



การพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว
Development of standing balance performance assessment device

นายกัลยกร	นาแหลม	รหัสบัณฑิต 60360357
นายชัชรัตน์	ธีระจิตต์	รหัสบัณฑิต 60360999
นายอรรถพล	บุชาเกียรติ	รหัสบัณฑิต 60365758

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2563



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว
Development of standing balance performance
assessment device

ผู้ดำเนินโครงการ : นายกัลยกร นาแหลม รหัสนิสิต 60360357
นายชัชรัตน์ ชีระจิตต์ รหัสนิสิต 60360999
นายอรรถพล บุษบาเกียรติ รหัสนิสิต 60365758

ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์นะชัย

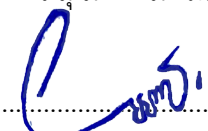
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

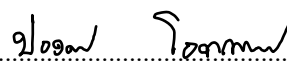
ปีการศึกษา : 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์นะชัย)


.....ที่ปรึกษาร่วม
(ผศ.ดร.ไชยยงค์ จรเกตุ)


.....กรรมการ
(ดร.ปองพันธ์ โอทากานนท์)


.....กรรมการ
(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว

ผู้ดำเนินโครงการ : นายกัลยกร นาแหลม รหัส 60360357
 นายชัชรัตน์ ธีระจิตต์ รหัส 60360999
 นายอรรถพล บุษบาเกียรติ รหัส 60365758

ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชัย

ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ไชยยงค์ จรเกตุ

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว โดยชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย แท่นยืน, Microcontroller, Computer และ Loadcell จำนวน 4 ตัว ซึ่ง Load cell ติดตั้งอยู่ที่แท่นยืน นำค่าแรงที่อ่านได้จาก Loadcell แต่ละตัวมาคำนวณหาค่าตำแหน่ง Center Of Pressure (COP) โดยมีการพัฒนาซอฟต์แวร์บนภาษา LabVIEW เพื่อใช้ในการคำนวณและแสดงผลค่า COP Distance, COP Velocity และแสดงกราฟการเคลื่อนที่ COP ของอาสาสมัครขณะทดสอบการยืนทรงตัว จากการสอบเทียบอุปกรณ์โดยทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งพิกัด x, y ของค่า COP โดยทดสอบด้วยการวางก้อนน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม ลงบนตำแหน่งที่กำหนดไว้ที่แท่นยืนจำนวน 9 จุดพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงสุด SD_X สูงสุด 0.111 เซนติเมตร, SD_Y สูงสุด 0.123 เซนติเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.382 เซนติเมตร จากการทดลองกับอาสาสมัครจำนวน 3 คน โดยมีรูปแบบการทดลอง 4 กรณีคือ ยืนสองขาหลับตา ยืนสองขาสีมตา ยืนขาเดียวหลับตา และ ยืนขาเดียวสีมตา จากการทดสอบทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าค่า COP distance ให้ผลการวัดที่ถูกต้อง จึงสรุปได้ว่าชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและสามารถใช้ประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัวได้

Project title : Development of standing balance performance assessment device

Name : Mr. Kanyakorn nalaem ID. 60360357

Mr. Chatcharat Teerajit ID. 60360999

Mr. Attapon Boocharkiat ID. 60365758

Project advisor : Assist.Prof Dr. Sumet heamawatanachai

ASST. Project advisor : Assist.Prof. Dr. Chaiyong Jorrakate

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2563

Abstract

This study aims for development of standing balance performance assessment device. The device composed of a standing platform, microcontroller, computer and four loadcells. Loadcell were installed underneath the standing platform, the reading forces from each loadcell used to calculate the Center of Pressure (COP). The software was developed using LabVIEW to calculate and display COP distance, COP velocity and display COP movement graph. To calibrate the system, the accuracy of COP coordinate (x, y) was determined using a 5 kg standard weight at 9 points on the standing platform. The results showed that the maximum SD_X was 0.111 cm, SD_Y was 0.123 cm., and the maximum of position error was 0.382 cm. The standing balance explement for 3 volunteers, there were 4 conditions: standing on two legs with eyes close, standing on two legs with eyes open, standing on one leg with eyes close and standing on one leg with eyes open. The results revealed that the COP distance value calculated from the system were accurate. In conclusion, the developed equipment was accurate and could be used to assess the standing balance performance.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดีจาก ผศ.ดร.สุเมธ hmeะวัฒน์ชัย และ ผศ.ดร.ไชยรงค์ จจรเกตู เป็นที่ปรึกษาในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา แนวทางในการดำเนินงาน แนวทางในการศึกษาหาข้อมูล รวมถึงตรวจสอบและ แก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ

ขอขอบคุณ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ และ ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์ ที่คอยชี้แนะและช่วยเป็น กรรมการสอบโครงการนี้

ขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน ที่ให้ความร่วมมือกับการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ (PMET) ที่ได้ให้ ใช้สถานที่ในการทำโครงการ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำสำหรับการทำโครงการครั้งนี้ ทำให้โครงการ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และคอย สนับสนุนให้กำลังใจในการจัดทำโครงการครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ มีส่วนร่วมในการทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงหาก เกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

นายกัลยกร นาแหลม

นายชัชรัตน์ ธีระจิตต์

นายอรรถพล บุษยาเกียรติ

มีนาคม 2564

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนแผนการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2	5
2.1 ทฤษฎีสมมูลของแรงและโมเมนต์.....	5
2.2 ทฤษฎีการแปลงแรงกดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า	7
2.3 สเตรนเกจ (Strain Gauge).....	7
2.4 โหลดเซลล์ (Loadcell)	8
2.5 การหา Prediction Ellipse Area (PEA)	10
2.6 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	15
บทที่ 3	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	23
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการจัดทำโครงการ.....	24
3.3	ศึกษาการทำงานและปรับปรุงโปรแกรม Arduino IDE.....	26
3.4	ศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW.....	29
3.5	ทำการนำข้อมูลจากโปรแกรมLabVIEW มาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB.....	31
3.6	ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 ตำแหน่ง.....	33
3.7	ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบเอียงศูนย์และแบบวงกลม.....	34
3.8	ทำการทดสอบการวัดสมรรถนะการยืนทรงตัวของอาสาสมัคร.....	34
3.9	วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	35
บทที่ 4	36
4.1	ผลการทดลองที่ 1 การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 ตำแหน่ง(น้ำหนัก 1 kg และ 5 kg).....	36
4.2	ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบเอียงศูนย์.....	40
4.3	ผลการทดลองที่ 3 การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลม.....	51
4.4	ผลการทดลองที่ 4 การทดสอบหาค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแต่ละแบบ.....	54
บทที่ 5	67
	เอกสารอ้างอิง.....	69
	ภาคผนวก ก.....	71
	ภาคผนวก ข.....	77
	ภาคผนวก ค.....	102

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลค่าเฉลี่ยในการวัดความแม่นยำจุดละ 5 ครั้ง	37
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าพิกัด x, y และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของวัตถุมวล 1kg และ 5kg	38
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลค่าเฉลี่ยในการวัดความแม่นยำแบบเยื้องศูนย์กลางจุดละ 5 ครั้ง (1 kg ตรง กลาง 5 kg วางรอบวงนอก).....	41
ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (1 kg ตรงกลาง 5 kg วางรอบวงด้านนอก).....	43
ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านใน).....	46
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดสอบของการวัดตำแหน่งรูปแบบเยื้องศูนย์กลางและแบบวงกลม เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก)	47
ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก).....	48
ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลองโดย วาง 5 kg ตรง กลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก (ต่อ).....	49
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดสอบของการวัดตำแหน่งรูปแบบวงกลมรอบด้านนอกที่มีเส้นรัศมี จากจุดศูนย์กลาง 18.7 เซนติเมตรเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (5kg วางรอบวงด้านนอก).....	52
ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5kg วางรอบวง ด้านนอก)	53
ตารางที่ 4.11 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาสีมตา.....	55
ตารางที่ 4.12 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาหลังตา.....	58
รูปที่ 4.17 การทดสอบการยืนทรงตัวแบบขาเดียวสีม.....	60
ตารางที่ 4.13 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบขาเดียวสีมตา.....	60
ตารางที่ 4.14 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบขาเดียวหลังตา.....	63
ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบจุด 9 จุดของมวลน้ำหนัก 1 kg.....	72
ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบจุด 9 จุดของมวลน้ำหนัก 5 kg.....	73
ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบวงกลมโดยใช้มวล 5 kg.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบเยื้องศูนย์โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นมวล 1kg และมวล 5 kg วางเป็นวงกลม (วงกลมด้านใน รัศมี 12.50 เซนติเมตร)	75
ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบเยื้องศูนย์โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นมวล 1kg และมวล 5 kg วางเป็นวงกลม (วงกลมด้านนอก รัศมี 18.70 เซนติเมตร).....	76



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 Loadcell ทั้ง 4 ตัว.....	2
รูปที่ 1.2 วงจร strain gauge.....	2
รูปที่ 2.1 การติดตั้งโหลดเซลล์แต่ละตัวในอุปกรณ์	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของสเตรนเกจ	8
รูปที่ 2.3 วงจรสโตนบริดจ์.....	9
รูปที่ 2.4 สถานะของสเตรนเกจที่ติดอยู่กับโหลดเซลล์	9
รูปที่ 2.5 การต่อโหลดเซลล์เข้ากับ Hx711 และแผงวงจร Arduino	10
รูปที่ 2.6 Prediction ellipse area.....	11
รูปที่ 2.7 สุ่มข้อมูลจำนวน 1000 ข้อมูล	12
รูปที่ 2.8 ปรับข้อมูลให้อยู่ใน Frame1	12
รูปที่ 2.9 ปรับข้อมูลให้เป็นวงกลม.....	13
รูปที่ 2.10 สร้างวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 2 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	14
รูปที่ 2.11 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ใน Frame 1	15
รูปที่ 2.12 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ใน Frame 0	15
รูปที่ 2.13 การทดสอบแบบ P-CTSIB บางส่วน.....	16
รูปที่ 2.14 การทดสอบด้วย Wii balance board.....	19
รูปที่ 2.15 รูปการทดสอบการเคลื่อนตัวของจุด COP กับค่าต่างๆ	20
รูปที่ 2.16 Prediction Ellipse Area	21
รูปที่ 2.17 การทดลองของ Open source posturography	22
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ	26
รูปที่ 3.3 การวางตำแหน่งของวัตถุเพื่อสอบเทียบอุปกรณ์	27
รูปที่ 3.4 ค่า Calibration factor หลังสอบเทียบอุปกรณ์	28
รูปที่ 3.5 หน้าจอ Serial monitor.....	29
รูปที่ 3.6 หน้าจอโปรแกรมLabVIEW ที่พัฒนาขึ้น	31
รูปที่ 3.7 การนำเข้าไฟล์จากโปรแกรม LabVIEW มาวิเคราะห์ใน MATLAB	32
รูปที่ 3.8 ข้อมูลจริงจากการทดลอง	32
รูปที่ 3.9 ข้อมูลที่ถูกปรับค่าเฉลี่ย	32

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.10 วงกลม 2SD	33
รูปที่ 3.11 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูลจริง	33
รูปที่ 3.12 การบอกตำแหน่งของแต่ละจุดในแผ่นการวัดแบบจุด 9 ตำแหน่ง	33
รูปที่ 3.13 การบอกตำแหน่งของแต่ละจุดในแผ่นการวัดแบบเยื้องศูนย์และวงกลม	34
รูปที่ 4.1 แผ่นทดสอบการวัดความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัดถุนจุด 9 จุด	36
รูปที่ 4.2 รูปแสดงค่าตำแหน่งที่วัดได้กับค่าจริงของน้ำหนัก 1 kg	39
รูปที่ 4.3 รูปแสดงค่าตำแหน่งที่วัดได้กับค่าจริงของน้ำหนัก 5 kg	39
รูปที่ 4.4 แผ่นทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมและเยื้องศูนย์	40
รูปที่ 4.5 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 1kg ตรงกลาง 5kg วางรอบวงด้านนอก	42
รูปที่ 4.6 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg ตรงกลาง 1kg วางรอบวงด้านใน	45
รูปที่ 4.7 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg ตรงกลาง 1kg วางรอบวงด้านนอก	48
รูปที่ 4.8 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบแรก (1 kg วางตรงกลาง 5kg วางรอบนอก)	49
รูปที่ 4.9 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบที่สอง (5kg วางตรงกลาง 1kg วางรอบนอก)	50
รูปที่ 4.10 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบที่สาม (5kg วางตรงกลาง 1kg วางรอบนอก)	51
รูปที่ 4.11 แผ่นทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมและเยื้องศูนย์	51
รูปที่ 4.12 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg วางรอบวงด้านนอก	53
รูปที่ 4.13 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบแรก (5kg วางรอบ)	54
รูปที่ 4.14 การทดสอบการยื่นทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา	55
รูปที่ 4.15 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ของการทดสอบการยื่นทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา	57
รูปที่ 4.16 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ของการทดสอบการยื่นทรงตัวแบบ 2 ขาหลังตา	59
รูปที่ 4.18 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ของการทดสอบการยื่นทรงตัวแบบขาเดียวล้อมตา	62
รูปที่ 4.19 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ของการทดสอบการยื่นทรงตัวแบบขาเดียวหลังตา	64
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง COP distance กับ PEA	65

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.56 กราฟของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยื่นขาเดียวหลังตาครั้งที่1.....	100
รูปที่ ข.57 กราฟของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยื่นขาเดียวหลังตาครั้งที่2.....	100
รูปที่ ข.58 กราฟของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยื่นขาเดียวหลังตาครั้งที่3.....	100
รูปที่ ข.59 กราฟของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยื่นขาเดียวหลังตาครั้งที่4.....	100
รูปที่ ข.60 กราฟของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยื่นขาเดียวหลังตาครั้งที่5.....	101
รูปที่ ค.1 หน้าต่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	103



บทที่ 1

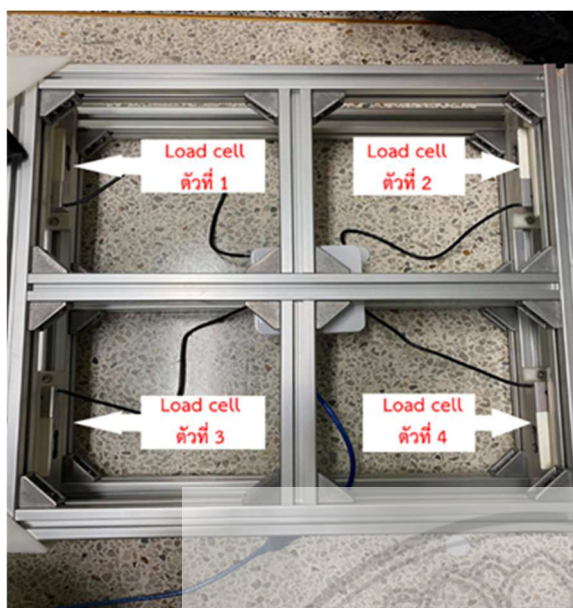
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

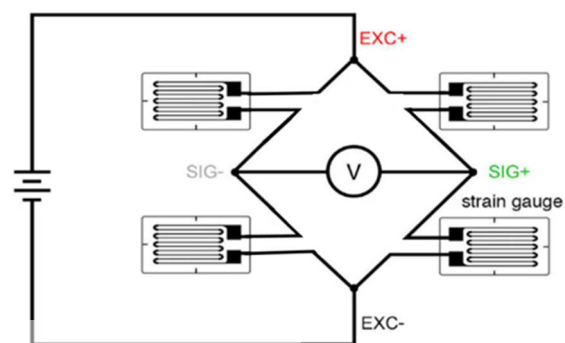
ผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงต่อการหกล้มมากกว่า วัยรุ่น หรือเด็ก เนื่องจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่อ่อนแอลง อาการเวียนศีรษะ ความผิดปกติของร่างกายหรือหลายสาเหตุรวมกัน ทำให้การทรงตัวที่ไม่ดีซึ่งอาจนำไปสู่อุบัติเหตุได้ เช่น การหกล้มทำให้กระดูกหักและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต เป็นปัญหาต่อตัวเองและคนรอบข้างหรือการหกล้มอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ ดังนั้นการตรวจวัดหาความสามารถในการทรงตัวจะช่วยให้ประเมินสมรรถนะทางร่างกายและเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อการหกล้มได้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้ประเมินสมรรถการยืนทรงตัว โดยนำ Loadcell มาใช้ในการวัดค่าแรงเพื่อหาตำแหน่ง (Center Of Pressure; COP) โดยติดตั้ง Loadcell ดังรูปที่ 1.1

โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวของโหลดเซลล์เป็นสัญญาณไฟฟ้า และสามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้ามาแสดงผลเป็นตัวเลขน้ำหนักหรือแรงที่กระทำต่อโหลดเซลล์ได้ ภายในตัวโหลดเซลล์นั้น มีสเตรนเกจที่จัดเรียงกันในรูปแบบของวงจรวีสตันบริดจ์ (ดังรูปที่ 1.2) ส่งสัญญาณออกมา จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายแบบ อาทิเช่น เครื่องชั่งตวง วัดแรงกด ใช้ทดสอบวัสดุ วัดแรงดึง เป็นต้น จากการศึกษาหากนำโหลดเซลล์มาเป็นเครื่องมือวัดความสมดุลการทรงตัวมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งเครื่องประเมินการยืนทรงตัวในต่างประเทศนั้นมีราคาที่สูง ทางคณะผู้จัดทำจึงคิดค้น และศึกษาออกแบบให้มีขนาดที่พอดีและราคาประหยัด

จุดประสงค์ของโครงการนี้เพื่อทำการศึกษา และพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว โดยใช้โหลดเซลล์แบบคานจำนวน 4 ตัว เพื่อใช้ในการหาตำแหน่ง COP และพัฒนาซอฟต์แวร์บนโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำมาแสดงผลการคำนวณการเคลื่อนตัวของตำแหน่ง COP (COP Distance, COP Velocity) และแสดงกราฟการเคลื่อนตัวของ COP



รูปที่ 1.1 Loadcell ทั้ง 4 ตัว



รูปที่ 1.2 วงจร strain gauge [8]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อออกแบบอุปกรณ์วัดแรงสำหรับทดสอบความสมดุลในการทรงตัว
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมด้วย LabVIEW ในการวิเคราะห์ความสมดุลในการทรงตัว
- 1.2.3 การทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้น
- 1.2.4 ศึกษาและทดสอบความถูกต้องของแรงที่กระทำ
- 1.2.5 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถนะในการทรงตัว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 พัฒนาอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัวจำนวน 1 ชุด
- 1.3.2 พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการคำนวณ 1 โปรแกรม

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้อุปกรณ์ที่สามารถวัดสมดุผลการทรงตัว

1.5.2 เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาซึ่งนำไปสู่การออกแบบเพื่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หรือสามารถนำไปต่อยอดแบบอื่นได้



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

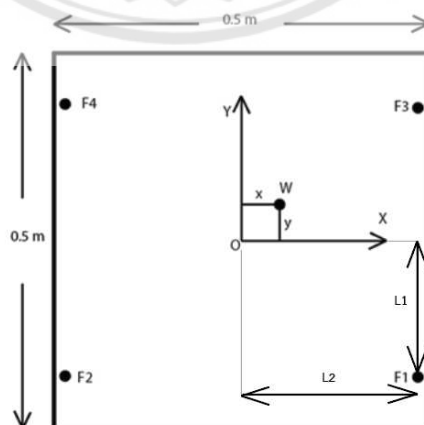
2.1 ทฤษฎีสถิตของแรงและโมเมนต์

อุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัวประกอบด้วยแท่นยืนและภายใต้แท่นยืนจะมี เซนเซอร์วัดแรง (Loadcell) ติดตั้งที่มุมทั้ง 4 มุมของแท่นยืน เพื่อที่จะคำนวณค่าจุดศูนย์กลางของ แรงกด (Center of pressure; COP) ว่าอยู่ตำแหน่งไหนของแท่นยืนและมีการเคลื่อนที่ของ COP อย่างไร

เพื่อที่จะหาจุด COP จะสามารถคำนวณได้จากกฎข้อที่ 1 และกฎข้อที่ 3 ของนิวตันคือ สมดุล ของแรงและโมเมนต์โดยใช้ค่าน้ำหนักที่ได้จากโหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัวของแต่ละมุม

จากการออกแบบให้อุปกรณ์มีความกว้างและความยาวเป็น 0.5x0.5 เมตรและมีการติดตั้ง โหลดเซลล์ที่มุมทั้งสี่มุมและระยะห่างของโหลดเซลล์กับขอบในแกน x เป็นระยะ 1.5 เซนติเมตรและ ขอบในแกน y เป็นระยะ 7 เซนติเมตร โดยระยะที่ได้จะวัดจากจุดศูนย์กลางของโหลดเซลล์ดังรูปที่

2.1



รูปที่ 2.1 การติดตั้งโหลดเซลล์แต่ละตัวในอุปกรณ์

Loadcell แต่ละตัวอ่านค่าออกมาเป็นหน่วยกิโลกรัม ดังนั้นจึงต้องคูณค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำหนักที่กระทำบนแท่นยืน (W) ที่พิกัด x y ดังรูป จะพบว่าน้ำหนักที่ Loadcell รับแต่ละตัวจะได้ดังสมการที่ 1 และผลรวมของน้ำหนักที่ Loadcell รับแต่ละตัวจะเท่ากับน้ำหนักที่กระทำบนแท่นยืน (W) ดังสมการที่ 2

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (1)$$

$$\sum F = W \quad (2)$$

โดยที่

$\sum F$ คือ ผลรวมของน้ำหนักที่กระทำในโหลดเซลล์แต่ละตัว มีหน่วยเป็น นิวตัน

W คือ น้ำหนักที่กระทำกับอุปกรณ์ มีหน่วยเป็น นิวตัน

F_1 คือน้ำหนักที่โหลดเซลล์ตัวที่ 1 อ่านได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน

F_2 คือน้ำหนักที่โหลดเซลล์ตัวที่ 2 อ่านได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน

F_3 คือน้ำหนักที่โหลดเซลล์ตัวที่ 3 อ่านได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน

F_4 คือน้ำหนักที่โหลดเซลล์ตัวที่ 4 อ่านได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน

จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตันสมดุลของแรงและโมเมนต์ เมื่อทำการเทคโมเมนต์รอบแกน x และ แกน y ในแต่น้ำหนักที่กระทำบนโหลดเซลล์ จะสามารถหาระยะ x และ y ของแรงที่กระทำบนแท่นยืนหรือจุด COP ได้ดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4

$$x = \frac{L_2}{W} (F_1 + F_3 - F_2 - F_4) \quad (3)$$

$$y = \frac{L_1}{W} (F_3 + F_4 - F_1 - F_2) \quad (4)$$

โดยที่

L_1 คือระยะห่างระหว่างโหลดเซลล์กับจุดศูนย์กลางในแนวแกน y มีหน่วยเป็น

เซนติเมตร

L_2 คือระยะห่างระหว่างโหนดเซลล์กับจุดศูนย์กลางในแนวแกน x มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

จากสมการที่ 2 และสมการที่ 3 จะได้ค่าของ COP ที่ได้จะอยู่ในพิกัดแกน x และ y ซึ่งจุด $(0,0)$ จะอยู่ที่ศูนย์กลางของอุปกรณ์หรือจุด O ในรูปที่ 2.1

2.2 ทฤษฎีการแปลงแรงกดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า [1]

ตัวแปลง (Transducer) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงาน (Energy) ในรูปแบบหนึ่งไป เป็นอีกพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง อาทิเช่น Loadcell ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนแรงที่กดบนตัว Loadcell ให้ กลายเป็นค่าสัญญาณไฟฟ้าโดยปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นจะแปรผันตามค่าน้ำหนักหรือแรงที่ กระทำกับตัว Loadcell ว่ามากหรือน้อยเพียงใด

2.3 สเตรนเกจ (Strain Gauge)

Strain Gauge ทำจากลวดโลหะขนาดเล็กและขดเป็นรูปร่างต่างๆ ดังรูปที่ 2.2 โดยการ ทำงานของ Strain Gauge คือเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำหรือทำให้เปลี่ยนรูปร่าง (ยืด หด บิด งอ) จะทำให้ความต้านทานเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ

ค่าเกจแฟคเตอร์ (Gage Factor, G_f) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำเทียบกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมื่อ มีแรงมากระทำ ดังจะเขียนเป็นสูตรได้ดังสมการที่ 4

จากสมการที่ 4 จะเห็นได้ว่า G_f คือค่าความไวของอุปกรณ์ (Sensitivity) ยกตัวอย่างเช่น Strain Gauge ที่มีค่า G_f มากเมื่อ Strain Gauge เปลี่ยนรูปร่างเล็กน้อยก็จะทำให้ความต้านทาน เปลี่ยนมาก โดยทั่วไปสเตรนเกจจะทำจากโลหะจะมีค่า G_f ประมาณ 2-4 ส่วนที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ จะมีค่า G_f สูงกว่ามาก แต่ก็ไวต่ออุณหภูมิมากกว่าและไม่เป็นเชิงเส้นมากกว่าด้วย ซึ่งค่านี้จะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำโดยตรง ซึ่งหากนำไปต่อวงจรไฟฟ้า ก็จะสามารถใช้แปลงเป็นวงจรวัดแรงได้

$$G_f = \frac{dR/R_0}{dL/L_0} \quad (5)$$

กำหนดให้

dR = ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำ

R_0 = ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเดิมก่อนเมื่อมีแรงมากระทำ

dL = ค่าความยาวของเกจที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำ

L_0 = ค่าความยาวของเกจเดิมก่อนมีแรงมากระทำ

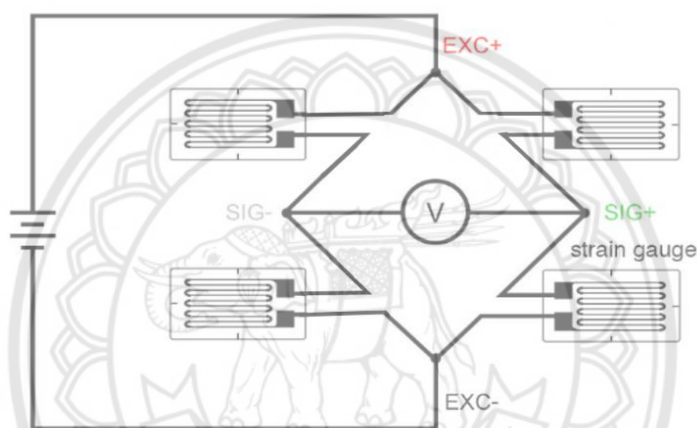


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของสเตรนเกจ [1]

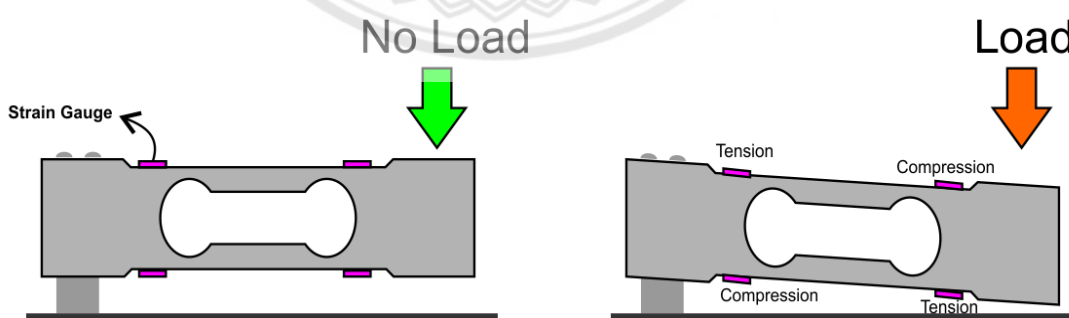
2.4 โหลดเซลล์ (Loadcell)

โหลดเซลล์เป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถแปลงแรงกดหรือแรงดึงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยการต่อกันของสเตรนเกจต่อกันแบบวงจรสโตนบริดจ์เพื่อทำงานร่วมกันดังรูปที่ 2.3 โดยที่สเตรนเกจแต่ละตัวจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีความต้านทานอยู่ที่ 350Ω การทำงานของวงจรสโตนบริดจ์คือเมื่อตัวต้านทานทุกตัวในวงจรมีค่าเท่ากันเมื่อต่อมัลติมิเตอร์เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรที่จุด SIG-

และจุด SIG+ จะอ่านค่าความแรงดันไฟฟ้าออกมาเท่ากับ 0 โวลต์ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของแต่ละตัวไป จะทำให้ค่าความต้านทานรวมที่อ่านได้จะเปลี่ยนไป นั้นนำไปสู่หลักการทำงานของโหนดเซลล์คือเมื่อมีแรงกดหรือแรงดึงกระทำที่โหนดเซลล์ทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนไปและสามารถวัดค่าออกมาได้โดยเมื่อมีภาระกระทำที่โหนดเซลล์จะทำให้สเตรนเกจได้รับแรงดึงและแรงกดต่างกันออกไปแต่ละจุดดังรูปที่ 2.4 ทำให้ความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนไปไม่เท่ากัน โดยเมื่อสเตรนเกจได้รับแรงดึง (Tension) ค่าความต้านทานก็จะสูงขึ้นในทางกลับกันเมื่อสเตรนเกจได้รับแรงกด (Compression) ค่าความต้านทานก็จะต่ำลง



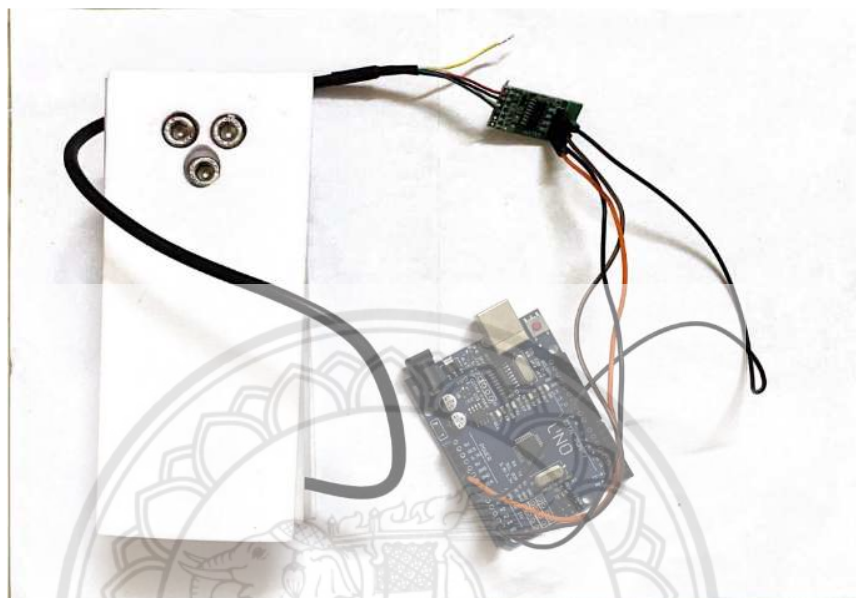
รูปที่ 2.3 วงจรสโตนบริดจ์ [2]



รูปที่ 2.4 สถานะของสเตรนเกจที่ติดอยู่กับโหนดเซลล์ [2]

การที่จะอ่านค่าความต้านทานที่ออกมาจากโหนดเซลล์ซึ่งบางทีอาจจะมีค่าน้อยมากๆ สามารถทำได้โดยใช้ตัวขยายสัญญาณ HX711 ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับขยายสัญญาณจาก โหนดเซลล์

เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักซึ่งปกติมาค่าน้อยมากๆตัวโมดูลนี้จะขยายสัญญาณ ออกเป็นสัญญาณดิจิทัลไปยังแผงวงจร Arduino เพื่ออ่านค่าในจอของคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2.5 เป็นการต่อโหลดเซลล์ขนาด 100kg เข้ากับตัวขยายสัญญาณ Hx711 แล้วจึงต่อเข้ากับ Arduino



รูปที่ 2.5 การต่อโหลดเซลล์เข้ากับ Hx711 และแผงวงจร Arduino

หลังจากที่ต่อแผงวงจร Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วต้องมีการเขียนโค้ดเพื่อที่จะสั่งแผงวงจร Arduino ให้ทำการรับสัญญาณจาก Hx711 เพื่อมาแปลค่าเป็นแรงที่กระทำกับตัวโหลดเซลล์ แต่การที่จะอ่านค่าแรงที่กระทำได้แม่นยำนั้นต้องผ่านการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนเพื่อที่จะหาแรงที่แม่นยำ

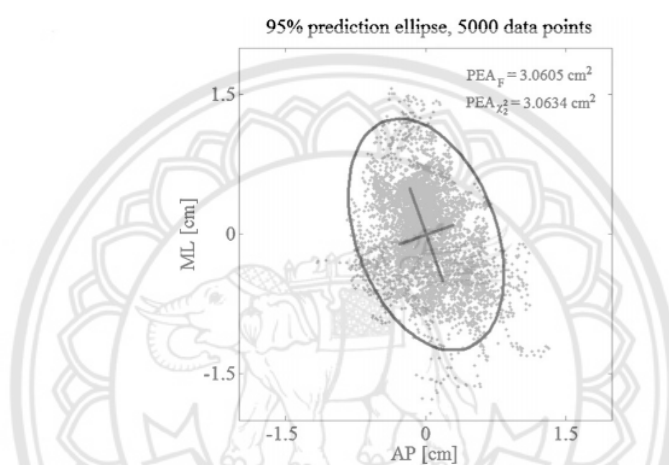
2.5 การหา Prediction Ellipse Area (PEA)

สำหรับการประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัวข้อมูลจุด COP ที่ได้จะกว้างไปมาไร้รูปร่าง อาจจะต้องใช้รูปหลายเหลี่ยมเพื่อที่จะครอบคลุมข้อมูลส่วนใหญ่ แต่อาจจะเป็นวิธีที่ยุงยากดังนั้นการใช้เป็นวงรีจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการหาพื้นที่ครอบคลุมข้อมูลของจุด COP

PEA คือการหาพื้นที่ของวงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ของจุด COP ตลอดช่วงการทดสอบ (ดังรูปที่ 2.6) จะสามารถนำมาใช้ในการหาพื้นที่การเคลื่อนตัวของจุด COP และประเมินสมรรถนะของการยืนทรงตัวได้ โดยใช้หลักการตามขั้นตอนต่อไปนี้

2.5.1 หาแกนหมุนที่เหมาะสม

โดยปกติแล้วข้อมูลที่วัดได้จะเป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นวงรีและไม่ทราบว่ายาวหรือสั้นกว่า จึงจำเป็นต้องหาแกนหมุนที่เหมาะสมเพื่อยึดเป็นแกนหลักของวงรีเพื่อที่จะได้ครอบคลุมข้อมูลได้เหมาะสมที่สุด โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณหาด้วยวิธีการสร้างแกน x, y โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์กลางของข้อมูลแล้วทำการคำนวณหาผลต่างของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแกน x และ y หลังจากนั้นทำการหมุนแกน x, y ขึ้นทีละ 0.1 องศาแล้วจึงทำการคำนวณผลต่างของ SD อีกครั้งจนได้ผลต่างของ SD สูงสุดแสดงว่ามุมนั้นเป็นมุมเอียงที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 Prediction ellipse area [10]

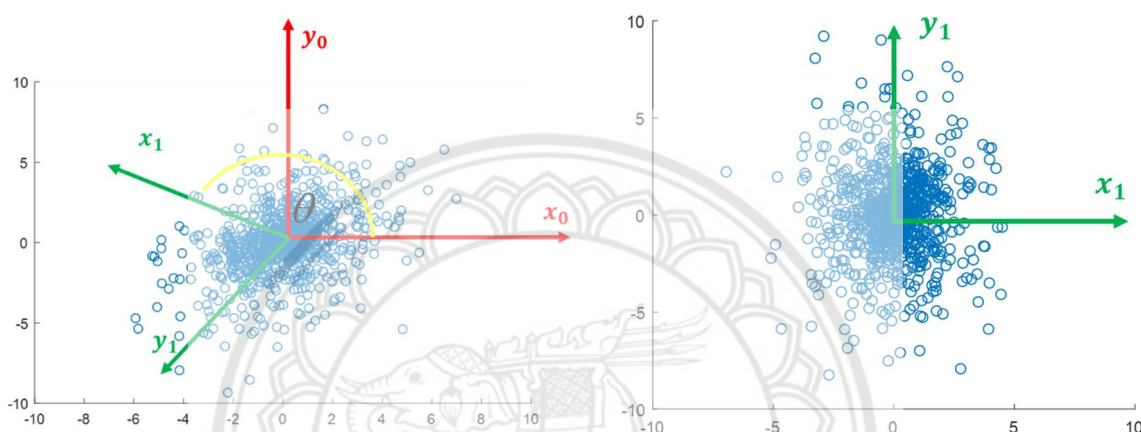
2.5.2 ปรับพิกัดของข้อมูลให้ตรงแกนหมุนที่เหมาะสม

เมื่อได้แกนหมุนที่เหมาะสมแล้วจะต้องยึดแกนนั้นเป็นแกนหลัก โดยจะเรียกแกนของข้อมูลเดิมว่า Frame0 และแกนหมุนที่เหมาะสมว่า Frame1 โดย Frame1 จะทำมุม θ กับ Frame0 ดังรูปที่ 2.7 หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลจาก Frame0 ไปเป็น Frame1 โดยใช้ Rotation Matrix (สมการที่ 6) ที่แปลงจาก Frame0 ไป Frame1 โดยคูณ Rotation Matrix กับพิกัด $[x_0 \ y_0]^T$ ดังสมการที่ 7 จะได้พิกัดของ x และ y ใน Frame1 จากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 1000 ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB ข้อมูลเดิมจะได้ดังรูปที่ 2.7 และหาแกนหมุนที่เหมาะสมได้มุม 149.3 องศา ทำการคูณด้วย Rotation Matrix จะได้ข้อมูลใน Frame1 ดังรูปที่ 2.8

$${}^1R_0 = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

โดยที่ 1R_0 คือ Rotation matrix จาก Frame0 ไป Frame1



รูปที่ 2.7 สุ่มข้อมูลจำนวน 1000 ข้อมูล

รูปที่ 2.8 ปรับข้อมูลให้อยู่ใน Frame1

2.5.3 ปรับข้อมูลที่เป็นวงรีให้เป็นวงกลม

ปรับข้อมูลที่เป็นวงรีให้เป็นวงกลมเพื่อที่จะได้หาวงกลมที่ครอบคลุมข้อมูลมากที่สุด โดยการที่จะแปลงวงรีให้เป็นวงกลมนั้นทำได้โดยการหาสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแกน y และ x โดยใช้ตัวแปรเป็น k (ดังสมการที่ 8) และนำค่า k ที่ได้ไปหารกับค่าพิสัยของแกน y (ดังสมการที่ 9) เพื่อที่จะได้มีสเกลใกล้เคียงกับ x จะได้พิสัย x และ y_N ที่เป็นวงกลมดังรูปที่ 2.9

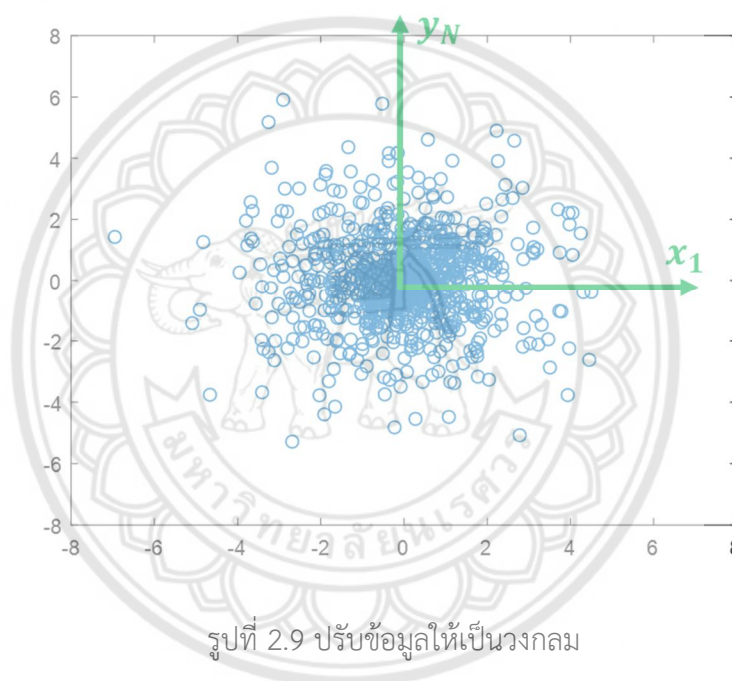
$$k = \frac{SDy}{SDx} \quad (8)$$

$$y_N = \frac{y}{k} \quad (9)$$

โดยที่ SD_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแกน y

SD_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแกน x

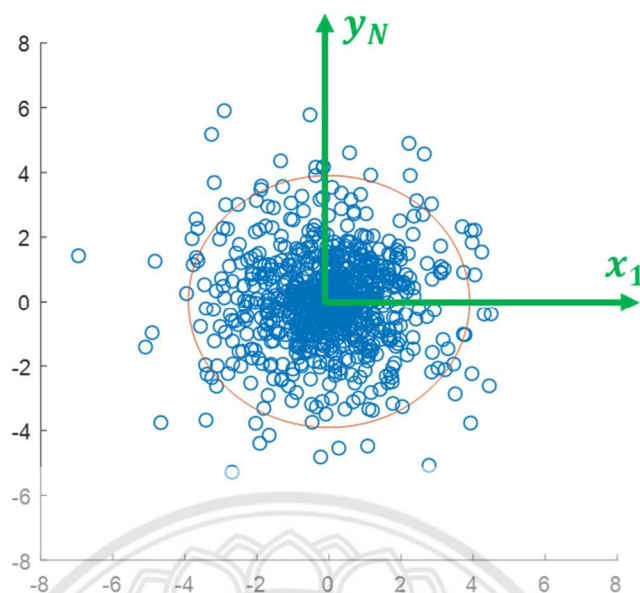
y_N คือ พิกัดแกน y ใหม่หลังจากปรับสเกลให้ใกล้เคียงกับ x



2.5.4 สร้างวงกลมที่ครอบคลุมข้อมูล 95%

วงกลมที่ครอบคลุมข้อมูล 95% จะสามารถหาได้จากวงกลมที่มีรัศมี 2 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (2SD) โดย $SD_{รวม}$ หาได้จากสมการที่ 10 จากการคำนวณด้วย MATLAB เมื่อสร้างวงกลมที่มีรัศมี 2 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้วงกลม (ดังรูปที่ 2.10) สำหรับกรณีที่ทดสอบเบื้องต้น ดังรูปที่ 2.10 จะพบว่าวงกลมที่ได้ครอบคลุมข้อมูล 94.5% ของข้อมูลทั้งหมด

$$SD_{รวม} = \sqrt{SD_x^2 + SD_{y_N}^2} \quad (10)$$



รูปที่ 2.10 สร้างวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 2 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5.5 แปลงวงกลมที่ครอบคลุม 95% เป็นวงรี

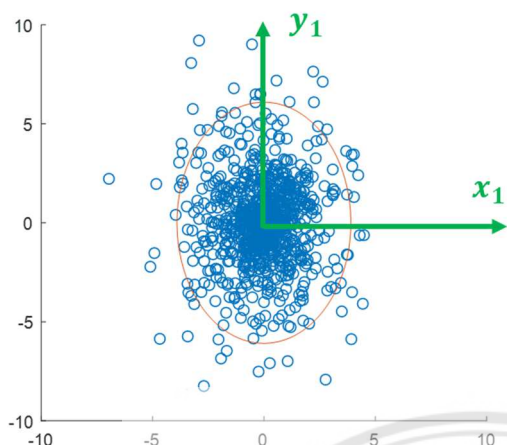
กำหนดให้วงกลม 2SD มีพิกัดจุดเป็น $[x_c \ y_c]^T$ หลังจากนั้นทำการแปลงวงกลมเป็นวงรีเพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลจริงโดยทำการคูณย้อนกลับค่า k เข้าไปในพิกัด y_c ดังสมการที่ (11) จะได้พิกัดจุดของวงรีเป็น $[x_{e1} \ y_{e1}]^T$ จะได้วงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ดังรูปที่ 2.11 หลังจากนั้นทำการหมุนพิกัดของวงรีกลับจาก Frame1 ไปเป็น Frame0 โดยทำการคูณพิกัดของวงรีด้วย Rotation Matrix (สมการที่ 12) จะได้พิกัดจุด $[x_{e0} \ y_{e0}]^T$ ดังสมการที่ 13 นำวงรีที่ได้มาพล็อตในข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะได้ดังรูปที่ 2.12

$$y_e = y_c \times k \quad (11)$$

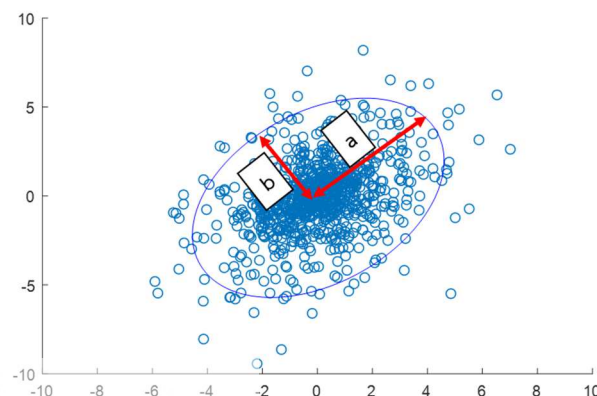
$${}^0R_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} x_{e0} \\ y_{e0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{e1} \\ y_{e1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

โดยที่ 0R_1 คือ Rotation matrix จาก Frame1 ไป Frame0



รูปที่ 2.11 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ใน
Frame 1



รูปที่ 2.12 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% ใน
Frame 0

2.5.6 คำนวณหา PEA

หลังจากสร้างวงรีที่ครอบคลุมข้อมูล 95% แล้วจะสามารถหาพื้นที่ของวงรี (PEA) ได้จากสมการที่ 14 โดยระยะ a และ b คือระยะของแกนเอกและแกนโทของวงรีดังรูปที่ 2.12 จากข้อมูลนี้จะได้พื้นที่ PEA เท่ากับ 74.645 ตารางหน่วย

$$PEA = \pi \times a \times b \quad (14)$$

2.6 วรรณกรรมปริทรรศน์

Paweena Pichetsin ในปีพ.ศ.2547 [12] เป็นงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์คือศึกษาความสามารถในการทรงตัวของเด็กไทยทั้ง ชายและหญิงใน 4 กลุ่มอายุคือ 4 ปีถึง 4 ปี 11 เดือน, 5 ปีถึง 5 ปี 11 เดือน, 6 ปีถึง 6 ปี 11 เดือนและ 7 ปีถึง 7 ปี 11 เดือน ความสามารถในการยืนทรงตัวทดสอบโดยการทดสอบแบบ Pediatric Clinical Test of Sensory Interaction for Balance (P-CTSIB) ดังรูปที่ 2.13, เป็นการทดสอบโดยการยืนขาเดียวและการเดินต่อเท้าแบบแทนเต็ม สำหรับ P-CTSIB มีตัวแปร 3 ตัวคือ องศาการเซ, เวลาที่ยืนทรงตัว และกลวิธีการเคลื่อนไหว ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการยืนทรงตัวเมื่อทดสอบโดย P-CTSIB, การยืนขาเดียว และการเดินต่อเท้าแบบแทนเต็ม (Tandem Stance) มีความแตกต่างกันระหว่างเพศ และระหว่างกลุ่มอายุอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติและความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบทั้งสาม พบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบแต่ละคู่ของตัวแปรซึ่งได้จากการทดสอบ P-CTSIB, การยืนขาเดียวและการเดินต่อเท้าแบบแทนเต็ม



รูปที่ 2.13 การทดสอบแบบ P-CTSIB บางส่วน [3]

สมลักษณ์ เพ็ชรมานะกิจ ในปี พ.ศ.2560 [7] การศึกษานี้ทำในผู้สูงอายุใน ชุมชนอำเภอ อัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ผู้สูงอายุทุกคนจะได้รับการบันทึกข้อมูลพื้นฐานและประเมินความสามารถในการทรงตัวโดยการทดสอบด้วยการยืนเท้าชิด ยืนต่อส้น และยืนขาเดียว จับเวลาที่ทำได้แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาการทรงตัวที่บกพร่อง โดยแยกตามเพศ และ อายุ รวมทั้งหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัวบกพร่องได้แก่ อายุ เพศ ดัชนีมวลกาย ประวัติข้อเข่าเสื่อม ประวัติปวดหลัง ในปัจจุบัน ประวัติหกล้มในปีที่ผ่านมา พบว่ามีผู้สูงอายุที่มีระดับการทรงตัว บกพร่องตามเกณฑ์ จำนวน 42 รายจากทั้งหมด 234 ราย การทรงตัวบกพร่องเป็นปัญหาสำคัญในกลุ่มผู้สูงอายุในชุมชน โดยเฉพาะผู้สูงวัยที่มีอายุเพิ่มมากขึ้นและควรเป็นกลุ่มที่ได้รับการคัดกรองและให้ คำแนะนำเกี่ยวกับการทรงตัวเพื่อป้องกันหรือลดความเสี่ยงต่อการหกล้มและการเกิดกระดูกหักในอนาคต

บุรวัลย์ ผลมั่ง ในปี พ.ศ.2547 [3] วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาความน่าเชื่อถือของการวัดสมดุลการทรงตัวจากการแกว่งของจุดศูนย์กลางแรงกด (center of pressure) โดยวิธีวัดระยะทาง (distance sway) และวิธีวัดพื้นที่ (area sway) ขณะยืนขาเดียว วัตถุประสงค์รองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการยกขา กับลักษณะการเคลื่อนที่เข้าในหรือออกนอกของข้อเท้าขณะยกขาข้างไว้ ผู้เข้าร่วมการศึกษามีทั้งหมด ผ่านตามเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก เป็นเพศชาย 59 รายและเพศหญิง 57 ราย อายุระหว่าง 40 - 60 ปี การเก็บข้อมูลจากแผ่นวัดแรง (force plate) ทำในเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูล 3 มิติ จากกล้อง Optoelectric 2 ตัว จากการทดสอบไม่พบความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการยกขา กับการวัดการแกว่งของจุดศูนย์กลางแรงกด และในเพศชายลักษณะการเคลื่อนที่เข้าในของข้อเท้ามีความสัมพันธ์กับการลดลงของการแกว่งของจุดศูนย์กลางแรงกด จากการวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นว่า ตัวแปร distance sway มีค่าความน่าเชื่อถือสูงกว่าตัวแปร area sway distance sway จึงเป็นตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในประเมินการทดสอบการทรงตัวกว่า area sway

มานะ ศรีวิรัตน์. ในปี พ.ศ.2552 [5] โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องฝึกการทรงตัวด้วยเกมส์คอมพิวเตอร์สำหรับผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการทรงตัว ซึ่งประกอบด้วยการทำงานหลักๆ คือ 1) แผ่นยืนที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแรงที่ผลิตจากวัสดุโพลีเมอร์ จำนวน 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของจุดศูนย์กลางแรงกดของผู้ทดสอบ โดยแผ่นยืนที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดน้ำหนักได้สูงสุด 174 กิโลกรัม 2) ชุดอุปกรณ์ประมวลผล 3) ราวจับช่วยพยุงสำหรับเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน 4) ซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมคำนวณตำแหน่งจุดรับน้ำหนักและโปรแกรมเกมส์ฝึกการทรงตัวทดสอบวัดตำแหน่งจุดรับน้ำหนักกับผู้ที่มีความสามารถในการทรงตัวปกติช่วงอายุ 40 ถึง 60 ปี จำนวน 37 คน ต่อมานำเครื่องฝึกการทรงตัวด้วยเกมส์ไปใช้ฝึกการทรงตัวกับผู้สูงอายุจำนวน 2 คน และผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการทรงตัว 2 คน วันละ 30 นาที เป็นเวลา 10 วันพบว่า ผู้ทดสอบทั้ง 4 คนมีค่าความสามารถในการทรงตัวดีขึ้น

วีรเกียรติ พันธุมะโอภาส ในปี พ.ศ. 2558 [6] การทดสอบความสามารถการทรงตัวของร่างกายมนุษย์ได้ถูกประยุกต์ใช้อย่างเพื่อทดสอบสมรรถภาพร่างกายเนื่องจากในการทรงตัวจำเป็นต้องใช้การทำงานร่วมกันของระบบต่างๆ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาที่ร่างกายยังคงตื่นนอน (การอดนอน) ที่มีผลต่อความสามารถในการทรงตัว โดยศึกษาและทดสอบความสามารถในการทรงตัวของมนุษย์ผ่านวิธีการต่างๆ เพื่อตรวจวัดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงกดของผู้เข้าร่วมการทดลอง ผู้เข้าร่วมการทดลอง 17 คน ได้เข้าร่วมงานวิจัยนี้โดยทำการทดสอบ

ความสามารถการทรงตัวของแต่ละคนทุกๆ 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าความสามารถการทรงตัวของมนุษย์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่ในสภาวะตื่นนอนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนานซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานและความปลอดภัยได้

สุคนธ์ แสงสุข ในปี พ.ศ.2533 [8] การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายกับ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก และเปรียบเทียบระดับจุดศูนย์ถ่วงระหว่างนักเรียนชายกับนักเรียนหญิงระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีกระดานปฏิกิริยา (Reaction Board) ในแนวระดับ (Horizontal Plane) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ จากคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม เพื่อหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับจุดศูนย์ถ่วงระหว่างนักเรียนชายกับนักเรียนหญิงด้วยการ ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับจุดศูนย์ถ่วงร่างกาย กับ อายุ ส่วนสูง และ น้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่า

1. ค่าเฉลี่ยระดับจุดศูนย์ถ่วงร่างกายของนักเรียนชายสูง 55.90 เปอร์เซ็นต์ นักเรียนหญิง 54.59 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าเฉลี่ยระดับจุดศูนย์ถ่วงร่างกายของนักเรียนชายสูงกว่านักเรียนหญิง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
3. ระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายไม่มีความสัมพันธ์กับอายุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
4. ระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย มีความสัมพันธ์กับส่วนสูง และน้ำหนัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Brad hubbard ในปี พ.ศ.2555 [9] วัตถุประสงค์: Nintendo Wii Balance Board (WBB) เป็นอุปกรณ์เล่นเกมราคาประหยัดและมีวางจำหน่ายทั่วไปตามมท้องตลาดซึ่งใช้ร่วมกันกับอุปกรณ์เสริมได้มากมายโดยลักษณะเฉพาะด้วยแผ่นรับแรงกดที่ผ่านระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ประเมิน WBB และสำรวจการประยุกต์ใช้ของระบบการทรงตัวที่มีต้นทุนต่ำ

วิธีการ: ซอฟต์แวร์ที่กำหนดเองถูกเขียนขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับ WBB และวัดการทดสอบทางคลินิกที่ปรับปรุงของปฏิสัมพันธ์ทางประสาทสัมผัสในการทรงตัว (mCTSIB) ความยาวการกระจัดของ

Center of pressure (COP) เป็นตัววัดผลที่ได้ ซึ่งผู้ป่วยได้รับการคัดเลือกให้ทำการทดสอบบน WBB และได้รับการทดสอบบนแผ่นบังคับ AMTI

ผลลัพธ์: การประเมินทรานสดิวเซอร์ของ WBB แสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงที่ดีเยี่ยม ($r = 5.994$, $p < .0001$) แผนภาพของ Bland-Altman ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแตกต่างของเงื่อนไขที่ทดสอบทั้งสี่เงื่อนไขดังรูปที่ 2.14

สรุป: WBB สามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบ posturography แบบพกพาราคาประหยัดซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวัดทั้งนอกสถานที่และการทดสอบภายในบ้าน

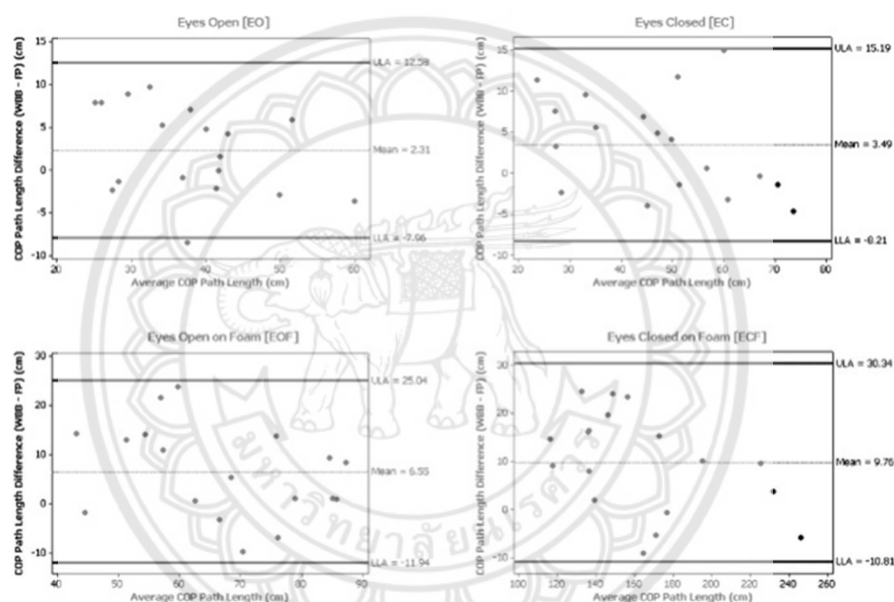
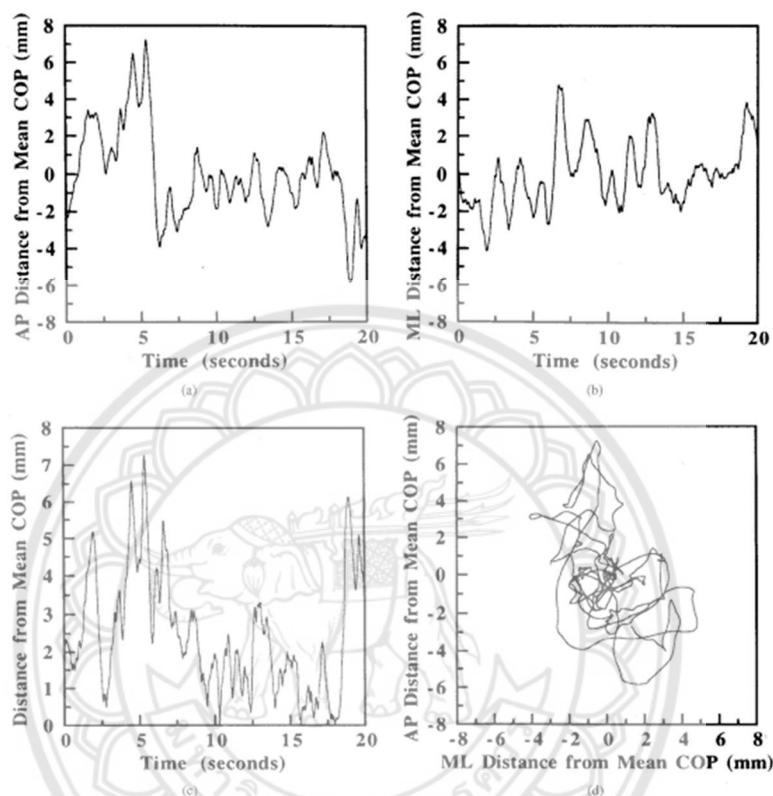


Figure 3. Bland-Altman plots. COP = centre of pressure.

รูปที่ 2.14 การทดสอบด้วย Wii balance board [9]

TE Prieto ในปี พ.ศ.2539 [14] การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความค่าไวสัมพัทธ์ของ Center of pressure (COP) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของท่าทางที่เกี่ยวข้องกับอายุ มีการเปรียบเทียบการวัดโดเมนเวลาและความถี่ที่ต่างๆของท่าทางกับความมั่นคงในการทรงตัวระหว่างกลุ่มคนวัยหนุ่มสาวที่มีสุขภาพแข็งแรง 20 คน (21-35 ปี) และกลุ่มผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดี 20 คน (66-70 ปี) โดยมีเงื่อนไขในการยืนแบบสลิมาและหลับตา ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาวะสลิมาและหลับตาในกลุ่มผู้ใหญ่ที่อายุน้อยนั้นแตกต่างจากกลุ่มผู้ใหญ่สูงอายุ ความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของ COP เป็นสิ่งที่จะบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับอายุในสภาพขาทั้งสองข้างและความแตกต่างระหว่างสภาพตาใน

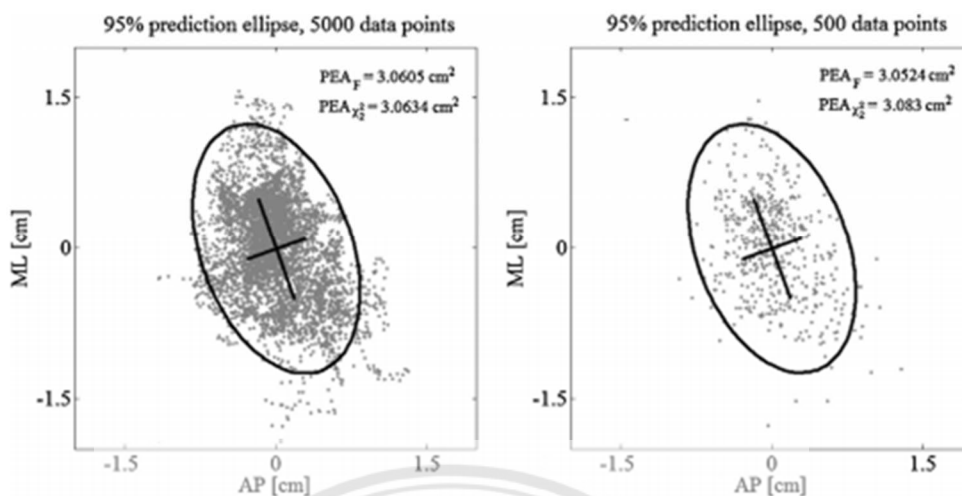
ทั้งสองกลุ่มอายุ ผลการศึกษานี้จะเป็ประโยชน์ต่อนักวิจัยและแพทย์โดยใช้ COP ในการประเมินความมั่นคงในการทรงตัว โดยแสดงผลการเอนตัวด้านหน้า-ด้านหลัง (Anterior-posterior ; AP) และการเอนตัวด้านข้าง (Medial-lateral; ML) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 รูปการทดสอบการเคลื่อนตัวของจุด COP กับค่าต่างๆ [14]

Kirchner Marietta และคณะในปี พ.ศ.2557 [10] การหาค่าพื้นที่การเคลื่อนตัวของ การทรงตัวถือเป็นส่วนสำคัญของ posturography และมีความสำคัญต่อการวิจัย วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการคำนวณคือการใช้การกระจายของศูนย์กลางของข้อมูลความดันเป็นวงรีที่ล้อมรอบประมาณ $100(1 - \alpha)\%$ ของการสังเกตดังรูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาดังกล่าวต้องมีการกำหนดมาตรฐานวิธีการคำนวณขั้นสูง มีภาพรวมที่ครอบคลุมและสอดคล้องกันของวิธีการประมาณพื้นที่วงรี ด้วยเหตุนี้จึงขอแนะนำให้อ้างอิงการทำนายพื้นที่ในการเคลื่อนตัวของ การทรงตัว

P. Schubert, M. Kirchner / *Gait & Posture* 39 (2014) 518–522



รูปที่ 2.16 Prediction Ellipse Area [10]

Pérez-Fernández ในปี พ.ศ.2559 [13] วัตถุประสงค์: พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของซอฟต์แวร์ posturography และแบ่งปัน Source code ในรูปแบบ Open source

วิธีการ: การศึกษาการตรวจสอบความถูกต้องจากกลุ่มตัวอย่าง: ผู้ใหญ่ 20 คนที่ติดต่อได้รับการทดสอบการประเมินการทรงตัวสองครั้ง การตรวจสภาพหลังผ่าตัด 6 ครั้งดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์และแผ่นรับแรงบังคับที่ได้รับการรับรองทางคลินิกและวัดเงื่อนไขเดียวกันโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยใช้แพลตฟอร์มบังคับต้นทุนต่ำ. ดัชนีความสัมพันธ์ภายในระดับของพื้นที่แกว่งที่ได้จากจุดศูนย์กลางของแรงกดในอุปกรณ์ทั้งสองสำหรับเงื่อนไขทั้งหมดเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง

ผลลัพธ์: แผ่นรับแรงที่ได้รับการอนุมัติทางคลินิก (intra-class correlation coefficient = 0.94) นอกจากนี้ยังสามารถ Plot ความสอดคล้องกันของกราฟิก Bland และ Altman ซอร์สโค้ดที่ใช้ในการพัฒนา RombergLab ถูกเผยแพร่ในรูปแบบโอเพนซอร์ส ดังรูปที่ 2.17

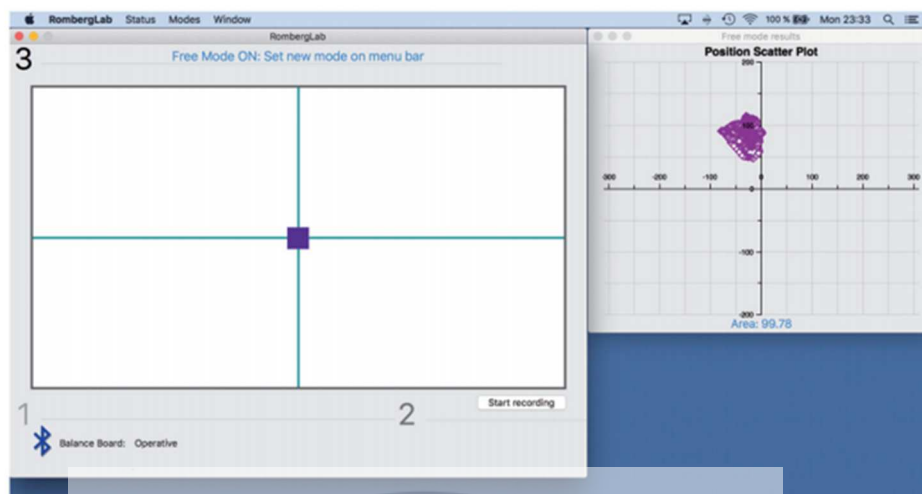


Figure 1. RombergLab GUI. On the left window, the connection with platform and real time position plot. On the right window the position plot and computed area (the calculated area units are not in cm^2) outputted from free recording mode (Optokinetic and Foam condition).

รูปที่ 2.17 การทดลองของ Open source posturography [13]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

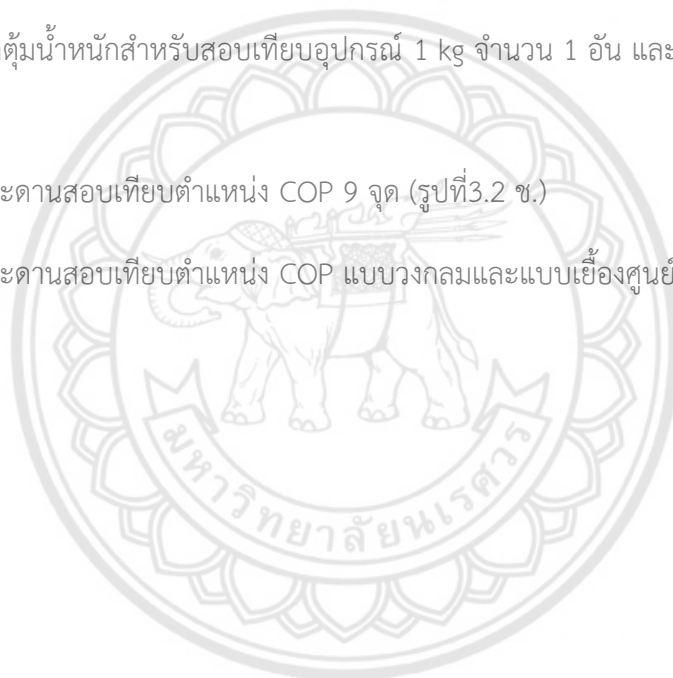
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ

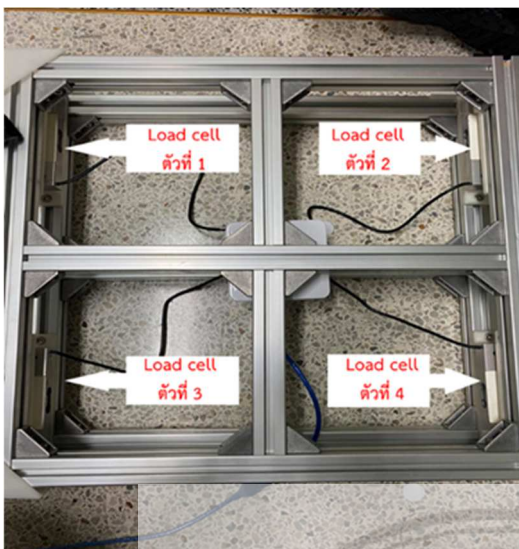


รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการจัดทำโครงการ

- 1) Loadcell จำนวน 4 ตัว แต่ละตัวสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 100 kg (รูปที่3.2 ก.และ3.2 ข.)
- 2) ตัวขยายสัญญาณของโหลดเซลล์ Hx711 (รูปที่3.2 ค.)
- 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno (รูปที่3.2 ง.)
- 4) Laptop: ยี่ห้อ Asus K451L CORE I5 GEN4 NVIDIA GT740 2G ที่ติดตั้งโปรแกรม Arduino Ide, LabVIEW 2020 และ MATLAB 2018 (รูปที่3.2 จ.)
- 5) ลูกตุ้มน้ำหนักสำหรับสอบเทียบอุปกรณ์ 1 kg จำนวน 1 อัน และ 5 kg จำนวน 1 อัน (รูปที่3.2 ฉ.)
- 6) กระดานสอบเทียบตำแหน่ง COP 9 จุด (รูปที่3.2 ช.)
- 7) กระดานสอบเทียบตำแหน่ง COP แบบวงกลมและแบบเอียงศูนย์ (รูปที่3.2 ซ.)

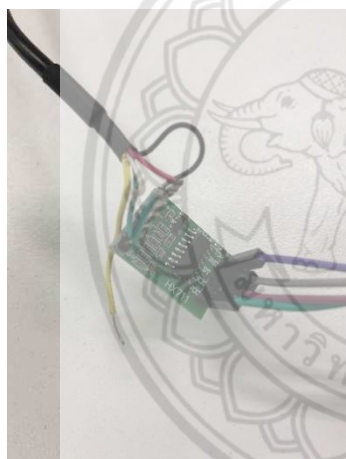




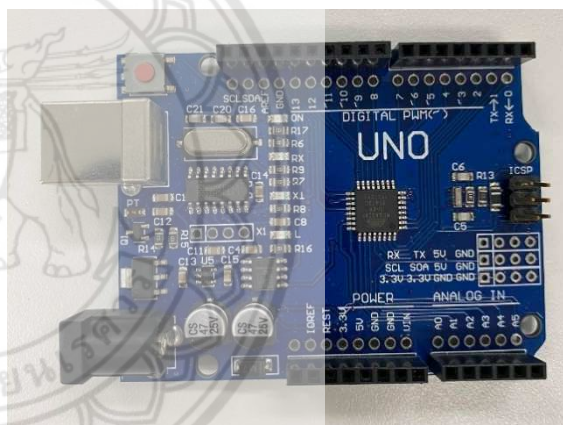
ก. Loadcell จำนวน4ตัว



ข. Loadcell ที่รับน้ำหนักสูงสุด100 kg



ค. ตัวขยายสัญญาณ Hx711



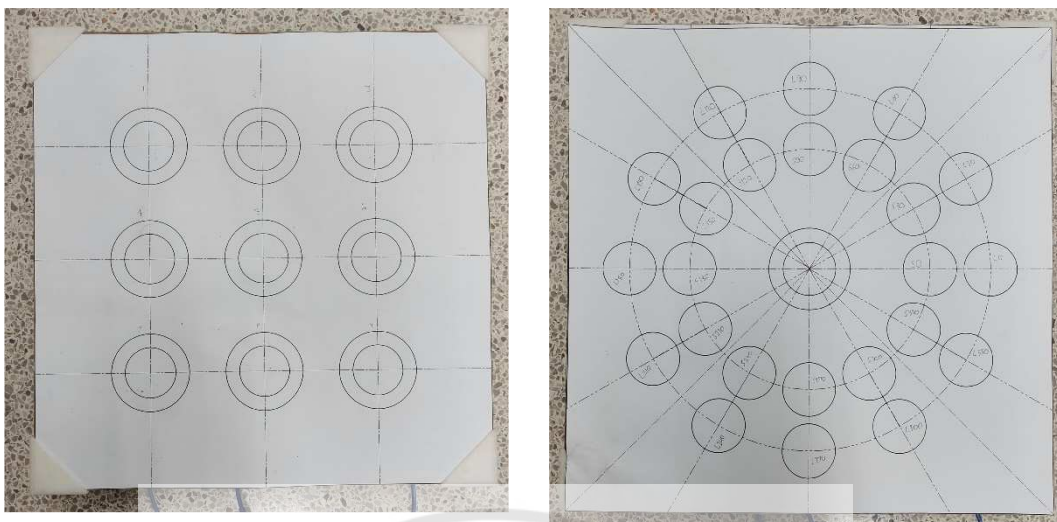
ง. Arduino Uno



จ. Laptop



ฉ. ลูกตุ้มน้ำหนัก



ข. กระดานสอบเทียบ 9 จุด

ค. กระดานสอบเทียบแบบวงกลมและเยื้องศูนย์กลาง

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.3 ศึกษาการทำงานและปรับปรุงโปรแกรม Arduino IDE

เนื่องจากโหนดเซลล์เป็น sensor วัดแรงชนิดหนึ่ง การที่จะอ่านค่าแรงจากโหนดเซลล์ได้ต้องผ่านตัวขยายสัญญาณ Hx711 และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งต้องใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อสอบเทียบและคำนวณค่าที่โหนดเซลล์อ่านได้และแสดงผลออกมาใน serial monitor ของโปรแกรม Arduino IDE เพื่อที่จะสามารถนำค่าที่อ่านได้ไปปรับปรุงแก้ไขต่อในโปรแกรม LabVIEW

การสอบเทียบโหนดเซลล์เพื่อให้อ่านค่าได้แม่นยำ ทำได้โดยการทดลองวางก้อนน้ำหนักไว้ที่มุมแต่ละมุมของอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3 และทำการอ่านค่าน้ำหนักโหนดเซลล์แต่ละตัว เช่น วางที่จุดที่ 1 โหนดเซลล์ตัวที่ 1 ก็ต้องอ่านค่าน้ำหนักได้เท่ากับก้อนน้ำหนัก โดยจะต้องปรับค่า Calibration factor ในโปรแกรม Arduino IDE จนกว่าค่าจะแม่นยำ



รูปที่ 3.3 การวางตำแหน่งของวัตถุเพื่อสอบเทียบอุปกรณ์

การสอบเทียบการอ่านค่าตำแหน่งจะทำการสอบเทียบโดยใช้แผ่นกระดาษสอบเทียบ 9 จุด ดังรูปที่ 3.2 ข โดยทำการสอบเทียบด้วยการวางก้อนน้ำหนักไว้ที่จุดศูนย์กลางของอุปกรณ์และทำการอ่านค่าน้ำหนักของแต่ละโหลดเซลล์ โหลดเซลล์ที่อ่านค่าน้ำหนักแต่ละตัวจะต้องอ่านได้ค่าใกล้เคียงกัน ถ้าไม่ก็ต้องทำการปรับค่า Calibration factor โดยวิธีนี้จะแม่นยำกว่าวิธีการวางที่มุมแต่ละมุม และได้ค่าพิกัดที่แม่นยำอีกด้วย สุดท้ายจะได้ค่า Calibration factor ของโหลดเซลล์แต่ละตัวดังรูปที่ 3.4

```

#include "HX711.h"

#define calibration_factor1 43497    Loadcell ตัวที่1
#define calibration_factor2 -43986   Loadcell ตัวที่2
#define calibration_factor3 -43513   Loadcell ตัวที่3
#define calibration_factor4 43275    Loadcell ตัวที่4

#define DOUT1 4
#define CLK1 5
#define DOUT2 7
#define CLK2 6
#define DOUT3 8
#define CLK3 9
#define DOUT4 10
#define CLK4 11

HX711 scale1;
HX711 scale2;
HX711 scale3;
HX711 scale4;
void setup() {
  scale1.begin(DOUT1,CLK1);
  scale2.begin(DOUT2,CLK2);
  scale3.begin(DOUT3,CLK3);
  scale4.begin(DOUT4,CLK4);
  Serial.begin(19200);
  Serial.println("Code Run2");
  Serial.println("1ArduinoAll Calibrating...");
  scale1.set_scale(calibration_factor1);
  scale2.set_scale(calibration_factor2);
  scale3.set_scale(calibration_factor3);

```

รูปที่ 3.4 ค่า Calibration factor หลังสอบเทียบอุปกรณ์

หลังจากโหลดเซลล์สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแล้วจึงทำการนำค่าน้ำหนักที่โหลดเซลล์แต่ละตัวมาคำนวณหาตำแหน่งของ COP จากสมการที่2และสมการที่3 สุดท้ายแล้วจะได้จอ Serial monitor ที่แสดงค่าน้ำหนัก, ค่า x และค่า y ดังรูปที่3.5 จากรูปที่3.5 จะสามารถอ่านค่าน้ำหนักออกมาได้เป็น 1.27 kg จุดCOP ในแกน x เป็น -0.36 เซนติเมตร และในแกน y เป็น -1.23 เซนติเมตร

```

#1.27kg,X-0.27,Y-1.27#
#1.27kg,X-0.23,Y-1.26#
#1.27kg,X-0.31,Y-1.25#
#1.27kg,X-0.29,Y-1.23#
#1.27kg,X-0.31,Y-1.22#
#1.27kg,X-0.31,Y-1.24#
#1.27kg,X-0.26,Y-1.26#
#1.27kg,X-0.30,Y-1.24#
#1.27kg,X-0.29,Y-1.25#
#1.27kg,X-0.25,Y-1.23#
#1.27kg,X-0.33,Y-1.20#
#1.27kg,X-0.32,Y-1.23#
#1.27kg,X-0.33,Y-1.19#
#1.27kg,X-0.33,Y-1.17#
#1.27kg,X-0.27,Y-1.20#
#1.28kg,X-0.30,Y-1.19#
#1.27kg,X-0.36,Y-1.23#

```

รูปที่ 3.5 หน้าจอ Serial monitor

3.4 ศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้ เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด [10]

โปรแกรม LabVIEW สามารถดึงข้อมูลจากหน้าจอ Serial monitor ของ Arduino IDE ออกมาแสดงผลได้ และยังสามารถดึงข้อมูลย่อยๆ ในหน้าจอ Serial monitor ออกมาแปลงเป็นข้อมูลประเภทตัวเลข (Numeric) โดยผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาจนสามารถนำไปคำนวณหาค่าต่างๆได้เช่น ค่า Set zero, ค่าCOP average และค่า COP average velocity เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วยังสามารถดึงค่า COP มา Plot เป็นกราฟแสดงผลแบบ real time ได้พร้อมทั้งสามารถบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ .text ที่จะสามารถนำข้อมูลไปคำนวณต่อในโปรแกรมอื่น

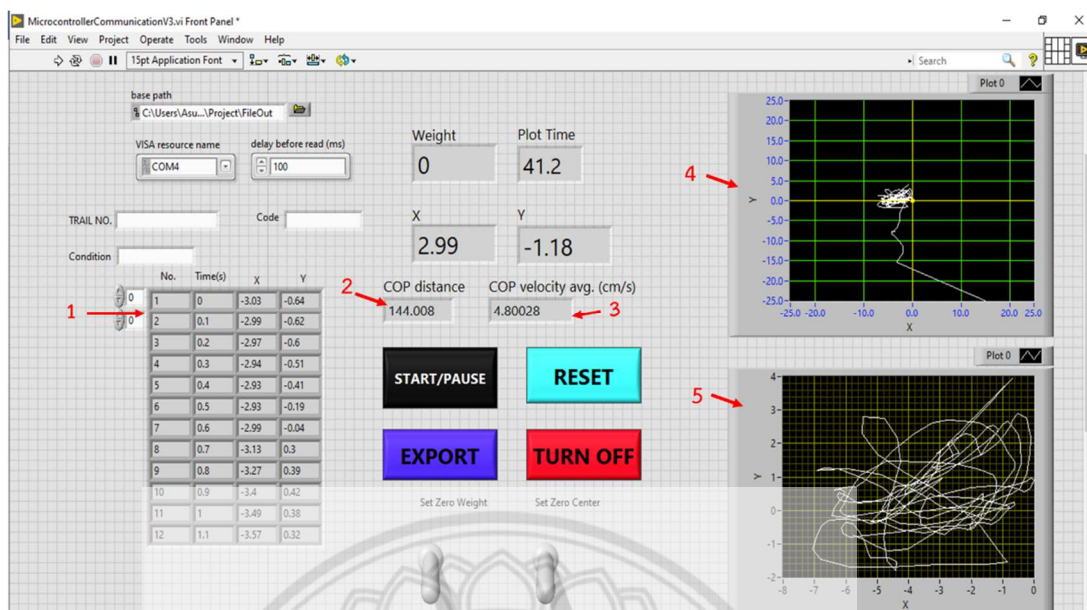
จากการศึกษาและปรับปรุงโปรแกรม LabVIEW ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงจนมีฟังก์ชันหลากหลายเช่น Plot, reset, Set Zero Weight, Set Zero center, Export และ Stop ดังรูปที่3.6

หลักการทำงานของแต่ละฟังก์ชันคือ Plot จะเป็นปุ่มสำหรับ Plot กราฟแบบ real time โดยเมื่อกด Plot โปรแกรมจะเก็บข้อมูลทั้งหมด 40 วินาที โดยบันทึกข้อมูลวินาทีละ 10 ข้อมูลและนำช่วงข้อมูลที่ 5 วินาทีจนถึง 35 วินาที ดังนั้นจะมีข้อมูลที่นำมาคำนวณ 300 ข้อมูล โดยคำนวณและแสดงผลเป็น COP distance, COP velocity average และ กราฟแสดงผลในช่วง 5 วินาที ถึง 35 วินาที โดย COP distance (cm) หาได้จากสมการที่ 15 และ COP velocity average (cm/s) หาได้จากสมการที่ 16 ฟังก์ชันเนื่องจากบันทึกข้อมูลวินาทีละ 10 ข้อมูลจึงใช้ค่า $i=50$ และ $i=350$ เพื่อใช้ข้อมูลในวินาทีที่ 5-35 วินาที

reset คือปุ่มสำหรับ reset ข้อมูลที่ปุ่ม plot ทำการเก็บไว้ ฟังก์ชัน Set Zero Weight คือปุ่มสำหรับ set ให้ค่าน้ำหนักเป็น 0 kg ใช้สำหรับกรณีที่เกิด error แล้วน้ำหนักเริ่มต้นไม่เป็น 0 kg ฟังก์ชัน Set Zero center คือปุ่มที่ใช้ set ค่า x และ y ให้เป็น 0,0 โดยจะต้องวางน้ำหนักไว้ที่จุดศูนย์กลางของแท่นยืนก่อนจึงจะสามารถใช้งานให้ได้ค่าที่แม่นยำได้ ฟังก์ชัน Export คือปุ่มสำหรับการบันทึกไฟล์ออกเป็น .text โดยจะใช้ชื่อไฟล์เป็นข้อมูลของผู้ทดลองและเงื่อนไขต่างๆ ที่กรอกในโปรแกรม

$$\text{COPdistance} = \sum_{i=50}^{350} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (15)$$

$$\text{COPvelocity} = \frac{\sum_{i=50}^{350} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{300} \quad (16)$$



รูปที่ 3.6 หน้าจอโปรแกรมLabVIEW ที่พัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 3.6 หน้าจอโปรแกรม LabVIEW จะมีส่วนที่สำคัญทั้งหมด 5 ส่วน คือ

หมายเลข 1 ส่วนของตารางบันทึกผลการทดสอบ จะบันทึกผลหลักการกดปุ่ม START ตั้งแต่วินาทีที่ 0 – 40 วินาที โดยในคอลัมน์แรกจะคือจำนวนข้อข้อมูล คอลัมน์ที่สอง คือ เวลาโดยจะบันทึกผลทีละ 0.1 วินาที คอลัมน์ที่สาม คือ พิกัด X ของ COP คอลัมน์ที่สี่คือ พิกัด Y ของ COP

หมายเลข 2 คือ ค่าระยะทางที่ COP เคลื่อนที่ทั้งหมดในช่วงเวลา 5 – 35 วินาที

หมายเลข 3 คือค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของ COP ในช่วงเวลา 5 – 35 วินาที

หมายเลข 4 คือกราฟของจุด COP หลังจากการกดปุ่ม START

หมายเลข 5 คือ กราฟของข้อมูลหลังจากกดปุ่ม START ในวินาทีที่ 5 – 35 วินาที

3.5 ทำการนำข้อมูลจากโปรแกรมLabVIEW มาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณและการพล็อตค่าแสดงผลออกมาเป็นรูปภาพแบบชัดเจน โดยการทดลองนำค่า COP จากไฟล์ .text ที่ Export จากโปรแกรม LabVIEW มาวิเคราะห์หา PEA ดังรูปที่3.7 ซึ่ง X5 คือค่า X และ Y5 คือค่า Y

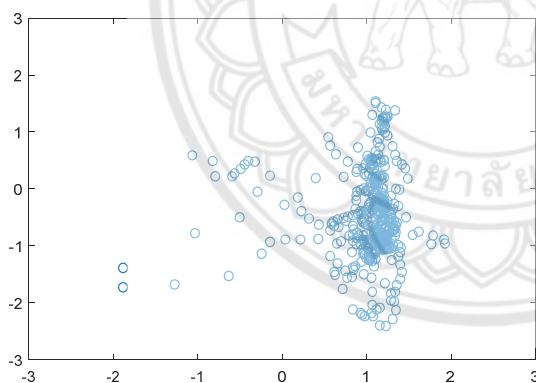
```

Editor - C:\Users\Dee\Downloads\CalCircle.m
Rmatrix.m x RotationE.m x Rotationk.m x CalCircle.m x +
1 - clear all;
2 - clc;
3 - close all;
4 - filename = '007-CT-มีนเฉยๆ.text';
5 - S = load(filename);
6 - X5 = S(:,3);
7 - Y5 = S(:,4);
8 - Sz=size(S);
9

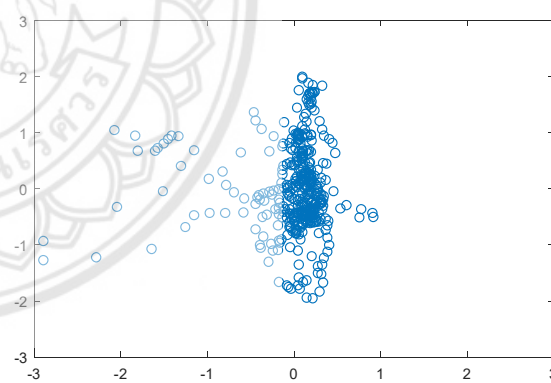
```

รูปที่ 3.7 การนำเข้าไฟล์จากโปรแกรม LabVIEW มาวิเคราะห์ใน MATLAB

จากทฤษฎีในบทที่ 2 การหาพื้นที่วงรีที่ครอบคลุมข้อมูลจะเป็นกรณีจุดศูนย์กลางของข้อมูลหรือค่าเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ (0,0) แต่การทดลองจริงข้อมูลจะไม่ได้อยู่ที่จุด (0,0) ดังรูปที่ 3.8 จึงต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของ x และ y และนำมาลบกับค่า x และ y จะได้ดังรูปที่ 3.9 เมื่อได้ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 แล้วจึงทำการวิเคราะห์ต่อตามทฤษฎีได้

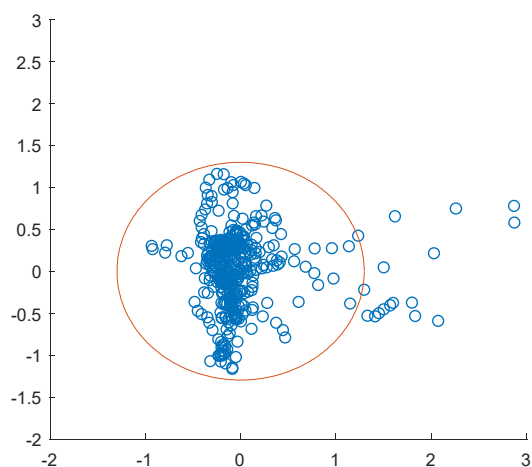


รูปที่ 3.8 ข้อมูลจริงจากการทดลอง

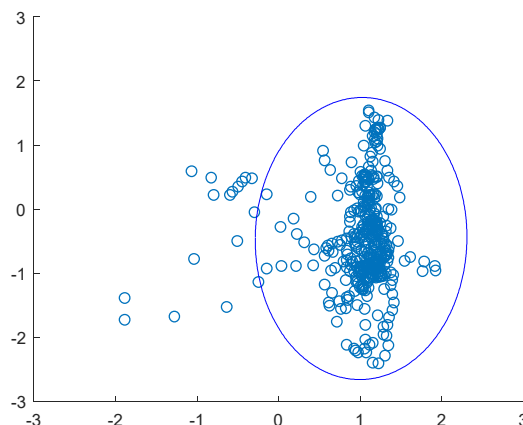


รูปที่ 3.9 ข้อมูลที่ถูกปรับค่าเฉลี่ย

เมื่อสร้างวงกลม 2SD ที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ (0,0) และปรับแกนหมุนที่เหมาะสมเป็นมุม 180 องศา ดังรูปที่ 3.10 หลังจากนั้นทำการบวกค่าเฉลี่ยเดิมกลับไปเพื่อให้เป็นข้อมูลจริงจากการทดลองและสร้างวงรีที่ครอบคลุมข้อมูลจริงได้ดังรูปที่ 3.11 โดยวงรีที่ได้ครอบคลุมข้อมูล 95.761%



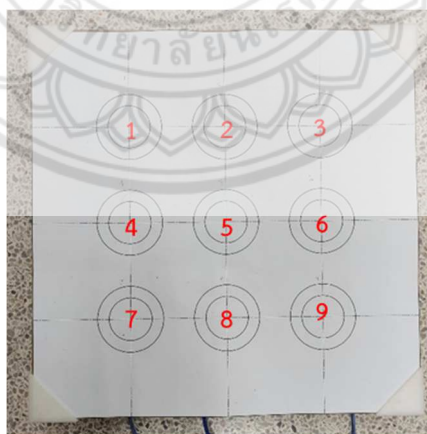
รูปที่ 3.10 วงกลม2SD



รูปที่ 3.11 วงรีที่ครอบคลุมข้อมูลจริง

3.6 ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 ตำแหน่ง

การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 ตำแหน่งเป็นการวัดความแม่นยำของอุปกรณ์แบบตรงไปตรงมาโดยใช้แผ่นทดสอบดังรูปที่ 3.2 ข โดยใช้ในการบอกตำแหน่งแต่ละจุดดังรูปที่ 3.12 โดยแต่ละจุดจะห่างกันเป็นระยะ 12.5 เซนติเมตรโดยจุดที่ 5 จะมีพิกัดเป็น (0,0)



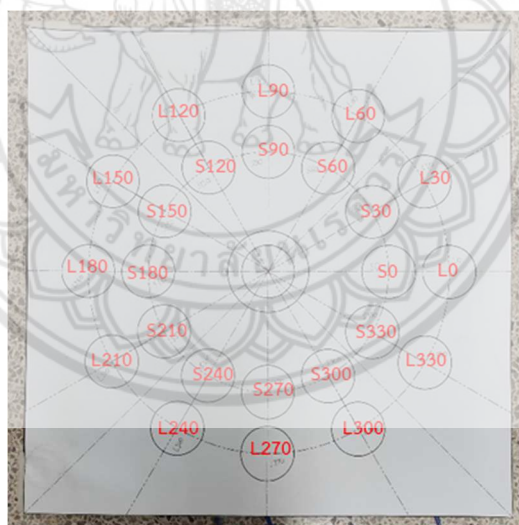
รูปที่ 3.12 การบอกตำแหน่งของแต่ละจุดในแผ่นการวัดแบบจุด 9 ตำแหน่ง

3.7 ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบเยื้องศูนย์กลางและแบบวงกลม

การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบเยื้องศูนย์กลางและแบบวงกลม โดยการวัดตำแหน่งแบบเยื้องศูนย์กลางจะเป็นการวัด COP กรณีที่มีแรงอยู่ 2 ตำแหน่งซึ่งเป็นการจำลองท่ายืนของคน แล้วอ่านค่าตำแหน่งศูนย์กลางของแรงของสองแรงนั้นได้ โดยจะใช้แผ่นทดสอบดังรูปที่ 3.2ซ และวางตำแหน่งแต่ละจุดดังรูปที่ 3.13 โดยรัศมีของวงกลมนอกสุด (L) คือ 18.7 เซนติเมตรและรัศมีวงกลมในสุด (S) คือ 12.5 เซนติเมตร

การทดสอบจะใช้มวล 2 ก้อนคือมวล 1kg และมวล 5kg โดยการทดสอบการวัดตำแหน่งแบบเยื้องศูนย์กลางจะทดสอบ 3 วิธีคือ

1. วางมวล 5 kg ไว้ตรงกลางและวางมวล 1kg ไว้วงรอบนอก L
2. วางมวล 1 kg ไว้ตรงกลางและวางมวล 5kg ไว้วงรอบนอก L
3. วางมวล 1 kg ไว้ตรงกลางและวางมวล 5kg ไว้วงรอบใน S



รูปที่ 3.13 การบอกตำแหน่งของแต่ละจุดในแผ่นการวัดแบบเยื้องศูนย์กลางและวงกลม

3.8 ทำการทดสอบการวัดสมรรถนะการยืนทรงตัวของอาสาสมัคร

เริ่มทำการทดสอบวัดสมรรถนะการยืนทรงตัวของอาสาสมัครโดยจะมีเงื่อนไขคือการยืนสองขาเปิดตา, การยืนสองขาปิดตา, การยืนขาเดียวเปิดตา และการยืนขาเดียวปิดตา โดยใช้อาสาสมัครคือนิสิตมหาวิทยาลัยนเรศวรที่มีอายุระหว่าง 21-23 ปีที่คณะผู้จัดทำได้จัดเตรียมหามา 3 คนแล้วทำ

การบันทึกข้อมูลโดยมีเงื่อนไขคือ ยืนสองขาชิดตา, ยืนสองขาห่างตา, ยืนขาเดียวชิดตา และยืนขาเดียวห่างตา เงื่อนไขละจำนวน 5 ครั้ง

3.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง

โดยการวิเคราะห์ผลของการทดลองจะทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การทดสอบการวัดตำแหน่งแบบ 9 จุด, การวัดตำแหน่งแบบเอียงศูนย์ และการทดสอบจากอาสาสมัคร

การวิเคราะห์แบบตำแหน่ง 9 จุด ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ วิเคราะห์หาความแม่นยำของอุปกรณ์ (Accuracy) การวัดตำแหน่งแบบเอียงศูนย์และวงกลม ทำการเปรียบเทียบขนาดของ Diameter เพื่อหาความแม่นยำของอุปกรณ์และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อหาความเที่ยงตรงของอุปกรณ์

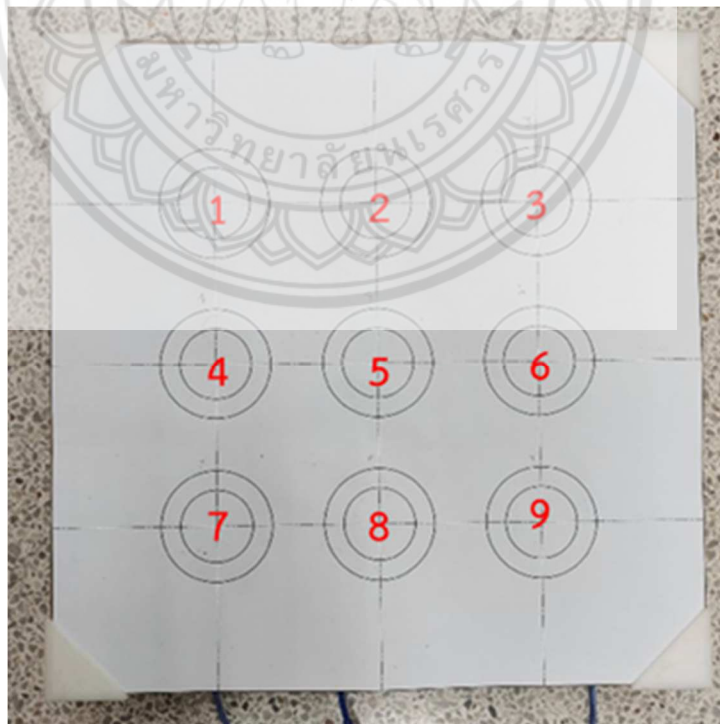
การวิเคราะห์การทดสอบของอาสาสมัครจะทำการวิเคราะห์ COP distance average ที่สนใจในระยะทาง, COP velocity ที่สนใจในความเร็วในการเคลื่อนตัวของจุด COP ของผู้ทดสอบ และ PEA ที่สนใจในพื้นที่ที่ครอบคลุมจุดข้อมูล แล้วคำนวณในโปรแกรม LabVIEW โดยแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข และแบบกราฟ เพื่อประเมินผลสมรรถนะในการยืนทรงตัวของผู้ทดสอบ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

4.1 การทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์

การทดสอบแบบ 9 จุดเพื่อต้องการทำการวัดตำแหน่งที่ครอบคลุมกับพื้นที่ของผู้ทดสอบที่ยืนทดสอบบนอุปกรณ์โดยนำลูกตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมและ 5 กิโลกรัมมาวางไว้แต่ละตำแหน่งบนอุปกรณ์โดยใช้แผ่นทดสอบตำแหน่งละ 5 ครั้งโดยใช้การบอกตำแหน่งแต่ละจุดโดยแต่ละจุดจะห่างกัน 12.5 เซนติเมตรโดยที่จุดที่ 5 จะมีพิกัด (0,0) (ดังรูปที่ 4.1) จากนั้นนำค่าที่ได้ มาทำการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งที่วัดได้กับค่าจริงของน้ำหนัก 1 kg และน้ำหนัก 5 kg เพื่อหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้ดังตารางที่ 4.1) โดยการทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากวัดด้วยอุปกรณ์มีค่าที่แตกต่างจากค่าจริงมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 4.1 แผ่นทดสอบการวัดความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 จุด

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลค่าเฉลี่ยในการวัดความแม่นยำจุดละ 5 ครั้ง

จุด	น้ำหนัก 1 kg				น้ำหนัก 5 kg				ค่าจริง	
	X (cm)	Y (cm)	SDx (cm)	SDy (cm)	X (cm)	Y (cm)	SDx (cm)	SDy (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	-12.63	12.498	0.096	0.075	-12.642	12.43	0.040	0.053	-12.5	12.5
2	0.124	12.554	0.093	0.050	0.11	12.496	0.035	0.059	0	12.5
3	12.796	12.762	0.059	0.052	12.838	12.702	0.050	0.082	12.5	12.5
4	-12.554	0.084	0.112	0.050	-12.548	-0.006	0.084	0.093	-12.5	0
5	0.174	0.289	0.129	0.082	0.148	0.162	0.075	0.097	0	0
6	12.876	0.524	0.244	0.106	12.882	0.366	0.111	0.101	12.5	0
7	-12.614	-12.236	0.295	0.110	-12.668	-12.534	0.056	0.108	-12.5	-12.5
8	0.112	-12.092	0.286	0.092	0.126	-12.338	0.069	0.119	0	-12.5
9	12.776	-11.916	0.223	0.146	12.522	-12.236	0.061	0.123	12.5	-12.5

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความแตกต่างจากค่าจริงและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้ค่า
ดังตารางที่ 4.2

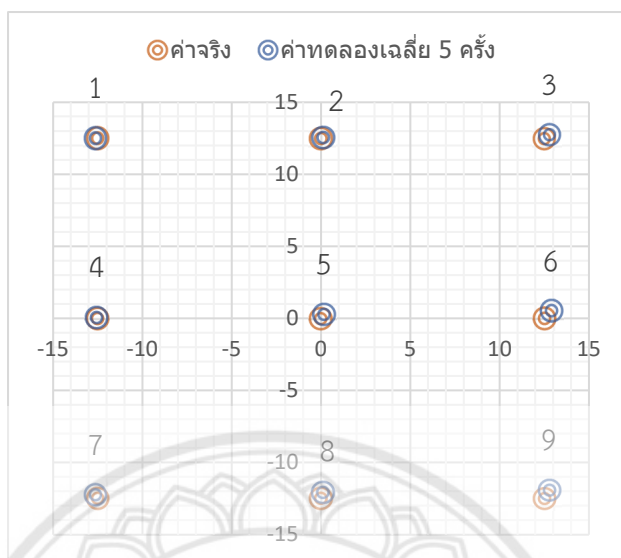
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าพิกัด x , y และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของวัตถุมวล 1 kg และ 5 kg

จุด	น้ำหนัก 1 kg		น้ำหนัก 5 kg	
	Difference		Difference	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	-0.13	-0.002	-0.142	-0.07
2	0.124	0.054	0.11	-0.004
3	0.296	0.262	0.338	0.202
4	-0.054	0.084	-0.048	-0.006
5	0.174	0.289	0.148	0.162
6	0.376	0.524	0.382	0.366
7	-0.114	0.264	-0.168	-0.034
8	0.112	0.408	0.168	0.162
9	0.276	-0.584	0.126	-0.264
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.186	0.181	0.204	0.150

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดของ 1 kg และ 5 kg เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่แตกต่างกันไม่มากซึ่งค่าแตกต่างกันมากที่สุดของ 1 kg ในแกน x คือ 0.376 เซนติเมตร และในแกน y คือ 0.524 เซนติเมตร ส่วนของ 5 kg ในแกน x คือ 0.382 เซนติเมตรและแกน y คือ 0.366 เซนติเมตร

จากผลการทดลองกับน้ำหนักทั้ง 2 พบว่าความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของ 1 kg และ 5 kg นั้นมีค่าพิกัด x และ y ที่มีค่าเล็กน้อยซึ่ง ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจากการที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำ

นำผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งโดยการวางวัตถุบนจุด 9 ตำแหน่งที่ได้มาพลอตเป็นค่าในระนาบ x, y ได้ดังรูป 4.1 และ 4.2 ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของค่าจริง (สีแดง) กับตำแหน่งที่วัดได้(สีน้ำเงิน)



รูปที่ 4.2 รูปแสดงค่าตำแหน่งที่วัดได้กับค่าจริงของน้ำหนัก 1 kg

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย

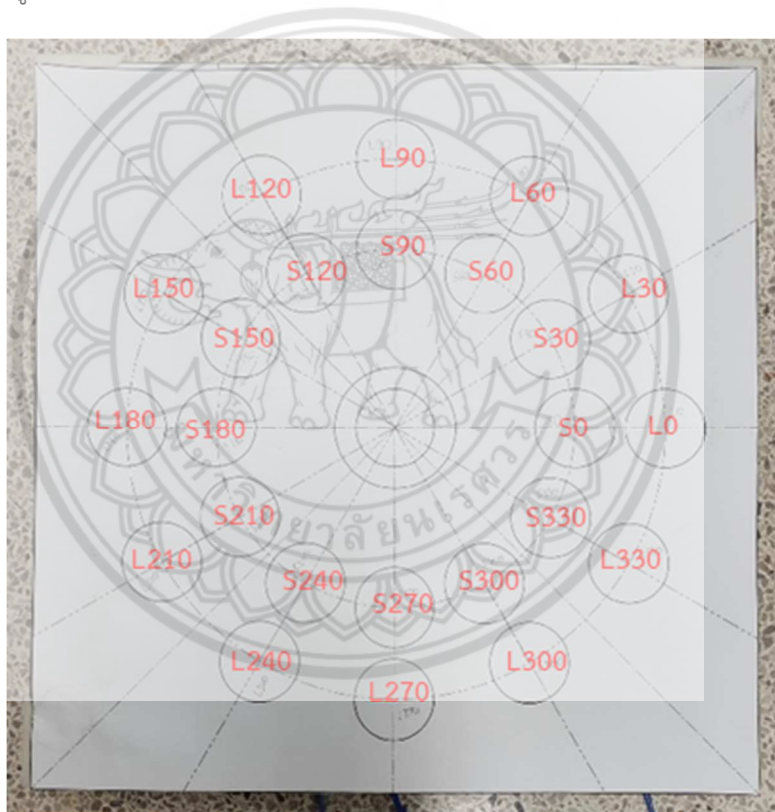


รูปที่ 4.3 รูปแสดงค่าตำแหน่งที่วัดได้กับค่าจริงของน้ำหนัก 5 kg

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย

4.2 การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบเยื้องศูนย์กลาง

การวัดตำแหน่งจะใช้น้ำหนัก 2 ก้อนคือ 5 กิโลกรัมและ 1 กิโลกรัม โดยการวางบนแผ่นทดสอบ (ดังรูปที่ 4.3) แบบแรกนำลูกตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมวางตรงกลางของอุปกรณ์แล้วนำลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมาวางไว้ตามตำแหน่งของแผ่นทดสอบวงด้านนอกทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (ค่าที่จากการทดสอบจะได้ดังตารางที่ 4.3) โดยการทดสอบนี้ต้องทราบว่าหากมีน้ำหนักมากกว่าสองตำแหน่งจะทำให้การระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนหรือไม่เปรียบกับการที่ผู้ทำการทดสอบยื่นแบบสองขา



รูปที่ 4.4 แผ่นทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมและเยื้องศูนย์กลาง

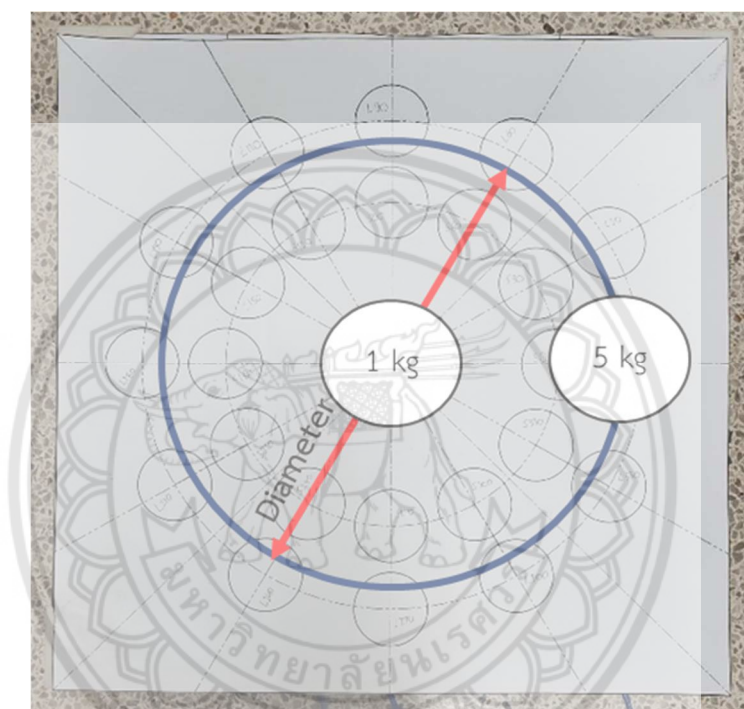
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลค่าเฉลี่ยในการวัดความแม่นยำแบบเยื้องศูนย์กลาง 5 ครั้ง (1 kg ตรงกลาง 5 kg วางรอบวงนอก)

Section L	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่คำนวณได้	
	X (cm)	Y (cm)	SDX (cm)	SDY (cm)	X (cm)	Y (cm)
L0	15.66	0.036	0.114	0.101	15.58	0.00
L30	13.624	7.738	0.121	0.054	13.50	7.79
L60	7.57	13.267	0.313	0.067	7.79	13.50
L90	-0.294	15.038	0.126	0.279	0.00	15.58
L120	-7.788	13.038	0.194	0.191	-7.79	13.50
L150	-13.786	7.08	0.320	0.207	-13.50	7.79
L180	-15.642	-0.67	0.168	0.140	-15.58	0.00
L210	-13.698	-8.448	0.154	0.298	-13.50	-7.79
L240	-7.64	-14.09	0.484	0.095	-7.79	-13.50
L270	0.094	-15.942	0.171	0.109	0.00	-15.58
L300	7.946	-13.592	0.191	0.195	7.79	-13.50
L330	13.678	-7.87	0.142	0.146	13.50	-7.79

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดของ 1 kg ตรงกลางและ 5 kg วางรอบเทียบ กับค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก ซึ่งค่าแตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ -0.294 เซนติเมตรและในแกน y คือ 0.542 เซนติเมตรและมีค่า SD สูงสุดที่ 0.484 เซนติเมตร ส่วนหนึ่งความ

คลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจาก การที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมีค่านี้น้อยมาก

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดของตารางที่ 4.3 มาคำนวณหาค่า diameter เปรียบเทียบกับค่าจริงจะได้ผลดังตารางที่ 4.4 และคำนวณขนาดของ diameter จะได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 1kg ตรงกลาง 5kg วางรอบวงด้านนอก

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (1 kg ตรงกลาง 5 kg วางรอบวงด้านนอก)

Section L	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่คำนวณได้		
	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)
L0-L180	31.302	0.706	31.309	30.99	0.7	31.167
L30-L210	27.322	16.186	31.757	27.47	15.7	31.167
L60-L240	15.21	27.354	31.298	15.23	27.21	31.167
L90-L270	-0.388	30.98	30.982	-0.31	30.72	31.167
L120-L300	-15.734	26.63	30.931	-15.95	26.33	31.167
L150-L330	-27.464	14.95	31.269	-27.69	14.79	31.167
ค่าเฉลี่ยของ diameter			31.258			31.167

จากตารางที่ 4.4 เห็นได้ว่าค่า diameter ในแต่ละช่วงมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าที่แตกต่างกันมากที่สุดในแกน x คือ 0.216 เซนติเมตรแกน y คือ 0.316 เซนติเมตรและค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ diameter คือ 0.091 เซนติเมตรคิดเป็น 0.292 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจาก การที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำ

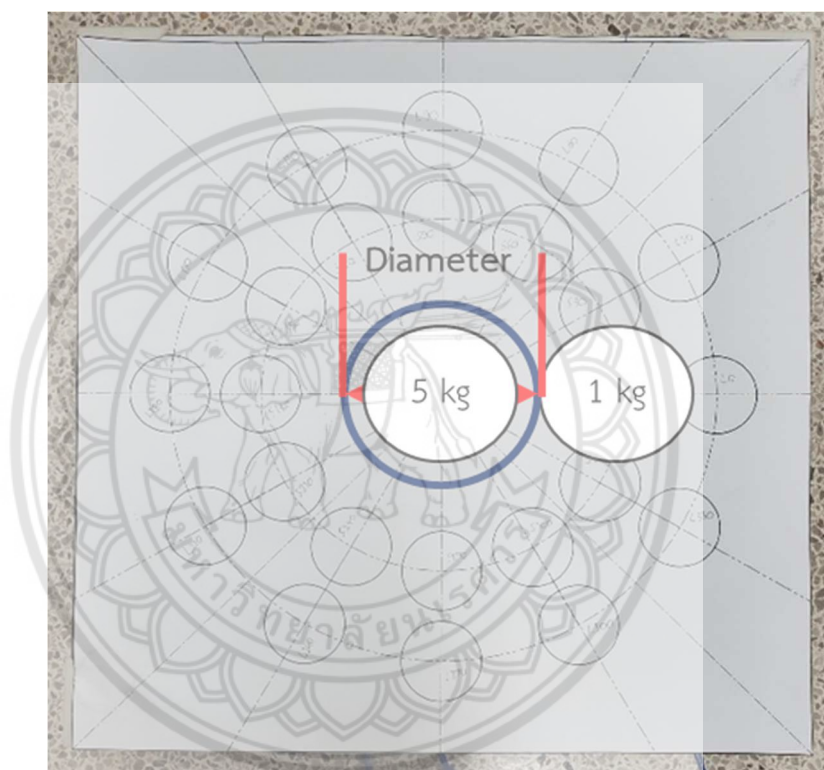
แบบที่สองจะนำลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมไว้ตรงกลางแล้วนำลูกตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมไว้ตามตำแหน่งแผ่นทดสอบวงด้านในทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (ค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้อ้างอิงตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดสอบของการวัดตำแหน่งรูปแบบแบบวงกลมเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านใน)

Section S	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่คำนวณได้	
	X (cm)	Y (cm)	SDX (cm)	SDY (cm)	X (cm)	Y (cm)
S0	2.282	0.34	0.060	0.029	2.08	0.00
S30	1.986	1.372	0.055	0.022	1.80	1.04
S60	1.194	2.114	0.049	0.018	1.04	1.80
S90	0.126	2.384	0.049	0.025	0.00	2.08
S120	-0.934	2.09	0.055	0.023	-1.04	1.80
S150	-1.696	1.328	0.053	0.023	-1.80	1.04
S180	-1.968	0.232	0.050	0.093	-2.08	0.00
S210	-1.69	-0.766	0.056	0.021	-1.80	-1.04
S240	-0.918	-1.514	0.050	0.019	-1.04	-1.80
S270	0.146	-1.776	0.049	0.032	0.00	-2.08
S300	1.208	-1.486	0.047	0.022	1.04	-1.80
S330	1.988	-0.72	0.046	0.020	1.80	-1.04

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดของ 5 kg ตรงกลางและ 1 kg วางรอบเทียบ กับค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่แตกต่างกันไม่มากซึ่งค่าแตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ 0.202 เซนติเมตรและในแกน y คือ 0.314 เซนติเมตรส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจากการที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมาก

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดของตารางที่ 4.5 มาคำนวณหาค่า diameter เปรียบเทียบกับค่าจริงจะได้ผลดังตารางที่ 4.6 และคำนวณขนาดของ diameter จะได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg ตรงกลาง 1kg วางรอบวงด้านใน

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านใน)

Section S	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่คำนวณได้		
	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)
S0-S180	4.25	0.27	4.259	4.17	0.00	4.167
S30-S210	3.65	2.15	4.236	3.61	2.08	4.167
S60-S240	2.09	3.64	4.197	2.08	3.61	4.167
S90-S270	-0.02	4.17	4.170	0.00	4.17	4.167
S120-S300	-2.13	3.56	4.149	-2.08	3.61	4.167
S150-S330	-3.69	2.05	4.221	-3.61	2.08	4.167
ค่าเฉลี่ยของ diameter			4.205			4.167

จากตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าค่า diameter ในแต่ละช่วงมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าที่แตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ 0.08 เซนติเมตร แกน y คือ 0.27 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ diameter คือ 0.038 เซนติเมตร คิดเป็น 0.912 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจากการที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำ

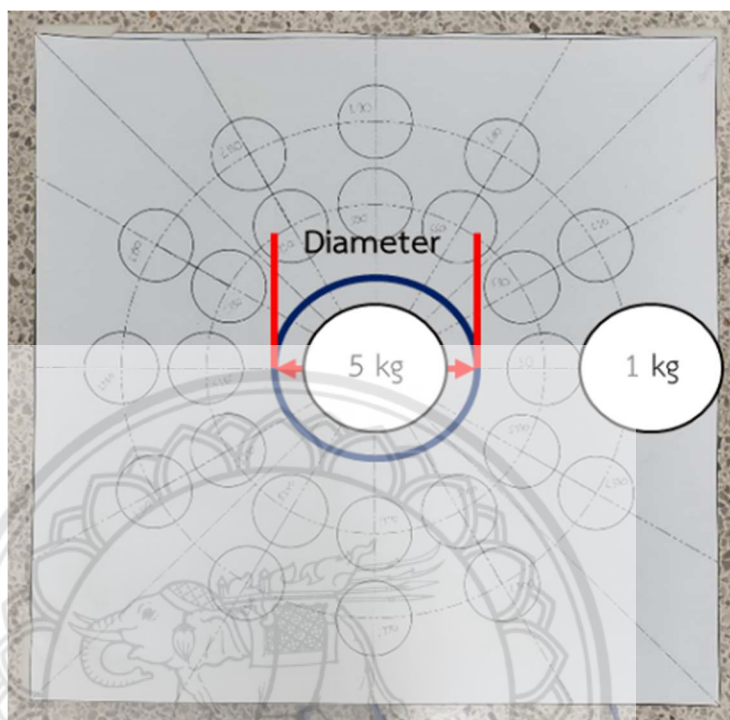
แบบที่สามจะนำลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมไว้ตรงกลางแล้วนำลูกตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมไว้ตามตำแหน่งแผ่นทดสอบวงด้านนอกทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (ค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้ดังตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดสอบของการวัดตำแหน่งรูปแบบเยื้องศูนย์และแบบวงกลม
เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก)

Section L	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ	
	X (cm)	Y (cm)	SDx (cm)	SDy (cm)	X (cm)	Y (cm)
L0	3.336	0.358	0.030	0.023	3.12	0.00
L30	2.894	1.898	0.034	0.019	2.70	1.56
L60	1.736	3.014	0.030	0.023	1.56	2.70
L90	0.132	3.41	0.029	0.014	0.00	3.12
L120	-1.454	2.972	0.034	0.016	-1.56	2.70
L150	-2.594	1.828	0.027	0.023	-2.70	1.56
L180	-3.004	0.238	0.025	0.022	-3.12	0.00
L210	-2.57	-1.324	0.037	0.017	-2.70	-1.56
L240	-1.422	-2.424	0.030	0.022	-1.56	-2.70
L270	0.164	-2.812	0.036	0.023	0.00	-3.12
L300	1.764	-2.376	0.044	0.029	1.56	-2.70
L330	2.924	-1.216	0.033	0.021	2.70	-1.56

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดของ 5 kg ตรงกลางและ 1 kg วางรอบเทียบกับค่าที่ได้แตกต่างกันไม่มากซึ่งค่าแตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ 0.216 เซนติเมตรและในแกน y คือ -0.324 เซนติเมตร ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจาก การที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมาก

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดของตารางที่ 4.7 มาคำนวณหาค่า diameter เปรียบเทียบกับค่าจริงจะได้ผลดังตารางที่ 4.8 และคำนวณขนาดของ diameter จะได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg ตรงกลาง 1kg วางรอบวงด้านนอก

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก)

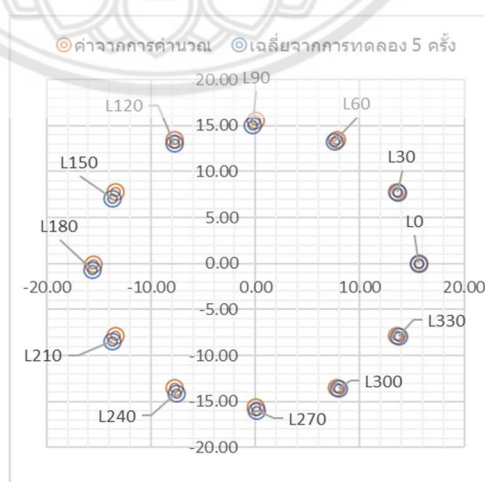
Section L	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่คำนวณได้		
	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)
L0-L180	6.23	0.00	6.341	6.33	0.14	6.233
L30-L210	5.40	3.12	6.352	5.47	3.2	6.233
L60-L240	3.12	5.40	6.291	3.16	5.41	6.233

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลองโดยวาง 5 kg ตรงกลาง 1 kg วางรอบวงด้านนอก (ต่อ)

L90-L270	0.00	6.23	6.230	0	6.21	6.233
L120-L300	-3.12	5.40	6.249	-3.19	5.36	6.233
L150-L330	-5.40	3.12	6.308	-5.51	3.04	6.233
ค่าเฉลี่ยของ diameter			6.295			6.233

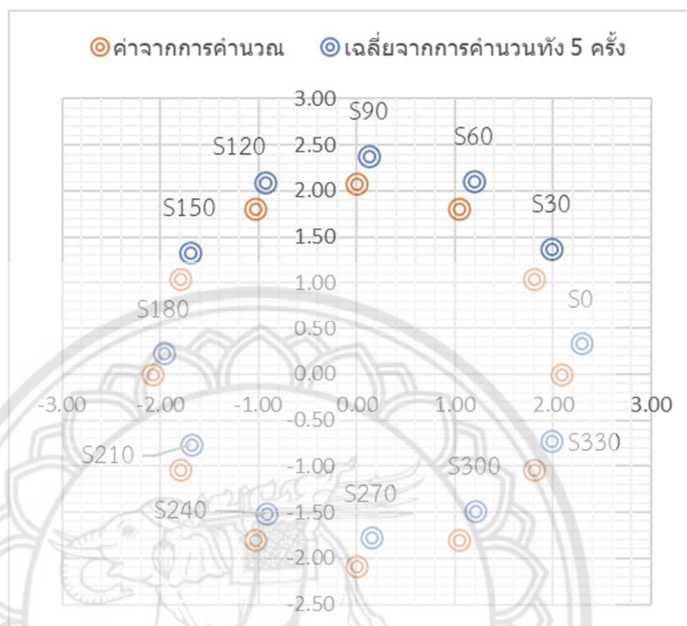
จากตารางที่ 4.8 เห็นได้ว่าค่า diameter ในแต่ละช่วงมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าที่แตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ 0.11 เซนติเมตร แกน y คือ 0.16 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ diameter คือ 0.062 เซนติเมตร คิดเป็น 0.994 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจากการที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำ

เมื่อนำค่าการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมที่อ่านได้และค่าที่คำนวณของทั้งสองแบบ (จากตารางที่ 4.3, 4.5 และ 4.7) มาพลอตในระนาบ x และ y จะได้ดังรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ซึ่งจะแสดงค่าจากการคำนวณ (สีแดง) กับ ตำแหน่งที่วัดได้ (สีน้ำเงิน)



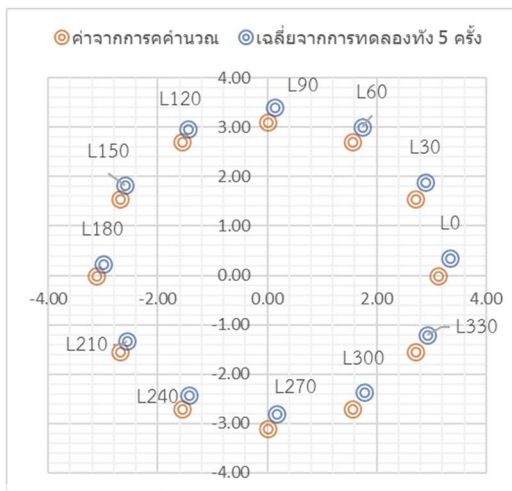
รูปที่ 4.8 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบแรก (1 kg วางตรงกลาง 5kg วางรอบนอก)

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 4.9 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบที่สอง (5kg วางตรงกลาง 1kg วางรอบนอก)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันที่ค่อนข้างเยอะอาจเกิดจากความผิดพลาดในการเซ็ตตำแหน่งในการวัดของเครื่อง

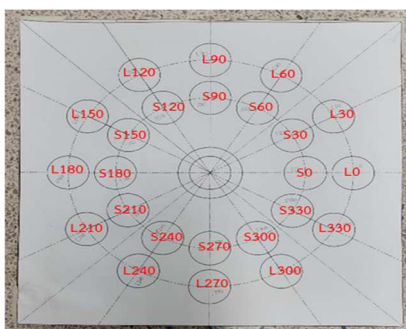


รูปที่ 4.10 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่ค่านวมได้แบบที่สาม (5kg วางตรงกลาง 1kg วางรอบนอก)

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันที่ค่อนข้างเยอะอาจเกิดจากความผิดพลาดในการเซ็ตตำแหน่งในการวัดของเครื่อง

4.3 การทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลม

ทำการวัดตำแหน่งโดยวางน้ำหนักไว้วงรอบนอกโดยการชั่งน้ำหนักโดยแบบนำลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมาวางไว้ตามตำแหน่งของแผ่นทดสอบ(ดังรูปที่ 4.11) เพียงอย่างเดียวทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ค่านวมได้จะได้ผลดังรูปดังตารางที่ 4.9 โดยการทดสอบนี้ต้องการผลที่คล้ายกับการทดสอบแบบ 9 จุดเพียงแต่ต้องการทราบตำแหน่งรอบๆบริเวณจุดที่ยืนในกรณีที่ผู้ทดสอบมีการทรงตัวที่ไม่ดีและมีการเปลี่ยนตำแหน่งของเท้า



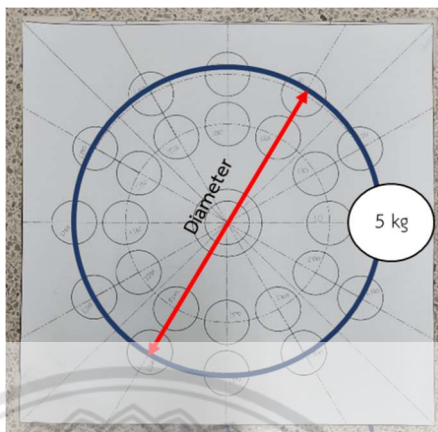
รูปที่ 4.11 แผ่นทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมและเอียงศูนย์

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดสอบของการวัดตำแหน่งรูปแบบวงกลมรอบด้านนอกที่มีเส้นรัศมี
จากจุดศูนย์กลาง 18.7 เซนติเมตรเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ (5kg วางรอบวงด้านนอก)

Section L	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่คำนวณได้	
	X (cm)	Y (cm)	SDX (cm)	SDY (cm)	X (cm)	Y (cm)
L0	18.62	0.262	0.197	0.186	18.70	0.00
L30	16.148	9.588	0.066	0.229	16.19	9.35
L60	9.116	16.074	0.354	0.310	9.35	16.19
L90	-0.284	18.244	0.116	0.143	0.00	18.70
L120	-9.556	15.558	0.131	0.151	-9.35	16.19
L150	-16.43	8.682	0.364	0.125	-16.19	9.35
L180	-18.166	-0.69	0.192	0.074	-18.70	0.00
L210	-16.034	-9.548	0.094	0.299	-16.19	-9.35
L240	-9.312	-16.472	0.348	0.137	-9.35	-16.19
L270	0.082	-18.334	0.208	0.474	0.00	-18.70
L300	9.45	-15.692	0.268	0.335	9.35	-16.19
L330	16.432	-9.076	0.206	0.221	16.19	-9.35

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดของ 5 kg วางรอบเทียบกับค่าที่ได้จากการ
คำนวณมีค่าที่แตกต่างกันไม่มากซึ่งค่าแตกต่างกันมากที่สุด ในแกน x คือ -0.534 เซนติเมตรและใน
แกน y คือ -0.498 เซนติเมตรส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจาก การที่ผู้ทดสอบวางก้อน
น้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมาก

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดของตารางที่ 4.9 มาคำนวณหาค่า diameter เปรียบเทียบกับค่าจริงจะได้ผลดังตารางที่ 4.10 และคำนวณขนาดของ diameter จะได้ดังรูปที่ 12

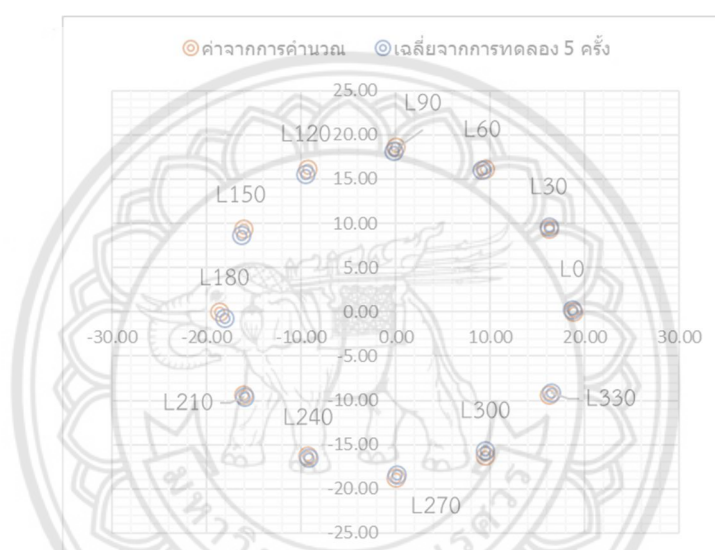


รูปที่ 4.12 รูปบอกขนาดของ diameter จากการคำนวณของ 5kg วางรอบวงด้านนอก ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่า diameter ที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง (5kg วางรอบวงด้านนอก)

Section	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่คำนวณได้		
	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)	X (cm)	Y (cm)	ขนาดของ diameter (cm)
L0-L180	36.79	0.95	36.798	37.40	0.00	37.4
L30-L210	32.18	19.14	37.442	32.39	18.70	37.4
L60-L240	18.43	32.55	37.401	18.70	32.39	37.4
L90-L270	-0.37	36.58	36.579	0.00	37.40	37.4
L120-L300	-19.01	31.25	36.576	-18.70	32.39	37.4
L150-L330	-32.86	17.76	37.353	-32.39	18.70	37.4
ค่าเฉลี่ยของ diameter			37.025			37.4

จากตารางที่ 4.10 เห็นได้ว่าค่า diameter ในแต่ละช่วงมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าที่แตกต่างกันมากที่สุดในแกน x คือ 0.470 เซนติเมตรแกน y คือ 0.950 เซนติเมตรและค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ diameter คือ -0.375 เซนติเมตรคิดเป็น 1.002 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีปัจจัยมาจาก การที่ผู้ทดสอบวางก้อนน้ำหนักที่ไม่ตรงกับตำแหน่งได้แบบแม่นยำ

เมื่อนำค่าการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่งแบบวงกลมที่อ่านได้และค่าที่คำนวณของทั้งสองแบบ(จากตารางที่ 4.9)มาพลอตในระนาบ x และ y จะได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจะแสดงค่าจากการคำนวณ (สีแดง) กับ ตำแหน่งที่วัดได้ (สีน้ำเงิน)



รูปที่ 4.13 รูปแสดงค่าจากผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้แบบแรก (5kg วางรอบ)

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าตำแหน่งจุดค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตำแหน่งจะมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย

4.4 การทดสอบหาค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแต่ละแบบ

แบบแรกทำการทดลองการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา(ดังรูปที่ 4.14) ของผู้ทดสอบทั้ง 3 คน โดยทดสอบคนละ 5 ครั้งและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาค่า COP distance, COP velocity และ PEA โดยการคำนวณจะใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีถึง 35 วินาที (โดยผลจะได้ดังตารางที่ 4.11) โดยที่ COP distance จะบอกถึงระยะการเคลื่อนตัวของจุด COP ทั้งหมด (cm), COP velocity คือความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนตัวของจุด COP (cm/s) และ PEA คือพื้นที่การเคลื่อนตัวของจุด COP (cm^2)



รูปที่ 4.14 การทดสอบการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา

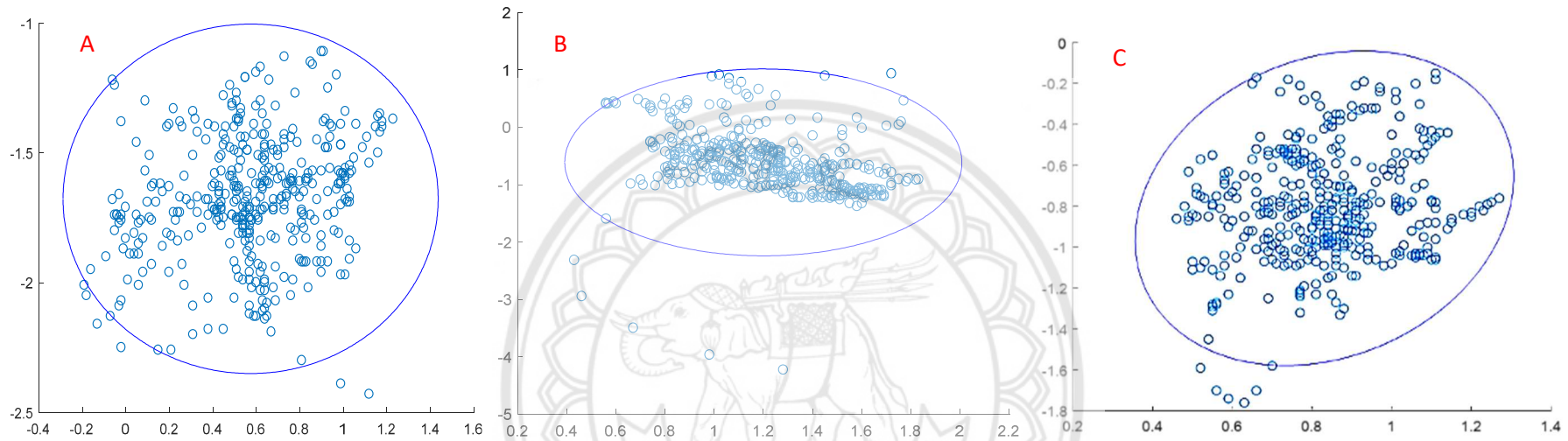
ตารางที่ 4.11 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา

คนที่	COP distance (cm)	SD of COP distance	COP velocity (cm/s)	SD of COP velocity	PEA (cm^2)	SD of COP PEA
1	15.618	3.165	0.521	0.106	6.808	0.822
2	18.862	4.987	0.629	0.166	11.250	2.460
3	10.563	1.436	0.352	0.048	4.272	2.319

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าของ COP distance, COP velocity และ PEA มีค่าความแปรผันที่ตามกันแบบเส้นตรงซึ่งหาก COP distance มีค่ามาก COP velocity และ PEA ก็จะมีค่ามากด้วยหาก COP distance มีค่าน้อย COP velocity และ PEA ก็จะมีค่าน้อยด้วย



ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนำพลอตในโปรแกรม matlab จะได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.15 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ที่วัดได้และวงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณของผู้ทดสอบคนที่ 1(A) ได้ค่า PEA 6.808, คนที่ 2(B) ได้ค่า PEA 11.250 และคนที่ 3(C) ได้ค่า PEA 4.272 ตามลำดับของการทดสอบการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาล้อมตา

จากรูปที่ 4.15 วงรีที่แสดงพื้นที่การคำนวณนั้นครอบคลุมจุด COP ได้มากกว่า 95% แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ของวงรีรอบจุดตำแหน่งของ COP (PEA) นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อย

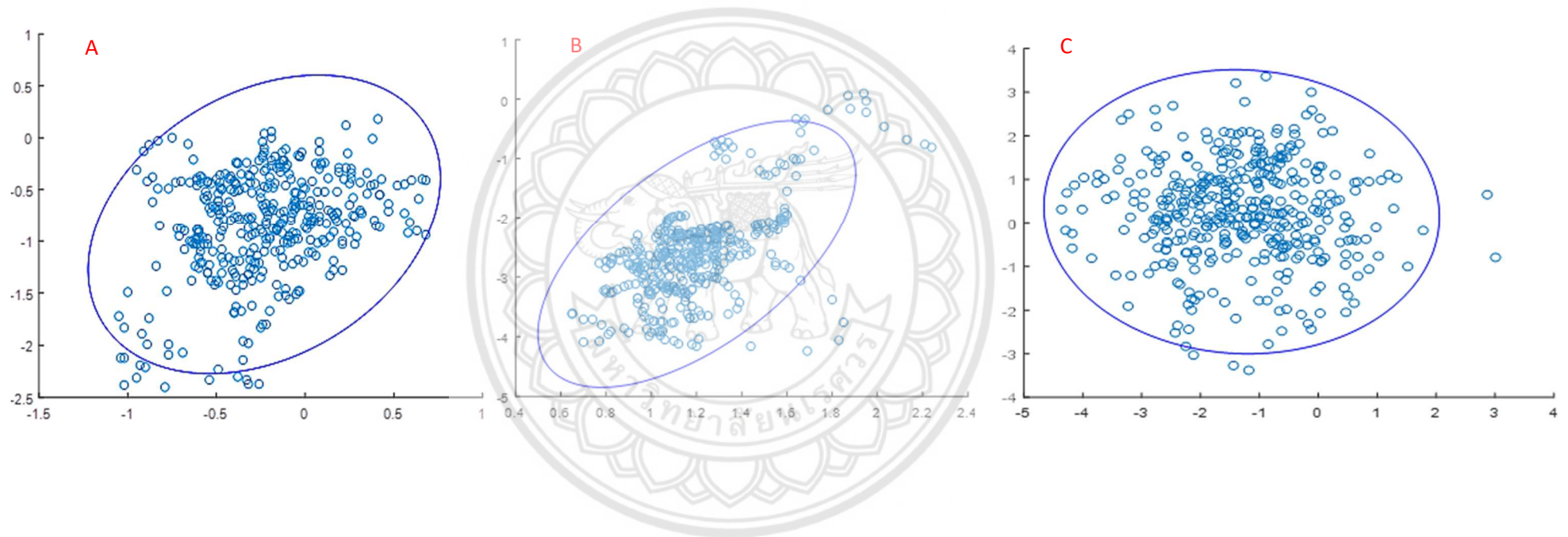
แบบที่ 2 ทำการทดลองการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาหลังลิ่มตาของผู้ทดสอบทั้ง 3 คนโดยทดสอบคนละ 5 ครั้งและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาค่า COP distance COP velocity และ PEA โดยการคำนวณจะใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีถึง 35 วินาที (โดยผลจะได้ดังตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาหลังตา

คนที่	COP distance (cm)	SD of COP distance	COP velocity (cm/s)	SD of COP velocity	PEA (cm ²)	SD of COP PEA
1	26.669	4.653	0.889	0.155	4.729	2.164
2	27.260	4.418	0.909	0.147	5.298	2.327
3	13.516	3.014	0.451	0.100	1.246	0.392

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าของ COP distance COP velocity และ PEA มีค่าความแปรผันตามกันแบบเส้นตรงซึ่งหาก COP distance มีค่ามาก COP velocity และ PEA ก็จะมีค่ามากด้วยหาก COP distance มีค่าน้อย COP velocity และ PEA ก็จะมีค่าน้อยด้วย

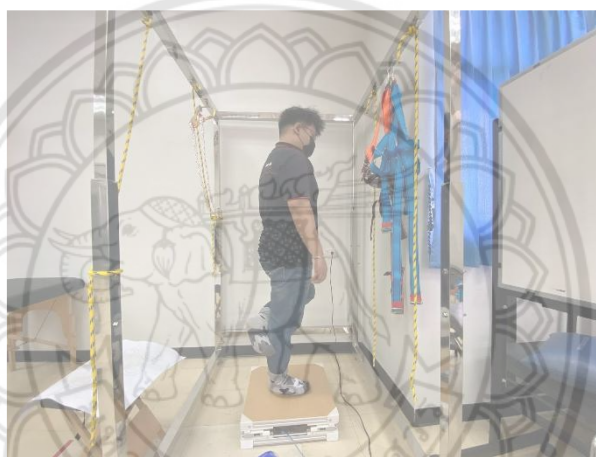
ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนำพลอตในโปรแกรม matlab จะได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 รูปการแสดงผลตำแหน่งของค่า COP ที่วัดได้และวงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณของผู้ทดสอบคนที่ 1(A) ได้ค่า PEA 27.025, คนที่ 2(B) ได้ค่า PEA 30.862 และคนที่ 3(C) ได้ค่า PEA 48.138 ตามลำดับของการทดสอบการยืนทรงตัวแบบ 2 ขาหลับตา

จากรูปที่ 4.16 วงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณนั้นครอบคลุมจุด COP ได้มากกว่า 95% แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ของวงรีรอบจุดตำแหน่งของ COP (PEA) นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อย

แบบที่ 3 ทำการทดลองการยืนทรงตัวแบบขาเดียวล้มตา(ดังรูปที่ 4.17) ของผู้ทดสอบทั้ง 3 คนโดยทดสอบคนละ 5 ครั้งและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาค่า COP distance COP velocity และ PEA โดยการคำนวณจะใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีถึง 35 วินาที (โดยผลจะได้ดังตารางที่ 4.13)



รูปที่ 4.17 การทดสอบการยืนทรงตัวแบบขาเดียวล้มตา

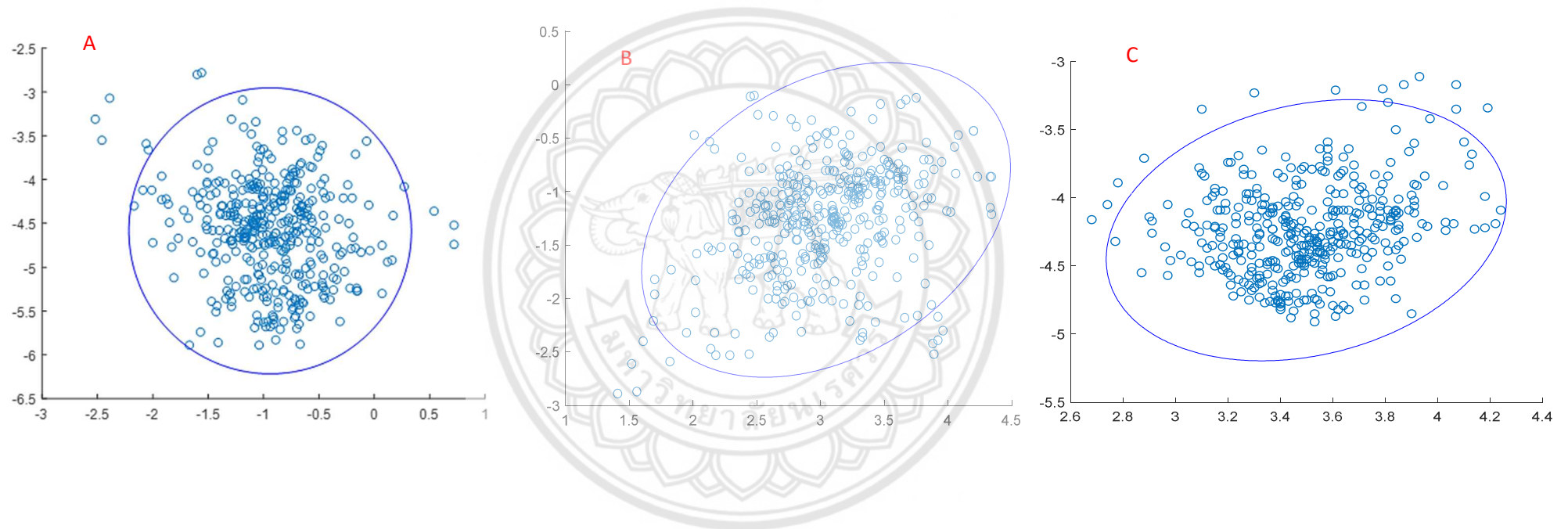
ตารางที่ 4.13 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบขาเดียวล้มตา

คนที่	COP distance (cm)	SD of COP distance	COP velocity (cm/s)	SD of COP velocity	PEA (cm ²)	SD of COP PEA
1	55.714	7.255	1.857	0.242	6.709	0.650
2	54.402	6.700	1.813	0.223	6.553	1.302
3	51.711	18.870	1.724	0.629	5.476	2.656

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่าของ COP distance COP velocity และ PEA มีค่าความแปรผันที่ตามกันแบบเส้นตรงซึ่งหาก COP distance มีค่ามาก COP velocity และ PEA ก็จะมีค่ามากด้วยหาก COP distance มีค่าน้อย COP velocity และ PEA ก็จะมีค่าน้อย



ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนำพลอตในโปรแกรม matlab จะได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ที่วัดได้และวงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณของผู้ทดสอบคนที่ 1(A) ได้ค่า PEA 6.709, คนที่ 2(B) ได้ค่า PEA 6.553 และคนที่ 3(C) ได้ค่า PEA 5.476 ตาลำดับของการทดสอบการยืนทรงตัวแบบขาเดียวล้มตา

จากรูปที่ 4.18 วงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณนั้นครอบคลุมจุด COP ได้มากกว่า 95% แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ของวงรีรอบจุดตำแหน่งของ COP (PEA) นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อย

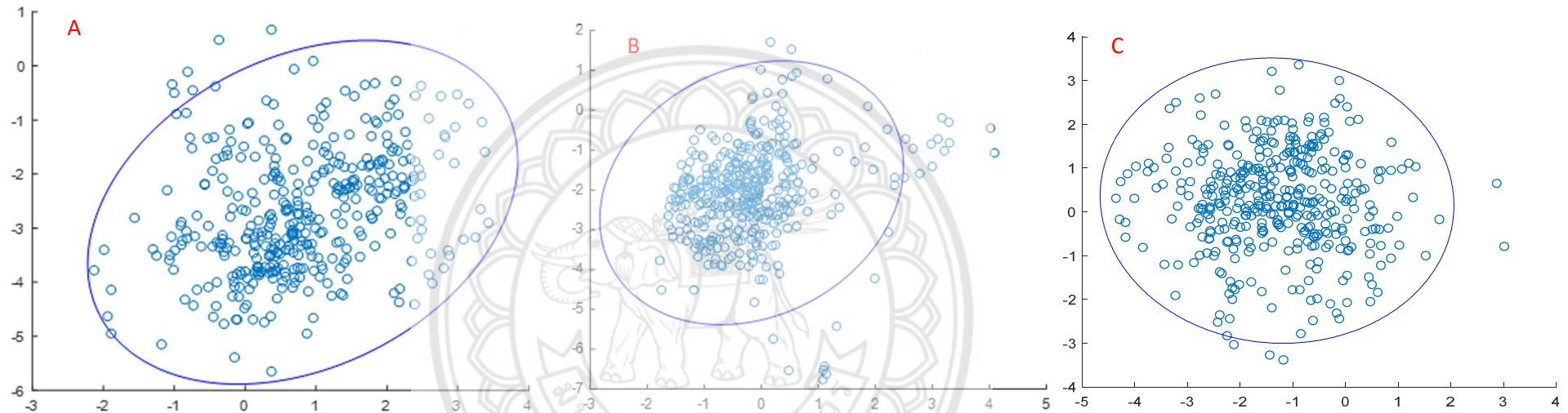
แบบที่ 4 ทำการทดลองการยืนทรงตัวแบบขาเดียวหลังตาของผู้ทดสอบทั้ง 3 คนโดยทดสอบคนละ 5 ครั้งและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาค่า COP distance COP velocity และ PEA โดยการคำนวณจะใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีถึง 35 วินาที (โดยผลจะได้ดังตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14 ตารางผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของการยืนทรงตัวแบบขาเดียวหลังตา

คนที่	COP distance (cm)	SD of COP distance	COP velocity (cm/s)	SD of COP velocity	PEA (cm ²)	SD of COP PEA
1	120.317	41.227	4.011	1.374	27.025	7.990
2	118.079	11.974	3.936	0.399	30.862	7.562
3	197.870	44.849	6.596	1.495	48.138	19.825

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าของ COP distance COP velocity และ PEA มีค่าความแปรผันที่ตามกันแบบเส้นตรงซึ่งหาก COP distance มีค่ามาก COP velocity และ PEA ก็จะมีค่ามากด้วยหาก COP distance มีค่าน้อย COP velocity และ PEA ก็จะมีค่าน้อยด้วย

ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนำพลอตในโปรแกรม matlab จะได้ดังรูปที่ 4.19

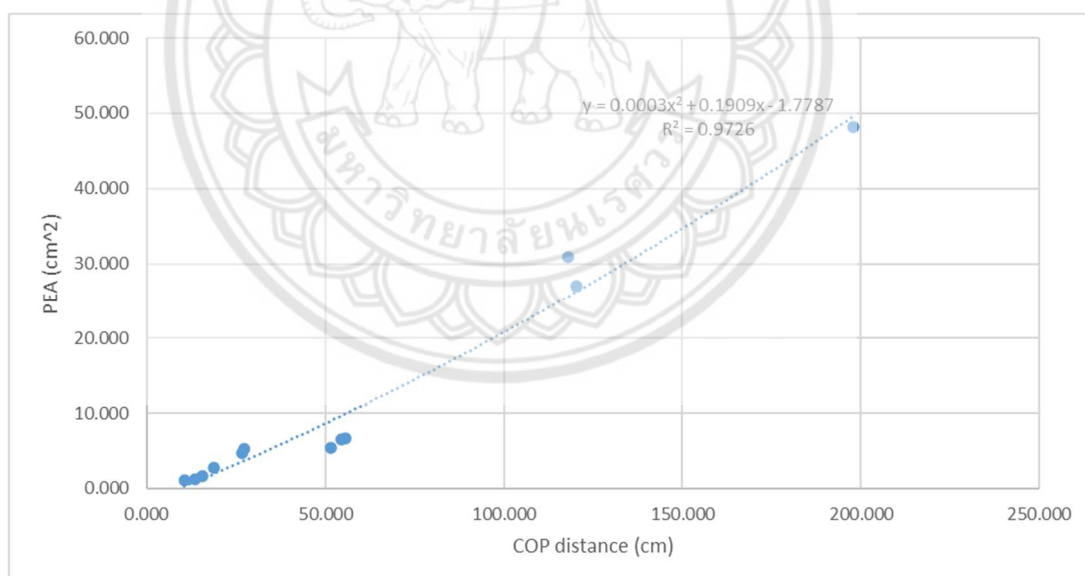


รูปที่ 4.19 รูปการแสดงตำแหน่งของค่า COP ที่วัดได้และวงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณของผู้ทดสอบคนที่ 1(A) ได้ค่า PEA 27.025, คนที่ 2(B) ได้ค่า PEA 30.862 และคนที่ 3(C) ได้ค่า PEA 48.138 ตามลำดับของการทดสอบการยืนทรงตัวแบบขาเดียวหลังตา

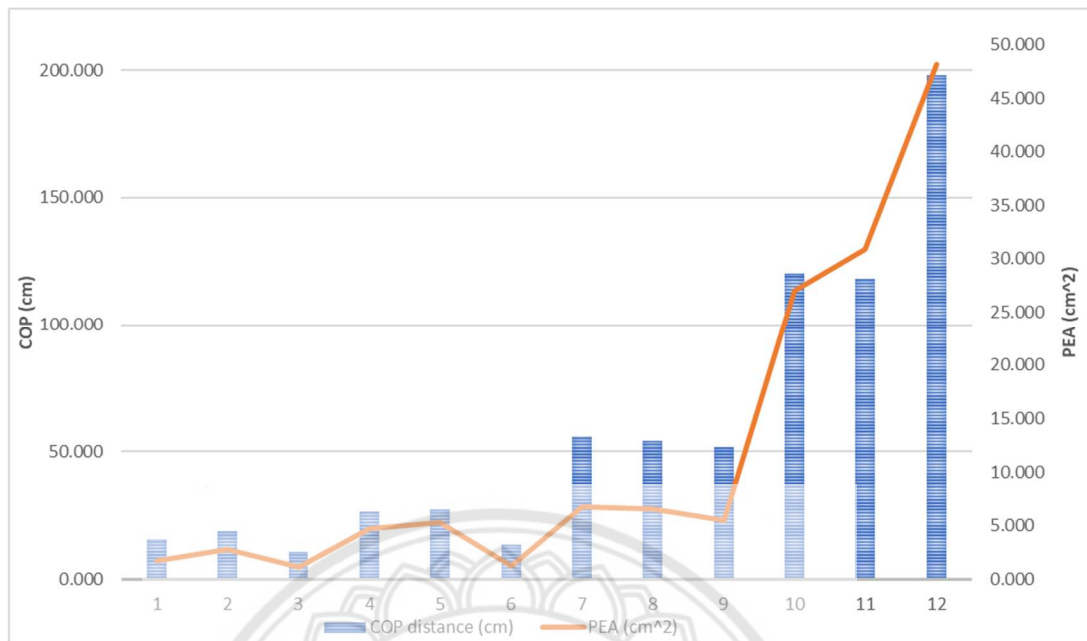
จากรูปที่ 4.19 วงกลมที่แสดงพื้นที่การคำนวณนั้นครอบคลุมจุด COP ได้มากกว่า 95% แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ของวงรีรอบจุดตำแหน่งของ COP (PEA) นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อย

จากผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบทั้ง 4 แบบการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ย COP distance, COP velocity และ PEA ของการทดสอบการยืนทรงตัวขาเดียวแบบหลังตานั้นมีค่าที่มากที่สุด เนื่องจากการยืนการยืนแบบขาเดียวหลังตานั้นต้องอาศัยความมั่นคงในการทรงตัวที่สูงมากลงมา เป็น การทดสอบแบบขาเดียวล้มตา การทดสอบแบบ 2 ขาหลังตาและการทดสอบแบบ 2 ขาล้มตา ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COP distance กับ PEA ดังรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นโค้ง Polynomial ลำดับที่ 2 โดยมีค่า $R^2 = 0.9726$ ได้สมการเท่ากับ $y = 0.0003x^2 + 0.1909x - 1.7787$ สังเกตจากกราฟแห่ง PEA จะเพิ่มขึ้นตาม COP distance ยกเว้นที่จุดที่ 11 ข้อมูลหลุดออกจากกลุ่มค่า PEA จึงขยายตาม การทดลองที่ 11 นั้นเป็นการยืนขาเดียวหลังตาอาจเกิดจากการทดลองมีการทรงตัวที่ไม่ดีหรือขณะนั้นกำลังจะล้ม จะแสดงให้เห็นว่าค่า COP distance มีความเสถียรกว่า PEA ดังรูปที่ 4.21 ทั้งนี้อาจใช้สมการ Polynomial ลำดับที่ 1 ก็ได้แต่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมต่อไป



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง COP distance กับ PEA



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง COP distance กับ PEA



บทที่ 5

บทสรุป

โครงการนี้เป็นการพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว ให้มีความแม่นยำในการวัด ในการยืนทรงตัว และสามารถนำมาวิเคราะห์ผล และทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือโดยการวัดซ้ำในการทดลอง และทดสอบการยืนทรงตัว แบบสองขา ลืมตา, แบบสองขา หลับตา, ยืนขาเดียวแบบลืมตา, ยืนขาเดียวแบบหลับตา กับอาสาสมัครชาย อายุระหว่าง 21-23 ปี จำนวน 3 คน

ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว และทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดตำแหน่ง x, y อยู่ในระดับที่ดีและสามารถใช้โปรแกรม LabVIEW วิเคราะห์ผลออกมาในระดับที่ดี เมื่อมีการเคลื่อนไหว กราฟใน LabVIEW จะมีผลตอบสนอง และบอกตำแหน่งได้แม่นยำ ในการทดสอบความแม่นยำ มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.524 เซนติเมตรโดยใช้มวล 1 กิโลกรัมในการทดสอบ และความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.382 เซนติเมตรโดยใช้มวล 5 กิโลกรัมในการทดสอบ ในการทดสอบความแม่นยำแบบเอียงศูนย์จะทดลอง 2 แบบ โดยแบบแรกนำก้อนน้ำหนัก 1 กิโลกรัมไว้ตรงกลาง 5 กิโลกรัมวางไว้รอบวงนอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ Diameter เท่ากับ 0.091 เซนติเมตร คิดเป็น 0.292 เปอร์เซ็นต์ แบบที่สอง นำก้อนน้ำหนัก 5 กิโลกรัมวางไว้ตรงกลาง 1 กิโลกรัมไว้รอบวงนอกพบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ Diameter เท่ากับ 0.038 เซนติเมตร คิดเป็น 0.912 เปอร์เซ็นต์ และในการทดสอบความแม่นยำแบบวงกลม (โดยใช้ก้อนน้ำหนัก 5 กิโลกรัมในการทดสอบ) พบว่ามีค่าเฉลี่ยความแตกต่าง Diameter เท่ากับ -0.375 เซนติเมตร คิดเป็น 1.002 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองข้างต้นพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่อุปกรณ์วัดได้มีค่าเพียงเล็กน้อย

ในการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 3 พบว่าการทดสอบในรูปแบบหลับตามีค่า COP Distance มากกว่าการทดสอบแบบลืมตา เนื่องจากการยืนหลับตาจะทรงตัวได้ยากลำบากกว่าการยืนลืมตาทำให้การทรงตัวแบบหลับไม่ตีทำให้ค่า COP Distance ของการยืนหลับตาเยอะ โดยในการทดสอบพบว่าค่า COP Distance ของระยะทางในการเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับค่า PEA ที่สนใจเรื่องของพื้นที่ที่ครอบคลุมจุดของข้อมูล พบว่ามีความสอดคล้องกันแบบสมการกำลังสอง ทั้งนี้จะมีบางจุดที่

ข้อมูลจะหลุดไปเพราะการหาพื้นที่แบบ PEA ค่อนข้างไวทำให้ข้อมูลหลุดออกไปจากกลุ่ม แต่โดยรวมแล้วข้อมูลมีความสอดคล้องกัน

ชุดอุปกรณ์สำหรับประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัวมีศักยภาพในการต่อยอดไปในทางการแพทย์ เช่น คลินิก โรงพยาบาล อย่างไรก็ตามหากมีการปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถแสดงผลต่างๆเช่น ค่า PEA, ค่า errorเทียบกับแกน Horizontal และ Vertical เป็นต้น

ข้อจำกัดของงานวิจัย

- โปรแกรมที่ใช้อยู่มีปัญหาอยู่บ้างในการส่งสัญญาณผ่าน RX232 ทำให้บางครั้งทำให้ข้อมูลหลุดออกไปจากกลุ่ม แต่เกิดขึ้นไม่มาก
- มีสัญญาณรบกวนที่อาจทำให้ค่าที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย
- แผ่นอะคริลิกที่ใช้รับแรงมีความหนาที่ไม่พอดี

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งใหม่

- ปรับปรุงโปรแกรม ระบบโปรแกรมในการวัดน้ำหนัก และ วัดระยะพิกัด x y ให้แม่นยำมากขึ้นกว่าเดิม
- เปลี่ยนชุดตัววงจรขยายสัญญาณให้ตอบสนองเร็วขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัชวาลย์ พงศ์เจริญสุข. (2551). **เตียงชั่งน้ำหนัก**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- [2] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. (6 มีนาคม 2563). **ThaiEasyElec**. เรียกใช้เมื่อ 6 มีนาคม 2563 จาก <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module.html>
- [3] บุรวลัย ผลมั่ง. (2547). **ความน่าเชื่อถือของการวัดระยะทางการแกว่งของจุดศูนย์กลางแรงกดขณะยืนขาเดียว (Reliability of center of pressure distance sway measurement during one-legged stance)**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักงานวิทยทรัพยากร.
- [4] ภาณุพงศ์ คงประเสริฐ, พิชามณูช บัญประกอบ, ศุภลักษณ์ ศรีสมบัติ, และ พรเทพ แจ็กคา. (2556). **การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพมหานคร.
- [5] มานะ ศรีวิรัตน์. (2552). **การพัฒนาเครื่องฝึกการทรงตัวโดยใช้เกมส์คอมพิวเตอร์สำหรับผู้สูงอายุและผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการทรงตัว (Development of a computerized game-based balance machine for elderly and patients with balance problems)**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักงานวิทยทรัพยากร.
- [6] วีรเกียรติ พันธุมะโอภาส. (2558). **การเปรียบเทียบความสามารถของการทรงตัวระหว่างในสภาวะปกติและในสภาวะอดนอนโดยใช้วี้อ์บาลานซ์บอร์ด (A COMPARISON OF BODY BALANCE CAPACITIES BETWEEN IN NORMAL CONDITION AND IN SLEEP DEPRIVATION USING WII BALANCE BOARD)**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักงานวิทยทรัพยากร.

- [7] สมลักษณ์ เพ็ชรมานะกิจ. (2017, June-August). ภาพภาพบำบัด. ความสามารถในการทรงตัวของผู้สูงอายุในชุมชนอำเภออัมพวา. 39(2): 1-84.
- [8] สุคนธ์ แสงสุข. (2533). การศึกษาระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในกรุงเทพมหานคร (A study of height level of the body's center of gravity of the upper secondary school students, Bangkok Metropolis). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักงานวิทยทรัพยากร.
- [9] Brad hubbard, B. M.-H. (2012). A Portable, low-cost system for posturography: A platform for longitudinal balance telemetry. *journal of Otolaryngology-head Neck Surgery*, s31-s35.
- [10] Marietta, K., & Patric, S. (2014). Gait & Posture. Ellipse area calculations and their applicability in posturography. 39(1). 518-522.
- [11] Nushin , S., Yones, L., Amir , K. H., Parisa , A. J., & Enayatollah , B. (2018). Investigating Static Balance Control in 4 to 60-Year-Old Children by Pediatric Clinical Test of Sensory Interaction for Balance (Vol. 16). Tehran: University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.
- [12] Paweena, P. (2004). การทรงตัวในทำขึ้นของเด็กไทยเมื่อทดสอบด้วย Pediatric clinical test of sensory interaction for balance, การยืนขาเดียวและการเดินต่อเท้าแบบแทนเต็ม. Thesis, M.Sc., Mahidol University.
- [13] Pérez-Fernández, J. R.-M. (2016). Open source posturography. *Acta Oto-Laryngologica*, 1225-1229.
- [14] Prieto, T. E. (1996). Measures of Postural Steadiness: Differences Between Healthy Young and Elderly Adults. IEEE TRANSACTION ON BIOMEDICAL ENGINEERING, 956.



ภาคผนวก ก

การทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบจุด 9 จุดของมวลน้ำหนัก 1 kg

จุดที่	การทดลองครั้งที่									
	ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4		ครั้งที่5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	-12.52	12.41	-12.7	12.6	-12.73	12.53	-12.53	12.44	-12.62	12.51
2	0.13	12.58	0.11	12.62	-0.02	12.56	0.23	12.5	0.17	12.51
3	12.74	12.77	12.84	12.79	12.73	12.71	12.86	12.71	12.81	12.83
4	-12.53	0.04	-12.47	0.16	-12.75	0.04	-12.5	0.08	-12.52	0.1
5	0.29	0.36	0.3	0.36	0	0.16	0.19	0.3	0.09	0.31
6	13.1	0.7	13.01	0.42	12.47	0.47	12.95	0.5	12.85	0.53
7	-12.31	-12.05	-12.53	-12.33	-13.1	-12.3	-12.5	-12.27	-12.63	-12.23
8	0.41	-11.93	0.17	-12.14	-0.33	-12.15	0.29	-12.13	0.02	-12.11
9	12.94	-11.68	12.94	-11.89	12.4	-12.04	12.84	-12.03	12.76	-11.94

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบจุด 9 จุดของมวลน้ำหนัก 5 kg

จุด	การทดลองครั้งที่									
	ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4		ครั้งที่5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	-12.59	12.41	-12.62	12.41	-12.67	12.45	-12.69	12.51	-12.64	12.37
2	0.14	12.53	0.12	12.48	0.12	12.55	0.12	12.52	0.05	12.4
3	12.83	12.74	12.84	12.72	12.87	12.77	12.76	12.72	12.89	12.56
4	-12.55	0.05	-12.49	0.02	-12.48	0.09	-12.53	-0.04	-12.69	-0.15
5	0.15	0.21	0.16	0.21	0.25	0.18	0.04	0.22	0.14	-0.01
6	12.94	0.42	12.95	0.4	12.95	0.38	12.69	0.44	12.88	0.19
7	-12.64	-12.46	-12.59	-12.4	-12.71	-12.53	-12.73	-12.62	-12.67	-12.66
8	0.05	-12.28	0.16	-12.2	0.13	-12.29	0.07	-12.43	0.22	-12.49
9	12.85	-12.18	12.88	-12.06	13.01	-12.25	12.93	-12.38	12.94	-12.31

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบวงกลมโดยใช้มวล 5 kg

ทำมุม	การทดลองครั้งที่									
	ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4		ครั้งที่5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	18.78	0.37	18.88	0.43	18.53	0.07	18.46	0.39	18.45	0.05
30	16.12	9.78	16.19	9.48	16.22	9.25	16.05	9.63	16.16	9.8
60	8.8	16.34	9.49	16.45	9.33	15.92	8.68	15.71	9.28	15.95
90	-0.15	18.11	-0.19	18.32	-0.32	18.22	-0.32	18.12	-0.44	18.45
120	-9.4	15.7	-9.51	15.38	-9.51	15.65	-9.75	15.41	-9.61	15.65
150	-16.29	8.78	-16.51	8.66	-16	8.58	-16.99	8.84	-16.36	8.55
180	-18.01	-0.6	-18.35	-0.65	-18.13	-0.8	-17.96	-0.7	-18.38	-0.7
210	-16.14	-9.31	-16.01	-9.58	-16.09	-9.83	-16.04	-9.84	-15.89	-9.18
240	-9.52	-16.38	-9.25	-16.61	-8.75	-16.29	-9.39	-16.49	-9.65	-16.59
270	0.34	-17.85	0.11	-17.9	-0.05	-18.28	0.2	-18.81	-0.19	-18.83
300	9.51	-15.66	9.72	-15.61	9.01	-16.26	9.58	-15.55	9.43	-15.38
330	16.64	-8.85	16.19	-9.15	16.65	-8.88	16.38	-9.11	16.3	-9.39

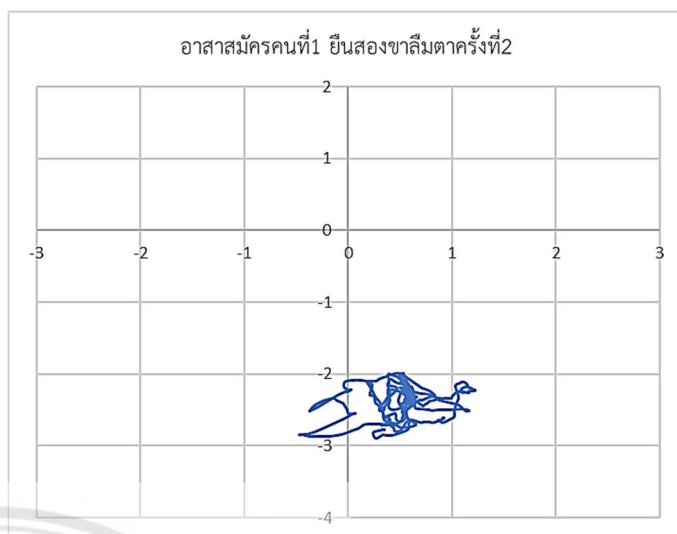
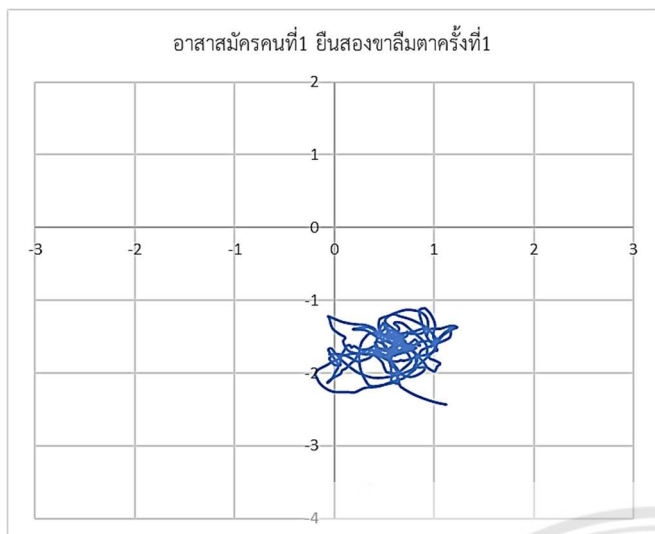
ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบเยื้องศูนย์โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นมวล 1kg และมวล5 kg วางเป็นวงกลม (วงกลมด้านใน รัศมี12.50 เซนติเมตร)

ท่ามุม	การทดลองครั้งที่									
	ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4		ครั้งที่5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	2.33	0.33	2.29	0.3	2.29	0.35	2.18	0.38	2.32	0.34
30	2	1.36	2.02	1.36	2	1.36	1.89	1.41	2.02	1.37
60	1.22	2.13	1.19	2.09	1.23	2.1	1.11	2.13	1.22	2.12
90	0.15	2.41	0.13	2.36	0.15	2.36	0.04	2.41	0.16	2.38
120	-0.91	2.12	-0.93	2.07	-0.91	2.07	-1.03	2.11	-0.89	2.08
150	-1.68	1.36	-1.68	1.32	-1.67	1.3	-1.79	1.34	-1.66	1.32
180	-1.95	0.29	-1.98	0.27	-1.93	0.24	-2.05	0.29	-1.93	0.07
210	-1.72	-0.75	-1.68	-0.77	-1.65	-0.79	-1.77	-0.74	-1.63	-0.78
240	-0.91	-1.5	-0.92	-1.52	-0.89	-1.54	-1	-1.49	-0.87	-1.52
270	0.15	-1.75	0.17	-1.78	0.17	-1.82	0.06	-1.74	0.18	-1.79
300	1.21	-1.48	1.21	-1.49	1.25	-1.52	1.13	-1.46	1.24	-1.48
330	2	-0.71	1.99	-0.71	2.01	-0.75	1.91	-0.7	2.03	-0.73

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบการวัดความแม่นยำแบบเอียงศูนย์โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นมวล 1kg และมวล 5 kg วางเป็นวงกลม (วงกลมด้านนอก รัศมี 18.70 เซนติเมตร)

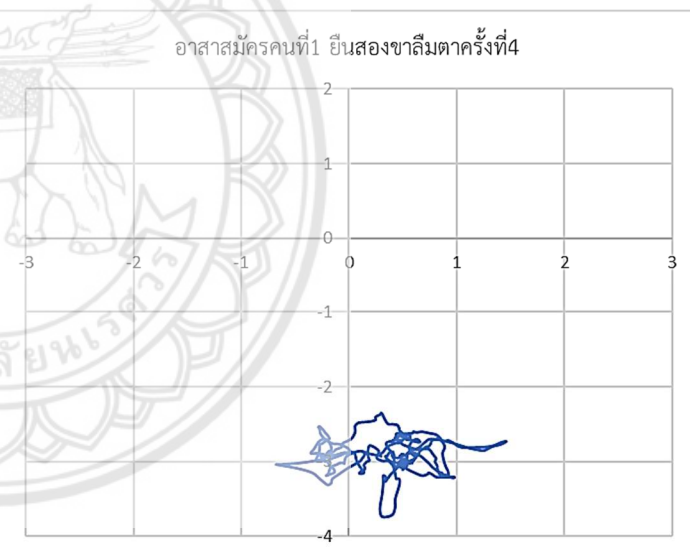
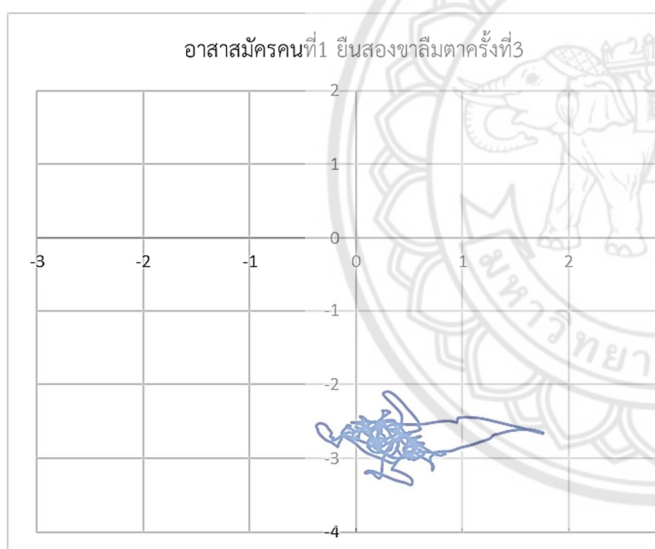
ท่ามุม	การทดลองครั้งที่									
	ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4		ครั้งที่5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	3.34	0.32	3.37	0.36	3.36	0.37	3.31	0.36	3.3	0.38
30	2.92	1.89	2.93	1.91	2.9	1.9	2.87	1.87	2.85	1.92
60	1.76	2.99	1.77	3.03	1.74	3.04	1.71	2.99	1.7	3.02
90	0.16	3.39	0.16	3.42	0.12	3.42	0.13	3.4	0.09	3.42
120	-1.42	2.95	-1.43	2.99	-1.44	2.98	-1.48	2.96	-1.5	2.98
150	-2.58	1.8	-2.56	1.85	-2.59	1.83	-2.61	1.81	-2.63	1.85
180	-2.98	0.21	-2.99	0.25	-2.99	0.25	-3.02	0.22	-3.04	0.26
210	-2.54	-1.35	-2.55	-1.31	-2.54	-1.32	-2.6	-1.33	-2.62	-1.31
240	-1.4	-2.46	-1.4	-2.4	-1.4	-2.42	-1.45	-2.42	-1.46	-2.42
270	0.18	-2.85	0.2	-2.79	0.19	-2.8	0.13	-2.81	0.12	-2.81
300	1.79	-2.41	1.82	-2.34	1.77	-2.36	1.71	-2.4	1.73	-2.37
330	2.94	-1.24	2.96	-1.19	2.94	-1.2	2.9	-1.23	2.88	-1.22





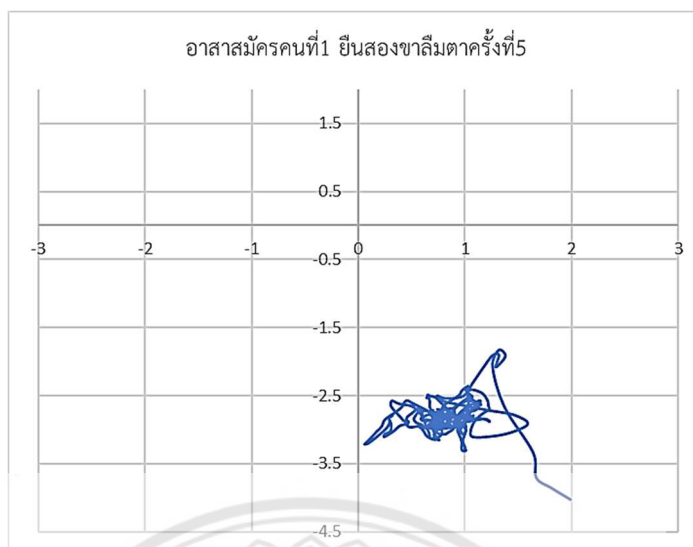
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOP ของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่1

รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOP ของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่2



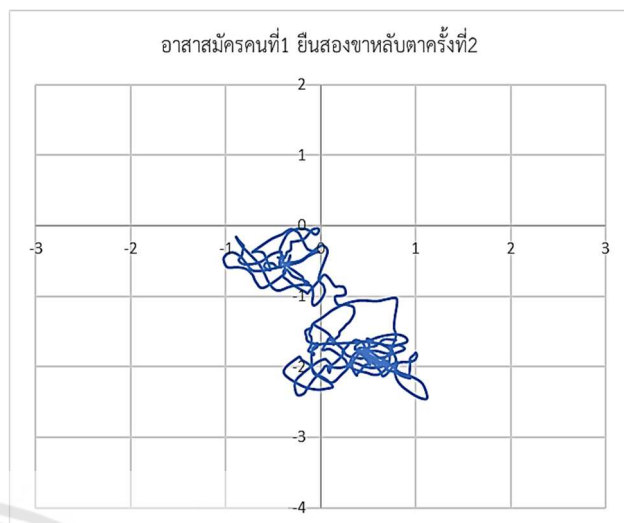
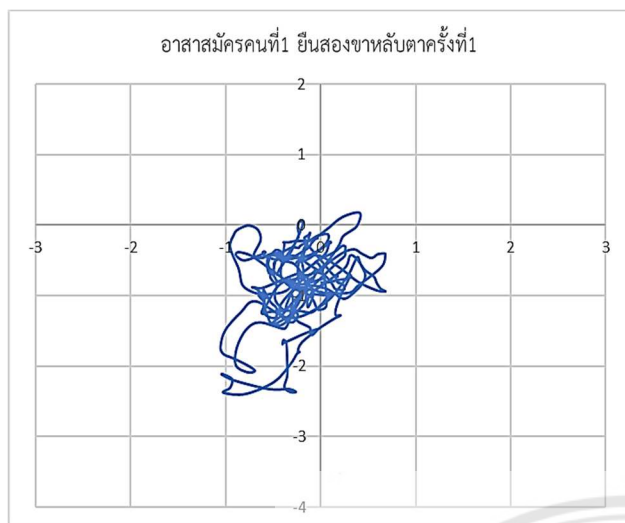
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOP ของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่3

รูปที่ ข.4 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOP ของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่4



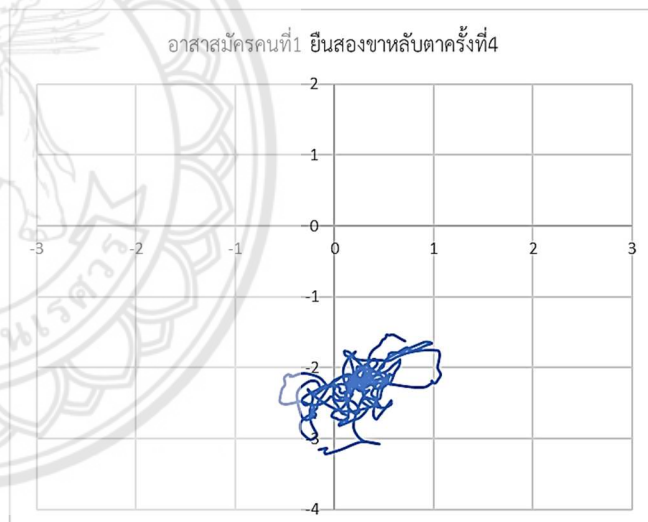
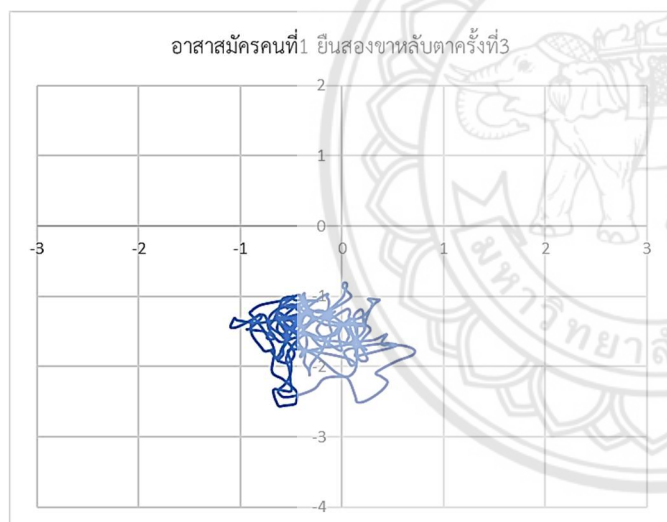
รูปที่ ข.5 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOP ของอาสาสมัคร
คนที่1 ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่5





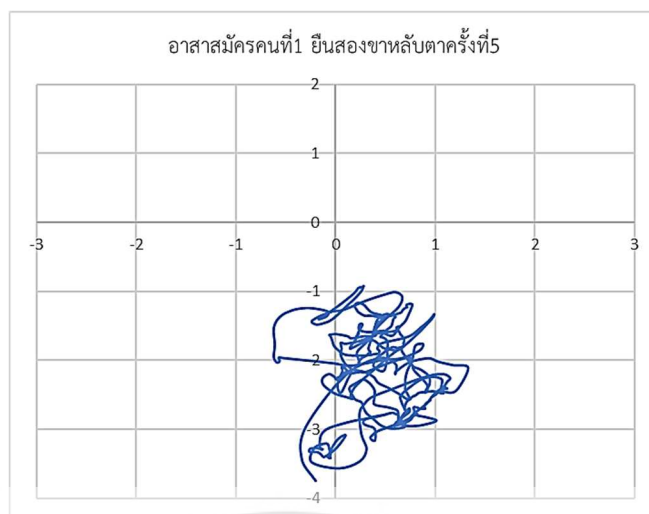
รูปที่ ข.6 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่1

รูปที่ ข.7 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่2



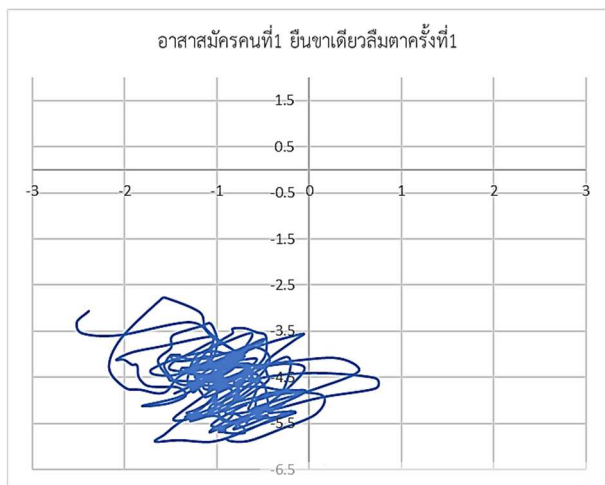
รูปที่ ข.8 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่3

รูปที่ ข.9 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่4

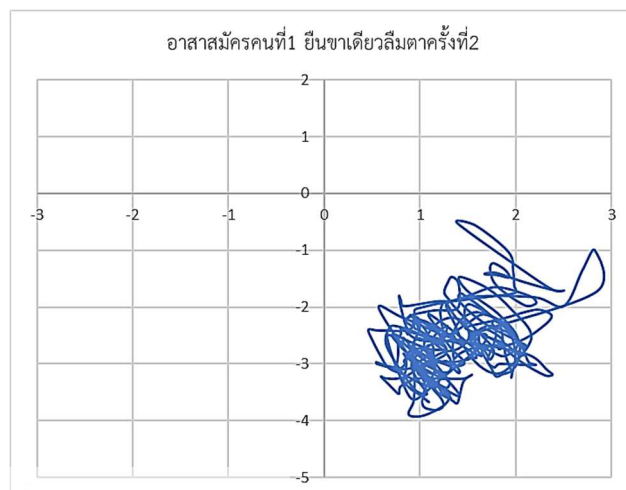


รูปที่ ข.10 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนสองขาหลังตาครั้งที่5

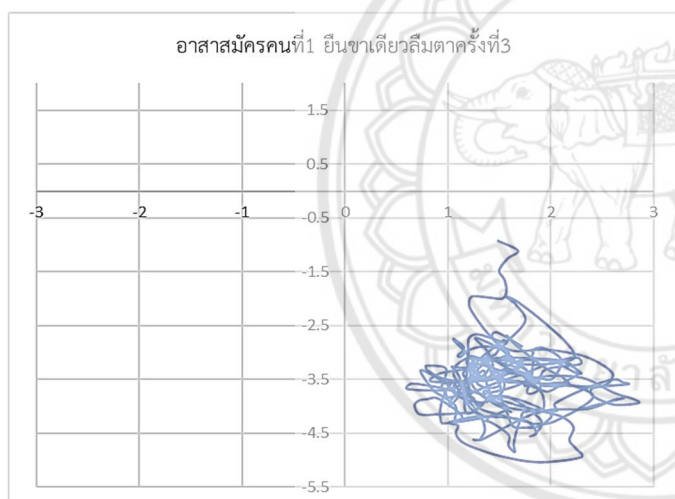




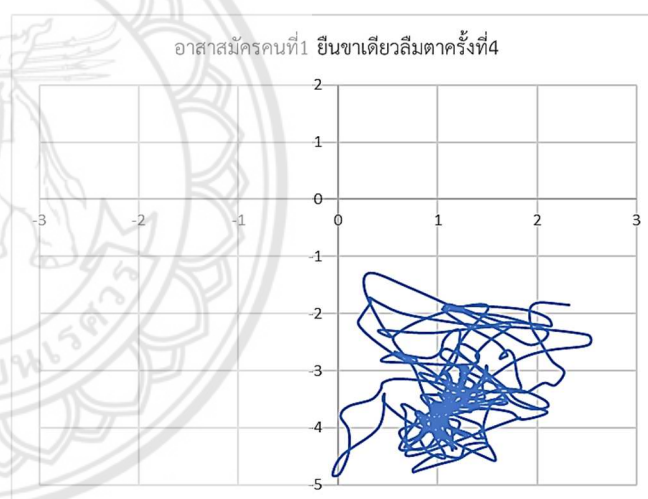
รูปที่ ข.11 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของ
อาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่1



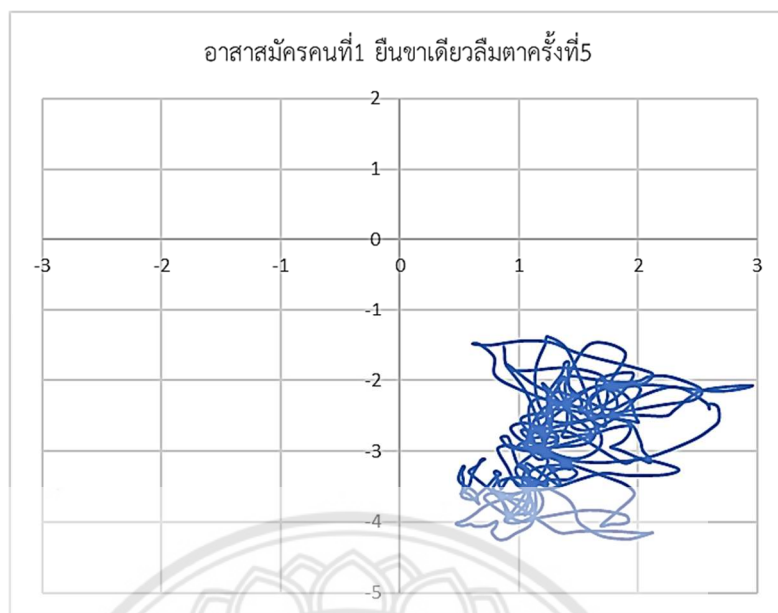
รูปที่ ข.12 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัคร
คนที่1 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่2



รูปที่ ข.13 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของ
อาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่3



รูปที่ ข.14 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัคร
คนที่1 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่4



รูปที่ ข.15 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1
ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่5

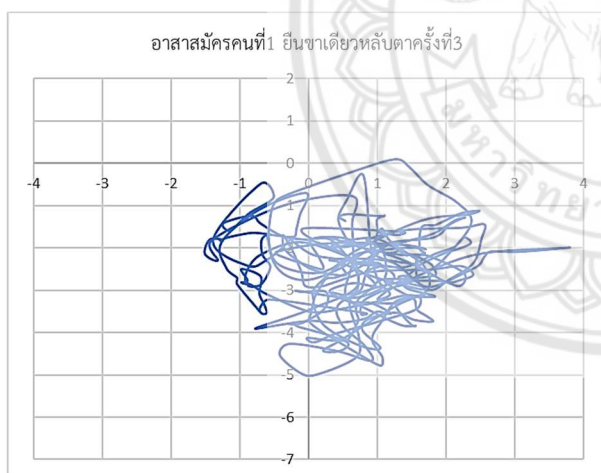




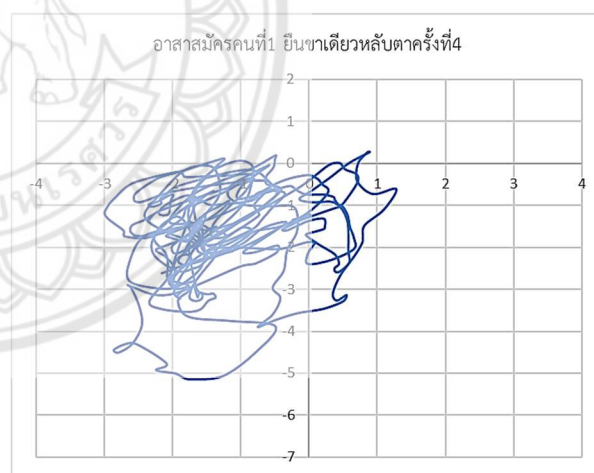
รูปที่ ข.16 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่1



รูปที่ ข.17 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่2



รูปที่ ข.18 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่3

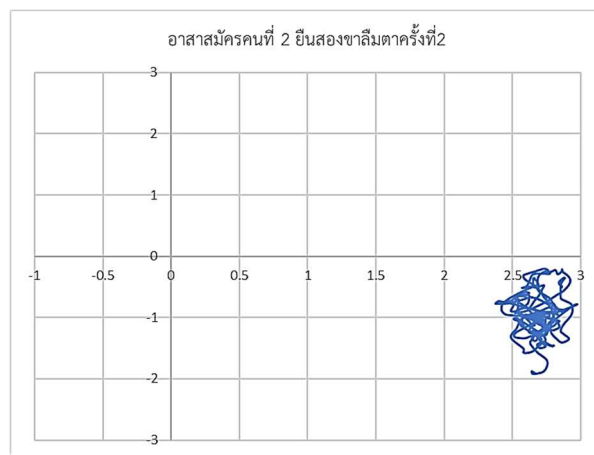
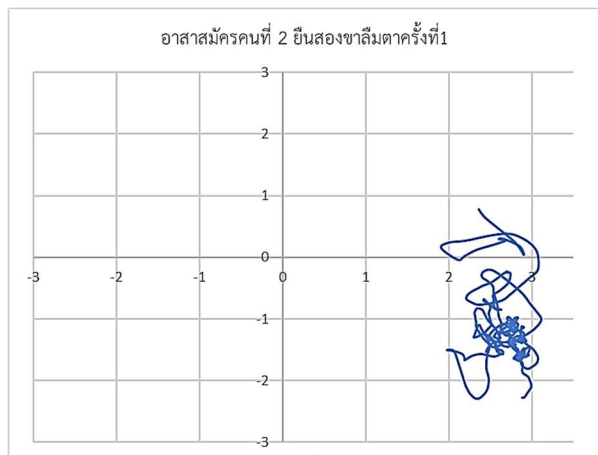


รูปที่ ข.19 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่4



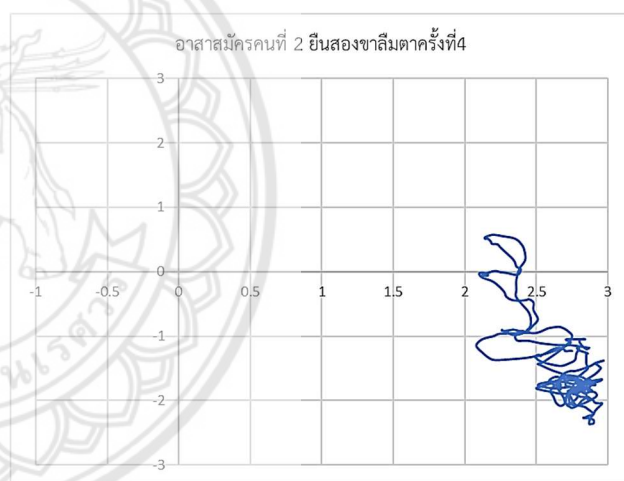
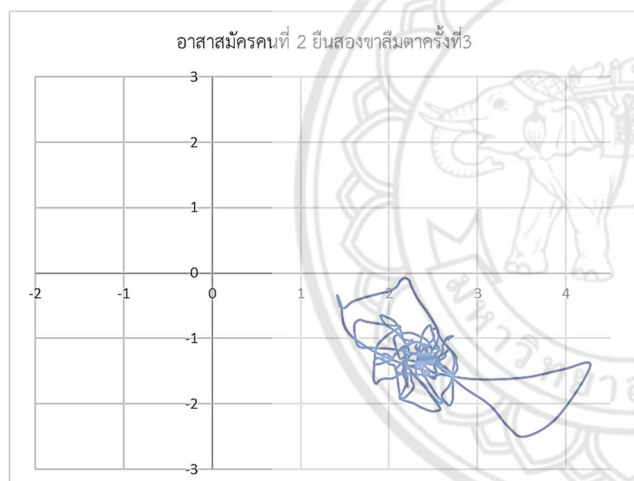
รูปที่ ข.20 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่1
ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่5





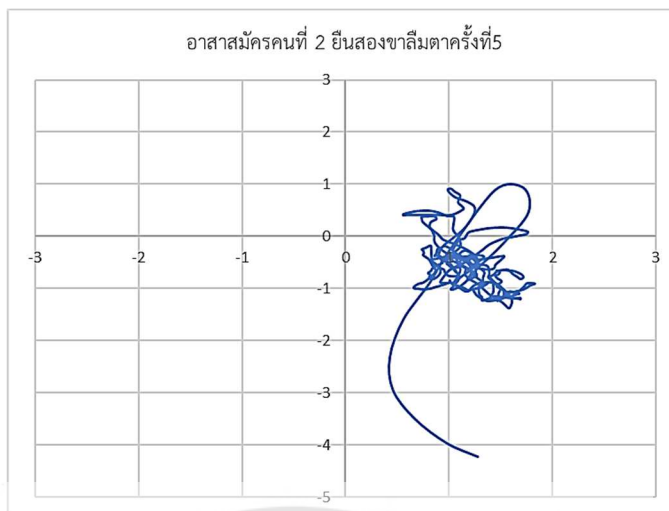
รูปที่ ข.21 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขา ล้มตาครั้งที่1

รูปที่ ข.22 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขา ล้มตาครั้งที่2



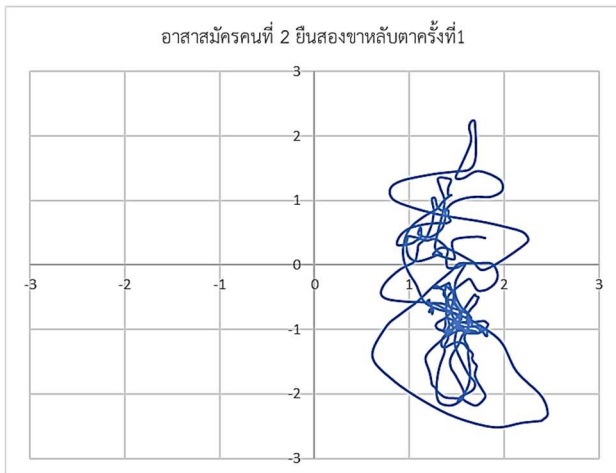
รูปที่ ข.23 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขา ล้มตาครั้งที่3

รูปที่ ข.24 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขา ล้มตาครั้งที่4

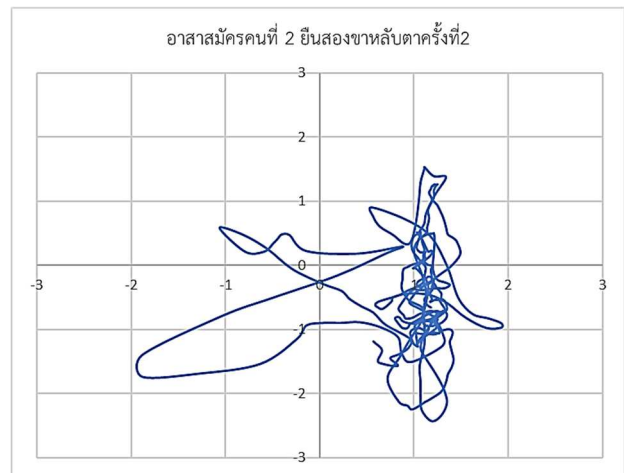


รูปที่ ข.25 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2
ในการยืนสองขาล้มตาครั้งที่ 5

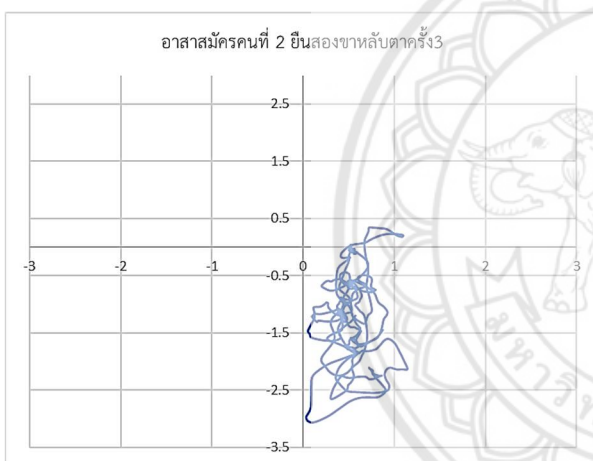




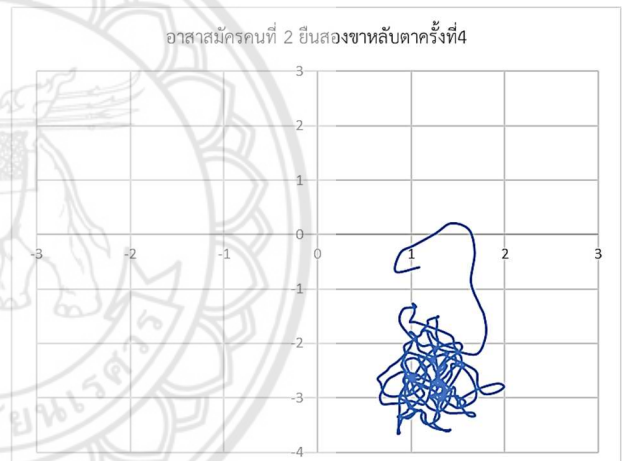
รูปที่ ข.26 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่1



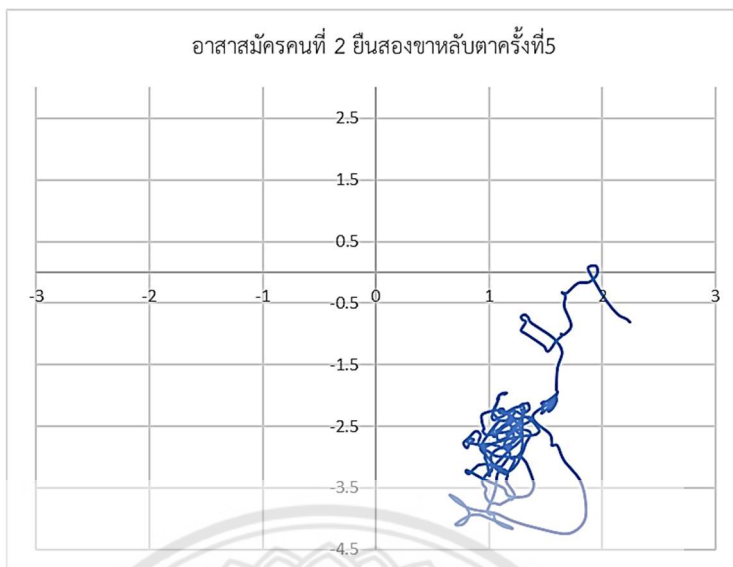
รูปที่ ข.27 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่2



รูปที่ ข.28 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่3



รูปที่ ข.29 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่4

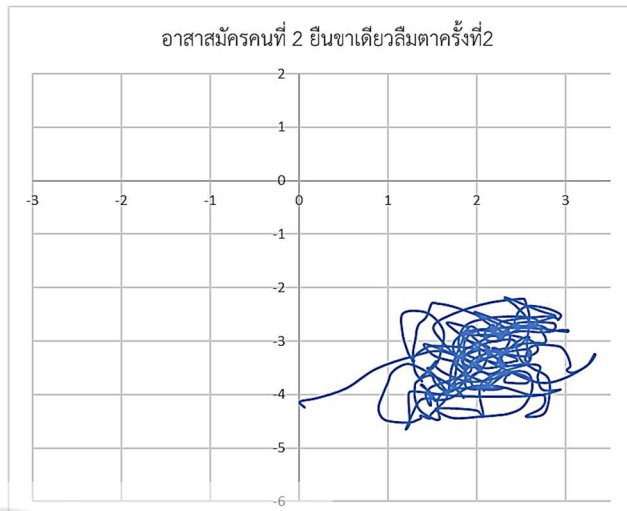


รูปที่ ข.30 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่5

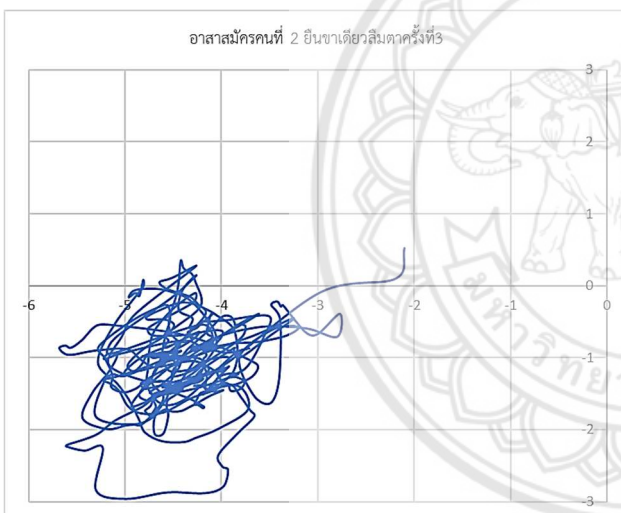




รูปที่ ข.31 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่1



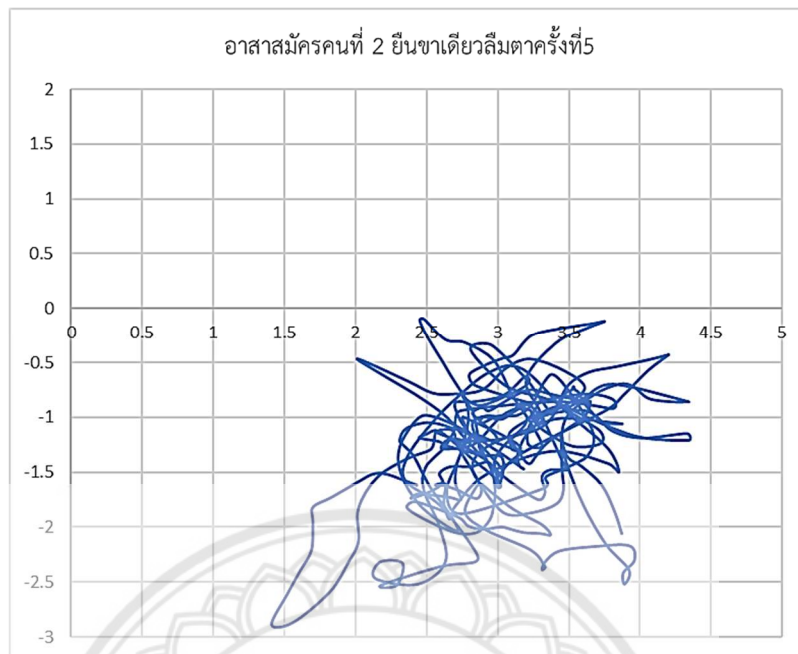
รูปที่ ข.32 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่2



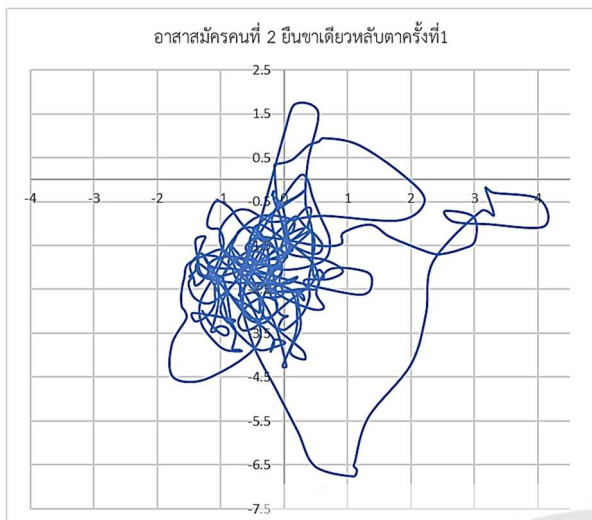
รูปที่ ข.33 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่3



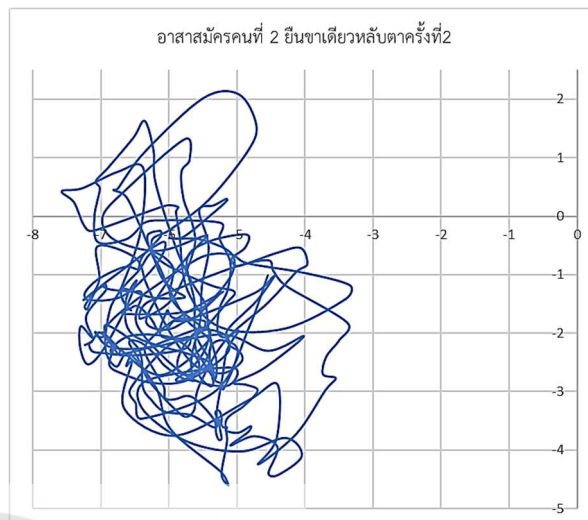
รูปที่ ข.34 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่4



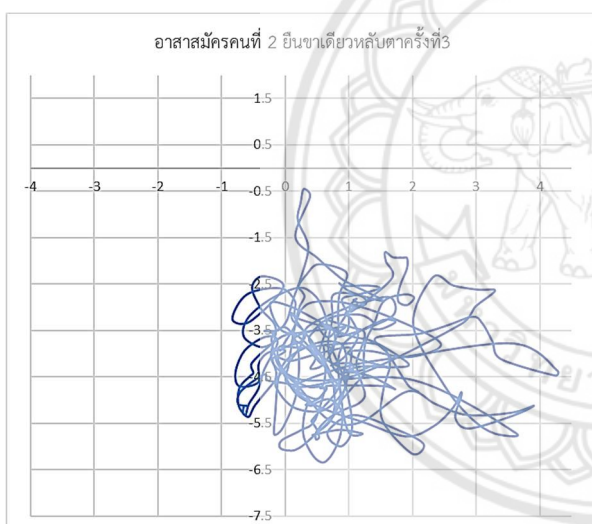
รูปที่ ข.35 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2
ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่5



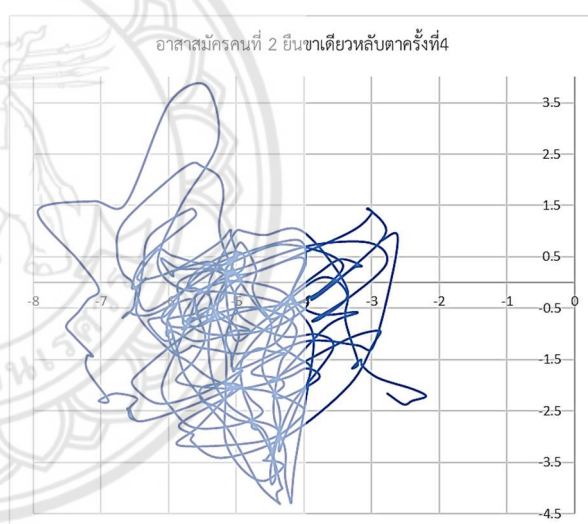
รูปที่ ข.36 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่1



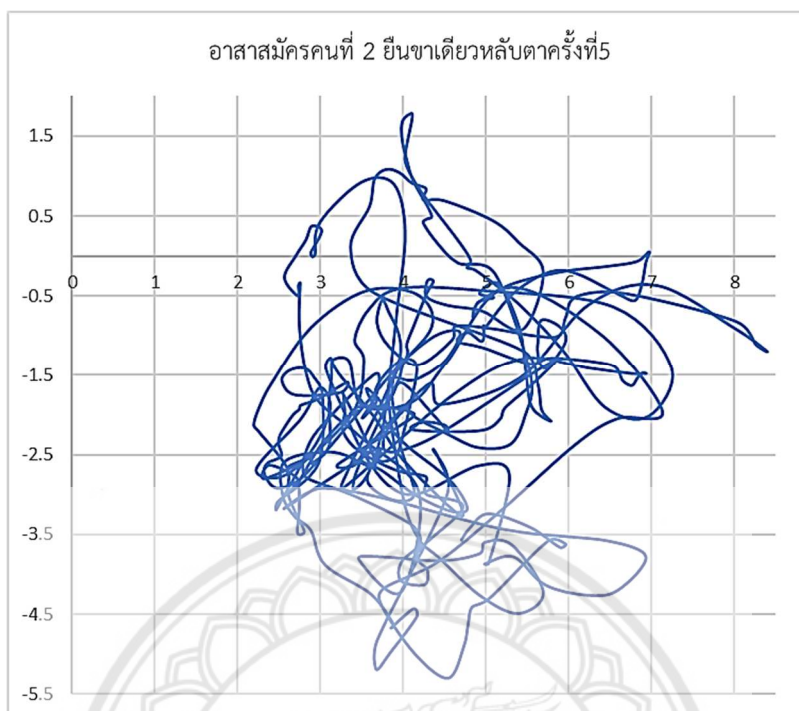
รูปที่ ข.37 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่2



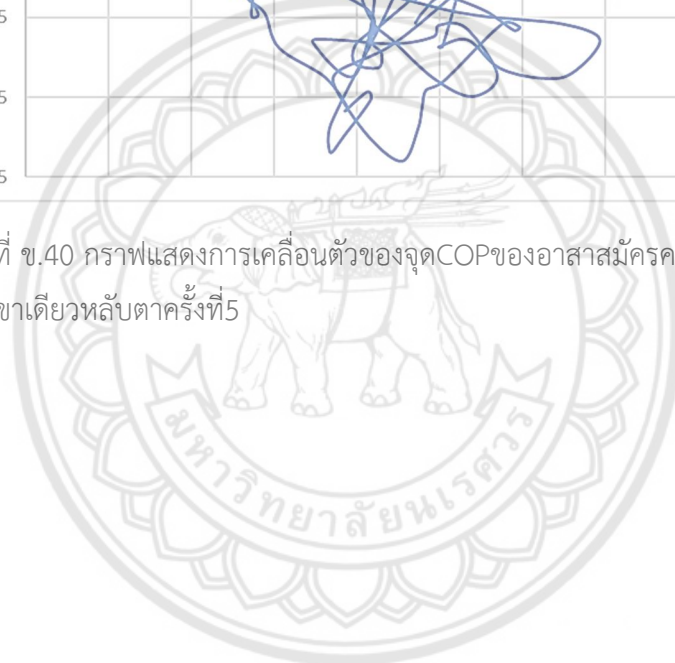
รูปที่ ข.38 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่3

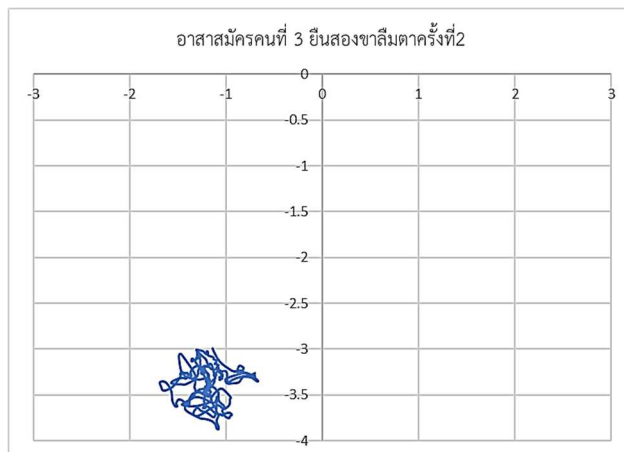
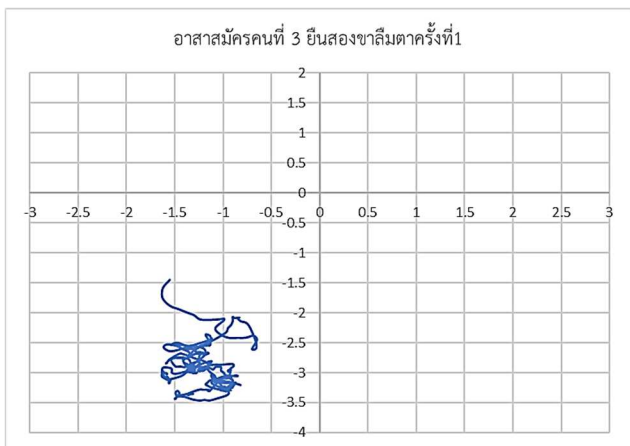


รูปที่ ข.39 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่4



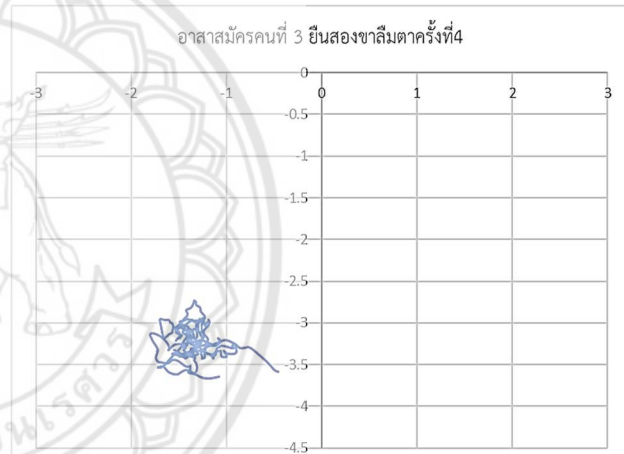
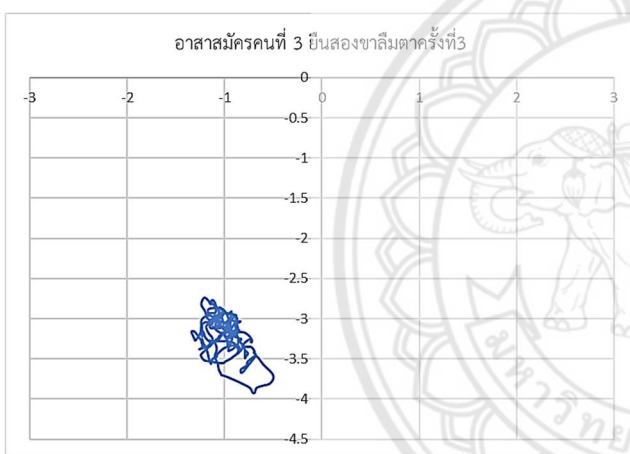
รูปที่ ข.40 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่2 ในการยืนขาเดียวหลังตาครั้งที่5





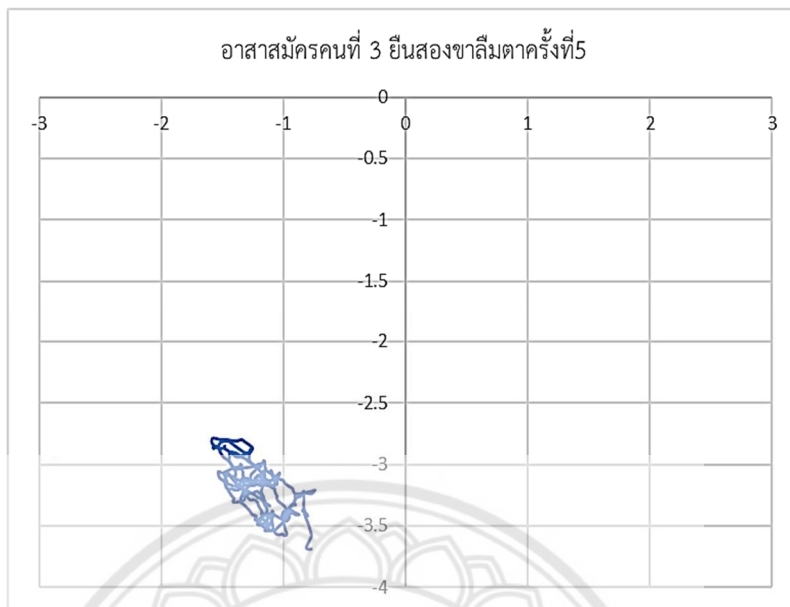
รูปที่ ข.41 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาล้มครั้งที่1

รูปที่ ข.42 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาล้มครั้งที่2



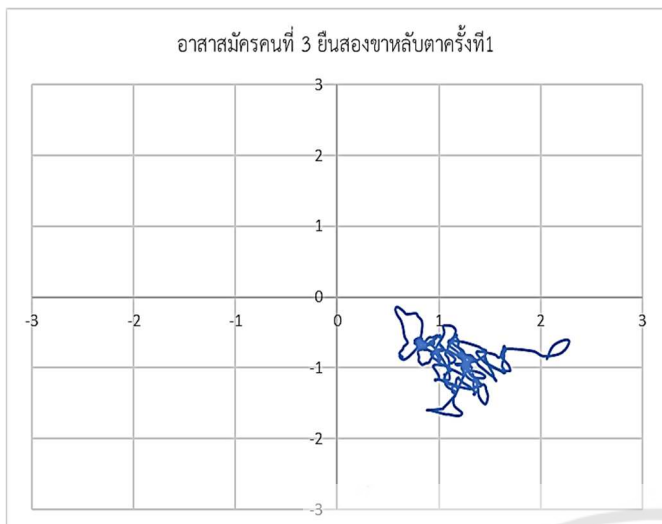
รูปที่ ข.43 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาล้มครั้งที่3

รูปที่ ข.44 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาล้มครั้งที่4

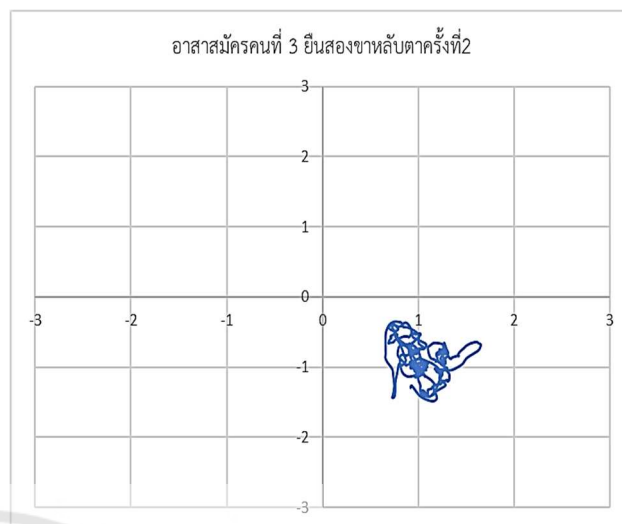


รูปที่ ข.45 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3
ในการยืนสองขาล้อมตาครั้งที่5

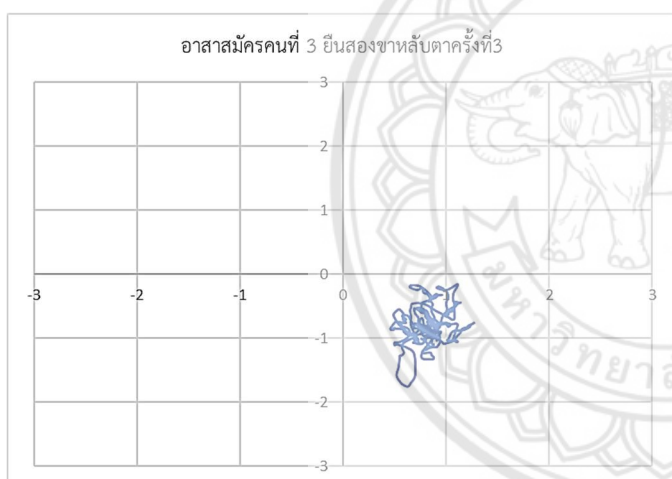




รูปที่ ข.46 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่1



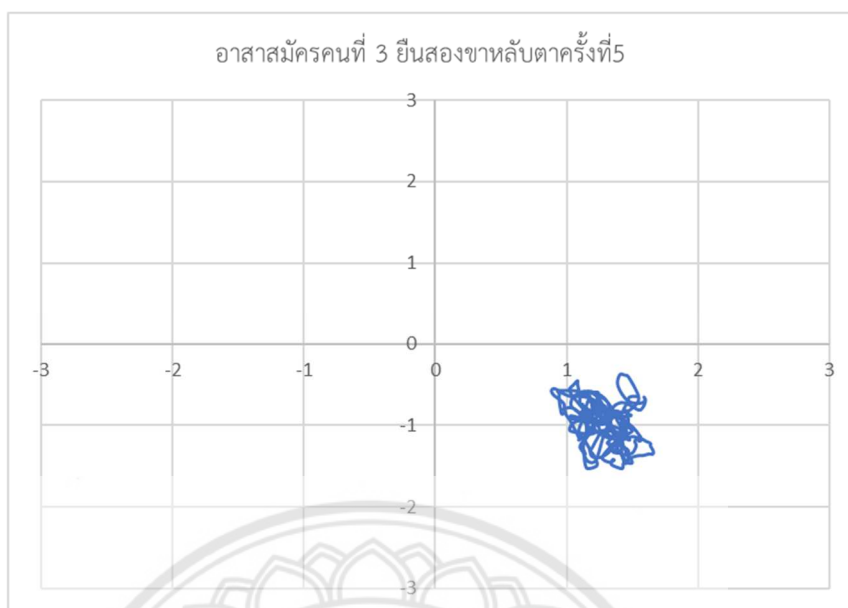
รูปที่ ข.47 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่2



รูปที่ ข.48 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่3

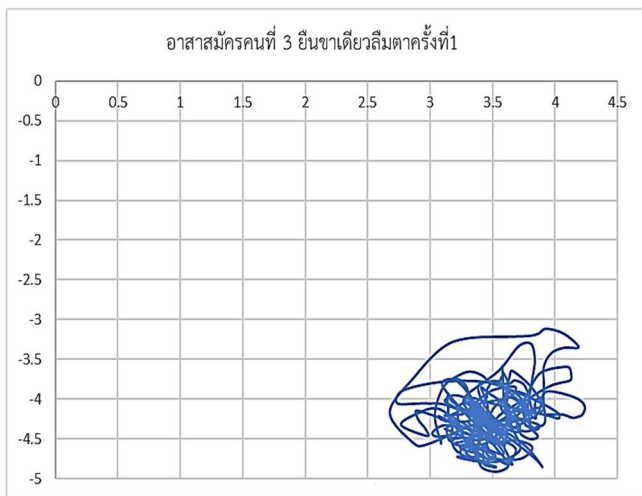


รูปที่ ข.49 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่4

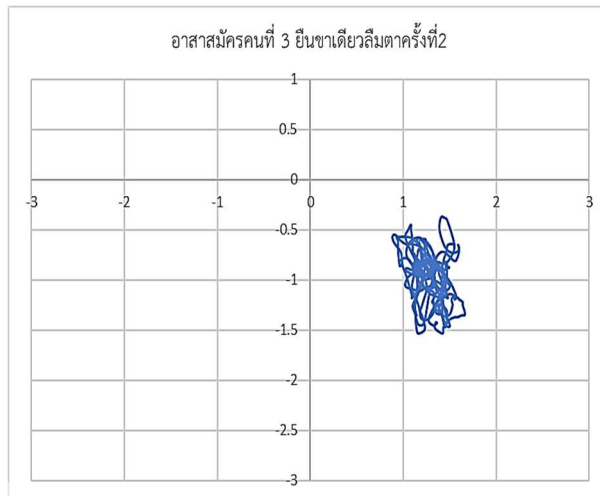


รูปที่ ข.50 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนสองขาหลับตาครั้งที่5

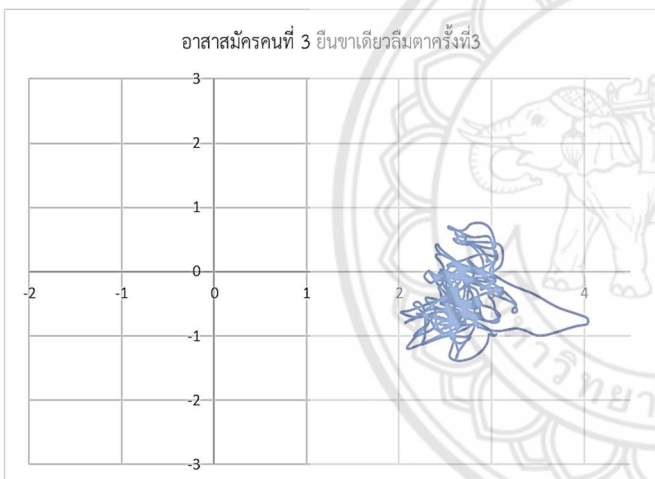




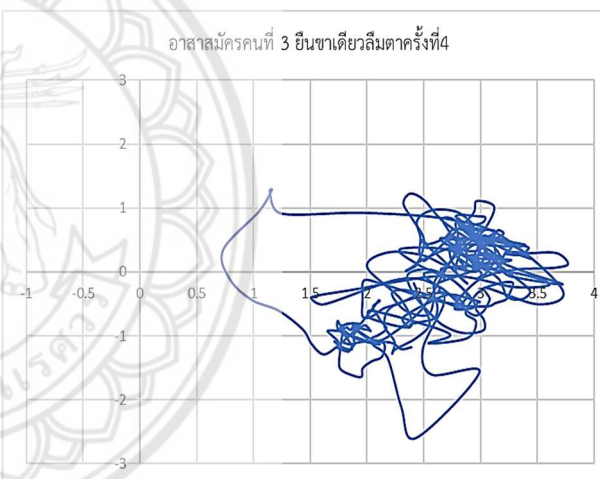
รูปที่ ข.51 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่1



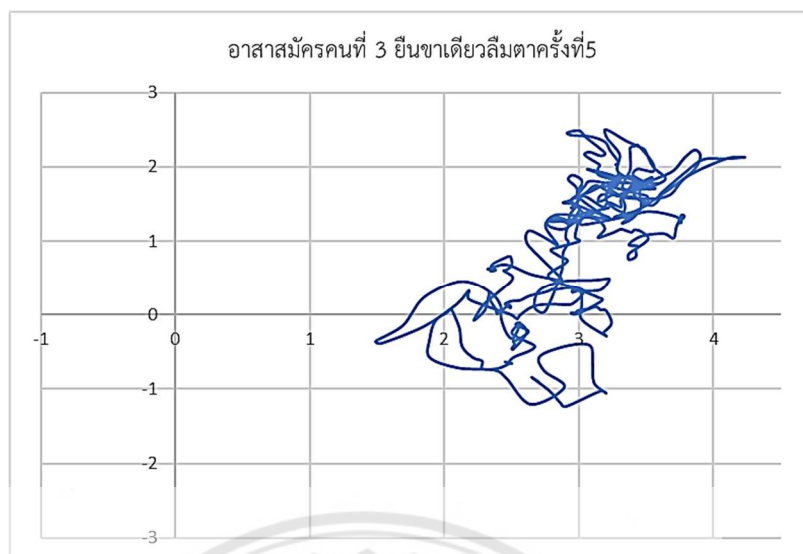
รูปที่ ข.52 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่2



รูปที่ ข.53 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่3

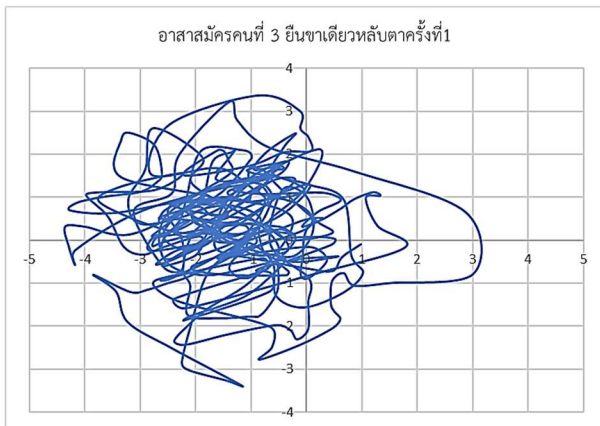


รูปที่ ข.54 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่4

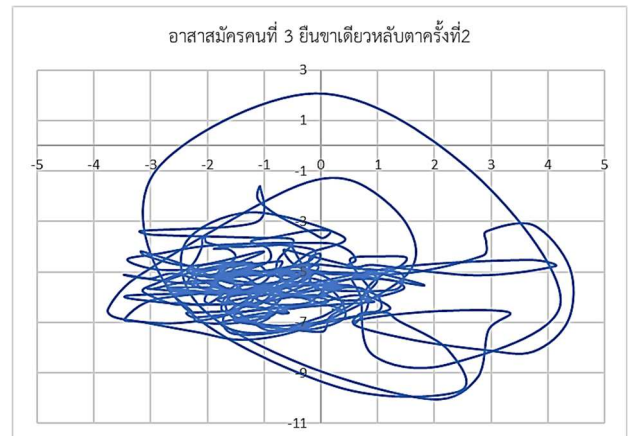


รูปที่ ข.55 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ใน
การยืนขาเดียวล้มตาครั้งที่5

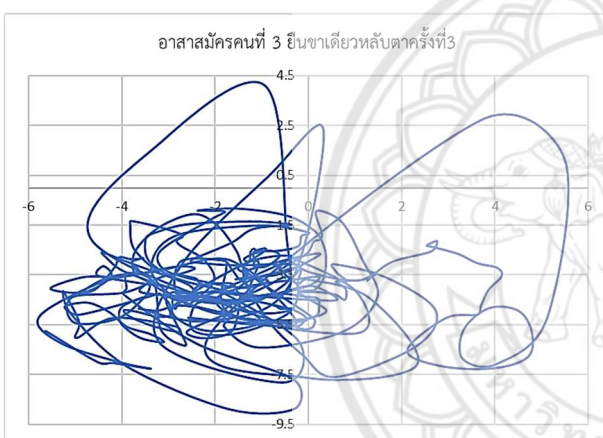




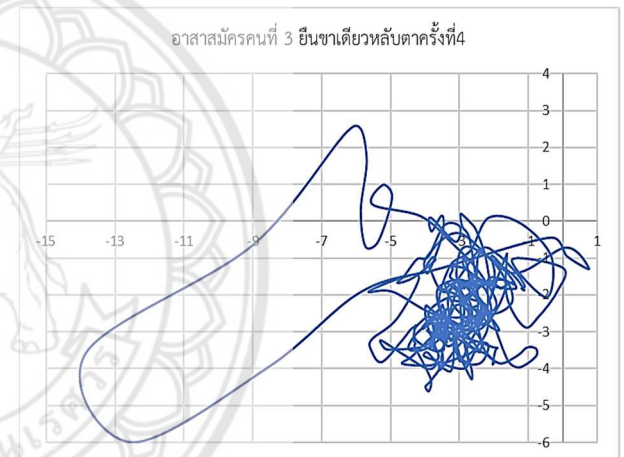
รูปที่ ข.56 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่1



รูปที่ ข.57 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่2



รูปที่ ข.58 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่3



รูปที่ ข.59 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่4



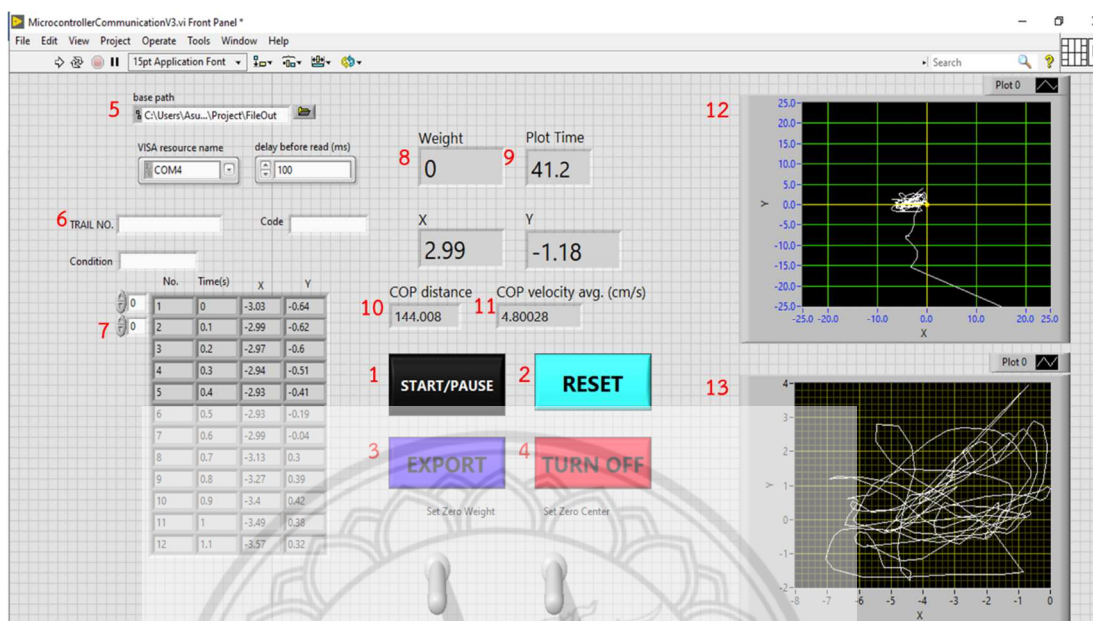
รูปที่ ข.60 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของจุดCOPของอาสาสมัครคนที่3 ในการยืนขาเดียวหลับตาครั้งที่5



ภาคผนวก ค

การใช้งานโปรแกรมประเมินสมรรถนะการยืนทรงตัว





รูปที่ ค.1 หน้าต่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

หมายเลข1 ปุ่มSTART/PAUSE เป็นปุ่มสำหรับการเริ่มการบันทึกข้อมูลและพล็อตกราฟ เมื่อกดจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วง0-40วินาที

หมายเลข2 ปุ่มRESET เป็นปุ่มสำหรับรีเซ็ตข้อมูลที่บันทึกจากปุ่มหมายเลข1

หมายเลข3 ปุ่มEXPORT เป็นปุ่มสำหรับการบันทึกไฟล์ข้อมูลที่ถูกบันทึกจากปุ่มหมายเลข1

หมายเลข4 ปุ่มTURN OFF เป็นปุ่มสำหรับการหยุดการทำงานของโปรแกรม

หมายเลข5 Base path เป็นส่วนที่ต้องใส่ที่อยู่ของโพลเดอร์ปลายทางที่ปุ่มหมายเลข3จะส่งไฟล์บันทึกข้อมูลลงไป

หมายเลข6 เป็นส่วนการกรอกข้อมูลของผู้ที่ทำการทดสอบลงไป

หมายเลข7 ตารางบันทึกผลช่วงเวลา0-40วินาที

หมายเลข8 น้ำหนักของผู้ทำการทดสอบ หน่วยเป็น กิโลกรัม

หมายเลข9 เป็นเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลหลังกดปุ่ม START

หมายเลข10 ระยะทางที่COP เคลื่อนตัวทั้งหมดตั้งแต่ 5-35วินาที

หมายเลข11 ความเร็วของการเคลื่อนตัวของCOP ตั้งแต่5-35 วินาที

หมายเลข12 กราฟแสดงผลหลังจากการกดปุ่ม START

หมายเลข13 กราฟแสดงผลตั้งแต่วินาทีที่5-35 วินาที

