

การลดภาระงานขึ้นโดยการเทรตอพระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการ
ใช้พลังงาน



นางสาววิรัช ศีลาวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reduction of Pushing Load by Trade-
off between Compressive Force on Lumbosacral Disc and Energy Consumption

Miss Warisa Silawong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดภาระงานชิ้นโดยการเทรดออฟระหว่างแรงกดอัดที่

หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

โดย

นางสาววิริษา ศีลาวงศ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ฤดาภิวัตน์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ฤดาภิวัตน์กุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอกสุทธิ ศรีบุรพา)

วริษา ศีลาวงค์ : การลดภาระงานเข็นโดยการเทรดออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (Reduction of Pushing Load by Trade-off between Compressive Force on Lumbosacral Disc and Energy Consumption) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 142 หน้า.

ปัญหาหนึ่งจากงานเข็นที่ต้องเข็นตลอดเวลา คืออาจก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บเรื้อรัง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการลดน้ำหนักเข็นให้น้อยลง แต่วิธีนี้กลับกลายเป็นการเพิ่มความเหนื่อยล้า เพราะต้องเพิ่มจำนวนรอบในการเข็นเพื่อขนถ่ายสินค้าให้เสร็จ ดังนั้นเพื่อป้องกันผู้ทำงานให้ไม่ต้องรับภาระด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไป งานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาโรงงานตัวอย่างที่พนักงานเข็นประสบปัญหาบาดเจ็บเรื้อรัง โดยการลดภาระงานเข็น จาก 2 แนวทาง คือ 1. การปรับปรุงรถเข็น และ 2. หาน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับงานเข็น โดยการเทรดออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นพนักงานในโรงงานเกษตรจำนวนรวม 28 คน มีอายุระหว่าง 23-51 ปี

ผลการปรับปรุงรถเข็นพบว่าขนาดล้อ 125 มม. และระดับมือจับ 82 ซม. ได้ส่งผลต่อค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างน้อยที่สุด คือเฉลี่ยที่ 4,195 นิวตัน ลดลงจากก่อนปรับปรุงคือเฉลี่ยที่ 5,094 นิวตัน ทั้งนี้การปรับระดับมือจับให้อยู่ในระดับเอวส่งผลต่อการลดลงของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกิจกรรมทางเลี้ยว ในขณะที่การเพิ่มขนาดล้อนั้นไม่ส่งผลต่อการลดลงของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งน่าจะเกิดจากพฤติกรรมกรอกแรงผลักรถเข็นงานของพนักงานที่ได้กำหนดให้เป็นอิสระ และผลการหาน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับงานเข็น ได้ใช้แนวคิดการหาน้ำหนักบรรทุกทุกที่ได้ค่าต่ำสุดของผลรวมจากทั้ง 2 ตัวชี้วัด $Load\ at\ minimize = Min (NormF_c + NormCal)$ ผลที่ได้คือน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับงานเข็นที่มีแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างน้อยที่สุดที่ไม่ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น น้ำหนักบรรทุกทุกงานเข็นในโรงงานกรณีศึกษาได้ลดลงจากเดิมก่อนปรับปรุงที่ 135 กิโลกรัม เป็น 102 กิโลกรัม โดยส่งผลกระทบต่อแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างเฉลี่ย 3,021 นิวตัน และการใช้พลังงานเฉลี่ย 72 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ซึ่งถือได้ว่าเป็นงานที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยทั้งต่อแรงที่มากกระทำต่อร่างกายและความเหนื่อยล้า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5770963921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: PUSHING TASK / HEART RATE / LUMBOSACRAL DISC / TRADE-OFF

WARISA SILAWONG: Reduction of Pushing Load by Trade-off between Compressive Force on Lumbosacral Disc and Energy Consumption. ADVISOR: ASST. PROF. PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 142 pp.

A problem of pushing task may cause the chronic injury which can treat by reducing the weight of pushing. However, this method returns the increasing of fatigue because of increasing the amount of transferring until the job is finished. Therefore, in order to prevent the worker does not receive overload only on one side. This research solved the problem of a factory case study which its workers faced the chronic injury problems in accordance with the reducing the load of pushing from two concepts, 1. modifying the platform cart and 2. setting the weight of pushing by trade-off between the compressive force on Lumbosacral Disc and the energy consumption. Twenty eight participants were the female worker from the factory case study aged 23 to 51 years.

The results of the cart modifying showed that the wheel size of 125 mm. and the handle height at 82 cm. affected the less compressive force on lumbosacral disc., the average force was 4,195 N. which were reduced from the previous one, the average force was 5,094 N. Furthermore, the setting the weight of pushing which was discovered from the minimum point of the summation of two indicators, Load at minimize =Min (NormF_c+ NormCal). The results was the weight of pushing task causing the minimum lumbosacral disc compressive force at which the energy consumption was not increased. The weight of pushing task of the factory case study was reduced from the previous one at 135 kg. to 102 kg which effected on the average compressive force on lumbosacral disc at 3,021 N. and the average energy consumption at 72 Kcal/hr. Therefore, the new weight of pushing task was safe in both views of the force on the body and the fatigue.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือในการทดลอง และงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษา ค้นคว้าในโรงงานกรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ต้องขอขอบคุณผู้จัดการฝ่ายของโรงงาน ที่อนุเคราะห์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดีเสมอมา และขอขอบคุณเข้ารับการทดสอบทุกท่านจากโรงงานกรณีศึกษา ที่ให้ความร่วมมือตลอดการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา คุณยาย และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือในทุกด้านจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	18
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	13
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	14
1.4 ผลที่ได้รับ.....	14
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	14
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 ทฤษฎีด้านชีวกลศาสตร์	16
2.2 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความล้า.....	18
2.2.1 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	18
2.2.2 ความล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle Fatigue)	21
2.3 แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lower back compressive force)	21
2.4 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิต.....	24
2.4.1 การคำนวณหาผลรวมของโมเมนต์ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง	24
2.4.2 การคำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง the compressive force on L5/S1 (F_c)	25
2.5 ความสามารถของมนุษย์ Human Capacities	25
2.5.1 รถเข็นงานที่เหมาะสม.....	26

2.6 ทฤษฎีทางด้านสรีรวิทยา.....	26
2.6.1 อัตราการเต้นของหัวใจ.....	26
2.7 ปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและวิธีการประเมิน.....	30
1. การประเมินโดยใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach).....	30
2. เกณฑ์การประเมินด้วยหลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach).....	31
3. เกณฑ์การประเมินด้วยหลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach).....	31
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 ข้อจำกัดของโรงงานกรณีศึกษา.....	37
3.1.1 เส้นทางการเข้านงาน.....	37
3.1.2 ผู้เข้ารับการทดสอบ.....	38
3.1.3 รถเข็นงาน.....	38
3.2 ประเมินงานเข็นและการปรับปรุงเบื้องต้น.....	38
3.2.1 การทดลองปรับปรุงรถเข็นงาน.....	39
3.2.1.1 ผู้เข้ารับการทดสอบ : จำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ 7 คน.....	39
3.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	39
3.2.1.3 ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงผลักและจอแสดงผลบนรถเข็นงาน.....	42
3.2.1.4 การคำนวณหาแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างตามแนวทางชีวกลศาสตร์ด้วยภาวะสถิต.....	43
3.2.1.5 ปัจจัยของการปรับปรุงรถเข็นงาน.....	43
3.2.1.7 รูปแบบการทดลองการปรับปรุงรถเข็นงาน.....	47
3.3 การลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรตอพระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน.....	48

3.3.1 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing : MAWP).....	48
3.3.1.1 จำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ 8 คน.....	49
3.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	49
3.3.2 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกทุกโดยเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน	50
3.3.2.1 จำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ 4 คน.....	50
3.3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์บนรถเข็นงาน	52
3.3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	52
3.3.2.4 รูปแบบการทดลอง.....	54
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์.....	56
4.1 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบในงานวิจัย.....	56
4.3 กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน, ไหล่, และกล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ	59
4.4 ผลการทดลองการปรับปรุงรถเข็นงาน.....	60
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	64
4.5 ผลการทดลองการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing)	67
4.6 ผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยการเทรตออฟระหว่างการใช้พลังงานและแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง	69
4.6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงานต่อรอบการทำงาน (7 ชั่วโมง).....	71
4.6.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกจากการเทรตออฟเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ NIOSH 3400 นิวตัน.....	79
4.6.3 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยที่จุดเทรตออฟระหว่างสองปัจจัยกับเกณฑ์น้ำหนักตามกฎกระทรวง (กระทรวงแรงงาน)	79

4.6.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับขีดจำกัดสูงสุดของการใช้พลังงาน.....	79
4.6.5 สรุปขั้นตอนการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่ หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน	81
4.7 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อด้านผลผลิตของโรงงานกรณีศึกษา	83
4.7.1 รอบเวลาการทำงาน	83
4.7.2 กำลังการผลิต	84
4.8 สรุปผลการทดสอบตามแนวคิดการดำเนินงานวิจัย	84
4.8.1 ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงรถเข็นงานระหว่างขนาดล้อและระดับมือ จับ.....	84
4.8.2 สรุปผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกของงานขึ้นตามหลักจิตฟิสิกส์.....	85
4.8.3 สรุปผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรอง กระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน	85
4.8.4 สรุปผลงานวิจัยตามหลักการออกแบบงานตามความสามารถของมนุษย์	86
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	85
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	85
5.2 ข้อจำกัด.....	86
5.3 ข้อเสนอแนะ	86
รายการอ้างอิง	88
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.	89
หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย.....	89
ภาคผนวก ข.	91
แบบบันทึกลักษณะอาการเจ็บปวด ขณะใช้งาน.....	91
ภาคผนวก ค.	93

รายละเอียดจุดศูนย์กลางมวลของข้อต่อต่างๆในร่างกาย.....	93
ภาคผนวก ง.....	95
รายละเอียดการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	95
การวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	96
ภาคผนวก จ	99
เส้นทางการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยขนาดล้อและระดับมือจับของผู้เข้ารับการทดสอบ 2 คน ในการทดลองเบื้องต้น (Pilot study).....	99
ภาคผนวก ฉ	101
ค่าแรงกอดัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างสำหรับการทดสอบปรับปรุงชิ้นงานเบื้องต้น และผลการทดสอบทางสถิติ.....	101
ภาคผนวก ช	105
ผลการทดลองปรับปรุงรถชิ้นงานเบื้องต้น (Pilot study).....	105
ภาคผนวก ซ	108
ค่าแรงกอดัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างสำหรับการทดสอบปรับปรุงชิ้นงาน	108
ภาคผนวก ฌ	111
การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANOVA ในการทดลองปรับปรุงรถชิ้นงานเบื้องต้น (Pilot study).....	111
ภาคผนวก ฎ	118
การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANOVA ในการทดลองปรับปรุงรถชิ้นงาน	118
ภาคผนวก ฏ.....	132
ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired T Test ของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุงรถชิ้น งาน.....	132
ภาคผนวก ฐ.....	134

แรงกดดันที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างรวมทุกกิจกรรม และพลังงานที่ใช้ในการเดินของ การทดลองลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรดออฟระหว่าง 2 ปัจจัย.....	134
ภาคผนวก ฐ	137
แผนผังการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดดันที่หมอนรองกระดูกสันหลัง ส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเดิน.....	137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	142



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ค่าน้ำหนักการยกโดยเฉลี่ยของชิ้นงาน	4
ตารางที่ 1.2 รายละเอียดอาการบาดเจ็บ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายพนักงานชิ้นงาน.....	10
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของล้อรถเข็นงาน ขนาด 125 มม. และล้อขนาด 150 มม.....	44
ตารางที่ 3.2 การทดลองเปรียบเทียบปัจจัยของรถเข็นงานระหว่างขนาดล้อ และระดับความสูงของมือจับ.....	47
ตารางที่ 3.3 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกโดยเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน	54
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบเพศหญิงของโรงงานกรณีศึกษา.....	57
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกำลังสถิติของประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย(เพศหญิง อายุ 25-32 ปี) กับผู้เข้ารับการทดสอบจำนวน 20 คน.....	59
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบในปัจจัยต่างๆ.....	64
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของแต่ละกิจกรรม.....	65
ตารางที่ 4.5 ค่า P-Value ของการทดสอบระหว่างปัจจัยระดับมือจับก่อนปรับปรุงรถเข็นงาน 95 ซม. และหลังปรับปรุง 82 ซม.....	66
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า P-value ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบในปัจจัยต่างๆ	68
ตารางที่ 4.7 ค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดสมดุระหว่างความสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยและ 3400 นิวตัน.....	78
ตารางที่ 4.8 การใช้พลังงานของงานเข็นต่อชั่วโมงที่ค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดเทรตออฟระหว่างทั้งสองปัจจัยและร้อยละของขีดจำกัด (กิโลแคลอรี/ชม.).....	80
ตารางที่ 4.9 จำนวนรอบการเข็นงานด้วยน้ำหนักบรรทุกต่างๆ.....	82

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนผู้ป่วยจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักและท่าทางการทำงานในปีพ.ศ. 2545-2551 (www.anamai.moph.go.th/occmed/document/StatSSOTable.pdf)	2
รูปที่ 1.2 ภาพขณะบรรจุชิ้นงานในโรงงานกรณีศึกษา.....	4
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการขนย้ายชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต.....	5
รูปที่ 1.4 เส้นทางการเดินเข็นงานในกระบวนการผลิต.....	7
รูปที่ 1.5 แผนภาพร่างกายใช้เพื่อระบุตำแหน่งอาการบาดเจ็บจากการเข็นงาน (www.fotolia.com/id/66321956)	9
รูปที่ 1.6 แผนภาพการกระจายร้อยละความถี่และระดับความเจ็บปวดที่พบจากการเข็นงาน	11
รูปที่ 1.7 แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ก่อนปรับปรุงงานเข็น.....	12
รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของกำลังสถิต และผลลัพธ์ของ ชาย 443 คน หญิง 108 คน (Chaffin et al., 1977).....	19
รูปที่ 2.2 ความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงตามอายุ ในเพศหญิง และเพศชาย (Astrand and Rodahl ,1986).....	19
รูปที่ 2.3 แผนภาพผังอิสระ (Free body diagram) แรงกระทำจากการเข็นงาน	21
รูปที่ 2.4 ลักษณะกายวิภาคของกระดูกสันหลังมนุษย์ (Rowe, 1983).....	22
รูปที่ 2.5 การเกิดแรงดึงจากกล้ามเนื้อ และโมเมนต์ที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง	23
รูปที่ 2.6 แผนภาพผังอิสระในสภาวะสถิตของร่างกาย.....	24
รูปที่ 2.7 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiograms) (Anatomy Coloring Book, 2014).....	27
รูปที่ 2.8 การใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ (Astrand and Rohahl, 2014).....	28
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ออกซิเจนและอายุ (Astrand and Rohahl, 2014).....	28
รูปที่ 3.1 ขาดั่งกล้องถ่ายรูป	40
รูปที่ 3.2 เครื่องสำรองไฟ UPS ยี่ห้อ APC รุ่น CS650	40
รูปที่ 3.3 Load Cell ขนาด 200 กิโลกรัม และ จอแสดงผล	41

รูปที่ 3.4 รถเข็นงานปัจจุบันก่อนปรับปรุง	41
รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ Load Cell บนรถเข็นงาน(บน) และแบบจำลองรถเข็นงานที่ใช้ในงานวิจัย (ล่าง)	42
รูปที่ 3.6 ท่าทางขณะเข็นงานของผู้เข้ารับการทดสอบ	43
รูปที่ 3.7 ล้อแบบติดตั้งตายตัว (Swivel) และล้อแบบหมุนได้ (Fixed) ก่อนและหลังปรับปรุง ...	45
รูปที่ 3.8 การติดตั้งมือจับปรับระดับได้บนรถเข็นงานจำลอง	46
รูปที่ 3.9 เส้นทางจำลองการทดสอบวัดค่าแรงผลักขณะเข็นงาน	47
รูปที่ 3.10 ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจยี่ห้อ Runtastic รุ่น Combo	51
รูปที่ 3.11 การบันทึกข้อมูลแรงผลักขณะเข็นงานและอัตราการเต้นของหัวใจ	52
รูปที่ 4.1 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS04	60
รูปที่ 4.2 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS06	61
รูปที่ 4.3 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS07	61
รูปที่ 4.4 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS21	62
รูปที่ 4.5 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS22	62
รูปที่ 4.6 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS23	63
รูปที่ 4.7 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS24	63
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจกับกำลังสถิติ (กก.) ของผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์ ไม่มีประสบการณ์.....	67
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน	70
รูปที่ 4.10 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S16 รอบที่ 1).....	72
รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S16 รอบที่ 2).....	73

รูปที่ 4.12 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S18 รอบที่ 1).....	73
รูปที่ 4.13 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S18 รอบที่ 2).....	74
รูปที่ 4.14 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S19 รอบที่ 1).....	74
รูปที่ 4.15 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S19 รอบที่ 2).....	75
รูปที่ 4.16 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S25 รอบที่ 1).....	75
รูปที่ 4.17 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S25 รอบที่ 2).....	76
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของจุดเทรโดอฟและ 3400 N ของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน (รอบการทดลองครั้งที่ 1).....	77
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของจุดเทรโดอฟและ 3400 N ของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน (รอบการทดลองครั้งที่ 2).....	77
รูปที่ 4.20 ร้อยละการใช้พลังงานเทียบกับขีดจำกัด.....	80

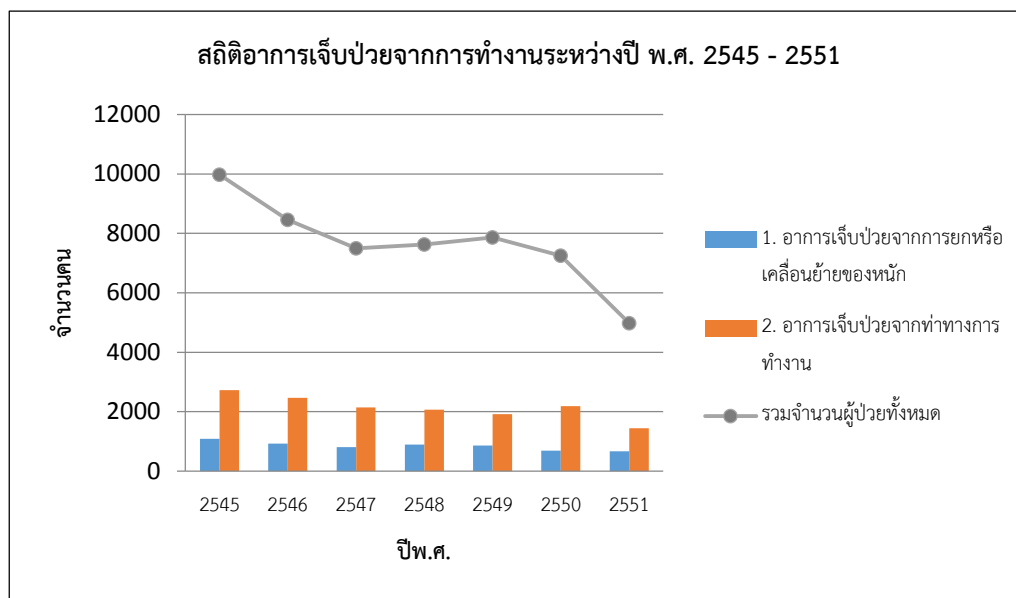
อธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

Fc	=	แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1
Cal	=	อัตราการใช้พลังงาน (กิโลแคลอรี)
HR	=	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)
MAWP	=	น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing)
NormF _c	=	สมการแนวโน้มร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1
NormCal	=	สมการแนวโน้มร้อยละอัตราการใช้พลังงาน
y1	=	ค่าร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละน้ำหนัก บรรทุก
y2	=	ค่าร้อยละการใช้พลังงานในแต่ละน้ำหนักบรรทุก

บทที่ 1

บทนำ

สภาวะการทำงานในปัจจุบัน มีปัจจัยแวดล้อมมากมายที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อการทำงานของร่างกาย การทำงานที่ใช้แรงมากหรือมีแรงกระทำต่อร่างกายติดต่อกันเป็นเวลานานย่อมส่งผลต่อการบาดเจ็บและป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคจากการทำงานได้ การทำงานในภาคส่วนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นกรณีศึกษาที่เห็นได้ชัดของปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลให้ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในสภาวะถึงขีดจำกัดของการทำงาน หรือเกิดการสะสมจากภาระงานก่อให้เกิดเป็นความล้าอันเนื่องมาจากการทำงาน ข้อมูลสถิติย้อนหลังจากสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขในปี พ.ศ. 2557 แสดงจำนวนผู้ป่วยจากโรคปวดหลัง (Dorsalgia) และปวดหลังส่วนล่าง (Low back pain) จากการทำงาน 3,643 ราย จากประชากรทั้งหมด 65,124,716 ราย ซึ่งอาการป่วยนั้นในบางรายมีความเจ็บปวดสะสมระหว่างทำงานมาก่อน โดยปัญหาจากการบาดเจ็บสะสมดังกล่าวพบมากในเพศหญิง เมื่อไม่ได้รับการแก้ไขอาจเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ หรือเกิดการบาดเจ็บต่อร่างกายได้ และจากข้อมูลการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จากสำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน พ.ศ.2558 พบว่าจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักและท่าทางการทำงานมีจำนวน 959 ราย จากจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการทำงานทั้งหมด 95,674 ราย ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ นอกจากนี้สถิติที่มีอยู่พบจำนวนผู้ป่วยจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักมีสัดส่วนร้อยละ 11.21 และจากท่าทางการทำงานมีสัดส่วนร้อยละ 27.98 จากจำนวนผู้ป่วยจากการทำงานทั้งหมดเฉลี่ยระหว่างปีพ.ศ. 2545 – 2551 (สำนักงานประกันสังคม, 2551) แสดงในรูปดังนี้



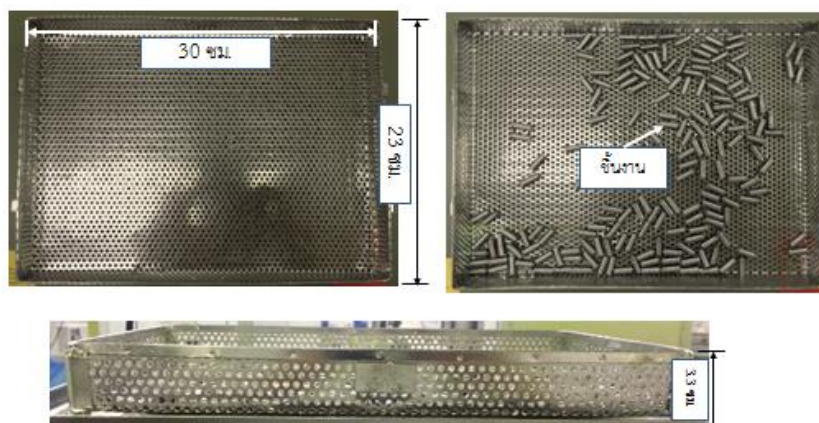
รูปที่ 1.1 จำนวนผู้ป่วยจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักและท่าทางการทำงานในปีพ.ศ. 2545-2551 (www.anamai.moph.go.th/occmcd/document/StatSSOTable.pdf)

จากข้อมูลอาการบาดเจ็บจากการทำงานดังกล่าว การทำงานที่ใช้การออกแรง และเกี่ยวข้องกับท่าทางการทำงานนั้นจึงเป็นส่วนหนึ่งของโรคจากการทำงานได้ เช่น เกี่ยวกับการปฏิบัติงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษา ณ โรงงานกรณีศึกษา ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ส่งมอบให้กับลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ โดยศึกษาในส่วนการขนย้ายชิ้นงานในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปขั้นตอนการไหล (Flow) ของชิ้นงานระหว่างกระบวนการต่าง ๆ นั้น มีรูปแบบและอุปกรณ์ในการขนย้ายชิ้นงานมากมาย เช่น การใช้สายพาน (Conveyor) หรือรถเข็นงาน (Platform truck) ซึ่งการขนย้ายชิ้นงานที่มีภาระงานและการใช้คนมาเกี่ยวข้องนั้น ควรจะได้รับการประเมินผลกระทบจากภาระงานดังกล่าว เพื่อป้องกันหรือลดความเสี่ยงที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงาน

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ปัญหาอาการบาดเจ็บจากการทำงาน ซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงาน โดยศึกษาที่โรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ตั้งอยู่ที่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก มีรูปแบบการผลิตแบบจำนวนมาก (Mass Production) และจัดผังโรงงานตามกระบวนการผลิต โดยลักษณะงานที่ใช้แรงงานนั้นอยู่ในกระบวนการขนย้ายชิ้นงานคือ นำภาชนะบรรจุชิ้นงานลักษณะเป็นถาด สแตนเลสบรรจุทุกบนรถเข็นงาน จากนั้นใช้คนเดินเข็นงานเพื่อขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการหนึ่ง ไปยังอีกกระบวนการหนึ่ง โดยส่งมอบชิ้นงานจากกระบวนการก่อนหน้า และรับชิ้นงานนำส่งกระบวนการถัดไป ในการปฏิบัติงานลักษณะดังกล่าวเกิดภาระงานจากน้ำหนักบรรทุกทุกบนรถเข็น และแรงที่ใช้ผลักรถเข็นงาน รวมไปถึงระยะทางการเดิน ความถี่ในการเดิน ดังนั้นสมรรถภาพทางกายของพนักงานเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด

สำหรับน้ำหนักบรรทุกนั้น เป็นภาชนะบรรจุชิ้นส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 6 มม. ยาว 20 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 2 กรัม โดยภาชนะบรรจุชิ้นงานมีขนาดกว้าง 23 ซม. ยาว 30 ซม. และ สูง 3.3 ซม. ตัวอย่างภาชนะบรรจุแสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ภาพขณะบรรจุขึ้นงานในโรงงานกรณีศึกษา

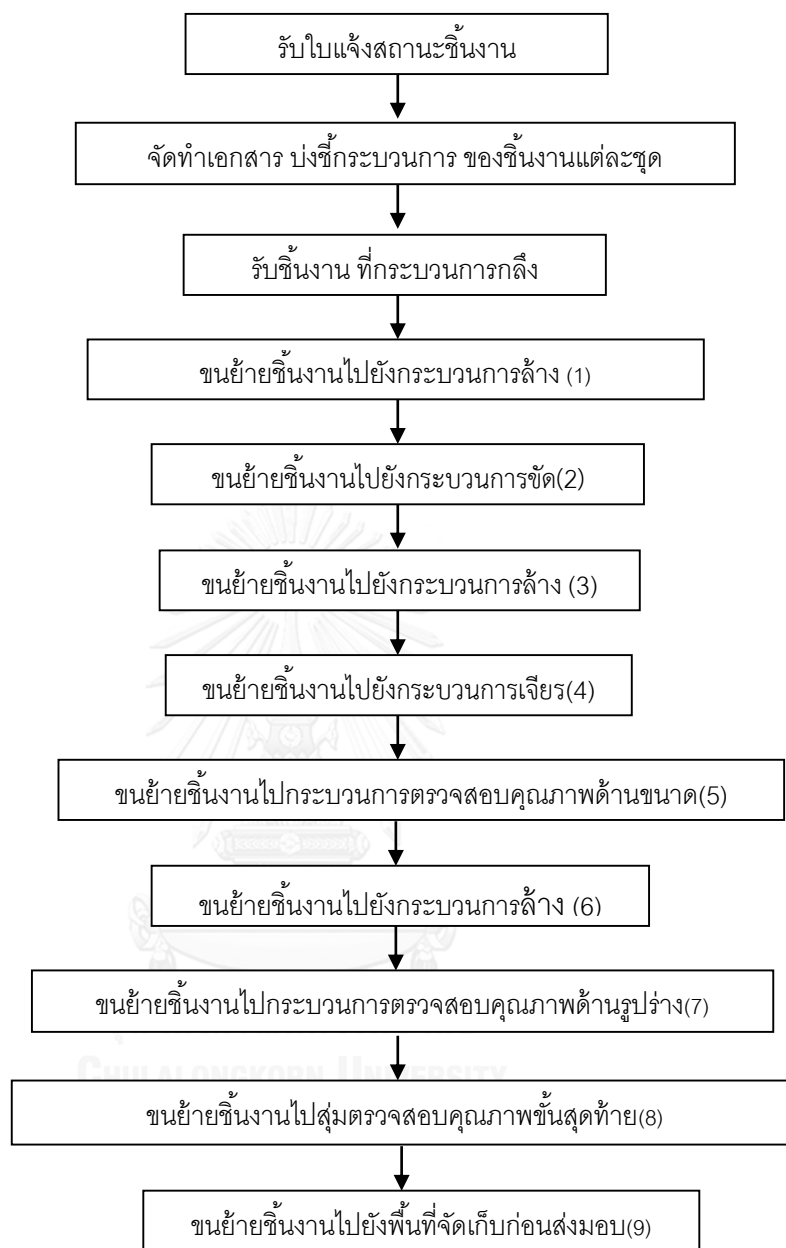
จากลักษณะภาชนะที่ใช้บรรจุขึ้นงานในการบรรจุทุกบนรถเข็นงานดังกล่าวแสดงรายละเอียดของน้ำหนักภาชนะ และน้ำหนักบรรจุทุกดังนี้

ตารางที่ 1.1 คำนำน้หนักการยกโดยเฉลี่ยของขึ้นงาน

น้ำหนักต่อ 1 ภาชนะ	น้ำหนักต่อการยก 1 ครั้ง	น้ำหนักบรรจุทุกสูงสุด	หน่วย
2.07	10.32	135	กิโลกรัม

จากตารางข้างต้น น้ำหนักต่อหนึ่งภาชนะเฉลี่ย 2.07 กก.ในการยกภาชนะ 1 ครั้งจะยกครั้งละ 5 ภาชนะรวมน้ำหนักยก 10.32 กก.ในขณะที่การขนย้ายขึ้นงานระหว่างกระบวนการต่างๆ จะมีน้ำหนักบรรจุทุกสูงสุดไม่รวมน้ำหนักรถเข็นคือ 135 กิโลกรัม ต่อรถเข็น 1 คัน (น้ำหนักรถเข็นเท่ากับ 25 กิโลกรัม) ซึ่งตามกฎหมายกระทรวง พ.ศ. 2547 ได้กำหนดค่าน้ำหนักยก, เช่น สำหรับเพศหญิงไม่เกิน 25 กก. ในกรณีที่ของหนักเกินอัตราที่กำหนดให้ใช้เครื่องทุ่นแรงที่เหมาะสมได้ (กระทรวงแรงงาน, 2547) ดังนั้นน้ำหนักงานยกภาชนะของงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ในขณะที่น้ำหนักบรรจุทุกของงานเข็นมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยโรงงานกรณีศึกษามีการใช้รถเข็นงานเพื่อทุ่นแรง อย่างไรก็ตามภาระงานเข็นนั้นยังจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเนื่องจากน้ำหนักที่ใช้ในปัจจุบันคือ 135 กก.นั้นยังไม่สามารถระบุได้ว่ามีความปลอดภัยถึงแม้จะใช้รถเข็นงานเพื่อทุ่นแรง

ซึ่งรายละเอียดของงานเข็นดังกล่าวจะเป็นลักษณะการขนย้ายขึ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต ตั้งแต่กระบวนการแรกไปจนถึงกระบวนการก่อนส่งมอบ และใช้พนักงานการเดินเข็นไปตามกระบวนการผลิตต่างๆ โดยสามารถจำแนกขั้นตอนได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการขนย้ายชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต

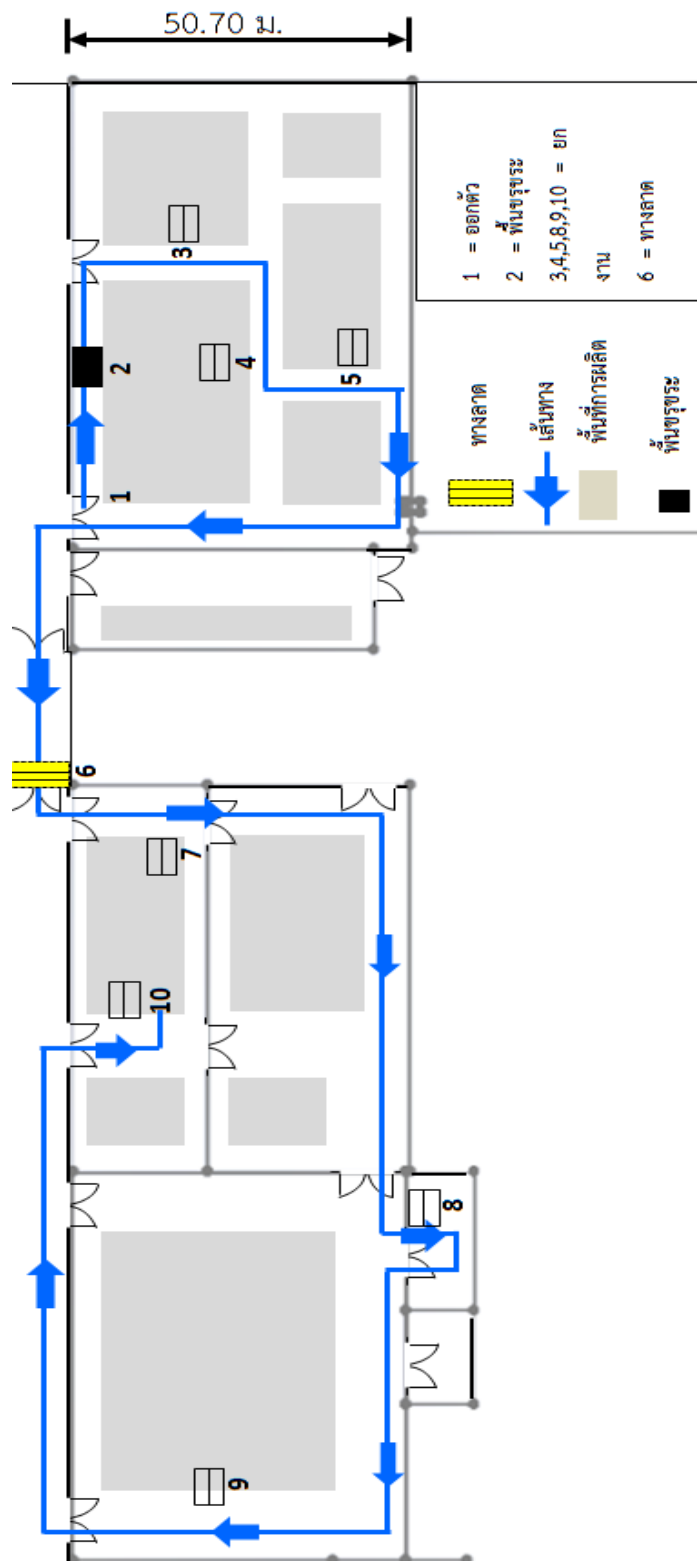
จากขั้นตอนการปฏิบัติงานของการขนย้ายชิ้นงาน ดังรูปที่ 1.3 พบว่าลักษณะงานจะเป็นการเดินเข็นรถเข็นงานเพื่อขนย้ายไปยังกระบวนการผลิตต่างๆ ทั้งนี้สามารถจำแนกลักษณะงานย่อยของพนักงานเข็นงานได้ดังนี้

1. เตรียมเอกสารขั้นตอนการไหล (Process Flow Job) ของแต่ละหมายเลขชิ้นงาน (Part Number) ที่รับผิดชอบ

2. ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน ของแต่ละหมายเลข เพื่อควบคุมจำนวนชิ้นงานที่บรรจุต่อ 1 ภาชนะ
3. ยกภาชนะบรรจุชิ้นงานจากรถเข็นงาน เพื่อวาง ณ จุดผลิต ตามกระบวนการต่างๆ
4. ยกภาชนะบรรจุชิ้นงานจากจุดผลิต ของกระบวนการต่างๆ เพื่อขนย้ายไปยังกระบวนการถัดไป
5. ติดตามชิ้นงาน ณ จุดผลิตต่างๆ เพื่อขนย้ายไปยังกระบวนการถัดไป ในทันเวลาของแต่ละรอบการผลิตของกระบวนการนั้น
6. เขียนบันทึกรายละเอียดของชิ้นงานแต่ละหมายเลข ได้แก่ วันที่ผลิต รหัสกำกับชิ้นงาน (Lot Number) รหัสกำกับวัสดุ (Lot Material) เพื่อใช้ในการทวนสอบกลับของชิ้นงาน
7. ติดตามประสานงานกับส่วนงานผลิต ตรวจสอบคุณภาพ เพื่อรับทราบปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแต่ละหมายเลขชิ้นงาน

จากลักษณะการปฏิบัติงานชิ้นและงานยกดังกล่าว พนักงานปฏิบัติงานในพื้นที่การผลิต ซึ่งแสดงผังโรงงานดังนี้





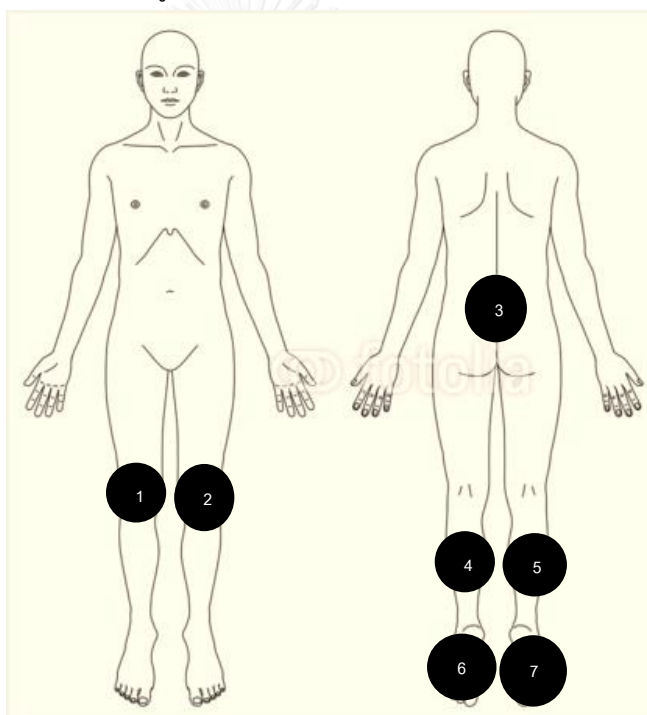
รูปที่ 1.4 เส้นทางการเดินทางในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 1.4 แสดงเส้นทางการเดินเข็นงานด้วยเส้นตรงและลูกศร จากจุดเริ่มต้น (1) ไปยังจุดสิ้นสุด (11) ผ่านกระบวนการต่างๆ และวัดระยะทางตามเส้นทางการเดิน 1 รอบของการขนย้ายชิ้นงาน ตั้งแต่กระบวนการแรก จนถึงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน รวมเป็นระยะทางเท่ากับ 653.02 เมตร ซึ่งโดยเฉลี่ยใน 1 กะการทำงานพนักงานจะมีการเดินไป – กลับ 7 รอบ รวมระยะทางทั้งสิ้น 4571.14 เมตร/7 ชั่วโมงการทำงาน



จากแผนผังและรายละเอียดของกระบวนการต่างๆ และเส้นทางการเดินเข็นรถขนย้ายชิ้นงานข้างต้น พบว่าพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่เข็นงานจะมีรูปแบบการเดินเพื่อขนย้ายงาน ครอบคลุมทุกพื้นที่การผลิต โดยเริ่มเดินจากกระบวนการกลึงเพื่อรับชิ้นงานไปยังกระบวนการกัดไป การทำงานแบ่งออกเป็น 3 รอบ (รอบละ 7 ชั่วโมง) และมีการหมุนเวียนรอบการทำงานทุกสัปดาห์

จากลักษณะงานดังกล่าวพนักงานจะทำงานในลักษณะการเดินเข็นรถ และยกภาชนะใส่งาน เพื่อส่งมอบให้แก่แต่ละกระบวนการ และรับงานที่เสร็จสิ้นจากแต่ละกระบวนการเพื่อขนย้ายต่อไปยังกระบวนการกัดไปโดยลักษณะงานหลักจะแบ่งเป็นงานเข็น และงานยก ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม จากพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่เข็นงานเพศหญิง 20 คนเพื่อสำรวจอาการบาดเจ็บที่มาจากงานเข็นดังกล่าว โดยใช้การระบุตำแหน่งอาการบาดเจ็บจากแผนภาพร่างกายซึ่งพบตำแหน่งที่เกิดอาการบาดเจ็บจากการเดินเข็นงานดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แผนภาพร่างกายใช้เพื่อระบุตำแหน่งอาการบาดเจ็บจากการเข็นงาน
(www.fotolia.com/id/66321956)

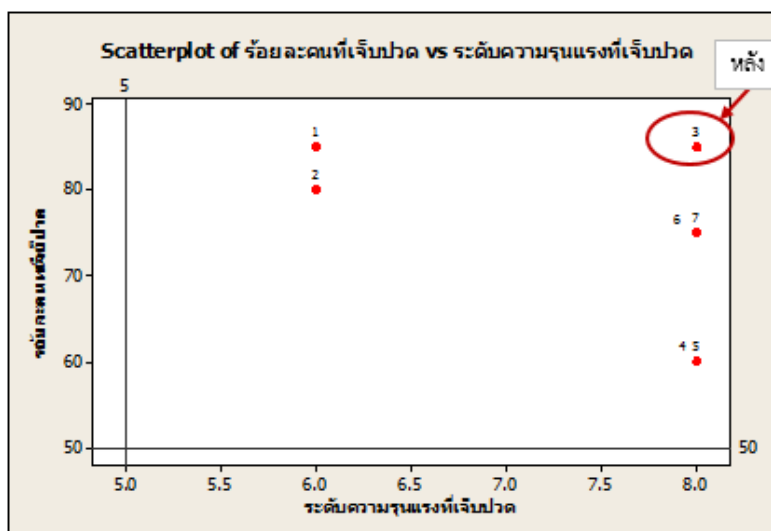
พบข้อมูลอาการบาดเจ็บทางด้านร่างกายจำแนกตามตำแหน่งหมายเลขในรูปที่ 1.5 โดยแต่ละตำแหน่งของร่างกายมีการระบุระดับอาการบาดเจ็บแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ซึ่งผลการประเมินจากแบบสอบถาม แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดอาการบาดเจ็บ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายพนักงานชิ้นงาน

คนที่	ตำแหน่ง	พนักงานชิ้นงาน		
		จำนวนคนที่พบอาการบาดเจ็บ (คน)	ร้อยละความถี่ที่พบอาการบาดเจ็บ (%)	ระดับอาการบาดเจ็บที่พบมากที่สุด
1	เข้าขวา	17	85	ระดับปานกลาง
2	เข้าซ้าย	16	80	ระดับปานกลาง
3	หลัง	17	85	ระดับมาก
4	น่องซ้าย	12	60	ระดับมาก
5	น่องขวา	12	60	ระดับมาก
6	ฝ่าเท้าซ้าย	15	75	ระดับมาก
7	ฝ่าเท้าขวา	15	75	ระดับมาก

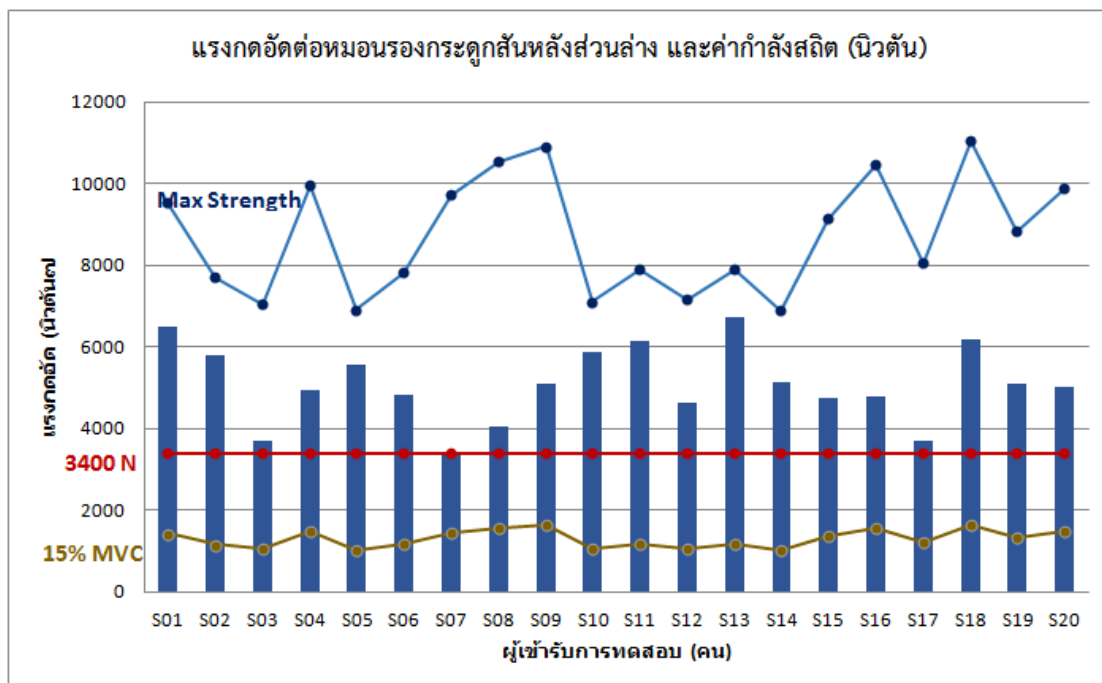
จากตารางที่ 1.2 แสดงร้อยละของความถี่จากจำนวนคนที่พบอาการบาดเจ็บในแต่ละตำแหน่งของร่างกาย พบว่า ณ ตำแหน่งหลัง พบจำนวนพนักงานมีอาการเจ็บปวดมากที่สุด คือ 17 คนจาก 20 คน ในระดับความเจ็บปวดที่พบมากที่สุดที่พบคือระดับ มาก รองลงมาคือเข้า ในระดับอาการบาดเจ็บที่พบมากที่สุดที่พบคือระดับ ปานกลาง

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter plot) โดยกำหนดคะแนนของระดับอาการบาดเจ็บแต่ละระดับคือ มากที่สุด (10 คะแนน), มาก (8 คะแนน), ปานกลาง (6 คะแนน), น้อย (4 คะแนน) และน้อยที่สุด (2 คะแนน) และนำข้อมูลร้อยละความถี่ และระดับคะแนนดังกล่าวไปวิเคราะห์



รูปที่ 1.6 แผนภาพการกระจายร้อยละความถี่และระดับความเจ็บปวดที่พบจากการใช้งาน

การวิเคราะห์ผลกระทบด้วยแผนภาพการกระจายนั้นจะพิจารณา 2 ปัจจัยคือ แกน X แสดงระดับความรุนแรงของอาการบาดเจ็บ (2-10 คะแนน) และ แกน Y แสดงร้อยละความถี่ของอาการบาดเจ็บ (20-100 คะแนน) และหาจุดที่มีคะแนนความรุนแรงของอาการบาดเจ็บและร้อยละความถี่ที่สูงสุดได้แก่ ตำแหน่งหลัง จากข้อมูลดังกล่าวจึงควรปรับปรุงภาระเพื่อลดแรงกระทำต่อตำแหน่งหลังในทางการยศาสตร์ คือตำแหน่งหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ซึ่งภายใต้การทำงานจริงนั้นมีข้อจำกัดหลายประการที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ อาทิเช่น การลดเส้นทางการเดิน หรือลดภาระงานซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิต งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในส่วนของลดภาระงานเช่นโดยการกำหนดภาระงานให้น้อยที่สุดที่สามารถแก้ไขอาการบาดเจ็บได้โดยไม่เพิ่มความเหนื่อยล้าในการปฏิบัติงานและไม่กระทบกับผลผลิตของโรงงานกรณีศึกษา จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยวิเคราะห์แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 จากค่าแรงผลัก ตามหลักของชีวกลศาสตร์ ทดสอบกับพนักงานเข็นงานเพศหญิงที่มีอาการบาดเจ็บเบื้องต้นจำนวน 20 คน ขณะเข็นงานตามสภาวะจริงในปัจจุบัน โดยจำลองเส้นทางเป็นระยะทาง 230 เมตรจากสถานที่จริง วิเคราะห์ผลใน 11 แห่งคือ ออกตัว ทางเลี้ยว 7 แห่ง พื้นขรุขระ ทางตรง และทางลาด เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่คาดว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงผลักมากที่สุด โดยการเปรียบเทียบกับค่ากำลังสถิติสูงสุด (Max strength) ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ก่อนปรับปรุงงานขึ้น

รูปที่ 1.7 การบันทึกจะใช้ค่าสูงสุดของแรงผลึกไม่รวมแรงที่เกิดจากการกระชากรถเข็น มาคำนวณแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 จากนั้นใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด 11 ค่า และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มาแสดงด้วยแผนภูมิแท่ง เปรียบเทียบกับกำลังสถิติของกล้ามเนื้อสูงสุดพบว่า แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยเฉลี่ยของทุกกิจกรรมอยู่ที่ประมาณ 5094.4 นิวตันซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ 3400 นิวตัน (NIOSH, 1999) และสูงกว่าค่าความปลอดภัยร้อยละ 15 ของกำลังสถิติของกล้ามเนื้อสูงสุด (Kroemer และ Grandjean) ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการบาดเจ็บที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 หากปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง

จากการสำรวจข้อมูลอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานของพนักงานขึ้นงานในโรงงานกรณีศึกษาด้วยแบบสอบถามและการวัดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 จากการขึ้นงานดังกล่าว พบว่าลักษณะงานขึ้นของโรงงานกรณีศึกษาเป็นส่วนหนึ่งในปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดโรคจากการทำงานได้ โดยสาเหตุของอาการบาดเจ็บดังกล่าวสามารถจำแนกด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. เครื่องมือ ได้แก่ รถเข็นงาน ซึ่งการทำงานจริงไม่สามารถเปลี่ยนรถเข็นงานหรือเปลี่ยนวิธีขึ้นงานได้เนื่องจากกระทบต่อต้นทุนของโรงงาน ดังนั้นแนวคิดในการปรับปรุงจึงเน้นรถเข็นงาน

2. คน ได้แก่ พนักงานเข็นงานเทศหญิง ที่มีอาการเจ็บปวดขณะปฏิบัติงานสะสม ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลง หรือโยกย้ายพนักงานทั้งหมดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่ปรับปรุงปัจจัยด้านคน
3. ความถี่ในการทำงาน ได้แก่ รอบการเดินเข็นงาน ซึ่งข้อมูลยอดการผลิตย้อนหลังกับรอบเวลาการเข็นนั้นหากต้องการปรับลดจะต้องพิจารณาผลกระทบต่อยอดผลิต เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการคอยในกระบวนการถัดไป

ด้วยสาเหตุของอาการบาดเจ็บของพนักงานจากงานเข็นนี้ งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการลดภาระงานเข็นดังกล่าวโดยการแทรกออฟระหว่างปัจจัยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และการใช้พลังงานขณะเข็นงาน ซึ่งวิธีการปรับปรุงงานตามหลักการวิทยาศาสตร์นั้น อ้างอิงจาก คือ การใช้หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach), หลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach) และวิธีทางสรีรวิทยา (Physiological Approach) และงานวิจัยนี้จะประยุกต์ 3 วิธีข้างต้นมากำหนดเป็นแนวทางในการลดภาระงานเข็น

ซึ่งหลักการลดภาระงานดังกล่าว การปรับลดภาระลงให้น้อยที่สุดเป็นการลดอาการบาดเจ็บได้โดยตรง แต่ข้อจำกัดของการทำงานในโรงงานกรณีศึกษานั้น ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อผลผลิตของงาน ดังนั้นการปรับปรุงในงานวิจัยนี้จึงต้องหาวิธีที่ช่วยลดภาระงานดังกล่าวให้มากที่สุดในขณะที่พนักงานยังคงปฏิบัติงานได้โดยไม่กระทบผลผลิต ซึ่งเป็นการแทรกออฟระหว่าง 2 ปัจจัยข้างต้น ภายใต้การดำเนินงานวิจัยนี้เพื่อให้สามารถบรรลุจุดประสงค์ในการลดภาระงาน จึงมีการออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานด้วยการทดลองมุ่งเน้นการปรับปรุงเครื่องมือ คือ รถเข็นงาน และการลดภาระของน้ำหนักบรรทุก

โดยผลลัพธ์สุดท้ายของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบงานเพื่อลดภาระงานเข็นจากตัวชี้วัดคือการลดลงของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และการใช้พลังงานด้วยการแทรกออฟระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว เพื่อป้องกันอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานโดยที่ไม่เพิ่มความเหนื่อยล้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การลดภาระงานโดยการแทรกออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. วัตถุประสงค์ในการลดภาระงานเข็นโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานนั้น จะใช้ตัวชี้วัดของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 จากแรงผลักรถเข็นงาน เปรียบเทียบกับเกณฑ์ 3400 นิวตันของ NIOSH และการใช้พลังงานที่วัดจากอัตราการเต้นของหัวใจขณะเดินเข็นงาน
2. ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้คือขั้นตอนการประเมินเพื่อลดภาระงานเข็นโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน สำหรับพนักงานเข็นงานในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบในแต่ละหัวข้อการทดลองปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมเพื่อไม่ให้กระทบกับการทำงานของพนักงาน
3. งานวิจัยนี้ดำเนินการในโรงงานกรณีศึกษา ใช้ผู้เข้าร่วมการทดสอบเป็นกลุ่มพนักงานเข็นงานเพศหญิงที่พบอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงาน โดยคำนวณค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างด้วยสมการสมมูลสถิตตามหลักชีวกลศาสตร์ และคำนวณการใช้พลังงานด้วยสมการของ Keytel, L.R., Goedecke, J.H., Noakes, T.D., et al. (2005)

1.4 ผลที่ได้รับ

1. รถเข็นงานที่ออกแบบให้เหมาะสมกับกลุ่มพนักงานเข็นงานของโรงงานกรณีศึกษาช่วยลดแรงกระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ขณะเดินเข็นงาน
2. น้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมในการขนย้ายชิ้นงานในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา
3. วิธีการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างการใช้พลังงานในการเข็นงาน และแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างสำหรับพนักงานเข็นงานเพศหญิงของโรงงานกรณีศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถใช้ข้อมูลด้านการประเมินความแข็งแรงของกำลังสถิติเพื่อเป็นมาตรฐานในการคัดเลือกผู้ปฏิบัติงานเพศหญิงที่เหมาะสมกับภาระงานเข็นในโรงงานกรณีศึกษา

2. ผู้ปฏิบัติงานสามารถปฏิบัติงานเช่นได้ด้วยความเหนื่อยล้าและแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลง
3. แนวทางการลดภาระงานเช่นโดยการเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และการใช้พลังงานนี้สามารถนำไปศึกษาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. วัดค่ากำลังสถิติกล้ามเนื้อแขน, ไหล่, กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และประเมินแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นงานก่อนปรับปรุง
3. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
4. ออกแบบการทดลองการลดภาระงานเช่นตามหลักการชีวกลศาสตร์, จิตฟิสิกส์ และสรีรวิทยา
5. ดำเนินการทดลองปรับปรุงรถเข็นงานเพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง
7. ดำเนินการทดลองลดน้ำหนักบรรทุกโดยการกำหนดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing : MAWP) ตามหลักจิตฟิสิกส์
8. ดำเนินการทดลองการลดภาระงานโดยการเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน
9. วิเคราะห์ผลการทดลอง
10. ประเมินผลและปรับปรุง
11. สรุปผลการทดลอง
12. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดภาระงานขึ้นจากปัญหาอาการบาดเจ็บจากการปฏิบัติงานนั้นสามารถใช้หลักการ ประเมินภาระงานและลดภาระงานได้โดยแบ่งเป็น 2 แนวทางได้แก่ 1. แนวทางการปรับปรุงรถเข็น (Hardware Ergonomics) เพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างตามวิธีด้านชีวกลศาสตร์ 2. แนวทางการลดน้ำหนักบรรทุก (Work design) ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องมาจากการปรับปรุงรถเข็น การลดน้ำหนักบรรทุกนั้นเป็นการลดภาระโดยตรง แต่ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อผลผลิตของโรงงานกรณีศึกษา และความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้การศึกษาเพื่อหาค่าภาระงานที่เหมาะสมต่อสรีระของผู้ปฏิบัติงานตามหลักการยศาสตร์นั้น Ayoub, 1977 ได้เสนอแนวทางการหาขีดจำกัดความสามารถของมนุษย์เพื่อไม่ให้ปฏิบัติงานเกินกำลังจนเกิดอันตรายซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ หลักการทางชีวกลศาสตร์, หลักการทางสรีรวิทยา, และหลักการทางจิตฟิสิกส์ ซึ่งอธิบายการตอบสนองของร่างกายที่มีต่อภาระงานที่มากกระทำต่างๆได้ โดยการเปรียบเทียบกับขีดจำกัดของร่างกาย ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิด และวิธีการศึกษาเพื่อสามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการวิจัย จึงได้เรียบเรียงเนื้อหา รวมถึงงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ทฤษฎีด้านชีวกลศาสตร์

Chaffin และคณะ (1999) ได้กล่าวคำนิยามของชีวกลศาสตร์ว่า ‘เป็นการศึกษาปฏิสัมพันธ์ทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการทำงานเพื่อให้เกิดความเสี่ยงต่อปัญหาและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูกน้อยที่สุด’ ในขณะที่ Tichauer (1978) ได้ตีพิมพ์หนังสือ ‘the Biomechanical Basic of Ergonomics’ ซึ่งกล่าวถึงการบาดเจ็บของร่างกายที่เป็นผลมาจากการใช้แรงมากเกินไป โดยต่อมามีการนำเอาแนวคิดดังกล่าวมาใช้ในการประกอบอาชีพหรือการทำงาน ซึ่งจะเรียกว่าชีวกลศาสตร์ในการทำงาน (Occupational Biomechanics) จากนิยามของ Kroemer (1987) อ้างจากงานวิจัยของ (กนกวรรณ คำพันธ์, 2557) ได้กล่าวว่าชีวกลศาสตร์ในการทำงาน (Occupational Biomechanics) คือการวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงของมนุษย์ในขณะปฏิบัติงาน หรือ กิจกรรมหนึ่งโดยเป็นการประยุกต์ความรู้ที่ผสมผสานกันระหว่างกลศาสตร์วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์ชีวภาพเข้าด้วยกัน เพื่อวิเคราะห์หาภาระงานทางกล (Mechanical Loading) ที่มีความสัมพันธ์กับระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal System) ซึ่งจะใช้ในการหาค่าความเหมาะสมของแรงและความเสี่ยงที่กล้ามเนื้อและกระดูกจะเกิด

ความเสียหายหรือบาดเจ็บจากการทำงาน (Work Related to Musculoskeletal Disorder: WMSD) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นจะสามารถอธิบายสาเหตุของการบาดเจ็บและช่วยให้เกิดประโยชน์ในด้านการออกแบบการทำงานที่เหมาะสมในสภาวะที่ต้องใช้แรงในการทำงานอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการอธิบายเกี่ยวกับการเกิดแรงกระแทกซ้ำๆ ที่กระทำ ณ ตำแหน่งหมอนรองกระดูกสันหลังของร่างกาย โดยแรงที่กระทำนั้นไม่เกินค่าขีดความทนทาน (Tolerance) ของอวัยวะดังกล่าว จึงไม่ส่งผลต่อความบาดเจ็บของร่างกาย ในขณะที่การปฏิบัติงานแบบเดิมซ้ำๆ นั้น ส่งผลต่อแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังซ้ำๆ ไปมาเป็นจังหวะ สำหรับแนวคิดนี้ได้ถูกนำมาออกแบบการทำงานในสภาวะต่างๆ ให้อวัยวะของผู้ปฏิบัติงานได้รับแรงกระทำไม่เกินขีดจำกัดดังกล่าว ทั้งนี้ไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นความปลอดภัยต่อร่างกายได้ทั้งหมด เนื่องจากบางครั้งแรงกระทำในระดับต่ำกว่าขีดจำกัดความทนทานนั้น สามารถทำให้อวัยวะอักเสบ (Inflammatory) ได้เช่นกัน นอกเหนือจากนี้ การปฏิบัติงานในลักษณะซ้ำๆ ไปมา ที่พบมากในอุตสาหกรรมการผลิตแบบเป็นจำนวนมาก เมื่อผู้ปฏิบัติงานมีอายุเพิ่มมากขึ้น มีการออกกำลังกายน้อยลง ประกอบกับปฏิบัติงานแบบเดิมติดต่อกันเป็นเวลานานหลายปี ก็ส่งผลให้ขีดความทนทานของอวัยวะลดลง จนกระทั่งถึงจุดที่ร่างกายบาดเจ็บได้

นริศ เจริญพร (2550). ได้อธิบายการบาดเจ็บเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1.การบาดเจ็บแบบทันที (Acute Trauma) เป็นการที่อวัยวะได้รับแรงกระทำในขนาดมากเพียงครั้งเดียวแล้วส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บในทันที เช่น การได้รับแรงกระแทก การยกของที่มีน้ำหนักมากจนหมอนรองกระดูกสันหลังฉีกขาด (Intervertebral disk rupture)

2.การบาดเจ็บแบบสะสม (Cumulative Trauma) เป็นสภาวะที่เกิดแรงกระทำซ้ำๆ ต่อเนื่องต่ออวัยวะของร่างกาย ที่ระดับแรงกระทำต่ำกว่าขีดจำกัด หรือการที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหวในลักษณะซ้ำๆ จนเกิดการเสื่อมสภาพ สึกหรือของอวัยวะ ซึ่งนำไปสู่การอักเสบในที่สุด ทั้งนี้ปัจจัยด้านอื่น เช่นอายุของผู้ปฏิบัติงานที่เพิ่มขึ้น ยังเป็นตัวเร่งให้ขีดจำกัดความทนทานลดลง จนเกิดการบาดเจ็บในที่สุด

สำหรับแนวทางการป้องกันการบาดเจ็บนั้น งานวิจัยของ (กาญจนา หลวงโปธา, 2554) ได้อธิบายถึงการลดปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เพื่อป้องกันการบาดเจ็บ ยกตัวอย่างเช่น

1. การลดงานหนักเกินกำลัง

ตามประกาศของกฎกระทรวง ว่าด้วยการกำหนดอัตราน้ำหนักที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานได้ พ.ศ.2547 พบว่า งานยก แบก หาบ ทูน ลาก หรือเข็นของหนักสำหรับเพศหญิง ต้องไม่เกิน 25

กิโลกรัม ดังนั้นการกำหนดน้ำหนักสูงสุดของภาระงาน และประเมินภาระงานในขณะปฏิบัติงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้แรงงานดังกล่าว (กระทรวงแรงงาน, 2547)

2. การลดความซ้ำซากของงาน

การทำงานในลักษณะเดิม ซ้ำไปมาหลายครั้ง ถึงแม้ว่าจะไม่มีภาระงานที่ต้องใช้แรงมาก แต่ด้วยความถี่ ซ้ำๆ ก็สามารถทำให้เกิดความเมื่อยล้าและอาการบาดเจ็บได้

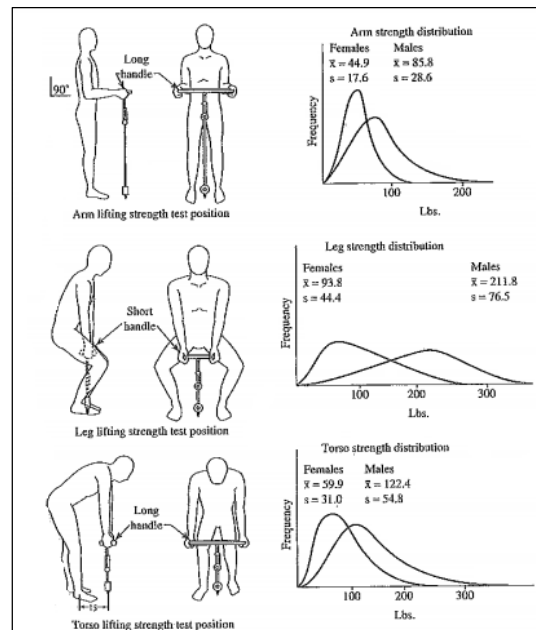
2.2 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความล้า

2.2.1 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

Ikai and Fukunaga (1968). ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นส่วนโดยตรงจากขนาดของกล้ามเนื้อ กำหนดจากพื้นที่ภาพตัดขวางของกล้ามเนื้อ (Cross-sectional area) โดยระบุค่าที่ 60 N/cm^2 สำหรับเพศชายและหญิง ดังเช่น กล้ามเนื้อขา และลำตัว จะสามารถใช้ในงานยกที่มีภาระน้ำหนักมาก ได้ดีกว่ากล้ามเนื้อแขนที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า

การออกแบบงานให้มีความเหมาะสมกับความสามารถของความแข็งแรงของมนุษย์ (Human Strength Capability) นั้น พบว่ามีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

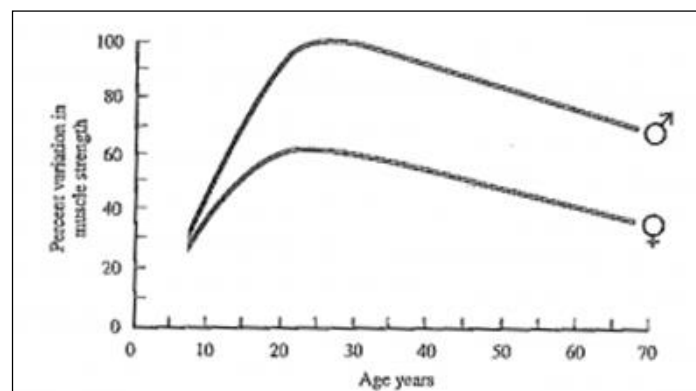
- 1.The type of strength (ประเภทของความแข็งแรง)
- 2.The muscle or joint motion being utilized (การใช้ประโยชน์จากกล้ามเนื้อหรือข้อต่อ)
- 3.Posture (ท่าทาง)



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของกำลังสถิติ และผลลัพธ์ของ ชาย 443 คน หญิง 108 คน (Chaffin et al., 1977)

จากรูปที่ 2.1 แสดงการทดสอบความแข็งแรง 3 ท่าทาง ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงของแขน การทดสอบความแข็งแรงของขา ความแข็งแรงของลำตัว โดยผลลัพธ์จากกลุ่มตัวอย่าง เพศชาย 443 คน และเพศหญิง 108 คน พบว่าโดยเฉลี่ยเพศหญิงจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเพศชาย แต่สามารถปฏิบัติงานที่ความถี่มากกว่า ในขณะที่เพศชายมีความแข็งแรงมากกว่า แต่ปฏิบัติงานได้ที่ความถี่น้อยกว่า

นอกจากนี้อายุที่เพิ่มขึ้นก็ส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเช่นกัน จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แปรผันตามอายุที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 ความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงตามอายุ ในเพศหญิง และเพศชาย (Astrand and Rodahl, 1986)

จากรูปข้างต้นพบว่ากล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดในช่วงอายุ 20 ปี โดยมีร้อยละ 100 สำหรับเพศชาย และ ร้อยละ 60 สำหรับเพศหญิง จากนั้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงจะลดลงเรื่อยๆ เส้นตรงจนเหลือร้อยละ 80 ที่อายุ 60 ปี สำหรับเพศชาย และร้อยละ 50 ที่อายุ 60 ปี สำหรับเพศหญิง ซึ่งเพศหญิงยังคงมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่าเพศชายโดยเฉลี่ยร้อยละ 40 หลังจากอายุ 20 ปีจนถึง 70 ปี ดังนั้นงานที่ต้องใช้แรงงาน หรือรับภาระงานหนักจึงมีความเหมาะสมกับเพศชายมากกว่าเพศหญิง ทั้งนี้เพศหญิงสามารถปฏิบัติงานที่ใช้แรงงานได้ เมื่ออยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เกินขีดจำกัดของร่างกาย

สำหรับการเคลื่อนไหวหรือการยกงานที่ส่งผลต่อการเกิดแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง นั้น พบว่า ทุกๆ องศาที่ก้มตัวลงนั้น จะเกิดโมเมนต์ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างข้อที่ L5 และข้อที่ S1 จากระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางกระดูกสันหลัง และกล้ามเนื้อหลัง โดยการเกิดแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังนั้น เพื่อดึงร่างกายต้านกับแรงที่ตกลงจากการก้มตัว หรือ น้ำหนักวัตถุที่ถือ หากมีการก้มตัวลงมาก แรงดึงจากกล้ามเนื้อ และโมเมนต์ก็เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่หมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างข้อที่ L5 และ S1 ปลิ้นออกมา เป็นสาเหตุให้เกิดอาการบาดเจ็บที่กระดูกสันหลังบริเวณดังกล่าวได้ ทั้งนี้ปัจจัยร่วมอื่นๆที่ส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บนั้น ขึ้นอยู่กับความถี่ในการก้มตัว หรือ ยกของ น้ำหนักตัว น้ำหนักของ และองศาที่ก้มลง

นอกจากนี้การกำหนดขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของภาระงานในทางชีวกลศาสตร์นั้นจะใช้เกณฑ์ของแรงกระทำที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง งานวิจัยของ (อรอุมา ลาสุนนท์, 2542) อ้างอิงถึงค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังในระดับที่ยอมรับได้ (MAL) คือร้อยละ 33 – 93 (เฉลี่ย 60) ของค่า Compressive Strength โดย Eie (1966). ต่อมามีการทดลองเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Weights : MAWs) คือการปรับน้ำหนักที่ใช้ยกหรือเคลื่อนย้าย สำหรับผู้เข้ารับการทดสอบที่ไม่ทราบน้ำหนักดังกล่าว และหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ผู้เข้ารับการทดสอบยอมรับที่จะยกหรือเคลื่อนย้ายตลอดเวลาการทำงานโดยไม่เกิดภาวะเครียด (strain) โดย Snook, Irvine and Bass (1970).

ทั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาผลกระทบของแรงกระทำดังกล่าวที่เกิดขึ้นจากการเข็นงานโดยจำลอง Free body diagram จากลักษณะท่าทางการเข็นงานและแรงกระทำต่อร่างกายดังรูปที่ 2.3

2.2.2 ความล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle Fatigue)

ความล้าของกล้ามเนื้อแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

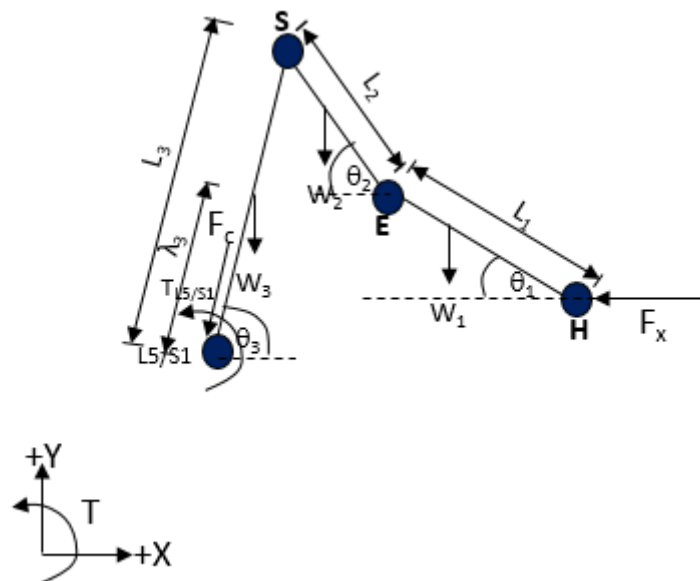
1. ความล้าทั้งร่างกาย (Whole body fatigue)

เป็นความล้าที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลักๆ ทั้งร่างกาย ซึ่งจะมีอาการปวด เมื่อย หอบ หรือหายใจแรงขึ้น เนื่องจากร่างกายต้องการใช้ออกซิเจน

2. ความล้าเฉพาะส่วน (Local muscle fatigue)

เป็นความล้าที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อมัดใดมัดหนึ่ง ไม่เชื่อมต่อกับมัดอื่นๆ ร่างกาย ไม่มีอาการเหนื่อย หอบ เนื่องจากไม่ต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่ม

2.3 แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lower back compressive force)

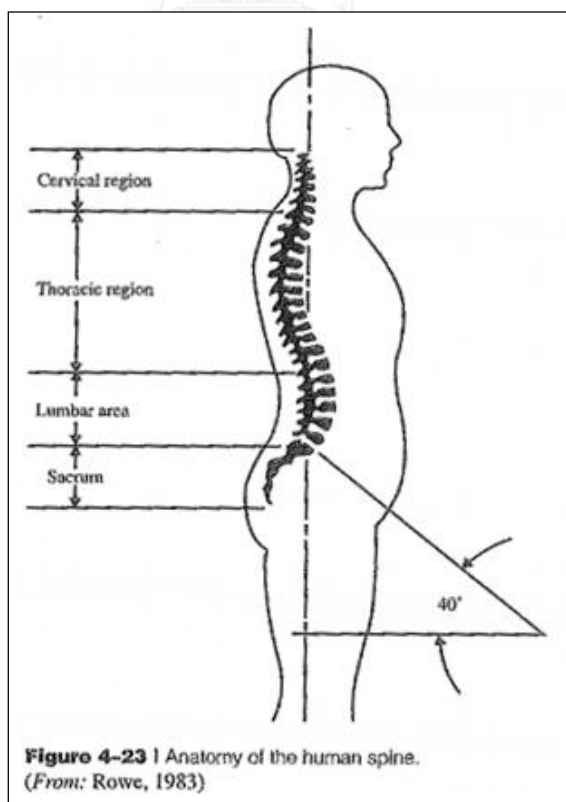


รูปที่ 2.3 แผนภาพผังอิสระ (Free body diagram) แรงกระทำจากการเข็นงาน

ขณะเข็นงานร่างกายจะเกิดแรงกระทำในแนวราบ (F_x) จากตำแหน่งมือจับของรถเข็น ด้วยองศาของแขนท่อนล่าง (θ_1) ที่กระทำต่อแนวราบและน้ำหนักของแขนท่อนล่าง ส่งผลให้เกิดโมเมนต์และแรงกดอัดต่อกระดูกข้อศอก ซึ่งมีปัจจัยคือองศาของแขนท่อนบน (θ_2) และน้ำหนักของแขนท่อนบน ทำให้เกิดโมเมนต์และแรงกดอัดส่งต่อไปยังกระดูกหัวไหล่ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผ่านแรงกระทำต่อไปได้แก่องศาของหลัง และน้ำหนักของศีรษะ คอ และหลัง เกิดเป็นโมเมนต์และแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลัง

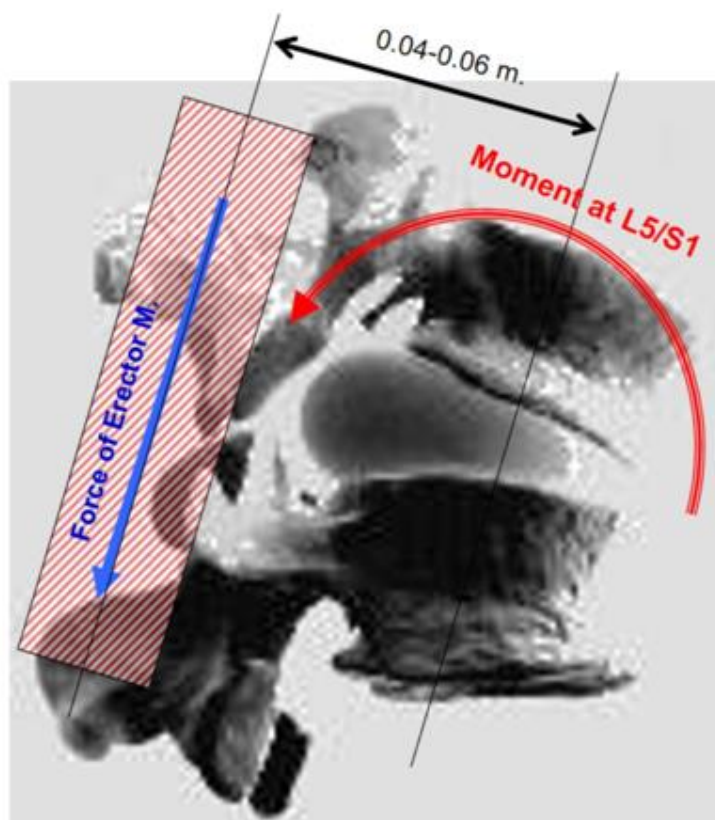
ส่วนล่าง L5/S1 (F_c) ดังแผนภาพ Free body diagram ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาโมเมนต์ และแรงกดอัดตามแนวทางชีวกลศาสตร์ด้วยสมการสมดุลสถิต โดยประยุกต์ผังอิสระดังกล่าวจากรูปแบบของงานยก โดยจะมีแรงกระทำในแนวระนาบ (F_x) เป็นจุดที่แตกต่างจากการยกที่มีแรงกระทำในแนวตั้งที่เป็นผลมาจากน้ำหนักสิ่งของ และน้ำหนักของร่างกาย ในงานเข็นนั้นนอกเหนือจากแรงกระทำในแนวระนาบที่เกิดจากแรงผลักรถเข็นงาน ยังมีแรงในแนวตั้งที่เป็นผลมาจากน้ำหนักของร่างกายส่วนต่างๆ อีกด้วย หากพิจารณาผังอิสระของงานเข็นพบว่าแรงกระทำในแนวระนาบที่เกิดจากการผลักรถเข็นกระทำต่อแขนส่วนล่าง ณ ข้อมือ จนถึงข้อศอก สมมติให้มือและมือจับรถเข็นเป็นส่วนเดียวกัน โดยแรงผลักรถจะส่งผลกระทบต่อโมเมนต์ในข้อต่อถัดไป (ข้อศอก) เมื่อแรงผลักรถเพิ่มขึ้น 10 กก. จะส่งผลให้โมเมนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 46.22 โดยเฉลี่ย ในขณะที่น้ำหนักของร่างกาย (แรงกระทำในแนวตั้ง) ที่เพิ่มขึ้น 10 กก. นั้นจะส่งผลให้โมเมนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.31 โดยเฉลี่ย จึงสามารถกล่าวได้ว่าแรงผลักรถจากงานเข็นมีอิทธิพลต่อโมเมนต์ที่ข้อต่อได้มากกว่า

กระดูกสันหลังของมนุษย์จะเป็นรูปร่างคล้ายตัว S โดยมีกระดูกทั้งสิ้น 25 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ Cervical 7 ชิ้น บริเวณคอ Thoracic 12 ชิ้น บริเวณหลังส่วนบน Lumbar 5 ชิ้น บริเวณหลังส่วนล่าง และ Sacrum บริเวณสะโพก (The pelvic area) (B.W.Niebel & A.Freivalds, 2004) ซึ่งลักษณะทางกายภาพของกระดูกสันหลังในแต่ละข้อต่อนั้น แสดงต่อมาในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะกายวิภาคของกระดูกสันหลังมนุษย์ (Rowe, 1983)

กระดูกสันหลังมีลักษณะเป็นท่อประกอบด้วยกระดูกหลายชั้นทอดยาวแนบกับกล้ามเนื้อหลัง ซึ่งศูนย์กลางของกระดูกสันหลังนี้จะบรรจุเส้นประสาทที่ส่งมาจากสมองผ่านไขสันหลังลงมา นอกจากนี้กระดูกสันหลังยังประกอบไปด้วยเนื้อเยื่ออ่อน และมีหมอนรองแทรกอยู่ระหว่างกระดูกสันหลัง ช่วยเป็นเหมือนข้อต่อที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง โดยส่วนที่นี้จะอยู่บริเวณ 2 ข้อต่อล่างสุด ซึ่งจะเรียกว่า L5/S1 คือตำแหน่งของกระดูกนับจากด้านบนลงมา เมื่อพิจารณาถึงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ดังกล่าวจากการเข็นงานนั้น พบว่าตำแหน่งของหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 จะได้รับแรงกระทำดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.5

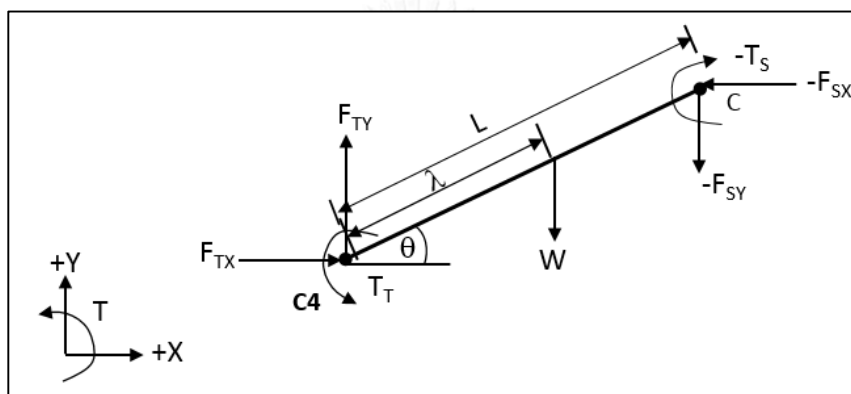


รูปที่ 2.5 การเกิดแรงดึงจากกล้ามเนื้อ และโมเมนต์ที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง
(ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล . 2555)

จากรูปที่ 2.5 เมื่อร่างกายได้รับแรงกระทำจากงาน เข็นงาน มีการก้มตัวเกิดองศาบริเวณหลัง และด้วยปัจจัยของน้ำหนักศีรษะ คอ และหลังที่กดลงบนกระดูกสันหลังส่งผลให้เกิดโมเมนต์ และแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 นอกจากนี้แรงกระทำดังกล่าวยังเป็นผลมาจากแรงดึงของกล้ามเนื้ออีเรคเตอร์ สไปแน (Erector spinae) ที่ทำหน้าที่เหยียดหลังให้ตรงเพื่อให้ร่างกายทรงตัวได้ โดยระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของข้อต่อกระดูกสันหลัง และกล้ามเนื้อหลังอีเรคเตอร์ สไปแน จะอยู่

ระหว่าง 0.04 – 0.06 เมตร ดังรูปที่ 2.8 โดยในงานวิจัยใช้ค่าอ้างอิง 0.04 เมตร ในการคำนวณหาแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 สำหรับค่าอ้างอิงระยะระหว่างกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังนั้น มีนักวิจัยหลายท่านได้กำหนดค่าที่ใช้คำนวณแตกต่างกันโดย Thieme (1950). ได้ใช้ระยะ 0.05 เมตร Tayyari & Smith (1997). ใช้ค่าประมาณ 0.04 เมตร Chaffin and Anderson (1991). ศึกษาพบว่าขณะที่ลำตัวตั้งตรงระยะดังกล่าวเท่ากับ 0.07 เมตร ในขณะที่ลำตัวก้มลงในแนวระนาบ ระยะจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.15 เมตร

2.4 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิต



รูปที่ 2.6 แผนภาพผังอิสระในสภาวะสถิตของร่างกาย

2.4.1 การคำนวณหาผลรวมของโมเมนต์ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

จากสมการสมดุลสถิตดังนี้

$$\Sigma T = T_T - T_S - ((\lambda \cos \theta) * W) - ((L \cos \theta) * F_{sy}) - ((L \sin \theta) * F_{sx}) = 0 \quad \dots(1)$$

โดยที่

W = มวลของส่วน (Segment) ที่คำนวณ

λ = ระยะจากข้อต่อที่ใกล้ที่สุด (Proximal) ถึงจุดศูนย์กลางมวล

L = ความยาวของ Segment ที่คำนวณ

θ = องศาของ Segment กับแนวระนาบ

T_S = โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อที่ใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal)

T_T = โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อที่ไกลจากจุดศูนย์กลางมวล (Distal)

F_{sx} = แรงปฏิกิริยาต่อข้อต่อใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal) ในแนวระนาบ

F_{sy} = แรงปฏิกิริยาต่อข้อต่อใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal) ในแนวตั้ง

2.4.2 การคำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง the compressive force on L5/S1 (F_c)

$$F_{cx} = F_{sx}, F_{cy} = W_3 + F_{sy} \quad \dots(2)$$

$$F_{txc} = F_{cx} \cos \Theta_3, F_{tyc} = (W_1 + W_2 + W_3) \cos \Theta_3 \quad \dots(3)$$

$$F_{mc} = \frac{Ts}{d} \quad \dots(4)$$

$$F_c = F_{mc} + F_{txc} + F_{tyc} \quad \dots(5)$$

โดยที่

W_1, W_2, W_3 = น้ำหนักของมวลในแต่ละ Segment ที่กระทำต่อข้อต่อที่คำนวณ

d = ระยะจากจุดศูนย์กลางของกล้ามเนื้อหลัง ถึง จุดศูนย์กลางของ L5/S1 (งานวิจัยนี้ใช้ค่า = 0.04 ม.)

F_{cx} = แรงปฏิกิริยาภายนอกในแนวระนาบที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (L5/S1)

F_{cy} = แรงปฏิกิริยาภายนอกในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (L5/S1)

F_{mc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่เกิดจากแรงดึงกล้ามเนื้อหลัง

F_{txc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ในแนวระนาบ (L5/S1)

F_{tyc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ในแนวตั้ง (L5/S1)

F_c = แรงกดอัดรวมที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (L5/S1)

2.5 ความสามารถของมนุษย์ Human Capacities

แบ่งตามความสามารถในการควบคุมงานให้เข้ากับเวลาโดยปราศจากความผิดพลาด ซึ่งแบ่งเป็น 4 ลักษณะเรียกว่า ACT-E (ไฟโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2558) ได้แก่

1. Access คือการใช้สัดส่วนร่างกาย หยิบจับ การออกแบบงานนั้นจะออกแบบให้สามารถเข้าถึงง่าย แต่สามารถลอกเลียนแบบได้ง่ายเช่นกัน

2. Control คือการควบคุมได้ การออกแบบต้องใช้ความรู้เชิงวิศวกรรม และเครื่องมือ ซึ่งจะลอกเลียนแบบได้ยากกว่า Access
3. Time คือการทำให้ทันตามเวลา การออกแบบงานในด้านความตรงเวลา ความรวดเร็ว
4. Error คือการมุ่งเน้นความแม่นยำ ความเที่ยงตรง วัดค่าได้จากความคาดหวัง (Expect) และสิ่งที่ได้จริง (Actual)

จากหลักการออกแบบงานให้สอดคล้องกับความสามารถของมนุษย์นั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงภาระงานเข็น ซึ่งปัจจัยสำคัญสำหรับงานเข็นนั้น ได้แก่ รถเข็นงาน (Platform truck) รถเข็นงานเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการขนย้ายชิ้นงาน โดยการออกแบบงานเข็นจะต้องคำนึงถึงการใช้รถเข็นงานอย่างเหมาะสมซึ่งแสดงแนวคิดในการออกแบบดังนี้

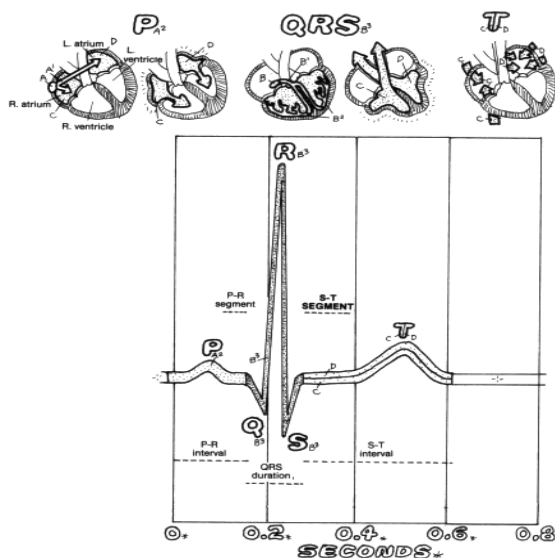
2.5.1 รถเข็นงานที่เหมาะสม

การเข็นงานด้วยรถเข็นนั้น ล้อรถ เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญช่วยในการเคลื่อนที่ รองรับน้ำหนัก และการบังคับทิศทางของรถเข็น ในการใช้งานให้เหมาะสมนั้นการใช้ล้อรถเข็นที่มีขนาดใหญ่กว่า จะช่วยผ่อนแรงขณะเข็นงานได้ดีกว่า ในขณะที่ตำแหน่งของล้อที่อยู่ใกล้มือจับควรเป็นล้อเป็น เนื่องจากขณะเลี้ยวจะใช้ล้อตายเป็นจุดหมุนและตำแหน่งมือจับนั้นจะอยู่ไกลจากจุดหมุน ส่งผลให้ใช้แรงน้อยในการบังคับรถ (เกศิณี สหกิจชัชวาล, 2558) ในขณะที่การออกแรงผลักรถเข็นงานนั้น ที่ระดับความสูงของมือจับควรอยู่ที่ระดับเอวของผู้ใช้งาน จึงจะให้แรงที่มากที่สุด (ศูนย์กายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552)

2.6 ทฤษฎีทางด้านสรีรวิทยา

2.6.1 อัตราการเต้นของหัวใจ

หัวใจทำงานได้ด้วยสารเคมี เช่น อะดรีนาลีน โปแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^+) โดยที่สมองไม่สามารถสั่งการหัวใจได้ เนื่องจากไม่มีส่วนใดของสมองที่เชื่อมกับหัวใจ การเต้นของหัวใจนั้นจะได้รับการกระตุ้นจากสารสื่อประสาท ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้า เพราะหัวใจเป็นเส้นประสาทอัตโนมัติชนิดหนึ่ง ในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจนั้น จะแสดงคลื่นหัวใจออกมา 3 ประเภทดังรูปที่ 2.7



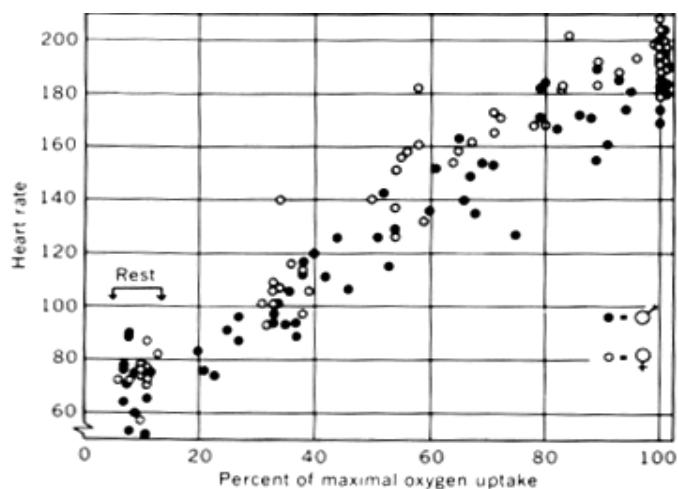
รูปที่ 2.7 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiograms) (Anatomy Coloring Book, 2014)

คลื่นของหัวใจทั้ง 3 ประเภทจากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ได้แก่

1. P เกิดจากการถ่ายเลือดจากหัวใจจากห้องบนลงสู่ห้องล่าง ทั้ง 2 ห้องพร้อมกัน
2. R เกิดจากการถ่ายเลือดจากหัวใจ 2 ห้องล่าง คือล่างขวา ไป ปอด และ ล่างซ้าย ไปส่วนต่างๆของร่างกายคลื่น R จึงเป็นคลื่นที่สูงที่สุด เนื่องจากหัวใจมีการบีบตัวแรงที่สุด
3. T เกิดจากการที่หัวใจห้องบนขยายตัวออกเพื่อรับเลือดดำ

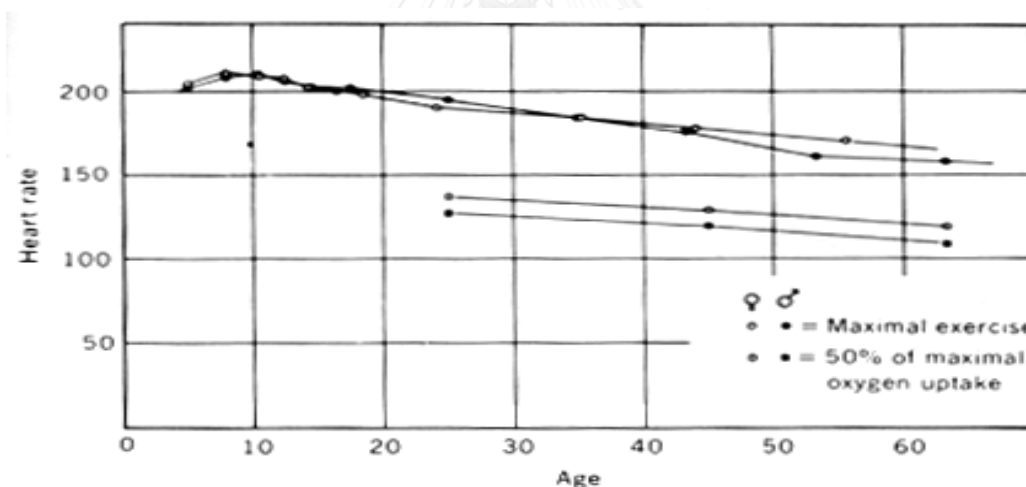
โดยขณะที่วัดอัตราการเต้นของหัวใจนั้น มักจะวัดค่าได้ 2 คลื่นได้แก่ R และ T โดยที่คลื่น P จะค่อนข้างเบามาก จึงใช้ 2 คลื่นเท่านั้น (ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2557)

นอกจากนี้หัวใจยังเป็นสามารถบอกการส่งออกซิเจนและอาหารไปยังร่างกายได้อีกด้วย หากหัวใจเต้นช้าออกซิเจนก็จะถูกส่งออกไปช้า แต่หากหัวใจเต้นเร็ว ออกซิเจนก็จะถูกส่งออกไปเร็วเช่นกัน รูปที่ 2.8 แสดงการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และการขยายตัวของปอด



รูปที่ 2.8 การใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ (Astrand and Rohahl, 2014)

จากรูปข้างต้นพบว่าขณะที่ร่างกายอยู่นิ่งๆ (Rest) อัตราการเต้นของหัวใจจะอยู่ที่ประมาณ 60 ครั้งต่อนาที และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหากร่างกายมีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น โดยหากร่างกายใช้ออกซิเจนร้อยละ 100 อัตราการเต้นของหัวใจจะอยู่ตั้งแต่ 170 ครั้งต่อนาที ถึง 220 ครั้งต่อนาที



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ออกซิเจนและอายุ (Astrand and Rohahl, 2014)

จากรูปที่ 2.9 เมื่ออายุเพิ่มขึ้นทั้งเพศชาย และหญิง อัตราการเต้นของหัวใจจะมีแนวโน้มลดลง โดยขณะที่อายุ 10 ปี อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดอยู่ที่มากกว่า 200 ครั้งต่อนาที ในขณะที่อายุเพิ่มขึ้นเป็น 60 ปี อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดลดลงมาที่ 160-170 ครั้งต่อนาที โดยประมาณ ทั้งนี้การทำกิจกรรมต่างๆ ที่ใช้ออกซิเจนและเกี่ยวข้องกับอัตราการเต้นของหัวใจจึงควรพิจารณาในเหมาะสมกับอายุ ในขณะที่ปัจจัยด้านเพศนั้น เพศชายจะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมากกว่าเพศหญิง สำหรับความสัมพันธ์ของค่าอัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงานนั้น งานวิจัยของ (มณีนทร รักษ์บำรุง

, 2559) ได้นำเอาวิธีการของ (Keytel; et al, 2005) ซึ่งอธิบายการประมาณการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นของหัวใจที่มีความสัมพันธ์กับความหนักในการออกกำลังกาย มาใช้ในการคำนวณอัตราการเผาผลาญพลังงาน โดยมีสมการดังนี้

การหาการเผาผลาญพลังงานได้แก่ วิธีของ Karvonen-method (Levy, 2011)

เพศชาย

$$EE = ((0.2017 * \text{age}) + (0.09036 * (W) + (0.6309 * \text{HR}) - (55.0969)) \times t / 4.184 \dots (6)$$

เพศหญิง

$$EE = ((0.074 * \text{age}) - (0.05741 * (W) + (0.4472 * \text{HR}) - 20.4022) * t / 4.184 \dots (7)$$

โดยที่ EE = อัตราการใช้พลังงาน (ต่อนาที) หน่วยคือ กิโลแคลอรี

W = น้ำหนักตัว (ปอนด์)

HR = อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย

t = เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกาย (นาที)

สมการนี้จะใช้การแปลงค่าน้ำหนักจาก 1 กิโลกรัม เท่ากับ 2.2 ปอนด์

สมการจากงานวิจัยของ (Keytel et al., 2005) ได้เสนอรูปแบบของการทำนายสมการเกี่ยวกับการใช้พลังงานจากปัจจัยของอายุ เพศ น้ำหนัก และอัตราการเต้นของหัวใจ ได้แก่

$$\text{Energy expenditure (EE)} = \text{gender} \times (-55.0969 + 0.6309 \times \text{heart rate} + 0.1988 \times \text{weight} + 0.2017 \times \text{age}) + (1 - \text{gender}) \times (-20.4022 + 0.4472 \times \text{HR} - 0.1263 \times \text{weight} + 0.074 \times \text{age}) \dots (8)$$

โดยเพศชายแทนค่า = 1 และเพศหญิงแทนค่า = 0 ซึ่ง (O'Brien, 2009) ได้อ้างอิงสมการดังกล่าวในการคำนวณแคลอรีจากอัตราการเต้นของหัวใจ (Expended Calories From Average Heart Rate: AHR) การใช้พลังงานต่อนาทีได้แก่

เพศชาย

$$EE = (-55.0969 + 0.6309 \times \text{HR} + 0.1988 \times \text{weight} + 0.2017 \times \text{age}) / 4.184 \dots (9)$$

เพศหญิง

$$EE = (-20.4022 + 0.4472 \times \text{HR} - 0.1263 \times \text{weight} + 0.074 \times \text{age}) / 4.184 \dots (10)$$

หน่วยของน้ำหนักที่ใช้ (กิโลกรัม) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้สมการการใช้พลังงานต่อนาทีสำหรับเพศหญิงในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นของหัวใจ

นอกจากนี้อัตราการใช้พลังงานในการทำงานยังถูกพิจารณาจัดแบ่งประเภทความหนักเบาของงานได้โดยกระทรวงแรงงานได้ประกาศกฎกระทรวง พ.ศ.2559 ว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานใน

การบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง ได้อธิบายลักษณะของงานดังนี้

งานเบา คือ งานที่ใช้แรงน้อย หรือใช้พลังงานในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง 200 เช่นตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยสายตา นั่งคุมเครื่องจักร

งานปานกลาง คือ งานที่ใช้แรงปานกลาง งานที่ทำโดยใช้พลังงาน 201-350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง เช่นงานออกแรงยก ลาก ดัน หรือเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงปานกลาง หรือลักษณะคล้ายกัน

งานหนัก คือ งานที่ทำโดยใช้พลังงานมากกว่า 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง เช่น ชู ยกของหนัก เลื่อยไม้ เจาะผนัง หรือเคลื่อนย้ายของหนักขึ้นที่สูง หรือลาดชัน (กระทรวงแรงงาน, 2559)

2.7 ปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและวิธีการประเมิน

(อรอุมา ลาสุนนท์, 2542) ได้อ้างอิงเกณฑ์ในการหาขีดความสามารถของคนงานในการใช้ร่างกายสำหรับยกงานด้วยวิธีของ Ayoub (1977) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับขีดความสามารถในการออกแรงด้านการเข็นงาน เพื่อใช้ขีดความสามารถดังกล่าวเป็นแนวทางสำหรับการเข็นงานไม่ให้เกิดอันตรายต่อไป โดยวิธีการประเมินแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้

1. การประเมินโดยใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)

การประเมินด้วยวิธีนี้จะใช้ตัววัดผลได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการใช้พลังงานจากกระบวนการเมตาบอลิซึม หรืออัตราการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ เป็นต้น การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจเพื่อนำไปวิเคราะห์ภาระของงานสูงสุดที่กระทำได้อ่อนนั้น NIOSH (1981) ได้อ้างอิงแนวคิดดังกล่าวด้วยปัจจัยดังนี้

1. การวัดผลด้วยอัตราการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ น้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกหรือเคลื่อนย้ายวัสดุ สามารถเทียบโดยอัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ ไม่เกินร้อยละ 33 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (Bink, 1964)
2. การวัดผลด้วยอัตราการใช้พลังงานจากกระบวนการเมตาบอลิซึม หรือการวัดผลด้วยอัตราการเต้นของหัวใจ จะเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ดีกว่า การวัดผลด้วยอัตราการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ จากข้อเสนอแนะของ Legmann (1962) ชีตจำกัดของพลังงานคือ 4,300 กิโลแคลอรีต่อวัน ซึ่งการทำงาน 8 ชั่วโมงจะคิดเป็น 2,000 กิโลแคลอรีหรือ 4.17 กิโลแคลอรีต่ออนาที เทียบเท่ากับการเต้นของชีพจร (Pulse rate) 100 ครั้งต่ออนาที

ในขณะที่NIOSH (1981) ได้แนะนำสำหรับเพศหญิงและผู้สูงอายุว่าไม่ควรใช้พลังงานในการทำงานเกินกว่า 10 มล.ของ O_2 /กก.-นาที หรือประมาณ 3.5 กิโลแคลอรีต่อนาที (210 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง)

2. เกณฑ์การประเมินด้วยหลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

ตรีณัตร์ (2538) การนำเอาเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์มาประเมินนั้น จะใช้การกำหนดขีดจำกัดของภาระงานด้วยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง เปรียบเทียบกับขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (MAL) โดยนักวิจัยได้แก่ Eie (1996) ได้ใช้ค่า MAL ระหว่างร้อยละ 33 – 93 (เฉลี่ยร้อยละ 60) ของค่า Compressive Strength ในขณะที่ NIOSH (1999) ได้แนะนำขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของแรงกระทำที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างคือ ไม่เกิน 3400 N ซึ่งงานวิจัยนี้จะเทียบขีดจำกัดของร่างกายด้วยเกณฑ์ที่แนะนำโดย NIOSH

3. เกณฑ์การประเมินด้วยหลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)

แนวคิดของวิธีประเมินแบบจิตฟิสิกส์คือการใช้ความรู้สึกในการตัดสินใจเกี่ยวกับความเครียดที่เกิดขึ้นในร่างกาย ที่มีต่อสิ่งเร้าภายนอก (Kroemer, 1994) การทดสอบด้วยวิธีนี้จะให้ผู้ได้รับการทดสอบยก หรือ เคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีค่าน้ำหนักต่างๆ และตัดสินใจเลือกค่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจในการยก หรือ เคลื่อนย้ายตลอดระยะเวลาการทำงาน โดยที่ไม่เกิดภาวะเหนื่อยหอบ หรืออუნหุมิร่างกายเพิ่มสูง และใช้ค่าน้ำหนักดังกล่าว มากำหนดเป็นค่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจ Maximum Acceptable Weight (MAW)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับแนวคิดและทฤษฎีในด้านการยศาสตร์ ชีวกลศาสตร์และสรีรวิทยานั้น มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาในภาคส่วนการผลิต สถานศึกษา หรือกลุ่มประชากรทั่วไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการแสดงถึงความสำคัญของการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของร่างกายที่มีขีดจำกัดในการทำกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่ง โดยมุ่งเน้นการออกแบบและปรับปรุงงานเพื่อให้เข้ากับความสามารถของมนุษย์ไม่ให้เกินขีดจำกัดของร่างกายและลดอาการบาดเจ็บจากการทำงานได้ในที่สุด ซึ่งจะแสดงในงานวิจัยต่างๆ ที่รวบรวมมาดังนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับภาระงานเข็น (M.Jager et al., 2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับภาระงานที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ของพนักงานต้อนรับบนเครื่องบินขณะผลักและดึงรถเข็น โดยทดสอบพนักงานเพศหญิง 22 คน เพศชาย 3 คน ในงานผลักรถเข็นนั้นจะทำการทดสอบโดยมีปัจจัยคือ ขนาดรถเข็น 2 แบบได้แก่ รถเข็นแบบครึ่ง (half-size) และรถเข็นแบบเต็ม (full-size) ลักษณะการบรรทุก 3 แบบ คือว่างเปล่า (empty) ปานกลาง (medium) และบรรทุกเต็ม (full) โดยทดสอบบนพื้นเอียง 0,2,5,8 องศา วัดค่าแรงผลักขณะผลักรถเข็นและคำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ตามหลักการทางชีวกลศาสตร์ได้ผลลัพธ์คือภาระงานจากการผลักรถเข็นแบบเต็ม (full-size) น้ำหนักบรรทุก 65 กก. ที่พื้นเอียง 8 องศา น้ำหนักบรรทุก 90 กก. ที่พื้นเอียง 5 และ 8 องศา จะส่งผลต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในระดับวิกฤติ (Critical) หรือมากกว่า Limit for lumbar load โดยในการปรับปรุงนั้นแนะนำให้ปรับมือจับ และล้อรถเข็นให้เหมาะสม (K.S.Lee, D.B.Chaffin, G.D.Herrin, & A.M.Waikar, 1991) ได้ศึกษาปัจจัยด้านระดับความสูงของมือจับรถเข็นที่ส่งผลกระทบต่อแรงกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยทดสอบการดันรถเข็นจำลองที่มีมือจับ 3 ระดับคือ 660,1090 และ 1520 มม. แรงผลัก 3 ระดับคือ 98,196 และ 294 นิวตัน และควบคุมความเร็วของรถเข็นที่ 1.8 และ 2.7 กม./ชม. ผู้รับการทดสอบเป็นเพศชาย 4 คน หญิง 2 คน น้ำหนัก 50-80 กก. จากการทดสอบพบว่าที่แรงผลัก 294 นิวตัน ผู้เข้ารับการทดสอบจะไม่สามารถควบคุมรถเข็นให้มีความเร็วคงที่ 1.8 กม./ชม. ได้ จึงให้แรงผลัก 294 นิวตันเป็นขีดจำกัดของแรงผลัก (Limit in pushing hand force) ในขณะที่น้ำหนักตัวของผู้เข้ารับการทดสอบระหว่าง 50 กก. จนถึง 80 กก. ส่งผลต่อแรงผลักที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 และระดับความสูงของมือจับที่เหมาะสมในการผลักรถเข็นคือ 1090 มม. เช่นเดียวกับงานวิจัยของ (O.O Okunribido & C.M. Haslegrave, 1999) ได้ศึกษาผลกระทบจากการออกแบบมือจับของรถเข็นโดยทดลองที่องศาของมือจับ 35, 50 และ 70 องศา ที่ระดับความสูงของมือจับ 1000 มม., 1100 มม. และ 1200 มม. บรรทุกน้ำหนัก 19 และ 37 กก. จากนั้นวัดค่ามุมข้อมือ การงอศอก แรงที่เท้า และทัศนคติเกี่ยวกับความไม่สะดวกสบายกับมุมที่เอียงของรถเข็น จากนั้นคำนวณภาระที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยพบว่าบริเวณข้อมือ และข้อศอกเกิดความเค้น (Stresses) สูงในช่วงเริ่มต้น ซึ่งความเค้นที่ข้อศอกนั้นได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากการออกแบบองศาของมือจับรถเข็นที่เอียง ในขณะที่รถเข็นเคลื่อนตัวไปข้างหน้าและปัจจัยที่ดีที่สุดสำหรับการออกแรงผลักรถเข็นและส่งผลกระทบในระยะเริ่มต้นของการเข็นน้อยที่สุดคือ องศามือจับ 35 องศา และความสูงมือจับ 1000 มม.

นอกจากนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และการประเมินแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังจากภาระงานได้แก่ งานวิจัยของ (กาญจนา หลวงโปธา, 2554) ได้ประเมินการลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์แฉงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง

สำหรับพนักงานเพศหญิง 2 คนด้วยลักษณะงานบรรจุชิ้นงาน 2 ปัจจัยได้แก่ ระดับความสูงของกล่อง ใส่ชิ้นงานที่ระดับ 0 50 100 ซม. และความสูงของโต๊ะที่ระดับ 86 92.5 และ 95 ซม. ในการวิจัยจะเป็นการวัดค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ไหล่ มือ และส่วนต่างๆพบว่าค่าแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ มีค่าสูงกว่าส่วนอื่น โดยผู้รับการทดสอบคนที่ 1 มีค่า 3,424.49 ในขณะที่คนที่ 2 มีค่า 3,476.87 จากนั้นบันทึกภาพนิ่งต่อเนื่องในการบรรจุชิ้นงานตามปัจจัยที่กําหนดไว้ จำแนกเป็นสถานียานยนต์คือวางชิ้นงานในกล่อง หยิบ Partition วาง Partition ลงในกล่อง ปิดฝา กล่อง และติดเทปปิดกล่อง โดยพบว่าระดับความสูงของโต๊ะที่ 95 ซม. ให้ค่าแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำที่สุด ในขณะที่ความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานที่ 100 ซม. ให้ค่าแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังไม่เกินร้อยละ 15 ของค่าความสามารถในการหดตัวให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแต่ละมัด (Maximum voluntary contraction: MVC) ตามเกณฑ์การแนะนำของ Kroemer และ Grandjean งานวิจัยอื่นที่ศึกษาในอุตสาหกรรมโรงงานนั้น เป็นกรณีศึกษาที่จะสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะงานที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ดี

ในงานวิจัยของ (อรอุมา ลาสุนนท์, 2542) มีการศึกษาเกี่ยวกับขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในงานผสม โดยจัดประเภทงานหลักๆ ได้แก่ สำหรับงานผสมและการเคลื่อนย้ายวัสดุชนิดกล่องที่มีมือจับ และไม่มีมือจับ ซึ่งมีการกล่าวถึงทฤษฎีความแตกต่างของเพศ อายุ และสัดส่วนที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของร่างกายด้วยงานวิจัยจาก National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH (1981) ได้แก่ประเด็นด้าน เพศ โดย Laubach (1976) ที่กล่าวว่าเพศหญิงมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อประมาณ 64% ของเพศชาย ส่งผลให้เพศหญิงจะยกน้ำหนักได้น้อยกว่า ในขณะที่ Hemdon, 1972 ; Kosiah et al., 1968 ; Magora และ Taustein, 1969) พบว่าอันตรายที่เกิดกับหลังส่วนล่างมักพบในช่วงอายุ 30 – 50 ปี และสำหรับสัดส่วนร่างกายนั้น (Kamon Belding, 1971 ; Garg et al., 1978) ได้กล่าวว่าผู้ที่มือน้ำหนักมากจะใช้พลังงานสูงกว่า และแข็งแรงกว่าคนน้ำหนักน้อย โดยงานวิจัยของอรอุมาได้ทดสอบกับกลุ่มประชากรเพศหญิง ในช่วงอายุ 18 – 32 ปี เพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้และค่าแรงกดอัดที่มีต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยผลการทดสอบการวัดกำลังสถิติในแต่ละท่าได้ผลลัพธ์โดยเฉลี่ย ดังนี้ กำลังสถิติมากที่สุดคือ กล้ามเนื้อหลัง 55.42 กก. รองลงมาคือ กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ 7.79 กก. กล้ามเนื้อขา 7.61 กก. กล้ามเนื้อไหล่ 4.25 กก. กล้ามเนื้อแขน 1.49 กก. และน้อยที่สุดคือ กล้ามเนื้อมือ 0.71 กก. ท่าที่ยืดได้มากที่สุดได้มีการกำหนดขีดจำกัดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม) ของการเคลื่อนย้ายวัสดุเป็นครั้งคราวในลักษณะงานผสม 1 เคลื่อนย้ายกล่องมีมือจับ 22.2-34.8 กก. ไม่มีมือจับ 20.0-34.2 กก. และสำหรับงานผสม 2 เคลื่อนย้ายกล่องมีมือจับ 20.5-29.7 กก. ไม่มีมือจับ 20.3-28.6 กก.

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานยกนั้น พบว่า (ประจวบ กล่อมจิตร, 2548) ได้พัฒนาสมการประเมินภาระงานยกของด้วยมือจากการจำลองสภาพการทำงานในโรงงาน โดยการอ้างอิงสถิติแรงงานในปี พ.ศ. 2544 ของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน พบผู้ที่ได้รับอันตรายจากการยกของหนักถึง 7,071 คน ในขณะที่ผู้ที่ได้รับอันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก มีจำนวน 4,424 คน งานวิจัยนี้จึงมีการประเมินภาระงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain: LBP) สำหรับการสร้างสมการนั้นได้ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอันตรายต่อกล้ามเนื้อและกระดูกคือ น้ำหนักวัตถุ ความมั่นคงของวัตถุ ตำแหน่งการยก ความถี่ หรือ ระยะเวลา หรือ จังหวะการทำงาน ระยะเคลื่อนที่ ทิศทาง สิ่งกีดขวาง ท่าทาง รวมไปถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในการทดลองเป็น เพศชาย 10 คน อายุระหว่าง 20-40 ปี ให้ยกของด้วยมือเปล่า วัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ และนำมาคำนวณเพื่อหาแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างตามแนวของชีวกลศาสตร์ ได้ผลลัพธ์ดังนี้ กำลังสถิติของกล้ามเนื้อโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ถึง 95 โดยค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ NIOSH ที่มี Action Limit ขั้นต่ำ 3,400 นิวตัน และมาตรฐาน Maximum Permissible Limit ขั้นสูงคือ 6,400 นิวตัน พบว่าที่น้ำหนัก 12 กิโลกรัมค่าแรงกดอัดจะต่ำกว่าค่า Action Limit ในขณะที่น้ำหนัก 18 และ 24 กิโลกรัมเกิดแรงกดอัดที่สูงกว่าค่า Action Limit แต่ไม่เกินค่า Maximum Permissible Limit ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อพนักงานบางคนได้ และค่าเปรียบเทียบแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังคำนวณได้ 4514.92 นิวตัน สำหรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้น จากปัจจัยทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบคือ $W_{cs} = 24.59 - 0.252(H) - 0.612(F) + 2.359(L) + 0.889(M)$ และสมการประมาณค่าความสามารถในการยกคือ $MAW = 68.40 - 0.10 \text{ Height} - 4.58 \text{ Freq} - 0.90 \text{ Temp} - 3.304 \text{ People}$

ในด้านการวัดค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก็เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวิจัยเพื่อออกแบบปรับปรุงลักษณะงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน โดย (กิตติ อิทธานนท์, พิษนี โพธารามิก, & ภาณุพงศ์ อัศวเกียรติ, 2532) มีการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อสำหรับผู้ใช้แรงงาน เป็นจำนวน 6 ตำแหน่ง ได้แก่ หลัง แขน ไหล่ มือ ขา และส่วนต่างๆ พบว่าถ้ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อชุดใดมีค่าสูง จะได้ค่ากำลังสถิติกล้ามเนื้อชุดอื่นๆสูงตามไปด้วย รวมถึงการใช้กล้ามเนื้อชุดเดียวกันจะมีกำลังสถิติที่มีสัมพันธ์กันโดยตรง และในปีต่อมาได้พัฒนาและทดสอบเครื่องวัดความแข็งแรงและกำลังของบุคคล โดยใช้ Load Cell และ Digital Display สำหรับประชากรกลุ่มตัวอย่างเพศชาย อายุ 17 - 25 ปี ในการพัฒนา Load Cell ใช้แนวคิดในการวัดปริมาณแรงภายนอกที่มากกระทำซึ่งแปรผันโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า โดยการสร้าง Load Cell นั้น ส่วนประกอบต่างๆ ส่วนใหญ่จะทำมาจากเหล็ก และในการประกอบจะต้องเอื้อต่อการวางตำแหน่งของ Strain Gauge บนโลหะแกนกลาง เพื่อใช้แปรค่าแรงกระทำ

ภายนอกให้เป็นกระแสไฟฟ้า แสดงผลผ่าน Digital Display จากนั้นจึงใช้ทดสอบวัดกำลังสถิติของประชากรกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผลการใช้งานพบว่า ค่าที่วัดได้มีความคาดเคลื่อน ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มหรือ ลดขนาดของ Load อย่างต่อเนื่อง หรือจากการประกอบ Load Cell และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อดังกล่าว สามารถระบุตำแหน่ง และค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อเรียงลำดับจากมาก ไป น้อย ได้ดังนี้ กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ 122.45 กก. กล้ามเนื้อขา 111.93 กก. กล้ามเนื้อหลัง 49.07 กก. กล้ามเนื้อไหล่ 47.67 กก. และน้อยที่สุด คือกล้ามเนื้อแขน 38.87 กก.

สำหรับการวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจนั้น (H.Tanaka, K.D.Monahan, & D.S.Seals, 2001) ได้คาดการณ์อายุ และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยเริ่มต้นจากสมการอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HR_{max} equation) ในปัจจุบันคือ $220 - \text{อายุ}$ ซึ่งมีความเป็นไปได้ยากในการตรวจสอบสมการดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบเพื่อหาสมการใหม่โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาด้วยวิธีการ Meta-analysis study เป็นการวิเคราะห์ด้วย 3 ลำดับคือการฝึกความอดทนและความแข็งแรงของร่างกาย ไม่น้อยกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลามากกว่า 1 ปี ความผิดปกติเป็นครั้งคราวที่เกิดจากการออกกำลังกายแอโรบิกไม่มากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และประสิทธิภาพของการออกกำลังกายใดๆ ที่เกิดขึ้นเป็นประจำ โดยผู้เข้าร่วมการทดสอบ 492 คน (ชาย 331 คน หญิง 161 คน) และวิธีการ Laboratory-based study กับผู้เข้าร่วมการทดสอบ 514 คน (ชาย 237 คน หญิง 277 คน) ในช่วงอายุ 18-81 ปี โดยผู้ที่มีอายุมากกว่า 50 ปี จะได้รับการตรวจประเมินทางกายภาพ การพักผ่อน และตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจขณะการออกกำลังกายสูงสุด (Maximal exercise electrocardiography ECG) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในวิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มในการทดสอบคือ Endurance exercise-trained (229 คน) และ Sedentary group (285 คน) ในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดนั้นจะทำการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลลัพธ์จากการศึกษานี้พบว่าวิธีการ Meta-analytic study นั้น อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดนั้นแปรผกผันกับอายุทั้งชายและหญิง โดยเมื่ออายุเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจะลดลง โดยพบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่มากกว่า 200 ครั้งต่อนาทีในช่วงอายุประมาณ 25 ปี และต่ำสุด 130 ครั้งต่อนาทีในช่วงอายุ 70-75 ปี ในขณะที่วิธีการ Laboratory-based study พบสัดส่วนการแปรผกผันระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับอายุเช่นกัน และสมการอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจากวิธีการแรกคือ $HR_{max} = (209 - 0.7 \times \text{age})$ และวิธีการที่สองคือ $HR_{max} = (212 - 0.7 \times \text{age})$ สำหรับกลุ่ม Sedentary และ $HR_{max} = (205 - 0.6 \times \text{age})$ สำหรับกลุ่ม Endurance จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าอายุที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ลดลง

สำหรับการเปรียบเทียบการประเมินทางจิตฟิสิกส์ร่วมกับอัตราการเต้นของหัวใจนั้น งานวิจัยของออรูมา (2542) ได้อ้างอิงถึงการศึกษาของ Criello et al. (1990) ที่มีการทดสอบการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือเปล่ากับผู้ได้รับการทดสอบเพศหญิง 12 คน เพศชาย 10 คน โดยเคลื่อนย้ายวัสดุ

ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความถี่ 4.3 ครั้งต่อนาที และติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้ออกซิเจนเพื่อนำมาหาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับการใช้ออกซิเจน คือ $HR = a + b \cdot (VO_2)$ สำหรับการประเมินเชิงจิตฟิสิกส์พบว่าค่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจ (MAW) เมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที และ 4 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีทางจิตฟิสิกส์เหมาะสมกับการพิจารณาค่า MAW และ MAF สำหรับงานที่มีความถี่ในการยกไม่เกิน 4.3 ครั้งต่อนาที ซึ่งหากความถี่ในการยกมากกว่า 6 ครั้งต่อนาทีผู้ได้รับการทดสอบมีแนวโน้มที่จะยกน้ำหนักได้มากกว่าเมื่อเวลาทดสอบน้อยกว่า 1 ชั่วโมง Asfour (1980). (พรศิริ จงกล, 2556) ได้ประเมินภาระงานในกิจกรรมงานก่อสร้างในผู้เข้ารับการทดสอบ 32 คน (ชาย 29 คน, หญิง 3 คน) ที่มีอาการเจ็บปวดหลังส่วนล่าง โดยองค์ประกอบในการทดลองจะใช้การวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม และประเมินระดับความร้อนในหน่วยองศาเซลเซียสเวทบัลบ์โกลบ (WBGT) แล้วเทียบลักษณะการทำงานตามมาตรฐานข้อแนะนำ American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH, 1992) ที่มีการจัดประเภทความหนักเบาของงานตามค่ามาตรฐานอุณหภูมิซึ่งพบว่าการทำงานก่อสร้างทั้ง 5 งาน มีค่า WBGT เฉลี่ยไม่เกินมาตรฐาน และวัดอัตราการเต้นของหัวใจก่อนทำงาน 15 นาทีและขณะทำงาน จากนั้นไปเทียบกับเกณฑ์ที่แนะนำโดย Brouha (1967) คือความเสี่ยงของการล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิตจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเต้นของหัวใจในขณะปฏิบัติงานเกิน 110 ครั้งต่อนาที พบว่างานคอนกรีตในแนวตั้งทุกๆชั้นตอน มีค่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย 114.29 ครั้งต่อนาทีซึ่งอาจเกิดอันตรายในการทำงานได้

จากการรวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นเกี่ยวข้องกับการประเมินภาระงานยก, เช่น หรือเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือเปล่า โดยการประเมินงานยกนั้นถือเป็นต้นแบบแนวคิดในงานวิจัยนี้ เนื่องจากงานยกมีการทำวิจัยรองรับตามหลักการยศาสตร์จำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีการประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยการวัดค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการวัดอัตราการเต้นของหัวใจเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเอาแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยเพื่อออกแบบวิธีการลดภาระงานเช่นโดยเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดภาระงานเข็นโดยการเทรคออกพระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษายังมีการใช้คนในการขนย้ายชิ้นงานด้วยรถเข็น และมีข้อจำกัดด้านต้นทุนในการปรับปรุงงาน การปรับปรุงตามหลักกายศาสตร์ทั้ง 3 วิธีคือชีวกลศาสตร์, จิตฟิสิกส์ และสรีรวิทยา นั้นจึงนำมาออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับแนวทางในการลดภาระงานเข็น ซึ่งแต่ละวิธีจะได้ผลลัพธ์ในด้านที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์สุดท้ายของงานวิจัยจึงต้องวิเคราะห์และประเมินถึงผลกระทบที่มีต่อโรงงานกรณีศึกษา เพื่อนำมาสรุปผลในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของงานวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ข้อจำกัดของโรงงานการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยภายใต้สถานที่ปฏิบัติงานจริงของโรงงานกรณีศึกษานั้น พบว่ามีปัจจัยหลายด้านที่เป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำงานวิจัยในสภาวะที่จำลองจากห้องปฏิบัติการทั่วไป ในที่นี้จะอธิบายถึงข้อจำกัดสำหรับการวิจัยเพื่อลดภาระงานเข็นดังนี้

3.1.1 เส้นทางการเข็นงาน

เส้นทางการเข็นงานเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับตัวชี้วัดเกี่ยวกับอัตราการใช้พลังงานของพนักงานเข็นงาน ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ นั้น จำเป็นจะต้องทดสอบในพื้นที่และเส้นทางจริงรวม 653 เมตร แต่ในการทดสอบบางอย่างระยะทางจริงนั้นอาจไม่ส่งผลต่อปัจจัยนั้นๆ ได้ เช่น การทดสอบที่มีตัวชี้วัดคือแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งวัดค่าจากแรงผลักรถเข็นงาน ปัจจัยที่ส่งผลคือกิจกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงผลักรถสูงและพบจำนวนมากตลอดเส้นทาง (ออกตัว, พื้นขรุขระ, ทางเลี้ยว) เพื่อออกแรงควบคุมรถเข็น และเนื่องจากแรงกดอัดนั้นจะแปรผันตามกิจกรรมที่ออกแรงผลักรถไม่ได้แปรผันตามระยะทางในการทดสอบจึงสามารถใช้ค่าที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมได้ โดยไม่มีความจำเป็นต้องทดสอบตลอดเส้นทางจริง 653 เมตร ในขณะที่การทดสอบที่มีตัวชี้วัดคืออัตราการเต้นของหัวใจนั้นแปรผันไปตามระยะทางที่ครอบคลุมตลอดเส้นทาง เพื่อประเมินความเหนื่อยล้า ดังนั้นการทดสอบนี้จะใช้ระยะทางจริงคือ 653 เมตร เป็นต้น

3.1.2 ผู้เข้ารับการทดสอบ

ผู้เข้ารับการทดสอบในงานวิจัยนี้เกือบทั้งหมดเป็นพนักงานชิ้นงานที่มีอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงาน แต่เนื่องจากการดำเนินงานวิจัยในแต่ละการทดลองย่อยใช้เวลาปฏิบัติงานจริงของพนักงาน โรงงานกรณีศึกษาจึงพิจารณาความเหมาะสมของจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบในแต่ละการทดลองย่อยเป็นกรณีไป ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ในบางการทดลองย่อยอาจมีการคัดเลือกพนักงานเพศหญิงที่ไม่มีประสบการณ์ด้านงานชิ้นมาร่วมทดสอบเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดสอบที่มีประสบการณ์ต่างกัน

3.1.3 รถเข็นงาน

การปรับปรุงงานเข็นนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ด้วยต้นทุนที่จำกัดของโรงงานกรณีศึกษา แนวทางการปรับปรุงที่เป็นไปได้คือการปรับปรุงรถเข็นงาน ในระดับปัจจัยการทดสอบที่เป็นไปได้และต้นทุนน้อยที่สุดคือ ระดับมือจับ และการปรับขนาดล้อรถเข็น ซึ่งจะใช้รถเข็นงานที่มีอยู่ภายในโรงงานกรณีศึกษาเป็นต้นแบบการปรับปรุง

3.2 ประเมินงานเข็นและการปรับปรุงเบื้องต้น

ในการลดภาระงานเข็นโดยการเทรตออฟระหว่าง 2 ปัจจัยนั้น เบื้องต้นจะต้องทราบภาระงานเข็นที่กระทำต่อร่างกายของพนักงาน ด้วยการประเมินงานเข็นดังกล่าวเพื่อหาค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และหาวิธีปรับปรุงงานเพื่อลดแรงกดอัดดังกล่าวโดยไม่ให้กระทบกับผลผลิตของโรงงาน เบื้องต้นจากการทดสอบกำลังสถิติ (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง) พบว่าพนักงานชิ้นงานมีกำลังสถิติของกล้ามเนื้ออยู่ในเกณฑ์ปกติ ซึ่งสามารถยืนยันสาเหตุอาการบาดเจ็บได้ว่าเป็นมาจากการปฏิบัติงาน โดยการปรับปรุงงานเข็นนั้นสามารถทำได้หลากหลาย แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านต้นทุนของโรงงานกรณีศึกษาดังที่กล่าวไปแล้วนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงรถเข็นงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน โดยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างตามหลักชีวกลศาสตร์เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่จะนำมาเทรตออฟและนำไปสู่การลดภาระงานในที่สุด เพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ดังกล่าวจึงปรับปรุงภายใต้การออกแบบการทดลองดังนี้

3.2.1 การทดลองปรับปรุงรถเข็นงาน

การออกแบบการทดลองนี้เพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยของการทรุดตอเพื่อลดภาระงานเข็น โดยแนวทางที่เป็นไปได้ของการปรับปรุงรถเข็นงานคือการปรับปรุงขนาดล้อ และระดับความสูงของมือจับ ที่ออกแบบในลักษณะกำหนดแบบตายตัว Fix dimension design ซึ่งใช้งบประมาณน้อยที่สุด แต่เนื่องจากการนำไปใช้ที่ไม่สามารถปรับความสูงทุกครั้งที่ใช้งาน จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยระดับหลังส่วนล่าง (อนุমানระดับเอว) ของพนักงานเข็นงานทั้ง 20 คน คือ 82 ซม. ซึ่งผลลัพธ์นั้นอาจไม่เหมาะสมกับคนที่มีส่วนสูงน้อยหรือมากเกินไป ทั้งนี้ได้ศึกษาเบื้องต้น (Pilot study) กับผู้เข้าร่วมการทดสอบที่มีประสบการณ์ และไม่มีประสบการณ์ด้านงานเข็นอย่างละ 1 คน ภายใต้เงื่อนไขการปรับปรุงล้อและระดับมือจับของรถเข็นงานพบว่า ล้อที่ขนาดใหญ่คือ 150 มม. และมือจับระดับเอว 82 ซม. (อนุমানใกล้เคียงระดับหลังส่วนล่าง) สามารถลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างได้มากที่สุดจาก 5094 นิวตัน ลดลงเหลือ 4192.42 นิวตัน ถึงแม้จะยังสูงกว่าเกณฑ์ 3400 นิวตันแต่ก็เป็นการลดแรงกระทำต่อร่างกายลงได้ ดังนั้นการปรับปรุงงานเข็นด้วยรถเข็นงานนี้จะนำเงื่อนไขของการทดสอบเบื้องต้นนี้มาใช้ทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ ด้วยการออกแบบการทดลองภายใต้สถานที่การทดลองจริงใช้พนักงานเข็นงานมาเป็นผู้เข้าร่วมการทดสอบ และดำเนินการในเวลาปฏิบัติงานของพนักงาน การออกแบบการทดลองจึงจำเป็นต้องปรับลดในปัจจัยต่างๆ ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากการทดลองในห้องทดลองได้แก่ การปรับลดระยะเส้นทางในการเข็นงานจากระยะทางจริง 653 เมตร, ปรับลดจำนวนผู้เข้าร่วมการทดสอบ แสดงรายละเอียดในขั้นตอนถัดไป

3.2.1.1 ผู้เข้าร่วมการทดสอบ : จำนวนผู้เข้าร่วมการทดสอบ 7 คน

การทดสอบเบื้องต้นกับผู้เข้าร่วมการทดสอบที่มีประสบการณ์ 1 คนและไม่มีประสบการณ์ 1 คนซึ่งได้ผลการทดลอง (Pilot study) ไปแล้วนั้น การทดลองต่อไปนี้จะใช้ผู้เข้าร่วมการทดสอบ 7 คนที่เป็นพนักงานเข็นงานที่มีประสบการณ์ทั้งหมด แต่เนื่องจากข้อจำกัดการทดลองในเวลาปฏิบัติงานจริงของพนักงาน ภายใต้เงื่อนไขของการวัดค่าแรงผลึกของในทุกๆระดับปัจจัยของขนาดล้อ และ ระดับมือจับ เพื่อไม่ให้กระทบกับการปฏิบัติงานดังกล่าวทางโรงงานกรณีศึกษาจึงพิจารณาให้พนักงานเข้าร่วมการทดลองรวม 7 คน ซึ่งมีช่วงอายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูงใกล้เคียงกับกลุ่มพนักงานเข็นงาน (แสดงดังตารางที่ 7) จึงสามารถนำเอาผลการทดลองนี้ใช้กับพนักงานเหล่านั้นได้

3.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. กล้องถ่ายรูปจากโทรศัพท์มือถือไอโฟน รุ่น 5S (ความละเอียด 8 ล้านพิกเซล)

โดยตำแหน่งตั้งกล้องถ่ายรูปที่ระยะห่าง 600 ซม. ระยะความสูงของขาตั้งกล้อง 100 ซม. โดยในการถ่ายภาพจะอ้างอิงระยะด้วยการติดสติ๊กเกอร์ที่ระยะห่างกัน 100 ซม. (วัดจากขอบนอก) บริเวณขอบรถเข็นงานในแนวระนาบ

2. ขาตั้งกล้องถ่ายรูป



รูปที่ 3.1 ขาตั้งกล้องถ่ายรูป

3. เครื่องสำรองไฟ UPS ยี่ห้อ APC

เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับจอแสดงผลขณะทำงานในเส้นทางจำลอง



รูปที่ 3.2 เครื่องสำรองไฟ UPS ยี่ห้อ APC รุ่น CS650

4. Strain Gauge (Load Cell)

ประกอบไปด้วยเครื่องวัดแรง (Load Cell) รับแรงได้ 200 กิโลกรัม (Push and Pull) และจอแสดงผล (Digital Display) รุ่น Red Lion model PAX-1/8 DIN Analog Input Panel Meters

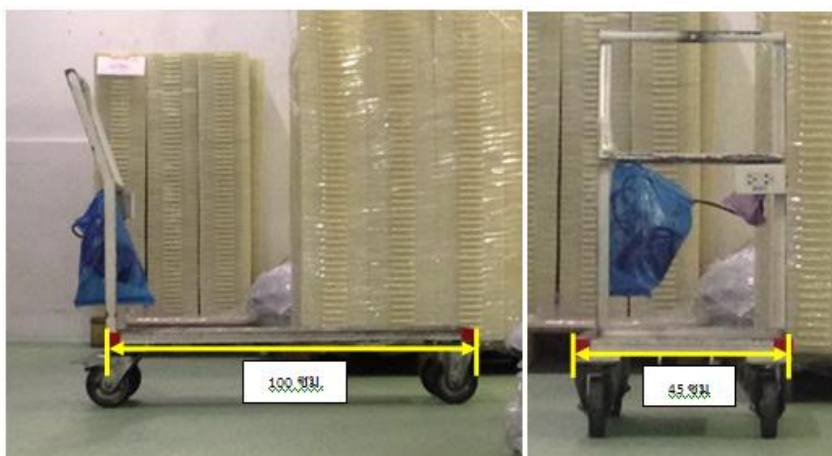


รูปที่ 3.3 Load Cell ขนาด 200 กิโลกรัม และ จอแสดงผล

ในการใช้งานจะเริ่มต้นจากการเชื่อมต่อสายไฟขั้วบวก-ลบ และสายสัญญาณบวก-ลบ จาก Load cell เข้ากับจอแสดงผล โดยใช้กระแสไฟฟ้า 220V เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นตั้งค่าเริ่มต้นการใช้งานจอแสดงผลด้วยคู่มือ Parameter Value Chart และจึงทำการ Calibrate โดยชั่งน้ำหนัก Load cell ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 2,5,10,15 กก.

5. รถเข็นงาน

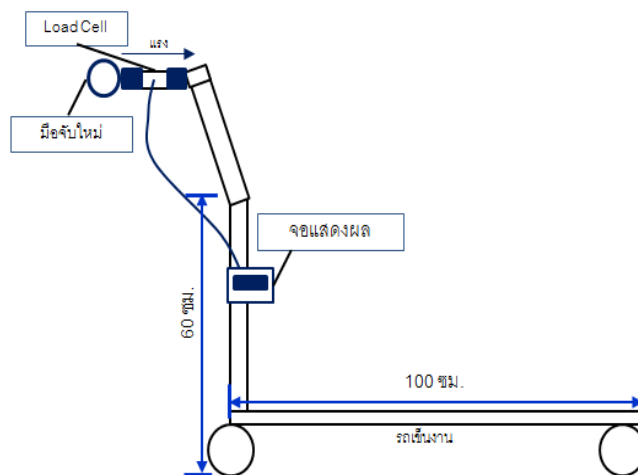
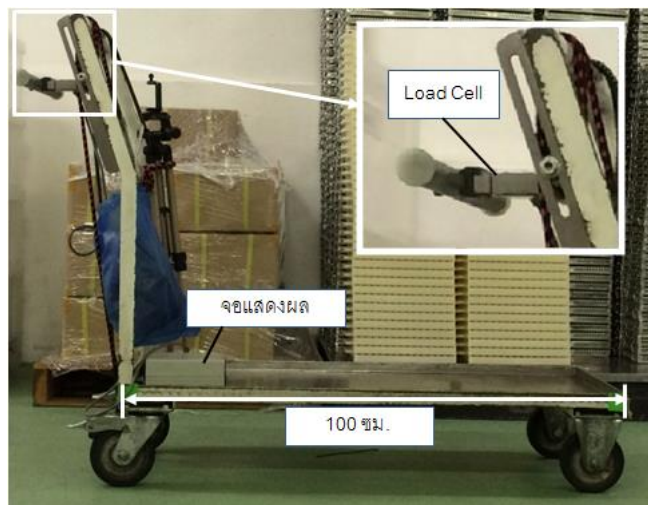
ใช้รถเข็นงานที่มีขนาดความยาว 100 ซม. กว้าง 45 ซม. ความสูง 95 ซม. ใช้ล้อโพลียูรีเทน (Polyurethane) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มม. โดย 2 ล้อด้านหน้าเป็นล้อแบบติดตั้งตายตัว และ 2 ล้อด้านหลังเป็นล้อแบบหมุนได้



รูปที่ 3.4 รถเข็นงานปัจจุบันก่อนปรับปรุง

3.2.1.3 ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงผลักและจอแสดงผลบนรถเข็นงาน

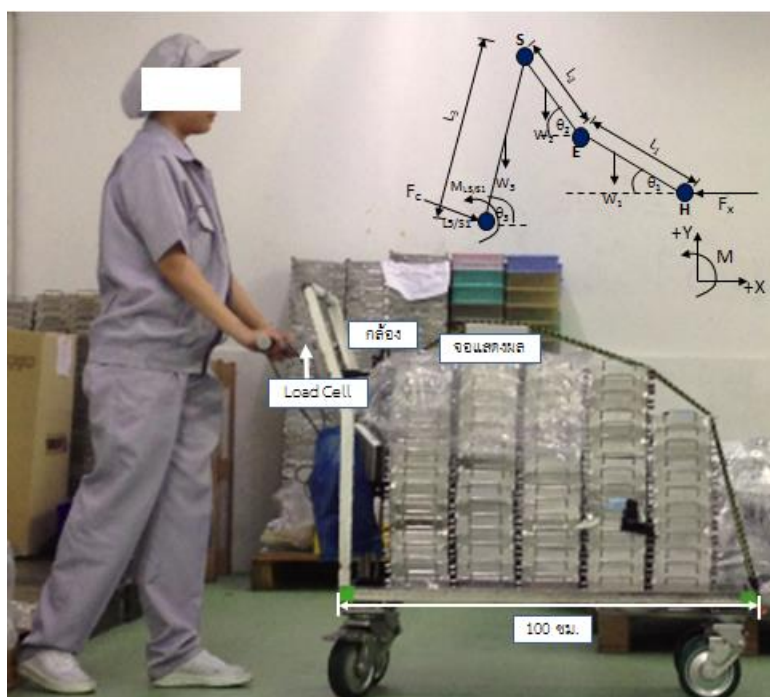
โดยติดตั้งอุปกรณ์ Load Cell บริเวณมือจับรถเข็น และติดตั้งมือจับใหม่เพื่อให้ส่งแรงผลักผ่าน Load Cell ซึ่งเป็นการปรับสภาพการใช้งานเครื่องมือจากการวัดแรงดึงในแนวตั้ง มาวัดแรงผลักในแนวนอน ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ Load Cell บนรถเข็นงาน(บน) และแบบจำลองรถเข็นงานที่ใช้ในงานวิจัย (ล่าง)

3.2.1.4 การคำนวณหาแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างตามแนวทางชีวกลศาสตร์ด้วยภาวะสถิต

บันทึกภาพนิ่งจากระยะ 600 ซม. จำลองท่าทางขณะเข็นงานที่มีมือจับ และขนาดล้อตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และสร้างผังอิสระ (Free Body Diagram) เพื่อนำมาคำนวณ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ท่าทางขณะเข็นงานของผู้เข้ารับการทดสอบ

จากรูปที่ 3.6 คำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างด้วยสมการสมดุลสถิต

3.2.1.5 ปัจจัยของการปรับปรุงรถเข็นงาน

1. ขนาดล้อรถเข็นงาน (Size wheel)

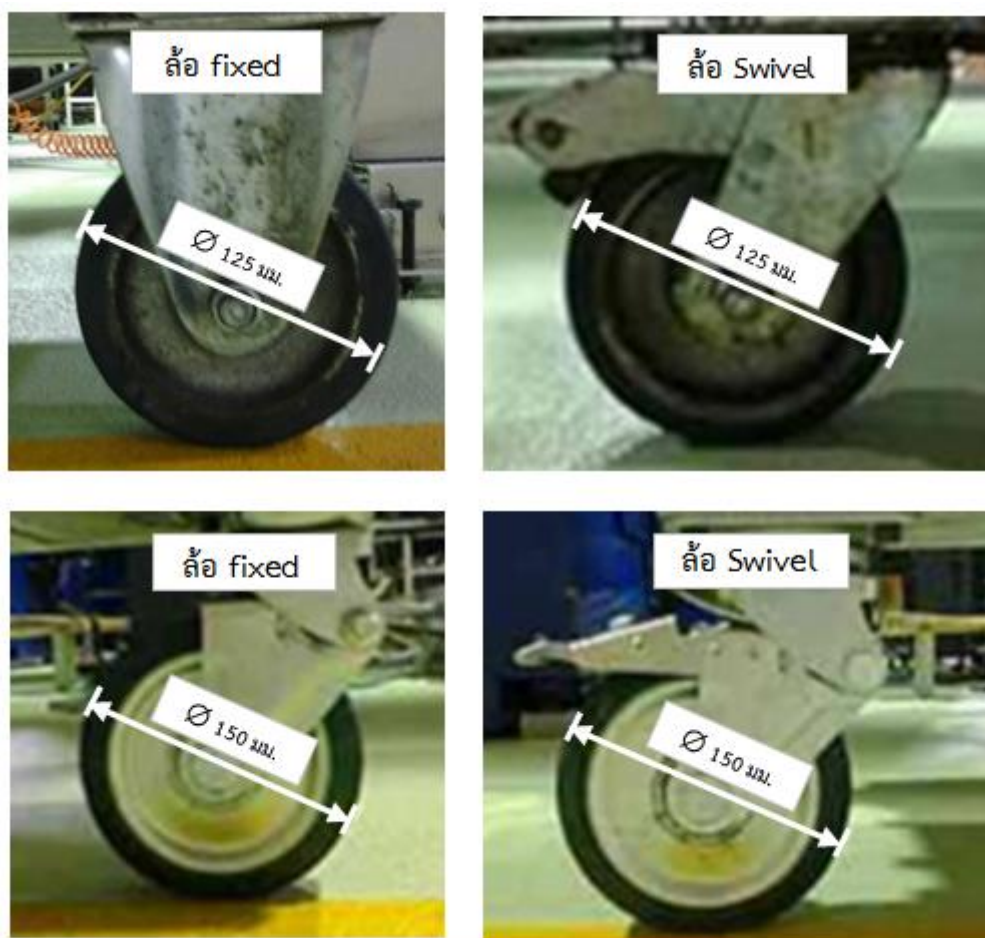
ปัจจุบันรถเข็นงานใช้ล้อรถเข็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มม. ทดสอบโดยเพิ่มขนาดล้อรถเข็นเป็น 150 มม. เนื่องจากขนาดล้อรถเข็นงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีล้อหลากหลายขนาด ซึ่งทฤษฎีในการออกแบบรถเข็นงานแนะนำให้ใช้ล้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้นเพื่อผ่อนแรงเข็น จึงไม่เลือกใช้ล้อที่มีขนาดเล็กกว่าปัจจุบัน การเปรียบเทียบล้อขนาดใหญ่ขึ้นเลือกใช้ขนาด 150 มม. ส่วนขนาดล้อที่ใหญ่มากกว่านี้คือ 200 มม. เป็นล้อขนาดใหญ่เกินความจำเป็นไม่เหมาะสมกับขนาดรถเข็นและน้ำหนักบรรทุก และมีต้นทุนสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดล้อ 2 ระดับดังกล่าว โดยตำแหน่งที่

ติดตั้งล้อแบบหมุนได้ (Swivel Wheel) คือ 2 ล้อหลัง และล้อแบบติดตั้งตายตัว (Fixed Wheel) คือ 2 ล้อหน้า เพื่อช่วยผ่อนแรงขณะบังคับเลี้ยวเนื่องจากล้อแบบติดตั้งตายตัวซึ่งเป็นจุดหมุนจะอยู่ไกลจากมือจับการบังคับรถเข็นงานจึงส่งแรงได้มากกว่า โดยรายละเอียดของล้อที่ใช้งานในปัจจุบัน และล้อที่ปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของล้อรถเข็นงาน ขนาด 125 มม. และล้อขนาด 150 มม.

คุณสมบัติ	ล้อที่ใช้งานปัจจุบัน		ล้อที่ปรับปรุง	
	ล้อหน้า	ล้อหลัง	ล้อหน้า	ล้อหลัง
ลักษณะ	ล้อแบบติดตั้งตายตัว (Fixed Wheel)	ล้อแบบหมุนได้ (Swivel Wheel)	ล้อแบบติดตั้งตายตัว (Fixed Wheel)	ล้อแบบหมุนได้ (Swivel Wheel)
เส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)	125	125	150	150
หน้ากว้างล้อ (มม.)	32	32	38	38
การรับน้ำหนัก (กก.)	142	142	155	155
วัสดุโครงล้อ	Cast Aluminum	Cast Aluminum	Cast Aluminum	Cast Aluminum
วัสดุหุ้มล้อ	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane
ลักษณะลูกปืน	6230-2RS NSK	6230-2RS NSK	6230-2RS NSK	6230-2RS NSK

โดยลักษณะล้อที่ใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.7



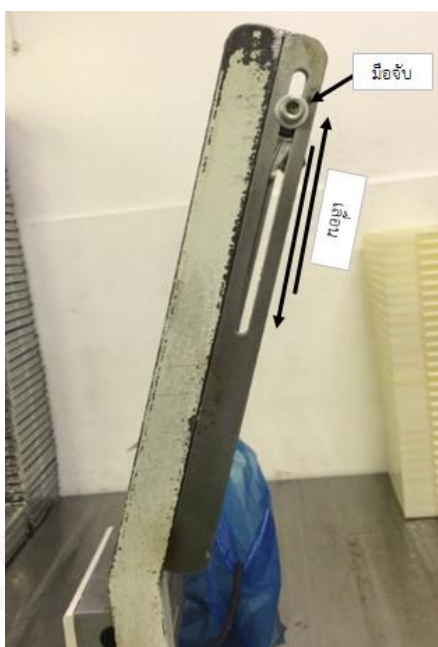
รูปที่ 3.7 ล้อแบบติดตั้งตายตัว (Swivel) และล้อแบบหมุนได้ (Fixed) ก่อนและหลังปรับปรุง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ระดับมือจับรถเข็นงาน (Handle Height)

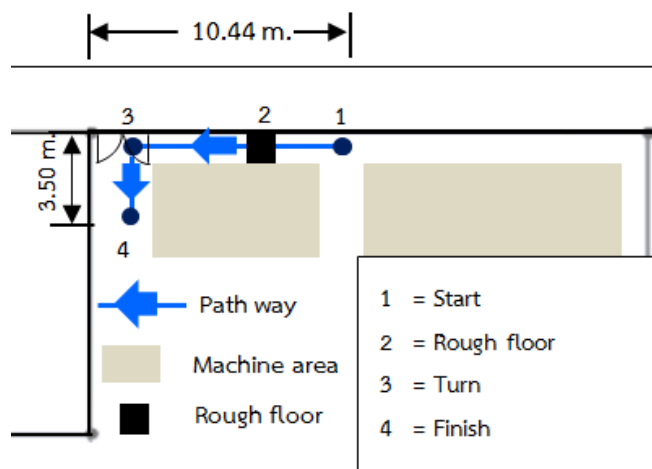
รถเข็นงานที่ใช้ก่อนปรับปรุงจะมีระดับของมือจับอยู่ที่ 95 ซม. (วัดจากพื้น) ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับที่เหมาะสมคือ ระดับเอว หรือตำแหน่งหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 หรือระดับหลังส่วนล่าง (Lower back level) ของพนักงานโดยเฉลี่ย ดังนั้นในการทดลองจึงปรับแต่งรถเข็นให้สามารถปรับระดับมือจับในระดับต่างๆ ได้ ซึ่งรถเข็นที่ใช้งานในโรงงานกรณีศึกษาเป็นรถเข็นที่บรรทุกภาชนะใส่ชิ้นงานขนาดเล็ก การวางภาชนะชิ้นงานบนรถเข็นกำหนดให้ไม่เกินความสูงของมือจับเดิมที่ระดับ 95 ซม. เนื่องจากปริมาณบรรจุทุกดังกล่าว มีน้ำหนักรวมสูงสุดถึง 135 กก. และการบรรจุทุกภาระงานที่มากกว่านี้จะทำให้การไหลของงานล่าช้า ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองโดยเลือกระดับความสูง 2 ระดับ คือระดับเอว และระดับเอว - 10 ซม. เนื่องจากระดับมือจับก่อนปรับปรุงคือ 95 ซม. ที่เป็นระดับที่ไม่เหมาะสมต่อค่าเฉลี่ยของความสูงระดับหลังส่วนล่างของพนักงานเข็นงานจากการทดลองการเข็นงานก่อนปรับปรุงพบว่าองศาของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ส่งผลให้แรงกดอัดที่หมอน

รองกระดูกสันหลังส่วนล่างเพิ่มขึ้น การทดสอบในงานวิจัยนี้จะปรับความสูงของมือจับไปที่ระดับเอวของผู้เข้าร่วมการทดสอบทุกคนตามระดับความสูงจริงจากการวัด แต่การทดสอบสมมติฐานหรือการสรุปผลนั้นจะแสดงผลการทดสอบด้วยค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 82 ซม. (คือค่าเฉลี่ยระดับเอว ของพนักงานเซ็นงานทั้งหมด) และเปรียบเทียบกับระดับที่ต่ำลงไป 10 ซม. เนื่องจากคาดว่าระดับมือจับที่ต่ำลงหรือสูงขึ้นส่งผลต่อองศาของกระดูกสันหลังที่กระทำต่อแนวราบลดลง (จากพฤติกรรมที่ต้องก้มตัว) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยการเพิ่มแรงกดอัดเมื่อคำนวณด้วยสมการสมดุสติด งานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบระดับของความสูงทั้ง 2 ระดับ แสดงตัวอย่างของการติดตั้งมือจับปรับระดับได้สำหรับการทดลองบนรถเข็นงาน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การติดตั้งมือจับปรับระดับได้บนรถเข็นงานจำลอง

เส้นทางเดินเข็นงานในพื้นที่จริงจะผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ ที่มีพนักงานปฏิบัติงานอยู่จำนวนมากในการทดสอบดังกล่าวจึงมีข้อจำกัดในการเข้าถึงพื้นที่ จึงมีการปรับลดเส้นทางจากระยะจริงเพื่อใช้ในการทดลอง ในระยะเส้นทาง 14 ม. โดยคำนวณค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจากแรงผลักรถเข็นงานในกิจกรรม ออกตัว ทางเลี้ยว พื้นขรุขระ รวมทั้งสิ้น 3 ค่า โดยแบบจำลองเส้นทางการเดินแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เส้นทางจำลองการทดสอบวัดค่าแรงผลึกขณะใช้งาน

จากรูปข้างต้นพบว่าการปรับลดเส้นทางการทดลองจากระยะทาง 653 เมตร เหลือเพียง 14 เมตร เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ตัวชี้วัดคือแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยจะใช้ค่าแรงกดอัดของกิจกรรมที่พบมากที่สุดในงานเช่นคือ ออกตัว, ฟันขรุขระ, ทางเลี้ยวดังกล่าวเป็นตัวแทนของแรงกดอัดของงานเช่นในแต่ละหน้าหน้การทุก เนื่องจากแรงกดอัดนั้นจะแปรผันตามกิจกรรมที่ออกแรงผลึกไม่ได้แปรผันตามระยะทางในการทดสอบจึงสามารถใช้ค่าที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้กระทบกับการปฏิบัติงานจริง จึงมีการปรับลดระยะทางในการทดลองดังกล่าว

3.2.1.7 รูปแบบการทดลองการปรับปรุงรถเข็นงาน

ตารางที่ 3.2 การทดลองเปรียบเทียบปัจจัยของรถเข็นงานระหว่างขนาดล้อ และระดับความสูงของมือจับ

เงื่อนไข	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)		ตัวชี้วัด
	ขนาดล้อ (มม.)	ระดับมือจับ (ซม.)	
1	125	82	แรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง
2	125	72	
3	150	82	
4	150	72	

การทดลองนี้ไม่ดำเนินการทดลองซ้ำเนื่องจากการทดลองนำร่องสำหรับผู้เข้ารับการทดสอบ (มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์) ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ดังนั้นการทดลองนี้เพื่อยืนยันผลลัพธ์ดังกล่าวกับผู้เข้ารับการทดสอบทั้ง 7 คนจึงไม่ทดลองซ้ำ

เมื่อประเมินงานเข็นและปรับปรุงรถเข็นงานเพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลัง ส่วนล่างดังรายละเอียดของการทดลองข้างต้นไปแล้วนั้น งานวิจัยนี้ต้องการทดสอบระหว่าง 2 ปีวิจัยเพื่อการลดภาระงานเข็นดังกล่าวจึงนำมาสู่ขั้นตอนการลดน้ำหนักบรรทุก โดยการทดสอบระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

3.3 การลดน้ำหนักบรรทุกโดยการทดสอบระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

การทดสอบระหว่าง 2 ปีวิจัยนั้นจำเป็นต้องทราบแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และพลังงานที่ใช้ตลอดเวลา 7 ชั่วโมงของงานเข็น ซึ่งการปรับปรุงรถเข็นงานนั้นคาดว่าจะช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างได้ แต่หากผู้ปฏิบัติงานเข็นทำงานอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาานาน ยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดแรงกระทำซ้ำๆต่อร่างกาย จนเป็นเหตุให้เกิดอาการบาดเจ็บเรื้อรังได้ในที่สุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ใช้อย่างไม่มีการพิจารณาความเหมาะสม โดยการปรับลดภาระน้ำหนักบรรทุกซึ่งดำเนินงานวิจัยภายใต้การออกแบบการทดลองย่อยตามวิธีทางจิตฟิสิกส์ที่ใช้ความรู้สึกพึงพอใจมาประเมินภาระงานและวิธีทางสรีรวิทยาที่คำนึงถึงความเหนื่อยล้าจากการทำงานอย่างต่อเนื่องเพื่อผลลัพธ์สุดท้ายนำมาซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยทดสอบระหว่าง 2 ปีวิจัยดังกล่าว และช่วยลดภาระงานเข็น โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อยดังต่อไปนี้

3.3.1 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing : MAWP)

จากการทดลองในอดีตเพื่อหาค่าน้ำหนักสำหรับยกหรือเคลื่อนย้ายสูงสุดที่ยอมรับได้ (MAWs) ในการทำงานของผู้เข้ารับการทดสอบนั้น งานวิจัยนี้ได้ปรับเอาแนวคิดดังกล่าวมาใช้หาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็นโดยต้องการใช้ผลลัพธ์จากค่าน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวในการกำหนดภาระงานตามหลักจิตฟิสิกส์ควบคู่กับการประเมินด้วยวิธีทางสรีรวิทยา ทั้งนี้การทดสอบตามหลักจิตฟิสิกส์นิยมใช้วิธีการทดสอบแบบขึ้น-ลง คือประเมินความพึงพอใจสูงสุดจากการปรับน้ำหนักบรรทุกงานขึ้นเรื่อยๆ และจากการปรับน้ำหนักบรรทุกงานลงเรื่อยๆ เพื่อยืนยันผลลัพธ์ทางจิตใจว่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจนั้นเปลี่ยนแปลงหรือไม่ และเพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของวิธีจิตฟิสิกส์ดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้ใช้ค่ากำลังสถิติของผู้เข้าร่วมการทดสอบมาเป็นตัวชี้วัดระหว่างความแข็งแรงของผู้เข้าร่วมการทดสอบและภาระงานสูงสุดที่พึงพอใจโดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

3.3.1.1 จำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ 8 คน

การทดลอง MAWP เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจจากงานชิ้นนั้น จะนำน้ำหนักบรรทุกที่ทำได้จากการทดลองนี้จะนำไปกำหนดน้ำหนักบรรทุกในการทดลองถัดไป การประเมินทางจิตฟิสิกส์นั้นเป็นการทดลองด้วยความรู้สึก ผลลัพธ์นั้นจะต้องประเมินด้วยเกณฑ์ด้านชีวกลศาสตร์หรือสรีรวิทยาควบคู่ไปด้วย การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการทดลองจึงเน้นผู้ที่มีประสบการณ์แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้โดยเลือกผู้ที่มีประสบการณ์จำนวน 5 คน จากกลุ่มพนักงานชิ้นงาน และคัดเลือกพนักงานที่ไม่มีประสบการณ์ 3 คน ในการทดลองดังกล่าว ซึ่งรายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบจะแสดงในผลการทดลอง

3.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้รถเข็นงานน้ำหนักเริ่มต้นสูงสุดในงานชิ้นตามลักษณะงานจริงคือ 135 กก. และให้พนักงานผลักรถเข็นงานเป็นระยะทางตรง 5 เมตร
2. ปรับลดน้ำหนักลง (Downward) ครั้งละ 10 กก. และให้เข็นงานเป็นระยะทางตรง 5 เมตรทุกๆค่าน้ำหนักที่ปรับลงจนกระทั่งน้ำหนักเหลือ ประมาณ 40 กก.
3. สอบถามค่าน้ำหนักที่พึงพอใจสำหรับการทำงาน 7 ชั่วโมง ในทุกๆค่าน้ำหนักโดยที่ผู้เข้าร่วมการทดสอบจะไม่ทราบค่าน้ำหนักดังกล่าว
4. ปรับลดน้ำหนักเพิ่ม (Upward) โดยบรรทุกน้ำหนักเริ่มต้นคือ 40 กก.(ตามความเหมาะสมของการยกภาชนะคิดเป็น 20 ภาชนะ) และปรับน้ำหนักเพิ่มครั้งละ 10 กก. โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบเข็นงานเป็นระยะทาง 5 เมตรและสอบถามค่าน้ำหนักที่พึงพอใจ
5. ทดลองซ้ำในแต่ละค่าน้ำหนักบรรทุกทุก 2 ครั้ง
6. ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ผู้เข้าร่วมการทดสอบพึงพอใจจากการทดลอง Upward และ Downward ในทุกการทดลองซ้ำ
7. เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกทุกเฉลี่ยดังกล่าวที่ผู้เข้าร่วมการทดสอบ กับค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เพื่อประเมินว่าตามหลักจิตฟิสิกส์นั้น ผู้เข้าร่วมการทดสอบกลุ่มนั้นมีความเอนเอียงในการตัดสินใจหรือไม่ (พิจารณาจากความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่พึงพอใจกับกำลังสถิติ)

เมื่อได้รับผลการทดลองจากวิธีการประเมินตามหลักจิตฟิสิกส์แล้ว ซึ่งคาดว่าวิธีการนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าวิธีทางสรีรวิทยา และค่าน้ำหนักที่ได้จากกระทบต่อยอดผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นการทดลองถัดไปจึงนำเอาค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดสอบดังกล่าวไปกำหนดเป็นปัจจัยของการประเมินน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยการเทรตออฟระหว่างแรง

กอดัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน ซึ่งจะทดลองโดยเส้นทางจริงใน ระยะทาง 653 ม. และผลลัพธ์จะเป็นตัวแทนที่นำไปประยุกต์ใช้กับพนักงานเข็นงานของโรงงาน วิทยาลัย การกำหนดน้ำหนักบรรทุกในการทดลองถัดไปจึงมุ่งไปที่ผู้เข้าร่วมการทดสอบที่มี ประสบการณ์เท่านั้น

3.3.2 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกโดยเทรตอพอระหว่างแรงกอดัดที่หมอนรอง กระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

เมื่อสามารถกำหนดปัจจัยของรถเข็นงานที่เหมาะสมแล้ว พบว่าการทำงานภายใต้สภาวะจริง ของการทำงาน ถึงแม้จะลดแรงกระทำต่อร่างกายได้แล้ว แต่หากการเข็นงานด้วยภาระงานที่ไม่ได้ ลดลง ด้วยความถี่ในการเข็นจำนวนมากตลอดเวลาการทำงาน ผลกระทบจากภาวะความเหนื่อยล้า ของภาระงานที่กระทำซ้ำๆ ต่อร่างกายอาจส่งผลให้เกิดอาการเจ็บปวดขณะปฏิบัติงานได้ในที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเพิ่มเติมด้วยแนวคิดของการประเมินทางสรีรวิทยาเพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่ เหมาะสมของงานเข็นที่ไม่กระทบกับยอดการผลิตของโรงงานวิทยาลัย และลดความเหนื่อยล้าของ ร่างกาย โดยนำเอาผลลัพธ์จากการปรับปรุงรถเข็นงาน และน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจมาใช้เป็น ตัวแปรในการทดลองนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 จำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ 4 คน

การทดลองนี้ได้นำผลลัพธ์จากการปรับปรุงรถเข็นงาน และค่าน้ำหนักบรรทุกจากวิธี MAWP มาออกแบบการทดลองเพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก โดยตัวชี้วัดที่เพิ่มเติมคือการใช้พลังงาน ซึ่งแปรผัน ตามระยะเส้นทางการเข็นงาน งานวิจัยนี้จึงใช้เส้นทางในการเดินเข็นงานตามระยะจริงคือ 653 เมตร ซึ่งใช้เวลาในการทดลองแต่ละรอบสูง ด้วยข้อจำกัดด้านเวลาปฏิบัติงานของพนักงานจึงพิจารณา คัดเลือกผู้เข้ารับการทดสอบ 4 คนที่มีประสบการณ์ด้านงานเข็นทั้งหมด

การทดลองนี้ใช้รถเข็นงานในเงื่อนไขที่ปรับปรุงจากการทดลองก่อนหน้านี้โดยมีการติดตั้ง อุปกรณ์เพิ่มเติมคือ ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ



รูปที่ 3.10 ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจที่ห้อย Runtastic รุ่น Combo

ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจที่ห้อย Runtastic รุ่น Combo ใช้งานโดยคาดรอบหน้าอกและวัดสัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจตามเวลาจริงที่ใช้งานและส่งผ่านข้อมูลด้วยการเชื่อมต่อไร้สาย (Bluetooth) ไปยังโทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน SGT

โดยน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

1. น้ำหนัก 135 กก.

คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในการขนย้ายชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา ก่อนปรับปรุง ซึ่งการทดลองนี้ใช้เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถเข็นงาน

2. น้ำหนัก 120 กก.

คือน้ำหนักบรรทุกทุกเฉลี่ยในการขนย้ายชิ้นงาน ระหว่างน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในการขนย้ายของโรงงานกรณีศึกษา (135 กก.) และน้ำหนักบรรทุกต่ำสุดที่ไม่กระทบยอดผลิต (105 กก.)

3. น้ำหนัก 105 กก.

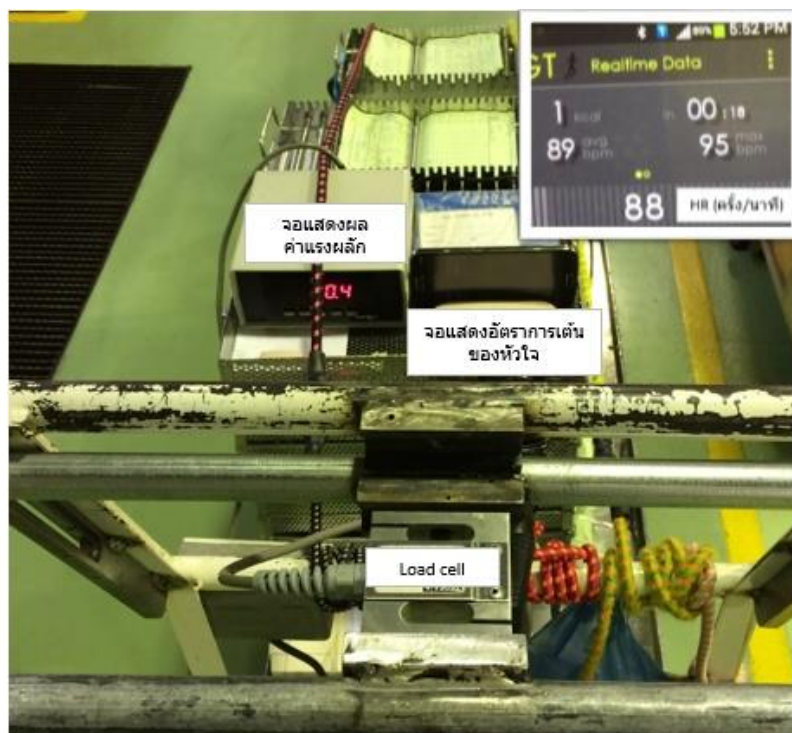
คือน้ำหนักบรรทุกต่ำสุดที่ไม่กระทบกับยอดการผลิต โดยพิจารณายอดการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา กับผลกระทบหากขนย้ายชิ้นงานออกจากกระบวนการแรก (กระบวนการกลึง) ด้วยน้ำหนักบรรทุกต่ำสุดเท่าไร จึงจะไม่กระทบกับการผลิตของกระบวนการกลึงตามเป้าหมายของแผนการผลิต

4. น้ำหนัก 70 กก.

คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานชิ้นของผู้เข้าร่วมการทดสอบที่มีประสบการณ์จากการประเมินตามหลักจิตฟิสิกส์

3.3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์บนรถเข็นงาน

ติดตั้งตัวรับสัญญาณจากชุดวัดอัตราการเต้นของหัวใจบนรถเข็นงาน ในงานวิจัยนี้ใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น GRAND DUO2 ซึ่งแสดงผลด้วยแอปพลิเคชัน SGT แสดงดังรูป



รูปที่ 3.11 การบันทึกข้อมูลแรงผลึกขณะเข็นงานและอัตราการเต้นของหัวใจ

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์บนรถเข็นงานแล้ว จึงออกแบบขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เข็นงานในแต่ละน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดในระยะทางเข็นงานจริง 653 เมตร ทดลองซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละค่าน้ำหนักบรรทุก
2. บันทึกค่าแรงผลึก (กก.) รวม 10 กิจกรรมโดยคัดเลือกกิจกรรมที่พบมากที่สุดในงานจริงได้แก่ ออกตัว(1), ทางตรง, ขรุขระ, ออกตัว(2), เลี้ยว(1), เลี้ยว(2), ออกตัว(3), ออกตัว(4), เลี้ยว(5), ออกตัว(6) โดยบันทึกแรงผลึกสูงสุดจากจอแสดงผล
3. บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยต่อนาที
4. คำนวณหาแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (นิวตัน) จากค่าแรงผลึก 10 กิจกรรม โดยจะใช้ค่าแรงกดอัดของ 10 กิจกรรมดังกล่าวเป็นตัวแทนของแรงกดอัดของงานเข็นในแต่ละน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากแรงกดอัดนั้นจะแปรผันตามกิจกรรมที่ออกแรงผลึกไม่ได้แปรผันตามระยะทางในการทดสอบจึงสามารถใช้ค่าที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมได้

5. คำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อรอบการเดินเข็นงาน 1 รอบด้วยสมการของ Keytel, L.R., Goedecke, J.H., Noakes, T.D., et

6. คำนวณการใช้พลังงานตลอด 7 ชั่วโมงการทำงานโดยนำค่าการใช้พลังงานต่อรอบการเดินเข็นงาน คูณจำนวนรอบที่เดินในแต่ละค่าน้ำหนักบรรทุกซึ่งแตกต่างกัน (แสดงจำนวนรอบในผลการทดลอง) เนื่องจากตัวชี้วัดคือ อัตราการเต้นของหัวใจนั้นมีความแปรผันตามระยะทางและกิจกรรม ดังนั้นการกำหนดเส้นทางการเข็นงานตลอดระยะทางจริง 653 เมตรที่ครอบคลุมทุกกิจกรรม เพียง 1 รอบ ก็สามารถอนุมานหาอัตราการใช้พลังงานตลอด 7 ชั่วโมงการทำงานได้

7. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง/รอบการเข็น และการใช้พลังงานต่อ 7 ชั่วโมงการทำงาน เพื่อสร้างวิธีการหาผลลัพธ์น้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยเทรตออฟระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว

ทั้งนี้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้กำหนดน้ำหนักบรรทุกของงานเข็นสำหรับพนักงานเข็นงานเพศหญิง ของโรงงานกรณีศึกษาได้ เนื่องจากการเทรตออฟระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่และกิจกรรมจริงของงานเข็น โดยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างนั้นวัดจากแรงผลึกใน 10 กิจกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแรงผลึกสูง และมีความถี่มากตลอดเส้นทาง ซึ่งจะแปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น การใช้ค่า 10 กิจกรรมนั้นจึงครอบคลุมด้านแรงกระทำต่อร่างกาย ในขณะที่การใช้พลังงานตลอด 7 ชั่วโมงการทำงานนั้นวัดจากอัตราการเต้นของหัวใจขณะเดินเข็นงานตลอดเส้นทางจริง 653 เมตรซึ่งครอบคลุมทุกๆกิจกรรมในงานเข็น ทั้งนี้วัดค่าใน 1 รอบสามารถอนุมานด้วยจำนวนรอบการเดินเพื่อหาค่าพลังงานดังกล่าวตลอด 7 ชั่วโมงได้เพราะลักษณะงานในแต่ละรอบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้ผลการทดลองดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้ได้ โดยแสดงรูปแบบการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.2.4 รูปแบบการทดลอง

ตารางที่ 3.3 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกโดยเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

ครั้งที่	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)	การทดลองซ้ำ (ครั้ง)	ตัวชี้วัด
	น้ำหนักบรรทุก (กก.)		
1	135	2	การใช้พลังงาน และแรงกดอัดที่ หมอนรองกระดูก สันหลังส่วนล่าง
2	120	2	
3	105	2	
4	70	2	

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยข้างต้นคาดหวังผลลัพธ์คือการลดภาระงานขึ้นด้วยการเทรตออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานนั้น ได้แบ่งขั้นตอนเป็นการประเมินงานขึ้นซึ่งรวมการปรับปรุงเบื้องต้นได้แก่การปรับปรุงรถเข็นงาน และการลดน้ำหนักบรรทุกเพื่อเทรตออฟระหว่าง 2 ปัจจัยภายใต้การทดลองย่อยต่างๆ ซึ่งผลลัพธ์จากการดำเนินการทดลองจะนำเสนอในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์

จากแนวคิดการดำเนินงานวิจัยซึ่งแสดงรายละเอียดในขั้นตอนการดำเนินงานนั้น ขั้นตอนถัดไปจะแสดงผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลตามลำดับการทดลองดังนี้

4.1 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบในงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในโรงงานกรณีศึกษานั้น เริ่มต้นจากการทดสอบกับผู้เข้ารับการทดสอบที่เป็นพนักงานชิ้นงานที่มีอาการเจ็บปวดขณะชิ้นงาน ทั้งนี้ในการทดสอบบางอย่างมีการสุ่มพนักงานที่ไม่มีประสบการณ์เข้าร่วมด้วยเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ และนอกจากในการปฏิบัติงานจริงมีการปรับเปลี่ยนกลุ่มพนักงาน จึงมีพนักงานชิ้นงานเพิ่มเติมในการทดสอบแต่ละส่วนซึ่งแสดงรายละเอียดตามรหัสและกลุ่มผู้เข้ารับการทดสอบในแต่ละส่วนดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบเพศหญิงของโรงงานกรณีศึกษา

รหัสผู้ เข้ารับ การ ทดสอบ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รายละเอียดการเข้าร่วมการทดสอบ				
				ทดสอบ กำลังสถิติ	ทดสอบ ชิ้นงาน ก่อน ปรับปรุง	การ ปรับปรุง รถเข็น งาน	ทดสอบ MAWP	ประเมิน น้ำหนัก บรรทุกที่ เหมาะสม
S01	40	79	168.5	/	/			
S02	41	72	158	/	/	/	/	
S03	46	51	155	/	/			
S04	51	62	156	/	/	/	/	
S05	38	55	156	/	/		/	
S06	41	58	159	/	/	/		
S07	44	50	150	/	/	/		
S08	37	48	152	/	/			
S09	50	50	156	/	/			
S10	44	71	162	/	/			
S11	42	61	150	/	/			

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดสอบเพศหญิง (ต่อ)

รหัสผู้ เข้ารับ การ ทดสอบ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วน สูง (ซม)	รายละเอียดการเข้าร่วมการทดสอบ				
				ทดสอบ กำลัง สถิติ	ทดสอบ เข็นงาน ก่อน ปรับปรุง	ทดสอบ เปรียบเทียบ ปัจจัยรถเข็น งาน	ทดสอบ MAWP	ประเมิน น้ำหนัก บรรทุกที่ เหมาะสม
S12	45	56	156	/	/			
S13	43	70	163	/	/			
S14	43	56	149	/	/			
S15	44	60	153	/	/			
S16	46	53	152	/	/		/	/
S17	41	48	147	/	/			
S18	41	57	163	/	/		/	/
S19	42	48	153	/	/			/
S20	44	46	152	/	/			
S21	40	56	150			/		
S22	43	46	153			/		
S23	44	53	160			/		
S24	43	54	159			/		
S25	41	59	154					/
S26	26	49	157			/	/	
S27	23	50	160				/	
S28	24	50	160				/	
อายุ				$\bar{x} = 43$ S.D. = 3.45	$\bar{x} = 44$ S.D. = 3.55	$\bar{x} = 36$ S.D. = 10.63	$\bar{x} = 43$ S.D. = 2.38	
น้ำหนัก				$\bar{x} = 58$ S.D. = 9.28	$\bar{x} = 54$ S.D. = 5.24	$\bar{x} = 56$ S.D. = 7.78	$\bar{x} = 54$ S.D. = 4.86	
ส่วนสูง				$\bar{x} = 155.3$ S.D. = 5.46	$\bar{x} = 155.3$ S.D. = 4.31	$\bar{x} = 157.7$ S.D. = 3.33	$\bar{x} = 155.5$ S.D. = 5.07	

จากตารางที่ 4.1 รหัสผู้เข้าร่วมการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

รหัส S01-S20 คือผู้เข้ารับการทดสอบที่เป็นพนักงานชิ้นงาน

รหัส S21-S25 คือผู้เข้ารับการทดสอบที่เป็นพนักงานชิ้นงาน ซึ่งเข้าร่วมการทดลองเพิ่มเติมจากการเปลี่ยนกลุ่มการทำงาน

รหัส S26-S28 คือผู้เข้ารับการทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ด้านงานชิ้น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพเบื้องต้นพบว่า ผู้เข้าร่วมการทดสอบในแต่ละการทดลองย่อยมีค่าส่วนสูง น้ำหนัก ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นการทดลองย่อย MAWP ซึ่งมีผู้เข้าร่วมการทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์เพิ่มเข้ามา จึงมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกับกลุ่มอื่นๆ ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้กับพนักงานที่มีประสบการณ์เท่านั้น การทดสอบโดยมีผู้ที่ไม่มีประสบการณ์เข้ามาเกี่ยวข้องเป็นเพียงการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบกับผู้ที่มีประสบการณ์ต่างกัน ได้แก่ การประเมินน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจ โดยใช้ความรู้สึกของผู้เข้าร่วมการทดสอบเป็นต้น

4.3 กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน, ไหล่, และกล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ

ในขั้นตอนการประเมินงานชิ้นเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงและลดภาระงานนั้น จำเป็นต้องทราบความแข็งแรงของกลุ่มผู้เข้ารับการทดสอบเพื่อประเมินว่าอาการบาดเจ็บนั้นมียู่ก่อนหน้าหรือเกิดจากการทำงาน วัดค่าโดยกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ (กก.) ซึ่งจะใช้ผลลัพธ์เปรียบเทียบกับ การประเมินน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานชิ้น (MAWP) ต่อไป ผลการทดสอบแสดงดังนี้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกำลังสถิติของประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย(เพศหญิง อายุ 25-32 ปี) กับผู้เข้ารับการทดสอบจำนวน

20 คน

ค่ากำลังสถิติ	ค่าเฉลี่ย	ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ถึง 95	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ของผู้เข้ารับการทดสอบ
ส่วนต่างๆ	71.4	67.23-75.62	76.50
แขน	30.6	29.30-31.93	32.45
ไหล่	32.6	30.68-34.45	32.70

ที่มา : กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531)

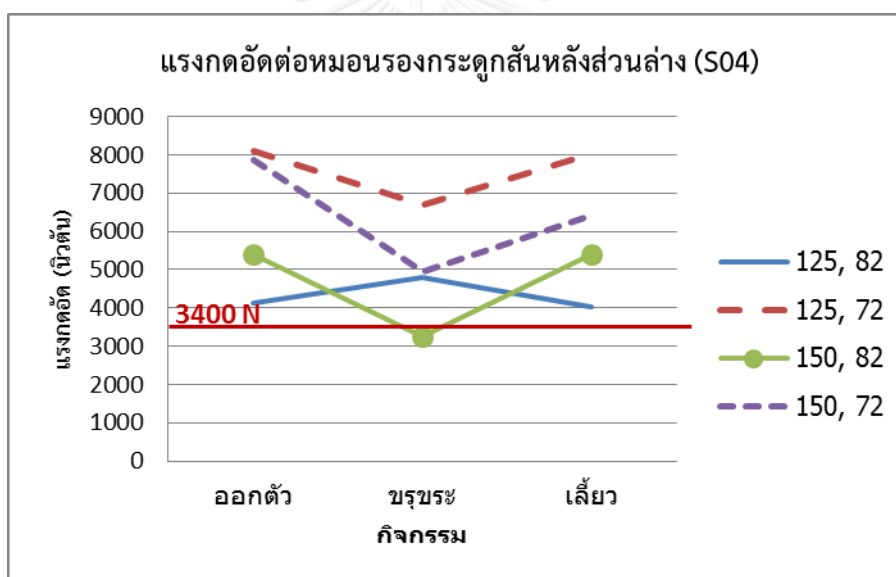
จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่างๆสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเปรียบเทียบ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของกำลังสถิติกล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อไหล่ใกล้เคียงกับกลุ่มประชากรเปรียบเทียบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เข้ารับการทดสอบที่เป็นพนักงานชิ้นงานนั้นมีความ

แข็งแรงของร่างกายในเกณฑ์ปกติ แต่มีอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานเช่นดังกล่าว ซึ่งควรปรับปรุงเพื่อลดภาระงาน เบื้องต้นงานวิจัยนี้ปรับปรุงรถเข็นงานเพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยไม่กระทบกับผลผลิตของโรงงานดังแสดงผลการทดลองในขั้นตอนถัดไป

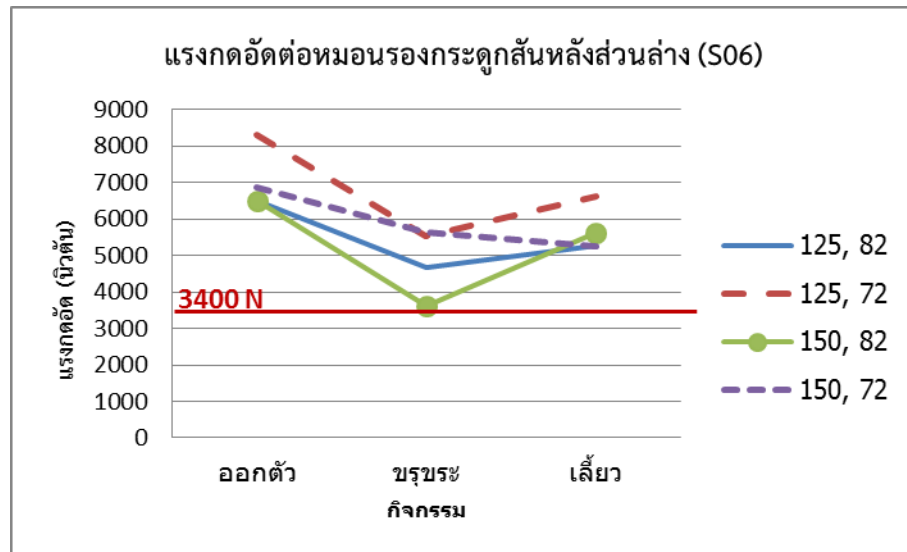
4.4 ผลการทดลองการปรับปรุงรถเข็นงาน

จากจุดประสงค์เพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างนั้น ในขั้นตอนการประเมินงานเช่นพบว่า การปรับปรุงรถเข็นงานสามารถช่วยลดแรงกดอัดดังกล่าวได้ จากขั้นตอนการทดลองเพื่อปรับปรุงเบื้องต้นนั้นได้ผลการทดลองเพื่อนำเอาเงื่อนไขของการปรับปรุงไปใช้ในการลดภาระงานเช่นต่อไป ซึ่งแสดงรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

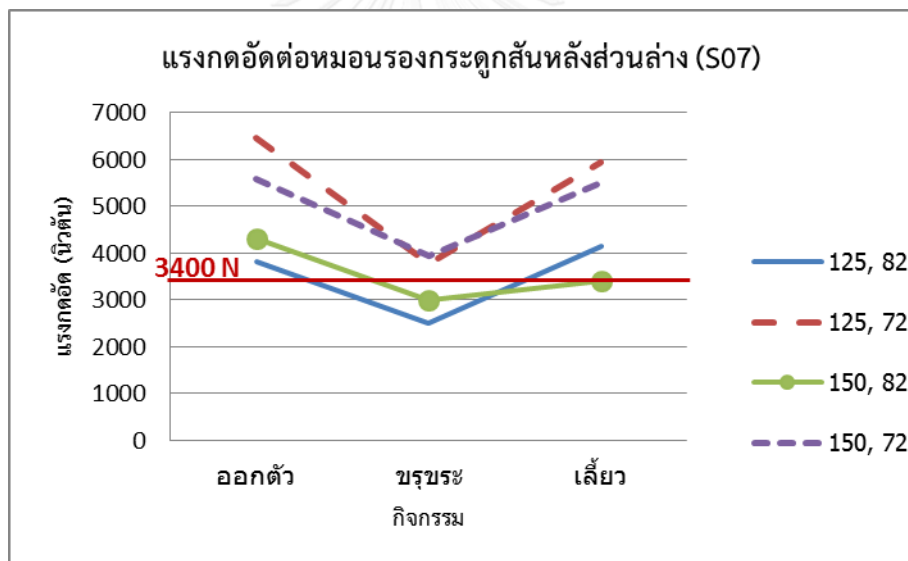
การทดลองนี้วัดค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยของการทรุดออฟ จากค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่คำนวณจากค่าสูงสุดของแรงผลักแสดงผลลัพธ์ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองจำแนกรายบุคคลดังนี้



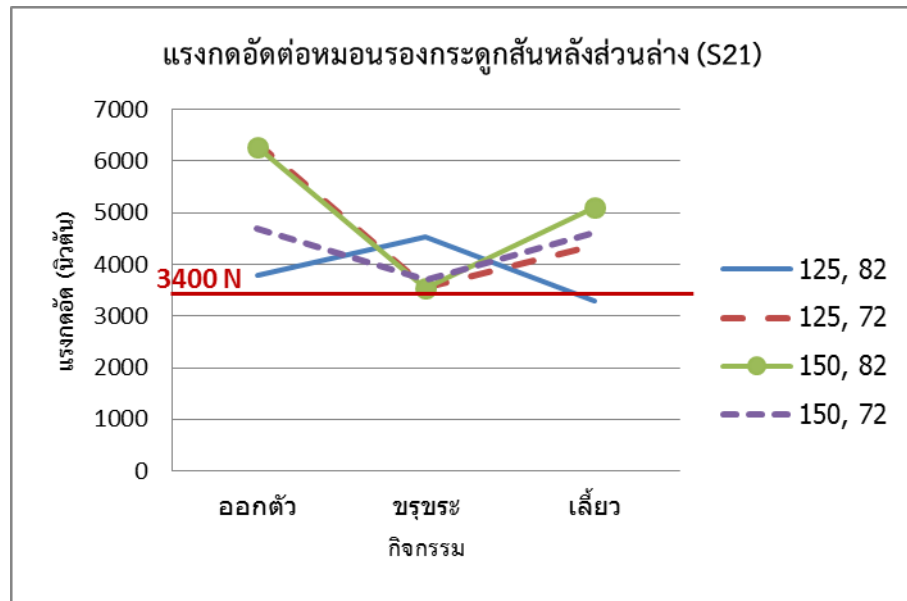
รูปที่ 4.1 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS04



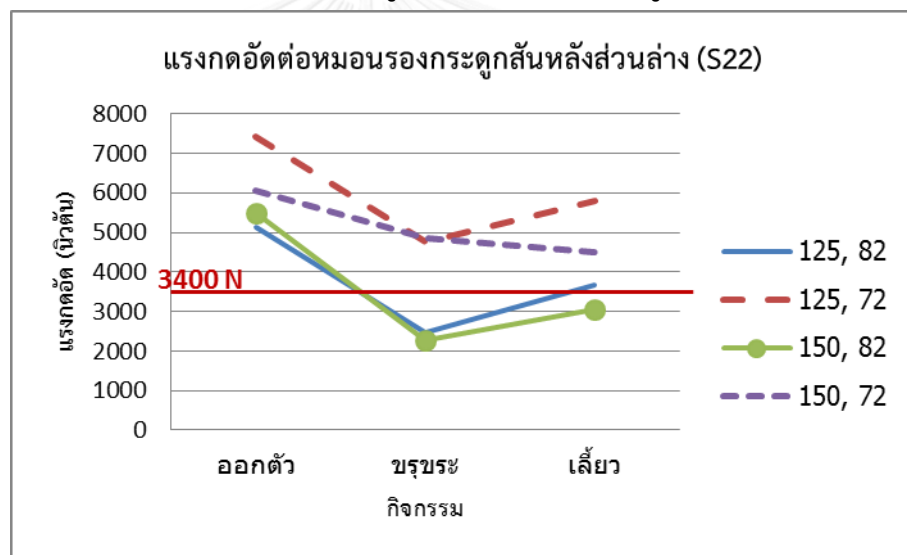
รูปที่ 4.2 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS06



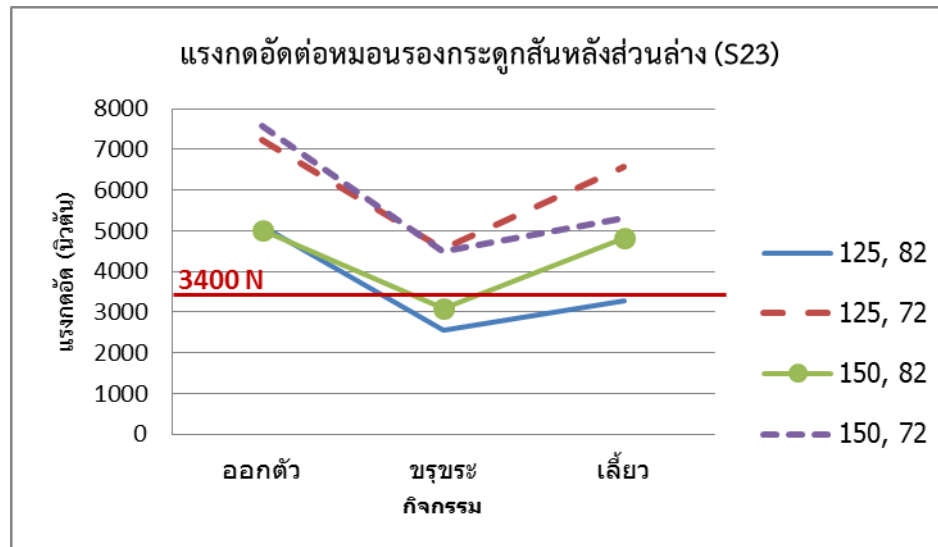
รูปที่ 4.3 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS07



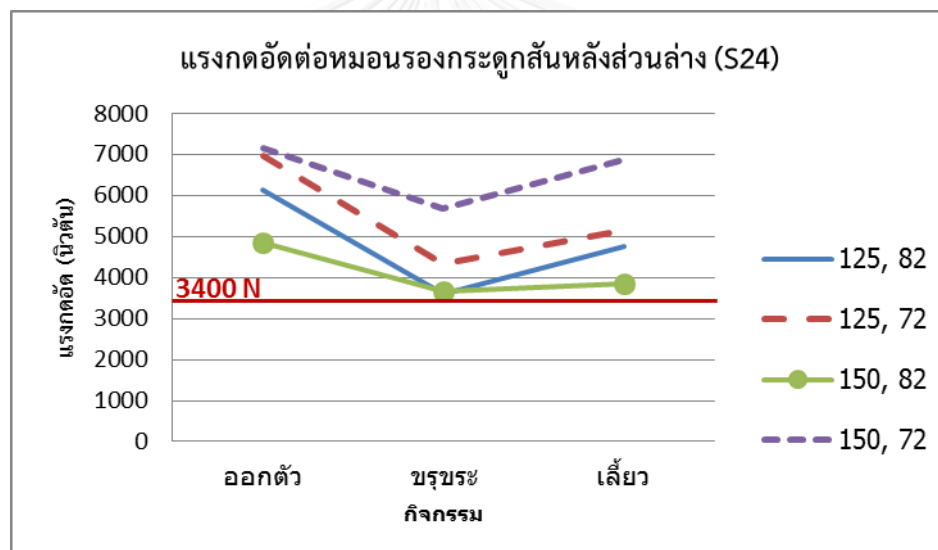
รูปที่ 4.4 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS21



รูปที่ 4.5 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS22



รูปที่ 4.6 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS23



รูปที่ 4.7 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบS24

จากแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละปัจจัยของการปรับปรุง พบว่าที่ระดับมือจับความสูงระดับหลังส่วนล่างคือ 82 ซม. ให้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำสุดเฉลี่ย 4194.78 N ลดลงจากค่าเฉลี่ยของ แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของพนักงานชิ้นงาน 20 คนก่อนการปรับปรุงคือ 5094.4 นิวตันโดยเฉลี่ย ทั้งนี้พบว่า การปรับระดับมือจับช่วยให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงได้มากกว่าการปรับขนาดล้อ (ขนาดล้อที่ใหญ่ขึ้นไม่ช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง) เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดสอบเป็นพนักงานชิ้นงานที่มีประสบการณ์และมีพฤติกรรมการออกแรงผลักเพื่อควบคุมรถชิ้นงานในลักษณะ

ที่ออกแรงดันมาก ในกิจกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงผลักสูงโดยเฉพาะทางเลี้ยว ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ยากตั้งนั้นการปรับปรุงรถเข็นงานสำหรับพนักงานเข็นงานกลุ่มนี้จึงควรเน้นการปรับระดับมือจับอยู่ที่ระดับเอว (อนุमानที่ระดับหลังส่วนล่าง) โดยเฉลี่ยของพนักงานเข็นงานทั้ง 20 คนคือ 82 ซม. โดยจะวิเคราะห์ผลทางสถิติในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์เพื่อทดสอบผลกระทบของ 2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง เนื่องจากงานเข็นเป็นลักษณะงานที่มีการเคลื่อนไหว แต่การคำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างดำเนินภายใต้สภาวะสถิต ในการวิเคราะห์ผลนั้นจึงต้องทดสอบในรูปแบบที่หลากหลาย เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงรถเข็นงานได้อย่างแม่นยำมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงแบ่งเงื่อนไขการทดสอบทางสถิติเป็น 2 รูปแบบเพื่อวิเคราะห์ผลร่วมกันดังนี้

1. ทดสอบตามเงื่อนไขค่าสูงสุดและผลรวมของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA)

-ใช้ค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างสูงสุด (ค่าสูงสุดของทุกกิจกรรม) เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของปัจจัยขนาดล้อ และระดับมือจับ ด้วยค่าสูงสุด

-ใช้ค่าผลรวมแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างของทุกกิจกรรม เพื่อรวมเป็นค่าแรงกดอัดของงานเข็น ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบในปัจจัยต่างๆ

ลำดับ ที่	เงื่อนไขของการทดสอบใน ปัจจัยต่างๆ	P-value		
		ขนาดล้อ	ระดับมือจับ	ขนาดล้อ*ระดับมือจับ
1	ค่าสูงสุดทุกกิจกรรม	0.458	0.000	0.178
2	ผลรวมทุกกิจกรรม	0.664	0.000	0.331

จากตารางข้างต้นพบว่าเมื่อทดสอบด้วยค่าสูงสุดและค่าผลรวมของทุกกิจกรรมในงานเข็นนั้นพิจารณาค่าของปัจจัยร่วมทั้งสอง (Interaction) พบว่าขนาดล้อและระดับมือจับไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ต่อมาได้พิจารณารายปัจจัยพบว่าปัจจัยระดับมือจับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง (ลดลง) ของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ขนาดล้อไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงกดอัดดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

2. ทดสอบตามเงื่อนไขจำแนกรายกิจกรรม

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทดลองในกิจกรรมที่มีการเปลี่ยนแรงของแรงผลักสูง โดยการทดสอบทางสถิติดังกล่าวเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยขนาดล้อและระดับมือจับที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละกิจกรรม โดยแสดงผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	P-Value		
	ขนาดล้อ	ระดับมือจับ	ขนาดล้อ*ระดับมือจับ
ออกตัว	0.726	0.000	0.114
ขรุขระ	0.586	0.000	0.577
เลี้ยว	0.829	0.000	0.196

จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA โดยพิจารณาค่า P-value แต่ละเงื่อนไขข้างต้นระหว่างปัจจัยขนาดล้อ 2 ระดับคือ 125, 150 มม. และระดับมือจับ 2 ระดับคือ 82, 72 ซม. พิจารณาค่าของปัจจัยร่วมทั้งสอง (Interaction) พบว่าขนาดล้อและระดับมือจับไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ต่อมาได้พิจารณารายปัจจัยพบว่า ระดับมือจับระดับเอว เฉลี่ย 82 ซม. ส่งผลให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ขนาดล้อที่เพิ่มขึ้นจาก 125 มม. เป็น 150 มม. ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง จากที่มาและความสำคัญของงานวิจัยนี้พบว่า การออกแรงผลักรถเข็นงานก่อนการปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ของรถเข็นงานนั้น ให้ค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินเกณฑ์ที่แนะนำโดย NIOSH ประมาณ 5094 นิวตัน ซึ่งรถเข็นงานก่อนปรับปรุงดังกล่าวมีขนาดล้อ 125 มม. และระดับมือจับ 95 ซม. ซึ่งสูงกว่าระดับเอวเฉลี่ยของพนักงานเข็นงาน ดังนั้นในการทดสอบทางสถิตินี้จึงเพิ่มการทดสอบอิทธิพลของระดับมือจับดังกล่าวโดยเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยของรถเข็นงานก่อนปรับปรุง กับหลังปรับปรุงระดับมือจับโดยไม่เปลี่ยนขนาดล้อ ได้แก่เงื่อนไข ขนาดล้อ 125 มม, ระดับมือจับ 95 ซม. เปรียบเทียบกับ ขนาดล้อ 125 มม,

ระดับมือจับ 82 ซม. ซึ่งนำค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้าร่วมการทดสอบที่ได้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข ได้แก่รหัส S02, S04, S06 และ S07 ซึ่งได้ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired T Test ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ค่า P-Value ของการทดสอบระหว่างปัจจัยระดับมือจับก่อนปรับปรุงรถเข็นงาน 95 ซม. และหลังปรับปรุง 82 ซม.

กิจกรรม	P-Value
	ระดับมือจับ
ออกตัว	0.452
ขรุขระ	0.762
เลี้ยว	0.047

สำหรับผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คนแสดงผลการทดสอบจำแนกรายกิจกรรมดังนี้

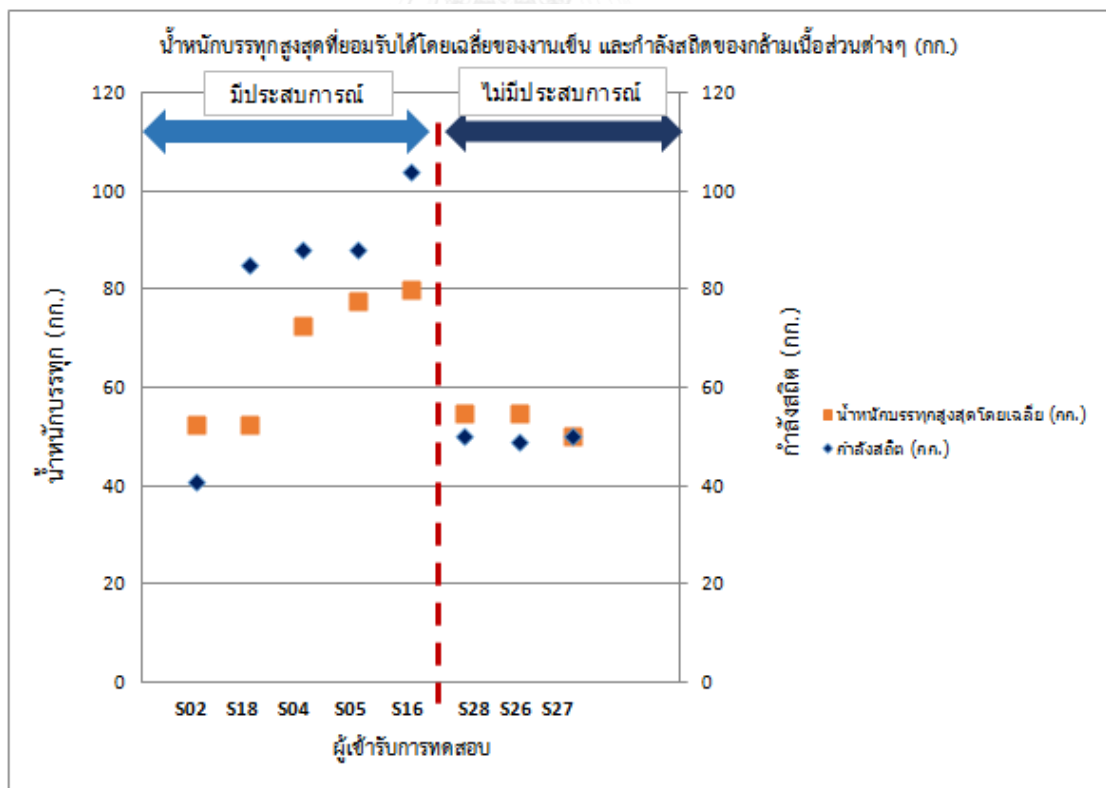
1. กิจกรรมออกตัว ค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงจาก 5722.85 นิวตัน เหลือ 4975.15 นิวตันเมื่อปรับระดับมือจับจาก 95 ซม. ไปที่ระดับเอว 82 ซม. แต่ไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)
2. กิจกรรมพื้นขรุขระ ค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงจาก 4678.87 นิวตัน เหลือ 4562.30 นิวตันเมื่อปรับระดับมือจับจาก 95 ซม. ไปที่ระดับเอว 82 ซม. แต่ไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)
3. กิจกรรมทางเลี้ยว ค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงจาก 4992.29 นิวตัน เหลือ 4198.64 นิวตันเมื่อปรับระดับมือจับจาก 95 ซม. ไปที่ระดับเอว 82 ซม. อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ดังนั้นการเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดสอบระหว่างระดับมือจับ 95 ซม. และ 82 ซม. (ก่อนและหลังปรับปรุงรถเข็นงาน) พบว่ากิจกรรมทางเลี้ยว เป็นกิจกรรมที่การปรับปรุงรถเข็นงานช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กิจกรรมออกตัว และพื้นขรุขระนั้น เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างก่อนและหลังปรับปรุงพบว่าลดลง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาการปรับปรุงโดยภาพรวมแล้ว การปรับปรุงรถเข็นงานโดยปรับระดับมือจับให้อยู่ในระดับเอวยังคงช่วยให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลง

จากการทดสอบทางสถิติทั้ง 3 รูปแบบและค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดสอบนั้น พบว่าการปรับปรุงรถเข็นงานด้วยการปรับระดับมือจับนั้น ช่วยลดภาระงานขึ้นจากการลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังได้อย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะกิจกรรมทางเลี้ยว ที่พบมากตลอดเส้นทางเดินเข็นงาน ทั้งนี้ปัจจัยของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างเป็นเพียงหนึ่งในปัจจัยที่ต้องเฝ้าระวังเพื่อลดภาระงาน การทดลองด้วยที่น้ำหนักบรรทุก 135 กก. ยังคงให้ค่าแรงผลักรถเข็นงานที่สูง โดยเฉพาะกิจกรรมที่มีความถี่สูงตลอดการเข็นงาน งานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองเพื่อลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเฝ้าระวังระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว เพื่อลดภาระงานขึ้นลงให้มากที่สุดโดยไม่กระทบกับผลผลิต

4.5 ผลการทดลองการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็น (Maximum Acceptable Weight of Pushing)

การทดลองนี้เป็นการประเมินน้ำหนักบรรทุกด้วยความรู้สึกพึงพอใจต่อภาระงานของผู้เข้าร่วมการทดสอบ จากการทดลองบันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกและหาค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักบรรทุกในแต่ละรอบการทดลอง ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับกำลังสถิติดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจกับกำลังสถิติ (กก.) ของผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์ ไม่มีประสบการณ์

การทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า P-value ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบในปัจจัยต่างๆ

ค่าน้ำหนักบรรทุกในแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ	P-Value
ผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์	0.144
น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจกับกำลังสถิติหรือน้ำหนักตัว	0.958

จากตารางที่ 4.6 ทดลองหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจในการเข็นงานด้วยความพึงพอใจ โดยผู้เข้ารับการทดสอบทั้ง 8 คนเป็นผู้มีประสบการณ์ด้านงานเข็น คือ ได้แก่รหัส S02, S18, S04, S05, S06 และ เป็นผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ด้านงานเข็นคือ ได้แก่รหัส S28, S26, S27 ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้นั้น มาจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสูงสุดของการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกครั้งละ 10 กก. และการลดน้ำหนักบรรทุกครั้งละ 10 กก. โดยเปรียบเทียบกับกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ ยกเว้นผู้เข้ารับการทดสอบคนที่ 6 - 8 ที่ไม่ได้เข้ารับการวัดกำลังสถิติในครั้งแรก จึงเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัว

ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าผู้ที่มีประสบการณ์ด้านงานเข็น ยอมรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วยความพึงพอใจที่ 67 กก. หรือประมาณ 70 กก. โดยเฉลี่ย ในขณะที่ผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ด้านงานเข็น ยอมรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วยความพึงพอใจที่ 54 กิโลกรัมโดยเฉลี่ย ซึ่งหากพิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่พึงพอใจของผู้ที่มีประสบการณ์คือประมาณ 70 กก. นั้น พบว่ากระทบกับยอดผลิตของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งไม่สามารถใช้งานได้จริง แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะนำมากำหนดเป็นค่าน้ำหนักต่ำสุดในการทดสอบในการลดภาระงานโดยการเทรตออพระหว่าง 2 ปัจจัย ซึ่งจะวิเคราะห์ผลในส่วนการทดลองถัดไป

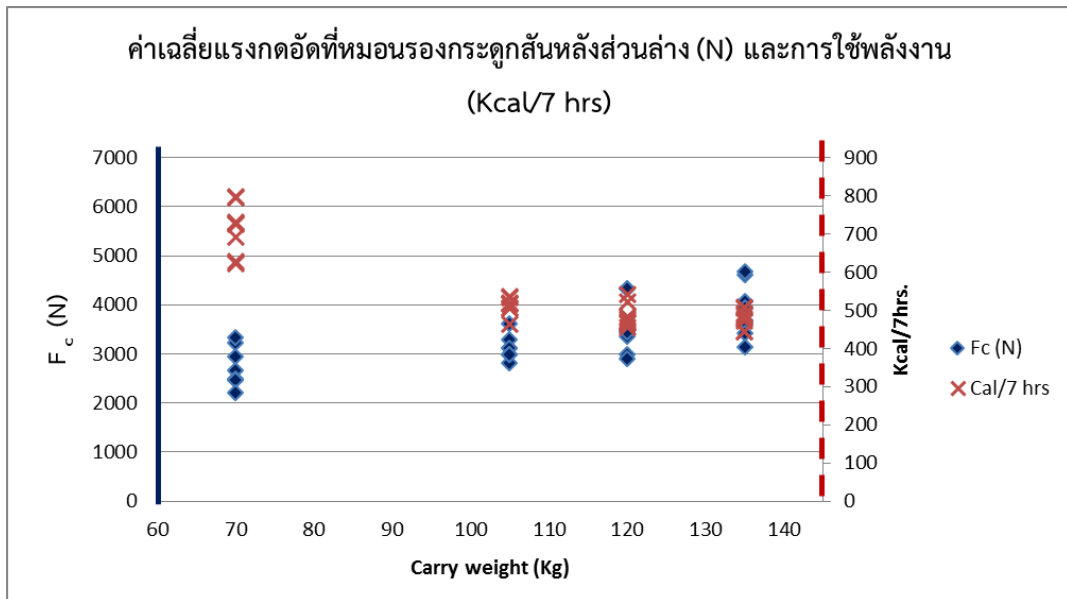
นอกจากนี้จากการทดสอบทางสถิติของผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์ด้วยวิธี One-Way ANOVA พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผู้ที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์ $P\text{-value} = 0.144 > 0.05$ ในขณะที่ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจกับกำลังสถิติหรือน้ำหนักตัวทดสอบด้วยวิธี Mann-Whitney พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน $P\text{-Value} = 0.958 > 0.05$ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้เข้ารับการทดสอบทั้งที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์นั้น ไม่มีความเอนเอียง เนื่องจากเป็นไปตามความแข็งแรงของร่างกายในแต่ละ

บุคคล สำหรับการนำผลลัพธ์ไปใช้เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกในการทดสอบเพื่อ เทรดออฟระหว่าง 2 ปัจจัย ซึ่งมุ่งเน้นผลลัพธ์จากผู้ที่มิประสบความสำเร็จ (ประมาณ 70 กก.) เนื่องจากการลดภาระงานเช่นนี้ จะนำไปประยุกต์ใช้กับพนักงานชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นการใช้ผู้เข้าร่วมการทดสอบของการประเมินจิตพิสัยนี้เพื่อต้องการทราบข้อมูลความพึงพอใจของภาระงานโดยมีประสบการณ์ของงานนั้นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเท่านั้น งานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ผลลัพธ์ดังกล่าวเพื่อจุดประสงค์อื่นในการวิจัย

4.6 ผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยการเทรดออฟระหว่างการใช้พลังงานและแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

การทดลองนี้เป็นส่วนหลักที่สนับสนุนวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ โดยการนำเอาผลลัพธ์จากขั้นตอนการดำเนินงานก่อนหน้าเพื่อวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้เป็นการลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรดออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน โดยคำนึงถึงผลผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

จากการทดลองโดยการวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจและแรงผลึกขณะชิ้นงานที่ค่าน้ำหนักบรรทุกตามที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าแรงผลึก และอุปกรณ์เชื่อมต่อแสดงผลดังรูปที่ 3.17 พบว่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน ในการทดลองซ้ำทั้ง 2 ครั้ง จำแนกตามน้ำหนักบรรทุกได้แก่ 135 กก. คือ 3899.30 นิวตัน, 120 กก. คือ 3538.75 นิวตัน, 105 กก. คือ 3116.18 นิวตัน และ 70 กก. คือ 2728.68 นิวตัน ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่ลดลงส่งผลให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงตามไปด้วย สำหรับปัจจัยด้านการใช้พลังงานพบว่าน้ำหนักบรรทุกที่ลดลงนั้นจะมีรอบการเดินชิ้นงานเพิ่มขึ้นในตลอด 7 ชั่วโมงการทำงานส่งผลให้แนวโน้มของการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อลดน้ำหนักบรรทุกต่อรอบ ดังแสดงค่าเฉลี่ยแนวโน้มของทั้ง 2 ปัจจัยของผู้เข้าร่วมการทดสอบแต่ละคนดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน

จากรูปข้างต้นแสดงค่าเฉลี่ยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 2 รอบการทดลองซ้ำของผู้เข้ารับการทดสอบทั้ง 4 คนในแต่ละน้ำหนักบรรทุก จากการทดลองลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรตอพอระหว่าง 2 ปีจ้ย พบว่าแนวโน้มของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่อรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการออกแรงผลักรถเข็นงานที่มากขึ้น ในทางกลับกันการลดน้ำหนักบรรทุกต่อรอบส่งผลให้ในรอบการทำงาน 7 ชั่วโมงนั้นมีจำนวนรอบการเดินเพิ่มขึ้นจึงทำให้การใช้พลังงาน (แคลอรี) สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถบอกได้ว่าน้ำหนักบรรทุกต่อรอบที่มากจะมีแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังมาก (ส่งผลต่ออาการบาดเจ็บ) แต่หากน้ำหนักบรรทุกต่อรอบน้อยการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้น (ส่งผลต่อความเมื่อยล้า) งานวิจัยนี้จึงต้องเทรตอพอระหว่าง 2 ปีจ้ยดังกล่าวเพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมที่ช่วยให้พนักงานเข็นงานได้รับแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างน้อยที่สุดโดยที่ไม่มี ความเมื่อยล้าเพิ่มขึ้น

ในขั้นตอนการเทรตอพอ นั้น เนื่องจากปีจ้ยทั้ง 2 คือแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (นิวตัน) และการใช้พลังงาน (แคลอรี) มีค่าคนละหน่วยวัด การจะนำมาเทรตอพอระหว่าง 2 ปีจ้ยนั้นจำเป็นต้องปรับสัดส่วนของแต่ละปีจ้ยให้สามารถประเมินค่าร่วมกันได้ งานวิจัยนี้จึงปรับค่าของแต่ละปีจ้ยให้อยู่ในรูปของร้อยละ โดยการทำนอร์มอไรเซชัน (Normalization data) จากสมการดังนี้

$$\text{Norm data} = [(x-\text{min})/(\text{max}-\text{min})]*100 \dots\dots\dots(11)$$

เมื่อได้ค่าของ 2 ปัจจัยในรูปแบบของร้อยละแล้วจึงนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาค่าหน้าหนักที่เหมาะสมที่จะช่วยลดภาระงานชิ้นในขั้นตอนถัดไป

4.6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงานต่อรอบการทำงาน (7 ชั่วโมง)

จากผลลัพธ์แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงานซึ่งแปลงค่าทั้ง 2 ปัจจัยให้อยู่ในรูปร้อยละนั้น ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาค่าหน้าหนักที่เหมาะสมระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว มีแนวคิดดังนี้

1. การสร้างสมการแนวโน้ม (Trend line) เพื่อหาค่าแนวโน้มของแต่ละปัจจัย งานวิจัยนี้เลือกใช้สมการพหุนามกำลังสอง (Polynomial) เนื่องจากมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าของแต่ละปัจจัยมากที่สุด
2. แทนค่าน้ำหนักบรรทุกตั้งแต่ 70 กก. จนถึง 135 กก. (ช่วงที่ทดลอง) ลงไปในสมการของทั้ง 2 ปัจจัย
3. หาผลรวมของสมการทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าว เพื่อนำไปหาจุดที่น้อยที่สุดของผลรวมทั้ง 2 สมการนั้น เนื่องจากการหาค่าหน้าหนักที่เหมาะสมจำเป็นต้องหาค่าหน้าหนักบรรทุกที่มีแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างน้อยที่สุดที่ไม่ใช้พลังงานเพิ่ม จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการลดภาระงานชิ้น
4. หาค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดที่ผลรวมของทั้ง 2 สมการน้อยที่สุด ตามสมการ
Load at minimize = Min (NormF_c+ NormCal).....(12)

จากแนวคิดดังกล่าวนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงาน (ต่อรอบเวลา 7 ชั่วโมง) โดยแผนภาพกระจาย (Scatter plot) จำแนกตามผู้เข้าร่วมการทดสอบและรอบการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ตัวแปร y_1 = ค่าร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละน้ำหนักบรรทุก

y_2 = ค่าร้อยละการใช้พลังงานในแต่ละน้ำหนักบรรทุก

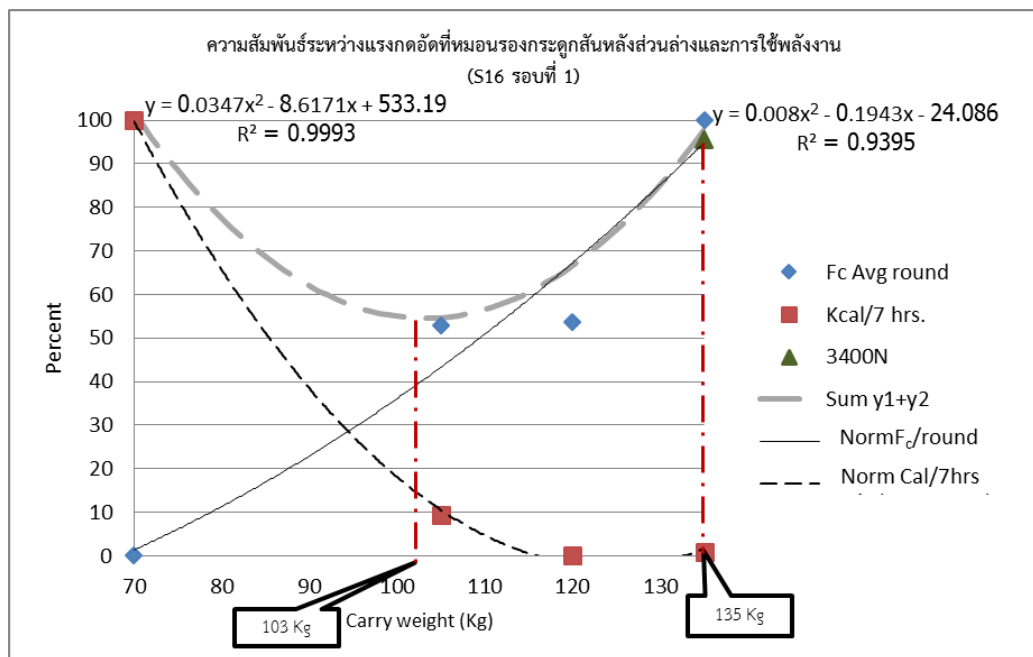
Sum y_1+y_2 = ผลรวมของค่า y_1 และ y_2 ที่ได้จากสมการ

Norm F_c = สมการแนวโน้มของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละน้ำหนักบรรทุก

Norm Cal = สมการแนวโน้มของร้อยละการใช้พลังงานในแต่ละน้ำหนักบรรทุก

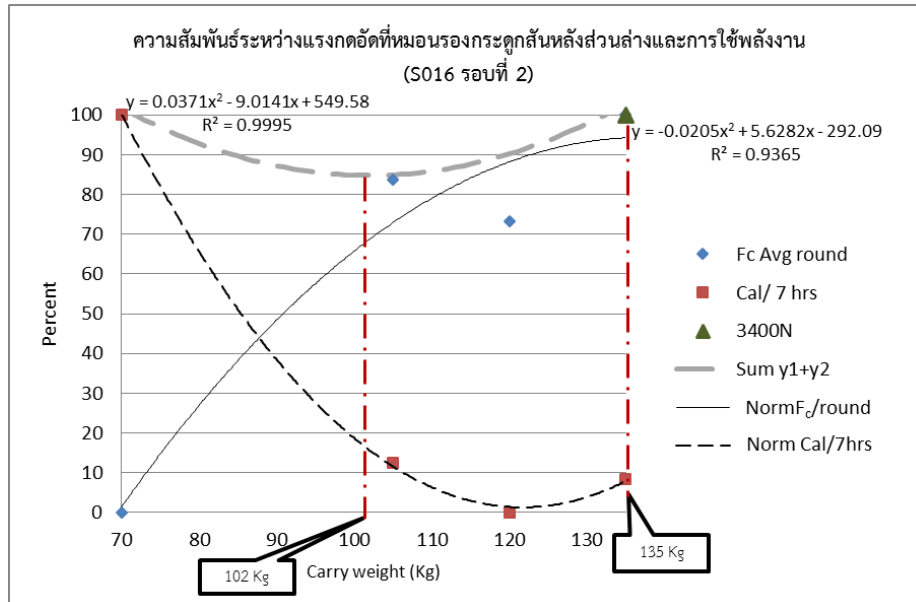
- สัญลักษณ์ ◆ คือสัญลักษณ์ของร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- สัญลักษณ์ ■ คือสัญลักษณ์ของร้อยละการใช้พลังงาน
- สัญลักษณ์ ▲ คือสัญลักษณ์ของร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง 3400 N

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S16 รอบที่ 1



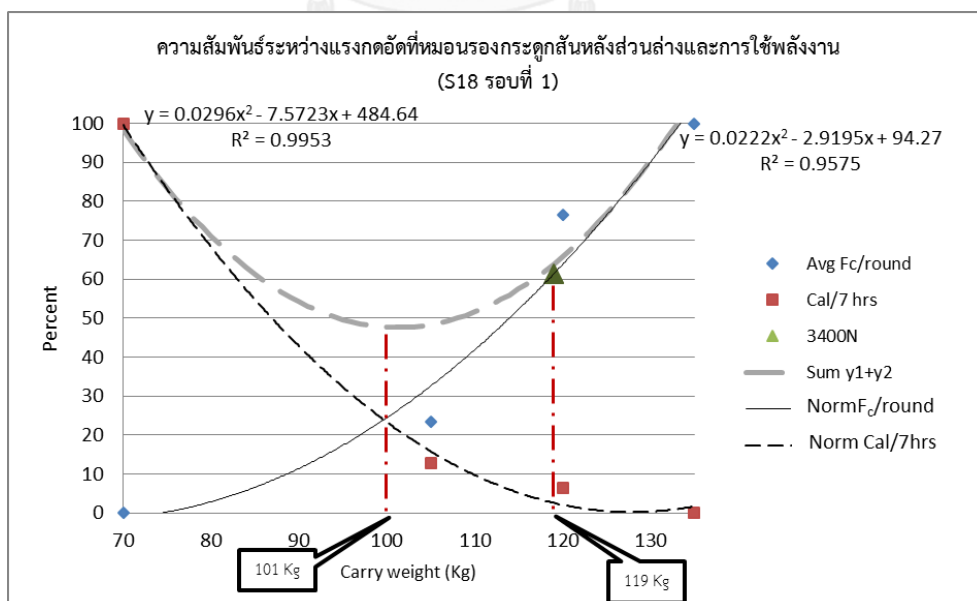
รูปที่ 4.10 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S16 รอบที่ 1)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบ รหัส S16 รอบที่ 2



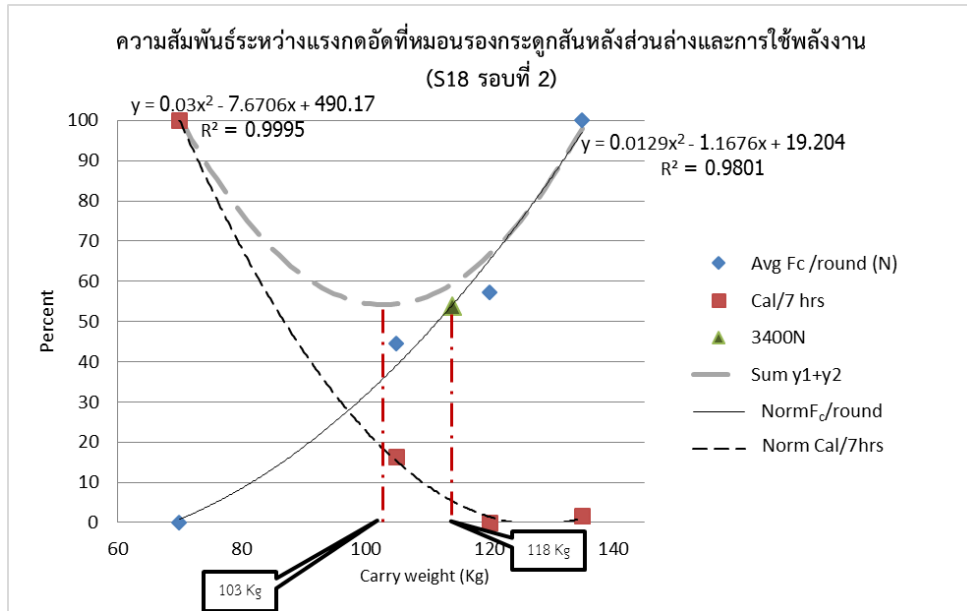
รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S16 รอบที่ 2)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S18 รอบที่ 1



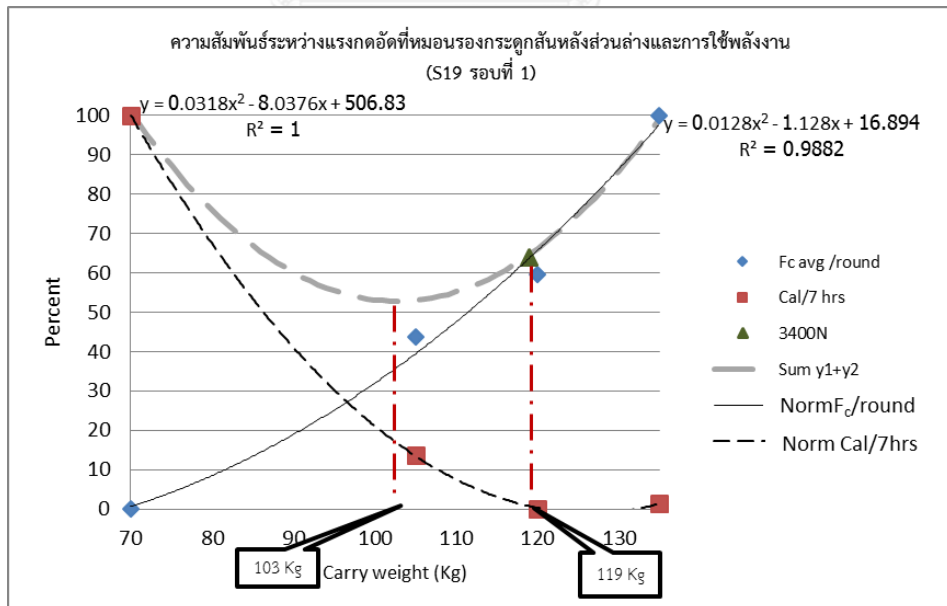
รูปที่ 4.12 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S18 รอบที่ 1)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S18 รอบที่ 2



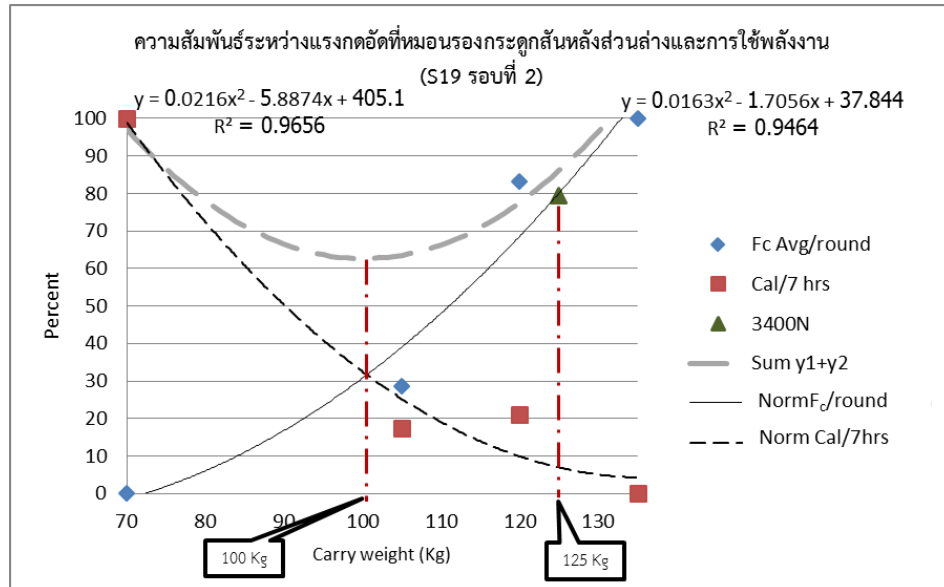
รูปที่ 4.13 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S18 รอบที่ 2)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S19 รอบที่ 1



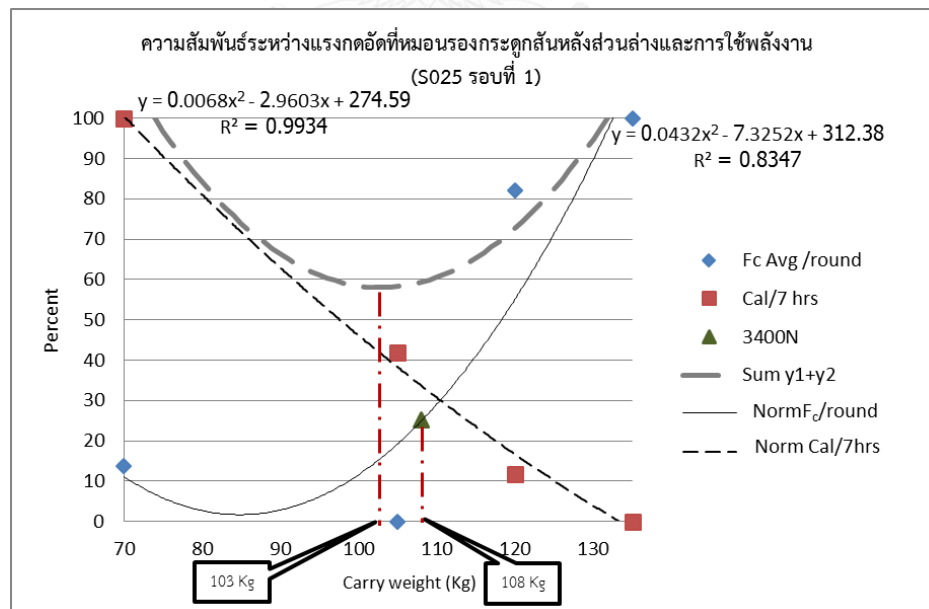
รูปที่ 4.14 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S19 รอบที่ 1)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S19 รอบที่ 2



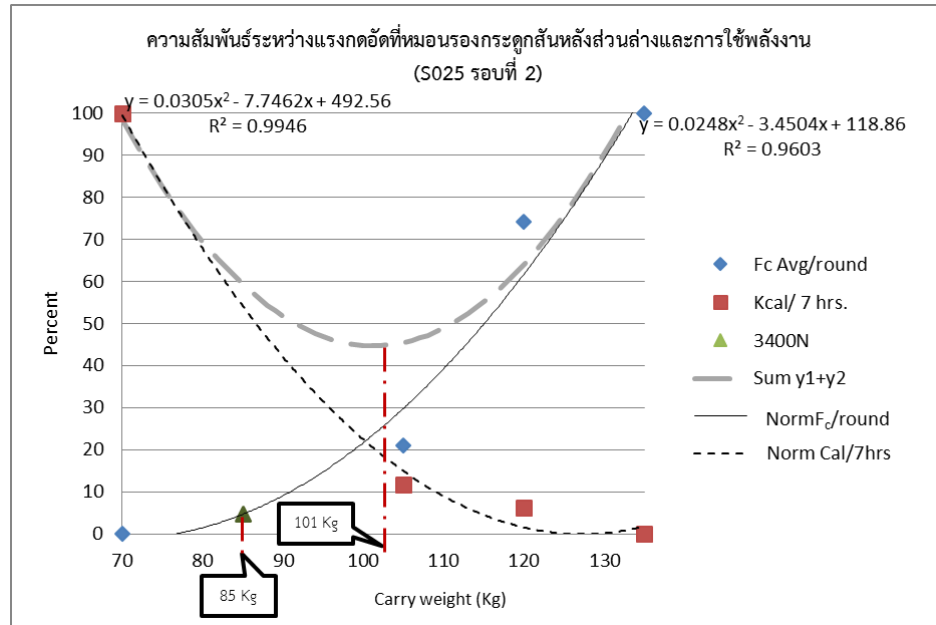
รูปที่ 4.15 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกอดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S19 รอบที่ 2)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S25 รอบที่ 1



รูปที่ 4.16 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดแรงกอดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S25 รอบที่ 1)

ผู้เข้าร่วมการทดสอบรหัส S25 รอบที่ 2

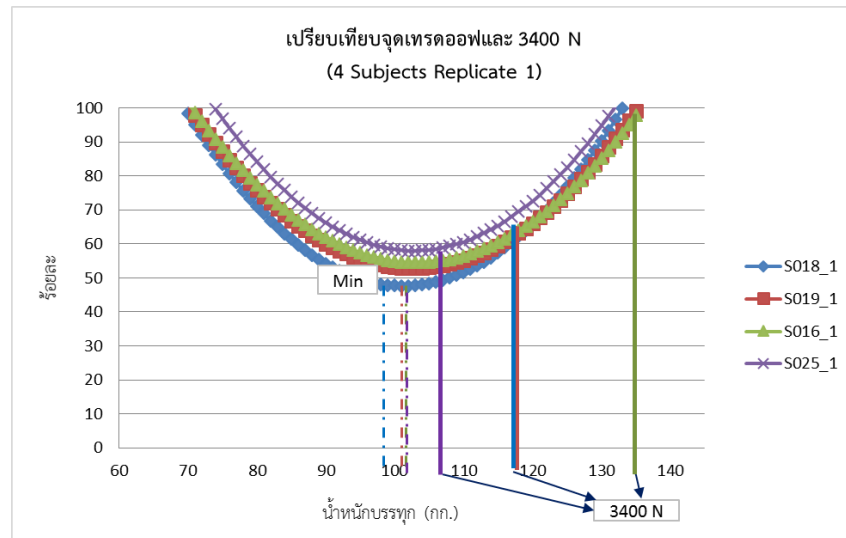


รูปที่ 4.17 กราฟค่าเฉลี่ยและค่าสูงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน (S25 รอบที่ 2)

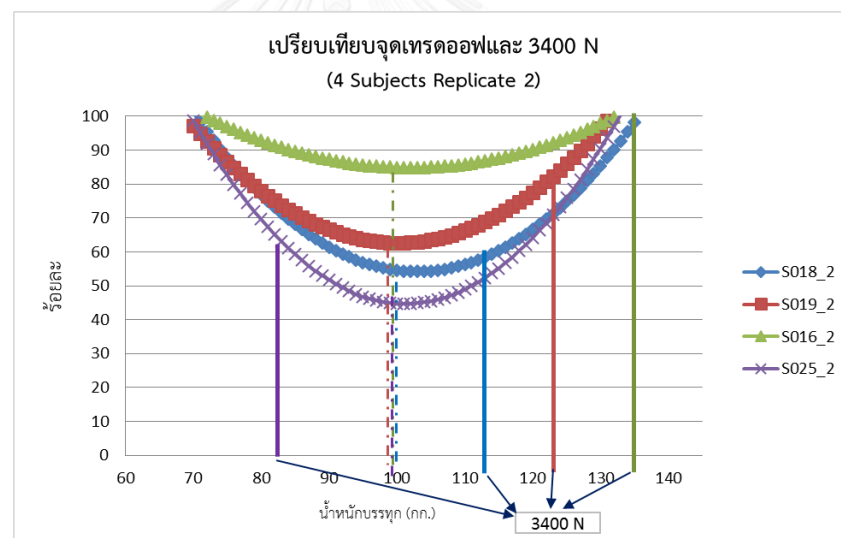
จากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้น แสดงจุดที่ตรงต่อระหว่างค่าร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและค่าร้อยละการใช้พลังงานโดยการประมาณแนวโน้มจากสมการพหุนามกำลังสอง และตำแหน่งร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง 3400 N

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ต่อมานำค่าน้ำหนักบรรทุกทุกที่ได้จากการตรงต่อระหว่าง 2 ปัจจัยจากค่าต่ำสุดของผลรวมสมการดังกล่าวเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักบรรทุกทุกที่ได้จากเกณฑ์ 3400 N ของผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คน แบ่งตามรอบการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของจุดเทรตออฟและ 3400 N ของผู้เข้าร่วมการทดสอบ ทั้ง 4 คน (รอบการทดลองครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของจุดเทรตออฟและ 3400 N ของผู้เข้าร่วมการทดสอบ ทั้ง 4 คน (รอบการทดลองครั้งที่ 2)

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงค่าน้ำหนักจากจุดเทรตออฟระหว่างปัจจัยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน พบว่าผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คนได้ค่าน้ำหนักบรรทุกในช่วง 100-103 กก. เฉลี่ย 102 กก. ซึ่งมีความใกล้เคียงกันสำหรับผู้เข้าร่วมการทดสอบทุกคน ในขณะที่เมื่อเทียบกับเกณฑ์ 3400N ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 85-135 กก. ซึ่งมี

ความแปรปรวนสูง ดังนั้นการลดภาระงานเช่นด้วยการหาจุดเทรตออฟนั้นได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน
ระหว่างผู้เข้าร่วมการทดสอบ จึงสามารถใช้กำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกได้อย่างเหมาะสม

จากผลลัพธ์ข้างต้นแสดงน้ำหนักบรรทุกเปรียบเทียบกันของผู้เข้ารับการทดสอบแต่ละคน ดัง
ตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดสมดุลระหว่างความสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยและ 3400 นิวตัน

คนที่	รหัส	น้ำหนักบรรทุก (กก.) ณ จุดสมดุลของค่าเฉลี่ยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน และ 3400 นิวตัน			
		รอบที่ 1		รอบที่ 2	
		จุดเทรตออฟ	3400นิวตัน	จุดเทรตออฟ	3400นิวตัน
1	S16	103	135	102	135
2	S18	101	119	103	114
3	S19	103	119	100	125
4	S25	103	108	101	85

จากตารางข้างต้นพบว่าค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดเทรตออฟของ 2 ปัจจัย อยู่ระหว่าง 100-103 กก. ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้กับผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้ง 4 คนมีค่าใกล้เคียงกัน จึงใช้ค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวคือ 102 กก. และค่าน้ำหนักบรรทุกเมื่ออ้างอิงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง 3400 นิวตันตามเกณฑ์ที่แนะนำโดย NIOSH เฉลี่ยคือ 118 กก.มากกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการเทรตออฟ ซึ่งการเทรตออฟนั้นมาจากการคำนวณหาค่าต่ำสุดของผลรวมจากค่า y_1 และ y_2 จากสมการพหุนามกำลังสอง (Polynomial) ของทั้งสองปัจจัย ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นการประมาณแนวโน้มของค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการใช้พลังงาน จากการคำนวณตามสมการ Load at minimize = Min (Norm1+ Norm2) เมื่อ Norm1 = สมการของ y_1 และ Norm2 = สมการของ y_2 งานวิจัยนี้เทรตออฟค่าน้ำหนักบรรทุกด้วยแนวคิดดังกล่าวเนื่องจาก เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่มีผลรวมของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานต่ำที่สุด เป็นการคำนึงถึงการทำงานของมนุษย์ในด้านการลดปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บและความเมื่อยล้า

4.6.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ NIOSH 3400 นิวตัน

จากตารางที่ 4.7 ค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของผู้เข้ารับการทดสอบทั้ง 4 คนของ 2 รอบการทดลองคือ 102 กก. คิดเป็นภาระจำนวน 50 ภาระ ซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในปัจจุบันคือ 135 กก. คิดเป็นภาระจำนวน 65 ภาระ ลดลงร้อยละ 24.45 หรือ 15 ภาระ ในขณะที่เมื่อเทียบกับเกณฑ์ 3400N ที่แนะนำโดย NIOSH พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกคือประมาณ 117.5 กก. คิดเป็นภาระจำนวน 58 ภาระ โดยงานวิจัยฉบับนี้จะเสนอการหาค่าน้ำหนักที่หาได้จากจุดทดสอบระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานซึ่งได้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยคือ 102 กก. เนื่องจากจำนวนภาระที่ต้องขนย้ายคือ 50 ภาระสอดคล้องกับการจัดแบ่งงานและง่ายต่อการทำงานมากกว่า

4.6.3 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยที่จุดทดสอบระหว่างสองปัจจัยกับเกณฑ์น้ำหนักตามกฎกระทรวง (กระทรวงแรงงาน)

อ้างอิงจากกฎกระทรวงกำหนดอัตราน้ำหนักที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานได้ พ.ศ. 2547 ของกระทรวงแรงงานพบว่างานเข็นมีอัตราน้ำหนักโดยเฉลี่ยต้องไม่เกิน 25 กิโลกรัมสำหรับลูกจ้างเพศหญิง แต่สามารถจัดให้ใช้เครื่องทุ่นแรงหากมีอัตราน้ำหนักเกินเกณฑ์ ในขณะที่น้ำหนักบรรทุกโดยเฉลี่ยจากงานวิจัยฉบับนี้ที่หาค่าจากการสมมูลปัจจัยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานคือ 102 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดแต่เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่ประเมินภาระแรงกดอัดที่กระทำต่อร่างกายของผู้เข้ารับการทดสอบในที่ทดสอบพักการใช้พลังงาน (แสดงถึงความเมื่อยล้า) โดยรถเข็นงานติดล้อและมีการปรับระดับมือจับเพื่อช่วยในการออกแรงผลักได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นการกำหนดน้ำหนักดังกล่าวจึงควรพิจารณาถึงลักษณะงาน ผู้ปฏิบัติงาน และระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้มากขึ้น เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานมีความแตกต่างกันทางสรีรวิทยา และความแข็งแรง ความถึงสภาพแวดล้อม เครื่องมือที่ใช้ช่วยทุ่นแรงในการทำงานก็ส่งผลให้สามารถใช้อัตราน้ำหนักที่สูงขึ้นได้

4.6.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับขีดจำกัดสูงสุดของการใช้พลังงาน

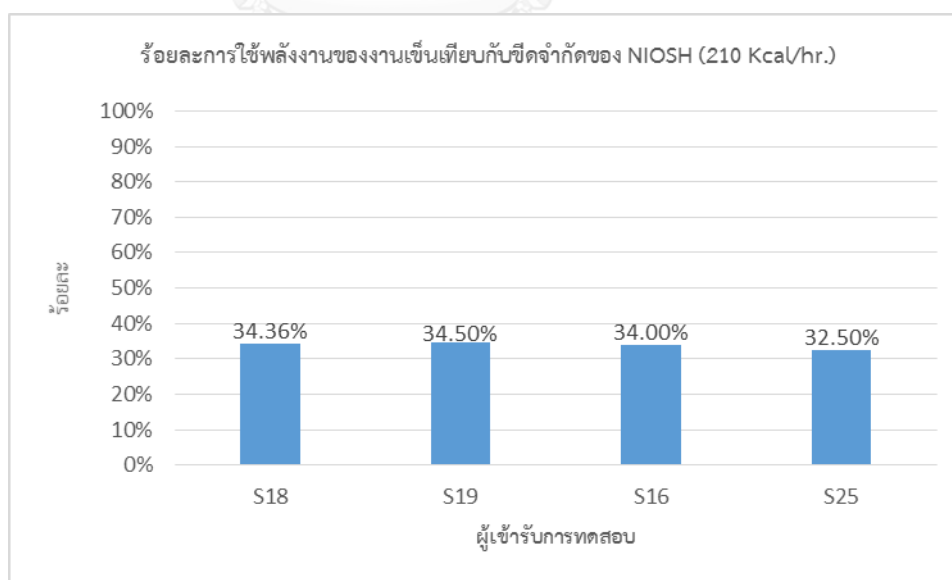
อ้างอิงจากเกณฑ์ของ NIOSH (1981) ได้เสนอแนะถึงขีดจำกัดการใช้พลังงานในการทำงานไม่ควรเกิน 3.5 กิโลแคลอรีต่อนาที (210 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานใน

กิจกรรมงานเข็นที่ค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดทรุดต่อพระหว่างทั้งสองปัจจัยกับขีดจำกัดของพลังงานต่อชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การใช้พลังงานของงานเข็นต่อชั่วโมงที่ค่าน้ำหนักบรรทุก ณ จุดทรุดต่อพระหว่างทั้งสองปัจจัยและร้อยละของขีดจำกัด (กิโลแคลอรี/ชม.)

คนที่	รหัส	การใช้พลังงาน (กิโลแคลอรี/ชม.) และร้อยละของขีดจำกัด			
		รอบที่ 1	ร้อยละ	รอบที่ 2	ร้อยละ
1	S18	73.6	35.05	70.7	33.67
2	S19	72.5	34.52	72.4	34.48
3	S16	71.0	33.81	71.8	34.19
4	S25	72.7	34.62	63.8	30.38

จากตารางที่ 4.8. นำค่าการใช้พลังงานของกิจกรรมงานเข็นตลอด 7 ชั่วโมงของการเดินเข็นงานคำนวณเป็นค่าการใช้พลังงานต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ NIOSH (1981) ด้วยแผนภูมิดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 ร้อยละการใช้พลังงานเทียบกับขีดจำกัด

พบว่าอัตราการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมงคือร้อยละ 33.84 ของขีดจำกัดการใช้พลังงาน ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ NIOSH ที่เสนอว่าขีดจำกัดของการใช้พลังงานในการทำงานไม่ควรเกิน 210 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถจัดประเภทความหนักเบาของภาระงานตามประกาศของกระทรวงแรงงานได้ว่าการใช้พลังงานไม่เกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมงนั้น ค่าเฉลี่ยของผู้เข้ารับการทดสอบของงานวิจัยนี้ใช้พลังงานในงานชิ้นเฉลี่ย 72 กิโลแคลอรีจัดอยู่ในประเภทงานเบา (กระทรวงแรงงาน, 2549)

4.6.5 สรุปขั้นตอนการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

จากผลการดำเนินงานเพื่อลดภาระงานขึ้นโดยการเทรตอพอระหว่างการใช้พลังงานและแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างนั้น จึงสามารถสรุปขั้นตอนการประเมินเพื่อลดภาระงานขึ้นดังกล่าวได้ดังนี้

1. ติดตั้งและจัดเตรียมอุปกรณ์วัดแรงผลัก (Load cell) และอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ พร้อมทั้งเครื่องมือการเชื่อมต่อส่งผ่านข้อมูล
2. เตรียมน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด 4 ค่าได้แก่
 - น้ำหนัก 135 กก. คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในการขนย้ายชิ้นงาน (งานวิจัยนี้อ้างอิงจากยอดผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในปีพ.ศ. 2557)
 - น้ำหนัก 120 กก. คือน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยในการขนย้ายชิ้นงาน ค่าเฉลี่ยระหว่างน้ำหนักบรรทุกสูงสุดและน้ำหนักบรรทุกต่ำสุดที่ไม่กระทบยอดการผลิต
 - น้ำหนัก 105 กก. คือน้ำหนักบรรทุกต่ำสุดที่ไม่กระทบกับยอดการผลิต (งานวิจัยนี้อ้างอิงจากยอดผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเฉลี่ยระหว่างเดือน เมษายน-มิถุนายน 2559)
 - น้ำหนัก 70 กก. คือน้ำหนักบรรทุกที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจในการชิ้นงาน อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกที่พึงพอใจขณะชิ้นงานจากการทดลอง MAWP โดยการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกบนรถเข็นงานแต่ละค่านั้น จะใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักบรรทุก (กก.)} = \{ [\text{ยอดผลิตต่อเดือน(ชิ้น)}] / [22 (\text{วันทำงาน}) * 3(\text{กะ/วัน}) * 7 (\text{คน/กะ}) * 7(\text{ชม/กะ}) * 400(\text{ชิ้น/ภาชนะ})] \} * 2.07 \text{ กก. (น้ำหนักภาชนะ)}$$

3. กิจกรรมในการเก็บข้อมูลแรงผลึกของการเข็นจะขึ้นอยู่กับลักษณะกิจกรรมย่อยในโรงงาน ทั้งนี้งานวิจัยนี้เลือกเก็บข้อมูลแรงผลึกทั้งสิ้น 10 ค่าจากกิจกรรมที่พบมากที่สุดของงานเข็นนี้ ได้แก่ ออกตัว (Start) 5 ครั้ง, เลี้ยว (Turn) 3 ครั้ง, ทางตรง (Straight) 1 ครั้ง, พ้นขรุขระ (Rough) 1 ครั้ง
4. เก็บข้อมูลแรงผลึกรวม 10 ค่า และผลรวมการใช้พลังงานแคลอรีในการเดินเข็นงานต่อ 1 รอบ
5. ค่าแรงผลึก (Push Force) เป็นแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างด้วยสมการสมดุสติดิต และคำนวณการใช้แคลอรีต่อรอบการทำงาน 7 ชั่วโมง
6. .คำนวณการใช้พลังงานต่อกะการทำงาน จากยอดผลิตและน้ำหนักบรรทุกในการขนย้ายชิ้นงานพบจำนวนรอบการเข็นดังนี้

ตารางที่ 4.9 จำนวนรอบการเข็นงานด้วยน้ำหนักบรรทุกต่างๆ

น้ำหนักบรรทุก(กก.)	จำนวนรอบการเข็น/กะการทำงาน
135	7.00
120	7.84
105	8.92
70	13.38

การคำนวณนั้นจะใช้ค่าพลังงาน (แคลอรี) ของแต่ละน้ำหนักบรรทุกคูณด้วยจำนวนรอบต่อกะการทำงาน จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ในการเข็นงานตลอดระยะเวลาการทำงานซึ่งจำนวนรอบที่เดินเข็นงานจะเพิ่มมากขึ้นหากปรับลดน้ำหนักบรรทุกในแต่ละรอบลง

7. ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดมาวิเคราะห์เนื่องจากให้แนวโน้มตามสมมติฐานของการปรับลดน้ำหนักบรรทุก และสามารถอ้างอิงค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างกับเกณฑ์ของ NIOSH ได้ ในขณะที่การใช้พลังงานตลอดระยะเวลาการทำงานจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหากมีการปรับลดน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากจำนวนรอบที่ต้องเดินเข็นงานเพิ่มขึ้น จากนั้นนำข้อมูลแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและค่าพลังงานที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทำงาน มาแปลงเป็นค่าร้อยละและสร้างกราฟ

ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและพลังงานในค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งพบว่าแนวโน้มของแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะเข็นงานลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกน้อยลงจากค่าเฉลี่ยของแรงกดอัด

8. สร้างสมการแนวโน้มของปัจจัยร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (NormFc) และร้อยละการใช้พลังงาน (NormCal) จากนั้นแทนค่าน้ำหนักบรรทุกในช่วงที่ทดสอบในแต่ละปัจจัย และหาค่าผลรวมของ 2 สมการนั้น
9. จุดเทรตอพอระหว่างค่าร้อยละแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง (NormFc) และการใช้พลังงาน (NormCal) คือจุดต่ำสุดของผลรวมทั้งสองสมการ

$$\text{Load at minimize} = \text{Min} (\text{NormFc} + \text{NormCal})$$
 ซึ่งจะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกของงานเข็นจากจุดที่เทรตอพอดังกล่าว ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่ช่วยลดภาระงานเข็นจากผลรวมของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานต่ำที่สุด

4.7 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อด้านผลผลิตของโรงงานการศึกษา

ผลการทดลองประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมโดยเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน พบว่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมคือ 102 กก. (50 ภาชนะ) ในขณะที่เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ของ NIOSH 3400 นิวตัน พบว่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมคือ 117.5 กก. (58 ภาชนะ) ซึ่งเป็นการปรับลดลงจากน้ำหนักบรรทุกเดิมก่อนปรับปรุงคือ 135 กก. (65 ภาชนะ) ทั้งนี้การปรับลดน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวจึงต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อที่มีต่อผลิต และการขนย้ายชิ้นงานในกระบวนการเพื่อประเมินถึงผลกระทบที่มีต่อโรงงานกรณีสึกษาดังนี้

4.7.1 รอบเวลาการทำงาน

ปัจจุบันพนักงานจะขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการแรกจนถึงกระบวนการสุดท้ายโดยการเดินเข็นงานเฉลี่ย 7 รอบ ต่อ 7 ชั่วโมงการทำงานใช้เวลาการเดินทางประมาณ 30 นาที (คิดเป็นร้อยละ 50 ของเวลาการทำงานทั้งหมด) แบ่งเป็นการเดินเข็นงาน และการยกภาชนะส่งมอบในแต่ละกระบวนการตามจำนวนภาชนะที่ขนย้าย การปรับลดน้ำหนักบรรทุกเป็น 117.5 กก. มีรอบการเดินเพิ่มเป็น 8 รอบ ในขณะที่น้ำหนักบรรทุก 102 กก. มีรอบการเดินเพิ่มเป็น 9 รอบ ใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 57 ของเวลาการทำงานทั้งหมด ซึ่งจำนวนงานที่บรรทุกในแต่ละรอบที่ลดลงจะช่วยลดเวลาในกิจกรรมการยกภาชนะขึ้นงานเพื่อส่งมอบในแต่ละกระบวนการลง

4.7.2 กำลังการผลิต

พิจารณากำลังการผลิตจากกระบวนการกลึงจนถึงกระบวนการเจียร พบว่าการขนย้ายชิ้นงานน้อยกว่า 41 ภาชนะ (84 กก.) จะทำให้เครื่องจักรเกิดการรอกาน ดังนั้นการขนย้ายชิ้นงานด้วยจำนวนภาชนะ 50 ชิ้น (102 กก.) ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรตามรอบเวลาการผลิต ณ เดือนตุลาคม พ.ศ.2559 ทั้งการขนย้ายชิ้นงานในโรงงานกรณีศึกษามีการปรับเปลี่ยนการควบคุมจำนวนการขนย้ายในแต่ละรอบตามความเร่งด่วน หรือปริมาณคำสั่งซื้อที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นในการนำไปปรับใช้จริงจึงต้องพิจารณาตามสถานการณ์คำสั่งซื้อเป็นกรณีไป

4.8 สรุปผลการทดสอบตามแนวคิดการดำเนินงานวิจัย

จากแนวคิดของงานวิจัยนี้ในการลดภาระงานชิ้นโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน ตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจากการประเมินงานชิ้นและการปรับปรุงเบื้องต้น นำไปสู่การลดน้ำหนักบรรทุกเพื่อลดภาระงานดังกล่าวภายใต้รูปแบบของการทดลองในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้เสนอผลตามลำดับไปก่อนหน้านี้ ขั้นตอนต่อไปจะเสนอผลสรุปของการทดลองในแต่ละหัวข้อดังนี้

4.8.1 ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงรถเข็นงานระหว่างขนาดล้อและระดับมือจับ

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบปัจจัยขนาดล้อและระดับมือจับของรถเข็นงานพบว่าระดับมือจับระดับเอว (อนุมาณระดับหลังส่วนล่าง) คือ 82 ซม. ส่งผลต่อการลดลงของแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกเงื่อนไขของการทดสอบ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับระดับที่ต่ำกว่าคือ 72 ซม. ในขณะที่เมื่อเทียบกับระดับมือจับที่สูงกว่านั้น (95 ซม.) พบว่ามือจับระดับเอว คือ 82 ซม. ช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญในกิจกรรมทางเดียว สำหรับกิจกรรมออกตัว และ พื้นขรุขระนั้นให้ค่าเฉลี่ยของแรงกดอัดที่ลดลง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการปรับระดับมือจับให้อยู่ในระดับเอวยังคงช่วยให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลง โดยเฉพาะกิจกรรมทางเดียว

ในขณะที่ขนาดล้อที่เพิ่มขึ้นคือ 150 มม. ไม่ช่วยให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เนื่องจากพฤติกรรมของการออกแรงผลักรถเข็นงานที่ควบคุมได้

ยากโดยเฉพาะในกิจกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงผลักดันสูง ดังนั้นการปรับปรุงคุณลักษณะของรถเข็นงานนั้นจะต้องพิจารณาถึงกิจกรรม ลักษณะของผู้ปฏิบัติงานซึ่งมีผลต่อแรงผลักดันเข็นงานอีกด้วย นอกจากนี้การลงทุนปรับแต่งรถเข็นงานในโรงงานกรณีศึกษาจะต้องคำนึงถึงต้นทุนในการปรับแต่งดังกล่าว ซึ่งการเปลี่ยนระดับมือจับรถเข็นงานนั้นมีต้นทุนต่ำกว่าและส่งผลต่อการลดลงของแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างมากกว่า ดังนั้นงานเข็นในโรงงานกรณีศึกษาจึงควรปรับปรุงรถเข็นงานด้วยการปรับระดับมือจับให้อยู่ในระดับหลังส่วนล่าง ควบคู่ไปกับการลดภาระงานเข็นด้านอื่น ดังแสดงในผลการวิจัยลำดับถัดไป

4.8.2 สรุปผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกของงานเข็นตามหลักจิตฟิสิกส์

ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจในงานเข็นคือ 70 กก. โดยประมาณจากค่าค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจของผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์พึงพอใจ (67 กก.) โดยเฉลี่ยซึ่งเป็นการปรับน้ำหนักเพิ่มให้ง่ายต่อการใช้กำหนดตัวแปรในการประเมินน้ำหนักบรรทุก และการนำไปใช้งานจริงกับกลุ่มผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์คือพนักงานเข็นงาน ในขณะที่การเปรียบเทียบกับกำลังสถิติ กับค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พึงพอใจนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งเป็นทางยืนยันความน่าเชื่อถือสำหรับแนวคิดดังกล่าวว่าผู้เข้าร่วมการทดสอบไม่มีความเอนเอียงในการประเมินภาระงานด้วยความรู้สึก ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับค่าทดลองโดยการเทรตออพระหว่าง 2 ปีจายนั้นจะได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมสูงกว่าการประเมินด้วยวิธีจิตฟิสิกส์นี้คือ 102 กก. โดยเฉลี่ย ดังนั้นการใช้วิธีนี้จึงควรเผื่อค่าน้ำหนักเมื่อนำไปใช้งานจริง หรือประเมินด้วยวิธีอื่นควบคู่ไปด้วย

4.8.3 สรุปผลการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน

ค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมคือ 102 กก. โดยเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่เกิดแรงกดอัดที่หมอนกระดูกสันหลังส่วนล่างน้อยที่สุดเฉลี่ย 3020.96 นิวตัน (ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่เกิน 3400 นิวตัน) โดยที่ไม่ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น หรือผู้เข้ารับการทดสอบมีความเหนื่อยล้าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าน้ำหนักบรรทุกเมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับ 3400 นิวตันนั้นพบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคือ 117.5 กก. หรือประมาณ 118 กก.โดยเฉลี่ย ซึ่งสูงกว่าค่าที่เทรตออพระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน แต่ส่งผลให้ผู้เข้ารับการทดสอบจะมีแรงกระทำหรือใช้พลังงานที่สูงกว่าจุดเทรตออฟ ทั้งนี้การประเมินด้วยขีดจำกัดของ 3400 นิวตัน

เป็นการประเมินทางด้านแรงกระทำต่อกระดูกของมนุษย์ตามหลักชีวกลศาสตร์เท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อในด้านสรีรวิทยา ดังนั้นการประเมินที่คำนึงถึง 2 ปัจจัยนี้จึงมีความครอบคลุมต่อผู้เข้ารับการทดสอบที่เป็นตัวแทนของพนักงานชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาได้ดีกว่า

ทั้งนี้การออกแบบงานทางการยศาสตร์คำนึงถึงความปลอดภัยและอาการบาดเจ็บจากการทำงาน ดังนั้นหากปรับลดน้ำหนักบรรทุกให้น้อยกว่า 102 กก. แล้วไม่กระทบกับปัจจัยอื่นๆ ของโรงงานกรณีศึกษาก็จะสามารถช่วยลดภาระแรงที่กระทำต่อพนักงานได้มากขึ้น

4.8.4 สรุปผลงานวิจัยตามหลักการออกแบบงานตามความสามารถของมนุษย์

ประเมินตามหลัก ACT-E มีความสอดคล้องกับผลลัพธ์ของงานวิจัยคือ Access การออกแบบปรับปรุงรถชิ้นงานโดยปรับแต่งระดับมือจับให้อยู่ในระดับหลังส่วนล่าง ซึ่งช่วยให้การทำงานง่ายขึ้น จากท่าทางการทำงานที่ถูกต้องมากขึ้น , Control การคำนึงถึงแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างที่มีการประเมินแรงผลึกจากปัจจัยของรถชิ้นงาน และค่าน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้การทำงานไม่เกินขีดจำกัดของร่างกาย, Time เป็นการประเมินภาระงานโดยคำนึงถึงการทำงานต่อเนื่องตลอด 7 ชั่วโมงโดยให้เกิดความเหนื่อยล้าน้อยที่สุด, Error เป็นการกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมในการชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน เนื่องจากภาระงานที่มากเกินไปอาจส่งผลต่ออาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานก่อให้เกิดความผิดพลาดจากการทำงานได้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานเพื่อลดภาระงานเข็นโดยการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานเข็นตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังที่เสนอไปนั้น ได้ผลสรุปงานวิจัยดังนี้

1. จากขั้นตอนการประเมินภาระงานเข็นก่อนการดำเนินการปรับปรุง ด้วยการทดสอบกำลังสถิติของผู้เข้าร่วมการทดสอบที่เป็นพนักงานเข็นงานพบว่า ผู้เข้าร่วมการทดสอบมีความแข็งแรงในเกณฑ์ปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มประชากร แต่พบอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานเข็นเท่านั้น

2. การดำเนินการเพื่อปรับปรุงรถเข็นงานเพื่อลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยที่ไม่กระทบกับผลผลิต จากการปรับระดับของมือจับให้อยู่ในระดับเอว และปรับเพิ่มขนาดล้อนั้น พบว่าปัจจัยระดับมือจับระดับเอว ส่งผลให้แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ยังไม่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยเมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่แนะนำโดย NIOSH ในขณะที่ไม่มีการปรับลดน้ำหนักบรรทุก

3. หลังจากการปรับปรุงรถเข็นงานโดยไม่มีการปรับลดภาระน้ำหนักบรรทุก พบว่าภาระงานที่ไม่ลดลง รวมถึงระยะทางและความถี่ในการเดินเข็นงานอาจส่งผลให้พนักงานเข็นงานเกิดความเมื่อยล้า ซึ่งตามวัตถุประสงค์ของการเทรตอพอระหว่าง 2 ปัจจัยของงานวิจัยนี้จึงปรับลดน้ำหนักบรรทุกด้วยวิธีจิตฟิสิกส์ พบว่าวิธีการประเมินด้วยวิธีจิตฟิสิกส์ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ระบวยอดผลิตของโรงงานกรณีศึกษา จึงนำค่าดังกล่าวมากำหนดเป็นค่าต่ำสุดของการทดลองเทรตอพอระหว่าง 2 ปัจจัย

4. การดำเนินการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกเพื่อลดภาระงานเข็นนั้น พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการเทรตอพอระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกเมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่แนะนำโดย NIOSH ทั้งนี้การนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้ปรับปรุงงานสามารถเลือกใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกระหว่าง ค่าที่จุดเทรตอพอ (102 กก.) จนถึงค่าที่แนะนำโดย NIOSH (118 กก.) ทั้งนี้การเลือกใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดเทรตอพอจะเป็นจุดที่ผลรวมของปัจจัยแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานต่ำที่สุด ซึ่งหากปรับเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจะส่งผลต่อแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างเพิ่มขึ้น แต่หากปรับลดน้ำหนักบรรทุกจะส่งผลต่อการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นจากจำนวนรอบที่ต้องเดินเข็นงานมากขึ้น การพิจารณาเลือกใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกนั้นสามารถปรับใช้ตามยอดการผลิตโดยใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกได้

ตั้งแต่ช่วง 102 กก. (เฉลี่ยที่จุดเทอร์ดออฟ) จนถึง 118 กก. ซึ่งไม่เกินเกณฑ์ 3400 นิวตันของNIOSH ซึ่งแม้จะเพิ่มแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างแต่ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

5. งานวิจัยนี้ได้ผลสรุปเป็นขั้นตอนการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเข็น สำหรับพนักงานเข็นงานพิเศษหญิงของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บขณะปฏิบัติงานเข็นได้

5.2 ข้อจำกัด

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือขั้นตอนการประเมินเพื่อลดภาระงานเข็นโดยการ เทอร์ดออฟระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน เพื่อลดความเสี่ยงที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการปฏิบัติงานเข็นของพนักงานเข็นงานพิเศษหญิงในโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

2. งานวิจัยนี้ดำเนินการในโรงงานกรณีศึกษาภายใต้พื้นที่การทำงานจริง โดยทดสอบในเวลาปฏิบัติงานของผู้เข้าร่วมการทดสอบ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดของจำนวนผู้เข้าร่วมการทดสอบในแต่ละการทดลองย่อยที่จะมีการปรับลดขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการทดลอง นอกจากนี้ยังมีการปรับลดเงื่อนไขอื่นๆในการทดลองเพื่อไม่ให้กระทบกับการปฏิบัติงาน เช่น ระยะเวลาในการทดสอบ รอบการทำซ้ำ กิจกรรมที่ใช้ทดสอบ เป็นต้น

3. การปรับปรุงรถเข็นงานนั้นผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้คือการปรับปรุงระดับมือจับให้อยู่ในระดับเอว โดยเฉลี่ย 82 ซม. ซึ่งการนำไปใช้งานจริงไม่สามารถปรับมือจับให้อยู่ที่ระดับเอว ของพนักงานได้ทุกครั้งก่อนใช้งาน ดังนั้นการกำหนดความสูงด้วยค่าเฉลี่ยอาจไม่เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานที่มีรูปร่างเล็กหรือใหญ่มากเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับปรุงรถเข็นงานนั้น หากนำไปประยุกต์ใช้ต้องพิจารณาระดับของปัจจัยให้เหมาะสมกับกลุ่มประชากรดังกล่าว และควรขยายขอบเขตการวิจัยโดยเพิ่มปัจจัยการปรับปรุง อาทิเช่น ลักษณะของมือจับรถเข็นงานในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะแนวราบ การกำมือ ณ ตำแหน่งที่จับแนวราบยังมีการงอข้อมือซึ่งมีความสะดวกน้อยกว่า และออกแรงได้น้อยกว่าการออกแบบมือจับเป็นแนวตั้งหรือ การปรับเปลี่ยนลูกล้อรถเข็นโดยการเลือกล้อที่มีประสิทธิภาพสูงตามลักษณะของวัสดุหุ้มล้อและลูกปืนเพื่อช่วยลดแรงเสียดทานขณะเข็นงานได้ เป็นต้น

2. การกำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดที่พึงพอใจในงานเช่น MAWP นั้น เมื่อเทียบกับการประเมินด้วยวิธีชีวกลศาสตร์และสรีรวิทยาจะได้ค่าน้ำหนักที่ต่ำกว่า ดังนั้นการนำเอาวิธีการประเมินด้วยหลักจิตฟิสิกส์ควรมีการพิจารณาค่าน้ำหนักที่ได้ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้

3. งานวิจัยนี้สามารถนำขั้นตอนการลดภาระงานเช่นโดยการเทรดออฟระหว่าง 2 ปัจจัยไปประยุกต์ใช้ได้โดยอาจใช้ค่าแรงลักษณะชิ้นงาน แทนการคำนวณแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 และใช้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจแทนการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน หรือสามารถศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้ร่างกายอื่นๆ ได้



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกศิณี สหกิจชัชวาล. (2558). การเลือกใช้ลัทธิเครื่องมือให้เหมาะกับการใช้งาน. Retrieved from <http://industrialtoolnews.blogspot.com/2015/01/blog-post.html>
- ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล. (2557). การไหลเวียนของโลหิตและระบบหายใจ. เอกสารประกอบการเรียน การศึกษาชีวกลศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล. (2558). การออกแบบงานตามความสามารถของมนุษย์. เอกสารประกอบการ เรียนการศึกษาชีวกลศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กนกวรรณ คำพันธ์. (2557). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติในการป้องกันตนเองกับอุบัติเหตุที่ เกิดขึ้นกับผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง. (ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- กระทรวงแรงงาน. (2547). กำหนดอัตราน้ำหนักรายงานให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานได้.
- กระทรวงแรงงาน. (2559). กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความ ปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และ เสียง. 7 ตุลาคม 2559.
- กาญจนา หลวงโปธา. (2554). วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุ ผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสเปย์เลอร์หลัง. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- กิตติ อิทธานนท์, พิษนี โปธารามิก, & ภาณุพงศ์ อัสวเกียรติ. (2532). การพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ใน การทดสอบลักษณะของมนุษย์ของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (pp. 90).
- ประจวบ กล่อมจิตร. (2548). การพัฒนาสมการประเมินภาระงานยกของด้วยมือจากการจำลองสภาพ การทำงานในโรงงาน. from สำนักงานประกันสังคม
- พรศิริ จงกล. (2556). การประเมินภาระงานในกิจกรรมงานก่อสร้าง
- มณีนทร รักษ์บำรุง. (2559). วิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อสุขภาพทางกาย. Retrieved 30/05/2559 http://www.science.up.ac.th/sports/images/km/_Sport_Science_for_Physical_Health/text6.pdf
- ศูนย์กายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล. (2552). การดึงและดันให้ปลอดภัย (Pulling and Pushing). Retrieved from <http://www.pt.mahidol.ac.th/knowledge/?p=188>

สำนักงานประกันสังคม. (2551). สถิติการเจ็บป่วยจากการทำงานจำแนกตามชนิดโรค พ.ศ.2545-2551.

Retrieved from

www.anamai.moph.go.th/occmed/document/StatSSOTable.pdf .

อรอุมา ลาสุนนท์. (2542). ชีตจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในภาระงานผสม สำหรับ
คนงานหญิง. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

B.W.Niebel, & A.Freivalds. (2004). *Methods, Standards, and Work Design*: McGraw – Hill
Education.

H.Tanaka, K.D.Monahan, & D.S.Seals. (2001). Age-Predicted Maximal Heart Rate
Revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1).

K.S.Lee, D.B.Chaffin, G.D.Herrin, & A.M.Waikar. (1991). Effect of handle height on lower-
back loading in cart pushing and pulling. . *Applied Ergonomics*, 117-123.

Keytel, L. R., Goedecke, J. H., Noakes, T. D., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., van der
Merwe, L., & Lambert, E. V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart
rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences*.

M.Jager, K.Sawatzki, U.Glitsch, R.Ellegast, H.J.Ottersbach, K.Schaub, . . . A.Luttmann.
(2007). Load on the Lumbar Spine of Flight Attendants During Pushing and Pulling
Trolleys Aboard Aircraft. *Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 863-876.

O.O Okunribido, & C.M. Haslegrave. (1999). *Effect of handle design for cylinder trolleys*.
Retrieved from

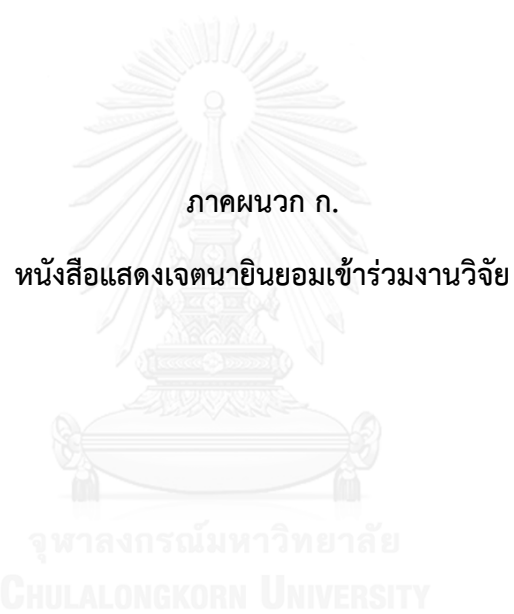
O'Brien, R. (2009). Determine Your Expended Calories From Average Heart Rate (AHR).

Retrieved from http://www.team-pinnacle.org/local-loops/calories_from_hr.php



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

(Consent Form)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-สกุล..... อายุ.....ปี เพศ.....

น้ำหนัก (กก.)ส่วนสูง(ซม.) อาศัยอยู่บ้านเลขที่ ถนน.....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด..... รหัส

ไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ขอแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเรื่อง “การลดภาระงานชิ้นโดยการเทรดออฟระหว่างแรงกด
อัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนกลางและการใช้พลังงาน”

ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยของวัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการวิจัย และมีความเข้าใจดีแล้ว
ข้าพเจ้าได้ทราบถึงสิทธิ์ที่ข้าพเจ้าจะได้รับข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางด้านประโยชน์และโทษจากการเข้า
ร่วมงานวิจัย

ข้าพเจ้าไม่มีอาการเจ็บปวดหลังส่วนกลางก่อนและขณะทดลอง

ข้าพเจ้ามีสิทธิ์จะถอนตัวหรือจะงดเข้าร่วมงานวิจัยนี้ได้ทุกเมื่อ โดยจะไม่มีผลกระทบต่อคะแนนในรายวิชา
ใดๆรวมถึงการบริการและสวัสดิการที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไปในอนาคต

ข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าที่ได้รับจากการทำการทำวิจัย แต่จะไม่
เผยแพร่ต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลโดยรวมจากการทำวิจัยเท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้วและมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในหนังสือแสดง
เจตนายินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

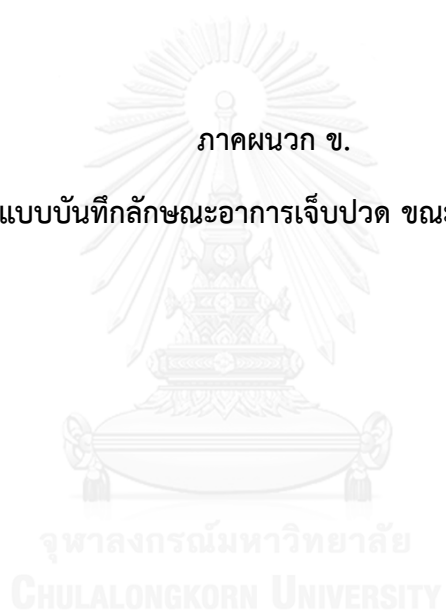
ลงชื่อ.....

()

ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ภาคผนวก ข.

แบบบันทึกลักษณะอาการเจ็บปวด ขณะเข็นงาน



แบบบันทึกลักษณะอาการเจ็บปวด ขณะทำงาน

ข้อมูลทั่วไป

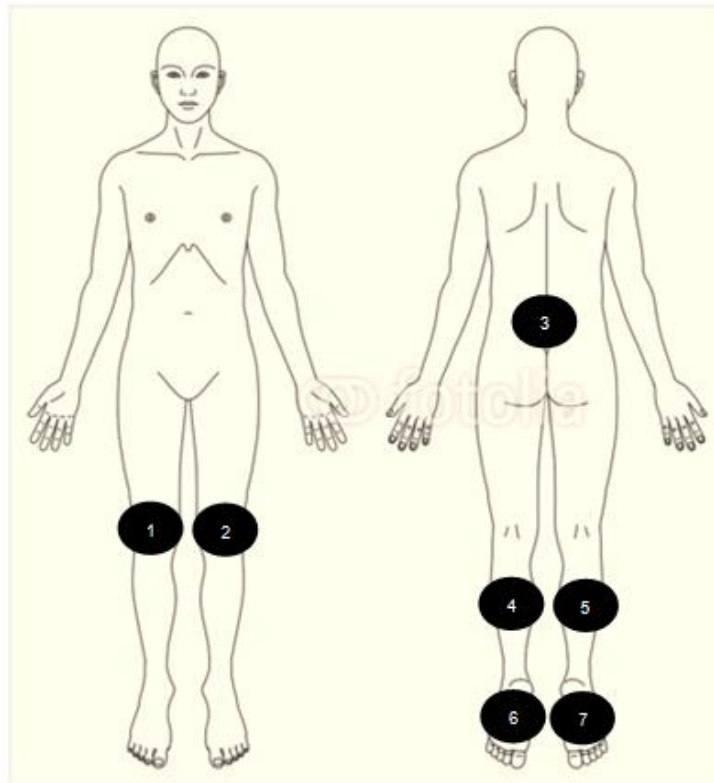
วันที่เก็บข้อมูล/...../..... ชื่อพนักงาน..... ส่วนงาน.....

เพศ () หญิง () ชาย อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

ข้อมูลสภาวะของร่างกาย

มีอาการเจ็บปวด ขณะปฏิบัติงานหรือไม่ มี มี ถ้ามี ตอบข้อ 2

เขียนตัวเลข ณ ตำแหน่งอวัยวะที่มีอาการเจ็บปวด ขณะเดินขึ้นรถขนย้ายชิ้นงาน ลงในภาพด้านล่าง
(เขียนทุกตำแหน่งที่มีอาการเจ็บปวด)



ระดับของอาการเจ็บปวด

ทำเครื่องหมายกากบาท ลงในช่องของระดับความเจ็บปวด ณ อวัยวะที่เลือกในข้อ 2.2 โดยแบ่งระดับความเจ็บปวดออกเป็น 5 ระดับ คือมากที่สุด, มาก, ปานกลาง, น้อย, และน้อยที่สุด

หมายเลข อวัยวะ	ระดับของอาการเจ็บปวด				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดจุดศูนย์กลางมวลของข้อต่อต่างๆในร่างกาย

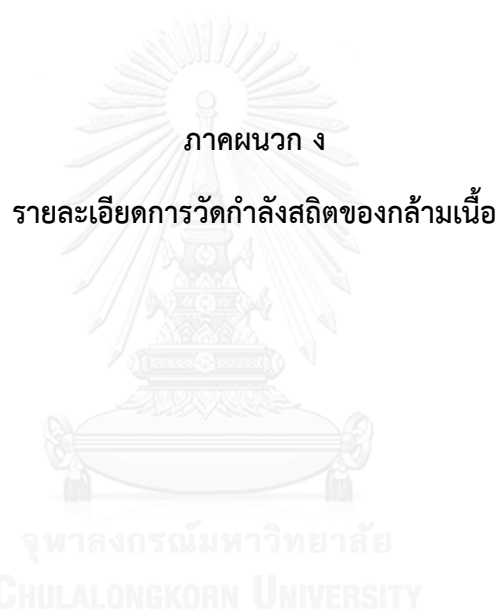


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

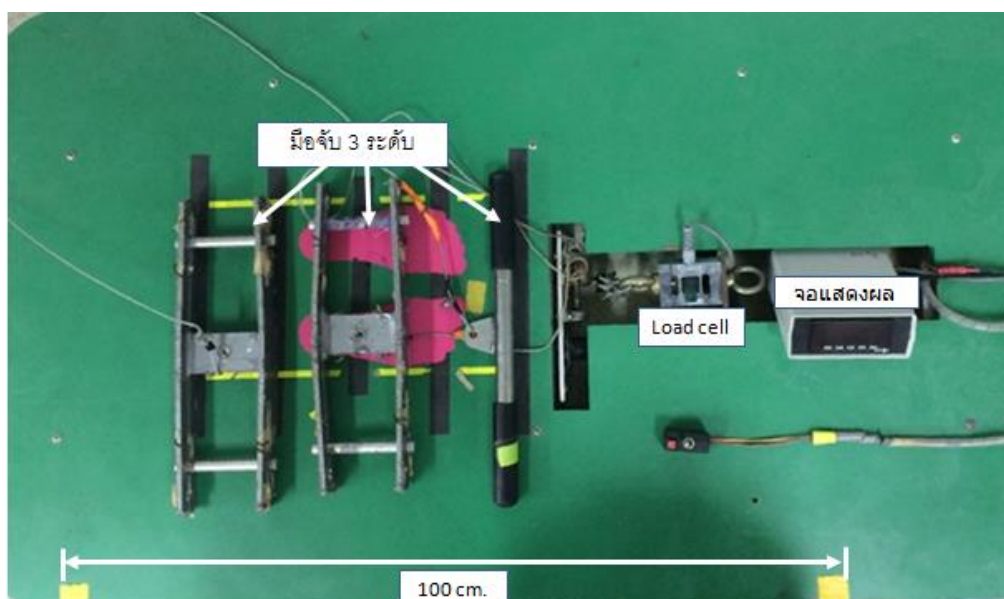
ตารางภาคผนวก ค จุดศูนย์กลางมวลของข้อต่อต่างๆในร่างกาย (Winter. DA, 1979)

ส่วนต่างๆ	มวลส่วน ต่างๆ ต่อ มวล ร่างกาย	ศูนย์กลางมวลเทียบกับ ความยาว ณ ส่วนต่างๆ		รัศมีใจเรชั่นเทียบกับความยาว ณ ส่วนต่างๆของร่างกาย		
		ระยะใกล้ (Proximal)	ระยะไกล (Distal)	C of G	ระยะใกล้ (Proximal)	ระยะไกล (Distal)
มือ	0.006M	0.506	0.494P	0.297	0.587	0.577M
แขนส่วนล่าง	0.016M	0.430	0.570P	0.303	0.526	0.647M
แขนส่วนบน	0.028M	0.436	0.564P	0.322	0.542	0.645M
ลำตัว ศีรษะ คอ	0.578M	0.660	0.340P	0.503	0.830	0.607M
ขาส่วนบน	0.100M	0.433	0.567P	0.323	0.540	0.653M
ขาส่วนล่าง	0.0465M	0.433	0.567P	0.302	0.528	0.643M
เท้า	0.0145M	0.500	0.500P	0.475	0.690	0.690M

เมื่อ M คือ มวลรวมของร่างกาย, P คือความยาวของส่วนต่างๆ ของร่างกาย



ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ



รูปที่ภาคผนวก ง.1 ชุดวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

ประกอบไปด้วยมือจับ 3 ระดับสำหรับวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่, แขน, กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ โดยการยืนบนแท่นยืนและออกแรงดึงมือจับด้วยแรงมากที่สุด แรงจะส่งผ่าน Load cell ไปยังจอแสดงผลมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

การวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

ใช้ชุดเครื่องมือประกอบไปด้วย Load Cell และแท่นยืนพร้อมมือจับ เพื่อวัดในท่าทางต่างๆ โดยจัดให้พนักงานยืนในท่าทางที่กำหนดไว้ และออกแรงดึงให้มากที่สุดและถ่ายภาพเคลื่อนไหวค่าแรงดึงที่จอแสดงผล ดังแสดงลักษณะการทดสอบในรูปที่ 25-27



รูปที่ภาคผนวก ง.2 การวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ



รูปภาคผนวก ง.3 การวัดกำลังสถิติกล้ามเนื้อแขน



100 ซม.

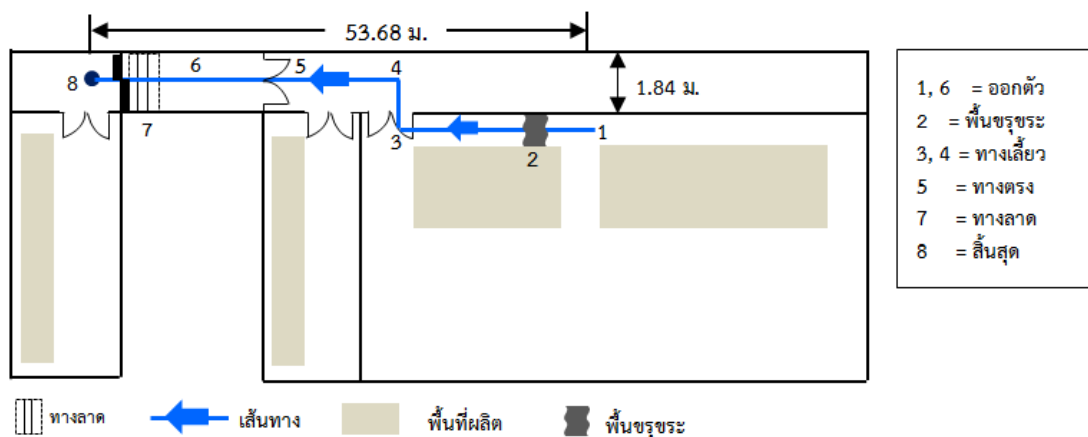
รูปที่ภาคผนวก ง.4 การวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่



ภาคผนวก จ

เส้นทางการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยขนาดล้อและระดับมือจับของผู้เข้ารับการทดสอบ 2 คนใน
การทดลองเบื้องต้น (Pilot study)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ภาคผนวก จ เส้นทางจำลองการทดสอบวัดค่าแรงผลักดันขณะใช้งาน

รูปเส้นทางจำลองข้างต้นใช้สำหรับการทดสอบของผู้เข้ารับการทดสอบคนที่ 1 และ คนที่ 2 ของการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยระหว่างการปรับปรุงขนาดล้อ และระดับมือจับของรถเข็น โดยใช้เส้นทางจำลองจากกระบวนการผลิตจริง แต่ปรับลดระยะทางเหลือ 54 เมตร โดยครอบคลุมกิจกรรมทั้งหมดตามลักษณะงานจริง ได้แก่ ออกตัว 2 ครั้ง พื้นที่ขับขี่ ทางเลี้ยว 2 ครั้ง ทางตรง และทางลาด รวม 7 กิจกรรม

ภาคผนวก ฉ

คำแรงกอดัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างสำหรับการทดสอบปรับปรุงชิ้นงานเบื้องต้น และ
ผลการทดสอบทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางภาคผนวก ฉ.1 แรกกตอ้ดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนกตามกิจกรรมและ
ปัจจัยของการปรับปรุง (เปรียบเทียบผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์)

ปัจจัย (ลื้อ และ มือ จับ)	รหัส	ครั้ง ที่	แรกกตอ้ดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละกิจกรรม (นิวตัน)						
			ออกตัว	ขรุขระ	เลี้ยว 1	เลี้ยว 2	ทางตรง	ออกตัว2	ทางลาด
125 มม. และ 72 ซม.	S26	1	5259.013	4118.631	4206.353	5434.456	5083.57	7101.169	5873.065
		2	6048.508	5171.291	5171.291	4732.683	4557.239	7890.664	6136.23
		3	6136.23	4118.631	5083.57	4644.961	5522.178	8592.438	5960.787
		4	5785.343	5960.787	5346.735	4644.961	5259.013	6574.839	6311.673
		5	5960.787	5259.013	5522.178	5259.013	4820.404	7715.221	6136.23
	S02	1	7311.79	6536.719	6106.124	6020.005	4986.577	6795.076	6795.076
		2	8172.98	5761.648	5072.696	3953.149	5761.648	6967.314	6708.957
		3	7570.147	5761.648	6106.124	4900.458	4814.339	7225.671	6536.719
		4	6708.957	5847.767	4728.22	5589.41	4469.863	6536.719	7139.552
		5	6708.957	4986.577	6106.124	6278.362	5503.291	7225.671	6708.957
125 มม. และ 82 ซม.	S26	1	4684.529	3614.924	2901.854	3525.791	3436.657	5397.599	5575.867
		2	4595.395	3882.326	3525.791	4238.86	3436.657	5932.402	4238.86
		3	5665	5219.332	3258.389	4773.663	4060.593	5486.733	5575.867
		4	5754.134	4238.86	3436.657	3347.523	4149.727	5486.733	5130.198
		5	5308.465	4060.593	3525.791	4595.395	3347.523	5397.599	5932.402

ตารางภาคผนวก ฉ.1 แรังกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนกตามกิจกรรมและปัจจัยของการปรับปรุง (เปรียบเทียบผู้เข้ารับการทดสอบที่มีประสบการณ์ และไม่มีประสบการณ์) (ต่อ)

ปัจจัย (ลื้อ และ มือจับ)	คนที่	ครั้งที่	แรังกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละกิจกรรม (นิวตัน)						
			ออกตัว	ขรุขระ	เลี้ยว 1	เลี้ยว 2	ทางตรง	ออกตัว2	ทางลาด
125 มม. และ 82 ซม.	S02	1	5589.399	3960.19	6132.469	3869.678	3507.632	5951.446	6494.515
		2	5317.864	3779.167	4231.725	4050.702	3779.167	6222.98	5951.446
		3	6041.957	5046.329	5046.329	3960.19	3869.678	6132.469	5589.399
		4	5227.353	5136.841	4774.795	5046.329	3055.074	6947.073	5951.446
		5	5227.353	6132.469	4050.702	4050.702	3236.097	6222.98	6132.469
150 มม. และ 72 ซม.	S26	1	6487.117	4644.961	4908.126	5434.456	4294.074	6048.508	6311.673
		2	7013.447	5171.291	5785.343	5697.622	4118.631	6487.117	6925.725
		3	5873.065	4732.683	6838.004	5171.291	3680.022	6662.56	6487.117
		4	7276.612	5346.735	6223.952	4469.518	3680.022	5522.178	7101.169
		5	7539.777	4557.239	5609.9	5434.456	3416.857	6399.395	7276.612
	S02	1	5417.172	5503.291	6795.076	7656.266	4728.22	6967.314	7397.909
		2	6278.362	5761.648	7225.671	5933.886	5158.815	7311.79	7053.433
		3	6020.005	5244.934	7570.147	6192.243	4469.863	6881.195	7397.909
		4	7484.028	6192.243	5933.886	7139.552	4469.863	7225.671	6536.719
		5	5503.291	6622.838	6020.005	6967.314	4900.458	6708.957	6622.838
150 มม. และ 82 ซม.	S26	1	5754.134	3793.192	3436.657	4060.593	2901.854	5130.198	3347.523
		2	4238.86	3793.192	2723.587	4951.93	3258.389	3080.122	3169.256
		3	5219.332	3793.192	4862.797	3525.791	2545.319	4060.593	4149.727
		4	4595.395	3882.326	2901.854	4149.727	3258.389	3704.058	3525.791
		5	4951.93	3971.459	2901.854	5041.064	2723.587	3614.924	3882.326
	S02	1	3869.678	4231.725	3598.144	5408.376	2874.051	5860.934	5408.376
		2	4865.306	3507.632	5136.841	3779.167	2874.051	4955.818	4322.237
		3	5770.422	4412.748	5046.329	3598.144	3236.097	5860.934	5589.399
		4	5046.329	3688.655	3688.655	3869.678	3507.632	5498.888	4865.306
		5	5589.399	4593.771	4593.771	3326.609	3145.586	5227.353	5046.329

ตารางที่ภาคผนวก ฉ.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติจำแนกรายกิจกรรม ของผู้เข้าร่วมการทดสอบที่
มีและไม่มีประสบการณ์

กิจกรรม	P-Value	
	ขนาดล้อ	มือจับ
ออกตัว1	0.352	0.000
ขรุขระ	0.241	0.000
เลี้ยว1	0.175	0.000
เลี้ยว2	0.070	0.000
ทางตรง	0.000	0.000
ออกตัว2	0.000	0.000
ทางลาด	0.033	0.000

จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี ANOVA จำแนกรายกิจกรรมที่ทดลองพบว่า ปัจจัยระดับมือจับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง (ลดลง) ของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในทุกกิจกรรมที่ทดลอง ในขณะที่ขนาดล้อไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นกิจกรรมดังต่อไปนี้ 1. ทางตรง, ทางเลี้ยว2 เป็นกิจกรรมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงผลึกสูงเนื่องจากกิจกรรมทางตรงไม่มีการบังคับรถเข็นเพื่อปรับเปลี่ยนทิศทาง และทางเลี้ยว2 ของโรงงานกรณีศึกษามีความกว้างมากกว่าทางเลี้ยว 1 จึงควบคุมรถเข็นงานด้วยแรงผลึกที่ต่ำกว่า เมื่อไม่มีพฤติกรรมการออกแรงบังคับรถเข็นงานเข้ามาเกี่ยวข้อง พบว่า ขนาดล้อที่เพิ่มขึ้น ยังคงช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญ ตามทฤษฎี สำหรับกิจกรรมทางลาดนั้น พบเพียง 1 แห่งตลอดเส้นทางจริง ซึ่งขนาดล้อและระดับมือจับยังคงช่วยลดแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

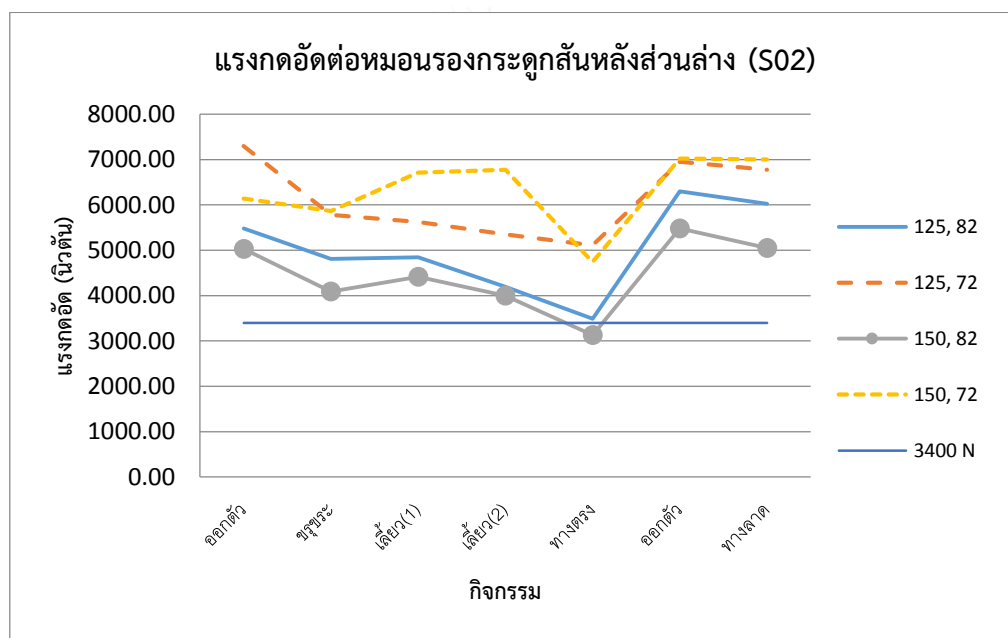


ภาคผนวก ข

ผลการทดลองปรับปรุงรถเข็นงานเบื้องต้น (Pilot study)

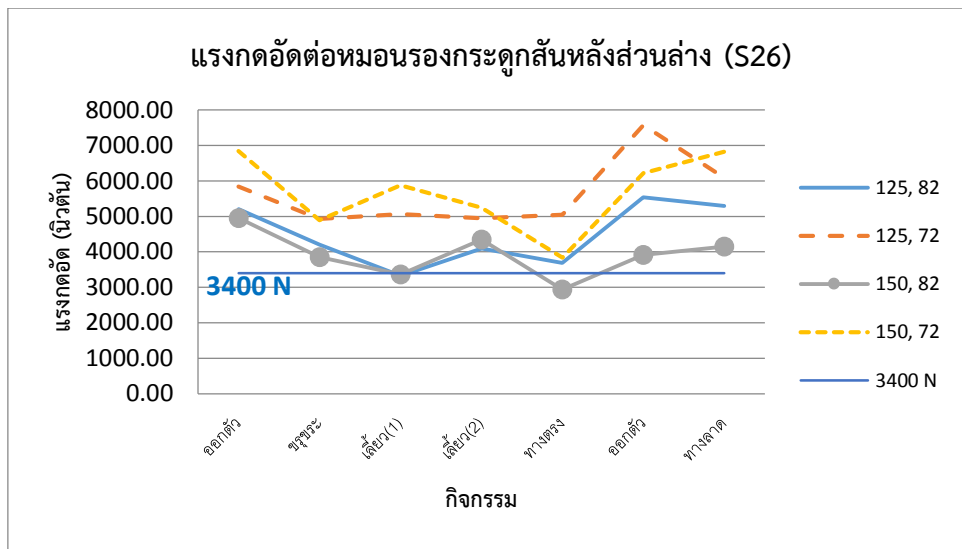
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทดลองนี้ได้ดำเนินการทดสอบเบื้องต้นกับผู้เข้ารับการทดสอบ 2 คน ซึ่งประสบการณ์ในการเข็นงาน 1 คน (คนที่ 5) และไม่มีประสบการณ์ในการเข็นงาน 1 คน เพื่อหาผลลัพธ์เบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงรถเข็นงาน โดยจำลองเส้นทางการเดินเข็นงานซึ่งปรับลดระยะทางจากงานจริงแต่ยังคงครอบคลุมกิจกรรมของงานเข็นทั้งหมด ได้แก่ ออกตัว 2 ครั้ง ทางเลี้ยว 2 ครั้ง พื้นขรุขระ ทางลาด และทางตรง รวม 7 กิจกรรม ในระยะทาง 54 เมตร (แสดงในภาคผนวก) ซึ่งผลการทดลองได้เปรียบเทียบแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละเงื่อนไขแสดงดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ภาคผนวกข1 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบ

S02



รูปที่ภาคผนวก ข2 กราฟแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้เข้ารับการทดสอบ S26 (ไม่มีประสบการณ์)

แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง คำนวณมาจากแรงผลึกขณะเข็นงาน (ค่าแรงผลึกสูงสุด) และนำค่าเฉลี่ยของการทำซ้ำ 5 ครั้งมาวิเคราะห์ด้วยกราฟเส้นดังรูปข้างต้น พบว่าระดับปัจจัยของรถเข็นงานที่ส่งผลกระทบต่อแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง น้อยที่สุด คือ ระดับมือจับ 82 ซม. โดยให้ค่าแรงกดอัดต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเฉลี่ยทุกกิจกรรม ของผู้เข้ารับการทดสอบ 2 คน เท่ากับ 4192.41 นิวตัน ลดลงจากค่าเฉลี่ยของ แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างของพนักงานเข็นงาน 20 คนก่อนการปรับปรุงคือ 5094.4 นิวตันโดยเฉลี่ย

ภาคผนวก ซ

ค่าแรงกวดอัตราที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างสำหรับการทดสอบปรับปรุงชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

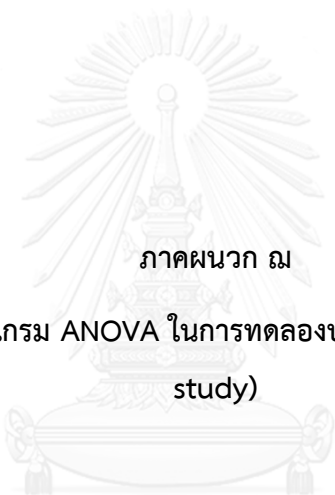
ตารางภาคผนวก ข แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนกตามกิจกรรมและปัจจัย
ของการปรับปรุง

ปัจจัย (ขนาดล้อ และ ระดับมือจับ)	รหัส	แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละ กิจกรรม (นิวตัน)		
		ออกตัว	ขรุขระ	เลี้ยว
125 มม. และ 72 ซม.	S07	6455.944	3783.159	5938.631
	S21	6351.287	3539.4	4366.426
	S22	7432.753	4753.767	5790.794
	S06	8318.809	5535.502	6612.911
	S04	8109.082	6700.575	8021.05
	S23	7220.339	4570.077	6580.62
	S24	6966.193	4322.331	5142.84
125 มม. และ 82 ซม.	S04	4112.945	4800.39	4027.014
	S06	6493.237	4654.361	5267.32
	S07	3813.629	2492.621	4143.881
	S21	3787.508	4531.831	3291.293
	S22	5144.008	2452.775	3668.17
	S23	5109.257	2553.709	3283.865
	S24	6117.62	3584.515	4760.599
150 มม. และ 72 ซม.	S04	7844.987	4939.942	6436.48
	S06	6882.264	5625.287	5266.15
	S07	5593.755	3955.597	5507.536
	S21	4697.236	3704.805	4614.533
	S22	6050.051	4840.186	4494.511
	S23	7585.892	4478.688	5301.183
	S24	7148.528	5689.846	6875.025

ตารางภาคผนวก ข แรกกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนกตามกิจกรรมและปัจจัย
ของการปรับปรุง

ปัจจัย (ขนาดล้อ และ ระดับมือจับ)	รหัส	แรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างในแต่ละ ละกิจกรรม (นิวตัน)		
		ออกตัว	ขรุขระ	เลี้ยว
150 มม. และ 82 ซม.	S04	5401.905	3253.639	5401.905
	S06	6493.237	3603.574	5617.582
	S07	4309.007	2987.999	3400.814
	S21	6268.584	3539.4	5110.749
	S22	5491.263	2279.147	3060.473
	S23	5017.987	3101.326	4835.448
	S24	4851.067	3674.983	3855.919



The logo of Chulalongkorn University, featuring a central emblem with a sunburst and a crown, surrounded by a circular border with Thai script.

ภาคผนวก ฅ

การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANOVA ในการทดลองปรับปรุงรถเข็นงานเบื้องต้น (Pilot study)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนก
ตามกิจกรรม (การทดลองเบื้องต้น)

Minitab Project Report

8/2/2016 6:30:43 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

**Factorial Fit: start, rough, turn 1, turn 2, straight,
start_1, slope**

Factorial Fit: start versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for start (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5846.7	113.4	51.55	0.000
Wheel size	-214.0	-107.0	113.4	-0.94	0.352
Handle height	-1362.2	-681.1	113.4	-6.01	0.000
Wheel size*Handle height	-137.0	-68.5	113.4	-0.60	0.550

S = 717.267 PRESS = 22865403
R-Sq = 50.90% R-Sq(pred) = 39.38% R-Sq(adj) = 46.81%

Analysis of Variance for start (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	19013066	19013066	9506533	18.48	0.000
Wheel size	1	458067	458067	458067	0.89	0.352
Handle height	1	18554999	18554999	18554999	36.07	0.000
2-Way Interactions	1	187803	187803	187803	0.37	0.550
Wheel size*Handle height	1	187803	187803	187803	0.37	0.550
Residual Error	36	18520976	18520976	514472		
Pure Error	36	18520976	18520976	514472		
Total	39	37721845				

Unusual Observations for start

Obs	StdOrder	start	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	7	8172.98	6566.27	226.82	1606.71	2.36R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for start using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	5905.1
Wheel size	75.856
Handle height	14.529
Wheel size*Handle height	-1.09633

Factorial Fit: rough versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for rough (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4801.0	108.0	44.44	0.000
Wheel size	-257.4	-128.7	108.0	-1.19	0.241
Handle height	-1128.1	-564.0	108.0	-5.22	0.000
Wheel size*Handle height	-282.9	-141.5	108.0	-1.31	0.199

S = 683.296 PRESS = 20750816
 R-Sq = 45.77% R-Sq(pred) = 33.05% R-Sq(adj) = 41.26%

Analysis of Variance for rough (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	13388243	13388243	6694122	14.34	0.000
Wheel size	1	662544	662544	662544	1.42	0.241
Handle height	1	12725699	12725699	12725699	27.26	0.000
2-Way Interactions	1	800406	800406	800406	1.71	0.199
Wheel size*Handle height	1	800406	800406	800406	1.71	0.199
Residual Error	36	16808161	16808161	466893		
Pure Error	36	16808161	16808161	466893		
Total	39	30996811				

Unusual Observations for rough

Obs	StdOrder	rough	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
30	30	6132.47	4507.10	216.08	1625.37	2.51R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for rough using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-9059.9
Wheel size	163.979
Handle height	198.398
Wheel size*Handle height	-2.26332

Factorial Fit: turn 1 versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for turn 1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4903.4	135.0	36.32	0.000
Wheel size	373.3	186.7	135.0	1.38	0.175
Handle height	-1829.2	-914.6	135.0	-6.78	0.000
Wheel size*Handle height	-572.7	-286.4	135.0	-2.12	0.041

S = 853.766 PRESS = 32396278
R-Sq = 59.24% R-Sq(pred) = 49.68% R-Sq(adj) = 55.84%

Analysis of Variance for turn 1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	34854478	34854478	17427239	23.91	0.000
Wheel size	1	1393784	1393784	1393784	1.91	0.175
Handle height	1	33460694	33460694	33460694	45.90	0.000
2-Way Interactions	1	3280258	3280258	3280258	4.50	0.041
Wheel size*Handle height	1	3280258	3280258	3280258	4.50	0.041
Residual Error	36	26240985	26240985	728916		
Pure Error	36	26240985	26240985	728916		
Total	39	64375721				

Unusual Observations for turn 1

Obs	StdOrder	turn 1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
26	26	6132.47	4088.45	269.98	2044.02	2.52R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for turn 1 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-31575.6
Wheel size	367.738
Handle height	447.086
Wheel size*Handle height	-4.58188

Factorial Fit: turn 2 versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for turn 2 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4868.1	119.2	40.85	0.000
Wheel size	444.6	222.3	119.2	1.87	0.070
Handle height	-1419.2	-709.6	119.2	-5.95	0.000
Wheel size*Handle height	-419.3	-209.7	119.2	-1.76	0.087

S = 753.727 PRESS = 25249055
R-Sq = 53.86% R-Sq(pred) = 43.04% R-Sq(adj) = 50.02%

Analysis of Variance for turn 2 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	22117915	22117915	11058957	19.47	0.000
Wheel size	1	1976421	1976421	1976421	3.48	0.070
Handle height	1	20141494	20141494	20141494	35.45	0.000
2-Way Interactions	1	1758503	1758503	1758503	3.10	0.087
Wheel size*Handle height	1	1758503	1758503	1758503	3.10	0.087
Residual Error	36	20451735	20451735	568104		
Pure Error	36	20451735	20451735	568104		
Total	39	44328153				

Unusual Observations for turn 2

Obs	StdOrder	turn 2	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	14	4469.52	6009.66	238.35	-1540.14	-2.15R
16	16	7656.27	6009.66	238.35	1646.61	2.30R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for turn 2 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-22167.7
Wheel size	276.099
Handle height	319.359
Wheel size*Handle height	-3.35476

Factorial Fit: straight versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for straight (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3997.5	67.38	59.32	0.000
Wheel size	-670.8	-335.4	67.38	-4.98	0.000
Handle height	-1374.6	-687.3	67.38	-10.20	0.000
Wheel size*Handle height	115.4	57.7	67.38	0.86	0.398

S = 426.175 PRESS = 8072238
R-Sq = 78.25% R-Sq(pred) = 73.15% R-Sq(adj) = 76.44%

Analysis of Variance for straight (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	23393283	23393283	11696642	64.40	0.000
Wheel size	1	4499153	4499153	4499153	24.77	0.000
Handle height	1	18894130	18894130	18894130	104.03	0.000
2-Way Interactions	1	133108	133108	133108	0.73	0.398
Wheel size*Handle height	1	133108	133108	133108	0.73	0.398
Residual Error	36	6538513	6538513	181625		
Pure Error	36	6538513	6538513	181625		
Total	39	30064904				

Unusual Observations for straight

Obs	StdOrder	straight	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
15	15	3416.86	4291.68	134.77	-874.83	-2.16R
17	17	5158.81	4291.68	134.77	867.13	2.14R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for straight using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	28042.8
Wheel size	-97.8997
Handle height	-264.366
Wheel size*Handle height	0.92298

Factorial Fit: start_1 versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for start_1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		6125.3	110.6	55.38	0.000
Wheel size	-929.7	-464.9	110.6	-4.20	0.000
Handle height	-1633.4	-816.7	110.6	-7.38	0.000
Wheel size*Handle height	-288.7	-144.4	110.6	-1.31	0.200

S = 699.501 PRESS = 21746718
 R-Sq = 67.24% R-Sq(pred) = 59.56% R-Sq(adj) = 64.51%

Analysis of Variance for start_1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	35323037	35323037	17661518	36.10	0.000
Wheel size	1	8643689	8643689	8643689	17.67	0.000
Handle height	1	26679348	26679348	26679348	54.53	0.000
2-Way Interactions	1	833505	833505	833505	1.70	0.200
Wheel size*Handle height	1	833505	833505	833505	1.70	0.200
Residual Error	36	17614841	17614841	489301		
Pure Error	36	17614841	17614841	489301		
Total	39	53771383				

Unusual Observations for start_1

Obs	StdOrder	start_1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	3	8592.44	7262.48	221.20	1329.96	2.00R
32	32	3080.12	4699.38	221.20	-1619.26	-2.44R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for start_1 using data in uncoded units

Term	Coef
------	------

Constant	-637.6
Wheel size	140.654
Handle height	154.237
Wheel size*Handle height	-2.30964

Factorial Fit: slope versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for slope (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5832.4	95.64	60.98	0.000
Wheel size	-423.1	-211.6	95.64	-2.21	0.033
Handle height	-1677.0	-838.5	95.64	-8.77	0.000
Wheel size*Handle height	-903.5	-451.8	95.64	-4.72	0.000

S = 604.871 PRESS = 16260845
R-Sq = 74.30% R-Sq(pred) = 68.27% R-Sq(adj) = 72.16%

Analysis of Variance for slope (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	29912918	29912918	14956459	40.88	0.000
Wheel size	1	1790280	1790280	1790280	4.89	0.033
Handle height	1	28122638	28122638	28122638	76.87	0.000
2-Way Interactions	1	8163174	8163174	8163174	22.31	0.000
Wheel size*Handle height	1	8163174	8163174	8163174	22.31	0.000
Residual Error	36	13171285	13171285	365869		
Pure Error	36	13171285	13171285	365869		
Total	39	51247377				

Unusual Observations for slope ร่มมหาวิทยาลัย

Obs	StdOrder	slope	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	22	4238.86	5657.25	191.28	-1418.39	-2.47R
32	32	3169.26	4330.63	191.28	-1161.37	-2.02R
38	38	5589.40	4330.63	191.28	1258.77	2.19R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for slope using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-55454.4
Wheel size	539.633
Handle height	826.155
Wheel size*Handle height	-7.22802

ภาคผนวก ญ

การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANOVA ในการทดลองปรับปรุงรถเข็นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดสอบ ANOVA จากค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจากค่าสูงสุดของทุก
กิจกรรม
Minitab Project Report

Factorial Fit: Max_Fc versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for Max_Fc (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6101.1	168.5	36.20	0.000	
Wheel size	-254.2	-127.1	168.5	-0.75	0.458
Handle height	-1606.0	-803.0	168.5	-4.76	0.000
Wheel size*Handle height	467.5	233.7	168.5	1.39	0.178

S = 891.850 R-Sq = 51.21% R-Sq(adj) = 45.11%

Analysis of Variance for Max_Fc (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	18506740	18506740	9253370	11.63	0.000
2-Way Interactions	1	1529669	1529669	1529669	1.92	0.178
Residual Error	24	19089503	19089503	795396		
Pure Error	24	19089503	19089503	795396		
Total	27	39125913				

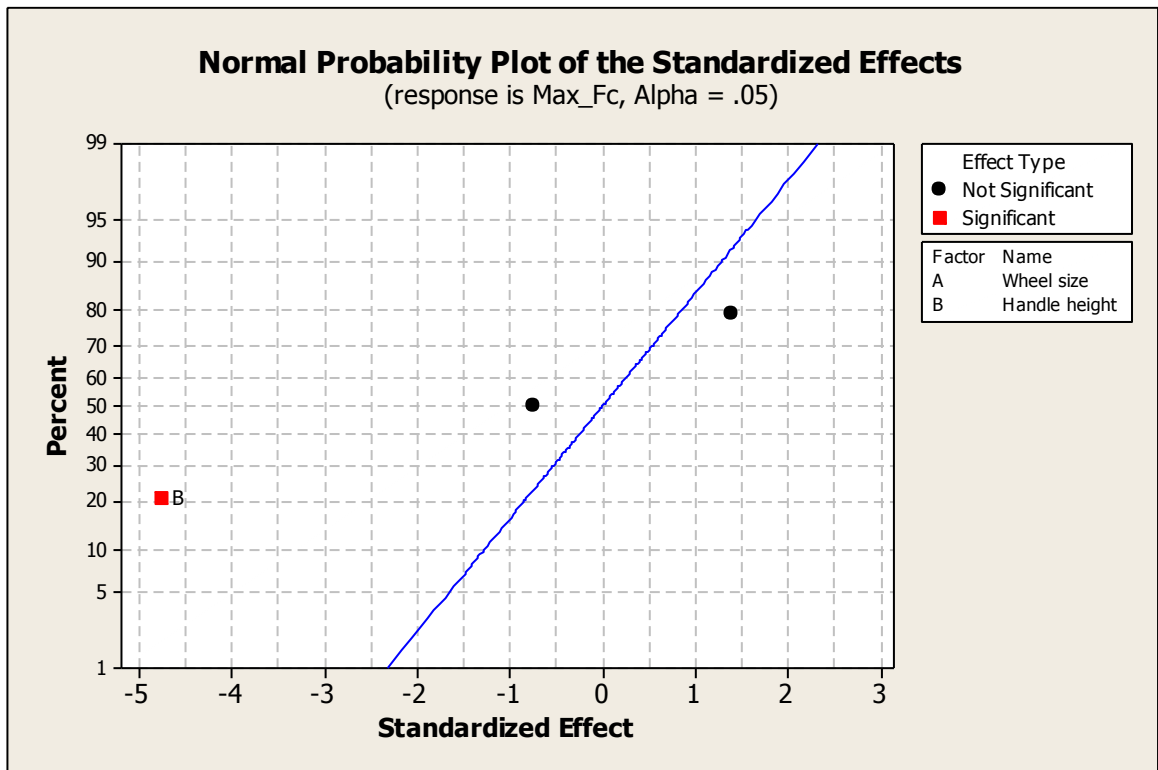
Unusual Observations for Max_Fc

Obs	StdOrder	Max_Fc	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
23	23	4697.24	6543.24	337.09	-1846.01	-2.24R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Max_Fc using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	59459.7
Wheel size	-298.127
Handle height	-674.811
Wheel size*Handle height	3.73973



Effects Pareto for Max_Fc

Alias Structure

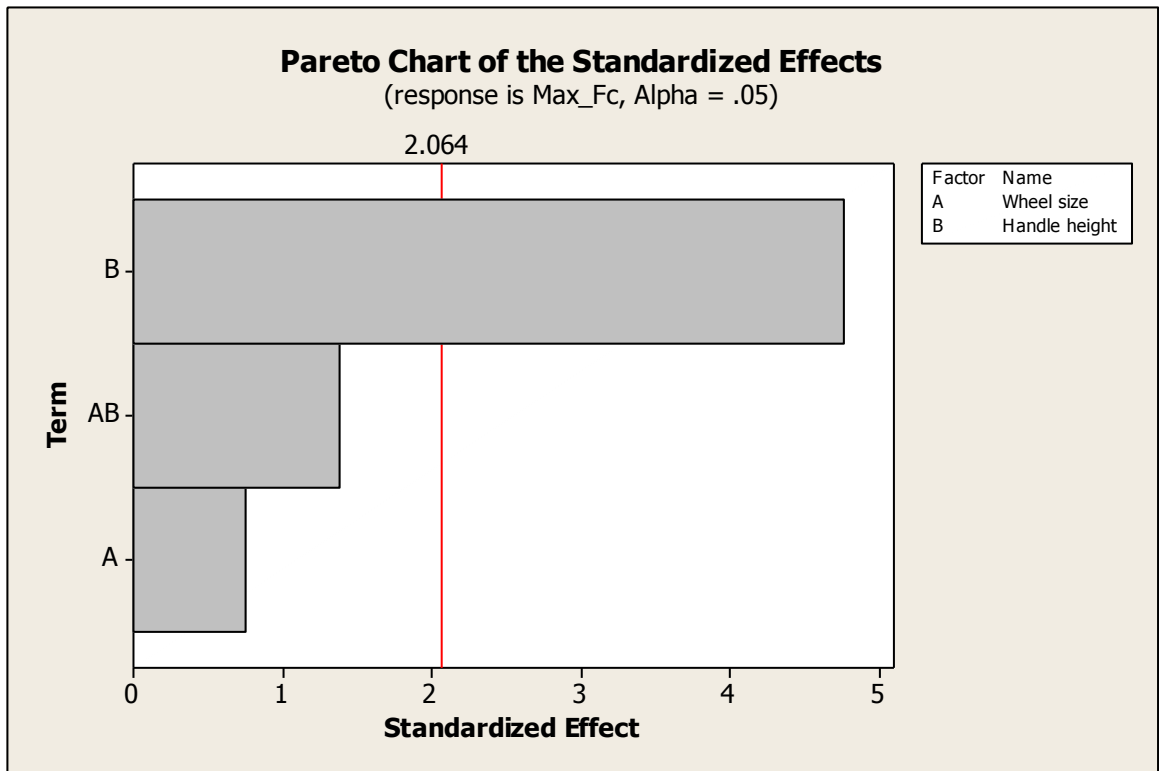
I

Wheel size

Handle height

Wheel size*Handle height





ผลการทดสอบ ANOVA จากค่าแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจากผลรวมทุก

กิจกรรม

Minitab Project Report

8/2/2016 6:25:19 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Factorial Fit: Sum 3-9 versus Wheel size, Handle Height

Estimated Effects and Coefficients for Sum 3-9 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		15132	448.3	33.75	0.000
Wheel size	-394	-197	448.3	-0.44	0.664
Handle Height	-4600	-2300	448.3	-5.13	0.000
Wheel size*Handle Height	889	444	448.3	0.99	0.331

S = 2372.19 PRESS = 183824335
R-Sq = 53.39% R-Sq(pred) = 36.57% R-Sq(adj) = 47.57%

Analysis of Variance for Sum 3-9 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	2	149198799	149198799	74599399	13.26
Wheel size	1	1086079	1086079	1086079	0.19
Handle Height	1	148112719	148112719	148112719	26.32
2-Way Interactions	1	5531773	5531773	5531773	0.98
Wheel size*Handle Height	1	5531773	5531773	5531773	0.98
Residual Error	24	135054614	135054614	5627276	
Pure Error	24	135054614	135054614	5627276	
Total	27	289785185			

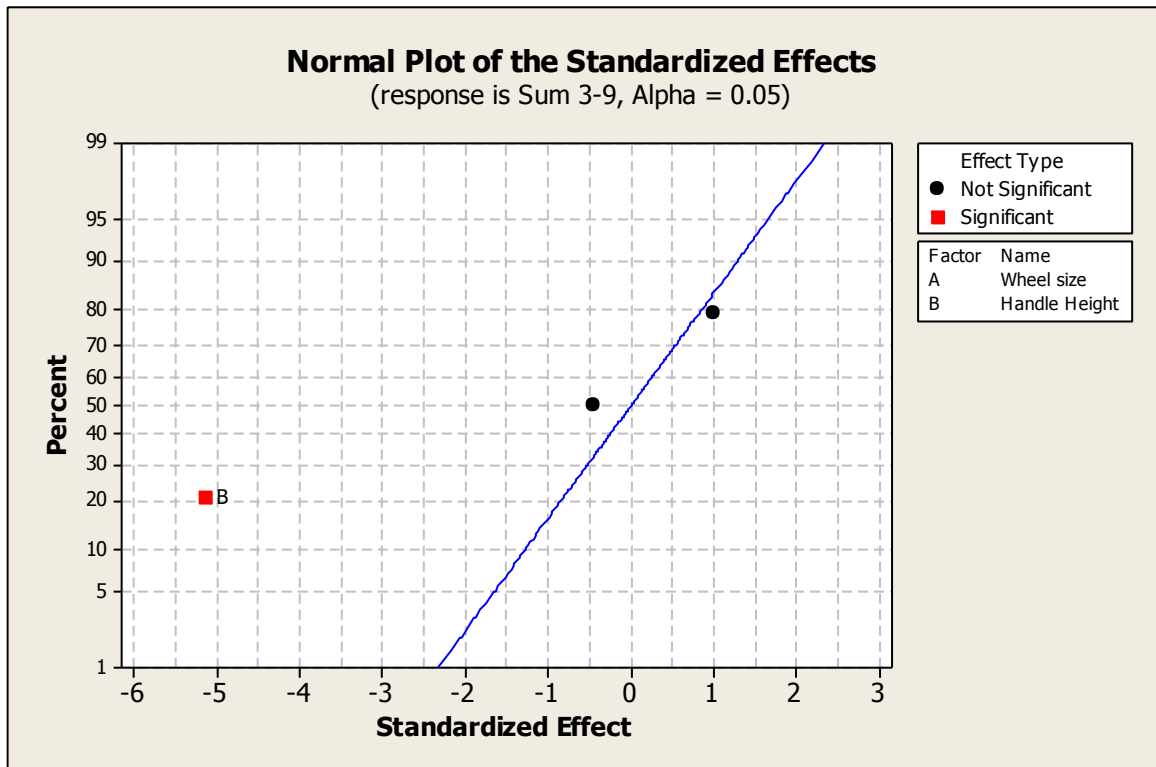
Unusual Observations for Sum 3-9

Obs	StdOrder	Sum 3-9	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	18	22830.7	18073.2	896.6	4757.5	2.17R

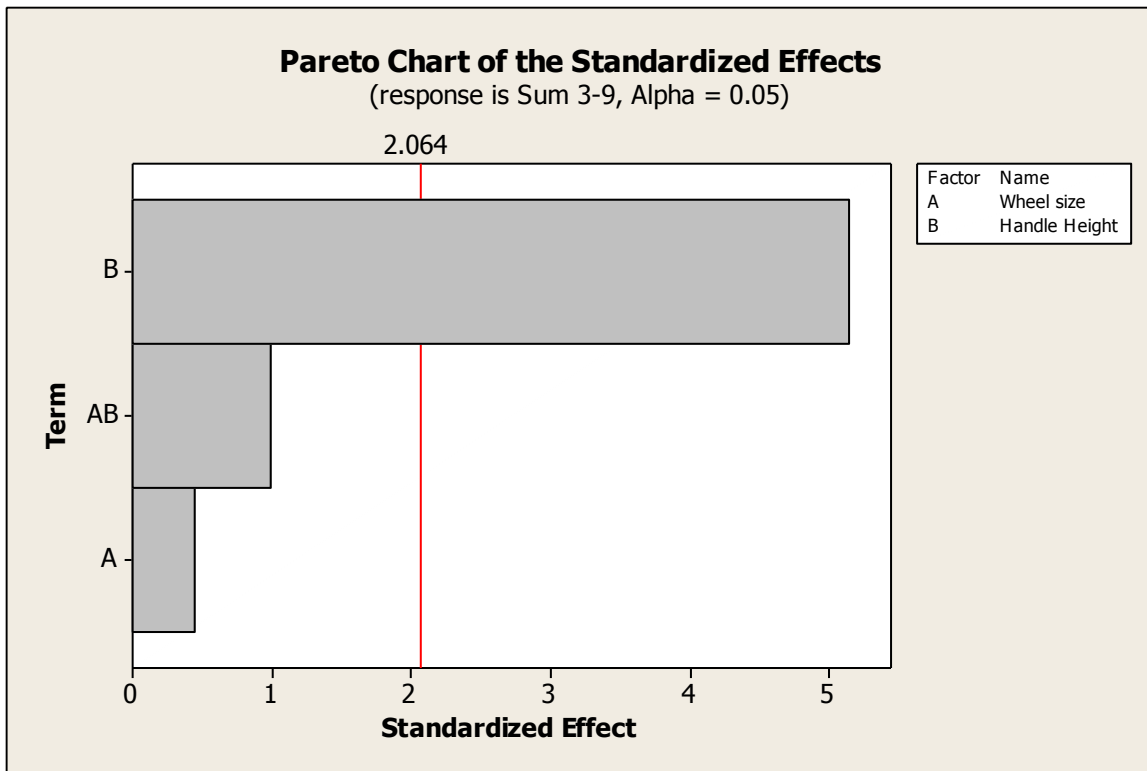
R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Sum 3-9 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	128012
Wheel size	-563.356
Handle Height	-1437.85
Wheel size*Handle Height	7.11170



Effects Pareto for Sum 3-9



เปรียบเทียบค่า P-value โดยใช้ค่าแรงกดอัดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างจำแนก
ตามกิจกรรม

Minitab Project Report

8/2/2016 6:38:45 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Factorial Fit: ออกตัว, ขรุขระ, เลี้ยว

Factorial Fit: ออกตัว versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for ออกตัว (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		6038.2	180.9	33.38	0.000
Wheel size	-128.3	-64.2	180.9	-0.35	0.726
Handle height	-1731.8	-865.9	180.9	-4.79	0.000
Wheel size*Handle height	593.3	296.7	180.9	1.64	0.114

S = 957.279 PRESS = 29935190
R-Sq = 51.74% R-Sq(pred) = 34.31% R-Sq(adj) = 45.70%

Analysis of Variance for ออกตัว (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	21110376	21110376	10555188	11.52	0.000
Wheel size	1	115309	115309	115309	0.13	0.726
Handle height	1	20995067	20995067	20995067	22.91	0.000
2-Way Interactions	1	2464236	2464236	2464236	2.69	0.114
Wheel size*Handle height	1	2464236	2464236	2464236	2.69	0.114
Residual Error	24	21993201	21993201	916383		
Pure Error	24	21993201	21993201	916383		
Total	27	45567813				

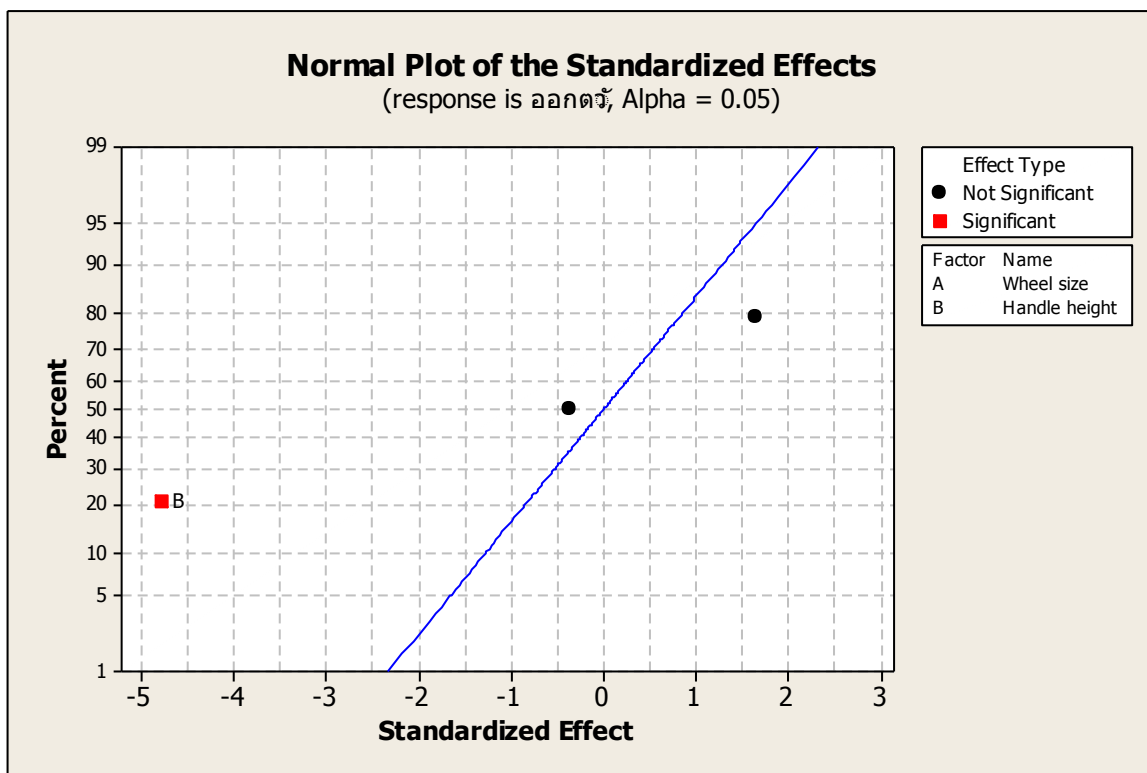
Unusual Observations for ออกตัว

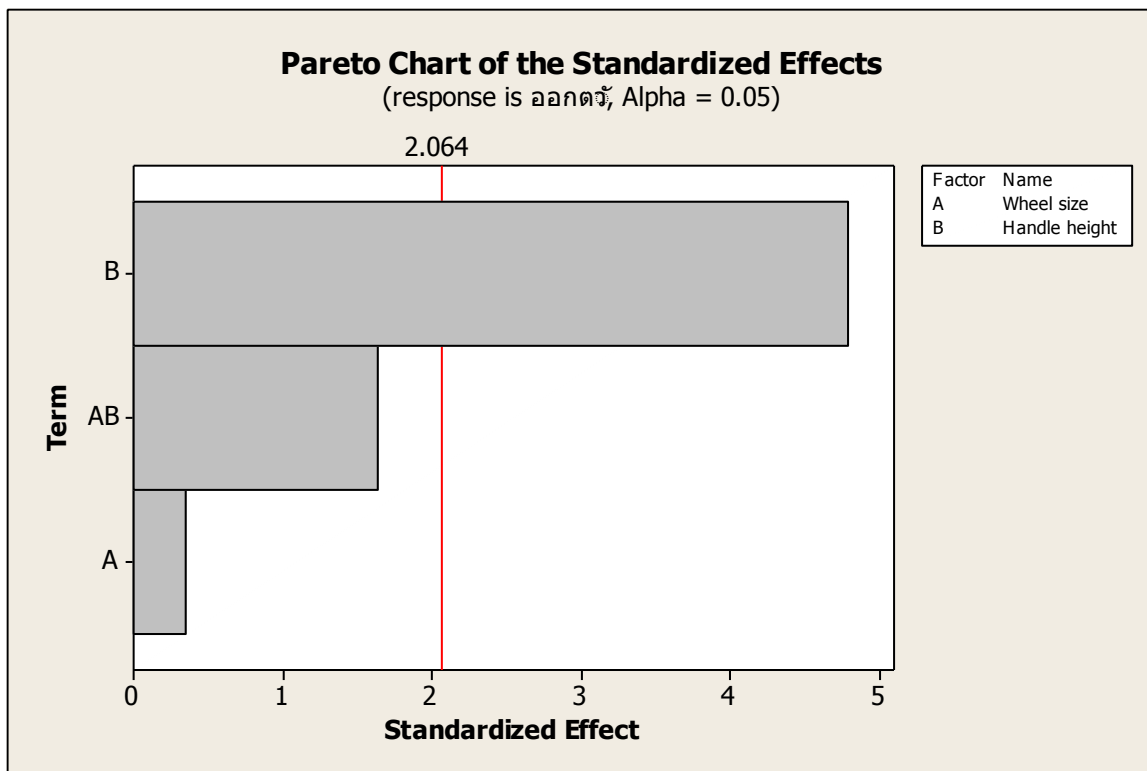
Obs	StdOrder	ออกตัว	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	8	4697.24	6543.24	361.82	-1846.01	-2.08R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for ออกตัว using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	70333.9
Wheel size	-370.622
Handle height	-825.841
Wheel size*Handle height	4.74659





Factorial Fit: χ^2 versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for χ^2 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4069.6	168.1	24.21	0.000
Wheel size	-185.8	-92.9	168.1	-0.55	0.586
Handle height	-1352.1	-676.0	168.1	-4.02	0.000
Wheel size*Handle height	-190.0	-95.0	168.1	-0.57	0.577

S = 889.585 PRESS = 25851152
R-Sq = 41.17% R-Sq(pred) = 19.92% R-Sq(adj) = 33.81%

Analysis of Variance for χ^2 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	13038076	13038076	6519038	8.24	0.002
Wheel size	1	241539	241539	241539	0.31	0.586
Handle height	1	12796538	12796538	12796538	16.17	0.000
2-Way Interactions	1	252638	252638	252638	0.32	0.577
Wheel size*Handle height	1	252638	252638	252638	0.32	0.577
Residual Error	24	18992683	18992683	791362		
Pure Error	24	18992683	18992683	791362		
Total	27	32283397				

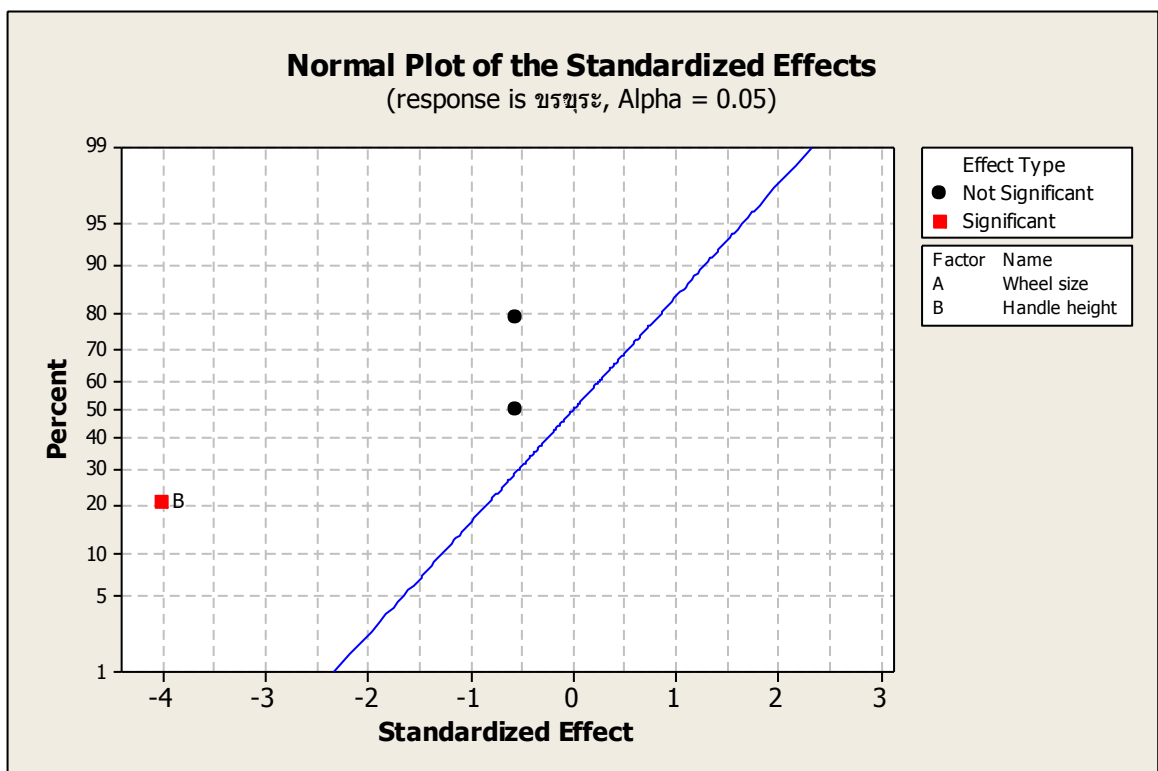
Unusual Observations for χ^2

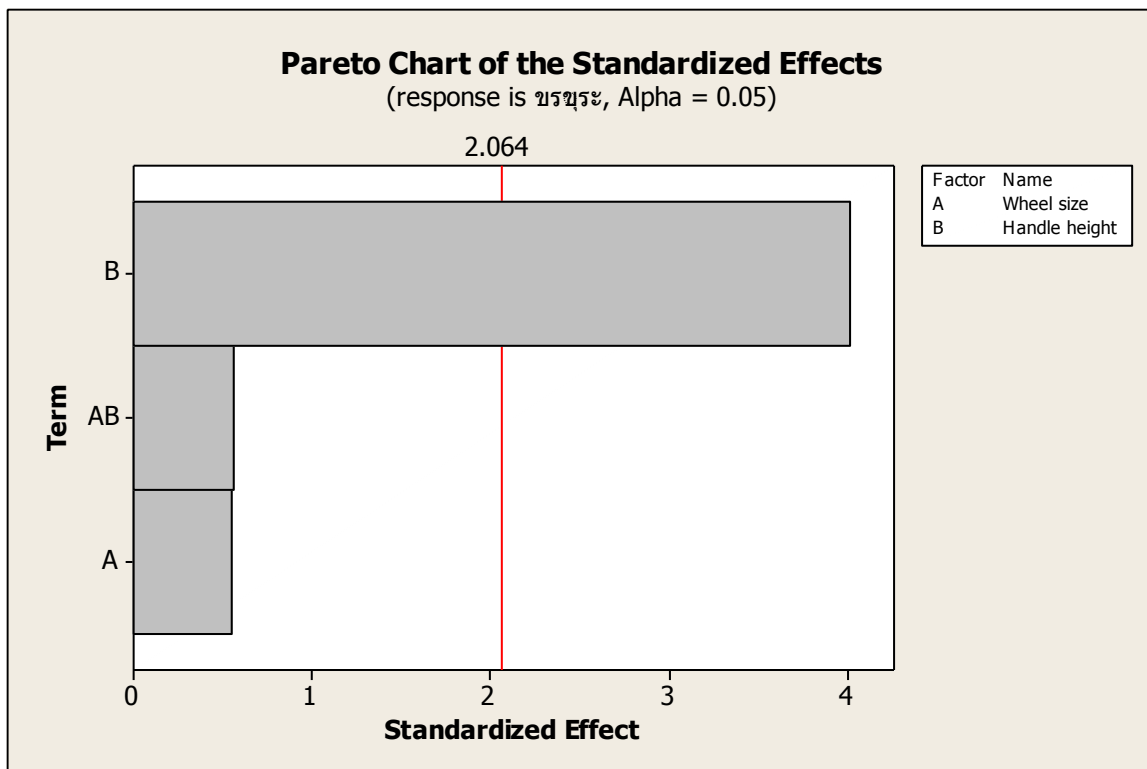
Obs	StdOrder	အနုအရေ	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	18	6700.58	4743.54	336.23	1957.03	2.38R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for အနုအရေ using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-588.8
Wheel size	109.595
Handle height	73.768
Wheel size*Handle height	-1.51981





Factorial Fit: เลี้ยว versus Wheel size, Handle height

Estimated Effects and Coefficients for เลี้ยว (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5024.1	182.6	27.51	0.000
Wheel size	-79.8	-39.9	182.6	-0.22	0.829
Handle height	-1516.0	-758.0	182.6	-4.15	0.000
Wheel size*Handle height	485.6	242.8	182.6	1.33	0.196

S = 966.432 PRESS = 30510353
R-Sq = 44.24% R-Sq(pred) = 24.10% R-Sq(adj) = 37.27%

Analysis of Variance for เลี้ยว (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	16131845	16131845	8065923	8.64	0.001
Wheel size	1	44569	44569	44569	0.05	0.829
Handle height	1	16087276	16087276	16087276	17.22	0.000
2-Way Interactions	1	1650748	1650748	1650748	1.77	0.196
Wheel size*Handle height	1	1650748	1650748	1650748	1.77	0.196
Residual Error	24	22415770	22415770	933990		
Pure Error	24	22415770	22415770	933990		
Total	27	40198363				

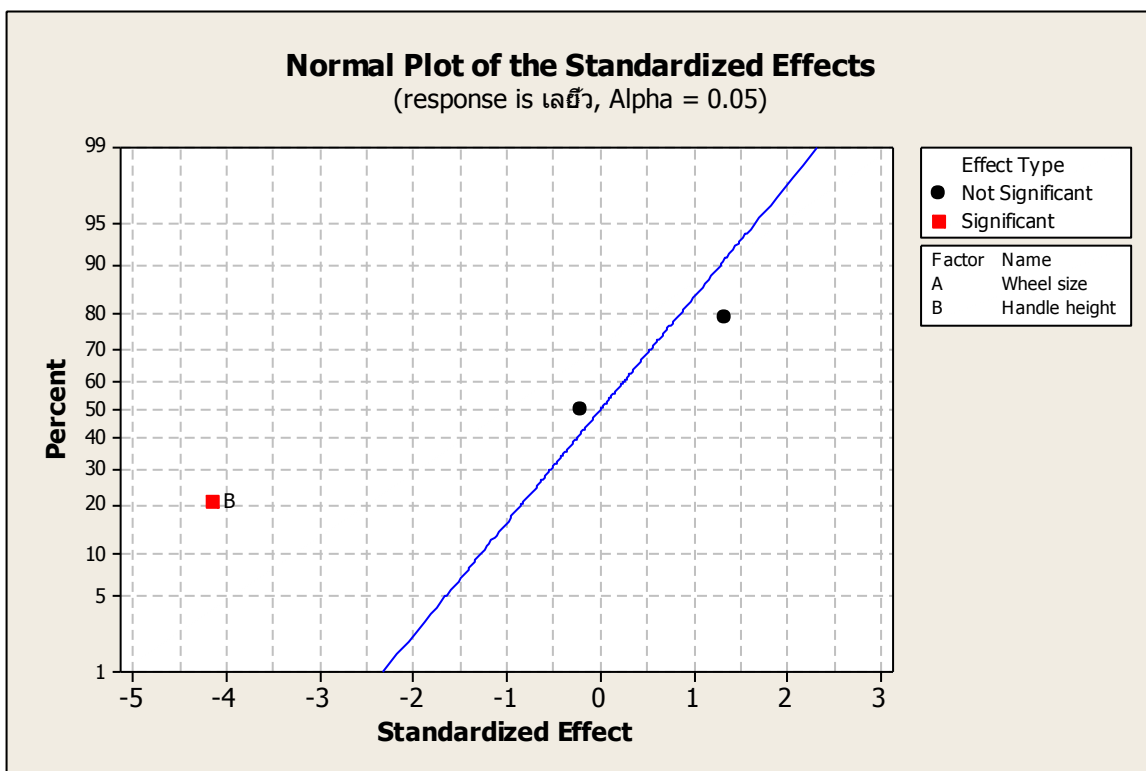
Unusual Observations for เลี้ยว

Obs	StdOrder	เฉลี่ย	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	18	8021.05	6064.75	365.28	1956.30	2.19R

R denotes an observation with a large standardized residual.

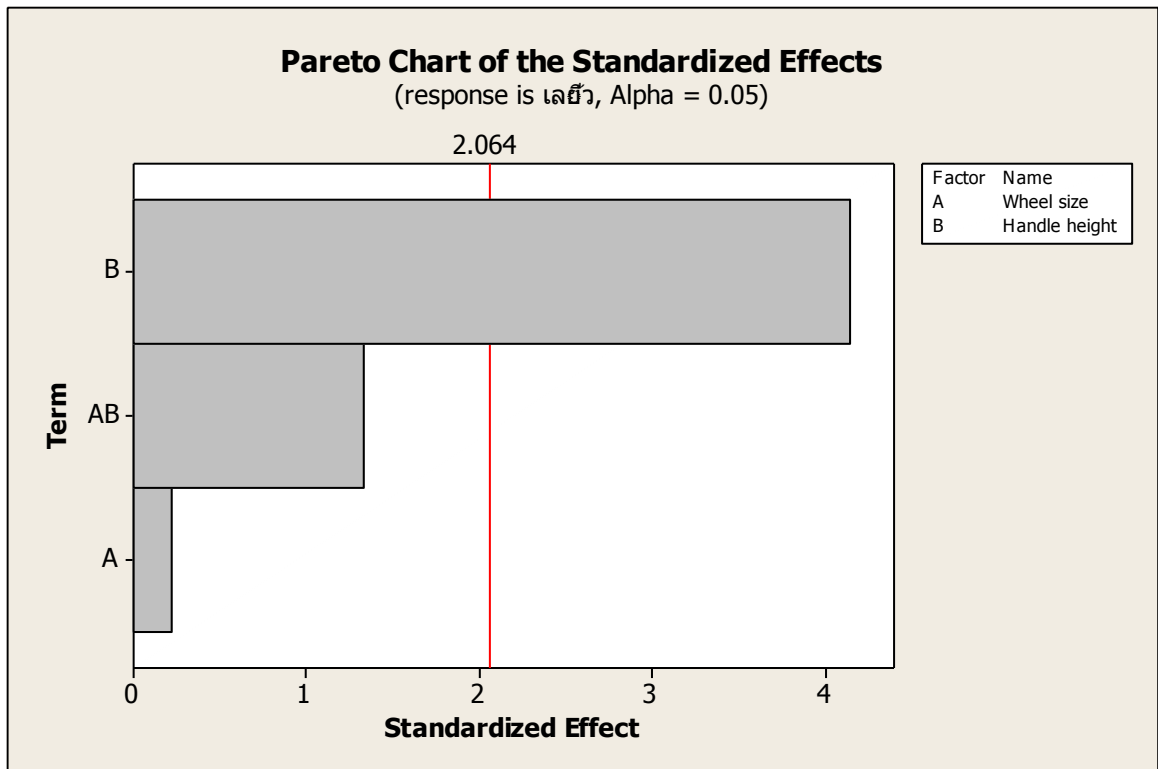
Estimated Coefficients for เฉลี่ย using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	58267.5
Wheel size	-302.330
Handle height	-685.773
Wheel size*Handle height	3.88491



Effects Pareto for เฉลี่ย

Alias Structure
 I
 Wheel size
 Handle height
 Wheel size*Handle height





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired T Test ของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุงรถเข็นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบปัจจัยของรถเข็นงานก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

กิจกรรมออกตัว

Paired T for Start_Handle height 95 - Start_Handle height 82

	N	Mean	StDev	SE Mean
Start_Handle hie	4	5722.85	1329.97	664.98
Start_Handle hei	4	4975.15	1245.36	622.68
Difference	4	747.704	1736.176	868.088

95% CI for mean difference: (-2014.940, 3510.347)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.86 P-Value = 0.452

กิจกรรมพื้นขรุขระ

Paired T for Rough fl_Handle height 95 - Rough fl_Handle height 82

	N	Mean	StDev	SE Mean
Rough fl_Handle	4	4678.87	859.92	429.96
Rough fl_Handle	4	4562.30	583.24	291.62
Difference	4	116.566	701.904	350.952

95% CI for mean difference: (-1000.320, 1233.452)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.33 P-Value = 0.762

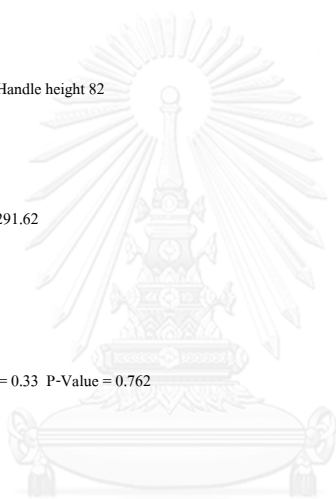
กิจกรรมทางเลี้ยว

Paired T for Turn_Handle height 95 - Turn_Handle height 82

	N	Mean	StDev	SE Mean
Turn_Handle hieg	4	4992.29	950.92	475.46
Turn_Handle heig	4	4198.64	1140.31	570.15
Difference	4	793.646	484.501	242.250

95% CI for mean difference: (22.697, 1564.596)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3.28 P-Value = 0.047



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แรงกอดัที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างรวมทุกกิจกรรม และพลังงานที่ใช้ในการเข็นของการ
ทดลองลดน้ำหนักบรรทุกโดยการเทรตอพระหว่าง 2 ปีจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางภาคผนวก ฎ แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างรวมทุกกิจกรรม และ
พลังงานที่ใช้ในการเข็นงานที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ

ผู้เข้ารับการทดสอบ	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างรวมทุกกิจกรรม (นิวตัน)			พลังงานที่ใช้ (แคลอรี/รอบการทำงาน)
		ค่าผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	
คนที่ 1, ครั้งที่ 1	70	29514.99	2951.49	3861.83	731.08
	105	31227.49	3122.75	3861.83	535.91
	120	35103.15	3510.31	5394.06	521.91
	135	36815.65	3681.56	4763.14	507.57
คนที่ 1, ครั้งที่ 2	70	26540.65	2654.06	3681.56	692.41
	105	32849.86	3284.98	3951.96	504.16
	120	34652.49	3465.24	4492.74	467.34
	135	40691.31	4069.13	5484.19	471.03
คนที่ 2, ครั้งที่ 1	70	24768.41	2476.84	3569.61	796.37
	105	31142.91	3114.29	4314.68	517.45
	120	33460.91	3346.09	5225.32	473.22
	135	39338.69	3933.86	5142.53	477.89
คนที่ 2, ครั้งที่ 2	70	25016.77	2501.67	2990.11	729.21
	105	28245.41	2824.54	3900.75	532.43
	120	34371.55	3437.15	4894.18	541.11
	135	36275.62	3627.56	5059.75	491.19
คนที่ 3, ครั้งที่ 1	70	24759.65	2475.96	3099.49	723.85
	105	29795.82	2979.58	3978.82	506.56
	120	29875.75	2987.57	3978.82	484.35
	135	34272.41	3427.24	4778.21	486.50
คนที่ 3, ครั้งที่ 2	70	22201.60	2220.16	3579.12	795.03
	105	29955.69	2995.56	4058.75	517.18
	120	28996.42	2899.64	4218.63	477.14
	135	31474.54	3147.45	5337.78	504.07

ตารางภาคผนวก ก ฎ แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างรวมทุกกิจกรรม และ
พลังงานที่ใช้ในการเข็นงานที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ (ต่อ)

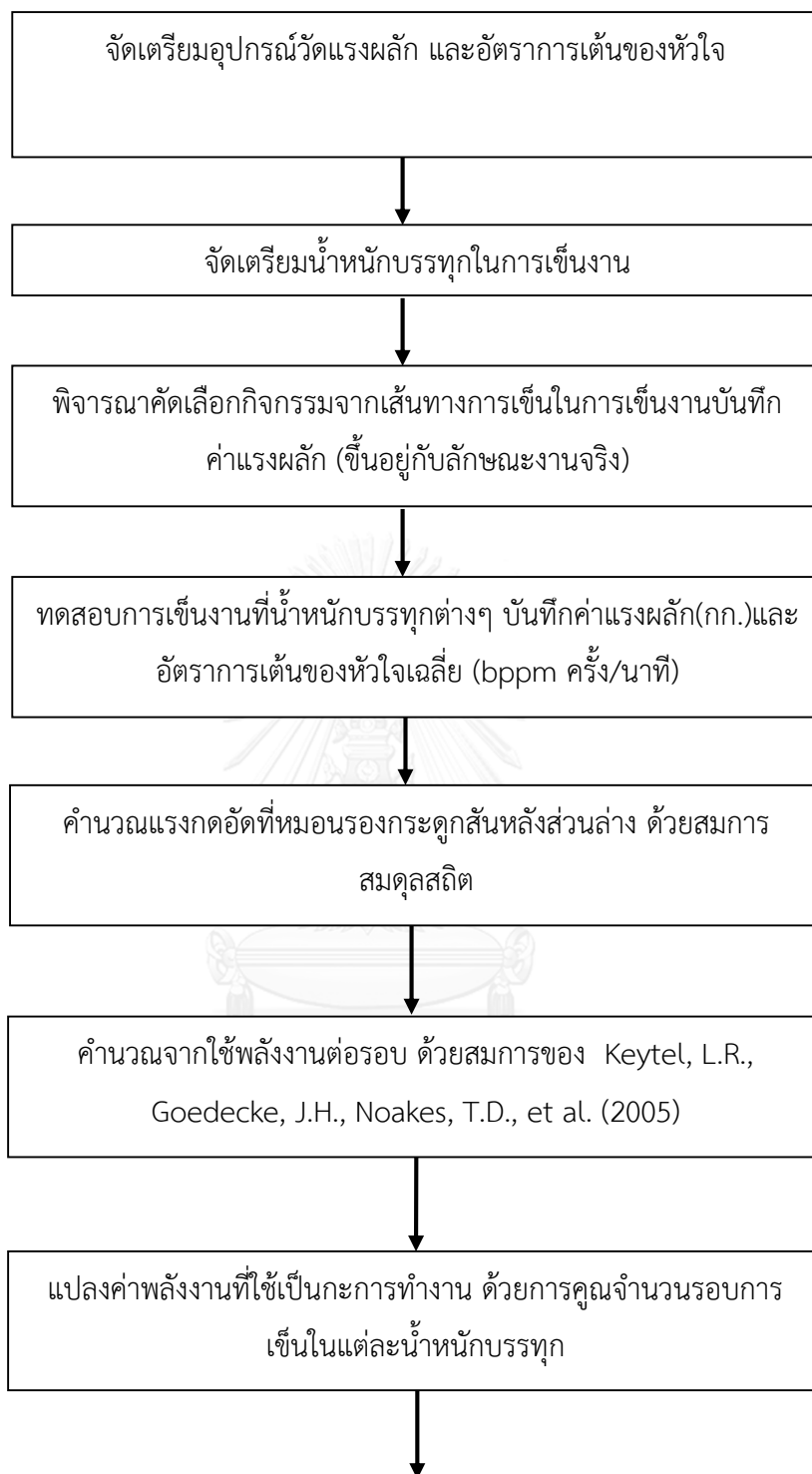
ผู้เข้ารับการ ทดสอบ	น้ำหนัก บรรทุก (กก.)	แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง รวมทุกกิจกรรม (นิวตัน)			พลังงานที่ใช้ (แคลอรี/รอบ การทำงาน)
		ค่าผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	
คนที่ 4, ครั้ง ที่ 1	70	32161.06	3216.10	4135.56	622.17
	105	29904.20	2990.42	3299.69	519.05
	120	43278.21	4327.82	5472.97	466.01
	135	46203.77	4620.37	6392.43	445.13
คนที่ 4, ครั้ง ที่ 2	70	33331.29	3333.12	4469.92	627.92
	105	36173.26	3617.32	4219.15	464.46
	120	43361.80	4336.18	5807.32	454.48
	135	46872.47	4687.24	6141.67	443.03



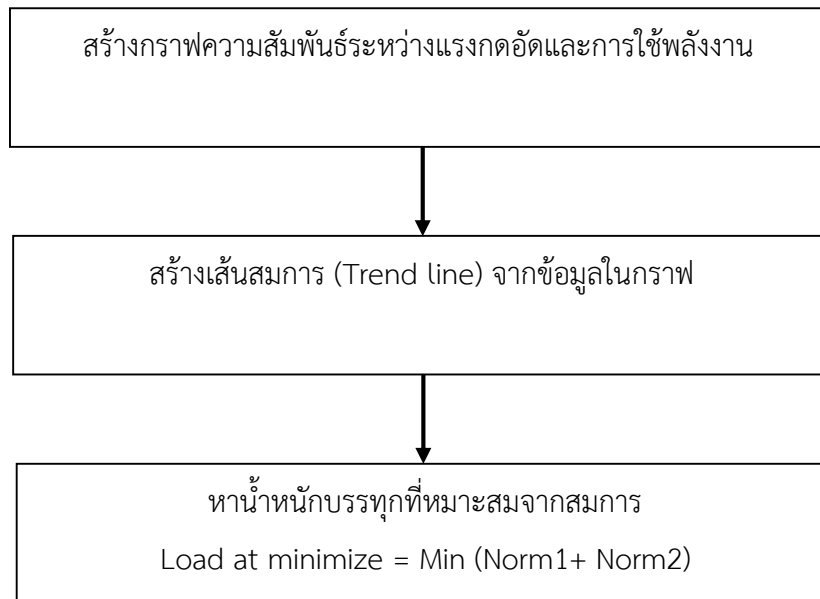
ภาคผนวก ฐ

แผนผังการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลัง
ส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเข็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

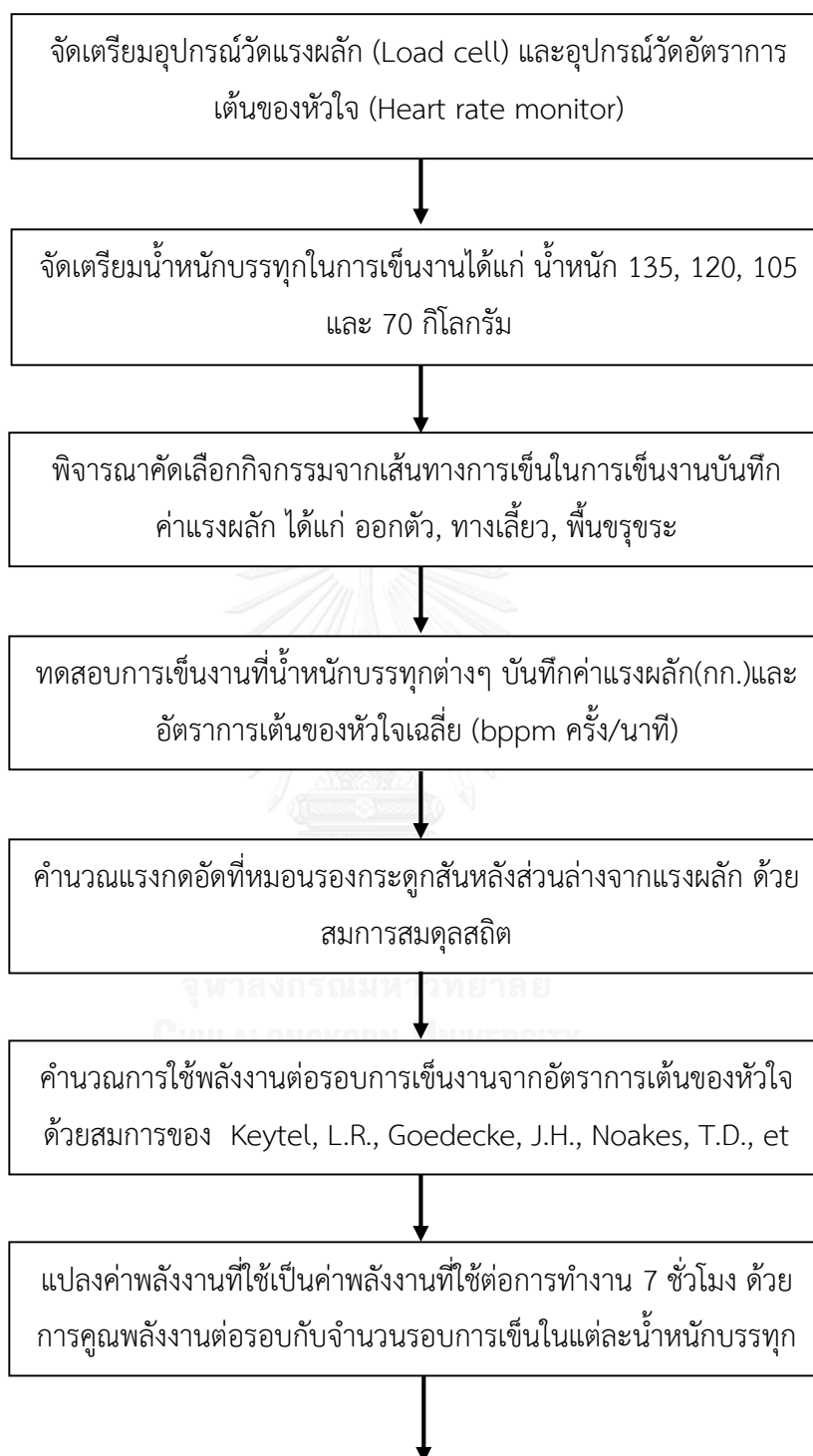


รูปที่ภาคผนวก รฐ.1 แผนผังการประเมินค่าน้ำหนักรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเข้า

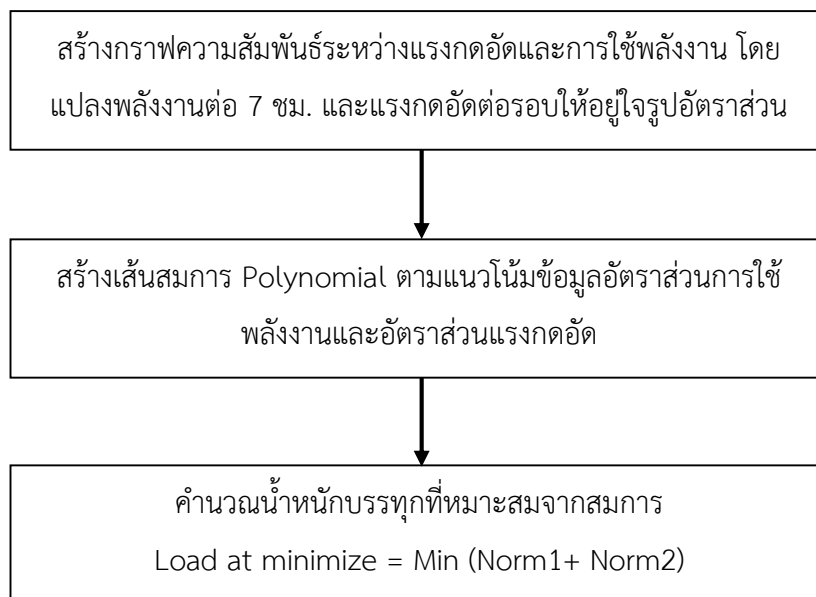


รูปที่ภาคผนวก ฐ.1 แผนผังการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเข็น (ต่อ)

จากแผนผังดังกล่าวงานวิจัยนี้ยกตัวอย่างด้วยเงื่อนไขการประเมินของโรงงานกรณีศึกษาดังนี้



รูปที่ภาคผนวก ร.2 ตัวอย่างแผนผังการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเดินของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ภาคผนวก ฐ.2 ตัวอย่างแผนผังการประเมินค่าน้ำหนักรทุกที่เหมาะสมระหว่างแรงกอดัดที่
หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงานในงานเขียนของโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิรัช ศีลาวงศ์ เกิดวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2554 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

