

วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดดันของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์แผงแบนได้ข้าง
และสปอยเลอร์หลัง

นางสาวกาญจนา หลวงโปธา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นเพิ่มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

EVALUATION METHOD FOR REDUCTION OF COMPRESSIVE FORCE
AT LOWER BACK IN PACKING OF MUDGUARD SET CENTER AND AIR SPOILER
ASSEMBLY

Miss Kanjana Luangpota

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดดันของหลังส่วนล่างในงาน
บรรจุผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง

โดย

นางสาวกาญจนา หลวงโปธา

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสงศ์ ใจจนโรวรรณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร์)

กาญจนา หลวงโปธา : วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง. (EVALUATION METHOD FOR REDUCTION OF COMPRESSIVE FORCE AT LOWER BACK IN PACKING OF MUDGUARD SET CENTER AND AIR SPOILER ASSEMBLY) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาระงานสำหรับงานบรรจุผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลังเพื่อการส่งออก มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินภาระงานและการลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่าง โดยหาผลกระทบของความสูงโต๊ะปฏิบัติงาน และความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน ใช้แนวทางชีวกลศาสตร์ภาวะสถิตซึ่งจะศึกษาการทำงานในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) กับผู้ถูกวิจัยเพศหญิงจำนวน 2 คนที่ปฏิบัติหน้าที่บรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกมีระดับปัจจัยที่ศึกษาคือระดับความสูงโต๊ะ 86, 92.5 และ 95 ซม. และระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน 0, 50 และ 100 ซม.

ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยระดับความสูงโต๊ะและปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง โดยปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงกดอัดมากกว่าปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ สำหรับปัจจัยร่วมระหว่างระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานนั้นก็ยังมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังเช่นกัน การพิจารณาว่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นพบว่าที่ระดับปัจจัยเดิมนั้นค่าแรงกดอัดสูงสุดคิดเป็น 44% ของกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ซึ่งเกินระดับความปลอดภัยที่ NIOSH แนะนำไว้ เมื่อปรับระดับความสูงโต๊ะที่ 95 ซม. ระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานเป็น 100 ซม. ค่าแรงกดอัดสูงสุดคิดเป็น 26% ของกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ซึ่งต่ำกว่าระดับความปลอดภัยที่ NIOSH แนะนำไว้

เพื่อเป็นการกำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับภาระงานบรรจุชิ้นงานในการทำวิจัยครั้งนี้ ระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณหลังส่วนล่างมีค่าต่ำที่สุดคือ 95 และ 100 ซม.

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5271405821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : COMPRESSIVE FORCE AT LOWER BACK / BIOMECHANICAL APPROACH IN STATIC MODEL

KANJANA LUANGPOTA : EVALUATION METHOD FOR REDUCTION OF COMPRESSIVE FORCE AT LOWER BACK IN PACKING OF MUDGUARD SET CENTER AND AIR SPOILER ASSEMBLY. ADVISOR: PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 125 pp.

This thesis mainly was to find workload and reduce compressive force at lower back for packing process by using a biomechanical approach in static model. The 2 female employees were tested in Saggital Plane. In this experiment, the factors studied were the height of table 86, 92.5 and 95 cm and the height of box placement 0, 50 and 100 cm.

The results show that the height of box placement and the height of table have a significant impact on the compressive force at lower back. For the interaction of 2 factors, impact on the compressive force at lower back too. Calculating maximum pressure from old factor, maximum pressure is 44% of muscle static which more than recommended valued of NIOH. But if change factor such as table level to 95 cm., the height of box will be 100 cm. and maximum pressure reduce 26% which lower than recommended valued of NIOH

To create maximum acceptance allowance load of job in this thesis, level of table and box height will be 95 cm. and 100 cm. to get lowest maximum compressive force at lower back

Department :Industrial Engineering..... Student's Signature

Field of Study :Industrial Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.ไพโรจน์ ฤดาภิจักรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โจนโรวรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย รวมถึงขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการอบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ผู้วิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ทำงานในปัจจุบัน และนอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมและให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยเป็นกำลังใจและสนับสนุนให้ความช่วยเหลือด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	8
1.6 ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการวิจัย.....	9
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 หลักการและเหตุผล.....	10
2.1.1 งานที่หนักเกินกำลัง.....	10
2.1.2 งานซ้ำซาก.....	10
2.1.3 ท่าทางที่ไม่เหมาะสม (Awkward postures).....	11
2.1.4 อยู่ในท่าใดท่าหนึ่งนานเกินไป.....	11
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการบาดเจ็บและความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุ.....	13
2.3 ความสำคัญของงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน.....	15
2.3.1 แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach).....	18
2.3.2 แนวทางสรีรวิทยา (Physiological Approach).....	18
2.3.3 แนวทางจิตวิทยากายภาพ (Psychophysical Approach).....	19

บทที่	หน้า
2.4	19
2.4.1	20
2.4.2	20
2.4.3	22
2.5	26
2.6	27
2.7	30
2.8	31
2.8.1	33
2.8.2	35
2.8.3	36
2.9	37
2.10	38
2.11	41
2.12	43
2.13	44
2.14	45
2.15	45
2.16	46
2.17	47
2.18	48
2.18.1	48
2.18.2	49

บทที่	หน้า	
2.19	เกณฑ์การประเมินโดยใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา.....	55
2.20	งานวิจัยเกี่ยวกับท่าทางการทำงาน.....	56
3.	การดำเนินงานวิจัย.....	59
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	59
3.2	ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย.....	59
3.3	รูปแบบการทดลอง.....	61
4.	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	62
4.1	ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม.....	62
4.1.1	ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของร่างกายอย่าง รวดเร็วด้วยวิธีการ RULA.....	62
4.2	รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ.....	62
4.3	การทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	65
4.3.1	ผลการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัด กำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	66
4.4	ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์.....	77
4.5	การวิเคราะห์ผลของปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ และระดับความสูงของจุดวางกล่อง สำหรับใส่ชิ้นงานในการบรรจุชิ้นงานเพื่อนส่งออกของผู้ถูกทดสอบ ทั้ง 2 คน.....	93
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	94
5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	95
	รายการอ้างอิง.....	96
	ภาคผนวก.....	
	ภาคผนวก ก แสดงแบบฟอร์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	99
	ภาคผนวก ข การวิเคราะห์เชิงสถิติ.....	101
	ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง.....	104
	ภาคผนวก ง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	109

	หน้า
ภาคผนวก จ ขั้นตอนในการวิเคราะห์งานโดยวิธีการ RULA Limb Assessment.....	111
ภาคผนวก ฉ การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	120
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงความสูงพื้นผิวการทำงานที่เหมาะสมสำหรับงานยืนที่แตกต่างกัน ตามลักษณะของงานแต่ละประเภท.....	21
ตารางที่ 2.2	ค่าน้ำหนักที่แนะนำให้ยกได้ขณะทำงาน RWL ประกอบด้วยระยะยก (V) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 75 ซม (ท่าย่อเข่ายกขึ้นมาจากพื้น).....	32
ตารางที่ 2.3	แนะนำช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการยกของในแต่ละช่วงอายุของผู้ยกย้าย เป็นคำแนะนำของ ILO (หน่วยเป็นนิวตัน).....	35
ตารางที่ 2.4	แสดงสมการประมาณค่า CS ที่นักวิจัยคนอื่นได้กำหนดไว้ (อ้างจากตรีจักร, 2538).....	40
ตารางที่ 2.5	ข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Winter, 1979).....	45
ตารางที่ 4.1	ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน.....	65
ตารางที่ 4.2	ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (เพศหญิง อายุ 17-24 ปี).....	65
ตารางที่ 4.3	ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	66
ตารางที่ 4.4	ระยะเวลาที่แรงกดอัดเกินระดับความปลอดภัยเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดของงาน (%) สำหรับผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนขณะทำการบรรจุสปอยเลอร์หลังและแผงบันไดข้างที่แต่ละระดับปัจจัย.....	92

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	อัตราการให้บริการโรงพยาบาลปี 2553 (ครึ่ง: อัตรากำลัง)..... 5
รูปที่ 1.2	กราฟแสดงห้าอันดับแรกของโรคที่เกิดในบริษัท..... 5
รูปที่ 1.3	กราฟแสดงยอดขายของลูกค้านิสสันปี 2553..... 6
รูปที่ 1.4	กราฟแสดงความถี่ในการปฏิบัติงาน..... 7
รูปที่ 2.1	แสดงภาพด้านข้างของกระดูกสันหลังบริเวณบั้นเอว..... 13
รูปที่ 2.2	แสดงระดับความสูงของงานประเภทต่างๆ เทียบจากระดับความสูง ของข้อศอกผู้ปฏิบัติงาน..... 21
รูปที่ 2.3	แสดงพื้นที่ 3 มิติที่เหมาะสมสำหรับงานยืน..... 22
รูปที่ 2.4	แสดงขอบเขตระยะการหยิบจับในแนวตั้งตรงหน้า..... 23
รูปที่ 2.5	ภาพแสดงแนวระดับสายตา ตามปกติ มองตรง..... 24
รูปที่ 2.6	ข้อแนะนำการออกแบบส่วนต่างๆสำหรับงานยืน..... 24
รูปที่ 2.7	แสดงขนาดของแรงกด (Fc) ที่คาดว่าจะเกิดบน L5/S1 Disc ในขณะที่ยก-วางวัตถุใน มือ..... 26
รูปที่ 2.8	แสดงระยะห่างของแนวแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเอ็คเทอริ สไปแน (FM)..... 28
รูปที่ 2.9	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยและพิสัยของแรงกดที่ทำให้เกิดการแตกสลายของ กระดูกสันหลังช่วงล่างของบุคคลในวัยต่าง ๆ ซึ่งเสียชีวิตไปแล้ว..... 30
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างของการวิเคราะห์ประเมินหาค่า RWL และค่า LI ตามคำแนะนำของ NIOSH โดยใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ประเมินผล..... 33
รูปที่ 2.11	แสดงตัวแปรที่มีผลต่อขีดจำกัดของน้ำหนักในการยก H, D, V และ F (NIOSH)..... 34
รูปที่ 2.12	ภาพฉายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ..... 42
รูปที่ 2.13	ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต..... 43
รูปที่ 2.14	ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต..... 47
รูปที่ 2.15	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนดิ่งบริเวณ L5/S1..... 48
รูปที่ 2.16	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1..... 49
รูปที่ 2.17	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดิ่งของกล้ามเนื้อหลัง..... 49
รูปที่ 2.18	ท่าทางการยกแบบ Stoop..... 57

รูปที่ 2.19	ท่าทางการยกแบบ Squat parallel/flat.....	57
รูปที่ 4.1	ภาพต่อเนื่องขณะทำการจัดเตรียมกล่องสำหรับบรรจุแผงบันไดข้าง.....	63
รูปที่ 4.2	ภาพต่อเนื่องขณะทำการบรรจุแผงบันไดข้างเพื่อส่งออก.....	66
รูปที่ 4.3	ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ.....	68
รูปที่ 4.4	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง.....	68
รูปที่ 4.5	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนบน.....	69
รูปที่ 4.6	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว.....	70
รูปที่ 4.7	ผังของแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก.....	71
รูปที่ 4.8	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง.....	73
รูปที่ 4.9	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนบน.....	74
รูปที่ 4.10	ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว.....	75
รูปที่ 4.11	ภาพนิ่งต่อเนื่อง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.....	78
รูปที่ 4.12	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.....	79
รูปที่ 4.13	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.....	80
รูปที่ 4.14	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.....	80
รูปที่ 4.15	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.....	81
รูปที่ 4.16	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.....	82
รูปที่ 4.17	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.....	82
รูปที่ 4.18	แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.....	83

บทที่ 1

บทนำ

กิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุ เช่นการยก การเข็น การลากสิ่งของ มักจะเป็นปัญหาของผู้มีหน้าที่วางแผนการใช้แรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงผู้ที่ประสงค์จะลดอัตราหรือสถิติอุบัติเหตุ การบาดเจ็บและลดการเจ็บป่วยอันเนื่องมาจากการทำงาน แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำเอาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สามารถทำงานโดยอัตโนมัติมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกับงานที่มีกระบวนการชัดเจน และงานที่ทำอย่างซ้ำซาก เป็นเหตุให้ช่วยลดการใช้แรงงานลงได้มาก แต่การทำงานโดยใช้มือและกำลังก็ยังคงมีอยู่มาก ซึ่งการใช้ระบบอัตโนมัติทำงานกับงานที่เป็นกรให้บริการ หรืองานที่ช่วยสนับสนุนการผลิตในสายงานประกอบค่อนข้างจะเป็นไปได้ยาก เพราะลักษณะงานไม่เป็นลักษณะที่เป็นแบบเดียวกันอย่างชัดเจนนอกเหนือไปจากเหตุผลในเรื่องของขนาดการลงทุนเพิ่ม

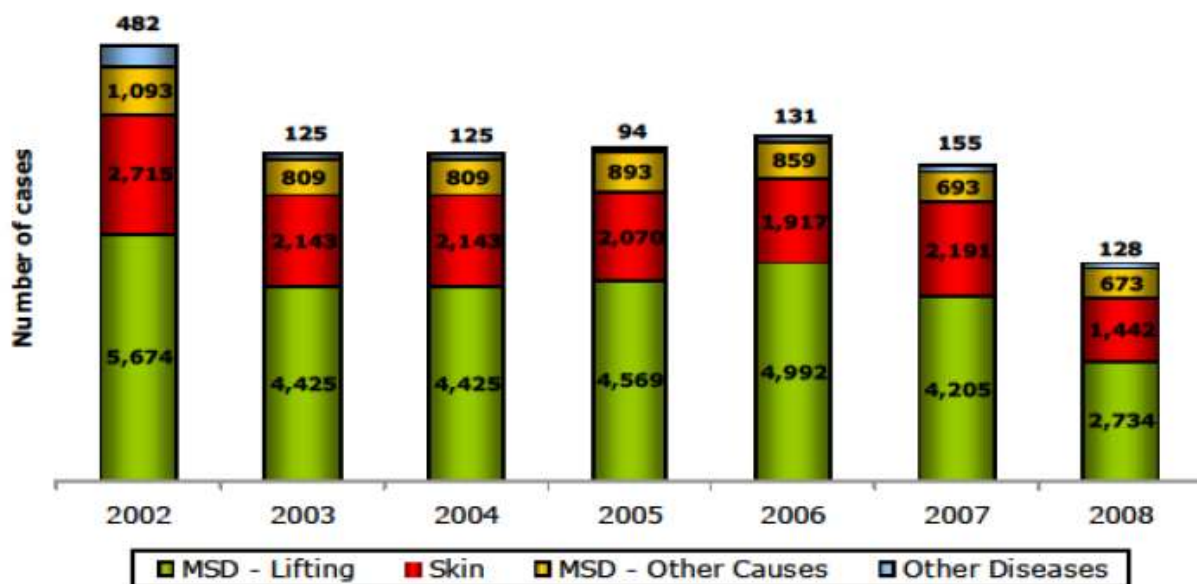
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การทำงานที่ต้องเคลื่อนย้ายวัสดุมีความเสี่ยงค่อนข้างสูงที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บ จากสถิติอุบัติเหตุ เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุของสหรัฐอเมริกามีอัตราสูงถึง 25% และสหราชอาณาจักรมีสถิติ 24% ในเรื่องเดียวกัน สำหรับอุบัติเหตุทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องมาจากการออกแรงมากเกินไปนั้นยังส่งผลให้มีอาการปวดหลังสูงถึง 50%

การควบคุมสถิติอุบัติเหตุเกี่ยวกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุ ต้องมีการวางแผนงานโครงการที่รัดกุมเป็นขั้นตอน โดยมีความเข้าใจปัญหาในแง่มุมต่างๆ และสามารถแก้ไขปัญหานั้นได้ ซึ่งปัจจัยที่จะมีผลกระทบต่องานเคลื่อนย้ายวัสดุอาจสรุปได้ดังนี้ (Chaffin และ Andersson, 1984)

ลักษณะคนงาน	ลักษณะของงาน	ลักษณะของสิ่งของ	ลักษณะของการทำงาน
อายุ	ระยะเอื้อม	น้ำหนัก	แผนการพักระหว่างงาน
เพศ	ความถี่ในการหยิบยก	ขนาดของสิ่งของ	การฝึกฝน ฝึกหัด
ความกระตือรือร้น	ระยะเวลาในการหยิบยก	การกระจายของน้ำหนัก	การสลับการทำงาน
ความแข็งแรง	สภาพแวดล้อม	มือจับ	การออกกำลัง
ฯลฯ	ฯลฯ	ฯลฯ	ฯลฯ

ในจำนวนปัจจัยทั้ง 4 ที่กล่าวข้างต้น จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมโดยใช้วิธีการจัดการ และวิธีการทางวิศวกรรมมาช่วย ซึ่งต้องดำเนินการควบคู่กันไปเพื่อควบคุมอุบัติเหตุและลดอัตราการบาดเจ็บเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายวัสดุ โดยฝ่ายจัดการชอบที่จะดูแลในเรื่องของลักษณะการทำงานมากกว่า ในขณะที่ฝ่ายวิศวกรรมจะสนใจและเอาใจใส่กับปัจจัยลักษณะของงาน ส่วนในเรื่องของลักษณะคนงานและเรื่องลักษณะของสิ่งของ จะต้องอาศัยการผสมผสานกันระหว่างฝ่ายจัดการและฝ่ายวิศวกรรม จะต้องพิจารณาคำตอบที่ถูกต้องร่วมกัน โดยลักษณะของคนงานที่มีคุณสมบัติในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น อายุ เพศ น้ำหนักตัว สัดส่วนร่างกาย กำลังความแข็งแรง ความอดทน ความสมบูรณ์ของร่างกาย ปัจจัยทางจิตวิทยา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันอาจให้ผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกันได้ จึงนิยมพิจารณาในรูปแบบของปัจจัยเสี่ยงจะได้ผลมากกว่า



Occupational Diseases Claimed in Thailand (2002 – 2008)

การเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ (Manual Material Handling) เป็นการทำงานที่อาศัยแรงคนในการยกของขึ้น-ลง การผลัก การลากหรือการดึง การเดินถือ หรือการปล่อย จากรายงานการศึกษาของ Troub และ Edward (1985) พบว่าร้อยละ 74 ของการบาดเจ็บที่เกิดจากการทำงานที่เกิดบริเวณหลังส่วนล่าง เกิดจากการทำงานในกิจกรรมยก การเดินถือ และการโยน และร้อยละ 15 เกิดจากการทำงานในกิจกรรมการผลัก และการลาก ซึ่งจะเห็นว่าการบาดเจ็บจากการทำงานที่เกิดขึ้น ส่วนมากมักพบในกิจกรรมการทำงานที่เป็นการเคลื่อนย้ายวัสดุแทบทั้งสิ้น และโดยปกติ การศึกษาเพื่อจะช่วยลดการบาดเจ็บบริเวณดังกล่าวนี้มักจะเป็นการศึกษา ขีดความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุที่เป็นงานเดี่ยว (Single Tasks) ในขณะที่การเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือส่วนใหญ่ที่พบในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะมีลักษณะเป็นงานผสม (Combination

Tasks) ที่ประกอบด้วยกิจกรรมย่อยเป็นงานเดี่ยวต่างๆ และถึงแม้จะมีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาเพื่อประเมินค่าความเสี่ยงในการทำงานของงานผสม แต่ก็ให้ข้อสรุปที่ต่างกันเป็นสองกลุ่มโดย กลุ่มแรกกล่าวว่า “การประเมินค่าความเสี่ยงในการทำงานของงานผสมสามารถประเมินได้จากงานเดี่ยวที่เป็นกิจกรรมย่อยของงานผสมนั้นโดยพิจารณาจากงานเดี่ยวที่ให้ค่าวิกฤต” (Ciriello et al.,1990;Snook & Ciriello, 1991) และกลุ่มที่สองให้ข้อสรุปที่ขัดแย้งกับกลุ่มแรกว่าการประเมินค่าความเสี่ยงในการทำงานของงานผสมไม่สามารถประเมินได้จากงานเดี่ยวที่ประกอบเป็นงานผสมนั้นๆ ได้ (Straker, 1996;1997)

ในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นงานผสมที่พบมากในการเคลื่อนย้ายหรือจัดเก็บในโรงงานบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก เพื่อช่วยในการออกแบบลักษณะการทำงานที่เหมาะสม และกำหนดเกณฑ์เป็นมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียและป้องกันการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง

อุบัติเหตุหนึ่งในสี่ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการทำงานล้วนเกิดจาก การเคลื่อนย้ายวัสดุ โดยมีการเคลื่อนย้ายวัสดุไปสู่อุปกรณ์การผลิต, จากกระบวนการผลิตไปสู่โกดังสินค้า, จากโกดังสินค้าไปสู่ลูกค้า ดังนั้น การเคลื่อนย้ายวัสดุดังกล่าว จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ คือ การเคลื่อนย้ายด้วยมือและการเคลื่อนย้ายด้วยเครื่องจักร

● งานเคลื่อนย้ายในโรงงานตัวอย่าง

ลักษณะงาน

1. จัดเตรียมชิ้นงานสำหรับบรรจุมายังจุดปฏิบัติงาน

คะแนนจาก RULA = 6

ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบ

ดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

2. จัดเตรียม EPE FOAM SHEET วางไว้บนโต๊ะสำหรับใช้ห่อชิ้นงาน

คะแนนจาก RULA = 7

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการ

ปรับปรุงโดยทันที

3. หยิบชิ้นงานจาก DOLLY ไปทำการห่อด้วย EPE FOAM SHEET

คะแนนจาก RULA = 6

ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

4. นำชิ้นงานที่ห่อเรียบร้อยแล้วกลับมาวางยัง DOLLY

คะแนนจาก RULA = 6

ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

5. ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 จนครบ DOLLY

6. เตรียมกล่องกระดาษสำหรับบรรจุชิ้นงานที่ห่อแล้ว

คะแนนจาก RULA = 7

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

7. ติด PARTITION เข้ากับพื้นกล่อง

คะแนนจาก RULA = 7

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

8. บรรจุชิ้นงานลงในกล่องตามจำนวนที่ระบุในวิธีปฏิบัติงาน

คะแนนจาก RULA = 7

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

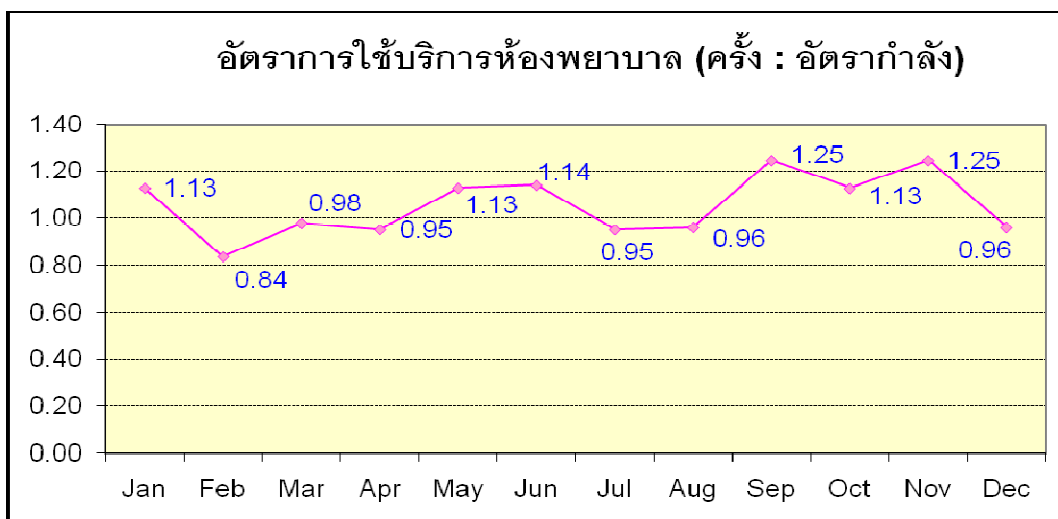
9. ปิดฝากล่อง

คะแนนจาก RULA = 6

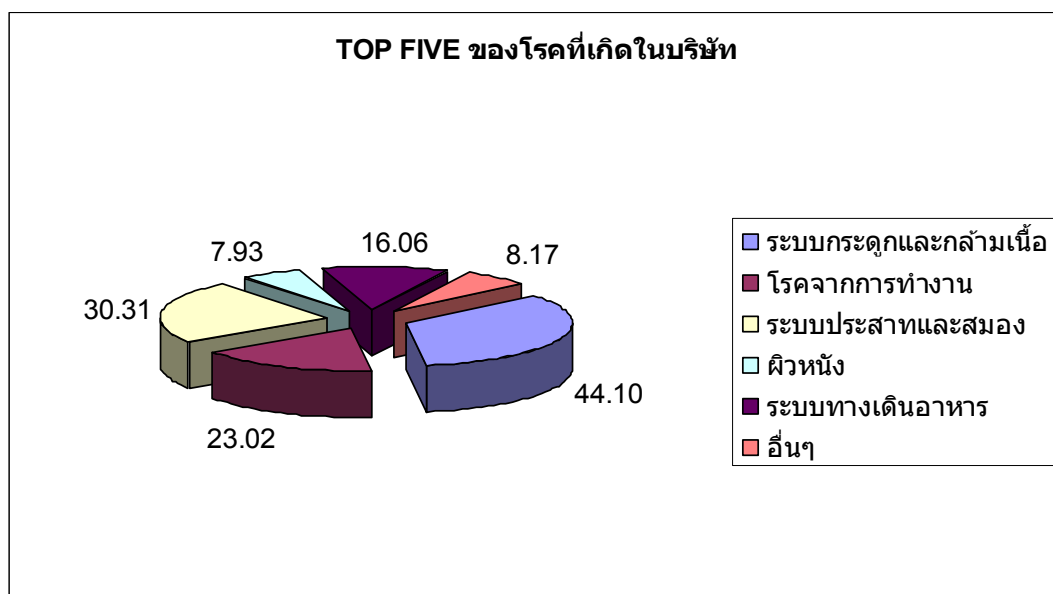
ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

- สภาพปัญหาและมูลเหตุจูงใจ

1. ข้อมูลการเข้ารับบริการที่โรงพยาบาลของปี 2553

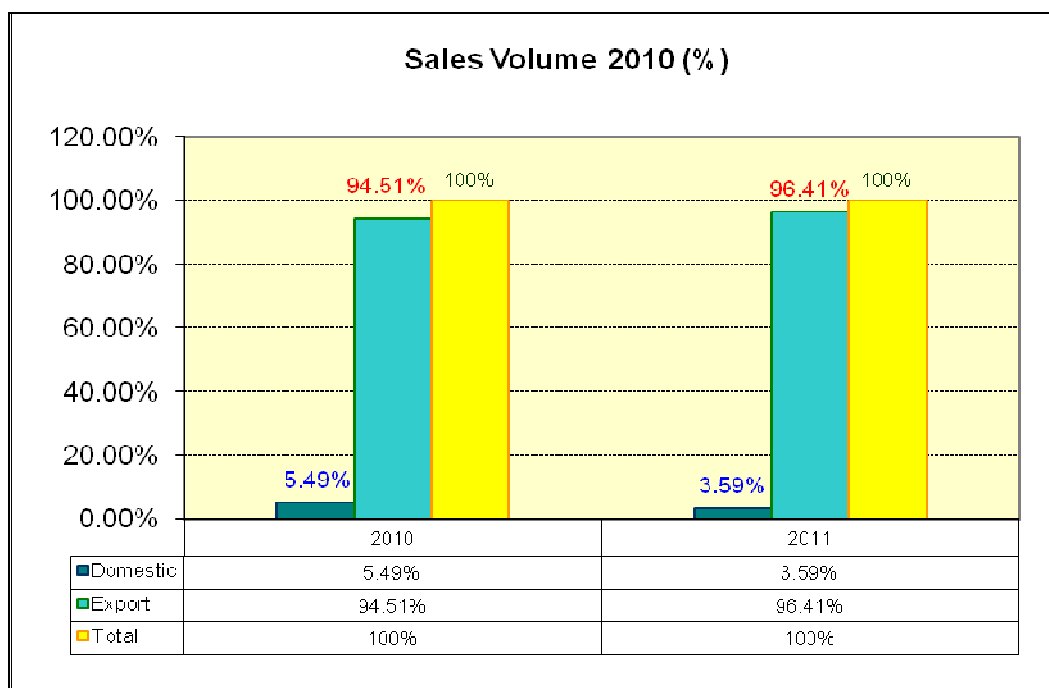


รูปที่ 1.1 อัตราการใช้บริการโรงพยาบาลปี 2553 (ครึ่ง: อัตรากำลัง)



รูปที่ 1.2 กราฟแสดงห้าอันดับแรกของโรคที่เกิดในบริษัท

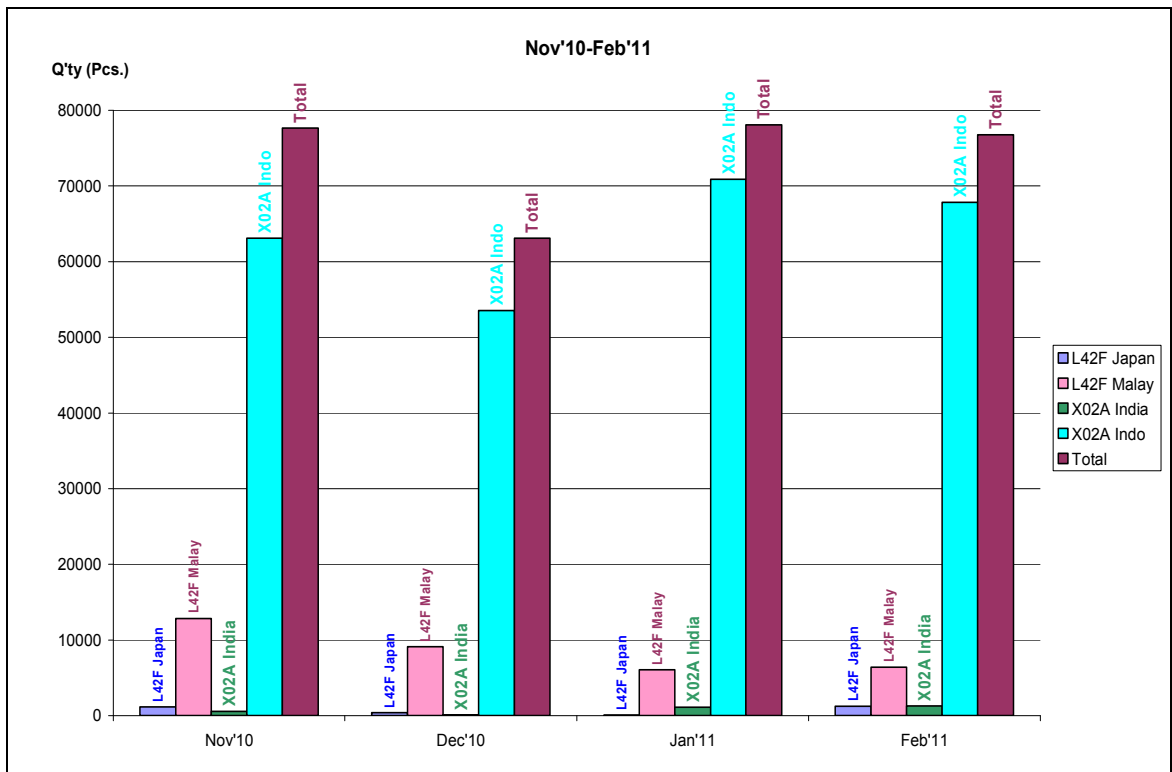
2. ยอดขายของลูกค้านิสสันปี 2553



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงยอดขายของลูกค้านิสสันปี 2553

และจากตัวเลขประมาณการผลิตจากลูกค้าพบว่างานส่งออกนั้นมีจำนวนใกล้เคียงกับปี 2553 และในบางเดือนของปี 2554 ยังมีจำนวนเพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากลูกค้าได้ย้ายการผลิตบางส่วนไปยังต่างประเทศ

3. ความถี่ในการปฏิบัติงานที่จุดปฏิบัติงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงความถี่ในการปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ประเมินภาระงานตามแนวทางชีวกลศาสตร์
2. ปรับปรุงการทำงานตามแนวทางชีวกลศาสตร์
3. กำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับภาระงานบรรจุชิ้นงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พิจารณาเฉพาะการปฏิบัติงานที่จุดปฏิบัติงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกของชิ้นงาน MUDGUARD SET-CTR และ AIR SPOILER ASSY-RR
2. พิจารณาเฉพาะพนักงานหญิงที่อยู่ในสายการผลิตสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประเมินภาระงานตามแนวทางชีวกศาสตร์
2. ปรับปรุงการทำงานตามแนวทางชีวกศาสตร์
3. กำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับภาระงานบรรจุชิ้นงาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎี บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา กระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบัน
3. คัดเลือกกระบวนการที่จะศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากสถิติการใช้บริการห้องพยาบาลเปรียบเทียบกับยอดขายปี 2553 ของลูกค้านิสสัน
4. วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บของหลังส่วนล่างโดยใช้การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของร่างกายอย่างรวดเร็วด้วยวิธีการ RULA
5. ประเมินภาระงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกโดยอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ
6. เสนอแนะแนวทางและวิธีการแก้ไขปรับปรุงการทำงานตามแนวทางชีวกศาสตร์
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงาน

1.6 ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม				มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4				
1.ศึกษาทฤษฎี บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																																												
2.รวบรวมข้อมูลสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา																																												
3.คัดเลือกกระบวนการที่จะศึกษา																																												
4.วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บ																																												
5.ประเมินภาระงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อ ส่งออกโดยอาศัยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ																																												
6.เสนอแนะแนวทางและวิธีการแก้ไขปรับปรุง																																												
7.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ																																												
8.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงาน																																												

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและเหตุผล

การบาดเจ็บจากการทำงานแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบเฉียบพลันและแบบค่อยเป็นค่อยไป

1. แบบเฉียบพลัน เช่น ยกวัตถุแล้วมีอาการบาดเจ็บของหลังทันที การบาดเจ็บแบบนี้บอกได้ง่ายว่าเกิดจากการทำงานเพราะเกิดอาการทันทีในขณะที่ทำงาน
2. แบบค่อยเป็นค่อยไป การบาดเจ็บแบบนี้ มักหาสาเหตุไม่ได้ คนทำงานจะบอกไม่ได้ว่าเกิดอาการขึ้นเมื่อใด อาการเจ็บป่วยเช่นนี้ทำให้มีปัญหา มาก โดยเฉพาะการตัดสินใจเกิดจากการทำงานหรือไม่ เพราะคนทำงานอาจไปทำงานอดิเรกหรือเล่น กีฬา การใช้สิทธิ์ในการลาพักงานเนื่องจากความเจ็บป่วยในการทำงานจะยุ่งยากยิ่ง ขึ้น

การบาดเจ็บทั้ง 2 แบบนี้ สามารถป้องกันได้ด้วยการลดปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทำงาน 4 ประการ คือ

2.1.1 งานที่หนักเกินกำลัง

จะรู้ได้อย่างไรว่างานนั้นหนักเกินไป การกำหนดน้ำหนักของวัตถุ เช่น กล่อง กระสอบ ให้ต่ำกว่าความสามารถสูงสุด เป็นวิธีการหนึ่งที่ป้องกันอาการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นแต่เป็นแบบโดยทั่วไป ในระดับประชากร บ้านเราเพิ่งมีกฎกระทรวงแรงงานประกาศใช้ ห้ามคนทำงานยก แบก หาม ทุบ น้ำหนักเกิน 50 กิโลกรัม ใช้บังคับเมื่อเดือนธันวาคมปี พ.ศ. ๒๕๔๗

การกำหนดน้ำหนักเป็นการกำหนดทั่วไปสำหรับประชากร ความแตกต่างในแต่ละตัวบุคคล เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความอดทน มีผลต่ออัตราการบาดเจ็บในคนทำงาน ดังนั้นคนทำงานต้องถามตัวเองอยู่เสมอในขณะที่ทำงานว่างานนั้นหนักเกินกำลังตัวเองหรือไม่ โดยต้องประเมินว่า ในการทำงานในวันหนึ่งๆ งานที่ต้องทำหนักเกินไปหรือไม่

2.1.2 งานซ้ำซาก

งานบางอย่างแม้ไม่ต้องใช้แรงมากแต่ถ้าต้องทำงานนั้น ซ้ำไป ซ้ำมา หลายครั้ง ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บได้ ถ้าจะเปรียบเทียบเนื้อเยื่อของร่างกายกับยางยืด เมื่อถูกดึงด้วยแรงน้อยๆ ซ้ำกันหลายครั้งยางยืดจะเปื่อย หรือขาดได้จากการยืดซ้ำหลายๆ ครั้ง อาการบาดเจ็บแบบนี้พบบ่อยที่นิ้วมือ และข้อมือ โดยเฉพาะคนทำงานคอมพิวเตอร์ คนงานตัดและเย็บเสื้อผ้า

หลักการง่ายๆ ที่จะบอกว่างานนั้นมีปัญหาหรือไม่ ต้องใช้ปัจจัยเรื่องของความแข็งแรงเป็นหลัก ถ้างานใดก็ตามที่ต้องทำซ้ำซากและหนักเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุด โอกาสที่จะบาดเจ็บจากการทำงานจะมีสูง

ในทางปฏิบัติให้ใช้ความล้าและความปวดเมื่อยเป็นตัวเตือนคนทำงาน ถ้ารู้สึกล้าขณะทำงานอย่าฝืน ให้เปลี่ยนไปทำงานอื่นบ้าง ลองสังเกตดูว่าในวันรุ่งขึ้นก่อนทำงานอาการล้าและปวดเมื่อยหายไปหรือไม่ ถ้ายังรู้สึกอยู่แสดงว่างานที่ทำอยู่ซ้ำซากเกินไป ต้องหาวิธีการผ่อนแรงและจัดให้มีช่วงพักมากขึ้น

2.1.3 ท่าทางที่ไม่เหมาะสม (Awkward postures)

ลองยืนตรง แขนอยู่ข้างลำตัว ฝ่ามือหันไปทางด้านหน้า นี่คือน่าทางปกติที่ข้อต่อของร่างกายอยู่ในท่าที่เหมาะสม เมื่อมุมของข้อใดเบนออกจากท่าปกติประมาณ 15 องศา ข้อต่อด้านในจะถูกกด ขณะที่เอ็นและกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามจะถูกยืด

ทดลองง่ายๆ ด้วยการนั่งหลังตรงและก้มคอลงประมาณครึ่งหนึ่งของการเคลื่อนไหวที่เป็นไปได้ (คางจรดอก) ค้างไว้สักระยะหนึ่งจะเริ่มมีอาการปวดเมื่อยโดยเฉพาะบริเวณด้านหลังของกระดูกต้นคอ

ตัวอย่างท่าทางที่ไม่เหมาะสมในข้ออื่นๆ เช่น การยกหรือกางแขนเกิน 15 องศา การคว่ำมือ การกระดกข้อมือเกิน 10 องศา การก้มหรือบิดหลังเกิน 20 องศา เป็นต้น

การจัดสถานที่ทำงานจะป้องกันท่าทางที่ไม่เหมาะสมได้ เช่น การปรับความสูงของจอคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในระดับพอดี ไม่ต่ำเกินไปจนต้องก้มคอ

2.1.4 อยู่ในท่าใดท่าหนึ่งนานเกินไป

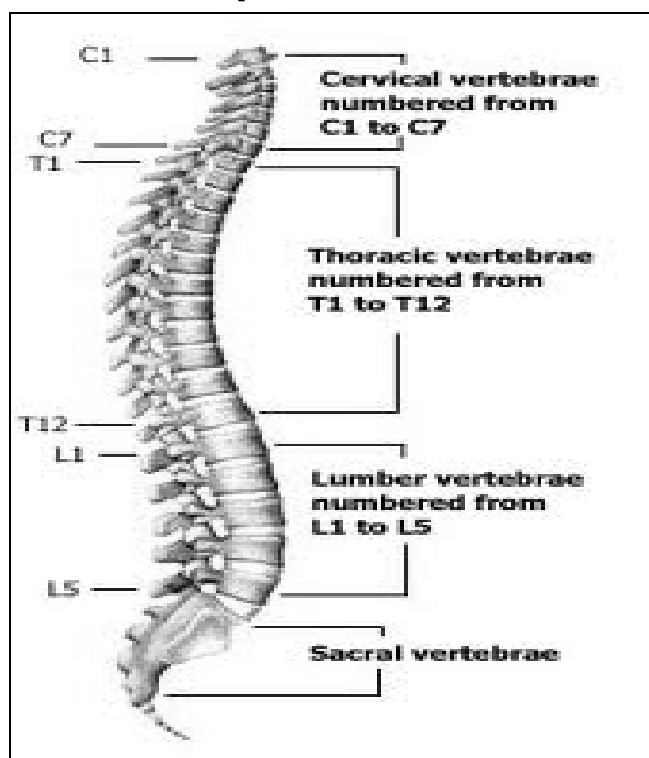
แม้ว่าจะจัดท่าทางให้เหมาะสมตามข้อ 3 แล้ว แต่การอยู่ในท่าทางใดท่าหนึ่ง แม้เป็นท่าทางที่ถูกต้อง แต่ต้องอยู่ในท่านั้นนานๆ จะเกิดการบาดเจ็บแก่เนื้อเยื่อ ของร่างกายได้เช่นกัน ตัวอย่างที่ชัดเจนคือการนั่ง แม้ว่าคนทำงานจะนั่งในท่าทางที่เหมาะสมแล้ว แต่การอยู่นิ่งนานเกินไป จะทำให้เลือดมาเลี้ยงบริเวณหลังลดลง กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่างๆ ขาดความยืดหยุ่นมีโอกาสบาดเจ็บได้ง่าย

คนทำงานพึงหลีกเลี่ยงการอยู่ในท่าใดท่าหนึ่งนานเกินไป เช่น ไม่ควรนั่ง หรือยืนนานเกิน 2 ชั่วโมง ควรเปลี่ยนอิริยาบถเมื่อทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ทุกครั้งชั่วโมง ด้วยการเงย-ก้ม เอียงและหมุนคอซ้าย-ขวา

National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH (1981) ได้รวบรวมผลงานวิจัยของนักวิจัยหลายคนทีกล่าวถึงปัจจัยเสี่ยงที่เกิดจากตัวคนงานเองดังนี้

- เพศ Laubach (1976) กล่าวว่า เพศหญิงจะยกน้ำหนักได้น้อยกว่าเพศชาย เนื่องจากโดยเฉลี่ยผู้หญิงจะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อประมาณ 64% ของความแข็งแรงเฉลี่ยของผู้ชาย
- อายุ งานวิจัยหลายงานชี้ให้เห็นว่าอันตรายร้ายแรงที่เกิดขึ้นกับหลังส่วนล่างมักเกิดกับผู้มีอายุระหว่าง 30-50 ปี (Herndon, 1972; Kosiah et al., 1968; Magora และ Taustein, 1969)
- สัดส่วนร่างกาย น้ำหนักตัวและความสูงเป็นตัวแปรที่มีผลต่ออันตรายที่จะเกิดจากการยก เนื่องจากน้ำหนักตัวเกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึมในการทำงาน (Kamon Belding, 1971; Garg et al., 1978) คนที่มีน้ำหนักตัวมากจะมีอัตราการใช้พลังงานสูงกว่า และแข็งแรงกว่าคนที่มีน้ำหนักตัวน้อย ซึ่งจะช่วยในการสมดุลน้ำหนักที่มีขนาดใหญ่ขณะทำการยกของ Tauber (1970) ชี้ให้เห็นว่าคนตัวสูงจะเกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างได้มากกว่าคนตัวเตี้ยพิจารณาจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถรับรองความเชื่อนี้ได้ว่าคนอ้วนหรือผอมสูงหรือเตี้ย ที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างสูงกว่ากันอย่างไรมีนัยสำคัญ
- เทคนิคการยก งานวิจัยจำนวนมากทีกล่าวว่า ความชำนาญของแต่ละบุคคล หรือเทคนิคการยกจะมีส่วนช่วยทำให้การบาดเจ็บเกิดขึ้นได้น้อยลง
- ทัศนคติ (attitude) ต่องานที่ทำ
- การฝึกอบรม
- ความแข็งแรงของแต่ละบุคคล

การบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain, LBP) เป็นปัญหาสำคัญที่พบบ่อยมากในโรงงานอุตสาหกรรม จากการวิจัยพบว่า การบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างส่วนใหญ่ มักเกิดจากคนที่ทำการยก หรือเคลื่อนย้ายวัสดุเกินกำลังความสามารถของร่างกาย (Physical capacities) ของตนเอง อันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อบริเวณหลังในส่วนของหมอนรองกระดูกที่รับกระดุกสันหลังส่วนบั้นเอวที่ 5 ต่อกับกระดูกสันหลังส่วนก้นกบที่ 1 (L1/S1 disc) (Ayoub, 1982) ซึ่งภาพด้านข้างของกระดูกสันหลังบริเวณบั้นเอว แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงภาพด้านข้างของกระดูกสันหลังบริเวณบั้นเอว

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการบาดเจ็บและความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุ

มีคำกล่าวว่า “ในชีวิตหนึ่งของคนจะมีโอกาส 8 ใน 10 ที่จะได้รับความทุกข์ทรมานจากการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างในช่วงระยะเวลาหนึ่ง” (Kroemer, 1994 อ้างจาก Snook, 1998) ซึ่งการบาดเจ็บนั้นอาจเกิดขึ้นได้โดยไม่มีอาการเจ็บป่วยร่วมด้วย

ในอดีตนักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาเพื่อรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างและความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุ อาทิเช่น

Ayoub et al. (1980) ได้แบ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ เป็น 3 ปัจจัย คือ

1. ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง ได้แก่

- ปัจจัยทางกายภาพ เช่น อายุ เพศ สัดส่วนร่างกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสมบูรณ์ของร่างกาย
- ปัจจัยทางสรีรวิทยา เช่น พลังงานสำหรับใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อจากกระบวนการแอโรบิคและอะแนโรบิค และความทนทาน (Endurance)
- ปัจจัยทางจิตวิทยา เช่น ทศนคติต่องานที่ทำ ความพึงพอใจในงาน
- การฝึกอบรมและประสบการณ์

2. ปัจจัยที่เกี่ยวกับงานและสถานที่ทำงาน ได้แก่ ภาระงาน เช่น น้ำหนัก ขนาด และรูปร่างของวัสดุที่ยก สถานที่ทำงาน จังหวะการทำงาน และความซับซ้อนของงาน

3. ปัจจัยอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ ภาระความร้อน (heat Load) เสียงดัง ความสั่นสะเทือนและพื้นผิวการทำงาน

Anderson (1981) ได้แบ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปัจจัยที่เกี่ยวกับงานและสถานที่ทำงาน ได้แก่ งานที่มีน้ำหนัก ท่าทางในการทำงานที่มีลักษณะสถิต (Static) ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะที่ทำงาน การยก การเคลื่อนไหวของร่างกาย ลักษณะงานที่ซ้ำซาก และความสั่นสะเทือนในสถานประกอบการ

2. ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง ได้แก่ อายุและเพศ สัดส่วนร่างกาย ท่าทางในการทำงาน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความสมบูรณ์ของร่างกาย การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง ปัญหาด้านจิตใจ ปัญหาด้านสังคม และปัจจัยทางด้าน Radiographic

Buckle et al. (1992) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรหรือปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ เพื่อให้การทำงานเกิดความปลอดภัยดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของงาน ได้แก่ ตำแหน่งของวัสดุ ความถี่ ระยะเวลาการทำงาน รอบเวลาการทำงาน เวลาพัก ความแม่นยำของงานที่ต้องทำ ชนิดของกิจกรรม ความเร็ว ความเร่ง การจัดกะงาน และการหมุนงาน (Job rotation)

2. สภาพแวดล้อม ได้แก่ ขนาดและผังสถานที่ทำงาน ลักษณะของพื้นผิวการทำงาน อุณหภูมิ ความชื้นแสงสว่าง การมองเห็น เสียง การเคลื่อนไหวความสะอาด และความสกปรกของสถานที่ทำงาน

3. วัสดุที่ใช้เคลื่อนย้าย ได้แก่ น้ำหนัก ขนาด รูปร่าง จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ ความเป็นอันตรายทางกายภาพ และทางเคมีของวัสดุ

4. ตัวบุคคล หรือผู้กระทำการเคลื่อนย้ายวัสดุ ได้แก่ เพศ อายุ ความแข็งแรง ความทนทานของบุคคล สุขภาพ สภาพร่างกาย การเคลื่อนไหว การรับรู้ ทักษะ ความชำนาญ ขนาดสัดส่วนร่างกาย การปรับตัว และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

แนวทางในการป้องกันปัญหาจากการบาดเจ็บที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือส่วนใหญ่จะใช้การประยุกต์หลักทางการยศาสตร์ ซึ่งจะพิจารณาปัจจัยเสี่ยงในงานประกอบด้วย

2.3 ความสำคัญของงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน

จากการสำรวจทางสถิติมีประมาณการว่า ปัญหาอาการบาดเจ็บเกี่ยวกับหลัง (Back Injuries) ของคนงานนั้นคิดเป็นร้อยละ 35 ของอาการบาดเจ็บทั้งหมดทุกชนิดจากการทำงาน อาชีพเดียวที่เดียว ซึ่งคนส่วนใหญ่มักจะนึกไปถึงกลุ่มผู้ใช้แรงงานที่จะประสบปัญหาจากงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน แต่จากการสำรวจพบว่า แม้กระทั่งกลุ่มผู้ที่ไม่ได้ใช้แรงกายในการทำงานยกของหนักแต่อย่างใด อย่างเช่น ช่างเทคนิค ผู้จัดการ ผู้บริหาร เสมียน พยาบาล พนักงานบริการ ฯลฯ ก็ได้รับผลกระทบเกี่ยวกับกลุ่มอาการปวดหลังจากการทำงานเช่นเดียวกันกับกลุ่มผู้ใช้แรงงาน โดยเฉพาะอาชีพพยาบาลนั้นเป็นอาชีพที่มีปัญหาเกี่ยวกับอาการผิดปกติของหลังมาเป็นอันดับหนึ่ง ในบรรดางานอาชีพที่มีอยู่ทีเดียว

นักเออร์คอนอมิกส์ถือว่างานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคนนั้นเป็นสาเหตุหลักของการได้รับบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการทำงานของคนงาน และทำให้ต้องมีการจ่ายค่าสินไหมทดแทน (Work Compensation) เป็นเงินจำนวนมากมาย ได้มีผู้ประมาณการไว้ว่าเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น ค่าใช้จ่ายรวมแต่ละปีทั้งที่เป็นค่าใช้จ่ายโดยตรงและค่าใช้จ่ายโดยอ้อมอันเนื่องมาจากโรคปวดหลังนั้นมีค่าสูงถึง 16 พันล้านเหรียญสหรัฐ เลขที่เดียว (Snook, 1988) และจากสถิติของสถาบันสถิติแรงงานของอเมริกา (the Bureau of Labor Statistics) ระบุว่าในปี พ.ศ.2533 เพียงปีเดียวนั้นมีผู้ประสบกับอาการบาดเจ็บบริเวณหลังอันเนื่องจากการทำงานถึงประมาณ 1 ล้านราย

ส่วนสภาความปลอดภัยแห่งชาติของสหรัฐฯ ก็ได้รายงานเอาไว้ในปี พ.ศ.2531 ว่าการบาดเจ็บจากงานยกย้ายสิ่งของจนถึงขั้นต้องขาดวันทำงานไปเพื่อการรักษาพยาบาลอาการนั้นทำให้นับรวมเป็นวันขาดงานสะสมรวมสูงถึง 75 ล้านวันทำงาน เคลซีย์และคณะ (Kelsey et.al., 1988) ได้รายงานผลการวิจัยระบุว่า ความเสี่ยงต่อการเกิดอาการของหมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อนในรายของคนงานที่ยกของหนักที่มีน้ำหนักมากกว่า 4.3 กก. มากกว่า 25 ครั้ง/วัน นั้น จะมีความเสี่ยงสูงเป็นสามเท่าของคนงานที่ยกของที่มีน้ำหนักเบาหรือน้อยกว่านี้ที่ความถี่ในการยกเท่ากัน

นอกจากนี้จากการศึกษาของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกาหรือ NIOSH พบว่า อัตราความถี่ของการได้รับบาดเจ็บหลัง (Frequency Rates of Back Injuries) และอัตราความรุนแรงของการบาดเจ็บหลัง (Severity Rates of Back Injuries) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราปกติทั่วไปในรายของผู้ปฏิบัติงานที่กระทำในลักษณะ 5 ประการดังต่อไปนี้

1. ยกของที่หนักมากเกินไป
2. ยกของที่มีรูปร่างใหญ่โต เทอะทะมากเกินไป
3. ยกของขึ้นจากพื้นสู่ที่สูง
4. ยกของบ่อย ๆ มากเกินไป

5. ยกของในท่าที่ไม่สมมาตรหรือไม่สมดุล (เช่น ยกของหนักมือเดียว หรือเอี้ยวตัวยก เป็นต้น)

สำหรับในประเทศไทยนั้นซึ่งกำลังพัฒนาไปสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ ก็คงจะประสบปัญหาในลักษณะเดียวกันดังกล่าว เพียงแต่ว่ายังไม่มีการรวบรวมตัวเลขข้อมูลนำเสนอออกมาเป็นค่าทางสถิติกันเท่านั้นเอง ซึ่งจากที่กล่าวมา คงพอจะมองเห็นแล้วว่าความสูญเสียอันเนื่องมาจากงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคนที่ไม่ดีไม่เหมาะสมนั้นมีผลเสียนับประการเช่นไร จึงควรที่บุคคลผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็น องค์กรของรัฐ หน่วยงานเอกชน สถาบันการศึกษา สหภาพแรงงาน ฯลฯ จักต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้เพื่อหาแนวทางร่วมกันในความพยายามที่จะลดปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal Injuries) ซึ่งวิชาเออร์گونอมิกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแขนงวิชาชีวกศาสตร์ในการทำงาน ก็จะมีประโยชน์และความสำคัญเป็นอย่างมากในการดำเนินงานดังกล่าวเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่อไป

ดังนั้น การศึกษาในเรื่องการยกย้ายวัสดุสิ่งของโดยใช้หลักชีวกศาสตร์ สรีรวิทยา และจิตวิทยากายภาพ และอื่น ๆ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการวิเคราะห์หาลักษณะที่อาจก่อให้เกิดอันตรายจากการยกย้ายสิ่งของนั้น รวมไปถึงให้มีการตระหนักถึงสภาพการณ์หรือสถานการณ์ที่จะสามารถช่วยหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดอันตรายต่าง ๆ จากงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคนได้

ในการศึกษาการยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน ทางวิศวกรรมมนุษย์ปัจจัยนั้นมีแนวทางหลัก ๆ อยู่ 3 แนวทางที่ใช้ทำการศึกษา ประเมินค่าความสามารถในการยก-วางสิ่งของ ของแต่ละบุคคล และแนวทางเหล่านี้ยังถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ ในการกำหนดปริมาณน้ำหนักของวัตถุที่เหมาะสมและปลอดภัยในงานยกอีกด้วย ซึ่งแนวทาง ทั้งสามนั้น เช่น

2.3.1 แนวทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

แนวทางนี้ พิจารณาร่างกายเสมือนเป็นระบบช่วงเชื่อมข้อต่อ ดังเช่น Six-links Segment Model กฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาก็คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับร่างกายมนุษย์ และแรงกล้ามเนื้อที่ต้องใช้เพื่อต้านทานแรงจากภายนอกขณะที่ทำงานยกย้ายวัตถุ

วัตถุประสงค์ของแนวทางนี้ก็ คือ การกำหนดพิกัดปริมาณความหนักเบาของงานให้อยู่ในขอบเขตของความสามารถหรือความแข็งแรงของผู้ปฏิบัติงาน และไม่เกินความทนทานของร่างกายที่มีต่อแรงกด (Compressive Force) ที่เกิดขึ้นที่กระดูกสันหลัง

ขณะที่คนเรายกของหนักด้วยมือ นั้น ผลกระทบจากการยกวัตถุดังกล่าวจะเกิดกับข้อต่อของกระดูกสันหลังด้วยตามหลักของการถ่ายโมเมนต์ บริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดก็คือกระดูกสันหลังส่วนลัมบาร์ ทิชาวเออร์ (Tichauer, 1971) เป็นผู้เสนอแนวความคิดว่า เราควรจะใช้โหลดโมเมนต์ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลังที่ข้อต่อของกระดูกสันหลังชั้นที่ 5 ต่อกับกระดูกซาครัลชั้นที่ 1 (Lumbosacral Disc หรือเขียนย่อ ๆ ว่า L5/S1 Disc) เป็นพื้นฐานในการกำหนดพิกัดน้ำหนักของวัตถุซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ที่บุคคลควรยกย้ายได้อย่างปลอดภัย ซึ่งในที่นี้จะขอใช้จุดข้อต่อดังกล่าวเป็นหลักในการพิจารณาต่อไป

สาเหตุที่ข้อต่อ L5/S1 ถูกเลือกให้เป็นจุดที่ใช้คำนวณหาความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลัง เนื่องจากมันเป็นบริเวณซึ่งเกิดโหลดโมเมนต์จากแรงภายนอกมีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เพราะว่า ในระหว่างการยกวัตถุที่มีน้ำหนักนั้น โดยการเปรียบเทียบแล้ว แขนโมเมนต์ (ระยะห่าง) ระหว่างวัตถุในมือกับ จุด L5/S1 ซึ่งเป็นจุดหมุนนั้นมีระยะยาวแขนโมเมนต์มากที่สุด

2.3.2 แนวทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)

โดยทั่วไปแล้ว แนวทางนี้จะมีความเหมาะสมใช้กับงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน ที่ต้องกระทำด้วยความถี่มากหรือทำบ่อย ๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งแต่น้ำหนักของวัตถุที่ถูกยกย้ายนั้นเบา เช่น ในเวลางานปกติทั่วไป 8 ชั่วโมง/วัน นั้น คนงานต้องทำหน้าที่ยกย้ายสิ่งของซึ่งงานเสียเป็นส่วนใหญ่ในการปฏิบัติงานประจำวัน ฯลฯ

เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับแนวทางสรีรวิทยาก็คือ ปริมาณการบริโภคพลังงาน

(Energy Consumption) หรือ ค่า PWC (Physical Work Capacity) ที่ต้องนำไปในการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน

2.3.3 แนวทางจิตวิทยากายภาพ (Psychophysical Approach)

คำว่า “จิตวิทยากายภาพ (Psychophysics)” นั้นเป็นแขนงวิชาหนึ่งของวิชา จิตวิทยา (Psychology) ที่ว่าด้วย การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นทางกายภาพด้วยการพิจารณาตามความรู้สึกนึกคิดของแต่ละบุคคลซึ่งจะมีมากน้อยไม่เท่ากัน จึงมีนักเออร์คอนอมิกส์ ซึ่งพยายามหาหนทางเลือกที่ดีและเหมาะสมกว่าสองแนวทางแรกมาประยุกต์กับงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน โดยใช้หลักการที่ว่า มนุษย์เรานั้นเมื่อมีความเค้นและความเครียดทางกายภาพมากกระทำต่อร่างกายนั้น เขาจะผนึกรวบรวมผลผสานทั้งความเค้นทางชีวกลศาสตร์และสรีรวิทยาเข้าด้วยกัน และใช้ในการประเมินค่าที่ตนเองคิดว่าน้ำหนักเท่าใดจึงจะเหมาะสมสำหรับตนเองในการทำงานยกเคลื่อนย้ายสิ่งของ

ดังนั้นในงานยกย้ายสิ่งของนั้นเราจะสามารถประเมินความสามารถทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายของบุคคลได้โดยการให้ผู้ถูกประเมินเลือกปรับแตงน้ำหนักหรือความหนักเบาของงานหรือค่าอื่น ๆ ตามที่ตนคิดเห็นรับรู้ว่า นั้นเป็นปริมาณน้ำหนักสูงสุดหรือความหนักของงานที่ตนสามารถทนทานยกหรือทำงานได้ และสามารถทำการยกย้ายได้โดยปราศจากความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า หรือไม่เกิดความเครียดที่มากเกินไป ซึ่งค่าสูงสุดที่ปัจเจกบุคคลเลือกสำหรับตนเองนั้น เราเรียกชื่อว่า มวลน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Acceptable Weight of Load; MAWOL)

2.4 สถานีงานสำหรับงานที่ต้องปฏิบัติในท่ายืน

ลักษณะงานยืนโดยทั่วไปนั้น คนงานมักจะยืนทำงานในบริเวณรอบ ๆ เครื่องจักรกล หรือโต๊ะงานมากกว่าจะยืนนั่งอยู่กับที่อย่างเดียว แต่อย่างไรก็ดีถึงแม้ตัวพนักงานจะสามารถขยับเคลื่อนที่ไปมาได้ เราก็ไม่ควรออกแบบงานและสถานที่ที่ต้องทำให้พนักงานต้องเอื้อมมือ นิ้วมัตว เอนตัว บิดเอี้ยวตัว แหงนคอ เงยหรือก้มศีรษะบ่อยครั้งเพราะสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อร่างกายทั้งสิ้น

2.4.1 งานที่ต้องปฏิบัติในท่ายืน

สถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับงานยืนนั้น เช่น

1. ลักษณะงานที่มีการเอื้อมหรือเอี้ยวตัวไปทางด้านข้างเกินระยะทำงานปกติ
2. สถานที่ปฏิบัติงาน หรือสถานีนงานนั้นไม่มีที่วางเพียงพอสำหรับงานนั่ง คือไม่มีเนื้อที่กว้างเพียงพอสำหรับการเหยียดขา หรือสอดวางเข่า (Leg or Knee Room Clearance)
3. ลักษณะงานที่มีการทำงานรวมกันเป็นกลุ่มและให้ความสนใจกับชิ้นงานขนาดใหญ่ที่วางราบอยู่บนโต๊ะ เช่น งานวิเคราะห์แผนที่ การวิเคราะห์แบบแปลนอาคาร งานวางแผนจำลองการรบ เป็นต้น

4. ลักษณะงานที่มีการยกวัตถุ ชิ้นงานหนักเกิน 4.5 กก บ่อย ๆ

5. ลักษณะงานที่ต้องออกแรงกดลงซึ่งต้องใช้น้ำหนักตัวช่วยและยืนทำงาน

จะสะดวกกว่า เช่น งานบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

6. ลักษณะงานที่คนงานต้องมีการเอื้อมมือสูง-ต่ำ หรือระยะไกลออกไปบ่อยครั้ง หรือมีการเคลื่อนตัวหรือเอี้ยวตัวบ่อยครั้งจากลักษณะงานหนึ่งไปอีกงานหนึ่ง

7. งานซ่อมบำรุงดูแลรักษาบางอย่าง บางประเภท

ฯลฯ

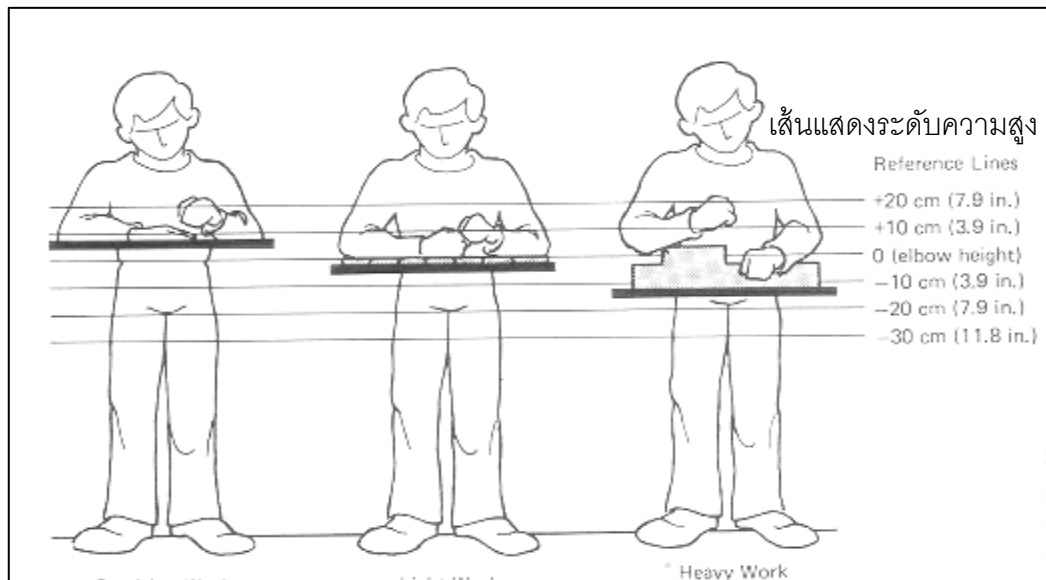
2.4.2 พื้นที่การทำงานสำหรับลักษณะงานยืน (Work Area for Standing Work)

พื้นที่ทำงานสำหรับลักษณะงานยืนนั้นแบ่งองค์ประกอบย่อยๆได้ออกเป็น 3 ประเภทคือ พื้นที่ทำงานยืนในแนวราบ ความสูงของพื้นผิวการทำงานในงานยืน และพื้นที่ในการทำงานยืนในแนวตั้งและทางด้านข้าง ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ทำงานยืนในแนวราบ หมายถึง รัศมีการกวาดกินพื้นที่บนโต๊ะทำงานในแนวราบ ขอบเขตนี้ได้จากการกวาดมือและแขนท่อนบนทั้งสองข้างเป็นรูปโค้งครึ่งวงกลม 2 วงซ้อนทับกันบนโต๊ะ โดยมีข้อศอกและหัวไหล่เป็นจุดหมุนตามลำดับ พื้นที่ทำงานในแนวราบ แบ่งออกได้เป็นพื้นที่หยิบจับได้ระยะปกติ และ พื้นที่ที่ต้องอาศัยการเหยียดแขนหรือโน้มตัวเข้าช่วย (พื้นที่ทำงานสูงสุด) เช่นเดียวกับในกรณีของลักษณะงานนั่ง

2. ความสูงของพื้นผิวทำงานในงานยืน โดยปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการกำหนดความสูงของพื้นผิวทำงานในงานยืน คือ ความสูงจากพื้นถึงข้อศอก/ท่ายืน และชนิดของงานหัตถกรรม จากรูป

ที่ 2.2 (Ayoub, 1971) จะเป็นความสูงพื้นผิวของการยืนทำงานที่ถูกต้องและน่าจะเหมาะสมกับธรรมชาติของงานที่ทำโดยอาศัยความสูงข้อศอกเป็นหลักในการกำหนดพิจารณา ซึ่งงานนั้นแบ่งเป็น งานหัตถกรรมที่ต้องการความประณีตเที่ยงตรง งานขีดเขียน หรืองานเบา งานหยาบ ๆ หรืองานหัตถกรรมที่มีความหนักปานกลาง และอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงระดับความสูงของงานประเภทต่างๆ เทียบจากระดับความสูงของข้อศอก ผู้ปฏิบัติงาน เรียงจากซ้าย-ขวา งานละเอียดมาก – งานหนัก

ตารางที่ 2.1 แสดงความสูงพื้นผิวการทำงานที่เหมาะสมสำหรับงานยืนที่แตกต่างกัน ตามลักษณะของงานแต่ละประเภท

ลักษณะของงานยืนทำ	เพศ	ความสูงกำหนดตายตัว	ความสูงที่ปรับได้
		(ซม.)	(ซม.)
งานที่ต้องการความละเอียดแม่นยำ (มีที่หมุนรองข้อศอก)	ผู้ชาย	126	107 - 126
	ผู้หญิง	116	94 - 116
งานประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็ก	ผู้ชาย	107	88 - 107
	ผู้หญิง	96	81 - 96
งานหนัก ต้องออกแรงกายมาก	ผู้ชาย	99	80 - 99
	ผู้หญิง	89	74 - 89

โดยทั่วไปถ้าเป็นความสูงของพื้นผิวทำงานที่ปรับแก้ไม่ได้เราก็ควรจะใช้ข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 (Largest User) สำหรับผู้ที่มีตัวเล็กกว่าก็แก้ปัญหาได้โดยให้ใช้แท่นรอง (Platform) มาช่วยในการยืนทำงานเพื่อให้ได้ความสูงทำงานที่เหมาะสมต่อไป แต่ถ้าให้ ดีที่สุดก็ควรออกแบบให้ความสูงพื้นผิวทำงานนั้นปรับความสูงได้ ซึ่งความสูงอาจจะปรับได้โดยอาศัยพลังไฟฟ้า ไฮดรอลิค หรือใช้แรงมือก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม

1. พื้นที่ในการทำงานยืนในแนวตั้งและด้านข้าง รูปที่ 2.3 แสดงเนื้อที่ทำงานสามมิติสำหรับงานยืน และภาพที่ 2.4 แสดงขอบเขตระยะการหยิบจับในแนวตั้งตรงหน้าสำหรับมือข้างเดียวและมือทั้งสองข้างตามลำดับที่ความสูงของแขนเหนือโต๊ะทำงานระดับสูงต่าง ๆ โดยที่ผู้ถูกวัดนั้นยืนตรงไม่มีการเอนตัวไปทางใดทางหนึ่ง จากรูปเราจะเห็นว่าสำหรับลักษณะงานที่ต้องใช้มือทั้งสองทำงาน เช่น งานควบคุมสวิทช์ปิด - เปิดสองปุ่ม ชาย - ขวาก็มีระยะเอื้อมไปตรงหน้านั้นจะค่อนข้างสั้นกว่าระยะของการเอื้อมมือเพียงข้างเดียว อันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวหัวไหล่และแขนเป็นเหตุผลหลัก



รูปที่ 2.3 แสดงพื้นที่ 3 มิติที่เหมาะสมสำหรับงานยืน

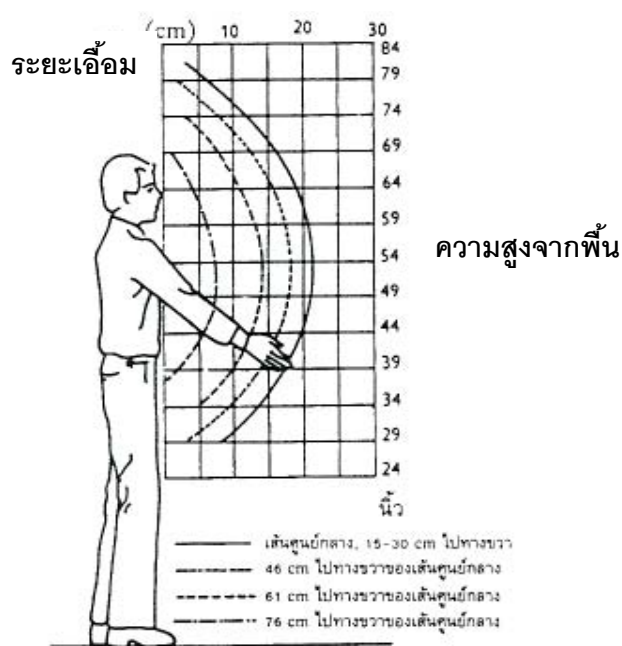
2.4.3 แนวทางในการออกแบบงานและสถานที่สำหรับงานยืน (Guidelines for Designing of Standing Work Area)

ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องอื่นกับการออกแบบลักษณะงานยืนบางประเภท ที่ควรนำมาพิจารณาเพิ่มเติม เช่น

1. ความสูงระยะเอื้อมขึ้นบน (Reaching Above Height) สำหรับตำแหน่งของหิ้ง ชั้น ตู้ แผงควบคุมหรือพื้นที่เก็บของเหนือศีรษะนั้น ถ้าได้รับการออกแบบมาอยู่สูงเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการเอื้อมไม่ถึงโดยง่ายและสะดวกรวมทั้งการมองไม่เห็นสิ่งของที่วางอยู่ ดังนั้นจำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องทราบถึงระยะเอื้อมมือสูงสุดที่พนักงานจะทำได้ ซึ่งเรื่องนี้ที่เบิร์ก(Thiberg) ได้ทำการคำนวณหา

สัมพันธ์สำหรับอัตราส่วนระหว่างความยาวของร่างกาย และความสูงของระยะเอื้อมทั้งในเพศชาย และเพศหญิงโดยใช้เส้นสหสัมพันธ์การถดถอย (Regression Line) และได้สรุปสูตรการหาคำนวณระยะเอื้อมสูงสุดในแนวตั้งจากความสูงของร่างกายมนุษย์ได้เป็นว่า

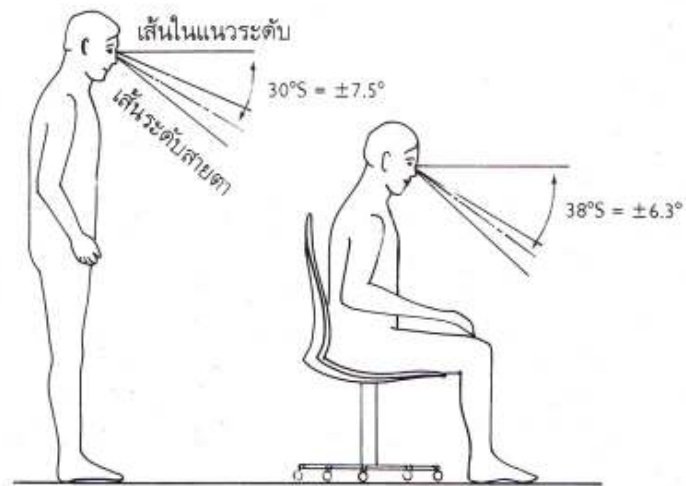
$$\text{“ระยะเอื้อมสูงสุดในแนวตั้ง (Maximum Vertical Reach) = 1.24 \times \text{ความสูงร่างกาย} \\ \text{(Stature Height)”}$$



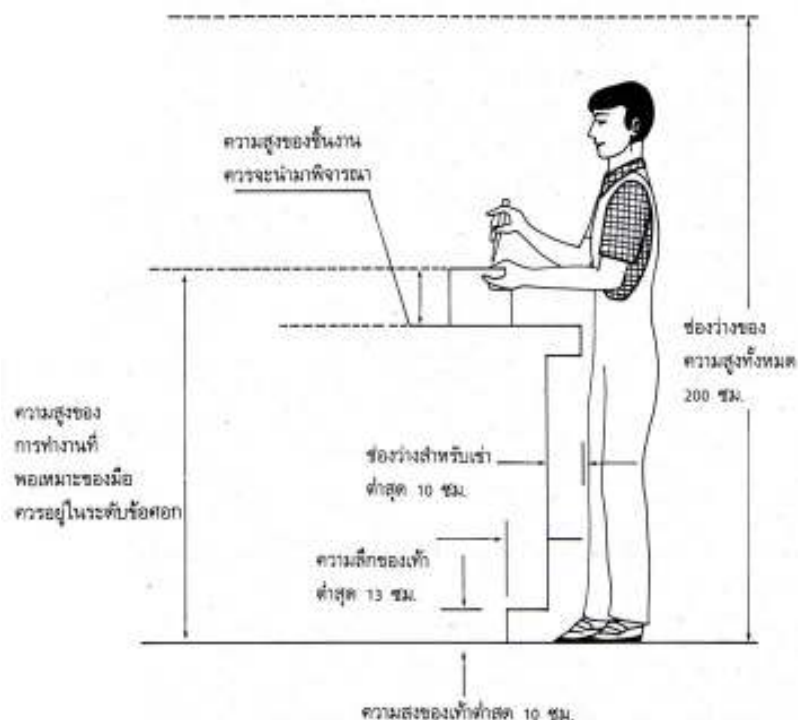
(ก) สำหรับมือข้างเดียว

รูปที่ 2.4 แสดงขอบเขตระยะการหยิบจับในแนวตั้งตรงหน้า

2. มุมมองและตำแหน่งของศีรษะของผู้ปฏิบัติงาน บริเวณจุดทำงานที่พนักงานใช้ สายตาดำเนินมองจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ศีรษะเคลื่อนไหวได้อย่างสะดวกสบาย การก้มคอลง หรือเงยหน้ามากเกินไปจะก่อให้เกิดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อต้นคออย่างมาก จากผลการวิจัย พบว่า มุมมองระหว่างเส้นสายตา (Line of Sight) และเส้นในแนวระดับหรือเส้นขอบฟ้า (Horizontal Line) ที่จะทำให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวกสบายจะเป็น 32 - 44 องศาในท่านั่งทำงาน และ 23 - 37 องศาในท่านยืนทำงาน ทักษะนิสัยในการมองเห็นส่วนหรือจุดต่าง ๆ ที่จำเป็นในการปฏิบัติงานต้องดี คือไม่มีสิ่งกีดขวางในแนวของการมองเห็นซึ่งเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงแนวระดับสายตา ตามปกติ มองตรง



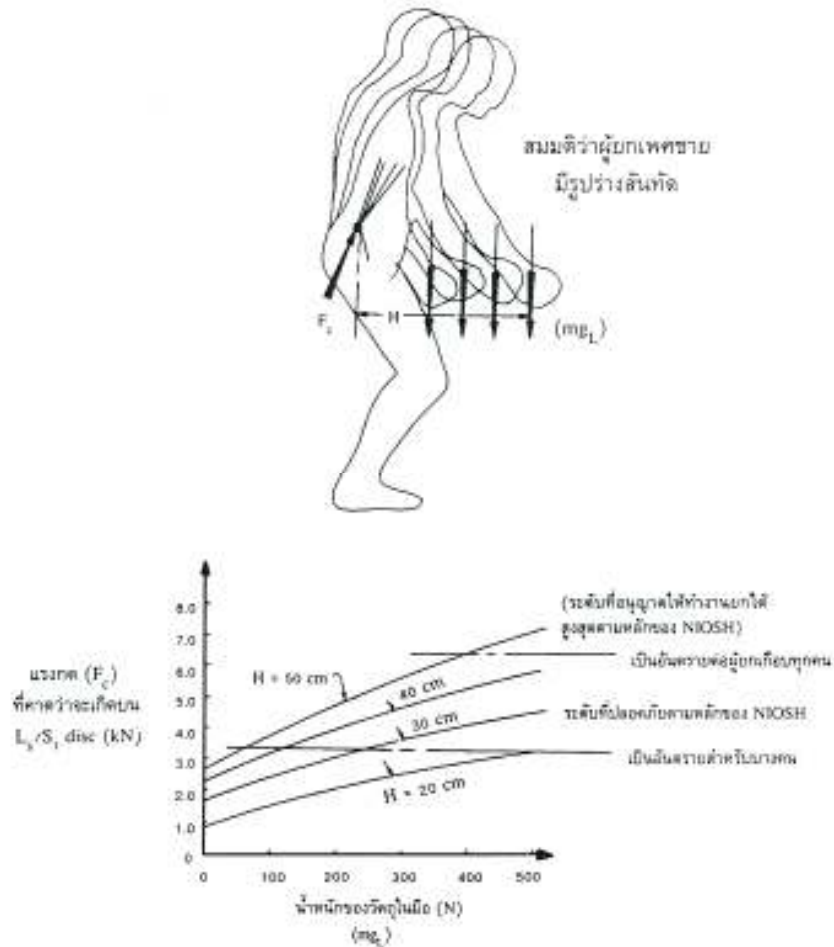
รูปที่ 2.6 ข้อเสนอแนะการออกแบบส่วนต่างๆสำหรับงานยืน

2.5 การเปรียบเทียบผลดี-ผลเสียจากการยกวัตถุขึ้นจากพื้นหรือวางลงที่พื้นด้วยท่าสควอท และท่าสตูพ

กรณีแรก ให้พิจารณาถึงสภาพการณ์ที่ชายรูปร่างสันทัดทำการยกวัตถุที่หนัก – เบาแตกต่างกัน และยกด้วยท่าทางที่แตกต่างกันดังในรูปที่ 2.7 ด้วยระยะ H ห่างจากจาก L5/S1 Disc เท่ากับ 30 ซม จากสภาพการณ์ดังกล่าว หากน้ำหนักของวัตถุที่ชายผู้นี้จับถืออยู่ในมือค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นจนถึง 500 นิวตัน ถ้าหากวัตถุนั้นถูกเคลื่อนเข้ามาใกล้ชิดหรือออกห่างจากลำตัว จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับปริมาณของแรงกดที่เกิดขึ้นบน L5/S1 Disc เป็นอย่างมาก ผลการคำนวณแรงกดทับ (F_c) ที่เกิดขึ้นบน L5/S1 Disc จะออกมาในลักษณะที่ว่า แรงกดดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยขณะที่ทำการยกหรือวาง (ดูรูปกราฟที่ 2.7ประกอบ)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของแรงกดที่เกิดขึ้นกับน้ำหนักของวัตถุในมือไม่นั้นไม่เป็นเชิงเส้นตรงอย่างที่ควรจะเป็น แต่กลับมีลักษณะโค้งลงเล็กน้อย ทั้งนี้ก็เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้นในช่องท้อง (Pa) อันมีสาเหตุเนื่องจากไหลค่าน้ำหนักนั้นมึลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) นั้นเอง

ดูจากรูปที่ 2.7 ในรูปยังแสดงผลการคาดคะเนปริมาณแรงกดที่เกิดขึ้นกับ L5/S1 Disc ในขณะที่ยกหรือวางวัตถุหนักต่าง ๆ กัน โดยให้มีระยะ H เท่ากับ 20, 30, 40, และ 50 ซม ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า การยกหรือวางวัตถุน้ำหนักเบาแต่ยกห่างตัวนั้นก็มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายต่อ L5/S1 Disc ได้เท่ากันกับการยกหรือวางของที่หนักแต่ยกอยู่ใกล้ตัว จึงพอที่จะสรุปได้ว่า เพื่อหลีกเลี่ยง หรือลดความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายและอาการผิดปกติดังกล่าว การยก-วางวัตถุที่มีน้ำหนักในมือด้วยท่าทางดังรูปที่ 2.7 นั้น จะต้องพยายามควบคุมให้วัตถุนั้นเข้ามาใกล้ชิดลำตัวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะยิ่งระยะห่างของวัตถุจากลำตัว (H) เพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้สามารถยก-วางน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยน้อยลงเท่านั้น



รูปที่ 2.7 แสดงขนาดของแรงกด (F_c) ที่คาดว่าจะเกิดบน L_5/S_1 Disc ในขณะที่ยก-วางวัตถุในมือ ด้วยท่าทางดังรูป เมื่อวัตถุนั้นมีน้ำหนักและระยะห่างจากลำตัว (H) ที่แตกต่างกัน

กรณีที่สอง จากรูปที่ 2.7 ข้างบน ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์แรง F_c จากการยก - วางของที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนัก 150 นิวตันด้วยท่าทางทั้งสองแบบดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจากข้อมูลในรูปได้ชี้ให้เห็นว่า ในท่ายืนแล้วก้มตัวลงยก-ก้มวางวัตถุ (Stoop) นั้นจะเกิดแรงกดขึ้นที่ L_5/S_1 Disc เท่ากับ 1500 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงกดทับซึ่งเกิดจากการยกหรือวางวัตถุด้วยท่าหนึ่งย่อเข้า-หลังตรงยกวัตถุขึ้นจากพื้น (Squat) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงกดเท่ากับ 2700 นิวตัน เนื่องจากว่าในท่าสควอทนั้น ในกรณีที่วัตถุมีขนาดใหญ่จนไม่สามารถเข้าไปอยู่ในระหว่างหัวเข่าทั้งสองข้างเมื่อย่อตัวลงเพื่อยก-วางนั้น ระยะ H (50.9 ซม.) จะห่างมากกว่าระยะ H ในท่าสตูพ (35 ซม.)

แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์แรงในตัวอย่างข้างต้นยังแสดงให้เห็นอีกว่า ในการยก-วางท่าสตูพนั้นจะทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear Force; F_s) ที่ L_5/S_1 Disc นั้นมีค่าเท่ากับ 500 นิวตัน ซึ่งจะมากกว่าปริมาณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการยก-วางด้วยท่าสควอท ที่มีค่า F_s เพียง 340 นิว

ต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถเอามาประยุกต์เป็นข้อแนะนำในการยก - วางวัตถุเป็นการเพิ่มเติมอีกได้
ว่า ในขณะที่ยกหรือวางวัตถุ นั้น จะต้องพยายามให้ลำตัวหรือหลังตั้งตรง (หรืออยู่ในแนวธรรมชาติ)
ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณแรงเฉือนที่ L5/S1 Disc ให้น้อยลง

สำหรับการมองในแง่ของแนวทางสรีรวิทยานั้น ท่าสตูพจะดีกว่าท่าสควอท เพราะว่าท่า
สตูพต้องการต้นทุนพลังงานที่น้อยกว่าท่าสควอท ทั้งนี้ก็ด้วยเหตุที่ว่า ท่าสควอทนั้นนอกจากตัวผู้
ยกจะต้องออกแรงกล้ามเนื้อขาของแล้วยังต้องออกแรงเพิ่มขึ้นในการยกพุงน้ำหนักตัวของผู้
ยกขึ้นอีกด้วยในแต่ละครั้งที่ทำการยกวัตถุขึ้นมา ถ้าในกรณีที่ผู้ยกที่มีกล้ามเนื้อขาที่ไม่แข็งแรงแล้ว
ก็จะทำให้ความสามารถในการยกสิ่งของมีน้อยลงไป

2.6 การประมาณค่าน้ำหนักที่เหมาะสมตามหลักชีวกลศาสตร์

ได้มีนักเออร์โกโนมิกส์หลายคนที่ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการ
คำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อร่างกายมนุษย์ระหว่างกรยกของ ในที่นี้จะขอเสนอเพียง
ตัวอย่างของแบบจำลองชีวกลศาสตร์หลังส่วนล่างของแชฟฟินและแอนเดอร์สัน (Chaffin and
Anderson, 1991) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

จากการที่มีโมเมนต์ปริมาณมากเกิดขึ้นที่กระดูกสันหลังของคนขณะยกวัตถุที่มีน้ำหนัก
มากนั้น แบบจำลองนี้จะมุ่งความสนใจไปยังประเด็นที่เกี่ยวข้องกับแรงภายใน (Internal Muscle
Force) ที่ร่างกายจะต้องทำให้เกิดขึ้นเพื่อที่จะดำรงท่าทาง (Posture) ของโครงกระดูกสันหลังเอาไว้
ในลักษณะเดิมในขณะที่บุคคลผู้นั้นกำลังยกวัตถุดังกล่าวอยู่ ทั้งนี้โดยการกำหนดว่ามี 2 แรงภายใน
ร่างกายที่สำคัญที่ทำหน้าที่ต้านทานโหลดโมเมนต์ภายนอกที่เกิดขึ้นจากการยกของ
(ดังแสดงในรูป 2.8 ประกอบ) เช่น

- แรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์ อีเรคเตอร์ สไปแน
(Extensor Erector Spinae) ซึ่งมีแนวแรงกระทำที่ระยะห่าง (E) ประมาณ 5 ซม.ทางด้านหลังของ
L₅/S₁ Disc ซึ่งถือเป็นจุดหมุน

- แรงซึ่งเกิดจากความดันภายในช่องท้อง (Abdominal Pressure) มีแนวกระทำ
ของแรงอยู่ทางด้านหน้าของโครงกระดูกสันหลัง โดยมีระยะห่าง (D) นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า sine ของ
มุม θ_H ที่ทำกับสะโพก

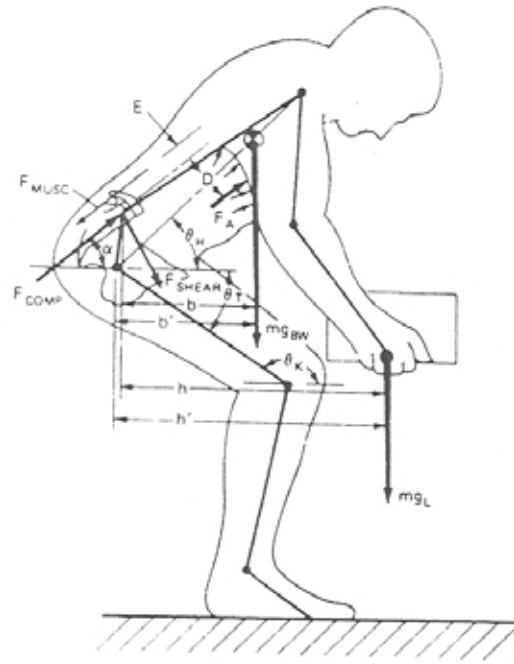
- ขณะที่ลำตัวท่อนบนอยู่ในลักษณะตั้งตรง (หมายความว่ามุม θ_H เท่ากับ 0
องศา) ค่า D จะมีระยะห่าง 7 ซม โดยประมาณ

- เมื่อลำตัวท่อนบนพับงอลงมาข้างหน้าจนขนานกับพื้น (หรือก็หมายความว่ามุม θ_H เท่ากับ 90 องศา) ค่า D จะมีระยะเท่ากับ 15 ซม.โดยประมาณ



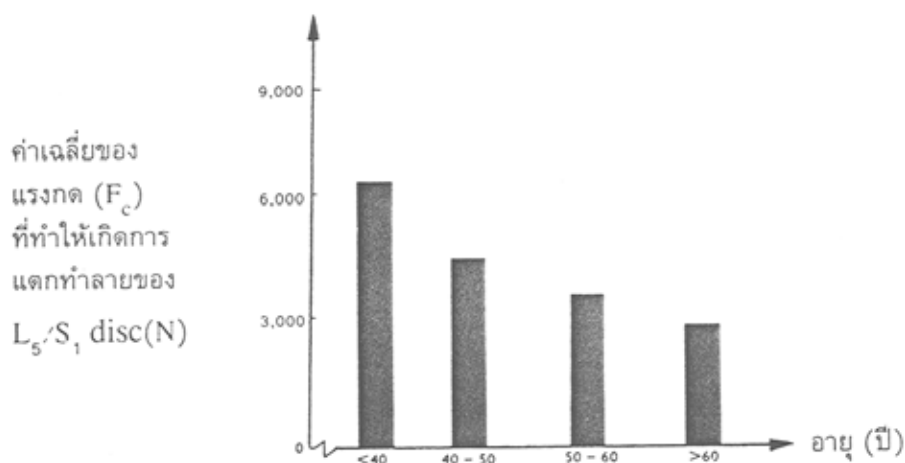
รูปที่ 2.8 แสดงระยะห่างของแนวแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้ออีเรคเตอร์ สปายเน (F_M) จากจุดศูนย์กลางของหมอนรองกระดูกสันหลัง L_5/S_1

แรงจากความดันภายในช่องท้องนี้จะทำหน้าที่ดันลำตัวส่วนบนให้เหยียดตัวตั้งตรงขึ้น ซึ่งเท่ากับเป็นการต่อต้านการงอตัวลงมาของกระดูกสันหลังอันเนื่องจากโหนดโมเมนต์ภายนอกเข้ามากระทำหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า แรงภายในร่างกายทั้งสองแรงนี้จะทำให้เกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาที่จุดหมุน L_5/S_1 Disc ด้วยปริมาณที่เท่ากับโหนดโมเมนต์ภายนอกแต่มีทิศทางตรงกันข้ามนั่นเอง



NIOSH ได้นำแนวคิดและผลการวิเคราะห์ทำนองนี้มาประกอบการพิจารณาและสรุปเป็นข้อแนะนำในปี พ.ศ.2524 และปรับปรุง ปี พ.ศ.2537 ว่า งานที่ทำให้เกิดแรงกดที่ L5 /S1 Disc ปริมาณมากกว่า 3,400 นิวตันนั้น มีศักยภาพสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อการแตกหักของกระดูกสันหลังต่อผู้ที่ปฏิบัติงานยกย้ายวัสดุบางคนได้ และ ถ้าแรงกดดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,400 นิวตันแล้ว งานนั้นก็จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานยกย้ายวัสดุได้เกือบทั้งหมดทุกคนไม่ว่าบุคคลนั้นจะมีขนาดรูปร่างเล็ก-ใหญ่หรือมีความแข็งแรงมาก-น้อยอย่างไร

ได้มีการศึกษาทดลองเกี่ยวกับจุดที่เกิดการแตกสลายของกระดูกสันหลังของมนุษย์ (ที่เสียชีวิตไปแล้ว) ในวัยอายุต่าง ๆ กัน ซึ่งเมื่อยังมีชีวิตอยู่นั้น กระดูกสันหลังของคนเหล่านี้ ต้องอยู่ในสภาพที่ต้องรับโหลดน้ำหนักขนาดต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากแรงกดและโมเมนต์อยู่เป็นประจำ ได้พบว่าส่วนของกระดูกสันหลังที่เกิดการแตกสลายก่อนส่วนอื่นและเกิดมากที่สุดก็คือบริเวณ คาร์ติเลจ เอนด์ เพลทส์ในข้อต่อ L₅/S₁ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวได้แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยและพิสัยของแรงกดที่ทำให้เกิดการแตกสลายของกระดูกสันหลังช่วงล่างของบุคคลในวัยต่าง ๆ ซึ่งเสียชีวิตไปแล้ว

2.7 ข้อเสนอแนะสำหรับงานยกโดยอาศัยแนวทางชีวกลศาสตร์

(Biomechanical Recommended Limits)

คำแนะนำเรื่องการยกของ NIOSH (1994) ได้กำหนดพิสัยแรงกดที่เกิดบน L5/S1 Disc เอาไว้เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงาน มีดังนี้คือ

1. ค่าขีดจำกัดน้ำหนักที่แนะนำให้ยกได้ขณะทำงาน (Recommended Weight Limit: RWL); ซึ่งแปรผันไปกับปัจจัยต่างๆ สามารถคำนวณหาได้จากสมการ 2.1 ค่า RWL เป็นค่าน้ำหนักที่เหมาะสม ที่คาดว่าคนงานทั่วไปที่มีสุขภาพดีเกือบทุกคน (90% ของวัยแรงงาน โดยเป็น 99% ของแรงงานชาย และ 75% ของแรงงานหญิง) จะสามารถยก เคลื่อนย้ายวัสดุ ในระยะเวลาส่วนใหญ่แต่ละวันได้อย่างปลอดภัย (เกือบ 8 ชั่วโมง/วัน) โดยจะไม่เกินขีดจำกัดในการรับน้ำหนักของหลัง หรือไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิด Low Back Pain ค่า RWL ที่คำนวณได้ จะใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงไม่ใช่เป็นการระบุถึงอันตราย

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (2.1)$$

เมื่อ LC คือ ค่าคงที่ของน้ำหนักที่สามารถยกได้ปลอดภัย (เท่ากับ 23 กก)

HM คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณปรับระดับความสูง $25 / H$ เมื่อ $H > 25$

VM	คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณปรับระดับแนวตั้ง $(1-(0.003 V-75))$
DM	คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณปรับระยะ $(0.82+ (4.5/D))$ เมื่อ $D > 25$
AM	คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณ ความเอียง $(1-0.0032A)$ เมื่อ A คือ มุมของการไม่ สมมาตร หรือ เอี้ยวตัว มีหน่วยเป็น องศา
FM	คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณความถี่ ในการยก
CM	คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณความถนัดในการจับยึด (Coupling)

2.8 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงงานจาก NIOSH Lifting Equation

- ค่า HM ให้ปรับปรุงด้วยกับจับยึดวัสดุสิ่งของที่ยกขนย้ายใกล้ลำตัวหรือลดขนาดใกล้ตัว
- ค่า DM ลดระยะในแนวตั้ง หลีกเลียงการขนย้ายใกล้พื้น
- ค่า AM ปรับปรุงแนวเส้น จุดเริ่มต้นให้อยู่ใกล้แนวเส้นจุดที่วางวัสดุสิ่งของ
- ค่า FM ปรับปรุงลดความถี่ในการขนย้าย ลดเวลาในการขนย้าย เพิ่มเวลาพัก
- ค่า CM ปรับลักษณะการจับยึดวัสดุสิ่งของ ให้กระชับจับง่าย

2. ค่าดัชนีการยก (Lifting Index: LI) เป็นค่าบ่งชี้ถึงอัตราความเสี่ยงของคนงานต่อการบาดเจ็บจากการยกย้ายฯ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วน ระหว่าง น้ำหนักที่จะยก ต่อ ค่า RWL ดังสมการ 2.2

$$LI = \text{น้ำหนัก} / RWL$$

(2.2)

ซึ่งค่า LI มีเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. กรณีที่ค่า LI น้อยกว่า 1 แสดงว่า สถานการณ์งานยกย้ายที่ปฏิบัติอยู่มีความปลอดภัยในการยกย้าย ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการแก้ไขปรับปรุงงานยกย้ายนี้แต่อย่างใด

2. กรณีที่ค่า LI ตกอยู่ระหว่าง 1 กับ 3 แสดงว่า สถานการณ์งานยกย้ายที่กำลังปฏิบัติอยู่ไม่มีความปลอดภัยในการยกย้าย แต่สามารถกระทำต่อไปได้ แต่ว่าจำเป็นต้องมีมาตรการทางด้านวิศวกรรมเข้ามากำกับแก้ไขปรับปรุงหรือควบคุมงานยกย้ายนี้

3. กรณีที่ค่า LI มากกว่า 3 แสดงว่า สถานการณ์งานยกย้ายที่ปฏิบัติอยู่มีอันตรายจากงานการยกย้ายมาก ต้องสั่งห้ามมิให้มีการทำงานยกย้ายดังกล่าวโดยเด็ดขาดและโดยทันที

แต่อย่างไรก็ตามค่าบ่งชี้ถึงอัตราความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการยกนี้ สถาบันความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพของสหรัฐอเมริกา (NIOSH) ได้เสนอแนะเอาไว้ ดังแสดงในตาราง 2.2 ส่วนรูปที่ 2.10 นั้น แสดงถึงตัวอย่างของการคำนวณประมวลผลหาค่า RWL และค่า LI โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์

ตารางที่ 2.2 คำนวณน้ำหนักที่แนะนำให้ยกได้ขณะทำงาน RWL ประกอบด้วยระยะยก (V) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 75 ซม (ทำย่อเข้ายกขึ้นมาจากพื้น)

ระยะเวลาการทำงาน	PWC ที่ใช้	Kcal/min
1 ชั่วโมง	50%	4.7
1-2 ชั่วโมง	40%	3.7
2-8 ชั่วโมง	33%	3.1

* หากยกด้วยค่า $V > 75$ ซม (ทำก้งโค้งยกขึ้นมาจากพื้น) ค่า PWC ที่ใช้มีปริมาณเกิน 70% ขึ้นไป

Task ID: Task 1

Select The Appropriate Job Duration
 Short (<=1hr) Moderate (1-2 hr) Long (2-8hr)

Weight
 Average: lb
 Maximum: lb

Grip (g)
 Good
 Fair
 Poor

Frequency (F)
 lifts/min

Destination Control At Destination?

Asymmetric Angle, A(deg)
 Origin: Destination:

Horizontal Location (H)
 Origin: in
 Destination: in

Vertical Location (V)
 Origin: in
 Destination: in
 Travel Distance (D): in

Estimate 'H' + 'V'

NIOSH Lifting Equation

	Origin
Horizontal Multiplier, HM	0.56
Vertical Multiplier, VM	0.71
Distance Multiplier, DM	0.93
Asymmetric Multiplier, AM	1.00
Frequency Multiplier, FM	0.90
Coupling Multiplier, CM	1.00
Recommended Weight Limit:	16.8 lb
Lifting Index, LI:	0.72

2D Biomechanical Analysis

Recommendations

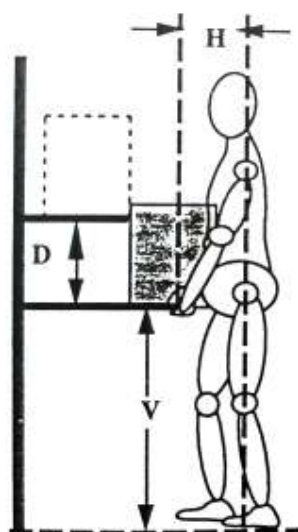
- [Reduce H Distance](#)
- [Optimize V Distance](#)
- [Reduce D Distance](#)
- [Reduce A Angle](#)
- [Reduce Frequency](#)
- [Improve Grip Design](#)
- [Reduce Weight](#)
- [Eliminate Lift/Lower](#)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของการวิเคราะห์ประเมินหาค่า RWL และค่า LI ตามคำแนะนำของ NIOSH โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ประเมินผล

2.8.1 คำแนะนำในการยกของ NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)

ในความพยายามที่จะลดปัญหาการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคนได้มีหลายองค์กรที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมพยายามออกกฎคำแนะนำเกี่ยวกับงานยกย้ายวัสดุต่าง ๆ เอาไว้ อาทิเช่น องค์กรแรงงานระหว่างประเทศหรือ ILO (International Labor Organization) ได้ออกกำหนดตารางที่ว่าด้วยการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน (ดูตารางที่ 2.3 ประกอบ) เป็นต้น แต่ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างคำแนะนำที่มีการนำไปใช้และได้รับการยอมรับมากอีกแบบหนึ่ง ซึ่งก็คือ คำแนะนำในการยกของ NIOSH (NIOSH Lifting Guide) ซึ่งคำแนะนำนี้ได้นำเอาปัจจัยหลัก 7 ปัจจัยที่ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดอันตรายจากงานยกได้มากที่สุด ซึ่งก็คือ

1. น้ำหนักของวัตถุที่ถูกยก (L) มีหน่วยเป็น นิวตัน
2. ระยะในแนวระนาบวัดจากจุดกึ่งกลางของข้อเท้าถึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล (C.M.) วัตถุหรือจุดที่มือจับถือ (Horizontal Position of the Load or Hand Grip Center; H) มีหน่วยเป็น ซม.
3. ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของการยกในแนวดิ่งวัดจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางมวล (C.M.) หรือจุดที่มือจับถือ (V) มีหน่วยเป็น ซม.
4. ระยะทางในแนวดิ่งที่ยกวัตถุได้วัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลายทาง (D) มีหน่วยเป็น ซม.
5. ความถี่เฉลี่ยในการยกในช่วงเวลาที่กำหนดให้ (F) มีหน่วยเป็น ครั้ง/นาที โดยที่ความถี่น้อยที่สุดคือ ความถี่ที่ยกวัตถุเพียงครั้งเดียว ($F_{min} = 0.2$)
6. ช่วงเวลาในการทำงานที่มีการยกวัตถุ (น้อยกว่า 1 ชม. หรือ 8 ชม.)
7. ค่าประสิทธิภาพการทำงานทางกายภาพของแต่ละบุคคล (Physical Work Capacity; PWC) หรือ VO_2 MAX ซึ่งจะเป็นตัวกำหนด ค่า น้ำหนักที่แนะนำให้ยกได้ขณะทำงาน (Recommended Weight Limit: RWL)



F = Lifting Frequency

รูปที่ 2.11 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อขีดจำกัดของน้ำหนักในการยก H, D, V และ F (NIOSH)

ตารางที่ 2.3 แนะนำช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการยกของในแต่ละช่วงอายุของผู้ยกย้าย เป็น
คำแนะนำของ ILO (หน่วยเป็นนิวตัน)

อายุ (ปี)	ผู้ชาย	ผู้หญิง
14 – 16	143	96
16 – 18	181	115
18 – 20	222	14
20 – 35	240	143
35 – 50	202	125
มากกว่า 50	153	96

2.8.2 สมการ NIOSH 1991 (REVISED NIOSH 1991 LIFTING EQUATION)

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health: สถาบันชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติของอเมริกา) ได้พัฒนาสมการในปี 1981 เพื่อช่วยในเรื่องสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติในการประเมิงานยกของในแนวระนาบหน้าหลัง (NIOSH, 1981) สมการถูกใช้อย่างกว้างขวางในผู้ปฏิบัติด้านสุขภาพชีวอนามัยเพราะมีหลักวิธีในการคำนวณเกณฑ์น้ำหนักของการยกของด้วยมือ มีประโยชน์ในการกำหนดน้ำหนักเพื่อลดความเสี่ยงต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูกซึ่งสัมพันธ์กับการปวดเมื่อยและบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง (Low Back Pain: LBP) (Waters et al., 1993)

1985 NIOSH ได้ตั้งคณะกรรมการซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญขึ้นทำการทบทวนงานทางด้านกรยกของ คำแนะนำที่กำหนดเกณฑ์ความสามารถยก เนื่องจากสมการในปี 1981 ถูกจำกัดอยู่ในระนาบหน้าหลัง เพื่อขยายการประยุกต์กับงานยกของให้มากขึ้น การปรับปรุงขยายสมการจึงเกิดขึ้นในปี 1991 ต่อมา NIOSH ได้จัดทำเอกสารของสมการและหลักสำคัญแนะนำวิธีการใช้สมการที่ได้ขึ้น สมการในปี 1991 เป็นผลมาจากการหาและกำหนดวิธีการประเมิงานยกที่ไม่สมมาตร งานยกที่มีมือจับไม่ดี และยังกำหนดแนวทางสำหรับประเมิในช่วงเวลาทำงานได้นานกว่าสมการในปี 1981 บทความนี้เป็นจะกล่าวถึงการเลือกหลักเกณฑ์ทั้งสามแนวทาง (ชีวกลศาสตร์ สรีรวิทยา จิตฟิสิกส์) ที่ใช้ในการกำหนดสมการในปี 1991 และอธิบายถึงที่มาของแต่ละปัจจัยในสมการ บทความนี้ยังอธิบายถึงการใช้ LI (Lifting Index) ซึ่งเป็นดัชนีวัดถึงความเค้นที่

บอกถึงอันตรายในงานยกของ สมการปี 1991 ยังไม่ได้รับการทดสอบมากนัก น้ำหนักที่แนะนำยังต่ำกว่างานวิจัยทั่วไป แต่ NIOSH เชื่อว่าสมการที่ปรับปรุงในปี 1991 จะป้องกันอันตรายที่เกิดกับคนงานได้ดีกว่าสมการในปี 1981

สมการปี 1991 ได้กำหนดวิธีการประเมินงานยกของที่ไม่สมมาตร มีที่จับที่ไม่ดี และยังขยายตารางประเมินช่วงเวลากการทำงานและความถี่ให้มากยิ่งขึ้น วัตถุประสงค์ของทั้งสองสมการก็เพื่อลดความเสี่ยงต่อการปวดเมื่อยและบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง (LBP) ที่สัมพันธ์กับการยกของคนงาน นอกจากนี้สมการนี้จะช่วยลดโรคและการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อและกระดูกส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกรยกด้วย เช่น การปวดไหล่และแขน

คณะผู้เชี่ยวชาญได้รวบรวมเกณฑ์จากการวิจัยจากเกณฑ์ทั้ง 3 แนวทาง แล้วนำมาพิจารณาเลือกและตัดสินใจใช้ค่าที่เหมาะสมโดยสรุปคือ ใช้ค่าทางชีวกลศาสตร์ที่ 3400 นิวตัน ค่าทางสรีรวิทยาที่ระดับ 2.2 - 4.7 กิโลแคลอรีต่ออนาที และค่าทางจิตฟิสิกส์ที่ MAW ที่ระดับ 75% ของเพศหญิงและที่ระดับ 99% ของเพศชาย โดยทดลองใช้สมการ NIOSH ประเมินงานตัวอย่างเทียบกับเกณฑ์ต่างๆ ทั้งสามด้านดังกล่าวแล้วยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

2.8.3 ข้อดีและข้อจำกัดของสมการ NIOSH

ตั้งแต่ได้รับการตีพิมพ์ในปี 1981 คู่มือแนะนำของสมการ NIOSH ได้รับการยอมรับจากวงการความปลอดภัยในอุตสาหกรรม ที่เป็นหลักในการประเมินอันตรายของสถานที่ที่ยกของ คู่มือแนะนำของสมการ NIOSH เป็นเครื่องมือสำหรับผู้จัดการในการหาน้ำหนักที่เหมาะสม และเป็น การเตรียมสภาพที่ดีสำหรับฝ่ายบริหารและวิศวกรในการป้องกันอันตรายในการยกของ

ส่วนข้อจำกัดที่สมการ NIOSH ยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ คือ

- การยกของขึ้น/ลง มือเดียว
- การยกของขึ้น/ลง นานเกิน 8 ชั่วโมง
- การยกของขึ้น/ลง ในขณะที่นั่งหรือคุกเข่า
- การยกของขึ้น/ลง ที่จำกัด
- การยกของที่ไม่มั่นคงขึ้น/ลง
- การยกของขึ้น/ลงในขณะที่ถือ ดัน หรือดึง
- การยกของขึ้น/ลง ด้วยความถี่มากๆ (มากกว่า 30 ครั้ง/นาที)

- การยกของขึ้น/ลง ในขณะที่ทำไม่มั่นคง (ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นและรองเท้าน้อยกว่า 0.4)
- การยกของขึ้น/ลงในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิอยู่นอกช่วง 19-26 °C หรือความชื้นอยู่นอกช่วง 30-50 %

2.9 การประเมินปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ

ในปัจจุบันการศึกษาถึงแนวทางในการลดการบาดเจ็บดังกล่าว มีแนวโน้มที่จะใช้การนิยามความเสี่ยงจากการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ, การประเมิน (Assessment) และการควบคุมความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นมากกว่าการไปจำกัดน้ำหนักที่ยกหรือการสอนวิธีการยกของที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามแนวทางใหม่ดังกล่าวก็ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการประเมินความเสี่ยงว่าจะเป็นที่น่าเชื่อถือ หรือยอมรับได้หรือไม่ (Straker, 1996)

Ayoub (1977) ได้เสนอวิธีการในการหาขีดความสามารถในการยกของคนงาน เพื่อเป็นแนวทางป้องกันมิให้คนงานทำงานเกินขีดความสามารถของตนจนเกิดเป็นอันตราย 3 แนวทางคือ

1. เกณฑ์การประเมินโดยใช้ผลตอบสนองทางสรีระวิทยา (Physiological Approach)
2. เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)
3. เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)

Guo et al. (1996) ได้แบ่งการประเมินปัจจัยเสี่ยงทางการยกศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การประเมินความเสี่ยงมหภาค (Macro-risk assessment) แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1.1 รายละเอียดการทำงาน ได้แก่ ประวัติ งาน รายละเอียดของงาน เครื่องมือ/อุปกรณ์ วัสดุที่ใช้ ระยะเวลา และความถี่ในการทำงาน

1.2 แบบสอบถาม ได้แก่ การเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ การทำงานของมือ ท่าทางในการทำงาน อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล และสภาพแวดล้อม

1.3 ดัชนีความเครียดสัมพัทธ์ (Relative Stress Index, RSI) ได้จากการคำนวณโดยพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน เช่น ภาระงาน, การทำซ้ำ, ระยะเวลาทำงาน, ระยะทาง ซึ่งค่า RSI ที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0-10 เมื่อ '0' หมายถึง อันตราย/ไม่ปลอดภัย/ไม่มีผลผลิตภาพ (Unproductive) และ '10' หมายถึง ไม่เป็นอันตราย/ปลอดภัย/มีผลผลิตภาพ

2.การประเมินความเสี่ยงเชิงจุลภาค (Micro-risk assessment) แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่

2.1 การประเมินผลตอบแทนทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิร่างกาย ความดันโลหิต อัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงาน ระดับเอนไซม์ ผลเอกซเรย์ ผลตอบแทนทางประสาทวิทยา และระดับฮอร์โมน

2.2 การประเมินทางจิตฟิสิกส์ ได้แก่ ขีดจำกัดความอดทน (Tolerance limits) และการรับรู้ความเสี่ยง (Risk perception)

2.3 การประเมินทางชีวกลศาสตร์ ได้แก่ แรง โมเมนต์ และค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (Electromyography, EMG)

2.4 การประเมินทางระบาดวิทยา ได้แก่ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ เวลาสูญเสียเงินทดแทนที่จ่ายให้คนงาน ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล การสูญเสียการจ้างงาน และอัตราการเข้า-ออกของคนงาน

2.10 เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์

เป็นการพิจารณาเปรียบเทียบภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง กับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (MAL) โดยใช้วิธีทางชีวกลศาสตร์มาเป็นเครื่องมือช่วยให้ทราบว่าลักษณะงานที่ทำนั้นเกินค่า MAL หรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด แม้ว่าวิธีการประเมินจะได้มีการพัฒนาการคำนวณในสภาวะสถิต (Static) ซึ่งให้ผลของแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกต่ำกว่าความเป็นจริง มาเป็นการคำนวณแรงในสภาวะพลวัต (Dynamics) ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงแต่การใช้เกณฑ์การประเมินทางชีวกลศาสตร์ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปศึกษาในสถานที่ทำงานจริงเนื่องจากข้อกำหนดด้านเวลาและเครื่องมือ (ตรีจักร, 2538)

เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์ที่ใช้ในการกำหนดขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในการยกของส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นแรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง ซึ่งวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาแรงกดดังกล่าว คือการนำเอากระดูกสันหลังของผู้ตายที่ได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่าไม่มีการแตกร้าวหรือรอยชำรุดและได้เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกระดูกสันหลังมาทดสอบความสามารถสูงสุดในการรับแรงกดโดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกจนกระดูกเกิดการเสียรูป โดยในการทดลองจะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสภาพใกล้เคียงกับภายในร่างกายมนุษย์ ค่าภาระงานสุดท้ายที่อ่านได้นี้จะเป็นค่า Compressive Strength ของกระดูกสันหลัง จากแนวคิดดังกล่าวนี้ ค่า Compressive Strength จึงเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้ เมื่อมีภาระงานมากกระทำ ได้มีนักวิจัยหลายคนทำการทดลองและสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับลักษณะเฉพาะของบุคคล เป็นฟังก์ชันของอายุ, เพศ, น้ำหนักร่างกาย และค่าจำเพาะของกระดูกสันหลังแต่ละชิ้น (Special component: SC)

ในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากการที่กระดูกสันหลังได้รับแรงกดที่มากเกินไปนั้น นักวิจัยหลายคนจึงได้เสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่สามารถยอมรับได้ (MAL) ซึ่ง Eie (1966) พบว่าค่า MAL จะอยู่ในช่วงร้อยละ 33 ถึงร้อยละ 93 ของค่า Compressive Strength โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ในขณะที่ Yoganandan et al. (1989) พบว่าค่า MAL ของคนปกติมีค่าร้อยละ 83 ของ Compressive Strength จากนั้น Genaidy (1993) ทำการทดลองพบว่าค่า MAL ควรอยู่ประมาณร้อยละ 64 ซึ่งใกล้เคียงกับ Eie สรุปไว้

ตารางที่ 2.4 แสดงสมการประมาณค่า CS ที่นักวิจัยคนอื่นได้กำหนดไว้ (อ้างจากตรีจัตร์, 2538)

นักวิจัย	สมการประมาณค่า CS (นิวตัน) จากกระดูกสันหลังที่ได้จากศพ
Sonoda <i>et al.</i> (1962)	$CS = 6421.3 + (374.3 \cdot SC^5)$
Guzulov <i>et al.</i> (1966)	$CS = 6218.1 + (783.0 \cdot SC)$
Hutton <i>et al.</i> (1979)	$CS = 8567.4 - (72.0 \cdot \text{อายุ}) - (3276.9 \cdot \text{เพศ}) + (374.0 \cdot SC)$
Messerer (1980)	$CS = 1908.3 + (299.7 \cdot SC)$
Hutton & Adams (1982)	$CS = 18512 - (29.3 \cdot \text{อายุ}) - (3215.5 \cdot \text{เพศ}) + (539.9 \cdot SC) + (97.0 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Adams & Hutton (1982)	$CS = -7308.4 - (69.8 \cdot \text{อายุ}) - (140.7 \cdot \text{เพศ}) + (280.2 \cdot SC) + (42.4 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Hansson <i>et al.</i> (1987)	$CS = -13557.0 - (63.1 \cdot \text{อายุ}) - (454.4 \cdot \text{เพศ}) + (404.2 \cdot SC) + (54.5 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$
Brinkmann <i>et al.</i> (1988)	$CS = -2894.9 - 64.8 \cdot \text{อายุ} - (1016 \cdot \text{เพศ}) + (284.7 \cdot SC)$
Biggenmann (1988)	$CS = 5719.6 - (63.1 \cdot \text{อายุ}) - (1722.1 \cdot \text{เพศ}) + (312.1 \cdot SC)$
Jager & Luttmann (1992)	$CS = (10.53 - 0.975 \cdot (\text{อายุ}/10)) \times 10^3$ สำหรับเพศชาย $CS = (7.03 - 0.591 \cdot (\text{อายุ}/10)) \times 10^3$ สำหรับเพศหญิง
Genaidy <i>et al.</i> (1993)	$CS = 7222.41 - (1047.71 \cdot \text{ช่วงอายุ}^{**}) - (1279.18 \cdot \text{เพศ}) + (56.73 \cdot \text{เปอร์เซ็นต์ไต่ล้งของประชากร})$

หมายเหตุ

ค่า SC ของกระดูกแต่ละชิ้น: C1=2 C2=2 C3=3 C4=4 C5=5 C7=7 T1=8 T3=10

T4=11 T5=5 T6=5 T7=7 T8=8 T9=9 T10=10 T12=12 L1=13 L2=14 L4=18

T12/L1=43 L1/L2=44

L2/L3=45 L3/L4=47 L4/L5=47 L5/S1=48

* เพศ: เพศชาย และเพศหญิง มีตัวเลขเชิงคุณภาพเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ

** ช่วงอายุ 20-29, 30-39, 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าตัวเลขเชิงคุณภาพเป็น 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

2.11 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง

ความเครียดทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นบนร่างกายขณะทำงานยกนั้น เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ยก น้ำหนักของร่างกาย และวิธีการหรือท่าทางการยก (Park & Chaffin, 1975) โดยใช้รูปแบบทางชีวกลศาสตร์ คำนวณหาแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ข้อต่างๆ บนร่างกาย ในขณะที่ทำงานเพื่อต้านกับแรงดึงดูดและทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งกล้ามเนื้อจะต้องออกแรงเพื่อให้เกิดสมดุลกับแรงบิดที่เกิดขึ้นและจะออกแรงมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับระยะห่างของกล้ามเนื้อนั้นๆ กับจุดหมุนหรือที่เรียกว่าแกนของโมเมนต์ นอกจากแรงที่เกิดจากภายนอกร่างกายแล้วการออกแรงดึงของกล้ามเนื้อเหล่านั้นจะทำให้เกิดแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้นบนผิวสัมผัสระหว่างข้อต่อของกระดูกอีกด้วย โดยมีการคำนวณอยู่สองรูปแบบคือ การคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะสถิต (Statics) และการคำนวณโดยใช้รูปแบบภาวะพลวัต (Dynamics)

ในระยะเริ่มแรกของการใช้แนวทางชีวกลศาสตร์มักจะเป็นการคำนวณในภาวะสถิต ซึ่งมีข้อเสีย นั่นคือพบว่าแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกจากการใช้รูปแบบของภาวะสถิต จะมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากภาวะงานจริงซึ่งเป็นภาวะพลวัต ประมาณร้อยละ 40 (Freivald, 1984) ดังนั้นนักวิจัยหลายท่านจึงได้ศึกษาในรูปแบบพลวัตเพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความจริง โดยอาศัยการถ่ายภาพต่อเนื่อง และวัดมาตราส่วนเพื่อหาตำแหน่งต่างของข้อต่อขณะที่มีการเคลื่อนไหว เพื่อหาความเร็วและความเร่ง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณโดยใช้รูปแบบพลวัต แต่การคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปศึกษาในสถานประกอบการหรือในการทำงานจริงเนื่องจากข้อกำหนดทั้งทางด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้สลับซับซ้อนมากขึ้น (Potvin, 1992) รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพต่อเนื่องและการหาพิกัดจุดเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ จึงเป็นอุปสรรคต่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างมาก (ตรีจักร จำปาวัลย์, 2538)

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

Ekhholm et al. (1982) ได้ศึกษาผลภาระที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง และการทำงานของกล้ามเนื้อหลังระหว่างการยกในท่าต่างๆ โดยใช้แนวทางชีวกลศาสตร์พบว่า การยกใน

ท่าที่เหยียดเข้าตรงกับท่างอเข้าและให้สิ่งของที่ยกอยู่น้ำหนักเท่ากัน ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งแรงกดอัดและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง แต่สำหรับการยกแบบงอเข้าโดยยกสิ่งของขึ้นผ่านระหว่างหัวเข่าซึ่งทำให้ระยะห่างกระดูกเชิงกรานลดลง จะทำให้ค่าแรงกดอัดและโมเมนต์นั้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่าโมเมนต์สูงสุดและแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างเกิดจากน้ำหนักของลำตัวส่วนบนถึงร้อยละ 70 และเกิดจากน้ำหนักของสิ่งที่ยกเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น

การศึกษาวิจัยนี้จะมุ่งหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้แก่

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักของสิ่งของที่ทำกรงานขนย้าย
- แรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Erector spinae ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรง (Ekholm et al., 1982) และกล้ามเนื้อนี้จะอยู่ห่างจากกระดูกสันหลังพอน L5/S1 ประมาณ 5 เซนติเมตร (Thieme, 1950) นักวิจัยบางท่านกล่าวว่าประมาณ 6 เซนติเมตร สำหรับ Jager & Luttmann (1992) ได้กำหนดให้ใช้ระยะห่างเท่ากับ 5 เซนติเมตร

Winter (1979) ได้เสนอวิธีการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาค่าแรงและโมเมนต์ทั้งในภาวะสถิตและภาวะพลวัต โดยแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ ที่เรียกว่า Segment 6 ส่วนสำคัญ คือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวรวมทั้งศีรษะ ขาสั้นบน ขาสั้นล่าง และเท้าดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาพฉายเส้นการแบ่งร่างกายออกเป็นส่วนต่างๆ

2.12 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต (Statics)

การคำนวณในรูปแบบภาวะสถิตจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะท่าทางการทำงาน รวมทั้งข้อมูล Anthropometry ด้วย และจะนำมาคำนวณตามรูปแบบของภาวะสถิตโดยมีสมการการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ดังนี้

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

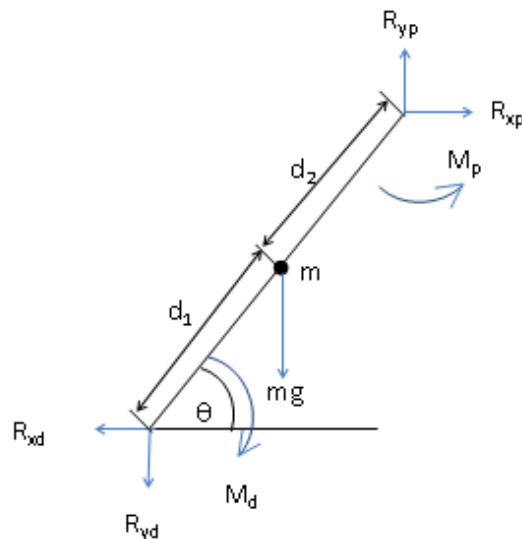
$$\Sigma F_y = 0 \text{ (ผลรวมของแรงทุกแรงในแนวแกน Y มีค่าเป็นศูนย์)}$$

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

ถ้าสมการทั้งสามเป็นจริงก็จะเรียกว่าอยู่ในภาวะสมดุล จะเห็นว่าสมการทั้งสามนี้มิได้รวมพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อยไว้ ดังนั้นรูปแบบการคำนวณในภาวะสถิตจึงสามารถที่จะใช้ได้ดีกับลักษณะการทำงานที่หยุดอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนไหวช้ามากๆ และมีสมมุติฐานเพื่อนำรูปแบบการคำนวณไปใช้ดังนี้

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

การคำนวณในภาวะสถิต (Statics)



รูปที่ 2.13 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อต่อใดในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\Sigma F_x = 0$ แทนค่าได้

$$R_{XP} = R_{XD}$$

โดยที่ R_{XP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนนอน

R_{XD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนตั้งคำนวณได้จากสูตร $\Sigma F_y = 0$ แทนค่าได้

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

โดยที่ R_{YP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนตั้ง

R_{YD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนตั้ง

m คือมวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที²

การหาแรงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใดคำนวณได้จากสูตร $\Sigma M_{CM} = 0$ แทนค่าได้

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

โดยที่ M_p คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

M_D คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

θ คือมุมทางขวาของ Segment เทียบกับแนวในแกนนอน

d_1 คือระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

2.13 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต (Dynamics)

ในการคำนวณในสภาวะพลวัต ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณนั้นแบ่งออกเป็น

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

2.14 Anthropometry

สำหรับโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ Segment ของร่างกาย ได้อาศัยข้อมูลจากต่างประเทศซึ่งเป็นข้อมูลของประชากรชาวต่างประเทศมาคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีข้อมูลส่วนนี้ที่เป็นข้อมูลของคนไทย ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Winter, 1979)

Segment	Weight/ Bodyweight	Center of mass / Segment length		Radius of Gyration / Segment length		
		Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal
Hand	0.006	0.506	0.494	0.297	0.587	0.577
Fore arm	0.016	0.430	0.570	0.303	0.526	0.647
Upper arm	0.028	0.436	0.564	0.322	0.542	0.645
Trunk H.N.	0.578	0.660	0.340	0.503	0.830	0.607
Thigh	0.100	0.433	0.567	0.323	0.540	0.653
Shank	0.0465	0.433	0.567	0.302	0.528	0.643
Foot	0.0145	0.500	0.500	0.475	0.690	0.690

2.15 Kinematics

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

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

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

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

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

โดยที่ X_i คือ ตำแหน่งของจุดของภาพที่ i
 V_i คือ ความเร็วเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i
 A_i คือ ความเร่งเชิงเส้นของจุดของภาพที่ i
 θ_i คือ ขนาดของมุมด้านขวาของ Segment กระทำกับแกนแนวนอนของภาพที่ i

ω_i คือ อัตราเร็วเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

α_i คือ อัตราเร่งเชิงมุม θ_i ของภาพที่ i

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

2.16 Kinetics

การคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะหาได้โดยการนำข้อมูลทาง Anthropometry และ Kinematics มาใช้กับสมการการคำนวณในรูปแบบภาวะพลวัต โดยมีสมมติฐานหลายข้อเพื่อนำหลักกลศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับร่างกายมนุษย์ ดังนี้

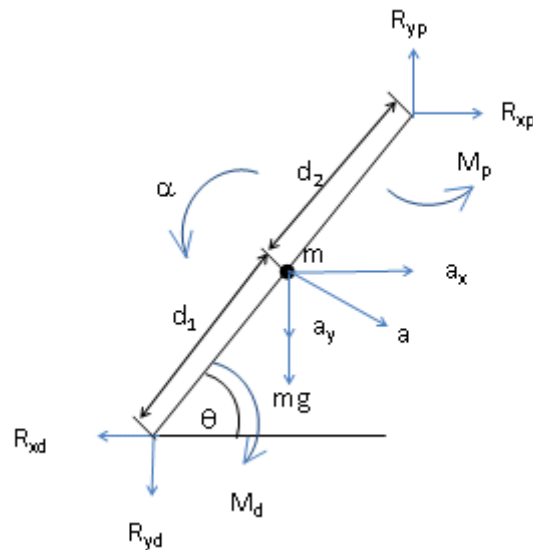
1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวตั้ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว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

แรงที่กระทำบน Segment แบ่งออกได้เป็น

1. แรงจากภายนอก เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายสัมผัสกับวัตถุภายนอกซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งพื้นที่ผิวสัมผัส แต่สามารถที่จะใช้เวกเตอร์แรงแทนแรงที่กระจายทั้งหมดซึ่งแรงจากภายนอกนี้สามารถที่จะวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรง เช่น Force Platform ซึ่งจะวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเท้ากับพื้นที่เท้าสัมผัส

2. แรงจากภายใน เป็นแรงที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ได้แก่ แรงดึงจากกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อของกระดูก
3. แรงดึงดูด เป็นแรงที่โลกกระทำกับวัตถุซึ่งมีทิศทางชี้ลงผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ Segment และมีขนาดเท่ากับ มวลคูณกับความเร่งจากแรงดึงดูด (โดยปกติใช้ค่า 9.8 m/s^2)

2.17 การคำนวณในสภาวะพลวัต (Dynamics)



รูปที่ 2.14 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนขนานคำนวณได้จากสูตร $\Sigma F_x = ma_x$ แทนค่าได้

$$R_{XP} = R_{XD} + ma_x$$

โดยที่ a_x คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวขนาน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อใดในแนวแกนตั้งคำนวณได้จากสูตร $\Sigma F_y = ma_y$ แทนค่าได้

$$R_{YP} = R_{YD} + mg + ma_y$$

โดยที่ a_y คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวตั้ง

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อใดคำนวณได้จากสูตร $\Sigma M_{CM} = I_{CM} \alpha$ แทนค่าได้

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

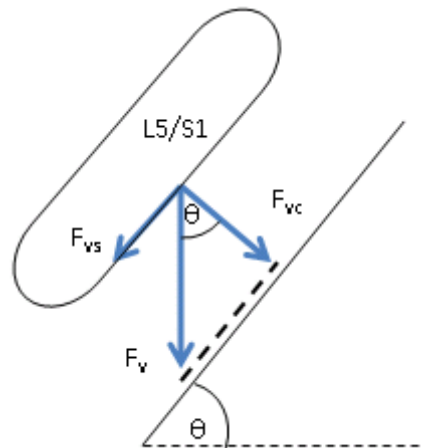
โดยที่ I_{CM} คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

α คืออัตราเร่งเชิงมุมของ θ

2.18 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

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

2.18.1 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

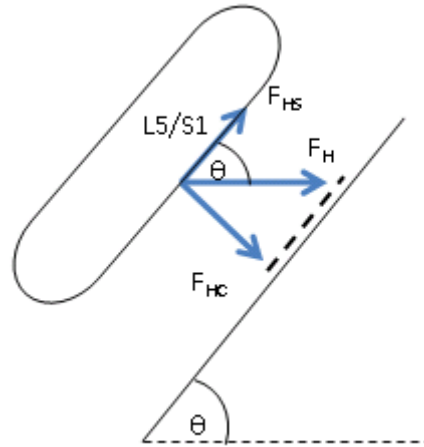


รูปที่ 2.15 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนตั้งบริเวณ L5/S1

1. แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้งหาได้จากสูตร

$$F_{vc} = F_v(\cos\theta)$$

- โดยที่ F_{vc} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง
- F_{vs} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง
- F_v คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง
- θ คือมุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน



รูปที่ 2.16 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1

2. แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอนหาได้จากสูตร

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

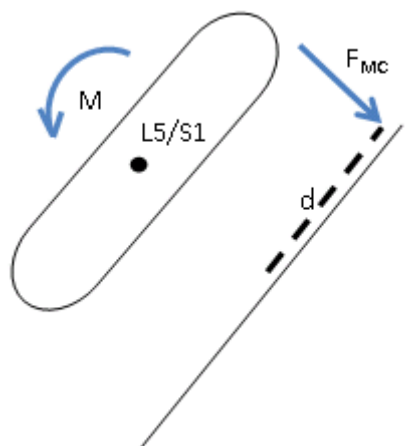
โดยที่ F_{HC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน

F_{HS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งคำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกน

นอน

F_H คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

2.18.2 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง



รูปที่ 2.17 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง แรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังที่กระทำต่อ L5/S1 หาได้จากสูตร

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

โดยที่ F_{MC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง
 d คือระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของ L5/S1 กับกล้ามเนื้อหลัง
 M คือโมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

แรงกดอัดรวมที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง หาได้จากการนำแรงกดอัดทั้ง 3 ส่วนข้างต้นมารวมกันดังสูตร

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

โดยที่ F_C คือแรงกดอัดรวมที่กระทำต่อ L5/S1

Shoaf (1997) ศึกษาเพื่อพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณขีดความสามารถในกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ ได้แก่ การยก, การผลัก, การดึง และการเดินถือ เพื่อเป็นแนวทางป้องกันการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง ซึ่งในการทดลองจะใช้ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะใช้ข้อมูลทางจิตฟิสิกส์ในการสร้างสมการเบื้องต้น ขั้นที่สองจะทำการทดลองวิเคราะห์ผลทางชีวกลศาสตร์เพื่อปรับปรุงค่าขีดจำกัดที่ได้จากขั้นที่หนึ่ง และขั้นสุดท้ายจะใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยาในการปรับปรุงสมการให้สมบูรณ์ขึ้น ในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะพิจารณาปัจจัยลักษณะของงาน ได้แก่ ระยะทาง, ความสูง, ความถี่, ระยะเวลาในการทำงาน และปัจจัยด้านคน ได้แก่ อายุ, น้ำหนักตัว, MAW ของประชากรภาคอุตสาหกรรมในเปอร์เซ็นต์ที่ต่าง ๆ เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้แนวทางจิตฟิสิกส์ในการพิจารณากิจกรรมดังกล่าวข้างต้น พบว่าค่า MAW ในการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า แต่ผลที่ได้สนับสนุนผลการทดลองของ Karwowski (1983) ที่กล่าวว่า การพิจารณารวมแนวทางชีวกลศาสตร์เข้ากับแนวทางสรีรวิทยาในการทำงาน จะเป็นการรวมผลกระทบของลักษณะที่แตกต่างกันที่มีต่อบุคคล และบุคคลจะตอบสนองต่อผลกระทบนี้ออกมาในรูปของการตอบสนองเชิงจิตฟิสิกส์

Repetitive strain injury หรือ RSI คือความผิดปกติหรือความปวดเมื่อยตามส่วนต่างๆ ของร่างกายอันเนื่องมาจากการทำงานแบบต่อเนื่องที่มีวัฏจักรการทำงาน (cycle time) ที่สั้น และซ้ำๆ กันตลอดเวลาทำงาน พนักงานที่มีปัญหาเกี่ยวกับ RSI จะมีอาการปวดเมื่อยหรือเจ็บปวดอย่างเรื้อรังในกล้ามเนื้อ, เส้นเอ็น และเนื้อเยื่ออ่อนอื่นๆ ซึ่งอาการเหล่านี้อาจจะไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่าหรือทางรังสีวิทยา (X-RAY) จึงเป็นสิ่งที่ปัญหาต่อความปลอดภัยและสุขภาพของพนักงานเป็นอย่างมาก (Labour Research department, 1987)

Chatterjee (1987) ได้รายงานสรุปว่าการบาดเจ็บที่เกิดจากการปฏิบัติงานในลักษณะที่ซ้ำๆ อาจครอบคลุมสภาวะบางประการดังนี้คือ ความผิดปกติของเนื้อเยื่อ เอ็น เส้นประสาท และส่วนบนขึ้นไปจนถึงลำคอ ปัจจัยที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงอาจเป็นเรื่องของสภาพร่างกาย และจิตใจ ตลอดจนปัญหาด้านการยศาสตร์ (ในส่วนของที่เกี่ยวกับลักษณะงาน ลักษณะสถานีทำงาน ลักษณะสภาพแวดล้อม) บางครั้งสาเหตุการเกิดสภาพเสี่ยงเช่นนี้ก็ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากหลายๆ ปัจจัยรวมกัน ดังนั้นการวินิจฉัยเหตุปัจจัยของ RSI จึงไม่สามารถที่จะวินิจฉัยจากสภาวะการเจ็บป่วยทางร่างกายเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องพิจารณาถึงรายละเอียดของลักษณะการทำงานทั้งระบบด้วย

กลยุทธ์ข้างต้นของการป้องกันสภาวะ RSI ก็คือ การนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงการดำเนินการ ระบบการทำงาน ตลอดจนบุคลากรที่ทำงาน โดยต้องคำนึงถึงอวัยวะต่างๆ ของบุคลากรที่ทำงานที่ต้องเคลื่อนไหวในการทำงานซ้ำๆ พิจารณาถึงความซ้ำซากในการปฏิบัติงานในแต่ละวงจรของงาน ต้องทำการตรวจสอบในแต่ละรายการตามรอบของงาน ถ้าวรอบของเวลาการทำงานคือ 2 นาทีหรือน้อยกว่านั้น เรียกว่างานนั้นเป็นงานซ้ำซาก (Repetitive Work) เช่นการประกอบอุปกรณ์เครื่องรับโทรทัศน์ เป็นต้น งานต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อความล้าของกล้ามเนื้อ แขน ไหล่ และข้อเท้า แม้ว่าการปฏิบัติงานจะนั่งทำงานก็ตาม แต่ความซ้ำซากในการทำงานโดยใช้กล้ามเนื้อกลุ่มเล็กๆ และการหมุนเร็วหรือเอี้ยวตัวเร็วรอบๆ บริเวณเอว ข้อมือ ข้อศอก และหัวไหล่ จะมีความสัมพันธ์กับอาการอักเสบของข้อต่อ (joints) หรือกล้ามเนื้อเหล่านั้น อาการปวดของพวกที่มีความผิดปกติจากการเคลื่อนไหวที่ซ้ำซาก แม้ว่าจะเป็นการเจ็บปวดหรือบอบซ้ำของข้อและกล้ามเนื้อที่เกิดจากการปฏิบัติงานในลักษณะนี้ยังไม่มีความชัดเจนมากนัก แต่ก็ได้พบว่ามีกลุ่มคนจำนวนไม่น้อยที่มีความเจ็บป่วยจากการทำงานในลักษณะดังกล่าว จากจุดนี้เองจึงเป็นจุดเริ่มต้นให้เกิดการคิดค้นพัฒนาที่จะหาทางแก้ไขปัจจัยสาเหตุที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยในลักษณะนี้ขึ้น โดยมีการพยายามที่จะกำหนดขีดจำกัดความปลอดภัยของการทำงานซ้ำซากขึ้น ซึ่งไม่ใช่เรื่องที่ง่าย ๆ อย่างไรก็ตามการจัดการก็สามารถที่จะลดความซ้ำซากของงาน โดยการเปลี่ยนให้มีการเคลื่อนไหวหลายๆ ลักษณะให้แก่พนักงาน (อาจมีผลทำให้เสียเวลาการทำงานสูงขึ้น) หรือการหมุนเวียนพนักงานให้ทำงานลักษณะอื่น แต่วิธีที่สะดวกที่สุดคือการเพิ่มเวลาพักการทำงาน (แต่ก็จะสูญเสียเวลาทำงาน productive time เพิ่มขึ้น)

ข้อควรระวังก็คือว่า การดำเนินการเพิ่มกิจกรรมให้แก่พนักงานต้องดูให้เหมาะสมกับสถานงานเดิม และไม่เกิดภาระงานชนิดเดียวกันซ้ำซ้อนกับงานเดิม ความเป็นไปได้ของการหมุนเวียนพนักงาน จะต้องขึ้นอยู่กับระดับความชำนาญในงานที่ได้รับมอบหมายเมื่อเทียบกับพนักงานประจำตำแหน่ง เดิม (Armstrong, 1986)

วิจิตร ตัณฑุทธิและคณะ (2535) ได้นิยามคำว่า งาน (Work) แตกต่างจากความหมาย ธรรมดาทั่วไป โดยไม่เพียงหมายถึง การออกแรงใช้แรงงานอย่างเดียวแต่ต้องรวมไปถึงปริมาณ การพักผ่อนที่จำเป็นซึ่งเกิดจากความเหนื่อยล้าในการใช้แรงงานนั้นด้วย ในการศึกษาวิธีทำงาน (motion study) พบว่าปัจจัยที่ควรจะต้องวิเคราะห์อันดับแรกคือเวลา แรงงานของคนงานที่ทำงาน นั้นควรลดลงให้น้อยที่สุด โดยการปรับปรุงวิธีและขั้นตอนการทำงาน ภายใต้หลักการเคลื่อนไหว อย่างประหยัด และสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือกลต่างๆ ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่ประหยัด ใช้งานได้ และให้ผลคุ้มค่า วิธีทำงานนี้ก็ยังคงอาศัยคนมาตรวจสอบ จึงต้องมีช่วงเวลาเผื่อ (allowance) เพื่อให้พ้นจากความล้าและพักผ่อนเพียงพอ เวลาเผื่อนี้ยังรวมไปถึงเวลาที่ให้คนงานเข้าห้องน้ำ และ/หรือเวลาเผื่ออื่นๆ ด้วย

ผลดีของการจัดให้มีการกำหนดการพักในการทำงาน สรุปได้ดังนี้คือ

ลดความเครียดอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวที่ซ้ำซากของกล้ามเนื้อ

ลดระดับความน่าเบื่อ (boredom) และความเครียดทางจิตใจ (mental stress)

กำหนดการพักที่เหมาะสม ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น

มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านท่าทางการทำงานและอริยาบถ ทำให้ระดับความล้าลดลง

Armstrong (1986) สรุปว่าปัจจัยเสี่ยงที่อาจทำให้เกิด RSI ได้คือ ความเร็วของการซ้ำซาก , ความหนักเบาของการออกแรง, ท่าทางการทำงาน, ความตั้งใจในการทำงาน, ภาวะจาก สภาพแวดล้อม, ฤกษ์มือและความสั่นสะเทือนในงานที่ทำ แต่เขาก็ได้ยอมรับว่า ยังไม่สามารถที่จะ กำหนดวิธีหรือระดับของเหตุปัจจัยเหล่านี้ในการทำงานให้เป็นมาตรฐานเพื่อลดความเสี่ยงของการ บาดเจ็บได้ จึงได้แนะนำวิธีลองผิดลองถูก (trial and error) กับทางเลือกหลายวิธี เช่น การเลือก เครื่องมือใช้งาน, การออกแบบสถานงาน และ/หรือวิธีทำงานแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ต้องระลึกไว้

เสมอว่ามีหลายกรณีที่ภาระงานโดยรวม (total workload) อาจเกิดขึ้นจากการที่มีการเปลี่ยนการทำงานเพียงเล็กน้อย เช่น การแก้ไขตำแหน่งการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงการใช้งานเครื่องมืออุปกรณ์

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไป เมื่อกล่าวถึงการป้องกัน RSI มักจะไม่ค่อยเป็นที่สนใจกันนัก ทั้งนี้ สืบเนื่องมาจาก

พนักงานผู้ทำงานซ้ำซากมักอยู่ในฐานะยากจนและมีตำแหน่งลูกจ้าง จึงไม่มีอำนาจต่อรองพอที่จะทำการแก้ไขปัญหานี้ได้ จนกว่าพนักงานผู้นั้นจะทนต่อสภาพการทำงานนี้ไม่ได้ ก็จะมีผลงานหรือลาออกจากงานที่ทำ

ผู้บริหารผู้เพิกเฉยในคำร้องทุกข์โดยไม่แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ประกอบกับความไม่อยากเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงาน พนักงานจึงจำเป็นต้องยอมรับสภาพการทำงานอย่างเสียบๆ และทำงานอย่างไม่เต็มความสามารถ

พนักงานที่ได้รับผลกระทบจาก RSI มักจะไม่ได้ได้รับความสนใจจากฝ่ายบริหารมากนัก ตราบเท่าที่ฝ่ายบริหารยังไม่ต้องจ่ายเงินเบี้ยเข้ากองทุนเงินทดแทนในอัตราที่สูงขึ้นกว่าปกติ

RSI จึงเป็นปัญหาใหญ่ทางสุขภาพของพนักงานในภาคอุตสาหกรรม เพราะว่าจำนวนของพนักงานที่ลางาน และจำนวนวันที่ลางานของพนักงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี การป้องกัน RSI จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาทางด้านการยศาสตร์ สภาพแวดล้อมการทำงาน อาทิ การปรับปรุงสถานงาน การปรับปรุงการทำงาน การปรับปรุงอุปกรณ์และเครื่องมือ การปรับปรุงอุปกรณ์เครื่องจักรกล การลดอัตราการทำงาน การเพิ่มอัตราการหมุนเวียนงาน การเพิ่มระยะเวลาการพักงาน และเพิ่มระยะเวลาการฝึกงาน พนักงานที่ทำงานซ้ำซากนอกจากจะประสบกับ RSI แล้ว ยังพบว่าเมื่อทำงานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง จะมีความรู้สึกเบื่อหน่าย อ่อนเพลีย ไม่มีความประสงค์ที่จะทำงานนั้นๆ ความรู้สึกทางกายและจิตใจเป็นไปอย่างเชื่องช้าและเชื่องซึม ทั้งๆ ที่งานซ้ำซากนั้นเป็นงานเบา เนื่องจากพนักงานเกิดความล้าทางจิตใจ (mental fatigue) ซึ่งเป็นอาการที่พนักงานมีความรู้สึกอ่อนเพลียเป็นส่วนส่วนใหญ่มวมทั้งมีความรู้สึกเหนื่อยล้า และมีความสนใจในการทำงานลดลง ขาดความกระปรี้กระเปร่าในการทำงานทั้งทางด้านกายภาพและจิตใจ ซึ่งอาการเหล่านี้ไม่ได้มาจากความรู้สึกอ่อนเพลียจากการออกแรงในขณะทำงานแต่เพียงอย่างเดียว แต่มา

จากสาเหตุอื่นๆ อีกด้วย เช่น ความไม่พอใจในงาน ปัญหาสิ่งแวดล้อมในสถานงาน ปัญหาค่าจ้าง แรงงาน ปัญหาสังคมในโรงงาน ปัญหาครอบครัว เป็นต้น (Intaranont, 1991)

วิรุพท์ เหล่าพัทธเกษม (2523) และดำรง กิจสกุล (2528) ได้กล่าวถึงสาเหตุที่มักพบบ่อยๆ ของอาการปวดหลัง ซึ่งสาเหตุหนึ่งก็คือกล้ามเนื้อหลังหดตัวและเกร็งตัว มักจะเป็นกับคนที่ยังมีความสามารถในการทำงานสูงสุด ส่วนมากมีประวัติการใช้งานหลังหนักในลักษณะเดียวกันซ้ำอยู่นานๆ และเกิดจากความเสียหายของหมอนรองกระดูกสันหลัง เพราะแนวโค้งของกระดูกสันหลังที่ผิดไปจากปกติ จะทำให้หมอนรองกระดูกสันหลังที่ผิดรูปไปได้ อีกสาเหตุที่สำคัญคือท่วงท่าที่ใช้ในชีวิตประจำวัน (posture) ไม่ว่าจะเป็นท่ายืนที่ต้องยืนอยู่ในท่าเดียวนานๆ ท่าหยิบหรือยกของและท่าหิ้วของซึ่งจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้วิธีการที่จะยกหรือหิ้วของให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับขนาดน้ำหนักของสิ่งของนั้นๆ

การศึกษาภาวะไม่สบายหรือความเจ็บปวดในส่วนต่างๆ ของร่างกายพนักงานหญิงในประเทศอังกฤษ โดยการใช้แบบสอบถาม ซึ่งถามถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่ที่ทำ, รูปแบบของความไม่สบายที่เกิดและความเข้าใจของผู้ถูกสอบถามเองถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะไม่สบายหรือความเจ็บปวดนั้น ในการตอบแบบสอบถามแต่ละครั้งจะให้ผู้ถูกสอบถามเป็นผู้กรอกแบบสอบถามด้วยตนเอง แบบสอบถามได้แบ่งออกเป็นในส่วนของอาชีพ ลักษณะเฉพาะตัว สุขภาพ และบริเวณที่เกิดภาวะไม่สบาย และใส่ระดับคะแนนของความรู้สึกไม่สบายนั้น ผลจากการทดสอบในคนที่ทำงานในห้างสรรพสินค้า พบว่า 64.8% ระบุว่าเกิดภาวะไม่สบายอย่างน้อยหนึ่งแห่ง, 52.3% เกิดอย่างน้อยสองแห่ง และ 27.9% เกิดสามแห่งหรือมากกว่านั้น และผลการสอบถาม สรุปว่า ภาวะไม่สบายเกิดขึ้นที่บริเวณต้นคอมากที่สุด ถัดมาที่ข้อศอก หลัง ต้นคอ และไหล่ตามลำดับ การทดสอบทั้งหมดรวมถึงบุคคลิกในอาชีพอื่นด้วย อย่างไรก็ตามผู้ถูกทดสอบถูกสอบถามที่เกิดอาการปวดหลัง อ้างสาเหตุเนื่องมาจากการที่ต้องทำงานในท่าทรงตัวแบบสถิต (static posture) โดยเฉพาะการยืนและยืนเป็นระยะเวลานาน (Grandjean และ Hunting, 1977)

การออกแบบสถานที่ทำงานก็เป็นแนวความคิดหนึ่งของการยศาสตร์ โดยการออกแบบสถานงานมีหลักการออกแบบให้คนงานส่วนใหญ่สามารถทำงานได้อย่างสะดวก ซึ่งในการนี้จะต้องทราบขนาดสัดส่วนของร่างกายคนงานก่อน นำมาหาค่าสถิติแล้วจึงพิจารณานำค่าสัดส่วนร่างกายคนงานก่อน นำมาหาค่าทางสถิติแล้วจึงพิจารณานำค่าสัดส่วนร่างกายมาออกแบบสถานที่

งานโดยคำนึงถึงการใช้งานประกอบด้วย เช่น หากในจุดทำงานนำค่าสัดส่วนร่างกายเฉลี่ย (mean) มาเป็นตัวกำหนดขนาดสถานงานจะทำให้มีคนงานถึง 50% ที่ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีการเสนอแนวความคิดที่จะออกแบบโดยให้ครอบคลุมถึงประชากรในจำนวน 95% ใช้งานได้โดยให้นำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่าเฉลี่ยของสัดส่วนที่เป็นตัวแปรออกแบบ (design parameter) มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ไต้ที่ 5 หรือ 95 แล้วแต่กรณี

เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างและความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุของแต่ละคน ดังที่กล่าวถึงแล้วในตอนต้น ในการพิจารณานำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้จึงมักเลือกพิจารณาบางปัจจัย และพยายามควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือ

ในงานวิจัยนี้จะหาขีดความสามารถในการเคลื่อนย้ายวัสดุของคนงานโดยใช้เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ ดังนั้นจะขอกกล่าวถึงเกณฑ์การประเมินอีก 1 แนวทางพอสังเขป และงานวิจัยบางงานที่เกี่ยวข้องกับท่าทางการยกประกอบด้วย

2.19 เกณฑ์การประเมินโดยใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยา

NIOSH, 1981 สรุปว่า อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ, อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึม และอัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัววัดผลตอบสนองทางสรีรวิทยาที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ระดับความหนักของงานสูงสุดที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีอาการล้าสะสม ซึ่งควรนำมาพิจารณาและนำมาพิจารณาและนำไปปฏิบัติในงานอุตสาหกรรมทุกวันนี้

1. อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (VO_2) ในการพิจารณาถึงน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกหรือเคลื่อนย้ายวัสดุจะใช้การเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อขณะทำงานนั้นกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ซึ่งขีดจำกัดบนของการทำงานที่ไม่ทำให้เกิดความล้าควรเป็น หนึ่งในสาม หรือประมาณ 33% ของ VO_{2max} (Bink, 1964)

2. อัตราการใช้พลังงานในการกระบวนการเมแทบอลิซึม เพื่อความปลอดภัยในการทำงานขีดจำกัดของพลังงานที่ใช้ควรเป็น 4,300 กิโลแคลอรีต่อวัน สำหรับการงาน 8 ชั่วโมง (ตรีฉัตร, / ถ-ค อ้างจาก Legmn, 1958) ซึ่งเมื่อเทียบกับอัตราการใช้ออกซิเจนแล้วคิดเป็นประมาณ 20% ของ VO_{2max} ของผู้ชายในช่วงอายุ 20-30 ปี (ตรีฉัตร, 2538 อ้างจาก Muller, 1962)

3. อัตราการเค้นของหัวใจ เป็นผลตอบสนองทางสรีรวิทยาที่มีความไวต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน, ความชื้น มากกว่าการใช้อัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อเป็นเกณฑ์

2.20 งานวิจัยเกี่ยวกับท่าทางการทำงาน

พวงแก้ว (2530) กล่าวถึงเทคนิคการยก 2 วิธีคือ การยกน้ำหนักในท่าหลังตรงเข่างอ (Squat) และการยกน้ำหนักในท่าก้มหลังเข่าตั้ง (Stoop) ว่าท่าหลังตรงเข่างอจะได้เปรียบเชิงกลมากกว่าอีกวิธีหนึ่งโดยวิธีการยกแบบหลังตรงจะมีขั้นตอนดังนี้

1. ก้าวชิดกับวัตถุที่ต้องการยก ขาทั้งสองข้างแยกออกห่างกันเล็กน้อย ย่อเข่า หลังตรง คล้ายกับการนั่งยองๆ เกร็งกล้ามเนื้อหลังและหน้าท้อง

2. จับวัตถุที่ต้องการยก แล้วใช้กล้ามเนื้อขาเหยียดเข่าให้ตรง

3. ตั้งลำตัวให้ตรงโดยการเหยียดกล้ามเนื้อข้อสะโพกและหน้าขา

การยกน้ำหนักที่ถูกต้อง กระดูกเชิงกรานจะต้องเอียงทำมุมกับข้อสะโพก สันหลังต้องถูกยืดให้ตรงและแข็งแรงเหนือเชิงกราน ส่วนบนของลำตัวงอและเหยียดตรง โดยอาศัยกล้ามเนื้อข้อสะโพก กระดูกสันหลังเป็นเพียงส่วนค้ำจุนไม่ได้รับอันตรายเท่าที่นั้น ท่าหลังตรงจะยกน้ำหนักได้มากกว่าหลังงอ

กระดูกสันหลังจะทำงานคล้ายกับคานงัด ซึ่งไม่เหมาะสำหรับที่จะยกน้ำหนัก เพราะยอดแหลมของกระดูกสันหลัง (บริเวณหลังส่วนล่าง) ที่ทำหน้าที่เป็นคานออกแรงยกนั้นจะสั้นมากเมื่อเทียบกับความยาวทั้งหมดของสันหลังที่ทำหน้าที่เป็นคานออกแรงดัน ทำให้มีการเสียเปรียบเชิงกลมากถ้าก้มหลังยกของ ในขณะที่ถ้าลำตัวตั้งตรงเราจะสามารถยกน้ำหนักได้มากและเกิดแรงกดกับหมอนรองกระดูกสันหลังปล้องที่ 5 น้อย ถ้าเรายกก้มตัวมากถึง 90 องศา แรงกดที่เกิดกับหมอนรองกระดูกสันหลังดังกล่าวก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น เช่น ถ้ายกน้ำหนัก 100 กิโลกรัม แรงกดที่เพิ่มขึ้นจะเป็น 1,100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งทำให้หมอนรองกระดูกสันหลังมีการฉีกขาดได้

Anderson & Chaffin (1986) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการยกของ 5 วิธี โดยใช้การประเมินตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะงานสถิตของการยกของขึ้นในระนาบหน้า-หลัง (sagittal-plane) การทดลองจะวิเคราะห์ภาระงาน 2 แบบคือ การยกของที่มีลักษณะหนักที่บีบ (compact load) และการยกของที่มีขนาดใหญ่-หลวม (bulky load) ทำการยกจากระดับพื้นถึงระดับเอว ใช้น้ำหนัก 44, 222 และ 400 นิวตัน ตัวแปรที่วัดเพื่อใช้พิจารณาเปรียบเทียบคือ แรงกดที่เกิดกับหมอนรองกระดูกระหว่าง L5/S1, ผลที่เกิดกับส่วนล่าง และกำลัง (strength) ของไหล่, หมอนรองกระดูกระหว่าง L5/S1, สะโพก และหัวเข่าที่ต้องใช้ในการออกแรงยก โดยในการออกแบบการทดลอง หรือเทคนิค

การยกนั้น Anderson & Chaffin ได้พิจารณาจากหลักความปลอดภัยของวิธีการยก 4 อย่าง คือ ตำแหน่งการวางเท้า, ลักษณะของหัวเข่า (งอ หรือเหยียดตึง), ลักษณะของหลัง (โค้งงอ หรือ ราบตรง) และตำแหน่งของมือบนวัตถุที่ยก สำหรับเทคนิค หรือท่าทางการยกที่เลือกมาทำการวิเคราะห์ 5 วิธี ได้แก่

1.ท่าทางการยกแบบ Stoop มีลักษณะดังนี้ วางเท้าขนานกัน, เข่าตึง (straight), หลังงอ (curved) ท่าทางการยกแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

2.ท่าทางการยกแบบ Squat parallel/flat มีลักษณะดังนี้ วางเท้าขนานกัน, เข่างอ (bent), หลังตรง (flat) ท่าทางการยกแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

3.ท่าทางการยกแบบ Squat parallel/curved มีลักษณะดังนี้ วางเท้าขนานกัน, เข่างอ, หลังงอ

4.ท่าทางการยกแบบ Squat straddle/flat มีลักษณะดังนี้ วางเท้าเยื้องกัน (เท้าข้างหนึ่งอยู่ข้างวัตถุ อีกข้างหนึ่งอยู่หลังวัตถุ วัตถุจะอยู่ระหว่างเข่าทั้งสอง), เข่างอ, หลังตรง

5.ท่าทางการยกแบบ Squat straddle/curved มีลักษณะดังนี้วางเท้าเยื้องกัน เข่างอ, หลังงอ



รูปที่ 2.18 ท่าทางการยกแบบ Stoop



รูปที่ 2.19 ท่าทางการยกแบบ Squat parallel/flat

จากผลการทดลองได้ข้อสรุปว่า วิธีการยกด้วยท่าทางแบบ Squat แบบวางเท้าเยื้องกัน และหลังตรงเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่ทำให้ความเครียด (strain) ที่เกิดกับเอ็นบริเวณหลังส่วนล่าง, แรงกดที่เกิดกับหมอนรองกระดูกระหว่าง L5/S1 และกำลังที่กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ต้องใช้ในการยกมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของนักวิจัยหลายคนที่กล่าวว่าการยกด้วยวิธี Squat จะได้เปรียบเทียบการยกด้วยวิธี Stoop ด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1. ท่าทางการยกแบบ Squat จะใช้ขาเป็นอวัยวะส่วนที่รับน้ำหนัก ซึ่งกล้ามเนื้อขาที่มีความแข็งแรงกว่ากล้ามเนื้อหลังที่ใช้ในท่าทางการยกแบบ Stoop ทำให้สามารถยกน้ำหนักได้มากกว่า
2. ท่าทางการยกแบบ Squat วัตถุหรือภาระงานที่ยกจะอยู่ชิดลำตัว ซึ่งช่วยลดโมเมนต์ของแขน
3. ท่าทางการยกแบบ Squat ทำให้เส้นเอ็นบริเวณหลังส่วนล่างได้รับความเครียดต่ำ

(Anderson & Chaffin อ้างจาก Amussen et al., 1965; Adam & Hutton, 1982; Edgar, 1979; Leskinen et al., 1983; Bendix & Zid, 1983; Troup et al., 1983)

Anderson & Chaffin พบข้อที่น่าสนใจ คือการใช้ท่าทางการยกแบบ Stoop ในการยกของขนาดใหญ่-หลวม ไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Park & Chaffin (1974) และ Troup et al. (1983) ที่กล่าวว่า ท่าทางการยกแบบ Stoop เหมาะกับการยกวัสดุที่มีขนาดกว้างมากๆ เมื่อวางอยู่ระหว่างเข่าทั้งสองข้าง เพราะโมเมนต์ที่เกิดกับหลังจะต่ำสุด ซึ่ง Anderson & Chaffin อธิบายว่าเนื่องจาก ในการทดลองนี้เทียบการยกแบบ Stoop กับการยกแบบ Squat ที่มีลักษณะการวางเท้าแบบเยื้องกันร่วมด้วย ในขณะที่งานวิจัยในอดีตเทียบลักษณะการวางเท้าขนานเหมือนกันทั้งคู่ ซึ่งข้อได้เปรียบของการวางเท้าเยื้องกันคือวัตถุจะอยู่ระหว่างหัวเข่าทั้งสองข้างทำให้สามารถยกของชิดลำตัวได้มากขึ้น

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ
 - เครื่องวัดแรงดึง Load cell พร้อม Digital Display
 - เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อ
- กล้องถ่ายภาพดิจิทัลพร้อมขาตั้งกล้อง โดยเลือกไฟล์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายดิจิทัลเป็น JPEG ระยะตั้งกล้อง 3 เมตร ความคมชัด 5 ล้านพิกเซล
- กล้องบันทึกวิดีโอ พร้อมขาตั้งกล้อง

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

- ผู้วิจัยตรวจสอบความพร้อมของผู้ถูกวิจัยพร้อมทั้งกรอกข้อมูลพื้นฐานในแบบบันทึก ดังนี้ ชื่อ สกุล อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง เพื่อใช้คำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วน L5/S1 ผู้ถูกวิจัยจำนวน 2 คนทั้งหมดเป็นเพศหญิงที่ปฏิบัติหน้าที่บรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก ณ 2 สถานีดังแสดงในภาคผนวก
- อธิบายวิธีการทดสอบพร้อมทั้งแสดงการทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อตำแหน่งนั้นๆ ให้ผู้ถูกทดสอบเข้าใจและสามารถทดสอบได้ถูกต้อง
- ทำการวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ แขน ไหล่ ส่วนต่างๆ และมือ โดยให้ครบทุกท่า
- ขณะทำการทดสอบถ้าผู้ถูกวิจัยคนใดรู้สึกบาดเจ็บปวดกล้ามเนื้อจะต้องให้หยุดทดสอบทันที
- การวัดค่ากำลังสถิติเหล่านี้จะทำซ้ำ 2 ครั้ง และแต่ละครั้งให้พัก 2 นาที เพื่อให้กล้ามเนื้อกลับคืนสู่สภาพปกติ แล้วจึงทำการทดสอบครั้งต่อไป
- บันทึกภาพโดยใช้การถ่ายภาพดิจิทัลในแต่ละท่าที่วัด
- อ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดกำลังสถิติ
- ทำการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตจากการวัดกำลังสถิติ เพื่อหาแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- ประเมินภาระงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกโดยอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

10. ทำการทดลองเพื่อกำหนดค่าของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงการทำงานที่
สถานงานบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก โดยจะทำการทดลองที่ 2 ระดับในแต่ละปัจจัยที่
สามารถปรับปรุงได้

10.1 การปรับระดับความสูงโต๊ะ

ระดับที่ 1 = 92.5 ซม.

ระดับที่ 2 = 95 ซม.

10.2 การปรับระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน

ระดับที่ 1 = 50 ซม.

ระดับที่ 2 = 100 ซม.

ในส่วนของปัจจัยอื่นด้านล่างนี้จะไม่นำมาทำการทดลอง อันเนื่องมาจากลักษณะ
ของชิ้นงานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้บรรจุชิ้นงานมายังสถานงานนี้ก็ใช้
ร่วมกันกับอีกหลายๆ สถานงาน จึงไม่สามารถลดความสูงของการจัดเรียงซ้อนวัตถุได้ อีกทั้งใน
ส่วนของความถี่และช่วงพักนั้นก็เป็นเกณฑ์ปฏิบัติของโรงงานตัวอย่างไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
เฉพาะสถานงานนี้ และความถี่ในการทำงานก็ขึ้นกับคำสั่งซื้อจากลูกค้าไม่สามารถกำหนดขึ้นเอง
ได้

- พยายามลดน้ำหนักของวัตถุที่ต้องยกย้าย
- การจัดเรียงซ้อนวัตถุ (Stacking) ไม่ควรวางซ้อนให้สูงเกินกว่าความสูงไหล่ของ
พนักงานผู้ทำการซ้อนวางของนั้น
- พยายามลดปริมาณความถี่ในการยกย้ายด้วยแรงกายคนให้น้อยลง
- พยายามแทรกหรือจัดให้มีช่วงการพักระหว่างการทำงานยกย้ายวัตถุให้เพียงพอ

11. บันทึกภาพโดยใช้การบันทึกวิดีโอในแต่ละท่าที่คะแนนจากการประเมิน RULA ที่บ่ง
บอกว่างานดังกล่าวไม่ได้รับการยอมรับและควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมหรือควร
ได้รับการปรับปรุง เพื่อนำมาคำนวณหาแรงกดบริเวณหลังส่วนล่างก่อนและหลังการ
ทดลอง

12. ทำการคำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตจากการวัดกำลังสถิต เพื่อหา
แรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง หลังการทดลอง

รูปแบบการทดลอง

ระดับความสูงของจุดวาง กล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน	ระยะความสูงของโต๊ะทำงาน		
	ระดับเดิม	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ระดับเดิม	M0	M1	M2
ระดับที่ 1	M3	M4	M5
ระดับที่ 2	M6	M7	M8

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม

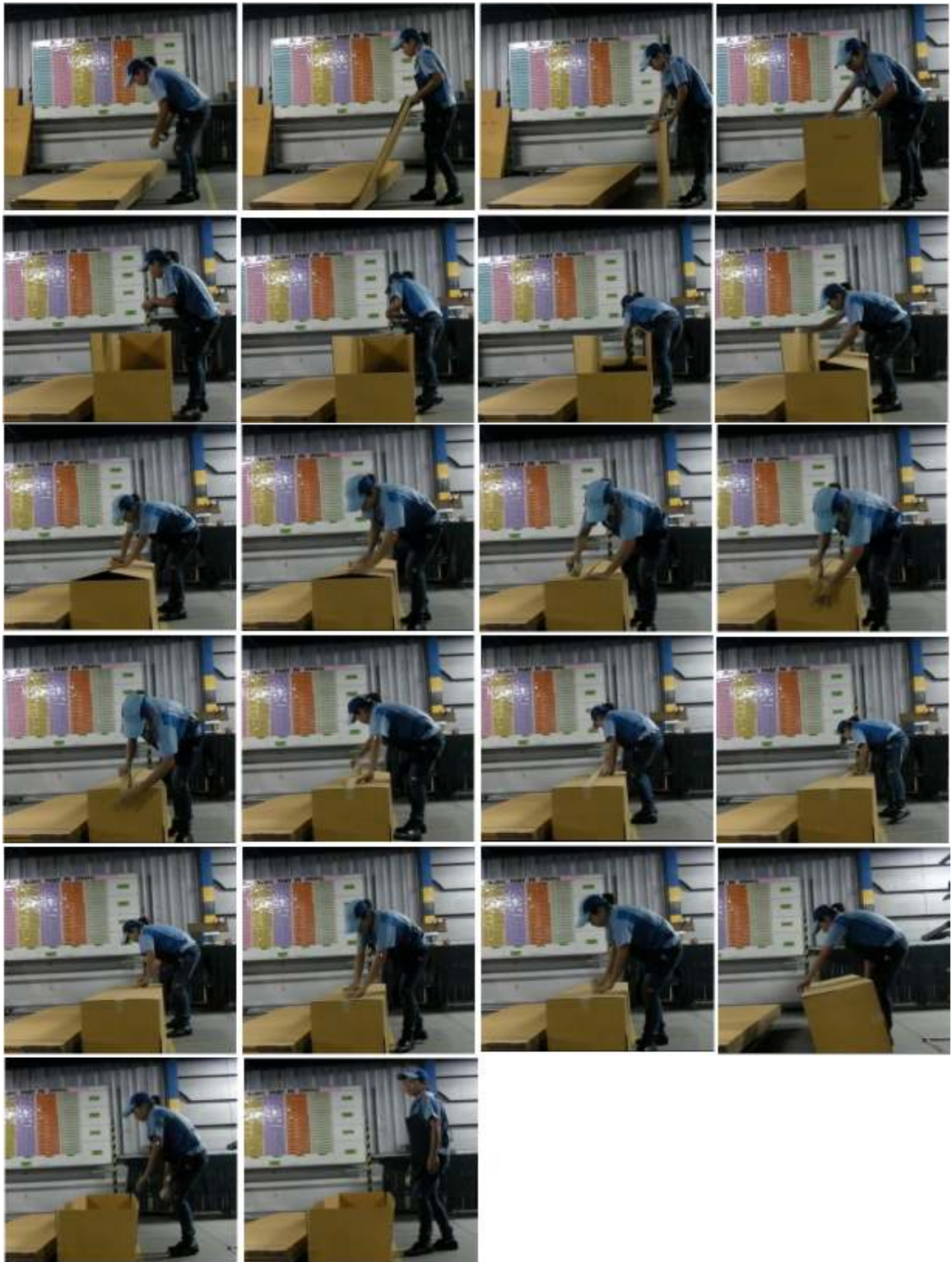
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษางานเกี่ยวกับงานเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นงานผสมสองงานที่พบมากในการเคลื่อนย้ายหรือจัดเก็บในสำนักงานบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก เพื่อช่วยในการออกแบบลักษณะการทำงานที่เหมาะสม และกำหนดเกณฑ์เป็นมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียและป้องกันการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง พิจารณาเฉพาะการปฏิบัติงานที่จุดปฏิบัติงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกของชิ้นงานแผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง พิจารณาเฉพาะพนักงานหญิงที่อยู่ในสายการผลิตสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกเท่านั้น ขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพต่อเนื่องของรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยใช้ท่าทางการทำงานปกติที่พนักงานต้องปฏิบัติอยู่แล้วเป็นประจำ

ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของร่างกายอย่างรวดเร็วด้วยวิธีการ RULA

1. เตรียมกล่องกระดาษสำหรับบรรจุชิ้นงานที่ห่อแล้ว
คะแนนจาก RULA = 7
2. หยิบชิ้นงานจาก DOLLY ไปทำการห่อด้วย EPE FOAM SHEET
คะแนนจาก RULA = 6
3. บรรจุชิ้นงานลงในกล่องตามจำนวนที่ระบุในวิธีปฏิบัติงานและปิดฝากล่อง
คะแนนจาก RULA = 7

4.2 รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ

ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นพนักงานหญิงที่อยู่ในสายการผลิตสำหรับการบรรจุชิ้นงานแผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลังเพื่อส่งออกเท่านั้น ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 มีอายุ 31 ปี มีส่วนสูง 152 ซม. มีน้ำหนัก 44 กก. ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2 มีอายุ 33 ปี มีส่วนสูง 154 ซม. มีน้ำหนัก 50 กก. โดยผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนมีสุขภาพแข็งแรง รวมทั้งไม่เคยมีอาการบาดเจ็บบริเวณหลังจนถึงขั้นเข้าโรงพยาบาลมาก่อน



รูปที่ 4.1 ภาพต่อเนื่องขณะทำการจัดเตรียมกล่องสำหรับบรรจุแผงบันไดข้าง



รูปที่ 4.2 ภาพต่อเนื่องขณะทำการบรรจุแผงบันไดข้างเพื่อส่งออก

4.3 การทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

ผู้ถูกทดสอบทุกคนในงานวิจัยนี้ ได้เข้ารับการทดสอบหาค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน ไหล่ มือ และกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ผลของค่ากำลังสถิติที่วัดได้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบ

ผู้ถูกทดสอบที่	กำลังสถิติของกล้ามเนื้อ (กก.)			
	แขน	ไหล่	มือ	ส่วนต่างๆ
1	17.31	10.24	27.82	17.63
2	20.29	15.56	33.01	19.05
ค่าเฉลี่ย	18.80	12.90	30.42	18.34

เมื่อนำค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนในงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับ ค่ากำลังสถิติของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ที่ทำการศึกษาโดย กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531) ผลการเปรียบเทียบกับช่วงอายุของผู้ถูกทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นั้นหมายความว่าผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนนี้มีความสามารถค่อนข้างน้อยมาก ดังนั้นเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปอาจไม่เหมาะสมสำหรับสถานงานซึ่งมีเพียงผู้ถูกทดสอบ 2 คนนี้เท่านั้นที่ปฏิบัติงานอยู่

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (เพศหญิง อายุ 17-24 ปี)

กลุ่มประชากรเกษตรและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ			ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้
กำลังสถิติ	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ถึง 95	เฉลี่ย
แขน	29.91	32.59-64.84	18.80
ไหล่	28.84	19.46-38.21	12.90
ส่วนต่างๆ	66.88	44.45-89.25	18.34

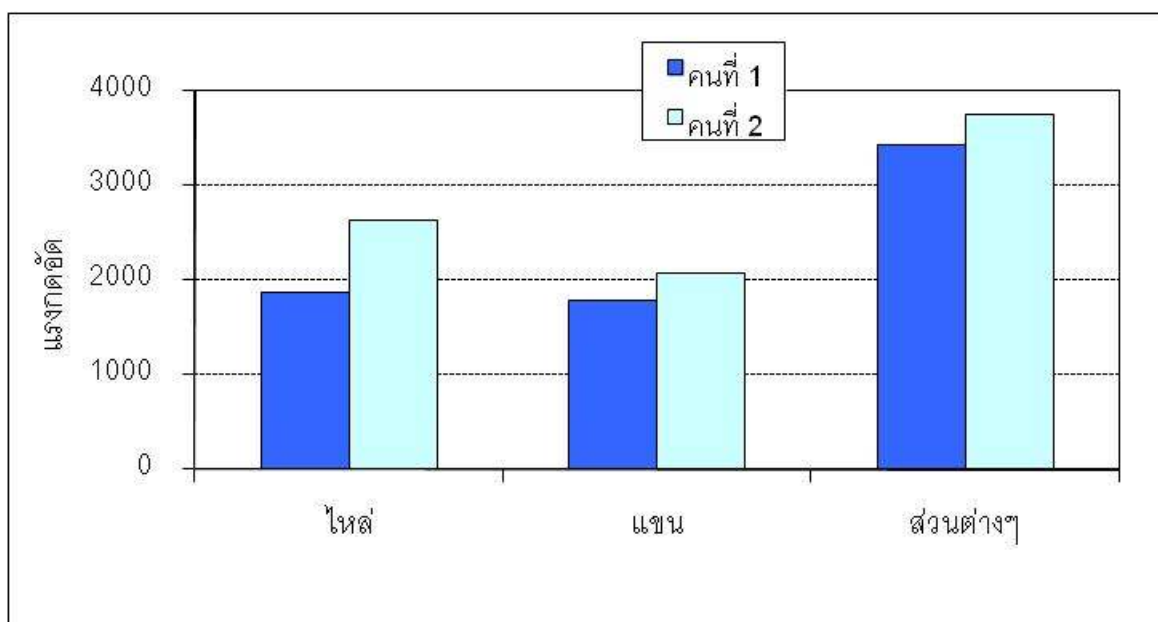
ที่มา : กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531)

ผลการคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาหาผลกระทบของงานต่อร่างกายบริเวณหลังส่วนล่าง ดังนั้นจึงนำเสนอเฉพาะข้อมูลที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างเท่านั้น และค่าแรงกดอัดที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างจะแปรผันกับแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังโดยตรง (ตรีจักร จำปาวัลย์, 2538) ดังนั้นจึงแสดงเฉพาะค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

	ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ		
	ไหล่	แขน	ส่วนต่างๆ
ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	1,862.65	1,781.16	3,424.49
ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	2,634.18	2,075.87	3,746.87



รูปที่ 4.3 ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะวัดกำลังสถิติ

ตัวอย่าง(กำลังสถิติกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ)

พนักงานหญิง (น้ำหนักตัว 44 กก) มีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ ดังนี้		
มุมของมือวัดกับแนวราบ θ_1	30	องศา
มุมของแขนส่วนร่างวัดกับแนวราบ θ_2	60	องศา
มุมของแขนแขนส่วนบนวัดกับแนวราบ θ_3	60	องศา
มุมของลำตัวกับแนวราบ θ_4	45	องศา

เมื่อ $g =$ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 เมตร-วินาที⁻²)

สมมติฐาน

- ศูนย์กลางมวลอยู่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและสามารถแทนตำแหน่งได้ด้วยจุดเดียว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ซีกซ้ายและซีกขวาจะมีการกระจายของมวลที่เท่ากัน และ ความยาวของส่วนต่างๆทั้งซ้ายและขวาจะเท่ากัน

ทำการคำนวณหาขนาดแรงและโมเมนต์จนกระทั่งได้ขนาดของแรงอัดและแรงเฉือนบน L5/S1 ตลอดจนขนาดของแรงดึงกล้ามเนื้อของ erector spinae ที่ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

สำหรับมือ

$W_0 =$ แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ = $17.63 (9.8) = 172.77$ นิวตัน

มวลของมือ $m_H =$ มวลของร่างกาย $\times (0.51 + 0.51) / (2 \times 100) = 44 \times 0.0051$ กก.

$W_H =$ แรงเนื่องจากน้ำหนักมือ = $m_H \cdot g = (44 \times 0.0051) (9.8) = 2.20$ นิวตัน

$M_w =$ โมเมนต์ลัพท์ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$F_{xw} =$ แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$F_{yw} =$ แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$SL_1 =$ ความยาวจากข้อมือถึงศูนย์กลางมวลของมือ

$$= 0.169 \times (39.22 + 39.22) / (100 \times 2) = 0.066 \text{ เมตร}$$

$$SF_x = F_{xw} = 0$$

$$SF_y = F_{yw} - (W_0/2) - W_H = 0$$

$$SM_w = M_w - ((W_0/2) + W_H) SL_1 \cdot \cos \theta_1 \quad \text{นั่นคือ สำหรับข้อมือแต่ละข้าง}$$

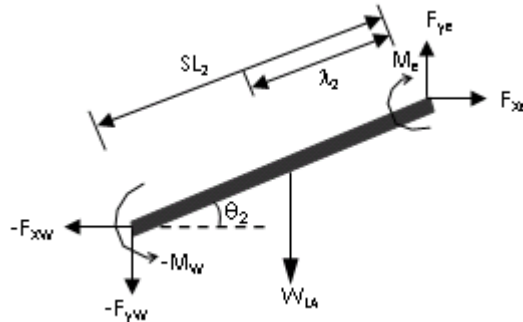
$$F_{xw} = 0$$

$$F_{yw} = (W_0/2) + W_H = (172.77/2) + 2.20 = 88.59 \text{ นิวตัน (} W_0 \text{หารสอง สำหรับข้อมือแต่ละข้าง)}$$

$$M_w = 88.59 \times 0.066 \times 0.866 = 5.08 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับแขนส่วนล่าง

จะรวมเอาแรงที่ข้อมือที่มีขนาดเท่ากับแรงที่มือ แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเพื่อรักษาให้มีสมดุลสถิตที่ข้อมือ



รูปที่ 4.4 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง

มวลของแขนส่วนล่าง $m_{LA} = M \times (1.29 + 1.29) / (2 \times 100) = 44 \times 0.0129$ กก.

W_{LA} = แรงอันเนื่องมาจากมวลของแขนส่วนล่าง

$$= m_{LA} \cdot g = (0.0129 \times 44 \text{ กก})(9.8) = 5.56 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{xw} = 0$$

$$F_{yw} = 88.59 \text{ นิวตัน}$$

$$M_w = 5.08 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

M_e = โมเมนต์ลัพท์ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{xe} = แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{ye} = แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$$SL_2 = \text{ความยาวจากข้อมือถึงข้อศอก} = 41.3 - 16.9 = 24.4 \text{ ซม}$$

λ_2 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น % ของ SL วัดจากข้อศอก

$$= (45.37 + 45.37) / 2 = 45.37\%$$

$$SF_x = -F_{xw} + F_{xe} = 0$$

$$SF_y = -F_{yw} - W_{LA} + F_{ye} = 0$$

$$SM_e = M_e - M_w - W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - F_{xw} \cdot SL_2 \cdot \sin\theta_2 = 0$$

นี่คือสำหรับข้อศอกแต่ละข้าง

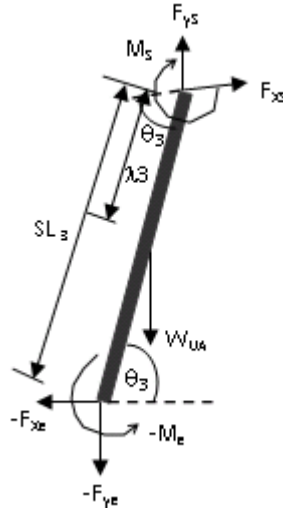
$$F_{xe} = 0$$

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA} = 88.59 + 5.56 = 94.15 \text{ นิวตัน}$$

$$M_e = 5.08 + (5.56 \times 0.4537 \times 0.244 \times 0.5) + (88.59 \times 0.244 \times 0.5) = 16.20 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับแขนส่วนบน

ในการทำงานเดียวกัน แรงลัพธ์และโมเมนต์ที่ข้อศอกที่ได้คำนวณจากช่วงแขนส่วนล่าง จะถูกนำมาคำนวณในช่วงแขนส่วนบนด้วยค่าที่เท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 4.5 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนบน

W_{UA} = แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของแขนส่วนบน

$$= m_{UA} \cdot g = ((0.0263 + 0.0263)/2) \times 44 \text{ กก} (9.8) = 11.34 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{xe} = 0$$

$$F_{ye} = 94.15 \text{ นิวตัน}$$

$$M_e = 16.20 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

M_s = โมเมนต์ลัพธ์ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

F_{xs} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

F_{ys} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

SL_3 = ความยาวจากข้อศอกถึงหัวไหล่ = 0.319 เมตร

λ_3 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น % ของ SL วัดจากหัวไหล่

$$= (0.462 + 0.462)/2 = 0.462$$

$$SF_x = -F_{xe} + F_{xs} = 0$$

$$SF_y = -F_{ye} - W_{UA} + F_{ys} = 0$$

$$SM_e = M_s - M_e - W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{xe} \cdot SL_3 \cdot \sin\theta_3 = 0$$

นั่นคือสำหรับหัวไหล่แต่ละข้าง

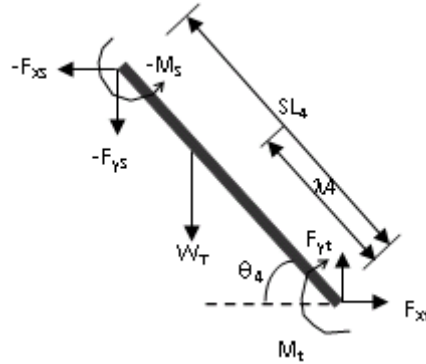
$$F_{xs} = 0$$

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA} = 94.15 + 11.34 = 105.49 \text{ นิวตัน}$$

$$M_s = 16.20 + (11.34 \times 0.462 \times 0.319 \times 0.5) + (94.15 \times 0.319 \times 0.5) = 32.05 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับของลำตัว

ส่วนของลำตัวสิ้นสุดที่ L5/S1 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกหลังส่วนล่างที่อ่อนสุดท้าย (lumber) กับกระดูกก้นกบ



รูปที่ 4.6 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว

W_T = แรงอันเนื่องมาจากมวลของลำตัว

$$= m_T \cdot g = (0.4403 + 0.0961) \times 44 \times 9.8 = 231.30 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{xs} = 0$$

$$F_{ys} = 105.49 \text{ นิวตัน (หัวไหล่ข้างเดียว)} = 210.98 \text{ นิวตัน (หัวไหล่สองข้าง)}$$

$$M_s = 32.05 \text{ นิวตัน-เมตร (หัวไหล่ข้างเดียว)} = 64.10 \text{ นิวตัน-เมตร (หัวไหล่สองข้าง)}$$

M_t = โมเมนต์ลัพธ์ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{xt} = แรงแลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{yt} = แรงแลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_4 = ความยาวจากลำตัวจาก L5/S1 ถึงหัวไหล่ = 0.329 เมตร

λ_4 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของลำตัว คิดเป็น % ของ SL วัดจาก L5/S1 = 21%

$$SF_x = -F_{xs} + F_{xt} = 0$$

$$SF_y = -F_{ys} - W_T + F_{yt} = 0$$

$$SM_e = M_t - M_s - W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4 - F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4 - F_{xs} \cdot SL_4 \cdot \sin \theta_4 = 0$$

$$F_{xt} = 0$$

$$F_{yt} = F_{ys} + W_T = 210.98 + 231.30 = 442.28 \text{ นิวตัน}$$

$$M_t = 64.1 + (231.3 \times 0.21 \times 0.329 \times 0.707) + (210.98 \times 0.329 \times 0.707)$$

$$= 124.47 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

จากการคำนวณจะเห็นว่าถ้าลำตัวอยู่ในสมดุลสถิตแล้วโมเมนต์ลัพธ์ 124.47 นิวตัน-เมตร จะต้องมามีโมเมนต์ที่มีขนาดเท่ากันมาแย้งไว้ในทิศตรงกันข้าม ถ้าสมมติว่า erector spinae เป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้สมดุลที่จุด L5/S1 เราก็จะสามารถคำนวณขนาดของแรงกล้ามเนื้อชุดนี้ได้

เมื่อ F = แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึง erector spinae

d = แขนโมเมนต์ erector spinae จาก L5/S1

กำหนดให้แขนโมเมนต์ของชุดกล้ามเนื้อ Erector spinae เป็น 0.04 เมตร จาก L5/S1 ดังนั้น

$$M_e = F \cdot d$$

$$124.47 = F (0.04)$$

$$F = 124.47 / 0.04 = 3,111.81 \text{ นิวตัน}$$

ขั้นต่อไปคือการคำนวณแรงอัด (Compressive force) และแรงเฉือน (shear force) ที่เกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกระหว่าง L5/S1 เนื่องจากลำตัวทำมุม $\theta_4 = 45^\circ$ แรงในแนวตั้งจึงจะมีขนาดที่เท่ากันทั้งแรงอัดและแรงเฉือน และแรงในแนวตั้ง จะเป็นผลรวมของน้ำหนักของกล่อง น้ำหนักแขนและน้ำหนักของลำตัว

F_v = ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

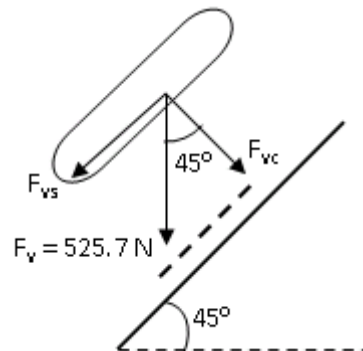
$$= W_0 + W_H + W_{LA} + W_{UA} + W_T$$

$$= 172.77 + 2(2.20) + 2(5.56) + 2(11.34) + 231.30 = 442.27 \text{ นิวตัน}$$

จากนั้นก็สามารรถคำนวณหาแรงอัดและแรงเฉือนในแนวตั้งได้ โดยอาศัยตรีโกณมิติช่วย

$$\text{แรงอัด} \quad F_{vc} = 442.27 (\cos \theta_4) = 312.69 \text{ นิวตัน}$$

$$\text{แรงเฉือน} \quad F_{vs} = 442.27 (\sin \theta_4) = 312.69 \text{ นิวตัน}$$



รูปที่ 4.7 ผังของแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก

เพราะฉะนั้น ผลรวมของแรงอัดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$$F_C = F_V + F_{VC} = 3,111.81 + 312.69 = 3,424.50 \text{ นิวตัน}$$

ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะปฏิบัติงาน

พนักงานหญิง (น้ำหนักตัว 44 กก) มีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ ดังนี้

มุมของมือวัดกับแนวราบ θ_1	48 องศา
มุมของแขนส่วนล่างวัดกับแนวราบ θ_2	52 องศา
มุมของแขนแขนส่วนบนวัดกับแนวราบ θ_3	69 องศา
มุมของลำตัววัดกับแนวราบ θ_4	8 องศา

เมื่อ $g =$ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 เมตร-วินาที⁻²)

สมมติฐาน

- ศูนย์กลางมวลอยู่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและสามารถแทนตำแหน่งได้ด้วยจุดเดียว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ซีกซ้ายและซีกขวาจะมีการกระจายของมวลที่เท่ากัน และ ความยาวของส่วนต่างๆ ทั้งซ้ายและขวาจะเท่ากัน

ทำการคำนวณหาขนาดแรงและโมเมนต์จนกระทั่งได้ขนาดของแรงอัดและแรงเฉือนบน L5/S1 ตลอดจนขนาดของแรงดึงกล้ามเนื้อของ erector spinae ที่ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

สำหรับมือ

$$W_0 = \text{แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการยกชิ้นงาน} = 1.686 (9.8) = 16.52 \text{ นิวตัน}$$

$$\text{มวลของมือ } m_H = \text{มวลของร่างกาย} \times (0.51 + 0.51) / (2 \times 100) = 44 \times 0.0051 \text{ กก.}$$

$$W_H = \text{แรงเนื่องจากน้ำหนักมือ} = m_H \cdot g = (44 \times 0.0051) (9.8) = 2.20 \text{ นิวตัน}$$

$M_w =$ โมเมนต์ลัพท์ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$F_{xw} =$ แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$F_{yw} =$ แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ข้อมือเพื่อรักษาสมดุลสถิต

$SL_1 =$ ความยาวจากข้อมือถึงศูนย์กลางมวลของมือ

$$= 0.13 \times (39.22 + 39.22) / (100 \times 2) = 0.051 \text{ เมตร}$$

$$SF_x = F_{xw} = 0$$

$$SF_y = F_{yw} - (W_0/2) - W_H = 0$$

$$SM_w = M_w - ((W_0/2) + W_H) SL_1 \cos \theta_1 \text{ นั่นคือ สำหรับข้อมือแต่ละข้าง}$$

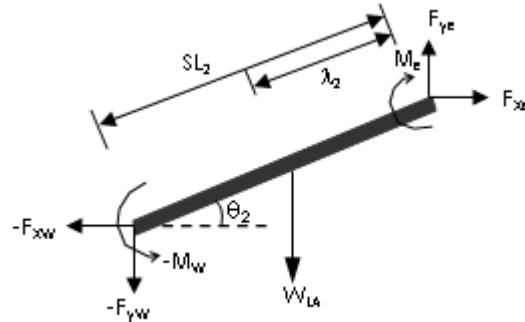
$$F_{xw} = 0$$

$$F_{yw} = (W_0/2) + W_H = (16.52/2) + 2.20 = 10.46 \text{ นิวตัน (} W_0 \text{หารสอง สำหรับข้อมือแต่ละข้าง)}$$

$$M_w = 10.46 \times 0.051 \times 0.6691 = 0.3567 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับแขนส่วนล่าง

จะรวมเอาแรงที่ข้อมือที่มีขนาดเท่ากับแรงที่มือ แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเพื่อรักษาให้มีสมดุลสถิตที่ข้อมือ



รูปที่ 4.8 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง

มวลของแขนส่วนล่าง $m_{LA} = M \times (1.29 + 1.29) / (2 \times 100) = 44 \times 0.0129 \text{ กก.}$

W_{LA} = แรงอันเนื่องมาจากมวลของแขนส่วนล่าง

$$= m_{LA} \cdot g = (0.0129 \times 44 \text{ กก})(9.8) = 5.56 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{xw} = 0$$

$$F_{yw} = 10.46 \text{ นิวตัน}$$

$$M_w = 0.3567 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

M_e = โมเมนต์ลัพท์ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{xe} = แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{ye} = แรงลัพท์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_2 = ความยาวจากข้อมือถึงข้อศอก = 24.51 ซม

λ_2 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น % ของ SL วัดจากข้อศอก

$$= (45.37 + 45.37) / 2 = 45.37\%$$

$$SF_x = -F_{xw} + F_{xe} = 0$$

$$SF_y = -F_{yw} - W_{LA} + F_{ye} = 0$$

$$SM_e = M_e - M_w - W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - F_{xw} \cdot SL_2 \cdot \sin\theta_2 = 0$$

นั่นคือสำหรับข้อศอกแต่ละข้าง

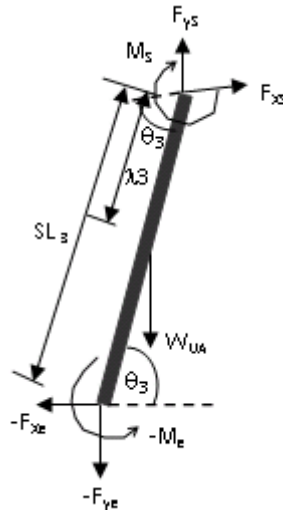
$$F_{xe} = 0$$

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA} = 10.46 + 5.56 = 16.02 \text{ นิวตัน}$$

$$M_e = 0.3567 + (5.56 \times 0.4537 \times 0.2451 \times 0.6157) + (10.46 \times 0.2451 \times 0.6157) = 2.32 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับแขนส่วนบน

ในการทำงานเดียวกัน แรงลัพธ์และโมเมนต์ที่ข้อศอกที่ได้คำนวณจากช่วงแขนส่วนล่าง จะถูกนำมาคำนวณในช่วงแขนส่วนบนด้วยค่าที่เท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 4.9 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนส่วนบน

W_{UA} = แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของแขนส่วนบน

$$= m_{UA} \cdot g = ((0.0263 + 0.0263)/2) \times 44 \text{ กก}) (9.8) = 11.34 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{xe} = 0$$

$$F_{ye} = 16.02 \text{ นิวตัน}$$

$$M_e = 2.32 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

M_s = โมเมนต์ลัพธ์ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

F_{xs} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

F_{ys} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิต

SL_3 = ความยาวจากข้อศอกถึงหัวไหล่ = 0.2574 เมตร

λ_3 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น % ของ SL วัดจากหัวไหล่

$$= (0.462 + 0.462)/2 = 0.462$$

$$SF_x = -F_{xe} + F_{xs} = 0$$

$$SF_y = -F_{ye} - W_{UA} + F_{ys} = 0$$

$$SM_e = M_s - M_e - W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{xe} \cdot SL_3 \cdot \sin\theta_3 = 0$$

นี่คือสำหรับหัวไหล่แต่ละข้าง

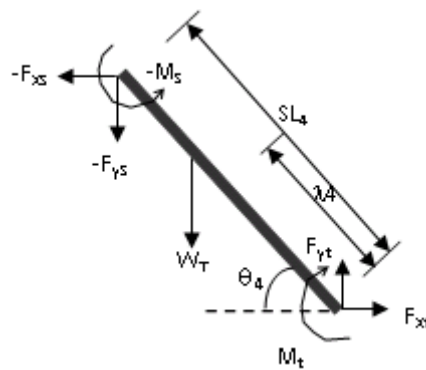
$$F_{XS} = 0$$

$$F_{YS} = F_{Ye} + W_{UA} = 16.02 + 11.34 = 27.36 \text{ นิวตัน}$$

$$M_S = 2.32 + (11.34 \times 0.462 \times 0.2574 \times 0.3584) + (16.02 \times 0.2574 \times 0.3584) = 4.28 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

สำหรับของลำตัว

ส่วนของลำตัวสิ้นสุดที่ L5/S1 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกหลังส่วนล่างที่อ่อนสุดท้าย (lumber) กับกระดูกก้นกบ



รูปที่ 4.10 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว

W_T = แรงอันเนื่องมาจากมวลของลำตัว

$$= m_T \cdot g = (0.4403 + 0.0961) \times 44 \times 9.8 = 231.30 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{XS} = 0$$

$$F_{YS} = 27.36 \text{ นิวตัน (หัวไหล่ข้างเดียว)} = 54.72 \text{ นิวตัน (หัวไหล่สองข้าง)}$$

$$M_S = 4.28 \text{ นิวตัน-เมตร (หัวไหล่ข้างเดียว)} = 8.56 \text{ นิวตัน-เมตร (หัวไหล่สองข้าง)}$$

M_t = โมเมนต์ลัพธ์ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{xt} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{yt} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_4 = ความยาวจากลำตัวจาก L5/S1 ถึงหัวไหล่ = 0.3615 เมตร

λ_4 = ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของลำตัว คิดเป็น % ของ SL วัดจาก L5/S1 = 21%

$$SF_X = -F_{XS} + F_{xt} = 0$$

$$SF_Y = -F_{YS} - W_T + F_{yt} = 0$$

$$SM_e = M_t - M_s - W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4 - F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4 - F_{xs} \cdot SL_4 \cdot \sin \theta_4 = 0$$

$$F_{xt} = 0$$

$$F_{yt} = F_{ys} + W_T = 54.72 + 231.30 = 286.02 \text{ นิวตัน}$$

$$M_t = 8.56 + (231.3 \times 0.21 \times 0.3615 \times 0.9903) + (286.02 \times 0.3615 \times 0.9903) \\ = 45.54 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

จากการคำนวณจะเห็นว่าถ้าลำตัวอยู่ในสมดุลสถิตแล้วโมเมนต์ลัพธ์ 45.54 นิวตัน-เมตร จะต้องมีการมีโมเมนต์ที่มีขนาดเท่ากันมาแย้งไว้ในทิศทางตรงกันข้าม ถ้าสมมติว่า erector spinae เป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้สมดุลที่จุด L5/S1 เราก็จะสามารถคำนวณขนาดของแรงกล้ามเนื้อชุดนี้ได้

เมื่อ F = แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึง erector spinae

d = แขนโมเมนต์ erector spinae จาก L5/S1

กำหนดให้แขนโมเมนต์ของชุดกล้ามเนื้อ Erector spinae เป็น 0.04 เมตร จาก L5/S1 ดังนั้น

$$M_e = F \cdot d$$

$$45.54 = F (0.04)$$

$$F = 45.54 / 0.04 = 1,138.39 \text{ นิวตัน}$$

F_v = ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$$= W_0 + W_H + W_{LA} + W_{UA} + W_T$$

$$= 16.52 + 2(2.20) + 2(5.56) + 2(11.34) + 231.30 = 286.02 \text{ นิวตัน}$$

เพราะฉะนั้น ผลรวมของแรงอัดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$$F_c = F_v + F_{vc} = 1,138.39 + 286.02 = 1,424.41 \text{ นิวตัน}$$

การพิจารณาว่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดระดับความปลอดภัยหรือไม่ ในการวิจัยนี้ได้นำเกณฑ์ของ Kroemer และ Grandjean ซึ่งกล่าวว่าการประเมินภาระงานกล้ามเนื้อขณะทำงาน ค่าการตอบสนองของกล้ามเนื้อขณะทำงาน ประเมินจากค่าความสามารถในการหดตัวให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแต่ละมัด (maximum voluntary contraction: MVC) ค่าเฉลี่ยของแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อในงานชนิดที่กล้ามเนื้อในลักษณะอยู่นิ่งกับที่หรือ static ค่าเฉลี่ยแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ควรเกินร้อยละ 15 ของค่า MVC อีกทั้งเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่งนั้นแปรผันกับแรงที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบเอ็กซีไซโซเนนเชียล การตอบสนองของร่างกายจากการทำงานในท่าซ้ำ ๆ นั้นคล้ายกับการตอบสนองของร่างกายจากการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่ง นั่นคือขณะที่กล้ามเนื้อทำงานแบบซ้ำ ๆ (90 – 220 ครั้งของการหดตัว/นาที) ด้วยค่าเฉลี่ยแรง

การหดตัวที่มากกว่าร้อยละ 15 ของค่า MVC ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะลดลง ด้วยเวลาอันรวดเร็ว

ดังนั้นระดับความปลอดภัยสำหรับพนักงานที่ได้ยกตัวอย่างการคำนวณข้างต้นนั้น เมื่อคำนวณที่ร้อยละ 15 ของแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากกำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ จะได้ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Factor) ออกมาเป็น 1,222.53 นิวตัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงกดอัดที่คำนวณได้ขณะปฏิบัติงานคือ 1,424.41 นิวตัน จะเห็นว่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นนี้มีค่าสูงกว่าระดับความปลอดภัยสำหรับพนักงานผู้นี้ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างได้ หากต้องปฏิบัติงานเช่นนี้เป็นเวลาต่อเนื่องกัน เหตุเพราะแรงกดอัดที่เกิดขึ้นมีมากเกินไปกว่ากำลังที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจะรับได้

4.4 ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์

ในการวิจัยนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ระดับความสูงโต๊ะ (86, 92.5 และ 95 ซม.) และ ระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน (0, 50 และ 100 ซม.) จำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง แต่ผลการทดลองจะถูกประมวลผลหาค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ตามแนวทางชีวกลศาสตร์เทียบกับระยะเวลาขณะทำการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด เพื่อหาค่าแรงกดอัดสูงสุด

ตัวอย่างภาพนิ่งต่อเนื่องของการทดลอง (Stop Motion)



รูปที่ 4.11 ภาพนิ่งต่อเนื่อง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.

จากรูปที่ 4.11 แสดงภาพนิ่งต่อเนื่องซึ่งใช้ในการประเมินท่าทางการทำงาน (ก้มหลัง, ไม่ต้องก้มหลัง) ที่ระดับปัจจัยต่างๆ อธิบายได้ดังนี้ ระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมี

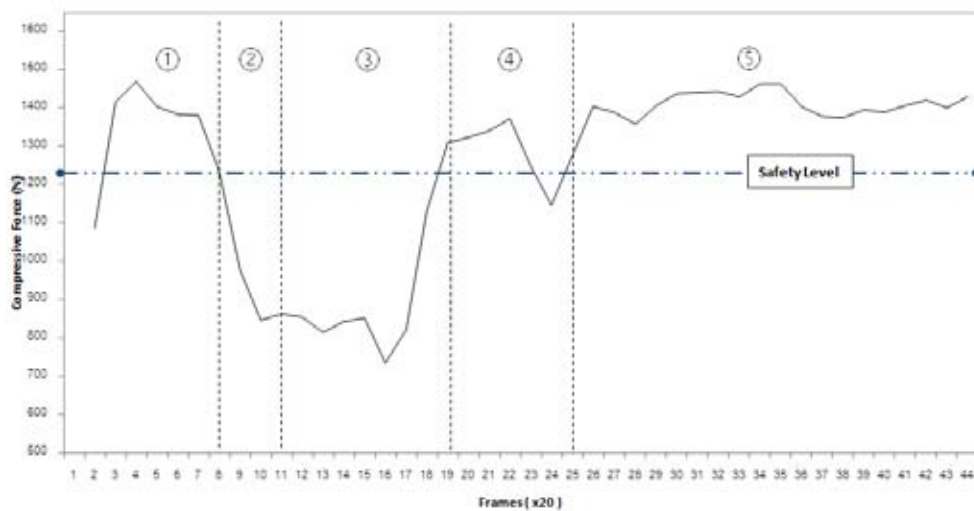
ผลต่อท่าทางการทำงาน โดยที่ระดับ 0 ซม. จะมีท่าทางการทำงานที่ต้องก้มหลังมากที่สุดคือ 58.25% และน้อยที่สุดคือ 0% ที่ระดับความสูง 100 ซม. แต่ระดับความสูงของโต๊ะทำงานไม่ส่งผลต่อท่าทางการทำงานที่ต้องก้มหลัง นั่นเป็นเพราะงานที่ก่อให้เกิดการก้มหลังนั้นโดยมากคือการวางชิ้นงานลงในกล่องและงานปิดกล่อง ซึ่งงานที่เกี่ยวข้องกับระดับความสูงของโต๊ะนั้นจะเป็นงานยก จึงไม่ต้องก้มหลัง

รูปที่ 4.12 ถึง 4.29 เป็นภาพแสดงค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดขึ้นขณะทำการบรรจุสไปนเดอร์หลังและแผงบันไดข้างที่แต่ละปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลง ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างขณะทำการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก มีลักษณะขึ้นและลงเป็นไปตามการเคลื่อนไหวของร่างกายซึ่งแต่ละภาพได้จากการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกหนึ่งการทดลอง โดยที่ระยะเวลาในภาพ 1 เฟรม มีค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 60 วินาที (1/60 วินาที)

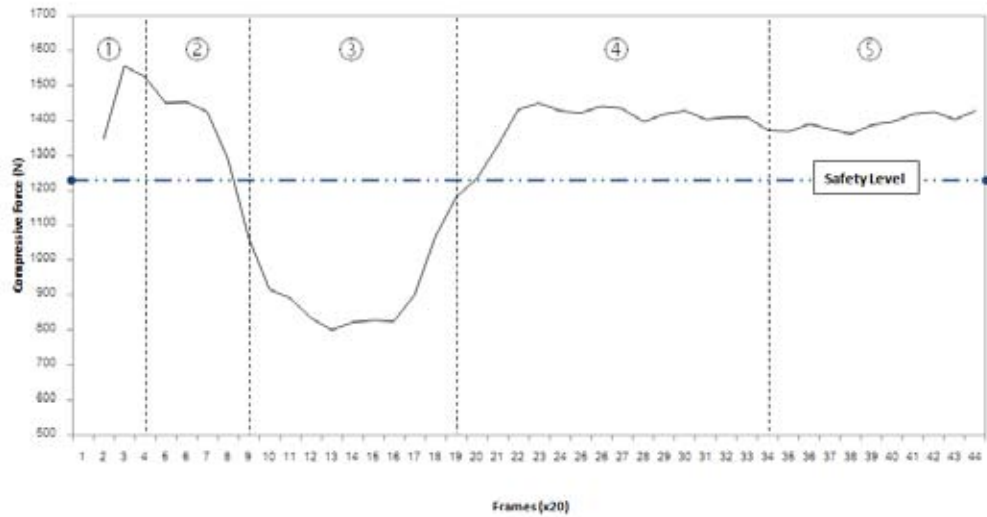
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบคนที่ 1

คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนกราฟ

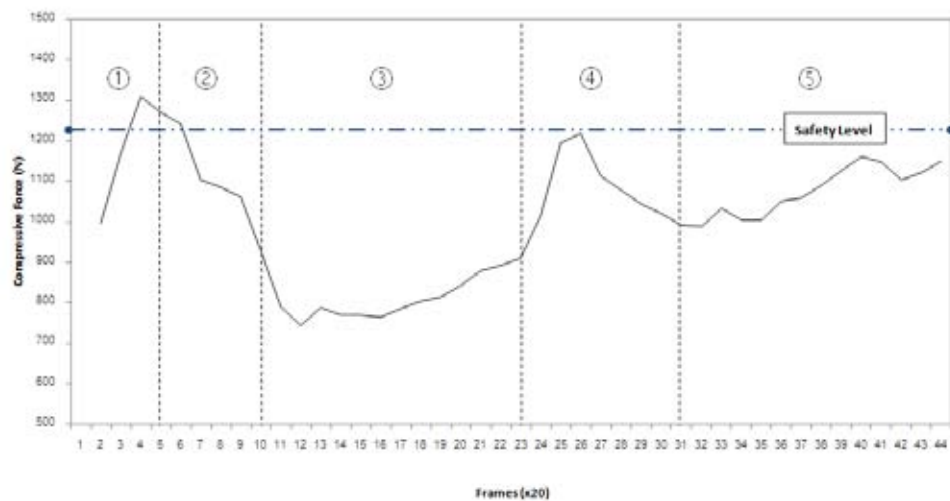
- | | |
|------------------------------|---------------------|
| ① การวางชิ้นงานลงในกล่อง | ④ การปิดฝากล่อง |
| ② หยิบ Partition | ⑤ การติดเทปปิดกล่อง |
| ③ การวาง Partition ลงในกล่อง | |



รูปที่ 4.12 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



รูปที่ 4.13 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.

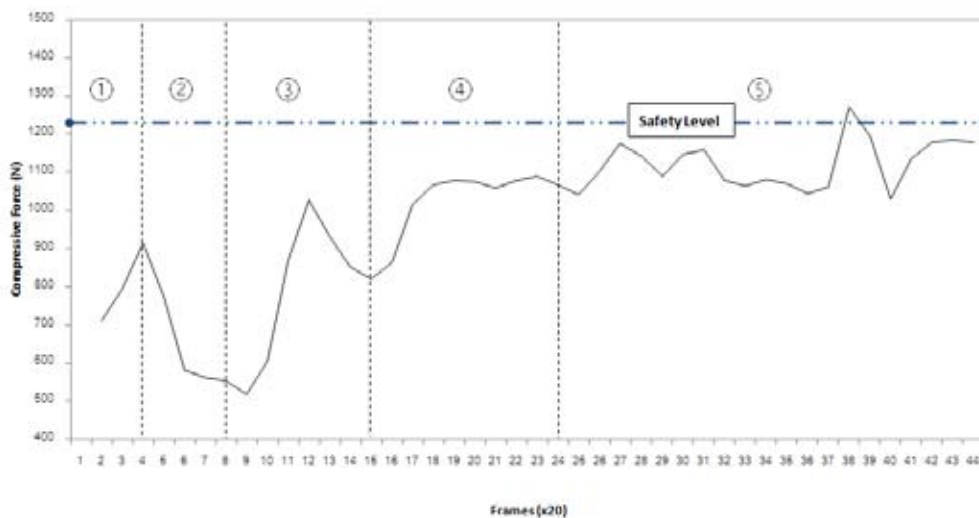


รูปที่ 4.14 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

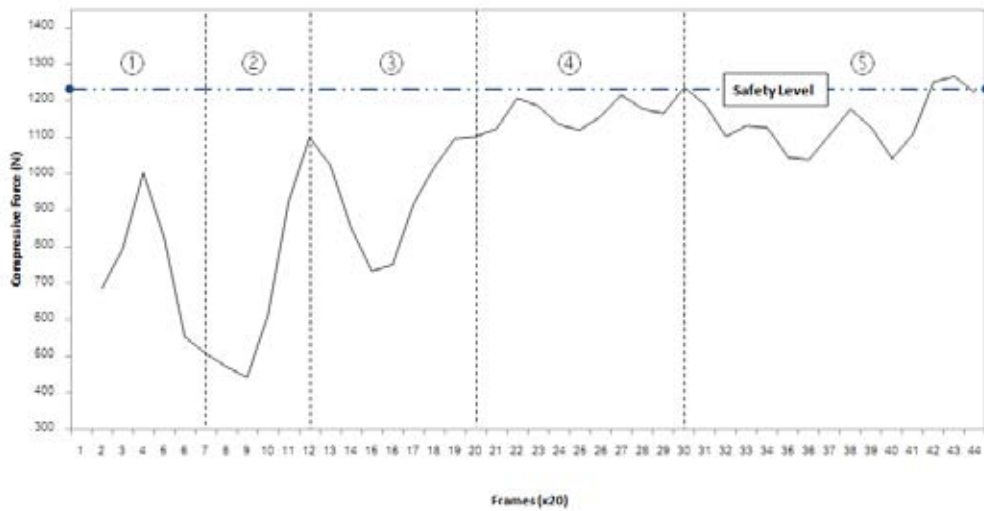
รูปที่ 4.12 – 4.14 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม. ตามลำดับ ที่ระดับความสูง 92.5 ซม. ท่าทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความปลอดภัยได้แก่ การวางชิ้นงานลงในกล่อง, การวาง Partition ลงในกล่อง (ช่วงย้ายการทำงาน), การปิดฝากล่อง และการติดเทปปิดกล่อง มีเพียงขั้นตอนหยิบ Partition และการวาง Partition ลงในกล่อง (ยกเว้นช่วงย้ายของการทำงาน) ที่ให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย ที่ระดับ

ความสูง 86 ซม. ท่าทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความปลอดภัยได้แก่ การวางชิ้นงานลงในกล่อง, ขั้นตอนหยิบ Partition (ยกเว้นช่วงท้ายของการทำงาน), การปิดฝากล่อง และการติดเทปปิดกล่อง มีเพียงการวาง Partition ลงในกล่อง ที่ให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย และที่ระดับความสูง 95 ซม. มีเพียงการวางชิ้นงานลงในกล่อง (ช่วงท้ายของการทำงาน) และขั้นตอนหยิบ Partition (ช่วงเริ่มต้นของการทำงาน) ที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความปลอดภัย สำหรับท่าทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัยได้แก่ การวางชิ้นงานลงในกล่อง (ช่วงเริ่มต้นของการทำงาน) และขั้นตอนหยิบ Partition (ยกเว้นช่วงเริ่มต้นของการทำงาน) การวางชิ้นงานลงในกล่อง, การปิดฝากล่อง และการติดเทปปิดกล่อง

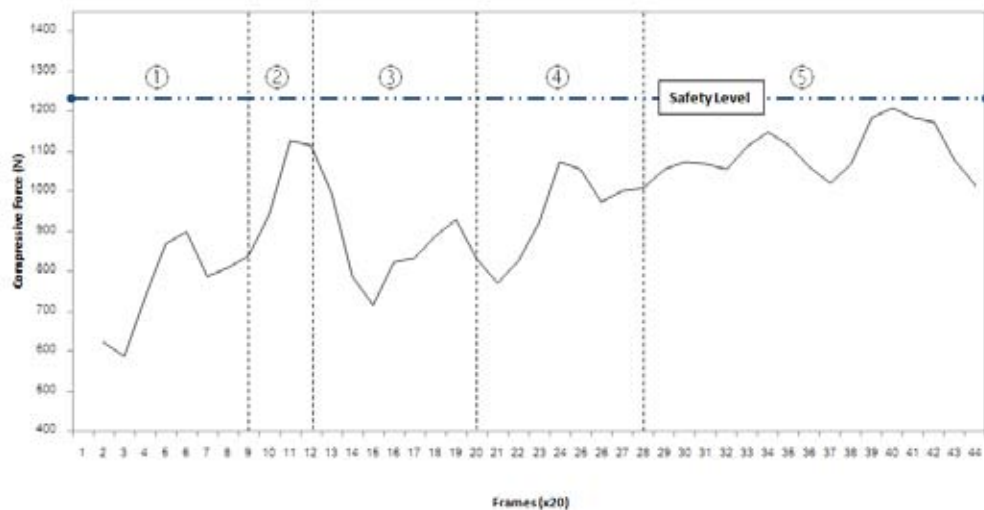
ซึ่งพบว่าที่ระดับความสูงโต๊ะทั้ง 3 ระดับให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) ซึ่งระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูง คือระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด ในส่วนของระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่าระดับความสูงโต๊ะที่ก่อให้เกิดระยะเวลาที่นานที่สุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ก่อให้เกิดระยะเวลาสั้นที่สุด



รูปที่ 4.15 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



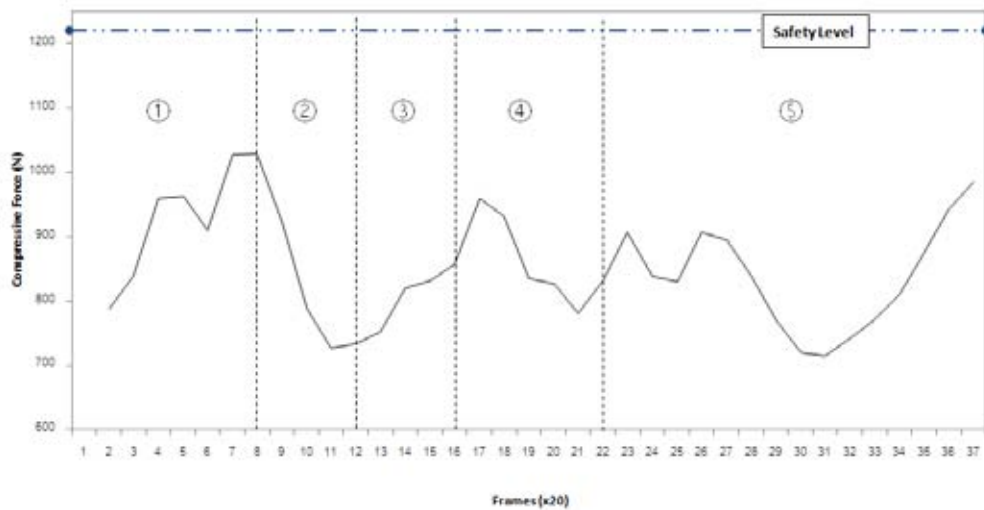
รูปที่ 4.16 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.



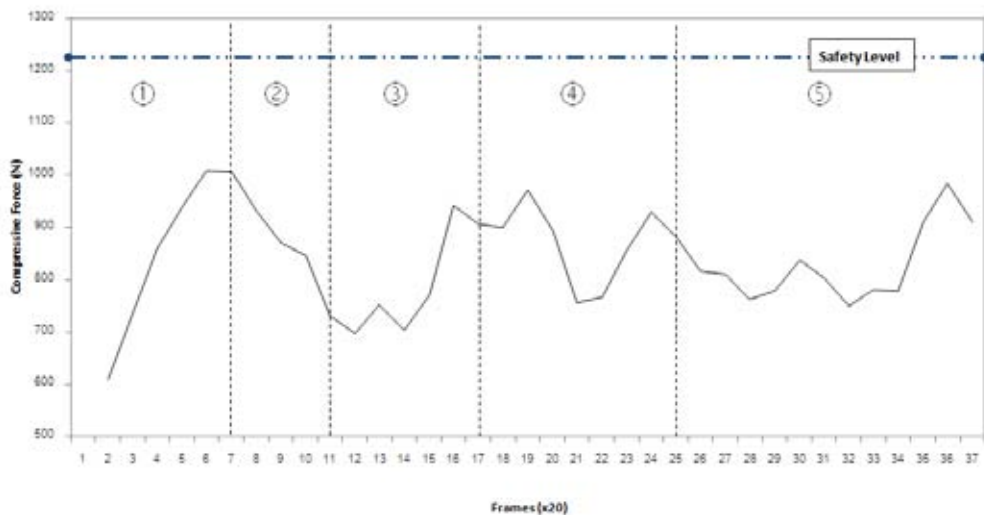
รูปที่ 4.17 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

รูปที่ 4.15 – 4.17 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม. ตามลำดับ ที่ระดับความสูง 92.5 และ 86 ซม. ทำทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความปลอดภัยนั้น มีเพียงส่วนหนึ่งของนั้นตอนการติดเทปปิดกล่อง นอกเหนือจากนั้นให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย สำหรับระดับความสูง 95 ซม. ทุกทำการทำงานให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย

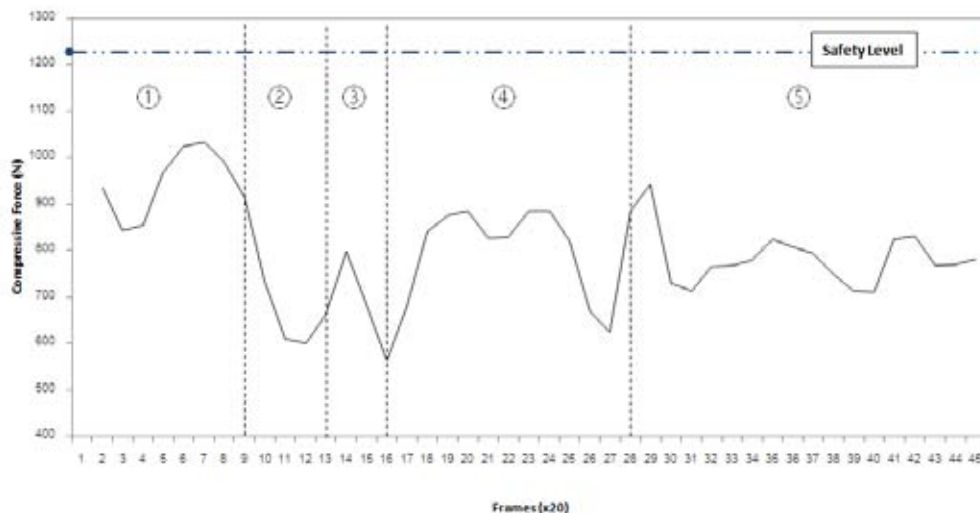
ซึ่งพบว่ามีเพียงระดับความสูงโต๊ะทั้ง 3 ระดับแรกเท่านั้นให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) ซึ่งระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด สำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงและระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่าระดับความสูงโต๊ะที่ก่อให้เกิดระยะเวลานานที่สุดนั้นพบว่า ระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด



รูปที่ 4.18 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



รูปที่ 4.19 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.



รูปที่ 4.20 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

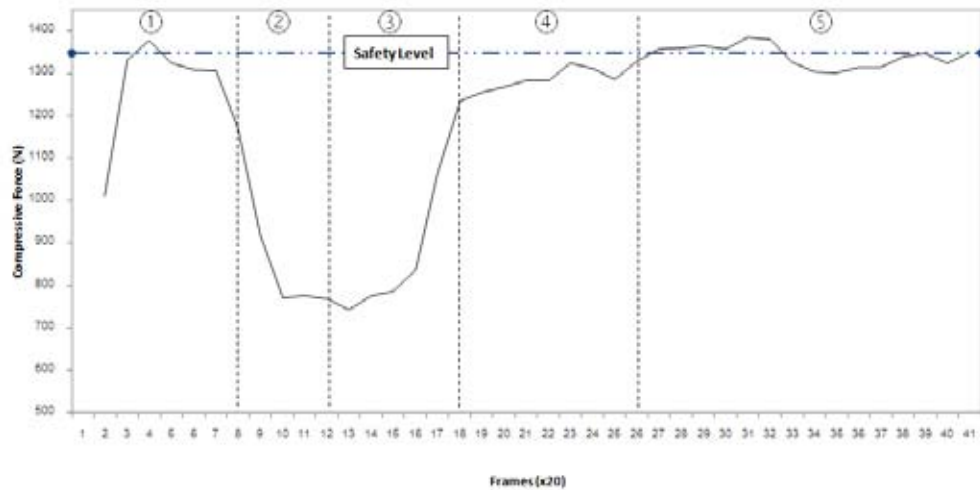
รูปที่ 4.18 – 4.20 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม. ตามลำดับ ตามลำดับ ระดับความสูงของโต๊ะปฏิบัติงานทั้ง 3 ระดับ พบว่าทุกท่าทางการทำงานให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย

ซึ่งพบว่าที่ระดับความสูงโต๊ะทั้ง 3 ระดับให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) ซึ่งระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 95 ซม. และระดับ 86 ซม. ให้ค่าต่ำสุด สำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงนั้น ระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด ในส่วนของระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่าระดับความสูงโต๊ะที่ก่อให้เกิดระยะเวลาสูงสุดคือ 95 ซม. และระดับ 86 ซม. ก่อให้เกิดระยะเวลาสั้นสุด

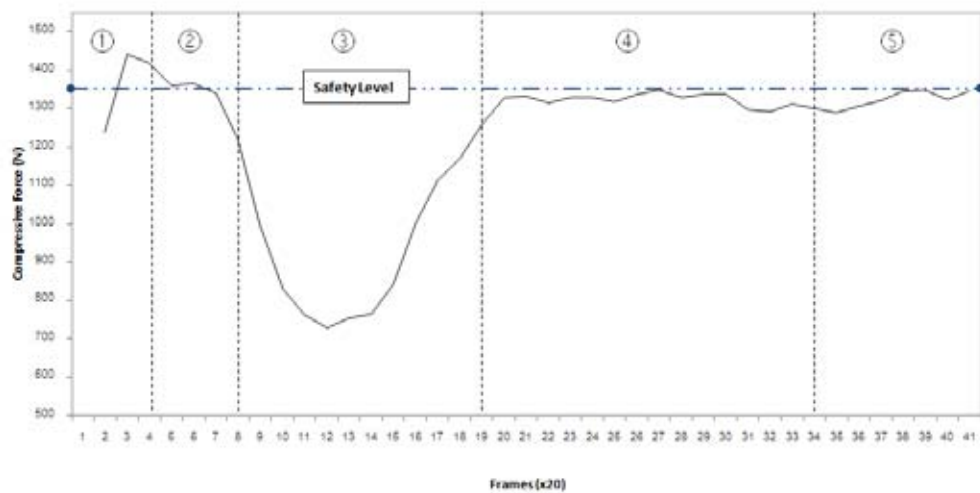
ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบคนที่ 2

คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนกราฟ

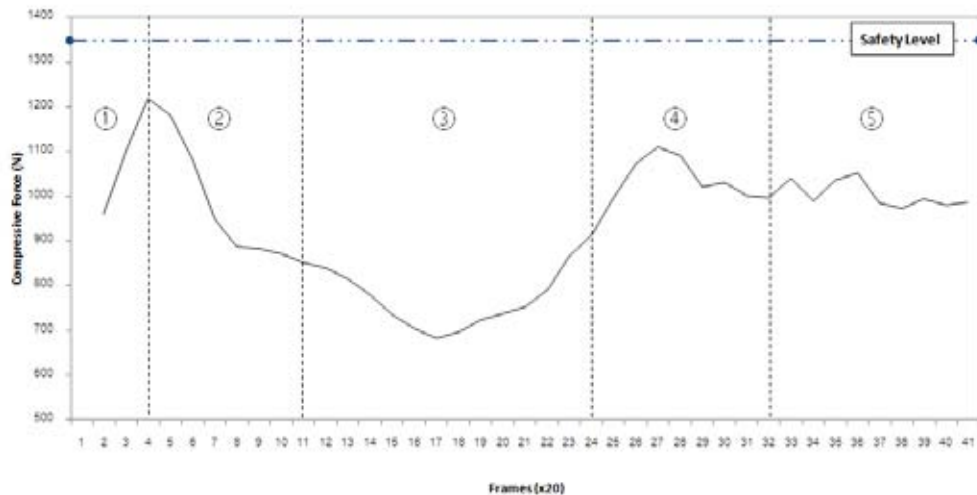
- | | |
|------------------------------|-------------------|
| ① การวางชิ้นงานลงในกล่อง | ④ การปิดฝากล่อง |
| ② หยิบ Partition | ⑤ การตีตบปิดกล่อง |
| ③ การวาง Partition ลงในกล่อง | |



รูปที่ 4.21 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



รูปที่ 4.22 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.

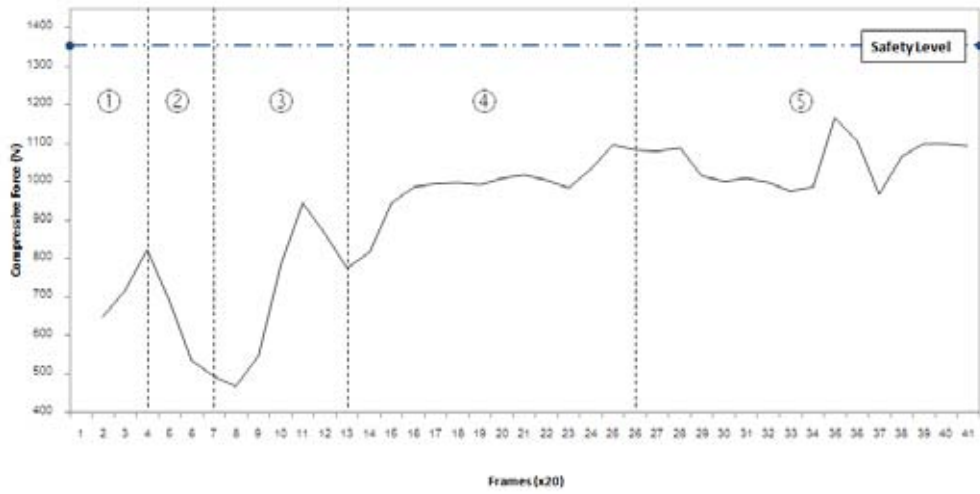


รูปที่ 4.23 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

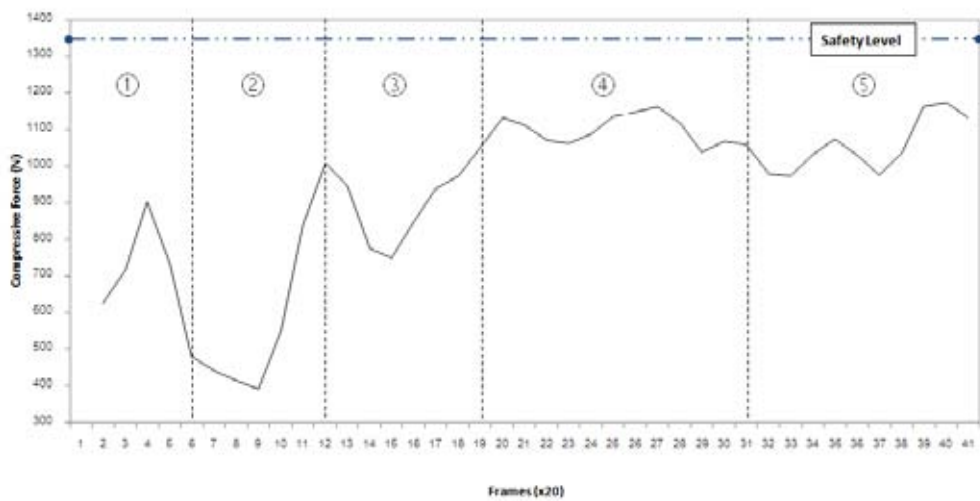
รูปที่ 4.21 – 4.23 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของ
จุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 0 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม.
ตามลำดับ

ที่ระดับความสูง 92.5 ซม. ทำทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความ
ปลอดภัยมีเพียง การวางชิ้นงานลงในกล่อง และการตีเทปปิดกล่อง ส่วนขั้นตอนหยิบ Partition,
การวาง Partition ลงในกล่อง และการปิดฝากล่องให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย ที่
ระดับความสูง 86 ซม. ทำทางการทำงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงกว่าระดับความปลอดภัยมีเพียง การ
วางชิ้นงานลงในกล่อง และขั้นตอนหยิบ Partition ส่วนการวาง Partition ลงในกล่อง, การปิดฝา
กล่อง และการตีเทปปิดกล่อง ให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย และที่ระดับความสูง
95 ซม. พบว่าทุกทำทางการทำงานให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย

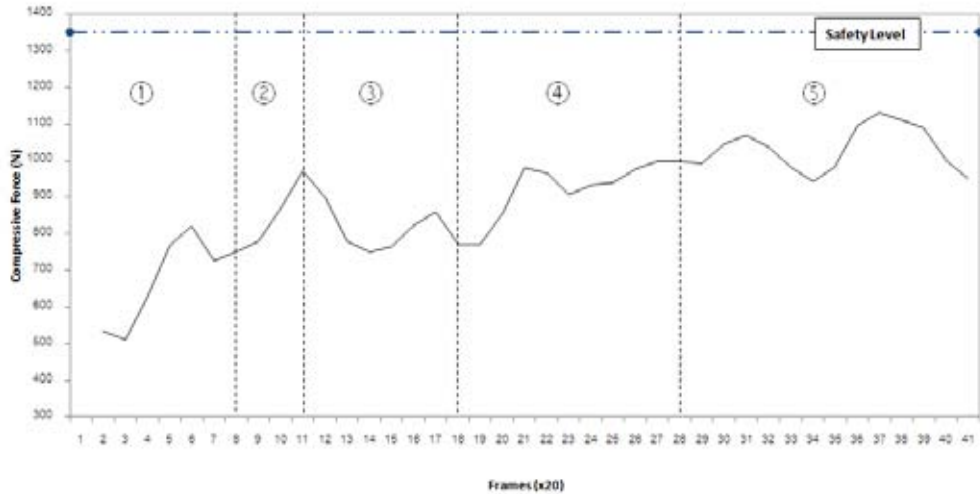
ซึ่งพบว่าที่ระดับความสูงโต๊ะที่ระดับ 92.5 และ 86 ซม. ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูก
สันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) โดยที่ระดับ
ความสูง 86 ซม. ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดมากกว่าที่ระดับความสูง 92.5 ซม. แต่ที่ระดับความสูง 95
ซม. ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถ
สูงสุด (Safety Factor) สำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูง
นั้น ระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด ในส่วนของ
ระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่าระดับความสูงโต๊ะที่
ก่อให้เกิดระยะเวลานานที่สุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ก่อให้เกิดระยะเวลาสั้นที่สุด



รูปที่ 4.24 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



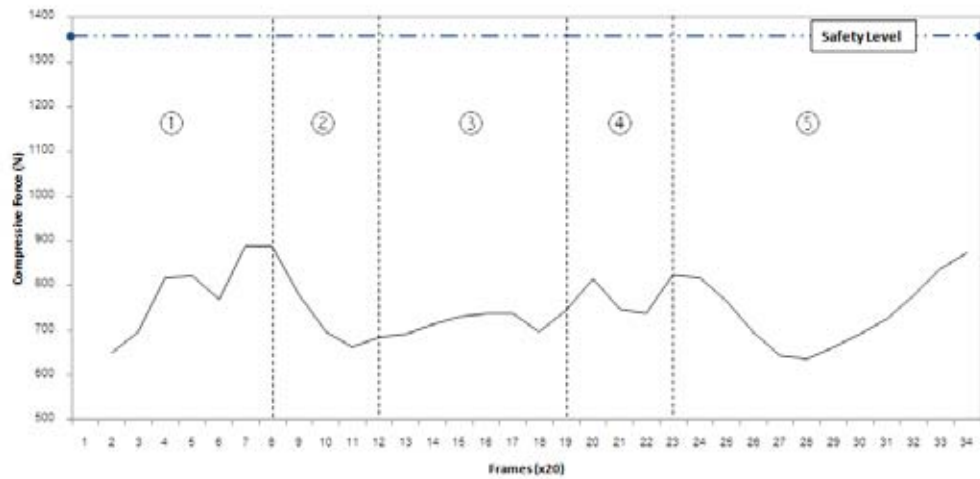
รูปที่ 4.25 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.



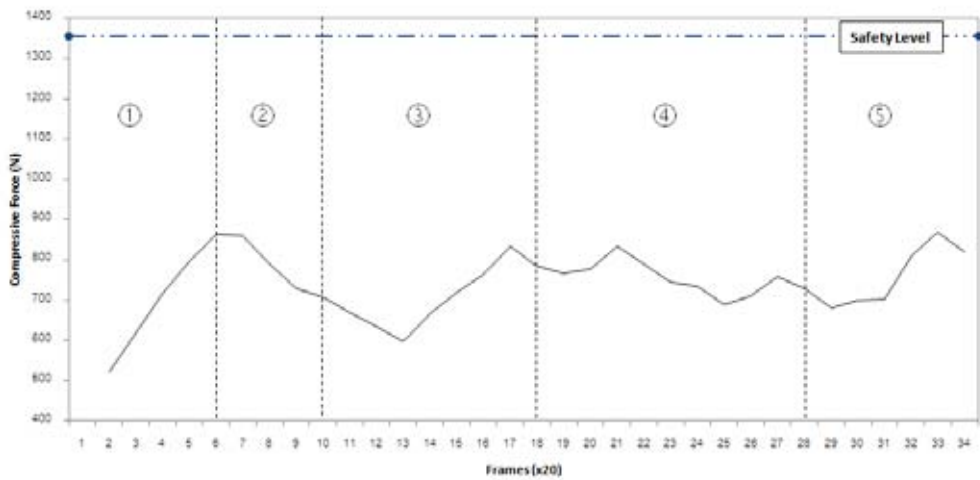
รูปที่ 4.26 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ ใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

รูปที่ 4.24 – 4.26 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 50 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม. ตามลำดับ ระดับความสูงของโต๊ะปฏิบัติงานทั้ง 3 ระดับ พบว่าทุกท่าทางการทำงานให้ค่าแรงกดอัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย

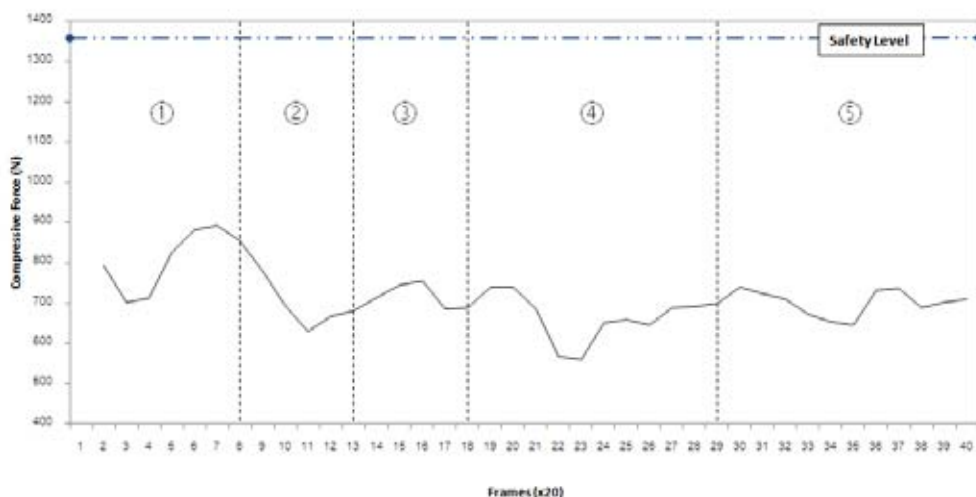
ซึ่งพบว่าที่ระดับความสูงโต๊ะทั้ง 3 ระดับ ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) ซึ่งระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุดสำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงนั้น ระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด ในส่วนของระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่าระดับความสูงโต๊ะที่ก่อให้เกิดระยะเวลาสูงสุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ก่อให้เกิดระยะเวลาสั้นสุด



รูปที่ 4.27 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5 ซม.



รูปที่ 4.28 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 86 ซม.



รูปที่ 4.29 แรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับ
ใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 95 ซม.

รูปที่ 4.27 – 4.29 แสดงแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างของปัจจัยระดับความสูงของ
จุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานระดับ 100 ซม. และระดับความสูงโต๊ะระดับ 92.5, 86 และ 95 ซม.
ตามลำดับ ระดับความสูงของโต๊ะปฏิบัติงานทั้ง 3 ระดับ พบว่าทุกท่าทางการทำงานให้ค่าแรงกด
อัดต่ำกว่าระดับความปลอดภัย

ซึ่งพบว่าที่ระดับความสูงโต๊ะทั้ง 3 ระดับ ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง
ต่ำกว่าค่าร้อยละ 15 ของค่าความสามารถสูงสุด (Safety Factor) ซึ่งระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่า
มากที่สุดคือ 86 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้ค่าต่ำสุด สำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงที่ให้ค่าแรงกดอัดของ
กระดูกสันหลังส่วนล่างสูงนั้น ระดับความสูงโต๊ะที่ให้ค่ามากที่สุดคือ 92.5 ซม. และระดับ 95 ซม. ให้
ค่าต่ำสุด ในส่วนของระยะเวลาที่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างสูงปรากฏว่า
ระดับความสูงโต๊ะที่ก่อให้เกิดระยะเวลานานที่สุดคือ 95 ซม. และระดับ 92.5 ซม. ก่อให้เกิด
ระยะเวลาสั้นสุด

การพิจารณาว่าแรงกดอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดระดับความปลอดภัยหรือไม่ ในการ
วิจัยนี้ได้นำเกณฑ์ของ Kroemer และ Grandjean ซึ่งกล่าวว่าการประเมินภาระงานกล้ามเนื้อขณะ
ทำงาน ค่าการตอบสนองของกล้ามเนื้อขณะทำงาน ประเมินจากค่าความสามารถในการหดตัวให้
แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแต่ละมัด (maximum voluntary contraction: MVC) ค่าเฉลี่ยของแรงการ
หดตัวของกล้ามเนื้อในงานชนิดที่กล้ามเนื้อในลักษณะอยู่นิ่งกับที่หรือ static ค่าเฉลี่ยแรงการหด
ตัวของกล้ามเนื้อไม่ควรเกินร้อยละ 15 ของค่า MVC อีกทั้งเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบ
อยู่นิ่งนั้นแปรผันกับแรงที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบเอ็กซีไซโซเมตริก การตอบสนองของร่างกายจาก

การทำงานในท่าซู้ ๆ นั้นคล้ายกับการตอบสนองของร่างกายจากการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่ง นั่นคือขณะที่กล้ามเนื้อทำงานแบบซู้ ๆ (90 – 220 ครั้งของการหดตัว/นาที) ด้วยค่าเฉลี่ยแรงการหดตัวที่มากกว่าร้อยละ 15 ของค่า MVC ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะลดลงด้วยเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 ที่ระดับปัจจัยเดิมนั้นให้ค่าแรงกอดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 ซึ่งเกินระดับความปลอดภัยที่ Kroemer และ Grandjean แนะนำไว้ เมื่อปรับระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานเป็น 50 ซม. ยังคงให้ค่าแรงกอดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 แต่เมื่อปรับระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานเป็น 100 ซม. ให้ค่าแรงกอดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำกว่าค่าร้อยละ 15 สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 2 มีเพียงที่ระดับปัจจัยเดิมนั้นที่ให้ค่าแรงกอดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่าค่าร้อยละ 15 ซึ่งที่ระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงาน 50 และ 100 ซม. ให้ค่าแรงกอดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างต่ำกว่าค่าร้อยละ 15

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาที่แรงกดดันระดับความปลอดภัยเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดของงาน (%) สำหรับผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนขณะทำการบรรจุสปีดและแรงแบบไดซิงที่แต่ละระดับปัจจัย

ระดับปัจจัย (ความสูงกล่อง, โตะ)	ระยะเวลาที่แรงกดดันระดับความปลอดภัยเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดของงาน (%)	
(0 , 92.5)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	70%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	5%
(0 , 86)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	70%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	5%
(0 , 95)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	11%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(50 , 92.5)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	2%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(50 , 86)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	7%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(50 , 95)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	2%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(100 , 92.5)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	0%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(100 , 86)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	0%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%
(100 , 95)	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 1	0%
	ผู้ถูกทดสอบคนที่ 2	0%

ข้อมูลจากระยะเวลาที่แรงกดดันระดับความปลอดภัยเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดของงาน โดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าผู้ถูกทดสอบคนที่ 2 มีความแข็งแกร่งของร่างกายสูงกว่าผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 ในทุกระดับปัจจัยที่ทำการทดสอบ

เพื่อเป็นการกำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับภาระงานบรรจุชิ้นงานในการทำวิจัยครั้งนี้ ระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณหลังส่วนล่างมีค่าต่ำที่สุดคือ 95 และ 100 ซม.

4.5 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ และระดับความสูงของจุดวางกล่อง สำหรับใส่ชิ้นงานในการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออกของผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ และระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานต่อผลของค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คน จึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (The Three-Factorial Design) เพื่อตรวจสอบถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 : ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ข. 2 เมื่อพิจารณาปัจจัยระดับความสูงโต๊ะผลของค่าสถิติ P-value ของระดับความสูงโต๊ะ มีค่า P-value = 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ แสดงว่า ระดับความสูงโต๊ะมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง ผลของค่าสถิติ P-value ของปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน มีค่า P-value = 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ แสดงว่าระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน มีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และปัจจัยด้านความสามารถของบุคคลทั้งสองมีค่า P-value = 0.749 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ แสดงว่า ปัจจัยด้านความสามารถของบุคคลไม่มีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง แต่สำหรับปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างระดับความสูงโต๊ะ และระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานนั้น ผลของค่าสถิติ P-value = 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ แสดงว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษางานการบรรจุชิ้นงานแมงบินไคข้างและสปอยเลอร์หลังเพื่อส่งออก เพื่อหาผลกระทบของระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานต่อผลของค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง และกำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยจะศึกษาการเคลื่อนไหวของการทำงานในแนวระนาบหน้า-หลังกับผู้ถูกทดสอบเพศหญิง จำนวน 2 คน ซึ่งเป็นพนักงานประจำจุดปฏิบัติงานสำหรับการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งออก

จากการศึกษาผลกระทบของปัจจัยระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงาน สรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ และปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง โดยปัจจัยระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงกดอัดมากกว่าปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ สำหรับปัจจัยร่วมระหว่างระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานนั้นก็มีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังเช่นกัน

2. ผลของค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างโดยเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่างๆ สำหรับผู้ถูกทดสอบทั้ง 2 คนนั้น ผลของระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับใส่ชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงกดอัดเฉลี่ย โดยที่ระดับ 0 ซม. จะให้ค่าแรงกดอัดเฉลี่ยมากที่สุด และมีค่าน้อยที่สุดที่ระดับความสูง 100 ซม. และระดับความสูงของโต๊ะทำงานที่ทำให้เกิดแรงกดอัดเฉลี่ยสูงคือ 92.5 และ 86 ซม. สำหรับระดับความสูงของโต๊ะทำงานที่มีค่าแรงกดอัดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 95 ซม.

3. จากการเปรียบเทียบค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่างที่แต่ละการทดลองพบว่า ค่าแรงกดอัดสูงสุดของกระดูกสันหลังส่วนล่างลดลง 11% สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 1 และลดลง 8% สำหรับผู้ถูกทดสอบคนที่ 2

4. เพื่อเป็นการกำหนดภาระงานสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับภาระงานบรรจุชิ้นงานในการทำวิจัยครั้งนี้ ระดับความสูงโต๊ะและระดับความสูงของจุดวางกล่องใส่ชิ้นงานที่ให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่บริเวณหลังส่วนล่างมีค่าต่ำที่สุดคือ 95 และ 100 ซม.

5. จากการวิเคราะห์ค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณหลังส่วนล่าง จะพบว่าในการบรรจุชิ้นงานละครึ่งผู้ทดสอบมักจะไม่สามารถควบคุมลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหวให้เหมือนเดิมทุกครั้งได้ ดังนั้นค่าแรงกดอัดที่คำนวณได้บางส่วนจึงไม่ค่อยสม่ำเสมอ

6. ผลจากการทดสอบกำลังสถิติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบ พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วผู้ถูกทดสอบทุกคน มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่ หลัง แขน ขา มือ และกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ต่ำกว่ากลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ศึกษาโดย กิตติ อินทรานนท์ (2531)

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

1. ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยความเร่งในการทำงานว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใด
2. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) เนื่องจากความล้าของกล้ามเนื้อเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบความล้าและท่าทางในการทำงาน
3. ควรขยายผลศึกษาออกไปถึงผู้ถูกทดสอบที่เป็นเพศชาย เนื่องจากปัจจุบันได้มีแรงงานชายเข้าปฏิบัติงานในสถานประกอบการมากขึ้น รวมถึงเพิ่มจำนวนผู้ถูกทดสอบให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิจัยที่ครอบคลุมประชากรในวงกว้างมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์ (Ergonomics). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- กิตติ อินทรานนท์. การศึกษาปัญหาของการเคลื่อนย้ายวัสดุและวิเคราะห์สาเหตุของการบาดเจ็บกรณีในโรงงานบริษัทจอห์นสัน แอนด์ จอห์นสัน (ประเทศไทย) จำกัด. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เงินสนับสนุนการวิจัยจากบริษัทจอห์นสัน แอนด์ จอห์นสัน (ประเทศไทย) จำกัด, 101 หน้า, 2538.
- กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. สัดส่วนร่างกาย และความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- กองวิชาการและวางแผน. กรมแรงงาน. รายงานผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสถิติการประสบอันตรายเนื่องจากการทำงาน, 2539.
- ตรีฉัตร จำปาวัลย์ . ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่บอมรับได้ในแนวระนาบหน้า-หลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- ไพโรจน์ อดาวจิตรกุล. แบบจำลองชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการยกกระสอบข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- โรสมารินทร์ สุขเกษม. การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของงานยกผู้ป่วยในโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- สุทธิ ศรีบุรพา. เออร์گونอมิกส์ วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2540.
- อรอุมา ลาสุนนท์. ขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในงานผสม สำหรับคนงานหญิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

- Ciriello, V.M., Snook, S.H., Blick, A.C. and Wilkinson, P.L. The effects of task duration on psychophysically – determined maximum acceptable weights and forces. Ergonomics. 33 1990 : 187-200.
- Lueder, R. A proposed RULA for computer users. Proceeding of the Ergonomics Summer Workshop. UC Berkeley Centre for Occupational & Environmental Health Continuing Education Program San Francisco August 8-9 1996.
- McAtamney, L. and Corlett, E.N. Applied Ergonomics, 24(2). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders 1993 : 91-99.
- Straker, L.M., et al. A comparison of risk assessment of single and combination manualhandling tasks : 1. Maximum Acceptable Weight measures. Ergonomics. 39 1996 : 128-140.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แสดงแบบฟอร์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ภาคผนวก ก.

แบบบันทึกการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อ

แบบบันทึกการวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อชุดต่างๆของพนักงาน

ไปบันทึกเลขที่.....

วันเดือนปี...../...../..... ชื่อ.....นามสกุล.....

อายุ.....ปี.....เดือน น้ำหนักตัว.....กก. ส่วนสูง.....ม.

ลำดับที่	กำลังสติของกล้ามเนื้อ	ค่าจากการวัด(กก.)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	กำลังสติของกล้ามเนื้อแขน		
2	กำลังสติของกล้ามเนื้อไหล่		
3	กำลังสติของกล้ามเนื้อมือ		
4	กำลังสติของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ		

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการทดสอบปัจจัยระดับความสูงโต๊ะ

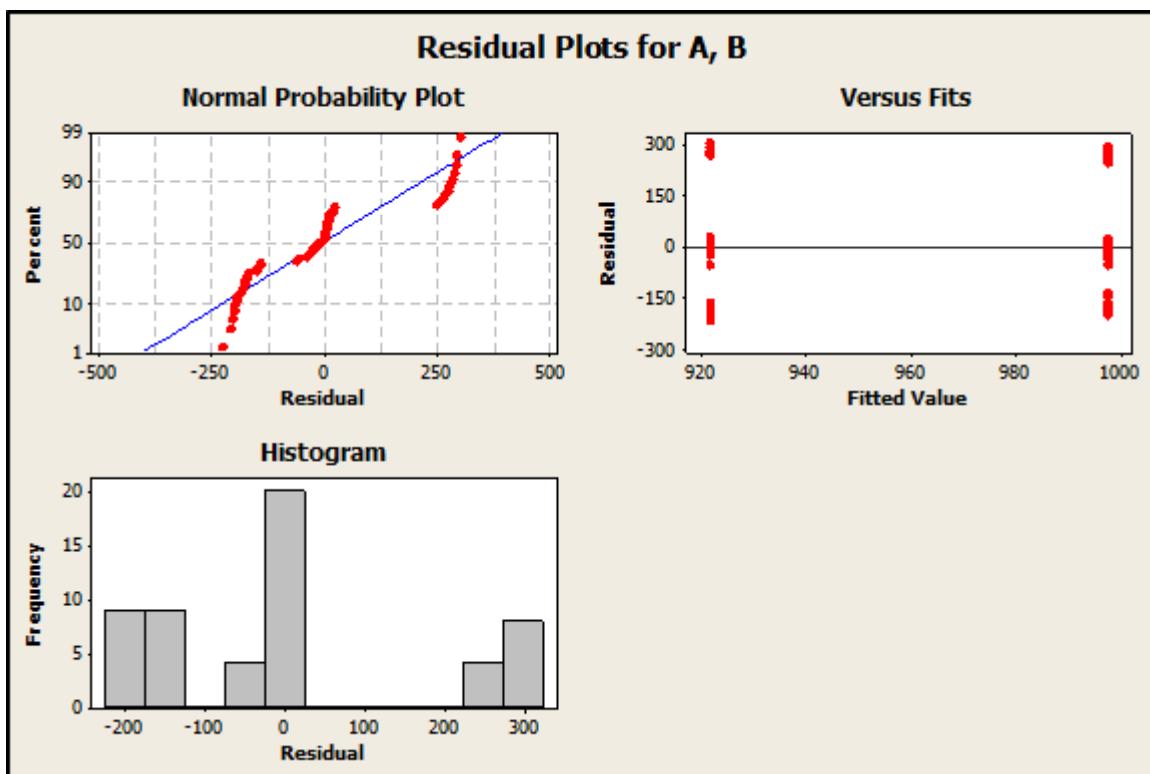
และระดับความสูงของจุดวางกล่องสำหรับบรรจุชิ้นงาน

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากปัจจัยผู้ถูกทดสอบที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดของกระดูก สัน หลังส่วนล่าง

One-way ANOVA: A, B

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	78048	78048	2.67	0.109
Error	52	1522861	29286		
Total	53	1600909			

S = 171.1 R-Sq = 4.88% R-Sq(adj) = 3.05%



ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากทั้ง 3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่าง

General Linear Model: Compressive versus High of Table, High of Box , ...

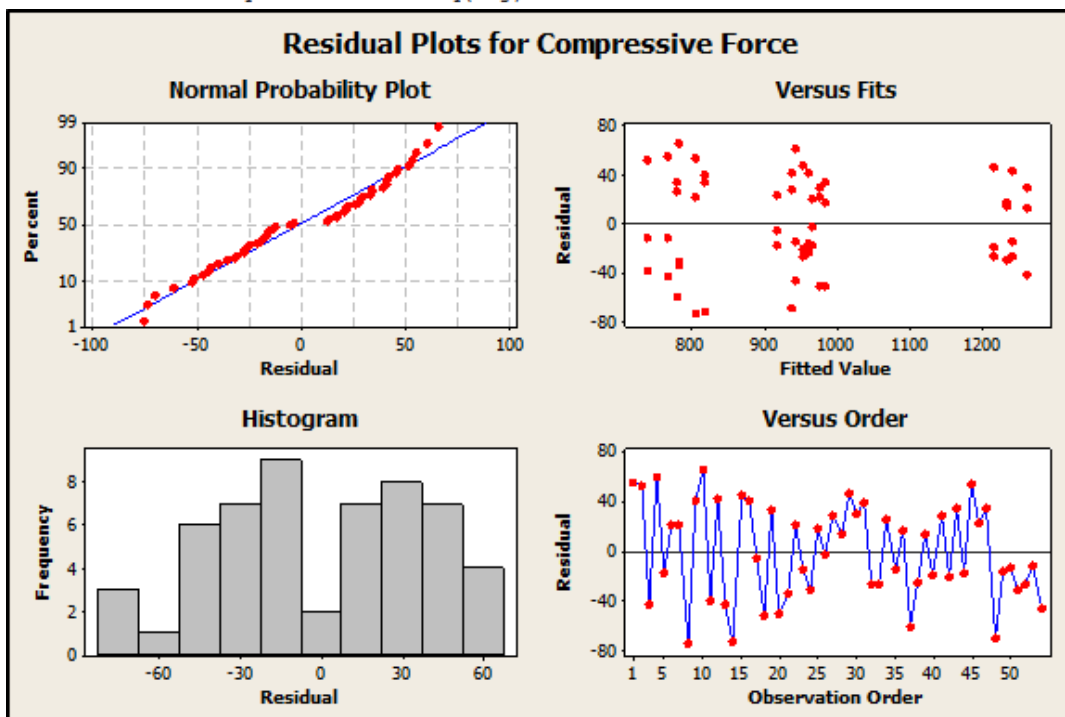
Factor	Type	Levels	Values
High of Table	fixed	3	86.0, 92.5, 95.0
High of Box Stand	fixed	3	0, 50, 100
Man	fixed	2	A, B

Analysis of Variance for Compressive Force, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
High of Table	2	148269	148269	74135	34.15
High of Box Stand	2	1217041	1217041	608520	280.27
Man	1	226	226	226	0.10
High of Table*High of Box Stand	4	147076	147076	36769	16.94
High of Table*Man	2	6989	6989	3494	1.61
High of Box Stand*Man	2	956	956	478	0.22
High of Table*High of Box Stand*Man	4	2191	2191	548	0.25
Error	36	78162	78162	2171	
Total	53	1600909			

Source	P
High of Table	0.000
High of Box Stand	0.000
Man	0.749
High of Table*High of Box Stand	0.000
High of Table*Man	0.214
High of Box Stand*Man	0.803
High of Table*High of Box Stand*Man	0.906
Error	
Total	

S = 46.5957 R-Sq = 95.12% R-Sq(adj) = 92.81%



ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดลอง

ภาคผนวก ค ข้อมูลแรงกดอัดของกระดูกสันหลังส่วนล่างแยกตามผู้ถูกทดสอบขณะทำการบรรจุ
สปอยเลอร์หลังและแผงบันไดข้างที่แต่ละปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลง

Subject	Test	Replicate	Compressive Force	Max	Average
1	M0	R1	1261.81	1511.62	1252.82
		R2	1246.59	1508.16	
		R3	1250.07	1520.01	
	M1	R1	1282.83	1584.34	1282.55
		R2	1290.71	1522.50	
		R3	1274.11	1654.70	
	M2	R1	1000.78	1305.49	1006.44
		R2	1001.08	1393.99	
		R3	1017.45	1385.07	
	M3	R1	1003.57	1486.79	983.27
		R2	984.88	1422.78	
		R3	961.36	1361.18	
	M4	R1	996.96	1242.63	1000.66
		R2	1000.91	1334.26	
		R3	1004.12	1389.15	
	M5	R1	978.40	1305.49	960.85
		R2	965.07	1299.13	
		R3	939.08	1181.61	
	M6	R1	847.98	1077.20	852.10
		R2	851.31	1100.31	
		R3	857.03	1174.82	
M7	R1	822.98	1049.20	836.07	
	R2	826.40	1055.78		
	R3	858.83	1132.75		

ภาคผนวก ก (ต่อ)

Subject	Test	Replicate	Compressive Force	Max	Average
1	M8	R1	791.07	1123.73	803.11
		R2	804.86	1083.71	
		R3	813.41	1190.23	
2	M0	R1	1202.58	1421.43	1196.25
		R2	1188.97	1419.59	
		R3	1197.19	1426.10	
	M1	R1	1217.77	1469.27	1218.54
		R2	1224.94	1424.40	
		R3	1212.92	1529.17	
	M2	R1	931.42	1210.69	936.15
		R2	934.53	1290.56	
		R3	942.52	1286.93	
	M3	R1	946.38	1360.83	923.78
		R2	928.43	1299.23	
		R3	896.54	1243.89	
	M4	R1	924.27	1170.74	928.38
		R2	927.48	1237.05	
		R3	933.39	1296.36	
	M5	R1	910.97	1210.69	892.23
		R2	898.67	1205.29	
		R3	867.07	1110.39	
M6	R1	744.37	891.25	747.13	
	R2	746.78	960.44		
	R3	750.25	1032.05		

ภาคผนวก ค (ต่อ)

Subject	Test	Replicate	Compressive Force	Max	Average
2	M7	R1	723.73	900.84	736.52
		R2	729.90	913.42	
		R3	755.92	963.02	
	M8	R1	699.38	888.34	714.58
		R2	718.00	940.64	
		R3	726.35	1045.35	

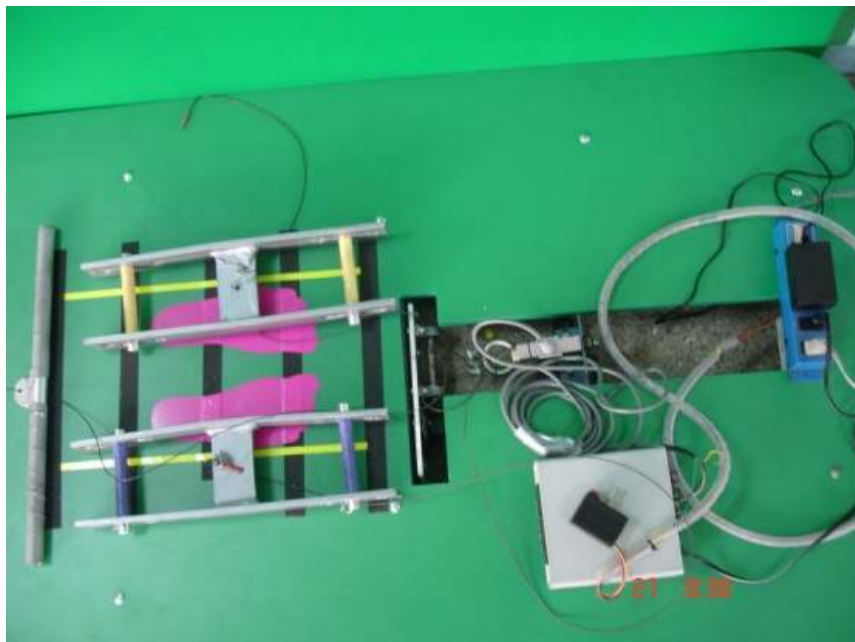
ภาคผนวก ง.

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย

1. ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ



รูปที่ 1 เครื่องวัดแรงดึง Load cell พร้อม Digital Display



รูปที่ 2 เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อมือ Grip Dynamometer (G100) Biometrics E-LINK H400S

2. กล้องถ่ายรูปดิจิทัลพร้อมขาตั้งกล้อง โดยเลือกไฟล์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายดิจิทัลเป็น JPEG ระยะตั้งกล้อง 3 เมตร ความคมชัด 5 ล้านพิกเซล



รูปที่ 3 กล้องถ่ายรูป

3. กล้องบันทึกวิดีโอ พร้อมขาตั้งกล้อง



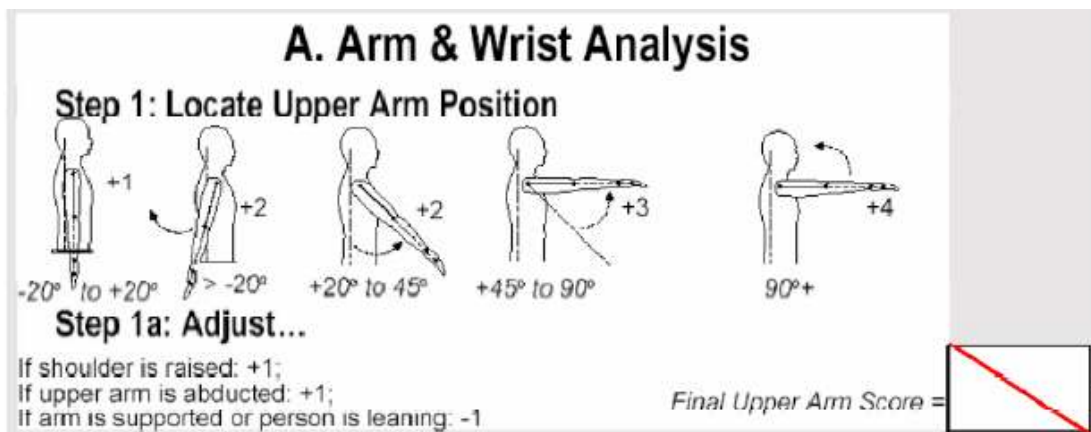
รูปที่ 4 กล้องบันทึกวิดีโอ

ภาคผนวก จ.

ขั้นตอนในการวิเคราะห์งานโดยวิธีการ RULA Limb Assessment

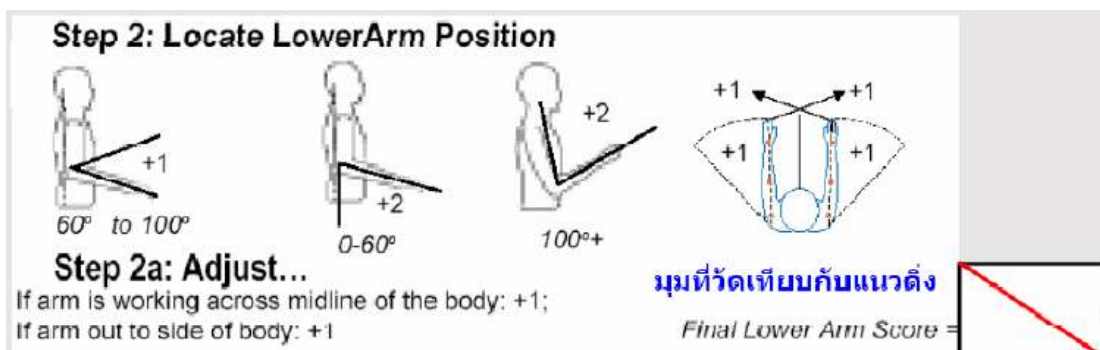
ขั้นตอนในการวิเคราะห์งานโดยวิธีการ RULA Limb Assessment

ขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)



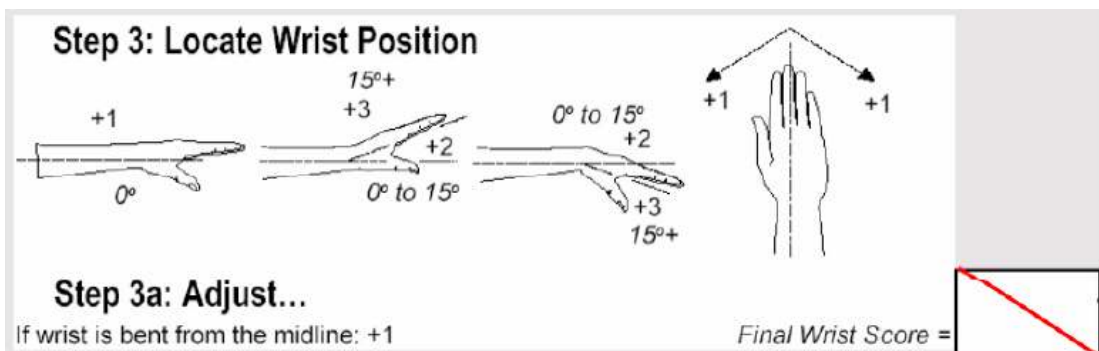
- 1.1 ระดับของแขน การยกที่สูงขึ้น ระดับคะแนนที่ให้มากขึ้น คะแนนอยู่ระหว่าง 1-4
- 1.2 ถ้ามีการยกของไหล ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
- 1.3 ถ้ามีการกางแขน ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
- 1.4 ถ้าแขนมีที่รองรับหรือวางพาดอยู่ ให้ลบคะแนน -1
- 1.5 คะแนนสูงสุดของขั้นตอนนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน
- 1.6 ให้แยกการประเมินแขนซ้ายและขวา

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (lower arm หรือ forearm)



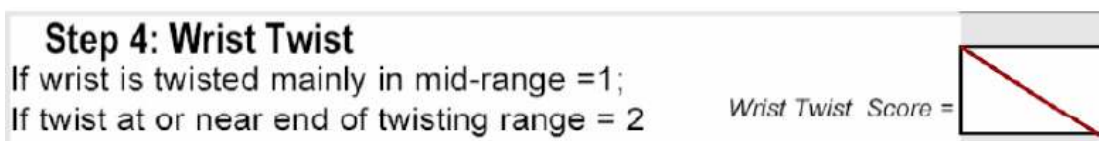
- 2.1 ระดับของแขนส่วนล่างควรอยู่ในแนวระดับขณะทำงาน หรืออยู่ในช่วงประมาณ 60-100 องศา วัดจากแนวตั้ง ถ้ามุมของแขนส่วนล่างอยู่นอกช่วงดังกล่าว ให้คะแนน ตามรูปที่ 2 และ 3 จากซ้าย
- 2.2 ถ้ามีการทำงานไขว้แขนเลยแกนกลางลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
- 2.3 ถ้ามีการทำงานในลักษณะกางแขนออกไปด้านข้างลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
- 2.4 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน
- 2.5 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินตำแหน่งมือและข้อมือ (hand และ wrist)



- 3.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรอยู่ในลักษณะตรง ไม่บิดงอ ดังแสดงในรูปที่ 1 จากซ้ายถ้าข้อมือมีการบิดงอจะให้คะแนนตามรูปที่ 2 (flexion) และ 3 (extension) จากซ้าย
- 3.2 ถ้ามีการทำงานที่เกิดการเบี่ยงข้อมือออก (deviation) ดังแสดงในรูปที่ 4 จากซ้ายให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
- 3.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน
- 3.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)



- 4.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรหมุน ถ้ามีการหมุนข้อมือให้คะแนนเป็น 1
- 4.2 ถ้ามีการทำงานที่หมุนข้อมือมากเกือบสุด ให้คะแนนเป็น 2
- 4.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน
- 4.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A



นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1-4 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ท่าทางของแขนและมือ ในขณะทำงานมาเปิดค่าคะแนนรวมในตาราง A

Table A: Arm & Wrist Analysis Scores

UPPER ARM	LOWER ARM	WRIST POSTURE SCORE							
		1		2		3		4	
		TWIST		TWIST		TWIST		TWIST	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or;

If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1 *Muscle Use Score* =

6.1 ถ้าการทำงานดังกล่าวมีลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อแบบสถิต เช่น มีการใช้แรงโดยเกร็งกล้ามเนื้อต่อเนื่องนานกว่า 1 นาที ให้ใส่คะแนนเป็น 1

6.2 ถ้าการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวกลับไปกลับมาเกินกว่า 4 ครั้งต่อนาทีหรือมากกว่า ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก

6.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ

Step 7: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0;

If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;

If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;

If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score =

- 7.1 ภาระงานที่ทำได้แก่ แรงที่ใช้ หรือ น้ำหนักที่ถือ ถ้าน้อยกว่า 2 กิโลกรัม ให้คะแนนเป็น 0
- 7.2 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 1
- 7.3 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงตลอดเวลาหรือทำซ้ำไปมาบ่อยๆ ให้คะแนนเป็น 2
- 7.4 ถ้าภาระงานมากกว่า 10 กก. ถือหรือใช้แรงแบบสลับ หรือเคลื่อนที่ซ้ำไปมาบ่อยๆ หรือ มีการใช้แรงทำงานดังกล่าวอย่างรวดเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ

Step 8: Find Row in Table C

The completed score from the Arm/wrist analysis is used to find the row on Table C

Final Wrist & Arm Score =

รวมผลคะแนนจากขั้นตอนที่ 5 – 7 ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อให้เปิดตาราง C ในการประเมินผลร่วมกับร่างกายส่วนที่เหลือ

ขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

0° to 10° +1 10° to 20° +2 20°+ +3 in extension +4

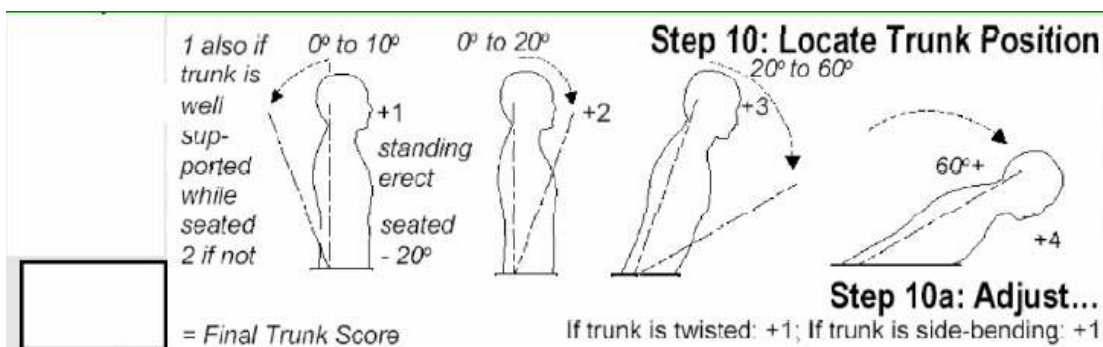
Step 9a: Adjust...

= Final Neck Score

If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

- 9.1 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 0-10 องศา ให้คะแนนเป็น 1
- 9.2 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 10-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2
- 9.3 ถ้ามุมก้มมากกว่า 20 องศา ขึ้นไป ให้คะแนนเป็น 3
- 9.4 ถ้ามีการเงยศีรษะ ให้คะแนนเป็น 4
- 9.5 ถ้ามีการหมุน (twist) ศีรษะ ด้วย ให้คะแนนเพิ่มอีก +1
- 9.6 ถ้ามีการเอียงศีรษะไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1
- 9.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน

ขั้นตอนที่ 10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)



10.1 ลำตัวควรอยู่ในลักษณะที่ตั้งตรงเมื่อยืน หรือ ในกรณีการนั่งมีพนักพิงรองรับอย่างดีที่มุมเอียงไม่เกิน -20 องศา ให้คะแนนเป็น 1

10.2 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 1-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2

10.3 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 21-60 องศา ให้คะแนนเป็น 3

10.4 ลำตัวโน้มไปด้านหน้ามากกว่า 60 องศา ให้คะแนนเป็น 4

10.5 ลำตัวมีการหมุน ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.6 ลำตัวมีการเอียงไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 6 คะแนน

ขั้นตอนที่ 11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า

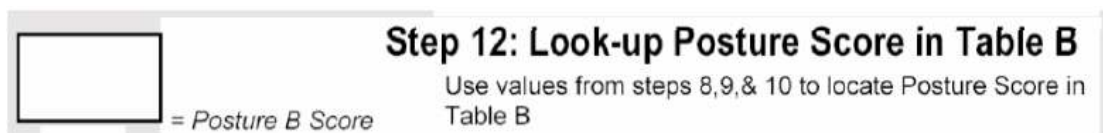


11.1 ขาอยู่ในลักษณะสมดุลช่วยขาโดยเท้าสามารถวางบนพื้นที่มีการรองรับดี ให้คะแนนเป็น 1

11.2 ถ้าไม่สมดุลหรือพื้นรองรับเท้าไม่ดี ให้คะแนนเป็น 2

11.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้ไม่เกิน 2 คะแนน

ขั้นตอนที่ 12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B



ตาราง B เป็นการสรุปผลท่าทางของศีรษะลำตัว ขาและเท้า โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 9, 10 และ 11 มาเปิดตาราง B

Table B: Neck, Trunk & Leg Analysis Scores

Trunk Posture Score

	1		2		3		4		5		6	
	Legs		Legs		Legs		Legs		Legs		Legs	
Neck	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

ขั้นตอนที่ 13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ

= Muscle Use Score

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static or;
If action 4/minute or more: +1

13.1 เป็นการประเมินลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อว่าเป็นไปในลักษณะใด แบบสถิตหรือ แบบพลวัตด้วยความถี่มากน้อยขนาดไหน

13.2 ถ้ามีการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในแบบสถิตเป็นเวลานาน หรือ การทำงานแบบใช้แรงซ้ำๆ ไปมาด้วยความถี่ 4 ครั้งต่อนาทีหรือสูงกว่าให้คะแนนเพิ่มอีก +1

ขั้นตอนที่ 14 ประเมินระดับภาระงาน จากน้ำหนักของหรือแรงที่ใช้

= Force/load Score

Step 14: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0;
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

14.1 ให้พิจารณาน้ำหนักของที่ยกหรือแรงที่ใช้ในการทำงาน เช่น แรงผลัก, แรงกดแรงดึง เป็นต้น ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด

14.2 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าน้อยกว่า 2 กก. ทำเป็นนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 0

14.3 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ทำเป็นครั้งคราว ให้คะแนนเป็น 1

14.4 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ออกแรงแบบสถิตหรือเกิดขึ้นซ้ำไปมาให้คะแนนเป็น 2

14.5 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่า มากกว่า 10 กก. ออกแรงแบบสถิต หรือเกิดขึ้นซ้ำไปมาบ่อยๆ หรือมีการออกแรงอย่างรวดเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

ขั้นตอนที่ 15 สรุปผลการวิเคราะห์ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า

=

Step 15: Find Column in Table C
The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C

= Final Neck, Trunk & Leg Score

เป็นผลรวมคะแนนจากขั้นตอนที่ 12 ซึ่งได้จากการเปิดตาราง B รวมกับคะแนนในขั้นตอนที่ 13 และ 14 ซึ่งเป็นลักษณะการใช้งานกล้ามเนื้อและภาระงานที่ต้องทำคะแนนรวมที่ได้ใส่ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อนำไปเปิดตารางสรุปผลของ RULA ในตาราง C

ขั้นตอนที่ 16 หรือขั้นสุดท้าย คือการสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C

16.1 นำคะแนนที่ได้ในขั้นตอนที่ 8 และ คะแนนที่ได้ในขั้นตอนที่ 15 ไปใช้ในการเปิด ตาราง C

16.2 โดยคะแนนในขั้นตอนที่ 8 ใช้เลือกตำแหน่งของแถว ส่วนคะแนนในขั้นตอนที่ 15 ใช้เลือกตำแหน่งของคอลัมน์ ช่องที่ตัดกันระหว่างคะแนนทั้งสอง ในตาราง C เป็นระดับคะแนนสุดท้ายของ RULA

16.3 คะแนน RULA จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-7 คะแนนที่สูงกว่าหมายถึงความเสี่ยงต่อปัญหาทางด้านการยศาสตร์มีสูงด้วย

Table C: Final Scores

คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 8		คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 15						
		1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5	
2	2	2	3	4	4	5	5	
3	3	3	3	4	4	5	6	
4	3	3	3	4	5	6	6	
5	4	4	4	5	6	7	7	
6	4	4	5	6	6	7	7	
7	5	5	6	6	7	7	7	
8+	5	5	6	7	7	7	7	

การสรุปผลการวิเคราะห์งานโดยใช้ RULA แบ่งออกเป็น 4 ระดับ

ระดับ 1: คะแนนอยู่ 1-2 งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้า มีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ระดับ 2: คะแนนอยู่ที่ 3-4 งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

ข้อจำกัดและข้อควรระวังในการใช้ RULA

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีเพียง 3 ปัจจัยใหญ่เท่านั้น
 - ท่าทางการทำงาน (posture)
 - ปริมาณแรงที่ใช้ (Force)
 - ลักษณะ และความถี่ในการใช้งาน (static or repetitive work)
2. คะแนนที่ได้รับหลังจากการประเมินเป็นเพียงความเสี่ยง
3. คะแนนต่ำไม่ได้ยืนยันเสมอไปว่างานนั้นจะปลอดภัย ในทางตรงกันข้ามคะแนนสูงก็ไม่ใช่ว่าการยืนยันเสมอไปว่างานนั้นจะมีปัญหารุนแรง
4. การวิเคราะห์งานควรใช้ข้อมูลอื่นๆ ประกอบการพิจารณาด้วย

ภาคผนวก จ.

การวัดกำลังสติของกล้ามเนื้อ

การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ

(ดัดแปลงจาก กิตติ อินทรานนท์ และคณะ, 2531)

กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน

ต้องปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบงอเป็นมุม 90 องศา กับแขนส่วนบนในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ด้ามเครื่องมือทดสอบตั้งฉากกับลำตัวของผู้ถูกทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบจะอยู่ในแนวตั้ง ขนานและติดกับลำตัว) การทดสอบผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ขาและหลังตั้งตรงไม่งอ และเท้าทั้งสองยืนราบอยู่กับพื้น (ไม่ยืนเขย่งเท้า) จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างค่อย ๆ ออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบจนถึงระดับสูงสุด โดยที่ไหล่ทั้งสองข้างไม่เคลื่อนที่ ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที



กำลังสถิติของกล้ามเนื้อไหล่

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงบนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ ต้องปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนบนทั้งสองข้างขนานกับพื้นกระดาน ส่วนแขนส่วนล่างนั้นงอทำมุมฉากกับแขนส่วนบน ในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ เท้าทั้งสองข้างอยู่ราบกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ (ไม่ยื่นเขย่งเท้า) ขาและหลังตั้งตรง จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างค่อย ๆ ออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบจนถึงระดับสูงสุดและขณะออกแรงต้องไม่ยื่นเขย่งเท้า ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที



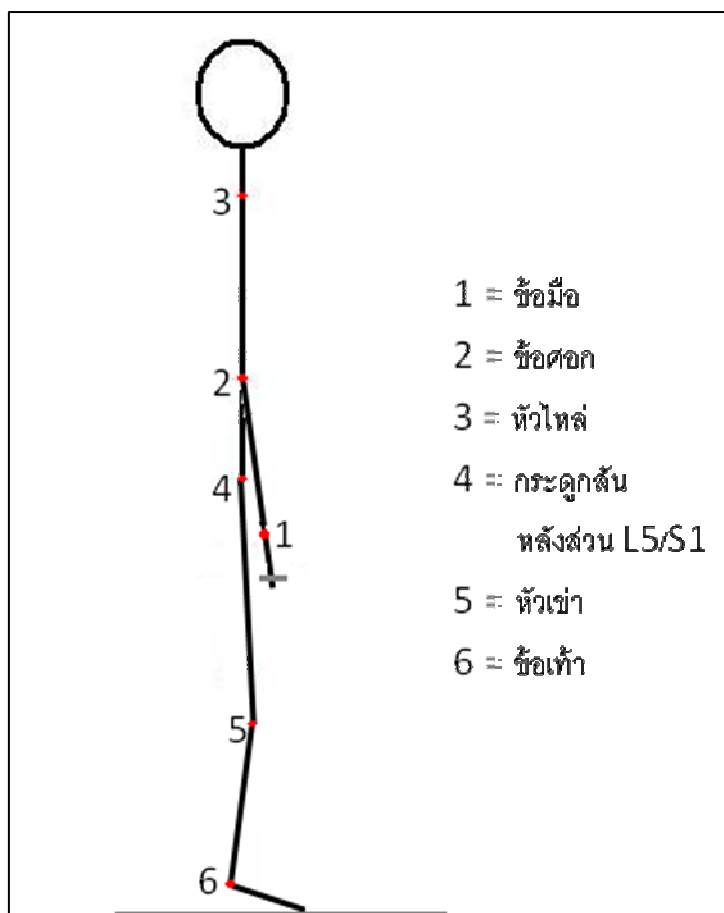
กำลังสถิติของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ปรับด้ามเครื่องมือทดสอบให้สูงขึ้นจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ 12 นิ้ว (ความสูงจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบไปยังระนาบที่ต่ำที่สุดของด้ามเครื่องมือทดสอบ) ให้ผู้ถูกทดสอบอยู่ในท่ากึ่งนั่งกึ่งยืน (semi-squat position) โดยมีด้ามเครื่องมือทดสอบอยู่ระหว่างขาทั้งสองข้าง มือทั้งสองข้างจับเครื่องมือทดสอบ เท้าทั้งสองข้างอยู่ราบกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบโดยไม่เขย่งเท้า ปลายของเครื่องวัดแรงดึงด้านหนึ่งต่อกับด้ามของเครื่องมือทดสอบส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ เหยงหน้าขึ้นมองตรงไปข้างหน้า จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบใช้ขาทั้งสองข้างและลำตัวออกแรงในแนวตั้งที่ละน้อยจนถึงระดับสูงสุด หน้ามองตรง ออกแรงสูงสุด ประมาณ 5 วินาที



กำลังสถิติของกล้ามเนื้อมือ

การวัดกำลังสถิติของกล้ามเนื้อมือ จะใช้เครื่องมือวัดโดยเฉพาะ ซึ่งเรียกว่า grip dynamometer ผู้ถูกทดสอบจะต้องยืนตัวตรงหน้าตรง ปล่อยแขนขนานลำตัว เท้าราบอยู่กับพื้น ถือเครื่องมือวัดไว้ในมือข้างที่ถนัด ถ้าถนัดขวาให้ใช้มือขวา ถนัดซ้ายให้ใช้มือซ้าย ถนัดทั้งสองมือให้ใช้มือขวา เครื่องมือวัดนี้จะสามารถปรับระยะห่างได้ เพื่อให้พอดีกับมือของผู้ถูกทดสอบ ขณะทดสอบผู้ถูกทดสอบจะต้องออกแรงบีบอย่างเต็มที่ โดยยังคงยืนตัวตรงหน้าตรง ออกแรงสูงสุด ประมาณ 5 วินาที



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกาญจนา หลวงโปธา เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดลำพูน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552