

2021

## การวัดกำลังพลวัดแฝง

ภูวเดช เสน่ห์เมือง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Industrial Engineering Commons](#), and the [Operational Research Commons](#)

---

### Recommended Citation

เสน่ห์เมือง, ภูวเดช, "การวัดกำลังพลวัดแฝง" (2021). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 5543.

<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5543>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact [ChulaDC@car.chula.ac.th](mailto:ChulaDC@car.chula.ac.th).

การวัดกำลังพลวัดแฝง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Measurement of Semi Dynamic Strength



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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดกำลังพลวัดแฝง
โดย	นายภูเดช เสน่ห์เมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูตีมา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)	



ภูวเดช เสน่ห์เมือง : การวัดกำลังพลวัตแฝง. ( Measurement of Semi Dynamic Strength) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ.  
ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

ข้อมูลที่สำคัญในการประเมินความปลอดภัยในงานยกของหนักตามแนวทางชีวกลศาสตร์ คือ ข้อมูลกำลังยกสูงสุด ซึ่งหาได้จาก 2 แนวทางคือ การประเมินในภาวะสถิต และการประเมินภาวะพลวัต ที่มีความใกล้เคียงกับการเคลื่อนไหว แต่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเวลา และความซับซ้อนในการคำนวณ จึงได้มีการประเมินในภาวะพลวัตแฝง (Semi Dynamic) มาใช้แทนการประเมินภาวะพลวัต จากการเปรียบเทียบแนวทางการประเมินกำลังยกสูงสุดในภาวะสถิตและพลวัตแฝงที่ความเร็วในการยกของที่ 0.73 และ 0.54 m/s จากอาสาสมัครทั้ง 8 คน เป็นชาย 4 คน และหญิง 4 คน ทดสอบกำลังยก 3 แบบ คือ 1.การใช้กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Strength) 2.กล้ามเนื้อแขน(Arm Strength) และ 3. กล้ามเนื้อไหล่(Shoulder Strength) ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบกำลังยกแบบใช้กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ วิเคราะห์ค่าโมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง (L5/S1) พบว่ากำลังยกสูงสุดในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยมากกว่าภาวะสถิตร้อยละ 27.21 และ 19.28 ตามลำดับ แต่ค่ากำลังสูงสุดที่ข้อต่อหลังส่วนล่าง (Maximum Joint Strength) ในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าภาวะสถิตร้อยละ 4.08 และ 6.34 ตามลำดับ และแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณหลังส่วนล่างในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าใกล้เคียงกับภาวะสถิต แสดงว่าการยกแบบเคลื่อนไหวสามารถยกของได้มากกว่าการยกแบบอยู่กับที่โดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อหลังเพิ่มขึ้นไม่มาก และค่าความปลอดภัยยังอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับภาวะสถิต สำหรับผลวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ที่ข้อต่อของข้อศอกขณะทดสอบกำลังของกล้ามเนื้อแขน พบว่ากำลังยกสูงสุดในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าภาวะสถิตร้อยละ 3.72 และ 4.19 ตามลำดับ แต่ค่ากำลังสูงสุดที่ข้อต่อของข้อศอกในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 m/s มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าภาวะสถิต ร้อยละ 3.74 แต่ในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับภาวะสถิต แสดงว่าการยกโดยใช้กำลังกล้ามเนื้อแขน แบบสถิตสามารถยกของได้มากกว่าการยกแบบเคลื่อนไหวเล็กน้อย โดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อแขนยังคงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับภาวะสถิต สำหรับผลวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ที่ข้อต่อของหัวไหล่ ขณะทดสอบกำลังของกล้ามเนื้อไหล่ พบว่ากำลังยกสูงสุดในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยมากกว่าภาวะสถิตร้อยละ 25.54 และ 23.26 ตามลำดับ แต่ค่ากำลังสูงสุดที่ข้อต่อของหัวไหล่ในภาวะพลวัตแฝงที่ 0.73 และ 0.54 m/s มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าภาวะสถิตร้อยละ 6.64 และ 1.74 ตามลำดับ แสดงว่าการยกแบบเคลื่อนไหวโดยการใช้น้ำหนักไหล่สามารถยกของได้มากกว่าการยกแบบสถิตโดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อไหล่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยใกล้เคียงกับภาวะสถิต ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการวัดกำลังยกแบบพลวัตแฝงในท่ายกของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และกล้ามเนื้อไหล่มีความแตกต่างจากการวัดกำลังแบบสถิต ดังนั้นหากต้องการค่าความปลอดภัยที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริงควรใช้วิธีประเมินการวัดกำลังยกแบบพลวัตแฝงเพื่อประเมินความปลอดภัยและกำหนดขอบเขตภาระงานสูงสุดสำหรับงานยก

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6170244021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Static Strength, Semi Dynamic Strength, Biomechanics, Composite Strength, Arm Strength, Shoulder Strength, Compressive Force

Phuwadet Sanaemuang : Measurement of Semi Dynamic Strength. Advisor: Asst. Prof. PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D.

In safety evaluation for lifting heavy object based on Biomechanics, the maximum lifting strength is the most essential information which comes from 2 methods, the static assessment and dynamic assessment closed to movement. Due to the time limitation and complex process of dynamic assessment, it was replaced with a semi-dynamic assessment. Comparing the maximum lifting strength between Static assessment and Semi Dynamic assessments with two speeds of lifting (0.73 m/s and 0.54 m/s), 8 volunteers (4 males and 4 females) were assigned to lift for 3 types of lifting strengths 1. Composite Strength, 2. Arm Strength, and 3. Shoulder Strength. For the composite strength test, the analysis of moment and compressive force at L5/S1 showed that the average maximum strength of the Semi-dynamics conditions at 0.73 and 0.54 m/s were higher than the Static condition at 27.21 and 19.28 percent, respectively, but the average maximum joint strength at L5/S1 of the Semi-dynamic conditions at 0.73. and 0.54 m/s was less than the Static condition at 4.08 and 6.34 percent, respectively. And the average maximum Compressive Force on L5/S1 of the Semi-dynamics conditions were closed to the static conditions. Then the dynamic lifting could lift an object heavier than the static lifting while the workload of back muscle was increased lightly then its safety factor is similar to the static lifting. For the moment analysis at Elbow joint of the Arm strength test, the average maximum strength of the Semi-dynamics conditions at 0.73 and 0.54 m/s were less than the static condition at 3.72 and 4.19 percent, respectively. However, the average maximum elbow joint strength of the Semi-dynamic condition at 0.73 m/s was less than the static condition at 3.74 percent but the strength at 0.54 m/s was similar to the static condition. Then, the static lifting with Arm Strength could lift an object heavier than the dynamic lifting while the workload of arm muscle was similar to the static condition. For the moment analysis at the Shoulder joint of the Shoulder strength test, the average maximum strength of the Semi-dynamics conditions at 0.73 and 0.54 m/s were higher than the static condition at 25.54 and 23.26 percent, respectively. However, the average maximum shoulder joint strength of the Semi-dynamic conditions at 0.73 and 0.54 m/s were less than the static condition at 6.64 and 1.74 percent, respectively. Then the dynamic lifting with Shoulder Strength could lift an object heavier than the static lifting while the workload of Shoulder muscle was increased lightly. According to the results of the analysis, the Semi-dynamic Strength assessment of Composite strength and shoulder Strength tests differ from the static Strength assessment. Therefore, if it's required the safety factor closed to the actual lifting, the Semi-dynamic assessment should be considered to evaluate safety and set for the maximum limit of lifting load.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ กรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กลุ่มจิตรกรรมภายนอก ที่สละเวลาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำปรึกษาจนวิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและชัดเจน

ขอขอบคุณอาสาสมัครในการทดสอบทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่ามาเก็บข้อมูลให้กับงานวิจัยนี้ และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ภูวเดช เสน่ห์เมือง



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	4
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัยเบื้องต้น.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการยก .....	6
2.2 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง .....	8
2.3 หลักชีวกลศาสตร์ .....	9
2.3.1 หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต (Statics).....	10
2.3.2 หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต (Dynamics).....	13
2.4 การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของแต่ละส่วนของร่างกายโดยการพยากรณ์จากรูปร่าง และลักษณะท่าทางจากการยก .....	17
2.5 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างและแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลัง รับได้ .....	18

2.5.1	แรงกดอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง.....	18
2.5.2	การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง .....	19
2.6	แรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้ .....	20
2.7	การศึกษาหาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ .....	22
2.8	การประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บด้านการยศาสตร์แบบต่าง ๆ .....	23
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....		27
3.1	ผู้เข้าร่วมทดสอบ.....	27
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.3	การเก็บข้อมูล .....	34
3.4	การคำนวณหลักชีวกลศาสตร์.....	40
3.5	การวิเคราะห์ข้อมูล .....	44
บทที่ 4 ผลการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล .....		45
4.1	ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบและประเภทที่เข้าร่วมการทดสอบ.....	45
4.2	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	46
4.2.1	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ... ..	46
4.2.2	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ.....	54
4.2.3	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	63
4.2.4	การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ.....	71
4.2.5	การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ.....	72

4.2.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากสมการพยากรณ์ .....	74
4.2.7 การเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแรงแงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	75
4.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อแขน .....	77
4.3.1 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน.....	77
4.3.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแรงแงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน .....	82
4.3.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแรงแงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน .....	87
4.3.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแรงแงของกล้ามเนื้อแขน .....	91
4.3.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแรงแงของกล้ามเนื้อแขน .....	93
4.3.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อแขน.....	94
4.4 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อไหล่.....	96
4.4.1 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่.....	96
4.4.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแรงแงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อไหล่ .....	101
4.4.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแรงแงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ .....	106
4.4.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแรงแงของกล้ามเนื้อไหล่.....	110
4.4.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแรงแงของกล้ามเนื้อไหล่.....	111

4.4.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและค่า โมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อไหล่ .....	113
4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบใช้งานเครื่องวัดกำลังโดย Gage R&R ใน Program Minitab.....	115
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	118
5.1 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	118
5.2 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อแขน.....	119
5.3 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อไหล่ .....	121
5.4 ผลสรุปจากการวัดกำลังโดยวิเคราะห์ด้วย Gage R&R.....	122
5.5 ข้อเสนอแนะ .....	122
บรรณานุกรม.....	123
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก .....	127
ภาคผนวก ข .....	142
ภาคผนวก ค .....	153
ภาคผนวก ง.....	164
ประวัติผู้เขียน.....	173

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 รายงานของสำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน ว่าด้วยเรื่องการประสบอันตราย เนื่องจากการทำงานจำแนกตามความรุนแรงและอวัยวะที่ได้รับอันตราย ปี พ.ศ. 2556-2561 .....	1
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายโดย (D.A. Winter, 1979) .....	16
ตารางที่ 2.2 ค่า Compressive Force ของกระดูกสันหลังที่นักวิจัยแต่ละท่านได้ทำการวิจัย (ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) .....	21
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ .....	45
ตารางที่ 4.2 ประเภทการทดสอบที่ผู้เข้าร่วมได้ทำการทดสอบ .....	46
ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge เปรียบเทียบกับมุมของลำตัววัดกับแนวราบ .....	48
ตารางที่ 4.4 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	49
ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ ขณะเกิด โมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นนิวตันเมตร) .....	50
ตารางที่ 4.6 ค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ ส่วนต่าง ๆ .....	52
ตารางที่ 4.7 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะที่มีโมเมนต์และแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการ วัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	53
ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	54
ตารางที่ 4.9 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ ส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge เปรียบเทียบกับมุมของลำตัววัดกับแนวราบ .....	55
ตารางที่ 4.10 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	56



ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และข้อไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นนิวตันเมตร)..... 58

ตารางที่ 4.12 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ..... 59

ตารางที่ 4.13 ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ ..... 60

ตารางที่ 4.14 ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่คำนวณได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ..... 61

ตารางที่ 4.15 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ..... 62

ตารางที่ 4.16 ค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็วที่ 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ ..... 64

ตารางที่ 4.17 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ..... 64

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อมือ ข้อศอก และข้อไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ..... 66

ตารางที่ 4.19 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ..... 67

ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์... 67

ตารางที่ 4.21 ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่คำนวณได้จากการวัดการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ..... 69

ตารางที่ 4.22 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ..... 70

ตารางที่ 4.23 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลังสถิติและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ..... 71

ตารางที่ 4.24 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ .....	72
ตารางที่ 4.25 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังและค่าโมเมนต์ที่ได้จากสมการณพยากรณ์ .....	74
ตารางที่ 4.26 ค่าความแตกต่างของค่าแรงกดอัดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง บริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณได้ จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ .....	75
ตารางที่ 4.27 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน .....	78
ตารางที่ 4.28 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน .....	80
ตารางที่ 4.29 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	81
ตารางที่ 4.30 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge .....	83
ตารางที่ 4.31 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน .....	85
ตารางที่ 4.32 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	86
ตารางที่ 4.33 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge .....	88
ตารางที่ 4.34 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน .....	90
ตารางที่ 4.35 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	91

ตารางที่ 4.36 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลัง สถิติและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ .....	91
ตารางที่ 4.37 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลัง สถิติและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ .....	93
ตารางที่ 4.38 ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอก จากการวัดกำลังสถิติและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ ...	94
ตารางที่ 4.39 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนไหล่เปรียบเทียบกับมุมระหว่าง แขนส่วนล่างและแขนส่วนบน.....	97
ตารางที่ 4.40 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ โดยเปรียบเทียบมุมของ ไหล่ .....	99
ตารางที่ 4.41 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	100
ตารางที่ 4.42 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ ไหล่ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge .....	102
ตารางที่ 4.43 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของ กล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบมุมของไหล่.....	104
ตารางที่ 4.44 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	105
ตารางที่ 4.45 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ ไหล่ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge .....	107
ตารางที่ 4.46 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของ กล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบมุมของไหล่.....	109
ตารางที่ 4.47 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์ .....	110
ตารางที่ 4.48 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของกำลังสูงสุดที่ได้ จากการวัดกำลังสถิติและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ.....	110

ตารางที่ 4.49 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ .....	111
ตารางที่ 4.50 ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ ..	113
ตารางที่ 4.51 เกณฑ์การยอมรับ (AIAG), 2002 อ้างจาก (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557).....	117
ตารางที่ 4.52 ความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) ของผู้ทำทดสอบอื่น ๆ .....	117



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หมอนรองกระดูกสันหลังระหว่าง L5/S1.....	6
รูปที่ 2.2 แรงและโมเมนต์ที่กระทำบนกระดูกสันหลัง (สุทธิ ศรีบูรพา, 2540; สุธาริน สุวรรณโห, 2554) .....	9
รูปที่ 2.3 การแบ่ง Segment ในแต่ละส่วนของร่างกาย .....	10
รูปที่ 2.4 ผังวัดฤทธิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557).....	11
รูปที่ 2.5 ผังวัดฤทธิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557) .....	14
รูปที่ 2.6 แผนวัดฤทธิสระในท่าการยก.....	17
รูปที่ 2.7 สมการพยากรณ์โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อ.....	17
รูปที่ 2.8 ผังวัดฤทธิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแนวแกนตั้งบริเวณ L5/S1 (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557) .....	18
รูปที่ 2.9 ผังวัดฤทธิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแนวแกนนอนบริเวณ L5/S1 (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557).....	19
รูปที่ 2.10 ผังวัดฤทธิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557).....	19
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝง.....	27
รูปที่ 3.2 Load Cell Strain Gauge Type S 300 Kg.....	27
รูปที่ 3.3 Load cell Indicator Mypin Model LM8-IRRD.....	28
รูปที่ 3.4 Stepping Motor / Stepping drive 8.5 N-m .....	28
รูปที่ 3.5 แกนเพลลาพร้อมเชือกพันรอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร .....	28
รูปที่ 3.6 เฟืองโซ่เบอร์ 25 จำนวน 12 ฟันเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์และ จำนวน 45 ฟันขับแกนเพลลาเชือก ..	29
รูปที่ 3.7 บอร์ด PLC Transistor รุ่น FX1S 22MRT .....	29
รูปที่ 3.8 24 Volt Switching Power Supply .....	30
รูปที่ 3.9 ด้ามจับสำหรับดึง .....	30

รูปที่ 3.10 Diagram การทำงานของเครื่อง .....	31
รูปที่ 3.11 Block Diagram การทำงานของเครื่อง .....	31
รูปที่ 3.12 เครื่องซึ้หน้าหน้าร่างกายแบบเข็ม CAMRY รุ่น DT613 .....	33
รูปที่ 3.13 ระบบเก็บข้อมูลด้วยภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture System (วรวุฒิ ขอเจริญ, 2561).....	33
รูปที่ 3.14 กล้องอินฟาเรดรุ่น flex 13 .....	34
รูปที่ 3.15 ลูกบอลลาวแสง .....	34
รูปที่ 3.16 ตำแหน่งลูกบอลเรืองแสงบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดสอบ .....	35
รูปที่ 3.17 ท่าการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ.....	36
รูปที่ 3.18 ท่าการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน.....	36
รูปที่ 3.19 ท่าวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่.....	37
รูปที่ 3.20 ภาพต่อเนื่องท่าวัดกำลังพลวัตแฝงกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ.....	38
รูปที่ 3.21 ภาพต่อเนื่องท่าวัดกำลังพลแฝงวัดกล้ามเนื้อแขน .....	39
รูปที่ 3.22 ภาพต่อเนื่องท่าวัดกำลังพลวัตแฝงกล้ามเนื้อไหล่.....	39
รูปที่ 3.23 การเปรียบเทียบร่างกายเสมือนนรยวงค์วัดคู่แข่งเกร็ง .....	40
รูปที่ 3.24 รูปแบบการเขียนแรงที่กระทำกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย.....	41
รูปที่ 3.25 ผังวัดฤอิสระที่ใช้ในการคำนวณในต่อละข้อต่อ .....	41
รูปที่ 3.26 รูปขณะวัดกำลัง และแผนภาพวัดฤอิสระของแรง .....	42
รูปที่ 3.27 แสดงถึงแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง .....	43
รูปที่ 4.1 แผนภาพวัดฤอิสระแสดงมุมต่าง ๆ ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	46
รูปที่ 4.2 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัว เทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1.....	47
รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ ส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1 .....	49

รูปที่ 4.4 ผลการคำนวณแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1 .....	51
รูปที่ 4.5 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1.....	54
รูปที่ 4.6 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1 .....	57
รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	60
รูปที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1 .....	63
รูปที่ 4.9 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	65
รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	68
รูปที่ 4.11 แผนภาพอิสระแสดงมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อแขน .....	77
รูปที่ 4.12 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1.....	77
รูปที่ 4.13 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบน ของผู้ทดสอบที่ 1.....	79
รูปที่ 4.14 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1.....	82

รูปที่ 4.15 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของ กล้ามเนื้อแขน เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1 .....	84
รูปที่ 4.16 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1 .....	87
รูปที่ 4.17 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อศอกเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและ แขนส่วนบนจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ ทดสอบที่ 1 .....	89
รูปที่ 4.18 แผนภาพอิสระแสดงมุมของไหล่ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อไหล่ .....	96
รูปที่ 4.19 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ ทดสอบที่ 1 .....	96
รูปที่ 4.20 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จาก การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	98
รูปที่ 4.21 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	101
รูปที่ 4.22 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จากการวัดกำลัง พลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	103
รูปที่ 4.23 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	106
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จากการ วัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 .....	108
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ	115
รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ .....	116



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลังส่วนล่าง (Low Back) เป็นตำแหน่งที่ก่อให้เกิดอาการปวดหลังและอาการบาดเจ็บของ  
คนงาน โดยเฉพาะหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างตำแหน่งบั้นเอวที่ 5 และก้นกบที่ 1 L5/S1  
(Lumbar5/Sacral1) (กิตติ อินทรานนท์ และคณะ, 2553; ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557) สาเหตุของอาการ  
บาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง(Low Back Pain) เกิดจากการที่คนออกแรง ยก ผลัก ดึง และการถือ  
มากเกินไปกำลังของตนเอง (Andris Freivalds and Donna M. Fotouhi, 1986) ในประเทศ  
สหรัฐอเมริกา ร้อยละ 25 ของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทั้งหมดในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดจากกิจกรรมขน  
ถ่ายวัสดุ ในประเทศไทยจากการรายงานของสำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน ว่าด้วยเรื่อง  
การประสบอันตรายเนื่องจากการทำงานจำแนกตามความรุนแรงและอวัยวะที่ได้รับอันตรายในช่วง 6  
ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2561 (สถิติงานประกันสังคม สำนักงานประกันสังคม กระทรวง  
แรงงาน, 2556-2561) แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 รายงานของสำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน ว่าด้วยเรื่องการประสบอันตราย  
เนื่องจากการทำงานจำแนกตามความรุนแรงและอวัยวะที่ได้รับอันตราย ปี พ.ศ. 2556-2561

ปี (พ.ศ.)	จำนวนผู้ประสบอันตรายทั้งหมด (ราย)	หลัง (ราย)	สัดส่วนร้อยละ
2556	111,894	3,056	2.73
2557	100,234	2,630	2.62
2558	95,674	2,593	2.71
2559	89,488	2,532	2.62
2560	86,278	2,265	2.62
2561	86,297	2,238	2.59

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าถึงแม้จำนวนผู้ประสบอัตรายจากปี พ.ศ. 2556 จะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่สัดส่วนร้อยละของผู้บาดเจ็บบริเวณหลังยังคงอยู่ในระดับที่คงที่ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก

วิธีการประเมินภาระงานเพื่อวัดระดับปลอดภัยและป้องกันอาการบาดเจ็บจากการขนย้ายวัสดุมีอยู่หลายแนวทาง แต่หนึ่งในแนวทางที่ใช้ประเมินคือ หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach) ซึ่งเป็นการคำนวณตามหลักวิศวกรรม โดยการคำนวณหาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อแต่ละส่วนของร่างกายเพราะแรงสามารถสะท้อนต่อการทรุดตัวของหมอนรองกระดูกสันหลังได้โดยตรง โดยหลักการคำนวณชีวกลศาสตร์เพื่อหาแรงและโมเมนต์ที่มีอยู่ 2 แนวทาง (ตรีณัทร จำปาวัลย์, 2538) คือ การคำนวณในภาวะสถิต (Statics) และ การคำนวณในภาวะพลวัต (Dynamics)

การทำงานที่ใช้แรงกายนับเป็นการทำงานในแบบพลวัตแต่เนื่องจากข้อจำกัดทั้งเวลาและความซับซ้อนในการประเมิน จึงมักใช้แนวทางประเมินแบบภาวะสถิต ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดโดยผลประเมินที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงที่เป็นแบบพลวัต แต่เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินในภาวะพลวัต มีต้นทุนที่สูงและมีความซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากมีความเร็วและความเร่งเข้ามาเกี่ยวข้อง ประกอบกับลักษณะการเคลื่อนไหวของงานยกที่เคลื่อนไหวไม่เร็วมาก การนำเทคนิคการประเมินแบบพลวัตแฝง (Semi-Dynamic) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่มีความเร็วคงที่ ทำให้มีความเร่งน้อยมากจึงอนุมานได้ว่าความเร่งเทียบเท่ากับศูนย์ เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการประเมิน โดยแรงที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังยังคงเป็นแบบพลวัต แต่การคำนวณยังคงเป็นแบบภาวะสถิตในทุกๆ เฟรมตลอดการเคลื่อนไหว จากวิธีที่กล่าวมานั้น กระบวนการประเมินความปลอดภัยในการยกด้วยหลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตมีดังต่อไปนี้

1. ประเมินค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลัง (Compressive Force, CS) โดยการวัดกำลังในภาวะสถิต หรือจากสมการที่ได้มีการทำการวิจัยในอดีต
2. ประเมินค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังจากงานจริง หรือจากการออกแบบการทดลองจากห้องแลปที่เทียบเท่ากับสภาวะงานจริง
3. การประเมินความปลอดภัยจากงานยก นำค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังจากงานจริงเปรียบเทียบกับ ร้อยละ 60 ของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังในภาวะสถิต หรือจากสมการที่มีการทำวิจัยในอดีตถ้าค่า CS จากงานจริงไม่เกินร้อยละ 60 ของค่า CS สูงสุดจะถือว่างานนี้ปลอดภัย แต่ถ้าเกินร้อยละ 60 ถือว่างานนี้ไม่ปลอดภัย

อุตสาหกรรมในปัจจุบันถึงแม้จะมีอุปกรณ์ในการช่วยขนย้ายวัสดุ หรือระบบอัตโนมัติที่ทำงานขนย้ายวัสดุ แต่ยังมีบางอุตสาหกรรมหรือบางกิจกรรมในโรงงานที่ยังคงใช้คนอยู่ ซึ่งงานที่คนงานทำนั้นจะเป็นการใช้แรงงานเป็นหลัก ลักษณะของการทำงานนั้นคือ การยก การแบก การลาก และการถือ ยกตัวอย่างเช่น โรงงานประกอบชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า จะใช้แรงงานคนทั้งหมดในการประกอบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้น เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง และอาจต้องทำให้คนงานหยุดงาน เนื่องจากต้นทุนหลักในอุตสาหกรรมลักษณะนี้คือแรงงาน รวมถึงปัจจุบันได้มีต้นทุนแรงงาน (Labor Cost) ที่เพิ่มสูงขึ้นและยังมีปัญหาอาการบาดเจ็บที่ทำให้คนงานต้องหยุดงานเป็นผลให้ทำให้ผลิตภาพ (Productivity) ต่ำลงและถ้ายังหาอุปกรณ์ในการช่วยขนย้ายวัสดุ หรือระบบอัตโนมัติที่ทำงานในลักษณะอุตสาหกรรมนี้มาทดแทนแรงงานไม่ได้ จึงจำเป็นต้องหาแรงงานทดแทนที่มีต้นทุนต่ำกว่า ดังนั้นค่าความปลอดภัย (Safety Factor) จึงเป็นข้อจำกัดในการเพิ่มผลิตภาพในงานยก ทำให้คนงานไม่สามารถยกน้ำหนักเกินกว่าค่าความปลอดภัยของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลัง แต่ยังมีกระบวนการประเมินค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังเพื่อได้ค่าสูงสุดที่เปลี่ยนไป คือวิธีการคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต เมื่อได้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เปลี่ยนไปและยังคงค่าความปลอดภัยไว้อย่างเดิมที่ร้อยละ 60 ดังนั้นตัวชี้วัดระดับความปลอดภัยก็จะเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น การคำนวณในภาวะสถิตให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ 1000 นิวตัน ค่าแรงกดอัดที่อยู่ในระดับปลอดภัยคือ 600 นิวตัน แต่ถ้าการคำนวณในภาวะพลวัตให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ 1200 นิวตัน ค่าแรงกดอัดที่อยู่ในระดับปลอดภัยคือ 720 นิวตัน เห็นได้ว่าจะสามารถกำหนดภาระงานให้คนงานได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลิตภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นหาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลัง ที่ได้จากวิธีการคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตแฝง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝง ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่
2. เปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างด้วยหลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตและภาวะพลวัตแฝง
3. หาอัตราส่วนความแตกต่างของ กำลัง โมเมนต์บริเวณข้อต่อ แรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝง

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัดกำลังในภาวะสถิตของกล้ามเนื้อ 3 ท่า ได้แก่
  - ทำวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Static Strength)
  - ทำวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน (Arm Static Strength)
  - ทำวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder Static Strength)
2. การวัดกำลังในสภาวะพลวัตแฝง 3 ท่า ได้แก่
  - วัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Semi Dynamic Strength)
  - วัดกำลังของกล้ามเนื้อแขน (Arm Semi Dynamic Strength)
  - วัดกำลังของกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder Semi Dynamic Strength)
3. ศึกษาหาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์เฉพาะจากวัดกำลังกล้ามเนื้อ ส่วนต่าง ๆ
4. ทดสอบในอาสาสมัคร 8 คน อายุระหว่าง 25-26 ปี โดยแบ่งเป็นเพศชาย 4 คน และเพศหญิง 4 คน

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงความแตกต่างของวิธีการวัดกำลังแบบสถิตและวิธีการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงและปัญหาจากการวัดกำลังทั้ง 2 วิธีการ
2. ทราบถึงอัตราส่วนความแตกต่างของกำลัง โมเมนต์บริเวณข้อต่อ และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝง เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังสถิตเป็นข้อมูลแบบพลวัตแฝงจากการใช้อัตราส่วนความแตกต่าง สำหรับผู้ที่มีเพียงอุปกรณ์การวัดกำลังแบบสถิต เนื่องจากอุปกรณ์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงมีต้นทุนที่สูง และมีความยุ่งยากในการคำนวณ
3. ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจสำหรับงานยกที่ประเมินในภาวะสถิตแล้วพบว่าค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างเกินร้อยละ 60 ของค่าแรงกดอัดสูงสุด

ซึ่งเป็นอันตรายต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง แต่เมื่อประเมินในภาวะพลวัตแล้วยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างไม่เกินร้อยละ 60 ของค่าแรงกดอัดสูงสุด ซึ่งจะ  
เป็นแนวทางในการพิจารณาและตัดสินใจว่า ยังคงสามารถทำงานนี้ได้หรือไม่ เพราะส่งผลถึงต้นทุนในการจ้างพนักงานเพิ่ม และเวลาที่ใช้ในการทำงาน

4. เป็นแนวทางเบื้องต้นเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการวัดกำลังพลวัตที่แท้จริง

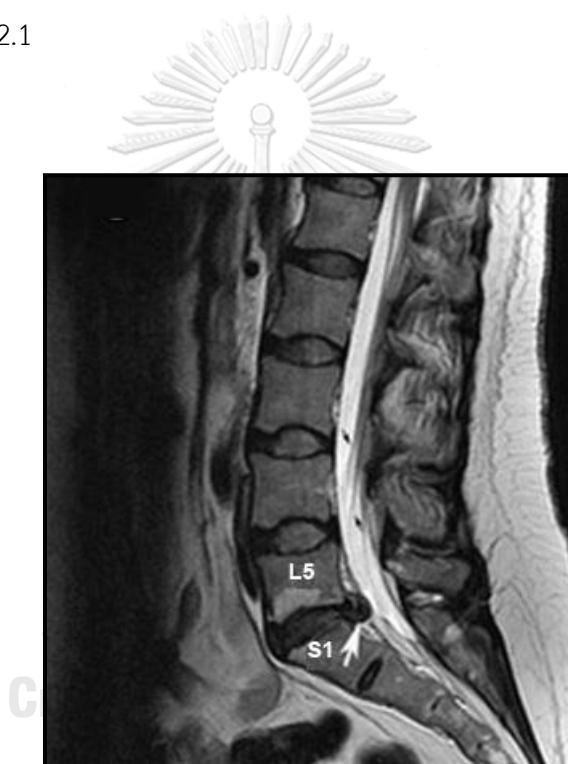
### 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัยเบื้องต้น

1. ศึกษาที่มาและสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย
3. ออกแบบการทดลองและประสานงานกับกลุ่มผู้ทดลอง
4. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูลพร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังระหว่างภาวะสถิตและภาวะพลวัต
7. สรุปผลการวิจัย
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาการเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain) เป็นปัญหาสำคัญที่พบมากในการยกหรือเคลื่อนย้ายย้ายวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม สาเหตุเกิดจากการที่คนงานออกแรงยก หรือเคลื่อนย้ายวัสดุเกินกำลังของตนเอง เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อบริเวณหมอนรองกระดูกที่รับกระดูกสันหลังชั้นเอวที่ 5 และกระดูกสันหลังก้นกบที่ 1 (L5/S1 Disc) (M. M. Ayoub, 1977; อรุณา ลาสูนนนท์, 2542) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หมอนรองกระดูกสันหลังระหว่าง L5/S1

#### 2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการยก

(G.B.J. Anderson, 1981; ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) ให้ข้อสรุปปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างไว้ 2 ปัจจัยหลักคือ ปัจจัยที่เกิดจากตัวคนงานเอง (Individual Risk Factors) และปัจจัยที่เกิดจากลักษณะของงาน (Occupational Factors)

ปัจจัยที่เกิดจากตัวคนงานเองนั้นได้แก่

- อายุ และ เพศ
- สัดส่วนร่างกาย
- ลักษณะท่าทางในการทำงาน
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสมบูรณ์ของร่างกาย
- การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง
- ปัญหาทางด้านจิตใจ และปัญหาด้านจิตใจ

ปัจจัยที่เกิดจากลักษณะงานของงาน

- งานที่มีลักษณะที่หนัก การยก และการเคลื่อนไหวของร่างกาย
- ลักษณะท่าทางในการทำงาน
- ความถี่ที่ต้องงอตัวหรือเอี้ยวตัว
- ลักษณะงานที่ซ้ำซาก

หน่วยงานทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมสหรัฐอเมริกา (Niosh) ได้กล่าวถึงลักษณะการทำงานในการยก ที่ก่อให้เกิดอันตรายไว้ 5 ประการ (โรสมารินทร์ สุขเกษม, 2546) ได้แก่

1. ยกของที่หนักมากเกินไป
2. ยกของที่รูปร่างใหญ่โตมากเกินไป
3. ยกของจากพื้นขึ้นสู่ที่สูงในแนวตั้ง
4. ยกของในลักษณะซ้ำซากมากเกินไป
5. ยกของในท่าทางไม่สมมาตรและไม่สมดุล

(M. M. Ayoub, 1977; ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) กล่าวว่า การป้องกันอาการบาดเจ็บจากการทำงาน ทำได้ด้วยการหาความสามารถในการยกของ เพื่อไม่ให้คนทำงานเกินขีดจำกัดของร่างกาย ซึ่งวิธีการหาขีดจำกัดของร่างกายทำได้สามแนวทาง คือ

1. การประเมินโดยใช้หลักการตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach) เป็นหลักการในการวัดปริมาณ  $VO_2$  Max (Maximal Oxygen Consumption) เพื่อวัดประสิทธิภาพสูงสุดของร่างกายในการใช้ออกซิเจน แล้วนำมาเป็นดัชนีประเมินภาระงานที่กำลังทำอยู่ ซึ่ง  $VO_2$  Max เป็นตัวบ่งชี้ระดับความฟิตหรือความอด (Endurance Performance) ซึ่งวิธีการนี้มีการวัดที่ยุ่งยาก อาจก่อความรำคาญให้กับผู้ทดสอบเนื่องจากต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดปริมาณออกซิเจนไว้ตลอดเวลา ขณะทำการทดสอบ และไม่สามารถวัดแรงลัพท์ที่กระทำต่อกระดูกและกล้ามเนื้อได้โดยตรง

2. การประเมินโดยใช้หลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้าทางกายภาพและการตอบสนองของร่างกาย โดยหลักการของวิธีนี้คือให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกหรือเคลื่อนย้ายวัสดุที่น้ำหนักต่าง ๆ และปรับน้ำหนักได้โดยที่ผู้ทดสอบไม่ทราบน้ำหนักที่แท้จริงเพื่อให้ได้ค่าสูงสุด โดยที่ผู้ที่ถูกทดสอบนั้นจะไม่เกิดความเครียด (Strain) ภาวะไม่สบาย เหนื่อยหอบ หรืออุณหภูมิร่างกายสูงเกินขนาด (S. H. Snook, C. H. Irvine and S. F. Bass, 1970; อรุมา ลาสุนนท์, 2542)

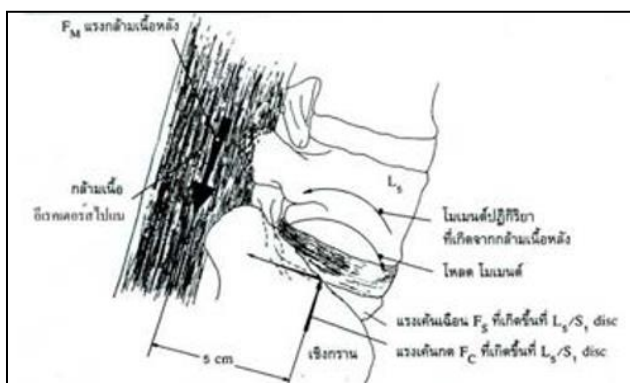
3. การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach) ซึ่งเป็นการคำนวณตามหลักวิศวกรรม โดยการคำนวณหาแรงลัพท์และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อแต่ละส่วนของร่างกาย เพราะแรงสามารถสะท้อนต่อการทรุดตัวของหมอนรองกระดูกสันหลังได้โดยตรง

## 2.2 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง

(J. Ekholm, U.P. Arborelius and G. Nemeth,, 1982) ได้ศึกษาภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการทำงานของกล้ามเนื้อในท่ายกต่าง ๆ พบว่าจากการที่กระดูกสันหลังเกิดโมเมนต์ปริมาณมากมากระทำขณะทำการยกนั้น ได้มีแรงที่กระทำมาเกี่ยวข้อง ได้แก่

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุขณะทำการขนย้าย
- แรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Extensor Erector spinae ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรงและมีระยะห่างจากกระดูกสันหลังท่อน L5/S1 ประมาณ 5 เซนติเมตร





รูปที่ 2.2 แรงและโมเมนต์ที่กระทำบนกระดูกสันหลัง (สุทธิ ศรีบูรพา, 2540; สุธาริน สุวรรณโฑ, 2554)

(สุทธิ ศรีบูรพา, 2540; สุธาริน สุวรรณโฑ, 2554) ขณะที่คนเราทำการยก บริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างบั้นเอวที่ 5 และก้นกบที่ 1 และเสนอให้กำหนดน้ำหนักของวัตถุต่าง ๆ ที่บุคคลควรจะยกได้อย่างปลอดภัย

สาเหตุที่ข้อต่อ L5/S1 ถูกเลือกให้เป็นจุดที่ใช้คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากเป็นจุดบริเวณซึ่งเกิดโหลดโมเมนต์จากแรงภายนอกที่มีปริมาณมากที่สุด เพราะอยู่ในระหว่างการยกวัตถุที่มีน้ำหนักมากนั้น โดยการเปรียบเทียบแล้วแกนโมเมนต์ (ระยะห่างตั้งฉาก) ระหว่างวัตถุในมือกับจุด L5/S1 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหมุนนั้นมีระยะแกนโมเมนต์ที่มีความยาวมากที่สุดในการพิจารณาตามหลักชีวกลศาสตร์ในการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 2.3 หลักชีวกลศาสตร์

การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach) ซึ่งนำมาเป็นเครื่องมือในการคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง เพื่อเปรียบเทียบภาระงานที่กระดูกสันหลังกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับ (Maximum Acceptable Load, MAL) นำไปเป็นแนวทางการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด โดยหลักการคำนวณชีวกลศาสตร์เพื่อหาแรงและโมเมนต์ที่มีอยู่ 2 แนวทาง (ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538)คือ การคำนวณในภาวะสถิต (Statics) และ การคำนวณในภาวะพลวัต (Dynamics)

(C. Frigo, 1990; ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) ได้ศึกษาการยกของโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตพบว่าการใช้รูปแบบการคำนวณในภาวะพลวัตจะให้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า

ภาวะสถิต และพบว่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจะมีค่ามากที่สุดในช่วงแรกของการยก (M. Jager and A. Luttmann, 1992) พบว่าความแตกต่างกันระหว่างท่ายกแบบหลังตรง-เข่างอ กับท่ายกแบบหลังงอ-เข่าตรง โดยท่ายกแบบหลังงอ-เข่าตรงจะมีค่าโมเมนต์สูงสุดที่มากกว่า และค่าโมเมนต์สูงสุดจะมีค่าแปรผันกับความเร็วในการยก

(D.A. Winter, 1979; ไพโรจน์ ลดาวิตรกุล, 2542) ได้เสนอการคำนวณหลักชีวกลศาสตร์เพื่อหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อวัตถุแข็งเกร็งทั้งในภาวะสถิตและภาวะพลวัต โดยแบ่งร่างกายออกเป็น ส่วนต่าง ๆ เรียกว่า Segment ประกอบด้วย 6 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ลำตัวและศีรษะ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ขาส่วนบน ขาส่วนล่าง และเท้า ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแบ่ง Segment ในแต่ละส่วนของร่างกาย

### 2.3.1 หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต (Statics)

เป็นการคำนวณการรวมและกระจายของแรง โมเมนต์ ที่กระทำกับวัตถุที่อยู่นิ่งหรือวัตถุแข็งเกร็ง ที่ทำให้ส่วนที่ถูกแรงกระทำนั้นอยู่ในภาวะสมดุล โดยมีสมการการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ดังนี้

$$\sum F_x = 0 \text{ (ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวแกน X มีค่าเท่ากับ 0)}$$

$$\sum F_Y = 0 \text{ (ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวแกน Y มีค่าเท่ากับ 0)}$$

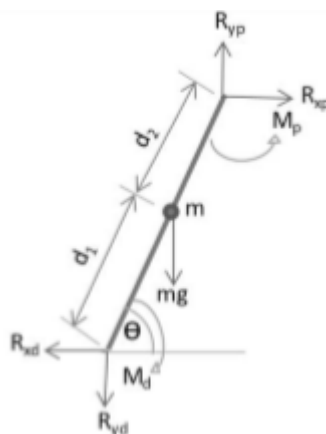
$$\sum M_{CM} = 0 \text{ (ผลรวมของโมเมนต์รอบแกนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0)}$$

ทั้งสามสมการนี้จะเป็นจริงเมื่ออยู่ในภาวะสมดุล และสมการทั้งสามนี้จะไม่ มีพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อย ทำให้ใช้ได้ ตีกับลักษณะงานที่หยุดนิ่งหรือเป็นลักษณะวัตถุแข็งเกร็ง มีสมมติฐานเพื่อนำ รูปแบบไปคำนวณดังนี้

1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุแข็งเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทาง แนวตั้ง
5. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดการ เคลื่อนไหว

การคำนวณในภาวะสถิต (Statics)

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.4 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อบนในแนวแกนนอน คำนวณได้จากสมการ

$$\sum F_x = 0$$

แทนค่า  $R_{XD} = R_{XP}$

โดย  $R_{XD}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกน

นอน

$R_{XP}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ใน

แนวแกนนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อในแนวแกนตั้ง คำนวณได้จากสมการ  $\sum F_y = 0$

แทนค่า  $R_{YP} = R_{YD} + mg$

โดย  $R_{YP}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ใน

แนวแกนตั้ง

$R_{YD}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนตั้ง

$m$  คือ มวลของ Segment ที่กำลังทำการคำนวณ

$g$  คือ ค่าความเร่งตามแรงดึงดูดของโลก มีค่า 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

วินาที<sup>2</sup>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคำนวณได้จากสมการ  $\sum M_{CM} = 0$  โดยให้จุดศูนย์กลางมวลของ Segment ( $mg$  point) เป็นจุดหมุนของข้อต่อ

แทนค่า  $M_p = M_d + R_{xd}d_1\cos\theta + R_{xp}d_2\sin\theta - R_{yd}d_1\cos\theta - R_{yp}d_2\sin\theta$

โดย  $M_p$  คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

$M_d$  คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

$\theta$	คือ มุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน
$d_1$	คือ ระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึงจุดศูนย์กลางของ Segment
$d_2$	คือ ระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางของ Segment

### 2.3.2 หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต (Dynamics)

เป็นการพิจารณาการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ของร่างกาย เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริง ซึ่งต้องพิจารณาถึงโมเมนต์ของแรงเฉื่อยและแรงซึ่งเกิดจากความเร่งเชิงมุมเข้ามาด้วย การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตประกอบด้วย

1. คิเนแมติกส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาหลักชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของส่วนที่ถูกกระทำโดยไม่คำนึงถึงขนาดแรงที่มากกระทำทำให้เคลื่อนไหว ตัวแปรคิเนแมติกส์จะเป็นการจัดที่เป็นเส้นตรง (Linear Displacement) การการจัดเป็นมุม (Angular Displacement) ความเร็ว (เมตร/วินาที) ความเร่ง (เมตร/วินาที<sup>2</sup>) และเวลา หาข้อมูลโดยใช้กล้องบันทึกวิดีโอทำการบันทึกภาพในแนวตั้งฉากกับระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) ด้วยอัตราเร็วคงที่ 50 ภาพต่อวินาที แล้วนำภาพที่ได้มาประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อมาคำนวณหาความเร็วและความเร่งของจุดต่าง ๆ รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุมของแต่ละ Segment โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$V_i = \frac{(X_{i+1} - X_{i-1})}{2/50} \quad \text{m./sec}$$

$$A_i = \frac{(V_{i+1} - V_{i-1})}{2/50} \quad \text{m./sec}^2$$

$$\omega_i = \frac{(\theta_{i+1} - \theta_{i-1})}{2/50} \quad \text{degree/sec}$$

$$\alpha_i = \frac{(\omega_{i+1} - \omega_{i-1})}{2/50} \quad \text{degree/sec}^2$$

โดย  $X_i$  คือ ตำแหน่งของภาพที่  $i$

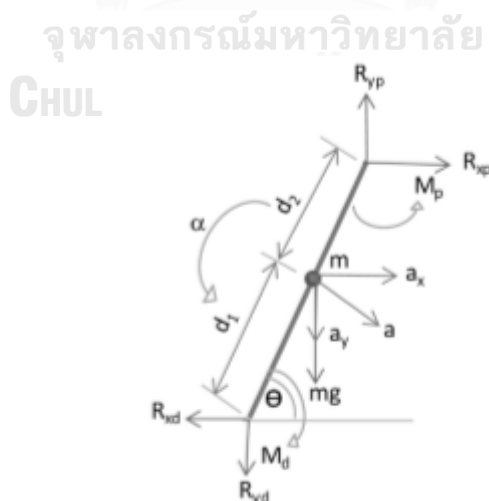
$V_i$  คือ ความเร็วเชิงเส้นของภาพที่  $i$

แนวแกน	$A_i$	คือ ความเร่งเชิงเส้นของภาพที่ $i$
	$\theta_i$	คือ ขนาดของมุมด้านขวาของ Segment กับกระทำใน นอนของภาพที่ $i$
	$\omega_i$	คือ อัตราเร็วเชิงมุม $\theta_i$ ของภาพที่ $i$
	$\alpha_i$	คือ อัตราเร่งเชิงมุม $\theta_i$ ของภาพที่ $i$

หมายเหตุ การคำนวณนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า จุด  $X_{i-1}$ ,  $X_i$  และ  $X_{i+1}$  เรียงกันเป็น  
เส้นตรง

2. คินติกส์ (Kinetic) เป็นการศึกษาหลักชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อส่วนใด ๆ ที่  
ทำให้ส่วนนั้นเกิดการเคลื่อนไหว แรงที่กระทำต่อส่วนใด ๆ เป็นได้ทั้งแรงที่กระทำจากภายใน  
และแรงที่เกิดจากภายนอก แรงภายในที่กระทำเกิดโดยการทำงานของ กล้ามเนื้อ  
(Muscles) เส้นเอ็น (Ligaments) และข้อต่อ (Joints) แรงภายนอกที่กระทำเกิดโดย แรง  
จากพื้นโลกหรือแรงโน้มถ่วง และจากแหล่งภายนอก น้ำหนักของวัตถุ แรงลม เป็นต้น

### การคำนวณในสภาวะพลวัต (Dynamics)



รูปที่ 2.5 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะพลวัต (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อในแนวแกนนอน คำนวณได้จากสมการ  $\sum F_x = ma_x$

$$\text{แทนค่า} \quad R_{XP} = R_{XD} - ma_x$$

โดย  $R_{XP}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนนอน

$R_{XD}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนนอน

$m$  คือ มวลของ Segment ที่กำลังทำการคำนวณ

$a_x$  คือ ความเร่งจุดศูนย์กลางมวลในแนวแกนนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อในแนวแกนตั้ง คำนวณได้จากสมการ  $\sum F_y = ma_y$

$$\text{แทนค่า} \quad R_{YP} = R_{YD} + mg + ma_y$$

$R_{YP}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนตั้ง

$R_{YD}$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนตั้ง

$m$  คือ มวลของ Segment ที่กำลังทำการคำนวณ

$g$  คือ ค่าความเร่งตามแรงดึงดูดของโลกมีค่า 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

$a_y$  คือ ความเร่งจุดศูนย์กลางมวลในแนวแกนตั้ง

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคำนวณได้จากสมการ  $\sum M = I\alpha$

$$\text{แทนค่า} \quad M_p = M_d + I\alpha + R_{xd}d_1\sin\theta + R_{xp}d_2\sin\theta - R_{yd}d_1\cos\theta - R_{yp}d_2\cos\theta$$

โดย  $M_p$  คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

$M_d$  คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

$\alpha$  คือ อัตราเร่งเชิงมุมของ  $\theta$

$\theta$  คือ มุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

$d_1$  คือ ระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึงจุดศูนย์กลางของ Segment

$d_2$  คือ ระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางของ Segment

3. Anthropometry เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกาย และคุณสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนัก มวล ปริมาตร จุดศูนย์กลาง และความหนาแน่น รวมถึงโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกาย การใช้โมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกายมาคำนวณอาศัยข้อมูลของ winter (1979) ที่ได้มีการบันทึกไว้มาแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายโดย (D.A. Winter, 1979)

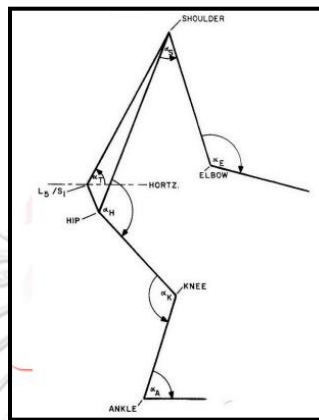
Segment	Weight	Center of mass / Segment length		Radius of Gyration / segment length		
		Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal
Hand	0.006	0.506	0.494	0.297	0.587	0.577
Forearm	0.016	0.430	0.570	0.303	0.526	0.647
Upper arm	0.028	0.436	0.564	0.322	0.542	0.645
Trunk	0.578	0.660	0.340	0.503	0.830	0.607
Thigh	0.100	0.433	0.567	0.332	0.540	0.653
Shank	0.0465	0.433	0.567	0.302	0.528	0.643
foot	0.0145	0.500	0.500	0.475	0.690	0.690

4. แรงโน้มถ่วง ( $g$ ) เป็นแรงที่โลกกระทำต่อวัตถุในแนวตั้ง ซึ่งมีทิศลงของจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละ Segment มีค่า 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>



## 2.4 การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของแต่ละส่วนของร่างกายโดยการพยากรณ์จากรูปร่าง และลักษณะท่าทางจากการยก

สมการนี้ถูกคิดค้นขึ้นโดยท่านนักวิจัย Clarke, Schanne และ Burggraai (Don B. Chaffin Gunner B.J. Andersson and Bernard J.Martin, 2006)



รูปที่ 2.6 แผนวัดอิฐระในท่าการยก

สมการพยากรณ์หาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในข้อต่อร่างกายที่นักวิจัยทั้ง 3 ท่านได้ทำการวิจัย

Joint Moment-Strength Mean Prediction Equations $S_j^*$ for Exertions in Sagittal Plane from Data of Clarke (1966), Schanne (1972), and Burggraaf (1972), Corrected for Population Strengths of Stobbe (1982)							
Strength	Primary/ Adjacent Joint	$S_j^*$ Predicted Mean Strength (N m) <sup>a</sup>	G = Gender Adjustment		Coefficient of Variation (SD/x)		Source
			Male	Female	Male	Female	
Elbow flexion	Elbow/ shoulder	$S_E = [336.29 + 1.544\alpha_E - 0.0085\alpha_E^2 - 0.5\alpha_S][G]$	.1924	.1011	.2458	.2629	Shanne
Elbow extension	Elbow/ shoulder	$-S_E = [264.153 - 0.575\alpha_E - 0.425\alpha_S][G]$	.2126	.1153	.2013	.3227	Shanne
Shoulder flexion	Shoulder/ elbow	$S_S = [227.338 + 0.525\alpha_E - 0.296\alpha_S][G]$	.3017	.1488	.2311	.2634	Shanne
Shoulder extension	Shoulder	$-S_S = [204.562 - 0.099\alpha_S][G]$	.4957	.2485	.3132	.3820	Shanne
Torso flexion	L <sub>5</sub> /S <sub>1</sub>	$-S_T = [141.179 + 3.694\alpha_T][G]$	.3134	.1853	.2932	.3965	Shanne
Torso extension	L <sub>5</sub> /S <sub>1</sub>	$S_T = [3365.123 - 23.947\alpha_T][G]$	.2467	.1380	.3152	.3455	Shanne
Hip flexion	Hip	$S_H = [-820.21 + 34.29\alpha_H - 0.11426\alpha_H^2][G]$	.1304	.0871	.2729	.3364	Clarke
Hip extension	Hip	$-S_H = [3338.1 - 15.711\alpha_H + 0.04626\alpha_H^2][G]$	.0977	.0516	.4016	.3779	Clarke
Knee flexion	Knee	$-S_K = [-94.437 + 6.3672\alpha_K][G]$	.1429	.0851	.2934	.3212	Clarke
Knee extension	Knee	$S_K = [1091.9 - 0.0996\alpha_K + 0.17308\alpha_K^2 - 0.00097\alpha_K^3][G]$	.0898	.0603	.3503	.3466	Clarke
Ankle extension	Ankle	$-S_A = [3356.8 - 18.4\alpha_A][G]$	.0816	.0489	.3307	.2745	Burggraaf

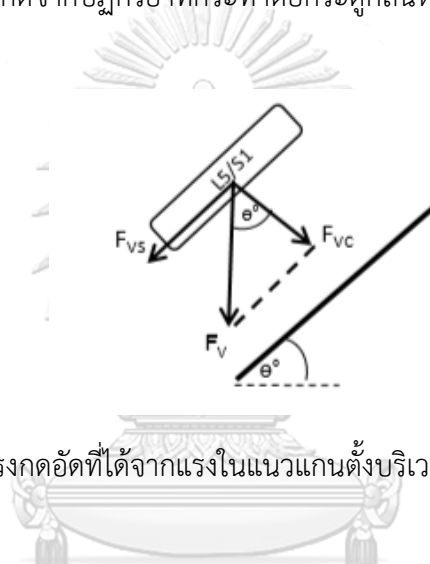
<sup>a</sup> See Figure 6.43 for reference angles (in degrees).

รูปที่ 2.7 สมการพยากรณ์โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อ

## 2.5 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างและแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้

แรงกดอัดที่กระทำบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ประกอบด้วย (1). แรงปฏิกิริยาจากน้ำหนักของร่างกาย น้ำหนักสิ่งของที่ยก และความเร่งในขณะยกที่กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 (2). แรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง Erector Spinae ในขณะทำงานเพื่อให้เกิดความสมดุลของโมเมนต์ (ไพโรจน์ ลดาวิตรกุล, 2542)

### 2.5.1 แรงกดอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง



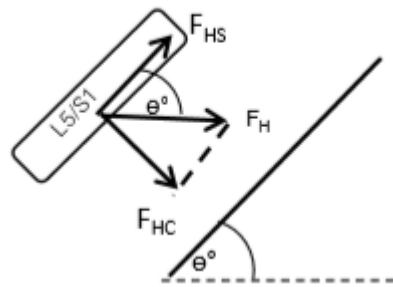
รูปที่ 2.8 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแนวแกนตั้งบริเวณ L5/S1 (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงปฏิกิริยาในแนวแกนตั้งได้จาก

$$\text{สมการ } F_{VC} = F_V \cos\theta$$

$$F_{VS} = F_V \sin\theta$$

โดย	$F_{VC}$	คือ แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงปฏิกิริยาในแนวตั้ง
	$F_{VS}$	คือ แรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงปฏิกิริยาในแนวตั้ง
	$F_V$	คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง
	$\theta$	คือ มุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน



รูปที่ 2.9 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแนวแกนนอนบริเวณ L5/S1 (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงปฏิกิริยาในแนวแกนนอนได้จาก

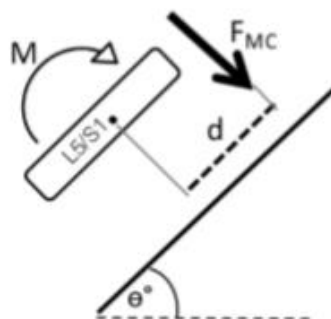
$$\text{สมการ} \quad F_{HC} = F_H \cos\theta$$

- โดย  $F_{HC}$  คือ แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงปฏิกิริยาในแกนแนวนอน
- $F_{HS}$  คือ แรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงปฏิกิริยาในแกนแนวนอน
- $F_H$  คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน
- $\theta$  คือ มุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 2.5.2 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง



รูปที่ 2.10 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

แรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังที่กระทำต่อ L5/S1 ได้จาก

สมการ  $M = F_{MC} * d$

โดย  $F_{MC}$  คือ แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

$d$  คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของ L5/S1 กับกล้ามเนื้อหลัง

$M$  คือ โมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

แรงกดอัดรวมที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง หาได้จากการนำแรงกดอัดทั้งหมด มารวมกันดัง

สมการ  $F_C = F_{VC} + F_{HC} + F_{MC}$

โดย  $F_C$  คือ แรงกดอัดรวมที่กระทำต่อ L5/S1

## 2.6 แรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้

แนวทางการศึกษาน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกโดยหลักชีวกลศาสตร์คือการเปรียบเทียบภาระที่คำนวณได้ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ที่ได้มีผู้วิจัยได้เคยกำหนดไว้ ซึ่งส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง (ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538)

วิธีการที่ใช้ศึกษาแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้นั้นคือการศึกษาจากศพ โดยนำกระดูกสันหลังของศพผู้เสียชีวิต เก็บรักษาความเย็นไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และต้องได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่า ไม่มีความเสียหายหรือชำรุดมาก่อน โดยการทดสอบจะทำการเพิ่มน้ำหนักลงบนกระดูกที่ใช้ในการทดสอบจนเกิดการเสียรูป และต้องควบคุมสภาพแวดล้อมใกล้เคียงให้เหมาะสมกับร่างกายมนุษย์ (P. Brinckmann, M. Biggemann and D. Hilweg, 1989; ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) ซึ่งค่าแรงสุดท้ายที่บันทึกได้จะถูกใช้เป็นค่า Compressive Strength (CS) ของกระดูกสันหลัง นักวิจัยหลายท่านได้สร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อหาค่า Compressive Strength (CS) ตามตารางที่ 2.1 ข้างล่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่า Compressive Force ของกระดูกสันหลังที่นักวิจัยแต่ละท่านได้ทำการวิจัย (ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538)

นักวิจัย	ค่า Compressive Strength (CS) โดยประมาณ หน่วยเป็น (นิวตัน)
Messere (1880)	$CS = 1908.3 + (299.7*SC)$
Sonada (1962)	$CS = 6421.3 + (374.3*SC)$
Guzulov et al. (1966)	$CS = 6218.1 + (783.0*SC)$
Hutton et al. (1979)	$CS = 8567.4 - (72.0*อายุ) - (3276.9*เพศ) + (374.0*SC)$
Hutton & Adams (1982)	$CS = 18512.0 - (29.3*อายุ) - (3215.5*เพศ) + (280.2*SC) + (539.9*SC) + (97.0*น้ำหนักร่างกาย)$
Adams & Hutton (1982)	$CS = -7308.4 - (69.8*อายุ) - (140.7*เพศ) + (280.2*SC) + (42.4*น้ำหนักร่างกาย)$
Hansson et al. (1987)	$CS = -13557.0 - (63.1*อายุ) - (454.4*เพศ) + (404.2*SC) + (54.5*น้ำหนักร่างกาย)$
Brinkmann et al. (1988)	$CS = -2894.9 - (64.8*อายุ) - (1018.0*เพศ) + (284.7*SC)$
Biggermann et al. (1988)	$CS = 5719.6 - (53.1*อายุ) - (1722.1*เพศ) + (312.1*SC)$
Jager & Luttmann (1992)	$CS = [10.53 - 0.975 * (อายุ/10)] * 1000$ สำหรับเพศชาย $CS = [7.03 - 0.591 * (อายุ/10)] * 1000$ สำหรับเพศหญิง
Genaidy et al. (1993)	$CS = 7222.41 - (1047.71*ช่วงอายุ) - (1279.18*เพศ) + (56.73*เปอร์เซ็นต์ไทล์ประชากร)$

\*หมายเหตุ เพศชาย = 1 , เพศหญิง = 2

# ค่า SC ของกระดูกแต่ละชิ้น: โดยกระดูกชิ้นที่ L5/S1 มีค่า = 48\*ช่วงอายุ 20-29, 30-39, 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าเป็นตัวเลขเชิงคุณภาพ 1,2,3,4 และ 5 ตามลำดับ

ค่า Compressive Force (CS) จากตารางข้างต้นเป็นค่าที่แรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้ ดังนั้นการป้องกันอันตรายจากการทำงานจึงควรมีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load, MAL) จากการศึกษาของ (N. Eie, 1966) พบว่า ค่า MAL จะอยู่ในช่วงร้อยละ 33 ถึงร้อยละ 93 ของค่า CS โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า CS ขณะที่ (N. Yoganandan, G. Ray, F. Pintar, J. B. Myklebust and A Jr. Sances 1989) กล่าวว่า ค่า MAL ของคนปกติจะมีค่าประมาณร้อยละ 83 ของค่า CS และ (A. S. Nicholson, 1986) ได้กำหนดค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังทนได้ที่ 6,400 นิวตัน และเพื่อความปลอดภัยในการทำงานจึงควรใช้แรงกดอัดที่ยอมรับได้ที่ 3,400 นิวตัน

## 2.7 การศึกษาหาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

(K. H. E. Kroemer and W. S. Marras, 1981; ไพโรจน์ ลดาวิตรกุล, 2542) กล่าวว่าความแข็งแรงสูงสุดของมนุษย์ไม่สามารถทดสอบได้กับคนปกติ แต่จะศึกษาจากการบาดเจ็บของนักกีฬาที่เกิดการฉีกขาดของกล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็น ดังนั้นการทดสอบหาค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ จึงอาศัยให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงสูงสุดด้วยความสมัครใจ ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าความสามารถสูงสุด ที่เรียกว่า ความสามารถในการหดตัวให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum Voluntary Contraction, MVC)

(P. K. Nag 1991; สุธาริน สุวรรณโณ, 2554) กล่าวว่าระยะเวลาของความทนทานที่กล้ามเนื้อสามารถทำงานได้ เทียบกับร้อยละ 30, 40 และ 60 ของค่าสูงสุด MVC พบว่าความทนทานของกล้ามเนื้อนั้น ๆ มีค่าร้อยละของค่า MVC ที่มากขึ้น

Huang et al. (1998) ได้ศึกษาแรงดึงสูงสุดของการยกขึ้นและวางลงของแขนข้างเดียว โดยวิธีการยกด้านของง่ามตัวในภาวะพลวัต จากเครื่อง Dynamometer พบว่าการวางลงจะให้แรงดึงสูงกว่าการยกขึ้น

(K. H. E. Kroemer and E. Grandjean, 1999) กล่าวว่า การประเมินภาระงานของกล้ามเนื้อขณะทำงานค่าตอบสนองของกล้ามเนื้อนั้นประเมินจากค่า ความสามารถในการหดตัวให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum Voluntary Contraction, MVC) ค่าเฉลี่ยแรงของการหดตัวของชนิดงานที่ต้องเคลื่อนไหว (dynamics) เป็นเวลานานไม่ควรเกินร้อยละ

ละ 20 ของค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ และถ้าเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อ ลักษณะนิ่ง (Statics) ไม่ควรเกินร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ

## 2.8 การประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บด้านการยกศาสตร์แบบต่าง ๆ

1. วิธีการรูล่า (Rapid Upper Limb Assessment , RULA) คือการพิจารณาตำแหน่งและลักษณะการเคลื่อนไหวของการทำงานของร่างกายในส่วนของแขน ส่วนบนและส่วนล่าง มือและข้อมือ คอและลำตัว ซึ่งวิธีนี้จะบอกได้ว่าการเคลื่อนไหวที่ผิดหลักอาจนำไปสู่ปัญหาความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เหมาะกับการประเมินในที่ทำงาน แต่ข้อเสียคือ ประเมินความเสี่ยงบาดเจ็บจากการทำงานด้วยสายตาทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

2. วิธีการรีบา (Rapid Entire Body Assessment , REBA) คือการพิจารณาตำแหน่งและลักษณะการเคลื่อนไหวของการทำงานของร่างกายในส่วนของไหล่ แขน มือ ขา การยก การเดิน และการดัน ซึ่งวิธีนี้จะบอกระดับความเสี่ยงหรือปัญหาที่บอกถึงความเจ็บปวดและเมื่อยล้าจากการทำงาน เหมาะกับการประเมินในที่อื่น

3. วิธีโอวาส (The Ovako Working Posture Analyzing System , OWAS) คือการพิจารณาท่าทางการทำงานว่าเหมาะสมหรือควรได้รับการแก้ไข โดยแบ่งระดับความเร่งด่วนต่อการแก้ไขและเพื่อการเฝ้าระวัง วิธีนี้ใช้งานสะดวกและรวดเร็ว แต่รายละเอียดอาจไม่เพียงพอ เช่น การใช้แรงของกล้ามเนื้อ

4. การประเมินด้วยเครื่องมือวัดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (Electromyography , EMG) ผ่านทางตัวรับสัญญาณเพื่อใช้ประเมินการใช้แรงของกล้ามเนื้อ และวิเคราะห์ความล้าจากผลของสัญญาณใช้วัดได้ทั้งท่าการทำงานแบบอยู่นิ่งและมีการเคลื่อนไหว แต่วิธีนี้เป็นวิธีการวัดที่ยุ่งยาก และอาจถูกรบกวนจากสัญญาณต่าง ๆ ได้ง่าย ผู้ใช้งานเครื่องมือจำเป็นต้องมีความชำนาญอย่างสูง

5. การประเมินความเสี่ยงโดยใช้สมการ NIOSH (The National for Occupational Safety and health) สมการการยกของ NIOSH ใช้ในการประเมินสภาพการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงของผู้ปฏิบัติงาน จะทำการประเมินโดยพิจารณาตามหลักการ น้ำหนักของวัตถุสิ่งของที่ทำการยก (Load Weight , LW) จะต้องมีค่าไม่เกินค่าความสามารถของกล้ามเนื้อในท่าทางที่

เหมาะสมของร่างกายหรือขีดจำกัดของน้ำหนักที่แนะนำ (Recommended Weight Limit , RWL) แต่วิธีนี้ยังมีข้อจำกัด ต้องเป็นการยกซ้ำ ๆ และร่างกายต้องอยู่ในท่าทางที่สมมาตร ถ้าลักษณะงานและสภาวะงานไม่ได้อยู่ในเงื่อนไขดังกล่าว อาจส่งผลให้การประมาณค่าอันตรายที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงได้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Pytel and Kamon, 1981) ได้เปรียบเทียบกำลังพลวัตและหาความสัมพันธ์ในท่ายก Dynamic Lift Strength, Dynamic Back Extension Strength, และ Dynamic Elbow Flexion Strength โดยการใช้เครื่อง Mini-Gym Isokenetic Dynamometers ทำการปรับความเร็วในการยกไว้ 2 ระดับ ได้แก่ 0.73 เมตรต่อวินาที และ 0.97 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับการยกงานจริง (Maximum Dynamic Lift) ที่บุคคลสามารถยกของจากพื้นได้อย่างปลอดภัยที่ 113 เซนติเมตร และอัตราการยกน้ำหนักสูงสุดที่ยกได้อย่างปลอดภัยไม่เกิน 6 ครั้งต่อนาที ซึ่งผู้เข้ารับการทดสอบเป็นเพศจำนวนชาย 10 คนและเพศหญิงจำนวน 10 คน ผลที่ได้พบว่า ท่า Dynamic Lift Strength ที่ความเร็วในการยก 0.73 เมตรต่อวินาที มีความสัมพันธ์กับการยกงานจริง ที่  $R^2 = 0.941$  ส่วนความเร็วในการยกที่ 0.97 เมตรต่อวินาที ไม่สัมพันธ์กับการยกงานจริง

(J.R. Potvin, R.W. Norman, M.E. Eckenrath, S.M. McGill and G.W. Bennett 1992; สุธาริน สุวรรณโ, 2554) การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต จะใช้การบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนไหวของข้อต่อ จำเป็นต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์โดยเฉพาะ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าแรงได้ใกล้เคียงกับสภาวะงานจริง

(กิตติ อินทรานนท์ และคณะ, 2531) ได้ทำการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ โดยผู้เข้ารับการทดสอบเป็นคนที่ประกอบอาชีพในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นเพศชายจำนวน 250 คน และ เพศหญิง 250 คน ได้ทำการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ 6 ท่า ได้แก่ กำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิติของกล้ามเนื้อขา กำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลัง และกำลังสถิติของกล้ามเนื้อมือ ผลสรุปพบว่า กำลังกล้ามเนื้อสถิติของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน และพบว่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อในตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



(ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) ได้ศึกษาผลกระทบของความถี่ ความสูง และน้ำหนักของภาระงานที่ยกต่อการตอบสนองของบุคคลในเชิงสรีรวิทยา เพื่อหาขีดจำกัดการทำงานที่เหมาะสมของงานยกในแนวทาง 3 แนวทางของ (M. M. Ayoub, 1977) คือ 1. การตอบสนองทางสรีรวิทยา 2. จิตพิสัย 3. ชีวกลศาสตร์ โดยผู้เข้ารับการทดสอบเป็นนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เพศชายจำนวน 8 คน ผลที่ได้พบว่า น้ำหนัก 5 กิโลกรัมและ 12 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักที่ปลอดภัยสำหรับการยกที่ปัจจัยความถี่ 3 และ 6 ครั้งต่อนาที และที่ความสูง 75 และ 125 เซนติเมตร

(ไพโรจน์ ลดาวิตรกุล, 2542) ได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้แนวชีวกลศาสตร์ ในภาวะสถิตและภาวะพลวัต สำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารบนบ่า โดยผู้เข้ารับการทดสอบเป็นพนักงานในโรงสีข้าว เพศชายจำนวน 10 คน พบว่าการคำนวณในภาวะสถิตให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดน้อยกว่าการคำนวณในภาวะพลวัต ซึ่งผลการคำนวณแบบพลวัตจะให้ค่าแรงกดอัดที่ใกล้เคียงความจริงมากกว่า ดังนั้นภาวะสถิตจึงไม่สามารถนำไปใช้แทนค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงได้สำหรับงาน แบกกระสอบข้าวสาร

(อรอุมา ลาสุนนท์, 2542) ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง โดยศึกษาหาขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายและเปรียบเทียบเกณฑ์น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ ระดับปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะ (งานเดี่ยวและงานผสม) และชนิดกล่อง (มีมือจับและไม่มีมือจับ) โดยใช้หลักจิตพิสัยหาค่าน้ำหนักที่สูงที่สุดที่ยอมรับได้และใช้หลักชีวกลศาสตร์พิจารณาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่หมอนรองกระดูกสันหลังบริเวณ L5/S1 โดยผู้เข้ารับการทดสอบเป็นเพศหญิงจำนวน 10 คน ผลที่ได้พบว่า ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้แผนการเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีมือจับและไม่มีมือจับ งานผสม 1 เป็น 22.2-34.8 และ 20.2-34.2 กิโลกรัมและ งานผสม 2 เป็น 20.5-29.7 และ 20.3-28.6 กิโลกรัม

(โรสมารินทร์ สุขเกษม, 2546) ได้ศึกษาเกี่ยวกับงานยกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อทำนายค่าแรงกดอัดสูงสุดและทำนายน้ำหนักตัวของผู้ป่วย โดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตและพลวัตเพื่อนำไปเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์ความปลอดภัยในการรับแรงของกระดูกสันหลังส่วนล่างของ Niosh (1981) โดยมีตัวแปรอิสระ คือ วิธีการยก (เข้าหาตัวและออกจากตัว) อุปกรณ์ช่วยยก และน้ำหนักตัวของผู้ป่วย (น้อยกว่า 45 กิโลกรัม, 45-55 กิโลกรัม, มากกว่า 55 กิโลกรัม) ผู้เข้ารับการทดสอบเป็นนิสิตคณะพยาบาลศาสตร์เพศหญิงจำนวน 9 คน ผลที่ได้พบว่า ค่าแรงกดอัดสูงสุดโดย

เฉลี่ย 3 ทั้งกลุ่มมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ Niosh สำหรับวิธีการยก อุปกรณ์ช่วยยก และน้ำหนักผู้ป่วยมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% โดยปัจจัยน้ำหนักของผู้ป่วยมีผลต่อค่าแรงกดอัดมากที่สุด

(สุธาริน สุวรรณโท, 2554) ได้ประเมินภาระงานการแบกกระเป๋าของนักเรียนชั้นประถมศึกษาในภาวะสถิต โดยวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ โดยผู้เข้ารับการทดสอบเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ของโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 6-12 ปี จำนวน 341 คน พบว่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า ของนักเรียนชายและหญิง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 และมีแนวโน้มที่กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของนักเรียนจะมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อมีอายุมากขึ้น โดยกล้ามเนื้อที่ให้ค่ากำลังสถิตสูงสุดคือ กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ รองลงมาคือ กล้ามเนื้อมือ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่ ตามลำดับ



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อไหล่ โดยวิธีการวัดกำลังสถิตและวิธีการวัดกำลังพลวัตแฝง

#### 3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

อาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบทั้งหมด 8 คน อายุระหว่าง 25-26 ปี โดยแบ่งเป็นเพศชาย 4 คน และเพศหญิง 4 คน

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดกำลังในภาวะสถิตและพลวัตแฝง



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝง

อุปกรณ์หลักของเครื่องได้แก่

- 1.1 Load Cell Strain Gauge Type S 300 Kg



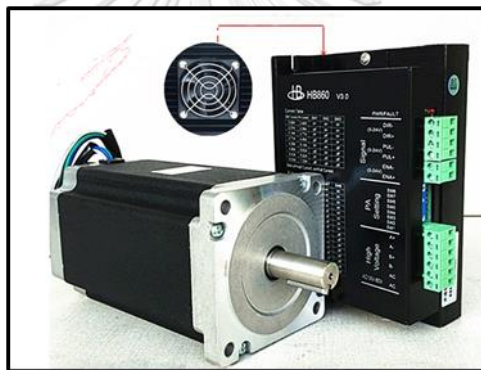
รูปที่ 3.2 Load Cell Strain Gauge Type S 300 Kg

## 1.2 Load cell Indicator Mypin Model LM8-IRR



รูปที่ 3.3 Load cell Indicator Mypin Model LM8-IRR

## 1.3 Stepping Motor / Stepping drive 8.5 N-m 7.2 A



รูปที่ 3.4 Stepping Motor / Stepping drive 8.5 N-m

## 1.4 แกนเพลลาพร้อมเชือกพันรอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 แกนเพลลาพร้อมเชือกพันรอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร

1.5 เฟืองโซ่เบอร์ 25 จำนวน 12 ฟันเพื่อขับมอเตอร์และ จำนวน 45 ฟันขับแกนเพลลาเชือก



รูปที่ 3.6 เฟืองโซ่เบอร์ 25 จำนวน 12 ฟันเพื่อขับมอเตอร์และ จำนวน 45 ฟันขับแกนเพลลาเชือก

1.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการมอเตอร์



รูปที่ 3.7 บอร์ด PLC Transistor รุ่น FX1S 22MRT

## 1.7 24 V 10 A Switching Power Supply



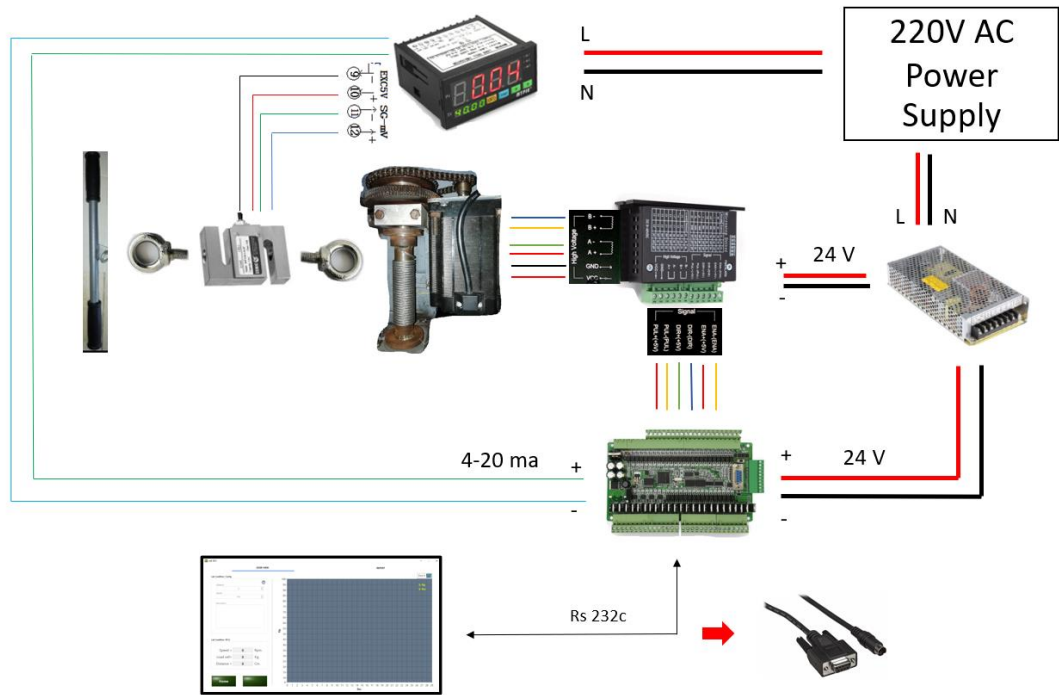
รูปที่ 3.8 24 Volt Switching Power Supply

## 1.8 ด้ามจับสำหรับดึง

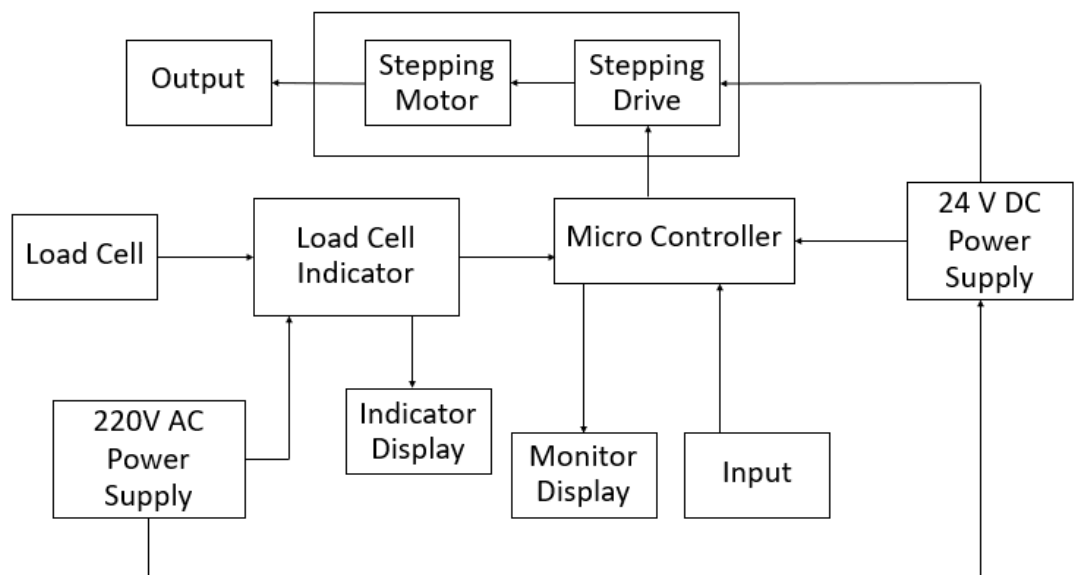


รูปที่ 3.9 ด้ามจับสำหรับดึง

หลักการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.10 Diagram การทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.11 Block Diagram การทำงานของเครื่อง

1. แหล่งกำเนิดไฟจ่ายแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ให้แก่ Load Cell Indicator และ 24 V switching Power Supply

2. 24 V switching Power Supply จะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่ 24 V เพื่อจ่ายให้กับ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์และ Stepping Drive

3. เมื่อป้อน Input ผ่านซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวสั่งการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ผ่าน Stepping Drive ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์พร้อมเพลาเชือกในความเร็วที่และระยะเชือกที่ถูกปล่อยออกมาตามที่เรากำหนด

4. เมื่อออกแรงดึงด้ามจับ Strain Gage ที่อยู่ใน Load Cell จะแปรค่าแรงภายนอกที่กระทำมาเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่อง Indicator จากนั้น Indicator จะแปลงแรงดันไฟให้คงที่กับวงจรบริดจ์ของ Strain Gage ใน Load cell หลังจากนั้นจะแปลงแรงดันนี้ให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

สำหรับมอเตอร์ใช้เป็น Stepping Motor ขนาดแรงบิด 8.5 N-m พร้อมเฟืองขับจำนวน 12 ฟัน และ เฟืองตามสำหรับแกนเพลาเชือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตรจำนวน 45 ฟันทำให้เกิดอัตราทดขึ้น 3.75 เท่า ดังนั้นที่ขอบของเพลาเชือกสามารถทนแรงบิดได้ 31.875 N-m ทำให้ขอบเพลาทนแรงดึงได้ ดังสมการด้านล่างต่อไปนี้

จากสมการการคำนวณแรง แรงบิด(Torque) = แรง(F) x รัศมีแกน(r)

จะได้

$$F = 31.875 \text{ N-m} / 0.0125 \text{ m}$$

$$F = 2,550 \text{ N หรือ } 260 \text{ Kg}$$

แรงดึงสูงสุดของที่มอเตอร์รับได้คือ 260 กิโลกรัม ซึ่งถ้าแรงดึงไม่มากถึง 260 กิโลกรัมจะทำให้มอเตอร์เกิดแรงต้านและหมุนด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลาและไม่เกิดการรูดของมอเตอร์ขึ้น

#### การทำงานในภาวะสถิต

1) กำหนดระยะความยาวของเชือกและความเร็วในการปล่อยเชือก ผ่านซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะเป็นกำหนดการหมุนของมอเตอร์จนทำให้เชือกยืดออกตามที่เรากำลังต้องการให้ โดยให้ด้ามจับอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับผู้ทดสอบ

2) ผู้ทดสอบออกแรงดึงไว้ชั่วขณะจากนั้นอ่านค่ากำลังที่ได้จะถูกบันทึกด้วยความถี่อัตรา 10 ค่าต่อวินาที



### การทำงานในภาวะพลวัตแฝง

1) กำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ให้คงที่ตามที่กำหนดพร้อมทั้งระยะเวลายาวในการปล่อยเชือก ผ่านซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2) จากโหมดการทำงานในแบบพลวัตเมื่อผู้ทดสอบเริ่มออกแรงดึงมากกว่า 4 กิโลกรัมโดยสังเกตจากจอ Indicator Display ด้านบนขวาของเครื่องจะทำให้เครื่องเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติจนสิ้นสุดระยะเวลายาวเชือกที่กำหนด

3) จากการ calibration Load Cell Indicator จะแปลงน้ำหนักที่วัดเป็นกระแสไฟฟ้าส่งมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงกระแสเป็นตัวเลขน้ำหนักเพื่อแสดงผลบนซอฟต์แวร์อีกครั้งหนึ่ง

2. เครื่องชั่งน้ำหนักร่างกายแบบเข็ม CAMRY รุ่น DT613



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักร่างกายแบบเข็ม CAMRY รุ่น DT613

3. ระบบเก็บข้อมูลด้วยภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture System



รูปที่ 3.13 ระบบเก็บข้อมูลด้วยภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture System (วรวิฑูริย์ ขอบเจริญ, 2561)

4. กิ่งอินฟาเรดรุ่น flex 13 ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล จำนวน 12 ตัว



รูปที่ 3.14 กิ่งอินฟาเรดรุ่น flex 13

5. ลูกบอลลาวแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 14 มิลลิเมตร จำนวน 9 ลูก

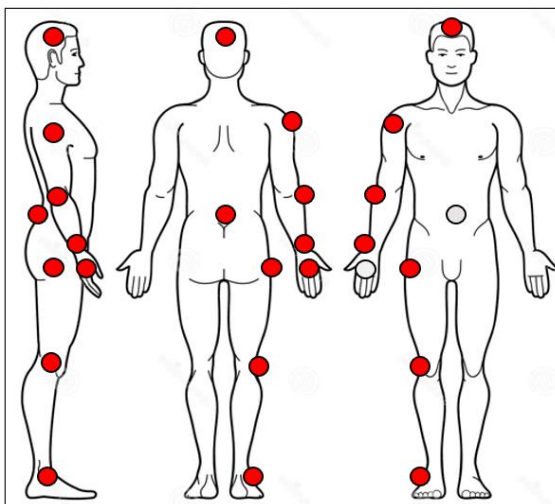


รูปที่ 3.15 ลูกบอลลาวแสง

### 3.3 การเก็บข้อมูล

1. เก็บข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมงานวิจัย ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง
2. จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการการกายศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. อธิบายวิธีการทดสอบพร้อมทั้งสาธิตทำในการวัดกำลัง ให้ผู้เข้าร่วมทดสอบเข้าใจและสามารถทำการทดสอบได้อย่างถูกต้อง
4. ทำการเก็บข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการทดสอบ ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง

5. ติดลูกบอลเรืองแสง 9 ตำแหน่งบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดสอบ ได้แก่ ศีรษะ หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ หลังส่วนล่าง สะโพก หัวเข่าและข้อเท้า



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งลูกบอลเรืองแสงบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดสอบ

6. ทดสอบกำลังสถิติสูงสุดของกล้ามเนื้อ

- บันทึกการเคลื่อนไหวด้วยระบบเก็บข้อมูลเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture
- ทำการวัดซ้ำในแต่ละท่า 2 ครั้ง
- เมื่อทำการทดสอบไปแล้ว 1 ครั้ง ต้องให้ผู้ทดสอบพักอย่างน้อย 8 ชั่วโมง เพื่อให้กล้ามเนื้อคืนสู่สภาพปกติและป้องกันการเกิดการล้าจากการทดสอบ

### 6.1 วัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Static Strength)



รูปที่ 3.17 ท่าการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

#### ท่าวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องทดสอบให้สูงประมาณ 15 นิ้วจากพื้น ผู้ทดสอบต้องอยู่ในท่ากึ่งยี่นกี้งนึ่ง (Semi-Squat Position) มือทั้งสองจับด้ามเครื่องทดสอบ เท้าทั้งสองสัมผัสพื้นไม่เขย่ง จากนั้นใช้เซ็นเซอร์และลำตัวออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบขึ้น

### 6.2 วัดกำลังของกล้ามเนื้อแขน (Arm Static Strength)



รูปที่ 3.18 ท่าการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน

### ท่าวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องทดสอบให้สูงระดับที่แขนส่วนล่างขนานกับพื้นและทำมุมตั้งฉากกับแขนส่วนบน โดยที่แขนขนานและติดกับลำตัว ขาและหลังตั้งตรงไม่งอ เท้าทั้งสองสัมผัสพื้นไม่เขย่ง จากนั้นใช้มือทั้งสองข้างออกแรงดึงในแนวตั้งยกด้ามของเครื่องมือทดสอบขึ้น โดยที่ไหล่ไม่เกิดการเคลื่อนที่

### 6.3 วัดกำลังของกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder Static Strength)



รูปที่ 3.19 ท่าวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่

### ท่าวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องมือทดสอบให้สูงระดับที่แขนส่วนบนขนานกับพื้นและทำมุมตั้งฉากกับแขนส่วนล่าง เท้าทั้งสองสัมผัสพื้นและไม่เขย่ง จากนั้นใช้ไหล่ออกแรงยกในแนวตั้งด้ามของเครื่องทดสอบขึ้น

## 7. ทดสอบกำลังพลวัตแฝงสูงสุดของกล้ามเนื้อ

- ก่อนการทดสอบกำลังพลวัตต้องมีการควบคุมท่าทางของการทดสอบ เพื่อให้ได้ท่าทางที่ใกล้เคียงกัน
- บันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวด้วยระบบเก็บข้อมูลเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture
- ทำการวัดซ้ำในแต่ละท่า 2 ครั้ง
- เมื่อทำการทดสอบไปแล้ว 1 ท่า ต้องให้ผู้ทดสอบพักอย่างน้อย 8 ชั่วโมง เพื่อให้กล้ามเนื้อสู่สภาพปกติและป้องกันการเกิดการล้าจากการทดสอบ

### 7.1 วัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Semi Dynamic Strength)



รูปที่ 3.20 ภาพต่อเนื่องท่าวัดกำลังพลวัตแฝงกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

#### ท่าวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องให้อยู่ติดบริเวณพื้น จากนั้นใช้เชือกทั้งสองและลำตัวออกแรงดึงในแนวตั้งจนกระทั่งด้ามจับของเครื่องมาหยุดบริเวณระดับเอวตามที่เรากำหนดไว้ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการยกของจากพื้นถึงความสูงโต๊ะ (ระดับเอว)

### 7.2 วัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน (Arm Semi Dynamic Strength)



รูปที่ 3.21 ภาพต่อเนื่องทำวัดกำลังพลวัตแฝงวัดกล้ามเนื้อแขน

#### ทำวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องให้อยู่ระดับประมาณเอว จากนั้นออกแรงแขนทั้งสองข้างดึงในแนวตั้งจนกระทั่งด้านจับของเครื่องมาหยุดอยู่บริเวณราวนม (ระดับบอก) ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ยกของจากโต๊ะถึงชั้นวางของความสูงระดับบอก

### 7.3 วัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder Semi Dynamic Strength)



รูปที่ 3.22 ภาพต่อเนื่องทำวัดกำลังพลวัตแฝงกล้ามเนื้อไหล่

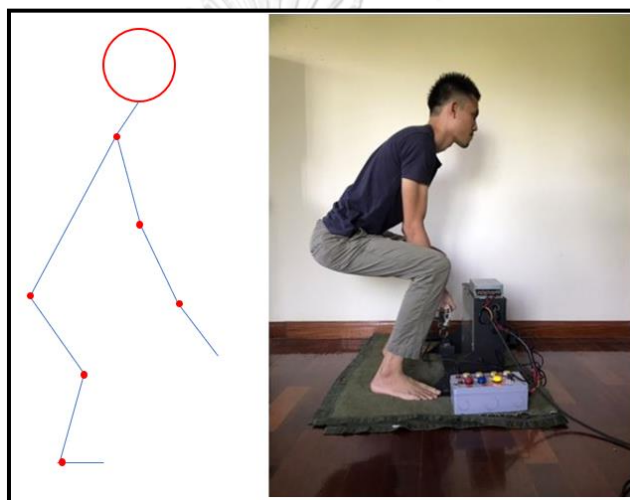


### ท่าวิดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่

ปรับระดับด้ามจับของเครื่องให้อยู่ระดับบราวนมหรือระดับอก จากนั้นออกแรงไหล่ทั้งสองข้างดึงขึ้นในแนวตั้งจนกระทั่งด้ามจับของเครื่องอยู่เหนือศีรษะ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการยกของจากชั้นวางระดับอกถึงชั้นวางเหนือศีรษะ

### 3.4 การคำนวณหลักชีวกลศาสตร์

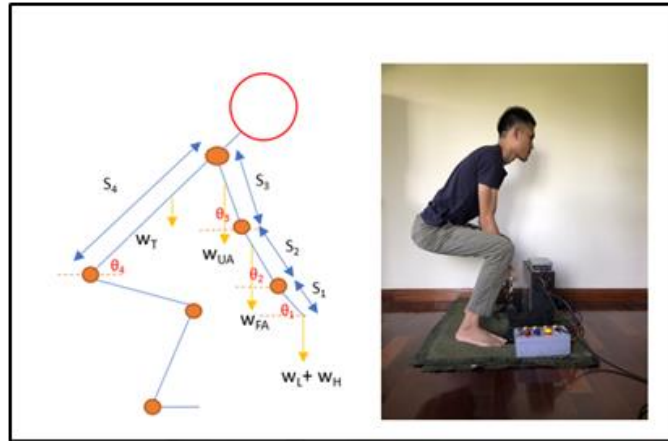
1. เปรียบส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเปรียบเสมือนวัตถุแข็งเกร็ง



รูปที่ 3.23 การเปรียบเทียบร่างกายเสมือนร่างกายวัตถุแข็งเกร็ง



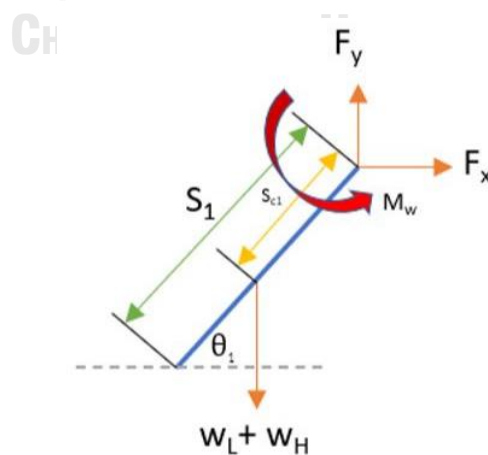
2. เขียนแรงกระทำและมุมส่วนต่าง ๆ จากการแปลงข้อมูลที่ได้จากระบบ Motion capture System ให้อยู่ระนาบ-หน้าหลัง



รูปที่ 3.24 รูปแบบการเขียนแรงที่กระทำกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

3. ชั่งน้ำหนักและวัดสัดส่วนร่างกายที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้คำนวณหา มวลของแต่ละ Segment ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลแต่ละ Segment ในระยะ Proximal โดยใช้เปอร์เซ็นต์มวลของแต่ละ Segment และเปอร์เซ็นต์ระยะจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละ Segment ในระยะ Proximal ของ (D.A. Winter, 1979) ในตารางที่ 2.2

4. คำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Segment ตามหลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.25 พังวัตถุอิสระที่ใช้ในการคำนวณในต่อละข้อต่อ

- มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวลในทิศทางแนวดิ่ง
- ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดการเคลื่อนไหว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ทั้งข้างซ้ายและข้างขวาจะมีการกระจายของมวลที่เท่ากัน และความยาวของส่วนต่าง ๆ ทั้งข้างซ้ายและข้างขวาจะเท่ากัน

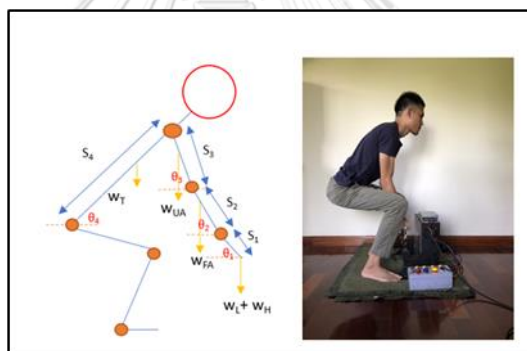
โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$\sum F_x = 0 \text{ (ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวแกน X มีค่าเท่ากับ 0)}$$

$$\sum F_y = 0 \text{ (ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวแกน Y มีค่าเท่ากับ 0)}$$

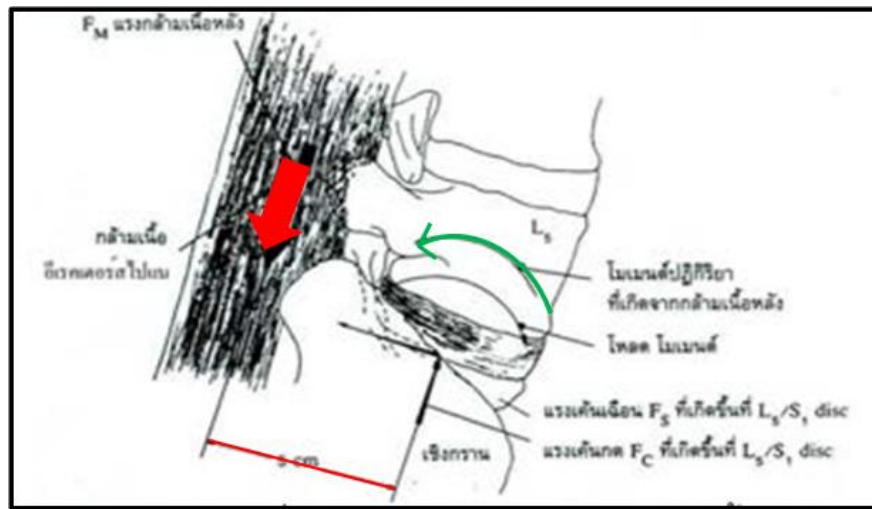
$$\sum M_{CM} = 0 \text{ (ผลรวมของโมเมนต์รอบแกนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0)}$$

#### 5. วิธีคำนวณหาแรงกดอัดสูงสุดบริเวณ L5/S1



รูปที่ 3.26 รูปขณะวัดกำลัง และแผนภาพวัตถุอิสระของแรง

1. หาโมเมนต์ลัพธ์ที่บริเวณหลังส่วนล่างโดยใช้สมการ  $\sum M = 0$
2. ถ้าลำตัวอยู่ในสมดุลสถิตแล้ว จะต้องมามีโมเมนต์ขนาดเท่ากันมาแย้งไว้ทิศตรงกันข้าม คือ กล้ามเนื้อ Erector Spinae เป็นกล้ามเนื้อเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้อยู่ในสมดุลที่จุด L5/S1 โดยโมเมนต์ที่เกิดจากกล้ามเนื้อหลัง Erector Spinae ออกแรงกระทำกับกระดูกสันหลังส่วนล่างมีระยะห่างจากกระดูกสันหลังส่วนล่างกับกล้ามเนื้อหลังโดยประมาณ 0.05 เมตร ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.27 แสดงถึงแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

ดังนั้นสามารถหาแรงที่กล้ามเนื้อกระทำได้โดยสมการ  $M = F_{EC} \times 0.05$

เมื่อ  $M$  คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่เกิดจากกล้ามเนื้อหลัง

$F_{EC}$  คือ แรงกดอัดที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Erector Spinae

3. แรงกดอัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณ L5/S1 หาได้จากสมการ  $F_C = F_{EC} + F_V$

เมื่อ  $F_C$  คือ ผลรวมของแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

$F_{EC}$  คือ แรงกดอัดที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Erector Spinae

$F_V$  คือ ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่
2. วิเคราะห์ค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่าง ข้อศอก และหัวไหล่ ที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่ ตามลำดับ
3. วิเคราะห์ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ
4. เปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝง ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่
5. เปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝง ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่
6. เปรียบเทียบค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ในหัวข้อ 2.4 และค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝง ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่
7. เปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝง ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ
8. ทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดโดย Gage R&R

## บทที่ 4

### ผลการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้นำอาสาสมัครในวัยเริ่มทำงานอายุระหว่าง 25-26 ปี จำนวน 8 คน เป็นเพศชาย จำนวน 4 คน และเพศหญิงจำนวน 4 คน เข้าร่วมการทดสอบการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝง โดยทำการทดสอบกำลังของกล้ามเนื้อทั้งหมด 3 ท่า ได้แก่ 1. กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite) 2. กล้ามเนื้อแขน และ 3. กล้ามเนื้อไหล่

#### 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบและประเภทที่เข้าร่วมการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ

ผู้ทดสอบ	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)
1	ชาย	25	64	183
2	ชาย	26	62	175
3	ชาย	25	97	180
4	ชาย	26	75	168
5	หญิง	25	64	170
6	หญิง	26	73	163
7	หญิง	25	60	170
8	หญิง	25	50	160

การวัดกำลังพลวัตแฝงจะใช้ความเร็วคงที่ 0.73 เมตรต่อวินาที ตลอดการเคลื่อนไหว เนื่องจากเป็นความเร็วที่มีความสัมพันธ์กับกล้ามเนื้อขณะทำการยกมากที่สุด (Pytel and Kamon, 1981) และการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็วคงที่ 0.54 เมตรต่อวินาที นั้นจะใช้ผู้ทดสอบ 5 คน โดยเป็นแบ่งเพศชาย 3 คนและเพศหญิง 2 คน คือผู้ทดสอบที่ 1 2 3 5 และ 6 เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านทุนและเวลา ซึ่งความเร็วนี้เกิดจากการทดลองจับเวลาการยกตุ้มน้ำหนัก 25 กิโลกรัม สำหรับเพศชาย และ 20 กิโลกรัม สำหรับเพศหญิง โดยเป็นการยกแบบอิสระจากพื้นขึ้นสู่โต๊ะที่มีความสูงขนาด 75

เซนติเมตร คนละ 2 ครั้ง จากนั้นนำเวลาที่แต่ละคนใช้หาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4.2

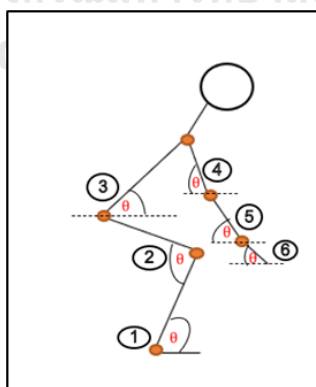
ตารางที่ 4.2 ประเภทการทดสอบที่ผู้เข้าร่วมได้ทำการทดสอบ

ผู้ทดสอบ	วัดกำลังสถิต	วัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที	วัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที
1	√	√	√
2	√	√	√
3	√	√	√
4	√	√	-
5	√	√	√
6	√	√	√
7	√	√	-
8	√	√	-

#### 4.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

4.2.1 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

1 .แผนภาพวัดฤๅอิสระแสดงมุมต่าง ๆ ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นองศา)



รูปที่ 4.1 แผนภาพวัดฤๅอิสระแสดงมุมต่าง ๆ ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 มุมที่ 1 คือ มุมของขาส่วนล่างเทียบกับแนวราบ

มุมที่ 2 คือ มุมระหว่างขาส่วนล่างและขาส่วนบน

มูมที่ 3 คือ มูมของลำตัวเทียบกับแนวราบ

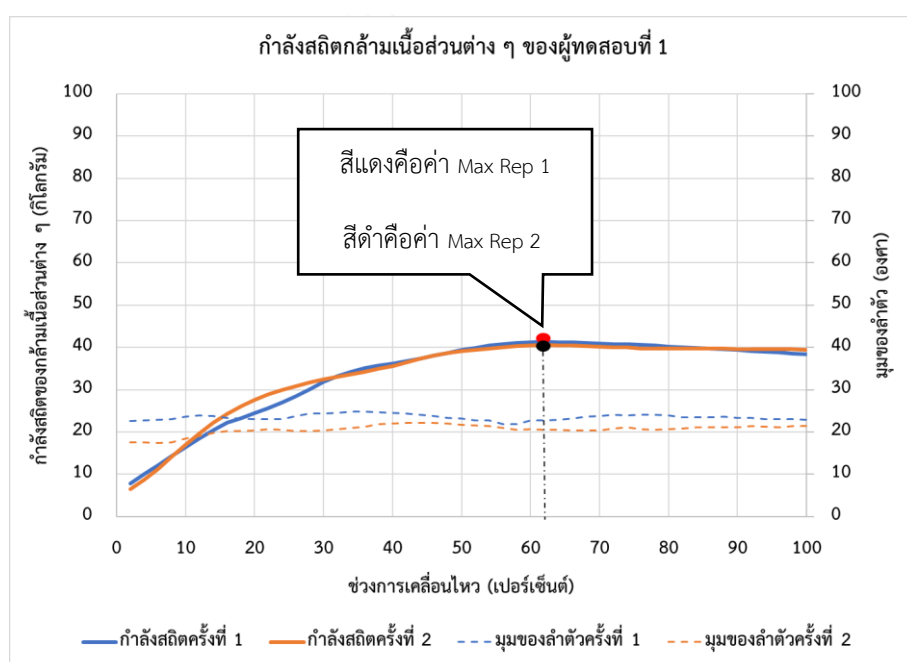
มูมที่ 4 คือ มูมของแขนส่วนเทียบกับแนวราบ

มูมที่ 5 คือ มูมของแขนส่วนล่างเทียบกับแนวราบ

มูมที่ 6 คือ มูมของมือเทียบกับแนวราบ

2. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain

Gauge



รูปที่ 4.2 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 41.3 กิโลกรัม มีมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 22.79 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีน้ำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 40.6 กิโลกรัม มีมูมของลำตัว

เทียบกับแนวราบอยู่ที่ 20.54 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกราฟแสดงผลการทดสอบกำลังสถิตกล้ำเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge เปรียบเทียบกับมุมของลำตัววัดกับแนวราบ

ผู้ทดสอบ	ค่ากำลังสูงสุด (กิโลกรัม)		มุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	41.3	40.6	22.79	20.54
2	49.5	45.1	23.25	23.04
3	66.1	67.5	16.64	16.95
4	72.3	73.4	24.91	24.96
5	27.3	29.6	16.01	15.36
6	36.8	35	16.72	16.91
7	28.6	29.1	21.79	21.91
8	39.3	39	20.21	20.07

จากตารางที่ 4.3 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 4 มีค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ สูงสุดคือ 73.4 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบขณะเกิดกำลังสถิตสูงสุดที่ 24.96 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ สูงสุดคือ 39.3 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบขณะเกิดกำลังสถิตสูงสุดที่ 20.21 องศา ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 72.19



3. มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

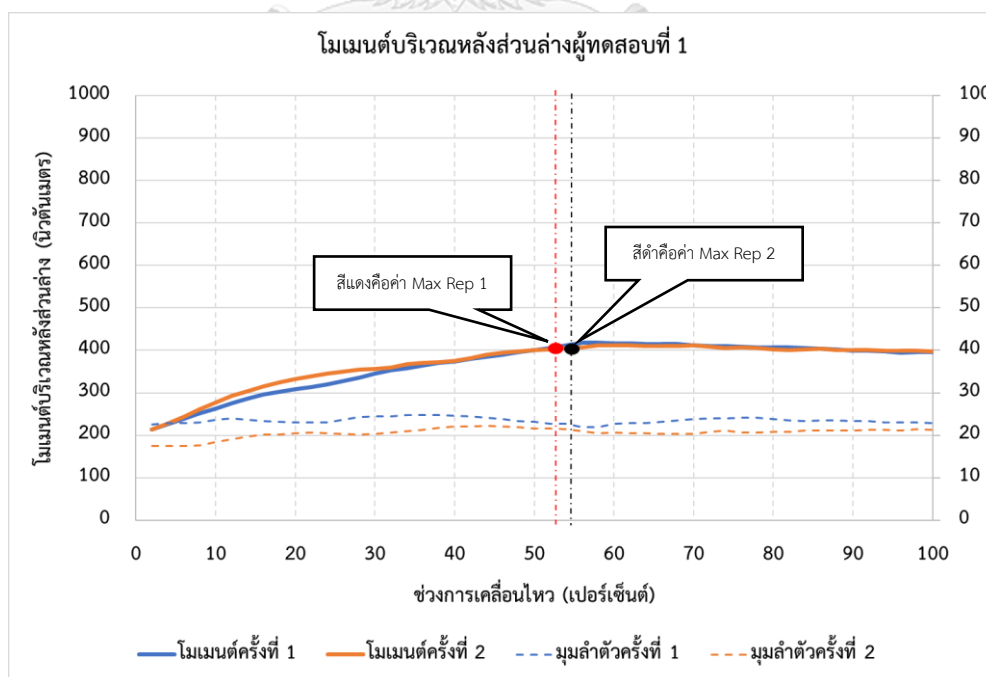
ตารางที่ 4.4 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	68.16	69.63	99.65	102.30	22.79	20.54	85.88	84.51	78.72	78.56	86.00	86.74
2	72.77	71.54	91.40	85.52	23.25	23.04	89.13	82.04	80.51	82.37	81.90	89.49
3	76.39	81.76	101.43	107.04	16.64	16.95	80.40	80.03	78.03	76.14	68.00	64.99
4	65.62	65.60	100.99	100.90	24.91	24.96	86.20	86.21	80.13	80.14	86.09	86.22
5	63.52	63.44	95.80	95.60	16.01	15.41	78.98	85.57	82.86	77.56	89.09	61.36
6	69.94	70.34	115.39	119.43	16.72	16.61	85.71	87.39	77.72	80.18	88.84	81.44
7	72.40	74.62	108.88	110.65	21.79	21.91	81.92	83.91	74.28	74.64	87.35	82.51
8	72.94	74.04	110.34	111.81	20.21	20.07	81.43	80.05	74.85	76.43	82.80	85.60

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

จากตารางที่ 4.4 มุมต่าง ๆ ของร่างกายผู้ทดสอบทั้ง 8 คน ขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ โดยมุมทั้งหมดอ้างอิงจากรูปที่ 4.1

4. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

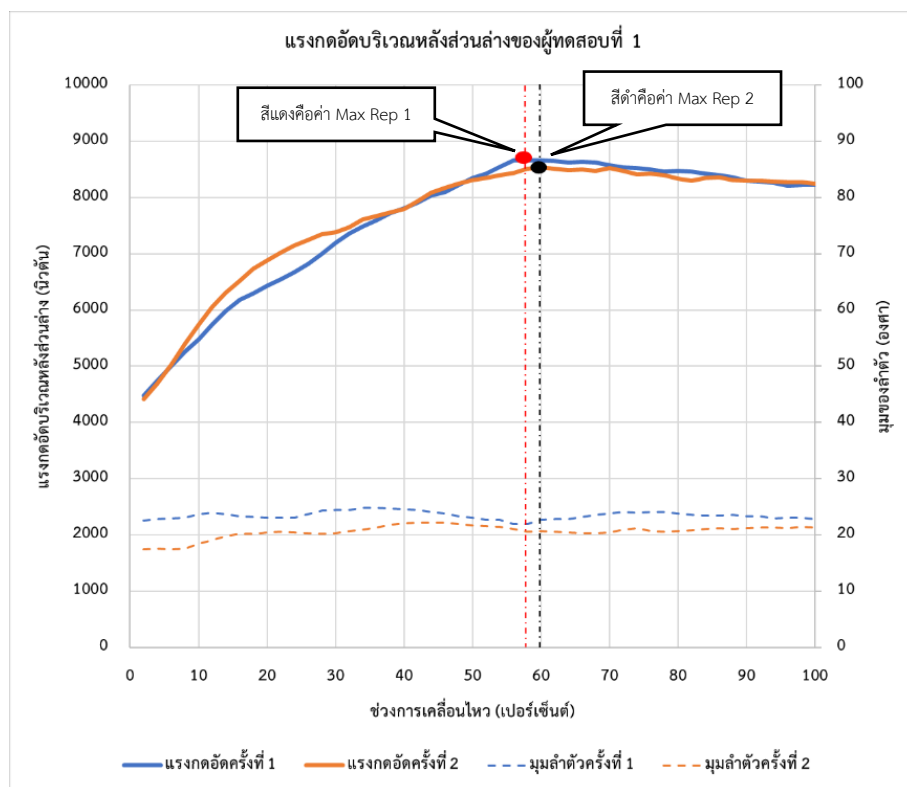
จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 417.67 นิวตันเมตร มีมุมลำตัวเทียบกับแนวราบ 21.88 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่ากำลังสถิติสูงสุดในรูปที่ 4.1 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 412.44 นิวตันเมตร มีมุมลำตัวเทียบกับแนวราบ 20.66 และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่ากำลังสถิติสูงสุดในรูปที่ 4.1 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกราฟผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นนิวตันเมตร)

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	1.19	0.11	22.03	19.80	29.21	25.93	417.67	412.44
2	4.52	4.59	28.42	26.66	73.77	47.14	331.54	328.33
3	3.59	6.38	6.05	6.38	21.93	27.79	603.69	600.29
4	4.79	4.97	15.30	15.91	44.38	45.69	505.28	509.38
5	3.32	3.28	14.56	3.28	20.10	18.85	265.91	288.46
6	3.70	1.30	10.52	4.93	32.63	22.64	276.06	284.15
7	4.51	4.21	8.18	11.35	23.08	32.54	204.00	199.49
8	4.66	5.76	11.18	13.87	31.36	31.34	261.10	265.60

จากตารางที่ 4.5 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง ซึ่งผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบครั้งที่ 1 และการทดสอบครั้งที่ 2 ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 603.69 นิวตันเมตร ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 5 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 288.46 นิวตันเมตร โดยผลการคำนวณมีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 81.37

5. ผลการคำนวณแรงกอดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 ผลการคำนวณแรงกอดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการคำนวณแรงกอดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของแรงกอดอัดบริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 8,661.79 นิวตัน มีมุมลำตัวเทียบกับแนวราบ 21.88 องศาตามลำดับ และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่ากำลังสถิติสูงสุดในรูปที่ 4.1 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 8,538.85 นิวตัน มีมุมลำตัวเทียบกับแนวราบ 20.66 และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่ากำลังสถิติสูงสุดในรูปที่ 4.1 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกราฟผลการคำนวณโมเมนต์ที่

เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	แรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง (นิวตัน)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	8,661.79	8,538.85
2	6,972.75	6,882.61
3	12,073.92	12,363.84
4	10,601.48	10,692.98
5	5,506.18	5,769.28
6	5,521.28	5,683.07
7	4,301.22	4,211.72
8	5,482.06	5,576.42

จากตารางที่ 4.6 คือผลการคำนวณแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่าผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 12,363.84 นิวตัน ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิง พบว่าผู้ทดสอบที่ 5 มีค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 5,769.28 นิวตัน โดยผลการคำนวณมีค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 82.60

6. มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะที่มีโมเมนต์และแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.7 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะที่มีโมเมนต์และแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	68.89	69.73	101.08	102.30	21.88	20.66	85.82	85.13	78.76	77.79	85.89	87.51
2	72.77	73.04	91.40	88.52	23.25	22.83	89.13	80.47	80.51	81.50	81.90	82.35
3	76.39	81.85	101.43	107.93	16.64	16.34	80.40	79.95	78.03	76.29	68.00	65.19
4	65.62	65.60	100.99	100.90	24.91	24.96	86.20	86.21	80.13	80.14	86.09	86.22
5	63.52	63.44	95.80	95.60	16.01	15.41	78.98	85.57	82.86	77.56	89.09	61.36
6	69.88	70.25	115.97	119.30	16.55	16.77	85.16	87.17	77.82	80.26	87.86	81.55
7	72.40	74.62	108.88	110.65	21.79	21.91	81.92	83.91	74.28	74.64	87.35	82.51
8	72.94	74.04	110.34	111.81	20.21	20.07	81.43	80.05	74.85	76.43	82.80	85.60

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

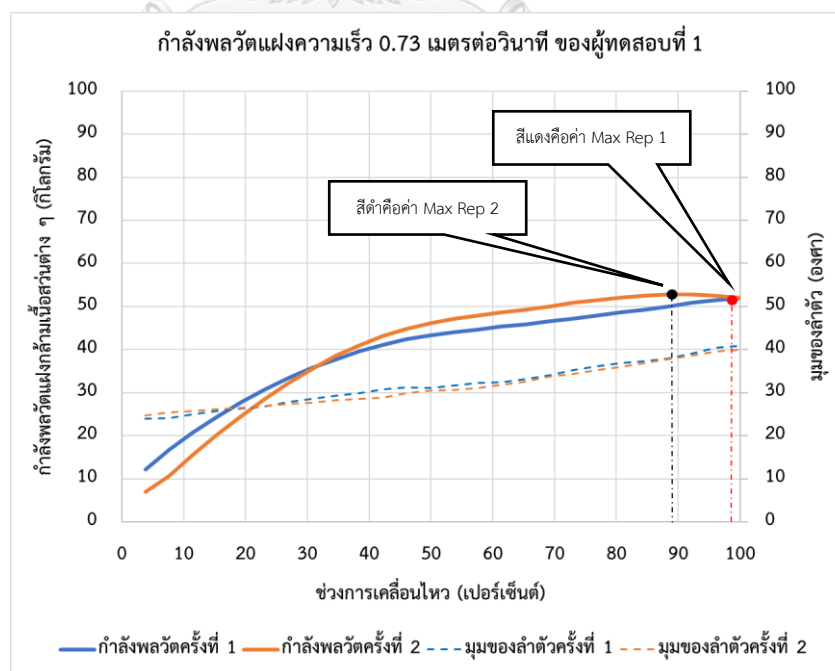
จากตารางที่ 4.7 มุมต่าง ๆ ขณะที่โมเมนต์และแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1 โดยลักษณะท่าทางขณะเกิดโมเมนต์และแรงกดอัดสูงสุดบริเวณจากการวัดกำลังสถิติจะอยู่ช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน จากนั้นนำมุมที่ 3 มาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างโดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างดังตารางที่ 4.8

7. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ  
 ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากใช้สมการพหุคูณ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	700.91	708.12
2	692.82	695.30
3	731.87	733.64
4	683.01	682.71
5	411.47	413.46
6	409.69	408.96
7	392.37	391.98
8	398.06	396.70

4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.5 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 51.9 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 40.92 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 88.32 องศา ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 52.8 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 37.67 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 99.84 องศา ส่วนกราฟผลการเก็บข้อมูลของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.9 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge เปรียบเทียบกับมุมของลำตัววัดกับแนวราบ

ผู้ทดสอบ	ค่ากำลังสูงสุด (กิโลกรัม)		มุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	51.9	52.8	40.92	37.67
2	74	77.5	52.66	56.08
3	83.1	80.1	49.35	45.60
4	79.3	81.5	45.06	46.18
5	40.9	44	46.39	44.81
6	42.3	42.8	35.27	38.39
7	32	31.5	62.63	64.85
8	47.1	46.4	45.90	38.69

จากตารางที่ 4.9 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที สูงสุดคือ 83.1 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 49.35 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที สูงสุดคือ 47.1 กิโลกรัม มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 45.90 องศา โดยมีค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 77.43

2. มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.10 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

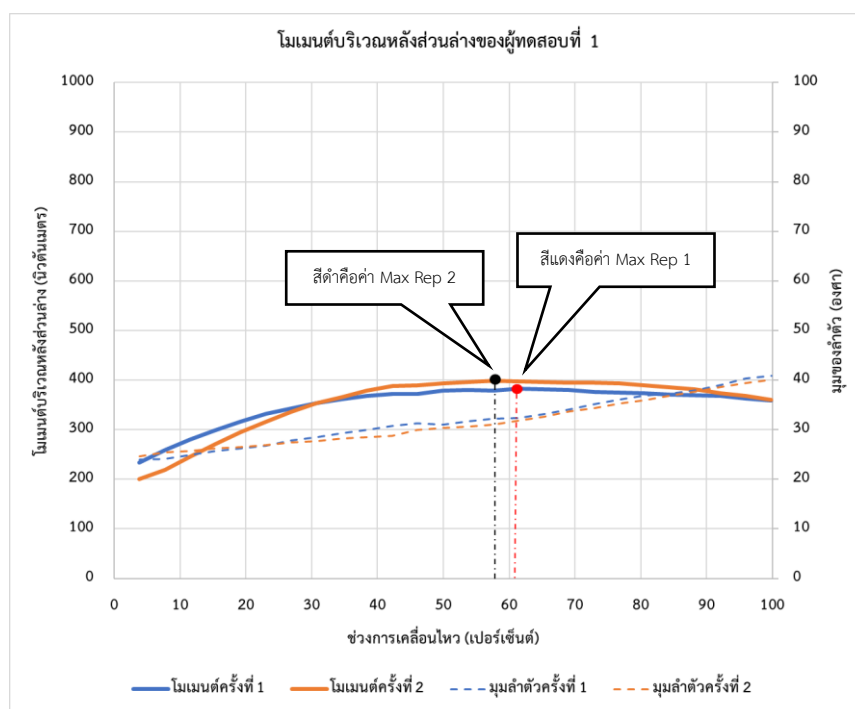
ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	76.60	77.79	131.61	129.82	40.92	37.67	85.08	86.13	76.67	76.10	86.19	86.20
2	86.87	80.32	139.90	120.61	52.66	56.08	84.82	82.07	76.38	77.19	89.89	79.76
3	72.81	77.62	125.84	130.39	49.35	45.60	89.28	88.14	75.21	76.83	89.99	88.52
4	82.99	88.03	150.04	145.44	45.06	46.18	84.99	85.36	76.38	72.47	82.97	85.55
5	81.52	70.92	139.75	127.78	46.39	44.81	85.45	88.67	82.93	68.88	80.03	78.85
6	78.39	77.19	132.75	126.13	35.27	36.40	87.06	85.64	83.01	82.19	80.41	77.69
7	87.48	85.87	159.34	156.94	62.63	64.85	82.78	79.86	74.40	74.62	77.85	80.16
8	71.44	86.06	117.69	140.17	44.81	38.69	81.92	88.78	73.22	74.45	75.55	75.87

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1 R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

จากตารางที่ 4.10 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน โดยมุมทั้งหมดที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1



3. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.6 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 382.41 นิวตันเมตร มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 32.35 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 61.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 398.43 นิวตันเมตร มีมุมของลำตัววัดกับแนวราบอยู่ที่ 31 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 57.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และข้อไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นนิวตันเมตร)

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		ข้อไหล่		หลังส่วนล่าง	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.73	2.21	16.14	17.69	16.67	16.23	382.41	398.43
2	7.21	4.63	9.95	24.97	45.02	83.41	396.45	374.58
3	6.72	8.89	4.66	25.38	46.47	69.49	506.86	491.21
4	3.71	8.89	6.34	14.05	39.71	65.92	428.89	415.89
5	2.89	2.27	20.35	3.72	45.62	31.87	245.56	282.48
6	1.25	0.58	12.91	11.22	36.38	34.23	302.66	312.23
7	0.58	0.69	4.12	3.64	16.69	13.54	167.68	149.91
8	1.46	0.60	12.91	0.78	7.28	27.23	298.43	262.97

จากตารางที่ 4.11 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และข้อไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 506.86 นิวตันเมตร ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 312.23 นิวตันเมตร โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 67.89

4. มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.12 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	74.22	75.96	118.31	120.36	32.35	31.00	84.50	85.66	76.76	76.20	86.10	89.76
2	82.22	84.30	129.25	123.73	38.61	38.81	87.19	88.45	78.32	78.58	89.36	79.98
3	75.01	76.19	127.16	126.21	39.57	30.80	88.95	87.03	76.98	79.18	88.38	89.49
4	77.55	86.50	134.60	142.99	38.50	42.99	86.30	86.80	76.59	73.54	82.90	86.34
5	76.69	70.11	129.00	125.55	39.57	39.07	84.56	89.93	82.13	69.14	79.79	78.84
6	77.19	75.41	130.29	122.27	33.46	32.45	87.37	84.30	82.74	82.36	80.01	77.56
7	86.54	79.62	149.09	140.00	26.81	26.91	87.56	88.48	79.78	81.82	78.93	82.39
8	69.11	86.08	109.49	139.70	39.01	36.81	82.83	88.73	73.17	74.59	75.68	75.68

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

จากตารางที่ 4.12 ลักษณะท่าทางขณะเกิดโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุด จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบ 8 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.2 โดยขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจะไม่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกับขณะการเกิดกำลังสูงสุด จากนั้นนำมุมที่ 3 มาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างโดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างดังตารางที่ 4.13

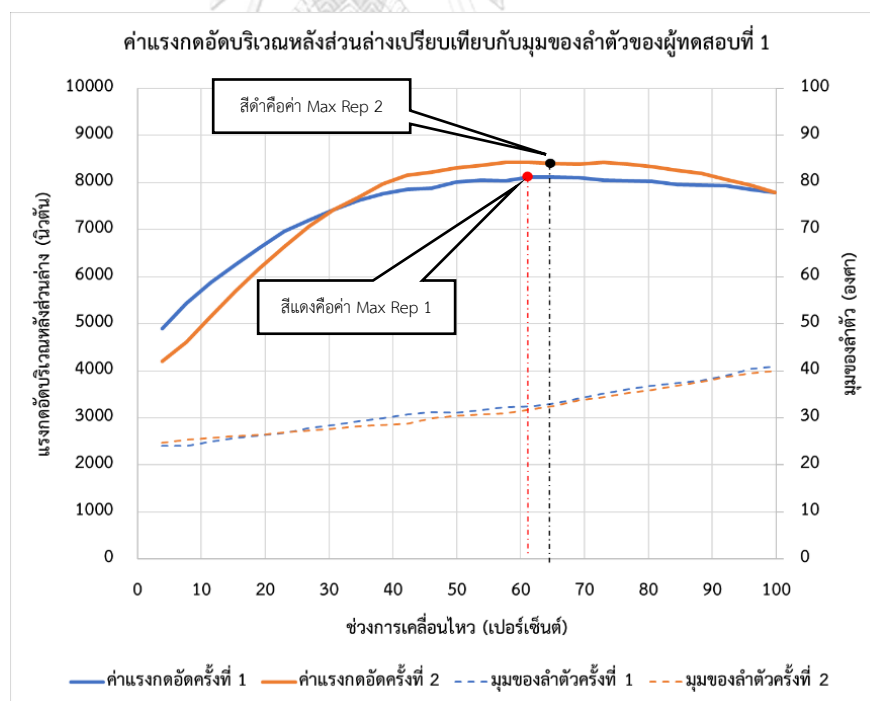
## 5. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ตารางที่ 4.13 ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากใช้สมการพหุคูณ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	639.03	647.03
2	600.59	600.88
3	596.40	648.18
4	602.68	576.16
5	333.61	335.26
6	353.80	357.13
7	375.75	375.43
8	335.44	342.71

## 6. ผลการคำนวณแรงกอดัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดการวัดกำลังพลวัตแฝง

ความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณแรงกอดัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 8,116.32 นิวตัน มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 33.13 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 65.28 เพอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 8,432.21 นิวตัน มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 31.81 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 61.44 เพอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.14 ค่าแรงกอดสูงสุดที่คำนวณได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	แรงกอดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง (นิวตัน)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	8,116.32	8,432.21
2	8,636.74	8,171.22
3	10,957.84	10,464.14
4	9,306.07	9,158.57
5	5,401.58	6,206.51
6	6,530.86	6,714.56
7	3,620.86	3,305.54
8	6,480.71	5,773.32

จากตารางที่ 4.14 คือผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 10,957.84 นิวตัน ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ 6,717.56 นิวตัน โดยผลการคำนวณแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างจากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว

0.73 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดบริเวณหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 66.34

7. มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.15 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

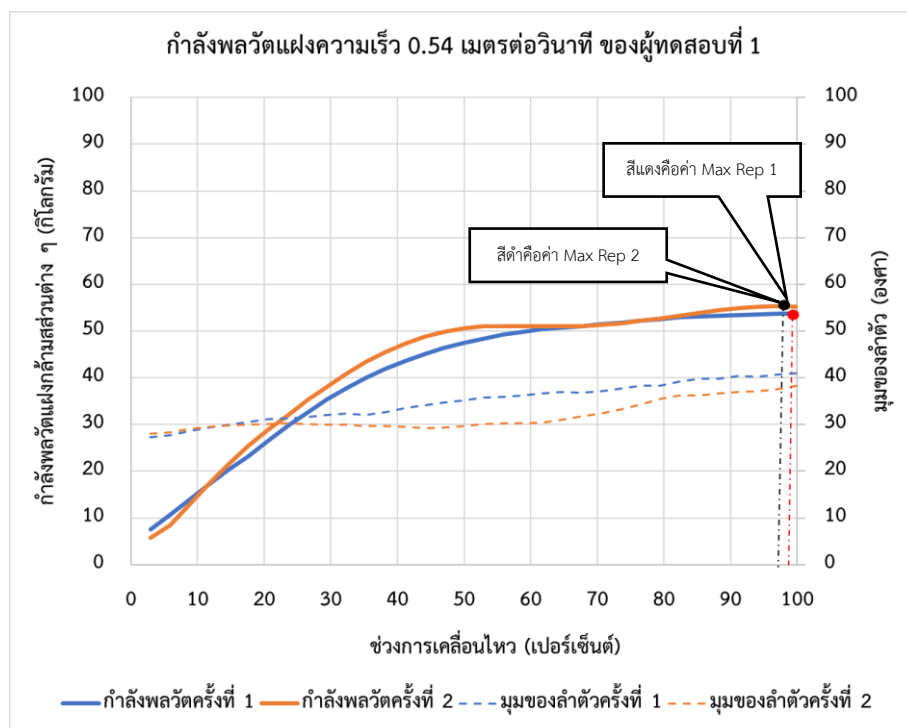
ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	74.81	76.27	120.35	121.83	33.13	31.81	84.77	85.55	76.37	76.46	85.52	86.37
2	82.23	84.30	129.25	123.73	39.87	38.81	86.89	88.45	78.32	78.58	89.12	79.98
3	74.51	76.19	127.69	126.21	43.13	30.80	88.01	87.03	76.46	79.18	88.76	89.49
4	77.55	86.50	134.60	142.99	38.50	42.99	86.30	86.30	76.59	73.54	82.90	86.34
5	76.69	70.75	129.00	126.87	39.57	42.89	84.56	88.88	82.13	68.62	79.79	79.13
6	77.19	75.41	130.29	122.27	33.46	32.45	87.37	84.30	82.74	82.36	80.01	77.56
7	86.07	80.05	149.80	143.31	30.79	35.92	85.60	88.27	79.05	80.36	78.64	82.51
8	70.43	86.06	115.44	140.17	44.19	38.69	81.90	88.78	73.07	74.45	75.38	78.87

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

จากตารางที่ 4.15 มุมต่าง ๆ ขณะที่ค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1 โดยขณะที่ค่าแรงกดอัดสูงสุดจะไม่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกับขณะเกิดการเกิดโมเมนต์สูงสุด

4.2.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบที่ 1

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 53.7 กิโลกรัม มีมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 40.75 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 97.02 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 55.3 กิโลกรัม มีมูมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 37.52 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 97.02 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.16 ค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็วที่ 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ

ผู้ทดสอบ	ค่ากำลังสูงสุด (กิโลกรัม)		มุมของลำตัว (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	53.7	55.3	40.75	37.52
2	60.8	61.7	62.05	57.12
3	80.3	79.4	41.11	46.95
5	32.5	34.6	44.35	46.92
6	34.1	35.1	43.69	48.50

จากตารางที่ 4.16 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที สูงสุดคือ 80.3 กิโลกรัม และมีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 41.11 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที สูงสุดคือ 35.1 กิโลกรัม และมีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 48.50 องศา โดยค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 91.34

2. มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.17 มุมต่าง ๆ ของร่างกายขณะเกิดกำลังสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

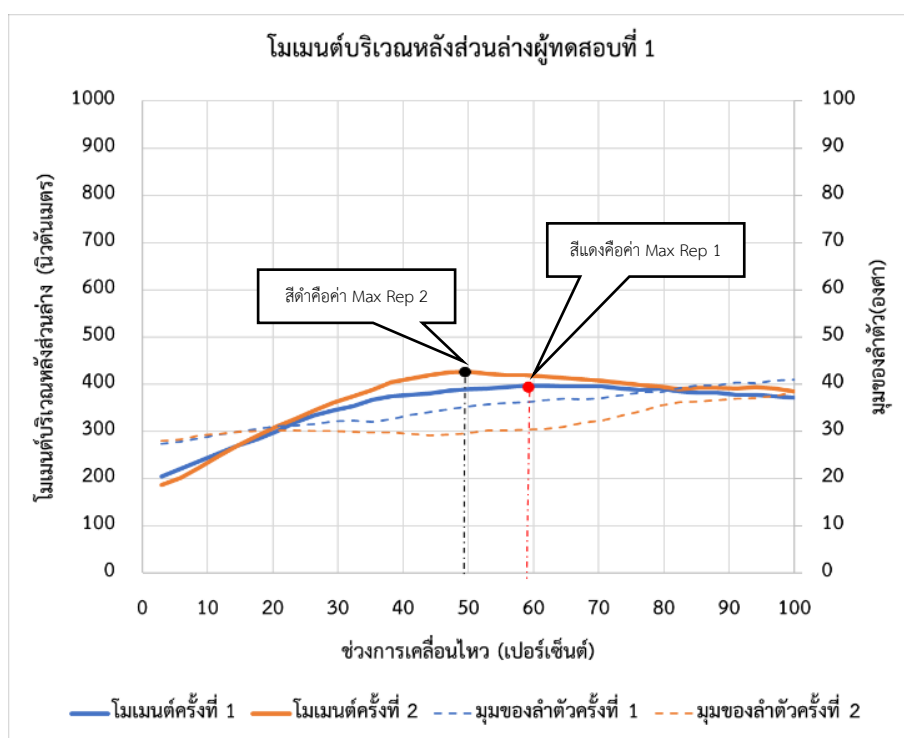
ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	77.32	76.77	133.31	134.26	40.75	37.52	86.15	83.54	76.27	78.20	85.59	88.23
2	69.00	72.14	118.79	121.45	62.05	57.12	75.99	73.38	76.01	77.91	72.44	75.84
3	77.54	74.86	132.09	132.80	44.37	41.76	88.71	87.58	75.91	77.89	87.71	89.21
5	81.16	85.42	137.12	151.71	41.11	46.95	83.52	79.47	72.97	75.18	64.41	71.95
6	83.25	76.01	152.55	147.86	43.69	48.50	84.84	78.05	84.45	79.30	86.81	85.40

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)



จากตารางที่ 4.17 แสดงลักษณะท่าทางขณะที่มีกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที สูงสุด จากการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบทั้ง 5 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1

3. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.9 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัววัดกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 396.29 นิวตันเมตร มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 36.23 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 58.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 426.30 นิวตันเมตร มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 29.68 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 49.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณ

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.10	0.26	23.41	23.35	21.77	30.15	396.28	426.30
2	3.35	0.41	15.58	1.65	33.12	0.93	337.99	346.49
3	6.46	6.26	12.32	5.47	56.22	42.43	483.84	520.07
5	3.74	1.61	9.58	3.56	5.41	0.46	267.90	242.17
6	2.47	1.52	17.41	4.59	37.25	5.91	237.24	267.57

หมายเหตุ : (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.18 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดคือ 520.07 นิวตันเมตร ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 5 มีค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดคือ 267.90 นิวตันเมตร โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 60.94

4. มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝง ความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.19 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์โมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัด กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	70.53	72.26	112.66	114.72	36.23	29.68	86.45	84.66	75.94	77.52	85.30	87.68
2	70.50	72.54	110.17	116.33	49.41	42.15	75.40	77.76	75.39	78.90	72.62	76.90
3	77.93	76.25	128.87	131.91	33.40	32.72	87.94	88.47	76.52	78.00	87.03	88.91
5	77.25	83.13	127.97	147.32	33.46	44.49	82.61	79.60	74.75	75.67	65.52	71.84
6	81.50	73.06	151.40	143.79	35.54	39.46	87.99	81.69	82.98	82.30	85.97	86.05

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

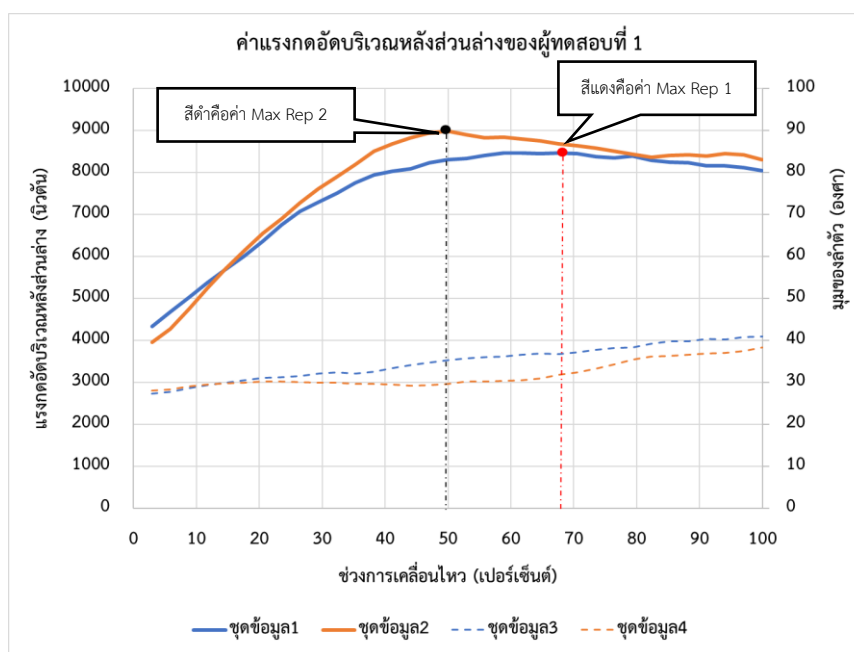
จากตารางที่ 4.19 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างสูงสุด จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบ 5 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1 โดยขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจะไม่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกับขณะการเกิดกำลังสูงสุดจากนั้นนำมามุมที่ 3 มาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างโดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างดังตารางที่ 4.22

5. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างจากใช้สมการพยากรณ์ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	616.10	654.81
2	538.23	581.12
3	632.81	636.82
5	353.80	317.33
6	349.83	333.97

6. ผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดการวัดกำลังพลวัตแฝง ความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 8,473.10 นิวตัน มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 36.8 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 67.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่าโมเมนต์สูงสุดในรูปที่ 4.6 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 58.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของค่าแรงกอดบริเวณหลังส่วนล่างของการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 8,981.96 นิวตัน มีมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบอยู่ที่ 29.68 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 49.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับขณะเกิดโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดในรูปที่ 4.6 ซึ่งอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 49.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณแรงกอดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดการวัดกำลัง

พลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ใน  
ภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.21 ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่คำนวณได้จากการวัดวัดการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54  
เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	แรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง (นิวตัน)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	8,473.10	8,981.96
2	7,468.75	7,554.74
3	10,608.16	11,214.34
5	5,762.44	5,367.86
6	5,476.48	5,864.59

จากตารางที่ 4.21 คือผลการคำนวณแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างในกลุ่มผู้ทดสอบ  
เพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดคือ 11,214.34 นิวตัน ส่วนใน  
กลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดคือ 5,864.59  
นิวตัน โดยผลการแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตร  
ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดบริเวณ  
หลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 61.09

7. มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝง ความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.22 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ผู้ทดสอบ	มุมที่ 1		มุมที่ 2		มุมที่ 3		มุมที่ 4		มุมที่ 5		มุมที่ 6	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	71.59	72.26	116.93	114.72	36.80	29.68	86.09	84.66	76.43	77.52	85.20	87.68
2	70.50	72.54	110.17	116.33	49.41	42.15	75.40	77.76	75.39	78.90	72.62	76.90
3	77.93	75.46	128.87	132.73	33.40	37.86	87.94	87.08	76.52	77.38	87.03	88.79
5	77.50	83.13	128.54	147.32	34.31	44.49	82.73	79.60	74.50	75.67	65.72	71.84
6	81.50	73.52	151.40	144.45	35.54	40.86	87.99	81.22	85.98	81.82	85.97	85.85

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยองศา)

จากตารางที่ 4.22 มุมต่าง ๆ ขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน โดยขนาดของมุมที่แสดงอ้างอิงจากรูปที่ 4.1 โดยขณะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุดจะไม่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกับขณะการเกิดโมเมนต์สูงสุด

#### 4.2.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

1. การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.23 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2	ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2
1	27.84	33.09	4.11
2	60.15	29.49	-19.14
3	22.16	19.54	-2.14
4	10.36	-	-
5	49.21	17.93	-20.97
6	18.52	-3.62	-18.68
7	10.05	-	-
8	19.41	-	-
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	27.21(18.15)	19.28(14.32)	-11.37(11.51)

หมายเหตุ : S คือการวัดกำลังสถิต, D1 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, D2 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1 = [(ค่าสูงสุดของ D1 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - กำลังสูงสุดของ D1) / ค่าสูงสุดของ D1] x 100

จากตารางที่ 4.23 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 27.21 เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 19.28 โดยมีผู้ทดสอบที่ 6 มีค่ากำลังจากการวัดแบบพลวัตแฝงมีค่าน้อยกว่าการวัดแบบสถิต ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎี ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 11.37 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1 มีค่ากำลังจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มีค่ามากกว่าค่ากำลังจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 4.11

#### 4.2.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

1. การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง ที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.24 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง ที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2
1	-5.93	-0.91	5.34
2	16.85	3.73	-11.23
3	-17.10	-16.62	0.59
4	-16.74	-	--
5	-4.75	-7.99	-3.40
6	9.76	-9.89	-17.90
7	-21.29	-	-
8	6.61	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	-4.08(14.00)	-6.34(7.93)	-5.32(9.29)

หมายเหตุ : MS คือโมเมนต์การวัดกำลังสถิต, MD1 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที



ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD1} - \text{ค่าสูงสุดของ MS}) / \text{ค่าสูงสุดของ MS}] \times 100$

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD2} - \text{ค่าสูงสุดของ MS}) / \text{ค่าสูงสุดของ MS}] \times 100$

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD2} - \text{ค่าสูงสุดของ MD1}) / \text{ค่าสูงสุดของ MD1}] \times 100$

จากตารางที่ 4.24 พบว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 4.08 โดยมีผู้ทดสอบที่ 2, 6 และ 8 มีค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 6.34 โดยมีผู้ทดสอบที่ 2 มีค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 5.32 โดยมีเพียงผู้ทดสอบที่ 1 และ 3 มีค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

4.2.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหลังส่วนล่างจากสมการพยากรณ์

ตารางที่ 4.25 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังและค่าโมเมนต์ที่ได้จากสมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ ES	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ ED1	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD2 และ ED2
1	69.74	64.70	54.50
2	110.36	55.83	63.53
3	21.72	24.70	26.47
4	34.60	39.54	-
5	48.81	26.67	-
6	46.13	15.62	31.58
7	94.39	136.53	35.46
8	50.92	20.80	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	59.59 (30.05)	48.05 (39.70)	42.31 (15.90)

หมายเหตุ: MS คือโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิต , MD1 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที , ES คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิต, ED1 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที และ ED2 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ ES = [(ค่าสูงสุดของ ES - ค่าสูงสุดของ MS) / ค่าสูงสุดของ MS] × 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ ED1 = [(ค่าสูงสุดของ ED1 - ค่าสูงสุดของ MD1) / ค่าสูงสุดของ MD1] × 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD2 และ ED2 = [(ค่าสูงสุดของ ED2 - ค่าสูงสุดของ MD2) / ค่าสูงสุดของ MD2] × 100

จากตารางที่ 4.25 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และสมการพยากรณ์พบว่า ค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ร้อยละ 59.59 ส่วนความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และสมการพยากรณ์พบว่า ค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ร้อยละ 48.05 และความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ร้อยละ 42.31

4.2.7 การเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.26 ค่าความแตกต่างของค่าแรงกดอัดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง บริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณได้ จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง FS และ FD1	ค่าความแตกต่างระหว่าง FS และ FD2	ค่าความแตกต่างระหว่าง FD1 และ FD2
1	-3.79	1.48	5.48
2	21.31	8.43	-10.62
3	-12.34	-10.70	1.87
4	-13.29	-	-
5	2.95	-1.29	-4.12
6	18.22	1.22	-14.38
7	-18.64	-	-
8	10.81	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	0.65(15.11)	-0.17(6.9)	-4.35(8.29)

หมายเหตุ : FS คือค่าแรงกดอัดสูงสุดจากการวัดกำลังสถิต, FD1 คือค่าแรงกดอัดสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, FD2 คือค่าแรงกดอัดสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง FS และ FD1 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ FD1} - \text{ค่าสูงสุดของ FS}) / \text{ค่าสูงสุดของ FS}] \times 100$

ค่าความแตกต่างระหว่าง FS และ FD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ FD2} - \text{ค่าสูงสุดของ FS}) / \text{ค่าสูงสุดของ FS}] \times 100$

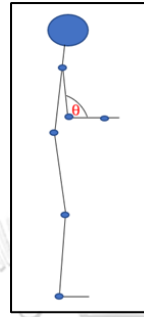
ค่าความแตกต่างระหว่าง FD1 และ FD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ FD2} - \text{ค่าสูงสุดของ FD1}) / \text{ค่าสูงสุดของ FD1}] \times 100$

จากตารางที่ 4.26 ในการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 0.65 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1, 3, 4 และ 7 มีค่าแรงกดอัดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าแรงกดอัดจากการวัดกำลังสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 0.17 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1, 2 และ 6 มีค่าแรงกดอัดจากการวัดแบบพลวัตแฝงมีค่ามากกว่าการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดอัดสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 4.35 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1 และ 3 มีค่าแรงกดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

### 4.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อแขน

#### 4.3.1 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน

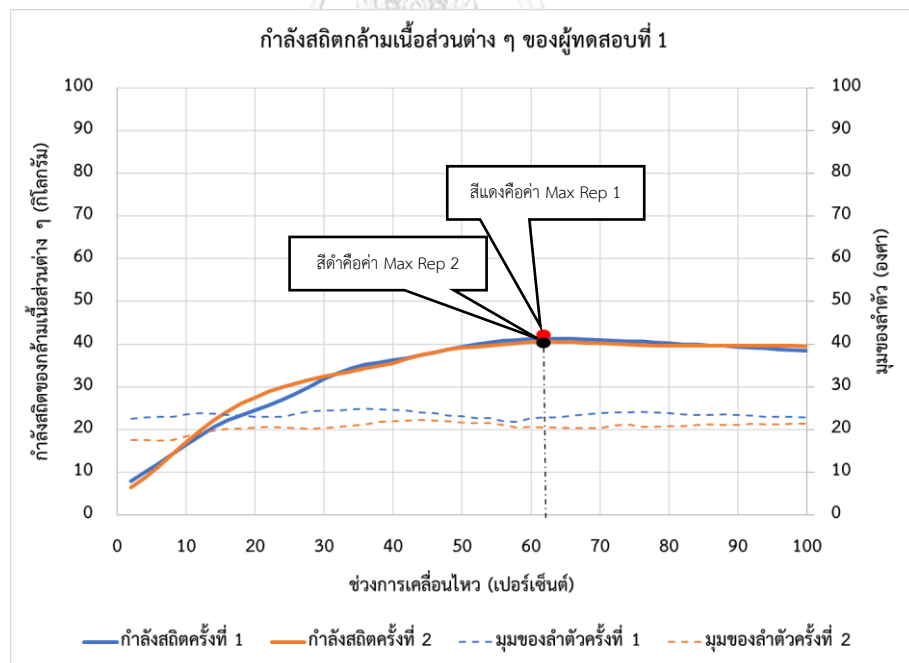
1. แผนภาพวิถีอิสระแสดงมุมระหว่าง แขนส่วนล่างและแขนส่วนบนขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อ (หน่วยเป็นองศา)



รูปที่ 4.11 แผนภาพวิถีอิสระแสดงมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อ

2. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนจากที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge

Gauge



รูปที่ 4.12 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1

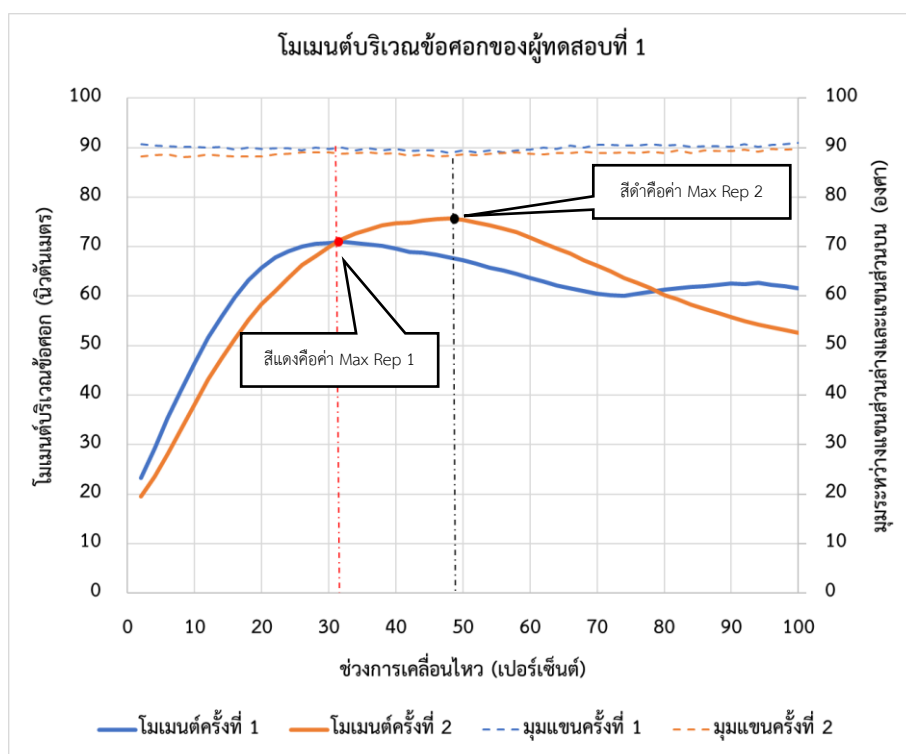
จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังสถิติกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 24.8 กิโลกรัม มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 90 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 32 เพอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 26.5 กิโลกรัม มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 88.34 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 48 เพอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.27 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	24.8	26.5	90.00	88.34
2	20.5	21	91.49	92.14
3	23.2	22.1	87.26	84.71
4	22.5	24.1	85.06	82.70
5	10.9	11.2	87.71	88.04
6	14.2	15.1	88.71	87.45
7	14.2	14.6	92.60	89.77
8	18	17.1	90.37	90.74

จากตารางที่ 4.27 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 1 มีค่าวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 26.5 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 88.34 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 18 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 90.37 องศา โดย ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 60.19

3. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่บริเวณข้อต่อจากการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน



รูปที่ 4.13 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน ของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อจากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 71.05 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 90 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งการเคลื่อนไหวเดียวกับการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนในรูปที่ 4.9 ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อจากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 75.63 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 88.34 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งการเคลื่อนไหวเดียวกับการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนในรูปที่ 4.9 ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่บริเวณข้อต่อจากการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.28 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มุม (องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	10.80	11.47	71.05	75.63	73.35	78.44	159.37	140.05	90.00	88.34
2	9.00	9.21	56.05	57.63	62.04	64.52	118.66	103.33	91.49	92.14
3	10.88	10.49	73.07	66.40	80.13	77.54	146.17	132.45	87.26	84.71
4	12.17	11.90	60.64	64.83	72.51	79.34	150.36	143.12	85.06	82.70
5	5.01	5.14	32.71	33.45	35.35	36.07	74.61	76.28	87.71	88.04
6	6.47	6.75	39.86	41.99	43.26	46.23	119.63	122.95	88.71	87.45
7	5.54	6.22	38.33	40.14	44.04	45.39	88.24	83.86	92.60	89.77
8	6.48	7.20	45.97	43.77	43.96	47.39	90.37	70.70	90.37	90.74

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.28 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอก โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 1 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกสูงที่สุดคือ 75.63 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 88.34 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกสูงที่สุดคือ 45.97 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 90.37 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อศอกในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 66.11 จากนั้นนำมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกโดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกดังตารางที่ 4.29



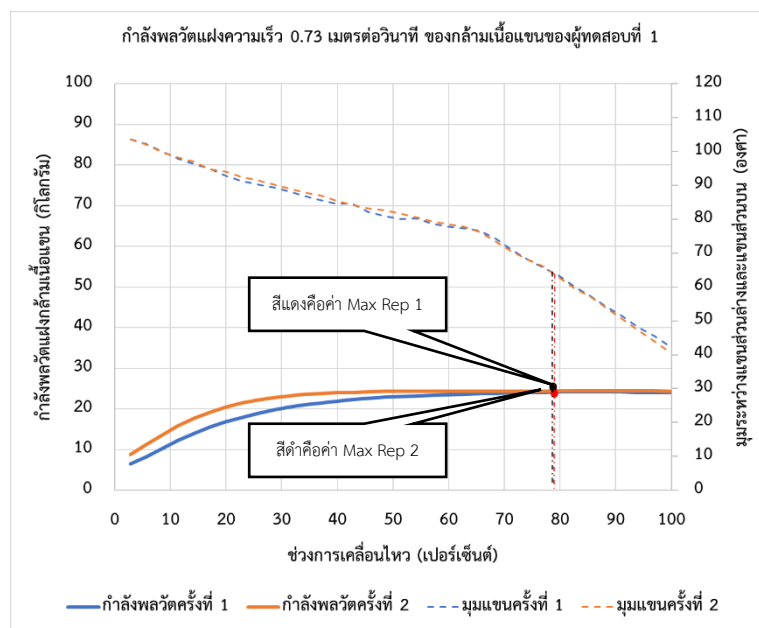
## 4. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ตารางที่ 4.29 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากใช้สมการพหุคูณ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	76.68	76.72
2	76.09	75.98
3	76.79	76.08
4	76.36	76.18
5	40.36	40.37
6	40.23	40.04
7	40.51	40.55
8	40.59	40.15

#### 4.3.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.14 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1

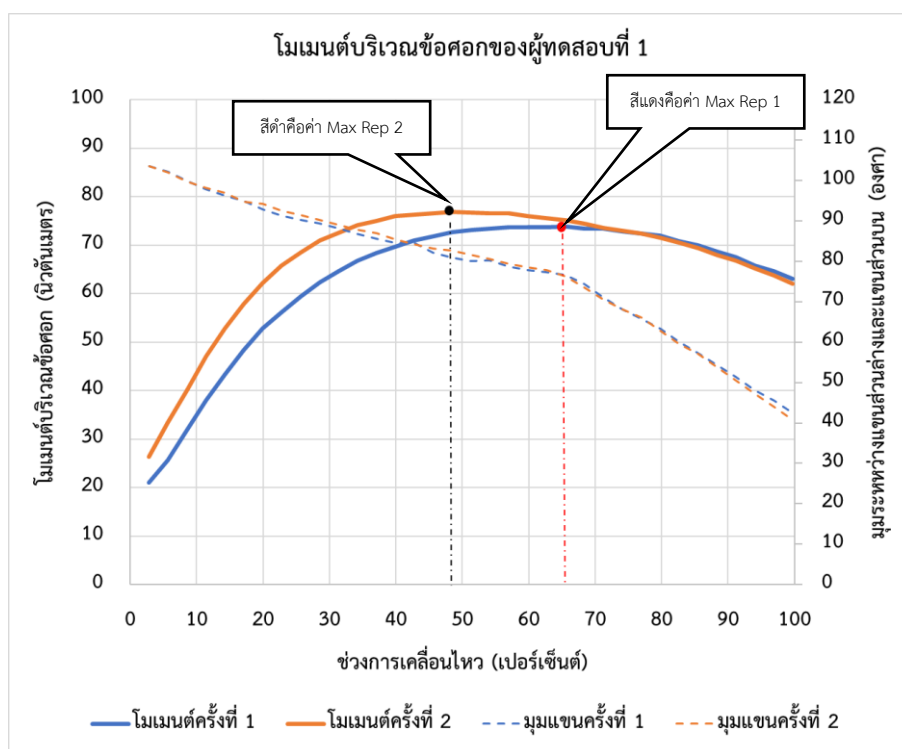
จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 24.2 กิโลกรัม มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 63.35 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 79.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อแขน ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 24.5 กิโลกรัม มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 62.72 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 79.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.30 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ แขนที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	24.2	24.5	63.35	62.72
2	19.3	20.2	39.74	40.30
3	25	25	73.65	78.21
4	23.6	24.9	80.35	83.90
5	10	10	84.77	84.06
6	13.1	12.9	51.59	50.47
7	13.2	13.1	103.70	92.63
8	17.6	15.8	109.62	102.68

จากตารางที่ 4.30 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าวัดกำลังของกพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 25 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนอยู่ที่ 78.21 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 17.6 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 109.62 องศา โดยค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 76.63

2. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน



รูปที่ 4.15 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อศอกเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 73.88 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 76.55 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่าวัดกำลังสูงสุดในรูปที่ 4.11 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 79.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 76.80 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 82.71 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 48.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่าวัดกำลังสูงสุดในรูปที่ 4.11 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 79.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วน 6 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่

บริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.31 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มุม (องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	11.63	11.93	73.88	76.80	73.00	83.05	108.69	120.48	76.55	76.80
2	8.58	9.44	55.20	57.90	56.71	61.08	131.70	126.08	88.69	98.41
3	13.76	13.97	82.88	83.58	100.87	107.95	197.00	211.42	82.88	83.58
4	10.34	11.26	69.43	64.06	104.15	76.12	140.02	146.70	73.19	80.35
5	4.37	4.21	28.42	28.09	31.26	30.77	61.12	64.28	84.77	84.04
6	4.78	4.38	33.00	31.90	33.83	40.01	85.76	64.05	77.38	73.14
7	6.50	6.39	33.47	34.02	39.81	42.47	58.70	42.47	81.51	82.05
8	7.51	7.42	46.40	40.80	46.15	41.51	66.24	95.159	101.45	98.37

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.31 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอก โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกสูงที่สุดคือ 83.58 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 83.58 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกสูงที่สุดคือ 46.40 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 101.45 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนมีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อศอกในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อศอกในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 104.17 จากนั้นนำมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกโดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกดังตารางที่ 4.32

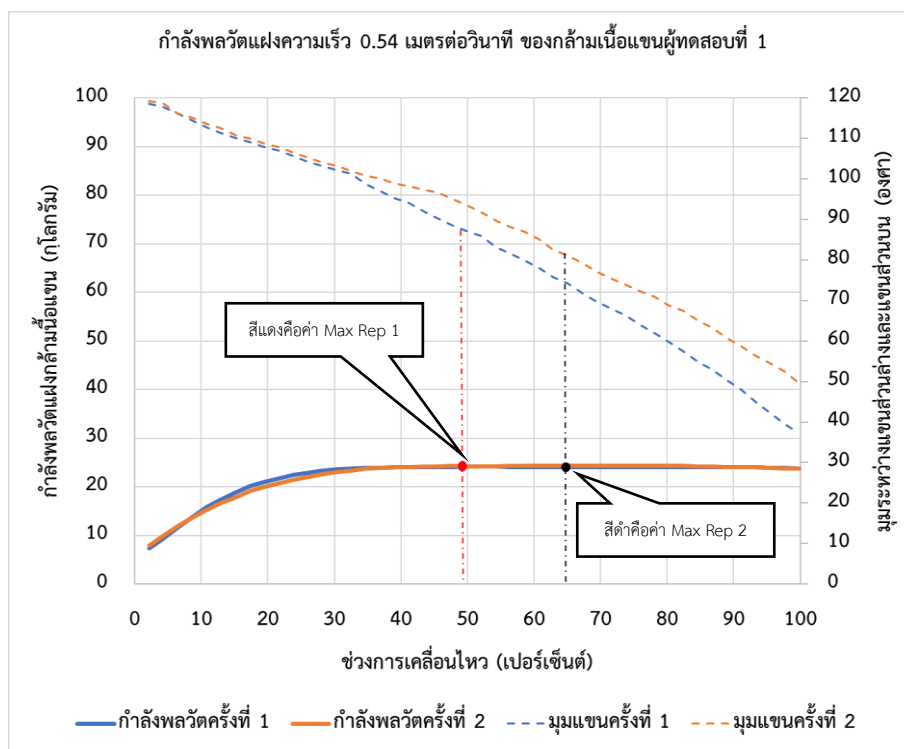
## 3. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ตารางที่ 4.32 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณข้อศอกจากใช้สมการพยากรณ์ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	76.90	76.71
2	77.65	77.14
3	75.16	75.32
4	73.67	76.43
5	40.33	40.30
6	40.20	39.82
7	40.03	40.09
8	40.10	40.70

4.3.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.16 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อแขนซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 24.2 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนอยู่ที่ 87.10 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 49.91 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 24.4 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนอยู่ที่ 81.15 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 65.1

เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ  
แขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

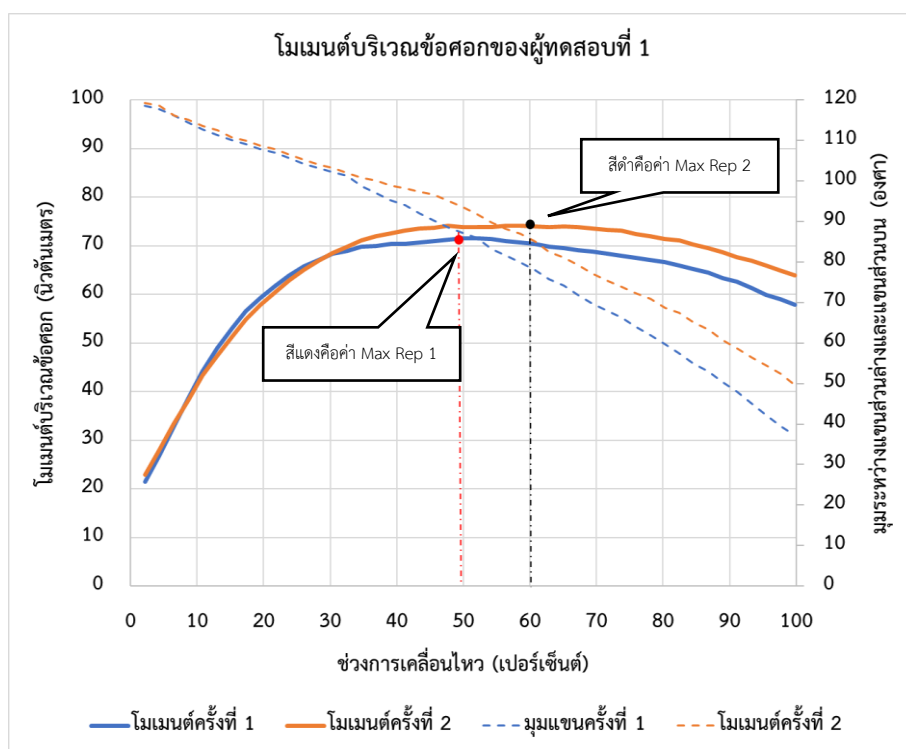
ตารางที่ 4.33 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ  
แขน ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขน ส่วนบน (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	24.2	24.4	87.10	81.15
2	17.4	18.4	90.57	107.79
3	25.1	26	62.65	76.27
5	10.2	9.7	67.95	77.62
6	12.9	15	86.78	87.48

จากตารางที่ 4.33 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝง  
ความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 26 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและ  
แขนส่วนบนอยู่ที่ 62.65 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าวัดกำลังพลวัต  
แฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 15 กิโลกรัม มีมุมระหว่างแขนส่วนล่าง  
และแขนส่วนบนอยู่ที่ 87.48 องศา โดย ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย  
ของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 88.98



2. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อข้อคอกจากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน



รูปที่ 4.17 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อคอกเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนจากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อคอกเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน จากการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อคอกจากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 71.55 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 87.10 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 49.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งการเคลื่อนไหวเดียวกับค่าวัดกำลังของกล้ามเนื้อแขนในรูปที่ 4.13 ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อคอกจากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 74.02 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 85.02 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 60.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่าวัดกำลังสูงสุดในรูปที่ 4.13 ที่อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 65.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

บริเวณข้อต่อคอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.34 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อคอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนโดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อคอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มุม (องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	11.53	11.81	71.55	73.99	76.36	79.68	99.88	108.21	87.10	81.15
2	9.36	10.08	52.80	54.10	55.38	62.64	107.56	101.95	90.57	97.09
3	14.65	15.44	78.66	82.58	94.08	97.78	205.58	213.20	75.01	76.27
5	5.08	4.75	29.31	29.58	33.09	34.73	96.28	66.33	76.15	77.62
6	4.75	5.46	39.10	44.73	42.81	48.77	87.83	96.34	86.78	87.48

ข้อมูลแสดง R1 ครั้งที่ 1 R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.34 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ หัวไหล่ และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อคอก โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อคอกสูงที่สุดคือ 82.58 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 76.27 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าโมเมนต์บริเวณข้อคอกสูงที่สุดคือ 44.73 นิวตันเมตร มีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนอยู่ที่ 87.48 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนครั้งที่ 1 และผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน ครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อคอกในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณข้อคอกในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 93.23 จากนั้นนำมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณข้อคอกโดยใช้สมการพหุคูณจากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณข้อคอกดังตารางที่ 4.35

## 3. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อตอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ตารางที่ 4.35 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อตอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพหุคูณ

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณข้อตอกจากใช้สมการพหุคูณ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	76.85	76.60
2	76.39	76.18
3	76.02	76.18
5	39.90	40.06
6	40.31	40.32

## 4.3.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน

1. การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน

ตารางที่ 4.36 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2	ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2
1	-5.07	-5.26	-0.21
2	-4.82	-13.73	-9.37
3	10.38	12.80	2.20
4	4.08	-	-
5	-9.50	-9.95	-0.50
6	-11.26	-4.78	7.31
7	-8.68	-	-
8	-4.84	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	-3.72(7.35)	-4.19(10.17)	-0.11(6.04)

หมายเหตุ : S คือการวัดกำลังสถิต, D1 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, D2 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1 = [(ค่าสูงสุดของ D1 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - ค่าสูงสุดของ D1) / ค่าสูงสุดของ D1] x 100

จากตารางที่ 4.36 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 3.72 โดยมีผู้ทดสอบที่ 3 และ 4 มีค่ากำลังสูงจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่ากำลังสูงสุดจากการวัดแบบสถิต ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า การวัดแบบพลวัตจะมากกว่าการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 4.19 โดยมีผู้ทดสอบที่ 3 มีค่ากำลังสูงจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่ากำลังสูงสุดจากการวัดแบบสถิต ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า การวัดแบบพลวัตจะมากกว่าการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 0.11 โดยมีผู้ทดสอบที่ 3 และ 6 มีค่ากำลังสูงจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่ากำลังสูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

#### 4.3.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน

ตารางที่ 4.37 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่สามารถคำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2
1	2.73	-0.78	-3.42
2	-0.51	-5.96	-9.25
3	19.37	15.60	-3.16
4	6.39	-	-
5	-14.59	-10.99	-5.06
6	-20.71	2.42	29.17
7	-13.99	-	-
8	-8.60	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	-3.74(13.22)	0.06(10.07)	1.66(15.57)

หมายเหตุ : MS คือโมเมนต์การวัดกำลังสถิต, MD1 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1 = [(ค่าสูงสุดของ MD1 - ค่าสูงสุดของ MS) / ค่าสูงสุดของ MS] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2 = [(ค่าสูงสุดของ MD2 - ค่าสูงสุดของ MS) / ค่าสูงสุดของ MS] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2 = [(ค่าสูงสุดของ MD2 - ค่าสูงสุดของ MD1) / ค่าสูงสุดของ MD1] x 100

จากตารางที่ 4.37 พบว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 3.74 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1, 3 และ 4 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 0.06 โดยมีผู้ทดสอบที่ 3 และ 6 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อย

กว่าการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 1.66 โดยมีเพียงผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

#### 4.3.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อแขน

ตารางที่ 4.38 ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อแขน แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่าง	ค่าความแตกต่าง	ค่าความแตกต่าง
	ระหว่าง MS และ ES	ระหว่าง MD1 และ ED1	ระหว่าง MD2 และ ED2
1	4.59	1.95	5.44
2	33.78	36.87	42.73
3	9.61	-9.61	-5.60
4	21.59	12.45	-
5	22.03	42.71	35.79
6	-1.92	23.30	-3.81
7	3.32	18.73	-
8	-15.37	-7.33	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	9.70(15.59)	14.88(19.31)	14.91(22.75)

หมายเหตุ : MS คือโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิต , MD1 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที , ES คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิต, ED1 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที และ ED2 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ ES = [(ค่าสูงสุดของ ES - ค่าสูงสุดของ MS) / ค่าสูงสุดของ MS] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ ED1 = [(ค่าสูงสุดของ ED1 - ค่าสูงสุดของ MD1) / ค่าสูงสุดของ MD1] × 100

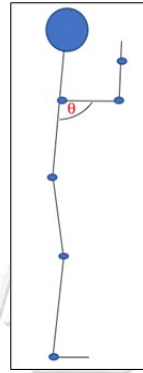
ค่าความแตกต่างระหว่าง MD2 และ ED2 = [(ค่าสูงสุดของ ED2 - ค่าสูงสุดของ MD2) / ค่าสูงสุดของ MD2] × 100

จากตารางที่ 4.38 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ แขน และสมการพยากรณ์ พบว่าในการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง ค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ แขน ร้อยละ 9.70 โดยมีเพียงผู้ทดสอบที่ 6 และ 8 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดแบบสถิติ ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ แขนและสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อ แขน ร้อยละ 14.88 โดยมีผู้ทดสอบ 3 และ 8 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ แขนและสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อ แขน ร้อยละ 14.91 โดยมีผู้ทดสอบ 3 และ 6 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

#### 4.4 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังกล้ามเนื้อไหล่

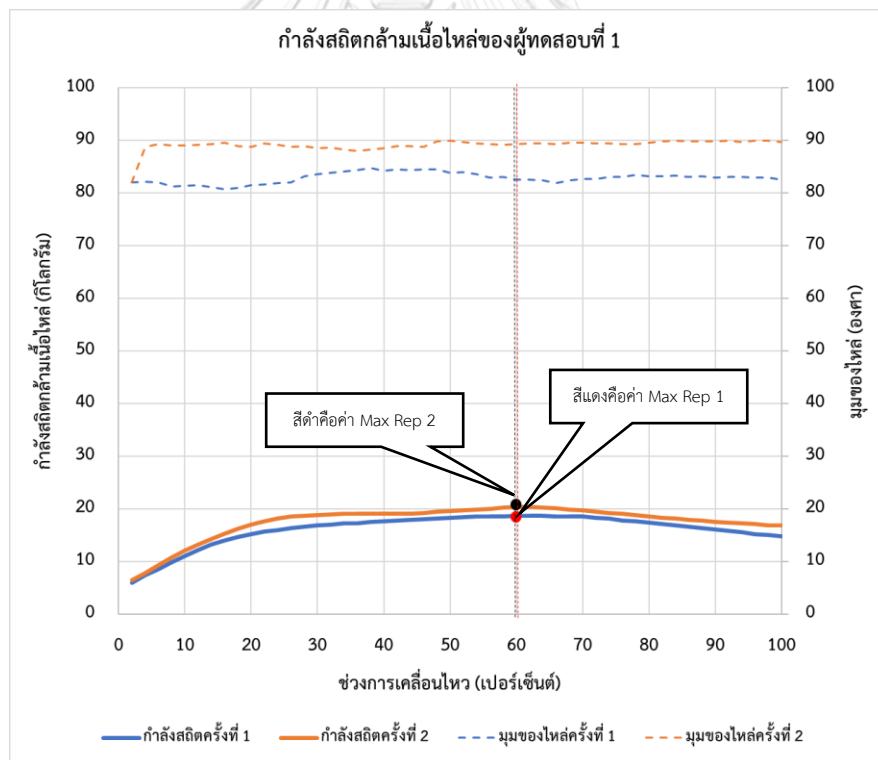
##### 4.4.1 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่

1. แผนภาพวิถีอิสระแสดงมุมต่าง ๆ ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อไหล่ (หน่วยเป็นองศา)



รูปที่ 4.18 แผนภาพอิสระแสดงมุมของไหล่ขณะวัดกำลังของกล้ามเนื้อไหล่

2. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.19 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1



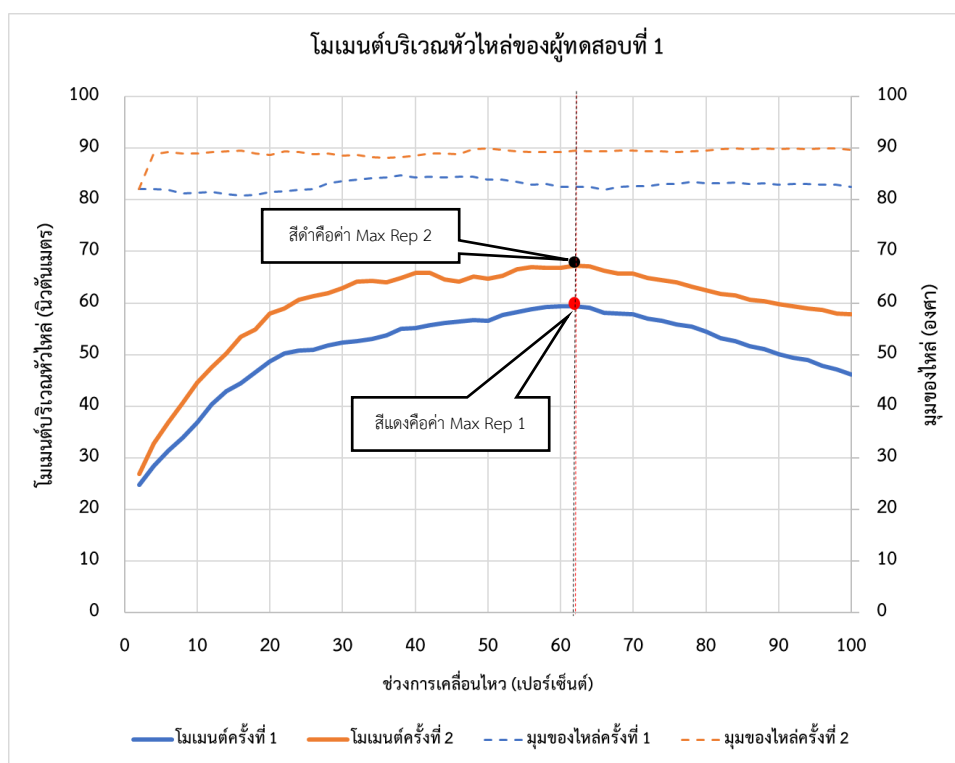
จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังสติกกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 18.7 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 82.50 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 องศา ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 20.3 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 89.50 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 องศา ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.39 ค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อส่วนไหล่เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมของไหล่ (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	18.7	20.3	82.50	89.50
2	22.6	22.8	78.19	74.06
3	30.3	30.8	75.71	75.68
4	39.7	40.7	81.23	78.11
5	10.6	9.5	85.92	86.52
6	11	12.8	80.30	81.14
7	13.9	13.4	76.59	81.30
8	16.1	14.8	81.83	82.83

จากตารางที่ 4.39 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 4 มีค่าวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อไหล่สูงสุดคือ 40.7 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 78.11 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าวัดกำลังสติกของกล้ามเนื้อไหล่สูงสุดคือ 16.1 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 81.83 องศา โดยค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 121.25

3. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบน



รูปที่ 4.20 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 59.40 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 82.50 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งการเคลื่อนไหวเดียวกับการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ในรูปที่ 4.16 ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 67.31 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 89.50 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งการเคลื่อนไหวเดียวกับการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ในรูปที่ 4.16 ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.40 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ โดยเปรียบเทียบมุมของไหล่

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มุม (องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	1.43	2.56	2.43	1.11	59.40	67.31	73.01	106.15	82.50	89.50
2	1.12	2.09	10.24	10.59	70.80	74.14	119.10	134.27	78.3	74.06
3	1.67	2.34	3.48	8.34	73.35	76.43	197.75	208.42	75.61	75.46
4	21.16	19.74	103.06	106.08	115.38	126.01	233.89	214.29	80.98	78.11
5	0.62	0.42	5.82	4.64	40.03	36.48	76.97	66.800	85.96	86.52
6	0.33	0.16	3.01	6.59	42.05	48.14	106.82	106.81	80.66	82.87
7	1.93	1.84	2.15	3.22	34.59	31.48	57.55	55.17	76.84	81.30
8	0.29	0.64	4.31	4.41	52.28	50.49	82.46	84.09	81.83	82.83

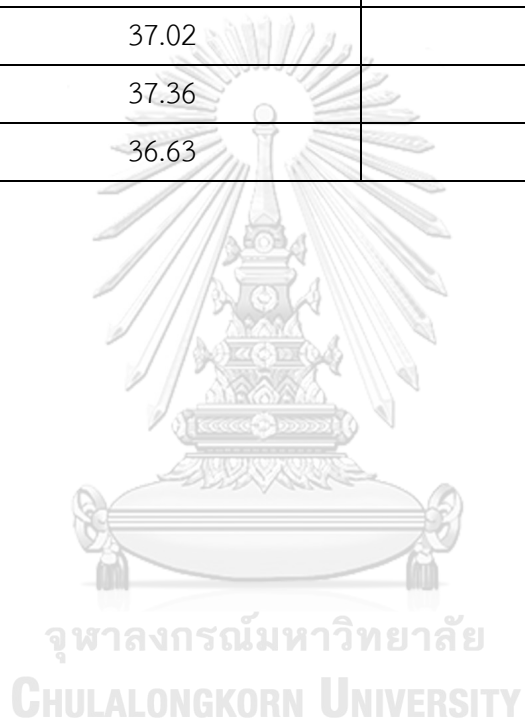
หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.40 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่ โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 4 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงสุดคือ 126.01 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 78.11 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงที่สุดคือ 52.28 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 81.83 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 97.53 จากนั้นนำมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่โดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ดังตารางที่ 4.41

#### 4. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกจากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

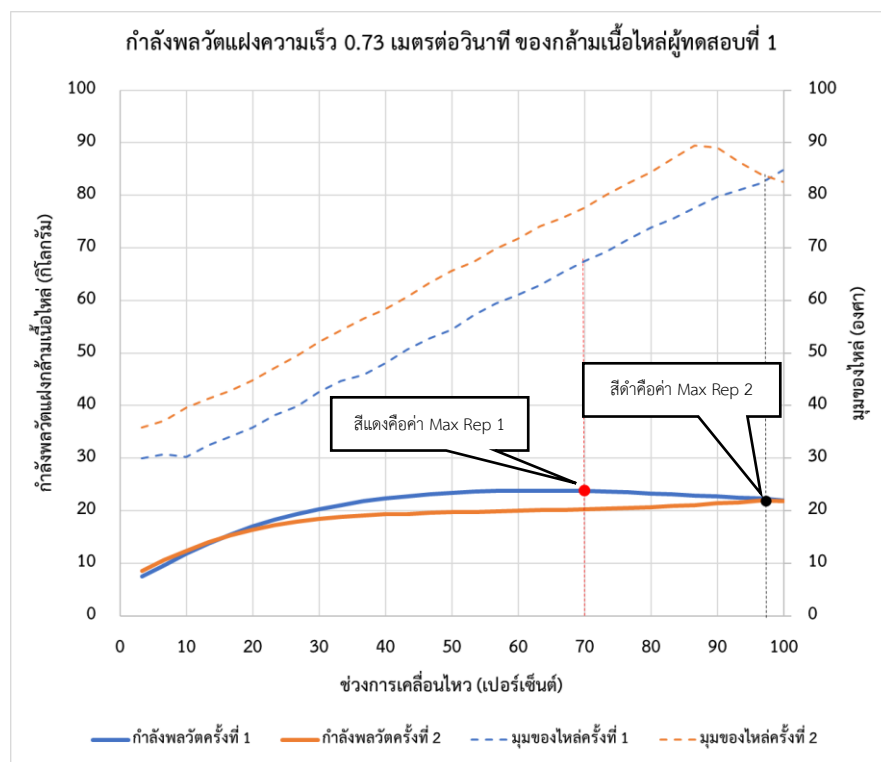
ตารางที่ 4.41 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการใช้สมการพยากรณ์ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	75.05	74.02
2	75.46	76.39
3	76.42	75.83
4	81.82	80.50
5	35.65	35.74
6	37.02	36.33
7	37.36	36.73
8	36.63	36.56



#### 4.4.2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อไหล่

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.21 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่เปรียบเทียบกับมัมของไหลของผู้ทดสอบที่ 1

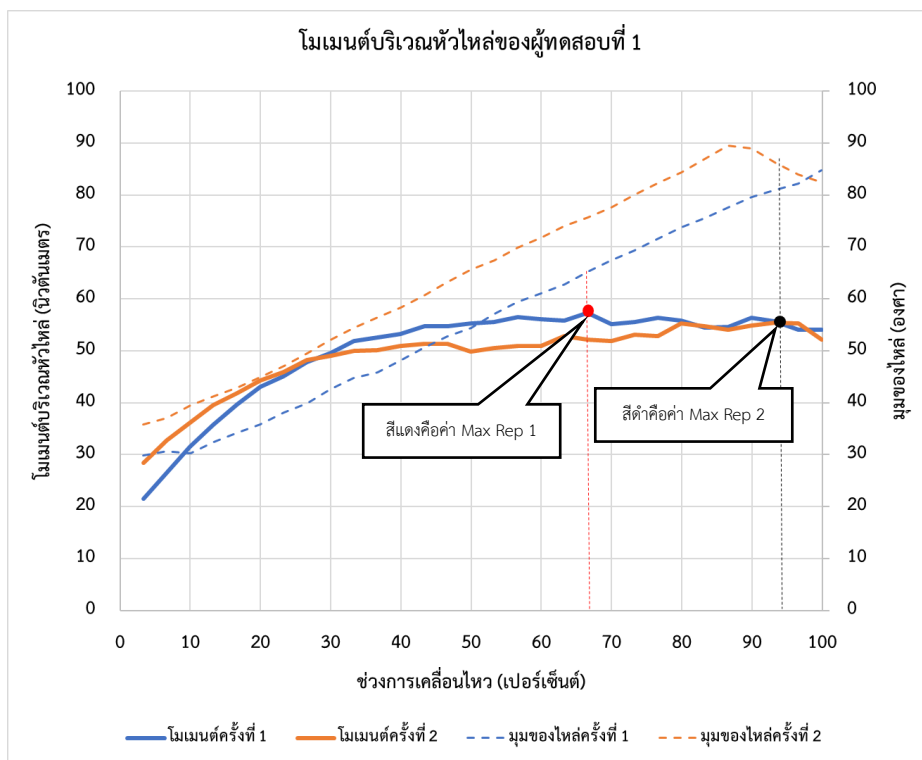
จากรูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 23.8 กิโลกรัม มัมของไหลอยู่ที่ 65.27 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 66.79 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 21.9 กิโลกรัม มัมของไหลอยู่ที่ 83.96 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 96.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.42 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ ไหล่ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมของไหล่ (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	23.8	21.9	65.27	83.96
2	27.5	27.2	66.73	62.16
3	32.5	33	66.41	63.15
4	42.7	44.3	83.21	83.46
5	16	15.4	48.56	43.80
6	13.9	13.5	89.10	81.37
7	14.7	14.3	40.94	73.21
8	26.4	24.4	66.59	66.53

จากตารางที่ 4.42 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 4 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่สูงสุดคือ 44.3 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 83.46 องศา อยู่ช่วงการเคลื่อนไหวที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขนสูงสุดคือ 26.4 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 66.59 องศา อยู่ช่วงการเคลื่อนไหวที่ 53.76 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 81.95

2. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบกับมุมของไหล่



รูปที่ 4.22 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบน จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 57.37 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 65.27 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 66.79 วินาที ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 55.38 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 86.32 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 89.91 วินาที ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.43 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบมุมของไหล่

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มุม (องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	2.33	0.38	2.47	0.87	57.37	55.38	79.21	85.94	65.27	86.32
2	1.54	1.32	12.42	7.23	62.65	64.72	131.42	119.63	45.91	46.19
3	1.46	1.20	8.34	9.07	72.33	76.67	152.37	161.06	87.70	87.74
4	2.34	3.28	0.38	4.43	110.5	108.56	162.45	141.67	89.20	87.57
5	0.19	0.19	0.42	0.77	34.47	31.78	60.27	58.52	64.55	62.81
6	0.97	0.05	1.16	1.19	43.66	44.81	87.21	92.48	81.30	81.37
7	1.55	1.07	1.55	1.07	28.05	28.89	66.65	64.89	61.34	73.21
8	1.06	1.25	20.68	11.65	59.45	54.51	146.70	101.41	75.07	83.59

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.43 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่ โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 4 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงที่สุดคือ 110.5 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 89.20 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 87.5 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงที่สุดคือ 59.45 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 75.07 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 69.12 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 64.83 จากนั้นนำมุมระหว่างแขนส่วนล่าง และแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่โดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ดังตารางที่ 4.44



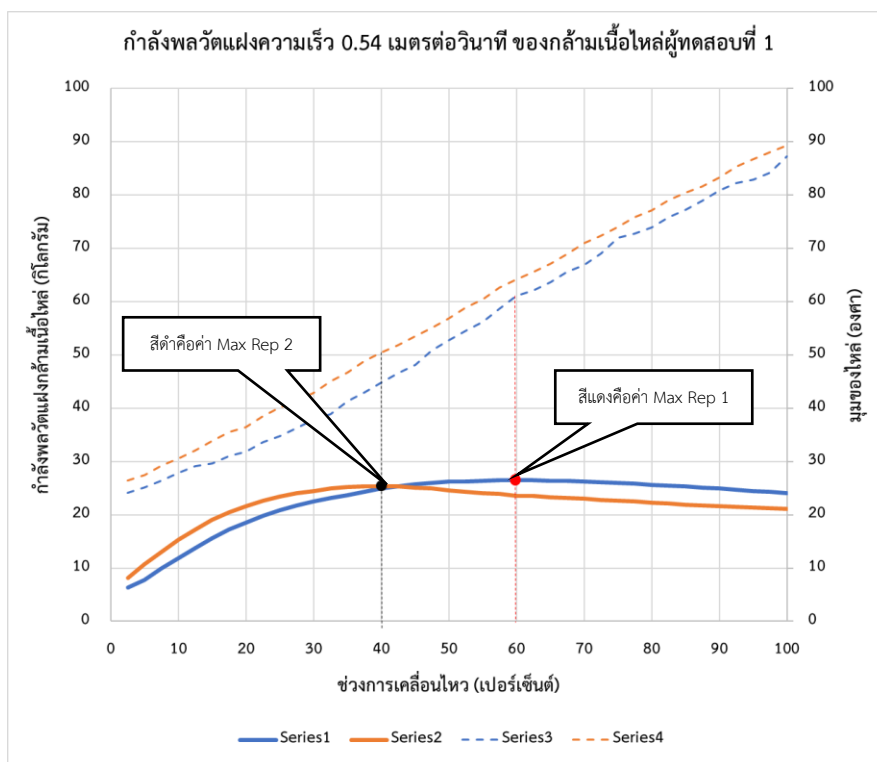
## 3. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ตารางที่ 4.44 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการใช้สมการพยากรณ์ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	73.93	74.06
2	76.67	75.65
3	74.95	74.65
4	73.88	74.58
5	35.81	35.83
6	36.32	36.37
7	36.04	37.19
8	37.42	37.12

#### 4.4.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่

1. ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่จากที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge



รูปที่ 4.23 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1

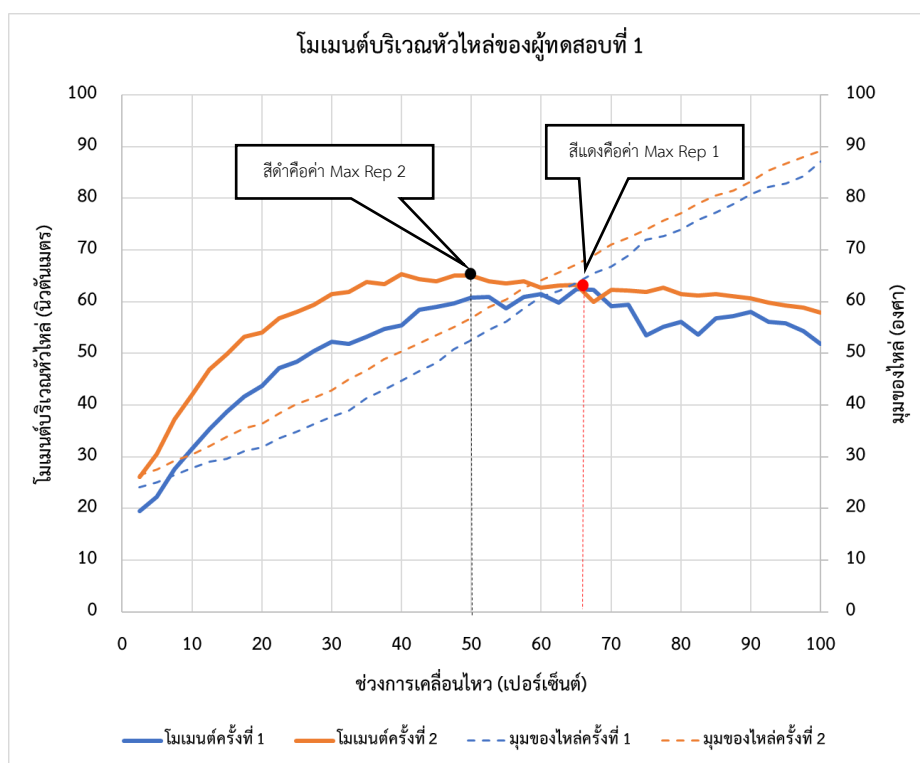
จากรูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 26.5 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 61.06 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่าวัดกำลังสูงสุดที่ 25.4 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 50.37 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาทีของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.45 ผลการเก็บข้อมูลการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อ ไหล่ ที่ได้จาก Load Cell Strain Gauge

ผู้ทดสอบ	ค่าวัดกำลัง (กิโลกรัม)		มุมของไหล่ (องศา)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	26.5	25.4	61.06	50.37
2	27.7	26.9	52.19	49.52
3	31.6	30.2	68.53	43.01
5	15	13.6	57.03	62.26
6	13.5	14.2	70.41	68.84

จากตารางที่ 4.45 ในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่สูงสุดคือ 31.6 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 68.53 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่าผู้ทดสอบที่ 5 มีค่าวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่สูงสุดคือ 15 กิโลกรัม มีมุมของไหล่อยู่ที่ 57.03 องศา โดย ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศชายมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสูงสุดในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 99.28

2. ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ของผู้ทดสอบที่ 1



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบที่ 1

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ของผู้ทดสอบที่ 1 โดยจุดสีแดงคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่า 62.43 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 63.60 องศา และอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งมีค่า 65.38 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 50.37 องศา อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.46 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่โดยเปรียบเทียบมุมของไหล่

ผู้ทดสอบ	ข้อมือ		ข้อศอก		หัวไหล่		หลังส่วนล่าง		มูม(องศา)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	1.36	0.06	2.38	7.14	62.43	65.38	75.28	91.89	63.60	50.37
2	1.55	1.85	6.64	6.88	65.17	50.45	91.93	96.86	67.89	56.88
3	0.84	5.96	8.84	28.68	81.38	91.27	117.42	148.23	67.20	41.91
5	1.16	0.90	3.82	1.43	39.72	38.56	64.51	59.46	76.79	71.26
6	0.10	0.77	1.95	6.53	42.52	41.40	97.50	97.00	85.84	75.34

หมายเหตุ : R1 ครั้งที่ 1, R2 ครั้งที่ 2 (หน่วยนิวตันเมตร)

จากตารางที่ 4.46 คือผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก และหลังส่วนล่าง ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่ โดยในกลุ่มผู้ทดสอบเพศชายพบว่า ผู้ทดสอบที่ 3 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงที่สุดคือ 91.27 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 41.91 องศา ส่วนในกลุ่มผู้ทดสอบเพศหญิงพบว่า ผู้ทดสอบที่ 6 มีค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่สูงที่สุดคือ 45.52 นิวตันเมตร มีมุมของไหล่อยู่ที่ 85.84 องศา โดยผลการคำนวณโมเมนต์จากการทดสอบกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่มีค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศชายมากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ในเพศหญิงอยู่ที่ร้อยละ 57.02 จากนั้นนำมาหามุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนมาคำนวณหาค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่โดยใช้สมการพยากรณ์จากหัวข้อที่ 2.4 จะได้ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่ดังตารางที่ 4.55

### 3. ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ตารางที่ 4.47 ผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการคำนวณโดยใช้สมการพยากรณ์

ผู้ทดสอบ	ค่าโมเมนต์บริเวณหัวไหล่จากการใช้สมการพยากรณ์ (นิวตันเมตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	73.28	72.69
2	74.23	74.56
3	75.37	74.08
5	36.59	36.11
6	36.14	36.61

### 4.4.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังสูงสุดจากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่

ตารางที่ 4.48 ค่าความแตกต่างของค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของกำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิตและจากการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1	ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2	ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2
1	17.18	33.08	15.36
2	20.48	20.26	-0.18
3	7.20	1.15	-5.65
4	8.21	-	-
5	56.22	42.29	-8.92
6	18.21	19.50	1.09
7	6.23	-	-
8	64.40	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	24.54(22.69)	23.26(15.57)	0.34(9.32)

หมายเหตุ : S คือการวัดกำลังสถิต, D1 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, D2 คือการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D1 = [(ค่าสูงสุดของ D1 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] ×

ค่าความแตกต่างระหว่าง S และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - ค่าสูงสุดของ S) / ค่าสูงสุดของ S] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง D1 และ D2 = [(ค่าสูงสุดของ D2 - ค่าสูงสุดของ D1) / ค่าสูงสุดของ D1] x 100

จากตารางที่ 4.48 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 24.54 เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 23.26 ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 0.34 โดยมีผู้ทดสอบที่ 2, 3 และ 5 มีค่ากำลังสูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่ากำลังสูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

#### 4.4.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและการวัดกำลังพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่

ตารางที่ 4.49 ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์สูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่คำนวณได้จากการวัดกำลังสถิตและพลวัตแฝงของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2
1	-11.01	0.88	13.36
2	-12.11	-20.23	-9.23
3	-2.52	15.28	18.26
4	-9.25	-	-
5	-13.39	2.33	18.15
6	-1.91	-6.94	-5.13
7	-13.81	-	-
8	10.90	-	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	-6.64(8.45)	-1.74(13.05)	7.08(13.24)

หมายเหตุ : MS คือโมเมนต์การวัดกำลังสถิต, MD1 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD1 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD1} - \text{ค่าสูงสุดของ MS}) / \text{ค่าสูงสุดของ MS}] \times 100$

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ MD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD2} - \text{ค่าสูงสุดของ MS}) / \text{ค่าสูงสุดของ MS}] \times 100$

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ MD2 =  $[(\text{ค่าสูงสุดของ MD2} - \text{ค่าสูงสุดของ MD1}) / \text{ค่าสูงสุดของ MD1}] \times 100$

จากตารางที่ 4.49 พบว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 6.64 โดยมีผู้ทดสอบที่ 8 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบสถิตอยู่ที่ร้อยละ 1.74 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1, 3 และ 5 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบสถิต ส่วนค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที มากกว่าค่าเฉลี่ยของโมเมนต์สูงสุดด้วยการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที อยู่ที่ร้อยละ 7.08 โดยมีผู้ทดสอบที่ 2 และ 6 มีค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าค่าโมเมนต์สูงสุดจากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที



4.4.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อไหล่

ตารางที่ 4.50 ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบทั้ง 2 ครั้งของโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตและค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์ของกล้ามเนื้อไหล่ แสดงค่าเป็นร้อยละ

ผู้ทดสอบ	ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ ES	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ ED1	ค่าความแตกต่างระหว่าง MD2 และ ED2
1	17.65	31.26	14.21
2	4.78	19.58	28.69
3	1.66	2.47	-13.44
4	-32.75	-32.23	-
5	-6.68	8.12	-7.13
6	-18.66	-13.60	-13.31
7	12.16	28.62	-
8	-28.78	-34.59	-
เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	-6.33(18.74)	0.68(26.19)	1.80(16.83)

หมายเหตุ : MS คือโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิต , MD1 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที, MD2 คือโมเมนต์จากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที , ES คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังสถิต, ED1 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที และ ED2 คือค่าโมเมนต์จากการพยากรณ์ขณะเกิดโมเมนต์สูงสุดจากการวัดกำลังพลแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

ค่าความแตกต่างระหว่าง MS และ ES = [(ค่าสูงสุดของ ES - ค่าสูงสุดของ MS) / ค่าสูงสุดของ MS] x 100

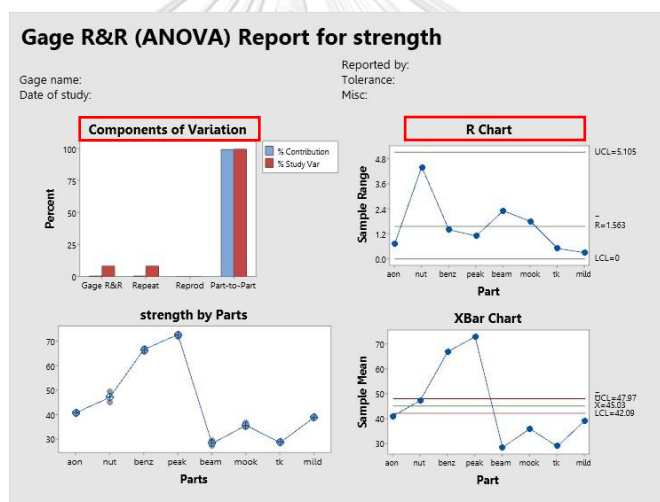
ค่าความแตกต่างระหว่าง MD1 และ ED1 = [(ค่าสูงสุดของ ED1 - ค่าสูงสุดของ MD1) / ค่าสูงสุดของ MD1] x 100

ค่าความแตกต่างระหว่าง MD2 และ ED2 = [(ค่าสูงสุดของ ED2 - ค่าสูงสุดของ MD2) / ค่าสูงสุดของ MD2] x 100

จากตารางที่ 4.50 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ และสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ โดยเฉลี่ยร้อยละ 6.33 โดยมีผู้ทดสอบที่ 1, 2, 3 และ 7 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดแบบสถิต ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่และสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.68 โดยมีผู้ทดสอบ 4, 6 และ 8 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่และสมการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์มีค่า มากกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่ ร้อยละ 1.8 โดยมีผู้ทดสอบ 3, 5 และ 6 มีค่าโมเมนต์จากสมการพยากรณ์น้อยกว่าค่าโมเมนต์จากการวัดแบบพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

#### 4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบใช้งานเครื่องวัดกำลังโดย Gage R&R ใน Program Minitab

การประเมินผลระบบความเที่ยงวิเคราะห์ความผันแปรด้านความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการให้ผลซ้ำ (Reproducibility) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยการนำข้อมูลการวัดกำลังในแต่ละท่าและวิธีการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab โดยการแทนค่าในโปรแกรม Part คือ ผู้ทดสอบที่ 1 ถึงผู้ทดสอบที่ 8 ซึ่งจะแทนค่ากำลังสูงสุดของการทดสอบครั้งที่ 1 และการทดสอบครั้งที่ 2 และงานวิจัยนี้จะมีผู้วัดเพียง 1 คน หรือมี Operator เพียง 1 คน ซึ่งจะยกตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ส่วนกราฟแสดงผลการวิเคราะห์และผลวิเคราะห์ของ Gage R&R สำหรับท่าทดสอบอื่นจะอยู่ในภาคผนวก ง



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.25 กราฟ Components of Variation พบว่าความแปรปรวนเนื่องจากความแตกต่างของกำลังสถิติสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน (Part to Part) มีค่ามากกว่าความแปรปรวนเนื่องจากระบบการวัดของเครื่องมือ (Total Gage R&R) จึงสรุปได้ว่า ความผันแปรส่วนใหญ่ของระบบวัดกำลัง มาจากความแตกต่างของกำลังสถิติสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน และจากแผนภูมิในการควบคุม (R Chart) พบว่าค่ากำลังสถิติสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน มีพิสัยอยู่ในการควบคุมแสดงว่าค่ากำลังสูงสุดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ที่วัดได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละครั้ง

One-Way ANOVA Table					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	3848.61	549.801	275.849	0.000
Repeatability	8	15.95	1.993		
Total	15	3864.55			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

Gage R&R		
Variance Components		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1.993	0.72
Repeatability	1.993	0.72
Part-To-Part	273.904	99.28
Total Variation	275.897	100.00

Gage Evaluation			
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1.4118	8.4707	8.50
Repeatability	1.4118	8.4707	8.50
Part-To-Part	16.5500	99.3003	99.64
Total Variation	16.6102	99.6609	100.00

Number of Distinct Categories = 16

รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสติดของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA with Interaction) ในรูปที่ 4.26 พบว่ากำลังสติดสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน (Parts) มีค่า P-value = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 กล่าวคือ กำลังสติดสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดเป็น 275.897 คิดเป็น 100 % พบว่าเป็นผลมาจากผลรวมของค่าความแปรปรวนของความแตกต่างของกำลังสติดสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคน 273.904 คิดเป็น 99.28 % และค่าความแปรปรวนของระบบการวัด 1.993 คิดเป็น 0.72 % ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมดจึงเท่ากับ 16.6102 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากความแตกต่างของกำลังสติดสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคนเท่ากับ 16.5500 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัดเพียง 1.4118
- ความผันแปรจากระบบการวัด (SV) ทั้งหมดเท่ากับ 99.6609 โดยเป็นความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 8.4707 และความผันแปรจากความแตกต่างของกำลังสติดสูงสุดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบแต่ละคนเท่ากับ 99.3003
- ค่าความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของระบบการวัด (%SV หรือ P/TV) พบว่ามีความผันแปรจากชิ้นงานเท่ากับ 99.64 และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 8.5% มีค่าน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามการอ้างอิงจาก Automotive Industry

Action Group (AIAG) ตามตารางที่ 4.51 ดังนั้นระบบการวัดนี้มีความเที่ยงและมีความผันแปรที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.51 เกณฑ์การยอมรับ (AIAG), 2002 อ้างจาก (ศศิธร สิมสวัสดิ์, 2557)

ค่า Gage R&R	ความหมายในการยอมรับ
P/T หรือ P/TV $\leq$ 10%	ยอมรับได้โดย ไม่ต้องแก้ไข
10% < P/T หรือ P/TV < 30%	อาจยอมรับได้ โดยต้องพิจารณาความเหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ
P/T หรือ P/TV $\geq$ 30%	ไม่สามารถยอมรับระบบการวัดได้

ตารางที่ 4.52 ความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) ของผู้ทำทดสอบอื่น ๆ

ลำดับ	ท่าที่ใช้ทดสอบ	ค่า Gage R&R
1	กำลังสถิตกล้ำเนื้อแขน	13.76
2	กำลังสถิตกล้ำเนื้อไหล่	7.71
3	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อส่วนต่าง ๆ	7.80
4	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อแขน	10.22
5	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อไหล่	8.15
6	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อส่วนต่าง ๆ	5.04
7	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อแขน	12.07
8	กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ำเนื้อไหล่	10.03

จากตารางที่ 4.52 ผลการวิเคราะห์ท่าทดสอบอื่น มีค่าความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) ของผู้ทำทดสอบอื่นมีค่าน้อยกว่า 30% แสดงว่าเครื่องมือวัดกำลังนั้นเที่ยงตรงและยอมรับได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการผลการวัดความแตกต่างจากการวัดกำลังสถิต การวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที(2) ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่ โดยเก็บข้อมูลจากการวัดกำลังสถิต และการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที จากผู้ทดสอบจำนวน 8 คน แบ่งเป็นเพศชาย 4 คน และเพศหญิง 4 คน ส่วนการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ได้เก็บข้อมูลจากผู้ทดสอบจำนวน 5 คน แบ่งเป็นเพศชาย 3 คน และเพศหญิง 2 คน โดยทำการทำการเก็บข้อมูลของผู้ทดสอบคนละ 2 ครั้ง

(1) คือ กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที

(2) คือ กำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที

#### 5.1 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

1. ค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 27.21 และ 19.28 ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) มากกว่าค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 11.37

2. ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่ามากกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณจากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 4.08 และ 6.34 ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) มากกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 5.32

3. ผลการคำนวณแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 4.35 และ 0.17 ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) มีค่ามากกว่าผลการคำนวณแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.65

4. ผลการคำนวณจากสมการพยากรณ์นั้นจะใช้เพียงมุมของลำตัวในการคำนวณโดยไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนัก ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) การวัดกำลังพลวัตแฝง(2) และการวัดกำลังสถิต มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์โดยสมการพยากรณ์นั้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 48.05 42.31 และ 59.59 ดังนั้นหากต้องการค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อขอหลังส่วนล่างที่แท้จริงจึงควรใช้การประเมินในหลักชีวกลศาสตร์แทน

5. การวัดกำลังสถิตโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งของของกำลังสูงสุด โมเมนต์สูงสุด และแรงกดอัดสูงสุดจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน ส่วนการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงโดยส่วนใหญ่ ตำแหน่งการเคลื่อนไหวที่เกิดโมเมนต์สูงสุดและแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน และกำลังสูงสุดจะเกิดในช่วงท้ายของการเคลื่อนไหว แต่ยังคงมีผู้ทดสอบบางคนในช่วงการเคลื่อนไหวที่เกิดโมเมนต์สูงสุดจะเกิดก่อนแรงกดอัดสูงสุดช่วงการเคลื่อนไหวที่เกิด

6. ค่ากำลังจากการวัดกำลังแบบสถิตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 – 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเริ่มคงที่แล้วค่อย ๆ ลดลงไปจนจบการเคลื่อนไหวเนื่องจากไม่มีการเคลื่อนที่ ส่วนการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงค่ากำลังจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ เพราะกำลังจะแปรผันตามมุมของข้อต่อหลังส่วนล่างที่เปลี่ยนไป โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 – 50 เปอร์เซ็นต์จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปจนจบการเคลื่อนไหว และมีค่ากำลังมากกว่าการวัดกำลังแบบสถิตซึ่งตรงตามทฤษฎีที่ว่า การวัดกำลังแบบพลวัตจะมีค่ามากกว่าการวัดกำลังแบบสถิต ส่วนโมเมนต์บริเวณหลังเปรียบเสมือนการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง โดยจากการวัดกำลังแบบสถิตและพลวัตแฝงนั้นแตกต่างกันไม่มาก หมายความว่าผู้ทดสอบสามารถรับภาระงานได้เพิ่มมากขึ้น โดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อหลังเพิ่มขึ้นไม่มาก ส่วนแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างเป็นตัวชี้วัดระดับความปลอดภัยจากการทำงาน โดยถูกกำหนดไว้ไม่เกิน ร้อยละ 60 ของค่าแรงกดสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต ถึงแม้ค่าเฉลี่ยแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนของผู้ทดสอบทั้งหมดจากการวัดกำลังแบบสถิตและพลวัตแฝงจะแตกต่างกันไม่มาก แต่ยังคงมีผู้ทดสอบบางคนที่มีค่าแรงกดอัดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงมากกว่าค่าแรงกดอัดจากการวัดกำลังสถิต หมายความว่าแรงกดอัดจากการวัดกำลังพลวัตแฝงยังคงมีมากกว่าแบบสถิต

## 5.2 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อแขน

1. ค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 3.72 และ 4.19 ตามลำดับ ส่วนค่ากำลัง

สูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) น้อยกว่าค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.11

2. ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง (1) มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกที่คำนวณจากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 3.74 และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่ามากกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกที่คำนวณจากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.06 ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) น้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของข้อศอกที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 1.66

3. ผลการคำนวณจากสมการพยากรณ์นั้นจะใช้มุมระหว่างแขนส่วนล่างแขนส่วนบน รวมถึงมุมระหว่างไหล่และสะโพกในการคำนวณโดยไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนัก ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อศอกจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) การวัดกำลังพลวัตแฝง(2) และการวัดกำลังสถิต มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์โดยสมการพยากรณ์นั้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 9.70 14.88 และ 14.91 โดยจะมีเพียงผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อข้อศอกจากการวัดกำลังสถิตที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด

4. ค่ากำลังจากการวัดกำลังแบบสถิตและแบบพลวัตแฝงกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 - 40 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่แล้วค่อยๆ ลดลงโดยค่ากำลังสูงสุดของการวัดกำลังแบบสถิตมากกว่าแบบพลวัตแฝง ส่วนค่าโมเมนต์บริเวณข้อต่อของข้อศอกแบบพลวัตแฝงมากกว่าซึ่งตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์สูงสุดโดยส่วนใหญ่จะมีมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนน้อยกว่า 90 องศา

5. จากการวัดกำลังสถิตโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งของของกำลังสูงสุดและโมเมนต์สูงสุด จะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน ส่วนการกำลังพลวัตแฝงโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งของของกำลังสูงสุดและโมเมนต์สูงสุดจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน แต่ยังคงผู้ทดสอบบางคนที่กำลังสูงสุดเกิดและโมเมนต์สูงสุดไม่ได้อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน ซึ่งโมเมนต์สูงสุดจะเกิดก่อนกำลังสูงสุด



### 5.3 ผลสรุปการวัดกำลังกล้ามเนื้อไหล่

1. ค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 24.54 และ 23.26 ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) น้อยกว่ากว่าค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.34

2. ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่ที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่ที่คำนวณจากการวัดกำลังสถิต โดยเฉลี่ยร้อยละ 6.64 และ 1.74 ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่ที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) น้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อของหัวไหล่ที่คำนวณจากการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) โดยเฉลี่ยร้อยละ 7.08

3. ผลการคำนวณจากสมการพยากรณ์นั้นจะใช้มุมระหว่างแขนส่วนล่างแขนส่วนบนรวมถึงมุมระหว่างไหล่และสะโพกในการคำนวณโดยไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนัก ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณหัวไหล่จากการวัดกำลังสถิตมีค่ามากกว่าผลการคำนวณโมเมนต์โดยสมการพยากรณ์นั้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 6.33 ผลการคำนวณโมเมนต์สูงสุดบริเวณข้อต่อหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) และการวัดกำลังพลวัตแฝง(2) มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณโมเมนต์โดยสมการพยากรณ์นั้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.68 และ 1.80 ตามลำดับ โดยจะมีเพียงผลการคำนวณโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหัวไหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝง(1) ที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด

4. ค่ากำลังจากการวัดกำลังแบบสถิตและแบบพลวัตกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 - 40 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ แล้วค่อยๆ ลดลง โดยค่าเฉลี่ยของการวัดกำลังแบบแบบพลวัตแฝงมากกว่าแบบสถิตรวมถึงโมเมนต์บริเวณข้อต่อของหัวไหล่

5. จากการวัดกำลังสถิตโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งของของกำลังสูงสุดและโมเมนต์สูงสุด จะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน ส่วนการกำลังพลวัตแฝงโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งของของกำลังสูงสุดและโมเมนต์สูงสุดจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน แต่ยังคงผู้ทดสอบบางคนที่กำลังสูงสุดเกิดและโมเมนต์สูงสุดไม่ได้อยู่ในช่วงการเคลื่อนไหวเดียวกัน ซึ่งโมเมนต์สูงสุดจะเกิดก่อนกำลังสูงสุด

#### 5.4 ผลสรุปจากการวัดกำลังโดยวิเคราะห์ด้วย Gage R&R

ทำที่ใช้ทดสอบการวัดกำลังสถิตและกำลังพลวัตแฝงทั้ง 9 แบบ มีค่าความผันแปรจากระบบการวัด(Total Gage R&R) น้อยกว่า 30% แสดงว่ายอมรับเครื่องมือการวัดกำลัง

#### 5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเร็วอื่นเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ และควรเพิ่มจำนวนผู้ทดสอบหรือกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. เนื่องจากการยกเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ช้า จึงใช้การวัดกำลังแบบพลวัตแฝง แต่ยังคงมีค่ากำลังมากกว่าแบบสถิต หากต้องการประเมินในลักษณะท่าทางที่เปลี่ยนหรือมีการเคลื่อนไหวที่เร็วขึ้นจึงควรใช้การประเมินในสภาวะพลวัตที่แท้จริงแทน



## บรรณานุกรม

- G.B.J. Anderson. (1981). Epidemiology aspects on low-back pain in industry. *Spine*, 6, 53-60.
- Andris Freivalds and Donna M. Fotouhi. (1986). Comparison of Dynamic Strength as Measured by The CYBEX and MINI-GYM Isokinetic Dynamometers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1 20, 189-208.
- M. M. Ayoub. (1977). Lifting Capacity of workers. *J. Human Ergol*, 6, 187-192.
- P. Brinckmann, M. Biggemann and D. Hilweg. (1989). Prediction of the Compressive Strength of human lumbar vertebrae. *Clinical Biomechanics* 14, 1-27.
- J. Ekholm, U.P. Arborelius and G. Nemeth,. (1982). The load on the lumbo-sacral joint and trunk muscle activity during lifting. *Ergonomics*, 25, 145-161.
- C. Frigo. (1990). Three-dimensional model for studying the dynamic loads on the spine during lithing. *Clinic Biomech*, 5, 143-152.
- K. H. E. Kroemer and E. Grandjean. (1999). Occupational Ergonomics. London : Taylor and Francis, 5 Edition.
- Don B. Chaffin Gunner B.J. Andersson and Bernard J.Martin. (2006). *Occupational Biomechanics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- m. Jager and A. Luttmann. (1992). The load on the lumbar spine during asymmetrical bi-manual materials handling. *Ergonomics*, 35, 783-805.
- K. H. E. Kroemer and W. S. Marras. (1981). Evaluation of Maximul and Submaximal Static Muscle Exertions. *Human Factors*, 23, 643-653.
- N. Eie. (1966). Load capacity of the low back. *journal of the Osla City Hospitals*, 16, 73-98.
- A. S. Nicholson. (1986). Manual Handling Limits- A Comparative Study. *Trends in Ergonomics/Human Factor III*, 793-800.
- P. K. Nag (1991). Endurance limits in different modes of loading holding. *Applied Ergonomics*, 22, 185-188.
- J.R. Potvin, R.W. Norman, M.E. Eckenrath, S.M. McGill and G.W. Bennett (1992). Regression models for prediction of Dynamic L4/L5 compression forces during

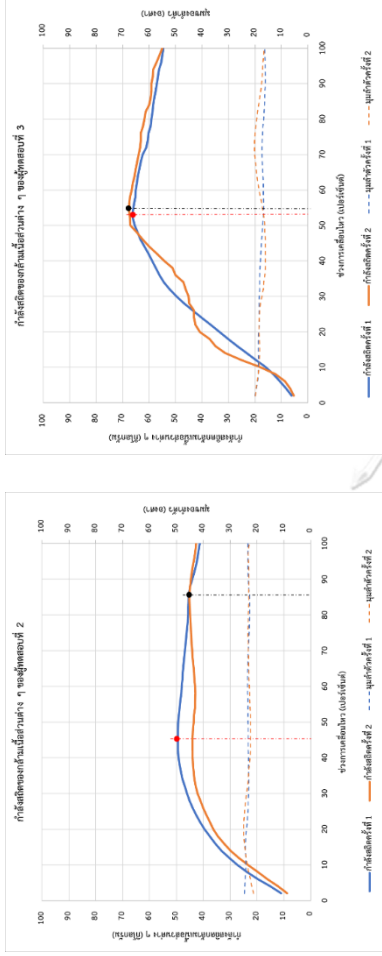
- lifting. *Ergonomics*, 35, 187-205.
- Pytel and Kamon. (1981). Published Data. *Isokinetic Strength*.
- S. H. Snook, C. H. Irvine and S. F. Bass. (1970). Maximum Weight and Work Loads Acceptable to Male Industrial Workers. *American Industrial Hygiene Association Journal*.
- D.A. Winter. (1979). Biomechanics of Human Movement. *John Wiley, NY*.
- N. Yoganandan, G. Ray, F. Pintar, J. B. Myklebust and A Jr. Sances (1989). Stiffness and strain energy criteria to evaluate the threshold of injury to an intervertebral joint. *Journal of Biomechanics*, 22, 135-142.
- โรสมารินทร์ สุขเกษม. (2546). การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของงานยกผู้ป่วยในโรงพยาบาล. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ไพโรจน์ ลดาวิตรกุล. (2542). แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบกกระสอบข้าวสาร. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- สถิติงานประกันสังคม สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน. (2556-2561).
- กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. (2531). สัดส่วนร่างกายและความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. โครงการวิจัยโดยทุนส่งเสริมการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. (2553). การยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรุฒิ ขจรเจริญ. (2561). ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบทางเดินสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทยโดยวิเคราะห์ท่าทางการเดิน. (ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ตรีมิตร จำปาวัลย์. (2538). ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในแนวระนาบหน้า-หลัง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ศศิธร สิมสวัสดิ์. (2557). โปรแกรมชีวกลศาสตร์ในสถานะสถิตแบบ 2 มิติโดยใช้แท็บเล็ต. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- สุทธิ ศรีบูรพา. (2540). เออร์กอนอมิกส์ : วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย.
- สุธาริน สุวรรณโณ. (2554). การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋าหนักของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาตามแนวชีวกลศาสตร์. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- อรอุมา ลาสุนนท์. (2542). ขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในภาระงานผสม สำหรับคนงานหญิง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,



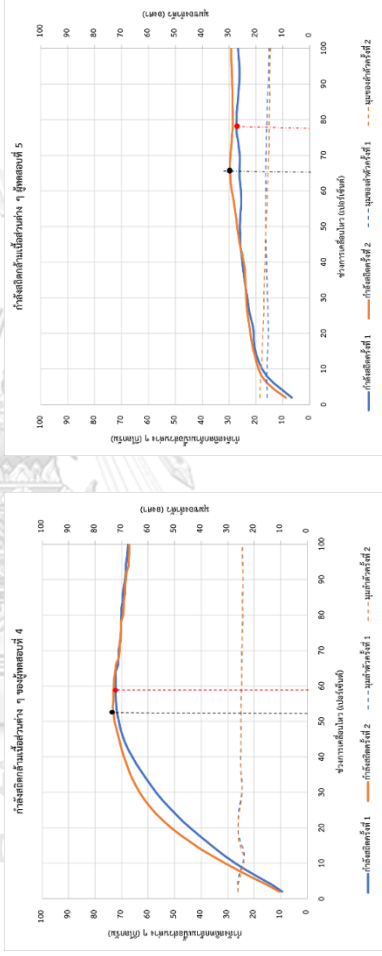
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**





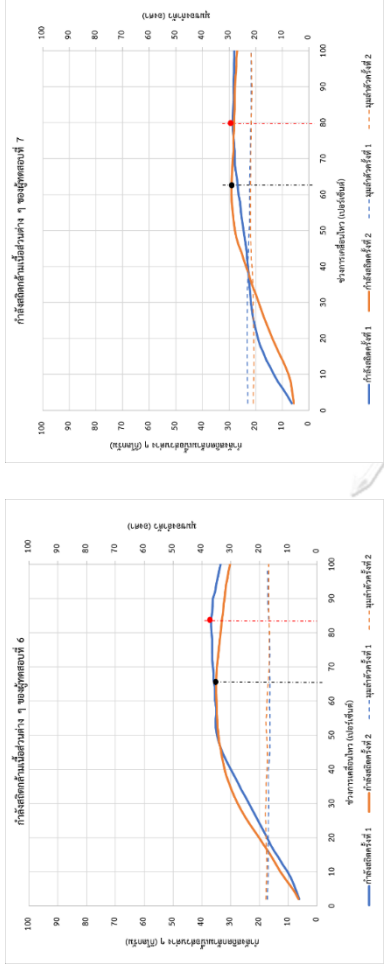


รูปที่ ก.1 ผลการเก็บข้อมูลของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3 แสดงค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อต่างๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ

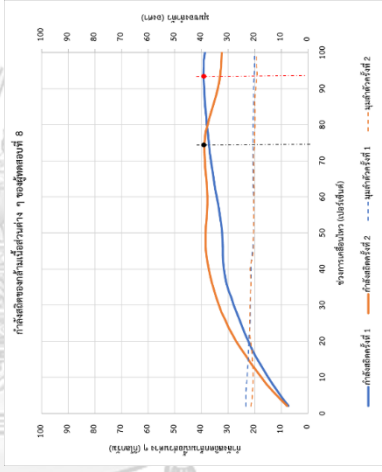


รูปที่ ก.2 ผลการเก็บข้อมูลของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5 แสดงค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อต่างๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ



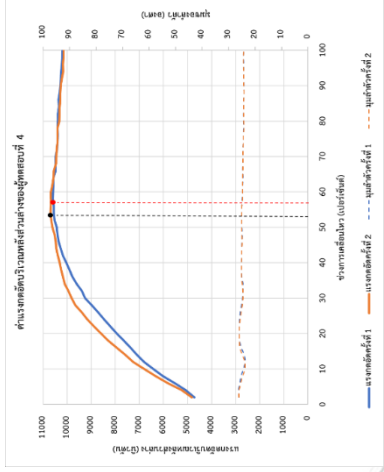
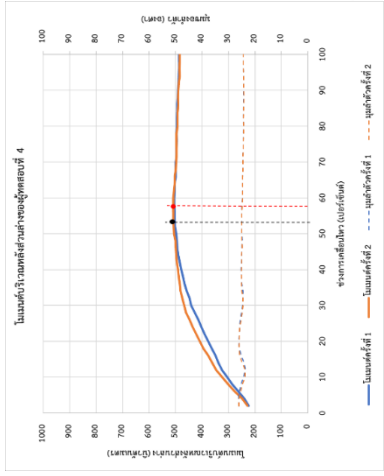


รูปที่ ก.3 ผลการเก็บข้อมูลของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7 แสดงค่าที่ได้จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ

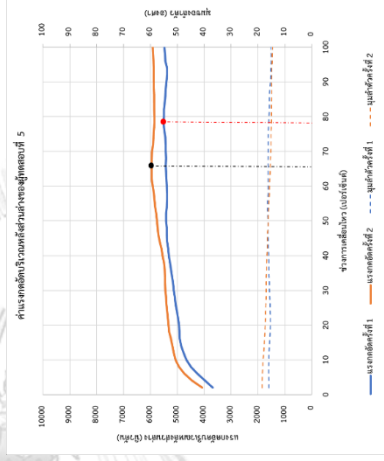
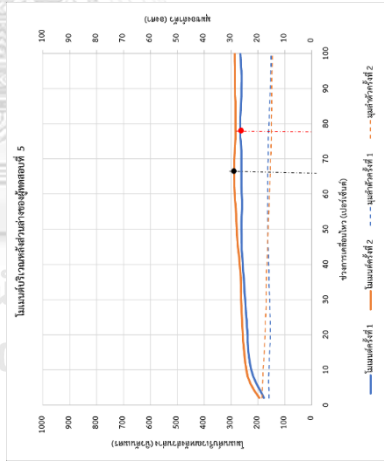


รูปที่ ก.4 ผลการเก็บข้อมูลของผู้ทดสอบที่ 8 แสดงค่าที่ได้จากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ

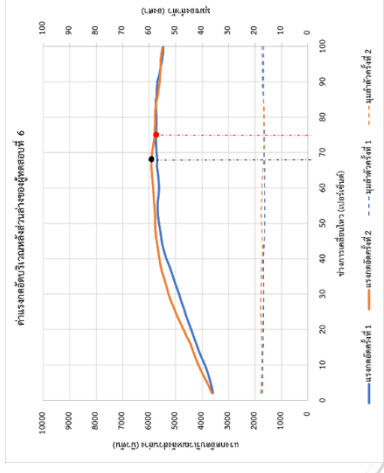
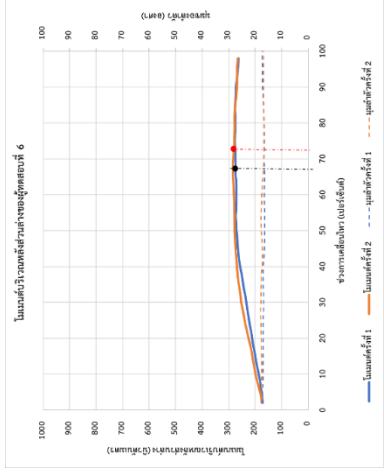




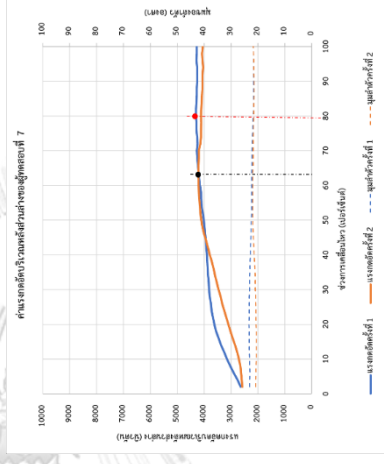
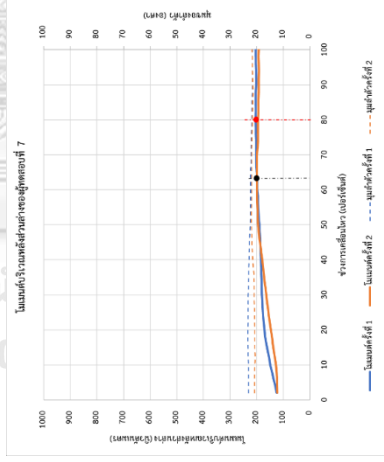
รูปที่ ก.7 ผลการคำนวณเมมเบรนและแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 4



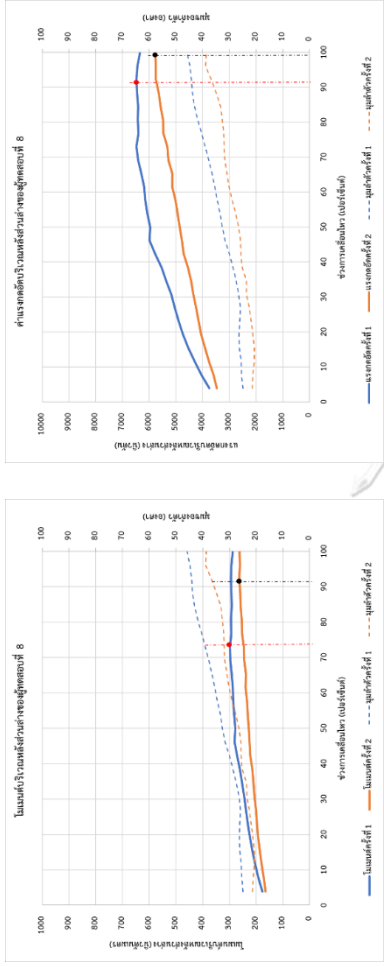
รูปที่ ก.8 ผลการคำนวณเมมเบรนและแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 5



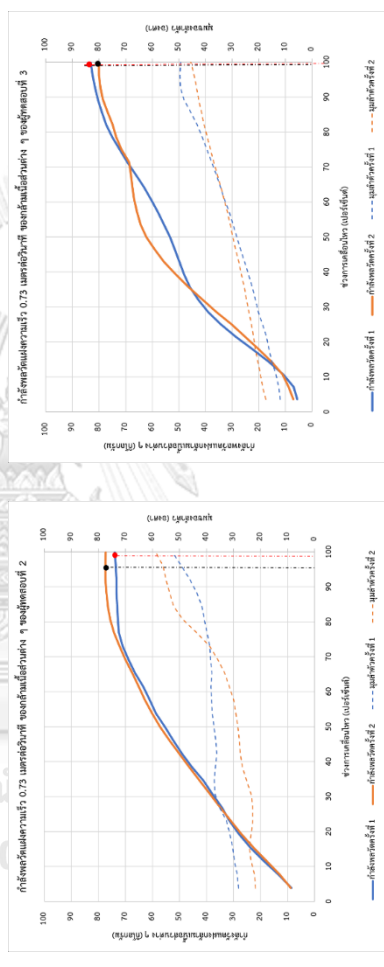
รูปที่ ก.9 ผลการคำนวณโมเมนต์และแรงกอดยึดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 6



รูปที่ ก.10 ผลการคำนวณโมเมนต์และแรงกอดยึดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 7

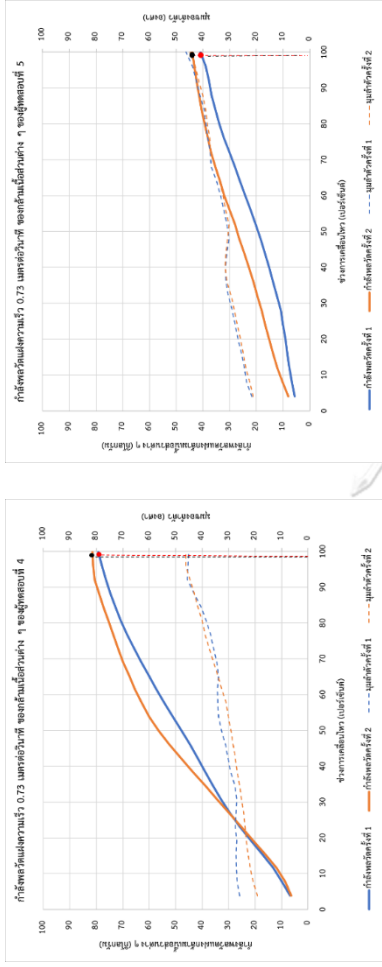


รูปที่ ก.11 ผลการคำนวณและแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังสถิตของกัมมันต์ส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 8

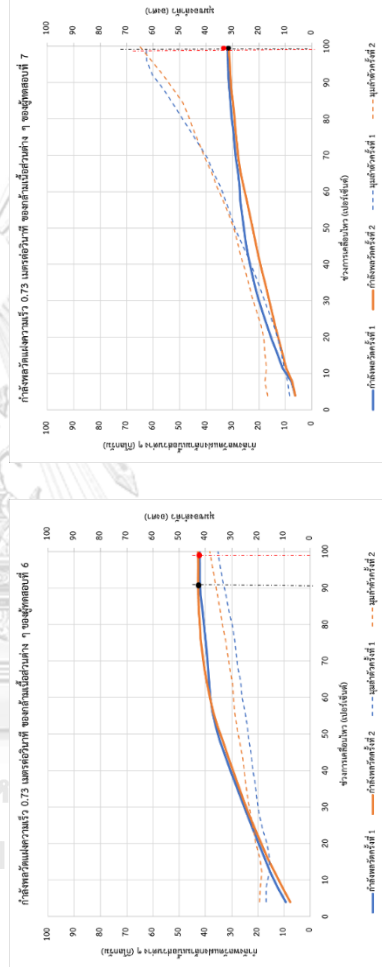


รูปที่ ก.12 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแรงแรง 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัมมันต์ส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแนวโน้มของค่าตัวเก็บแนวราบของผู้ทดสอบ

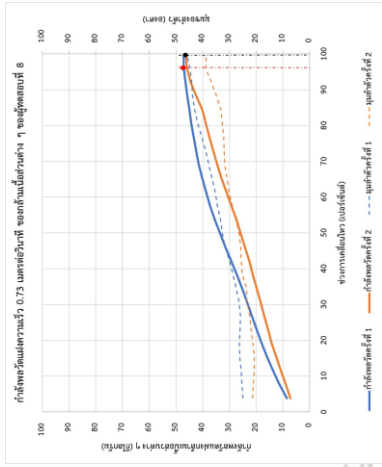
ที่ 2 และ 3



รูปที่ ก.13 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ ที่ 4 และ 5

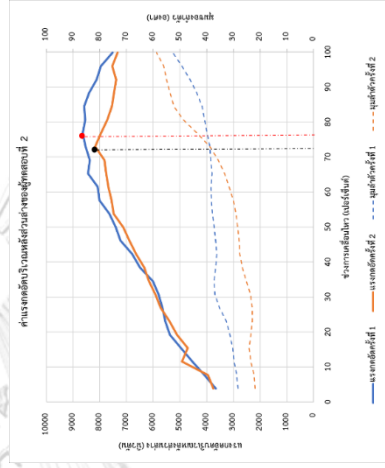
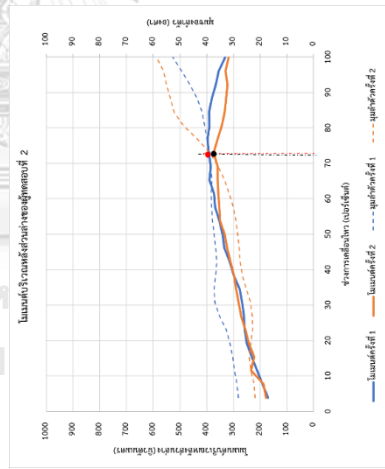


รูปที่ ก.14 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ ที่ 6 และ 7



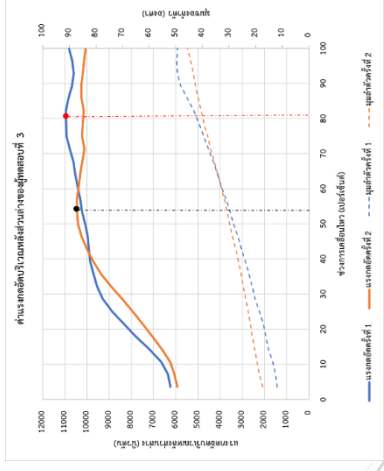
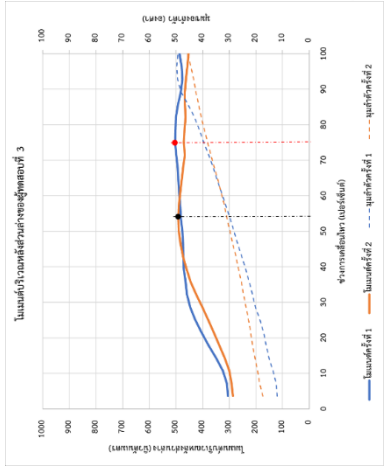
รูปที่ ก.15 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลีมน้ำแข็งส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมของลำตัวเดียวกับแนวราบของผู้ทดสอบ

ที่ 8



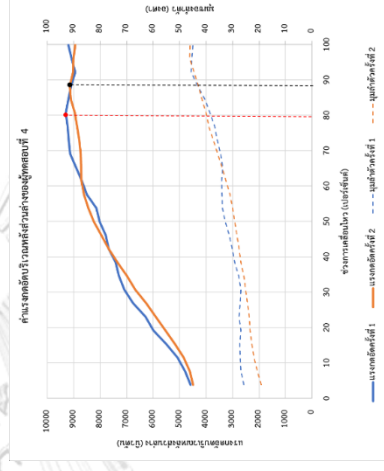
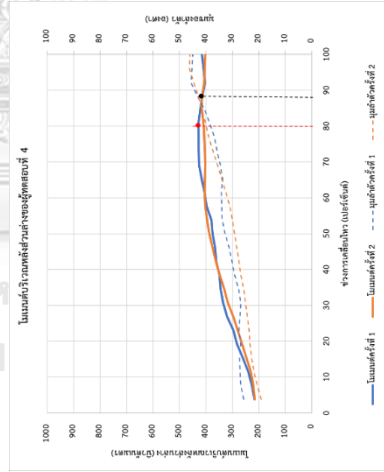
รูปที่ ก.16 ผลการคำนวณโมเมนต์และแรงกัตต์บริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลีมน้ำแข็งส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 2



รูปที่ ก.17 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแรงแควมเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลลามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

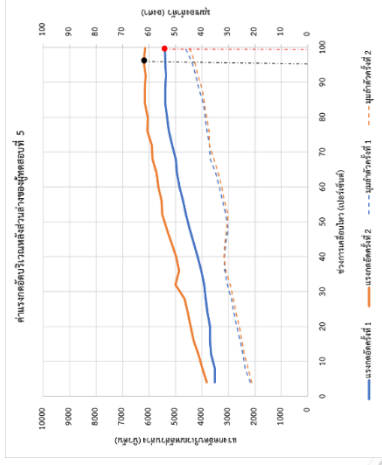
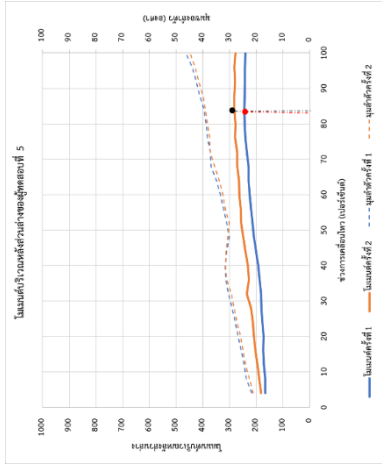
ทดสอบที่ 3



รูปที่ ก.18 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแรงแควมเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลลามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

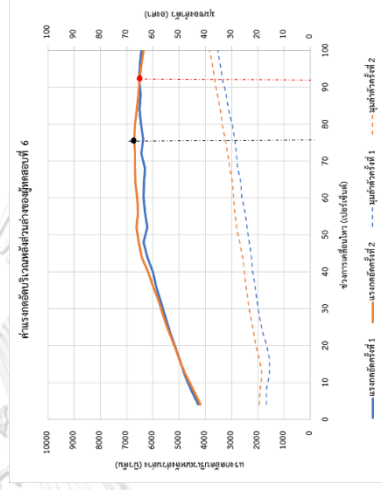
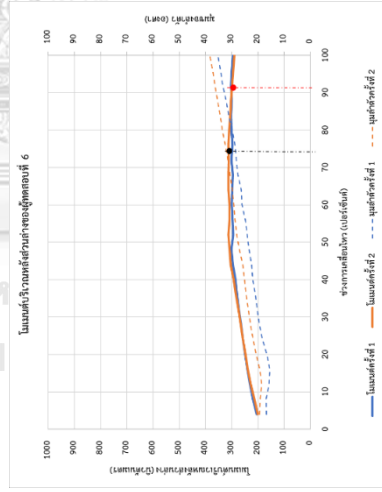
ทดสอบที่ 4





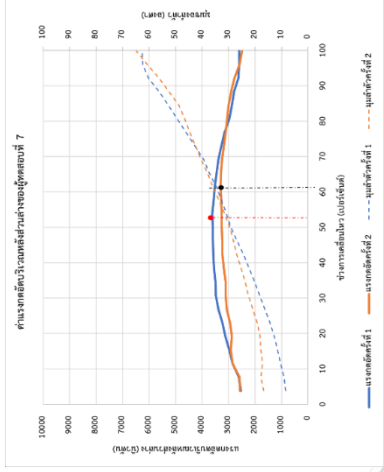
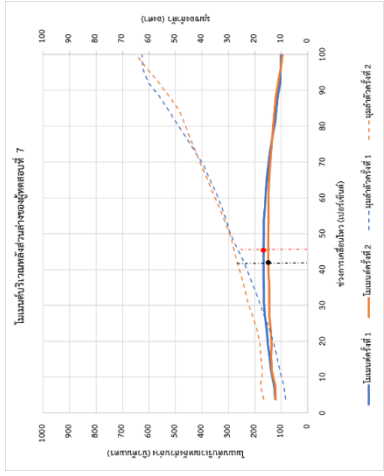
รูปที่ ก.19 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกอดัตบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมนี่เป็นส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 5



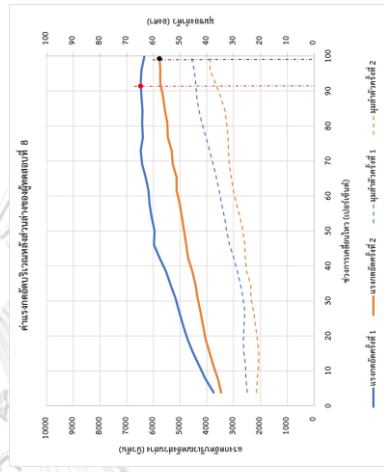
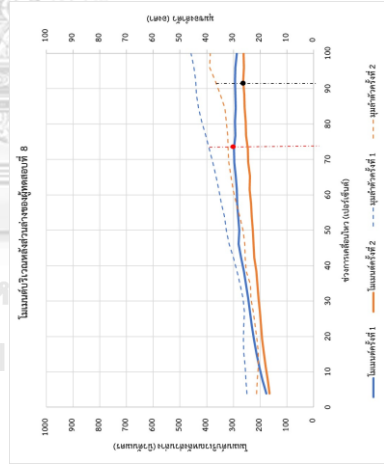
รูปที่ ก.20 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกอดัตบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมนี่เป็นส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 6



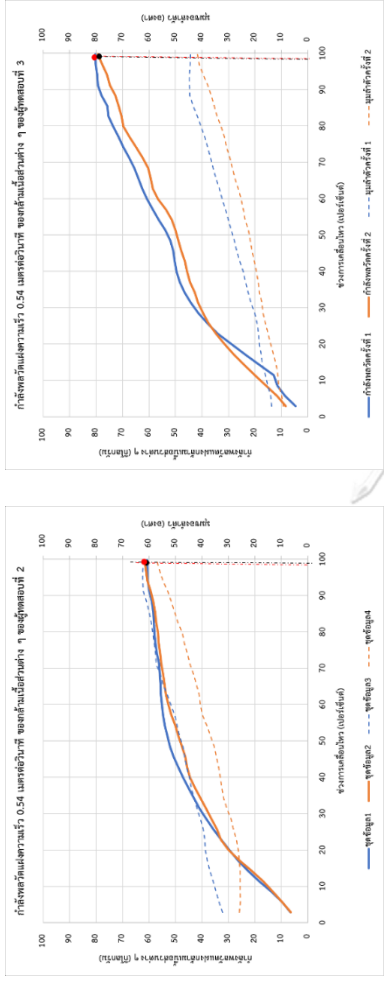
รูปที่ ก.21 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกอดัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลมเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 7



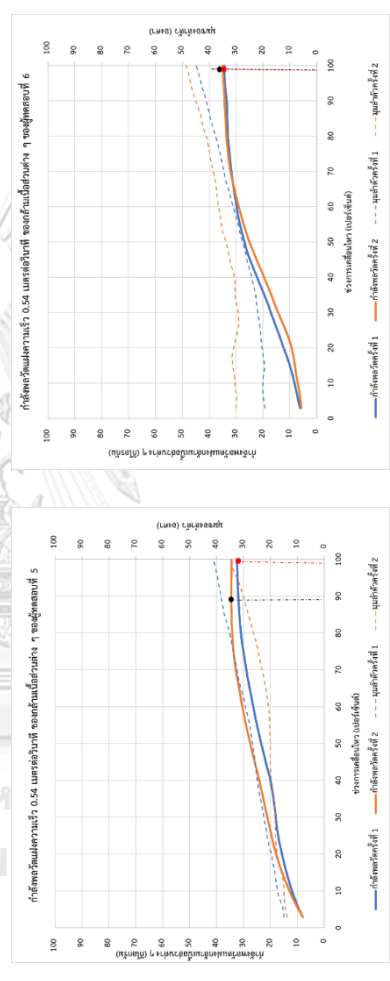
รูปที่ ก.22 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกอดัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลมเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 8



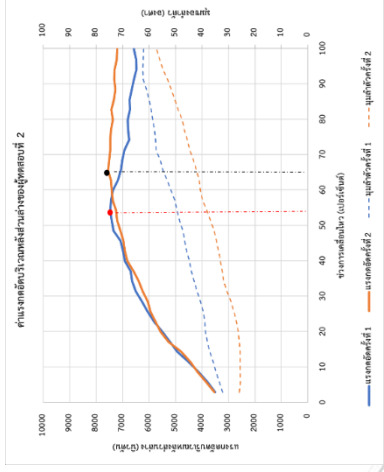
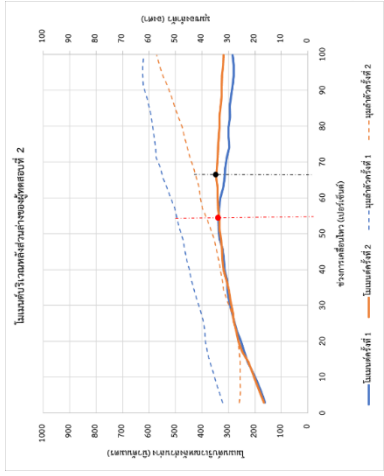
รูปที่ ก.23 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มคนส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมมองของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ

ที่ 2 และ 3



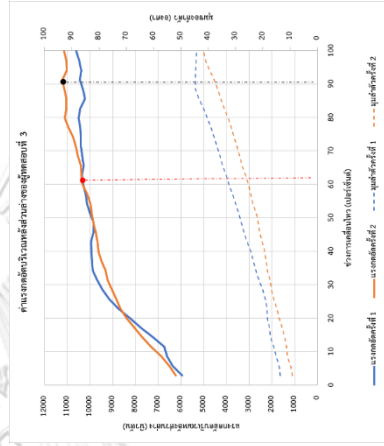
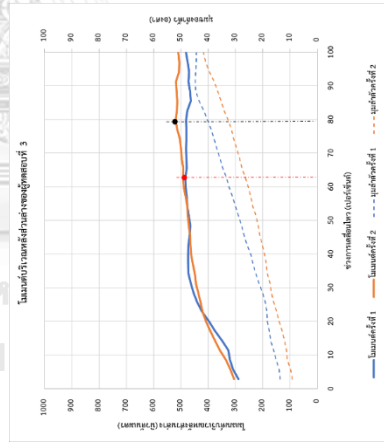
รูปที่ ก.24 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มคนส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมุมมองของลำตัวเทียบกับแนวราบของผู้ทดสอบ

ที่ 5 และ 6



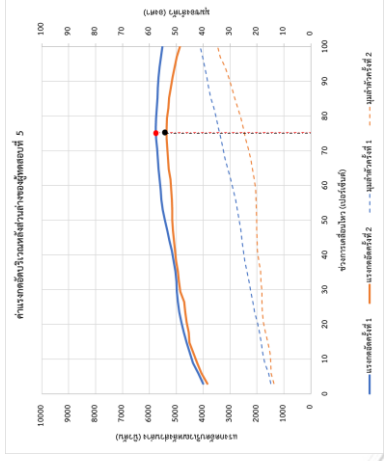
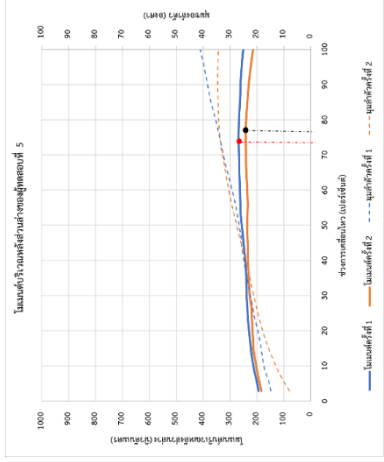
รูปที่ ก.25 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกดอัดบีรณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลีมาเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 2



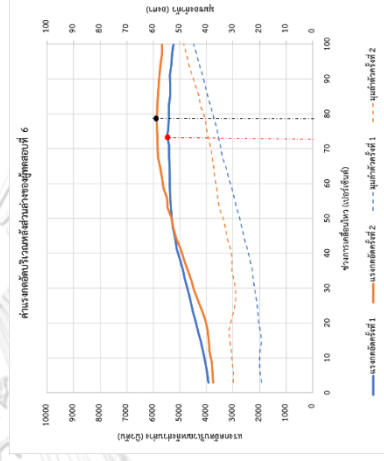
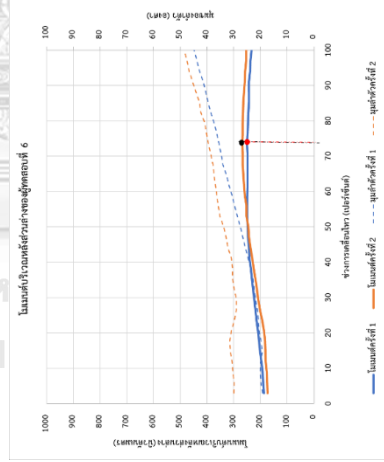
รูปที่ ก.26 ผลการคำนวณเมเนตต์และแรงกดอัดบีรณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลีมาเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 3



รูปที่ ก.27 ผลการคำนวณโมเมนต์และแรงกอดัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตด้วยความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลัมนั้นี่ส่วนต่าง ๆ ของผู้

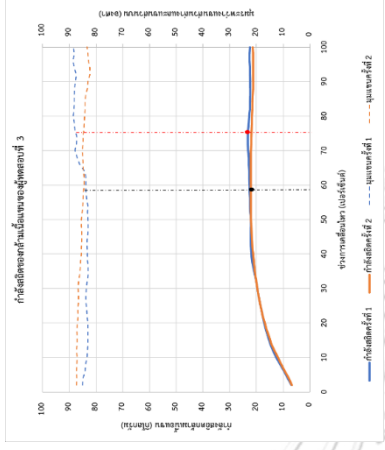
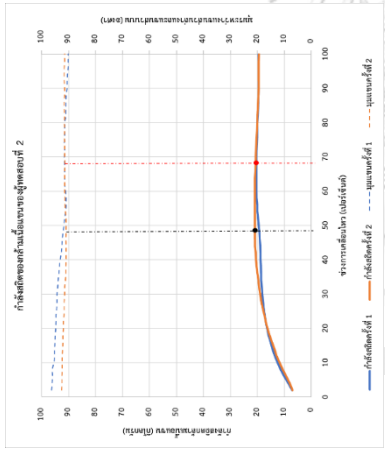
ทดสอบที่ 5



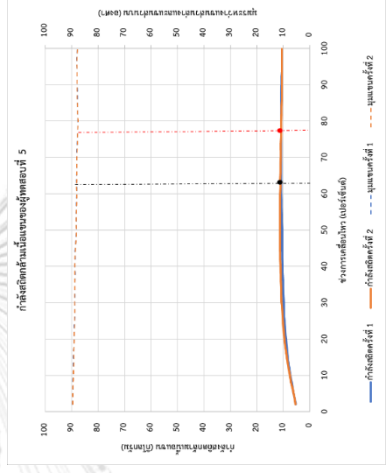
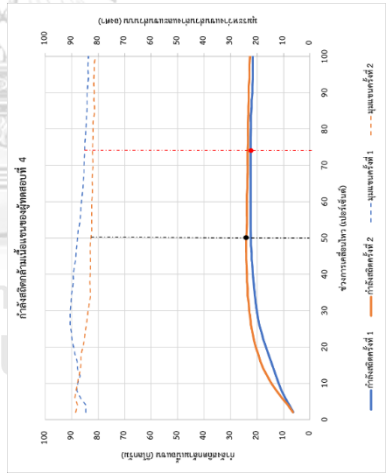
รูปที่ ก.28 ผลการคำนวณโมเมนต์และแรงกอดัดบริเวณหลังส่วนกลางจากการวัดกำลังพลวัตด้วยความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลัมนั้นี่ส่วนต่าง ๆ ของผู้

ทดสอบที่ 6

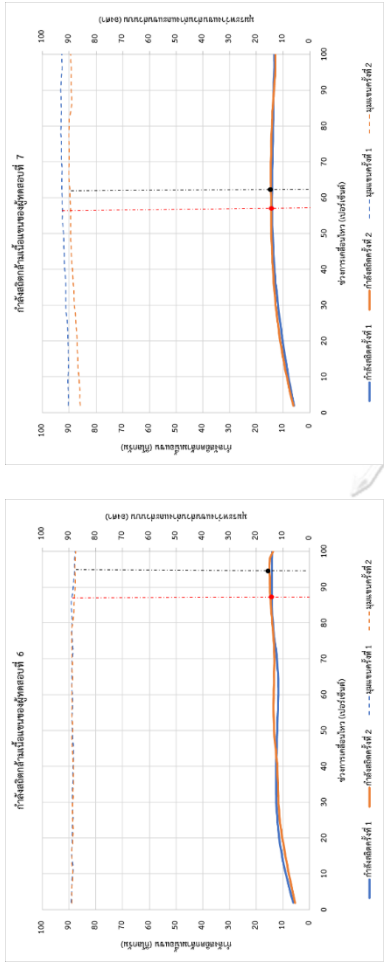




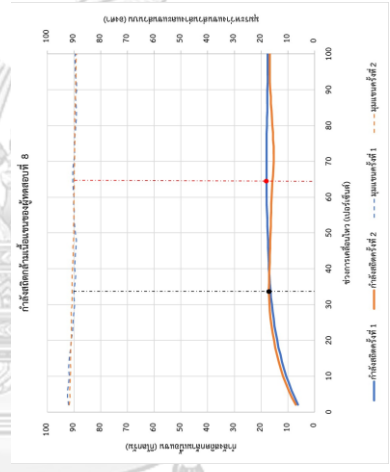
รูปที่ ข.1 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าของกั๊กลมเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เปรียบเทียบและแผนส่วนของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



รูปที่ ข.2 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าของกั๊กลมเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เปรียบเทียบและแผนส่วนของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5

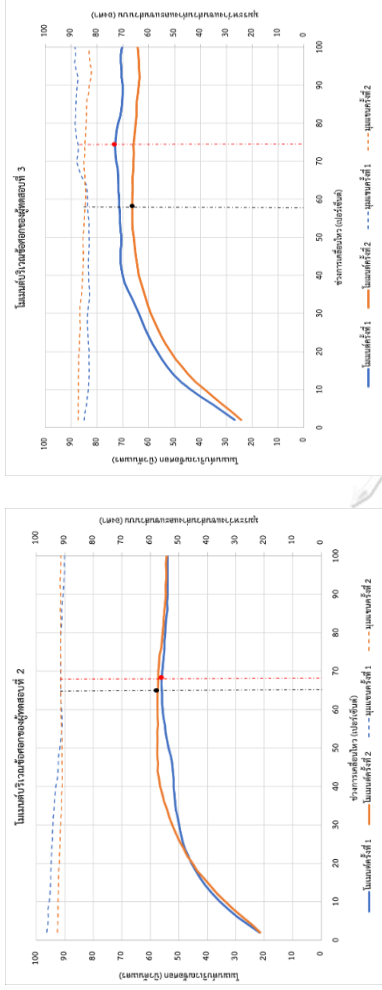


รูปที่ ข.3 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7

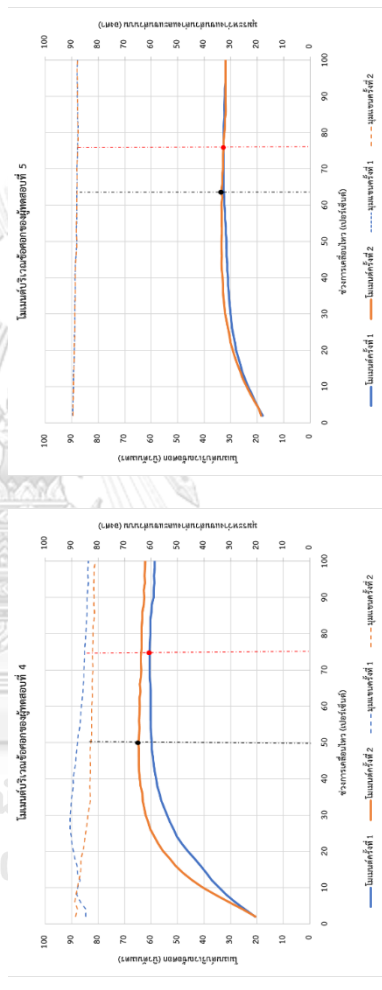


รูปที่ ข.4 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 8

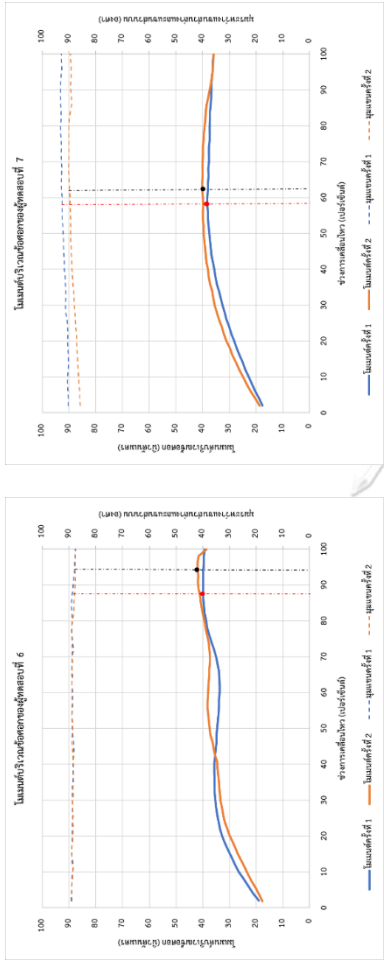




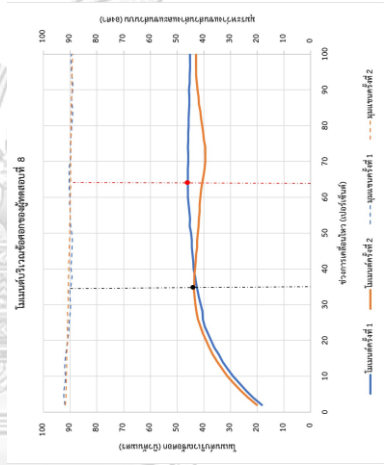
รูปที่ ข.5 ผลคำนวณโมเมนตัมที่ได้จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



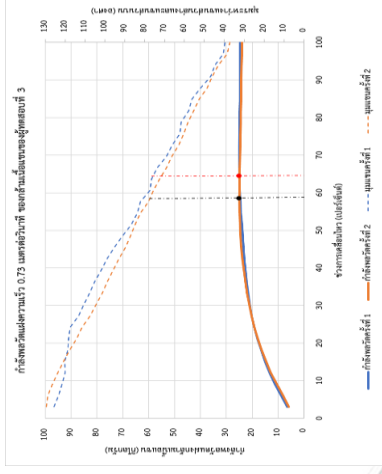
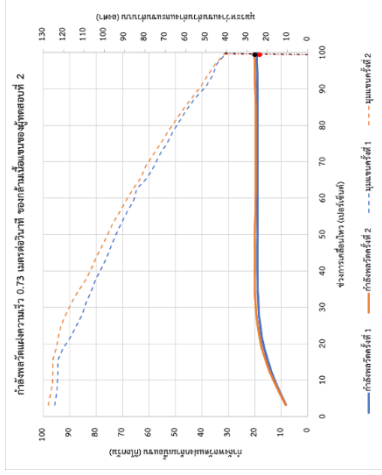
รูปที่ ข.6 ผลคำนวณโมเมนตัมที่ได้จากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5



รูปที่ ข.7 ผลการคำนวณเมมเบนต์ที่ได้จากการวัดกำลังสถิติของกล่ามเนื้อเยื่อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนกลางและแกนส่วนบน ของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7

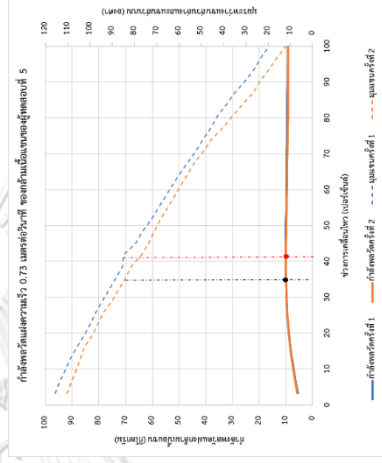
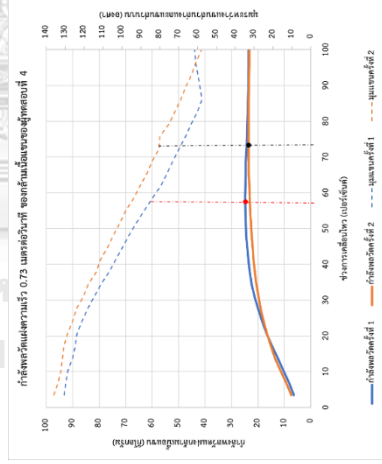


รูปที่ ข.8 ผลการคำนวณเมมเบนต์ที่ได้จากการวัดกำลังสถิติของกล่ามเนื้อเยื่อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนกลางและแกนส่วนบน ของผู้ทดสอบที่ 8



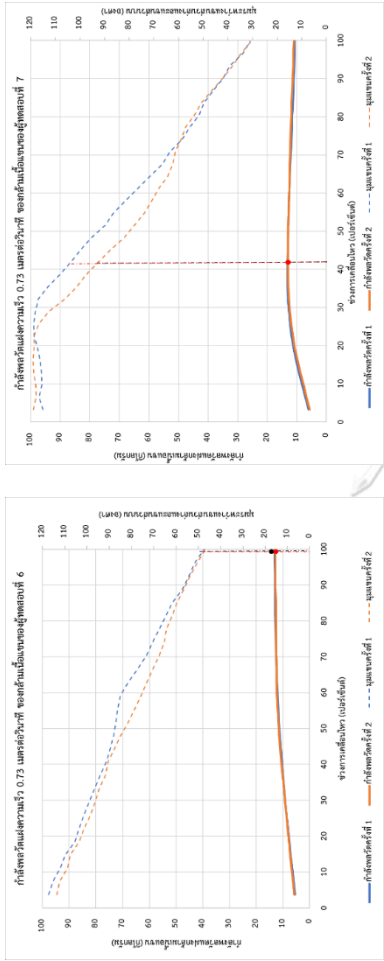
รูปที่ ข.9 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตและความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำเนื้อแขวนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแสงและแกนขนานของผู้

ทดสอบที่ 2 และ 3



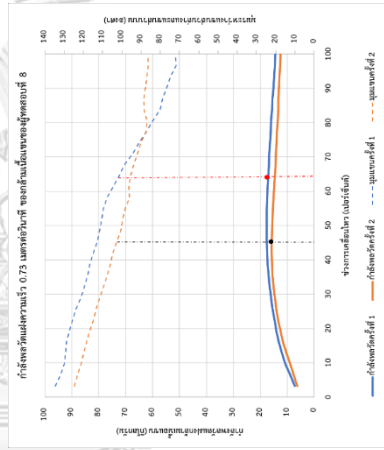
รูปที่ ข.10 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตและความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำเนื้อแขวนเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแสงและแกนขนานของผู้

ทดสอบที่ 4 และ 5



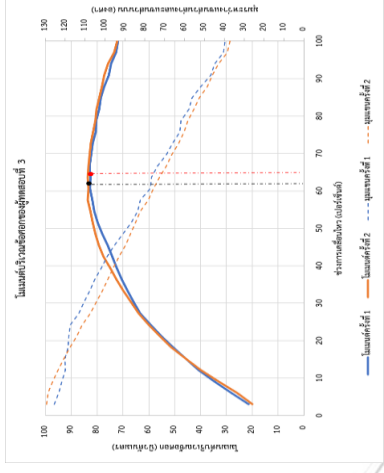
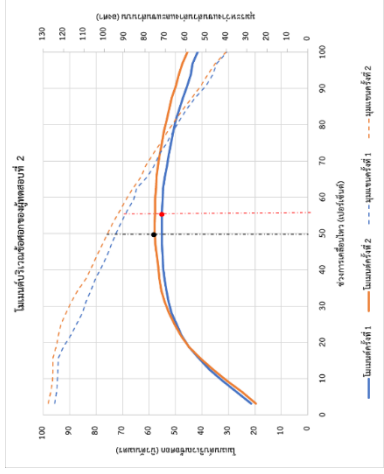
รูปที่ ข.11 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตที่ค่าความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลลัมเนื้อแข็งเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้

ทดสอบที่ 6 และ 7

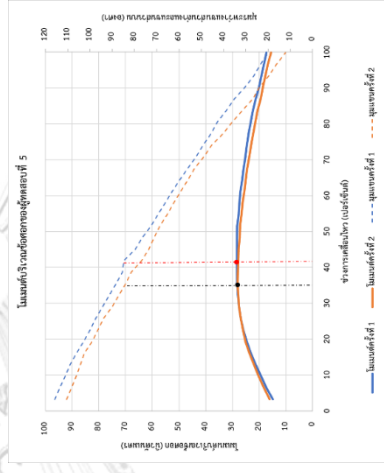
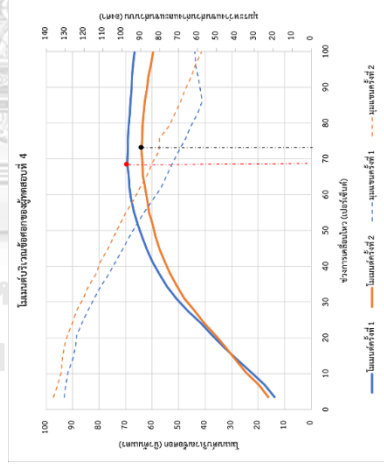


รูปที่ ข.12 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตที่ค่าความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกัลลัมเนื้อแข็งเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้

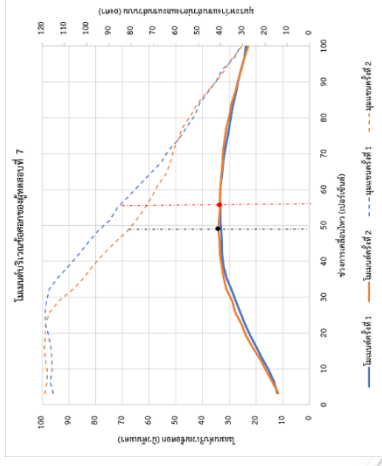
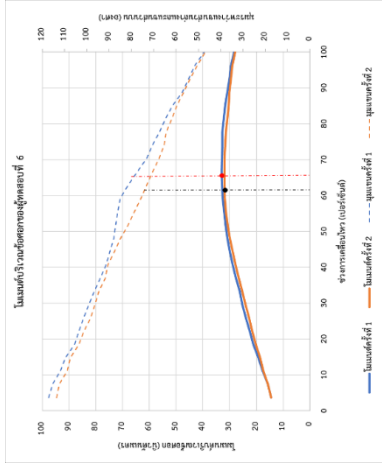
ทดสอบที่ 8



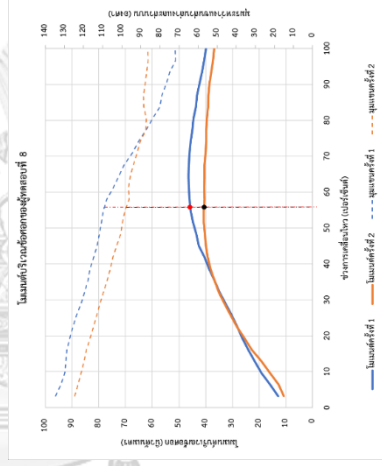
รูปที่ ข.13 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัดความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มเนื้อเอ็น เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



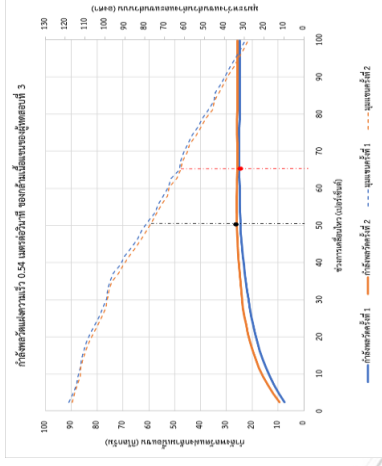
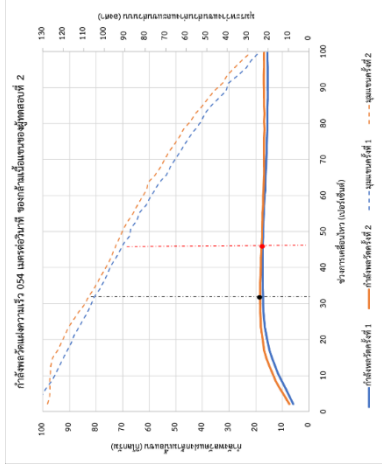
รูปที่ ข.14 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัดความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มเนื้อเอ็น เปรียบเทียบกับมุมระหว่างแขนส่วนล่างและแขนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5



รูปที่ ข.15 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัดความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำที่ของกลัมน้ำเชื่อมเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7

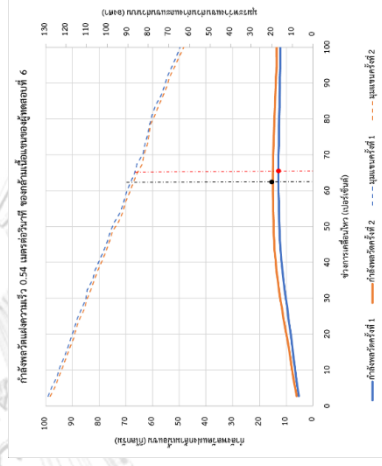
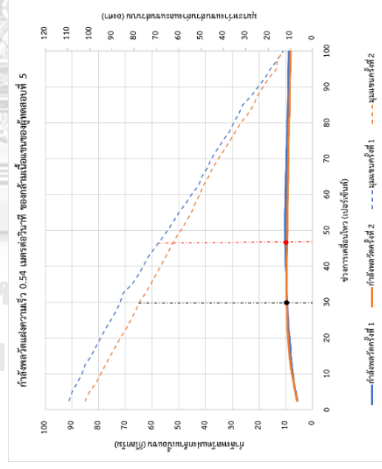


รูปที่ ข.16 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังพลวัดความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำที่ของกลัมน้ำเชื่อมเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้ทดสอบที่ 8



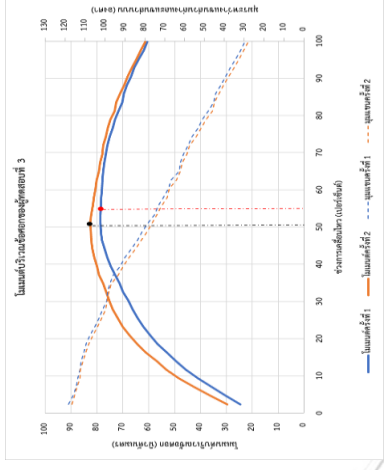
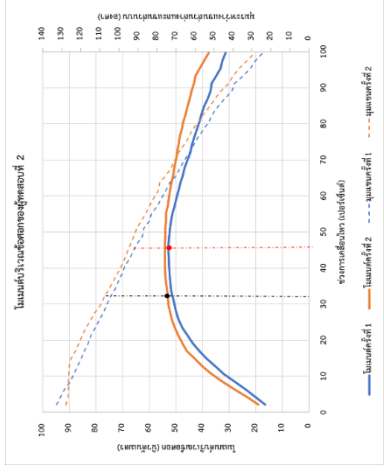
รูปที่ ข.17 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตกำลังพลวัตที่ 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำเชื่อมเปรียบเทียบค่าความถี่ของส่วนกลางและแกนส่วนบนของผู้

ทดสอบที่ 2 และ 3

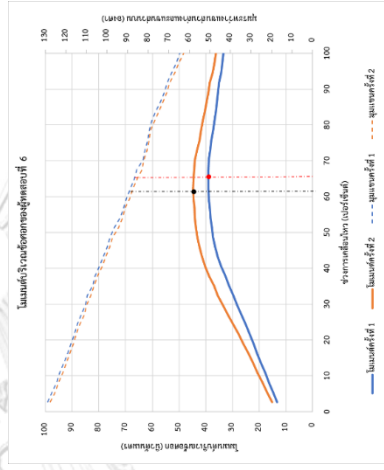
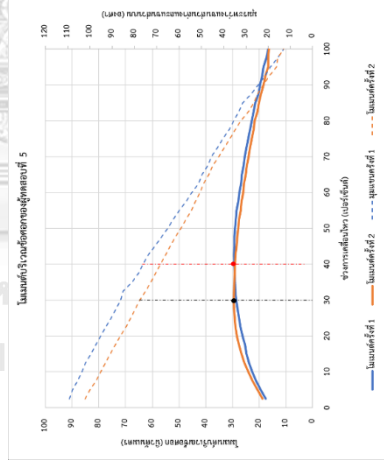


รูปที่ ข.18 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตกำลังพลวัตที่ 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลัมน้ำเชื่อมเปรียบเทียบค่าความถี่ของส่วนล่างและแกนส่วนบนของผู้

ทดสอบที่ 5 และ 6



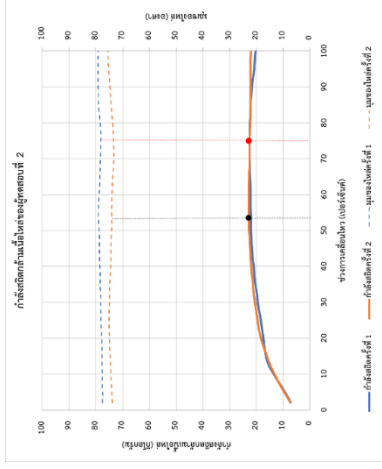
รูปที่ ข.19 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนกลางและแกนขนานจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



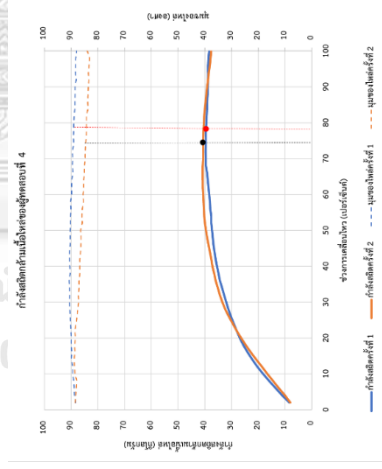
รูปที่ ข.20 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อเปรียบเทียบกับมุมระหว่างแกนกลางและแกนขนานจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกลุ่มเนื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ทดสอบที่ 5 และ 6



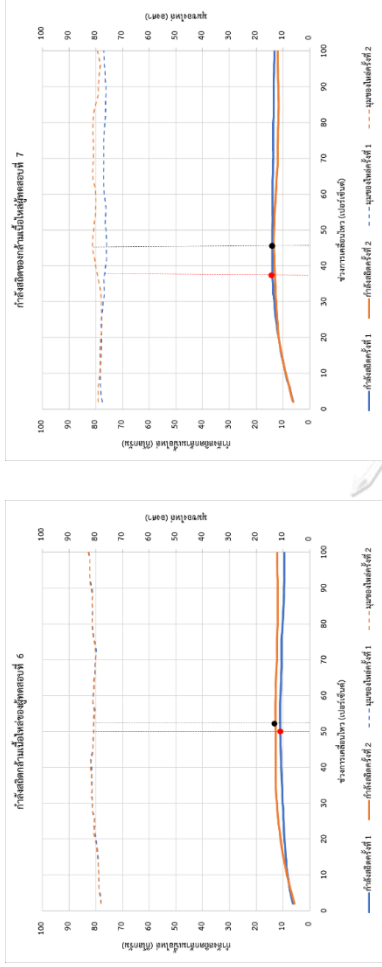




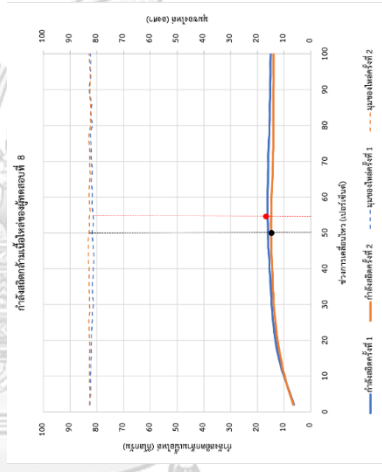
รูปที่ ค.1 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสถิตของกล้ำเมื่อเปรียบเทียบกับมุมของไหลของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



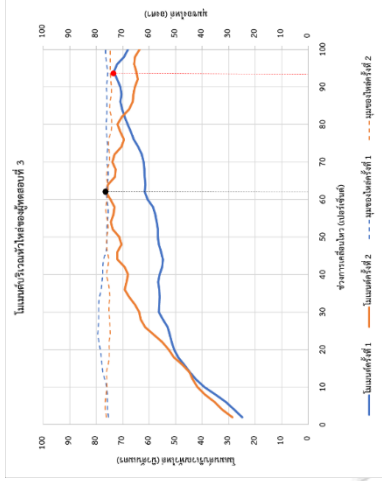
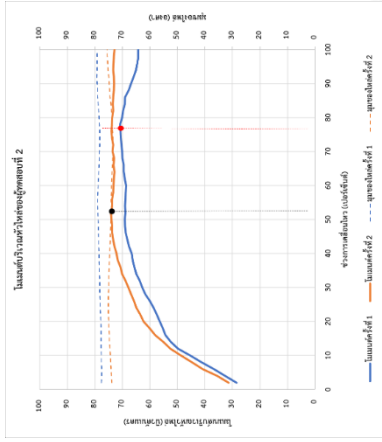
รูปที่ ค.2 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสถิตของกล้ำเมื่อเปรียบเทียบกับมุมของไหลของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5



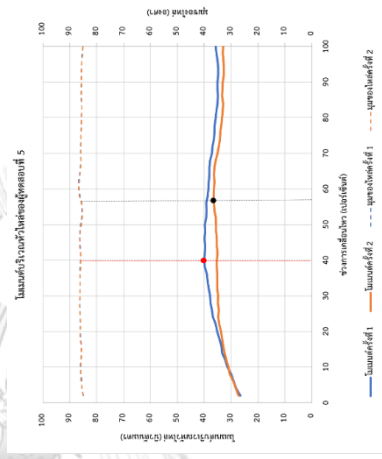
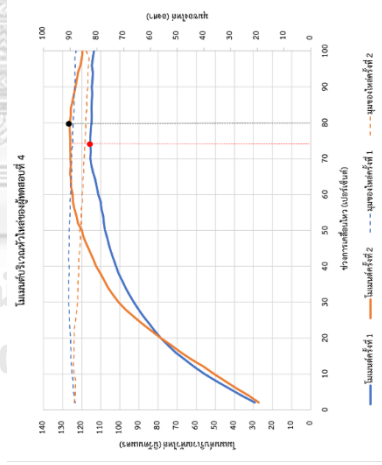
รูปที่ ค.3 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7



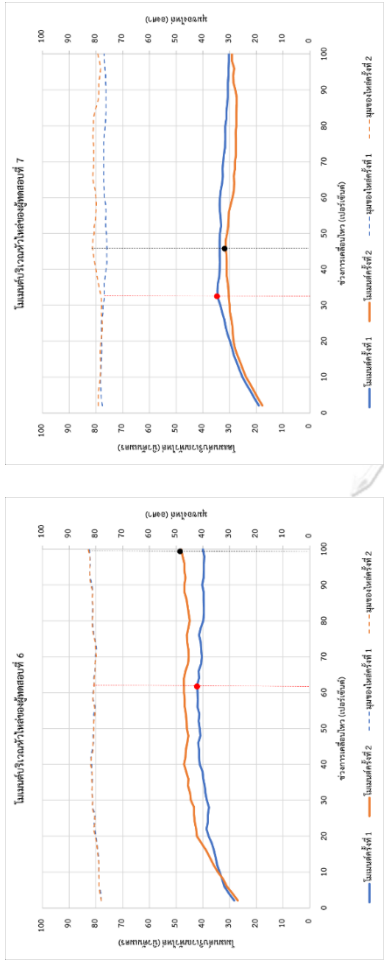
รูปที่ ค.4 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกับมุมของไหล่ของผู้ทดสอบที่ 8



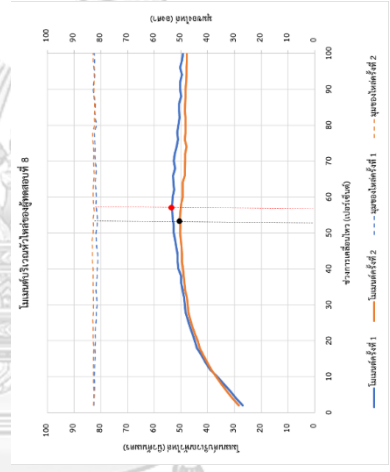
รูปที่ ค.5 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาเปรียบเทียบกับมุมของเหลงจากการวัดกำลังสัดของกล้านเนื้อไหลของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



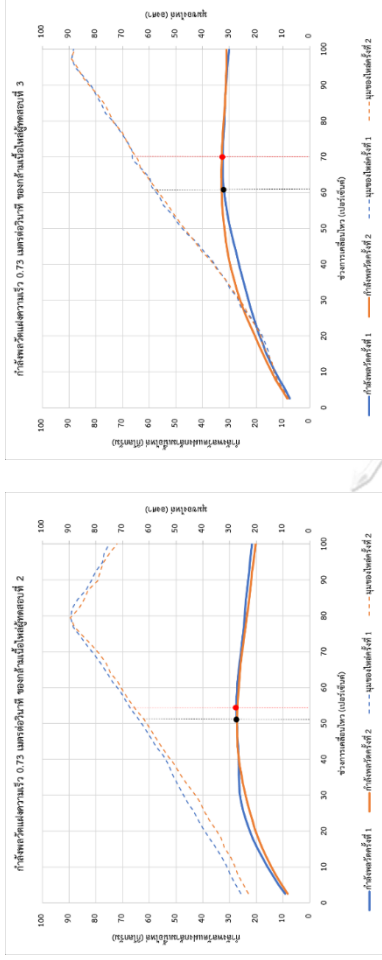
รูปที่ ค.6 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาเปรียบเทียบกับมุมของเหลงจากการวัดกำลังสัดของกล้านเนื้อไหลของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5



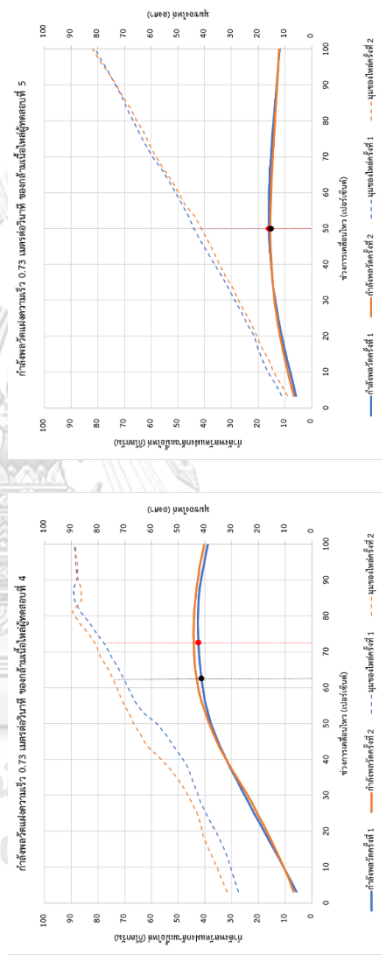
รูปที่ ค.7 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหลจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7



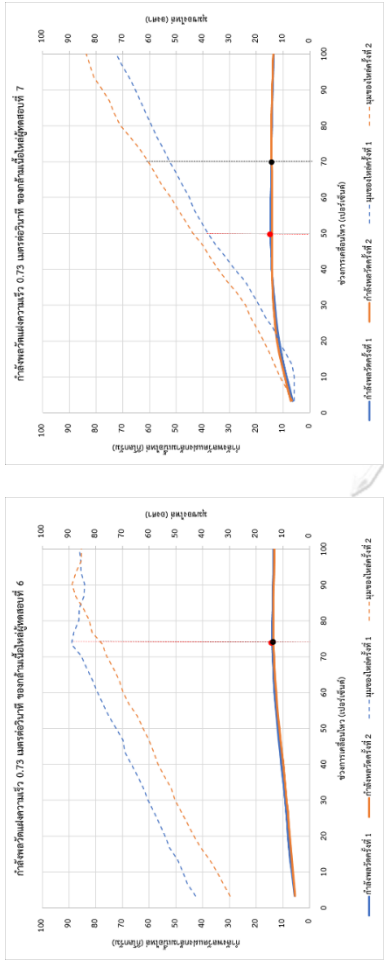
รูปที่ ค.8 ผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหลจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อของผู้ทดสอบที่ 8



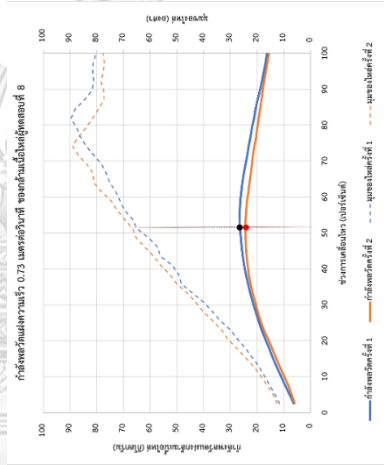
รูปที่ ค.9 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแ่งความเร็ว 0.73 เมตรต่อนาที ของกลัมนเนื้อเหล็กเปรียบเทียบกับมุมของไหลของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



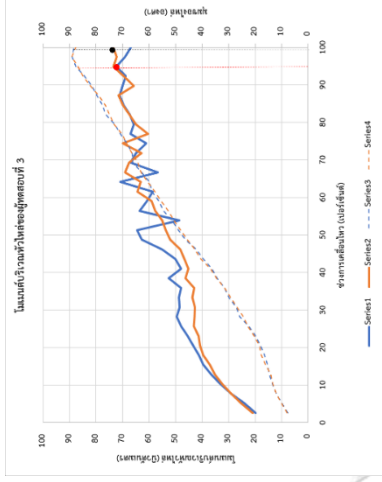
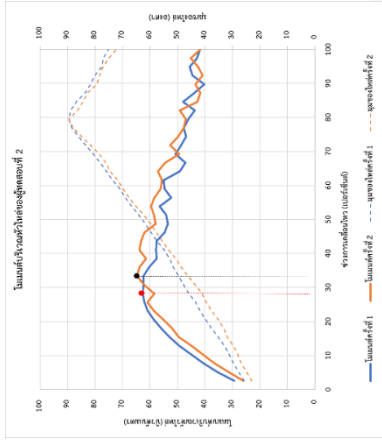
รูปที่ ค.10 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแ่งความเร็ว 0.73 เมตรต่อนาที ของกลัมนเนื้อเหล็กเปรียบเทียบกับมุมของไหลของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5



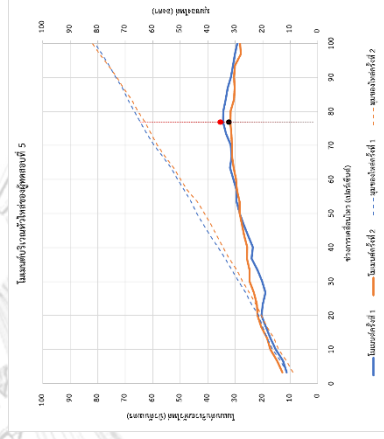
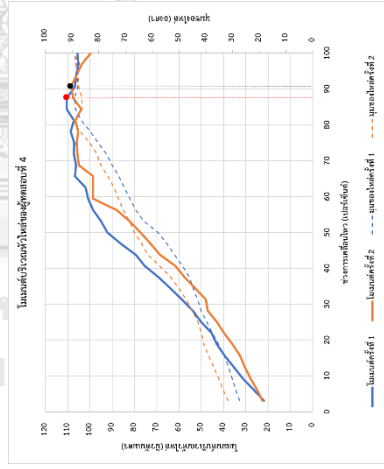
รูปที่ ค.11 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ทดสอบที่ 6 และ 7



รูปที่ ค.12 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่เปรียบเทียบกับมุมของไหล่ทดสอบที่ 8

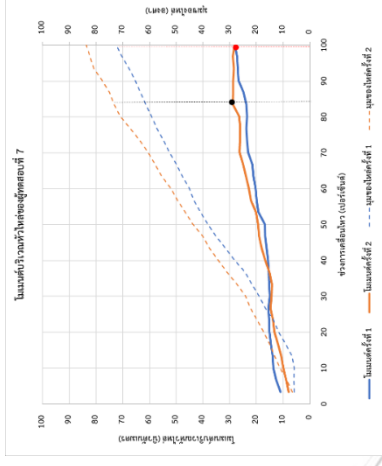
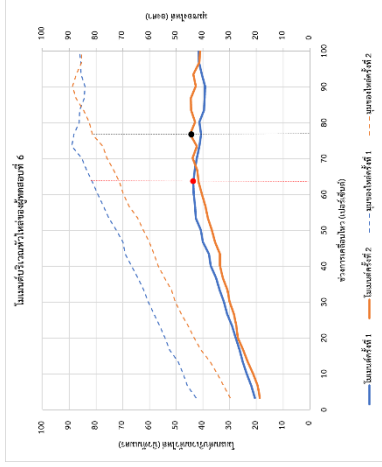


รูปที่ ค.13 ผลการคำนวณเมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาเปรียบเทียบกับมุมของโผล่จากการวัดกำลังพลวัตและความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมนเนื้อโผล่  
ของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3

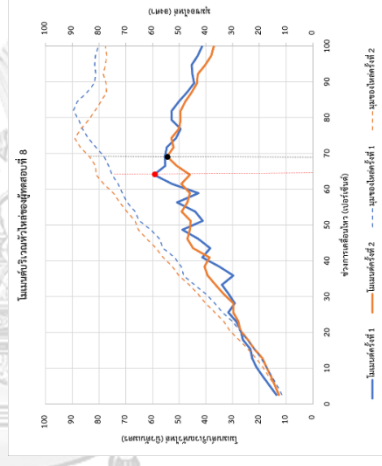


รูปที่ ค.14 ผลการคำนวณเมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาเปรียบเทียบกับมุมของโผล่จากการวัดกำลังพลวัตและความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกลัมนเนื้อโผล่  
ของผู้ทดสอบที่ 4 และ 5

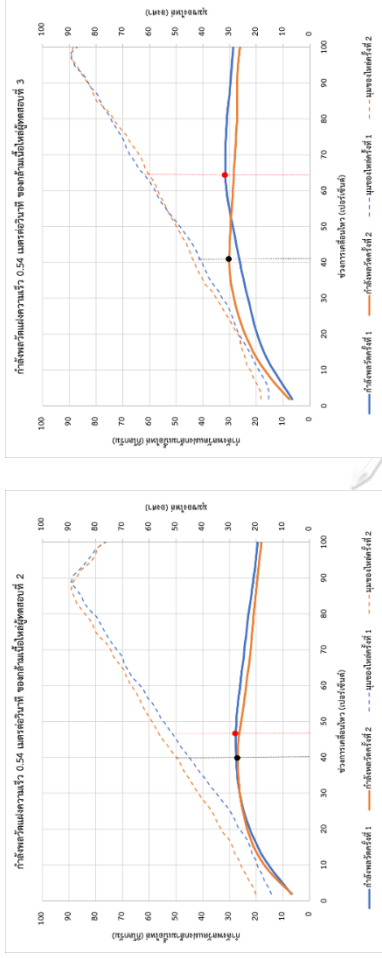




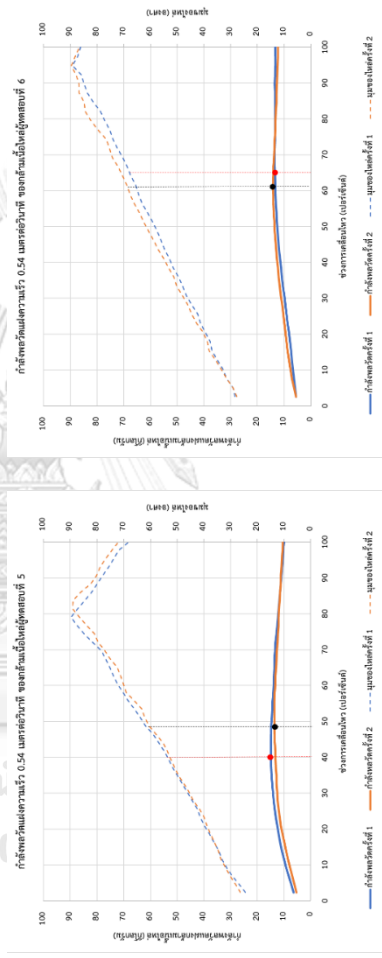
รูปที่ ค.15 ผลการคำนวณเมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเข็มขัดเปรียบเทียบกับมุมของโหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อเนื้อไหล  
ของผู้ทดสอบที่ 6 และ 7



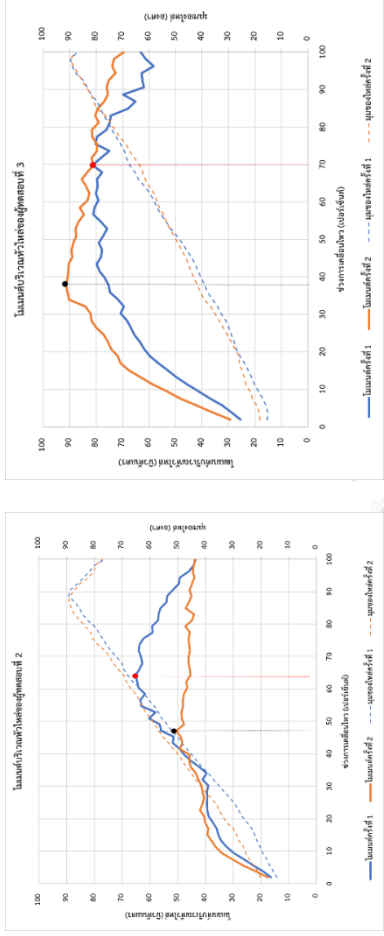
รูปที่ ค.16 ผลการคำนวณเมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเข็มขัดเปรียบเทียบกับมุมของโหล่จากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อเนื้อไหล  
ของผู้ทดสอบที่ 8



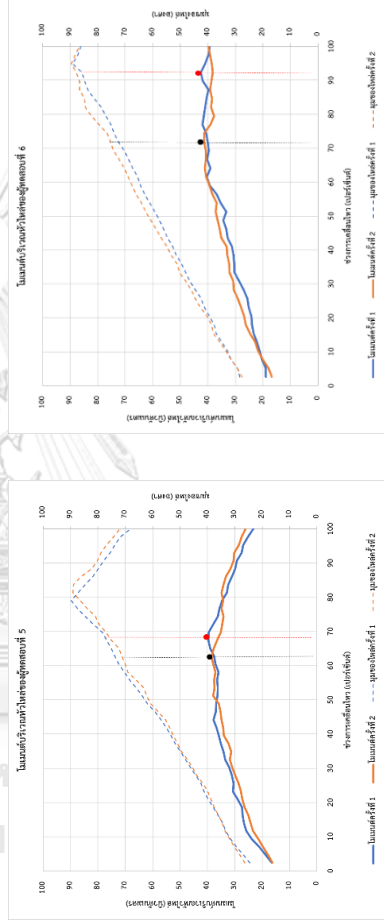
รูปที่ ค.17 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแรงแจกเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อใหญ่เปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3



รูปที่ ค.18 ค่าที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแรงแจกเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อใหญ่เปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อของผู้ทดสอบที่ 5 และ 6



รูปที่ ค.19 ตัวอย่างผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของเหล้าจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของ  
 กล้ามเนื้อไหลของผู้ทดสอบที่ 2 และ 3

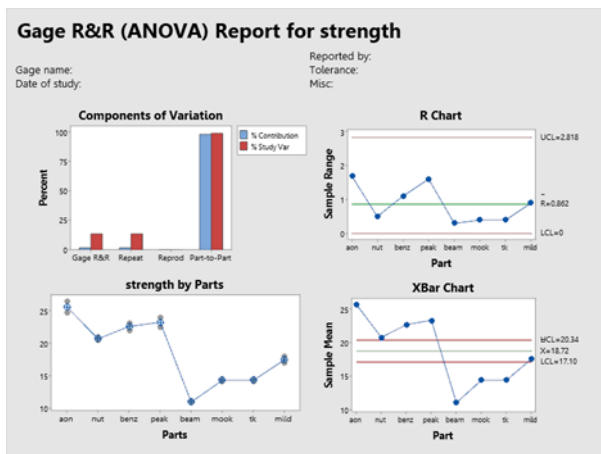


รูปที่ ค.20 ตัวอย่างผลการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวไหล่เปรียบเทียบกับมุมของเหล้าจากการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของ  
 กล้ามเนื้อไหลของผู้ทดสอบที่ 5 และ 6



ภาคผนวก ง.  
ผลการทดสอบ Gage R&R

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสติดกล้ามเนื้อแขน

**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	372.179	53.1685	104.637	0.000
Repeatability	8	4.065	0.5081		
Total	15	376.244			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

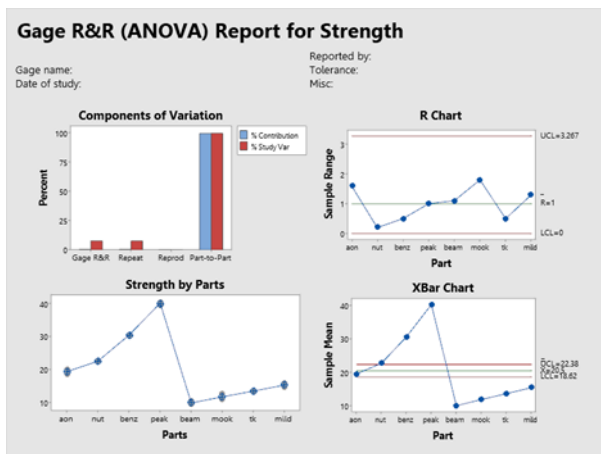
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.5081	1.89
Repeatability	0.5081	1.89
Part-To-Part	26.3302	98.11
Total Variation	26.8383	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.71283	4.2770	13.76
Repeatability	0.71283	4.2770	13.76
Part-To-Part	5.13129	30.7878	99.05
Total Variation	5.18057	31.0834	100.00

Number of Distinct Categories = 10

รูปที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสติดกล้ามเนื้อแขน



รูปที่ ง.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิตกล้ำมเนื้อไหล่

**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	1501.04	214.434	335.054	0.000
Repeatability	8	5.12	0.640		
Total	15	1506.16			

*α to remove interaction term = 0.05*

**Gage R&R**

**Variance Components**

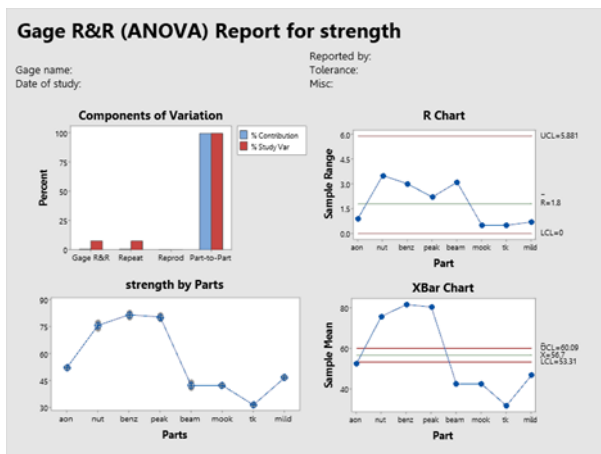
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.640	0.60
Repeatability	0.640	0.60
Part-To-Part	106.897	99.40
Total Variation	107.537	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.8000	4.8000	7.71
Repeatability	0.8000	4.8000	7.71
Part-To-Part	10.3391	62.0346	99.70
Total Variation	10.3700	62.2201	100.00

Number of Distinct Categories = 18

รูปที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังสถิตกล้ำมเนื้อไหล่



รูปที่ ง.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ำมเนื้อส่วนต่าง ๆ



**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	5376.63	768.090	327.718	0.000
Repeatability	8	18.75	2.344		
Total	15	5395.38			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

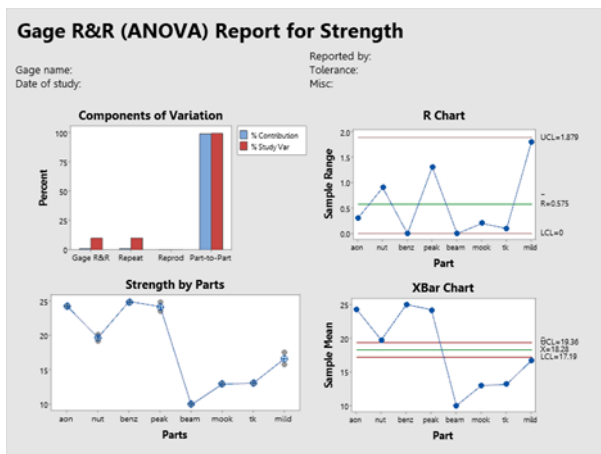
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	2.344	0.61
Repeatability	2.344	0.61
Part-To-Part	382.873	99.39
Total Variation	385.217	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1.5309	9.186	7.80
Repeatability	1.5309	9.186	7.80
Part-To-Part	19.5671	117.403	99.70
Total Variation	19.6269	117.762	100.00

Number of Distinct Categories = 18

รูปที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ำมเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ ง.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน



**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	490.11	70.0157	190.519	0.000
Repeatability	8	2.94	0.3675		
Total	15	493.05			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.3675	1.04
Repeatability	0.3675	1.04
Part-To-Part	34.8241	98.96
Total Variation	35.1916	100.00

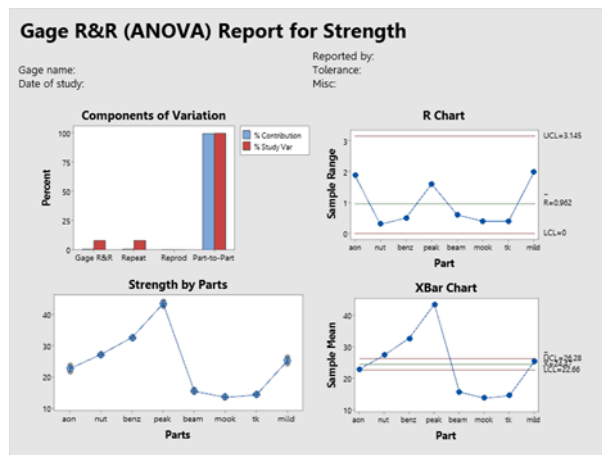
**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.60622	3.6373	10.22
Repeatability	0.60622	3.6373	10.22
Part-To-Part	5.90120	35.4072	99.48
Total Variation	5.93225	35.5935	100.00

Number of Distinct Categories = 13

รูปที่ ง.8 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อแขน





รูปที่ ง.9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่

**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	7	1469.58	209.940	300.182	0.000
Repeatability	8	5.60	0.699		
Total	15	1475.17			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

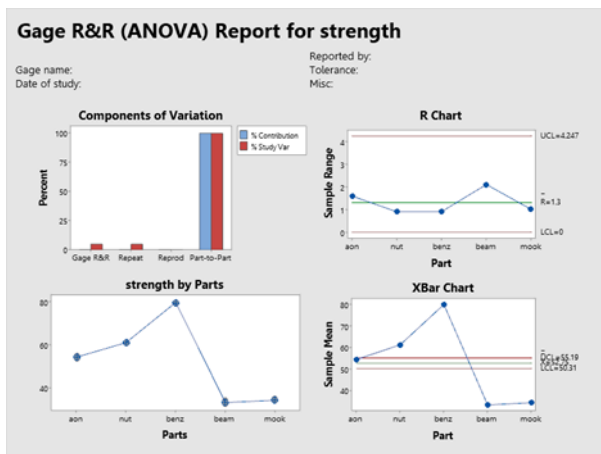
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.699	0.66
Repeatability	0.699	0.66
Part-To-Part	104.620	99.34
Total Variation	105.320	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.8363	5.0177	8.15
Repeatability	0.8363	5.0177	8.15
Part-To-Part	10.2284	61.3704	99.67
Total Variation	10.2625	61.5752	100.00

Number of Distinct Categories = 17

รูปที่ ง.10 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัดแฝงความเร็ว 0.73 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่



รูปที่ ง.11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	4	3015.57	753.892	786.124	0.000
Repeatability	5	4.80	0.959		
Total	9	3020.37			

*α to remove interaction term = 0.05*

**Gage R&R**

**Variance Components**

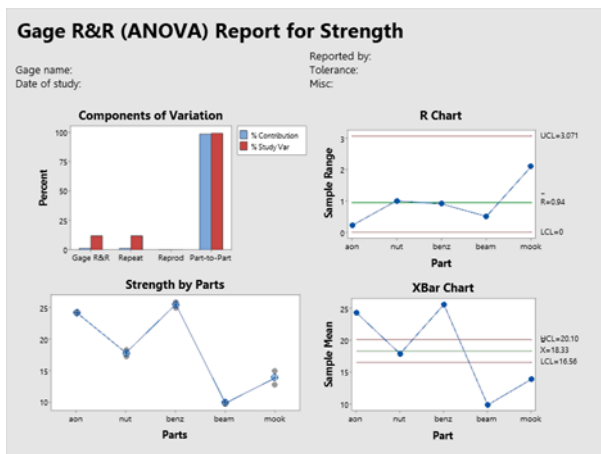
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.959	0.25
Repeatability	0.959	0.25
Part-To-Part	376.467	99.75
Total Variation	377.426	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.9793	5.876	5.04
Repeatability	0.9793	5.876	5.04
Part-To-Part	19.4028	116.417	99.87
Total Variation	19.4274	116.565	100.00

Number of Distinct Categories = 27

รูปที่ ง.12 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ



รูปที่ ง.13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ำมเนื้อแขน



**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	4	354.726	88.6815	136.224	0.000
Repeatability	5	3.255	0.6510		
Total	9	357.981			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

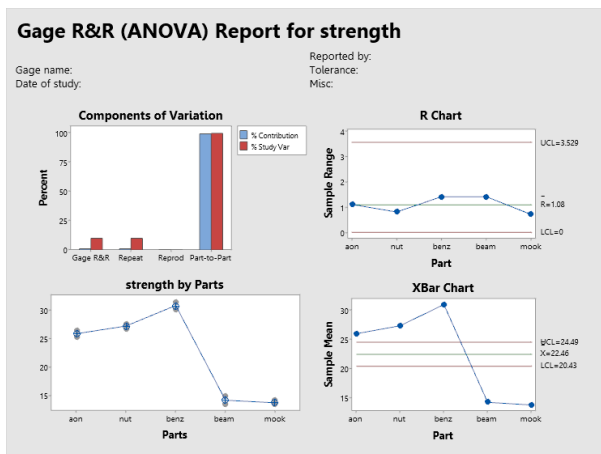
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.6510	1.46
Repeatability	0.6510	1.46
Part-To-Part	44.0152	98.54
Total Variation	44.6662	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.80685	4.8411	12.07
Repeatability	0.80685	4.8411	12.07
Part-To-Part	6.63440	39.8064	99.27
Total Variation	6.68328	40.0997	100.00

Number of Distinct Categories = 11

รูปที่ ง.14 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ำมเนื้อแขน



รูปที่ ง.15 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่



**One-Way ANOVA Table**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	4	495.114	123.778	197.729	0.000
Repeatability	5	3.130	0.626		
Total	9	498.244			

*α to remove interaction term = 0.05*

**Gage R&R**

**Variance Components**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.6260	1.01
Repeatability	0.6260	1.01
Part-To-Part	61.5762	98.99
Total Variation	62.2022	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.79120	4.7472	10.03
Repeatability	0.79120	4.7472	10.03
Part-To-Part	7.84705	47.0823	99.50
Total Variation	7.88684	47.3210	100.00

Number of Distinct Categories = 13

รูปที่ ง.16 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของการวัดกำลังพลวัตแฝงความเร็ว 0.54 เมตรต่อวินาที ของกล้ามเนื้อไหล่

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายภูวเดช เสน่ห์เมือง
วัน เดือน ปี เกิด	31 มกราคม 2539
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2561
ที่อยู่ปัจจุบัน	1124/142 หมู่บ้านสุดที่รัก ถนนพหลโยธิน 32 แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กทม. 10900



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY