็กหญิงไทย 129 สัดส่วน เด็กชายไทย 121 สัดส่วน หญิงไทย 142 สัดส่วน และชายไทย 144 สัดส่วน รวมเป็นจำนวนทั้งหมด 13,347 คน และได้ใช้อุปกรณ์แอนโทโรมิเตอร์ในการวัด โดยนำผลการสำรวจเสนอเป็น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ที่ 10 ที่ 25 ที่ 50 ที่ 75 ที่ 90 และ

ที่ 95 วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างร่างกาย รวมถึงพัฒนาการ และการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างร่างกายของคนไทยในสภาวะปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบ รวมถึงปรับปรุง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ ให้มีขนาด และความเหมาะสมกับร่างกาย และการใช้ งานมากยิ่งขึ้น

ศรียรินทร์ ชมพูศรี (2547) ได้ทำการศึกษานาตสดส่วนร่างกายเบื้องต้นของหญิงไทย ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวน 36 สัดส่วนตามแบบมาตรฐานของ Pheasant (1986) รวมทั้งวัด ระยะจากพื้นนึ่งถึง L-1 และ L-5 โดยใช้อุปกรณ์ Harpenden Anthropometry ในการวัด ซึ่งผู้ ถูกทดสอบทั้งหมดมีสุขภาพ และขนาดร่างกายปกติ โดยทำการสุ่มจากคนงานหญิงที่ทำงาน ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวน 200 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง และน้ำหนักเป็น 31.04 ( $\pm 7.8$ ) ปี 156.88 ( $\pm 6.39$ ) เซนติเมตร และ 54.41 ( $\pm 9.04$ ) กิโลกรัม จากการศึกษา พบว่า หญิงไทยมีแนวโน้มขนาดร่างกายโตขึ้นกว่าในอดีตอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อนันต์ ดันทุสูกิจวณิช (2546) ได้ทำการศึกษานาตสดส่วนร่างกายเบื้องต้นของ ชายไทยในอุตสาหกรรมเป็นจำนวน 36 สัดส่วนตามแบบมาตรฐานของ Pheasant (1986) รวมทั้งวัดระยะจากพื้นนึ่งถึง L-1 และ L-5 โดยใช้อุปกรณ์ Harpenden Anthropometry ใน การวัด ซึ่งผู้ถูกทดสอบทั้งหมดมีสุขภาพ และขนาดร่างกายปกติ โดยทำการสุ่มจากคนงานชาย ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวน 200 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง และ น้ำหนักเป็น 27.5 ( $\pm 7.9$ ) ปี 165.9 ( $\pm 6.6$ ) เซนติเมตร และ 61.6 ( $\pm 12.7$ ) กิโลกรัม จาก การศึกษาพบว่า หญิงไทยมีแนวโน้มขนาดร่างกายโตขึ้นกว่าในอดีตอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง นำมาประยุกต์เป็นขั้นตอนและวิธีการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมให้ใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์ นอกจากนี้ยังให้ข้อมูลดังกล่าวกำหนดถึงเงื่อนไขในการทำงาน และการสร้างกระบวนการวัดที่เหมาะสมขึ้น

#### 3.1 การออกแบบพัฒนาโปรแกรม และกระบวนการวัด

##### 3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้

###### 1) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล และขาตั้งกล้อง

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัลประเภท SLR (Single Lens Reflex) ยี่ห้อ Canon รุ่น 350D และเลนส์กล้องยี่ห้อ Tamron รุ่น 28-75 มิลลิเมตร โดยทำการเลือกไฟล์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายดิจิทัลเป็น JPEG ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 22 แสดงกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

## 2) เก้าอี้ปรับระดับได้

สามารถปรับระดับความสูงขณะนั่งได้ เพื่อให้ผู้ถูกวัดตั้งขาได้ฉากที่ข้อพับ ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 แสดงเก้าอี้ปรับระดับความสูงขณะนั่ง

## 3) ฉากหลัง และพื้นปูยีนสีเขียว

กำหนดให้ฉากหลัง และพื้นปูยีนเป็นสีเขียวล้วน โดยมีขนาดที่ครอบคลุมกับท่าที่ต้องการวัด โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ความสูงที่ระดับ 2.4 เมตร และมีความกว้าง 3.2 เมตร เนื่องจากเราได้ใช้การจับขอบภาพเป็นวิธีการหลักในการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นรอยยับหรือรอยย่นของฉากหลังจึงไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการวัดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 24

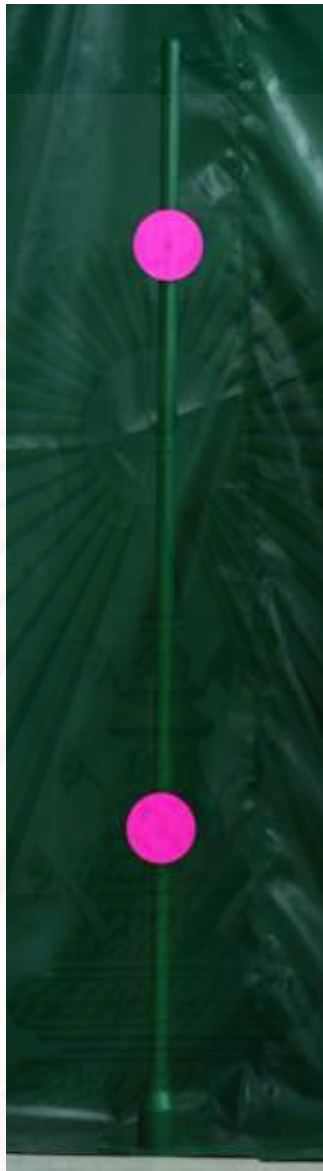


รูปที่ 24 แสดงฉากหลัง และพื้นปูยีนสีเขียว

#### 4) อุปกรณ์อ้างอิงขนาด

อุปกรณ์อ้างอิงขนาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นเสาที่มีความสูง 1.8 เมตร โดยมีแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ติดตั้งที่เสาโดยมีระยะห่างระหว่างวงกลมทั้ง 2 เป็นระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 25 แสดงอุปกรณ์อ้างอิงระยะ

#### 5) หมวกคลุมผมว่ายน้ำ

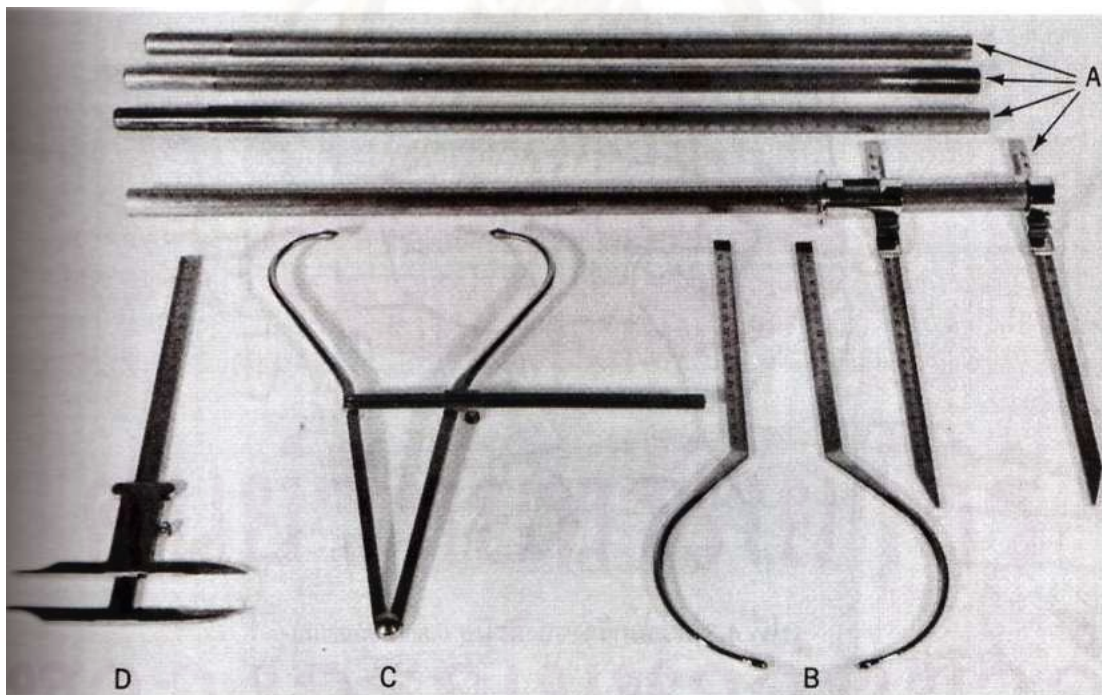
ให้ผู้ถูกวัดใส่หมวกคลุมผมว่ายน้ำที่มีสีแตกต่างกับสีของฉากหลังชัดเจน เพื่อให้สามารถแยกส่วนที่เป็นศีรษะได้ง่าย เนื่องจากผมของผู้ถูกวัดที่มีสีดำ ซึ่งมีความใกล้เคียงสีของฉากหลังมากเกินไป (ฉากหลังเป็นสีเขียวเข้ม) ในงานวิจัยได้เลือกใช้หมวกคลุมผมว่ายน้ำสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 26





รูปที่ 26 แสดงลักษณะการสวมใส่หมวกคลุมผมว่ายน้ำในการวิจัยนี้

6) เครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 แสดงเครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

### 3.1.2 เงื่อนไข และการจัดทำทางของผู้เข้าทำการหาขนาดสัดส่วน

ก) เงื่อนไขของผู้เข้าทำการหาขนาดสัดส่วน

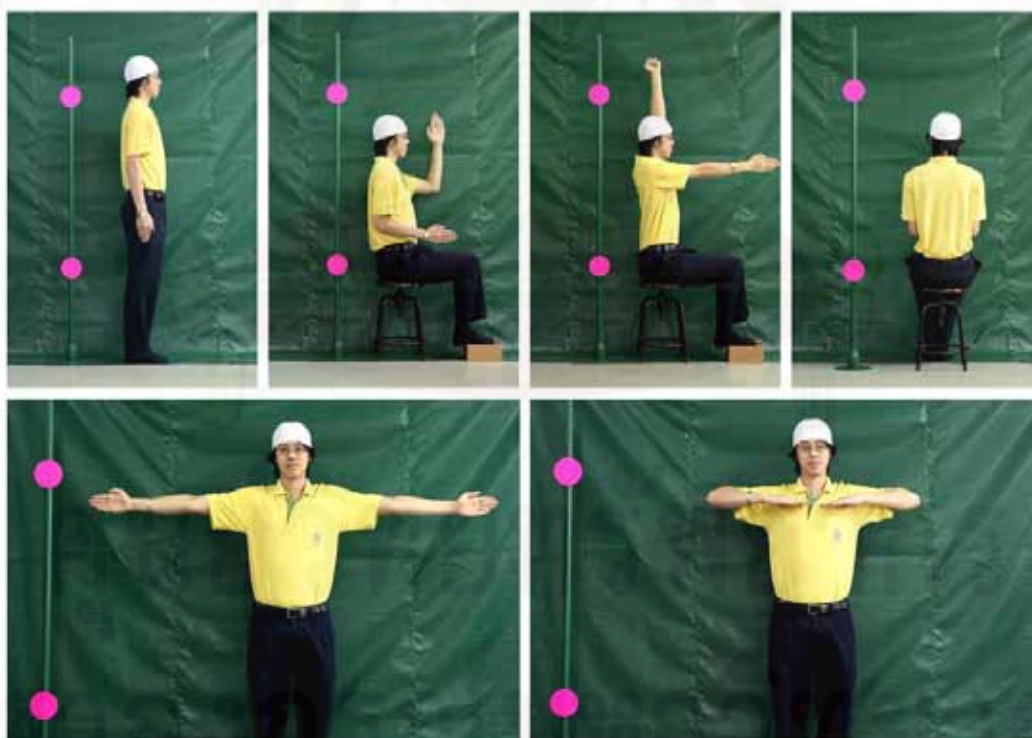
กำหนดให้ผู้ถูกวัดสวมหมวกคลุมผมว่ายน้ำสีขาว และเครื่องแต่งกายด้วยชุดที่รัดกุมพอดีกับร่างกายที่สุด โดยสีของเครื่องแต่งกายต้องแตกต่างกับพื้นฉากหลัง และพื้นปูยีน และมีร่างกายปกติ ไม่พิการหรือทุพพลภาพ

ข) การจัดทำทางของผู้เข้าทำการหาขนาดสัดส่วน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

- การจัดทำทางสำหรับการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย โดยอ้างอิงการจัดทำทางในสัดส่วนต่างๆ จากมาตรฐานการหาขนาดสัดส่วนร่างกายของ Pheasant (1986) ดังแสดงในภาคผนวก ก

- การจัดทำทางสำหรับการเก็บข้อมูลโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัล เนื่องจากในงานวิจัยนี้ทำการอ้างอิงจากงานวิจัย Pheasant ดังนั้นการจัดทำทางก็ทำเช่นเดียวกันกับมาตรฐานการหาขนาดดังกล่าว แต่เนื่องจากผู้ถูกวัดเป็นอาสาสมัคร จึงได้ปรับเปลี่ยนและผสมทำทางมาตรฐานเดิมเข้าด้วยกัน เพื่อให้สะดวกต่อผู้ถูกวัดทางด้านเวลาเป็นหลัก

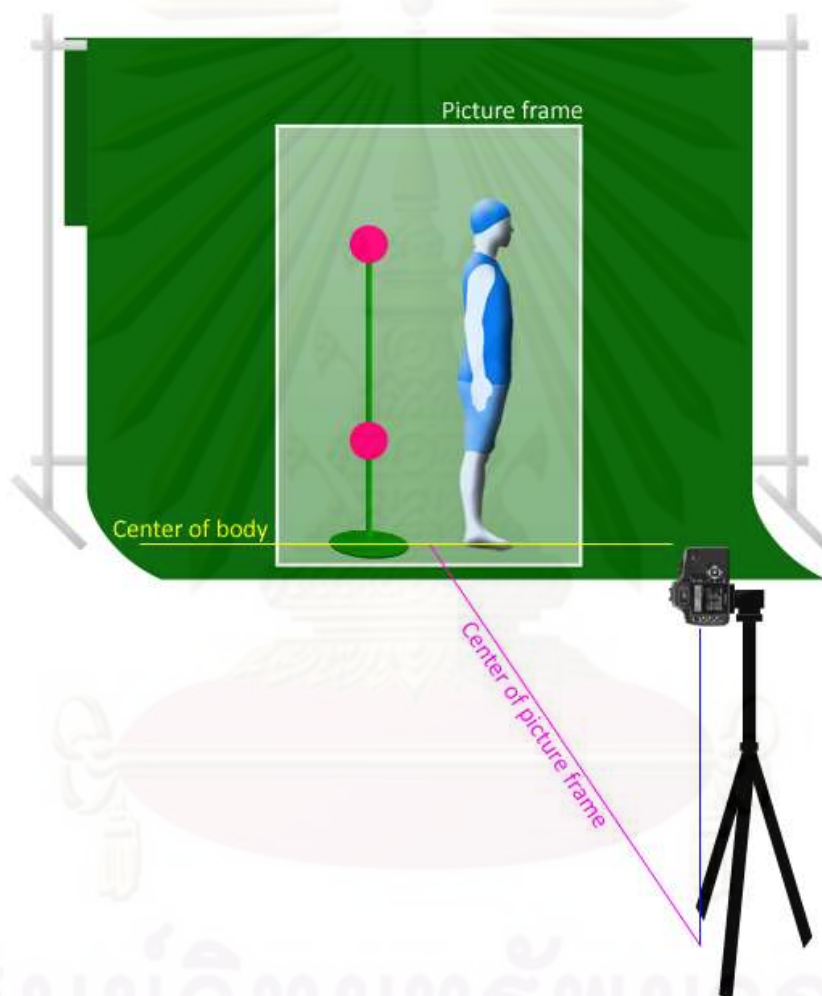
โดยกำหนดให้สัดส่วนที่ต้องการหาขนาดอยู่ในระนาบเดียวกันกับอุปกรณ์อ้างอิงหรือใกล้เคียงที่สุดในกรณีที่ผสมทำทางในการถ่ายภาพ



รูปที่ 28 แสดงการจัดทำทางในการถ่ายภาพ โดยอ้างอิงจากงานวิจัย Pheasant

### 3.1.3 การติดตั้ง และจัดวางอุปกรณ์

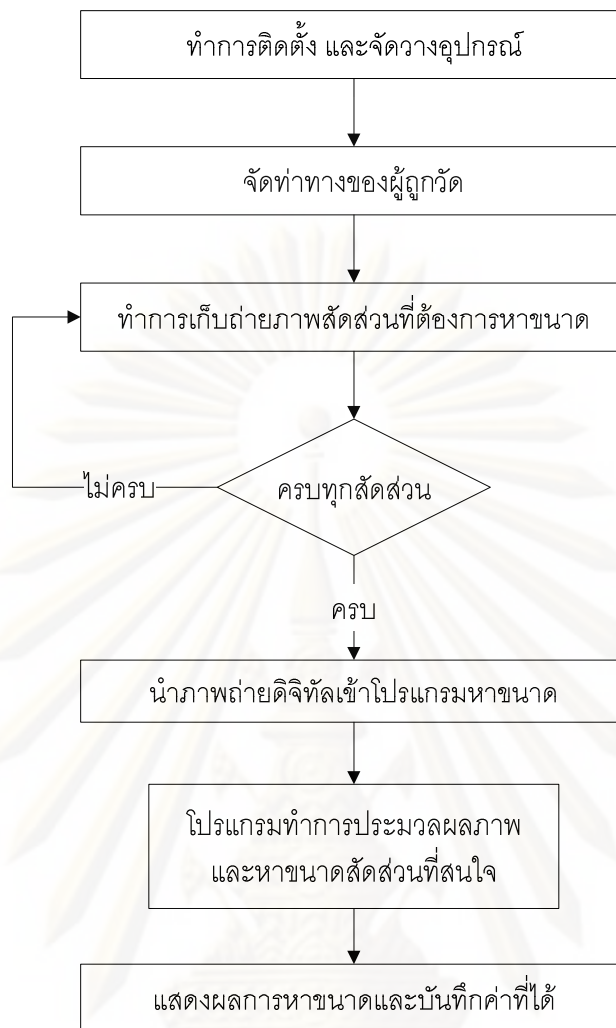
กำหนดให้ตำแหน่งของอุปกรณ์ทั้งหมดวางในตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 29 โดยกำหนดให้ผู้ถูกวัดยืนหรือนั่งอยู่กึ่งกลางของฉากหลัง และห่างจากฉากหลังประมาณ 30 เซนติเมตร อุปกรณ์อ้างอิงระยะกำหนดให้วางอยู่ในระนาบเดียวกันสัดส่วนที่ต้องการหาขนาด หรือกึ่งกลางที่สุดในกรณีที่มีการวัดสัดส่วนหลายๆ สัดส่วนในภาพถ่ายเดียวกัน การวางกล้องกำหนดให้วางโดยให้กรอบของภาพครอบคลุมผู้ถูกวัด และอุปกรณ์อ้างอิงระยะ



รูปที่ 29 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ทั้งหมด

### 3.1.4 ขั้นตอนการดำเนินการหลัก

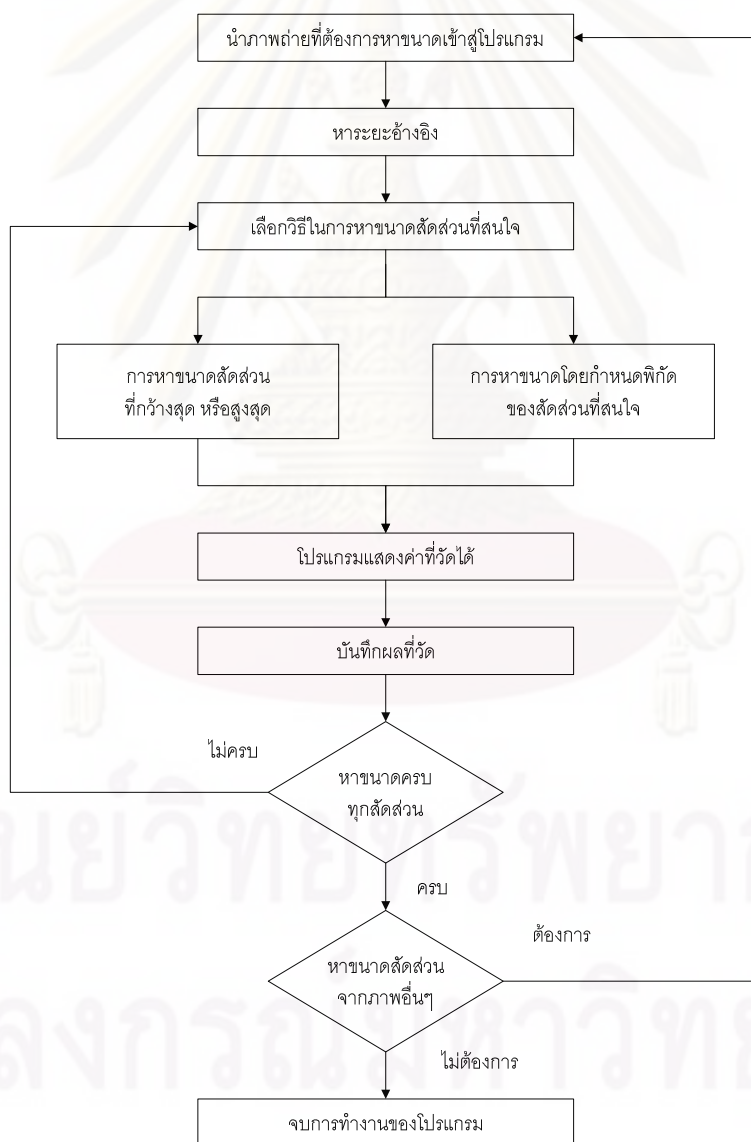
ในขั้นตอนนี้เป็นการดำเนินการโดยรวมของกระบวนการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยเทคนิคในงานวิจัยนี้ดังแสดงในรูปที่ 30



รูปที่ 30 แสดงภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการหลักของการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยใช้โปรแกรมหาขนาด

### 3.1.5 กระบวนการทำงานของโปรแกรม

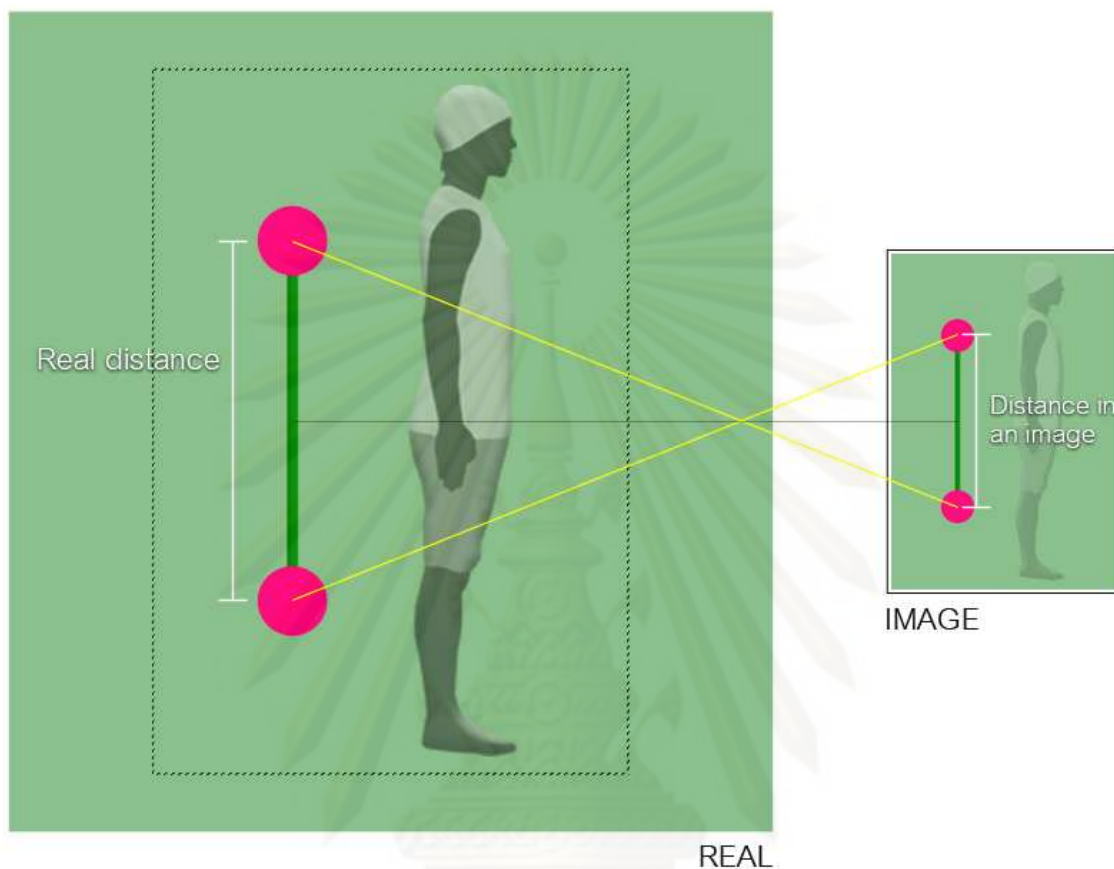
นำภาพถ่ายดิจิทัลที่ได้มาเข้าโปรแกรม โปรแกรมหาระยะอ้างอิงจากอุปกรณ์อ้างอิงที่อยู่ในภาพเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงของวงกลมอ้างอิงหน่วยเซนติเมตรกับระยะห่างของวงกลมอ้างอิงที่อยู่ในภาพหน่วยพิกเซล แล้วนำมาใช้คำนวณหาอัตราส่วน เลือกสัดส่วนที่ต้องการหาจากในภาพ เลือกวิธีการหาขนาดสัดส่วนร่างกาย ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี คือ การหาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุด หรือสูงที่สุด กับการหาขนาดสัดส่วนร่างกายที่สนใจ จากนั้นโปรแกรมหาขนาดของสัดส่วนดังกล่าวเป็นจำนวนพิกเซล และนำค่าพิกเซลที่วัดได้มาคำนวณเป็นค่าที่วัดได้จากภาพ (เซนติเมตร) โดยใช้อัตราส่วนของระยะห่างข้างต้น แล้วบันทึกผลค่าที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 31 (รายละเอียดเพิ่มเติมในการทำงานของโปรแกรมอยู่ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 31 แสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม

### 3.1.6 ขั้นตอนการหาระยะอ้างอิง

การหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างที่เกิดขึ้นในภาพ



รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างภาพจริงกับภาพที่เกิดขึ้น

การหาอัตราส่วนในงานวิจัยนี้ ได้ใช้อุปกรณ์วงกลมที่มีสีแตกต่างกับฉากหลังชัดเจนมาใช้สำหรับเป็นตัวบอกตำแหน่ง 2 จุด เพื่อนำมาหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างที่เกิดขึ้นในภาพของจุดกึ่งกลางของวงกลมบอกตำแหน่งทั้งสองวง อัตราส่วนดังกล่าวสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1 มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อพิกเซล

$$Ratio = \frac{D_r}{D_i} \quad (3.1)$$

โดยที่  $Ratio$  = อัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างที่เกิดขึ้นในภาพ

$D_r$  = ระยะห่างจริง

$D_i$  = ระยะห่างที่เกิดขึ้นในภาพ

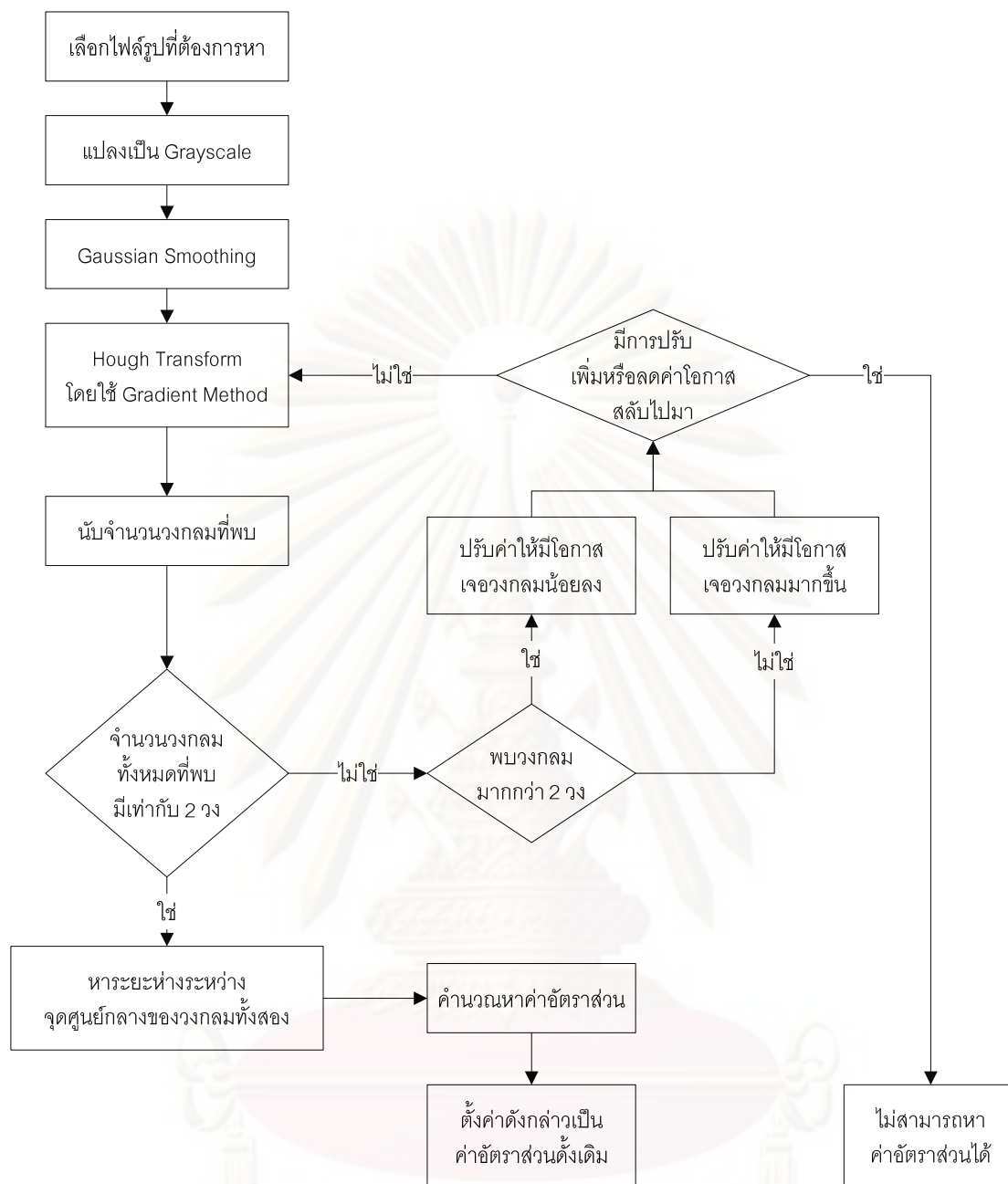
อัตราส่วนดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาระยะที่แท้จริงจากภาพได้ ตัวอย่างเช่น มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างในภาพเท่ากับ 0.05 เซนติเมตร ต่อพิกเซล และระยะในภาพเป็น 1000 พิกเซล ระยะที่คำนวณได้จากภาพเท่ากับ  $0.05 \times 1000$  ซึ่งก็คือ 50 เซนติเมตร เป็นต้น

การหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะในภาพสามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบอัตโนมัติ และโดยตนเอง ในการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ โปรแกรมสามารถหาอัตราส่วนจากภาพได้เอง แต่ในกรณีที่คุณภาพของภาพไม่เพียงพอต่อการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถใช้กระบวนการหาอัตราส่วนโดยตนเองอีกทางหนึ่ง เพื่อให้โปรแกรมสามารถหาอัตราส่วนได้ถูกต้อง

- กระบวนการการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ (Auto)

เมื่อเลือกภาพที่ต้องการนำมาหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างในภาพของตัวบอกตำแหน่งทั้งสองแล้ว มีขั้นตอนการหาดังแสดงในรูปที่

33



รูปที่ 33 ขั้นตอนการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ (Auto)

ในขั้นตอนแรก โปรแกรมได้แปลงภาพที่นำเข้ามาให้กลายเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) ก่อน แล้วจึงนำไปทำปรับภาพเรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อปรับให้ภาพมีสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการลดน้อยลงก่อน แล้วถึงทำ Hough Transform เพื่อหาจุดสำคัญต่างๆที่เกิดในภาพ โดยวิธีหาขอบของภาพด้วย Gradient Method ออกมาก่อน



การหาวงกลมด้วย Hough Transform สามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของเส้นตรงระหว่างจุดทุกจุดในภาพ และนำเอาเส้นตรงทั้งหลายนั้นมาซ้อนทับกันเพื่อหาจุดศูนย์กลางที่สว่างที่สุด โดยจุดที่สว่างนั้น คือ จุดศูนย์กลางของวงกลม

เมื่อได้จำนวนวงกลมออกมา โดยจำนวนของวงกลมที่เราต้องการ คือ 2 วงเท่านั้น ซึ่งในกรณีที่มีจำนวนวงกลมมากกว่าที่ต้องการจะปรับค่า Threshold สำหรับจุดศูนย์กลางวงกลมที่พบ และค่า Threshold ในการช่วงการทำงานของการหาขอบภาพแบบ Gradient Method ให้มากขึ้นเองอัตโนมัติ ซึ่งค่า Threshold ทั้งสองที่มากขึ้นทำให้พบวงกลมในภาพน้อยลง ในทางกลับกัน ถ้าพบวงกลมน้อยกว่าที่ต้องการลดค่า Threshold ทั้งสองลง มาอัตโนมัติ โดยค่าที่น้อยที่สุดและมากที่สุดมีขอบเขตที่จำกัด ซึ่งอาจไม่สามารถหาวงกลมได้ 2 วงอย่างถูกต้องก็ได้

เมื่อหาวงกลมบอกตำแหน่งในภาพได้ 2 วงแล้ว โปรแกรมหาระยะห่างระหว่างวงกลมทั้งสองออกมาโดยใช้สมการเส้นตรงดังสมการที่ 3.2 เพื่อหาระยะห่างออกมาเป็นหน่วยพิกเซล และทำการหาอัตราส่วนตามปกติต่อไป

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (3.2)$$

โดยที่

$d$  = ระยะห่างระหว่างสองจุด

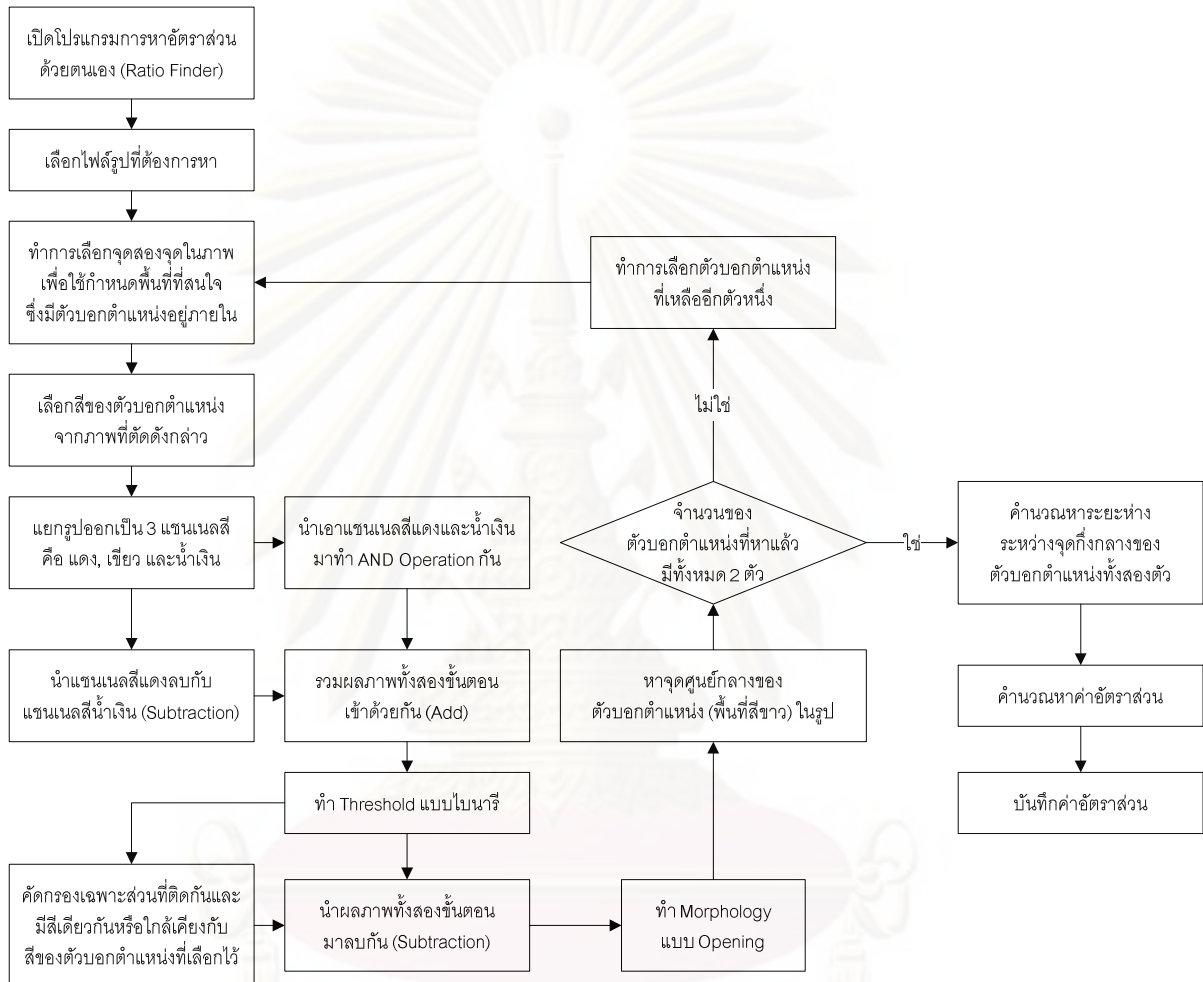
$(x_1, y_1)$  และ  $(x_2, y_2)$  คือ พิกัดของจุดที่หนึ่งและสอง ตามลำดับ



รูปที่ 34 ตัวอย่างภาพของการหาตัวบอกตำแหน่งวงกลม, จุดศูนย์กลาง และระยะห่างระหว่างกัน

- กระบวนการการหาอัตราส่วนโดยตนเอง (Manual)

เมื่อทำการเลือกภาพที่ต้องการนำมาหาอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างในภาพของตัวบอกตำแหน่งทั้งสองแล้ว มีขั้นตอนการหาดังแสดงในรูปที่ 35



รูปที่ 35 ขั้นตอนการหาอัตราส่วนโดยตนเอง (Manual)

เริ่มแรกให้ทำการตัดหรือเลือกเฉพาะบริเวณที่มีตัวบอกตำแหน่งอยู่ภายใน เช่น ตัวอย่างภาพในรูปที่ 36 (ก) และผู้ใช้ต้องทำการคัดเลือกสีของตัวบอกตำแหน่งจากภาพที่ตัดมานั้นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการตั้งค่าสีของตัวบอกตำแหน่งให้กับโปรแกรมทราบ



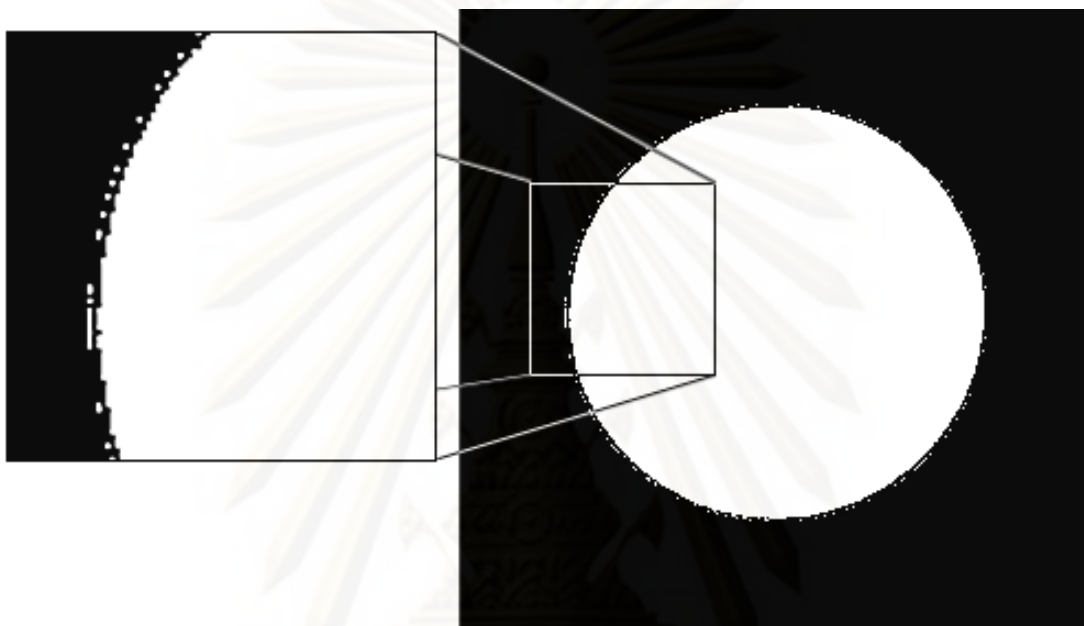
รูปที่ 36 แสดงภาพต้นฉบับ และภาพสีของแต่ละแชนเนลสี (จากซ้ายไปขวา)  
 (ก) รูปต้นฉบับของตัวบอکت่าแหน่ง, (ข) แสดงภาพสีของแชนเนลสีแดง, (ค) แสดงภาพสีของ  
 แชนเนลสีเขียว และ (ง) แสดงภาพสีของแชนเนลสีน้ำเงิน

เมื่อทำการเลือกบริเวณและตั้งค่าสีเรียบร้อยแล้ว การแยกภาพตัวบอکت่าแหน่งดังกล่าวออกเป็น 3 แชนเนลสี ซึ่งก็คือ แชนเนลสีแดง (Red Channel), แชนเนลสีเขียว (Green Channel) และแชนเนลสีน้ำเงิน (Blue Channel) และนำเอาแชนเนลสีแดงกับแชนเนลสีน้ำเงินมาเข้ากระบวนการสองกระบวนการ คือ การดำเนินการลอจิก AND และการลบ (Subtraction) ซึ่งภาพที่ได้จะไม่มีแชนเนลสีเขียวที่เป็นสีหลักของฉากหลังเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีผลลัพธ์ดังรูปที่ 31 แล้วนำเอาภาพผลลัพธ์ของทั้งสองกระบวนการมาบวก (Addition) กัน ซึ่งผลทำให้ตัวบอکت่าแหน่งมีความเข้มของสีชัดเจนมากกว่าส่วนอื่นในภาพ ได้แก่ เสาตัวบอکت่าแหน่งและฉากหลัง ดังรูปที่ 31 (ค)



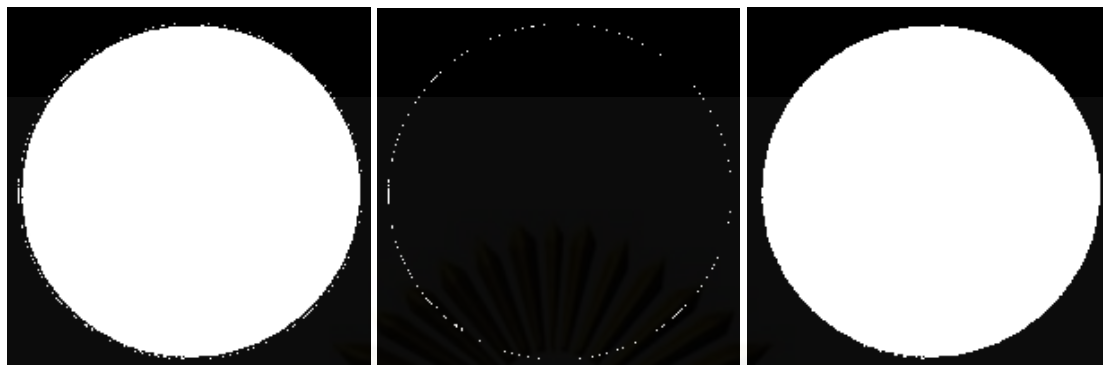
รูปที่ 37 แสดงผลลัพธ์กระบวนการแยกแชนเนลสี (จากซ้ายไปขวา)  
 (ก) ผลลัพธ์ของ AND Operation ระหว่างแชนเนลสีแดงและสีน้ำเงิน, (ข) ผลลัพธ์เมื่อนำแชนเนลสีแดงลบด้วยแชนเนลสีน้ำเงิน และ (ค) ผลลัพธ์ของภาพ (ก) บวกกับภาพ (ข)

จากนั้นนำมาหาค่าความเข้มของสีส่วนใหญ่ในรูป และเอาค่าดังกล่าวมาใช้เป็นค่าพื้นฐาน เพื่อนำมาเทียบเคียงกับค่าสีของตัวบอกระดับที่เราเลือกเอาไว้ตั้งแต่ต้น เพื่อใช้ในการทำ Binary Threshold กับภาพ ซึ่งภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นเฉพาะสีขาวและสีดำเท่านั้น (ประกอบไปด้วยค่า 0s และ 1s เท่านั้น) ดังรูปที่ 38 โดยภาพที่ได้นั้นมีลักษณะของจุดหรือเส้นที่อยู่รอบนอกวงกลมที่ไม่ต้องการอยู่



รูปที่ 38 แสดงภาพผลจากการทำ Binary Threshold และส่วนขยายแสดงจุดหรือเส้นที่ไม่ต้องการรอบๆวงกลม

จุดหรือเส้นเล็กๆ ที่ไม่ต้องการรอบๆ วงกลมดังกล่าวนี้ มีผลทำให้การหาจุดศูนย์กลางของวงกลม เพื่อนำไปใช้หาระยะห่างระหว่างตัวบอกระดับคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงต้องทำการให้วิธีหาส่วนที่อยู่ติดกัน (Connected Component) ของวงกลมสีขาว และทำการ Floodfill ลงไป เพื่อให้ได้เฉพาะส่วนที่อยู่รอบๆที่ไม่ต้องการออกมาก่อน ดังรูปที่ 39 (ข) แล้วจึงทำการกรองเอาเฉพาะวงกลมจริงๆออกมา โดยใช้ภาพผลลัพธ์จากการทำ Binary Threshold มาลบกับภาพที่ทำการ Floodfill ลงไปใน Connected Component ภาพผลลัพธ์ที่ได้เป็นดังรูปที่ 33 ด้านล่าง



รูปที่ 39 แสดงการหาวงกลม (จากซ้ายไปขวา)

(ก) ภาพผลจากการทำ Binary Threshold, (ข) ภาพผลจากการ Floodfill ลงใน Connected Component และ (ค) ผลลัพธ์จากการนำภาพ (ก) ลบด้วยภาพ (ข)

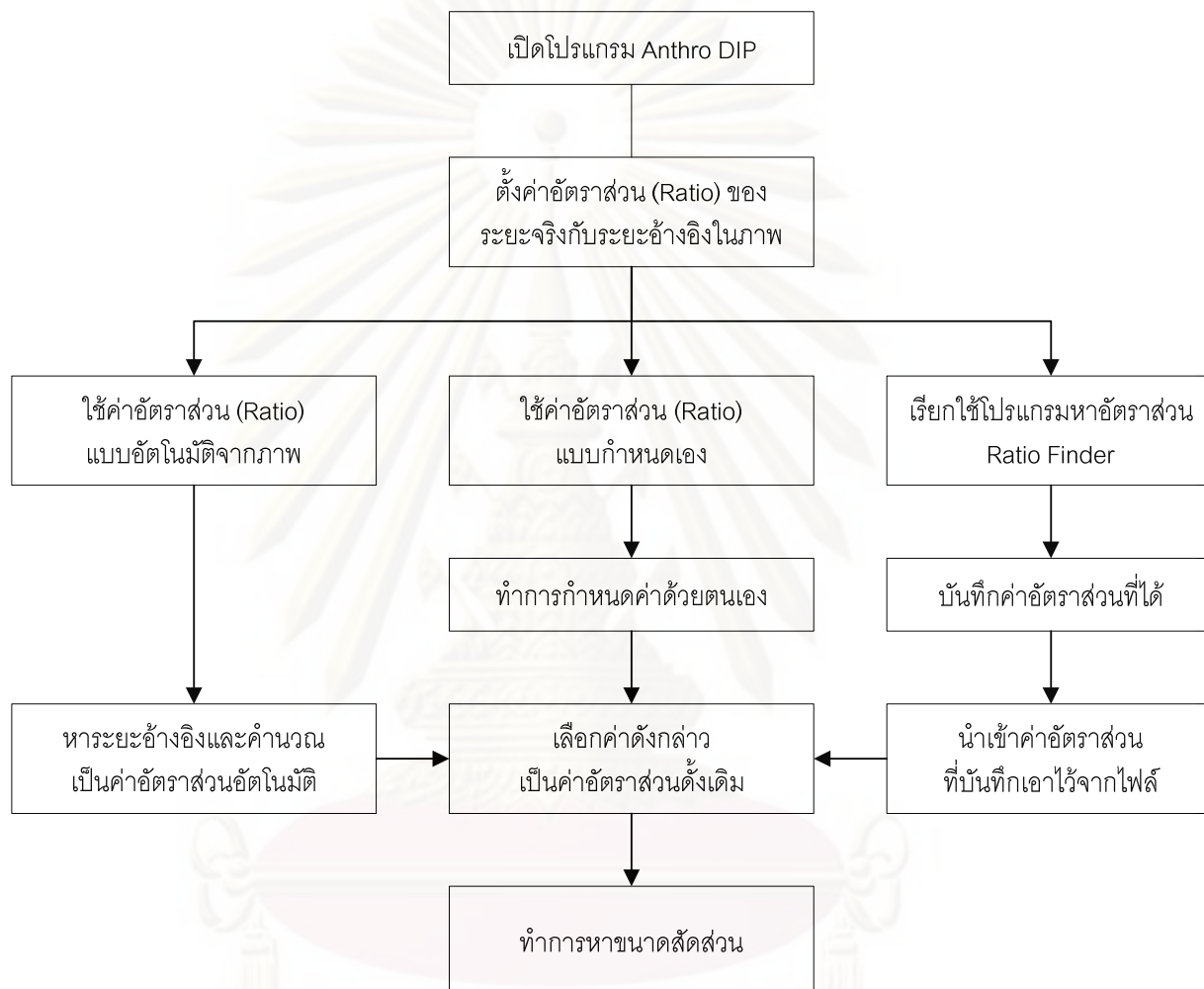
ขั้นตอนสุดท้าย ในการปรับสภาพวงกลมนี้ใช้ Morphology ด้วยวิธี Opening เพื่อทำการลบสัญญาณรบกวนที่อยู่รอบๆวงกลม ซึ่งเป็นการปรับความเรียบ (Smoothing) ให้กับขอบของวัตถุ ภาพที่ได้มีลักษณะที่เป็นวงกลมถูกต้องมากยิ่งขึ้น และนำมาหาจุดศูนย์กลางของวงกลมดังกล่าวออกมา



รูปที่ 40 แสดงการหาจุดศูนย์กลางของวงกลม (จากซ้ายไปขวา)

(ก) ภาพผลจากการหาตัวบอกตำแหน่งและทำการปรับสภาพเรียบร้อย, (ข) ผลจากการหาจุดศูนย์กลางวงกลมจากภาพ (ก)

การหาค่าอัตราส่วนของระยะจริงกับระยะในภาพ ต้องทำการหาจุดศูนย์กลางของตัวบอกตำแหน่งทั้งสองตัว ซึ่งเมื่อได้ค่าออกมาแล้วได้ถูกนำมาหาระยะห่างระหว่างสองตำแหน่งโดยใช้สมการเส้นตรง เพื่อหาระยะห่างเป็นหน่วยพิกเซล และนำไปหาเป็นอัตราส่วนตามปกติต่อไป

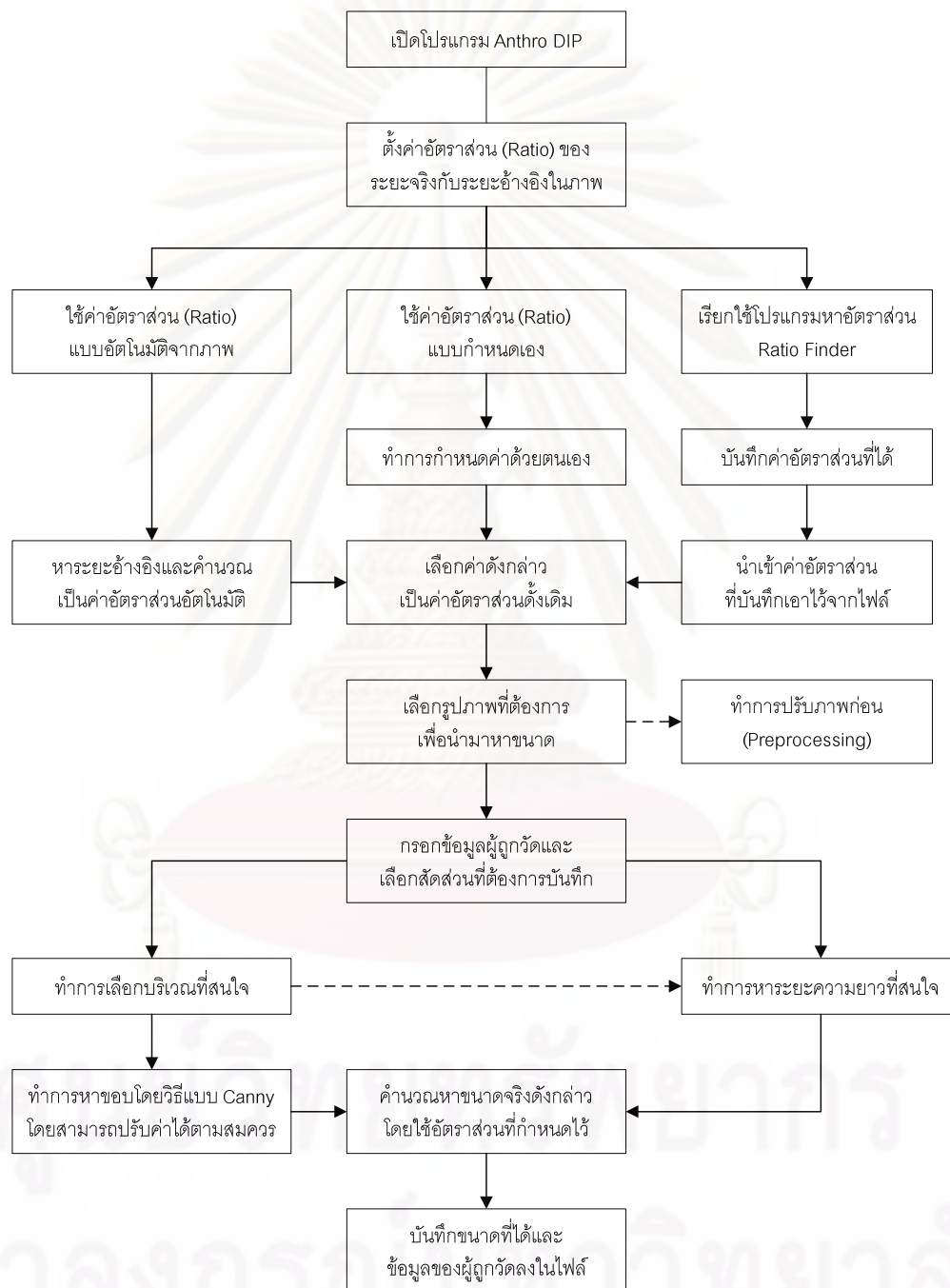


รูปที่ 41 แสดงขั้นตอนการหาระยะอ้างอิงของโปรแกรม

### 3.1.7 ขั้นตอนการหาขนาดสัดส่วน

ในขั้นตอนการหาขนาดสัดส่วนของโปรแกรมนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การขนาดความกว้างสุด หรือสูงสุด ซึ่งใช้วิธีการหาขอบของสัดส่วนนั้นๆ แล้วนำค่าระยะพิกเซลระหว่างขอบของสัดส่วนฝั่งหนึ่งไปจรดอีกฝั่งหนึ่งไปคำนวณกับค่าอัตราส่วนของระยะอ้างอิงเพื่อให้ได้ขนาดจริงออกมา

อีกวิธีหนึ่ง คือ การหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ โดยทำการเลือกสัดส่วนที่สนใจจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง แล้วนำค่าระยะพิกเซลระหว่างจุดสองจุดที่เลือกมาคำนวณกับอัตราส่วนของระยะอ้างอิงเพื่อให้ขนาดจริงออกมาเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 42 แสดงขั้นตอนการหาขนาดสัดส่วน

วิธีการหาขนาดสัดส่วนทั้งสองวิธีนี้มีประโยชน์ในด้านการใช้งานแตกต่างกัน คือ วิธีแรกที่ใช้การหาขอบนั้นมีความแม่นยำกว่าวิธีที่สอง และทำงานเมื่อเป็นสัดส่วนที่ต้องการวัดแบบกว้างสุด หรือสูงสุด เพียงผู้ใช้โปรแกรมเลือกบริเวณที่สัดส่วนนั้นๆ อยู่ ภายในก็พอ แต่ในกรณีที่ไม่สามารถเลือกกรอบบริเวณที่สนใจได้หรือเป็นบริเวณที่ไม่ชัดเจน เช่น ระยะห่างระหว่างจุดบอกตำแหน่งบนร่างกาย (land mark) เป็นต้น หรือใช้วัดขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกวัดที่ไม่สามารถจัดให้ทำให้อยู่ในท่ามาตรฐานได้ เช่น ผู้ป่วย และผู้สูงอายุ เป็นต้น ในกรณีที่กล่าวมานี้วิธีที่สองนี้สามารถทำการวัดได้ง่ายกว่าวิธีแรกเป็นอย่างมาก

### 3.2 การเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์

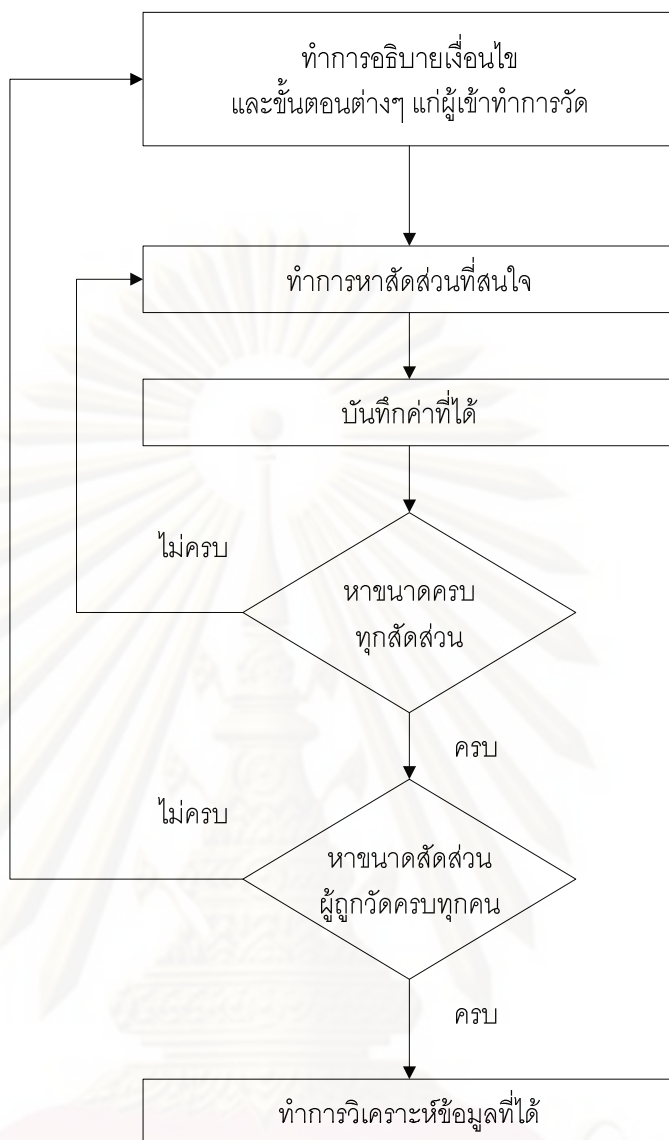
#### 3.2.1 การเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย

ในการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายโดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายนั้นเริ่มต้นจากการอธิบายเงื่อนไข และขั้นตอนต่างๆ ให้ผู้ถูกวัดเข้าใจ และสามารถปฏิบัติท่าทางได้อย่างถูกต้อง แล้วจึงทำการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ พร้อมบันทึกค่าที่ได้ ไปจนกว่าครบทุกสัดส่วนที่ต้องการ แล้วจึงทำการหาขนาดสัดส่วนผู้ถูกวัดคนต่อไป แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วทำการสรุปผล

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

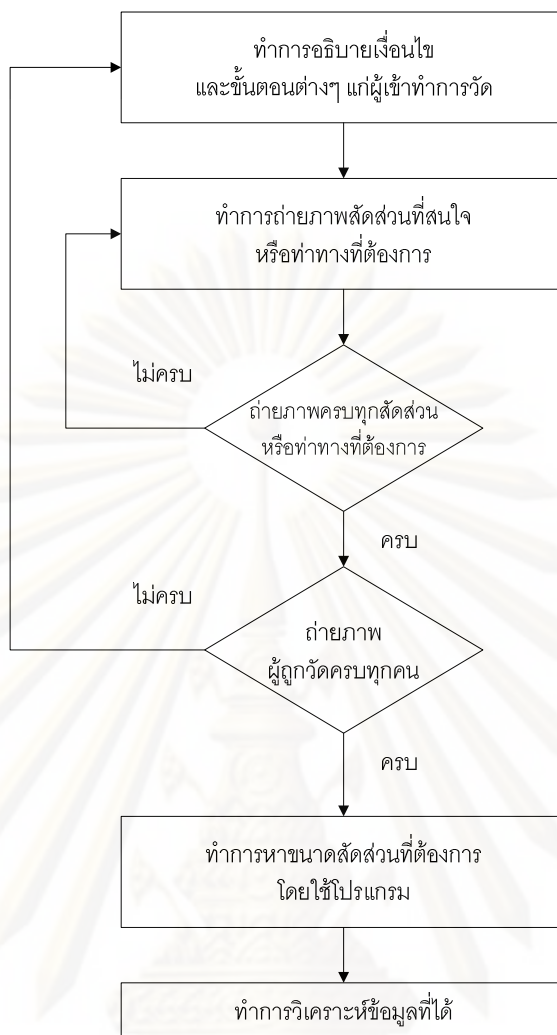




รูปที่ 43 แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย

### 3.2.2 การเก็บข้อมูลโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัล

ในขั้นตอนแรกสุดของการเก็บข้อมูลโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัลก็คือ การอธิบายเงื่อนไข และขั้นตอนต่างๆ แก่ผู้ถูกวัดเช่นเดียวกันกับการเก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์หาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ แล้วจึงทำการถ่ายภาพในท่าทางที่ถูกจัดไว้จนครบทุกภาพ และผู้อาสาสมัครครบทุกคนตามที่กำหนดไว้จากนั้นจึงนำเข้าโปรแกรมเพื่อทำการหาขนาดสัดส่วน แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ และสรุปต่อไป

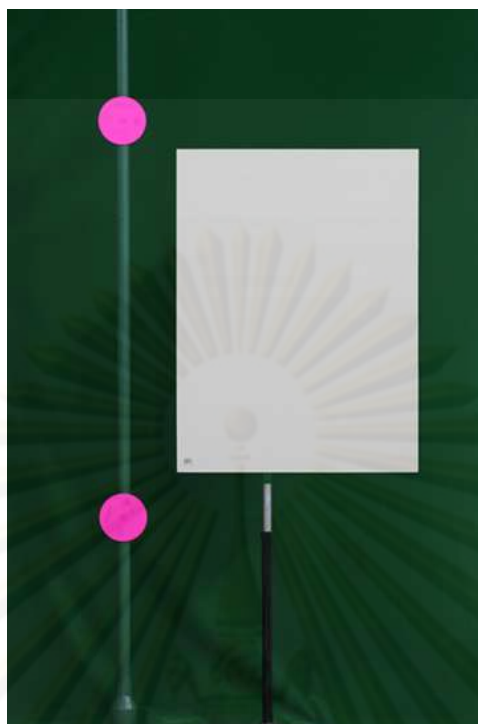


รูปที่ 44 แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัล

### 3.3 กระบวนการทดสอบโปรแกรม

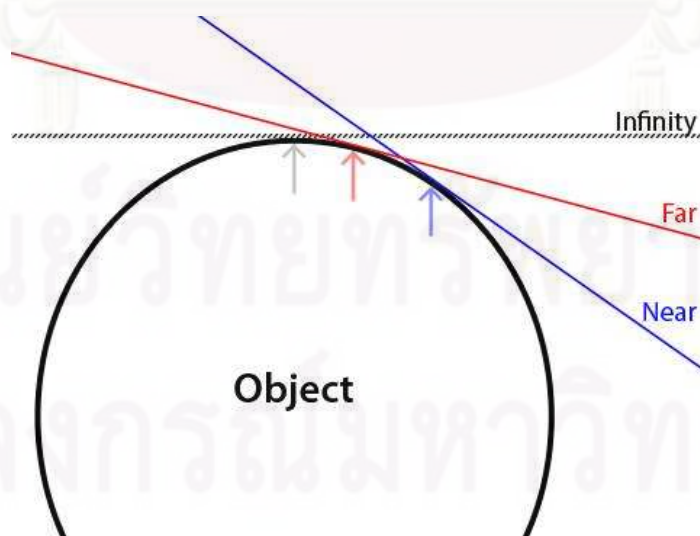
ในการทดสอบโปรแกรมได้เก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์กับการวัดโดยใช้โปรแกรม แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ เมื่อวัดดูมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ทุ่นจำลองที่มีส่วนโค้งเว้าคล้ายคลึงกับมนุษย์ และนำมาใช้กับมนุษย์จริง

ในขั้นตอนแรกได้ใช้วัตถุที่เป็นแผ่นเรียบ เป็นวัตถุสำหรับเปรียบเทียบเพื่อต้องการขจัดปัจจัยที่อาจทำให้การวัดคลาดเคลื่อนไป เช่น ความหนาของวัตถุ และการสั่นไหวของวัตถุที่ถูกวัด เพื่อหาความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนของโปรแกรม โดยทำการเก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์หาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ เป็นจำนวน 3 ครั้ง และใช้โปรแกรมหาขนาดอีกเป็นจำนวน 3 ครั้ง เช่นกัน แล้วจึงนำค่าที่ได้ของทั้ง 2 วิธี มาหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงนำมาทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน โดยรูปทรงของวัตถุดังกล่าวมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาดกว้าง 56.1 เซนติเมตร ยาว 76.4 เซนติเมตร และมีพื้นสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 45



รูปที่ 45 แสดง วัตถุที่เป็นแผ่นเรียบ

ในขั้นตอนที่สอง ปัจจัยความหนาของวัตถุซึ่งทำให้วัตถุมีความโค้งงอ และเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดจากภาพถ่าย แนวทางการลดความคลาดเคลื่อนๆจากปัจจัยความหนาของวัตถุ สามารถใช้การเพิ่มระยะระหว่างกล้องถ่ายภาพกับวัตถุ ระยะทางยิ่งเพิ่มมากขึ้น ยิ่งทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง ดังรูปที่ 46 แต่การเพิ่มระยะดังกล่าวก็จะส่งผลกระทบต่อความละเอียดของภาพ (Resolution) โดยที่ยิ่งเพิ่มระยะทางๆ ยิ่งทำให้ความละเอียดของภาพในส่วนของรูปวัตถุยิ่งลดลง ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการวัดโดยใช้โปรแกรม



รูปที่ 46 แสดง ผลกระทบจาก ระยะทางระหว่างกล้องต่อวัตถุที่มีความหนา

การทดสอบในขั้นตอนนี้จึงเป็นการหาระยะทางระหว่างกล้องและวัตถุและความละเอียดของภาพที่เหมาะสมโดยใช้หุ่นจำลองที่มีความหนาคล้ายคลึงกับมนุษย์มีขนาดความกว้าง 32.9 เซนติเมตร และความสูง 69.8 เซนติเมตร และมีพื้นผิวสีขาว ดังรูปที่ 47 เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความหนาของวัตถุ ก่อนนำไปใช้งานจริงกับมนุษย์โดยตัดปัจจัยการสั่นไหวของวัตถุออกไป



รูปที่ 47 แสดงหุ่นจำลองที่มีความหนา หรือส่วนโค้งคล้ายมนุษย์

ปัจจัยที่ศึกษาในขั้นตอนนี้ คือ ระยะทางระหว่างกล้องและวัตถุ หรือ ทางยาวโฟกัส กับ ความละเอียดของภาพถ่ายนั้นในขนาดความละเอียดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนหรือไม่ โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลโดยกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ปัจจัยความละเอียดของภาพ แบ่งระดับของปัจจัยเป็น 4 ระดับคือ 1728\*1152, 2454\*1636, 3007\*2004 และ 3456\*2304 พิกเซลตามลำดับ โดยขนาดอัตราส่วนความละเอียดของพิกเซลในระดับของปัจจัยทั้ง 4 นั้นได้ใช้อัตราส่วนเดียวกัน

2) ปัจจัยทางยาวโฟกัสของเลนส์ แบ่งระดับของปัจจัยเป็น 5 ระดับคือ ทางยาวโฟกัสที่ 44.8, 56, 80, 96 และ 120 มิลลิเมตร หรือระยะวางกล้องที่ระยะ 2.61, 3.27, 4.67, 5.6 และ 7

เมตรตามลำดับ โดยระยะทางทั้ง 5 นั้น เป็นระยะที่ปรับได้ตามคุณสมบัติของเลนส์ที่ใช้งาน เพื่อกำหนดให้ขนาดวัตถุในภาพมีขนาดที่เท่ากันในทุกะยะทาง

ในการเก็บข้อมูลการทดลองนั้น ได้กำหนดให้ทดลองซ้ำ การทดลองละ 2 ครั้ง แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 2 รวมถึงความสัมพันธ์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการหาขนาดสัดส่วนโดยใช้โปรแกรม

ตารางที่ 2 แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

ระยะวางกล้อง (m)	ความละเอียดของภาพ (pixel)			
	1728*1152	2454*1636	3007*2004	3456*2304
2.61	...	...	...	...
3.27	...	...	...	...
4.67	...	...	...	...
5.6	...	...	...	...
7	...	...	...	...

ในขั้นตอนสุดท้าย คือการทดสอบโปรแกรมกับมนุษย์ ซึ่งอาศัยผลการทดสอบจากขั้นตอนที่สองมาเป็นตัวกำหนดปัจจัยระยะทางระหว่างกล้องและวัตถุ กับปัจจัยความละเอียดของภาพในขั้นตอนนี้ โดยทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาสาสมัคร จำนวน 30 คน ก่อนเริ่มการทดสอบ ได้กำหนดให้อาสาสมัครศึกษา ทำความเข้าใจ และลงนามในแบบฟอร์ม ดังแสดงในภาคผนวก ข ในส่วนแบบฟอร์มยินยอมในการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของอาสาสมัคร

โดยให้อาสาสมัครเป็นผู้คัดเลือกสัดส่วนที่ยินยอมให้ทำการวัดขนาด แล้วจึงหาขนาดสัดส่วนร่างกายของอาสาสมัครโดยใช้เครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ และใช้โปรแกรม แล้วนำค่าที่หาขนาดได้ มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างวิธีทั้ง 2

## บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

### 4.1 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของโปรแกรมโดยการวัดวัตถุชนิดเป็นแผ่นเรียบ

จากการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานของโปรแกรมโดยใช้การหาขนาดสัดส่วนกว้างสุด และสัดส่วนสูงสุดในการวัดวัตถุชนิดเป็นแผ่นเรียบนั้น ผลที่ได้แสดงเป็นหน่วยเซนติเมตรดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ

สัดส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ	ค่าที่วัดขนาดได้จากอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกาย (เซนติเมตร)	ค่าที่วัดขนาดได้จากโปรแกรม (เซนติเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)
ความกว้างสุด	56.1	56.131	0.031
ความสูงสุด	76.4	76.265	0.135

ผลการทดสอบพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานของโปรแกรม โดยใช้การถ่ายภาพวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในสัดส่วนความกว้างสุดเป็น 0.031 เซนติเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนในสัดส่วนความสูงสุดเป็น 0.135 เซนติเมตร

จากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในสัดส่วนความสูงสุด มีค่าที่มากกว่าสัดส่วนความกว้างสุด ซึ่งสาเหตุเกิดจากความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมในเบื้องต้น และเนื่องจากการติดตั้งวัตถุแผ่นเรียบ การติดตั้งให้ตรงกับมุมฉากตามระนาบต่างๆ หรือแนวแกนต่างๆ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากถ้าวัตถุถูกติดตั้งเอียงเพียงเล็กน้อยไม่ว่าจะในด้านหน้า หรือด้านข้าง ก็จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทันที และจากผลที่เกิดขึ้นมาจากการติดตั้งวัตถุเอียงทางด้านข้างเล็กน้อย และเอียงไปทางด้านหลังเล็กน้อย

#### 4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดการใช้งานโดยทดสอบกับหุ่นที่มีสัดส่วนโค้งเว้า คล้ายมนุษย์

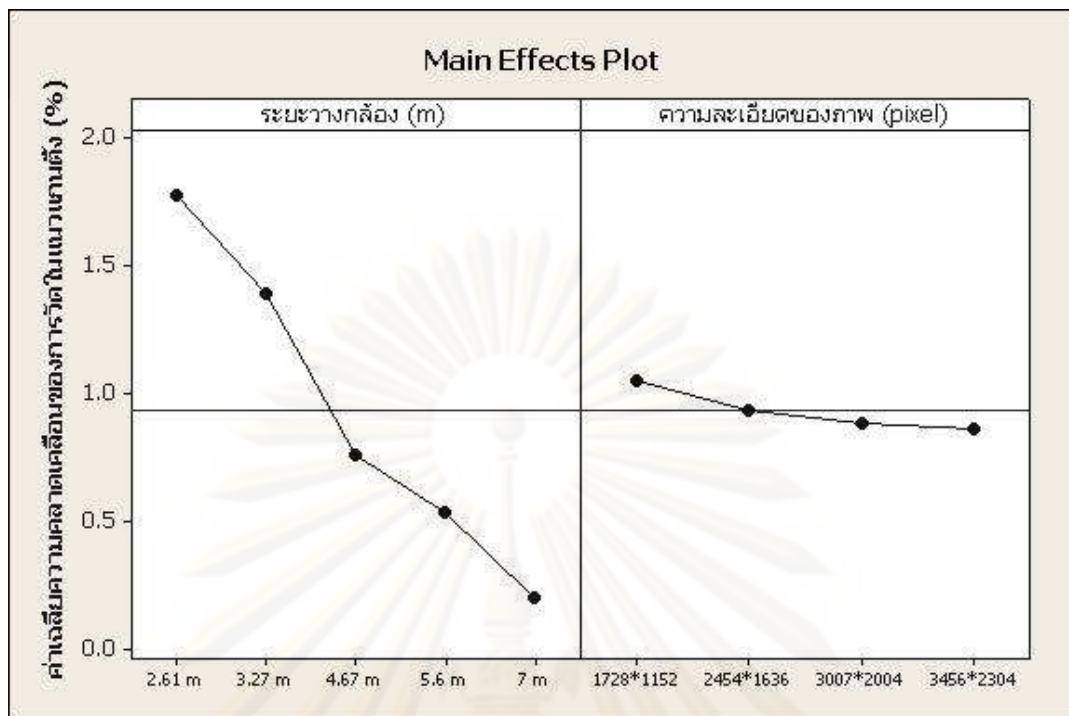
จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แล้วทำการเก็บข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ที่ได้ผลออกมาดังแสดงในตารางที่ 4 โดยค่าที่ได้ในตารางแสดงถึงค่าเป็นร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ จากการเปรียบเทียบระหว่างการวัดความสูงของหุ่นโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์กับการวัดโดยใช้โปรแกรม ซึ่งเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 2 ครั้ง

ตารางที่ 4 แสดงผลการเก็บข้อมูลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

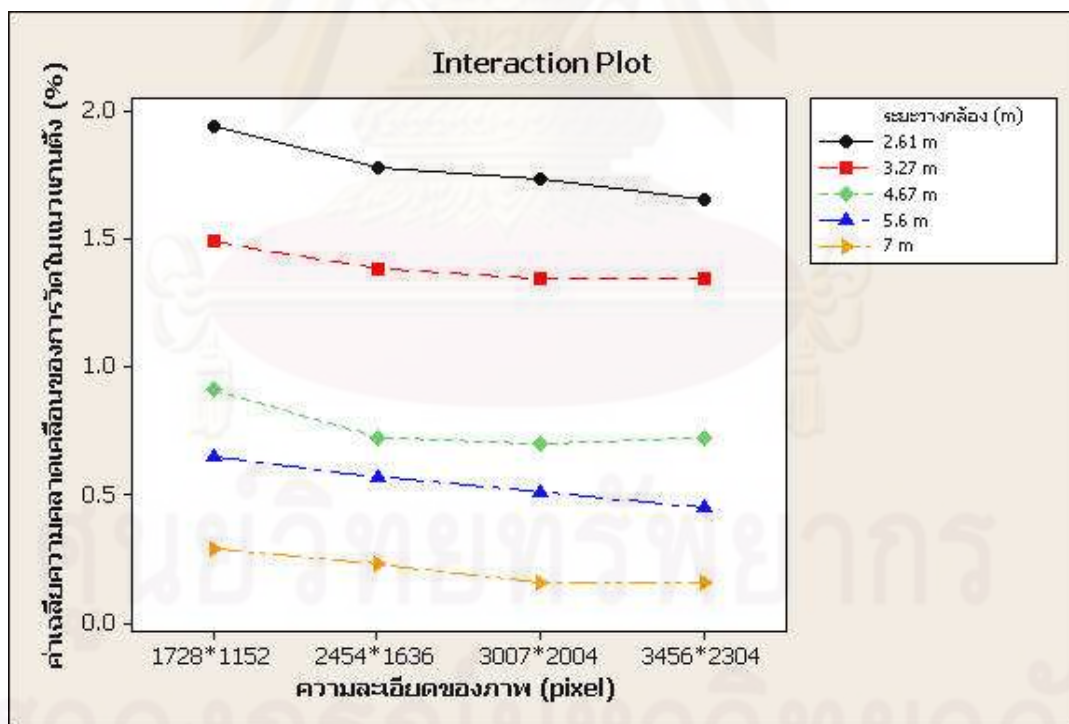
ระยะวางกล้อง (เมตร)	ความละเอียดของภาพ (พิกเซล)			
	1728*1152	2454*1636	3007*2004	3456*2304
2.61	1.944, 1.944	1.782, 1.782	1.734, 1.734	1.658, 1.658
3.27	1.490, 1.490	1.384, 1.384	1.345, 1.345	1.382, 1.306
4.67	0.910, 0.910	0.726, 0.722	0.653, 0.742	0.723, 0.725
5.6	0.650, 0.645	0.623, 0.516	0.465, 0.553	0.464, 0.431
7	0.255, 0.319	0.283, 0.176	0.154, 0.154	0.177, 0.133

จากตารางผลการเก็บข้อมูลประกอบไปด้วยผลการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ในเงื่อนไขนั้นๆ (ผลครั้งที่ 1, ผลครั้งที่ 2) รวมทั้งหมด 40 ผลการทดลอง

และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab (version 14) ได้ผลลัพธ์ของการทดลอง และผลอันตรกิริยาดังแสดงในภาพที่ 40 และ 41 ตามลำดับ



รูปที่ 48 แสดงกราฟผลหลักของการทดลอง



รูปที่ 49 แสดงกราฟผลอันตรกิริยาของการทดลอง



จากผลการทดลองนี้ พบว่าปัจจัยที่ทำการศึกษานั้นได้แก่ ระยะวางกล้อง และความละเอียดของภาพนั้นมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงจากกราฟในรูปที่ 40 และอันตรกิริยาร่วมเนื่องจากระยะวางกล้อง และความละเอียดของภาพ ไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงจากกราฟในรูปที่ 41 ทำให้ทราบได้ว่า ในระยะวางกล้องที่ยาวขึ้น และความละเอียดของรูปที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง

ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวจึงได้ทำการเลือกเอา ระยะวางกล้องที่ระยะ 7 เมตร แล้วความละเอียดของภาพคือ 3456\*2304 พิกเซล ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในหัวข้อถัดไป

#### 4.3 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายกับโปรแกรมโดยใช้นุ่นจำลองที่มีสัดส่วนโค้งเว้าคล้ายมนุษย์

จากผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานของโปรแกรมโดยใช้นุ่นจำลองที่มีสัดส่วนโค้งเว้า และความหนาคล้ายคลึงกับมนุษย์นั้น ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของวัตถุที่มีส่วนโค้งเว้า และความหนาคล้ายคลึงกับมนุษย์

สัดส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ	ค่าที่หาขนาดได้จากอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกาย (เซนติเมตร)	ค่าที่หาขนาดได้จากการใช้เทคนิคนี้ (เซนติเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)
ความกว้างสุด	32.9	33.239	0.339
ความสูงสุด	69.8	69.725	0.075

จากผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานของโปรแกรม โดยใช้นุ่นจำลองที่มีส่วนโค้งเว้า และความหนาคล้ายคลึงกับมนุษย์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในสัดส่วนความกว้างสุดเป็น 0.339 เซนติเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนในสัดส่วนความสูงสุดเป็น 0.075 เซนติเมตร

#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างการใช้เครื่องมือวัด สัดส่วนร่างกายกับโปรแกรมโดยทำการวัดกับมนุษย์

ในกระบวนการเก็บข้อมูล เนื่องจากให้อาสาสมัครเลือกสัดส่วนที่ยินยอมให้วัดขนาด เป็นผลให้ในบางสัดส่วนไม่สามารถวัดได้ครบตามจำนวนของอาสาสมัคร จากผลการเก็บ ข้อมูลจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย กับโปรแกรมทำ การวัดกับมนุษย์ และแสดงผลออกมาเป็นหน่วยเซนติเมตร และมีค่าเป็นบวก และลบ ซึ่งผลที่ เป็นบวกหมายถึงค่าที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่าที่มากกว่าจากการวัดจากอุปกรณ์วัดสัดส่วน ร่างกายมนุษย์ ส่วนผลที่เป็นลบหมายถึงค่าที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่าที่น้อยกว่าจากการวัด จากอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบกับ โปรแกรมในส่วนของ การหาขนาดกว้างสุด และสูงสุด กับการเปรียบกับโปรแกรมในส่วนของ การหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ โดยค่าที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบ รายละเอียดของผลการเก็บ ข้อมูลในแต่ละสัดส่วน และในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง รวมถึงข้อมูลดิบ ดังแสดงในภาคผนวก ซึ่ง ในหัวข้อ 4.4.1 และ 4.4.2 จะนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้วิเคราะห์สมมติฐานผลต่างค่าเฉลี่ย จาก 2 กลุ่มตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบทีละสัดส่วนไป และใช้สถิติ  $t$  ในการตรวจสอบ สมมติฐานที่  $\alpha = 0.05$  ในสูตรที่ 4.1 และ 4.2 และสมมติฐานดังแสดงต่อไปนี้

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

โดยที่ ค่า  $\mu_1$  คือ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน  $x$  ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

$\mu_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน  $x$  ที่วัดได้จากโปรแกรม

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4.1)$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4.2)$$

โดย

$\bar{X}_1$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

$\bar{X}_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม

$n_1$  คือ จำนวนของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

$n_2$  คือ จำนวนของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม

$S_1$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

$S_2$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม

ซึ่งค่าทั้งหมดที่นำมาคำนวณ จะนำมาจากค่าที่ทำการเก็บข้อมูลได้ โดยในบางสัดส่วนที่วัด มีผู้ถูกวัดบางส่วนไม่ยินยอมให้วัด ก็จะนำค่าเท่าที่มีอยู่มาใช้ในการคำนวณ ตัวอย่างเช่น ในสัดส่วนที่ 12 หรือความหนาของต้นขา สามารถเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างได้ 12 คน จากทั้งหมด 30 คน ดังนั้นค่า  $n_1$  และ  $n_2$  มีค่าเท่ากับ 12 เป็นต้น เพื่อที่จะสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 2 แบบนั้นเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่

4.4.1 การเปรียบกับโปรแกรมในส่วนของ การหาขนาดกว้างสุด และสูงสุด ประกอบไปด้วยสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 6

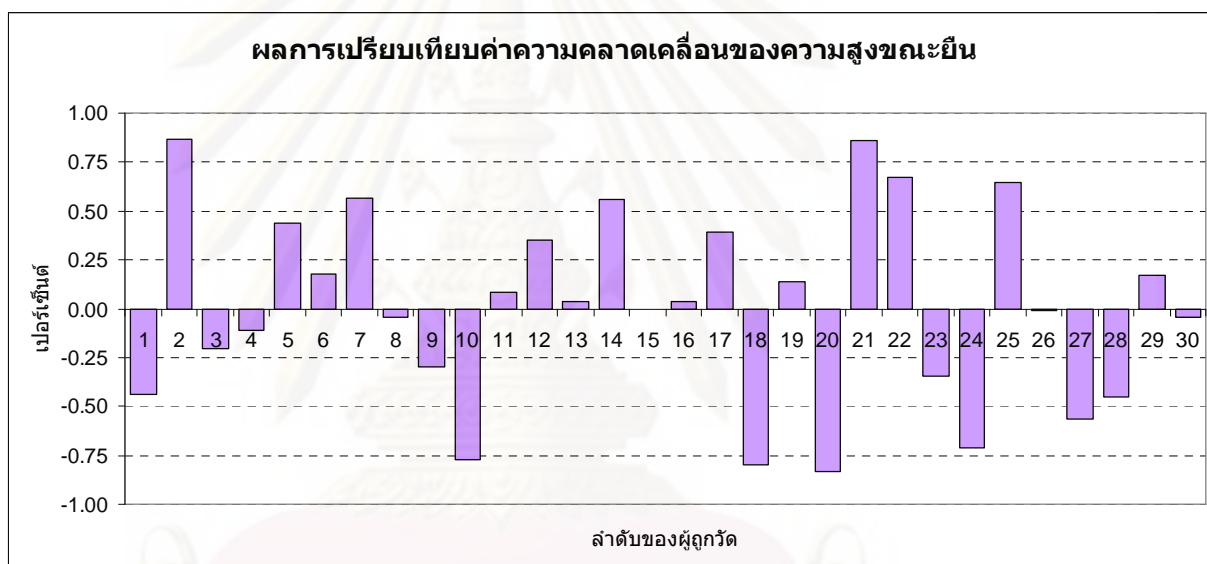
ตารางที่ 6 แสดงสัดส่วนที่ใช้การหาขนาดกว้างสุด และสูงสุด ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการคำนวณที่นำมาทดสอบสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบ

สัดส่วนที่	ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐาน ( $-t_{\alpha/2}, v < t_c < t_{\alpha/2}, v$ )	ผลการคำนวณ ( $t_c$ )	ผลการทดสอบสมมติฐาน
1	$-2.048407 < t_c < 2.048407$	0.1283*	ยอมรับ
8	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	0.57722*	ยอมรับ
23	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	7.24445	ปฏิเสธ
28	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	-4.68829	ปฏิเสธ
32	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	1.20126*	ยอมรับ
33	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	1.063699*	ยอมรับ
35	$-2.05183 < t_c < 2.04523$	0.856288*	ยอมรับ

จากตารางที่ 6 ผลการคำนวณ  $t_c^*$  หมายถึงค่าที่นำไปเปรียบเทียบกับค่า  $\pm t_{\alpha/2}$  แล้วผลออกมาเป็นยอมรับสมมติฐาน  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  ที่  $\alpha = 0.05$

จากการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนที่ 1, 2, 32, 33 และ 35 ยอมรับสมมติฐาน  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  ที่  $\alpha = 0.05$  และปฏิเสธสมมติฐานที่สัดส่วนที่ 23 และ 28

และในส่วนของเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการวัดทั้ง 2 วิธีดังแสดงในกราฟในรูปที่ 50 โดยค่าในกราฟจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด โดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ กับ การวัดโดยใช้โปรแกรมในส่วนของ การหาขนาดกว้างสุด และ สูงสุด นำมาแสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยมีลำดับของข้อมูลเป็นจำนวน 30 ข้อมูล ซึ่งมาจากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 30 คน แบ่งเป็นเพศหญิงจำนวน 17 คน โดยมีลำดับตั้งแต่ 1 จนถึงลำดับที่ 17 และแบ่งเป็นชาย 13 คน โดยมีลำดับตั้งแต่ 18 จนถึงลำดับที่ 30 ซึ่งผลทั้งหมด นอกเหนือจากการนำเสนอในบทที่ 4 นั้นจะแจกแจงโดยละเอียดดังแสดงในภาคผนวก

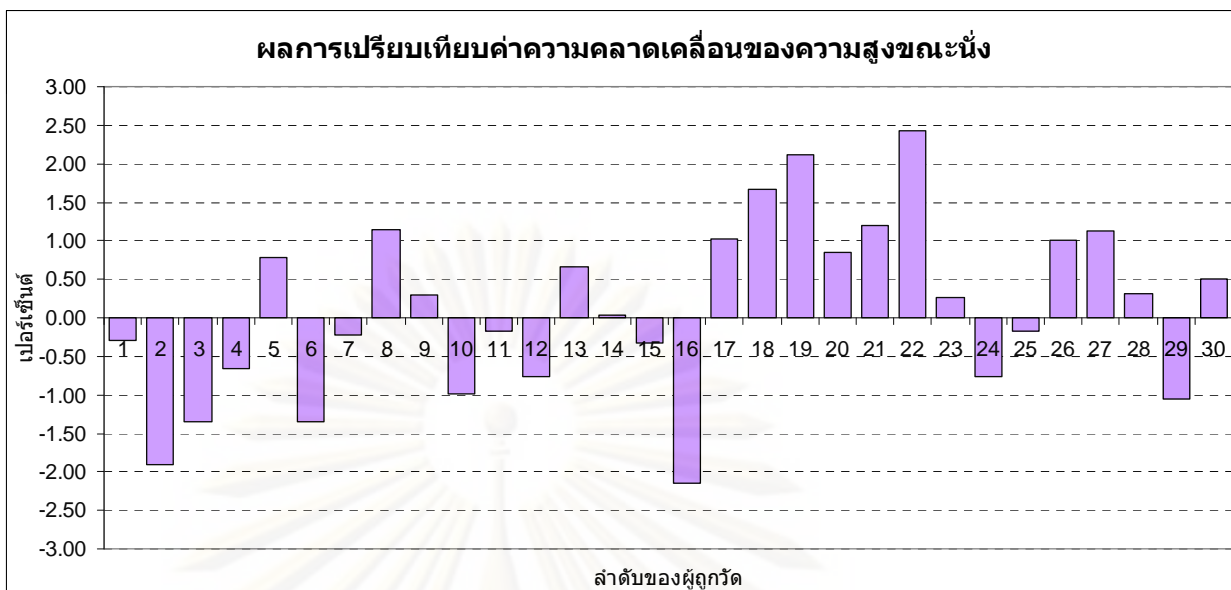


รูปที่ 50 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 1

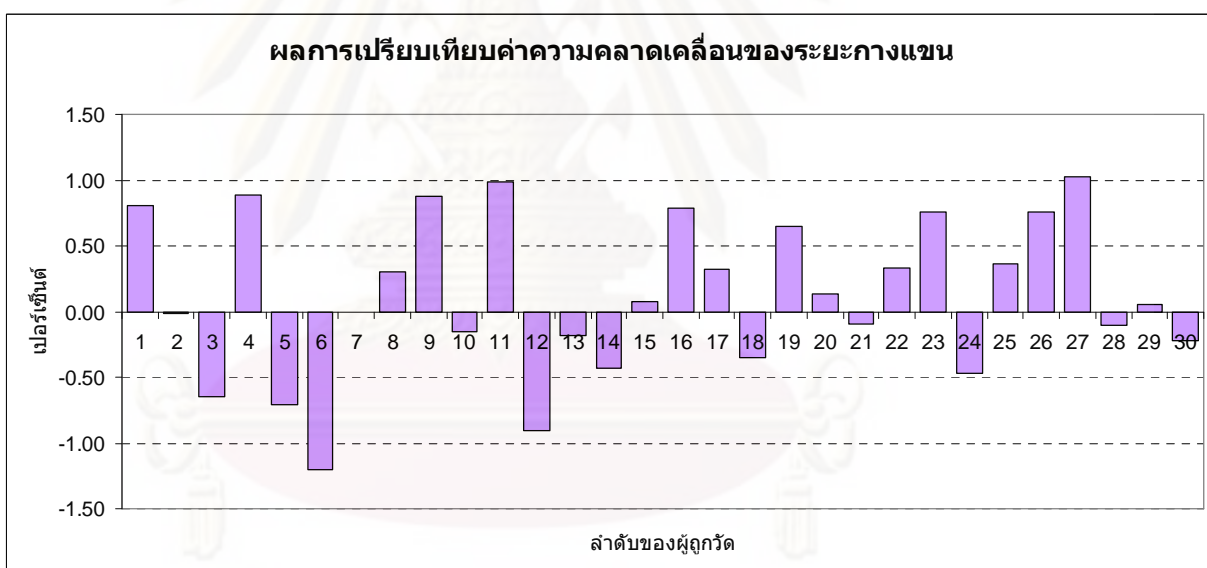
หรือความสูงขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

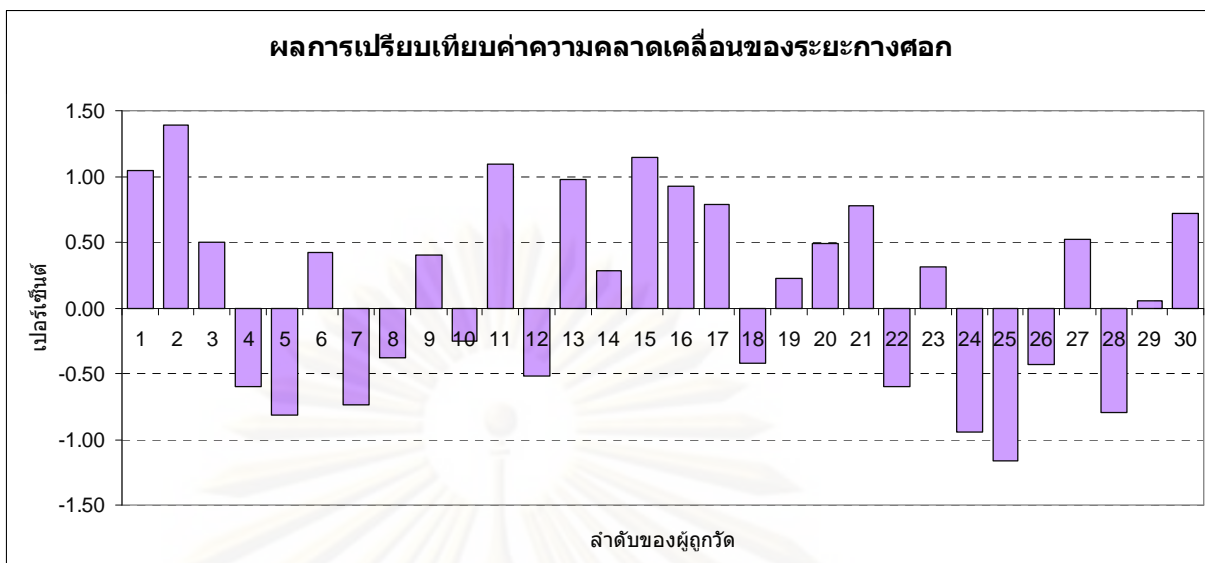


รูปที่ 51 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 8  
หรือความสูงขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์

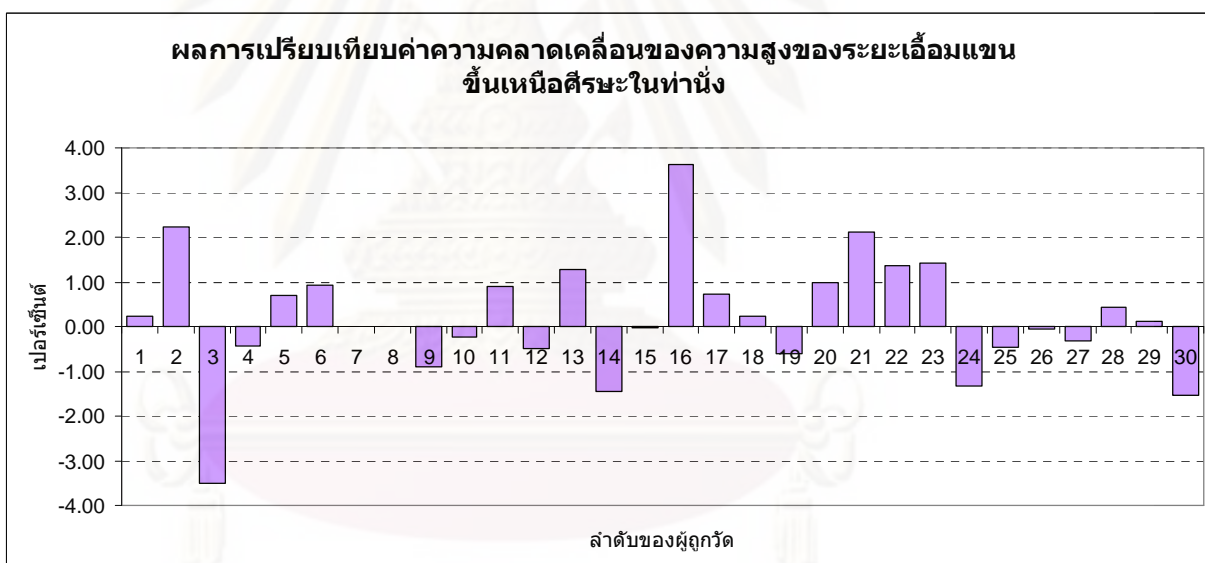


รูปที่ 52 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 32  
หรือระยะกางแขนเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



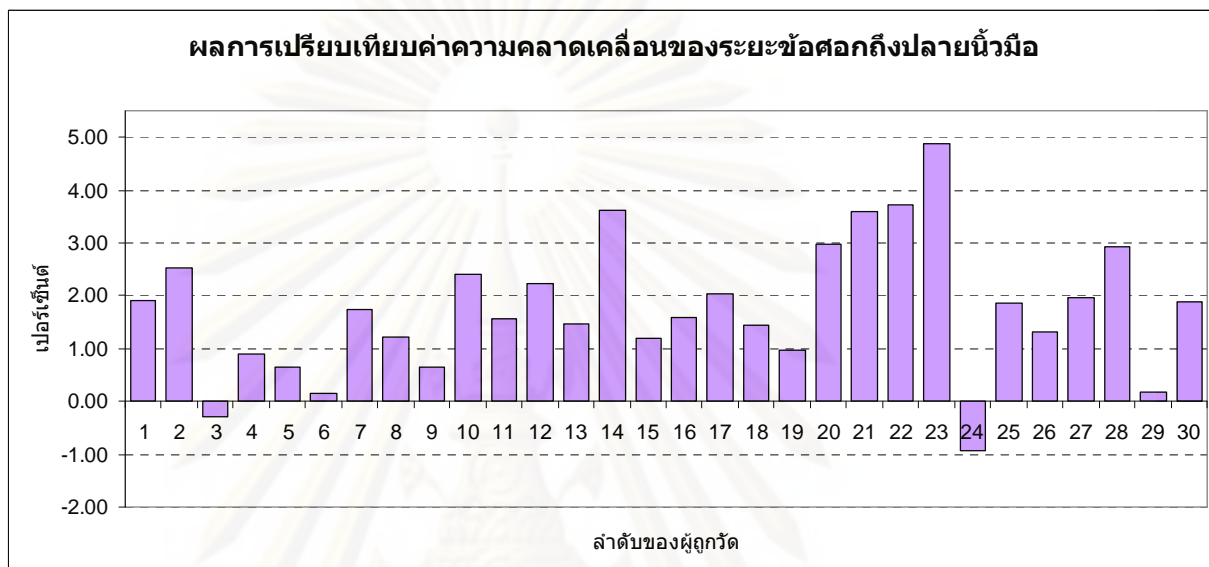
รูปที่ 53 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 33  
หรือระยะทางศอกเป็นเปอร์เซ็นต์



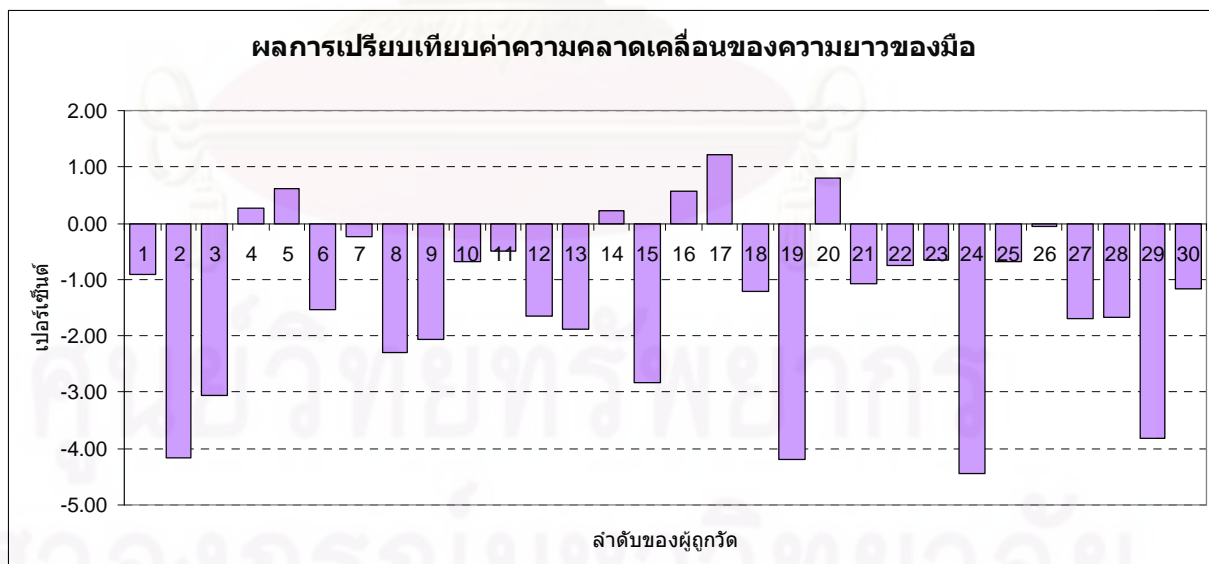
รูปที่ 54 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงของของสัดส่วนที่ 35  
หรือระยะเอื่อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่านั่งเป็นเปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 50 ถึง 54 จะพบว่าผลการเปรียบเทียบมีค่าความคลาดเคลื่อนทั้งด้านบวกและลบอย่างสม่ำเสมอในขนาดที่ใกล้เคียงกัน โดยสัดส่วนที่ทำการวัดในแกนตั้ง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนทั้งในด้านบวก และลบที่สูงกว่าค่าในสัดส่วนอื่นๆ เนื่องจากมีปัจจัยทางด้านร่างกายเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การหายใจ ส่งผลให้ร่างกายมีการขยาย หรือหดตัวส่งผลกระทบต่อขนาดในแกนตั้งของร่างกาย ซึ่งสาเหตุดังกล่าวก็จะส่งผลต่อการวัดสัดส่วนบางสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างบางคนอย่างเห็นได้ชัด ดังเช่น ในสัดส่วนที่ 1 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 2, 20 และ

21, ในสัดส่วนที่ 8 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 16 และ 22 และในสัดส่วนที่ 35 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 3 และ 16 เป็นต้น



รูปที่ 55 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 23  
หรือระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 56 เป็นเปอร์เซ็นต์ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 28  
หรือความยาวของมือ

จากรูปที่ 55 และ 56 จะพบว่าผลการเปรียบเทียบมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้เกือบทั้งหมดจะไปในแนวทางใดแนวทางหนึ่ง โดยอาจจะเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อสัดส่วนนั้น เช่น ข้อต่อของร่างกายมนุษย์สามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้การจัดท่าดังกล่าว ได้ขนาดที่แตกต่างกันออกไปทุกครั้ง ซึ่งส่งผลอย่างโดดเด่นมากที่สุดจากทุกสาเหตุ และจะส่งผลอย่างมากในบางสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างบางคน เช่น ในสัดส่วนที่ 23 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 22 และ 23 และในสัดส่วนที่ 23 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 22 และ 23

4.4.2 การเปรียบกับโปรแกรมในส่วนของกราฟหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ ประกอบไปด้วย สัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วนที่ใช้การหาขนาดกว้างสุด และสูงสุด ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการคำนวณที่นำมาทดสอบสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบ

สัดส่วนที่	ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐาน ( $-t_{\alpha/2, v} < t_c < t_{\alpha/2, v}$ )	ผลการคำนวณ ( $t_c$ )	ผลการทดสอบสมมติฐาน
2	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	3.96916	ปฏิเสธ
3	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	1.53391*	ยอมรับ
4	$-2.04841 < t_c < 2.04841$	3.31773	ปฏิเสธ
5	$-2.0639 < t_c < 2.0639$	-0.7113*	ยอมรับ
6	$-2.04841 < t_c < 2.04841$	2.74862	ปฏิเสธ
7	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	0.50844*	ยอมรับ
9	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	3.525267	ปฏิเสธ
10	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	2.85537	ปฏิเสธ
11	$-2.04841 < t_c < 2.04841$	-0.0376*	ยอมรับ
12	$-2.20099 < t_c < 2.20099$	1.42177*	ยอมรับ
13	$-2.17881 < t_c < 2.17881$	4.60056	ปฏิเสธ
14	$-2.17881 < t_c < 2.17881$	6.84461	ปฏิเสธ
15	$-2.04841 < t_c < 2.04841$	0.02894*	ยอมรับ
16	$-2.05553 < t_c < 2.05553$	-3.2046	ปฏิเสธ
17	$-2.04841 < t_c < 2.04841$	5.43865	ปฏิเสธ
18	$2.04841 < t_c < 2.04841$	1.2978*	ยอมรับ



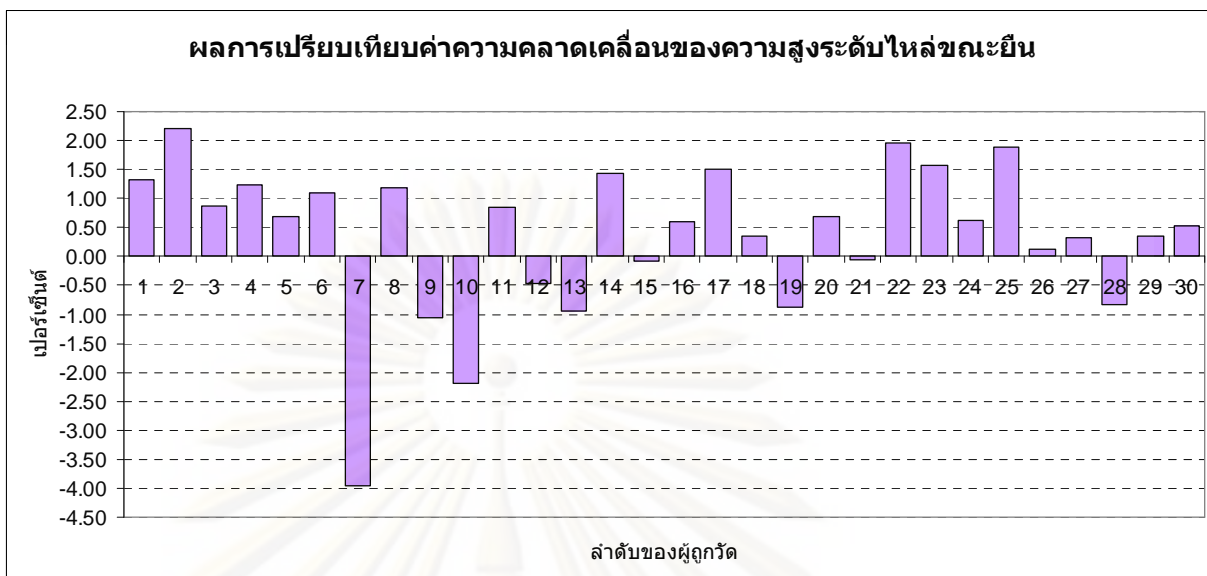
ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วนที่ใช้การหาขนาดกว้างสุด และสูงสุด ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการคำนวณที่ใช้นำมาทดสอบสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบ (ต่อ)

สัดส่วนที่	ช่วงค่าวิกฤตที่ยอมรับสมมติฐาน ( $-t_{\alpha/2}, v < t_c < t_{\alpha/2}, v$ )	ผลการคำนวณ ( $t_c$ )	ผลการทดสอบสมมติฐาน
19	$-2.16037 < t_c < 2.16037$	1.73573*	ยอมรับ
20	$-2.1788 < t_c < 2.1788$	3.6572	ปฏิเสธ
21	$-2.17881 < t_c < 2.17881$	1.17485*	ยอมรับ
22	$-2.0452 < t_c < 2.0452$	3.8932	ปฏิเสธ
24	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	6.320231	ปฏิเสธ
25	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	5.280315	ปฏิเสธ
26	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	4.837402	ปฏิเสธ
27	$-2.048407 < t_c < 2.048407$	5.596808	ปฏิเสธ
29	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	-3.45191	ปฏิเสธ
36	$-2.04523 < t_c < 2.04523$	-2.1991	ปฏิเสธ

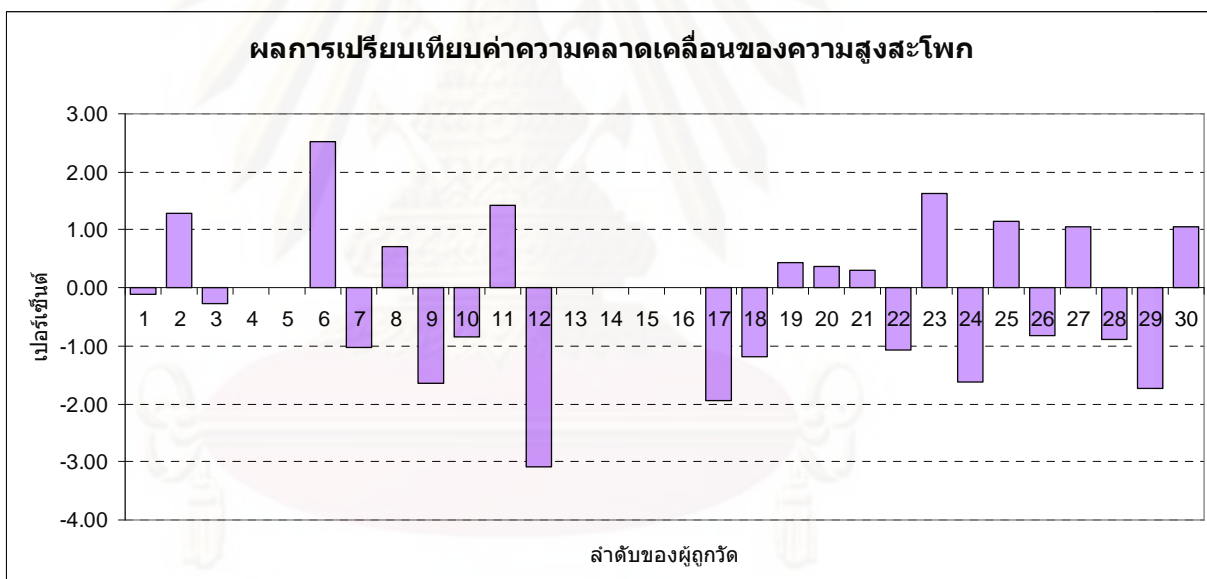
จากตารางที่ 7 ผลการคำนวณ  $t_c^*$  หมายถึงค่าที่นำไปเปรียบเทียบกับค่า  $\pm t_{\alpha/2}$  แล้วผลออกมาเป็นยอมรับสมมติฐาน  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  ที่  $\alpha = 0.05$

จากการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนที่ 3, 5, 7, 11, 12, 15, 18, 19 และ 21 ยอมรับสมมติฐาน  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  ที่  $\alpha = 0.05$  และปฏิเสธสมมติฐานที่สัดส่วนที่ 2, 4, 6, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 26, 27, 29 และ 36

และในส่วนการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการวัดทั้ง 2 วิธีดังแสดงในกราฟในรูปที่ โดยค่าในกราฟจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด โดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ กับการวัดโดยใช้โปรแกรมในส่วนของการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจนำมาแสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยมีลำดับของข้อมูลเป็นจำนวน 30 ข้อมูล ซึ่งมาจากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 30 คน แบ่งเป็นเพศหญิงจำนวน 17 คน โดยมีลำดับตั้งแต่ 1 จนถึงลำดับที่ 17 และแบ่งเป็นชาย 13 คน โดยมีลำดับตั้งแต่ 18 จนถึงลำดับที่ 30 ซึ่งผลทั้งหมดนอกเหนือจากการนำเสนอในบทที่ 4 นั้นจะแจกแจงโดยละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง

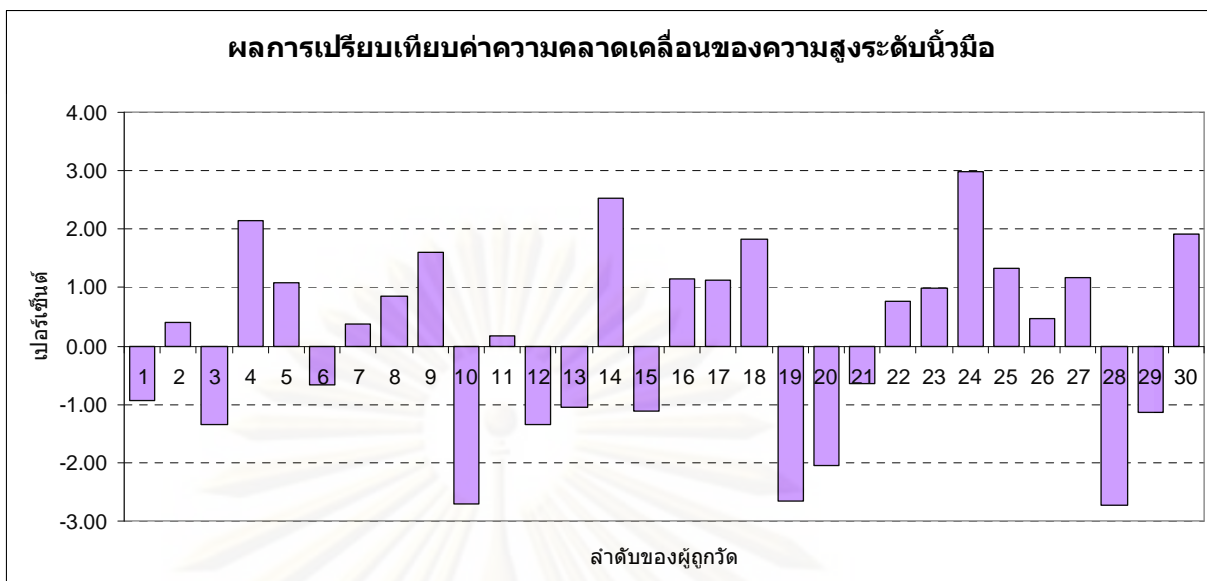


รูปที่ 57 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 3  
หรือความสูงระดับไหล่ขณะยืนเป็นเปอร์เซ็นต์

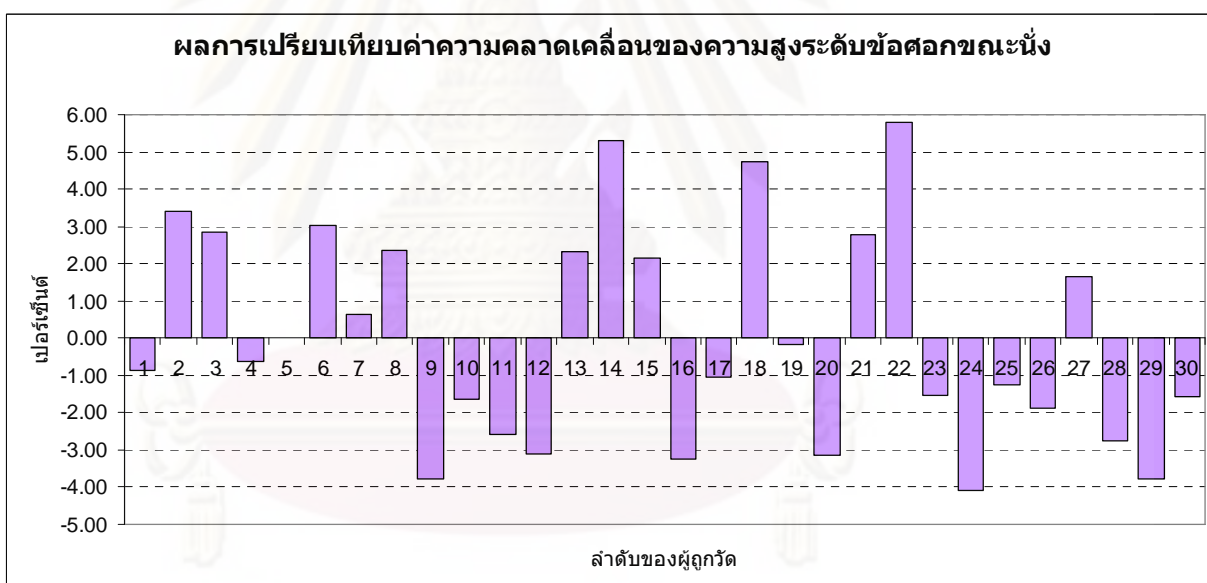


รูปที่ 58 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 5  
หรือความสูงสะโพกเป็นเปอร์เซ็นต์

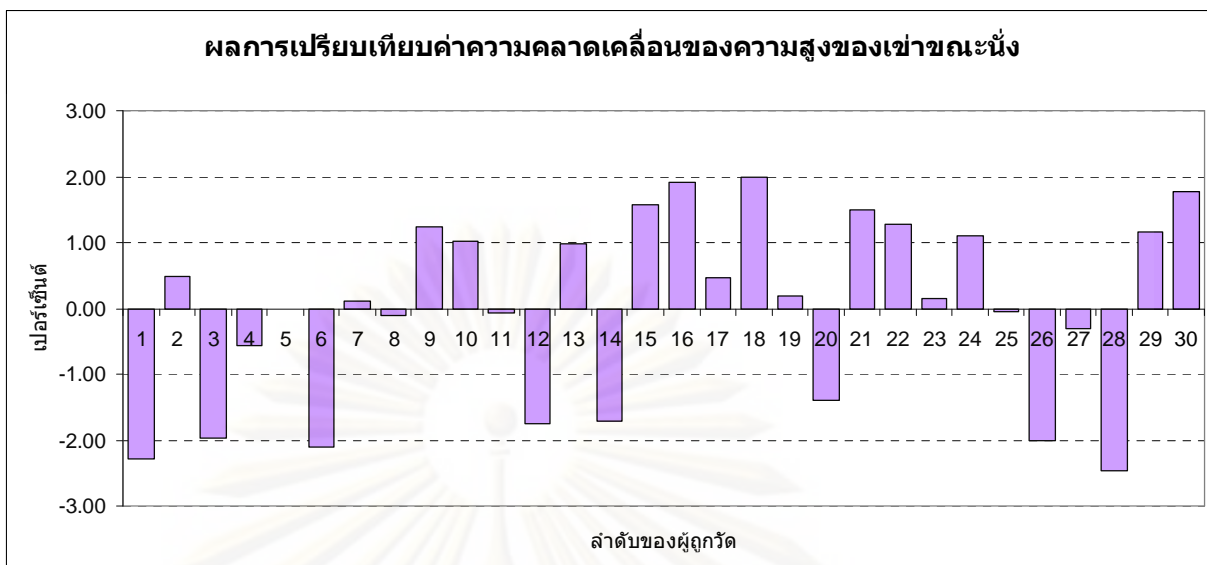
ศูนย์วิทยาศาสตร์การ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



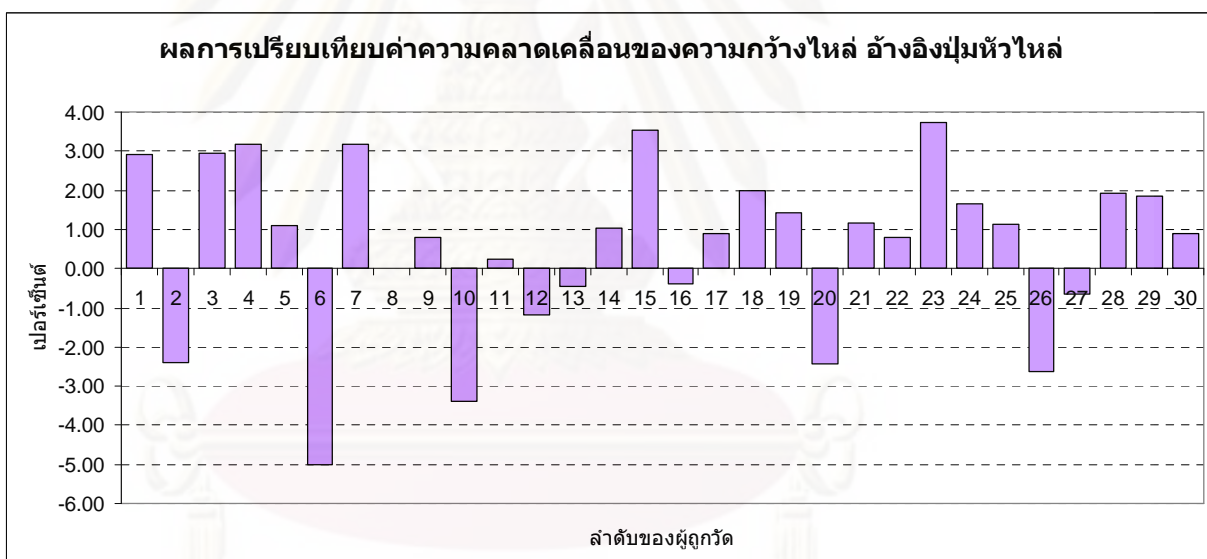
รูปที่ 59 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 7  
หรือความสูงระดับนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์



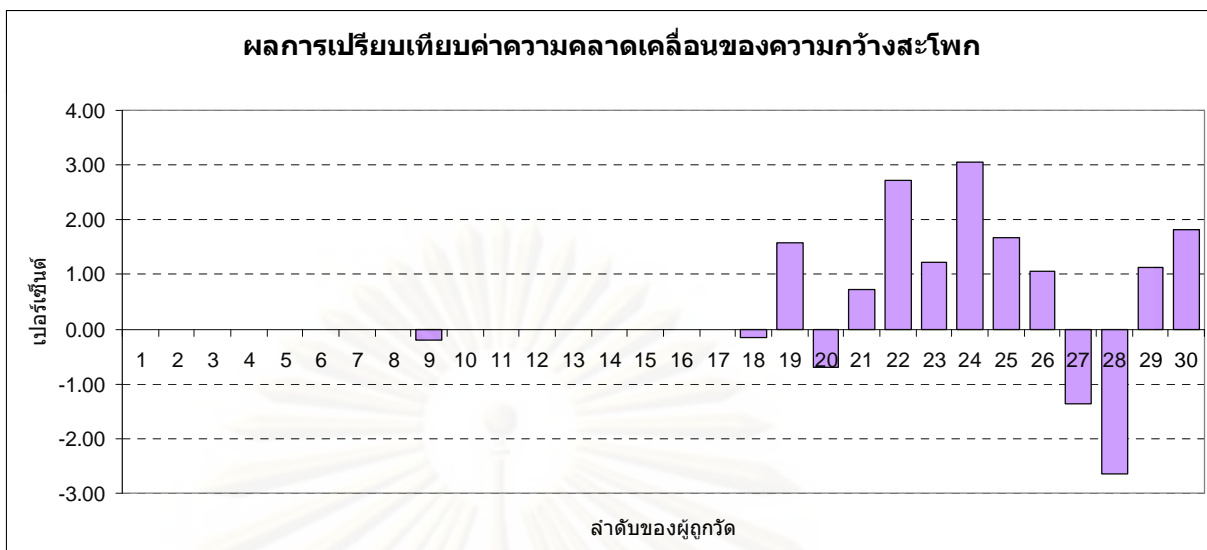
รูปที่ 60 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 11  
หรือความสูงระดับข้อศอกขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 61 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 15  
หรือความสูงของเข่าขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์

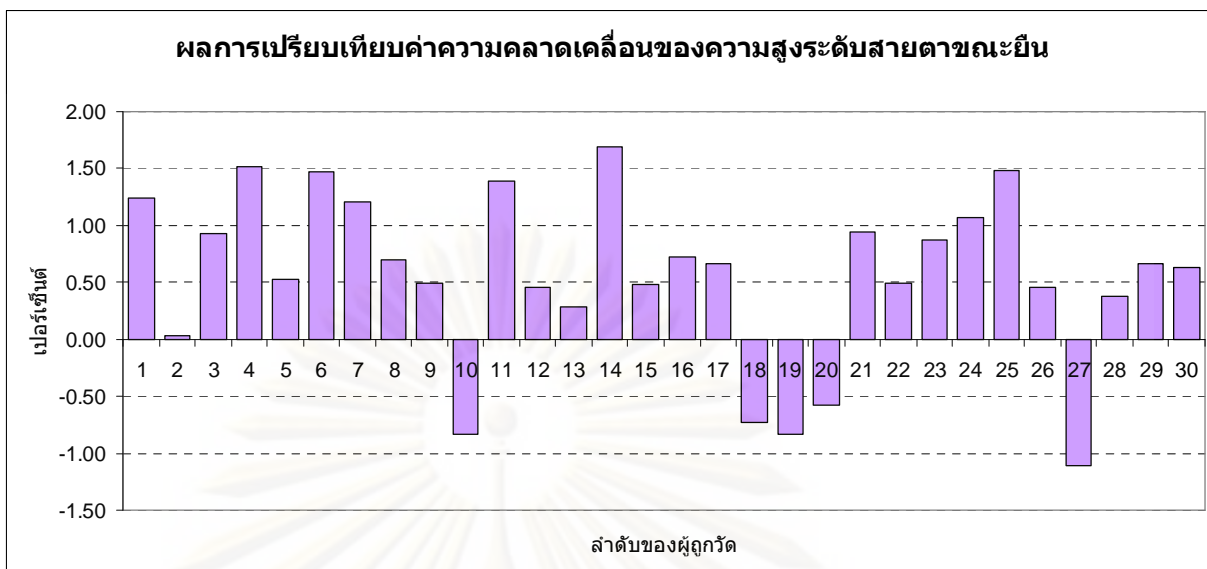


รูปที่ 62 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 18  
หรือความกว้างไหล่ อ่างอิงปุ่มหัวไหล่เป็นเปอร์เซ็นต์

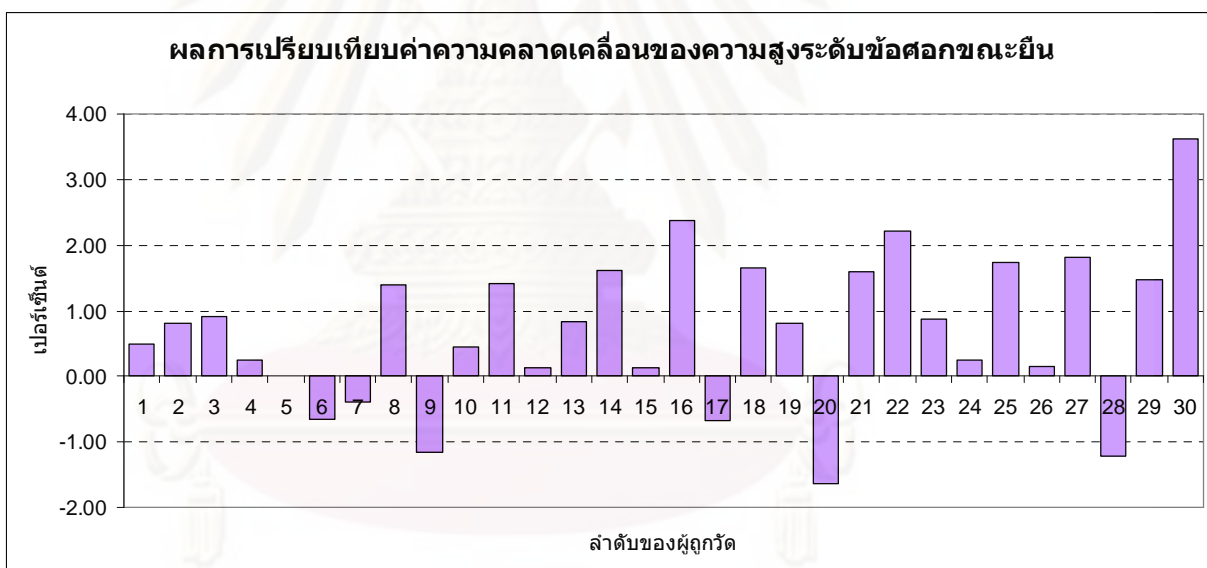


รูปที่ 63 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 19  
หรือความกว้างสะโพกเป็นเปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 57 ถึง 63 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นทั้งบวก และลบ แต่เนื่องจากการทำงานของโปรแกรมโดยการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ ซึ่งผู้ใช้ต้องเลือกพิกัดของสัดส่วนเอง และในบางสัดส่วนสามารถเลือกกระยะอ้างอิงสัดส่วนได้ยาก ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้ ค่าทั้งหมดโดยรวมไปในทิศทางบวก และลบมีค่าที่สูงกว่าการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการหาขนาดกว้างที่สุด และสูงที่สุด และเป็นผลอย่างมากในกลุ่มตัวอย่างบางคนในบางสัดส่วนส่งผลให้เกิดค่าที่โดดเด่นออก เช่น ในสัดส่วนที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 7, ในสัดส่วนที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 6 และ 12, ในสัดส่วนที่ 7 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 10, 24 และ 28, ในสัดส่วนที่ 11 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 21 และ 22, ในสัดส่วนที่ 15 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 1 และ 18, ในสัดส่วนที่ 18 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 6 และ 23 และในสัดส่วนที่ 19 ของกลุ่มตัวอย่างคนที่ 22, 24 และ 28

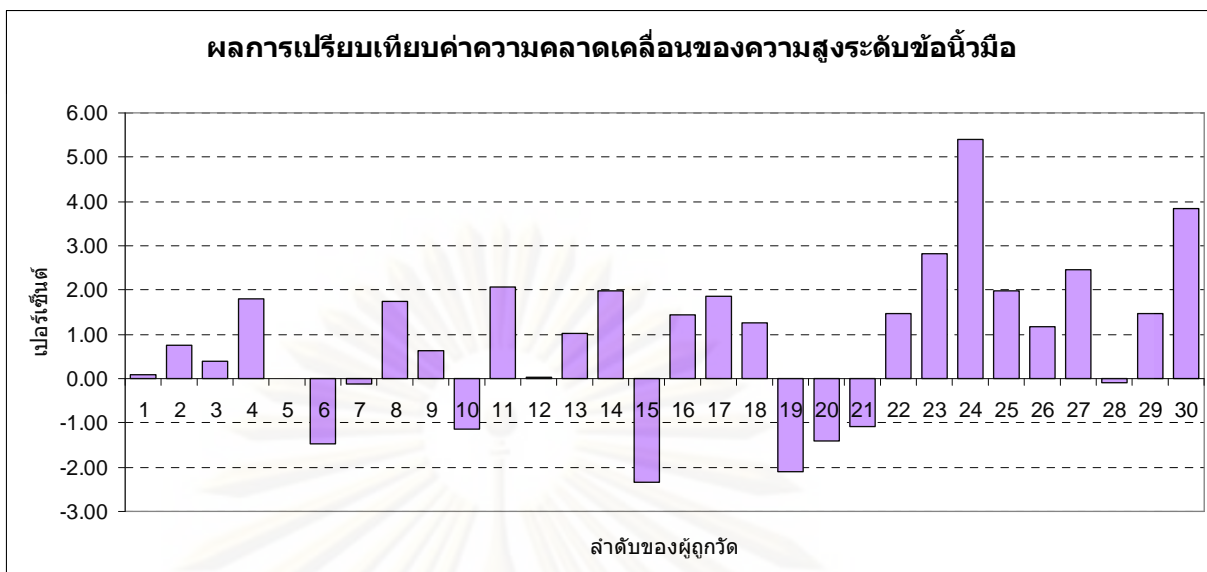


รูปที่ 64 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 2  
หรือความสูงระดับสายตาระยะยื่นเป็นเปอร์เซ็นต์

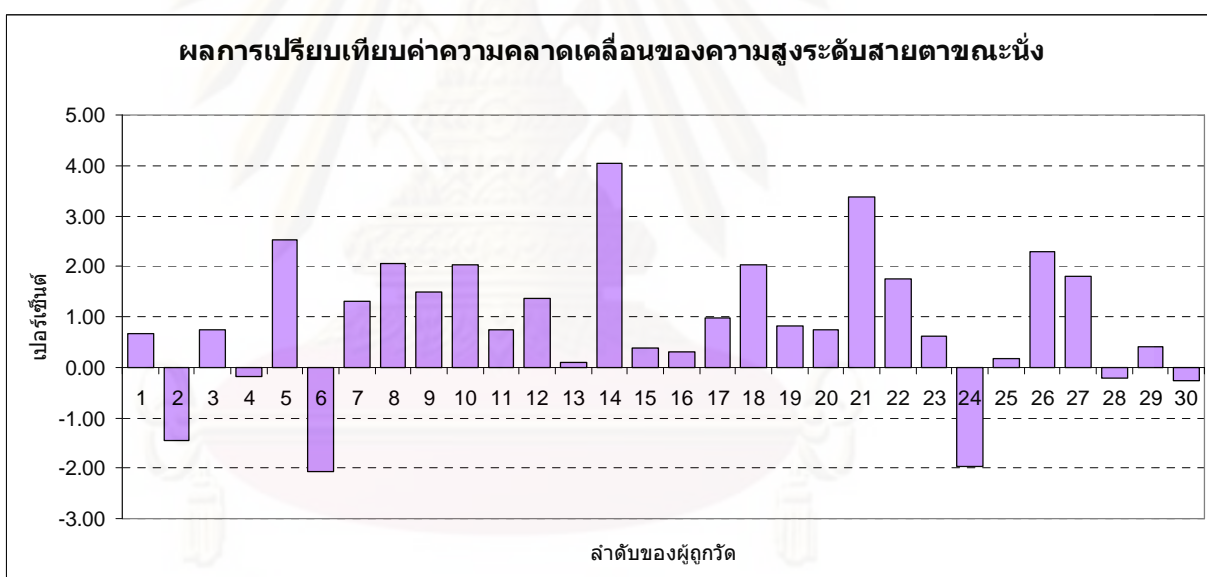


รูปที่ 65 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 4  
หรือความสูงระดับข้อศอกระยะยื่นเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

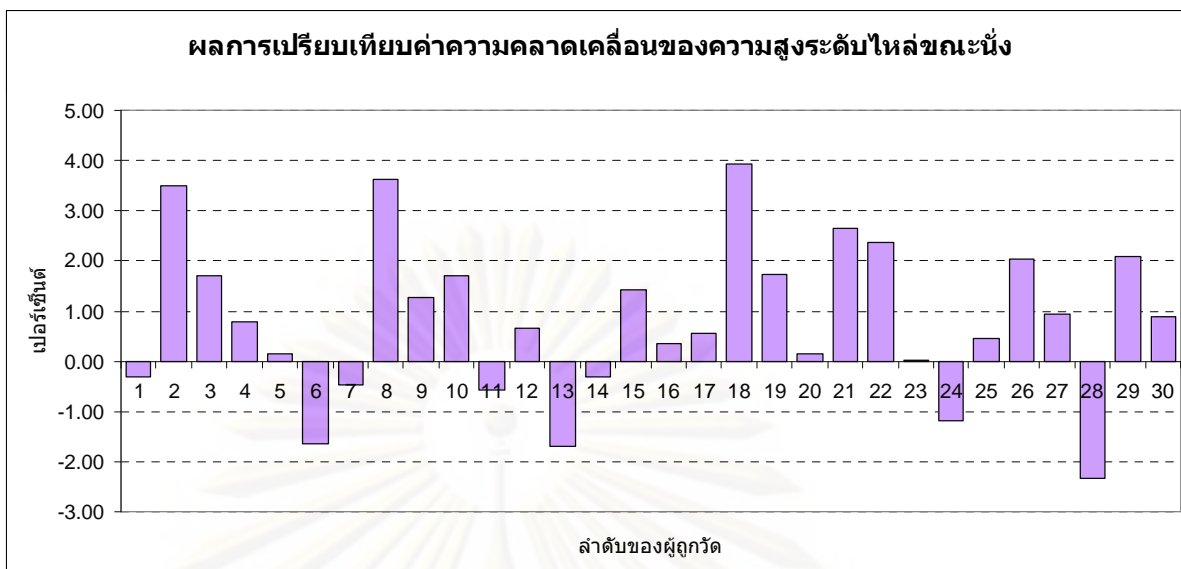


รูปที่ 66 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 6  
หรือความสูงระดับขื่อนิ้วมือเป็นเปอร์เซ็นต์

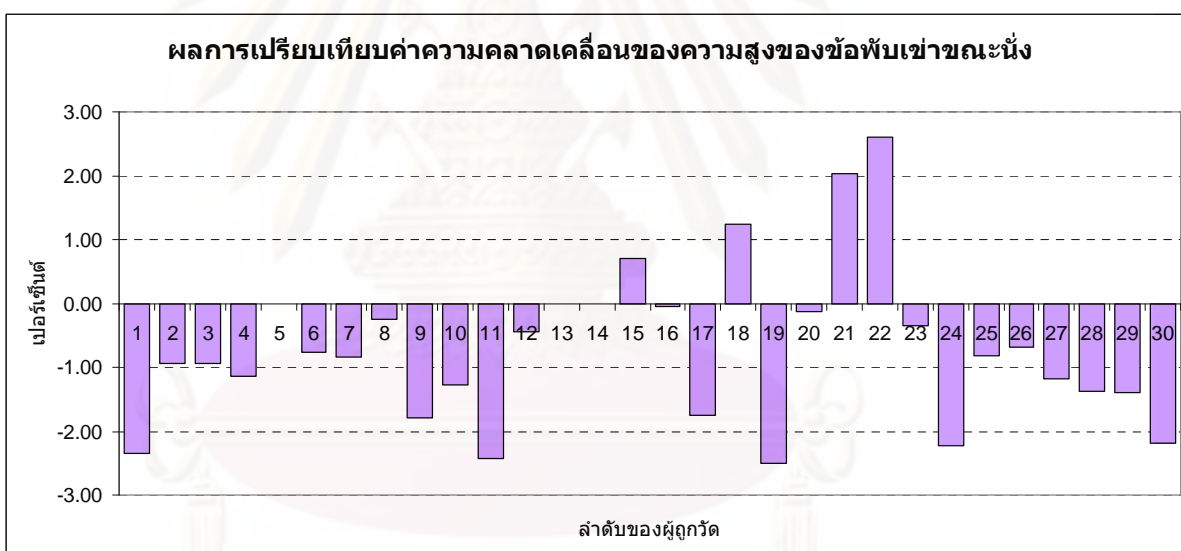


รูปที่ 67 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 9  
หรือความสูงระดับสายตาขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิจัยทางการแพทย์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



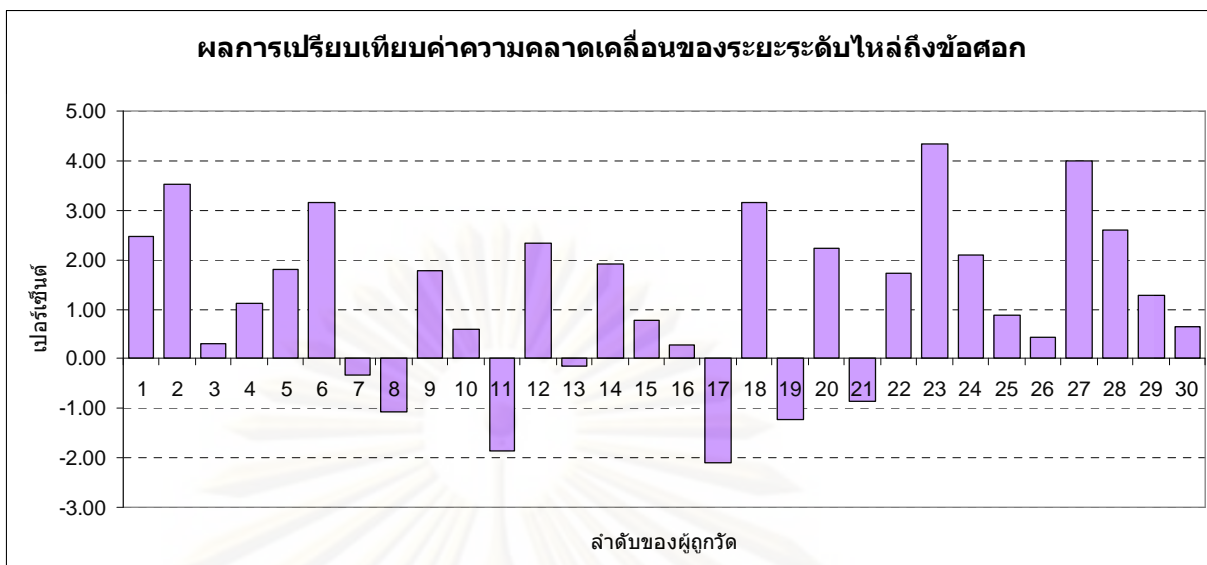
รูปที่ 68 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 10  
หรือความสูงระดับไหล่ขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์



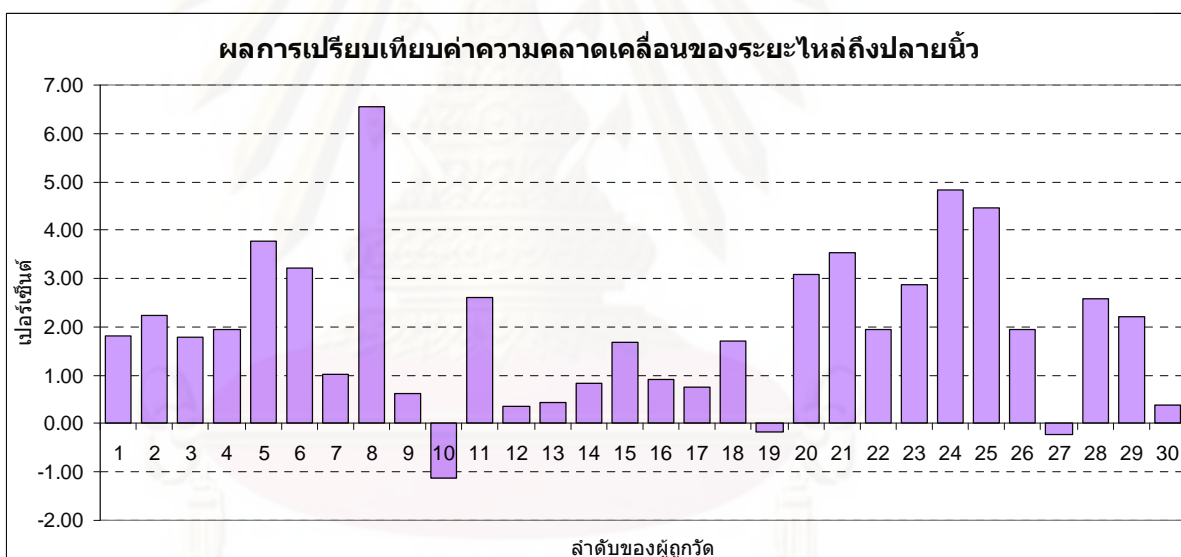
รูปที่ 69 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 16  
หรือความสูงของข้อพับเข่าขณะนั่งเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



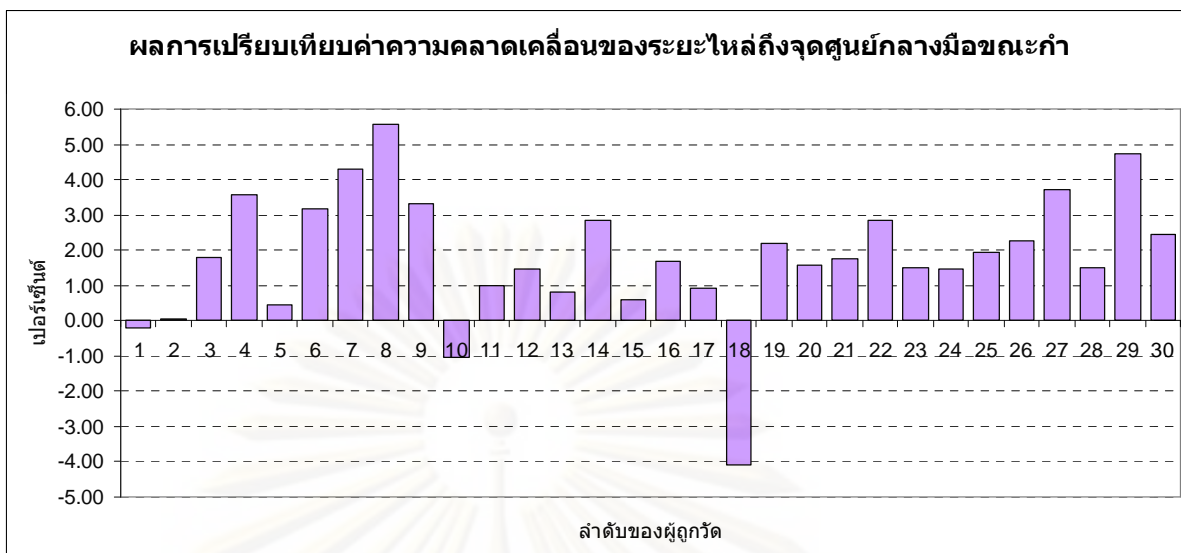


รูปที่ 70 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 22  
หรือระยะระดับไหล่ถึงข้อศอกเป็นเปอร์เซ็นต์

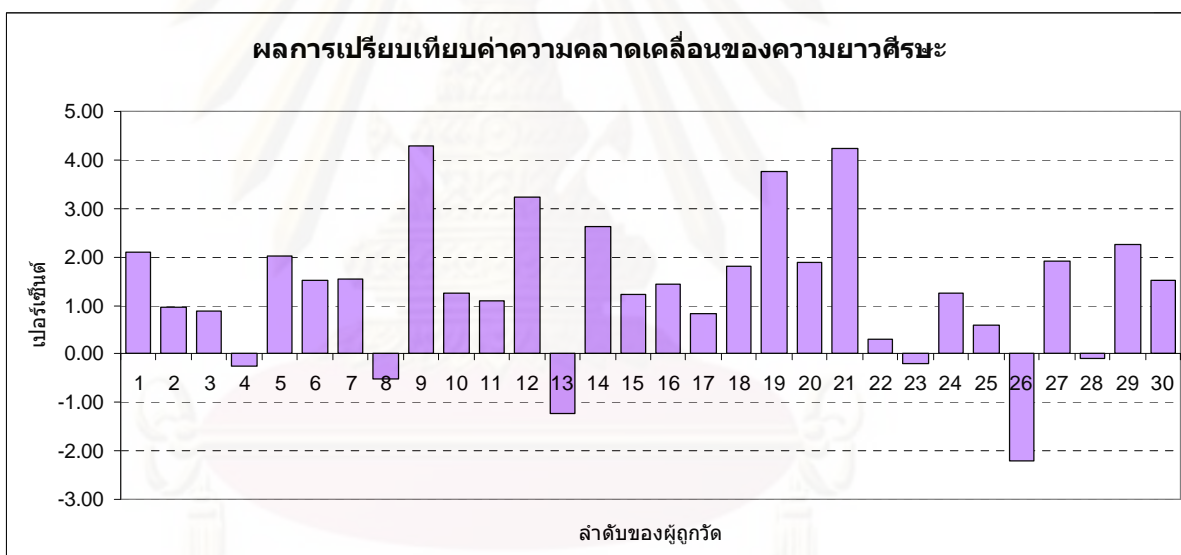


รูปที่ 71 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 24  
หรือระยะไหล่ถึงปลายนิ้วเป็นเปอร์เซ็นต์

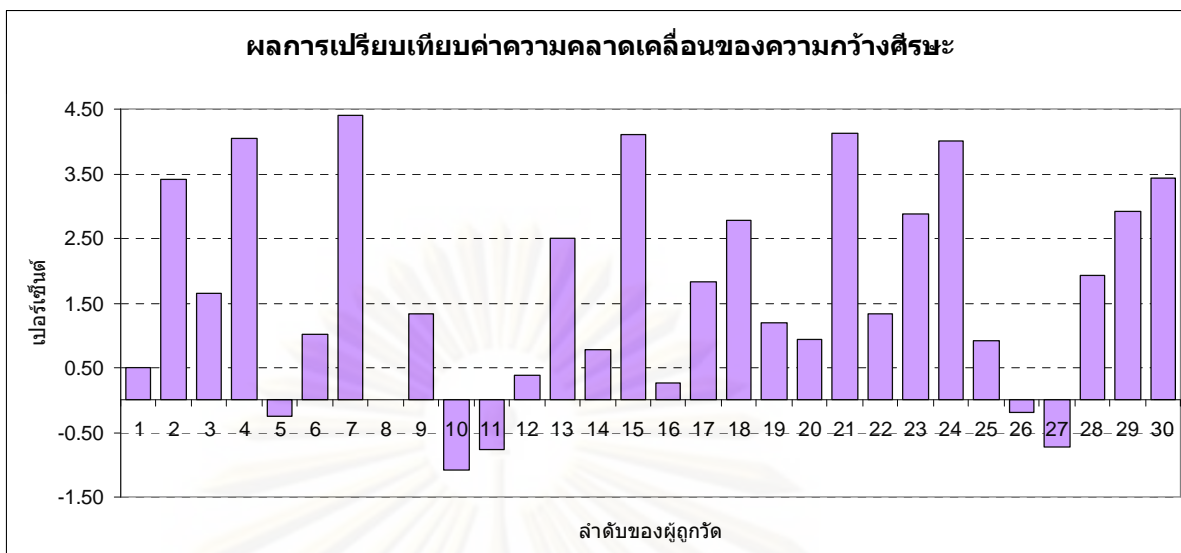
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



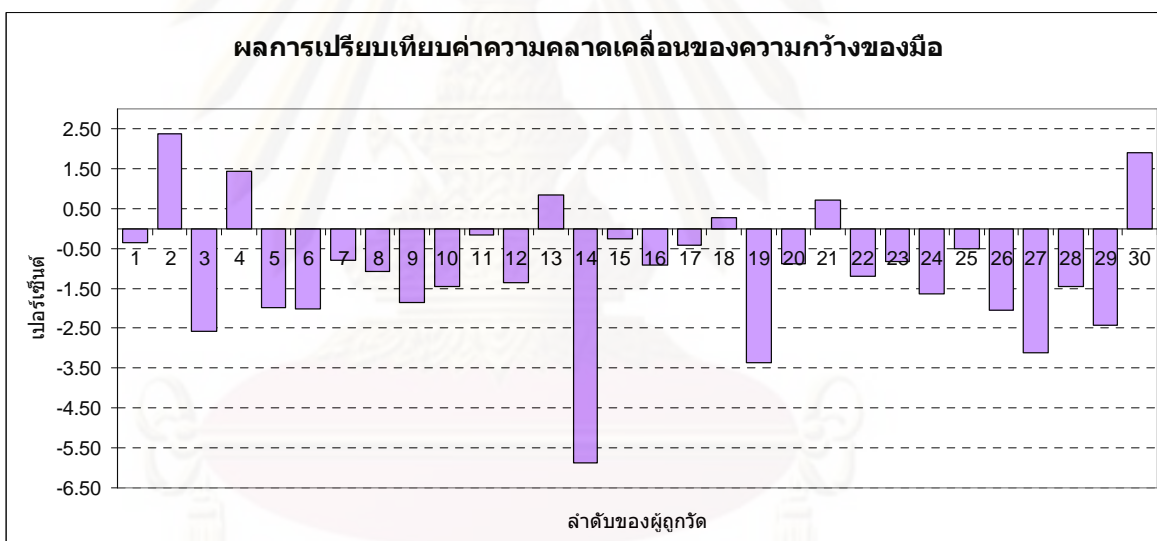
รูปที่ 72 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 25  
หรือระยะไหลถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 73 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 26  
หรือความยาวศีรษะเป็นเปอร์เซ็นต์

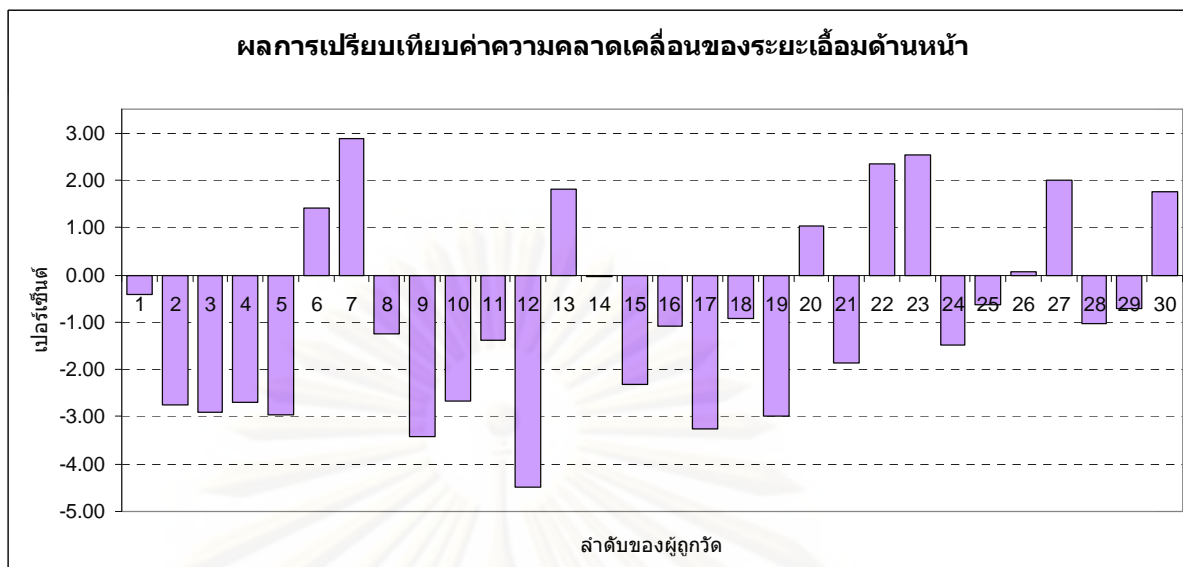


รูปที่ 74 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 27  
หรือความกว้างศีรษะเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 75 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 29  
หรือความกว้างของมือเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยุโทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

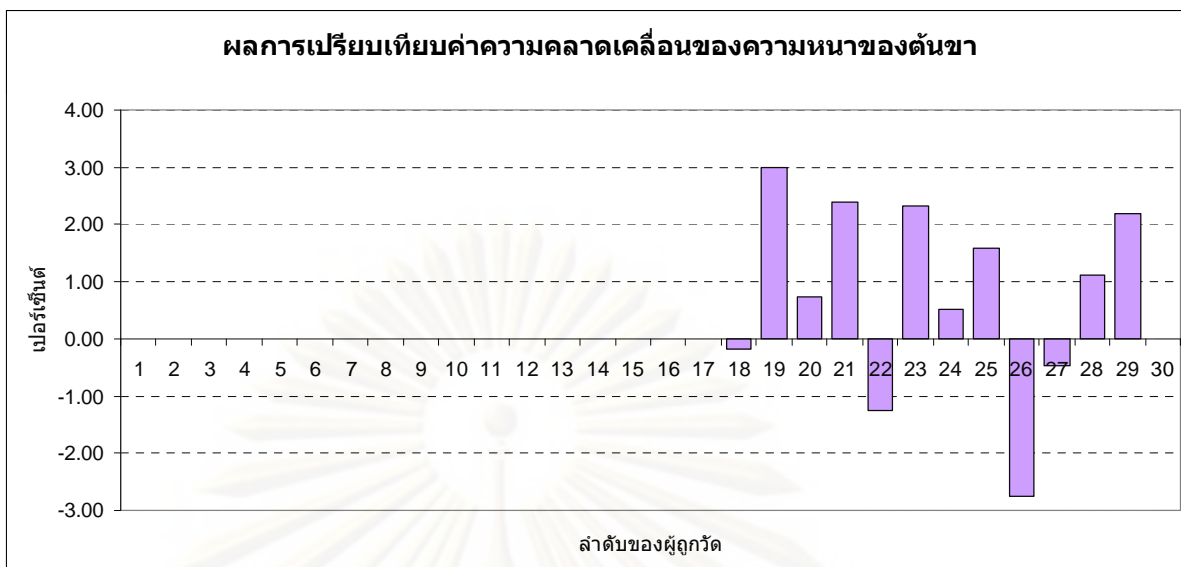


รูปที่ 76 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 36  
หรือระยะเอื่อมด้านหน้าเป็นเปอร์เซ็นต์

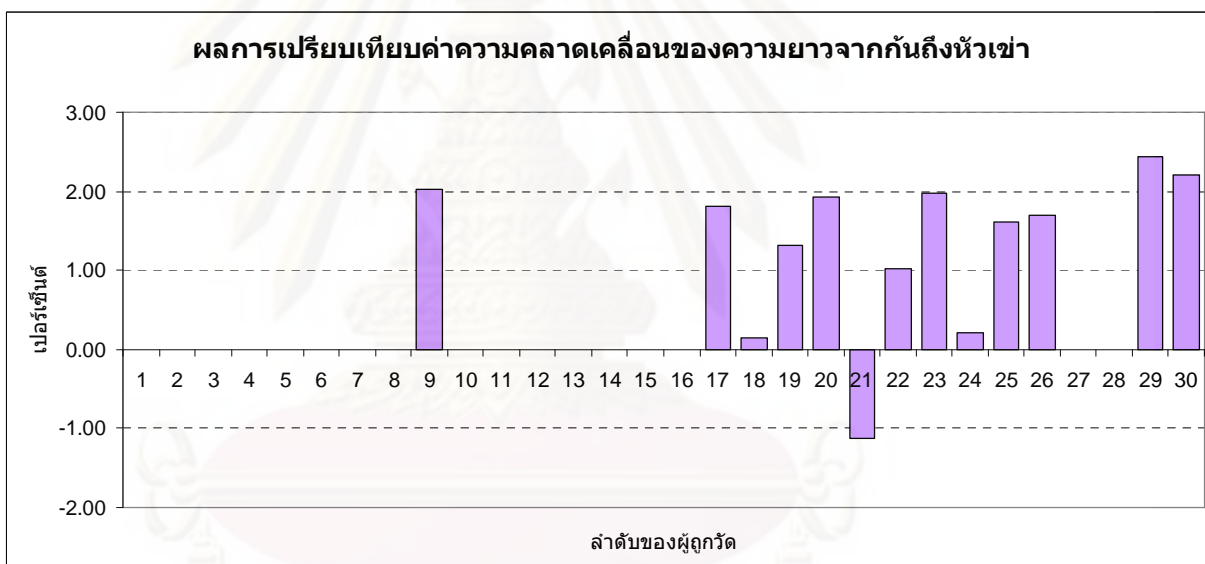
จากรูปที่ 64 ถึง 76 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยรวมมีทั้งในทางบวก และลบเช่นเดียวกันกับผลในสัดส่วนอื่นๆ หากแต่จะมีขนาดในทางบวก และลบที่สูงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสัดส่วนที่เหลือทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจาก 2 สาเหตุรวมกันคือ เป็นการทำงานของโปรแกรมในส่วนของหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ กับผลจากการเคลื่อนไหว หรือความยืดหยุ่นทางด้านร่างกายของมนุษย์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยเฉพาะสัดส่วนที่มีจุดอ้างอิงของหัวไหล่เข้ามาเกี่ยวข้องจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ เช่น สัดส่วนที่ 10, 22, 24, 25 และ 36 และในสัดส่วนที่ 16 จะเห็นได้ชัดว่าเกิดจากจุดอ้างอิงร่างกายในส่วนข้อพับเข่า เป็นจุดหนึ่งที่ทำกรอ้างอิงได้ยาก ส่งผลให้เกิดค่าความแตกต่างในจุดนี้อย่างชัดเจน และในสัดส่วนที่ 26, 27 และ 29 นั้นค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง เป็นผลมาจากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามปกติจากสาเหตุต่างๆ ดังเช่นกับสัดส่วนอื่นๆ หากแต่เป็นสัดส่วนที่ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสัดส่วนทั้งหมด ทำให้การเปรียบเทียบที่ออกมามีค่าที่สูงมาก

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



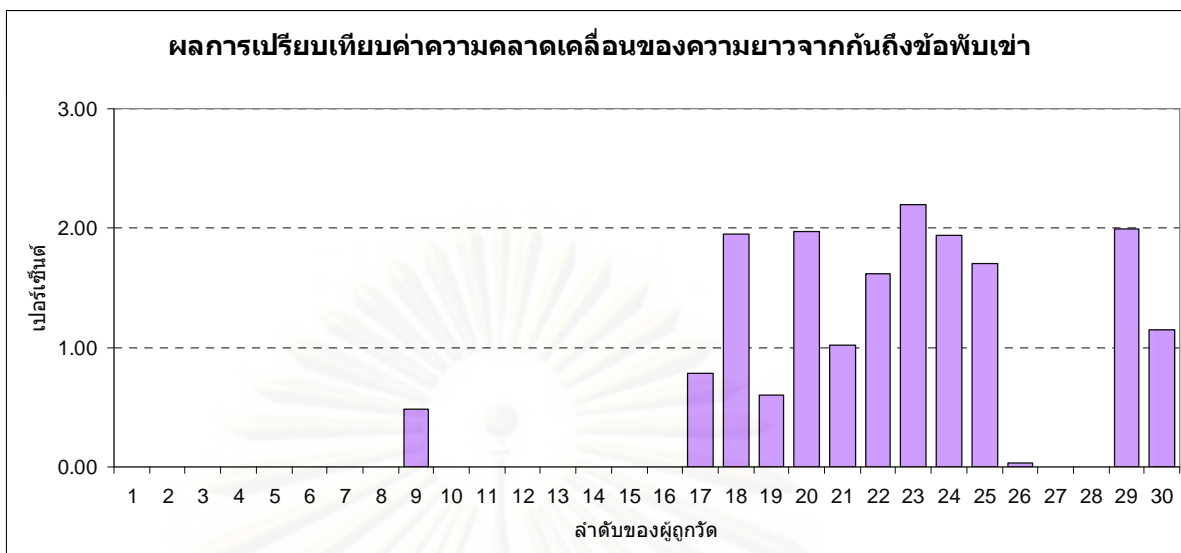
รูปที่ 77 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 12  
หรือความหนาของต้นขาเป็นเปอร์เซ็นต์



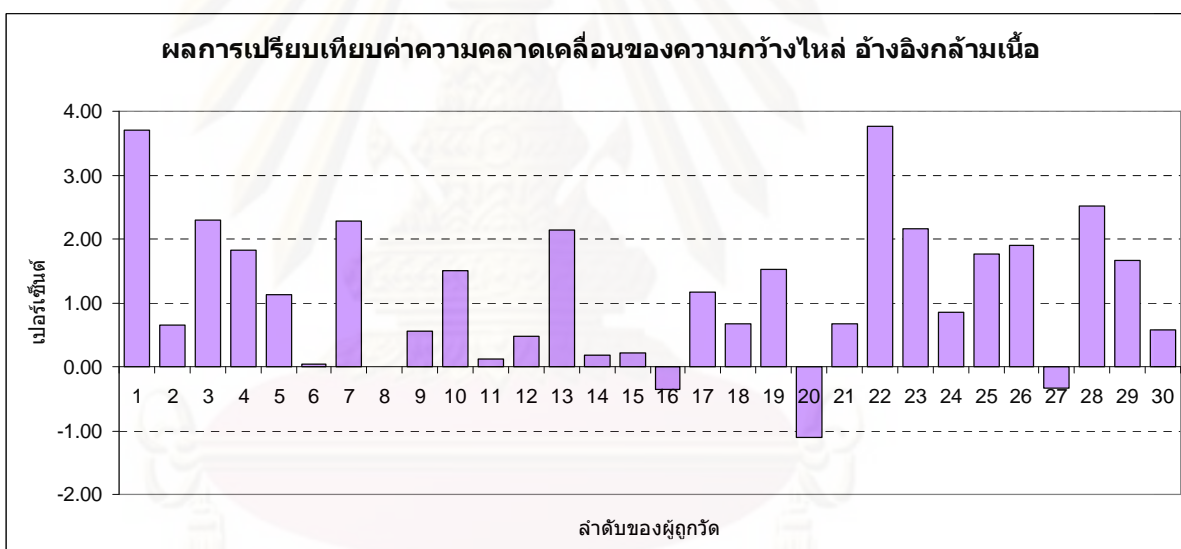
รูปที่ 78 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 13  
หรือความยาวจากกันถึงหัวเข่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

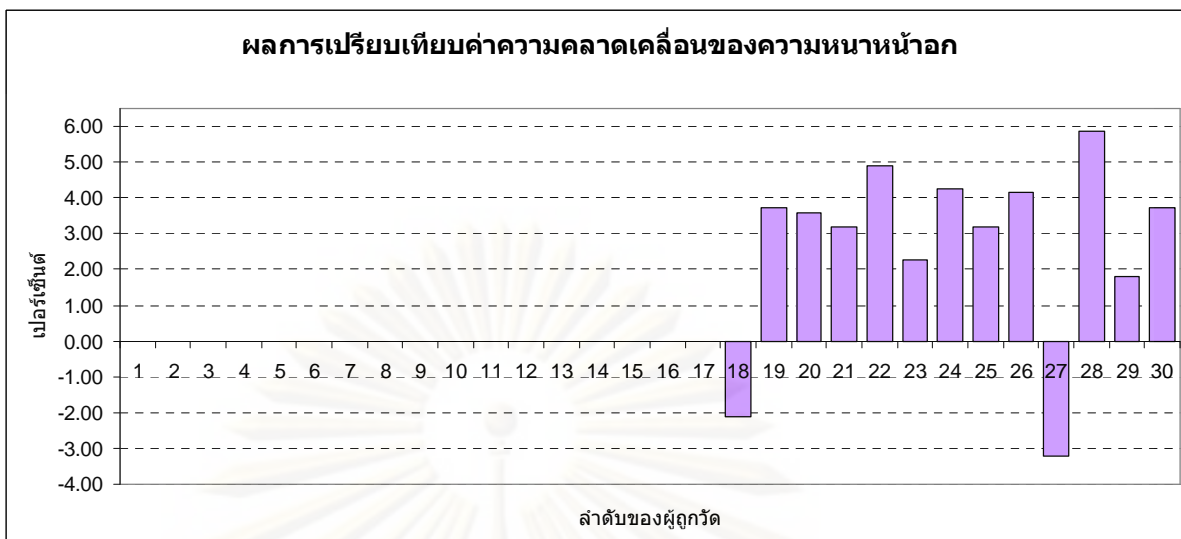
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



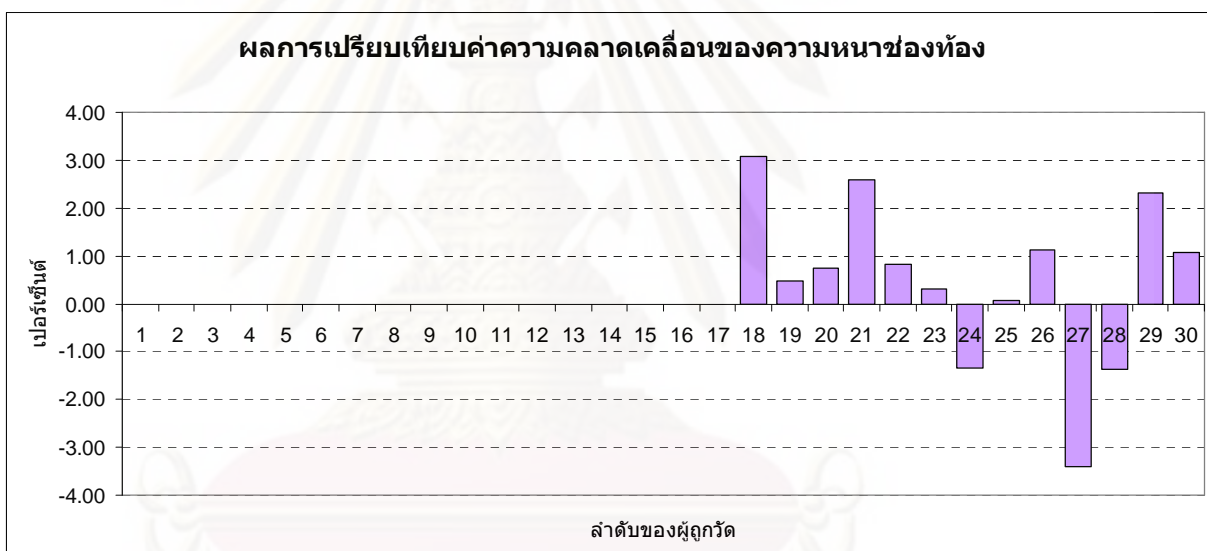
รูปที่ 79 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 14  
หรือความยาวจากกันถึงข้อพับเข่าเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 80 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 17  
หรือความกว้างไหล่ อ้าองกิ่งกล้ามเนื้อเป็นเปอร์เซ็นต์



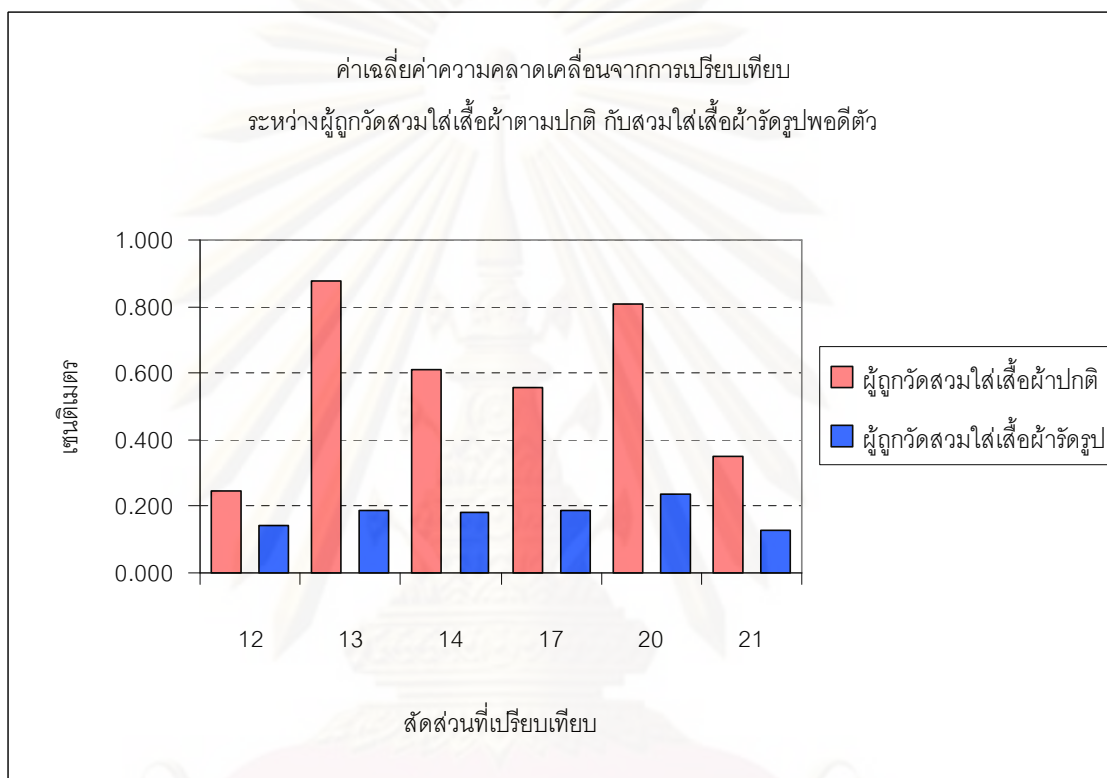
รูปที่ 81 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 20  
หรือความหนาหน้าอกเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 82 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนที่ 21  
หรือความหนาช่องท้องเป็นเปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 77 ถึง 82 พบว่าสัดส่วนที่กล่าวถึงเป็นสัดส่วนที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง และมีค่าส่วนใหญ่ไปในทิศทางบวกเกือบทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า ค่าที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่ามากกว่าอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีการสันนิษฐานในเบื้องต้นว่า สาเหตุเรื่องความหนาไม่พอดีตัวของเสื้อผ้าที่นำจะส่งผลต่อค่าที่ได้ อันได้แก่ สัดส่วนที่ 12, 13, 14, 17, 20 และ 21 ซึ่งสัดส่วนที่ 13, 14, 17 และ 20 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ และค่าที่ได้อยู่ในทิศทางบวก หมายถึง ค่าที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่าที่มากกว่าค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

จากข้อสันนิษฐานจึงได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากกลุ่มตัวอย่าง 2 คน โดยให้แต่งกายด้วยชุดที่รัดรูป และพอดีตัวมากที่สุด แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างอาสาสมัครที่ไม่สามารถควบคุมเรื่องชุดที่สวมใส่เป็นหน่วยเซนติเมตร ซึ่งผลปรากฏว่าจากการเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเกือบทุกสัดส่วน และแตกต่างกันอย่างมากในสัดส่วนที่ 13 และ 20 ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 83 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการสวมใส่เสื้อผ้าแบบปกติและแบบวัดรูปของผู้ถักวัด

จากรูปที่ 46 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากกลุ่มตัวอย่างที่สวมใส่เสื้อผ้าปกติ นั้น จะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.2 เซนติเมตรเป็นต้นไป แต่เมื่อหลังจากทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างที่สวมใส่เสื้อผ้าพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.2 เซนติเมตร เกือบทั้งหมด ซึ่งลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

สิ่งที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ โปรแกรมวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ในแนว 2 มิติ ซึ่งเป็นทางเลือกอีกแนวทางหนึ่งในการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นทั้งทางด้านภาครัฐ เอกชน หรือองค์กร สถานศึกษาต่างๆ ที่ต้องการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกาย เพื่อนำไปใช้ออกแบบ พัฒนา อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องจักรที่มีความเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของมนุษย์ รวมถึงศึกษาปัจจัยต่างๆ อันมีเรื่องของขนาดสัดส่วนร่างกายเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้อง หรือกลุ่มประชากรเฉพาะ อันได้แก่ บุคคลพิการ และผู้สูงอายุ เป็นต้น ซึ่งในส่วนของโปรแกรม และกระบวนการวัดในงานวิจัยนี้ จะสามารถตอบสนอง และครอบคลุมในความต้องการด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น สามารถเก็บข้อมูลเป็นปริมาณที่มากขึ้น และมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น กรณีที่ต้องการหาสัดส่วนกว้างที่สุด หรือสูงที่สุดสามารถทำได้ง่าย โดยที่ผู้ใช้โปรแกรมอาจไม่จำเป็นต้องทราบถึงจุดอ้างอิงที่ใช้ในการวัด และกรณีที่ผู้วัดต้องการศึกษาขนาดสัดส่วนเป็นบางส่วน หรือบางตำแหน่งในร่างกายที่ปลีกย่อยลงไปก็สามารถวัดได้โดยใช้การหาขนาดสัดส่วนที่สนใจได้ เป็นผลให้สามารถศึกษาขนาดสัดส่วนต่างๆ ในแนวระนาบ 2 มิติ ได้อย่างเป็นอย่างไรดี ทางด้านต้นทุนที่มีราคาไม่สูง เมื่อเทียบเท่ากับอุปกรณ์แบบเดิม อีกทั้งมีค่าซ่อมบำรุงที่ถูกกว่า การขนย้าย และติดตั้งสามารถทำได้สะดวก ซึ่งเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาสนับสนุนให้โปรแกรม และกระบวนการวัดที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำไปใช้งานจริง หรือศึกษาพัฒนาต่อไปในอนาคต และจากผลการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ สามารถสรุปประเด็นต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

- เงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน และการติดตั้งอุปกรณ์ คือที่ระยะวางกล้องที่ 7 เมตร และความละเอียดของภาพที่  $> 3007 \times 2004$  พิกเซลเป็นต้นไป โดยจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สำหรับเทคนิคการวัดนี้ การนำไปใช้งานจริง สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขได้ ไม่ว่าจะเป็นระยะวางกล้อง หรือความละเอียดของภาพ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การเก็บข้อมูล ค่าข้อมูลที่ต้องการใช้ ความสะดวก หรือข้อจำกัดในการติดตั้ง หรือการใช้งาน

- จากการทดสอบ t-test ที่  $\alpha = 0.05$  กับสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ ค่าเฉลี่ยของการวัดขนาดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของการวัดโดยใช้โปรแกรม โดยแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนคือ การหาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุด หรือสูงที่สุด ผลคือมีการยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ในสัดส่วนที่ 1, 2, 32, 33 และ 35 และปฏิเสธสมมติฐานในสัดส่วนที่ 23 และ 28 และการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ ผลคือมีการยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ในสัดส่วนที่ 3, 5, 7, 11, 12, 15, 18, 19 และ 21 และปฏิเสธสมมติฐานในสัดส่วนที่ 2, 4, 6, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 26, 27, 29 และ 36

- ในการนำไปใช้งานจริง โปรแกรมและเทคนิคนี้สามารถวัดได้ในทุกสัดส่วน โดยจะมีสัดส่วนที่แม่นยำที่สุดสำหรับการทำงานของโปรแกรมในการหาขนาดที่กว้างที่สุด และสูงที่สุด ในสัดส่วนที่ 1, 2, 32, 33 และ 35 และแม่นยำที่สุดในการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจในสัดส่วนที่ 3, 5, 7, 11, 12, 15, 18, 19 และ 21 ซึ่งสัดส่วนอื่นๆ นอกเหนือไปจากที่ได้กล่าวไปนั้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้เช่นเดียวกัน หากแต่มีสาเหตุรบกวนที่จะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอันจะแจกแจงในหัวข้อถัดไป

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินการวิจัยนี้ได้พบปัญหา หรืออุปสรรคที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 ปัญหาทางด้านความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการเปรียบเทียบการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายกับโปรแกรมโดยทำการวัดกับมนุษย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามการทำงานของโปรแกรม

### 5.2.1.1 การหาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุด หรือสูงที่สุด

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ในการเปรียบเทียบการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย กับโปรแกรมในส่วนการหาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุด หรือสูงที่สุดนั้นประกอบมาจากเหตุผลดังนี้

- ความผิดพลาดในการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายของผู้วัด เนื่องมาจากจุดอ้างอิงที่ใช้ในการวัดขนาดนั้น สามารถอ้างอิงได้ยาก ส่งผลให้การวัดแต่ละครั้งได้ค่าที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน

- ความผิดพลาดในการจัดทำทางขณะถ่ายภาพ จากการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการหาขนาดกว้างที่สุด และสูงที่สุด จะเป็นการหาขอบของภาพที่กว้าง และสูง

ที่สุด ซึ่งในสัดส่วนที่เป็นแนวนอน ถ้าผู้วัดจัดทำทางผู้ถูกวัดได้ไม่ตรงตามแกนแล้ว ก็จะมีส่งผลให้ภาพที่ได้เอียง ทำให้ค่าที่ออกมาคลาดเคลื่อนไป

- ความผิดพลาดอันเกิดจากความยืดหยุ่นของร่างกายมนุษย์ ร่างกายมนุษย์นั้นมีความสมบัติที่สามารถยืดหยุ่นได้ ซึ่งความมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคลไป ตามสภาพของร่างกาย การวัดสัดส่วนที่มีความสามารถยืดหยุ่นได้สูงนั้น ซึ่งผู้ถูกวัดก็ไม่สามารถควบคุมความยืดหยุ่นดังกล่าวได้ ส่งผลให้ผู้ถูกวัดจัดทำได้ไม่ตรงกันในทุกครั้งที่วัดสัดส่วนเดิม เป็นผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้น

ซึ่งจากสาเหตุทั้งหมดที่กล่าวมานั้นเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำงานของโปรแกรมในส่วนนี้ โดยสัดส่วนที่ 23 จะได้รับผลกระทบจากความยืดหยุ่นของร่างกายมนุษย์มากที่สุดเนื่องจากเป็นสัดส่วนที่มีข้อต่อของร่างกายมากที่สุดสัดส่วนหนึ่ง และสัดส่วนที่ 28 ก็สามารถนำไปใช้งานได้จริงเช่นเดียวกันกับสัดส่วนอื่นๆ ที่ผลออกมาเป็นยอมรับสมมติฐาน แต่เนื่องมาจากสัดส่วนดังกล่าวเป็นสัดส่วนที่เล็ก ซึ่งโปรแกรมและเทคนิคนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วในเบื้องต้น การคำนวณค่าทางสถิติที่ออกมาอาจส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสูง แต่เมื่อนำมาพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งแสดงผลให้รูปแบบของเซนติเมตรในภาคผนวก ง นั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.2784 เซนติเมตรเท่านั้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเป็นสัดส่วนที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

#### 5.2.1.2 การหาขนาดสัดส่วนที่สนใจ

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบการใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายกับโปรแกรมในส่วนการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจนั้น ในทุกสัดส่วนที่ทำกรวัด จะพบปัญหาเช่นเดียวกันกับการหาขนาดสัดส่วนที่กว้างที่สุด และสูงที่สุด ดังต่อไปนี้ คือ

- ความผิดพลาดในการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดส่วนร่างกายของผู้วัด
- ความผิดพลาดในการจัดทำทางขณะถ่ายภาพ จากการทำงานของโปรแกรม ในสัดส่วน
- ความผิดพลาดอันเกิดจากความยืดหยุ่นของร่างกายมนุษย์

อีกทั้งในการหาขนาดสัดส่วนที่สนใจนั้นยังพบสาเหตุของค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มเติมอีกคือ

- ความผิดพลาดอันเกิดจากผู้ถูกวัดจากการใช้งานโปรแกรม สาเหตุมาจาก การหาขนาดสัดส่วนที่สนใจนั้น สาเหตุจากการกำหนดพิกัดที่ต้องการหาขนาดสัดส่วนผิดไป

ส่งผลให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน ซึ่งสาเหตุนี้เกิดขึ้นกับทุกสัดส่วนที่ใช้การวัดแบบหาขนาด สัดส่วนที่สนใจ

ในการทำงานของโปรแกรมในสัดส่วนที่สนใจนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมี ผลมาจากสาเหตุในข้างต้น เช่นเดียวกันกับการทำงานในส่วนของการหาขนาดกว้างที่สุด และสูงที่สุด หากแต่จะมีสาเหตุเพิ่มเติมเข้ามาก็คือความผิดพลาดอันเกิดผู้ถูกวัดจากการ ใช้งานโปรแกรม ซึ่งในสาเหตุนี้พบว่าผลกระทบอย่างมากต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่ เกิดขึ้นจากการวัดในสัดส่วนที่ 2, 4, 6, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 26, 27, 29 และ 36 ซึ่งในสัดส่วนที่มีผลกระทบจากสาเหตุนี้มากที่สุดคือ สัดส่วนที่ 13, 14, 16, 17, 20 และ 21 จากสัดส่วนทั้งหมดนี้ ต้นเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสาเหตุของความผิดพลาดใน ส่วนนี้มาจากเสื้อผ้าที่สวมใส่ของผู้ถูกวัด เป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้อย่างเต็มที่ใน งานวิจัยนี้ เพราะเป็นกลุ่มอาสาสมัคร ทำให้การวัดอาสาสมัครบางคนที่ไม่สวมใส่เสื้อผ้าหนา หรือไม่พอดีตัวเกิดความผิดพลาดไป โดยจะทำการทดสอบสาเหตุนี้ในหัวข้อ 5.2.3 ในส่วน ปัญหาทางด้านความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากชุดสวมใส่ของผู้ถูกวัด

#### 5.2.2 ปัญหาทางด้านความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์อ้างอิงระยะ

สาเหตุที่เกิดขึ้นเกิดจาก อุปกรณ์อ้างอิงระยะไม่ได้ตั้ง หรือหมุนให้อยู่ในแนว ระนาบที่ถูกต้องตามจริง อันเนื่องมาจากพื้นที่ติดตั้ง หรืออุปกรณ์มีความคลาดเคลื่อนเอง ซึ่ง ทั้งหมดจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระยะอ้างอิงที่ได้มีความผิดพลาดไป เป็นผลให้ค่าที่วัดได้จาก โปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนไป

#### 5.2.3 ปัญหาทางด้านความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากชุดสวมใส่ของผู้ถูกวัด

เนื่องจากการเก็บข้อมูล กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครที่ไม่สามารถควบคุมชุดที่ สวมใส่ได้ โดยความหนาของเสื้อผ้าที่ผู้ถูกวัดสวมใส่นั้น เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดค่าความ คลาดเคลื่อนขึ้น ในสัดส่วนความหนาของต้นขา, ความยาวจากกันถึงหัวเข่า, ความยาวจากกันถึง ข้อพับเข่า, ความกว้างไหล่ (อ้างอิงกล้ามเนื้อ), ความหนาหน้าอก และความหนาช่องท้อง ซึ่ง สามารถพิสูจน์ได้จากการเก็บข้อมูล กลุ่มตัวอย่างพิเศษจำนวน 2 คน โดยกำหนดให้อาสาสมัคร ดังกล่าวสวมใส่เสื้อผ้าที่น้อยชิ้น และบางที่สุด รวมถึงมีความพอดีตัวมากที่สุด และนำค่าที่ได้โดยมี หน่วยเป็นเซนติเมตร มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนที่มีสาเหตุของความคลาดเคลื่อนอันมาจากความ หนาของเสื้อผ้าพบความคลาดเคลื่อนลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงจากราฟในรูปที่ 83

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงาน และข้อสรุปของงานวิจัยนี้สามารถกำหนดข้อเสนอแนะ และการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคตได้ดังนี้คือ

#### 5.3.1 ด้านโปรแกรม

ขั้นตอนการศึกษา และวิจัยต่อไปในอนาคต สามารถทำได้โดยการยกระดับ อัลกอริทึมของโปรแกรม หรือใช้เทคนิคการทำงานที่สูงขึ้นได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และระบบการวัดมากขึ้น รวมถึงปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานโปรแกรมให้มีความเรียบง่ายต่อการ ศึกษา และใช้งานได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงพัฒนาโปรแกรม และกระบวนการวัดนี้ให้อยู่รูปแบบ 3 มิติ หรือสามารถวัดได้แบบพลวัต เพื่อครอบคลุมถึงความต้องการในการศึกษาขนาดสัดส่วนได้อย่างมี ขอบเขตที่น้อยลง

#### 5.3.2 ด้านกระบวนการวัด

ทำการศึกษาความแม่นยำของอุปกรณ์การวัด ซึ่งในที่นี้หมายถึงการทำงานของ โปรแกรม และกระบวนการวัด โดยศึกษา ณ ที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ นอกเหนือจากห้องปฏิบัติการ รวมถึงศึกษาปัจจัยอื่นๆ หรือปัจจัยคาดว่าจะมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เช่น ปริมาณ แสง, ชนิดของเลนส์, ชนิดของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และชนิดของอุปกรณ์อ้างอิงระยะ โดยเปลี่ยน จากแบบเดิมที่เป็นเสา เป็นลูกดิ่ง หรืออื่นๆ เป็นต้น รวมถึงการศึกษาถึงปัจจัย หรือสาเหตุอัน ก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปโดยทำการศึกษาโดยละเอียด เพื่อคัดกรอง แจกแจงเอาปัจจัย หรือสาเหตุที่เราสามารถแก้ไข หรือสามารถควบคุมได้ออกไป เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการทำงานของโปรแกรม และเทคนิคนี้

#### 5.3.3 ด้านผู้วัด และผู้ถูกวัด

ในกระบวนการวัดนี้ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนได้ โดยให้ผู้ถูกวัดสวมใส่ เสื้อผ้าที่รัดรูป หรือกระชับร่างกายมากที่สุด และออกแบบอุปกรณ์เพื่อช่วยในยืน นั่ง หรือการจัด ท่าทางของผู้ถูกวัดทำได้ง่าย และคงที่มากยิ่งขึ้น รวมถึงการออกแบบเสื้อผ้ายืดของผู้ถูกวัดให้ ง่ายต่อการติดตั้งอุปกรณ์อ้างอิงสัดส่วนต่างๆ บนร่างกาย หรือศึกษาสีของเสื้อผ้าที่เหมาะสมต่อ การใช้งานในโปรแกรม และเทคนิคนี้

## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Argialas D. P. and Mavrantza O. D. Comparison of Edge Detection and Hough Transform Techniques for the Extraction of Geologic Features. 2002.
- Abdou, I. E. and W. K. Pratt Quantitative Design and Evaluation of Enhancement / Thresholding Edge Detectors. Proceedings of IEEE, 1979.
- Canny, J. F. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986.
- Chris J. Evans, Robert J. Hocken and W. Tyler Estler Self-Calibration: Reversal, Redundancy, Error Separation, and 'Absolute Testing'. 1996.
- Haitao H., Zhizhong L., Jingbin Y., Xiaofang W., Hui X., Jiyang D. and Li Z.. Anthropometric measurement of the Chinese elderly living in the Beijing area. China : <sup>a</sup>Department of Industrial Engineering. Tsinghua University. China : <sup>b</sup>China National Institute of Standardization, 2005.
- Jinky L. Anthropometric measurement of Filipino manufacturing workers. Philippines : <sup>a</sup>National Institutes of Health, University of the Philippines Manila. Philippines : <sup>b</sup>Research Division, Bureau of Working Conditions, Department of Labor and Employment, 2006.
- Kitchen, L. and A. Rosenfeld Edge Evaluation using Local Edge Coherence. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1981.
- Marr D. and Hildreth E. Proceedings of the Royal Society of London. 1980.
- Mike Heath, Sudeep Sarkar, Thomas Sanocki and Kevin Bowyer. Comparison of Edge Detectors: A Methodology and Initial Study. 1996.
- Pheasant, S.T. Bodyspace : Anthropometry, Ergonomics and Design. London : Taylor & Francis Ltd, 1988.
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Pearson Education, Inc. 2002.
- Raman Maini and Sohal, J.S. Performance Evaluation of Prewitt Edge Detector for Noisy Images. 2006.

Rothwell, Ch., J. Mundy, B. Hoffman and V. Nguyen Driving Vision by Topology.

TR-2444 – Programme 4, INRIA, pp. 1-29., 1994.

## ภาษาไทย

กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

กฤษฏา กัลยศิริวิวัฒน์ และฐิติ กันตถาวร. การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

จรวี ฉันทสิทธิ์พร. การจำแนกชนิดยาเม็ดจากภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคเครือข่ายประสาท. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548

จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, ดร.จรวัยพร ธรณินทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สราวุธ สุธรรมมาสา. เออร์گونอมิกส์ และจิตวิทยาในการทำงาน. นนทบุรี : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2534.

ดิสรณ์ นบธีรานุภาพ. ความไม่แน่นอนในการวัดสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า  
โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2547

ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

วรากร คำแก้ว. การประมวลผลภาพสำหรับการรู้จำลายนิ้วมือ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543

สมโชติ รัตนมุสดีกุล และวัชรชัย ภูมรินทร์. ระบบการตรวจจับรอยแตกร้าวของแท่งอลูมิเนียมด้วย  
การประมวลผลภาพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเทคโนโลยีการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. รายงานการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 : พ.ศ. 2543 – 2544. กรุงเทพฯ : สำนักงาน, 2544.

สิทธิโชค ยอดระยับ. การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

ศรัวรินทร์ ชมพูศรี. การวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้นของหญิงไทยในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

อรวินท์ เมฆพิรุณ. 108 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โปรวิชั่น, 2549.

อนันต์ ตันตสุกิจวงษ์. การวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้นของชายไทยในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก

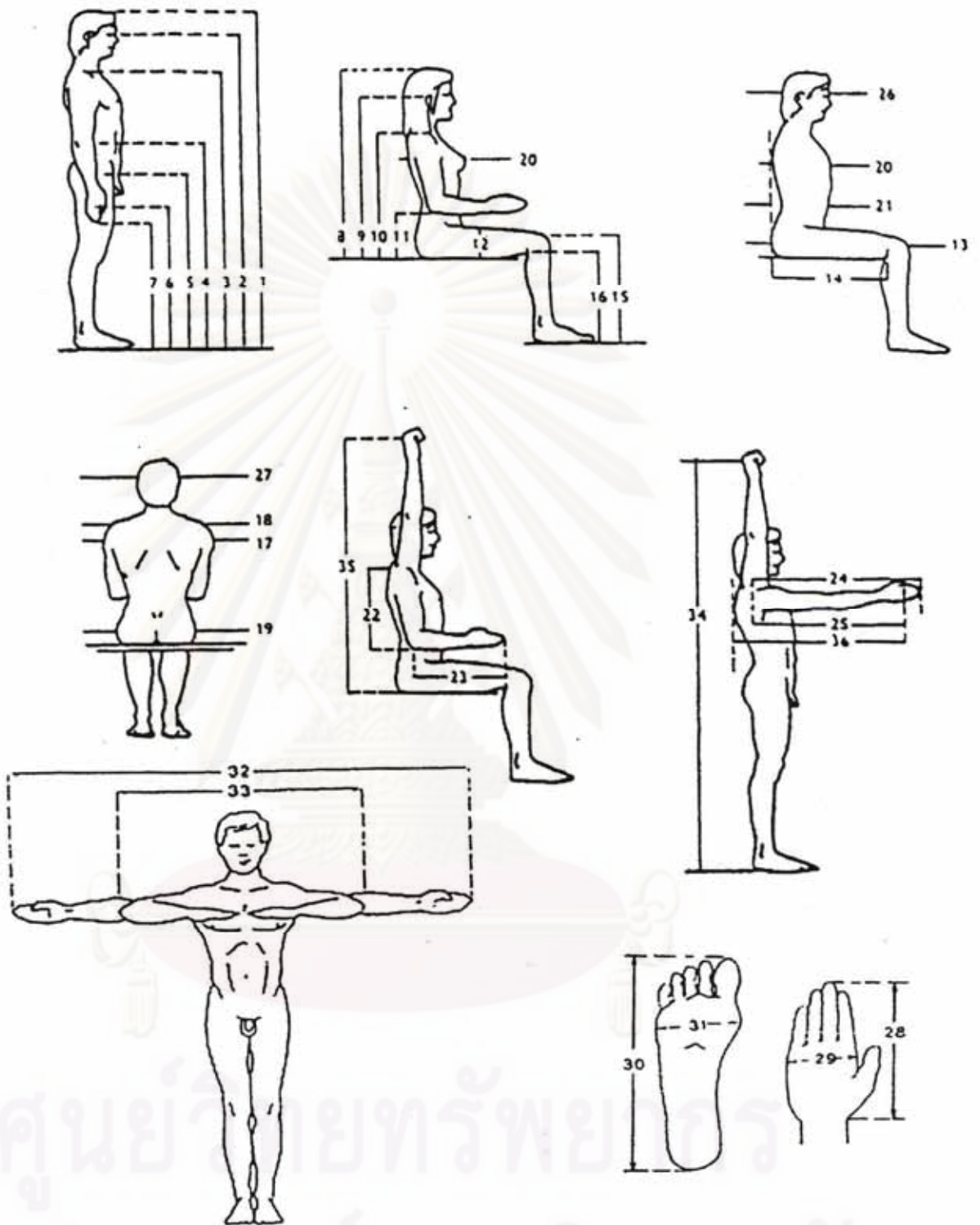
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

มาตรฐานการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ของ Pheasant

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 85 แสดงมาตรฐานการวัดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์ของ Pheasant (1986)

จำนวน 36 สัดส่วน

ในส่วนของมาตรฐานการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ของ Pheasant (1986) จะมีจำนวนสัดส่วน 36 สัดส่วน ดังแสดงในรูปที่ โดยสัดส่วนทั้งหมดจะประกอบไปด้วย

1) ความสูงขณะยืน (stature) ผู้ถูกวัดยืนตรง แขนเหยียดตรงแนบลำตัว หน้ามองตรงให้อยู่ในแนวระดับ ทำทั้งสองซิดติดกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นจนถึงจุดสูงสุดของศีรษะ (vertex)

2) ความสูงระดับสายตาขณะยืน (eye height standing) ผู้ถูกวัดยืนตรง หน้ามองตรงให้อยู่ในแนวระดับ ทำทั้งสองซิดติดกัน แขนเหยียดตรงแนบลำตัว ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงระดับมุมของหัวตา (inner canthus)

3) ความสูงระดับไหล่ขณะยืน (shoulder height standing) ผู้ถูกวัดยืนตรง แขนเหยียดตรงแนบลำตัว ทำทั้งสองซิดติดกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงจุดที่นูนที่สุดของปุ่มกระดูกหัวไหล่ (acromion)

4) ความสูงระดับข้อศอกขณะยืน (elbow height standing) ผู้ถูกวัดยืนตรง แขนเหยียดตรงแนบลำตัว ทำทั้งสองซิดติดกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงระดับปุ่มกระดูกแขนด้านข้างทางด้านนอก (head of radius)

5) ความสูงสะโพก (hip height) ผู้ถูกวัดยืนตรง ทำทั้งสองซิดติดกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นจนถึงปุ่มกระดูกโคนขา (greater trochanter) ส่วนที่นูนที่สุด

6) ความสูงระดับข้อมือ (knuckle height) ผู้ถูกวัดยืนตรง ทำทั้งสองซิดติดกัน แขนเหยียดตรงแนบลำตัว ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงรอยต่อระหว่างกระดูกข้อมือของนิ้วกลางกับกระดูกฝ่ามือ

7) ความสูงระดับนิ้วมือ (fingertip height) ผู้ถูกวัดยืนตรง ทำทั้งสองซิดติดกัน ทำการวัดความสูงจากพื้น ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงปลายนิ้วกลาง

8) ความสูงขณะนั่ง (sitting height) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซิดติดกัน หน้ามองตรงให้อยู่ในแนวระดับ แขนส่วนปลายแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาสั้นบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นแกว้ถึงจุดสูงสุดของศีรษะ (vertex)

9) ความสูงระดับสายตาขณะนั่ง (eye height sitting) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง หน้ามองตรงให้อยู่ในแนวระดับ ทำทั้งสองซิดติดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาสั้นบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นแกว้ถึงระดับมุมของหัวตา (inner canthus)

10) ความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง (shoulder height sitting) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจาก พื้นแก้อั้วถึงจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ (acromion)

11) ความสูงระดับข้อศอกขณะนั่ง (elbow height sitting) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นแก้อั้วถึงระดับปุ่มข้อศอก

12) ความหนาของต้นขา (thigh thickness) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นแก้อั้วถึงส่วนที่หนาที่สุดของต้นขา

13) ความยาวจากก้นถึงหัวเข่า (buttock – knee length) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดจากจุดที่นูนของหัวเข่าจนถึงจุดสุดท้ายในแนวระนาบ

14) ความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า (buttock – popliteal length) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดจากจุดข้อพับเข่าจนถึงจุดสุดท้ายในแนวระนาบ

15) ความสูงของเข่าขณะนั่ง (knee height) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงส่วนบนของกระดูกหัวเข่า

16) ความสูงของข้อพับเข่าขณะนั่ง (popliteal height) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความสูงจากพื้นถึงข้อพับเข่า

17) ความกว้างไหล่ (อ้างอิงกล้ามเนื้อ) (shoulder breadth bideltoid) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความกว้างจากจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ (acromion) ด้านยาวถึงจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ด้านซ้าย

18) ความกว้างไหล่ (อ้างอิงปุ่มหัวไหล่) (shoulder breadth biacromion) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง ทำทั้งสองซีกกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความกว้างจากจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขนซ้าย (deltoid muscle) ถึงจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขนขวาในระดับไหล่

19) ความกว้างสะโพก (hip breadth) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความกว้างส่วนที่กว้างที่สุดของสะโพก ซึ่งโดยปกติ จะยึดด้านนอกสุดของกระดูกเชิงกรานทั้งสองข้าง (iliac crests)

20) ความหนาหน้าอก (chest depth) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดระยะทางจุดที่นูนที่สุดของหน้าอกถึงสุดแผ่นหลังในแนวระนาบ

21) ความหนาช่องท้อง (abdominal depth) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดระยะทางจุดที่นูนที่สุดของท้องถึงสุดแผ่นหลังในแนวระนาบ

22) ระยะระดับไหล่ถึงข้อศอก (shoulder - elbow height) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดระยะจากจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ (acromion) จนถึงปุ่มข้อศอก

23) ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ (elbow – fingertip length) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดระยะจากด้านหลังของข้อศอกถึงปลายนิ้วกลาง

24) ระยะไหล่ถึงปลายนิ้ว (upper limb length) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง เท้าทั้งสองชิดกัน มือและแขนเหยียดตรงไปข้างหน้า ทำการวัดระยะจากปุ่มหัวไหล่ถึงปลายนิ้วกลาง

25) ระยะไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำ (shoulder – grip length) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง เท้าทั้งสองชิดกัน กำมือโดยที่แขนเหยียดตรงไปข้างหน้า ทำการวัดความยาวจากปุ่มหัวไหล่ถึงจุดศูนย์กลางของมือขณะกำ

26) ความยาวศีรษะ (head length) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง หน้ามองตรงให้ได้ระดับตามระนาบ Frankfurt plane เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนปล่อยแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปด้านหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส່วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน ทำการวัดความยาวจากท้ายทอยจนถึงกระดูกที่อยู่ระหว่างคิ้ว (glabella)

27) ความกว้างศีรษะ (head breadth) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง หน้ามองตรงให้ได้ระดับตามระนาบ Frankfurt plane วัดระยะศีรษะส่วนที่กว้างที่สุด ซึ่งส่วนที่กว้างที่สุดจะอยู่เหนือใบหูเล็กน้อย

28) ความยาวของมือ (Hand length) ผู้ถูกวัดวางมือแนบกับพื้นโต๊ะโดยหงายมือขึ้น ทำการวัดระยะจากรอยบนของข้อมือจนถึงปลายนิ้วกลาง

29) ความกว้างของมือ (Hand breadth) ผู้ถูกวัดวางมือแนบกับพื้นโต๊ะ ทำการวัดส่วนที่กว้างที่สุดของฝ่ามือ โดยปกติจะยึดกระดูกฝ่ามือด้านนอกของนิ้วก้อยถึงกระดูกฝ่ามือด้านนอกของนิ้วชี้

30) ความยาวของเท้า (Foot length) ผู้ถูกวัดวางเท้าแนบกับพื้น ทำการวัดจากสันเท้าถึงนิ้วที่ยาวที่สุดของเท้า

31) ความกว้างของเท้า (Foot breadth) ผู้ถูกวัดวางเท้าแนบกับพื้น ทำการวัดส่วนที่กว้างที่สุดของเท้า โดยปกติจะยึดกระดูกฝ่าเท้าด้านนอกของนิ้วโป้งถึงกระดูกฝ่าเท้าด้านนอกของนิ้วก้อย

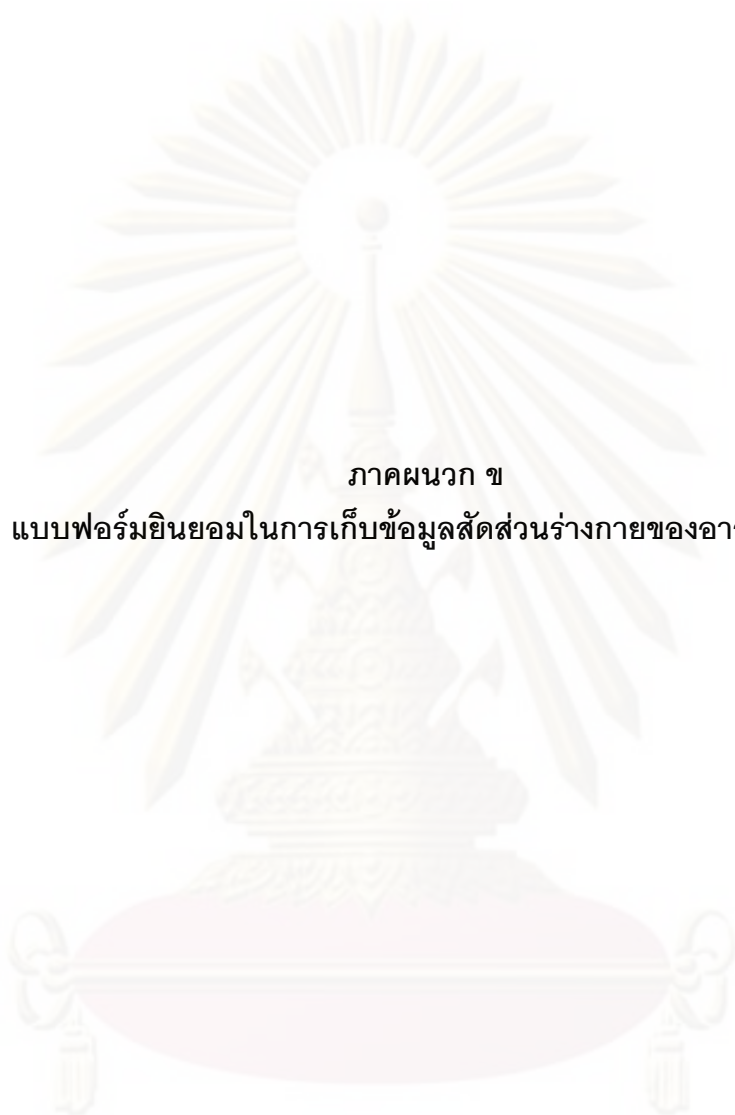
32) ระยะกางแขน (span) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง กางแขนทั้งสองแขนออกทางด้านข้างในแนวระดับ ทำการวัดระยะจากปลายนิ้วกลางของแขนข้างซ้ายจนถึงปลายนิ้วกลางของแขนข้างขวา

33) ระยะกางศอก (elbow span) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง เท้าทั้งสองชิดกัน พับแขนส่วนล่างทั้งสองข้างเข้าหาตัวในลักษณะกางศอก โดยที่แขนอยู่ในแนวระดับ ทำการวัดระยะจากข้อศอกด้านซ้ายถึงข้อศอกด้านขวา

34) ระยะเอื้อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่ายืน (vertical grip reach standing) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง หน้ามองตรงให้ได้ระดับตามระนาบ Frankfurt plane เท้าทั้งสองชิดกัน แขนเหยียดตรงเหนือศีรษะในลักษณะกำมือ ทำการวัดความสูงจากพื้นจนถึงจุดศูนย์กลางของมือขณะกำ

35) ความสูงของระยะเอื้อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่านั่ง (vertical grip reach sitting) ผู้ถูกวัดนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน หน้ามองตรงให้ได้ระดับตามระนาบ Frankfurt plane แขนเหยียดตรงเหนือศีรษะในลักษณะกำมือ ทำการวัดความสูงจากพื้นเก้าอี้จนถึงจุดศูนย์กลางของมือขณะกำ

36) ระยะเอื้อมด้านหน้า (forward grip reach) ผู้ถูกวัดยืนตัวตรง เท้าทั้งสองชิดกัน กำมือโดยที่แขนและข้อมือเหยียดตรงไปข้างหน้า ทำการวัดความยาวจากแผ่นหลังถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำในแนวระนาบ



ภาคผนวก ข

แบบฟอร์มยินยอมในการเก็บข้อมูลส่วนตัวส่วนร่างกายของอาสาสมัคร

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่าง  
ในกระบวนการเก็บข้อมูลการหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์  
โดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ และกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

1. ข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูล
 

ชื่อ.....นามสกุล.....

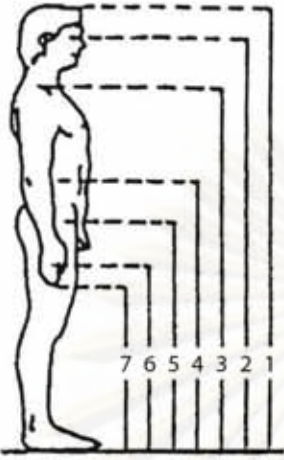
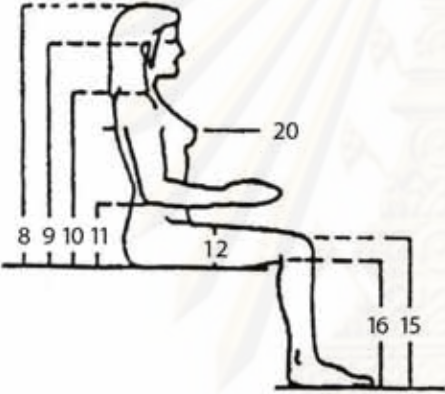
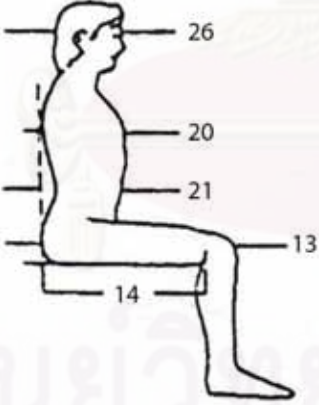
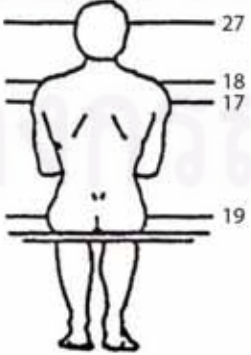
เพศ..... อายุ..... น้ำหนัก.....
2. เจือใจในการเข้าร่วมกระบวนการเก็บข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ และกล้องถ่ายภาพดิจิทัล
  - 2.1) ข้อมูลส่วนตัวทั้งหมดของผู้เข้าทำการวัดจะถูกเก็บไว้เป็นความลับทางเอกสาร และข้อมูลของห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - 2.2) ในกระบวนการวิเคราะห์ จะไม่นำเอาข้อมูลสัดส่วนของผู้เข้าทำการวัดมาทำการเผยแพร่ หากนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการเปรียบเทียบการวัดทั้ง 2 วิธีมานำเสนอเท่านั้น
  - 2.3) กำหนดให้ผู้เข้าทำการวัดสวมหมวกคลุมผมว่ายน้ำสีขาว และเครื่องแต่งกายด้วยชุดที่รัดกุม พอดีกับร่างกายที่สุด โดยไม่เป็นสีเดียวกันกับพื้นฉากหลัง และพื้นปูในขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล
  - 2.4) มีร่างกายปกติ ไม่พิการ หรือทุพพลภาพ
  - 2.5) ) มีเชื้อชาติไทย สัญชาติไทย
  - 2.6) ผู้เข้าทำการวัดสามารถขอยุติในการเป็นกลุ่มตัวอย่างได้ทุกเมื่อ
3. ข้าพเจ้ายินยอมให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ และกล้องถ่ายภาพดิจิทัล


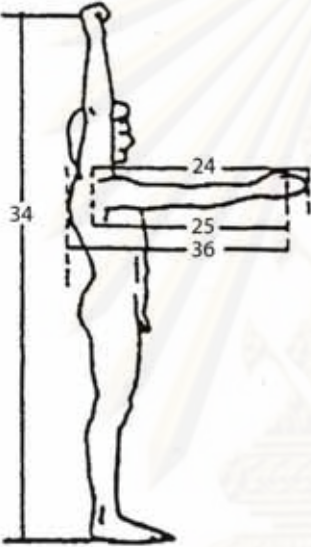
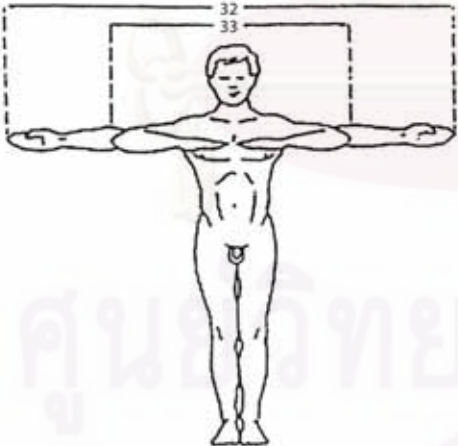
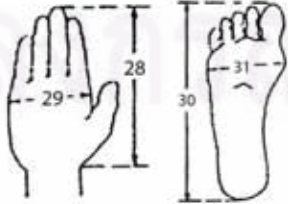
ลงชื่อ .....

( )

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้ผู้เข้าทำการวัดทำเครื่องหมายวงกลมที่หมายเลขสัดส่วนที่ยินยอมให้ทำการวัดเพื่อเก็บข้อมูล

	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) ความสูงขณะยืน</li> <li>(2) ความสูงระดับสายตาขณะยืน</li> <li>(3) ความสูงระดับไหล่ขณะยืน</li> <li>(4) ความสูงระดับข้อศอกขณะยืน</li> <li>(5) ความสูงสะโพก</li> <li>(6) ความสูงระดับข้อนิ้วมือ</li> <li>(7) ความสูงระดับนิ้วมือ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>(8) ความสูงขณะนั่ง</li> <li>(9) ความสูงระดับสายตาขณะนั่ง</li> <li>(10) ความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง</li> <li>(11) ความสูงระดับข้อศอกขณะนั่ง</li> <li>(12) ความหนาของต้นขา</li> <li>(15) ความสูงของเข่าขณะนั่ง</li> <li>(16) ความสูงของข้อพับเข่าขณะนั่ง</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>(13) ความยาวจากก้นถึงหัวเข่า</li> <li>(14) ความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า</li> <li>(20) ความหนาหน้าอก</li> <li>(21) ความหนาช่องท้อง</li> <li>(26) ความยาวศีรษะ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>(17) ความกว้างไหล่ (อ้างอิงกล้ามเนื้อ)</li> <li>(18) ความกว้างไหล่ (อ้างอิงปุ่มหัวไหล่)</li> <li>(19) ความกว้างสะโพก</li> <li>(27) ความกว้างศีรษะ</li> </ul>

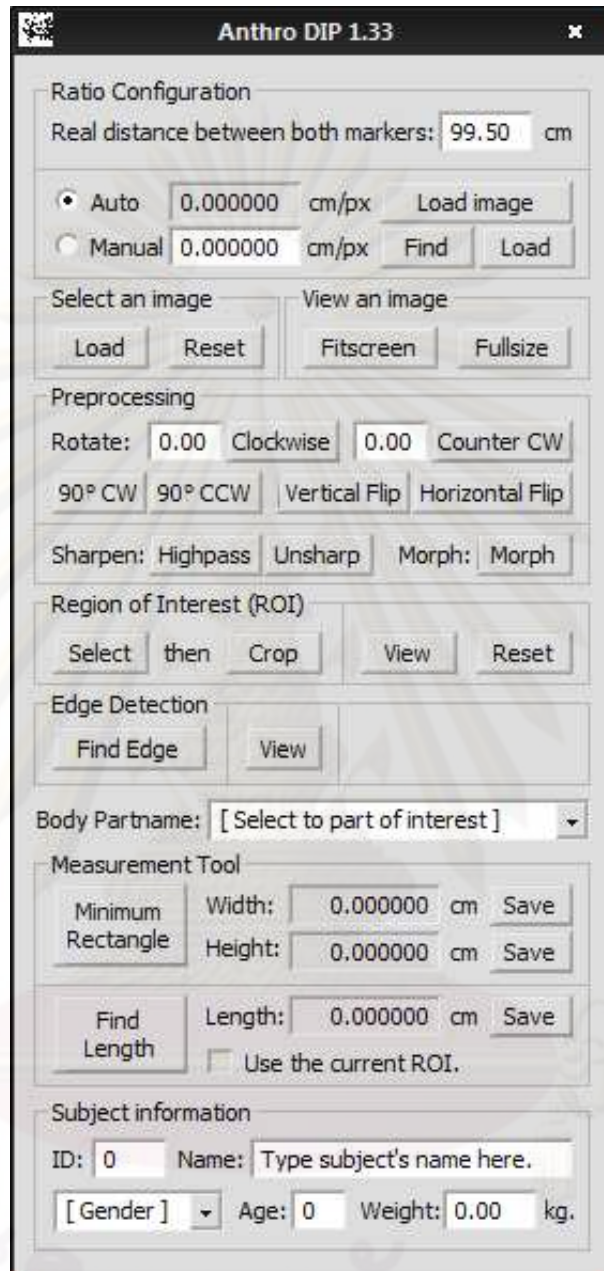
	<p>(22) ระยะระดับไหล่ถึงข้อศอก</p> <p>(23) ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ</p> <p>(35) ความสูงของระยะเอื้อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่านั่ง</p>
	<p>(24) ระยะไหล่ถึงปลายนิ้ว</p> <p>(25) ระยะไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำ</p> <p>(34) ระยะเอื้อมแขนขึ้นเหนือศีรษะในท่ายืน</p> <p>(36) ระยะเอื้อมด้านหน้า</p>
	<p>(32) ระยะกางแขน</p> <p>(33) ระยะกางศอก</p>
	<p>(28) ความยาวของมือ</p> <p>(29) ความกว้างของมือ</p> <p>(30) ความยาวของเท้า</p> <p>(31) ความกว้างของเท้า</p>



ภาคผนวก ค  
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Anthro DIP

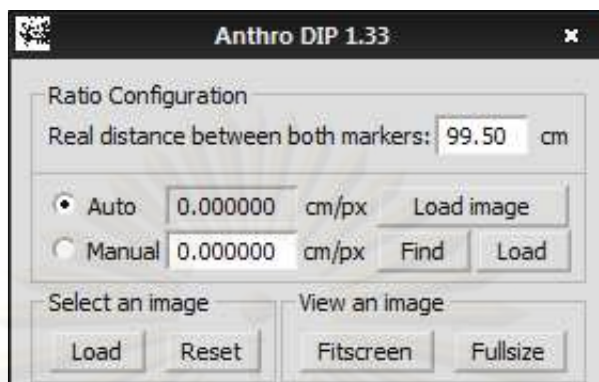


รูปที่ 43 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Anthro DIP

โปรแกรมสามารถแบ่งขั้นตอนการใช้งานออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- 1) การตั้งค่าโปรแกรม
- 2) Preprocessing
- 3) การคำนวณและบันทึกค่าขนาดจากรูปภาพ

## 1) การตั้งค่าโปรแกรม



รูปที่ 44 ส่วนของการตั้งค่าโปรแกรม

เมื่อทำการเปิดโปรแกรมขึ้นมาแล้ว ให้ทำการตั้งค่าระยะห่างระหว่างตัวบอกตำแหน่งทั้งสองตัวเป็นระยะห่างจริง (หน่วยเซนติเมตร) ในกรอบของการตั้งค่าอัตราส่วน (Ratio Configuration) ดังตัวอย่างในรูปที่ 44 ด้านบนที่กำหนดเป็นค่าเริ่มต้นที่ 99.50 เซนติเมตร

ต่อมาให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนแบบใด ซึ่งมีอยู่สองประเภท คือ แบบอัตโนมัติ (Auto) หรือแบบกำหนดเอง (Manual) ซึ่งวิธีการตั้งค่าอัตราส่วนดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

- การตั้งค่าอัตราส่วนแบบอัตโนมัติจากภาพ (Auto)

กดปุ่ม 'Load image' แล้วทำการเลือกรูปภาพที่ต้องการหา โดยโปรแกรมจะทำการหาวงกลมที่เป็นตัวบอกตำแหน่งในภาพ และทำการคำนวณหาอัตราส่วนให้เอง พร้อมกับกำหนดให้เป็นค่าอัตราส่วนดั้งเดิมของโปรแกรม

- การตั้งค่าอัตราส่วนโดยตนเอง (Manual)

กดปุ่ม 'Find' แล้วโปรแกรมจะทำการเรียกอีกโปรแกรมหนึ่งที่ชื่อ "Ratio Finder" ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้ช่วยโปรแกรมหาค่าอัตราส่วน (วิธีการใช้งานโปรแกรมอยู่ในหัวข้อการใช้งานโปรแกรม Ratio Finder) หรือกดปุ่ม 'Load' สำหรับเลือกไฟล์ที่มีค่าอัตราส่วนบันทึกไว้มาใช้งาน และกดปุ่มวงกลมหน้า 'Manual' เพื่อยืนยัน

- การตั้งค่าอัตราส่วนโดยกำหนดค่าเอง (Custom defined)

ให้ทำการใส่ค่าลงในช่องใส่ตัวเลขทางด้านขวามือของ 'Manual' และทำการกดที่ปุ่มวงกลมหน้า 'Manual' เพื่อยืนยัน

เมื่อทำการตั้งค่าอัตราส่วนเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม 'Load' ที่อยู่ในกรอบของ 'Select an image' เพื่อเลือกรูปที่ต้องการขนาดเข้ามาในโปรแกรม ซึ่งสามารถดูรูปที่เลือกได้ทั้งแบบพอดีกับหน้าจอ (กดปุ่ม 'Fitscreen') หรือแบบขนาดจริง (กดปุ่ม 'Fullsize') ซึ่งทั้งสองปุ่มอยู่ในกรอบของ 'View an image'

ในกรณีที่ทำการหาอัตราส่วนแบบอัตโนมัติ ถ้าโปรแกรมสามารถหาและคำนวณค่าอัตราส่วนได้ โปรแกรมจะนำเอารูปภาพที่ใช้หาอัตราส่วนดังกล่าวเป็นรูปภาพที่ใช้หาขนาดด้วยทันที ซึ่งผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกด 'Load image' เพื่อเลือกรูปอีกครั้งหนึ่ง

## 2) Preprocessing



รูปที่ 45 ส่วนที่ใช้ทำ preprocessing

เมื่อเลือกรูปภาพที่จะใช้หาขนาดเข้าในโปรแกรมแล้ว ผู้ใช้สามารถทำการปรับภาพเบื้องต้นเพื่อให้เหมาะสมกับการวัดขนาดมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้ให้ คือ การหมุนภาพ (Rotation) ผู้ใช้สามารถปรับแก้การเอียงหรือแนวการตั้งของภาพได้ดังนี้

- การปรับความเอียง

ให้ผู้ใช้ใส่ตัวเลขลงในช่องที่มี แล้วกดปุ่มข้างช่องตัวเลข ซึ่งทางด้านซ้ายเป็นการหมุนภาพแบบตามเข็มนาฬิกา (กดปุ่ม 'Clockwise') ส่วนทางด้านขวาเป็นการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา (กดปุ่ม 'Counter CW')

- การปรับการตั้งของภาพ

ผู้ใช้สามารถปรับแนวตั้งของภาพได้โดยการกดปุ่ม '90°CW' หรือ '90°CCW' ซึ่งให้ผลเป็นการกลับแนวตั้งแนวนอน 90° แบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ

- การพลิกรูป

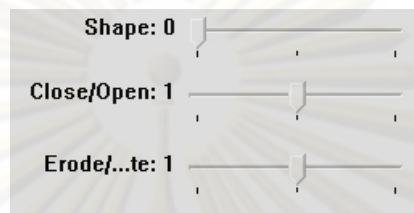
ผู้ใช้สามารถพลิกรูปตามแนวตั้งหรือแนวนอนโดยกดปุ่ม 'Vertical Flip' หรือ 'Horizontal Flip' ได้

- เพิ่มความคมชัด (Sharpening)

ผู้ใช้สามารถเพิ่มความคมชัดของรูปได้ 2 แบบ คือ High pass filtering หรือ Unsharped Masking โดยกดปุ่ม 'Highpass' หรือปุ่ม 'Unsharp' ตามลำดับ

- การทำ Morphology

เมื่อกดปุ่ม 'Morph' จะมีหน้าต่างขึ้นมา ซึ่งด้านบนของหน้าต่างจะมี trackbar อยู่ 3 อัน ดังรูปที่ 46 ได้แก่



รูปที่ 46 แสดง trackbar ของ morphology

- Close/Open

ตัวชี้คอยู่เลข 0: ทำ Closing

ตัวชี้คอยู่เลข 1: ไม่มีการกระทำใดๆต่อภาพ

ตัวชี้คอยู่เลข 2: ทำ Opening Element Shape

- เลือกรูปแบบของรูปร่างที่ไปกระทำ Morphology กับรูปภาพ

ตัวชี้คอยู่เลข 0: รูปวงกลม

ตัวชี้คอยู่เลข 1: รูปสี่เหลี่ยม

ตัวชี้คอยู่เลข 2: รูปเครื่องหมายบวก

- Erode/Dilate

ตัวชี้คอยู่เลข 0: ทำ Erosion

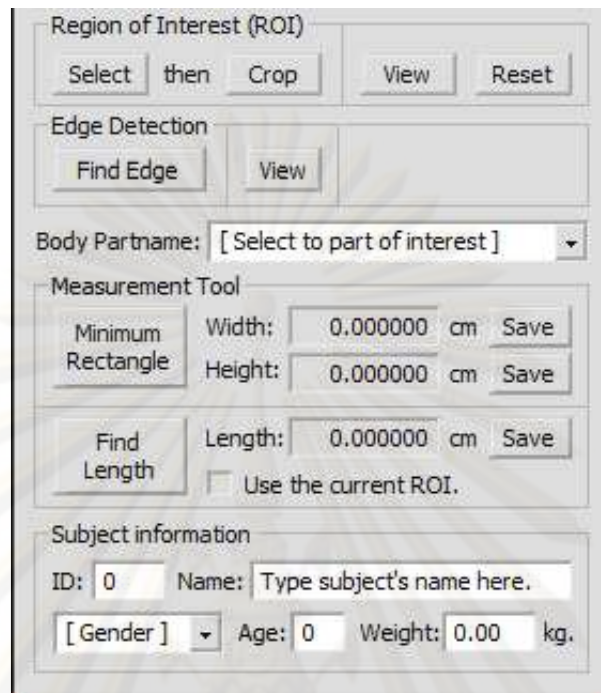
ตัวชี้คอยู่เลข 1: ไม่มีการกระทำใดๆต่อภาพ

ตัวชี้คอยู่เลข 2: ทำ Dilation

ในกรณีที่ต้องการล้าง Morphology ที่ทำ แล้วใช้รูปภาพตั้งต้นที่นำเข้ามาในโปรแกรม ให้ผู้ใช้ทำการกดปุ่ม 'Reset' ในส่วนของการทำงานตั้งค่าเริ่มต้นโปรแกรม ดังปรากฏในรูปที่ 44



### 3) การคำนวณและบันทึกค่าขนาดจากรูปภาพ



รูปที่ 47 ส่วนที่ใช้หาขนาดและบันทึกค่าขนาด

#### 3.1 วิธีใช้งานอุปกรณ์วัดขนาด

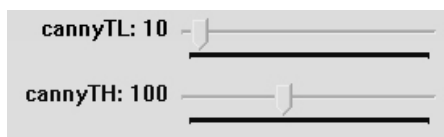
เมื่อรูปภาพพร้อมสำหรับการหาขนาดแล้ว ผู้ใช้สามารถทำการตัด (Crop) เฉพาะบริเวณพื้นที่บางส่วนในภาพได้โดยการกดที่ปุ่ม 'Select' เมื่อกดปุ่มดังกล่าวแล้วจะมีภาพขึ้นมา ให้ผู้ใช้กด 2 จุดตำแหน่งภายในภาพเพื่อกำหนดกรอบบริเวณที่สนใจ แล้วกด Enter เพื่อปิดหน้าต่าง แล้วตามด้วยการกดปุ่ม 'Crop' ในกรอบบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) ซึ่งผู้ใช้สามารถกดดูบริเวณดังกล่าวได้ด้วยปุ่ม 'View' หรือล้างการเลือกบริเวณที่สนใจด้วยการกดปุ่ม 'Reset' ก็ได้

การหาขนาดสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

- การหาขนาดกว้างสุดและยาวสุด

การหาขนาดด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องทำการเลือกบริเวณที่สนใจก่อนเสมอ ซึ่งเมื่อเลือกบริเวณแล้วจะต้องทำการหาขอบในภาพเป็นลำดับถัดมาโดยการกดปุ่ม 'Find Edge'

เมื่อกดปุ่ม 'Find Edge' แล้วจะมีหน้าต่างใหม่ขึ้นมา ซึ่งด้านบนของหน้าต่างจะมี trackbar ดังรูปที่ 47 ซึ่งประกอบด้วย cannyTL กับ cannyTH ซึ่งคือ ค่า Threshold Low และ Threshold High ในการหาขอบแบบ Canny ถัดมาโดยการกดปุ่มบริเวณที่สนใจก่อนเสมอ ซึ่งเมื่อเลือกบริเวณแล้วนั้น



รูปที่ 48 แสดง trackbar ใน edge detection

เมื่อผู้ใช้ปรับค่าได้ตามต้องการแล้ว ให้กด Enter เพื่อยืนยันขอบภาพดังกล่าวที่แสดง ต่อมาให้กดปุ่ม 'Minimum Rectangle' ในกรอบของเครื่องมือวัดขนาด (Measurement Tool) ซึ่งโปรแกรมจะหาขนาดกว้างสุดและยาวสุดออกมาให้

- การหาขนาดจากระยะห่างระหว่าง 2 จุด

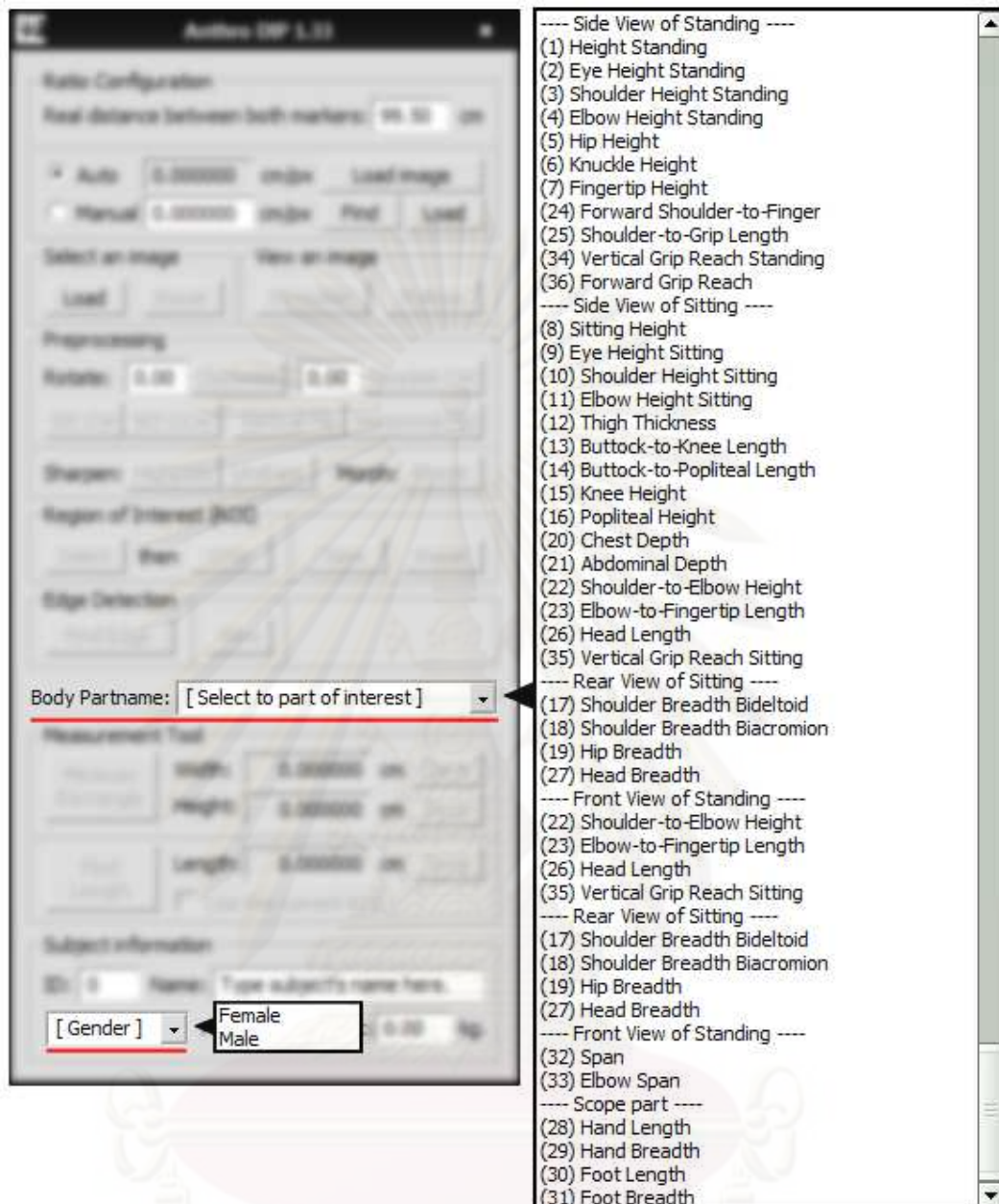
เมื่อกดปุ่ม 'Find Length' แล้วจะมีหน้าต่างแสดงภาพขึ้นมา ให้ผู้ใช้กด 2 จุดตำแหน่งภายในภาพเพื่อกำหนดจุดเพื่อหาระยะห่าง เมื่อกด 2 จุดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ให้กด Enter เพื่อยืนยัน โปรแกรมจะหาระยะห่างระหว่าง 2 จุดออกมาอัตโนมัติ

วิธีการหาขนาดวิธีนี้สามารถเข้าร่วมกับการเลือกเฉพาะบริเวณที่สนใจได้โดยการกดเลือก ถูกที่ 'Use the current ROI'

### 3.2 วิธีการบันทึกค่า

การบันทึกค่าทำได้โดยการกดที่ปุ่ม 'Save' ด้านข้างของค่าชนิดนั้นๆ ที่หาออกมาได้ โดยที่ผู้ใช้ต้องทำการกรอกข้อมูลเบื้องต้นของผู้ถูกวัดก่อน ได้แก่ รหัสผู้ถูกวัด, ชื่อ, เพศ, อายุ และ น้ำหนัก และต้องทำการเลือกสัดส่วนที่บันทึกค่านั้นๆ ให้ เช่น ความสูงขณะยืน หรือความกว้างของ สะโพก เป็นต้น

การบันทึกจะสามารถบันทึกได้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้เลือกชื่อสัดส่วน, เพศ, อายุ และน้ำหนักของผู้ถูกวัดแล้วเท่านั้น และไฟล์ที่บันทึกข้อมูลจะถูกเก็บอยู่ในแฟ้มเดียวกันกับรูปภาพที่ใช้ในการหาขนาดไฟล์ที่บันทึกจะเป็นนามสกุล CSV (Comma Separated Value) ซึ่งสามารถเปิดได้โดยโปรแกรมแก้ไขข้อความ (Text Editor) หรือโปรแกรมทั่วไปที่สนับสนุนการดูข้อมูลแบบตารางได้

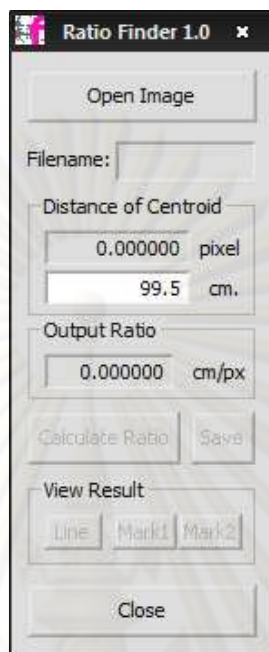


รูปที่ 49 ข้อมูลที่ให้เลือกก่อนทำการบันทึกค่าขนาดที่วัดได้

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## โปรแกรม Ratio Finder



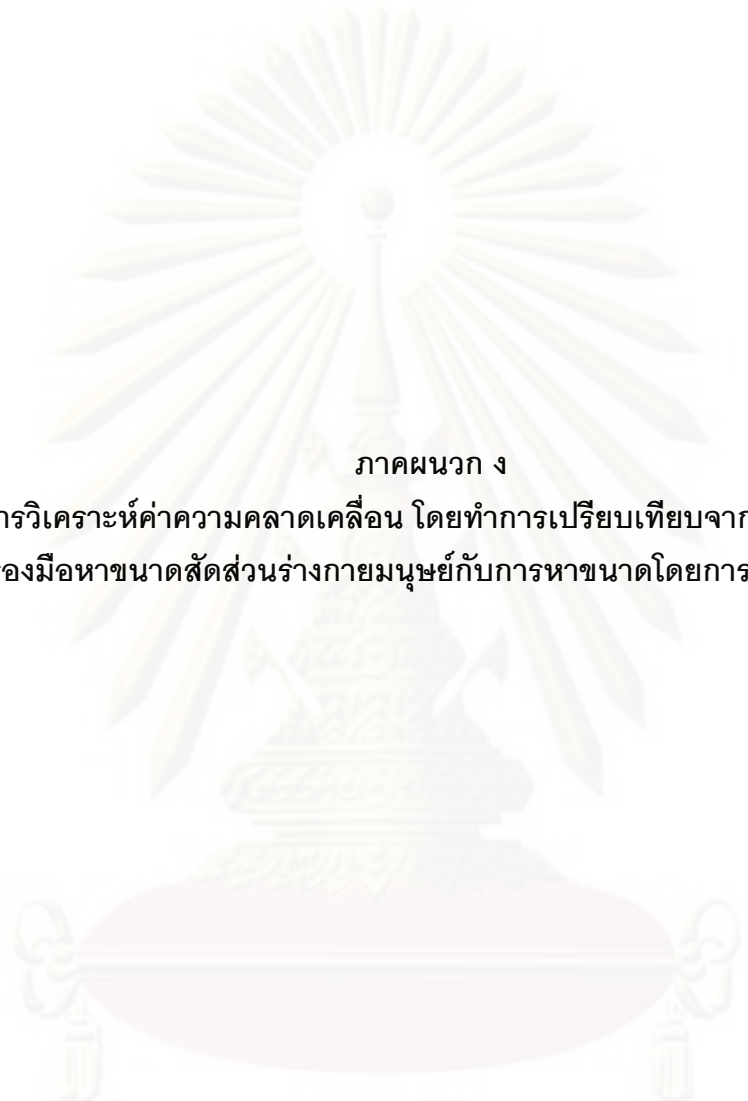
รูปที่ 50 หน้าต่างโปรแกรม Ratio Finder

ให้ผู้ใช้เลือกรูปภาพที่ต้องการหาอัตราส่วนก่อน โดยกดที่ปุ่ม 'Open Image' หลังจากนั้นจะมีหน้าต่างข้อความบอกให้เลือกบริเวณที่สนใจ ซึ่งผู้ใช้ต้องทำการกดระบุตำแหน่งจุด 2 จุดเพื่อกำหนดบริเวณที่มีตัวบอกตำแหน่งอยู่ภายใน เมื่อกดครบสองจุดแล้วให้กด Enter ยืนยัน ต่อจากนั้นโปรแกรมจะให้กดเลือกหีบสี่ที่เป็นตัวบอกตำแหน่งอีกครั้งหนึ่ง เมื่อกดเลือกสี่แล้วจะแสดงภาพจุดกึ่งกลางที่หาได้ของตัวบอกตำแหน่งนั้นๆออกมาให้ผู้ใช้เห็น

เมื่อผู้ใช้ทำการระบุตัวบอกตำแหน่งทั้งสองตัวในภาพเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะคำนวณหาอัตราส่วนออกมาให้อัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดค่าระยะห่างในความเป็นจริงใหม่ได้ที่ช่อง 'Distance of Centroid' ที่เป็นค่าเซนติเมตรได้ และทำการคำนวณค่าใหม่ด้วยปุ่ม 'Calculate Ratio'

หลังจากได้ค่าอัตราส่วนระยะห่างจริงกับระยะห่างในภาพเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถบันทึกค่าดังกล่าวเก็บไว้ในไฟล์ได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในโปรแกรม Anthro DIP เพื่อเป็นอัตราส่วนดั้งเดิมได้ผ่านทางปุ่ม 'Load' ในส่วนของการตั้งค่าด้วยตนเอง

ผู้ใช้สามารถตรวจสอบผลจากการหาจุดกึ่งกลางของตัวบอกตำแหน่งทั้งสองตัวผ่านทางปุ่ม 'Mark1' และ 'Mark2' ในส่วนของการดูผล (View Result) ได้ รวมทั้งยังสามารถดูแนวของเส้นผ่านปุ่ม 'Line' ในส่วนเดียวกัน



ภาคผนวก ง  
ผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน โดยทำการเปรียบเทียบจากการวัดโดยใช้  
เครื่องมือหาขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์กับการหาขนาดโดยการใส่โปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงขณะยื่น

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	166.704200	168.05	1.345800	0.800833	น้อยกว่า
2	168.226000	168.00	0.226000	0.134524	มากกว่า
3	165.705156	167.10	1.394844	0.834736	น้อยกว่า
4	177.163000	175.65	1.513000	0.861372	มากกว่า
5	152.035000	152.70	0.665000	0.435494	น้อยกว่า
6	170.360000	168.90	1.460000	0.864417	มากกว่า
7	174.410000	173.25	1.160000	0.669553	มากกว่า
8	168.264000	168.85	0.586000	0.347054	น้อยกว่า
9	165.661000	166.85	1.189000	0.712616	น้อยกว่า
10	166.473000	165.40	1.073000	0.648730	มากกว่า
11	148.095000	148.40	0.305000	0.205526	น้อยกว่า
12	155.930000	156.10	0.170000	0.108905	น้อยกว่า
13	161.803000	161.10	0.703000	0.436375	มากกว่า
14	157.984000	157.70	0.284000	0.180089	มากกว่า
15	167.434000	167.45	0.016000	0.009555	น้อยกว่า
16	170.532000	171.50	0.968000	0.564431	น้อยกว่า
17	165.250000	166.00	0.750000	0.451807	น้อยกว่า
18	158.393000	157.50	0.893000	0.566984	มากกว่า
19	163.880000	163.95	0.070000	0.042696	น้อยกว่า
20	170.595000	171.10	0.505000	0.295149	น้อยกว่า
21	181.712000	181.40	0.312000	0.171996	มากกว่า
22	165.209000	166.50	1.291000	0.775375	น้อยกว่า
23	163.234000	163.10	0.134000	0.082158	มากกว่า
24	179.966000	180.05	0.084000	0.046654	น้อยกว่า
25	160.312000	159.75	0.562000	0.351800	มากกว่า
26	159.613000	159.55	0.063000	0.039486	มากกว่า
27	160.990000	160.10	0.890000	0.555903	มากกว่า
28	160.704000	160.65	0.054000	0.033613	มากกว่า
29	149.988000	149.40	0.588000	0.393574	มากกว่า

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับสายตาขณะยืน

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	155.012130	156.15	1.137870	0.728703	น้อยกว่า
2	156.187330	157.50	1.312670	0.833441	น้อยกว่า
3	153.462764	154.35	0.887236	0.574821	น้อยกว่า
4	165.643000	164.10	1.543000	0.940280	มากกว่า
5	142.287000	140.55	1.737000	1.235859	มากกว่า
6	158.298000	158.25	0.048000	0.030332	มากกว่า
7	159.336000	158.55	0.786000	0.495743	มากกว่า
8	157.202000	155.85	1.352000	0.867501	มากกว่า
9	151.498000	149.90	1.598000	1.066044	มากกว่า
10	153.347000	151.10	2.247000	1.487095	มากกว่า
11	136.405000	135.15	1.255000	0.928598	มากกว่า
12	144.353000	142.20	2.153000	1.514065	มากกว่า
13	150.180000	149.40	0.780000	0.522088	มากกว่า
14	144.499000	142.40	2.099000	1.474017	มากกว่า
15	153.799000	153.10	0.699000	0.456564	มากกว่า
16	158.972000	160.75	1.778000	1.106065	น้อยกว่า
17	151.766000	151.20	0.566000	0.374339	มากกว่า
18	147.205000	145.45	1.755000	1.206600	มากกว่า
19	151.497000	150.45	1.047000	0.695912	มากกว่า
20	158.376000	157.60	0.776000	0.492386	มากกว่า
21	167.105000	166.00	1.105000	0.665663	มากกว่า
22	151.931000	153.20	1.269000	0.828329	น้อยกว่า
23	151.118000	149.05	2.068000	1.387454	มากกว่า
24	166.237000	165.20	1.037000	0.627724	มากกว่า
25	147.565000	146.90	0.665000	0.452689	มากกว่า
26	145.660000	145.25	0.410000	0.282272	มากกว่า
27	148.975000	146.50	2.475000	1.689420	มากกว่า
28	133.782000	133.15	0.632000	0.474653	มากกว่า
29	148.467000	147.40	1.067000	0.723881	มากกว่า
30	138.367000	137.45	0.917000	0.667152	มากกว่า

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับไหล่ขณะขึ้น

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	139.340000	138.85	0.490000	0.352899	มากกว่า
2	137.749000	138.95	1.201000	0.864340	น้อยกว่า
3	139.352000	138.40	0.952000	0.687861	มากกว่า
4	147.098000	147.20	0.102000	0.069293	น้อยกว่า
5	127.605000	125.95	1.655000	1.314013	มากกว่า
6	142.365000	139.30	3.065000	2.200287	มากกว่า
7	143.875000	141.10	2.775000	1.966690	มากกว่า
8	141.223000	139.05	2.173000	1.562747	มากกว่า
9	135.647000	134.80	0.847000	0.628338	มากกว่า
10	135.099000	132.60	2.499000	1.884615	มากกว่า
11	121.234000	120.20	1.034000	0.860233	มากกว่า
12	128.917000	127.35	1.567000	1.230467	มากกว่า
13	133.173000	132.25	0.923000	0.697921	มากกว่า
14	129.296000	127.90	1.396000	1.091478	มากกว่า
15	137.464000	137.30	0.164000	0.119446	มากกว่า
16	140.797000	140.35	0.447000	0.318489	มากกว่า
17	132.307000	133.40	1.093000	0.819340	น้อยกว่า
18	124.758000	129.90	5.142000	3.958430	น้อยกว่า
19	133.931000	132.35	1.581000	1.194560	มากกว่า
20	141.055000	142.55	1.495000	1.048755	น้อยกว่า
21	148.211000	147.70	0.511000	0.345972	มากกว่า
22	133.514724	136.50	2.985276	2.187015	น้อยกว่า
23	134.289000	133.15	1.139000	0.855426	มากกว่า
24	145.781000	145.00	0.781000	0.538621	มากกว่า
25	128.344029	128.95	0.605971	0.469927	น้อยกว่า
26	128.674000	129.90	1.226000	0.943803	น้อยกว่า
27	131.964000	130.10	1.864000	1.432744	มากกว่า
28	117.947000	118.05	0.103000	0.087251	น้อยกว่า
29	132.038424	131.25	0.788424	0.600704	มากกว่า
30	120.696960	118.90	1.796960	1.511320	มากกว่า



ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับข้อศอกขณะยืน

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	110.092050	108.30	1.792050	1.654709	มากกว่า
2	105.941000	105.10	0.841000	0.800190	มากกว่า
3	104.656000	106.40	1.744000	1.639098	น้อยกว่า
4	114.754000	112.95	1.804000	1.597167	มากกว่า
5	96.411200	95.95	0.461200	0.480667	มากกว่า
6	109.080000	108.20	0.880000	0.813309	มากกว่า
7	108.747000	106.40	2.347000	2.205827	มากกว่า
8	105.771000	104.85	0.921000	0.878398	มากกว่า
9	103.164000	102.90	0.264000	0.256560	มากกว่า
10	102.892996	101.15	1.742996	1.723179	มากกว่า
11	94.307900	93.45	0.857900	0.918031	มากกว่า
12	96.540700	96.30	0.240700	0.249948	มากกว่า
13	98.954700	99.60	0.645300	0.647892	น้อยกว่า
14	104.202000	104.05	0.152000	0.146084	มากกว่า
15	109.189000	107.25	1.939000	1.807925	มากกว่า
16	97.352000	98.55	1.198000	1.215627	น้อยกว่า
17	99.364000	99.75	0.386000	0.386967	น้อยกว่า
18	102.501000	101.10	1.401000	1.385757	มากกว่า
19	107.151000	108.40	1.249000	1.152214	น้อยกว่า
20	112.230000	110.60	1.630000	1.473779	มากกว่า
21	105.426000	104.95	0.476000	0.453549	มากกว่า
22	100.296000	98.90	1.396000	1.411527	มากกว่า
23	114.042000	110.05	3.992000	3.627442	มากกว่า
24	98.669100	98.55	0.119100	0.120852	มากกว่า
25	98.814300	98.00	0.814300	0.830918	มากกว่า
26	100.846000	99.25	1.596000	1.608060	มากกว่า
27	89.255400	89.15	0.105400	0.118228	มากกว่า
28	100.533000	98.20	2.333000	2.375764	มากกว่า
29	91.134360	91.75	0.615640	0.670997	น้อยกว่า

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงสะโพก

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	89.721944	90.80	1.078056	1.187286	น้อยกว่า
2	94.409380	94.00	0.409380	0.435511	มากกว่า
3	90.878724	90.55	0.328724	0.363030	มากกว่า
4	93.233535	92.95	0.283535	0.305040	มากกว่า
5	75.958400	76.05	0.091600	0.120447	น้อยกว่า
6	81.084042	80.05	1.034042	1.291745	มากกว่า
7	86.752000	87.70	0.948000	1.080958	น้อยกว่า
8	83.582100	82.25	1.332100	1.619574	มากกว่า
9	77.958000	79.25	1.292000	1.630284	น้อยกว่า
10	76.513500	75.65	0.863500	1.141441	มากกว่า
11	79.531214	79.75	0.218786	0.274340	น้อยกว่า
12	77.245700	77.25	0.004300	0.005566	น้อยกว่า
13	84.058000	82.00	2.058000	2.509756	มากกว่า
14	81.525500	82.20	0.674500	0.820560	น้อยกว่า
15	87.270838	86.35	0.920838	1.066402	มากกว่า
16	87.623458	88.40	0.776542	0.878441	น้อยกว่า
17	74.979500	75.75	0.770500	1.017162	น้อยกว่า
18	87.764389	87.15	0.614389	0.704979	มากกว่า
19	90.634950	92.15	1.515050	1.644113	น้อยกว่า
20	93.804200	95.45	1.645800	1.724254	น้อยกว่า
21	82.204400	82.90	0.695600	0.839083	น้อยกว่า
22	78.756200	77.65	1.106200	1.424598	มากกว่า
23	97.312309	96.30	1.012309	1.051204	มากกว่า
24	84.752600	87.45	2.697400	3.084505	น้อยกว่า
25	83.543240	85.20	1.656760	1.944554	น้อยกว่า

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับข้อนิ้วมือ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	78.938600	77.95	0.988600	1.268249	มากกว่า
2	71.028800	72.55	1.521200	2.096761	น้อยกว่า
3	72.108900	73.15	1.041100	1.423240	น้อยกว่า
4	79.182000	80.05	0.868000	1.084322	น้อยกว่า
5	67.404200	67.35	0.054200	0.080475	มากกว่า
6	76.375100	75.80	0.575100	0.758707	มากกว่า
7	71.678700	70.65	1.028700	1.456051	มากกว่า
8	72.907900	70.90	2.007900	2.832017	มากกว่า
9	70.357100	66.75	3.607100	5.403895	มากกว่า
10	71.071080	69.70	1.371080	1.967116	มากกว่า
11	65.805300	65.55	0.255300	0.389474	มากกว่า
12	67.238400	66.05	1.188400	1.799243	มากกว่า
13	69.208800	70.25	1.041200	1.482135	น้อยกว่า
14	70.809500	70.00	0.809500	1.156429	มากกว่า
15	75.042200	73.25	1.792200	2.446689	มากกว่า
16	66.891700	66.95	0.058300	0.087080	น้อยกว่า
17	70.219200	70.30	0.080800	0.114936	น้อยกว่า
18	69.792200	68.60	1.192200	1.737901	มากกว่า
19	77.274700	76.80	0.474700	0.618099	มากกว่า
20	77.723500	76.60	1.123500	1.466710	มากกว่า
21	72.262100	73.10	0.837900	1.146238	น้อยกว่า
22	71.082500	69.65	1.432500	2.056712	มากกว่า
23	77.885600	75.00	2.885600	3.847467	มากกว่า
24	68.319800	68.30	0.019800	0.028990	มากกว่า
25	68.078000	67.40	0.678000	1.005935	มากกว่า
26	67.771004	66.45	1.321004	1.987967	มากกว่า
27	62.255500	63.75	1.494500	2.344314	น้อยกว่า
28	68.824900	67.85	0.974900	1.436846	มากกว่า
29	64.222200	63.05	1.172200	1.859159	มากกว่า

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับน้ำมือ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	69.903720	68.65	1.253720	1.826249	มากกว่า
2	61.714600	63.40	1.685400	2.658360	น้อยกว่า
3	63.134800	64.45	1.315200	2.040652	น้อยกว่า
4	69.054800	69.50	0.445200	0.640576	น้อยกว่า
5	58.142600	58.70	0.557400	0.949574	น้อยกว่า
6	65.151100	64.90	0.251100	0.386903	มากกว่า
7	62.169000	61.70	0.469000	0.760130	มากกว่า
8	63.721600	63.10	0.621600	0.985103	มากกว่า
9	60.092600	58.35	1.742600	2.986461	มากกว่า
10	61.915076	61.10	0.815076	1.334003	มากกว่า
11	56.282600	57.05	0.767400	1.345136	น้อยกว่า
12	56.176892	55.00	1.176892	2.139804	มากกว่า
13	59.691300	59.05	0.641300	1.086029	มากกว่า
14	61.541000	61.95	0.409000	0.660210	น้อยกว่า
15	62.640800	62.35	0.290800	0.466399	มากกว่า
16	66.221600	65.45	0.771600	1.178915	มากกว่า
17	57.633200	59.25	1.616800	2.728776	น้อยกว่า
18	61.374200	61.15	0.224200	0.366639	มากกว่า
19	60.504500	60.00	0.504500	0.840833	มากกว่า
20	67.607000	66.55	1.057000	1.588279	มากกว่า
21	66.534000	67.30	0.766000	1.138187	น้อยกว่า
22	62.321500	64.05	1.728500	2.698673	น้อยกว่า
23	61.254800	61.15	0.104800	0.171382	มากกว่า
24	69.050400	67.75	1.300400	1.919410	มากกว่า
25	58.945200	59.75	0.804800	1.346946	น้อยกว่า
26	58.034800	58.65	0.615200	1.048934	น้อยกว่า
27	61.358409	59.85	1.508409	2.520316	มากกว่า
28	50.819400	51.40	0.580600	1.129572	น้อยกว่า
29	60.035900	59.35	0.685900	1.155687	มากกว่า
30	53.498507	52.90	0.598507	1.131393	มากกว่า

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงขณะนั่ง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	93.997000	92.45	1.547000	1.673337	มากกว่า
2	90.421000	88.55	1.871000	2.112931	มากกว่า
3	87.235300	86.50	0.735300	0.850058	มากกว่า
4	95.891900	94.75	1.141900	1.205172	มากกว่า
5	84.206400	84.45	0.243600	0.288455	น้อยกว่า
6	90.831200	92.60	1.768800	1.910151	น้อยกว่า
7	92.956600	90.75	2.206600	2.431515	มากกว่า
8	87.173200	86.95	0.223200	0.256699	มากกว่า
9	86.479700	87.15	0.670300	0.769134	น้อยกว่า
10	90.388800	90.55	0.161200	0.178023	น้อยกว่า
11	79.268518	80.35	1.081482	1.345964	น้อยกว่า
12	82.409575	82.95	0.540425	0.651507	น้อยกว่า
13	85.609100	84.95	0.659100	0.775868	มากกว่า
14	84.396000	85.55	1.154000	1.348919	น้อยกว่า
15	88.732600	87.85	0.882600	1.004667	มากกว่า
16	90.350600	89.35	1.000600	1.119866	มากกว่า
17	90.338700	90.05	0.288700	0.320600	มากกว่า
18	84.958500	85.15	0.191500	0.224897	น้อยกว่า
19	87.893100	86.90	0.993100	1.142808	มากกว่า
20	90.373000	90.10	0.273000	0.302997	มากกว่า
21	95.479300	96.50	1.020700	1.057720	น้อยกว่า
22	85.545600	86.40	0.854400	0.988889	น้อยกว่า
23	88.290700	88.45	0.159300	0.180102	น้อยกว่า
24	94.419900	93.95	0.469900	0.500160	มากกว่า
25	86.386000	87.05	0.664000	0.762780	น้อยกว่า
26	83.493800	82.95	0.543800	0.655576	มากกว่า
27	80.231700	80.20	0.031700	0.039526	มากกว่า
28	76.995600	77.25	0.254400	0.329320	น้อยกว่า
29	81.074400	82.85	1.775600	2.143150	น้อยกว่า
30	81.074556	80.25	0.824556	1.027484	มากกว่า

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับสายตาขณะนั่ง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	81.057636	79.45	1.607636	2.023456	มากกว่า
2	78.580100	77.95	0.630100	0.808339	มากกว่า
3	73.584900	73.05	0.534900	0.732238	มากกว่า
4	83.676000	80.95	2.726000	3.367511	มากกว่า
5	74.398500	73.90	0.498500	0.674560	มากกว่า
6	78.196000	79.35	1.154000	1.454316	น้อยกว่า
7	79.103700	77.75	1.353700	1.741093	มากกว่า
8	75.368500	74.90	0.468500	0.625501	มากกว่า
9	69.741700	71.15	1.408300	1.979339	น้อยกว่า
10	77.494400	77.35	0.144400	0.186684	มากกว่า
11	69.352800	68.85	0.502800	0.730283	มากกว่า
12	70.721205	70.85	0.128795	0.181785	น้อยกว่า
13	73.510736	71.70	1.810736	2.525434	มากกว่า
14	71.486578	73.00	1.513422	2.073181	น้อยกว่า
15	74.921100	73.25	1.671100	2.281365	มากกว่า
16	77.931000	76.55	1.381000	1.804050	มากกว่า
17	76.296400	76.45	0.153600	0.200916	น้อยกว่า
18	73.702200	72.75	0.952200	1.308866	มากกว่า
19	74.443500	72.95	1.493500	2.047293	มากกว่า
20	79.571100	78.40	1.171100	1.493750	มากกว่า
21	81.479000	81.15	0.329000	0.405422	มากกว่า
22	73.008700	71.55	1.458700	2.038714	มากกว่า
23	76.015000	75.45	0.565000	0.748840	มากกว่า
24	78.795900	79.00	0.204100	0.258354	น้อยกว่า
25	74.908200	73.90	1.008200	1.364276	มากกว่า
26	68.711900	68.65	0.061900	0.090168	มากกว่า
27	68.403100	65.75	2.653100	4.035133	มากกว่า
28	66.054100	65.80	0.254100	0.386170	มากกว่า
29	68.049726	67.85	0.199726	0.294364	มากกว่า
30	69.519767	68.85	0.669767	0.972792	มากกว่า

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	65.317800	62.85	2.467800	3.926492	มากกว่า
2	60.280600	59.25	1.030600	1.739409	มากกว่า
3	58.283800	58.20	0.083800	0.143986	มากกว่า
4	63.484885	61.85	1.634885	2.643306	มากกว่า
5	56.976500	57.15	0.173500	0.303587	น้อยกว่า
6	63.498000	61.35	2.148000	3.501222	มากกว่า
7	61.625816	60.20	1.425816	2.368465	มากกว่า
8	58.310039	58.30	0.010039	0.017220	มากกว่า
9	57.804500	58.50	0.695500	1.188889	น้อยกว่า
10	57.607598	57.35	0.257598	0.449168	มากกว่า
11	53.853500	52.95	0.903500	1.706327	มากกว่า
12	55.224300	54.80	0.424300	0.774270	มากกว่า
13	55.034424	54.95	0.084424	0.153638	มากกว่า
14	54.392900	55.30	0.907100	1.640325	น้อยกว่า
15	56.936600	55.80	1.136600	2.036918	มากกว่า
16	59.298900	58.75	0.548900	0.934298	มากกว่า
17	56.302856	57.65	1.347144	2.336763	น้อยกว่า
18	54.941600	55.20	0.258400	0.468116	น้อยกว่า
19	58.438500	56.40	2.038500	3.614362	มากกว่า
20	62.127200	61.35	0.777200	1.266830	มากกว่า
21	62.580802	61.30	1.280802	2.089400	มากกว่า
22	58.728792	57.75	0.978792	1.694878	มากกว่า
23	58.208487	58.55	0.341513	0.583284	น้อยกว่า
24	61.142900	60.60	0.542900	0.895875	มากกว่า
25	53.898966	53.55	0.348966	0.651664	มากกว่า
26	54.807564	55.75	0.942436	1.690468	น้อยกว่า
27	49.139400	49.30	0.160600	0.325761	น้อยกว่า
28	49.034040	48.35	0.684040	1.414767	มากกว่า
29	53.036170	52.85	0.186170	0.352261	มากกว่า
30	52.290762	52.00	0.290762	0.559158	มากกว่า

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงระดับข้อศอกขณะ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	31.059468	29.65	1.409468	4.753686	มากกว่า
2	24.206881	24.25	0.043119	0.177810	น้อยกว่า
3	21.015200	21.70	0.684800	3.155760	น้อยกว่า
4	27.804954	27.05	0.754954	2.790957	มากกว่า
5	24.979897	25.20	0.220103	0.873425	น้อยกว่า
6	26.366200	25.50	0.866200	3.396863	มากกว่า
7	24.598500	23.25	1.348500	5.800000	มากกว่า
8	21.469000	21.80	0.331000	1.518349	น้อยกว่า
9	21.149600	22.05	0.900400	4.083447	น้อยกว่า
10	25.917000	26.25	0.333000	1.268571	น้อยกว่า
11	24.682800	24.00	0.682800	2.845000	มากกว่า
12	21.019365	21.15	0.130635	0.617660	น้อยกว่า
13	23.746300	23.05	0.696300	3.020824	มากกว่า
14	21.488000	21.90	0.412000	1.881279	น้อยกว่า
15	23.994200	23.60	0.394200	1.670339	มากกว่า
16	21.198100	21.80	0.601900	2.761009	น้อยกว่า
17	25.460800	25.30	0.160800	0.635573	มากกว่า
18	22.057344	21.55	0.507344	2.354265	มากกว่า
19	28.581200	29.70	1.118800	3.767003	น้อยกว่า
20	25.260131	26.25	0.989869	3.770930	น้อยกว่า
21	23.263600	23.65	0.386400	1.633827	น้อยกว่า
22	23.674600	24.30	0.625400	2.573663	น้อยกว่า
23	23.131500	23.50	0.368500	1.568085	น้อยกว่า
24	20.539300	21.20	0.660700	3.116509	น้อยกว่า
25	19.439100	19.00	0.439100	2.311053	มากกว่า
26	16.898000	16.05	0.848000	5.283489	มากกว่า
27	18.843700	18.45	0.393700	2.133875	มากกว่า
28	18.138900	18.75	0.611100	3.259200	น้อยกว่า
29	21.176109	21.40	0.223891	1.046220	น้อยกว่า



ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความหนาของต้นขา

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	22.410795	22.45	0.039205	0.174633	น้อยกว่า
2	15.450100	15.00	0.450100	3.000667	มากกว่า
3	17.781281	17.65	0.131281	0.743802	มากกว่า
4	17.303270	16.90	0.403270	2.386213	มากกว่า
5	16.637514	16.85	0.212486	1.261045	น้อยกว่า
6	15.144528	14.80	0.344528	2.327892	มากกว่า
7	16.281679	16.20	0.081679	0.504191	มากกว่า
8	14.271255	14.05	0.221255	1.574769	มากกว่า
9	16.530400	17.00	0.469600	2.762353	น้อยกว่า
10	17.366900	17.45	0.083100	0.476218	น้อยกว่า
11	14.710960	14.55	0.160960	1.106254	มากกว่า
12	17.523831	17.15	0.373831	2.179773	มากกว่า

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความยาวจากกันถึงหัวเข้า

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	57.232000	57.15	0.082000	0.143482	มากกว่า
2	57.494600	56.75	0.744600	1.312070	มากกว่า
3	60.188500	59.05	1.138500	1.928027	มากกว่า
4	56.902200	57.55	0.647800	1.125630	น้อยกว่า
5	59.554400	58.95	0.604400	1.025276	มากกว่า
6	60.320700	59.15	1.170700	1.979205	มากกว่า
7	55.663600	55.55	0.113600	0.204500	มากกว่า
8	55.426464	54.55	0.876464	1.606717	มากกว่า
9	57.918492	56.95	0.968492	1.700601	มากกว่า
10	62.999388	61.75	1.249388	2.023300	มากกว่า
11	64.791901	63.25	1.541901	2.437788	มากกว่า
12	62.498000	61.15	1.348000	2.204415	มากกว่า
13	52.892464	51.95	0.942464	1.814175	มากกว่า

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความยาวจากกันถึงข้อพับเข่า

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	45.263493	44.40	0.863493	1.944804	มากกว่า
2	46.730200	46.45	0.280200	0.603229	มากกว่า
3	48.843479	47.90	0.943479	1.969685	มากกว่า
4	46.318756	45.85	0.468756	1.022369	มากกว่า
5	48.117797	47.35	0.767797	1.621535	มากกว่า
6	46.705370	45.70	1.005370	2.199934	มากกว่า
7	42.506456	41.70	0.806456	1.933947	มากกว่า
8	41.544546	40.85	0.694546	1.700235	มากกว่า
9	44.012500	44.00	0.012500	0.028409	มากกว่า
10	50.796100	50.55	0.246100	0.486845	มากกว่า
11	50.335057	49.35	0.985057	1.996063	มากกว่า
12	49.309600	48.75	0.559600	1.147897	มากกว่า
13	41.371659	41.05	0.321659	0.783579	มากกว่า

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงของเข้าขณะนั่ง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	47.882860	46.95	0.932860	1.986922	มากกว่า
2	47.490000	47.40	0.090000	0.189873	มากกว่า
3	47.871500	48.55	0.678500	1.397528	น้อยกว่า
4	48.358043	47.65	0.708043	1.485924	มากกว่า
5	42.651686	43.65	0.998314	2.287088	น้อยกว่า
6	49.795196	49.55	0.245196	0.494846	มากกว่า
7	49.072780	48.45	0.622780	1.285408	มากกว่า
8	47.219209	47.15	0.069209	0.146785	มากกว่า
9	48.981400	48.45	0.531400	1.096801	มากกว่า
10	47.022700	47.05	0.027300	0.058023	น้อยกว่า
11	42.444400	43.30	0.855600	1.975982	น้อยกว่า
12	46.688600	46.95	0.261400	0.556763	น้อยกว่า
13	43.953600	44.90	0.946400	2.107795	น้อยกว่า
14	46.744700	47.70	0.955300	2.002725	น้อยกว่า
15	49.749800	49.90	0.150200	0.301002	น้อยกว่า
16	46.133781	47.30	1.166219	2.465579	น้อยกว่า
17	43.794819	43.75	0.044819	0.102443	มากกว่า
18	46.199800	46.25	0.050200	0.108541	น้อยกว่า
19	48.442100	47.85	0.592100	1.237409	มากกว่า
20	48.912400	48.35	0.562400	1.163185	มากกว่า
21	47.736296	47.25	0.486296	1.029198	มากกว่า
22	45.318443	45.35	0.031557	0.069585	น้อยกว่า
23	48.292104	47.45	0.842104	1.774719	มากกว่า
24	46.323036	47.15	0.826964	1.753900	น้อยกว่า
25	44.481092	44.05	0.431092	0.978642	มากกว่า
26	45.356000	46.15	0.794000	1.720477	น้อยกว่า
27	40.526800	39.90	0.626800	1.570927	มากกว่า
28	46.419100	45.55	0.869100	1.908013	มากกว่า
29	41.439200	41.25	0.189200	0.458667	มากกว่า

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงของข้อพับเข้าขณะนั่ง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	33.963402	33.55	0.413402	1.232197	มากกว่า
2	37.295500	38.25	0.954500	2.495425	น้อยกว่า
3	34.802309	34.85	0.047691	0.136846	น้อยกว่า
4	36.778807	36.05	0.728807	2.021656	มากกว่า
5	34.327800	35.15	0.822200	2.339118	น้อยกว่า
6	39.774900	40.15	0.375100	0.934247	น้อยกว่า
7	40.781800	39.75	1.031800	2.595723	มากกว่า
8	37.568855	37.70	0.131145	0.347865	น้อยกว่า
9	37.303700	38.15	0.846300	2.218349	น้อยกว่า
10	34.962300	35.25	0.287700	0.816170	น้อยกว่า
11	35.663700	36.00	0.336300	0.934167	น้อยกว่า
12	35.787425	36.20	0.412575	1.139710	น้อยกว่า
13	31.656100	31.90	0.243900	0.764577	น้อยกว่า
14	37.887118	38.15	0.262882	0.689075	น้อยกว่า
15	39.674225	40.15	0.475775	1.184994	น้อยกว่า
16	38.115288	38.65	0.534712	1.383472	น้อยกว่า
17	35.645600	35.95	0.304400	0.846732	น้อยกว่า
18	37.255900	37.35	0.094100	0.251941	น้อยกว่า
19	37.370800	38.05	0.679200	1.785020	น้อยกว่า
20	36.583600	37.10	0.516400	1.391914	น้อยกว่า
21	39.689400	40.20	0.510600	1.270149	น้อยกว่า
22	33.859398	34.70	0.840602	2.422484	น้อยกว่า
23	41.325600	42.25	0.924400	2.187929	น้อยกว่า
24	37.333411	37.50	0.166589	0.444237	น้อยกว่า
25	33.027700	32.80	0.227700	0.694207	มากกว่า
26	37.434300	37.45	0.015700	0.041923	น้อยกว่า
27	33.504100	34.10	0.595900	1.747507	น้อยกว่า

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความกว้างไหล่ (อ้างอิงถ้ำมเนื้อ)

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	51.595400	51.25	0.345400	0.673951	มากกว่า
2	48.274700	47.55	0.724700	1.524080	มากกว่า
3	47.664400	48.20	0.535600	1.111203	น้อยกว่า
4	44.349900	44.05	0.299900	0.680817	มากกว่า
5	39.873300	38.45	1.423300	3.701691	มากกว่า
6	41.015700	40.75	0.265700	0.652025	มากกว่า
7	49.961500	48.15	1.811500	3.762201	มากกว่า
8	45.152400	44.20	0.952400	2.154751	มากกว่า
9	42.207381	41.85	0.357381	0.853957	มากกว่า
10	45.034002	44.25	0.784002	1.771756	มากกว่า
11	36.471487	35.65	0.821487	2.304311	มากกว่า
12	37.314400	36.65	0.664400	1.812824	มากกว่า
13	45.104434	44.60	0.504434	1.131018	มากกว่า
14	44.320900	44.30	0.020900	0.047178	มากกว่า
15	43.306400	42.50	0.806400	1.897412	มากกว่า
16	47.443000	47.60	0.157000	0.329832	น้อยกว่า
17	43.106055	42.05	1.056055	2.511427	มากกว่า
18	39.018610	38.15	0.868610	2.276828	มากกว่า
19	44.591800	44.35	0.241800	0.545209	มากกว่า
20	48.140000	47.35	0.790000	1.668427	มากกว่า
21	41.715500	41.10	0.615500	1.497567	มากกว่า
22	46.651100	46.60	0.051100	0.109657	มากกว่า
23	46.971600	46.70	0.271600	0.581585	มากกว่า
24	39.886100	39.70	0.186100	0.468766	มากกว่า
25	39.881600	39.05	0.831600	2.129577	มากกว่า
26	39.719500	39.65	0.069500	0.175284	มากกว่า
27	37.933200	37.85	0.083200	0.219815	มากกว่า
28	44.044500	44.20	0.155500	0.351810	น้อยกว่า
29	43.903800	43.40	0.503800	1.160829	มากกว่า

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความกว้างไหล่ (อ้างอิงปุ่มหัวไหล่)

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	36.975100	36.25	0.725100	2.000276	มากกว่า
2	31.751300	31.30	0.451300	1.441853	มากกว่า
3	35.031220	35.90	0.868780	2.420000	น้อยกว่า
4	32.678730	32.30	0.378730	1.172539	มากกว่า
5	28.965400	28.15	0.815400	2.896625	มากกว่า
6	29.908600	30.65	0.741400	2.418923	น้อยกว่า
7	33.970751	33.70	0.270751	0.803415	มากกว่า
8	32.057200	30.90	1.157200	3.744984	มากกว่า
9	31.610300	31.10	0.510300	1.640836	มากกว่า
10	32.109783	31.75	0.359783	1.133175	มากกว่า
11	27.125047	26.35	0.775047	2.941355	มากกว่า
12	27.132300	26.30	0.832300	3.164639	มากกว่า
13	33.409200	33.05	0.359200	1.086838	มากกว่า
14	30.303600	31.90	1.596400	5.004389	น้อยกว่า
15	31.984000	32.85	0.866000	2.636225	น้อยกว่า
16	33.379600	33.60	0.220400	0.655952	น้อยกว่า
17	32.670500	32.05	0.620500	1.936037	มากกว่า
18	27.963748	27.10	0.863748	3.187262	มากกว่า
19	28.724599	28.50	0.224599	0.788067	มากกว่า
20	34.583773	33.95	0.633773	1.866784	มากกว่า
21	35.262902	36.50	1.237098	3.389310	น้อยกว่า
22	31.077500	31.00	0.077500	0.250000	มากกว่า
23	32.337900	32.05	0.287900	0.898284	มากกว่า
24	28.951000	29.30	0.349000	1.191126	น้อยกว่า
25	29.417100	29.55	0.132900	0.449746	น้อยกว่า
26	30.611300	30.30	0.311300	1.027393	มากกว่า
27	28.268500	27.30	0.968500	3.547619	มากกว่า
28	29.982800	30.10	0.117200	0.389369	น้อยกว่า
29	31.686400	31.40	0.286400	0.912102	มากกว่า

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความกว้างสะพาน

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	39.786600	39.85	0.063400	0.159097	น้อยกว่า
2	39.873800	39.25	0.623800	1.589299	มากกว่า
3	41.256300	41.55	0.293700	0.706859	น้อยกว่า
4	35.606787	35.35	0.256787	0.726413	มากกว่า
5	38.472300	37.45	1.022300	2.729773	มากกว่า
6	37.247900	36.80	0.447900	1.217120	มากกว่า
7	33.901400	32.90	1.001400	3.043769	มากกว่า
8	37.010484	36.40	0.610484	1.677154	มากกว่า
9	35.019700	34.65	0.369700	1.066955	มากกว่า
10	37.088000	37.60	0.512000	1.361702	น้อยกว่า
11	32.277400	33.15	0.872600	2.632278	น้อยกว่า
12	42.759800	42.85	0.090200	0.210502	น้อยกว่า
13	39.337100	38.90	0.437100	1.123650	มากกว่า
14	38.744600	38.05	0.694600	1.825493	มากกว่า



ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความหนาหน้าอก

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	28.092405	28.70	0.607595	2.117056	น้อยกว่า
2	26.504800	25.55	0.954800	3.736986	มากกว่า
3	28.640000	27.65	0.990000	3.580470	มากกว่า
4	23.270000	22.55	0.720000	3.192905	มากกว่า
5	25.645009	24.45	1.195009	4.887562	มากกว่า
6	23.674300	23.15	0.524300	2.264795	มากกว่า
7	20.435940	19.60	0.835940	4.265000	มากกว่า
8	21.362300	20.70	0.662300	3.199517	มากกว่า
9	20.046600	19.25	0.796600	4.138182	มากกว่า
10	20.472200	21.15	0.677800	3.204728	น้อยกว่า
11	22.493100	21.25	1.243100	5.849882	มากกว่า
12	25.200303	24.75	0.450303	1.819406	มากกว่า
13	23.335300	22.50	0.835300	3.712444	มากกว่า

ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความหนาช่องห้อง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	30.617565	29.70	0.917565	3.089444	มากกว่า
2	26.974300	26.85	0.124300	0.462942	มากกว่า
3	31.681510	31.45	0.231510	0.736121	มากกว่า
4	20.519396	20.00	0.519396	2.596980	มากกว่า
5	24.145409	23.95	0.195409	0.815904	มากกว่า
6	25.230900	25.15	0.080900	0.321670	มากกว่า
7	22.447100	22.75	0.302900	1.331429	น้อยกว่า
8	22.966100	22.95	0.016100	0.070153	มากกว่า
9	21.490600	21.25	0.240600	1.132235	มากกว่า
10	21.250500	22.00	0.749500	3.406818	น้อยกว่า
11	21.598400	21.90	0.301600	1.377169	น้อยกว่า
12	26.602300	26.00	0.602300	2.316538	มากกว่า
13	22.387516	22.15	0.237516	1.072307	มากกว่า

ตารางที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะระดับไหลถึงข้อศอก

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	34.657821	33.60	1.057821	3.148277	มากกว่า
2	33.876200	34.30	0.423800	1.235569	น้อยกว่า
3	36.189300	35.40	0.789300	2.229661	มากกว่า
4	34.305962	34.60	0.294038	0.849821	น้อยกว่า
5	32.069422	31.30	0.769422	2.458217	มากกว่า
6	34.940030	33.75	1.190030	3.526015	มากกว่า
7	37.286208	36.65	0.636208	1.735902	มากกว่า
8	36.257300	34.75	1.507300	4.337554	มากกว่า
9	33.030148	32.35	0.680148	2.102467	มากกว่า
10	32.332104	32.05	0.282104	0.880200	มากกว่า
11	28.536300	28.45	0.086300	0.303339	มากกว่า
12	31.498833	31.15	0.348833	1.119849	มากกว่า
13	33.493784	32.90	0.593784	1.804815	มากกว่า
14	32.902426	31.90	1.002426	3.142401	มากกว่า
15	33.096600	32.95	0.146600	0.444917	มากกว่า
16	36.815500	35.40	1.415500	3.998588	มากกว่า
17	37.445100	36.50	0.945100	2.589315	มากกว่า
18	30.351906	30.45	0.098094	0.322148	น้อยกว่า
19	32.548032	32.90	0.351968	1.069812	น้อยกว่า
20	33.277632	32.70	0.577632	1.766459	มากกว่า
21	38.742600	38.25	0.492600	1.287843	มากกว่า
22	33.897700	33.70	0.197700	0.586647	มากกว่า
23	32.044000	32.65	0.606000	1.856049	น้อยกว่า
24	35.984600	35.75	0.234600	0.656224	มากกว่า
25	32.286300	31.55	0.736300	2.333756	มากกว่า
26	33.546000	33.60	0.054000	0.160714	น้อยกว่า
27	32.765400	32.15	0.615400	1.914152	มากกว่า
28	28.975400	28.75	0.225400	0.784000	มากกว่า
29	34.142950	34.05	0.092950	0.272981	มากกว่า
30	31.470600	32.15	0.679400	2.113219	น้อยกว่า

ตารางที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	43.874655	43.25	0.624655	1.444289	มากกว่า
2	44.577280	44.15	0.427280	0.967792	มากกว่า
3	44.377900	43.10	1.277900	2.964965	มากกว่า
4	47.498200	45.85	1.648200	3.594766	มากกว่า
5	41.683800	40.90	0.783800	1.916381	มากกว่า
6	45.576755	44.45	1.126755	2.534882	มากกว่า
7	49.779700	48.00	1.779700	3.707708	มากกว่า
8	49.034900	46.75	2.284900	4.887487	มากกว่า
9	43.985928	44.40	0.414072	0.932595	น้อยกว่า
10	44.003766	43.20	0.803766	1.860569	มากกว่า
11	38.288525	38.40	0.111475	0.290299	น้อยกว่า
12	41.871900	41.50	0.371900	0.896145	มากกว่า
13	42.216900	41.95	0.266900	0.636234	มากกว่า
14	40.960920	40.90	0.060920	0.148949	มากกว่า
15	45.643200	45.05	0.593200	1.316759	มากกว่า
16	46.343932	45.45	0.893932	1.966847	มากกว่า
17	45.336504	44.05	1.286504	2.920554	มากกว่า
18	39.732186	39.05	0.682186	1.746955	มากกว่า
19	43.173216	42.65	0.523216	1.226767	มากกว่า
20	46.497128	46.20	0.297128	0.643134	มากกว่า
21	46.835097	46.75	0.085097	0.182026	มากกว่า
22	46.393100	45.30	1.093100	2.413024	มากกว่า
23	42.560319	41.90	0.660319	1.575940	มากกว่า
24	48.495012	47.60	0.895012	1.880277	มากกว่า
25	41.817006	40.90	0.917006	2.242068	มากกว่า
26	41.038176	40.45	0.588176	1.454082	มากกว่า
27	42.177400	40.70	1.477400	3.629975	มากกว่า
28	36.880800	36.45	0.430800	1.181893	มากกว่า
29	42.361374	41.70	0.661374	1.586029	มากกว่า
30	40.354090	39.55	0.804090	2.033097	มากกว่า

ตารางที่ 31 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะไหลถึงปลายทาง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	65.391701	64.30	1.091701	1.697824	มากกว่า
2	71.967200	72.10	0.132800	0.184189	น้อยกว่า
3	71.015139	68.90	2.115139	3.069868	มากกว่า
4	76.251000	73.65	2.601000	3.531568	มากกว่า
5	66.431064	65.25	1.181064	1.810060	มากกว่า
6	73.413401	71.80	1.613401	2.247077	มากกว่า
7	75.129893	73.70	1.429893	1.940153	มากกว่า
8	79.012474	76.80	2.212474	2.880826	มากกว่า
9	76.271300	72.75	3.521300	4.840275	มากกว่า
10	70.988233	67.95	3.038233	4.471277	มากกว่า
11	63.609300	62.50	1.109300	1.774880	มากกว่า
12	67.328460	66.05	1.278460	1.935594	มากกว่า
13	68.953600	66.45	2.503600	3.767645	มากกว่า
14	65.587137	63.55	2.037137	3.205566	มากกว่า
15	71.661100	70.30	1.361100	1.936131	มากกว่า
16	76.379500	76.55	0.170500	0.222730	น้อยกว่า
17	75.295300	73.40	1.895300	2.582153	มากกว่า
18	65.102128	64.45	0.652128	1.011836	มากกว่า
19	75.381300	70.75	4.631300	6.546007	มากกว่า
20	69.080400	68.65	0.430400	0.626948	มากกว่า
21	75.786784	74.15	1.636784	2.207396	มากกว่า
22	70.603977	71.40	0.796023	1.114878	น้อยกว่า
23	68.648200	66.90	1.748200	2.613154	มากกว่า
24	74.185103	73.90	0.285103	0.385796	มากกว่า
25	67.436700	67.20	0.236700	0.352232	มากกว่า
26	68.898400	68.60	0.298400	0.434985	มากกว่า
27	69.173000	68.60	0.573000	0.835277	มากกว่า
28	61.572200	60.55	1.022200	1.688192	มากกว่า
29	70.178100	69.55	0.628100	0.903091	มากกว่า
30	63.730300	63.25	0.480300	0.759368	มากกว่า

ตารางที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมือขณะก้าว

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	56.536300	58.95	2.413700	4.094487	น้อยกว่า
2	55.378388	54.20	1.178388	2.174148	มากกว่า
3	58.257262	57.35	0.907262	1.581974	มากกว่า
4	63.903078	62.80	1.103078	1.756494	มากกว่า
5	54.641206	54.75	0.108794	0.198711	น้อยกว่า
6	62.377302	62.35	0.027302	0.043788	มากกว่า
7	62.785326	61.05	1.735326	2.842467	มากกว่า
8	64.751162	63.80	0.951162	1.490850	มากกว่า
9	63.154449	62.25	0.904449	1.452930	มากกว่า
10	58.713676	57.60	1.113676	1.933465	มากกว่า
11	52.679375	51.75	0.929375	1.795894	มากกว่า
12	57.682074	55.70	1.982074	3.558481	มากกว่า
13	57.106428	56.85	0.256428	0.451061	มากกว่า
14	57.878821	56.10	1.778821	3.170804	มากกว่า
15	61.404800	60.05	1.354800	2.256120	มากกว่า
16	59.954384	57.80	2.154384	3.727308	มากกว่า
17	62.055800	61.15	0.905800	1.481276	มากกว่า
18	55.284201	53.00	2.284201	4.309813	มากกว่า
19	63.284600	59.95	3.334600	5.562302	มากกว่า
20	60.126900	58.20	1.926900	3.310825	มากกว่า
21	67.597132	64.55	3.047132	4.720576	มากกว่า
22	60.122000	60.75	0.628000	1.033745	น้อยกว่า
23	57.708330	57.15	0.558330	0.976955	มากกว่า
24	67.760430	66.15	1.610430	2.434512	มากกว่า
25	58.033200	57.20	0.833200	1.456643	มากกว่า
26	58.913700	58.45	0.463700	0.793328	มากกว่า
27	60.577200	58.90	1.677200	2.847538	มากกว่า
28	52.868400	52.55	0.318400	0.605899	มากกว่า
29	60.397500	59.40	0.997500	1.679293	มากกว่า
30	54.499900	54.00	0.499900	0.925741	มากกว่า

ตารางที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความยาวศีรษะ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	19.443732	19.10	0.343732	1.799644	มากกว่า
2	20.389000	19.65	0.739000	3.760814	มากกว่า
3	18.798294	18.45	0.348294	1.887772	มากกว่า
4	19.178385	18.40	0.778385	4.230353	มากกว่า
5	18.583488	18.20	0.383488	2.107077	มากกว่า
6	18.927916	18.75	0.177916	0.948885	มากกว่า
7	20.714560	20.65	0.064560	0.312639	มากกว่า
8	19.458300	19.50	0.041700	0.213846	น้อยกว่า
9	21.214500	20.95	0.264500	1.262530	มากกว่า
10	21.426434	21.30	0.126434	0.593587	มากกว่า
11	18.462200	18.30	0.162200	0.886339	มากกว่า
12	19.699500	19.75	0.050500	0.255696	น้อยกว่า
13	18.822400	18.45	0.372400	2.018428	มากกว่า
14	19.086961	18.80	0.286961	1.526388	มากกว่า
15	20.781400	21.25	0.468600	2.205176	น้อยกว่า
16	19.565954	19.20	0.365954	1.906010	มากกว่า
17	20.930600	20.95	0.019400	0.092601	น้อยกว่า
18	17.822532	17.55	0.272532	1.552889	มากกว่า
19	18.901000	19.00	0.099000	0.521053	น้อยกว่า
20	20.597244	19.75	0.847244	4.289843	มากกว่า
21	19.631900	19.20	0.431900	2.249479	มากกว่า
22	19.442600	19.20	0.242600	1.263542	มากกว่า
23	19.560210	19.35	0.210210	1.086357	มากกว่า
24	21.115500	20.80	0.315500	1.516827	มากกว่า
25	19.666746	19.05	0.616746	3.237512	มากกว่า
26	20.047600	20.30	0.252400	1.243350	น้อยกว่า
27	20.217200	19.70	0.517200	2.625381	มากกว่า
28	18.573500	18.35	0.223500	1.217984	มากกว่า
29	19.930790	19.65	0.280790	1.428957	มากกว่า
30	21.173600	21.00	0.173600	0.826667	มากกว่า

ตารางที่ 34 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความกว้างศีรษะ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	16.290102	15.85	0.440102	2.776669	มากกว่า
2	15.584256	15.40	0.184256	1.196468	มากกว่า
3	16.554324	16.40	0.154324	0.941000	มากกว่า
4	15.514891	14.90	0.614891	4.126785	มากกว่า
5	15.828529	15.75	0.078529	0.498597	มากกว่า
6	15.512800	15.00	0.512800	3.418667	มากกว่า
7	18.643287	18.40	0.243287	1.322212	มากกว่า
8	19.136600	18.60	0.536600	2.884946	มากกว่า
9	19.604700	18.85	0.754700	4.003714	มากกว่า
10	20.232135	20.05	0.182135	0.908404	มากกว่า
11	17.076000	16.80	0.276000	1.642857	มากกว่า
12	16.593600	15.95	0.643600	4.035110	มากกว่า
13	17.306300	17.35	0.043700	0.251873	น้อยกว่า
14	17.476800	17.30	0.176800	1.021965	มากกว่า
15	17.068100	17.10	0.031900	0.186550	น้อยกว่า
16	19.654500	19.80	0.145500	0.734848	น้อยกว่า
17	16.714800	16.40	0.314800	1.919512	มากกว่า
18	16.441700	15.75	0.691700	4.391746	มากกว่า
19	16.060178	15.85	0.210178	1.326044	มากกว่า
20	18.010900	17.50	0.510900	2.919429	มากกว่า
21	18.050500	18.25	0.199500	1.093151	น้อยกว่า
22	19.199800	19.35	0.150200	0.776227	น้อยกว่า
23	19.083200	18.45	0.633200	3.431978	มากกว่า
24	17.667700	17.60	0.067700	0.384659	มากกว่า
25	19.935600	19.45	0.485600	2.496658	มากกว่า
26	19.601200	19.45	0.151200	0.777378	มากกว่า
27	17.593100	16.90	0.693100	4.101183	มากกว่า
28	18.700200	18.65	0.050200	0.269169	มากกว่า
29	22.147200	21.75	0.397200	1.826207	มากกว่า



ตารางที่ 35 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความยาวของมือ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	17.486733	17.70	0.213267	1.204898	น้อยกว่า
2	16.716700	17.45	0.733300	4.202292	น้อยกว่า
3	17.840409	17.70	0.140409	0.793271	มากกว่า
4	18.103380	18.30	0.196620	1.074426	น้อยกว่า
5	16.002448	16.15	0.147552	0.913635	น้อยกว่า
6	17.727900	18.50	0.772100	4.173514	น้อยกว่า
7	19.355200	19.50	0.144800	0.742564	น้อยกว่า
8	18.874600	19.00	0.125400	0.660000	น้อยกว่า
9	18.157053	19.00	0.842947	4.436563	น้อยกว่า
10	18.026400	18.15	0.123600	0.680992	น้อยกว่า
11	16.090400	16.60	0.509600	3.069880	น้อยกว่า
12	16.946200	16.90	0.046200	0.273373	มากกว่า
13	16.651000	16.55	0.101000	0.610272	มากกว่า
14	16.098521	16.35	0.251479	1.538098	น้อยกว่า
15	17.989800	18.00	0.010200	0.056667	น้อยกว่า
16	18.038100	18.35	0.311900	1.699728	น้อยกว่า
17	17.011400	17.30	0.288600	1.668208	น้อยกว่า
18	16.360700	16.40	0.039300	0.239634	น้อยกว่า
19	17.148200	17.55	0.401800	2.289459	น้อยกว่า
20	18.804600	19.20	0.395400	2.059375	น้อยกว่า
21	18.226800	18.95	0.723200	3.816359	น้อยกว่า
22	17.430900	17.55	0.119100	0.678632	น้อยกว่า
23	17.266000	17.35	0.084000	0.484150	น้อยกว่า
24	19.073400	19.30	0.226600	1.174093	น้อยกว่า
25	17.260900	17.55	0.289100	1.647293	น้อยกว่า
26	17.120100	17.45	0.329900	1.890544	น้อยกว่า
27	16.537264	16.50	0.037264	0.225842	มากกว่า
28	15.403100	15.85	0.446900	2.819558	น้อยกว่า
29	17.899900	17.80	0.099900	0.561236	มากกว่า
30	16.752000	16.55	0.202000	1.220544	มากกว่า

ตารางที่ 36 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความกว้างของมือ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	8.522415	8.50	0.022415	0.263706	มากกว่า
2	8.358372	8.65	0.291628	3.371422	น้อยกว่า
3	7.682169	7.75	0.067831	0.875239	น้อยกว่า
4	8.510230	8.45	0.060230	0.712781	มากกว่า
5	6.775230	6.80	0.024770	0.364265	น้อยกว่า
6	7.422412	7.25	0.172412	2.378097	มากกว่า
7	8.544760	8.65	0.105240	1.216647	น้อยกว่า
8	7.686405	7.75	0.063595	0.820581	น้อยกว่า
9	7.720240	7.85	0.129760	1.652994	น้อยกว่า
10	8.108870	8.15	0.041130	0.504663	น้อยกว่า
11	6.819422	7.00	0.180578	2.579686	น้อยกว่า
12	7.099420	7.00	0.099420	1.420286	มากกว่า
13	7.302630	7.45	0.147370	1.978121	น้อยกว่า
14	7.201188	7.35	0.148812	2.024653	น้อยกว่า
15	7.737701	7.90	0.162299	2.054418	น้อยกว่า
16	7.750850	8.00	0.249150	3.114375	น้อยกว่า
17	8.130472	8.25	0.119528	1.448824	น้อยกว่า
18	7.193480	7.25	0.056520	0.779586	น้อยกว่า
19	7.666570	7.75	0.083430	1.076516	น้อยกว่า
20	7.213858	7.35	0.136142	1.852272	น้อยกว่า
21	8.001345	8.20	0.198655	2.422622	น้อยกว่า
22	7.391908	7.50	0.108092	1.441227	น้อยกว่า
23	7.736350	7.75	0.013650	0.176129	น้อยกว่า
24	8.611310	8.45	0.161310	1.908994	มากกว่า
25	7.150690	7.25	0.099310	1.369793	น้อยกว่า
26	7.058840	7.00	0.058840	0.840571	มากกว่า
27	7.012308	7.45	0.437692	5.875060	น้อยกว่า
28	6.483840	6.50	0.016160	0.248615	น้อยกว่า
29	7.976900	8.05	0.073100	0.908075	น้อยกว่า
30	6.920840	6.95	0.029160	0.419568	น้อยกว่า

ตารางที่ 37 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะทางแบบ

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	163.079000	163.65	0.571000	0.348915	น้อยกว่า
2	170.854000	169.75	1.104000	0.650368	มากกว่า
3	168.983000	168.75	0.233000	0.138074	มากกว่า
4	176.277000	176.45	0.173000	0.098045	น้อยกว่า
5	147.682040	146.50	1.182040	0.806853	มากกว่า
6	169.027000	169.05	0.023000	0.013605	น้อยกว่า
7	182.853000	182.25	0.603000	0.330864	มากกว่า
8	178.241000	176.90	1.341000	0.758055	มากกว่า
9	163.123000	163.90	0.777000	0.474070	น้อยกว่า
10	163.444000	162.85	0.594000	0.364753	มากกว่า
11	143.666000	144.60	0.934000	0.645920	น้อยกว่า
12	156.378474	155.00	1.378474	0.889338	มากกว่า
13	159.964000	161.10	1.136000	0.705152	น้อยกว่า
14	154.179000	156.05	1.871000	1.198975	น้อยกว่า
15	169.123000	167.85	1.273000	0.758415	มากกว่า
16	173.764000	172.00	1.764000	1.025581	มากกว่า
17	162.875841	163.05	0.174159	0.106813	น้อยกว่า
18	152.938000	152.95	0.012000	0.007846	น้อยกว่า
19	167.355000	166.85	0.505000	0.302667	มากกว่า
20	167.454000	166.00	1.454000	0.875904	มากกว่า
21	181.646000	181.55	0.096000	0.052878	มากกว่า
22	166.302000	166.55	0.248000	0.148904	น้อยกว่า
23	166.016000	164.40	1.616000	0.982968	มากกว่า
24	177.554730	177.95	0.395270	0.222124	น้อยกว่า
25	156.223000	157.65	1.427000	0.905170	น้อยกว่า
26	158.653000	158.95	0.297000	0.186851	น้อยกว่า
27	159.761000	160.45	0.689000	0.429417	น้อยกว่า
28	143.662000	143.55	0.112000	0.078022	มากกว่า
29	166.910000	165.60	1.310000	0.791063	มากกว่า
30	154.001000	153.50	0.501000	0.326384	มากกว่า

ตารางที่ 38 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะทางศอก

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	85.937500	86.30	0.362500	0.420046	น้อยกว่า
2	89.049000	88.85	0.199000	0.223973	มากกว่า
3	87.629600	87.20	0.429600	0.492661	มากกว่า
4	91.904400	91.20	0.704400	0.772368	มากกว่า
5	79.879008	79.05	0.829008	1.048713	มากกว่า
6	88.259300	87.05	1.209300	1.389202	มากกว่า
7	95.225400	95.80	0.574600	0.599791	น้อยกว่า
8	91.032300	90.75	0.282300	0.311074	มากกว่า
9	86.670600	87.50	0.829400	0.947886	น้อยกว่า
10	84.064618	85.05	0.985382	1.158591	น้อยกว่า
11	74.923200	74.55	0.373200	0.500604	มากกว่า
12	79.720382	80.20	0.479618	0.598027	น้อยกว่า
13	84.253800	84.95	0.696200	0.819541	น้อยกว่า
14	84.256300	83.90	0.356300	0.424672	มากกว่า
15	88.468600	88.85	0.381400	0.429263	น้อยกว่า
16	90.263300	89.80	0.463300	0.515924	มากกว่า
17	87.446900	88.15	0.703100	0.797618	น้อยกว่า
18	79.313000	79.90	0.587000	0.734668	น้อยกว่า
19	85.172800	85.50	0.327200	0.382690	น้อยกว่า
20	82.228300	81.90	0.328300	0.400855	มากกว่า
21	96.857400	96.80	0.057400	0.059298	มากกว่า
22	86.233300	86.45	0.216700	0.250665	น้อยกว่า
23	86.437500	85.50	0.937500	1.096491	มากกว่า
24	92.563000	91.90	0.663000	0.721436	มากกว่า
25	80.678400	81.10	0.421600	0.519852	น้อยกว่า
26	83.300900	82.50	0.800900	0.970788	มากกว่า
27	84.534500	84.30	0.234500	0.278173	มากกว่า
28	74.697100	73.85	0.847100	1.147055	มากกว่า
29	88.967300	88.15	0.817300	0.927170	มากกว่า
30	80.780100	80.15	0.630100	0.786151	มากกว่า

ตารางที่ 39 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงของระยะเอائمแนขึ้นเหนือ  
ศิระในทำนัง

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	120.084000	119.80	0.284000	0.237062	มากกว่า
2	117.464000	118.20	0.736000	0.622673	น้อยกว่า
3	117.333000	116.20	1.133000	0.975043	มากกว่า
4	126.537522	123.90	2.637522	2.128751	มากกว่า
5	108.789000	108.55	0.239000	0.220175	มากกว่า
6	124.174000	121.45	2.724000	2.242898	มากกว่า
7	125.889000	124.20	1.689000	1.359903	มากกว่า
8	120.800000	119.10	1.700000	1.427372	มากกว่า
9	117.460000	119.05	1.590000	1.335573	น้อยกว่า
10	115.250000	115.80	0.550000	0.474957	น้อยกว่า
11	100.220000	103.85	3.630000	3.495426	น้อยกว่า
12	113.854000	114.35	0.496000	0.433756	น้อยกว่า
13	112.515000	111.75	0.765000	0.684564	มากกว่า
14	108.387000	107.40	0.987000	0.918994	มากกว่า
15	115.884000	115.95	0.066000	0.056921	น้อยกว่า
16	119.719000	120.10	0.381000	0.317236	น้อยกว่า
17	119.872000	119.35	0.522000	0.437369	มากกว่า
18	118.177000	119.25	1.073000	0.899790	น้อยกว่า
19	128.249000	128.10	0.149000	0.116315	มากกว่า
20	113.149000	113.40	0.251000	0.221340	น้อยกว่า
21	115.923000	114.90	1.023000	0.890339	มากกว่า
22	121.568000	123.45	1.882000	1.524504	น้อยกว่า
23	112.506000	113.05	0.544000	0.481203	น้อยกว่า
24	106.638000	105.30	1.338000	1.270655	มากกว่า
25	107.279000	108.85	1.571000	1.443271	น้อยกว่า
26	101.109000	101.15	0.041000	0.040534	น้อยกว่า
27	110.475000	106.60	3.875000	3.635084	มากกว่า
28	103.500000	102.75	0.750000	0.729927	มากกว่า

ตารางที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระยะเอี่ยมด้านหน้า

ลำดับที่	ขนาดที่ คำนวณได้ (เซนติเมตร)	ขนาดที่ วัดได้จริง (เซนติเมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (เซนติเมตร)	อัตราของ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ประเภทของ ความคลาด เคลื่อน
1	70.243900	70.90	0.656100	0.925388	น้อยกว่า
2	69.698200	71.85	2.151800	2.994850	น้อยกว่า
3	75.779000	75.00	0.779000	1.038667	มากกว่า
4	70.807300	72.15	1.342700	1.860984	น้อยกว่า
5	65.170200	65.45	0.279800	0.427502	น้อยกว่า
6	72.698300	74.75	2.051700	2.744749	น้อยกว่า
7	77.888000	76.10	1.788000	2.349540	มากกว่า
8	77.415600	75.50	1.915600	2.537219	มากกว่า
9	68.852905	69.90	1.047095	1.497990	น้อยกว่า
10	67.229400	67.65	0.420600	0.621729	น้อยกว่า
11	60.683700	62.50	1.816300	2.906080	น้อยกว่า
12	63.743591	65.50	1.756409	2.681540	น้อยกว่า
13	64.436700	66.40	1.963300	2.956777	น้อยกว่า
14	66.982600	66.05	0.932600	1.411961	มากกว่า
15	70.405800	70.35	0.055800	0.079318	มากกว่า
16	74.353600	72.90	1.453600	1.993964	มากกว่า
17	71.215200	71.95	0.734800	1.021265	น้อยกว่า
18	62.347800	60.60	1.747800	2.884158	มากกว่า
19	68.591599	69.45	0.858401	1.235999	น้อยกว่า
20	66.546500	68.90	2.353500	3.415820	น้อยกว่า
21	76.406600	76.95	0.543400	0.706173	น้อยกว่า
22	68.419700	70.30	1.880300	2.674680	น้อยกว่า
23	68.435700	69.40	0.964300	1.389481	น้อยกว่า
24	76.124000	74.80	1.324000	1.770053	มากกว่า
25	63.473800	66.45	2.976200	4.478856	น้อยกว่า
26	68.774200	67.55	1.224200	1.812287	มากกว่า
27	66.465700	66.50	0.034300	0.051579	น้อยกว่า
28	60.762200	62.20	1.437800	2.311576	น้อยกว่า
29	68.898600	69.65	0.751400	1.078823	น้อยกว่า
30	64.767500	66.95	2.182500	3.259895	น้อยกว่า

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐพล พุฒยางกูร เกิดที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษามัธยมปลายจากโรงเรียนมัธยมสาธิตสถาบันราชภัฏสวนสุนันทา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมศาสตร์ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย