แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบกกระสอบข้าวสาร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-716-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 6 ก.พ. 2545
I19924695x

A BIOMECHANICAL MODEL TO PREDICT SAFE WEIGHT FOR RICE-BAG-CARRYING TASK

Mr. Phairoat Ladavichitkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1999

ISBN 974-332-716-9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบกกระสอบข้าวสาร
โดย	นายไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อินทรานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย คงจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานคณะกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อินทรานนท์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทิงจิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#4070365721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD:
BIOMECHANIC / RICE-BAG-CARRYING TASK

PHAIROAT LADAVICHITKUL : A BIOMECHANICAL MODEL TO PREDICT SAFE WEIGHT FOR RICE-BAG-CARRYING TASK. THESIS ADVISOR : PROF. KITTI INTARANONT, Ph.D. 103 pp. ISBN 974-332-716-9.

This thesis mainly aims to construct a forecasting model of safe weight for rice-bag-carrying task by using Biomechanic Dynamic model. The 10 male rice-bag-carriers were tested in the Sagittal plane. The tested factors are the weight of rice-bag at 25, 55, 100 and 125 kg. and the height of dropping rice-bags at shoulder-to-knee and shoulder-to-chest levels.

The results show that the weight of rice-bags and the height of dropping rice-bags have a significant impact on the backbone. A predictive model was developed to determine safe carrying weight from the circumference of chest, the circumference of calf, the strength factor and the body weight. The first two factors are positively related to the weight of rice-bag while the latter two factors are negatively related. In comparing the compressive force on the backbone base on both the static and the dynamic calculations, it was found that the former gave lower maximum compressive force than the latter one. So the result from static calculation is not suitable for representing actual compressive force.

This thesis is not only to develop Ergonomic study especially in Biomechanics, but also to be a guideline for designing the work environment for labourers in order to prevent accident. Moreover this is a pilot research. To be further developed in order for the model to be used with the general population. The result may be used for the authorities to establish policies or to enact labour law.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล : แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบกกระสอบข้าวสาร (A BIOMECHANICAL MODEL TO PREDICT SAFE WEIGHT FOR RICE-BAG-CARRYING TASK) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.กิตติ อินทรานนท์ , 103 หน้า. ISBN 974-332-716-9.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาระงานแบกกระสอบข้าวสาร มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบของน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตกับภาวะพลวัต โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการหาแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร ใช้เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ภาวะพลวัตในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งจะศึกษาการทำงานในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) กับผู้ถูกทดลองเพศชาย จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีอาชีพแบกกระสอบข้าวสาร มีระดับปัจจัยที่ศึกษาคือ น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร 25 กก. 55 กก. 100 กก. 125 กก. และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าที่ระดับหัวเข่าและระดับอกของผู้ถูกทดสอบ

ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่ามีผลกระทบต่อแรงกดอัดสูงสุดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักที่ปลอดภัยนั้น ถูกกำหนดโดยตัวแปร ความยาวเส้นรอบอก ความยาวรอบน่อง ค่าความแข็งแรงของร่างกาย และน้ำหนักของผู้ถูกทดสอบ โดยตัวแปรเส้นรอบอกและตัวแปรความยาวรอบน่องมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าปัจจัยความแข็งแรงของร่างกายและตัวแปรน้ำหนักของผู้ถูกทดลอง มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ การเปรียบเทียบผลการหาค่าแรงกดอัดโดยใช้การคำนวณแบบภาวะสถิตกับใช้การคำนวณแบบภาวะพลวัต พบว่าการคำนวณแบบภาวะสถิตจะให้หาค่าแรงกดอัดสูงสุด มีค่าต่ำกว่าการคำนวณแบบภาวะพลวัต ดังนั้นค่าแรงกดอัดสูงสุดที่คำนวณได้ในภาวะสถิตจึงไม่สมควรนำมาใช้แทนค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงได้สำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารเพราะให้ผลที่น้อยกว่าการคำนวณแบบพลวัต

ผลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากจะเป็นการพัฒนางานศึกษาทางการยศาสตร์โดยเฉพาะทางด้านชีวกลศาสตร์แล้ว ยังเป็นแนวทางในการออกแบบสภาพแวดล้อมการทำงานของผู้ใช้แรงงานแบกหามเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น และสามารถนำไปใช้คัดเลือกผู้ใช้แรงงานแบกหามกระสอบข้าวสาร รวมทั้งเป็นงานวิจัยนำร่องเพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองที่สามารถใช้ได้กับกลุ่มประชากรทั่วไป ซึ่งสามารถที่จะนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบาย หรือการออกกฎหมายแรงงานต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	**ลายมือชื่อนิสิต**
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**
ปีการศึกษา 2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือให้คำแนะนำและปรึกษาจาก ศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อินทรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันมี ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทิงจิตร ผู้วิจัยขอถือโอกาสกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ.ที่นี้ และเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องใช้เครื่องมือของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์เครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวของทุกท่านจากห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณผู้ถูกทดสอบทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูปภาพ..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 8

ขอบเขตของการวิจัย..... 8

ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย..... 9

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 9

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....10

เกณฑ์การศึกษาทางชีวกลศาสตร์.....11

การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง.....12

การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต 14

การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต 16

การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง.....20

การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้..... 22

3. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....28

ผู้ถูกทดสอบ..... 28

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....28

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย..... 29

4. ผลการทดลอง.....31
ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม.....31
รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ.....33
ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์ 36
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 55
สรุปผลการวิจัย.....55
ข้อเสนอแนะ.....57
รายการอ้างอิง.....59
ภาคผนวก.....64
ภาคผนวก ก. แสดงแบบฟอร์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้..... 64
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนักและปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า..... 67
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดลองหาน้ำหนักที่เหมาะสมของผู้ถูกทดลองแต่ละคน.....70
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อสร้างโมเดลในการพยากรณ์น้ำหนักที่เหมาะสม..... 75
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดลอง.....80
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ.....87
ภาคผนวก ช. รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....90
ภาคผนวก ซ. การวัดสัดส่วนร่างกาย.....97
ภาคผนวก ฌ. การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ.....106
ภาคผนวก ญ. ตัวอย่างการคำนวณหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิต..... 109
ประวัติผู้วิจัย.....112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 จำนวนผู้ป่วยบริเวณหลังส่วนล่างในแต่ละปี..... 5
1.2 จำนวนผู้ป่วยเนื่องจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักในแต่ละปี..... 5
1.3 จำนวนผู้ประกอบกิจการโรงสีข้าวและผู้ใช้แรงงานในแต่ละปี..... 6
2.1 ข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย..... 17
2.2 ค่า Compressive Strength ของกระดูกสันหลังที่ถูกรวบรวมไว้.....23
2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ.....24
3.1 รูปแบบการทดลอง.....29
4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมของงานวิจัย..... 31
4.2 ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน.....33
4.3 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยสมัครใจขณะวัดกำลังสถิต
ของกล้ามเนื้อ.....35
4.4 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง.... 43
4.5 ค่า Compressive Strength (CS) ที่เสนอโดย Adams&Hutton(1982).....46
4.6 ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง.....47
4.7 น้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่ปลอดภัยแยกตามผู้ถูกทดลอง..... 48
4.8 ค่า Strength Factor แยกตามผู้ถูกทดลอง..... 49
4.9 แสดงผลการทดลองของผู้ถูกทดลองคนที่ 11..... 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง..... 13
2.2 ภาพลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ..... 14
2.3 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต..... 15
2.4 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต..... 19
2.5 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนดิ่งบริเวณ L5/S1..... 20
2.6 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1..... 20
2.7 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง..... 21
4.1 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบ่า..... 32
4.2 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับหัวเข่า..... 32
4.3 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับอก.....32
4.4 ภาพต่อเนื่องขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร.....32
4.5 ภาพขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง..... 34
4.6 ภาพลายเส้นเชื่อมจุดข้อต่อเพื่อคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์..... 34
4.7 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยสมัครใจขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ..... 35
4.8 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ขึ้นบนบ่า.....36
4.9 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ขึ้นบนบ่า.....36
4.10 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ขึ้นบนบ่า..... 37
4.11 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก. ขึ้นบนบ่า..... 37

4.12 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า..... 38
4.13 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า..... 38
4.14 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า..... 38
4.15 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า..... 39
4.16 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ลงที่ความสูงระดับอก..... 39
4.17 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ลงที่ความสูงระดับอก..... 40
4.18 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ลงที่ความสูงระดับอก..... 40
4.19 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก. ลงที่ความสูงระดับอก..... 40
4.20 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร หนัก 125 กก..... 41
4.21 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร หนัก 100 กก..... 41
4.22 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร หนัก 55 กก..... 42
4.23 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร หนัก 25 กก..... 42
4.24 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จาก การทดลอง..... 43
4.25 ค่าแรงกดอัดสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ปัจจัยระดับความสูงในการนำ กระสอบลง..... 45

4.26 การหาน้ำหนักที่ปลอดภัยโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกระสอบข้าวสารและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง..... 48
4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยจากสมการกับค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน..... 51
4.28 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก.....53
4.29 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก100 กก..... 53
4.30 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก.....54
4.31 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก..... 54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ซม.	=	เซนติเมตร
ม.	=	เมตร
กก.	=	กิโลกรัม
N.	=	นิวตัน
CS	=	แรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง
Task	=	งานย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การออกกฎหมายใหม่ในแต่ละครั้ง ก็เพื่อประโยชน์ของประชาชนเป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าในบางครั้งจะมีการคัดค้านจากผู้ที่เสียผลประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากกฎหมายนั้นก็ตาม ซึ่งเป็นเหตุให้ฝ่ายผู้ที่ออกกฎหมายจะต้องออกมาชี้แจงรายละเอียดว่าทำไมถึงกำหนดกฎหมายออกมาในลักษณะนั้น และบางครั้งก็เป็นข้อถกเถียงกันในหมู่ประชาชนทั่วไป เกี่ยวกับที่มาของตัวเลขว่ามาได้อย่างไร และถูกต้องเหมาะสมต่อการนำมาใช้หรือไม่

เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541 ได้มีการประกาศปรับปรุงกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองแรงงาน ที่เรียกว่า " พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541" โดยกฎหมายฉบับนี้ได้มีการแก้ไขปรับปรุงจากกฎหมายฉบับเก่าในหลายๆ เรื่อง โดยเฉพาะในเรื่องเกี่ยวกับการกำหนดน้ำหนักสำหรับการทำงานที่เป็นข้อถกเถียงกัน ซึ่งในกฎหมายฉบับเก่าที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 89 (2515) นั้นได้กำหนดน้ำหนักพิกัดไว้สำหรับแรงงานหญิงที่จะทำงาน ยก แบก หาบ หาม ทูน ลาก หรือเข็น ดังต่อไปนี้

1. 30 กิโลกรัม สำหรับการทำงานในที่ราบ
2. 25 กิโลกรัม สำหรับการทำงานที่ต้องขึ้นบันไดหรือที่สูง
3. 600 กิโลกรัม สำหรับการลากหรือเข็นของที่ต้องบรรทุกล้อเลื่อนที่ใช้ราง
4. 300 กิโลกรัม สำหรับการลากหรือเข็นของที่ต้องบรรทุกล้อเลื่อนที่ไม่ใช้ราง

และได้ออกประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง กำหนดงานและสถานที่ในการทำงานของเด็ก ไว้ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 (2533) โดยกำหนดไว้ว่าห้ามมิให้จ้างแรงงานเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 13 ปี แต่ยังไม่ถึง 15 ปีบริบูรณ์ เพื่อการทำงานยก แบก หาม หาบ ทูน หรือลาก ของที่มีน้ำหนักเกิน 10 กิโลกรัม และสำหรับแรงงานชายนั้นมิได้กำหนดพิกัดน้ำหนักสำหรับการทำงานยก แบก หาม หาบ ทูน หรือลากไว้ในกฎหมายฉบับเก่าแต่อย่างใด แต่สำหรับกฎหมายฉบับใหม่ (พรบ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541) ที่ประกาศออกมาใช้แล้วนั้นได้กำหนดไว้ในหมวด 2 มาตรา 37 ว่า ห้ามมิ

ให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานยก แบก หาม หาบ ทูน ลาก หรือเข็นของหนักเกินอัตราน้ำหนักตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ซึ่งกฎหมายฉบับใหม่นี้ได้ออกมาในรูปแบบที่อ้างอิงข้อมูลจากกฎกระทรวง ซึ่งทำให้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่างๆ ได้รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์

สาเหตุที่เป็นข้อถกเถียงกัน โดยเฉพาะมาตรา 37 ดังที่กล่าวมานั้น เริ่มมาจากนโยบายการผลักดันแรงงานต่างด้าวที่เข้ามาทำงานในประเทศไทยอย่างผิดกฎหมาย โดยมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2539 ที่อนุญาตให้แรงงานต่างด้าว สามารถทำงานในประเทศไทยได้ 2 ปี เมื่อครบกำหนดจะต้องผลักดันออกนอกประเทศให้หมดภายในปี 2541 ซึ่งทำให้กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคมได้กำหนดให้วันที่ 1 พฤษภาคม 2541 เป็นวันเริ่มผลักดันแรงงานต่างด้าวทั่วประเทศและให้ผู้ประกอบการเลิกจ้างแรงงานต่างด้าว โดยให้เหตุผลว่าเพื่อความมั่นคงของประเทศและเพื่อช่วยเหลือแรงงานไทยที่ตกงาน ในยุคที่เศรษฐกิจกำลังตกต่ำนี้ด้วย (นสพ.เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 6 ก.ค. 2541) จากนโยบายดังกล่าวเป็นผลให้ผู้ประกอบกิจการที่จำเป็นต้องใช้แรงงานประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน โดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบกิจการโรงสีข้าวที่ตามปกติจะมีแรงงานต่างด้าวประมาณ 25-30 คน แต่ตอนนี้มีแรงงานอยู่เพียง 4-5 คนเท่านั้น (นสพ.เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 2 ก.ค. 2541) ดังนั้นจึงได้ออกมาร้องเรียนต่อกระทรวงแรงงานฯ เพื่อเลื่อนกำหนดเวลาออกไป โดยยื่นคำขาดว่าจะนัดปิดกิจการทั่วประเทศเนื่องจากขาดแคลนแรงงาน และจะส่งผลกระทบต่อชาวนาที่จะต้องนำข้าวเปลือกมาขายให้กับโรงสีต่างๆ อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจทำให้กลุ่มชาวนาออกมาเคลื่อนไหวอีกด้วย

ปัญหาการขาดแคลนแรงงานสำหรับกิจการโรงสีนั้น เนื่องมาจากแรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานต่างด้าว ซึ่งรัฐบาลได้พยายามผลักดันออกไป และจะให้แรงงานไทยเข้ามาทำงานด้านนี้แทน เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการตกงาน แต่ผลที่ได้กลับออกมาเป็นว่ารัฐบาลไม่สามารถหาแรงงานไทยมาทดแทนได้ และที่ปรึกษารมว.แรงงานฯ ได้แถลงผลการจัดงานนัดพบแรงงาน สรุปได้ว่าไม่มีแรงงานไทยมาทำงานกับโรงสีข้าว และจากการสอบถามแรงงานไทยพบว่า ต่างก็ไม่อยากไปทำงานในโรงสีข้าว เพราะเป็นการใช้แรงงานที่หนักจนเกินไปเมื่อเทียบกับการใช้แรงงานประเภทอื่น เป็นงานที่ต่อเนื่องและอันตรายต่อสุขภาพจนเกินไป (นสพ. เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 7 ก.ค. 2541)

ดังนั้นการออกประกาศกฎกระทรวงที่ว่าด้วยการกำหนดน้ำหนักสำหรับการทำงานจึงน่าจะเป็นเหตุจูงใจให้แรงงานไทยเข้าไปทำงานกับโรงสีข้าวมากขึ้น โดยทางด้าน รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม กล่าวหลังจากการประชุมผู้บริหารระดับสูงของกระทรวงแรงงานฯ ว่าได้พิจารณาร่างกฎกระทรวง ที่ว่าด้วยการกำหนดน้ำหนักแบก หามของลูกจ้างทุกกิจการทุกประเภท ซึ่งกำหนดห้ามให้ลูกจ้างแบกหามหรือเข็นของหนักเกินอัตราที่กฎหมายกำหนด ดังนี้

แรงงานชายไม่เกิน 55 กก. แรงงานหญิง 30 กก. และแรงงานเด็ก 10 กก. ซึ่งเมื่อมีผลบังคับแล้วจะดำเนินคดีกับเจ้าของกิจการทุกประเภทที่ไม่ปฏิบัติตาม (นสพ. เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 2 ก.ค. 2541) ประธานคณะกรรมการสภาที่ปรึกษาเพื่อพัฒนาแรงงาน กล่าวว่า โรงสีข้าวจำเป็นจะต้องปรับปรุงสภาพการจ้างงาน เช่นเรื่องน้ำหนักที่ยกแบกไม่ควรหนักเกิน 55 กก. และอัตราค่าจ้างไม่ต่ำกว่าค่าจ้างขั้นต่ำ เพื่อเป็นแรงจูงใจให้คนงานไทยเข้ามาทำงานในกิจการโรงสี และ นายกรัฐมนตรี ได้ให้สัมภาษณ์ว่าปัญหาของผู้ประกอบการโรงสีนั้นคือไม่มีคนแบกหามเพราะงานหนัก ค่าแรงไม่เกินค่าแรงขั้นต่ำ คนไทยจึงไม่อยากทำงาน (นสพ. เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 2 ก.ค. 2541)

จากการประกาศของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานฯ เกี่ยวกับการที่จะออกกฎกระทรวงเพื่อกำหนดน้ำหนักในการทำงาน เป็น 55 กก. นั้นส่งผลกระทบต่อเจ้าของโรงสีโดยตรงซึ่งจะต้องเปลี่ยนการบรรจุข้าวจากเดิมที่ใช้กระสอบบรรจุข้าว 100 กก. ไปเป็นกระสอบบรรจุข้าว 55 กก. ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องจ้างแรงงานจำนวนมากขึ้นอีกเท่าตัว เพื่อทำให้สามารถขนย้ายได้ในเวลาที่เท่าเดิม ซึ่งเจ้าของโรงสีข้าวแห่งหนึ่ง ได้กล่าวยืนยันที่จะต้องเพิ่มแรงงานแบกมากขึ้นเมื่อมีการลดขนาดบรรจุของกระสอบข้าวสารลง (นสพ. สยามรัฐ ฉบับวันที่ 9 ก.ค. 2541) และอาจส่งผลกระทบต่อเกษตรกรที่ปลูกปอ โรงงานทำกระสอบและผู้ส่งออกได้ (นสพ. มติชน ฉบับวันที่ 6 ก.ค. 2541) สำหรับ ตัวเลข 55 กก. ที่จะกำหนดไว้ในกฎกระทรวงนั้น ก็ได้มีข้อสงสัยจากหลายฝ่ายถึงที่มา โดย หัวหน้าพรรคชาติพัฒนา ได้สงสัยถึงวิธีการกำหนดน้ำหนัก 55 กก. ว่ามีเหตุผลอย่างไรตรงกับความต้องการของตลาดหรือไม่ เพราะเมื่อถุงกระสอบมีขนาดเล็กลงการขนส่งย่อมแพงขึ้น (นสพ. สยามรัฐ ฉบับวันที่ 9 ก.ค. 2541) และนายแพทย์ผู้หนึ่ง ซึ่งเป็นสมาชิกสภาผู้แทน ได้นำโครงกระดูกมนุษย์มาประกอบการแถลงข่าว โดยยืนยันว่าโครงสร้างของกระดูกมนุษย์สามารถรับน้ำหนักในการแบก หาม กระสอบข้าวสารได้มากถึง 600 กก. และไม่เห็นด้วยที่จะให้มีการปรับลดน้ำหนักลงเหลือ 55 กก. (นสพ. สยามรัฐ ฉบับวันที่ 8 ก.ค. 2541)

จากการสอบถามไปยังกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานเกี่ยวกับที่มาของตัวเลข 55 กก. ซึ่งจะกำหนดในกฎกระทรวงนั้น ก็เนื่องมาจาก สัญญาที่ทำไว้กับองค์กรแรงงานระหว่างประเทศ หรือ ILO (International Labour Office) ซึ่งเป็นอนุสัญญาที่ 127 (Convention No.127) ที่จะต้องกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ยอมให้ต่อการทำงานยก แบก หาบ หาม สำหรับแรงงาน เพื่อความปลอดแต่ก็มิได้กำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดแต่อย่างใด มีเพียงแต่คำแนะนำ ที่ 128 (Recommendation No.128) เท่านั้นที่กำหนดไว้ว่า แรงงานชายไม่ควรจะยก แบก หาม ของที่หนักเกิน 55 กก. น้ำหนักสูงสุดสำหรับแรงงานหญิง ควรกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าของแรงงานชาย และน้ำหนักสูงสุดสำหรับแรงงานเด็ก ควรกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าของแรงงานผู้ใหญ่ในเพศเดียวกัน

และได้แนะนำให้พิจารณาวิธีการกำหนดน้ำหนักสูงสุดตาม ลักษณะของการตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological characteristics) สภาพแวดล้อมการทำงาน และธรรมชาติของงานที่กระทำ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของแรงงาน (International Labour Conventions and Recommendation 1919-1991 , Volume II)

ได้มีการกำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยกที่แตกต่างกันไป ตามแต่ละท้องถิ่นและลักษณะงาน โดย Davies (1972) ได้รวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ที่ได้กำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยกไว้ดังนี้

- ข้อกำหนดของ The Woollen & Worsted Textiles, 1926 กำหนดให้แรงงานชายสามารถยกของหนักได้ไม่เกิน 68 กก. แรงงานหญิง ไม่เกิน 29.5 กก.
- ข้อกำหนดของ Pottery, 1958 กำหนดให้แรงงานหญิงห้ามขนย้ายของที่มีน้ำหนักเกิน 18.1 กก. ในทางราบเป็นระยะทางไม่เกิน 45.7 เมตร
- ข้อกำหนดของ Jute, 1948 กำหนดให้แรงงานเด็กอายุต่ำกว่า 16 ปี ยกได้ไม่ต่ำกว่า 18.1 กก. แต่มิได้กำหนดค่าสำหรับแรงงานชาย เช่นเดียวกับ Pottery
- ข้อกำหนดของ Agriculture, 1959 กำหนดน้ำหนักสูงสุดสำหรับถุงหรือกระสอบที่ยกได้โดยแรงงาน 1 คน คือ 81.5 กก.

ปัจจุบัน การออกกฎกระทรวงเกี่ยวกับพิกัดน้ำหนักสูงสุดสำหรับการใช้แรงงานทำงานยก แบก หาบ หาม ลากหรือเข็น ก็ยังไม่ถูกประกาศ เนื่องจากทางกระทรวงแรงงานฯ ไม่สามารถที่จะอธิบายที่มาของตัวเลขเหล่านั้นได้ในเชิงวิชาการ เพราะไม่ได้ศึกษาข้อมูลภายในประเทศอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะการศึกษางานแบก หามน้ำหนัก รวมทั้งได้ถูกคัดค้านจากหลายฝ่าย

สำหรับข้อมูลการบาดเจ็บเนื่องจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก จากรายงานของ Liberty Mutual Insurance Company ปรากฏว่า ร้อยละ 23.8 ของเงินชดเชยที่จ่ายให้แก่คนงานที่ประสบอุบัติเหตุ เป็นค่าชดเชยเนื่องจากการขนถ่ายวัสดุ ซึ่งเชื่อได้ว่าเกิดจากการยกที่เกินขีดจำกัดของร่างกาย (Ayoub,1977 อ้างจาก Snook,1971) และในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีผู้บาดเจ็บบริเวณหลังในแต่ละปีมากกว่า 400,000 คน (Jiang & Ayoub,1987 อ้างจาก Accident Facts,1978) ในประเทศอังกฤษ ช่วงปี ค.ศ. 1969-1970 Benn และ Wood ได้พบว่า ร้อยละ 3.6 ของวันขาดงานเนื่องจากป่วย เป็นการป่วยจากการบาดเจ็บบริเวณหลัง และในประเทศสวีเดนจากข้อมูลของ National Health Insurance แสดงให้เห็นว่า ร้อยละ 19.5 ของวันขาดงานเนื่องจากป่วยเป็นการบาดเจ็บบริเวณหลัง (Andersson,1981) อาการบาดเจ็บบริเวณหลังไม่เพียงแต่เกิดขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉพาะคนสูงอายุ แต่ยังเกิดขึ้นกับบุคคลที่มีอายุช่วง 20 ถึง 35 ปี อีกด้วย (Park & Chaffin,1975) และในผู้ป่วยเกือบทั้งหมดจะเกิดจากการยกของที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 11 ถึง 49 ปอนด์ (McGill,1968)

ในประเทศไทย จากข้อมูลที่รวบรวมโดยสำนักงานกองทุนทดแทน กระทรวงมหาดไทย พบว่าผู้ประสบอันตรายบริเวณหลังส่วนล่างและกระดูกสันหลังที่วินิจฉัยแล้วได้รับเงินในปีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนผู้ป่วยบริเวณหลังส่วนล่างในแต่ละปี

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วยบริเวณหลังส่วนล่าง (คน)
2531	1,695
2532	2,051
2533	2,915
2534	4,085
2540	14,547*

* ข้อมูลจากสำนักงานประกันสังคม

และจากข้อมูลผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก เป็นดังนี้

ตารางที่ 1.2 จำนวนผู้ป่วยเนื่องจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักในแต่ละปี

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วยเนื่องจากยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก(คน)
2535	6,600
2536	9,796
2537	11,546
2538	13,943*
2539	17,693*
2540	15,406*

* ข้อมูลจากสำนักงานประกันสังคม

เห็นได้ว่าผู้บาดเจ็บบริเวณหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และพบว่ามีสาเหตุจากการยกและเคลื่อนย้ายของหนัก ถึง ร้อยละ 49.5 ในปี พ.ศ. 2532 (กรมแรงงาน, 2532) ซึ่งในปี พ.ศ. 2535 ได้รายงานว่ามี ผู้ป่วย 2 รายที่ยกของหนักจนทำให้หมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อน

จากข้อมูลกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เกี่ยวกับจำนวนผู้ประกอบกิจการโรงสีข้าวทั่วประเทศและจำนวนแรงงานที่ทำงานในโรงสีข้าวที่ได้มีการเก็บข้อมูลไว้มีดังนี้

ตารางที่ 1.3 จำนวนผู้ประกอบกิจการโรงสีข้าวและผู้ใช้แรงงานในแต่ละปี

ปี	จำนวนผู้ประกอบกิจการโรงสีข้าว	จำนวนผู้ใช้แรงงานชาย(คน)
2535	4,581	19,993
2536	4,680	20,116
2537	4,840	21,455
2538	5,052	22,964
2539	7,747	26,312
2540	7,713	26,118

จากข้อมูลแสดงได้ว่ามีแรงงานชายที่ทำงานในโรงสีข้าวเพิ่มขึ้นทุกปีตามจำนวนโรงสีที่มากขึ้น แต่ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากการขึ้นทะเบียนชื่อของแรงงานชาย ดังนั้นคาดว่าจำนวนแรงงานชายที่ทำงานอยู่ในโรงสีข้าวย่อมมีมากกว่าจำนวนดังกล่าวแน่นอน ซึ่งจากการสอบถามเจ้าของโรงสีแห่งหนึ่ง พบว่าจำนวนแรงงานชายที่จะทำงานแบกหามนั้นแต่ละโรงสีย่อมมีไม่ต่ำกว่า 6-7 คน ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ได้ขึ้นทะเบียนไว้ ดังนั้นจึงไม่มีการตรวจนับจำนวนแรงงานเหล่านี้ด้วย

จากการสำรวจสภาพปัญหาในโครงการวิจัยร่วมไทย - เบลเยี่ยม ที่ได้ประสบความสำเร็จมาแล้ว (Intaranont & Vanwontaghen , 1993) ได้สำรวจโรงงาน 5 แห่งในแผนกที่เกี่ยวข้องกับการยกของ หนึ่งในนั้นเป็นโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ที่จะบรรจุลงในกระสอบขนาด 25 กก. ซึ่งจะมีการยกถุงกระสอบโดยใช้แรงงานชาย ผลการสำรวจพบว่า ร้อยละ 70 ของพนักงาน เคยประสบปัญหาการบาดเจ็บบริเวณหลัง

และจากการไปสำรวจสภาพการทำงานของแรงงานแบกกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ที่โรงสีข้าว 2 แห่งในจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีแรงงานชายที่สามารถแบกกระสอบข้าวสารได้รวม

21 คน แต่ละคนมีประสบการณ์ในการแบกกระสอบข้าวสารมากกว่า 1 ปี โดยมีประสบการณ์มากที่สุดคือ 19 ปี และทั้ง 21 คนได้บอกว่าเคยมีความเจ็บปวดบริเวณหลังส่วนล่างเนื่องจากการยกกระสอบข้าวสาร โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเข้ามาทำงาน ปัจจุบันนี้ยังคงปวดเมื่อยอยู่เป็นประจำหลังจากทำงานแล้ว 17 คน โดยมีอาการปวดเมื่อยตามร่างกายดังนี้ บริเวณหลังทั้ง 16 คน บริเวณต้นคอ 5 คน บริเวณไหล่ 7 คน และบริเวณน่อง 17 คน และอาการปวดเมื่อยต่างๆ จะเกิดหลังจากทำงานทั้งสิ้น

จะเห็นว่างานแบกกระสอบข้าวสารที่มีน้ำหนัก 100 กก. นั้นเป็นงานที่หนักและไม่ปลอดภัย ซึ่งคนปกติไม่สามารถกระทำได้ จากการสอบถามเจ้าของกิจการโรงสี กล่าวว่า คนที่มีขีดความสามารถหรือความแข็งแรงของร่างกายมากกว่าคนปกติ รวมทั้งจะต้องมีประสบการณ์ในการแบกกระสอบซึ่งเป็นเทคนิคเฉพาะเท่านั้นจึงจะสามารถทำงานแบกนี้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ Kroemer (1992) ที่ว่าการปรับปรุงการทำงานขนย้ายสิ่งของโดยใช้แนวทางการยศาสตร์ นั้นมีแนวทางต่างๆ ได้แก่ การคัดเลือกคนงานที่เหมาะกับงาน การฝึกฝนหรือฝึกสอนท่าทางการทำงาน และการออกแบบสภาพการทำงานให้เหมาะกับบุคคล และ Davies (1972) ได้กล่าวไว้ว่า การฝึกสอนเทคนิคการยกที่ถูกวิธีเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับพนักงาน เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่เกิดขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่า จะมีแรงงานชายบางส่วนเท่านั้นในโรงสีข้าวที่จะสามารถแบกกระสอบข้าวสารที่หนักถึง 100 กก.ได้ ซึ่งได้มีผลงานวิจัยสนับสนุนประโยคดังกล่าว โดยที่ว่ามีแรงงานชายเพียงร้อยละ 10 เท่านั้นที่จะสามารถยกของหนักได้ถึง 87.6 กก. (Snook et al.,1970)

ในการวิจัย จะศึกษาเกี่ยวกับการทำงานแบกกระสอบข้าวสารเพื่อกำหนดเกณฑ์เบื้องต้นเพื่อเป็นมาตรฐานความปลอดภัยในงานแบกของ โดยจำลองลักษณะงานแบกให้ใกล้เคียงกับงานจริง คือกำหนดความสูงในการนำกระสอบข้าวสารขึ้นแบกไว้ที่ความสูงระดับหัวไหล่ของผู้ถูกทดลอง และความสูงในการนำกระสอบลงจากบ่าไว้ 2 ระดับคือ 1. ที่ความสูงระดับหัวเข่า เนื่องจากเป็นท่าที่ผู้ถูกทดลองจะต้องก้มตัวมากที่สุดซึ่งคาดว่าจะทำให้เกิดโมเมนต์ที่กระทำต่อหลังส่วนล่างมากที่สุด และ 2. ที่ระดับความสูงระดับอกของผู้ถูกทดสอบ และน้ำหนักในการแบกจะกำหนดโดยใช้น้ำหนักจากกระสอบข้าวสารที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ กระสอบข้าวหนัก 25 กิโลกรัม 55 กิโลกรัม และ 100 กิโลกรัม รวมทั้งจะใช้กระสอบพิเศษ หนัก 125 กิโลกรัม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์ในสมการถดถอย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่แบกบนบ่า และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า ในเชิงชีวกลศาสตร์
2. เพื่อหารูปแบบพยากรณ์การกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารบนบ่า โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์เป็นเกณฑ์
3. เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ ในภาวะพลวัต กับภาวะสถิต สำหรับการทำงานแบกกระสอบข้าวสารบนบ่า

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาผลกระทบของลักษณะงานแบกกระสอบข้าวสาร ได้แก่ น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า ที่มีผลต่อร่างกาย ศึกษางานแบกกระสอบข้าวสารในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

การใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ เพื่อคำนวณค่าแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างในภาวะพลวัต และภาวะสถิต รวมทั้งแรงที่ถูกกระทำโดยกล้ามเนื้อหลัง โดยใช้แบบแผนการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ของ Winter (1979)

ผลการศึกษาจากแนวทางชีวกลศาสตร์ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความปลอดภัยในการรับแรงของกระดูกสันหลัง ที่ได้เคยมีนักวิจัยหลายท่านกำหนดไว้ในอดีต และเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของผู้ถูกทดลอง เพื่อกำหนดเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดของน้ำหนักสำหรับงานแบกของเพื่อความปลอดภัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาที่มาและสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบการทดลอง
4. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับการทดลอง
5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูล
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการศึกษาผลของลักษณะงานแบกกระสอบข้าวสาร ได้แก่น้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่แบกบนบ่า และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า ที่กระทบต่อร่างกาย
2. เป็นแนวทางในการกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ปลอดภัยของน้ำหนักสำหรับงานแบกของบนบ่า
3. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างจากการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต กับภาวะสถิต สำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารบนบ่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Andersson (1981) ได้กล่าวถึงสาเหตุที่เป็นปัจจัยต่อการเกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างไว้หลายสาเหตุ ได้แก่ ลักษณะงานที่หนัก ความถี่ที่ต้องงอตัวหรือเอี่ยวตัว การยกและการเคลื่อนไหวของร่างกาย รวมทั้งลักษณะของบุคคล ได้แก่ อายุ เพศ สัดส่วนร่างกาย ท่าทางการทำงาน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสมบูรณ์ของร่างกาย และปัญหาด้านสังคมและจิตใจ

ปัจจัยด้านความเร็วในการยกของอย่างรวดเร็วนั้นจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บเนื่องจากกล้ามเนื้อนั้นไม่สามารถที่จะทนต่อสภาพการทำงานนั้นๆ ได้ ปัจจัยด้านระยะทาง ซึ่งความสามารถในการยกของจะลดลงเมื่อระยะยกในแนวดิ่งมีค่ามากขึ้น และจะสามารถยกได้ดียิ่งขึ้นถ้าสิ่งของนั้นอยู่ใกล้ตัวมากขึ้น (Park & Chaffin,1975, Nag,1991) และอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างมักเกิดจากการทำงานที่คนงานยกของหรือขนย้ายของหนักเกิดความสามารถของร่างกาย (Ayoub,1977) ซึ่งการป้องกันอาการบาดเจ็บอาจทำได้ด้วยการหาความสามารถในการขนย้ายสิ่งของของคนงานแต่ละคนเพื่อเป็นแนวทางมิให้คนงานทำงานเกินขีดจำกัดความสามารถของตน ซึ่งวิธีการหาขีดจำกัดในการยกของคนงานนั้นสามารถทำได้ใน สามแนวทาง คือ

1. เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)
2. เกณฑ์การประเมินโดยใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)
3. เกณฑ์การประเมินโดยหลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

ซึ่งการหาความสามารถในการขนย้ายวัตถุนั้น จะถูกจำกัดโดยความแข็งแรงร่างกายและการตอบสนองทางสรีรวิทยา การใช้เกณฑ์ความแข็งแรงของร่างกายก็จะมุ่งไปในทางที่จะยกน้ำหนักให้ได้สูงสุด แต่การใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา ถูกจำกัดด้วยความถี่ในการยกโดยผู้ถูกทดสอบมักจะเลือกน้ำหนักที่มีค่าน้อย ไว้ก่อนเพื่อที่จะสามารถยกได้นาน (Snook et al.,1970)

Snook (1967) ได้ศึกษาหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกข์ ให้ผู้ถูกทดสอบสามารถกำหนดน้ำหนักที่ยกที่จะไม่ทำให้เกิดความล้าหรือความเครียด พบว่าค่าน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ของกลุ่มประชากรเพศชายร้อยละ 90 คือ 52 ปอนด์ ที่ระดับการยกจากพื้นถึงความสูงระดับข้อนิ้ว และได้กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อ การหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับ

ได้นั้น ได้แก่ ความแตกต่างของบุคคล เช่น เพศ อายุ การฝึกฝน และความสมบูรณ์ของร่างกาย รวมทั้งความแตกต่างของลักษณะงาน เช่น ขนาดของสิ่งที่ยก ความสูงในการยก และความถี่ในการยก

Jiang & Ayoub (1987) ได้ศึกษาหาแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยก ในระดับความสูงต่างๆ โดยการใช้แนวทางจิตฟิสิกส์ กับผู้ถูกทดลอง 100 คน ซึ่งได้วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ทางสถิติ ตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยก กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ 1. ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (shoulder, arm, standing back, leg, and composite strength) 2. ข้อมูลทาง Anthropometric (bodyweight and abdominal depth) และ 3. ความถี่ในการยก ซึ่งได้มีการทดสอบสมการดังกล่าวกับผู้ถูกทดสอบอีก 46 คน และผลที่ได้นั้นสามารถพยากรณ์ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกได้เป็นอย่างดี

ตริฉัตร จำปาวัลย์ (2538) ได้ศึกษาหาขีดจำกัดสูงสุดของการยกที่ยอมรับได้ในแนวระนาบหน้า–หลัง โดยศึกษาปัจจัย ความถี่ในการยก ความสูงการยก และน้ำหนักภาระงาน ในแนวทาง 3 แนวทางคือ 1. การตอบสนองทางสรีรวิทยา 2. จิตฟิสิกส์ 3. ชีวกลศาสตร์ ซึ่งในแนวทางชีวกลศาสตร์นั้นสรุปได้ว่า น้ำหนัก 5 กิโลกรัมและ 12 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักที่ปลอดภัยสำหรับการยกที่ปัจจัยความถี่ 3 และ 6 ครั้งต่อนาที และที่ความสูง 75 และ125 เซนติเมตร

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการขนย้ายกระสอบข้าวสารโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการประเมินขีดจำกัดของคนงาน โดยการให้คนงานขนย้ายกระสอบข้าวสารที่มีน้ำหนักขนาดต่างๆ และจะศึกษาทั้งในรูปแบบของ ภาวะสถิต และภาวะพลวัต เพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งในด้านความแตกต่างของรูปแบบทั้งสอง เปรียบเทียบผลที่ได้กับขีดจำกัดของผู้ถูกทดลอง และเปรียบเทียบกับขีดจำกัดของผลงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา แล้วกำหนดขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับงานแบกของบนบ่า

เกณฑ์การศึกษาทางชีวกลศาสตร์

การเปรียบเทียบภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่างกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load; MAL) โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์มาเป็นเครื่องมือช่วยนั้น ทำให้สามารถทราบได้ว่าผลจากสภาพการทำงานนั้นๆ เกินจากค่า MAL หรือไม่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขสภาพการทำงานให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย

1. การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง

ความเครียดทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นบนร่างกายขณะทำงานยกนั้น เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ยก น้ำหนักของร่างกาย และวิธีการหรือท่าทางการยก (Park & Chaffin,1975) โดยใช้รูปแบบทางชีวกลศาสตร์ คำนวณหาแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อต่างๆ บนร่างกาย ในขณะทำงานเพื่อต้านกับแรงดึงดูดและทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งกล้ามเนื้อจะต้องออกแรงเพื่อให้เกิดสมดุลกับแรงบิดที่เกิดขึ้นและจะออกแรงมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับระยะห่างของกล้ามเนื้อนั้นๆ กับจุดหมุน หรือที่เรียกว่าแขนของโมเมนต์ นอกจากแรงที่เกิดจากภายนอกร่างกายแล้วการออกแรงดึงของกล้ามเนื้อเหล่านั้นจะทำให้เกิดแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้นบนผิวสัมผัสระหว่างข้อต่อของกระดูกอีกด้วย โดยมีการคำนวณอยู่สองรูปแบบ คือ การคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะสถิต (Statics) และการคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะพลวัต (Dynamics)

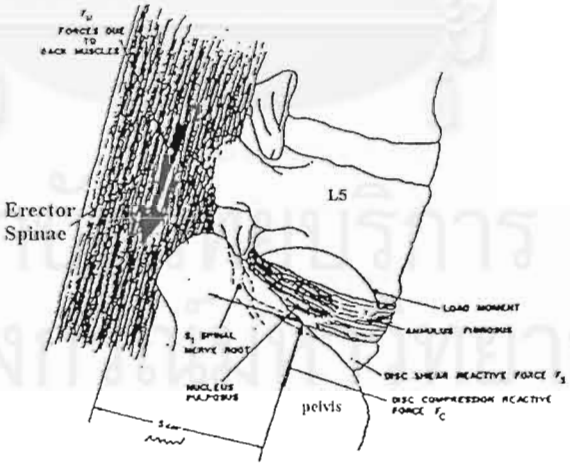
ในระยะเริ่มแรกของการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์มักจะเป็นการคำนวณในภาวะสถิต ซึ่งมีข้อเสียนั้นคือพบว่าแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกจากการใช้รูปแบบของภาวะสถิต จะมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากภาวะงานจริงซึ่งเป็นภาวะพลวัต ประมาณร้อยละ 40 (Freivald , 1984) ดังนั้นนักวิจัยหลายท่านจึงได้ศึกษาในรูปแบบภาวะพลวัตเพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความจริง โดยอาศัยการถ่ายภาพต่อเนื่อง และวัดมาตราส่วนเพื่อหาตำแหน่งต่างของข้อต่อขณะที่มีการเคลื่อนไหว เพื่อหาความเร็วและความเร่ง ซึ่งจะทำให้ผลลัพท์ที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะพลวัต แต่การคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปศึกษาในสถานประกอบการหรือในการทำงานจริงเนื่องจากข้อกำหนดทั้งในด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้สลับซับซ้อนมากขึ้น (Potvin ,1992) รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพต่อเนื่องและการหาพิกัดจุดเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณจึงเป็นอุปสรรคต่อการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก (ตริฉัตร จำปาวัลย์ ,2538)

Frigo (1990) ได้ศึกษาการยกของโดยใช้รูปแบบการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ภาวะพลวัต พบว่าการใช้รูปแบบการคำนวณในภาวะพลวัตจะให้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าภาวะสถิต และพบว่าค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างจะมีค่ามากที่สุดในช่วงแรกของการยก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jager & Luttmann (1992) กับ Kjellberg et al.(1998) และ Kjellberg et al. (1998) พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างท่าทางการยกแบบหลังตรง-เข่างอ กับท่ายกแบบหลังงอ-เข่าตรง เพียงเล็กน้อยโดยท่าหลังงอ-เข่าตรงจะมีค่าโมเมนต์สูงสุดที่สูงกว่า และค่าโมเมนต์สูงสุดจะมีค่าแปรผันกับความเร็วในการยก

Ekholm et al. (1982) ได้ศึกษาผลภาระที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการทำงานของกล้ามเนื้อหลังระหว่างการยกในท่าต่างๆ โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์พบว่า การยกในท่าที่เหยียดเข่าตรงกับท่างอเข่าและให้สิ่งของที่ยกอยู่หน้าหัวเข่า นั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนักทั้งแรงกดอัดและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง แต่สำหรับการยกแบบงอเข่าโดยยกสิ่งของขึ้นผ่านระหว่างหัวเข่าซึ่งทำให้ระยะห่างจากกระดูกเชิงกรานลดลง จะทำให้ค่าแรงกดอัดและโมเมนต์นั้น มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่าโมเมนต์สูงสุดและแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเกิดจากน้ำหนักของลำตัวส่วนบน ถึงร้อยละ 70 และเกิดจากน้ำหนักของสิ่งที่ยกเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น

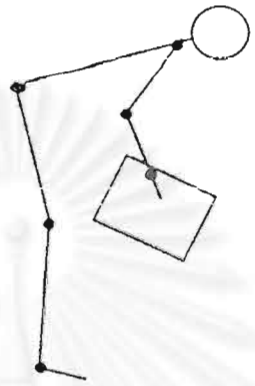
การศึกษาวิจัยนี้จะมุ่งจะหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้แก่

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการขนย้าย
- แรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Erector spinae ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรง (Ekholm et al., 1982) และกล้ามเนื้อนี้จะอยู่ห่างจากกระดูกสันหลังท่อน L5/S1 ประมาณ 5 เซนติเมตร (Thieme ,1950) นักวิจัยบางท่านกล่าวว่าประมาณ 6 เซนติเมตร (Troup & Chapman ,1969) และ Tayyari & Smith (1997) ได้ใช้ค่าประมาณ 4 เซนติเมตร สำหรับ Jager & Luttmann (1992) ได้กำหนดให้ใช้ระยะห่างเท่ากับ 5 เซนติเมตร



รูปที่ 2.1 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

Winter (1979) ได้เสนอวิธีการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าแรงและโมเมนต์ทั้งในภาวะสถิตและภาวะพลวัตโดยแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ ที่เรียกว่า Segment 6 ส่วนสำคัญ คือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวรวมทั้งศีรษะ ขาส่วนบน ขาส่วนล่าง และเท้า ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ

1.1 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต (Statics)

การคำนวณในรูปแบบภาวะสถิตจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ ลักษณะท่าทางการทำงาน รวมทั้งข้อมูลทาง Anthropometry ด้วย และจะนำมาคำนวณตามรูปแบบของภาวะสถิตโดยมีสมการการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ดังนี้

$\sum F_X = 0$ (ผลรวมของแรงทุกแรงในแนวแกน X มีค่าเป็นศูนย์)

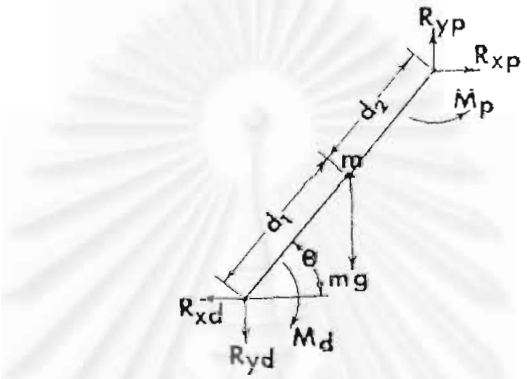
$\sum F_Y = 0$ (ผลรวมของแรงทุกแรงในแนวแกน Y มีค่าเป็นศูนย์)

$\sum M_{CM} = 0$ (ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดใดๆ มีค่าเป็นศูนย์)

ถ้าสมการทั้งสามเป็นจริงก็จะเรียกได้ว่าอยู่ในภาวะสมดุล จะเห็นว่าสมการทั้งสามนี้มิได้รวมพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อยไว้ ดังนั้นรูปแบบการคำนวณในภาวะสถิตจึงสามารถที่จะใช้ได้ดีกับลักษณะการทำงานที่หยุดอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนไหวช้ามากๆ และมีสมมุติฐานเพื่อนำรูปแบบการคำนวณไปใช้ดังนี้

1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวดิ่ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว

การคำนวณในภาวะสถิต (Statics)



รูปที่ 2.3 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_X = 0$

แทนค่าได้ $R_{XP} = R_{XD}$

โดยที่ R_{XP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนนอน

R_{XD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_Y = 0$

แทนค่าได้ $R_{YP} = R_{YD} + mg$

โดยที่ R_{YP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนดิ่ง

R_{YD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนดิ่ง

m คือมวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที^{2}

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใดคำนวณได้จากสูตร $\sum M_{ZV} = 0$

แทนค่าได้ $M_P = M_D - R_{YD}d_1(\cos\theta) + R_{XD}d_1(\sin\theta) - R_{YP}d_2(\cos\theta) + R_{XP}d_2(\sin\theta)$

โดยที่ M_P คือโมเมนต์ปฏิกิริยายาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

M_D คือโมเมนต์ปฏิกิริยายาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

θ คือมุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

d_1 คือระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

1.2 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต (Dynamics)

ในการคำนวณในสภาวะพลวัต ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณนั้นแบ่งออกเป็น

1. Anthropometry เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย น้ำหนักและความหนาแน่น รวมทั้งโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกาย
2. Kinematics เป็นข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของการเคลื่อนไหว เช่น ตำแหน่ง , ความเร็ว และความเร่ง ของจุดต่างๆ ของร่างกาย รวมทั้งขนาดของมุม , อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย
3. Kinetics เป็นข้อมูลเกี่ยวกับแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น
    1. แรงจากภายนอก เช่นแรงจากน้ำหนักของที่ยก หรือแรงที่วัดได้จากพื้น
    2. แรงจากภายใน ได้แก่แรงจากการดึงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
4. แรงโน้มถ่วง เป็นแรงที่โลกกระทำต่อวัตถุ

Anthropometry

สำหรับโมเมนต์ความเฉื่อย ของแต่ละ Segment ของร่างกาย ได้อาศัยข้อมูลจากต่างประเทศซึ่งเป็นข้อมูลของประชากรชาวต่างประเทศมาคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีข้อมูลส่วนนี้ที่เป็นข้อมูลของคนไทย ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Winter, 1979)

Segment	Weight / Bodyweight	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
Fore arm	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 H.N.	0.578	0.660	0.340	0.503	0.830	0.607
Thigh	0.100	0.433	0.567	0.323	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

Kinematics

การศึกษาครั้งนี้เราได้ทำการศึกษาในระนาบ หน้า-หลัง (Sagittal plane) และการหาข้อมูลทาง Kinematics ก็โดยอาศัยการใช้กล้องวิดิทัศน์ทำการบันทึกภาพในแนวตั้งฉากกับระนาบหน้า-หลัง (Sagittal plane) ด้วยอัตราเร็วคงที่ 50 ภาพต่อวินาที แล้วจึงนำภาพที่ได้ให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลหาตำแหน่งของจุดต่างๆ บนร่างกาย ในทุกๆ ภาพ เพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วและความเร่งของจุดต่างๆ รวมทั้งขนาดของมุม , อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment โดยอาศัยสูตรดังนี้

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

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

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

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

โดยที่ X_i คือ ตำแหน่งของจุดของภาพที่ i

V_i คือ ความเร็วเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i

A_i คือ ความเร่งเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i

θ_i คือขนาดของมุมด้านขวาของ Segment กระทำกับแกนแนวนอนของภาพที่ i

ω_i คืออัตราเร็วเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

α_i คืออัตราเร่งเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

หมายเหตุ การคำนวณนี้ตั้งสมมุติฐานไว้ว่า จุด X_{i-1}, X_i และ X_{i+1} เรียงกันเป็นเส้นตรง

Kinetics

การคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะหาได้โดยการนำข้อมูลทาง Anthropometry และ Kinematics มาใช้กับสมการการคำนวณในรูปแบบภาวะพลวัต โดยมีสมมติฐานหลายข้อเพื่อนำหลักกลศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับร่างกายมนุษย์ดังนี้

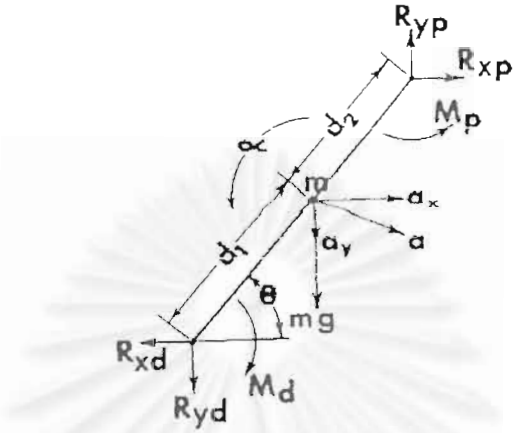
1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวดิ่ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว
6. โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment มีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว

แรงที่กระทำบน Segment แบ่งออกได้เป็น

1. แรงจากภายนอก เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายสัมผัสกับวัตถุภายนอกซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งพื้นที่ผิวสัมผัส แต่สามารถที่จะใช้เวคเตอร์แรงแทนแรงที่กระจายทั้งหมดซึ่งแรงจากภายนอกนี้สามารถที่จะวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงเช่น Force Platform ซึ่งจะวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเท้ากับพื้นที่เท้าสัมผัส
2. แรงจากภายใน เป็นแรงที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ได้แก่ แรงดึงจากกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของกระดูก

3. แรงดึงดูด เป็นแรงที่โลกกระทำกับวัตถุซึ่งมีทิศชี้ลงผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ Segment และมีขนาดเท่ากับ มวล คูณกับ ความเร่งจากแรงดึงดูด (โดยปกติใช้ค่า 9.8 m/s^2)

การคำนวณในสภาวะพลวัต (Dynamics)



รูปที่ 2.4 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_X = ma_X$

แทนค่าได้ $R_{XP} = R_{XD} + ma_X$

โดยที่ a_X คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_Y = ma_Y$

แทนค่าได้ $R_{YP} = R_{YD} + mg + ma_Y$

โดยที่ a_Y คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวแกนดิ่ง

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใดคำนวณได้จากสูตร $\sum M_{CM} = I_{CM}\alpha$

แทนค่าได้ $M_P = M_D + I_{CM}\alpha - R_{YD}d_1(\cos\theta) + R_{XD}d_1(\sin\theta)$

$- R_{YP}d_2(\cos\theta) + R_{XP}d_2(\sin\theta)$

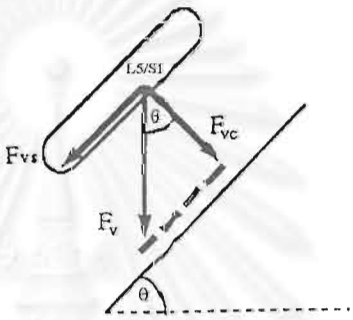
โดยที่ I_{CM} คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

α คืออัตราเร่งเชิงมุมของ θ

1.3 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

แรงกดอัดที่กระทำบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ประกอบด้วยแรงที่เกิดจาก 1.แรงกิริยาจากน้ำหนักของร่างกาย น้ำหนักของสิ่งที่ยกและความเร่งในขณะยก กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และ 2. แรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง Erector spinae ในขณะทำงานเพื่อให้เกิดการสมดุลย์ของโมเมนต์

1.3.1. การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง



รูปที่ 2.5 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนดิ่งบริเวณ L5/S1

1.) แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนดิ่งหาได้จากสูตร

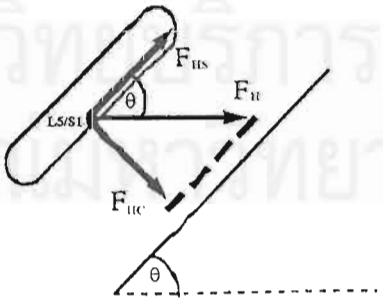
$$F_{VC} = F_V(\cos\theta)$$

โดยที่ F_{VC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนดิ่ง

F_{VS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนดิ่ง

F_V คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนดิ่ง

θ คือมุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน



รูปที่ 2.6 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.) แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอนหาได้จากสูตร

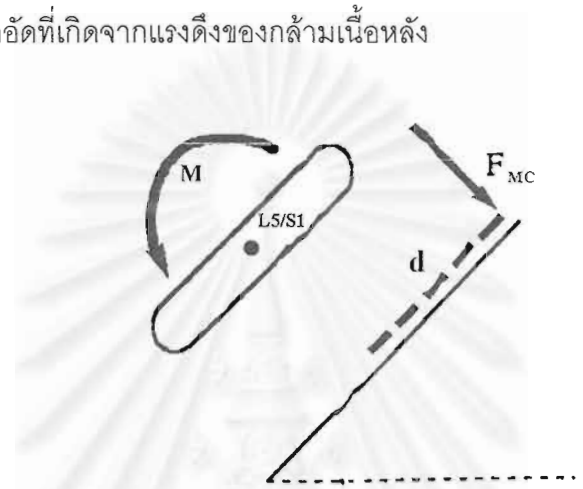
$$F_{HC} = F_H(\cos\theta)$$

โดยที่ F_{HC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน

F_{HS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน

F_H คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

1.3.2. การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง



รูปที่ 2.7 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

แรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังที่กระทำต่อ L5/S1 ได้จากสูตร

$$M = F_{MC} * d$$

โดยที่ F_{MC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

d คือระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของ L5/S1 กับกล้ามเนื้อหลัง

M คือโมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

แรงกดอัดรวมที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง หาได้จากการนำแรงกดอัดทั้งหมดข้างต้นมารวมกันดังสูตร

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

โดยที่ F_C คือแรงกดอัดรวมที่กระทำต่อ L5/S1

2. การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้

การศึกษาถึงวิธีการกำหนดน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการขนย้ายสิ่งของโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์คือการเปรียบเทียบภาระงานที่คำนวณได้ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างกับเกณฑ์ต่างๆ ที่ได้มีผู้วิจัยเคยกำหนดไว้ ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้คือการเปรียบเทียบกับแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังโดยเปรียบเทียบกับแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังยังคงรูปอยู่ได้ (ตริฉัตร จำปาวัลย์,2538) ซึ่ง Park & Chaffin (1975) ได้กล่าวไว้ว่าการหาขีดจำกัดสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกับความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่กระทำ และเปรียบเทียบแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบนกระดูกสันหลังส่วนล่างกับความแข็งแรงสูงสุดที่กระดูกสันหลังสามารถรับได้

2.1 การศึกษาหาแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้

กระดูกสันหลังนับเป็นโครงสร้างหลักของร่างกายประกอบด้วยท่อนกระดูกหลายชิ้น แต่ละชิ้นจะมีเนื้อเยื่อที่เรียกว่าหมอนรองกระดูกรองรับไว้ทำหน้าที่มิให้กระดูกแต่ละชิ้นสัมผัสกันโดยตรงและช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะเคลื่อนไหว ซึ่งเนื้อเยื่อที่เป็นหมอนรองกระดูกเหล่านี้มีลักษณะเป็นถุงที่มีของเหลวอยู่ภายใน และของเหลวดังกล่าวสามารถซึมผ่านเข้าออกได้ด้วยสาเหตุเนื่องจากแรงกดอัดจากภายนอกหมอนรองกระดูก เช่นถ้ามีแรงกดอัดมากขึ้นของเหลวภายในก็จะซึมผ่านเนื้อเยื่อออกไปทำให้หมอนรองกระดูกมีขนาดหดสั้นลง (Adams & Hutton,1983, Kraemer,1985) และแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบนหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอิริยาบถของบุคคล (Wilson,1964) โดยท่าทางการนอนหงายจะให้ค่าแรงกดอัดน้อยที่สุดและจะมีค่ามากขึ้นในท่ายืนหรือนั่ง

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาหาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่สามารถกระทำต่อกระดูกสันหลังก็คือ การนำกระดูกสันหลังที่ได้จากศพ ซึ่งมีการเก็บรักษาอย่างดีและได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่ามีความสมบูรณ์ไม่มีการแตกร้าวหรือชำรุด ทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักให้กดลงไปบนชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั้งกระดูกเกิดการเสียรูป ในขณะทดลองได้มีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับร่างกายมนุษย์ (Brickmann, Biggemann and Hilweg, 1989 อ้างโดย ตริฉัตร จำปาวัลย์, 2538) ค่าแรงกดอัดสุดท้ายที่อ่านได้จะเป็นค่า Compressive Strength (CS) ของกระดูกสันหลัง ซึ่งได้มีนักวิจัยหลายท่านได้สร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อหาค่า Compressive Strength

ตารางที่ 2.2 ค่า Compressive strength ของกระดูกสันหลังที่ถูกรวบรวมไว้ (ตริฉัตร จำปาวัลย์, 2538)

นักวิจัย	ค่า CS โดยประมาณ (นิวตัน)
Sonoda (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)
Messerer (1880)	CS = 1908.3 + (299.7*SC)
Hutton & Adams (1982)	CS = 18512 - (29.3*อายุ) - (3215.5*เพศ) + (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)
Biggemann 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	

จากค่า Compressive Strength ข้างต้นซึ่งเป็นค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังสามารถทนได้ ดังนั้นในการป้องกันอันตรายจึงควรที่มีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังที่อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load) ซึ่งจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า CS และได้มีนักวิจัยที่กำหนดค่า MAL นี้เป็นค่าร้อยละของค่า CS เช่น Eie(1966) พบว่าค่า MAL นี้ควรจะอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า CS และ Genaidy et al.(1993) กำหนดค่า MAL = -805.18+(0.74554*CS) ซึ่งอยู่ประมาณ ร้อยละ 64 ของค่า CS (ตริฉัตร จำปาวัลย์,2538) และ Nicholson (1986) ได้กำหนดค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้อยู่ที่ 6,400 นิวตัน แต่เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบการทำงานจึงควรจะใช้ค่าแรงกดอัดที่ยอมรับได้อยู่ที่ 3,400 นิวตัน

เนื่องจากการศึกษาหาค่า CS ดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการทดลองทางการแพทย์ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงอาศัยข้อมูลของนักวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว มาใช้ในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณตามหลักชีวกลศาสตร์

2.2 การศึกษาหาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ

การศึกษาหาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ กระทำได้หลายแนวทาง ซึ่งค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ได้ก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล เช่นปัจจัย ด้านอายุ เพศ ความสูง น้ำหนัก ความสมบูรณ์และความแข็งแรงของร่างกาย รวมทั้งปัจจัยภายนอกหลายๆอย่างที่มากระทบต่อผู้ถูกทดลองในขณะทำการวัดค่ากำลังสูงสุด เช่น สภาพแวดล้อมโดยรอบที่มีผลกระทบต่อจิตใจและร่างกาย สิ่งเร้าหรือสิ่งกระตุ้นเช่นการแข่งขันเพื่อชัยชนะ การให้รางวัล หรือการตกอยู่ในภาวะอันตราย เป็นต้น

Kroemer & Marras (1981) ได้กล่าวว่า การหาค่าความแข็งแรงสูงสุดของมนุษย์นั้น ไม่สามารถจะทดสอบได้ในคนปกติ เช่น การเกิดการฉีกขาดของกล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็น ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่จะได้จากรายงานผลการเกิดอุบัติเหตุของนักกีฬา ดังนั้นในการทดสอบหาค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อจึงอาศัยวิธีการให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงสูงสุดโดยความสมัครใจซึ่งค่าที่ได้ย่อมจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่าความสามารถสูงสุดจริงๆ เรียกว่าค่า Maximum Voluntary Contraction และมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อการที่จะทำให้ค่า MVC เพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ

	Likely Effect
Feedback of results	+
Instructions on how to exert strength	+
Arousal of ego involvement, aspiration	+
Pharmaceutical agents (drugs)	+
Startling noise, subject's outcry	+
Hypnosis	+
Setting of goals, incentives	+ or –
Competition, contest	+ or –
Verbal encouragement	+ or –
Spectators	?

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ

	Likely Effect
Deception by researcher	?
Fear of injury	-
Deception by subject	-

+ = Increasing

- = Decreasing

? = Effect Unknown

ในความเป็นจริงระยะเวลาความทนทานของกล้ามเนื้อก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเช่นกัน ซึ่งถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อสามารถทำงานได้นานๆ ก็จะต้องให้กล้ามเนื้อนั้นออกแรงน้อยๆ หรืออีกนัยหนึ่งคือระยะเวลาความทนทานของกล้ามเนื้อจะเป็นศูนย์ ในขณะที่กล้ามเนื้อนั้นออกแรงใกล้กับความสามารถสูงสุดนั้นเอง (Nag, 1991) ซึ่งงานวิจัยของ Nag (1991) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาความทนทานที่กล้ามเนื้อจะสามารถทำงานได้ เทียบกับร้อยละ 30 ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 ของค่าสูงสุดของกล้ามที่จะหดตัวได้โดยสมัครใจ (Maximum Voluntary Contraction, MVC) พบว่าความทนทานของกล้ามเนื้อจะมีค่าลดลงเมื่อการทำงานของกล้ามเนื้อนั้นๆ มีค่าร้อยละของค่า MVC ที่มากขึ้น

Kassab & Drury (1976) ได้อ้างงานวิจัยท่านอื่นว่า ค่า MVC ซึ่งเป็นค่าที่กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้มากที่สุดในภาวะสถิตนั้น เป็นสิ่งที่ช่วยในการพยากรณ์ความสามารถในการยกได้เป็นอย่างดี แต่เขาได้กล่าวว่าการวัดกำลังสถิตโดยใช้ค่า MVC ดังกล่าวเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งเท่านั้นที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการยกแบบพลวัต จึงไม่อาจเป็นตัวทำนายที่ดีได้ ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอีกนั้นคือ ลักษณะส่วนบุคคล เช่น ความแข็งแกร่ง ทักษะ ความพยายาม เป็นต้น และยังเกี่ยวกับลักษณะของงานที่กระทำ เช่น ขนาดของสิ่งที่ยก ความสูงในการยก เป็นต้น

ได้มีการศึกษาหาค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยนักวิจัยหลายท่านที่ผ่านมา เช่น Warwick et al.(1980) ได้ศึกษาหาค่าความแข็งแรงสูงสุดโดยสมัครใจในการยก ดึง และผลักของผู้ใหญ่ที่เป็นเพศชาย ในลักษณะท่าทางที่มีการบิดของลำตัว กิตติ อินทรานนท์และคณะ (2532) ได้ทำการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อใน 5 ท่า ของกลุ่มนิสิตชาย อายุระหว่าง 17-24 ปี จำนวน 100 คน และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกำลังสถิตของแรงงานไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นผลงานวิจัยในอดีต พบว่ามีความใกล้เคียงกัน และปัจจัยที่ทำให้กำลังสถิตของบุคคลแตกต่างกันก็

คือ ระยะเวลาฝึกฝน และอาชีพก็เช่นกัน ซึ่งพบว่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังของแรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่ามากกว่านิสิตชายอย่างมีนัยสำคัญ

Yates & Kamon (1980) ได้ศึกษาหาค่าความแข็งแรงสูงสุดของการยกในภาวะสถิต โดยทำการวัดความแข็งแรงของหลัง หัวไหล่ ศอก และจำลองการยกโดยให้ผู้ถูกทดสอบชายและหญิงยกกล่องที่มีโซ่ผูกติดอยู่กับพื้นและวัดแรงดึงในโซ่ ซึ่งพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพศหญิงจะมีค่าต่ำว่าชายประมาณร้อยละ 46 ถึง 73 และความสามารถสูงสุดในการยกของเพศหญิงจะต่ำกว่าชายร้อยละ 50

Huang et al. (1998) ได้ศึกษาแรงดึงสูงสุดของการยกขึ้นและวางลงของแขนข้างเดียวโดยออกแบบการทดสอบให้ยกทางด้านข้างของลำตัวในภาวะพลวัต แล้ววัดแรงตึงที่ได้จากเครื่อง Dynamometer เทียบกับมุมของลำตัวในระนาบซ้าย-ขวา พบว่าการวางลงจะให้ค่าแรงดึงสูงกว่าการยกขึ้น

การวัดหาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อในงานวิจัยหลายๆ ท่านที่ผ่านมามักจะใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ (EMG) หาค่าคลื่นไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะทดสอบแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าคลื่นไฟฟ้าที่ได้ในขณะทำงานว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อนำผลที่ได้ไปกำหนดขีดจำกัดความปลอดภัย

Marras & Davis (1998) ได้ใช้เครื่องมือวัดค่า EMG ที่กล้ามเนื้อหลัง ในการทดลอบยกของในท่าที่มีการบิดของลำตัว (Asymmetric lifting) โดยแปลงค่า EMG ที่ได้ไปเป็นค่าประมาณแรงกดอัดและโมเมนต์ที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งสรุปได้ว่า การยกแบบที่บิดลำตัวจะทำให้เกิดภาระงานที่กระดูกสันหลังมากขึ้น โดยการยกแบบบิดลำตัวไปทางซ้ายจะให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าทางขวา

อำนาจ เสตสุวรรณ (2537) ได้ศึกษาหาวิธีการวัดความสามารถสูงสุดในการรับแรงของกล้ามเนื้อหลัง และเรียกค่าที่ได้ว่า Maximum Voluntary Electromyography (MVE) โดยใช้เครื่องมือวัดค่า EMG ในขณะทำการทดสอบหาค่าความสามารถสูงสุด ซึ่งให้ผู้ถูกทดสอบยกน้ำหนักขนาด 20 และ 40 ปอนด์ ที่มุมของลำตัวขนาดต่างๆ (มุมเทียบกับแกนดิ่ง) และพยากรณ์ค่า EMG ที่มุมของลำตัวเท่ากับ 90 องศาและถือให้เป็นค่า Sub-MVE ของแต่ละน้ำหนักที่ยก จากนั้นจัดทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Sub-MVE กับค่าของน้ำหนักที่ยก โดยใช้สมการถดถอยพยากรณ์ เพื่อเปลี่ยนค่า EMG ที่ได้จากการวัดในขณะทำงานจริง มาเทียบกับค่าภาระงานที่ร่างกายรองรับอยู่และกำหนดให้ค่า EMG ที่วัดได้จากการทำงาน ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 30 ของค่า EMG สูงสุดที่ได้จากการทดสอบ

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่า EMG จะมีความสัมพันธ์กันกับแรงที่กล้ามเนื้อกระทำ ในเชิงเส้นตรง ที่มีค่า r^2 มากกว่า 0.9 (Lee et al.,1986) โดยงานวิจัยดังกล่าวได้ศึกษากล้ามเนื้อหลังและกล้ามเนื้อหน้าท้อง รวมทั้งการศึกษาของ Kjellberg et al.(1998) ที่ศึกษาวิธีการยกโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ภาวะพลวัตเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก EMG พบว่า รูปแบบของค่าโมเมนต์ที่บริเวณหลังส่วนล่างจะมีแนวโน้มที่คล้ายกันกับรูปแบบของค่า EMG ในขณะช่วงเวลาที่ทำการยก ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ออกแบบให้มีการทดสอบค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อด้วยการใช้วิธีการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อตามแนวทางของ กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2532) วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อต่างๆ ได้แก่ การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อขา และการวัดท่าที่ใช้กล้ามเนื้อหลายๆ ชิ้นผสมกัน (Composite Strength) โดยบันทึกภาพในขณะทดสอบเพื่อนำมาคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ หาแรงที่กล้ามเนื้อนั้นๆ กระทำสูงสุด และแรงที่กระทำกับข้อต่อต่างๆ รวมทั้งแรงกดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างซึ่งจะสามารถหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดที่ร่างกายสามารถยอมรับได้

จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ขีดความสามารถของมนุษย์ในงานยกหรืองานแบกจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น ปัจจัยทางด้านจิตใจและทางด้านร่างกาย ซึ่งปัจจัยทางด้านร่างกายประกอบไปด้วย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และสัดส่วนสรีระของร่างกาย เนื่องจากปัจจัยทางด้านจิตใจของมนุษย์นั้นมีความซับซ้อนและไม่สามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างชัดเจนดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงคำนึงถึงแต่ปัจจัยทางด้านร่างกายเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทำนายค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร โดยปัจจัยทางร่างกาย ได้แก่ ปัจจัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ โดยมีสมมุติฐานที่ว่า บุคคลที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากน่าจะมีขีดความสามารถในการแบกหรือยกของได้ดี รวมทั้งปัจจัยทางสัดส่วนสรีระของร่างกาย เช่น ความยาวของส่วนต่างๆ ได้แก่ความสูงของร่างกาย ความยาวขาและความยาวแขน เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณทางชีวกลศาสตร์เพราะความยาวของชิ้นส่วนต่างๆ ที่แตกต่างกัน ทำให้ระยะห่างระหว่างลำตัวกับน้ำหนักสิ่งของที่แบกเปลี่ยนแปลง ทำให้โมเมนต์กระทำที่หลังเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย รวมทั้งปัจจัยความยาวรอบชิ้นส่วนต่างๆ เช่นความยาวรอบอก ความยาวรอบน่องและความยาวรอบแขน เป็นต้น ก็จะมีส่วนสัมพันธ์กับขนาดของกล้ามเนื้อบริเวณที่วัด และแสดงถึงความใหญ่หรือความหนาของร่างกาย โดยมีสมมุติฐานที่ว่าผู้ที่มีร่างกายที่ใหญ่น่าจะสามารถแบกหรือยกของได้ดีกว่าผู้ที่มีรูปร่างเล็ก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

ผู้ถูกทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะใช้ผู้ถูกทดลองเป็นเพศชายจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ที่ทำงานแบกกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. เป็นประจำ โดยแต่ละคนจะต้องมีประสบการณ์การการทำงานแบกกระสอบข้าวสารมาไม่น้อยกว่า 1 ปี

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. กระสอบข้าวสารขนาดบรรจุ หนัก 25, 55, 100 และ 125 กิโลกรัม
2. ชุดเครื่องมือยกกระสอบข้าวสารปรับระดับความสูงได้
3. ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ
4. เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย (Martin-type Anthropometer, Takei, Japan)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balance)
6. เครื่องบันทึกภาพวิดิทัศน์ระบบ PAL (Panasonic , Japan)
7. ชุดเครื่องมือวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Motus System, Peak, America)
8. ชุดเครื่องมือแผ่นวัดแรงปฏิกริยาที่พื้น (Force Platform, AMTI, America)
9. เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาสภาพการทำงานเพื่อพิจารณาหาปัจจัยต่างๆ ในการทำงาน ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง
2. สร้างเครื่องมือ "ชุดเครื่องมือยกกระสอบข้าวสารปรับระดับความสูงได้" ซึ่งสามารถปรับระดับความสูงของกระสอบข้าวได้ โดยจะกำหนดให้เลื่อนขึ้นลงตามความสูงที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดความสูงในการนำกระสอบข้าวสารขึ้นแบกบนบ่าไว้ที่ความสูงระดับหัวไหล่ของผู้ถูกทดลองเพื่อตัดปัจจัยที่จะทำให้เกิดการกระแทกลงบนบ่า และความสูงในการนำกระสอบลงจากบ่าไว้ที่ความสูง 2 ระดับ คือ ช่วงความสูงต่ำกว่าเอว และช่วงความสูงเหนือกว่าเอว
3. ออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้มีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัยคือ น้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่แบก (W) โดยมี 4 ระดับ คือ W1 (หนัก 25 ก.ก.), W2 (หนัก 55 ก.ก.), W3 (หนัก 100 ก.ก.) และ W4 (หนัก 125 ก.ก.) และความสูงในขณะที่นำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า (H) มี 2 ระดับ คือ H1 (ช่วงจากระดับพื้นที่ยืนถึงเอว) และ H2 (ช่วงระดับความสูงจากเอวถึงหัวไหล่) จำนวนการทดลองซ้ำเท่ากับ 3

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทดลอง

		W1	W2	W3	W4
H1	1				
	2				
	3				
H2	1				
	2				
	3				

4. ทำการทดสอบกำลังสถิตสูงสุดของกล้ามเนื้อ

— ทำการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

— บันทึกภาพโดยใช้เครื่องบันทึกภาพวิดิทัศน์เพื่อจับการเคลื่อนไหวของร่างกาย

— อ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดกำลังสถิต

— ประมวลผลโดยเครื่องวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย

— คำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าแรงดึงของกล้ามเนื้อที่มากที่สุดเพื่อนำมาใช้เป็นค่าแรงดึงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ยอมรับได้ (Maximal Acceptable Force , MAF)

5. ทำการวัดสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลอง

6. ทำการทดลองตามแนวทางชีวกลศาสตร์

— โดยให้ผู้ถูกทดลองทำงานแบกกระสอบข้าวสารที่มีน้ำหนักขนาดต่างๆ ตามแบบแผนการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางแสดงรูปแบบการทดลอง(ตารางที่ 4.1)

— บันทึกภาพโดยใช้เครื่องบันทึกภาพวิดิทัศน์เพื่อจับการเคลื่อนไหวของร่างกาย ขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า เดินในระยะ 4-5 เมตร จนกระทั่งนำกระสอบเข้าสารลงจากบ่า

— บันทึกข้อมูลที่ได้จาก Force Platform ที่ติดตั้งไว้บริเวณนำกระสอบข้าวสารขึ้น-ลงจากบ่า เพื่อวัดแรงกริยาที่เกิดขึ้นบนพื้น

7. ทำการคำนวณตามรูปแบบการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ทั้งในภาวะสถิต และภาวะพลวัต เพื่อหาแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง และแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

8. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับขีดจำกัดความปลอดภัยของกระดูกสันหลังที่กำหนดไว้โดยผลการศึกษาของนักวิจัยอื่นๆ และเปรียบเทียบกับขีดความสามารถสูงสุดของผู้ถูกทดลอง

9. กำหนดเกณฑ์น้ำหนักสูงสุดที่ยอมให้แบกไว้บนบ่าได้ โดยยังคงความปลอดภัยของแต่ละผู้ถูกทดลอง

10. วิเคราะห์ปัจจัยเพื่อตัดทอนปัจจัยที่ไม่มีผลต่อการกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

11. สร้างรูปแบบสมการเพื่อใช้พยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

12. ทดสอบสมการข้างต้นกับผู้ถูกทดสอบอื่นๆ เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษางานแบกกระสอบข้าวสารในระนาบหน้า-หลัง โดยไม่คำนึงถึงการบิดตัวหรือเอี้ยวตัว โดยจะสามารถแบ่งภาระงานออกเป็นขั้นตอน 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องนำกระสอบข้าวสารไว้บนบ่า ซึ่งกระสอบข้าวสารจะถูกยกขึ้นมาที่ระดับไหล่โดยเครื่องยกกระสอบข้าวสาร

ขั้นตอนที่ 2 เดินแบกกระสอบข้าวสารไป-กลับเป็นระยะประมาณ 10 เมตร

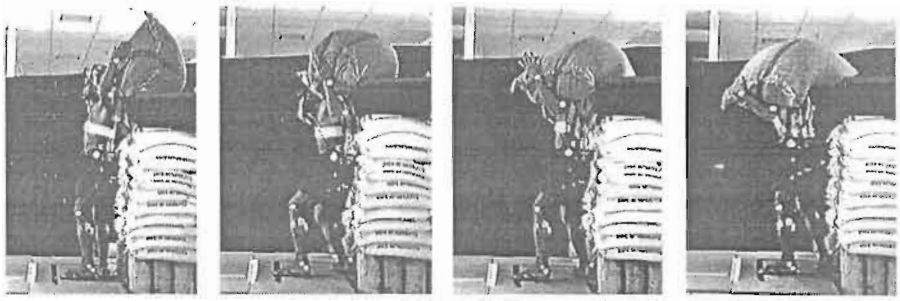
ขั้นตอนที่ 3 นำกระสอบข้าวลงจากบ่าที่ระดับความสูง 2 ระดับ

ในแต่ละขั้นตอนผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะเคลื่อนไหวด้วยท่าที่ผู้ถูกทดสอบพึงพอใจหรือถนัดในลักษณะงานที่กำหนดโดยปัจจัย 2 ปัจจัย คือ น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร (25 กก. 55 กก. 100 กก. และ 125 กก.) ความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า (ความสูงระดับหัวเข่า และความสูงระดับอก) ผู้ถูกทดสอบจะเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องติดต่อกันทั้ง 3 ขั้นตอนซึ่งแต่ละคนจะต้องทำซ้ำ 3 ครั้ง อย่างไรก็ตามหากผู้ถูกทดสอบไม่สามารถแบกกระสอบข้าวสารได้ ผู้ถูกทดสอบสามารถที่จะหยุดการทดลองได้ทุกเวลา ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายอันอาจเกิดจากการทำงานเกินขีดความสามารถของร่างกาย

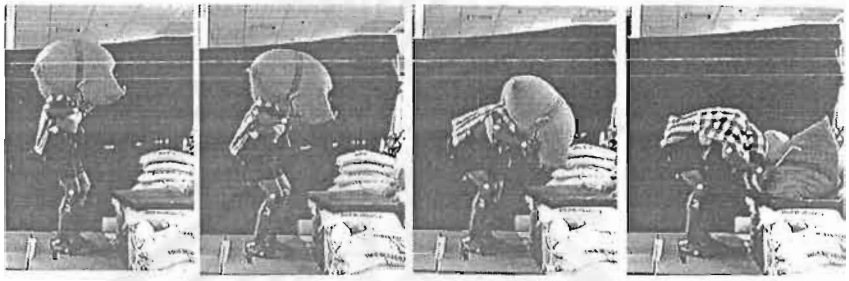
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมของงานวิจัย

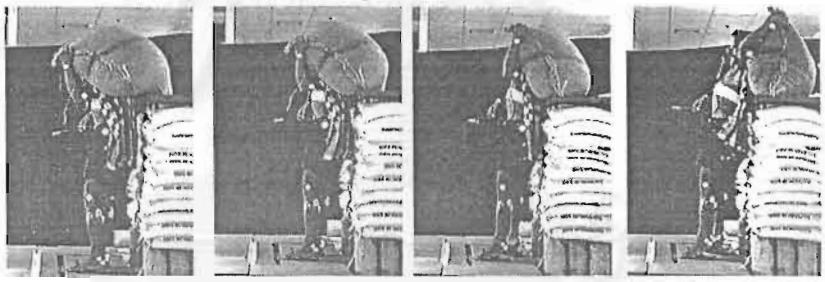
สภาวะแวดล้อม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (C)	30.34	1.97
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (C)	24.80	2.23
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	46.69	15.32



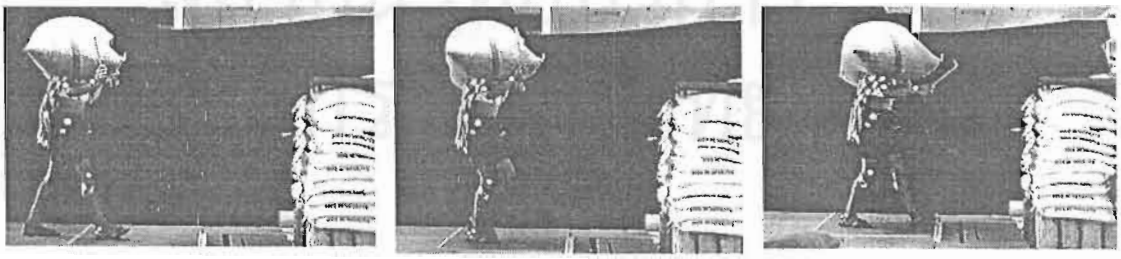
รูปที่ 4.1 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบ่า



รูปที่ 4.2 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับหัวเข่า



รูปที่ 4.3 ภาพต่อเนื่องขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับอก



รูปที่ 4.4 ภาพต่อเนื่องขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร

รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ

ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นเพศชาย มีอาชีพใช้แรงงานรับจ้างแบกกระสอบข้าวสาร จำนวน 10 คน มีอายุระหว่าง 28 ถึง 49 ปี มีค่าเฉลี่ย 39 ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.7 ปี มีประสบการณ์การทำงานตั้งแต่ 7 ปี ถึง 32 ปี มีค่าเฉลี่ย 20 ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.17 ปี โดยผู้ถูกทดสอบทุกคน มีสุขภาพแข็งแรง รวมทั้งไม่เคยมีอาการบาดเจ็บบริเวณหลังจนถึงขั้นเข้าโรงพยาบาลมาก่อน

1. การทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

ผู้ถูกทดสอบทุกคนได้รับการทดสอบหากำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ แขน ขา หลัง และกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (Composite) ค่ากำลังสถิตได้ถูกแสดงไว้ที่ตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน

ผู้ถูกทดสอบ หมายเลข	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อ (กก.)				
	ไหล่	แขน	ขา	หลัง	ส่วนต่างๆ
1	63.2	47.1	110.5	82.8	105.5
2	41.8	54.8	87.1	85	87.1
3	67	61.6	138	111	134.2
4	73.1	80.6	137.1	87.2	138.2
5	47.2	71.5	108.5	85.2	122.9
6	75.8	62	127.4	83.9	120.8
7	61.3	51.1	134.6	69.9	115.4
8	65.4	39.2	134.7	90.2	136.3
9	69.7	44.6	117.6	96.8	116.2
10	54.4	48.8	136.3	84.5	136.1
ค่าเฉลี่ย	61.89	56.13	123.18	87.65	121.27
S.D.	11.04	12.83	16.92	10.60	16.26

2. การหาแรงดึงสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังโดยสมัครใจ (Maximum Voluntary Force , MVF)

ขณะทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบแต่ละครั้งจะมีการบันทึกภาพเพื่อนำไปใช้ประมวลผลตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าของแรงดึงกล้ามเนื้อหลังสูงสุด และค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังโดยสมัครใจ

รูปที่ 4.5 ภาพขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง

ภาพที่ได้ขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังจะถูกนำไปประมวลผลหาพิกัดจุดของข้อต่อต่างๆ บนร่างกาย เพื่อนำไปคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ หาค่าแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังและแรงกดอัดสูงสุดบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง ขณะวัดกำลังสถิต

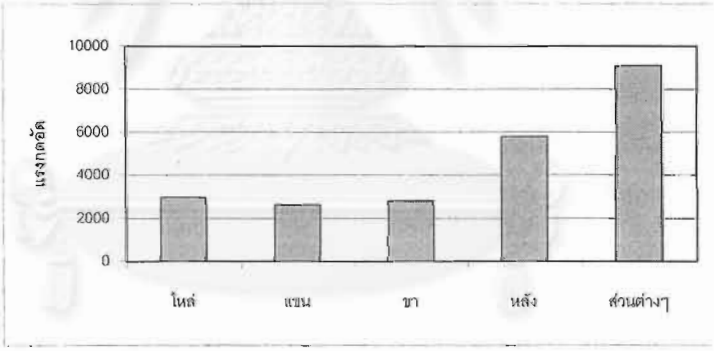
รูปที่ 4.6 ภาพลายเส้นเชื่อมจุดข้อต่อเพื่อคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์

2.1 ผลการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาหาผลกระทบของงานต่อร่างกายบริเวณหลังส่วนล่าง ดังนั้นจึงนำเสนอเฉพาะข้อมูลที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเท่านั้น และค่าแรงกดอัดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างจะแปรผันกับแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังโดยตรง (ตริฉัตร จำปาวัลย์,2538) ดังนั้นจึงแสดงเฉพาะค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อในตารางที่ จ.1 และได้แสดงค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยสมัครใจขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

	ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ				
	ไหล่	แขน	ขา	หลัง	ส่วนต่างๆ
ค่าเฉลี่ย	2980.07	2634.25	2817.01	5982.501	9061.87
S.D.	632.46	676.45	1188.64	624.0533	1258.43



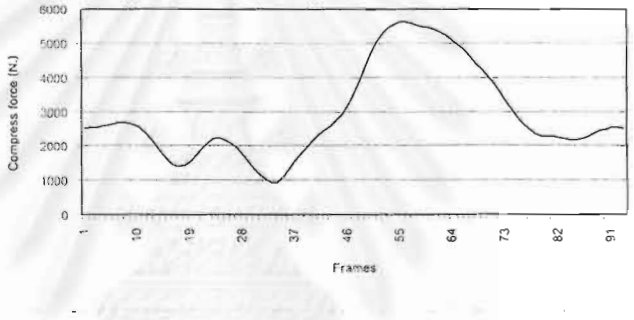
รูปที่ 4.7 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยสมัครใจขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

ผลจากการคำนวณ พบว่าค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ มีค่ามากที่สุด แต่ผลจากการทดสอบวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังจะมีค่าแรงกดอัดใกล้เคียงกับสมการประมาณค่า CS ที่เสนอโดย Adams & Hutton (1982) ดังตารางที่ 4.5

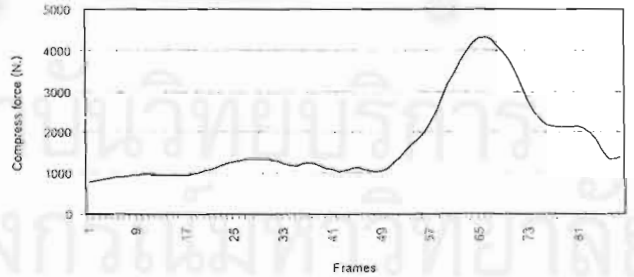
I19246950X

ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์

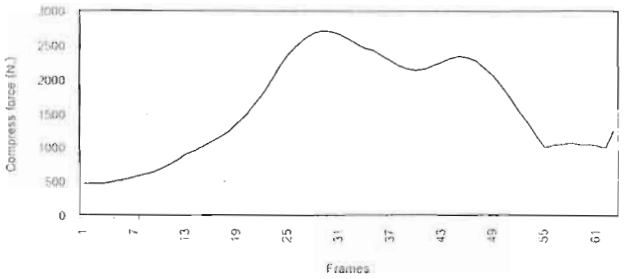
ในการวิจัยนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำหนักของกระสอบข้าวสารขนาดต่างๆ 4 ขนาด (25 กก. 55 กก. 100 กก. และ 125 กก.) และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า (ความสูงระดับเข่า และความสูงระดับอก) จำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง ดังนั้นผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง ใน 8 ลักษณะงาน และได้แบ่งรอบการทำงานของทั้ง 8 ลักษณะงานออกเป็นงานย่อย 4 งาน คือ งานนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า งานนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าที่ปัจจัยระดับความสูงทั้งสองระดับ และงานเดินแบกกระสอบข้าวสาร ซึ่งงานย่อยแต่ละงานจะถูกประมวลผลหาค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต ตลอดช่วงเวลาที่ทำงานย่อยนั้นๆ เพื่อหาค่าแรงกดอัดสูงสุด ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์กำหนดความปลอดภัยต่อไป



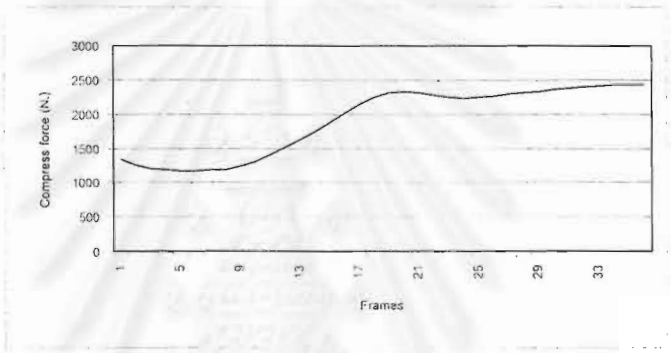
รูปที่ 4.8 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ขึ้นบนบ่า



รูปที่ 4.9 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ขึ้นบนบ่า

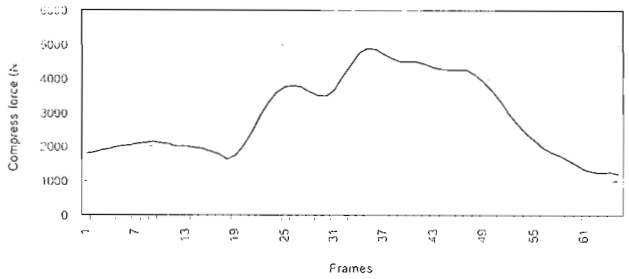


รูปที่ 4.10 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ขึ้นบนบ่า

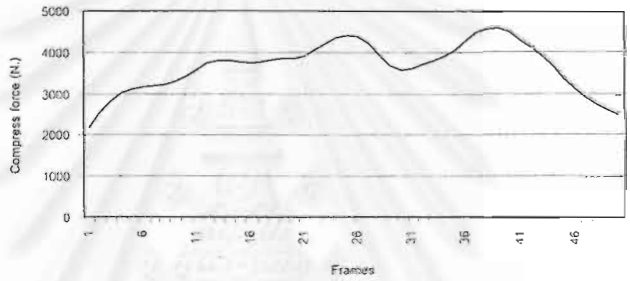


รูปที่ 4.11 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก. ขึ้นบนบ่า

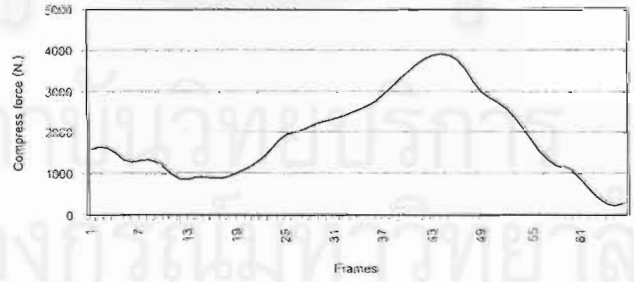
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า จะมีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะดึงกระสอบลงมาจากเครื่องยกกระสอบ และจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางขณะที่ผู้ถูกทดสอบได้แบกน้ำหนักของกระสอบข้าวสารซึ่งกระสอบข้าวสารได้กระแทกลงบนบ่าของผู้ถูกทดสอบ แล้วแรงกดอัดจะมีค่าลดลงขณะที่กระสอบข้าวได้อยู่บนบ่าแล้วเนื่องจากไม่มีการกระแทกของกระสอบนั้นเอง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าในช่วงต้นก็เนื่องจากน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร



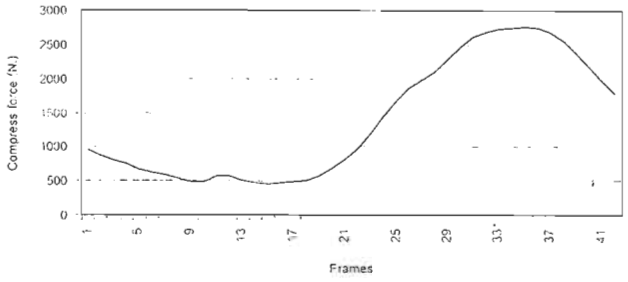
รูปที่ 4.12 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า



รูปที่ 4.13 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า

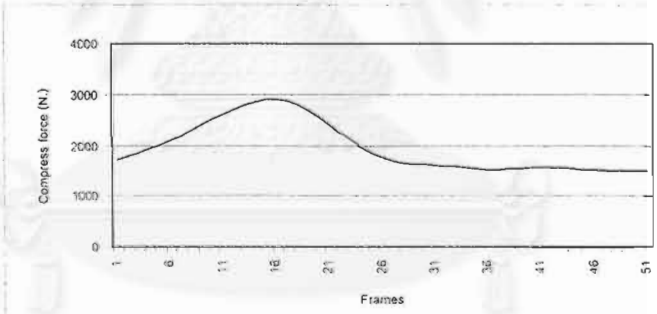


รูปที่ 4.14 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า

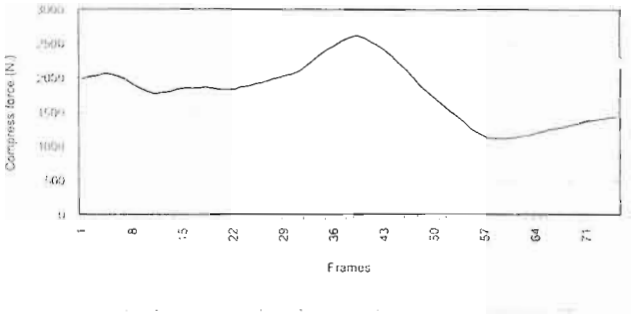


รูปที่ 4.15 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก. ลงที่ความสูงระดับหัวเข่า

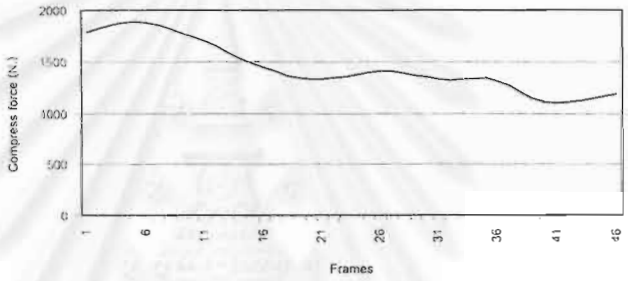
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับหัวเข่าจะมีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะยืนแบกกระสอบในท่าตรง และจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงที่ทิ้งกระสอบข้าวสารลงซึ่งเป็นการทิ้งกระสอบไปข้างหน้า แล้วจะมีค่าลดลงหลังจากที่กระสอบข้าวสารได้หลุดพ้นออกไปจากร่างกายแล้ว



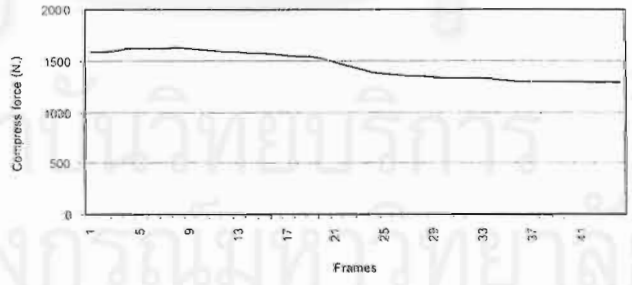
รูปที่ 4.16 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก. ลงที่ความสูงระดับอก



รูปที่ 4.17 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก. ลงที่ความสูงระดับอก

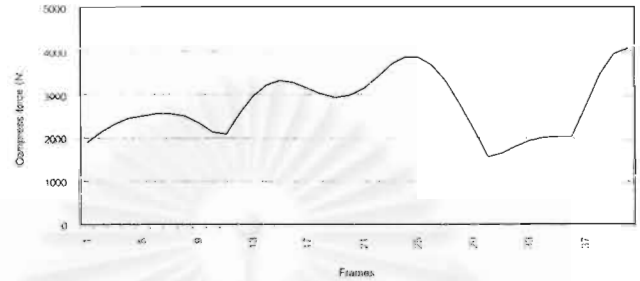


รูปที่ 4.18 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก. ลงที่ความสูงระดับอก

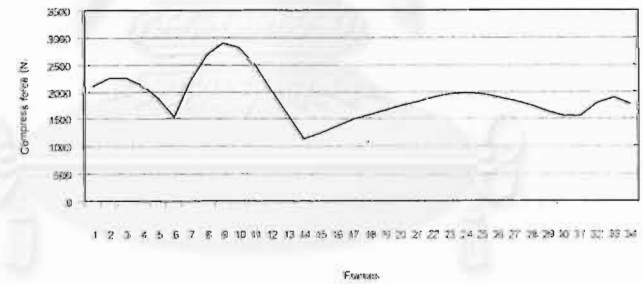


รูปที่ 4.19 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก. ลงที่ความสูงระดับอก

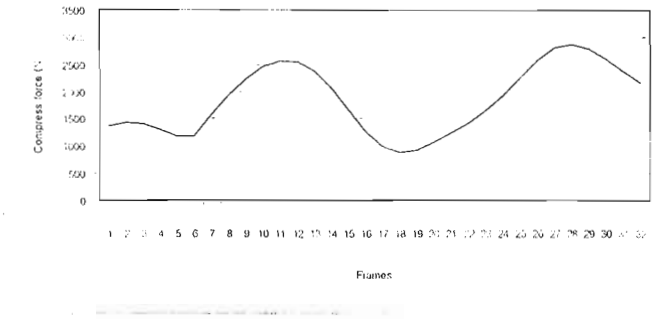
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับอก จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะเอนหลังเพื่อนำกระสอบลง และจะลดลงหลังจากที่กระสอบข้าวสารได้ถูกวางลงบนเครื่องยกกระสอบ ซึ่งผู้ถูกทดสอบจะทิ้งกระสอบลงจากข้างหลัง



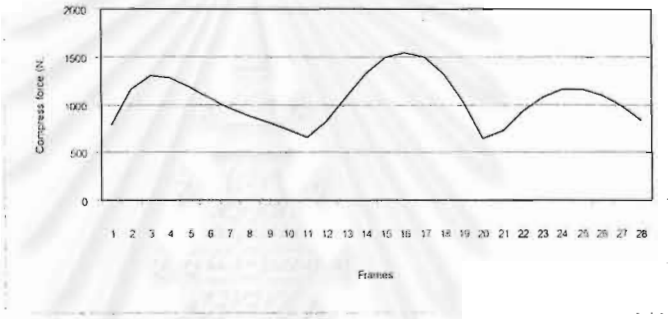
รูปที่ 4.20 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก.



รูปที่ 4.21 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก.



รูปที่ 4.22 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก.



รูปที่ 4.23 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก.

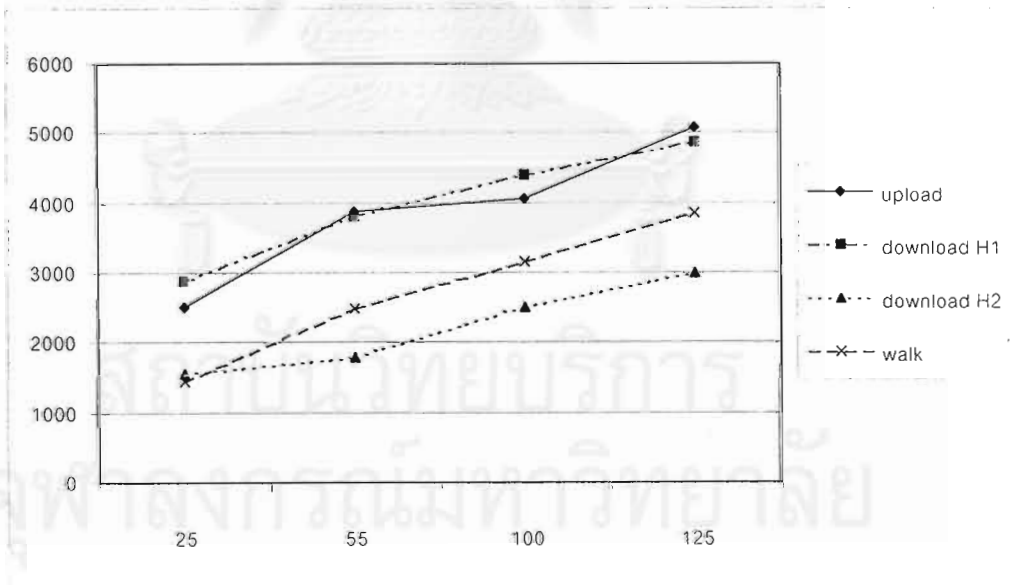
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร มีลักษณะขึ้นและลงเป็นไปตามการเคลื่อนไหวของร่างกายขณะเดิน

<u>1. ผลของค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่างๆ</u>

จากค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างในทุกงานย่อยของผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะถูกเลือกค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการกำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยและข้อมูลค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบแยกตามบุคคล ลักษณะงานย่อย และน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.2 และข้อมูลจากผู้ถูกทดสอบทั้ง 10 คนถูกนำมาเฉลี่ยและแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

น้ำหนักกระสอบ	ค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ขึ้นบ่า	ลงจากบ่าสู่ความสูง		เดินแบก
		ระดับเข่า	ระดับอก	
125 กก.	5081.19 (2032.98)	4879.27 (1350.29)	3003.74 (808.22)	3859.60 (1439.22)
100 กก.	4071.03 (1678.82)	4413.30 (1253.42)	2520.08 (782.02)	3155.53 (738.56)
55 กก.	3885.10 (2102.44)	3803.69 (822.94)	1807.60 (660.24)	2488.09 (813.58)
25 กก.	2522.99 (1302.25)	2874.68 (896.18)	1572.76 (782.13)	1449.81 (465.23)



รูปที่ 4.24 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

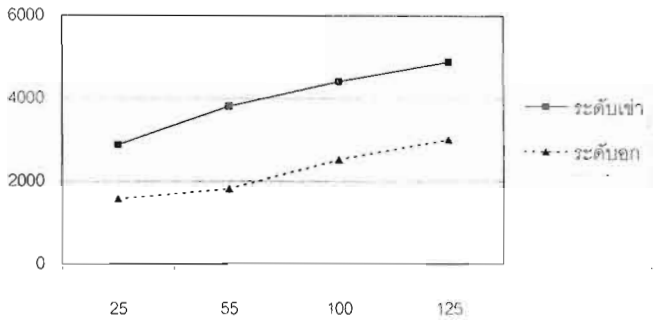
ผลของค่าแรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง พบว่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุด โดยที่น้ำหนัก 125 กก. จะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดมากที่สุด และจะลดลงมาตามน้ำหนัก และมีค่าน้อยที่สุดที่น้ำหนัก 25 กก. ของทุกๆ งานย่อย และ งานย่อยที่ทำให้เกิดแรงกดอัดสูงคือ งานย่อยขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า (Upload) และงานย่อยขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับหัวเข่า (Download H1) สำหรับงานย่อยที่มีค่าแรงกดอัดต่ำที่สุดคือ งานย่อยขณะนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับอก (Download H2)

2. การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารและระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าต่อผลของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (The Two-Factorial Design) เพื่อตรวจสอบถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 : ปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ ข.3 ผลของค่าสถิติ F_0 ของปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร (Weight) มีค่า F_0 = 37.77 ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05,2,\infty}$ = 2.60 แสดงว่าปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และปัจจัยของระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า (Hight) มีค่า F_0 = 208.45 ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05,1,\infty}$ = 3.84 แสดงว่าปัจจัยระดับความสูงมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเช่นกัน แต่สำหรับปัจจัยร่วม (Interaction)นั้น ค่า F_0 = 1.65 น้อยกว่าค่า $F_{0.05,2,\infty}$ = 2.60 แสดงว่าปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 ค่าแรงกดอัดสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบลง

จากรูปที่ 4.25 ได้ช่วยยืนยันว่าไม่มีปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักของกระสอบและระดับความสูงในการนำกระสอบลง และการนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับหัวเข่า จะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างมากกว่าการนำกระสอบข้าวสารลงที่ความสูงระดับอก

และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาต่อไปอีกว่า ช่วงใดของงานแบกกระสอบข้าวสารที่เกิดแรงกดอัดสูงสุด จึงได้แบ่งงานแบกกระสอบข้าวสารออกเป็นงานย่อย 4 งาน คือ 1.งานขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า 2.งานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับเข่า 3.งานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับอก และ 4.งานขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร ซึ่งได้แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนไว้ในตารางที่ ข.4 โดยผลของค่าสถิติ F_0 ของงานย่อยทั้ง 4 (Task) มีค่า $F_0 = 61.27$ ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05,3,\infty} = 2.60$ แสดงว่างานย่อยทั้ง 4 มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

และผลจากการเปรียบเทียบงานย่อยโดยใช้การทดสอบของ Duncan โดยใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่าแรงกดอัดสูงสุดสำหรับงานขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่ามีค่าไม่ต่างจากงานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับเข่าอย่างมีนัยสำคัญ และงานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับอก มีค่าน้อยที่สุด และสำหรับงานเดินแบกกระสอบข้าวสารจะมีค่าแรงกดอัดสูงสุด ต่ำกว่างานขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่าและงานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับเข่า แต่จะมีค่าสูงกว่างานขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่ความสูงระดับอก

3. การพิจารณาเกณฑ์ความปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร

การที่จะพิจารณาว่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดระดับความปลอดภัยหรือไม่ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่ได้มีนักวิจัยท่านอื่น ได้กำหนดไว้ รวมทั้งได้เปรียบเทียบกับค่าแรงกดอัดสูงสุดโดยสมัครใจที่เกิดขึ้นขณะทดสอบวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้กำหนดค่า Compressive Strength (CS) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และได้มีการกำหนดขีดจำกัดความปลอดภัยว่าควรจะมีค่า เป็น ร้อยละ 60 ของค่า CS ที่คำนวณได้ แต่เนื่องจากเกณฑ์การกำหนดค่า CS ของนักวิจัยท่านอื่นๆ แต่ละท่าน มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นในงานวิจัยจึงควรเลือกสมการประมาณค่าของนักวิจัยที่ให้ค่า CS ในเกณฑ์ที่ต่ำ ทั้งนี้ก็เพื่อความปลอดภัยสูงสุด (ดริฉัตร จำปาวัลย์,2538) ซึ่งก็คือสมการการประมาณค่า CS ที่เสนอโดย Adams & Hutton (1982) เนื่องจากให้ค่า CS ต่ำที่สุด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า Compressive Strength (CS) ที่เสนอโดย Adams & Hutton (1982)

ผู้ถูกทดสอบหมายเลข	ค่า CS (นิวตัน)	ร้อยละ 60 ของ CS
1	5276.3	3165.78
2	5852.3	3511.38
3	5794.9	3476.94
4	5018.3	3010.98
5	6462.9	3877.74
6	6576.7	3946.02
7	6228.7	3737.22
8	5767.5	3460.5
9	5813.5	3488.1
10	5809.9	3485.94

จากค่า CS ที่คำนวณในตารางที่ 4.5 พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นขณะทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังที่ถูกแสดงในตารางที่ จ.1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรที่จะนำค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังมากำหนดเป็นเกณฑ์ความปลอดภัย และเสนอให้ใช้ขีดจำกัดความปลอดภัยที่ ร้อยละ 60 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง

ผู้ถูกทดสอบหมายเลข	ค่าแรงกดอัด (นิวตัน)	ร้อยละ 60
1	6147.79	3688.674
2	6176.11	3705.666
3	5612.91	3367.746
4	5629.63	3377.778
5	6944.12	4166.472
6	6000.2	3600.12
7	5535.09	3321.054
8	6790.09	4074.054
9	6174.77	3704.862
10	4814.3	2888.58

4. การกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร

เนื่องจากการกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยขึ้นอยู่กับลักษณะของบุคคลซึ่งแต่ละคนจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารกับค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ค. ตัวอย่างเช่น การหาสมการที่เหมาะสมสำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 1

สมการที่เหมาะสมคือ

$$\ln(CF) = a + b/W$$

โดยที่ CF คือ แรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

a คือ ค่าคงที่ที่ได้จากสมการถดถอย

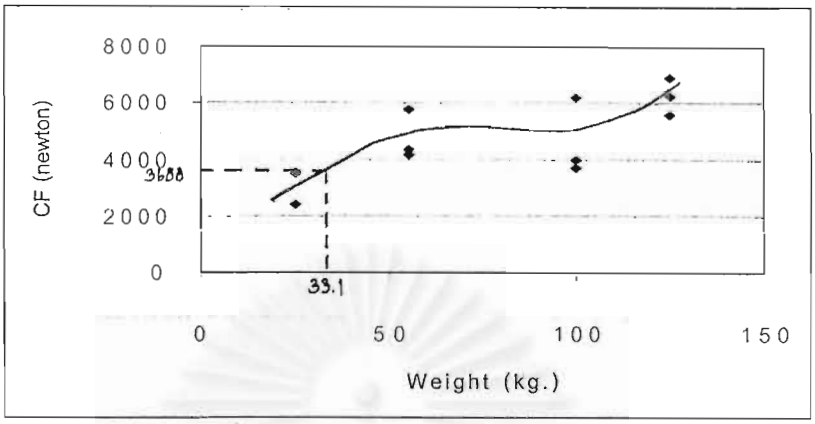
b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

W คือ น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร

ดังนั้นเมื่อทราบค่าแรงกดอัดที่ปลอดภัยจากตารางที่ 4.6 ก็สามารถหาค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่ปลอดภัยได้ โดยแทนค่าคงที่ลงในความสัมพันธ์ดังนี้

$$\ln(CF) = 8.75 + (-17.78) / W$$

ดังนั้น $W = 33.11$ กก.



รูปที่ 4.26 การหาค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกระสอบข้าวสารและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่ปลอดภัยแยกตามบุคคล

ผู้ถูกทดสอบหมายเลข	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักที่ปลอดภัย (กก.)	33.11	40.27	44.51	21.25	60.95	30.12	25.01	21.28	60.55	20.59

ค่าเฉลี่ย = 35.76 กก. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 15.46 กก.

5. การหาสมการเพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร

การหาสมการเพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดน้ำหนักสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารของแต่ละบุคคล ดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารกับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อายุ ประสบการณ์การทำงาน น้ำหนักของร่างกาย ความแข็งแรงของร่างกายซึ่งแสดงได้โดยค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อ รวมทั้งข้อมูลสัดส่วนของร่างกาย แต่เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีจำนวนมากจึงต้องมีการลดทอนจำนวนตัวแปร โดยการตัดตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารออกไปจากสมการ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Backward ซึ่งได้แสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ ง.3

ได้มีการเสนอให้ใช้ การวิเคราะห์ปัจจัยสำหรับตัวแปรค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อ โดย Jiang(1987) เนื่องจากค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อแสดงถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังนั้นเพื่อป้องกันการตัดทอนตัวแปรค่ากำลังสถิตตัวใดตัวหนึ่งออกไป จึงได้ใช้การวิเคราะห์ปัจจัยหาคะแนนปัจจัย สำหรับการสร้างปัจจัยใหม่ซึ่งสามารถใช้แทนตัวแปรค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 5 ตัวได้ โดยเรียกปัจจัยใหม่นี้ว่า Strength Factor โดยผลการวิเคราะห์ปัจจัยได้แสดงไว้ในตาราง ง.1 และสำหรับค่า Strength Factor ได้ถูกสร้างเป็นสมการขึ้นมาจากค่าคะแนนปัจจัยในตาราง ง.2 ดังนี้

$$\text{Strength Factor (STR)} = 0.0281*SHO+0.0067*ARM+0.0216*LEG+0.0161*BACK +0.0223*COM-8.9013$$

โดยที่ SHO = ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ (กก.)

ARM = ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน (กก.)

LEG = ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อขา (กก.)

BACK = ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง (กก.)

COM = ค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (กก.)

ตารางที่ 4.8 ค่า Strength Factor แยกตามผู้ถูกทดลอง

ผู้ถูกทดลองหมายเลข	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
STR	-0.73	-2.16	1.17	1.15	-0.63	0.45	-0.22	0.61	0.06	0.31

ค่า Strength Factor นี้ถูกใช้แทนตัวแปรค่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อต่างๆ ในการหาสมการถดถอย รวมทั้งตัวแปรอื่นๆ อีกได้แก่ อายุ อายุงาน และข้อมูลการวัดสัดส่วนทั้งหมด ซึ่งจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอยโดยใช้เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามแบบ Backward ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ดังในตารางที่ ง.4 ซึ่งชี้ให้เห็นว่ารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของ ค่าน้ำหนักที่ปลอดภัย ควรเป็นฟังก์ชันที่ประกอบไปด้วยตัวแปร Strength Factor น้ำหนักของบุคคล ความยาวรอบอก และความยาวรอบน่อง และสมการถดถอยของ ค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยเป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆ ดังกล่าว คือ

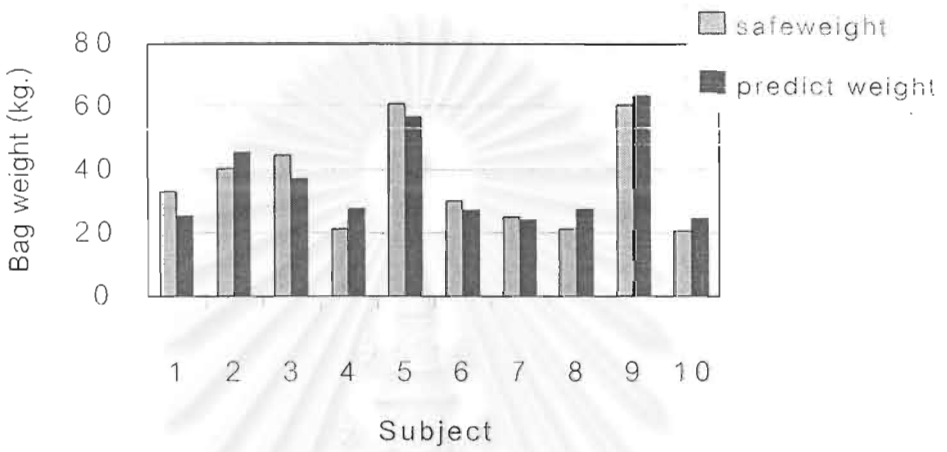
BAGWEIGHT = - 279.028 + 3.588 * ANT1 + 5.293*ANT2 - 8.024 * Strength Factor
(-3.417) (4.148)* (3.069)* (-3.115)**
- 3.113*WEIGHT
*(-4.364)**
R^2 = 0.873 R^2 Adjusted = 0.771

หมายเหตุ : * แสดงความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α เท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่า t – value เท่ากับ 2.228

โดยที่ BAGWEIGHT = น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร (กก.)
WEIGHT = น้ำหนักของบุคคล (กก.) , 57< Weight < 75
Strength Factor = ค่าปัจจัยความแข็งแรงของร่างกาย , -2.16 < STR < 1.17
ANT1 = ความยาวรอบอก (ซม.) ,81 < ANT1 < 92
ANT2 = ความยาวรอบน่อง (ซม.) , 34.5 < ANT2 < 42

จากสมการพยากรณ์ค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยพบว่า ตัวแปรเส้นรอบอกมีความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโดยปกติบุคคลที่มีเส้นรอบอกใหญ่ย่อมจะเป็นผู้ที่มีโครงสร้างร่างกายท่อนบนค่อนข้างใหญ่กว่าบุคคลที่มีเส้นรอบอกขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะมีผลทำให้มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักได้มากกว่า รวมทั้งความยาวรอบน่องก็มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับตัวแปรความยาวรอบอก เนื่องจากโดยปกติบุคคลที่มีเส้นรอบน่องมากกว่าย่อมแสดงว่ามีกล้ามเนื้อขาที่ใหญ่กว่าซึ่งได้มาจากการใช้งานโดยเฉพาะงานแบกของเดิน ในขณะที่ค่าปัจจัยความแข็งแรงของร่างกายมีความสัมพันธ์ในเชิงลบซึ่งอธิบายได้ว่า ในขณะทดลองผู้วิจัยได้สังเกตพบว่าผู้ถูกทดลองที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากกว่าจะมีลักษณะการทำงานที่รวดเร็วและท่าทางที่ใช้แรงมากกว่าผู้ที่มีความแข็งแรงของร่างกายน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลให้การคำนวณทางชีวกลศาสตร์คำนวณแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากกว่า ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าผู้ที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากจะทำให้ผลการคำนวณแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงกว่าเพราะพฤติกรรมการทำงานที่รวดเร็วและใช้แรงมากและน่าจะเป็นอันตรายต่อผู้ถูกทดลองเช่นกัน ตัวแปรสุดท้ายที่ใช้อธิบายน้ำหนักของกระสอบข้าวสารคือ น้ำหนักของผู้ถูกทดลอง ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงลบ อธิบายได้ว่า นอกจากน้ำหนักของกระสอบข้าวสารแล้วกระดูกสันหลังส่วนล่างย่อมต้องรับภาระน้ำหนักของร่างกายด้วย เป็นเหตุให้ผู้ที่มีน้ำหนักร่างกายมากกว่ามีความสามารถในการรับน้ำหนักของกระสอบข้าวสารได้น้อยลง

จากรูปที่ 4.27 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์กับค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ทำนายได้สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นแบบจำลองการพยากรณ์ดังกล่าวจึงน่าจะสามารถใช้ทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในงานแบกกระสอบข้าวสารได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการซึ่งเกิดจากจำนวนผู้ถูกทดสอบน้อย ทำให้ผลที่ได้ อาจจะไม่เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับกลุ่มประชากรทั่วไป



รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยจากสมการกับค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน

สำหรับการทดสอบแบบจำลองการพยากรณ์กับบุคคลอื่นนั้น ทางผู้วิจัยได้หาผู้ถูกทดสอบซึ่งเป็นผู้ที่มีอาชีพใช้แรงงานแบกกระสอบข้าวสาร เพศชาย บุคคลอื่นที่นอกเหนือจาก ผู้ถูกทดสอบ 10 คน หรือเรียกว่าผู้ถูกทดสอบคนที่ 11 มาทดลองเพื่อเปรียบผลการทดลองกับแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักที่ปลอดภัยว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใดเพื่อยืนยันผลการใช้แบบจำลองดังกล่าวโดยมีรายละเอียดข้อมูลของผู้ถูกทดสอบคนที่ 11 ดังนี้

เพศชาย อายุ 38 ปี น้ำหนัก 61 กก. ความยาวรอบอก 85 ซม. ความยาวรอบท่อง 36.7 ซม. กำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ 61.3 กก. กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน 52.7 กก. กำลังสถิตกล้ามเนื้อขา 121.6 กก. กำลังสถิตกล้ามเนื้อหลัง 88.3 กก. กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ 131.1 กก. นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยตามแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักที่ปลอดภัยพบว่า Strength Factor มีค่า 0.146 และค่าน้ำหนักที่ปลอดภัยคือ 29.14 กก.

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองของผู้ถูกทดลองคนที่ 11

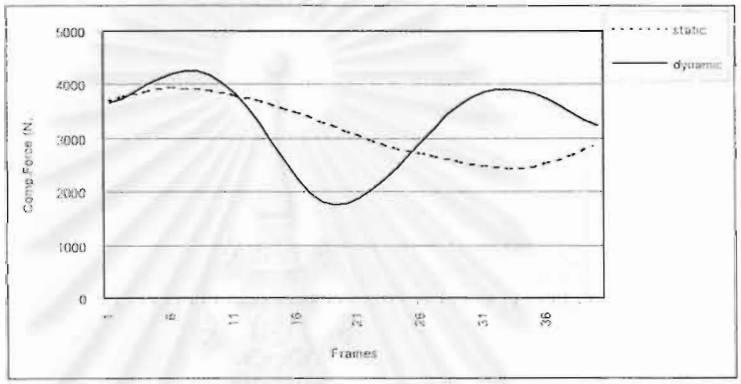
subject	weight	replicate	max.
s11	125	r1	7513.61
		r2	6324.78
		r3	5675.03
	100	r1	6506.70
		r2	4899.66
		r3	4537.12
	55	r1	4734.28
		r2	4553.41
		r3	3878.46
	25	r1	4318.16
		r2	2894.61
		r3	2358.44

จากการทดสอบผู้ถูกทดสอบคนที่ 11 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 หาแรงกดอัดสูงสุดขณะวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อหลังได้ 6017.37 นิวตัน ใช้เกณฑ์ความปลอดภัยที่ร้อยละ 60 คือ 3610.42 นิวตัน หาสมการสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกระสอบข้าวสารกับแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เหมาะสมซึ่งถูกแสดงในตารางที่ ค.11 และใช้สมการที่ถูกแสดงในตารางที่ ค.11 หาน้ำหนักที่ปลอดภัยโดยการแทนค่าแรงกดอัดที่ปลอดภัยคือร้อยละ 60 ได้น้ำหนักที่ปลอดภัยคือ 32.6 กก.

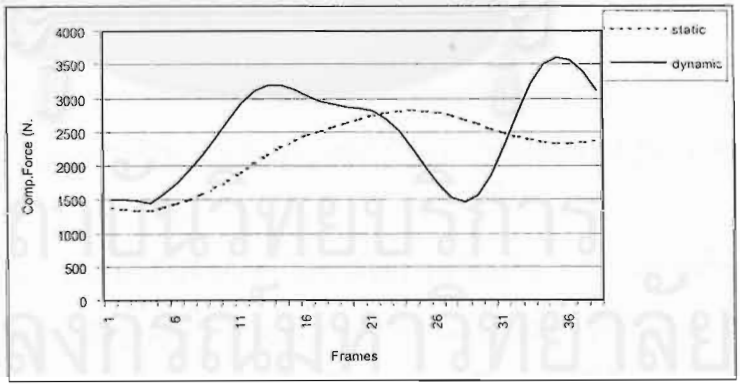
เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองที่คำนวณน้ำหนักที่ปลอดภัยได้เท่ากับ 29.14 กก. กับน้ำหนักที่ปลอดภัยของผู้ถูกทดสอบคนที่ 11 คือ 32.6 กก. นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ 3.46 กก. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักที่ปลอดภัยน่าจะที่จะนำไปใช้ได้กับบุคคลอื่นๆ ที่อยู่ในขอบเขตของกลุ่มประชากรเดียวกับผู้ถูกทดสอบเช่นเป็นผู้ที่มีอาชีพใช้แรงงานแบกกระสอบข้าวสาร สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับประชากรกลุ่มอื่นๆ หรือกลุ่มประชากรปกตินั้น น่าจะนำไปใช้เป็นแนวทางอ้างอิงได้ หรืออาจจำเป็นที่จะต้องทดสอบแบบจำลองเพื่อยืนยันผลกระทบที่มีต่อประชากรกลุ่มอื่นๆ ว่าแตกต่างมากน้อยเพียงใดซึ่งถ้าค่าที่ได้มีความผิดพลาดสูงก็จำเป็นที่จะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับกลุ่มประชากรเหล่านั้นต่อไป

6. การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ ในภาวะพลวัต กับภาวะสถิต สำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร

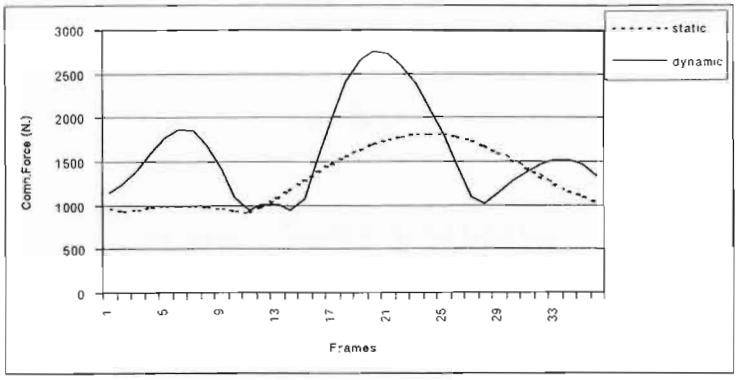
งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นในช่วงขณะเดินแบกกระสอบข้าวสาร โดยการคำนวณในภาวะพลวัต กับ การคำนวณในภาวะสถิต เนื่องจากการคำนวณในภาวะพลวัตนั้นใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า ดังนั้นถ้าผลการคำนวณในภาวะสถิตมีค่าใกล้เคียงกับภาวะพลวัตแล้ว ก็จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยที่ต้องการศึกษางานในลักษณะนี้



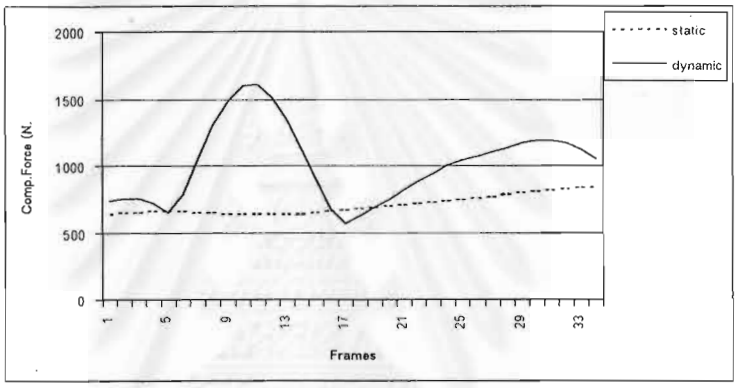
รูปที่ 4.28 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 125 กก.



รูปที่ 4.29 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 100 กก.



รูปที่ 4.30 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 55 กก



รูปที่ 4.31 แสดงค่าแรงกดอัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณแบบพลวัตกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบสถิตขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก

จากการเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดระหว่างการคำนวณแบบพลวัต กับการคำนวณแบบสถิต จะเห็นว่าค่าแรงกดอัดของการคำนวณแบบพลวัตจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน รูปกราฟมีค่าขึ้นลงตลอด แต่ว่าค่าแรงกดอัดที่คำนวณแบบสถิต จะให้ค่าที่เรียบกว่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากการคำนวณในแบบภาวะสถิตนั้นมิได้คำนึงถึงความเร่งที่เกิดขึ้นจึงทำให้ค่าที่ได้ราบเรียบเกิดการแกว่งของข้อมูล

สำหรับค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้ พบว่าการคำนวณแบบสถิตจะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดต่ำกว่าการคำนวณแบบพลวัตดังนั้นจึงไม่สมควรที่จะใช้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณแบบภาวะสถิต มาประมาณค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้ก็เนื่องจากลักษณะท่าทางการทำงานแบกกระสอบข้าวสารมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดความเร่งขึ้นในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังนั้นการใช้ผลการคำนวณในภาวะพลวัตจึงน่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาระงานแบกกระสอบข้าวสารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบของน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตกับภาวะพลวัต โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการหาสมการพยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสาร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อาศัยเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต 2 มิติ เป็นพื้นฐานในการประมวลผลการวิจัย โดยจะศึกษาการเคลื่อนไหวของการทำงานในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) กับผู้ถูกทดลองเพศชาย จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีอาชีพแบกกระสอบข้าวสาร

จากการศึกษาผลกระทบของปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า สรุปผลการทดสอบทางสถิติได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร และ ปัจจัยระดับความสูงมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง โดยปัจจัยระดับความสูงมีผลต่อค่าแรงกดอัดมากกว่าปัจจัยน้ำหนักของกระสอบ สำหรับปัจจัยร่วมน้ำหนักของกระสอบกับระดับความสูงไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลัง
2. จากการวิเคราะห์หางานย่อยที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงที่สุดโดยใช้ Duncan 's multiple range test พบว่าค่าแรงกดอัดสูงสุดจะเกิดขึ้นขณะนำกระสอบข้าวสารขึ้นบนบ่า และขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสูงพื้นสูงระดับเข่า ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงว่า งานทั้งสองให้ค่าไม่แตกต่างกัน สำหรับงานขณะเดินแบกกระสอบข้าวสารจะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดรองลงมา และจะเกิดค่าแรงกดอัดสูงสุด ต่ำสุดขณะนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าสู่พื้นสูงระดับอก

สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักที่ปลอดภัยนั้น เนื่องจากตัวแปรอิสระที่นำมาทดสอบมีจำนวนมาก (โดยสามารถแบ่งตัวแปรออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรด้านความแข็งแรงของร่างกาย และตัวแปรทางด้านสรีระของร่างกาย) และไม่สามารถคาดการณ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระเหล่านี้กับตัวแปรตามได้ จึงใช้วิธีการทางสถิติที่เรียกว่า การหาสมการถดถอยแบบ Backward ซึ่งทำให้แบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ปลอดภัยของกระสอบข้าวสารสำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารที่เหมาะสม ถูกกำหนดโดยตัวแปร ความยาวเส้นรอบอก ความยาวรอบน่อง ค่าความแข็งแรงของร่างกาย และน้ำหนักของผู้ถูกทดสอบ โดยตัวแปรเส้นรอบอกและตัวแปรความยาวรอบน่องมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของกระสอบข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าบุคคลที่มีเส้นรอบอกหรือความยาวรอบน่องที่ใหญ่กว่า ย่อมจะเป็นผู้ที่มีโครงสร้างร่างกายรวมทั้งขนาดของกล้ามเนื้อที่ใหญ่กว่า และอาจจะมีผลทำให้มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักได้มากกว่าเช่นกัน ในขณะที่ค่าปัจจัยความแข็งแรงของร่างกายมีความสัมพันธ์ในเชิงลบโดยผู้วิจัยได้สังเกตพบว่าผู้ถูกทดลองที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากกว่าจะมีลักษณะการทำงานที่รวดเร็วและใช้แรงมากซึ่งทำให้ผลของแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างมีค่าสูงจึงยิ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวจึงมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าน้ำหนักที่ปลอดภัย รวมทั้งตัวแปรน้ำหนักของผู้ถูกทดลอง ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นกัน ก็สามารถอธิบายได้ว่า นอกจากน้ำหนักของกระสอบข้าวสารแล้วกระดูกสันหลังส่วนล่างย่อมต้องรับภาระน้ำหนักของร่างกายด้วย ดังนั้นการที่ร่างกายมีน้ำหนักมากจึงเป็นเหตุให้ความสามารถในการรับน้ำหนักในส่วนอื่นเช่น น้ำหนักของกระสอบข้าวสารลดน้อยลง

การเปรียบเทียบผลการหาค่าแรงกดอัดโดยใช้การคำนวณแบบภาวะสถิต กับใช้การคำนวณแบบภาวะพลวัต พบว่าการคำนวณแบบภาวะสถิตจะให้หาค่าแรงกดอัดสูงสุด มีค่าต่ำกว่าการคำนวณแบบภาวะพลวัต โดยภาระงานแบกกระสอบถือได้ว่ามีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาในแบบพลวัต ซึ่งผลการคำนวนแบบพลวัตน่าจะให้ค่าแรงกดอัดที่ใกล้เคียงความจริงมากกว่า ดังนั้นค่าแรงกดอัดสูงสุดที่คำนวณได้ในภาวะสถิตจึงไม่สามารถนำมาใช้แทนค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงได้สำหรับงานแบกกระสอบข้าวสารเพราะให้ผลที่น้อยกว่าการคำนวณแบบพลวัต

ผลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากจะเป็นการพัฒนางานศึกษาทางการยศาสตร์โดยเฉพาะทางด้านชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตแล้ว ยังเป็นการช่วยเจ้าของกิจการโรงสีหรือกิจการที่ต้องมีผู้ใช้แรงงานแบกหามในการออกแบบสภาพแวดล้อมในการทำงานของผู้ใช้แรงงานแบกหามเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมของการทำงานและการปฏิบัติงานของผู้ใช้แรงงานเอง และแบบจำลองการพยากรณ์ที่ได้ยังเป็นสิ่งช่วยเหลือเจ้าของกิจการในการคัดเลือกผู้ใช้แรงงานที่เหมาะ

สมต่อลักษณะงานโดยเฉพาะงานแบกหามที่มีภาระน้ำหนักมากๆ เช่นงานแบกกระสอบข้าวสาร รวมทั้งยังเป็นงานวิจัยนำร่องสำหรับการหาแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมมากและหากได้มีการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถใช้ได้กับกลุ่มประชากรโดยทั่วไปแล้วก็สามารถที่จะนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบาย หรือการออกกฎหมายแรงงาน ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะศึกษาถึงปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่ระดับอื่นๆ เพื่อทำให้สมการที่ได้ใกล้เคียงกับความจริงมากยิ่งขึ้น
2. ควรศึกษางานแบกกระสอบให้ครอบคลุมถึงการทิ้งในลักษณะอื่นๆ ที่มิใช่การทิ้งในระนาบหน้า – หลัง เช่น การทิ้งกระสอบลงด้านข้างลำตัว
3. ควรศึกษาโดยใช้รูปแบบการคำนวณทางชีวกลศาสตร์แบบ 3 มิติ เพื่อที่จะได้ผลการทดลองที่ถูกต้องยิ่งขึ้น
4. ควรมีการศึกษาปัจจัยทางด้านจิตใจ เพื่อหาน้ำหนักที่พอใจ ซึ่งจะได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองตามแนวทางชีวกลศาสตร์
5. ควรมีการจำลองภาระงานแบบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในสภาวะงานจริง เช่น การเดินไปตามพื้นที่เอียง การเดินลุยเข้าไปในกองข้าวสาร รวมทั้งการเดินที่มีลักษณะเดินและหยุดรอ
6. ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยความเร่งในการทำงานว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงไร
7. ควรขยายผลการศึกษาออกไปถึงการทดสอบผู้ถูกทดสอบเพศหญิง เนื่องจากปัจจุบันได้มีผู้ใช้แรงงานแบกหามที่เป็นเพศหญิงอยู่ด้วยซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิจัยที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น
8. เนื่องจากการวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการซึ่งได้ถูกควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ดังนั้นถ้ามีความเป็นไปได้ก็ควรจะเก็บข้อมูลในสถานที่ทำงานจริงซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นจริงมากยิ่งขึ้น
9. ควรเพิ่มจำนวนผู้ถูกทดสอบให้มากยิ่งขึ้น เพื่อให้แบบจำลองการพยากรณ์สามารถทำนายน้ำหนักปลอดภัยได้ครอบคลุมประชากรในวงกว้าง

10. ปัญหาที่เกิดจากตัวแปรอิสระบางตัวที่ได้มีนักวิจัยอื่นๆ ได้ศึกษามาแล้วว่าน่าจะมีผลต่อความสามารถในการยกหรือแบกหาม เช่น อายุหรือประสบการณ์การทำงาน นั้นซึ่งน่าจะมีผลต่อความสามารถในการแบกรับน้ำหนักของกระสอบข้าวสาร แต่เนื่องจากวิธีการทางสถิติทำให้ตัวแปรดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการใช้เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ซึ่งได้เปรียบร่างกายมนุษย์เสมือนกับการทำงานของเครื่องจักร สามารถคำนวณหาแรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนต่างๆ ได้ ดังนั้นหากผู้ถูกทดสอบที่มีลักษณะท่าทางการทำงานที่ปลอดภัย คือไม่เคลื่อนไหวอย่างผิดหลักการยศาสตร์ และเคลื่อนไหวรวดเร็วจนเกินไป การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ก็ไม่สามารถที่จะพิสูจน์ได้อย่างแท้จริงว่าผู้ถูกทดสอบนั้นกำลังทำงานที่เป็นอันตรายต่อร่างกายอยู่ไม่ว่าผู้ถูกทดสอบนั้นจะมีอายุที่มากหรือน้อยเพียงใดก็ตาม แต่หากมีการวิจัยเพิ่มเติมที่เฉพาะลงไปในแต่ละตัวแปร หรือมีวิธีการทางสถิติในรูปแบบอื่นๆ ที่เหมาะสม อาจทำให้แบบจำลองการพยากรณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2535.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2536.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2537.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2538.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2539.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถิติผู้ประกอบกิจการทั่วประเทศ, 2540.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, รายงานผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการประสบอันตรายเนื่องจากการทำงาน,2532.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2531.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2532.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2533.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2534.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2535.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2536.

กองวิชาการและวางแผนงาน, กรมแรงงาน, สถิติแรงงาน, 2537.

กิตติ อินทรานนท์ , พิชนี โพธารามิก และภาณุพงศ์ อัศวเกียรติ. การพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดสอบลักษณะมนุษย์ของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครงการวิจัย เลขที่ 107-IR-2530 ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์, 2532.

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Windows. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 2, 2541.

ตริฉัตร จำปาวัลย์. ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในแนวระนาบหน้า-หลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ประกาศกระทรวงมหาดไทย ,เรื่องการกำหนดงานและสถานที่ในการทำงานของเด็ก, 2533.

ประกาศกระทรวงมหาดไทย ,เรื่องการคุ้มครองแรงงาน, 2515.

พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พุทธศักราช 2541.

หนังสือพิมพ์ เดลินิวส์,ฉบับวันที่ 2 ก.ค. 2541.

หนังสือพิมพ์ เดลินิวส์,ฉบับวันที่ 6 ก.ค. 2541.

หนังสือพิมพ์ เดลินิวส์,ฉบับวันที่ 7 ก.ค. 2541.

หนังสือพิมพ์ มติชน, ฉบับวันที่ 6 ก.ค. 2541.

หนังสือพิมพ์ สยามรัฐ, ฉบับวันที่ 8 ก.ค. 2541.

หนังสือพิมพ์ สยามรัฐ, ฉบับวันที่ 9 ก.ค. 2541.

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวสำหรับการวิจัยทางสังคมสาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์. โรงพิมพ์เลี่ยงเชียง พิมพ์ครั้งที่ 4 , 2540

สำนักงานประกันสังคม, สถิติงานประกันสังคม, 2538.

สำนักงานประกันสังคม, สถิติงานประกันสังคม, 2539.

สำนักงานประกันสังคม, สถิติงานประกันสังคม, 2540.

อำนาจ เสตสุวรรณ. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการทำงานกับภาระกล้ามเนื้อหลังที่วัดด้วยคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ: กรณีศึกษาของสายการประกอบรถบรรทุกขนาดเล็ก 1 คัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ภาษาอังกฤษ

Adams, M.A. and Hutton W.C. The effect of posture on the fluid content of lumbar intervertebral discs, Spine, 6(1983) :665-671.

Andersson, G. B. J. Epidemiologic Aspects on Low-Back Pain in Industry, Spine ,6 (1981): 53-60.

Ayoub, M.M. Lifting Capacity of workers, J. Human Ergol.,6(1977): 187-192.

Davies, B. T. Moving loads manually, Applied Ergonomics, 3.4(1972): 190-194.

Ekholm, J., Arborelius, U. P. and Nemeth, G. The load on the lumbo-sacral joint and trunk muscle activity during lifting, Ergonomics, 25(1982): 145-161.

Freivalds, A., Chaffin, D. B., Garg, A. and Lee, K. S. A dynamic biomechanical evaluation of lifting maximum acceptable loads. Journal of Biomechanics. 17 (1984): 251-262.

Frigo, C. Three-dimensional model for studying the dynamic loads on the spine during lifting. Clinic. Biomech. 5(1990): 143-152.

Huang, Q-M., Sato, M. and Thorstensson, A. Pulling force in lateral lifting and lowering, Ergonomics, 41(1998): 899-908.

Intaranont, K.; and Vanwonterghem, K. Study of the Exposure Limits in Constraining Climatic Conditions for Strenuous Task: An Ergonomics Approach, Final Report submitted to the Commision of the European Communities and Chulalongkorn University. November 1993, 183 pages.

International Labour Conventions and Recommendation 1919-1991 Volume II, 873-879

Jager, M. and Luttmann, A. The load on the lumbar spine during asymmetrical bi-manual materials handling, Ergonomics, 35(1992): 783-805.

Jiang, B. C. and Ayoub, M. M. Modelling of maximum acceptable load of lifting by physical factors, Ergonomics, 3 (1987) : 529-538.

Kassab, S. J. and Drury, C. G. The effects of working height on a manual lifting task, Int. J. Prod. Res., 14(1976): 381-386.

Kjellberg, K., Lindbeck, L. and Hagberg, M. Method and performance: two elements of work technique, Ergonomics, 41(1998): 798-816

Kraemer, J. Dynamics characteristics of the vertebral column, effects of prolonged loading. Ergonomics, 1(1985): 95-97

Kroemer, K. H. E. Personnel training for safer material handling, Ergonomics, 35(1992): 1119-1134.

Kroemer, K. H. E. and Marras, W. S. Evaluation of Maximul and Submaximal Static Muscle Exertions, Human Factors, 23(1981): 643-653.

Lee, K. S., Chaffin, D. B., Waikar, A. M. and Aghazadeh, F. Prediction of lower back muscle forces in pushing and pulling , Trends in Ergonomics/Human Factors III, 1986: 683-692.

Marras, W. S., and Davis, K. G. Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands, Ergonomics, 41(1998): 817-834.

McGill, C. M. Industrial back problems, Journal of Occupational Medicine, 10 (1968) : 174-178.

Nag, P. K. Endurance limits in different modes of load holding, Applied Ergonomics, 22 (1991): 185-188.

Nicholson, A. S. Manual Handling Limits – A Comparative Study, Trends in Ergonomics/Human Factor III, 1986 : 793-800.

Park, K. S. and Chaffin, D. B., Prediction of load-lifting limits for manual materials handling, Professional safety, 20(1975) : 44-48.

Potvin, J. R., Norman, R. W., Eckenrath, M. E., McGill, S. M. and Bennett, G. W., Regression models for prediction of dynamic L4/L5 compression forces during lifting, Ergonomics, 35 (1992): 187-201.

Snook, S. H. and Irvine, C. H. Maximum Acceptable Weight of Lift, American Industrial Hygiene Association Journal, 1967

Snook, S. H., Irvine, C. H. and Bass, S. F. Maximum Weights and Work Loads Acceptable to Male Industrial Workers, American Industrial Hygiene Association Journal, 1970

Tayyari F. and Smith J.L., Occupational Ergonomics, 1st Edition, 1997, Chapman, NY.

Thieme, F. P., Lumbar Breakdown caused by erect posture in man, unpublished Anthropometric paper, No. 4, University of Michigan, Ann Arbor, 1950, quoted in, Chaffin, D. B. and Andersson, G., Occupational Biomechanics, New York: A Wiley Interscience Publication, 1984.

Troup, J. D. G., Chapman, A. E., The strength of the flexor and extensor muscles of the trunk, J. Biomec., 2 (1969), 49-62.

Warwick, D., Novak, G., Schultz, A. and Berkson, M. Maximum voluntary strengths of male adults in some lifting, pushing and pulling activities, Ergonomics, 23 (1980): 49-54.

Wilson, P. D. Measurements of intradiscal pressure ,Instructional Course Lecture , 1964

Winter, D.A., Biomechanics of Human Movement, 1979, John Wiley, NY.

Yates, J. W. and Kamon, E. Static lifting strength and maximal isometric voluntary contractions of back, arm and shoulder muscles, Ergonomics, 23(1980): 37-47.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แสดงแบบฟอร์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วันที่_____

ชื่อ_____นามสกุล_____

อายุ_____ปี อายุงาน_____ปี

การวัดสัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ลำดับ	หมวด	
1	ความสูง	
2	ความสูงคอ	
3	ความสูงปุ่มหัวไหล่	
4	ความสูงเอว	
5	ระยะเหยียดแขนขณะที่ลำตัวตั้งตรง	
6	ความกว้างของหลัง	
7	เส้นรอบไหล่	
8	เส้นรอบอก	
9	เส้นรอบเอว	
10	เส้นรอบสะโพก	
11	เส้นรอบโคนขา	
12	เส้นรอบน่อง	
13	เส้นรอบกล้ามเนื้อส่วนบนขณะงอแขน	
14	เส้นรอบกล้ามเนื้อส่วนล่างขณะงอแขน	
15	ความยาวของเอวด้านหน้า	
16	ความยาวของเอวด้านหลัง	

ภาคผนวก ก. (ต่อ)

การวัดสัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

17	ความยาวของเท้า	
18	ความกว้างของเท้า	
19	ระยะหัวเข่าถึงก้น	
20	ความสูงใต้ขาอ่อนท่านั่ง	
21	ความสูงนั่ง	
22	ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่	
23	ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้ว	
24	ชั่งน้ำหนัก	
25	การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่	
26	การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน	
27	การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อขา	
28	การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อหลัง	
29	การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนัก และปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

source of variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F0	Sig.
Weight	284434886.724	3	94811628.908	46.341	.000
Error	971837758.223	475	2045974.228		
Total	1256272644.947	478	2628185.450		

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

source of variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F0	Sig.
Hight	187270995.025	1	187270995.025	141.637	.000
Error	314680695.272	238	1322187.795		
Total	501951690.297	239	2100216.277		

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารและปัจจัยระดับความสูงในการนำกระสอบข้าวสารลงจากบ่าที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุด

source of variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F0
Weight	101805069.52	3	33935023.17	37.77
Hight	187270995.03	1	187270995.03	208.45
Interaction	4447318.38	3	1482439.46	1.65
Error	208428307.37	232	898397.88	
Total	501951690.30	239		

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักของกระสอบข้าวสารและปัจจัยงานย่อยทั้ง 4 ของงานแบกกระสอบข้าวสารที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุด

source of variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F0
Weight	284322279.02	3	94774093	64.234764
Task	271188091.72	3	90396030.6	61.267457
Interaction	16182469.51	9	1798052.17	1.2186606
Error	684600934.85	464	1475433.05	
Total	1256293775.09	479		

ตารางที่ ข.5 การเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดสูงสุดของงานย่อยทั้ง 4 ของงานแบกกระสอบข้าวสาร โดยวิธีทดสอบ Duncan 's multiple range test

Task	Mean	The least significant r anges	Standard error of each average
t3	2226.049	R2 = 307.1489	110.8841
t4	2738.262	R3 = 323.7815	
t1	3885.671	R4 = 334.8699	
t2	3992.736		

Comparisons					
t2 vs t3 :	3992.736 - 2226.049 =	1766.687	>	334.8699	(R4)
t2 vs t4 :	3992.736 - 2738.262 =	1254.474	>	323.7815	(R3)
t2 vs t1 :	3992.736 - 3885.671 =	107.0653	<	307.1489	(R2)
t1 vs t3 :	3885.671 - 2226.049 =	1659.622	>	323.7815	(R3)
t1 vs t4 :	3885.671 - 2738.262 =	1147.408	>	307.1489	(R2)
t4 vs t3 :	2738.262 - 2226.049 =	512.2136	>	307.1489	(R2)

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดลองหาน้ำหนักที่เหมาะสมของผู้ถูกทดลองแต่ละคน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 1

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	-17.78	4.88	-3.64	0.0045
B0	8.75	0.11	78.35	

R Square	0.57	Adjusted R Square	0.527

สมการที่เหมาะสม คือ ln(y) = b0+(b1/x)

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 2

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	-20.96	3.69	-5.67	0.0003
B0	8.738	0.088	99.49	

R Square	0.78	Adjusted R Square	0.757

สมการที่เหมาะสม คือ ln(y) = b0+(b1/x)

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 3

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	1.0064	0.0012	819.108	0.0012
B0	2535.30	280.99	9.023	

R Square	0.795	Adjusted R Square	0.766

สมการที่เหมาะสม คือ y = b0*(b1**x)

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 4

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	53.92	49.77	1.083	0.0101
B2	-0.138	0.330	-0.416	
B0	2294.166	1474.089	1.556	
R Square	0.683	Adjusted R Square	0.604	

สมการที่เหมาะสม คือ $y = b0+(b1*x)+(b2*x^2)$

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 5

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	1.0088	0.001758	573.966	0.0010
B0	2442.46	353.929191	6.90	
R Square	0.76	Adjusted R Square	0.73	

สมการที่เหมาะสม คือ $y = b0*(b1**x)$

ตารางที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 6

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	1.006	0.00088	1133.331	0.0001
B0	3006.76	226.966	13.248	
R Square	.81862	Adjusted R Square	.80048	

สมการที่เหมาะสม คือ $y = b0*(b1**x)$

ตารางที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 7

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	0.0038	.001215	3.103	0.0146
B0	8.013	.109875	72.93	
R Square	0.546	Adjusted R Square	0.48943	

สมการที่เหมาะสม คือ ln(y) = b0+(b1*x)

ตารางที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 8

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	-17.82	4.626	-3.852	0.0084
B0	9.15	0.102	89.332	
R Square	0.71	Adjusted R Square	0.664	

สมการที่เหมาะสม คือ ln(y) = b0+(b1/x)

ตารางที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 9

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	Significance F
B1	1.003762	0.001	798.739	0.0134
B0	2951.267	316.098	9.337	
R Square	0.47	Adjusted R Square	0.42	

สมการที่เหมาะสม คือ y = b0*(b1**x)

ตารางที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 10

	Coefficients	*Standard Error*	*T Stat*	Significance F
B1	1.0079	0.0018	546.718	0.0035
B0	2456.48	432.91	5.674	

R Square	0.727	Adjusted R Square	0.688

สมการที่เหมาะสม คือ $y = b0*(b1**x)$

ตารางที่ ค.11 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดกับน้ำหนักกระสอบข้าวสาร สำหรับผู้ถูกทดลองคนที่ 11

	Coefficients	*Standard Error*	*T Stat*	Significance F
B1	121.016	136.62	0.886	0.0107
B2	-1.418	2.03	-0.698	
B3	0.0064	0.009	0.715	
B0	950.66	2582.93	0.368	

R Square	0.735	Adjusted R Square	0.636

สมการที่เหมาะสม คือ $y = b0+(b1*x)+(b2*x^2)+(b2*x^3)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อสร้างโมเดลในการพยากรณ์น้ำหนักที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านกำลังสถิต

การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) ใช้สำหรับการสร้างตัวแปร ใหม่ที่ประกอบด้วยตัวแปรเดิม โดยจะคำนวณค่าหรือคะแนนของแต่ละปัจจัย ปัจจัยแต่ละปัจจัยและคะแนนปัจจัยที่ได้จึงเปรียบเสมือนตัวแปรที่ถูกสร้างขึ้นมา ปัจจัยประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัวที่มีการให้น้ำหนัก เมื่อนำมารวมกันจะได้ตัวแปรใหม่ 1 ตัว ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้วิเคราะห์หาสมการถดถอยที่มีข้อจำกัดที่ห้ามมิให้ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก การสร้างตัวแปรใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการตัดตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งทิ้งไป ผู้วิจัยสามารถสร้างตัวแปรใหม่ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมาก โดยระบุว่าจะแยกให้เป็นปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์กันได้ (สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ ,2540)

ตารางที่ ง.1 Component Matrix

Component Matrix

	Component 1
LEG-STRENGTH	.919
COMPOSITE-STRENGTH	.911
SHOULDER-STRENGTH	.778
BACK-STRENGTH	.428
ARM-STRENGTH	.215

Extraction Method: Principal Component Analysis.

ตารางที่ ง.2 Component Score Coefficient Matrix

	Component 1
ARM-STRENGTH	.086
BACK-STRENGTH	.171
COMPOSITE-STRENGTH	.363
LEG-STRENGTH	.366
SHOULDER-STRENGTH	.310

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธี Backward

วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธี Backward (กัลยา วานิชย์บัญชา ,2541) เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ

1. จะนำตัวแปรอิสระทุกตัวที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าสมการถดถอย
2. ตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกจากสมการครั้งละตัว โดยการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \beta_1 = 0$ VS. $H_1 : \beta_1 \neq 0$ โดยใช้สถิติทดสอบ t หรือ F ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระตัวใดได้อีกแล้ว สมการที่เหลือจึงเป็นสมการความถดถอยที่เหมาะสม

ตารางที่ ง.3 Model Summary

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1.	1.000	1.000	.
2.	.996	.965	2.9103
3.	.988	.947	3.5715
4.	.940	.820	6.5659
5.	.925	.832	6.3347
6.	.873	.771	7.3969

a. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, EXP, ANT10, ANT3, ANT13, ANT2, ANT11, ANT7

b. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, EXP, ANT10, ANT3, ANT13, ANT2, ANT7

c. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, EXP, ANT10, ANT3, ANT2, ANT7

d. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, EXP, ANT10, ANT3, ANT7

e. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, ANT10, ANT3, ANT7

f. Predictors: (Constant), WEIGHT, Strength Factor, ANT3, ANT7

g. Dependent Variable: BAGWEIGH

โดยที่ BAGWEIGH = น้ำหนักของกระสอบข้าวสาร
Strength Factor = ค่าปัจจัยความแข็งแรงของร่างกาย
WEIGHT = น้ำหนักของบุคคล
EXP = อายุงาน

ANT2 = ความสูงเอว
ANT3 = ความยาวรอบอก
ANT7 = ความยาวรอบน่อง
ANT10 = ความยาวเท้า
ANT13 = ความสูงใต้ขาด้านอ่อนท่านั่ง

ตารางที่ ง.4 ผลการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยโดยวิธี Backward

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	-172.190	.000	.	.
	ANT10	-3.847	.000	.	.
	ANT11	3.637	.000	.	.
	ANT13	-1.332	.000	.	.
	ANT2	1.304	.000	.	.
	ANT3	2.486	.000	.	.
	ANT7	5.267	.000	.	.
	EXP	-1.008	.000	.	.
	Strength Factor	-7.581	.000	.	.
	WEIGHT	-3.134	.000	.	.
2	(Constant)	-106.941	53.426	-2.002	.295
	ANT10	-4.891	2.257	-2.167	.275
	ANT13	-0.959	.676	-1.418	.391
	ANT2	1.237	.328	3.773	.165
	ANT3	2.441	.482	5.069	.124
	ANT7	4.913	1.013	4.848	.130
	EXP	-0.860	.217	-3.972	.157
	Strength Factor	-6.373	1.289	-4.943	.127
	WEIGHT	-3.066	.450	-6.806	.093
3	(Constant)	-111.777	65.429	-1.708	.230
	ANT10	-6.899	2.157	-3.198	.085
	ANT2	1.084	.380	2.853	.104
	ANT3	2.797	.504	5.547	.031
	ANT7	4.098	1.025	4.000	.057
	EXP	-.703	.228	-3.079	.091
	Strength Factor	-5.496	1.388	-3.959	.058
		-2.663	.429	-6.204	.025
4	(Constant)	-119.938	120.172	-.998	.392
	ANT10	-4.850	3.740	-1.297	.285
	ANT3	3.354	.855	3.924	.029
	ANT7	4.069	1.884	2.160	.120
	EXP	-.263	.309	-.850	.458
	Strength Factor	-6.910	2.384	-2.899	.063
	WEIGHT	-2.563	.787	-3.258	.047

ตารางที่ ง.4 (ต่อ) ผลการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยโดยวิธี Backward

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
5	(Constant)	-124.000	115.848	-1.070	.345
	ANT10	-5.787	3.448	-1.679	.169
	ANT3	3.671	.742	4.945	.008
	ANT7	3.678	1.763	2.087	.105
	Strength Factor	-6.936	2.300	-3.016	.039
	WEIGHT	-2.413	.740	-3.262	.031
6	(Constant)	-279.028	81.657	-3.417	.019
	ANT3	3.588	.865	4.148	.009
	ANT7	5.293	1.725	3.069	.028
	Strength Factor	-8.024	2.576	-3.115	.026
	WEIGHT	-3.113	.713	-4.364	.007

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.1 ข้อมูลค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุดโดยสมัครใจขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

ผู้ถูกทดสอบ หมายเลข	ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ				
	ไหล่	แขน	ขา	หลัง	ส่วนต่างๆ
1	2315.38	2088.69	1973.94	6147.79	9814.74
2	2585.49	2615.11	3909.69	6176.11	9344.55
3	2411.05	4257.22	5255.07	5612.91	10223.35
4	4000.59	3186.21	1942.20	5629.63	9750.49
5	2613.67	2583.20	1575.31	6944.12	6871.05
6	2727.20	2360.95	2175.25	6000.20	10683.04
7	2754.76	2606.62	2553.02	5535.09	7349.96
8	4125.50	2356.97	2249.72	6790.09	9510.99
9	3012.62	1793.39	4089.46	6174.77	7957.30
10	3254.42	2494.14	2446.42	4814.30	9113.27
ค่าเฉลี่ย	2980.07	2634.25	2817.01	5982.501	9061.87
S.D.	632.46	676.45	1188.64	624.0533	1258.43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.2 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างแยกตามผู้ถูกทดลองขณะทำงานแบกกระสอบข้าวสาร

subject	weight	replicate	upload	download H1	download H2	walk	max.
s1	125	r1	6924.89	5881.34	2435.95	3957.84	6924.89
		r2	5611.65	6264.35	2220.33	4753.64	6264.35
		r3	5603.32	3159.4	2599.21	3551.48	5603.32
	100	r1	6184.1	4499.87	1522.27	4247.47	6184.1
		r2	3696.34	3748.9	1923.59	3968.06	3968.06
		r3	3101.85	3712.37	2378.58	3652.36	3712.37
	55	r1	2579.79	4350.34	1218.46	2926.91	4350.34
		r2	4155.66	3352.86	1905.67	3481.95	4155.66
		r3	5754.66	3547.46	1495.68	2864.78	5754.66
	25	r1	1374.69	2428.2	1200.39	916.64	2428.2
		r2	3484.35	2323.51	1115.31	2016.09	3484.35
		r3	3528.46	2097.3	1569.79	1530.16	3528.46
s2	125	r1	2750.22	2993.88	2043.28	3541.21	3541.21
		r2	4564.36	4444.24	2338.42	5551.36	5551.36
		r3	3713.7	4395.1	2100.91	3550.98	4395.1
	100	r1	2239.57	5709.81	4478.29	3553.47	5709.81
		r2	1990.98	5510.59	3189.96	3370.7	5510.59
		r3	4050.88	4105.93	2612.81	3658.47	4105.93
	55	r1	3897.42	3775.25	1240.17	1370.53	3897.42
		r2	4942.6	3932.75	1282.22	1375.92	4942.6
		r3	4856.34	4072.27	1294.81	1156.51	4856.34
	25	r1	3001.97	1142.2	3281.72	897.81	3281.72
		r2	1189.77	1299.75	2338.53	1484.66	2338.53
		r3	2348.48	887.67	2402.15	1207.15	2402.15

ภาคผนวก จ.2 (ต่อ)

subject	weight	replicate	upload	Download H1	download H2	walk	max.
s3	125	r1	3358.52	5076.28	3702.97	3132.2	5076.28
		r2	3340.52	6045.73	4286.39	2999.04	6045.73
		r3	5333.14	6527.75	4861.88	3705.68	6527.75
	100	r1	2633.24	4087.13	2067.73	1951.75	4087.13
		r2	2345.86	5102.75	1711.5	2342.9	5102.75
		r3	3365.17	2834.17	1892.37	2458.82	3365.17
	55	r1	2303.15	3517.94	1669.58	2911.19	3517.94
		r2	1515.6	3116.12	1265.95	1421.26	3116.12
		r3	3494.9	5753.06	1609.93	1400.9	5753.06
	25	r1	1563.23	3808.2	927.62	1796.35	3808.2
		r2	1393.19	3730.1	2116.02	1217.4	3730.1
		r3	1295.6	2726.32	892.14	937.42	2726.32
s4	125	r1	3548.36	6191.61	2731.75	5074.71	6191.61
		r2	3571.66	7516.14	3026.45	2806.62	7516.14
		r3	3141.03	5823.76	2981.51	2403.33	5823.76
	100	r1	1851.9	6466.35	2219.52	3152.88	6466.35
		r2	5001.3	6902.63	2099.54	2632.69	6902.63
		r3	2305.91	7892.79	2482.99	3631.95	7892.79
	55	r1	1363.5	4604.99	1806.85	2014.35	4604.99
		r2	3355..89	3002.32	1195.97	2298.55	3002.32
		r3	1717.38	5225.22	1039.54	1761.37	5225.22
	25	r1	1842.84	3238.96	1035.08	2086.8	3238.96
		r2	966.16	4360.3	918.26	1057.48	4360.3
		r3	913.75	3943.06	1287.59	1725.8	3943.06

ภาคผนวก จ.2 (ต่อ)

subject	weight	replicate	upload	Download H1	download H2	walk	max.
s5	125	r1	8452.25	4221.87	3890.12	4850.37	8452.25
		r2	6264.38	3367.5	4251.29	3779.13	6264.38
		r3	3545.75	3989.47	2435.57	2308.37	3989.47
	100	r1	7389.57	3102.96	2911.18	3642.8	7389.57
		r2	5232.31	3302.22	3791.8	3196.75	5232.31
		r3	5279.07	5030.49	2949.67	2045.78	5279.07
	55	r1	5039.44	4948.73	1128.93	4159.32	5039.44
		r2	7132.67	4304.73	1590.62	2749.93	7132.67
		r3	3574.86	2243.7	2227.95	2562.08	3574.86
	25	r1	2269.45	2127.16	1446.37	1061.12	2269.45
		r2	2803.3	1840.66	998.4	1618.84	2803.3
		r3	3672.9	4069.59	1006.42	1602.82	4069.59
s6	125	r1	2752.95	4887.15	2914.77	4258	4887.15
		r2	3769.39	6698.99	2856.98	4431.99	6698.99
		r3	5626.29	7834.02	2669.26	3849	7834.02
	100	r1	4839.18	3937.7	2607.44	4920.4	4920.4
		r2	2451.72	5771.31	2088.82	3661.15	5771.31
		r3	4334.92	5258.05	2245.14	2172.89	5258.05
	55	r1	2810.24	4217.64	1883.2	3752.88	4217.64
		r2	2663.82	4453.1	2042.59	3319.3	4453.1
		r3	2715.57	4318.95	2250.46	2901.44	4318.95
	25	r1	2437.41	3535.99	1232.79	2605.6	3535.99
		r2	1939.14	3276.08	1315.78	2139.1	3276.08
		r3	1814	3440.38	1628.73	2221.56	3440.38

ภาคผนวก จ.2 (ต่อ)

subject	weight	replicate	upload	Download H1	download H2	walk	max.
s7	125	r1	6581.95	3926.15	3076.13	2784.69	6581.95
		r2	5214.1	3021.77	3425.74	3017.92	5214.1
		r3	3459.18	3098.42	4459.88	2198.56	4459.88
	100	r1	3708.75	2866.57	3381.99	2896.83	3708.75
		r2	2706.53	3689.45	3610.28	2091.37	3689.45
		r3	2363.3	3094.93	2031.9	3970.7	3970.7
	55	r1	4954.79	3712.87	1491.93	2559.75	4954.79
		r2	2108.99	2492.58	2538.54	1324.93	2538.54
		r3	1270.42	4214.95	3450.53	1935.45	4214.95
	25	r1	2440.26	3480.39	762.49	1854.68	3480.39
		r2	1224.64	3425.34	1103.5	1550.34	3425.34
		r3	3142.9	2352.24	1120.42	1139.42	3142.9
s8	125	r1	6458.1	3111.92	2424.86	8007.55	8007.55
		r2	10290.3	4507.55	2009.46	8115.95	10290.3
		r3	8340.01	5169.52	3417.94	4472.55	8340.01
	100	r1	5873.44	3685.02	2729.54	3570.63	5873.44
		r2	8294.88	4601.6	1508.89	3631.9	8294.88
		r3	5000.47	4289	1581.01	2918.55	5000.47
	55	r1	6791.91	3979.97	3283.97	3588.93	6791.91
		r2	8000.31	3906.2	3259.82	2861.47	8000.31
		r3	9036.54	3591.73	2707.56	2742.3	9036.54
	25	r1	5762.9	2290.2	2439.8	1638.4	5762.9
		r2	5323.56	2616.28	2759.8	1037.79	5323.56
		r3	4074.52	3430.9	3523.57	1704.45	4074.52

ภาคผนวก จ.2 (ต่อ)

subject	weight	replicate	upload	Download H1	download H2	walk	max.
s9	125	r1	2173.92	4358.92	4415.05	2935.07	4415.05
		r2	3554.16	4786.56	2385.55	2920.37	4786.56
		r3	6752.12	3563	2458.14	3085.42	6752.12
	100	r1	3408.76	3260.96	1850.37	2387.66	3408.76
		r2	3635.49	3069.94	3042.45	2704.13	3635.49
		r3	3658.92	3572.81	3916.34	2414.12	3916.34
	55	r1	2100.51	3871.74	1491.47	2923.93	3871.74
		r2	2157.92	3745.55	1171.13	2496.9	3745.55
		r3	3129.99	4054.25	1471.12	2950.96	4054.25
	25	r1	2146.81	3683.34	833.07	1263.23	3683.34
		r2	1697.53	2758.44	736.33	1177.08	2758.44
		r3	798.31	3277.69	953.92	800.2	3277.69
s10	125	r1	3218.27	5052.72	2551.29	2445.68	5052.72
		r2	7594.02	5785.79	2839.97	4510.84	7594.02
		r3	6927.23	4677.21	2301.23	2788.7	6927.23
	100	r1	3250.9	5009.67	1418.89	3322.89	5009.67
		r2	6813.26	3721.59	2307.95	3819.25	6813.26
		r3	5122.54	4561.52	3049.64	2676.66	5122.54
	55	r1	4773.49	2377.95	1797.06	2269.36	4773.49
		r2	6207.38	2681.39	1712.92	1449.16	6207.38
		r3	1618.16	2744.1	1703.66	3110.6	3110.6
	25	r1	3956.15	3699.51	1602.95	1316.95	3956.15
		r2	4420.96	2778.01	2858.54	848.44	4420.96
		r3	2862.49	2172.63	1775.35	1040.56	2862.49

ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัย

การวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย

หมวด	ผู้ถูกทดสอบหมายเลข					
	1	2	3	4	5	6
อายุ	45	41	40	49	28	37
อายุงาน	28	25	11	32	10	21
น้ำหนัก	57	64	61	57.5	57	74.5
ความสูง	164.2	172	165.7	166	161.1	168.5
ความสูงเอว	99	105	101	101.7	95	100
เส้นรอบอก	81	88	92	87	87	89
รอบเอว	76	85	75	74	72	92
รอบสะโพก	91	84	87	90	87	100
รอบโคนขา	45	42	47	45	47	47
รอบน่อง	35	36	35	34.5	37	42
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนบน	26.5	28	29	27	27	31
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนล่าง	24	25	27	26	25	27.5
ความยาวเท้า	24.2	26	26	25.7	24.4	24.9
ความกว้างเท้า	11.2	10	10.5	11	10	10.2
ระยะหัวเข่าถึงก้น	55	56	55	55	50.9	55.5
ความสูงใต้ขาอ่อนท่านั่ง	42	45	41.5	43	45.5	40.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ. (ต่อ)

การวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย

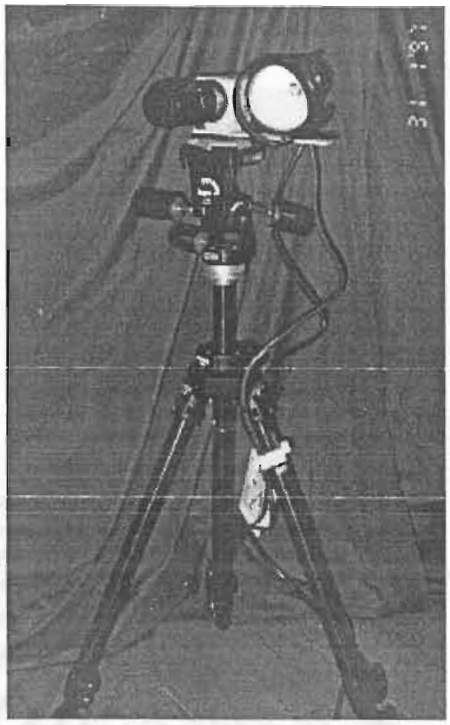
หมวด	หมายเลขผู้ถูกทดสอบ				MEAN	STD.	MAX	MIN
	7	8	9	10				
อายุ	35	41	37	41	39.40	5.70	49.00	28.00
อายุงาน	7	22	22	23	20.10	8.17	32.00	7.00
น้ำหนัก	63	62	56.5	63	61.55	5.39	74.50	56.50
ความสูง	164.5	161	159.1	169.6	165.17	4.09	172.00	159.10
ความสูงเอว	88.4	94	94.1	100	97.82	4.86	105.00	88.40
เส้นรอบอก	87	86	90	84.2	87.12	3.05	92.00	81.00
รอบเอว	78	77	70.5	77	77.65	6.39	92.00	70.50
รอบสะโพก	93	93	85.5	92	90.25	4.67	100.00	84.00
รอบโคนขา	48	47	46	46.5	46.05	1.71	48.00	42.00
รอบน่อง	35	37	37	37.8	36.63	2.20	42.00	34.50
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนบน	29.5	29	28	27.5	28.25	1.38	31.00	26.50
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนล่าง	27	28.5	25	26.5	26.15	1.40	28.50	24.00
ความยาวเท้า	25.1	26	24.3	26.1	25.27	0.78	26.10	24.20
ความกว้างเท้า	10.4	10.4	11.1	11.3	10.61	0.50	11.30	10.00
ระยะหัวเข่าถึงก้น	55.5	53	50.3	57	54.32	2.21	57.00	50.30
ความสูงใต้ขาอ่อนท่านั่ง	43	41	42	48	43.15	2.35	48.00	40.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

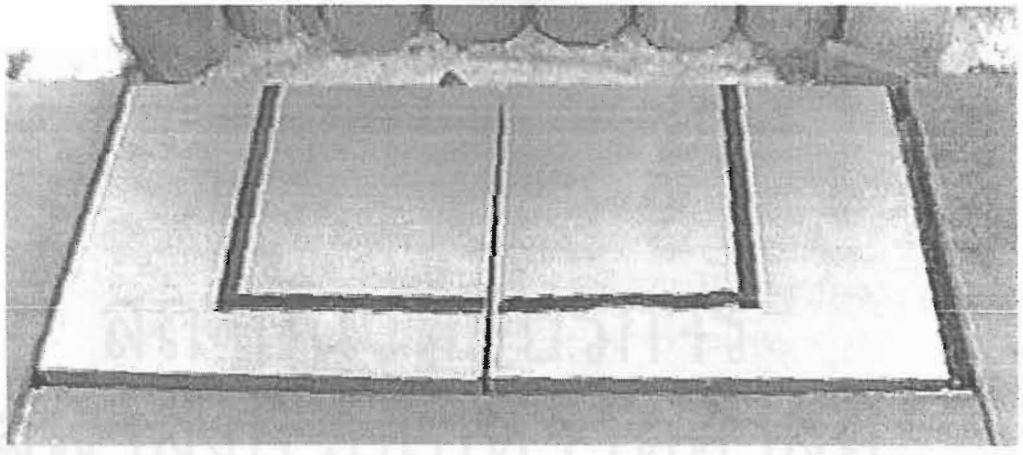
ภาคผนวก ช่.

รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

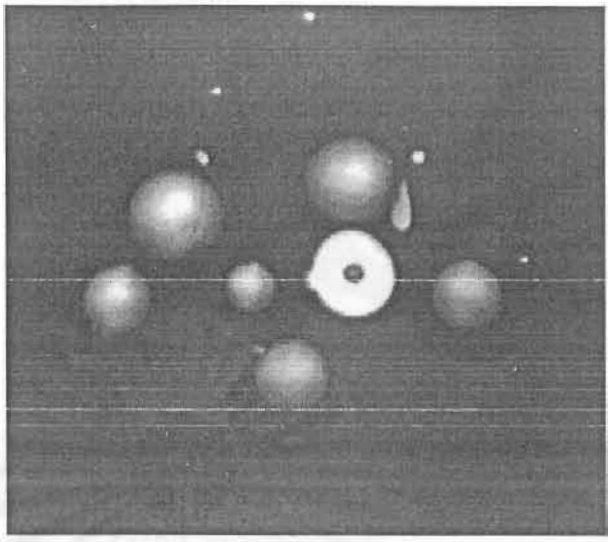
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



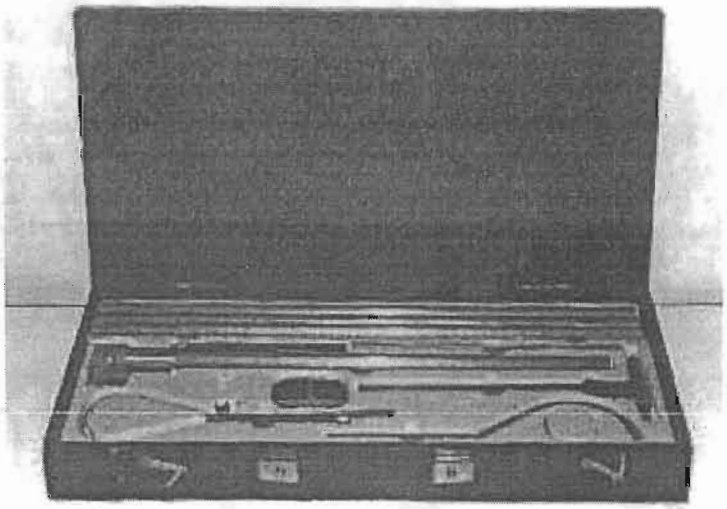
รูปที่ ช.1 กล้องถ่ายภาพวิดิทัศน์



รูปที่ ช.2 แผ่นวัดแรง (Force plate) จำนวน 2 แผ่นประกบกัน

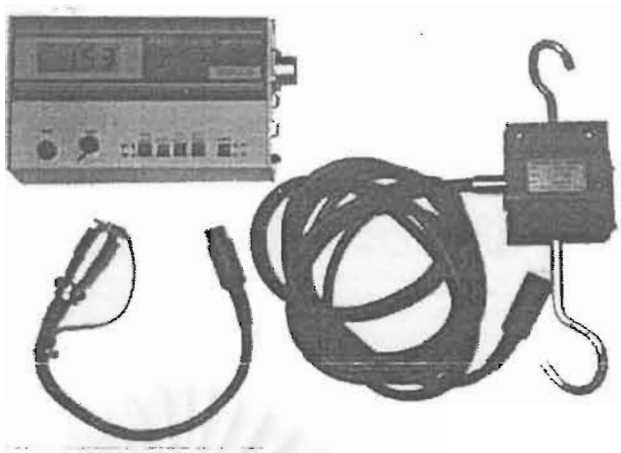


รูปที่ ช.3 ลูกสะท้อนแสงแสดงตำแหน่งข้อต่อ (Marker)

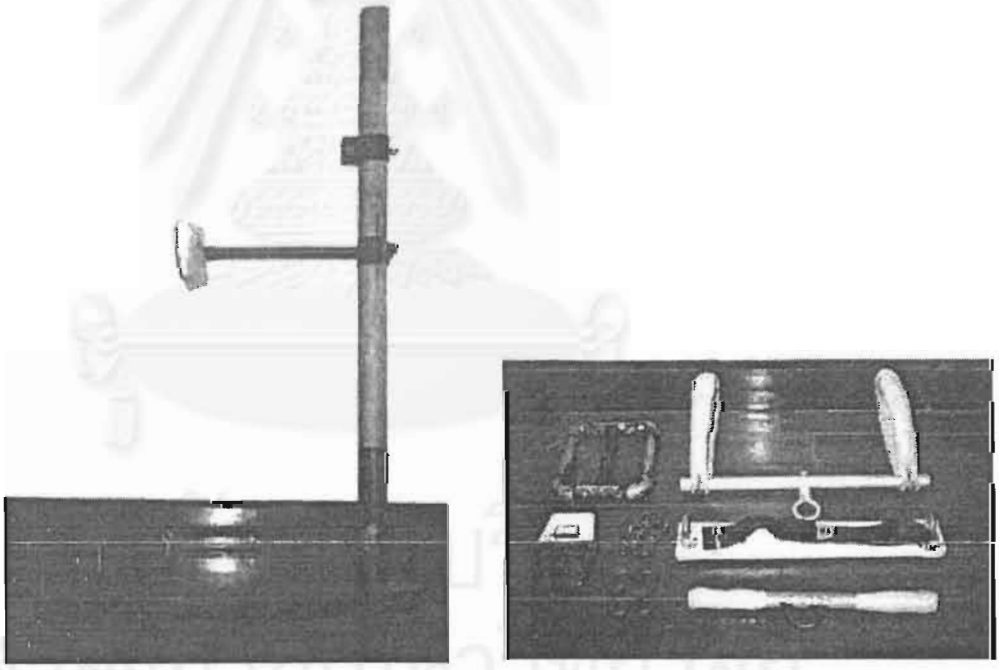


รูปที่ ช.4 เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย

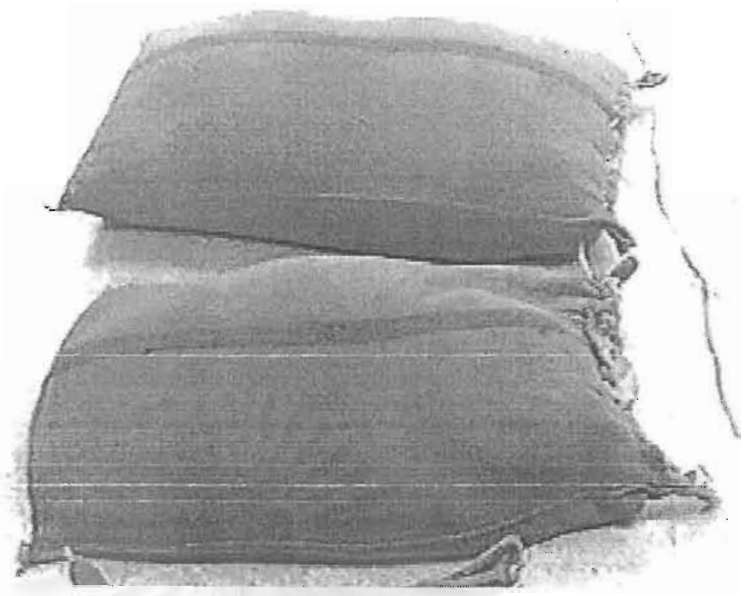
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ช.5 เครื่องวัดแรงดึงในการทดสอบกำลังสถิต



รูปที่ ช.6 ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

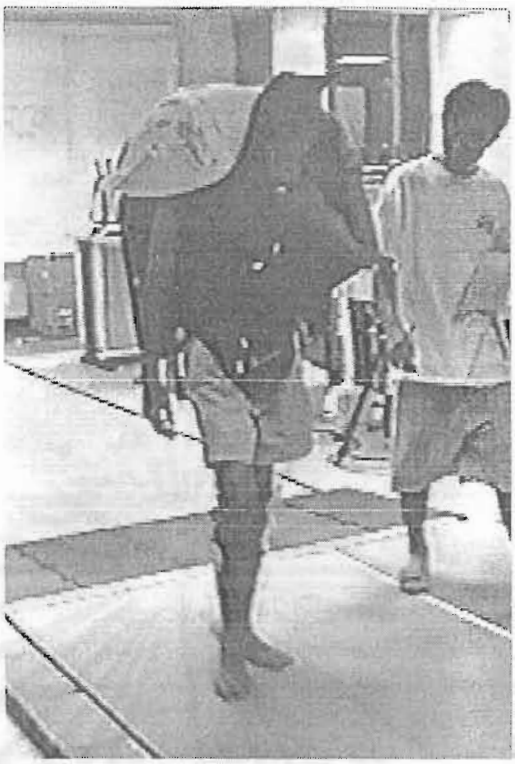


รูปที่ ช.7 กระสอบข้าวสารขนาดบรรจุ 125 กก. (บน) และ100 กก. (ล่าง)

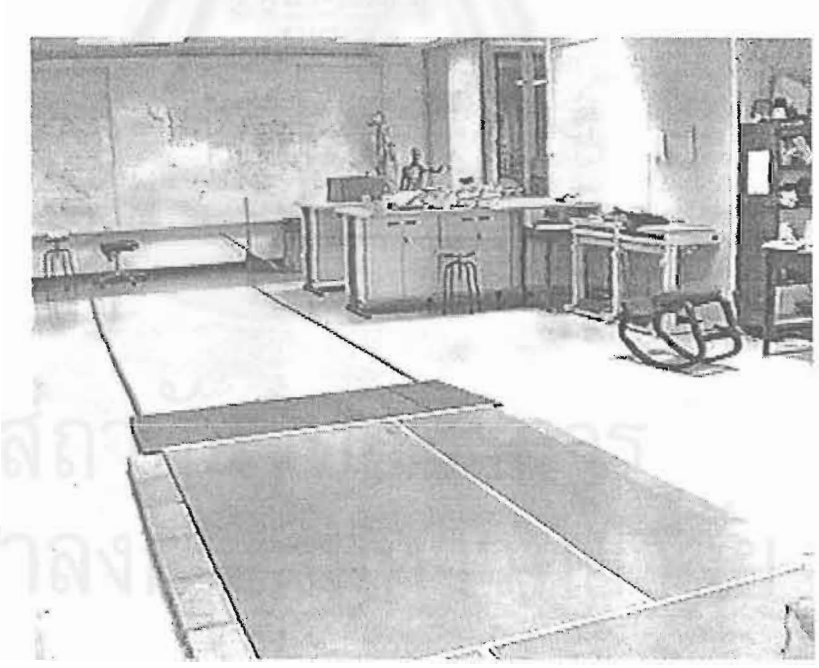
รูปที่ ช.8 กระสอบข้าวสารขนาดบรรจุ 55 กก. (บน) และ25 กก. (ล่าง)

รูปที่ ช.9 ชุดเครื่องยกกระสอบข้าวสาร

รูปที่ ช.10 เครื่องคำนวณหาพิกัดจุดตามหลักชีวกลศาสตร์



รูปที่ ช.11 ภาพขณะทดลองแบกกระสอบข้าวสารหนัก 25 กก.



รูปที่ ช.12 การจำลองสภาพทางเดินในห้องปฏิบัติการการยศาสตร์

ภาคผนวก ซ.

การวัดสัดส่วนร่างกาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ.

การวัดสัดส่วนร่างกายตำแหน่งต่างๆ

1. ความสูง

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์ (Anthropometry)

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสองเท้าเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : เลื่อนแขนของแอนโทรโพมิเตอร์มาไว้บนศีรษะผู้ถูกทดสอบ เพื่อวัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นที่ยืนไปยังแขนของแอนโทรโพมิเตอร์

2. ความสูงคอ

ตำแหน่งที่หมาย : คอ

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทรโพมิเตอร์ วัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นที่ยืนไปยังคอ

3. ความสูงปุ่มหัวไหล่

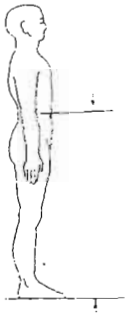
ตำแหน่งที่หมาย : ปุ่มหัวไหล่ขวา

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนเท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากันและหน้ามองตรง

วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทรโพมิเตอร์วัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นที่ยืนไปยังปุ่มหัวไหล่ขวา

4. ความสูงเอว



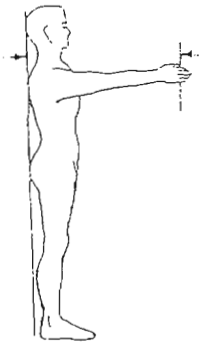
ตำแหน่งที่หมาย : เอวด้านหน้า

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรงเท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทรโพมิเตอร์วัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นที่ยืนไปยังเอวด้านหน้า

5. ระยะเหยียดแขนขณะที่ลำตัวตั้งตรง



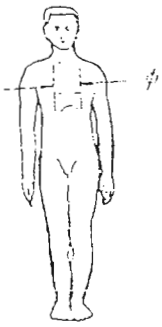
ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : เมสชัวริ่ง บล็อก (Measuring Block)

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงที่มุมห้อม หน้ามองตรง ไหล่ทั้งสองข้างติดกับผนัง ยกแขนและมือข้างขวาให้เหยียดตรงขนานกับระนานแนวนอน

วิธีดำเนินการ : วัดระยะตามแนวนอนในระดับเดียวกันกับแขนที่เหยียดตรงจากผนังที่พิงไปยังปลายนิ้วหัวแม่

6. ความกว้างของหลังวัดระหว่างหัวนมทั้งสอง



ตำแหน่งที่หมาย : หัวนมขวาและซ้าย

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง แขนทั้งสองอยู่ข้างลำตัว

วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดให้อยู่ระนาบแนวนอนเพื่อวัดความกว้างของหลังจากหัวนมขวาไปยังหัวนมซ้าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เส้นรอบไหล่

ตำแหน่งที่หมาย : กล้ามเนื้อโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน หน้ามองตรง แขนทั้งสองห้อยลงข้างลำตัว ในลักษณะปกติ (ไม่เกร็งกล้ามเนื้อ)

วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบแนวนอน วัดเส้นรอบร่างกายที่ระดับกล้ามเหนือโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง

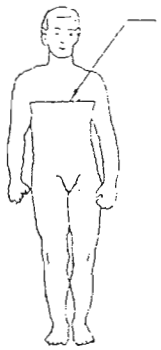
8. เส้นรอบอกที่ระดับราวนม

ตำแหน่งที่หมาย : ราวนม

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากันและแขนกางห่างจากลำตัวทำให้สามารถพันเทปวัดรอบลำตัวได้

วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้นพันเทปวัดรอบลำตัวที่ระดับราวนมขณะวัดผู้ถูกทดสอบต้องหายใจเบาๆ



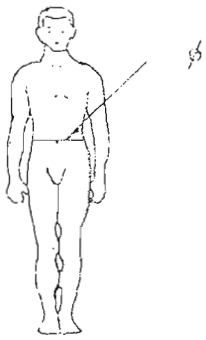
9. เส้นรอบเอว

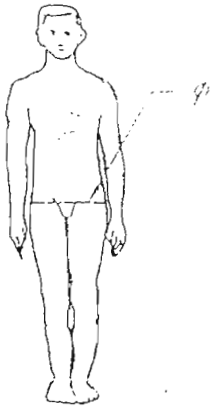
ตำแหน่งที่หมาย : ระดับเอว

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดในระนาบแนวนอนวัดเส้นรอบลำตัวที่ระดับเอว ซึ่งขณะทำการวัดผู้ถูกทดสอบต้องหายใจเข้าเบาๆ และไม่เกร็งกล้ามเนื้อ





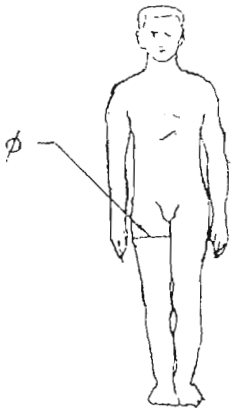
10. เส้นรอบสะโพก

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : เอาเทปวัดพันรอบสะโพกในแนวส่วนที่ก้นโปนออกมากที่สุด โดยพันเทปวัดไม่แน่นจนเกินไป ค่าที่ได้จะเป็นเส้นรอบสะโพก



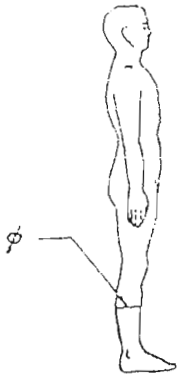
11. เส้นรอบโคนขาบน

ตำแหน่งที่หมาย : ร่องก้นที่ติดกับโคนขาบน

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 10 ซม. เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบตั้งฉากกับแนวแกนของโคนขาวัดเส้นรอบโคนขาที่ระดับต่ำกว่าร่องก้นที่ติดกับโคนขาบนเล็กน้อย ถ้าร่องก้นเป็นรอบเว้าลึกต้องปรับตำแหน่งที่จะใช้เทปวัดพันรอบโคนขาให้เหมาะสม



12. เส้นรอบน่อง

ตำแหน่งที่หมาย : น่อง

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองห่างกันประมาณ 10 ซม. เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน

วิธีดำเนินการ : จับเทปวัดให้อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวตั้ง จากนั้นเทปวัดรอบน่องขวาเพื่อวัดเส้นรอบน่อง

13. เส้นรอบโคนแขนของแขนส่วนล่างขณะงอแขน

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบยืน พร้อมทั้งยกแขนขวาให้ขนานกับระนาบแนวนอน แล้วงอข้อศอกทำมุม 90 องศา

วิธีดำเนินการ : ใช้เทปวัดพันรอบโคนแขนของแขนส่วนล่างในตำแหน่งที่ใหญ่ที่สุดของแขนขวา

14. เส้นรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน

ตำแหน่งที่หมาย : กล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบน

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน ยกแขนให้ห่างจากลำตัวพอประมาณ เพื่อให้สามารถพันเทปวัดรอบแขนส่วนบนได้

วิธีดำเนินการ : ให้ผู้ถูกทดสอบหายใจเข้าเบาๆ แล้วใช้เทปวัดพันรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบน (วัดเฉพาะแขนขวา) เพื่อวัดเส้นรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบน

15. ความยาวของเอวด้านหน้า

ตำแหน่งที่หมาย : เนื้อกระดูกสันอกและเอวด้านหน้า

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงและหน้ามองตรง

วิธีดำเนินการ : ใช้เทปวัด วัดระยะจากตำแหน่งเหนือกระดูกสันอกไปยังเอวด้านหน้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16. ความยาวของเอวด้านหลัง

ตำแหน่งที่หมาย : ต้นคอและเอวด้านหลัง

เครื่องมือวัด : เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ศีรษะตั้งตรงอยู่ในระนาบแฟร็งค์ฟอร์ท

วิธีดำเนินการ : ใช้เทปวัด วัดระยะตามแนวกระดูกสันหลัง

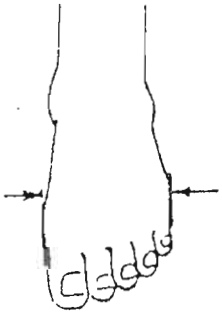
17. ความกว้างของเท้า

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : ฟุตบล็อค (Foot Block)

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบยืนตรง เท้าขวาวางบนฟุตบล็อค และเท้าซ้ายต้องยืนบนพื้นที่มีระดับความสูงเท่ากับเท้าขวาเพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน เท้าขวาต้องวางขนานกับด้านข้างของฟุตบล็อคส้นเท้าสัมผัสขอบด้านหลังของฟุตบล็อคและตาตุ่มสัมผัสด้านข้างของฟุตบล็อค

วิธีดำเนินการ : การวัดจะเลื่อนบล็อคให้สัมผัสกับเท้าส่วนที่กว้างที่สุดจากนั้นอ่านค่าความกว้างของเท้าตามสกลบนฟุตบล็อค



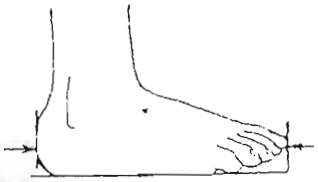
18. ความยาวของเท้า

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : ฟุตบล็อค

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบยืนตรง เท้าขวาวางบนฟุตบล็อค และเท้าซ้ายต้องยืนบนพื้นที่มีระดับความสูงเท่ากับเท้าขวาเพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองเท่ากัน เท้าขวาต้องวางขนานกับด้านข้างของฟุตบล็อค ส้นเท้าสัมผัสของด้านหลังและตาตุ่มสัมผัสด้านข้างของฟุตบล็อค

วิธีดำเนินการ : การวัดจะเลื่อนบล็อคให้สัมผัสกับปลายเท้าส่วนที่ยาวที่สุด จากนั้นอ่านค่าความยาวของเท้าตามสเกลบนฟุตบล็อค



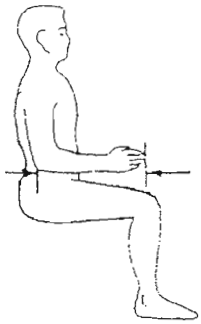
19. ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ

ตำแหน่งที่หมาย : ปลายข้อศอกและนิ้วมือที่ชิดกัน

เครื่องมือวัด : บีม แคลิเปอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง แขนส่วนบนห้อยลงตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่นไปด้านหน้าลำตัวในลักษณะขนานกับพื้น

วิธีดำเนินการ : ใช้บีม แคลิเปอร์ วัดระยะตามแนวนอนจากปลายข้อศอกไปยังปลายนิ้วมือของแขนขวา



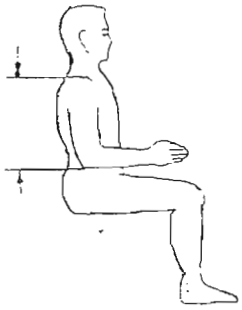
20. ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่

ตำแหน่งที่หมาย : ปุ่มหัวไหล่และปลายข้อศอกของแขนข้างขวา

เครื่องมือวัด : บีม แคลิเปอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง แขนส่วนบนห้อยลงตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่นออกไปด้านหน้าลำตัวโดยให้ขนานกับแนวนอน

วิธีดำเนินการ : ใช้บีม แคลิปเปอร์ วัดระยะขามแนวตั้งจากปุ่มหัวไหล่ไปยังยังปลายข้อศอกของแขนข้างขวา



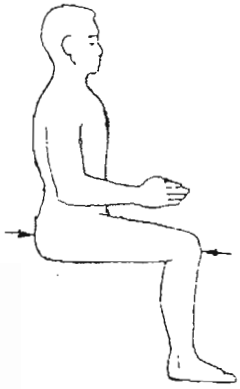
21. ระยะหัวเข่าถึงก้น

ตำแหน่งที่หมาย : ระดับของก้นด้านขวา

เครื่องมือวัด : บีม แคลิเปอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง ที่นั่งสามารถปรับระดับความสูงได้เพื่อทำให้เข่างอทำมุม 90 องศา ในขณะที่โคนขาขนานกับพื้น

วิธีดำเนินการ : ถือบีม แคลิเปอร์ให้ขนานกับแกนตามยาวของโคนขาการวัดจะวัดจากปลายเข่าขวาไปยังก้นด้านขวา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

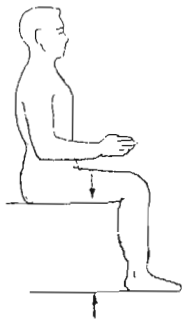
22. ความสูงใต้ขาอ่อนท่านั่ง

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง เท้าวางบนกระดานที่สามารถปรับเอียงได้ เข่างอทำมุม 90 องศา และโคนขาขนานกับพื้น

วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทรโพมิเตอร์ วัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นกระดานไปยังด้านข้างโคนขาที่ตำแหน่งเส้นเอ็นที่ยึดระหว่างขาส่วนบนกับขาส่วนล่าง



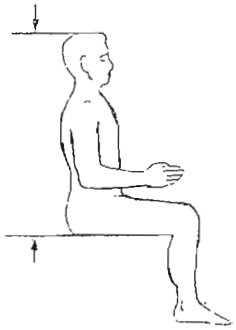
23. ความสูงนั่ง

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง ศีรษะตั้งตรงอยู่ในระนาบแฟร็งค์ฟอร์ท แขนส่วนบนห้อยลงตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่นออกไปด้านหน้า ลำตัวโดยให้ขนานกับแนวนอน

วิธีดำเนินการ : เอาแขนแอนโทรโพมิเตอร์สัมผัสศีรษะ เพื่อวัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นเก้าอี้ที่ผู้ถูกทดสอบนั่งไปยังศีรษะ



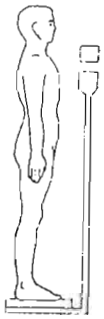
24. น้ำหนัก

ตำแหน่งที่หมาย : -

เครื่องมือวัด : เครื่องชั่งน้ำหนัก

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบยืนบนตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีดำเนินการ : อ่านค่าน้ำหนักบนสเกลของเครื่องชั่งน้ำหนัก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฌ.

การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฌ.

การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงไม่เกร็งกล้ามเนื้อช่องท้อง และกล้ามเนื้อกระดูกเชิงกรานเพื่อออกแรงดันห่วงหนังของเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัว ก่อนการทดสอบต้องปรับเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัวให้อยู่ในระดับความสูงที่ผู้ถูกทดสอบสามารถเกร็งกล้ามเนื้อช่องท้องและกล้ามเนื้อกระดูกเชิงกรานดันห่วงหนังได้อย่างสบาย โดยห่วงหนังจะอยู่ด้านหลังในระดับกระดูกสบักปลายของเครื่องวัดแรงดึงทั้งสองด้านจะมีห่วงต่อกับห่วงหนังและเสาเหนี่ยวรั้งลำตัวที่อยู่ด้านหน้า เครื่องวัดแรงดึงและห่วงทั้งสองต้องอยู่ระนาบตั้งฉากกับลำตัว

การทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังนี้จะให้ผู้ถูกทดสอบใช้หลังออกแรงในแนวนอนดันห่วงของเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัวไปทางด้านหลัง โดยที่ลำตัวและเข่าทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบต้องเหยียดตรง แขนและขาของผู้ถูกทดสอบขนานกับลำตัว และเท้าทั้งสองข้างต้องยืนอยู่บนพื้น (ไม่ยืนเขย่งเท้า)

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน

ก่อนการทดสอบต้องปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบงอทำมุม 90 องศา กับแขนส่วนบนในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ด้ามเครื่องมือทดสอบตั้งฉากกับลำตัวของผู้ถูกทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบจะอยู่ในแนวตั้ง ขนานและติดลำตัว) การทดสอบผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ขาและหลังตั้งตรงไม่งอและเท้าทั้งสองสัมผัสกับพื้น (ไม่ยืนเขย่งเท้า) ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งต่อกับด้ามเครื่องมือทดสอบ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับพื้นกระดานที่ผู้ทดสอบยืนอยู่ จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบขึ้น โดยที่ไหล่ทั้งสองข้างไม่เคลื่อนที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อขา

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนบนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบโดยงอเข่าทั้งสองให้ทำมุม 120 องศา หลังและก้นสัมผัสและอยู่ในระนาบที่ขนานกับผนัง แขนส่วนบนทั้งสองข้างอยู่ในแนวตั้งติดกับลำตัว มือทั้งสองจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งต่อกับด้ามเครื่องมือทดสอบส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับพื้นกระดานที่ผู้ทดสอบยืนอยู่) ซึ่งด้ามเครื่องมือทดสอบอยู่ด้านหลังและอยู่สูงจากพื้นกระดานในระดับที่ทำให้ผู้ถูกทดสอบยืนงอเข่าทำมุม 120 องศา จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบขึ้นโดยใช้แรงดันจากส้นเท้าทั้งสองและขณะออกแรงเท้าทั้งสองข้างต้องสัมผัสกับพื้น (ไม่ยืนเขย่งเท้า) หลังและก้นอยู่ในระนาบที่ขนานกับผนัง

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงบนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างสอดเข้าไปในห่วงหนังซึ่งต่อจากเครื่องวัดแรงดึง (ปลายอีกครั้งหนึ่งของเครื่องวัดแรงดึงต่อกับพื้นกระดานที่ผู้ถูกทดสอบยืนอยู่) และห่วงหนังนี้จะอยู่สูงจากพื้นกระดานในระดับที่ทำให้แขนส่วนบนทั้งสองข้างขนานกับพื้นกระดาน ส่วนแขนส่วนล่างนั้นงอทำมุมฉากกับแขนส่วนบนเท้าทั้งสองข้างสัมผัสกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ (ไม่เขย่งเท้า) ขาและหลังตั้งตรงจากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบใช้ไหล่ออกแรงในแนวตั้งยกห่วงหนังขึ้น และขณะออกแรงต้องไม่ยืนเขย่งเท้า ขาและหลังยังตั้งตรงตลอดเวลาที่ทดสอบ

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ปรับด้ามเครื่องมือทดสอบให้สูงขึ้นจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ 15 นิ้ว (ความสูงจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบไปยังระนาบที่ต่ำที่สุดของด้ามเครื่องมือทดสอบ) ให้ผู้ถูกทดสอบอยู่ในท่ากึ่งนั่งกึ่งยืน โดยมีด้ามเครื่องมือทดสอบอยู่ระหว่างขาทั้งสองข้าง ข้อศอกเหยียดตรง มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ เท้าทั้งสองอยู่บนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบโดยไม่เขย่งเท้า ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งต่อกับด้ามของเครื่องมือทดสอบส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบใช้เข่าทั้งสองข้างและลำตัวออกแรงในแนวตั้งยกด้ามทดสอบขึ้น

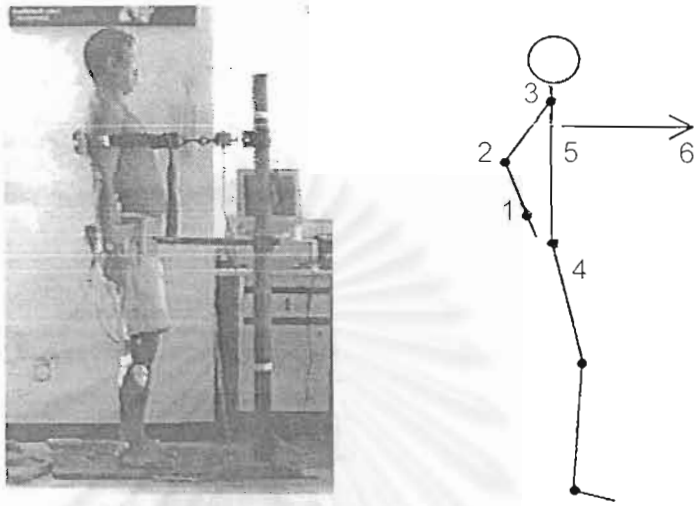
ภาคผนวก ญ.

ตัวอย่างการคำนวณหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิต

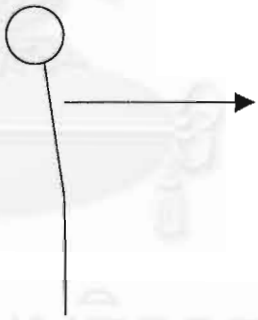
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ.

ตัวอย่างการคำนวณหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิต



รูปที่ ญ.1 ภาพขณะวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลังและแบบจำลองโครงสร้างร่างกาย



รูปที่ ญ.2 ผังวัตถุอิสระแสดงแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อร่างกาย

ระยะจากจุด 5 ถึง จุด 4 ในแนวตั้งฉากกับเส้นแรงมีค่า 0.284 ม.

แรงที่ดึงขณะวัดกำลังสถิต(F_1) มีค่า 82.8 กก. หรือ 812.268 นิวตัน

หาโมเมนต์รอบจุด 4 โดยใช้สมการ $\Sigma M = 0$

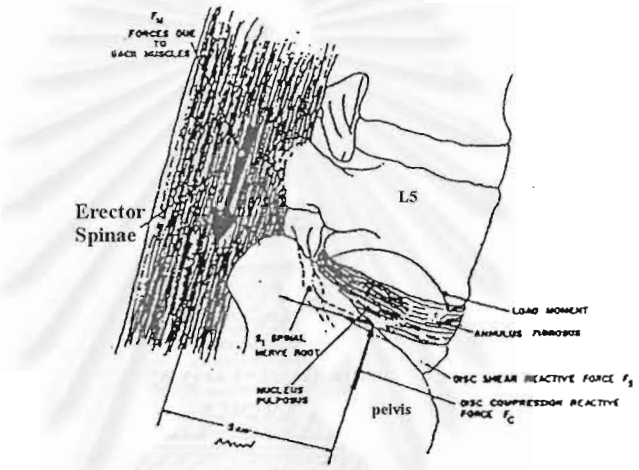
แทนค่าหาโมเมนต์ที่เกิดจากกล้ามเนื้อหลัง(M_1) กระทำที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

$M_1 = F_1 * 0.284$

$= 812.268 * 0.284$

$= 230.68$ นิวตัน-เมตร

โมเมนต์ที่ได้เกิดจากกล้ามเนื้อหลังออกแรงกระทำกับกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยมีระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่าง กับ กล้ามเนื้อหลังโดยประมาณ 0.04 ม. ดังรูป



รูปที่ ญ.3 แสดงแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

ดังนั้นสามารถหาแรงที่กล้ามเนื้อหลังกระทำ(F_2) ได้ดังนี้

$F_2 * 0.04 = 230.68$

$F_2 = 230.68/0.04$

$F_2 = 5767.10$ นิวตัน

น้ำหนักร่างกายของผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 คือ 57 กก. โดยมีน้ำหนักของร่างกายส่วนบน(W_1) ที่กดลงมาบนกระดูกสันหลังส่วนล่างคิดได้เท่ากับ 57 * 0.678 = 38.65 กก. หรือ 379.12 นิวตัน

ดังนั้นแรงรวมทั้งหมดที่กดลงบนกระดูกสันหลังส่วนล่างคือ

$F_2 + W_1 = 5767.10+379.12$

$= 6146.22$ นิวตัน

ประวัติผู้เขียน

นายไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล เกิดเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519 ที่อำเภอเมือง จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย