



การพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหาร
และวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว

Development of a performance evaluation program for using
with Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine
(TExSM)

นางสาวปาริชาติ	กิตติदनัยรักษ์	รหัส 57362262
นางสาวอติพร	กำภู ญ อยุธยา	รหัส 57362651
นางสาวอรปรียา	ภูมาลา	รหัส 57362699

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2560



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหารและวัด
ความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว

ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวปาริชาติ กิตติคณัรักษ์ รหัส 57362262
: นางสาวอติพร กำภู ณ อยุธยา รหัส 57362651
: นางสาวอรปรียา ภูมาลา รหัส 57362699

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.สุเมธ เทมะวัฒน์ชัย


สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.สุเมธ เทมะวัฒน์ชัย)


.....กรรมการ
(ดร.ปิยณัฐณ์ ลำเพาพงศ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ปองพันธ์ โอทกานนท์)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหารและวัด
ความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว

ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวปาริชาติ กิตติดิษฐ์รักษ์ รหัสประจำตัว 57362262
: นางสาวอติพร กำภู ณ อยุธยา รหัสประจำตัว 57362651
: นางสาวอรปรียา ภูมาลา รหัสประจำตัว 57362699

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2560

บทคัดย่อ

การบริหารร่างกายมีความสำคัญต่อสุขภาพและความแข็งแรงของร่างกาย หากมีการบริหารร่างกายเป็นประจำสม่ำเสมอก็จะส่งเสริมให้มีสุขภาพดี ทั้งนี้การบริหารร่างกายนั้นมีหลายท่าทางซึ่งจะส่งผลต่อกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันไป สำหรับการบริหารกล้ามเนื้อส่วนลำตัวนั้นมีหลายท่าทาง เช่น ท่าการบริหารแบบลุกนั่ง (sit-up) หรือการนั่งรูปตัววีนั้น บุคคลส่วนใหญ่สามารถทำได้ แต่ก็ยังมีบุคคลบางกลุ่มเช่น ผู้สูงอายุ หรือ ผู้ที่กล้ามเนื้อไม่แข็งแรง ไม่สามารถทำท่าบริหารเหล่านี้ได้ ซึ่งเครื่องบริหารและวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว (TE_XSM) เป็นเครื่องที่ถูกพัฒนามาเพื่อช่วยในเรื่องดังกล่าว โดยเครื่อง TE_XSM สามารถปรับแรงให้เหมาะสมกับบุคคลได้ ซึ่งผู้สูงอายุ หรือ ผู้ที่กล้ามเนื้อไม่แข็งแรง ก็สามารถใช้งานเครื่องนี้ได้

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการบริหารร่างกาย ที่จะมาเสริมให้กับตัวเครื่อง TE_XSM เพื่อให้ใช้งานได้ง่าย โดยมีโปรแกรมการออกกำลังกายที่สามารถเลือกได้ทั้ง โหมตไปข้างหน้า และโหมตไปข้างหลัง มีโปรแกรมการแข่งขันที่สามารถแข่งกับเวลาได้ และยังสามารถเก็บข้อมูลผู้ใช้งานระหว่างการใช้อุปกรณ์ได้ มีการคำนวณพลังงานจากสปริง คำนวณพลังงานที่ผู้ใช้งานใช้ไป รวมถึงประเมินสมรรถนะจากกำลังเฉลี่ยที่ใช้ระหว่างการออกกำลังกาย

จากการทดสอบระบบชุดวัดแรงพบว่าตัวเครื่องสามารถสร้างแรงต้านจากสปริงได้สูงสุดที่ระยะสปริงยืด 15.4 เซนติเมตร สำหรับโหมตข้างหน้า และ 16.4 เซนติเมตร ในโหมตข้างหลัง จากการทดสอบระบบวัดแรงพบว่าแรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์ และจากการคำนวณระยะยืดของชุดสปริง มีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 0.142

Project title : Development of a performance evaluation program for using with Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM)

Name : Miss Parichad Kittidanairuk ID. 57362262
: Miss Atipohn Kamphunaayuthaya ID. 57362651
: Miss Onpreeya Poomala ID. 57362699

Project advisor : Dr.Sumet Heamawatanachai

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2017

Abstract

Exercise is important for the health and the strength of the body. If having exercise regularly, it will promote good health. There are many methods of exercises, each will affect the muscles differently. For trunk muscles exercise, there are many postures such as sit-up or V-sits which many people can do it. But some people cannot such as elderly or those who have weak muscles. Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM) was developed to assist people for trunk muscles exercise easily. TExSM can be adjusted the resisting force to suit with individual user. Therefore, the elderly or those with weak muscles can use this machine for trunk muscle exercise.

This research focused on design and development of a software program for exercise on the TExSM. There are two major modes of exercise with this machine: forward mode and backward mode. The software also has game option for the user to compete with time and the measurement data during exercise can be recorded. Moreover, the machine can calculate energy usage during exercise from the spring extension and from body movement which were used for estimate the average power for performance evaluation.

From experiments on force measurement system, the result showed that the machine can create maximum stretching spring of 15.42 cm for forward mode and 16.41 cm for backward mode. The measured force from load cell and the calculated force from spring extension were closed with the difference less than 0.142 %.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหาร และวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัวฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกใคร่ขอขอบพระคุณคือ ท่าน ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้ความรู้ คำแนะนำการตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนเพื่อให้การเขียนโครงการพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหาร และวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัวนี้ ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบ ท่านแรก ท่าน ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ ท่านที่สอง ท่านอาจารย์ ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของรูปแบบโครงการ การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหาร และวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว

ขอขอบพระคุณหน่วยงานหลายหน่วยงาน ซึ่งหน่วยงานแรกขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ (PMET) ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำต่างๆ ห้องที่ใช้ในการทำโครงการ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ หน่วยงานที่สองคือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำต่างๆ เทคนิคในการใช้เครื่องมือช่าง ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน

สุดท้ายผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้ศึกษาเสมอมา ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ข
ABSTRACT.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญกราฟ.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์.....	6
2.1 ทฤษฎี.....	6
2.1.1 กล้ามเนื้อที่มีส่วนเกี่ยวข้องข้องในการใช้เครื่องบริหาร.....	6
2.1.2 ส่วนประกอบของเครื่องTrunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM).....	7
2.1.3 การใช้งานเครื่อง TExSM.....	9
2.1.4 หลักการทำงานของเครื่องวัดแรง (โพลตเซลล์).....	10
2.1.5 เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน (Rotary Encorder).....	11
2.1.6 โปรแกรมที่ใช้.....	12
2.1.7 การคำนวณพลังงาน.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	31
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	31
3.1.1 การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหารและวัด ความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว.....	32
3.1.2 ออกแบบชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	33
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	33
3.2.1 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม.....	33
3.2.2 แบบชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	41
3.3 การทดสอบความแม่นยำของเครื่องและอุปกรณ์.....	47
3.3.1 ทดสอบมุมและระยะยืดสปริง.....	47
3.3.2 ทดสอบตัวเครื่อง.....	49
3.3.3 คำนวณหาแรงและค่านิจของสปริงจากการทดลอง.....	54
3.4 วิธีการทดลอง.....	55
3.4.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของตำแหน่งหมด.....	55
3.4.2 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพลังงาน.....	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	61
4.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	61
4.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของตำแหน่งหมด.....	61
4.1.2 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพลังงาน.....	62
4.1.3 การประเมินผลเบื้องต้นจากการทดลอง.....	62
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1 บทสรุป.....	68
5.1.1 การทดสอบความแม่นยำของเครื่องและอุปกรณ์.....	68
5.1.2 การออกแบบชุดนั่ง.....	69
5.1.3 พัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องบริหาร TExSM.....	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	75
ภาคผนวก ข การสร้างชุดนั่ง และโปรแกรม.....	94
ภาคผนวก ค เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	96
ภาคผนวก ง การออกแบบระบบควบคุม.....	100
ภาคผนวก จ ผังโปรแกรมส่วน Block diagram.....	102
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	104



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายเฉลี่ยของทั้งสามกลุ่ม [7].....	17
2.2 การเปรียบเทียบแรงบิดสูงสุดและความทนทานของกล้ามเนื้อทั้งสามกลุ่ม [7].....	18
2.3 ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและประสิทธิภาพของกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม [10].....	23
2.4 ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความมั่นคงของแกนกลางลำตัวและเชิงกราน (LPST) ค่าความคล่องแคล่ว (SEMO) และค่ากำลังกล้ามเนื้อขา (Power) ในกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม [10].....	23
3.1 คุณสมบัติของวัสดุ.....	43
3.2 ความสัมพันธ์มุมกับระยะยึดสปริง.....	48
3.3 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 10 กิโลกรัม.....	51
3.4 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 15 กิโลกรัม.....	52
3.5 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 20 กิโลกรัม.....	53
3.6 แรงจากการคำนวณ (F_s) ,ค่าสปริง (k) และ สัดส่วนของ F_s/m_{LC}	54
3.7 ค่า k และ สัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณกับค่าที่วัดได้จากโพลดเซลล์ แบบผลต่าง.....	54
3.8 แรง F_s เทียบ กับแรง F_s ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์.....	55
3.9 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรง $F_{s,compare}$ เทียบกับแรง F_s ที่คำนวณได้ตามสมการ.....	55
4.1 ผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหน้า (มุมเริ่มต้น 0° ถึง 60°).....	61
4.2 ผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหลัง (มุมเริ่มต้น 0° ถึง 60°).....	62
4.3 ผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหน้า (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°).....	62
4.4 ผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหลัง (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°).....	63
ก.1 มวลปกติและความยาวของส่วนของร่างกาย (มนุษย์มาตรฐาน).....	89
ก.2 ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เฉลี่ยสำหรับประเทศในเอเชีย.....	90
ก.3 ฐานข้อมูลค่าจากโพลดเซลล์ การทดลองเครื่องเพื่อเปรียบเทียบความคงเส้นคงวา.....	91
ก.4 ฐานข้อมูลค่าจากโพลดเซลล์ การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงาน จากสปริง และพลังงานจากน้ำหนักตัว ที่ระยะมุมเริ่มต้น 12°	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ก.5 ฐานข้อมูลค่าจากโพลดเซลล์ การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงาน จากสปริง และพลังงานจาก น้ำหนักตัว ที่ระยะมุม 72°.....	93
ค.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	97



สารบัญกราฟ

กราฟที่

หน้า

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับระยะยึดสปริงในโหมดข้างหน้าและข้างหลัง.....49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กล้ามเนื้อหน้าท้องด้านหน้า (Anterior Abdominal Wall) [1].....	6
2.2 กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนด้านหลัง [1].....	7
2.3 ส่วนประกอบของเครื่องบริหารและวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว.....	8
2.4 การใช้งานเครื่อง TExSM.....	9
2.5 โพลดเซลล์แบบแรงดึง [2].....	10
2.6 Quarter-bridge strain gauge circuit [3].....	11
2.7 เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน [4].....	11
2.8 ส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์ [5].....	12
2.9 มุมเฟสที่ต่างกันอยู่ 90 องศา.....	12
2.10 ตัวอย่างภาพ 3 มิติในโปรแกรม Fusion 360.....	13
2.11 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW.....	15
2.12 บอร์ด Arduino [6].....	15
2.13 โปรแกรม Macromedia Flash 8.....	15
2.14 เครื่อง Biodex isokinetic dynamometer [8].....	18
2.15 แสดงท่า abdominal bracing และ abdominal hollowing [10].....	19
2.16 supine plank [11].....	19
2.17 ท่า V-sits [12].....	20
2.18 ท่า curl ups [13].....	20
2.19 กล้ามเนื้อหน้าท้อง [14].....	20
2.20 กล้ามเนื้อส่วนกลางหลัง [15].....	21
2.21 ร้อยละ EMGmax ของกล้ามเนื้อที่ทำการทดสอบ [9].....	21
2.22 ร้อยละ EMGmax ของการบริหารร่างกาย [9].....	22
2.23 โด๊ส NK ดัดแปลง [18].....	25
2.24 ท่านอนหงายยกขาคู่ [19].....	26
2.25 ท่ามือแตะเข่าตรงข้าม [19].....	26
2.26 ท่ายกแขนสลับขา [19].....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
2.27 การทดสอบ ลุก-นั่ง บนพื้น [23].....	29
2.28 การทดสอบ ลุก-นั่ง บนลูกบอลออกกำลังกาย [24].....	29
2.29 การทดสอบดันพื้น [25].....	29
2.30 การทดสอบดันพื้น บนลูกบอลออกกำลังกาย [24].....	29
2.31 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้อง [20].....	30
2.32 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบน [20].....	30
3.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องและโปรแกรม.....	33
3.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	34
3.3 หน้าจอหน้าแรก.....	35
3.4 หน้าจอวิธีการใช้งาน.....	36
3.5 หน้าจอข้อมูลผู้ใช้งาน.....	36
3.6 หน้าจอกำหนดทำการเคลื่อนที่และช่วงมุมที่บริหาร.....	37
3.7 หน้าจอตั้งค่าเครื่อง.....	38
3.8 หน้าจอแสดงผล.....	38
3.9 หน้าจอโหมดแข่งขัน.....	39
3.10 หน้าจอแข่งขัน.....	40
3.11 หน้าจอผลการแข่งขัน.....	41
3.12 หน้าจอผลการใช้งาน.....	41
3.13 หน้าจอบันทึกผลการใช้งาน.....	42
3.14 แบบชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	43
3.15 กำหนดภาระแรงลงบนผิวชิ้นงาน.....	44
3.16 ผลการวิเคราะห์ชุดนั่งเครื่อง TExSM ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360.....	45
3.17 สร้างชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	46
3.18 การประกอบชุดนั่งเข้ากับเครื่อง TExSM.....	46
3.19 การปรับระดับพนักพิงด้านหลังของชุดนั่งเครื่อง TExSM.....	47
3.20 แผ่นปรับมุมของเครื่อง TExSM.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.21 ถูทรายหนัก 5 กิโลกรัม.....	50
3.22 ทดลองถ่วงมวล 10 กิโลกรัม.....	51
3.23 ทดลองถ่วงมวล 15 กิโลกรัม.....	52
3.24 ทดลองถ่วงมวล 20 กิโลกรัม.....	53
3.25 การทดลองโหมดข้างหน้าที่ระยะ 0° ถึง 60°	56
3.26 การทดลองโหมดข้างหลังที่ระยะ 0° ถึง 60°.....	57
3.27 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 0.....	57
3.28 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 15.....	58
3.29 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 14.....	58
3.30 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 8.....	59
3.31 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 9.....	59
3.32 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 10.....	60
4.1 กล้ามเนื้อส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริหาร.....	64
4.2 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 0.....	64
4.3 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 15.....	65
4.4 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 14.....	66
4.5 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 8.....	66
4.6 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 9.....	66
4.7 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งมุมหมายเลข 10.....	67
5.1 การปรับแผ่นปรับมุมโหมดข้างหน้า.....	70
5.2 การปรับแผ่นปรับมุมโหมดข้างหลัง.....	71
ก.1 ทำนั่งตรง 90 องศา.....	75
ก.2 ความสูงขณะยืนของบุคคล.....	76
ก.3 โหมดไปข้างหน้า.....	79
ก.4 โหมดไปข้างหลัง.....	79
ก.5 ทำการนั่งแบบเอียง โหมดไปข้างหน้า.....	79

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

ก.6 รูปประกอบการคำนวณค่าเงินสปริง.....	81
ง.1 การออกแบบระบบควบคุม.....	101



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันประชาชนเริ่มให้ความสำคัญกับสุขภาพ นอกจากการรับประทานอาหารแล้ว การออกกำลังกายก็มีผลต่อสุขภาพ และความแข็งแรงของร่างกาย การออกกำลังกายคือ การเคลื่อนไหวส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือทุกส่วนของร่างกาย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของร่างกายให้ดีขึ้น และในทางอ้อมยังช่วยในเรื่องการบำบัดรักษา ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเพิ่มสมดุลของร่างกายให้สามารถเคลื่อนไหว และทรงตัวอย่างมั่นคง ซึ่งประกอบด้วย กล้ามเนื้อ 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

กลุ่มแรก กล้ามเนื้อหน้าท้องด้านหน้า (Anterior Abdominal Wall Muscles) มี 4 ชุด ได้แก่ Rectus abdominis คือ กล้ามเนื้อด้านหน้าที่เป็น 6-pack อยู่ระหว่างกระดูกซี่โครง และกระดูกหัวหน่าว ช่วยการดึงลำตัวให้โค้งลง, External oblique คือ กล้ามเนื้อที่อยู่ใต้ผิวหนัง ด้านข้างลำตัวทั้งสองด้าน ซึ่งอยู่ระหว่างด้านหลังของกระดูกซี่โครงล่างและกระดูกหัวหน่าว มีหน้าที่เหมือนกับ Rectus abdominis และยังมีหน้าที่ดึงเวลาบิดลำตัว โดยในผู้ที่มีเปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของไขมันในร่างกาย (bodyfat %) ที่ต่ำ จะมีกล้ามเนื้อส่วนนี้ที่เห็นได้ชัดเจน, Internal Oblique เป็นกล้ามเนื้อชั้นในซึ่งอยู่ใต้ชั้นกล้ามเนื้อ External Oblique มีหน้าที่ช่วยในการทรงตัวของกระดูกสันหลังและเชิงกราน และ Transverse abdominis คือ กล้ามเนื้อที่อยู่ลึกที่สุด มีหน้าที่ประคองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

กลุ่มที่สอง คือ กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนด้านหลัง (Posterior Abdominal Wall Muscles) มี 4 ชุด ได้แก่ Iliacus คือ กล้ามเนื้อที่อยู่ในส่วนของกระดูกเชิงกรานด้านในและกระดูกต้นขา ช่วยในการยกขาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและด้านบน, Psoas Major คือ กล้ามเนื้อนี้ยึดติดกับกระดูกสันหลังส่วนบั้นเอวไปจนถึงกระดูกต้นขาช่วยในการงอต้นขา หุบ และหมุนเข้าด้านใน, Quadratus Lumborum เป็นกล้ามเนื้อรูปสี่เหลี่ยม ตั้งอยู่เบื้องหลังของท้องตรงบั้นเอว ทำหน้าที่ช่วยพยุงเชิงกรานให้มั่นคง ช่วยในการก้มและเงยหลังและ Psoas Minor กล้ามเนื้อนี้มีขนาดเล็ก ทำงานร่วมกับ Psoas Major และสะโพก ช่วยในการเคลื่อนไหวหรือการยึดตัว ซึ่งกล้ามเนื้อทั้ง 2 กลุ่มนี้มีความสำคัญที่คงรูปร่าง ท่าทางของร่างกาย และยึดข้อต่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายไว้ด้วยกัน ซึ่งหากขาดสมดุลของความแข็งแรงในส่วนใดส่วนหนึ่งไป อาจทำให้ร่างกายเกิด

การอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ และส่งผลเสียต่อสุขภาพตามมาภายหลังได้ เช่น เกิดอาการปวดหลัง ดังนั้น การบริหารกล้ามเนื้อส่วนหน้าท้องและกล้ามเนื้อหลัง หรือกล้ามเนื้อลำตัวให้สมดุลและแข็งแรงจึงมีความสำคัญมากสำหรับร่างกาย

การบริหารกล้ามเนื้อลำตัวมีเทคนิคที่แตกต่างออกไปหลายแบบ มีทั้งการใช้ท่าบริหารในแบบ Static, dynamic และการใช้อุปกรณ์ประกอบการออกกำลังกายสำหรับกล้ามเนื้อ โดยท่าบริหารแบบปกติ มีรูปแบบและความยากง่ายในการทำ บางท่าจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผู้ที่ออกกำลังกายด้วย ซึ่งคนทั่วไปสามารถทำได้ แต่ในบางกรณีจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เข้ามาช่วยเหลือ สำหรับผู้ที่มีแรงน้อยหรือผู้ที่มีกล้ามเนื้อไม่แข็งแรง และมีความลำบากในการทำ ดังนั้น การออกกำลังกายด้วยท่าบางท่าอาจมีความยาก และก่อผลเสียต่อร่างกาย เช่น การปวดเมื่อย การอักเสบ เป็นต้น จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วย ซึ่ง Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM) [27] เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการบริหาร และวัดความแข็งแรงส่วนกล้ามเนื้อลำตัว โดยระบบจะสามารถปรับองศาของการบริหาร และสามารถปรับค่าต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะช่วยในการออกกำลังกายให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงคิดออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมใช้งานกับเครื่อง TExSM เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะความแข็งแรงกล้ามเนื้อของบุคคล ในส่วนของการออกกำลังกายกล้ามเนื้อหน้าท้อง และกล้ามเนื้อลำตัว โปรแกรมจะมีรูปแบบการออกกำลังกายเป็น 2 โหมด คือ โหมดไปด้านหน้า และโหมดไปด้านหลัง โดยมี โหลดเซลล์ (Load cell) ทำหน้าที่วัดแรงหรือน้ำหนักที่มากระทำ และมีเอ็นโค๊ดเดอร์แบบแกนหมุน (Rotary Encoder) เป็นเซ็นเซอร์ที่วัดมุมองศาการเคลื่อนที่ ระยะทางการหมุน ความเร็วรอบ แล้วแสดงผลทางหน้าจอแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 พัฒนาโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งานในการฝึกบริหาร ด้วยเครื่อง TExSM
- 1.2.2 ปรับปรุงโครงสร้างอุปกรณ์ชุดนี้ให้มีเบาะรองหลัง และสามารถปรับมุมได้
- 1.2.3 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการออกแบบอุปกรณ์วัดแรง และมุมของอุปกรณ์ การสอบเทียบ และการวิเคราะห์การทดสอบ
- 1.2.4 เพื่อทดสอบและประเมินการใช้งานของอุปกรณ์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้ปรับปรุงชุดนั่งของตัวเครื่องให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และเสริมความปลอดภัย
- 1.3.2 ได้โปรแกรมสำหรับใช้กับ TExSM ที่สามารถแสดงผลการใช้งานเป็นเชิงตัวเลขได้

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 ปรับปรุงชุดนั่งเครื่อง TExSM
- 1.4.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์โดยใช้ระเบียบไฟไนต์อีลิเมนต์
- 1.4.3 พัฒนาโปรแกรมการใช้งานการออกกำลังกายด้วย TExSM
- 1.4.4 ได้รูปแบบการใช้งานเครื่องด้วยฟังก์ชันที่ต่าง ๆ หลายรูปแบบ

1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2560 ถึง กันยายน พ.ศ. 2561

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ



1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.8.1 ค่าอุปกรณ์ชุดนั่ง	2540	บาท
1.8.2 กระดาษ	500	บาท
1.8.3 ค่าไฟมกันกระแทก	297	บาท
รวมงบประมาณทั้งหมด	3337	บาท



บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 กล้ามเนื้อที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้เครื่องบริหาร

เครื่อง TExSM นี้ได้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้บริหารร่างกายในส่วนของกล้ามเนื้อลำตัว ซึ่งกล้ามเนื้อส่วนลำตัวที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้เครื่องบริหาร ได้แก่

2.1.1.1 กล้ามเนื้อหน้าท้องด้านหน้า Anterior Abdominal Wall (รูปที่ 2.1) กล้ามเนื้อกลุ่มนี้มีทั้งหมด 4 ชุด ได้แก่

- Rectus abdominis ทำหน้าที่ดึงลำตัวก้มลง โดยกล้ามเนื้อนี้อยู่ระหว่างกระดูกซี่โครงและกระดูกหัวหน่าว
- External oblique มีหน้าที่เหมือนกับ Rectus abdominis และยังมีหน้าที่ดึงเวลาบิดลำตัว
- Internal Oblique มีหน้าที่ช่วยในการทรงตัวของกระดูกสันหลังและเชิงกราน
- Transverse abdominis กล้ามเนื้อที่อยู่ลึกที่สุด มีหน้าที่ประคองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

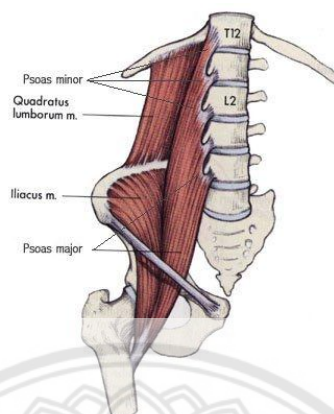


รูปที่ 2.1 กล้ามเนื้อหน้าท้องด้านหน้า (Anterior Abdominal Wall) [1]

2.1.1.2 กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนด้านหลัง Posterior Abdominal Wall Muscles (รูปที่ 2.2) กล้ามเนื้อกลุ่มนี้มี 4 ชุด ได้แก่

- Iliacus ช่วยในการยกขาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและด้านบน
- Psoas Major ช่วยในการงอต้นขา หุบ และหมุนเข้าด้านใน

- Quadratus Lumborum ทำหน้าที่ช่วยพยุงเชิงกรานให้มั่นคง ช่วยในการก้มและเงยหลัง
- Psoas Minor กล้ามเนื้อนี้มีขนาดเล็ก ทำงานร่วมกับ Psoas Major และสะโพก ช่วยในการเคลื่อนไหวหรือการยืดตัวและขยายตัวของหน้าท้องและก้น



รูปที่ 2.2 กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนด้านหลัง [1]

2.1.2 ส่วนประกอบของเครื่อง Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM)

เครื่องบริหารและวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว สามารถทำได้ทั้งบริหารและวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ในเครื่องเดียวกัน และมีระบบวัดแรง และยังปรับองศาต่าง ๆ ในการบริหารกล้ามเนื้อ ได้ตามขอบเขตที่ต้องการ และได้มีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้คำนวณพลังงานที่ใช้ไปในการบริหารร่างกาย แสดงดังรูปที่ 2.3

ส่วนประกอบของเครื่อง TExSM



1. แผ่นปรับมุมสำหรับการ
ออกกำลังกาย



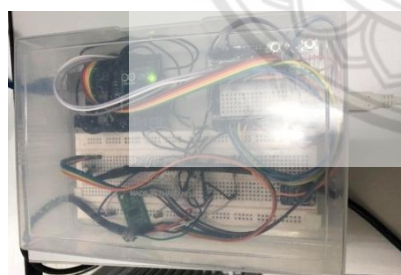
6. ก้านจับที่ยึดติดกับแผ่น
ปรับมุม



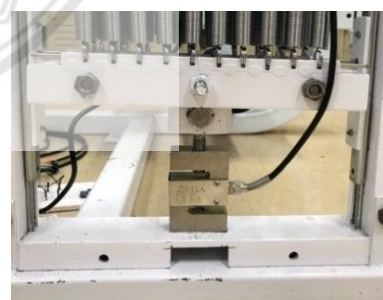
2. เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกน



5. เบาะรองนั่ง



3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
(Arduino)



4. โพลดเซลล์

รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องบริหารและวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว

ในตัวเครื่องประกอบนี้แบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. แผ่นปรับมุมสำหรับการออกกำลังกาย โดยยึดกับแกนหมุนสำหรับใช้จับในการบริหารร่างกาย จะปรับได้ในโหมดไปข้างหน้าและโหมดไปข้างหลังในแผ่นเดียวกัน

2. เอนโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน (Rotary Encoder) วัดองศาต่าง ๆ ที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ไป และแสดงค่าที่ได้ผ่านหน้าจอแสดงผล

3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ทำหน้าที่ในการคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอก เข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อม สื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต และแสดงผลผ่านจอภาพ

4. โหลดเซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงที่กระทำกับโหลดเซลล์ โดยจะเปลี่ยนแรงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

5. เบาะรองนั่ง

6. ก้านจับที่ยึดติดกับแผ่นปรับมุม

2.1.3 การใช้งานเครื่อง TExSM

ตัวอย่างของการใช้งานเครื่อง TExSM ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถจะปรับได้เป็น 2 โหมด โดยจะมีโหมดไปข้างหน้า ดังรูป 2.4ก ซึ่งเป็นรูปแสดงท่านั่งเริ่มต้นของโหมดไปข้างหน้า และโหมดไปข้างหลัง ดังรูป 2.4ข เป็นรูปแสดงท่านั่งเริ่มต้นของโหมดไปข้างหลัง สามารถปรับมุมที่แผ่นปรับมุมของการหมุนก้านจับได้ตามต้องการ และสามารถที่จะเลือกองศาที่ปิดก้านจับไปได้ เมื่อทำการหมุนก้านจับ ระบบสปริงก็จะยืดออกและจะเกิดแรงขึ้นด้วยในระหว่างที่ผู้ใช้ออกแรง โดยแรงนี้วัดค่าได้จากโหลดเซลล์ จะแสดงค่าบนหน้าจอแสดงผล



ก. โหมดไปข้างหน้า

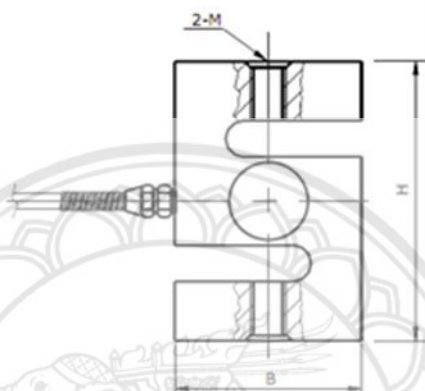


ข. โหมดไปข้างหลัง

รูปที่ 2.4 ท่านั่งเริ่มต้นในการใช้งานเครื่อง TExSM

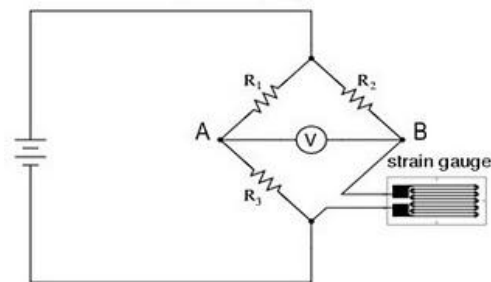
2.1.4 หลักการทำงานของเครื่องวัดแรง (โหลดเซลล์)

โหลดเซลล์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย Strian gauge จะคอยเปลี่ยนค่าความเครียดทางกลอันเนื่องมาจากน้ำหนักของวัตถุ เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้า สามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล แสดงค่าเป็นน้ำหนักหรือแรงที่กระทำทำให้สามารถเห็นได้ ซึ่งโหลดเซลล์ที่ใช้จะเป็น โหลดเซลล์ชนิด S type ซึ่งเป็นโหลดเซลล์แบบแรงดึง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โหลดเซลล์แบบแรงดึง [2]

หลักการของโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) นี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด (Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำ จะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว (วงจรร Wheatstone Bridge Circuit) รูปที่นำมาแสดงเป็นเพียง 1 ใน 4 (Quarter-bridge strain gauge circuit) ดังรูปที่ 2.6 ในการวัดเพื่อให้ได้ความไวสูงสุด เกจทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการปรับตั้งค่าชดเชยวงจรร โดยเกจ 2 ตัวจะอยู่ในสภาพถูกดึงและอีก 2 ตัวอยู่ในสภาพถูกกด ตัวต้านทานทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมัน ไม่ว่าจะเป็แรงกดหรือแรงดึง ส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 Quarter-bridge strain gauge circuit [3]

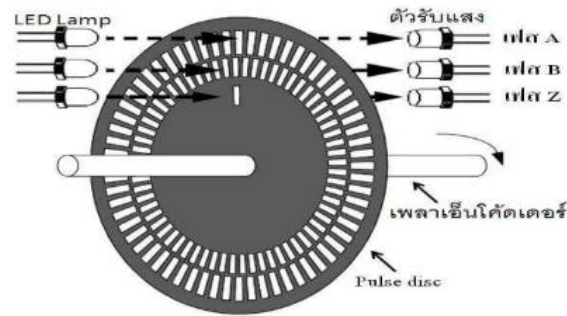
2.1.5 เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน (Rotary Encoder)

เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน ดังรูปที่ 2.7 คือ เซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งทำหน้าที่เข้ารหัส จาก ระยะทางการหมุนรอบตัวเอง แล้วแปลงออกมาเป็นรหัสในรูปสัญญาณไฟฟ้า เพื่อหาค่าต่าง ๆ ที่ ต้องการได้ เช่น องศาการเคลื่อนที่ ระยะทางการหมุน ความเร็วรอบ แล้วให้แสดงผลทางหน้าจอ แสดงผล



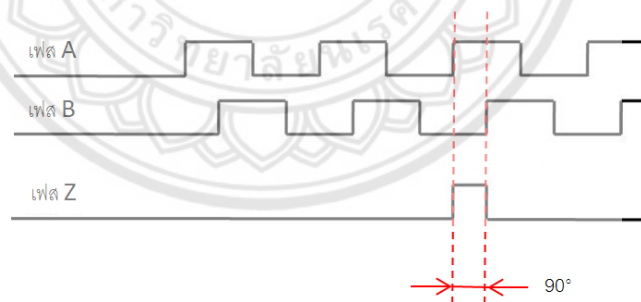
รูปที่ 2.7 เอ็นโค้ดเดอร์แบบแกนหมุน [4]

ส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์ จะมี 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.8 ได้แก่ เพลา (Shaft) , แผ่นดิสก์ เป็นแผ่นที่มีแตรหรือร่องเล็ก ๆ มีทั้งส่วนที่โปร่งแสงและทึบแสงเพื่อให้เห็นอินฟาเรดลอดผ่านได้, แหล่งแสง (Light Source) เป็นไฟ LED คุณภาพสูง และ ตัวรับแสง (Photodetector หรือ Photodiode)



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์ [5]

หลักการทำงาน จากส่วนประกอบดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าตัวส่งแสงและรับแสงจะมี 3 ชุด เรียกว่าเฟส A, B และ Z เอาต์พุตของ Encoder ที่ออกมาจึงมี 3 ชุดด้วยเช่นกัน โดยอาศัยการตรวจจับทิศทางการหมุนจากมุมเฟสของสัญญาณเอาต์พุต A กับ B ว่าสัญญาณใดเกิดก่อนกัน ซึ่งจะมีมุมเฟสที่ต่างกันอยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2.9 (คำว่าหมุนซ้ายหรือขวา คือเจอ A ก่อน B หรือเจอ B ก่อน A) ส่วนเฟส Z เมื่อครบ 1 รอบจึงจะปล่อยแสงออกมา 1 ครั้ง (นำไปใช้อ้างอิงตำแหน่งเมื่อครบรอบได้)

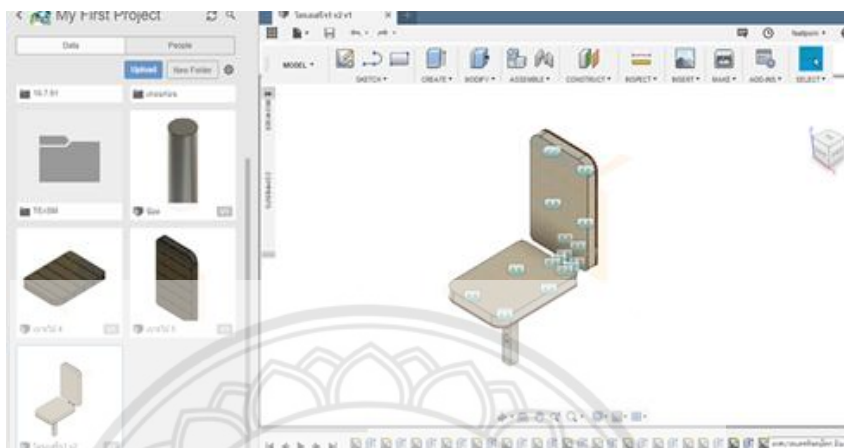


รูปที่ 2.9 มุมเฟสที่ต่างกันอยู่ 90 องศา

2.1.6 โปรแกรมที่ใช้

2.1.6.1 Fusion 360 เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างชิ้นงานทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ และสามารถใช้วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานที่สร้างขึ้นด้วยการจำลองสถานการณ์ขั้นสูง (simulation) เช่น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน และความเสียหายของชิ้นงานเมื่อถูกแรงกระทำ

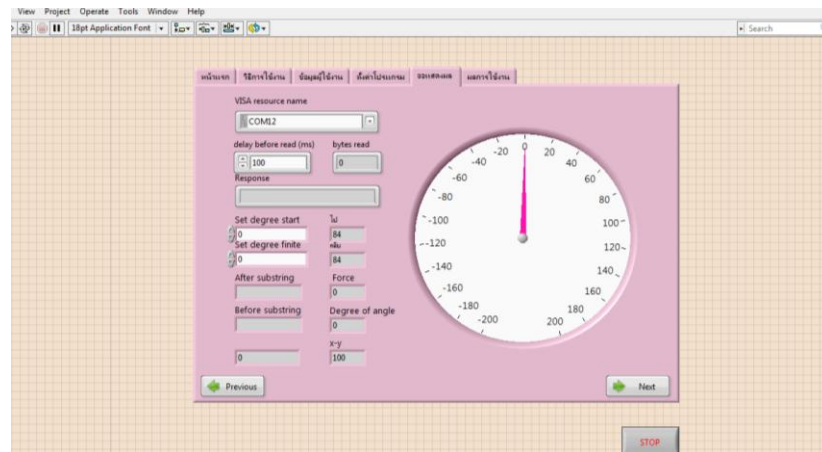
ในการวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Fusion 360 ดังรูปที่ 2.10 มาใช้ในการออกแบบและพัฒนา
 แก้อั้วที่ใช้ในการนึ่งบริหารตามที่ได้ออกแบบไว้ และคำนวณความเค้นของชิ้นงานและความสามารถในการรับแรงของแก้อั้ว



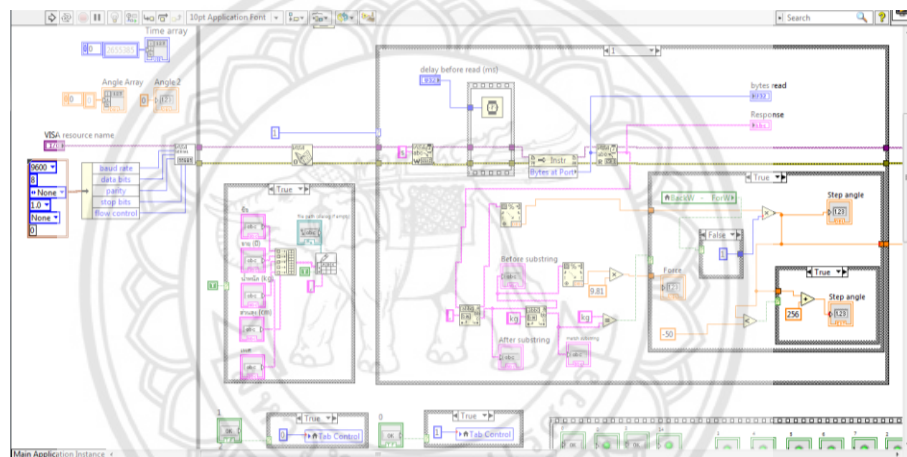
รูปที่ 2.10 ภาพ 3 มิติในโปรแกรม Fusion 360

2.1.6.2 โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้ในด้านกรวัดและเครื่องมือวัดสำหรับ
 งานในด้านวิศวกรรม และข้อดีของโปรแกรมนี้คือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใด ๆ และใช้
 ภาษาเป็นภาษารูปภาพ หรือภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็น
 บรรทัด เช่น ภาษา C, BASIC

ในส่วนของการเขียนโปรแกรม LabVIEW นั้นจะมีสองส่วนแสดงอยู่ ดังรูปที่ 2.11ก Front
 Panel จะทำหน้าที่สำหรับการแสดงผลการทำงานต่างๆของโปรแกรม และสามารถสั่งการโปรแกรม
 หรือส่งค่าต่างๆไปในโปรแกรม และ รูปที่ 2.11ข Block Diagram จะเป็นส่วนของการเขียนคำสั่งต่าง
 ๆ ของโปรแกรม



ก. Front Panel



ข. Block Diagram

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

2.1.6.3 Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีการพัฒนาแบบมีการเปิดเผยข้อมูล (Open Source) สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.12

ทำหน้าที่ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอก เข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ เช่น เซนเซอร์ มอเตอร์ สื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต และแสดงผลผ่านจอภาพ

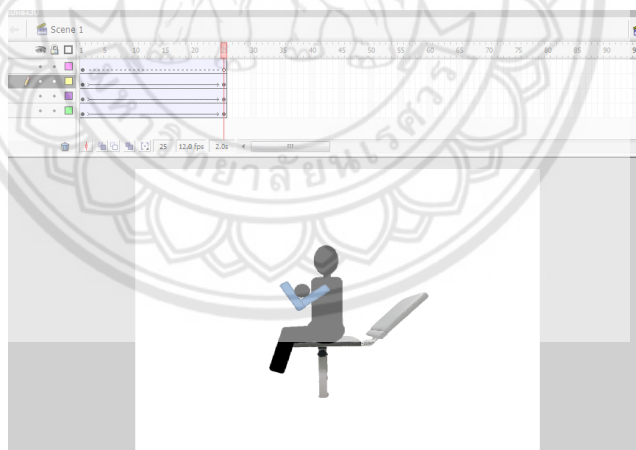
จุดเด่นของบอร์ด Arduino คือ ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อน สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่หลากหลาย



รูปที่ 2.12 บอร์ด Arduino [6]

2.1.6.4 โปรแกรม Macromedia Flash 8 เป็นโปรแกรมสำหรับงานด้านกราฟิกภาพเคลื่อนไหว (Animation) ดังรูปที่ 2.13 โดยจุดเด่นของภาพเคลื่อนไหวจากโปรแกรม Flash คือไฟล์ที่มีขนาดเล็ก สามารถโหลดมาแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว

ในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Flash มาใช้ในส่วนของการวาดกราฟิกบนหน้าจอโปรแกรมการออกกำลังกาย



รูปที่ 2.13 โปรแกรม Macromedia Flash 8

2.1.7 การคำนวณพลังงาน

2.1.7.1 พลังงานจลน์ คือพลังงานที่ขึ้นกับความเร็วของวัตถุ วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะมีพลังงานจลน์ วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีพลังงานจลน์

2.1.7.2 พลังงานศักย์ คือพลังงานที่สะสมอยู่ในตัววัตถุซึ่งอาจถูกปลดปล่อยออกมาเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆได้

พลังงานศักย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงโน้มถ่วง เรียกว่าพลังงานศักย์โน้มถ่วง ที่สะสมตรงนี้เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกเรียกพลังงานศักย์โน้มถ่วง ซึ่งหาขนาดได้จาก

$$Ep = mgh \quad (2.1)$$

เมื่อ E_p คือพลังงานศักย์โน้มถ่วง (จูล)

m คือมวล (กิโลกรัม)

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

h คือความสูงจากจุดเปรียบเทียบกับวัตถุ (เมตร)

พลังงานศักย์ซึ่งเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของวัตถุ เรียกว่าพลังงานศักย์ยืดหยุ่น ซึ่งจะหาพลังงานจากตรงนี้ได้จากการยืดหยุ่นของสปริง ซึ่งหาขนาดได้จาก

$$Ep = \frac{1}{2}ks^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ E_p คือพลังงานศักย์ยืดหยุ่น (จูล)

s คือระยะห่างจากจุดสมดุล (เมตร)

k คือค่าสปริง (นิวตัน/เมตร)

2.1.7.3 โมเมนต์ของแรง

โมเมนต์ของแรง (Moment of Force) หรือโมเมนต์ (Moment) หมายถึง ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุหมุนไปรอบจุดหมุน ดังนั้น ค่าโมเมนต์ของแรง ก็คือ ผลคูณของแรงนั้นกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน (มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร)

โมเมนต์ (นิวตัน-เมตร) = แรง (นิวตัน) X ระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน (เมตร)

หลักการของโมเมนต์

ถ้ามีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุชิ้นหนึ่ง แล้วทำให้วัตถุนั้นสมดุลจะได้ว่า

ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา = ผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

$$\Sigma M = 0$$

$$M \text{ ทวน} = M \text{ ตาม} \quad (2.3)$$

$$F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2$$

2.2 วรรณกรรมปริทัศน์

2.2.1 จากงานวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของดัชนีมวลกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความทนทานของกล้ามเนื้อ, Relation between body mass index percentile and muscle strength and endurance [7]

ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อมีความสำคัญในการพัฒนาการเคลื่อนไหวทางร่างกายและเกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือดในเด็ก ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีมวลกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความทนทานของกล้ามเนื้อในเด็กปกติที่มีสุขภาพดีและเป็นโรคอ้วน

วิธีการ กลุ่มเด็กตัวอย่างจาก Awlady Association ใน Maadi กรุงไคโร เป็นเด็กสุขภาพดี 75 คน เด็กชาย 45 คน และเด็กหญิง 30 คน ช่วงอายุ 10-13 ปี ที่ไม่ผ่านการรักษากระดูกและกล้ามเนื้อ ไม่มีปัญหาด้านการรับรู้ โดยแบ่งออกเป็นสามกลุ่มตามดัชนีมวลกาย กลุ่ม a มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกิน 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ กลุ่ม b มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ แต่ไม่เกิน 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ในขณะที่กลุ่ม c มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ตารางที่ 2.1 แสดงอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายเฉลี่ยของทั้งสามกลุ่ม [7]

	Group a		Group b		Group c	
	Girls	Boys	Girls	Boys	Girls	Boys
Sex	10	15	11	14	9	16
Weight (kg) (mean \pm SD)	35.9 \pm 6.8		46.5 \pm 4.8		52.25 \pm 10.57	
Height (cm)	150.7 \pm 8.9		155.7 \pm 5.9		152.4 \pm 10	
BMI percentile	\geq 5th percentile		\geq 85th percentile		\geq 95th percentile	

ในการทดสอบจะแบ่งเป็นการประเมินผลสองแบบ คือ อย่างแรกพิจารณาแรงบิดสูงสุดในกล้ามเนื้อแขนส่วนหลัง และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ในการตรวจหาโดยใช้เครื่อง Biodex isokinetic dynamometer แสดงในรูปที่ 2.14 ในขณะที่เกร็งกล้ามเนื้อหน้าท้อง ต่อมาเป็นการทดสอบกล้ามเนื้อ โดยคำนวณระยะเวลาที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้าเพื่อการประเมินเวลาของความทนทานในกล้ามเนื้อ



รูปที่ 2.14 เครื่อง Biodex isokinetic dynamometer [8]

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบแรงบิดสูงสุดและความทนทานของกล้ามเนื้อทั้งสามกลุ่ม [7]

	Quadriceps		Triceps		Abdominal	
	Peak torque (Nm)	Endurance time (s)	Peak torque (Nm)	Endurance time (s)	Strength grade	Endurance time (s)
Group a $\bar{X} \pm SD$	45.59 \pm 5.34	83.88 \pm 13.35	23.19 \pm 5.66	72.2 \pm 12.41	5	70.92 \pm 14.68
Group b $\bar{X} \pm SD$	51.64 \pm 9.68	66.28 \pm 6.24	25.94 \pm 5.77	67.08 \pm 14.26	5	63.2 \pm 13.1
Group c $\bar{X} \pm SD$	54.48 \pm 9.29	55.36 \pm 17.08	27.74 \pm 5.37	65.92 \pm 15.73	4	49.4 \pm 9.16
<i>p</i> -Value	0.001	0.0001	0.01	0.25	0.0001	0.0001
Sig	S	S	S	NS	S	S

\bar{X} : Mean SD: Standard deviation S: Significant *p* value: Probability value NS: no Significance.

ผลลัพธ์ที่ได้ คือการวิเคราะห์ในกลุ่มน้ำหนักตัวมากเมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำหนักปกติ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อในกลุ่มน้ำหนักตัวมาก นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและดัชนีมวลกายในขณะที่เวลาที่มีความทนทานของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์เป็นเชิงลบ

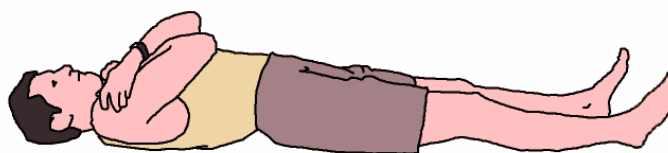
การศึกษาพบว่าค่าดัชนีมวลกายของเด็กมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า และกล้ามเนื้อแขนส่วนหลังและกล้ามเนื้อหน้าท้อง คือค่าดัชนีมวลกายมาก ก็จะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมาก ในขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเวลาความทนทานของกล้ามเนื้อคือค่าดัชนีมวลกายมากจะมีความทนทานของกล้ามเนื้อน้อย

2.2.2 จากงานวิจัยการบริหารกล้ามเนื้อลำตัวที่ช่วยกระชับส่วนหน้าท้อง เปรียบเทียบระหว่างกล้ามเนื้อและการออกกำลังกาย, Trunk Muscle Activities during Abdominal Bracing: Comparison among Muscles and Exercises [9]

การออกกำลังกายและการปรับสภาพร่างกายสามารถทำได้หลากหลายท่าของการออกกำลังกาย แต่ท่าในการออกกำลังกายส่วนหน้าท้องนั้นมีไม่มากนัก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการทำงาน โดยพิจารณากล้ามเนื้อกับความแตกต่างในการออกกำลังกาย โดยมีผู้ทดสอบเป็นผู้ชายที่มีสุขภาพแข็งแรงจำนวน 10 คน แบ่งเป็นการทดสอบ 2 การทดสอบ การทดสอบละ 5 คน โดยการทดสอบแรกเป็นการบริหารร่างกายแบบ static โดยใช้ท่า abdominal bracing ท่า abdominal hollowing แสดงในรูปที่ 2.15 ท่า prone ท่า side และท่า supine plank แสดงในรูปที่ 2.16 และการทดสอบที่สองเป็นการบริหารร่างกายแบบ dynamic ด้วยการใช้ท่า V-sits แสดงในรูปที่ 2.17 ท่า curl-ups แสดงในรูปที่ 2.18 ท่า sit-ups ท่า supine plank



รูปที่ 2.15 แสดงท่า abdominal bracing และ abdominal hollowing [10]



รูปที่ 2.16 supine plank [11]

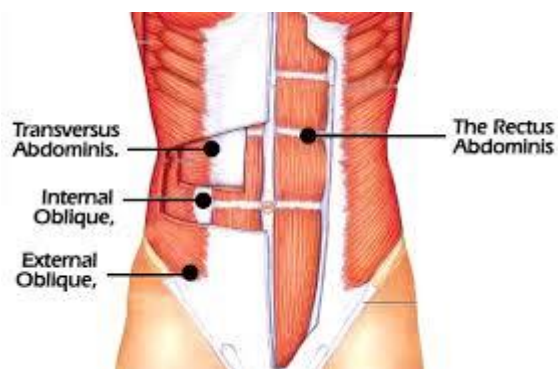


รูปที่ 2.17 ท่า V-sits [12]

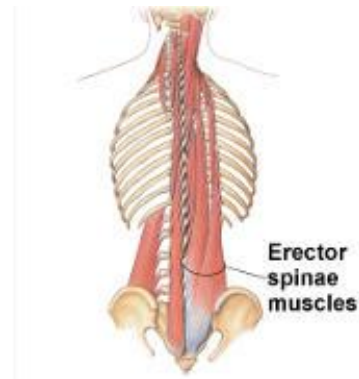


รูปที่ 2.18 ท่า curl ups [13]

ทำการตรวจวัดกล้ามเนื้อโดย Electromyogram (EMG) ที่บริเวณกล้ามเนื้อ rectus abdominis กล้ามเนื้อ external oblique กล้ามเนื้อ internal oblique และกล้ามเนื้อ erector spinae แสดงในรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20 ตามลำดับ

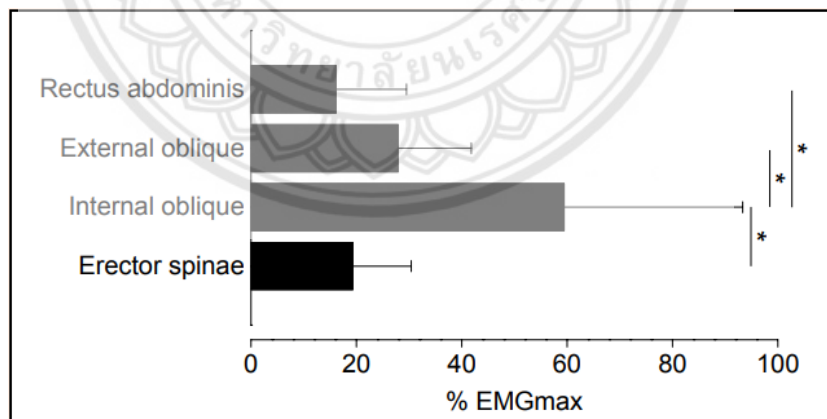


รูปที่ 2.19 กล้ามเนื้อหน้าท้อง [14]

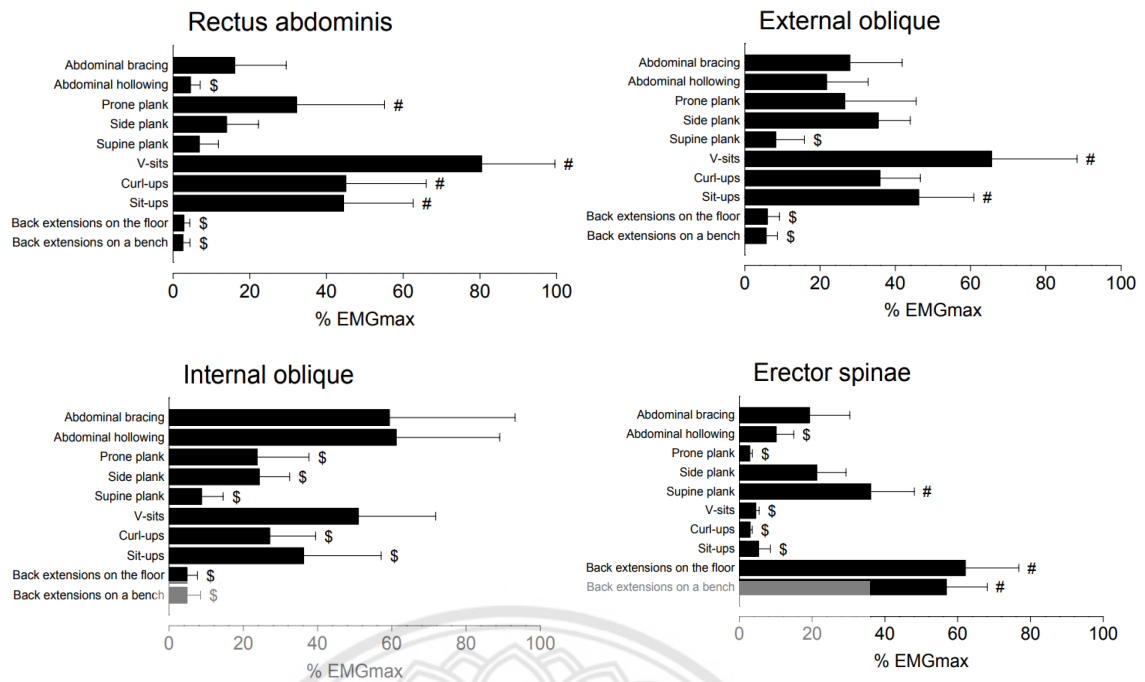


รูปที่ 2.20 กล้ามเนื้อส่วนกลางหลัง [15]

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะได้ค่าการวัดสูงสุด (% EMGmax) และ % EMGmax ที่ตรวจวัดได้อยู่ที่กล้ามเนื้อส่วน internal oblique วัดได้ร้อยละ 60 มากกว่ากล้ามเนื้อส่วนอื่นๆโดยกล้ามเนื้อ rectus abdominis วัดค่าได้ร้อยละ 18 กล้ามเนื้อ external oblique วัดได้ร้อยละ 27 และกล้ามเนื้อ erector spinae วัดได้ร้อยละ 19



รูปที่ 2.21 ร้อยละ EMGmax ของกล้ามเนื้อที่ทำการทดสอบ [9]



รูปที่ 2.22 ร้อยละ EMGmax ของการบริหารร่างกาย [9]

จากรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22 แสดงค่า ร้อยละของ EMGmax สำหรับกล้ามเนื้อ rectus abdominis กล้ามเนื้อ external oblique และกล้ามเนื้อ erector spinae ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในบริเวณหน้าท้อง แต่ในการบริหารท่า curl ups และ sit-ups กลับมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมาก ดังนั้น การบริหารร่างกายแบบ dynamic ให้ผลของการกระตุ้นกล้ามเนื้อส่วนหน้าท้องมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อเทียบกับการบริหารร่างกายแบบ static

2.2.3 จากงานวิจัย ผลของการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ต่อสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะจำเพาะของนักกีฬาบาสเกตบอล [16]

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ต่อความมั่นคงของแกนกลางลำตัวและเชิงกรานและสมรรถภาพทางทักษะ ได้แก่ ความคล่องแคล่ว กำลังกล้ามเนื้อขา ในอาสาสมัครนักกีฬาบาสเกตบอลชาย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จำนวน 18 คน แบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง อย่างละ 9 คน โดยกลุ่มควบคุมได้รับการฝึกบาสเกตบอลเพียงอย่างเดียวแต่กลุ่มทดลองได้รับการฝึกบาสเกตบอลร่วมกับการออกกำลังกายตามโปรแกรมเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ มีการทดสอบ

ความมั่นคงของกระดูกสันหลังและและเชิงกราน (Lumbopelvic stability test; LPST) สมรรถภาพทางทักษะได้แก่ การทดสอบ South East Missouri State University (SEMO) เพื่อทดสอบความคล่องแคล่ว การทดสอบ Sargent เพื่อทดสอบกำลังกล้ามเนื้อขา ก่อนและหลังการทดลอง วิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบค่าความคล่องแคล่ว (Agility) และกำลัง (Power) ของการทดสอบก่อนและหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองโดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและประสบการณ์ของกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม [16]

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มออกกำลังกาย (N=9)	กลุ่มควบคุม (N=9)	p-value
อายุ (ปี)	19.44 \pm 1.01	21 \pm 2.00	0.05*
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	73.03 \pm 9.37	71.18 \pm 11.83	0.72
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	179 \pm 4.75	172.06 \pm 4.93	0.01*
ประสบการณ์ (ปี)	5.22 \pm 2.82	6.33 \pm 3.50	0.47

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและประสบการณ์ของกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุมจากการคำนวณเชิงสถิติ

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความมั่นคงของแกนกลางลำตัวและเชิงกราน (LPST) ค่าความคล่องแคล่ว (SEMO) และค่ากำลังกล้ามเนื้อขา (Power) ในกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม [16]

การทดสอบ	กลุ่มออกกำลังกาย		กลุ่มควบคุม	
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
ระดับ LPST	1.56 \pm 0.53	3.67 \pm 1.32*	1.67 \pm 0.50	2.22 \pm 0.44
SEMO (วินาที)	12.44 \pm 1.01	9.20 \pm 1.33*	13.22 \pm 1.56	12.89 \pm 1.27
Power (watts)	121.96 \pm 11.29	125.11 \pm 13.22	110.78 \pm 18.14	111.12 \pm 14.85

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ ระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกาย

จากตารางที่ 2.4 พบว่าหลังการฝึกค่า LPST และความคล่องแคล่วในกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างของค่ากำลังกล้ามเนื้อขาหลังการฝึก ($p > 0.05$) ของกลุ่มทดลอง แต่พบว่ามีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวสามารถเพิ่มความมั่นคงของแกนกลางลำตัวและเชิงกรานและความคล่องแคล่วในนักกีฬาบาสเกตบอลชายได้

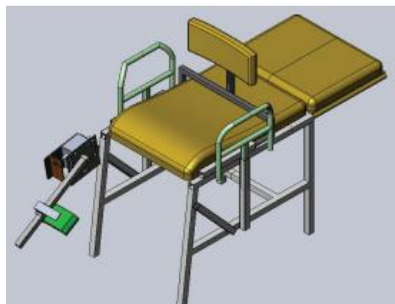
การออกกำลังกายและการบริหารร่างกายมีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความมั่นคงของร่างกายและการเคลื่อนไหวร่างกายที่สามารถกระทำได้อย่างคล่องแคล่ว รวมไปถึงถึงความถี่ในการออกกำลังกายก็มีผลต่อกล้ามเนื้อและร่างกายเช่นกัน

2.2.4 จากงานวิจัยการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดขาหลังการออกกำลังกาย แบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและ CON-TREX ไดนาโมมิเตอร์ Comparison the Quadriceps Strength after Isokinetic Exercise Using a Modified Nk Table and Con-Trex Dynamometer (ชนนิษฐ์ ลีนสกุล, วิภาวรรณ ลีลาสำราญ) [17]

ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดขาโดยการออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและ Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ โดยสุ่มอาสาสมัครสุขภาพดี อายุ 18-40 ปี ทั้งหมด 24 ราย จับคู่ตามคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดขาทั้งขาซ้ายและขวา, อายุ, BMI เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มออกกำลังกายโดยชาวออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลง และขาซ้ายออกกำลังกายด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ กลุ่มไม่ออกกำลังกาย อาสาสมัครได้รับคำแนะนำให้งดการออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทั้ง 2 กลุ่มได้รับการวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อเหยียดขาขาซ้ายและขวา ก่อนและหลัง 6 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์

โต๊ะ NK ดัดแปลง เป็นอุปกรณ์ที่คณะวิจัย (18) สร้างขึ้นโดยติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ที่มีมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของ lever arm มี potentiometer เป็นส่วนประกอบที่ควบคุมองศาของการเคลื่อนไหว มีระบบ PID controller เป็น ระบบที่ควบคุมให้มีการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วที่คงที่ มี gear box เป็น อุปกรณ์ที่ให้แรงต้านสำหรับการออกกำลังกาย และมี strain gauge เป็น อุปกรณ์ที่วัดแรงที่คนกระทำต่ออุปกรณ์ออกมาเป็นแรงที่วัดได้

ส่วนประกอบทั้งหมดนี้ได้รับการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์โปรแกรม Labview แสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โต๊ะ NK ดัดแปลง [18]

ผลการศึกษาในกลุ่มออกกำลังกาย ความแข็งแรง (แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย) ของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขาข้างขวา (โต๊ะ NK ดัดแปลง) หลังครบ 6 สัปดาห์ เพิ่มขึ้นจาก 83.10 นิวตันเมตร เป็น 94.45 นิวตันเมตร ขาข้างซ้าย (เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์) เพิ่มขึ้นจาก 79.15 นิวตันเมตร เป็น 90.66 นิวตันเมตร โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 กลุ่ม ($p=0.004$ และ 0.003 ตามลำดับ) ในขณะที่กลุ่มไม่ออกกำลังกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าในกลุ่มออกกำลังกาย ทั้งขาขวาและขาซ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มไม่ออกกำลังกาย ($p=0.026$ และ 0.003 ตามลำดับ) และพบว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของขาข้างขวา เมื่อเทียบกับขาข้างซ้าย ในกลุ่มออกกำลังกายด้วยกันนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.98$)

ดังนั้น การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าได้ เมื่อเทียบกับเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก

2.2.5 การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวที่มีผลต่อความแข็งแรง และการทรงตัวในผู้สูงอายุ Effects of Core Muscles Training on Strength and Balance of the Elderly (ศรีนยา บุรณสรพรลลิต) [19]

การวิจัยศึกษาผลของการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการทรงตัวในผู้สูงอายุ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุเพศหญิง อายุ 60-69 ปี จำนวน 30 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มเท่าๆกัน กลุ่มทดลองได้รับการฝึกโปรแกรมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวจำนวน 12 ท่า จำนวน 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 1 ชั่วโมง ในขณะที่กลุ่มควบคุมไม่ได้รับการฝึก ตัวอย่าง ทำบริหารความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวจำนวน 12 ท่า



รูปที่ 2.24 ท่านอนหงายยกขา [19]



รูปที่ 2.25 ท่ามือแตะเข่าตรงข้าม [19]



รูปที่ 2.26 ท่ายกแขนสลับขา [19]

ความแข็งแรง และความสามารถในการทรงตัวได้รับการทดสอบ ก่อนการฝึก หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4 และ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานสถิติที (t-test Independent) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way Analysis of Variance with Repeated Measures) ทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยวิธีของบอน เฟอร์โรนี (Bonferroni) กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการทดลอง พบว่า

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว และความสามารถในการทรงตัว ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนการฝึก ไม่มีความแตกต่างกัน แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว และความสามารถในการทรงตัวระหว่าง กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อน การฝึก ไม่มีความแตกต่างกัน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แกนกลางลำตัวภายในกลุ่มทดลอง ดีขึ้นกว่าก่อนการฝึก ตามลำดับ แต่ภายในกลุ่มควบคุมไม่พบความ แตกต่าง

ค่าเฉลี่ยความสามารถในการทรงตัวของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก ไม่มีความ แตกต่างกัน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการทรงตัวภายในกลุ่มทดลองดีขึ้น กว่า ก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แต่ภายในกลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่าง

ดังนั้น การฝึกด้วยโปรแกรมเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว สามารถ ช่วยพัฒนาความแข็งแรง และความสามารถในการทรงตัวในผู้สูงอายุเพศหญิงได้

จากวรรณกรรมที่ศึกษาสามารถนำทำบริหารบางท่า เช่น ท่านอนหงายยกขาคู่ และท่ามือ แตะเข่าตรงข้าม มาปรับใช้กับอุปกรณ์บริหารและวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว สำหรับผู้ที่มี น้ำหนักมาก หรือผู้ที่มีกล้ามเนื้อไม่แข็งแรง ให้สามารถบริหารท่าดังกล่าวได้ง่ายขึ้น

2.2.6 จากงานวิจัยการเปรียบเทียบผลการฝึกความแข็งแรงระหว่างบนพื้นกับลูกบอลออก กำลั๊งกาย [20]

องค์ประกอบของการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐานมีหลายประการ และที่มีความสำคัญในส่วนของ การเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน นั่นคือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว และลำตัวยังช่วยควบคุมร่างกาย ไม่ให้สูญเสียการทรงตัวในการเคลื่อนไหวต่างๆ [21]

ในหัวข้อการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการฝึกความแข็งแรงระหว่างบนพื้นกับลูก บอลออกกำลังกาย โดยมีกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นเด็กนักเรียนชายชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 – 4 อายุระหว่าง 9 – 11 ปี ที่มีน้ำหนักระหว่าง 25 – 40 กิโลกรัม และมีส่วนสูงระหว่าง 130 – 150 เซนติเมตร จำนวน 90 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 30 คน คือ กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึก โปรแกรมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อท้อง, กล้ามเนื้อส่วนบน บนพื้น กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกโปรแกรม ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อท้อง, กล้ามเนื้อส่วนบน บนลูกบอลออกกำลังกาย และนำผลที่ได้มา วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองแบบวัดซ้ำ ให้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 1 ทำการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อส่วนบนบนพื้น

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 2 ทำการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อส่วนบน บนลูก บอลออกกำลังกาย

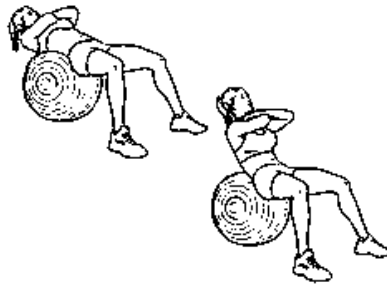
ดำเนินการฝึกซ้อมท่าทางในการฝึกตามโปรแกรมของแต่ละกลุ่มเป็นเวลา 8 สัปดาห์ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ช่วงเวลาตั้งแต่ 15.10 – 16.10 น. โดยกลุ่มตัวอย่างดำเนินการ ฝึกตามโปรแกรม และบันทึกข้อมูลที่ทำการทดสอบความแข็งแรงสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 โปรแกรมทดสอบความแข็งแรง

ใช้แบบทดสอบสมรรถภาพทางกายของ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการเสริมสร้างสุขภาพ (สสส.) ประกอบไปด้วย [22]

1. โปรแกรมทดสอบความแข็งแรงกล้ามเนื้อท้อง ใช้แบบทดสอบลูก-นั่ง 60 วินาที



รูปที่ 2.27 การทดสอบ ลูก-นั่ง บนพื้น [23]



รูปที่ 2.28 การทดสอบ ลูก-นั่ง บนลูกบอลออกกำลังกาย [24]

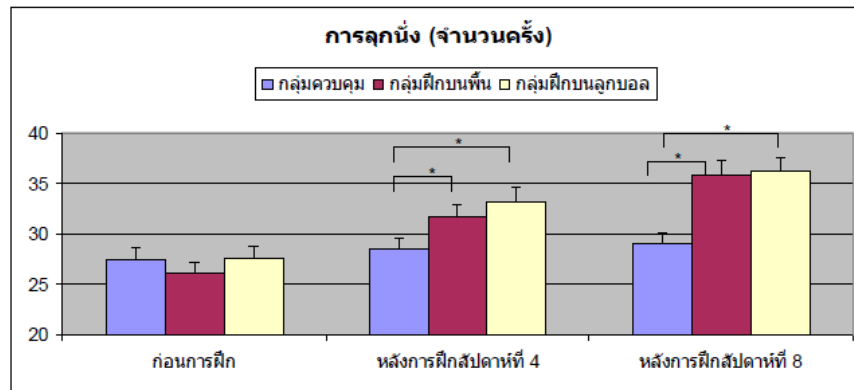
2. โปรแกรมทดสอบความแข็งแรงกล้ามเนื้อส่วนบน ใช้แบบทดสอบต้นพื้น 30 วินาที



รูปที่ 2.29 การทดสอบต้นพื้น [25]

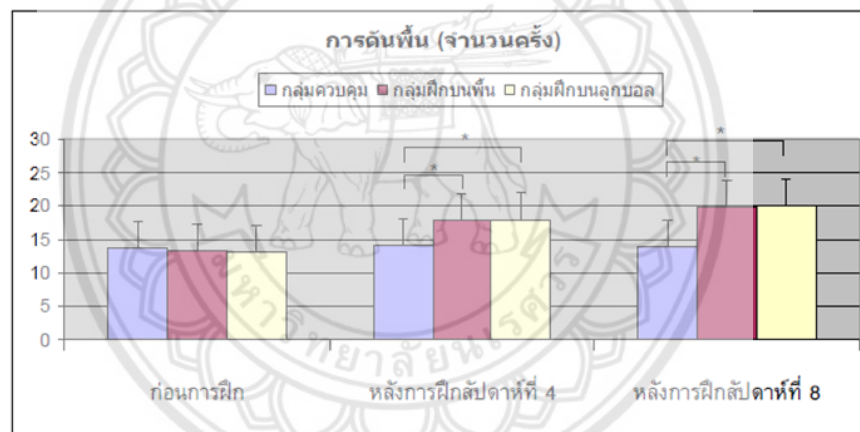
รูปที่ 2.30 การทดสอบต้นพื้น บนลูกบอลออกกำลังกาย [24]

การฝึกพบว่าโปรแกรมทั้ง 2 วิธีมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการสร้างความแข็งแรงในเด็ก จากการทดลองพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8 พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อท้อง (ตั้งรูปที่ 2.31) และกล้ามเนื้อส่วนบน (ตั้งรูปที่ 2.32) มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มควบคุมทั้ง 2 โปรแกรม ซึ่งก็คือ ในการฝึกสามารถเลือกใช้ได้ทั้งสองโปรแกรมในการฝึกความแข็งแรง



*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มบนพื้น กลุ่มควบคุมและกลุ่มลูกบอล ($p < 0.05$)

รูปที่ 2.31 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้อง [20]



*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มบนพื้น กลุ่มควบคุมและกลุ่มลูกบอล ($p < 0.05$)

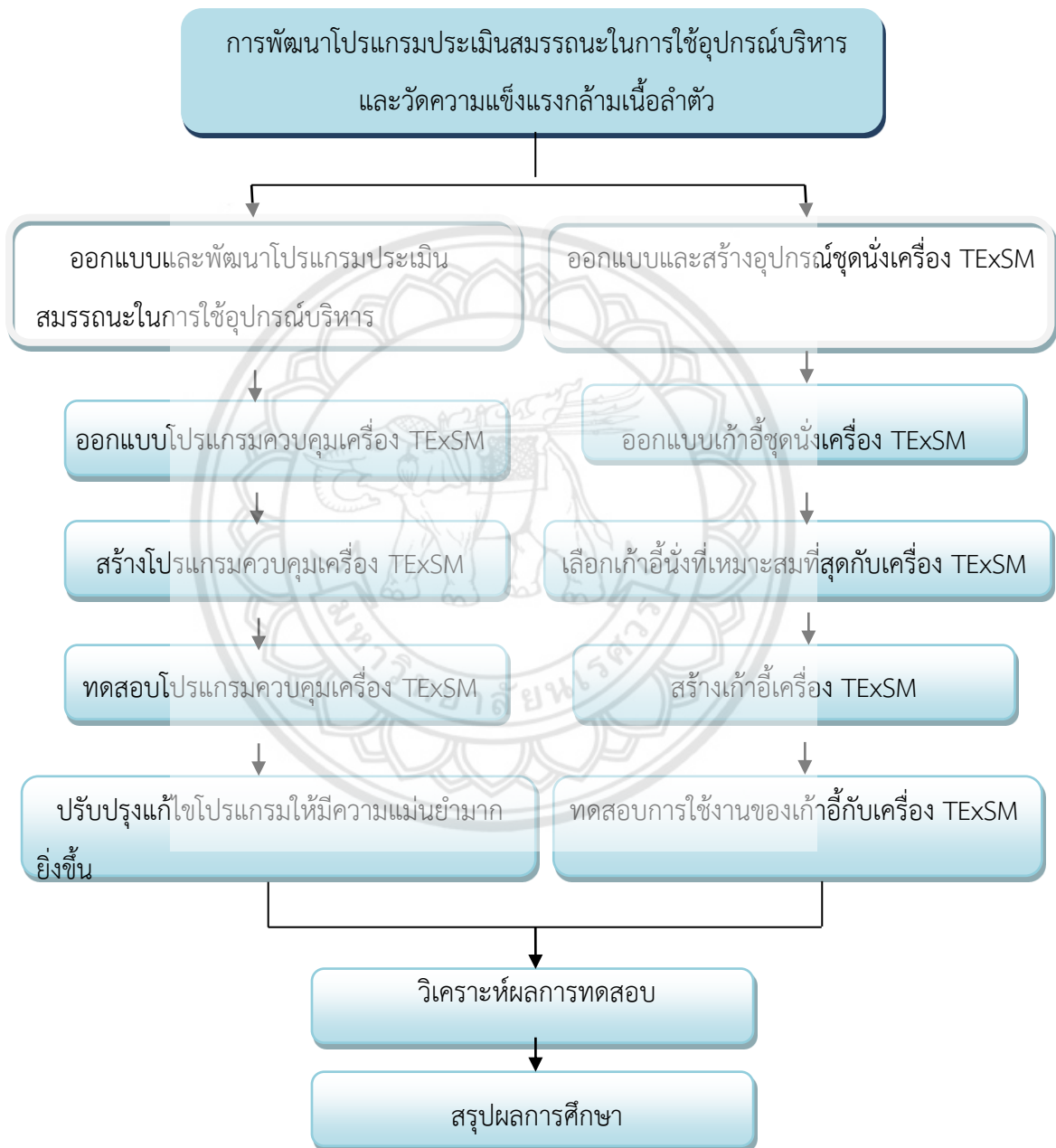
รูปที่ 2.32 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบน [20]

ถ้าต้องการให้ได้ผลดีควรนำโปรแกรมการฝึก ที่ฝึกบนลูกบอลไปใช้ เพราะผลจากการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อส่วนบน ที่ฝึกบนลูกบอลออกกำลังกายมีแนวโน้มที่ดีกว่า

บทที่ 3

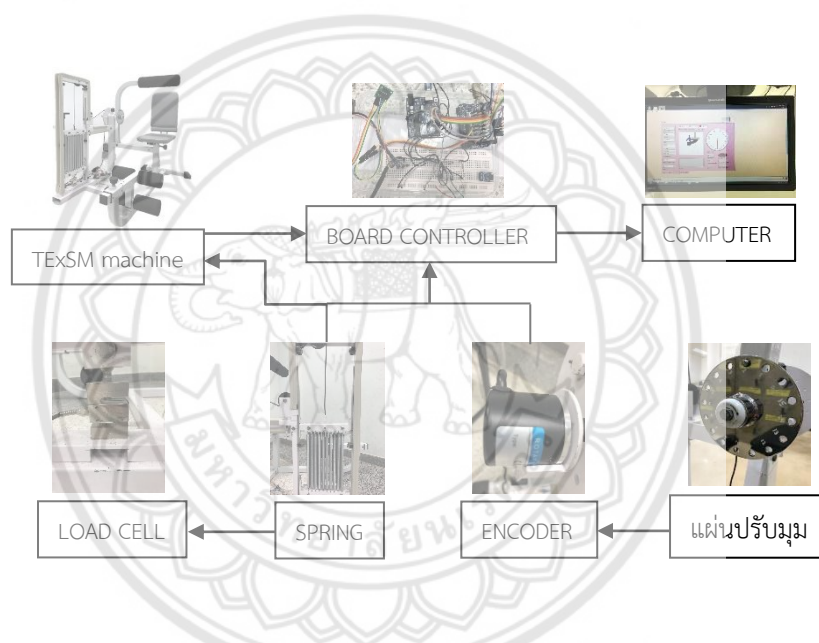
วิธีดำเนินโครงการ

3.1 แผนการดำเนินงาน



การดำเนินงานแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหาร โดยการสร้างในโปรแกรม Labview ให้เป็นโปรแกรมที่สามารถแสดงค่าของระยะองศาที่เคลื่อนที่และแสดงค่าแรงที่ใช้ในการบริหารแต่ละครั้งออกมาแสดงผลบนโปรแกรม 2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชุดนั่งเครื่อง TExSM โดยการเขียนแบบจำลองในโปรแกรม Fusion 360 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรมกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อให้ได้ค่าที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุดสำหรับชุดนั่ง

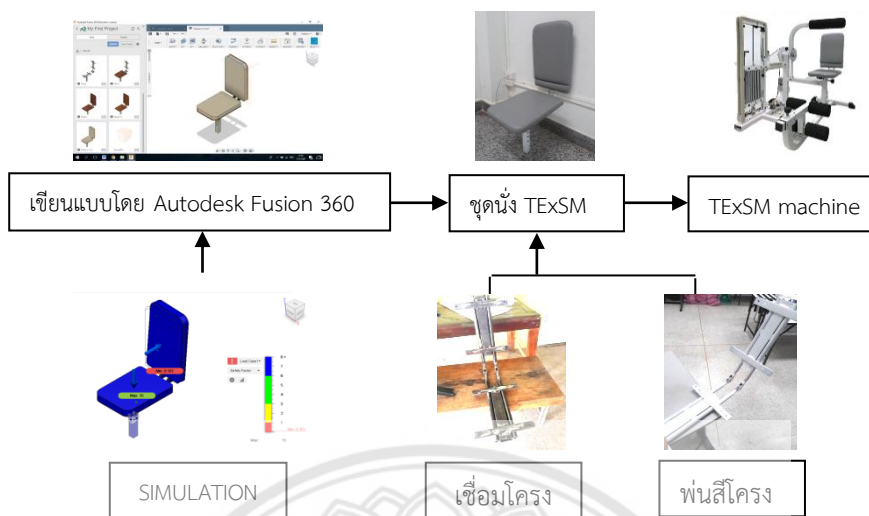
3.1.1 การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมประเมินสมรรถนะในการใช้อุปกรณ์บริหารและวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องและโปรแกรม

จากรูปที่ 3.1 การใช้งานเริ่มเมื่อมีการบริหารร่างกายสายสลิงมีการเคลื่อนที่ทำให้ตึงสปริงที่ติดอยู่กับ load cell จะยืดออกซึ่ง load cell ก็จะส่งค่าน้ำหนักที่กระทำมายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนเอ็นโค้ดเดอร์ที่เชื่อมต่อกับแผ่นปรับมุมและก้านจับของเครื่อง TExSM เมื่อมีการบริหารร่างกายก้านจับจะมีการเคลื่อนที่ ซึ่งเอ็นโค้ดเดอร์จะส่งระยะการหมุนของก้านมายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมจะส่งค่ามาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

3.1.2 ออกแบบชุดนั่งเครื่อง TExSM



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ชุดนั่งเครื่อง TExSM

จากรูปที่ 3.2 เป็นแผนการดำเนินงานออกแบบชุดนั่งเครื่อง TExSM ใช้คอมพิวเตอร์เขียนแบบโดยโปรแกรมเขียนแบบ Autodesk Fusion 360 ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรมกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริง เพื่อให้ได้ค่าที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุด และทำการสร้างชุดนั่ง TExSM โดยการเชื่อมโครง ฟันสี และนำไปประกอบใช้กับเครื่อง TExSM

3.2 วิธีการดำเนินงาน

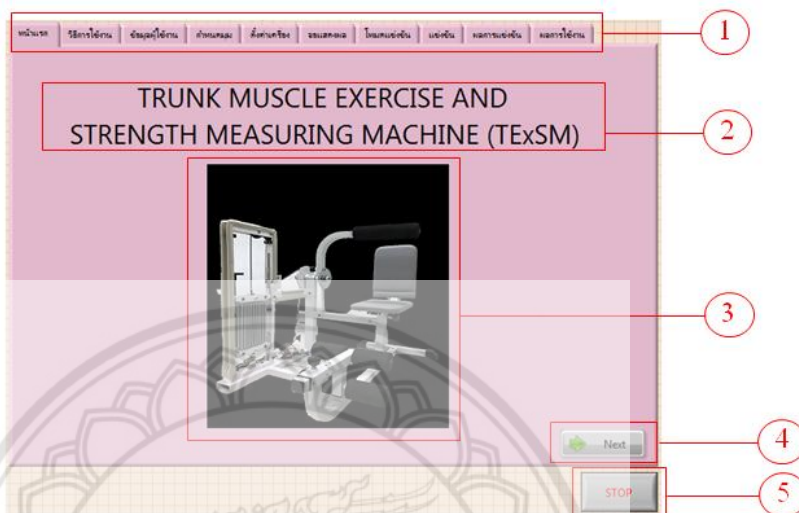
3.2.1 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

3.2.1.1 ศึกษาการทำงานของเครื่อง และกำหนดหน้าต่างของโปรแกรมให้มีความสวยงามและใช้งานได้จริง

3.2.1.2 หน้าจอของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยหน้าจอย่อยอีก 10 หน้าจอซึ่งในแต่ละหน้าจอย่อยก็จะมีฟังก์ชันที่แตกต่างกันไปในแต่ละหน้าจอย่อยก็จะมีปุ่ม Next เป็นปุ่มสำหรับการกดให้โปรแกรมเลื่อนไปในหน้าถัดไป หรือปุ่ม Previous เป็นปุ่มที่ให้โปรแกรมย้อนกลับมายังหน้าก่อนหน้านั้น ดังนี้

ก. หน้าจอหน้าแรก

เป็นหน้าจอแรกที่แสดงแท็บของหน้าจอในหมายเลข 1 ชื่อของเครื่องในหมายเลข 2 และรูปภาพของเครื่องในหมายเลข 3 ในหมายเลข 4 เป็นปุ่มสำหรับกดไปหน้าถัดไป หมายเลข 5 เป็นปุ่มหยุดโปรแกรมทั้งหมด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หน้าจอหน้าแรก

ข. หน้าจอวิธีการใช้งาน

เป็นหน้าจอที่บอกขั้นตอนการใช้เครื่อง ในหมายเลข 1

1. ผู้ใช้งานควรนั่งหลังพิงพนักพิง มือทั้งสองจับที่ก้านจับ และวางเท้าที่พิงเท้า
2. หมุนแผ่นปรับมุมไปทางขวา เพื่อปรับบริหารในโหมดไปข้างหน้าและหมุนแผ่นปรับมุมไปทางซ้าย เพื่อปรับบริหารในโหมดไปข้างหลัง
3. นำก้านล้อออกจากแผ่นปรับมุมเพื่อเริ่มการใช้งาน
4. เมื่อใช้งานเสร็จในนำก้านล้อยึดกับแผ่นปรับมุมตามเดิม

ข้อเสนอแนะ ในหมายเลข 2

1. ใช้งานเครื่อง ได้ครั้งละ 1 ท่าน
2. ควรนั่งให้เรียบร้อยก่อนเริ่มใช้งานเครื่อง
3. ก่อนใช้งานควรนำก้านล้อออกก่อนทุกครั้ง

พร้อมมีรูปภาพตัวอย่างในการนั่ง ในหมายเลข 3 และปุ่มย้อนกลับไปยังหน้าจอหน้าก่อนหน้าดังหมายเลข

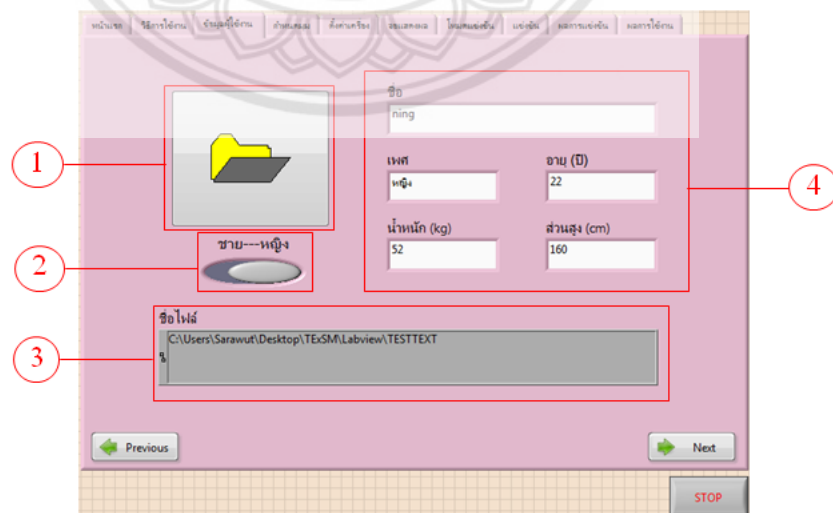
4 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าจอวิธีการใช้งาน

ค. หน้าจอข้อมูลผู้ใช้งาน

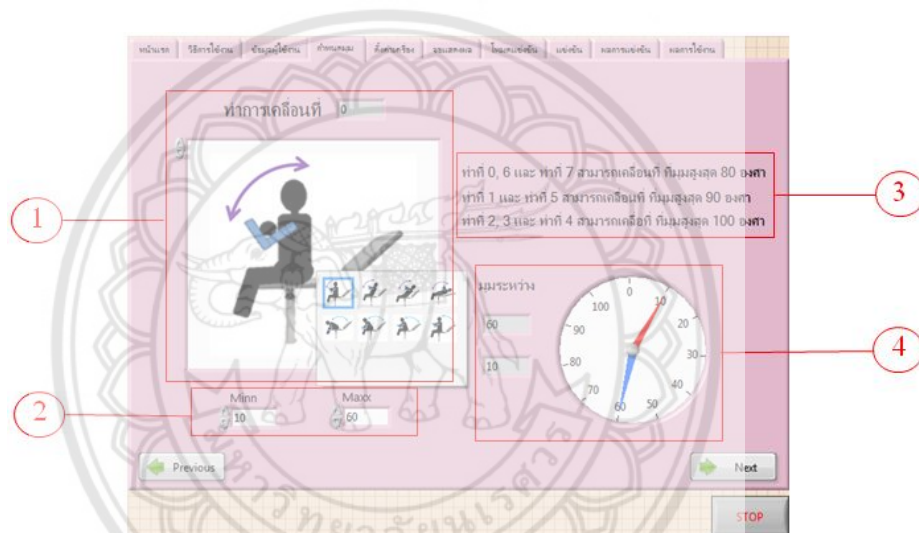
เป็นหน้าจอที่ใช้กรอกข้อมูลของผู้ใช้งานเพื่อบันทึกค่าของพลังงานที่ได้ทำ หมายเลข 1 เป็นรูปไอคอนสำหรับการเลือกไฟล์ที่เก็บ หมายเลข 2 เป็นการเลือกเพศ ซึ่งเมื่อเลือกเพศเสร็จก็จะแสดงในช่องเพศที่หมายเลข 4 ส่วนหมายเลข 3 แสดงชื่อไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูล หมายเลข 4 จะมีให้กรอก ชื่อ เพศ อายุ น้ำหนักและส่วนสูง ดังรูปที่ 3.5 จะเก็บข้อมูลที่ไฟล์ C:\Users\Sarawut\Desktop\TE xSM\Labview\TESTTEXT



รูปที่ 3.5 หน้าจอข้อมูลผู้ใช้งาน

ง. หน้าจอกำหนดท่าการเคลื่อนที่และช่วงมุมที่บริหาร

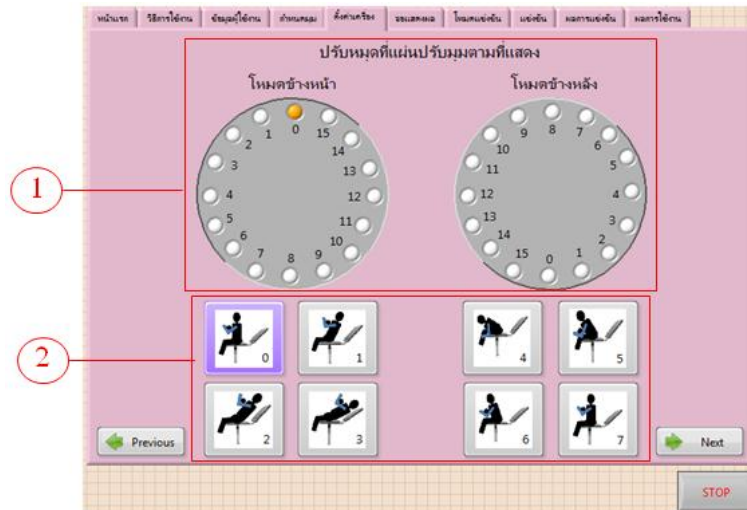
เป็นหน้าจอที่เลือกท่าการนั่งเริ่มต้น ในหมายเลข 1 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกท่านั่งในการเริ่มต้นจากการกดที่รูปภาพๆ จะแสดงไอคอนการนั่งอื่น ๆ ให้เลือกได้ จะบริหารมุมต่ำสุดและมุมสูงสุดที่เท่าไรดังในหมายเลข 2 ในหมายเลข 3 เป็นคำแนะนำในการกำหนดมุมของท่าเริ่มต้นต่าง ๆ ว่าในแต่ละท่าสามารถกำหนดได้ที่มุมสูงสุดค่าเท่าใด หมายเลข 4 แสดงมุมต่ำสุดและมุมสูงสุดที่กำหนดแล้วและมีเกจที่แสดงช่วงของมุมที่กำหนด ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6 เลือกว่าจะบริหารในโหมดไปข้างหน้าที่ทำนั่งเริ่มต้นในลักษณะการนั่งแบบตรงที่มุมสูงสุด 60 องศา และมุมต่ำสุด 10 องศา



รูปที่ 3.6 หน้าจอกำหนดมุม

จ. หน้าจอตั้งค่าเครื่อง

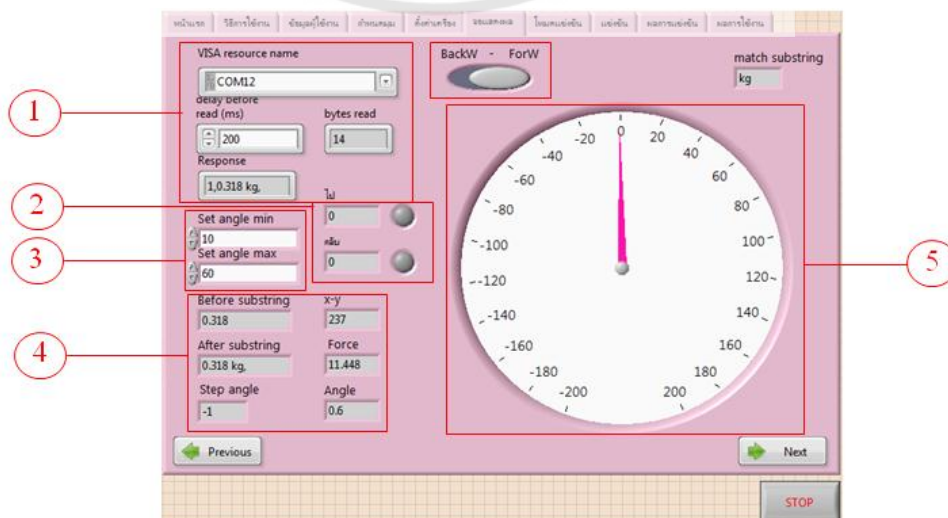
เป็นหน้าจอที่ต่อมาจากหน้าจอกำหนดมุม คือ เมื่อผู้ใช้งานเลือกท่านั่งเริ่มต้นแล้ว หน้าจอนี้จะแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานควรจะยึดหมุดใดบนแผ่นปรับมุมซึ่งจะมีไฟสีเหลืองบนหมุดนั้น แสดงในหมายเลข 1 และท่านั่งเริ่มต้นที่เลือกจะแสดงอีกครั้งในหมายเลข 2 ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าจอตั้งค่าเครื่อง

ฉ. หน้าจอแสดงผล

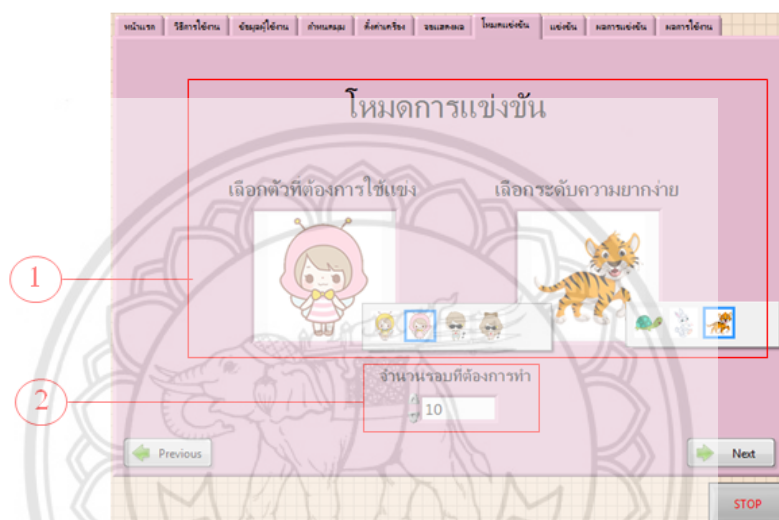
เป็นหน้าจอที่แสดงค่าที่ตัวเซ็นเซอร์อ่านได้ ดังในรูปที่ 3.8 หมายเลข 1 เป็นการเลือกบอร์ดที่รับค่า และการตั้งค่า หมายเลข 2 บอกจำนวนรอบที่ทำได้โดยที่เข้าไปถึงมุมที่ตั้งจะเริ่มนับ 1 และมีไฟสีเขียวติด ส่วนขากลับจะนับ 1 เมื่อเคลื่อนผ่านมุมที่ตั้งเช่นกันและจะมีไฟสีแดงติดให้ทราบ หมายเลข 3 เป็นการเซตว่าบริหารที่มุมเท่าใด หมายเลข 4 เป็นส่วนที่แสดงค่ามุม ค่าแรง ทั้งก่อนการคำนวณและหลังการคำนวณ หมายเลข 5 เป็นเกจที่แสดงว่าผู้ใช้งานกำลังเคลื่อนไปเป็นมุมเท่าใด ซึ่งจะแสดงตามเซ็นเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ที่อ่านได้ อย่างเช่นในรูปที่ 3.6 ถ้าผู้ใช้งานกำหนดมุมสูงสุดที่ 60 องศา และต่ำสุดที่ 10 องศาเมื่อทำการบริหารแต่ไม่ถึงมุม 60 องศาก็ไม่นับรอบ เช่นเดียวกับขากลับถ้ามุมไม่ถึง 10 องศาจะไม่นับรอบต่อไป



รูปที่ 3.8 หน้าจอแสดงผล

ช. หน้าจอโหมดแข่งขัน

เป็นหน้าจอที่สร้างขึ้นมาเพื่อเพิ่มความน่าสนใจให้กับโปรแกรม เพราะนอกจากจะแสดงค่าได้แล้วยังสามารถมาแข่งขันกับความเร็วที่โหมดแข่งขันนี้ได้ ดังรูปที่ 3.9 หมายเลข 1 คลิกที่รูปไอคอนจะเป็นการเลือกตัวละครที่ต้องการใช้แข่ง กับเลือกระดับความยากง่าย โดยที่ใช้สัตว์เป็นสัญลักษณ์แทนระดับ คือ ระดับง่ายเป็นเต่า ระดับปานกลางเป็นกระต่าย และระดับยากเป็นเสือ หมายเลข 2 เป็นช่องสำหรับกำหนดจำนวนรอบที่แข่ง



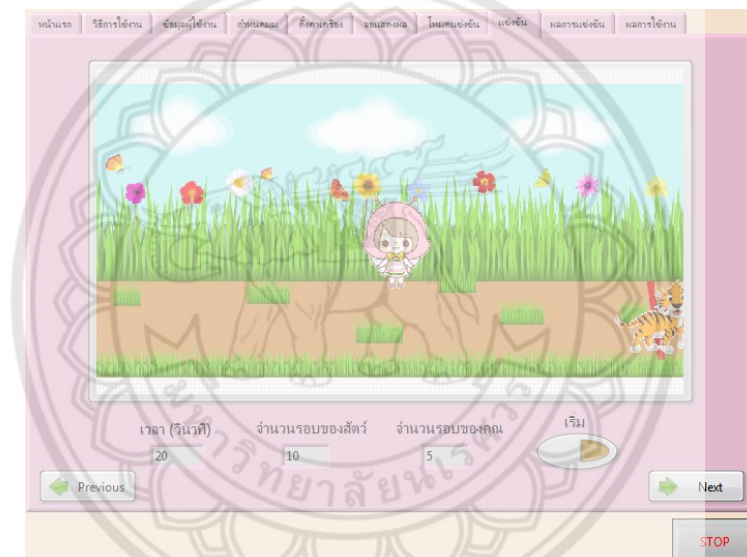
รูปที่ 3.9 หน้าจอโหมดแข่งขัน

ช. หน้าจอแข่งขัน

เป็นหน้าจอที่ใช้แข่งขัน ดังรูปที่ 3.10 หมายเลข 1 แสดงการเดินของตัวละครที่แข่งกัน หมายเลข 2 จะบอกเวลาที่ใช้ในการแข่งขัน จำนวนรอบของสัตว์ จำนวนรอบของคุณ (ผู้แข่งขัน) หมายเลข 3 ปุ่มสำหรับการเริ่มแข่งขัน และปุ่มจะหยุดเองเมื่อมีคนใดคนหนึ่งเข้าเส้นชัยก่อน



ก. เมื่อผู้ใช้งานถึงเส้นชัยก่อน

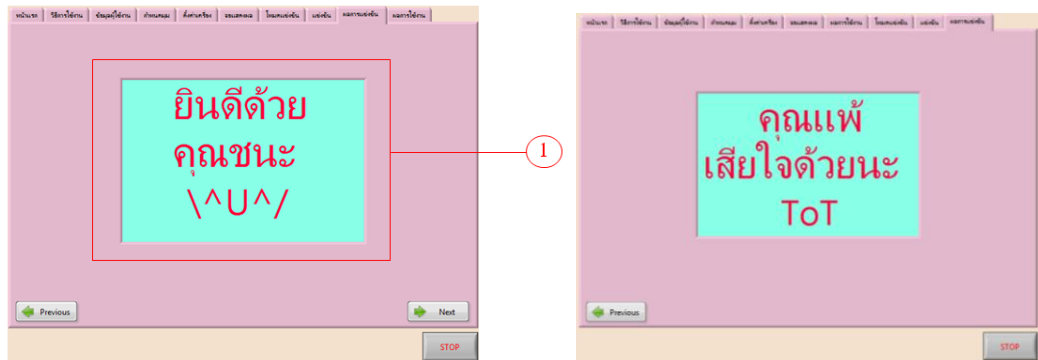


ข. เมื่อผู้ใช้งานถึงเส้นชัยทีหลัง

รูปที่ 3.10 หน้าจอแข่งขัน

ฉ. หน้าจอผลการแข่งขัน

เป็นหน้าจอแสดงผลเมื่อแข่งขันเสร็จ ดังรูปที่ 3.11 หมายเลข 1 เป็นช่องที่แสดงข้อความว่าคุณแพ้หรือชนะการแข่งขัน ในที่นี้ผู้ใช้งานชนะการแข่งขัน จึงขึ้นข้อความว่า “ยินดีด้วย คุณชนะ \^U^/” ดังรูปที่ 3.11ก ซึ่งหากแข่งแพ้จะขึ้นข้อความว่า “คุณแพ้ เสียใจด้วยนะ ToT” ดังรูปที่ 3.11ข



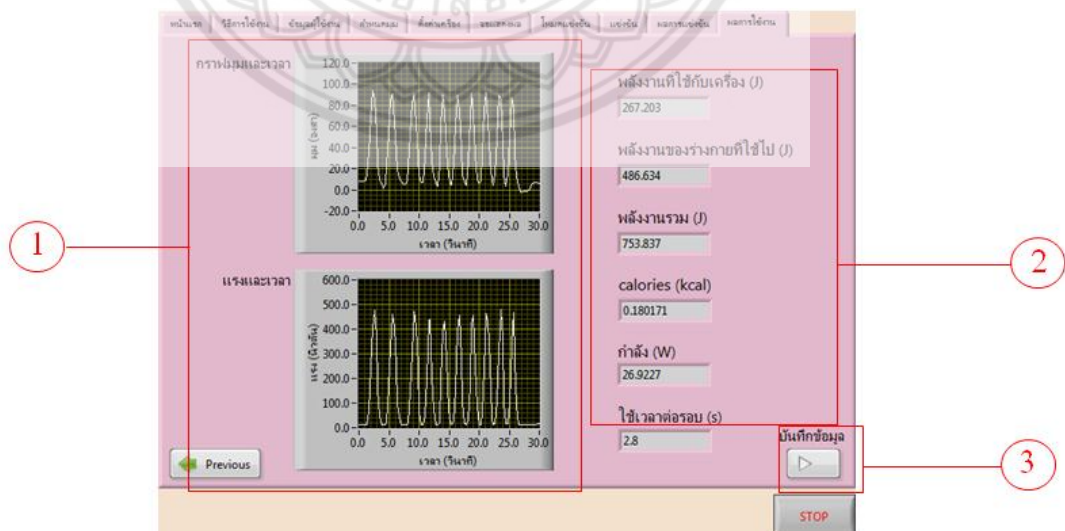
ก. หน้าจอเมื่อแข่งขันชนะ

ข. หน้าจอเมื่อแข่งขันแพ้

รูปที่ 3.11 หน้าจอผลการแข่งขัน

ญ. หน้าจอผลการใช้งาน

เป็นหน้าจอที่แสดงการใช้พลังงานของผู้ใช้งานตามจำนวนรอบที่ทำ ดังรูปที่ 3.12 หมายเลข 1 ประกอบด้วยกราฟมุมและเวลา กับกราฟแรงและเวลา หมายเลข 2 แสดงค่าของพลังงานที่ใช้กับเครื่อง พลังงานของร่างกายที่ใช้ และผลรวมของพลังงาน รวมไปถึงค่าของแคลอรี และกำลังที่ใช้ ใช้ไป หมายเลข 3 คือ ปุ่มสำหรับบันทึกค่าพลังงานทั้งหมด



รูปที่ 3.12 หน้าจอผลการใช้งาน

ค่าที่บันทึกจะออกมาในลักษณะดังรูปที่ 3.13 ในบรรทัดแรกประกอบด้วย ชื่อ อายุ น้ำหนัก (กิโลกรัม) ส่วนสูง (เซนติเมตร) เพศ ต่อมาแสดงค่าของพลังงานที่ใช้กับเครื่อง (จูล) พลังงานของร่างกายที่ใช้ไป (จูล) ผลรวมของพลังงาน (จูล) ค่าของการเผาผลาญ (กิโลแคลอรี) กำลัง (วัตต์) และ ค่ามุมกับแรงเมื่อเทียบกับเวลา

เวลา(วินาที)	มุม(องศา)	แรง(นิวตัน)
0.002	7.800	10.872
0.202	7.800	10.800
0.470	7.800	10.872
0.770	7.800	10.872
1.070	9.000	11.088
1.370	14.400	13.860
1.670	36.000	67.140
1.970	69.000	244.332
2.270	93.600	403.740
2.570	85.800	476.136
2.870	54.600	372.312

นิ่ง 22 52 160 หญิง
 พลังงานที่ใช้กับเครื่อง (J) 267.202935
 พลังงานของร่างกายที่ใช้ไป (J) 486.633793
 พลังงานรวม (J) 753.836728
 Calories (kcal) 0.180171
 กำลัง (W) 26.922740
 ใช้เวลาต่อรอบ (s) 2.800000

รูปที่ 3.13 หน้าจอบันทึกผลการใช้งาน

3.2.1.3 วาดภาพเพื่อแสดงบนหน้าจอการตั้งค่าโปรแกรม โดยโปรแกรม Macromedia Flash 8

3.2.1.4 ทดลองใช้เครื่องกับโปรแกรม

3.2.2 ออกแบบและสร้างชุดนั่งเครื่อง TExSM

3.2.2.1 ออกแบบชุดนั่ง และเขียนแบบชุดนั่ง

ออกแบบชุดนั่งเครื่อง TExSM เพื่อให้สามารถนั่งและรองรับหลังของผู้ใช้งานให้มีความปลอดภัยสามารถปรับระดับของพนักพิงได้ 5 ระดับ และออกแบบให้น้ำหนักได้ประมาณ 100 กิโลกรัม โดยการเขียนแบบชุดนั่งเป็นภาพสามมิติ ด้วยการใช้โปรแกรม Autodesk Fusion 360 โดยมีโครงสร้างเหล็กขนาดความกว้าง 210 มิลลิเมตร ยาว 479 มิลลิเมตร สูง 727 มิลลิเมตร ใช้วัสดุเป็นเหล็ก (Steel Non-Alloy) เบาะรองนั่ง มีความกว้าง 300 มิลลิเมตร หนา 40 มิลลิเมตร และความ

ยาว 410 มิลลิเมตร ส่วนและพนักพิงได้ออกแบบให้มีความกว้าง 300 มิลลิเมตร หนา 40 มิลลิเมตร และความยาว 470 มิลลิเมตร ทั้งสองใช้วัสดุตัวอย่างเป็นโฟม (Polystyrene Expanded) และมีฐานของเบาะรองนั่งและพนักพิงที่มีขนาดตามลักษณะดังกล่าวโดยทำจากวัสดุไม้ (MPF Medium Density Fiberboard) ดังรูปที่ 3.14



ก. แบบโครงสร้างเหล็กชุดนั่งเครื่อง TExSM

ข. แบบชุดนั่งเครื่อง TExSM พร้อมเบาะรอง
นั่งและพนักพิง

รูปที่ 3.14 แบบชุดนั่งเครื่อง TExSM

3.2.2.2 ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 Simulation ขึ้นงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

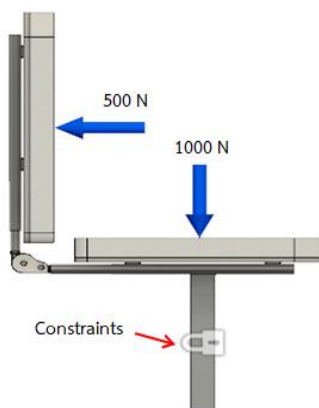
1. เปิดขึ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์
2. กำหนดคุณสมบัติวัสดุลงบนชิ้นงาน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุ

Material	Steel Non-Alloy	Polystyrene Expanded	MPF Medium Density Fiberboard
Density	7.85×10^{-6} kg/mm ³	5×10^{-8} kg/mm ³	8×10^{-7} kg/mm ³
Young's Modulus	210000 MPa	27.5 MPa	2400 MPa
Young's Ratio	0.3	0.275	0.25
Yield Strength	250 MPa	0.9 MPa	7.72 MPa
Ultimate Tensile Strength	300 MPa	1.1 MPa	7.72 MPa
Thermal Conductivity	0.047 W/(mm C)	3.7×10^{-5} W/(mm C),	1.2×10^{-4} W/(mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1.2×10^{-5} /C	1.26×10^{-4} /C	1×10^{-7} /C
Specific Heat	480 J/(kg C)	1210 J/(kg C)	1300 J/(kg C)

3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (constraints) ลงบนชิ้นงาน คือ ฐานสี่เหลี่ยมที่ใช้สำหรับยึดตำแหน่งสลัก 6 รู ทำการยึด (Fixture) ลงบนชิ้นงานทั้ง 4 ด้าน ของฐาน ดังรูปที่ 3.15

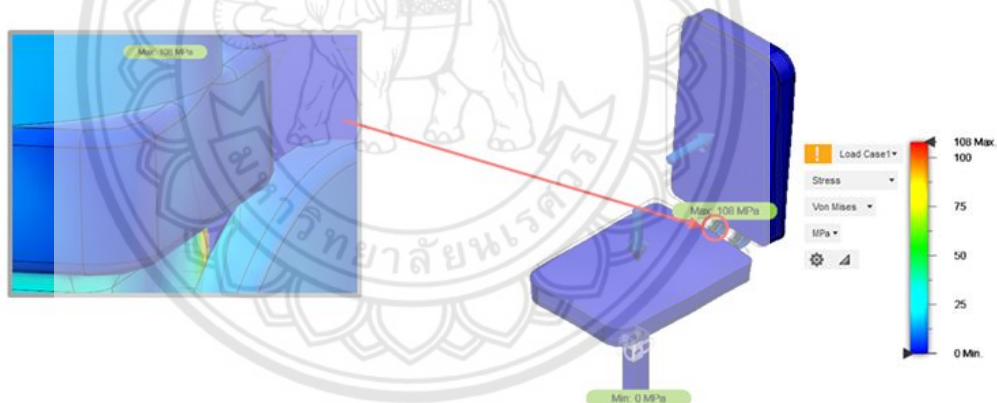
4. กำหนดภาระแรง (Load) ลงบนผิวชิ้นงาน คือ ให้ภาระแรงเท่ากับ 1000 นิวตัน ลงบนผิวเบาะรองนั่ง และสมมติให้คาน้ำหนักที่กระทำบนผิวเบาะพนักพิงด้านหลัง เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว จึงกำหนดภาระแรงเท่ากับ 500 นิวตัน ลงบนผิวเบาะพนักพิง (หมายเหตุ ค่าที่วิเคราะห์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามภาระแรงที่กำหนด) ดังรูปที่ 3.15



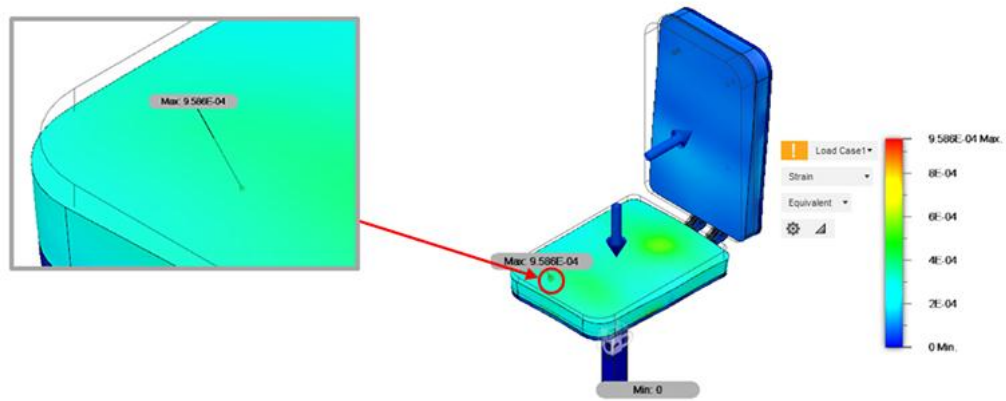
รูปที่ 3.15 กำหนดภาระแรงลงบนผิวชิ้นงาน

5. การประมวลผลและวิเคราะห์

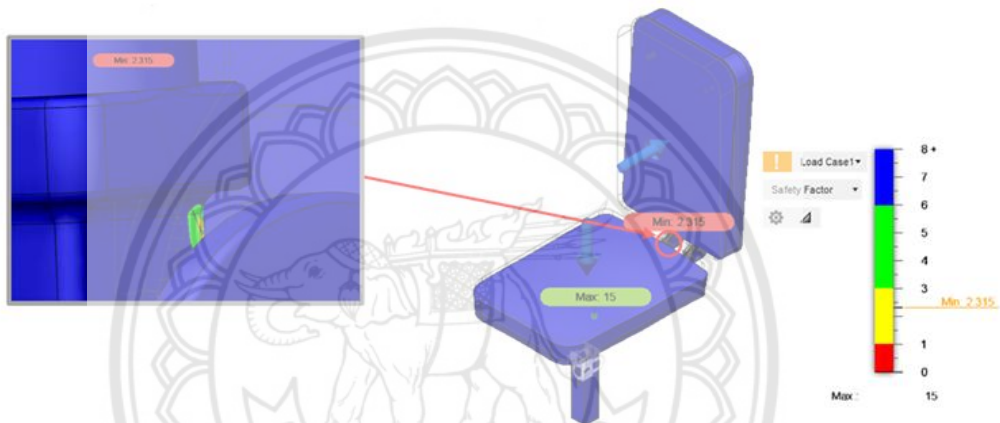
6. แสดงผลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน (View Results) ดังรูปที่ 3.16



ก. ค่าความเค้น (Stress) ของชุดนั้งเครื่อง TExSM



ข. ค่าความเครียด (Strain) ของชุดนั่งเครื่อง TExSM



ค. ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของชุดนั่งเครื่อง TExSM

รูปที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์ชุดนั่งเครื่อง TExSM ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360

หลังจากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 Simulation และประมวลผลสำเร็จ จะได้ความเค้น (Stress) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 108 MPa เกิดขึ้นบริเวณกลไกปรับระดับซึ่งเกิดจากแรงที่กระทำขึ้นงาน ความเครียด (Strain) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 9.58×10^{-4} เกิดขึ้นบริเวณเบาะรองนั่งที่มีการรับแรงที่ 1000 N และมีค่าความปลอดภัยสูงสุด (Factor of Safety: Min FOS) มีค่าเท่ากับ 2.315 ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปชั้นแถบสี

3.2.2.3 สร้างชุดนั่งของเครื่อง TExSM



ก. เชื่อมโครงเหล็ก



ข. ฟันสีโครงเหล็ก



ค. สร้างเบาะรองนั่งและนำมาประกอบกับโครงเหล็ก

รูปที่ 3.17 สร้างชุดนั่งเครื่อง TExSM

3.2.2.4 ประกอบชุดนั่งเข้ากับเครื่อง TExSM และทดสอบการใช้งาน

ทำการประกอบชุดนั่งเข้ากับเครื่อง Trunk Muscle Exercise and Strength Measuring Machine (TExSM) โดย ที่สามารถปรับระดับขึ้นลงตามต้องการ มีสลัก ทำหน้าที่ล็อก ตำแหน่งดังกล่าว ดังรูปที่ 3.18 และชุดนั่งเครื่อง TExSM จะสามารถปรับระดับได้ 5 ระดับด้วยกลไกปรับระดับของพนักงานด้านหลัง สามารถปรับชุดนั่งจะมีรูเจาะ 6 รู ระดับการนั่งให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งานและการเลือกโหมดโปรแกรมต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.19



ก. รูเจาะ 6 รู ของชุดนั่ง

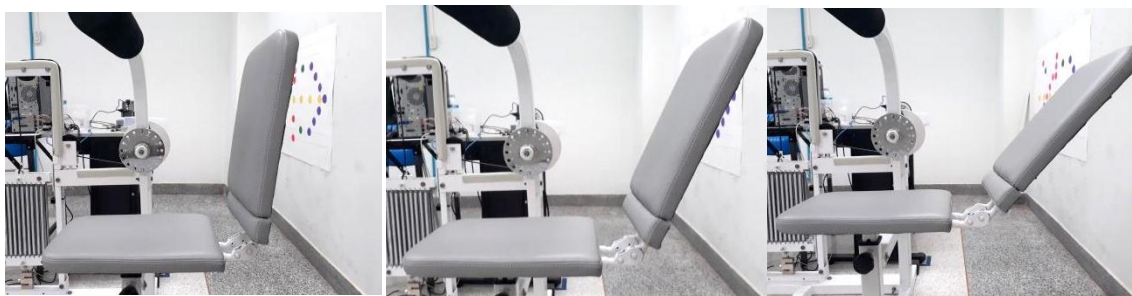


ข. ยึดสลักเพื่อล็อกตำแหน่งการนั่ง



ค. เครื่อง TExSM พร้อมชุดนั่ง

รูปที่ 3.18 การประกอบชุดนั่งเข้ากับเครื่อง TExSM



ก. พนักพิงระดับที่ 1

ข. พนักพิงระดับที่ 2

ค. พนักพิงระดับที่ 3



ง. พนักพิงระดับที่ 4

จ. พนักพิงระดับที่ 5

ฉ. ระดับการนั่งให้
เหมาะสมกับสรีระของ
ผู้ใช้งาน

รูปที่ 3.19 การปรับระดับพนักพิงด้านหลังของชุดนั่งเครื่อง TEXSM

3.3 การทดสอบความแม่นยำของเครื่องและอุปกรณ์

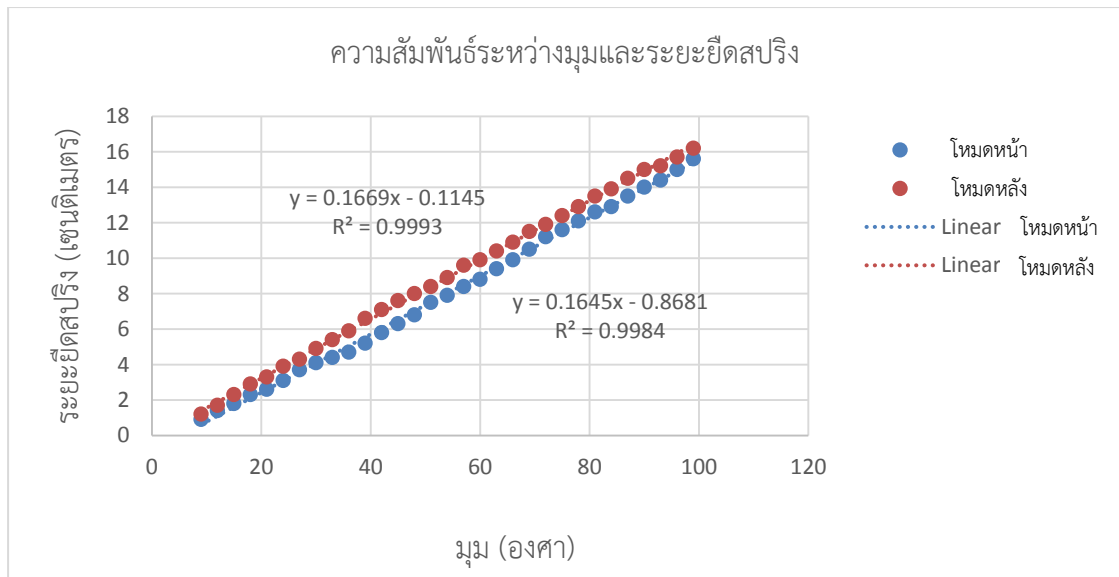
3.3.1 ทดสอบมุมและระยะยืดสปริง

3.3.1.1 เป็นการทดสอบมุมกับระยะยืดสปริง ในโหมดข้างหน้าและข้างหลัง โดยเริ่มจากมุม 9 องศา ถึง 99 องศา เพื่อหาค่า ระยะยืดของสปริงของแต่ละองศา โดยการทดสอบโหมดด้านหน้า จะทำการดันก้านจับไปข้างหน้าทีละ 3° จนถึง 99° แล้ววัดระยะยืดของสปริง (Δx) ด้านหลังก็ทดสอบเช่นเดียวกัน แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์มุมกับระยะยึดสปริง

θ (องศา)	โหมดข้างหน้า	โหมดข้างหลัง	θ (องศา)	โหมดข้างหน้า	โหมดข้างหลัง
	Δx (cm)	Δx (cm)		Δx (cm)	Δx (cm)
0	0	0	51	7.5	8.4
3	0.1	0.2	54	7.9	8.9
6	0.3	0.7	57	8.4	9.6
9	0.9	1.2	60	8.8	9.9
12	1.4	1.7	63	9.4	10.4
15	1.8	2.3	66	9.9	10.9
18	2.3	2.9	69	10.5	11.5
21	2.6	3.3	72	11.2	11.9
24	3.1	3.9	75	11.6	12.4
27	3.7	4.3	78	12.1	12.9
30	4.1	4.9	81	12.6	13.5
33	4.4	5.4	84	12.9	13.9
36	4.7	5.9	87	13.5	14.5
39	5.2	6.6	90	14	15
42	5.8	7.1	93	14.4	15.2
45	6.3	7.6	96	15	15.7
48	6.8	8	99	15.6	16.2

จากตารางการทดสอบมุมและระยะยึดสปริง จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับระยะยึดสปริง ดังกราฟที่ 3.1



กราฟที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับระยะยึดสปริง ในโหมดข้างหน้าและข้างหลัง

จากกราฟจะได้สมการเส้นตรง ดังนี้

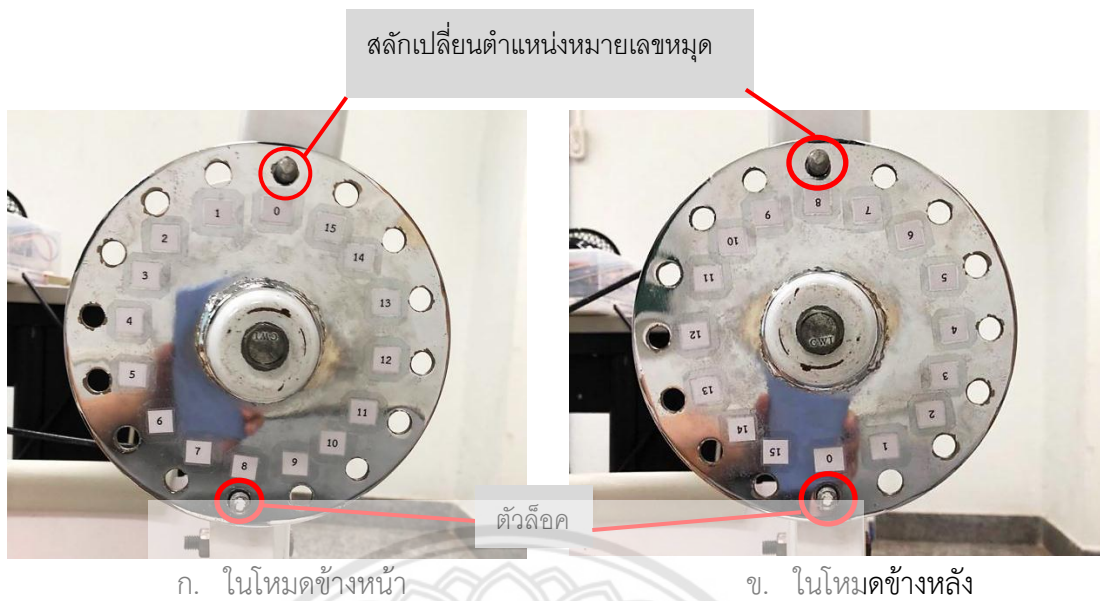
$$\text{โหมดข้างหน้า } \Delta x = 0.1645(\theta) - 0.8681, R^2 = 0.9984$$

$$\text{โหมดข้างหลัง } \Delta x = 0.1669(\theta) - 0.1145, R^2 = 0.9993$$

จากกราฟที่ 3.1 สมการเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับระยะยึดสปริง ในโหมดข้างหน้าและข้างหลัง โดยเริ่มจากมุม 9 องศา ถึง 99 องศา เพราะกำหนดมุมขั้นต่ำที่เครื่องไว้ 10 องศา เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องกระแทก จะได้ค่าความสัมพันธ์ R เป็น 0.99 จากการทดลอง ค่า R-Square ยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันมากขึ้น เมื่อมุมมากขึ้นระยะยึดสปริงก็จะมากขึ้น ดังนั้น แสดงให้เห็นว่ามุมกับระยะยึดสปริงมีความสัมพันธ์กัน

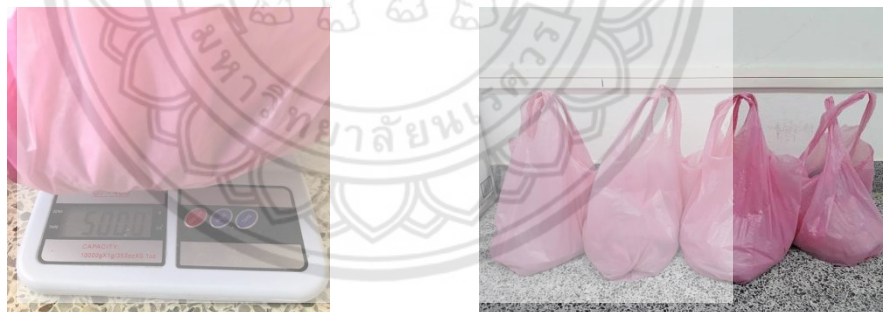
3.3.2 ทดสอบตัวเครื่อง

เครื่อง TExSM มีการใช้งานได้ 2 โหมด คือ โหมดข้างหน้าและโหมดข้างหลัง โดยที่ใช้แผ่นปรับมุมอันเดียวกันซึ่งในตำแหน่งมุมที่แผ่นปรับนั้นเมื่อมีการเข้าโหมดข้างหน้า หมายเลขที่อยู่บนสุดคือ หมุดหมายเลข 0 ตัวล๊อคจะอยู่ที่หมายเลข 8 แต่หากมีการใช้งานในโหมดข้างหลังในตำแหน่งมุมเดียวกันของโหมดข้างหน้า จะเป็นหมุดหมายเลข 8 ในโหมดข้างหลัง ตัวล๊อคจะอยู่ที่หมายเลข 0 ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แผ่นปรับมุมของเครื่อง TEXSM

3.3.2.1 บรรจุทรายใส่ถุงให้มีมวล 5 กิโลกรัม จำนวน 4 ถุง ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ถุงทรายหนัก 5 กิโลกรัม

3.3.2.2 ปรับก้านจับไปทางด้านหลังให้เส้นสลิงตึง และอยู่ในแนวเดียวกับขอบของแผ่นปรับมุมที่ตำแหน่งสูงสุด โดยใช้หมุดตำแหน่งหมายเลข 6, 7 และ 8 ในการทดลองถ่วงมวลที่ 10, 15 และ 20 กิโลกรัม ตามลำดับเพื่อปรับให้มีความสมดุลของโมเมนต์ทั้งด้านที่ถ่วงมวลและด้านของสปริง

3.3.2.3 นำมวล 10 กิโลกรัม ถ่วงก้านจับ ให้สลักยึดบนจานที่เลข 6 เพื่อความสมดุลของโมเมนต์ของด้านที่ถ่วงมวล 10 กิโลกรัมและด้านของเส้นสลิงที่ตึงสปริง ดังรูปที่ 3.22 แล้วดูค่ามุมมวล จะแสดงที่หน้าต่างจอแสดงผลของโปรแกรม และวัดระยะยึดของสปริง บันทึกค่าลงตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.22 ทดลองถ่วงมวล 10 กิโลกรัม

ที่มวล 10 kg ระยะสปริงเริ่มต้นเท่ากับ 29.9 cm

ตารางที่ 3.3 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 10 กิโลกรัม

ครั้งที่	มุม (องศา)	ค่าจากโพลดเซลล์	ระยะยืดสปริง (cm)
1	80	5.193	35.2
2	79	5.267	35.2
3	81	5.269	35.3
4	81	5.404	35.4
5	83	5.286	35.3
6	82	5.29	35.3
7	83	5.37	35.4
8	84	5.438	35.5
9	81	5.353	35.4
10	82	5.335	35.4
Average	81.6	5.3205	35.34

*ค่าจากโพลดเซลล์เป็นค่าที่ยังไม่มีหน่วย ซึ่งต้องทำการสอบเทียบก่อน

3.3.2.4 เพิ่มมวลอีก 5 กิโลกรัม ที่ก้านจับ รวมมีมวล 15 กิโลกรัม ถ่วงก้านจับอยู่ ให้สลักยึดบนงานที่เลข 7 ดังรูปที่ 3.23 แล้วดูค่ามุม มวล จะแสดงที่หน้าต่างจอแสดงผลของโปรแกรม และวัดระยะยืดของสปริง บันทึกค่าลงตารางที่ 3.4



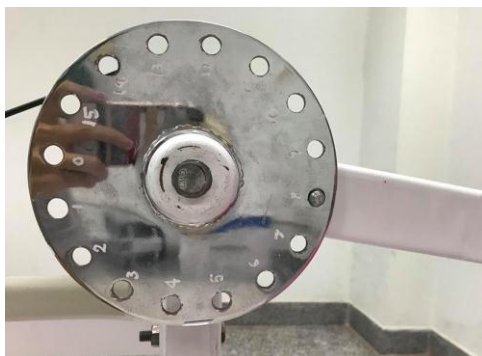
รูปที่ 3.23 ทดลองถ่วงมวล 15 กิโลกรัม

ที่มวล 15 kg ระยะสปริงเริ่มต้นเท่ากับ 29.9 cm

ตารางที่ 3.4 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 15 กิโลกรัม

ครั้งที่	มุม (องศา)	ค่าจากโพลดเซลล์	ระยะยืดสปริง (cm)
1	88	9.939	40.4
2	85	9.902	40.4
3	90	10.14	40.8
4	90	10.006	40.6
5	95	10.564	41.1
6	87	10.019	40.5
7	89	10.321	40.9
8	91	10.484	41
9	90	10.503	41
10	90	10.522	41
Average	89.5	10.24	40.77

3.3.2.5 เพิ่มมวลอีก 5 กิโลกรัม ที่ก้านจับ รวมมีมวล 20 กิโลกรัม ถ่วงก้านจับอยู่ ให้สลักยึดบนงานที่เลข 8 ดังรูปที่ 3.24 แล้วดูค่ามุม มวล จะแสดงที่หน้าต่างจอแสดงผลของโปรแกรม และวัดระยะยืดของสปริง บันทึกค่าลงตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.24 ทดลองถ่วงมวล 20 กิโลกรัม

ที่มวล 20 kg ระยะสปริงเริ่มต้นเท่ากับ 29.9 cm

ตารางที่ 3.5 ผลทดลองถ่วงมวลที่ 20 กิโลกรัม

ครั้งที่	มุม (องศา)	ค่าจากโพลตเซลล์	ระยะยืดสปริง (cm)
1	97	14.84	45.8
2	98	15.096	46.1
3	98	15.111	46.1
4	99	15.158	46.2
5	95	14.646	45.5
6	95	14.346	45.2
7	96	14.996	46
8	98	15.103	46
9	98	15.114	46
10	98	15.124	46
Average	97.2	14.9534	45.8

ในการทดสอบตัวเครื่อง ถ่วงมวล 10 กิโลกรัม เลือกใช้หมุดที่ 6 มวล 15 กิโลกรัม เลือกใช้หมุดที่ 7 และมวล 20 กิโลกรัม เลือกใช้หมุดที่ 8 เพื่อให้เส้นสลิงอยู่ในระนาบพอดี ไม่หย่อน เพื่อง่ายต่อการคำนวณระยะ จึงเลือกใช้หมุดให้เหมาะกับมวลที่นำมาใช้ถ่วง

3.3.3 คำนวณหาแรงและค่านิจของสปริงจากการทดลอง (วิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.4)

การคำนวณหาแรงและค่านิจของสปริงจากการทดลอง เพื่อหาสัดส่วนของแรงและค่าของ โหลดเซลล์ จากสมการสมดุลโมเมนต์ $\Sigma M = 0$

3.3.3.1 แรงจากการคำนวณ (F_s) ค่านิจสปริง (k) และ สัดส่วนของ F_s/m_{LC}

- เพื่อหาแรงจากสมการโมเมนต์ ค่านิจสปริง และสัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณจากสมการกับ ค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์

ตารางที่ 3.6 แรงจากการคำนวณ (F_s) ค่านิจสปริง (k) และ สัดส่วนของ F_s/m_{LC}

มวล (kg)	F_s (N)	k (N/mm)	สัดส่วนของ F_s/m_{LC}
10	344.52	6.33	64.75
15	522.36	4.81	51.00
20	691.02	4.32	46.21

3.3.3.2 ค่า k และ สัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณกับค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์ (สัดส่วน F_s/m_{LC}) แบบผลต่าง

- เพื่อหาค่าเฉลี่ย ของค่านิจสปริง และสัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณกับค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์ ซึ่งใช้ การคำนวณแบบเปรียบเทียบโดยการใช้ผลต่าง เนื่องจากสปริงมีการ pre-tension อยู่แล้ว

ตารางที่ 3.7 ค่า k และ สัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณกับค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์ แบบผลต่าง

มวล (kg)	k (N/mm)	สัดส่วนของ F_s/m_{LC}
ระหว่าง 10 กับ 15	3.28	36.15
ระหว่าง 15 กับ 20	3.30	35.78
ระหว่าง 20 กับ 10	3.28	35.97
Average	3.28	35.97~36

3.3.3.3 แรง F_s เทียบ กับแรง F_s ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์ เพื่อดูว่าสัดส่วนแรงที่ คำนวณสามารถใช้ได้

- $F_{S,compare}$ คือแรงที่คิดขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับแรงที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์ เพื่อดูว่าค่าที่ได้แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด แล้วนำไปคิดร้อยละความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 3.8 แรง F_S เทียบ กับแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์

มวล (kg)	แรงที่เปรียบเทียบ ($F_{S,compare}$) (N)
ระหว่าง 10 กับ 10	344.52
ระหว่าง 10 กับ 15	521.62
ระหว่าง 10 กับ 20	691.30

3.3.3.4 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรง $F_{S,compare}$ กับแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์

ตารางที่ 3.9 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรง $F_{S,compare}$ เทียบกับแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์

มวล (kg)	ความคลาดเคลื่อน (%)
$F_S = 10$, $F_{S,compare} 10,10$	0
$F_S = 15$, $F_{S,compare} 10,15$	0.142
$F_S = 20$, $F_{S,compare} 10,20$	0.041

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่า ค่าแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสูตรโมเมนต์ กับแรง $F_{S,compare}$ จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่แรง F_S เป็น 10 กิโลกรัม ไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเปรียบเทียบกับตัวมันเอง ที่ 15 กิโลกรัมคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 0.142 และที่ 20 กิโลกรัมเป็นร้อยละ 0.041 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

3.4 วิธีการทดลอง

ทดลองโดยการใช้งานเครื่องพร้อมกับโปรแกรมควบคุมกัน ขั้นตอนแรกผู้ใช้งานนั่งบนเก้าอี้ตามคำแนะนำวิธีการใช้เครื่องบนโปรแกรม บันทึกข้อมูลของผู้ใช้งาน ชื่อ เพศ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง ที่หน้าต่างข้อมูลผู้ใช้งาน เมื่อใส่ค่าครบถ้วนจึงเริ่มการทดลอง ซึ่งเครื่อง TEXSM สามารถใช้งานได้ 2 โหมด คือ โหมดไปข้างหน้า และโหมดไปข้างหลัง จึงทำการทดลองทั้งสองโหมด

3.4.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของตำแหน่งหยุด

3.4.1.1 การทดลองโหมดไปข้างหน้า

การทดลองโหมดข้างหน้าใช้ระยะมุมเป็น 60° ในการบริหารจึงเลือกตำแหน่งของหมุดที่สามารถเคลื่อนได้ตามระยะที่กำหนด จึงใช้หมุดหมายเลข 0, 15 และ 14 แสดงในรูปที่ 3.25 ตามลำดับ ทำการยึดตำแหน่งหมุดตามหมายเลขที่กำหนด เริ่มการทดลองโดยเซต 0 ที่จุดเริ่มต้นและปรับเก้าอี้ ที่หมุด 0 ระดับที่ 4 ที่หมุด 15 และ 14 ระดับที่ 3 นับจากข้างล่าง แล้วจับที่ก้านจับ โดยดูค่าจากเกจบนหน้าจอแสดงผล และเคลื่อนตัวกลับมาในท่าเริ่มต้น ถึงจะครบจำนวน 1 รอบ ทำซ้ำเป็นจำนวน 10 รอบ พร้อมบันทึกผลการทดลองที่ได้



ก. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 0

ข. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 15

ค. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 14

รูปที่ 3.25 การทดลองโหมดข้างหน้าที่ระยะ 0° ถึง 60°

3.4.1.2 การทดลองโหมดไปข้างหลัง

ทดลองโหมดข้างหลังโดยปรับจานหมุนไปตามเข็มนาฬิกาจนเส้นสลิงตึง และเปลี่ยนตำแหน่งเลขหมุด 3 ตำแหน่ง คือ หมายเลข 8, 9 และ 10 แสดงในรูปที่ 3.26 ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมุดตำแหน่งเดิมในโหมดข้างหน้า โดยที่หมุดหมายเลข 8 เป็นตำแหน่งเดียวกันกับหมุดหมายเลข 0 หมุดหมายเลข 9 เป็นตำแหน่งเดียวกันกับหมุดหมายเลข 15 หมุดหมายเลข 10 เป็นตำแหน่งเดียวกันกับหมุดหมายเลข 14 จากนั้นทำการยึดตำแหน่งหมุดตามหมายเลขที่กำหนด เริ่มการทดลอง โดยเซต 0 ที่จุดเริ่มต้นและปรับเก้าอี้ ที่หมุด 8 ระดับที่ 1 ที่หมุด 9 ระดับ 2 และหมุด 14 ระดับที่ 3 นับจากข้างล่าง แล้วจับที่ก้านจับ โนม้ตัวมาข้างหลังเป็นระยะมุม 60° โดยดูค่าจากเกจบนหน้าจอแสดงผล และเคลื่อนตัวกลับมาในท่าเริ่มต้น ถึงจะครบจำนวน 1 รอบ ทำซ้ำเป็นจำนวน 10 รอบ พร้อมบันทึกผลการทดลองที่ได้



ก. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 8 ข. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 9 ค. เริ่มต้นตำแหน่งหมุดที่ 10

รูปที่ 3.26 การทดลองโหมดข้างหลังที่ระยะ 0° ถึง 60°

3.4.2 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพลังงาน

3.4.2.1 การทดลองโหมดข้างหน้า

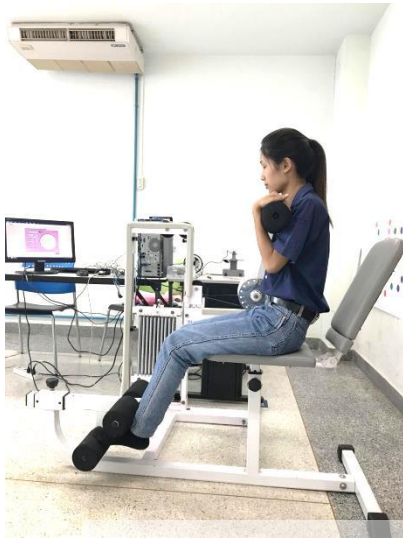
ทำการทดลองโหมดข้างหน้าโดยการเปลี่ยนตำแหน่งเลขหมุด 3 ตำแหน่ง คือ หมายเลข 0, 15 และ 14 แสดงในรูปที่ 3.27, 3.28 และรูปที่ 3.29 ตามลำดับ ทำการยึดตำแหน่งหมุดตามหมายเลขที่กำหนด เริ่มการทดลอง จับที่ก้านจับ โน้มตัวมาข้างหน้าโดยเริ่มต้นที่ระยะมุม 12° เคลื่อนไปจนถึงระยะมุม 72° และเคลื่อนตัวกลับมาในระยะมุม 12° จึงจะครบจำนวน 1 รอบ โดยดูค่าจากเกจบนหน้าจอแสดงผล ทำซ้ำเป็นจำนวน 10 รอบ พร้อมบันทึกผลการทดลองที่ได้



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°

ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.27 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งหมุดที่ 0



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°



ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.28 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งหมุดที่ 15



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°



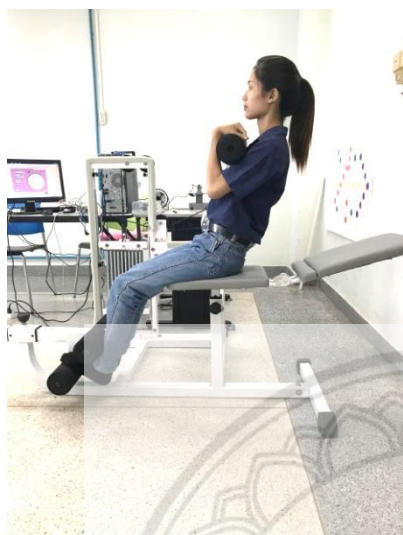
ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.29 การทดสอบโหมดไปข้างหน้าที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งหมุดที่ 14

3.4.2.2 การทดลองโหมดข้างหลัง

ทดลองโหมดข้างหลังโดยปรับจานหมุนไปตามเข็มนาฬิกาจนเส้นสลิงตึง และเปลี่ยนตำแหน่งเลขหมุด 3 ตำแหน่ง คือ หมายเลข 8, 9 และ 10 แสดงในรูปที่ 3.30, 3.31 และรูปที่ 3.32 ตามลำดับ ทำการยึดตำแหน่งหมุดตามหมายเลขที่กำหนด เริ่มการทดลอง จับที่ก้านจับ โน้มตัวมาข้างหลังโดย

เริ่มต้นที่ระยะมุม 12° เคลื่อนไปจนถึงระยะมุม 72° และเคลื่อนตัวกลับมาในระยะมุม 12° จึงจะครบจำนวน 1 รอบ โดยดูค่าจากเกจบนหน้าจอแสดงผล ทำซ้ำเป็นจำนวน 10 รอบ พร้อมบันทึกผลการทดลองที่ได้



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°



ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.30 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งหมุดที่ 8



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°



ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.31 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งหมุดที่ 9



ก. เริ่มต้นที่ระยะมุม 12°



ข. สิ้นสุดที่ระยะมุม 72°

รูปที่ 3.32 การทดสอบโหมดไปข้างหลังที่ระยะเริ่มต้น 12° ถึง 72° ของตำแหน่งมุมที่ 10

3.4.2.3 หลักการในการคำนวณพลังงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ พลังงานจากสปริงจะใช้สูตร

$E_p = \frac{1}{2}kx^2$ ในการคำนวณ ซึ่งในการหาค่า ระยะยืดของสปริงที่มุม 12° และ 72° ในโหมดข้างหน้า

และในโหมดข้างหลังจะใช้สูตร $E_p = \frac{1}{2}k\{[2\Delta x_0 x_{\max} + x_{\max}^2] - [2\Delta x_0 x_{\min} + x_{\min}^2]\}$

ส่วนพลังงานจากน้ำหนักตัวจะใช้สูตร $E_p = mg\Delta h$ ในการหาพลังงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

4.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของแรงแต่ละตำแหน่งหมุด ใน โหมตข้างหน้า และโหมตข้างหลัง (วิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.5)

4.1.1.1 การทดลองเครื่องเพื่อเปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของแรงที่ตำแหน่งหมุดต่าง ๆ ในโหมตข้างหน้า โดยทดสอบที่ระยะมุมตั้งแต่ 0° ถึง 60° แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการใช้งานเครื่องโหมตข้างหน้า (มุมเริ่มต้น 0° ถึง 60°)

ตำแหน่งหมุด	มุม (องศา)	แรงจากโหลดเซลล์ (N)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D ของโหลดเซลล์)
0	$0^\circ - 60^\circ$	326.52	6.12
15	$0^\circ - 60^\circ$	339.47	5.87
14	$0^\circ - 60^\circ$	330.80	5.27

จากตารางผลการทดลองที่ 4.1 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของตำแหน่งหมุด ผลการใช้งานเครื่องโหมตข้างหน้าที่ระยะมุม 60° ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 ได้แรงจากโหลดเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 326.52 N ตำแหน่งหมุดหมายเลข 15 ได้แรงจากโหลดเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 339.47 N และที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 14 ได้แรงจากโหลดเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 330.80 N ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ของตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 เท่ากับ 6.12 ตำแหน่งหมุดหมายเลข 15 เท่ากับ 5.87 ตำแหน่งหมุดหมายเลข 14 เท่ากับ 5.27

4.1.1.2 การทดลองเครื่องเพื่อเปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของแรงที่ตำแหน่งหมุดต่าง ๆ ในโหมตข้างหลัง โดยทดสอบที่ระยะมุมตั้งแต่ 0° ถึง 60° แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการใช้งานเครื่องโหมตข้างหลัง (มุมเริ่มต้น 0° ถึง 60°)

ตำแหน่งหมุด	มุม (องศา)	แรงจากโหมตเซลล์ (N)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D ของโหมตเซลล์)
8	0° - 60°	320.08	3.78
9	0° - 60°	315.99	3.66
10	0° - 60°	312.66	1.80

จากตารางผลการทดลองที่ 4.2 เปรียบเทียบความคงเส้นคงวาของตำแหน่งหมุด ผลการใช้งานเครื่องโหมตข้างหลังที่ระยะมุม 60° ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 ได้แรงจากโหมตเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 320.08 N ตำแหน่งหมุดหมายเลข 9 ได้แรงจากโหมตเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 315.99 N และที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 10 ได้แรงจากโหมตเซลล์ที่คำนวณได้เป็น 312.66 N ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ของตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 เท่ากับ 3.78 ตำแหน่งหมุดหมายเลข 9 เท่ากับ 3.66 ตำแหน่งหมุดหมายเลข 10 เท่ากับ 1.80

จากการอภิปรายทั้ง 2 ตารางที่ผลการใช้งานเครื่องโหมตไปข้างหน้าและโหมตไปข้างหลัง จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ทำให้เห็นว่าการกระจายของข้อมูลของโหมตไปข้างหน้า และโหมตไปข้างหลังมีความใกล้เคียงกัน

4.1.2 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพลังงาน (วิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.6)

4.1.2.1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงานซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานจากสปริง และพลังงานจากน้ำหนักตัว ที่ตำแหน่งหมุดต่าง ๆ ในโหมตข้างหน้า (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการใช้งานเครื่องโหมตข้างหน้า (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°)

ตำแหน่งหมุด	มุม (องศา)	พลังงานจากสปริง(J)	พลังงานจากน้ำหนักตัว(J)
0	12°-72°	35.80	55.54
15	12°-72°	35.80	29.10
14	12°-72°	35.80	13.39

จากตารางผลการทดลองที่ 4.3 เปรียบเทียบพลังงานผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหน้าที่ระยะมุมเริ่มต้น 12° ถึง 72° ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 , 15 และ 14 พลังงานจากสปริงที่คำนวณได้เป็น 35.80 J ซึ่งมีค่าเท่ากับ และพลังงานจากน้ำหนักตัว ของตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 เท่ากับ 55.54 J ตำแหน่งหมุดหมายเลข 15 เท่ากับ 29.10 J ตำแหน่งหมุดหมายเลข 14 เท่ากับ 13.39 J

4.1.2.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงานซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานจากสปริง และ พลังงานจากน้ำหนักตัว ที่ตำแหน่งหมุดต่าง ๆ ในโหมดข้างหลัง (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°) แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการการใช้งานเครื่องโหมดข้างหลัง (มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72°)

ตำแหน่งหมุด	มุม (องศา)	พลังงานจากสปริง (J)	พลังงานจากน้ำหนักตัว (J)
8	12° - 72°	39.13	55.54
9	12° - 72°	39.13	29.10
10	12° - 72°	39.13	13.39

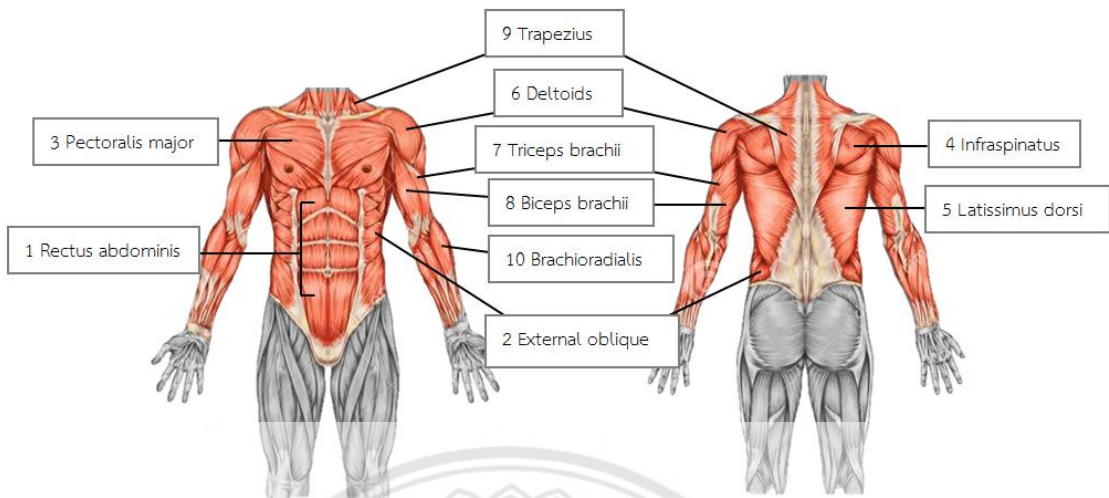
จากตารางผลการทดลองที่ 4.4 เปรียบเทียบพลังงานผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหลังที่ระยะมุมเริ่มต้น 12° ถึง 72° ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 , 9 และ 10 พลังงานจากสปริงที่คำนวณได้เป็น 39.13 J ซึ่งมีค่าเท่ากับ และพลังงานจากน้ำหนักตัว ของตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 เท่ากับ 55.54 J ตำแหน่งหมุดหมายเลข 9 เท่ากับ 29.10 J ตำแหน่งหมุดหมายเลข 10 เท่ากับ 13.39 J

จากการอภิปรายทั้ง 2 ตารางที่ผลการใช้งานเครื่องโหมดข้างหน้าและโหมดไปข้างหลัง พลังงานจากสปริงค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ และที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 กับ 8 , 15 กับ 9 และ 14 กับ 10 พลังงานจากน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ

โดยที่เลือกมุมเริ่มต้นที่ 12° และ สิ้นสุดที่มุม 72° ซึ่งเป็นมุมเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ไม่มากและไม่น้อยเกินไป และการใช้มุมเริ่มต้นที่ไม่ใช่ 0° จะเป็นการช่วยป้องกันรางสปริงชนกับแผ่นกั้นไม่ให้เกิดความเสียหาย โดยจะเคลื่อนตัวไปเป็นระยะ 60° เป็นมุมที่เหมาะสมในการบริหารกล้ามเนื้อหน้าท้อง ซึ่งถ้าใช้มุมมากเกินไป ผู้ที่มีแรงน้อยก็อาจจะทำไม่ไหว และจะทำให้กล้ามเนื้ออักเสบได้ หรือใช้มุมที่น้อยเกินไปก็จะเกิดการบริหารกล้ามเนื้อที่ไม่ดีพอ

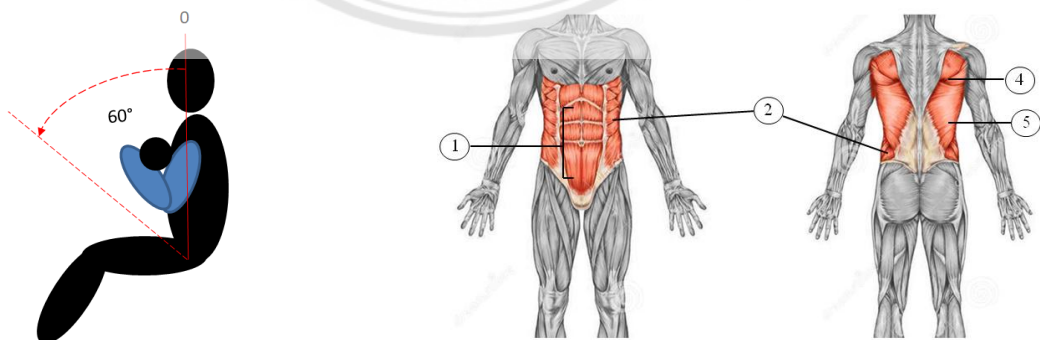
4.1.3 การประเมินผลเบื้องต้นจากการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้น ประเมินได้ว่า ได้ออกแรงในกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ อย่างคร่าว ๆ ดังนี้



รูปที่ 4.1 กล้ามเนื้อส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริหาร

4.1.3.1 โหมดข้างหน้าตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าทีระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรงจะมีหมายเลข 1 คือกล้ามเนื้อ Rectus abdominis หมายเลข 2 External oblique หมายเลข 4 Infraspinatus และหมายเลข 5 Latissimus dorsi ดังรูปที่ 4.2

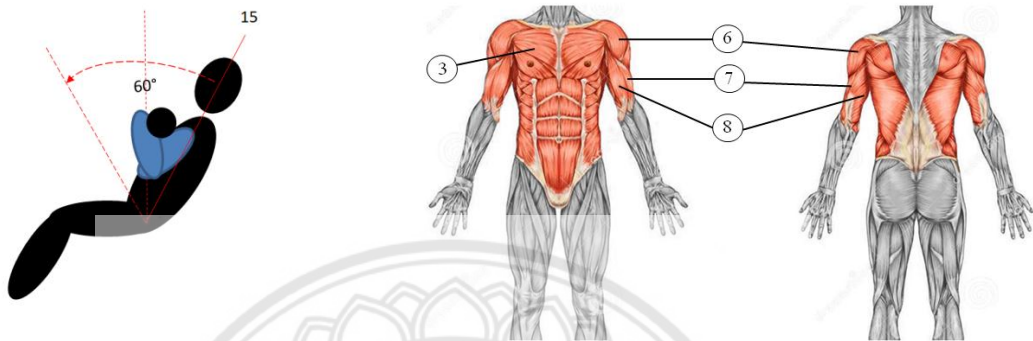


ก. ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0

ข. กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง

รูปที่ 4.2 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 0

4.1.3.2 โหมดข้างหน้าตำแหน่งหมุดหมายเลข 15 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 15 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรงจะเหมือนดังหมุดแรก แต่จะมีกล้ามเนื้อที่เพิ่มมาดังนี้ หมายเลข 3 คือ Pectoralis major หมายเลข 6 Deltoids หมายเลข 7 Triceps brachii และ หมายเลข 8 Biceps brachii ดังรูปที่ 4.3

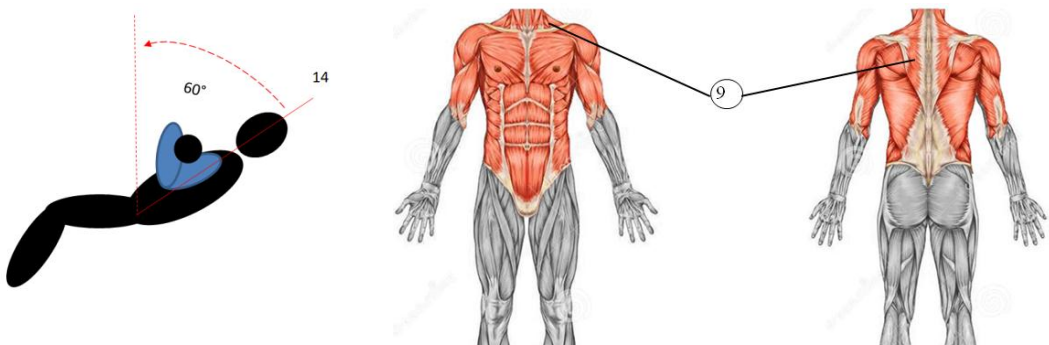


ก. ตำแหน่งหมุดหมายเลข 15

ข. กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง

รูปที่ 4.3 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 15

4.1.3.3 โหมดข้างหน้าตำแหน่งหมุดหมายเลข 14 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 14 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรงจะเหมือนดังสองหมุดข้างต้นและมีกล้ามเนื้อที่เพิ่มมาคือ หมายเลข 9 Trapezius ดังรูปที่ 4.4

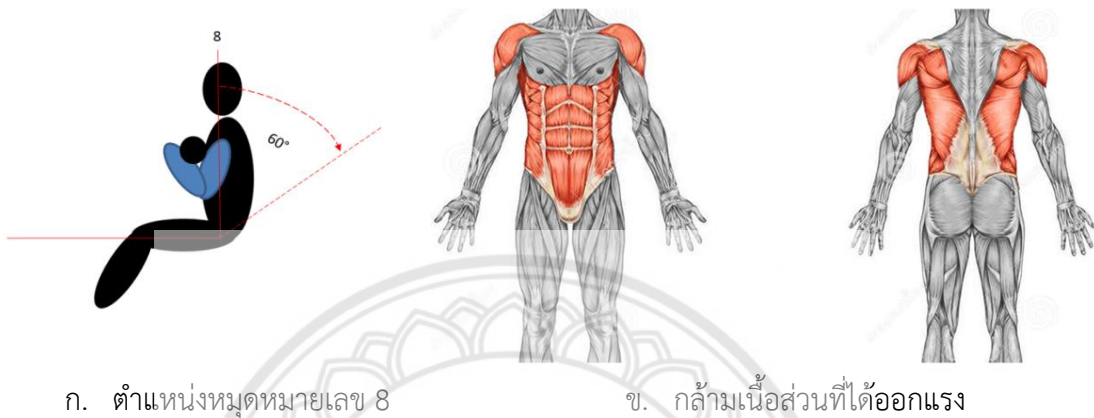


ก. ตำแหน่งหมุดหมายเลข 14

ข. กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง

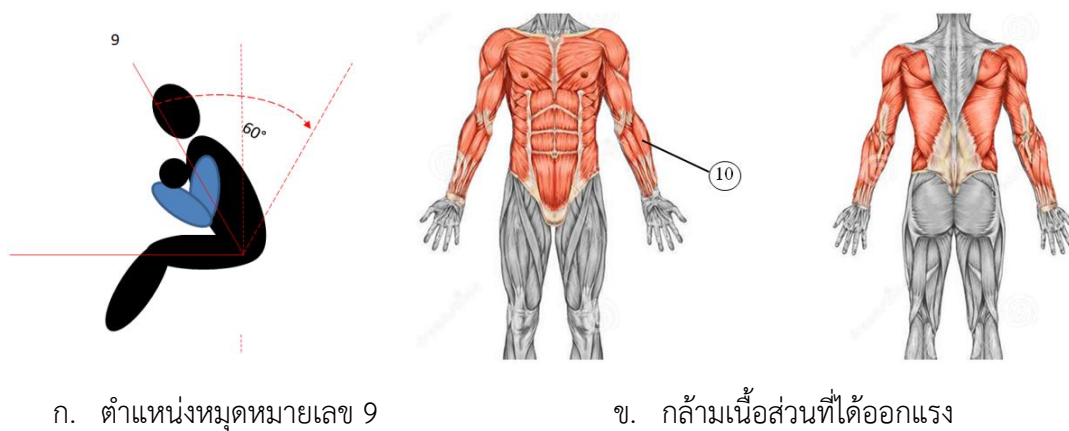
รูปที่ 4.4 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 14

4.1.3.3 โหมดข้างหลังตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ได้แก่ กล้ามเนื้อหมายเลข 1 Rectus abdominis หมายเลข 2 External oblique หมายเลข 4 Infraspinatus หมายเลข 5 Latissimus dorsi และ หมายเลข 6 Deltoids ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 8

4.1.3.3 โหมดข้างหลังตำแหน่งหมุดหมายเลข 9 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 9 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรงดังหมุดที่ 8 ซึ่งมีกล้ามเนื้อส่วนที่เพิ่มมาคือ หมายเลข 3 Pectoralis major หมายเลข 7 Triceps brachii หมายเลข 8 Biceps brachii และ หมายเลข 10 Brachioradialis ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 9

4.1.3.3 โหมดข้างหลังตำแหน่งหมุดหมายเลข 10 สามารถประเมินได้ว่า เมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งหมุดหมายเลข 10 แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหน้าที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรงจะเป็นกล้ามเนื้อส่วนบนทั้งหมดของร่างกาย ดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังรูปที่ 4.7



ก. ตำแหน่งหมุดหมายเลข

10

ข. กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง

รูปที่ 4.7 กล้ามเนื้อที่ได้ออกแรงในตำแหน่งหมุดหมายเลข 10

ซึ่ง ทั้งนี้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยวิธี EMG มาวัดไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เพื่อที่จะศึกษาว่าในระหว่างที่เราทำงานกล้ามเนื้อส่วนใดที่ได้ออกแรง เกิด Activity มากที่กล้ามเนื้อส่วนใด

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การทดสอบความแม่นยำของเครื่องและอุปกรณ์

5.1.1.1 ทดสอบมุมและระยะยึดสปริง

ในการทดสอบมุมและระยะยึดสปริง โดยการเพิ่มค่าของมุมทีละ 3 องศา ไปเรื่อย ๆ จนมีมุมที่ 99 องศา เมื่อนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่ามุมและระยะยึดของสปริงมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่เหมือนกัน คือ ค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าหากมุมมีค่าที่มากขึ้น ระยะยึดของสปริงก็จะมีค่ามาก ในทางกลับกัน หากมุมมีค่าน้อยระยะยึดของสปริงก็จะมีค่าน้อยด้วยเช่นกัน ซึ่งในการทดสอบทั้งโหมดข้างหน้าและโหมดข้างหลัง ได้ค่าของระยะยึดสปริงที่ใกล้เคียงกัน

5.1.1.2 ทดสอบตัวเครื่อง

การทดสอบตัวเครื่องที่มีการถ่วงมวล 10 กิโลกรัม 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม จะเห็นได้จากผลการทดสอบดังตารางที่ 3.3 เมื่อมีการถ่วงมวล 10 กิโลกรัม วัดค่ามุมเฉลี่ยมีค่า 81.6 องศา ค่าของโพลดเซลล์จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.32 กิโลกรัม และระยะสปริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.34 เซนติเมตร จากนั้นถ่วงมวลเพิ่มอีก 5 กิโลกรัมรวมเป็น 15 กิโลกรัม วัดค่ามุมเฉลี่ยมีค่า 89.5 องศา ค่าของโพลดเซลล์จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.24 กิโลกรัม และระยะสปริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.77 เซนติเมตร สุดท้ายเพิ่มมวลที่ถ่วงอีก 5 กิโลกรัมรวมเป็น 20 กิโลกรัม วัดค่ามุมเฉลี่ยมีค่า 97.2 องศา ค่าของโพลดเซลล์จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.95 กิโลกรัม และระยะสปริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.8 เซนติเมตร เมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาแรงทั้งแบบปกติและแบบที่ใช้การเปรียบเทียบค่า คำตอบที่ได้ของการคำนวณแรงที่ 10 กิโลกรัมแบบสมการโมเมนต์จะได้ค่าเท่ากับ 344.52 นิวตัน ส่วนคำตอบของการคิดค่าแรงจากการเปรียบเทียบค่ากับสมการโมเมนต์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 344.51 นิวตัน ซึ่งค่าแรงที่คำนวณได้ทั้งสองมีค่าเท่ากัน การคำนวณแรงที่ 15 กิโลกรัมแบบสมการโมเมนต์จะได้ค่าเท่ากับ 522.36 นิวตัน ส่วนคำตอบของการคิดค่าแรงจากการเปรียบเทียบค่ากับสมการโมเมนต์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 521.62 นิวตัน ค่าแรงที่คำนวณได้ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความต่างอยู่ที่ร้อยละ 0.142 การคำนวณแรงที่ 20 กิโลกรัมแบบสมการโมเมนต์จะได้ค่าเท่ากับ 691.02 นิวตัน ส่วนคำตอบของการคิดค่าแรงจากการเปรียบเทียบค่ากับสมการโมเมนต์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 691.30 นิวตัน ค่าแรงที่คำนวณได้ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความต่างอยู่ที่ร้อยละ 0.041 และในการหาค่านิจสปริงจาก

แรงที่คำนวณจากสมการโมเมนต์กับระยะยึดของสปริงนั้นในการคำนวณที่มวลนั้นให้ค่าที่ต่างกัน จึงใช้วิธีการคิดโดยใช้ผลต่างเพื่อหาค่าของนิจสปริงทำให้ค่าที่ใกล้เคียงกันคือ 3.2752 ,3.29405 และ 3.28435 นิวตันต่อมิลลิเมตร และนำค่ามาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะได้ค่านิจสปริงเท่ากับ 3.285 นิวตันต่อมิลลิเมตร เครื่อง TExSM ใช้เอ็นโค้ดเดอร์ในการวัดมุม และโหลดเซลล์ที่วัดค่าแรงที่กระทำ แต่แรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์นั้นมีค่าออกมาเป็นกิโลกรัมต้องมีการคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนค่าของแรงและค่าที่ได้จากโหลดเซลล์ โดยใช้ผลต่างของค่าแรงที่ได้จากการคำนวณจากสมการโมเมนต์และระยะยึดของสปริง จะได้ค่าอัตราส่วนของค่าแรงกับค่าของโหลดเซลล์ประมาณ 36 เท่ากล่าวคือหากโหลดเซลล์วัดค่าได้เท่ากับ 1 กิโลกรัม ค่าแรงจะมีค่าเท่ากับ 36 นิวตัน

5.1.2 การออกแบบชุดนั่ง

จากการปรับปรุงชุดนั่งเครื่อง TExSM จะมีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนเบาะรองนั่งและส่วนเบาะพิงด้านหลัง โดยมีทั้ง 2 ส่วนมีโครงเหล็กเก้าอี้ที่มีกลไกปรับระดับที่สามารถปรับระดับได้ 5 ระดับ ช่วยในการรับน้ำหนักส่วนเบาะรองนั่งและพิงด้านหลัง โดยมีค่า ความเค้น (Stress) เท่ากับ 108 MPa ความเครียด (Strain) เท่ากับ 9.58×10^{-4} ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: Min FOS) เท่ากับ 2.315

5.1.3 พัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องบริหาร TExSM

ในการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องบริหาร TExSM ที่มีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา LABVIEW โดยควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถที่จะใช้เสริมสร้างและบริหารกล้ามเนื้อส่วนหน้าท้อง ซึ่งหน้าจอโปรแกรมจะประกอบด้วยหน้าจอย่อย 10 จอ ได้แก่ หน้าจอหน้าแรกจะมีชื่อเครื่อง TExSM, หน้าจอวิธีการใช้งาน, หน้าจอข้อมูลผู้ใช้งาน, หน้าจอกำหนดมุม, หน้าจอตั้งค่าเครื่อง, หน้าจอแสดงผล, หน้าจอโหมดแข่งขัน, หน้าจอแข่งขัน, หน้าจอผลการแข่งขัน และหน้าจอผลการใช้งาน ซึ่งจะบันทึกค่าต่าง ๆ ออกมาบนหน้าจอบันทึกผลการใช้งาน จะมี ชื่อ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง เพศ ต่อมาแสดงค่าของพลังงานที่ใช้กับเครื่อง พลังงานของร่างกายที่ใช้ไป ผลรวมของพลังงาน (จูล) ค่าของการเผาผลาญ (กิโลแคลอรี) กำลัง (วัตต์) และค่ามุมกับแรงเมื่อเทียบกับเวลา

5.2 ข้อเสนอแนะ

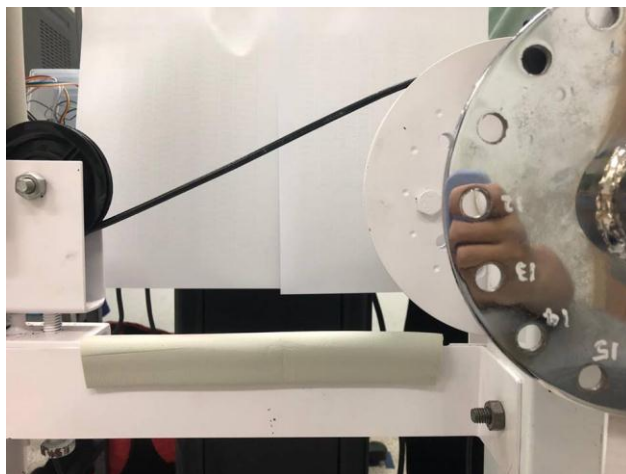
5.2.1 แนะนำการใช้งานโปรแกรมและการปรับเครื่องให้เหมาะสม สอดคล้องกัน ทั้งการใช้ งานทั้งโหมดข้างหน้าและโหมดข้างหลัง

5.2.1.1 การใช้งานโหมดข้างหน้า จะต้องสังเกตที่เส้นสลิงที่เชื่อมต่อกับแผ่นปรับมุม จะอยู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 5.1 หากเส้นสลิงไม่แสดงดังในรูป ก็ให้หมุนแผ่นปรับมุมสีขาวที่อยู่ ด้านหลังไปทางทิศตามเข็มนาฬิกา แล้วนำก้านล็อกกับสลักออกก่อนที่จะหมุน จากนั้นก็ สามารถใช้งานเครื่องพร้อมโปรแกรมได้



รูปที่ 5.1 แสดงการปรับแผ่นปรับมุมในโหมดข้างหน้า

5.2.1.2 การใช้งานโหมดข้างหลัง จะต้องสังเกตที่เส้นสลิงที่เชื่อมต่อกับแผ่นปรับมุม จะอยู่ด้านบน ดังรูปที่ 5.2 หากเส้นสลิงไม่แสดงดังในรูป ก็ให้หมุนแผ่นปรับมุมสีขาวที่อยู่ ด้านหลังไปทางทิศทวนเข็มนาฬิกา แล้วนำก้านล็อกกับสลักออกก่อนที่จะหมุน จากนั้นก็ สามารถใช้งานเครื่องพร้อมโปรแกรมได้



รูปที่ 5.2 แสดงการปรับแผ่นปรับมุมในโหมดข้างหลัง

5.2.2 การเพิ่มโหลดให้กับเครื่อง หากต้องการใช้แรงในการบริหารที่มากขึ้น สามารถทำได้ โดยการเพิ่มจำนวนของสปริง หรือการเลือกใช้สปริงที่มีค่าความแข็งมาก ค่านี้สปริงที่สูง เพราะ ตัวเครื่องในปัจจุบันมีการใช้แรงที่จำกัด

5.2.3 การปรับตำแหน่งของเก้าอี้จะใช้รูที่สอง หรือรูที่สามนับจากข้างบน แล้วแต่ความสูง ของผู้ใช้งานให้ก้านจับอยู่ตำแหน่งความสูงประมาณหน้าอก

5.2.4 การเลือกไข่มุมให้เหมาะสมกับผู้ที่บริหาร บุคคลที่มีสุขภาพทั่วไป สามารถใช้งานได้ ตั้งแต่มุม 50-99 องศาแล้วแต่ความต้องการ ส่วนบุคคลที่ไม่เคยบริหารร่างกายหรือบริหารร่างกาย น้อย ควรใช้มุม 45-60 องศาเพราะหากใช้มุมมากก็จะต้องใช้แรงในการดึงสปริงที่มากขึ้นเช่นกัน

5.2.5 เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบเบื้องต้นในระดับความสามารถของเครื่องเท่านั้น ควรมีการทดสอบเพิ่มเติม ในการทดสอบโดยใช้อาสาสมัคร และการทดสอบอื่น ๆ ในอนาคต เพื่อให้ สามารถประเมินการใช้งานของเครื่อง TExSM ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] dropdeadhealthy.blogspot.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]
- [2] www.loadcell.cn [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]
- [3] ecpe.nu.ac.th/piyadanai/content/50.../lab3_1_loadcell.doc [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2560]
- [4] www.robu.in [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]
- [5] www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=262 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2560]
- [6] poundxi.me [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]
- [7] Noha Abdel Kader Abdel Kader Hasan, Hebatallah Mohamed Kamal, Zeinab Ahmed Hussein, Department of Growth and Development Disorders in Children and its Surgery, Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Egypt
- [8] www.biodex.com/physical-medicine/products/dynamometers/system-4-quick-set [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2560]
- [9] Sumiaki Maeo, Takumi Takahashi, Yohei Takai and Hiroaki Kanehisa National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan
- [10] www.kineticintegrations.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]
- [11] www.thai.ac [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]
- [12] www.popsugar.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]
- [13] www.fitnessfirst.com.au [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]
- [14] coreevolutionpb.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]
- [15] www.futurefit.co.uk [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560]

[16] หัสติน เขยบาล, สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
ภัทรพร สิทธิเลิศพิศาลและ เพ็ญชัย คำวงษ์, ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

[17] ชนนิษฐ์ ลิ้มสกุล, วิทยารรณ ลีลาสำราญ ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์และกายภาพบำบัด
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[18] ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล, อลัน เฟรเดอริก กีเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[19] ศรีนยา บุรณสรพรสิทธิ และคณะ วารสารคณะพลศึกษา ปีที่ 15 เล่มที่ 2 บัณฑิตหลักสูตรวิทยา
ศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[20] กรวิชัย เกตุทะนงค์, ถนอมศักดิ์ เสนาคา, มยุรี ศุภวิบูลย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพล
ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา ปีที่ 11 ฉบับที่ 2,
ธันวาคม 2554

[21] เจริญ กระบวนรัตน์. หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา.กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
(2545).

[22] คณะกรรมการส่งเสริมกีฬาและการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในสถาบันการศึกษาและการพัฒนา
องค์ความรู้ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐาน
สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับชุมชนสำหรับเด็กไทย อายุ 7 – 18 ปี. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.(2549).

[23] www.sites.google.com/site/30849ketsiree [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]

[24] www.workoutlabs.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561]

[25] www.healthcarethai.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560]

[26] www.dreamstime.com [สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2561]

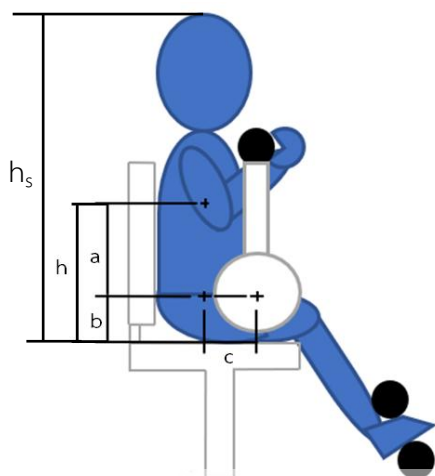
[27] รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการประดิษฐ์อุปกรณ์บริหารและวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว
คณะผู้วิจัย ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย, ผศ.ดร. นิวัตติ เทพวาราพุกษ์, ดร. สะการะ ตันโสภณ, คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร :สัญญาเลขที่ R2558C152,
กันยายน พ.ศ. 2559

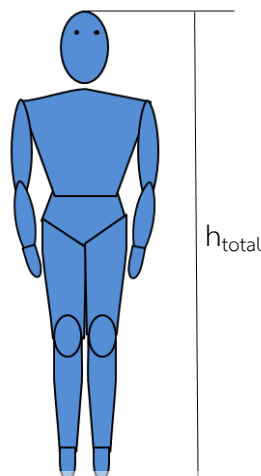




1. การหาระยะของจุดหมุน และ Center of Gravity



รูป ก.1 ท่านั่งตรง 90 องศา



รูป ก.2 ความสูงขณะยืนของบุคคล

กำหนดให้จุดหมุนของร่างกายกับจุดหมุนของก้านจับมีตำแหน่งความสูงที่เท่ากันแต่ระยะไม่เท่ากัน

a คือ ระยะ Center of Gravity (CG) ถึงจุดหมุนของคน

b คือ ระยะจากจุดหมุนของคนถึงจุดอ้างอิง 14 cm

h คือ ความสูงของคนจากจุด Center of Gravity (CG) ถึงจุดอ้างอิง ($h=a+b$)

c คือ ระยะห่างระหว่างจุดหมุนของคนและจุดหมุนของเครื่อง 16 cm

d คือ ระยะของ CG ที่เปลี่ยนไป

h_s คือ ความสูงขณะนั่งตรงของผู้ใช้เครื่อง

r_{CG} คือ สัดส่วนของ ระยะจากจุด CG ถึงจุดอ้างอิง ต่อความสูงของคนขณะนั่งตรง

$$r_{CG} = \frac{h}{h_s} = 0.5 \text{ (ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้)}$$

h_{total} คือ ความสูงขณะยืนของผู้ใช้งานเครื่อง

θ คือ มุมของก้านจับ

α คือ มุมของคน

แสดงว่า เมื่อก้านจับหมุนไปกึ่งศา ตัวคนก็จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุมที่เท่ากัน

จากสมการ

$$a = \frac{\left(h_{total} \times \frac{h_{s,avg}}{h_{total,avg}} \times r_{CG} \right) - b}{100}$$

1.1 ในการคำนวณระยะ Center of Gravity (CG) ถึงจุดหมุนของคน (a) ของผู้ชาย ได้จากสมการ

$$a_{men} = \frac{\left(h_{total} \times \frac{88.9}{168.9} \times 0.5 \right) - 14}{100}$$

1.2 ในการคำนวณระยะ Center of Gravity (CG) ถึงจุดหมุนของคน (a) ของผู้หญิง ได้จากสมการ

$$a_{women} = \frac{\left(h_{total} \times \frac{84.7}{157.5} \times 0.5 \right) - 14}{100}$$

โดย ระยะจากจุดหมุนของคนถึงจุดอ้างอิง (b) คือ 14 cm

ความสูงเฉลี่ยของคนไทยของผู้ชาย ($h_{total,avg}$) คือ 168.9 cm (จากตาราง ก.2)

ความสูงเฉลี่ยของคนไทยของผู้หญิง ($h_{total,avg}$) คือ 157.5 cm (จากตาราง ก.2)

ความสูงเฉลี่ยของคนไทยขณะนั่งของผู้ชาย ($h_{s,avg}$) คือ 88.9 กิโลกรัม (จากตาราง ก.2)

ความสูงเฉลี่ยของคนไทยขณะนั่งของผู้หญิง ($h_{s,avg}$) คือ 84.7 กิโลกรัม (จากตาราง ก.2)

a ที่ได้ มีหน่วยเป็น เมตร

2. การหาระยะ Center of Gravity (CG) ถึงจุดอ้างอิง (h)

2.1 หาระยะ CG ถึงจุดอ้างอิง (h_m) ของผู้ชาย ได้จากสมการ

$$\text{ชาย ; } h_m = \frac{88.9 \times h_{total}}{168.6 \times 100} \times 0.5 \text{ (กึ่งกลาง)}$$

โดยที่ $h_m = h$

2.2 ทหารยะ CG ถึงจุดอ้างอิง (h_w) ของผู้หญิง ได้จากสมการ

$$\text{หญิง ; } h_w = \frac{84.7 \times h_{total}}{157.5 \times 100} \times 0.5$$

โดยที่ $h_w = h$

2.3 การหามวลส่วนบนของร่างกาย

มวลส่วนบน (m) ของแต่ละชิ้นส่วน (ใช้คิดในสูตรพลังงาน $E_w = mgh$) จากตาราง ก.1

Total Arm 0.05

Total Leg 0.161

Head and Neck 0.081

Trunk 0.497

ข้อมูลจากตาราง ก.1 แสดงค่าของมวลแขน และขา คู่ข้างเดียวจึงต้องคูณสองที่ค่ามวลของ
ทั้งแขน และขา

แขน 2 ข้าง $0.05 \times 2 = 0.1$

ขา 2 ข้าง $0.161 \times 2 = 0.322$

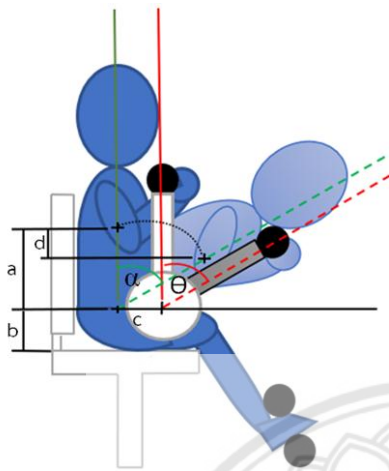
มวลร่างกายรวม $0.1 + 0.322 + 0.081 + 0.497 = 1$

∴ มวลร่างกายส่วนบน = $1 - 0.322 = 0.678$

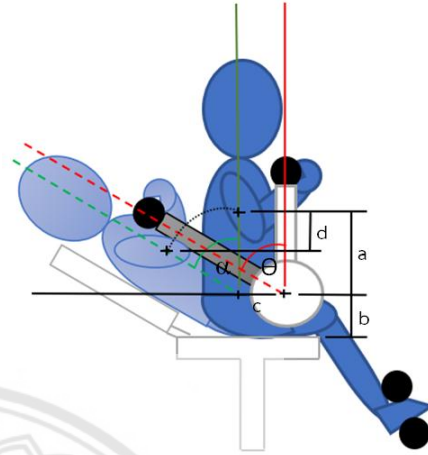
เพราะฉะนั้น มวลรวมของร่างกายส่วนบนของคนจึงเท่ากับ 0.687 ของน้ำหนักร่างกายทั้งหมด

3. การหาระยะ d และ ระยะที่เปลี่ยนไปของ CG

3.1 ทำการนั่งแบบตรง ดังรูป ก.2 และรูป ก.3



รูป ก.3 โหมตไปข้างหน้า



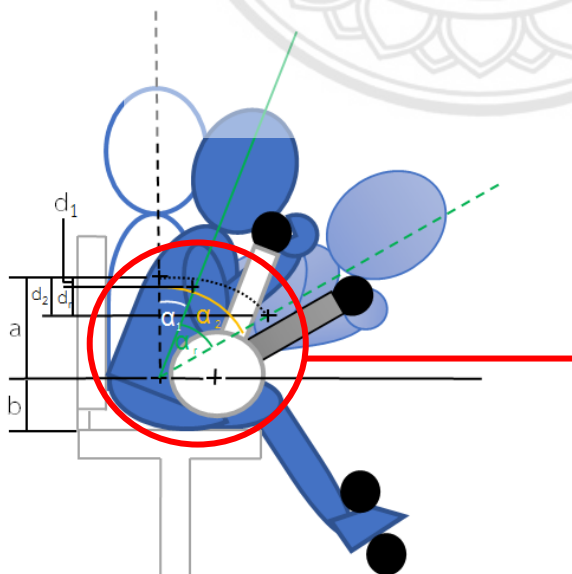
รูป ก.4 โหมตไปข้างหลัง

3.1.2 ในการหาระยะ d จากสมการ

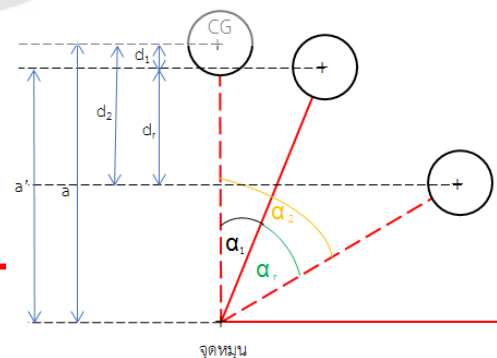
$$d = (a - a \cos \alpha)$$

$$d = a(1 - \cos \alpha)$$

3.2 ทำการนั่งแบบเอียงดังรูป ก.4



รูป ก.5 โหมตไปข้างหน้า



รูปส่วนขยายของจุดหมุน

3.2.1 ในการหาระยะที่เปลี่ยนไปของ CG หาจากสูตร

$$d_1 = a(1 - \cos \alpha_1)$$

$$d_2 = a(1 - \cos \alpha_2)$$

$$d_r = d_2 - d_1$$

เมื่อกำหนดให้ ใช้มุมที่หนึ่งซึ่งมุมระหว่างทำนั้งตรงกับเอียงไปเป็นมุม $\alpha_1 = 22.5^\circ$

$$\alpha_2 = 60^\circ$$

$$\alpha_r = \alpha_2 - \alpha_1$$

$$\alpha_r = 37.5^\circ$$

แทนค่าตัวแปร

$$d_2 - d_1 = a(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

$$d_r = a(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

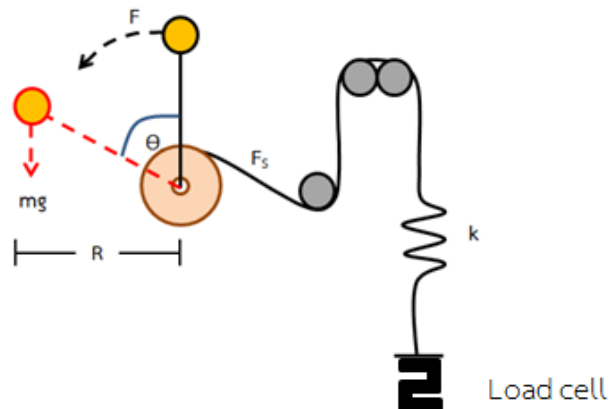
$$d_r = a(\cos 60 - \cos 22.5)$$

ดังนั้นความสูงที่แท้จริงจากจุดหมุนถึง CG คือ

$$a' = a - d_1$$

การคำนวณหาความสูงที่แท้จริงจากจุดหมุนถึง CG ของท่าการนั่งแบบเอียงในโหมดข้างหลัง
ก็สามารุใช้การคำนวณแบบเดียวกัน

4. วิธีคำนวณหาแรงและค่านิจของสปริงจากการทดลอง



รูป ก.6 รูปประกอบการคำนวณค่านิจสปริง

กำหนดให้

 F_s = แรงที่คำนวณได้, $F_{S,compare}$ = แรงที่เปรียบเทียบ m = มวลที่ใช้ในการทดสอบ, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ แรงโน้มถ่วง θ = มุมของก้านบิด, R = ความยาวแขน = 35.5 cm $r = 10 \text{ cm}$ ระยะรัศมี, Δx = ระยะยืดสปริง หน่วย cm m_{LC} = ค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์

Gain = สัดส่วนแรง = 36

$$m_{LC} \times \text{Gain} = F_{LC} = F_s$$

4.1 การหาค่า F_s ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์ (ตารางที่ 3.5)จากสมการ $M_{ทวน} = M_{ตาม}$

$$FR = F_s r$$

$$F_s = \frac{FR}{r}$$

$$F_s = mg \times R \sin\left(\frac{\theta \times \pi}{180}\right)$$

ที่

$$10 \text{ kg} : F_s = m_{10} g \times R \sin\left(\frac{\theta \times \pi}{180}\right) = 10 \times 9.81 \times \left(\frac{35.5}{10}\right) \sin\left(\frac{81.6 \times \pi}{180}\right) = 344.52 \text{ N}$$

$$15\text{kg} : F_s = m_{15}g \times R \sin\left(\frac{\theta \times \pi}{180}\right) = 15 \times 9.81 \times \left(\frac{35.5}{10}\right) \sin\left(\frac{89.5 \times \pi}{180}\right) = 522.36 \text{ N}$$

$$20\text{kg} : F_s = m_{20}g \times R \sin\left(\frac{\theta \times \pi}{180}\right) = 20 \times 9.81 \times \left(\frac{35.5}{10}\right) \sin\left(\frac{97.2 \times \pi}{180}\right) = 691.02 \text{ N}$$

4.2 การหาค่านิจของสปริง (k) (ตารางที่ 3.5)

จากสมการ

$$k = \frac{F_s}{\Delta x} = \frac{F_s}{x_2 - x_1}$$

ที่ 10 kg : $k = \frac{F_s}{x_{10} - x_1} = \frac{344.51904}{(35.34 - 29.9) \times 10} = 6.33 \text{ N/mm}$

15 kg : $k = \frac{F_s}{x_{15} - x_1} = \frac{522.36261}{(40.77 - 29.9) \times 10} = 4.81 \text{ N/mm}$

20 kg : $k = \frac{F_s}{x_{20} - x_1} = \frac{691.01781}{(45.89 - 29.9) \times 10} = 4.32 \text{ N/mm}$

4.2.1 การหาค่า k แบบผลต่าง (ตารางที่ 3.6)

จากสมการ

$$k = \frac{F_s}{\Delta x} = \frac{F_{s_2} - F_{s_1}}{x_2 - x_1}$$

ที่ค่าระหว่าง

10 kg กับ 15 kg ; $k_1 = \frac{F_{s_{15}} - F_{s_{10}}}{x_{15} - x_{10}} = \frac{(522.36261 - 344.51904)}{(40.77 - 35.34) \times 10} = 3.28 \text{ N/mm}$

15 kg กับ 20 kg ; $k_2 = \frac{F_{s_{20}} - F_{s_{15}}}{x_{20} - x_{15}} = \frac{(691.0178106 - 522.363)}{(45.89 - 40.77) \times 10} = 3.29 \text{ N/mm}$

20 kg กับ 10 kg ; $k_3 = \frac{F_{s_{20}} - F_{s_{10}}}{x_{20} - x_{10}} = \frac{(691.0178106 - 344.519)}{(40.77 - 35.34) \times 10} = 3.28 \text{ N/mm}$

หาค่าเฉลี่ย k จะได้

$$k_{avg} = \frac{(k_1 + k_2 + k_3)}{3} = \frac{(3.27520 + 3.29405 + 3.28435)}{3} = 3.285 \text{ N/mm}$$

4.3 การหาสัดส่วนของค่าแรงที่คำนวณได้เทียบกับค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์ (ตารางที่ 3.5)

จากสมการ

$$\text{Gain} = \frac{F_s}{m_{LC}}$$

ที่ 10 kg : $\text{Gain} = \frac{F_{s10}}{m_{LC10}} = \frac{344.51904}{5.3205} = 64.75$

15 kg : $\text{Gain} = \frac{F_{s15}}{m_{LC15}} = \frac{522.36261}{10.24} = 51.01$

20 kg : $\text{Gain} = \frac{F_{s20}}{m_{LC20}} = \frac{691.01781}{14.9534} = 46.21$

4.3.1 การหาสัดส่วนของค่าแรง (Gain) ที่คำนวณ กับค่าที่วัดได้จากโหลดเซลล์ (ตารางที่

3.6)

จากสมการ

$$\text{Gain} = \frac{\Delta F_s}{\Delta m_{LC}} = \frac{F_{s2} - F_{s1}}{m_{LC2} - m_{LC1}}$$

ที่ค่าระหว่าง

10 kg กับ 15 kg ; $\text{Gain}_1 = \frac{F_{s15} - F_{s10}}{m_{LC15} - m_{LC10}} = \frac{522.36261 - 344.51904}{10.24 - 5.3205} = 36.15$

15 kg กับ 20 kg ; $\text{Gain}_2 = \frac{F_{s20} - F_{s15}}{m_{LC20} - m_{LC15}} = \frac{691.01781 - 522.36261}{14.9534 - 10.24} = 35.78$

20 kg กับ 10 kg ; $\text{Gain}_3 = \frac{F_{s20} - F_{s10}}{m_{LC20} - m_{LC10}} = \frac{691.01781 - 344.51904}{14.9534 - 5.3205} = 35.97$

หาค่าเฉลี่ย สัดส่วน (Gain) จะได้

$$\begin{aligned} Gain_{avg} &= \frac{Gain_1 + Gain_2 + Gain_3}{3} \\ &= \frac{36.15074 + 35.78207 + 35.97035}{3} \end{aligned}$$

$$Gain_{avg} = 35.9677 \approx 36$$

4.4 การหาแรง F_S เทียบ กับแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์ (ตารางที่ 3.7)

จากสมการ

$$F_{S,compare} = F_S + [(\Delta m_{LC}) \times Gain_{avg}] = F_S + [(m_{LC2} - m_{LC1}) \times Gain_{avg}]$$

ที่ค่าระหว่าง 10 kg กับ 10 kg

$$\begin{aligned} F_{S,compare} &= F_{S10} + [(m_{LC10} - m_{LC10}) \times Gain_{avg}] = 344.51904 + [(5.3205 - 5.3205) \times 36] \\ &= 344.52N \end{aligned}$$

10 kg กับ 15 kg

$$\begin{aligned} F_{S,compare} &= F_{S10} + [(m_{LC15} - m_{LC10}) \times Gain_{avg}] = 344.51904 + [(10.24 - 5.3205) \times 36] \\ &= 521.62N \end{aligned}$$

10 kg กับ 20 kg

$$\begin{aligned} F_{S,compare} &= F_{S10} + [(m_{LC20} - m_{LC10}) \times Gain_{avg}] = 344.51904 + [(14.9534 - 5.3205) \times 36] \\ &= 691.30N \end{aligned}$$

4.5 การหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรง $F_{S,compare}$ เทียบกับแรง F_S ที่คำนวณได้ตามสมการโมเมนต์ (ตารางที่ 3.8)

จากสมการ

$$\% \text{ Error} = \frac{\Delta x}{x} \times 100$$

ที่ $F_S = 10 \text{ kg}$, $F_{S,compare} = 10 \text{ kg}$ กับ 10 kg ;

$$\left(\frac{F_{s10} - F_{s,compare,10,10}}{F_{s10} + F_{s,compare,10,10}} \right) \times 100 = \frac{344.51904 - 344.51904}{344.51904} \times 100 = 0\%$$

ที่ $F_S = 15 \text{ kg}$, $F_{S,compare} = 10 \text{ kg}$ กับ 15 kg ;

$$\left(\frac{F_{s15} - F_{s,compare,10,15}}{F_{s15} + F_{s,compare,10,15}} \right) \times 100 = \frac{522.36261 - 521.62104}{521.991852} \times 100 = 0.142\%$$

ที่ $F_S = 20 \text{ kg}$, $F_{S,compare} = 10 \text{ kg}$ กับ 20 kg ;

$$\left(\frac{F_{s20} - F_{s,compare,10,20}}{F_{s20} + F_{s,compare,10,20}} \right) \times 100 = \frac{691.01781 - 691.30344}{691.160625} \times 100 = 0.041\%$$

5. การคำนวณหาแรงจากโพลตเซลล์ (วิธีการคำนวณหาค่าในตารางการทดลองที่ 4.1 และตารางที่ 4.2)

5.1 โนโหมดข้างหน้า ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0 (ตารางที่ 4.1)

$$F_{m_{LC}} = m_{LC} \times Gain_{avg} = 9.0699 \times 36 = 326.52N.$$

5.2 โนโหมดข้างหลัง ตำแหน่งหมุดหมายเลข 8 (ตารางที่ 4.2)

$$F_{m_{LC}} = m_{LC} \times Gain_{avg} = 8.8911 \times 36 = 320.08N.$$

6. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานจากสปริง และพลังงานจากน้ำหนักตัว (วิธีการคำนวณหาค่าในตารางการทดลองที่ 4.3 และตารางที่ 4.4)

6.1 การหาพลังงานจากสปริง

จากสมการ

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} k(\Delta x_0 + x_{\max})^2 - \frac{1}{2} k(\Delta x_0 + x_{\min})^2$$

$$\text{หรือ } E_p = \frac{1}{2} k \{ [2\Delta x_0 x_{\max} + x_{\max}^2] - [2\Delta x_0 x_{\min} + x_{\min}^2] \}$$

6.1.1 การหาพลังงานจากสปริง ในโหมดข้างหน้า ตำแหน่งหมุดหมายเลข 0, 14 และ 15 ที่มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72° (ตารางที่ 4.3)

ที่ระยะมุม 72° จากสมการ $\Delta x_{\max} = 0.1645\theta_{\max} - 0.8681$

จะได้ $\Delta x_{\max} = 0.1645(72) - 0.8681 = 10.98 \text{ cm.}$

ที่ระยะมุม 12° จากสมการ $\Delta x_{\min} = 0.1645\theta_{\min} - 0.8681$

จะได้ $\Delta x_{\min} = 0.1645(12) - 0.8681 = 1.11 \text{ cm.}$

แทนค่าหา E_p จะได้

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) \{ [2(0.05)(0.109759) + (0.109759)^2] - [2(0.05)(0.011059) + (0.011059)^2] \}$$

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) \{ [(0.0109759) + (0.012047)] - [(0.0011059) + (0.0001223)] \}$$

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) (0.0230229 - 0.0012282)$$

$$E_p = 35.80 \text{ J}$$

6.1.2 การหาพลังงานจากสปริง ในโหมดข้างหลัง ตำแหน่งหมุดหมายเลข 8, 9 และ 10 ที่มุมเริ่มต้น 12° ถึง 72° (ตารางที่ 4.4)

ที่ระยะมุม 72° จากสมการ $\Delta x_{\max} = 0.1669\theta_{\max} - 0.1145$

จะได้ $\Delta x_{\max} = 0.1669(72) - 0.1145 = 11.90 \text{ cm.}$

ที่ระยะมุม 12° จากสมการ $\Delta x_{\min} = 0.1669\theta_{\min} - 0.1145$

จะได้ $\Delta x_{\min} = 0.1669(12) - 0.1145 = 1.89 \text{ cm.}$

แทนค่าหา E_p จะได้

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) \{ [2(0.05)(0.119023) + (0.119023)^2] - [2(0.05)(0.018883) + (0.018883)^2] \}$$

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) \{ [(0.0119023) + (0.014166)] - [(0.0018883) + (0.0003566)] \}$$

$$E_p = \frac{1}{2} (3.285 \times 10^3) (0.0260683 - 0.0022449)$$

$$E_p = 39.13J$$

ดังนั้น พลังงานจากสปริงในโหมดไปข้างหน้าเท่ากับ 35.80 จูล และในโหมดไปข้างหลังเท่ากับ 39.13 จูล

6.2 พลังงานจากน้ำหนักตัว

สมการ

$$E_p = mg\Delta h$$

หาระยะ CG ถึงจุดอ้างอิง (h) ของผู้หญิง จากสมการ

$$h_w = \frac{h \times 84.7}{157.5} \times 0.5 = \frac{160 \times 84.7}{157.5} \times 0.5 = 43.02cm.$$

ระยะ CG ถึงจุดหมุนของคน (a) ของผู้หญิง จากสมการ

$$a_{women} = h_w - 14 = 43.0222 - 14 = 29.02cm.$$

โดย ระยะจากจุดหมุนของคนถึงจุดอ้างอิง 14 cm

$$\Delta h = d_r = d_2 - d_1$$

$$d_1 = a(1 - \cos \alpha_1) \text{ และ } d_2 = a(1 - \cos \alpha_2)$$

$$\text{จะได้ } d_r = a(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

6.2.1 การหาค่าพลังงานจากน้ำหนักตัว โหมดไปข้างหน้า (ตารางที่ 4.3)

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 0 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos 12^\circ - \cos 72^\circ) = 19.42cm.$$

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 15 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos 0^\circ - \cos 49.5^\circ) = 10.17cm.$$

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 14 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos 0^\circ - \cos(-33^\circ)) = 4.68cm.$$

6.2.2 การหาค่าพลังงานจากน้ำหนักตัว โหมดไปข้างหลัง (ตารางที่ 4.4)

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 8 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos(-12^\circ) - \cos(-72^\circ)) = 19.42\text{cm.}$$

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 9 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos 0^\circ - \cos(-49.5^\circ)) = 10.17\text{cm.}$$

$$\text{ที่ตำแหน่งมุมเลข 10 แทนค่า } d_r = 29.0222(\cos 0^\circ - \cos(33^\circ)) = 4.68\text{cm.}$$

$$\therefore E_{P_{Human}} = 43 \times 0.678 \times 9.81 \times (0.1941) = 55.54\text{J}$$

$$\therefore E_{P_{Human}} = 43 \times 0.678 \times 9.81 \times (0.1017) = 29.10\text{J}$$

$$\therefore E_{P_{Human}} = 43 \times 0.678 \times 9.81 \times (0.0468) = 13.39\text{J}$$



ข้อมูลทางกายวิภาค

ตาราง ก.1 มวลปกติและความยาวของส่วนของร่างกาย (มนุษย์มาตรฐาน)

Segment	Segment Mass / Total Body Mass	Center of Mass / Segment Length		Density (kg/l)
		Proximal	Distal	
Hand	0.006	0.506	0.494	1.16
Forearm	0.016	0.430	0.570	1.13
Upper Arm	0.028	0.436	0.564	1.07
Forearm and Hand	0.022	0.682	0.318	1.14
Total Arm	0.050	0.530	0.470	1.11
Foot	0.0145	0.500	0.500	1.10
Lower Leg (calf)	0.0465	0.433	0.567	1.09
Foot and Lower Leg	0.061	0.606	0.394	1.09
Upper Leg (thigh)	0.100	0.433	0.567	1.05
Total Leg	0.161	0.447	0.553	1.06
Head and Neck	0.081	1.000	-	1.11

ที่มา: Adapted from DA Winter, Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 3rd edition (John Wiley & Sons 2005)

ตาราง ก.2 ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เฉลี่ยสำหรับประเทศไทย (ทุกขนาดหน่วยเป็นเซนติเมตร, น้ำหนัก
ตัว หน่วย กิโลกรัม)

No.	Anthropometric measurement	Thai people		No.	Anthropometric measurement	Thai people	
		Male	Female			Male	Female
1	Weight	65.4	51.4	19	Buttock-knee length	56.1	54.9
2	Stature	168.6	157.5	20	Buttock-popliteal length	48.1	44.3
3	Standing eye height	156.4	145.8	21	Shoulder-elbow length	37.1	32.7
4	Standing shoulder height	139.6	131.1	22	Thigh clearance	16.4	15.1
5	Standing elbow height	107.0	98.3	23	Arm reach forwards	NA	NA
6	Waist height	NA	NA	24	Arm reach upwards	NA	NA
7	Crotch height	NA	NA	25	Sitting height	88.9	84.7
8	Kneecap height	NA	NA	26	Sitting eye height	76.2	73.9
9	Coat height, standing	NA	NA	27	Sitting shoulder height	59.1	55.8
10	Span	174.8	167.6	28	Sitting elbow height	23.4	21.7
11	Elbow span	94.3	88.7	29	Knee height	47.5	45.4
12	Hip breadth, standing	NA	NA	30	Popliteal height	39.2	37.0
13	Interscye breadth	NA	NA	31	Head length	19.7	17.3
14	Back waist length	NA	NA	32	Head breadth	17.4	14.8
15	Sleeve inseam	NA	NA	33	Hand length	18.4	17.3
16	Shoulder breadth	44.4	39.2	34	Hand breadth	NA	7.8
17	Hip breadth, sitting	33.7	35.0	35	Foot length	NA	22.6
18	Forearm-hand length	46.3	42.8	36	Foot breadth	NA	9.4

ที่มา: Anthropometric measurements among four Asian countries in designing sitting and standing workstations, MS received 5 September 2016; revised 24 May 2017; accepted 2 June 2017; published online 7 February 2018

ตารางก.3 ฐานข้อมูลค่าจากโพลดเซลล์ การทดลองเครื่องเพื่อเปรียบเทียบความคงเส้นคงวา

ครั้งที่	โหมดข้างหน้า			โหมดข้างหลัง		
	มุม 60°			มุม 60°		
	ตำแหน่ง หมุดเลข 0	ตำแหน่ง หมุดเลข 15	ตำแหน่ง หมุดเลข 14	ตำแหน่ง หมุดเลข 8	ตำแหน่ง หมุดเลข 9	ตำแหน่ง หมุดเลข 10
1	9.327	9.428	9.176	9.052	8.903	8.598
2	9.12	9.384	9.033	9.004	8.865	8.712
3	9.156	9.25	8.981	8.821	8.814	8.688
4	9.219	9.201	9.067	8.912	8.865	8.663
5	9.258	9.369	9.123	8.884	8.812	8.669
6	8.874	9.273	9.207	8.791	8.784	8.732
7	8.89	9.69	9.335	8.79	8.743	8.62
8	8.864	9.574	9.447	8.817	8.75	8.754
9	8.96	9.563	9.2	8.802	8.679	8.733
10	9.031	9.565	9.321	9.038	8.559	8.681
Average.	9.0699	9.4297	9.189	8.8911	8.7774	8.685

ตำแหน่งหมุดโหมดข้างหน้า โดยมุมเริ่มต้น 0° ถึง 60° (หมายเหตุ ในที่นี้เป็นค่าจากโพลดเซลล์ที่ระยะมุม 60°)

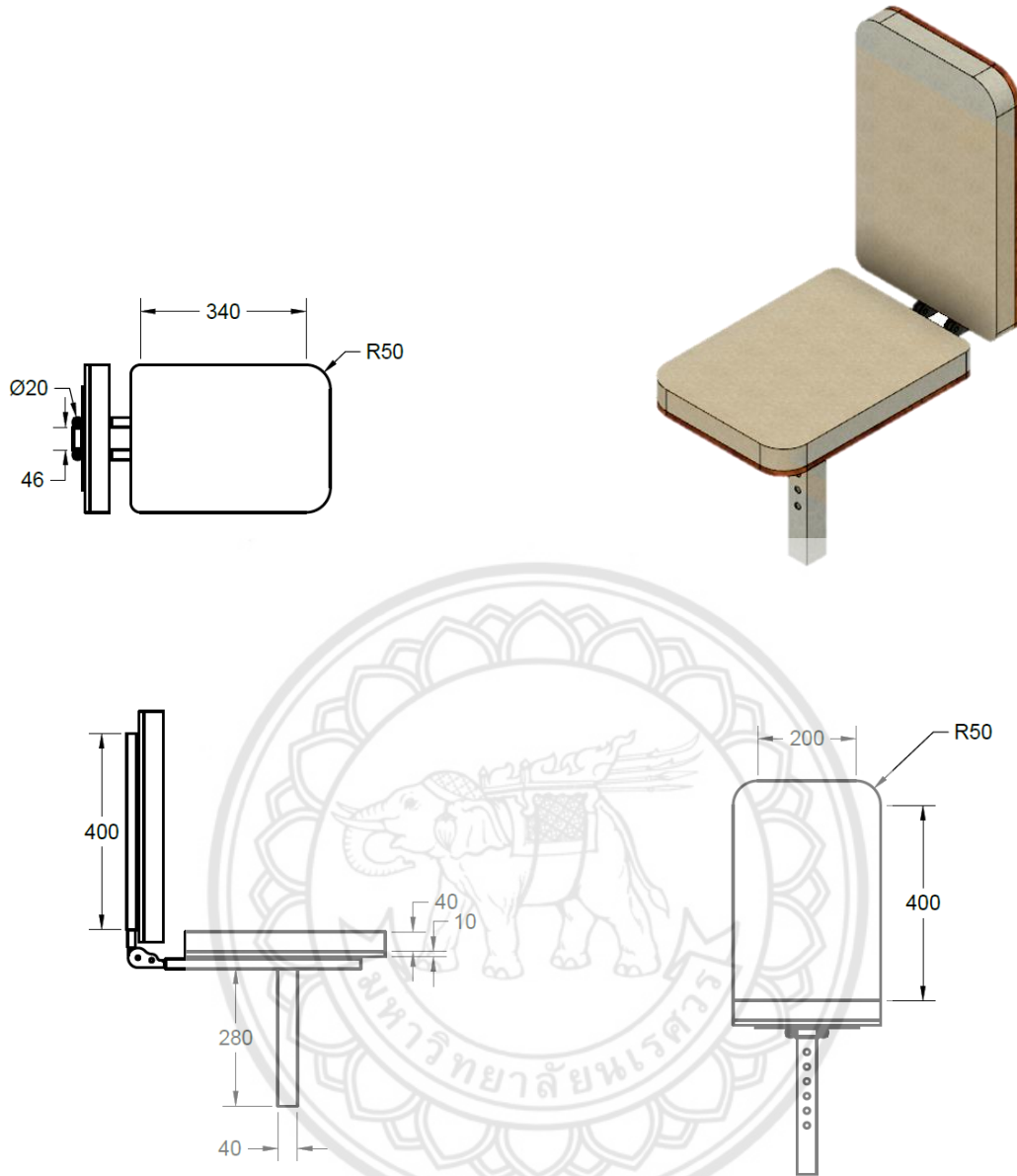
ตารางก.4 ฐานข้อมูลค่าจากโหนดเซลล์ การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงาน จากสปริง และ พลังงานจากน้ำหนักตัว ที่ระยะมุมเริ่มต้น 12°


ครั้งที่	โหมดข้างหน้า			โหมดข้างหลัง		
	มุม 12°			มุม 12°		
	ตำแหน่ง หมุดเลข 0	ตำแหน่ง หมุดเลข 15	ตำแหน่ง หมุดเลข 14	ตำแหน่ง หมุดเลข 8	ตำแหน่ง หมุดเลข 9	ตำแหน่ง หมุดเลข 10
1	0.697	1.029	0.702	1.27	1.215	1.196
2	0.828	0.824	0.693	1.209	1.195	1.092
3	0.664	0.902	0.595	1.202	0.973	1.073
4	0.831	0.849	0.524	1.297	0.866	1.099
5	0.769	0.821	0.485	1.225	1.185	0.874
6	0.809	0.984	0.677	1.043	0.956	0.83
7	0.802	1.003	0.661	0.867	1.022	1.1
8	0.877	0.984	0.969	0.694	1.035	0.9938
9	0.734	1.05	0.543	0.508	1.019	1.047
10	0.708	0.845	0.448	0.662	1.018	0.938
Average.	0.7719	0.9291	0.6297	0.9977	1.0484	1.02428

ตารางก.5 ฐานข้อมูลค่าจากโพลดเซลล์ การทดลองเพื่อเปรียบเทียบพลังงาน จากสปริง และ พลังงานจากน้ำหนักตัว ที่ระยะมุม 72°

ครั้งที่	โหมดข้างหน้า			โหมดข้างหลัง		
	มุม 72°			มุม 72°		
	ตำแหน่ง หมุดเลข 0	ตำแหน่ง หมุดเลข 15	ตำแหน่ง หมุดเลข 14	ตำแหน่ง หมุดเลข 8	ตำแหน่ง หมุดเลข 9	ตำแหน่ง หมุดเลข 10
1	10.692	10.41	9.979	10.872	10.777	10.632
2	10.205	10.364	9.891	10.891	10.688	10.626
3	10.238	10.336	9.884	10.93	10.572	10.591
4	10.179	10.325	9.934	10.804	10.576	10.502
5	10.293	10.512	9.843	10.734	10.71	10.335
6	10.275	10.603	10.369	10.419	10.637	10.609
7	10.333	10.353	9.91	10.262	10.541	10.417
8	10.302	10.523	10.707	10.152	10.544	10.608
9	10.126	10.424	10.245	10.158	10.537	10.466
10	10.149	10.408	9.99	10.295	10.593	10.313
Average.	10.2792	10.4258	10.0752	10.5517	10.6175	10.5099





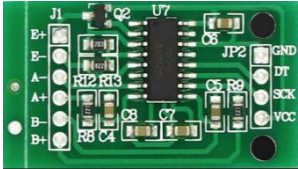
		PROJECT			
		TExSM			
APPROVED CHECKED		TITLE			
		TExSM			
DRAWN	TExSM	29/7/2561	SCALE 1:10	WEIGHT	SHEET 1/1
		SIZE	CODE	DWG NO	REV
		B			






ตารางค.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

ลำดับ	เครื่องมือ/ อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	คุณสมบัติ	รูปอุปกรณ์
1	ระบบควบคุม	Arduino	บอร์ด ไมโครคอนโทรเลอร์ สำเร็จรูป	
2	Rotary Encoder	HUHAO	เครื่องมือการวัดมุม	
3	Load cell	-	เครื่องมือการวัดแรงดึง	
4	ตัวต้านทาน 330 โอห์ม	-	ปรับค่าวงจร	
5	Breadboard	-	บอร์ดสำหรับวงจร อิเล็กทรอนิกส์	
6	สาย jumper (ผู้-ผู้)	-	เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้า ด้วยกัน	
7	สาย jumper (ผู้-เมีย)	-	เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้า ด้วยกัน	

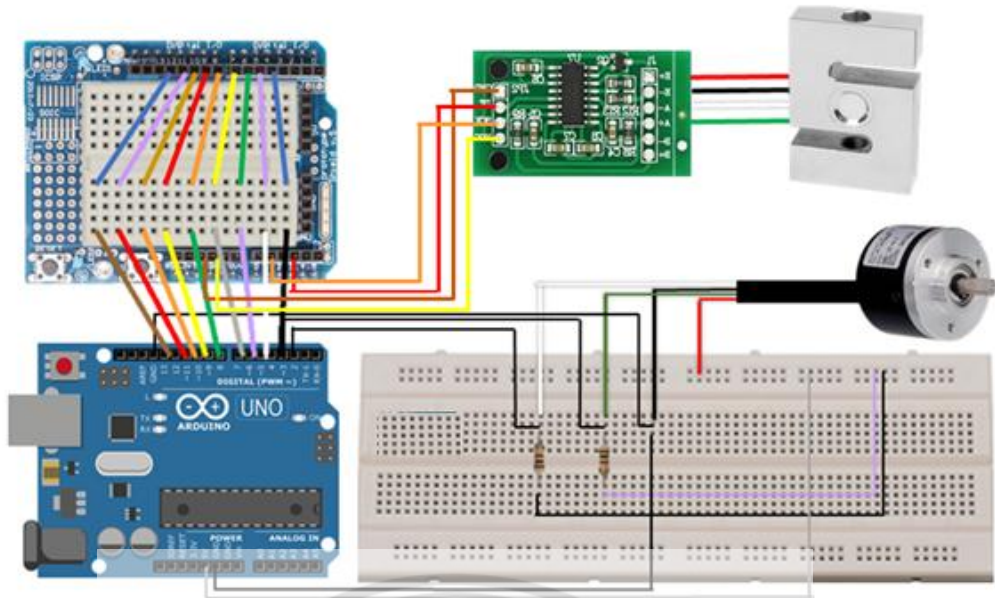
ตารางค.1 (ต่อ)

8	สาย jumper (เมีย-เมีย)	-	เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้า ด้วยกัน	
9	HX711 Amplifier Module	-	แปลงสัญญาณ	
10	เหล็กกล่อง สี่เหลี่ยมจตุรัส	-	แข็งแรง ทนทาน	
11	เหล็กกล่อง สี่เหลี่ยมผืนผ้า	-	แข็งแรง ทนทาน	
12	เหล็กท่อกลมดำ (Carbon Steel Tubes)	-	เหนียว แข็งแรง	
13	สกรูหัวหก เหลี่ยมติดแหวน (Hex Washer)	-	ยึดติดชิ้นงาน แข็งแรง	
14	กลไกปรับระดับ 5 ระดับ	-	แข็งแรง ปรับระดับได้ 5 ระดับ	

ตารางค.1 (ต่อ)

15	เบาะหนังรองนั่ง	-	เหนียว แข็งแรง ทนทาน	
16	โฟมยางกัน กระแทกแบบ U SHAPE	-	เหนียว กันกระแทก ของชิ้นงาน	
17	ถุงทราย	-	ใช้ในการทดลองเครื่อง	
18	เครื่องชั่ง น้ำหนัก	-	ชั่งน้ำหนัก	





รูป ง.1 การออกแบบระบบควบคุม

จาก Encoder ผ่านตัวต้านทาน จะมีสายกราวด์ (สีเทา) และสายไฟ (เขียว,แดง) สายกราวด์ และสายไฟจะมี 2 ขาเป็นสัญญาณขึ้นลงซ้อนกัน และผ่านตัวต้านทาน ไปเข้า Arduino อ่านค่าสัญญาณจับว่าขึ้นลงซ้อนกัน 2 ครั้ง เป็น 1 รอบ (1 สเต็ป) และส่งเป็นค่าว่าเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมกี่ครั้ง โดยส่งเป็นเลขฐาน 2 ทั้งแถบ มี 8 ตัว เป็น 256 ค่า (255 ถึง -255) และมีเลข 0 อีกตัว ส่งค่าออกเป็นเลขฐาน 2

ส่งไปยังบอร์ด Arduino รับและอ่านค่า แปลงจากเลขฐาน 2 เป็น เลขฐาน 10 และบอร์ดนี้ยังทำหน้าที่อีกอย่างหนึ่งคือ อ่านค่าจากโหนดเซลล์

จากโหนดเซลล์ ผ่านตัวต้านทานมี 5 ขา (ของจริงมี 4 ขา) มีสายกราวด์กันไฟรั่ว (สายสีดำ) และสายสีแดง เขียว และสีขาว เป็นตัวจ่ายไฟ และจาก HX711 Amplifier Module (โมดูลขยายสัญญาณจากโหนดเซลล์) สายสีน้ำเงินและเขียว อ่านค่า ส่วนสายสีเหลืองและสีส้มเป็นไฟเลี้ยง เนื่องจากเป็นดิจิทัล จึงเสียบบอร์ดเดียวกันได้ และเป็นสัญญาณซ้อนทับกัน 2 อัน และผ่าน HX711 Amplifier Module ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเป็นตัวเลข และเข้าบอร์ด Arduino อีกครั้ง เพื่อคำนวณตัวเลขที่ HX711 Amplifier Module อ่านมา



