



การศึกษาอิทธิพลของแผ่นรองรับยางธรรมชาติในเข็มขัดพยุงหลังต่อการทำงานของ
ของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง

**Study the Effects of Natural Rubber Pad in Back Support Belt on
Low Back Muscle Activities**

สันติชัย เย็นทั่ว
Santichai Yentour

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของแผ่นรองรับยางธรรมชาติในเข็มขัดพยุงหลังต่อการ
ทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง
ผู้เขียน นายสันติชัย เย็นทั่ว
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

อาการปวดหลังส่วนล่างสามารถเกิดขึ้นได้กับบุคคลทั่วไป สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อและข้อบริเวณดังกล่าว แนวทางรักษามีหลายวิธีตามความสอดคล้องกับอาการและสาเหตุ เข็มขัดพยุงหลังเป็นอุปกรณ์ที่แพทย์มักนำมาใช้ร่วมกับการรักษาวิธีอื่นๆ ภายในเข็มขัดพยุงหลังมักมีวัสดุรองรับเป็นโลหะ ลักษณะเป็นแถบบางยาวตามแนวของหลัง ทำหน้าที่ลดแรงกระทำต่ออวัยวะบริเวณดังกล่าว การศึกษาผลของการใส่เข็มขัดพยุงหลังต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและแรงกระทำต่อข้อสันหลังยังมีจำกัด จากการศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้แถบโลหะเป็นวัสดุรองรับ (**MioS**) ขณะเคลื่อนไหวในท่าก้มยก ดึง และดัน พบว่าในท่าก้มยกของที่ไม่มีน้ำหนัก เข็มขัดพยุงหลังสามารถลดแรงดึงของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ได้สูงสุด **141%** และลดแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้สูงสุด **85%** ในขณะที่สามารถลดแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้สูงสุด **15.7%** ขณะยกของน้ำหนัก **10kg** ที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **1 (25N)** เมื่อยกของน้ำหนัก **20kg** ที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **2 (38N)** สามารถลดแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ได้ **9.5%** และลดแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้ **11%** ส่วนในท่าดึงและดันของ เข็มขัดพยุงหลังมีผลต่อแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลังน้อยมาก นอกจากนี้แผ่นรองรับของเข็มขัดพยุงหลังยังถูกพัฒนาขึ้นใหม่อีกเพื่อลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดคือ อลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024** และยางธรรมชาติคิงรูป ผลการทดสอบการทำงาน of กล้ามเนื้อหลังส่วนล่างโดยการวัดสัญญาณ **EMG** ขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังที่มีวัสดุรองรับที่ได้ออกแบบขึ้น พบว่าเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบสามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ **71.7%** ในขณะที่เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (**S-hospital**) สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ได้ **1.63%** เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง สำหรับคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นยางรองรับที่เหมาะสมมีค่าความแข็งเท่ากับ **326 Shore A** และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในการรับแรงกดที่ **30% strain** เท่ากับ **1,796 kPa** โดยอย่างที่ค่าความแข็งและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ต่ำกว่านี้มีผลต่อการช่วยลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างน้อยมาก

Thesis Title Study the Effects of Natural Rubber Pad in Back Support Belt on Low Back Muscle Activities
Author Mr. Santichai Yentour
Major Program Mechanical Engineering
Academic Year 2010

ABSTRACT

Low back pain is the symptom generally occurs to adult people. The major cause of this pain is from deterioration of low back muscles and joints. Back support belt was a device which most doctors often prescribe with other therapeutic methods for treatment of the patients. The supporting materials used for back support belt are consisted of cotton pad and two metal bands put in shaped of the low back to reduce the forces on low back muscles and intervertebral joints. The effects of these back belts on reduction of muscle activities and load to the spinal joints have not been well studied. The effects of back support belt (Mio S), using metal bands as the supporting material, on erector spinae muscles force while acting in lift, pull and push the weights were studied. The results indicated that the tension force in the erector spinae muscles could be reduce up to 141%, reduced up to 85% of compressive force on L5/S1 disc while acting without load. In addition, it could reduced up to 15.7% of shearing force on L5/S1 disc during lift the 10 kg weight at level 1 (25 N) of belt tightening. For the 20 kg lifting task at belt tighten level 2 (38 N), the reduction of force in the erector spinae muscles and the L5/S1 disc compressive force were 9.5% and 11%, respectively. However, for the pulling and pushing tasks, the back support belt had very little effect. In order to increase stability of the spinal movement, the supporting pad in back support belt in this study was designed by adding two materials including the aluminium alloys 2024 and the vulcanized natural rubber. Study the effect of this back support belt on muscle activities by investigation of EMG signals comparatively between with and without back support belt in lift tasks was employed. The results showed that using the newly designed back support belt and the S-hospital back support belt can reduce the activities of erector spinae muscles up to 7.17% and 6.13%, respectively, as comparing to the conditions without back support belt. The mechanical properties of the rubber pad in back support belt were found with 32.6 Shore A for hardness test and with the modulus of elasticity for compression at 30% strain was 1,796 kPa. The mechanical properties lower than these values had very little effect on reduction of low back muscles activities.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านคือ ดร. ฐานันดรศักดิ์ เทพญา และรองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย อิงพิณิจพงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยรวมถึงการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรือง ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือด้านช่างและสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับงาน

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พงษ์ภัทรานนต์ และสถานวิจัยวิศวกรรมพื้นฟู มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและให้คำปรึกษาในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลัง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญยุทธ เศรษฐกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทัศนวิไล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุฤกษ์ คงทอง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินการวิจัย (RDG 5150067) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีวัสดุ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ รวมทั้งศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนทุกท่านที่มีได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้คำแนะนำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

สันติชัย เย็นท้าว

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(14)
1 บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	19
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	19
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	19
2 ทฤษฎี	
21 แถบโลหะรองรับและเกจวัดความเครียด (strain gage)	20
22 หลักชีวกลศาสตร์	29
23 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyography, EMG)	45
24 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) และการนำมาใช้งาน	49
25 การออกแบบแม่พิมพ์อัด (compressive mold)	58
3 วิธีการและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	
31 วิธีดำเนินการวิจัย	61
32 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้	75
4 ผลการทดลอง	
41 ผลการทดสอบหาค่าความแข็งตึง (stiffness) ของแถบยางยึดที่ใช้ปรับความตึงในการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง	85
42 ผลการศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้น ในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae	87
43 แบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์	98
44 สูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยางธรรมชาติและคุณสมบัติ	101
45 ผลการทดสอบหาคุนสมบัติยางคงรูป	102
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
46 การออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังและการปรับปรุงรูปร่างของเข็มขัดพยุงหลัง	110
47 การทดสอบและเปรียบเทียบผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้นกับเข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และที่จำหน่ายตามร้านอุปกรณ์การแพทย์	127
5 สรุปผล	
51 การศึกษาชีวกลศาสตร์บริเวณหลังส่วนล่างของมนุษย์และผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae	140
52 การออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง	140
53 การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของหลังส่วนล่าง (erector spinae) ขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง	141
เอกสารอ้างอิง	142
ภาคผนวก	
ก ผลการทดสอบแรงดึงของยางคงรูป	147
ข ผลการทดสอบแรงกดของยางคงรูป	149
ค ผลการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในหัวข้อที่ 47.2	151
ง แบบประเมินการใช้เข็มขัดพยุงหลัง	167
ประวัติผู้เขียน	169

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
21 แสดงส่วนประกอบ ปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน ซึ่งอยู่ในหน่วย part per hundred rubber (phr)	53
31 แสดงปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ที่นำมาใช้หาสูตรยางทั่วไป ในหน่วย part per hundred rubber (phr)	69
32 แสดงปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรยาง 7 สูตรที่นำมาขึ้นรูป	69
41 แสดงค่าของแรงกับระยะยืดที่เกิดขึ้นบนแถบยางยืดเข็มขัดพยางหลัง 4 แบบ	86
42 แสดงข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลของเข็มขัดพยางหลังที่มีต่อแรงที่กระทำ บนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae	87
43 แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในท่ายกของที่ตำแหน่ง X₄ ในเงื่อนไขต่าง ๆ	93
44 ดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวัดรูปร่างหลัง	98
45 ค่าความหนืด (Mooney viscosity) และเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์	101
46 แสดงผลการทดสอบความแข็งของยางคงรูปของสูตรยางทั้ง 7 สูตร ซึ่งอยู่ในหน่วย Shore A	102
47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึง แบบ Uniaxial Tension ของยางคงรูปทั้ง 3 สูตร	108
48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกด แบบ Uniaxial Compression ของยางคงรูปทั้ง 3 สูตร	109
49 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของยางคงรูป 3 สูตรในการทดสอบแรงดึงและแรงกด	110
410 แสดงคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของอะลูมิเนียมอัลลอยด์	118
411 แสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	128
412 แสดงปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่เข็มขัดพยางหลัง 10 แบบ เทียบกับกรณีไม่ใส่เข็มขัดพยางหลัง	131
413 ราคายางและสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยางหลัง 1 ตัว	138
414 ค่าพลังงานที่ใช้ในการะบวนการผลิตแผ่นรองรับ	139

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงตัวอย่างเข็มขัดพยุงหลังที่มีขายตามร้านจำหน่ายวัสดุการแพทย์	3
1.2 เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากวัสดุแข็ง	4
1.3 เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากพลาสติก PE	5
1.4 เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากพลาสติก	5
1.5 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลัง	6
1.6 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบยางยึดทำด้วยยางธรรมชาติ	6
1.7 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังแบบเต็มลม	7
1.8 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังแบบเต็มลมและให้ความร้อน	8
1.9 เข็มขัดพยุงหลังที่ติดขั้วแม่เหล็กช่วยบรรเทาอาการปวดหลัง	8
1.10 เข็มขัดพยุงหลังที่มีการออกแบบให้แผ่นรองรับหลังสอดรับกับสรีระ	9
1.11 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังสำหรับใช้ขณะนอน	9
1.12 เข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับหลังแบบแถบมีส่วนเกาะยึดด้านหน้า สูงกว่าส่วนรองรับหลัง	10
1.13 เข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับแบบแถบ	11
1.14 เข็มขัดพยุงหลังแบบมีสายคล้องไหล่	11
1.15 ทำทางการเคลื่อนไหวที่ใช้ศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลัง	12
1.16 แสดงลักษณะท่าทางที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบเข็มขัดพยุงหลัง	13
1.17 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังในการทดลองของ Woldstad และ Sheman (1998)	14
1.18 ตำแหน่งในการติดตั้ง Electrogonometer และการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง ในการทดลองของ Thounie และคณะ (1998)	15
1.19 ลักษณะของเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในการทดลองของ Newcomer และคณะ (2001)	16
1.20 แสดงลักษณะการยกของในการทดลองของ Bobick และคณะ (2001)	17
1.21 ลักษณะของ LSO ในการทดสอบของ Cholewicki และคณะ (2010)	17
1.22 ผลของ LSO เมื่อทดสอบการใช้งาน	18
21 แสดงลักษณะคานแบบที่นิยมนำมาใช้งาน	21
22 แสดงลักษณะแรงที่กระทำต่อคาน	22
23 แสดงลักษณะแรงที่เกิดขึ้นภายในคาน	23

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
24	24
25	25
26	26
27	27
และตัวอย่างวงจรบริดจ์ที่ใช้งานร่วมกับเกจวัดความเครียด	
28	30
29	30
210	32
211	33
212	34
213	35
214	36
ที่มีท่าทางการทรงตัวขณะกำลังยกของ	
215	37
216	38
217	39
218	40
219	41
220	42
221	43
222	44
223	45
224	45
225	46
226	47
227	48
228	49
	(10)

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
229	50
230	52
231	56
232	59
233	59
236	60
31	66
32	63
33	64
34	65
35	66
36	67
37	68
38	71
39	73
310	74
311	76
312	77
313	78
314	78
315	80
316	80
317	81
318	81
319	82
320	82

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
32 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)	84
41 แสดงการวัดการยึดตัวของแถบยางยืดที่อยู่บนเข็มขัดพยุงหลัง	85
42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงกับระยะยืดที่เกิดขึ้นบนแถบยางยืดของเข็มขัดพยุงหลัง 4 แบบ	86
43 แสดงตำแหน่ง L5/S1 Disc และกล้ามเนื้อ erector spinae	88
44 การเคลื่อนไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์เมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง	88
45 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็กตัว S ในเข็มขัดพยุงหลังขณะเคลื่อนไหวท่ายกของ	89
46 แรงที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ erector spinae และเกิดขึ้นบน L5/S1 Disc ขณะยกของ	91
47 ผลแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ L5/S1 Disc ในการเคลื่อนไหวในท่ายกของ	92
48 แรงกระทำต่อกล้ามเนื้อ erector spinae และ L5/S1 Disc ที่ลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังขณะเคลื่อนไหวในท่ายก	94
49 ผลการทดลองเคลื่อนไหวในท่าดึงของ	96
410 ผลการทดลองเคลื่อนไหวในท่าดันของ	97
411 แสดงแบบจำลองหลังส่วนล่างแบบ 3 มิติจากกลุ่มตัวอย่างชาย 10 คน	99
412 แสดงแบบจำลองหลังส่วนล่างเทียบกับตำแหน่งของกระดูกสันหลัง	100
413 แสดงแบบจำลองทางกลศาสตร์ในการทำงานของกล้ามเนื้อลาย	103
414 แบบจำลองทางกลศาสตร์ของกล้ามเนื้อหลังเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางรองรับ	104
415 แสดงค่าความแข็งของยางคงรูปทั้ง 7 สูตรและสูตรยางที่ถูกเลือก	106
416 แสดงตำแหน่งของยางทั้ง 3 สูตรเทียบกับกลุ่มความแข็งที่ IRHD กำหนด	106
417 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่างยางคงรูป 3 สูตร	107
418 แสดงผลการทดสอบแรงกดของชิ้นตัวอย่างยางคงรูป 3 สูตร	109
419 แสดงลักษณะแผ่นยางรองรับที่ออกแบบเบื้องต้น	112
420 แสดงกล้ามเนื้อที่ตำแหน่ง L3 ด้วยภาพตัด	114
421 แสดงลักษณะแผ่นยางรองรับที่ออกแบบเสร็จแล้ว	114
422 แสดงรายละเอียดของแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านหลังมี 2Cavity	115
423 แสดงลักษณะแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านหลัง	116
424 แสดงรายละเอียดแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้าง	117
	(12)

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
425	แสดงรายละเอียดแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้าง	117
426	แบบจำลองทางกลศาสตร์ของกล้ามเนื้อหลังเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางรองรับ และแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์	118
427	แสดงแผ่นรองรับที่สร้างขึ้น	119
428	แสดงลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ของเข็มขัดพยุงหลังโดยทั่วไป	120
429	แสดงลักษณะและรูปร่างของเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบ	121
430	แสดงขนาดโดยภาพรวมของเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบ	122
431	แสดงเข็มขัดพยุงหลังรุ่นต่างๆ โดยเทียบความกว้างแถบยางยึดกับความกว้างของเข็มขัดพยุงหลัง	123
432	แสดงลักษณะและรูปร่างของเข็มขัดพยุงหลังที่ปรับปรุงแก้ไข	124
433	แสดงขนาดโดยภาพรวมของเข็มขัดพยุงหลังที่ปรับปรุงแก้ไข	125
434	แสดงเข็มขัดพยุงหลังที่ตัดเย็บเสร็จแล้ว	126
435	แสดงกลุ่มตัวอย่างที่ติด surface electrode และใส่เข็มขัดพยุงหลัง	127
436	แสดงสัญญาณ EMG ที่ผ่านการขยายและผ่านการแปลงสัญญาณทั้ง 3 ขั้นตอน	130
437	แสดงผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง 10 แบบ	131
438	แสดงตัวอย่างผลการวัด EMG ในการก้มยกของโดยใช้เวลา 15s	132
439	แสดงตัวอย่างผลการวัด EMG ในการก้มยกของโดยใช้เวลา 10s	133
440	แสดงตัวอย่างผลการวัด EMG ในการก้มยกของโดยใช้เวลา 8s	134
441	แสดงผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง 5 แบบ	135
442	แสดงผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้เข็มขัดพยุงหลัง	136

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

<i>A</i>	พื้นที่
<i>ACME</i>	เข็มขัดพยุงหลังแบบที่แถบรองรับทำจากพลาสติกยี่ห้อ ACME
<i>ADS</i>	Air Dried Sheet
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>b</i>	ความกว้าง
<i>BMI</i>	Body Mass Index
<i>BS1</i>	ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 1 (25N)
<i>BS2</i>	ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 2 (38N)
<i>c</i>	ระยะจาก Neutral surface ถึงผิวนอกสุด
<i>cm</i>	centimeter
<i>CBS</i>	n-cyclohexylbenzothiazole-2-sulpheramide
<i>CV</i>	constant viscosity
<i>d</i>	ระยะห่าง
<i>DEG</i>	diethylene glycol
<i>DPNR</i>	Deproteinized Natural Rubber
<i>DRC</i>	dry rubber content
e_0	แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจร
<i>E</i>	ค่า Young's modulus
<i>EP</i>	European Patent
<i>ENR</i>	Epoxidized Natural Rubber
<i>EMG</i>	Electromyography
<i>ESM</i>	erector spinae muscle
E_0	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจร
<i>F</i>	แรง
F_c	compressive force
F_s	shear force
<i>h</i>	ความสูง
<i>Hz</i>	hertz

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

in	inch
IRHD	International Rubber Hardness Degrees
I_x	Moment of inertia รอบแกน x
I_y	Moment of inertia รอบแกน y
k	ค่าความแข็งตึง (stiffness)
kg	kilogram
K_s	ค่าคงที่เฉพาะของเกจวัดความเครียด
L, l	ระยะความยาว
LBP	low back pain
LSO	Lumbosacral orthoses
L1, L2, L3...	lumbar vertebrae at 1, 2, 3...
L5/S1	หมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างกระดูก sacral ข้อที่ 1 กับกระดูก Lumbar ข้อที่ 5
mm	millimeter
M	moment
MBT	Mercaptoberzothiazole
MDR	Moving Die Rheometer
MgO	แมกนีเซียมออกไซด์
Mio P	เข็มขัดพยุงหลังแบบที่แถบรองรับทำจากพลาสติกยี่ห้อ MIO TECH รุ่น BACK SUPPORT
Mio S	เข็มขัดพยุงหลังที่แถบรองรับทำจากเหล็กยี่ห้อ MIO TECH รุ่น LS SUPPORT
MMH	Manual Materials Handling
Modified	เข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและตัดเย็บในงานวิจัยนี้
MVC	maximal voluntary contraction
no BS	ไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง
N	Newton
NR	natural rubber

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

<i>OENR</i>	Oil Extended Natural Rubber
<i>phr,pphr</i>	Part Per Hundred of Rubber
<i>pH</i>	power of Hydrogen ion
<i>P</i>	แรงกระทำแบบจุด
<i>PE</i>	พอลิเอททิลีน
<i>R</i>	ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน
<i>Rg</i>	ค่าความต้านทานของเกจวัดความเครียด
<i>RMS</i>	root meansquare
<i>RSS</i>	ribbed smoked sheet
<i>r²</i>	ค่าสหสัมพันธ์
<i>S</i>	Elastic section modulus
<i>S.D.</i>	standard derivative
<i>S-Hospital</i>	เข็มขัดพยางหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์
<i>STR</i>	Standard Thai Rubber
<i>SI</i>	sacumat 1
<i>TMQ</i>	2,2,4 Trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized
<i>TMDD</i>	Tetramethyl Thiuram Disulfide
<i>U.S.</i>	United States Patent
<i>W</i>	น้ำหนัก
<i>x</i>	ระยะในแนวแกน x
<i>y</i>	ระยะในแนวแกน y
<i>ZnO</i>	ซิงค์ออกไซด์
<i>s_x</i>	ความเค้นในแนวแกน x
<i>s_m</i>	ความเค้นสูงสุด
<i>e</i>	ความเครียด
<i>q</i>	มุม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อาการปวดหลังเป็นอาการที่สามารถเกิดขึ้นได้กับบุคคลทั่วไป โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งของชีวิตของบุคคลวัยทำงานและผู้สูงอายุ โดยโรคปวดหลังเป็นโรคที่พบได้บ่อยมากในเวชปฏิบัติ ซึ่งในทางการแพทย์ได้แบ่งสาเหตุของอาการปวดหลังส่วนล่างตามพยาธิสภาพกำเนิดไว้หลายสาเหตุ ได้แก่ การเสื่อมสภาพทางกลของอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่าง (**mechanical derangements**) การเกิดเนื้องอก (**tumors**) โรคเนื้อเยื่ออักเสบ (**inflammatory diseases**) ความพิการแต่กำเนิด (**congenital anomalies**) โรคทางเมตาบอลิก (**metabolic disease**) การติดเชื้อ (**infection**) และเกิดจากสภาพจิตใจ (**psychological**) เป็นต้น อาการปวดหลังอาจสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุสำคัญเพียง **1** หรือ **2** สาเหตุ แต่บางครั้งก็อาจเกิดจากหลายสาเหตุร่วมกัน โดยไม่สามารถชี้ชัดถึงสาเหตุที่แท้จริงได้ เมื่อพิจารณาถึงกลไกการเกิดพยาธิสภาพสามารถแบ่งได้ **3** ประการคือ

1) การกดรัดหรือหนีบไขสันหลังหรือรากประสาท (**spinal nerve root**) เช่นเกิดจากการโป่งยื่นของหมอนรองกระดูก (**prolapsed intervertebral disc**) หรือภาวะ **Spinal stenosis**

2) สารเคมีที่เกิดจากการสลายตัวของหมอนรองกระดูก ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อรากประสาท

3) กระดูกสันหลังไม่มั่นคงแข็งแรง (**spinal instability**) ทำให้ผู้ป่วยมีอาการเจ็บปวดทุกครั้งเมื่อมีการเคลื่อนไหวกระดูกสันหลังส่วนดังกล่าว

จากสาเหตุข้างต้นของอาการปวดหลังส่วนล่างที่พบบ่อยที่สุดจะอยู่ในกลุ่มของการเสื่อมสภาพทางกล (**mechanical derangement**) โดยเฉพาะกลุ่มการบาดเจ็บในส่วนของเนื้อเยื่อ (**lumbar strain**) โดยเกิดจากการใช้หลังส่วนล่างในลักษณะที่ไม่ถูกต้อง อาการปวดหลังส่วนล่างได้สร้างความรำคาญให้กับผู้ป่วย เนื่องจากไม่สามารถทำงานหรือเคลื่อนไหวในท่าทางที่ต้องอาศัยกล้ามเนื้อและกระดูกหลังส่วนล่างได้อย่างสะดวกซึ่งอยู่บริเวณเอวตั้งแต่กระดูกสันหลังข้อที่ **L1** ถึง **S1** อาการปวดหลังมักเป็นอาการเรื้อรัง หากไม่ได้รับการรักษาหรือปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเคลื่อนไหวอย่างถูกต้อง ก็อาจทำให้อาการปวดหลังทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น แนวทางการรักษาผู้ป่วยโรคปวดหลังส่วนล่างมี **2** วิธีคือ

1) การรักษาโดยวิธีอนุรักษ์นิยม เป็นวิธีที่ใช้กับผู้ป่วยในกลุ่มที่อาการไม่รุนแรง โดยมีวิธีการเช่น การให้นอนพัก การใช้ยา การนวดเข้าช่องรอบเยื่อหุ้มไขสันหลัง (**epidural steroid**

injection) การให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลหลัง การรักษาทางกายภาพบำบัด และการใช้เข็มขัดพยุงหลัง โดยการรักษาให้ได้ผลดีส่วนใหญ่มาจากการรักษาวิธีอนุรักษ์นิยม (นิรันดร์. 2527)

2) การผ่าตัด เป็นวิธีสุดท้ายในการรักษาโรคปวดหลัง ซึ่งเมื่อทำการผ่าตัดแล้วก็ต้องอาศัยแนวทางแรกในการรักษาควบคู่กันไป

โดยผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังจากการทำงาน ยกของหนัก การเคลื่อนไหวผิดจังหวะ หรือได้รับอุบัติเหตุ จนต้องเข้ารับการผ่าตัด เมื่ออยู่ในระยะพักฟื้นแพทย์มักแนะนำให้ใช้เข็มขัดพยุงหลังเพื่อช่วยประคองแผ่นหลัง ซึ่งช่วยให้อกกล้ามเนื้อหลังที่อ่อนแรงลงไปหลังผ่าตัดได้ฟื้นตัว เข็มขัดพยุงหลังจะช่วยลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหว และสามารถลดความปวดหรือลดโอกาสที่อาจจะเกิดการบาดเจ็บซ้ำได้ เนื่องจากการใส่เข็มขัดพยุงหลังมีผลให้อกกล้ามเนื้อบริเวณแผ่นหลังกระชับขึ้น และกระตุ้นการทำงานของเส้นประสาทที่รับความรู้สึกอื่นๆ นอกจากเส้นประสาทรับความเจ็บปวด ทำให้ผู้ใส่มีอาการปวดลดลง (นิรันดร์. 2527)

เข็มขัดพยุงหลังโดยทั่วไปมักทำมาจากผ้ายืด หรือไนลอน มีลักษณะเหมือนกับเข็มขัดเส้นใหญ่ ส่วนกว้างที่สุดของเข็มขัดจะอยู่ด้านหลังของผู้สวมใส่ เวลาสวมใส่จะต้องให้แนวกึ่งกลางของเข็มขัดอยู่ตรงกับบริเวณแนวสันหลังพอดี ความตึงของการสวมใส่สามารถปรับได้จากแถบยึดหรือตัวรัดด้านหน้า บางชนิดอาจมีสายคล้องไหล่ดังรูปที่ 1.1 (ค) ส่วนวัสดุที่สำคัญที่ช่วยพยุงกล้ามเนื้อและแนวสันหลังในเข็มขัดพยุงหลังคือ แถบพลาสติกแข็ง หรือแถบโลหะ โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นแถบแบนกว้าง **1 - 2 cm** ยาวประมาณ **20-25 cm** อาจมีประมาณ **2- 6** แถบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ หากเป็นแถบโลหะจะถูกตัดให้มีความโค้งสอดรับกับแนวโค้งของหลัง จากความแข็งของโลหะทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะทำให้ผู้สวมใส่เคลื่อนไหวได้อย่างสะดวก ในขณะที่ต้องการรักษาหน้าท้องที่ช่วยประคองแผ่นหลังส่วนล่าง และมักทำให้ผู้สวมใส่เกิดความไม่สบายเนื่องจากมีการกดของแถบวัสดุ หากเป็นแถบพลาสติกจะปรับโค้งได้เองตามแนวโค้งของหลังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงได้น้อย

ดังนั้นหากมีการศึกษาเพื่อออกแบบรูปร่าง ขนาด และหาตำแหน่งติดตั้งที่แถบวัสดุที่มีความยืดหยุ่นที่เหมาะสมสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง ก็จะช่วยให้ผู้ป่วยหรือผู้สวมใส่เข็มขัดพยุงหลังใส่ได้อย่างสบายและไม่อึดอัดแต่ยังคงรักษาหน้าท้องของผู้สวมใส่ไว้ได้ วัสดุอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังได้ คือ ยาง แต่แผ่นยางที่นำมาใช้เป็นแผ่นรองรับ จะต้องมีความสมบัติด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่นที่เหมาะสม และมีความทนทานต่อการใช้งาน ปัจจุบันเข็มขัดพยุงหลังที่มีขายตามท้องตลาดเป็นอุปกรณ์ที่แพทย์แนะนำให้ผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังใช้ ยังคงใช้แถบพลาสติกแข็งหรือแถบโลหะอยู่ ส่วนในต่างประเทศได้มีการนำยาง

สังเคราะห์มาใช้เป็นแผ่นรองรับแต่ยังไม่ได้มีการนำยางธรรมชาติมาใช้แม้ว่ามีการนำยางสังเคราะห์มาใช้ในผลิตภัณฑ์สวมใส่เพื่อกระชับสัดส่วน แต่ก็ไม่ได้มีวัตถุประสงค์การใช้งานเช่นเดียวกับเข็มขัดพยุงหลัง ทั้งนี้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในประเทศไทย ดังนั้นหากมีการศึกษาการนำยางธรรมชาติซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่นมาใช้ทำวัสดุรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง ก็เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติอีกทางหนึ่ง



(ก) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบโลหะ
MIO TECH รุ่น LS SUPPORT size M



(ข) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบพลาสติก
ACME size L



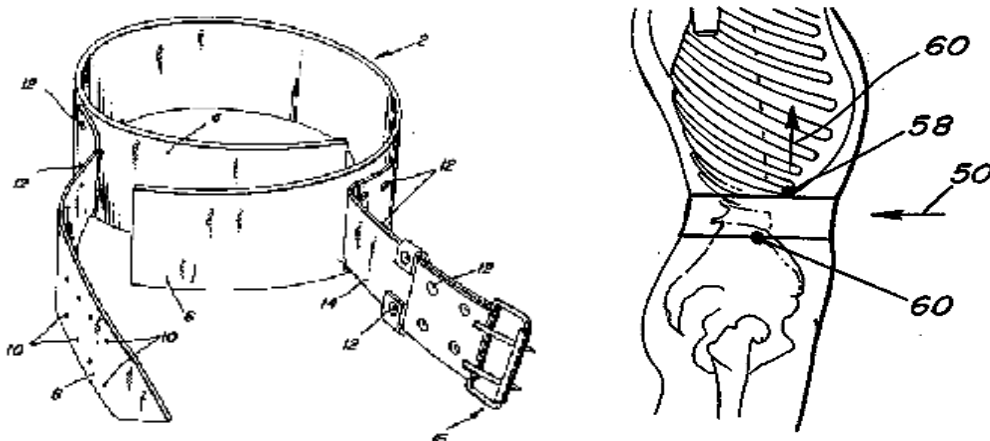
(ค) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบพลาสติก
มีสายคล้องไหล่ **MIO TECH** รุ่น
BACK SUPPORT size M

รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างเข็มขัดพยุงหลังที่มีขายตามร้านจำหน่ายวัสดุการแพทย์

1.2 การตรวจเอกสาร

1.21 การตรวจสิทธิบัตร

จากการสืบค้นสิทธิบัตรพบว่าเข็มขัดพยุงหลัง ได้มีการออกแบบและใช้งานมาเป็นเวลานานแล้วแต่อาจใช้ชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามแต่ผู้ออกแบบหรือผู้คิดค้นจะเห็นว่าเหมาะสม เช่น เข็มขัดพยุงเอว เข็มขัดคอกของ และเข็มขัดพยุงหลัง เป็นต้น เข็มขัดพยุงหลังแต่ละแบบมีลักษณะและใช้วัสดุที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การออกแบบ แต่เข็มขัดทุกแบบอาศัยหลักการเดียวกันคือ การจำกัดการเคลื่อนไหวของลำตัวบริเวณหลังส่วนล่างหรือเอว จากหลักการดังกล่าวนำไปสู่ลักษณะโดยทั่วไปของเข็มขัดพยุงหลังคือ มีลักษณะคล้ายกับเข็มขัดทั่วไปแต่ส่วนที่แนบกับลำตัวบริเวณเอว มีความกว้างมากกว่า ดังรูปที่ 1.2 เข็มขัดพยุงหลัง โดยส่วนใหญ่จะมีแถบรองรับอยู่บริเวณด้านหลังของลำตัวผู้สวมใส่ แถบรองรับนี้จะทำจากวัสดุหลายประเภทด้วยกันทั้งที่เป็น โลหะซึ่งมีความแข็งแรงมากหรือพลาสติกในกลุ่มพอลิเอทิลีน ไปจนถึงวัสดุที่มีความยืดหยุ่นในกลุ่มของยางสังเคราะห์



(ก) เข็มขัดพยุงหลัง

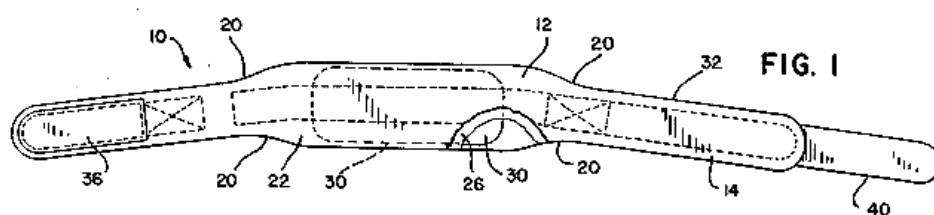
(ข) ตำแหน่งการสวมใส่

รูปที่ 1.2 เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากวัสดุแข็ง

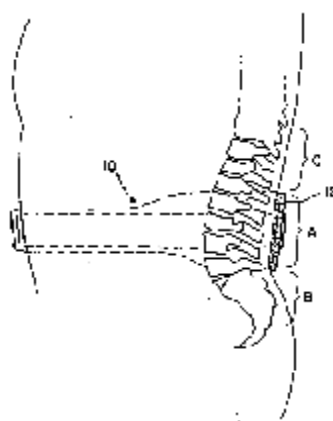
(U.S. 4545,370 1985)

เข็มขัดพยุงหลังที่ได้จดสิทธิบัตรที่เก่าที่สุดเท่าที่สืบค้นเจออยู่ในปี ค.ศ. 1985 โดยใช้ชื่อว่า **Kinetic Back Support Belt** ดังรูปที่ 1.2 เป็นเข็มขัดที่ทำจากวัสดุแข็งซึ่งให้ตัวได้น้อย มีความกว้างของส่วนรองรับประมาณ $3\frac{1}{2}$ in ถึง 6 in (หรือประมาณ 9 cm ถึง 15.5 cm) อาศัยการจำกัดการเคลื่อนไหวของลำตัวของผู้สวมใส่เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นกับหลังส่วนล่าง ทำให้แรงกดกระจายตัวบนเข็มขัดอันเกิดจากการรัดของเข็มขัดช่วยให้ผู้ที่สวมใส่เคลื่อนไหวอยู่ในท่าที่เหมาะสม ทำให้สามารถป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นกับหลังส่วนล่างได้ ปัจจุบันพบเห็นการ

ใช้งานเข็มขัดลักษณะนี้ได้ในกลุ่มนักกีฬาขน้ำหนัก ในรูปที่ 1.3 เป็นเข็มขัดที่จดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1991 ใช้วัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่างกันทั้งวัสดุที่ให้ตัวได้และวัสดุที่ไม่สามารถให้ตัวได้อีกทั้งยังมีแผ่นรองรับที่อยู่ในแนวกระดูกสันหลังที่ทำจากพอลิเอททีลีน เข็มขัดพุงหลังได้ถูกปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนบางรูปแบบมีขนาดของแผ่นรองรับจะมีขนาดใหญ่ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1.4 และมีการเพิ่มสายคล้องไหล่เป็นส่วนเสริมเข้าไปดังรูปที่ 1.5(ก)

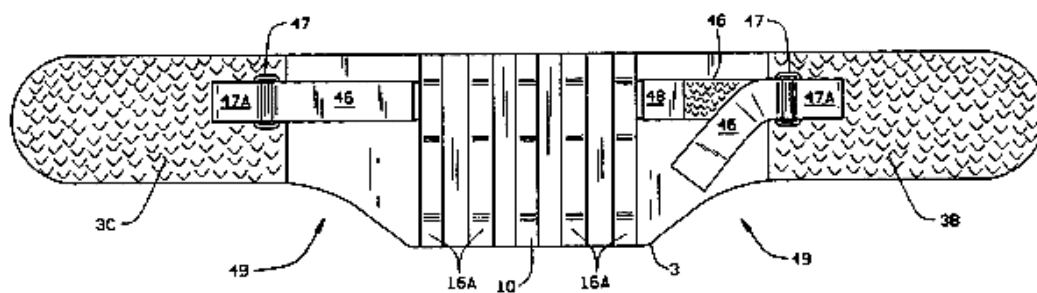


(ก) เข็มขัดพุงหลัง

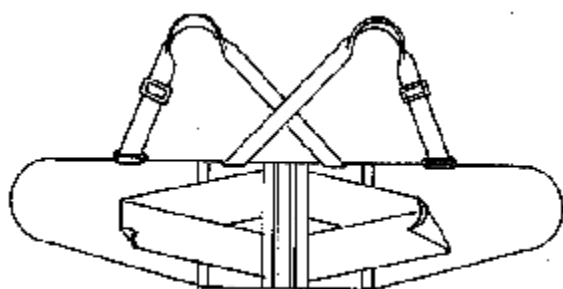


(ข) ตำแหน่งการสวมใส่

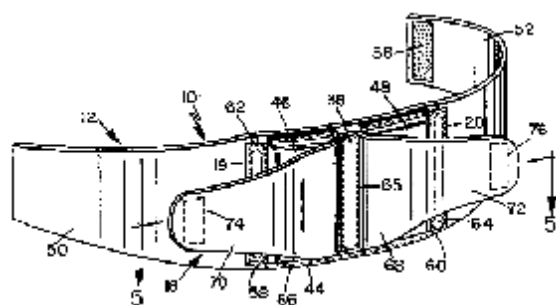
รูปที่ 1.3 เข็มขัดพุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากพลาสติก PE
(U.S. 5,046,488 1991)



รูปที่ 1.4 เข็มขัดพุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากพลาสติก
(U.S. 5,548,843 1996)



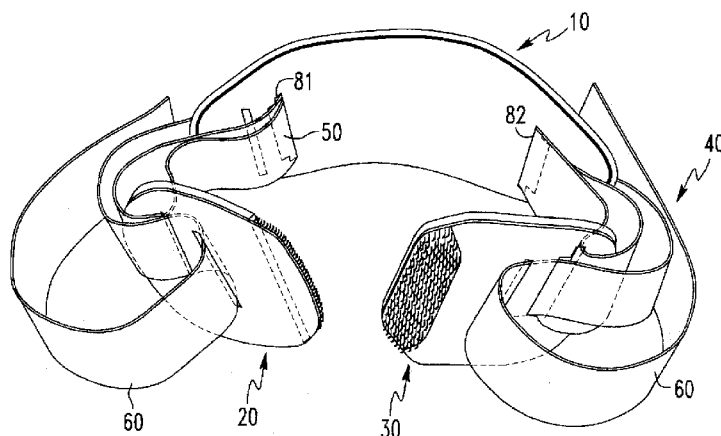
(ก) เข็มขัดพวงหลังมีสายคล้องไหล่
(U.S. 5,598,583, 1997)



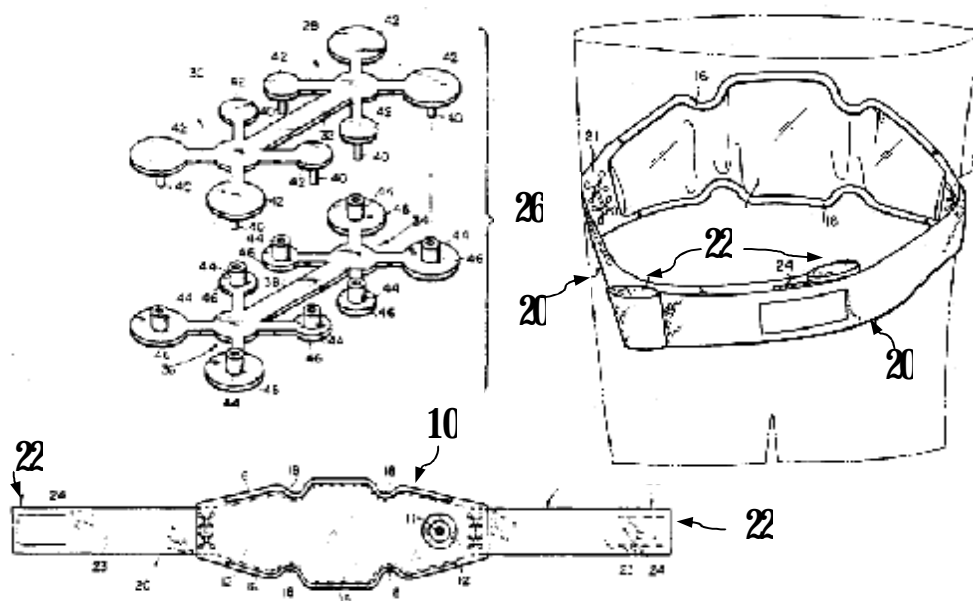
(ข) เข็มขัดพวงหลังไม่มีสายคล้องไหล่
(U.S. 5,551,085, 1996)

รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะเข็มขัดพวงหลัง

จากรูปที่ 1.5 เป็นลักษณะของเข็มขัดพวงหลังที่ได้จดสิทธิบัตรไว้ในปี ค.ศ. 1996 และ 1997 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีสายคล้องไหล่และไม่มีสายคล้องไหล่ ซึ่งคล้ายคลึงกับเข็มขัดพวงหลังที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ มีแผ่นรองรับยึดติดกับผ้ายึดเป็นตัวเข็มขัดและมีแถบยางยึดทำหน้าที่เพิ่มความกระชับในการสวมใส่อีกส่วนหนึ่ง เช่นเดียวกันในรูปที่ 1.6 ซึ่งแบ่งระหว่างส่วนรองรับกับแถบยางยึดอย่างชัดเจน โดยแถบยางยึดด้านข้างทั้งสองเท่านั้นทำด้วยยางธรรมชาติ มีหน้าที่สร้างความกระชับในการสวมใส่สำหรับขนาดรอบเอวที่ต่างกัน และชิ้นส่วนหมายเลข 10 เป็นแผ่นรองรับที่ทำด้วยพลาสติกขึ้นรูป

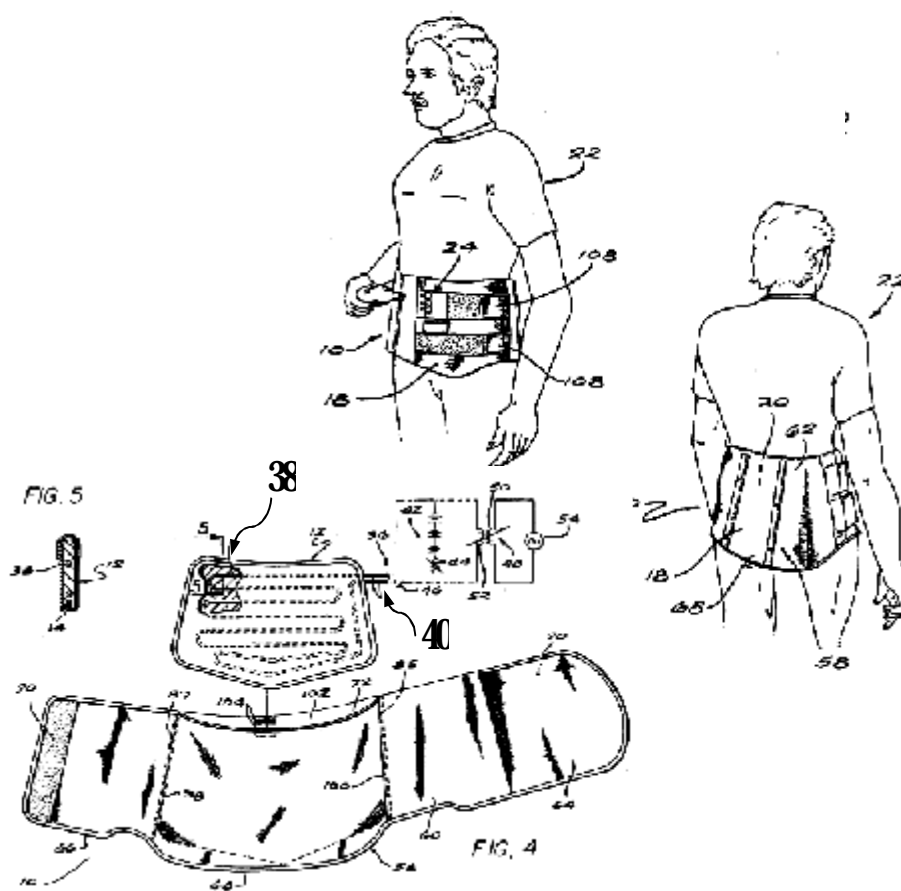


รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะเข็มขัดพวงหลังที่มีแถบยางยึดทำด้วยยางธรรมชาติ
(US 5,690,609, 1997)

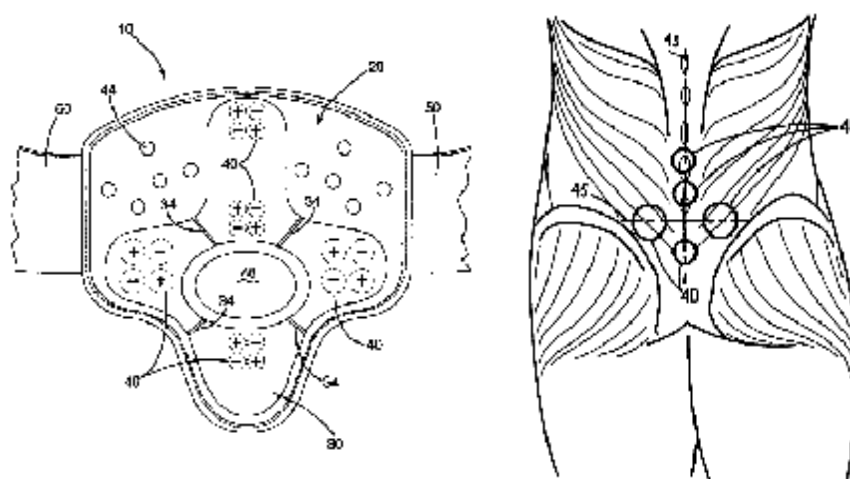


รูปที่ 1.7 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังแบบเดิมลม (U.S. 5111,807,1992)

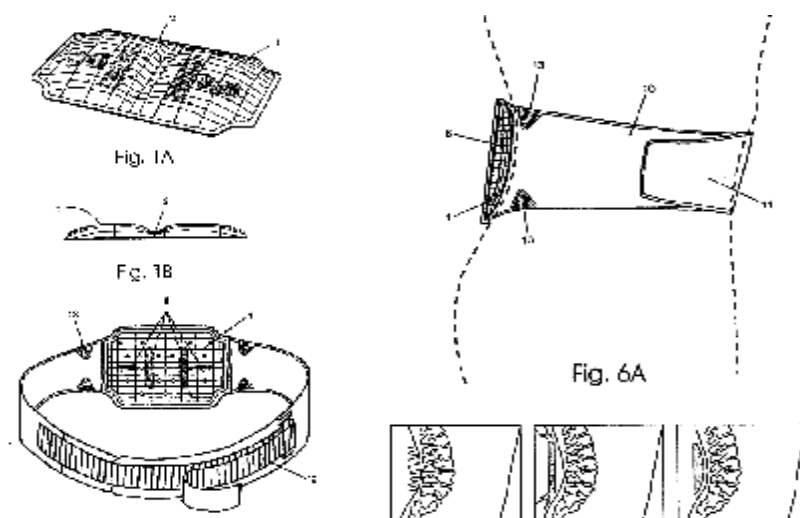
นอกเหนือจากเข็มขัดที่มีแถบรองรับหรือแผ่นรองรับที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีการนำอากาศมาใส่ในวัสดุที่ให้ตัวได้เพื่อใช้เป็นส่วนรองรับหลังดังรูปที่ 1.7 เป็นเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้การเติมอากาศเข้าไปเพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนรองรับด้านหลัง และสามารถถอดหรือต่อกับสายรัดได้ด้วยชุดเชื่อมต่อหมายเลข 26 ส่วนที่ทำหน้าที่รองรับหลังคือหมายเลข 10 เมื่อเติมลมเข้าไปตรงตำแหน่งหมายเลข 11 ผิววัสดุบริเวณหมายเลข 14 จะพองตัวและจะแนบกับแผ่นหลัง หมายเลข 20 คือสายรัดที่ใช้รัดกับหน้าท้องซึ่งสามารถปรับความตึงในการรัดได้จากการเลื่อนตำแหน่งของหมายเลข 22 ในรูปที่ 1.8 เป็นเข็มขัดพยุงหลังอีกแบบที่ใช้การใส่อากาศเข้าไปเพื่อทำหน้าที่ในการรองรับหลัง นอกจากนั้นยังมีการให้ความร้อนร่วมด้วย โดยภายในมีเจลช่วยให้เกิดการกระจายความร้อนได้ดีขึ้น ในทางการแพทย์ถือว่าความร้อนสามารถทำให้เลือดไหลเวียนได้ดีและช่วยรักษาอาการปวดเจ็บที่เกิดกับกล้ามเนื้อได้ หมายเลข 40 เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับจ่ายไฟฟ้าเพื่อสร้างความร้อน และหมายเลข 38 เป็นขดลวดสร้างความร้อนซึ่งขดไปมาภายในเข็มขัดบริเวณตำแหน่งของแผ่นหลัง ในรูปที่ 1.9 เป็นเข็มขัดพยุงหลังที่ติดตั้งขั้วแม่เหล็กในแผ่นรอง และบรรจุเจลที่สามารถให้เกิดความร้อนเพื่อบรรเทาอาการปวดหลังไว้ภายใน จะเห็นได้ว่าเข็มขัดพยุงหลังนี้มุ่งเน้นการรักษาและบรรเทาอาการปวดหลังสำหรับผู้ป่วยมากกว่าการป้องกันกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลัง



รูปที่ 1.8 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังแบบเต็มลมและให้ความร้อน
(U.S. 4,993,409, 1991)

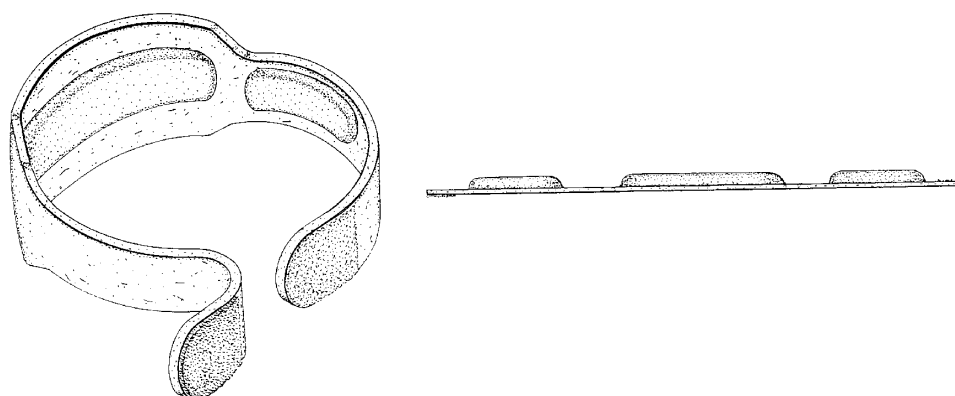


รูปที่ 1.9 เข็มขัดพยุงหลังที่ติดขั้วแม่เหล็กช่วยบรรเทาอาการปวดหลัง
(US 6,623,419, 2009)



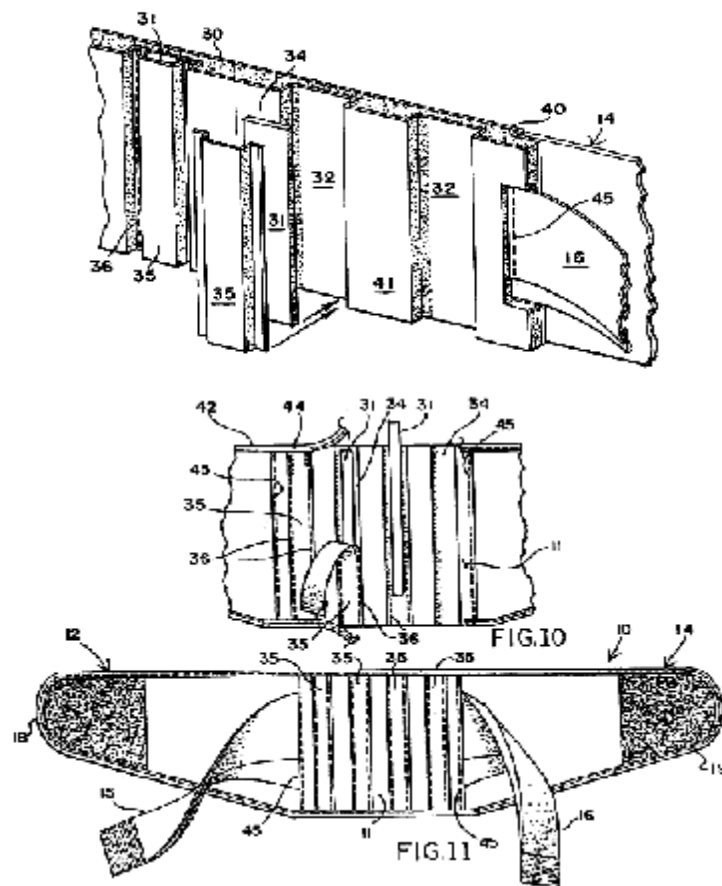
รูปที่ 1.10 เข็มขัดพยุงหลังที่มีการออกแบบให้แผ่นรองรับหลังสอดรับกับสรีระ และเพิ่มแถบแม่เหล็ก (EPI452155, 2004)

รูปที่ 1.10 เป็นเข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับหลังสอดรับกับแนวกระดูกสันหลัง และสรีระของแผ่นหลัง (**orthopaedic pad**) และเสริมด้วยแถบแม่เหล็กเพื่อเพิ่มผลทางการรักษา อาการปวดหลัง ภายในแผ่นรองรับหลังทำด้วยโฟมชนิดความหนาแน่นสูงที่ขึ้นรูปโดยการฉีด โฟม เข้ากับแม่พิมพ์ ข้อดีของแผ่นรองรับหลังแบบนี้คือการออกแบบให้แผ่นรองรับหลังและ โฟมภายใน มีรูปร่างที่สอดรับกับสรีระเพื่อรักษาแนวสันหลังให้อยู่ในลักษณะที่ถูกต้องตลอดเวลาขณะสวมใส่ นอกจากเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบมาเพื่อใช้ขณะดำเนินชีวิตประจำวันแล้วก็ยังมีเข็มขัดพยุงหลังที่ ใช้ในขณะนอนซึ่งได้จดสิทธิบัตรเอาไว้ดังรูปที่ 1.11 ซึ่งจะมีส่วนรองรับยื่นออกมา 3 ส่วนจากตัว เข็มขัดคือ ด้านหลัง และด้านข้างทั้งซ้ายและขวาเพื่อรองรับส่วนเว้าของร่างกายบริเวณแนว กระดูกสันหลังอยู่ในแนวที่ถูกต้องในขณะนอนหลับ



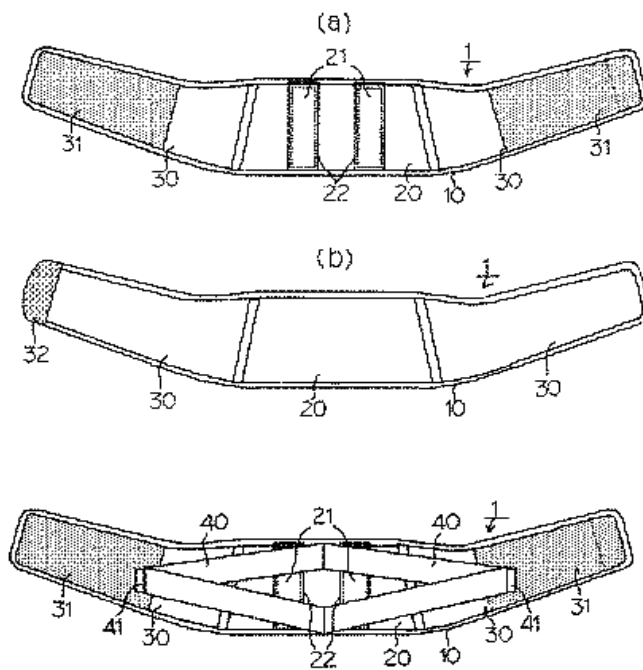
รูปที่ 1.11 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังสำหรับใช้ขณะนอน (U.S. D550,847S)

โดยการทั่วไปแล้วเข็มขัดพยุงหลังส่วนใหญ่มักใช้วัสดุรองรับหลังเป็นแถบ มีทั้งแบบที่บรรจุซ้อนอยู่ในช่องว่างปิดปลายทั้งสองด้านและแบบที่เป็นแถบสามารถถอดออกได้ ในรูปที่ **1.12** วัสดุรองรับของเข็มขัดพยุงหลังแบบแถบหมายเลข **3** ทำด้วยพลาสติกขึ้นรูปจำพวกพอลิโเอเลฟิน (ภายใต้ชื่อการค้า **VOLARA**) ในขณะที่เข็มขัดพยุงหลังในรูปที่ **1.13** มีวัสดุรองรับหลังแบบแถบที่ทำด้วยพอลิแลคติก แอซิด เรซิน โดยมีลักษณะการออกแบบให้ส่วนเกาะยึดกระชับด้านหน้าอยู่สูงกว่าส่วนรองรับหลังและมีสายยางยึดสำหรับรั้งให้เข็มขัดกระชับเพื่อช่วยการรัดแผ่นหลังให้มีความกระชับ

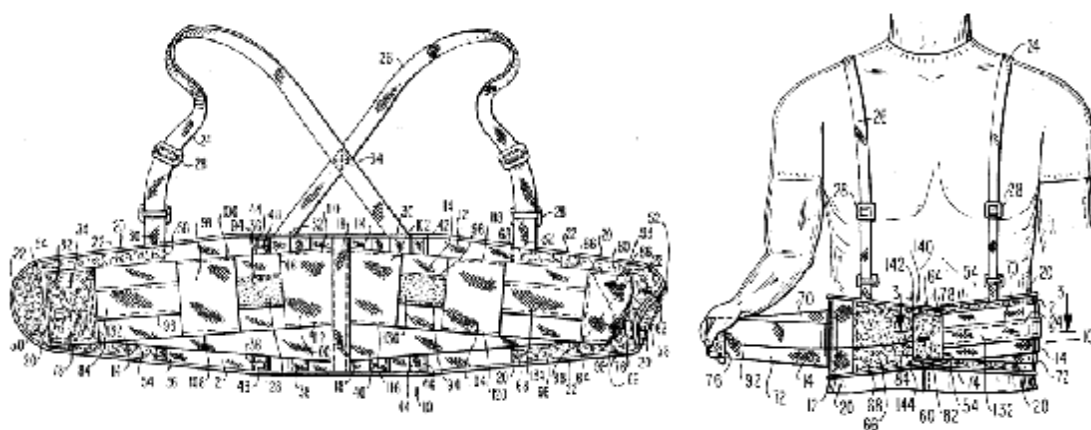


รูปที่ **1.12** เข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับหลังแบบแถบ (US 6419652, 2002)

เข็มขัดพยุงหลัง โดยทั่วไปที่ผลิตเพื่อเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาล และมีจำหน่ายตามร้านจำหน่ายอุปกรณ์การแพทย์ในประเทศไทย มักมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ **1.12** และรูปที่ **1.13** โดยแผ่นรองรับหลังมีลักษณะเป็นแถบ และอาจมีสายคล้องไหล่เพิ่มเข้ามาเพื่อช่วยเสริมการรับแรงพุงของแผ่นหลังดังรูปที่ **1.14**



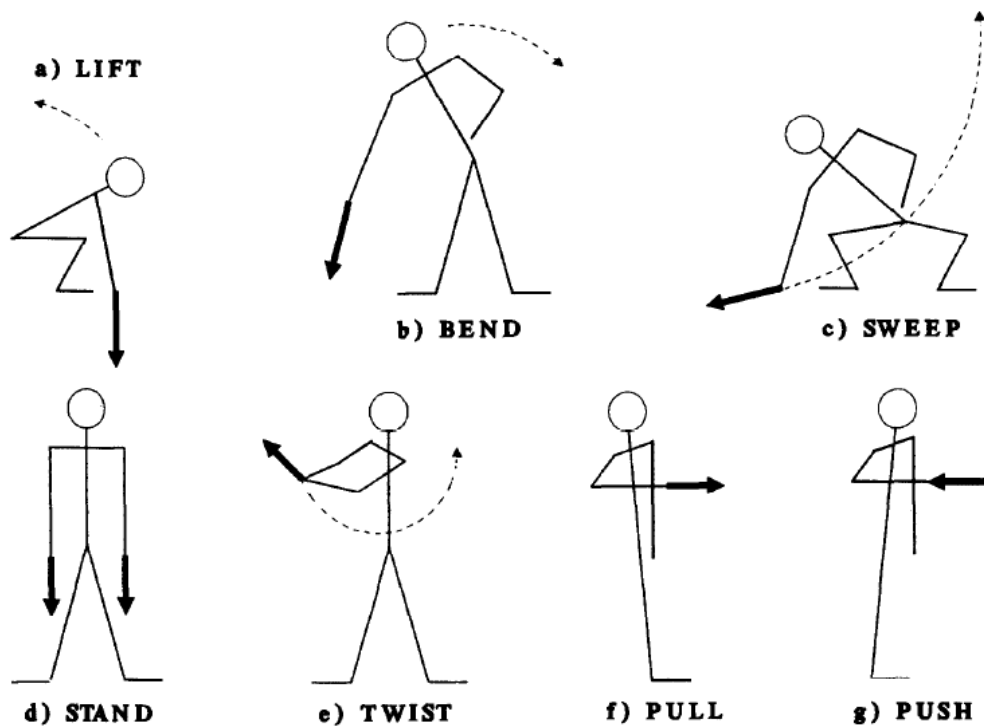
รูปที่ 1.13 เข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับแบบแถบ
มีส่วนเกาะยึดด้านหน้าสูงกว่าส่วนรองรับหลัง (JP2005253831, 2005)



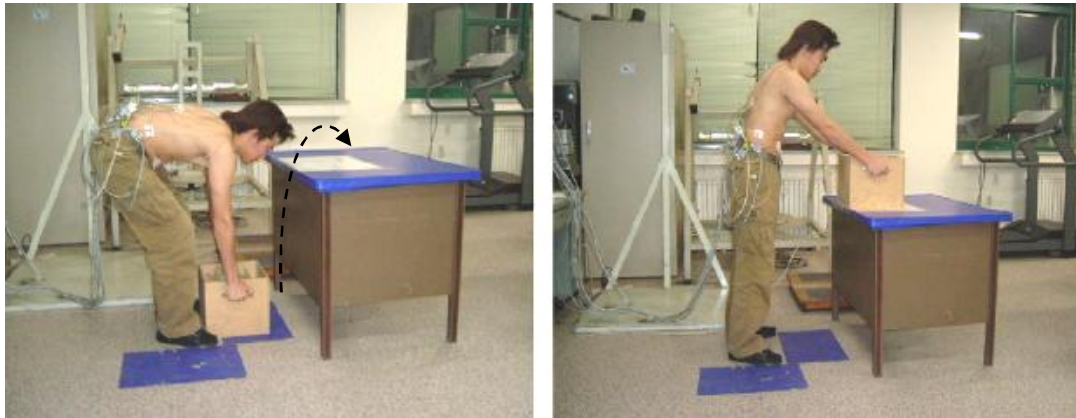
รูปที่ 1.14 เข็มขัดพยุงหลังแบบมีสายคล้องไหล่
และส่วนเกาะยึดปรับความกระชับได้ตามแถบสี (US 5,503,620, 1996)

1.22 การตรวจบทความ

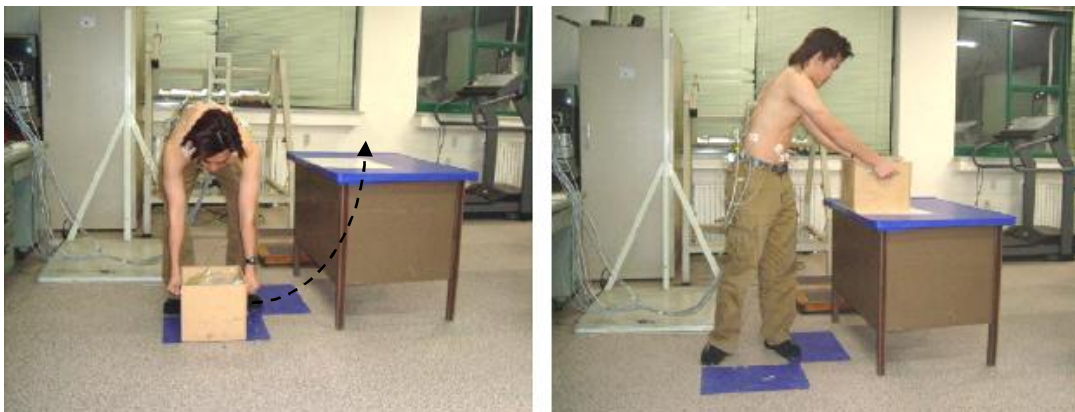
ในขณะที่เข็มขัดพยุงหลังได้มีการออกแบบและจดสิทธิบัตรอย่างต่อเนื่องนำไปสู่การใช้งานอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ก็ยังมีการศึกษาวิจัยและทดสอบถึงผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อผู้สวมใส่ โดยมีแนวทางการทดสอบและประเมินผลการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น การประเมินทางชีวกลศาสตร์ การประเมินการทำงานของกล้ามเนื้อ การประเมินความถี่ในการหายใจ หรือการประเมินหลายองค์ประกอบร่วมกัน เช่น การเต้นของหัวใจ การเผาผลาญออกซิเจน และแรงดันเลือด นอกจากนี้ยังมีการประเมินด้วยวิธีทางการแพทย์อีกหลายวิธี โดยทั่วไปการทดสอบผลของเข็มขัดพยุงหลังจะควบคุมให้กลุ่มตัวอย่างเคลื่อนไหวในท่าทางที่กำหนดดังตัวอย่างในรูปที่ 1.15 แต่ท่าที่มักจะนำมาใช้บ่อย คือ ท่ายกของขึ้นจากพื้น และท่าดังกล่าวยังถูกแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การยกแบบสมมาตร (**symmetric**) และการยกแบบไม่สมมาตร (**asymmetric**) ดังแสดงในรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.15 ท่าทางการเคลื่อนไหวที่ใช้ศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลัง
(Cholewicki และ McGill, 1996)



(ก) การยกแบบสมมาตร (symmetric)



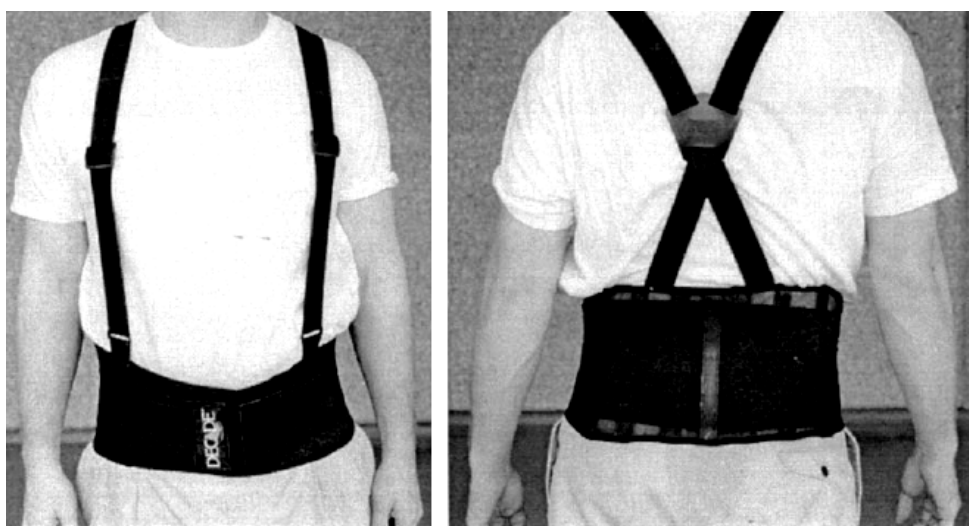
(ข) การยกแบบไม่สมมาตร (asymmetric)

รูปที่ 1.16 แสดงลักษณะท่าทางที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบเข็มขัดพยุงหลัง
(Shinet al., 2007)

จากรูปที่ 1.6 จะเห็นได้ว่าท่าทางการเคลื่อนไหวดังกล่าวมีการก้มและการโค้งตัวมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มนำท่าทางดังกล่าวมาใช้ในการทดสอบเข็มขัดพยุงหลังและประเมินผล หากพิจารณาในเรื่องของการรับแรงของอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่างจะมีอวัยวะที่เกี่ยวข้อง 3 กลุ่มคือ กล้ามเนื้อ กระดูกสันหลัง และหมอนรองกระดูกสันหลัง แม้กระดูกหลังจะเป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงแต่เป็นอวัยวะที่แข็งแรงที่สุดจึงมีความเสี่ยงที่จะบาดเจ็บจากการรับแรงน้อยที่สุด ในงานวิจัยส่วนใหญ่จึงมักประเมินการบาดเจ็บที่เกิดกับหมอนรองกระดูกสันหลังและกล้ามเนื้อ โดยความเสี่ยงที่มีการมุ่งเป้าในการศึกษามากที่สุดคือการบาดเจ็บที่จะเกิดกับหมอนรองกระดูกสันหลังตั้งแต่ L5/S1 ไปจนถึง L4/L5 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกสันหลังในช่วงเอว (lumbal) ในส่วนของกล้ามเนื้อมักมุ่งเน้นถึงความสามารถของเข็มขัดพยุงหลังในการลดการทำงานของ

กล้ามเนื้อบริเวณดังกล่าว ซึ่งส่วนใหญ่ประเมินจากเป็นการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ผลการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งประเด็นไปยังผลของการบรรเทาอาการปวดและการป้องกันการปวดหลังในผู้ป่วยหรือในผู้ที่มิชอบับุบัติการณ์ปวดหลังจากการทำงาน (Chiu et al, 2000) (Annenblich et al, 2005) โดย Magnusson และคณะ (1996) พบว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถลดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของหลังได้ แสดงให้เห็นถึงการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง และยังสามารถลดการลดลงของความสูง ซึ่งอาจบอกได้อีกนัยหนึ่งว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถลดแรงกดในแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักของร่างกายตอนบนและจากการยกได้ โดยปกติกระดูกสันหลังช่วงเอว จะมีความสำคัญต่อการถ่ายโอนแรงกดและแรงเฉือนที่มาจากร่างกายส่วนบนซึ่งเกิดจากกิจวัตรประจำวัน และมีการทำงานร่วมกันระหว่างกระดูก กล้ามเนื้อ เอ็น และเนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าว ซึ่งลักษณะที่มีความเสี่ยงต่อการมีแรงกดและโมเมนต์สูง คือ การยกของที่วางอยู่บนพื้น การลดการทำงานของกล้ามเนื้อ หมายถึงการลดแรงดึงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดแรงกดที่จะเกิดขึ้นกับหมอนรองกระดูกสันหลัง

Woldstad และ Sherman (1998) ได้ศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อท่าทาง ความแข็งแรง และแรงกดที่เกิดขึ้นบนหมอนรองกระดูกสันหลัง L3/L4 ในขณะที่ยกของแบบ สมมาตรและไม่สมมาตรโดยใช้หลักการทางชีวกลศาสตร์เชิงสถิตแบบ 3 มิติ พบว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถลดแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L3/L4 จาก 3125 N เหลือ 2840 N หรือลดลงประมาณ 9% รูปที่ 1.17 ได้แสดงลักษณะของเข็มขัดพยุงหลังที่ Woldstad และ Sherman (1998) ใช้ในการทดสอบ

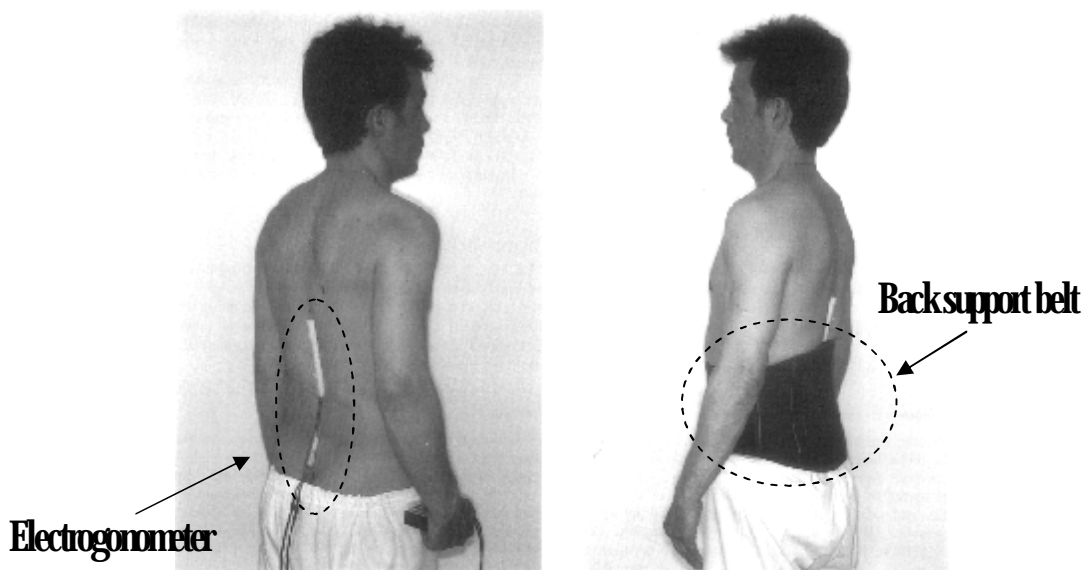


(ก) ภาพด้านหน้า

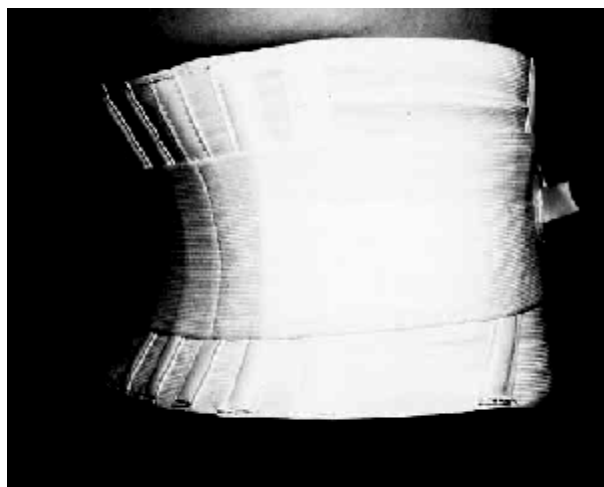
(ข) ภาพด้านหลัง

รูปที่ 1.17 แสดงลักษณะเข็มขัดพยุงหลังในการทดลองของ Woldstad และ Sherman (1998)

มีการศึกษาผลของท่าทางและการเคลื่อนไหวเมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง โดย **Thounie** และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลของการใส่เข็มขัดพยุงหลังซึ่งมีผลเชื่อมโยงไปสู่การลดการบาดเจ็บได้ ผลการศึกษาพบว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถจำกัดขอบเขตการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลังส่วนเอวได้ 17% โดยวัดจากเครื่องวัดมุมและการเคลื่อนไหวแบบติดตัว (**electrogonometer**) และลดได้ถึง 22% เมื่อมีการเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง จากการใช้เครื่องวัดมุมและการเคลื่อนไหวแบบติดตัว และจากการ **X-ray** ให้ผลไปในทางเดียวกัน ซึ่งชี้ชัดว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถจำกัดการเคลื่อนไหวได้ ลักษณะเข็มขัดพยุงหลังและตำแหน่งการติดตั้ง **electrogonometer** ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.18 ในขณะที่ **Newcomer** และคณะ (2001) ศึกษาการเคลื่อนไหวของมนุษย์ในการคืนกลับตำแหน่งเดิม (**repositioning**) พบว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถปรับท่าทางการคืนกลับตำแหน่งเดิมได้ดีหลังจากก้มตัวไปด้านหน้า แอ่นหลัง เอียงซ้ายและเอียงขวา การคืนตำแหน่งเดิมของลำตัวทั้งผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บหลังส่วนล่างและบุคคลปกติจะดีขึ้นเมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง เข็มขัดพยุงหลังก็ยังทำหน้าที่ดังกล่าวได้ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อใส่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ลักษณะของเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.18 ตำแหน่งในการติดตั้ง **Electrogonometer** และการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังในการทดลองของ **Thounie** และคณะ (1998)



รูปที่ 1.19 ลักษณะของเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้สวมใส่ในการทดลองของ **Newcomer** และคณะ (2001)

นอกจากมีการศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลังต่อลักษณะทางกายภาพและท่าทางการเคลื่อนไหวแล้ว **Bobick** และคณะ (2001) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบภายในร่างกาย เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ การเผาผลาญออกซิเจน แรงดันเลือด **systolic** และ **diastolic** และความถี่ในการหายใจที่เกิดจากการยกของในขณะที่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 30 คน เคลื่อนไหวแบบไม่สมมาตรดังรูปที่ 1.20 ยกกล่องขนาด 94kg ขึ้นจากพื้น พบว่ามีเพียงความถี่ในการหายใจที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น ในปัจจุบันเข็มขัดพยุงหลังมีที่ใช้กันหลายรูปแบบ **Granata** และคณะ (1997) ได้สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เข็มขัดพยุงหลังประเภทต่างๆ 3 แบบ คือ **Nylon Elastic belt**, **Leather weightlifting style belt** และ **Fabric belt** รวมไปถึงการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใส่เข็มขัดพยุงหลัง โดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของลำตัว ความเร็วและความเร่งที่เกิดขึ้นในขณะยกกล่อง โดยเข็มขัดพยุงหลังแบบ **Nylon Elastic belt** สามารถลดการเคลื่อนไหวของลำตัว ความเร็วและความเร่งที่เกิดขึ้นได้สูงที่สุด และสามารถลดแรงกดที่เกิดขึ้นในกระดูกสันหลังได้ดีที่สุด ซึ่งหมายถึงการลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บกับหลังส่วนล่างได้ ความตึงของเข็มขัดพยุงหลังก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง โดยตรงซึ่ง **Jorgensen** และ **Maras** (2000) ได้ศึกษาการควบคุมความตึงของเข็มขัดพยุงหลัง 3 ค่า คือ 445N 667N และ 890 N ที่สภาวะการทำงานของกล้ามเนื้อลำตัว 3 ระดับการยึดตัว (25%, 50% และ 75% MVC, (Maximum Voluntary Contraction)) ปรากฏว่าความตึงในเข็มขัดพยุงหลังทั้ง 3 เงื่อนไขมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อน้อยมาก

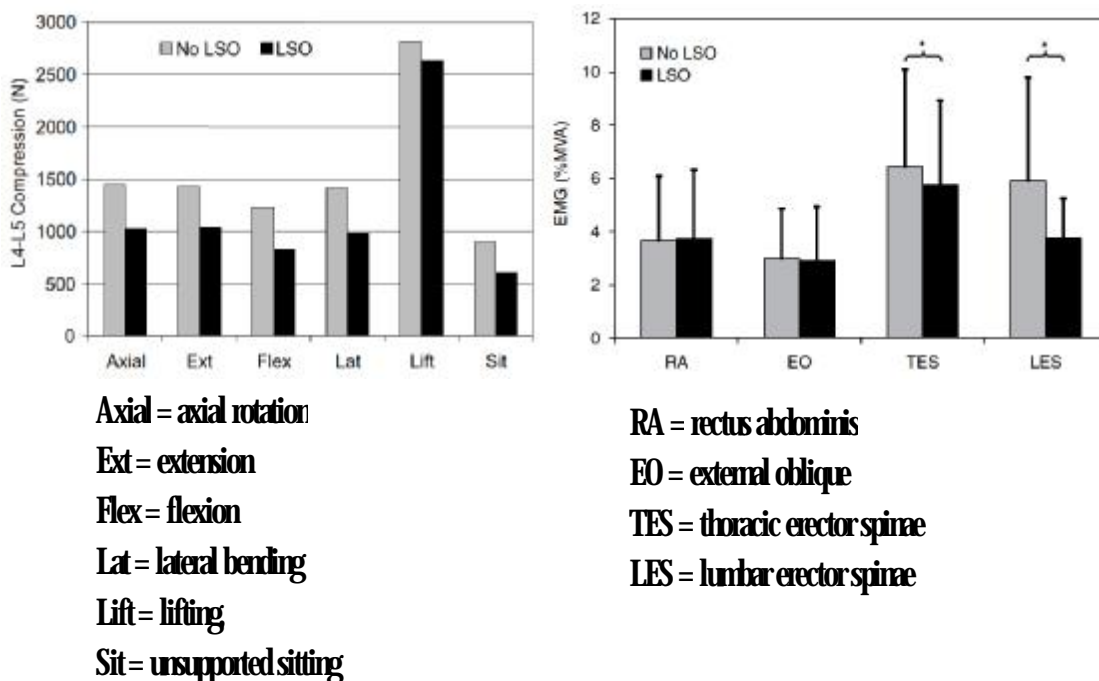


รูปที่ 1.20 แสดงลักษณะการยกของในการทดลองของ **Bobick** และคณะ (2001)

นอกจากเข็มขัดพยุงหลังโดยทั่วไปแล้วยังมีเข็มขัดพยุงหลังที่เรียกว่า **Lumbosacral orthoses (LSO)** ดังแสดงในรูปที่ 1.21 ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับเข็มขัดพยุงหลัง และสามารถช่วยลดแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังและลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ซึ่งศึกษาโดย **Cholewicki (2004)** และ **Cholewicki และคณะ (2007)** ต่อมา **Cholewicki และคณะ (2010)** จึงได้ศึกษาถึงผลของ **LSO** ที่มีต่อผลการทำงานของกล้ามเนื้อเมื่อใช้งาน 3 ชั่วโมงต่อวันติดต่อกัน 3 สัปดาห์ โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อพบว่า **LSO** สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงให้กับลำตัวได้อย่างมีนัยสำคัญและไม่มีผลต่อประสาทกล้ามเนื้อ



รูปที่ 1.21 ลักษณะของ **LSO** ในการทดสอบของ **Cholewicki** และคณะ (2010)



(ก) ผลการลดแรงกดต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง L4L5 (Cholewicki, 2004) (ข) ผลการลดการทำงานกล้ามเนื้อ (EMG) (Cholewicki et al., 2007)

รูปที่ 1.22 ผลของ LSO เมื่อทดสอบการใช้งาน

จากรูปที่ 1.22 เป็นผลจากการทดสอบการใช้งาน LSO ซึ่งเป็นอุปกรณ์พยุงหลังชนิดหนึ่งและแสดงให้เห็นว่าสามารถลดแรงกดต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง L4L5 เฉลี่ยประมาณ 355 N (Cholewicki, 2004) และลดการทำงานกล้ามเนื้อได้อย่างชัดเจน Magnusson และ Pope (1996) ได้ศึกษาผลทางชีวกลศาสตร์เชิงบวกของเข็มขัดพยุงหลังต่อผู้สวมใส่ โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ (Electromyography, EMG) บริเวณกล้ามเนื้อใกล้บริเวณท้อง (dorsal muscles) พบว่าเข็มขัดพยุงหลังสามารถลดสัญญาณกล้ามเนื้อบริเวณดังกล่าวลงได้และช่วยลดการสูญเสียความสูง (height loss) เมื่อวัดด้วย Stadiometer และพบว่าเข็มขัดพยุงหลังช่วยเพิ่มความสามารถในการยกของอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) เป็นวิธีที่สามารถวัดการทำงานของกล้ามเนื้อได้โดยตรง และเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาถึงผลของเข็มขัดพยุงหลัง ในขณะที่การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงปริมาณแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างได้ ซึ่งนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับร่างกาย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาชีวกลศาสตร์บริเวณหลังส่วนล่างของมนุษย์และผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างของผู้สวมใส่เมื่อเคลื่อนไหวในท่ายกของ ดึงและดัน และเพื่อศึกษาอิทธิพลของแผ่นยางรองรับธรรมชาติในเข็มขัดพยุงหลังต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.41 ทราบถึงภาระที่เกิดกับกระดูกสันหลังและกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง อันจะเป็นแนวทางในการลดหรือหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นกับกระดูกสันหลังและกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างขณะยกของ

1.42 เพิ่มประสิทธิภาพในการลดการบาดเจ็บบริเวณหลังช่วงล่าง (Lowbackpain) โดยการใช้เข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นรองรับยางธรรมชาติ

1.43 เพิ่มทางเลือกการใช้ยางธรรมชาติกับวัสดุทางการแพทย์ โดยขึ้นส่วนแผ่นยางรองรับเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในเข็มขัดพยุงหลัง

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างเพื่อมุ่งเน้นที่จะลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังและกระดูกสันหลังส่วนล่าง อันจะเป็นการช่วยป้องกันอาการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นกับอวัยวะบริเวณดังกล่าวจากการยกของ โดยมีขอบเขตของการศึกษาวิจัยดังนี้

1.51 เข็มขัดพยุงหลังที่ศึกษาเปรียบเทียบกับเข็มพยุงหลังชนิดที่วางจำหน่ายในร้านขายอุปกรณ์การแพทย์และโรงพยาบาล โดยมีแผ่นหรือแถบรองรับเป็นพลาสติกแข็งหรือแถบโลหะแข็ง (ยี่ห้อ **Motech** รุ่น **LS support** และรุ่น **Backsupport**)

1.52 กลุ่มตัวอย่างเป็นชาย อายุระหว่าง 20 ถึง 40 ปี มีการบันทึกประวัติในกรณีที่อาสาสมัครมีประวัติการปวดหลังหรือเคยได้รับการรักษาอาการปวดหลังมาก่อน พร้อมทั้งบันทึกค่าดัชนีมวลกาย (BMI)

1.53 ทดสอบการเคลื่อนไหวร่างกายของผู้สวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง เมื่อมีภาระน้ำหนักทดสอบไม่เกิน 20kg ซึ่งมีขีดจำกัดในการเคลื่อนไหวอยู่ภายใต้ความปลอดภัยตามแนวทางของ NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)

บทที่ 2

ทฤษฎี

เข็มขัดพยุงหลังเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งใช้งานในเชิงรักษาและป้องกันอาการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นกับอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่าง ในการพัฒนาเข็มขัดพยุงหลังและแผ่นรองรับจะต้องอาศัยศาสตร์หลายสาขาได้แก่

1) กลศาสตร์วัสดุ (mechanics of materials) เป็นศาสตร์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับพฤติกรรมเชิงกลของแผ่นรองรับในเข็มขัดพยุงหลังซึ่งมีแผ่นยางรับมีหน้าที่รับแรงกดและแถบโลหะมีหน้าที่รับแรงคด (**bending**)

2) ชีวกลศาสตร์ (biomechanics) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยปฏิกิริยาของร่างกายที่ตอบสนองต่อแรงทั้งจากภายในร่างกายและทั้งที่รับจากภายนอกร่างกาย อวัยวะภายในร่างกายต้องมีการส่งผ่านแรงและโมเมนต์จากแรงกระทำดังกล่าวเพื่อให้ร่างกายอยู่ในสภาวะสมดุลแรง

3) วัสดุศาสตร์ (materials science) มีความเกี่ยวข้องกับการนำทางธรรมชาติมาพัฒนาคุณสมบัติความยืดหยุ่นเพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง

4) สรีรศาสตร์ (physiology) เป็นส่วนของการประเมินการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ด้วยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (**electromyography, EMG**)

ในขณะที่มีการเคลื่อนไหวของลำตัวเมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง แถบโลหะรองรับเป็นชิ้นส่วนหลักที่ทำหน้าที่ในการรับแรงในเข็มขัดพยุงหลัง พฤติกรรมของแถบโลหะรองรับสามารถตรวจสอบได้จากการใช้เกจวัดความเครียด ซึ่งแถบโลหะที่ติดตั้งเกจวัดความเครียดมีความสัมพันธ์กันทางกล และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้ทราบถึงพฤติกรรมเชิงกลของแถบโลหะรองรับในเข็มขัดพยุงหลังในขณะที่ใช้งานได้

21 แถบโลหะรองรับและเกจวัดความเครียด (strain gage)

21.1 แถบรองรับในเข็มขัดพยุงหลัง

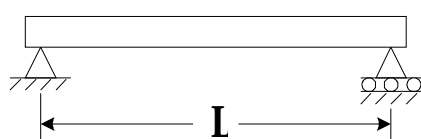
แถบรองรับภายในเข็มขัดพยุงหลังมักทำจากวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาทำแถบรองรับมักทำมาจากวัสดุ 2 กลุ่มได้แก่

1) พลาสติกแข็ง เช่น พอลิเอทิลีน (PE) ซึ่งมีสีขาวขุ่น โปร่งแสงมีความเหนียวสูง และให้ตัวได้ดี (**flexible**) วัสดุรองรับประเภทนี้ใช้กับเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

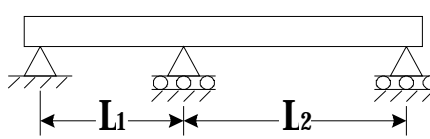
หรือพนักงานบริษัทที่ต้องเคลื่อนไหวลำตัวในการยก ลาก ดึงหรือดันสิ่งของ ซึ่งพนักงานสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างสะดวกเพราะมีการจำกัดการเคลื่อนไหวจากแถบรองรับในปริมาณที่น้อย

2 โลหะ เช่น เหล็ก และอะลูมิเนียม แพทย์จะแนะนำให้ผู้ป่วยใส่เข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบรองรับประเภทนี้ เพราะสามารถรับแรงและจำกัดการเคลื่อนไหวได้ในปริมาณที่มากกว่าวัสดุประเภทพลาสติก ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการจำกัดการเคลื่อนไหวได้มากกว่า

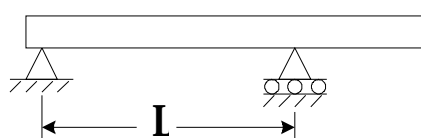
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแถบรองรับที่ทำจากโลหะเพื่อหวังผลในการจำกัดการเคลื่อนไหว ในขณะที่สามารถสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังได้อย่างสบาย โดยในขั้นสุดท้ายแถบโลหะซึ่งมีหน้าที่รับแรงตัดจะทำงานร่วมกับแผ่นยางรองรับซึ่งทำหน้าที่รับแรงกด แถบโลหะรองรับในเข็มขัดพยุงหลังมีลักษณะเป็นแถบแบน โค้งตามแนวของหลังส่วนล่างและแนบกับแผ่นหลัง แถบรองรับดังกล่าวจะรับแรงตัดเมื่อลำตัวมีการเคลื่อนไหว หากพิจารณาพฤติกรรมการรับแรงของแถบรองรับแล้วจะพบว่ามีลักษณะคล้ายคาน (**beam**) ซึ่งคานเป็นชิ้นส่วนทางกลที่ถูกออกแบบให้รับแรงตัด โดยมีจุดรองรับหรือจุดยึดหลายรูปแบบตั้งแต่หนึ่งจุดหรือมากกว่านั้น ซึ่งในรูปที่ 21 ได้แสดงลักษณะคานและรูปแบบของจุดรองรับอย่างง่ายของคานที่นิยมนำมาใช้งาน



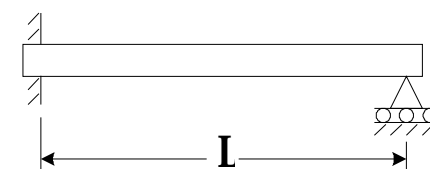
(ก) Simply supported beam



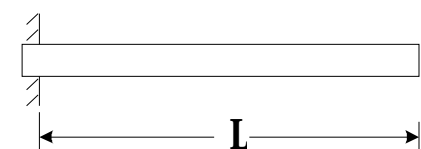
(ง) Continuous beam



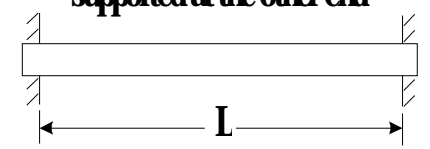
(ข) Overhanging



(จ) Beam fixed at one end and simply supported at the other end



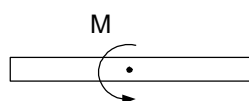
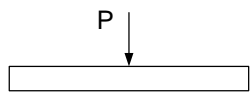
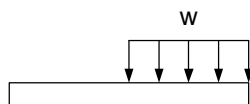
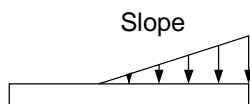
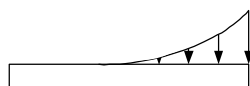
(ค) Cantilever beam



(ฉ) Fixed beam

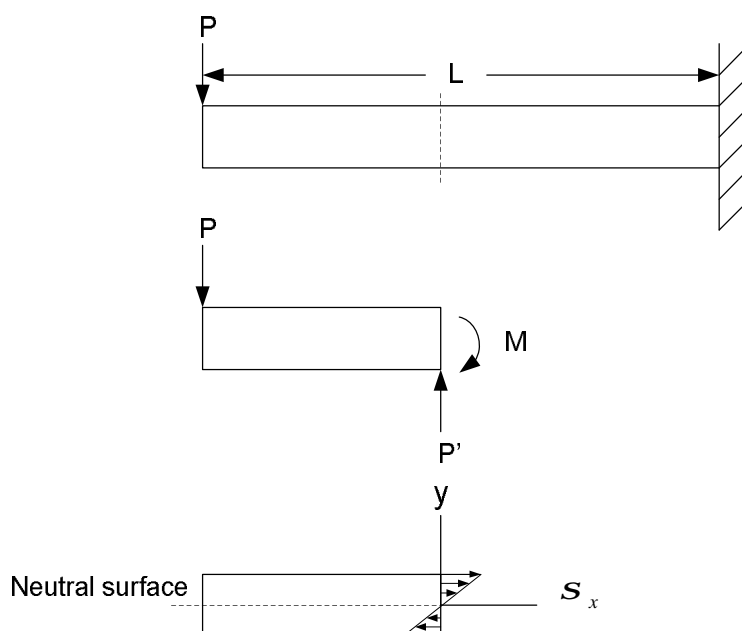
รูปที่ 21 แสดงลักษณะคานแบบที่นิยมนำมาใช้งาน (Beer และคณะ 2006)

คานในรูปแบบที่ 21 (ก) (ข) และ (ค) เป็นคานแบบ **Statically Determinate Beams** จะมีตัวแปรไม่ทราบค่า **3** ตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีสถิตศาสตร์ (statics) ในรูปที่ 21 (ง) (จ) และ (ฉ) เป็นลักษณะคานที่มีตัวแปรไม่ทราบค่ามากกว่า **3** ตัว ซึ่งไม่สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีสถิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารูปแบบของคานในรูปแบบที่ 21 แล้วย้อนกลับมาดูพฤติกรรมของแถบโลหะรองรับ สามารถสรุปได้ว่าคานในลักษณะ **Cantilever beam** มีความสอดคล้องกับแถบโลหะรองรับมากที่สุด เนื่องจากการยึดปลายข้างหนึ่งเอาไว้ ซึ่งสามารถรับโมเมนต์ได้ เช่นเดียวกับแถบรองรับที่อยู่ในเข็มขัดพุงหลังที่ถูกยึดปลายด้านล่างไว้บริเวณสะโพก และมีแรงที่มากกระทำต่อแผ่นโลหะไปในทิศทางเดียวกัน จะแตกต่างจากรูปที่ 21 (ค) ตรงที่แถบโลหะรองรับมีลักษณะโค้งสอดรับกับแนวโค้งของหลัง นอกจากลักษณะของแถบรองรับแล้ว ลักษณะของแรงที่มากกระทำก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อพฤติกรรมของคานหรือแถบรองรับ ซึ่งลักษณะแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับคานนั้นโดยพื้นฐานจะมี **5** ลักษณะดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 22

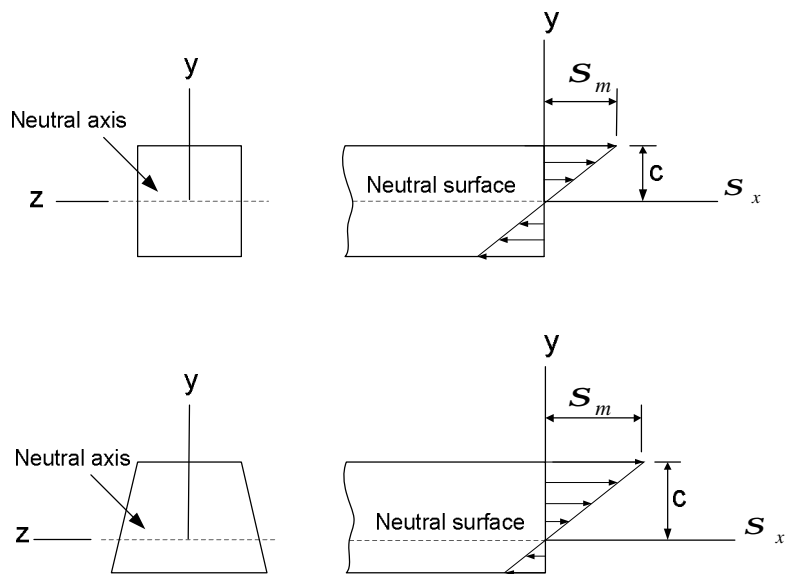
(ก) **Moment load**(ข) **Point load**(ค) **Constant distributed loads**(ง) **Linear distributed loads**(จ) **Other distributed loads**

รูปที่ 22 แสดงลักษณะแรงที่กระทำต่อคาน (Beer และคณะ 2006)

จากรูปที่ 22 แสดงลักษณะแรงที่กระทำต่อคานอันได้แก่ โมเมนต์ (moment load) แรงแบบจุด (point load) กรณีที่มีมากกว่าหนึ่งแรง เช่น แรงกระจายแบบสม่ำเสมอ (constant distributed loads) แรงกระจายไม่สม่ำเสมอมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแรงแบบคงที่ (linear distributed loads) และแรงกระจายไม่สม่ำเสมอไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแรงแบบอื่นๆ (other distributed loads) นอกจากนี้แรงกระทำทั้ง 5 ลักษณะดังกล่าวที่ได้แสดงในรูปที่ 22 แล้วยังมีลักษณะของแรงแบบผสมผสาน (combined loads) คือ มีแรงกระทำมากกว่าหนึ่งรูปแบบ คานซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ถูกออกแบบมาเพื่อรับแรงค้ำ เมื่อมีแรงกระทำซึ่งอาจสอดคล้องกับรูปที่ 22 หรือไม่ก็ตาม แรงค้ำที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะส่งผลทำให้เกิดแรงต้านภายในวัสดุหรือแรงต้านภายในคานซึ่งอาจมองได้ในรูปของความเค้น (stress) อาจสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 23 ซึ่งเป็นคานแบบ cantilever และรับแรงแบบ point load กดลงตรงปลายด้านบนของคาน ทำให้โมเมนต์ภายในมีค่าเป็นลบ ดังนั้นส่วนที่อยู่เหนือ Neutral surface จึงรับแรงดึงซึ่งเรียกว่า ความเค้นดึง (tensile stress) และความเค้นดึงนี้จะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งห่างจาก Neutral surface มากที่สุด ตำแหน่งนั้นคือ ผิวด้านบนสุดของคาน ส่วนที่อยู่ต่ำกว่า Neutral surface จะรับแรงกดซึ่งเรียกว่า ความเค้นกด (compressive stress) และความเค้นกดสูงสุดจะเกิดที่ผิวด้านล่างสุดของคาน จากลักษณะพฤติกรรมดังกล่าวจึงได้แสดงลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นภายในคานไว้ในรูปที่ 24



รูปที่ 23 แสดงลักษณะแรงที่เกิดขึ้นภายในคาน



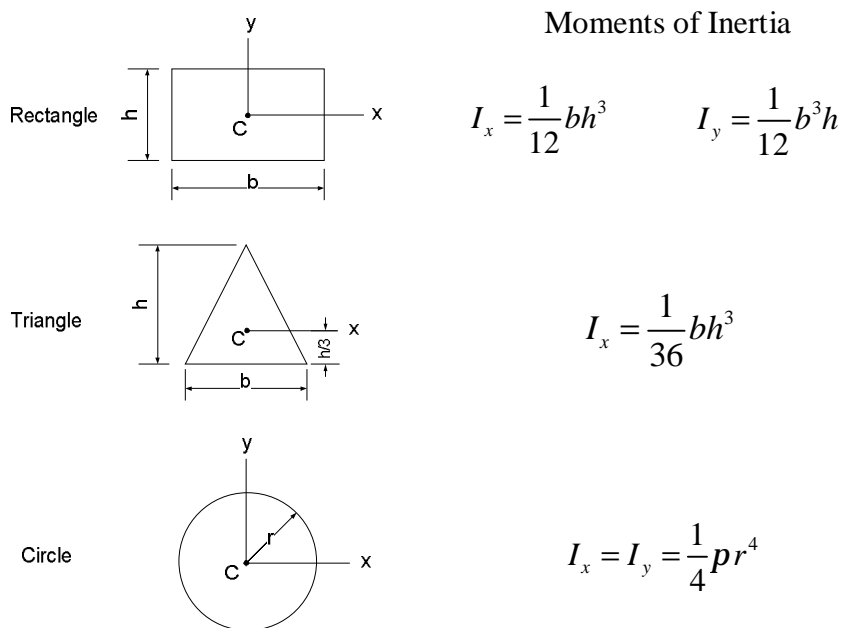
รูปที่ 24 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคานเมื่อโมเมนต์มีค่าเป็นลบ

จากรูปที่ 24 แสดงให้เห็นถึงความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคานเมื่อโมเมนต์มีค่าเป็นลบ ซึ่งนอกจากปริมาณแรงที่มากกระทำแล้วพื้นที่หน้าตัดของคานก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนคาน โดยลักษณะพื้นที่หน้าตัดของคานจะมีผลต่อค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (**areamoment of inertia**) และโมเมนต์ความเฉื่อยนี้จะเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นบนคานได้ โดยคานที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากันแต่มีรูปร่างของหน้าตัดไม่เหมือนกันก็จะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (21) และ (22) จากสมการดังกล่าวนำไปสู่สูตรการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแบบพื้นฐานของคาน ซึ่งขึ้นกับตัวแปรของขนาดดังแสดงในรูปที่ 25

$$I_x = \int y^2 dA \quad (21)$$

$$I_y = \int x^2 dA \quad (22)$$

โดยที่	I_x	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x (m^4)
	I_y	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน y (m^4)
	x	คือ ระยะตั้งฉากจากแกน y ถึงพื้นที่ dA (m)
	y	คือ ระยะตั้งฉากจากแกน x ถึงพื้นที่ dA (m)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)



รูปที่ 25 แสดงการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดคาน 3 แบบ

ปัจจัยที่มีความเกี่ยวเนื่องในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นบนจุดใดจุดหนึ่งของคานเมื่อรับแรงคดประกอบด้วย ลักษณะของจอร์จรับหรือจุดยึดของคาน รูปแบบแรงที่มากระทำพื้นที่หน้าตัดหรือโมเมนต์ความเฉื่อย และระยะห่างของตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์เทียบกับ **Neutral surface** ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$s_m = \frac{Mc}{I} \quad (23)$$

$$s_x = -\frac{My}{I} \quad (24)$$

กำหนดให้ค่า **Elastic section modulus** $= S = \frac{I}{c}$

$$s_m = \frac{M}{S} \quad (25)$$

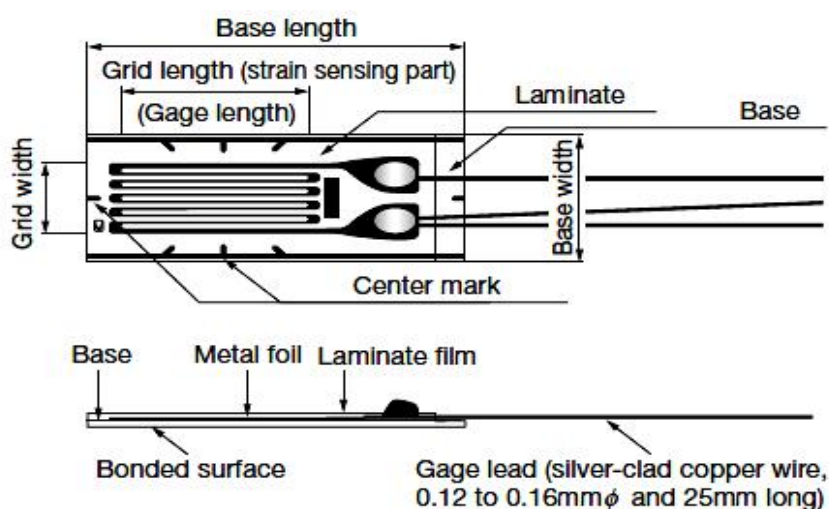
สำหรับคานที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$S = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{\frac{1}{2}h} = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}Ah \quad (26)$$

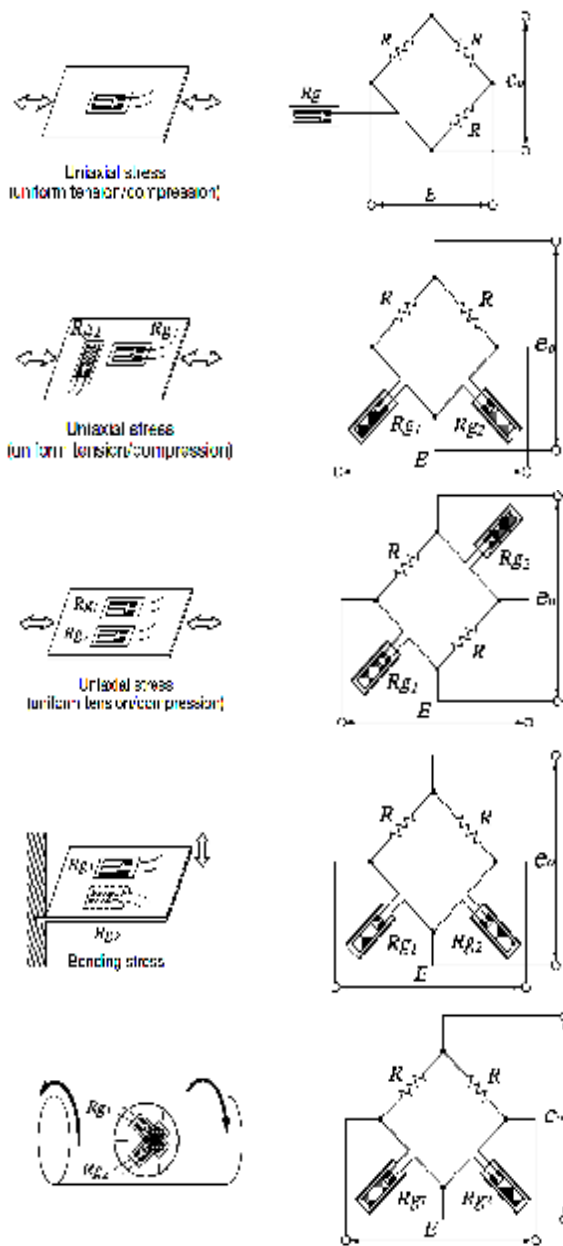
โดยที่	S_m	คือ ค่าความเค้นสูงสุดในแนวแกน x (Pa)
	S_x	คือ ค่าความเค้นที่จุดใดๆ ในแนวแกน x (Pa)
	M	คือ โมเมนต์ (N-m)
	I	คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (m^4)
	c	คือ ระยะห่างสูงสุดจาก Neutral surface โดยตั้งฉากกับแกน x (m)
	y	คือ ระยะห่างที่จุดใดๆ จาก Neutral surface โดยตั้งฉากกับแกน x (m)
	S	คือ ค่า section modulus ของคาน (m ³)

21.2 เกจวัดความเครียด (strain gage)

เกจวัดความเครียดหรือเสตรนเกจ (**strain gage**) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนวัสดุที่มีลักษณะแข็งเช่น โลหะต่างๆ อโลหะ รวมถึงพลาสติก ลักษณะโดยทั่วไปของเกจวัดความเครียดได้แสดงไว้ในรูปที่ 26 เกจวัดความเครียดมีลักษณะบางสามารถวัดการยืดตัวหรือความเครียดที่เกิดขึ้นบนวัสดุได้ โดยการติดเกจวัดความเครียดลงบนตำแหน่งที่ต้องการวัด และป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาซึ่งอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า ภายในเกจวัดความเครียดมีเส้นโลหะขดไปมาซึ่งจะยืดหรือหดตัวตามพฤติกรรมของวัสดุที่ต้องการวัด การยืดหรือหดตัวดังกล่าวทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นโลหะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เกจวัดความเครียดและการวัดสัญญาณไฟฟ้าต้องผ่านวงจรบริดจ์ ซึ่งลักษณะการรับแรงของวัสดุที่แตกต่างกันก็ต้องใช้วงจรบริดจ์ที่ต่างกัน รูปที่ 27 แสดงลักษณะการใช้งานของเกจวัดความเครียดและตัวอย่างวงจรบริดจ์ที่ใช้งานร่วมกับเกจวัดความเครียด



รูปที่ 26 แสดงลักษณะเกจวัดความเครียด แบบ KFG ของ KYOWA



(ก) วัดแรงดึงหรือกดโดยใช้เกจตัวเดียว

(ข) วัดแรงดึงหรือกดโดยใช้เกจ 2 ตัว

(ค) วัดแรงดึงหรือกดโดยใช้เกจ 2 ตัว

(ง) วัดแรงค้ำโดยใช้เกจ 2 ตัว

(จ) วัดแรงบิดโดยใช้เกจ 2 ตัว

รูปที่ 27 แสดงลักษณะการใช้งานของเกจวัดความเครียดและตัวอย่างวงจรบริดจ์ที่ใช้งานร่วมกับเกจวัดความเครียด

เนื่องจากเกจวัดความเครียดมีหลายขนาดและหลายรูปแบบจึงต้องเลือกใช้ให้สอดคล้องกับการใช้งาน ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้เกจวัดความเครียดได้แก่

1) ลักษณะของแรงที่กระทำต่อวัสดุเช่น การวัดแรงในแนวแกนอาจใช้เกจวัดความเครียดเพียงตัวเดียวก็เพียงพอ และหากเป็นการวัดแรงบิดที่เกิดขึ้นบนเพลลาจำเป็นต้องใช้เกจวัดความเครียดแบบ 2 ตัวทำมุมต่อกันเป็นมุม 90° เป็นต้น

2 ปริมาณการยืดตัวของวัสดุ ซึ่งจะมีผลต่อการยืดตัวของ **Gage length** ของเกจวัดความเครียด คือ ในงานที่มีการยืดหรือหดตัวเป็นระยะสั้นๆ หรือพื้นที่ในการคืดน้อยๆ ก็ควรใช้ **Gage length** ที่มีค่าน้อย

สัญญาณที่ออกจากเกจวัดความเครียดคือแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามการยืดหรือหดตัวของวัสดุ และขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น สัญญาณดังกล่าวจะต้องผ่านการแปลงเป็นความเค้นหรือความเครียดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่เกจวัดความเครียดติดตั้งอยู่ สำหรับการวัดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคานที่รับแรงคดโดยใช้เกจวัดความเครียดจำนวน **2** ตัวดังได้แสดงไว้ในรูปที่ **27(ง)** และสามารถคำนวณความเค้น ความเครียดรวมถึงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งที่ติดเกจวัดความเครียดไว้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากวงจรบริจค์

$$e_0 = \frac{E_0}{2} K_s \cdot e_0 \quad (27)$$

ความเค้นที่วัดได้จากการใช้เกจ **2** ตัว

$$s = E \frac{e_0}{2} \quad (28)$$

จากสมการที่ (25) และ (28) จะได้

$$e_0 = \frac{2M}{ES} \quad (29)$$

จากสมการที่ (27) และ (29) จะได้

$$M = \frac{ESe_0}{E_0 K_s} \quad (210)$$

โดยที่	S	คือ ค่าความเค้น (Pa)
	e_0	คือ ค่าความเครียด
	M	คือ โมเมนต์ (N-m)
	E	คือ ค่า Young's modulus ของคาน (Pa)
	K_s	คือ ค่าคงที่เฉพาะของเกจวัดความเครียด
	E_0	คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร (V)
	e_0	คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (V)
	S	คือ ค่า setion modulus ของคาน (m ³)

ค่าโมเมนต์ที่ใดเกิดขึ้นในแถบโหละในเข็มขัดพุงหลังคำนวณได้จากสมการที่ (210) สามารถนำไปคำนวณแรงที่เกิดขึ้นกับหมอนรองกระดูกสันหลังและกล้ามเนื้อหลังตามหลักชีวกลศาสตร์ได้

22 หลักชีวกลศาสตร์

แนวทางในการประเมินการขนเคลื่อนย้ายของด้วยมือ (**Manual Materials Handling MMH**) โดยทั่วไปมีวิธีการที่นำมาใช้ 4 แนวทางด้วยกันคือ

1) การประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ (**Biomechanical Approach**) เพื่อวิเคราะห์แรงกดบนหมอนรองกระดูกสันหลัง

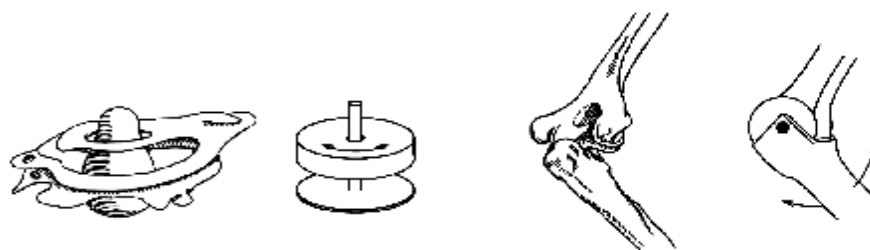
2) การประเมินโดยใช้การพิจารณาความสามารถทางสรีระวิทยา (**Physiological Approach**) เป็นการวิเคราะห์จากปริมาณการใช้ออกซิเจนหรือการใช้พลังงานของร่างกาย

3) การประเมินโดยใช้ความพึงพอใจหรือความรู้สึกที่เกี่ยวข้องทางร่างกายและจิตใจ (**Psychophysical Approach**) เป็นการสอบถามหรือให้ผู้ปฏิบัติงานเลือกลักษณะงานตามความพึงพอใจเพื่อหาระดับภาระงานที่ยอมรับได้

4) การติดตามผลกระทบในระยะยาว (**Epidemiological Approach**) เป็นการติดตามดูว่าการเพิ่มจำนวนของผู้บาดเจ็บจากการทำงานเพิ่มขึ้นหรือไม่

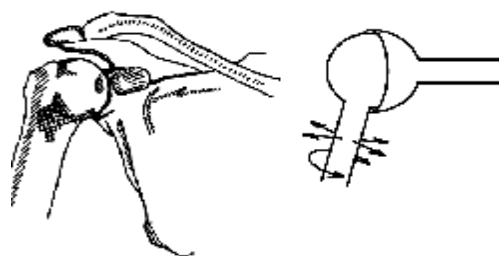
ในขั้นตอนของการศึกษาทางชีวกลศาสตร์ในงานในงานวิจัยนี้ใช้แนวทางในการประเมิน 2 แนวทางคือ แนวทางแรกเป็นการประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์ แนวทางที่สองคือการประเมินโดยใช้ความพึงพอใจหรือความรู้สึกที่เกี่ยวข้องทางร่างกายและจิตใจ ซึ่งอาศัยแบบสอบถามเพื่อให้อาสาสมัครกรอกข้อมูลเพื่อทราบถึงความพึงพอใจของเข็มขัดพุงหลังแบบต่างๆ แนวทางการประเมินโดยใช้หลักชีวกลศาสตร์จะอาศัยหลักของกลศาสตร์สถิต (**statics**) มาใช้วิเคราะห์การตอบสนองของร่างกายต่อภาระแรง และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในขณะที่เคลื่อนไหวในท่าทางต่างๆ โดยยึดจำกัดสูงสุดทางชีวกลศาสตร์ของบุคคลใดบุคคลหนึ่งอาจบอกได้ด้วยกำลังกล้ามเนื้อสูงสุดที่เกิดขึ้นเพื่อรักษาสมดุลแรงให้เกิดขึ้นบนร่างกาย แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ของร่างกายมนุษย์ในขณะที่ทำงานมักวิเคราะห์ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่มาจากกฎของนิวตัน (**Newton's Laws**) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์วัตถุแข็งเกร็ง (**Rigid bodies**) ในที่นี้คือโครงสร้างของร่างกายในส่วนที่เป็นกระดูก โดยมีการส่งผ่านแรงและ โมเมนต์จากชิ้นส่วนหนึ่ง ไปยังชิ้นส่วนหนึ่งผ่านข้อต่อของร่างกายซึ่งมีการเคลื่อนไหวได้หลายทิศทาง (**degree of freedom dof**) แตกต่างกันไป ตามลักษณะทางกายภาพของข้อต่อนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 28 ในการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจำเป็นต้อง

มีจุดอ้างอิงเพื่อนำไปสู่การกำหนดเงื่อนไขของการเคลื่อนไหว สำหรับร่างกายของมนุษย์แล้วมีการกำหนดจุดอ้างอิงหรือระนาบอ้างอิงของร่างกายไว้ ดังแสดงในรูปที่ 29



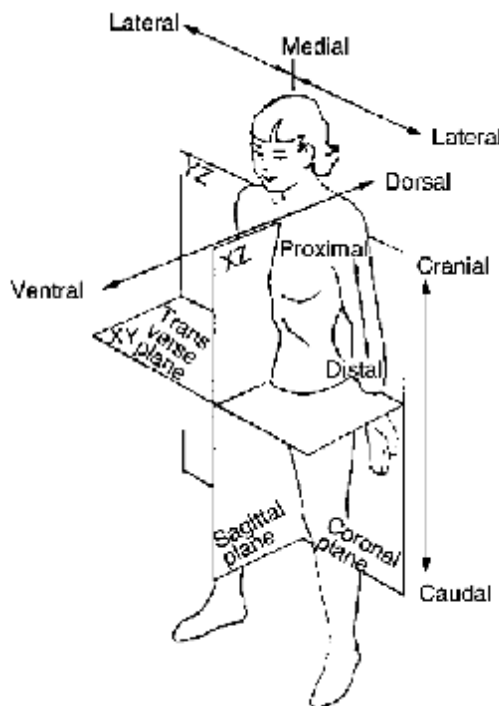
(ก) แนวกระดูกสันหลังบริเวณคอกับศีรษะมี 1 dof

(ข) กระดูกข้อศอกมี 1 dof



(ค) กระดูกไหล่มี 3 dof

รูปที่ 28 แสดงลักษณะของข้อต่อของกระดูกของมนุษย์ (Tozeren, 1999)



รูปที่ 29 การแบ่ง plane ของร่างกายมนุษย์ (Manas, 2008)

221 อวัยวะที่มีความเกี่ยวข้องกับการประเมินทางชีวกลศาสตร์ของหลังส่วนล่าง

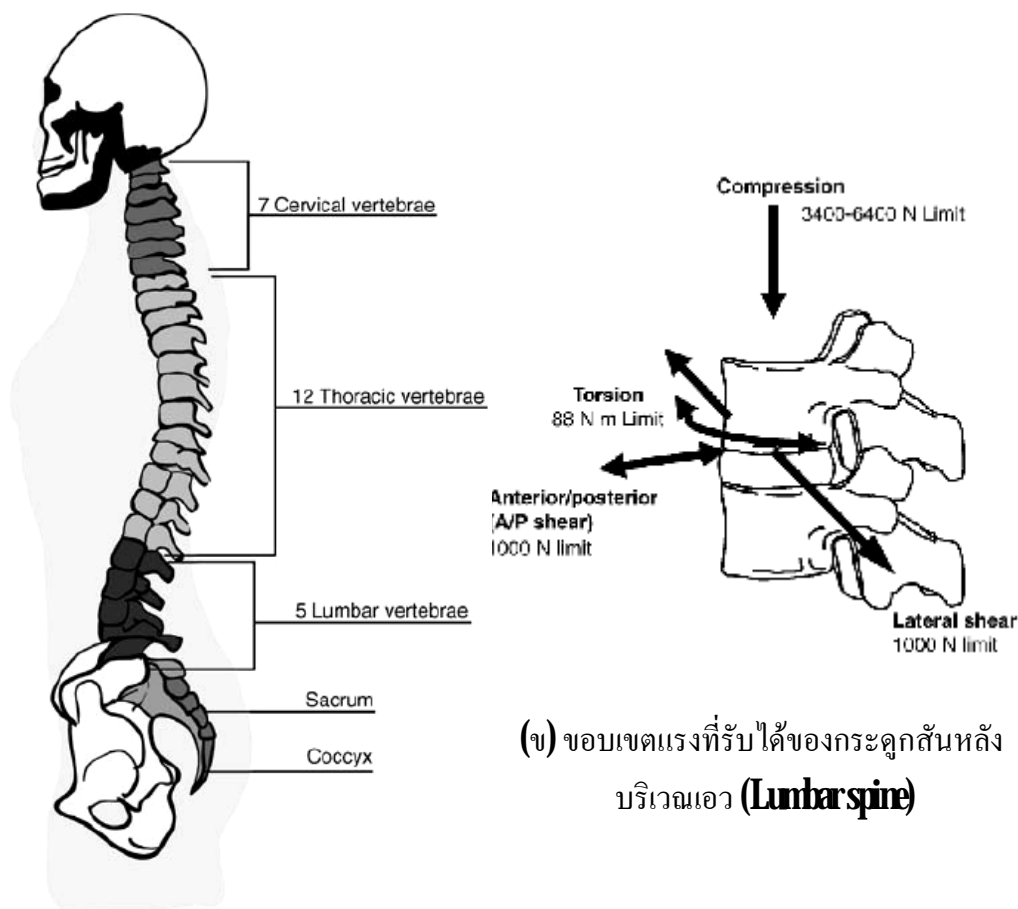
อวัยวะที่มีความเกี่ยวข้องกับการประเมินทางชีวกลศาสตร์ของหลังส่วนล่างประกอบด้วยกัน **3** ส่วนหลักคือ กระดูกสันหลัง หมอนรองกระดูกสันหลัง และกล้ามเนื้อบริเวณหลังส่วนล่าง ซึ่งอวัยวะแต่ละส่วนมีหน้าที่และคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป

221.1 โครงสร้างของกระดูกสันหลัง (bony structures of the spine)

กระดูกสันหลังจะมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันในแนวตั้งลักษณะคล้ายตัว **S** ที่ยืดออก จะเริ่มจากกระดูกเชิงกรานขึ้นไปจนถึงศีรษะ มีจำนวนทั้งหมด **26** ชิ้น คือระดับคอ **7** ชิ้น ระดับอก **12** ชิ้น ระดับเอว **5** ชิ้น ระดับเชิงกราน **5** ชิ้น เชื่อมรวมกันเป็นอันเดียวและระดับกันกบ **4** ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ **210(ก)** ซึ่งจะเรียงต่อกันและคอยรองรับแรงในโครงสร้างของกระดูกสันหลัง ส่วนที่อยู่รอบนอกจะเป็นชั้นบางที่แข็งแรงมาก จะต้านการดัด (**bending**) และการบิด (**twisting**) ได้ดี ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนและมีความยืดหยุ่นมากกว่าส่วนนอก กระดูกสันหลังจะคงรูปและแข็งแรงแต่จะสามารถบาดเจ็บได้ง่ายหากได้รับแรงในแนวด้านข้างดังแสดงในรูปที่ **210(ข)** การตั้งตรงของแนวกระดูกสันหลังอยู่ได้ก็จะมาจากการรองรับจากโครงสร้างภายในร่างกาย ซึ่งได้แก่กล้ามเนื้อและเอ็นที่เชื่อมต่ออยู่กับกระดูกสันหลังและกระดูกเชิงกราน

221.2 หมอนรองกระดูกสันหลัง (the disc and the spinal joint)

กระดูกสันหลังจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยหมอนรองกระดูกสันหลัง ซึ่งหมอนรองกระดูกสันหลังจะมีหน้าที่ **3** ประการคือ รองรับแรงที่เกิดขึ้นระหว่างกระดูกสันหลัง ส่งผ่านแรงระหว่างกระดูกสันหลังและควบคุมลักษณะการเคลื่อนไหวระหว่างกระดูกสันหลัง หมอนรองกระดูกสันหลังจะประกอบด้วย **2** ส่วนด้วยกันคือ ส่วนนอกเป็นเส้นใยทึบมุ่ม **65°** องศากับแนวตั้ง ซึ่งจะมี **70** ถึง **90** ชิ้นร่วมศูนย์กันจนมีลักษณะเป็นวงแหวนลักษณะเป็นฟังก์พีดเรียกว่าปลอกหมอนรองกระดูก (**annulus fibrosus**) และภายในปลอกหมอนรองกระดูก (**annulus fibrosus**) จะมีไส้หมอนรองกระดูก (**nucleus pulposus**) ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลว หมอนรองกระดูกหลังจะไม่มีเส้นประสาททำให้ไม่มีความรู้สึกเจ็บปวดเมื่อได้รับความเจ็บ แต่ความเจ็บปวดจะเกิดขึ้นเมื่อหมอนรองกระดูกสันหลังหรือของเหลวภายในหมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อนที่หรือไหลไปสัมผัสกับเส้นประสาทที่อยู่รอบๆบริเวณดังกล่าว

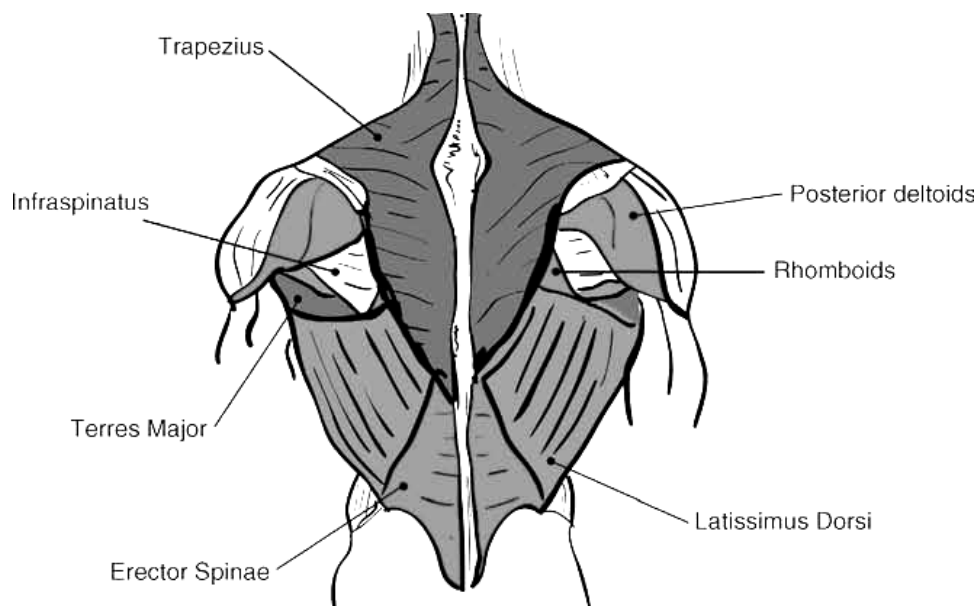


(ข) ขอบเขตแรงที่รับได้ของกระดูกสันหลังบริเวณเอว (Lumbar spine)

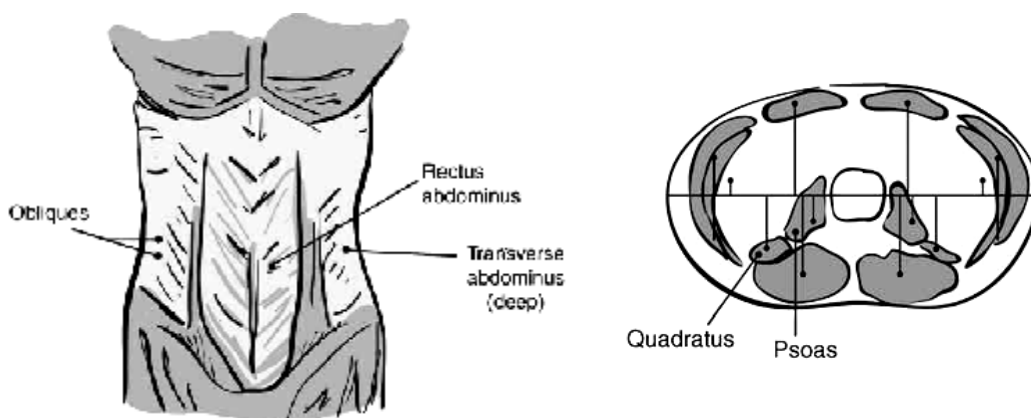
(ก) แสดงลักษณะแนวการเรียงตัวของกระดูกสันหลังส่วนต่างๆ

รูปที่ 210 แสดงกระดูกสันหลังและขีดจำกัดการรับแรง (Manas, 2008)

221.3 กล้ามเนื้อ (muscles) กล้ามเนื้อที่ทำงานร่วมกับกระดูกสันหลังมีมากกว่า **30** กล้ามเนื้อ ซึ่งจะช่วยในการประคองและรองรับแรงจากกระดูกสันหลัง กล้ามเนื้อบางมัดมีขนาดใหญ่และมีกำลังมากคอยยึดแนวสันหลังไว้แต่บางมัดก็มีขนาดเล็กมากจะคอยเชื่อมระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อ ซึ่งกล้ามเนื้อที่จะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระดูกสันหลังในส่วนของ การรับแรงและการเคลื่อนไหวคือ กล้ามเนื้อ **erector spinae** กล้ามเนื้อ **internal oblique** กล้ามเนื้อ **external oblique** และ กล้ามเนื้อ **rectus abdominus muscle pairs** ดังแสดงในรูปที่ 211



(ก) กล้ามเนื้อหลัง (back muscles)



(ข) กล้ามเนื้อหน้าท้อง (abdominal muscles)

(ค) ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อบริเวณเอว

รูปที่ 211 แสดงกล้ามเนื้อหลังที่ช่วยรับแรงจากการเคลื่อนไหว (Manas, 2008)

222 วิธีการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์สถิต

กิจกรรมการทำงานของร่างกายมนุษย์ อาจมองจากภาพการเคลื่อนไหวใน 2 มิติ และสามารถวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ได้ การทำงานในลักษณะการยกของแบบก้มตัวไปด้านหน้ามากๆ เป็นท่าทางการทำงานที่ไม่ถูกต้อง อาจส่งผลให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่างได้ การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนไหวในท่าทางดังกล่าว ในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์สถิตจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ ได้แก่ ขนาด และทิศทางของแรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ

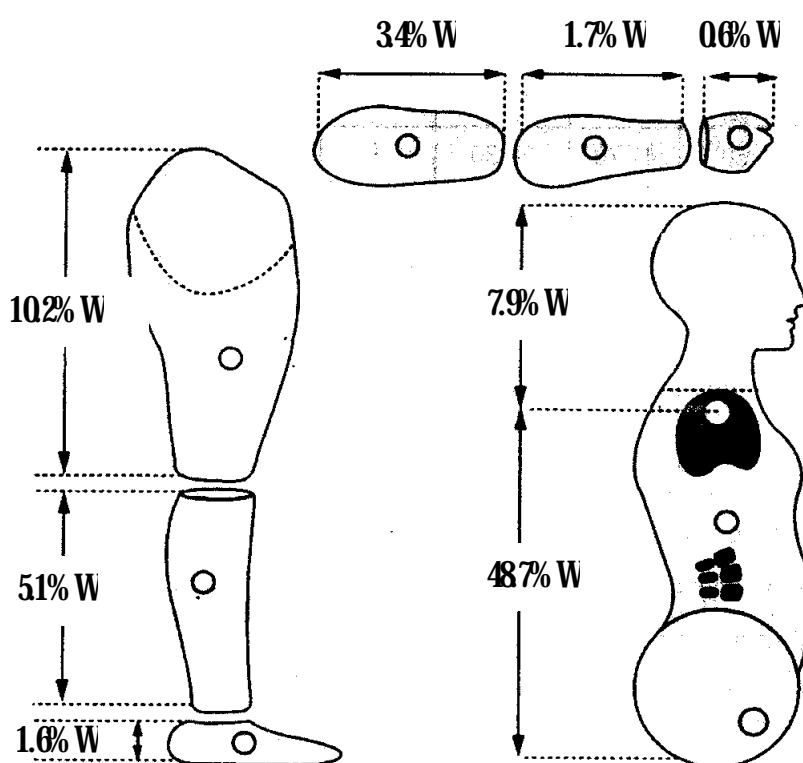
ของร่างกาย ทำทางการทรงตัวของร่างกาย มวลและจุดศูนย์กลางมวลของอวัยวะส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับท่ายก ดึง และดันของเป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นบนระนาบ **Sagittal** เพียงระนาบเดียวจึงสามารถวิเคราะห์ได้จากภาพถ่าย **2** มิติ โดยพิจารณาจากระนาบดังกล่าว

2221 การตั้งสมมติฐาน ในการพิจารณาชีวกลศาสตร์ของร่างกายมนุษย์ จะต้องกำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้

1) ร่างกายซีกซ้ายและซีกขวาสมมาตรกันและมีการกระจายของมวลเท่ากัน

2) มวลของอวัยวะต่างๆ ของร่างกายจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับมวลร่างกาย ดังแสดงในรูปที่ **212** โดยที่

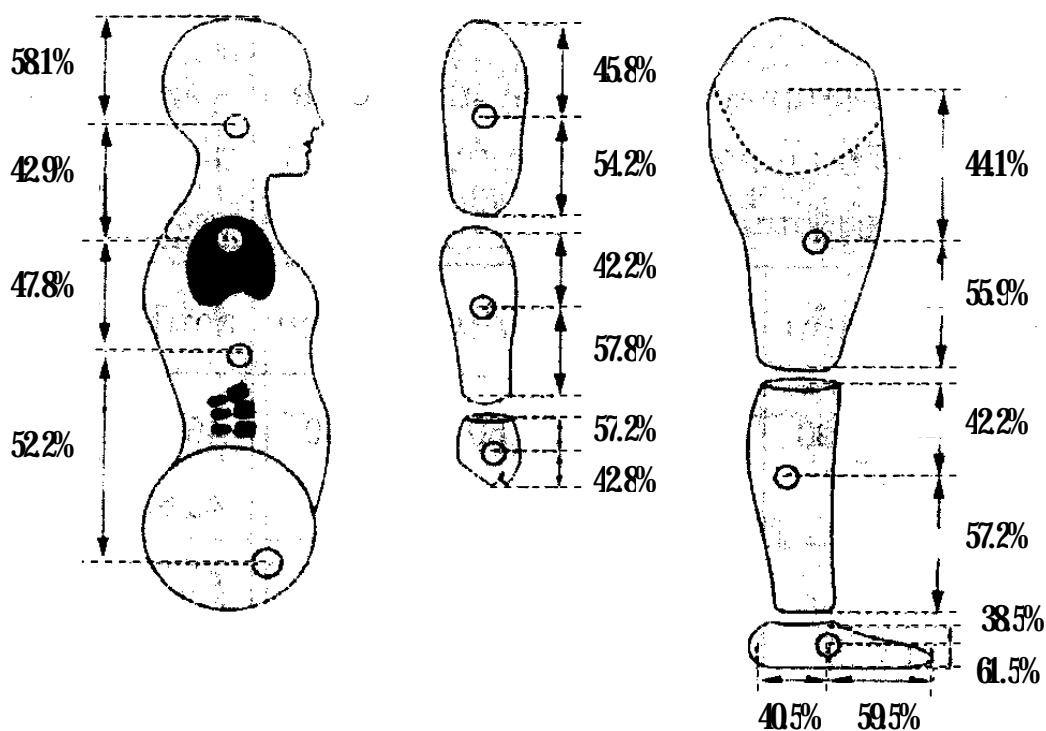
ส่วนของลำตัวคิดเป็น	48.7% ของน้ำหนักตัว (W)
ส่วนของคอและศีรษะคิดเป็น	7.9% ของน้ำหนักตัว (W)
ส่วนของแขนท่อนบนคิดเป็น	3.4% ของน้ำหนักตัว (W)
ส่วนของแขนท่อนล่างคิดเป็น	1.7% ของน้ำหนักตัว (W)
ส่วนของมือคิดเป็น	0.6% ของน้ำหนักตัว (W)



รูปที่ **212** แสดงมวลของอวัยวะต่างๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนไหว (กิตติ อินทรานนท์. 2548)

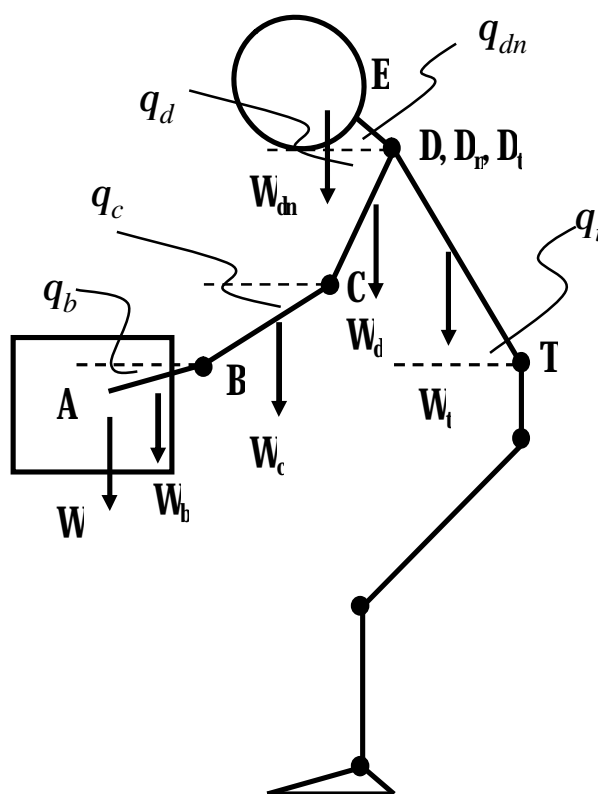
3 ศูนย์กลางมวลของอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนไหวคงที่ตรงจุดใดจุดหนึ่งและระยะจุดศูนย์กลางมวลมีความสัมพันธ์เป็นอัตราส่วนกับความยาวของอวัยวะส่วนนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 213 โดยที่

ส่วนของลำตัวคิดเป็น	52.2%	ของความยาวทั้งหมด (L)
ส่วนของคอและศีรษะคิดเป็น	42.9%	ของความยาวทั้งหมด (L)
ส่วนของแขนท่อนบนคิดเป็น	45.8%	ของความยาวทั้งหมด (L)
ส่วนของแขนท่อนล่างคิดเป็น	42.2%	ของความยาวทั้งหมด (L)
ส่วนของมือคิดเป็น	57.2%	ของความยาวทั้งหมด (L)



รูปที่ 213 แสดงตำแหน่งศูนย์กลางมวลของอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนไหว (กิตติ อินทรานนท์. 2548)

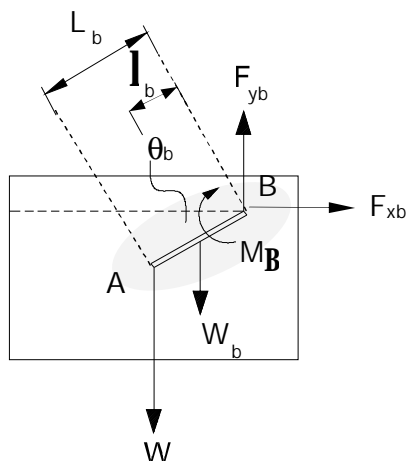
2222 การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อของร่างกาย ในการเคลื่อนไหวในท่ายกของจะเริ่มวิเคราะห์จากมือ ซึ่งเป็นอวัยวะจับยกน้ำหนัก เรียงลำดับไปยังแขนท่อนล่าง แขนท่อนบน คอและศีรษะ จนไปสุดที่ลำตัวบริเวณเอวซึ่งเป็นจุดต่อของร่างกายที่สนใจดังรูปที่ **214** ในการวิเคราะห์จะให้ความสนใจกับกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** และหมอนรองกระดูก **L5/S1** การคำนวณหาขนาดของแรงและโมเมนต์ดังกล่าวที่กระทำแต่ละข้อต่อ จนได้ขนาดของแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำบนหมอนรองกระดูก **L5/S1** ตลอดจนแรงดึงกล้ามเนื้อของ **erector spinae** ที่ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุลสถิต การคำนวณสามารถพิจารณาโดยอาศัยผัง **free body** ดังรูปที่ **214**



รูปที่ **214** ผัง **free body** ของแรงและทิศทางของแรงที่กระทำต่อบุคคล
ที่มีท่าทางการทรงตัวขณะกำลังยกของ

ในการคำนวณทางชีวกลศาสตร์เพื่อประเมินแรงที่เกิดขึ้นบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และกล้ามเนื้อ **erector spinae** สามารถทำได้โดยขั้นตอนต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อมือ แสดงในรูปที่ 215



รูปที่ 215 แรงโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อมือ (A-B)

$$\rightarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{xb} = 0 \quad (211)$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{yb} - W - W_b = 0$$

$$F_{yb} = W + W_b \quad (212)$$

$$+\circlearrowleft \sum M_B = 0$$

$$-M_B + (W \times L_b \cos q_b) + (W_b \times l_b \cos q_b) = 0$$

$$M_B = (W \times L_b \cos q_b) + (W_b \times l_b \cos q_b) \quad (213)$$

โดยที่

W คือ แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของกล่อง (**N**)

W_b คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของมือ (**N**)

M_B คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่ข้อมือจากมือและกล่องเพื่อรักษาสสมดุลสถิต (**N·m**)

F_{xb} คือ แรงลัพธ์ที่ข้อมือรักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวนอน (**N**)

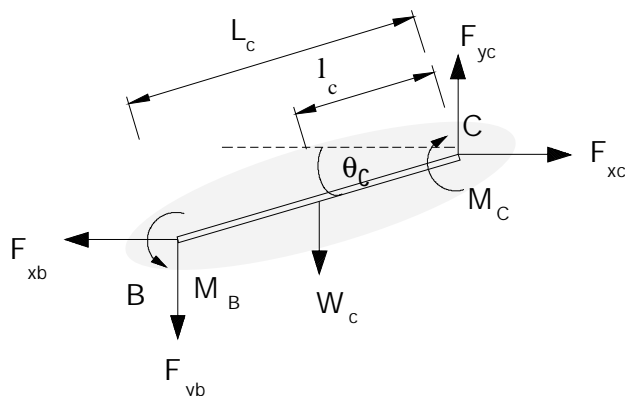
F_{yb} คือ แรงลัพธ์ที่ข้อมือรักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวตั้ง (**N**)

θ_b คือ มุมของมือเทียบกับแนวราบ (องศา)

L_b คือ ระยะความยาวของมือ (**m**)

l_b คือ ระยะจากข้อมือถึงจุดศูนย์กลางมวลของมือ (**m**)

2) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อแขนท่อนล่าง แสดงในรูปที่ 216



รูปที่ 216 ค้าง โมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนท่อนล่าง (B-C)

$$\rightarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{xc} - F_{xb} = 0$$

$$F_{xc} = F_{xb} = 0 \quad (214)$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{yc} - F_{yb} - W_c = 0$$

$$F_{yc} = F_{yb} + W_c \quad (215)$$

$$+\circlearrowleft \sum M_C = 0$$

$$-M_C + M_B + (F_{yb} \times L_c \cos \theta_c) + (W_c \times l_c \cos \theta_c) = 0$$

$$M_C = M_B + (F_{yb} \times L_c \cos \theta_c) + (W_c \times l_c \cos \theta_c) \quad (216)$$

โดยที่

W_c คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของแขนท่อนล่าง (N)

M_C คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่ข้อต่อจากแขนท่อนล่างเพื่อรักษาสมดุลสถิต (N-m)

F_{xc} คือ แรงลัพธ์ที่ข้อต่อรักษาสถิตในทิศทางแนวนอน (N)

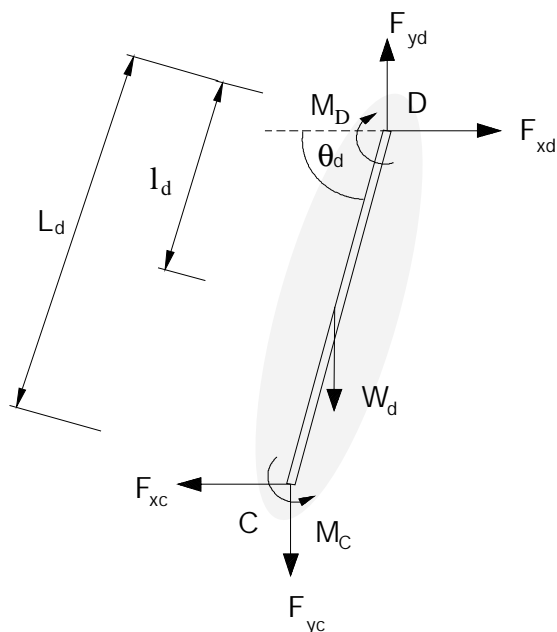
F_{yc} คือ แรงลัพธ์ที่ข้อต่อรักษาสถิตในทิศทางแนวตั้ง (N)

θ_c คือ มุมของแขนท่อนล่างเทียบกับแนวราบ (องศา)

L_b คือ ระยะความยาวของแขนท่อนล่าง (m)

l_b คือ ระยะจากข้อต่อถึงจุดศูนย์กลางมวลของแขนท่อนล่าง (m)

3) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อแขนท่อนบน แสดงในรูปที่ 217



รูปที่ 217 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อแขนท่อนบน (C-D)

$$\rightarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{xd} - F_{xc} = 0$$

$$F_{xd} = F_{xc} = 0 \quad (217)$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{yd} - F_{yc} - W_d = 0$$

$$F_{yd} = F_{yc} + W_d \quad (218)$$

$$+\circlearrowleft \sum M_D = 0$$

$$-M_D + M_C + (F_{yc} \times L_d \cos q_d) + (W_d \times l_d \cos q_d) = 0$$

$$M_D = M_C + (F_{yc} \times L_d \cos q_d) + (W_d \times l_d \cos q_d) \quad (219)$$

โดยที่

W_d คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของแขนท่อนบน (N)

M_D คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่ไหล่จากแขนท่อนบนเพื่อรักษาสสมดุลสถิต (N-m)

F_{xd} คือ แรงลัพธ์ที่ไหล่รักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวนอน (N)

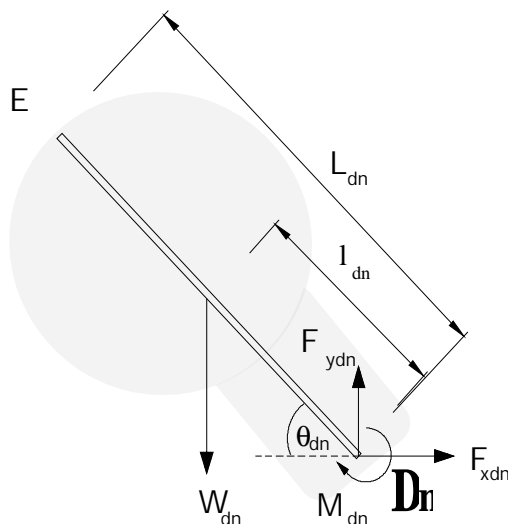
F_{yd} คือ แรงลัพธ์ที่ไหล่รักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวตั้ง (N)

θ_d คือ มุมของแขนท่อนบนเทียบกับแนวราบ (องศา)

L_c คือ ระยะความยาวของแขนท่อนบน (m)

l_c คือ ระยะจากไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมวลของแขนท่อนบน (m)

4) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อคอและศีรษะ แสดงในรูปที่ 218



รูปที่ 218 ฟัง โมเมนต์และแรงที่กระทำต่อคอและศีรษะ (E-D_n)

$$\rightarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{xdn} - F_{xe} = 0$$

$$F_{xdn} = F_{xe} = 0 \quad (220)$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{ydn} - F_{ye} - W_{dn} = 0 ; F_{ye} = 0$$

$$F_{ydn} = F_{ye} + W_{dn} \quad (221)$$

$$+ \circlearrowleft \sum M_{Dn} = 0$$

$$-M_{Dn} + (W_{dn} \times l_{dn} \cos q_{dn}) = 0$$

$$M_{Dn} = W_{dn} \times l_{dn} \cos q_{dn} \quad (222)$$

โดยที่

W_{dn} คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของคอและศีรษะ (N)

M_{Dn} คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่ไหล่จากคอและศีรษะเพื่อรักษาสสมดุลสถิต (N-m)

F_{xdn} คือ แรงลัพธ์ที่ไหล่รักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวนอน (N)

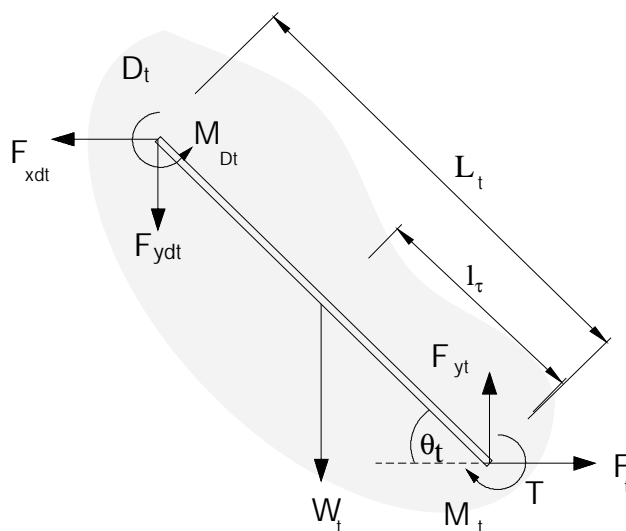
F_{ydn} คือ แรงลัพธ์ที่ไหล่รักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวตั้ง (N)

θ_{dt} คือ มุมของคอคและศิรยะเทียบกับแนวราบ (องศา)

L_{dt} คือ ระยะความยาวของคอคและศิรยะ (ม)

l_{dt} คือ ระยะความยาวจากไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมวลของคอคและศิรยะ (ม)

5) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อลำตัว แสดงในรูปที่ 219



รูปที่ 219 ฟังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว (D-T)

$$\rightarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{xt} - F_{xdt} = 0$$

$$F_{xdt} = F_{xd} + F_{xdn} = 0$$

$$F_{xt} = F_{xdt} = 0$$

(223)

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{ydt} = F_{yd} + F_{ydn}$$

$$F_{yt} - F_{ydt} - W_t = 0$$

$$F_{yt} = F_{ydt} + W_t$$

(224)

$$+\circlearrowleft \sum M_t = 0$$

$$M_{Dt} = M_D + M_{Dn}$$

$$-M_t + M_{Dt} + [(F_{yd} + F_{ydn}) \times L_t \cos q_t] + (W_t \times l_t \cos q_t) = 0$$

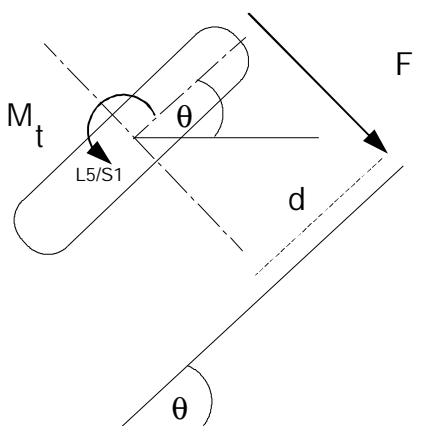
$$M_t = M_{Dt} + [(F_{yd} + F_{ydn}) \times L_t \cos q_t] + (W_t \times l_t \cos q_t) \quad (225)$$

โดยที่	W_t	คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของลำตัว (N)
	M_t	คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่เอวจากลำตัวเพื่อรักษาสสมดุลสถิต (N·m)
	F_{xt}	คือ แรงลัพธ์ที่เอวรักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวนอน (N)
	F_{yt}	คือ แรงลัพธ์ที่เอวรักษาสสมดุลสถิตในทิศทางแนวตั้ง (N)
	θ_t	คือ มุมของลำตัวเทียบกับแนวราบ (องศา)
	L_t	คือ ระยะความยาวของลำตัว (m)
	l_t	คือ ระยะจากเอวถึงจุดศูนย์กลางมวลของลำตัว (m)

6) การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลัง หากพิจารณาว่า **erector spinae** เป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้สมดุล ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของแรงดึงภายในกล้ามเนื้อชุดนี้ได้เมื่อพิจารณาที่หมอนรองกระดูก **L5/S1** โดยใช้สมการที่ **211** และลักษณะของแรงที่เกิดขึ้น ได้แสดงไว้ดังรูปที่ **220**

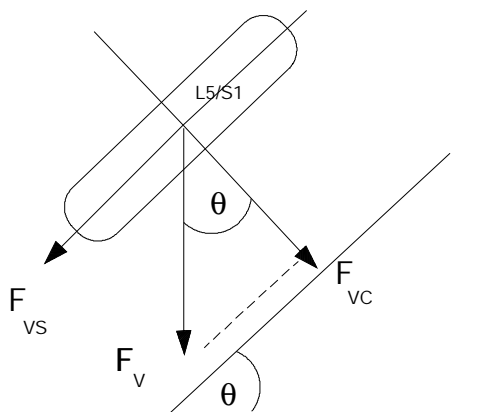
$$M_t = F \cdot d \quad (226)$$

โดยที่	F	คือ แรงดึงของชุดกล้ามเนื้อ erector spinae ที่จะทำให้เกิดสมดุลสถิต
	d	คือ แขนโมเมนต์จากหมอนรองกระดูก L5/S1 ถึงชุดกล้ามเนื้อ erector spinae ซึ่งมีระยะในช่วง 4-5cm (กิตติ อินทรานนท์. 2548) (นรินทร์ จีสัม. 2550) ในที่นี้ใช้ 45cm



รูปที่ **220** แรงดึงของชุดกล้ามเนื้อ **erector spinae**

7) การวิเคราะห์แรงกด (**compressive force, F_c**) และแรงเฉือน (**shear force, F_s**) ที่เกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** (นอกจากแรงในชุดกล้ามเนื้อ **erector spinae**) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ **221**



รูปที่ **221** แรงอัด และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1**

โดยที่ F_v คือ ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1**

$$F_v = W + W_b + W_c + W_d + W_{dn} + W_t \quad (227)$$

$$F_{vc} = F_v \cos q \quad (228)$$

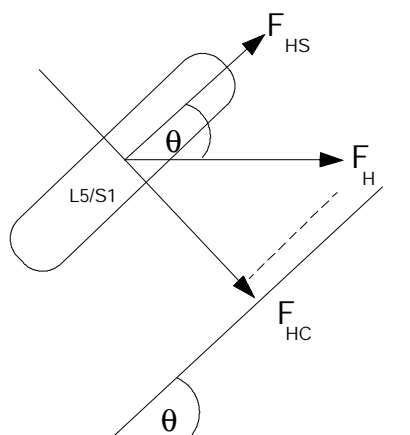
$$F_{vs} = F_v \sin q \quad (229)$$

ดังนั้น ผลรวมของแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** คือ

$$F_c = F_{vc} + F \quad (230)$$

$$F_s = F_{vs} \quad (231)$$

8) การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ในกรณีการออกแรงดันวัตถุ นอกจากจะมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของส่วนร่างกายในแนวตั้งแล้ว ก็ยังมีแรงแนวอนกระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** เพิ่มเติมดังรูปที่ **222**



รูปที่ 222 แรงอัด และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** กรณีดันวัตถุ

ในกรณีนี้ผลรวมของแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกระหว่าง **L5/S1** (โดยที่ F_V ที่ใช้คำนวณค่า F_{VC} จะไม่รวมน้ำหนักกล่องที่ยก) คือ

$$F_C = F_{VC} + F + F_{HC} \quad (232)$$

$$F_S = F_{HS} \quad (233)$$

9 การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ในกรณีการออกแรงดึงวัตถุ จะคล้ายคลึงกับการออกแรงดันแต่แรง F_H จะมีทิศตรงกันข้าม (โดยที่ F_V ที่ใช้คำนวณค่า F_{VC} จะไม่รวมน้ำหนักกล่องที่ยก) คือ

$$F_C = F_{VC} + F - F_{HC} \quad (234)$$

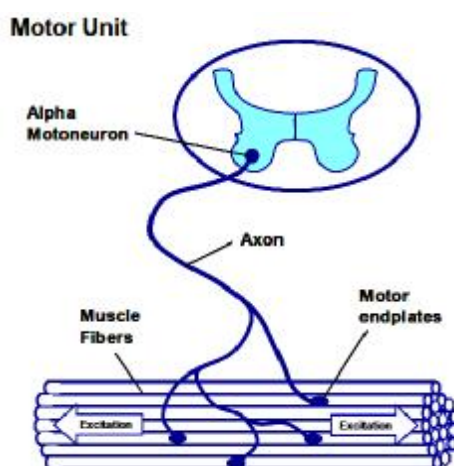
$$F_S = F_{HS} \quad (235)$$

กิตติ อินทรานนท์ (2548) ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายศาสตร์ ได้ให้ความเห็นว่า การจะเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์โดยวิธีสถิต หรือการวิเคราะห์เชิงพลวัต 3 มิติ นั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติและลักษณะของปัญหาในขณะทำงาน ถ้าการทำงานมีลักษณะสถิต ไม่มีการเคลื่อนไหว หรือมีแต่ไม่มากและเป็นไปซ้ำๆ การใช้รูปแบบวิธีสถิตก็น่าจะเหมาะสมเพียงพอ และควรมีการกำหนดสมมุติฐานที่เหมาะสม ข้อได้เปรียบของการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์อยู่ที่การพัฒนาแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ของกิจกรรมนั้น ซึ่งหากการปรับเปลี่ยนและแต่งค่าของตัวแปรในแบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์หรือสภาพการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ย่อมทำได้ง่ายกว่าการที่จะเพิ่มความพยายามในการวัด การเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาแบบจำลองใหม่ทุกครั้งไป

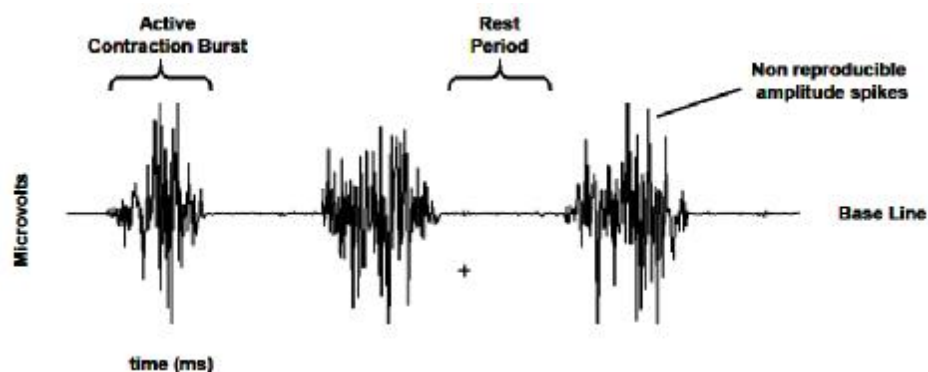
นอกจากการวิเคราะห์ตามหลักชีวกลศาสตร์แล้วการทำงานของกล้ามเนื้อยังสามารถตรวจวัดได้จากค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อหรือสัญญาณ **EMG**

2.3 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyography, EMG)

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อคือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของ **motor unit** ซึ่ง **motor unit** คือการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ถูกควบคุมโดยเซลล์ประสาทสั่งการ (**motor neuron**) ซึ่งจะอยู่ที่ไขสันหลังสำหรับกล้ามเนื้อแขน ขา ลำตัว และจะอยู่ที่ก้านสมองสำหรับกล้ามเนื้อศีรษะและคอ รูปที่ 223 ได้แสดงองค์ประกอบในการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งสั่งการจาก **motor unit** กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นสัญญาณกล้ามเนื้อจะอยู่ในรูปของกราฟไซน์และเมื่อมีการซ้อนทับของสัญญาณจากกล้ามเนื้อหลายเส้นใย สัญญาณ **EMG** ที่อ่านได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 224



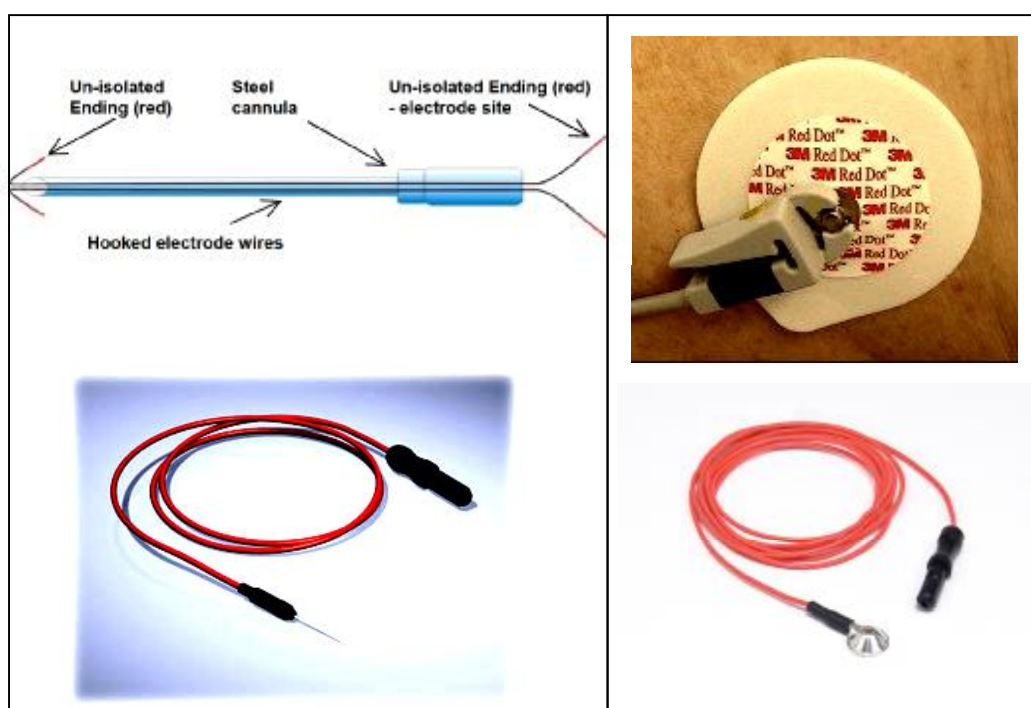
รูปที่ 223 แสดงองค์ประกอบในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Konrad, 2005)



รูปที่ 224 ลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดจากมัดกล้ามเนื้อ (Konrad, 2005)

231 เครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

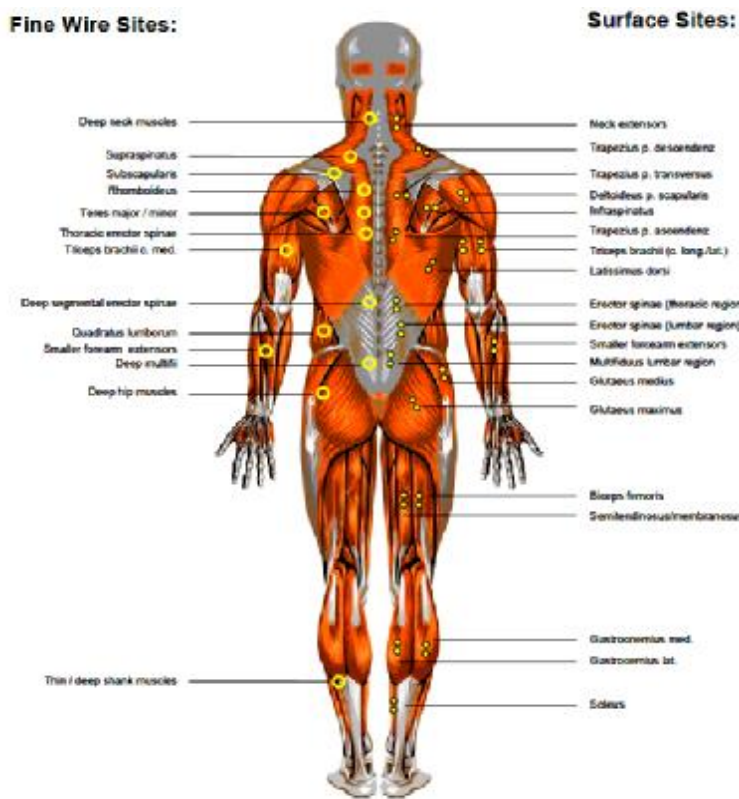
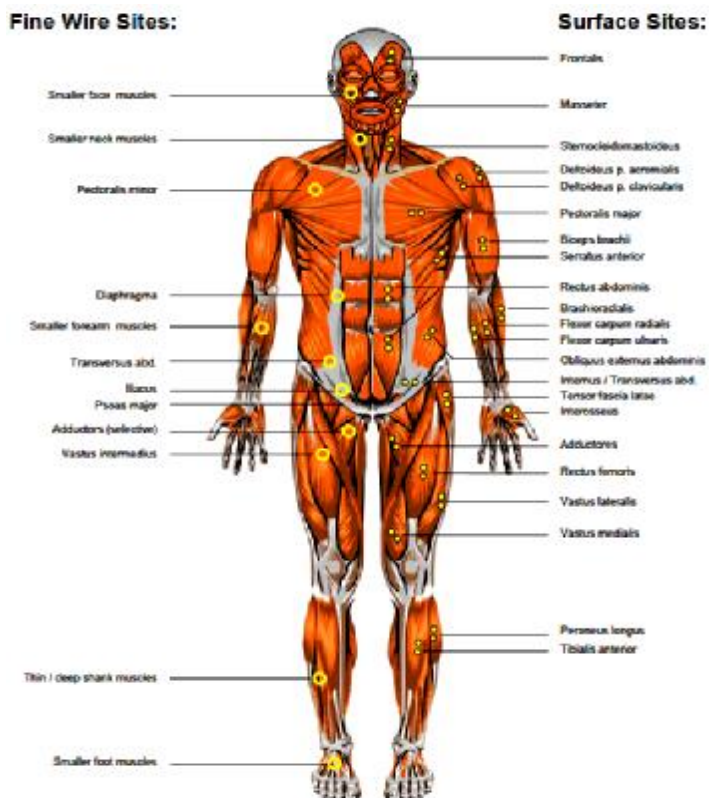
สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้งสองรูปแบบคือ สัญญาณขณะที่ยกกล้ามเนื้อทำงาน และสัญญาณขณะที่ยกกล้ามเนื้อไม่ได้ทำงานหรือขณะพัก ขณะที่ยกกล้ามเนื้อทำงานเป็นช่วงที่ยกกล้ามเนื้อจะมีการหดตัวจะมีแอมพลิจูดเกิดขึ้นทั้งค่าบวกและลบ ขณะที่ยกกล้ามเนื้อพักแอมพลิจูดจะเป็นศูนย์หรือค่อนข้างเรียบซึ่งเรียกว่า **base line** โดยความถี่ของสัญญาณจะอยู่ในช่วง **6 ถึง 500 Hz** สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับภาระการทำงานและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ สำหรับนักกีฬาอาจมีสัญญาณสูงสุดอยู่ในช่วง ± 5000 ไมโครโวลต์ จากรูปที่ 224 จะเห็นว่าสัญญาณที่วัดได้มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ ซึ่งเป็นปริมาณสัญญาณที่น้อยมาก ดังนั้นเครื่องมือวัดจะต้องสามารถขยายสัญญาณได้อย่างน้อยประมาณ **500 เท่า** และต้องกรองสัญญาณรบกวนได้ดี ซึ่ง **base line** จะต้องมิแอมพลิจูดสูงสุดไม่ควรเกิน **5 ไมโครโวลต์** ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนิยมใช้ตัวตรวจรู้หรืออิเล็กโทรด 2 แบบ คือ อิเล็กโทรดแบบสัมผัส (**surface electrode**) และอิเล็กโทรดแบบเข็ม (**fine wire electrode**) อิเล็กโทรดแบบสัมผัสจะมี 2 ลักษณะ คือ อิเล็กโทรดแบบใช้ซ้ำได้ และอิเล็กโทรดแบบใช้แล้วทิ้ง ลักษณะของอิเล็กโทรดแบบต่างๆ ที่กล่าวมาได้แสดงไว้ในรูปที่ 225 และตำแหน่งในการติดอิเล็กโทรดบนร่างกายเพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้แสดงไว้ในรูปที่ 226



(ก) อิเล็กโทรดแบบเข็ม

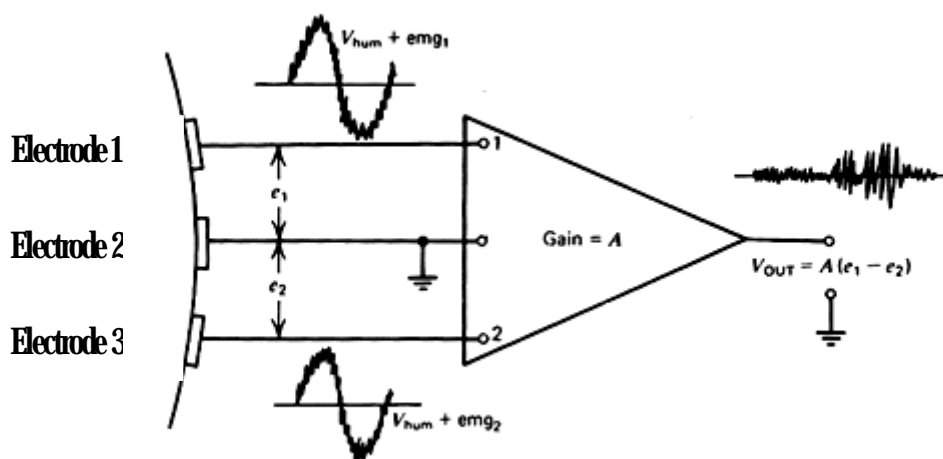
(ข) อิเล็กโทรดแบบสัมผัส

รูปที่ 225 แสดงลักษณะอิเล็กโทรดสำหรับวัดสัญญาณ **EMG**



รูปที่ 2.26 แสดงตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนร่างกายเพื่อวัดสัญญาณ EMG (Konrad, 2005)

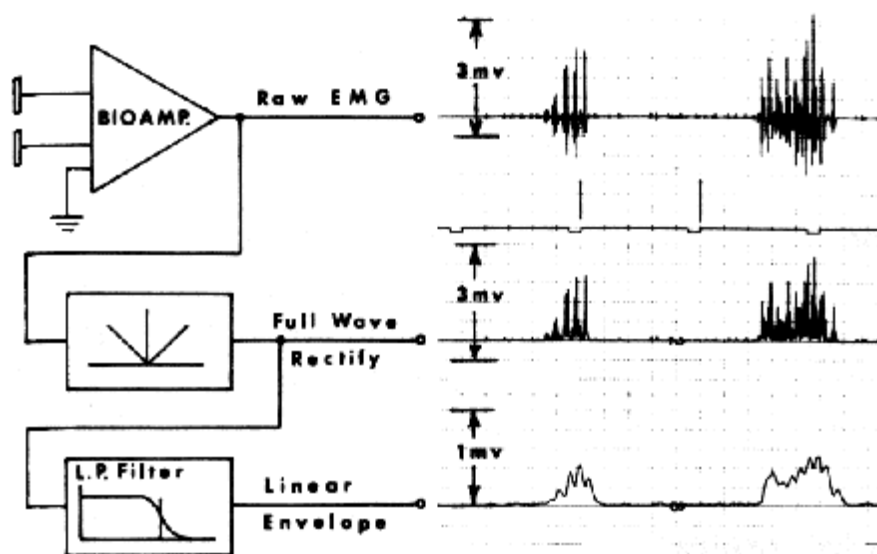
ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อหนึ่งตำแหน่งจะต้องใช้อิเล็กโทรด **3** ตัว แต่ละตัวมีหน้าที่ต่างกันคือ เป็นขั้วบวก ขั้วลบ และเป็นกราวด์ โดยที่กราวด์มักติดที่ปุ่มกระดูกหรือส่วนที่กล้ามเนื้อไม่ได้ทำงานเพื่อใช้เป็นตัวเทียบสัญญาณและเพื่อลดสัญญาณรบกวน ลักษณะการวัดสัญญาณแสดงดังรูปที่ **227**



รูปที่ **227** การใช้อิเล็กโทรด **3** ตัวในการวัดสัญญาณ **EMG** (Winter, 2005)

232การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)

สัญญาณดิบหรือ **raw EMG** ที่วัดได้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับสัญญาณดิบก่อน จึงสามารถนำข้อมูลที่ผ่านมากระบวนการแล้วไปใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณหรือเปรียบเทียบสัญญาณ กระบวนการที่นิยมใช้ในการประมวลผลหรือแปลงสัญญาณ **EMG** มีหลายวิธี ได้แก่ **Full-wave rectified (absolute value)**, **Averaged or root-mean-square (RMS)**, **Linear envelope Frequency or power spectrum(Fourier)** และ **Wavelet Transform** เป็นต้น ในการเลือกใช้วิธีการในการจัดการกับสัญญาณจะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และสิ่งที่ต้องการจากสัญญาณ แต่โดยทั่วไปแล้วรูปแบบการจัดการกับสัญญาณ **EMG** มักมีแนวทางดังรูปที่ **228**

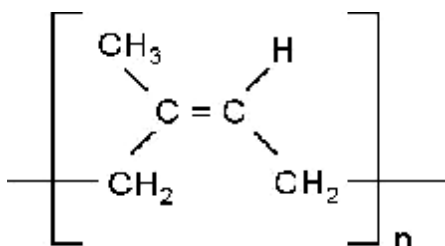


รูปที่ 228 การประมวลผลสัญญาณ EMG (Winter, 2005)

แนวทางการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังเมื่อใช้เข็มขัดพยุงหลัง อาจทำได้โดยการปรับปรุงแถบรองรับในเข็มขัดพยุงหลัง ด้วยการนำยางธรรมชาติมาใช้ร่วมกับแถบโลหะในเข็มขัดพยุงหลัง เนื่องจากจะช่วยกระจายแรงกดจากแถบโลหะและให้ความรู้สึกสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่าการใช้แถบโลหะโดยตรง

24 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) และการนำมาใช้งาน

ยางเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะสมบัติความยืดหยุ่น (**elasticity**) คือ เมื่อรับแรงดึง ยางจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิม และเมื่อปล่อยแรงออกยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นอื่นๆ อีก เช่น มีความเหนียว (**toughness**) และความทนทานต่อการขัดสี (**abrasion resistance**) สูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ มีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นดี เช่น โลหะและสิ่งทอ (เส้นใย ผ้าใบ ฯลฯ) ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานวิศวกรรมได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น ยางแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติแสดงในรูปที่ 229



รูปที่ 229 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2548)

241 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ **Hevea Braziliensis** ซึ่งเป็นต้นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรี๊ดได้มีเนื้อยางแห้ง (**dry rubber content, DRC**) ประมาณ **30%** โดยน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ **cis-1,4 polyisoprene** กล่าวคือ มี **isoprene (C₅H₈)** โดยที่ **n** มีค่าตั้งแต่ **15-20,000** เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (**amorphous**) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดจึงสามารถเกิดผลึก (**crystallize**) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (**low temperature crystallization**) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (**strain induced crystallization**) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (**tensile strength**) ความทนทานต่อการฉีกขาด (**tear resistance**) และความทนทานต่อการขัดสี (**abrasion resistance**) สูง ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ **0.93 g/cm³** ที่ **20°C** และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยางถูกยืดหรือเย็นตัวลง โดยทั่วไปยางธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ

241.1 น้ำยาง โดยน้ำยางที่ได้จากการกรี๊ดจากต้นยางเรียกว่าน้ำยางสด น้ำยางสดที่กรี๊ดได้มีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงมักนำไปทำเป็นน้ำยางข้น (**concentrated latex**) โดยมากใช้วิธีการปั่นเหวี่ยง (**centrifugation**) นอกจากนี้การใช้สารก่อคริมก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้ในปัจจุบัน น้ำยางข้นจะมีปริมาณเนื้อยางเพิ่มจากประมาณ **30%** เป็น **60%** โดยน้ำหนัก มักมีการเติมแอมโมเนียและสารเคมีอื่นๆ ลงไปเพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางข้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถกำจัดน้ำออกได้ง่ายเช่น มีลักษณะบาง หรือ มีรูพรุน ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง หรือฟองน้ำต่างๆ เป็นต้น

241.2 ยางแห้ง โดยยางแห้งได้จากการนำน้ำยางมาเติมกรด ซึ่งกรดที่นิยม ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และกรดซัลฟูริก ทำให้อนุภาคของน้ำยางจะจับตัวกันเป็นของแข็ง แยกตัวจากน้ำ จากนั้นจึงแยกความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันเชื้อรา ยางแห้งแบ่งเป็นรูปแบบต่างๆ ได้แก่

1) ยางแผ่น (rubbersheet) ได้จากการเติมน้ำเพื่อเจือจางน้ำยางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งเหลือเพียง **12% ถึง 18%** แล้วจึงเติมกรดให้น้ำยางมีค่า **pH** อยู่ในช่วง **5.1 ถึง 4.8** ซึ่งจะให้น้ำยางจับตัวและแยกออกจากน้ำเรียกว่า จุดไอโซอิเล็กทริก (**isoelectric point**) หลังจากนั้นจึงนำไปรีดแผ่นด้วยเครื่องรีดสองลูกกลิ้ง (**two roll mill**) นำไปล้างน้ำแล้วจึงทำให้แห้ง ถ้าใช้วิธีการการตากแดดจะได้ยางแผ่นไม่รมควัน (**Air Dried Sheet, ADS**) และหากนำไปอบรมควันจะได้ยางแผ่นรมควัน (**Ribbed Smoked Sheet, RSS**)

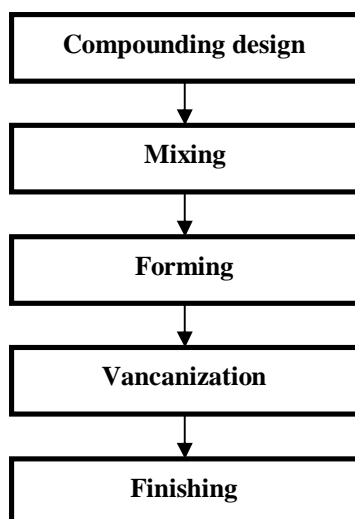
2) ยางเครฟ (crepe rubber) ส่วนใหญ่ได้จากการนำเศษยางเช่น ยางก้อนด้วย เศษยางที่ติดดิน หรือเศษยางอื่นๆ นำไปรีดในเครื่องเครฟ (**creping machine**) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกระหว่างกระบวนการรีดจากนั้นจึงนำไปผึ่งลมให้แห้ง

3) ยางแท่ง (technically classified rubber) ยางแผ่นรมควันและยางเครฟจะมีการจัดชั้นคุณภาพของยางด้วยสายตาซึ่งให้ผลที่ไม่แน่นอนอน อุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่จึงมักใช้ยางแท่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งยางแท่งจะต้องผ่านกระบวนการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ ทำใหยางแท่งมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟ ไทยมีมาตรฐานยางแท่งที่เรียกว่า **Standard Thai Rubber (STR)** ยางแท่งผลิตโดยนำยางซึ่งอาจเป็นน้ำยาง หรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต นำมาทำให้เป็นก้อนเล็กๆ เส้นแผ่นศูนย์กลางประมาณ **2 ถึง 3mm** เพื่อให้ง่ายต่อการชำระล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำและง่ายต่อการทำให้แห้ง จากนั้นจึงอบให้แห้งและอัดเป็นแท่งขนาดมาตรฐาน **330x 670x 170mm³** ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ **3333kg**

4) ยางแห้งรูปแบบอื่นๆ เช่น ยางเกรดที่มีความหนืดคงที่หรือยาง **CV (Constant Viscosity)** ยางที่แปรรูปได้ดี (**Superior Processing Rubber, SP/AP gage**) ยางที่ผสมน้ำมัน (**Oil Extended Natural Rubber, OENR**) ยางธรรมชาติที่มีโปรตีนต่ำ (**Deproteinized Natural Rubber, DPNR**) ยาง **ENR (Epoxidized Natural Rubber)** ยางเทอร์โมพลาสติก (**Thermoplastic NR**) และยางผง (**Powdered Rubber**) เป็นต้น (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2548)

242 กระบวนการผลิตยางคงรูป

จากการสืบค้นข้อมูลกระบวนการผลิตยางคงรูปจากหน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จะเห็นว่ายางดิบเพียงลำพังมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือ ยางจะอ่อนนิ่มและเหนียวหนะหนะเมื่อร้อน และจะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้ การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมเข้ากับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และ สารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมปาวด์ (**rubber compound**) ที่ได้ จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (**vulcanization**) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เรียกว่า ยางสุกหรือยางคงรูป (**vulcanizate**) ซึ่งสมบัติของยาง คงรูปหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 230



รูปที่ 230 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่วไป

2421 ยางและสารเคมี การทำให้ยางคงรูปแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (**sulphur**) นิยมใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่มีพันธะคู่ใน โมเลกุลสูง ระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (**peroxide**) นิยมใช้ในยางที่มีปริมาณพันธะคู่ใน โมเลกุลต่ำ ระบบที่ใช้ เปอร์ออกไซด์จะมีต้นทุนที่สูงกว่าระบบที่ใช้กำมะถัน นอกจากนี้ 2 ระบบดังกล่าว ยังมีการใช้สารคง รูปพวกโลหะออกไซด์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (**MgO**) และซิงค์ออกไซด์ (**ZnO**) ในยาง สังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางนีโอพรีน การคงรูปนอกจากระบบที่ใช้กำมะถันแล้วยังมีสารเคมีชนิด อื่นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคงรูปของยางทั้งระยะเวลาในการคงรูปและคุณสมบัติของยางเมื่อ

ผ่านการคงรูปแล้ว ยางคอมปาวด์คือยางที่ถูกผสมสารเคมีแล้วจะผ่านกระบวนการคงรูป (**vulcanization**) ทำให้ยางมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย **3มิติ (3-D network)** หรือที่เรียกว่าการเกิด **crosslink** ระหว่างโมเลกุลของยาง สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการคงรูปและควบคุมคุณสมบัติของยางเมื่อคงรูปแล้ว ได้แสดงไว้ดังตารางที่ **21**

ตารางที่ **21** แสดงส่วนประกอบ ปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน ซึ่งอยู่ในหน่วย **part per hundred rubber (phr)**

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ยาง ชนิดเดียว หรือ 2ชนิดขึ้นไป (rubber)	100
กำมะถัน (sulphur)	25-35
สารกระตุ้น (activator)	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป ชนิดเดียว หรือ 2ชนิดขึ้นไป (accelerator)	0.5-2.0
สารตัวเติม (filler)	(ตามที่ต้องการ)
สารทำให้ยางนิ่ม (plasticizer; peptizer)	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antidegradant)	1-2

ที่มา : หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

จากตารางที่ **21** สารเคมีแต่ละชนิดมีหน้าที่และมีผลต่อการคงรูปของยางที่แตกต่างกันได้แก่ สารเร่งให้ยางคงรูป (**accelerator**) เช่น **TMDD (Tetramethyl Thiuram Disulphide)** **MBT (2-mercapto benzothiazole)** และ **CBS (n-cyclohexyl benzothiazole 2-sulpheramide)** เป็นต้น สารกระตุ้นสารเร่ง (**activator**) ได้แก่ สารอนินทรีย์ พวกรังสีออกไซด์ (**ZnO**) สารอินทรีย์พวกกรดสเตียริก (**stearic acid**) และสารที่เป็นด่าง (นิยมใช้ในสูตรที่มีสารที่เป็นกรดหรือซัลไฟด์อยู่ด้วย) ได้แก่ สาร **DEG (diethylene glycol)** สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (**antidegradants**) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางทั่วไป โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นยางจึงมีสภาพที่อ่อนแอต่อการถูกปัจจัยต่างๆ เช่น โอโซน แสงแดด ออกซิเจนทำลายให้เสื่อมสภาพ การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มป้องกันการเสื่อมสภาพ ได้แก่ **IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine)** **TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized)** และ **BHT (2,6-Di-tert-Butyl (-p-cresol))** เป็นต้น สารตัวเติม (**filler**) เป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (**reinforcement**) ให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วย

เสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (**reinforcing filler**) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง) ได้แก่ ผงเขม่าดำ (**carbon black**) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (**inert filler or non-reinforcing filler**) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (**clay**) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น สารช่วยในกระบวนการผลิต (**processing aids**) สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เฉพาะตัวต่างๆ กัน เช่น สารที่ช่วยให้ยางนุ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวคน้ำมัน (**oils**) และสารเคมีย่อยยาง (**peptizer**) เช่น **pepton** และ **struktol** เป็นต้น สารบางตัวช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความอ่อนตัวสูงมากเกินไป ซึ่งจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยากในระหว่างการบดผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ **factice** เป็นต้น สารหน่วง (**retarder**) จะใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้ยางที่กำลังบดผสมคงรูปเสียก่อน (**scorch**) หรือที่เรียกว่า ยางตาย ตัวอย่างของสารหน่วง ได้แก่ **benzoic acid** หรือ **salicylic acid** เป็นต้น สารทำให้เกิดฟอง (**blowing agent**) ใช้สำหรับการทำให้ยางฟูในการทำยางพองน้ำ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ สาร **sodium bicarbonate** หรือ **dinitrosopentamethylene tetranine** เป็นต้น สารทำให้เกิดสี (**pigments**) อาจเป็นสีอนินทรีย์ เช่น **cadmium sulphide** (ให้สีแดงเข้ม-ส้มและเหลือง) **chromium oxide** (ให้สีเขียวขุ่น) และ **titanium dioxide** (ให้ยางมีสีขาวมีความสว่างหรือช่วยให้ยางสีต่างๆ มีสีที่สดขึ้น) ส่วนสีที่เป็นสีอินทรีย์จะให้สีสดและทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสีอนินทรีย์

2422 การบดยางและการผสมสารเคมี เนื่องจากยางธรรมชาติมีขนาดโมเลกุลใหญ่ การบดยางทำให้โมเลกุลของยางที่มีสายโซ่ยาวขาดออกจากกัน เพื่อลดความแข็งและความหนืดของยาง สมบัติของยางที่สำคัญสำหรับการบดผสมคือ ความหนืด (**viscosity**) ถ้ายางมีความหนืดสูงจะทำให้การบดผสมเป็นไปได้ยาก เนื่องจากสารเคมีจะเข้าผสมกับยางได้ยากและจะใช้พลังงานในการบดผสมสูง ด้วยเหตุนี้ก่อนการใส่สารเคมีลงไปจึงต้องมีการลดความหนืดโดยการบดยางให้ نرم ในบางกรณีอาจมีการเติมสารช่วยย่อยโมเลกุลเพื่อให้ยางนุ่มเร็วขึ้น โดยทั่วไปการบดยางจะกระทำในเครื่องบดซึ่งอาจใช้เครื่องบดระบบปิด (**internal mixer**) หรือเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (**two-roll mill**) ซึ่งเป็นระบบเปิด ขั้นตอนนี้ยางถูกทำให้ نرم โดยโมเลกุลของยางถูกทำให้ฉีกขาดเพราะแรงเฉือนจากเครื่องบดและจะใช้ระยะเวลาในการบดนานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความหนืดเริ่มต้นของยาง ถ้ายางมีความหนืดสูงมาก (โดยเฉพาะยางธรรมชาติ) ก็ต้องบดนาน อุณหภูมิของการบดควรต่ำกว่า **100°C** เพื่อป้องกันยางเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน การที่เครื่องบดยางระบบเปิดสองลูกกลิ้งทำให้ยางนุ่มลงได้นั้น เกิดจากปัจจัย คือ ความเร็วของลูกกลิ้งทั้งสองไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการฉีกขาด ออกซิเจนในชั้นบรรยากาศทำให้โมเลกุลที่ขาดออกจากกันไม่กลับมารวมตัวกันใหม่ได้ และอุณหภูมิของลูกกลิ้ง นอกจากนี้การตัดย่อยโมเลกุลยางทำให้ยางวัลคา

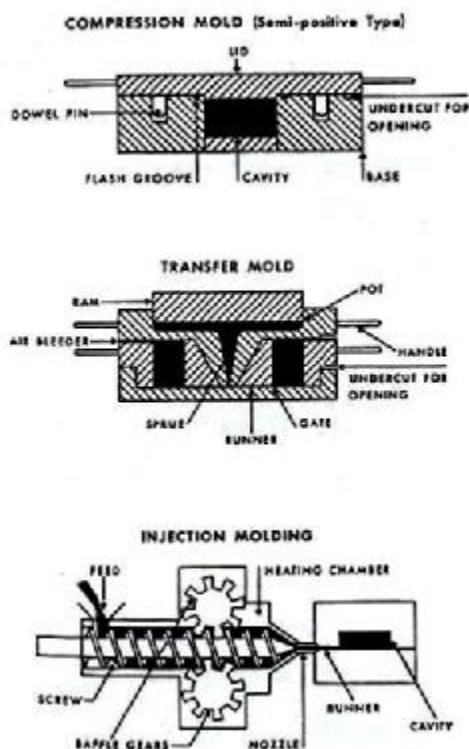
ในชั้นนี้ เปลี่ยนรูปได้ดีขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของยางมีขนาดเล็กลงจึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการควบคุมและกระจายแรงที่ดี (บุญธรรม และปรีชา. 2534)

2423 การขึ้นรูปยาง ในการขึ้นรูปยางจะใช้ต้องควบคุมให้ชิ้นงานอยู่ภายใต้ความดันประมาณ **2500 psi** และให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ **150°C** โดยอาจสูงหรือน้อยกว่านี้ตามความเหมาะสม และต้องกำหนดเวลาที่แน่นอนเพื่อให้ยางคงรูปได้อย่างสมบูรณ์ เวลาที่ใช้ในการอัดให้ความร้อนได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างยางคอมปาวด์ โดยการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ให้เป็นยางคงรูปหรือผลิตภัณฑ์ทำได้ 4 วิธีคือ การใช้แม่พิมพ์ (**Molding**) การอัดผ่านคาย (**Extruding**) การใช้เครื่องคาลินเดอร์ (**Calender**) และการฉาบสารละลายยางบนผ้า (**Spreading on fabric from rubber solution**)

1) การใช้แม่พิมพ์ (**moulding**) แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปมีหลายแบบ ได้แก่ แบบอัด (**compression mould**) แบบกึ่งฉีด (**transfer mould**) และแบบฉีด (**injection mould**) รูปที่ 231 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบต่างๆ แม่พิมพ์แบบอัดเป็นแม่พิมพ์แบบง่ายและราคาถูก ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดจะถูกอัดจากส่วนของแม่พิมพ์ที่เรียกว่า **Pot** เข้าไปยังช่องของแม่พิมพ์ที่เป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ โดยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดนี้สามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนได้ แม่พิมพ์แบบฉีดเป็นแบบที่ได้รับการพัฒนามาจาก 2 แบบแรก ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องที่เป็นส่วนทำให้ยางนุ่มแล้วฉีดยางเข้าพิมพ์ เครื่องฉีดและแม่พิมพ์แบบนี้ราคาสูงมาก แต่จะให้อัตราเร็วในการผลิตสูง เหมาะกับการผลิตชิ้นส่วนที่ซับซ้อนและมีปริมาณการผลิตสูง

2) การอัดผ่านคาย (**extrusion**) เครื่องอัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่อาศัยแรงอัดจากแรม (**ram**) และชนิดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของสกรู (**screw**) ชนิดหลังเป็นชนิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและเรียกกันว่า **extruder** ผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคนี้ได้แก่ ท่อ ยาง หุ้มสายเคเบิล และยางรัดของ เป็นต้น โดยปกติยางที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะต้องผ่านการอบให้ยางคงรูปในหม้ออบไอน้ำหลังจากดันยางออกจากคายแล้ว

3) การใช้เครื่องคาลินเดอร์ (**calender**) เครื่อง **calender** คือเครื่องที่ประกอบด้วยชุดของลูกกลิ้งจำนวน 23 หรือ 4 ลูก ที่ทำจากเหล็กหล่อผิวหน้าขัดเรียบ ปกติจะใช้เครื่อง **calender** ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบ มีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอหรือเพื่อการฉาบยางบางๆ ลงบนผ้าหรือแผ่นใยลวด (**coating**) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ สายพานลำเลียง ยางแผ่นเรียบใช้ในงานปูพื้นต่างๆ เช่น ยางแผ่นปูอ่างน้ำ ยางบุถัง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบให้คงรูปก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 231 การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์แบบต่างๆ
(ที่มา : หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล)

243 การทดสอบยาง

จากการสืบค้นข้อมูลของหน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ให้ข้อมูลการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยาง แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ การทดสอบคุณภาพยางดิบ การทดสอบสมบัติในกระบวนการผลิต (**processibility**) และการทดสอบสมบัติของยางที่คงรูปแล้ว (**vulcanizate properties**)

2431 การทดสอบคุณภาพของยางดิบ จะทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นยางธรรมชาติจะมีการทดสอบสิ่งเจือปน ความชื้น และสารประกอบบางอย่าง เช่น ไนโตรเจน ผงเถ้า ความอ่อนตัวและดัชนีความอ่อนตัวของยาง (**plasticity and plasticity retention index**) ค่าความหนืดมูนนี่ (**Mooney viscosity**) ส่วนยางสังเคราะห์มักทดสอบเฉพาะค่าความหนืดมูนนี่

2432 การทดสอบสมบัติในกระบวนการผลิต สมบัติที่จำเป็น ได้แก่ ความนิ่ม ความแข็งของยาง ซึ่งแสดงในรูปของค่าความหนืดมูนนี่ กรณีที่ต้องการศึกษาการไหล

(rheology) ก็ต้องใช้เครื่อง **capillary rheometer** ในการศึกษาลักษณะการคงรูปของยางที่จะวัด โดยใช้เครื่อง **oscillating disc rheology** หรือ **moving die rheology** เป็นต้น

2433 การทดสอบสมบัติของยางคงรูป สมบัติพื้นฐานของยางคงรูปที่ต้องทดสอบ ได้แก่ สมบัติการดึงยาง (**tensile properties**) เช่น ค่าความทนทานต่อแรงดึง (**tensile strength**) ค่าโมดูลัส (**modulus**) และค่าความยืดสูงสุด (**elongation at break**) สมบัติการทนทานต่อการฉีกขาด (**tear strength**) ความแข็ง (**hardness**) การหักงอ (**flex cracking**) การล้าตัว (**fatigue**) การต้านทานโอโซน (**ozone resistance**) การกระเด็ง (**rebound resilience**) ความทนทานต่อการขัดสี (**abrasion resistance**) การยุบตัว (**compression set**) การเกิดความร้อนสะสม (**heat build-up**) เป็นต้น

244 สมบัติทั่วไปของยางคงรูปหรือยางวัลคาไนซ์ (**vulcanizate**)

2441 ความแข็ง (**hardness**) ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ให้มีความแข็งที่ต่าง ๆ กันได้ ตั้งแต่เนื้อมาก (เช่น **30- 50 IRHD (International Rubber Hardness Density)**) ไปถึงความแข็งของยางอีโบนินต์ (มากกว่า **98 IRHD**) การปรับค่าความแข็งทำโดยการปรับปริมาณสารตัวเติมหรือกำมะถัน โดยช่วงกำมะถันประมาณ **10 - 20 phr** จะให้ยางที่มีความแข็งคล้ายหนัง (**leather like**) การใช้กำมะถันประมาณ **30- 50 phr** ทำให้ได้ยางอีโบนินต์

2442 ความต้านทานการทนต่อแรงดึง (**tensile strength**) แม้ไม่ได้เติมสารตัวเติม (**gamvulcanizate**) สามารถคอมปาวด์ให้มีความแข็งแรงสูงถึงประมาณ **30 MPa** จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถูมือยาง ถูยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2443 ความสามารถในการยืด (**elongation at break**) ยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมจะสามารถยืดได้สูงถึง **1000%** และความสามารถนี้จะเพิ่มตามการเพิ่มปริมาณสารตัวเติม และตามระดับของพันธะวัลคาไนซ์ ที่ดี มีความยืดหยุ่น (**Elasticity**) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (**heat build-up**) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (**tack**) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

2444 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (**tear resistance**) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้า ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

2445 ความสามารถในการกระเด็งตัวและฮิสเทอรีซิส (**elastic rebound and Hysteresis**) ยางธรรมชาติสามารถกระเด็งตัวได้สูงกว่ายางอื่น ๆ ยกเว้นยางบิวทาไดอินเท่านั้น

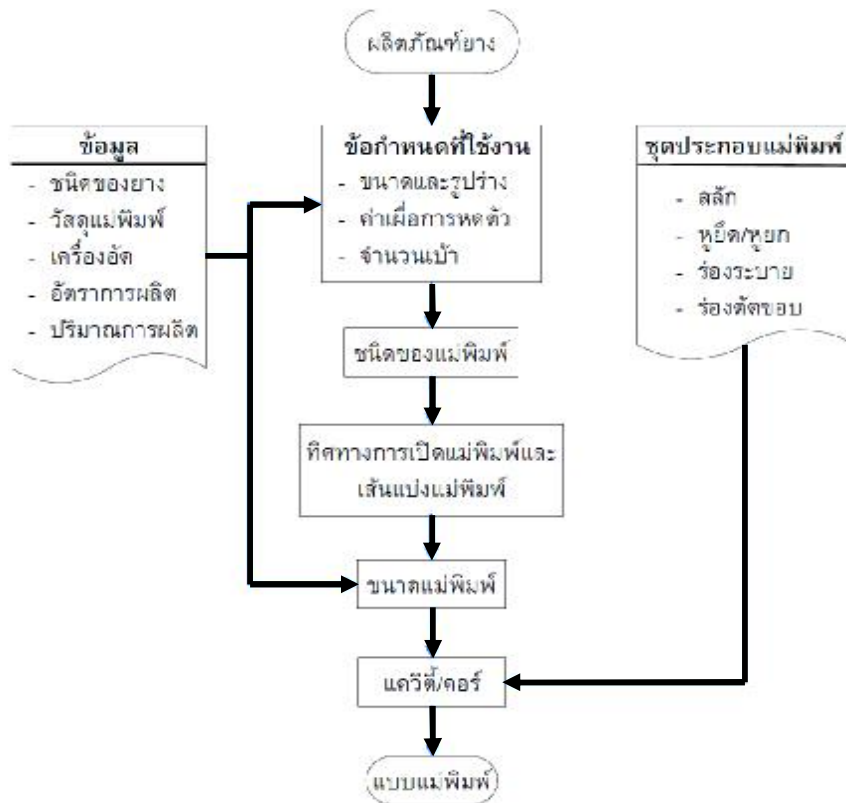
การกระด้างตัวของยางธรรมชาติสูงประมาณร้อยละ 70 เมื่อไม่เติมสารตัวเติมและจะลดลงตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น

2446 การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ (**low temperature flexibility**) มีความสามารถยืดหยุ่นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

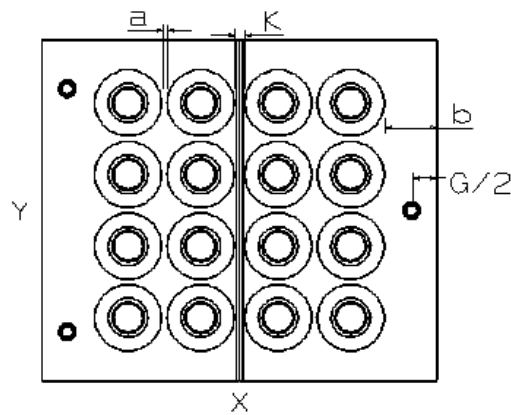
2347 ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ (**aging resistance**) ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับการใช้งานหลายชนิดเช่น ที่มีอุณหภูมิสูงและมีโอโซน แต่สามารถต้านการเสื่อมสภาพได้โดยการใส่สารป้องกันการเสื่อมสภาพและใช้ตัวเร่งประเภทไฮดรอกไซด์ โดยใช้เวลาระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ช่วงสั้นๆ และอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ไม่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติก็ทนต่อการเสื่อมสภาพไม่ดีเท่าอย่างสังเคราะห์บางชนิด ส่วนความทนทานต่อความร้อน (**Heat resistance**) ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า **70°C** เป็นระยะเวลานาน

25 การออกแบบแม่พิมพ์อัด (**compressive mold**)

การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเป็นวิธีการทำให้ยางเกิดเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์พร้อมๆ กับการเกิดปฏิกิริยาของรูปโดยความร้อนและแรงอัด โดยแม่พิมพ์อัดเป็นแม่พิมพ์ชนิดหนึ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถออกแบบและผลิตได้ง่าย อีกทั้งยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าแม่พิมพ์ชนิดอื่นๆ (สุกรี และคณะ, 2550) แม่พิมพ์อัดประกอบด้วยเบ้าตัวเมีย (**Cavity**) และเบ้าตัวผู้ (**Core**) ในกระบวนการการออกแบบแม่พิมพ์ต้องพิจารณาข้อมูลต่างๆ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ **232** ข้อมูลเบื้องต้นที่จะต้องพิจารณาได้แก่ ขนาดชิ้นงาน เครื่องอัด และจำนวนเบ้า โดยทั่วไปแม่พิมพ์อัดแบ่งได้ 2 ประเภทคือ แม่พิมพ์อัดชนิด **2** แผ่น และแม่พิมพ์อัดชนิด **3** แผ่น ซึ่งแม่พิมพ์อัดชนิด **2** แผ่น ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนและหนาไม่เกิน **20 mm** ส่วนแม่พิมพ์อัดชนิด **3** แผ่น ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อนเช่น ในกรณีที่แม่พิมพ์แบบ **2** แผ่นไม่สามารถดึงชิ้นงานออกจากเบ้าได้ และใช้กับชิ้นงานที่มีความหนามากกว่า **20 mm** วัสดุทำแม่พิมพ์ต้องเป็นเหล็กที่ใช้น้ำความร้อนได้ดี ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางมักนิยมใช้วัสดุแม่พิมพ์เป็นเหล็กเกรด **S50C** ทิศทางการเปิดแม่พิมพ์ต้องเลือกทิศทางที่สามารถดึงชิ้นงานออกได้ง่ายโดยพิจารณาเลือกทิศทางจากระนาบของชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุด ซึ่งมีเส้นแบ่งแม่พิมพ์เป็นส่วนกำหนดตำแหน่งการเปิดปิดของแม่พิมพ์และแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็นสองส่วน ขนาดของแม่พิมพ์จะขึ้นอยู่กับจำนวนเบ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และขนาดของเครื่องอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป รูปที่ **232** ได้แสดงสัดส่วนของแม่พิมพ์ในรูปของตัวแปรซึ่งใช้ในการคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์



รูปที่ 232 แสดงกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ (ชุกรี และคณะ 2550)



รูปที่ 233 แสดงสัดส่วนของแม่พิมพ์อัด (ชุกรี และคณะ 2550)

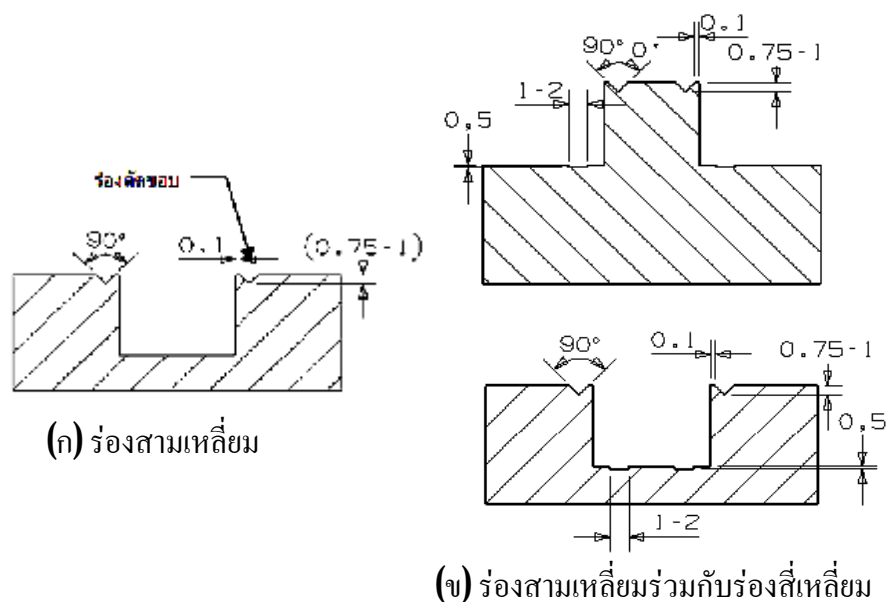
ตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 233 ใช้คำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์อัดได้โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$X = N_x (D + a) + ka + G \tag{252}$$

$$Y = N_y (D + a) + b \tag{253}$$

โดยที่	D	คือ ขนาดของส่วนที่โตสุดของชิ้นงาน
	a	คือ ระยะห่างระหว่างเบ้าอย่างน้อย 5mm
	N_x	คือ จำนวนเบ้าในแนว X
	N_y	คือ จำนวนเบ้าในแนว Y
	G	คือ ระยะการวางสลักเท่ากับ 80mm
	b	คือ ระยะห่างขอบเบ้าถึงขอบแม่พิมพ์ด้านที่ไม่ได้วางสลักเท่ากับ 40mm
	k	คือ ระยะเพื่อการวางร่องระบาย

แม่พิมพ์จะประกอบกันได้ ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยสลักนำ ซึ่งประกอบด้วย สลักตัวผู้ (**pin**) และสลักตัวเมีย (**bush**) ในกรณีที่แม่พิมพ์มีขนาดที่ไม่เกิน **400mm** จะใช้สลักแบบ **3** ตัว และถ้ามีขนาดเกิน **400mm** จะใช้สลักแบบ **4** ตัว ชิ้นงานยางจะถูกตัดออกจากส่วนที่เป็นครีด้วย ร่องตัดของ (**cutting line**) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ **2** แบบคือ แบบร่องสามเหลี่ยม โดยจะสร้างบนเบ้าตัวเมียดังรูปที่ **234(ก)** และแบบสามเหลี่ยมร่วมกับร่องสี่เหลี่ยม ร่องสามเหลี่ยมจะสร้างบนเบ้าตัวเมียเช่นกัน แต่ร่องสี่เหลี่ยมจะสร้างบนเบ้าตัวผู้ดังรูปที่ **234(ข)** ในการขึ้นรูปยางด้วยแม่พิมพ์อัดจะต้องใช้ยางในปริมาณที่มากพอจนยางเต็มแม่พิมพ์และดันออกมา ร่องระบายยางซึ่งอยู่บนเบ้าแผ่นล่างจะช่วยให้ยางไหลตัวได้ดีขึ้นจึงทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ (ชุกรี และคณะ, **2550**)



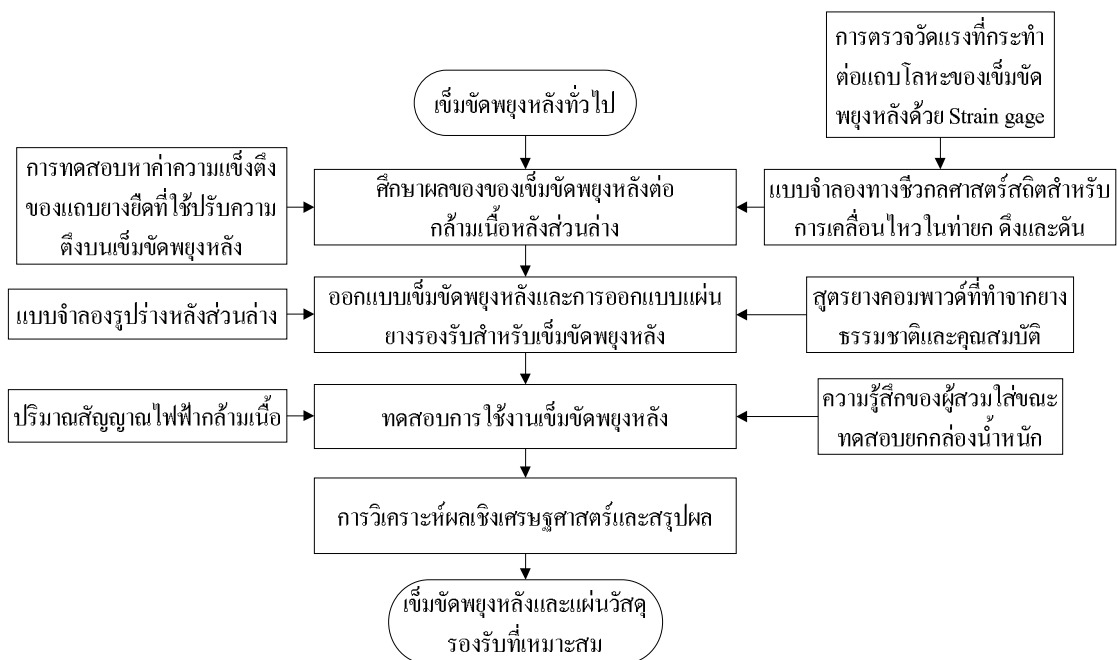
รูปที่ **234** แสดงลักษณะและขนาดของร่องตัดขอบของแม่พิมพ์ (ชุกรี และคณะ **2550**)

บทที่ 3 วิธีการและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สมมุติฐานในงานวิจัยนี้คือ แถบรองรับในเข็มขัดพุงหลังเป็นวัสดุที่สามารถลดแรงกดและแรงเฉือนที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก **L5/S1** และแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spine** ได้ และหากนำแผ่นยางธรรมชาติซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุไฮเปอร์อีลาสติกเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อ ให้มีคุณสมบัติเชิงกล ขนาด รูปร่าง และติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมมาใช้ แผ่นยางรองรับที่ทำจากยางธรรมชาตินี้จะสามารถลดแรงที่กระทำต่ออวัยวะดังกล่าวได้ดีกว่าการใช้แถบโลหะเป็นวัสดุรองรับเพียงอย่างเดียว จากสมมุติฐานข้างต้นนำมาสู่วิธีดำเนินการวิจัย วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในการศึกษาอิทธิพลของแผ่นรองรับยางธรรมชาติในเข็มขัดพุงหลังต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างสามารถเขียนเป็นขั้นตอนได้ตามผังดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ผังแสดงวิธีดำเนินการวิจัย

31.1 การศึกษาทดลองผลของเข็มขัดพยุงหลังต่อกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง

ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญถึงภาระที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ในขณะที่ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบโลหะเป็นวัสดุรองรับและเคลื่อนไหวในท่ายก ดึง และดันของ การศึกษาเพื่อทราบถึงผลดังกล่าวมีลำดับขั้นตอนดังนี้

31.1.1 การทดสอบหาค่าความแข็งตึง (**stiffness**) ของแถบยางยืดที่ใช้ปรับความตึงในการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง ความตึงที่เกิดขึ้นบนเข็มขัดพยุงหลังเมื่อสวมใส่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อแรงที่กระทำ และเพื่อให้ทราบถึงผลที่จะเกิดขึ้นจากตัวแปรนี้จึงจำเป็นต้องทราบค่าความแข็งตึง (**stiffness, k**) ของแถบยางยืดโดยการทดสอบนี้ใช้หลักการของสปริงจากกฎของฮุก (**Hooke's Law**) ซึ่งเขียนได้เป็นสมการที่ (31)

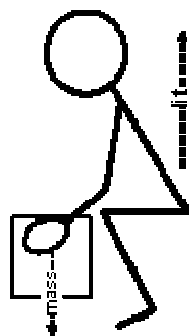
$$F = kx \quad (31)$$

โดยที่	F	คือ แรงที่กระทำซึ่งในที่นี้คือแรงดึง (N)
	k	คือ ค่าความแข็งตึงของแถบยางยืด (N/m)
	x	คือ ระยะการยืดตัว (m)

วัดระยะและบันทึกผลยืดตัวของยางยืดของเข็มขัดพยุงหลัง โดยใช้ก้อนน้ำหนักจากน้อยไปหามาก ทำการทดลองซ้ำ **3** ครั้ง จึงคำนวณหาค่าความแข็งตึงจากความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด

31.1.2 การศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก **L5/S1** และแรงตึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง **erector spinae** ใช้กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยชาย **3** คน อายุ **20-25** ปี บันทึกข้อมูลส่วนตัว เช่น อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ค่าดัชนีมวลกาย (**Body Mass Index, BMI**) และประวัติอาการปวดหลัง (ถ้ามี) กำหนดท่าทางการศึกษาทั้งหมด **3** ท่าทางคือ ยกของ (**Lift**) ดึงของ (**Pull**) และดันของ (**Push**) (**Cholewicki** และ **McGill, 1996**) เคลื่อนไหวในท่าทางดังกล่าวในขณะที่ใส่และไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง ในกรณีที่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง ปรับความตึงบนเข็มขัด **2** ระดับคือ **25N** และ **38N** ตามลำดับ ภาระงานที่ร่างกายต้องกระทำขึ้นอยู่กับท่าทางที่กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติ ในท่ายกของมี **3** เงื่อนไขคือ ใช้มือสองมือ ยกกล่องเปล่า ยกกล่องมวล **10kg** และยกกล่องมวล **20kg** ตามลำดับ ท่าดึงของมี **2** เงื่อนไขคือ ใช้แขนข้างที่ถนัดการเคลื่อนไหวในท่าดึงแต่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำกับใช้แขนข้างที่ถนัดการเคลื่อนไหวในท่าดึงเพื่อดึงมวล **5kg** ที่ผูกติดกับรอก ในส่วนของท่าดันของมี **2** เงื่อนไขคือ ใช้แขนข้างที่ถนัดเคลื่อนไหวใน

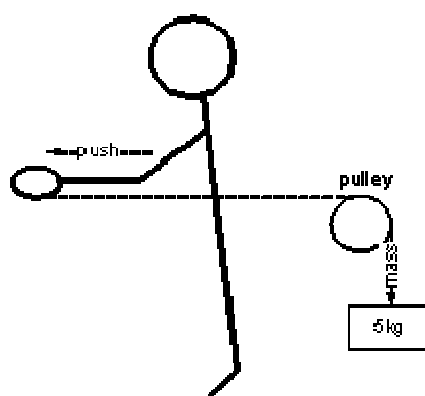
ทำคืนแต่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ กับใช้แขนข้างที่ถนัดดันมวล **5kg** ที่ผูกติดกับรอก ใช้เวลาในการเคลื่อนไหวและบันทึกภาพเป็นเวลา **15s** ในท่าก้มยก และเป็นเวลา **12s** ในท่าตั้งและดัน ซึ่งลักษณะท่าทางในการประเมินทางชีวกลศาสตร์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ **32** สัญญาณไฟฟ้าจากเกจวัดความเครียดดุกบันทึกในขณะที่กลุ่มตัวอย่างเคลื่อนไหวในท่าทางดังกล่าว



(ก) แสดงการเคลื่อนไหวแบบ Lift



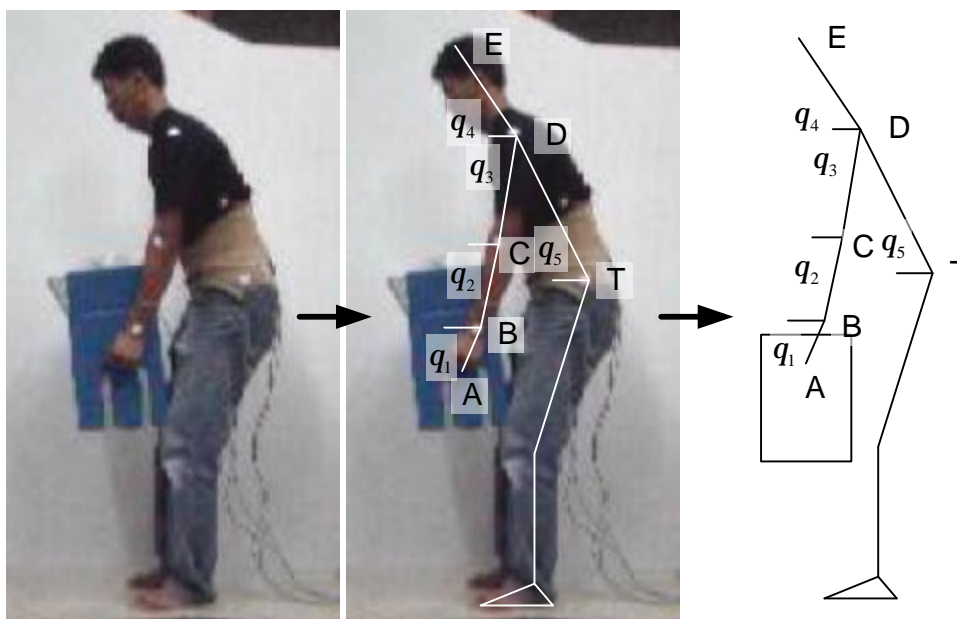
(ข) แสดงการเคลื่อนไหวแบบ Pull



(ค) แสดงการเคลื่อนไหวแบบ Push

รูปที่ **32** แสดงท่าทางในการประเมินทางชีวกลศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น **2** ส่วนคือ ส่วนภาพเคลื่อนไหวและส่วนสัญญาณไฟฟ้า โดยแปลงภาพเคลื่อนไหวเป็นภาพนิ่ง **1** ภาพต่อ **1** วินาที จะได้ **15** ภาพในส่วนของท่าก้มยกและ **12** ภาพในท่าตั้งและดัน นำภาพนิ่งแต่ละภาพเขียนผัง **free body** โดยใช้ซอฟต์แวร์เขียนแบบสองมิติ (**Hashemirad, F** และคณะ **2009**) ดังรูปที่ **33** แสดงการเขียนผัง **free body** ในท่ายกของซึ่งผัง **free body** ส่วนนี้สามารถใช้วิเคราะห์ตามหลักของชีวกลศาสตร์ได้ ทำให้ทราบถึงโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างของร่างกายส่วนต่างๆ เริ่มจาก มือ แขนท่อนล่าง แขนท่อนบน ศีรษะและลำตัวตามลำดับ



รูปที่ 33 แสดงการเขียนผัง **free body** ในท่ายกของ

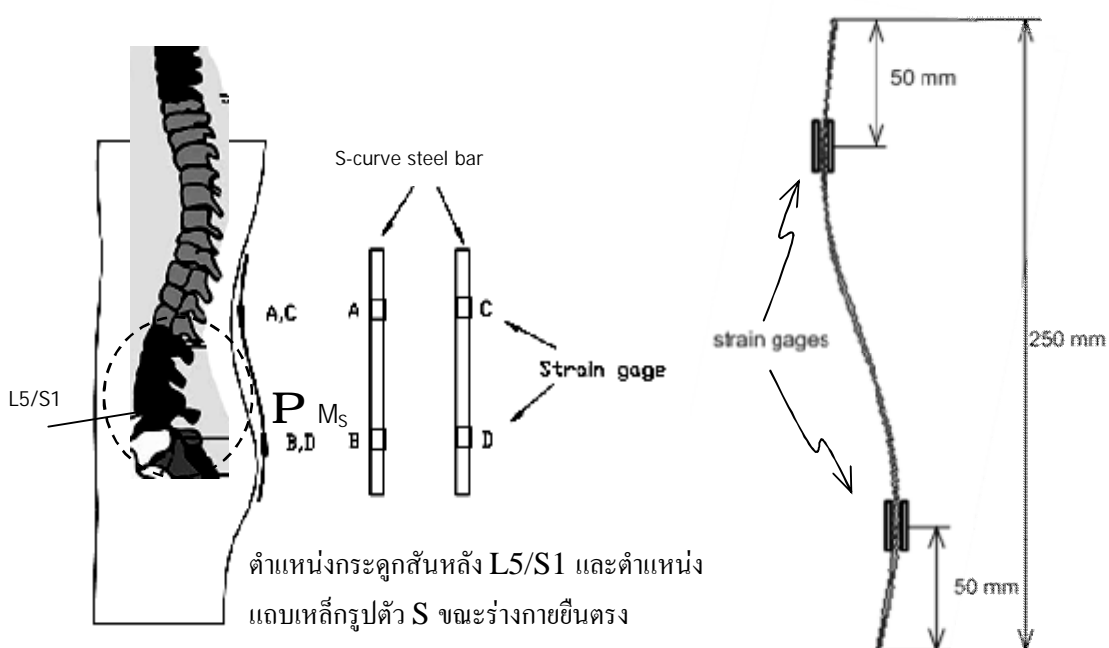
แถบโลหะ **2** ชั้นในเข็มขัดพยางหลังทำหน้าที่หลักในการรับแรงโดยตรงเมื่อมีการเคลื่อนไหวของลำตัว การวัดปริมาณแรงดังกล่าวซึ่งเป็นแรงค้ำทำโดยใช้เกจวัดความเครียด ขณะมีแรงกระทำทำให้แถบโลหะโก่งงอ เกจวัดวัดความเครียดจะยืดหรือหดตัวควบคู่กับพฤติกรรมของแถบโลหะ ทำให้ความต้านทานของเกจวัดความเครียดเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากวงจรบริดจ์ที่อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้ดังกล่าวบอกถึงปริมาณความเครียดที่เกิดขึ้นบนแถบโลหะ ความถี่ของการเก็บสัญญาณไฟฟ้าทำที่ **Sampling rate 10kHz** บันทึกค่าเฉลี่ยเหลือ **10 Samples/Sec** สัญญาณไฟฟ้ดังกล่าวถูกปรับค่าเริ่มต้นให้เท่ากับค่าที่ได้จากการปรับเทียบในขณะที่แถบโลหะขณะยังไม่ได้รับแรง ตำแหน่งการติดเกจวัดความเครียดแสดงดังในรูปที่ 34 การแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากเกจวัดความเครียดเป็น โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็ก โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$e_0 = \frac{E_0}{2} K_s \cdot e_0 \quad (32)$$

$$M = \frac{E S e_0}{E_0 K_s} \quad (33)$$

โดยที่ S คือ ค่าความเค้นค้ำ (**Pa**)
 e_0 คือ ค่าความเครียด

- M คือ โมเมนต์ค้ำ (N-m)
 E คือ Young's modulus (Pa)
 E_0 คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร (V)
 K_0 คือ ค่าคงที่เฉพาะของเกจวัดความเครียด (สำหรับสเตรนเกจ **KFG-5120-C1-23** มีค่าเท่ากับ **212**)
 S คือ Section modulus (m³)



รูปที่ 34 แสดงตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดบนแถบโลหะ

ผลจากหลักชีวกลศาสตร์ และข้อมูลสัญญาณจากเกจวัดความเครียดถูกวิเคราะห์ร่วมกัน โดยนำค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบโลหะที่คำนวณได้และจากหลักการแรงปฏิกิริยาเท่ากับแรงกิริยาตามกฎของนิวตัน ทำให้ทราบถึงโมเมนต์ที่แท้จริงที่เกิดขึ้นบริเวณเอว ทำให้สามารถประเมินถึงแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** และแรงดึงที่เกิดขึ้นบนกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ได้ ลักษณะของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** และบนแถบเหล็กรูปตัว **S** ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะบ่งชี้ถึงความสามารถของเข็มขัดพยุงหลังในการช่วยลดแรงกระทำที่เกิดกับอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่าง ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงที่จะเกิดอาการบาดเจ็บกับอวัยวะดังกล่าวได้ ในขณะที่เดียวกัน โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแถบ โลหะยังเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของแถบรองรับรูปแบบอื่นๆ ในเข็มขัดพยุงหลังได้



รูปที่ 35 แสดงลักษณะของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc**
และบนแถบเหล็กรูปตัว **S**

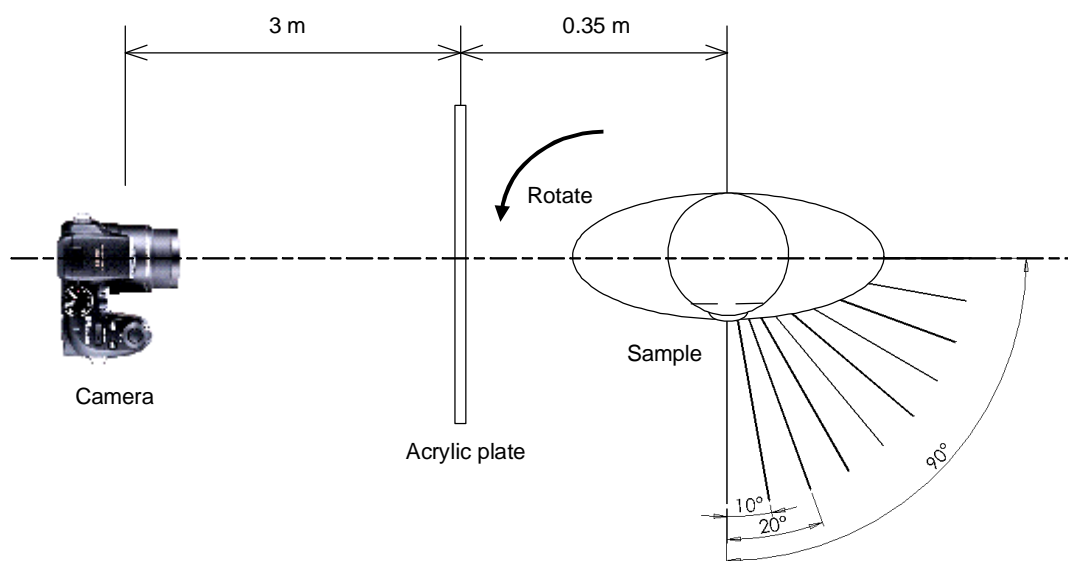
31.2 การออกแบบเข็มขัดพุงหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลัง

การออกแบบเข็มขัดพุงหลังต้องมีลักษณะที่สอดคล้องกับลำตัวบริเวณหลังส่วนล่างและใช้งานได้ง่ายโดยมีแผ่นยางรองรับเป็นชิ้นส่วนทำงานในลักษณะการรับแรงกดและดึงจากแถบโลหะ ดังนั้นแผ่นยางรองรับต้องมีความเหมาะสมในสองประการคือ ต้องมีขนาด รูปร่าง และตำแหน่งที่สอดคล้องกับหลังของมนุษย์ และมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นของแผ่นยางใกล้เคียงกับกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ดังนั้นในการดำเนินงานวิจัยการจึงสามารถแบ่งการศึกษาทดลองซึ่งต่อเนื่องจากกิจกรรมในหัวข้อที่ 31.1 ได้ดังนี้

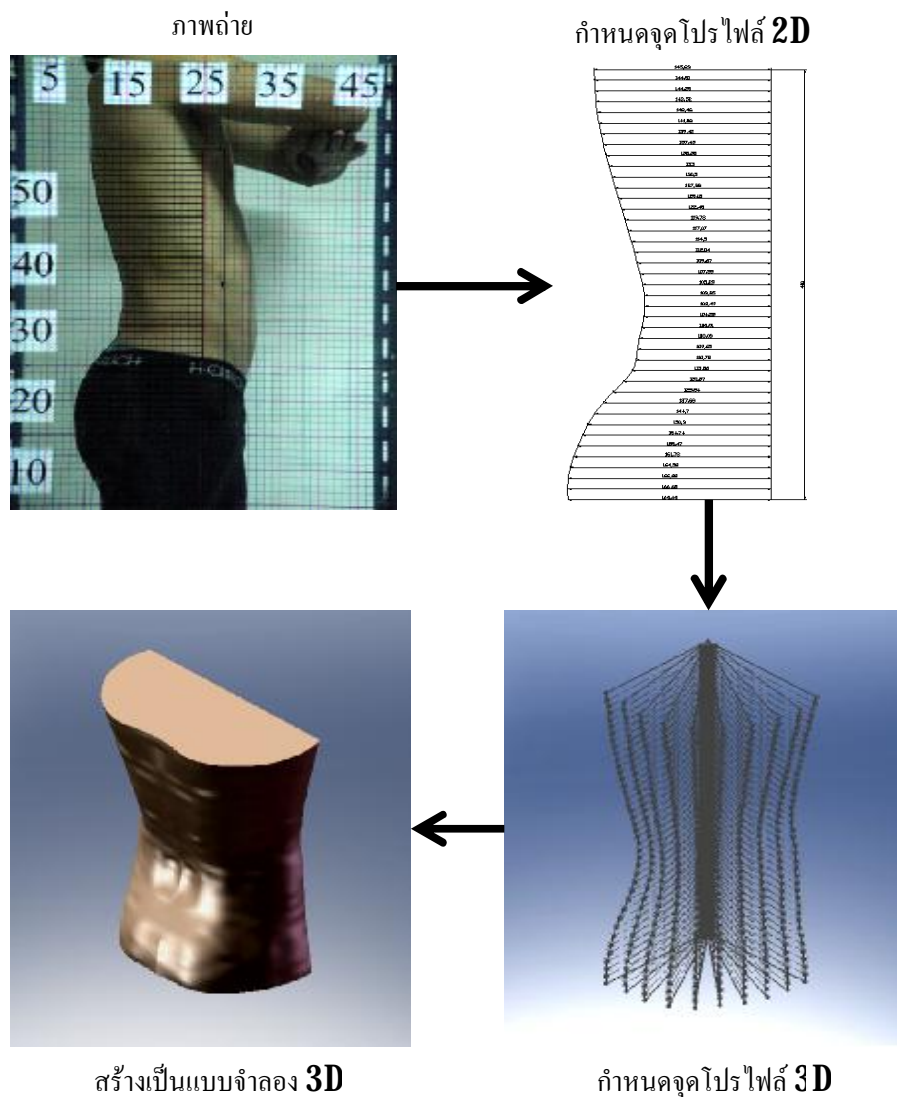
31.21 การสร้างแบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์ แบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์เป็นส่วนช่วยในการออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลัง ทำให้แผ่นรองรับที่ออกแบบมีความสอดคล้องกับรูปร่างของหลังส่วนล่าง การสร้างแบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์ทำให้ทราบถึงรูปร่างและขนาดของหลังส่วนล่างรวมถึงความโค้งเว้าของหลังได้

การเก็บข้อมูลรูปร่างแผ่นหลังของมนุษย์ใช้กลุ่มตัวอย่างชาย **10** คน เก็บข้อมูลทีละคนโดยการถ่ายภาพ กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะยืนบนเป็นยืนที่สามารถหมุนได้ และกำหนดตำแหน่งการยืนอย่างชัดเจน จากโปร่งใสด้านหน้าใช้แผ่นอะคริลิกที่ดีตารางขนาด **1 cm x 1 cm** และถูกตั้งระดับด้วยลูกดิ่งและระดับน้ำ ในการเก็บข้อมูลให้กลุ่มตัวอย่างถอดเสื้อแล้วยืนบนเป็นยืนในท่าตรง

ยื่นแขนทั้งสองข้างขัดจากกันด้านหน้าของลำตัวเพื่อไม่ให้แขนบังกล้องและหันด้านขวาเข้าหา
กล้อง ฉากอะคริลิกห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนของเบ้าเป็นชั้นเป็นระยะ **35cm** อยู่ระหว่างตัว
อาสาสมัครกับกล้องถ่ายภาพและกล้องถ่ายภาพห่างจากฉากอะคริลิกเป็นระยะ **3 m** ใช้ตำแหน่ง
สะดือของอาสาสมัครเป็นจุดอ้างอิงในการตั้งระดับความสูงของกล้องถ่ายภาพ ลักษณะการเก็บ
ข้อมูลภาพถ่ายแสดงไว้ในรูปที่ **36** เมื่อบันทึกภาพ **1** ภาพเสร็จจึงหมุนตัวของอาสาสมัครทวนเข็มนาฬิกา
10 องศา โดยอาสาสมัครยังยืนนิ่ง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบ **90 องศา** ทำให้ได้ภาพถ่าย **10**
ภาพต่ออาสาสมัคร **1** คน นำภาพที่ได้มากำหนดจุดโปรไฟล์ของรูปร่างหลังด้วยซอฟต์แวร์เขียนแบบ
2 มิติ และหาค่าเฉลี่ยของโปรไฟล์ดังกล่าวจากอาสาสมัครทั้ง **10** คน นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาสร้างเป็น
แบบจำลองบนซอฟต์แวร์ **3 มิติ** ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง **3 มิติ** ของหลังมนุษย์ไว้ดัง
รูปที่ **37**



รูปที่ **36** แสดงลักษณะการเก็บข้อมูลภาพถ่าย



รูปที่ 37 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของหลังมนุษย์

31.22 การหาสูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยางธรรมชาติ โดยคุณสมบัติความยืดหยุ่นของแผ่นยางรองรับในเข็มขัดพุงหลังต้องใกล้เคียงกับความยืดหยุ่นกล้ามเนื้อหลังบริเวณดังกล่าวในด้านการช่วยลดการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลดังกล่าวที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของยางกับการทำงานของกล้ามเนื้อ ดังนั้นจึงใช้สูตรยางแบบอ่อนเพื่อเป็นต้นแบบในการออกสูตรยาง 7 สูตรแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและทดสอบการใช้งานร่วมกับเข็มขัดพุงหลังต่อไป โดยสูตรยางที่นำมาใช้อ้างอิงมาจากสูตรพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยยางธรรมชาติและสารเคมีซึ่งมีหน้าที่และมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงไว้ใน

ตารางที่ 31 และในตารางที่ 32 เป็นปริมาณยางและสารเคมีในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งอยู่ในหน่วย **part per hundred rubber (phr)** ของสูตรยางที่กำหนดขึ้น

ตารางที่ 31 แสดงปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ที่นำมาใช้หาสูตรยางทั่วไปในหน่วย **part per hundred rubber (phr)** (อาทิตย์ สวีตดิรัรักษา และคณะ 2552)

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
STR 5L	100
Stuktol	vary
MBI	0.5-1.5
Stearic acid	1-2
ZnO	3-5
Wingstay L	1-2
Spindle oil	vary
Sulphur	2-3

ตารางที่ 32 แสดงปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรยาง 7 สูตรที่นำมาขึ้นรูป

ยางและสารเคมี	สูตรที่ 1 (phr)	สูตรที่ 2 (phr)	สูตรที่ 3 (phr)	สูตรที่ 4 (phr)	สูตรที่ 5 (phr)	สูตรที่ 6 (phr)	สูตรที่ 7 (phr)
ยาง STR 5L	100	100	100	100	100	100	100
stuktol	-	-	-	7	7	7	3
MBI	1	1	1	1	1	1	1
stearic acid	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ZnO	4	4	4	4	4	4	4
wingstay L	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
spindle oil	20	10	-	20	10	-	10
sulphur	25	25	25	25	25	25	25

การปรับคุณสมบัติยางคงรูปทำโดยปรับปริมาณของสารเคมีสองชนิดคือ **stuktol** และ **spindle oil** ซึ่งมีผลทำให้ยางที่คงรูปแล้วมีค่าความแข็งที่แตกต่างกัน ได้สูตรยาง 7 สูตร ดังตารางที่ 32 เมื่อกำหนดปริมาณยางและสารเคมีแล้วจึงทำการบดยางด้วยเครื่องบดผสมยางสอง

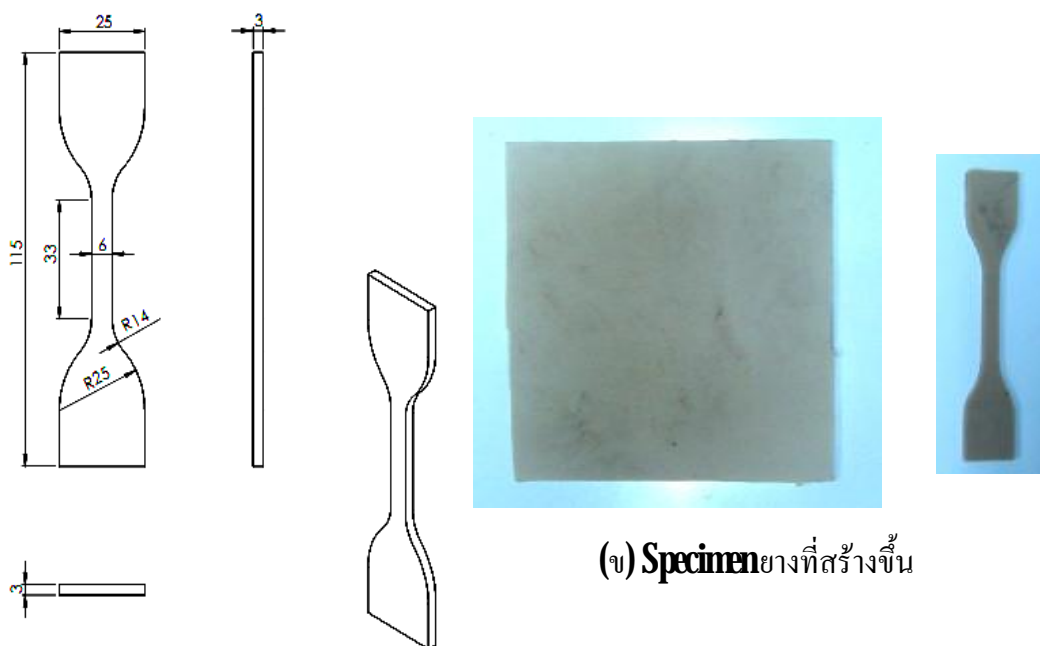
ลูกกลิ้ง (two - roll mill) เป็นเวลา 20 นาที ผสมสารเคมีเรียงตามลำดับเริ่มจาก stuktol จนถึง sulphur โดยใช้ spindle oil สลับกับสารเคมีชนิดอื่นได้ตลอดเพราะ spindle oil จะเข้ากับยางได้ยาก เมื่อใส่สารเคมีจนครบให้บดยางต่อจนสารเคมีกระจายตัวในเนื้อยางอย่างสม่ำเสมอก็จะได้อย่างคอมปาวด์ หลังจากนั้นเก็บยางคอมปาวด์ที่ได้ไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้สารเคมีกระจายเข้าเนื้อยาง แล้วนำขึ้นตัวอย่างยางคอมปาวด์มาทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน 2 ค่าคือ เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิ 150°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไป ด้วยเครื่องทดสอบหาเวลาในการวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer, MDR) และหาค่าความหนืดมูนินิที่อุณหภูมิ 100°C ด้วยเครื่องวัดค่าความหนืดของยาง (Mooney Viscometer, MV) เมื่อทราบถึงเวลาที่ยางคอมปาวด์ใช้ในการวัลคาไนซ์จึงนำยางดังกล่าวขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้าเพื่อสร้างชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบค่าความแข็ง ทดสอบแรงดึง และทดสอบแรงกดในลำดับต่อไป

31.23 การทดสอบหาคุณสมบัติยางคงรูป การทดสอบคุณสมบัติของยางคงรูปในงานวิจัยนี้มี 3 การทดสอบคือ การทดสอบค่าความแข็ง การทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกน และการทดสอบการรับแรงกด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของยางคงรูปกับผลการใช้งานในด้านการลดการทำงานของกล้ามเนื้อ จากสูตรยาง 7 สูตรในหัวข้อที่ 31.22 หากนำยางทั้ง 7 สูตรมาขึ้นรูปเป็นแผ่นยางรองรับเพื่อทดสอบการใช้งานร่วมกับเข็มขัดพุงหลัง จะทำให้แผ่นรองรับต้นแบบมีจำนวนมากเกินไปซึ่งต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง และหากจะสรุปสูตรยางเพียงสูตรใดสูตรหนึ่งเพื่อนำไปขึ้นรูป ก็เป็นการยากที่จะระบุได้ว่าสูตรยางที่มีคุณสมบัติเช่นใดที่จะสามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้ดีที่สุด วิธีหนึ่งในการลดจำนวนของแผ่นยางต้นแบบและนำไปสู่สูตรยางที่เหมาะสมคือ การเลือกสูตรยาง 3 สูตรจาก 7 สูตร โดยสูตรยาง 3 สูตรที่ถูกเลือกจะพิจารณาค่าความแข็ง 3 ระดับ คือ ความแข็งต่ำสุด ความแข็งปานกลาง และความแข็งสูงสุด โดยมีช่วงระยะห่างของค่าความแข็งเท่าๆ กัน และเมื่อได้ยางทั้ง 3 สูตรมาแล้วจึงนำยางดังกล่าวมาทำการทดสอบแรงดึงและแรงกดเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลต่อไป

1) การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของยางคงรูปทั้ง 7 สูตร ในการทดสอบส่วนนี้ใช้ชิ้นตัวอย่างยางคงรูปที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 6mm ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ในการทดสอบใช้ชิ้นตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้นต่อยาง 1 สูตรและทดสอบ 3 จุดต่อยาง 1 ชิ้นตัวอย่าง จะได้ข้อมูล 9 ค่าต่อ 1 สูตรยาง

2) การทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกน (Uniaxial Tensile Testing) ของยางคงรูปจากการทดสอบค่าความแข็งสามารถเลือกสูตรยางได้ 3 สูตร เพื่อใช้ขึ้นรูปเป็นแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลังและนำยางทั้ง 3 สูตรดังกล่าวมาทดสอบแรงดึงเพื่อทราบถึงคุณสมบัติเชิงกลของยาง ในการทดสอบนี้ใช้ชิ้นตัวอย่างยางคงรูปจำนวน 7 ชิ้น วิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน

ASTM D412 (1980) ใช้ขึ้นตัวอย่างขนาดตาม **Die-C** ตามมาตรฐานซึ่งมีรูปทรงแบบดัมเบล (**Dunbell Specimen**) มีความหนา **3 mm** ขนาดของขึ้นตัวอย่างได้แสดงไว้ในรูปที่ **38 (ก)** ขึ้นตัวอย่างจะขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ **150°C** ที่แรงดัน **2,500 psi** (อาทิตย์ สวัสดิรักษา และคณะ **2552**) และใช้เวลาในการอัดให้ความร้อนแตกต่างกันในแต่ละสูตรยางตามผลที่ได้จากการกิจกรรมในหัวข้อที่ **31.22** โดยอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ยางที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (**stainless**) หนา **3mm** เมื่อผ่านกระบวนการอัดให้ความร้อนแล้วจะได้แผ่นยางคงรูป ซึ่งแผ่นยางคงรูปดังกล่าวจะถูกอัดด้วย **Die** ดัมเบล **ASTM412-C** เพื่อตัดขึ้นยางตัวอย่างให้ได้ขนาดที่ถูกต้องตามมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ **38(ข)** เมื่อได้ขึ้นตัวอย่างตามขนาดที่ถูกต้องแล้วจึงนำมาทดสอบแรงดึง โดยดึงจนถึง **100%** สเตรน จำนวน **5** รอบต่อขึ้นทดสอบหนึ่งชิ้น ที่ความเร็ว **500mm/min** ค่าแรงดึงและระยะยืดจะถูกบันทึกโดยคอมพิวเตอร์



(ก) ขนาด **Specimen** สำหรับทดสอบแรงดึง

(ข) **Specimen** ยางที่สร้างขึ้น

รูปที่ 38 ลักษณะ **Specimen** ยางตามมาตรฐาน **ASTM412-C**

3) การทดสอบการรับแรงกด (Uniaxial Compressive Testing) นอกจากการทดสอบแรงดึงแล้วคุณสมบัติการรับแรงกดก็เป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะในขณะที่สวมใส่เข็มขัดพยางหลังแผ่นยางรองรับก็จะถูกกดไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นยางทั้ง **3** สูตรจึงถูกทดสอบการรับแรงกดตามมาตรฐาน **ASTM D 575-91** ขึ้นงานอยู่ในรูปของทรงกระบอก (**cylindrical disk**) ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง **285 mm** หนา **125 mm** ใช้ชั้นตัวอย่างยางคงรูปจำนวน **7** ชั้น กดด้วยอัตราคงที่ **10 mm/min** โดยมีผิวของหัวกดชิ้นงานเป็น โครเมียม และใช้สารหล่อลื่นระหว่างชิ้นงานและหัวกดเพื่อลดแรงเสียดทานให้เหลือน้อยที่สุด ทำการทดสอบจำนวน **35** รอบการทดสอบต่อชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้น และค่าแรงกดและการหดตัวจะถูกบันทึกเมื่อแรงกดเปลี่ยนไป

31.24 การออกแบบเข็มขัดพยางหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยางหลัง และการตัดเย็บเข็มขัดพยางหลังตามที่ได้ออกแบบ รูปร่างและลักษณะของเข็มขัดพยางหลังและแผ่นรองรับเป็นสิ่งสำคัญซึ่งนำไปสู่ผลของการใช้งานที่จะเกิดขึ้นในภายหลัง ทั้งนี้รายละเอียดต่างๆ เช่น ส่วนประกอบ ขนาด รูปร่างและตำแหน่งการสวมใส่ต้องสอดคล้องกับการใช้งาน แผ่นรองรับเป็นส่วนที่ทำหน้าที่หลักในการรับแรงเมื่อร่างกายมีการเคลื่อนไหว ดังนั้นรูปร่างของแผ่นรองรับจะต้องตอบสนองกับลักษณะการรับแรงที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้ได้ผลการใช้งานที่ดีเข็มขัดพยางหลังและแผ่นรองรับจะต้องทำงานสัมพันธ์กัน ดังนั้นวิธีการที่จะนำไปสู่ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นก็คือ การออกแบบลักษณะของเข็มขัดพยางหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยางหลังโดยอาศัยซอฟต์แวร์ด้านการเขียนแบบ **3** มิติเข้ามาช่วย ซึ่งจะช่วยให้เห็นรายละเอียดต่างๆ ที่ชัดเจนในขณะออกแบบและแก้ไขแบบ นำไปสู่การตัดเย็บเข็มขัดพยางหลังและการขึ้นรูปแผ่นรองรับได้ตามขนาดที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานในลำดับต่อไป โดยอาจสรุปเป็นขั้นตอนได้ **5** ขั้นตอนคือ

1) พิจารณาเข็มขัดพยางหลังที่มีจำหน่ายในปัจจุบันและตรวจค้นสิทธิบัตรเพื่อเป็นแนวทางในการออกและทราบข้อมูลการพัฒนาของเข็มขัดพยางหลังตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

2) พิจารณาคำแนะนำการสวมใส่และรูปร่างของเข็มขัดพยางหลัง โดยอาศัยแบบจำลอง **3** มิติในหัวข้อที่ **31.21** เนื่องจากแถบรองรับจะต้องมีรูปร่างสอดคล้องกับโปรไฟล์หลังของมนุษย์และสามารถปรับหรือดัดรูปร่างได้

3) ออกแบบและเขียนแบบแผ่นรองรับซึ่งประกอบด้วยแผ่นยางและแถบโลหะ โดยพิจารณาถึงพฤติกรรมการรับแรงและง่ายต่อกระบวนการขึ้นรูปรวมถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์

4) ออกแบบและเขียนแบบเข็มขัดพยางหลัง โดยเข็มขัดพยางหลังสามารถใส่หรือปรับเปลี่ยนแผ่นรองรับได้

5) ขึ้นรูปแผ่นยางรองรับจากยางธรรมชาติและตัดเย็บเข็มขัดพยางหลัง
เมื่อได้เข็มขัดพยางหลังตามแบบแล้วจึงนำเข็มขัดดังกล่าวไปทดสอบการใช้งานเพื่อหาว่าคุณสมบัติของแผ่นยางและแถบโลหะแบบใดที่เหมาะสม และนำไปสู่ข้อสรุปของวัสดุที่จะนำมาทำเป็นแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยางหลัง

31.3 การทดสอบการใช้งานเข็มขัดพยุงหลังที่ได้ศึกษาออกแบบ

เข็มขัดพยุงหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและสร้างขึ้น มา ต้องนำไปทดสอบการใช้งานในลักษณะการเคลื่อนไหวในท่ายกของ (Lift) เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้นกับเข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และที่จำหน่ายตามร้านอุปกรณ์การแพทย์ ในการทดสอบเข็มขัดพยุงหลังปัจจัยหนึ่งที่จะบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังคือ ความสามารถในการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง (Erector spinae) ดังนั้นเพื่อทราบถึงผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้น และเพื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับเข็มขัดพยุงหลังที่วางขายในท้องตลาด การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะตอบคำถามดังกล่าว

การศึกษาการเคลื่อนไหวในท่ายกของขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ได้ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 39 ซึ่งเป็นท่าที่บุคคลทั่วไปมักใช้ในการยกของ (Myamoto และคณะ, 1999) และเป็นท่าที่กล้ามเนื้อหลังทำงานหนักท่าหนึ่ง โดยทำการเปรียบเทียบในกรณีที่ไมใส่เข็มขัดพยุงหลังและใส่เข็มขัดพยุงหลัง ในกรณีที่ใส่เข็มขัดพยุงหลังใช้เข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด 11 แบบ

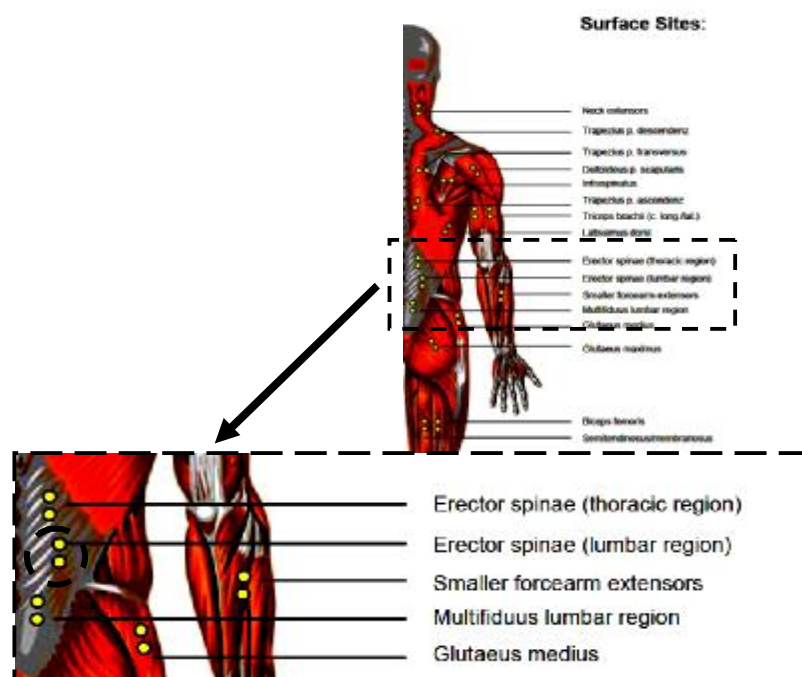


(ก) ท่ายกแบบย่อเข้าหลังตรง (leg lift) (ข) ท่ายกแบบหลังงอ (torso lift)

รูปที่ 39 แสดงท่าทางการเคลื่อนไหวในท่ายกของ

การทดสอบเข็มขัดจะใช้กลุ่มตัวอย่างชายจำนวน 20 คน ที่มีรอบเอวให้อยู่ในช่วง 28 นิ้ว ถึง 32 นิ้ว เพื่อสอดคล้องกับขนาดของเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและใช้ในการทดสอบ บันทึกข้อมูลพื้นฐานเช่นอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) โดยจะหลีกเลี่ยงบุคคลที่มี

ประวัติการปวดหลังที่รุนแรงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการบาดเจ็บจากการทดสอบ โดยกลุ่มตัวอย่างจะยกกล่องน้ำหนักที่มีมือจับขนาด **20kg** ซึ่งมีจากสีขาวอยู่ด้านหลัง บันทึกข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้อิเล็กโทรดแบบสัณผัสติดลงบนแผ่นหลัง บริเวณตำแหน่งของมัดกล้ามเนื้อ **erector spinae** ดังรูปที่ **310** ในการเคลื่อนไหวในท่ายกของทำโดยใช้มือสองมืยกกล่องที่มีน้ำหนัก **20kg** จากพื้นขึ้นมาอยู่ในท่ายืน โดยทั่วไปท่ายกของที่ถูกต้องการให้หลังตรงเพราะจะสามารถลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับลำตัวได้ แต่เนื่องจากในความเป็นจริงบุคคลที่ยกของมักไม่ได้ให้ความสำคัญกับท่าในการยกจึงทำให้ยกในท่าที่ไม่ถูกต้องคือ ก้มตัวไปด้านหน้ามาก ในการทดสอบผลของเข็มขัดพยุงหลังจึงใช้ท่าการเคลื่อนไหวทั้ง **2** ลักษณะ ซึ่งท่าการเคลื่อนไหวดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ **39** โดยใช้ความตึงของแถบยางยืดระดับ **2** คือ **25N** และ **38N**



รูปที่ **310** แสดงตำแหน่งในการติด **surface electrode** (Konrad, 2005)

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับและมีสัญญาณรบกวนอยู่บ้าง จึงเป็นการยากที่จะนำสัญญาณดังกล่าวมาวิเคราะห์ ดังนั้นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณก่อน (Winter, 2005) ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีขั้นตอนและวิธีการหลายแนวทาง อยู่ที่ผู้ใช้งานจะเลือกนำมาใช้งานตามความเหมาะสม วิธีแปลงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี **3** ขั้นตอนคือ

1) Fullwave rectify คือการนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับมีแอมพลิจูดเป็นบวกและลบมาแปลงให้สัญญาณแอมพลิจูดทั้งหมดเป็นบวกโดยจำนวนข้อมูลยังเท่าเดิม

2) Lowpass filter คือการกรองสัญญาณให้สัญญาณที่มีความถี่ที่ต่ำกว่าที่กำหนดผ่านได้ ในที่นี้กำหนดไว้ที่ **8Hz** โดยอาศัยซอฟต์แวร์ เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนแรกมาผ่านขั้นตอนนี้จะทำให้เห็นแนวโน้มของสัญญาณได้ชัดเจนขึ้นแต่ยังมีความขาดความต่อเนื่องของสัญญาณ

3) Moving average เป็นการทำให้สัญญาณเรียบขึ้นโดยการนำข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนที่ 2 มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงข้อมูล ซึ่งในที่นี้ใช้ค่าเฉลี่ยที่ **500** ข้อมูล ขั้นตอนนี้จะทำให้จำนวนข้อมูลลดลงและได้แนวโน้มของสัญญาณที่ชัดเจน ซึ่งสามารถนำสัญญาณที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบกับสัญญาณอื่นๆ ที่ผ่านขั้นตอนและวิธีการเดียวกันนี้ได้

31.32 การประเมินความพึงพอใจการใช้เข็มขัดพยุงหลัง วัตถุประสงค์หลักในการประเมินความพึงพอใจการใช้เข็มขัดพยุงหลังเพื่อประเมินความรู้สึกสบายของผู้สวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง ซึ่งต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายในท่า ยืน เดิน ก้มยกของ และนั่ง และใช้ความตึงของแถบยางยืด **2** ระดับคือ **25N** และ **38N** ใช้กลุ่มตัวอย่างชาย **10** คน ที่มีสุขภาพดี อายุ **20-25** ปี

32 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

จากวิธีดำเนินการวิจัยในหัวข้อที่ **31** ประกอบไปด้วยการศึกษาทดลองต่างๆ ที่มีวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด ในแต่ละการศึกษาทดลองดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่แตกต่างกัน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้งานในแต่ละการศึกษาทดลอง

321 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งตึงของแถบยางยืดที่ใช้ปรับความตึงในการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง

แถบยางยืดของเข็มขัดพยุงหลังแต่ละแบบดังรูปที่ **311** จะยึดตัวด้วยแรงตึงจากน้ำหนักถ่วงมีมวลขนาด **0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5** และ **4kg** ตามลำดับ โดยน้ำหนักถ่วงดังกล่าวผ่านการปรับเทียบด้วยเครื่องชั่งรุ่น **Adventurer OHAUS** ซึ่งมีความละเอียด $\pm 0.05g$ เมื่อแถบยางยืดถูกถ่วงด้วยน้ำหนักดังกล่าว จะเป็นผลให้เกิดแรงตึงมีค่า **490 981 1471 1962 2452 2943 3433** และ **3924N** ตามลำดับ เมื่อแถบยางยืดมีการยึดตัวจึงใช้ไม้บรรทัดซึ่งมีความละเอียด $\pm 0.5mm$ ในการวัด



(ก) เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากเหล็ก (MIO TECH รุ่น LS SUPPORT)

(ข) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบพลาสติก มีสายคล้องไหล่ (MIO TECH รุ่น BACKSUPPORT size M)

(ค) เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับส่วนหลังทำจากแถบอะลูมิเนียม (ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์)

(ง) เข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและตัดเย็บเสร็จแล้ว

รูปที่ 311 แสดงเข็มขัดพยุงหลังทั้ง 4 แบบที่ใช้ทดสอบหาค่าความแข็งตึงของแถบยางยืด

322 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก **L5/S1** และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae**

การศึกษานี้อาศัยหลักทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** และภาระการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ในขณะที่ใส่และไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากगेจวัดความเครียดสามารถบอกถึงพฤติกรรมของแถบโลหะที่เกิดขึ้นขณะผู้ถูกทดสอบกำลังเคลื่อนไหว ในการทดสอบใช้เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบเหล็กไม่มีสายคล้องไหล่ (**MIO TECH** รุ่น **LS SUPPORT size M**) แถบเหล็กหนา **1.2 mm** กว้าง **15 mm** ยาว **25 cm** รูปตัว **S** ซึ่งจะติดตั้งगेจวัดความเครียดของ **KYOWA STRAIN GAGES** รุ่น **KFG-5120-C1-23** โดยมี **Gage Factor** เท่ากับ $212 \pm 1.0\%$ **Gage Length** **5 mm** มีค่า **Gage resistance** $1198 \pm 0.2\% \Omega$ ต่อผ่านวงจรขยายสัญญาณगेจวัดความเครียด (**Strain gage Signal Amplifier**) มีค่า **Input** **5 V DC** ขยายสัญญาณ **20** เท่า **Data logger National Instruments NI USB-6009** **48k/s** **14bit** การบันทึกภาพเคลื่อนไหวทำโดยใช้กล้องดิจิทัล **SONY** รุ่น **Cyber-shot** **3.3 mega pixels** และมวลสำหรับใช้ยกขนาด **5 10** และ **20 kg** ในที่นี้ใช้กล่องมีมือจับบรรจุถุงทรายภายใน อุปกรณ์ต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ **312** และผังการเก็บข้อมูลซึ่งต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือเข้าด้วยกันแสดงไว้ดังรูปที่ **313**



(ก) แถบเหล็กที่ติดตั้งगेจวัดความเครียด



(ข) เข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบเหล็กอยู่ด้านหลัง

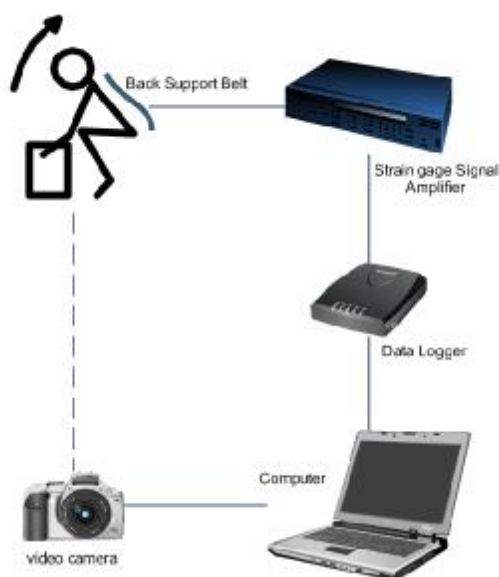


(ค) อุปกรณ์ขยายสัญญาณगेจวัด



(ง) **Data logger** สำหรับช่วยในการบันทึก

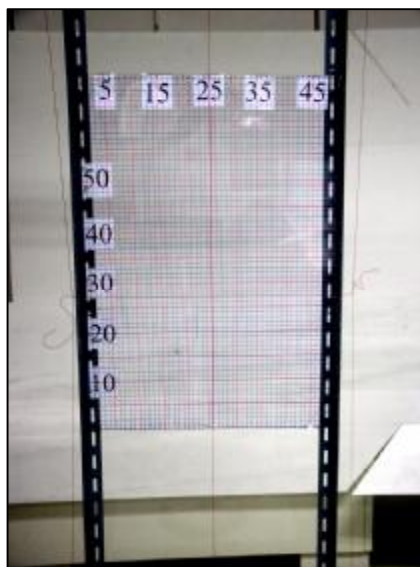
รูปที่ **312** แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาผลของเข็มขัดพยุงหลัง



รูปที่ 313 ผังการเก็บข้อมูล

323 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองหลังของมนุษย์

ใช้วิธีจับภาพนิ่งด้วยกล้องดิจิทัลออนไลน์ที่ภาพนิ่ง **SONY** รุ่น **Cyber-shot 33 mega pixels** โดยใช้แผ่นอะคริลิกโปร่งใสสีดำขนาด **1 cmx 1cm** เป็นฉากด้านหลัง กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะยืนบนเป็นยืนที่สามารถหมุนได้ อุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลรูปร่างของหลังได้แสดงไว้ดังรูปที่ 314



(ก) แผ่นอะคริลิกที่ติดตารางไว้ช่องละ **1 cm²** (ข) เป็นยืนที่สามารถหมุนได้

รูปที่ 314 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลรูปร่างของหลัง

324 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยาง

ธรรมชาติ

3241 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการกำหนดสูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยางธรรมชาติในงานวิจัยได้แก่

- 1) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activator) จาก ห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2) กรดสเตียริก (Stearic Acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (activator) เป็นสารช่วยบดย่อยยาง เพื่อให้ยางมีความนิ่มขึ้น จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด
- 3) สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradant) ใช้ wingstay L ทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาที่เกิดจากพันธะคู่ของยางกับออกซิเจน จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด
- 4) เมอร์แคปเบนโซไทโอะโซล (2-Mercaptobenzothiazole, MBT) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด
- 5) กำมะถัน (Sulphur, S) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) จาก ห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 6) สารเคมีย่อยยาง (Peptizer) ใช้ stuktol ทำหน้าที่เป็นสารช่วยบดย่อยยาง เพื่อให้ยางนิ่มขึ้น ง่ายต่อการบดและผสมสารเคมีอื่นๆ จากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 7) น้ำมัน (Oil) ใช้ spindle oil ทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้ยางนิ่ม จากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3242 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยางธรรมชาติในงานวิจัยได้แก่

- 1) เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery รุ่น YFM160B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว จำนวน 2 ลูกกลิ้ง อัตราเร็วลูกกลิ้งข้างหน้าต่อลูกกลิ้งข้างหลังเท่ากับ 1:1.22 ใช้เป็นเครื่องมือในการผสมยางคอมปาวด์ดังรูปที่ 315 (ก)
- 2) เครื่องอัดเบ้า (Compression molding) ผลิตโดยบริษัท Tang- Master รุ่น LCC 140 ใช้ระบบไฮดรอลิกให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า ความดันสูงสุด 3,000 psi ใช้เป็นเครื่องมือขึ้นรูปยางคอมปาวด์ดังรูปที่ 315(ข)
- 3) เครื่องทดสอบหาเวลาวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer MDR 2000) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies Service Inc รุ่น 36AIG 2953 ใช้หาเวลาวัลคาไนซ์ (cure time) ของยางคอมปาวด์ดังรูปที่ 316(ก)

4 เครื่องมือทดสอบความหนืดของยางดิบ (Mooney Viscosity) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies Service Inc รุ่น MV2000 ใช้หาค่าความหนืดของยางดิบดังรูปที่ 316(ข)



(ก) เครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) (ข) เครื่องอัดเบ้า (Compression molding machine)
รูปที่ 315 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการบดยางและอัดขึ้นรูป



(ก) เครื่องทดสอบการวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer, MDR) (ข) เครื่องทดสอบความหนืดของยาง (Mooney viscometer)

รูปที่ 316 เครื่องทดสอบยางคอมปาวด์

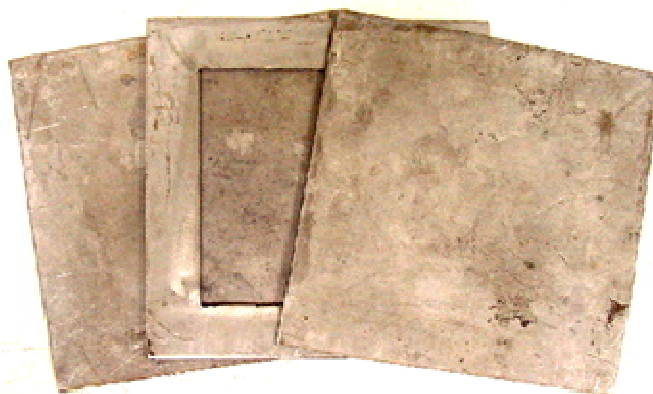
325 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติยางคงรูป

3251 การทดสอบค่าความแข็ง (**Hardness**) ของยางคงรูปทั้ง 7 สูตร ใช้
 ชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง **19mm**หนา **125mm**ทดสอบหาค่าความ
 แข็งโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง **Durometer Shore A** ผลิตโดยบริษัท **Zwick GmbH & Co. KG**
Roell รุ่น **3100** ดังรูปที่ **317**



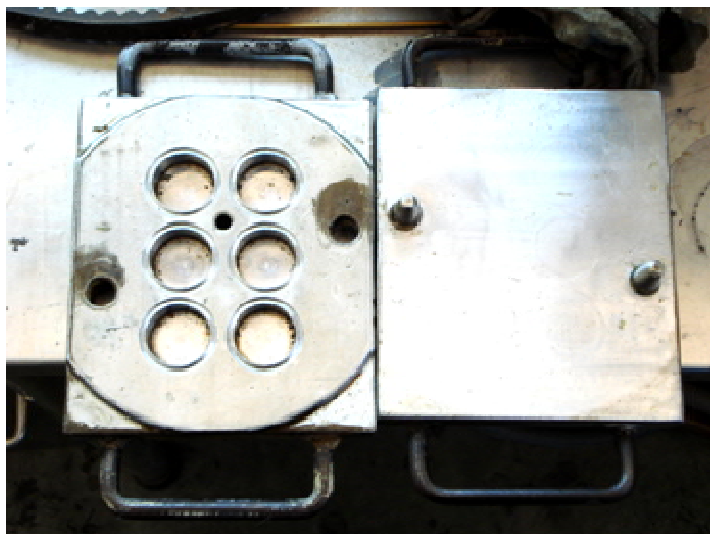
(ก) เครื่องวัดความแข็งของยาง (ข) ชิ้นตัวอย่างยางคงรูป
 รูปที่ **317** แสดงเครื่องมือและชิ้นตัวอย่างยางคงรูปในการทดสอบความแข็ง

3252 การทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกน (**uniaxial tensile testing**)
 ของยางคงรูป ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงวัสดุ (**Universal Testing Machine**) **Lloyd Instruments**
 รุ่น **LR10K** ใช้ **Load cell** ขนาด **100N** โดยอัดขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยแม่พิมพ์ยางที่ทำจาก
 แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (**stainless**) ขนาด **140mmx140mmx3mm** ดังแสดงในรูปที่ **318**

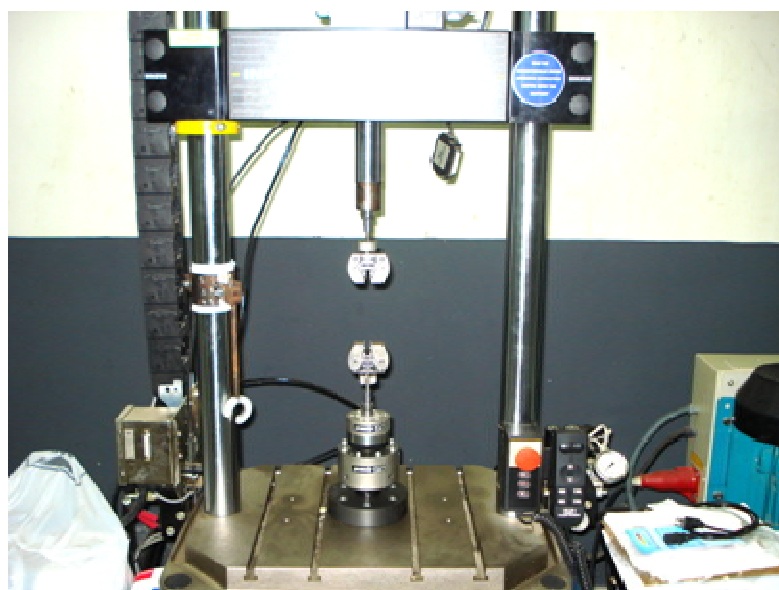


รูปที่ **318** แสดงลักษณะแม่พิมพ์ยางที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (**stainless**)

3253การทดสอบการรับแรงกด (**uniaxial compressive testing**) ขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างทดสอบโดยใช้แม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์ดังรูปที่ **319**เพื่อให้ขนาดของชิ้นตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน และทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงวัสดุ (**Universal Testing Machine**) ผลิตโดย **Instron** รุ่น **8878** ใช้ **Load cell** ขนาด **25 kN** ดังรูปที่ **320**



รูปที่ **319**แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอก



รูปที่ **320**เครื่องทดสอบความแข็งแรงวัสดุ (**Universal testing machine**)

326 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเข็มขัดพยุงหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง

ในการออกแบบทั้งเข็มขัดพยุงหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ วัสดุที่ทำหน้าที่รับแรง ในที่นี้คือ ยางธรรมชาติที่ได้จากการดำเนินการในหัวข้อที่ 324 และแถบโลหะ สำหรับการออกแบบรูปร่างและลักษณะของทั้งเข็มขัดพยุงหลังและแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังใช้ซอฟต์แวร์เขียนแบบ 3 มิติเป็นเครื่องมือหลักในการออกแบบและกำหนดขนาดเพื่อสามารถดำเนินการสร้างให้ได้ชิ้นงานที่ขนาดและรูปร่างตามความต้องการ

327 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้นกับเข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และที่จำหน่ายตามร้านอุปกรณ์การแพทย์

เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 11 แบบ ประกอบด้วยเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ size M ซึ่งมีแถบรองรับเป็นโลหะอลูมิเนียม เข็มขัดพยุงหลัง MO TECH รุ่น BACK SUPPORT size M มีแถบรองรับเป็นพลาสติก และเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและตัดเย็บขึ้นมาซึ่งมีลักษณะและรูปร่างเหมือนกันจำนวน 9 ตัว แต่มีแผ่นรองรับที่แตกต่างกันคือ

- แผ่นยางรองรับสูตร 1
- แผ่นยางรองรับสูตร 1 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 1.6mm
- แผ่นยางรองรับสูตร 1 ร่วมกับแถบอะลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 2mm
- แผ่นยางรองรับสูตร 6
- แผ่นยางรองรับสูตร 6 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 1.6mm
- แผ่นยางรองรับสูตร 6 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 2mm
- แผ่นยางรองรับสูตร 7
- แผ่นยางรองรับสูตร 7 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 1.6mm
- แผ่นยางรองรับสูตร 7 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 2mm

ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อใช้เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มีกำลังขยายสัญญาณ 500 เท่า ค้างรูปที่ 321 (ก) วัดสัญญาณจากอิเล็กโทรดแบบสัมผัสสำหรับผู้ใหญ่แบบแผ่นกลม ขั้วอิเล็กโทรดทำจาก Ag/AgCl มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10mm หนา 1 mm แผ่น โฟมมี

เส้นผ่านศูนย์กลาง **43mm**หนา **1 mm** ดังรูปที่ **321 (ง)** การเก็บสัญญาณใช้ **sampling rate** เท่ากับ **1000 Hz** (Kumar และคณะ (2006) (Hashenrad และคณะ (2009) โดยกรองสัญญาณด้วย **high pass filter** ที่ **50 Hz order 4** (Hall, L และคณะ 2009) บันทึกข้อมูลผ่าน **Data logger** ของ **National Instruments NI USB-6009 Analog Inputs 48 kS/s 14 bits** และบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ บันทึกภาพเคลื่อนไหวที่ระยะ **45m** ด้วยกล้อง **OKER160MPixels** โดยกลุ่มตัวอย่างจะยกกล่อง น้ำหนักที่มีมือจับขนาด **20kg** ซึ่งมีฉากสีขาวอยู่ด้านหลังดังรูปที่ **321 (ค)**



(ก) แสดงเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ



(ง) อิเล็กโทรดแบบสัมผัส (Surface Electrode)



(ค) กล่องน้ำหนักขนาด **20kg**
และฉากถ่ายภาพ

รูปที่ **321** แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)

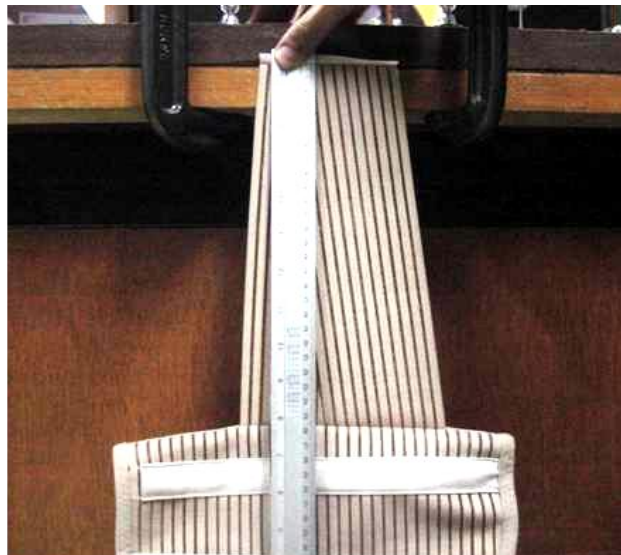
บทที่ 4

ผลการทดลอง และการออกแบบเข็มขัดพุงหลัง

ผลการศึกษาทดลองตามวิธีดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 แสดงไว้ในบทนี้ ผลจากการศึกษานี้เป็นข้อมูลในการออกแบบและการทดสอบการใช้งานเข็มขัดพุงหลังที่มีแผ่นรองรับทำจากยางธรรมชาติ

41 ผลการทดสอบหาค่าความแข็งตึง (stiffness) ของแถบยางยืดที่ใช้ปรับความตึงในการสวมใส่เข็มขัดพุงหลัง

การทดสอบหาค่าความแข็งตึงของแถบยางยืดเพื่อทราบค่าที่ใช้ในการควบคุมความตึงหรือความกระชับที่เกิดขึ้นบนเข็มขัดพุงหลัง รูปที่ 41 ได้แสดงการวัดระยะยืดตัวของแถบยางยืดในขณะที่ถ่วงน้ำหนัก ผลการทดสอบตามวิธีการในหัวข้อที่ 31.1.1 แสดงดังตารางที่ 41 และรูปที่ 42



รูปที่ 41 แสดงการวัดการยืดตัวของแถบยางยืดที่อยู่บนเข็มขัดพุงหลัง

ตารางที่ 41 แสดงค่าของแรงกับระยะยืดที่เกิดขึ้นบนแถบยางยืดเข็มขัดพุงหลัง 4 แบบ

Force (N)	Displacement of elastic strip (m)			
	Mio S	Mio P	S-Hospital	Modified
00	00	00	00	00
490	04	07	01	01
981	1.4	1.6	09	04
1472	3.1	3.0	21	1.2
1962	5.5	4.4	35	2.1
2452	7.8	6.0	5.2	3.0
2943	10.5	7.6	7.2	4.3
3434	12.5	9.2	9.0	5.5
3924	14.5	10.7	11.8	6.6
k(N/cm)	279	387	386	663

Mio S

คือ เข็มขัดพุงหลังที่แถบรองรับทำจากเหล็ก **MIO TECH** รุ่น **LS SUPPORT**

Mio P

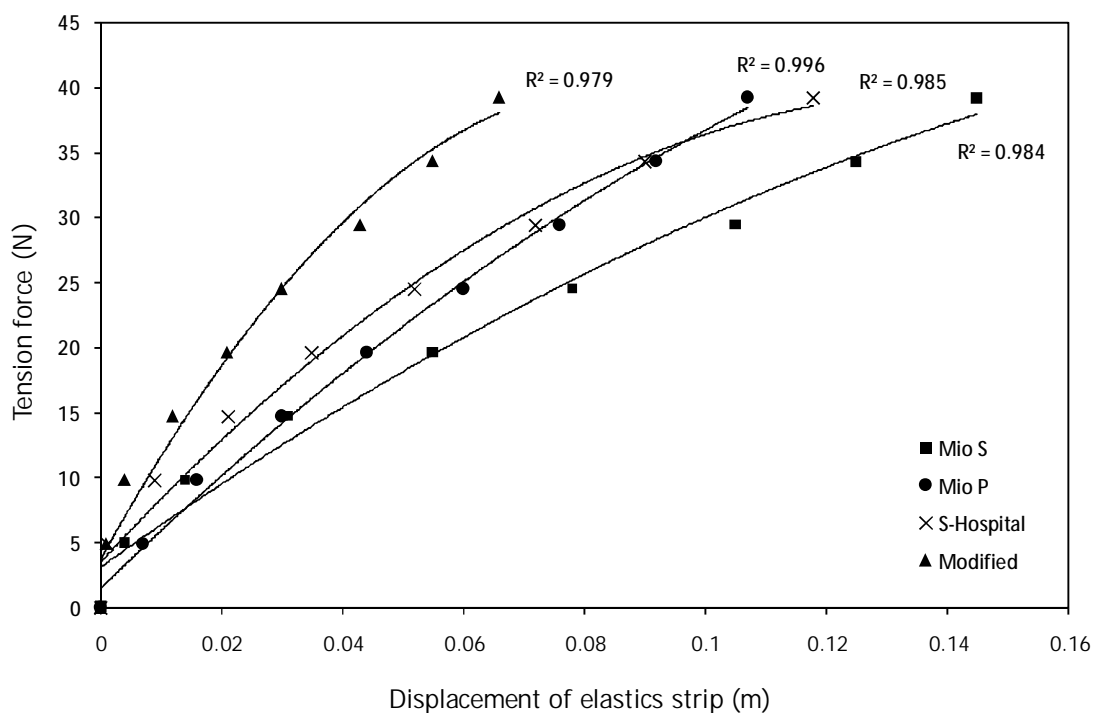
คือ เข็มขัดพุงหลังแบบที่แถบรองรับทำจากพลาสติก **MIO TECH** รุ่น **BACK SUPPORT**

S-Hospital

คือ เข็มขัดพุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

Modified

คือ เข็มขัดพุงหลังที่ออกแบบและตัดเย็บในงานวิจัยนี้



รูปที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวของแถบยางยืดจาก
เข็มขัดพุงหลัง 4 แบบ

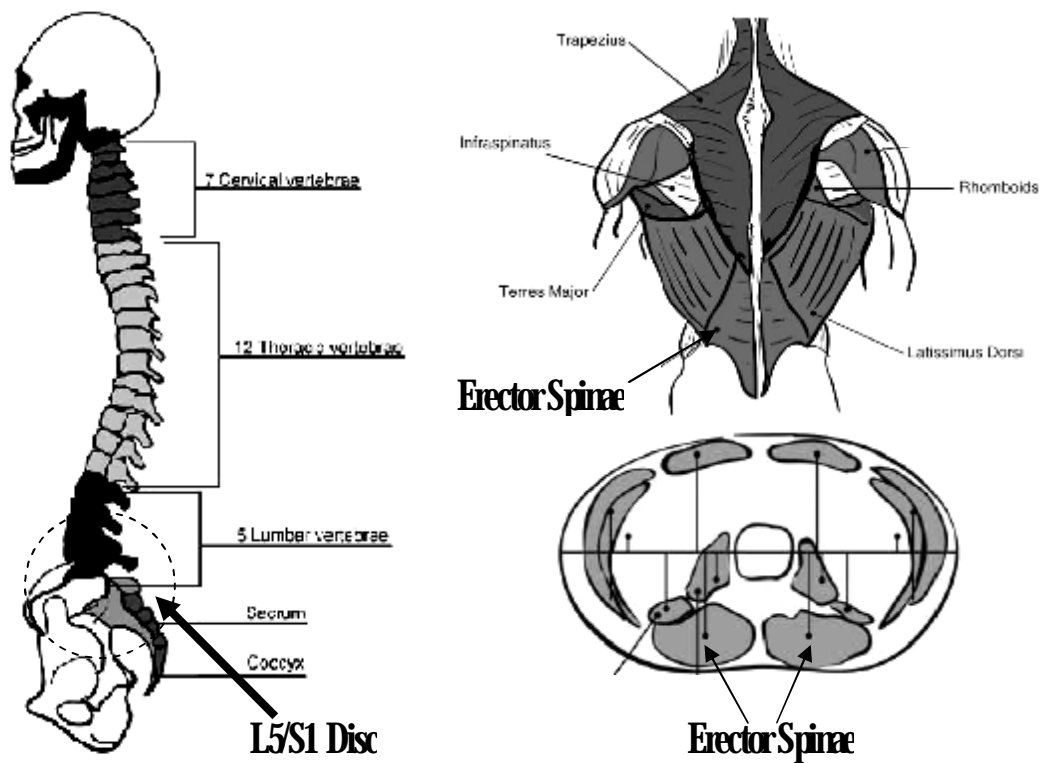
จากตารางที่ 41 และรูปที่ 42 แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งดึงของแถบยางยืดของเข็มขัดพุงหลังทั้ง 4 แบบไม่คงที่ โดยค่าความแข็งดึงของ **Mio S belt** โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ **288 N/cm** ของ **Mio S belt** มีค่าเท่ากับ **387 N/cm** ของ **PSU belt** มีค่าเท่ากับ **386 N/cm** และของ **Modified belt** มีค่าเท่ากับ **663 N/cm** จะเห็นได้ว่า **Modified belt** มีค่าความแข็งดึงที่สูงที่สุดในกลุ่ม เนื่องจากได้เพิ่มแถบยางยืดอีกหนึ่งคู่หรือเพิ่มประมาณ **50%** ของแถบยางยืดเดิม การเพิ่มแถบยางยืดนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ในการกระจายแรงเข้าสู่เข็มขัดและเข้าสู่อวัยวะบริเวณที่สวมใส่ให้ได้มากขึ้น เป็นผลให้ทำให้เข็มขัดพุงหลังและแผ่นรองรับสามารถทำงานได้ดีขึ้น ค่าความแข็งดึงทั้ง 4 ค่านี้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมความตึงของแถบยางยืดในเข็มขัดพุงให้มีความตึง 2 ระดับคือ **25N** และ **38 N** ซึ่งกำหนดจากค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแถบยางยืด

4.2 ผลการศึกษาผลของเข็มขัดพุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae

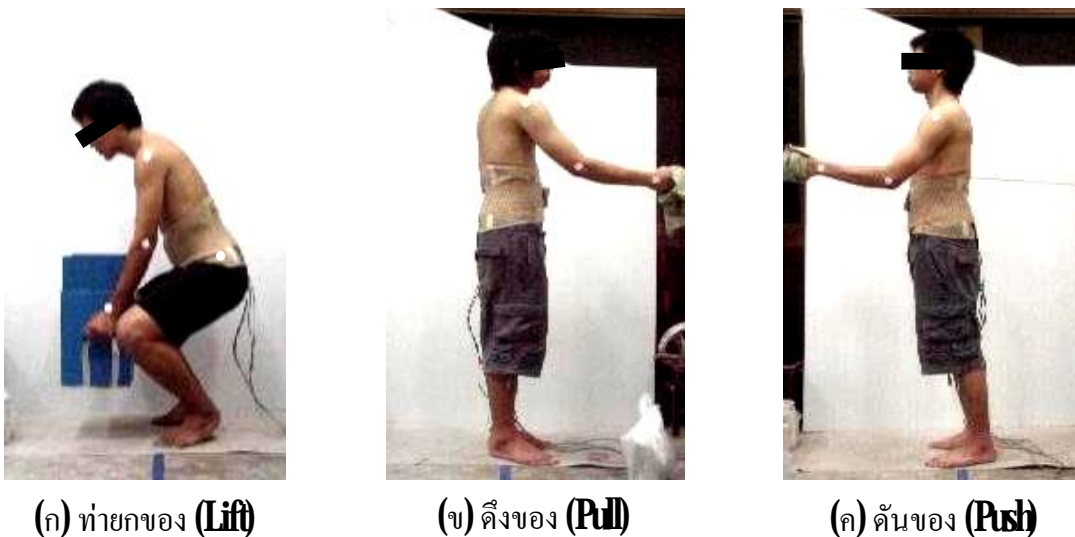
ในการศึกษาผลของเข็มขัดพุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 (L5/S1 Disc) และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae ใช้กลุ่มตัวอย่าง 3 คน ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 42 และทำการทดลองตามหัวข้อที่ 31.1.2 โดยกำหนดให้ความตึงของเข็มขัดพุงหลังระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับ **25N** ใช้สัญลักษณ์ **BS1** ความตึงระดับที่ 2 มีค่าเท่ากับ **38N** ใช้สัญลักษณ์ **BS2** และในกรณีไม่ใส่เข็มขัดพุงหลังใช้สัญลักษณ์ **no BS** ตำแหน่ง **L5/S1 Disc** และกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 43 สำหรับท่าทางการเคลื่อนไหวในขณะที่ดำเนินการทดลองได้แสดงไว้ดังรูปที่ 44 ซึ่งประกอบด้วย 3 ท่าทางคือ ท่ายกของ (Lift) ดึงของ (Pull) และดันของ (Push)

ตารางที่ 42 แสดงข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลของเข็มขัดพุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae

No	Age (years)	Weight (kg)	Height (m)	(BMI)	Category
1	23	65	1.75	21.2	Normal
2	22	70	1.74	23.1	Normal
3	21	60	1.73	20.0	Normal
Mean	22	65	1.74	21.4	
S.D.	0.82	4.08	0.02	1.27	



รูปที่ 43แสดงตำแหน่ง L5/S1 Disc และกล้ามเนื้อ erector spinae (Manas, 2009)

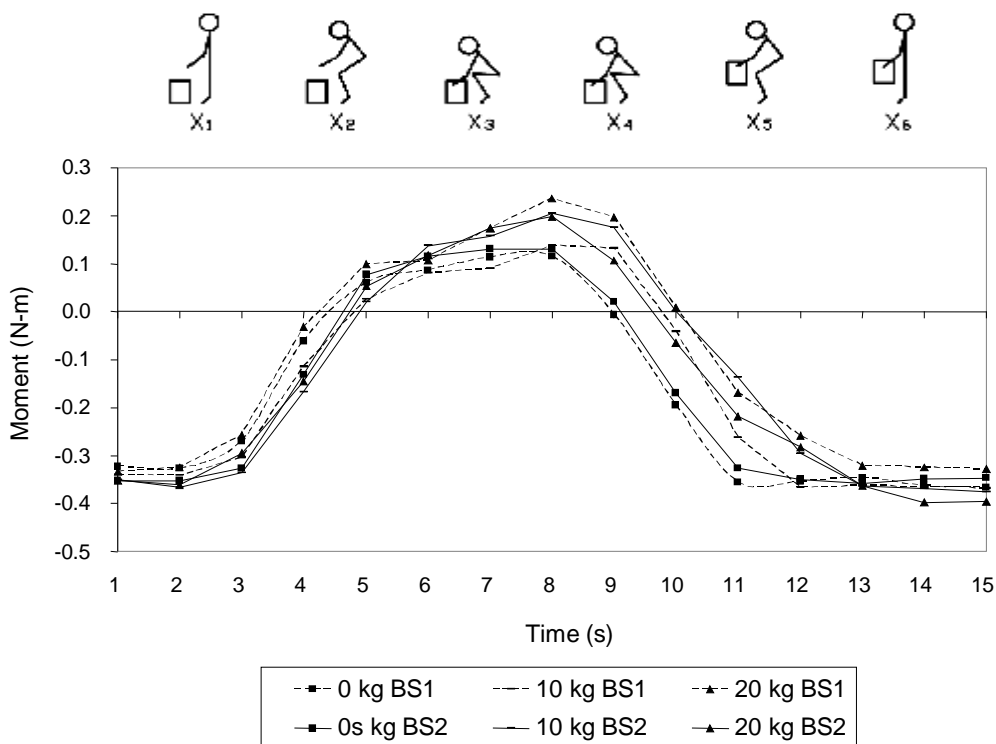


รูปที่ 44การเคลื่อนไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์เมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง

421 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็กจากสัญญาณเกจวัด

ความเครียด

สัญญาณไฟฟ้าจากเกจวัดความเครียดมีค่าเป็นลบในช่วงแรกและช่วงท้ายของการเคลื่อนไหวร่างกาย เนื่องจากการปรับระดับความตึงของเข็มขัดพยุงส่งผลให้แถบเหล็กถูกตัด ทำให้สัญญาณไฟฟ้าจากเกจวัดความเครียดตำแหน่ง **B** และ **D** ดังรูปที่ 34 มีค่าเป็นลบ ในการเคลื่อนไหวท่ายกน้ำหนัก **20kg** มีโมเมนต์เกิดขึ้นบนแถบเหล็กตัว **S** สูงสุด **0.24 N.m** ที่วินาทีที่ **8** ความตึงของเข็มขัดระดับที่ **1** ดังในรูปที่ 45 ส่วนการเคลื่อนไหวแบบดิ่งและดัน สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดให้ผลเป็นลบตลอดการเคลื่อนไหวร่างกายโดยมีสาเหตุในทำนองเดียวกัน ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็กตัว **S** ใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็ก พบว่า จะมีค่าสูงเมื่อมีการเคลื่อนไหวลำตัวในระนาบหน้า-หลัง หรือการก้มตัวไปด้านหน้าในท่ายก ส่วนในท่าดิ่งและท่าดัน โมเมนต์บนแถบเหล็กที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากและแถบเหล็กแทบจะไม่มีผลในการช่วยลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1 (L5/S1 Disc)** ส่วนความตึงของเข็มขัดพยุงหลังจะมีผลทำให้เกิดการกระชับลำตัวบริเวณหลังส่วนล่างขณะที่การยกกล่องเปล่า (**0kg**) และ ยกกล่องหนัก **10 kg** ความตึงน้อย (**BS1**) สามารถลดมุมการเคลื่อนไหวของลำตัว ทำให้แรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** ลดลงได้ ในขณะที่การยกกล่องหนัก **20kg** ความตึงที่มากขึ้น (**BS2**) สามารถลดมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวได้มากกว่าดังรูปที่ 45

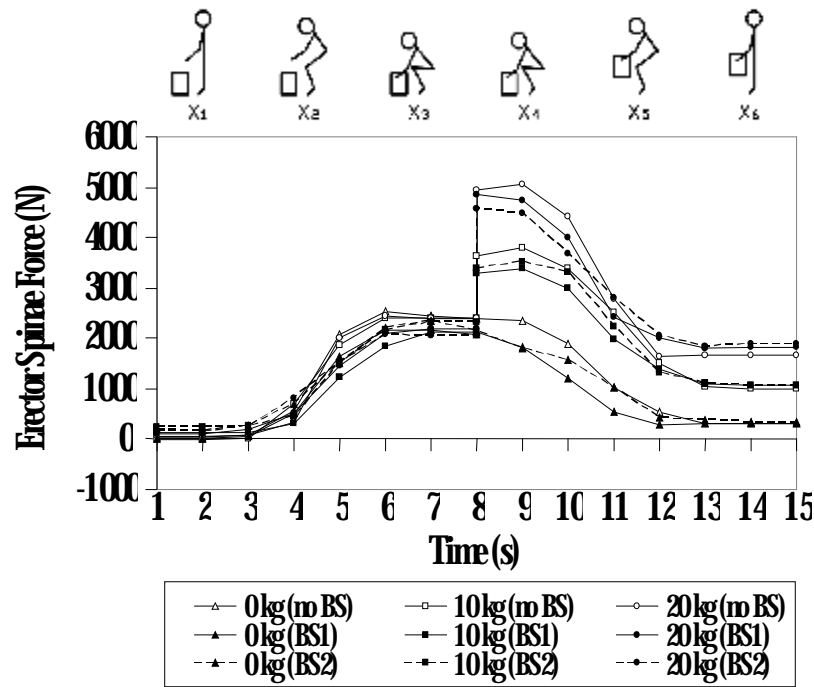


รูปที่ 45 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแถบเหล็กตัว **S** ในเข็มขัดพยุงหลังขณะเคลื่อนไหวท่ายกของ

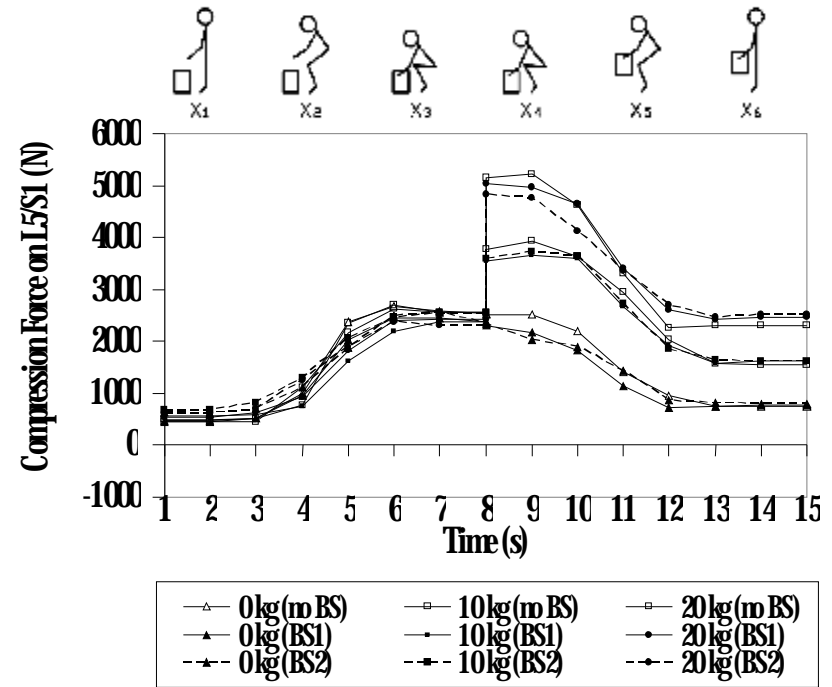
422 ผลของภาระที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลังและหมอนรองกระดูกสันหลัง L5/S1

ในท่ายกของ

ท่ายกของเป็นท่าที่แถบเหล็กในเข็มขัดพยุงหลังสามารถช่วยลดแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับ **L5/S1 Disc** ได้อย่างเด่นชัดดังในรูปที่ 46 และรูปที่ 47 แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น **L5/S1 Disc** จะเปลี่ยนไป เนื่องจากมุมของส่วนต่างๆ ของร่างกายเปลี่ยนไป น้ำหนักที่ **L5/S1 Disc** แบกรับคือน้ำหนักส่วนต่างๆ ของร่างกาย และน้ำหนักจากมวลที่ยก จะเห็นว่าแรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ **L5/S1 Disc** จะมีค่าสูงที่สุดในตำแหน่ง X_4 หรือประมาณวินาทีที่ 8 ถึง 9 ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มยกกล่องขึ้นจากพื้น แรงดังกล่าวจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง แต่ที่ระดับความตึงของเข็มขัดพยุงหลังที่ต่างกันจะไม่เห็นผลความแตกต่างมากนัก ค่าสูงสุดของแรงที่เกิดขึ้นแต่ละเงื่อนไขแสดงอยู่ในตารางที่ 43 และผลเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น **L5/S1 Disc** แสดงในรูปที่ 48

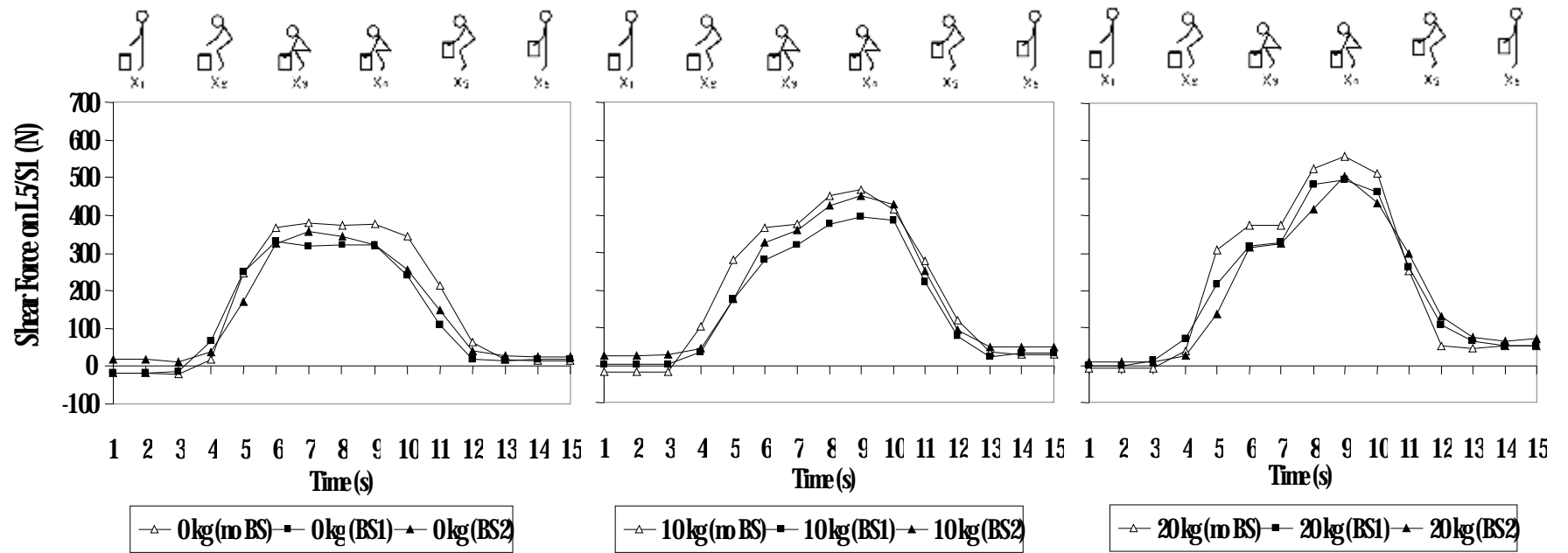


(ก) แรงที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ **erector spinae**



(ข) แรงกดที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc**

รูปที่ 46 แรงที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ **erector spinae** และเกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** ขณะยกของ



รูปที่ 47 ผลแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ L5/S1 Disc ในการเคลื่อนไหวในท่ายกของ

ตารางที่ 43 แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในท่ายกของที่ตำแหน่ง X_4 ในเงื่อนไขต่าง ๆ

Loads on L5/S1 Disc and ESM	Lifting weight (kg)								
	no BS			BS1			BS2		
	0kg	10kg	20kg	0kg	10kg	20kg	0kg	10kg	20kg
F_m	2533.2	3794.4	5049.6	2174.9	3380.9	4853.6	2348.5	3531.6	4570.4
F_{vc}	2674.8	3943.3	5215.2	2446.9	3665.2	5036.5	2553.4	3725.3	4835.3
F_{vs}	381.2	467.8	557.7	329.6	394.2	496.2	356.8	452.4	504.8

ESM คือ erector spinae muscle

no BS คือ ไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง

BS1 คือ ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 1 (25N)

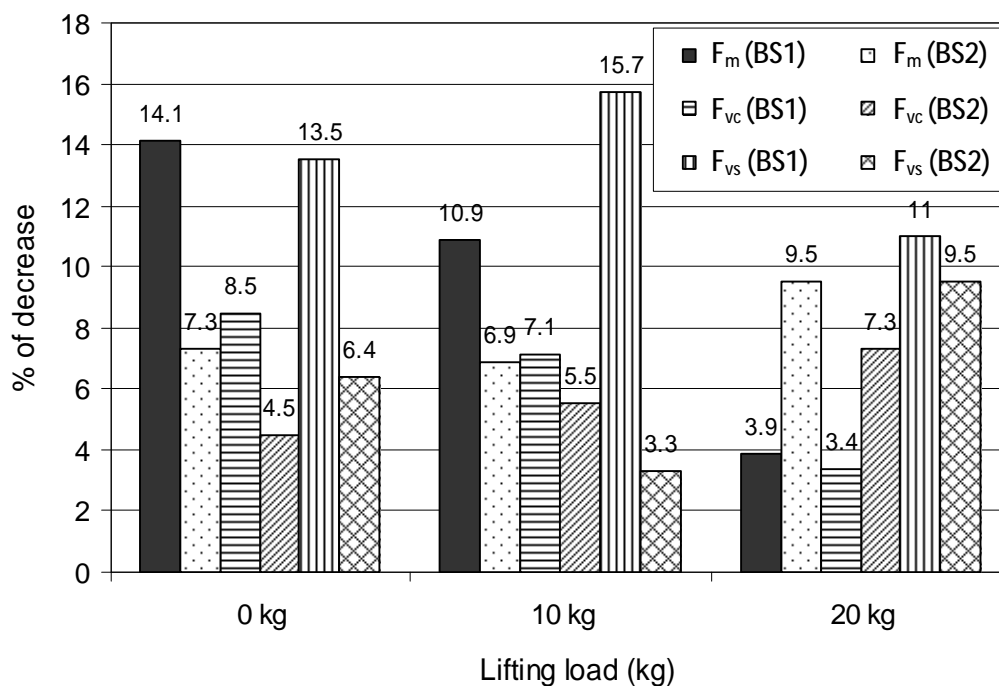
BS2 คือ ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 2 (38N)

F_m คือ แรงที่กระทำต่อ erector spinae muscle

F_{vc} คือ แรงกดที่กระทำต่อ L5/S1 Disc

F_{vs} แรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 Disc

จากตารางที่ 43 แสดงให้เห็นแรงกระทำสูงสุดที่มีต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** และ **L5/S1 Disc** ในขณะที่ทดสอบเข็มขัดพยุงหลังโดยการเคลื่อนไหวในท่ายกของ ผลการทดสอบพบว่า แรงกระทำดังกล่าวจะมีค่าสูงสุดเมื่อกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ใส่เข็มขัดพยุงหลัง โดยแรงที่กระทำสูงสุด เกิดที่การยกน้ำหนัก **20kg** ซึ่งแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** มีค่าเท่ากับ **5049.6N** แรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** มีค่า **5215.2N** และแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** มีค่า **557.7N** ซึ่งจะมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงถ้าแรงกดเกิน **6400N** และแรงเฉือนเกิน **1000N** (Maras, W. S. 2008) แสดงให้เห็นว่าหากแรงกดที่เพิ่มขึ้นอีกประมาณ **186%** หรือแรงเฉือนเพิ่มขึ้นอีก **442%** ก็จะเข้าสู่ภาวะความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้ในการกำหนดภาวะความเสี่ยงเป็นค่าประมาณ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมาจากสภาพร่างกายของบุคคลที่มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน ดังนั้นในบุคคลที่ร่างกายมีความแข็งแรงน้อย แรงกดและแรงเฉือนที่น้อยกว่า **6400N** และ **1,000N** ก็อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของ **L5/S1 Disc** ได้ รูปที่ 48 แสดงผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงกระทำสูงสุดที่เกิดกับกล้ามเนื้อ **erector spinae** และ **L5/S1 Disc** ขณะเคลื่อนไหวในท่ายกของที่น้ำหนักต่างกัน จะเห็นว่าแรงกระทำจะลดลงเมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังขณะทดสอบ สังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การลดลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่ได้ใส่เข็มขัดพยุงหลัง



BS1 คือ ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 1 (25N) F_m คือแรงที่กระทำต่อ **erector spinae muscle**
 BS2 คือ ใส่เข็มขัดพยุงหลังที่ความตึงระดับ 2 (38N) F_{vc} คือแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc**
 F_{vs} แรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc**

รูปที่ 48 แรงกระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** และ **L5/S1 Disc** ที่ลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์
 เมื่อสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังขณะเคลื่อนไหวในท่ายก

จากรูปที่ 48 สรุปได้ว่าการสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังทั้งสองระดับความตึงมีผลช่วยลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** ช่วยลดแรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** ได้ทุกเงื่อนไข ดังนั้นเข็มขัดพยุงหลังและแถบเหล็กตัว **S** ในเข็มขัดพยุงหลังมีบทบาทในการลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ลดแรงกดและลดแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ **L5/S1 Disc** ได้มากในท่ายกของ ซึ่งเป็นท่าที่กล้ามเนื้อหลังทำงานหนักและเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในการทดลองสามารถลดแรงดึงของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ได้สูงสุด **141%** และลดแรงกดได้สูงสุด **85%** ในการยกกล่องเปล่าที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **1** และลดแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้สูงสุด **15.7%** ขณะยกกล่อง **20kg** ที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **1** จะเห็นได้ว่าที่ระดับน้ำหนักในการยกน้อยๆ ความกระชับระดับ **1** หรือการใส่เข็มขัดพยุงหลังแบบพอดีสามารถลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้ดี แต่เมื่อยกน้ำหนักมากขึ้นเป็น **20kg** ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **2** หรือการใส่เข็มขัดพยุงหลังที่แน่นขึ้นสามารถลดแรงดังกล่าวได้ดีกว่า โดยสามารถลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ได้ **9.5%** และลดแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้ **11%** ยกเว้นค่าแรงเฉือนที่สามารถลดได้น้อยกว่า

ความกระชับระดับ 1 เล็กน้อย สาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ความกระชับระดับ 2 มีผลในการช่วยลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** ได้น้อย เนื่องจากการสวมใส่ที่แน่นเกินไปทำให้เกิดโมเมนต์คดค้ำในแถบเหล็กตัว **S** และเกิดโมเมนต์ขึ้นในลำตัวผู้สวมใส่ในทิศทางเดียวกันกับโมเมนต์จากน้ำหนักส่วนต่างๆ ของร่างกายและจากแรงภายนอก

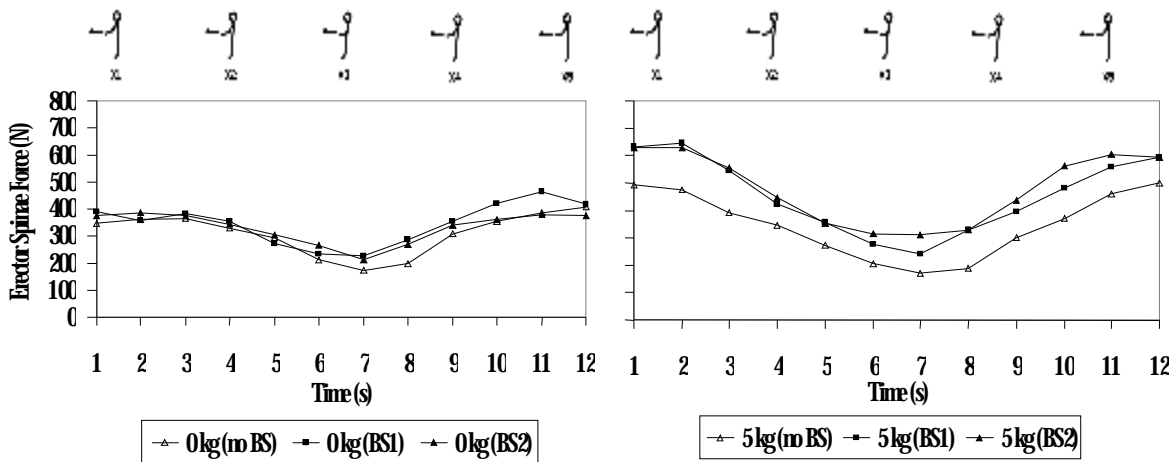
423 ภาวะที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลังและหมอนรองกระดูกสันหลัง **L5/S1** ในท่าคืบและดัน

ในท่าคืบเป็นท่าการเคลื่อนไหวที่อาศัยแขนและมือเป็นอวัยวะหลัก ในการทำงานร่วมกับการเกร็งของลำตัวและ โนม้ตัวมาด้านหลัง ในขณะที่ท่าดันเป็นการ โนม้ตัวไปด้านหน้าเพื่อรักษาภาวะสมดุลในการทรงตัวของร่างกาย

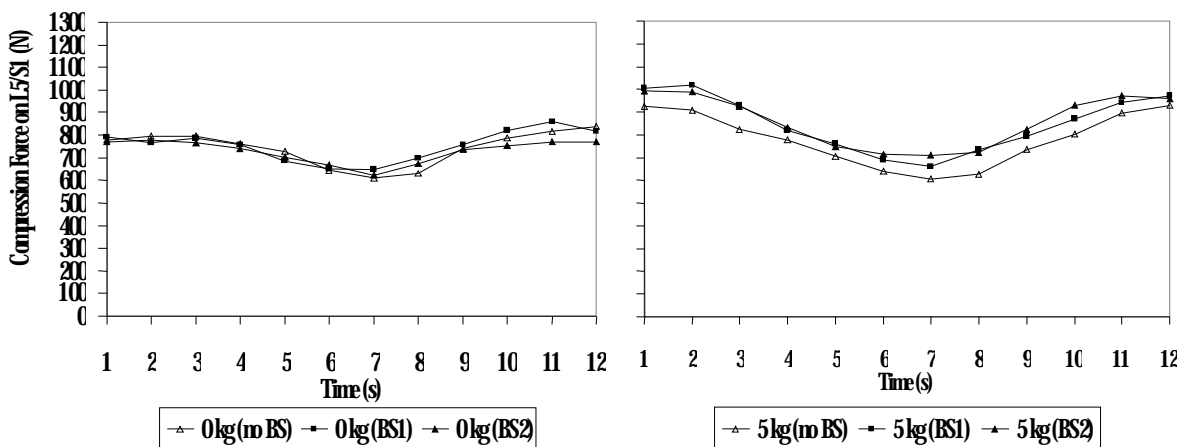
1) ท่าคืบ ในท่าคืบเมื่อออกแรงคืบน้ำหนักจนสุดแขนก่อนบนขนานกับลำตัวแขนท่อนล่างขนานกับพื้นและเอนลำตัวไปด้านหลังเล็กน้อย เป็นตำแหน่งที่แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** น้อยที่สุด เพราะเป็นจังหวะที่แรงกระทำมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลของส่วนร่างกายน้อยที่สุด ตำแหน่งดังกล่าวนี้จะอยู่ที่ตำแหน่ง **X₃** หรือประมาณวินาทีที่ 6 ถึง 7 ส่วนแรงกระทำมีค่าสูงสุดเมื่อเคลื่อนไหวในตำแหน่ง **X₁** และ **X₅** ดังในรูปที่ 49 พบว่าเข็มขัดพยุงหลังทำให้แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง

2) ท่าดัน ในท่าดันเมื่อออกแรงดันน้ำหนักจนสุดแขนก่อนบนและแขนท่อนล่างจะเหยียดตรงขนานกับพื้นและมีการเอนลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย เป็นตำแหน่งที่แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** มากที่สุด เพราะเป็นจังหวะที่แรงกระทำมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลของส่วนร่างกายมากที่สุด ตำแหน่งดังกล่าวนี้จะอยู่ที่ตำแหน่ง **X₃** หรือประมาณวินาทีที่ 6 ถึง 7 ดังในรูปที่ 410 พบว่าเข็มขัดพยุงหลังทำให้แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง

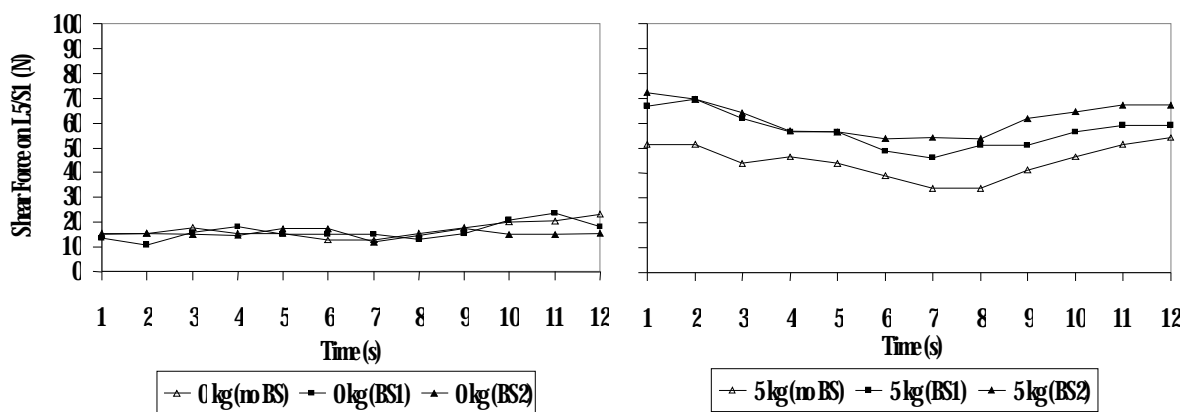
จากทั้ง 2 ท่าทางพบว่าเข็มขัดพยุงหลังทำให้แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc** มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก และเป็นระดับที่น้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนไหวในท่าก้มยกของ ทำให้แรงที่กระทำดังกล่าวไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อกราดเจ็บของอวัยวะบริเวณหลังส่วนล่าง



(ก) แรงที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ erector spinae

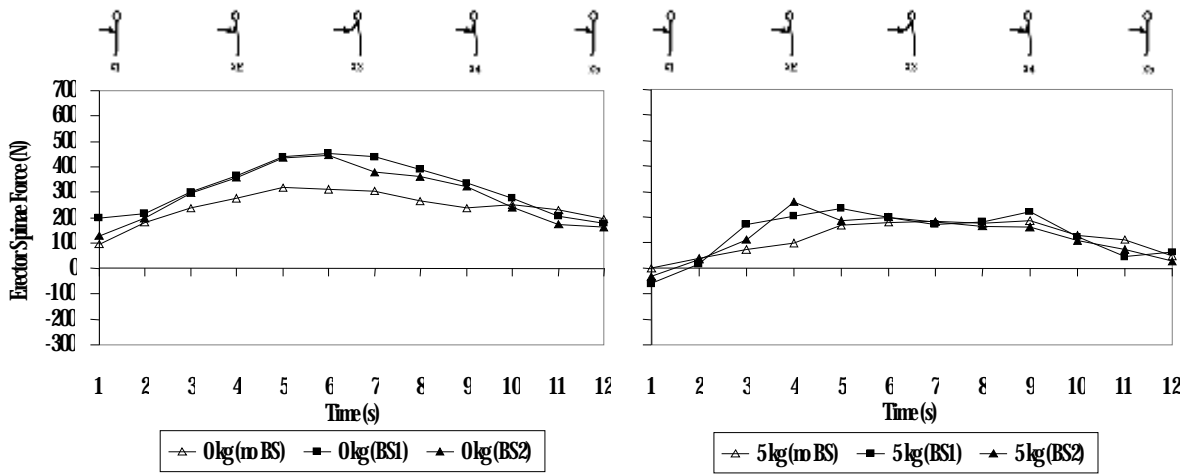


(ข) แรงกดที่เกิดขึ้นบน L5/S1 Disc

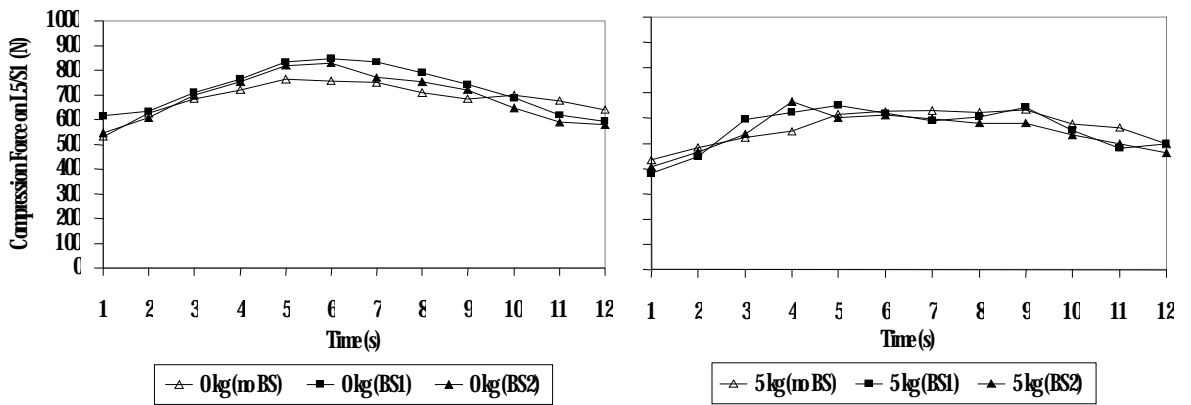


(ค) แรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ L5/S1 Disc

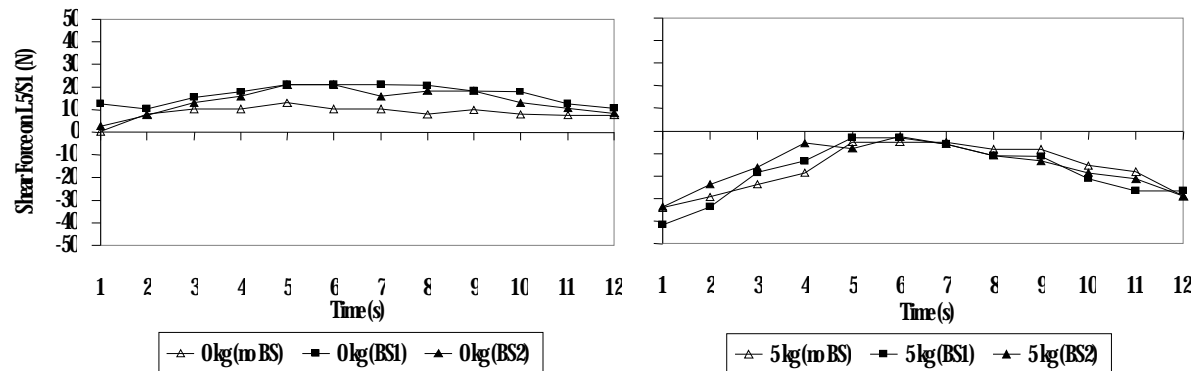
รูปที่ 49 ผลการทดลองเคลื่อนไหวนำในท่าดึงของ



(ก) แรงที่เกิดขึ้นกับ กล้ามเนื้อ **erector spine**



(ข) แรงกดที่เกิดขึ้นบน **L5/S1 Disc**



(ค) แรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับ **L5/S1 Disc**

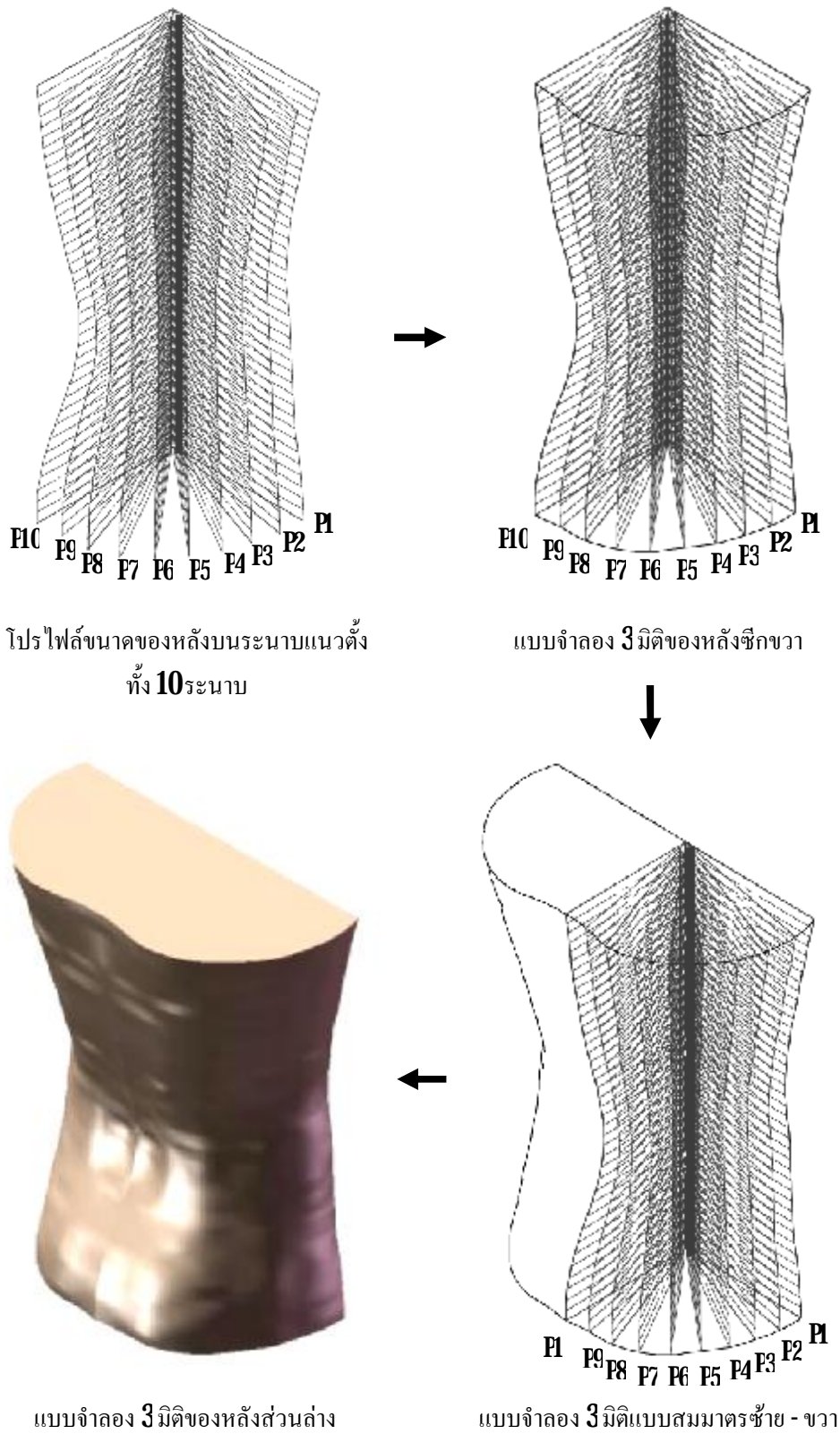
รูปที่ 410 ผลการทดลองเคลื่อนไหวนในท่าดันของ

43 แบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์

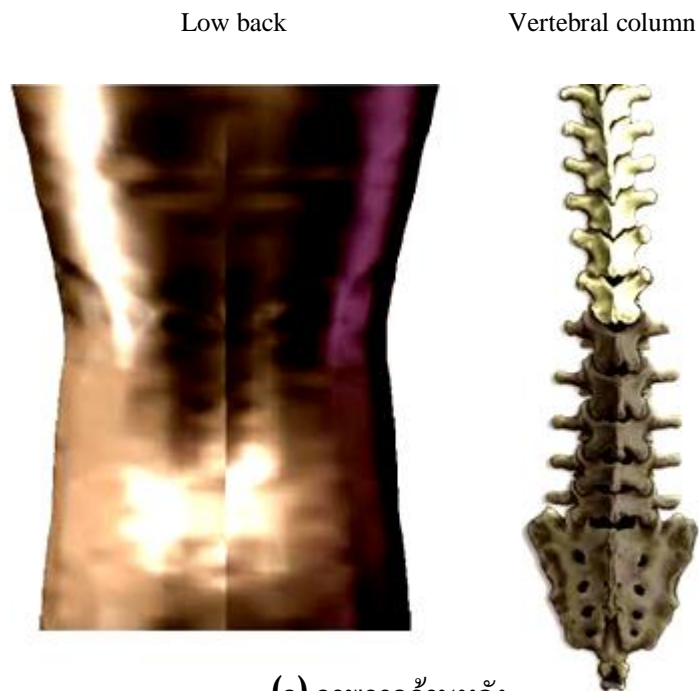
ในการสร้างแบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์ใช้กลุ่มตัวอย่างชาย **10** คนซึ่งได้แสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างไว้ดังตารางที่ **44** เก็บข้อมูลภาพถ่ายและดำเนินการตามขั้นตอนในหัวข้อที่ **31.21** ได้แบบจำลองหลังส่วนล่างของมนุษย์ซึ่งอยู่ในรูปของไฟล์ข้อมูลในคอมพิวเตอร์ โดยแปลงเป็นแบบ (**drawing**) ซึ่งสามารถบอกถึงรายละเอียดความโค้งงอของหลังส่วนล่างได้ โดยได้แสดงแบบจำลอง **3** มิติไว้ในรูปที่ **411** และได้แสดงตำแหน่งของกระดูกสันหลังของมนุษย์เทียบกับแบบจำลองดังกล่าวไว้ในรูปที่ **412**

ตารางที่ **44** คำนวณมวลกายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวัดรูปร่างหลัง

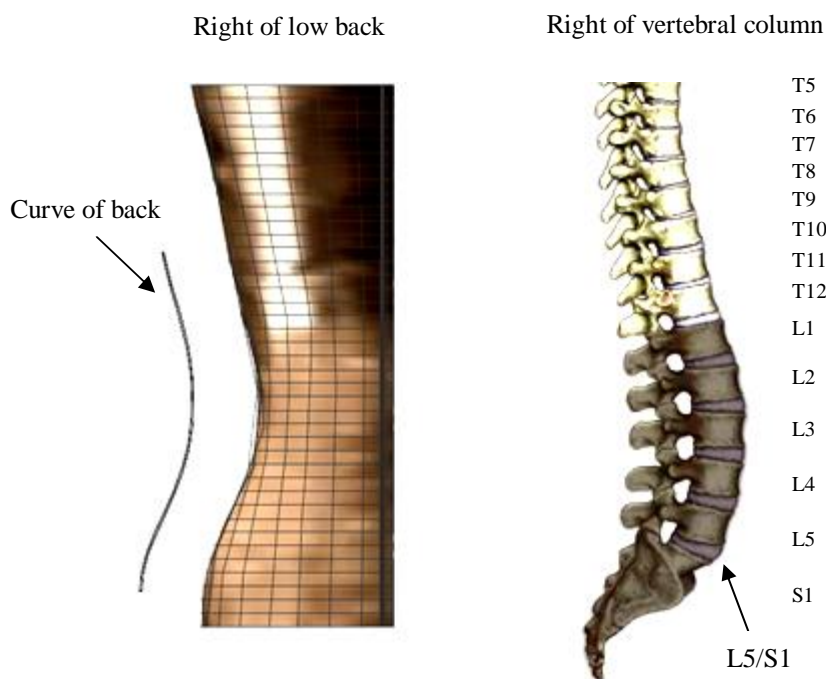
No	Age (years)	Weight (kg)	Height (m)	BMI	Category
1	23	65	1.74	21.5	Normal
2	27	70	1.65	25.7	Overweight
3	21	60	1.66	21.8	Normal
4	25	71	1.70	24.4	Normal
5	21	70	1.75	22.9	Normal
6	23	84	1.73	28.1	Overweight
7	23	73	1.68	25.9	Overweight
8	23	70	1.72	23.7	Normal
9	25	86	1.83	25.7	Overweight
10	21	56	1.70	19.4	Normal
Mean	23.1	70.5	1.72	23.9	
SD	1.92	8.83	0.05	2.45	



รูปที่ 411 แสดงแบบจำลองหลังส่วนล่างแบบ 3 มิติจากกลุ่มตัวอย่างชาย 10 คน



(ก) ภาพจากด้านหลัง



(ข) ภาพจากด้านขวา

รูปที่ 412 แสดงแบบจำลองหลังส่วนล่างเทียบกับตำแหน่งของกระดูกสันหลัง

จากรูปที่ 412 แสดงให้เห็นว่ากระดูกสันหลังส่วนเอวตั้งแต่ **L1** ถึง **L5** เป็นตำแหน่งที่มักพบอาการบาดเจ็บบ่อย จึงเป็นตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงไปสู่ตำแหน่งของเข็มขัดพยุงหลัง

ในขณะที่สวมใส่ และใช้ส่วนโค้งของหลังจากแบบจำลอง 3 มิติที่ตำแหน่งเดียวกับ L1 ถึง L5 เป็นตัวกำหนดความโค้งของแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลัง เพื่อให้สอดคล้องกับสรีระของผู้สวมใส่ และนำข้อมูลจากส่วนนี้ไปประกอบในการตัดเย็บเข็มขัดพุงหลังและขึ้นรูปแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลังต่อไป

44 สูตรยางคอมปาวด์ที่ทำจากยางธรรมชาติและคุณสมบัติ

คุณสมบัติพื้นฐาน 2 คุณสมบัติที่สำคัญของยางคอมปาวด์แต่ละสูตร คือ เวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C และค่าความหนืดมูนีที่ 100°C หาได้จากการนำชิ้นตัวอย่างยางคอมปาวด์มาทดสอบตามขั้นตอนดังหัวข้อที่ 31.22 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ค่าความหนืด (Mooney viscosity) และเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์

Rubber formula	ML 1+4(MU)	Cure times (min)	
		T _{cg}	T _{cg5}
formula 1	1239	1246	1348
formula 2	2272	1221	1328
formula 3	2110	1224	1334
formula 4	394	1052	1226
formula 5	667	1046	1257
formula 6	1098	1042	1246
formula 7	74	1115	1249

จากตารางที่ 45 พบว่า **stuktol** มีผลต่อคุณสมบัติของยางคอมปาวด์สองด้าน คือ ด้านแรก **stuktol** ซึ่งเป็นสารย่อยยงทำให้ยางคอมปาวด์มีค่าความหนืดที่ลดลงอย่างมาก โดยอีกนัยหนึ่งก็คือ ทำให้ยางคอมปาวด์นุ่มขึ้น ส่งผลดีต่อการไหลในแม่พิมพ์เมื่อทำการขึ้นรูปยาง ด้านที่สอง **stuktol** ทำให้เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ลดลง โดยเทียบระหว่างยางสูตรที่ 1 2 และ 3 ซึ่งไม่เติม **stuktol** กับยางสูตรที่ 4 5 และ 6 ซึ่งมี **stuktol 7 phr** เป็นผลให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในการอบขึ้นรูปโดยการให้ความร้อน ในส่วน **spindle oil** เป็นสารที่ควบคุมปริมาณอีกตัวซึ่งในสูตรที่ 4 5 และ 6 พบว่าค่าความหนืดลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ **spindle oil** โดยพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งในส่วน of ค่าความหนืดและเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์

45 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติยางคงรูป

ยางคงรูปหรือยางธรรมชาติที่บดผสมสารเคมีและผ่านการวัลคาไนซ์ คือ ยางที่มีความเสถียรทั้งรูปร่างและคุณสมบัติเชิงกล จึงเป็นยางที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานตามลักษณะของคุณสมบัติและรูปร่างที่ถูกต้องแบบ ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติของยางคงรูป **3** การทดสอบ คือ การทดสอบค่าความแข็ง การทดสอบแรงดึง และการทดสอบแรงกด ซึ่งการทดสอบทั้ง **3** นี้เป็นการทดสอบที่มีความสอดคล้องกับลักษณะการรับแรงของชิ้นงาน

45.1 ค่าความแข็ง (hardness) ของยางคงรูป 7 สูตร

เมื่อทดสอบความแข็งของยางคงรูปทั้ง **7** สูตรตามมาตรฐาน **ASTM D2240** ด้วยเครื่อง **Durometer** ซึ่งมีหน่วยความแข็งเป็น **Shore A** พบว่ายางคงรูปมีความแข็งที่ลดลงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติยางธรรมชาติจะมีค่าความแข็งประมาณ **40 Shore A** การทดสอบความแข็งชิ้นตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง **19mm** หนา **125mm** ได้ผลดังแสดงในตารางที่ **46**

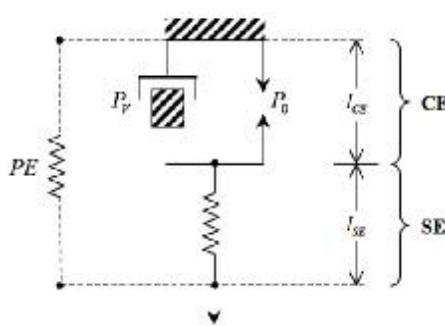
ตารางที่ **46** แสดงผลการทดสอบความแข็งของยางคงรูปของสูตรยางทั้ง **7** สูตรซึ่งอยู่ในหน่วย **Shore A**

Rubber formula	Hardness (shore A)										%
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	Mean	
STR 5L	40	40	40	40	40	40	40	40	40	-	-
fomula1	13	14	14	135	14	13	135	14	13	136±0.46	66.1
fomula2	16	17	16	18	185	18	16	16	165	169±1.02	57.8
fomula3	21	205	20	19	18	19	19	205	20	197±0.97	50.8
fomula4	31.5	31.5	305	30	30	29	295	295	28	299±1.13	25.1
fomula5	32.5	33	33	32.5	33	33	34	335	335	331±0.49	17.2
fomula6	37	37	37	37.5	38	39.5	36.5	37	37	37.4±0.89	6.5
fomula7	27	27.5	27.5	26	26.5	26.5	27	27	27.5	26.9±0.53	32.6

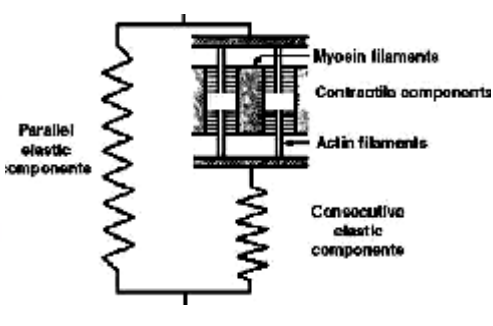
จากผลการทดสอบค่าความแข็งของยางคงรูป พบว่ายางที่มีความแข็งต่ำสุดและสูงสุดคือยางสูตรที่ **1** และ **6** ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของความแข็งที่เกิดจากสารเคมีพบว่าค่า

ความแข็งแรงของยางธรรมชาติสูตรที่ 3 ลดลงประมาณ 50.8% และความแข็งแรงลดลงเป็น 57.8% และ 66.1% เมื่อเพิ่ม Spindle oil 10 และ 20 phr ในสูตรที่ 2 และ 1 ในกรณีใส่สารย่อยยางพบว่าความแข็งแรงลดลง 6.5% และลดลงอีกเป็น 17.2% และ 25.1% เมื่อเติมน้ำมันอีก 10 และ 20 phr ในสูตรที่ 5 และ 4 ดังนั้นน้ำมันและสารย่อยยางจึงเป็นปัจจัยหลักต่อความแข็งแรงของยาง

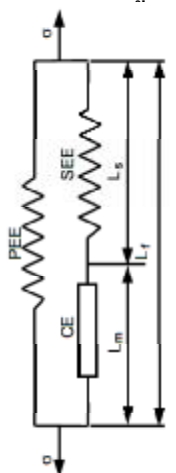
ความแข็งแรงของยางที่นำมาใช้เป็นแผ่นยางรองรับในเข็มขัดพยางหลัง ส่งผลต่อความรู้สึกในการสัมผัสเมื่อสวมใส่เข้ากับบริเวณหลัง ยางที่นำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่ไม่แข็งจนเกินไป แต่ต้องมีค่าความแข็งดิ่งที่ไม่น้อยกว่าความแข็งดิ่งของมัดกล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งจะช่วยให้ลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้ เสมือนมีกล้ามเนื้ออีกชุดหนึ่งมาช่วยเสริม ดังนั้นหากพิจารณากล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่างๆ จะมีแบบจำลองทางกลศาสตร์ดังรูปที่ 413 และแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ **Contractile component**, **Parallel elastic component** และ **Series elastic component (Consecutive elastic component)** ส่วนของ **Contractile component** จะทำหน้าที่หดหรือคลายตัวทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระดูกซึ่งเป็นอวัยวะโครงสร้างของร่างกายที่ถูกยึดอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของมัดกล้ามเนื้อ นอกจากนี้จะมีส่วนที่ทำหน้าที่ประคองเมื่อมีการหดหรือคลายตัวของ **Contractile component** คือส่วนที่เป็น **Parallel elastic component** และ **Series elastic component** เช่นเดียวกับวัสดุรองรับในเข็มขัดพยางหลังในส่วนของยางธรรมชาติ ที่จะคอยทำหน้าที่ในการประคองกล้ามเนื้อหลังในขณะที่มีการหดหรือคลายตัว และหากพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็น **Elastic component** ของกล้ามเนื้ออันมีค่าความแข็งดิ่งเฉพาะตัวก็จะความสอดคล้องกับคุณสมบัติของยางธรรมชาติ ทำให้การใช้ยางเป็นวัสดุรองรับเปรียบได้กับการเพิ่มชุดกล้ามเนื้อขึ้นอีกชุดหนึ่ง แต่จะแตกต่างกันก็คือแผ่นยางรองรับไม่มีส่วนของ **Contractile component** ผลจากแผ่นยางจะทำให้มัดกล้ามเนื้อมีค่าความแข็งดิ่งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 414



(ก) Phillips, C.A. และคณะ (2004)

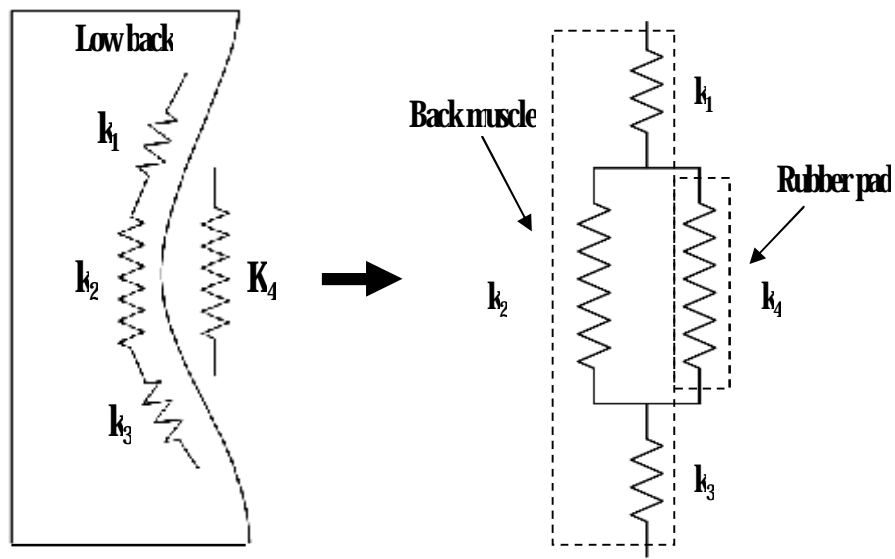


(ข) Vermiglio, GA และคณะ (2005)



(ค) Tang C.Y. และคณะ (2009)

รูปที่ 413 แสดงแบบจำลองทางกลศาสตร์ในการทำงานของกล้ามเนื้อลาย



รูปที่ 414 แบบจำลองทางกลศาสตร์ของกล้ามเนื้อหลังเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางรองรับ

จากรูปที่ 414 กล้ามเนื้อบริเวณหลังส่วนล่างจะยึดกับกระดูกตั้งแต่บริเวณสะโพกวางตัวตามแนวยาวของลำตัวถึงหลังส่วนบน และอาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วนซึ่งแต่ละส่วนมีค่าความแข็งตึงเป็น k_1 , k_2 และ k_3 หากพิจารณาที่ตำแหน่ง k_2 เป็นบริเวณของหลังส่วนล่างที่มักเกิดอาการบาดเจ็บของและเป็นตำแหน่งที่สวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง แผ่นยางรองรับที่แนบกับแผ่นหลังหรือ k_4 จึงเป็นส่วนที่จะช่วยเพิ่มค่าความแข็งตึงให้แก่กล้ามเนื้อบริเวณดังกล่าว เพราะหาก k_4 มีค่าน้อยกว่า k_2 ก็จะเสมือนแผ่นยางรองรับไม่ได้ทำหน้าที่ในการเพิ่มค่าความแข็งตึงให้กับชุดกล้ามเนื้อเท่าที่ควร และหาก k_4 มีค่ามากกว่า k_2 ความแข็งตึงก็จะมีค่ามากเกินไปจนรบกวนการทำงานของกล้ามเนื้อ ดังนั้นแผ่นยางรองรับจึงควรที่จะมีค่าความแข็งตึงที่ใกล้เคียงกับกล้ามเนื้อบริเวณนั้นหรือ k_4 ควรที่จะใกล้เคียงกับ k_2 ซึ่งมีผลต่อการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังและค่าความแข็งตึงรวมแสดงดังสมการที่ต่อไปนี้เป็น

ค่าความแข็งตึงของกล้ามเนื้อ

$$k_m = \frac{k_1 k_2 k_3}{k_1 k_2 + k_1 k_3 + k_2 k_3} \tag{41}$$

สมมติให้ $k_1 = k_2 = k_3 = k$

$$k_m = \frac{1}{3} k \tag{42}$$

ค่าความแข็งตึงตำแหน่ง k_2 ที่เพิ่มขึ้น เมื่อ $k_2 = k_4$

$$k_2' = 2k_2 \quad (43)$$

ค่าความแข็งตึงของยางและกล้ามเนื้อรวมกัน

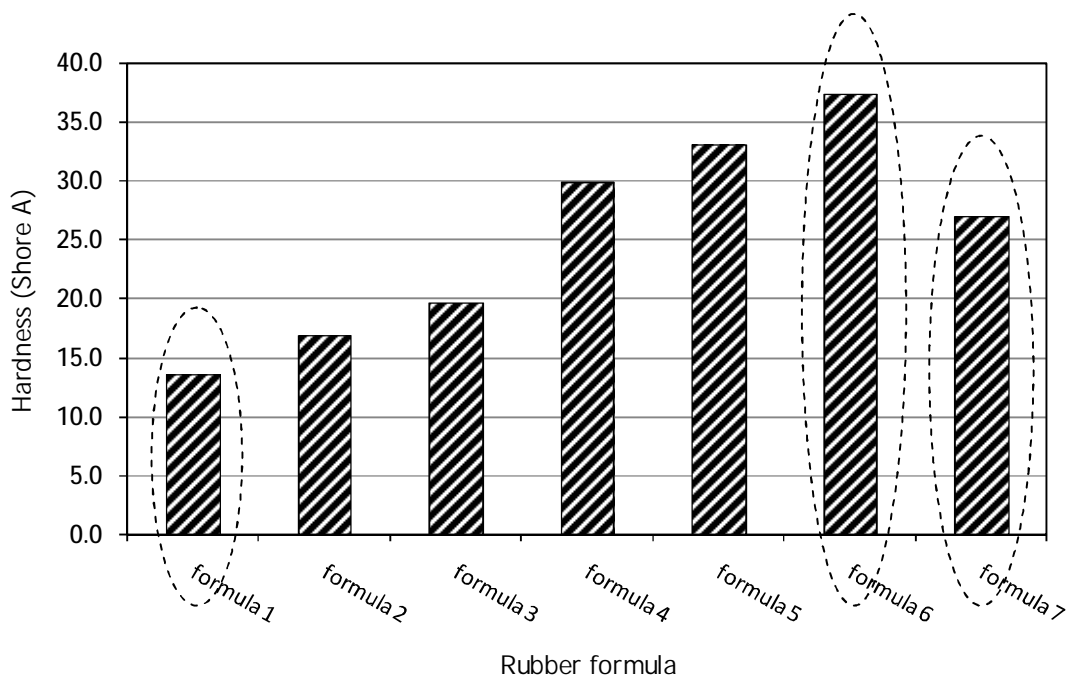
$$k_m' = \frac{k_1 k_2' k_3}{k_1 k_2' + k_1 k_3 + k_2' k_3} \quad (44)$$

สมมติให้ $k_1 = k_2 = k_3$

$$k_m' = \frac{2}{5} k \quad (45)$$

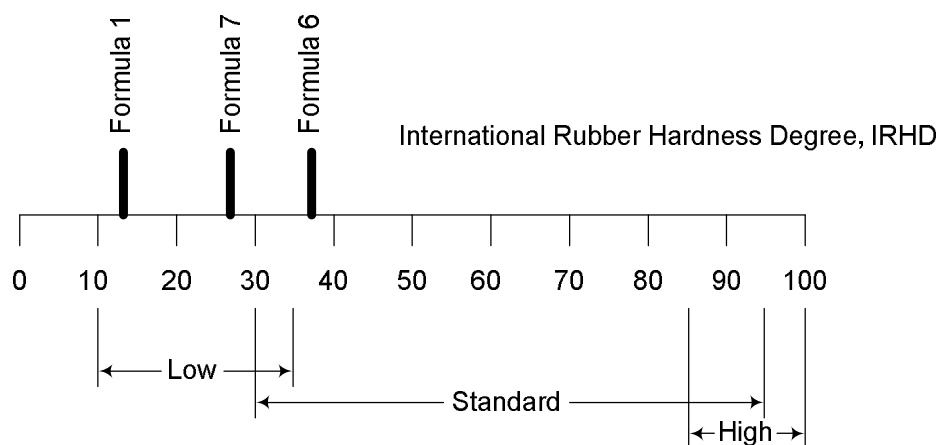
โดยที่	k_1, k_2, k_3	คือ ค่าความแข็งตึงของกล้ามเนื้อที่ตำแหน่ง 1, 2, 3
	k_4	คือ ค่าความแข็งตึงของแผ่นยางรองรับ
	k_m	คือ ค่าความแข็งตึงรวมของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง
	k_m'	คือ ค่าความแข็งตึงรวมของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างที่เพิ่มขึ้น

จากสมการที่ (42) และ (45) แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความแข็งตึงของกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้น **325%** เมื่อใช้แผ่นยางรองรับที่มีความแข็งตึงเท่ากับกล้ามเนื้อ แผ่นยางรองรับนี้ไม่ใช่วัสดุหลักในการรับแรง แต่จะส่งผ่านและกระจายแรงจากแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ซึ่งเป็นวัสดุแข็ง และแนบกับหลังส่วนล่าง ดังนั้นเพื่อให้แผ่นยางทำหน้าที่ได้ดีจึงควรมีความแข็งตึงที่ใกล้เคียงกับกล้ามเนื้อบริเวณดังกล่าว แต่เนื่องจากไม่ทราบถึงคุณสมบัติดังกล่าวของกล้ามเนื้อหลัง จึงใช้การเลือกสูตรยางจำนวนหนึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังและทดสอบการใช้งาน เพื่อทราบถึงผลของยางคงรูปสูตรดังกล่าวที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง และนำไปสู่ข้อสรุปของแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังที่สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้ สูตรยางที่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นยางรองรับหลังคือยางสูตรที่ **16** และ **7** ซึ่งเลือกโดยพิจารณาสูตรยาง **3** สูตรจาก **7** สูตร โดยใช้ค่าความแข็งที่ต่ำสุดในกลุ่มคือสูตรที่ **1** ซึ่งอยู่ในกลุ่มยางนิ่ม ใช้ค่าความแข็งที่สูงสุดในกลุ่มคือสูตรที่ **6** ซึ่งอยู่ในกลุ่มของยางที่มีความแข็งระดับกลาง และใช้ค่าความแข็งระดับกลางของกลุ่มคือยางสูตรที่ **7** ค่าความแข็งของสูตรยางทั้ง **7** สูตรและสูตรยางที่เลือกได้แสดงไว้ในรูปที่ **415**



รูปที่ 415 แสดงค่าความแข็งของยางคงรูปทั้ง 7 สูตรและสูตรยางที่ถูกเลือก

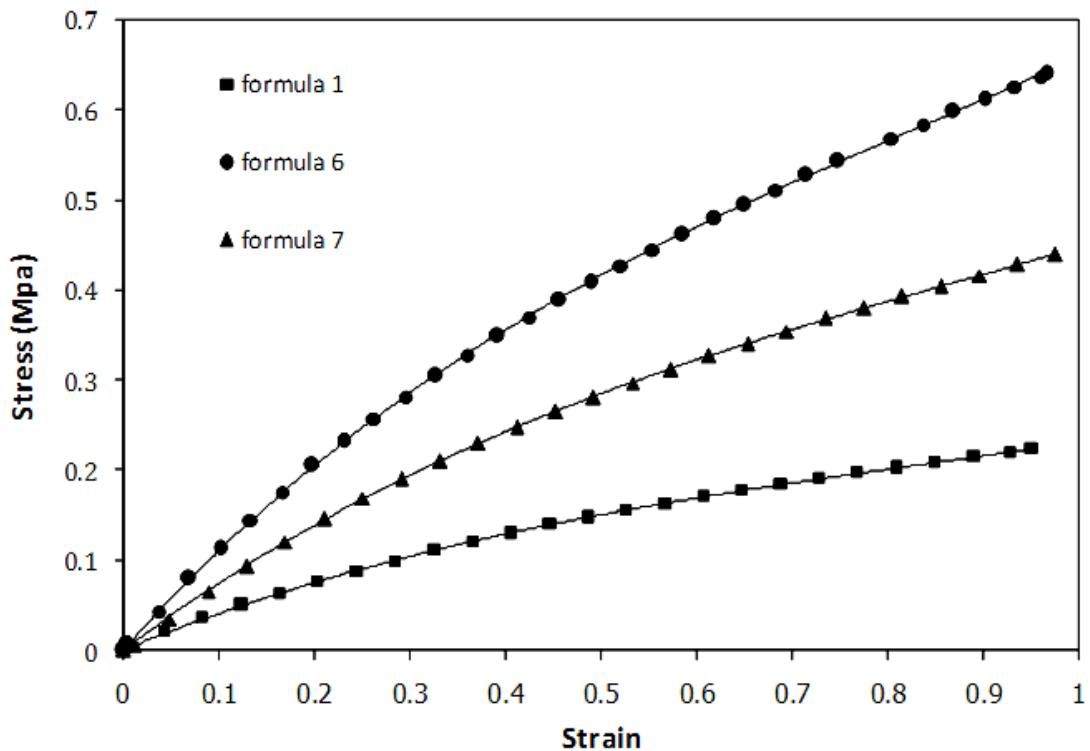
เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานวัดความแข็งนานาชาติ (**International Rubber Hardness Degree, IRHD**) ซึ่ง **IRHD** ได้ยึดแนวของ **Shore A** ทำให้ค่าที่วัดแบบ **IRHD** มีความใกล้เคียงกับ **Shore A** มากที่สุด ดังนั้นจึงได้นำค่าความแข็งของยางทั้ง 3 สูตรที่ถูกเลือกมาเทียบกับขอบเขตของยางแข็งและยางนุ่มตามที่ **IRHD** ได้ระบุไว้ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 416



รูปที่ 416 แสดงตำแหน่งของยางทั้ง 3 สูตรเทียบกับกลุ่มความแข็งที่ **IRHD** กำหนด (บุญธรรม และปรีชา. 2534)

452 การรับแรงดึงในแนวแกน (uniaxial tensile testing) ของยางคงรูป 3 สูตร

ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่างยางคงรูปที่มีรูปร่างแบบคัมเบล 5 ชิ้นตัวอย่างต่อหนึ่งสูตรยาง ดึงที่ระยะการยืดตัว 100% สเตรน โดยเฉลี่ยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแต่ละการทดสอบ จากนั้นนำไปหาความสัมพันธ์ในรูปสมการโพลิโนเมียลโดยหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r^2) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 417 โดยยางสูตรที่ 1 6 และ 7 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยในเทอมของสมการโพลิโนเมียลกำลังสามมีค่า r^2 ใกล้เคียง 1 และยางทั้งสูตรมีความสัมพันธ์ในเทอมของความเค้นและความเครียดดังแสดงในตารางที่ 47



รูปที่ 417 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่างยางคงรูป 3 สูตร

ตารางที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึงแบบ **Uniaxial Tension** ของยางคงรูปทั้ง 3 สูตร

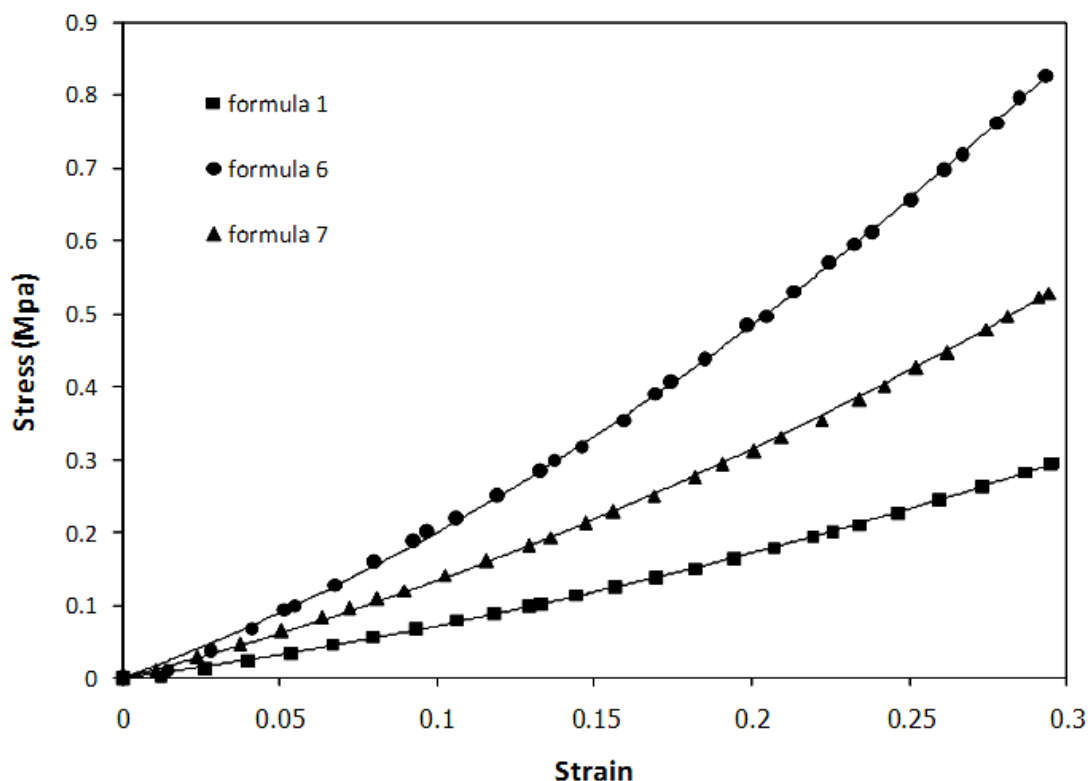
Rubber formula	Average function	r^2
Formula 1	$F(x) = 0.2459x^3 - 0.33329x^2 + 0.43474x$	0.9998
Formula 6	$F(x) = 0.75717x^3 - 0.88282x^2 + 1.18392x$	0.9999
Formula 7	$F(x) = 0.22183x^3 - 0.54582x^2 + 0.729224x$	0.9999

โดยที่ $F(x)$ คือ ความเค้นตามแนวแรง (**stress**)
 x คือ ความเครียดตามแนวแรง (**strain**)

จากรูปที่ 415 เป็นผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่างยางคงรูปทั้ง 3 สูตร ยางแต่ละสูตรมีการผสมสารเคมีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 32 จากการทดสอบพบว่าที่ค่าความเครียด 100% ยางสูตรที่ 6 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 661.8 kPa ซึ่งสูงที่สุดในกลุ่ม รองลงมาคือยางสูตรที่ 7 มีค่าโมดูลัสเท่ากับ 450.3 kPa และยางสูตรที่ 1 มีค่าโมดูลัสต่ำที่สุดในกลุ่มเท่ากับ 234.6 kPa และถ้าพิจารณาในช่วงความเครียด 0% ถึง 50% ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่แผ่นยางรองรับในเข็มขัดพวงหลังจะมีการยืดตัวอยู่ในช่วงนี้ จะพบว่ายางสูตรที่ 6 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 952.2 kPa ยางสูตรที่ 7 มีค่าโมดูลัสเท่ากับ 652.1 kPa และยางสูตรที่ 1 มีค่าโมดูลัสต่ำที่สุดเท่ากับ 354.0 kPa ดังแสดงในตารางที่ 49

4.5.3 การรับแรงกด (uniaxial compressive testing) ของยางคงรูป 3 สูตร

ผลการทดสอบแรงกดของชิ้นตัวอย่างยางคงรูปที่มีรูปร่างทรงกระบอก 5 ชิ้นตัวอย่างต่อหนึ่งสูตรยาง กดที่ระยะยุบตัว 30% สเตรน โดยเฉลี่ยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแต่ละการทดสอบ จากนั้นนำไปหาความสัมพันธ์ในรูปสมการโพลิโนเมียลโดยหาค่าสหสัมพันธ์ เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.5.2 ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 418 โดยยางสูตรที่ 1, 6 และ 7 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยในเทอมของสมการโพลิโนเมียลกำลังสองมีค่า r^2 ใกล้เคียง 1 และยางทั้งสูตรมีความสัมพันธ์ในเทอมของความเค้นและความเครียดดังแสดงในตารางที่ 48



รูปที่ 418 แสดงผลการทดสอบแรงกดของชิ้นตัวอย่างยางคงรูป 3 สูตร

ตารางที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกดแบบ Uniaxial Compression ของยางคงรูปทั้ง 3 สูตร

Rubber formula	Average function	r^2
Formula 1	$F(x) = 1.0397x^2 + 0.575x$	0.9996
Formula 6	$F(x) = 3.981x^2 + 1.5823x$	0.9997
Formula 7	$F(x) = 1.0034x^2 + 1.0968x$	0.9997

โดยที่ $F(x)$ คือ ความเค้นตามแนวแรง (stress)
 x คือ ความเครียดตามแนวแรง (strain)

จากรูปที่ 418 เป็นผลการทดสอบแรงกดของชิ้นตัวอย่างยางคงรูปทั้ง 3 สูตร ยางแต่ละสูตรมีการผสมสารเคมีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 32 จากการทดสอบพบว่าที่ค่าความเครียด 30% ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่พฤติกรรมการรับแรงกดของแผ่นยางรองรับในเข็มขัดพวงหลังจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 30% พบว่ายางสูตรที่ 6 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 2817.2 kPa ซึ่งสูง

ที่สุดในกลุ่ม รองลงมาคือยางสูตรที่ 7 มีค่าโมดูลัสเท่ากับ **1,796 kPa** และยางสูตรที่ 1 มีค่าโมดูลัสต่ำที่สุดในกลุ่มเท่ากับ **1,000 kPa** ดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของยางคงรูป 3 สูตรในการทดสอบแรงดึงและแรงกด

Rubber formula	Elastic modulus (kPa)		
	Tensile testing		Compressive testing
	100%strain	50%strain	30%strain
Formula 1	2346	354	1,000
Formula 6	661.8	952.2	2,817
Formula 7	4503	6521	1,796

46 การออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลังและการปรับปรุงรูปร่างของเข็มขัดพุงหลัง

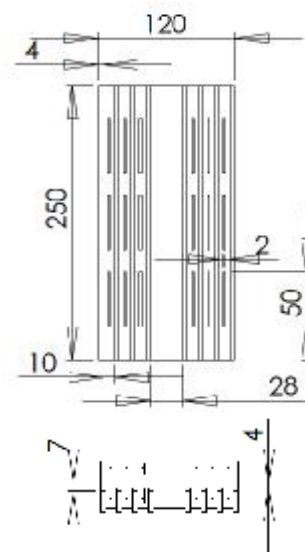
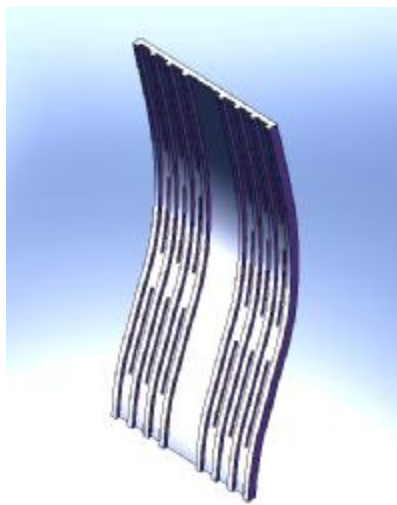
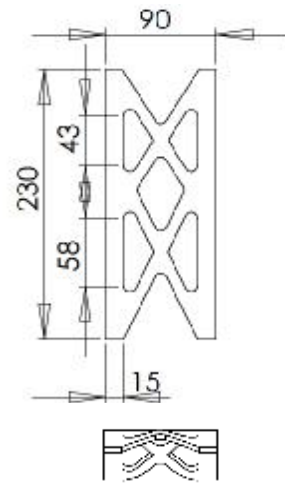
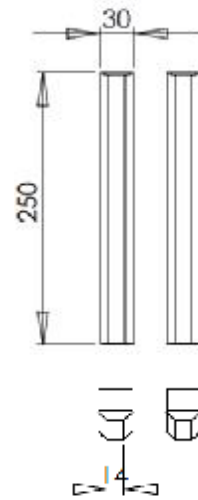
ขนาด รูปร่างและลักษณะของเข็มขัดพุงหลังและแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลังต้องสอดคล้องกับการใช้งาน การออกแบบและขึ้นรูปแผ่นรองรับรวมถึงการปรับปรุงรูปร่างของเข็มขัดพุงหลังมีผลการศึกษา ดังนี้

46.1 การออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพุงหลัง

แผ่นรองรับหรือแถบรองรับในเข็มขัดพุงหลังเป็นส่วนหลักในการรับแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังขณะทำงาน แถบรองรับโดยทั่วไปที่นิยมใช้ทำจากวัสดุ 2 ประเภทคือ ทำจากโลหะซึ่งเป็นวัสดุแข็งได้แก่ เหล็ก และอลูมิเนียมอัลลอยด์ และทำจากพลาสติกซึ่งมีความอ่อนตัวกว่า นอกจากวัสดุแล้วตำแหน่งของแถบรองรับได้ถูกแบ่งไว้ 2 กลุ่มเช่นกันคือ แถบรองรับด้านหลัง และแถบรองรับด้านข้าง โดยแถบรองรับด้านหลังจะมี 2 ชั้นซ้ายและขวาห่างจากแนว **sagittal plane** ข้างละ **50 mm** โดยประมาณ ซึ่งอยู่บนแนวของกล้ามเนื้อ **erector spinae** แถบรองรับส่วนนี้อาจทำจากเหล็ก อลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือพลาสติกแล้วแต่ผู้ผลิตและการใช้งาน ส่วนแถบรองรับด้านข้างมักทำจากพลาสติกอาจมีจำนวน 2 ชั้น 4 ชั้น หรือ 6 ชั้นต่อเข็มขัดพุงหลัง 1 ตัว โดยอยู่ด้านข้างของลำตัวถัดจากแถบรองรับด้านหลัง ลักษณะของแถบรองรับด้านหลังที่แพทย์แนะนำให้ใช้เพื่อรักษาอาการบาดเจ็บส่วนใหญ่เป็นเข็มขัดที่มีแถบรองรับซึ่งทำจากโลหะ เนื่องมาจากแถบรองรับลักษณะดังกล่าวมีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถรับแรงดัดได้ดี และสามารถบังคับให้หลังตั้งตรงตามแนวของแถบโลหะซึ่งอยู่ในท่าที่ถูกต้อง แถบโลหะดังกล่าวจะถูก

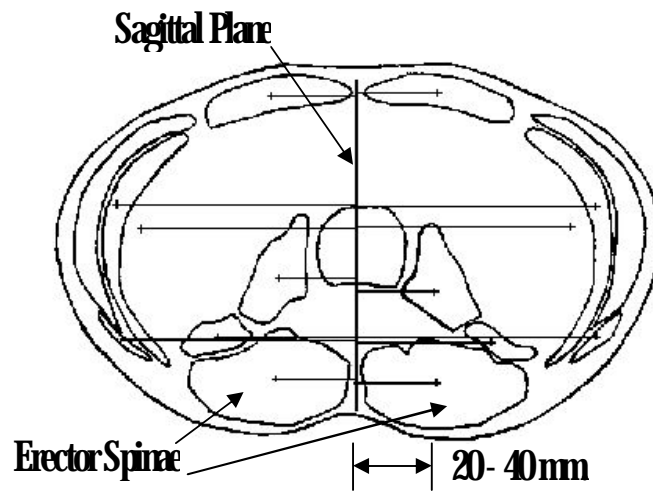
คัดเพื่อให้แถบรองรับมีความโค้งที่สอดคล้องเข้ากับหลังของผู้สวมใส่ได้ดียิ่งขึ้น แรงคดที่เกิดขึ้นบนแถบรองรับมักเกิดจากการเคลื่อนไหวของลำตัวบนแนวของ **sagittal plane** หรือระนาบหน้าหลังดังรูปที่ **21** ซึ่งก็คือท่ายกของ และเนื่องจากท่ายกของเป็นท่าที่ทำให้เกิดโมเมนต์บนลำตัวมากที่สุด ก่อให้เกิดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae** และแรงที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** มากตามไปด้วยบ่อยครั้งที่สาเหตุของอาการปวดหลังส่วนล่างจะมาจากการบาดเจ็บของอวัยวะดังกล่าวนี้ ดังนั้นการที่แถบรองรับของเข็มขัดพยุงหลังช่วยรับแรงคดที่เกิดขึ้นส่งผลให้ลดแรงที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** และลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ **erector spinae**

เมื่อพิจารณาจากที่ใช้เป็นวัสดุรองรับในเข็มขัดพยุงหลัง จะเห็นว่ายังเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง (**hyperelastic material**) ที่มีความคล้ายคลึงกับกล้ามเนื้อ แม้ว่ายางจะแข็งแรงขนาดไหน แต่ด้วยลักษณะของแผ่นรองรับที่ต้องเป็นแผ่นบางทำให้ยางยังด้อยความสามารถในการรับแรงคดที่จะเกิดกับลำตัว ดังนั้นวัสดุรองรับที่ทำจากยางต้องเสริมด้วยแถบโลหะเพื่อทำหน้าที่รับแรงคด เมื่อได้ข้อสรุปของประเภทวัสดุที่ใช้ทำแผ่นรองรับประกอบกับข้อมูลแบบจำลองหลังในหัวข้อที่ **43** รวมถึงลักษณะการรับแรงของแผ่นรองรับ จึงได้ออกแบบลักษณะของแผ่นรองรับเบื้องต้นเป็นรูปแบบต่างๆ ดังรูปที่ **419** ในรูปที่ **419(ก)** เป็นแถบรองรับแบบหนาเพื่อต้านแรงคดมี **2** ชั้นแยกซ้าย - ขวา วางตามแนวของมัดกล้ามเนื้อ **erector spinae** และมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านสัมผัสหลังมีขนาดกว้างเพื่อกระจายแรงคดที่เกิดจากเข็มขัดพยุงหลัง รูปที่ **419(ข)** เป็นแผ่นรองรับแบบแบนแผ่นเดียวมีแนวแผ่นยาววางตามแนวของมัดกล้ามเนื้อ **erector spinae** และเชื่อมติดกันด้วยคล้ายตาข่ายเพื่อช่วยกระจายและส่งผ่านแรงระหว่างแถบรองรับทั้งสองข้าง รูปที่ **419(ค)** เป็นแผ่นรองรับแบบแบนแผ่นเดียว มีสันนูนข้างละ **4** ชั้นเพื่อต้านแรงคดครอบคลุมแนวกล้ามเนื้อ **erector spinae** เนื่องจากเป็นแผ่นใหญ่จึงมีร่องสำหรับระบายอากาศซ้าย - ขวา ข้างละ **9** ร่อง

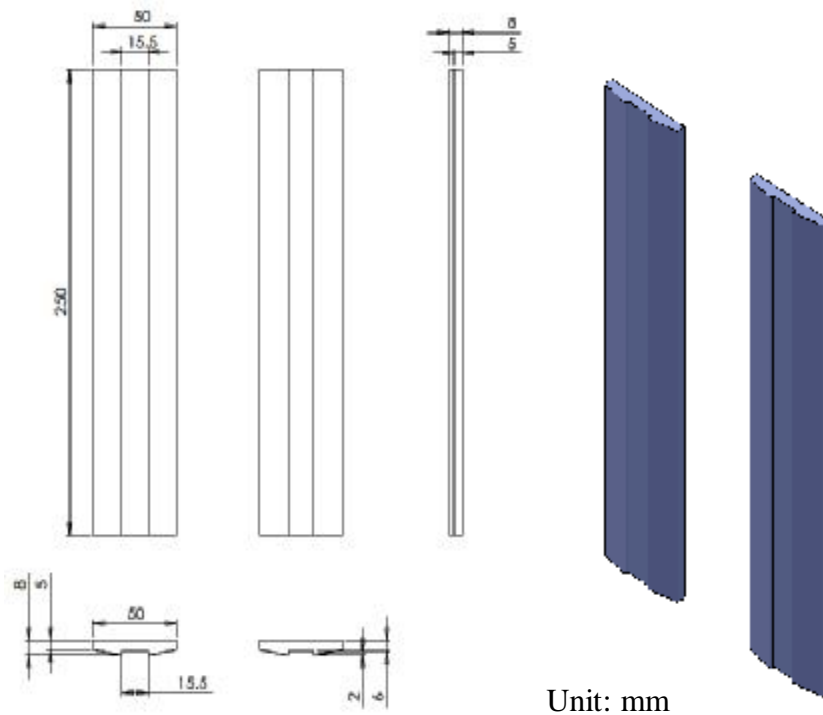


รูปที่ 419 แสดงลักษณะแผ่นยางรองรับที่ออกแบบเบื้องต้น

จากการออกแบบเบื้องต้นพบว่าแบบในรูปที่ 419(ข) และ (ค) มีพื้นที่สัมผัสส่วนใหญ่เป็นยางถึงแม้จะมีร่องระบายอากาศอยู่บ้างแต่อาจทำให้เกิดความอึดอัดขณะสวมใส่ อีกทั้งแผ่นยางรองรับไม่ได้มีหน้าที่หลักในการรับแรงคด อันเป็นการลด โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับลำตัวผู้สวมใส่ แต่จะทำหน้าที่รับแรงกดและกระจายแรงที่เกิดขึ้น พร้อมกับดูดซับพลังงานจากการยืดตัวไปตามสรีระของหลังที่มีความโค้งขณะทำงาน ส่วนวัสดุที่ใช้ในการรับแรงคือแถบโลหะซึ่งใช้ร่วมกับแผ่นยางรองรับ อีกทั้งรายละเอียดของแผ่นรองรับดังกล่าวมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ที่สูง และต้องใช้ยางปริมาณมากทำให้แผ่นรองรับทั้งสองนี้มีน้ำหนักที่มากตามไปด้วย ดังนั้นจึงยึดแบบตามรูปที่ 419(ก) เพื่อใช้เป็นรูปแบบในการออกแบบแผ่นยางรองรับและได้ข้อสรุปลักษณะของแผ่นยางรองรับดังรูปที่ 420 โดยมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบในรูปที่ 419(ก) คือมีจำนวน 2 ชิ้น แยก ซ้าย - ขวา มีหน้าตัดคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมูด้านกว้างแนบกับหลังและด้านแคบมีร่องสำหรับใส่แถบโลหะ วางตัวตามแนวยาวบนมัดกล้ามเนื้อ **erector spinae** เป็นแผ่นยางรองรับแบบตรงมีผิวเรียบ หากพิจารณาพื้นที่ของแผ่นรองรับที่สัมผัสกับหลัง เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้แถบโลหะเป็นวัสดุรองรับมักทำให้เกิดแผลกดทับบนหลังของผู้สวมใส่ อันมีสาเหตุมาจากพื้นที่สัมผัสมีน้อยทำให้กระจายแรงกดได้ไม่ดี ซึ่งแผ่นรองรับแบบแถบโลหะมีพื้นที่สัมผัสหลังประมาณ **375 mm²** แผ่นรองรับที่ออกแบบขึ้นมีพื้นที่สัมผัสประมาณ **1250 mm²** ซึ่งมีค่ามากกว่าถึง **333** เท่า ทำให้สามารถลดความเค้นที่แถบรองรับกดลงบนแผ่นหลังได้ **30%** และหากเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสมากกว่านี้ก็ยังสามารลดความเค้นลงไปได้อีก แต่จะทำให้เข็มขัดพยุงหลังมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของแผ่นยาง และจากรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ลงได้ แผ่นยางที่ออกแบบมีความยาว **250 mm** ครอบคลุมกระดูกสันหลังช่วงเอว (**lumbar spine**) และห่างจาก **Sagittal plane** ข้างละ **25 mm** ซึ่งจุดศูนย์กลางในการรับแรงของชุดกล้ามเนื้อ **erector spinae** ในช่วงเอว หรือตั้งแต่กระดูกสันหลัง **S1** ถึง **L1** ทั้งชายและหญิงจะห่างจากแนว **Sagittal plane** ประมาณ **20 mm** ถึง **40 mm** (Jorgensen และคณะ, 2001) ดังแสดงลักษณะของตำแหน่งกล้ามเนื้อในรูปที่ 420 รายละเอียดและขนาดของแผ่นยางรองรับด้านหลังได้แสดงไว้ดังรูปที่ 421 ซึ่งได้กำหนดขนาดไว้ในหน่วยมิลลิเมตร



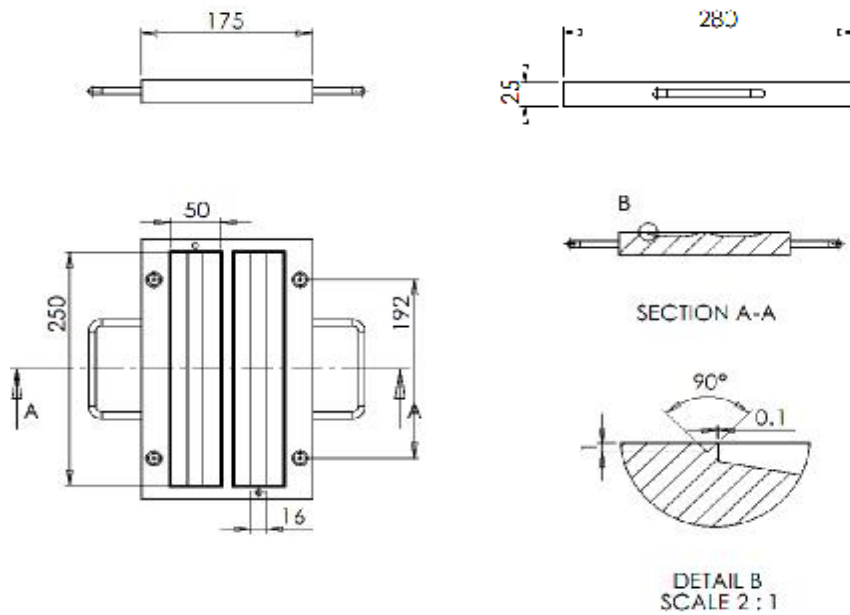
รูปที่ 420 แสดงกล้ามเนื้อที่ตำแหน่ง L3 ด้วยภาพตัด และระยะส่งผ่านแรงเทียบจาก Sagittal plane (Jorgensen และคณะ, 2001)



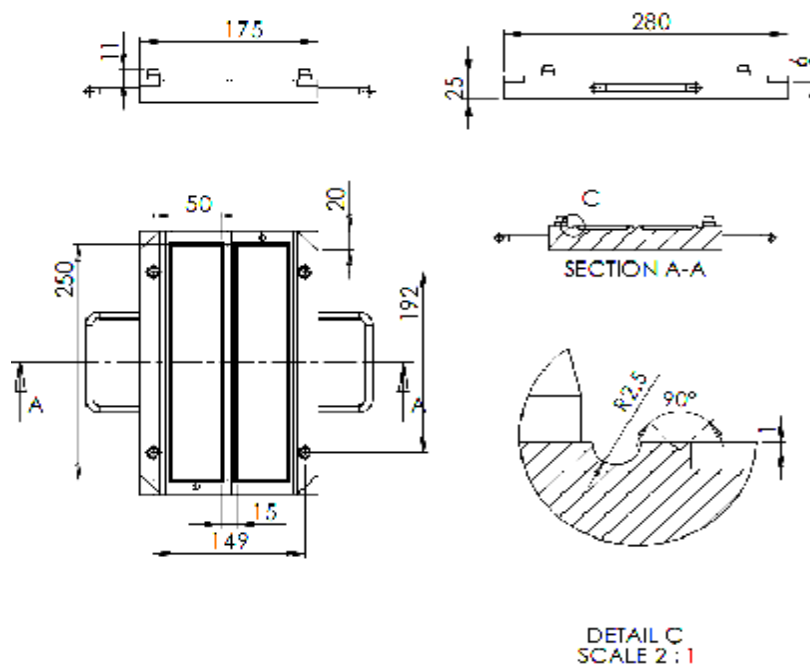
รูปที่ 421 แสดงลักษณะแผ่นยางรองรับที่ออกแบบเสร็จแล้ว

การขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นยางคงรูปหรือผลิตภัณฑ์ทำได้ 4 วิธีคือ การใช้แม่พิมพ์ (Molding) การอัดผ่านตาย (Extruding) การใช้เครื่องคาลเ็นเดอร์ (Calender) และการฉาบสารละลายยางบนผ้า (Spreading on fabric from rubber solution) การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเป็นวิธีการทำให้ยางเกิดเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์พร้อมๆ กับการเกิดปฏิกิริยาของรูปโดยความร้อนและแรงอัด โดย

แม่พิมพ์อัดเป็นแม่พิมพ์ชนิดหนึ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถ ออกแบบและผลิตได้ง่ายรวมไปถึงยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ ดังนั้นจึงได้เลือกแม่พิมพ์อัดเป็น แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นยางรองรับด้านหลัง โดยได้แสดงแบบของแม่พิมพ์ไว้ดังรูปที่ 422 และ ได้แสดงแม่พิมพ์ที่สร้างเสร็จแล้วไว้ดังรูปที่ 423



(ก) Details of cavity mold



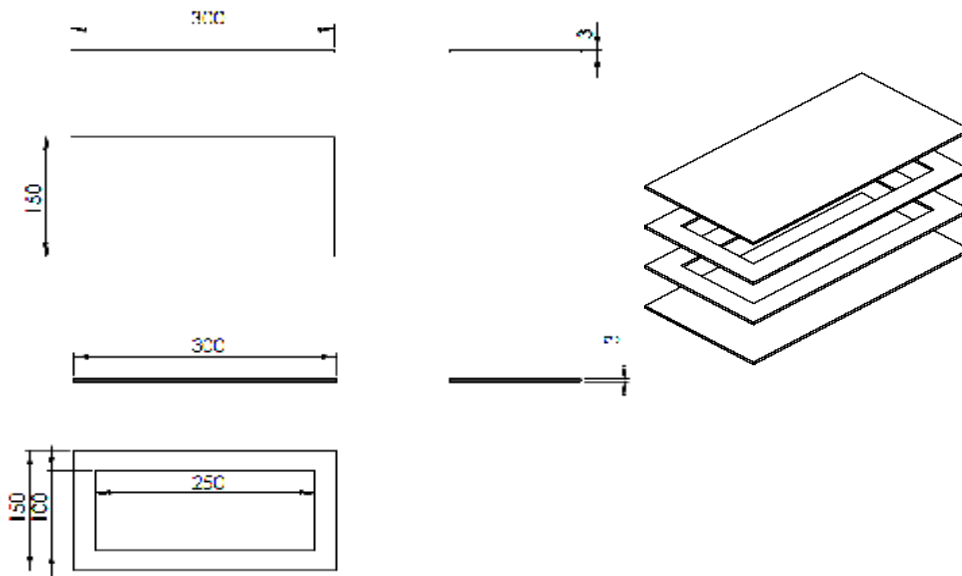
(ข) Details of core mold

รูปที่ 422 แสดงรายละเอียดของแม่พิมพ์แผ่นยางรองรับด้านหลังมี 2Cavity



รูปที่ 423 แสดงลักษณะแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านหลัง

ในการเคลื่อนไหวแบบก้มยกของ **erector spine** เป็นกล้ามเนื้อชุดหลักที่ทำหน้าที่รักษาสมดุลแรงภายในร่างกาย ซึ่งแผ่นยางรองรับด้านหลังถูกออกแบบมาเพื่อรองรับกล้ามเนื้อชุดนี้ แต่ความเป็นจริงคนเรามีการเคลื่อนไหวโดยการเอียงลำตัวไปด้านข้างด้วย กล้ามเนื้อที่ทำงานในขณะที่ยกตัวมีการเอียงไปด้านข้างก็คือ กล้ามเนื้อ **erector spinae** กล้ามเนื้อ **internal oblique** และกล้ามเนื้อ **external oblique** ที่อยู่ในตำแหน่งตรงข้ามกับการเอียงตัว แม้การเอียงไปด้านข้างจะเกิดแรงที่กระทำต่อร่างกายที่น้อยเมื่อเทียบกับการก้มยกของ แต่ถ้ามีแผ่นรองรับด้านข้างมาเสริมก็จะทำให้เข็มขัดพุงหลังสามารถทำหน้าที่ได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้ออกแบบแผ่นรองรับด้านข้างซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา **6 mm** กว้าง **25 mm** และ ยาว **240 mm** เนื่องจากมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนจึงขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อย่างง่ายคล้ายกับการขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง คือทำแม่พิมพ์จากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่หนา **6mm** ในการขึ้นรูปให้เป็นแผ่น จากนั้นจึงตัดแผ่นยางที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วให้มีขนาดเท่ากับขนาดของแผ่นรองรับด้านข้าง ในรูปที่ 424 ได้แสดงรายละเอียดแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้างและได้ระบุขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ดังกล่าวเอาไว้ ในรูปที่ 425 คือแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้างที่สร้างขึ้น



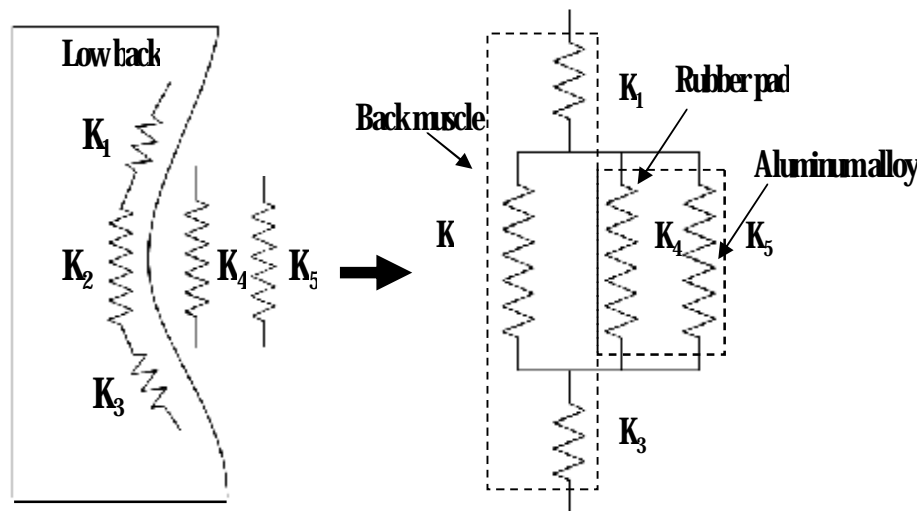
รูปที่ 424 แสดงรายละเอียดแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้าง



รูปที่ 425 แม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้างที่สร้างขึ้น

เมื่อได้แบบและขนาดของแผ่นยางรองรับทั้งสองส่วนแล้ว จึงพิจารณาเลือกวัสดุที่จะมาทำงานร่วมกับแผ่นยางด้านหลัง และทำหน้าที่ในการรับแรงคัดที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลำตัว ดังนั้นวัสดุในส่วนนี้ควรมีค่าความแข็งตึงสูงหรือเป็นวัสดุแข็ง เมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางจะให้ความแข็งตึงของแผ่นรองรับเพิ่มขึ้นและทำให้ความแข็งตึงของกลัมนเนื้อีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงแบบจำลองการทำงานของวัสดุไว้ในรูปที่ 426 วัสดุที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นแถบรับแรงมี 2 ชนิดคือเหล็กและอลูมิเนียมอัลลอยด์ เหล็กมีค่าความแข็งตึงที่สูงกว่าอลูมิเนียมอัลลอยด์ประมาณเกือบสามเท่า นั้นหมายถึงเหล็กมีความสามารถในการรับความเค้นที่สูง

กว่าอลูมิเนียมเกือบสามเท่าเช่นกัน แต่เข็มขัดพยุงหลังเป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้ต้องสวมใส่คล้ายกับเป็นเสื้อผ้า ทำให้แถบเหล็กสัมผัสกับเหงื่อได้ง่าย ซึ่งก่อให้เกิดสนิมขึ้นกับเหล็กทำให้เกิดการผุกร่อนและเกิดคราบสกปรกบนเข็มขัดพยุงหลัง ซึ่งอาจเลี่ยงได้โดยการใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (**stainless steel**) แต่ในการขึ้นรูปเหล็กประเภทนี้ให้ได้ขนาดและรูปร่างตามความโค้งของหลังตามที่ต้องการทำได้ยาก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมอัลลอยด์ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนและสามารถขึ้นรูปได้ง่ายอีกทั้งมีความหนาแน่นน้อยกว่าทำให้มีน้ำหนักที่เบากว่า ถึงแม้จะด้อยกว่าในด้านการรับความเค้นแต่ก็เป็นวัสดุแข็งชนิดหนึ่งและมีหลายเกรดให้เลือกใช้ จากจุดเด่นและความเป็นไปได้ในการใช้งานอลูมิเนียมอัลลอยด์จึงเป็นวัสดุที่ถูกเลือกมาเป็นวัสดุรับแรงบนแผ่นยางรองรับคุณสมบัติเชิงกลของอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรดต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้งานได้แสดงไว้ดังตารางที่ **410**



รูปที่ 426 แบบจำลองทางกลศาสตร์ของกล้ามเนื้อหลังเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางรองรับและแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์

ตารางที่ 410 แสดงคุณสมบัติทางกล (**mechanical properties**) ของอลูมิเนียมอัลลอยด์

Grade	Yield strength (N/m ²)	Tensile strength (N/m ²)	Elongation (min %)	Hardness (HB)	Young's modulus (GPa)
AA 2024	270-440	420-550	10	120	73
AA 5052	80-150	180-230	14	48	70
AA 5083	110-200	270-350	12	70	71
AA 6061	260-350	300-370	8	95	69
AA 7022	400-500	470-550	7	145	71.5
AA 7075	450-620	510-650	7	150	72

ที่มา : บริษัทไทย-เยอรมันสเปเชียลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด

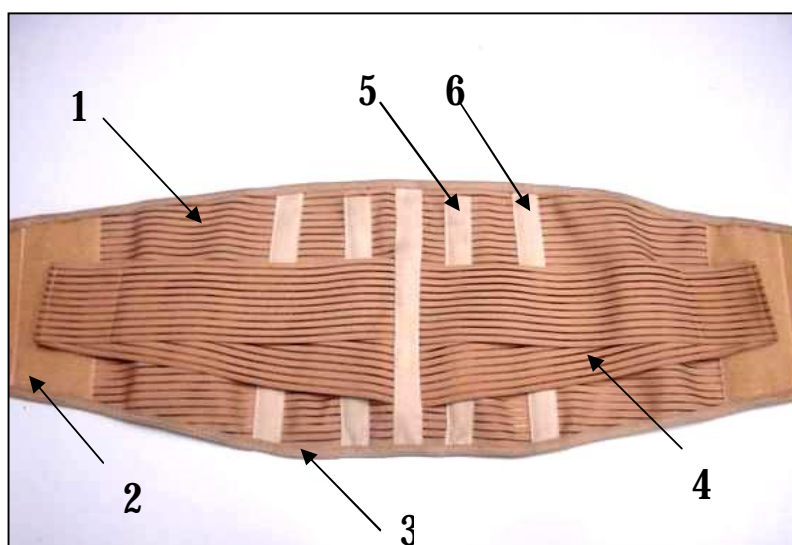
จากตารางที่ 410 บอกถึงคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญของอลูมิเนียมอัลลอยด์ 6 เกรด ซึ่งใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกใช้งาน โดยเมื่อพิจารณาความเค้นจุดคราก (**yield strength**) ซึ่งเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูปของวัสดุ AA 2024 มีค่าอยู่ในช่วง 270 ถึง 440 N/mm² ซึ่งอยู่ในช่วงกลางๆ ของกลุ่มแต่มีค่าใกล้เคียงกับเหล็ก ถือได้ว่าอยู่ในกลุ่มที่ใช้งานได้และตัด AA 5052 และ AA 5083 ออกไปได้เพราะมีค่าความเค้นที่จุดครากที่ต่ำมากซึ่งจะมีผลต่อการเสียรูปได้ง่าย เมื่อตัด AA 5052 และ AA 5083 ออกทำให้ปริมาณการยืดตัวหรือ **% elongation** ของ AA 2024 มีค่ามากที่สุด แสดงถึงความให้ตัวของวัสดุซึ่งสอดคล้องกับการทำงานของวัสดุเมื่อใส่ในเข็มขัดพยางหลัง ซึ่ง AA 7022 และ AA 7075 มีความให้ตัวได้น้อยกว่า ประกอบกับค่าความแข็งดึงของวัสดุ (**Young's modulus**) ของ AA 2024 มีค่าสูงที่สุด AA 2024 จึงเป็นเกรดที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นแถบโลหะรับแรงคดที่เกิดขึ้นในเข็มขัดพยางหลัง เมื่อเลือกโลหะได้แล้วจึงนำมาขึ้นรูปโดยการตัดให้มีความกว้าง 15 mm และยาว 25 mm เพื่อให้สามารถใส่ในร่องยางที่ออกแบบไว้ได้ และอลูมิเนียมจะถูกตัดให้มีความโค้งงอที่สอดคล้องกับหลัง ซึ่งก็คือผลในหัวข้อที่ 43 ดังรูปที่ 412 (ข) ส่วนความหนาของอลูมิเนียมจะกำหนดไว้ 2 ค่าคือ 1.6 mm และ 2 mm เพื่อหาความหนาที่เหมาะสมเมื่อแผ่นยางและอลูมิเนียมทำงานร่วมกัน โดยอยู่ในการทดสอบตามหัวข้อที่ 327 สำหรับแผ่นรองรับที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วได้แสดงไว้ดังรูปที่ 427



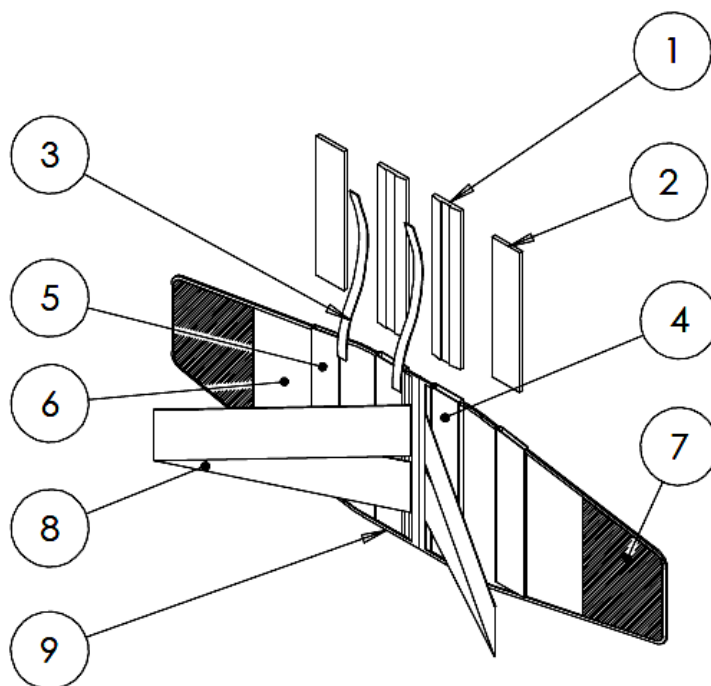
รูปที่ 427 แสดงแผ่นรองรับที่สร้างขึ้น

462 การออกแบบเข็มขัดพยุงหลัง

เข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้งาน โดยทั่วไปในปัจจุบันจะมาจากการตัดเย็บ ซึ่งในการตัดเย็บชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วนจะถูกประกอบเข้าด้วยกันตามตำแหน่งและหน้าที่ในการใช้งานดังรูปที่ 415 แต่เมื่อถึงมองถึงชิ้นส่วนหลักๆ พบว่าเข็มขัดพยุงหลังมี 3 ส่วนที่ทำหน้าที่อย่างชัดเจนคือ ส่วนแรกเป็นผ้ายืดซึ่งเป็นส่วนหลักมีหน้าที่เชื่อมติดส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันในขณะที่เดี่ยวกันั้นก็ช่วยรัดกล้ามเนื้อบริเวณหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหน้าท้องในขณะที่สวมใส่ได้ระดับหนึ่ง ส่วนที่ 2 เป็นผ้ายางยืดมีหน้าที่รัดเข็มขัดพยุงหลังให้แนบติดกับหลังส่วนล่างมากยิ่งขึ้น ส่วนที่ 3 เป็นแถบรองรับทำหน้าที่รับแรงเมื่อมีการเคลื่อนไหวหลังส่วนล่าง จากรูปที่ 428 เป็นเข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบรองรับทำจากเหล็ก (MO TECH รุ่น LS SUPPORT size M) ซึ่งรูปได้แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเข็มขัดไว้ได้แก่ (1) ผ้ายืด (2) แผ่นดินตุ๊กแกแบบขน (3) แนวตะเข็บจากการเย็บ (4) ยางยืด สำหรับเพิ่มความกระชับ (5) ช่องสำหรับสอดแถบโลหะ (6) ช่องสำหรับสอดแถบพลาสติก สำหรับเข็มขัดพยุงหลังที่ได้ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 429



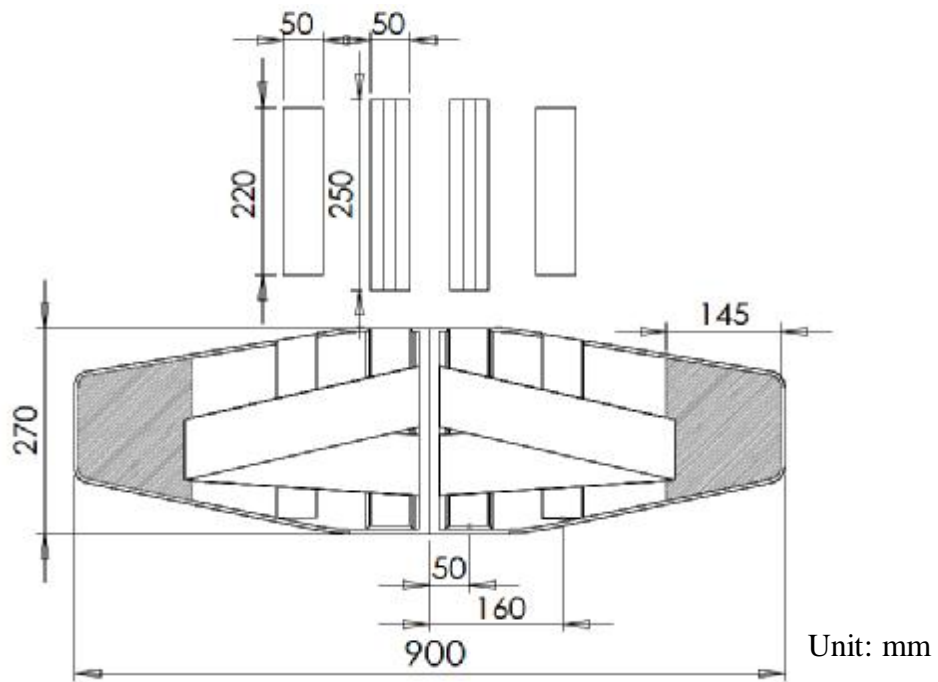
รูปที่ 428 แสดงลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ของเข็มขัดพยุงหลัง โดยทั่วไป



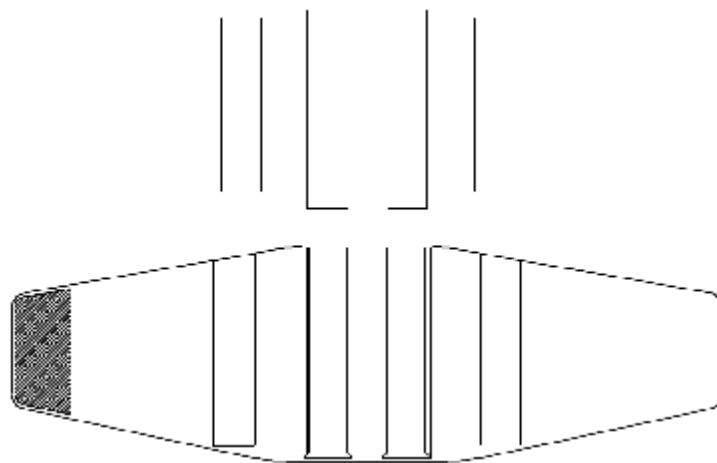
รูปที่ 429 แสดงลักษณะและรูปร่างของเข็มขัดพุงหลังที่ออกแบบ

จากรูปที่ 429 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ (1) แผ่นรองรับด้านหลังที่ทำจากยาง (2) แผ่นรองรับด้านข้างที่ทำจากยาง (3) แถบอลูมิเนียม (4) ช่องสอดแผ่นรองรับด้านหลังที่ทำจากยาง (5) ช่องสอดแผ่นรองรับด้านข้างที่ทำจากยาง (6) ผ้ายัด (7) ดินสูกแกมีลักษณะเป็นขน (8) แถบยางยืดช่วยเพิ่มความกระชับ และ (9) แนวตะเข็บในการเย็บเข็มขัดพุงหลัง ส่วนประกอบต่างๆเหล่านี้เมื่อประกอบเข้าด้วยกัน โดยการตัดเย็บเป็นเข็มขัดพุงหลังจะมีขนาดเทียบเท่ากับเข็มขัดพุงหลังขนาดกลาง (**size M**) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดและขนาดไว้ดังรูปที่ 430 เมื่อได้ออกแบบและดำเนินการสร้างเข็มขัดพุงหลังตามรูปแบบดังกล่าวขึ้นมา พบจุดด้อยสองประการคือ แถบยางยืดมีขนาดเล็กเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดของเข็มขัดพุงหลัง ซึ่งการทำงานของเข็มขัดพุงหลังอาศัยแรงกดรัดที่เกิดจากแถบยางยืด จึงส่งผลให้การทำงานของเข็มขัดพุงหลังด้อยลงไป ซึ่งสิ่งนี้เกิดขึ้นกับเข็มขัดพุงหลังที่มีขายหลายรุ่นดังแสดงในรูปที่ 431 หากคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างความกว้างสุดของแถบยางยืดกับความกว้างสุดของเข็มขัดพุงหลังพบว่า รูปที่ 431 (ก) (ข) และ (ค) มีความกว้างคิดเป็น 51 538 และ 642% ตามลำดับซึ่งเป็นค่าที่น้อยส่วนรูปที่ 431 (ง) มีความกว้างของแถบยางยืดคิดเป็น 745% ของความกว้างสุดของเข็มขัดพุงหลัง ซึ่งความกว้างที่มากขึ้นนี้มีผลให้สามารถกระจายแรงผ่านเข็มขัดพุงหลังได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเข็มขัดพุงหลังจึงได้เพิ่มขนาดความกว้างของยางยืดเป็น 864% ของความกว้างของเข็มขัดพุงหลัง ความกว้างที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นความกว้างสูงสุดที่เพิ่มได้ อันมีความสัมพันธ์กับความกว้างของแถบ

ยางยึดที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด จุดด้อยประการที่สองคือจากเดิมได้ออกแบบแผ่นยางรองรับด้านข้างเสริมเข้ามาเพื่อเป็นตัวรองรับและจำกัดการเคลื่อนไหวด้านข้าง (**coronal plane**) เนื่องจากแผ่นรองรับด้านข้างมีขนาดใหญ่เกินไปดังแสดงในรูปที่ **429** หมายเลข **2** จึงได้ทำการลดขนาดลงมาครั้งหนึ่ง รายละเอียดของเข็มขัดพวงหลังที่ได้ทำการปรับแก้ไขได้แสดงไว้ในรูปที่ **432** และ **433** ตามลำดับ

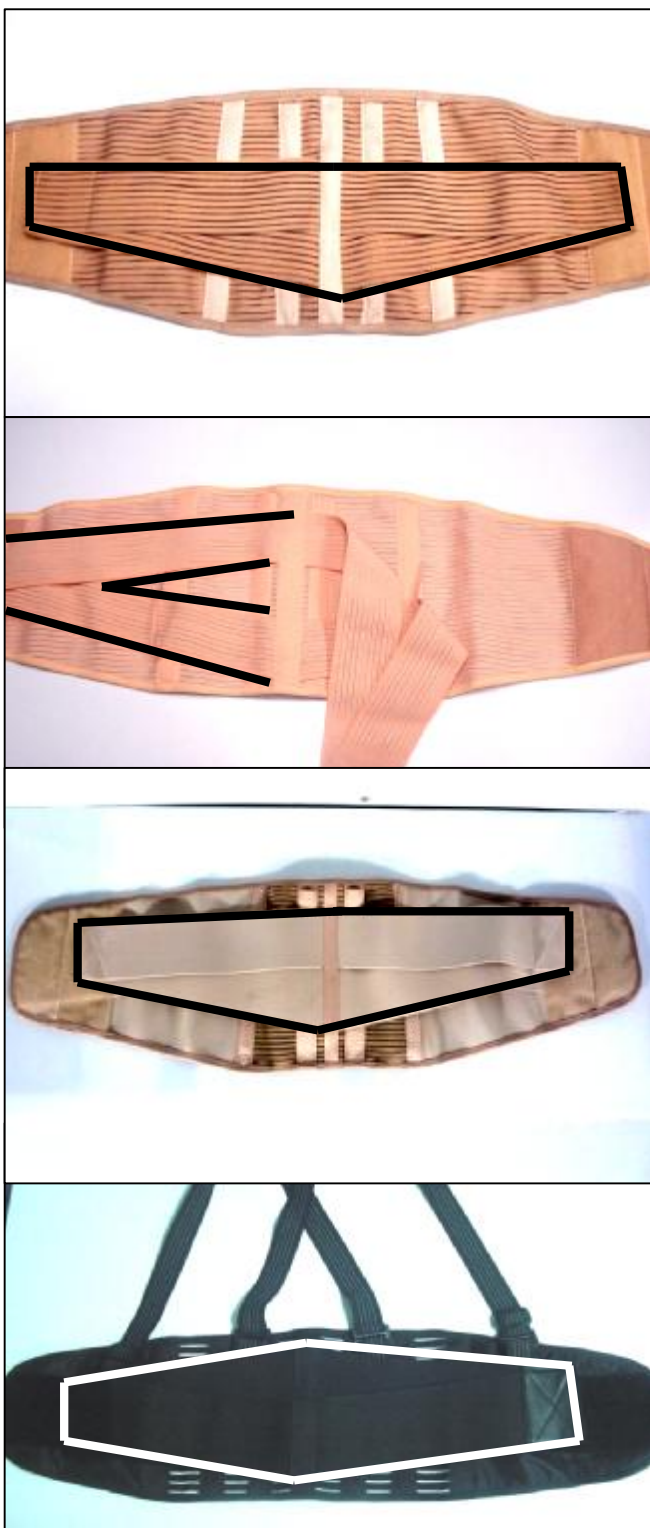


(ก) ด้านนอกของเข็มขัดพวงหลัง



(ข) ด้านในของเข็มขัดพวงหลัง (สัมผัสนั่ง)

รูปที่ **430** แสดงขนาด โดยภาพรวมของเข็มขัดพวงหลังที่ออกแบบ



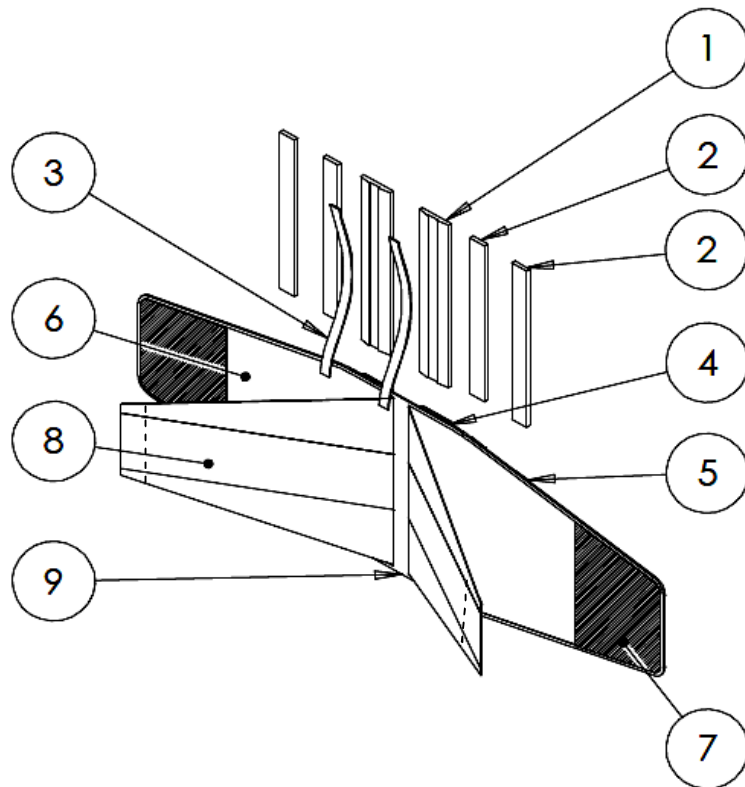
(ก) เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับ
ส่วนหลังทำจากเหล็ก (MIO
TECH รุ่น LS SUPPORT) 51%

(ข) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบ
พลาสติก (ACME size L (ขนาด
เท่า size M)) 53%

(ค) เข็มขัดพยุงหลังที่แผ่นรองรับ
ส่วนหลังทำจากแถบอะลูมิเนียม
(ใช้ในโรงพยาบาลสงขลา
นครินทร์) 64%

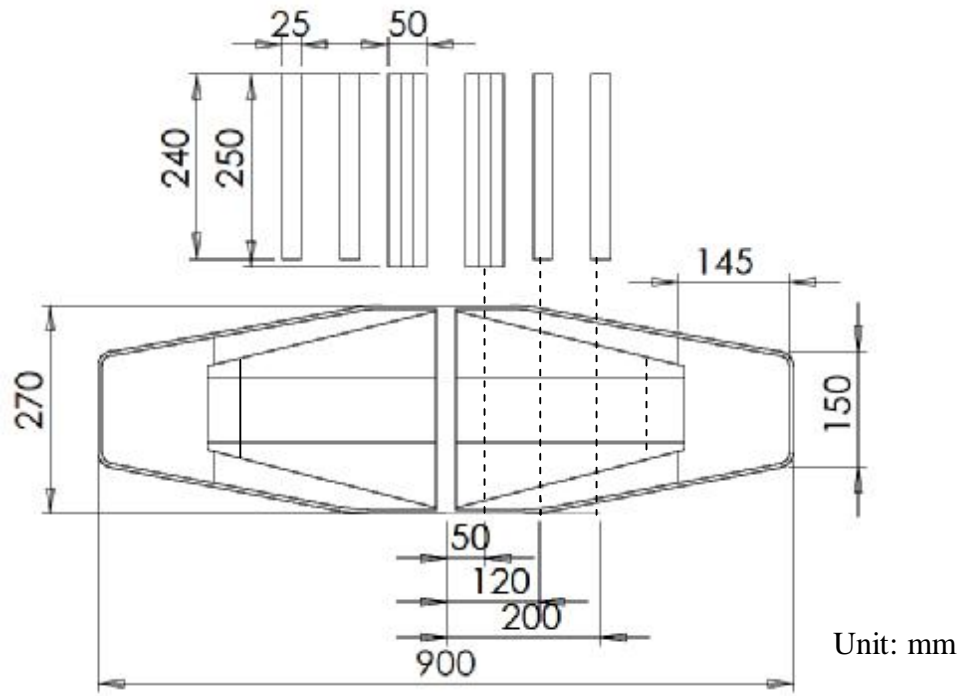
(ง) เข็มขัดพยุงหลังแบบแถบ
พลาสติกมีสายคล้องไหล่ (MIO
TECH รุ่น BACK SUPPORT size
M) 74%

รูปที่ 43 แสดงเข็มขัดพยุงหลังรุ่นต่างๆ
โดยเทียบความกว้างแถบยางยึดกับความกว้างของเข็มขัดพยุงหลัง

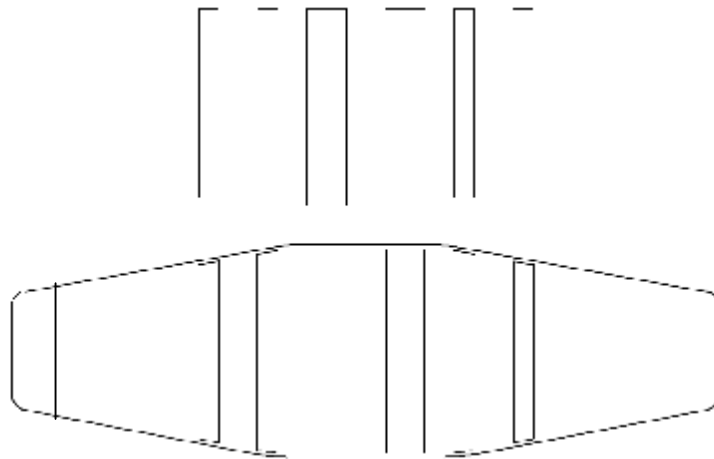


รูปที่ 432 แสดงลักษณะและรูปร่างของเข็มขัดพวงหลังที่ปรับปรุงแก้ไข

จากรูปที่ 432 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ (1) แผ่นรองรับด้านหลังที่ทำจากยาง (2) แผ่นรองรับด้านข้างที่ทำจากยาง (3) แถบอะลูมิเนียม (4) ช่องสอดแผ่นรองรับด้านหลังที่ทำจากยาง (5) ช่องสอดแผ่นรองรับด้านข้างที่ทำจากยาง (6) ฝ้ายืด (7) ดินสีกแกมีลักษณะเป็นขน (8) แถบยางยืดช่วยเพิ่มความกระชับ และ (9) แนวตะเข็บในการเย็บเข็มขัดพวงหลัง และได้แสดงขนาดโดยภาพรวมของเข็มขัดพวงหลังที่ปรับปรุงแก้ไขดังรูปที่ 433 เมื่อได้แบบที่สอดคล้องกับการใช้งานแล้วจึงได้ดำเนินการตัดเย็บเข็มขัดพวงหลังและเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบการใช้งานของเข็มขัดพวงหลังซึ่งมีแผ่นยางรองรับที่ทำจากยางธรรมชาติ โดยเข็มขัดที่ตัดเย็บเสร็จแล้วได้แสดงไว้ยังรูปที่ 434 เข็มขัดพวงหลังที่สร้างจะถูกทดสอบการใช้งานกับผู้สวมใส่และประเมินผลโดยการใช้การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งดำเนินการตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 327



(ก) ด้านนอกของเข็มขัดพุงหลัง



(ข) ด้านในของเข็มขัดพุงหลัง (สัมผัสหลัง)

รูปที่ 433 แสดงขนาดโดยภาพรวมของเข็มขัดพุงหลังที่ปรับปรุงแก้ไข

เข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบและตัดเย็บขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและสอดคล้องกับแผ่นรองรับที่ออกแบบได้แสดงดังรูปที่ 434 เข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบนี้มีน้ำหนักเมื่อชั่งรวมกับแผ่นรองรับประมาณ 660 g ในขณะที่เข็มขัดพยุงหลังแบบที่แถบรองรับทำจากพลาสติก MIO TECH รุ่น BACKSUPPORT มีน้ำหนักประมาณ 420g และเข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีน้ำหนัก 370g จะเห็นได้ว่าเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบขึ้นมาใหม่นี้มีน้ำหนักมากกว่าอย่างชัดเจน ส่วนหนึ่งมาจากการเพิ่มองค์ประกอบให้กับตัวเข็มขัดเช่น แถบยางยืด และ อีกส่วนมาจากน้ำหนักของแผ่นรองรับที่ทำจากยาง ซึ่งประกอบด้วยแผ่นรองรับด้านหลังทั้ง 2 แผ่นติดกับแถบอลูมิเนียมและแผ่นรองรับด้านข้าง 4 แผ่น มีน้ำหนักรวมกันประมาณ 330g ซึ่งเกือบเท่ากับเข็มขัดพยุงหลังอีกหนึ่งตัว



(ก) ด้านนอกของเข็มขัดพยุงหลัง



(ข) ด้านในของเข็มขัดพยุงหลัง (สัมผัสหลัง)
รูปที่ 434 แสดงเข็มขัดพยุงหลังที่ตัดเย็บเสร็จแล้ว

47 การทดสอบและเปรียบเทียบผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้นกับเข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และที่จำหน่ายตามร้านอุปกรณ์การแพทย์

จากการดำเนินงานในหัวข้อที่ **327** ซึ่งเป็นการทดสอบและเปรียบเทียบผลการใช้งานของเข็มขัดพยุงหลัง โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด **19** คน ในขณะที่เคลื่อนไหวในท่ายก โดยข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ **411** ในรูปที่ **435** ได้แสดงกลุ่มตัวอย่างที่ติด **surface electrode** และใส่เข็มขัดพยุงหลังและพร้อมทำการทดสอบ



(ก) ตำแหน่งของ **surface electrode** บนกล้ามเนื้อหลัง



(ข) กลุ่มตัวอย่างที่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง (ซ้าย) มองจากด้านหลัง (ขวา) มองจากด้านข้าง
รูปที่ **435** แสดงกลุ่มตัวอย่างที่ติด **surface electrode** และใส่เข็มขัดพยุงหลัง

ตารางที่ 411 แสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

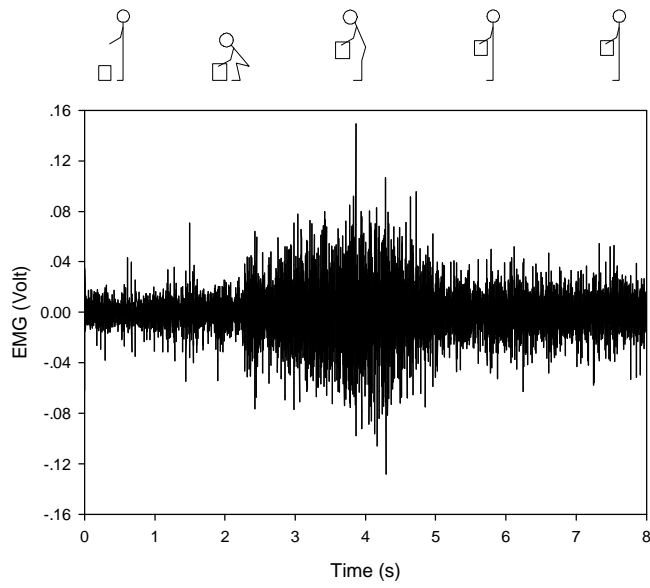
	No.	Age (years)	Weight (kg)	Height (m)	Waistline (in)	BMI	Category
Leg lift 15s (10 belts)	1	22	62	174	32	205	Normal
	2	20	59	170	33	204	Normal
	3	23	76	176	33	245	Normal
	4	24	85	185	32	248	Normal
	5	22	53	167	29	190	Normal
	mean	22.2	67	174.4	31.8	21.8	
	SD	1.48	13.13	6.88	1.64	2.65	
Torso lift 10s (10 belts)	1	23	76	176	33	245	Normal
	2	25	60	170	32	208	Normal
	3	25	63	175	31	206	Normal
	4	22	53	167	29	190	Normal
	5	22	62	174	32	205	Normal
	mean	23.4	62.8	172.4	31.4	21.1	
	SD	1.52	8.35	3.78	1.52	2.06	
Torso 8s (10 belts)	1	23	76	176	33	245	Normal
	2	20	59	170	33	204	Normal
	3	22	53	167	29	190	Normal
	4	25	60	170	32	208	Normal
	mean	22.5	62	170.8	25.4	21.2	
	SD	2.08	9.83	3.77	1.89	2.36	
	Torso lift 8s (5 belts)	1	21	62	174	31	205
2		20	59	170	33	204	Normal
3		22	53	167	29	190	Normal
4		20	59	169	32	206	Normal
5		21	64	173	32	21.4	Normal
mean		20.8	59.4	170.6	31.4	20.39	
SD		0.84	4.16	2.88	1.52	0.86	

4.71 ผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการทดสอบการใช้งานเข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด 10 แบบ

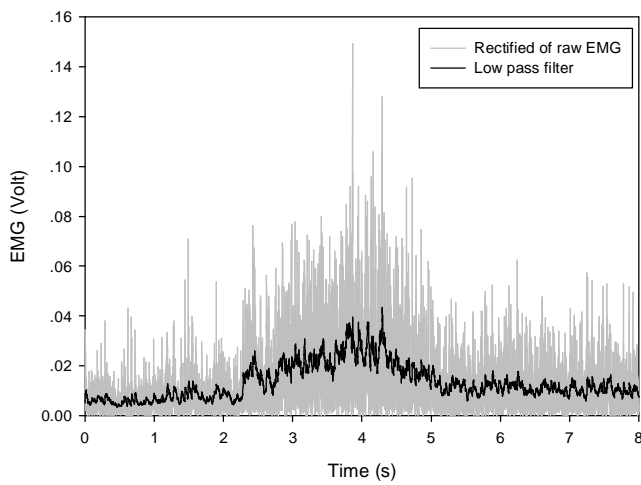
ในการทดสอบนี้เป็นการเปรียบเทียบผลความสามารถของเข็มขัดพยุงหลังในการลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ซึ่งบ่งชี้ด้วยปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นในขณะที่เคลื่อนไหวในท่าก้มยกของที่มีมวล **20kg** จากพื้นมาอยู่ในท่ายืนตรง โดยไม่สวมใส่และสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง โดยใช้เข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด **10** แบบ คือ

- 1) เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีแถบรองรับท่าจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ (**S-Hopital belt**)
- 2) แผ่นยางรองรับสูตร **1 (RB1 belt)**
- 3) แผ่นยางรองรับสูตร **1** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **1.6 mm (RB1+Al 1.6 mm belt)**
- 4) แผ่นยางรองรับสูตร **1** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **2 mm (RB1+Al 2 mm belt)**
- 5) แผ่นยางรองรับสูตร **6 (RB6 belt)**
- 6) แผ่นยางรองรับสูตร **6** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **1.6 mm (RB6+Al 2 mm belt)**
- 7) แผ่นยางรองรับสูตร **6** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **2 mm (RB6+Al 2 mm belt)**
- 8) แผ่นยางรองรับสูตร **7 (RB7 belt)**
- 9) แผ่นยางรองรับสูตร **7** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **1.6 mm (RB7+Al 2 mm belt)**
- 10) แผ่นยางรองรับสูตร **7** ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024**หนา **2 mm (RB7+Al 2 mm belt)**

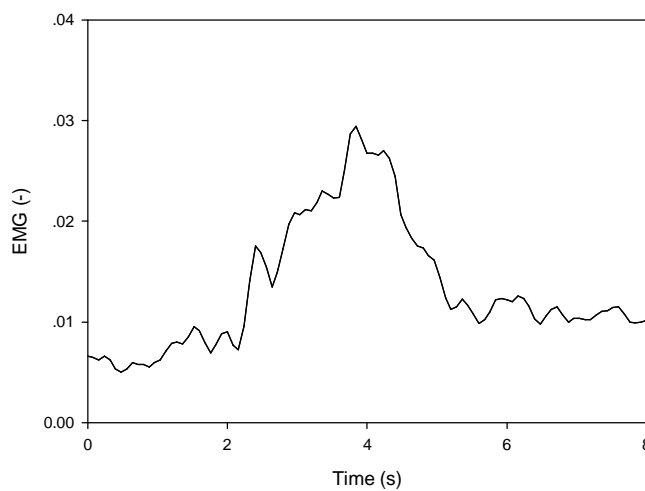
เมื่อวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเสร็จแล้ว แปลงสัญญาณดังกล่าวตามขั้นตอนดังหัวข้อที่ **31.3** ซึ่งประกอบด้วย **3** ขั้นตอน คือ **fullwave rectify, lowpass filter** และ **moving average** ตัวอย่างผลจากการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในแต่ละขั้นตอนได้แสดงดังรูปที่ **436** และผลการทดสอบเข็มขัดพยุงหลังในด้านความสามารถในการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังของเข็มขัดพยุงหลังทั้ง **10** แบบเทียบกับกรณีไม่สวมใส่เข็มขัดพยุงหลังได้แสดงไว้ดังรูปที่ **437** และในตารางที่ **412** ได้แสดงปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกรณีที่ไม่สวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง



(ก) Raw EMG

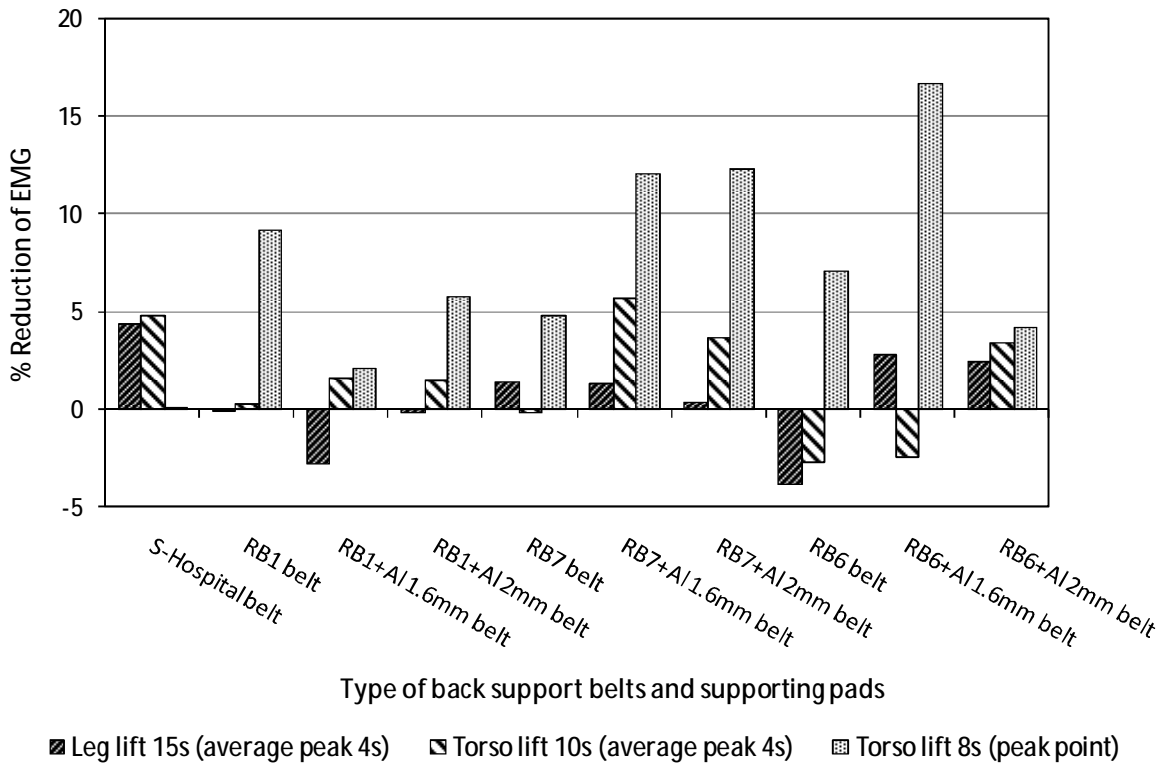


(ข) Fullwave rectify และ lowpass filter



(ค) Moving average

รูปที่ 436 แสดงสัญญาณ EMG ที่ผ่านการขยายและผ่านการแปลงสัญญาณทั้ง 3 ขั้นตอน

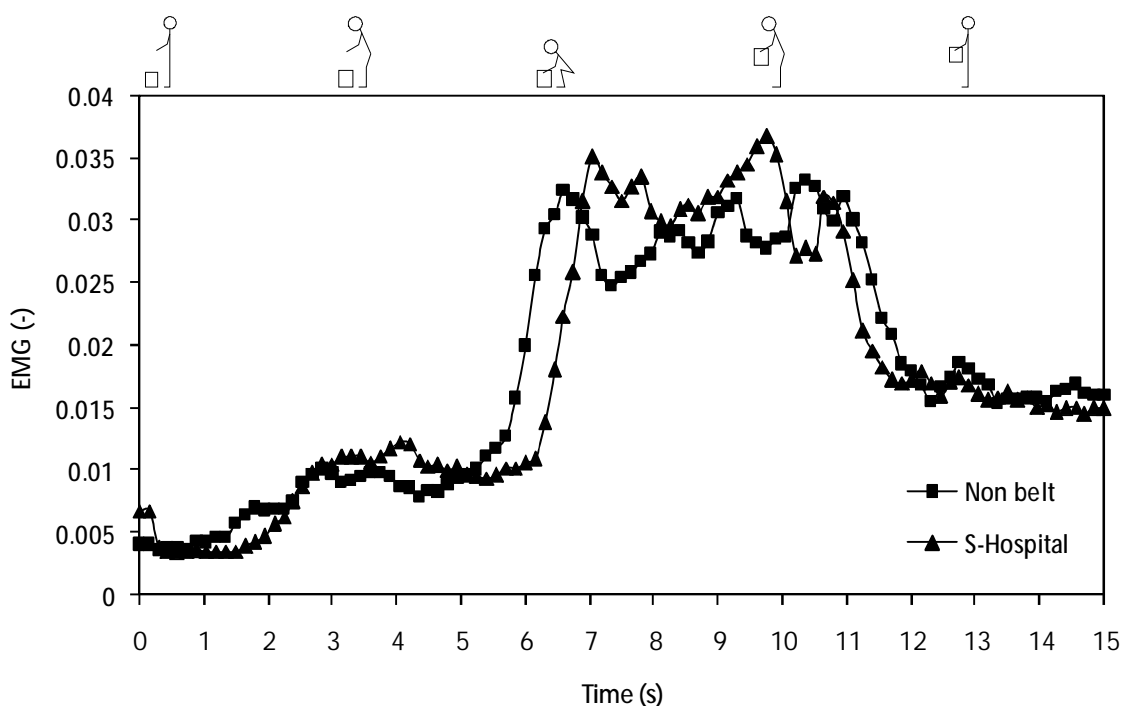


รูปที่ 437 แสดงผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
เมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง 10 แบบ

ตารางที่ 412 แสดงปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง 10 แบบ เทียบกับกรณีไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลัง

		% Reduction of EMG									
Lifting	Type of back support belts and supporting pads										
	S-Hospital belt	RB1 belt	RB1+Al 1.6mm belt	RB1+Al 2mm belt	RB7 belt	RB7+Al 1.6mm belt	RB7+Al 2mm belt	RB6 belt	RB6+Al 1.6mm belt	RB6+Al 2mm belt	
Leg lift 15s	4.40	-0.01	-2.75	-0.12	1.44	1.39	0.40	-3.84	2.80	2.48	
Torso lift 10s	4.81	0.26	1.58	1.53	-0.12	5.68	3.74	-2.71	-2.44	3.40	
Torso lift 8s	0.12	9.20	2.11	5.85	4.85	12.05	12.35	7.14	16.70	4.24	

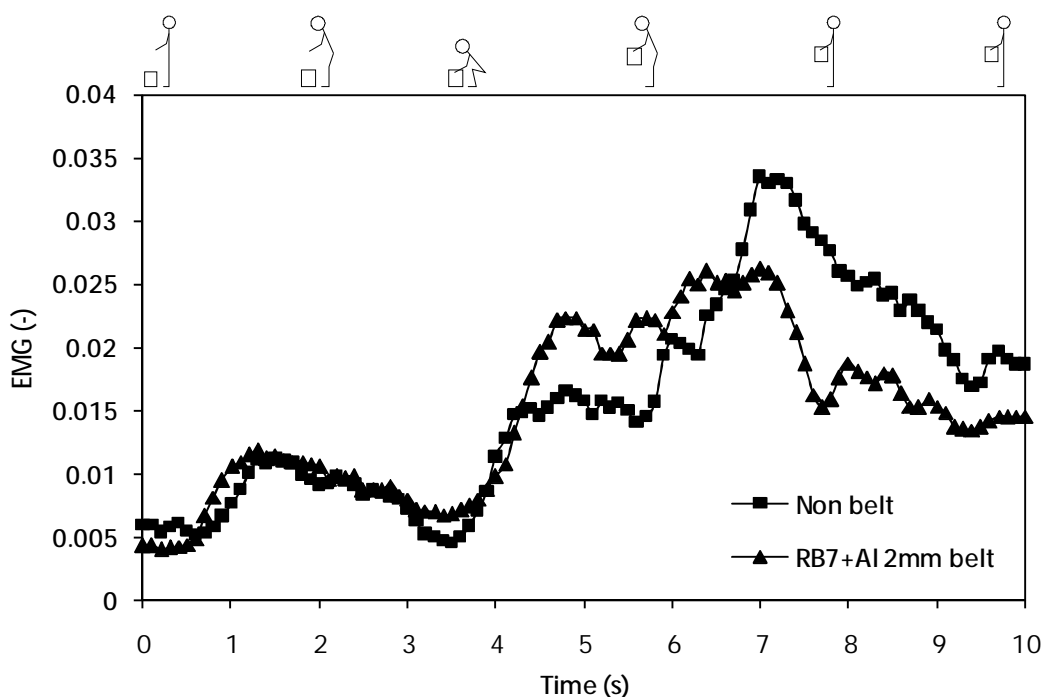
471.1 ผลการทดสอบในท่ายกของด้วยการยกเข้าหลังตรง (**leg lift**) ใช้กลุ่มตัวอย่าง 5 คน เวลาในการยก **15s** และเข็มขัดพยุงหลัง **10** แบบ ทดสอบเพียงรอบเดียว โดยเคลื่อนไหวอย่างช้าๆ ซึ่งมีช่วงเวลาในการยกนานที่สุด เป็นผลให้ช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อหลังทำงานนานตามไปด้วย ดังแสดงตัวอย่างผลการทดสอบดังรูปที่ **438** ในการเปรียบเทียบปริมาณสัญญาณเฉลี่ยในช่วง **4s** ที่กล้ามเนื้อทำงานหนักมาเปรียบเทียบได้ผลดังรูปที่ **437** การยกในท่านี้ถือว่าเป็นการยกที่มีความปลอดภัยเพราะหลังตั้งตรงทำให้แรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับลำตัวมีค่าน้อย เป็นผลให้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นความแตกต่างของระดับสัญญาณจึงไม่เด่นชัด เมื่อพิจารณาผลการลดการทำงานของกล้ามเนื้อพบว่า **S-Hopital belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้สูงสุดคือ **440%** รองลงมาคือ **RB7+Al 2 mm belt** ลดได้ **280%** และ **RB6+Al 2 mm belt** ลดได้ **248%** โดยเข็มขัดพยุงหลังบางแบบทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ **412**



รูปที่ **438** แสดงตัวอย่างผลการวัด **EMG** ในการก้มยกของโดยใช้เวลา **15s**

471.2 ผลการทดสอบในท่ายกแบบหลังงอ (**torso lift**) ใช้ของกลุ่มตัวอย่าง 5 คน เวลาในการยก **10s** และเข็มขัดพยุงหลัง **10** แบบ ทดสอบเพียงรอบเดียว จากหัวข้อที่ **471.1** เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความแตกต่างที่ไม่ชัดเจนเนื่องจากเป็นท่ายกที่มีการทำงานของกล้ามเนื้อค่อนข้างน้อย ดังนั้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของสัญญาณที่ชัดเจนขึ้นจึง

เปลี่ยนท่ายกเป็นแบบหลังงอ และลดเวลาในการยกเหลือ **10 s** ซึ่งมีลักษณะสัญญาณที่วัดได้ดังตัวอย่างในรูปที่ **439** ในการเปรียบเทียบใช้สัญญาณเฉลี่ยในช่วง **4 s** ที่กล้ามเนื้อทำงานหนักซึ่งได้ผลดังรูปที่ **437** โดยที่ **RB7+Al 1.6 mm belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้สูงสุด **56%** และรองลงมาคือ **S-Hospital belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **48%** ดังตารางที่ **412** แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของผลของเข็มขัดพยุงหลังได้ชัดเจนขึ้น

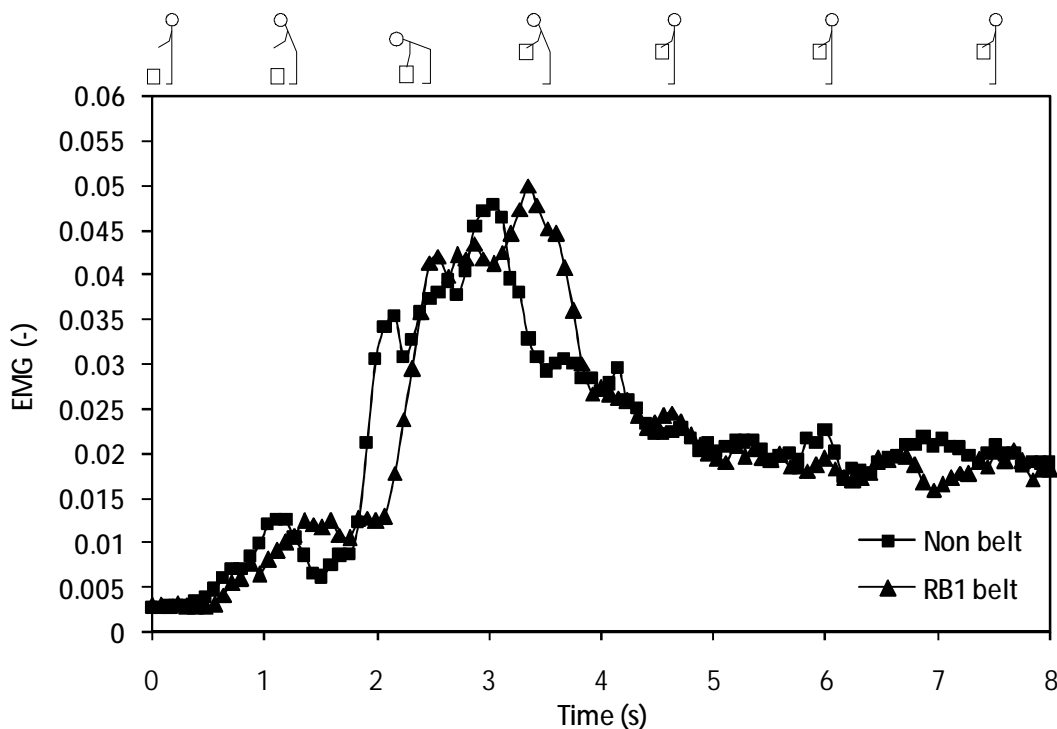


รูปที่ **439** แสดงตัวอย่างผลการวัด **EMG** ในการก้มยกของโดยใช้เวลา **10s**

471.3 ผลการทดสอบในท่ายกแบบหลังงอ (*torso lift*) ใช้กลุ่มตัวอย่าง **4**

คน เวลาในการยก **8s** และเข็มขัดพยุงหลัง **10** แบบ ทดสอบเพียงรอบเดียว จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ **471.2** เพื่อให้เห็นความชัดเจนของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากขึ้น จึงให้กลุ่มตัวอย่างเคลื่อนไหวโดยใช้ความเร็วปกติเหมือนการยกในชีวิตประจำวัน ซึ่งอยู่ในช่วง **4 s** ถึง **6 s** โดยประมาณ เนื่องจากเป็นช่วงการยกในเวลาสั้นๆ ค่าสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบจึงใช้ค่าการทำงานสูงสุดของกล้ามเนื้อเพียงค่าเดียว ในรูปที่ **440** ได้แสดงตัวอย่างลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า **RB6+Al 1.6 mm belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ สูงสุดคือ **167%** **RB7+Al 2mm belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ **123%**

และ **RB7+Al1.6mmbelt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ **12.05%** ดังตารางที่ **412** และรูปที่ **437**



รูปที่ **440** แสดงตัวอย่างผลการวัด **EMG** ในการก้มยกของโดยใช้เวลา **8s**

จากผลการทดสอบทั้ง **3** เงื่อนไขคือ **Leg lift 15s**, **Torso lift 10s** และ **Torso lift 8s** มีความแปรปรวนของข้อมูลเนื่องจากทดสอบเพียงครั้งเดียว แต่มีแนวโน้มที่ชัดเจนว่าเข็มขัดพยุงหลังแบบ **RB6+Al1.6mmbelt**, **RB7+Al 2mmbelt** และ **RB7+Al1.6mmbelt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้อย่างเด่นชัด ดังนั้นเข็มขัดพยุงหลังทั้ง **3** แบบนี้จะนำไปทดสอบเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลโดยการทดสอบซ้ำ **5** ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลและจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ **47.2**

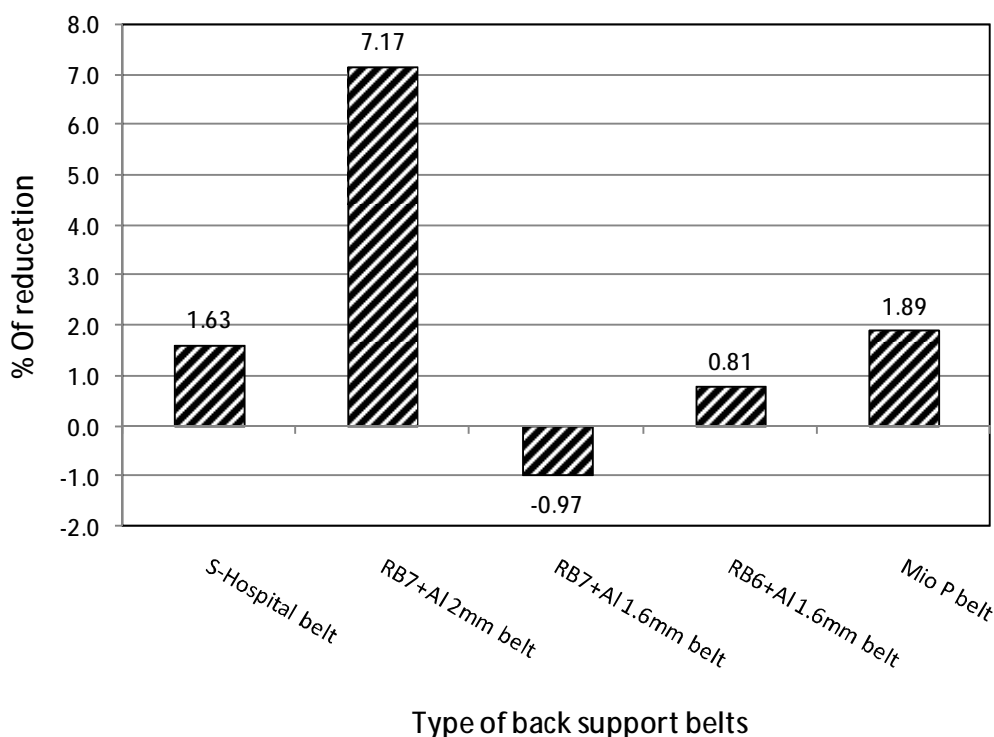
47.2 ผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการทดสอบการใช้งานเข็มขัดพยุงหลัง **5**

แบบ

ในการทดสอบนี้เปรียบเทียบผลความสามารถของเข็มขัดพยุงหลังในการลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ซึ่งบังคับด้วยปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นในขณะที่เคลื่อนไหวในท่าก้มยกของที่มีมวล **20kg** จากพื้นมาอยู่ในท่ายืนตรง โดยไม่สวมใส่และสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง ในกรณีที่ใส่เข็มขัดพยุงหลังใช้งานเข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด **5** แบบ คือ

- 1) เข็มขัดพยุงหลังที่ใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (S-Hospital belt)
- 2) แผ่นยางรองรับสูตร 6 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 1.6 mm (RB6+Al 2mmbelt)
- 3) แผ่นยางรองรับสูตร 7 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 1.6 mm (RB7+Al 2mmbelt)
- 4) แผ่นยางรองรับสูตร 7 ร่วมกับแถบอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2024หนา 2 mm (RB7+Al 2mmbelt)
- 5) เข็มขัดพยุงหลัง แบบที่แถบรองรับทำจากพลาสติก MIO TECH รุ่น BACK SUPPORT (Mio Pbelt)

ผลการทดสอบในท่ายกแบบหลังงอ (torso lift) ใช้กลุ่มตัวอย่าง 5คน เวลาในการยก 8s และเข็มขัดพยุงหลังที่ออกแบบ 3แบบ และเข็มขัดพยุงหลังในท้องตลาด 2 แบบ เพื่อเปรียบเทียบผล ในการทดสอบทำซ้ำ 5ครั้ง ต่อเข็มขัดพยุงหลัง 1 แบบ เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล และได้ผลดังรูปที่ 44 และได้แสดงเป็นข้อมูลไว้ดังตารางที่ 413ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทำซ้ำ 5ครั้ง

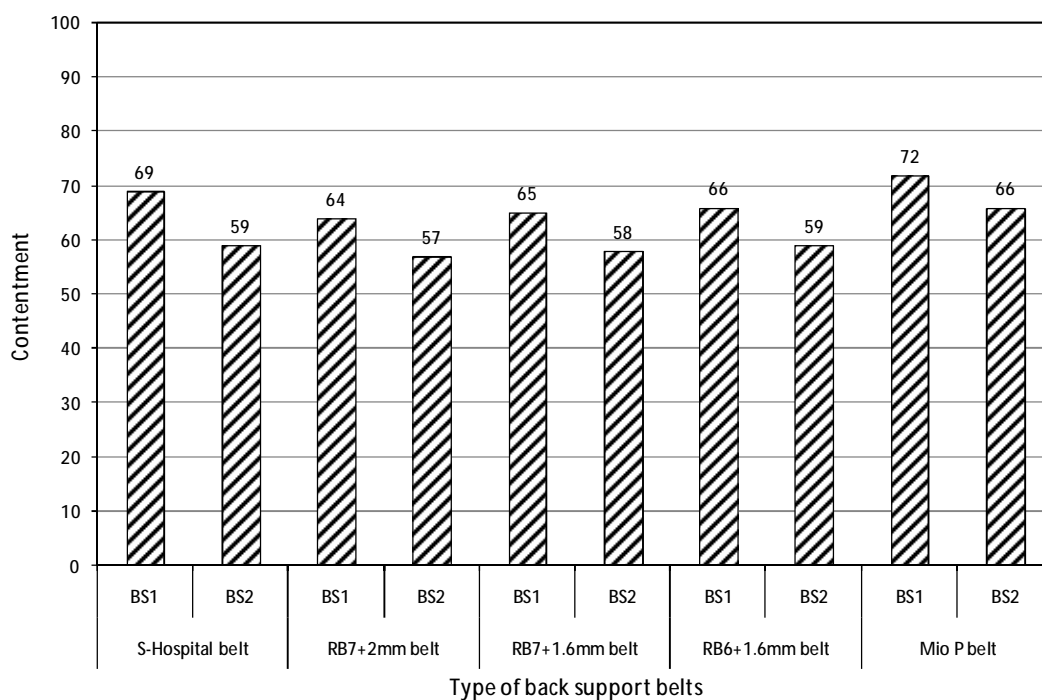


รูปที่ 44 แสดงผลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 5ครั้งเมื่อใส่เข็มขัดพยุงหลัง 5แบบ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 441 กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างเคลื่อนไหวในท่าก้มยกของเหมือนกับการเคลื่อนไหวจริงในชีวิตประจำวัน พบว่าเข็มขัดพยุงหลังที่ช่วยลดการทำงานของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ได้ดีที่สุดคือ เข็มขัดที่มีแผ่นรองรับท่าจากยางธรรมชาติสูตรยาง **RB7** ร่วมกับอคูมิเนียมอัลลอยด์ **2024** ความหนา **2 mm** ซึ่งสามารถลดการปริมาณสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ประมาณ **71.7%** เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้เข็มขัดพยุงหลัง

48 ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้เข็มขัดพยุงหลัง

จากการทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้เข็มขัดพยุงหลังจากกลุ่มตัวอย่างชาย **10** คน ที่มีสุขภาพดี โดยใช้เข็มขัดพยุงหลัง **5** แบบ ควบคุมแถบยางยืดให้มีความตึง **2** ระดับคือ **25N (BS1)** และ **30N (BS2)** กำหนดระดับคะแนนเต็ม **100** คะแนน ถือว่าเป็นความพึงพอใจสูงสุดและได้แสดงผลไว้ดังรูปที่ 442



รูปที่ 442 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้เข็มขัดพยุงหลัง

จากรูปที่ 439 พบว่าการเคลื่อนไหวโดยไม่ใส่เข็มขัดพยุงหลังมีระดับคะแนน **87** คะแนน ซึ่งเป็นค่าสูงสุด รองลงมาคือ **Mio P belt (BS1)** มี **72** คะแนน และ **S-Hospital belt (BS1)** มี **69** คะแนน ซึ่งระดับคะแนนต่ำสุดคือ **RB7+2mm belt (BS2)** มี **57** คะแนน สังเกตได้ว่าที่ระดับความตึงของแถบยางยืดที่ระดับ **2** จะมีคะแนนที่ต่ำกว่าความตึงระดับ **1** เมื่อเทียบกับเข็มขัดชนิด

เดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงกดของเข็มขัดพยุงหลังในปริมาณน้อยๆ จะเป็นที่ยังพอใจกับคู่สมรสได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเข็มขัดพยุงหลังทั้ง 5 แบบ พบว่า **Mio Pbelt** มีระดับคะแนนที่สูงที่สุดทั้งในกลุ่ม **BS1** และ **BS2** ซึ่ง **Mio Pbelt** เป็นเข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบรองรับทำจากพลาสติกทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวก และรองลงมาคือ **S-Hospital belt** ซึ่งเป็นเข็มขัดพยุงหลังที่มีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีแถบรองรับทำจากอลูมิเนียมกว้างประมาณ **15 mm** เนื่องจากแถบรองรับมีขนาดเล็กจึงทำให้เคลื่อนไหวได้ในระดับหนึ่ง ส่วนเข็มขัดพยุงหลังที่มีระดับคะแนนต่ำสุดทั้งในกลุ่ม **BS1** และ **BS2** คือ **RB7+2mm belt** อาจเนื่องมาจากการมีแผ่นยางรองรับร่วมกับแถบอลูมิเนียมที่มีความหนา **2mm** จึงทำให้สามารถจำกัดการเคลื่อนไหวของหลังได้ดีทำให้คู่สมรสไม่สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวก อย่างไรก็ตามการจำกัดขอบเขตการเคลื่อนไหวก็ยังเป็นหลักการของเข็มขัดพยุงหลังในการลดความเสี่ยงและอาการบาดเจ็บซ้ำซ้อนที่จะเกิดกับผู้ป่วย รวมไปถึงระดับความตึงที่มากก็จะยิ่งทำให้แถบรองรับหลังทำงานได้ดียิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มแรงดันในหน้าท้องซึ่งสามารถลดแรงกดที่กระทำกับหมอนรองกระดูกสันหลังได้ แต่ด้วยปัจจัยที่กล่าวมาเป็นการขัดขวางการทำงานของระบบของร่างกายในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนไหว หรือการหายใจที่ไม่สะดวกขึ้น ทำให้คู่สมรสใช้เข็มขัดพยุงหลังรู้สึกไม่สบายได้

49 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

เข็มขัดพยุงหลังที่สร้างขึ้นถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถพัฒนาไปเป็นสินค้าได้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถประเมินได้ถึงคุณค่าในการลงทุน ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงต้นทุนในการผลิตซึ่งคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปแผ่นรองรับเป็นหลัก ซึ่งต้นทุนในส่วนดังกล่าวจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ค่าวัสดุดิบ และค่าแรงงาน ซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนทางตรง (**direct cost**) ซึ่งขาดไม่ได้ ค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าแรงงาน คิดเป็นค่าแรงขั้นต่ำตามประกาศกรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ 5) ในท้องที่จังหวัดสงขลา คือวันละ **176** บาท บังคับใช้ตั้งแต่วันที่ **1** มกราคม พ.ศ. **2554** การดำเนินงานต่อการขึ้นรูปแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังหนึ่งตัวแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ การบดผสมยางและสารเคมี การขึ้นรูปแผ่นยางรองรับ และการตัดแถบอลูมิเนียม ในการบดผสมยางใช้เวลาทั้งกระบวนการประมาณ **40** นาที ในการขึ้นรูปแผ่นยางรองรับหลังใช้แม่พิมพ์แบบ **2Cavity** ซึ่งขึ้นรูปแผ่นยางรองรับได้ครั้งละ **1** ตัว รวมถึงการขึ้นรูปแผ่นยางรองรับด้านข้างรวมใช้เวลาในการขึ้นรูปและประมาณ **40** นาที ในการตัดและตัดแถบอลูมิเนียมใช้เวลาประมาณ **30** นาที รวมแล้วใช้เวลาทั้งหมด **110** นาที คิดเป็นค่าแรง **4033** บาท

2 ค่าวัสดุที่ใช้ทำแผ่นรองรับ แบ่งเป็น **2** ส่วน คือ แผ่นยางคงรูป และแถบอลูมิเนียม แผ่นยางคงรูปจะประกอบด้วยยางและสารเคมีซึ่งได้แสดงค่าวัสดุในส่วนนี้ไว้ในตารางที่ **413** ส่วนค่าอลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024** ขนาด **4ftx8ft** มีราคา **8239** บาท ต่อแผ่น เมื่อคิดตามพื้นที่ในเข็มขัดหนึ่งตัวมีค่าอลูมิเนียมอัลลอยด์คิดเป็น **208** บาท ดังนั้นค่าวัสดุที่จะต้องจ่ายต่อเข็มขัดพวงหลัง **1** ตัว เป็นเงิน **3874** บาท

ตารางที่ **413** ราคาของและสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพวงหลัง **1** ตัว

ยางและสารเคมี	ราคา (บาท/kg)	ปริมาณที่ใช้ (g)	ราคา (บาท)
STR 5L	90	2838	25.54
Struktol	300	85	2.55
MBI	215	28	0.60
Stearic acid	350	42	1.47
ZnO	220	11.6	2.55
Wingstay L	350	42	1.47
Spindle oil	77	284	21.9
Sulphur	40	71	0.28
		รวม	36.66

3 ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระบวนการผลิตและขึ้นรูปแผ่นรองรับ คำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก คิดในช่วงหน่วยที่ **401** เป็นต้นไปซึ่งเป็นอัตราสูงสุดที่เรียกเก็บ คือ **2978** บาทต่อหน่วย ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระบวนการผลิตและขึ้นรูปแผ่นรองรับประกอบด้วย **2** ส่วนหลักคือ พลังงานที่ใช้ในการกระบวนการบดยางและผสมสารเคมี และพลังงานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแผ่นยางรองรับด้วยความร้อน เมื่อพิจารณากำลังของเครื่องจักรและระยะเวลาในการใช้งานเพื่อผลิตแผ่นยางรองรับสำหรับเข็มขัดพวงหลัง **1** ตัว สามารถประเมินเป็นค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานได้ประมาณ **271** บาท โดย ดังแสดงในตารางที่ **414**

ตารางที่ 414 ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระบวนการผลิตแผ่นรองรับ

เครื่องจักร	กำลัง (kW)	ระยะเวลา (min)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)
เครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง	56	35	2978	973
เครื่องอัดเบ้า	125	28	2978	1737
			รวม	271

4) ค่าแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านหลังมีราคา 12,000 บาทและแม่พิมพ์แผ่นรองรับด้านข้างมีราคา 1,440 บาท รวมเป็นเงิน 13,440 บาท

ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพวงหลัง 1 ที่เป็นต้นทุนทางตรงคือ ค่าแรงงาน วัสดุ และค่าพลังงาน ที่จะต้องใช้ในการขึ้นรูปแผ่นรองรับแต่ละครั้งประมาณ 1062 บาท หากรวมค่าแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นยางรองรับซึ่งใช้ซ้ำได้ เมื่อพิจารณาในการผลิตแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพวงหลังจำนวน 1,000 ตัว ค่าใช้จ่ายจะตกอยู่ที่ 1196 บาท ต่อเข็มขัดพวงหลัง 1 ตัว ค่าใช้จ่ายที่กล่าวมานี้เป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากเข็มขัดพวงหลัง โดยทั่วไปในท้องตลาด เนื่องด้วยส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตแผ่นรองรับที่ออกแบบขึ้นซึ่งเข็มขัดพวงหลังโดยทั่วไปไม่มี

บทที่ 5

สรุปผล

จากการศึกษาชีวกลศาสตร์บริเวณหลังส่วนล่างของมนุษย์และผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างของผู้สวมใส่เมื่อเคลื่อนไหวในท่าทางต่างๆ และการพัฒนาแผ่นยางรองรับหลังให้มีรูปร่าง ขนาด ความแข็งดึงรวมถึงตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง โดยตรวจสอบการทำงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังในท่าก้มยกของ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

5.1 การศึกษาชีวกลศาสตร์บริเวณหลังส่วนล่างของมนุษย์และผลของเข็มขัดพยุงหลังที่มีต่อแรงที่กระทำบนหมอนรองกระดูก L5/S1 และแรงดึงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลัง erector spinae

เข็มขัดพยุงหลังเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อจำกัดการเคลื่อนไหว และหากมีการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะในท่าก้มยกของ เข็มขัดพยุงหลังก็จะช่วยรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับลำตัวได้จากการศึกษาเข็มขัดพยุงหลังที่มีแถบรองรับทำจากโลหะในขณะที่เคลื่อนไหวในท่าก้มยกของพบว่าสามารถลดแรงดึงของกล้ามเนื้อ **erector spinae** ได้สูงสุด **141%** และลดแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้สูงสุด **85%** ในท่ายกของไม่มีน้ำหนัก และลดแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้สูงสุด **15.7%** ขณะยกของน้ำหนัก **10kg** ที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **1 (25 N)** เมื่อยกของที่มีน้ำหนักมากขึ้นเป็น **20 kg** ที่ความตึงเข็มขัดพยุงหลังระดับ **2 (38 N)** เข็มขัดพยุงหลังสามารถลดแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อหลัง **erector spinae** ได้ **9.5%** และลดแรงกดที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** ได้ถึง **11%** จะเห็นได้ว่าการยกของน้ำหนักน้อยๆ ความตึงการใส่เข็มขัดพยุงหลังระดับ **1** สามารถลดแรงที่กระทำต่ออวัยวะดังกล่าวได้ดี และที่ภาระน้ำหนักเพิ่มขึ้น ความตึงการใส่เข็มขัดพยุงหลังระดับ **2** จะมีส่วนช่วยลดแรงกระทำได้ดีเช่นกัน ส่วนท่าดึงและดันของนั้น เข็มขัดพยุงหลังทำให้แรงดึงของกล้ามเนื้อ **erector spinae** แรงกดและแรงเฉือนที่กระทำต่อ **L5/S1 Disc** มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของอวัยวะบริเวณดังกล่าว

5.2 การออกแบบแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลัง

การรับแรงดัดของแผ่นรองรับในเข็มขัดพยุงหลังเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาออกแบบ ซึ่งต้องมีแถบโลหะเป็นวัสดุรับแรงร่วมกับแผ่นยางที่สัมผัสกับหลัง วัสดุโลหะที่มีความเหมาะสมในการศึกษานี้คือ อลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด **2024** กว้าง **15mm**หนา **2mm** คัดตามความ

โค้งของหลังส่วนล่าง ส่วนแผ่นยางรองรับมี **2** ชั้น ซ้าย-ขวา อยู่บริเวณตำแหน่งของกล้ามเนื้อทั้งสองและห่างจากแนวสันหลังประมาณ **25mm** ลักษณะเป็นแผ่นมีความยาว **250mm** วางตามแนวกล้ามเนื้อ **erector spinae** แผ่นยางขึ้นรูปให้มีร่องสำหรับอะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ผ่านการตัดตามรูปร่างตามลักษณะของหลังส่วนล่าง ทำให้สามารถกระจายแรงจากแถบอะลูมิเนียมที่กดแผ่นหลังคุณสมบัติยางคงรูปที่เหมาะสมมีความแข็ง **326Shore A** โดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเมื่อมีการยวบตัวที่ **30% strain** เท่ากับ **1,796 kPa** คุณสมบัติดังกล่าวได้จากกระบวนการบดยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมยางแบบ **2** ลูกกลิ้ง ใช้เวลาในการบดยาง **20** นาที และผสมสารเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติของยาง ในงานวิจัยนี้ใช้สารย่อยยาง (**stuktol**) และน้ำมัน (**spindle oil**) เป็นสารตัวเติมร่วมกับกำมะถันที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่ **150°C** ความดัน **2,500 psi** เป็นเวลา **13** นาที โดยคุณสมบัติของยางคงรูปที่มีค่าความแข็งและโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ต่ำกว่านี้แทบจะไม่มีผลต่อการลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นแผ่นรองรับของเข็มขัดพยุงหลังคือ น้ำหนัก หากน้ำหนักมากจนเกินไปอาจเป็นการสร้างภาระให้กับการทำงานของกล้ามเนื้อได้ จากการประเมินต้นทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมด ต่อแผ่นรองรับสำหรับเข็มขัดพยุงหลังหนึ่งตัวที่การผลิต **1,000** หน่วย มีค่าประมาณ **1196** บาท และต้นทุนนี้สามารถลดลงได้หากผลิตจำนวนที่มากขึ้นและลดความหนาของแผ่นยางรองรับ

5.3 การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของหลังส่วนล่าง (**erector spinae**) ขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลัง

ผลการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะสวมใส่เข็มขัดพยุงหลังที่มีวัสดุรองรับทำจากยางธรรมชาติร่วมกับแถบโลหะอะลูมิเนียมอัลลอยด์ ในการยกของ **20kg** ทดสอบจากการให้กลุ่มตัวอย่างเคลื่อนไหวเหมือนการก้มยกของจริงในชีวิตประจำวัน (**torso lift**) พบว่าเข็มขัดพยุงหลังแบบ **RB6+Al 1.6 mm belt**, **RB7+Al 2 mm belt** และ **RB7+Al 1.6 mm belt** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้อย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับเข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด **10** แบบ และเมื่อทดสอบซ้ำ **5** ครั้ง พบว่าเข็มขัดพยุงหลังแบบ **RB7+Al 2 mm belt** หรือเข็มขัดพยุงหลังที่มีแผ่นยางรองรับจากธรรมชาติสูตร **7** ร่วมกับแถบอะลูมิเนียมอัลลอยด์ **2024** หนา **2mm** สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลังได้ **7.17%** และดีที่สุดในกลุ่มเมื่อเทียบกับเข็มขัดพยุงหลังทั้งหมด **5** แบบ รองลงมาคือเข็มขัดพยุงหลังแบบ **MoP** ลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ **1.89%** และเข็มขัดพยุงหลังแบบ **S-Hospital** ลดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ **1.63%** เมื่อพิจารณาจากการทำงานสูงสุดของกล้ามเนื้อจากการวัดสัญญาณ **EMG** ที่ได้เทียบกับกรณีไม่ได้ใส่เข็มขัดพยุงหลัง

เอกสารอ้างอิง

- Ammendolia, C. Kerr, M. S. and Bombardier, C. 2005. Back belt use for prevention of occupational low back pain: A systematic review. *J. of Manipulative and Physiological Therapeutics*, Vol. 28 p 128-134
- Beer, F. P. Johnston, E. R. Dewolf, J. T. 2006 *Mechanics of Materials* (4th ed SI unit). p 779
- Bobick, T. G. Belard, J-L. Hsiao, H. and Wassell, J. T. 2001. Physiological effects of back belt wearing during asymmetric lifting *Applied Ergonomics*. Vol. 32 P. 541-547.
- Chase, D. D. Shumate, G. D. Joslin, J. A. Meunchen, P. K. 1996 Back support with means to secure the belt on the wearer while in an open position U.S. Patent 5,548,843
- Chiou, W-K, Chen, W-J, Lin, Y-H and Wong, M.K. 2000 The functional evaluation of a back belt rehabilitation for low-back pain patients. *Int. J. of Industrial Ergonomics*, Vol. 26 p 615-623
- Cholewicki, J. 2004 The effects of lumbosacral orthoses on spine stability: What changes in EMG can be expected *Journal of Orthopaedic Research* Vol. 22 p 1150-1155
- Cholewicki, J. McGill, S. M. McGill, K. C. Shah, K. R. and Lee, A. S. 2010 The effects of a three-week use of lumbosacral orthoses on trunk muscle activity and on the muscular response to trunk perturbations. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 11:154 p 1-10
- Cholewicki, J. and McGill, S. M. 1996 Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain *Clinical Biomechanics*. Vol. 11. p1-15
- Cholewicki, J. Reeves, N. P. Everding V. Q. and Monisette, D. C. 2007. Lumbosacral orthoses reduce trunk muscle activity in a postural control task *Journal of Biomechanics*. Vol. 40 p1731-1736
- Danzger, J. 1996 Back Support Belt Apparatus and Method U.S. Patent 5,503,620
- Granata, K. P. Marras, W. S. and Davis, K. G. 1997. Biomechanical assessment of lifting dynamics, muscle activity and spinal loads while using three different styles of lifting belt *Clinical Biomechanics*. Vol. 12 p 107-115
- Grim, T. E. 1991. Back support U.S. Patent 4,993,409

- Hall, L. Tsao, H. MacDonald, D. Coppeters, M. Hodges, P. W. 2009. Immediate effect of co-contraction training on motor control of the muscle in people with recurrent low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology* Vol. 19 P. 763-773
- Hashemirad, F. Talebian, S. Hatf, B. and Kahlaee, A. H. 2009. The relationship between flexibility and EMG activity pattern of the erector spinae muscles during trunk flexion-extension. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. Vol. 19 P. 746-753
- Heinze, F. D. 1997. Compound abdominal and back support belt system. U.S. Patent 5,690,609
- Jorgensen, M. J. and Marras, W. S. 2000. The effect of lumbar back support tension on trunk muscle activity. *Clinical Biomechanics*. Vol. 15 p. 292-294
- Jorgensen, M. J. and Marras, W. S. Granata, K. P. Wiant, J. W. 2001. MRI-derived moment-arms of the female and male spine loading muscles. *Clinical Biomechanics*. Vol. 16 p.182-193
- Kixmiller, M. S. 2007. Lower lumbar sleep roll. U.S. Patent D550,847S.
- Konrad, P. 2005. *The ABC of EMG: A practical introduction to kinesiological electromyography*. Noraxon INC. USA.
- Kumar, S. Narayan, Y. 2006. Torque and EMG in rotation extension of the torso from pre-rotation and flexed postures. *Clinical Biomechanics*. Vol. 21. P. 920-931
- Leighton, A. M. 1996. Lower lumbar support. U.S. Patent 5,551,085
- Magnusson, M. Pope, M. H. 1996. Does a back support have a positive biomechanical effect. *Applied Ergonomics*. Vol. 27. p. 201-205
- Marras, W. S. 2008. *The Working Back: A systems view*. The Ohio State University. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA. 309p
- Minoru, M. and Kenji, W. 2005. Back Support Belt. JP2005253831.
- Miyamoto, K. Iinuma, N. Maeda, M. Wada, E. and Shinizu, K. 1999. Effects of abdominal belts on intra-abdominal pressure, intramuscular pressure in the erector spinae muscles and myoelectrical activities of trunk muscles. *Clinical Biomechanics*. Vol. 14 p. 79-87.
- Newcomer, K. Laskowski, E. R. Yu, B. Johnson, J. C. and An, K-N. 2001. The effects of a lumbar support on repositioning error in subjects with low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. Vol. 82 p. 906-910

- Phillips, C. A. Repperger, D. W. Neidhard-Doll, A. T. Reynolds, D. B. 2004. Biomimetic model of skeletal muscle isometric contraction. I. an energetic-viscoelastic model for the skeletal muscle isometric force twitch. *Computer in Biology and Medicine*. Vol. 34 p 307-322
- Schiek, J. W. 1991. Support belt for the lumbar vertebrae. U.S. Patent 5,046,488
- Shin, H.J. and Kim, J-Y. 2007. Measurement of trunk muscle fatigue during dynamic lifting and lowering as recovery time changes. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 37. p 545-551.
- Slutterback, E. G. 2002. Back belt and method. U.S. Patent 6,419,652
- Smith, M C. Hopwood, S. K. and Pearson, D. P. 2003. Therapeutic back belt and related method of manufacturing. U.S. Patent 6,623,419
- Spain, J. G. Langley, S. P. Jacobs, M L. 1992. Back belt. U.S. Patent 5,111,807.
- Tang C. Y. Zhang G. Tsui, C. P. A 3D skeletal muscle model coupled with active contraction of muscle fibres and hyperelastic behaviour. *Journal of Biomechanics*. Vol. 42. p 862-872
- Thounie, P. Drape, J-L. Aymard, C. and Bedoiseau, M 1998. Effects of alumar support on spine posture and motion assessed by electrogoniometer and continuous recording. *Clinical biomechanics*. Vol. 13 p 18-26
- Tozeren, A. 1999. *Human Body Dynamics: Classical mechanics and human movement*. Catholic University. USA. 315 p
- Victor, C. J. Carara, M A. 1997. Backsupport belt cover. U.S. Patent 5,598,583
- Verniglio, G. Tripepi, M G. Verniglio, V. Sansotta, C. Testagrossa, B. 2005. A physical model of muscle working to evaluate the work ability. *International Congress Series 1280* p238-243
- Welsh, T. M 1985. Kinetic backsupport belt. U.S. Patent 4,545,370
- Winter, D. A. 2005. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (3rd ed). University of Waterloo. Canada p 325
- Woldstad, J. C. and Sherman, B. R. 1998. The effects of a back belt on posture, strength, and spinal compressive force during static lift exertions. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 22. p 409-416

Wong C. K. 2004 BackSupport Pad JP2004255198

- กิตติ อินทรานนท์. 2548 การยศาสตร์: Ergonomics จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 338 หน้า
- ชุกรี แดสา, สุภาพรณ ไชยประพัทธ์, และศรีสิทธิ์ เจียรบุตร. 2550 ระบบการออกแบบแม่พิมพ์
อัด สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. หน้า
576-583
- นิรันดร์ เกียรติศิริโรจน์. 2527. แนวทางการวินิจฉัยและรักษาโรคปวดหลังส่วนล่าง. สงขลา
นครินทร์เวชสาร. หน้า 177-184
- นรินทร์ จีสัม. 2550 การกำหนดน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการยกภาระด้วยมือโดยใช้
แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป่องภัย. 2534 คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีอย่าง 1. คณะวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 91 หน้า
- บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป่องภัย. 2534 คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีอย่าง 2. คณะวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 148 หน้า
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2548 ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
(เอ็มเทค). พิมพ์ครั้งที่ 2 125 หน้า
- วิภู พิวัฒน์. 2549 การใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ศึกษาผลกระทบของชั้นกาวบางต่อการกระจาย
ความเค้นในเนื้อยางของชิ้นงานแบบต่อชน. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลวิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- หน่วยเทคโนโลยีอย่าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) จังหวัดนครปฐม (ออนไลน์).
สืบค้นจาก: <http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/process.htm>(1 พฤษภาคม 2554)
- หน่วยเทคโนโลยีอย่าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) จังหวัดนครปฐม (ออนไลน์).
สืบค้นจาก: <http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/testing.htm>(1 พฤษภาคม 2554)
- อาทิตย์ สวัสดิ์รักษา. เจริญยุทธ เดชวายุกุล. สุนทร วงษ์ศิริ. บุญสิน ตั้งตระกูลวนิช และวิริยะ
ทองเรือง. การพัฒนาวัสดุของอุปกรณ์หนุนเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อลดความดันในสัน
เท้า. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. Biomechanics
ครั้งที่ 23

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบแรงดึงของยางคงรูป

ตารางที่ 1 ความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึงของยางคงรูป

RB1		RB 6		RB 7	
Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	3.54	0.47	6.35	1.23	5.67
4.33	20.55	3.70	43.37	4.88	34.73
8.37	36.14	10.17	113.01	8.95	65.20
12.41	50.32	13.40	144.57	12.98	92.84
16.45	63.07	16.63	175.95	17.02	120.48
20.48	75.83	19.87	205.39	21.05	146.35
24.52	87.17	26.34	257.40	25.09	169.38
28.55	98.51	29.57	281.90	29.13	189.98
32.59	110.91	32.81	305.18	33.16	210.49
36.62	120.83	36.05	327.92	37.20	229.97
40.66	130.40	39.27	349.25	41.23	248.05
44.70	139.62	42.51	370.23	45.27	264.70
48.73	147.77	48.98	408.31	49.31	281.00
52.77	155.92	52.21	427.18	53.34	296.95
56.81	162.29	55.45	444.81	57.38	312.18
60.84	170.80	58.68	462.26	61.41	326.71
64.88	177.18	61.92	479.54	65.45	340.18
68.91	183.55	68.38	511.09	69.49	354.35
72.95	190.29	71.62	527.31	73.52	368.88
76.98	196.67	74.85	542.65	77.56	380.22
81.02	202.69	80.51	568.39	81.59	392.62
85.06	208.71	86.98	598.36	85.63	404.67
89.09	214.38	90.21	612.29	89.67	416.01
92.93	220.05	93.45	625.69	93.70	428.41
95.17	223.24	96.72	640.15	97.58	439.40

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบแรงกดของยางคงรูป

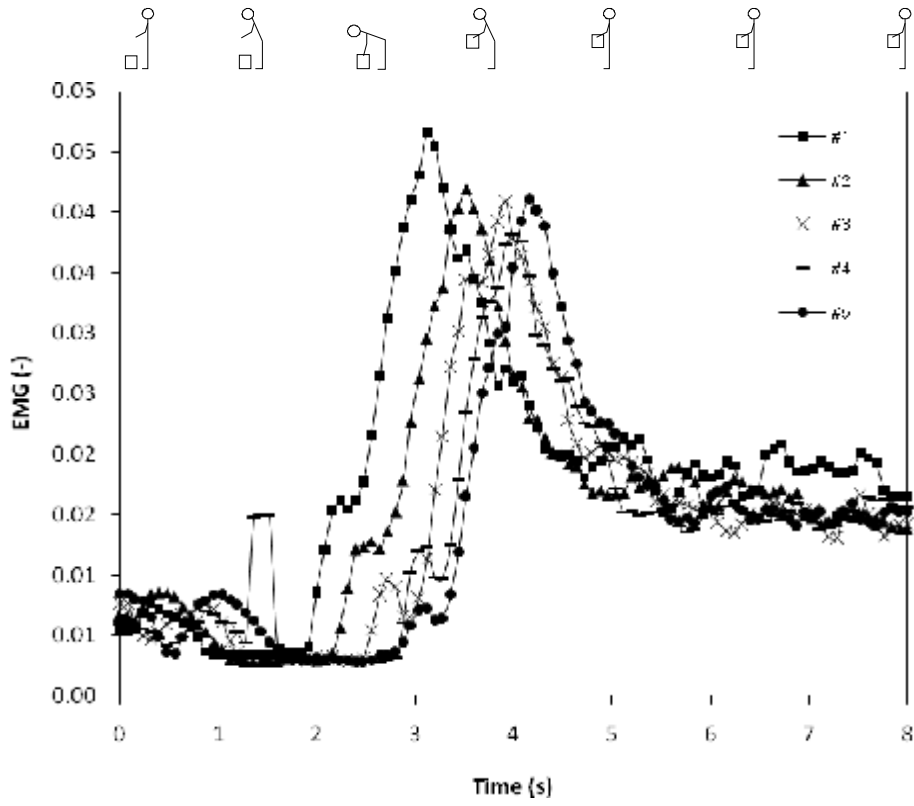
ตารางที่ 2 ความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกดของยางคงรูป

RB 1		RB 6		RB 7	
Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.22	1.99	1.44	10.92	1.07	9.16
2.61	13.11	2.79	35.55	2.41	27.53
3.96	23.20	4.10	68.08	3.73	45.40
5.34	34.67	5.47	99.24	5.05	63.57
6.67	45.65	6.78	127.85	6.34	81.66
7.94	56.43	8.04	158.10	7.19	94.87
9.29	68.65	9.70	199.23	8.12	108.36
10.59	79.38	10.62	217.29	8.96	120.35
11.79	88.88	11.96	247.92	10.23	140.99
12.91	98.61	13.29	282.45	11.55	159.55
13.28	101.30	13.71	299.32	12.90	181.96
14.41	113.63	14.59	317.94	13.61	193.18
15.64	124.75	15.96	353.90	14.70	212.77
16.93	138.38	16.97	390.87	15.59	227.52
18.18	150.01	17.45	404.78	16.88	250.15
19.43	164.86	18.49	436.11	18.18	275.07
20.69	178.26	19.87	482.29	19.04	292.23
21.93	194.49	20.49	497.00	20.95	330.41
22.55	200.39	21.38	530.62	22.20	354.35
23.38	210.16	22.47	568.65	23.40	381.54
24.63	226.86	23.87	610.58	24.18	400.99
25.91	244.39	25.09	654.13	25.23	425.62
27.29	263.22	26.14	695.73	26.21	447.17
28.65	282.47	27.80	762.52	27.44	478.55
29.45	295.00	28.48	795.45	28.09	496.68
29.53	295.40	29.36	827.21	29.43	528.61

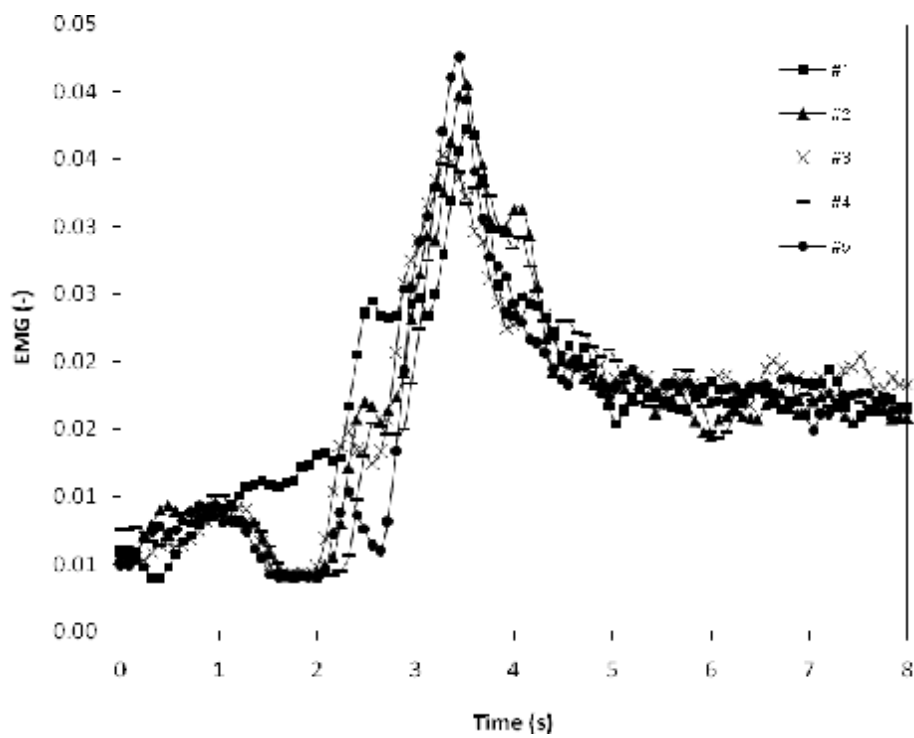
ภาคผนวก ก

ผลการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในหัวข้อที่ 47.2

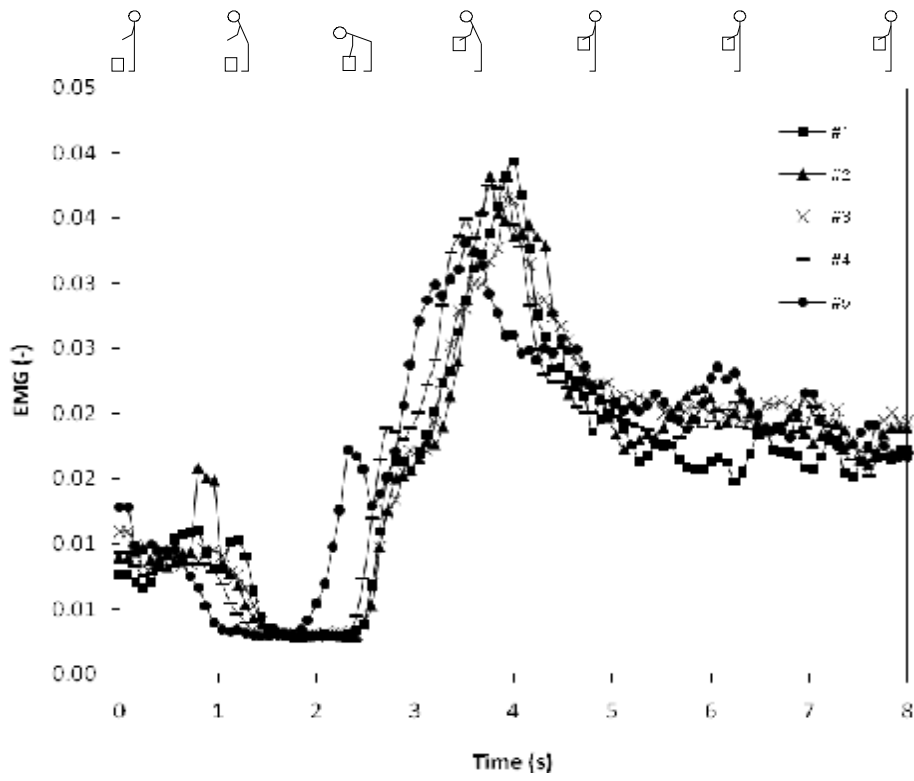
คนที่ 1 No Belt



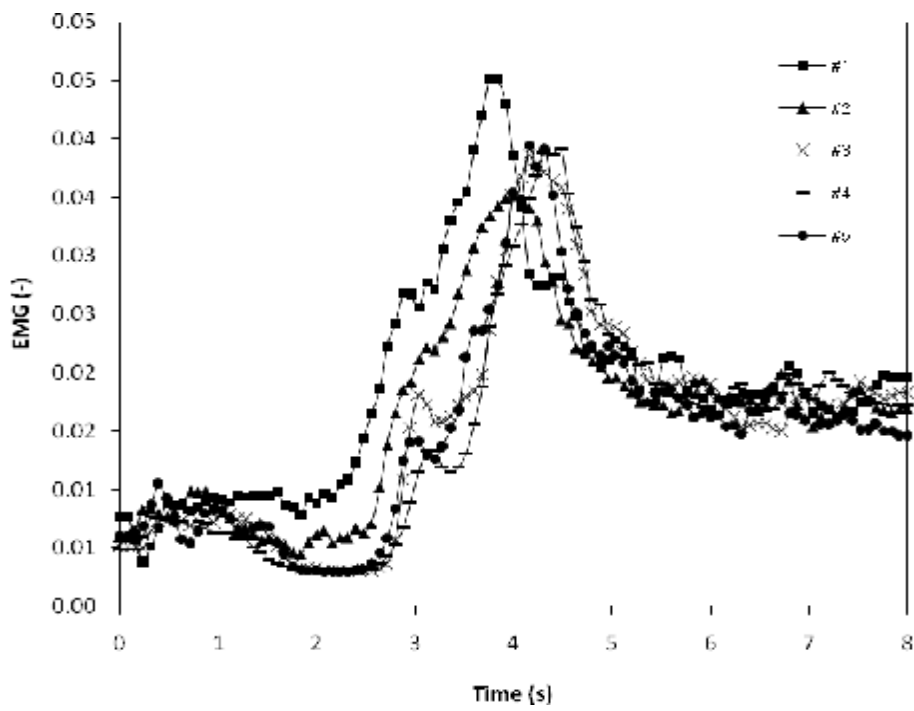
คนที่ 1 S-Hospital Belt



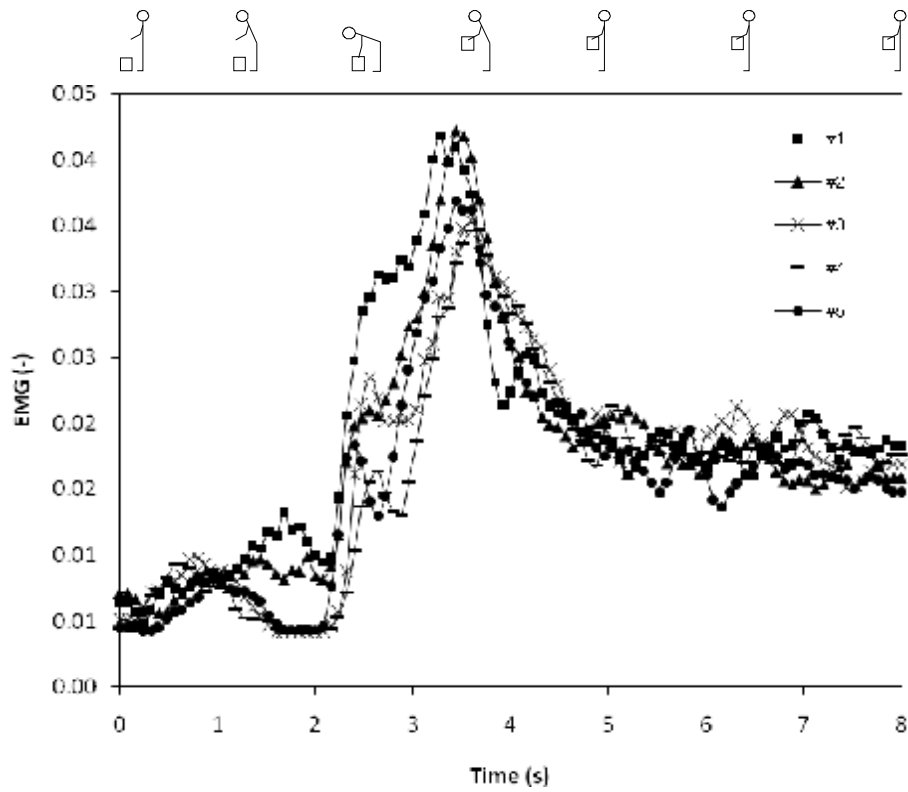
คนที่ 1 RB 7+Aluminum 2mm Belt



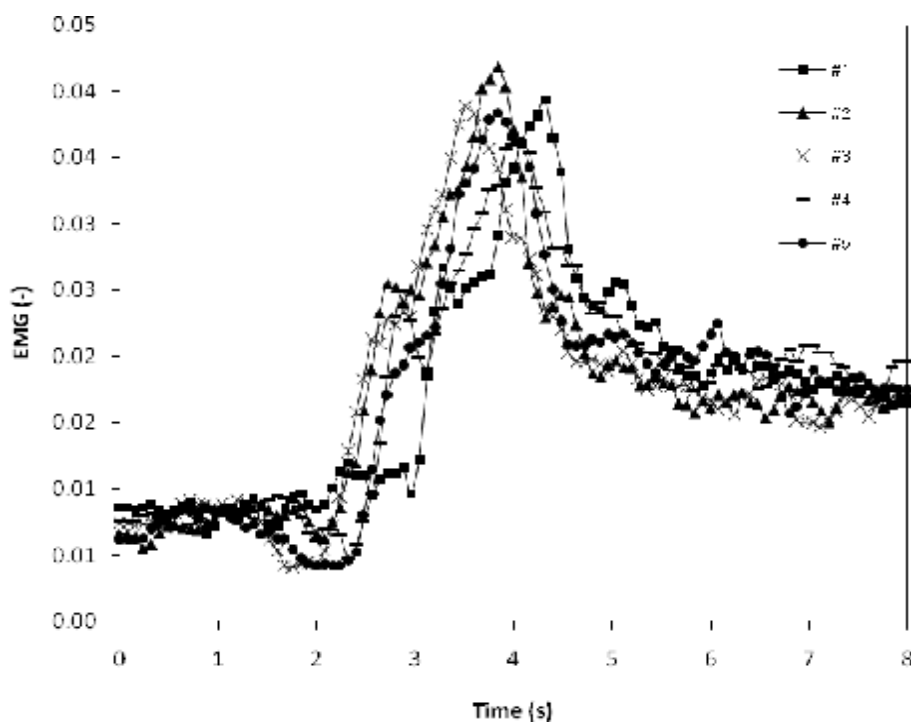
คนที่ 1 RB 7+Aluminum 1.6mm Belt



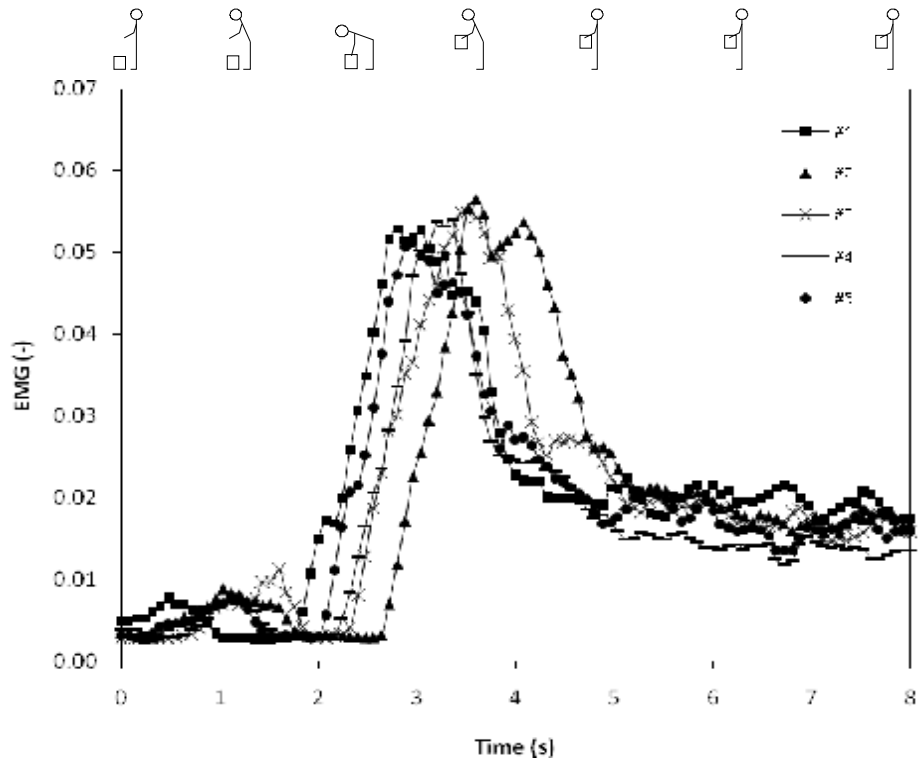
คนที่ 1 RB 6+Aluminum1.6mmBelt



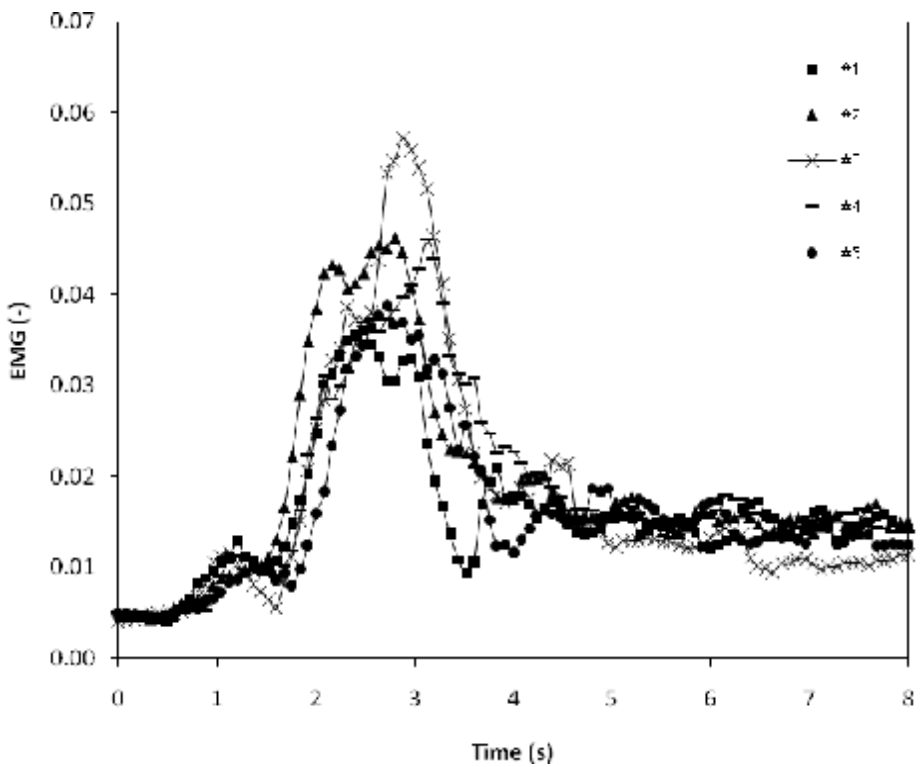
คนที่ 1 MoPBelt



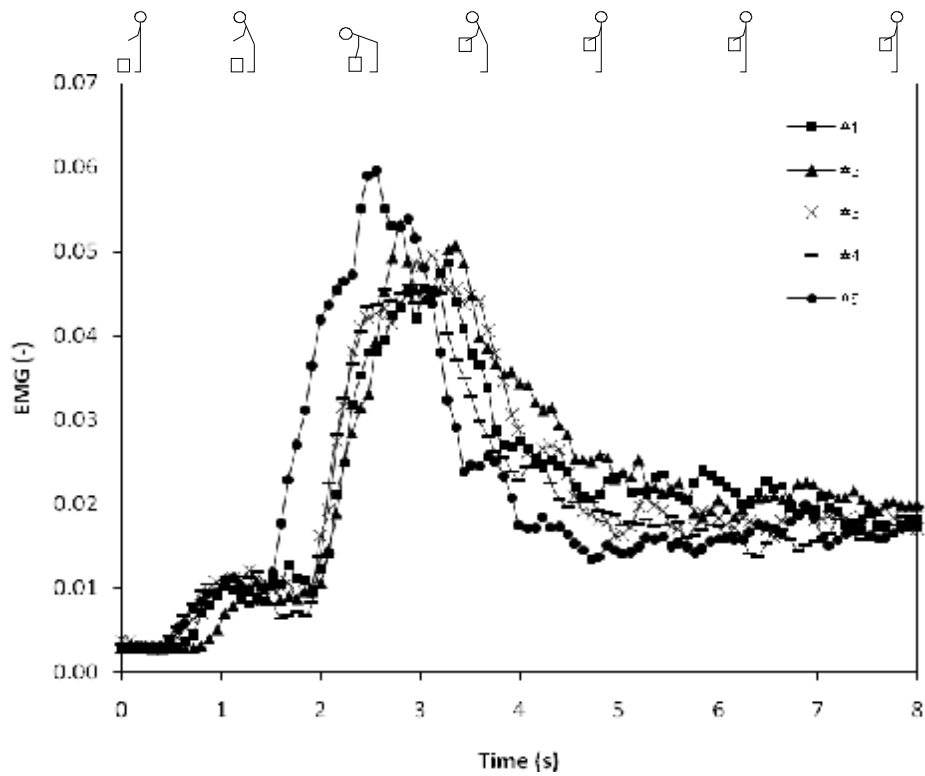
คนที่ 2 No Belt



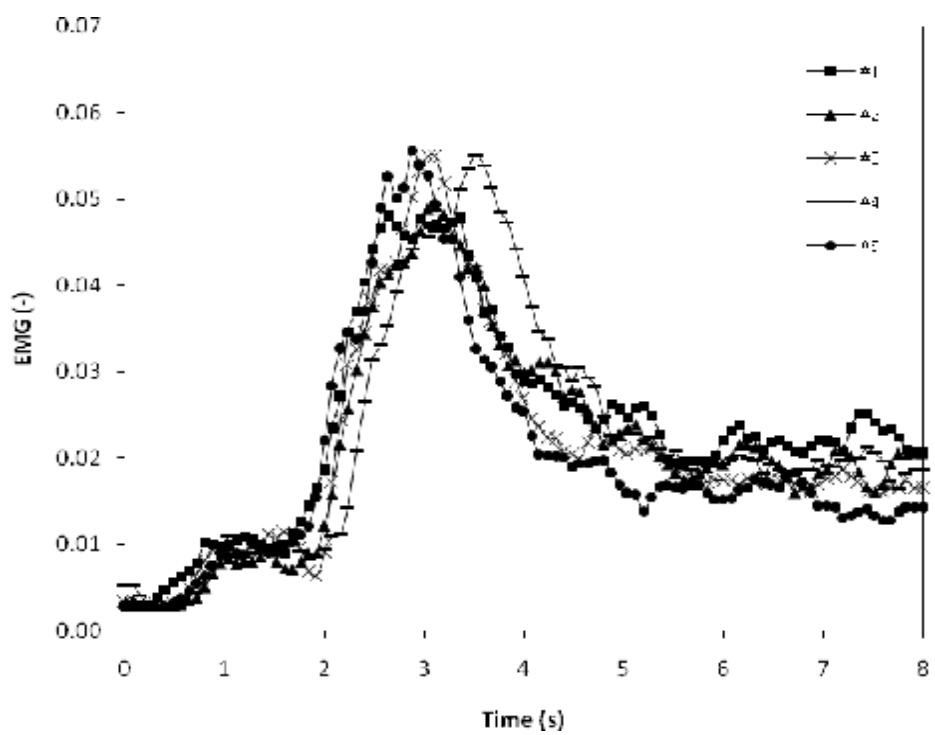
คนที่ 2S-Hospital Belt



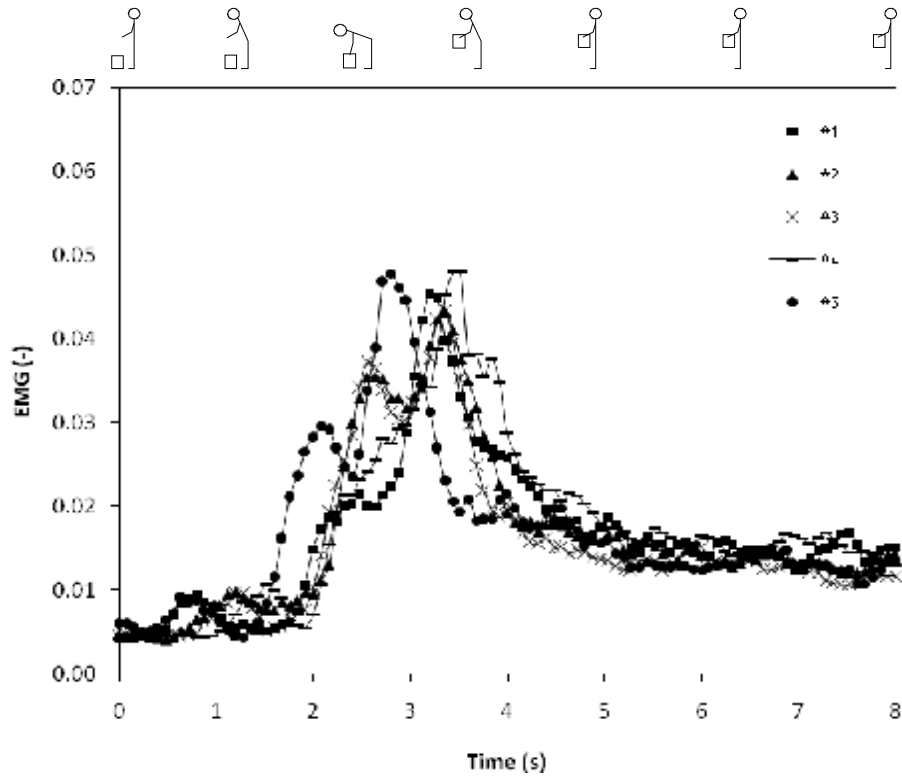
คนที่ 2RB 7+Aluminum 2mm Belt



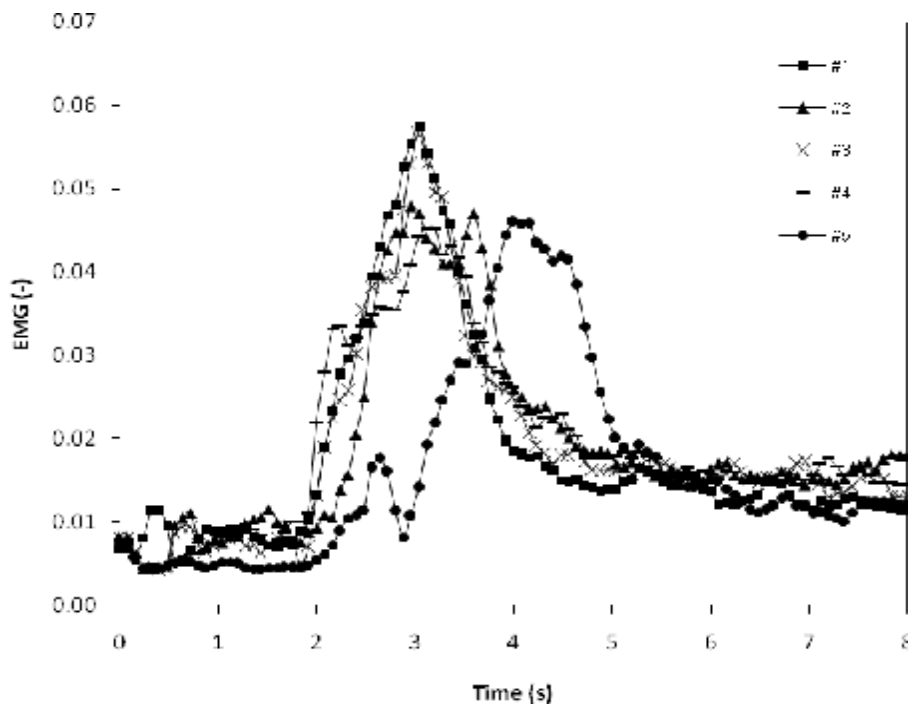
คนที่ 2RB 7+Aluminum 1.6mm Belt



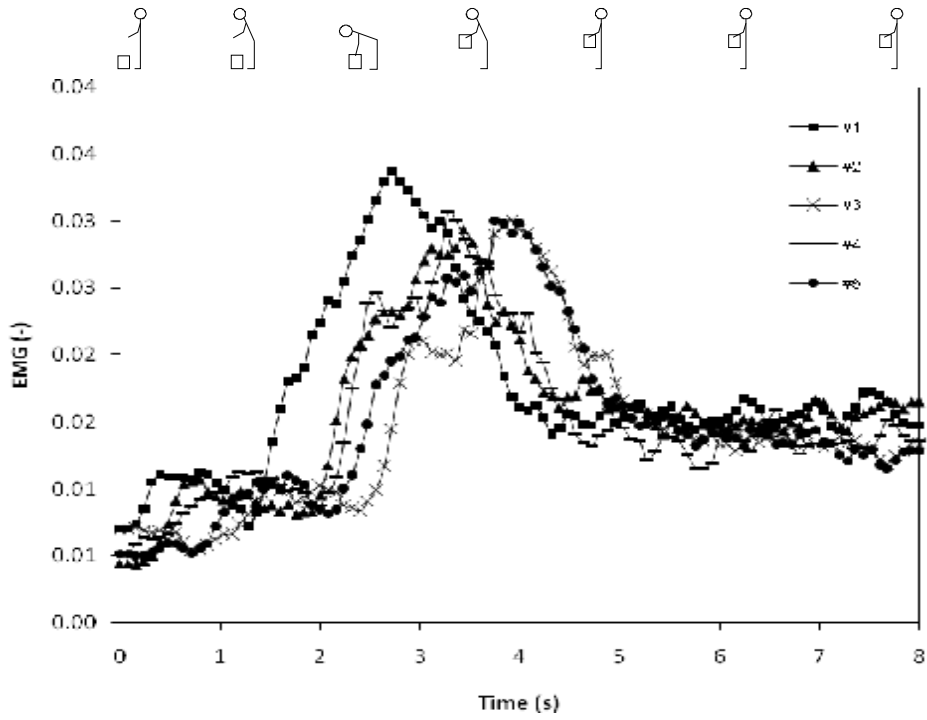
คนที่ 2RB 6+Aluminum 1.6mm Belt



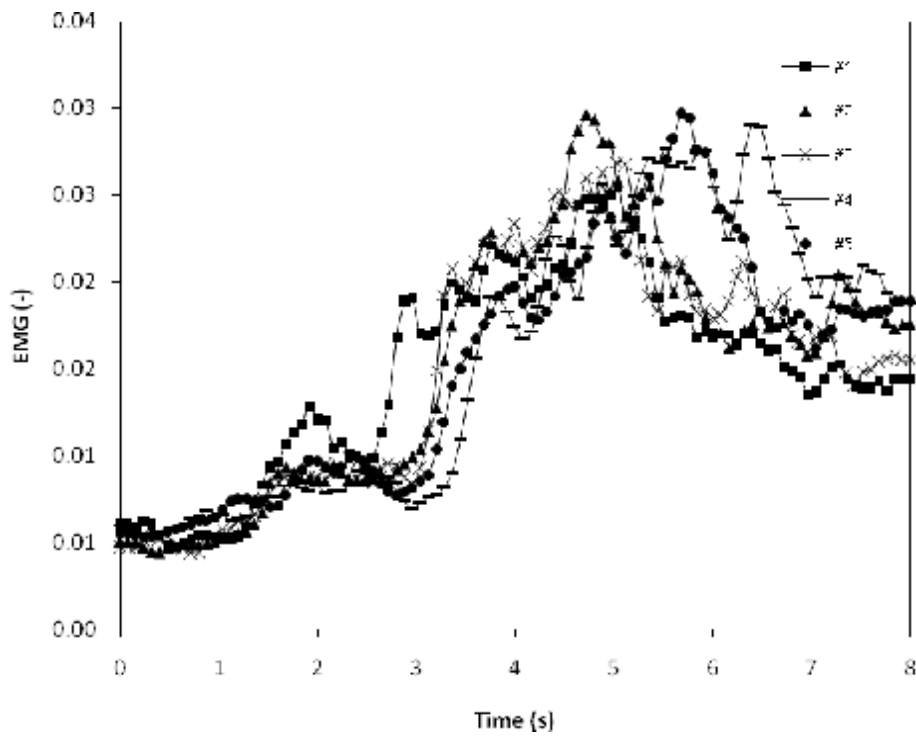
คนที่ 2MoPBelt



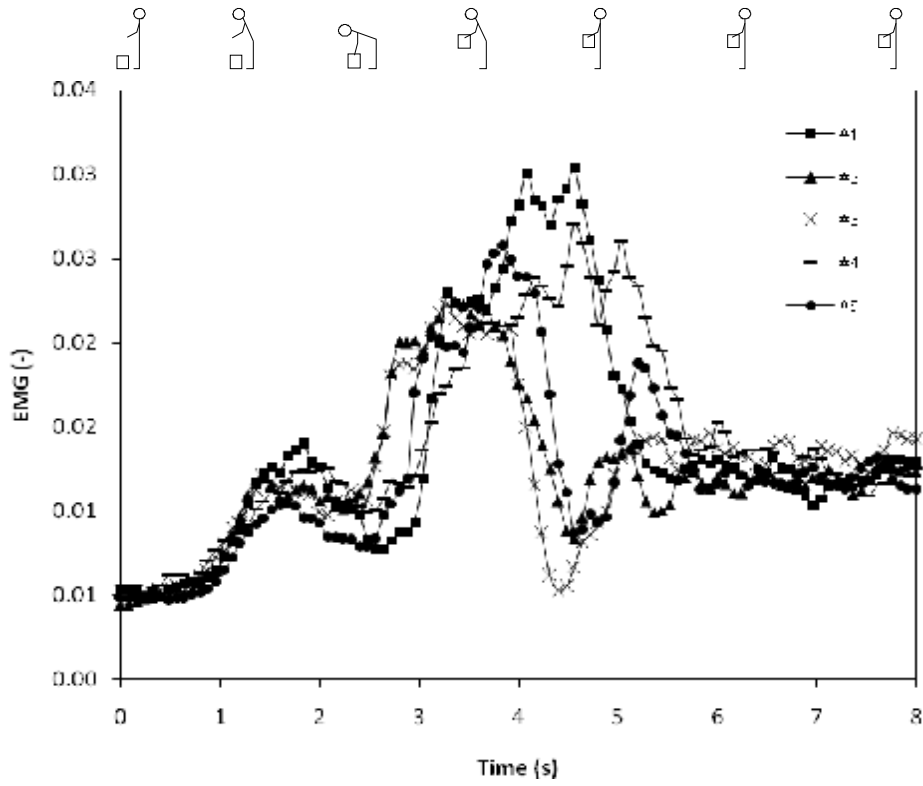
คนที่ 3 No Belt



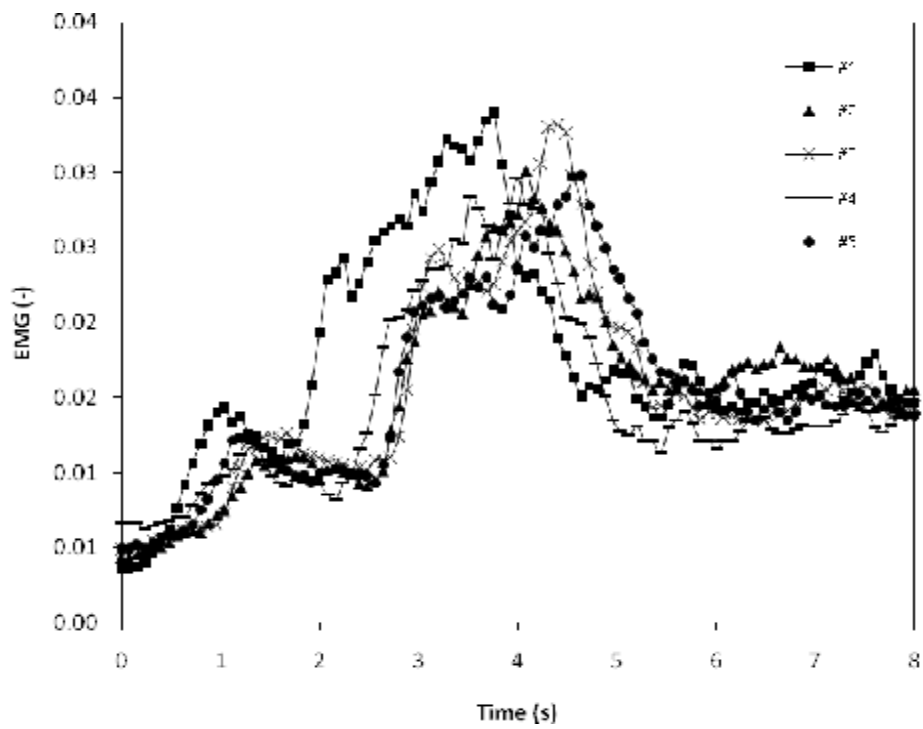
คนที่ 3S-Hospital Belt



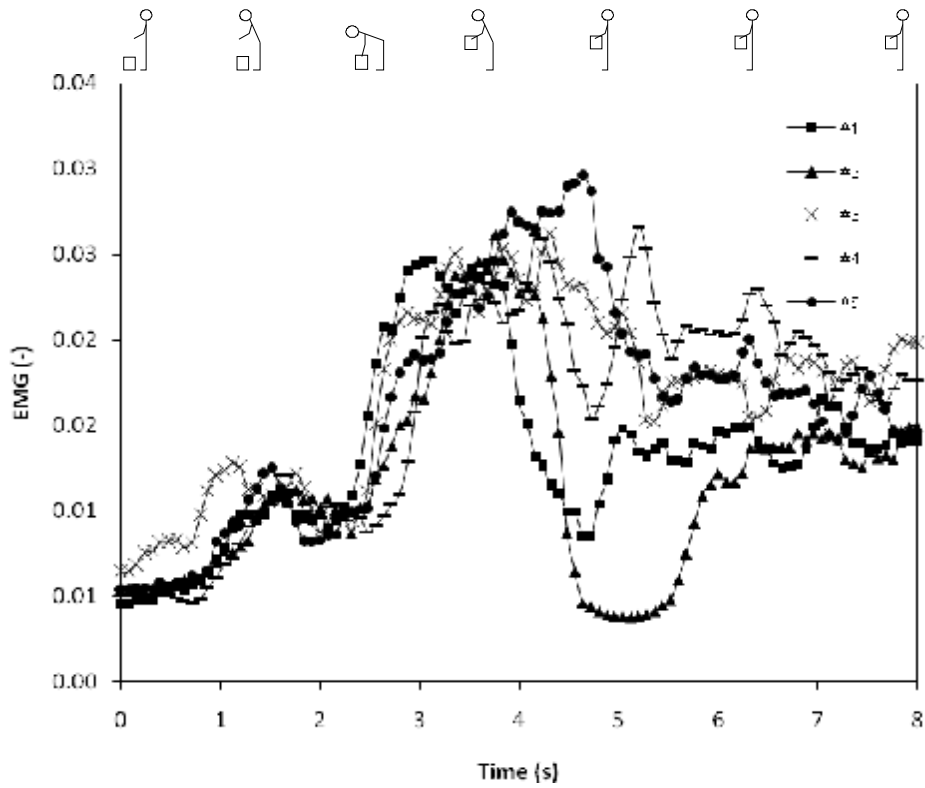
คนที่ 2RB 7+Aluminum 2mm Belt



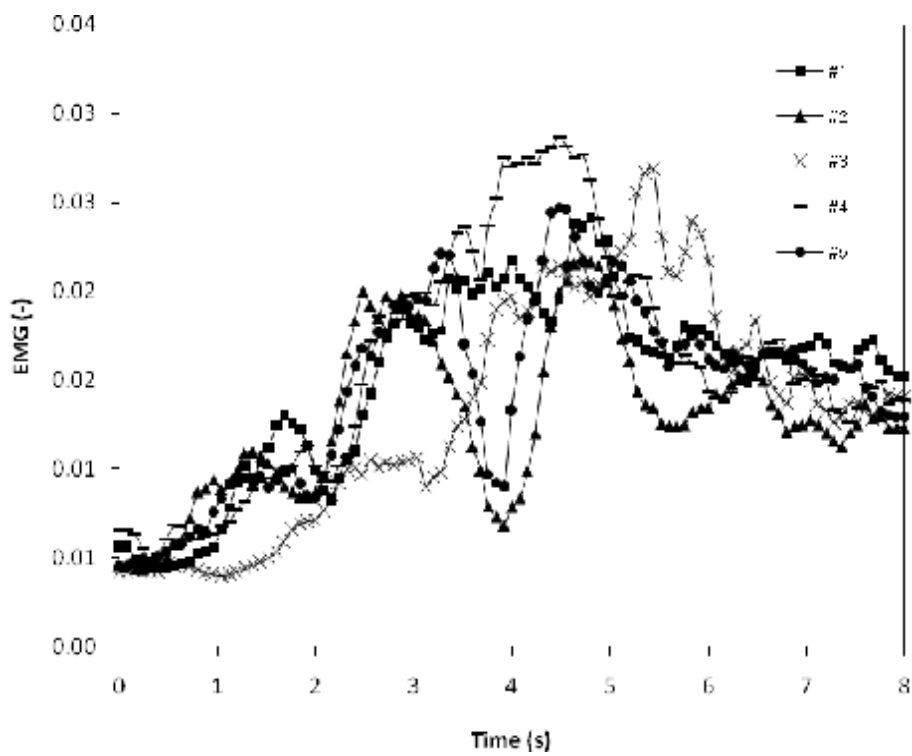
คนที่ 3RB 7+Aluminum 1.6mm Belt



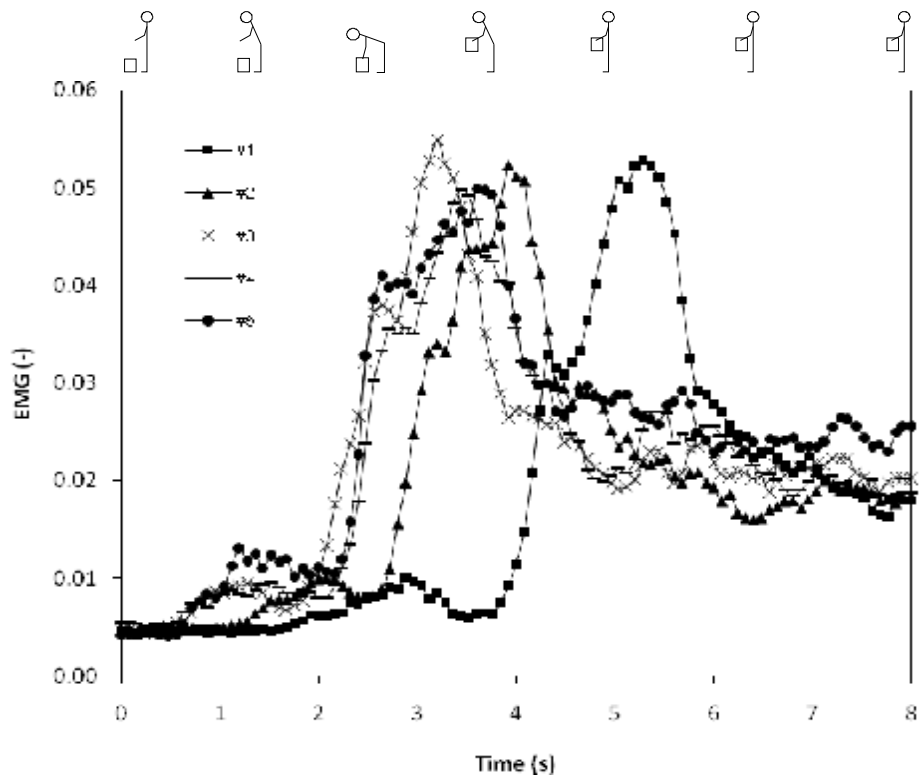
คนที่ 3RB 6+Aluminum 1.6mm Belt



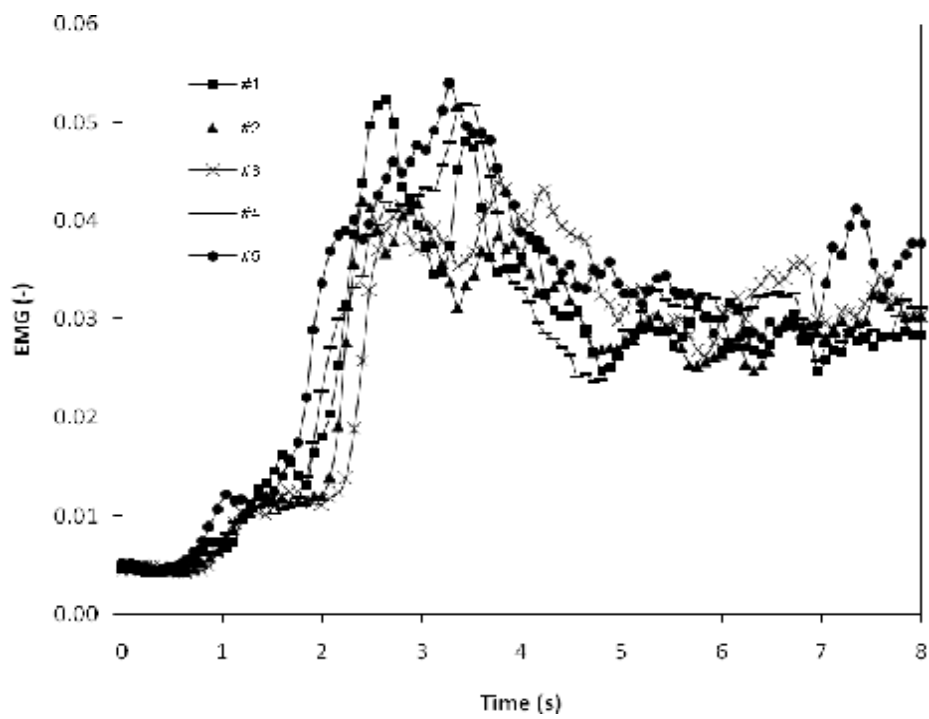
คนที่ 3Mo P Belt



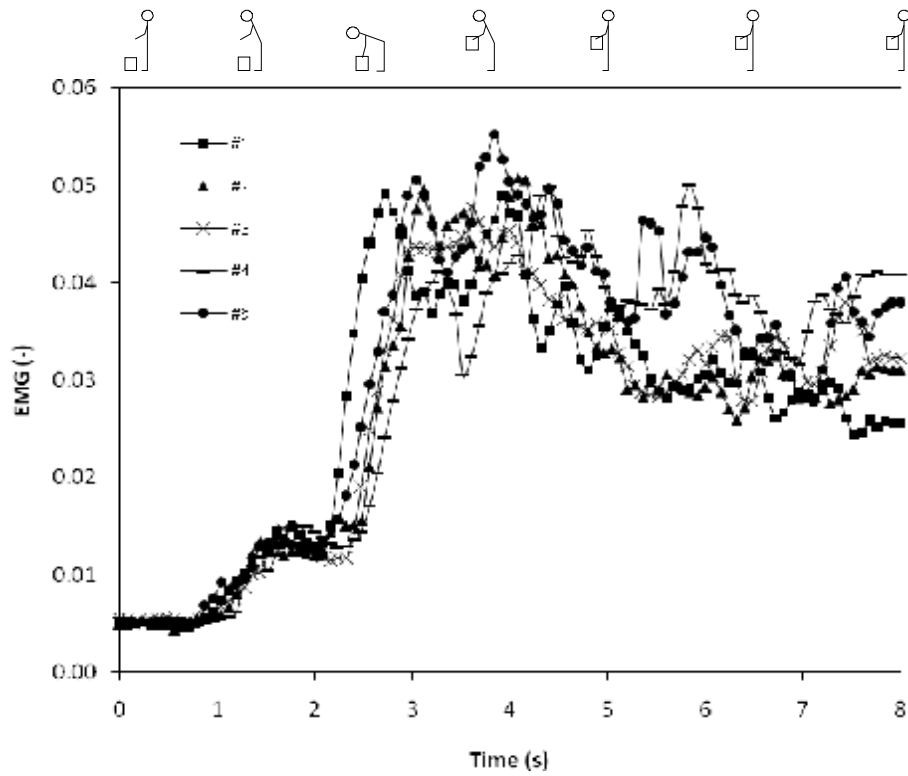
คนที่ 4No Belt



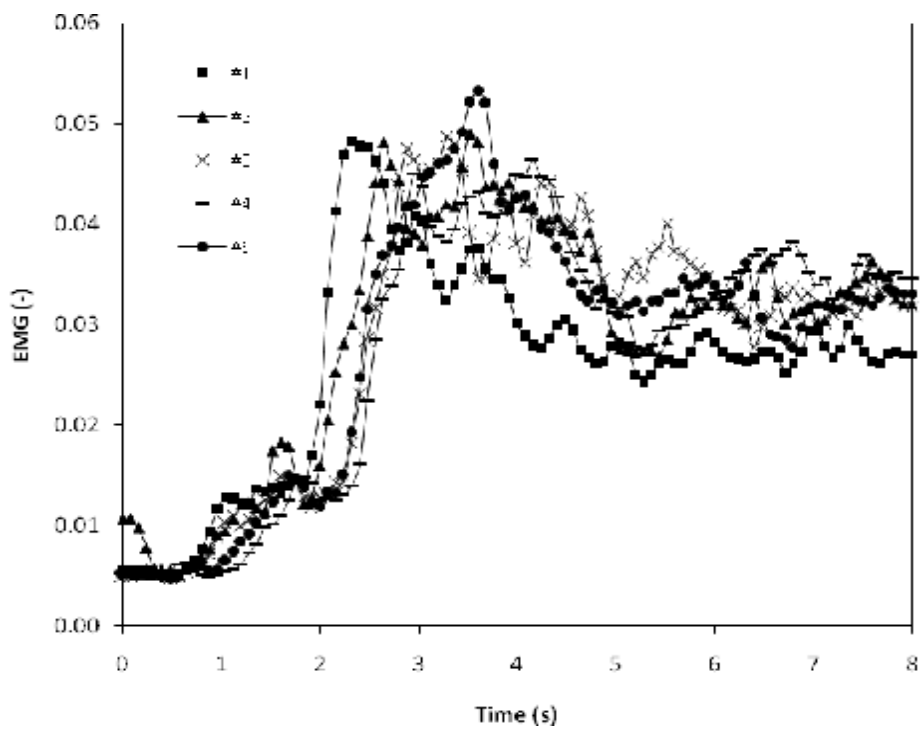
คนที่ 4S-Hospital Belt



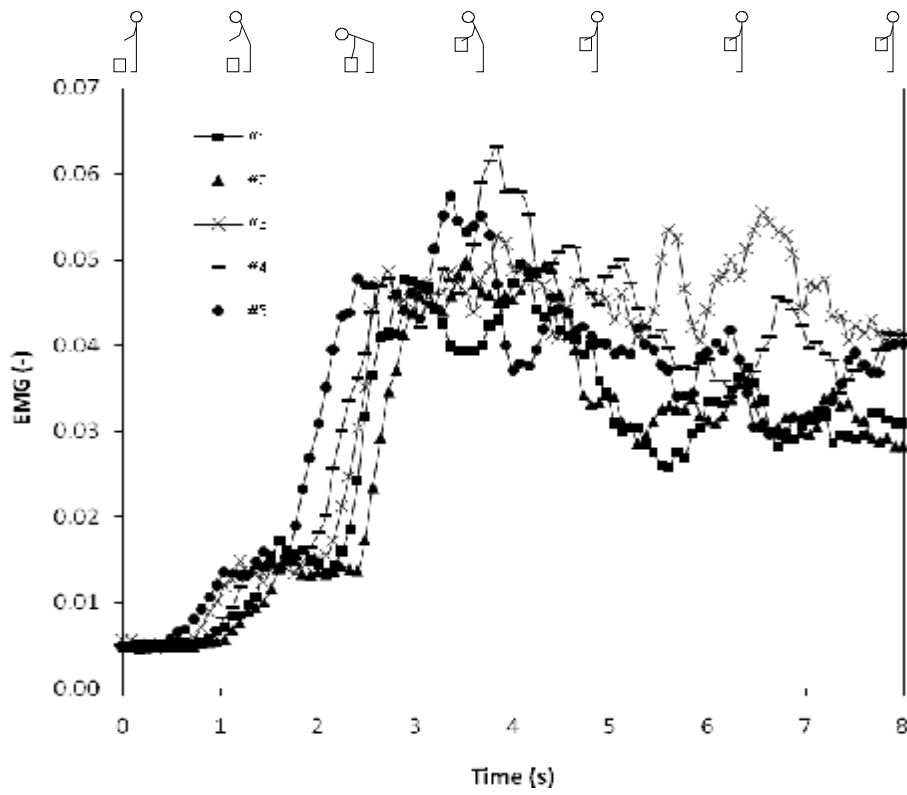
คนที่ 4RB 7+Aluminum 2mm Belt



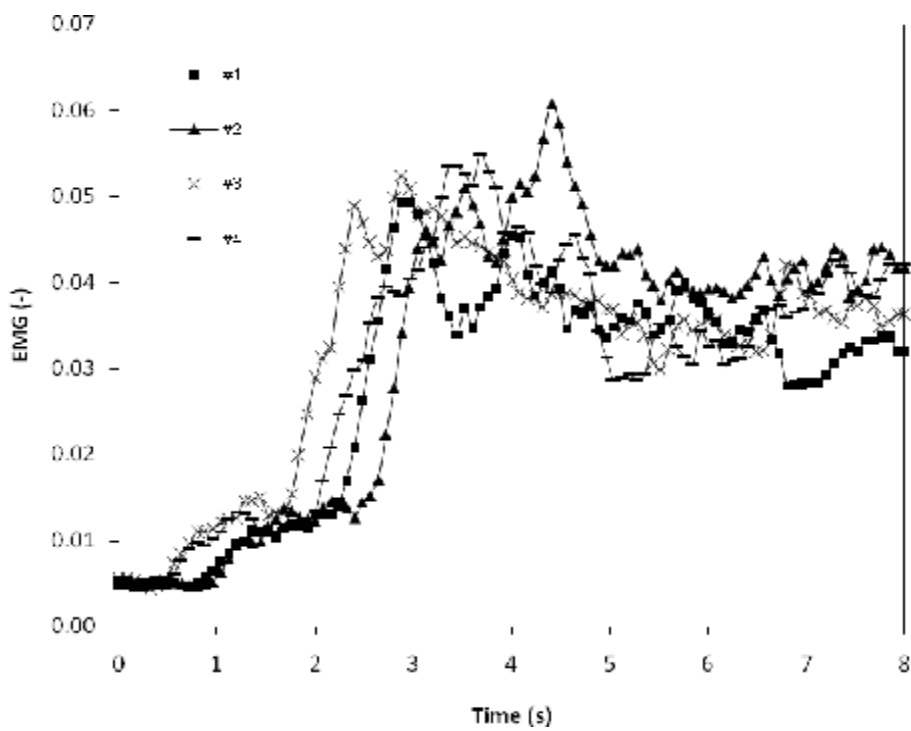
คนที่ 4RB 6+Aluminum 1.6mm Belt



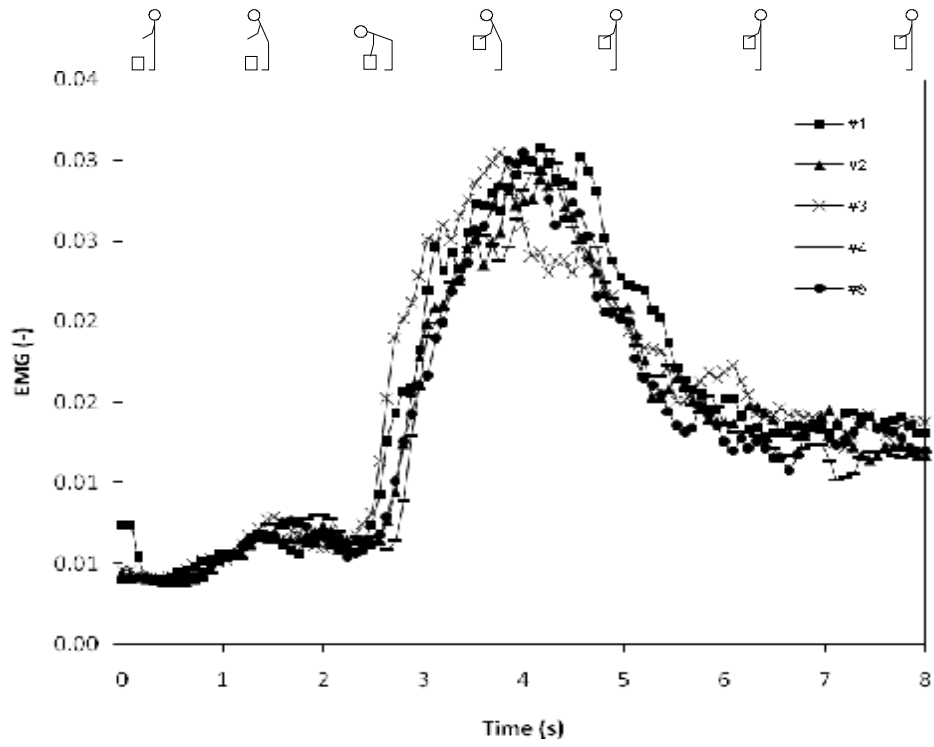
คนที่ 4RB 6+Aluminum 1.6mm Belt



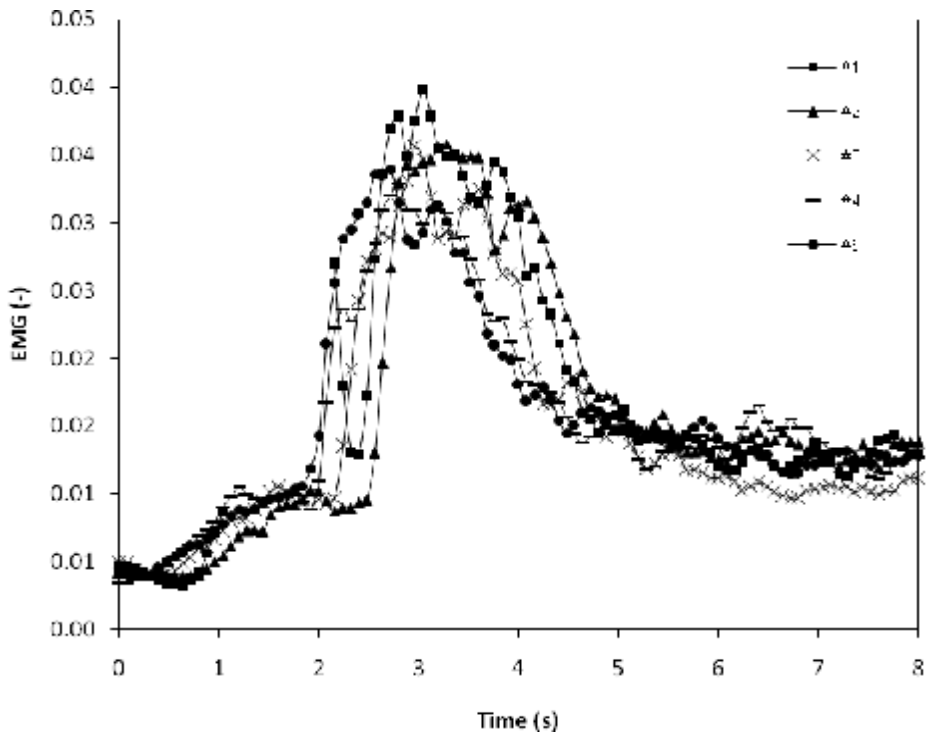
คนที่ 4Mo P Belt



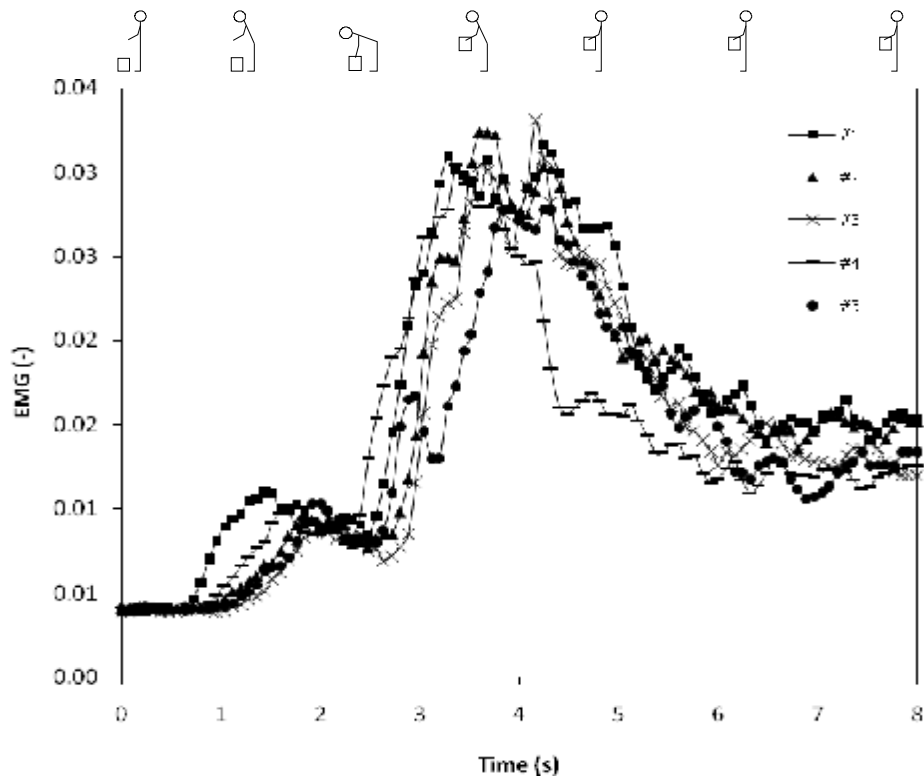
คนที่ 5 No Belt



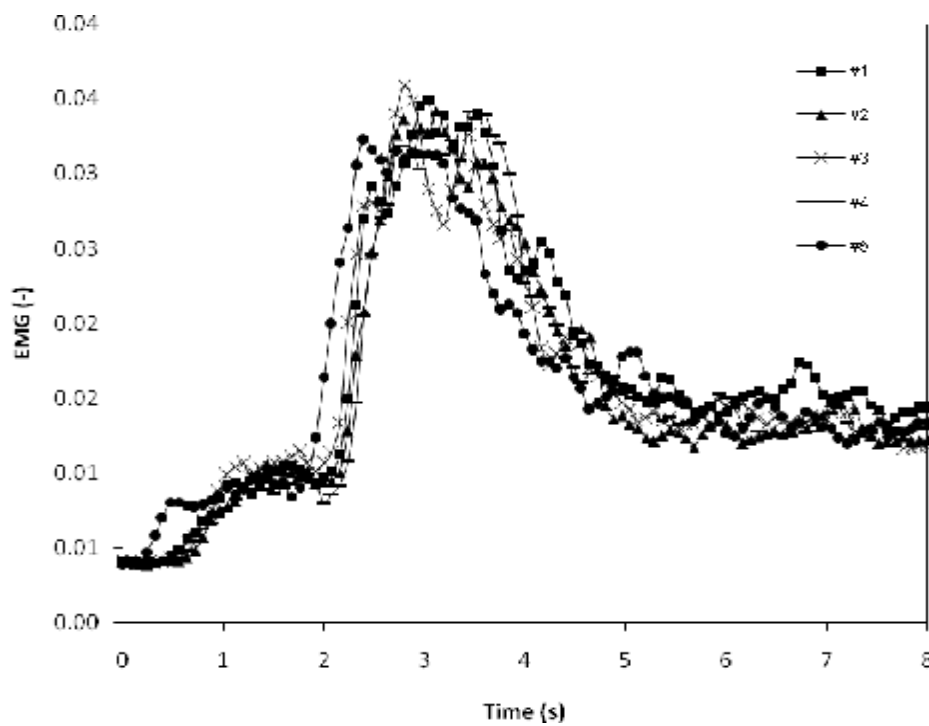
คนที่ 5S-Hospital Belt



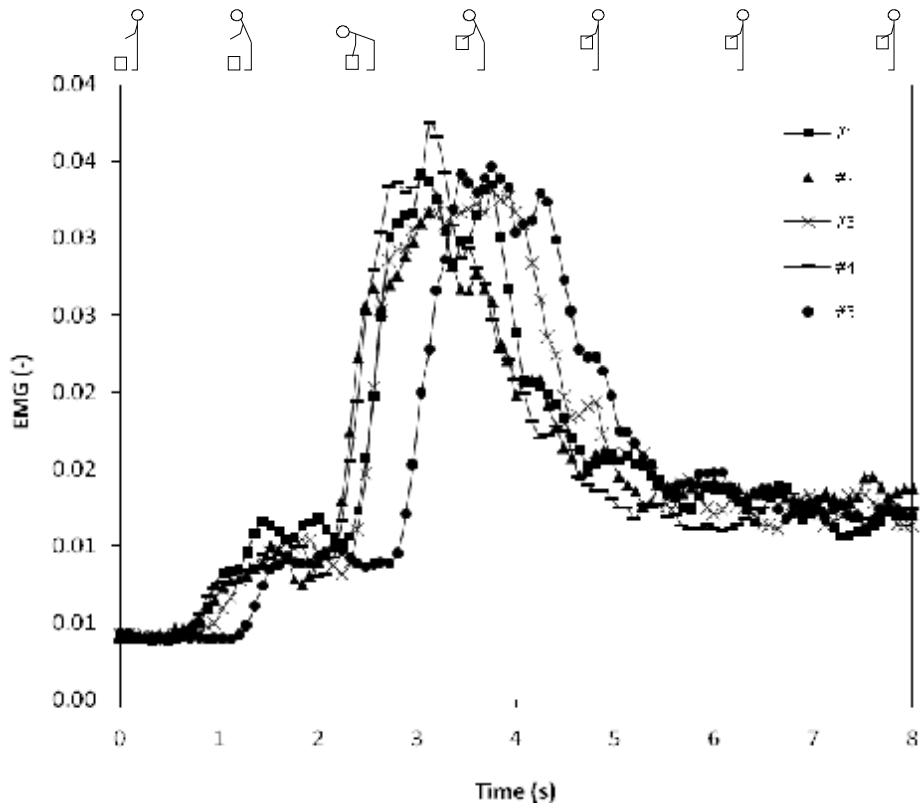
คนที่ 5RB 7+Aluminum 2mm Belt



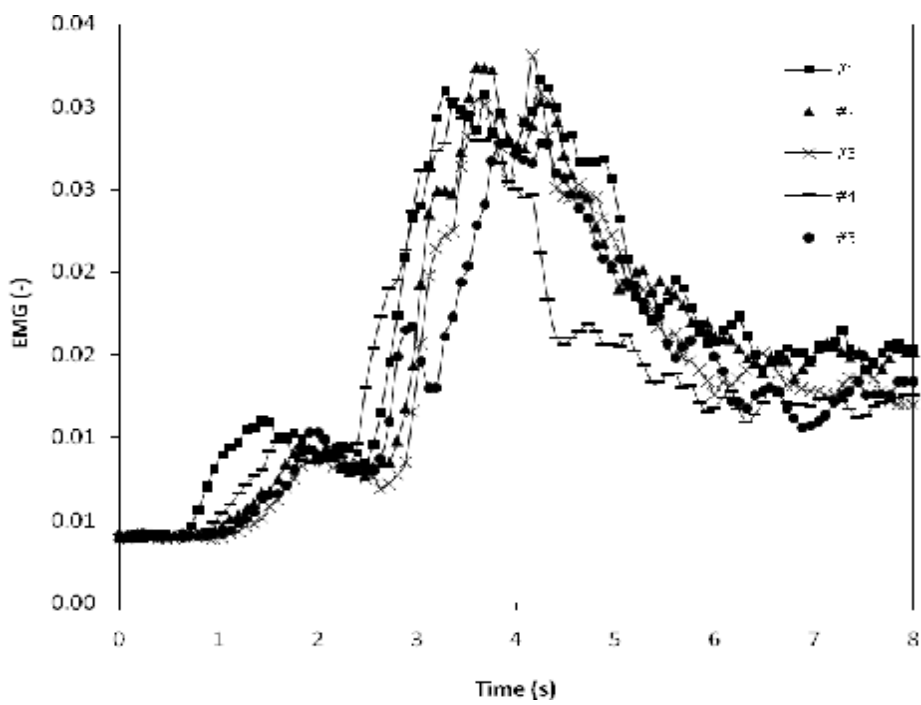
คนที่ 5RB 7+Aluminum 1.6mm Belt



คนที่ 5RB 6+Aluminum 1.6mm Belt



คนที่ 5MoPBelt



ภาคผนวก ง
แบบประเมินการใช้เข็มขัดพยุงหลัง

แบบฟอร์มประเมินการใช้เข็มขัดพยุงหลัง

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ถูกทดสอบ

ชื่อ..... อายุ.....ปี น้ำหนัก.....ก.ก. ส่วนสูง.....ซม. ค่า **BM**.....ตอนที่ 2

ข้อมูลการใช้งานเข็มขัดพยุงหลัง

ประเภทเข็มขัดพยุงหลัง	ระดับความตึง	ระดับความพึงพอใจ 1=น้อยที่สุด 10=มากที่สุด										ข้อสังเกต จุดเด่นหรือความรู้สึก	ข้อเสนอแนะ	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
ไม่ได้ใส่เข็มขัดพยุงหลัง														
S-hopital	น้อย													
	มาก													
RB7+2mm	น้อย													
	มาก													
RB7+1.6mm	น้อย													
	มาก													
RB6+1.6mm	น้อย													
	มาก													
MoP	น้อย													
	มาก													

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสันติชัย เย็นทั่ว
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110120050
 วุฒิกการศึกษา
 วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551
 (วิศวกรรมเครื่องกล)

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการวิจัยขนาดกลาง
 เรื่องยางพารา (Medium Projects on Rubber; MPR) ปี 2551

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ประจำปีงบประมาณ 2552

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สันติชัย เย็นทั่ว. ฐานันดรศักดิ์ เทพญา และวิชัย อิงพินิจพงศ์. 2553 ผลของเข็มขัดพยุงหลังต่อ
 การประเมินทางชีวกลศาสตร์ของภาวะกล้ามเนื้อ **erector spinae** และหมอนรอง
 กระดูกสันหลัง **L5/S1** ขณะยกของ ดิ่งและคั่น. การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 48
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1019