

#### 4.11 สถานที่ทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการการกายศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

#### 4.12 รายละเอียดผู้เข้ารับการทดลอง

ผู้ทดลองเป็น อาสาสมัคร เพศชาย อายุ 20 ปีขึ้นไป จำนวน 10 คน ผู้ถูกทดสอบทุกคนมีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างหรือเคยมีประวัติเข้ารับการรักษาในสถานพยาบาลมาก่อน

#### 4.13 ขั้นตอนการทดลอง

การจัดการทดลองให้การเก็บข้อมูลให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงการลด Confounding ในกระบวนการทดลอง เนื่องจากการทดลองที่ยุ่งยากต่อการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนั้นการใช้วิธีการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์แบบ จะต้องใช้เวลาและยุ่งยากต่อการทดลอง จำเป็นต้องจัดวิธีการทดลองให้มีความเหมาะสม แต่ไม่ให้ลักษณะของข้อมูลมีผลสัมฤทธิ์ที่ขาดความเที่ยงตรงจนเกินไป จัดลักษณะการทดลองตามลักษณะตัวแปรดังนี้ดังนี้

- พื้นที่ใช้ยืนในขณะปฏิบัติงาน มี 2 ระดับ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากกว่า 0.6 และต่ำกว่า 0.3

- มือจับ (Handle type) แบบแนวนอนและแนวตั้ง

- ความสูงของระดับมือจับ 3 ระดับ คือ ระดับสะโพก (Hip) ข้อศอก (Elbow) และหัวไหล่ (Shoulder)

- ท่าในการทำงาน 2 ระดับ คือ ท่าทางบังคับและท่าตามถนัดของผู้ทดลองเลือก

การทดลองมีหลายปัจจัย การจัดการทดลองแบบสุ่มโดยตรงทุกปัจจัย ทำให้กระบวนการทดลองยุ่งยากและใช้เวลานาน จำเป็นต้องจัดกระบวนการทดลองเพื่อให้เกิด Confounding ต่ำสุด เพื่อผลการทดลองออกมาในแนวทางยอมรับได้ พิจารณาส่วนการทำงานยากสุด คือ ปรับเปลี่ยนชนิดของมือจับ ทุกครั้งในการเปลี่ยนต้องมีการ Calibrate จำเป็นต้องจัดการทดลอง โดยกำหนดให้ปัจจัยมือจับถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยต้อง Fixed ในส่วนของพื้น

กำหนดให้ Fixed ในส่วนที่จัดให้ Random ได้ คือ ท่าทางการทำงาน (Posture) และระดับความสูงให้ผู้ทดลองเป็นผู้เลือกเองในการทดลองแต่ละครั้ง โดยกำหนดแบบแผนการทดลองดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ให้ผู้ทดลอง 5 คนแรก ต้องเริ่มที่ Fixed factor ก่อน คือ Horizontal Handle type แล้วตามด้วย Vertical handle type คู่กับพื้นผิวที่มีค่า  $\mu > 0.6$  ในส่วนท่าในการทำงานและระดับความสูงของการผลักผู้ทดลองตัดสินใจสุ่มเลือกด้วยตนเอง

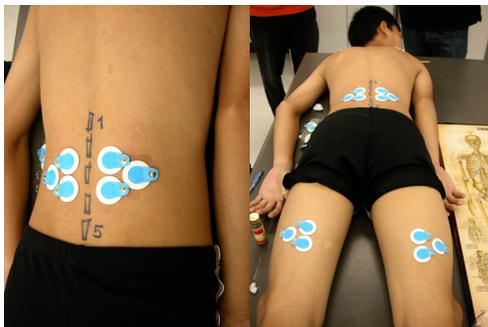
- กลุ่มที่ 2 ให้ผู้ทดลองอีก 5 คนที่เหลือต้องเริ่มที่ Fixed Factor ก่อน คือ Vertical handle type แล้วตามด้วย Horizontal handle type คู่กับ  $\mu > 0.6$  ส่วนท่าทางการทำงานและระดับความสูงการผลักผู้ทดลองตัดสินใจสุ่มเลือกด้วยตัวเอง

#### 4.14 การกำหนดจุดศูนย์ถ่วง

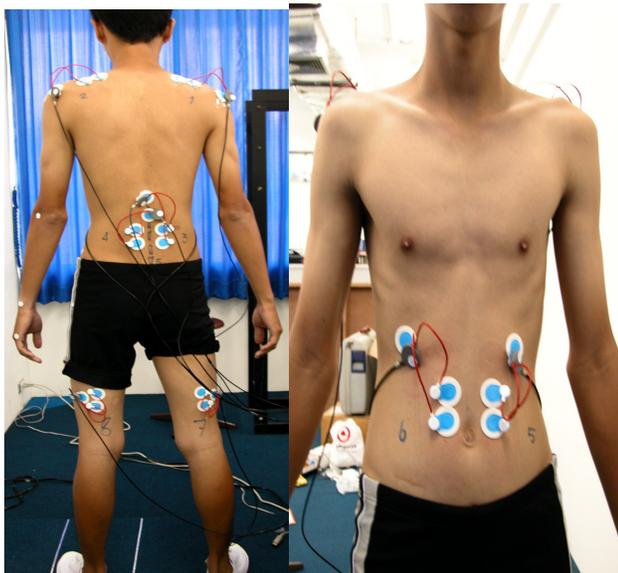
การทดลองโดยวิธีชีวกลศาสตร์ เกี่ยวข้องกับระบบขึ้นส่วนต่อโยงของอวัยวะ เช่น มือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัว การคำนวณต้องหาจุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนอวัยวะของร่างกายเพื่อนำไปใช้ในโมเดลทางกลศาสตร์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.9 ภาคผนวก ก.หน้าที 109

#### 4.15 เตรียมการทดลองการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อด้วย EMG

กลุ่มกล้ามเนื้อในการทดลองแบ่งเป็น Channel 1 คือ Trapezius (R) Channel 2 คือ Trapezius (Left) Channel 3 คือ Erector spinae (Right) Channel 4 คือ Erector spinae (L) Channel 5 คือ Rectus abdominis (L) Channel 6 คือ Rectus abdominis (R) Channel 7 คือ Biceps femoris (R) Channel 8 คือ Biceps femoris (L)

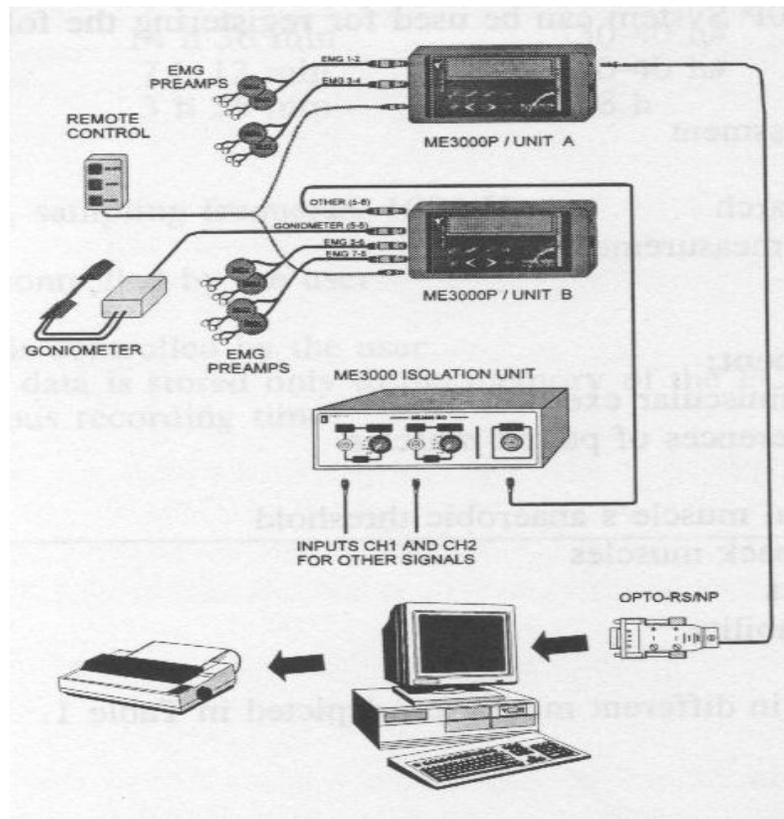


ภาพที่ 4.22 แสดงการติด Electrode บนกล้ามเนื้อหลัง

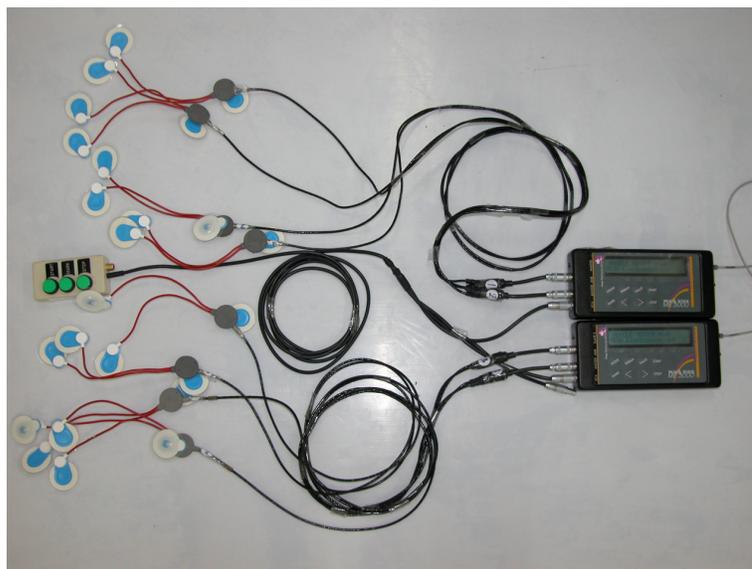


ภาพที่ 4.23 แสดงการติด Electrode บนกลุ่มกล้ามเนื้อหน้าท้องและไหล่

การติดอิเล็กโทรดในการทดลองในการหาค่า EMG บนกล้ามเนื้อ (แสดงในภาพที่ 4.22 – 4.23) ติดตั้งตัว Disposable electrodes เข้ากับกลุ่มกล้ามเนื้อที่เราต้องการให้ถูกตำแหน่ง และเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย Data logger (EMG3000P / Unit A และ B) สายส่งสัญญาณจากกลุ่มกล้ามเนื้อมายัง Data logger และสายส่งสัญญาณใยแก้วนำแสง (Opto-RS/NP) จาก Data logger มายัง CPU คอมพิวเตอร์ซึ่งการทำงานบังคับด้วยการใช้ Remote Control และประมวลผล ด้วยโปรแกรม Me 3000p .สามารถบันทึกค่า EMG เพื่อนำไปใช้ตามที่ต้องการ



ภาพที่ 4.24 แสดงระบบการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดของ EMG



ภาพที่ 4.25 แสดงชุด EMG3000P Unit และสายส่งสัญญาณรวมทั้งตัว Sensors



ภาพที่ 4.26 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ EMG ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 4.24 – 4.26 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้า EMG ในห้องปฏิบัติการการยศาสตร์

#### 4.16 การคำนวณหาแรงกดที่หมอนรองกระดูก L5/S1 ด้วยชีวกลศาสตร์

ทำการจัดเตรียมข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นระบบนำมาวิเคราะห์ด้วยโมเดลทางชีวกลศาสตร์ โดยรวมรายละเอียดที่ได้จากการถ่ายภาพขนาดจากภาพถ่าย รวมทั้งการคำนวณสัดส่วนของร่างกายส่วนต่างๆที่จำเป็นต้องนำไปใช้ในการคำนวณ เช่น จุดศูนย์กลางถ่วง มุม ของลำตัว มุมของสะโพก มุมของขาพับ และระยะของ Body segment จุดศูนย์กลางถ่วงของลำตัวถึง เส้นในแนวตั้ง (Vertical line) ที่ลากผ่าน หมอนรองกระดูก L5/S1 เส้นแนวระดับ (Horizontal line) และเส้นที่ตัดกลางลำตัวขนานกับทิศทางของลำตัว (Cutting plan)

การเลือกใช้โมเดลในการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ เลือกใช้ โมเดลสำหรับงานผลึกของ D.B. chaffin คือ การคำนวณหาแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูก L5/S1 ตามภาพที่ 4.27 สูตรที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\beta = -17.5 - 0.12 T + 0.23 K + 0.0012 TK + 0.005 T^2 + 0.00075 K^2$$

$$M_{L5/S1} = M_{\text{body weight}} + M_{\text{load}}$$

$$M_{L5/S1} = b \cdot mg_{\text{body weight}} + h \cdot mg_{\text{load}}$$

$$P_A = 10^{-4} [43 - 0.36 \theta_H] [M_{L5/S1}^{1.8}]$$

$$F_M = [(b \cdot mg_{\text{body weight}}) + (h \cdot mg_{\text{load}}) - D (F_A)] / E$$

เมื่อ

$P_A$  คือ abdominal pressure (คำนวณตามสูตร)

$\theta_H$  คือ มุมที่สะโพก (วัดมุมจากภาพ)

$M_{L5/S1}$  คือ โมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1 ( $M_{L5/S1}$ )

$F_M$  = erector spinae muscle

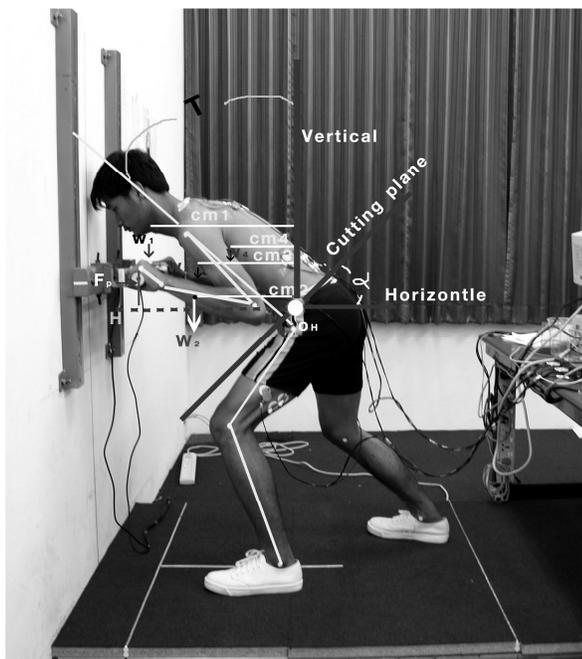
$D$  = แขนของโมเมนต์ของแรง  $F_A$  ปกติใช้ความยาว 7 เซนติเมตร

$E$  = แขนของโมเมนต์ของแรง  $F_M$  ปกติใช้ 5 เซนติเมตร

$mg_{\text{body weight}}$  = น้ำหนักทั้งหมดของร่างกาย เหนือระดับ L5/S1 ขึ้นไป

$F_A$  = ผลของแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดันในช่องท้อง  $P_A$  ซึ่ง  $F_A = P_A \cdot 465 \text{ cm}^2$

$mg_{\text{load}}$  = น้ำหนักของ load หรือ แรงสูงสุดที่บันทึกได้จาก Load cell



ภาพที่ 4.27 แสดงการถ่ายขนาดเพื่อหาค่าต่างๆมาใช้ในสูตรเพื่อหาแรงกดที่ L5/S1

ผลของโมเมนต์รวมรอบจุด L5/S1 = 0

$$F_M * D = - (D * F_A) - (F_P * H) + (W_1 * CM_1) + (W_2 * CM_2) + (W_3 * CM_3) + (W_4 * CM_4)$$

Pushing force = แรง reaction force ที่เกิดจากการผลัก หน่วยเป็นนิวตัน

H = ระยะทางจากแนวแรงกระทำไปยังจุด หมอนรองกระดูก L5/S1

$W_1$  = น้ำหนักของมือทั้งสองข้าง หน่วยเป็นนิวตัน

$W_2$  = น้ำหนักของแขนช่วงล่างทั้งสองข้าง หน่วยเป็นนิวตัน

$W_3$  = น้ำหนักของแขนช่วงทั้งสองข้าง หน่วยเป็นนิวตัน

$W_4$  = น้ำหนักส่วนของลำตัวเหนือ L5/S1 หน่วยเป็นนิวตัน

$CM_1$  = ระยะจาก Center of mass ของ  $W_1$  มาตั้งฉากกับเส้นในแนวตั้งที่ผ่านจุด L5/S1

$CM_2$  = ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของ  $W_2$  มาตั้งฉากกับเส้นในแนวตั้งที่ผ่านจุด L5/S1

$CM_3$  = ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของ  $W_3$  มาตั้งฉากกับเส้นในแนวตั้งที่ผ่านจุด L5/S1

$CM_4$  = ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของ  $W_4$  มาตั้งฉากกับเส้นในแนวตั้งที่ผ่านจุด L5/S1

H = ระยะจากจุดที่แรง Reaction force จากจุดศูนย์กลางของมือจับไปตั้งฉากกับเส้นในแนวตั้งที่อยู่  
ในแนวของ L5/S1

นำสมการ ผลของโมเมนต์รวมรอบจุด L5/S1 = 0

หาค่า  $F_M$  ก่อนแล้วหาค่าของ  $F_C$  ( โดยใช้โปรแกรมใน Excel ช่วยในการคำนวณ )

#### 4.17 การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองระหว่างปัจจัยกับแรงกด ( $F_C$ )หา ความสัมพันธ์  
ของปัจจัยหลัก (Main effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ  $F_C$   
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางและภาพที่ 1 ในภาคผนวก ง หน้า 133

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ $F_C$	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000
ท่าทางการทำงาน	0.000
ระดับความสูงมือจับกับท่าทางการทำงาน	0.027

แรงกดที่หมอนรองกระดูกกับความสูงของมือจับมีความสัมพันธ์ระหว่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

แรงกดที่หมอนรองกระดูกกับท่าทางการทำงานมีความสัมพันธ์ระหว่างกันในทางสถิติแบบ Interaction effect อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

แรงกดที่หมอนรองกระดูกกับความสูงมือจับยึดและท่าทางการทำงานมีความสัมพันธ์ระหว่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.027)

ตารางที่ 4.2 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 1 รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางและภาพที่ 2 ในภาคผนวก ง หน้า 134

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 1	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000
ระดับความสูงมือจับกับท่าทางการทำงาน	0.000

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อ ช่องที่1 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติ (แบบMain effect) อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000) และระดับความสูงมือจับกับท่าทางการทำงานมีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติ (แบบ Interaction effect) มีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ตารางที่ 4.3 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 2 รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางและภาพที่ 3 แสดงในภาคผนวก ง หน้า 135

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 2	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 2 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ตารางที่ 4.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 3  
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางและภาพที่ 4 ในภาคผนวก ง หน้า 136

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 3	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 3 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ตารางที่ 4.5 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 4  
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางและภาพที่ 5 ในภาคผนวก ง หน้า 137

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 4	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 4 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ตารางที่ 4.6 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 6  
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางภาพที่ 6 ในภาคผนวก ง หน้า 138

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 6	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000
ท่าทางการทำงาน	0.022

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 6 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ท่าทางการทำงานกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 6 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.022)

ตารางที่ 4.7 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 7  
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางภาพที่ 7 ในภาคผนวก ง หน้า 139

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 7	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000
ท่าทางการทำงาน	0.005

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 7 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ท่าทางการทำงานกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 7 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.005)

ตารางที่ 4.8 สรุปผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 8  
รายละเอียดผลวิเคราะห์แบบเต็มตารางภาพที่ 8 ในภาคผนวก ง หน้า 140

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ สัญญาณ EMG ของกล้ามเนื้อช่องที่ 8	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000

ความสูงของมือจับกับสัญญาณทางไฟฟ้าEMGของกล้ามเนื้อในช่องที่ 8 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P value มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือ 0.000)

ผลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-way ANOVA: Fp/Fc

(ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 141)

Fp = Pushing force (แรงผลักที่บันทึกได้จาก Load cell) หน่วยเป็นนิวตัน

Fc = แรงกดที่หมอนรองกระดูก L5/S1 Level ในตารางจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติของการทดลองในที่นี้ มีทั้งหมด 24 Level หมายถึงการทดลองของทุกคนที่ระดับเดียวกันทุกปัจจัยที่เหมือนกัน ปัจจัยที่กำหนด เช่น level 1 ในตารางที่ 4.9 แถวที่ 1 คือ การทำงานผลึกที่ระดับความสูงที่หัวไหล่ พื้นที่ยืนปฏิบัติงานมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่า 0.3 ท่าทางการทำงาน (P หมายถึง Posture มี 2 ท่า P<sub>1</sub> คือท่าบังคับ P<sub>2</sub> คือท่าอิสระ) และลักษณะของรูปทรงของมือจับ (H คือ แบบแนวนอน และ V คือแบบแนวตั้ง) ดูตัวอย่างในตารางที่ 4.9 เช่น Level 1 หมายถึง การทำงานมือจับระดับหัวไหล่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่า 0.3 ท่าทางการทำงานที่กำหนดให้ และรูปทรงของมือจับแบบแนวตั้ง

ตารางที่ 4.9 แสดงความหมายของ Level 1-4 (จากทั้งหมด 24 Level) ที่ใช้ในตาราง One-way ANOVA

Hand high	Coeff-of friction	Posture	Handle type	Level
Shoulder	< 0.3	P <sub>1</sub>	Vertical	Level 1
		P <sub>1</sub>	Horizontal	Level 2
		P <sub>2</sub>	Vertical	Level 3
		P <sub>2</sub>	Horizontal	Level 4

อัตราส่วนระหว่าง Fp / Fc มีค่าสูงมากขึ้น คือ การออกแรงผลักได้มากแต่เกิดแรงกดที่หมอนรองกระดูกน้อย คือ ได้งานมากแต่ปลอดภัย

การทำงานที่ระดับหัวไหล่ ภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ให้อัตราส่วน  $F_p/F_C$  ค่อนข้างต่ำหากเปรียบเทียบกับการทำงานที่ระดับอื่น ค่าต่ำสุดคือ  $F_p/F_C = 0.06745$  และสูงสุดคือ  $F_p/F_C = 0.08332$

การทำงานที่ระดับข้อศอก ภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ให้อัตราส่วน  $F_p/F_C$  สูงกว่าระดับหัวไหล่ ค่าต่ำสุดคือ  $F_p/F_C = 0.13332$  และสูงสุดคือ  $F_p/F_C = 0.15646$

การทำงานที่ระดับสะโพก ภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ให้อัตราส่วน  $F_p/F_C$  สูงกว่าระดับข้อศอก ค่าต่ำสุดคือ  $F_p/F_C = 0.15022$  และสูงสุดคือ  $F_p/F_C = 0.21774$

ผลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-way ANOVA:  $F_p(N)$

(ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 142)

การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าเฉลี่ย ของ แรงผลัก ( $F_p$ ) สรุปได้ดังนี้ (หน่วยของ  $F_p$  เป็น นิวตัน)

การทำงานที่ระดับหัวไหล่ ภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ได้ค่า  $F_p$  ต่ำสุดเท่ากับ 196.6 นิวตัน และ  $F_p$  สูงสุดเท่ากับ 351.9 นิวตัน

การทำงานที่ระดับข้อศอกภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ได้ค่า  $F_p$  ต่ำสุดเท่ากับ 295.4 นิวตัน และ  $F_p$  สูงสุดเท่ากับ 664.3 นิวตัน

การทำงานที่ระดับสะโพก ภายใต้ปัจจัยตัวแปรทุกปัจจัย ได้ค่า  $F_p$  ต่ำสุดเท่ากับ 254.9 นิวตัน และ  $F_p$  สูงสุดเท่ากับ 677.8 นิวตัน

คำว่า Posture ในตาราง one-way ANOVA ในภาคผนวก ค คือ ความหมายเดียวกับ ความหมายของ Level ที่อธิบายไว้ในเบื้องต้น

ตารางที่ 4.10 สรุปผลจากการวิเคราะห์  $F_p$  กับปัจจัยตัวแปรในการทดลอง  
( ข้อมูลที่เต็มตารางที่ 9 ภาพที่ 9 ในภาคผนวก ง หน้า 143 )

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ $F_p$ กับปัจจัยตัวแปรในการทดลอง	
ปัจจัย	p value
ระดับความสูงมือจับ	0.000
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	0.000
ท่าทางการทำงาน	0.000
ระดับความสูงมือจับและท่าทางการทำงาน	0.000
ระดับความสูงมือจับและรูปทรงมือจับ	0.034
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและท่าทางการทำงาน	0.000
ระดับความสูงมือจับกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและท่าทางการทำงาน	0.015

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ สำหรับ  $F_p$  กับปัจจัยในการทดลองผลของความสัมพันธ์ระหว่าง  $F_p$  กับปัจจัยแบบ Main effect ทั้ง 3 ปัจจัย คือ ระดับความสูงของมือจับ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและท่าทางการทำงาน มีผลโดยตรงต่อการออกแรงผลักดันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลของความสัมพันธ์ระหว่าง  $F_p$  กับปัจจัยแบบ Interaction effect คือ ระดับความสูงของมือจับกับท่าทางการทำงานระดับความสูงของมือจับกับลักษณะรูปทรงของมือจับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับท่าทางการทำงาน ทั้ง 3 ประเด็นของ  $F_p$  กับปัจจัยแบบ Interaction effect มีผลโดยตรงต่อการออกแรงผลักดันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-way ANOVA:  $F_c$  (N)  
( ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 144 )

การวิเคราะห์ทางสถิติ ของ แรงกดที่ L5/S1 ( $F_c$ ) สรุปได้ดังนี้ หน่วยของ  $F_c$  เป็นนิวตัน  
แรงกดสูงสุดที่หมอนรองกระดูก L5/S1= 4838.6 นิวตัน  
แรงกดต่ำสุดที่หมอนรองกระดูก L5/S1= 1590.5 นิวตัน

การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณEMGกับท่าทางการทำงานของแต่ละช่องสัญญาณ  
โดยใช้ One way ANOVA

ช่องสัญญาณที่ 1 กลุ่มกล้ามเนื้อ Trapezius บริเวณไหล่ ด้านขวา สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุดเท่ากับ 716.8 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุดเท่ากับ 218.8 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 145)

ช่องสัญญาณที่ 2 กลุ่มกล้ามเนื้อ Trapezius บริเวณไหล่ ด้านซ้าย สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุด เท่ากับ 602.0 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุดเท่ากับ 185.0 ไมโครโวลต์ ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณEMGกับท่าทางการทำงานของช่องที่ 1 สรุปได้ดังนี้ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 146)

ช่องสัญญาณที่ 3 กลุ่มกล้ามเนื้อ Erector spinae บริเวณหลัง ด้านขวาใกล้ๆ ตำแหน่ง L5/S1 สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุด เท่ากับ 121.70 ไมโครโวลต์และระดับต่ำที่สุดเท่ากับ 18.70 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 147)

ช่องสัญญาณที่ 4 กลุ่มกล้ามเนื้อ Erector spinae บริเวณหลัง ด้านซ้ายใกล้ๆ ตำแหน่ง L5/S1 สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุด = 135.70 ไมโครโวลต์และระดับต่ำที่สุด = 25.30 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 148)

ช่องสัญญาณที่ 5 กลุ่ม กล้ามเนื้อ Rectus abdominis บริเวณหน้าท้องด้านซ้าย สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุด เท่ากับ63.80 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุด เท่ากับ 12.10 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 149)

ช่องสัญญาณที่ 6 กลุ่มกล้ามเนื้อ Rectus abdominisบริเวณหน้าท้องด้านขวา สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุด เท่ากับ 58.20 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุด เท่ากับ 12.60 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 150)

ช่องสัญญาณที่ 7 กลุ่มกล้ามเนื้อBiceps femoris ด้านขวา สัญญาณ EMG มีค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงสุดเท่ากับ130.90 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุดเท่ากับ 17.40 ไมโครโวลต์ (ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ในภาคผนวก ง หน้า 151)

ช่องสัญญาณที่ 8 กลุ่มกล้ามเนื้อ Biceps femoris ด้านซ้าย สัญญาณ EMG มี  
ค่าเฉลี่ยที่ระดับสูงที่สุด เท่ากับ 70.00 ไมโครโวลต์ และระดับต่ำที่สุด เท่ากับ 8.60 ไมโครโวลต์  
(ข้อมูลที่แสดงผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ในภาคผนวก ง หน้า 152)