

การปรับปรุงสถานีนงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีนโดยใช้การประเมินทางสรีรวิทยาในการทำงาน
และชีวกลศาสตร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF CHLORINE GAS CYLINDER INSPECTION WORKSTATION USING WORK
PHYSIOLOGY AND BIOMECHANICS APPRAISAL



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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสถานีนงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีนโดยใช้การ ประเมินทางสรีรวิทยาในการทำงาน และชีวกลศาสตร์
โดย	นายภาณุพงศ์ ภาวิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

ภาณุพงศ์ ภาวิไล : การปรับปรุงสถานีงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีนโดยใช้การประเมินทางสรีรวิทยาในการทำงาน และชีวกลศาสตร์. (IMPROVEMENT OF CHLORINE GAS CYLINDER INSPECTION WORKSTATION USING WORK PHYSIOLOGY AND BIOMECHANICS APPRAISAL) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

สารคลอรีนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถกัดกร่อนถังโลหะบรรจุสารคลอรีนจนเกิดการรั่วไหล การนำถังมาบรรจุสารคลอรีนใหม่จึงต้องมีการตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังโดยการยกถังคลอรีนคว่ำลง แต่การยกถังหนัก 50 กิโลกรัม จำนวน 100 ถังต่อคนต่อวัน และท่าทางการยกที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดปัญหาการปวดหลังของพนักงาน ผลจากการประเมินภาระงานของพนักงานเพศชายทั้ง 10 คน พบว่าค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างเฉลี่ยตลอดการยกอยู่ที่ 5,673.4 นิวตัน และ ผลจากการประเมินภาระความเหนื่อยล้าของงาน โดยวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในอนาคต จากการปรับปรุงการทำงานทั้ง 3 แนวทางพบว่า แนวทางการใช้อุปกรณ์ช่วยยกคลอรีนและการใช้กล้องสามารถลดค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเหลือน้อยกว่า 1,224.8 นิวตัน และผลประเมินภาระความเหนื่อยล้าของงานอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยกลายเป็นงานภาระเบา แต่แนวทางการใช้พนักงาน 2 คนยกถังคลอรีนสามารถลดค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้น้อยกว่า 3,992.4 นิวตัน และผลประเมินภาระความเหนื่อยล้าของงานอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยเพียง 4 คนจากพนักงานทั้ง 10 คน ตามแนวทางประเมินของ Brouha ดังนั้นทางหน่วยงานกรณีศึกษาจึงได้เลือกแนวทางการใช้อุปกรณ์ช่วยยกและพลิกถังคลอรีน เนื่องจากมีความคุ้มค่าในการลงทุนเทียบกับระดับความปลอดภัยที่ได้รับ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370227121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: biomechanics static low back pain compressive forces

Phanupong Bhavilai : IMPROVEMENT OF CHLORINE GAS CYLINDER INSPECTION WORKSTATION USING WORK PHYSIOLOGY AND BIOMECHANICS APPRAISAL. Advisor: Asst. Prof. PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D.

High humidity chlorine can corrode the steel chlorine storage tanks and cause leaking. Refilling the liquid chlorine, the tank must be inspected and drained the water by turn the tank upside down to pour the water from the tank. However, lifting the 50 kg. chlorine tank for a hundred tanks per person per day with improper posture caused low back pain problem for employees. The workload assessment of 10 male workers found that the average maximum compressive force on L5/S1 disc during lifting was 5,673.4 N. and the heart rate analysis resulted in unsafe condition that may unsafe for workers in future. Three improvement methods were studied and found that the use of chlorine tank lifting machine and the use of endoscope camera can reduce the average maximum compressive force on L5/S1 disc during lifting to less than 1,224.8 N., and heart rates analysis showed that workload was safe as light workload. The use of two-persons lifting reduced the average maximum compressive force on L5/S1 disc during lifting to less than 3,992.4 N., and heart rates analysis showed that it was safe for 4 out of 10 workers according to Brouha's assessment guidelines. So, the case study department had chosen the using the lifting machine because it is worth to invest compared to the safety level return.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้มอบโอกาส ความรู้ แนวความคิด ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ และคำแนะนำที่ดีตลอดมา รวมทั้งตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่สละเวลาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและชัดเจน ผู้วิจัยถือโอกาสขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณชัยณรงค์ เชาว์ทอง กลุ่มพนักงานทดสอบถังคลอรีนทั้ง 10 ท่าน ที่สละเวลาและแรงกาย สำหรับเก็บข้อมูลประกอบงานวิจัย และส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณอุมาภรณ์ อิศพจน์ คุณภูวเดช เสน่ห์เมือง คุณศรัณย์ชัย เดชคำรณรัตน์ คุณณัฐพล พุฒยางกูร คุณพัฒนโชค อินทะโส และเพื่อนๆร่วมรุ่น ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาคนอกเวลาราชการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ แนะนำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาณุพงศ์ ภาวิไล

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	8
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	8
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2.....	10
ทบทวนวรรณกรรม.....	10
2.1 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ.....	10
2.2 แนวทางในการประเมินภาระงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ.....	15
2.3 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา.....	15
2.4 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์.....	19

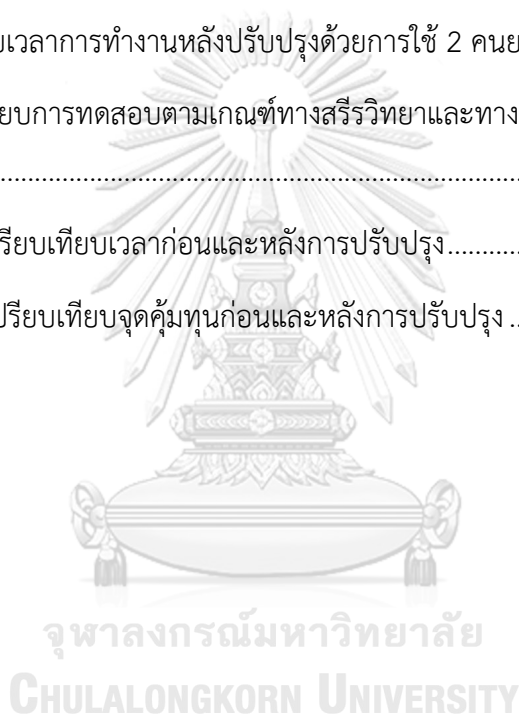
2.5 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์.....	20
2.6 ค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยก.....	33
2.7 แรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง.....	33
บทที่ 3.....	36
วิธีดำเนินวิจัย.....	36
3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ.....	36
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.3.1 การทดสอบตามเกณฑ์ทางจิตวิทยา (Psychological Criterion).....	38
3.3.2 การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยา (Physiological Criterion).....	40
3.3.3 วิธีการทดลองทางชีวกลศาสตร์.....	43
3.3.4 แนวทางการลดภาระงาน.....	47
บทที่ 4.....	54
ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4.1 รายละเอียดของผู้เข้าทดสอบ.....	54
4.2 ลักษณะของภาระงานก่อนปรับปรุง.....	55
4.2.1 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (Physiological Evaluation).....	57
4.2.2 การทดลองทางชีวกลศาสตร์.....	64
4.3 การประเมินภาระงานหลังปรับปรุง.....	66
วิธีที่ 1 ลดภาระงานด้วยอุปกรณ์ช่วยยก.....	66
วิธีที่ 2 ลดภาระงานด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน.....	76
วิธีที่ 3 ลดภาระงานด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน.....	83
บทที่ 5.....	92
วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	92

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาก่อนการปรับปรุง	92
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ก่อนการปรับปรุง	93
5.3 ผลการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์หลังการปรับปรุง	93
5.4 ผลการเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง.....	96
5.5 ผลการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนก่อนและหลังการปรับปรุง.....	96
บทที่ 6	102
6.1 สรุปผลการวิจัย	102
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	105
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก	111
ภาคผนวก ก.....	111
มวลส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล	111
ภาคผนวก ข.....	112
ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอັตบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง	112
ภาคผนวก ค.....	135
ตารางข้อมูลการประเมินทางสรีรวิทยาหลังการปรับปรุง	135
ประวัติผู้เขียน	147

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลการประเมินระดับความปวดเมื่อยลำของร่างกายที่ระดับสเกล 6-20.....	6
ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความเหนื่อยของร่างกายด้วย Borg RPE scale.....	7
ตารางที่ 3 แบบสอบถามระดับความปวดเมื่อยลำของร่างกายด้วย Body Map Discomfort	39
ตารางที่ 4 แบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบในการยกถังคลอรีน.....	41
ตารางที่ 5 Physical workload levels.....	42
ตารางที่ 6 รายละเอียดของผู้เข้าทดสอบ.....	54
ตารางที่ 7 มุมและระดับความสูงของถังคลอรีนที่ถูกยกขึ้น.....	55
ตารางที่ 8 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบในการยกถังคลอรีน.....	57
ตารางที่ 9 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบขณะหยุดทำงานช่วงพักครั้งที่ 1 และ 3.....	59
ตารางที่ 10 ผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน.....	60
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีของ Vogt	62
ตารางที่ 12 อัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR).63	
ตารางที่ 13 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิต.....	64
ตารางที่ 14 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก	69
ตารางที่ 15 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก).....	72
ตารางที่ 16 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก	74
ตารางที่ 17 ผลการจับเวลาการทำงานหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก.....	75
ตารางที่ 18 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง ..76	
ตารางที่ 19 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)	79

ตารางที่ 20 ผลจากการคำนวณแรงกดดันที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้ามเนื้อ.....	81
ตารางที่ 21 ผลการจับเวลาการทำงานด้วยการใช้กล้ามเนื้อตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน	82
ตารางที่ 22 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน	83
ตารางที่ 23 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน).....	87
ตารางที่ 24 ผลจากการคำนวณแรงกดดันที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน.....	90
ตารางที่ 25 ผลการจับเวลาการทำงานหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน	91
ตารางที่ 26 เปรียบเทียบการทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาและทางชีวกลศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง.....	95
ตารางที่ 27 ผลการเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง.....	96
ตารางที่ 28 ผลการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนก่อนและหลังการปรับปรุง	96



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 จำนวนครั้งการเกิดคลอรีนรั่วไหลเทียบกับจำนวนพนักงานบาดเจ็บที่หลังของโรงงานตัวอย่าง 3	
รูปที่ 2 ความเป็นพิษต่อร่างกาย	3
รูปที่ 3 งานยกถังขึ้นเพื่อตรวจเช็คคน้ำ	4
รูปที่ 4 ตัวอย่างใบรับรองแพทย์ของพนักงานที่เกิดอาการบาดเจ็บ	5
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วย Body Map Discomfort	6
รูปที่ 6 แรังกอดัดเฉลี่ยที่หลังจากท่ายกระยะที่ 1-3 ของพนักงาน 5 คน	8
รูปที่ 7 การจ่ายคีนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) หลังออกกำลังกาย	18
รูปที่ 8 แรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์ อีเรกเตอร์ สไปเน (Extensor Erector Spinae)	25
รูปที่ 9 ท่าทางในการยกวัตถุและข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับการใช้แบบจำลองกลศาสตร์ชีวภาพ เกี่ยวข้องกับหลังส่วนล่างวิเคราะห์แรงต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลัง L5/S1	26
รูปที่ 10 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะสถิต	30
รูปที่ 11 ลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่าง ๆ	34
รูปที่ 12 นาฬิกาวัดอัตราการเต้นหัวใจ	36
รูปที่ 13 Body Map Discomfort	38
รูปที่ 14 Borg RPE scale (Borg's of Rating of Perceived Exertion)	39
รูปที่ 15 ท่ายกระยะที่ 1 ยกโดยถึงท่ามุ่มกับพื้น 5-10 องศา	44
รูปที่ 16 ท่ายกระยะที่ 2 ยกโดยถึงท่ามุ่มกับพื้น 15-25 องศา	44
รูปที่ 17 ท่ายกระยะที่ 3 ยกโดยถึงท่ามุ่มกับพื้น 30-44 องศา	45
รูปที่ 18 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลและมวลส่วนต่างๆของส่วนร่างกาย	46
รูปที่ 19 ตัวอย่างอุปกรณ์ช่วยยกที่จะนำมาปรับปรุงกับงานยกถังคลอรีน	48
รูปที่ 20 ค่ารักษาพยาบาลผ่าตัดหมอนรองกระดูกสันหลัง	50

รูปที่ 21 การใช้กล้องงู (Android Endoscope Camera) ตรวจสอบน้ำภายในถัง.....	51
รูปที่ 22 การลดภาระงานด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน	52
รูปที่ 23 ตัวอย่างภาพการยกถังคลอรีนต่อเนื่องของผู้ยกทดสอบคนที่ 6	55
รูปที่ 24 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบในการยกถังคลอรีน	58
รูปที่ 25 แรกกดอัดเฉลี่ยที่หลังส่วนล่างทั้ง 3 ท่าของพนักงาน 10 คน	65
รูปที่ 26 เครื่องยกถังคลอรีนแบบกระบอกกลม	66
รูปที่ 27 การกลิ้งถังเข้าไปยังด้านหน้าตัวเครื่องยก.....	67
รูปที่ 28 ตำแหน่งวาล์วปรับระดับขึ้นและลง	68
รูปที่ 29 การพลิกถังคลอรีนโดยใช้มือทั้ง 2 ดึงหัวถังเข้าหาตัวผู้ใช้งาน.....	68
รูปที่ 30 ตำแหน่งวาล์วจุดพลิกถังคลอรีน.....	69
รูปที่ 31 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก.....	70
รูปที่ 32 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้เครื่องช่วยยก	73
รูปที่ 33 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องงูช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง	77
รูปที่ 34 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างด้วยการใช้กล้องงู.....	80
รูปที่ 35 ภาพการตรวจสอบภายในถังคลอรีนด้วยกล้องงู.....	82
รูปที่ 36 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน	84
รูปที่ 37 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน.....	89
รูปที่ 38 กล้องงูที่ถูกคลอรีนกัดกร่อน.....	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หลังส่วนล่าง (Low Back) เป็นตำแหน่งที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บของคองงานโดยเฉพาะหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างตำแหน่ง L5/S1 (Lumbar5/Sacral1) (กิตติ อินทรานนท์ และคณะ, 2553) สาเหตุของอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain) เกิดจากการที่คนออกแรงยก ผลัก ดึง หรือ การถือมากเกินไปกำลังของตนเอง ในประเทศไทยจากการรายงานของสำนักงานประกันสังคมกระทรวงแรงงาน พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2563 พบว่าสัดส่วนร้อยละของผู้บาดเจ็บบริเวณหลังยังคงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คือ 2.73, 2.62, 2.71, 2.63, 2.63, 2.59, 2.35 และ 2.19 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบสถิติการประสบนันตรายจากการยกและเคลื่อนย้ายของหนัก คือ 559, 845, 709, 625, 636, 1,072, 998 และ 628 ครั้งต่อปี ตามลำดับ (สำนักงานประกันสังคม, 2556-2563)

ปัญหาหลักของการบาดเจ็บของร่างกาย จากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบกระดูกและกล้ามเนื้อเป็นผลมาจากการยกย้ายสิ่งของด้วยแรงกาย ข้อมูล การรายงานของ Health and Safety Executive, HSE ประเทศอังกฤษ (HSE, 2008) พบว่า มีผู้บาดเจ็บจาก การทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบกระดูกและกล้ามเนื้อสูงถึง 104,301 คน ในจำนวนนี้เป็นการบาดเจ็บจากการยกย้ายสิ่งของที่ทำให้พนักงานต้องหยุดงานเกินกว่า 3 วันมีอัตราส่วนสูงถึง 2 ใน 5 หรือประมาณ 301.7 คนต่อแรงงาน 100,000 คน ในเอกสารของสำนักงานสถิติแห่งชาติของประเทศออสเตรเลีย (ABS, 2010) ได้รายงานจำนวน การบาดเจ็บจากการยกย้ายสิ่งของมีอัตราสูงที่สุด หรือประมาณ 1 ใน 3 ของจำนวนผู้ที่บาดเจ็บจากการทำงาน ทั้งหมด อัตราการบาดเจ็บดังกล่าวใกล้เคียงกับข้อมูลที่พบในรายงานของสำนักงานสถิติแรงงานในสหรัฐอเมริกา (Bernard, 1997) สำหรับในประเทศไทยจากรายงานประจำปีพ.ศ. 2557 (สำนักงานกองทุนเงินทดแทน, 2557) พบว่ามีผู้ประสบนันตรายจากการยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักสูงถึง 845 ราย จากจำนวนลูกจ้างที่ลงทะเบียนอยู่ใน กองทุนเงินทดแทน 9,132,756 ราย หรือประมาณว่ามีอัตราผู้ประสบนันตรายจากการยกเคลื่อนย้ายของหนักอยู่ที่ 9.3 คนต่อแรงงาน 100,000 คน

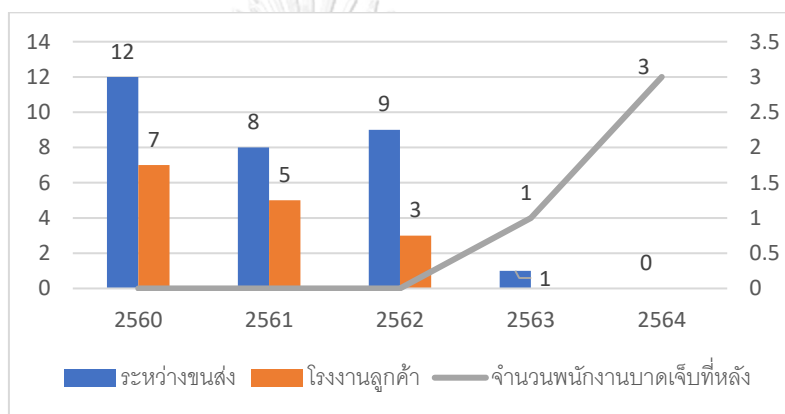
จากข้อมูลสถิติการสำรวจภาวะการทำงานของประชากร (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) พบว่าในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีจำนวนกำลังแรงงานรวมของประชากรที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไปอยู่ที่ 38,548,200 คน จาก จำนวนประชากรที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป จำนวนทั้งสิ้น 55,238,500 คน และจากข้อมูลสรุปผลที่สำคัญ การสำรวจการทำงานของเด็กในประเทศไทย กลุ่มสถิติแรงงาน สำนักสถิติ

เศรษฐกิจและสังคม สำนักงาน สถิติแห่งชาติ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2559) พบว่าเป็นจำนวนเด็กทำงานทั้งหมดที่มีอายุ 15-17 ปีมีทั้งสิ้น 433,810 คน จะเห็นว่ามีเด็กที่ต้องทำงานมีอยู่ไม่น้อยและเป็นไปได้ว่างานที่เด็กทำส่วนหนึ่งเกี่ยวข้องกับ การยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักที่อาจจะต้องประสบอันตรายได้ ประเด็นความสำคัญของงานวิจัยนี้ไม่ใช่อยู่ที่สถิติ การบาดเจ็บเพียงอย่างเดียว แต่อยู่ที่ข้อกำหนดในกฎหมายที่ยังไม่มีข้อพิสูจน์ในเชิงวิชาการ ทั้ง ๆ ที่งานยกของ เป็นงานที่พบเห็นอยู่เป็นประจำในการทำงานซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อเด็กหากไม่ได้มีผลการศึกษาวิจัยที่ชัดเจน เพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมและคำแนะนำที่ถูกต้องเมื่อเด็กต้องทำงานยกหรือเคลื่อนย้ายของหนัก การบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกิดจากการทำงานยกย้ายสิ่งของพบว่ามีสาเหตุมาจากปัจจัยเสี่ยงหลายประการที่สำคัญได้แก่ การใช้แรงจากร่างกายที่สูงเนื่องจากวัสดุที่เคลื่อนย้ายมีน้ำหนักมาก (forceful exertion) การใช้ท่าทางในการเคลื่อนย้ายที่ไม่เหมาะสม (awkward posture) การทำงานซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานาน (repetitive motion) การกดทับของวัตถุ (contact stress) และการทำงานในท่าหนึ่งท่าใดนิ่งๆ เป็นเวลานาน (static posture) การที่จะลดจำนวนการบาดเจ็บจากการยกย้ายสิ่งของจำเป็นที่จะต้องลดหรือกำจัดปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งหลายหน่วยงานได้พยายามศึกษาและหาวิธีการที่เหมาะสมต่างๆ มาช่วยในการประเมินความเสี่ยงเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้และมีความเข้าใจลักษณะของงานที่มีปัจจัยเสี่ยง ทำให้สามารถออกแบบ แก้ไขปรับปรุงงานให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและมีความเสี่ยงน้อยที่สุดหรือไม่มี เลย เช่น การประเมินดัชนีความเสี่ยงในการยก (NIOSH Lifting Index) การประเมินความเสี่ยงจากท่าทางและการใช้แรงของร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) (Andersson, Chaffin and Herrin, 1986) เป็นต้น

จากข้อมูลการศึกษาวิจัยของหน่วยงานด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการประกอบอาชีพของ สหรัฐอเมริกา (National Institute of Occupational Safety and Health) โดย Water และคณะ (1994, และ 2007) ที่ได้ให้คำแนะนำการหามน้ำหนักยกสูงสุดไว้ไม่เกิน 23 กิโลกรัมและจะต้องลดลงเมื่อมีปัจจัยเสี่ยงในการทำงานอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความสูงของตำแหน่งยก ระยะห่างวัตถุขณะยก ท่าทางในขณะยก ความถี่ ระยะเวลา และลักษณะการจับสิ่งของ ซึ่งอาจทำให้น้ำหนักยกแนะนำสูงสุดอาจเหลือเพียง 4-5 กิโลกรัมเท่านั้น ขณะที่ประเทศไทยได้กำหนดอัตราน้ำหนักที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานได้ไว้ในกฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2547 โดยน้ำหนักในการ ยก แบก หาม ทุบ ลาก หรือเข็นของหนักสำหรับเด็กที่อายุตั้งแต่ 15 ปีถึงต่ำกว่า 18 ปี เด็กชายต้องไม่เกิน 25 กิโลกรัม และเด็กหญิงต้องไม่เกิน 20 กิโลกรัม โดยไม่ได้มีการพิจารณาปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ร่วมด้วย ซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงสูงมากและอาจทำให้เด็กได้รับอันตรายจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการยกย้ายของ

ภายในโรงงานตัวอย่างด้านปิโตรเคมีผลิตเคมีภัณฑ์อินทรีย์ขั้นพื้นฐาน หนึ่งในผลิตภัณฑ์ คือ คลอรีนเหลวที่มีความเข้มข้นมากกว่า 99.9% และต้องปราศจากความชื้น สำหรับคลอรีนที่มีความชื้น

จะมีสถานะเป็นกรดและกัดกร่อนโลหะอย่างรุนแรง (THE CHLORINE INSTITUTE, Pamphlet 6 PIPING SYSTEM FOR DRY CHLORINE Edition15, 2005) ปัญหาการกัดกร่อนโลหะจากคลอรีนที่มีความชื้นสูง ส่งผลทำให้ถังบรรจุสารคลอรีนเกิดการรั่วไหลระหว่างการขนส่งและพบในโรงงานของลูกค้านี้ดังรูปที่ 1 และความเป็นพิษของคลอรีนทำให้ถึงแก่ความตายได้หากได้รับที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1000 ส่วนในล้านส่วน ในช่วงเวลาสั้นๆ (THE CHLORINE INSTITUTE, Pamphlet 63 First aid and medical management Edition8, 2011) แบ่งตามระดับความเข้มข้นได้ดังรูปที่ 2 โดยความชื้นที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากน้ำที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตของลูกค้านี้ไหลย้อนเข้าถังคลอรีนหลังจากใช้งานเสร็จแล้ว ก่อนส่งกลับมาให้กับทางโรงงานเพื่อเติมคลอรีนใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 1 จำนวนครั้งการเกิดคลอรีนรั่วไหลเทียบกับจำนวนพนักงานบาดเจ็บที่หลังของโรงงานตัวอย่าง

Table 2: Chlorine Exposure Thresholds and Effects ¹	
Exposure Level (ppm)	Effect
0.2 - 0.4	Odor threshold (decrease in odor perception occurs over time)
Less than 0.5	No known acute or chronic effect.
0.5	TLV-TWA, REL-Ceiling
1	PEL-Ceiling, TLV-STEL, ERPG-1
1 - 3	Mild, mucous membrane irritation, tolerated up to 1 hour
5 - 15	Moderate irritation of the respiratory tract
3	ERPG-2
10	IDLH
20	ERPG-3
30	Immediate chest pain, vomiting, dyspnea, cough
40 - 60	Toxic pneumonitis and pulmonary edema
430	Lethal over 30 minutes
1000	Fatal within a few minutes

¹CI Pamphlet 63

รูปที่ 2 ความเป็นพิษต่อร่างกาย

จากรูปที่ 1 แสดงจำนวนเหตุการณ์ถังรั่วไหลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2564 ในปี พ.ศ. 2563 ทางโรงงานได้เพิ่มสถานีงานตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังด้วยการยกถังคลอรีนคว่ำลงดังรูปที่ 3 น้ำหนักของถัง 50 กิโลกรัม และความถี่ในการยก 100 ถังต่อคนต่อวัน




ขั้นตอนที่ 1 นำถังคลอรีนวางในแนวราบกับพื้นและเริ่มยกถังคลอรีนขึ้น



ขั้นตอนที่ 2 ยกฐานของถังให้สูงขึ้นจนถึงเอียงและคว่ำลง โดยให้ตำแหน่งของวาล์วจ่ายบริเวณหัวถังสัมผัสถึงพื้น

รูปที่ 3 งานยกถังขึ้นเพื่อตรวจเช็คน้ำ

จากกราฟในรูปที่ 1 พบว่าแนวโน้มการรั่วไหลลดลงอย่างเห็นได้ชัดระหว่างปี 2563-2564 แต่พบรายงานการบาดเจ็บเกี่ยวกับหลังของพนักงานเพิ่มขึ้น 4 คน จากพนักงานทั้งหมด 10 คน โดยเป็นการบาดเจ็บที่มีใบลาป่วยและใบรับรองแพทย์ดังรูปที่ 4


โรงพยาบาลบางปะกอก 9
 362 ถนนพระราม 2 แขวงบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร 10150
 โทร 0-2109-9111
ใบรับรองแพทย์

เลขที่: 0-64-7965 HN: 9-64-010762
 วันที่ 25 สิงหาคม 2564
 ใบอนุญาตที่ 2.17040

ข้าพเจ้า
 ได้ทำการตรวจรักษา
 มีอาการ
 การวินิจฉัย
 ความเห็น
 ตั้งแต่วันที่ 25 เดือน สิงหาคม ปี 2564 ถึงวันที่ 25 เดือน สิงหาคม ปี 2564
 ลงชื่อ

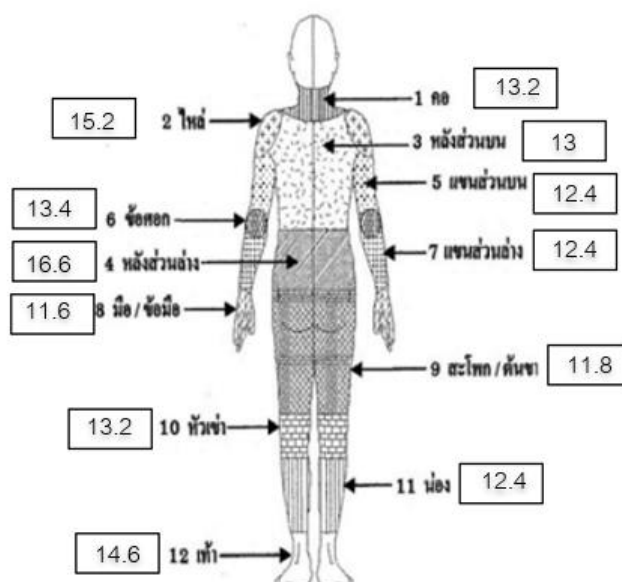

 1 วัน

รูปที่ 4 ตัวอย่างใบรับรองแพทย์ของพนักที่เกืออาการบาดเจ็บ

นอกจากรายงานการบาดเจ็บบริเวณหลังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ทางผู้วิจัยได้ประเมินภาระงานทางจิตวิทยา (Psychological Evaluation) โดยวิเคราะห์ผลความล้าของกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (local muscle fatigue) จากแบบสอบถามความรู้สึกด้วย Body Map Discomfort โดยใช้ Borg RPE scale (Borg's of Rating of Perceived Exertion) ที่ระดับสเกล 6-20 เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของอวัยวะที่บาดเจ็บเบื้องต้น พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คนรู้สึกปวดเมื่อยล้ากล้ามเนื้อบริเวณหลังส่วนล่างมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.6 (10.4%) และปวดเมื่อยล้ากล้ามเนื้อบริเวณมือ/ข้อมือน้อยที่สุด ระดับคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 (7.3%) แสดงดังรูปที่ 5 และเมื่อพิจารณาความล้าของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อยได้ผลดังนี้ หลังส่วนล่าง 16.6 (10.4%), ไหล่ 15.2 (9.5%), เท้า 14.6 (9.1%) โดยในส่วนนี้จะได้รับการประเมินคะแนนสูงในกลุ่มคนที่มีน้ำหนักตัวสูง 77-95 กก., ข้อศอก 13.4 (8.4%), คอและหัวเข่า 13.2 (8.3%), หลังส่วนบน 13 (8.1%), แขนส่วนบน แขนส่วนล่างและน่อง 12.4 (7.8%), สะโพก/ต้นขา 11.8 (7.4%) และมือ/ข้อมือ 11.6 (7.3%) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินระดับความปวดเมื่อยล้าของร่างกายที่ระดับสเกล 6-20

ผู้ถูก ทดสอบ	คอ	ไหล่	หลัง ส่วนบน	แขน ส่วนบน	ข้อศอก	แขน ส่วนล่าง	หลัง ส่วนล่าง	มือ/ ข้อมือ	สะโพก/ ต้นขา	หัว เข่า	น่อง	เท้า	คะแนน รวม
1	15	17	15	15	15	15	19	13	13	15	13	15	180
2	11	13	11	11	11	11	15	11	11	11	11	13	140
3	15	19	15	15	17	15	19	13	13	15	13	17	186
4	13	17	15	13	15	13	19	11	11	13	11	15	166
5	11	15	13	11	15	13	17	11	11	11	11	13	152
6	17	17	15	13	13	13	19	13	15	17	17	19	188
7	11	11	11	11	11	11	15	11	11	11	11	13	138
8	17	17	13	13	13	11	17	11	15	17	15	19	178
9	11	13	11	11	11	11	13	11	9	11	11	11	134
10	11	13	11	11	13	11	13	11	9	11	11	11	136
ค่าเฉลี่ย	13.2	15.2	13	12.4	13.4	12.4	16.6	11.6	11.8	13.2	12.4	14.6	
%	8.3	9.5	8.1	7.8	8.4	7.8	10.4	7.3	7.4	8.3	7.8	9.1	100
ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.6	2.6	1.9	1.6	2.1	1.6	2.5	1.0	2.1	2.6	2.1	3.0	



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วย Body Map Discomfort

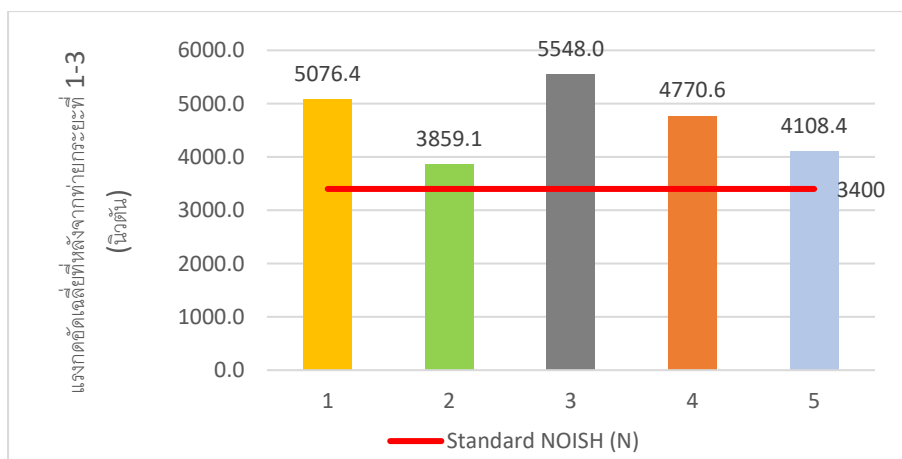
ผลการประเมินระดับความเหนื่อยของร่างกายด้วย Borg RPE scale (Borg's of Rating of Perceived Exertion) พบว่าตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่ให้ความรู้สึกเหนื่อยมากเป็นหลังส่วนล่าง

ตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่ให้ความรู้สึกเหนื่อยเป็นบริเวณไหล่และเท้า ตำแหน่งที่ให้ความรู้สึกค่อนข้างเหนื่อยเป็นบริเวณคอ, หลังส่วนบน, ข้อศอกและหัวเข่า และตำแหน่งที่เริ่มให้ความรู้สึกเหนื่อยเป็น แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง และสะโพก/ต้นขา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความเหนื่อยของร่างกายด้วย Borg RPE scale

ตำแหน่ง	คะแนน	ระดับความเหนื่อย
คอ	13.2	ค่อนข้างเหนื่อย
ไหล่	15.2	เหนื่อย
หลังส่วนบน	13	ค่อนข้างเหนื่อย
แขนส่วนบน	12.4	เริ่มรู้สึกเหนื่อย
ข้อศอก	13.4	ค่อนข้างเหนื่อย
แขนส่วนล่าง	12.4	เริ่มรู้สึกเหนื่อย
หลังส่วนล่าง	16.6	เหนื่อยมาก
มือ/ข้อมือ	11.6	เริ่มรู้สึกเหนื่อย
สะโพก/ต้นขา	11.8	เริ่มรู้สึกเหนื่อย
หัวเข่า	13.2	ค่อนข้างเหนื่อย
น่อง	12.4	เริ่มรู้สึกเหนื่อย
เท้า	14.6	เหนื่อย

เพื่อยืนยันปัญหาอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง ทางผู้วิจัยได้ประเมินภาระงานทางชีวกลศาสตร์ของพนักงานภายในหน่วยงานไปแล้วจำนวน 5 คน จากทั้งหมด 10 คน พบว่ามีค่าแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างเกินกว่าค่ามาตรฐานของ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1981) ที่ 3400 นิวตัน ซึ่งจัดว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แรงกดอัดเฉลี่ยที่หลังจากท่าท่ายาระยะที่ 1-3 ของพนักงาน 5 คน

จากปัญหาการยกถังคลอรีน ทำให้พนักงานเกิดปัญหาการปวดหลัง อันเนื่องมาจากท่าทางการยกที่ไม่เหมาะสม โรงงานตัวอย่างได้ประเมินความปลอดภัย เพื่อตรวจสอบเหตุการณ์ดังกล่าว และหาแนวทางป้องกันอาการบาดเจ็บจากการขนย้ายของหนัก แนวทางที่ใช้ประเมินคือ แนวทางชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิต โดยคำนวณหาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อแต่ละส่วนของร่างกายไปจนถึงหมอนรองกระดูกสันหลัง

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 ปรับปรุงสถานีนงานเพื่อลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิต

1.2.2 ปรับปรุงสถานีนงานเพื่อลดภาระความเหนื่อยล้าของงาน โดยวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับงานตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังด้วยการยกถังคลอรีนคว่ำลง โดยใช้พนักงานในแผนกเติมคลอรีนเหลว เพศชาย จำนวน 5 คน บันทึกภาพดิิจิทัล 2 มิติ ประมาณค่าสัดส่วนร่างกายของแต่ละคนตามหลัก Photogrammetry โดยศึกษาในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) ระบุแรงและมุมส่วนของร่างกายที่ใช้ในการคำนวณจากภาพถ่ายดิิจิทัล จากท่าทางการยกถังแก๊สคลอรีน และประเมินท่าการยกจำนวน 3 ท่า ที่คาดว่าจะเกิดภาระงานมากที่สุด จากการถ่ายภาพต่อเนื่องมาพิจารณา โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต

คำนวณแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อต่างๆ ตั้งแต่ข้อมือ ข้อศอก หัวไหล่ ไปจนถึงหลังส่วนล่าง (L5/S1) และแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. ให้ระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหลังอยู่ที่ 6 ซม.
2. ไม่มีการบิดเอี้ยวตัว เฉลี่ยน้ำหนักยกกระจายลงไปยังมือซ้าย-ขวา เท่ากัน และความยาวของส่วนต่างๆ ทั้งซ้าย-ขวา เท่ากัน
3. เป็นการยกที่ไม่เร่งรีบ

ผลการศึกษาในแนวทางชีวกลศาสตร์ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH,1981) คือ ค่าของแรงกดอัดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่เกินกว่า 3,400 นิวตัน จัดว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

หลังการประเมินค่าของแรงกดอัดที่เกิดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างแล้ว หากพบว่าแรงกดอัดมีค่าเกินกว่า 3,400 นิวตัน ให้ปรับปรุงสถานี่งานตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังคลอรีน เพื่อหาแนวทางป้องกันอาการบาดเจ็บจากการขนย้ายของหนักและลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง จากนั้นเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ก่อนและหลังการปรับปรุงตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิต

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาที่มา และสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
2. สำนวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบการทดลอง
4. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์/เครื่องมือสำหรับการทดลอง
5. ทดลองและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล
7. สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ สำหรับงานตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีนให้มีความเหมาะสมโดยคำนึงถึงท่าทางการทำงาน ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายและกระบวนการทำงานของพนักงานตามหลักการยศาสตร์

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ

ผู้วิจัยพบว่าสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NOISH) พบว่า อัตราความถี่ของการได้รับบาดเจ็บที่หลัง และอัตราความรุนแรงของการบาดเจ็บที่หลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากกว่าอัตราปกติทั่วไปในรายชื่อของผู้ปฏิบัติงานที่กระทำงานโดยผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดจากทฤษฎีที่ค้นคว้าและนำมาสรุปดังนี้

Yu et al.,1984 (อ้างถึงใน ตรีฉัตร จำปาวัลย์, 2538) สรุปว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างคือ ปัจจัยเสี่ยงอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง (Individual Risk Factors) และปัจจัยของลักษณะงาน (Occupation Factors) ดังนี้

ปัจจัยเสี่ยงอันเนื่องมาจากตัวคนงานเองนั้นได้แก่

1. เพศ Magora (1970) พบว่า อาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างพบในคนงานหญิงมากกว่าคนงานชายในสภาพงานที่เป็นงานหนัก
2. อายุ สรุปว่า อายุไม่มีความสัมพันธ์กับอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง Chaffin และ Park (1973) ในขณะที่ Magora (1970) กล่าวว่า การเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอายุในลักษณะเส้นตรง
3. สัดส่วนร่างกาย Undeutsch (1982) พบว่าความสูงของคนงานมีผลต่อการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยอื่นที่พบว่า สัดส่วนร่างกายไม่มีผลต่อการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Rowe, 1969 ; Chaffin and Park,1973)
4. ความผิดปกติของร่างกาย เช่น ความยาวของขาทั้งสองข้างไม่เท่ากัน จะเป็นผลให้กระดูกสันหลังเกิดการเอียง และร่างกายไม่สมมาตร อย่างไรก็ตาม (Rowe, 1969) พบว่า กระดูกสันหลังที่เอียงไม่มีส่วนสัมพันธ์กับการบาดเจ็บบริเวณหลัง
5. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสมบูรณ์ของร่างกาย Yu et al. (1984) ได้อ้างถึงงานวิจัยของ Pederson, Petersen และ Staffeldt (1975); Chaffin Herrin และ Keyserling (1978) ว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีส่วนสัมพันธ์กับการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง
6. ปัจจัยทางด้านจิตวิทยา คนงานที่ทำงานที่ไม่พึงพอใจหรือมีความกังวลจะทำให้เกิดความล้า ภายหลังการทำงานและมักจะทำให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างได้ง่าย (Magora, 1970)

7. อาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างในอดีต Buckle, Kember และ Wood (1980) พบว่าในผู้ป่วย 68 ราย มีถึงร้อยละ 41 ที่มีประวัติการบาดเจ็บ บริเวณหลังส่วนล่างมาแล้ว 1-3 ครั้ง ในขณะที่ร้อยละ 27 เท่านั้นที่เกิดการบาดเจ็บเป็นครั้งแรก และจากการศึกษาในด้านข้อมูลของการเจ็บป่วย Rowe (1969) พบว่า ร้อยละ 85 ของผู้ป่วยมีประวัติการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างมาแล้ว

ส่วนปัจจัยอันเกิดจากลักษณะของงาน (Occupational Factors) นั้นได้แก่ ความหนักเบาของงาน ลักษณะสถานที่ทำงาน ซึ่งการทำงานในสถานประกอบการประเภทอุตสาหกรรมหนักจะทำให้คนงานมีโอกาสเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างได้มากกว่าคนงานในสถานประกอบการประเภทอุตสาหกรรมเบา (Yu et al., 1984 อ้างถึงใน Hult, 1954 ; Magora, 1970)

Hignett และ Richardson (1995) พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการยก/เคลื่อนย้ายผู้ป่วย แบ่งได้เป็น 4 ปัจจัย คือ

1. ผู้ป่วย : ด้านความรู้สึก จิตใจ อารมณ์ ความจำเป็นทางกายภาพ ของผู้ป่วย
2. องค์กร : การจัดการภายในองค์กร แผนกต่างๆ และหน้าที่ของพยาบาล
3. สถานที่ทำงาน : ตึกอาคาร ห้อง เครื่องใช้ อุปกรณ์ช่วยยก สิ่งกีดขวาง สภาพที่อันตราย
4. ผู้ปฏิบัติงาน/พยาบาล : คุณภาพ ความชำนาญ ประสบการณ์ การฝึกฝน ความเครียด ความล้า

Anderson (1981) ได้แบ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปัจจัยที่เกี่ยวกับสถานที่ทำงาน ได้แก่
 - 1.1 งานที่มีลักษณะหนัก
 - 1.2 ท่าทางในการทำงานที่มีลักษณะสถิต (Statics)
 - 1.3 ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะที่ทำงาน
 - 1.4 การยกและการเคลื่อนไหวของร่างกาย
 - 1.5 ลักษณะงานที่ซ้ำซาก
 - 1.6 ความสั่นสะเทือนในสถานประกอบการ
2. ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวของคนงานเอง ได้แก่

- 2.1 อายุ และเพศ
- 2.2 สัดส่วนร่างกาย
- 2.3 ท่าทางในการทำงาน
- 2.4 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสมบูรณ์ของร่างกาย
- 2.5 การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง
- 2.6 ปัญหาทางด้านจิตใจ
- 2.7 ปัญหาทางด้านสังคม
- 2.8 ปัญหาทางด้าน Radiographic

Jorgensen และ Poulsen (1974); Khalil et al. (1985) พบว่า ความสูงและความถี่ในการยกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขีดจำกัดความสามารถสำหรับงานยกของคนงาน ทั้งนี้การยกของที่มีความสูงต่างกันจะมีผลต่อการใช้กล้ามเนื้อต่างมัดกัน และความถี่การยกจะมีผลต่อสภาพความเป็นพลวัตของงานยกนั้นๆ

สาเหตุของการปวดหลังเกิดจากความเสียหายของหมอนรองกระดูกสันหลัง เพราะแนวโค้งของกระดูกสันหลังที่ผิดไปจากปกติจะทำให้หมอนรองกระดูกสันหลังผิดรูปไปได้ และสาเหตุที่สำคัญคือ ท่างท่าที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ดำรง กิจกุศล, 2528 (อ้างถึงในกิตติ อินทรานนท์, 2538)

วัน (posture) ไม่ว่าจะเป็นอย่างยืนที่ต้องยืนอยู่ในท่าเดียวกันนาน ๆ ท่าหยิบหรือยกของและท่าหิ้วของซึ่งจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้วิธีการที่จะยกหรือหิ้วของให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับขนาดน้ำหนักของสิ่งของนั้นๆ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัฒน์ (2528) ได้ทดสอบพลังกล้ามเนื้อแขนและขาของคนไทยพบว่าในช่วงอายุที่มากขึ้น ค่าที่ได้จากการทดสอบพลังกล้ามเนื้อจะลดลงและเพศชายจะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากกว่าหญิง แสดงว่าพลังกล้ามเนื้อนั้นขึ้นอยู่กับเพศและอายุด้วย

วรวรรณ ใจเมือง (2534) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของแรงหรือขนาดของโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในขณะที่ทำงาน ได้แก่ เทคนิคหรือวิธีในการยก ลักษณะของงาน และปัจจัยทางบุคคล เช่น อายุ เพศ ความชำนาญในการยก และอาชีพ เป็นต้น

วีรุพห์ เหล่าพัทรเกษม (2523) ได้กล่าวถึงสาเหตุที่มักพบบ่อยของอาการปวดหลัง ซึ่งสาเหตุหนึ่งก็คือกล้ามเนื้อหลังหดตัว มักจะเป็นกับคนที่ยังมีความสามารถในการทำงานสูงสุด ส่วนมากมีประวัติการใช้งานหลังหนักในลักษณะเดียวกันซ้ำอยู่นาน ๆ

Kroemer (1989) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการบาดเจ็บสะสมของกล้ามเนื้อ เอ็น ข้อต่อและกระดูกอ่อน ซึ่งเรียกรวมว่าโรค CTD (Cumulative Trauma Disorders) ซึ่งมีอาการเจ็บปวดอย่างต่อเนื่องและอาจมีการลุกลามไปยังระบบประสาทและเส้นเลือดได้ และได้สรุปปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เอ็น ข้อต่อ และกระดูกอ่อน ได้เป็น 2 ปัจจัย คือ

1. เกิดจากปัจจัยของลักษณะการทำงาน (Occupational Factors)

1.1 การทำงานซ้ำซากเป็นเวลานาน

1.2 การออกแรงที่มากเกินไป

1.3 การเคลื่อนที่เร็วเกินไป

1.4 การเกร็งกล้ามเนื้อรับน้ำหนักนานเกินไป

1.5 การจับอุปกรณ์นานเกินไป

1.6 ท่าทางการทำงานผิดปกติ

1.7 ความสั่นสะเทือน

1.8 ความหนาวเย็น

2. เกิดจากปัจจัยอื่นเนื่องจากตัวคนงานเอง (Non-occupational Factors)

2.1 เพศ

2.2 อายุ

2.3 โรคประจำตัว

2.4 ระดับฮอร์โมน

2.5 การตั้งครรภ์

Snook ,1967 (อ้างถึงใน ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2542) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อการหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้นั้น ได้แก่ ความแตกต่างระหว่างบุคคล เช่น เพศ อายุ การฝึกฝน และความ

สมบูรณ์ของร่างกาย รวมทั้งความแตกต่างของลักษณะงาน เช่น ขนาดของสิ่งที่ยก ความสูงในการยก และความถี่ในการยก

Park และ Chaffin (1975); Nag (1991) พบว่า ปัจจัยด้านความเร็วในการยกของอย่างรวดเร็วจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บเนื่องจากกล้ามเนื้อนั้นไม่สามารถที่จะทนต่อสภาพการทำงานนั้นๆ ได้ ส่วนปัจจัยด้านระยะทาง ซึ่งความสามารถในการยกของจะลดลงเมื่อระยะยกในแนวตั้งมีค่ามากขึ้นและจะสามารถยกได้ดียิ่งขึ้นถ้าสิ่งของนั้นอยู่ใกล้ตัวมากขึ้น

Jiang และ Ayoub (1987) ได้ศึกษาหาแบบจำลองพยากรณ์น้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกในระดับความสูงต่าง โดยการใช้นิพจน์ทางจิตฟิสิกส์กับผู้ถูกทดลอง 100 คน ซึ่งได้วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ทางสถิติ ตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

1. ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Shoulder, Arms, Standing back, Leg and Composite strength)
2. ข้อมูลทาง Anthropometric (Body weight and Abdominal depth)
3. ความถี่ในการยก ซึ่งได้มีการทดสอบสมการดังกล่าวกับผู้ถูกทดสอบอีก 46 คน และผลที่ได้นั้นสามารถพยากรณ์ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกได้เป็นอย่างดี

Videman et al. (1989) เปรียบเทียบพยาบาลผู้มีทักษะในการยกดีและผู้มีทักษะน้อย พบว่าพยาบาลผู้มีทักษะดีจะได้รับการบาดเจ็บหลังขั้นสาหัสน้อยกว่า แต่สำหรับการบาดเจ็บหลังโดยทั่วไปนั้นไม่พบความแตกต่างกัน

Davies (1972) กล่าวว่า เทคนิคการยกที่ถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นต่อการยกที่สมบูรณ์และปลอดภัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเท้า รูปร่างแขน การจับและการก้าวเดิน

Barker และ Atha (1994); Snook (1978) กล่าวว่า การฝึกฝนสามารถลดอุบัติเหตุ การเจ็บปวดที่หลังและเป็นการปรับปรุงการยกให้ดีขึ้นด้วย และการปฏิบัติตามคำแนะนำที่ถูกต้องจะเป็นการลดแรงกดต่อหมอนรองกระดูก ข้อต่อกระดูกสันหลัง กล้ามเนื้อ เส้นเอ็น ของหลังส่วนล่างและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ (Anderson และ Chaffin, 1986)

Scholey และ Hair (1989) ไม่พบความแตกต่างระหว่างอายุและเพศของนักกายภาพบำบัดที่มีการปวดหลัง

2.2 แนวทางในการประเมินภาระงานการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ

อาจกล่าวได้ว่าวิธีการในการป้องกันการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง จากการยกภาระหรือขนย้ายวัสดุเกินกำลังความสามารถของร่างกาย คือ การหาความสามารถในการขน/ยกวัสดุของแต่ละคนเพื่อป้องกันมิให้คนงานทำงานเกินขีดจำกัดความสามารถของแต่ละคน Ayoub and Dempsey (1999) ได้ศึกษาแนวทางในการประเมินภาระงานจากการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ (Manual Materials Handling) ไว้ 3 แนวทาง คือ

1. แนวทางใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)
2. แนวทางจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)
3. แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

Snook et al.,1970 (อ้างถึงใน ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2542) กล่าวว่าความสามารถในการขนย้ายวัสดุนั้นจะถูกจำกัดโดยความแข็งแรงของร่างกายและการตอบสนองทางสรีรวิทยา การใช้เกณฑ์ความแข็งแรงของร่างกายก็จะมุ่งไปในทางที่จะยกน้ำหนักให้ได้สูงสุด แต่การใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา ถูกจำกัดด้วยความถี่ในการยกโดยผู้ถูกทดสอบมักจะเลือกน้ำหนักที่มีค่าน้อยไว้ก่อนเพื่อที่จะสามารถยกได้นาน

2.3 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา

การใช้เกณฑ์ทางสรีรวิทยาเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างพลังงาน ของร่างกายและความต้องการใช้พลังงานของร่างกาย การยกย้ายของที่มีน้ำหนักมากขึ้น การยกย้ายของซ้ำๆ ด้วยความถี่มากขึ้น หรือการยกย้ายของคงค้างไว้เป็นเวลานานๆ จะส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานของร่างกายสูงขึ้น ร่างกายจึงต้องการปริมาณออกซิเจนที่สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการพลังงานดังกล่าว หากความต้องการใช้พลังงานสูงเกินกว่าความสามารถในการนำพาออกซิเจนของเลือดเข้าสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อจะส่งผลให้ร่างกายเกิดความล้าของกล้ามเนื้อในส่วนนั้นๆ จากการศึกษาของ Rodger และคณะ (1991) พบว่าลักษณะการทำงานแบบซ้ำๆ ด้วยการยกของที่มีน้ำหนักไม่มากและหัตถ์ของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นเป็นเวลานานๆ ไม่เกิน 3 วินาที ลักษณะดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อความล้าของกล้ามเนื้อส่วนนั้นๆ ยกเว้นแต่ปริมาณการใช้กล้ามเนื้อจะสูงเกินกว่า 70% ของความสามารถสูงสุดในการหดตัว (Maximum Voluntary Contraction : MVC) ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการใช้ออกซิเจน (aerobic capacity) พบว่ามีความแตกต่างกันเนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุ เพศ และความสมบูรณ์ของร่างกาย เป็นต้น (Astrand และ Rodahl, 1986) (Coleman and Burford, 1971) คณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญของ NIOSH ได้พิจารณาที่จะเลือกใช้เกณฑ์ความสามารถในการใช้ออกซิเจนของเพศหญิงที่เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 50% เป็นเกณฑ์

พิจารณาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้แทนที่จะเลือกใช้ของเพศชายหรือค่าที่สูงกว่านี้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Astrand และ Rodahl (1986) ยังพบว่าการทำงานในลักษณะการยกด้วยแขน (arm lifting) ควรจะถูกปรับลดลงเป็น 30% ของ ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน เนื่องจากมีหลักฐานพบความเป็นไปได้ว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจน ของลักษณะการทำงานที่ต้องใช้แขนเป็นหลักจะมีค่าต่ำกว่าลักษณะงานที่ใช้กล้ามเนื้อทั้งลำตัวซึ่งได้รับการยืนยัน ผลเช่นเดียวกันในการศึกษาของ Sharp และ คณะ (1988) ในปีค.ศ. 1991 คณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญของ NIOSH ได้ทำการปรับเกณฑ์ภายหลังจากที่มี ข้อโต้แย้งว่าเกณฑ์นี้อาจจะเข้มงวดเกินไปถ้าหากการทำงานเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่ถึง 8 ชม. โดยแบ่งเกณฑ์ ทางสรีรวิทยาสำหรับการพิจารณาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 3 ช่วงเวลาคือ น้อยกว่า 1 ชม. ความต้องการ ใช้พลังงานไม่เกิน 50% ของ ความสามารถสูงสุด ระยะเวลาต่อเนื่อง 1-2 ชม. ความต้องการใช้พลังงานต้องไม่เกิน 40% และ ระยะเวลาทำงานต่อเนื่อง 2 - 8 ชม. ความต้องการใช้พลังงานที่นำมาพิจารณาต้องไม่เกิน 33% ของ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่ง NIOSH ใช้ระดับค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้พลังงาน สูงสุดที่ 9.5 kcal/min เป็นฐานในการพิจารณา จากการศึกษาวิจัยของ Bar-Or (1975) พบว่า ความสามารถในการใช้พลังงานสูงสุดเมื่อเทียบต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวของเด็กมีความแตกต่างจาก ประชากรที่มีอายุ 18 ปีเต็มแล้วไม่มากนัก

แนวทางสรีรวิทยานี้จะมีความเหมาะสมกับงานการยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกาย (Manual Material Handling : MMH) ที่ต้องกระทำด้วยความถี่มากๆ หรือทำบ่อยๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่ น้ำหนักของวัตถุที่ถูกยกย้ายนั้นมีน้ำหนักค่อนข้างเบา เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับแนวทาง สรีรวิทยา คือ ปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption) หรือค่า Physical Work Capacity (PWC)

NIOSH (1981) สรุปว่า อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ อัตราการใช้พลังงานใน กระบวนการเมตาบอลิซึม และอัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัววัดผลตอบสนองทาง สรีรวิทยาที่นิยมใช้ กันมากในการวิเคราะห์ระดับความหนักของงานสูงสุดที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มี ความล้า สะสม ซึ่งควรนำมาพิจารณาและนำไปปฏิบัติในงานอุตสาหกรรมดังนี้

1. อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ ในการพิจารณาถึงน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกหรือ เคลื่อนย้ายวัสดุใช้การเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อขณะทำงานนั้นกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งขีดจำกัดบนของการทำงานที่ไม่ทำให้เกิดความล้าควรเป็นหนึ่งในสาม หรือ ประมาณ 33% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด
2. อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการ ทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงการทำงาน ขีดจำกัดของพลังงานที่ใช้ไม่ควรเกิน 4,300 กิโลแคลอรีต่อวัน

3. อัตราการเต้นของหัวใจ เป็นผลตอบสนองทางสรีรวิทยาที่มีความไวต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน ความชื้น มากกว่าการใช้อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อข้อจำกัดของแนวทางสรีรวิทยา คือ การที่แนวทางนี้ไม่ได้ให้ความสนใจในเรื่องของแรงหรือความเค้นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เพียงแต่มุ่งพิจารณาว่าการยกย้าววัสดุนั้นจะทำการยกย้าวอย่างไรก็ได้เพียงแต่ต้องให้อยู่ในขอบเขตความสามารถของการใช้พลังงานที่เหมาะสมของผู้ทำงานยกย้าว นั้น ๆ ก็พอ

นอกจากนี้ Brouha (1967) ได้ทำการศึกษารายละเอียดและระยะเวลาของอัตราการเต้นของหัวใจ เพื่อเป็นดัชนีในการบอกถึงค่าภาระงาน โดยได้แนะนำว่าภาระงานควรมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) ไม่เกิน 110 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) ควรมีการลดลงอย่างน้อย 10 ครั้งต่อนาที การปรับตัวที่สำคัญ เมื่อมีภาระทางร่างกายสูงขึ้น มีดังนี้

1. การหายใจเร็วขึ้นและลึกมาก
2. อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น
3. การขยายตัวของเส้นเลือดในกล้ามเนื้อหัวใจ ในขณะที่ส่วนอื่นเกิดการหดตัว
4. การเพิ่มขึ้นของแรงดันเลือด
5. การเพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด

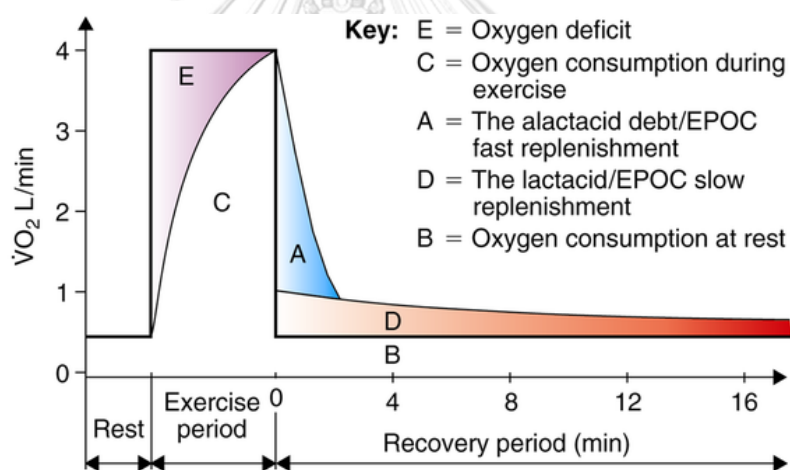
Karrasch และ Muller (1951) ได้ศึกษาเพื่อที่จะหาขีดจำกัดสูงสุดของภาระงานที่จะยอมรับได้สำหรับงานที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะไม่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยไม่เข้าสู่ภาวะคงที่และเมื่อหยุดงานแล้ว อัตราการเต้นของหัวใจควรเข้าสู่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายในระยะเวลาประมาณ 15 นาทีโดยขีดจำกัดนี้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อที่จะให้แน่ใจว่าระบบต่าง ๆ ของร่างกายมีความสามารถเพียงพอที่จะสนับสนุนการสร้างพลังงานได้อย่างเพียงพอจากการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานอย่างต่อเนื่องไม่ควรเกิน 30 ครั้งต่อนาทีเมื่อเทียบกับอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (อัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงาน - อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก) หรือ Work pulse = 30 ครั้งต่อนาที โดยค่าดังกล่าวว่านั้นเป็นขีดจำกัดสำหรับอัตราการเต้นของหัวใจสำหรับผู้ชาย

การฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Period)

ระยะเวลาในการฟื้นตัว (Recovery Period) หมายถึง ช่วงเวลาหลังจากการออกกำลังกายสิ้นสุดลง เป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ออกซิเจนจำนวนนี้ใช้สำหรับจ่ายคืนออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับขณะออกกำลังกาย

กาย แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถรับเข้าไปได้ทันจึงจำเป็นต้องยอมเป็นหนี้ไว้ก่อน ดังนั้น ในขณะที่ออกกำลังกายร่างกายต้องการออกซิเจนจำนวนหนึ่งแต่ไม่สามารถรับเข้าไปได้เพียงพอ ทำให้ออกซิเจนขาดหายไป นักสรีรวิทยาของการออกกำลังกายเรียกปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปในการออกกำลังกายนี้ว่าออกซิเจนดิฟิซิท (Oxygen deficit) ซึ่งจะต้องมีการจ่ายคืนในช่วงการฟื้นตัว (Recovery Period) (ประทุม ม่วงมี, 2527)

การใช้หนี้ออกซิเจน หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำเข้าไปหลังจากการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลง เพื่อใช้ในการจัดเตรียมพลังงาน สำหรับการคืนสู่สภาพปกติของร่างกายก่อนออกกำลังกาย ประกอบไปด้วยการเติมและสะสมพลังงานและการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก (Lactic Acid) ที่เกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกายให้หมดสิ้นไป (Fox & Mathews, 1985) นอกจากนั้น คาร์โปวิช (Karpovich, 1963 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527) กล่าวว่า การใช้หนี้ออกซิเจน ประกอบด้วย 2 ส่วนคืออะแลคตาซิด (Alactacid) และแลคตาซิด (Lactacid) ซึ่งอะแลคตาซิดคือส่วนที่จ่ายคืนหนี้ออกซิเจนที่รวดเร็วกว่า ส่วนของแลคตาซิดดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) หลังออกกำลังกาย
(ที่มา: <https://twynhamschoolalevelpe.weebly.com/recovery.html>)

ประทุม ม่วงมี (2527) ได้อธิบายว่าการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะแรก (Alactacid) เป็นการจ่ายอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาการจ่ายเพียง 4 นาที ออกซิเจนที่จะนำไปจ่ายคืนในระยะนั้นนำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอติน (Phosphocreatin) กลับคืนซึ่งอาจใช้ออกซิเจนราว ๆ 2.5 ลิตรและนำไปทดแทนออกซิเจนที่ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ไมยโกลบิน (Myoglobin) และของเหลว ในร่างกาย ซึ่งได้เสียไปขณะการออกกำลังกายจำนวนประมาณ 600, 300 และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (Lactacid) อาจใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง

2.4 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์

เกณฑ์ทางจิตฟิสิกส์เป็นวิธีการทดสอบแบบสุ่ม โดยใช้ความรู้สึกและการตัดสินใจของผู้ยกย้ายของ มาพิจารณาหาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้โดยในปีค.ศ. 1991 คณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญของ NIOSH ได้ศึกษางานวิจัยและพบหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บหลังของผู้ปฏิบัติงานมากถึง 3 เท่า ซึ่งเป็นการ เปรียบเทียบผู้ปฏิบัติงานยกที่ใช้เกณฑ์การยอมรับต่ำกว่า 75% เทียบกับกลุ่มผู้ปฏิบัติงานยกที่เกณฑ์การยอมรับ ระหว่าง 75%-90% ของผู้ปฏิบัติงาน ด้วยเหตุนี้คณะกรรมการจึงได้ร่วมกันสรุปเกณฑ์การหาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้ไม่น้อยกว่า 75% ของจำนวนเพศหญิงซึ่งน่าจะเป็นระดับน้ำหนักที่ปลอดภัยมากขึ้น (Snook, 1978) (Herrin และ คณะ, 1986) อย่างไรก็ตาม เพื่อมั่นใจว่าขนาดน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้จะปลอดภัยต่อคนมากขึ้น จึงได้เพิ่มเกณฑ์การพิจารณา จำนวนการยอมรับของเพศชายไม่น้อยกว่า 99% หรือ 90% ของผู้ปฏิบัติงานยกทั้งหมดยอมรับ โดยมีเงื่อนไขว่ากลุ่มของผู้ปฏิบัติงานยกมีเพศชาย 50% และเพศหญิง 50% เนื่องจากวิธีการทางจิตฟิสิกส์เป็นวิธีการประมาณผลกระทบของงานยกทางชีวกลศาสตร์และ สรีรวิทยาของงานยก เป็นการตัดสินใจด้วยตนเองของผู้ปฏิบัติงานจากความรู้สึกปลอดภัย ซึ่งในความเป็นจริงแล้วน้ำหนักที่ผู้ปฏิบัติงานยกยอมรับอาจจะเกินกว่าความสามารถ (overestimate) ซึ่งมีหลักฐานจากงานวิจัยจำนวน หนึ่งพบว่าน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเกินกว่าความสามารถจริงของผู้ยก โดยเฉพาะเมื่องานยกนั้นมีความถี่ มากกว่า 6 ครั้งต่อนาที (Ciriello and Snook, 1983) (Asfour และคณะ, 1985) (Karwowski และ Yates, 1986) วิธีการนี้ยังพบว่าผู้ปฏิบัติงานประมาณน้ำหนักยกสูงสุดที่ทำได้มากกว่าความสามารถของตนเองเมื่อต้อง ทำงานมากกว่า 1 ชั่วโมง (Mital, 1983) ซึ่งข้อสรุปนี้ได้รับการแย้งจาก Ciriello และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าถ้าการจัดการงานยกดำเนินการอย่างเหมาะสมค่าน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้จากวิธีการนี้ไม่ได้เกินความสามารถในการยก แม้ว่าจะต้องยกต่อเนื่องยาวนานถึง 4 ชั่วโมง ด้วยเหตุที่เป็นไปได้ว่าการหาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้โดยใช้เกณฑ์ทั้งสามเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น อาจให้ผลสรุปที่แตกต่างกัน เพื่อความปลอดภัย NIOSH ได้ให้แนวคิดของการหาน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้จะ เลือกค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่ได้มาใช้เป็นขีดจำกัดในการยก

จิตวิทยาภาพหรือจิตฟิสิกส์ เป็นแขนงหนึ่งของวิชาจิตวิทยา ที่ว่าด้วยการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นทางกายภาพด้วยการพินิจพิจารณาตอบสนองตามแต่ความรู้สึกนึกคิดของแต่ละบุคคลซึ่งจะมีมากน้อยไม่เท่ากัน จึงมีการประยุกต์หาแนวทางที่เหมาะสมใช้กับงาน MMH โดยใช้หลักการที่ว่า “มนุษย์เรานั้นเมื่อมีความเค้นและความเครียดทางกายภาพกระทำต่อร่างกาย เขาจะผสมผสานทั้งความเค้นทางชีวกลศาสตร์และสรีรวิทยาเข้าด้วยกัน และนำไปใช้ในการประเมินค่าที่ตนเองคิดว่าเท่าใดจึงจะเหมาะสมสำหรับตนเอง”

Stevens, 1960 (อ้างถึงใน Ayoub และ Dempsey, 1999) แสดงให้เห็นว่าความแรงของการตอบสนองมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสิ่งเร้าที่มากกระทบ ซึ่งมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปฟังก์ชันกำลังดังนี้

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

โดยที่ ψ คือ ความแรงของการตอบสนอง (Sensation)

ϕ คือ ระดับความเข้มของสิ่งเร้า (Stimuli)

k คือ ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้วัด

n คือ ค่าความชันของฟังก์ชันกำลัง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งเร้า ค่านี้อาจมีค่าน้อยกว่า 1 ได้ เช่น เมื่อสิ่งเร้าเป็นกลิ่น หรือความสว่าง และอาจมีค่าสูงถึง 3.5 เมื่อถูกกระตุ้นด้วย

กระแสไฟฟ้าอย่างแรง (Electrical Chock) Ayoub, 1980 (อ้างถึงใน อรุมา ลาสุนนท์, 2542) ได้เสนอไว้ว่า สำหรับงานยกภาระ n ควรจะเท่ากับ 1.45

การใช้หลักทางจิตฟิสิกส์กำหนดค่า Maximum Acceptable Weight (MAW) กระทำโดยการทดลองให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกหรือเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักต่างๆ และสามารถปรับน้ำหนักได้ โดยไม่รู้น้ำหนักที่แท้จริง เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบเลือกน้ำหนักมากที่สุดที่เขาพึงพอใจ และคาดหมายว่าหากทำการยกหรือเคลื่อนย้ายของที่น้ำหนักนั้นตลอดการทำงานจะสามารถทำการยกหรือเคลื่อนย้ายได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเครียด (Stain) ภาวะไม่สบาย ความเหนื่อย อუნทุมิร่างกายสูงเกินขนาด หรือหายใจไม่ทัน

ข้อดีสำหรับแนวทางจิตฟิสิกส์ คือ มีค่าใช้จ่ายน้อย และใช้ระยะเวลาสั้น ส่วนข้อเสียคือเป็นการใช้ความรู้สึกของผู้ทดสอบเป็นหลัก

2.5 เกณฑ์ในการประเมินโดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์

กฎเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์พิจารณาจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์และแรงกล้ามเนื้อ ที่ต้องใช้เอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกขณะที่ทำงานยกเคลื่อนย้ายวัตถุ การใช้เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์มีวัตถุประสงค์ เพื่อการกำหนดพิกัดปริมาณความหนักเบาของงานให้อยู่ในขอบเขตของความสามารถหรือความแข็งแรงของ ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยแรงที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายต้องไม่ส่งผลให้เกิดแรงกด (Compressive Force) ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังเกินกว่าที่จะทนได้ ขณะที่คนเราออกแรงยกย้ายของด้วยมือจะส่งผลให้เกิดการส่งผ่านของแรงไปยังข้อต่อต่างๆ ของ ร่างกาย รวมถึงข้อต่อกระดูกสันหลังด้วยเช่นกัน ข้อต่อกระดูกสันหลังส่วนที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือกระดูกสัน

หลังส่วนเอวโดยเฉพาะหมอนรองกระดูกสันหลังที่อยู่ระหว่างกระดูกสันหลังชั้นที่ 5 กับกระดูก กระเบนเหน็บชั้นที่ 1 (Lumbosacral Disc : L5/S1 Disc) ด้วยเหตุนี้ค่าของแรงที่กระทำต่อหมอน รองกระดูกสันหลังส่วน L5/S1 จึงถูกใช้ เป็นข้อมูลในการพิจารณาเพื่อหาขีดจำกัดน้ำหนักของวัตถุ สูงสุดที่ยอมรับได้และมีความปลอดภัยไม่ส่งผลต่อ ความเสียหายและการบาดเจ็บของหมอนรอง กระดูกสันหลังส่วนนี้ (Tichauer, 1971) การหาค่าน้ำหนักยกสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ทางชีวกล ศาสตร์คือ การศึกษาและวิเคราะห์หา แรงกระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วน L5/S1 ในขณะที่ยก ด้วยวิธีการทางกลศาสตร์แล้วนำค่าแรงกระทำนี้ไป เทียบกับความแข็งแรงของหมอนรองกระดูกสัน หลังที่วัดได้จากศพซึ่งมีการเก็บรักษาอย่างดีและมีการตรวจสอบ จากแพทย์แล้วว่ามีความสมบูรณ์ไม่มีการแตกร้าว ทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักกลงไปบนชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั่ง กระดูกเริ่มเกิดความเสียหาย Waters และคณะ (1994) ได้อ้างถึงการศึกษาวัดค่าความทนต่อแรงกด (compressive strength) จากงานวิจัยหลายชิ้น ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการศึกษาของ Brickmana และคณะ (1988) พบ ค่าความทนต่อแรงกดที่น้อยที่พบจากศพที่นำมาทดสอบมีค่าเพียง 2100 นิวตัน ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่จะ นำมาใช้ใน การพิจารณาสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากการวัดค่าแรงกระทำต่อหมอนรอง กระดูกสันหลังที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ยกนั้นทำได้ยากและอาจเป็นอันตราย นักวิทยาศาสตร์จึงได้หา วิธีการในการวิเคราะห์และทำนายค่าแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง (predicted compressive force) ด้วยการใช้แบบจำลองทางกลศาสตร์หรือต่อมาภายหลัง เรียกว่าแบบจำลอง ทางชีวกลศาสตร์ Waters และคณะ (1994) ได้อ้างถึงแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ชิ้นแรกที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายถูกพัฒนาโดย Chaffin (1969) แบบจำลองนี้ใช้ข้อมูลสองส่วนที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย (internal force) ในการออกแรงต้านโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักยกซึ่งเป็นแรงภายนอกสำหรับแรง ภายในทั้งสอง ส่วนมาจาก (1) แรงกระทำของกล้ามเนื้อหลังส่วนเอว (extensor elector spinae muscle) ที่อยู่ด้านหลังและ (2) แรงเพื่อการรักษาสมดุลที่เกิดจากความดันในช่องท้อง (pressure of the abdominal cavity) ที่อยู่ด้านหน้า แบบจำลองนี้ใช้ทำนายค่าโดยประมาณของแรงกดที่กระทำ ต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วน L5/S1 (lumbosacral disc) การทำนายค่าแรงกดที่กระทำต่อ หมอนรองกระดูกนี้ต้องใช้ข้อมูลน้ำหนักของที่ยกและระยะห่างระหว่างสิ่งของที่ ถูกยกกับจุด ศูนย์กลางของหมอนรองกระดูกสันหลังส่วน L5/S1 มาร่วมในการคำนวณด้วย สมดุลของโมเมนต์ที่ เกิดจากแรงทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักยกและระยะห่างจากจุดหมุน บริเวณหมอนรอง กระดูกสันหลังส่วน L5/S1 จะส่งผลให้เกิดแรงปฏิกิริยากระทำที่จุดหมุนบริเวณ หมอนรองกระดูกส่วน L5/S1 จะส่งผลต่อแรงกระทำบนหมอนรองกระดูกแตกต่างกันไปตามน้ำหนัก ของที่ยก ท่าทางและระยะห่างของสิ่งของที่ทำการยก การศึกษาของ Chaffin และ Park (1973) เพื่อ หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อหมอนรอง กระดูกกับข้อมูลปรากฏของภาวะการปวดหลัง ส่วนล่าง (low back pain: LBP) ที่อ้างไว้ในเอกสารของ Waters และคณะ (1994) พบว่าภาวะการณ

ปวดหลังส่วนล่างมีน้อยกว่าร้อยละ 5 เมื่อแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกมีค่าต่ำกว่า 2500 นิวตัน และจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 10 เมื่อค่าทำนายแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง มีค่าสูงกว่า 4500 นิวตัน ขณะที่การศึกษาของ Anderson และคณะ (1986) รายงานว่าพนักงานชายที่ยกของใน สภาพงานที่มีค่าทำนายของแรงกดบนหมอนรองกระดูกเกินกว่า 3400 นิวตัน จะมีอัตราการปวดหลังมากกว่า พนักงานกลุ่มที่อยู่ในสภาพงานที่มีค่าทำนายของแรงกดบนหมอนรองกระดูกสันหลังต่ำกว่าเกณฑ์ 3400 นิวตันนี้อยู่ถึงร้อยละ 40

แนวทางชีวกลศาสตร์ (biomechanical approach) แนวทางนี้พิจารณาร่างกายเสมือนเป็นระบบช่วงเชื่อมต่อ ดังเช่น Six-Links Segment Model กฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาก็คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับร่างกายมนุษย์และแรงกล้ามเนื้อที่ต้องใช้เพื่อดำเนินงานแรงจากภายนอกขณะที่ทำงานยกย้ายวัตถุ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การกำหนดพิกัดปริมาณความหนักเบาของงานให้อยู่ ในขอบเขตของความสามารถหรือความแข็งแรงของผู้ปฏิบัติงาน และไม่เกินความทนทานของร่างกายที่มีต่อแรงกด (compressive force) ที่เกิดขึ้นที่กระดูกสันหลัง ขณะที่คนเรายกของหนักด้วยมือ นั้น ผลกระทบจากการยกวัตถุ ดังกล่าวจะเกิดกับข้อต่อของกระดูกสันหลังด้วยตามหลักของการถ่าย โมเมนต์ บริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดก็คือ กระดูกสันหลังส่วนลัมบาร์ ทิชาวเออร์ (Tichauer, 1971) เป็นผู้เสนอแนวความคิดว่าเราควรจะใช้โหลดโมเมนต์ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลังที่ข้อต่อของ กระดูกลัมบาร์ชิ้นที่ 5 ต่อกับกระดูกซาครัลชิ้นที่ 1 (Lumbosacral Disc หรือเขียนย่อ ๆ ว่า L5/S1 Disc) เป็นพื้นฐานในการกำหนดพิกัดน้ำหนัก ของวัตถุซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันที่บุคคลควรยกย้ายได้อย่างปลอดภัย สาเหตุที่ข้อต่อ L5/S1 ถูกเลือกให้เป็นจุดที่ใช้คำนวณหาความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลัง เนื่องจากเป็นบริเวณซึ่งเกิดโหลด โมเมนต์จากแรงภายนอกมีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าในระหว่าง การยกวัตถุที่มีน้ำหนักนั้น โดยการเปรียบเทียบแล้ว แขน โมเมนต์ (ระยะ ห่าง) ระหว่างวัตถุในมือกับ จุด L5/S1 ซึ่งเป็นจุดหมุนนั้นมีระยะยาว แขนโมเมนต์มากที่สุด

ชีวกลศาสตร์เป็นเรื่องที่นำความรู้ด้านกลศาสตร์ สัดส่วนร่างกาย กายวิภาคศาสตร์ และ สรีรวิทยามาทำความเข้าใจกันในรูปแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กฎทางฟิสิกส์อธิบายความเป็นมาของพฤติกรรมของร่างกาย หลักการชีวกลศาสตร์จะเป็นการศึกษาการสนองตอบของร่างกายต่อภาระงานซึ่งกระทำต่อร่างกายในสถานที่ทำงาน โมเดลเชิงชีวกลศาสตร์จะใช้วิเคราะห์แรงและโมเมนต์บิด (Torque) ที่กระทำบนส่วนต่างๆ ของร่างกายและเปรียบเทียบกับแรงต้านสูงสุดและกำลังกล้ามเนื้อสูงสุดที่เป็นขีดจำกัดของบุคคลผู้นั้น เพื่อทำนายท่าทางและสภาพการทำงานที่เป็นภาระมาก ชีวกลศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ดีในการวิเคราะห์สภาพการทำงานซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับการออกแรงมาก เช่น

ผลึก ดิ่ง ยก ถือของ ฯลฯ และท่าทางการทำงานที่บังคับให้ร่างกายต้องทำท่าทางนั้นเนื่องจากสถานการณ์บังคับ

ในการพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบภาระงานที่กระทำต่อกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Limit, MAL) นั้นเป็นการนำเอาหลักทางชีวกลศาสตร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยให้ทราบว่า ลักษณะงานที่ทำนั้นๆ เกินค่า MAL หรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงลักษณะสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด ข้อจำกัดในการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ทำการประเมินวัดหาค่าความสามารถในการยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกาย (MMH) ของผู้ปฏิบัติงานคือ วิธีนี้เหมาะสมที่จะใช้ทำการวัดความสามารถในงาน MMH ที่มีความถี่น้อยและงานที่มีภาระน้ำหนักมาก ๆ หรือหมายความว่าแนวทางนี้จะไม่สามารถใช้ทำการตรวจวัดความสามารถของผู้ทำงานยกย้ายได้หลายครั้งซ้ำ ๆ กันได้ เนื่องจากอาจจะเกิดอันตรายต่อสุขภาพกระดูกสันหลังของผู้ยกที่ถูกตรวจวัดนั่นเอง

การวิเคราะห์เชิงชีวกลศาสตร์ จะสมมติให้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเป็นชิ้นส่วนแข็งเกร็ง (Rigid Links) ซึ่งหมุนรอบศูนย์กลางข้อต่อ (Joint Centers) กลศาสตร์ของชิ้นส่วนแข็งเกร็งจะเป็นไปตามกฎของนิวตันในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัตถุแข็งเกร็ง การวิเคราะห์เพื่อหาแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อและกระดูกข้อต่อจากการทำงานนั้น มีอยู่สองแนวทางใหญ่ๆ คือ การคำนวณในสภาวะสถิต (Statics) และในสภาวะพลวัต (Dynamics)

1. การคำนวณในสภาวะสถิต (Statics) เป็นการศึกษาในขณะที่ส่วนที่ถูกกระทำนิ่งอยู่กับที่ การวิเคราะห์เชิงสถิต เป็นการคำนวณการรวมและการกระจายของแรง โมเมนต์ และของโมเมนต์ปิดที่ทำให้ส่วนที่ถูกแรงกระทำนั้นอยู่ในภาวะสมดุล ภาระงานสถิตมีอยู่มากในการทำงานประจำวัน เช่น การยืนถือสิ่งของ การนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ (บางส่วนของร่างกายก็รับภาระสถิต เช่น ส่วนหลัง เป็นต้น) นักวิจัยบางคนยืนยันว่าเราสามารถทำการวิเคราะห์เชิงสถิตกับภาระงานที่ต้องเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ ได้

2. การคำนวณในสภาวะพลวัต (Dynamics) เป็นการศึกษาในขณะที่ส่วนที่ถูกกระทำมีการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ ในขณะที่ส่วนบนหรือส่วนล่างของร่างกายกำลังเคลื่อนที่เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการทำงาน ตัวอย่างเช่น การเดิน การขึ้นรถบรรทุกขนาดเล็ก การแบกหาม การขนส่งสิ่งของด้วยแรงคน เป็นต้น การศึกษาเชิงพลวัตประกอบด้วยสองส่วน คือ คิเนแมติกส์ (Kinematics) และคิเนติกส์ (Kinetics)

2.1 คิเนแมติกส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาในส่วนของกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของส่วนที่ถูกกระทำโดยไม่คำนึงถึงขนาดของแรงที่มากระทำทำให้เคลื่อนไหว ตัวแปรคิเนแม

ติคส์จะเป็นการขจัดที่เป็นเส้นตรง (Linear Displacement) หรือการขจัดที่เป็นมุม (Angular Displacement) ความเร็ว (เมตร/วินาที) และความเร่ง (เมตร/วินาที²)

2.2 คิเนติกส์ (Kinetic) เป็นการศึกษาในส่วนของกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับแรงที่กระทำต่อส่วนใด ๆ ทำให้ส่วนที่ถูกกระทำนั้นมีการเคลื่อนไหว แรงนี้เป็นได้ทั้งแรงที่กระทำจากภายนอกและแรงที่เกิดจากภายใน ในวิชาชีวกลศาสตร์ แรงภายในคือแรงที่เกิดโดยการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscles) เส้นเอ็น (Ligaments) และข้อต่อ (Joints) ส่วนแรงภายนอกนั้นเป็นแรงจากพื้น (แรงโน้มถ่วง) และจากแหล่งภายนอก (น้ำหนักของวัตถุ แรงต้านของลม น้ำหนักของรถเข็น) ตัวอย่างการวิเคราะห์เชิงคิเนติกส์ เช่น การคำนวณแรงภายนอกกระทำที่ข้อต่อ การประเมินแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้เพื่อจะเอาชนะโมเมนต์ภายนอก การคำนวณแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อข้อต่อและการประเมินค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อกกล้ามเนื้อทำงานในระดับต่าง ๆ กัน เป็นต้น

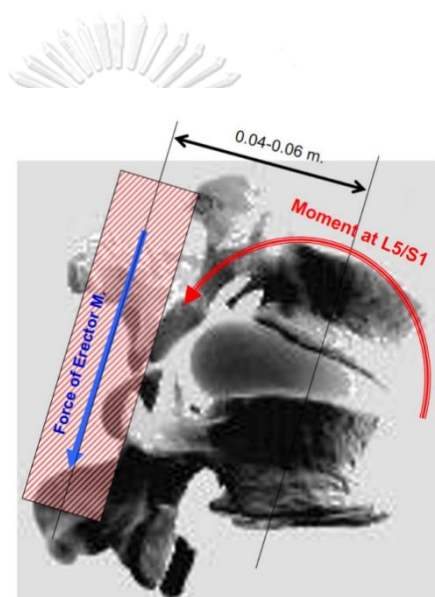
Freivalds et al. (1984) กล่าวว่า การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตนั้นมีข้อเสียคือแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงที่ได้จากภาระงานจริงซึ่งเป็นภาวะพลวัตประมาณร้อยละ 40 อย่างไรก็ตามการคำนวณในภาวะพลวัตยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายเนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้ (Potvin et al., 1992) กล่าวคือ การศึกษาทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต จะใช้การบันทึกภาพตำแหน่งการเคลื่อนไหวของข้อต่อขณะที่มีการเคลื่อนไหวจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์โดยเฉพาะ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าแรงได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ขณะที่คนเรายกภาระหนักด้วยมือขึ้น ผลกระทบจากการยกวัตถุดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับข้อต่อของกระดูกสันหลังตามหลักของการส่งถ่ายโมเมนต์ บริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือกระดูกสันหลังลัมบาร์ Tichauer, 1971 (อ้างถึงใน สุทธิ ศรีบูรพา, 2540) เป็นผู้เสนอแนวความคิดว่าเราควรจะใช้โหลดโมเมนต์ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลังที่ข้อต่อกระดูกลัมบาร์ชั้นที่ 5 กับกระดูกขาครัลชั้นที่ 1 (Lumbosacral Disc : L5/S1) เป็นพื้นฐานในการกำหนดพิกัดน้ำหนักของวัตถุซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันที่บุคคลควรจะยกได้อย่างปลอดภัย

สาเหตุที่ข้อต่อ L5/S1 ถูกเลือกให้เป็นจุดที่ใช้คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลังก็เนื่องจากมันเป็นจุดบริเวณซึ่งเกิดโหลดโมเมนต์จากแรงภายนอกที่มีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าในระหว่างการยกวัตถุที่มีน้ำหนักนั้น โดยการเปรียบเทียบแล้วแขนโมเมนต์ (ระยะห่างตั้งฉาก) ระหว่างวัตถุในมือกับจุด L5/S1 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหมุนนั้นมีระยะแขนโมเมนต์ที่มีความยาวมากที่สุดใน การพิจารณาตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในการทำงาน

2.5.1 แบบจำลองชีวกลศาสตร์ประเภทสถิต (Static) ของหลังส่วนล่าง Chaffin และ Anderson, 1991 (อ้างถึงใน สุทธิ ศรีบูรพา, 2540) สร้างสมการความสัมพันธ์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการคำนวณแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อร่างกายมนุษย์ระหว่างการยกของดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

จากสาเหตุการที่มีโมเมนต์ปริมาณมากเกิดขึ้นที่กระดูกสันหลังของคน ขณะยกวัตถุที่มีน้ำหนักมากนั่นเอง แบบจำลองนี้จึงจะมุ่งความสนใจไปยังประเด็นที่เกี่ยวข้องกับแรงภายใน (Internal Muscle Force) ที่ร่างกายจะต้องทำให้เกิดขึ้นเพื่อที่จะดำรงท่าทาง (Posture) ของโครงกระดูกสันหลังเอาไว้ในลักษณะเดิม (รูปตัว S) ในขณะที่บุคคลผู้นั้นกำลังยกวัตถุดังกล่าวอยู่ ทั้งนี้โดยการกำหนดว่ามี 2 แรงภายในสำคัญ ที่ทำหน้าที่ต้านโหลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการยกของหรือโหลดโมเมนต์ภายนอก



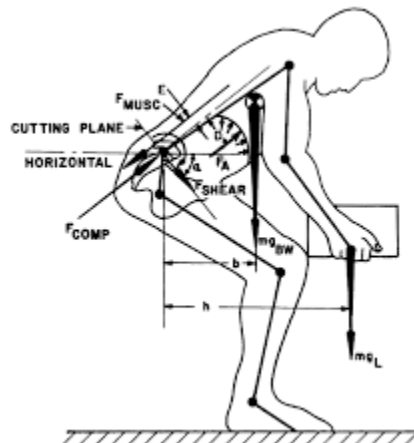
รูปที่ 8 แรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเออเทินเซอร์ อีเรกเตอร์ สไปเน (Extensor Erector Spinae)

จากรูปที่ 8 แนวแรงกระทำที่ระยะห่าง 4-6 ซม. ไปทางด้านหลังของข้อต่อ L5/S1 (ซึ่งถือว่าเป็นจุดหมุนของการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดจากการงานยกวัตถุสิ่งของ) แรงซึ่งเกิดจากความดันภายในช่องท้องนี้จะทำหน้าที่ดันลำตัวส่วนบนให้เหยียดตัวตั้งตรงขึ้นซึ่งเท่ากับเป็นการต่อต้านการงอตัวลงมาของกระดูกสันหลังเนื่องจากโหลดโมเมนต์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าแรงภายในทั้งสองแรงนี้จะทำให้เกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาที่จุดหมุน L5/S1 Disc ด้วยปริมาณที่เท่ากับโหลดโมเมนต์แต่ในทิศทางตรงกันข้ามนั่นเอง

การใช้แบบจำลองชีวกลศาสตร์จะเป็นเครื่องช่วยให้เราสามารถประเมินแรงกดที่เกิดขึ้นกับหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างการทำปฏิบัติการกิจต่างๆ ได้โดยที่เราไม่จำเป็นต้องใช้เข็มขนาดเล็กที่ติดอุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transducer) แทรงสอดเข้าไปวัดที่บริเวณส่วนกลางของ

หมอนรองกระดูกสันหลังในร่างกายของผู้ถูกทดสอบโดยตรงซึ่งเป็นวิธีการที่เสี่ยงอันตรายมากกว่าและยังเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่าอีกด้วย

ในรูปแบบรูปประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับ L5/S1 Disc ระหว่างทำงานการยกย้ายสิ่งของด้วยมือ โดยแบบจำลองชีวกลศาสตร์ประเภทสถิต



รูปที่ 9 ท่าทางในการยกวัตถุและข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับการใช้แบบจำลองกลศาสตร์ชีวภาพเกี่ยวข้องกับหลัง ส่วนล่างวิเคราะห์แรงต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลัง L5/S1 (ที่มา: Chaffin และ Anderson, 1984)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จากรูป

$$\sum \text{ผลรวมของโมเมนต์ที่ } L_5/S_1 = 0$$

นั่นคือ

$$B(mg_{BW}) + H(mg_L) - D(F_a) - E(F_m) = 0 \quad \dots(1)$$

$$F_m = \frac{[B(mg_{BW}) + H(mg_L) - D(F_a)]}{E} = \dots(2)$$

เมื่อ F_m = แรงซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดกระดูกสันหลัง เพื่อจะรักษาท่าทางของกระดูกสันหลังให้อยู่ในลักษณะตามธรรมชาติ (มีหน่วยเป็นนิวตัน)

B = ความยาวแขนโมเมนต์ของน้ำหนักลำตัวส่วนบน ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ฉากระหว่างจุดศูนย์กลางมวลของลำตัวถึง L5/S1 disc มีหน่วยเป็นเมตร)

H = ความยาวแขนโมเมนต์ของน้ำหนักวัตถุอยู่ในมือ ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ฉากจากจุดกึ่งกลางของมือถึง L5/S1 disc มีหน่วยเป็นเมตร)

D = ความยาวแขนโมเมนต์ของแรงซึ่งเกิดจากความดันในช่องท้อง ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ ฉากระหว่างแนวแรงที่เกิดขึ้นในช่องท้องถึง L5/S1 disc มีหน่วยเป็นเมตร)

E = ความยาวแขนโมเมนต์ของแรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์ อีเร็กเตอร์ สไปเน ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ฉากแนวแรงถึง L5/S1 disc มีหน่วยเป็นเมตร)

Mg_{bw} = น้ำหนักของลำตัวส่วนบนที่อยู่เหนือ L5/S1 disc ขึ้นไป (มีหน่วยเป็นนิวตัน)

Mg_L = น้ำหนักของมวลวัตถุที่ถืออยู่ในมือ (มีหน่วยเป็นนิวตัน)

F_a = แรงซึ่งเกิดจากความดันในช่องท้อง ซึ่งกระทำต่อจุดศูนย์กลางของแผ่นกะบังลม (มีหน่วยเป็นนิวตัน)

$$\text{เมื่อ } F_a = (P_a) \times (D_a) \quad \dots(3)$$

โดยที่ P_a = ความดันในช่องท้อง (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท หรือ N/cm^2)

D_a = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกะบังลม (ปกติมีค่าประมาณ 465 cm^2)

$$P_a = 10^{-4} \{ 43 - 0.36 (\theta_H + \theta_T) \} \times \{ (MH)^{1.8} \} \quad \dots (4)$$

โดยที่

θ_H = มุมที่ลำตัวท่อนบนทำกับแนวราบ / วัดที่สะโพก (มีหน่วยเป็นองศา)

θ_T = มุมที่ต้นขาทำกับแนวราบ / วัดที่สะโพก (มีหน่วยเป็นองศา)

MH = โมเมนต์ที่เกิดขึ้นรอบๆ จุดหมุนที่สะโพก (มีหน่วยเป็นนิวตัน - เมตร)

$$\text{เมื่อ } MH = B' (mg'_{bw}) + H' (mg'_L) \quad \dots (5)$$

โดยที่

B' = ความยาวแขนของโมเมนต์ของน้ำหนักตัวส่วนบนที่อยู่เหนือจุดหมุนที่สะโพกขึ้นไป ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ฉากระหว่างศูนย์กลางมวลของลำตัวส่วนบนถึงจุดหมุนที่สะโพก (hip joint) (มีหน่วยเป็นเมตร)

H' = ความยาวแขนของโมเมนต์ของน้ำหนักวัตถุอยู่ในมือ ซึ่งเท่ากับระยะทางตั้งได้ฉาก

จากศึกษาความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อเอ็กซีเทนเซอร์ เอริคเตอร์ สไปเน พบว่า โดยปกติแล้วค่าพิสัยความแข็งแรงและความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อหลังที่ปลอดภัยจะอยู่ระหว่าง 2,200 - 5,500 นิวตัน

สำหรับการคำนวณหาแรงกด ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาที่กดลงบน L5/S1 disc นั้นหาได้จากสมการดังนี้

$$\Sigma \text{ ผลรวมของแรงที่ L5/S1} = 0$$

$$\sin \alpha (mg_{bw}) + \sin \alpha (mg_L) + F_m - F_a - F_c = 0 \dots (6)$$

$$\text{หรือ } F_c = \sin \alpha (mg_{bw}) + \sin \alpha (mg_L) + F_m - F_a \dots (7)$$

เมื่อ α = มุมที่แนวกระดูกสันหลังทำมุมกับแนวระนาบ (มีหน่วยเป็นองศา)

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลองนี้ NIOSH ได้นำมาประกอบการพิจารณาและสรุปเป็นข้อเสนอแนะในปี พ.ศ. 2545 ว่า งานที่ทำให้เกิดแรงกดที่ L5/S1 disc มากกว่า 3,400 นิวตัน นั้นมีศักยภาพสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อการแตกหักของกระดูกสันหลังต่อผู้ปฏิบัติงาน ยกย้าววัสดุบางคนได้และถ้าแรงกดดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,400 นิวตัน แล้วงานนั้นก็จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานยกย้าววัสดุได้เกือบทั้งหมดทุกคนไม่ว่าบุคคลนั้นจะมีขนาดรูปร่างเล็กใหญ่อย่างไร

การคำนวณในภาวะสถิตจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะท่าทางการทำงาน รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกายด้วย และจะนำมาคำนวณตามรูปแบบของภาวะสถิตโดยมีสมการการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ดังนี้

$$\Sigma F_x = 0 \text{ (ผลรวมของทุกแรงในแนวแกน X มีค่าเป็นศูนย์)}$$

$$\Sigma F_y = 0 \text{ (ผลรวมของทุกแรงในแนวแกน Y มีค่าเป็นศูนย์)}$$

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

ถ้าสมการทั้งสามเป็นจริงก็จะเรียกได้ว่าอยู่ในภาวะสมดุล จะเห็นว่าสมการทั้งสามนี้มิได้รวมพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อยไว้ ดังนั้นรูปแบบการคำนวณในภาวะสถิตจึงสามารถใช้ได้ดีกับลักษณะการทำงานที่หยุดอยู่กับที่ หรือมีการเคลื่อนไหวช้ามาก ๆ มีสมมติฐานเพื่อนำรูปแบบการคำนวณมาใช้ดังนี้

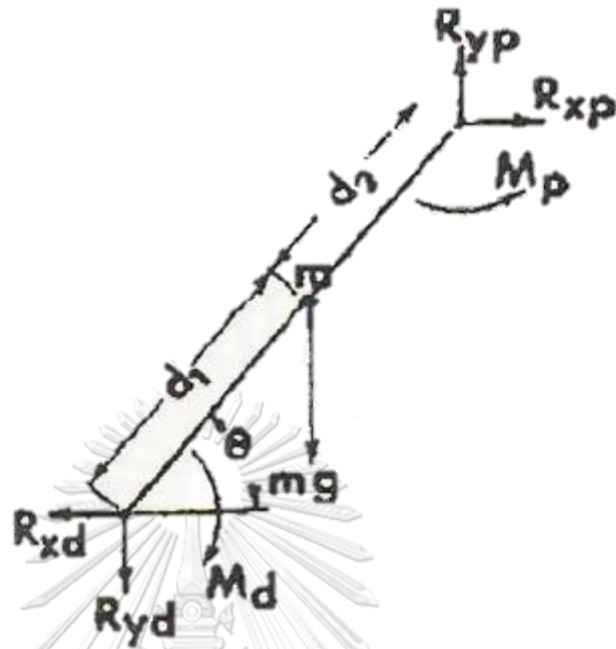
1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวตั้ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดการเคลื่อนไหว
6. โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment มีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว

การคำนวณในภาวะสถิตตามรูปที่ 10 แสดงแผนผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะสถิตการหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใด ๆ ในแนวแกนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_x = 0$ แทนค่าได้

$$R_{xp} = R_{xd} \quad \dots (8)$$

โดยที่ R_{xp} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Proximal ในแนวแกนนอน

R_{xd} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Distal ในแนวแกนนอน



รูปที่ 10 ฝั่งวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบสภาวะสถิต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนตั้งคำนวณได้จากสูตร $\Sigma F_Y = 0$
แทนค่าได้

$$R_{yp} = R_{yd} + mg \quad \dots (9)$$

โดยที่ R_{yp} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Proximal ในแนวแกนตั้ง

R_{yd} คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อด้าน Distal ในแนวแกนตั้ง

m คือ มวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือ ค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที²

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใด ๆ คำนวณได้จากสูตร $\Sigma M_{cm} = 0$ แทนค่าได้ดังนี้

$$M_p = M_d - R_{yd}d_1(\cos\theta) + R_{xd}d_1(\sin\theta) - R_{yp}d_2(\cos\theta) + R_{xp}d_2(\sin\theta) \quad \dots (10)$$

โดยที่ M_p คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อด้าน Proximal

M_d คือ โมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อด้าน Distal

θ คือ มุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

d_1 คือ ระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือ ระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดแบ่งออกได้ ดังนี้

2.5.1.1 Anthropometry

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และคุณสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนักหรือมวล ปริมาตร จุดศูนย์ถ่วง และความหนาแน่น รวมทั้งโมเมนต์เฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกาย สำหรับตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลและมวลของแต่ละ Segment ของร่างกาย ดังตาราง

ส่วน ของ ร่างกาย	% เมื่อเทียบกับมวลของร่างกาย														
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			(2)		(3)		(4)		(5)	
						ส่วน ใน	ส่วน นอก	ส่วน ใน	ส่วน นอก	ส่วน ใน	ส่วน นอก	ส่วน ใน	ส่วน นอก	ส่วน ใน	ส่วน นอก
มือ	0.6	0.85	-	0.67	0.51	0.506	0.494	-	-	-	-	50.6	49.4	39.22	60.88
แขน ส่วนล่าง	1.6	2.1	2.54	1.64	1.29	0.43	0.57	42.1	57.9	-	-	43	57	45.37	54.63
แขน ส่วนบน	2.8	3.3	2.93	2.77	2.63	0.436	0.564	47	53	45.9	54.1	43.6	56.4	46.62	53.38
ลำตัว	57.8	46.3	-	-	44.03	0.66	0.34	29.55	46.3	-	-	-	-	48.85	51.15
ขา ส่วนบน	10	10.75	11.23	9.86	13.41	0.433	0.567	43.9	56.1	43.4	56.6	43.3	56.7	39.79	60.21
ขา ส่วนล่าง	4.65	4.8	4.53	4.69	4.19	0.433	0.567	41.95	58.05	42.4	57.6	43.3	56.7	41.15	58.85
เท้า	1.45	1.7	1.88	1.42	1.15	0.5	0.5	43.4a	56.6a	41.7	58.3	b	b	33.9	66.1
ศีรษะ และคอ	-	-	-	7.9	9.61	-	-	-	-	-	-	-	-	49.33	50.67

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของ

- (1) Winter (1979)
- (2) Braune & Fischer (1889)
- (3) Braune & Fischer (1983)
- (4) Dempster (1995)
- (5) กิตติ อินทรานนท์ (2543: ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง)

2.5.1.2 Kinematics

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของการเคลื่อนไหว เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของจุดต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุม ของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย ข้อมูลทาง Kinematics สามารถหาได้โดยอาศัยกล้องวิดีโอทำการบันทึกภาพในแนวตั้งฉากกับระนาบหน้า-หลัง แล้วนำภาพที่ได้ให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลหาตำแหน่งของจุดข้อต่อต่างๆ บนร่างกาย เพื่อกำหนดหาความยาวและขนาดของมุมที่แต่ละ Segment กระทำต่อกัน

2.5.1.3 Kinetics

Kinetics เป็นข้อมูลเกี่ยวกับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็น

- แรงจากภายนอก เช่น แรงจากน้ำหนักที่ยก แรงที่วัดได้จากพื้น เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายสัมผัสกับวัตถุภายนอก ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งพื้นที่ผิวสัมผัส แต่สามารถที่จะใช้เวกเตอร์แทนแรงที่กระจายทั้งหมด แรงจากภายนอกนี้สามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดแรง เช่น Force Platform ซึ่งจะวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเท้ากับพื้นที่เท้าสัมผัส

- แรงจากภายใน เป็นแรงที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย เช่น แรงจากการดึงของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของกระดูก

2.5.1.4 แรงโน้มถ่วง

เป็นแรงที่โลกกระทำต่อวัตถุ ซึ่งมีทิศชี้ลงผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ Segment และมีขนาดเท่ากับมวลคูณกับความเร่งจากแรงดึงดูด (ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที²)

2.5.2 แบบจำลองชีวกลศาสตร์ประเภทพลวัต (Dynamics)

ในการคำนวณในสภาวะพลวัตใช้ข้อมูลแบบเดียวกับการคำนวณในสภาวะสถิต แต่จะเพิ่มข้อมูลเฉพาะในส่วนของ Kinematics เกี่ยวกับความเร็วและความเร่งของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย รวมทั้งอัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย

2.5.2.1 Kinematics

ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของการเคลื่อนไหว เช่น ตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งของจุดต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment ต่างๆ ของร่างกาย การหาข้อมูลอาศัยการใช้กล้องวิดีโอทำการบันทึกภาพในแนวตั้งฉากกับระนาบหน้า-หลัง ด้วยอัตราเร็วคงที่ 50 ภาพต่อวินาที แล้วนำภาพที่ได้ให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลหาตำแหน่งจุด

ต่าง ๆ บนร่างกาย ในทุก ๆ ภาพ เพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วและความเร่งของจุดต่างๆ รวมทั้งขนาดของมุม อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมของ Segment

2.6 ค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยก

Davies (1972) ได้กำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยกตามแต่ละท้องถิ่นและลักษณะงาน โดยรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ที่ได้กำหนดค่าน้ำหนักสูงสุดสำหรับการยกไว้ดังนี้

1. ข้อกำหนดของ The Woollen และ Worsted (1926) กำหนดให้แรงงานชายสามารถยกของหนักได้ไม่เกิน 68 กก. แรงงานหญิง ไม่เกิน 29.5 กก.
2. ข้อกำหนดของ Pottery (1958) กำหนดให้แรงงานหญิงห้ามขนย้ายของที่มีน้ำหนักเกิน 18.1 กก. ในทางราบเป็นระยะทางไม่เกิน 45.7 ม.
3. ข้อกำหนดของ Jute (1948) กำหนดให้แรงงานเด็กอายุต่ำกว่า 16 ปี ยกได้ไม่ต่ำกว่า 18.1 กก. แต่มิได้กำหนดค่าสำหรับแรงงานชาย เช่นเดียวกับ Pottery
4. ข้อกำหนดของ Agriculture (1959) กำหนดน้ำหนักสูงสุดสำหรับหญิงหรือกระสอบที่ยกได้ โดยแรงงาน 1 คน คือ 81.5 กก.

อำนาจ เสตสุวรรณ (2537) จากการศึกษาของกรมแรงงานโดยมุ่งปัจจัยการใช้พลังงานในการยกและน้ำหนักของวัตถุที่ยกในอิริยาบถต่าง ๆ ได้สรุปว่าขีดจำกัดของน้ำหนักที่ยกเป็นครั้งคราวไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของน้ำหนักตัวผู้ยก จากข้อแนะนำที่ 128 (Recommendation No.128) ขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ ปี 1967 ที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักสูงที่อนุญาตให้คนงานยกได้ระบุว่าควรกำหนดมาตรการมิให้บุคคลยกน้ำหนักเกิน 55 กิโลกรัม (ซึ่งอนุญาตเฉพาะบุคคลที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีและอยู่ในภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเท่านั้น) สำหรับน้ำหนักสูงสุดที่อนุญาตให้ผู้หญิงและเด็กยกนั้น ควรกำหนดให้เพียงร้อยละ 50-60 ของน้ำหนักที่ผู้ชายทั่วไปยก

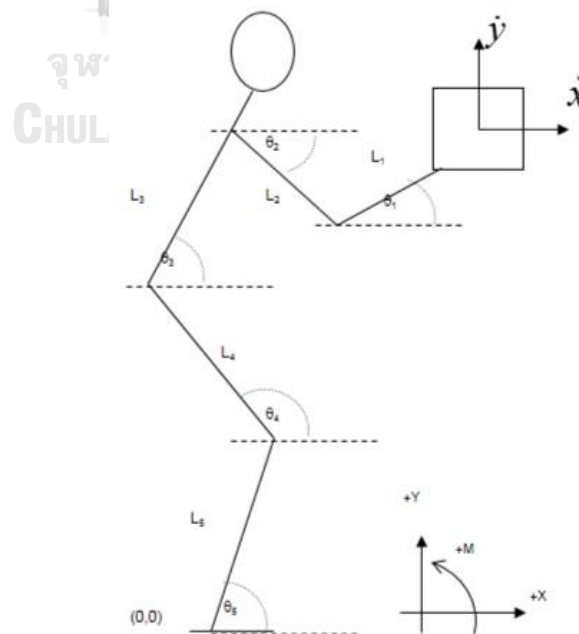
2.7 แรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง

Kumar, 1990 (อ้างถึงใน Bridger, R.S., 1995) พบว่า ภาระงานทางกล (Mechanical Load) คือปัจจัยเสี่ยงของการปวดหลังส่วนล่าง โดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์สถิต 2 มิติ (Two-dimensional, Static Mathematical model) ในการประมาณภาระงานของกระดูกสันหลัง ได้แก่ แรงเฉือนและแรงกดอัดที่ข้อต่อระหว่างกระดูกก้นกบและทรวงอก (Lumbosacral and Thoracolumbar joints) ซึ่งค่าแรงเหล่านี้จะพบสูงในคนงานที่มีประวัติการบาดเจ็บมาก่อน

Ekholm et al. (1982) ได้ศึกษาผลกระทบที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่างและการทำงานของกล้ามเนื้อหลังระหว่างการยกในท่าต่างๆ โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์พบว่าการยกในท่าที่เหยียดเข้าตรงกับท่างอเข้าและให้สิ่งของที่ยกอยู่ในหน้าหัวเข่านั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนักทั้งแรงกดอัดและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง แต่สำหรับการยกแบบงอเข้าโดยยกสิ่งของขึ้นผ่านระหว่างหัวเข่าซึ่งทำให้ระยะห่างจากกระดูกเชิงกรานลดลง จะทำให้ค่าแรงกดอัดและโมเมนต์นั้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่าโมเมนต์สูงสุดและแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเกิดจากน้ำหนักของลำตัวส่วนบนถึงร้อยละ 70 และเกิดจากน้ำหนักของสิ่งที่ยกเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น

การศึกษาวินิจฉัยนี้จะมุ่งหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง ได้แก่ แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง แรงที่เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ทำการขนย้าย แรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อเอริเรกเตอร์ สไปเนซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรง (Ekholm et al., 1982) และกล้ามเนื้อนี้จะอยู่ห่างจากกระดูกสันหลังท่อน L5/S1 ประมาณ 5 ซม. (Thieme, 1950) นักวิจัยบางท่านกล่าวว่าประมาณ 5 ซม. (Troup และ Chapman, 1969) นอกจากนี้ Tayyari และ Smith (1997) ได้ใช้ค่าประมาณ 4 ซม. สำหรับ Jager และ Luttmann (1992) ได้กำหนดให้ใช้ระยะห่างเท่ากับ 5 ซม.

Winter (1979) ได้เสนอวิธีการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าแรงและโมเมนต์ทั้งในภาวะสถิตและภาวะพลวัตโดยแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment 6 ส่วนสำคัญ คือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวรวมทั้งศีรษะ ขาสั้นบน ขาสั้นล่าง และเท้า ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ลายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่าง ๆ

เป็นที่น่าสังเกตว่าในการทำงานวัตถุต่าง ๆ จะมีตำแหน่งอยู่ระหว่างระดับความสูงสะโพกและไหล่ เพื่อเป็นการลดค่าแรงกดอัดที่เกิดจากการโน้มตัวหรือการทำงานที่ใช้แขนหรือมือยกสูงขึ้นความสูงของพื้นที่ในการทำงาน (Work Surface Height) ควรอยู่ที่ระดับความสูงของข้อศอกขณะยืน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานด้วย คือ งานละเอียด (Fine Work) ความสูงของพื้นที่ทำงานยิ่งสูงจะช่วยลดระยะการมองเห็นและช่วยให้แขนช่วงแรกด้านหน้า (Forearms) ได้พักบนพื้นที่ทำงานสำหรับงานหนักความสูงของพื้นที่ทำงานที่ต่ำลงจะทำให้คนงานสามารถออกแรงในแนวตั้งได้มาก



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

พนักงานในแผนกเดิมคลอรีนเหลวเพศชายจำนวน 10 คน อายุ 19-53 ปี ส่วนสูง 165-175 ซม. น้ำหนัก 63-78 กิโลกรัม ทำงานโดยตรงเกี่ยวกับการยกถังแก๊สคลอรีนน้ำหนัก 50 กิโลกรัม และความถี่ในการยก 100 ถังต่อคนต่อวันและพนักงานกลุ่มตัวอย่างไม่มีปัญหาเรื่องการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างอย่างรุนแรงในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 มือถือความละเอียดกล้อง 12 MP สำหรับเก็บภาพถ่ายกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้มุมกล้องตามหลัก Photogrammetry

3.2.2 นาฬิกาวัดอัตราการเต้นหัวใจ Apple Watch Serie 3 model A1859



รูปที่ 12 นาฬิกาวัดอัตราการเต้นหัวใจ

3.2.3 นาฬิกาสำหรับจับเวลา ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงาน

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการป้องกันการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง จากการยกภาระหรือขนย้ายวัสดุเกินกำลังความสามารถของร่างกาย คือ การหาความสามารถในการขน/ยกวัสดุของแต่ละคนเพื่อป้องกันไม่ให้นักงานทำงานเกินขีดจำกัดความสามารถของแต่ละคน ด้วยการประเมินภาระงานจากการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ (Manual Materials Handling) ไว้ 3 แนวทาง ดังนี้

การทดสอบตามเกณฑ์ทางจิตวิทยา (Psychological Criterion)

- วิเคราะห์ความล้าของกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (local muscle fatigue) จากแบบสอบถามความรู้สึก เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของอวัยวะที่บาดเจ็บเบื้องต้น ก่อนทำการประเมินระดับความเหนื่อยตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาและความหนักเบาของงานตามเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์

การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยา (Physiological Criterion)

- อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึมและอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นตัววัดผลตอบสนองทางสรีรวิทยาที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ระดับความเหนื่อยของงาน แนวทางสรีรวิทยานี้จะมีความเหมาะสมกับงานการยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยร่างกาย (Manual Material Handling : MMH) ที่ต้องกระทำด้วยความถี่มากๆ หรือทำบ่อยๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่น้ำหนักของวัตถุที่ถูกยกย้ายนั้นมีน้ำหนักค่อนข้างเบา สำหรับงานวิจัยนี้เลือกการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจเพื่อพิจารณาขีดจำกัดบนของความเหนื่อยในการทำงาน โดยศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจเทียบกับจำนวนการยกถังคลอรีน ด้วยอัตราการยก 30 วินาทีต่อการยก 1 ถัง

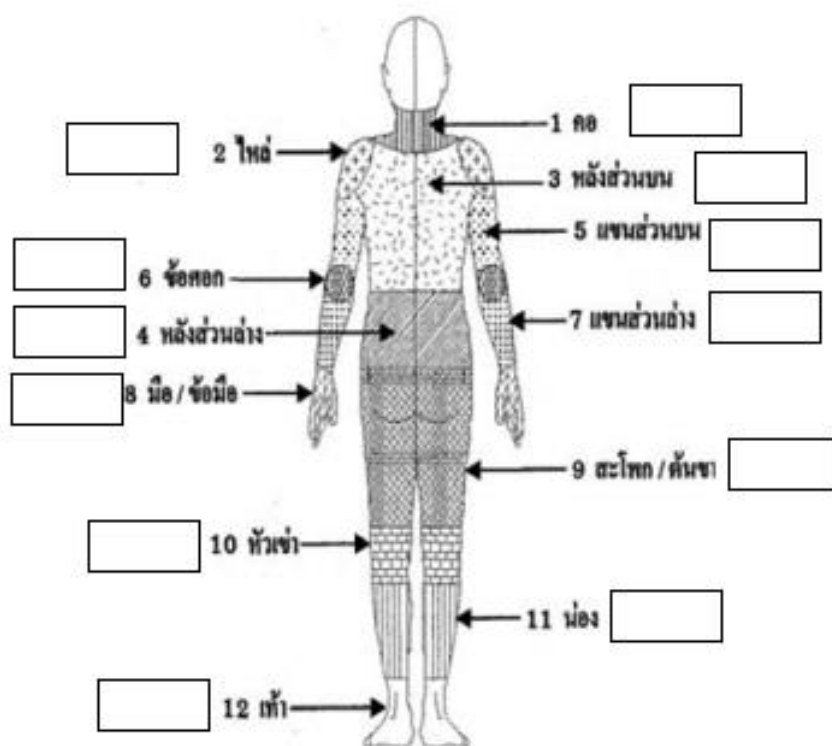
การทดสอบตามเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์

- วิธีนี้เหมาะสมที่จะใช้ทำการวัดความสามารถในงานที่มีความถี่น้อยและงานที่มีภาระน้ำหนักมากๆ หรือหมายความว่าแนวทางนี้จะไม่สามารถใช้ทำการตรวจวัดความสามารถของพนักงานยกย้ายได้หลายครั้งซ้ำ ๆ กันได้ เนื่องจากอาจจะเกิดอันตรายต่อสุขภาพกระดูกสันหลังของผู้ยก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความหนักเบาของงาน โดยแรงที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายต้องไม่ส่งผลให้เกิดแรงกด (Compressive Force) ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังเกินกว่าที่จะทนได้ ขณะที่คนเราออกแรงยกย้ายของด้วยมือจะส่งผลให้เกิดการส่งผ่านของแรงไปยังข้อต่อต่าง ๆ ของ ร่างกาย รวมถึงข้อต่อกระดูกสันหลัง

3.3.1 การทดสอบตามเกณฑ์ทางจิตวิทยา (Psychological Criterion)

1) สอบถามระดับความปวดเมื่อยล้าของร่างกายด้วย Body Map Discomfort

1.1) แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าของร่างกายที่ใช้ในการศึกษานี้ (รูปที่ 13) พัฒนาโดย Corlett และ Bishop (1976) การสำรวจความเมื่อยล้าจากการทำงานของผู้ถูกทดสอบทำหลังจากผู้ถูกทดสอบได้ปฏิบัติงานตามขั้นตอนต่าง ๆ โดยมีท่าทางการทำงานที่เหมือนการทำงานจริงของผู้ใช้แรงงานในงานยกถังคลอรีน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความล้าของกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (local muscle fatigue) ที่อาจเกิดขึ้นได้ขณะยก อาจนำไปสู่ปัญหาของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ



รูปที่ 13 Body Map Discomfort

1.2) ใช้ Borg RPE scale (Borg's of Rating of Perceived Exertion) ที่ระดับ สเกล 6-20 ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าความรู้สึก ความเหนื่อย ความเมื่อยล้าของเราระหว่างออกกำลังกาย และสามารถนำมาใช้ประเมินความหนักในการฝึกที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของหัวใจและปอด โดย Borg, 1998 ดังรูปที่ 14 และประเมินคะแนนลงในตารางที่ 3

6	6
7 very very light	7 รู้สึกสบาย
8	8
9 very light	9 ไม่เหนื่อย
10	10
11 light	11 เริ่มรู้สึกเหนื่อย
12	12
13 some what hard	13 ค่อนข้างเหนื่อย
14	14
15 hard	15 เหนื่อย
16	16
17 very hard	17 เหนื่อยมาก
18	18
19 very very hard	19 เหนื่อยที่สุด
20	20

รูปที่ 14 Borg RPE scale (Borg's of Rating of Perceived Exertion)

ตารางที่ 3 แบบสอบถามระดับความปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของร่างกายด้วย Body Map Discomfort

ตำแหน่ง	ซ้าย	ขวา	Score (6-20)
คอ			
ไหล่			
หลัง			
แขนส่วนบน			
ข้อศอก			
แขนส่วนล่าง			
หลังส่วนล่าง			
มือ/ข้อมือ			
สะโพก/ต้นขา			
หัวเข่า			
น่อง			
เท้า			

1.3) วิเคราะห์ข้อมูลความปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของร่างกายแต่ละส่วนในรูปของร้อยละ เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเจ็บปวดหรือปวดเมื่อยตามร่างกายในแต่ละตำแหน่งลงในรูปที่ 13

3.3.2 การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยา (Physiological Criterion)

ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ

แบบที่ 1

วิเคราะห์ห้ออัตราการเต้นของหัวใจไม่ควรเกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมง ตามข้อแนะนำของ Brouha (1967) ,Karrasch และ Muller (1951)

มี 2 กรณีคือ

- ภาระงานควรมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) ไม่เกิน 110 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) ควรมีการลดลงอย่างน้อย 10 ครั้งต่อนาที Brouha (1967)
- ความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่พักก่อนการทำงาน 15 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นไม่เกินกว่า 30 ครั้งต่อนาที (Karrasch และ Muller 1951)

วิธีการทดลอง

- 1) ติดเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจให้กับผู้ถูกทดสอบ
- 2) วัดอัตราการเต้นของหัวใจก่อนเริ่มการทดลองและบันทึกค่า โดยวัดก่อนยกถังคลอรีนเป็นเวลา 15 นาที
- 3) วัดอัตราการเต้นของหัวใจและบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่ช่วง 9.00 – 11.30 น. และหลังจากหยุดทำงานทุกๆ 30 วินาที โดยมีภาระงานเป็นถังคลอรีนน้ำหนักคงที่ 50 กิโลกรัมดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบในการยกถังคลอรีน

งาน	ผู้ถูกทดสอบ	อัตราการเต้นหัวใจ ก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน (ครั้ง/นาที)						อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)					
			ช่วงเวลาการทำงาน						ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)					
			9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	30	60	90	120	...	330
ยกถัง คลอรีน	1													
	2													
	3													
	4													
	5													

แบบที่ 2

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring)

ด้วย Vogt's method

$$\text{TOTEHB} = \text{TEHB} + \text{MEHB} \leq 40 \text{ ครั้ง/นาที}$$

$$\text{TEHB} = (\text{P3} + \text{P4} + \text{P5}) / 3 - \text{HRR} \leq 30 \text{ ครั้ง/นาที}$$

$$\text{MEHB} = (\text{P1} + \text{P2} - \text{P3}) - (\text{P3} + \text{P4} + \text{P5}) / 3 \leq 30 \text{ ครั้ง/นาที}$$

เมื่อ

TOTEHB = Total extra heart beats

TEHB = Thermal extra heart beats

MEHB = Motor extra heart beats

HRR = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนทำงาน (Heart rate at rest before working)

P1 = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (หลังจากสิ้นสุดการทำงาน) ภายในเวลา 30 วินาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานในนาทีที่ 1

P2 = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (หลังจากสิ้นสุดการทำงาน) ภายในเวลา 30 วินาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานในนาฬิกาที่ 2

P3 = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (หลังจากสิ้นสุดการทำงาน) ภายในเวลา 30 วินาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานในนาฬิกาที่ 3

P4 = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (หลังจากสิ้นสุดการทำงาน) ภายในเวลา 30 วินาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานในนาฬิกาที่ 4

P5 = อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (หลังจากสิ้นสุดการทำงาน) ภายในเวลา 30 วินาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานในนาฬิกาที่ 5

แบบที่ 3

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996

ร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) เป็นค่าที่ใช้บอกระดับภาระงานทางกายเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 (Grandjean, 1982; Kirk and Sullman, 2001; Balimunsi et al., 2011; Yilmaz et al., 2013; Eroglu et al., 2015) คำนวณโดยใช้สูตร

$$\%HRR = \frac{HR_w - HR_r}{HR_{max} - HR_r} \times 100$$

ตารางที่ 5 Physical workload levels.

Physical workload levels	Physiological workload (%)
Light	0 - 36
Medium	36 - 78
Heavy	78 - 114
Very heavy	114 - 150
Extremely heavy	> 150

แหล่งที่มา: Yilmaz et al. (2013)

- สัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง เป็นค่าที่แสดงถึงความหนักอย่างต่อเนืองของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) คำนวณโดยใช้สูตร

$$\frac{HR_w}{50\% \text{ level}}$$

โดยค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (50% level of heart rate reserve) คำนวณ โดยใช้สูตร

$$50\% \text{ level} = HR_r + \frac{HR_{max} - HR_r}{2}$$

- สัดส่วนอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานต่ออัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ratio of HR_w/HR_r) เป็นค่าที่บอกถึงสัดส่วนการทำงานของหัวใจขณะทำงานเมื่อเทียบกับขณะพัก เป็นค่าที่สามารถใช้อธิบายสนับสนุนค่าอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (Yilmaz et al., 2013) คำนวณโดยใช้สูตร

$$\frac{HR_w}{HR_r}$$

เมื่อ

HR_w คือ อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยขณะทำงาน (ครั้งต่อนาที)

HR_r คือ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)

HR_{max} คือ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด คำนวณได้จาก 220-อายุ (ครั้งต่อนาที)

3.3.3 วิธีการทดลองทางชีวกลศาสตร์

การทดสอบตามเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์จะทำการศึกษาค่าแรงกระทำต่อหมอนรอง กระดูกด้วยการใช้แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์สำหรับการประมาณค่าแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง ส่วนเอว (L5/S1) ของ Chaffin (1975) ร่วมกับการวัดการทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อประเมินว่าน้ำหนักยกที่ได้จาก เกณฑ์ทางจิตฟิสิกส์จะเกินความสามารถของร่างกายหรือไม่เมื่อพิจารณาจากแรงกระทำต่อหมอนรอง กระดูกและการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

1. บันทึกภาพดิจิทัล 2 มิติ ขณะยกทดสอบ
2. เขียนแรงและมุมส่วนของร่างกายที่ใช้ในการคำนวณจากภาพถ่ายดิจิทัล จากท่าทางการยกถึง แก๊สคลอรีน โดยประเมินท่ายกระยะที่ 1-3 ซึ่งคาดว่าจะเป็นที่เกิดภาระงานมากที่สุด โดยนำภาพถ่ายต่อเนื่องมาพิจารณา



รูปที่ 15 ท่ายกระยะที่ 1 ยกโดยถึงท่ามุมกับพื้น 5-10 องศา



รูปที่ 16 ท่ายกระยะที่ 2 ยกโดยถึงท่ามุมกับพื้น 15-25 องศา



รูปที่ 17 ท่ายกกระยะที่ 3 ยกโดยถึงท่ามุมกับพื้น 30-44 องศา

3. ประมาณค่าสัดส่วนร่างกายของแต่ละคน ตามหลัก Photogrammetry
4. คำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล และมวลส่วนต่างๆ ของร่างกายจากเปอร์เซ็นต์มวลของร่างกาย (% Segment Weight) และเปอร์เซ็นต์ระยะจุดศูนย์กลางมวลของส่วนร่างกาย (%Segment Center of Gravity) ดังรูปที่ 18

Segment	Definition	Segment Weight/ Total Body Weight	Center of Mass/ Segment Length		Radius of Gyration/ Segment Length			Density
			Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal	
Hand	Wrist axis/knuckle II middle finger	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Forearm	Elbow axis/ulnar styloid	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Upper arm	Glenohumeral axis/elbow axis	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Forearm and hand	Elbow axis/ulnar styloid	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Total arm	Glenohumeral joint/ulnar styloid	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Foot	Lateral malleolus/head metatarsal II	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Thigh	Greater trochanter/femoral condyles	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Foot and leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09
Total leg	Greater trochanter/medial malleolus	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Head and neck	C7-T1 and 1st rib/ear canal	0.081 M	1.000	— PC	0.495	1.116	— PC	1.11
Shoulder mass	Sternoclavicular joint/glenohumeral axis	—	0.712	0.288	—	—	—	1.04
Thorax	C7-T1/T12-L1 and diaphragm*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Abdomen	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Pelvis	L4-L5/greater trochanter*	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Thorax and abdomen	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Abdomen and pelvis	T12-L1/greater trochanter*	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trunk	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trunk head neck	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
HAT	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—
HAT	Greater trochanter/mid rib	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

*NOTE: These segments are presented relative to the length between the greater trochanter and the glenohumeral joint.

Source Codes: M, Dempster via Miller and Nelson; *Biomechanics of Sport*, Lea and Febiger, Philadelphia, 1973. P, Dempster via Plagenhoef; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1971. L, Dempster via Plagenhoef from living subjects; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1971. C, Calculated.

รูปที่ 18 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลและมวลส่วนต่างๆของส่วนร่างกาย

5. ค่ามวลแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อต่างๆ ตั้งแต่ข้อมือ ข้อศอก หัวไหล่ ไปจนถึงหลังส่วนล่าง (L5/S1) และแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างในระนาบซ้าย-ขวา (Sagittal plane) ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต โดยมีสมมุติฐานดังนี้
 - 5.1. ให้ระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหลังอยู่ที่ 6 ซม.
 - 5.2. ไม่มีการบิดเอี้ยวตัว เฉลี่ยน้ำหนักยกกระจายลงไปยังมือซ้าย-ขวา เท่ากัน และความยาวของส่วนต่างๆ ทั้งซ้าย-ขวา เท่ากัน
 - 5.3. เป็นการยกที่ไม่เร่งรีบ

3.3.4 แนวทางการลดภาระงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงสถานีงานเพื่อลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc)

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง Ekholm et al. (1982)
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุที่ทำการยก Ekholm et al. (1982)
- ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะที่ทำงาน Anderson (1981)
- ความสูงและความถี่ในการยก Jorgensen และ Poulsen (1974)
- เทคนิคหรือวิธีในการยก วรวรรณ ใจเมือง (2534)
- ปัจจัยด้านระยะทาง ซึ่งความสามารถในการยกของจะลดลงเมื่อระยะยกในแนวตั้งมีค่ามากขึ้นและจะสามารถยกได้ดียิ่งขึ้นถ้าสิ่งของนั้นอยู่ใกล้ตัวมากขึ้น Park และ Chaffin (1975)
- มุมที่เกิดจากการงอตัวและเหยียดตัว จากกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์ อิเร็กเตอร์ สไปเน ซึ่งส่งผลต่อแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง (Ekholm et al., 1982)

แนวทางการลดภาระงาน มี 3 แนวทางดังนี้

วิธีที่ 1 การลดภาระงานด้วยอุปกรณ์ช่วยยก

เครื่องช่วยยกจะทำหน้าที่ยกถังคลอรีนให้สูงขึ้นเพื่อให้ถังคลอรีนสามารถพลิกได้ถึง 180 องศาและไม่สัมผัสกับพื้น โดยก่อนปรับปรุงพนักงานจะต้องนำถังคลอรีนวางนอนกับพื้นและยกถังคลอรีนขึ้นสูงถึงระดับเอว เพื่อระบายน้ำออก อีกทั้งยังต้องโน้มตัวลงไปเพื่อไปจับที่ฐานของถังและยกถังขึ้นมา ซึ่งอุปกรณ์ช่วยยกนี้จะช่วยปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ❖ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ เพราะอุปกรณ์ช่วยยกจะทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมดของวัตถุ
- ❖ ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะที่ทำงาน เนื่องจากก่อนปรับปรุงต้องวางถังในแนวนอนแล้วยก แต่หลังปรับปรุงพนักงานนำถังประกอบเข้ากับอุปกรณ์ช่วยยกในแนวตั้ง จึงไม่เกิดการงอตัว
- ❖ ความสูงและความถี่ในการยก เนื่องจากระดับถังคลอรีนและอุปกรณ์ช่วยยกอยู่ในระดับเดียวกัน จึงไม่เกิดการยกถังขณะประกอบเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นอุปกรณ์จะทำหน้าที่ช่วยยกถังคลอรีนแทนพนักงาน

- ❖ มุมที่เกิดจากการงอตัวและเหยียดตัว เนื่องจากหลังปรับปรุง พนักงานนำถังประกอบเข้ากับอุปกรณ์ช่วยยกในแนวตั้ง จึงไม่เกิดการงอตัวเหมือนก่อนการปรับปรุงที่จะต้องวางถังในแนวนอนก่อนยกขึ้น



รูปที่ 19 ตัวอย่างอุปกรณ์ช่วยยกที่จะนำมาปรับปรุงกับงานยกถังคลอรีน

ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน ใช้ข้อมูลประกอบดังนี้

- ยอดผลิตคลอรีน 6,000 ถัง/เดือน
- อัตราการยกถัง 100 ถัง/วัน ใช้จำนวน 3 เครื่อง ใช้งาน 20 วัน
- ค่าอุปกรณ์ช่วยยกจำนวน 3 เครื่อง = 50,000 บาท/เครื่อง × 3 เครื่อง = 150,000 บาท
- ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ช่วยยก 1,000.00 บาท/เดือน หรือ 12,000.00 บาท/ปี
- ค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ช่วยยก (ใช้มอเตอร์ 1.7 Hp หรือ 1268 วัตต์)

บริษัททำงาน 8 ชั่วโมง/วัน และใช้งานเพียง 20 วัน คิดเป็นระยะเวลาที่ต้องใช้ในอุปกรณ์ช่วยยกเฉลี่ย (8 ชั่วโมง/วัน × 20 วัน) / 30 วัน = 5.33 ชั่วโมงต่อวัน

คำนวณจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ได้จาก

(กำลังไฟฟ้า (วัตต์) × จำนวนเครื่อง) ÷ 1000 × ชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน

(1268 × 3) ÷ 1000 × 5.33 = 20.28 หน่วยต่อวัน หรือคิดเป็น 20.28 × 30 = 608.3 หน่วยต่อเดือน

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ได้จาก

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย x จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อเดือน = 4×608.3

= 2,433.2 บาทต่อเดือน หรือ $2433.2 \times 12 = 29,198.4$ บาท/ปี

ดังนั้นเงินลงทุนทั้งหมดภายใน 1 ปีแรก = $150,000 + 12,000 + 29,198.4 = 191,198.4$ บาท

- ค่าใช้จ่ายจากรักษาพยาบาล

หากเครื่องยกสามารถช่วยลดอาการบาดเจ็บได้ทั้งหมด จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากรักษาพยาบาลได้ทั้งหมดเช่นกัน ซึ่งก่อนปรับปรุงภาระงาน พบว่าภายในปี 2564 ตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม มีพนักงานบาดเจ็บบริเวณหลังจำนวน 2 คน

แพ็คเกจผ่าตัดกระดูกสันหลัง



สามารถใช้บริการได้ตั้งแต่วันที่ 15 มีนาคม 2565 – 30 มิถุนายน 2565

รายการแพคเกจ	จำนวน วันนอน รพ. (คืน)	ราคา (บาท)
การผ่าตัดหมอนรองกระดูกสันหลังผ่านกล้องขนาดเล็ก	2	239,000

ค่าผ่าตัดกระดูกสันหลัง ร.พ.เอกชนแห่งที่ 1 [40]

แฟกเกจการรักษาแบบผ่าตัด

แฟกเกจ	ระยะเวลาอน (วัน)	ราคา (บาท)
การผ่าตัดหนองกระดูกสันหลังแบบใช้กล้องขยาย	1-2	239,000 - 252,500
การผ่าตัดหนองกระดูกสันหลังกับเส้นประสาทด้วยวิธีส่องกล้อง Endoscopic	1	365,000
การผ่าตัดเชื่อมข้อทางด้านหลังแบบแผลเล็ก	4	446,500 - 452,500
การผ่าตัดเพื่อระบายโพรงเส้นประสาทเชื่อมข้อ	5-6	401,000 - 422,000
ผ่าตัดหนองกระดูกส่วนคอและเชื่อมข้อกระดูกสันหลัง	2-3	306,900 - 331,500

ค่าผ่าตัดกระดูกสันหลัง ร.พ.เอกชนแห่งที่ 2 [41]

รูปที่ 20 ค่ารักษาพยาบาลผ่าตัดหนองกระดูกสันหลัง

หากต้องทำการผ่าตัดกระดูกสันหลัง จะต้องเสียค่ารักษาพยาบาลอยู่ที่ 239,000 – 252,500 บาท/คน หรือเฉลี่ย 245,750 บาท/คน และหากต้องผ่าตัดทั้ง 2 คน จะเสียค่ารักษาพยาบาลอยู่ที่ $245,750 \times 2 = 491,500$ บาท/ปี

ซึ่งหากลงทุนเครื่องยกภายในปีแรกจำนวน 191,198.4 บาท จะทำให้ประหยัดค่ารักษาพยาบาลไปทั้งสิ้น $491,500 - 191,198.4 = 300,301.6$ บาท

วิธีที่ 2 การลดภาระงานด้วยการใช้กล้องงู (Android Endoscope Camera)

พนักงานใช้กล้องงูตรวจสอบน้ำภายในถังทั้งหมด หากไม่พบว่ามีน้ำอยู่ภายในถัง ผู้ปฏิบัติงานจะไม่ต้องยกและคว่ำถังคลอรีน โดยสถิติการเก็บข้อมูลของทางโรงงานตัวอย่าง ในตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2021 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2022 พบว่ามีน้ำทั้งหมด 101 ถัง จาก ถังรับคืน 16,700 ถัง คิดเป็นร้อยละ 0.6 % ซึ่งวิธีนี้จะช่วยปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ❖ ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะที่ทำงาน
- ❖ ความถี่ในการยก



รูปที่ 21 การใช้กล้องงู (Android Endoscope Camera) ตรวจสอบน้ำภายในถัง

ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน ใช้ข้อมูลประกอบดังนี้

- ยอดผลิตคลอรีน 6,000 ถัง/เดือน
- ตรวจสอบวันละ 100 ถัง มีพนักงานประจำจุด 3 คน ใช้งานทั้งหมด 20 วันต่อเดือน
- ใช้กล้องงูจำนวน 4 เครื่อง/คน/เดือน

(อายุการใช้งานกล้องงูต่อเครื่องอยู่ที่ 5 วัน เนื่องจากถูกคลอรีนกัดกร่อนและไม่สามารถใช้ตรวจสอบภายในถังต่อได้)

ดังนั้น ใช้กล้องงูจำนวน 12 เครื่อง

เงินลงทุน = 600 บาทต่อเครื่อง x 12 เครื่อง = 7,200 บาท/เดือน หรือ 86,400 บาท/ปี

- ค่าใช้จ่ายจากรักษาพยาบาลจากการผ่าตัดกระดูกสันหลัง 491,500 บาท/ปี ใช้การคิดลักษณะเดียวกันกับวิธีใช้อุปกรณ์ช่วยยก เนื่องจากวิธีใช้กล้องตรวจสอบสามารถลดจำนวนการยกคลอรีนได้ถึงได้ 99.4% (พบท่อน้ำ 0.6%)

ซึ่งหากลงทุนกล้องภายในปีแรกจำนวน 86,400 บาท จะทำให้ประหยัดค่ารักษาพยาบาลไปทั้งสิ้น $491,500 - 86,400 = 405,100$ บาท

วิธีที่ 3 การลดภาระงานด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

วิธีนี้จะช่วยปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ❖ แแรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุที่ทำการยก เนื่องจากมีการเฉลี่ยแรงยกของพนักงานทั้ง 2 คน ทำให้ภาระงานลดลง



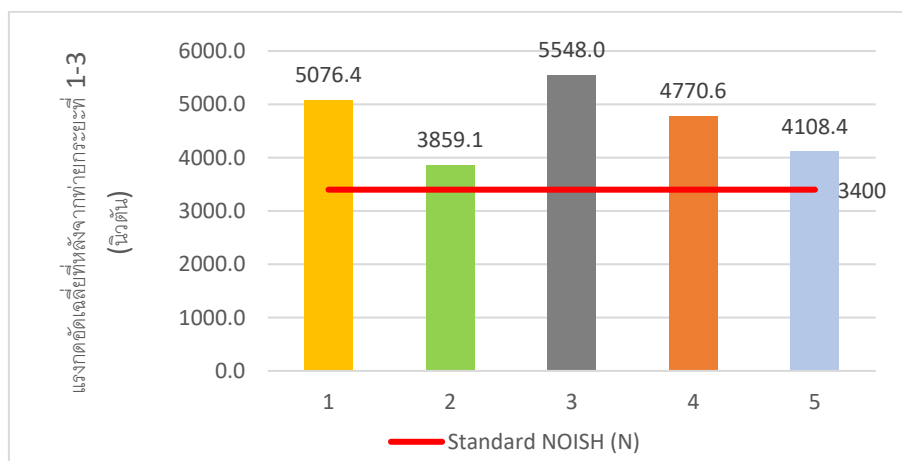
รูปที่ 22 การลดภาระงานด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน ใช้ข้อมูลประกอบดังนี้

- ยอดผลิตคลอรีน 6,000 ถัง/เดือน
- ตรวจสอบวันละ 100 ถัง มีพนักงานประจำ 3 จุด จุดละ 2 คน = 6 คน ทำงาน 20 วันต่อเดือน
- พนักงานรายได้ต่อเดือนเฉลี่ย 12,000 บาท

มีพนักงานเพิ่มมาจากเดิมจำนวน 3 คน = $12,000 \text{ บาท/เดือน} \times 3 \text{ คน} = 36,000 \text{ บาท/เดือน}$ หรือ 432,000 บาท

- ค่าใช้จ่ายจากค่ารักษาพยาบาลจากการผ่าตัดกระดูกสันหลัง 491,500 บาท/ปี โดยจะคิดในกรณีที่ไม่มีผู้บาดเจ็บบริเวณหลังเกิดขึ้น เนื่องจากวิธีนี้จะใช้ 2 คน มาเฉลี่ยแรงในการยก ซึ่งจากการคำนวณค่าแรงกดอัดจากพนักงานที่สุ่มมา 5 คน ในตอนแรก พบว่าค่าแรงกดอัดมากที่สุดอยู่ที่ 5548 นิวตัน ประมาณค่าแรงกดอัดที่หลังเฉลี่ยของแต่ละคนอยู่ที่ $5,548/2 = 2,774$ นิวตัน ซึ่งไม่เกิน 3400 นิวตัน จึงพิจารณาว่าไม่มีการบาดเจ็บบริเวณหลังเกิดขึ้น



ซึ่งหากลงทุนด้วยวิธีนี้ภายในปีแรกจำนวน 432,000 บาท จะทำให้ประหยัดค่ารักษาพยาบาลไปทั้งสิ้น
 $491,500 - 432,000 = 59,500$ บาท

- 1) เปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ทั้ง 3 วิธีก่อนและหลังการปรับปรุง
- 2) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- 3) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 รายละเอียดของผู้เข้าทดสอบ

ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นพนักงานในแผนกเติมคลอรีนเหลว เพศชาย จำนวน 10 คน อายุ 19-53 ปี มีค่าเฉลี่ย 38 ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.88 ปี ส่วนสูง 165-175 ซม. มีค่าเฉลี่ย 171 ซม. และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.12 ซม. น้ำหนัก 63-78 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ย 74 กก. และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.43 กก. โดยที่พนักงานกลุ่มตัวอย่างมีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีปัญหาเรื่องการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างอย่างรุนแรงจนถึงขั้นเข้ารับการรักษาผ่าตัดในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 6 รายละเอียดของผู้เข้าทดสอบ

คนที่	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)
1	38	165	78
2	53	175	65
3	52	175	85
4	26	168	77
5	19	175	63
6	45	172	95
7	48	173	65
8	42	160	93
9	18	172	60
10	36	175	60
ค่าเฉลี่ย	38	171	74
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	12.88	5.12	13.43

4.2 ลักษณะของภาระงานก่อนปรับปรุง

การประเมินภาระงานก่อนปรับปรุงได้ประเมินงานยกถังคลอรีนด้วยท่า stoop ในระนาบหน้า – หลัง โดยไม่คำนึงถึงการบิดตัวหรือเอี้ยวตัว ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนต้องออกแรงยกถังคลอรีนที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม และวางอยู่ในแนวนอนระนาบกับพื้น ด้วยการใช้มือทั้ง 2 ข้าง จับบริเวณฐานของถังคลอรีนและยกถังเอียงขึ้น เพื่อตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถัง ดังแสดงในภาพต่อเนื่องของรูปที่ 23



ท่ายกระยะที่ 1 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 5-10 องศา ท่ายกระยะที่ 2 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 15-25 องศา ท่ายกระยะที่ 3 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 30-44 องศา

รูปที่ 23 ตัวอย่างภาพการยกถังคลอรีนต่อเนื่องของผู้ยกทดสอบคนที่ 6

ผู้ถูกทดสอบยกถังคลอรีนเอียงขึ้น โดยแบ่งตามมุมของถังคลอรีนที่ถูกยก ได้ผลดังตารางที่ 7 พบว่ามี 3 ช่วงระยะยก คือ ท่ายกระยะที่ 1 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 5-10 องศา (ระดับความสูงในการยกตั้งแต่พื้น – มือผู้ยกอยู่ในช่วง 46.4-49.4 ซม.), ท่ายกระยะที่ 2 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 15-25 องศา (ระดับความสูงในการยกตั้งแต่พื้น – มือผู้ยกอยู่ในช่วง 54.2-59.5 ซม.) และท่ายกระยะที่ 3 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 30-44 องศา (ระดับความสูงในการยกตั้งแต่พื้น – มือผู้ยกอยู่ในช่วง 72.2-86.7 ซม.)

ตารางที่ 7 มุมและระดับความสูงของถังคลอรีนที่ถูกยกขึ้น

คนที่	ท่ายก	มุมของถังคลอรีนที่ถูกยกขึ้น	ระดับความสูงในการยกตั้งแต่พื้น - มือผู้ยก (ซม.)
1	ท่ายกระยะที่ 1	10	49.4
	ท่ายกระยะที่ 2	17	59.5
	ท่ายกระยะที่ 3	44	86.7
2	ท่ายกระยะที่ 1	5	45.6
	ท่ายกระยะที่ 2	25	70.5

	ทำยกระยะที่ 3	40	82.6
3	ทำยกระยะที่ 1	10	46.4
	ทำยกระยะที่ 2	15	54.2
	ทำยกระยะที่ 3	30	72.2
4	ทำยกระยะที่ 1	10	48.8
	ทำยกระยะที่ 2	19	60.9
	ทำยกระยะที่ 3	30	72.4
5	ทำยกระยะที่ 1	10	49.3
	ทำยกระยะที่ 2	15	57.1
	ทำยกระยะที่ 3	37	79.7
6	ทำยกระยะที่ 1	7	44.8
	ทำยกระยะที่ 2	25	67.1
	ทำยกระยะที่ 3	40	82.3
7	ทำยกระยะที่ 1	10	48.2
	ทำยกระยะที่ 2	25	66.5
	ทำยกระยะที่ 3	40	80.3
8	ทำยกระยะที่ 1	10	48.8
	ทำยกระยะที่ 2	22	62.6
	ทำยกระยะที่ 3	40	82.7
9	ทำยกระยะที่ 1	10	48.7
	ทำยกระยะที่ 2	20	63.8
	ทำยกระยะที่ 3	35	77.4
10	ทำยกระยะที่ 1	10	50.0
	ทำยกระยะที่ 2	24	64.2
	ทำยกระยะที่ 3	36	78.5

4.2.1 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (Physiological Evaluation)

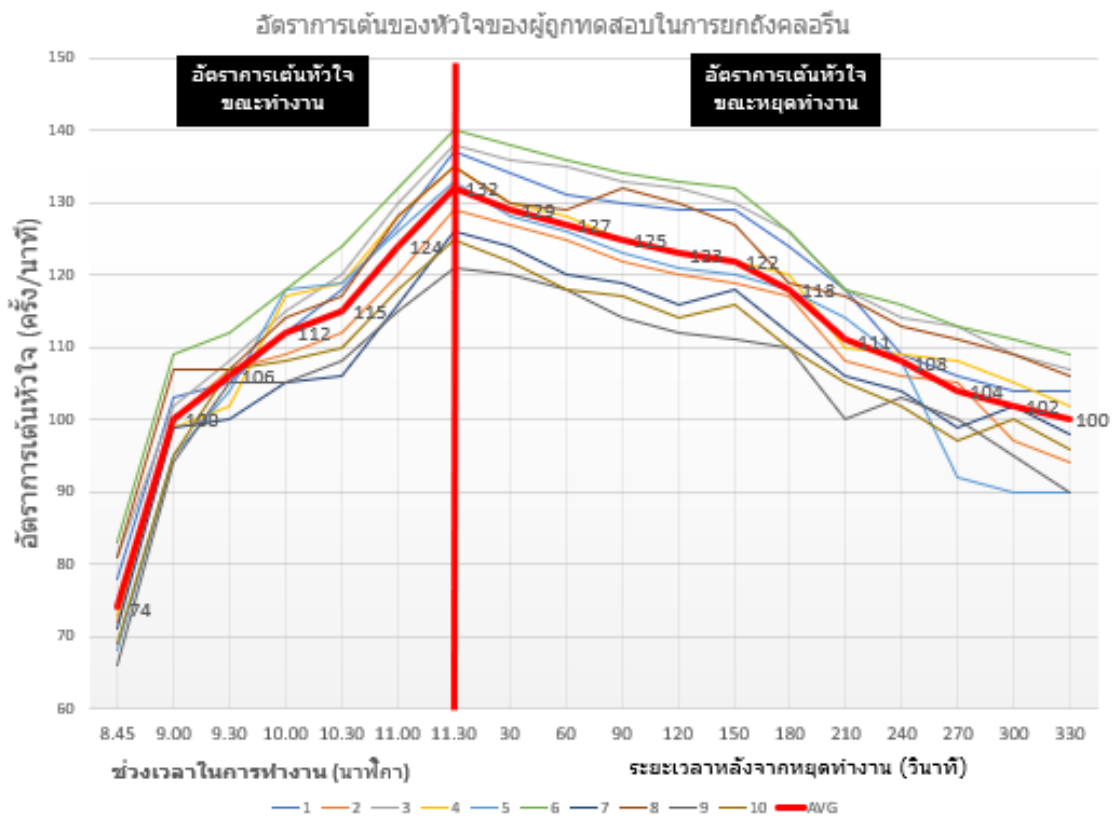
การวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจ

การวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจเป็นการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ทำงาน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อแนะนำ ของ Brouha, Karrasch และ Muller, Vogt's method และวิธีตาม ISO 8996 เพื่อวิเคราะห์ระดับความเหนื่อยของงาน

ข้อมูลในตารางที่ 8 แสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่พักก่อนการทำงาน 15 นาที อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานตั้งแต่เวลา 9.00 – 11.30 น. และอัตราการเต้นหัวใจหลังจากหยุดทำงานทุกๆ 30 วินาที ตั้งแต่ 30 - 330 วินาที โดยมีภาระงานเป็นถังคลอรีนน้ำหนักคงที่ 50 กิโลกรัม ด้วยอัตราการยก = 30 วินาที / ถัง

ตารางที่ 8 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบในการยกถังคลอรีน

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน (ครั้ง/นาที)						อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)										
		ช่วงเวลาการทำงาน						ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)										
		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	78	103	105	112	118	127	137	134	131	130	129	129	124	118	109	106	104	104
2	72	100	107	109	112	120	129	127	125	122	120	119	117	108	106	105	97	94
3	81	102	108	115	120	130	138	136	135	133	132	130	126	118	114	113	109	107
4	73	99	102	117	119	128	135	130	128	125	123	122	120	110	109	108	105	102
5	68	95	104	118	119	126	133	128	126	123	121	120	118	114	108	92	90	90
6	83	109	112	118	124	132	140	138	136	134	133	132	126	118	116	113	111	109
7	71	99	100	105	106	116	126	124	120	119	116	118	112	106	104	99	102	98
8	81	107	107	114	117	128	135	130	129	132	130	127	119	117	113	111	109	106
9	66	94	105	105	108	115	121	120	118	114	112	111	110	100	103	100	95	90
10	69	95	107	108	110	118	125	122	118	117	114	116	110	105	102	97	100	96
AVG	74	100	106	112	115	124	132	129	127	125	123	122	118	111	108	104	102	100
Max	83	109	112	118	124	132	140	138	136	134	133	132	126	118	116	113	111	109
Min	66	94	100	105	106	115	121	120	118	114	112	111	110	100	102	92	90	90



รูปที่ 24 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ทดสอบในการยกถังคลอรีน

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อเสนอแนะของ Brouha (1967) หลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก เกิน 110 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 30-60 วินาทีอยู่ระหว่าง 119-137 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) มีค่าลดลงน้อยกว่า 10 ครั้งต่อนาที และมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 6-8.5 ครั้งต่อนาที ดังนั้นผลการประเมินตามแนวทางของ Brouha พบว่ามีค่าเกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมงและมีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบขณะหยุดทำงานช่วงพักครั้งที่ 1 และ 3

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)						
	ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)						
	30	60	เฉลี่ย 30-60 (AVG1)	150	180	เฉลี่ย 150- 180 (AVG2)	AVG2- AVG1
1	134	131	132.5	129	124	126.5	6
2	127	125	126	119	117	118	8
3	136	135	135.5	130	126	128	7.5
4	130	128	129	122	120	121	8
5	128	126	127	120	118	119	8
6	138	136	137	132	126	129	8
7	124	120	122	118	112	115	7
8	130	129	129.5	127	119	123	6.5
9	120	118	119	111	110	110.5	8.5
10	122	118	120	116	110	113	7
AVG	129	127	128	122	118	120	7
Max	138	136	137	132	126	129	8.5
Min	120	118	119	111	110	110.5	6

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ Karrasch และ Muller พบว่าความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่พักก่อนการทำงาน 15 นาที เริ่มมีค่ามากขึ้น 30 ครั้งต่อนาที ในช่วงเวลาการทำงาน 9.30 น. จำนวน 4 คน คือคนที่ 2 (35 ครั้ง/นาที), คนที่ 5 (36 ครั้ง/นาที), คนที่ 9 (39 ครั้ง/นาที) และคนที่ 10 (38 ครั้ง/นาที) คิดเป็นร้อยละ 40 และ ในช่วงเวลาการทำงาน 10.00 น. จำนวน 6 คน คือคนที่ 1 (34 ครั้ง/นาที), คนที่ 3 (34 ครั้ง/นาที), คนที่ 6 (44 ครั้ง/นาที), คนที่ 6 (35 ครั้ง/นาที), คนที่ 7 (34 ครั้ง/นาที) และคนที่ 8 (33 ครั้ง/นาที) คิดเป็นร้อยละ 60 และค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงานจากผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าเฉลี่ยเกิน 30 ครั้ง/นาที ในช่วงเวลาการทำงาน 9.30 น. อยู่ที่ 31.5 ครั้ง/นาที ดังนั้นผลการประเมินตามแนวทางของ Karrasch และ Muller พบว่ามีค่าเกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมงและมีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน แสดงค่าดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน - อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)					
	ช่วงเวลาการทำงาน					
	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30
1	25	27	34	40	49	59
2	28	35	37	40	48	57
3	21	27	34	39	49	57
4	26	29	44	46	55	62
5	27	36	50	51	58	65
6	26	29	35	41	49	57
7	28	29	34	35	45	55
8	26	26	33	36	47	54
9	28	39	39	42	49	55

10	26	38	39	41	49	56
AVG	26.1	31.5	37.9	41.1	49.8	57.7
Max	28	39	50	51	58	65
Min	21	26	33	35	45	54

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring) ด้วย Vogt's method

ผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นหัวใจของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน แสดงดังตารางที่ 11 พบว่า

TEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.9 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.1 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 33.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 30 ครั้ง/นาที โดยมีผู้เข้าทดสอบ 9 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 90 มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที และผู้เข้าทดสอบ 1 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที

MEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.8 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.8 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 34.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 28.3 ครั้ง/นาที โดยมีผู้เข้าทดสอบ 9 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 90 มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที และผู้เข้าทดสอบ 1 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 10 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที

TOTEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.7 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/นาที หรือมากกว่าเกณฑ์ถึง 54.3% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.2 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 65 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 59 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/นาที

จากทั้ง 3 ค่า TEHB, MEHB และ TOTEHB มีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนดสามารถบอกได้ถึงอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นเร็วกว่าปกติ ดังนั้นงานยกถังคลอรีนจึงจัดเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยสูง

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์อัตราการเดินทางของหัวใจด้วยวิธีของ Vogt

คนที่	HRR (ครั้ง/ นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)									TEHB	MEHB	TOTEHB
		ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)											
		P1-90	120	P2-150	180	P3-210	240	P4-270	300	P5-330			
1	78	130	129	129	124	118	109	106	104	104	31.3	31.7	63
2	72	122	120	119	117	108	106	105	97	94	30.3	30.7	61
3	81	133	132	130	126	118	114	113	109	107	31.7	32.3	64
4	73	125	123	122	120	110	109	108	105	102	33.7	30.3	64
5	68	123	121	120	118	114	108	92	90	90	30.7	30.3	61
6	83	134	133	132	126	118	116	113	111	109	30.3	34.7	65
7	71	119	116	118	112	106	104	99	102	98	30	30	60
8	81	132	130	127	119	117	113	111	109	106	30.3	30.7	61
9	66	114	112	111	110	100	103	100	95	90	30.7	28.3	59
10	69	117	114	116	110	105	102	97	100	96	30.3	28.7	59
AVG											30.9	30.8	61.7
SD											1.1	1.8	2.2
MAX											33.7	34.7	65
MIN											30	28.3	59

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996

ร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) เป็นค่าที่ใช้บอกระดับภาระงานทางกายเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 พบว่าผู้เข้าทดสอบมีภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Medium จำนวน 9 คน หรือร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือร้อยละ 10 ภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Light โดย %HRR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.1 การประเมินโดยรวมจึงอยู่ในระดับ Medium และสัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองเป็นค่าที่แสดงถึงความหนักอย่างต่อเนืองของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองไม่เกิน 1 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.9 อยู่ในช่วง 0.81-0.95 ดังนั้นจากการประเมินด้วยวิธีตาม ISO 8996 งานยกถังคลอรีนจึงยังไม่จัดว่าเป็นงานที่มีความหนักอย่างต่อเนือง แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 อัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR)

คนที่	HR _w	HR _r	HR _{max}	%HRR	level workload	50%level	HRw/50%level
1	117	78	182	37.5	Medium	130	0.90
2	112.8	72	167	43	Medium	119.5	0.94
3	118.8	81	168	43.5	Medium	124.5	0.95
4	116.7	73	194	36.1	Medium	133.5	0.87
5	115.8	68	201	36	Medium	134.5	0.86
6	122.5	83	175	42.9	Medium	129	0.95
7	108.7	71	172	37.3	Medium	121.5	0.89
8	118	81	178	38.1	Medium	129.5	0.91
9	108	66	202	30.9	Light	134	0.81
10	110.5	69	184	36.1	Medium	126.5	0.87
			AVG	38.1	Medium	AVG	0.9

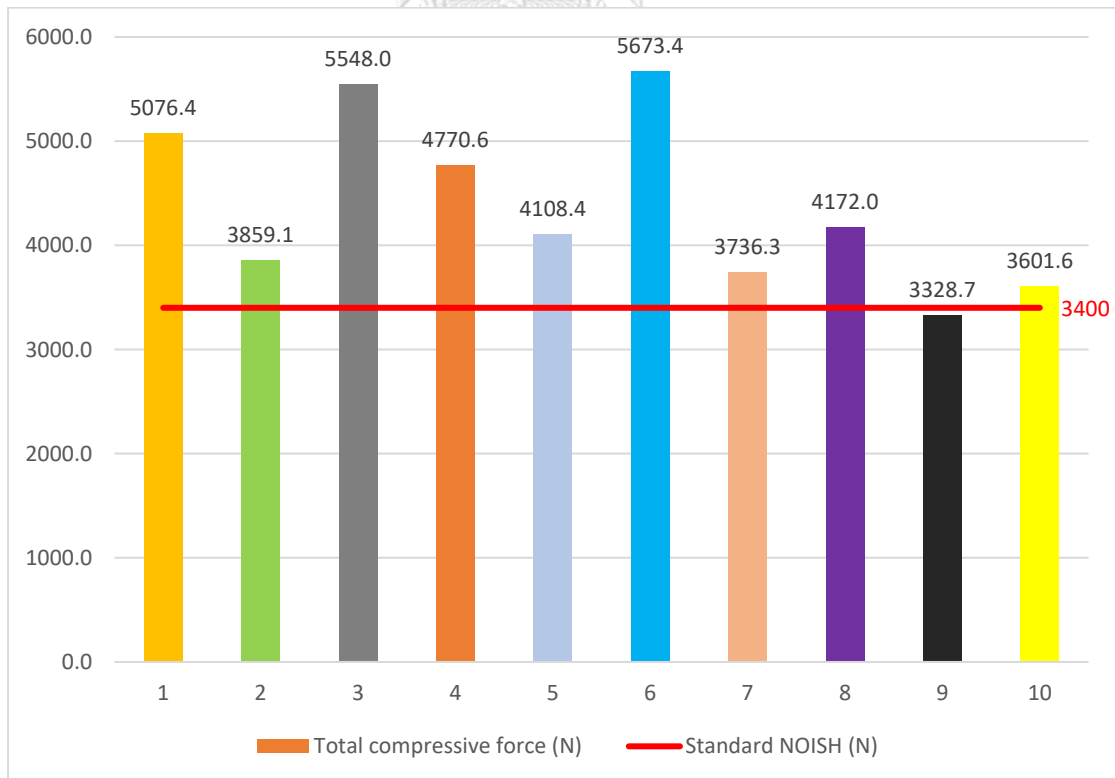
4.2.2 การทดลองทางชีวกลศาสตร์

ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตจากผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 10 คน ดังตารางที่ 13 พบว่ามีค่ากดอัดเฉลี่ยจากการยก 3 ท่าต่อเนื่องอยู่ในช่วง 3328.7 – 5673.4 นิวตัน โดยมีค่ากดอัดเฉลี่ย 4387.5 นิวตัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 829.2 นิวตัน และพบว่าในผู้ทดลองส่วนใหญ่ร้อยละ 50 ให้ค่าแรงกดอัดในท่าที่ 1 และ 2 ในสัดส่วนที่เท่ากัน ส่วนผู้ทดลองส่วนใหญ่ร้อยละ 90 พบว่าในท่าที่ 3 ให้ค่าแรงกดอัดน้อยที่สุด จากการประเมินงานยกถังคลอรีนตั้งรูปที่ 25 พบว่าผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 9 คนหรือร้อยละ 90 มีค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่ามาตรฐานขั้นต่ำของ NIOSH ที่ 3400 นิวตัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง และอีก 1 คน หรือร้อยละ 10 มีค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่กระดูกสันหลังส่วนล่างใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน โดยพบว่ามีน้ำหนักตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ 60 กิโลกรัม

ตารางที่ 13 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิต

คนที่	ท่า	total compressive force (N)	AVG
1	1	5551.5	5076.4
	2	5699.6	
	3	3978.1	
2	1	4021.6	3859.1
	2	4152.2	
	3	3403.4	
3	1	5569.4	5548.0
	2	5707.9	
	3	5366.8	
4	1	4803.9	4770.6
	2	4746.9	
	3	4761.0	
5	1	4280.1	4108.4
	2	4217.3	
	3	3827.9	
6	1	6291.4	5673.4
	2	6474.0	
	3	4254.7	

7	1	3889.4	3736.3
	2	3904.8	
	3	3414.8	
8	1	4910.2	4172.0
	2	3916.2	
	3	3689.8	
9	1	3644.7	3328.7
	2	3523.5	
	3	2817.8	
10	1	4043.4	3601.6
	2	3700.3	
	3	3061.0	
		AVG	4387.5
		STD	829.2



รูปที่ 25 แรงกดอัดเฉลี่ยที่หลังส่วนล่างทั้ง 3 ท่าของพนักงาน 10 คน

จากแผนภูมิแท่งในรูปที่ 25 แสดงค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่หลังส่วนล่างจากทั้ง 3 ท่า โดยเรียงค่าแรงกดอัดเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย พบว่าเป็นคนที่ 6 (5,673.4 นิวตัน), 3 (5,548.0 นิวตัน), 1 (5,076.4 นิวตัน), 4 (4,770.6 นิวตัน), 8 (4,172.0 นิวตัน), 5 (4,108.4 นิวตัน), 2 (3859.1 นิวตัน), 7 (3,736.3 นิวตัน), 10 (3,601.6 นิวตัน), 9 (3,328.7 นิวตัน) ตามลำดับ

4.3 การประเมินภาระงานหลังปรับปรุง

วิธีที่ 1 ลดภาระงานด้วยอุปกรณ์ช่วยยก

จากค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกินมาตรฐานทำให้ต้องลดภาระงานจากแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) โดยเลือกปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับช่วยยกถังคลอรีน โดยใช้แรงดันลมสำหรับยกถังคลอรีนที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัมขึ้นในแนวตั้งดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 เครื่องยกถังคลอรีนแบบกระบอกลม

หลักการออกแบบเครื่องยกถังคลอรีน

การออกแบบงานและสถานี่งานตามหลักการทางกายศาสตร์ด้านกายภาพ ใช้หลักที่เรียกว่า NEWS (สุทธิ ศรีบุรพา, 2540) มีดังนี้

N = Neutral Posture รักษาท่าทางการทำงานให้สมดุลเป็นไปตามธรรมชาติ

E = (work at) Elbow Height ทำงานที่ระดับความสูงข้อศอก

W = (sufficient) Work Area มีพื้นที่ปฏิบัติงานและเคลื่อนไหวส่วนร่างกายที่พอเพียง

S = (no) Stretching ไม่มีการยืดหรือเหยียดแขน ขา หัวไหล่ และลำตัว ในขณะที่ทำงานจนเกินขีดความสามารถของเอ็น ข้อต่อและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน

การออกแบบสถานี่งานตามหลักการทางกายศาสตร์มีหลักการดังนี้

1. ใช้การกลิ้งแทนการยก เข้าไปยังด้านหน้าตัวเครื่องยกถังคลอรีนและล็อกถังให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 การกลิ้งถังเข้าไปยังด้านหน้าตัวเครื่องยก

2. ตำแหน่งวาล์วสำหรับปรับการขึ้นลง (เบอร์4) อยู่ระดับหัวไหล่ที่ 149 เซนติเมตรของผู้ใช้งานอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยที่วัดจากพื้นถึงหัวไหล่ของผู้ใช้งานทุกคน เพื่อไม่ให้เกิดการยืดหรือเหยียดแขน หัวไหล่ และลำตัว ในขณะที่ทำงานจนเกินขีดความสามารถของเอ็น ข้อต่อและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน ตำแหน่งวาล์วอยู่ไปทางขวามือของผู้ใช้งาน เนื่องจากถนัดมือขวาทั้งหมด ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ตำแหน่งวาล์วปรับระดับขึ้นและลง

3. เมื่อถึงถูกปรับตำแหน่งให้สูงขึ้นผู้ใช้งานต้องดึงหัวถังเข้าหาตัว



รูปที่ 29 การพลิกถังคลอรีนโดยใช้มือทั้ง 2 ดึงหัวถังเข้าหาตัวผู้ใช้งาน

โดยจุดพลิกถังคลอรีนอยู่ระดับข้อศอกที่ 109 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยความสูงตั้งแต่พื้นถึงข้อศอกของพนักงานทั้ง 5 คนและตำแหน่งนี้สามารถปรับระดับตำแหน่งพลิกถังได้ในช่วง 106-112 เซนติเมตร ตามค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดการงอตัวหากอยู่ต่ำไปหรือการเอื้อมหากอยู่สูงจนเกินไป ดังรูปที่ 30



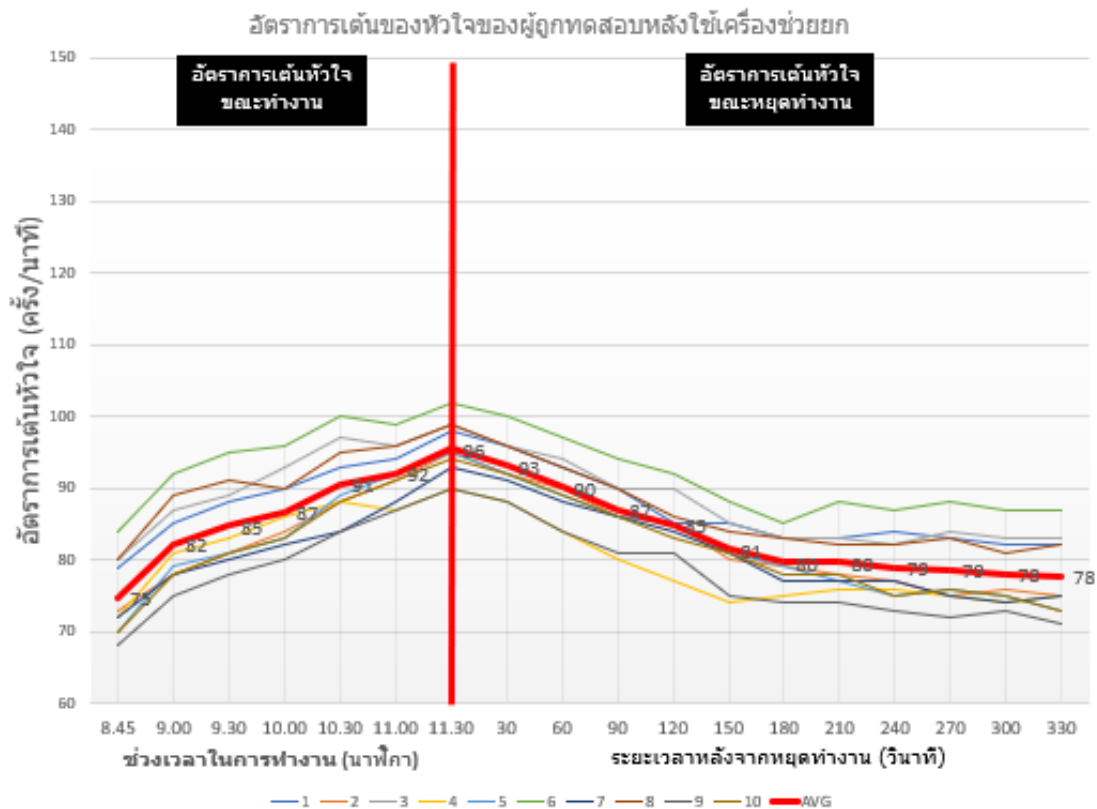
รูปที่ 30 ตำแหน่งวาล์วจุดพลิกถังคลอรีน

การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

ข้อมูลในตารางที่ 14 แสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานตั้งแต่เวลา 9.00 – 11.30 น. และอัตราการเต้นหัวใจหลังจากหยุดทำงานทุกๆ 30 วินาที ตั้งแต่ 30 - 330 วินาที โดยใช้เครื่องช่วยยก ยกถังคลอรีนน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ด้วยอัตราการยก = 30 วินาที / ถัง

ตารางที่ 14 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

คนท่	อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน (ครั้ง/นาที)						อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)										
		ช่วงเวลาการทำงาน						ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)										
		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	79	85	88	90	93	94	98	96	93	90	85	85	83	83	84	83	82	82
2	73	78	81	84	88	91	95	92	90	86	85	80	79	78	77	75	76	75
3	80	87	89	93	97	96	99	96	94	90	90	85	83	83	82	84	83	83
4	72	81	83	86	88	87	90	88	84	80	77	74	75	76	76	75	74	75
5	70	79	81	83	89	92	95	92	89	86	85	81	79	77	75	76	75	73
6	84	92	95	96	100	99	102	100	97	94	92	88	85	88	87	88	87	87
7	72	78	80	82	84	88	93	91	88	86	84	81	77	77	77	75	74	75
8	80	89	91	90	95	96	99	96	93	90	86	84	83	82	82	83	81	82
9	68	75	78	80	84	87	90	88	84	81	81	75	74	74	73	72	73	71
10	70	78	81	83	88	91	94	92	89	86	83	81	78	78	75	76	75	73
AVG	74.8	82	85	87	91	92	96	93	90	87	85	81	80	80	79	79	78	78
Max	84.0	92	95	96	100	99	102	100	97	94	92	88	85	88	87	88	87	87
Min	68.0	75	78	80	84	87	90	88	84	80	77	74	74	74	73	72	73	71



รูปที่ 31 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ Brouha หลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีอัตราการเต้นของหัวใจหลังพักค่าแรก ไม่เกิน 110 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 30-60 วินาทีที่อยู่ระหว่าง 86-99 ครั้งต่อนาที และค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) มีค่าลดลงมากกว่า 10 ครั้งต่อนาที และมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 10.5-12 ครั้งต่อนาที

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ Karrasch และ Muller พบว่า ความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก ของผู้ทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าไม่เกิน 30 ครั้งต่อนาที ตลอดช่วงการทำงาน โดยความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักตั้งแต่ 9.00-11.30 น. มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้น ผลต่างมีค่าเฉลี่ย 7-21 ครั้งต่อนาที มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 25 ครั้งต่อนาที (พนักงานคนที่ 6 เวลา 11.30 น.) และน้อยที่สุดที่ 5 ครั้งต่อนาที (พนักงานคนที่ 2 เวลา 9.00 น.) ซึ่งมีค่าไม่เกินขีดจำกัดบน

ของการทำงานใน 8 ชั่วโมง ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยกจึงไม่มีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring) ด้วย Vogt's method (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

ผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นหัวใจของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน พบว่า

TEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.8 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.0 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 5.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 2.3 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

MEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.1 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.7 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 14.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 2.7 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

TOTEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.9 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.3 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 20 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 6 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

จากทั้ง 3 ค่า TEHB, MEHB และ TOTEHB มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก จึงจัดเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยที่ปกติ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพัทธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996 (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

ร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสัมพัทธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) เป็นค่าที่ใช้บอกระดับภาระงานทางกายเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Light โดย %HRR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13 และสัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองเป็นค่าที่แสดงถึงความหนักอย่าง ต่อเนื่องของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองไม่เกิน 1 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.69 อยู่ในช่วง 0.61-0.75

ดังนั้นจากการประเมินด้วยวิธีตาม ISO 8996 งานยกถังคลอรีนหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยกจึงยังไม่จัดว่าเป็นงานที่มีความหนักอย่างต่อเนื่อง แสดงข้อมูลการประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา ดังตารางที่

15

ตารางที่ 15 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

คนที	Brouha				Karrasch & Muller		Vogt's Method						ISO			
	หลังจากหยุดทำงาน 30-60 วินาที <110 ครั้ง/นาที		HR หลังจากหยุดทำงาน 30-60 S เทียบกับ 150-180 s ลดลง > 10 ครั้ง/นาที		HRทำงาน-HRพัก <30 ครั้ง/นาที		TOTEHB ≤ 40 ครั้ง/นาที		TEHB ≤ 30 ครั้ง/นาที		MEHB ≤ 30 ครั้ง/นาที		1. Light (L) (96HR 0-36) 2. Medium (M) (96HR 36-78) 3. Heavy (H) (96HR 78-114)		HRw/ 50% level ครร < 1	
	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ช่วงเวลาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (นาที/ก)	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (%)	Level	ผล	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	94.5	/	10.5	/	/	-	13.0	/	3.7	/	9.3	/	12.0	L	0.70	/
2	91	/	11.5	/	/	-	15.0	/	3.0	/	12.0	/	14.0	L	0.72	/
3	95	/	11.0	/	/	-	12.0	/	3.3	/	8.7	/	15.3	L	0.75	/
4	86	/	11.5	/	/	-	6.0	/	3.3	/	2.7	/	11.3	L	0.65	/
5	90.5	/	10.5	/	/	-	20.0	/	5.3	/	14.7	/	12.6	L	0.64	/
6	98.5	/	12.0	/	/	-	10.0	/	3.7	/	6.3	/	14.7	L	0.75	/
7	89.5	/	10.5	/	/	-	18.0	/	3.7	/	14.3	/	12.2	L	0.69	/
8	94.5	/	11.0	/	/	-	12.0	/	2.3	/	9.7	/	13.6	L	0.72	/
9	86	/	11.5	/	/	-	14.0	/	4.3	/	9.7	/	10.7	L	0.61	/
10	90.5	/	11.0	/	/	-	19.0	/	5.7	/	13.3	/	13.9	L	0.68	/

หมายเหตุ: / = การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย และ X หมายถึง การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย

การทดสอบทางชีวกลศาสตร์หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

ผลการประเมินแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตกับผู้ทดลองคนที่ 3 ซึ่งมีแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง 5,707.9 นิวตัน (ก่อนปรับปรุง) โดยใช้เครื่องช่วยยก จากการวัดแรงดึงเข้าหาตัวเริ่มต้นพบว่าใช้แรงดึง 13.5 นิวตัน แต่ในการคำนวณได้เผื่อแรงดึงนี้โดยเพิ่มขึ้นไปอีก 3 เท่าของแรงดึงที่วัดได้เพื่อให้ครอบคลุมการทำงานที่อาจมีความเร่งรีบ โดยการประเมินใช้ค่าแรงดึงเท่ากับ 40.5 นิวตัน และคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้ท่า ดังรูปที่ 32 พบว่าแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังส่วนล่างมีค่าเท่ากับ 1,027.9 นิวตัน หรือลดลงไป 82% ของค่าที่ได้ก่อนการปรับปรุง ในส่วนของผู้ทดลองคนที่ 1-2 และ 4-10 ได้ประเมินภาระงานด้วยวิธีเดียวกัน หลังการปรับปรุงพบว่ามีค่าแรงกดอัดที่หลังเท่ากับ 800.6, 634.6, 800.4, 575.2, 1165.5, 674.1, 1021.1, 669.2 และ 637.7 นิวตัน ตามลำดับ หรือลดลง 86%, 84.7%, 83.3%, 86.6%, 82.8%, 82.7%, 79.2%, 81.6% และ 84.2% ตามลำดับ หรือลดลงเฉลี่ย 83.3% แสดงดังตารางที่ 16



รูปที่ 32 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้เครื่องช่วยยก

ตารางที่ 16 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

ผู้ทดลอง	ค่าแรงกดอัดที่หลัง -นิวตัน (ก่อนปรับปรุง)	ค่าแรงกดอัดที่หลัง-นิวตัน (หลังปรับปรุง)	%ค่าแรงกดอัดที่ลดลง
1	5699.6	800.6	86
2	4152.2	634.6	84.7
3	5,707.9	1,027.9	82
4	4803.9	800.4	83.3
5	4280.1	575.2	86.6
6	6474	1116.5	82.8
7	3904.8	674.1	82.7
8	4910.2	1021.1	79.2
9	3644.7	669.2	81.6
10	4043.4	637.7	84.2
AVG	4387.5	795.7	83.3

ผลการจับเวลาในการทำงานหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก พบว่ามีค่าเฉลี่ย 24.00 วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.66 วินาที แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการจับเวลาการทำงานหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

ผู้เข้าทดสอบคนที่	เวลาในการทำงาน (วินาที)
1	24.39
2	25.12
3	23.44
4	24.4
5	23.32
6	24.15
7	23.22
8	23.46
9	24.54
10	24.34
ค่าเฉลี่ย	24.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.66

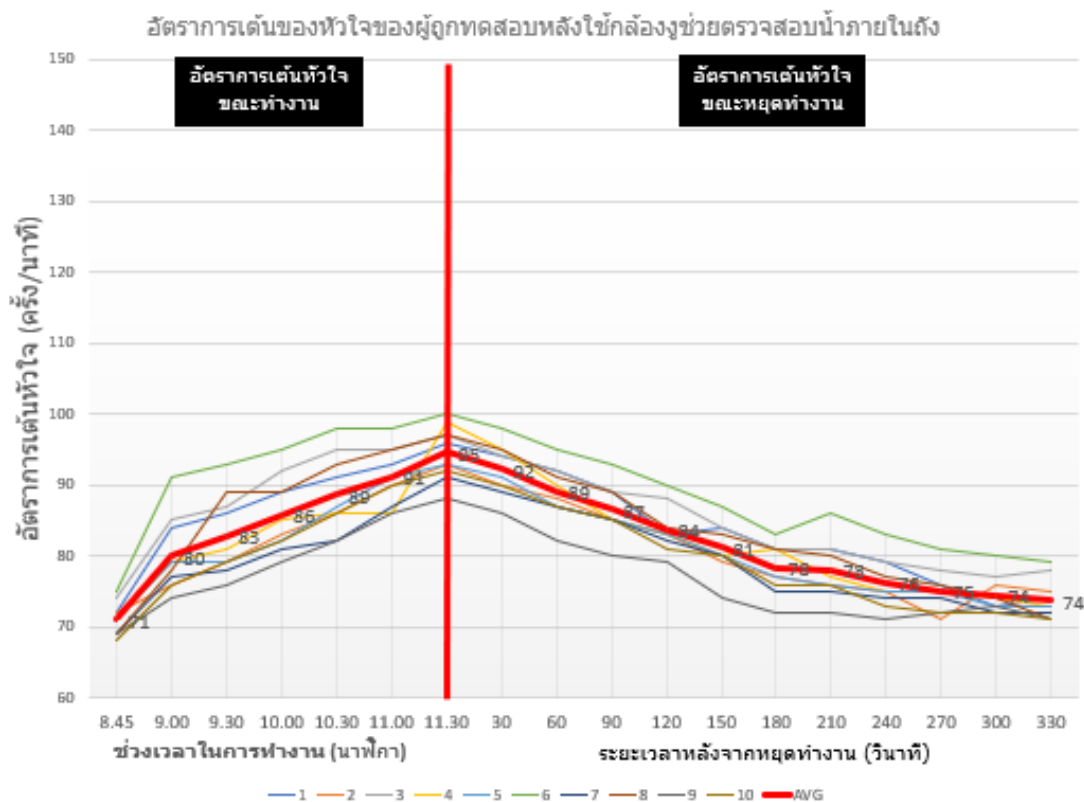
วิธีที่ 2 ลดภาระงานด้วยการใช้กล้องตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน

การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง

ข้อมูลในตารางที่ 18 แสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานตั้งแต่เวลา 9.00 – 11.30 น. และอัตราการเต้นหัวใจหลังจากหยุดทำงานทุกๆ 30 วินาที ตั้งแต่ 30 - 330 วินาที ด้วยการใช้อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง หากถึงใดไม่มีน้ำจะไม่ต้องยกถัง และหากมีน้ำจะยกถังคลอรีนที่มีภาระงาน 50 กิโลกรัม

ตารางที่ 18 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน (ครั้ง/นาที)						อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)										
		ช่วงเวลาการทำงาน						ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)										
		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	72	84	86	89	91	93	96	94	92	89	83	84	81	81	79	76	73	74
2	72	76	79	83	86	90	93	90	88	85	83	79	77	76	75	71	76	75
3	74	85	87	92	95	95	97	94	92	89	88	84	81	81	79	78	77	78
4	71	79	81	85	86	86	99	95	90	85	83	80	81	77	75	75	74	73
5	71	79	79	82	87	91	93	91	87	85	83	80	77	76	75	75	73	73
6	75	91	93	95	98	98	100	98	95	93	90	87	83	86	83	81	80	79
7	69	77	78	81	82	87	91	89	87	85	82	80	75	75	74	74	72	72
8	69	78	89	89	93	95	97	95	91	89	84	83	81	80	77	76	74	71
9	69	74	76	79	82	86	88	86	82	80	79	74	72	72	71	72	73	71
10	68	76	79	82	86	90	92	90	87	85	81	80	76	76	73	72	72	71
AVG	71	80	83	86	89	91	95	92	89	87	84	81	78	78	76	75	74	74
Max	75	91	93	95	98	98	100	98	95	93	90	87	83	86	83	81	80	79
Min	68	74	76	79	82	86	88	86	82	80	79	74	72	72	71	71	72	71



รูปที่ 33 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำ ของ Brouha (1967) หลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก ไม่เกิน 110 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 30-60 วินาทีที่อยู่ระหว่าง 84-97 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) มีค่าลดลงมากกว่า 10 ครั้งต่อนาที และมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 10.5-12 ครั้งต่อนาที

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ (Karrasch และ Muller,1951) พบว่าความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก ของผู้ทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าไม่เกิน 30 ครั้งต่อนาที ตลอดช่วงการทำงาน โดยความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักตั้งแต่ 9.00-11.30 น. มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้น ผลต่างมีค่าเฉลี่ย 9-24 ครั้งต่อนาที มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 28 ครั้งต่อนาที (พนักงานคนที่ 4 และ 8 เวลา 11.30 น.) และน้อยที่สุดที่ 4 ครั้งต่อนาที (พนักงานคนที่ 2 เวลา 9.00 น.) ซึ่งมีค่า

ไม่เกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมง ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถังจึงไม่มีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

ตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring) ด้วย Vogt's method (หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

ผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นหัวใจของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน พบว่า

TEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.6 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.6 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 2 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

MEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 16.3 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 10.3 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

TOTEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.6 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.9 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 23 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 13 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

จากทั้ง 3 ค่า TEHB, MEHB และ TOTEHB มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง จึงจัดว่าเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยที่ปกติ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพัทธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996 (หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

ร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสัมพัทธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) เป็นค่าที่ใช้บอกระดับภาระงานทางกายเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Light โดย %HRR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.8 และสัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองเป็นค่าที่แสดงถึงความหนักของงานต่อเนื่องของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองไม่เกิน 1 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.60 อยู่ในช่วง 0.56-0.65

ดังนั้นจากการประเมินด้วยวิธีตาม ISO 8996 งานยกถังคลอรีนหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยกจึงยังไม่จัดว่าเป็นงานที่มีความหนักอย่างต่อเนื่อง แสดงข้อมูลการประเมินภาระงานทางสรีรวิทยาดังตารางที่

19

ตารางที่ 19 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

คนที	Brouha		Karrasch & Muller		Vogt's Method						ISO	
	หลังจากหยุดทำงาน 30-60 วินาที <110 ครั้ง/นาที	HR หลังจากหยุดทำงาน 30-60 s เทียบกับ 150-180 s ลดลง > 10 ครั้ง/นาที	HRทำงาน-HRพัก <30 ครั้ง/นาที		TOTEHB \pm 40 ครั้ง/นาที	TEHB \pm 30 ครั้ง/นาที	MEHB \pm 30 ครั้ง/นาที				1. Light (L) (96HRR 0-36) 2. Medium (M) (96HRR 36-78) 3. Heavy (H) (96HRR 78-114)	HRw/ 50% level ควร < 1
	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ช่วงเวลาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (นาที/สัปดาห์)	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครั้ง/นาที) ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (%)	Level	ผล ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	93 /	10.5 /	/	-	20.0 /	5.0 /	15.0 /	12.0	L	0.62	/	
2	89 /	11.0 /	/	-	16.0 /	2.0 /	14.0 /	8.4	L	0.58	/	
3	93 /	10.5 /	/	-	18.0 /	5.0 /	13.0 /	12.2	L	0.62	/	
4	93 /	12.0 /	/	-	17.0 /	4.0 /	13.0 /	10.1	L	0.59	/	
5	89 /	10.5 /	/	-	18.0 /	3.7 /	14.3 /	9.5	L	0.59	/	
6	97 /	11.5 /	/	-	19.0 /	7.0 /	12.0 /	14.4	L	0.65	/	
7	88 /	10.5 /	/	-	21.0 /	4.7 /	16.3 /	9.1	L	0.57	/	
8	93 /	11.0 /	/	-	23.0 /	6.7 /	16.3 /	14.0	L	0.62	/	
9	84 /	11.0 /	/	-	13.0 /	2.7 /	10.3 /	7.8	L	0.56	/	
10	89 /	10.5 /	/	-	21.0 /	5.0 /	16.0 /	10.6	L	0.58	/	

หมายเหตุ: / = การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย และ X หมายถึง การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย

การทดสอบทางชีวกลศาสตร์หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องตรวจสอบน้ำภายในถัง

ผลการประเมินแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตกับผู้ทดลองคนที่ 3 ซึ่งมีแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง 5,707.9 นิวตัน (ก่อนปรับปรุง) โดยใช้กล้องตรวจสอบน้ำภายในถัง ผู้ทดลองใช้มือข้างหนึ่งถือกล้องและมืออีกข้างหนึ่งถือโทรศัพท์ที่มีน้ำหนัก 0.188 กิโลกรัม และสมมติให้มือทั้ง 2 ข้างเฉลี่ยน้ำหนักยกของโทรศัพท์กระจายลงไปยังมือซ้าย-ขวาเท่ากัน และคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้ท่า ดังรูปที่ 34 พบว่าแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังส่วนล่างมีค่าเท่ากับ 1,054.8 นิวตัน หรือลดลงไป 81.5% ของค่าที่ได้ก่อนการปรับปรุง ในส่วนของผู้ทดลองคนที่ 1-2, 4 และ 6-10 ได้ประเมินภาระงานด้วยวิธีเดียวกัน หลังการปรับปรุงพบว่ามีค่าแรงกดอัดที่หลังเท่ากับ 962.6, 837.7, 943.7, 1224.8, 794.1, 1176.2, 701.9 และ 730.9 นิวตัน ตามลำดับ หรือลดลง 83.1%, 79.8%, 80.4%, 81.1%, 79.7%, 76%, 80.7% และ 81.9% ตามลำดับ หรือเฉลี่ย 80.5% แสดงดังตารางที่ 20



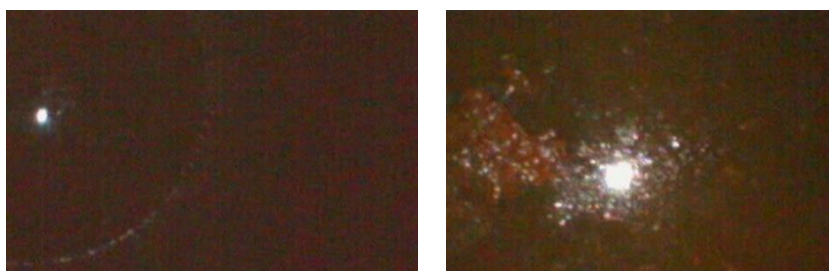
รูปที่ 34 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างด้วยการใช้กล้อง

ตารางที่ 20 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้ามเนื้อ

ผู้ทดลอง	ค่าแรงกดอัดที่หลัง -นิวตัน (ก่อนปรับปรุง)	ค่าแรงกดอัดที่หลัง-นิวตัน (หลังปรับปรุง)	%ค่าแรงกดอัดที่ลดลง
1	5699.6	962.6	83.1
2	4152.2	837.7	79.8
3	5,707.9	1,054.8	81.5
4	4803.9	943.7	80.4
5	4280.1	N/A	N/A
6	6474	1,224.8	81.1
7	3904.8	794.1	79.7
8	4910.2	1,176.2	76
9	3644.7	701.9	80.7
10	4043.4	730.9	81.9
AVG	4387.5	936.3	80.5

หมายเหตุ N/A หมายถึง ไม่สามารถบันทึกผลได้ เนื่องจากผู้ทดลองไม่พร้อมเข้าร่วมทดสอบ

ผลการตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน พบว่าภาพที่เห็นสามารถบอกได้ว่าภายในถังมีน้ำหรือไม่มีน้ำผสมอยู่ แต่ต้องใช้เวลาในการพิจารณานานถึง 29 วินาที เนื่องจากภาพมีลักษณะที่มีดและพนักงานต้องพยายามควบคุมกล้องที่มีความยาวถึง 1 เมตร ไม่ให้ชนกับผนังภายในถัง ซึ่งทำให้มองไม่เห็นน้ำที่ค้างอยู่ แสดงดังรูปที่ 35



ถังคลอรีนที่มีน้ำอยู่ภายใน



ถังคลอรีนที่ไม่มีน้ำอยู่ภายใน

รูปที่ 35 ภาพการตรวจสอบภายในถังคลอรีนด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผลการจับเวลาด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 29.00 วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.45 วินาที แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการจับเวลาการทำงานด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน

ผู้เข้าทดสอบคนที่	เวลาในการทำงาน (วินาที)
1	28.11
2	30.53
3	29.42
4	26.16
5	30.24
6	29.55
7	27.41
8	30.15
9	29.18
10	28.32
ค่าเฉลี่ย	29.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.45

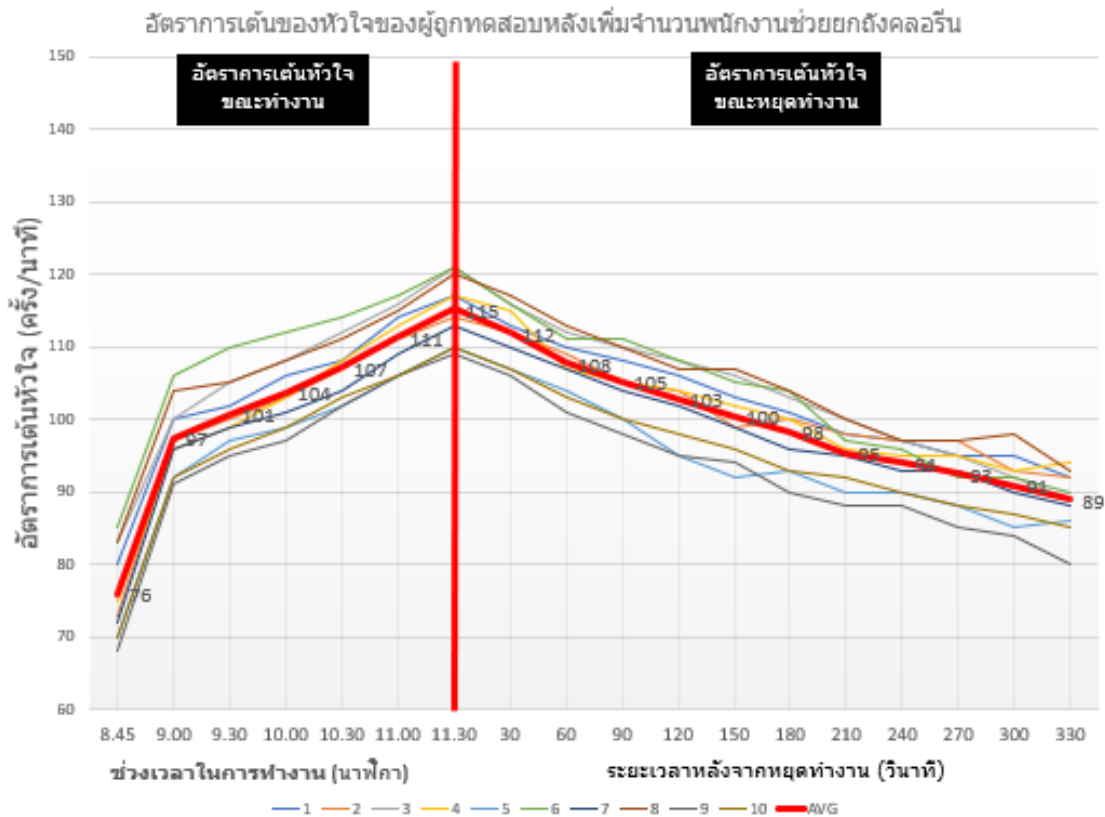
วิธีที่ 3 ลดภาระงานด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ข้อมูลในตารางที่ 22 แสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานตั้งแต่เวลา 9.00 – 11.30 น. และอัตราการเต้นหัวใจหลังจากหยุดทำงานทุกๆ 30 วินาที ตั้งแต่ 30 - 330 วินาที โดยใช้เครื่องช่วยยก ยกถังคลอรีนน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ด้วยอัตราการยก = 30 วินาที / ถัง

ตารางที่ 22 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

คนที	อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน (ครั้ง/นาที)						อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)										
		ช่วงเวลาการทำงาน						ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)										
		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	80	100	102	106	108	114	117	113	110	108	106	103	101	98	97	95	95	92
2	73	97	100	103	107	111	114	112	109	105	104	99	100	98	97	97	93	92
3	83	100	105	108	112	116	121	116	112	110	108	106	103	100	97	95	92	89
4	75	96	99	103	108	113	117	115	107	105	104	102	100	96	95	95	93	94
5	70	92	97	99	102	106	110	107	104	100	95	92	93	90	90	88	85	86
6	85	106	110	112	114	117	121	116	111	111	108	105	104	97	96	92	92	90
7	72	96	99	101	104	109	113	110	107	104	102	99	96	95	93	93	90	88
8	83	104	105	108	111	115	120	117	113	110	107	107	104	100	97	97	98	93
9	68	91	95	97	102	106	109	106	101	98	95	94	90	88	88	85	84	80
10	70	92	96	99	103	106	110	107	103	100	98	96	93	92	90	88	87	85
AVG	76	97	101	104	107	111	115	112	108	105	103	100	98	95	94	93	91	89
Max	85	106	110	112	114	117	121	117	113	111	108	107	104	100	97	97	98	94
Min	68	91	95	97	102	106	109	106	101	98	95	92	90	88	88	85	84	80



รูปที่ 36 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ Brouha หลังจากพักค่าแรก (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) พบว่าผู้เข้าทดสอบ 6 คนหรือร้อยละ 60 มีอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก เกิน 110 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 30-60 วินาทีอยู่ระหว่าง 110.5-115 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) มีค่าลดลงน้อยกว่า 10 ครั้งต่อนาที จำนวน 4 คนหรือร้อยละ 40 และมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 9-9.5 ครั้งต่อนาที โดยพบในผู้เข้าทดสอบคนที่ 1,2,3,4,6 และ 8 จำนวนทั้งสิ้น 6 คน หรือร้อยละ 60 มีค่าเกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ Karrasch และ Muller พบว่าความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักก่อนการทำงาน 15 นาที เริ่มมีค่ามากเกิน 30 ครั้งต่อนาที ในช่วงเวลาการทำงาน 10.30 น. จำนวน 6 คน คือคนที่ 2 (34 ครั้ง/นาที), คนที่ 4 (33 ครั้ง/นาที), คนที่ 5 (32 ครั้ง/นาที), คนที่ 7 (32 ครั้ง/นาที), คนที่ 9 (34 ครั้ง/นาที) และคนที่ 10 (33 ครั้ง/นาที) คิดเป็นร้อยละ 60 และ ในช่วงเวลา

การทำงาน 11.00 น. จำนวน 4 คน คือคนที่ 1 (34 ครั้ง/นาที), คนที่ 3 (33 ครั้ง/นาที), คนที่ 6 (32 ครั้ง/นาที) และคนที่ 8 (32 ครั้ง/นาที) คิดเป็นร้อยละ 40 และค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงานจากผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าเฉลี่ยเกิน 30 ครั้ง/นาที ในช่วงเวลาการทำงาน 10.30 น. อยู่ที่ 31 ครั้ง/นาที ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คน ยกคลอรีนยังพบความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring) ด้วย Vogt's method (หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน)

ผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นหัวใจของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน พบว่า

TEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.4 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.4 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 22.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 8 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

MEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.7 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.4 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 26 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 10.3 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

TOTEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34.1 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.4 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 36 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 32 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

จากทั้ง 3 ค่า TEHB, MEHB และ TOTEHB มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกคลอรีน จึงจัดว่าเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยที่ปกติ

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996 (หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน)

ร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) เป็นค่าที่ใช้บอกระดับภาระงานทางกายเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Light โดย %HRR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7 และสัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองเป็นค่าที่แสดงถึงความหนักอย่างต่อเนืองของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) พบว่าผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองไม่เกิน 1 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.82 อยู่ในช่วง 0.74-0.88 ดังนั้นจากการประเมินด้วยวิธีตาม ISO 8996 งานยกถังคลอรีนหลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยกจึงยังไม่จัดว่าเป็นงานที่มีความหนักอย่างต่อเนือง แสดงข้อมูลการประเมินภาระงานทางสรีรวิทยาดังตารางที่

23



ตารางที่ 23 การประเมินภาระงานทางสรีรวิทยา (หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน)

คนที	Brouha		Karrasch & Muller		Vogt's Method						ISO					
	หลังจากหยุดทำงาน 30-60 วินาที <110 ครั้ง/นาที		HR หลังจากหยุดทำงาน 30-60 S เทียบกับ 150-180 s ลดลง > 10ครั้ง/นาที		HRทำงาน-HRพัก <30 ครั้ง/นาที		TOTEHB \pm 40 ครั้ง/นาที		TEHB \pm 30 ครั้ง/นาที		MEHB \pm 30 ครั้ง/นาที		1. Light (L) (96HRR 0-36) 2. Medium (M) (96HRR 36-78) 3. Heavy (H) (96HRR 78-114)		HRw/ 50% level ควร < 1	
	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ช่วงเวลาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (นาที)	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (ครึ่ง/นาที)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ผล (%)	Level	ผล	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	111.5	x	9.5	x	x	11.00	33.0	/	15.0	/	18.0	/	27.3	L	0.82	/
2	110.5	x	11.0	/	x	10.30	33.0	/	22.7	/	10.3	/	34.4	L	0.88	/
3	114.0	x	9.5	x	x	11.00	33.0	/	11.7	/	21.3	/	32.2	L	0.88	/
4	111.0	x	10.0	/	x	10.30	36.0	/	20.0	/	16.0	/	26.1	L	0.79	/
5	105.5	/	13.0	/	x	10.30	32.0	/	18.0	/	14.0	/	23.7	L	0.75	/
6	113.5	x	9.0	x	x	11.00	34.0	/	8.0	/	26.0	/	31.5	L	0.87	/
7	108.5	/	11.0	/	x	10.30	36.0	/	20.0	/	16.0	/	31.7	L	0.85	/
8	115.0	x	9.5	x	x	11.00	34.0	/	13.7	/	20.3	/	28.9	L	0.85	/
9	103.5	/	11.5	/	x	10.30	36.0	/	16.3	/	19.7	/	23.9	L	0.74	/
10	105.0	/	10.5	/	x	10.30	34.0	/	18.3	/	15.7	/	27.2	L	0.80	/

หมายเหตุ: / = การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย และ X หมายถึง การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย

การทดสอบทางชีวกลศาสตร์หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ผลการประเมินแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตกับผู้ทดลอง คนที่ 3 ซึ่งมีแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างทั้ง 3 ช่วงระยะยกเฉลี่ยอยู่ที่ 5548.0 นิวตัน (ก่อนปรับปรุง) โดยเพิ่มจำนวนพนักงานช่วยยกถังคลอรีนเป็นจำนวน 2 คนต่อการยก 1 ถัง และให้ผู้ทดลองคนที่ 3 เป็นผู้ยกทดสอบหลัก มีน้ำหนัก 85 กก. ส่วนสูง 175 ซม. ร่วมกับผู้ยกทดสอบร่วมคนที่ 6 มีน้ำหนัก 95 กก. ส่วนสูง 172 ซม. ทั้ง 2 คนมีการกระจายน้ำหนักยกลงไปยังมือซ้ายซ้าย-ขวา เท่ากัน

คำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้ท่าจาก 3 ท่าต่อเนื่อง ดังรูปที่ 37 พบว่าแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างทั้ง 3 ช่วงระยะยกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3804.5 นิวตัน หรือลดลงไป 31.4% ของค่าที่ได้ก่อนการปรับปรุง แต่ยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 3,400 นิวตัน จึงจัดว่าเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ในส่วนของผู้ทดลองคนที่ 1 ร่วมกับคนที่ 4, คนที่ 2 ร่วมกับคนที่ 9, คนที่ 8 ร่วมกับคนที่ 6 และ คนที่ 10 ร่วมกับคนที่ 3 ได้ประเมินภาระงานด้วยวิธีเดียวกัน หลังการปรับปรุงพบว่ามีแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างทั้ง 3 ช่วงระยะยกเฉลี่ย 3,992.4, 3,198.6, 3,667.0 และ 2,670.6 นิวตัน ตามลำดับ หรือลดลง 21.4%, 17.1%, 12.1% และ 25.8% ตามลำดับ หรือลดลงเฉลี่ย 21.6% โดยลดลงมากที่สุด 31.4% และลดลงน้อยที่สุด 12.1% จากผู้เข้าทดสอบทั้งหมด 5 คู่ พบว่ามีค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 3 คู่หรือคิดเป็นร้อยละ 60 แสดงดังตารางที่ 24





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 37 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ตารางที่ 24 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิตหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ผู้ยกทดสอบหลัก	ผู้ยกทดสอบร่วม	ท่า	total compressive force (N) (ก่อนปรับปรุง)	AVG1	total compressive force (N) (หลังปรับปรุง)	AVG2	96ค่าแรงกดอัดที่ลดลง
1	4	1	5551.5	5076.4	4544.3	3992.4	21.4
		2	5699.6		4039.4		
		3	3978.1		3393.5		
2	9	1	4021.6	3859.1	3607.7	3198.6	17.1
		2	4152.2		3702.3		
		3	3403.4		2286.0		
3	6	1	5569.4	5548.0	4437.6	3804.5	31.4
		2	5707.9		4105.0		
		3	5366.8		2870.7		
8	6	1	4910.2	4172.0	4228.2	3667.0	12.1
		2	3916.2		3807.3		
		3	3689.8		2965.5		
10	3	1	4043.4	3601.6	3336.7	2670.6	25.8
		2	3700.3		2464.4		
		3	3061.0		2210.6		
			AVG	4387.5	AVG	3466.6	21.6
			STD	829.2	STD	533.0	7.5
			Max	5548.0	Max	3992.4	31.4
			Min	3601.6	Min	2670.6	12.1

ผลการจับเวลาด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีนพบว่ามีค่าเฉลี่ย 11.53 วินาทีส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐาน 0.38 วินาที แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการจับเวลาการทำงานหลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

ผู้ยกทดสอบหลัก	ผู้ยกทดสอบร่วม	เวลาในการทำงาน (วินาที)
1	4	11.12
2	9	11.57
3	6	11.37
8	6	11.46
10	3	12.14
	ค่าเฉลี่ย	11.53
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.38

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาก่อนการปรับปรุง

การวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำ ของ Brouha (1967) พบว่ามีอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากพักค่าแรก เกิน 110 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 119-129.5 ครั้งต่อนาทีและค่าอัตราการเต้นของหัวใจในครั้งที่ 1 (หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที) และ 3 (หลังจากหยุดงาน 150-180วินาที) มีค่าลดลงน้อยกว่า 10 ครั้งต่อนาที และมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 6-8.5 ครั้งต่อนาที ซึ่งมีค่าเกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมงและมีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อ และจากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อแนะนำของ (Karrasch และ Muller,1951) พบว่าความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ทำงานกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่พักก่อนการทำงาน 15 นาที เริ่มมีค่ามากเกิน 30 ครั้งต่อนาที ในช่วงเวลาการทำงาน 9.30 น. ร้อยละ 40 และ ในช่วงเวลาการทำงาน 10.00 น. ร้อยละ 60 และค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงานจากผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน มีค่าเฉลี่ยเกิน 30 ครั้ง/นาที ในช่วงเวลาการทำงาน 9.30 น. อยู่ที่ 31.5 ครั้ง/นาที

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitoring) ด้วย Vogt's method พบว่า ค่า TEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.9 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.1 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 33.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 30 ครั้ง/นาที โดยมีผู้เข้าทดสอบร้อยละ 90 มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที

MEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.8 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.8 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 34.7 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 28.3 ครั้ง/นาที โดยมีผู้เข้าทดสอบร้อยละ 90 มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 30 ครั้ง/นาที และ TOTEHB มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.7 ครั้ง/นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/นาที หรือมากกว่าเกณฑ์ถึง 54.3% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.2 ครั้ง/นาที ค่ามากที่สุด 65 ครั้ง/นาที และค่าน้อยที่สุด 59 ครั้ง/นาที โดยผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ 40 ครั้ง/นาที จากทั้ง 3 ค่า TEHB, MEHB และ TOTEHB มีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด

สามารถบอกได้ถึงอัตราการเต้นของหัวใจที่เด่นเร็วกว่าปกติ ดังนั้นงานยกถังคลอรีนจึงจัดเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยสูง

การประเมินอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน HRR ด้วยวิธีตาม ISO 8996 พบว่าผู้เข้าทดสอบมีภาระงานทางกายอยู่ในระดับ Medium ร้อยละ 90 โดย %HRR มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.1 การประเมินโดยรวมจึงอยู่ในระดับ Medium และสัดส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานต่อค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองเป็นค่าที่แสดงถึงความหนักอย่างต่อเนื่องของงานหากมีค่ามากกว่า 1 (Yilmaz et al., 2013) พบว่าผู้เข้าทดสอบหมดมีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองไม่เกิน 1 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.9 อยู่ในช่วง 0.81-0.95 ดังนั้นจากการประเมินด้วยวิธีตาม ISO 8996 งานยกถังคลอรีนจึงยังไม่จัดว่าเป็นงานที่มีความหนักอย่างต่อเนื่อง

จากการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจตามข้อเสนอแนะของ Brouha (1967), Karrasch และ Muller (1951) และ Vogt's method พบว่าให้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกัน คืองานยกถังคลอรีนจัดเป็นงานที่มีระดับความเหนื่อยสูง เกินขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมงและมีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ก่อนการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน พบว่าค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างก่อนการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4387.5 นิวตัน หรือมีค่าอยู่ในช่วง 3328.7 – 5673.4 นิวตัน และผู้เข้าทดสอบร้อยละ 90 มีค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 3400 นิวตัน โดยค่าแรงกดอัดที่หลังมีแนวโน้มสูงขึ้นตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มสูงขึ้นของผู้เข้าทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการยกทดสอบในภาวะสถิต แต่ในการยกจริงยังมีปัจจัยเรื่องความเร่ง หรือยกอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลให้ค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างสูงกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บ อีกทั้งยังพบว่าท่าที่ เกิดแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างมีค่ามากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ คือท่ายกระยะที่ 1 ถึงท่ามุดกับพื้น 5-10 องศา และท่ายกระยะที่ 2 ถึงท่ามุดกับพื้น 15-25 องศา ซึ่งทั้ง 2 ท่าเป็นจังหวะที่อยู่ในช่วงแรกของการยก

5.3 ผลการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์หลังการปรับปรุง

การลดภาระงานยกถังคลอรีนโดยเฉพาะแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) โดยการคำนวณตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal plane) กับผู้ทดลองชาย จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ทำงานประจำสถานีงานตรวจสอบถังแก๊ส พบว่าการลดภาระงานด้วยการใช้เครื่องยกถังคลอรีน (วิธีที่ 1) สามารถลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างเหลือ 575.2 – 1,116.5

นิวตันหรือลดลงเฉลี่ย 83.3% วิธีที่ 2 แก้ไขปัญหาด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง สามารถลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างเหลือ 701.9 – 1,224.8 นิวตันหรือลดลงเฉลี่ย 80.5% ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงมาก ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 3400 นิวตัน โดยวิธีที่ 1 ลดค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างมากที่สุดและคาดว่าอาการบาดเจ็บปวดหลังจากการทำงานจะลดลงหรือหายไปได้ ส่วนการลดภาระงานด้วยวิธีที่ 3 แก้ไขปัญหาด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีนสามารถลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างเหลือ 2670.6 – 3,992.4 นิวตันหรือลดลงเฉลี่ย 21.6% และพบว่าค่าแรงกดอัดในบางช่วงมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งยังใช้จำนวนพนักงานที่เพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 2 เท่าอีกด้วย ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น จึงยังไม่เหมาะสมต่อการนำมาปรับปรุงสถานีนงานเพื่อลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง

หลังจากการปรับปรุงด้วย 3 วิธี คือ 1.ใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีน 2.ใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง 3.ใช้ 2 คนยก พบว่าการทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาตามคำแนะนำของ Brouha วิธีการปรับปรุงสถานีนงานวิธีที่ 1 และ 2 ช่วยทำให้คนงานมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด 100% ส่วนวิธีที่ 3 ช่วยทำให้คนงานมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ปกติเพิ่มขึ้นเป็น 40% หากทดสอบตามคำแนะนำของ Karrasch และ Muller วิธีการปรับปรุงสถานีนงานวิธีที่ 1 และ 2 ช่วยทำให้ผลต่างของอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงานและพักของคนงานอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด 100% ส่วนวิธีที่ 3 ให้ผลลัพธ์ที่เกินกว่าเกณฑ์คำแนะนำเหมือนก่อนการปรับปรุงกับผู้เข้าทดสอบทั้งหมด ซึ่งยังไม่ปลอดภัยต่อการทำงาน แต่การปรับปรุงด้วยวิธีที่ 3 จะช่วยเพิ่มระยะเวลาการปฏิบัติงานของคนงานให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยาวนานมากขึ้นจากช่วง 9.30 น. เป็นช่วง 10.30 น. ซึ่งจะช่วยให้คนงานสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยเพิ่มขึ้นถึง 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบจากอัตราการยกถังคลอรีนที่เท่ากัน 30 วินาที / ถึง ในส่วนของ Vogt's method พบว่าทั้ง 3 วิธีช่วยทำให้คนงานมีค่า TOTEHB, TEHB และ MEHB อยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด สำหรับการประเมินทางสรีรวิทยาด้วยวิธีแบบ ISO พบว่าหลังปรับปรุงทั้ง 3 วิธี สามารถเปลี่ยนงานระดับ medium ให้เป็น Light ได้ทั้งหมด และการทดสอบทางชีวกลศาสตร์พบว่าวิธีที่ 1 และ 2 สามารถเพิ่มจำนวนคนงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจาก 10% เพิ่มเป็น 100% โดยแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างนั้นต้องมีค่าน้อยกว่า 3400 นิวตัน ส่วนวิธีที่ 3 สามารถเพิ่มจำนวนคนงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจาก 10% เพิ่มเป็น 40% ให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยได้ โดยข้อมูลแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบการทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาและทางชีวกลศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง

คนที่	การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยา																การทดสอบทางชีวกลศาสตร์ ค่าแรงกดอัดเฉลี่ยทั้ง 3 ระยะเวลาการยกบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง มีค่า < 3400 N			
	Brouha				Karrasch & Muller				Vogt's method				ISO							
	1. หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที อัตราการเต้นหัวใจ < 110 ครั้ง/นาที 2. อัตราการเต้นหัวใจ หลังจากหยุดงาน 30-60 วินาที เทียบกับ หลังจากหยุดงาน 150-180 วินาที มีค่าลดลง > 10 ครั้ง/นาที				HRทำงาน-HRพัก < 30 ครั้ง/นาที				1. TOTEHB (Total extra heart beats) ≤ 40 ครั้ง/นาที 2. TEHB (Thermal extra heart beats) ≤ 30 ครั้ง/นาที 3. MEHB (Motor extra heart beats) ≤ 30 ครั้ง/นาที				1. Light (L) (%HRR 0-36) 2. Medium (M) (%HRR 36-78) 3. Heavy (H) (%HRR 78-114) 4. Very heavy (V) (%HRR 114-150) 5. Extremely heavy (E) (%HRR >150)							
ก่อนปรับปรุง	เครื่องช่วยยก	กล่องสูง	ยก 2 คน	ก่อนปรับปรุง	เครื่องช่วยยก	กล่องสูง	ยก 2 คน	ก่อนปรับปรุง	เครื่องช่วยยก	กล่องสูง	ยก 2 คน	ก่อนปรับปรุง	เครื่องช่วยยก	กล่องสูง	ยก 2 คน	ก่อนปรับปรุง	เครื่องช่วยยก	กล่องสูง	ยก 2 คน	
1	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	X
2	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	√
3	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	X
4	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	N/A
5	X	√	√	√	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	N/A
6	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	N/A
7	X	√	√	√	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	N/A
8	X	√	√	X	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	X
9	X	√	√	√	X	√	√	X	X	√	√	√	L	L	L	L	√	√	√	N/A
10	X	√	√	√	X	√	√	X	X	√	√	√	M	L	L	L	X	√	√	√
%Normal	0	100	100	40	0	100	100	0	0	100	100	100	M	L	L	L	10	100	100	40

หมายเหตุ: / = การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย และ X หมายถึง การทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย

5.4 ผลการเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 27 ผลการเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง

เวลาในการตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังคลอรีน 1 ถัง (วินาที)			
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
	เครื่องช่วยยก	กล้องงู	ใช้ 2 คนยก
12	24.00	29.07	11.53

จากตารางที่ 27 พบว่าหลังการปรับปรุง วิธีใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีนและกล้องงูใช้เวลาในการทำงานมากกว่าก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 24.00 และ 29.07 วินาที ตามลำดับ โดยในส่วนของวิธีกล้องงูจะใช้ตรวจสอบน้ำที่อยู่ภายในถังคลอรีนทั้งหมดทุกถัง ซึ่งถ้าหากใช้กล้องงูตรวจสอบเพียงอย่างเดียวใช้เวลาตรวจสอบเฉลี่ยที่ 29 วินาที และ อีก 0.6% เป็นสัดส่วนของถังคลอรีนที่มีน้ำปนอยู่ด้านใน ซึ่งจะต้องใช้การยกเหมือนกับก่อนการปรับปรุง ซึ่งใช้เวลาในการยก 12 วินาที ทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้นเป็น $29(100\%) + (12)(0.6\%) = 29.07$ วินาทีต่อการตรวจสอบและระบายน้ำออก 1 ถัง ดังนั้นจะต้องเพิ่มจำนวนพนักงานและอุปกรณ์ในการลดภาระงาน 2 - 2.4 เท่า เพื่อให้ได้ทั้งความปลอดภัยและอัตราการผลิตเช่นเดิม ส่วนวิธีใช้ 2 คนยกใช้เวลาน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยหรือใกล้เคียงกับก่อนการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ผลการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 28 ผลการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนก่อนและหลังการปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
		เครื่องช่วยยก	กล้องงู	ใช้ 2 คนยก
จำนวนสถานีนงาน (สถานี)	3	6	8	3
จำนวนคนงานที่ใช้ทั้งหมด (คน)	3	6	8	6
ค่าแรงต่อปี (บาท)	432,000	864,000	1,152,000	864,000

(ค่าแรงต่อเดือน 12,000 บาท)				
จำนวนเครื่องมือลดภาระงานที่ต้องใช้ให้พอดีกับจำนวนคนงานทั้งหมด (เครื่อง)	-	6	8	-
อายุการใช้งาน	-	2 ปี	1 สัปดาห์	-
จำนวนเครื่องมือลดภาระงานที่ต้องใช้ต่อปี (เครื่อง)	-	6	416	-
ราคาเครื่องมือลดภาระงานต่อเครื่อง (บาท)	-	63,733	600	-
ต้นทุนเครื่องมือลดภาระงานต่อปี (บาท)	0	191,199	249,600	0
โอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังส่วนล่าง	100%	0%	0.6%	60%
จำนวนคนงานที่อาจจะต้องผ่าตัดหลัง (คน)	3	0	1	4
ต้นทุนในการผ่าตัดหลังต่อปี (บาท)	737,250	0	245,750	983,000
ต้นทุน 1 ปีแรก (บาท)	1,169,250	1,055,199	1,647,350	1,847,000

หมายเหตุ: ค่าผ่าตัดหลังส่วนล่าง 239,000 – 252,500 บาท/คน หรือเฉลี่ย 245,750 บาท/คน

หลังจากวิเคราะห์ผลด้านเวลาในการตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังคลอรีนแล้ว เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนเท่าเดิม จึงต้องปรับจำนวนสถานีงาน จำนวนคนงานที่ใช้ทั้งหมดและจำนวนเครื่องมือลดภาระงาน ให้สอดคล้องกับสัดส่วนของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเปรียบเทียบเวลาของหลังการปรับปรุงจากทั้ง 3 วิธีเทียบกับก่อนการปรับปรุง พบว่าวิธีใช้เครื่องช่วยยกใช้เวลาเพิ่มขึ้น 2 เท่าจากเดิม ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสถานีงานเพิ่มจากเดิม 3 เป็น 6 สถานี จำนวนคนงานเพิ่มจาก 3 เป็น 6

คน ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงต่อปีเพิ่มขึ้นจากเดิม 432,000 บาท เป็น 864,000 บาท และเพิ่มเครื่องช่วย เป็น 6 เครื่อง ทำให้ต้นทุนเครื่องมือลดภาระงานต่อปีเพิ่มขึ้นจากเดิม 0 บาท เป็น 191,199 บาท (เงินลงทุนทั้ง 6 เครื่อง = 63,733 บาท/เครื่อง \times 6 เครื่อง = 382,596 บาท แต่เครื่องยกถังคลอรีนมี อายุการใช้งาน 2 ปี ดังนั้นจึงต้องใช้เงินลงทุนต่อปี = $382,596/2 = 191,199$ บาท) แต่วิธีใช้ เครื่องช่วยยกสามารถลดโอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังส่วนล่างได้จาก 100% เป็น 0% ทำให้ต้นทุนใน การผ่าตัดหลังต่อปีลดลงได้ทั้งหมด และหากรวมต้นทุนที่ต้องใช้ภายในปีแรกทั้งหมดพบว่าลดลงจาก เดิม 1,169,250 เป็น 1,055,199 (ลดลง 114,051 บาท) ในส่วนของวิธีกล้งงูใช้เวลาเพิ่มขึ้น 2.4 เท่า จากเดิม ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสถานีงานเพิ่มจากเดิม 3 เป็น 7.2 สถานี แต่เพื่อให้ครอบคลุมผลผลิตให้ เพียงพอจึงต้องใช้ทั้งหมด 8 สถานี จำนวนคนงานเพิ่มจาก 3 เป็น 8 คน เพื่อให้สอดคล้องกับสถานี งาน ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงต่อปีเพิ่มขึ้นจากเดิม 432,000 บาท เป็น 1,152,000 บาท และใช้กล้งงู ภายในปีแรกจำนวน 416 เครื่อง เนื่องจากกล้งงูมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 1 สัปดาห์ (คนงานต้องใช้ กล้งงู 8 เครื่อง/สัปดาห์ \times 52 สัปดาห์/ปี = 416 เครื่อง/ปี) ส่งผลให้ต้นทุนเครื่องมือลดภาระงานต่อ ปีเพิ่มขึ้นจากเดิม 0 บาท เป็น 249,600 บาท (ราคาต่อเครื่อง 600 บาท) แต่วิธีใช้กล้งงูสามารถลด โอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังส่วนล่างได้จาก 100% เป็น 0.6% (สถิติถึงที่พบว่ามีน้ำและต้องยกกระบาย น้ำ) คิดเป็นคนที่ต้องผ่าตัดหลังประมาณ 1 คน ($0.6\% \times$ คนงานทั้งหมด 8 คน) ทำให้ต้นทุนใน การผ่าตัดหลังต่อปีลดลงเหลือ 245,750 บาท ($245,750$ บาท/คน \times 1 คน = 245,750 บาท) และ หากรวมต้นทุนที่ต้องใช้ภายในปีแรกทั้งหมดพบว่าเพิ่มขึ้นเป็น 1,647,350 บาท (เพิ่มขึ้น 478,100 บาท) และวิธีใช้ 2 คนยกถังคลอรีนใช้เวลาลดลงเพียงเล็กน้อยหรือประมาณเท่ากับก่อนการปรับปรุง (1 เท่าจากเดิม) ดังนั้นจึงใช้สถานีงานเท่าเดิม 3 สถานี ใช้จำนวนคนงานเพิ่มจาก 3 เป็น 6 คน ส่งผล ให้ต้นทุนค่าแรงต่อปีเพิ่มขึ้นจากเดิม 432,000 บาท เป็น 864,000 บาท และไม่มีต้นทุนเครื่องมือลด ภาระงาน โดยวิธีใช้ 2 คนยกสามารถลดโอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังส่วนล่างได้จาก 100% เป็น 60% แต่วิธีนี้ใช้จำนวนคนงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (ใช้คนงานทั้งหมด 6 คน) ดังนั้นเมื่อพิจารณาผล จากโอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังและจำนวนคนที่ใช้ทั้งหมดแล้ว จึงทำให้มีคนที่ต้องผ่าตัดหลัง มากกว่าก่อนการปรับปรุง คิดเป็นจำนวนถึง 4 คน ($60\% \times$ คนงานทั้งหมด 6 คน = 3.6 คน) ทำให้ ต้นทุนในการผ่าตัดหลังต่อปีเพิ่มเป็น 983,000 บาท ($245,750$ บาท/คน \times 4 คน = 983,000 บาท) และหากรวมต้นทุนที่ต้องใช้ภายในปีแรกทั้งหมดพบว่าเพิ่มขึ้นเป็น 1,847,000 บาท (เพิ่มขึ้น 677,750 บาท)

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าต้นทุนของการปรับปรุงด้วยวิธีใช้ 2 คนยกใช้ต้นทุนภายใน 1 ปี แรกมากที่สุด เนื่องจากผู้เข้าทดสอบร้อยละ 60 ยังคงมีค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งในการปรับปรุงด้วยวิธีใช้ 2 คนยกใช้จำนวนคนงานทั้งหมด 6 คน พบว่ามีโอกาสที่จะต้องผ่าตัดหลังส่วนล่างเป็นจำนวน 4 คน ส่งผลทำให้มีต้นทุนในการผ่าตัดหลังต่อปีสูงที่สุดอยู่ที่ 983,000 บาท และเมื่อรวมกับค่าแรงต่อปีที่มีมูลค่าสูงอยู่แล้ว จึงทำให้มีต้นทุน 1 ปีแรกสูงที่สุดเป็นจำนวนเงิน 1,847,000 บาท ทั้งนี้อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจ้างพนักงานมาทำงานแทนขณะพนักงานเหล่านี้หยุดงานเพื่อไปผ่าตัดและรักษาตัว ซึ่งจะทำให้ต้นทุนมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอีก สำหรับการปรับปรุงด้วยวิธีใช้เครื่องช่วยยกสามารถทำให้ค่าแรงกดอัดน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานได้ จึงไม่มีโอกาสที่คนงานจะต้องผ่าตัดหลัง ส่งผลให้ไม่มีต้นทุนในส่วนนี้ แต่จะใช้เวลานานมากกว่าเดิมถึง 2 เท่า จึงทำให้จุดงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 3 จุดงานเพิ่มเป็นจุด 6 จุดงานและมีต้นทุนลดลงเป็น 1,055,199 บาท แต่ก็ยังมีต้นทุนภายใน 1 ปีแรกน้อยกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีก๊อแง โดยวิธีก๊อแงใช้เวลาานที่สุดเพิ่มขึ้นมาถึง 2.4 เท่า ซึ่งก๊อแงจะพบปัญหาการตรวจสอบสภาพด้านในถึงคลอรีนมืด ทำให้การวิเคราะห์เป็นไปได้ช้า และพบปัญหาการชำรุดบ่อยครั้ง ก๊อแงมีอายุการใช้งานเพียง 1 สัปดาห์เท่านั้น จึงทำให้ต้องลงทุนในอุปกรณ์เป็นจำนวนมากถึง 249,600 บาท แม้จะมีราคาต่อเครื่องที่ไม่สูงมาก ดังรูปที่ 38 ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ต้องเพิ่มจุดงานขึ้นเป็น 8 จุดงาน จึงจะทำให้มีอัตราการผลิตเช่นเดิม และทำให้ต้นทุนในปีแรกเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเป็นจำนวนเงิน 1,647,350 บาท ซึ่งมีมูลค่าสูงรองลงมาถัดจากการปรับปรุงด้วยวิธีใช้ 2 คนยก ดังตารางที่ 28

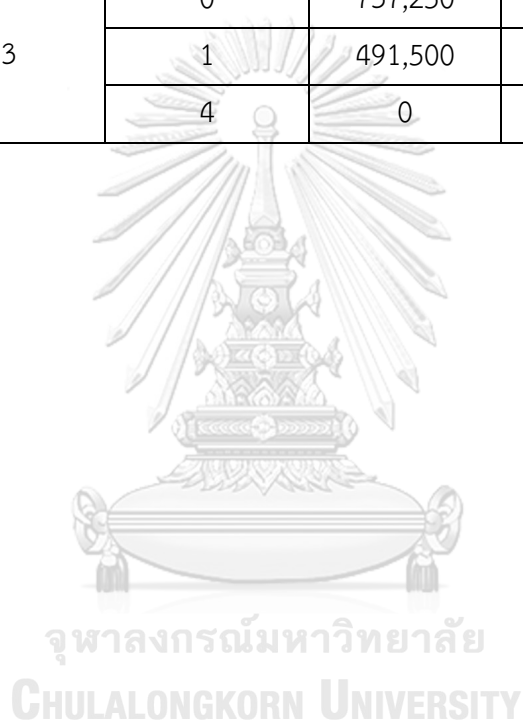


รูปที่ 38 ก๊อแงที่ถูกคลอรีนกัดกร่อน

จากตารางที่ 29 พบว่าวิธีการปรับปรุงด้วยวิธีใช้เครื่องช่วยยกมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด เนื่องจากสามารถประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานได้ถึง 737,250 บาทต่อปี (จำนวนคอนงานที่ต้องผ่าตัดหลังลดลงไป 3 คนจากก่อนการปรับปรุง ทำให้ประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานได้ 3 คน \times 245,750 บาท/คน = 737,250 บาทต่อปี) และเมื่อเทียบกับต้นทุนของแรงงานรวมกับค่าเครื่องมือลดภาระงานและค่าผ่าตัดหลังที่เพิ่มขึ้น 623,199 บาท ($432,000 + 191,199 + 0 = 623,199$ บาท) พบว่าวิธีนี้ใช้เงินลงทุนเพิ่มจากก่อนการปรับปรุงน้อยที่สุด แต่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจากการผ่าตัดหลังได้มากที่สุด หรือคิดเป็นอัตราส่วน 1.2 เท่า ในส่วนของการปรับปรุงด้วยวิธีการใช้กล้องงู พบว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุนรองลงมาจากวิธีใช้เครื่องช่วยยก เนื่องจากสามารถประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานได้ 491,500 บาทต่อปี (จำนวนคอนงานที่ต้องผ่าตัดหลังลดลงไป 2 คนจากก่อนการปรับปรุง ทำให้ประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานได้ 2 คน \times 245,750 บาท/คน = 491,500 บาทต่อปี) และเมื่อเทียบกับต้นทุนของแรงงานรวมกับค่าเครื่องมือลดภาระงานและค่าผ่าตัดหลังที่เพิ่มขึ้น 969,600 บาท ($720,000 + 249,600 + 0 = 969,600$ บาท) พบว่าวิธีนี้ใช้เงินลงทุนเพิ่มจากก่อนการปรับปรุงมากที่สุด แต่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผ่าตัดหลังได้เพียง 491,500 บาทต่อปี หรือคิดเป็นอัตราส่วน 0.5 เท่า ซึ่งมีอัตราส่วนน้อยกว่าวิธีใช้เครื่องช่วยยก แต่มีอัตราส่วนมากกว่าของวิธีใช้ 2 คนยก โดยวิธีนี้ยังพบคอนงานจำนวน 1 คน จากคอนงานทั้งหมด 8 คน ที่ต้องผ่าตัดหลัง เนื่องจากพบถึงคลอรีนส่วนหนึ่งยังมีน้ำอยู่ภายใน 0.6% จึงต้องยกถังคลอรีนเพื่อระบายน้ำเหมือนก่อนการปรับปรุง สำหรับวิธีการปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยก มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนน้อยที่สุด เนื่องจากไม่สามารถประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานลงได้ อีกทั้งยังต้องจ่ายเงินค่าผ่าตัดให้กับคอนงานเพิ่มอีก 1 คน เพราะหลังปรับปรุงพบคอนงานที่ต้องผ่าตัดหลังเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4 คน ทำให้ต้องคิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เป็นเงินลงทุนเพิ่มเติม โดยต้นทุนของแรงงานรวมกับค่าเครื่องมือลดภาระงานและค่าผ่าตัดหลังที่เพิ่มขึ้น 677,750 บาท ($432,000 + 0 + 245,750 = 677,750$ บาท) โดยวิธีนี้ประหยัดค่าผ่าตัดหลังของคอนงานได้น้อยที่สุด และมีอัตราส่วนความคุ้มค่าต่อการลงทุนเป็น 0

ตารางที่ 29 จุดคุ้มทุนหลังการปรับปรุง (Break Even Point)

วิธีการปรับปรุง	จำนวนคนงาน ที่ต้องผ่าตัด หลังจาก ปรับปรุง (คน)	จำนวนคนงาน ที่ต้องผ่าตัดหลัง หลังปรับปรุง (คน)	Save Cost จากการผ่าตัด หลังภายใน 1 ปี (บาท)	ต้นทุนแรงงาน, เครื่องมือลดภาระ งานและค่าผ่าตัด หลังที่เพิ่มขึ้นต่อปี (บาท)	อัตราส่วนระหว่าง Save cost เทียบ กับต้นทุนแรงงาน, เครื่องมือลดภาระ งานและค่าผ่าตัด หลังที่เพิ่มขึ้น
เครื่องช่วยยก	3	0	737,250	623,199	1.2
ก๊อแง		1	491,500	969,600	0.5
ใช้ 2 คนยก		4	0	677,750	0



บทที่ 6

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. การปรับปรุงสถานี่งานเพื่อลดภาระงานทั้ง 3 วิธี คือ 1.ใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีน 2.ใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบน้ำภายในถัง 3.ใช้ 2 คนยก สามารถลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ได้ 83.3%, 80.5% และ 21.6% ตามลำดับ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสามารถแก้ไขปัญหาการเจ็บปวดบริเวณหลังส่วนล่างของพนักงานในโรงงานตัวอย่างด้วยท่าทางการยกที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้นร่วมกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือลดภาระงานเข้ามาช่วยตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังคลอรีน ซึ่งเป็นไปตามนโยบายของโรงงานตัวอย่างในการลดจำนวนการรั่วไหลของถังคลอรีน อันเนื่องมาจากปัญหาการกัดกร่อนโลหะจากคลอรีนที่มีความเข้มข้นสูง โดยที่พนักงานทุกคนต้องปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย หลังจากการปรับปรุงสถานี่งานพบว่าพนักงานกลุ่มตัวอย่างมีค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ 3400 นิวตันได้ทั้งหมด ด้วยวิธีใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีนและใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบน้ำภายในถัง
2. การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาตามคำแนะนำของ Brouha วิธีการปรับปรุงสถานี่งานวิธีที่ 1 และ 2 ช่วยทำให้คนงานมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด ส่วนวิธีที่ 3 ทำให้คนงานมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ปกติเพียง 40% ของจำนวนพนักงานทั้งหมด
3. การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาตามคำแนะนำของ Karrasch และ Muller วิธีการปรับปรุงสถานี่งานวิธีที่ 1 และ 2 อยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด 100% ส่วนวิธีที่ 3 ยังมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด แต่ทำให้ผลต่างของอัตราการเต้นหัวใจระหว่างทำงานและพัก < 30 ครั้ง/นาที เปลี่ยนจากช่วงเวลา 9.30 น. เป็นช่วง 10.30 น. ซึ่งจะทำให้คนงานทำงานได้อย่างปลอดภัยและยาวนานเพิ่มขึ้นถึง 1 ชั่วโมง
4. การทดสอบตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาตามคำแนะนำของ Vogt's method พบว่าทั้ง 3 วิธีช่วยทำให้คนงานมีค่า TOTEHB, TEHB และ MEHB อยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด
5. สำหรับการประเมินทางสรีรวิทยาด้วยวิธีแบบ ISO พบว่าหลังปรับปรุงทั้ง 3 วิธี สามารถเปลี่ยนงานระดับ medium ให้เป็น Light ได้ทั้งหมด

หากเปรียบเทียบการลดภาระงานทั้ง 3 วิธี พบว่า การใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีนสามารถลดภาระงานได้มากที่สุด ถัดมาเป็นการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ลดค่าแรงกวดอัดบริเวณหลังส่วนล่างได้ดีใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีใช้ 2 คนยกลดภาระงานได้น้อยที่สุดเพียง 21.6% อีกทั้งยังพบว่าพนักงานบางส่วนยังมีค่าแรงอัดที่หลังเกินเกณฑ์มาตรฐานอยู่ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 วิธีแรกก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถทำให้คนงานร้อยละ 60 ทำงานได้อย่างปลอดภัย ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนในการผ่าตัดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการปรับปรุงด้วยวิธีอื่นและหากเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีนและใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง พบว่าวิธีใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีนใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า ซึ่งให้ผลผลิตในการทำงานที่มากกว่าและเร็วกว่า ทำให้วิธีการปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยกควบคุมต้นทุนได้ดีกว่า ในส่วนของการปรับปรุงด้วยวิธีการใช้กล้องนั้นหากพบถังที่ยังมีน้ำอยู่ภายในจะต้องยกถังคว่ำเพื่อระบายน้ำเหมือนก่อนการปรับปรุงเช่นเดิม ซึ่งยังพบโอกาสที่คนงานจะบาดเจ็บบริเวณหลังและได้รับการผ่าตัด ถึงแม้จะไม่มากเท่ากับวิธีใช้ 2 คนยกก็ตาม อีกทั้งวิธีการใช้กล้องช่วยตรวจสอบยังใช้เงินลงทุนมากกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีใช้เครื่องช่วยยก ซึ่งพบปัญหาการชำรุดบ่อย พนักงานใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบภายในถังนาน เนื่องจากภายในถังมืด แสงสว่างจากกล้องมีไม่เพียงพอ โดยคนงานมีโอกาสวิเคราะห์ผิด หากยังใช้กล้องไม่ชำนาญ ทำให้ต้องเพิ่มจำนวนคนตรวจสอบเพื่อที่จะรักษากำลังการผลิตให้ได้เท่าเดิม ดังนั้นการลดภาระงาน โดยใช้เครื่องช่วยยกถังคลอรีน จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกันจากทั้ง 3 วิธี

Alternative Choice ของการปรับปรุงทั้ง 3 วิธี

วิธีปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

เหมาะสำหรับโรงงานที่พร้อมลงทุนในอุปกรณ์ช่วยลดภาระงานในระยะยาว เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยยกมีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานถึง 2 ปี แต่มีราคาสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ช่วยลดภาระงานด้วยวิธีอื่น อีกทั้งยังเหมาะกับโรงงานที่ต้องการความปลอดภัยในระดับสูงสำหรับการทำงาน หรือสามารถลดอันตรายต่อคนงานได้ทั้งหมด และวิธีนี้เหมาะกับโรงงานที่ต้องการยกวัตถุที่มีน้ำหนักมาก อย่างเช่นภาระงานจากถังคลอรีนที่มีน้ำหนักถึง 50 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าส่งผลให้ค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างเกินกว่ามาตรฐาน

วิธีปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง

เหมาะสำหรับโรงงานที่ไม่มีสารเคมีกัดกร่อนรุนแรง เพราะจะช่วยยืดอายุการใช้งาน และลดต้นทุนของกล้องงูลงได้ ซึ่งอาจจะใช้เพียงจำนวน 8 เครื่องพอดีกับจำนวนคนงาน โดยถ้าหากกล้องงูทั้ง 8 เครื่องใช้งานได้ยาวนานถึง 1 ปีจะใช้ต้นทุนเพียง 8 เครื่อง \times 600 บาทต่อเครื่อง = 4,800 บาทเท่านั้น ประหยัดต้นทุนจากอุปกรณ์ช่วยลดภาระงานไปได้ถึง $230,400 - 4,800 = 225,600$ บาท และเหมาะกับโรงงานมีอัตราการผลิตที่ไม่เร่งรีบมาก (อัตราการผลิตช้ากว่าสถานีงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีน) เพราะจะทำให้ประหยัดค่าแรงงาน ไม่ต้องใช้คนงานถึง 8 คน ซึ่งต้นทุน 1 ปีแรกของวิธีนี้มาจากค่าแรงงานเป็นหลัก อีกทั้งยังเหมาะกับโรงงานที่ต้องการความปลอดภัยในระดับสูงสำหรับการทำงาน หรือสามารถลดอันตรายต่อคนงานได้ทั้งหมด โดยต้องปรับใช้กับถังที่มีน้ำหนักน้อยกว่าถังคลอรีน ซึ่งถ้าหากพบว่ามีน้ำเพียง 0.6% หากต้องยกและคว่ำเพื่อตรวจสอบ ก็จะทำให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 3400 นิวตัน เนื่องจากวัตถุที่ใช้ยกมีน้ำหนักเบาขึ้น ลดต้นทุนจากค่าผ่าตัดหลังได้ถึง 245,750 บาทต่อปี

วิธีปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน

เหมาะสำหรับโรงงานที่ไม่มีต้นทุนเพียงพอที่ต้องจัดหาอุปกรณ์ช่วยลดภาระงานมาใช้ แต่มีจำนวนคนงานเพียงพอที่จะนำมาช่วยยกถังคลอรีนได้ถึง 2 คนต่อจุดงาน โดยวิธีนี้ยังพบผู้ทดสอบร้อยละ 60 มีค่าแรงกดอัดเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน หากเปลี่ยนภาชนะที่ต้องยก

ตรวจสอบให้มีน้ำหนักน้อยลง เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก็จะทำให้สามารถลดต้นทุนที่จะต้องผ่าตัดหลังไปได้ถึง 983,000 บาท ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของเงินลงทุนภายในปีแรก 53% เหลือแต่เพียงค่าแรงเท่านั้น

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. การใช้เครื่องช่วยยกส่งผลให้ทำงานช้าลง โดยเพิ่มเวลาจากเดิม 12 วินาทีต่อถัง เป็น 24 วินาทีต่อถัง (เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า) เนื่องจากต้องเสียเวลาดำเนินการตั้งจากการล็อกและปลดล็อกถัง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสถานีงานและจำนวนเครื่องช่วยยก อีก 2 เท่าเพื่อให้ได้กำลังการผลิตเท่าเดิม ในอนาคตอาจปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลงได้โดยการเพิ่มส่วนประกอบในการป้องกันเข้าสู่เครื่องยก มีการล็อก ปลดล็อกและหมุนถังอัตโนมัติ
2. กล้องมีปัญหาการชำรุดบ่อย เนื่องจากถูกลอกรินกัดกร่อนและไม่สามารถใช้ตรวจสอบภายในถังต่อได้ ทำให้แต่ละสัปดาห์พนักงานต้องเบิกกล้องนำมาใช้ใหม่ ซึ่งใน 1 เดือน หรือประมาณ 4 สัปดาห์ พนักงานต้องเบิกกล้องถึง 4 ครั้งหรือ 4 เท่าของจำนวนที่ต้องใช้จริง โดยแผนตรวจสอบน้ำมีจำนวนพนักงาน 8 คน หากอุปกรณ์มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของคลอรีนขึ้นจะใช้กล้องเพียง 8 เครื่องเท่านั้น
3. จากการจับเวลาพบว่า การใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถังส่งผลให้การทำงานช้าลง โดยเพิ่มเวลาจากเดิม 12 วินาทีต่อถัง เป็น 29.07 วินาทีต่อถัง (เพิ่มขึ้นประมาณ 2.4 เท่า) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจสอบน้ำภายในถังนานที่สุด เนื่องจากภาพมีลักษณะที่มืดและพนักงานต้องพยายามควบคุมกล้องที่มีความยาวถึง 1 เมตร และวัสดุที่ใช้เป็นสายแบบอ่อนบิดงอได้ ทำให้ชนกับผนังภายในถัง ซึ่งทำให้มองไม่เห็นน้ำที่ค้างอยู่ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสถานีงานและจำนวนกล้อง อีกประมาณ 2.4 เท่าเพื่อให้ได้กำลังการผลิตเท่าเดิม ในอนาคตอาจปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลงได้โดยการเปลี่ยนวัสดุใช้งานให้เหมาะสม ทนการกัดกร่อนของคลอรีนขึ้น เพิ่มระดับแสงสว่างให้มองเห็นภายในถังให้เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น และเปลี่ยนวัสดุสายอ่อนให้เป็นแบบแข็ง ไม่บิดงอ
4. สำหรับการปรับปรุงสถานีงานด้วยการใช้ 2 คนยก มีพนักงานทั้งหมดจำนวน 6 คน = $12,000 \text{ บาท/เดือน} \times 6 \text{ คน} = 72,000 \text{ บาท/เดือน}$ หรือ $864,000 \text{ บาท/ปี}$ จากการจับเวลาพบว่าลดเวลาจากเดิม 12 วินาทีต่อถัง เป็น 11.59 วินาทีต่อถัง (ลดลง 3.4 %) เนื่องจาก

พนักงานยกถังได้เร็วขึ้นจากการเฉลี่ยภาระการยกถังคลอรีนร่วมกัน แต่ยังพบข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ในการจับบริเวณฐานของถังเพื่อยกขึ้นเพราะถังมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 37.5 ซม. ทำให้พนักงาน 2 คนยืนเบียดกันขณะยกทดสอบ

5. ควรวัดสัดส่วนร่างกายของพนักงานควบคู่ไปด้วย เพื่อใช้ข้อมูลสัดส่วนร่างกายคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างตามหลักการทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตให้มีความแม่นยำมากขึ้น



บรรณานุกรม

1. Pamphlet 6 PIPING SYSTEM FOR DRY CHLORINE Edition15, THE CHLORINE INSTITUTE, Editor. 2005. p. 67.
2. Duffy, V.G., Salvendy, G., *The impact of organizational ergonomics on work effectiveness*. Ergonomics. Vol. 42. 1999. 614–637.
3. Black, J.T., *Design and implementation of lean manufacturing systems and cells*. Handbook of Cellular Manufacturing Systems, ed. S.A.E. In: Irani. 1999, New York: Wiley & Sons.
4. Waters, T.R., Putz-Anderson, V., & Garg, A., *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*. 1994. 755.
5. Thun, J.-H., Gröbner, A., Miczka, S., *The impact of the demographic transition on manufacturing: effects of an ageing work force in German industrial firms*. Journal of Manufacturing Technology Management, 2007. 18(8): p. 985-999.
6. Anderson, C.K.a.C., D.B., *A biomechanical evaluation of five lifting techniques*. Applied Ergonomics 17.1 1986: p. 2-8.
7. Anderson, G.B.J., *Epidemiologic Aspects on Low-Back Pain in Industry*. Spine 6. 1981.
8. Barker, K.L.a.A., J. , *Reducing the biomechanical stress of lifting by training*. Applied Ergonomics 25.6. 1994.
9. Bridger, R.S., *Introduction to Ergonomics. International Edition*. McGraw-Hill. 1995.
10. Chaffin, D.B.a.A., G.B.J. , *Occupational biomechanics*. Wiley & Sons. 1984.
11. Chaffin, D.B.a.P., K.S., *A longitudinal study of low-back pain associated with occupational weightlifting factors*. Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 34. 1973.
12. Yu, T., Roht, L.H., Wise, R.A. Kilian, D.J. and Weir, F.W., *Low-back pain in industry*. J.of Occ.Med. 26. 1984.
13. Davies, B.T., *Moving loads manually*. Applied Ergonomics. 3.4. 1972.
14. Ekholm, J., Arborelius, U.P. and Nemeth, G. , *The load on the lumbo-sacral joint and trunk muscle activity during lifting*. Ergonomics 25. 1982.

15. Freivalds, A., Chaffin, D. B., Garg, A. and Lee, K. S., *A dynamics biomechanical evaluation of lifting maximum acceptable load*. Journal of Biomechanics 17 1984.
16. Khalil, T.M., Genndy, A.M., Asfour, S.S. and Vinciguerra, T., *Physiological limits in lifting*. Am.Ind.Hyg.Assec 46. 1985.
17. Kumar, S., *Cumulative load as a risk factor for back pain*. Spine 15. 1990.
18. NIOSH, *Work practices guide for manual lifting*, Department of Health and Human services National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Publication, Editor. 1981. p. 81-122.
19. Park, K.S.a.C., D.B., *Prediction of load-lifting limits for manual materials handling*. Professional safety 20. 1975.
20. Roebuck, J.A., Kroemer, K.H. and Thomson, W.G., *Engineering Anthropometry Method*. John Wiley & Sons. 1975.
21. Rowe, M.L., *Low-back pain in industry – a position paper*. J.Occup.Med. 11. 1969.
22. Scholey, M.a.H., M., *Back pain in physiotherapists involved in back care education*. Ergonomics 32. 1989.
23. Snook, S.H., *The design of manual handling tasks*. Ergonomics 21.12. 1978.
24. J.L., T.F.a.S., *Occupational Ergonomics*. 1 ed. Chapman: NY. 1997.
25. Winter, D.A., *Biomechanics of Human Movement*. John Wiley: NY. 1979.
26. กิตติ อินทรานนท์ และคณะ, การยศาสตร์. 2553, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
27. กิตติ อินทรานนท์, การศึกษาปัญหาของการเคลื่อนย้ายวัสดุและวิเคราะห์สาเหตุของการบาดเจ็บ:กรณีในโรงงานบริษัท จอห์นสัน แอนด์จอห์นสัน (ประเทศไทย) จำกัด. โครงการวิจัย โดยเงินทุนอุดหนุนการวิจัยภายนอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
28. กิตติ อินทรานนท์, การหามวลของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล. โครงการวิจัย โดย ทุนส่งเสริมการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
29. กิตติ อินทรานนท์, สัดส่วนร่างกายและความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากร

อาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย.

โครงการวิจัยโดยทุนส่งเสริมการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

30. สุทธิ ศรีบุรพา, เออร์กอนอมิกส์: วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย. 2540, กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน.
31. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบก กระสอบข้าวสาร. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
32. ตรีมิตร จำปาวัลย์, ชีตจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในแนวระนาบหน้า-หลัง. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.
33. Ayoub, M.M.a.D., P.G., *The Psychophysical approach to manual materials handling task design*. Ergonomics. Vol. 42. 1999.
34. Braune, W.a.F., O. , *The center of gravity of the human body as related to the German infantryman*. Leipzig (ATI 138, 452.Available from the Defense Documentation Center). 1889.
35. Chaffin, D.B., Herrin, G.D., and Keyserling, W.M. , *Preemployment strength testing – an updated position*. J.Occup.Med. 20. 1978.
36. Jiang, B.C.a.A., M.M. , *Modelling of maximum acceptable load of lifting by physical factors*. Ergonomics 3. 1987.
37. Undeutsch, K., *Back complaints and finding in transport workers performing physically heavy work*. Scand.J.Work.Environ.Health. 8. 1982.
38. Buckle, P.W., Kember, P.A. and Wood, A.D., *Factors influencing occupational back pain in Bedfordshire*. Spine 5. 1980.
39. Jorgenson, K.a.P., E., *Physiological problems in repetitive lifting with special reference to tolerance limits to the maximum lifting frequency*. Ergonomics 17. 1974.
40. Bangkok Hospital. *Spine Surgery*. 2022 2 July 2022; Available from: <https://www.bangkokhospital.com/en/page/spine-surgery>.
41. Samitivej Hospital. *Microscopic-assisted Lumbar Discectomy/Microscopic*

Lumbar Microdiscectomy. 2022 2 July 2022; Available from:

<https://www.samitivejhospitals.com/th/package/detail/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94?fbclid=IwAR0V42BuMUK6jbumfJJjsXWXnyp8dhuI7x3gtCx-wcGoOFx1RuSt3qq17jk>.

42. Troup, J.D.G., Chapman, A.E. , *The strength of the flexor and extensor muscles of the trunk*. J. Biomec 2. 1969.
43. สถิติงานประกันสังคม, สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน, 2556-2561.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มวลส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล

Segment	Definition	Segment Weight/ Total Body Weight	Center of Mass/ Segment Length		Radius of Gyration/ Segment Length			Density
			Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal	
Hand	Wrist axis/knuckle II middle finger	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Forearm	Elbow axis/ulnar styloid	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Upper arm	Glenohumeral axis/elbow axis	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Forearm and hand	Elbow axis/ulnar styloid	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Total arm	Glenohumeral joint/ulnar styloid	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Foot	Lateral malleolus/head metatarsal II	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Thigh	Greater trochanter/femoral condyles	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Foot and leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09
Total leg	Greater trochanter/medial malleolus	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Head and neck	C7-T1 and 1st rib/ear canal	0.081 M	1.000	— PC	0.495	1.116	— PC	1.11
Shoulder mass	Sternoclavicular joint/glenohumeral axis	—	0.712	0.288	—	—	—	1.04
Thorax	C7-T1/T12-L1 and diaphragm*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Abdomen	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Pelvis	L4-L5/greater trochanter*	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Thorax and abdomen	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Abdomen and pelvis	T12-L1/greater trochanter*	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trunk	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trunk head neck	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
HAT	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—
HAT	Greater trochanter/mid rib	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

*NOTE: These segments are presented relative to the length between the greater trochanter and the glenohumeral joint.

Source Codes: M, Dempster via Miller and Nelson; *Biomechanics of Sport*, Lea and Febiger, Philadelphia, 1973. P, Dempster via Plagenhoef; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1971. L, Dempster via Plagenhoef from living subjects; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1971. C, Calculated.

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

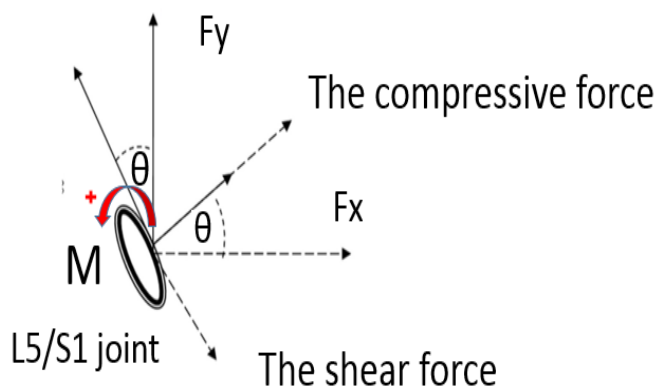
การคำนวณแรงและโมเมนต์บิดจำเป็นต้องอยู่ในสมมติฐานว่าระบบแรงอยู่ในสมดุลสถิต (Static Equilibrium) ดังนั้นเงื่อนไขข้างล่างนี้ต้องเป็นจริง (Tayyari และ Smith, 1997)

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

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

$$\sum M_{cm} = 0 \text{ (ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนใดๆ = 0)}$$

การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณได้ดังรูป



สมการคำนวณ

$$\text{The compressive force} = F_x \cos \theta + F_y \sin \theta + M/d$$

F_y = แรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง

F_x = แรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

θ = มุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน

M = โมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

d = ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลาง L5/S1 กับกล้ามเนื้อ Erector spinae กำหนดให้ระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหลังอยู่ที่ 6 ซม.

ตัวอย่าง (กำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่างๆก่อนปรับปรุง)



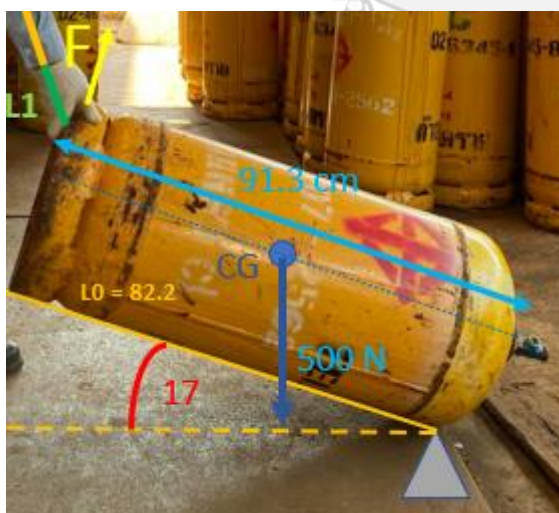
พิจารณาการยกถังคลอรีนจากพนักงานชายคนที่ 1 น้ำหนัก 78 กก. ส่วนสูง 165 ซม. ด้วยท่า
ยกระยะที่ 2 โดยยกถังท่ามุม 17 องศา กับพื้น

พิจารณาระยะและมวลของส่วนต่างๆของร่างกายได้ดังตารางด้านล่าง

	ขนาดจริง (cm)	ขนาดจากรูป (cm)
ท่อนคลอรีน	91.3	8
L1	12.6	1.1
L2	29.7	2.6
L3	34.2	3
L4	32.0	2.8
L5	57.1	5
L0	82.2	7.2

	น้ำหนัก(kg)/ชิ้น	น้ำหนัก(N)/ชิ้น	no. of body	Total mass(kg)	น้ำหนัก		Distance		Length (cm)	
					ส่วนบน	ส่วนบน	Proximal	Distal	Proximal	Distal
M1	0.468	4.68	2	0.936	9.36	0.506	0.494	6.4	6.2	
M2	1.248	12.48	2	2.496	24.96	0.43	0.57	12.8	16.9	
M3	2.184	21.84	2	4.368	43.68	0.436	0.564	14.9	19.3	
M4	6.318	63.18	1	6.318	63.18	1	0	32.0	0.0	
M5	38.766	387.66	1	38.766	387.66	0.5	0.5	28.5	28.5	
				52.884	528.84					

คำนวณแรง F ที่ต้องใช้ยกถังคลอรีน 50 กก.

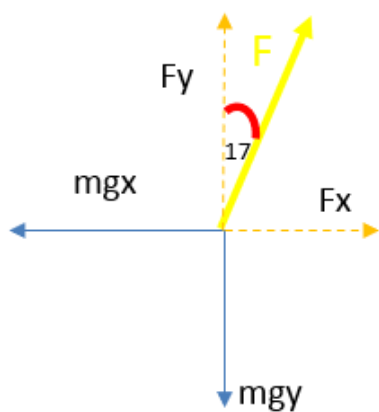


$$\sum M = 0$$

$$F \times 82.2 = 500 \times (91.3/2 - (91.3-82.2)) \times \cos(17)$$

$$F = 213 \text{ N}$$

คำนวณหาภาระงานในแนวแกน X และ Y



$$\sum F_y = 0$$

$$F_y - mgy = 0$$

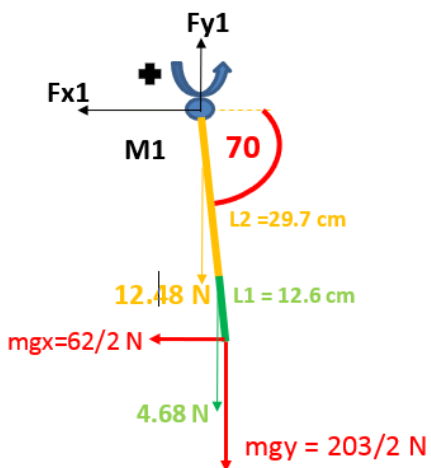
$$mgy = F_y = F \cos 17 = 213 \cos 17 = 203 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x - mgx = 0$$

$$mgx = F_x = F \sin 17 = 213 \sin 17 = 62 \text{ N}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับมือและแขนส่วนล่าง 1 ซ้าง (น้ำหนักยกหาร 2)



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y1} - 12.48 - 4.68 - (203/2) = 0$$

$$F_{y1} = 119 \text{ N}$$

$$F_{x1} - (62/2) = 0$$

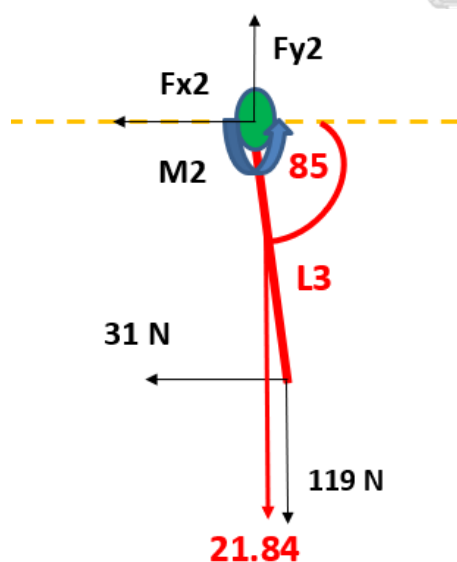
$$F_{x1} = 31 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_1 - (12.8 \cos 70^\circ \times 12.48 \text{ N}) - ((29.7 + 6.4) \cos 70^\circ \times 4.68 \text{ N}) - ((12.6 + 29.7) \cos 70^\circ \times 203/2 \text{ N}) - ((12.6 + 29.7) \sin 70^\circ \times 62/2 \text{ N}) = 0$$

$$M_1 = 2813 \text{ N.cm หรือ } 28.13 \text{ N.m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับส่วนบน 1 ข้าง



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y2} - 21.84 - 119 = 0$$

$$F_{y2} = 140.8 \text{ N}$$

$$F_{x2} - 31 = 0$$

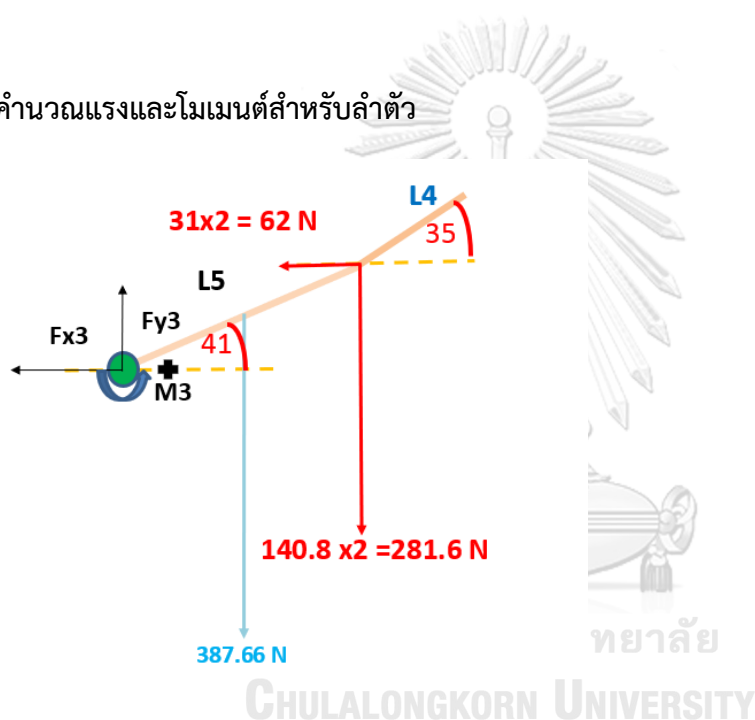
$$F_{x2} = 31 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_2 - M_1 - (14.9 \cos 85 \times 21.84 \text{ N}) - (34.2 \cos 85 \times 119 \text{ N}) - (34.2 \sin 85 \times 31 \text{ N}) = 0$$

$$M_2 = 4252 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 42.52 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับลำตัว



$$\sum F = 0$$

$$F_{y3} - 63.18 - 281.6 - 387.66 = 0$$

$$F_{y3} = 732.44 \text{ N}$$

$$F_{x3} - 62 = 0$$

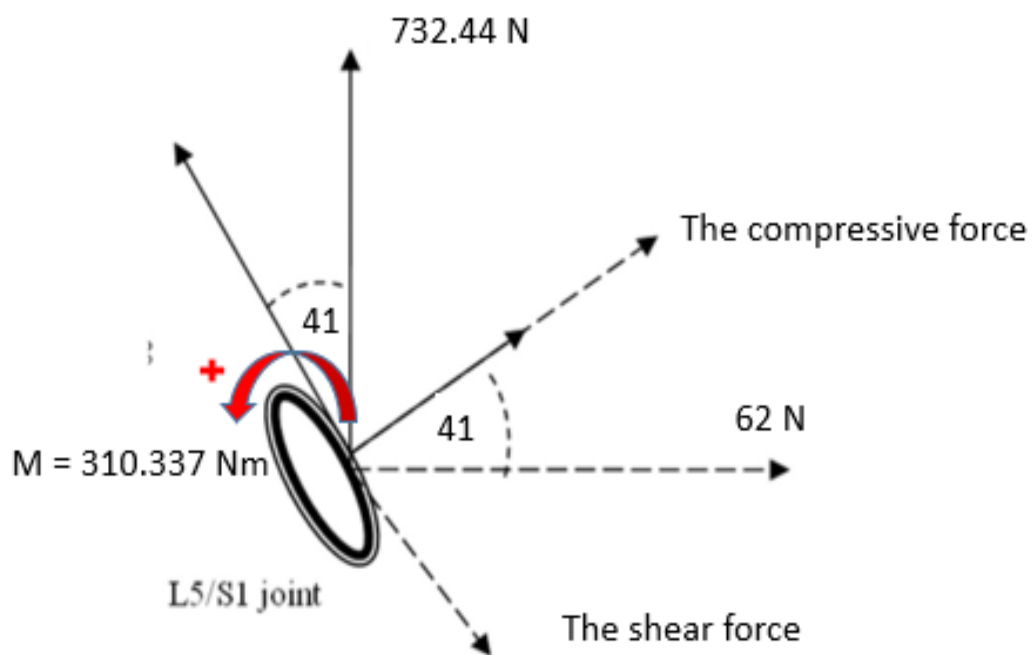
$$F_{x3} = 62 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M3 - M2 - (28.5\cos 41 \times 387.66) - (57.1\cos 41 \times 281.6) + (57.1\sin 41 \times 62) - ((57.1\cos 41 + 32\cos 35) \times 63.18 \text{ N}) = 0$$

$$M3 = 31033.7 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 310.337 \text{ N} \cdot \text{m}$$

การหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างมี Free body diagram ที่ L5/S1 ดังนี้



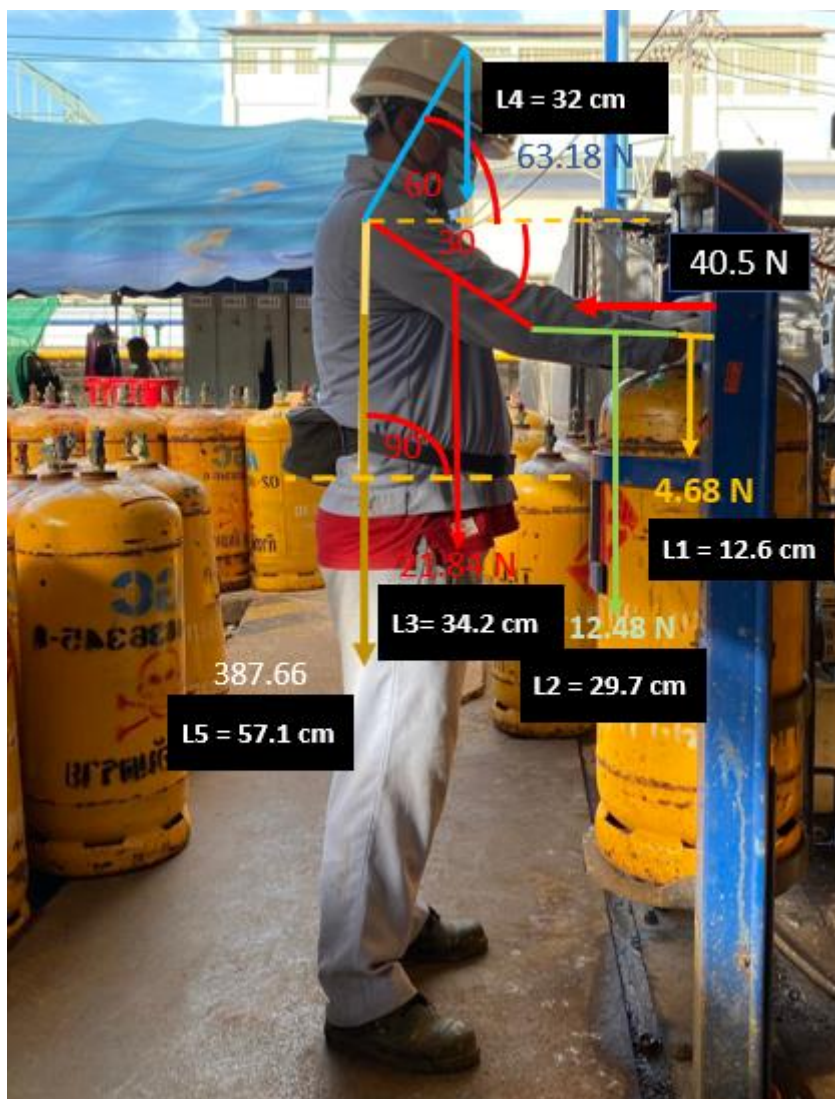
จากสมการ The compressive force = $F_x \cos \theta + F_y \sin \theta + M/d$

$$F_x = 62 \text{ N}, F_y = 732.44 \text{ N}, \theta = 41, M = 310.337 \text{ Nm}, d = 0.06 \text{ m}$$

แทนค่า The compressive force = 5,699.6 N

ตัวอย่าง (กำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่างๆหลังปรับปรุง)

วิธีที่ 1 ปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก



พิจารณารายกถึงคลอรีนจากพนักงานชายคนที่ 1 น้ำหนัก 78 กก. ส่วนสูง 165 ซม. หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

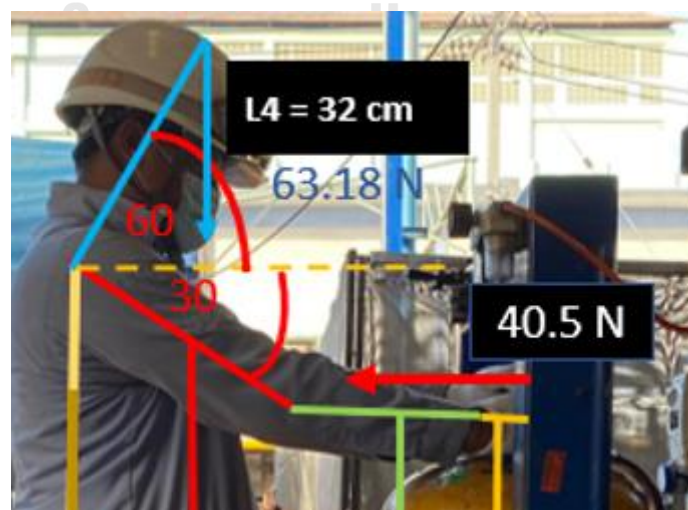
พิจารณาระยะและมวลของส่วนต่างๆของร่างกายได้ดังตารางด้านล่าง

	ขนาดจริง (cm)	ขนาดจากรูป (cm)
ท่อนคลอรีน	91.3	8
L1	12.6	1.1
L2	29.7	2.6
L3	34.2	3
L4	32.0	2.8
L5	57.1	5
L0	82.2	7.2

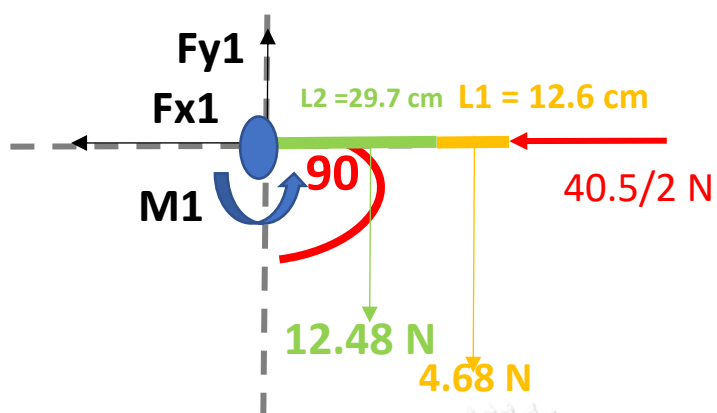
	น้ำหนัก(kg)/ชั้น	น้ำหนัก(N)/ชั้น	no. of body	Total mass(kg)		นิวตัน		Distance		Length (cm)	
				ส่วนบน	ส่วนบน	Proximal	Distal	Proximal	Distal		
M1	0.468	4.68	2	0.936	9.36	0.506	0.494	6.4	6.2		
M2	1.248	12.48	2	2.496	24.96	0.43	0.57	12.8	16.9		
M3	2.184	21.84	2	4.368	43.68	0.436	0.564	14.9	19.3		
M4	6.318	63.18	1	6.318	63.18	1	0	32.0	0.0		
M5	38.766	387.66	1	38.766	387.66	0.5	0.5	28.5	28.5		
				52.884	528.84						

แรง F ที่ต้องใช้ในการดึงถังคลอรีน 50 กก. เข้าหาตัว

แรง F ได้มาจากการวัดแรงดึงเข้าหาตัวเริ่มต้นพบว่าใช้แรงดึง 13.5 นิวตัน แต่ในการคำนวณได้เพื่อแรงดึงนี้โดยเพิ่มขึ้นไปอีก 3 เท่าของแรงดึงที่วัดได้เพื่อให้ครอบคลุมการทำงานที่อาจมีความเร่งรีบ โดยการประเมินใช้ค่าแรงดึงเท่ากับ 40.5 นิวตัน



คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับมือและแขนส่วนล่าง 1 ซ้าง (น้ำหนัก ยกหาร 2)



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y1} - 12.48 - 4.68 = 0$$

$$F_{y1} = 17.16 \text{ N}$$

$$F_{x1} - (40.5/2) = 0$$

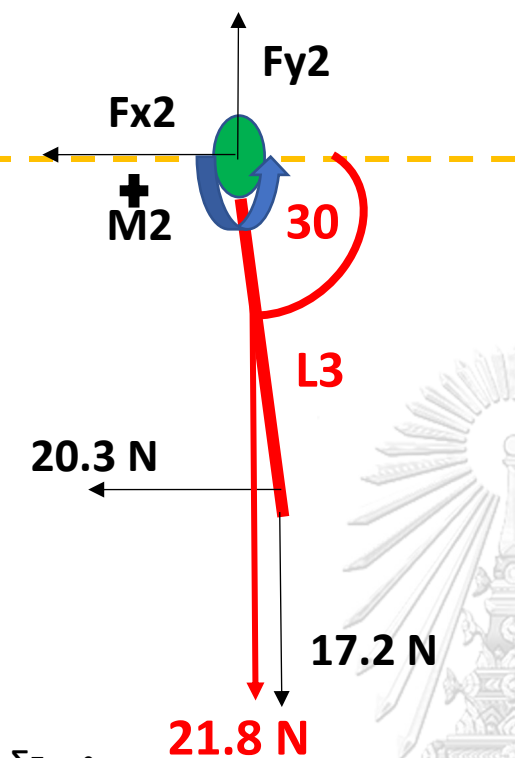
$$F_{x1} = 20.3 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_1 - (12.8 \times 12.48 \text{ N}) - ((29.7 + 6.4) \times 4.68 \text{ N}) - (0 \times 40.5/2 \text{ N}) = 0$$

$$M_1 = 328.6 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 3.286 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับส่วนบน 1 ซ้ำง



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y2} - 21.8 - 17.2 = 0$$

$$F_{y2} = 39 \text{ N}$$

$$F_{x2} - 20.3 = 0$$

$$F_{x2} = 20.3 \text{ N}$$

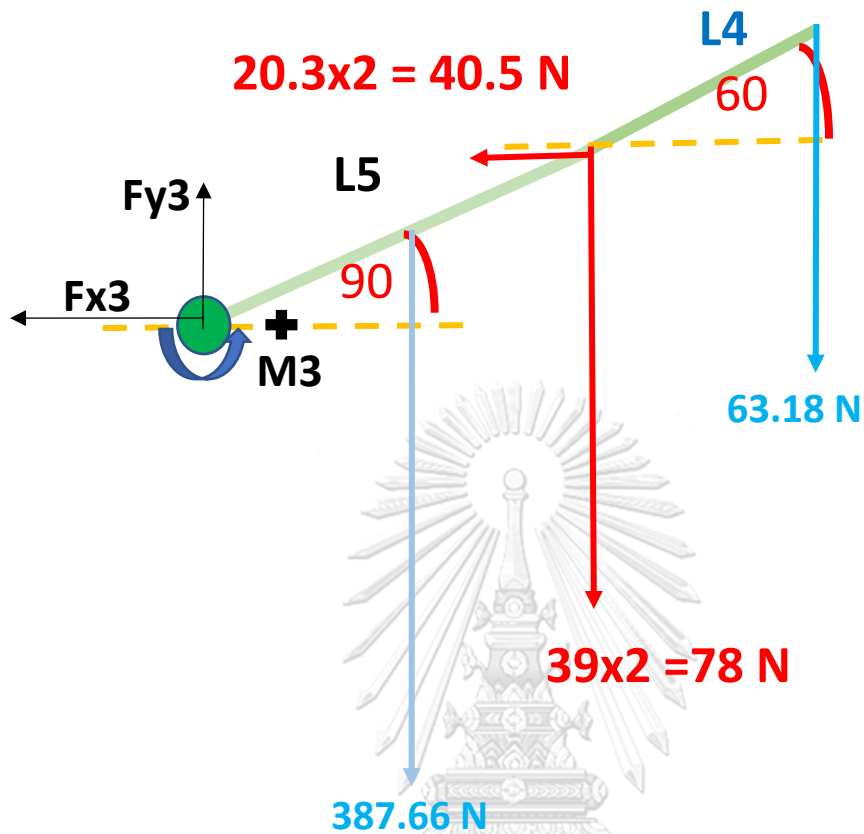
$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 - M_1 - (14.9 \cos 30 \times 21.8 \text{ N}) - (34.2 \cos 30 \times 17.2 \text{ N}) - (34.2 \sin 30 \times 20.3 \text{ N}) = 0$$

$$M_2 = 1466 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 14.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$



คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับลำตัว



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y3} - 63.18 - 78 - 387.66 = 0$$

$$F_{y3} = 528.84 \text{ N}$$

$$F_{x3} - 40.5 = 0$$

$$F_{x3} = 40.5 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_3 - M_2 - (28.5 \cos 90 \times 387.66) - (57.1 \cos 90 \times 78) + (57.1 \sin 90 \times 40.5) - ((57.1 \cos 90 + 32 \cos 60) \times 63.18 \text{ N}) = 0$$

$$M_3 - (1466 \times 2) + 2312.6 - 1010.9 = 0$$

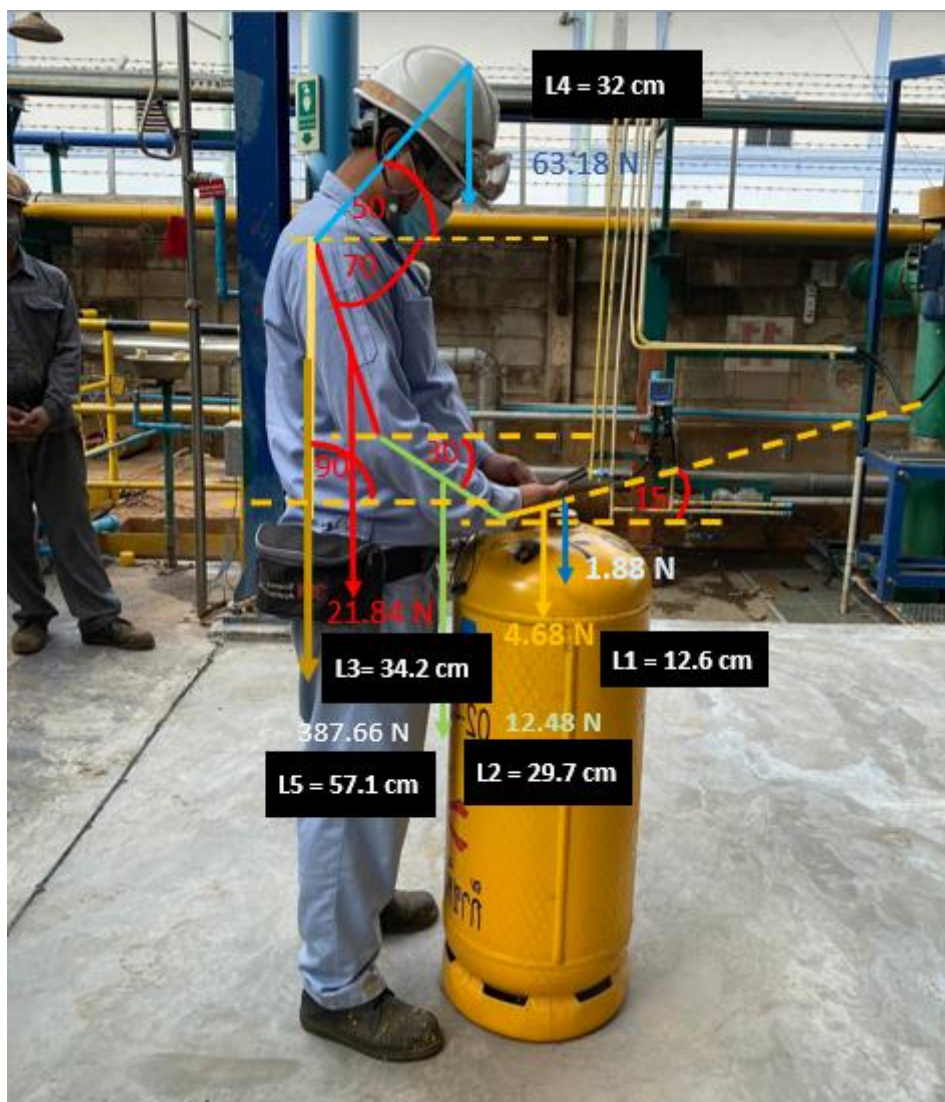
$$M_3 = 1630.3 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 16.303 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากสมการ The compressive force = $F_x \cos \theta + F_y \sin \theta + M/d$

$F_x = 40.5 \text{ N}$, $F_y = 528.84 \text{ N}$, $\theta = 90$, $M = 16.303 \text{ Nm}$, $d = 0.06 \text{ m}$

แทนค่า The compressive force = 800.56 N

วิธีที่ 2 ปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน



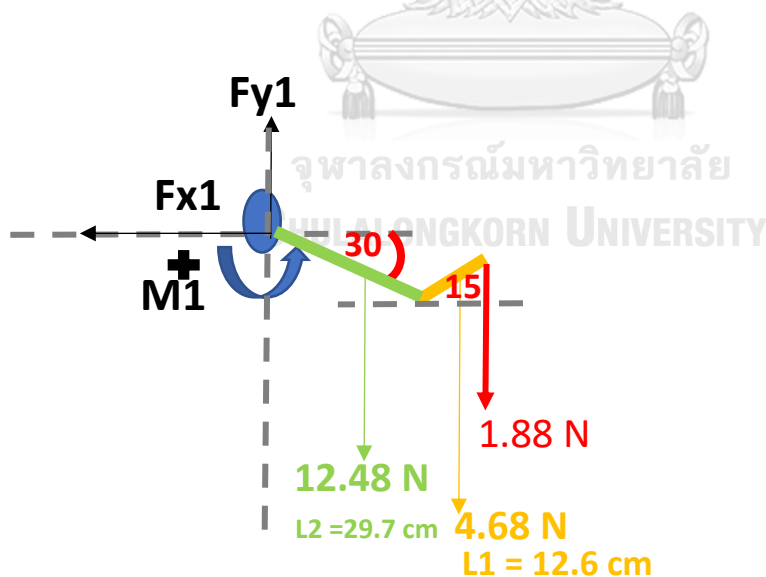
พิจารณาการยกถังคลอรีนจากพนักงานชายคนที่ 1 น้ำหนัก 78 กก. ส่วนสูง 165 ซม. หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถังคลอรีน โดยมีภาระงานเป็นมือถือน้ำหนัก 1.88 นิวตัน (188 กรัม) สมมติให้มือทั้ง 2 ข้าง กระจายภาระงานด้วยแรงเฉลี่ยที่เท่ากัน

พิจารณาระยะและมวลของส่วนต่างๆของร่างกายได้ดังตารางด้านล่าง

	ขนาดจริง (cm)	ขนาดจากรูป (cm)
ท่อนคอรีน	91.3	8
L1	12.6	1.1
L2	29.7	2.6
L3	34.2	3
L4	32.0	2.8
L5	57.1	5
L0	82.2	7.2

	น้ำหนัก(kg)/ชิ้น	น้ำหนัก(N)/ชิ้น	no. of body	Total mass(kg)	นิ้วต้น	Distance		Length (cm)	
						ส่วนบน	ส่วนบน	Proximal	Distal
M1	0.468	4.68	2	0.936	9.36	0.506	0.494	6.4	6.2
M2	1.248	12.48	2	2.496	24.96	0.43	0.57	12.8	16.9
M3	2.184	21.84	2	4.368	43.68	0.436	0.564	14.9	19.3
M4	6.318	63.18	1	6.318	63.18	1	0	32.0	0.0
M5	38.766	387.66	1	38.766	387.66	0.5	0.5	28.5	28.5
				52.884	528.84				

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับมือและแขนส่วนล่าง 1 ข้าง (น้ำหนัก ยกหาร 2)



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y1} - 12.48 - 4.68 - (1.88/2) = 0$$

$$F_{y1} = 18.1 \text{ N}$$

$$F_{x1} - (0) = 0$$

$$F_{x1} = 0 \text{ N}$$

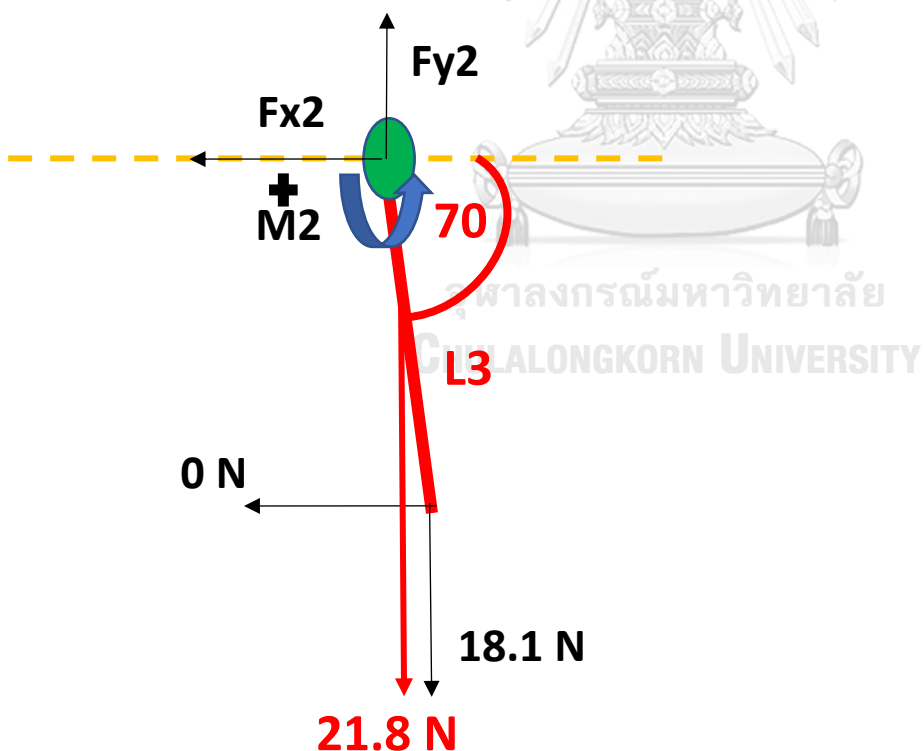
$$\Sigma M = 0$$

$$M_1 - (12.8 \cos 30^\circ \times 12.48 \text{ N}) - ((29.7 \cos 30^\circ + 6.4 \cos 15^\circ) \times 4.68 \text{ N}) - ((29.7 \cos 30^\circ + 12.6 \cos 15^\circ) \times 1.88 / 2 \text{ N}) = 0$$

$$M_1 - 138.3 - 149.3 - 35.6 = 0$$

$$M_1 = 323.2 \text{ N}\cdot\text{cm} \text{ หรือ } 3.232 \text{ N}\cdot\text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับส่วนบน 1 ซ้ำง



$$F = 0$$

$$F_{y2} - 21.8 - 18.1 = 0$$

$$F_{y2} = 39.9 \text{ N}$$

$$F_{x2} - 0 = 0$$

$$F_{x2} = 0 \text{ N}$$

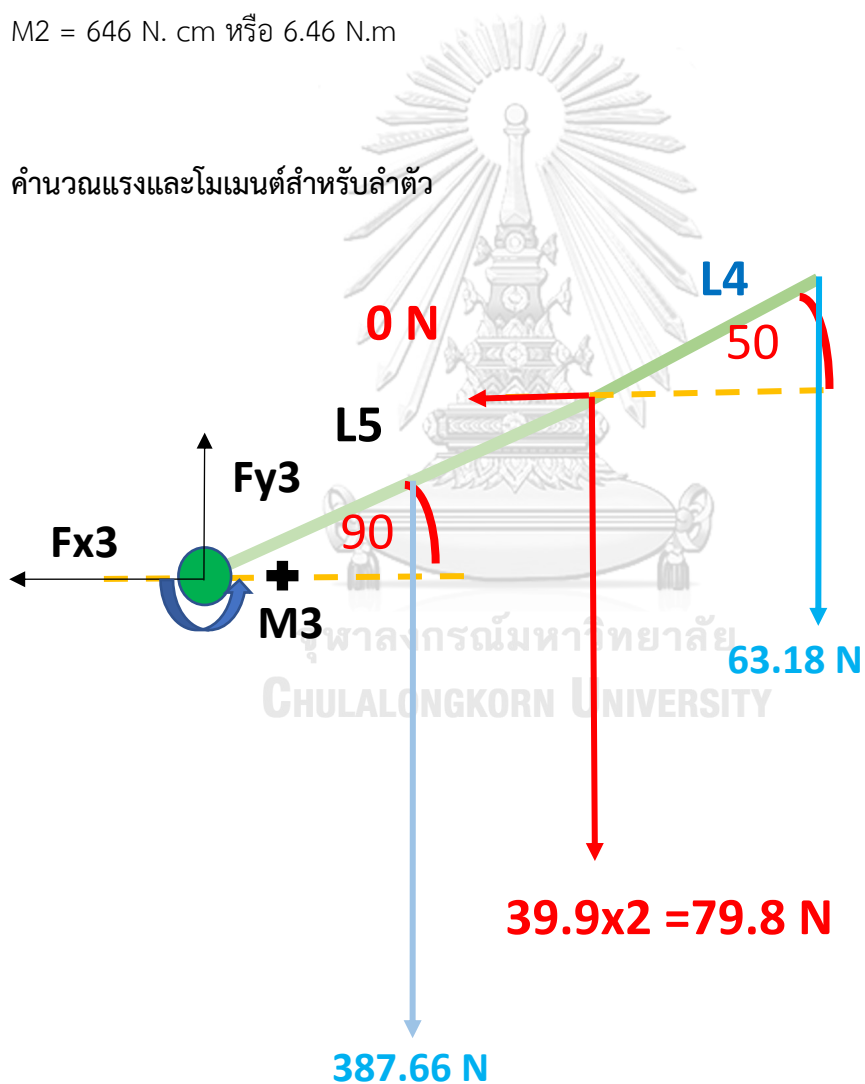
$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 - M_1 - (14.9 \cos 70 \times 21.8 \text{ N}) - (34.2 \cos 70 \times 18.1 \text{ N}) - (34.2 \sin 70 \times 0 \text{ N}) = 0$$

$$M_2 - (323.2) - 111.1 - 211.7 - 0 = 0$$

$$M_2 = 646 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 6.46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับลำตัว



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y3} - 63.18 - 79.8 - 387.66 = 0$$

$$F_{y3} = 530.64 \text{ N}$$

$$F_{x3} - 0 = 0$$

$$F_{x3} = 0 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_3 - M_2 - (28.5 \cos 90^\circ \times 387.66) - (57.1 \cos 90^\circ \times 79.8) + (57.1 \sin 90^\circ \times 0) - \\ ((57.1 \cos 90^\circ + 32 \cos 50^\circ) \times 63.18 \text{ N}) = 0$$

$$M_3 - (646 \times 2) + 0 - 1299.6 = 0$$

$$M_3 = 2591.6 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 25.916 \text{ N} \cdot \text{m}$$

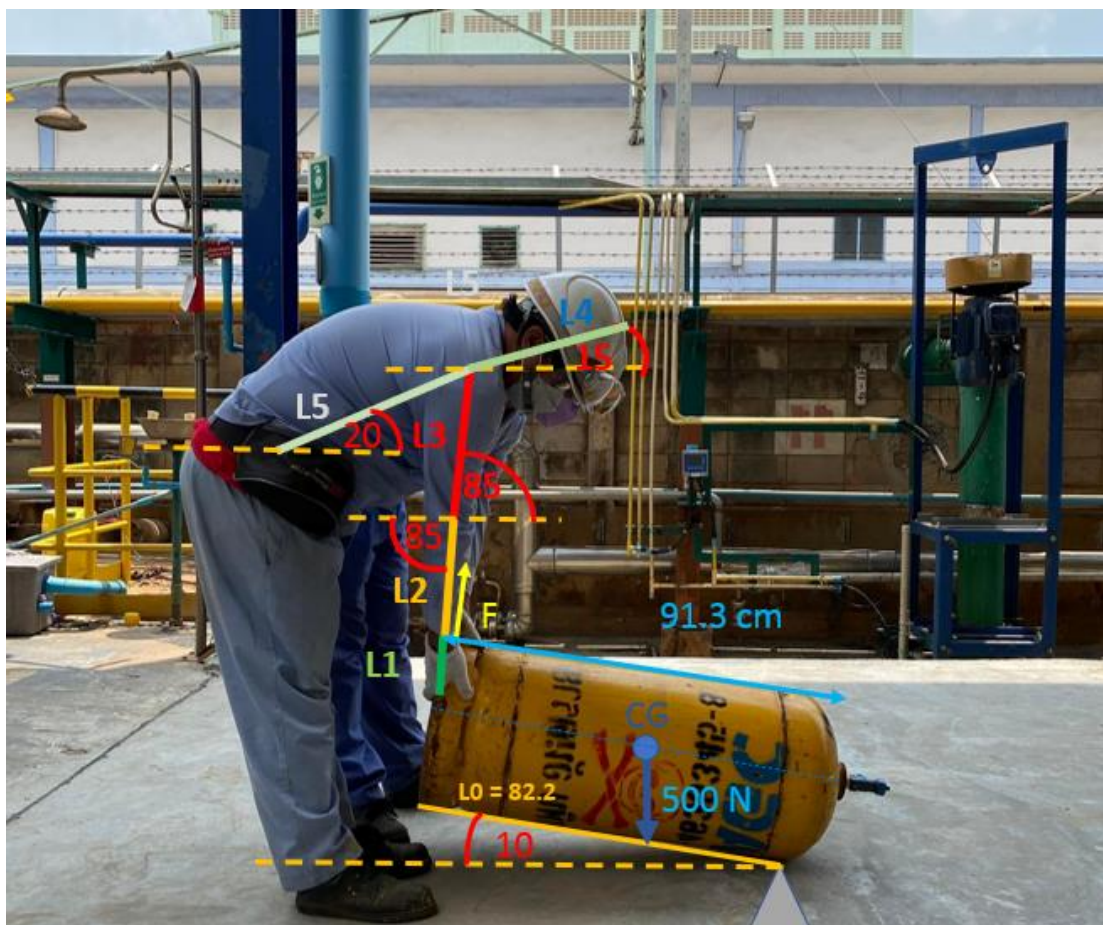
จากสมการ The compressive force = $F_x \cos \theta + F_y \sin \theta + M/d$

$$F_x = 0 \text{ N}, F_y = 530.64 \text{ N}, \theta = 90^\circ, M = 25.916 \text{ Nm}, d = 0.06 \text{ m}$$

แทนค่า The compressive force = 962.57 N



วิธีที่ 3 ปรับปรุงด้วยการเพิ่มจำนวนพนักงานช่วยยกถังคลอรีน



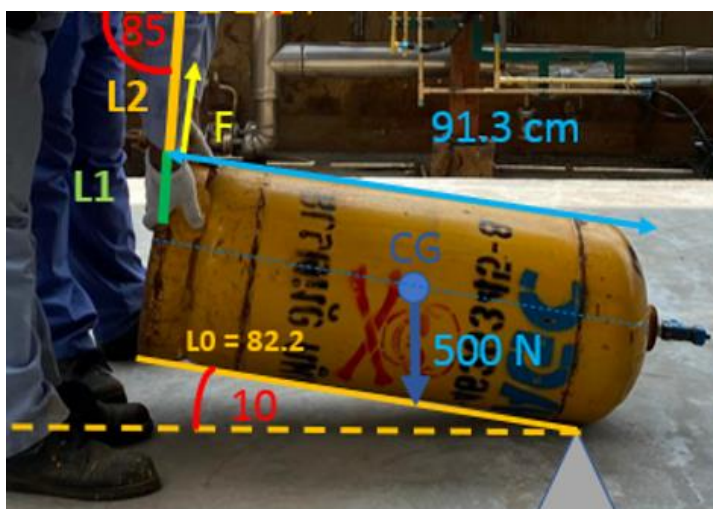
พิจารณาการยกถังคลอรีนจากพนักงานชายคนที่ 1 น้ำหนัก 78 กก. ส่วนสูง 165 ซม. คู่กับคนที่ 2 น้ำหนัก 77 กก. ส่วนสูง 168 ซม. ด้วยท่ายกระยะที่ 1 โดยยกถังท่ามุม 10 องศา กับพื้น

พิจารณาระยะและมวลของส่วนต่างๆของร่างกายได้ดังตารางด้านล่าง

	ขนาดจริง (cm)	ขนาดจากรูป (cm)
ท่อนคลอรีน	91.3	8
L1	12.6	1.1
L2	29.7	2.6
L3	34.2	3
L4	32.0	2.8
L5	57.1	5
L0	82.2	7.2

	น้ำหนัก(kg)/ชิ้น	น้ำหนัก(N)/ชิ้น	no. of body	Total mass(kg)		Distance		Length (cm)	
				ส่วนบน	ส่วนบน	Proximal	Distal	Proximal	Distal
M1	0.468	4.68	2	0.936	9.36	0.506	0.494	6.4	6.2
M2	1.248	12.48	2	2.496	24.96	0.43	0.57	12.8	16.9
M3	2.184	21.84	2	4.368	43.68	0.436	0.564	14.9	19.3
M4	6.318	63.18	1	6.318	63.18	1	0	32.0	0.0
M5	38.766	387.66	1	38.766	387.66	0.5	0.5	28.5	28.5
				52.884	528.84				

คำนวณแรง F ที่ต้องใช้ยกถังคลอรีน 50 กก.

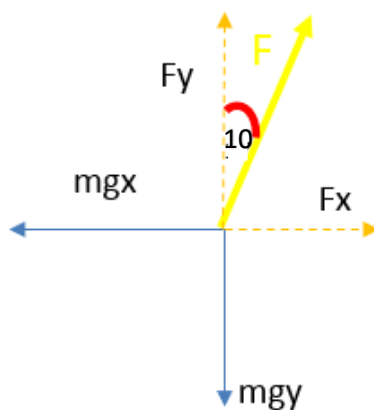


$$\Sigma M = 0$$

$$F \times 82.2 = 500 \times (91.3/2 - 9.1) \times \cos(10)$$

$$F = 219 \text{ N}$$

คำนวณหาภาระงานในแนวแกน X และ Y



$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_y - mgy = 0$$

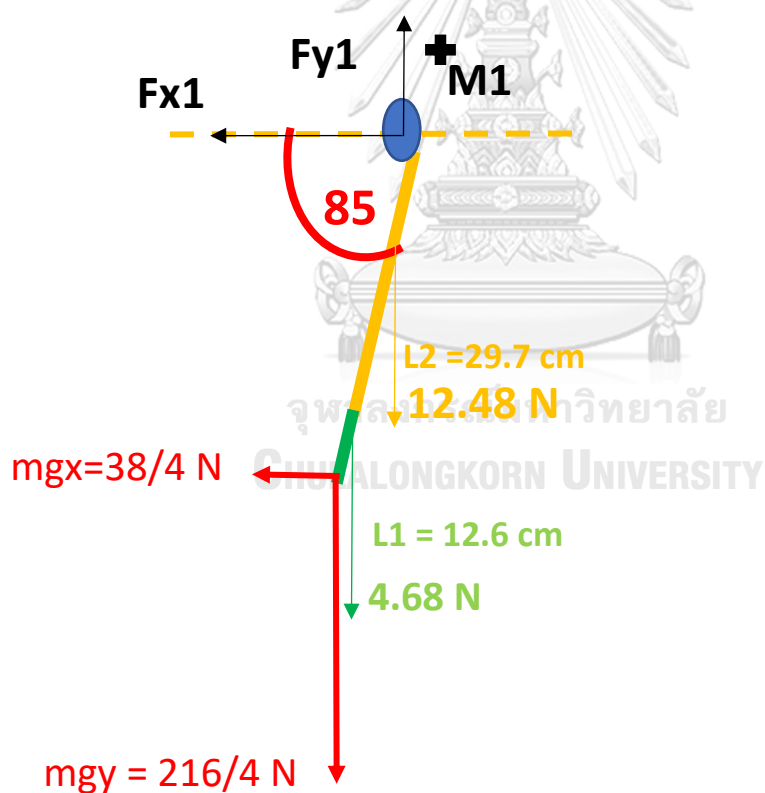
$$mgy = F_y = F \cos 10 = 219 \cos 10 = 216 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_x - mgx = 0$$

$$mgx = F_x = F \sin 10 = 219 \sin 10 = 38 \text{ N}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับมือและแขนส่วนล่าง 1 ข้าง (น้ำหนักยกทหาร 4)



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y1} - 12.48 - 4.68 - (216/4) = 0$$

$$F_{y1} = 71.2 \text{ N}$$

$$F_{x1} - (38/4) = 0$$

$$F_{x1} = 9.5 \text{ N}$$

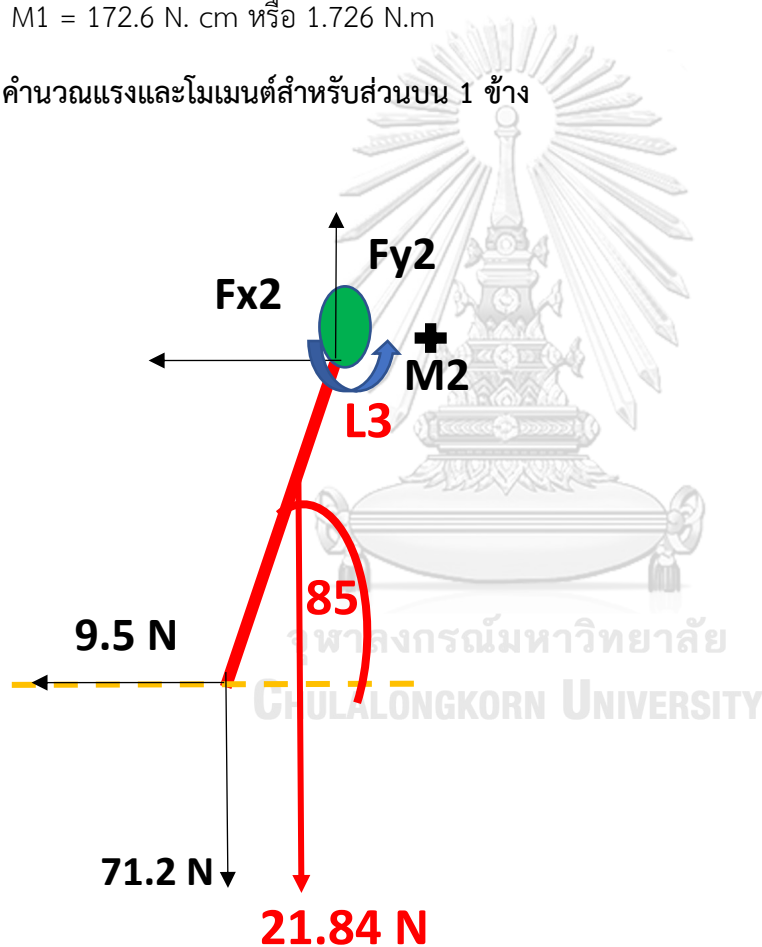
$$\Sigma M = 0$$

$$M_1 + (12.8 \cos 85 \times 12.48 \text{ N}) + ((29.7+6.4) \cos 85 \times 4.68 \text{ N}) + ((29.7+12.6) \cos 85 \times 216/4 \text{ N}) - ((29.7+12.6) \sin 85 \times 38/4 \text{ N}) = 0$$

$$M_1 + 13.9 + 14.7 + 199.1 - 400.3 = 0$$

$$M_1 = 172.6 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 1.726 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับส่วนบน 1 ข้าง



$$F = 0$$

$$F_{y2} - 21.84 - 71.2 = 0$$

$$F_{y2} = 93.04 \text{ N}$$

$$F_{x2} - 9.5 = 0$$

$$F_{x2} = 9.5 \text{ N}$$

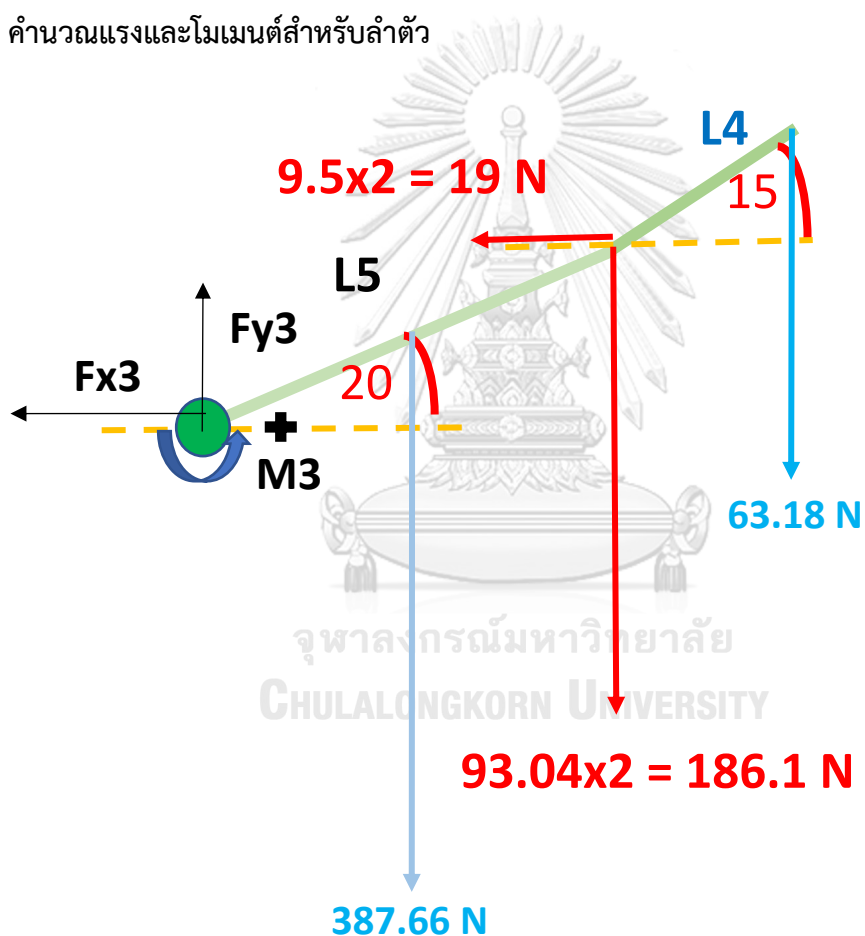
$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 - M_1 + (14.9 \cos 85 \times 21.84 \text{ N}) + (34.2 \cos 85 \times 71.2 \text{ N}) - (34.2 \sin 85 \times 9.5 \text{ N}) = 0$$

$$M_2 - (173) + 28.4 + 212.2 - 323.7 = 0$$

$$M_2 = 256.1 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 2.561 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คำนวณแรงและโมเมนต์สำหรับลำตัว



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{y3} - 63.18 - 186.1 - 387.66 = 0$$

$$F_{y3} = 636.94 \text{ N}$$

$$F_{x3} - 19 = 0$$

$$F_{x3} = 19 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_3 - M_2 - (28.5 \cos 20^\circ \times 387.66) - (57.1 \cos 20^\circ \times 186.1) + (57.1 \sin 20^\circ \times 19) - ((57.1 \cos 20^\circ + 32 \cos 15^\circ) \times 63.18 \text{ N}) = 0$$

$$M_3 - (256.1 \times 2) - 10382 - 9985.5 + 371.1 - 5342.9 = 0$$

$$M_3 = 25851.5 \text{ N} \cdot \text{cm} \text{ หรือ } 258.515 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากสมการ The compressive force = $F_x \cos \theta + F_y \sin \theta + M/d$

$$F_x = 19 \text{ N}, F_y = 636.94 \text{ N}, \theta = 20^\circ, M = 258.515 \text{ Nm}, d = 0.06 \text{ m}$$

แทนค่า The compressive force = 4,544.27 N



ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูลการประเมินทางสรีรวิทยาหลังการปรับปรุง

ตารางอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบขณะหยุดทำงานช่วงพักครั้งที่ 1 และ 3 (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)						
	ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)						
	30	60	เฉลี่ย 30-60 (AVG1)	150	180	เฉลี่ย 150-180 (AVG2)	AVG2-AVG1
1	96	93	94.5	85	83	84	10.5
2	92	90	91	80	79	79.5	11.5
3	96	94	95	85	83	84	11.0
4	88	84	86	74	75	74.5	11.5
5	92	89	90.5	81	79	80	10.5
6	100	97	98.5	88	85	86.5	12.0
7	91	88	89.5	81	77	79	10.5
8	96	93	94.5	84	83	83.5	11.0
9	88	84	86	75	74	74.5	11.5
10	92	89	90.5	81	78	79.5	11.0
AVG	93	90	92	81	80	81	11.1
Max	100	97	99	88	85	87	12.0
Min	120	118	86	74	74	75	10.5

ตารางผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน - อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)					
	ช่วงเวลาการทำงาน					
	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30
1	6	9	11	14	15	19
2	5	8	11	15	18	22
3	7	9	13	17	16	19
4	9	11	14	16	15	18
5	9	11	13	19	22	25
6	8	11	12	16	15	18
7	6	8	10	12	16	21
8	9	11	10	15	16	19
9	7	10	12	16	19	22
10	8	11	13	18	21	24
AVG	7	10	12	16	17	21
Max	9	11	14	19	22	25
Min	5	8	10	12	15	18

ตารางผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีของ Vogt (หลังปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก)

คนที่	HRR (ครั้ง/ นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)									TEHB	MEHB	TOTEHB
		ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)											
		P1-90	120	P2-150	180	P3-210	240	P4-270	300	P5-330			
1	79	90	85	85	83	83	84	83	82	82	3.7	9.3	13.0
2	73	86	85	80	79	78	77	75	76	75	3.0	12.0	15.0
3	80	90	90	85	83	83	82	84	83	83	3.3	8.7	12.0
4	72	80	77	74	75	76	76	75	74	75	3.3	2.7	6.0
5	70	86	85	81	79	77	75	76	75	73	5.3	14.7	20.0
6	84	94	92	88	85	88	87	88	87	87	3.7	6.3	10.0
7	72	86	84	81	77	77	77	75	74	75	3.7	14.3	18.0
8	80	90	86	84	83	82	82	83	81	82	2.3	9.7	12.0
9	68	81	81	75	74	74	73	72	73	71	4.3	9.7	14.0
10	70	86	83	81	78	78	75	76	75	73	5.7	13.3	19.0
AVG											3.8	10.1	13.9
SD											1.0	3.7	4.3
MAX											5.7	14.7	20.0
MIN											2.3	2.7	6.0

ตารางที่อัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) หลัง
ปรับปรุงด้วยเครื่องช่วยยก

คนที่	HR _w	HR _r	HR _{max}	%HRR	level workload	50%level	HRw/50%level
1	91.3	79	182	12.0	Light	130.5	0.70
2	86.2	73	167	14.0	Light	120.0	0.72
3	93.5	80	168	15.3	Light	124.0	0.75
4	85.8	72	194	11.3	Light	133.0	0.65
5	86.5	70	201	12.6	Light	135.5	0.64
6	97.3	84	175	14.7	Light	129.5	0.75
7	84.2	72	172	12.2	Light	122.0	0.69
8	93.3	80	178	13.6	Light	129.0	0.72
9	82.3	68	202	10.7	Light	135.0	0.61
10	85.8	70	184	13.9	Light	127.0	0.68
			AVG	13.0	Light	AVG	0.69



ตารางอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบขณะหยุดทำงานช่วงพักครั้งที่ 1 และ 3 (หลังปรับปรุง
ด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)						
	ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)						
	30	60	เฉลี่ย 30-60 (AVG1)	150	180	เฉลี่ย 150- 180 (AVG2)	AVG2- AVG1
1	94	92	93	84	81	82.5	10.5
2	90	88	89	79	77	78.0	11.0
3	94	92	93	84	81	82.5	10.5
4	95	90	93	80	81	80.5	12.0
5	91	87	89	80	77	78.5	10.5
6	98	95	97	87	83	85.0	11.5
7	89	87	88	80	75	77.5	10.5
8	95	91	93	83	81	82.0	11.0
9	86	82	84	74	72	73.0	11.0
10	90	87	89	80	76	78.0	10.5
AVG	92	89	91	81	78	79.8	10.9
Max	98	95	97	87	83	85.0	12.0
Min	86	82	84	74	72	73.0	10.5

ตารางผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (หลังปรับปรุง
ด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน - อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)					
	ช่วงเวลาการทำงาน					
	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30
1	12	14	17	19	21	24
2	4	7	11	14	18	21
3	11	13	18	21	21	23
4	8	10	14	15	15	28
5	8	8	11	16	20	22
6	16	18	20	23	23	25
7	8	9	12	13	18	22
8	9	20	20	24	26	28
9	5	7	10	13	17	19
10	8	11	14	18	22	24
AVG	9	12	15	18	20	24
Max	16	20	20	24	26	28
Min	4	7	10	13	15	19

ตารางผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีของ Vogt (หลังปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง)

คนที	HRR (ครั้ง/ นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)									TEHB	MEHB	TOTEHB
		ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)											
		P1-90	120	P2-150	180	P3-210	240	P4-270	300	P5-330			
1	72	89	83	84	81	81	79	76	73	74	5.0	15.0	20.0
2	72	85	83	79	77	76	75	71	76	75	2.0	14.0	16.0
3	74	89	88	84	81	81	79	78	77	78	5.0	13.0	18.0
4	71	85	83	80	81	77	75	75	74	73	4.0	13.0	17.0
5	71	85	83	80	77	76	75	75	73	73	3.7	14.3	18.0
6	75	93	90	87	83	86	83	81	80	79	7.0	12.0	19.0
7	69	85	82	80	75	75	74	74	72	72	4.7	16.3	21.0
8	69	89	84	83	81	80	77	76	74	71	6.7	16.3	23.0
9	69	80	79	74	72	72	71	72	73	71	2.7	10.3	13.0
10	68	85	81	80	76	76	73	72	72	71	5.0	16.0	21.0
AVG											4.6	14.0	18.6
SD											1.6	2.0	2.9
MAX											7.0	16.3	23.0
MIN											2.0	10.3	13.0

ตารางอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) หลัง
ปรับปรุงด้วยการใช้กล้องช่วยตรวจสอบน้ำภายในถัง

คนที่	HR _w	HR _r	HR _{max}	%HRR	level workload	50%level	HR _w /50%level
1	89.8	72.0	182	12.0	Light	146.0	0.62
2	84.5	72.0	167	8.4	Light	146.0	0.58
3	91.8	74.0	168	12.2	Light	147.0	0.62
4	86.0	71.0	194	10.1	Light	145.5	0.59
5	85.2	71.0	201	9.5	Light	145.5	0.59
6	95.8	75.0	175	14.4	Light	147.5	0.65
7	82.7	69.0	172	9.1	Light	144.5	0.57
8	90.2	69.0	178	14.0	Light	144.5	0.62
9	80.8	69.0	202	7.8	Light	144.5	0.56
10	84.2	68.0	184	10.6	Light	144.0	0.58
			AVG	10.8	Light	AVG	0.60

ตารางอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ถูกทดสอบขณะหยุดทำงานช่วงพักครั้งที่ 1 และ 3 (หลังปรับปรุง
ด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)						
	ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)						
	30	60	เฉลี่ย 30-60 (AVG1)	150	180	เฉลี่ย 150- 180 (AVG2)	AVG2- AVG1
1	113.0	110.0	111.5	103.0	101.0	102.0	9.5
2	112.0	109.0	110.5	99.0	100.0	99.5	11.0
3	116.0	112.0	114.0	106.0	103.0	104.5	9.5
4	115.0	107.0	111.0	102.0	100.0	101.0	10.0
5	107.0	104.0	105.5	92.0	93.0	92.5	13.0
6	116.0	111.0	113.5	105.0	104.0	104.5	9.0
7	110.0	107.0	108.5	99.0	96.0	97.5	11.0
8	117.0	113.0	115.0	107.0	104.0	105.5	9.5
9	106.0	101.0	103.5	94.0	90.0	92.0	11.5
10	107.0	103.0	105.0	96.0	93.0	94.5	10.5
AVG	111.9	107.7	109.8	100.3	98.4	99.4	10.5
Max	117.0	113.0	115.0	107.0	104.0	105.5	13.0
Min	106.0	101.0	103.5	92.0	90.0	92.0	9.0

ตารางผลต่างระหว่างอัตราการเต้นหัวใจขณะทำงานและอัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (หลังปรับปรุง
ด้วยการใช้ 2 คนยกถังคลอรีน)

คนที่	อัตราการเต้นหัวใจขณะทำงาน - อัตราการเต้นหัวใจก่อนทำงาน (ครั้ง/นาที)					
	ช่วงเวลาการทำงาน					
	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30
1	20	22	26	28	34	37
2	24	27	30	34	38	41
3	17	22	25	29	33	38
4	21	24	28	33	38	42
5	22	27	29	32	36	40
6	21	25	27	29	32	36
7	24	27	29	32	37	41
8	21	22	25	28	32	37
9	23	27	29	34	38	41
10	22	26	29	33	36	40
AVG	22	25	28	31	35	39
Max	24	27	30	34	38	42
Min	17	22	25	28	32	36

ตารางผลการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีของ Vogt (หลังปรับปรุงด้วยการใช้ 2 คนยกถัง
คลอรีน)

คนที่	HRR (ครั้ง/ นาที)	อัตราการเต้นหัวใจขณะหยุดทำงาน (ครั้ง/นาที)									TEHB	MEHB	TOTEHB
		ระยะเวลาหลังจากหยุดทำงาน (วินาที)											
		P1-90	120	P2-150	180	P3-210	240	P4-270	300	P5-330			
1	72	108	106	103.0	101	98	97	95	95	92	15.0	18.0	33.0
2	72	105	104	99.0	100	98	97	97	93	92	22.7	10.3	33.0
3	74	110	108	106.0	103	100	97	95	92	89	11.7	21.3	33.0
4	71	105	104	102.0	100	96	95	95	93	94	20.0	16.0	36.0
5	71	100	95	92.0	93	90	90	88	85	86	18.0	14.0	32.0
6	75	111	108	105.0	104	97	96	92	92	90	8.0	26.0	34.0
7	69	104	102	99.0	96	95	93	93	90	88	20.0	16.0	36.0
8	69	110	107	107.0	104	100	97	97	98	93	13.7	20.3	34.0
9	69	98	95	94.0	90	88	88	85	84	80	16.3	19.7	36.0
10	68	100	98	96.0	93	92	90	88	87	85	18.3	15.7	34.0
AVG											16.4	17.7	34.1
SD											4.4	4.4	1.4
MAX											22.7	26.0	36.0
MIN											8.0	10.3	32.0

ตารางอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์ขณะทำงาน (relative heart rate at work : %HRR) หลังปรับปรุงด้วยการใช้
2 คนยกถังคลอรีน

คนที่	HR _w	HR _r	HR _{max}	%HRR	level workload	50%level	HR _w /50%level
1	107.8	80.0	182	27.3	Light	131	0.82
2	105.3	73.0	167	34.4	Light	120	0.88
3	110.3	83.0	168	32.2	Light	125.5	0.88
4	106.0	75.0	194	26.1	Light	134.5	0.79
5	101.0	70.0	201	23.7	Light	135.5	0.75
6	113.3	85.0	175	31.5	Light	130	0.87
7	103.7	72.0	172	31.7	Light	122	0.85
8	110.5	83.0	178	28.9	Light	130.5	0.85
9	100.0	68.0	202	23.9	Light	135	0.74
10	101.0	70.0	184	27.2	Light	127	0.80
			AVG	28.7	Light	AVG	0.82



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภาณุพงศ์ ภาวิไล
วัน เดือน ปี เกิด	24-02-1994
สถานที่เกิด	จ.นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	B.Sc.
ที่อยู่ปัจจุบัน	161 พหลโยธิน48 แยก 29 ถ.พหลโยธิน อนุสาวรีย์ บางเขน กทม. 10220



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY