

ซีดีจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเซ็นและลากรถเซ็นบรรทุกของ



นายอภิชาติ แผ้วพาลชน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

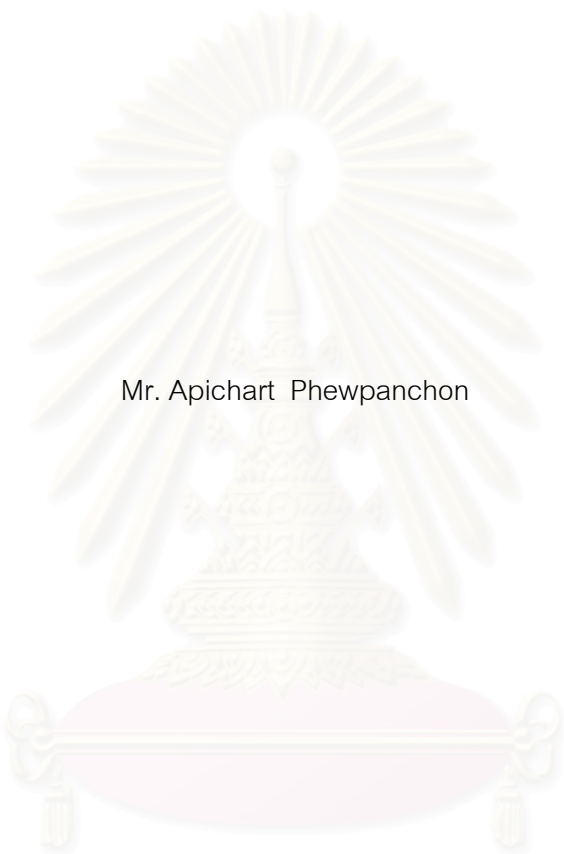
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0931-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MAXIMUM ACCEPTABLE WEIGHT FOR PUSHING AND PULLING A WHEELED CART

Mr. Apichart Phewpanchon



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0931-5

อภิชาติ แฉ้วพาลชน : ชีตจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ.
(MAXIMUM ACCEPTABLE WEIGHT FOR PUSHING AND PULLING A WHEELED
CART) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.กิตติ อินทรานนท์, 206 หน้า. ISBN 974-17-0931-5.

วัตถุประสงค์หลักคือหาขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในการออกแรงเข็นและลากรถเข็นและสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ มีระดับปัจจัยที่ศึกษา คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (140 กก. 700 กก. และ 1,200 กก.) ชนิดของพื้น (พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง และพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบน้ำยาขัดพื้น) และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (ล้อไนลอนและล้อเหล็ก) คำนวณค่าแรงกดอับบริเวณหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ Action Limit (AL) ที่ 3,400 นิวตัน และมาตรฐานขั้นสูง Maximum Permissible Limit (MPL) ที่ 6,400 นิวตัน คำนวณค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ขณะที่แรงกดอับบริเวณหลังส่วนล่างมีค่าเท่ากับเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำและขั้นสูง

ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักสูงสุด (ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้) ของการลากจะมากกว่าการเข็นในทุกกรณี และปัจจัยน้ำหนักบรรทุกกับชนิดของพื้นเท่านั้นที่มีผลต่อแรงกดอับบริเวณหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ชนิดของล้อไม่มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของกรณีการเข็น (1) บนพื้นคอนกรีตที่ AL เป็น 193.0 กก. และที่ MPL เป็น 675.4 กก. (2) บนพื้นกระเบื้องยางที่ AL เป็น 147.4 กก. และที่ MPL เป็น 572.6 กก. (3) บนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบน้ำยาขัดพื้น AL เป็น 149.9 กก. และที่ MPL เป็น 608.6 กก. กรณีการลาก (1) บนพื้นคอนกรีตที่ AL เป็น 204.6 กก. และที่ MPL เป็น 1,195.5 กก. (2) บนพื้นกระเบื้องยางที่ AL เป็น 151.0 กก. และที่ MPL เป็น 858.3 กก. (3) บนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบน้ำยาขัดพื้น AL เป็น 177.1 กก. และที่ MPL เป็น 996.6 กก. และสำหรับสมการเพื่อทำนายน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและลากบนพื้นต่างๆ ถูกกำหนดโดย อายุ ความสูง ระยะเหยียดแขน เส้นรอบสะโพก ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน และค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการทำงานแก่ผู้ใช้แรงงานเข็นลากเพื่อป้องกันอันตราย และยังเป็นการพัฒนาการศึกษาทางการยศาสตร์ด้านชีวกลศาสตร์ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองการเข็นและลากที่สามารถใช้ได้กับกลุ่มประชากรอื่นๆ

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่ออนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4271506221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: MAXIMUM ACCEPTABLE WEIGHT / PUSH / PULL / BIOMECHANICS / CART

APICHART PHEWPANCHON : MAXIMUM ACCEPTABLE WEIGHT FOR
PUSHING AND PULLING A WHEELED CART. THESIS ADVISOR : PROF.KITTI
INTARANONT, Ph.D., 206 pp. ISBN 974-17-0931-5.

The aims of this study were to estimate maximum acceptable weights (MAWs) of pushing and pulling a wheeled cart in the sagittal plan and to construct predictive models of MAWs. The tested factors were the wheeled cart weights (140 kg., 700 kg. and 1,200 kg.), floor materials (concrete, vinyl tile and vinyl tile which is applied with floor cleaning wax) and wheeled materials (nylon and iron). The compressive force on L5/S1 disc was calculated by a biomechanical approach and compared with the Action Limit (AL) of 3,400 Newton and Maximum Permissible Limit (MPL) of 6,400 Newton. MAWs were calculated when the compressive forces acted on the L5/S1 disc reached the Action Limit and the Maximum Permissible Limit.

The results showed that the MAWs of pulling were greater than pushing in all cases. Only wheeled cart weights and floor materials affected the MAWs significantly ($p < 0.5$). It was found that MAWs of pushing (1) on concrete floor at AL was 193.0 kg. and at MPL was 675.4 kg. (2) on vinyl tile at AL was 147.4 kg. and at MPL was 572.6 kg. (3) vinyl tile which is applied with floor cleaning wax at AL was 149.9 kg. and at MPL was 608.6 kg. For pulling (1) on concrete floor at AL was 204.6 kg. and at MPL was 1,195.5 kg. (2) on vinyl tile at AL was 151.0 kg. and at MPL was 858.3 kg. (3) vinyl tile which is applied with floor cleaning wax at AL was 177.1 kg. and at MPL was 996.6 kg. Predictive models were developed from age, stature, functional reach, hip circumference, arm strength, shoulder strength and composite strength.

This thesis is not only to be a guideline for designing push and pull work in order to prevent injury, but also to develop Ergonomics study especially in Biomechanics. Moreover this thesis can be used as a guide for further developing in order for the model to be used with general population.

Department.....Industrial Engineering.....Student's signature.....

Field of study....Industrial Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year2002..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำอย่างใกล้ชิดจาก ศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อินทรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทงจิตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ผู้วิจัยขอถือโอกาสกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ช่วยเหลือเอื้อเฟื้อเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.สุวัตร สิทธิหล่อ อาจารย์ ไพโรจน์ ฤดาภิวัตร์กุล ที่ช่วยแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆ ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านจากห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณสรพหล นิติกัญญา และผู้ถูกทดสอบทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

อภิชาติ แฉ้วพาลชน
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 : บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 : ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การบาดเจ็บจากการทำงานการเคลื่อนย้ายวัสดุ.....	7
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุ.....	9
2.3 แนวทางในการประเมินภาระงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ.....	10
2.4 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้พฤติกรรมความเจ็บป่วย.....	11
2.5 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์.....	12
2.6 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางการใช้ผลตอบสนองของทางสรีรวิทยา.....	14
2.7 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์.....	15
2.8 การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้.....	26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแรงดึงและดัน.....	33
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน.....	35
บทที่ 3 : วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 ผู้ถูกทดสอบ.....	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38

บทที่ 4 : ผลการทดลอง.....	41
4.1 ลักษณะของภาระงานและสภาพแวดล้อม.....	41
4.2 รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ.....	43
4.3 การทดสอบกำลังสติของกล้ามเนื้อ.....	43
4.4 ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์.....	46
4.5 ผลของค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุด.....	59
4.6 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และวัสดุที่ใช้ ทำล้อ ในการทดลองการเข็นรถเข็น.....	62
4.7 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และวัสดุที่ใช้ ทำล้อ ในการทดลองการลากรถเข็น.....	63
4.8 การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและลาก ตามเกณฑ์ มาตรฐานของ NIOSH.....	63
4.9 การกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้แยกตามผู้ถูกทดสอบ.....	68
4.10 การสร้างสมการเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้.....	69
4.11 การทดสอบสมการความถดถอยเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้.....	77
4.12 ผลการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ.....	82
4.13 ผลของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย.....	86
บทที่ 5 : สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก. แบบฟอร์มที่ใช้ในการวิจัย.....	102
ภาคผนวก ข. ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ.....	107
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนัก ปัจจัยชนิดของพื้น และปัจจัยวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น ของกิจกรรมการเข็น.....	110
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนัก ปัจจัยชนิดของพื้น และปัจจัยวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น ของกิจกรรมการลาก.....	115

สารบัญ (ต่อ)

ณ

	หน้า
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดลอง.....	120
ภาคผนวก ฉ. รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	143
ภาคผนวก ช. การวัดสัดส่วนร่างกาย.....	152
ภาคผนวก ซ. การวัดกำลังสถิติของร่างกาย.....	161
ภาคผนวก ฌ. การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของ ผู้ถูกทดสอบแต่ละคน สำหรับกิจกรรมการเข็น.....	165
ภาคผนวก ฎ. การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของ ผู้ถูกทดสอบแต่ละคน สำหรับกิจกรรมการลาก.....	172
ภาคผนวก ฏ. การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุด ที่ยอมรับได้ของสำหรับกิจกรรมการเข็น.....	179
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุด ที่ยอมรับได้ของสำหรับกิจกรรมการลาก.....	188
ภาคผนวก ฐ. การคำนวณค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง.....	196
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	206

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 สถิติการประสบอันตรายเนื่องจากการทำงานรวม การประสบอันตรายประเภทการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก และการประสบอันตรายประเภทการหกล้ม ลื่นล้ม.....	2
ตารางที่ 1.2 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยบริเวณหลังเนื่องจากการทำงาน.....	3
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย.....	20
ตารางที่ 2.2 แสดงความถี่ในการยกสูงสุด (ครั้ง/นาที).....	27
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าดัชนีของความสะดวกในการจับยก (CM).....	29
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าดัชนีของความถี่ในการยก (FM).....	30
ตารางที่ 2.5 ค่า Compressive Strength ที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำการวิจัยไว้.....	32
ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง การเข็นรถเข็น (Cart Pushing).....	38
ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลอง การลากรถเข็น (Cart Pulling).....	39
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมของงานวิจัย.....	43
ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน.....	44
ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย.....	45
ตารางที่ 4.4 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ.....	60
ตารางที่ 4.5 ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองลากรถ.....	61
ตารางที่ 4.6 น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานเข็น.....	64
ตารางที่ 4.7 น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานลาก.....	65
ตารางที่ 4.8 น้ำหนักสูงสุดเฉลี่ยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ของพื้นที่ละชนิดสำหรับงานเข็น.....	67
ตารางที่ 4.9 น้ำหนักสูงสุดเฉลี่ยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ของพื้นที่ละชนิดสำหรับงานลาก.....	67
ตารางที่ 4.10 น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นรถ แยกตามผู้ถูกทดสอบ.....	68
ตารางที่ 4.11 น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ แยกตามผู้ถูกทดสอบ.....	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ฎ

หน้า

ตารางที่ 4.12 สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ ของการเข็นรถบนพื้นต่างๆ.....	70
ตารางที่ 4.13 สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ ของการลากรถบนพื้นต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองกับค่าทำนายแยกตามผู้ถูกทดสอบ สำหรับการเข็น	75
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองกับค่าทำนายแยกตามผู้ถูกทดสอบ สำหรับการลาก.....	76
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการเข็น.....	78
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการลาก.....	80
ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเข็นรถ.....	87
ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองลากรถ.....	88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 กระจุกสันหลังส่วนบั้นเอว.....	7
รูปที่ 2.2 แรงและโมเมนต์บนกระจุกสันหลัง.....	16
รูปที่ 2.3 ภาพลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ.....	17
รูปที่ 2.4 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะสถิต.....	18
รูปที่ 2.5 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะพลวัต.....	23
รูปที่ 2.6 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนดิ่งบริเวณ L5/S1.....	24
รูปที่ 2.7 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1.....	24
รูปที่ 2.8 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดิ่งของกล้ามเนื้อหลัง.....	25
รูปที่ 2.9 แสดงระยะของตัวแปรต่างๆ สำหรับโมเดลการยกของ NIOSH.....	27
รูปที่ 2.10 แสดงระดับการยก AL และ MPL เทียบกับน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการยก และ ระยะทางในแนวราบ.....	28
รูปที่ 2.11 แสดงแรงกดอัดที่ L5/S1 เทียบกับน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการยก และระยะทางใน แนวดิ่ง.....	31
รูปที่ 4.1 ภาพต่อเนื่องขณะเข็นรถ.....	42
รูปที่ 4.2 ภาพต่อเนื่องขณะลากรถ.....	42
รูปที่ 4.3 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก. บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไถล่อน.....	47
รูปที่ 4.4 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก. บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไถล่อน.....	47
รูปที่ 4.5 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก. บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไถล่อน.....	47
รูปที่ 4.6 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก. บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไถล่อน.....	48
รูปที่ 4.7 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก. บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไถล่อน.....	48
รูปที่ 4.8 แรงกดอัดของกระจุกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก. บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไถล่อน.....	48

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.37 แรงกดอัดของกระดุกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก. บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก.....	58
รูปที่ 4.38 แรงกดอัดของกระดุกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก. บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก.....	58
รูปที่ 4.39 ค่าแรงกดอัดของกระดุกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง เข็นรถ.....	60
รูปที่ 4.40 ค่าแรงกดอัดของกระดุกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ลากรถ.....	61
รูปที่ 4.41 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของ รถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่างของการเข็นด้วยล้อในล่อน.....	64
รูปที่ 4.42 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของ รถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่าง ของการเข็นด้วยล้อเหล็ก.....	65
รูปที่ 4.43 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของ รถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่างของการลากด้วยล้อในล่อน.....	66
รูปที่ 4.44 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของ รถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่างของการลากด้วยล้อเหล็ก.....	66
รูปที่ 4.45 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จาก การทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการเข็น.....	79
รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จาก การทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการลาก.....	81
รูปที่ 4.47 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะเข็นรถหนัก 140 กก.....	83
รูปที่ 4.48 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะเข็นรถหนัก 700 กก.....	83
รูปที่ 4.49 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.....	84
รูปที่ 4.50 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 140 กก.....	85
รูปที่ 4.51 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 700 กก.....	85
รูปที่ 4.52 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 1,200 กก.....	86

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ณ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.53 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ.....	87
รูปที่ 4.54 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองลากรถ.....	88



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กก.	=	กิโลกรัม
ซม.	=	เซนติเมตร
MAW	=	น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้
N	=	นิวตัน
NIOSH	=	สถาบันแห่งชาติเพื่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน (National Institute of Occupational Safety and Health)
AL	=	เกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ (Action Limit) ของ NIOSH
MPL	=	เกณฑ์มาตรฐานขั้นสูง (Maximum Permissible Limit) ของ NIOSH
CS	=	แรงกดอัดสูงสุดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง
L5/S1	=	บริเวณหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนบั้นเอวช่วงที่ 5 และกระดูกสันหลังส่วนก้นกบช่วงที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาพการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะประกอบด้วยงานเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ (Manual Material Handling) โดยที่ Dempsey (1998) ได้ให้ความหมายว่าเป็นงานที่อาศัยแรงคนในกิจกรรมการยกขึ้น (Lifting) การยกลง (Lowering) การดันหรือการเข็น (Pushing) การดึงหรือการลาก (Pulling) การเดินถือ (Carrying) และการถือ (Holding) เนื่องจากภาระงานที่หนักงานของกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือทำให้มีความเสี่ยงสูงต่อการบาดเจ็บที่ระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal disorders) เมื่อภาระงานเกินขีดความสามารถของคนงานจะก่อให้เกิดภาวะไม่สบาย (Discomfort) เกิดความล้า และการบาดเจ็บในที่สุด ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งในด้านค่าใช้จ่าย และเวลาในการทำงานต่อภาครัฐและเอกชน การบาดเจ็บที่พบบ่อยที่สุดจะเกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง (Low back pain)

งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นที่กิจกรรมการยกและการเดินถือ เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงกว่าแต่ให้ความสำคัญกับการดันและการดึงน้อยกว่า แต่จากงานวิจัยของ Baril-Gingras and Lortie (1995) ซึ่งศึกษางานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือในศูนย์จัดส่งสินค้าของบริษัทขนส่งแห่งหนึ่ง พบว่ามีจำนวนครั้งของงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือที่ใช้การดันและการดึงมากกว่าครึ่งหนึ่งของงานทั้งหมด โดยที่เป็นการดึงร้อยละ 26.0 และการดันร้อยละ 22.2 ขณะที่มีการยกขึ้นร้อยละ 16.1 และการยกลงเพียงร้อยละ 10.5

Chaffin (1987) พบว่าการดันและการดึงมีความเสี่ยงต่อการประสบอันตรายหรือการบาดเจ็บเนื่องจากการทำงาน 2 แบบ คือ การบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อและกระดูกที่เกิดจากการออกแรงมากเกินไป (Physically overexerted) และอุบัติเหตุจากการลื่นและล้ม (Slips and falls accidents)

สำหรับในประเทศไทยจากรายงานสถิติงานประกันสังคมประจำปีของฝ่ายสถิติและรายงาน กองวิชาการและแผนงาน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม พบว่าจำนวนผู้ประสบอันตรายเนื่องจากการทำงานรวม ผู้ประสบอันตรายประเภทการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก และผู้ประสบอันตรายประเภทการหกล้ม ลื่นล้ม ในช่วง 6 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี 2538-2543 แสดงในตารางที่ 1.1 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 สถิติการประสบอันตรายเนื่องจากการทำงานรวม การประสบอันตรายประเภทการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก และการประสบอันตรายประเภทการหกล้ม ลื่นล้ม

ปี	จำนวนผู้ประสบอันตรายรวม (คน)	จำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยก หรือเคลื่อนย้ายของหนัก (คน)	จำนวนผู้ประสบอันตรายจากการหกล้ม ลื่นล้ม (คน)
2538	216,335	13,943	5,103
2539	245,616	17,693	5,970
2540	230,376	15,406	5,565
2541	186,498	11,586	4,879
2542	171,997	8,719	4,474
2543	179,566	7,775	4,388

ซึ่งจะเห็นว่าจากสถิติ 6 ปีที่ผ่านมาจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักมีมากกว่าผู้ประสบอันตรายจากการหกล้ม ลื่นล้ม แต่จำนวนผู้ประสบอันตรายการหกล้ม ลื่นล้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นขณะที่จำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักยังมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่มาก ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนคนงานที่อยู่ในภาคการผลิตและอุตสาหกรรมลดลงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากเศรษฐกิจเริ่มเข้าสู่ภาวะวิกฤติตั้งแต่กลางปี 2540 เมื่อรัฐบาลปล่อยค่าเงินบาทลอยตัวเป็นผลให้ความเติบโตทางเศรษฐกิจลดลงและมีการใช้แรงงานลดลง โดยเฉพาะการก่อสร้างซึ่งจะมีจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักค่อนข้างมาก

ส่วนจำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยบริเวณหลังเนื่องจากการทำงาน ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี 2540-2543 แสดงในตารางที่ 1.2 ดังนี้

ตารางที่ 1.2 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยบริเวณหลังเนื่องจากการทำงาน

ปี	จำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยบริเวณหลัง (คน)
2540	13,425
2541	9,734
2542	7,486
2543	6,393

จากสถิติ 4 ปีที่ผ่านมาจำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยบริเวณหลังเนื่องจากการทำงานมีจำนวนลดลงตามจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักที่ลดลง แต่มีสัดส่วนต่อจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักใกล้เคียงกันในแต่ละปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัญหาการบาดเจ็บที่หลังยังคงมีในปริมาณที่สูงอยู่ค่อนข้างมาก

ความสูญเสียในด้านค่าใช้จ่ายจากงานวิจัยของ อรรธมา ลาสูนนท์ (2542) พบว่ากองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม ต้องจ่ายเงินทดแทนให้กับลูกจ้างที่ผู้ประสบอันตรายจากการทำงานระหว่างปี 2533 – 2537 เป็นเงินถึง 3,915.5 ล้านบาท

งานวิจัยของ กิตติ อินทรานนท์ (2538) ก็พบว่ามีสถิติการบาดเจ็บที่เกิดจากกิจกรรมการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกถุงเบ้งเข้าและออกจากเตาอบ ปกติถุงเบ้งจะวางซ้อนบน Pallet เต็มพิกัดที่ 50 ถุงๆ ละ 30 กิโลกรัม รวมเป็นน้ำหนักประมาณ 1,500 กิโลกรัม เมื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุพบว่าในบริเวณสถานีงานมีฝุ่นเบ้งตกหล่นอยู่ที่พื้นทำให้พื้นมีความลื่นมากขึ้นการเข็นรถจึงเป็นไปอย่างลำบากเป็นผลให้คนงานต้องการออกแรงมากกว่าปกติ ต่อมาเมื่อได้ทำการแก้ไขบริเวณสถานีงานโดยติดแผ่นกันลื่น (Anti-slip) ที่พื้นเป็นการเพิ่มค่าแรงเสียดทานที่พื้นมากขึ้นเป็นผลให้วัดค่ากำลังที่ใช้ในการทำงานลดลงมากและต่ำกว่าร้อยละ 35 ของกำลังสูงสุดที่คนงานคนนั้นทำได้ (Maximum Voluntary Effort; MVE)

งานวิจัยของ Mack, Haslegrave and Gray (1995) พบว่าการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือโดยการดันและการดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมักใช้อุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนย้ายที่สำคัญคือรถเข็น ซึ่งมีขนาดและรูปทรงมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่การออกแบบและการใช้งาน ที่พบเห็นกันบ่อยจะเป็นรถเข็นที่มีล้อจำนวน 2 - 4 ล้อ น้ำหนักบรรทุกอยู่ระหว่าง 2 - 1,500 กิโลกรัม และมีระยะทางการเข็นอยู่ระหว่าง 9 - 500 เมตร นอกจากนี้เขายังสรุปว่าการใช้การใช้รถเข็นสำหรับขนย้ายสิ่งของต่างๆ โดยการออกแรงดันหรือดึง ไม่ได้เป็นการช่วยผ่อนแรงเสมอไปแต่กลับทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บมากขึ้นเนื่องจากการออกแบบรถเข็นไม่เหมาะสมกับการทำงาน ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกใช้รถเข็นให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมทั้งหมดของงาน หลักสำคัญอยู่ที่ง่ายต่อการใช้เคลื่อนย้ายวัสดุและปลอดภัย สามารถช่วยลดแรงในการทำงานให้น้อยลงมีผลทำให้การบาดเจ็บจากการทำงานน้อยลงไปด้วย

Snook (1978) ได้อธิบายการเคลื่อนย้ายรถเข็นว่าจะต้องมีการออกแรงดันหรือดึงที่มือผ่านลงไปยังล้อของรถเข็นเพื่อทำให้เกิดการหมุนของล้อขณะเดียวกันทำต้องออกแรงเดินและพยุงร่างกายเอาไว้ ลักษณะของการออกแรงดันหรือดึงแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แรงเริ่มต้น (Initial force) ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ทำให้วัตถุที่อยู่นิ่งเกิดการเคลื่อนที่ และแรงต่อเนื่อง (Sustained force) ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่อยู่คงการเคลื่อนที่ต่อไป ค่าแรงเริ่มต้นจะมีค่ามากกว่าแรงต่อเนื่อง

Al - Eisawi et al. (1999a) พบว่าการออกแรงดันหรือดึงจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของรถที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าของที่บรรทุกในรถเข็นมีน้ำหนักมากก็ทำให้คนงานต้องออกแรงที่มือในการเข็นมาก ประกอบกับสภาพพื้นโรงงานโดยทั่วไปมักมีสิ่งเจือปน เช่น น้ำ น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ปกคลุมพื้นเหล่านี้เชื่อว่าจะมีผลต่อขีดจำกัดของการออกแรงที่มือของคนงานในการเคลื่อนย้ายรถเข็น ทำให้เกิดมีสภาพภาระงานที่หนักสำหรับคนงานหรือเกิดอุบัติเหตุจากการลื่นเสียหลัก และล้มได้ง่ายอันเนื่องมาจากปัจจัยความลื่นของพื้นが多มากขึ้นเป็นผลทำให้สมรรถภาพในการทำงานลดลงหรือประสิทธิภาพในการทำงานลดลงได้

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษเกี่ยวกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือโดยการเข็น และลากรถเข็นบรรทุกของที่มีล้อ ที่สภาวะของการทำงานบนสภาพพื้นต่างๆ ที่พบบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อกำหนดค่าขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการออกแรงดึงและดัน ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียและป้องกันการบาดเจ็บ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในการออกแรงเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของที่สภาวะและสภาพการทำงานบนสภาพพื้นที่กำหนด
2. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ระหว่างพื้นและรองเท้าในการออกแรงเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ
3. เพื่อหาสมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์เป็นเกณฑ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือสองกิจกรรม คือ การเข็นและการลากรถเข็นในช่วงการออกแรงเริ่มต้น (Initial force) จากรถเข็นที่อยู่นิ่งเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการออกแรงสูงสุด และศึกษาผลกระทบของลักษณะงานเข็นและลาก อันได้แก่น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น ที่มีผลกระทบต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ทำการศึกษาการเข็นและการลากรถเข็นในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach) คำนวณค่าแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ในสภาวะสถิต

ผลการศึกษาในแนวทางชีวกลศาสตร์ จะถูกนำมาคำนวณค่าขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้) ที่เกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำของ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ที่ Action Limit (AL) คือ 3,400 นิวตัน และขั้นสูงที่ Maximum Permissible Limit (MPL) คือ 6,400 นิวตัน ซึ่ง NIOSH ได้แนะนำค่าของแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่สำคัญ 2 ค่าคือ (Chaffin and Andersson, 1984)

- Action Limit (AL) ค่าของแรงกดอัดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกินกว่า 3,400 นิวตัน จัดว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานบางคน
- Maximum Permissible Limit (MPL) ค่าของแรงกดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเพิ่มถึง 6,400 นิวตัน จะจัดว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานเกือบทุกคน

การวัดค่าแรงเสียดทานที่ทำการใช้ (Friction Used) จะวัดออกมาในรูปของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ (Used Coefficient of Friction) ระหว่างพื้นและรองเท้าของผู้ถูกทดสอบ

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาที่มา และสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
2. สัมภาษณ์งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาการออกแบบการทดลอง
4. ออกแบบการทดลองและสร้างอุปกรณ์/เครื่องมือสำหรับการทดลอง
5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
6. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล
7. สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ศึกษาผลของลักษณะงานเข็นและลาก อันได้แก่ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น ที่มีผลกระทบต่อร่างกาย
2. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างลักษณะงานเข็นและลาก
3. เป็นแนวทางในการกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ



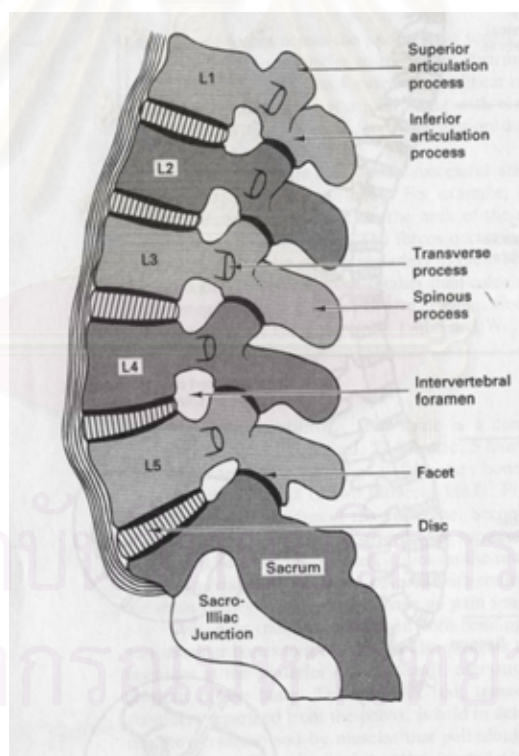
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบาดเจ็บจากการทำงานการเคลื่อนย้ายวัสดุ

การบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain; LBP) เป็นปัญหาสำคัญที่พบบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถเกิดจากการทำงานการเคลื่อนย้ายวัสดุแบบงานเดี่ยวที่เกินกำลังเพียงครั้งเดียว (Single acute event) หรือเกิดการสะสม (Cumulative) จากการทำงานหลายๆ ครั้งได้เหมือนกับการเกิดโรค Cumulative trauma disorders (CTD) บริเวณหลังส่วนล่างที่จะเกิดอันตรายได้มากที่สุดคือ หมอนรองกระดูก (L5/S1 disc) ที่อยู่ระหว่างกระดูกสันหลังส่วนบั้นเอว ช่วงที่ 5 (the 5th lumbar vertebrae; L5) และกระดูกสันหลังส่วนก้นกบช่วงที่ 1 (the 1st sacral vertebrae; S1)



รูปที่ 2.1 กระดูกสันหลังบริเวณบั้นเอว

(ที่มา : Kroemer, Kroemer, and Kroemer-Elbert, 1994)

งานวิจัยของ Kroemer (1989) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการบาดเจ็บของโรค CTD ซึ่งเกิดกับกล้ามเนื้อ, เอ็น, ข้อต่อ และกระดูกอ่อน จะมีอาการเจ็บปวดอย่างต่อเนื่องและอาจลุกลามไปยังระบบประสาทและเส้นเลือดได้ สรุปปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ, เอ็น, ข้อต่อ และกระดูกอ่อน ได้เป็น 2 ปัจจัย คือ

1. เกิดจากปัจจัยของลักษณะการทำงาน (Occupational factors) ได้แก่ การทำงานซ้ำซากเป็นเวลานาน การออกแรงที่มากเกินไป การเคลื่อนที่เร็วเกินไป การเกร็งกล้ามเนื้อรับน้ำหนักนานเกินไป การจับอุปกรณ์นานเกินไป ท่าทางการทำงานที่ผิดปกติ ความสั่นสะเทือน ความหนาวเย็น เป็นต้น
2. เกิดจากปัจจัยอื่นเนื่องจากตัวคนงานเอง (Non-occupational factors) ได้แก่ เพศ อายุ โรคประจำตัว ระดับฮอร์โมน การตั้งครรภ์ เป็นต้น

ส่วนของร่างกายที่บาดเจ็บได้แก่ กล้ามเนื้อ เอ็น และเนื้อเยื่ออ่อนเกิดอาการชัดยอก ปวดบวม และเมื่อยล้า เกิดจากการหดตัวนานเกินไปทำให้ขาดเลือดไปหล่อเลี้ยงหรือการยึดตัวมากเกินไป กล้ามเนื้อจะดึงส่วนของเอ็นที่ติดกับกระดูกให้ยึดตัวตามแต่เอ็นไม่สามารถยึดตัวตามได้มากจึงเกิดการบาดเจ็บได้ซึ่งถ้าบาดเจ็บที่เอ็นอาจต้องใช้เวลารักษานาน

ระบบประสาทเกิดการบาดเจ็บได้จากการถูกกระดูกกดทับ เช่น โรค Carpal Tunnel Syndrome (CTS) มีอาการเอ็นร้อยข้อมืออักเสบจากการที่กระดูกกดทับเส้นประสาทกลางข้อมือและเส้นเลือด มีอาการคล้ายเส้นประสาทถูกกดทับ เส้นเลือดจะถูกบีบมีผลทำให้ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนน้อยลงกล้ามเนื้อจึงขาดออกซิเจนเลือดไปหล่อเลี้ยง เช่น โรค White Finger

Andersson (1981) ได้แบ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง เป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับงานและสถานที่ทำงาน ได้แก่ งานที่มีลักษณะหนัก ท่าทางในการทำงานที่มีลักษณะสถิติ ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะทำงาน การยกและการเคลื่อนไหวของร่างกาย ลักษณะงานที่ซ้ำซาก ความสั่นสะเทือนในสถานประกอบการ เป็นต้น และปัจจัยอื่นเนื่องจากตัวคนงานเอง ได้แก่ อายุ และเพศ สัดส่วนร่างกาย ท่าทางในการทำงาน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสมบูรณ์ของร่างกาย การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง ปัญหาทางด้านสังคมและจิตใจ เป็นต้น

จากงานวิจัยของ Troup and Edwards, 1985 (อ้างถึงใน Shoaf et al., 1997) ได้รายงานว่าการออกแรงมากเกินไปในการทำกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือทำให้เกิดการบาดเจ็บที่บริเวณหลังส่วนล่างร้อยละ 61 โดยที่แยกเป็นร้อยละ 74 ของการบาดเจ็บที่บริเวณหลังส่วนล่างเกิดจากการยก การถือ และการโยน, และร้อยละ 15 ของการบาดเจ็บที่บริเวณหลังส่วนล่างเกิดจากการดันและการดึง

งานวิจัยของ Wright and Haslam (1999) ก็เช่นกันพบว่าพนักงานที่ทำงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือในศูนย์จัดส่งเครื่องดื่ม และคนขับรถส่งสินค้าที่ต้องทำการยกของขึ้นลงจากรถและใช้รถเข็นส่งของให้ถึงลูกค้า จะมีอาการเจ็บหลังส่วนล่างมากที่สุดคิดเป็น 47% และ 58% รองลงมาจะเป็นเข้า 50% และ 31% จากนั้นวิเคราะห์งานด้วยเทคนิค Otako Working Posture Analysis System (OWAS) พบว่ามีงานที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บรวมอยู่ประมาณ 37% เมื่อคำนวณเป็น Lifting Index (LI) จะอยู่ระหว่าง 0.8 - 4.6 ซึ่งแสดงว่ามีงานบางประเภทมีค่าเกินขีดกำหนดสูงสุดที่ NIOSH เสนอแนะว่า LI ไม่ควรเกิน 3.0 เขาสรุปว่างานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือในศูนย์จัดส่งเครื่องดื่มมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการทำงาน เขาแนะนำการแก้ไขให้ใช้รถเข็นมากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเข็นและลาก

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเข็นและลาก

Hoozemans et al. (1998) ได้รวบรวมผลการศึกษาศึกษาของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยการเข็นและลาก แบ่งเป็น 3 ปัจจัย คือ

2.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับงานและสถานที่ทำงาน ได้แก่

- ระยะทางการเคลื่อนย้ายที่มากขึ้น มีผลทำให้ค่า Maximum acceptable initial และ sustained forces มีค่าลดลง และต้องใช้พลังงานในการทำงานเพิ่มขึ้น
- ความถี่ของการทำงานที่มากขึ้น มีผลทำให้ Maximum acceptable initial และ sustained forces มีค่าลดลง
- ความสูงของระยะมือจับ กรณีการดันเมื่อความสูงของระยะมือจับสูงขึ้น มีผลทำให้ Maximum force มีค่ามากขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต้องการ (Required coefficient of friction) มีค่าลดลง แต่ไม่ค่อยมีผลกับค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่าง ส่วนกรณีการดึงเมื่อความสูงของระยะมือจับสูงขึ้นมีผลทำให้ Maximum acceptable initial และ sustained forces มีค่าลดลงขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต้องการมีค่ามากขึ้น ส่วนค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างก็มีค่าสูงขึ้น

- น้ำหนักในการเคลื่อนย้ายที่มากขึ้น มีผลทำให้การออกแรงที่มือมากขึ้น และค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างมีค่าสูงขึ้น

2.2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวกับวิธีการทำงานและท่าทางในการทำงาน ได้แก่

- ระยะเวลาของเท้าถึงรถเข็น กรณีการดันเมื่อระยะเวลาของเท้ามากขึ้นมีผลทำให้ ออกแรงได้มากขึ้น ขณะที่กรณีการดึงต้องให้ระยะเวลาของเท้าลดขึ้นจึงออกแรงได้มากขึ้น

- ระยะเวลาห่างระหว่างเท้าทั้งสอง กรณีการดันเมื่อแยกขาออกจากกันมี ระยะเวลาห่างระหว่างเท้าทั้งสองมากขึ้น มีผลทำให้ออกแรงได้มากขึ้นกว่ายืนเท้าทั้งสองชิดกัน

- การออกแรงดันและการดึงเมื่อมีการออกแรงมากขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทานที่ต้องการใช้มีค่ามากขึ้น และค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างก็มีค่าสูงขึ้นตามไป ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการออกแรงดันและการออกแรงดึงพบว่าค่า Maximum acceptable initial force ของการดันมีค่ามากกว่าการดึง

- ความเร็วในการเดิน พบว่าถ้าความเร็วในการเดินมากขึ้นทำให้ค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต้องการใช้มีค่ามากขึ้น และค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างก็มีค่า สูงขึ้นตามไปด้วย

2.2.3 ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง ได้แก่

- เพศ เพศชายจะสามารถออกแรงมากได้มากกว่าเพศหญิง

- น้ำหนักของร่างกาย กรณีการดัน ถ้าน้ำหนักของร่างกายมากขึ้นทำให้ การออกแรงมากได้มากขึ้นด้วย มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต้องการใช้ลดลง และ ค่าแรงกดอัดที่บริเวณหลังส่วนล่างก็มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

2.3 แนวทางในการประเมินภาระงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ

แนวทางที่ใช้ในการประเมินภาระงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ เพื่อป้องกันมิให้คนงาน ทำงานเกินขีดความสามารถของตนจนเกิดอันตราย ในปัจจุบันมี 4 แนวทาง คือ

1. แนวทางการประเมินพฤติกรรมความเจ็บป่วย (Epidemiological Approach)
2. แนวทางจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)
3. แนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)
4. แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

2.4 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้พฤติกรรมความเจ็บป่วย

แนวทางการประเมินพฤติกรรมความเจ็บป่วย เป็นส่วนหนึ่งของวิชาระบาดวิทยา (Epidemiology) ซึ่งจัดเป็นสาขาหนึ่งของวิชาแพทย์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เจ็บป่วยที่เกิดขึ้นกับประชากร (Friedman, 1974)

หลักการพื้นฐานในการวัดพฤติกรรมความเจ็บป่วย (Mital, Nicholson and Ayoub, 1993) จะมีการเก็บรวบรวมสถิติจำนวนประชากรในกลุ่มที่มีการปวดหลัง กลุ่มที่มีความผิดปกติบริเวณหลัง กลุ่มที่มีอาการเจ็บหลังส่วนล่าง เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากการรวบรวมข้อมูลของสถานพยาบาลต่าง ๆ อัตราในการวัดจะนับจำนวนประชากรที่มีอาการเจ็บหลังต่อจำนวนประชากรทั้งหมดในกลุ่ม การใช้วิธีการวัดพื้นฐานนี้จะเปรียบเทียบกลุ่มที่สนใจ และสามารถกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณา ตามปัจจัยเสี่ยงสำหรับการทำงานที่ใช้ร่างกาย เมื่อได้จำนวนข้อมูลเพียงพอจะทำการประเมินตามแนวทางการวิเคราะห์พฤติกรรมความเจ็บป่วย ซึ่งจะบอกรูปแบบของการบาดเจ็บได้ และสามารถใช้ในการทำนายสาเหตุของการบาดเจ็บได้ รวมทั้งสามารถตอบคำถามที่สำคัญอื่น ๆ ได้ดังนี้

- ทำไมจึงมีการเจ็บหลังในอาชีพที่มีการเคลื่อนย้ายวัสดุ
- จะมีวิธีการอย่างไรที่จะป้องกันการบาดเจ็บจากการปวดหลัง
- อะไรที่เป็นปัจจัยพื้นฐานในปัจจุบันที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บเป็นส่วนใหญ่
- การบาดเจ็บหลังหรือการเจ็บป่วยจะมีปัจจัยอย่างเดียวหรือหลายๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัจจัยเสี่ยงอย่างมากได้อย่างไร เป็นต้น

มีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่สนับสนุนว่า การทำงานการดิ่งและการดันเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บหลังส่วนล่าง NIOSH (1981) พบว่า 20% ของการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง จะเกี่ยวข้องกับการทำงานการดิ่งและการดัน

Frymoyer et al. (1980) ได้ทำการศึกษากลุ่มผู้ป่วย พบว่าจำนวนผู้ป่วยคิดเป็นร้อยละ 20 สำหรับชาย และร้อยละ 31 สำหรับหญิงในกลุ่มที่มีการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่างจะเกี่ยวข้องกับการทำงานที่มีการดิ่งและการดัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง พบว่ามีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการดิ่งและการดัน ทั้งชายและหญิงอย่างละ 2% ตามลำดับ จึงพอสรุปได้ว่าการดิ่งและการดัน เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง

2.5 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์

งานวิจัยของ Ayoub and Dempsey (1999) ได้อธิบายว่าแนวทางจิตฟิสิกส์เป็นสาขาหนึ่งของจิตวิทยาเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้าทางกายภาพและการตอบสนองของร่างกายต่อสิ่งเร้า ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้าและการตอบสนอง (อ้างจาก Stevens, 1960) แสดงให้เห็นว่าความแรงของการตอบสนองมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสิ่งเร้าที่มากระทบ ซึ่งความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันกำลังดังนี้

$$\psi = k\phi^n$$

โดยที่ ψ คือ ความแรงของการตอบสนอง (Sensation)
 ϕ คือ ระดับความเข้มของสิ่งเร้า (Stimuli)
 k คือ ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้วัด
 n คือ ค่าความชันของฟังก์ชันกำลังซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งเร้า ค่านี้อาจมีค่าน้อยกว่า 1 ได้ เช่นเมื่อสิ่งเร้าเป็นกลิ่น (smell) หรือความสว่าง (brightness), และอาจมีค่าสูงถึง 3.5 เมื่อถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างแรง (electrical chock)

หลักการของแนวทางจิตฟิสิกส์ คือ การให้ผู้ทดสอบทำการเลือกของให้น้ำหนักมากที่สุดที่เขาพอใจโดยที่เขาไม่รู้น้ำหนักจริงของของที่เลือก และคาดหมายว่าจะต้องทำการยกหรือเคลื่อนย้ายของที่น้ำหนักนั้นได้ตลอดช่วงเวลาทำงาน โดยให้เวลาในการทดลองยกหรือเคลื่อนย้ายช่วงหนึ่งก่อน ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อขีดความสามารถตามแนวทางจิตฟิสิกส์ มี 3 ปัจจัย คือ

- ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง เช่น อายุ เพศ สัดส่วนร่างกาย ความแข็งแรงของร่างกาย
- ปัจจัยที่เกี่ยวกับงาน เช่น ภาระงาน ความถี่
- ปัจจัยอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม เช่น ความร้อน เสียง

Ayoub and Dempsey (1999) ทำการประเมินแนวทางจิตฟิสิกส์ เทียบกับแนวทางชีวกลศาสตร์และแนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา โดยแนวทางชีวกลศาสตร์ใช้หลักการว่าค่าของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกช่วงที่ L5/S1 จากภาระงานที่ทำไม่ควรเกินเกณฑ์ 3,400 นิวตันตามที่ NIOSH ได้แนะนำ และแนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยาใช้เกณฑ์ของอัตราการใช้พลังงานประเมินภาระงานสูงสุดที่ทำต่อเนื่องโดยไม่เกิดความล้าสะสม เขาพบว่าค่าขีดจำกัดที่ได้

จาก 3 แนวทางมีความแตกต่างกัน แต่ไม่อาจสรุปชี้ชัดว่าค่าใดถูกต้องเนื่องจากเกณฑ์ในการพิจารณาแตกต่างกัน แต่เขาแนะนำว่าการใช้แนวทางจิตฟิสิกส์มีข้อดีที่สำคัญ คือ มีค่าใช้จ่ายน้อยและระยะเวลาสั้น ส่วนข้อเสียสำคัญ คือ ใช้ความรู้สึกของผู้ถูกทดสอบเป็นหลัก

Ciriello, McGorry, Martin and Bezverkhny (1999) ได้ใช้แนวทางจิตฟิสิกส์ทำการวิจัยหาค่าแรงเริ่มต้นและแรงต่อเนื่องสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นบนลู่วิ่งที่อยู่กับที่ (Magnetic particle brake treadmill) โดยใช้แบบจำลองรถเข็นซึ่งมีความเฉื่อยสูง ระยะทางการทดสอบเข็นที่ 7.6 เมตรและใช้ความถี่ในการเข็น 1 ครั้งต่อนาที ในการเข็นเดินหน้าอย่างเดียวโดยมีผู้ช่วยอีกคนนำแบบจำลองรถเข็นกลับที่เดิม ใช้ผู้ถูกทดสอบเป็นชาย 8 คน ผลการทดลองพบค่าแรงเริ่มต้นสูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ 404 นิวตัน และแรงต่อเนื่องเท่ากับ 222 นิวตัน เมื่อกำหนดกลับเป็นน้ำหนักได้ที่ประมาณ 482 กิโลกรัม

Snook and Ciriello (1991) ได้วิจัยหาค่าขีดจำกัดของน้ำหนักและแรงงานของการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ ในการยกขึ้น การยกลง การดัน การดึง และการเดินถือ เพื่อเพิ่มและแก้ไขข้อมูลของงานวิจัยเดิมที่ทำไว้โดย Snook ในปี 1978 โดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์พร้อมด้วยการวัดอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และการวัดสัดส่วนของร่างกาย การทดสอบจะแบ่งแยกตามเพศเป็นหลักประกอบด้วย การทดลองของเพศชายและเพศหญิง ในการทดลองการดันและการดึงนั้นจะทดสอบบนลู่วิ่งอยู่กับที่และให้ออกแรงดันและดึงแกนทดสอบที่อยู่กับที่ แกนทดสอบนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรง (Load cell) เพื่อวัดแรงในแนวขนานกับพื้น ตลอดการทดลองผู้ทดสอบต้องสวมเสื้อผ้าและใช้รองเท้าแบบเดี่ยวที่จัดเตรียมให้ทุกคนเพื่อเป็นการลดตัวแปรในการทดลอง เขาทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าความถี่ ความสูงของมือจับ และระยะทางในการยอมรับน้ำหนักและการออกแรงในการดันหรือดึง 2 ลักษณะ คือแรงเริ่มต้นและแรงต่อเนื่อง ผลการทดลองจะวัดเป็นค่าร้อยละของจำนวนประชากรที่จะยอมรับการออกแรง ยกตัวอย่างผู้ชายที่จำนวนประชากร 50% จะยอมรับการออกแรงเริ่มต้นสูงสุดของการดันที่ 54 กิโลกรัม เมื่อมีระยะการเข็น 2.1 เมตรและระดับความสูงของมือจับ 95 เซนติเมตร โดยที่เขาต้องทำงานติดต่อกัน 8 ชั่วโมง แต่ยอมรับแรงต่อเนื่องสูงสุดของการดันที่ 40 กิโลกรัมในสภาวะการทำงานเดียวกัน ทั้งนี้ในงานวิจัยไม่ได้ทำการตรวจสอบหาค่าแรงกอดอัดสูงสุดที่หมอนรองกระดูกช่วงที่ L5/S1

2.6 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา

แนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา ใช้เกณฑ์ในการประเมินภาระงานสูงสุดที่สามารถกระทำต่อเนื่องโดยไม่เกิดความล้าสะสม ดังนี้

1. อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ ใช้เกณฑ์ว่าภาระงานสูงสุดที่สามารถกระทำต่อเนื่องโดยไม่เกิดความล้าสะสม ไม่ควรเกิน 33% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด
2. อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึม ใช้เกณฑ์ว่าภาระงานสูงสุดที่สามารถกระทำต่อเนื่อง ใน 8 ชั่วโมงการทำงาน โดยไม่เกิดความล้าสะสม ไม่ควรเกิน 4,300 กิโลแคลอรีต่อวัน
3. อัตราการเต้นของหัวใจ เป็นผลตอบสนองทางสรีรวิทยา ที่มีความไวต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน, ความชื้น มากกว่าการใช้อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อเป็นเกณฑ์

นอกจากนี้ Astrand and Rodahl (1986) ได้ยืนยันว่าเมื่อบุคคลใดก็ตามได้ทำงานที่มีการใช้กำลังมากกว่า 30-40% ของความสามารถสูงสุดในการทำงาน (Physical Work Capacity, PWC) ของบุคคลนั้นในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านจิตใจหรือมีอาการของความล้าแสดงออกมานั้นหมายถึงโอกาสของการบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเกณฑ์มาตรฐานนี้จึงถูกพิจารณาด้วยว่าภาระงานสูงสุดที่คนสามารถกระทำต่อเนื่องโดยไม่เกิดความล้าสะสมไม่ควรเกินร้อยละ 30-40 ของขีดความสามารถสูงสุดที่มีอยู่ และตามความเห็นของ Sanders and McCormick (1992) ได้เสนอแนะว่ากำลังที่ใช้ทำงานจะต้องไม่เกินร้อยละ 35 ของกำลังสูงสุดที่งานๆ นั้นทำได้ และการทำงานใดต้องใช้เวลาเกินค่านี้ไปจะจัดได้ว่าเป็นการใช้กำลังที่มากเกินไป

Van Der Beek, Kluver, Frings-Dresen and Hoozemans (2000) ได้ทำการวิจัยหาค่าแรงเริ่มต้นสูงสุดของการเข็นและการลากโดยใช้แนวทางสรีรวิทยา ใช้รถเข็น 4 ล้อทรงสูง ระยะเข็น 11 เมตรและความถี่ในการเข็น 2-4 ครั้งต่อนาที ใช้น้ำหนักบรรทุก 130 250 400 และ 550 กิโลกรัม พบว่าการเข็นใช้กำลังมากกว่าการลาก และที่น้ำหนัก 550 กก. มีค่าแรงเริ่มต้นของการเข็น เท่ากับ 457 นิวตัน และแรงต่อเนื่อง เท่ากับ 390 นิวตัน ขณะที่การลากมีค่าแรงเริ่มต้น เท่ากับ 476 นิวตัน และค่าแรงต่อเนื่อง เท่ากับ 460 นิวตัน

2.7 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์

แนวทางชีวกลศาสตร์ใช้เกณฑ์การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง ในการพิจารณาเพื่อที่จะเปรียบเทียบภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Limit, MAL) ทำให้ทราบว่าลักษณะงานที่ทำนั้น ๆ เกินค่า MAL หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการประเมินขีดจำกัดของคนงาน โดยให้คนงานเข็นและลากรถเข็นที่บรรทุกน้ำหนักต่างๆ บนพื้นผิวที่แตกต่างกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ NIOSH แนะนำ ทั้งนี้เพื่อกำหนดเป็นขีดจำกัดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและลากรถเข็น

2.7.1 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง

โมเดลทางชีวกลศาสตร์สามารถใช้ทำนายค่าความเครียดทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นบนร่างกายขณะทำงาน โดยการคำนวณหาแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อต่าง ๆ บนร่างกาย ในขณะที่ทำงานเพื่อต้านกับแรงดึงดูดและทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งกล้ามเนื้อจะต้องออกแรงเพื่อให้เกิดสมดุลกับแรงบิดที่เกิดขึ้นและจะออกแรงมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับระยะห่างของกล้ามเนื้อนั้น ๆ กับจุดหมุน หรือที่เรียกว่าแขนของโมเมนต์ นอกจากแรงที่เกิดจากภายนอกร่างกายแล้ว การออกแรงดึงของกล้ามเนื้อเหล่านั้นจะทำให้เกิดแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้นบนผิวสัมผัสระหว่างข้อต่อของกระดูกอีกด้วย โดยมีการคำนวณอยู่สองรูปแบบ คือ การคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะสถิต (Statics) และการคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะพลวัต (Dynamics)

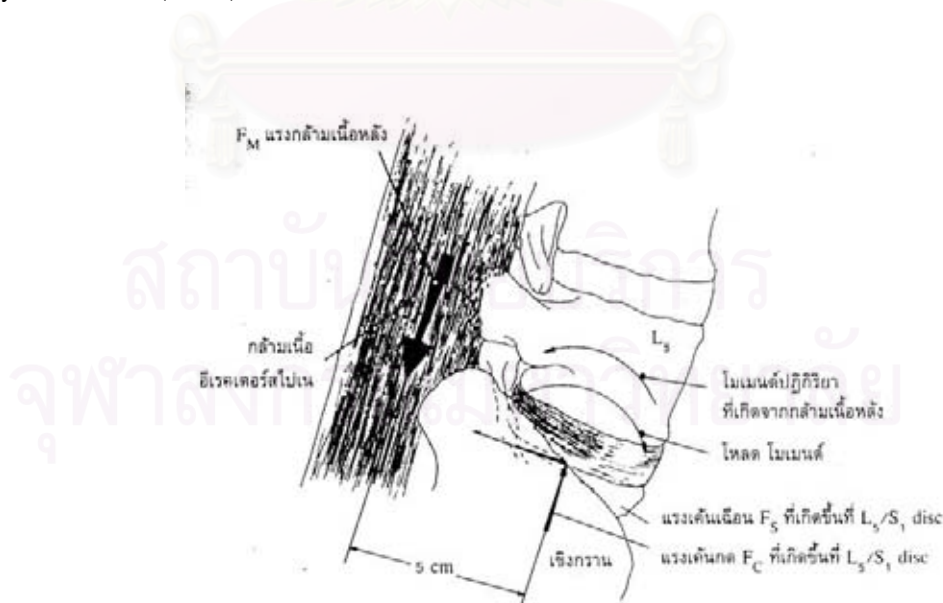
ในระยะเริ่มแรกของการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์มักจะเป็นการคำนวณในภาวะสถิตซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่มีการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำๆ ดังนั้นถ้าเป็นงานที่ใช้ความเร็วในการทำงานสูงหรือมีความเร่งสูงนักวิจัยหลายท่านจึงได้ศึกษาในรูปแบบภาวะพลวัตเพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความจริง โดยอาศัยการถ่ายต่อเนื่อง และวัดมาตราส่วนเพื่อหาตำแหน่งต่างของข้อต่อขณะที่มีการเคลื่อนไหว เพื่อหาความเร็วและความเร่ง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะพลวัต แต่การคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปศึกษาในสถานประกอบการหรือในการทำงานจริง เนื่องจากข้อกำหนดทั้งในด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้สลับซับซ้อนมากขึ้น (Potvin et al., 1992) รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพต่อเนื่องและการหาพิกัดจุดเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณจึงเป็นอุปสรรคต่อการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก (ตรีจักร จำปาวัลย์, 2538)

Ekholm et al. (1982) ได้ศึกษาผลภาระที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการทำงานของกล้ามเนื้อหลังระหว่างการยกในท่าต่าง ๆ โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์พบว่า การยกในท่าที่เหยียดเข่าตรงกับท่างอเข่าและให้สิ่งของที่ยกอยู่หน้าหัวเข่า นั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งแรงกดอัดและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง แต่สำหรับการยกแบบงอเข่าโดยยกสิ่งของขึ้นผ่านระหว่างหัวเข่าซึ่งทำให้ระยะห่างจากกระดูกเชิงกรานลดลง จะทำให้ค่าแรงกดอัดและโมเมนต์นั้น มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่าโมเมนต์สูงสุดและแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเกิดจากน้ำหนักของลำตัวส่วนบนถึงร้อยละ 70 และเกิดจากน้ำหนักของสิ่งที่ยกเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น

การศึกษาวิจัยนี้จะมุ่งหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง ได้แก่

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการเคลื่อนย้าย
- แรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Erector spinae ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำ

หน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรง (Ekholm et al., 1982) และ Thieme, 1950 (อ้างถึงใน Chaffin and Andersson, 1984) กล่าวว่ากล้ามเนื้อนี้จะอยู่ห่างจากกระดูกสันหลังท่อน L5/S1 ประมาณ 5 เซนติเมตร เช่นเดียวกับ Jager & Luttmann (1992) ซึ่งได้กำหนดให้ใช้ระยะห่างเท่ากับ 5 เซนติเมตร นักวิจัยบางท่านกล่าวว่าประมาณ 6 เซนติเมตร (Troup & Chapman, 1969) และ Tayari & Smith (1997) ได้ใช้ค่าประมาณ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 2.2 แรงและโมเมนต์บนกระดูกสันหลัง

(ที่มา : สุทธิ ศรีบูรพา, 2540)

Winter (1979) ได้เสนอวิธีการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าแรงและโมเมนต์ทั้งในภาวะสถิตและภาวะพลวัตโดยแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment 6 ส่วนสำคัญ คือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวรวมทั้งศีรษะ ขาส่วนบน ขาส่วนล่าง และเท้า ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ

2.7.2 การคำนวณในภาวะสถิต (Statics)

การคำนวณในภาวะสถิตจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ ลักษณะท่าทางการทำงาน รวมทั้งข้อมูลสัดส่วนร่างกายด้วย และจะนำมาคำนวณตามรูปแบบของภาวะสถิตโดยมีสมการการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ดังนี้

$$\sum F_X = 0 \quad (\text{ผลรวมของแรงทุกแรงในแนวแกน X มีค่าเป็นศูนย์})$$

$$\sum F_Y = 0 \quad (\text{ผลรวมของแรงทุกแรงในแนวแกน Y มีค่าเป็นศูนย์})$$

$$\sum M_{CM} = 0 \quad (\text{ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ มีค่าเป็นศูนย์})$$

ถ้าสมการทั้งสามเป็นจริงก็จะเรียกว่าอยู่ในภาวะสมดุล จะเห็นว่าสมการทั้งสามนี้มีได้รวมพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อยไว้ ดังนั้นรูปแบบการคำนวณในภาวะสถิตจึงสามารถใช้ได้ดีกับลักษณะการทำงานที่หยุดอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนไหวช้ามาก ๆ และมีสมมติฐานเพื่อนำรูปแบบการคำนวณไปใช้ ดังนี้

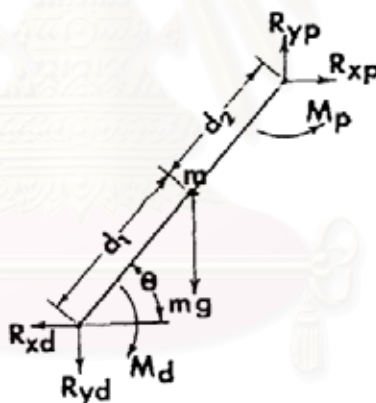
1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวตั้ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว

การคำนวณในภาวะสถิตตามรูปที่ 2.4 แสดงผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอัน ในรูปแบบสภาวะสถิตการหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนอนคำนวณได้จากสูตร

$$\sum F_x = 0 \text{ แทนค่าได้} \quad R_{xp} = R_{xd}$$

โดยที่ R_{xp} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Proximal ในแนวแกนอน

R_{xd} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Distal ในแนวแกนอน



รูปที่ 2.4 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะสถิต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_y = 0$

$$\text{แทนค่าได้} \quad R_{yp} = R_{yd} + mg$$

โดยที่ R_{yp} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Proximal ในแนวแกนตั้ง

R_{yd} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Distal ในแนวแกนตั้ง

m คือ มวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือ ค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที²

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใดคำนวณได้จากสูตร $\sum M_{CM} = 0$

$$\text{แทนค่าได้} \quad M_P = MD - R_{VD}d_1(\cos\theta) + R_{XD}d_1(\sin\theta) - R_{VP}d_2(\cos\theta) + R_{XP}d_2(\sin\theta)$$

โดยที่ M_P คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อด้าน Proximal

M_D คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อด้าน Distal

θ คือมุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

d_1 คือระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดแบ่งออกได้ ดังนี้

- Anthropometry เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และคุณสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนัก (หรือมวล) ปริมาตร จุดศูนย์กลางถ่วง และความหนาแน่น รวมทั้งโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกาย

- Kinematics เป็นข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของการเคลื่อนไหว เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง ของจุดต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment ต่าง ๆ ของร่างกาย

- Kinetics เป็นข้อมูลเกี่ยวกับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น แรงจากภายนอก เช่น แรงจากน้ำหนักของที่ยก หรือแรงที่วัดได้จากพื้น และ แรงจากภายใน ได้แก่ แรงจากการดึงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

- แรงโน้มถ่วง เป็นแรงที่โลกกระทำต่อวัตถุ ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที²

2.7.2.1 Anthropometry

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และคุณสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนัก (หรือมวล) ปริมาตร จุดศูนย์กลางถ่วง (หรือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล) ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มาจากการวิจัยของ กิตติ อินทรานนท์ (2543) ซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและมวลของชิ้นส่วนร่างกายของชายไทย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและมวลของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย
(กิตติ อินทรานนท์, 2543)

ชิ้นส่วนของร่างกาย	สัดส่วนของมวล เมื่อเทียบกับมวล รวมของร่างกาย	ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล เทียบกับ ความยาวของส่วนนั้น (%) วัดจาก	
		ส่วนใน (Proximal)	ส่วนนอก (Distal)
มือขวา	0.65	42.82	57.12
มือซ้าย	0.61	42.77	57.23
แขนขวา ส่วนบน	3.37	45.83	54.17
แขนซ้าย ส่วนบน	3.34	45.62	54.38
แขนขวา ส่วนล่าง	1.67	42.22	57.78
แขนซ้าย ส่วนล่าง	1.58	42.28	57.72
ลำตัว	48.72	47.83	52.17
ศีรษะและคอ	7.88	42.91	58.09
ขาขวา ส่วนบน	10.23	44.07	55.93
ขาซ้าย ส่วนบน	10.06	44.12	55.88
ขาขวา ส่วนล่าง	5.06	42.76	57.24
ขาซ้าย ส่วนล่าง	4.88	42.55	57.45
เท้าขวา	1.56	40.54	59.46
เท้าซ้าย	1.50	40.90	59.10

2.7.2.2 Kinematics

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เราได้ทำการศึกษาในระนาบ หน้า-หลัง (Sagittal plane) และการหาข้อมูลทาง Kinematics ก็โดยอาศัยการใช้กล้องวิดีโอที่บันทึกภาพในแนวตั้งฉากกับระนาบหน้า-หลัง ด้วยอัตราเร็วคงที่ 50 ภาพต่อวินาที แล้วจึงนำภาพที่ได้ให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลหาตำแหน่งของจุดข้อต่อต่าง ๆ บนร่างกาย ในทุก ๆ ภาพ เพื่อคำนวณความยาวของ Segment และขนาดของมุมที่แต่ละ Segment กระทำต่อกัน

2.7.2.3 Kinetics

การคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะหาได้โดยการนำข้อมูลทาง Anthropometry และ Kinematics มาใช้กับสมการการคำนวณในรูปแบบสภาวะสถิต โดยใช้สมมติฐานหลายข้อเพื่อนำหลักกลศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับร่างกายมนุษย์ ดังนี้

1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวตั้ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว
6. โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางของ Segment มีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว ซึ่งข้อสมมติฐานนี้ใช้เฉพาะกับสมการการคำนวณในรูปแบบสภาวะพลวัตเท่านั้น

โดยแรงที่กระทำบน Segment แบ่งออกได้เป็น

- แรงจากภายนอก เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายสัมผัสกับวัตถุภายนอกซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งพื้นที่ผิวสัมผัส แต่สามารถที่จะใช้เวกเตอร์แรงแทนแรงที่กระจายทั้งหมดซึ่งแรงจากภายนอกนี้สามารถที่จะวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรง เช่น Force Platform ซึ่งจะวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเท้ากับพื้นที่เท้าสัมผัส
- แรงจากภายใน เป็นแรงที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ได้แก่ แรงดึงจากกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของกระดูก
- แรงดึงดูด เป็นแรงที่โลกกระทำกับวัตถุซึ่งมีทิศชี้ลงผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ Segment และมีขนาดเท่ากับ มวล คูณกับ ความเร่งจากแรงดึงดูด

2.7.3 การคำนวณในภาวะพลวัต (Dynamics)

ในการคำนวณในสภาวะพลวัตก็ต้องใช้ข้อมูล แบบเดียวกับการคำนวณในสภาวะสถิตแต่จะเพิ่มข้อมูล เฉพาะในส่วนของ Kinematics ที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความเร็ว และความเร่งของ Segment ต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งอัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

2.7.3.1 Kinematics

เพื่อคำนวณหาความเร็วและความเร่งของจุดต่าง ๆ รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุม และอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment โดยอาศัยสูตรดังนี้

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

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

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

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

โดยที่ X_i คือ ตำแหน่งของจุดของภาพที่ i

V_i คือ ความเร็วเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i

A_i คือ ความเร่งเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i

θ_i คือ ขนาดของมุมด้านขวาของ Segment กระทบกับแกนนอนของภาพที่ i

ω_i คือ อัตราเร็วเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

α_i คือ อัตราเร่งเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

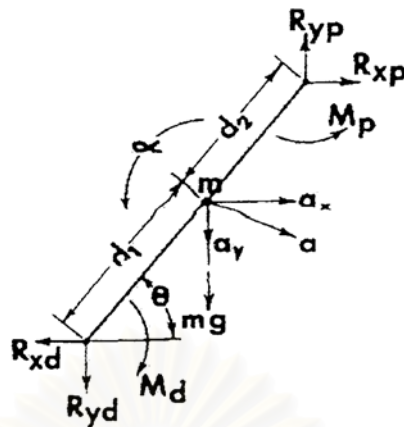
หมายเหตุ การคำนวณนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า X_{i-1} , X_i และ X_{i+1} เรียงกันเป็นเส้นตรง

การคำนวณในสภาวะพลวัต ตามรูปที่ 2.5 แสดงฝั่งวัตถุอิสระของ Segment แต่ ละอันในรูปแบบสภาวะพลวัต การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้

จากสูตร $\sum F_x = \max$

แทนค่าได้ $R_{XP} = R_{XD} + \max$

โดยที่ a_x คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวนอน



รูปที่ 2.5 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะพลวัต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนตั้งคำนวณได้จากสูตร $\sum F_y = may$

แทนค่าได้ $R_{yp} = R_{yd} + mg + may$

โดยที่ a_y คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวตั้ง

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

แทนค่าได้ $M_p = M_D - I_{CM}d\alpha - R_{yd}(\cos\theta) + R_{xd}d_1(\cos\theta) - R_{yp}d_2(\cos\theta) + R_{xp}d_2(\sin\theta)$

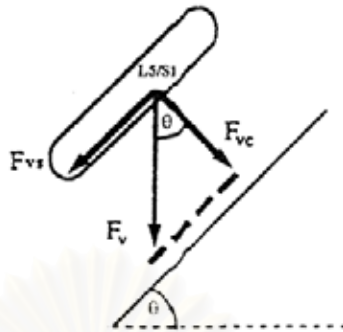
โดยที่ I_{CM} คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

α คือ อัตราเร่งเชิงมุมของ θ

2.7.4 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

แรงกดอัดที่กระทำบนบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ประกอบด้วยแรงที่เกิดจากแรงกิริยาจากน้ำหนักของร่างกายรวมกับน้ำหนักของสิ่งที่ยก และแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง Erector spinae ในขณะที่ทำงานเพื่อให้เกิดการสมดุลย์ของโมเมนต์

2.7.4.1 การหาแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง



รูปที่ 2.6 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนตั้งบริเวณ L5/S1

พิจารณาจากรูปที่ 2.6 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้งหาได้จากสูตร

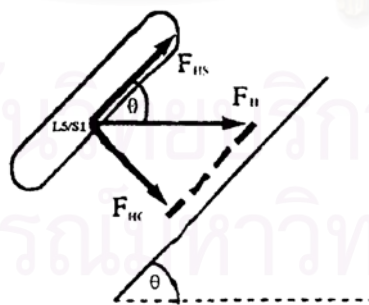
$$F_{VC} = F_V(\cos \theta)$$

โดยที่ F_{VC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง

F_{VS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง

F_V คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง

θ คือมุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน



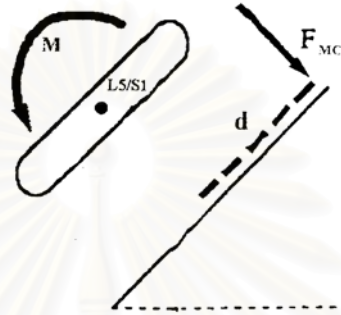
รูปที่ 2.7 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1

พิจารณาจากรูปที่ 2.7 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอนหาได้จากสูตร

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

โดยที่ F_{HC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน
 F_{HS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน
 F_H คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

2.7.4.2 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง



รูปที่ 2.8 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

พิจารณาจากรูปที่ 2.8 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังที่กระทำต่อ 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

2.8 การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้

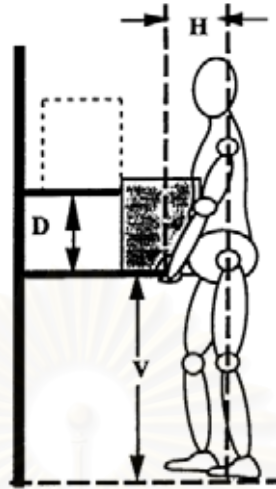
การศึกษาถึงวิธีการกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ (ขีดจำกัด) ในการขนย้ายสิ่งของโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ คือเปรียบเทียบภาระงานที่คำนวณได้ที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่างกับเกณฑ์ต่างๆ ที่ได้มีผู้วิจัยเคยกำหนดไว้ ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้คือการเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่างกับเกณฑ์ต่างๆ (ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2542) โดยในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ของสถาบันแห่งชาติเพื่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน หรือ NIOSH เป็นแนวทางในการประเมินสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด

2.8.1 การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้โดยใช้เกณฑ์ของ NIOSH

NIOSH ได้พิมพ์ Work Practices Guide for Manual Lifting ในปี 1981 เพื่อให้ผู้สนใจนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดน้ำหนักของสิ่งของที่จะยกให้อยู่ในขีดจำกัดของความปลอดภัยสามารถคำนวณหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถทำงานได้ ตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{MPL} &= 3 \text{ AL} \\ \text{AL (kg)} &= 40 (15/H) (1-0.004|V-75|) (0.7+3/D) (1-F/F_{\max}) \\ \text{AL (lb)} &= 90 (6/H) (1-0.01|V-30|) (0.7+3/D) (1-F/F_{\max}) \end{aligned}$$

โดยที่	H	คือ ตำแหน่งในแนวราบในระดับการยกถึงเส้นศูนย์กลางลำตัว (ซม.)
	V	คือ ตำแหน่งในแนวดิ่งที่จะเริ่มยก (ซม.)
	D	คือ ระยะเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย (ซม.)
	F	คือ ความถี่ในการยกเฉลี่ย (Lifts per minute)
	F _{max}	คือ ความถี่สูงสุดที่จะทำได้ (ตารางที่ 2.2)
	AL	คือ Action Limit (kg)
	MPL	คือ Maximum Permissible Limit (kg)

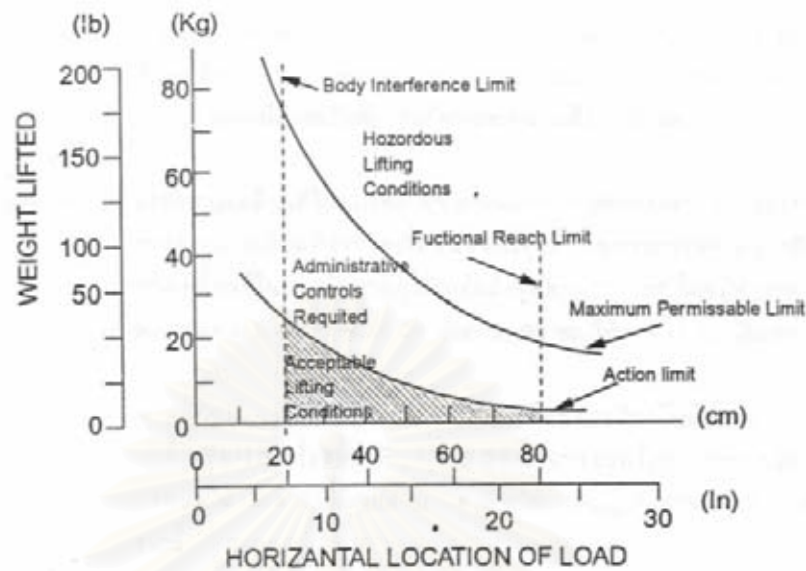


รูปที่ 2.9 แสดงระยะของตัวแปรต่างๆ สำหรับโมเดลการยกของ NIOSH

ตารางที่ 2.2 แสดงความถี่ในการยกสูงสุด (ครั้ง/นาที)

ระยะเวลา	ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง (V) ซม. (นิ้ว)	
	V > 75 (30) ทำยืนตรง	V < 75 (30) ทำโน้มตัว
1 ชั่วโมง	18	15
8 ชั่วโมง (> 1 hr)	15	12

จากผลของการศึกษาของ NIOSH ได้สรุปเป็นข้อแนะนำสำหรับค่า AL และ MPL ตามเกณฑ์การประเมินทางชีวกลศาสตร์ได้ว่าการยกที่เกินกว่าค่า AL มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกสูงและความรุนแรงของการบาดเจ็บจะมากขึ้น และงานที่ทำให้เกิดค่าแรงกดอัดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่มีค่าเกินกว่า 3,400 นิวตัน มีศักยภาพสูงพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อกระดูกสันหลังของผู้ปฏิบัติงานยกย้ายวัสดุด้วยมือ จัดว่างานนั้นเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานบางคน ที่ระดับ AL นี้จะมีประชากรชายมากกว่า 99% และประชากรหญิงมากกว่า 75% ที่สามารถทำการยกสิ่งที่มีน้ำหนักอยู่ในระดับนี้ได้อย่างปลอดภัย แต่ถ้าสิ่งของมีน้ำหนักน้อยกว่าระดับ AL แล้ว NIOSH ถือว่าเป็นสภาพการทำงานที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.10 แสดงระดับการยก AL และ MPL เทียบกับน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการยก และระยะทางในแนวราบ

ที่การยกระดับ MPL มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจะสูง และความรุนแรงของการบาดเจ็บจะมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และงานที่ทำให้เกิดค่าแรงกดอัดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,400 N จัดว่าเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานยกย้ายวัสดุได้เกือบทุกคน ไม่ว่าบุคคลนั้นจะมีรูปร่างเล็กหรือใหญ่ก็ตาม ที่ระดับ MPL นี้จะมีประชากรชายเพียง 25% และประชากรหญิงเพียง 1% ที่สามารถทำการยกสิ่งที่มีน้ำหนักอยู่ในระดับนี้ได้ อย่างปลอดภัย แต่ถ้าสิ่งของมีน้ำหนักมากกว่าระดับ MPL แล้ว NIOSH เห็นว่าเป็นสภาพการทำงานที่มีอันตราย จะต้องทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น

De Clercq and Lund (1993) ได้กล่าวถึงสมการของ NIOSH (1981) และการประเมินทางชีวกลศาสตร์ว่า การใช้งานยุ่งยากและมีข้อจำกัดมากในการประเมิน รวมทั้งไม่ให้ความสำคัญกับการยกสิ่งของที่มีการหมุนตัวหรือเอี้ยวตัวขณะทำการยก ดังนั้น Waters, Anderson and Garg (1994) ได้เสนอสมการการยกใหม่ แต่อย่างไรก็ตามสมการใหม่ของ NIOSH ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับ สมการดังกล่าวประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$RWL = LC * HM * VM * DM * FM * AM * CM$$

โดยที่ : RWL = ค่าน้ำหนักที่แนะนำ (Recommended Weight Limit)

(กก.)

: LC = ค่าน้ำหนักคงที่ (Load Constant) ที่สามารถยกได้อย่างปลอดภัย คือ 23 กก.

: HM = เป็นตำแหน่งในแนวราบจากระดับที่จะยกถึงเส้นศูนย์กลางลำตัว มีค่าเท่ากับ $25/H$ (ซม.)

: VM = เป็นตำแหน่งในแนวดิ่งที่เริ่มยก (ซม.)

: DM = เป็นระยะเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง จากจุดเริ่มต้น ถึงจุดสุดท้าย (ซม.)

: FM = เป็นความถี่ในการยก (ตารางที่ 2.4)

: AM = ความสมดุลง่ายในการยก โดยอ้างอิงจากมุมของการยก มีค่าเท่ากับ $(1-0.0032A)$

: CM = ความสะดวกในการจับยก (ตารางที่ 2.3)

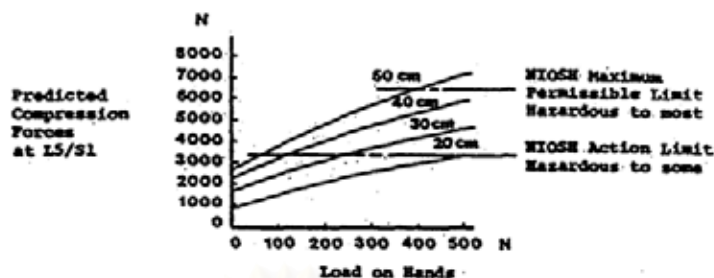
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าดัชนีของความสะดวกในการจับยก (CM)

ความสะดวกในการจับยก (CM)		
ความสะดวกในการยก	$V < 75$ cm	$V \geq 75$ cm
ดี	1.00	1.00
พอใช้	0.95	1.00
ไม่ดี	0.90	0.90

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าดัชนีของความถี่ในการยก (FM)

ความถี่ในการยก	ระยะเวลาทำงาน					
	≤ 8 h		≤ 2 h		≤ 1 h	
	V < 75 cm	V ≥ 75 cm	V < 75 cm	V ≥ 75 cm	V < 75 cm	V ≥ 75 cm
ครั้ง/นาที	V < 30 in	V ≥ 30 in	V < 30 in	V ≥ 30 in	V < 30 in	V ≥ 30 in
0.2	0.85	0.85	0.95	0.95	1.00	1.00
0.2	0.81	0.81	0.92	0.92	0.97	0.97
1	0.75	0.75	0.88	0.88	0.94	0.94
2	0.65	0.65	0.84	0.84	0.91	0.91
3	0.55	0.55	0.79	0.79	0.88	0.88
4	0.45	0.45	0.72	0.72	0.84	0.84
5	0.35	0.35	0.60	0.60	0.80	0.80
6	0.27	0.27	0.50	0.50	0.75	0.75
7	0.22	0.22	0.42	0.42	0.70	0.70
8	0.18	0.18	0.35	0.35	0.60	0.60
9	0.00	0.15	0.30	0.30	0.52	0.52
10	0.00	0.13	0.26	0.26	0.45	0.45
11	0.00	0.00	0.00	0.23	0.41	0.41
12	0.00	0.00	0.00	0.21	0.37	0.37
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Chaffin and Andersson (1984) ได้สรุปถึงสมมติฐานที่ว่าในการยกสิ่งของจะต้องให้ใกล้ลำตัวมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายที่ L5/S1 disc จะแปรผันตามระยะทางในแนวตั้ง (H) ในขณะที่ยกของที่มีน้ำหนักเท่า ๆ กัน โดยยึดข้อแนะนำของ NIOSH ที่ AL และ MPL เช่นกัน



รูปที่ 2.11 แสดงแรงกดอัดที่ L5/S1 เทียบกับน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการยก และระยะทางในแนวดิ่ง (ที่มา: Chaffin and Andersson, 1984)

Nicholson (1986) ได้กำหนดค่าแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังจะทนได้อยู่ที่ 6,400 นิวตัน แต่เพื่อความความปลอดภัยในการออกแบบการทำงานจึงควรใช้ค่าแรงกดสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 3,400 นิวตัน

2.8.2 การศึกษาหาแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาหาแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังคือ การศึกษาศพโดยการนำกระดูกสันหลังของผู้ตาย ซึ่งเก็บรักษาภายใต้ความเย็น 4 องศาเซลเซียส และได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่าไม่มีปัญหาการแตกร้าวหรือรอยชำรุดมาก่อน กระดูกสันหลังที่ได้มานี้จะนำไปทดสอบความสามารถสูงสุดในการรับแรงกดนั้น โดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั่งกระดูกเกิดการเสียรูป ทั้งนี้ในขณะที่ทดลองจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับภายในร่างกายมนุษย์ (Brickmann, Biggemann and Hilweg, 1989 อ้างถึงใน ตรีจักร จำปาวัดย์, 2538) ค่าภาระงานสุดท้ายที่อ่านได้นี้จะเป็นค่า Compressive strength (CS) ของกระดูกสันหลัง

จากภาระงานที่เพิ่มให้กับชิ้นส่วนกระดูกในขณะที่ทำการทดลองหาค่า CS สามารถนำมาหาความสัมพันธ์กับลักษณะจำเพาะของกระดูกสันหลัง เช่น พื้นที่หน้าตัดของกระดูก ความหนาแน่นของกระดูก และส่วนประกอบของ Bone mineral ในกระดูกสันหลัง ความสัมพันธ์ระหว่าง CS กับลักษณะจำเพาะของบุคคลนั้นได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการทดลองและสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ขึ้นเป็นฟังก์ชันของอายุ เพศ น้ำหนักร่างกาย และค่าจำเพาะของกระดูกสันหลังแต่ละชิ้น (Spinal component; SC)

จากแนวคิดเรื่องการหา Compressive Strength ข้างต้นซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้เมื่อมีภาระงานมากระทำ ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการป้องกันอันตรายอันจะเกิดกับกระดูกสันหลังจากภาระงานที่มากกระทำ จึงมีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่สามารถยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load) ซึ่งจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า CS เช่น จากการศึกษาของ Eie, 1966 (อ้างจาก ตริฉัตร จำปาวัลย์, 2538) พบว่าค่า MAL ควรอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า Compressive Strength งานวิจัยของ ตริฉัตร จำปาวัลย์ (2538) ได้ทำการรวบรวมค่า CS ที่นักวิจัยอื่นๆ ศึกษาไว้ก่อนแล้ว ดังแสดงไว้ในตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่า Compressive Strength ที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำการวิจัยไว้
(ที่มา: ตริฉัตร จำปาวัลย์, 2538)

นักวิจัย	สมการประมาณค่า CS (นิวตัน) จากกระดูกสันหลังที่ได้จากศพ
Sonoda (1962)	$CS = 6421.3 + (374.3 \cdot SC^{\#})$
Guzulov et al.(1966)	$CS = 6218.1 + (783.0 \cdot SC)$
Hutton et al. (1979)	$CS = 8567.4 - (72.0 \cdot \text{อายุ}) - (3276.9 \cdot \text{เพศ}) + (374.0 \cdot SC)$
Messerer (1880)	$CS = 1908.3 + (299.7 \cdot SC)$
Hutton & Adams (1982)	$CS = 18512 - (29 \cdot 3 \cdot \text{อายุ}) - (3215.5 \cdot \text{เพศ}) + (539.9 \cdot SC)$ $+ (97.0 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Adams & Hutton (1982)	$CS = -7308.4 - (69.8 \cdot \text{อายุ}) - (140.7 \cdot \text{เพศ}) + (280.2 \cdot SC)$ $+ (42.4 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Hansson et.al. (1987)	$CS = -13557.0 - (63.1 \cdot \text{อายุ}) - (454.4 \cdot \text{เพศ}) + (404.2 \cdot SC)$ $+ (54.5 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Brinkmann et al.(1988)	$CS = -2894.9 - (64.8 \cdot \text{อายุ}) - (1018.0 \cdot \text{เพศ}) + (284.7 \cdot SC)$
Biggemann et al.(1988)	$CS = 5719.6 - (53.1 \cdot \text{อายุ}) - (1722.1 \cdot \text{เพศ}) + (312.1 \cdot SC)$
Jager & Luttmann (1992)	$CS = 10.53 - 0.975 (\text{อายุ}/10) \times 10^3$ สำหรับเพศชาย $CS = 7.03 - 0.591 (\text{อายุ}/10) \times 10^3$ สำหรับเพศหญิง
Genaidy et al. (1993)	$CS = 7222.41 - (1047.71 \cdot \text{ช่วงอายุ}^*) - (1279.18 \cdot \text{เพศ})$ $+ (56.73 \cdot \text{เปอร์เซ็นต์ไทม์ประชากร})$
หมายเหตุ	# ค่าของกระดูกแต่ละชิ้น: C1=1 C2=2 C3=3 C4=4 C5=5 C7=7 T1=8 T2=9 T3=10 T4=11 T5=5 T6=6 T7=7 T8=8 T9=9 T10=10 T12=12 L1=13 L2=14 L3=15 L4=16 L5=17 T12/L1=43 L1/L2=44 L2/L3=45 L3/L4=46 L4/L5=47 L5/S1=48 *ช่วงอายุ 20-29 , 30-39 , 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าเป็นตัวเลขเชิงคุณภาพ 1 , 2 , 3 , 4 และ 5 ตามลำดับ **เพศ: เพศชาย และเพศหญิง มีค่าเป็นเลขเชิงคุณภาพเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแรงดึงและดัน

Ayoub and McDaniel (1974) ได้วิจัยเกี่ยวกับการออกแรงดันและดึงในสภาวะสถิต โดยกำหนดให้ใช้ท่าทางการทำงานที่จะทำให้เกิดแรงมากที่สุดคือ เท้าซ้ายอยู่ด้านหน้าประมาณ 12 นิ้ว เท้าขวาอยู่ด้านหลังและเหยียดตรงและแขนเหยียดตรงตลอดเวลา จากนั้นให้ออกแรงดันหรือดึงแกนจำลองให้มากที่สุด ผู้ถูกทดสอบเป็นชาย 35 คนและหญิง 11 คน ผลการทดลองพบว่าที่ความสูงของมือจับประมาณ 70% ของระดับความสูงของไหล่และระยะของเท้าที่อยู่ด้านหลังประมาณ 100% ของระดับความสูงของไหล่วัดในแนวราบ จะเป็นท่าทางที่ให้แรงดันสูงสุด และที่ความสูงของมือจับประมาณ 70-80% ของระดับความสูงของไหล่และระยะของเท้าที่อยู่ด้านหลังประมาณ -10% ของระดับความสูงของไหล่วัดในแนวราบจะเป็นท่าทางที่ให้แรงดึงสูงสุด ค่าแรงดันสถิตสูงสุดในแนวแกนราบมีค่าเป็น 620 นิวตันสำหรับผู้ชาย และ 335 นิวตันสำหรับผู้หญิง ที่ความสูงของมือจับประมาณ 80% ของระดับความสูงของไหล่และระยะของเท้าที่อยู่ด้านหลังประมาณ 100% ของระดับความสูงของไหล่ ส่วนค่าแรงดึงสถิตสูงสุดในแนวแกนราบมีค่าเป็น 311 นิวตันสำหรับผู้ชาย และ 267 นิวตันสำหรับผู้หญิง ที่ความสูงของมือจับประมาณ 70% ของระดับความสูงของไหล่และระยะของเท้าที่อยู่ด้านหลังประมาณ -10% ของระดับความสูงของไหล่

Chaffin et al. (1983) (อ้างถึงใน Resnick and Chaffin, 1995) ได้วิจัยโดยใช้ท่าทางที่ธรรมชาติมากขึ้นอีกโดยสามารถกางขาออกได้เขาพบว่าผู้ถูกทดสอบจะกางขาออกประมาณ 30% จากระยะห่างระหว่างมือทั้งสองข้าง ค่าแรงผลักสถิตสูงสุดมีค่าเป็น 400 นิวตันสำหรับผู้ชายและ 180 นิวตันสำหรับผู้หญิงที่ความสูงของมือจับประมาณ 68 เซนติเมตรจากพื้น และค่าแรงดึงสถิตสูงสุดมีค่าเป็น 370 นิวตันสำหรับผู้ชายและ 180 นิวตันสำหรับผู้หญิงที่ความสูงของมือจับเท่ากัน

Resnick and Chaffin (1995) ได้ใช้แนวทางชีวกลศาสตร์วิจัยหาแรงผลักพลวัตสูงสุดโดยใช้ผู้ถูกทดสอบ 4 คนที่มีระดับความแข็งแรงต่างกัน (ผู้ชายแข็งแรง ผู้ชายปกติ ผู้หญิงปกติ และผู้หญิงไม่แข็งแรง) น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น 5 ระดับ (45 90 135 225 และ 450 กก.) รถเข็นมี 4 ล้อซึ่งใช้ล้อแบบแรงเสียดทานต่ำ และความสูงของมือจับ 3 ระดับ (ระดับข้อมือ ข้อศอก และ ไหล่) ใช้ระยะทางเข็นรถ 1.5 เมตร โดยให้ผู้ถูกทดสอบออกแรง 2 ระดับ (ออกแรงมากและน้อย) เขาพบว่าค่าแรงเข็นสูงสุดเป็น 500 นิวตันสำหรับผู้ชาย และ 200 นิวตันสำหรับผู้หญิง ความเร็วในการเข็นสำหรับผู้ชายที่แข็งแรงจะเป็น 0.8 เมตรต่อวินาทีที่น้ำหนัก 450 กก. และ 1.1 เมตรต่อวินาทีที่น้ำหนัก 45 กก. ส่วนผู้หญิงที่ไม่แข็งแรงจะเป็น 0.4 เมตรต่อวินาทีที่น้ำหนัก 450 กก. และ 0.5 เมตรต่อวินาทีที่น้ำหนัก 45 กก. นอกจากนี้ยังพบว่าที่น้ำหนักในการทำงานต่ำกว่า 225 กิโลกรัม จะเกิดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกช่วงที่ L5/S1 ไม่เกิน 3,400 นิวตันที่ความเร็วต่ำกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจัดเป็นระดับที่ปลอดภัย

Lee, Chaffin, Herrin, and Waiker (1991) ได้วิจัยหาผลของความสูงของมือจับและแรงที่มือกระทำที่มีต่อหมอนรองกระดูกช่วงที่ L5/S1 โดยใช้ผู้ถูกทดสอบ 6 คนทำการเข็นและลากหุ่นจำลองของรถบรรทุกทุกของขนาดเล็กที่ไม่มีล้อ เปลี่ยนความสูงของมือจับ 3 ระดับ (66 109 และ 152 เซนติเมตร) และเปลี่ยนแรงที่มือกระทำ 3 ระดับ (98 196 และ 294 นิวตัน) กำหนดให้ใช้ความเร็ว 2 ระดับ (1.8 และ 3.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ผลการทดลองพบว่าการเข็นจะมีค่าแรงกดอัดที่ L5/S1 ต่ำสุดที่ความสูงของมือจับ 109 เซนติเมตร และการลากจะมีค่าแรงกดอัดที่ L5/S1 ต่ำสุดที่ความสูงของมือจับ 152 เซนติเมตร สรุปว่าการเข็นรถด้วยความเร็วที่สูงขึ้นจะมีการออกแรงที่มือมากขึ้น ทำให้เพิ่มแรงกดที่ L5/S1 มากขึ้น

Milburn and Barrett (1999) ได้ใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ศึกษาแรงกดอัดพลวัตแบบสองมิติที่หมอนรองกระดูกช่วงที่ L5/S1 ของงานการจัดที่นอนในโรงแรม ใช้พนักงานดูแลห้องพักจำนวน 15 คนที่มีประสบการณ์ ทำการทดลองโดยใช้ขนาดของเตียง 3 ระดับ (มีน้ำหนัก 50.5 63.7 และ 105.2 กก.) และความสูงของเตียง 2 ระดับ (46 และ 56 เซนติเมตร) งานที่ศึกษาเป็นงานที่พนักงานต้องทำบ่อย 6 งานคือ การวางผ้าปูที่นอนบนเตียงและการดึงผ้าปูที่นอนออกจากเตียง การสอดผ้าปูที่นอนเข้าใต้เตียงที่มุมและกลางเตียง (ยกเตียง 20 เซนติเมตร) การดันและดึงเตียงเข้าที่ (เคลื่อนย้ายเตียง 40 เซนติเมตร) ผลการวิจัยแสดงว่าการทำงาน 4 งาน (ยกเว้นการดันและดึงเตียง) มีแรงกดอัดพลวัตเฉลี่ยที่ L5/S1 มากกว่าแรงกดอัดสถิตเฉลี่ยประมาณ 1.5-2.5 เท่า แรงกดอัดพลวัตสูงสุดที่ L5/S1 จะมากกว่าแรงกดอัดสถิตเฉลี่ยประมาณ 5 เท่า และแรงกดอัดพลวัตสูงสุดของทั้ง 4 งานจะเกินค่าขีดจำกัดสูงสุดที่ MPL ของ NIOSH กำหนด ส่วนการดันและดึงเตียงจะเกิดแรงกดอัดพลวัตต่ำกว่าทั้งที่มีการออกแรงที่มือมากกว่า เนื่องจากท่าทางการทำงานที่มีเคลื่อนไหวช้า โดยทำการเปรียบเทียบการทำงานที่เร็วกว่าช้า ยิ่งเคลื่อนไหวเร็วขึ้นจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแรงกดอัดพลวัตสูงสุดกับแรงกดอัดสถิตสูงสุดมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำงานเร็วก็เกิดแรงกดอัดพลวัตสูงขึ้น และควรหลีกเลี่ยงงานที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว หรือมีอัตราเร่งสูง

De Looze, Van Greuningen, Rebel, Kingma, and Kuijer (2000) ได้ทำการศึกษาพบว่าแรงที่ออกมือซึ่งมีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของรถเข็นจะเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะของการก้าวเท้าเดิน และแรงดังกล่าวกับตำแหน่งความสูงของมือจับจะมีผลกับทิศทางของการออกแรงอย่างไร จากการทดลองพบว่าการออกแรงที่มือจะทำมุมเป็นแนวขนานกับการเคลื่อนที่ของรถเข็นมากขึ้นเมื่อน้ำหนักของรถมากขึ้น สรุปได้ว่าการออกแรงที่ทำมุมเป็นแนวขนานกับการเคลื่อนที่มากขึ้นจะเป็นการลดแรงที่ร่างกายต้องออกให้น้อยลง และยังพบว่าการออกแรงที่มีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของมือจะทำได้สูงสุด โดยไม่มีสิ่งจะมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานที่เท้ามีอยู่

Al - Eisawi et al. (1999b) ได้วิจัยเกี่ยวกับการออกแรง Initial static force ในการเข็นและลากรถเข็น 4 ล้อ ทำการเข็นบนพื้นที่ปูด้วยพรม โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ น้ำหนัก 2 ระดับ (73 และ 181 กก.) ระยะเวลาสูงของมือจับ 3 ระดับ (ที่ระดับความสูงเท่ากับข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่) งานที่ทำ 2 ประเภท คือ การเข็นและลาก โดยที่มือจับของรถเข็นติดอุปกรณ์วัดแรงเอาไว้เพื่ออ่านค่าแรงที่ใช้ รถเข็นใช้ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 152.4 มิลลิเมตร และ 2 ล้อหน้าของรถเข็นหมุนได้ขณะที่ 2 ล้อหลังติดอยู่กับที่ ในระหว่างการทดลองได้จัดเรียงล้อทั้งหมดเรียงขนานตามทิศทางการเคลื่อนที่ วิธีการเข็นให้ออกแรงอย่างสม่ำเสมอและค่อยๆ เพิ่มแรงขึ้นจนกระทั่งรถเริ่มเคลื่อนที่ห้ามกระตุกหรือกระชากรถ ผู้ถูกทดสอบเป็นชายและหญิงอย่างละ 5 คน ผู้ถูกทดสอบต้องสวมใส่ชุดกีฬาและรองเท้ากีฬา ทำการวัดค่าแรงเข็นและลากของผู้ถูกทดสอบทุกคน ในการทดลองไม่ได้กำหนดท่าทางในการทำงานเพียงแต่แนะนำว่าให้ผู้ถูกทดสอบใช้ท่าทางที่สบายที่สุดเมื่อต้องทำงานดังกล่าว โดยทำทั้งสองควรอยู่กับพื้นและไม่ขยับ ผลการทดลองพบว่าผู้ถูกทดสอบมีความสามารถในการออกแรงไม่ว่าเป็นการเข็นหรือลาก มากกว่าแรงต่ำสุดที่ต้องการใช้ในการทำให้รถเข็นเคลื่อนที่ 2 - 2.4 เท่า การออกแรงลากจะมีค่าสูงกว่าการออกแรงเข็นประมาณ 7% และที่น้ำหนักบรรทุกมากขึ้นการออกแรงจะน้อยลงเมื่อระยะเวลาสูงของมือจับสูงขึ้น

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน

Grieve (1983) พบว่าการออกแรงดึงหรือดันจะทำได้มากที่สุดเท่ากับค่าแรงเสียดทานที่เท้ามีอยู่ และจะเกิดการลื่นเมื่ออัตราส่วนของแรงเสียดทานต่อแรงที่อยู่ในแนวตั้ง (Normal Force) ที่เท้า มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นผิวมีอยู่ ซึ่งค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนี้เป็นค่าเฉพาะขึ้นกับชนิดของพื้นผิว ชนิดพื้นรองเท้า และลวดลายของพื้นรองเท้า

Al - Eisawi et al. (1999a) ได้วิจัยเกี่ยวกับการออกแรงเข็นและลากรถเข็น 4 ล้อ ทำการเข็นบนพื้นผิว 4 ชนิด คือ พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้อง พื้นยางมะตอย และพื้นที่ปูด้วยพรม โดยเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 36.3 กก. จาก 0 ถึง 181.4 กก. ล้อของรถเข็นใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด คือ 51 102 และ 153 มิลลิเมตร และความกว้างของหน้าสัมผัสพื้น 2 ขนาด คือ 25 และ 38 มิลลิเมตร ในระหว่างการทดลองได้จัดเรียงล้อเป็น 4 แบบ คือ ล้อทั้งหมดเรียงขนานตามทิศทางการเคลื่อนที่ สองล้อหน้าเรียงขนานตามทิศทางการเคลื่อนที่แต่สองล้อหลังตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ สองล้อหลังเรียงขนานตามทิศทางการเคลื่อนที่แต่สองล้อหน้าตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ และล้อทั้งหมดตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ วิธีการเข็นให้ออกแรงอย่างสม่ำเสมอและค่อยๆ เพิ่มแรงขึ้นจนกระทั่งรถเคลื่อนที่ ติด Force gauge ขนาด 100 ปอนด์ที่แกนจับของรถเพื่ออ่านค่าแรงที่ใช้ ผล

การทดลองพบว่า การออกแรงเข็นและลากจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของรถที่เพิ่มขึ้น แต่แปรผกผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อรถ คือใช้แรงน้อยลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น และความกว้างของหน้าสัมผัสพื้นไม่มีผลกับการออกแรง เมื่อล้อทั้งหมดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่จะทำให้ต้องใช้แรงมากที่สุด การออกแรงที่น้ำหนักรถเข็นเท่ากันเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก ได้แก่ พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้อง พื้นยางมะตอย และพื้นปูด้วยพรม

Lee, Chaffin and Parks (1992) ได้วิจัยหาแรงเสียดทานที่จำเป็น (Required friction) ระหว่างพื้นกับรถเข็นในขณะการออกแรงผลักหุ่นจำลองของรถบรรทุกของขนาดเล็กที่ไม่มีล้อ แรงเสียดทานที่จำเป็นต้องมีระหว่างพื้นกับรถเข็นจะป้องกันการเกิดอุบัติเหตุการลื่นและ โดยใช้ผู้ถูกทดสอบ 8 คนทำการเข็นและลากที่ความสูงของมือจับ 3 ระดับ (66 109 และ 152 เซนติเมตร) ความเร็ว 2 ระดับ (1.8 และ 3.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และการออกแรงที่มือ 3 ระดับ (98 196 และ 294 นิวตัน) การวัดค่าแรงเสียดทานที่จำเป็นจะวัดออกมาในรูปของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่จำเป็น (Required coefficient of friction) โดยใช้ Force platform วางในทางเข็นแล้วให้เท้าเหยียบลงพอดี ทำการอ่านค่าของแรงในแนว Horizontal และ Vertical forces เขาพบว่าค่าแรงเสียดทานที่จำเป็นจะเพิ่มขึ้นเมื่อการออกแรงที่มือมากขึ้น ในการเข็นที่ความสูงของมือจับสูงขึ้นจะต้องการค่าแรงเสียดทานที่จำเป็นต่ำลง ส่วนในการลากความสูงของมือจับที่ต่ำลงจะต้องการค่าแรงเสียดทานที่จำเป็นต่ำลง

Myung and Smith (1997) ได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพลวัต (Dynamic Coefficient of Friction; DCOF) เมื่อเดินถือของที่มีน้ำหนักต่างๆ กัน บนพื้นผิว 4 แบบที่มีความลื่นต่างๆ กันคือ พื้นไม้ขัดที่เคลือบด้วยน้ำมัน พื้นกระเบื้องเซรามิกที่แห้ง พื้นกระเบื้องกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำมัน และพื้น Stainless steel ที่แห้ง ใช้ระยะทางการเดิน 2.5 เมตร โดยที่พื้นผิวจำลองจะมีระดับเท่ากับพื้นผิวของห้องทดลองเพื่อป้องกันการลื่นและตกทางเดิน สีของพื้นผิวจำลองเป็นสีเดียวกับพื้นผิวของห้องทดลองเพื่อลดปัญหาของสายตาในการมอง ผู้ถูกทดสอบเป็นชาย 10 คน เดินถือของให้ถือด้านหน้า และใช้รองเท้าที่พื้นทำด้วยพีวีซีแบบเดียวกันเพื่อลดตัวแปรเกี่ยวกับแรงเสียดทานลง ทดลองที่น้ำหนัก 5 ระดับ คือ เดินตัวเปล่า ถือของหนัก 18 และ 24 กก. และถือของหนักคิดเป็น 20% และ 40% ของน้ำหนักตัวผู้ถูกทดสอบ ใช้ Programmable slip resistance tester คำนวณค่า DCOF ได้ 0.43 0.57 0.11 และ 0.27 สำหรับพื้นไม้ขัดที่เคลือบน้ำมัน พื้นกระเบื้องเซรามิกที่แห้ง พื้นกระเบื้องกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำมัน และพื้น Stainless steel ที่แห้งตามลำดับ และพบว่าพื้นที่ลื่นจะมี Heel velocity มากกว่าพื้นแห้งที่การเดินด้วยความเร็วเท่ากัน และมีค่า Stride length สัมพันธ์กับ DCOF และน้ำหนักของของที่ถืออยู่ในมือ ค่า Stride length จะสั้นลงเมื่อพื้นมีความลื่นมากขึ้น และน้ำหนักของเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะร่างกายจะปรับสมดุลไม่ให้ล้มได้ง่ายกว่าการก้าวขาเดินปกติ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ผู้ถูกทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ใช้ผู้ถูกทดสอบเป็นเพศชายจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีอาชีพรับจ้างทำงานก่อสร้างและทุกคนเป็นผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรงเป็นปกติ ไม่มีอาการบาดเจ็บหรือมีประวัติการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างมาก่อน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดพื้นจำลองการเข็นและลากรถเข็น
2. รถเข็นบรรทุกของมี 4 ล้อ แบบเปลี่ยนล้อได้
3. ตูมน้ำหนักมาตรฐาน ขนาด 20 กก.
4. เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย (Martin-Anthropometer, Takei, Japan)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balance)
6. ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ
7. เครื่องบันทึกภาพวิดีโอที่ระบบ PAL (Panasonic, Japan)
8. ชุดเครื่องมือวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Motus System, Peak, America)
9. ชุดเครื่องมือแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้น (Force Platform, AMTI, America)
10. เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสภาพการทำงานเพื่อพิจารณาหาปัจจัยต่างๆ ในการทำงาน ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง
2. สร้างเครื่องมือชุดพื้นจำลองการเข็นและลากรถเข็น ซึ่งลักษณะเป็นทดสอบ ซึ่งเป็นพื้นจำลองที่สร้างบนพื้นห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ โดยเป็นลักษณะยกสูงขึ้นเหนือพื้นห้องปฏิบัติการ พื้นจำลองด้านหน้าทำด้วยคอนกรีตสำหรับเป็นทางเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของที่ใช้ในทดสอบ ด้านหลังของพื้นจำลองจะมีแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้น จำนวน 2 แผ่น วางลงในลักษณะต่อกันตามยาวและใช้แผ่นคอนกรีตยึดลงบนผิวด้านบนของแต่ละแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้นให้แน่น เพื่อให้เป็นพื้นแบบเดียวกับพื้นจำลองและปรับระดับให้อยู่ระดับเดียวกันกับพื้นจำลอง ใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 20 กก. วางบนตัวรถเข็นเพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกของรถเข็นตามที่ต้องการ
3. การออกแบบการทดลอง
ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้มีปัจจัยในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น 3 ระดับ (140 กก. 700 กก. และ 1,200 กก.) ชนิดของพื้นมี 3 ระดับ (พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง และพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น) และวัสดุที่ใช้ทำล้อของรถเข็น มี 2 ระดับ (ล้อไนลอน และล้อเหล็ก) จำนวนการทดลองซ้ำเท่ากับ 2 ทำการทดลองแยกกันระหว่างการเข็นและการลาก ดังแสดงตามตารางการออกแบบการทดลองที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง การเข็นรถเข็น (Cart Pushing)

การเข็น	พื้น 1		พื้น 2		พื้น 3	
	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 1	ล้อ 2
น้ำหนัก 1	1					
	2					
น้ำหนัก 2	1					
	2					
น้ำหนัก 3	1					
	2					

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลอง การลากรถเข็น (Cart Pulling)

การลาก	พื้น 1		พื้น 2		พื้น 3	
	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 1	ล้อ 2
น้ำหนัก 1	1					
	2					
น้ำหนัก 2	1					
	2					
น้ำหนัก 3	1					
	2					

4. ทำการทดสอบหาค่ากำลังสถิติสูงสุดของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบ โดยใช้วิธีการของ กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531) ก่อนการทดสอบมีการอธิบายให้ผู้ถูกทดสอบได้รับทราบทุกขั้นตอนเพื่อความเข้าใจถูกต้องร่วมกัน ในระหว่างการวัดหากพบว่าผู้ถูกทดสอบมีอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อส่วนใดก็ตาม จะหยุดการทดสอบและไม่นำข้อมูลนั้นมาใช้งาน การวัดจะทำการวัด 3 ครั้ง โดยมีระยะเวลาพัก 3 นาที ก่อนที่จะวัดครั้งต่อไป และนำมาหาค่าเฉลี่ย ทำการบันทึกภาพการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยใช้เครื่องบันทึกภาพวิดีโอที่ติดตั้งระหว่างการทดลอง

5. ทำการวัดสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ

6. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลของการออกแรงเริ่มต้นของการเข็นและลากรถเข็นตามแนวทางชีวกลศาสตร์ โดยที่

- ผู้ถูกทดสอบต้องติดตัวสะท้อนแสง (Marker) บนร่างกายตามจุดต่างๆ ที่กำหนด คือ สันเท้าทั้งสองข้าง ปลายเท้าทั้งสองข้าง ข้อเท้าทั้งสองข้าง หัวเข่าทั้งสองข้าง สะโพก หัวไหล่ ข้อศอก และข้อมือ ทั้งหมดติดทางซีกด้านขวาของร่างกายผู้ถูกทดสอบ
- ผู้ถูกทดสอบต้องใช้รองเท้านิรภัยที่พื้นทำด้วยพีวีซีแบบเดียวกัน เพื่อลดตัวแปรในการทดลองที่เกี่ยวกับแรงเสียดทาน
- ทำการทดลองเข็นและลากรถเข็น ที่มีน้ำหนักขนาดต่างๆ ตามแบบแผนการทำลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2

- เริ่มจากผู้ถูกทดลองยืนบนพื้นจำลองด้านหลังส่วนที่มีแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้นติดตั้งอยู่ข้างใต้ โดยใช้ท่าทางที่กำหนดไว้แล้ว จากนั้นทำการออกแรงโดยให้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งหยุดนิ่งเริ่มเคลื่อนที่
- บันทึกภาพการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยใช้เครื่องบันทึกภาพวิดีโอ
- บันทึกข้อมูลที่ได้จากชุดเครื่องมือแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้น และชุดเครื่องมือวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย

7. ทำการคำนวณตามรูปแบบการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต เพื่อหาแรงกดอัดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงกดอัดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

8. คำนวณค่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ (น้ำหนักสูงสุด) ที่เกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ (AL) และขั้นสูง (MPL) ของการเข็นและการลากบนพื้นต่างๆ

9. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ระหว่างพื้นรองเท้าและพื้นทดสอบ ในการออกแรงเข็นและลาก และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้

10. สร้างสมการความถดถอยเพื่อใช้ทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ที่เกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ (AL) และขั้นสูง (MPL) ของการเข็นและการลากบนพื้นต่างๆ

11. ทดสอบสมการข้างต้นกับผู้ถูกทดสอบอื่นๆ เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการวิจัย

บทที่ 4

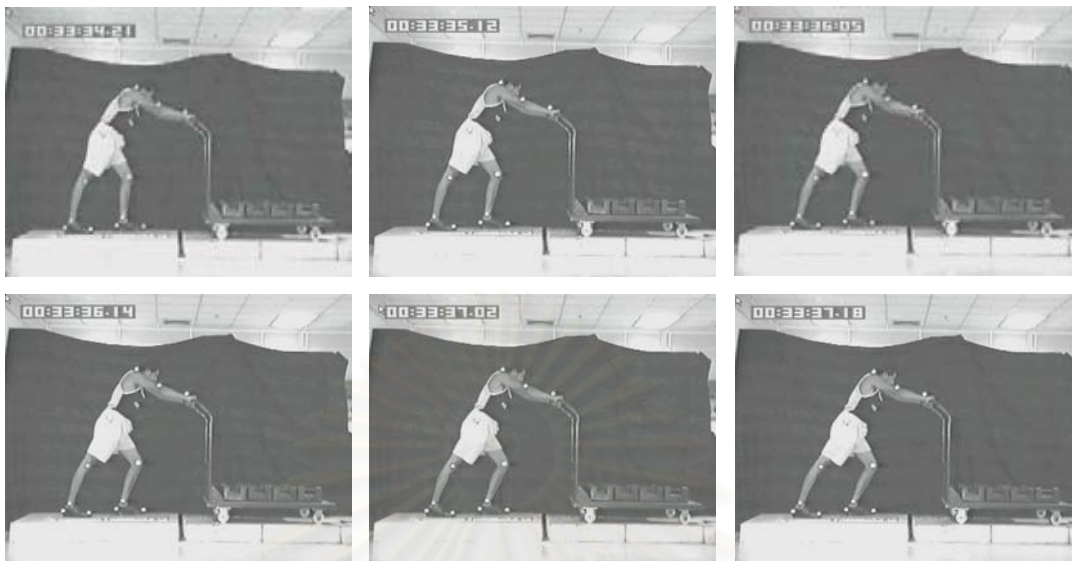
ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม

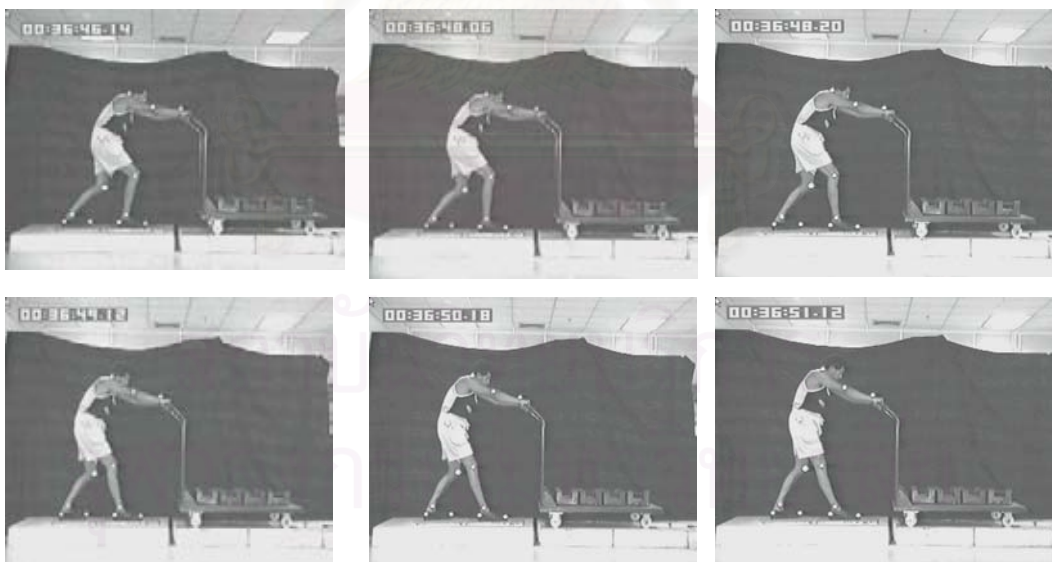
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษางานเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของที่มีล้อ ในระนาบหน้า-หลัง โดยไม่คำนึงถึงการบิดตัว หรือเอี้ยวตัว บนสภาพพื้นที่ต่างกัน โดยผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องพยายามออกแรงเพื่อให้รถเข็นที่หยุดนิ่ง เกิดการเคลื่อนที่ ทำทางการทำงานของแต่ละภาระงาน ถูกกำหนดไว้ให้ผู้ถูกทดสอบทุกคนใช้เหมือนกัน ดังนี้

1. การเข็น ให้วางเท้าขวาอยู่ด้านหลังใช้เป็นเท้าหลักในการออกแรงเข็น และวางเท้าซ้ายอยู่ด้านหน้าเท้าขวา โดยที่เท้าแต่ละข้างต้องเหยียบอยู่บนแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้นแต่ละตัว ซึ่งวางต่อกันตามแนวยาว แขนทั้งสองข้างเหยียดตรงออกไปจับมือจับของรถเข็นในลักษณะคว่ำมือ ออกแรงดันไปข้างหน้าจนรถเข็นเริ่มเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพต่อเนื่องของรูปที่ 4.1
2. การลาก ให้วางเท้าขวาอยู่ด้านหน้าใช้เป็นเท้าหลักในการออกแรงลาก และวางเท้าซ้ายอยู่ด้านหลังเท้าขวา โดยที่เท้าแต่ละข้างต้องเหยียบอยู่บนแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้นแต่ละตัว แขนทั้งสองข้างเหยียดตรงออกไปจับมือจับรถเข็นในลักษณะคว่ำมือเช่นกัน ออกแรงดึงไปข้างหลังจนรถเข็นเริ่มเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพต่อเนื่องของรูปที่ 4.2

ในแต่ละการทดลองตำแหน่งของรถเข็นกับผู้ถูกทดสอบจะขึ้นกับความพึงพอใจหรือความถนัดของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน ล้อของรถเข็นทั้ง 4 ล้อจะเรียงขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ ปัจจุบันที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (140 กก. 700 กก. และ 1,200 กก.) ชนิดของพื้น (พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง และพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น) และ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (ล้อไนลอนและล้อเหล็ก) ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำซ้ำ 2 ครั้ง อย่างไรก็ตามหากผู้ถูกทดสอบไม่สามารถเข็นหรือลากรถเข็นได้ ผู้ถูกทดสอบสามารถที่จะหยุดการทดลองได้ทุกเวลา ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายอันอาจเกิดจากการทำงานเกินขีดความสามารถของร่างกาย



รูปที่ 4.1 ภาพต่อเนื่องขณะเข็นรถ



รูปที่ 4.2 ภาพต่อเนื่องขณะลากรถ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมของงานวิจัย

สภาวะแวดล้อม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	26.01	0.57
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)	20.16	1.47
ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	59.17	8.17

4.2 รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ

ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นเพศชาย มีอาชีพใช้แรงงานรับจ้างก่อสร้างจำนวน 5 คน มีอายุระหว่าง 20 ถึง 43 ปี มีค่าเฉลี่ย 32 ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.75 ปี มีประสบการณ์การทำงานตั้งแต่ 5 ปี ถึง 28 ปี มีค่าเฉลี่ย 15.8 ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.09 ปี โดยผู้ถูกทดสอบทุกคน มีสุขภาพแข็งแรง รวมทั้งไม่เคยมีอาการบาดเจ็บบริเวณหลังจนถึงขั้นเข้าโรงพยาบาลมาก่อน

4.3 การทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

ผู้ถูกทดสอบทุกคนในงานวิจัยนี้ได้เข้ารับการทดสอบหาค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลัง แขน ขา ไหล่ มือ และกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ผลของค่ากำลังสถิติที่หาได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

เมื่อนำค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคนในงานวิจัยนี้ มาเปรียบเทียบกับค่ากำลังสถิติของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ที่ทำการศึกษาโดย กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531) ผลการเปรียบเทียบซึ่งทำในทุกช่วงอายุของผู้ถูกทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ผลของการเปรียบเทียบค่ากำลังสถิติแสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในทุกช่วงอายุ

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน

ผู้ถูกทดสอบ หมายเลข	กำลังสถิติของกล้ามเนื้อ (กก.)					
	หลัง	แขน	ขา	ไหล่	มือ	ส่วนต่างๆ
1	52.70	38.37	166.33	50.77	46.33	110.67
2	76.80	42.53	140.33	68.23	33.33	117.37
3	59.63	48.30	109.67	52.47	41.33	98.20
4	45.63	36.43	113.30	34.67	38.00	92.77
5	99.73	52.53	149.10	69.80	34.50	101.97
ค่าเฉลี่ย	66.90	43.63	135.75	55.19	38.70	104.19
S.D.	21.70	6.74	24.08	14.42	5.29	9.83

ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยกเว้นในช่วงอายุ 33-40 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเพียงเล็กน้อย

ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อขาของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยกเว้นในช่วงอายุ 41-48 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า แต่ยังคงอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึง 95 ของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลังและกล้ามเนื้อมือของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในสองช่วงอายุ แต่ทั้งสองช่วงอายุนั้นยังอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึง 95 ของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในทุกช่วงอายุ แต่ยังคงอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึง 95 ของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้ถูกทดสอบทุกคนในงานวิจัยนี้ เป็นผู้ที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไม่ต่างไปจากกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกลุ่มอาชีพใหญ่และอาชีพหลักของประชากรของประเทศไทย

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาค

เกษตรกรรม

และอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

กลุ่มประชากรเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ					ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้	
กำลังสถิติ	อายุ	เฉลี่ย	พิสัย	เปอร์เซ็นต์ไทล์ ที่ 5 ถึง 95	เฉลี่ย	พิสัย
หลัง	17-24	69.80	47.00-98.00	50.72-84.66	52.70	52.70-52.70
	25-32	69.69	35.50-98.33	46.46-87.79	72.68	45.63-99.73
	33-40	72.58	49.00-104.67	48.51-91.33	76.80	76.80-76.80
	41-48	70.49	42.50-99.33	48.96-92.02	59.63	59.93-59.63
แขน	17-24	37.45	27.00-59.33	27.71-45.04	38.37	38.37-38.37
	25-32	41.64	29.00-51.00	32.43-48.82	44.48	36.43-52.53
	33-40	42.89	31.00-54.33	33.53-50.18	42.53	42.53-42.53
	41-48	42.64	30.33-68.00	27.83-57.45	48.30	48.30-48.30
ขา	17-24	116.09	84.67-161.67	91.28-135.42	166.33	166.33-166.33
	25-32	123.71	87.83-185.33	95.28-145.86	131.2	113.30-149.10
	33-40	127.00	88.00-190.00	90.12-155.74	140.33	140.33-140.33
	41-48	124.73	82.00-173.33	88.73-160.73	109.67	109.67-109.67
ไหล่	17-24	38.49	23.33-77.33	23.93-49.83	50.77	50.77-50.77
	25-32	42.53	23.00-61.00	26.41-55.09	52.23	34.67-69.80
	33-40	46.65	24.67-70.67	28.61-60.70	68.23	68.23-68.23
	41-48	43.81	21.66-72.33	24.70-62.92	52.47	52.47-52.47
มือ	17-24	39.64	28.00-57.33	30.31-46.91	46.33	46.33-46.33
	25-32	42.83	33.18-59.16	33.18-50.35	36.25	34.50-38.00
	33-40	41.98	31.00-52.66	33.25-48.78	33.33	33.33-33.33
	41-48	38.12	29.00-47.67	30.19-46.05	41.33	41.33-41.33
ส่วนต่างๆ	17-24	116.06	78.33-164.00	91.42-135.26	110.67	110.67-110.67
	25-32	121.28	80.33-166.00	88.20-147.06	97.37	92.77-101.97
	33-40	125.35	90.33-174.33	92.62-150.85	117.37	117.37-117.37
	41-48	116.45	84.78-177.66	82.52-150.38	101.97	101.97-101.97

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531)

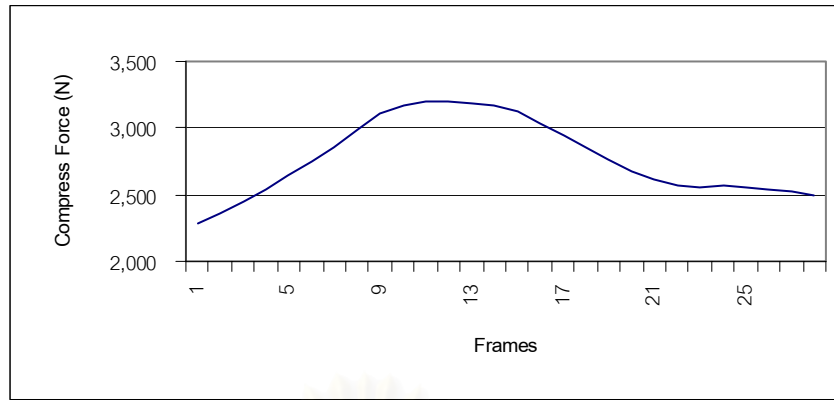
4.4 ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์

ในการวิจัยนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (140 กก. 700 กก. และ 1,200 กก.) ชนิดของพื้น (พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง และพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น) และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (ล้อไนลอนและล้อเหล็ก) จำนวนทำซ้ำเท่ากับ 2 ครั้ง มีภาระงาน 2 งาน คือ งานเข็นและงานลากรถ ดังนั้นผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำการทดลอง 36 การทดลองในแต่ละภาระงาน และรวมเป็นการทดลองทั้งหมด 72 การทดลองต่อผู้ถูกทดสอบ หนึ่งคน แต่ละการทดลองจะถูกประมวลผลหาค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างตามแนวทางชีวกลศาสตร์ เทียบกับระยะเวลาขณะทำกิจกรรมเข็นหรือลากรถตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด เฉพาะค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่านั้นจะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์กำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในการเข็นและลากต่อไป

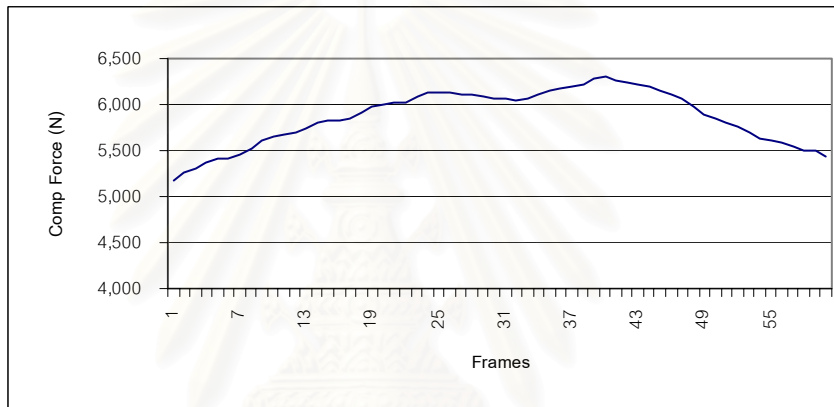
ตามรูปที่ 4.3 ถึง 4.20 เป็นภาพแสดงตัวอย่างค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างที่ขณะเข็นรถเปรียบเทียบกับระยะเวลา ซึ่งแต่ละภาพได้จากการทดลองเข็นรถหนึ่งการทดลอง โดยที่ระยะเวลาในภาพ 1 Frame มีค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 50 วินาที (1/50 วินาที) พบว่าค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดขึ้นขณะเข็นรถจะมีลักษณะ คือ มีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะเริ่มออกแรง จากนั้นจะค่อย ๆ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ และจะมีค่าสูงสุดซึ่งเป็นจุดที่รถเข็นเริ่มเคลื่อนตัว หลังจากนั้นค่าแรงกดอัดจะมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากผู้ถูกทดสอบลดกำลังในการออกแรงทำงานลง

แต่เมื่อน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมากขึ้นจะต้องใช้เวลาในการออกแรงนานกว่า เพื่อให้รถเคลื่อนที่ และอาจมีช่วงที่ค่าแรงกดอัดเพิ่มขึ้นสูงในหลายช่วงระหว่างการออกแรง เนื่องจากผู้ถูกทดสอบพยายามออกแรงมากขึ้นเพื่อให้รถเคลื่อนที่ ค่าแรงกดอัดสูงสุดจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ก็จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่รถเข็นเริ่มเคลื่อนที่

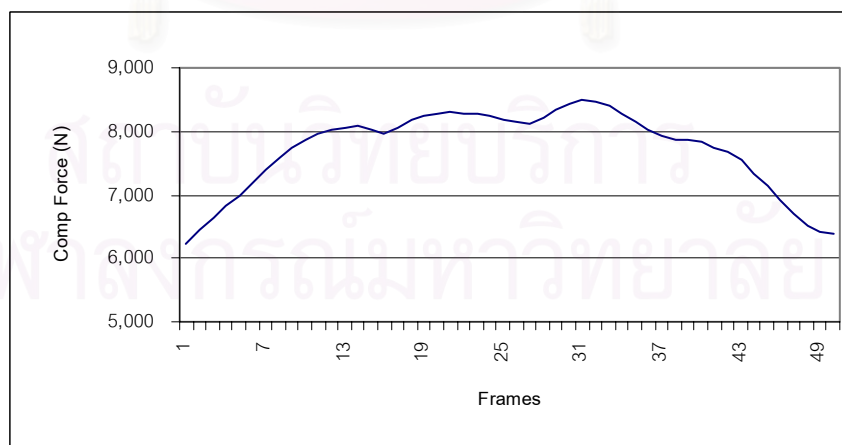
ค่าแรงกดอัดสูงสุดจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการเข็นรถที่มีน้ำหนักบรรทุกเป็น 1,200 กก. ซึ่งเป็นน้ำหนักค่ามากที่สุดในการทดสอบ และจะมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักของรถเข็นลดลงตามลำดับ ค่าแรงกดอัดจะมีค่าต่ำที่สุดที่น้ำหนักรถเข็นเป็น 140 กก. ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักน้อยที่สุดที่ใช้ในการทดสอบ



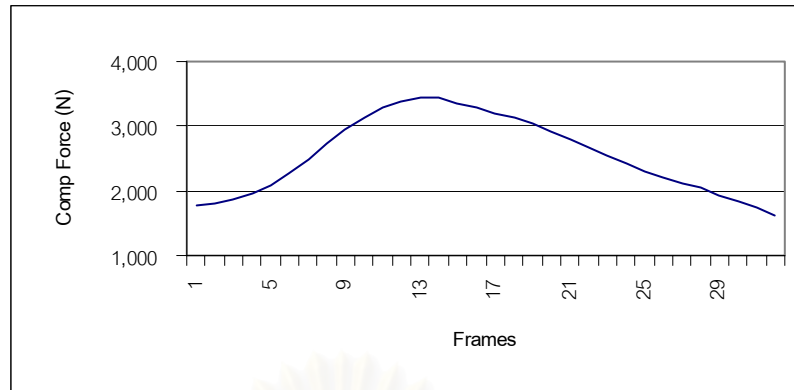
รูปที่ 4.3 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



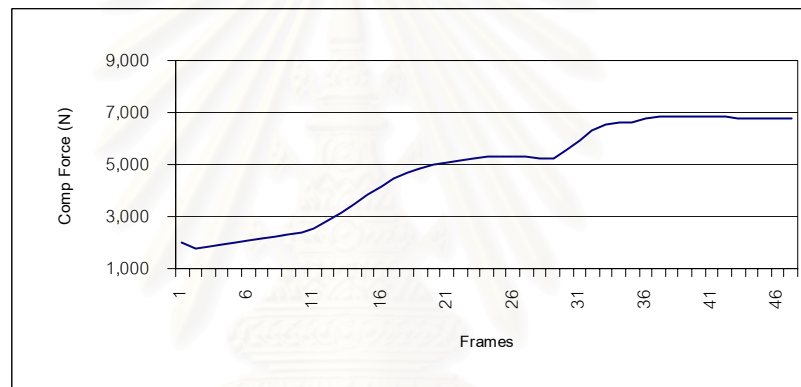
รูปที่ 4.4 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



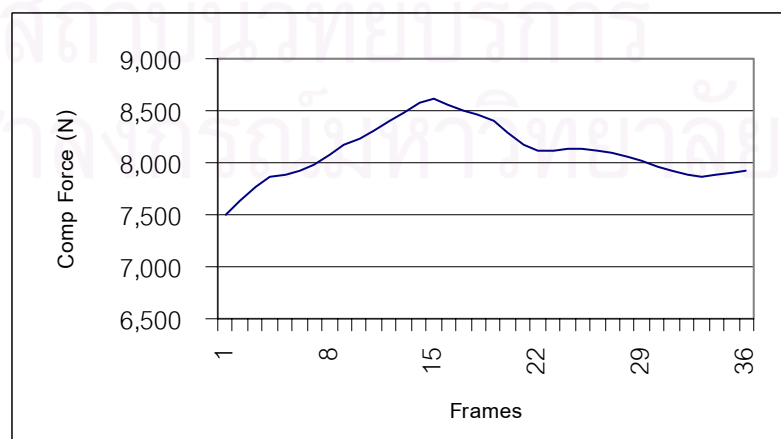
รูปที่ 4.5 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



รูปที่ 4.6 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน

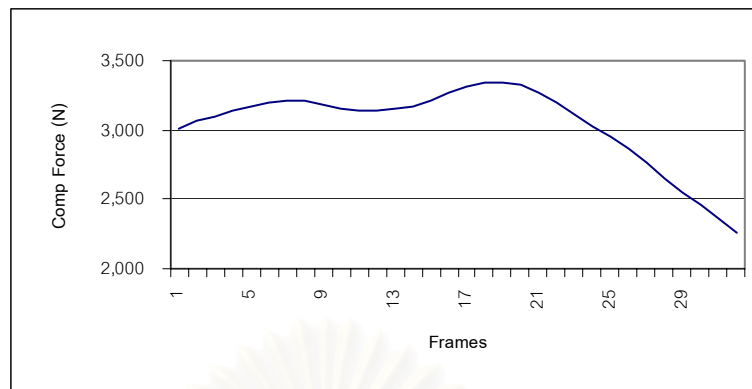


รูปที่ 4.7 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน

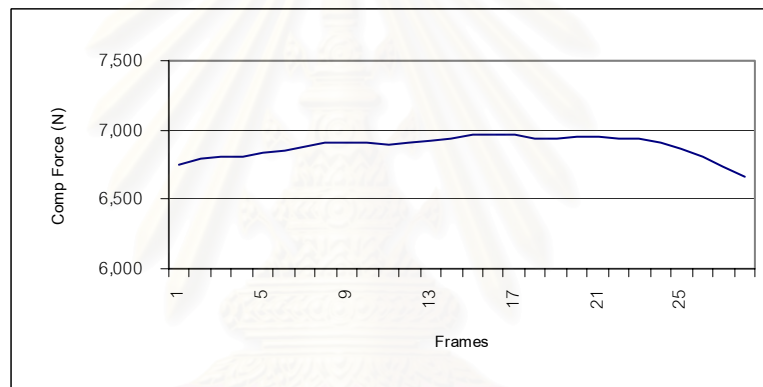


รูปที่ 4.8 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.

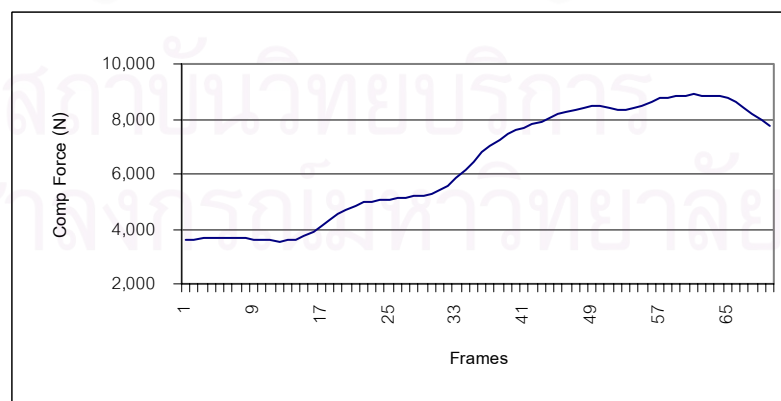
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน



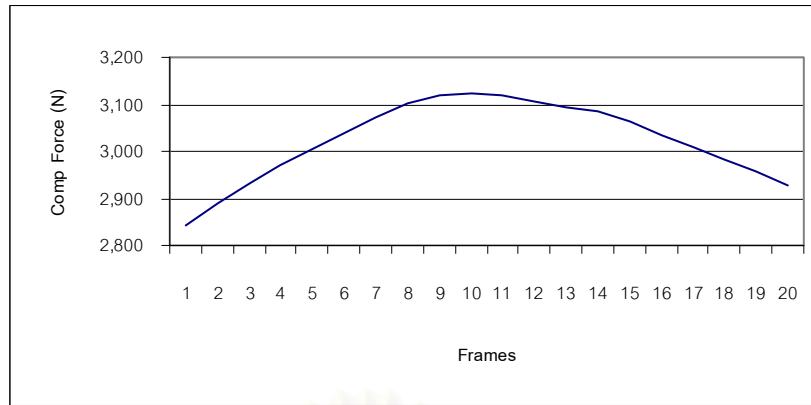
รูปที่ 4.9 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



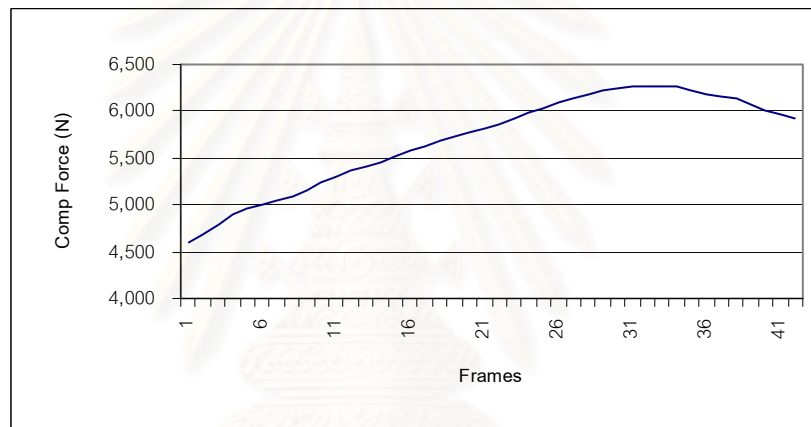
รูปที่ 4.10 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



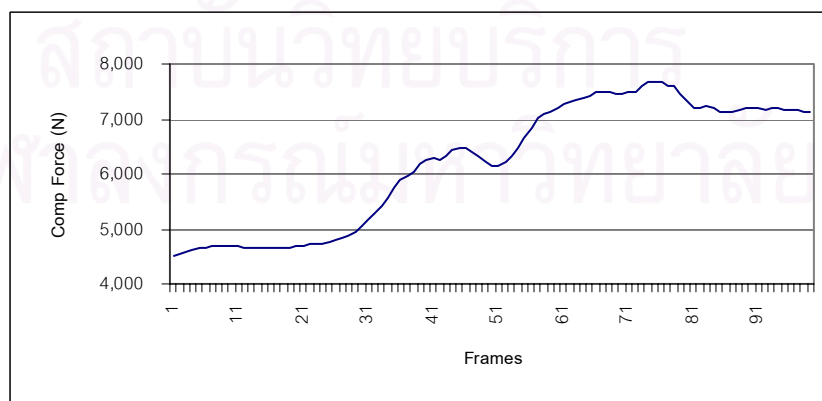
รูปที่ 4.11 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



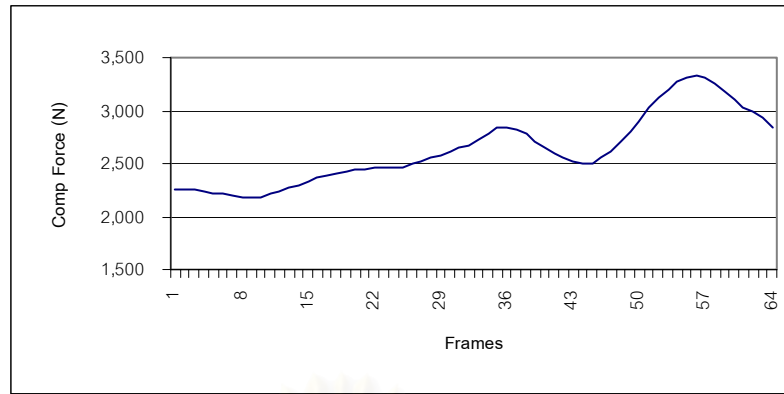
รูปที่ 4.12 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



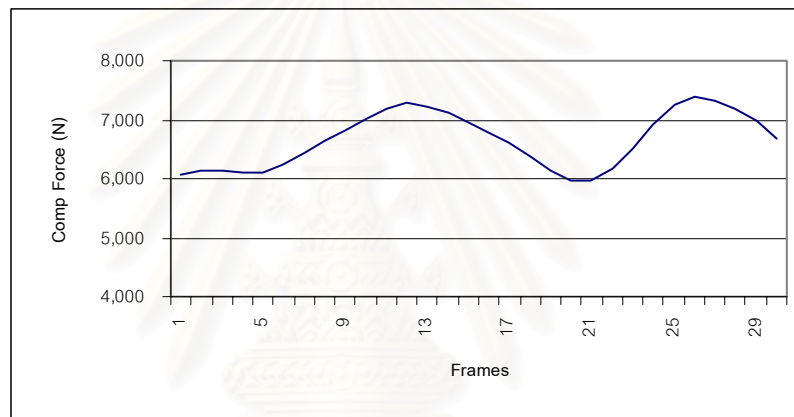
รูปที่ 4.13 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



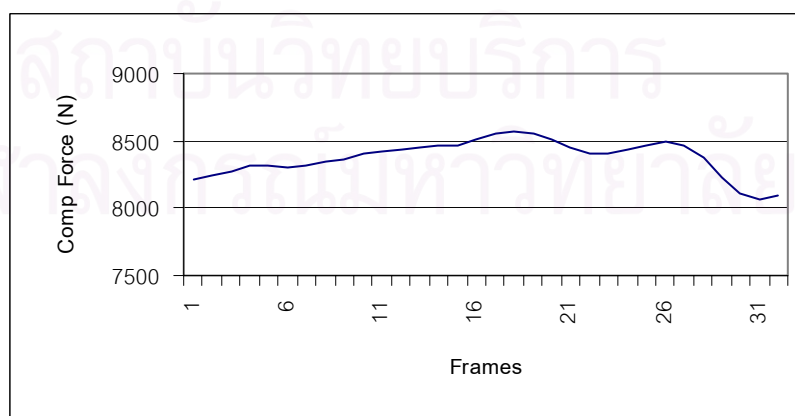
รูปที่ 4.14 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



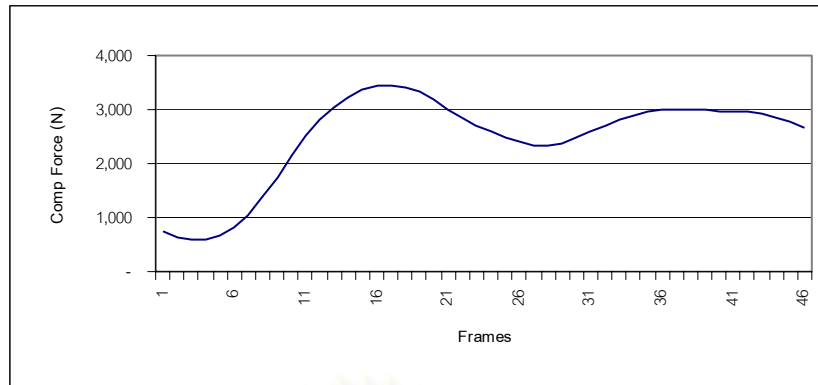
รูปที่ 4.15 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



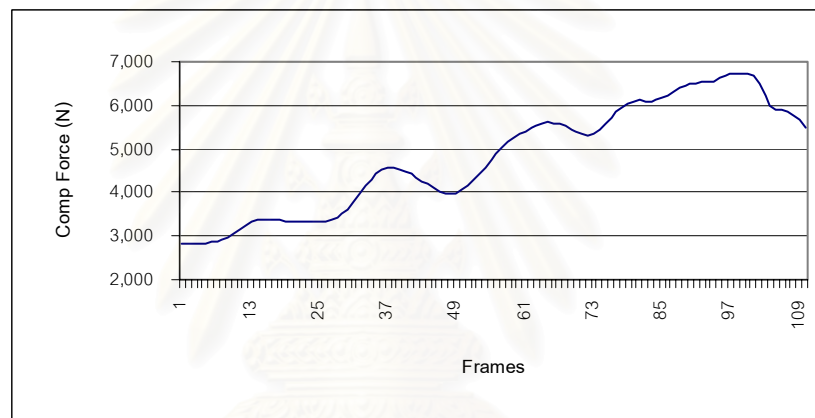
รูปที่ 4.16 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



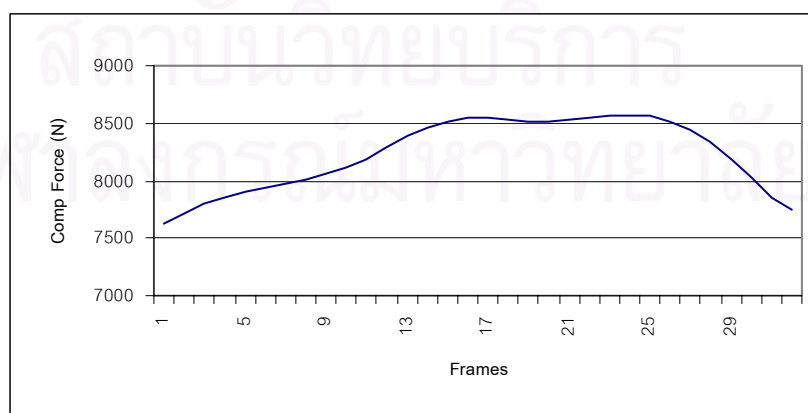
รูปที่ 4.17 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



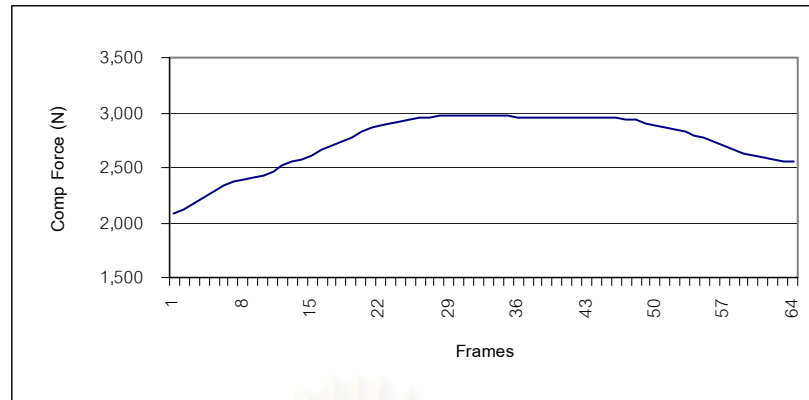
รูปที่ 4.18 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก



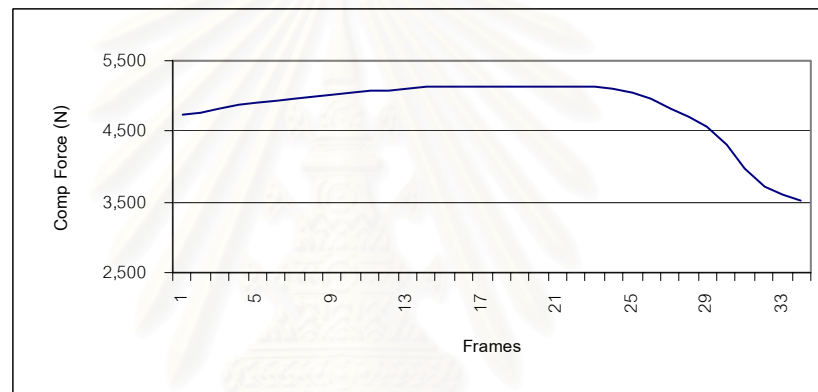
รูปที่ 4.19 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก



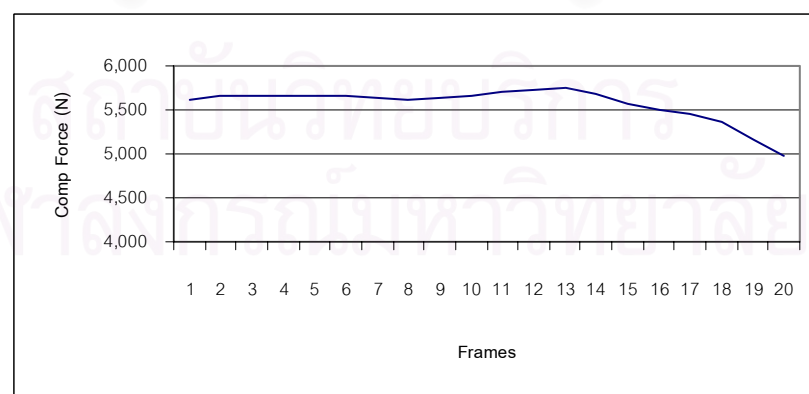
รูปที่ 4.20 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก



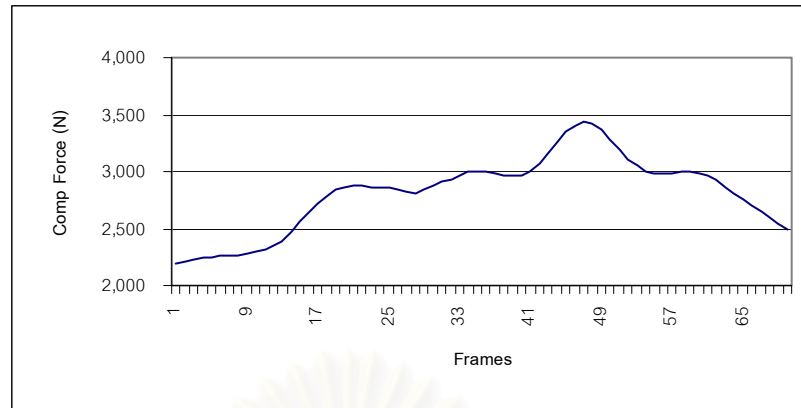
รูปที่ 4.21 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



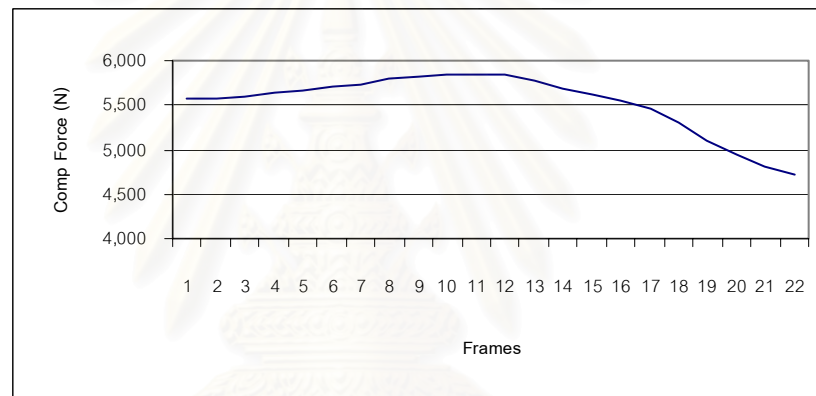
รูปที่ 4.22 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



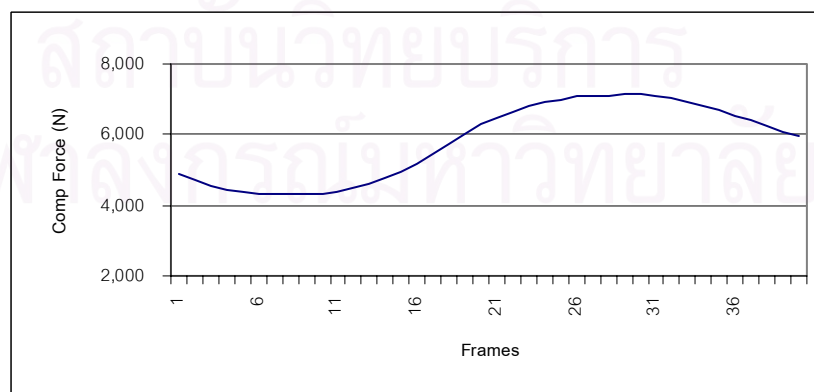
รูปที่ 4.23 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อไนลอน



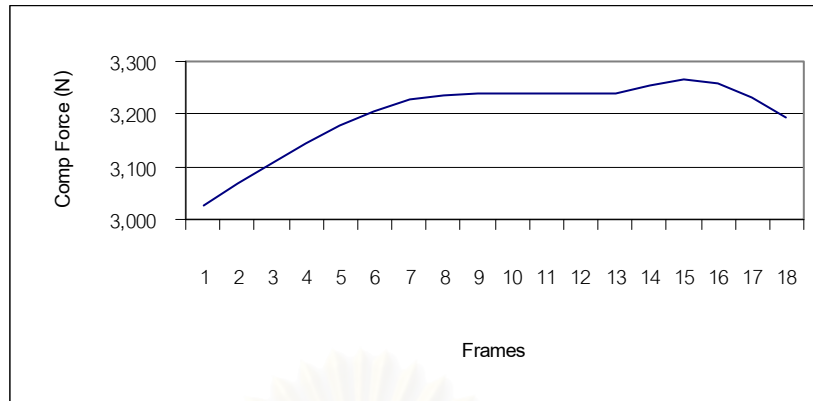
รูปที่ 4.24 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน



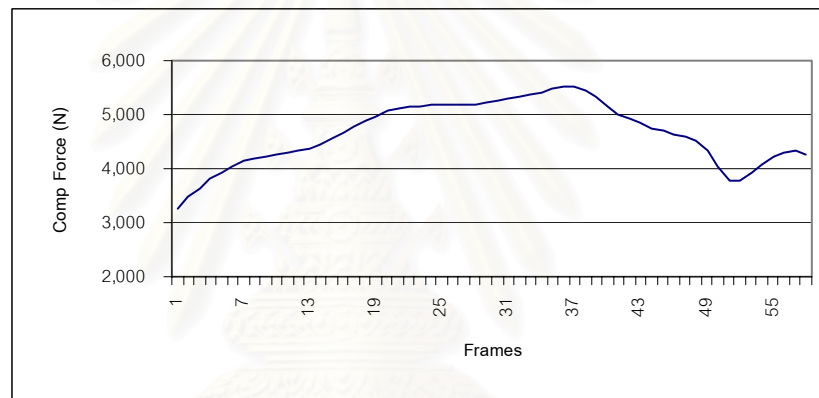
รูปที่ 4.25 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน



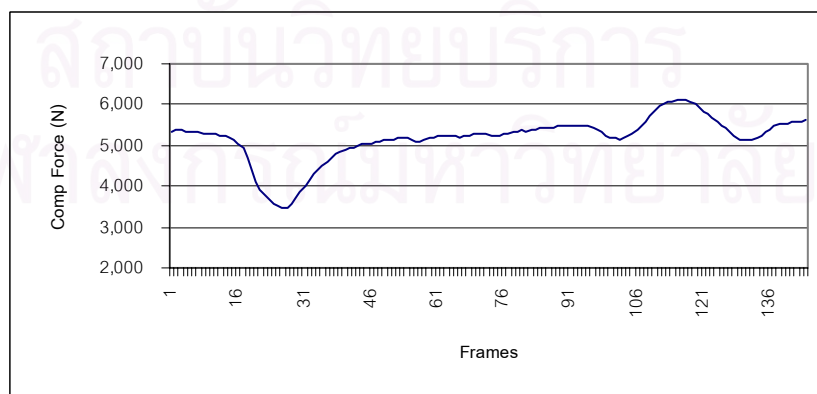
รูปที่ 4.26 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อไนลอน



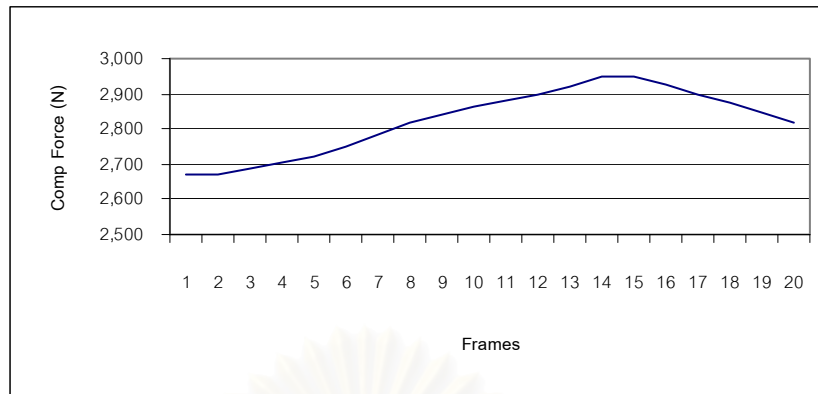
รูปที่ 4.27 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



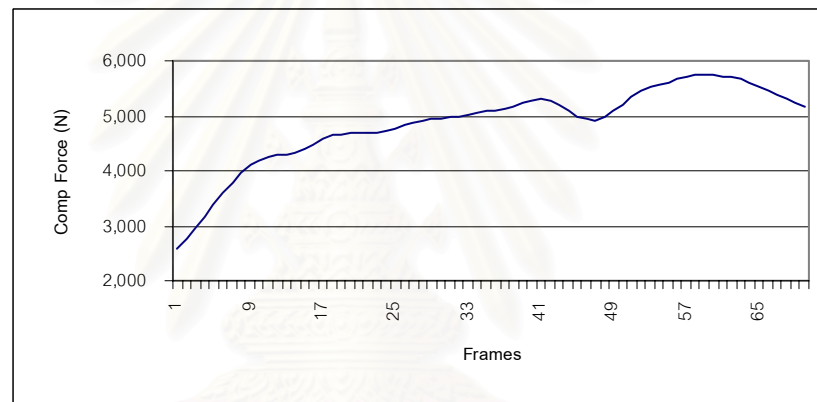
รูปที่ 4.28 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



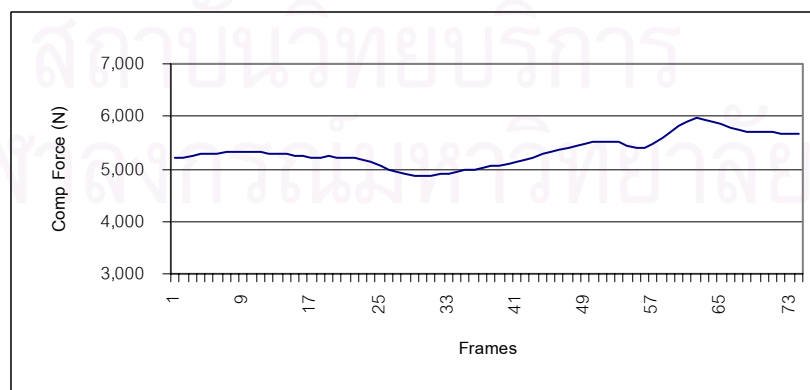
รูปที่ 4.29 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อไนลอน



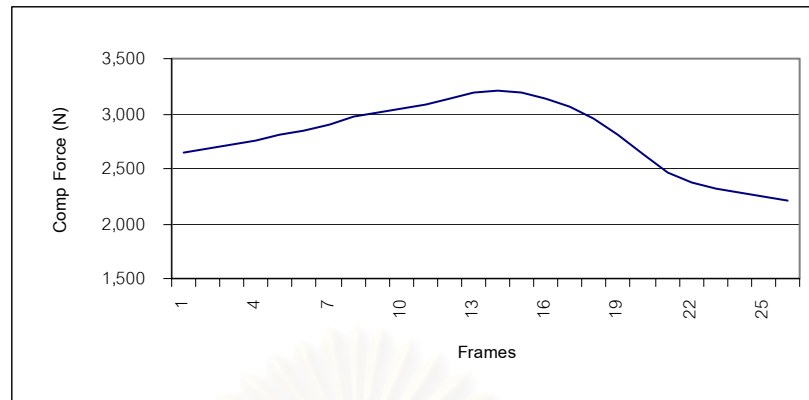
รูปที่ 4.30 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



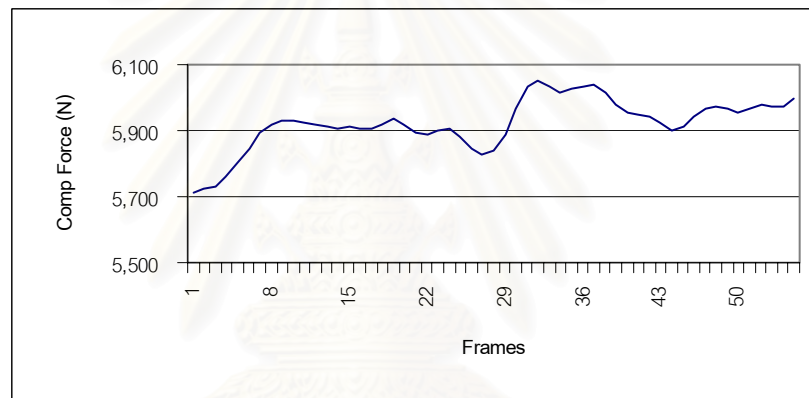
รูปที่ 4.31 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



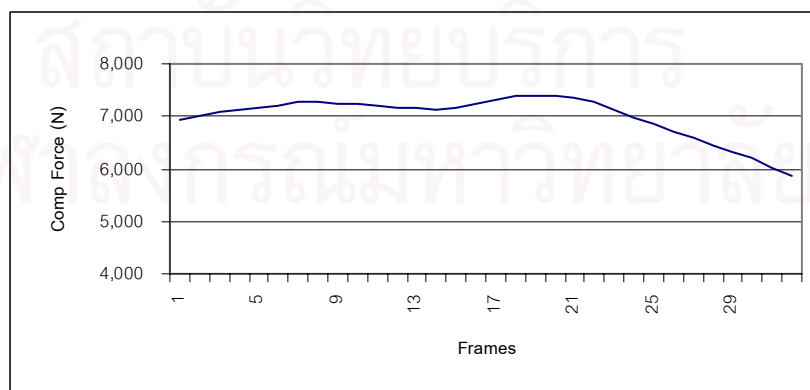
รูปที่ 4.32 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นคอนกรีต ด้วยล้อเหล็ก



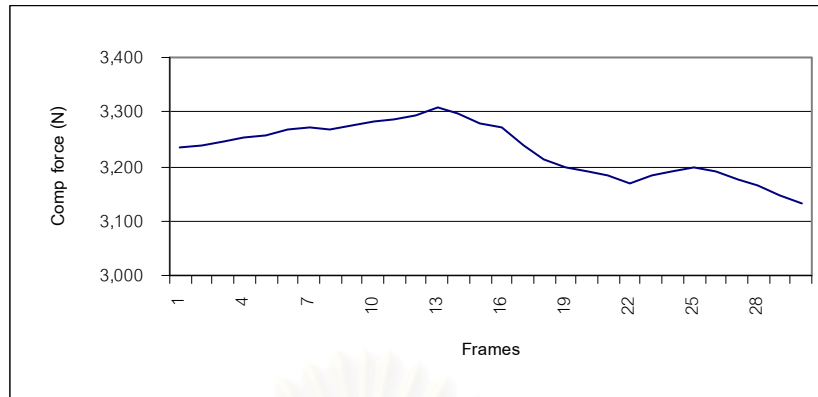
รูปที่ 4.33 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



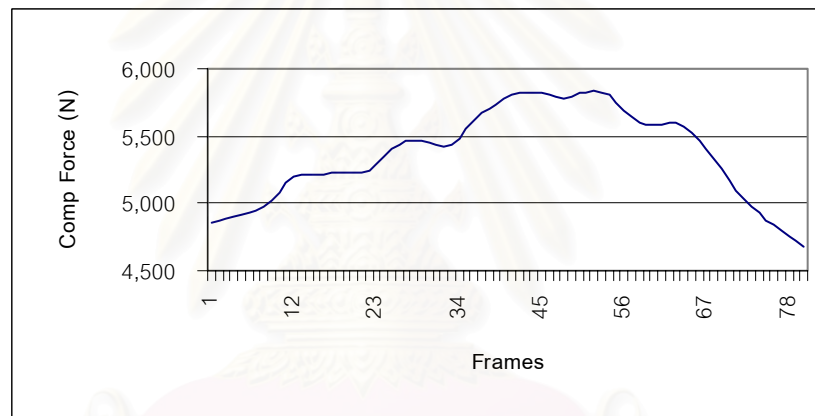
รูปที่ 4.34 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



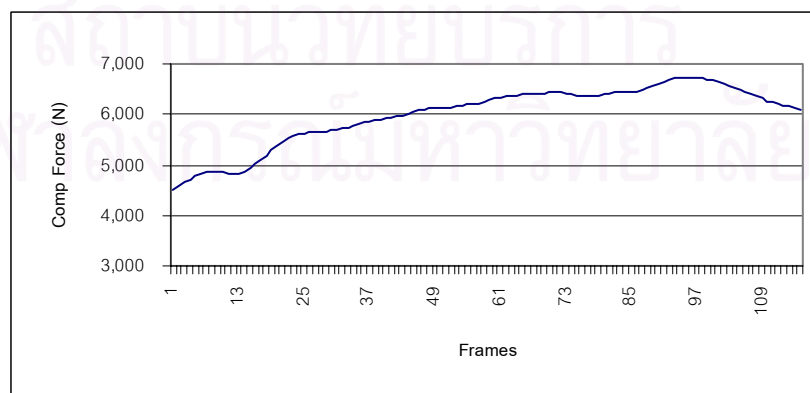
รูปที่ 4.35 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยาง ด้วยล้อเหล็ก



รูปที่ 4.36 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 140 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก



รูปที่ 4.37 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 700 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก



รูปที่ 4.38 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถหนัก 1,200 กก.
บนพื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น ด้วยล้อเหล็ก

ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะลากรถ ดังแสดงตามรูปที่ 4.21 ถึง 4.38 เป็นภาพแสดงตัวอย่างค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างที่ขณะลากรถเปรียบเทียบกับระยะเวลา ซึ่งแต่ละภาพได้จากการทดลองเข็นรถหนึ่งการทดลอง จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นขณะเข็นรถ คือจะมีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะเริ่มออกแรง จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามการออกแรงของผู้ถูกทดสอบที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีค่าสูงสุดขณะที่รถเข็นเริ่มเคลื่อนที่ ค่าแรงกดอัดสูงสุดจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อทำการลากรถที่มีน้ำหนักบรรทุก 1,200 กก. ซึ่งเป็นน้ำหนักมากที่สุดในการทดสอบ และมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นลดลงตามลำดับ

ที่ระดับปัจจัยทดลองเดียวกัน พบว่าค่าแรงกดอัดสูงสุดของการเข็นจะมากกว่าการลาก เนื่องจากต้องใช้แรงในการเข็นมากกว่าแรงที่ใช้ในการลาก เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าแรงกดอัดจึงให้ค่าที่มากกว่า

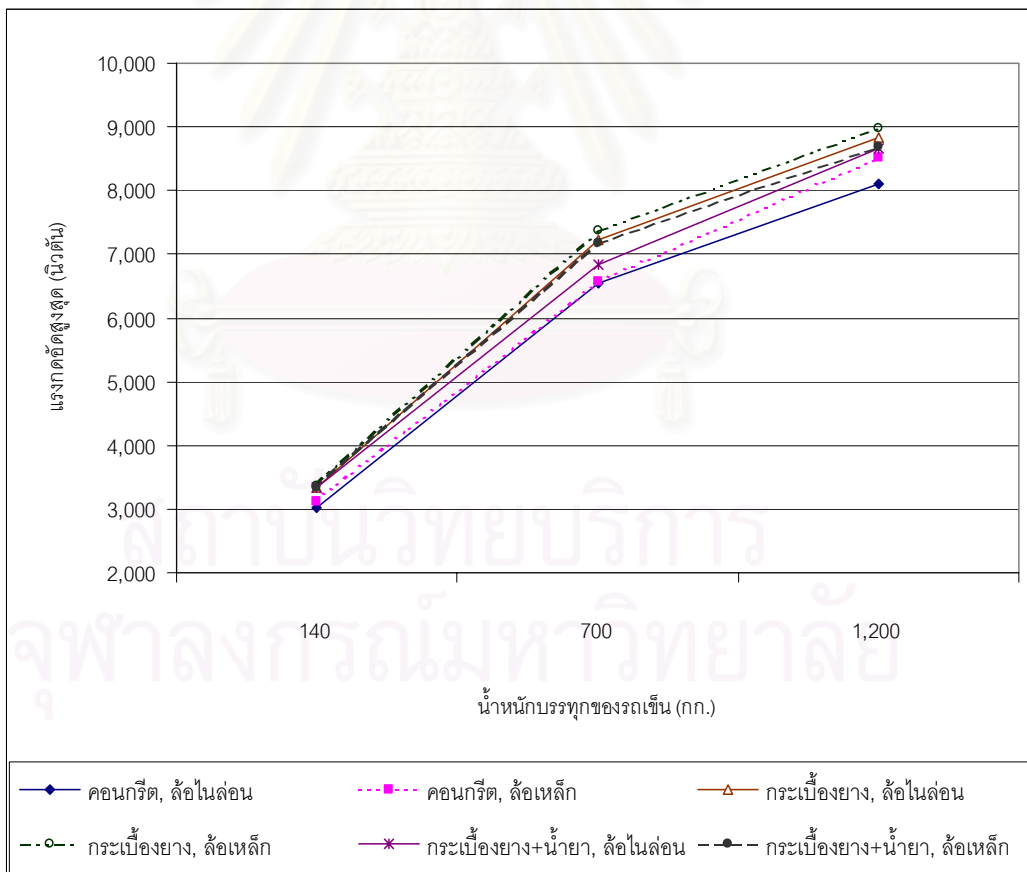
4.5 ผลของค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุด

จากค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรมนั้นๆ ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน เฉพาะค่าสูงสุดเท่านั้นจะถูกเลือกเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ โดยที่ข้อมูลค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรมของผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะถูกนำมาหาเฉลี่ย แยกตามค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ซึ่งข้อมูลค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ. ดังนั้นค่าแรงกดอัดสูงสุดจะมาจากข้อมูลของผู้ถูกทดสอบทั้งหมด 5 คน แต่ละคนทำการทดลองซ้ำ 2 การทดลอง รวมเป็น 10 การทดลอง เมื่อนำมาเฉลี่ยจะได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.39 สำหรับการทดลองเข็นรถ และตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.40 สำหรับการทดลองลากรถ

ผลของค่าแรงกดอัดสูงสุดโดยเฉลี่ยบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง พบว่าน้ำหนักของรถเข็นมีผลค่าต่อแรงกดอัดสูงสุด โดยที่น้ำหนัก 1,200 กก. จะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดมากที่สุด และจะลดลงตามน้ำหนัก และมีค่าน้อยที่สุดที่น้ำหนัก 140 กก. และงานเข็นจะให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดโดยเฉลี่ยมากกว่างานลากที่ปัจจัยการทดลองเดียวกัน

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ

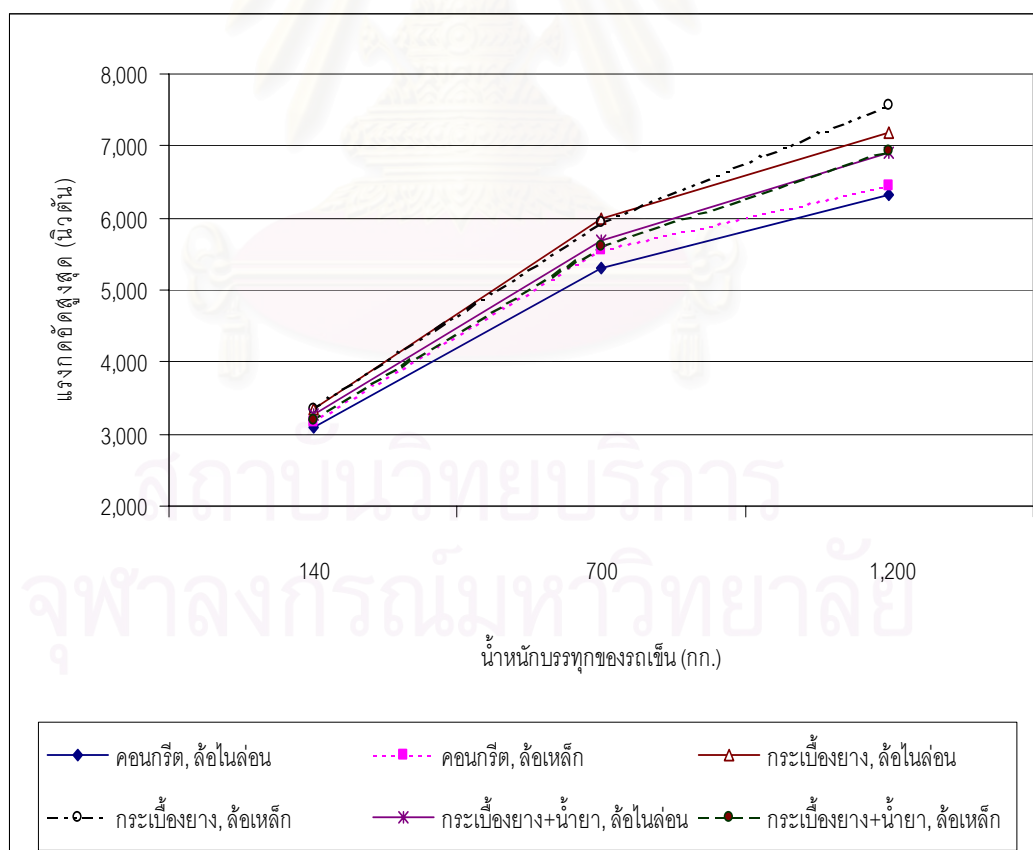
น้ำหนัก รถเข็น	ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ขณะเข็นรถ (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
140 กก.	3,027.02 (524.92)	3,113.86 (426.40)	3,337.89 (329.56)	3,357.81 (607.18)	3,325.44 (558.16)	3,345.61 (524.98)
700 กก.	6,536.32 (1,272.26)	6,569.42 (806.42)	7,234.94 (1,048.05)	7,364.53 (1,321.62)	6,832.81 (930.83)	7,178.61 (877.29)
1,200 กก.	8,094.24 (1,875.17)	8,527.51 (1,874.11)	8,824.59 (1,230.61)	8,979.80 (1,792.41)	8,663.75 (1,360.69)	8,692.57 (800.92)



รูปที่ 4.39 ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองลากรถ

น้ำหนัก รถเข็น	ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ขณะลากรถ (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
140 กก.	3,096.41 (540.96)	3,178.43 (533.20)	3,347.02 (542.28)	3,350.77 (592.45)	3,278.87 (612.44)	3,202.16 (394.59)
700 กก.	5,306.65 (1,414.85)	5,549.57 (1,077.03)	5,979.60 (1,017.17)	5,936.18 (1,172.19)	5,681.76 (780.69)	5,617.82 (470.73)
1,200 กก.	6,312.98 (1,340.12)	6,451.81 (1,884.69)	7,180.91 (967.65)	7,572.82 (920.89)	6,899.09 (785.83)	6,929.00 (723.94)



รูปที่ 4.40 ค่าแรงกวดอัดของกระดูกสันหลังส่วนหลังสูงสุดโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองลากรถ

4.6 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และวัสดุที่ใช้ทำล้อ ในการทดลองเข็นรถเข็น

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้นผิว และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อต่อผลของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (The Three-Factorial Design) เพื่อตรวจสอบถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 : ปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับงานเข็น แสดงในตารางที่ ค.5 ผลของค่าสถิติ F_0 ของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (Weight) มีค่า $F_0 = 363.27$ ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ แสดงว่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และปัจจัยชนิดของพื้น (Floor Type) มีค่า $F_0 = 3.61$ ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ ซึ่งก็แสดงว่าปัจจัยชนิดของพื้นมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง เช่นกัน ขณะที่ปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Wheel Type) มีค่า $F_0 = 0.70$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 1, \infty} = 3.84$ แสดงว่าปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็นไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย มีผลดังนี้ ปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับชนิดของพื้น (Wt x Floor) มีค่า $F_0 = 0.23$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 4, \infty} = 2.37$ ปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Wt x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.09$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ และ ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของพื้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Floor x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.02$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ แสดงว่าปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยทั้งหมดไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของพื้น (Wt x Floor x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.13$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 4, \infty} = 2.37$ แสดงว่าปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง เช่นกัน

4.7 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และวัสดุที่ใช้ทำล้อ ในการทดลองลากรถเข็น

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับงานลากจะได้ผลการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกับงานเข็น คือ เฉพาะปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นและปัจจัยชนิดของพื้นเท่านั้น ที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ขณะที่ปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ และปัจจัยร่วมต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างในทางสถิติ

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 5 ค่าสถิติ F_0 ของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (Weight) มีค่า $F_0 = 225.17$ ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ แสดงว่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และปัจจัยชนิดของพื้น (Floor Type) มีค่า $F_0 = 5.45$ ซึ่งมากกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ ซึ่งก็แสดงว่าปัจจัยชนิดของพื้นมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง เช่นกัน ขณะที่ปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Wheel Type) มีค่า $F_0 = 0.27$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 1, \infty} = 3.84$ แสดงว่าปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็นไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย มีผลดังนี้ ปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับชนิดของพื้น (Wt x Floor) มีค่า $F_0 = 0.85$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 4, \infty} = 2.37$ ปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Wt x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.16$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ และ ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของพื้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (Floor x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.19$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 2, \infty} = 3.00$ แสดงว่าปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของพื้น (Wt x Floor x Wheel) มีค่า $F_0 = 0.11$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $F_{0.05, 4, \infty} = 2.37$ แสดงว่าปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง เช่นกัน

4.8 การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและลาก ตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH

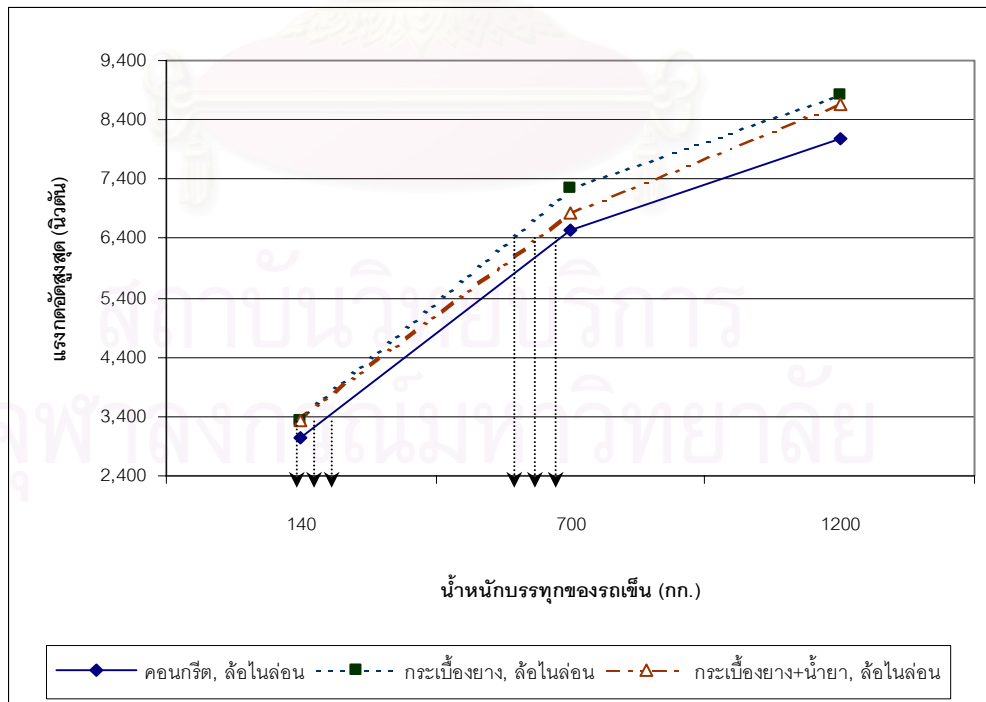
การพิจารณาว่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดระดับความปลอดภัยหรือไม่ ในการวิจัยนี้ได้นำเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH มาทำการประมาณค่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ เกณฑ์ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง (L5/S1) ของ NIOSH ได้กำหนดค่าขีดจำกัดขั้นต่ำ

ไว้ที่ Action Limit (AL) มีค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 ที่ 3,400 นิวตัน ถือว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานบางคน และขีดจำกัดขั้นสูงที่ Maximum Permissible Limit (MPL) มีค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 ที่ 6,400 นิวตัน ถือว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานเกือบทุกคน

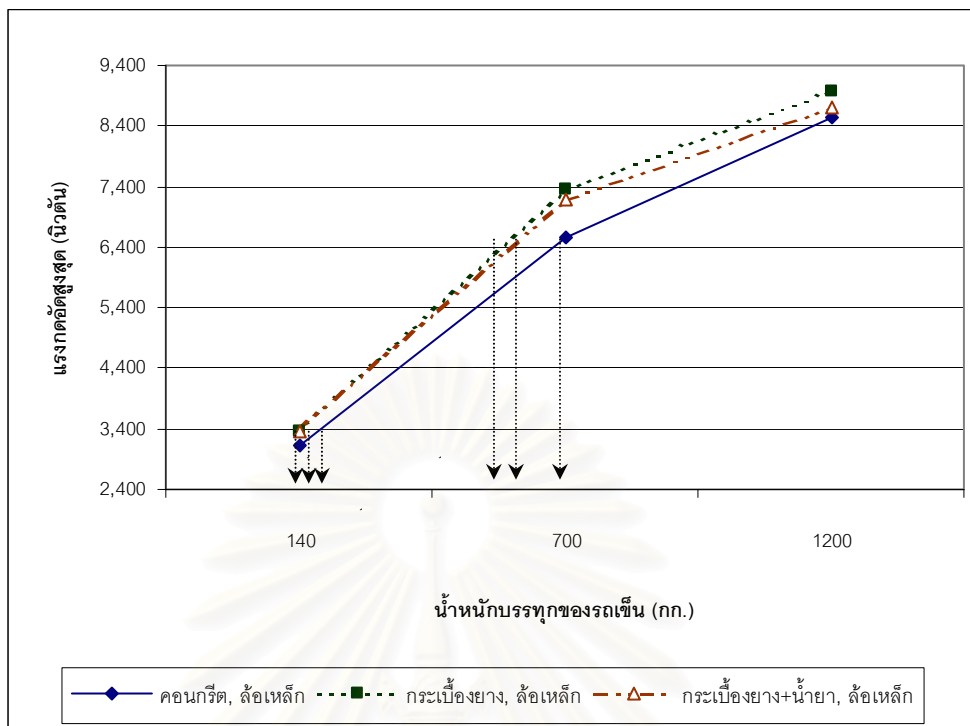
ดังนั้นเมื่อทราบค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างตามตารางที่ 4.4 สำหรับการเข็น ก็สามารถคำนวณค่าน้ำหนักสูงสุดของรถเข็นที่ปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานเข็น

เกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่	น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานเข็น (กก.)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
Action Limit	199.52	186.37	148.93	145.90	151.90	147.95
Max. Permissible Limit	678.25	672.54	580.02	565.19	630.90	586.24



รูปที่ 4.41 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างของการเข็นด้วยล้อไนลอน

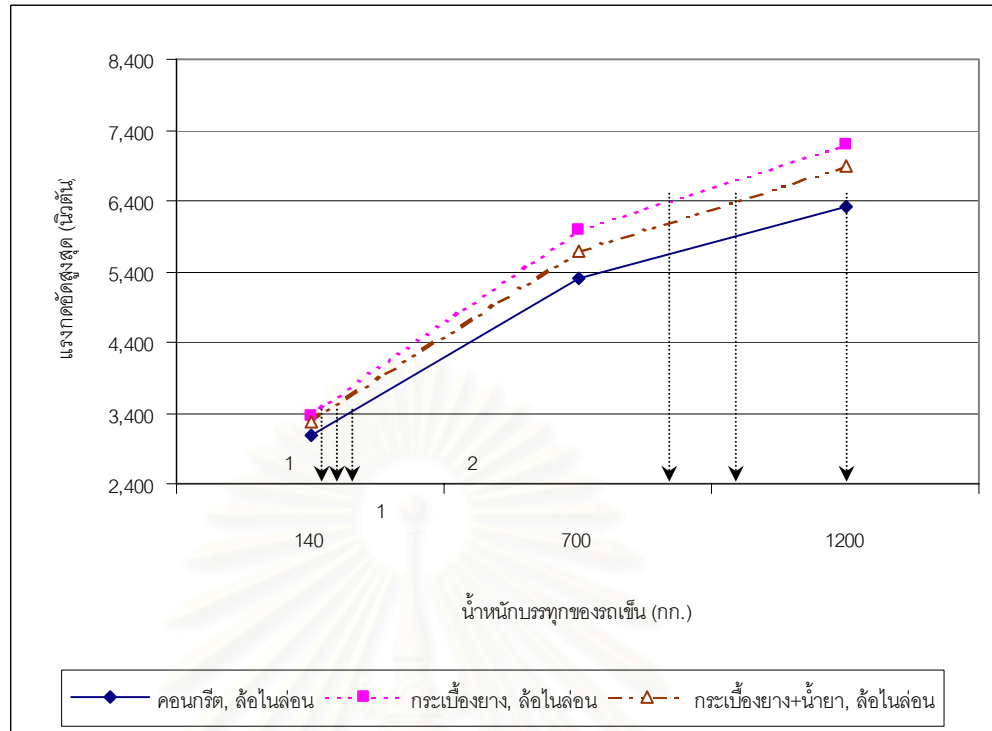


รูปที่ 4.42 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นและแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของการเข็นด้วยล้อเหล็ก

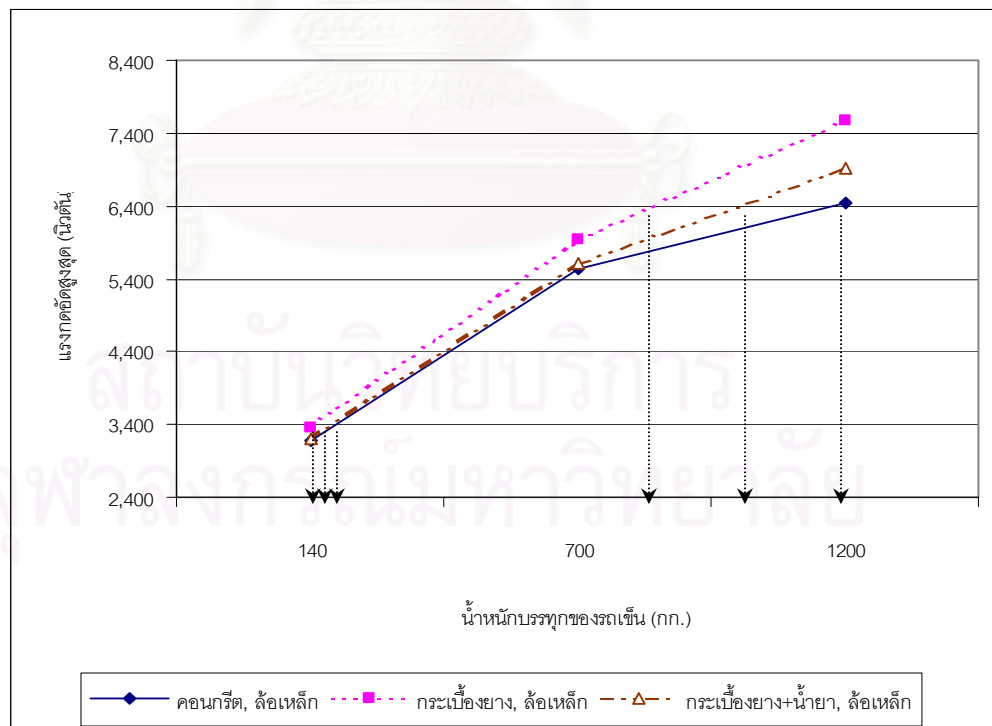
กรณีการลากจากค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างตามตารางที่ 4.5 ก็ สามารถประมาณค่าน้ำหนักสูงสุดของรถเข็นที่ปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ดัง แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานลาก

เกณฑ์มาตรฐาน ของ NIOSH ที่	น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานลาก (กก.)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยางเคลือบ น้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
Action Limit	216.92	192.33	151.27	150.66	168.23	185.86
Max. Permissible Limit	1219.69	1171.29	874.98	841.70	995.01	998.27



รูปที่ 4.43 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น และแรงกัตต์สูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่างของการลากด้วยล้อไนลอน



รูปที่ 4.44 การหาค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น และแรงกัตต์สูงสุดที่บริเวณกระดุกสันหลังส่วนล่างของการลากด้วยล้อเหล็ก

จากการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสูงสุด (ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้) ของการลากจะมากกว่าการเข็นในทุกกรณีการทดลอง เนื่องมาจากค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างของการลากจะมีค่าน้อยกว่าการเข็น ดังนั้นเมื่อนำมาประมาณค่าที่ AL คือ 3,400 นิวตัน และที่ MPL คือ 6,400 นิวตัน จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักสูงสุดที่มากกว่า

แต่เนื่องจากปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็นไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง อีกทั้งค่าน้ำหนักสูงสุดของล้อในลอนและล้อเหล็กที่ทำการทดลองบนพื้นชนิดเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ ผู้วิจัยจึงเห็นควรที่จะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างน้ำหนักสูงสุดของล้อแต่ละชนิด มาเป็นค่าขีดจำกัดในการเข็นและลากบนพื้นผิวแต่ละชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักสูงสุดเฉลี่ยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH
ของพื้นแต่ละชนิด สำหรับงานเข็น

เกณฑ์มาตรฐาน ของ NIOSH ที่	น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานเข็น (กก.)		
	พื้นคอนกรีต	พื้นกระเบื้องยาง	พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น
Action Limit	192.95	147.41	149.93
Max. Permissible Limit	675.40	572.61	608.57

ตารางที่ 4.9 น้ำหนักสูงสุดเฉลี่ยตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH
ของพื้นแต่ละชนิด สำหรับงานลาก

เกณฑ์มาตรฐาน ของ NIOSH ที่	น้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH สำหรับงานลาก (กก.)		
	พื้นคอนกรีต	พื้นกระเบื้องยาง	พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น
Action Limit	204.63	150.97	177.05
Max. Permissible Limit	1195.49	858.34	996.64

4.9 การกำหนดน้ำหนักรสูงสุดที่ยอมรับได้แยกตามผู้ถูกทดสอบ

เนื่องจากการกำหนดน้ำหนักรสูงสุดที่ยอมรับได้ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของบุคคลแต่ละคน(ไพโรจน์ ฤดาภิชาติกรกุล, 2542) ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างและค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ฉ. สำหรับกิจกรรมการเข็น และภาคผนวก จ. สำหรับกิจกรรมการลาก ตัวอย่างเช่น การหาสมการที่เหมาะสมของกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 ได้สมการดังนี้

$$\text{สมการที่เหมาะสม คือ } Y = 1865.06 + 10.9318 X - 2.40E-03 X^2$$

โดยที่ Y คือ แรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

X คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น

ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง เท่ากับ 3,400 และ 6,400 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ AL และ MPL ตามลำดับ แล้วคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าน้ำหนักของรถเข็น ก็จะสามารถหาค่าน้ำหนักรสูงสุดของรถเข็นที่ AL และ MPL ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 4.10 สำหรับกิจกรรมการเข็น และตารางที่ 4.11 สำหรับกิจกรรมการลาก ดังนี้

ตารางที่ 4.10 น้ำหนักรสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นรถ แยกตามผู้ถูกทดสอบ

ชนิดของพื้น	เกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่	น้ำหนักรสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นรถ (กก.) ผู้ถูกทดสอบหมายเลข				
		1	2	3	4	5
พื้นคอนกรีต	AL	145.03	159.93	230.16	218.47	176.64
	MPL	461.62	769.25	908.47	799.93	683.65
พื้นกระเบื้องยาง	AL	143.73	137.26	145.44	211.90	96.49
	MPL	390.43	653.21	544.47	709.42	530.31
พื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	117.89	130.49	173.54	161.67	165.27
	MPL	416.74	662.76	620.78	667.84	650.57

ตารางที่ 4.11 น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ แยกตามผู้ถูกทดสอบ

ชนิดของพื้น	เกณฑ์มาตรฐาน ของ NIOSH ที่	น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ (กก.) ผู้ถูกทดสอบหมายเลข				
		1	2	3	4	5
พื้นคอนกรีต	AL	73.55	350.00	218.32	253.90	148.86
	MPL	475.55	1,324.03	1,363.36	1,018.91	1,505.40
พื้นกระเบื้องยาง	AL	54.16	173.27	127.77	278.46	209.10
	MPL	458.73	1,180.45	783.22	1,147.48	811.59
พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	119.51	206.76	135.54	170.11	235.55
	MPL	685.49	1,145.64	934.85	1,083.04	851.05

4.10 การสร้างสมการเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

การสร้างสมการเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและลากบนพื้นต่างๆ มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้ในเป็นแนวทางในการกำหนดน้ำหนักสำหรับงานเข็นและลากบนพื้นต่างๆ ของแต่ละบุคคล ดังนั้นจึงต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับตัวแปรต่างๆ อันได้แก่ อายุ อายุงาน ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อต่างๆ และข้อมูลการวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย แต่เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีจำนวนมาก จึงต้องมีการตัดตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของรถเข็นออกไปจากสมการ โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Backward ซึ่งผลการวิเคราะห์สมการถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. สำหรับการเข็นรถ และภาคผนวก ก. สำหรับการลากรถ ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่าสมการถดถอยเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการเข็นและลากบนพื้นต่างๆ เป็นได้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับ เป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 สำหรับการเข็นรถ และตารางที่ 4.13 สำหรับการลากรถ ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.12 สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้
ของการเข็นรถ บนพื้นต่างๆ

ชนิดของพื้น	เกณฑ์มาตรฐาน ของ NIOSH ที่	สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของ การเข็นรถ
พื้นคอนกรีต	AL	$ALCONH = -184.237 + 8.565 A8 - 2.922 COMP$
	MPL	$MPLCONH = 1947.772 + 16.966 A1 - 9.893 A4 - 2.064 SHOU$
พื้นกระเบื้องยาง	AL	$ALVNLH = 595.979 - 5.100 ARM - 2.174 COMP$
	MPL	$MPLVNLH = 2514.755 - 18.077 A13 + 4.295 ARM - 4.149 COMP$
พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	$ALWAXH = 273.243 + 1.788 ARM - 1.934 COMP$
	MPL	$MPLWAXH = 1881.015 - 14.874 A13 + 11.584 ARM - 3.651 COMP$

โดยที่

ALCONH = น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการเข็นบนพื้นคอนกรีต

MPLCONH = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นคอนกรีต

ALVNLH = น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

MPLVNLH = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

ALWAXH = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง
ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

MPLWAXH = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง
ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

COMP = ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ($92.77 < COMP < 117.37$)

ARM = ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ($36.43 < ARM < 52.53$)

SHOU = ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ ($34.67 < SHOU < 69.80$)

A1 = อายุ ($20 < A1 < 43$)

A4 = ความสูง ($161 < A4 < 173$)

A8 = ระยะเวลาหยุดแขน ($76 < A8 < 81.5$)

A13 = เส้นรอบสะโพก ($86.4 < A13 < 101$)

ตารางที่ 4.13 สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ บนพื้นต่างๆ

ชนิดของพื้น	เกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่	สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ
พื้นคอนกรีต	AL	$ALCONL = -262.764 + 20.224 A8 - 14.872 A13 + 6.429 ARM$
	MPL	$MPLCONL = 2087.172 - 39.817 A13 + 64.271 ARM$
พื้นกระเบื้องยาง	AL	$ALVNLL = 1503.502 - 8.733 A13 - 4.910 COMP$
	MPL	$MPLVNLL = 5017.398 - 46.120 A13 + 14.162 ARM - 3.942 COMP$
พื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	$ALWAXL = 1498.566 - 13.278 A8 - 5.332 A1 + 5.126 ARM$
	MPL	$MPLWAXL = 896.088 + 27.708 A8 - 27.201 A13 + 9.755 ARM$

โดยที่

ALCONL = น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการลากบนพื้นคอนกรีต

MPLCONL = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นคอนกรีต

ALVNLL = น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

MPLVNLL = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

ALWAXL = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

MPLWAXL = น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

COMP = ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ($92.77 < COMP < 117.37$)

ARM = ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ($36.43 < ARM < 52.53$)

A8 = ระยะเหยียดแขน ($76 < A8 < 81.5$)

A13 = เส้นรอบสะโพก ($86.4 < A13 < 101$)

จากสมการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ทั้งการเข็นและการลาก ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าเป็นสมการเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับงานเข็นและการลากบนพื้นต่างๆ ถูกกำหนดโดยตัวแปรอิสระต่างๆ อันได้แก่ อายุ ความสูง ระยะเหยียดแขน เส้นรอบสะโพก ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน และค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับตัวแปรอิสระต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตัวแปรเส้นรอบสะโพกมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโดยปกติบุคคลที่มีเส้นรอบสะโพกใหญ่ย่อมจะเป็นผู้ที่มิโครงสร้างร่างกายที่อ่อนบ่นค่อนข้างใหญ่กว่าบุคคลที่มีเส้นรอบสะโพกขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ร่างกายต้องรับน้ำหนักส่วนบนมากขึ้นเป็นการเพิ่มแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง ดังนั้นในการคำนวณทางชีวกลศาสตร์จึงเกิดแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างมากกว่า อีกประการบุคคลที่มีโครงสร้างร่างกายค่อนข้างใหญ่จะมีความสามารถในการออกแรงในการเข็นและลากได้มากกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างมากกว่า

ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เปรียบเสมือนตัวแทนความแข็งแรงของร่างกายโดยรวม อธิบายได้ว่าขณะที่ทดลองผู้วิจัยได้สังเกตพบว่าผู้ถูกทดลองที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากกว่าจะมีลักษณะการใช้แรงในการเข็นและลากมากกว่าผู้ที่มีความแข็งแรงของร่างกายน้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นผลทำให้การคำนวณทางชีวกลศาสตร์คำนวณแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากกว่า ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าผู้ที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากจะทำให้ผลการคำนวณแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงกว่าเพราะพฤติกรรมการทำงานที่มีการใช้แรงมากและน่าจะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานเอง

ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอธิบายได้ว่าบุคคลที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนแข็งแรงกว่าจะมีส่วนช่วยในการเข็นและลาก ทำให้ทำงานได้น้ำหนักมากขึ้นได้

ตัวแปรระยะเหยียดแขน เมื่ออยู่ในสมการความถดถอยของการเข็นจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าระยะเหยียดแขนเป็นระยะทางระหว่างผู้ถูกทดสอบกับตำแหน่งของรถเข็นที่วัดในแนวราบ เนื่องจากท่าทางการเข็น

กำหนดให้ใช้ท่าแขนเหยียดตรง ซึ่งขณะทดลองผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าเมื่อผู้ถูกทดสอบต้องเข็นรถที่หนักมากขึ้นจะใช้ท่าเข็นที่แขนทำมุมขนานกับแนวราบมากขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะทางระหว่างผู้ถูกทดสอบกับรถเข็นมากขึ้นหรือมีระยะเหยียดแขนที่ยาวกว่าอาจจะทำให้มีแรงเข็นสูงมากขึ้น เป็นผลทำให้ทำงานได้น้ำหนักสูงขึ้น

ขณะที่ตัวแปรระยะเหยียดแขน เมื่อปรากฏอยู่ในสมการความถดถอยในการลากจะมีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจนกับค่าน้ำหนักของรถเข็น คือ มีทั้งความสัมพันธ์ในเชิงบวกและลบ อธิบายได้ว่าขณะทดลองผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าเมื่อผู้ถูกทดลองต้องลากรถที่หนักมากก็ใช้ท่าลากที่มีการย่อตัวทำให้แขนทำมุมขนานกับแนวราบมากขึ้นหรือทำให้มีระยะเหยียดแขนในแนวราบยาวขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในแง่การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ระยะเหยียดแขนในแนวราบเปรียบเสมือนยาวแขนของโมเมนต์ เมื่อจุดหมุนคือ กระดูกสันหลังส่วนล่าง ในเมื่อแขนของโมเมนต์ที่ยาวขึ้นทำให้น้ำหนักที่สามารถทำงานได้น้อยลง ระยะเหยียดแขนในสมการความถดถอยทั้งของการลากจึงมีความสัมพันธ์ไม่คงที่แล้วแต่อิทธิพลรวมของสองสาเหตุ จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดความสัมพันธ์ในเชิงบวกและลบแล้วแต่กรณี

ตัวแปรกลุ่มสุดท้ายที่ปรากฏอยู่ในสมการความถดถอยของค่า MPL ของการเข็นบนพื้นคอนกรีต เป็นชุดตัวแปรที่ประกอบด้วย ตัวแปรอายุ ตัวแปรความสูง และตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ ซึ่งตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของรถเข็น ดังนี้

ตัวแปรอายุจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็น อธิบายได้ว่าบุคคลที่มีอายุมากอาจจะมีส่วนช่วยในการเข็น อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของประสบการณ์ในการทำงานเข็นและลาก ที่สามารถเลือกท่าทางและวิธีการทำงานที่ช่วยผ่อนแรงและลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บได้

ตัวแปรความสูงจะมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็น อธิบายได้ว่าบุคคลที่มีความสูงมากอาจจะเป็นผู้ที่มีโครงสร้างร่างกายค่อนข้างใหญ่ ซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับบุคคลที่มีเส้นรอบสะโพกที่ใหญ่ คือ ทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณกระดูกหลังส่วนล่างมากกว่า และอีกประการผู้ถูกทดลองที่มีความสูงมากเปรียบเสมือนมีแขนของโมเมนต์ยาวขึ้น เมื่อทำการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ก็จะเกิดความสัมพันธ์ในเชิงลบ คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็นที่คำนวณได้จะน้อยลง

ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อใหญ่ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็น อธิบายได้ว่าค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อใหญ่จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนของค่าความแข็งแรงของร่างกายเหมือนค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ในสมการความถดถอยอื่นๆ ดังนั้นผู้ถูกทดสอบที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อใหญ่มากกว่าจะมีลักษณะการใช้แรงในการเข็นมากเกินเป็นผลให้การคำนวณทางชีวกลศาสตร์คำนวณแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากกว่า

ดังนั้นเมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการความถดถอยในตารางที่ 4.12 และ 4.13 จะได้ค่าทำนายของค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.10 สำหรับการเข็น และตารางที่ 4.11 สำหรับการลาก) ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.14 สำหรับการเข็น และตารางที่ 4.15 สำหรับการลาก ดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองกับค่าทำนายแยกตามผู้ทดสอบ สำหรับการเข็น

ชนิดของพื้น	เกณฑ์ ของ NIOSH ที่	ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นรถ (กก.) ผู้ถูกทดสอบหมายเลข									
		1		2		3		4		5	
		ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย
พื้นคอนกรีต	AL	145.0	162.2	159.9	151.2	230.2	226.9	218.3	221.3	176.6	168.8
	MPL	461.6	470.8	769.3	752.9	908.5	926.8	799.9	786.8	683.7	686.0
พื้นกระเบื้องยาง	AL	143.7	159.7	137.3	123.9	145.4	136.2	211.9	208.5	96.5	106.4
	MPL	390.4	394.6	653.2	648.6	544.5	525.2	709.4	713.7	530.3	545.8
พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	117.9	127.8	130.5	122.3	173.5	169.7	161.7	159.0	165.3	170.0
	MPL	416.7	419.1	662.8	660.1	620.8	609.5	667.8	670.3	650.6	659.6

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลอง
กับค่าทำนายแยกตามผู้ทดสอบ สำหรับการลาก

ชนิดของพื้	เกณฑ์ ของ NIOSH ที่	ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากรถ (กก.) ผู้ถูกทดสอบหมายเลข									
		1		2		3		4		5	
		ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย	ทดลอง	ทำนาย
พื้คนกรีด	AL	73.6	63.3	350.0	327.5	218.3	223.7	253.9	275.3	148.9	154.5
	MPL	475.6	531.5	1324.0	1380.6	1363.4	1249.6	1018.9	964.7	1505.4	1561.5
พื้กระบืออย่าง	AL	54.2	78.1	173.3	172.7	127.8	156.8	278.5	288.3	209.1	147.0
	MPL	458.7	466.4	1180.5	1172.3	783.2	748.4	1147.5	1155.2	811.6	839.7
พื้กระบืออย่างเคลือบ น้ำยาขัดพื้	AL	119.5	118.4	206.8	204.3	135.5	136.1	170.1	172.5	235.6	236.2
	MPL	685.5	689.8	1145.6	1155.3	934.9	932.6	1083.0	1073.9	851.1	848.7

ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการความถดถอย ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ค่าที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นสมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการเข็นและลากบนพื้นต่างๆ น่าจะใช้ทำนายค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถเข็นได้ในระดับหนึ่ง แต่จากข้อจำกัดที่เกิดจากจำนวนผู้ถูกทดสอบน้อยอาจทำให้ผลที่ได้ยังไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับกลุ่มประชากรทั่วไป

4.11 การทดสอบสมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

การทดสอบสมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการเข็นและลาก บนพื้นต่างๆ ได้ทำการทดสอบโดยใช้ผู้ถูกทดสอบอีกหนึ่งคน มาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับสมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นการยืนยันผลการใช้สมการความถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ ข้อมูลของผู้ถูกทดสอบคนที่ 6 มีรายละเอียด ดังนี้คือ

- เพศชาย
- อาชีพรับจ้างก่อสร้าง
- อายุ 27 ปี
- ความสูง 161.5 ซม.
- น้ำหนัก 58 กก.
- ระยะเหยียดแขน 75 ซม.
- เส้นรอบสะโพก 89.8 ซม.
- ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน 38.3 กก.
- ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ 67.7 กก.
- ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ 106.2 กก.

นำข้อมูลรายละเอียดด้านบนของผู้ถูกทดสอบคนที่ 6 ไปแทนค่าลงในสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นและลากบนพื้นต่างๆ ตามที่แสดงไว้ก่อนแล้วในตารางที่ 4.12 และ 4.13 ก็จะสามารถคำนวณค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทำนาย

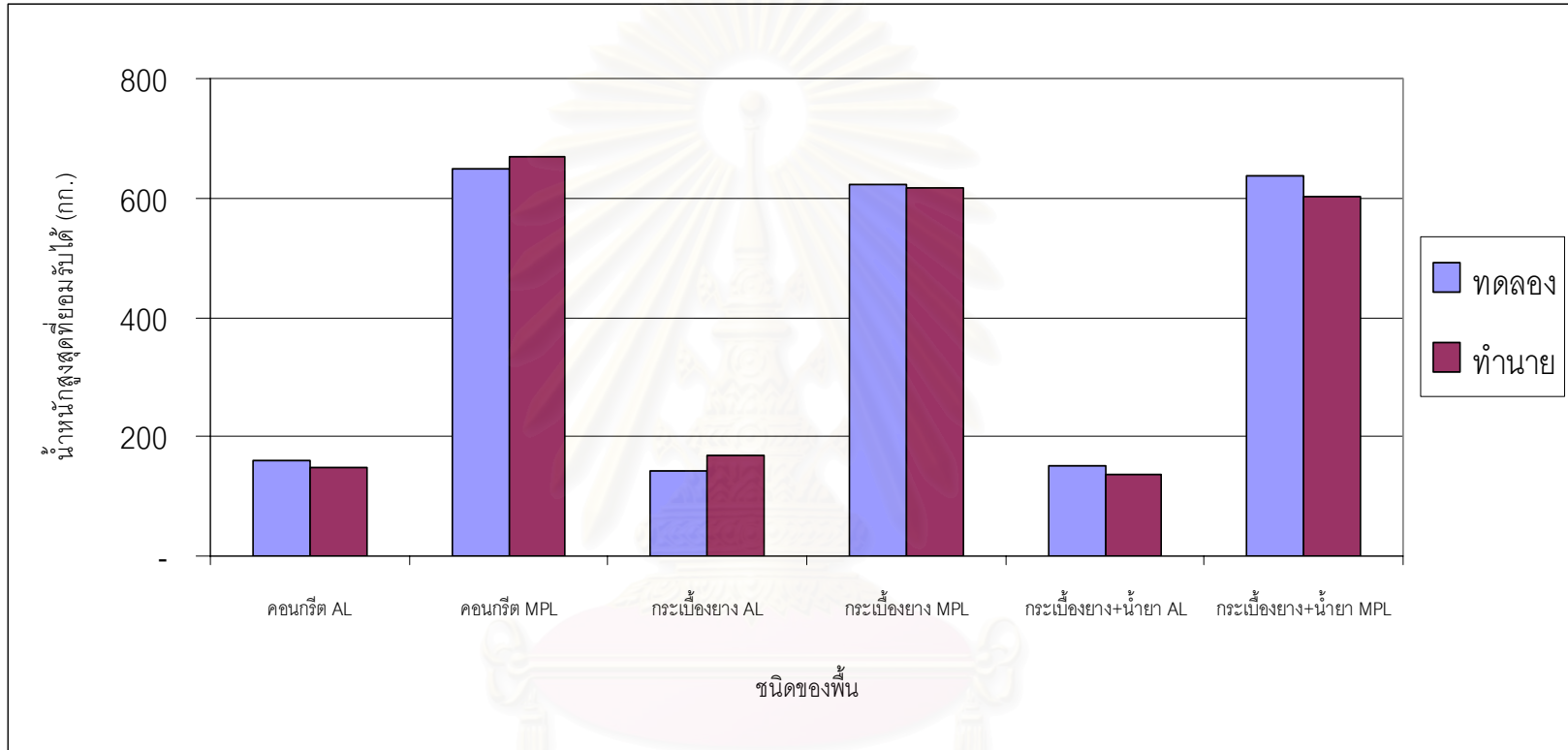
ทำการทดลองขึ้นและลากกับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6 เช่นเดียวกับผู้ถูกทดสอบคนอื่น และผลการทดลองของผู้ถูกทดสอบคนที่ 6 ได้ค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างแสดงไว้ในตารางที่ จ.11

จากนั้นนำข้อมูลค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลอง และผลการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ ฉ.16 ถึงตารางที่ ฉ.18 สำหรับการขึ้น และตารางที่ ญ.16 ถึงตารางที่ ญ.18 สำหรับการลากตามลำดับ เมื่อแทนค่าแรงกดอัดเป็น 3,400 นิวตัน และ 6,400 นิวตัน ลงในสมการถดถอยดังที่กล่าวมา ก็สามารถหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองที่ AL และ MPL ได้ตามลำดับ

นำค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายจะได้ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.45 สำหรับการขึ้นบนพื้นต่างๆ และตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.46 สำหรับการลากบนพื้นต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการขึ้น

ชนิดของพื้น	เกณฑ์ของ NIOSH ที่	ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ (กก.)ของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการขึ้น	
		ทดลอง	ทำนาย
พื้นคอนกรีต	AL	159.72	147.72
	MPL	650.13	668.47
พื้นกระเบื้องยาง	AL	142.19	169.53
	MPL	623.95	615.32
พื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	152.68	136.33
	MPL	638.41	601.53



รูปที่ 4.45 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการเซ็น

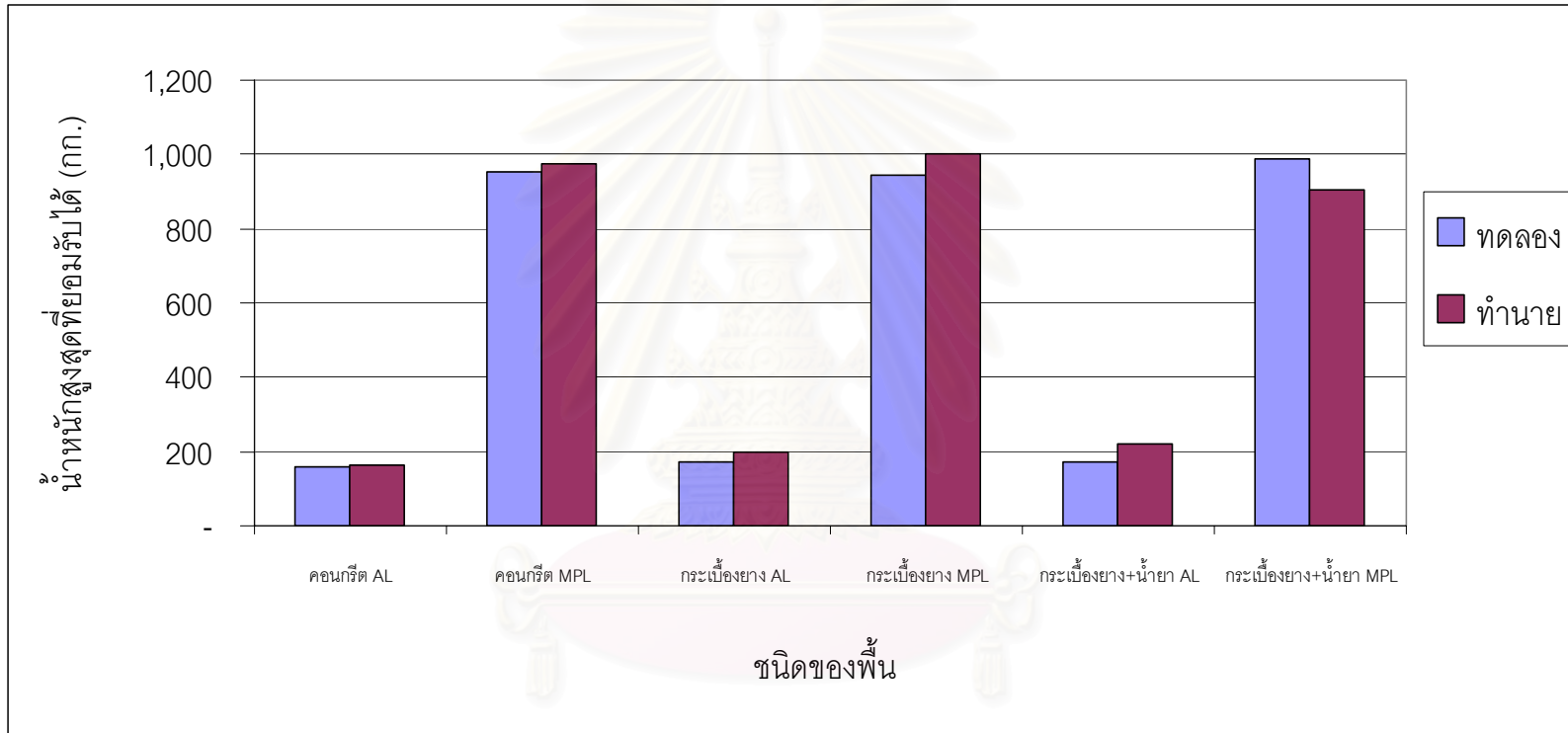
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการลาก

ชนิดของพื้น	เกณฑ์ของ NIOSH ที่	ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ (กก.) ของผู้ทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการลาก	
		ทดลอง	ทำนาย
พื้นคอนกรีต	AL	160.73	164.98
	MPL	952.16	975.33
พื้นกระเบื้องยาง	AL	172.98	197.67
	MPL	944.84	999.93
พื้นกระเบื้องยางเคลือบน้ำยาขัดพื้น	AL	172.67	220.40
	MPL	987.94	905.48

จากการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย สำหรับการเข็นบนพื้นต่างๆ นั้นจะมีความแตกต่างระหว่าง 8.63 กก. ถึง 36.89 กก. โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างอยู่ที่ 19.92 กก. หรือประมาณ 7.9%

สำหรับการลากบนพื้นต่างๆ นั้นจะมีความแตกต่างระหว่าง 4.25 กก. ถึง 82.46 กก. โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างอยู่ที่ 39.56 กก. หรือประมาณ 10.2% ซึ่งแสดงว่าสมการพยากรณ์ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้น่าจะนำไปใช้ได้กับบุคคลอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มอาชีพรับจ้างก่อสร้างได้ในระดับหนึ่ง แต่สำหรับการนำไปใช้กับกลุ่มประชากรอื่น อาจจำเป็นต้องทำการทดสอบสมการพยากรณ์เพื่อยืนยันผลของความแตกต่าง ซึ่งถ้ามีความแตกต่างมากอาจจำเป็นต้องทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับกลุ่มประชากรนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 6 สำหรับการลาก

4.12 ผลการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ

ในการวิจัยนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น (140 กก. 700 กก. และ 1,200 กก.) ชนิดของพื้น (พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง และพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น) และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น (ล้อไนลอนและล้อเหล็ก) จำนวนทำซ้ำเท่ากับ 2 ครั้ง มีภาระงาน 2 งาน คือ งานเข็นและงานลากรถ แต่ละการทดลองค่าแรงลัพธ์ในแนวราบ (Horizontal force; H) และค่าแรงลัพธ์ในแนวตั้ง (Vertical force; V) ที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าของผู้ถูกทดสอบทั้งสองชุดจะถูกนำมาประมวลผลหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ (Used Coefficient of Friction)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าของผู้ถูกทดสอบ มาจากผลรวมของค่าแรงในแนวราบที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 1 (H1) และค่าแรงในแนวราบของแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 2 (H2) และหารด้วยผลรวมของค่าแรงในแนวตั้งที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 1 (V1) รวมกับค่าแรงในแนวตั้งของแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 2 (V2) ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าของผู้ถูกทดสอบ} = \frac{(H1 + H2)}{(V1 + V2)}$$

โดยที่ H1 คือ ค่าแรงในแนวราบจากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 1

H2 คือ ค่าแรงในแนวราบจากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 2

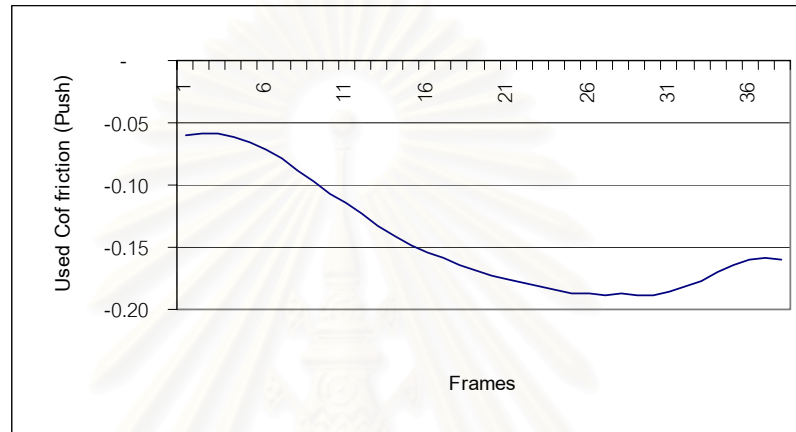
V1 คือ ค่าแรงในแนวตั้งจากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 1

V2 คือ ค่าแรงในแนวตั้งจากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่เท้าชุดที่ 2

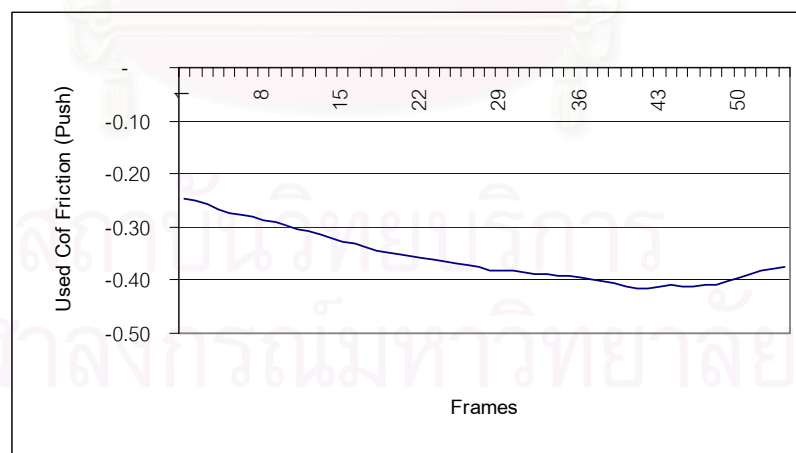
ทั้งนี้ก่อนการทดลองได้กำหนดทิศทางของแรงในแนวราบให้มีค่าเป็นบวกเมื่อแรงมีทิศไปทางด้านหน้าของผู้ถูกทดสอบและมีค่าเป็นลบเมื่อแรงมีทิศไปทางด้านหลังของผู้ถูกทดสอบ เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบระหว่างการเข็นและการลากมาแสดงเป็นรูปภาพเปรียบเทียบกับเวลา จะนำเอาทิศทางของแรงมาแสดงด้วยเฟืองประกอบในการบอกให้ทราบถึงทิศทางของแรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ แต่ในการอธิบายความหมายของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าของผู้ถูกทดสอบค่าเครื่องหมายลบจะไม่ถูกนำมาอธิบายด้วย เนื่องจากเครื่องหมายลบเป็นการบอกทิศทางเท่านั้น

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ขณะขึ้นรถของเท้าผู้ถูกทดสอบเปรียบเทียบกับระยะเวลา ตามรูปที่ 4.47 ถึง 4.49 เป็นภาพแสดงตัวอย่างซึ่งแต่ละภาพได้จากการทดลองขึ้นรถหนึ่งการทดลอง โดยที่ระยะเวลาในภาพ 1 Frame มีค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 50 วินาที (1/50 วินาที)

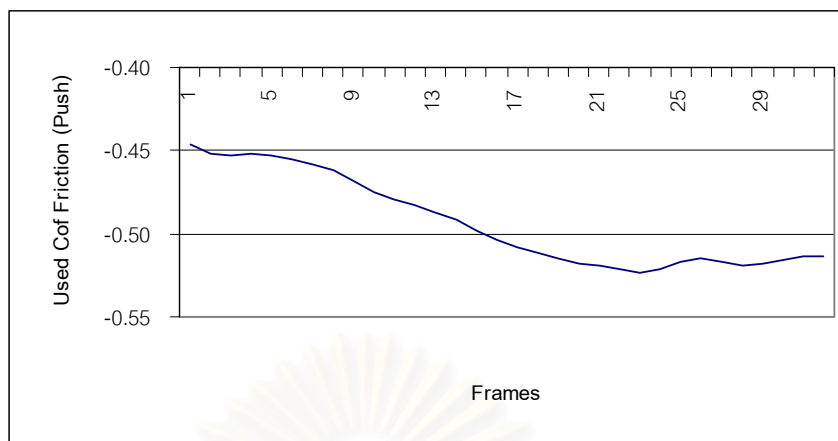
พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าของผู้ถูกทดสอบในการขึ้น จะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากทิศทางของแรงเสียดทานมีทิศไปทางด้านหลังของผู้ถูกทดสอบ



รูปที่ 4.47 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะขึ้นรถหนัก 140 กก.



รูปที่ 4.48 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะขึ้นรถหนัก 700 กก.



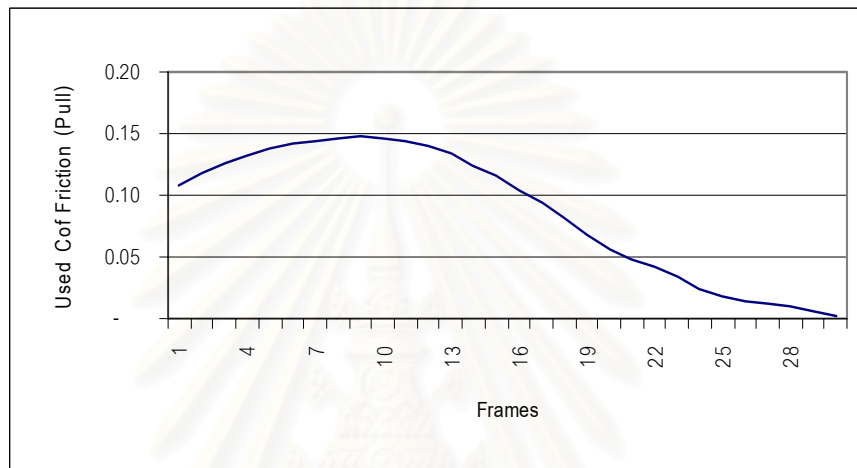
รูปที่ 4.49 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะเข็นรถหนัก 1,200 กก.

ดังนั้นเมื่อไม่พิจารณาเครื่องหมาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าของผู้ถูกทดสอบ จะมีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะเริ่มออกแรง จากนั้นจะค่อย ๆ มากขึ้นตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในช่วงกลางซึ่งเป็นช่วงขณะที่รถเข็นเริ่มเคลื่อนที่ จากนั้นแล้วค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ จะมีค่าลดลงหลังจากที่รถเข็นเคลื่อนที่ออกไปแล้ว

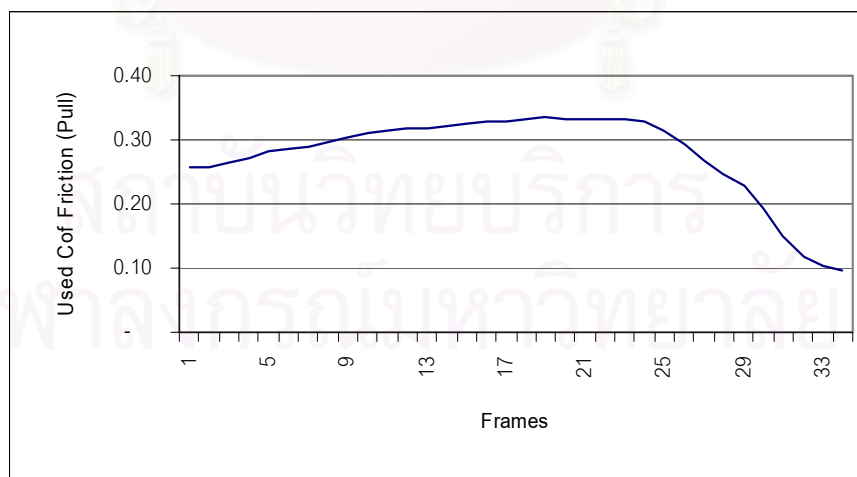
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบในการเข็นมีเครื่องหมายเป็นลบ เนื่องจากทิศทางของแรง ดังนั้นเมื่อไม่พิจารณาเครื่องหมาย พบว่าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการเข็นรถที่มีน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น ผู้ถูกทดสอบต้องออกแรงที่ใช้ในการเข็นมากขึ้นจึงต้องการค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบมากขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบแปรผันตรงกับค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ขณะลากรถของเท้าผู้ถูกทดสอบเปรียบเทียบกับระยะเวลา ตามรูปที่ 4.50 ถึง 4.52 เป็นภาพแสดงตัวอย่างซึ่งแต่ละภาพได้จากการทดลองลากรถหนึ่งการทดลอง โดยที่ระยะเวลาในภาพ 1 Frame มีค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 50 วินาที (1/50 วินาที) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบจะมีค่าเป็นบวก หรือมีเครื่องหมายตรงข้ามกับการเข็น ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดทิศทางของแรงในแนวราบให้มีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่อแรงมีทิศไปทางด้านหน้าของผู้ถูกทดสอบ และมีเครื่องหมายเป็นลบเมื่อแรงมีทิศไปทางด้านหลังของผู้ถูกทดสอบ ซึ่งตรงนี้แสดงให้เห็นได้ว่าแรงเสียดทานจะเป็นแรงปฏิกิริยาโต้ตอบกับแรงที่มีอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามทั้งการเข็นและการลาก

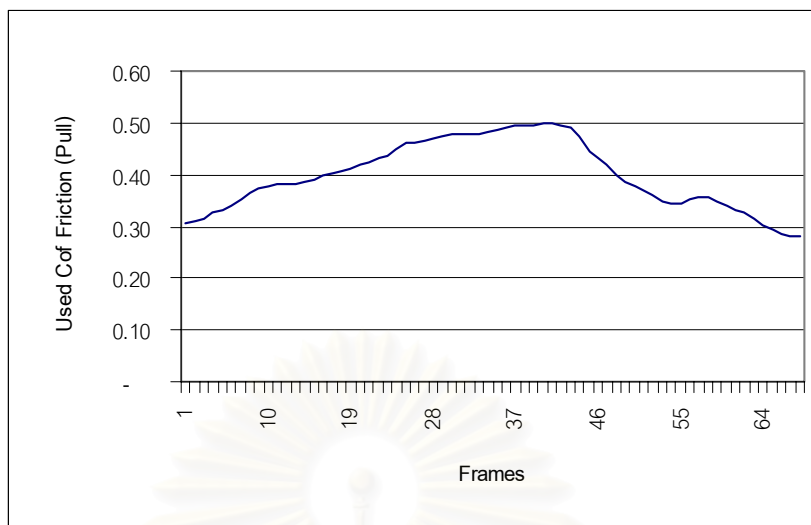
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบขณะลากรถจะมีค่าต่ำในช่วงต้นซึ่งเป็นช่วงขณะเริ่มออกแรง จากนั้นจะค่อย ๆ สูงขึ้นตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในช่วงกลางซึ่งเป็นช่วงขณะที่รถเริ่มเคลื่อนที่ จากนั้นแล้วค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ จะมีค่าลดลงหลังจากที่รถเริ่มเคลื่อนที่ออกไปแล้ว ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับการเซ็นเมื่อไม่พิจารณาเครื่องหมายของทิศทาง และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการลากรถที่มีน้ำหนักมากขึ้น



รูปที่ 4.50 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 140 กก.



รูปที่ 4.51 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 700 กก.



รูปที่ 4.52 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบ ขณะลากรถหนัก 1,200 กก.

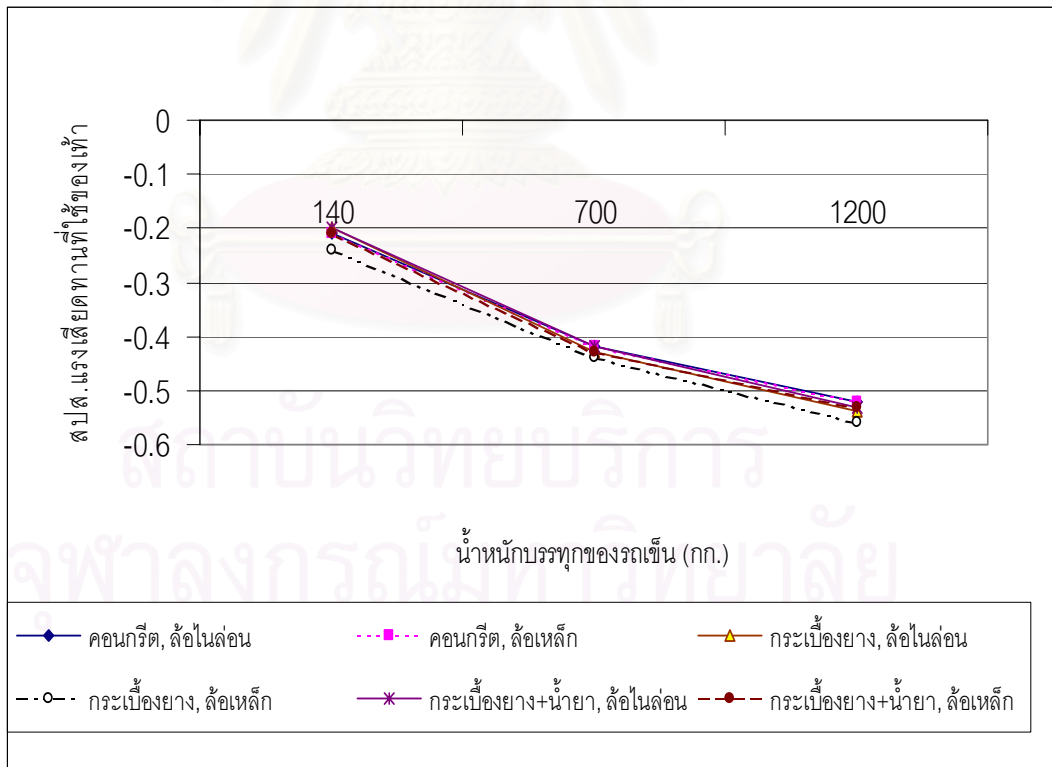
4.13 ผลของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย

จากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรมการเข็นและลากของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน เฉพาะค่าสูงที่สุดสำหรับการลากและค่าต่ำที่สุดสำหรับการเข็น จะถูกเลือกมาเพื่อค่าเป็นค่าเฉลี่ย แยกตามค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ โดยที่ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบระหว่างการทำกิจกรรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ. ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบจะมาจากข้อมูลของผู้ถูกทดสอบทั้งหมด 5 คน แต่ละคนทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมเป็น 10 การทดลอง เมื่อนำมาเฉลี่ยจะได้ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.53 สำหรับการทดลองเข็นรถ

ผลของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย พบว่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าของผู้ถูกทดสอบ โดยที่น้ำหนักบรรทุกที่ 1,200 กก. จะให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบมากที่สุด และจะลดลงตามน้ำหนักบรรทุกที่น้อยลง และมีค่าน้อยที่สุดที่น้ำหนักบรรทุกของรถเข็นเป็น 140 กก.

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ

น้ำหนัก รถเข็น	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ขณะเข็นรถ (ค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
140 กก.	- 0.21 (0.03)	- 0.21 (0.04)	- 0.20 (0.03)	- 0.24 (0.06)	- 0.20 (0.02)	- 0.21 (0.08)
700 กก.	- 0.42 (0.07)	- 0.42 (0.08)	- 0.43 (0.05)	- 0.44 (0.06)	- 0.42 (0.04)	- 0.43 (0.05)
1,200 กก.	- 0.52 (0.04)	- 0.52 (0.06)	- 0.54 (0.08)	- 0.56 (0.08)	- 0.53 (0.04)	- 0.53 (0.04)

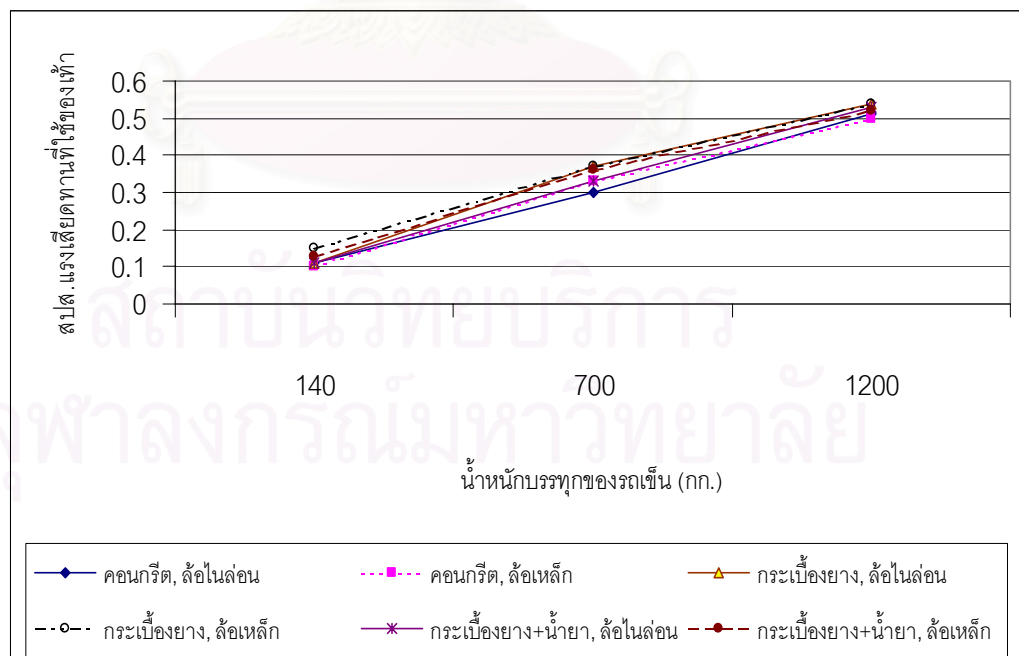


รูปที่ 4.53 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ที่ได้จากการทดลองเข็นรถ

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ยสำหรับการทดลอง
ลากรถ แสดงดังตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.54

ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย
ที่ได้จากการทดลองลากรถ

น้ำหนัก บรรทุก	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ขณะลากรถ (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	พื้นคอนกรีต		พื้นกระเบื้องยาง		พื้นกระเบื้องยาง เคลือบน้ำยาขัดพื้น	
	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก	ล้อไนลอน	ล้อเหล็ก
140 กก.	0.11 (0.03)	0.10 (0.03)	0.11 (0.03)	0.15 (0.04)	0.11 (0.03)	0.13 (0.06)
700 กก.	0.30 (0.05)	0.33 (0.11)	0.37 (0.05)	0.37 (0.05)	0.33 (0.06)	0.36 (0.07)
1,200 กก.	0.51 (0.11)	0.50 (0.11)	0.54 (0.12)	0.54 (0.11)	0.53 (0.13)	0.52 (0.10)



รูปที่ 4.54 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย
ที่ได้จากการทดลองลากรถ

สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ย ไม่ว่าจะทำการเดินหรือลากบนพื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้องยาง หรือพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นค่าเดียวกัน รวมทั้งไม่ว่าจะใช้ล้อในล้อนหรือล้อเหล็ก ก็พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบโดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกันที่น้ำหนักบรรทุกของรถเข็นค่าเดียวกัน เช่นกัน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุดของเท้าผู้ถูกทดสอบจะขึ้นกับค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมากกว่าเป็นผลมาจากชนิดของพื้นหรือชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาระงานเข็นและลากรถเข็น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในการเข็นและลากด้วยรถเข็น มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์ค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง (L5/S1) มาตรฐานขั้นต่ำของ NIOSH ที่ Action Limit (AL) คือ 3,400 นิวตัน และขั้นสูงที่ Maximum Permissible Limit (MPL) คือ 6,400 นิวตัน เพื่อประมาณค่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ทำการศึกษาการเข็นและการลากรถเข็นในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิต 2 มิติ ในการคำนวณค่าแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วน และศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ในขณะเข็นและลากรถเข็น ใช้ผู้ถูกทดสอบเป็นเพศชายจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มืออาชีพรับจ้างทำงานก่อสร้าง ได้ผลสรุปของการวิจัย ดังนี้

1. ผลจากการทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วผู้ถูกทดสอบมีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ แขน และขาสูงกว่ากลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ศึกษาโดย กิตติ อินทรานนท์ (2531) ในขณะที่ยกน้ำหนักโดยเฉลี่ยของกล้ามเนื้อหลัง มือ และส่วนต่างๆ จะอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึง 95 ของค่ากำลังสถิติที่ได้จากกลุ่มประชากรดังกล่าว
2. จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีเฉพาะปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นและชนิดของพื้นเท่านั้นที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นมีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดมากกว่าปัจจัยชนิดของพื้น ขณะที่ปัจจัยชนิด

ของล้อของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็นและปัจจัยร่วมต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ

3. จากการเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างที่คำนวณได้ตามช่วงเวลา ระหว่างทำกิจกรรมกับภาพต่อเนื่องของการทำกิจกรรมนั้นๆ พบว่าค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงที่สุดขณะที่รถเริ่มเคลื่อนที่
4. ค่าแรงกดอัดสูงสุดจะมีค่าสูงที่สุด เมื่อรถเข็นมีน้ำหนัก 1,200 กก. ซึ่งเป็นน้ำหนักค่ามากที่สุดในการทดสอบ และมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักของรถเข็นลดลงตามลำดับ ค่าแรงกดอัดจะมีค่าต่ำที่สุดที่น้ำหนักรถเข็นเป็น 140 กก. ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักน้อยที่สุดที่ใช้ในการทดสอบ แสดงว่าค่าแรงกดอัดสูงสุดจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของรถเข็น
5. ซีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการลากจะมากกว่าการเข็นในทุกกรณีของการทดสอบ โดยมีค่าดังนี้

กรณีการเข็น

- บนพื้นคอนกรีตที่ AL เป็น 193.0 กก. และที่ MPL เป็น 675.4 กก.
- บนพื้นกระเบื้องยางที่ AL เป็น 147.4 กก. และที่ MPL เป็น 572.6 กก.
- บนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบน้ำยาขัดพื้น AL เป็น 149.9 กก. และที่ MPL เป็น 608.6 กก.

กรณีการลาก

- บนพื้นคอนกรีตที่ AL เป็น 204.6 กก. และที่ MPL เป็น 1,195.5 กก.
- บนพื้นกระเบื้องยางที่ AL เป็น 151.0 กก. และที่ MPL เป็น 858.3 กก.
- บนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบน้ำยาขัดพื้น AL เป็น 177.1 กก. และที่ MPL เป็น 996.6 กก.

6. การสร้างสมการเพื่อทำนายน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ AL และ MPL สำหรับงานเข็นและลากบนพื้นต่างๆ ผลที่ได้เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกของรถเข็นกับตัวแปรอิสระต่างๆ อันได้แก่ อายุ ความสูง ระยะเหยียดแขน เส้นรอบสะโพก ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน และค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
7. ตัวแปรอายุมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าบุคคลที่มีอายุมากอาจจะมีส่วนช่วยในการเข็น อาจจะเป็นเนื่องจากอิทธิพลของประสบการณ์การทำงานของกลุ่มผู้ถูกทดสอบที่เลือกใช้ท่าทางที่ทำให้ผ่อนแรงในการทำงานได้มากและโอกาสบาดเจ็บน้อยลง
8. ตัวแปรความสูงมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าบุคคลที่มีความสูงมากอาจจะเป็นผู้ที่มีโครงสร้างร่างกายค่อนข้างใหญ่ทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างได้มากกว่า
9. ตัวแปรระยะเหยียดแขนเมื่อปรากฏอยู่ในสมการความถดถอยของการเข็นจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าระยะเหยียดแขนเป็นระยะทางระหว่างผู้ถูกทดสอบกับตำแหน่งของรถเข็นที่วัดในแนวราบ เมื่อผู้ถูกทดสอบต้องเข็นรถที่หนักมากขึ้นจะใช้ท่าเข็นที่แขนทำมุมขนานกับแนวราบมากขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะทางระหว่างผู้ถูกทดสอบกับรถเข็นมากขึ้นหรือมีระยะเหยียดแขนที่ยาวกว่าอาจจะทำให้มีแรงเข็นสูงมากขึ้นเป็นผลทำให้ทำงานได้น้ำหนักสูงขึ้น
10. ตัวแปรระยะเหยียดแขนเมื่อปรากฏอยู่ในสมการความถดถอยของการลากจะมีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจนกับค่าน้ำหนักของรถเข็น เนื่องจากอิทธิพลของสองสาเหตุ คือ (1) เมื่อผู้ถูกทดลองต้องลากรถที่หนักมากก็ใช้ท่าลากที่มีการย่อตัวทำให้แขนทำมุมขนานกับแนวราบมากขึ้นหรือทำให้มีระยะเหยียดแขนในแนวราบยาวขึ้น อาจจะทำให้มีแรงลากสูงมากขึ้นเป็นผลทำให้ทำงานได้น้ำหนักสูงขึ้น และ (2) เมื่อพิจารณาในแง่การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ระยะเหยียดแขนในแนวราบเปรียบเสมือนยาวแขนของโมเมนต์ เมื่อจุดหมุนคือ กระดูกสันหลังส่วนล่าง ในเมื่อแขนของโมเมนต์ที่ยาวขึ้นทำให้น้ำหนักที่สามารถ

ทำงานได้น้อยลง ระยะเหยียดแขนในสมการความถดถอยทั้งของการลากจึงมีความสัมพันธ์ไม่คงที่ จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดความสัมพันธ์ในเชิงบวกและลบแล้วแต่กรณี

11. ตัวแปรเส้นรอบสะโพกมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโดยปกติบุคคลที่มีเส้นรอบสะโพกใหญ่ย่อมจะเป็นผู้ที่มีโครงสร้างร่างกายท่อนบนค่อนข้างใหญ่อาจทำให้ร่างกายต้องรับน้ำหนักส่วนบนมากขึ้น และบุคคลที่มีโครงสร้างร่างกายค่อนข้างใหญ่จะมีความสามารถในการออกแรงในการเข็นและลากได้มากกว่า จึงเป็นการเพิ่มแรงกดอัดที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง จึงเป็นผลให้ได้ค่าน้ำหนักของรถเข็นน้อยลง
12. ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าบุคคลที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขนแข็งแรงกว่าจะมีส่วนช่วยในการเข็นและลาก ทำให้ทำงานได้น้ำหนักมากขึ้นได้
13. ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ จะมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็น อธิบายได้ว่าผู้ถูกทดลองที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่มากกว่าก็จะมีลักษณะการใช้แรงในการเข็นมากเกินไปซึ่งเป็นผลให้การคำนวณทางชีวกลศาสตร์คำนวณแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากกว่า
14. ตัวแปรค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าน้ำหนักของรถเข็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าผู้ถูกทดลองที่มีความแข็งแรงของร่างกายมากกว่าจะมีลักษณะการใช้แรงในการเข็นและลากมากกว่าผู้ที่มีความแข็งแรงของร่างกายน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้คำนวณแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากกว่า
15. ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดน้ำหนักสำหรับงานเข็นและลากบนพื้นต่างๆ แก่ผู้ใช้แรงงานเข็นลากเพื่อป้องกันอันตราย และยังเป็นการพัฒนาการศึกษาทางกายศาสตร์ด้านชีวกลศาสตร์ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองการเข็นและลากที่สามารถใช้ได้กับกลุ่มประชากรอื่นๆ

16. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบในการเดิน จะมีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบในการลาก เนื่องจากทิศทางของแรงเสียดทานมีทิศสวนทางกัน
17. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบที่คำนวณได้ตามช่วงเวลาระหว่างทำกิจกรรมกับภาพต่อเนื่องของการทำกิจกรรมนั้นๆ เมื่อไม่พิจารณาเครื่องหมาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบจะมีค่าสูงที่สุดขณะที่รถเริ่มเคลื่อนที่ทั้งการเดินและลาก
18. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ถูกทดสอบจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของรถเข็น โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อน้ำหนักของรถเข็นมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงปัจจัยนำหน้าบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อที่ระดับอื่นๆ เพิ่มเติมนอกเหนือไปจากที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ แม้ว่าการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีทางสถิติพบว่าปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อค่าขีดจำกัดอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าปัจจัยที่ศึกษามีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อค่าขีดจำกัดหากมีการเพิ่มระดับปัจจัยให้มากขึ้นไปกว่าในงานวิจัยนี้
2. ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อ ทิศทางของล้อ ตำแหน่งการติดตั้งล้อ การกระจายของน้ำหนักบรรทุกบนรถเข็น
3. ควรมีการจำลองภาระงานอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในสภาวะงานจริง เช่น การหมุนตัว การเอี้ยวตัว การใช้มือเดียวในการทำงาน
4. ควรมีการศึกษาถึงสภาพพื้นผิวในสภาวะงานจริง เช่น ขรุขระและเรียบ พื้นเอียง
5. ควรศึกษาโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์ และแนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา เพื่อหาค่าพิกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งจะได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองตามแนวทางชีวกลศาสตร์
6. ควรเพิ่มจำนวนผู้ถูกทดสอบให้มากยิ่งขึ้น เพื่อให้หาค่าพิกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ครอบคลุมประชากรในวงกว้าง
7. ควรขยายผลการศึกษารวมไปถึงผู้ถูกทดสอบที่เป็นเพศหญิง เนื่องจากปัจจุบันได้มีผู้ใช้งานที่เป็นเพศหญิงอยู่ด้วย ซึ่งจะทำได้ผลการวิจัยที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติ อินทรานนท์. การศึกษาค้นคว้าของการเคลื่อนย้ายวัสดุและวิเคราะห์สาเหตุของการบาดเจ็บ:
กรณีในโรงงานบริษัท จอห์นสัน แอนด์ จอห์นสัน (ประเทศไทย) จำกัด. โครงการวิจัย โดย
เงินทุนอุดหนุนการวิจัยภายนอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- กิตติ อินทรานนท์. การหามวลของส่วนต่างๆ ของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล. โครงการวิจัย
เลขที่ 146-1R-2543 โดยทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันวิจัยและ
พัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2543.
- กิตติ อินทรานนท์, เสรี สมณาแสง, พรเทพ ขอบฉายเกียรติ, นิวิธ เจริญใจ และ วราวุธ วรพุทธพร.
สัดส่วนร่างกาย และความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากรอาชีพ
เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. กรุงเทพฯ :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- ไพโรจน์ อดาวจิตรกุล. แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบก
กระสอบข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2543.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2542.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2541.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2540.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2539.
- ฝ่ายสถิติและรายงาน, กองวิชาการและแผนงาน, สำนักงานประกันสังคม. สถิติงานประกันสังคม.,
2538.

- ตริฉัตร จำปาวัลย์. ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในระนาบหน้า-หลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- สุทธิ ศรีบุรพา, น.ต. เออร์โกโนมิกส์: วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.
- อรอุมา ลาสุนนท์. ขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในการะงานผสม สำหรับคนงานหญิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

- Al - Eisawi, K.W., Kerk, C.J., Congleton, J.J., Amendola, A.A., Jenkins, O.C. and Gaines, W. Factors affecting minimum push and pull forces of manual carts. Applied Ergonomics 30 (1999a) : 235-245.
- Al - Eisawi, K.W., Kerk, C.J., Congleton, J.J., Amendola, A.A., Jenkins, O.C. and Gaines, W. The effect of handle height and cart load on the initial hand forces in cart pushing and pulling. Ergonomics Vol.30, No.8 (1999b) : 1099-1113.
- Andersson, G.B.J. Epidemiologic aspects on low-back pain in industry. Spine Vol.6 (1981) : 53-60.
- Astrand, P.O. and Rodahl, K. Textbook of Work Physiology. 3rd ed. New York : Mc-Graw-Hill, 1986.
- Ayoub, M.M. and Dempsey, P.G. The psychophysical approach to manual materials handling task design. Ergonomics Vol.42, No.1 (1999) : 17-31.
- Ayoub, M.M. and McDaniel, J.W. Effects of operator stance on pushing and pulling tasks. AIIE Transactions Vol.6, No.3 (1974) : 185-195.
- Baril-Gingras, G. and Lortie, M. The handling of objects other than boxes: univariate analysis of handling techniques in a large transport company. Ergonomics Vol.38, No.5 (1995) : 905-925.
- Chaffin, D.B. Manual materials handling and the biomechanical basis for prevention of low back pain in industry — an overview. American Industrial Hygiene

Association Journal Vol.48 (1987) : 989-996.

Chaffin, D.B. and Andersson, G. Occupational Biomechanics. United States of America : John Wiley & Sons, Inc., 1984.

Ciriello, V.M., McGorry, R.W., Martin, S.E. and Bezverkhny, I.B. Maximum acceptable forces of dynamic pushing: comparison of two techniques. Ergonomics Vol.42, No.1 (1999) : 32-39.

Declercq, W.G. and Lung, J. NIOSH lifting formula change scope to calculation maximum weight limits. Occupational Health and Safety Vol.6 (1993) : 45-48, 51-53.

De Looze, M.P., Van Greuningen, K., Rebel, J., Kingma, I. and Kuijer, P.P.F.M. Force direction and physical load in dynamic pushing and pulling. Ergonomics Vol.43, No.3 (2000) : 377-390.

Dempsey, P.G. A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. Ergonomics Vol.41, No.1 (1998) : 73-88.

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

Friedman, G.D. Primer of Epidemiology. New York : McGraw-Hill Book Company, 1974.

Frymoyer, J.W., Pope, M.H., Costanza, M.C., Rosen, J.C. Goggin, J.E. and Wilder, D.G. Epidemiologic Studies of Low-Back Pain. Spine Vol.5 (1980) : 419-423.

Grieve, D.W. Slipping due to manual exertion. Ergonomics Vol.26 (1983) : 61-72.

Hoozemans, M.J.M., Van Der Breek, A.J., Frings-Dresen, M.H.W., Van Duk, F.J.H. and Van Der Woude, L.H.V. Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors. Ergonomics Vol.41, No.41 (1998) : 757-781.

Jager, M. and Luttmann, A. The load on the lumbar spine during asymmetrical bi-manual materials handling. Ergonomics Vol.3 (1992) : 783-805.

Kroemer, K.H.E. Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics

- measures to avoid them. Applied Ergonomics 20.4 (1989) : 274-280.
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.B. and Kroemer-Elbert, K.E. Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency. New Jersey : Prentice-Hall, 1994.
- Lee, K.S., Chaffin, D.B., Herrin, G.D. and Waiker, A.M. Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling. Applied Ergonomics 22.2 (1991) : 117-123.
- Lee, K.S., Chaffin, D.B. and Parks, C. A study of slip potential during cart pushing and pulling. IIE Transactions Vol.24, No.2 (1992) : 139-1146.
- Mack, K., Haslegrave, C.M. and Gray, M.I. Usability of manual handling acids for transporting materials. Applied Ergonomics Vol.26, No.5 (1995) : 353-364.
- Milburn, P.D. and Barrett, R.S. Lumbosacral loads in bedmaking. Applied Ergonomics 30 (1999) : 263-273.
- Mital, A., Nicholson, A.S. and Ayoub, M.M. Design criteria for manual lifting used in “A Guide for Manual Materials Handling”. Proceedings of the M.M. Ayoub Occupational Ergonomics Symposium 1993 : 79-85.
- Myung, R. and Smith, J.L. The effect of load carrying and floor contaminants on slip and fall parameters. Ergonomics Vol.40, No.2 (1997) : 235-246.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Work Practices Guide for Manual Lifting. Cincinnati : National Institute for Occupational Safety and Health , 1981.
- Nicholson, A.S. Manual handling limits — A comparative study. Trends in Ergonomics/Human Factor III 1986 : 793-800.
- 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 Vol.35 (1992) : 187-201.
- Resnick, M.L. and Chaffin, D.B. An ergonomic evaluation of handle height and load in maximal and submaximal cart pushing. Applied Ergonomics Vol.26, No.3 (1995) : 173-178.

- Sanders, M.S. and McCormick, E.J. Human Factors in Engineering and Design. 7th ed. Singapore : McGraw-Hill, 1992.
- Shoaf, C., Genaidy, A., Karwowski, W., Waters, T. and Christensen D. Comprehensive manual handling limits for lowering, pushing, pulling and carrying activities. Ergonomics Vol.40, No.11 (1997) : 1183-1200.
- Snook, S.H. The design of manual handling tasks. Ergonomics Vol.21 (1978) : 963-985.
- Snook, S.H. and Ciriello, V.M. The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. Ergonomics Vol.34, No.9 (1991) : 1197-1213.
- Tayyari, F. and Smith, J.L. Occupational Ergonomics. 1st ed. New York : Chapman, 1997.
- Troup, J.D.G. and Chapman, A.E. The strength of the flexor and extensor muscles of the trunk. Journal of Biomechanics Vol.2 (1969) : 49-62.
- Van Der Beek, A.J., Kluver, B.D.R., Frings-Dresen, M.H.W. and Hoozemans, M.J.M. Gender differences in exerted forces and physical load during pushing and pulling of wheeled cages by postal workers. Ergonomics Vol.43, No.2 (2000) : 269-281.
- Waters, T., Anderson, A. and Garg A. Application Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110. Centers for Disease Control and Prevention. Cincinnati : National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.
- Winter, D.A. Biomechanics of Human Movement. New York : John Wiley, 1979.
- Wright, E.J. and Haslam, R.A. Manual handling risks and control in a soft drinks distribution centre. Applied Ergonomics 30 (1999) : 311-318.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

แบบฟอร์มที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 แบบฟอร์มที่ใช้ในการวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย

วันที่ _____

ชื่อ _____ นามสกุล _____

อายุ _____ ปี อายุงาน _____ ปี

ลำดับ	หมวด	ค่าที่วัดได้
1	ความสูง	
2	ความสูงคอ	
3	ความสูงปุ่มหัวไหล่	
4	ความสูงเอว	
5	ระยะเหยียดแขน ขณะที่ยืนตัวตั้งตรง	
6	ความกว้างของหลัง วัดระหว่างหัวนมทั้งสอง	
7	เส้นรอบไหล่	
8	เส้นรอบอก ที่ระดับราวนม	
9	เส้นรอบเอว	
10	เส้นรอบสะโพก	
11	เส้นรอบโคนขาบน	
12	เส้นรอบน่อง	
13	เส้นรอบโคนแขนของแขนส่วนล่างขณะงอแขน	
14	เส้นรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน	
15	ความยาวของเอดด้านหน้า	
16	ความยาวของเอดด้านหลัง	
17	ความกว้างของเท้า	
18	ความยาวของเท้า	

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แบบฟอร์มที่ใช้ในการวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย

ลำดับ	หมวด	ค่าที่วัดได้
19	ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้ว	
20	ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่	
21	ระยะหัวเข่าถึงก้น	
22	ความสูงใต้ขาอ่อนทำนั่ง	
23	ความสูงนั่ง	
24	น้ำหนัก	



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 แบบฟอร์มที่ใช้ในการวัดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและ
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ทดสอบ

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
	140	Concrete	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		
	Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1			
			Rep 2			
		Cast Iron	Rep 1			
			Rep 2			
	700	Concrete	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		
Vinyl Tile		Nylon	Rep 1			
			Rep 2			
		Cast Iron	Rep 1			
			Rep 2			
Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1				
		Rep 2				
	Cast Iron	Rep 1				
		Rep 2				

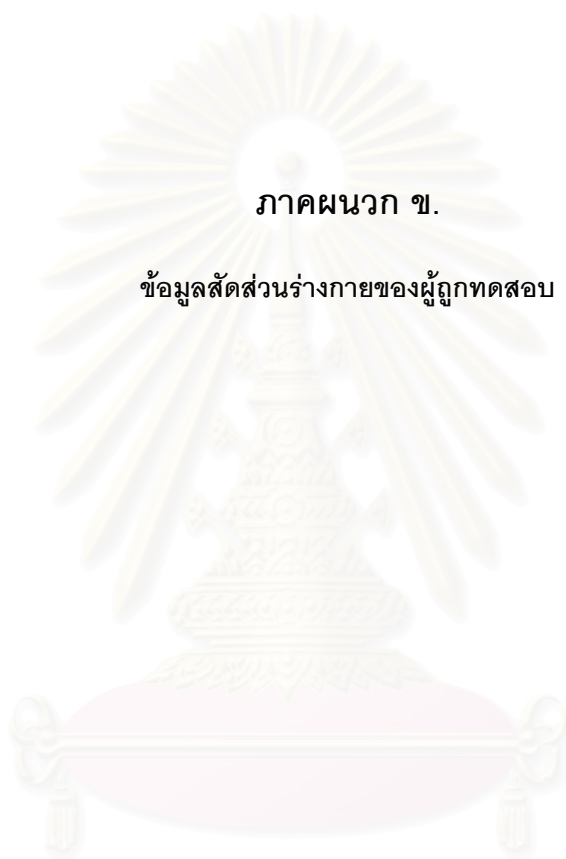
ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แบบฟอร์มที่ใช้ในการวัดค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ของเท้าผู้ทดสอบ

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1		
				Rep 2		
			Cast Iron	Rep 1		
				Rep 2		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ

หมวด	ผู้ถูกทดสอบหมายเลข					Mean	Std. Dev.	Max	Min
	1	2	3	4	5				
อายุ	20	37	43	32	28	32.00	8.75	43	20
อายุงาน	5	20	28	17	9	15.80	9.09	28	5
น้ำหนัก	86	55.7	67	55	70	66.74	12.66	86	55
ความสูง	173	170	166	165	161	167.00	4.64	173	161
ความสูงคอ	151.5	149.4	145.5	146	139	146.28	4.76	151.5	139
ความสูงปุ่มหัวไหล่	143	145.1	140.2	140	132.5	140.16	4.77	145.1	132.5
ความสูงเอว	100.5	130	104.5	102	100	107.40	12.75	130	100
ระยะเหยียดแขน ตัดตั้งตรง	78.2	79.2	81.5	79	76	78.78	1.98	81.5	76
ความกว้างของหลัง	22.5	16	23	23	24.5	21.80	3.33	24.5	16
เส้นรอบไหล่	119	109	107	104	121	112.00	7.55	121	104
เส้นรอบอก	98	86.5	87	85	103	91.90	8.08	103	85
เส้นรอบเอว	89	73.5	87	75	96	84.10	9.61	96	73.5
เส้นรอบสะโพก	101	86.4	99	87	98	94.28	7.01	101	86.4
เส้นรอบโคนขา	58	48.5	58	46	52	52.50	5.45	58	46
เส้นรอบน่อง	39	31.5	33	30	40	34.70	4.52	40	30
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนล่าง	33	26.5	30	28	34	30.30	3.19	34	26.5
รอบกล้ามเนื้อแขนส่วนบน	31	27.2	33	28	30.5	29.94	2.35	33	27.2
ความยาวของเอวด้านหน้า	42	47.5	44	41	50	44.90	3.78	50	41
ความยาวของเอวด้านหลัง	49.5	48	53	50	52	50.50	2.00	53	48
ความกว้างของเท้า	9.4	11	11	11	12.5	10.98	1.10	12.5	9.4
ความยาวของเท้า	26.2	27	25	27	28	26.64	1.12	28	25

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดสอบ

หมวด	ผู้ถูกทดสอบหมายเลข					Mean	Std. Dev.	Max	Min
	1	2	3	4	5				
ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้ว	49.2	44.5	50	47.5	46.2	47.48	2.23	50	44.5
ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่	34.7	35	40	38	38.5	37.24	2.30	40	34.7
ระยะหัวเข่าถึงก้น	58.2	52	56	63	61	58.04	4.30	63	52
ความสูงได้ขาอ่อนท่อนั่ง	44	45	52	43	42.5	45.30	3.87	52	42.5
ความสูงนั่ง	89.4	91	77	85	82.8	85.04	5.57	91	77



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนัก
ปัจจัยชนิดของพื้น และปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น
ของกิจกรรมการเข็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	909014548	454507274	374.72	0.000
Error	177	214687150	1212922		
Total	179	1123701698			

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของพื้น ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Floor Type	2	9042536	4521268	0.72	0.489
Error	177	1114659162	6297509		
Total	179	1123701698			

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Wheel Type	1	871819	871819	0.14	0.711
Error	178	1122829879	6308033		
Total	179	1123701698			

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	909014548	454507274	386.20	0.000
Floor Type	2	9042536	4521268	3.84	0.023
Wheel Type	1	871819	871819	0.74	0.391
Error	174	204772795	1176855		
Total	179	1123701698			

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	909014548	454507274	363.27	0.000
Floor Type	2	9042536	4521268	3.61	0.029
Wheel Type	1	871819	871819	0.70	0.405
Wt * Floor	4	1167106	291777	0.23	0.919
Wt * Wheel	2	221046	110523	0.09	0.915
Floor * Wheel	2	52757	26379	0.02	0.979
Wt*Floor*Wheel	4	646658	161665	0.13	0.972
Error	162	202685227	1251143		
Total	179	1123701698			

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	3.0522	1.5261	434.81	0.000
Error	177	0.6212	0.0035		
Total	179	3.6734			

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของพื้น ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Floor Type	2	0.02430	0.01215	0.59	0.556
Error	177	3.64912	0.02062		
Total	179	3.67342			

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการเข็น

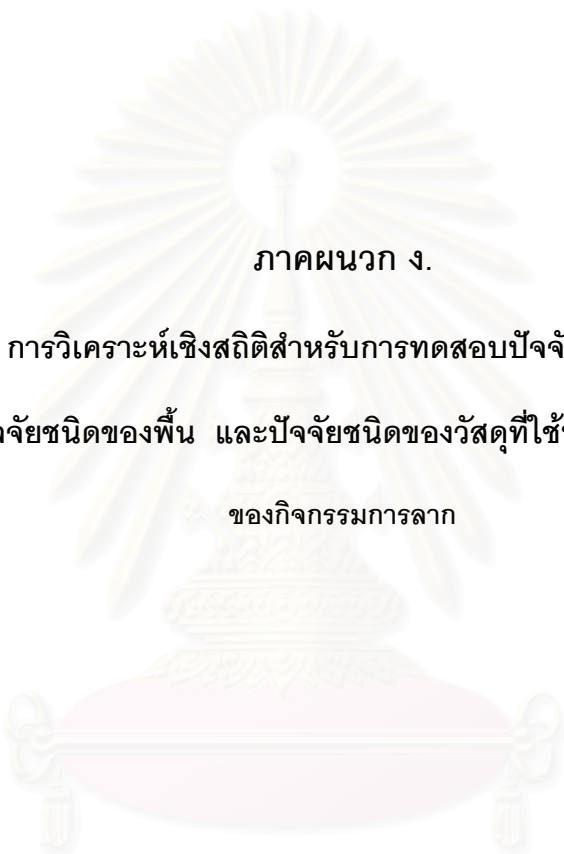
Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Wheel Type	1	0.00953	0.00953	0.46	0.497
Error	178	3.66389	0.02058		
Total	179	3.67342			

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	3.05219	1.52610	452.07	0.000
Floor Type	2	0.02430	0.01215	3.60	0.029
Wheel Type	1	0.00953	0.00953	2.82	0.095
Error	174	0.58739	0.00338		
Total	179	3.67342			

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการเข็น

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	3.05219	1.52610	449.20	0.000
Floor Type	2	0.02430	0.01215	3.58	0.030
Wheel Type	1	0.00953	0.00953	2.81	0.096
Wt * Floor	4	0.02031	0.00508	1.49	0.206
Wt * Wheel	2	0.00642	0.00321	0.94	0.391
Floor * Wheel	2	0.00631	0.00316	0.93	0.397
Wt*Floor*Wheel	4	0.00398	0.00099	0.29	0.882
Error	162	0.55037	0.00340		
Total	179	3.67342			



ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยน้ำหนัก

ปัจจัยชนิดของพื้น และปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อรถเข็น

ของกิจกรรมการลาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	414705827	207352913	224.29	0.000
Error	177	163634763	924490		
Total	179	578340590			

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของพื้น ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Floor Type	2	10042826	5021413	1.56	0.212
Error	177	568297763	3210722		
Total	179	578340590			

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Wheel Type	1	247458	247458	0.08	0.783
Error	178	578093132	3247714		
Total	179	578340590			

ตารางที่ ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	414705827	207352913	235.28	0.000
Floor Type	2	10042826	5021413	5.70	0.004
Wheel Type	1	247458	247458	0.28	0.597
Error	174	153344479	881290		
Total	179	578340590			

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	414705827	207352913	225.17	0.000
Floor Type	2	10042826	5021413	5.45	0.005
Wheel Type	1	247458	247458	0.27	0.605
Wt * Floor	4	3124562	781141	0.85	0.497
Wt * Wheel	2	292482	146241	0.16	0.853
Floor * Wheel	2	354659	177330	0.19	0.825
Wt*Floor*Wheel	4	393708	98427	0.11	0.980
Error	162	149179067	920858		
Total	179	578340590			

ตารางที่ ง.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	4.0943	2.0472	326.03	0.000
Error	177	1.1114	0.0063		
Total	179	5.2057			

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของพื้น ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Floor Type	2	0.04863	0.02432	0.83	0.436
Error	177	5.15707	0.02914		
Total	179	5.20570			

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Wheel Type	1	0.00813	0.00813	0.28	0.598
Error	178	5.19757	0.02920		
Total	179	5.20570			

ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	4.09431	2.04715	337.76	0.000
Floor Type	2	0.04863	0.02432	4.01	0.020
Wheel Type	1	0.00813	0.00813	1.34	0.248
Error	174	1.05462	0.00606		
Total	179	5.20570			

ตารางที่ ง.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น ชนิดของพื้น และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำล้อ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้สูงสุด จากกิจกรรมการลาก

Source of variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _o	Sig.
Weight	2	4.09431	2.04715	327.16	0.000
Floor Type	2	0.04863	0.02432	3.89	0.022
Wheel Type	1	0.00813	0.00813	1.30	0.256
Wt * Floor	4	0.01678	0.00420	0.67	0.613
Wt * Wheel	2	0.00265	0.00133	0.21	0.809
Floor * Wheel	2	0.00355	0.00177	0.28	0.754
Wt*Floor*Wheel	4	0.01795	0.00449	0.72	0.581
Error	162	1.01369	0.00626		
Total	179	5.20570			



ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 1 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S1	140	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.16	3752.18
				Rep 2	- 0.25	3439.69
			Cast Iron	Rep 1	- 0.16	3256.40
				Rep 2	- 0.14	2945.29
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.14	3119.39
				Rep 2	- 0.17	3818.61
			Cast Iron	Rep 1	- 0.16	3442.45
				Rep 2	- 0.14	3015.99
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.21	3971.94
				Rep 2	- 0.21	4041.31
			Cast Iron	Rep 1	- 0.17	3134.05
				Rep 2	- 0.15	3453.15
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.31	8759.02
				Rep 2	- 0.32	8577.40
			Cast Iron	Rep 1	- 0.29	7780.46
				Rep 2	- 0.28	8240.02
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.37	9025.74
				Rep 2	- 0.34	8171.00
			Cast Iron	Rep 1	- 0.35	9814.00
				Rep 2	- 0.33	9578.89
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	- 0.35	8426.25	
			Rep 2	- 0.36	8324.89	
		Cast Iron	Rep 1	- 0.35	8483.54	
			Rep 2	- 0.35	8707.60	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 1 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S1	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.52	12125.11
				Rep 2	- 0.54	10494.90
			Cast Iron	Rep 1	- 0.44	11654.63
				Rep 2	- 0.43	11809.63
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.50	10175.29
				Rep 2	- 0.45	10218.74
			Cast Iron	Rep 1	- 0.55	12630.32
				Rep 2	- 0.43	11760.56
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.54	11590.31
				Rep 2	- 0.53	10332.40
			Cast Iron	Rep 1	- 0.53	10395.82
				Rep 2	- 0.52	9143.30

ตารางที่ ๑.2 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 2 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N	
S2	140	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.25	3450.81	
				Rep 2	- 0.26	3101.77	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.24	3265.13	
				Rep 2	- 0.23	3348.06	
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.22	3495.48	
				Rep 2	- 0.21	3444.88	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.28	3397.47	
				Rep 2	- 0.28	3333.41	
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.25	3688.39	
				Rep 2	- 0.19	3528.02	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.31	3491.95	
				Rep 2	- 0.27	3134.49	
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.53	5874.19	
				Rep 2	- 0.48	6362.39	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.49	6274.42	
				Rep 2	- 0.44	5850.61	
			Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.47	6528.86
					Rep 2	- 0.44	6455.19
		Cast Iron		Rep 1	- 0.49	7359.38	
				Rep 2	- 0.46	6217.88	
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	- 0.42	7135.51		
			Rep 2	- 0.46	6641.31		
		Cast Iron	Rep 1	- 0.50	6743.03		
			Rep 2	- 0.48	5802.96		

ตารางที่ ๑.2 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 2 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S2	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.50	7966.34
				Rep 2	- 0.61	8498.21
			Cast Iron	Rep 1	- 0.57	7690.13
				Rep 2	- 0.61	8435.80
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.49	9663.20
				Rep 2	- 0.48	10663.13
			Cast Iron	Rep 1	- 0.61	6996.10
				Rep 2	- 0.61	8042.84
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.59	8608.00
				Rep 2	- 0.61	8873.84
			Cast Iron	Rep 1	- 0.59	8565.62
				Rep 2	- 0.59	8411.86

ตารางที่ ๑.3 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 3 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S3	140	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.20	2692.94
				Rep 2	- 0.19	2757.28
			Cast Iron	Rep 1	- 0.19	2081.12
				Rep 2	- 0.22	3612.12
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.19	2798.41
				Rep 2	- 0.21	3058.14
			Cast Iron	Rep 1	- 0.27	3668.85
				Rep 2	- 0.28	3868.16
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.17	2114.50
				Rep 2	- 0.18	2959.78
			Cast Iron	Rep 1	- 0.27	3808.96
				Rep 2	- 0.16	3599.71
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.39	5178.45
				Rep 2	- 0.41	5765.40
			Cast Iron	Rep 1	- 0.39	5926.27
				Rep 2	- 0.42	6266.93
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.47	6874.66
				Rep 2	- 0.49	6816.34
			Cast Iron	Rep 1	- 0.47	7388.47
				Rep 2	- 0.53	7518.22
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	- 0.42	5620.14	
			Rep 2	- 0.47	7066.97	
		Cast Iron	Rep 1	- 0.42	7365.41	
			Rep 2	- 0.47	7105.62	

ตารางที่ ๑.3 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 3 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S3	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.46	6723.36
				Rep 2	- 0.48	6837.09
			Cast Iron	Rep 1	- 0.53	7045.01
				Rep 2	- 0.52	6654.12
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.55	7502.85
				Rep 2	- 0.54	7766.45
			Cast Iron	Rep 1	- 0.53	8296.99
				Rep 2	- 0.56	8317.83
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.50	7920.74
				Rep 2	- 0.52	7728.86
			Cast Iron	Rep 1	- 0.51	9162.92
				Rep 2	- 0.56	8317.83

ตารางที่ ๑.4 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 4 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N	
S4	140	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.18	2035.14	
				Rep 2	- 0.18	2496.44	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.25	3123.11	
				Rep 2	- 0.24	3518.07	
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.22	3399.21	
				Rep 2	- 0.19	3007.21	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.14	1886.70	
				Rep 2	- 0.27	3155.01	
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.18	3391.83	
				Rep 2	- 0.17	3114.04	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.16	2251.48	
				Rep 2	- 0.34	4169.64	
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.43	5854.52	
				Rep 2	- 0.44	5355.40	
			Cast Iron	Rep 1	- 0.48	6368.42	
				Rep 2	- 0.50	6712.95	
			Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.46	6088.41
					Rep 2	- 0.46	6233.40
		Cast Iron		Rep 1	- 0.44	6514.92	
				Rep 2	- 0.47	6579.19	
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	- 0.45	6435.47		
			Rep 2	- 0.43	6473.02		
		Cast Iron	Rep 1	- 0.46	6658.92		
			Rep 2	- 0.43	6546.20		

ตารางที่ ๑.4 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 4 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S4	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.50	6413.63
				Rep 2	- 0.52	6406.87
			Cast Iron	Rep 1	- 0.58	7340.96
				Rep 2	- 0.59	7577.98
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.67	8212.47
				Rep 2	- 0.68	7857.66
			Cast Iron	Rep 1	- 0.66	8335.46
				Rep 2	- 0.64	8071.47
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.49	7569.82
				Rep 2	- 0.49	7554.09
			Cast Iron	Rep 1	- 0.52	7974.71
				Rep 2	- 0.48	7423.09

ตารางที่ ๑.5 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 5 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S5	140	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.22	3151.93
				Rep 2	- 0.22	3391.97
			Cast Iron	Rep 1	- 0.20	3034.55
				Rep 2	- 0.26	2954.71
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.21	3724.05
				Rep 2	- 0.20	3513.52
			Cast Iron	Rep 1	- 0.28	4028.35
				Rep 2	- 0.27	3781.71
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.20	3345.25
				Rep 2	- 0.19	3099.36
			Cast Iron	Rep 1	- 0.14	3492.59
				Rep 2	- 0.16	2920.08
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.45	7335.98
				Rep 2	- 0.46	6300.48
			Cast Iron	Rep 1	- 0.45	6297.65
				Rep 2	- 0.41	5976.44
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.41	8648.95
				Rep 2	- 0.40	7506.84
			Cast Iron	Rep 1	- 0.43	6218.37
				Rep 2	- 0.41	6455.95
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	- 0.39	6212.66	
			Rep 2	- 0.41	5991.91	
		Cast Iron	Rep 1	- 0.41	7402.74	
			Rep 2	- 0.38	6970.12	

ตารางที่ ๑.5 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 5 ขณะทำกิจกรรมการขึ้น

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S5	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	- 0.52	7927.21
				Rep 2	- 0.52	7549.68
			Cast Iron	Rep 1	- 0.49	9613.44
				Rep 2	- 0.47	7453.44
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	- 0.51	7577.50
				Rep 2	- 0.48	8608.64
			Cast Iron	Rep 1	- 0.52	8077.35
				Rep 2	- 0.44	9269.03
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	- 0.48	7509.98
				Rep 2	- 0.50	8949.46
			Cast Iron	Rep 1	- 0.47	8571.55
				Rep 2	- 0.48	8958.99

ตารางที่ ๑.6 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 1 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S1	140	Concrete	Nylon	Rep 1	0.10	3935.25
				Rep 2	0.11	3956.66
			Cast Iron	Rep 1	0.12	3938.49
				Rep 2	0.09	4014.39
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.10	4130.39
				Rep 2	0.08	4062.11
			Cast Iron	Rep 1	0.13	4155.77
				Rep 2	0.08	4238.82
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.09	3329.58
				Rep 2	0.11	3436.02
			Cast Iron	Rep 1	0.08	3323.86
				Rep 2	0.04	4102.48
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	0.24	7385.83
				Rep 2	0.29	8410.36
			Cast Iron	Rep 1	0.21	7542.78
				Rep 2	0.22	7311.74
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.31	7334.48
				Rep 2	0.34	8111.39
			Cast Iron	Rep 1	0.31	6621.72
				Rep 2	0.34	8171.46
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	0.23	6944.89	
			Rep 2	0.30	7257.92	
		Cast Iron	Rep 1	0.24	5831.26	
			Rep 2	0.26	5760.17	

ตารางที่ ๑.6 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 1 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S1	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	0.34	8465.21
				Rep 2	0.39	9166.00
			Cast Iron	Rep 1	0.41	10042.19
				Rep 2	0.36	9983.90
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.31	8160.81
				Rep 2	0.34	8310.21
			Cast Iron	Rep 1	0.37	8926.18
				Rep 2	0.33	8481.60
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.28	7528.62
				Rep 2	0.29	7102.47
			Cast Iron	Rep 1	0.27	6307.96
				Rep 2	0.29	7757.64

ตารางที่ ๑.7 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 2 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N	
S2	140	Concrete	Nylon	Rep 1	0.13	2657.62	
				Rep 2	0.10	2575.52	
			Cast Iron	Rep 1	0.14	2365.30	
				Rep 2	0.10	2517.76	
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.12	3433.88	
				Rep 2	0.09	2988.60	
			Cast Iron	Rep 1	0.19	3520.47	
				Rep 2	0.16	3095.87	
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.14	3265.52	
				Rep 2	0.13	3180.46	
			Cast Iron	Rep 1	0.21	2687.27	
				Rep 2	0.13	3438.48	
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	0.34	4322.09	
				Rep 2	0.37	4648.59	
			Cast Iron	Rep 1	0.54	5738.20	
				Rep 2	0.48	5102.12	
			Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.42	5885.07
					Rep 2	0.38	5334.09
		Cast Iron		Rep 1	0.28	4115.16	
				Rep 2	0.40	5746.87	
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	0.40	5074.43		
			Rep 2	0.37	4999.77		
		Cast Iron	Rep 1	0.35	4743.47		
			Rep 2	0.39	5132.05		

ตารางที่ ๑.7 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ ของผู้ทดสอบหมายเลข 2 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S2	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	0.52	5849.64
				Rep 2	0.71	5863.26
			Cast Iron	Rep 1	0.62	5384.76
				Rep 2	0.68	5968.32
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.50	6342.47
				Rep 2	0.49	5798.07
			Cast Iron	Rep 1	0.59	6859.51
				Rep 2	0.63	6740.00
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.61	5982.57
				Rep 2	0.61	6113.59
			Cast Iron	Rep 1	0.58	6090.33
				Rep 2	0.54	6612.67

ตารางที่ ๑.8 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 3 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N	
S3	140	Concrete	Nylon	Rep 1	0.06	2942.39	
				Rep 2	0.08	2556.20	
			Cast Iron	Rep 1	0.10	2947.86	
				Rep 2	0.08	3169.59	
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.08	3637.41	
				Rep 2	0.08	3608.36	
			Cast Iron	Rep 1	0.16	3614.63	
				Rep 2	0.11	3026.96	
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.15	4499.59	
				Rep 2	0.12	3395.79	
			Cast Iron	Rep 1	0.07	2961.71	
				Rep 2	0.12	2829.59	
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	0.34	5137.72	
				Rep 2	0.32	5110.81	
			Cast Iron	Rep 1	0.31	5528.74	
				Rep 2	0.32	5343.13	
			Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.32	5906.51
					Rep 2	0.39	5842.46
		Cast Iron		Rep 1	0.37	6262.66	
				Rep 2	0.36	6448.18	
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	0.27	5716.49		
			Rep 2	0.34	5491.38		
		Cast Iron	Rep 1	0.47	5687.23		
			Rep 2	0.42	5914.79		

ตารางที่ ๑.8 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 3 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S3	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	0.53	5728.41
				Rep 2	0.44	5691.19
			Cast Iron	Rep 1	0.45	5587.04
				Rep 2	0.45	5585.20
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.50	7133.92
				Rep 2	0.48	6936.87
			Cast Iron	Rep 1	0.54	8208.21
				Rep 2	0.61	7336.68
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.54	6863.39
				Rep 2	0.53	6991.47
			Cast Iron	Rep 1	0.52	6939.89
				Rep 2	0.52	7239.53

ตารางที่ ๑.9 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 4 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Fric	Fc, N	
S4	140	Concrete	Nylon	Rep 1	0.13	3249.69	
				Rep 2	0.17	2531.35	
			Cast Iron	Rep 1	0.09	2910.83	
				Rep 2	0.16	3271.00	
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.16	2476.31	
				Rep 2	0.15	2682.36	
			Cast Iron	Rep 1	0.18	3033.44	
				Rep 2	0.20	3200.71	
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.06	2767.19	
				Rep 2	0.14	3884.51	
			Cast Iron	Rep 1	0.17	3244.48	
				Rep 2	0.15	3207.57	
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	0.34	4609.66	
				Rep 2	0.31	4293.10	
			Cast Iron	Rep 1	0.35	4643.76	
				Rep 2	0.32	4293.83	
			Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.45	5691.87
					Rep 2	0.43	4619.81
		Cast Iron		Rep 1	0.38	4504.09	
				Rep 2	0.45	5004.76	
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	0.35	5241.48		
			Rep 2	0.41	5268.60		
		Cast Iron	Rep 1	0.32	5631.85		
			Rep 2	0.36	5142.42		

ตารางที่ ๑.9 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 4 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S4	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	0.54	5382.80
				Rep 2	0.52	5399.69
			Cast Iron	Rep 1	0.44	5645.80
				Rep 2	0.55	5357.11
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.62	6432.55
				Rep 2	0.70	6659.04
			Cast Iron	Rep 1	0.62	6311.18
				Rep 2	0.64	6821.57
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.55	6246.21
				Rep 2	0.57	6116.50
			Cast Iron	Rep 1	0.45	8286.30
				Rep 2	0.48	6064.03

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 5 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Fric	Fc, N
S5	140	Concrete	Nylon	Rep 1	0.09	3261.58
				Rep 2	0.10	3297.79
			Cast Iron	Rep 1	0.08	3389.39
				Rep 2	0.06	3259.67
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.11	3183.82
				Rep 2	0.15	3266.95
			Cast Iron	Rep 1	0.11	2199.32
				Rep 2	0.13	3421.75
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.07	2374.98
				Rep 2	0.07	2655.04
			Cast Iron	Rep 1	0.17	3255.71
				Rep 2	0.19	2970.47
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	0.21	4526.06
				Rep 2	0.24	4622.23
			Cast Iron	Rep 1	0.30	5185.35
				Rep 2	0.25	4806.02
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.31	5256.98
				Rep 2	0.33	5813.29
			Cast Iron	Rep 1	0.39	6053.97
				Rep 2	0.41	6432.96
Vinyl Tile + Wax		Nylon	Rep 1	0.31	5303.40	
			Rep 2	0.34	5519.20	
		Cast Iron	Rep 1	0.39	6120.04	
			Rep 2	0.41	6214.95	

ตารางที่ จ.10 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ที่ใช้ของผู้ทดสอบหมายเลข 5 ขณะทำกิจกรรมการลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Cof Friction	Fc, N
S5	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	0.42	5749.83
				Rep 2	0.36	5833.75
			Cast Iron	Rep 1	0.36	5454.61
				Rep 2	0.41	5509.19
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	0.44	7216.86
				Rep 2	0.55	8818.28
			Cast Iron	Rep 1	0.47	7407.63
				Rep 2	0.57	8635.68
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	0.41	7813.06
				Rep 2	0.39	8232.98
			Cast Iron	Rep 1	0.40	6726.48
				Rep 2	0.41	7265.16

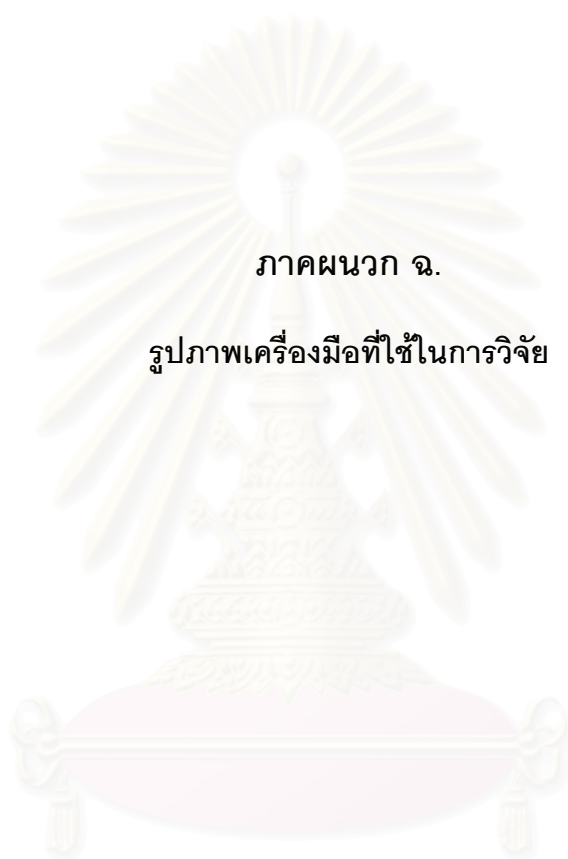
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.11 ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง ของผู้ทดสอบหมายเลข 6
ขณะทำกิจกรรมการเข็นและลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Fc (Push), N	Fc (Pull), N
S6	140	Concrete	Nylon	Rep 1	3,165.96	3,238.11
				Rep 2	3,113.25	3,328.24
			Cast Iron	Rep 1	3,341.04	3,381.99
				Rep 2	3,388.45	3,119.43
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	3,358.56	3,493.01
				Rep 2	3,293.56	3,115.69
			Cast Iron	Rep 1	3,405.79	3,434.47
				Rep 2	3,478.70	2,885.70
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	2,802.16	3,351.57
				Rep 2	3,972.47	2,909.48
			Cast Iron	Rep 1	3,955.90	3,395.36
				Rep 2	2,489.09	3,298.50
	700	Concrete	Nylon	Rep 1	5,367.21	5,874.50
				Rep 2	5,719.06	5,770.92
			Cast Iron	Rep 1	5,881.29	5,804.97
				Rep 2	6,295.67	6,086.48
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	6,652.06	5,604.54
				Rep 2	6,960.78	5,797.85
			Cast Iron	Rep 1	6,511.26	5,431.08
				Rep 2	7,016.67	5,729.19
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	5,975.88	5,585.56
				Rep 2	6,601.91	5,630.64
			Cast Iron	Rep 1	6,851.58	5,473.55
				Rep 2	7,333.11	5,572.62

ตารางที่ จ.11 (ต่อ) ข้อมูลแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง ของผู้ทดสอบหมายเลข 6
ขณะทำกิจกรรมการเข็นและลาก

Subject	Weight	Floor	Wheel	Replicate	Fc (Push), N	Fc (Pull), N
S6	1,200	Concrete	Nylon	Rep 1	6,889.55	6,748.17
				Rep 2	7,746.47	6,147.27
			Cast Iron	Rep 1	8,449.37	7,148.59
				Rep 2	7,355.66	5,977.25
		Vinyl Tile	Nylon	Rep 1	8,767.84	6,364.91
				Rep 2	9,527.91	7,517.26
			Cast Iron	Rep 1	8,128.40	7,500.75
				Rep 2	8,445.19	6,617.24
		Vinyl Tile + Wax	Nylon	Rep 1	7,860.45	6,825.05
				Rep 2	8,622.92	6,772.72
			Cast Iron	Rep 1	8,421.68	6,856.47
				Rep 2	8,309.56	6,977.10



ภาคผนวก จ.

รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

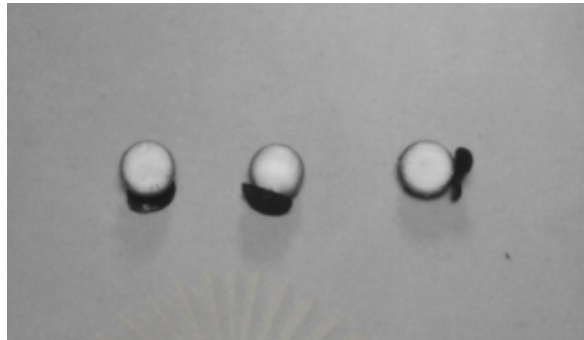
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ.1 กล้องถ่ายภาพวิดีโอ



รูปที่ จ.2 แผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่พื้น จำนวน 2 แผ่นประกบกัน
วางอยู่ใต้แผ่นปูน ที่ปูกระเบื้องทางด้านบน

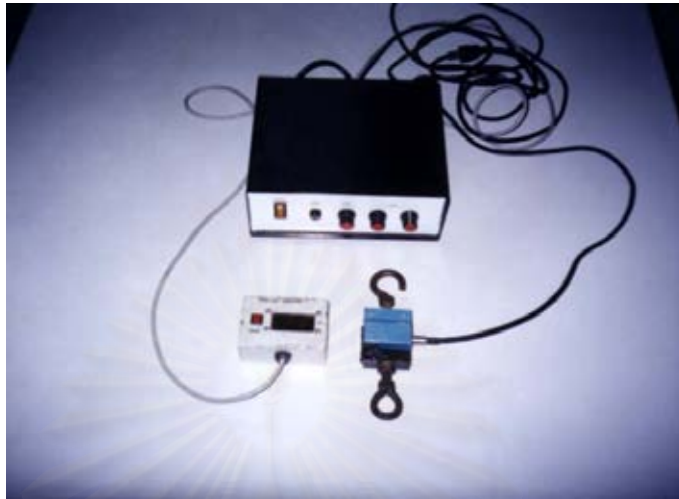


รูปที่ ๑.3 ลูกสะท้อนแสง แสดงตำแหน่งข้อต่อ (Marker)



รูปที่ ๑.4 เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฉ.5 เครื่องวัดแรงตึงในการทดสอบกำลังสถิต



รูปที่ ฉ.6 ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ



รูปที่ ๑.7 ต้มน้ำหนักมาตรฐาน ขนาด 20 กก.



รูปที่ ๑.8 ชุดเครื่องวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Peak Motus System)



รูปที่ จ.9 รถเข็นบรรทุกของขนาดเล็ก 4 ล้อ ที่ใช้เป็นรถทดสอบ



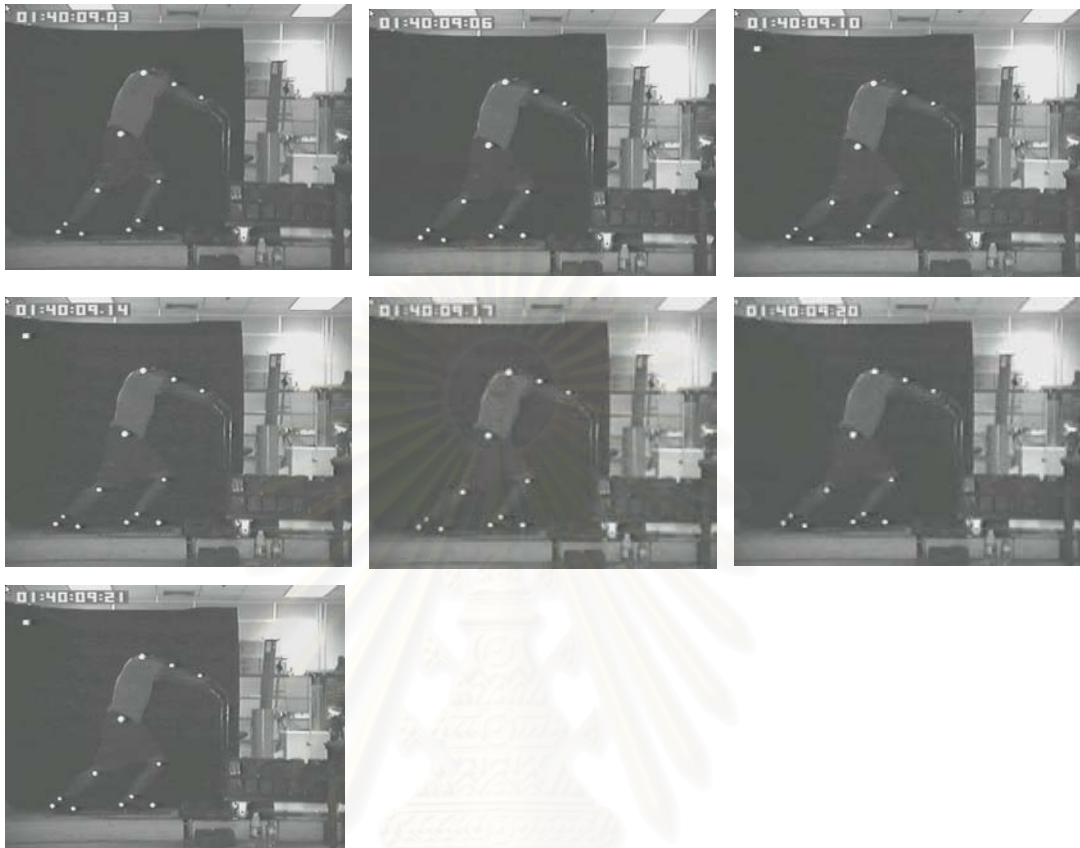
รูปที่ จ.10 พื้นจำลองในห้องปฏิบัติการการเกษตร



รูปที่ จ.11 รถเข็นทดสอบวางอยู่บนพื้นจำลองในห้องปฏิบัติการการเกษตร

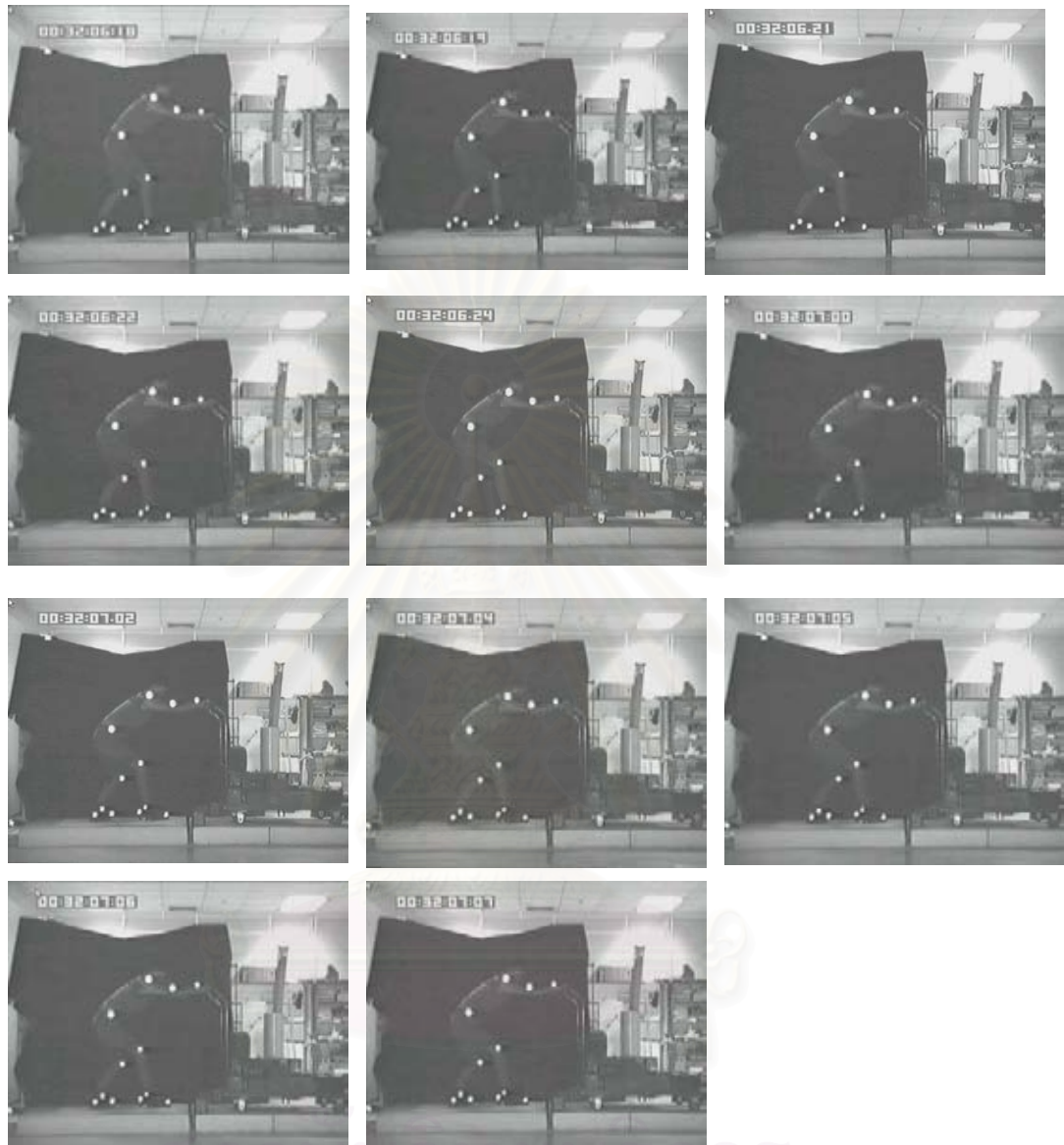


รูปที่ จ.12 รองเท้านิรภัย พื้นทำด้วยพีวีซี



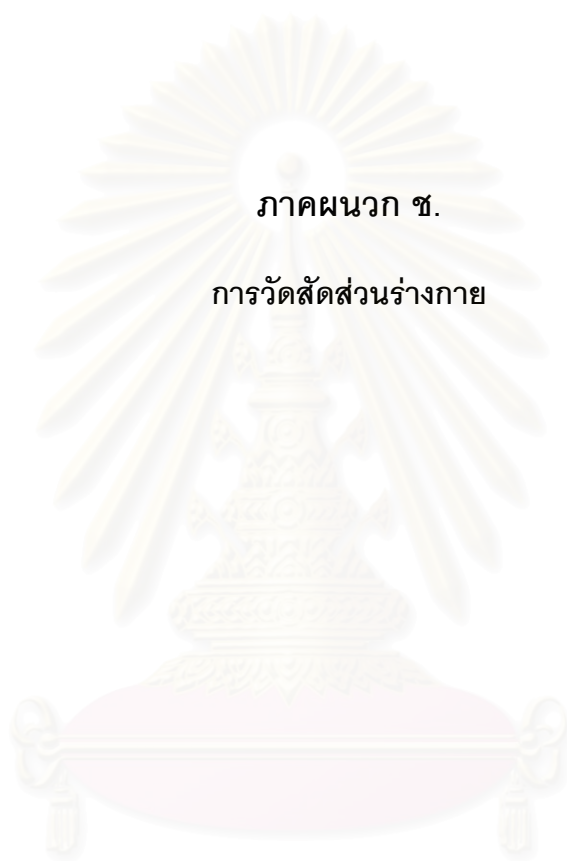
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.13 ภาพต่อเนื่องขณะทดลองเข็นรถหนัก 1,200 กก.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.14 ภาพต่อเนื่องขณะทดลองลากรถหนัก 700 กก.



ภาคผนวก ซ.

การวัดสัดส่วนร่างกาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ.

การวัดสัดส่วนร่างกายตำแหน่งต่าง ๆ

1. ความสูง

ตำแหน่งที่หมาย :

-

เครื่องมือวัด :

แอนโทรโพมิเตอร์ (Anthropometry)

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน
เพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสอง
เท้าเท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

เลื่อนแขนของแอนโทรโพมิเตอร์มาไว้บน
ศีรษะผู้ถูกทดสอบ เพื่อวัดระยะตาม
แนวตั้งจากพื้นที่ยืนไปยังแขนของแอน
โทรโพมิเตอร์

2. ความสูงคอ

ตำแหน่งที่หมาย :

คอ

เครื่องมือวัด :

แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน
เพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสองเท้า
เท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

ใช้แอนโทรโพมิเตอร์ วัดระยะตามแนวตั้ง
จากพื้นที่ยืนไปยังคอ

3. ความสูงปุ่มหัวไหล่

ตำแหน่งที่หมาย :

ปุ่มหัวไหล่

เครื่องมือวัด :

แอนโทรโพมิเตอร์

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

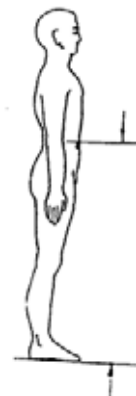
ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน
เพื่อให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสอง
เท้าเท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

ใช้แอนโทรโพมิเตอร์วัดระยะตามแนวตั้ง
จากพื้นที่ยืนไปยังปุ่มหัวไหล่

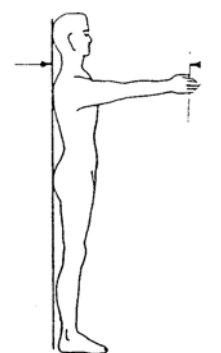
4. ความสูงเอว

- ตำแหน่งที่หมาย : เอวด้านหน้า
- เครื่องมือวัด : แอนโทโรโพมิเตอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง
เท้าทั้งสองชิดกันเพื่อให้น้ำหนักตัว
กระจายบนเท้าทั้งสองเท่าๆกัน
- วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทโรโพมิเตอร์วัดระยะตามแนวตั้ง
จากพื้นที่ยืนไปยังเอวด้านหน้า



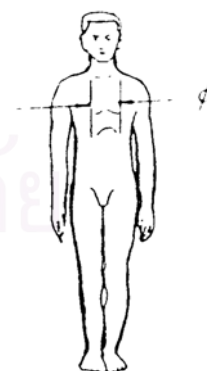
5. ระยะเหยียดแขนขณะลำตัวตั้งตรง

- ตำแหน่งที่หมาย : -
- เครื่องมือวัด : เมสซัวร์ บล็อก (Measuring Block)
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงที่มุมห้อง หน้า
มองตรง ไหล่ทั้งสองข้างติดกับผนัง ยก
แขนและมือข้างขวาให้เหยียดตรงขนาน
กับระนาบแนวนอน
- วิธีดำเนินการ : วัดระยะตามแนวนอนในระดับเดียวกัน
กับแขนที่เหยียดตรงจากผนังที่ฟังไปยัง
ปลายนิ้วหัวแม่มือ



6. ความกว้างของหลังวัดระหว่างหัวนมทั้งสอง

- ตำแหน่งที่หมาย : หัวนมขวาและซ้าย
- เครื่องมือวัด : เทปวัด
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง
แขนทั้งสองข้างอยู่ข้างลำตัว
- วิธีดำเนินการ : ถือเทปวัดให้อยู่ระนาบแนวนอนเพื่อวัด
ความกว้างของหลังจากหัวนมขวาไปยัง
หัวนมซ้าย



7. เส้นรอบไหล่

ตำแหน่งที่หมาย :	กล้ามเนื้อโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้หน้าหน้ากระดูกกระจายบนเท้าทั้งสองข้าง เท่ากัน หน้ามองตรง แขนทั้งสองข้างห้อยลง ข้างลำตัวในลักษณะปกติ (ไม่เกร็งกล้ามเนื้อ)
วิธีดำเนินการ :	ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบแนวนอน วัดเส้นรอบร่างกายที่ระดับกล้ามเนื้อโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง



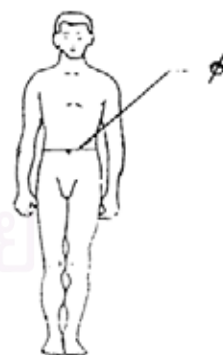
8. เส้นรอบอกที่ระดับราวนม

ตำแหน่งที่หมาย :	ราวนม
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้หน้าหน้ากระดูกกระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากันและแขนกางห่างจากลำตัวทำให้สามารถพันเทปวัดรอบลำตัวได้
วิธีดำเนินการ :	ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้นพื้น เทปวัดรอบลำตัวที่ระดับราวนมขณะวัดผู้ถูกทดสอบต้องหายใจเบา ๆ



9. เส้นรอบเอว

ตำแหน่งที่หมาย :	ระดับเอว
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้หน้าหน้ากระดูกกระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน
วิธีดำเนินการ :	ถือเทปวัดในระนาบแนวนอนวัดเส้นรอบลำตัวที่ระดับเอว ซึ่งขณะทำการวัดผู้ถูกทดสอบต้องหายใจเข้าเบา ๆ และไม่เกร็งกล้ามเนื้อ



10. เส้นรอบสะโพก

ตำแหน่งที่หมาย :

-

เครื่องมือวัด :

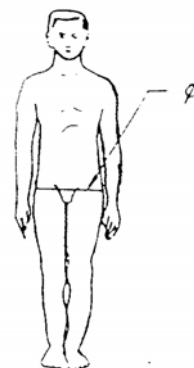
เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้หน้าหน้ากระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

เอาเทปวัดพันรอบสะโพกในแนวส่วนที่ก้นโปนออกมากที่สุด โดยพันเทปวัดไม่แน่นจนเกินไป ค่าที่จะได้เป็นเส้นรอบสะโพก



11. เส้นรอบโคนขาบน

ตำแหน่งที่หมาย :

ร่องก้นที่ติดกับโคนขาบน

เครื่องมือวัด :

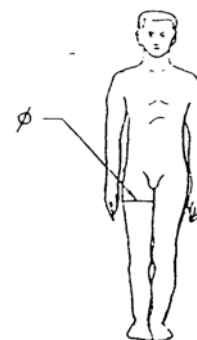
เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 10 ซม. เพื่อให้หน้าหน้ากระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

ถือเทปวัดให้อยู่ในระนาบตั้งฉากกับแนวแกนของโคนขา วัดเส้นรอบโคนขาที่ระดับต่ำกว่าร่องก้นที่ติดกับโคนขาบนเล็กน้อย ถ้าร่องก้นเป็นรอบเว้าลึกต้องปรับตำแหน่งที่จะใช้เทปวัดพันรอบโคนขาให้เหมาะสม



12. เส้นรอบน่อง

ตำแหน่งที่หมาย :

น่อง

เครื่องมือวัด :

เทปวัด

ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองห่างกันประมาณ 10 ซม. เพื่อให้หน้าหน้ากระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน

วิธีดำเนินการ :

จับเทปวัดให้อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวตั้ง จากนั้นเทปวัดรอบน่องขวาเพื่อวัดเส้นรอบน่อง



13. เส้นรอบโคนแขนของแขนส่วนล่างขณะงอแขน

ตำแหน่งที่หมาย :	-
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืน พร้อมทั้งยกแขนขวาให้ขนานกับระนาบแนวนอน แล้วงอศอกทำมุม 90 องศา
วิธีดำเนินการ :	ใช้เทปวัดพันรอบโคนแขนของแขนส่วนล่างในตำแหน่งที่ใหญ่ที่สุดของแขนขวา



14. เส้นรอบกล้ามเนื้อแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน

ตำแหน่งที่หมาย :	กล้ามเนื้อแขนของแขนส่วนบน
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงเท้าทั้งสองชิดกัน เพื่อให้น้ำหนักกระจายบนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน ยกแขนให้ห่างจากลำตัวพอประมาณ เพื่อให้สามารถพันเทปวัดรอบแขนส่วนบนได้
วิธีดำเนินการ :	ให้ผู้ถูกทดสอบหายใจเข้าเบา ๆ แล้วใช้เทปวัดพันรอบกล้ามเนื้อแขนของแขนส่วนบน (วัดเฉพาะแขนขวา) เพื่อวัดเส้นรอบแรงกดอัดกลางแขนของแขนส่วนบน



15. ความยาวของเอวด้านหน้า

ตำแหน่งที่หมาย :	เนื้อกระดูกสันอกและเอวด้านหน้า
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงและหน้ามองตรง
วิธีดำเนินการ :	ใช้เทปวัด วัดระยะจากตำแหน่งเหนือกระดูกสันอกไปยังเอวด้านหน้า



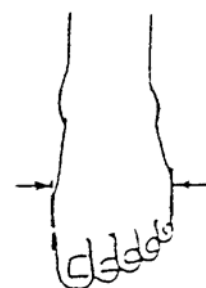
16. ความยาวของเอวด้านหลัง

ตำแหน่งที่หมาย :	ต้นคอและเอวด้านหลัง
เครื่องมือวัด :	เทปวัด
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ศรีษะตั้งตรงอยู่ใน ระนาบแฟรังก์ฟอรัท
วิธีดำเนินการ :	ใช้เทปวัด วัดระยะตามแนวกระดูกสันหลัง



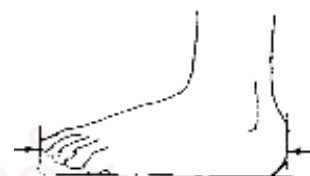
17. ความกว้างของเท้า

ตำแหน่งที่หมาย :	-
เครื่องมือวัด :	ฟุตบล็อก (Foot Block)
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าขวาวางบนฟุต บล็อก และเท้าซ้ายต้องยืนบนพื้นที่มีระดับ ความสูงเท่ากับเท้าขวา เพื่อให้น้ำหนักกระจาย บนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน เท้าขวาต้องวาง ขนานกับด้านข้างของฟุตบล็อก สันเท้าสัมผัส ขอบด้านหลังของฟุตบล็อกและตาตุ่มสัมผัส ด้านข้างของฟุตบล็อก
วิธีดำเนินการ :	การวัดจะเลื่อนบล็อกให้สัมผัสกับเท้าส่วนที่ กว้างที่สุดจากนั้นอ่านค่าความกว้างของเท้า ตามสเกลบนฟุตบล็อก



18. ความยาวของเท้า

ตำแหน่งที่หมาย :	-
เครื่องมือวัด :	ฟุตบล็อก
ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ :	ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง เท้าขวาวางบนฟุต บล็อก และเท้าซ้ายต้องยืนบนพื้นที่มีระดับ ความสูงเท่ากับเท้าขวา เพื่อให้น้ำหนักกระจาย บนเท้าทั้งสองข้างเท่ากัน เท้าขวาต้องวาง ขนานกับด้านข้างของฟุตบล็อก สันเท้าสัมผัส ขอบด้านหลังของฟุตบล็อกและตาตุ่มสัมผัส ด้านข้างของฟุตบล็อก
วิธีดำเนินการ :	การวัดจะเลื่อนบล็อกให้สัมผัสกับเท้าส่วนที่ ยาวที่สุดจากนั้นอ่านค่าความยาวของเท้าตาม สเกลบนฟุตบล็อก



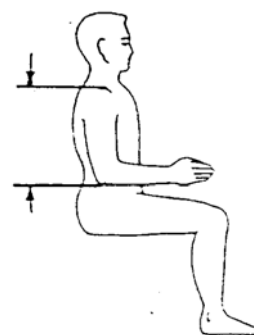
19. ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ

- ตำแหน่งที่หมาย : ปลายข้อศอกและนิ้วมือที่ชิดกัน
- เครื่องมือวัด : ปีม แคลิเปอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง แขนส่วนบนห้อยลงตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่นไปด้านหน้าลำตัวในลักษณะขนานกับพื้น
- วิธีดำเนินการ : ใช้ปีม แคลิเปอร์ วัดระยะตามแนวนอนจากปลายข้อศอกไปยังปลายนิ้วมือของแขนขวา



20. ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่

- ตำแหน่งที่หมาย : ปุ่มหัวไหล่และปลายข้อศอกของแขนข้างขวา
- เครื่องมือวัด : ปีม แคลิเปอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง แขนส่วนบนห้อยลงตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่นไปด้านหน้าลำตัวโดยให้ขนานกับแนวนอน
- วิธีดำเนินการ : ใช้ปีม แคลิเปอร์ วัดระยะตามแนวตั้งจากปุ่มหัวไหล่ไปยังปลายข้อศอกของแขนข้างขวา



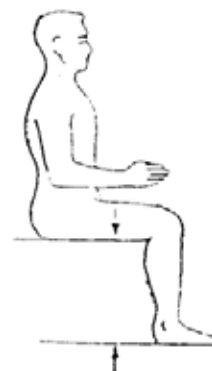
21. ระยะหัวเข่าถึงก้น

- ตำแหน่งที่หมาย : ระดับของก้นด้านขวา
- เครื่องมือวัด : ปีม แคลิเปอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง ที่นั่งสามารถปรับระดับความสูงได้เพื่อทำให้เข่าอทำมุม 90 องศา ขณะที่โคนขาขนานกับพื้น
- วิธีดำเนินการ : ถือปีม แคลิเปอร์ ให้ขนานกับแกนตามยาวของโคนขา การวัดจะวัดจากปลายเข่าขวาไปยังก้นด้านขวา



22. ความสูงได้ขาอ่อนทำนั่ง

- ตำแหน่งที่หมาย : -
- เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง เท้าวางบน
กระดานที่สามารถปรับเอียงได้ เข่างอทำ
มุม 90 องศา และโคนขาชนกับพื้น
- วิธีดำเนินการ : ใช้แอนโทรโพมิเตอร์ วัดระยะตามแนวตั้ง
จากพื้นกระดานไปยังด้านข้างโคนขาที่
ตำแหน่งเส้นเอ็นยึดระหว่างขาส่วนบน
และขาส่วนล่าง



23. ความสูงนั่ง

- ตำแหน่งที่หมาย : -
- เครื่องมือวัด : แอนโทรโพมิเตอร์
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรง ศีรษะตั้งตรงอยู่ใน
ระนาบแฟร็งฟอร์ด แขนส่วนบนห้อยลง
ตามสบาย แขนส่วนล่างและมือยื่น
ออกไปด้านหน้าลำตัวโดยให้ขนานกับ
แนวนอน
- วิธีดำเนินการ : เอาแขนแอนโทรโพมิเตอร์สัมผัสศีรษะ
เพื่อวัดระยะตามแนวตั้งจากพื้นเก้าอี้ที่ผู้
ถูกทดสอบนั่งไปยังศีรษะ



24. น้ำหนัก

- ตำแหน่งที่หมาย : -
- เครื่องมือวัด : เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ตำแหน่งของผู้ถูกทดสอบ : ผู้ถูกทดสอบยืนบนตำแหน่งกึ่งกลางของ
เครื่องชั่งน้ำหนัก
- วิธีดำเนินการ : อ่านค่าน้ำหนักบนสเกลของเครื่องชั่ง
น้ำหนัก





ภาคผนวก ซ.

การวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ.

การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

กำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลัง

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงไม่เกร็งกล้ามเนื้อช่องท้อง และกล้ามเนื้อกระดูกเชิงกรานเพื่อออกแรงดันห่วงหนึ่งของเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัว ก่อนการทดสอบต้องปรับเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัวให้อยู่ในระดับความสูงที่ผู้ถูกทดสอบสามารถเกร็งกล้ามเนื้อช่องท้องและกล้ามเนื้อกระดูกเชิงกรานดันห่วงหนึ่งได้อย่างสบาย โดยห่วงหนึ่งจะอยู่ด้านหลังในระดับกระดูกสะบักปลายของเครื่องวัดแรงดึง ทั้งสองด้านจะมีห่วงต่อกับห่วงหนึ่งและเสาเหนี่ยวรั้งลำตัวที่อยู่ด้านหน้า เครื่องวัดแรงดึงและห่วงทั้งสองต้องอยู่ระนาบตั้งฉากกับลำตัว

การทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลังนี้จะให้ผู้ถูกทดสอบใช้หลังออกแรงในแนวนอนดันห่วงของเครื่องเหนี่ยวรั้งลำตัวไปทางด้านหลัง โดยที่ลำตัวและเท้าทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบต้องเหยียดตรง แขนและขาของผู้ถูกทดสอบขนานกับลำตัว และเท้าทั้งสองข้างต้องยืนอยู่บนพื้น (ไม่ยื่นเขย่งเท้า)

กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน

ก่อนการทดสอบต้องปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบงอทำมุม 90 องศา กับแขนส่วนบนในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ด้ามเครื่องมือทดสอบตั้งฉากกับลำตัวของผู้ถูกทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบจะอยู่ในแนวตั้ง ขนานและติดลำตัว) การทดสอบผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ขาและหลังตั้งตรงไม่งอและเท้าทั้งสองสัมผัสกับพื้น (ไม่ยื่นเขย่งเท้า) ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งต่อกับด้ามเครื่องมือทดสอบ ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อกับพื้นกระดานที่ผู้ทดสอบยืนอยู่ จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบขึ้น โดยที่ไหล่ทั้งสองข้างไม่เคลื่อนที่

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อขา

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนบนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบโดยงอเข่าทั้งสองให้ทำมุม 120 องศา หลังและก้นสัมผัสและอยู่ในระนาบที่ขนานกับผนัง แขนส่วนบนทั้งสองข้างอยู่ในแนวตั้งติดกับลำตัว มือทั้งสองจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งติดกับด้ามเครื่องมือทดสอบ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งติดกับพื้นกระดานที่ผู้ทดสอบยืนอยู่) ซึ่งด้ามเครื่องมือทดสอบอยู่ด้านหลังและอยู่สูงจากพื้นกระดานในระดับที่ทำให้ผู้ถูกทดสอบยื่นงอเข่าทำมุม 120 องศา จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบขึ้นโดยใช้แรงดันจากส้นเท้าทั้งสองและขณะออกแรงเท้าทั้งสองข้างต้องสัมผัสกับพื้น (ไม่ยื่นเขย่งเท้า) หลังและก้นอยู่ในระนาบที่ขนานกับผนัง

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างสอดเข้าไปในห่วงหนึ่งซึ่งต่อจากเครื่องวัดแรงดึง (ปลายอีกข้างหนึ่งของเครื่องวัดแรงดึงติดกับพื้นกระดานที่ผู้ถูกทดสอบยืนอยู่) และห่วงหนึ่งจะอยู่สูงจากพื้นกระดานในระดับที่ทำให้แขนส่วนบนทั้งสองข้างขนานกับพื้นกระดาน ส่วนแขนส่วนล่างนั้นงอทำมุมฉากกับแขนบนเท้าทั้งสองข้างสัมผัสกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ (ไม่เขย่งเท้า) ขาและหลังตั้งตรงจากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบใช้ไหล่ออกแรงในแนวตั้งยกห่วงหนึ่งขึ้น และขณะออกแรงต้องไม่ยื่น ขาและหลังยังตั้งตรงตลอดเวลาที่ทดสอบ

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

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

การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อมือ

การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อมือ จะใช้เครื่องมือวัดโดยเฉพาะ ซึ่งเรียกว่า Grip dynamometer ผู้ถูกทดสอบจะต้องยืนตัวตรงหน้าตรง ปล่อยแขนขนานลำตัว ถือเครื่องมือวัดไว้ในมือ เครื่องมือวัดนี้จะสามารถปรับระยะห่างได้ เพื่อให้พอดีกับมือของผู้ถูกทดสอบ ขณะทดสอบผู้ถูกทดสอบจะต้องออกแรงบีบอย่างเต็มที่โดยยังคงยืนตัวตรงหน้าตรง เครื่องวัดนี้จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขบอกค่ากำลังสถิติ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฅ.

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้
ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน สำหรับกิจกรรมการเข็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ.1 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	10.931783	1.547078	7.066	0.0000
X**2	-0.002404	0.001134	-2.121	
Constant	1865.074245	401.075047	4.650	

R Square = 0.983 Adjusted R Square = 0.979 Standard Error = 518.144

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1865.06 + 10.9318X - 2.40E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.2 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	15.312054	2.510861	6.098	0.0000
X**2	-0.005902	0.001840	-3.208	
Constant	1321.097830	650.932820	2.030	

R Square = 0.954 Adjusted R Square = 0.944 Standard Error = 840.932

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1321.11 + 15.3121X - 5.90E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.3 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	12.497926	1.897853	6.585	0.0000
X**2	-0.004599	0.001391	-3.307	
Constant	1990.556604	492.012356	4.046	

R Square = 0.964 Adjusted R Square = 0.955 Standard Error = 635.625

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1990.54 + 12.4979X - 4.60E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๓.๔ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	5.698440	0.847721	6.722	0.0000
X**2	-0.000834	0.000621	-1.342	
Constant	2510.001208	219.769140	11.421	

R Square = 0.985 Adjusted R Square = 0.982 Standard Error = 283.917

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2510.00 + 5.69844X - 8.34E-04X^{**2}$

ตารางที่ ๓.๕ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	6.826388	2.951328	2.313	0.0001
X**2	-0.001276	0.002163	-0.590	
Constant	2487.141226	765.122620	3.251	

R Square = 0.871 Adjusted R Square = 0.843 Standard Error = 988.453

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2487.14 + 6.82630X - 1.28E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๓.๖ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	6.762591	1.098063	6.159	0.0000
X**2	-0.001418	0.000805	-1.762	
Constant	2541.744000	284.669514	8.929	

R Square = 0.978 Adjusted R Square = 0.973 Standard Error = 367.761

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2541.74 + 6.76259X - 1.42E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๗.7 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	7.963841	1.370795	5.810	0.0000
X**2	-0.003107	0.001005	-3.092	
Constant	1731.816953	355.374347	4.873	

R Square = 0.949 Adjusted R Square = 0.937 Standard Error = 459.104

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1731.82 + 7.96384X - 3.11E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๗.8 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	10.864207	1.269402	8.559	0.0000
X**2	-0.004853	0.000930	-5.217	
Constant	1922.522802	329.088535	5.842	

R Square = 0.968 Adjusted R Square = 0.960 Standard Error = 425.145

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1922.52 + 10.8642X - 4.85E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๗.9 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	9.376771	2.187613	4.286	0.0000
X**2	-0.003364	0.001603	-2.098	
Constant	1873.914283	567.131892	3.304	

R Square = 0.921 Adjusted R Square = 0.904 Standard Error = 732.671

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1873.91 + 9.37677X - 3.36E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.10 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	12.497926	1.897853	6.585	0.0000
X**2	-0.004599	0.001391	-3.307	
Constant	1990.556604	492.012356	4.046	

R Square = 0.916 Adjusted R Square = 0.898 Standard Error = 622.313

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1591.23 + 9.13123X - 3.90E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.11 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	8.379245	1.272459	6.585	0.0000
X**2	-0.002552	0.000933	-2.737	
Constant	1738.956047	329.881080	5.271	

R Square = 0.972 Adjusted R Square = 0.966 Standard Error = 426.169

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1738.96 + 8.37925X - 2.55E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.12 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	8.805356	1.435440	6.134	0.0000
X**2	-0.003474	0.001052	-3.303	
Constant	2067.095330	372.133281	5.555	

R Square = 0.953 Adjusted R Square = 0.942 Standard Error = 480.754

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2067.10 + 8.80536X - 3.47E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.13 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	8.076359	2.038897	3.961	0.0000
X**2	-0.002505	0.001494	-1.677	
Constant	2051.700264	528.577586	3.882	

R Square = 0.925 Adjusted R Square = 0.909 Standard Error = 682.863

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2051.70 + 8.07636X - 2.51E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.14 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	9.165551	2.317784	3.954	0.0000
X**2	-0.003586	0.001699	-2.111	
Constant	2549.025698	600.878165	4.242	

R Square = 0.895 Adjusted R Square = 0.871 Standard Error = 776.267

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2549.03 + 9.16555X - 3.59E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.15 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	8.041846	1.690670	4.757	0.0000
X**2	-0.002282	0.001239	-1.842	
Constant	2133.186462	438.300986	4.867	

R Square = 0.952 Adjusted R Square = 0.942 Standard Error = 566.236

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2133.19 + 8.04185X - 2.28E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.16 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักรรทุก
ของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig_E
X	5.361655	1.337243	4.009	0.0000
X**2	-0.000933	0.000980	-0.952	
Constant	2519.830547	346.676019	7.269	

R Square = 0.955 Adjusted R Square = 0.945 Standard Error = 447.867

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2519.83 + 5.36166X - 9.33E-04X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.17 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักรรทุก
ของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig_E
X	7.823815	1.124229	6.959	0.0000
X**2	-0.002084	0.000824	-2.529	
Constant	2329.664132	291.452850	7.993	

R Square = 0.979 Adjusted R Square = 0.974 Standard Error = 376.524

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2329.66 + 7.82382X - 2.08E-03X^{**2}$

ตารางที่ ฅ.18 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักรรทุก
ของรถเข็น จากกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น
สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig_E
X	8.280521	1.740296	4.758	0.0000
X**2	-0.002660	0.001275	-2.086	
Constant	2197.772708	451.166424	4.871	

R Square = 0.945 Adjusted R Square = 0.932 Standard Error = 582.856

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2197.77 + 8.28052X - 2.66E-03X^{**2}$

ภาคผนวก ญ.

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้
ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน สำหรับกิจกรรมการลาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ญ.1 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	9.071433	1.560539	5.813	0.0000
X**2	-0.002931	0.001144	-2.562	
Constant	2748.664057	404.564787	6.794	

R Square = 0.962 Adjusted R Square = 0.953 Standard Error = 522.652

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2748.62 + 9.07153X - 2.93E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.2 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	9.482163	1.391419	6.815	0.0000
X**2	-0.004033	0.001020	-3.955	
Constant	2898.312264	360.721145	8.035	

R Square = 0.955 Adjusted R Square = 0.945 Standard Error = 466.011

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2898.31 + 9.48216X - 4.03E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.3 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 1

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	8.134158	1.834055	4.435	0.0000
X**2	-0.003517	0.001344	-2.617	
Constant	2478.142594	475.473021	5.212	

R Square = 0.897 Adjusted R Square = 0.874 Standard Error = 614.258

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2478.14 + 8.13416X - 3.52E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๓.๔ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	3.079562	0.348577	8.835	0.0000
Constant	2321.996498	281.002657	8.263	

R Square = 0.886 Adjusted R Square = 0.875 Standard Error = 522.819

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2322 + 3.08 X$

ตารางที่ ๓.๕ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	4.589558	1.674192	2.741	0.0000
X**2	-0.001190	0.001227	-0.969	
Constant	2640.481830	434.028982	6.084	

R Square = 0.879 Adjusted R Square = 0.852 Standard Error = 560.717

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2640.48 + 4.58956X - 1.19E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๓.๖ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 2

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	3.982407	0.794117	5.015	0.0000
X**2	-0.000820	0.000582	-1.409	
Constant	2601.464255	205.872385	12.636	

R Square = 0.968 Adjusted R Square = 0.960 Standard Error = 265.964

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2601.46 + 3.98241X - 5.82E-04X^{**2}$

ตารางที่ ๗.7 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	2.621579	0.340750	7.694	0.0000
Constant	2828.016558	274.693656	10.295	

R Square = 0.855 Adjusted R Square = 0.841 Standard Error = 511.080

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2828 + 2.62 X$

ตารางที่ ๗.8 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	6.417205	1.201499	5.341	0.0000
X**2	-0.002021	0.000881	-2.295	
Constant	2613.036349	311.484770	8.389	

R Square = 0.957 Adjusted R Square = 0.947 Standard Error = 402.403

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2613.04 + 6.41721X - 2.02E-03X^{**2}$

ตารางที่ ๗.9 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 3

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. E
X	5.230371	1.369788	3.818	0.0000
X**2	-0.001378	0.001004	-1.373	
Constant	2716.426613	355.113246	7.649	

R Square = 0.933 Adjusted R Square = 0.918 Standard Error = 458.766

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2716.43 + 5.23037X - 1.38E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.10 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	3.140039	0.723622	4.339	0.0000
X**2	-0.000614	0.000530	-1.159	
Constant	2563.155849	187.596818	13.663	

R Square = 0.959 Adjusted R Square = 0.949 Standard Error = 242.354

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2563.16 + 3.14004X - 6.14E-04X^{**2}$

ตารางที่ ญ.11 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	4.206513	1.152893	3.649	0.0000
X**2	-0.000529	0.000845	-0.626	
Constant	2269.656500	298.883938	7.594	

R Square = 0.954 Adjusted R Square = 0.943 Standard Error = 386.125

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2269.66 + 4.20651X - 5.29E-04X^{**2}$

ตารางที่ ญ.12 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 4

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	4.395143	2.048840	2.145	0.0002
X**2	-0.000885	0.001502	-0.589	
Constant	2677.956189	531.155345	5.042	

R Square = 0.847 Adjusted R Square = 0.813 Standard Error = 686.193

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2677.96 + 4.39514X - 8.85E-04X^{**2}$

ตารางที่ ๑๓ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	2.211450	0.153785	14.380	0.0000
Constant	3070.836294	123.972893	24.770	

R Square = 0.954 Adjusted R Square = 0.949 Standard Error = 230.657

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 3071 + 2.21 X$

ตารางที่ ๑๔ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	5.814265	1.911164	3.042	0.0000
X**2	-0.000818	0.001401	-0.584	
Constant	2219.989858	495.463241	4.481	

R Square = 0.932 Adjusted R Square = 0.917 Standard Error = 640.083

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2219.99 + 5.81427X - 8.18E-04X^{**2}$

ตารางที่ ๑๕ ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 5

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	6.797445	1.517781	4.479	0.0000
X**2	-0.001767	0.001112	-1.589	
Constant	1897.041991	393.479886	4.821	

R Square = 0.951 Adjusted R Square = 0.940 Standard Error = 508.332

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 1897.04 + 6.79744X - 1.77E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.16 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	7.393008	0.985032	7.505	0.0000
X**2	-0.003237	0.000722	-4.484	
Constant	2295.371830	255.366609	8.989	

R Square = 0.960 Adjusted R Square = 0.951 Standard Error = 329.905

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2295.37 + 7.39301X - 3.23E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.17 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	5.554498	1.172771	4.736	0.0000
X**2	-0.001492	0.000859	-1.736	
Constant	2483.840708	304.037275	8.170	

R Square = 0.954 Adjusted R Square = 0.944 Standard Error = 392.782

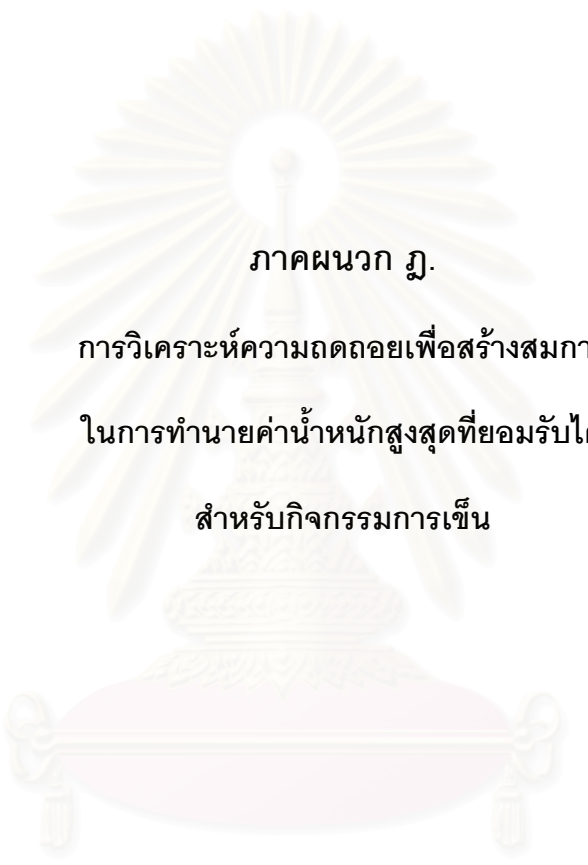
สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2483.84 + 5.55450X - 1.49E-03X^{**2}$

ตารางที่ ญ.18 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดกับน้ำหนักบรรทุกของรถเข็น จากกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 6

Variable	Coefficients	Standard Error	T	Sig. F
X	5.399767	0.428012	12.616	0.0000
X**2	-0.001482	0.000314	-4.724	
Constant	2511.801962	110.960856	22.637	

R Square = 0.993 Adjusted R Square = 0.991 Standard Error = 143.349

สมการที่เหมาะสม คือ $Y = 2511.80 + 5.39977X - 1.48E-03X^{**2}$



ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการ

ในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

สำหรับกิจกรรมการเข็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการในการทำนาย ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับกิจกรรมการเข็น

การวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อสร้างสมการในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับกิจกรรมการเข็น ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการความถดถอยแบบ Backward ซึ่งเป็นเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการถดถอยแบบหนึ่ง ในที่นี้ตัวแปรตาม คือ น้ำหนักบรรทุกของรถเข็น และตัวแปรอิสระ คือ อายุ อายุงาน ข้อมูลการวัดสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งมีทั้งหมด 26 ตัวแปร ตามรายการในตารางที่ ข.1 และค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อต่างๆ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ตัวแปร คือ ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ขา ไหล่ หลัง มือ และกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ รวมตัวแปรอิสระที่จะถูกเลือกให้เข้าสู่สมการถดถอยทั้งหมด 32 ตัวแปร

หลักเกณฑ์การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Backward (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) มีดังนี้ คือ

- 1) นำตัวแปรอิสระทุกตัวที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าสู่สมการถดถอย
- 2) ตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกไปจากสมการครั้งละตัว โดยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0$$

โดยใช้สถิติทดสอบ t หรือ F ถ้ายอมรับ H_0 ตัดตัวแปรออกไป X_i ออกไปจากสมการถดถอยทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระตัวใดได้อีกแล้ว สมการที่เหลือจึงเป็นสมการถดถอยที่เหมาะสม

โดยที่ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทั้งหมด ที่ถูกเลือกให้เข้าสู่สมการถดถอยหลังการวิเคราะห์ความถดถอยแล้ว มีดังนี้

ALCONH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการเข็นบนพื้นคอนกรีต
MPLCONH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นคอนกรีต
ALVNLH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง
MPLVNLH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

ALWAXH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น
MPLWAXH	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น
COMP	= ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (92.77 kg < COMP < 117.37 kg)
ARM	= ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน (36.43 kg < ARM < 52.53 kg)
SHOU	= ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ (34.67 kg < SHOU < 69.80 kg)
A1	= อายุ (20 ปี < A1 < 43 ปี)
A4	= ความสูง (161 cm < A4 < 173 cm)
A8	= ระยะเหยียดแขน (76 cm < A8 < 81.5 cm)
A13	= เส้นรอบสะโพก (86.4 cm < A13 < 101 cm)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้สมการความถดถอยที่เหมาะสม ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฎ.1 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.954	.816	15.8199
3	.917	.834	15.0329

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A8, ARM

c. Predictors: (Constant), COMP, A8

d. Dependent Variable: ALCONH

ตารางที่ ฎ.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	-193.137	.000	.	.
	A8	9.229	.000	.	.
	A13	-1.251	.000	.	.
	ARM	1.627	.000	.	.
	COMP	-2.889	.000	.	.
2	(Constant)	-301.090	364.165	-.827	.560
	A8	9.368	4.131	2.267	.264
	ARM	1.081	1.204	.898	.534
	COMP	-2.860	.815	-3.509	.177
3	(Constant)	-184.237	323.191	-.570	.626
	A8	8.565	3.833	2.235	.155
	COMP	-2.922	.772	-3.786	.063

R Square = 0.917 Adjusted R Square = 0.834 Standard Error = 15.033

สมการที่เหมาะสม คือ $ALCONH = -184.237 + 8.565 A8 - 2.922 COMP$

ตารางที่ ฎ.3 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.992	.969	29.4271

a. Predictors: (Constant), SHOU, A17, A1, A4

b. Predictors: (Constant), SHOU, A1, A4

c. Dependent Variable: MPLCONH

ตารางที่ ฎ.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นคอนกรีต

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	2185.181	.000	.	.
	A1	17.028	.000	.	.
	A4	-10.191	.000	.	.
	A17	-6.301	.000	.	.
	SHOU	-2.083	.000	.	.
2	(Constant)	1947.772	579.624	3.360	.184
	A1	16.966	1.748	9.704	.065
	A4	-9.893	3.315	-2.984	.206
	SHOU	-2.064	1.028	-2.008	.294

R Square = 0.992 Adjusted R Square = 0.969 Standard Error = 29.427

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLCONH = 1947.772 + 16.966 A1 - 9.893 A4 - 2.064 SHOU$

ตารางที่ ๕.5 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.957	.827	17.2580
3	.909	.817	17.7299

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, ARM

c. Predictors: (Constant), COMP, ARM

d. Dependent Variable: ALVNLH

ตารางที่ ๕.6 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	321.076	.000	.	.
	A8	4.510	.000	.	.
	A13	-1.391	.000	.	.
	ARM	-4.198	.000	.	.
	COMP	-2.064	.000	.	.
2	(Constant)	706.533	152.038	4.647	.135
	A13	-1.437	1.363	-1.054	.483
	ARM	-4.462	1.417	-3.148	.196
	COMP	-2.201	.879	-2.505	.242
3	(Constant)	595.979	113.070	5.271	.034
	ARM	-5.100	1.317	-3.872	.061
	COMP	-2.174	.903	-2.408	.138

R Square = 0.909 Adjusted R Square = 0.817 Standard Error = 17.730

สมการที่เหมาะสม คือ $ALVNLH = 595.979 - 5.100 \text{ ARM} - 2.174 \text{ COMP}$

ตารางที่ ๗.7 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.989	.956	25.8476

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, ARM

c. Dependent Variable: MPLVNLH

ตารางที่ ๗.8 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยาง

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	1937.451	.000	.	.
	A8	6.754	.000	.	.
	A13	-18.009	.000	.	.
	ARM	4.690	.000	.	.
	COMP	-3.942	.000	.	.
2	(Constant)	2514.755	227.710	11.044	.057
	A13	-18.077	2.042	-8.853	.072
	ARM	4.295	2.123	2.023	.292
	COMP	-4.149	1.316	-3.151	.196

R Square = 0.989 Adjusted R Square = 0.956 Standard Error = 25.848

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLVNLH = 2514.755 - 18.077 A13 + 4.295 ARM - 4.149 COMP$

ตารางที่ ๙.9 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.970	.882	8.3060
3	.910	.820	10.2422

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, ARM

c. Predictors: (Constant), COMP, ARM

d. Dependent Variable: ALWAXH

ตารางที่ ๙.10 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	159.854	.000	.	.
	A8	2.170	.000	.	.
	A13	-.915	.000	.	.
	ARM	2.331	.000	.	.
	COMP	-1.885	.000	.	.
2	(Constant)	345.367	73.173	4.720	.133
	A13	-.937	.656	-1.429	.389
	ARM	2.204	.682	3.230	.191
	COMP	-1.952	.423	-4.614	.136
3	(Constant)	273.243	65.318	4.183	.053
	ARM	1.788	.761	2.350	.143
	COMP	-1.934	.521	-3.708	.066

R Square = 0.910 Adjusted R Square = 0.820 Standard Error = 10.242

สมการที่เหมาะสม คือ $ALWAXH = 273.243 + 1.788 ARM - 1.934 COMP$

ตารางที่ ฎ.11 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.995	.980	15.1082

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, ARM

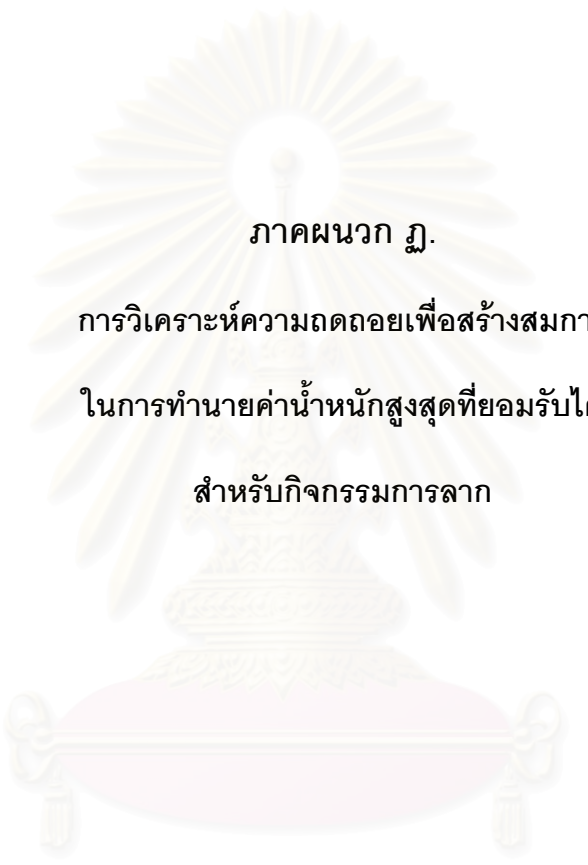
c. Dependent Variable: MPLWAXH

ตารางที่ ฎ.12 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการเข็นบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	1543.574	.000	.	.
	A8	3.948	.000	.	.
	A13	-14.834	.000	.	.
	ARM	11.815	.000	.	.
	COMP	-3.530	.000	.	.
2	(Constant)	1881.015	133.099	14.132	.045
	A13	-14.874	1.194	-12.462	.051
	ARM	11.584	1.241	9.335	.068
	COMP	-3.651	.769	-4.744	.132

R Square = 0.995 Adjusted R Square = 0.980 Standard Error = 15.108

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLWAXH = 1881.015 - 14.874 A13 + 11.584 ARM - 3.651 COMP$



ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการ

ในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้

สำหรับกิจกรรมการลาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างสมการในการทำนาย ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับกิจกรรมการลาก

การวิเคราะห์สมการความถดถอยเพื่อสร้างสมการในการทำนายค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับกิจกรรมการลากใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการความถดถอยแบบ Backward เช่นกัน โดยที่ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทั้งหมด ที่ถูกเลือกให้เข้าสู่สมการถดถอยหลังการวิเคราะห์ความถดถอยแล้ว มีดังนี้

ALCONL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการลากบนพื้นคอนกรีต
MPLCONL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นคอนกรีต
ALVNLL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ AL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง
MPLVNLL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง
ALWAXL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น
MPLWAXL	= น้ำหนักของรถเข็นที่ MPL ของการลากบนพื้นกระเบื้องยาง ที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น
COMP	= ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (92.77 kg < COMP < 117.37 kg)
ARM	= ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน (36.43 kg < ARM < 52.53 kg)
A8	= ระยะเหยียดแขน (76 cm < A8 < 81.5 cm)
A13	= เส้นรอบสะโพก (86.4 cm < A13 < 101 cm)

ผลการวิเคราะห์ได้สมการความถดถอยที่เหมาะสม ดังนี้

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฎ.1 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.974	.897	33.6086

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), A13, A8, ARM

c. Dependent Variable: ALCONL

ตารางที่ ฎ.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	-566.794	.000	.	.
	A8	21.584	.000	.	.
	A13	-14.779	.000	.	.
	ARM	6.605	.000	.	.
	COMP	1.733	.000	.	.
2	(Constant)	-262.764	747.459	-.352	.785
	A8	20.224	8.676	2.331	.258
	A13	-14.872	2.655	-5.601	.112
	ARM	6.429	2.802	2.294	.262

R Square = 0.974 Adjusted R Square = 0.897 Standard Error = 33.609

สมการที่เหมาะสม คือ $ALCONL = -262.764 + 20.224 A8 - 14.872 A13 + 6.429 ARM$

ตารางที่ ฎ.3 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.986	.943	98.2277
3	.962	.925	112.6193

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), A13, A8, ARM

c. Predictors: (Constant), A13, ARM

d. Dependent Variable: MPLCONL

ตารางที่ ฎ.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นคอนกรีต

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	319.217	.000	.	.
	A8	28.390	.000	.	.
	A13	-39.804	.000	.	.
	ARM	65.596	.000	.	.
	COMP	-5.064	.000	.	.
2	(Constant)	-569.372	2184.598	-.261	.838
	A8	32.364	25.357	1.276	.423
	A13	-39.535	7.760	-5.095	.123
	ARM	66.110	8.191	8.071	.078
3	(Constant)	2087.172	760.665	2.744	.111
	A13	-39.817	8.893	-4.477	.046
	ARM	64.271	9.244	6.953	.020

R Square = 0.962 Adjusted R Square = 0.925 Standard Error = 112.619

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLCONL = 2087.172 - 39.817 A13 + 64.271 ARM$

ตารางที่ ๕.5 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.945	.778	39.7355
3	.812	.623	51.7982

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8

c. Predictors: (Constant), COMP, A13

d. Dependent Variable: ALVNLL

ตารางที่ ๕.6 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	2662.318	.000	.	.
	A8	-13.906	.000	.	.
	A13	-10.571	.000	.	.
	ARM	3.320	.000	.	.
	COMP	-5.244	.000	.	.
2	(Constant)	2848.053	935.778	3.044	.202
	A8	-15.808	10.207	-1.549	.365
	A13	-9.274	2.860	-3.242	.190
	COMP	-5.372	2.045	-2.628	.232
3	(Constant)	1503.502	455.292	3.302	.081
	A13	-8.733	3.701	-2.360	.142
	COMP	-4.910	2.637	-1.862	.204

R Square = 0.812 Adjusted R Square = 0.623 Standard Error = 51.798

สมการที่เหมาะสม คือ $ALVNLL = 1503.502 - 8.733 A13 - 4.910 COMP$

ตารางที่ ๗.7 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.994	.975	46.6872

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), COMP, A13, ARM

c. Dependent Variable: MPLVNLL

ตารางที่ ๗.8 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยาง

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	3974.645	.000	.	.
	A8	12.199	.000	.	.
	A13	-45.997	.000	.	.
	ARM	14.877	.000	.	.
	COMP	-3.570	.000	.	.
2	(Constant)	5017.398	411.301	12.199	.052
	A13	-46.120	3.688	-12.504	.051
	ARM	14.162	3.835	3.693	.168
	COMP	-3.942	2.378	-1.658	.346

R Square = 0.994 Adjusted R Square = 0.975 Standard Error = 46.687

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLVNLL = 5017.398 - 46.120A13 + 14.162 ARM - 3.942 COMP$

ตารางที่ ๙.9 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.999	.994	3.7040

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), A13, A8, ARM

c. Dependent Variable: ALWAXL

ตารางที่ ๙.10 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ AL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	1465.059	.000	.	.
	A8	-13.128	.000	.	.
	A13	-5.322	.000	.	.
	ARM	5.145	.000	.	.
	COMP	.191	.000	.	.
2	(Constant)	1498.566	82.378	18.191	.035
	A8	-13.278	.956	-13.886	.046
	A13	-5.332	.293	-18.221	.035
	ARM	5.126	.309	16.596	.038

R Square = 0.999 Adjusted R Square = 0.994 Standard Error = 3.704

สมการที่เหมาะสม คือ $ALWAXL = 1498.566 - 13.278 A8 - 5.332 A13 + 5.126 ARM$

ตารางที่ ฎ.11 ผลการวิเคราะห์สมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000	1.000	.
2	.998	.994	14.3660

a. Predictors: (Constant), COMP, A13, A8, ARM

b. Predictors: (Constant), A13, A8, ARM

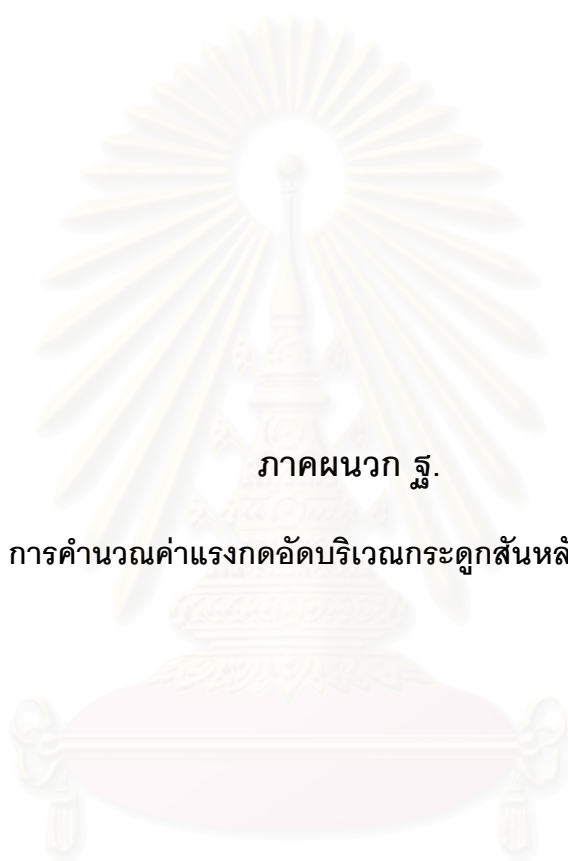
c. Dependent Variable: MPLWAXL

ตารางที่ ฎ.12 ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่ MPL ของกิจกรรมการลากบนพื้นกระเบื้องยางที่เคลือบด้วยน้ำยาขัดพื้น

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	1026.046	.000	.	.
	A8	27.127	.000	.	.
	A13	-27.241	.000	.	.
	ARM	9.680	.000	.	.
	COMP	-.741	.000	.	.
2	(Constant)	896.088	319.503	2.805	.218
	A8	27.708	3.709	7.471	.085
	A13	-27.201	1.135	-23.968	.027
	ARM	9.755	1.198	8.144	.078

R Square = 0.998 Adjusted R Square = 0.994 Standard Error = 14.366

สมการที่เหมาะสม คือ $MPLWAXL = 896.088 + 27.708 A8 - 27.201 A13 + 9.755 ARM$



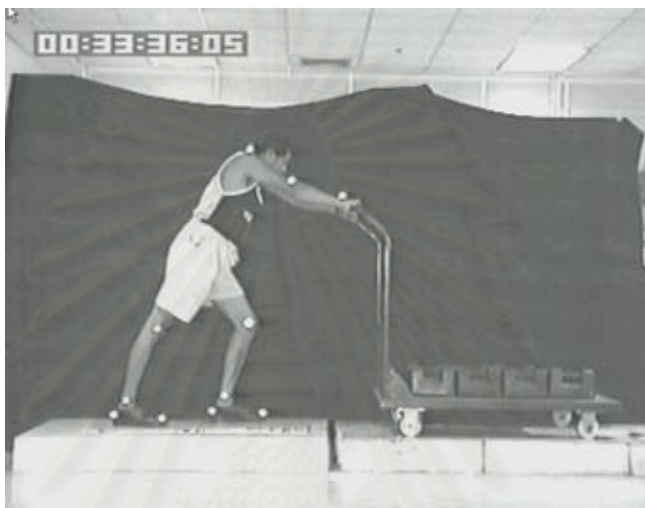
ภาคผนวก จ.

การคำนวณค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

การคำนวณค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ยกตัวอย่างจากรูปที่ ฐ.1 เป็นภาพหนึ่งภาพ หรือ 1 Frame ขณะทำการทดลองเข็นรถ โดยที่ระยะเวลาของภาพแต่ละ Frame มีค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 50 วินาที ($1/50$ วินาที)

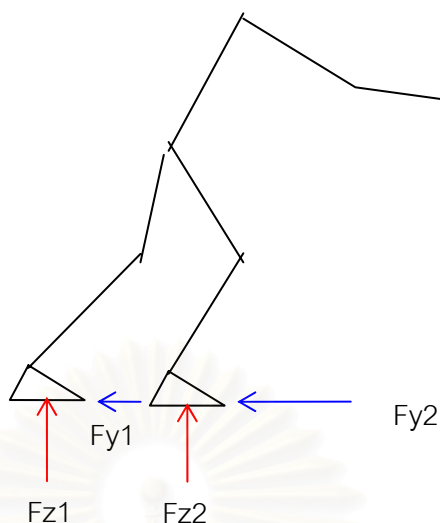


รูปที่ ฐ.1 ภาพขณะเข็นรถ 1 Frame

ทำการสร้างภาพลายเส้นอิสระ (Free Body Diagram) ของร่างกายในการทำงานเช่นตามรูปที่ ฐ.1 จากท่าทางที่ใช้แขนทั้งสองข้างจะอยู่ในลักษณะเหยียดตรงเสมอกัน ซึ่งทำให้ร่างกายส่วนบนสมมาตร สามารถแยก Segment ที่สำคัญออกได้เป็น 10 Segments คือ เท้าขวา ขาขวา ส่วนล่าง ขาขวาส່วนบน เท้าซ้าย ขาซ้ายส่วนล่าง ขาซ้ายส่วนบน ลำตัว แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง และมือ ดังแสดงในรูปที่ ฐ.2

การวิเคราะห์ด้านชีวกลศาสตร์จากรูป 2 มิติเพื่อคำนวณหาค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

- แรงภายนอกที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของร่างกายและทิศทางของแรง
- ท่าทรงตัวของร่างกาย
- มวลและศูนย์กลางมวลของส่วนต่างๆ ของร่างกาย



รูปที่ ๒.๒ ภาพลายเส้นอิสระขณะเข็นรถ

ข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณมีทั้งหมด ดังนี้

แรงวัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยา

$$Fz1 = \text{แรงในแนวตั้งที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาชุดที่ 1} = 487.34 \text{ N}$$

$$Fz2 = \text{แรงในแนวตั้งที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาชุดที่ 2} = 175.14 \text{ N}$$

$$Fy1 = \text{แรงในแนวราบที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาชุดที่ 1} = 65.37 \text{ N}$$

$$Fy2 = \text{แรงในแนวราบที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาชุดที่ 2} = 26.95 \text{ N}$$

ความยาวของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย

$$\text{Seg1} = \text{ระยะจากมือจับของรถเข็นถึงข้อมือ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.070 เมตร}$$

$$\text{Seg2} = \text{ระยะจากข้อศอกถึงข้อมือ} = 0.263 \text{ เมตร}$$

$$\text{Seg3} = \text{ระยะจากหัวไหล่ถึงข้อศอก} = 0.318 \text{ เมตร}$$

$$\text{Seg4} = \text{ระยะจากกระดูกสันหลังช่วงที่ L5/S1 (ปุ่มสะโพก) ถึงหัวไหล่} = 0.479 \text{ เมตร}$$

มุมของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย

- θ_1 = มุมระหว่างแกน X กับมือ สมมุติให้มีค่าเท่ากับมุม θ_2
 θ_2 = มุมระหว่างแกน X กับแขนส่วนล่าง = 21.27 degree
 θ_3 = มุมระหว่างแกน X กับแขนส่วนบน = 40.00 degree
 θ_4 = มุมระหว่างแกน X กับกระดูกสันหลัง (ลำตัว) = 77.69 degree

น้ำหนักตัวของผู้ถูกทดสอบ วัดได้จากเครื่องชั่งน้ำหนัก

น้ำหนักตัวของผู้ถูกทดสอบ = 67 kg

มวลของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้จากงานวิจัยของ กิตติ อินทรานนท์ (2543)

มวลของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้จากงานวิจัยของ กิตติ อินทรานนท์ (2543)

รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1

- W_1 = น้ำหนักของมือ 2 ข้าง
 = $(0.0065 + 0.0061) \times 67 \times 9.81$ = 8.28 N
 W_2 = น้ำหนักของแขนส่วนล่าง 2 ข้าง
 = $(0.0167 + 0.0158) \times 67 \times 9.81$ = 21.36 N
 W_3 = น้ำหนักของแขนส่วนบน 2 ข้าง
 = $(0.0337 + 0.0334) \times 67 \times 9.81$ = 44.10 N
 W_4 = น้ำหนักของลำตัว ศีรษะและคอ
 = $(0.4872 + 0.0788) \times 67 \times 9.81$ = 372.01 N

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้จากงานวิจัยของ กิตติ อินทรานนท์ (2543) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1

- Cm_1 = ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของมือ
 = $(0.4282 + 0.4277) / 2$ = 0.4280 เมื่อวัดจากข้อมือ
 Cm_2 = ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนล่าง
 = $(0.4222 + 0.4228) / 2$ = 0.4225 เมื่อวัดจากข้อศอก
 Cm_3 = ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนบน
 = $(0.4583 + 0.4562) / 2$ = 0.4573 เมื่อวัดจากหัวไหล่

Cm4 = ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของลำตัว ศีรษะและคอ
 = 0.6600 (Winter, 1979) เมื่อวัดจากกระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 (ปุ่มสะโพก)

ในการคำนวณแรงและโมเมนต์จำเป็นต้องอยู่ในสมมติฐานว่าระบบแรงอยู่ในสมดุลสถิต (Static equilibrium) โดยยึดหลักการคำนวณ 3 ข้อ ดังนี้

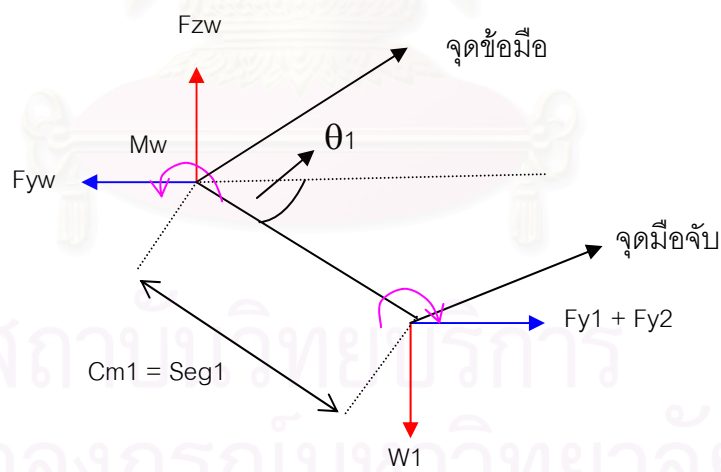
$$\sum F_x = 0 \text{ (ผลรวมของแรงในแนวนอน แกน X = 0)}$$

$$\sum F_y = 0 \text{ (ผลรวมของแรงในแนวตั้ง แกน Y = 0)}$$

$$\sum M = 0 \text{ (ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนใดๆ = 0)}$$

เริ่มการคำนวณโดยที่จากมือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัว และหาค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 โดยแยกคำนวณแต่ละ Segment ตามลำดับ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 มือ



รูปที่ 3.3 ภาพมือ

จาก $\sum F_x$ รอบจุดข้อมือ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{yw} &= F_{y1} + F_{y2} \\ &= 65.37 + 26.95 = 92.32 \text{ N} \end{aligned}$$

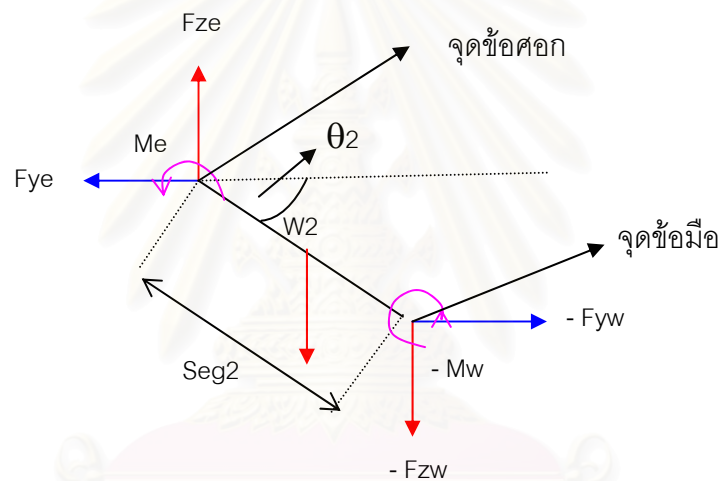
จาก $\sum F_y$ รอบจุดข้อมือ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{zw} &= W_1 \\ &= 8.28 \text{ N} \end{aligned}$$

จาก $\sum M$ รอบจุดข้อมือ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} M_w &= W_1 \times \text{Seg1} \times \cos \theta_1 + (F_{y1} + F_{y2}) \times \text{Seg1} \times \sin \theta_1 \\ &= 8.28 \times 0.070 \times \cos (21.27^\circ) + 92.32 \times 0.070 \times \sin (21.27^\circ) \\ M_w &= 0.54 + 2.34 = 2.88 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 แขนส่วนล่าง



รูปที่ ๔.๔ ภาพแขนส่วนล่าง

จาก F_x รอบจุดข้อศอก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} \\ &= 92.32 \text{ N} \end{aligned}$$

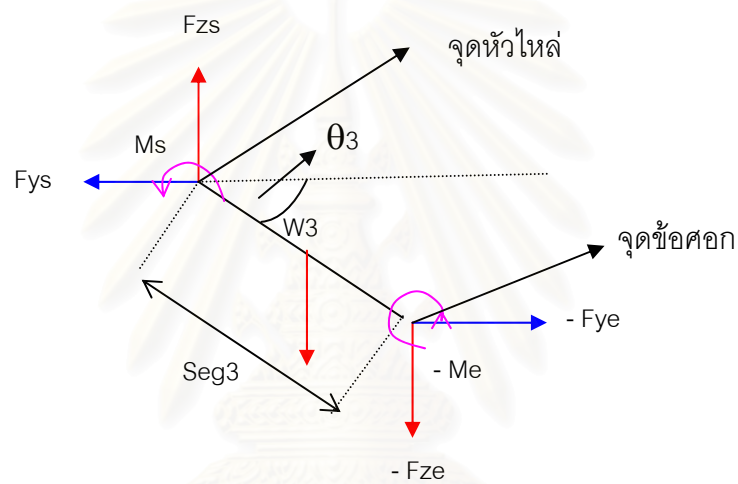
จาก $\sum F_y$ รอบจุดข้อศอก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{ze} &= F_{zw} + W_2 \\ &= 8.28 + 21.36 = 29.64 \text{ N} \end{aligned}$$

จาก $\sum M$ รอบจุดข้อศอก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + W_2 \times \text{Seg}_2 \times \text{Cm}_2 \times \cos \theta_2 + F_{yw} \times \text{Seg}_2 \times \sin \theta_2 \\ &= 2.88 + 21.36 \times 0.263 \times 0.4225 \times \cos (21.27^\circ) \\ &\quad + 92.32 \times 0.263 \times \sin (21.27^\circ) \\ M_e &= 2.88 + 2.21 + 8.81 \\ &= 13.90 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 แขนส่วนบน



รูปที่ ๕.๕ ภาพแขนส่วนบน

จาก $\sum F_x$ รอบจุดหัวไหล่ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} \\ &= 92.32 \text{ N} \end{aligned}$$

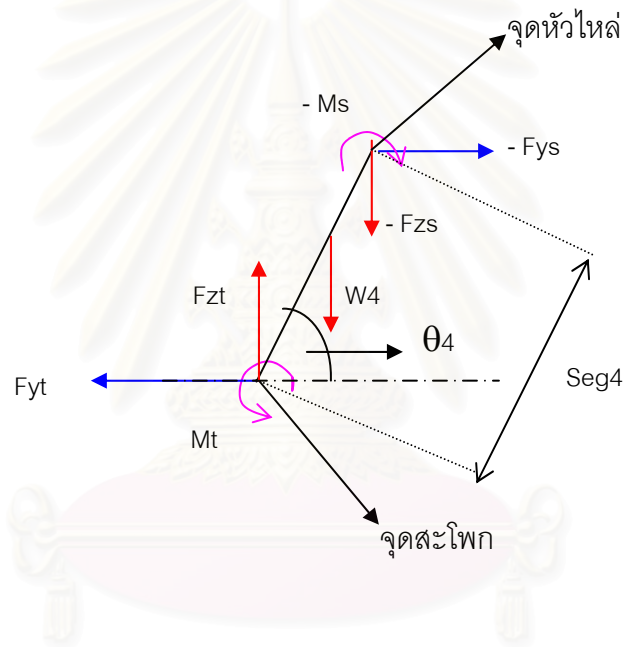
จาก $\sum F_y$ รอบจุดหัวไหล่ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{zs} &= F_{ze} + W_3 \\ &= 29.64 + 44.10 = 73.74 \text{ N} \end{aligned}$$

จาก $\sum M$ รอบจุดหัวไหล่ = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} M_s &= M_e + W_3 \times \text{Seg}_3 \times C_m3 \times \cos \theta_3 + F_{ye} \times \text{Seg}_3 \times \sin \theta_3 \\ &= 13.90 + 44.10 \times 0.318 \times 0.4573 \times \cos(40^\circ) + 92.32 \times 0.318 \times \sin(40^\circ) \\ M_s &= 13.90 + 4.91 + 18.87 \\ &= 37.68 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 4 ลำตัว



รูปที่ ๖.๖ ภาพลำตัว

จาก $\sum F_x$ รอบจุดสะโพก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{yt} &= F_{ys} \\ &= 92.32 \text{ N} \end{aligned}$$

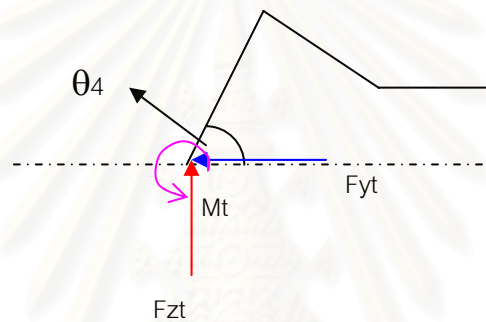
จาก $\sum F_y$ รอบจุดสะโพก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F_{zt} &= F_{zs} + W_4 \\ &= 73.74 + 372.01 = 445.75 \text{ N} \end{aligned}$$

จาก $\sum M$ รอบจุดสะโพก = 0 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} M_t &= M_s + W_4 \times \text{Seg}_4 \times C_{m4} \times \cos \theta_4 + F_{ys} \times \text{Seg}_4 \times \sin \theta_4 \\ &= 37.68 + 372.01 \times 0.479 \times 0.66 \times \cos (77.69^\circ) \\ &\quad + 92.32 \times 0.479 \times \sin (77.69^\circ) \\ M_t &= 37.68 + 25.07 + 43.20 \\ &= 105.95 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 5 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1



รูปที่ ๗.๗ ภาพลำตัว

ค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ช่วงที่ L5/S1 ที่เกิดจากแรงในแนวแกนตั้ง (F_{vc}) จะได้

$$\begin{aligned} F_{vc} &= F_{zt} \times \cos \theta_4 \\ &= 445.75 \times \cos (77.69^\circ) = 95.03 \text{ N} \end{aligned}$$

ค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ช่วงที่ L5/S1 ที่เกิดจากแรงในแนวแกนแนว (F_{hc}) จะได้

$$\begin{aligned} F_{hc} &= F_{yt} \times \sin \theta_4 \\ &= 92.32 \times \sin (77.69^\circ) = 90.20 \text{ N} \end{aligned}$$

ค่าแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง (Erector Spinae) ที่ทำให้เกิดสมดุสถิต (F) โดยที่สมมุติให้แขนของโมเมนต์ของกล้ามเนื้อหลัง (d) เป็น 0.04 เมตร จาก L5/S1 ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} F &= Mt / d \\ &= 105.95 / 0.04 &= 2648.75 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้นผลรวมของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 (Compressive Force; Fc) คือ

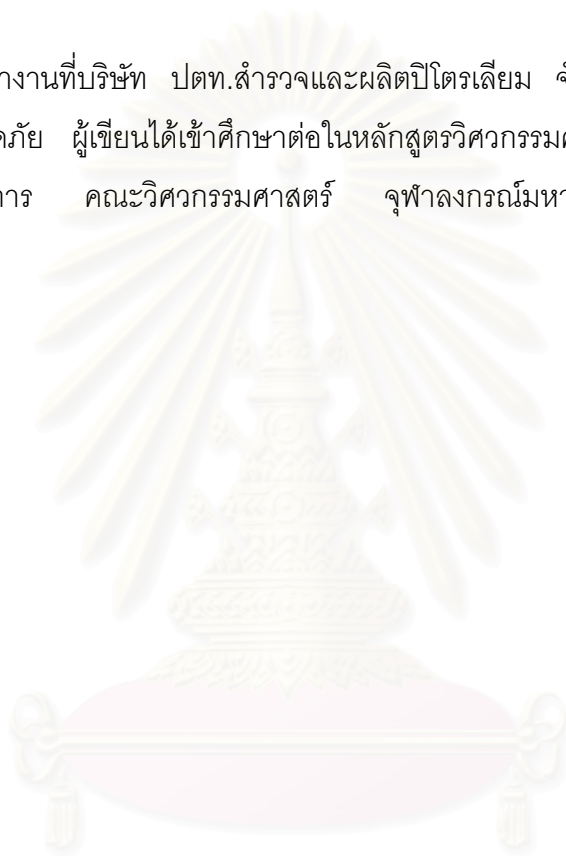
$$\begin{aligned} F_c &= F_{vc} + F_{hc} + F \\ F_c &= 95.03 + 90.20 + 2648.75 &= 2833.98 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างช่วงที่ L5/S1 ของรูป 1 Frame ตามรูปที่ ฐ.1 มีค่าเท่ากับ 2,833.98 นิวตัน จากนั้นทำการคำนวณภาพต่อเนื่องต่อไปจนจบกิจกรรมการเข็นหรือการลาก คัดเลือกเฉพาะค่าแรงกดอัดที่มีค่าสูงที่สุด (Peak) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในการเข็นและลาก ซึ่งค่าสูงสุดนี้ได้แสดงไว้แล้วในตารางของภาคผนวก จ.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิชาติ แฝ้วพาลชน เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2509 ที่เขตพระโขนง จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2530 จากนั้นเข้าทำงานที่บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งวิศวกรการผลิต เป็นเวลา 5 ปี ต่อมาเข้าทำงานที่บริษัท ฟอสเตอร์วิลเลอร์ จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรโครงการ เป็นเวลา 6 ปี

ปัจจุบันทำงานที่บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งวิศวกรความปลอดภัย ผู้เขียนได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย