



บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองจำลองสภาพงานยิงสกรูโดยใช้สว่านลมที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อมแห่งหนึ่ง โดยใช้คนงานในภาคอุตสาหกรรมเป็นผู้ถูกทดสอบทั้งหมด 5 คน เป็นเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 18 - 35 ปี มีค่าเฉลี่ย 24.4 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.14 ปี ผู้ถูกทดสอบทุกคนสุขภาพแข็งแรงดี ไม่เคยปวดแขนหรือไหล่มาก่อน (ซึ่งเป็นบริเวณที่จะคิดขั้วอิเล็กโทรด เพื่อวัดการทำงานของกล้ามเนื้อ) และได้รับการฝึกยิงสกรูจนชำนาญก่อนทำการทดลอง

จากผลการทดลองโดยแนวทาง 3 แนวทาง คือ 1) การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่อง EMG รุ่น ME3000 2) วัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้เครื่องบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจแบบ Polar และ 3) วัดความล้าในเชิงจิตวิสัย โดยใช้แบบสอบถามตั้งภาคผนวก ก.4 สามารถแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเครียดของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบ จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาเกณฑ์กำหนดระดับความปลอดภัยของงานซ้ำซาก เพื่อนำมาใช้ประกอบการปรับปรุงและออกแบบการทำงานยิงสกรูให้มีความปลอดภัย ดังมีรายละเอียดดังนี้

ผลของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (EA) ที่ได้จากงานยิงสกรูที่ระดับปัจจัยต่างๆ

ในการทดลองได้ทำการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ Trapezius และ Deltoid โดยใช้เครื่อง ME3000 วัดค่า EA (สัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากเครื่อง ME3000 จะเป็นค่าเฉลี่ย ของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ electro-myogram (EMG) ที่ sampling รวมในช่วง 1 วินาที ซึ่งงานวิจัยนี้เรียกลักษณะ

สัญญาณนี้โดยรวมว่า Electrical Activity หรือ EA) ที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่เริ่มการทดลอง (วินาทีที่ 1) จนเสร็จสิ้นการทดลอง 2 ชม. ดังตัวอย่างเช่นรูปที่ ค.1 สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius ของการทดลองที่ K16212 (การทดลองของผู้ถูกทดสอบคนหนึ่งที่ทำกิจกรรมการทำงานเร็ว ระดับแรงดันลมต่ำ และสวมถุงมือทำงาน)

เครื่อง ME 3000 จะเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ตลอดเวลาการทดลอง 2 ชม. ซึ่งจะได้ค่า EA ทั้งหมดประมาณ 7,200 ค่า ดังตารางที่ ค.1 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA และเวลาได้ดังรูปที่ ค.1 หรือ ค. 2 จากนั้น EA ที่สูงสุดใน 1 รอบเวลาการทำงาน (ดูรูปที่ ค.3) จะถูกนำมาวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของความเครียดของกล้ามเนื้อ (Wallinga,1988) เช่น การทดลองที่มีปัจจัยกิจกรรมการทำงานเป็น 15 วินาที ต่อครั้ง (การทดลองที่ K16212) นั้น เครื่อง ME3000 จะเก็บค่า EA ทั้งหมดได้ 15 ค่าใน 1 กิจกรรมการทำงาน จากนั้นจึงนำเฉพาะค่า EA ที่สูงสุดใน 15 ค่านั้นมาเพียง 1 ค่า เพื่อเป็นตัวแทนของ EA ใน 1 กิจกรรมการทำงาน ดังนั้น ตลอดเวลา 2 ชม. ที่ทำการทดลองจะได้ค่า EA สูงสุด (peak of EA) ในแต่ละกิจกรรมการทำงานประมาณ 480 ค่า ดังตารางที่ ค.2 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่า peak of EA ของแต่ละกิจกรรมการทำงาน กับเวลาได้ดังรูปที่ ค.4

จากนั้นนำค่า EA สูงสุด ทั้งหมดตลอดช่วงการทดลอง 2 ชม. มาหาความสัมพันธ์กับ เวลาโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ดังสมการที่ 4.1

$$Y = aX + b \text{ -----สมการ 4.1}$$

เมื่อ Y คือ ค่า EA สูงสุด หน่วยเป็น μV

X คือ ค่าเวลา หน่วยเป็น วินาที

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ X

b คือ ค่าคงที่

ผลจากการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของการทดลองที่ K 16212 แสดงในตารางที่ 4.1

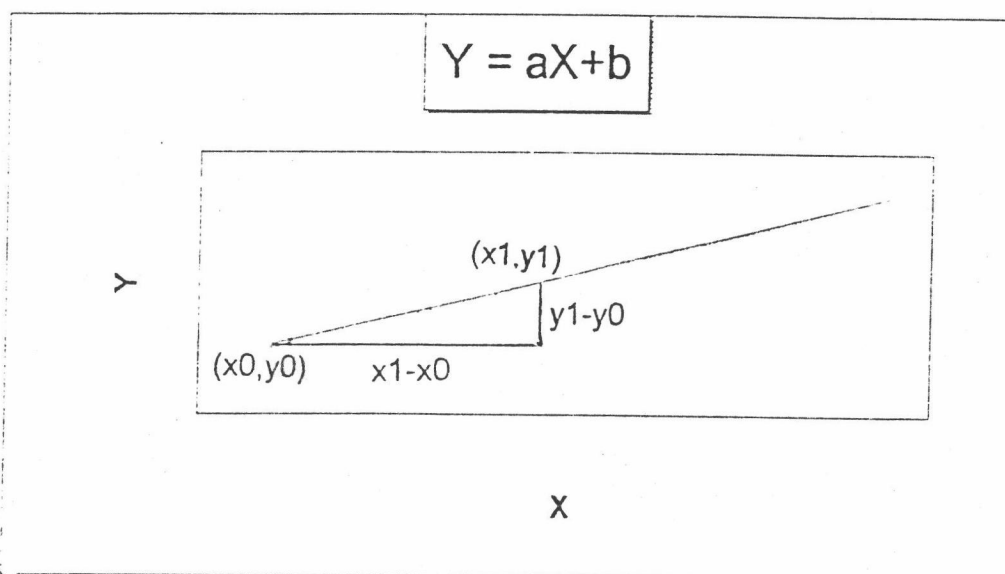
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของการทดลองที่

K16 212

Regression Output:		
Constant		54.21
Std Err of Y Est		5.74
R Squared		0.29
No. of Observations		428
Degrees of Freedom		420
X Coefficient (s)	0.03	
Std Err of Coef.	0.002	

จากตารางที่ 4.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA สูงสุด (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า EA) กับเวลาได้ดังสมการ 4.2 และกราฟรูปที่ 4.1

$$Y = 0.03 X + 54.21 \text{ -----สมการ 4.2}$$



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นอย่างง่าย

เมื่อได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 4.2 แล้วสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาทีได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ} \\ & = (Y1-Y0)/Y0*100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที} \\ & = \{(Y1-Y0)/Y0*100\}/(X1-X0) \end{aligned}$$

จากสมการข้างบนจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที} \\ & = \{(Y1-Y0)/(X1-X0)\}*(1/Y0)*100 \end{aligned}$$

จากสมการ 4.1

$$(Y1-Y0)/(X1-X0) = a$$

$$1/Y0 = 1/b$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} & \text{ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที} \\ & = a/b*100 \text{ -----สมการ 4.3} \end{aligned}$$

เมื่อ $Y0$ คือ ค่า EA เมื่อเวลาเริ่มต้นพิจารณา ($X = X0$)

$Y1$ คือ ค่า EA เมื่อเวลาสิ้นสุด ($X = X1$)

จากสมการ 4.2 จะได้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที

$$\begin{aligned} & = (0.03/54.21)*100 \\ & = 0.054 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ตั้งแต่เริ่มต้นพิจารณา จนสิ้นสุดการทดลองมีค่า = 0.054 ซึ่งแสดงถึงอัตราการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปของกล้ามเนื้อ Trapezius ที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง หมายเลข K16212 ซึ่งค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองจะถูกนำมาใช้เป็น ตัวแปรตอบสนองในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในการวิจัยนี้ทำการทดลองกับผู้ถูกทดสอบจำนวน 5 คน รวมทั้งสิ้น 80 การทดลองซึ่งแต่ละการทดลองทำการคำนวณหา ตัวแปรตอบสนอง

เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น เมื่อนำค่า ตัวแปรตอบสนอง ของผลการทดลองแต่ละรูปแบบการทดลองที่ได้ตัดค่าตัวแปรตอบสนองที่มีค่าเป็นลบออกแล้วมาเฉลี่ยจะได้ผลของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

สำหรับเหตุผลที่ต้องตัดตัวแปรตอบสนองที่มีค่าเป็นลบออกนั้น เนื่องจากเมื่อกกล้ามเนื้อทำงานเพิ่มขึ้น ค่าของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะต้องสูงขึ้น (Wallinga, 1988) แต่เมื่อค่าของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่าลดลงในขณะที่ผู้ถูกทดสอบยังคงทำงานนานขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากมีปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามามีผลกระทบต่อการทำงานทดลอง เช่น สภาพร่างกายและจิตใจของผู้ถูกทดสอบ การพักผ่อนที่ไม่เพียงพอ หรือลักษณะการทำงานของผู้ถูกทดสอบที่เปลี่ยนแปลงโดยการใช้อีกกล้ามเนื้อชุดอื่นเข้ามาช่วยทำงานแทนกล้ามเนื้อที่กำลังศึกษาอยู่ เนื่องจากเกิดความเจ็บปวดหรือเมื่อยล้าที่กล้ามเนื้อชุดเดิมนั้น

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของกล้ามเนื้อ Trapezius ที่ได้จากการทดลอง

	P1		P2	
	G1	G2	G1	G2
S1	0.030 (0.016)	0.041 (0.010)	0.036 (0.017)	0.033 (0.019)
S2	0.032 (0.026)	0.049 (0.015)	0.030 (0.016)	0.022 (0.012)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของกล้ามเนื้อ Deltoid ที่ได้จากการทดลอง

	P1		P2	
	G1	G2	G1	G2
S1	0.029 (0.015)	0.018 (0.008)	0.027 (0.015)	0.019 (0.013)
S2	0.017 (0.013)	0.024 (0.011)	0.013 (0.008)	0.025 (0.017)

การวิเคราะห์ผลของปัจจัยวัฏจักรการทำงาน แรงดันลมของสว่านลม และถุงมือที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเครียดของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ของผู้ถูกทดสอบ

1. การวิเคราะห์ในเชิงสถิติแบบ Analysis of Variance (ANOVA)

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาทดสอบเชิงสถิติ เพื่อดูผลของปัจจัยต่างๆ ว่ามีผลต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อหรือไม่เพียงใด จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยตั้งสมมติฐานหลัก H_0 : ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักวัฏจักรการทำงาน แรงดันลมของสว่านลม และถุงมือ และปัจจัยร่วมของปัจจัยดังกล่าว พบว่า ค่า สถิติ F มีค่าน้อยกว่าค่า F วิฤติ ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ ก.4 และ ก.5) อาจเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างระดับของปัจจัยมีน้อยเกินไปทำให้การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างชัดเจน หรืออย่างมีนัยสำคัญที่ดี ดังนั้น จึงได้ใช้การวิเคราะห์แบบ Graphical Method ของ Moen และคณะ (1991) (คูภาคผนวก ณ.) เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 ที่ส่งผลกระทบต่อ ตัวแปรตอบสนองต่อไป

2. การวิเคราะห์ Graphical Method

การวิเคราะห์แบบ Graphical method เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการทดลอง ที่มีต่อผลตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลัก (วัฏจักรการทำงาน แรงดันลมของสว่านลม และถุงมือ) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองได้โดยอาศัยการพิจารณาจากกราฟของผลการทดลอง

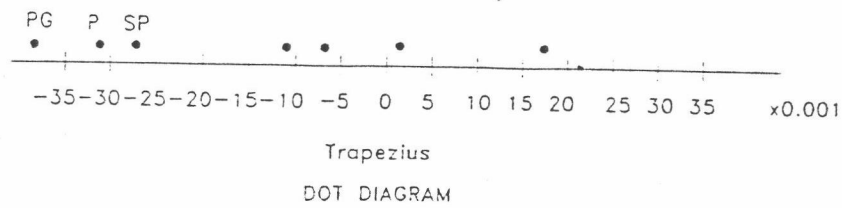
2.1 ผลการประเมินการวิเคราะห์ของกล้ามเนื้อ Trapezius

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.2 นำมาแทนค่าลงใน เมตริกซ์ แสดงรูปแบบการทดลองสำหรับ 3 ปัจจัย ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ (Design matrix for 2^3 factorial pattern) ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เมตริกซ์แสดงรูปแบบการทดลองสำหรับ 3 ปัจจัย ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius

Test	S	P	G	SP	SG	PG	SPG	ค่าตัวแปร ตอบสนอง
1	-	-	-	+	+	+	-	0.030
2	+	-	-	-	-	+	+	0.032
3	-	+	-	-	+	-	+	0.036
4	+	+	-	+	-	-	-	0.030
5	-	-	+	+	-	-	+	0.041
6	+	-	+	-	+	-	-	0.049
7	-	+	+	-	-	+	-	0.033
8	+	+	+	+	+	+	+	0.022
Effect	-0.007	-0.031	0.017	-0.027	0.001	-0.039	-0.011	

จากค่าของ Effect ของปัจจัยทั้ง 3 นำมาเขียนเป็น Dot diagram ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Dot diagram ของ Effect สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius

จากรูปที่ 4.2 แสดงว่า ปัจจัยแรงลมของส่วนลม (ค่า Effect = -0.031) ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรการทำงานกับแรงดันลมของส่วนลม (ค่า Effect = 0.027) และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมของส่วนลมกับถุงมือ (ค่า Effect = -0.039) มีแนวโน้มของความสัมพันธ์ต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากกว่าปัจจัยอื่น ซึ่งสามารถพิจารณารายละเอียดของความสัมพันธ์ได้ดังกราฟรูปที่ 4.3-4.5 และตารางที่ 4.5-4.7 ซึ่งค่าตัวแปรตอบสนองในตารางที่ 4.5 ได้มาจากการเฉลี่ยของค่าตัวแปรตอบสนองในตารางที่ 4.2 เช่นจากตารางที่ 4.5 ที่ P1 ค่าตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 0.038 ซึ่งได้จากการเฉลี่ยระหว่าง 0.030, 0.041, 0.032 และ 0.049 (S1P1G1, S1P1G2, S2P1G1 และ S2P1G2) ค่าในตารางที่ 4.5 นำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.3 และค่าตัวแปรตอบสนองในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ได้มาจากการเฉลี่ยของค่าตัวแปรตอบสนองในตารางที่ 4.2 เช่นจากตารางที่ 4.5 ที่ S1P1 ค่าตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 0.036 ซึ่งได้จากการเฉลี่ยระหว่าง 0.030 และ 0.041 (S1P1G1 และ S1P1G2) เป็นต้น ค่าในตารางที่ 4.6 และ 4.7 นำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ผลของแรงดันลมของส่วนลมที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนอง
ของกล้ามเนื้อ Trapezius

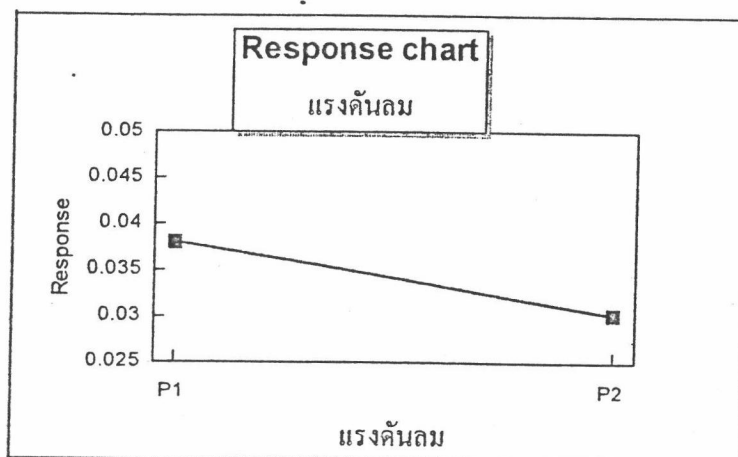
P1	P2
0.038	0.030

ตารางที่ 4.6 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรการทำงานและแรงดันลม
ของส่วนลมต่อตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Trapezius

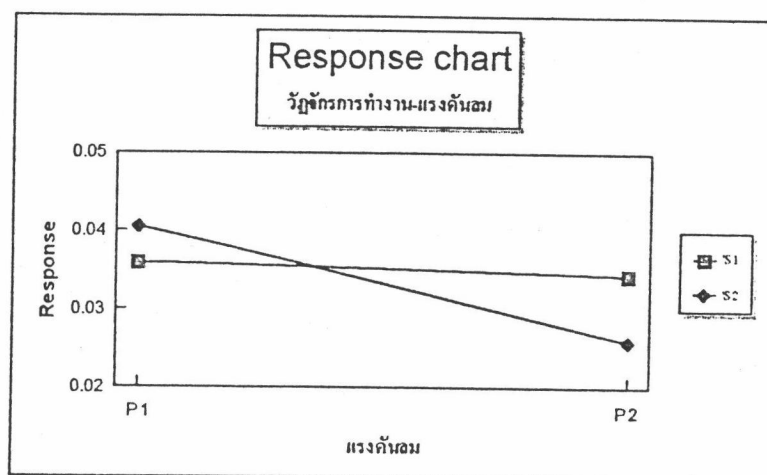
	P1	P2
S1	0.036	0.034
S2	0.040	0.026

ตารางที่ 4.7 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมของส่วนลมและถุง
มือต่อตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Trapezius

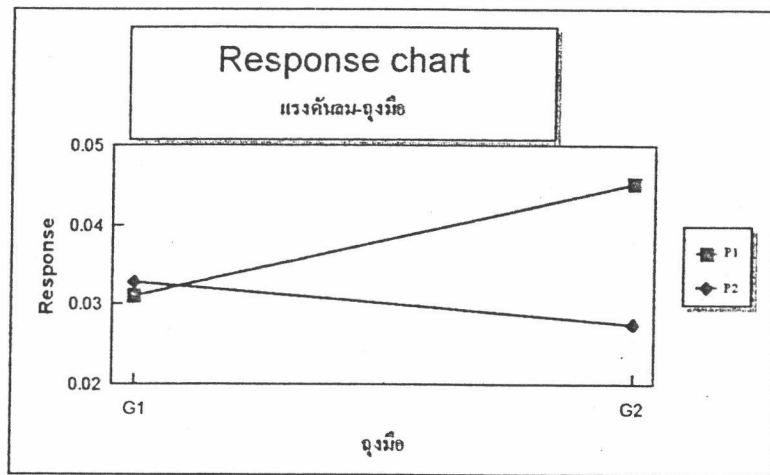
	G1	G2
P1	0.031	0.045
P2	0.033	0.028



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงค้ำลมของส่วนลมกับตัวแปร
ตอบสนองของกล้ามเนื้อ Trapezius



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรการทำงานกับแรงค้ำลมของ
ส่วนลมต่อตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Trapezius



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงค้ำของส่วนลมหงกับดุงมือ
ต่อตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Trapezius

จากรูปที่ 4.3 แสดงว่าการยิงสกรูที่ระดับแรงค้ำของส่วนลมหงสูง จะทำให้ความเครียดของกล้ามเนื้อลดลง เพราะแรงค้ำช่วยทำให้ผู้ถูกทดสอบ ออกแรงขึ้นสกรูลดลง

จากรูปที่ 4.4 แสดงว่าปัจจัยวัฏจักรการทำงานและแรงค้ำของ ส่วนลมหงมีความสัมพันธ์ร่วมกัน (interaction) ต่อค่าของตัวแปรตอบสนอง โดยการยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานเร็ว (S2) นั้น ถ้าใช้แรงค้ำของส่วนลมหงสูง จะสามารถ ลดความเครียดของกล้ามเนื้อได้ แต่สำหรับการทำงานที่วัฏจักรการทำงานช้า นั้น การเปลี่ยนแปลงระดับแรงค้ำของส่วนลมหงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.5 แสดงว่าแรงค้ำของส่วนลมหงและดุงมือมีความสัมพันธ์ร่วมกัน (interaction) ต่อค่าของตัวแปรตอบสนอง โดยการยิงสกรูที่ระดับแรงค้ำของส่วนลมหงสูงนั้น การสวมดุงมือจะสามารถลดความเครียดของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งตรงกับผลงานวิจัยของ Hertzberg (1955) ว่าการสวมดุงมือจะช่วยลด ความสั่นสะเทือนของแรงลมหงที่ขับออกมาได้ แต่การทำงานที่ใช้ระดับแรงค้ำของ ส่วนลมหงต่ำ ไม่ควรสวมดุงมือเพราะจะทำให้เพิ่มความเครียดของกล้ามเนื้อ ซึ่ง อาจเนื่องมาจากผู้ถูกทดสอบทำงานไม่ถนัด ก่อให้เกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อทำงาน มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Armstrong (1988) ว่าการทำงานในท่าทางที่

ไม่เป็นธรรมชาติ มีการฝืนหรือเกร็ง จะทำให้เกิดความเครียดต่อกล้ามเนื้อได้ ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลดี การสวมถุงมือควรใช้ถุงมือที่มีคุณภาพดี ขนาดพอเหมาะ เมื่อสวมแล้วทำให้สามารถทำงานได้ด้นัดเหมือนเดิม โดยไม่เกร็ง

ดังนั้นสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ Trapezius แล้ว ควรทำงานที่ระดับแรงดันลมของสว่านลมสูง และสวมถุงมือทำงาน จะช่วยลดความเครียดของกล้ามเนื้อได้

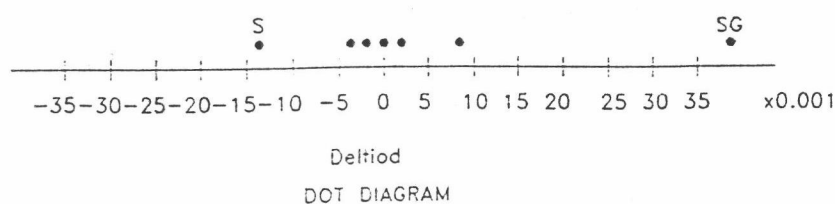
2.2 ผลการประเมินการวิเคราะห์ของกล้ามเนื้อ Deltoid

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 นำมาแทนค่าลงใน เมตริกซ์แสดงรูปแบบการทดลองสำหรับ 3 ปัจจัย ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ (Design matrix for 2³ factorial pattern) ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เมตริกซ์แสดงรูปแบบการทดลองสำหรับ 3 ปัจจัย ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ สำหรับกล้ามเนื้อ Deltoid

Test	S	P	G	SP	SG	PG	SPG	ค่าตัวแปร ตอบสนอง
1	-	-	-	+	+	+	-	0.029
2	+	-	-	-	-	+	+	0.017
3	-	+	-	-	+	-	+	0.027
4	+	+	-	+	-	-	-	0.013
5	-	-	+	+	-	-	+	0.018
6	+	-	+	-	+	-	-	0.024
7	-	+	+	-	-	+	-	0.019
8	+	+	+	+	+	+	+	0.025
Effect	-0.014	-0.004	0.000	-0.002	0.038	0.008	0.002	

จากค่าของ Effect ของปัจจัยทั้ง 3 นำมาเขียนเป็น Dot diagram ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Dot diagram ของ Effect สำหรับกล้ามเนื้อ Deltoid

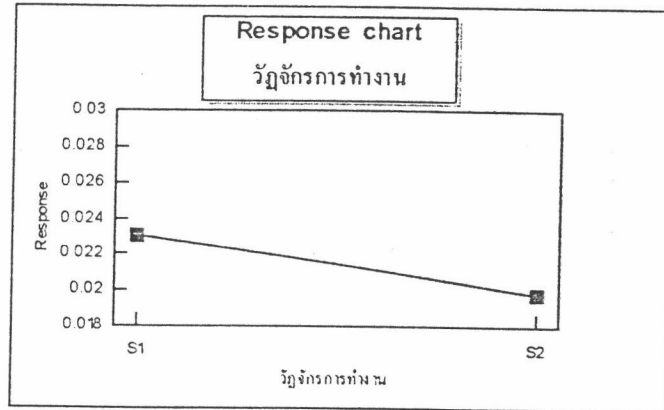
จากรูปที่ 4.6 บอกได้ว่า ปัจจัยวัฏจักรการทำงาน (ค่า Effect = -0.014) และความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรการทำงานกับถุงมือ (ค่า Effect = 0.038) มีแนวโน้มของความสัมพันธ์ต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากกว่าปัจจัยอื่น ซึ่งสามารถพิจารณารายละเอียดของความสัมพันธ์ได้ดังกราฟรูปที่ 4.7-4.8 และตารางที่ 4.9-4.10 (ซึ่งค่าตัวแปรตอบสนองในตารางได้มาโดยวิธีเดียวกับค่าในตารางที่ 4.5 และ 4.6) นำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 ผลของวัฏจักรการทำงานที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Deltoid

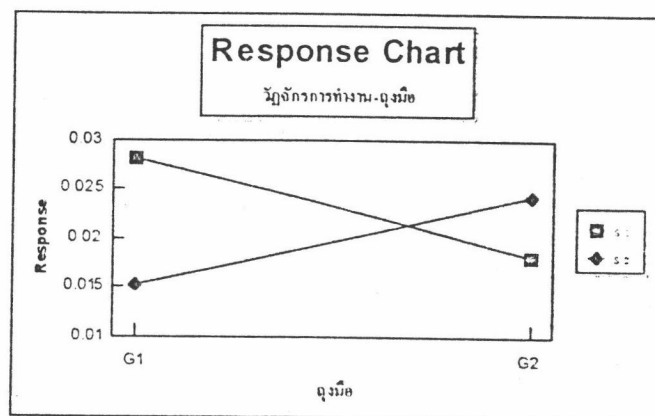
S1	S2
0.023	0.020

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรการทำงานและถุงมือต่อตัวแปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Deltoid

	G1	G2
S1	0.028	0.018
S2	0.015	0.024



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างวิจัยกรการทำงานกับตัวแปร
ตอบสนองของกล้ามเนื้อ Deltoid



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างวิจัยกรการทำงานกับถุงมือต่อตัว
แปรตอบสนองของกล้ามเนื้อ Deltoid

จากรูปที่ 4.7 แสดงว่าการยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานช้า จะทำให้ความเครียดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากกล้ามเนื้อ Deltoid ต้องทำงานมากขึ้นขณะที่ผู้ถูกทดสอบพักระหว่างวัฏจักรการทำงาน เพราะขณะพักผู้ถูกทดสอบได้ถือสว่านลมรอไว้เพื่อทำการยิงสกรูในวัฏจักรการทำงานต่อไปนานกว่าการทำงานที่วัฏจักรการทำงานเดิม

จากรูปที่ 4.8 แสดงว่าปัจจัยวัฏจักรการทำงานและถุงมือมีความสัมพันธ์ร่วมกัน (interaction) ต่อค่าตัวแปรตอบสนอง โดยการยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานเร็ว (S2) นั้น การสวมถุงมือจะทำให้เกิดความเครียดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และการยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานช้านั้น การสวมถุงมือจะทำให้เกิดความเครียดของการทำงานน้อยลง

สรุปได้ว่าจากรูปที่ 4.7 ควรทำงานที่วัฏจักรการทำงานเร็ว และจากรูปที่ 4.8 นั้น ถ้าทำงานที่วัฏจักรการทำงานเร็ว ไม่ควรสวมถุงมือ ดังนั้นเพื่อลดความเครียดของกล้ามเนื้อ Deltoid ควรทำงานที่วัฏจักรการทำงานเร็วและไม่ควรสวมถุงมือทำงาน

ผลสรุปของการวิเคราะห์ความเครียดของกล้ามเนื้อ Trapezius นั้น ควรทำงานยิงสกรูที่แรงค้ำลมของสว่านลมสูงและสวมถุงมือทำงาน แต่สำหรับกล้ามเนื้อ Deltoid ควรจะทำงานยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานเร็วและไม่สวมถุงมือทำงาน ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันแล้ว ควรทำงานยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานเร็วใช้ระดับแรงค้ำลมของสว่านลมสูง แต่ควรสวมถุงมือทำงานหรือไม่นั้น ต้องมาพิจารณาว่าความเครียดที่เกิดจากงานยิงสกรูมีผลที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อกล้ามเนื้อใดมากกว่า โดยการพิจารณาค่าร้อยละของการออกแรงสูงสุด (%MVC) ของกล้ามเนื้อแต่ละชุด ซึ่งการทดสอบพบว่างานยิงสกรูนี้ กล้ามเนื้อ Trapezius ออกแรงทำงานที่ 9.857% MVC และ Deltoid ออกแรงที่ 9.861 %MVC (รายละเอียดของการหาค่า %MVC นี้ จะแสดงไว้ภายหลังในหัวข้อ "การหาเกณฑ์กำหนดระดับความปลอดภัยของงานซ้ำซาก") ซึ่งแสดงว่ากล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุด ทำงานหนักเท่ากัน ดังนั้นจึงไปพิจารณาผลจากการตอบแบบสอบถาม ก่อน และหลังการทำงาน พบว่าผู้ถูกทดสอบส่วนใหญ่มีการเจ็บป่วยบริเวณกล้ามเนื้อ Trapezius (ตำแหน่งที่ 2 ใน ภาค

ผนวก ก.4) เพิ่มขึ้นหลังจากการทดลองมากกว่าบริเวณกล้ามเนื้อ Deltoid (ตำแหน่งที่ 3 ในภาคผนวก ก.4) จึงสามารถสรุปได้ว่างานยิงสกรูนี้ ควรทำงานที่วัฏจักรการทำงานเร็ว ระดับแรงดันลมสูง และสวมถุงมือทำงาน จึงจะสามารถลดความเครียดของกล้ามเนื้อในงานยิงสกรูได้ดีที่สุด

ผลของปัจจัยต่างๆ ในงานยิงสกรูที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจ

การพิจารณาค่าของ อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) ตลอดช่วงการทดลอง ของทุกการทดลองไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่จะนำมาสรุปผลของความเครียดของกล้ามเนื้อ (strain of muscle) ได้ดังนั้น จึงไม่สามารถนำค่าของ Heart rate มาประกอบการพิจารณา สรุปผลได้

ผลของค่าประเมินเชิงจิตพิสัย ที่ได้จากการยิงสกรูที่ระดับปัจจัยต่างๆ

ค่าประเมินเชิงจิตพิสัยได้มาจากการตอบแบบสอบถาม (ดูภาคผนวก ก.4) ก่อน และ หลังการทดลอง เพื่อใช้พิจารณาเปรียบเทียบ ความล้าและความเจ็บปวดตามส่วนต่างๆ ของร่างกายผู้ถูกทดสอบ หลังจากทำการทดลองไปแล้ว 2 ชม. ซึ่งพบว่าระดับความล้าที่พิจารณาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความล้าเชิงวัตถุวิสัย (ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที) แล้วมีความสัมพันธ์กันน้อยมากเนื่องจาก

- ผู้ถูกทดสอบไม่สามารถพิจารณาความรู้สึกออกมาเป็นตัวเลขได้ถูกต้อง
- ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนประเมินความล้าของตนเองแตกต่างไปจากคนอื่น ทำให้ระดับความล้าที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละคนแตกต่างกันไปทำให้ระดับความล้าที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละคนแตกต่างกันไป

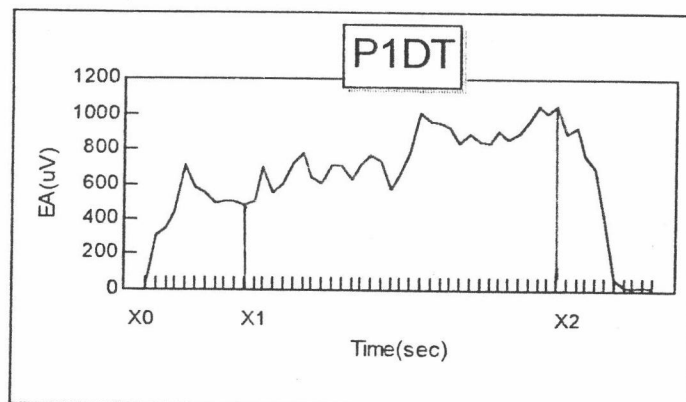
ดังนั้นจึงไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามไปวิเคราะห์และประเมินค่าความลำ และความเจ็บปวดของผู้ถูกทดสอบได้ เพราะจะทำให้ผลสรุปมีความคลาดเคลื่อนไป

การหาเกณฑ์กำหนดระดับความปลอดภัยของงานซ้ำซาก

เพื่อที่จะสร้างเกณฑ์ระดับความปลอดภัยของงานซ้ำซาก จึงได้ทำการทดสอบโดยวิธีการสองวิธีคือ การทดสอบการยกน้ำหนักเพื่อทดสอบหาระยะเวลาที่ทนได้ของกล้ามเนื้อ และการหาค่า MVE และ MVC ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการยกน้ำหนัก เพื่อทดสอบหาระยะเวลาที่ทนได้ของกล้ามเนื้อ

การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาทีของกล้ามเนื้อหลักที่ใช้ในการทำงานอิงสกรู (Trapezius และ Deltoid) กับระยะเวลาที่ทนได้ของกล้ามเนื้อเพื่อนำมาทำเป็นกราฟมาตรฐาน แล้วนำค่าเฉลี่ยของ ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ของงานอิงสกรูมาแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของกราฟเพื่อหาระยะเวลาปลอดภัยที่คนงานควรจะหยุดพัก เมื่อทำงานไปแล้วเป็นเวลานานเท่าไร ในการทดสอบได้ใช้ผู้ถูกทดสอบ 3 คน แต่ละคนทำการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้งต่อการทดสอบของกล้ามเนื้อแต่ละชนิด และสำหรับกล้ามเนื้อ Deltoid นั้น ได้ทำการทดสอบทั้งการยกน้ำหนักแบบ static และ dynamic



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA และเวลา ในการทดลอง PIDT

ตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ของค่า EA และเวลาในการทดสอบยกน้ำหนักแต่ละครั้งจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.9

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ EA ตลอดเวลาที่ทำกรทดสอบ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วง X0 ถึง X1 เป็นช่วงเวลาที่เริ่มต้นยกน้ำหนัก ค่า EA จะเพิ่มขึ้นสูงในช่วงแรก และลดลงมาในช่วงเวลาอันสั้น เพราะช่วงนี้เป็นช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อเริ่มทำงานและยังไม่ทราบว่าขนาดของภาระงานมากหรือน้อยเพียงใด จึงได้ออกแรงเริ่มต้นมาก จากนั้น ณ เวลา X1 ซึ่งเป็นเวลาที่กล้ามเนื้อได้รู้ขนาดงานที่ทำแล้วว่ามีขนาดเท่าไรจึงปรับตัวออกแรงให้เหมาะกับขนาดของงาน (น้ำหนักของภาระงานที่ยก) และเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อไปจนถึงจุดสูงสุด (X2) แล้วจึงลดลงในเวลาต่อมา

ช่วงเวลาที่นำมาพิจารณาหาค่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที คือช่วง X1 ถึง X2 ซึ่งเป็นช่วงที่กล้ามเนื้อออกแรงทำงานอย่างมีความสัมพันธ์กับภาระงานจนถึงพิกัดสูงสุดของความสามารถที่จะทำงานได้ของกล้ามเนื้อ และค่าระยะเวลาที่ทนได้คือช่วง X0 ถึง X2 ซึ่งเป็นเวลาที่กล้ามเนื้อเริ่มทำงานจนถึงพิกัดสูงสุดของความสามารถที่จะทำงานได้ของกล้ามเนื้อ

ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาทีหาได้โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) ดังสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$Y = aX + b$$

เมื่อ Y คือ ค่า EA หน่วยเป็น μV

X คือ ค่าเวลาหน่วยเป็นวินาที

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ X

b คือ ค่าคงที่

ตัวอย่างผลจากการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของการทดสอบยกน้ำหนัก 1 ครั้ง ของกล้ามเนื้อ Deltoid ของผู้ถูกทดสอบคนหนึ่ง (การทดสอบที่ PIDT) แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของกล้ามเนื้อ Deltoid สำหรับการทดสอบที่ PIDT

Regression Output:		
Constant		541.28
Std Err of Y Est		88.22
R Squared		0.73
No. of Observations		33
Degrees of Freedom		31
X Coefficient (s)	14.26	
Std Err of Coef.	1.58	

จากตารางที่ 4.10 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA และเวลาได้ดังสมการที่ 4.3

$$Y = 14.26 X + 541.28 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.4}$$

จากสมการ 4.4 สามารถคำนวณหาค่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ได้ดังนี้

เมื่อ Y0 คือค่า EA ที่เวลาเริ่มต้น ($X_0 = 0$ วินาที)

Y1 คือค่า EA ณ เวลาที่กล้ามเนื้อเริ่มปรับตัวออกแรงทำงานให้พอเหมาะกับภาระงาน ($X_1 = 3$ วินาที)

Y2 คือ ค่า EA ที่กล้ามเนื้อทำงานถึงระดับพิกัดสูงสุด ($X_2 = 16$ วินาที)

จากสมการ 4.3 ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที $= (a/b) * 100$

ดังนั้นจากสมการ 4.4 จะได้ ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ของการทดสอบที่ P1DT

$$= (14.26/541.28) * 100$$

$$= 2.63$$

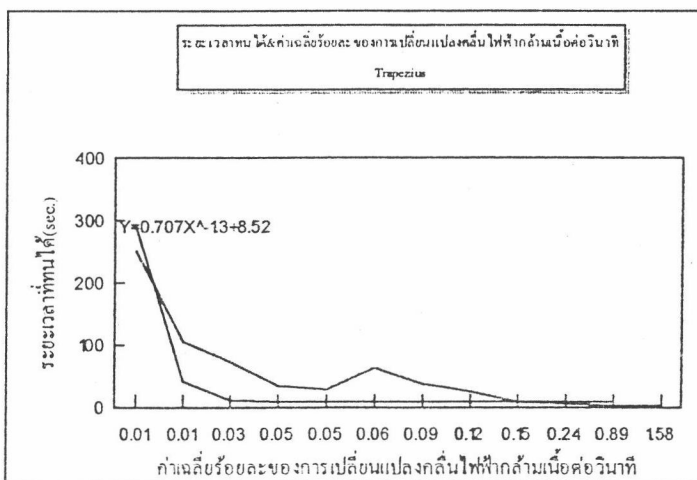
สำหรับค่า ระยะเวลาที่ทนได้ของการทดสอบที่ P1DT คือช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อเริ่มทำงานถึงพิกัดสูงสุด (X_0 ถึง X_2) ซึ่งมีค่า = 44 วินาที ดังนั้นสำหรับการทดสอบยกน้ำหนักที่ P1DT จะได้ค่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที = 2.63 และ ระยะเวลาที่ทนได้ = 44 วินาที

ผลในการทดสอบยกน้ำหนักทั้งแบบ static และ dynamic ทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 4.12

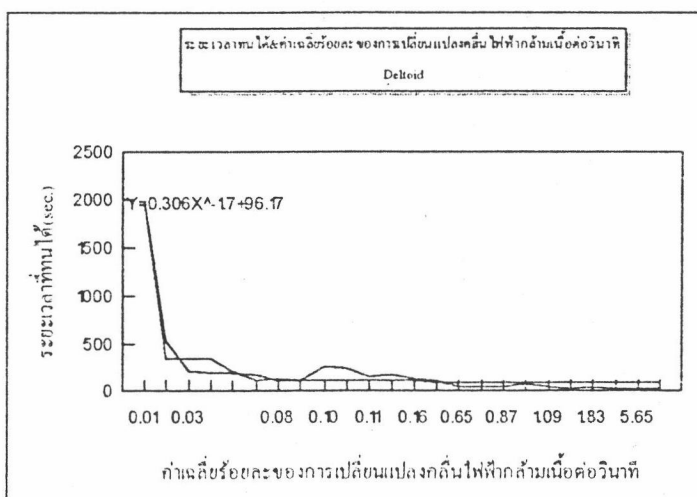
ค่าจากตารางที่ 4.12 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที กับ ระยะเวลาที่ทนได้ สำหรับแต่ละกล้ามเนื้อดังรูปที่ 4.10-4.11

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที
และ ระยะเวลาที่ทนได้

ชนิดของ การทดสอบ	Trapezius		Deltoid	
	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการ เปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้า กล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการ เปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้า กล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)
dynamic			0.006	1972
			0.014	348
			0.030	351
			0.034	348
			0.035	216
			0.039	110
			0.098	113
			0.099	256
			0.100	247
			0.107	154
			0.108	170
		0.872	51	
static	0.014	253	0.079	134
	0.015	107	0.156	136
	0.032	75	0.243	110
	0.046	36	0.647	60
	0.051	29	0.945	62
	0.059	66	1.091	48
	0.092	40	1.130	33
	0.122	27	1.832	45
	0.146	9	2.634	44
	0.244	7	4.821	22
	0.894	4	5.650	36
	1.584	4	8.286	19



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที กับ ระยะเวลาที่ทนได้ ของกล้ามเนื้อ Trapezius



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที กับ ระยะเวลาที่ทนได้ ของกล้ามเนื้อ Deltoid

เมื่อนำค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที และระยะเวลาที่ทนได้มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นจะได้รับความสัมพันธ์สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ (ดูภาคผนวก ญ.)

$$Y = 0.707 X^{-1.3} + 8.52 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.5}$$

$$Y = 0.306 X^{-1.7} + 96.17 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.6}$$

เมื่อได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 และสมการความสัมพันธ์ดังสมการ 4.5 และ 4.6 สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ตามลำดับ จึงได้นำค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที ของงานทดลองยิงสกรูของกล้ามเนื้อทั้งสองที่มีระดับปัจจัยตรงกับการทำงานจริงตรงกับระดับการทำงานจริงของโรงงานตัวอย่างที่ไปสำรวจข้อมูลก่อนทำงานวิจัย (ระดับแรงดันลมของสว่านลมสูง ไม่สวมถุงมือทำงาน แต่วัฏจักรการทำงานจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความเร่งด่วนของงาน) มาแทนค่าในสมการ 4.5 และ 4.6 จะได้ค่า ระยะเวลาที่ทนได้ หรือ ระยะเวลาจำกัดที่คนงานทำงานไปแล้ว ควรจะหยุดพัก ได้ดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 สำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ผลของการคำนวณหาระยะเวลาที่ทนได้ของกล้ามเนื้อ Trapezius

ผู้ถูกทดสอบ	S1P2G1		S2P2G1	
	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)
1	0.041	53.47	0.031	73.18
2	0.038	58.14	0.017	149.72
3	0.052	41.52	0.033	68.13
4	0.040	54.94	0.041	53.48
5	0.062	37.78	0.028	82.33

ตารางที่ 4.14 ผลของการคำนวณหาระยะเวลาที่ทนได้ของกล้ามเนื้อ Deltoid

ผู้ถูกทดสอบ	S1P2G1		S2P2G1	
	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่อวินาที	ระยะเวลาที่ทนได้ (วินาที)
1	0.028	229.69	0.022	297.36
2	0.039	172.19	0.020	332.75
3	0.044	158.09	0.004	3745.55
4	-	-	0.017	408.03
5	0.007	1505.64	0.002	11953.05

เมื่อ S1P2G1 คือการทำงานที่ วัฏจักรการทำงานซ้ำ ระดับแรงดันลมของ ส่วนลมสูง และไม่สวมถุงมือ

SIP2G1 คือการทำงานที่ วัฏจักรการทำงานเร็ว ระดับแรงคั้นลมของ ส่วนลมสูง และไม่สวมถุงมือ

จากตารางที่ 4.13 พบว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ทนได้ = 48.57 วินาที และ 85.37 วินาที สำหรับ SIP2G1 และ S2P2G1 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ทนได้ = 186.66 วินาที (ไม่นำค่าระยะเวลาที่ทนได้ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 5 มาพิจารณา เนื่องจากมีค่าแตกต่างจากผู้ถูกทดสอบคนอื่นมาก) และ 1038.13 วินาที (ไม่นำค่าระยะเวลาที่ทนได้ของผู้ถูกทดสอบคนที่ 3 และ 5 มาพิจารณา เนื่องจากมีค่าแตกต่างจากผู้ถูกทดสอบคนอื่นมาก) สำหรับ SIP2G1 และ S2P2G1 ตามลำดับ ดังนั้นระยะเวลาที่ทนได้ของงานยิงสกรูนี้ เท่ากับ 48.57 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาทำงานจริงโดยทั่วไป (ควรจะมากกว่า 1 ชั่วโมง) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้น ได้ทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อแบบ isometric contraction (static) ที่ระดับการหดตัวกล้ามเนื้อสูงกว่างานจริง (ในการทดสอบได้ยกน้ำหนักขนาด 1 กก. - 5 กก. ซึ่งหนักกว่าน้ำหนักของ ส่วนลมที่ใช้ยิงสกรูซึ่งมีน้ำหนัก 0.5 กก.) ส่วนในการทำงานจริงนั้น กล้ามเนื้อจะทำงานแบบ intermittent contraction (dynamic) คือมีการหยุดพักในแต่ละวัฏจักรการทำงานที่ระดับการหดตัวของกล้ามเนื้อต่ำ ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อลักษณะนี้ (แบบ dynamic) Cook (1989) ได้กล่าวว่าเป็นลักษณะการทำงานที่ทำให้คนงานสามารถทำงานได้เป็นเวลานาน ทำให้เป็นการยากที่จะทำการทดลองจนถึงระดับที่ผู้ถูกทดสอบจะไม่สามารถทำงานได้ต่อไป แม้ว่าในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบ dynamic เพื่อให้การทดสอบมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากที่สุด แต่ก็พบว่าผู้ถูกทดสอบบางคนสามารถทดสอบแบบ dynamic ที่ขนาดของน้ำหนักที่ยกหนักเป็นสองเท่าของงานจริงนั้น สามารถทดสอบได้นานถึง 1972 วินาที หรือ 33 นาทีและสอบถามผู้ถูกทดสอบรายนี้หลังการทดสอบแล้วพบว่า เขาสามารถทำการทดสอบได้นานกว่า 33 นาที แต่เนื่องจากมีปัจจัยของความเบื่อหน่ายเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ไม่สามารถทนทำการทดสอบต่อไปได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากมากที่จะสามารถทดสอบแบบ dynamic ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับงานจริงเพื่อกำหนด

หาระยะเวลาการทำงานที่ทนได้ของกล้ามเนื้ออื่นเนื่องมาจากผลของปัจจัยความเบื่อก่อนหน้านี้

2. การทดสอบหาค่า %MVC ของกล้ามเนื้อ

Rohmert และคณะ (1973) ได้ทำการทดสอบและเสนอแนะว่าการทำงานที่ 15 % ของ MVC หรือต่ำกว่านั้น เป็นเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับงานที่ทำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานๆ และพบว่าโดยวิธีนี้สามารถกำหนดระดับความปลอดภัยของการทำงานที่เหมาะสมได้ ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการทดสอบหาค่า MVE และ MVC ของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 โดยที่ค่า EA เฉลี่ยของงานยิงสกรูเป็นการยิงสกรูที่วัฏจักรการทำงานเร็วระดับแรงดันลมของสว่านลมสูง และไม่สวมถุงมือทำงาน ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่โรงงานตัวอย่างทำงานอยู่เป็นประจำ

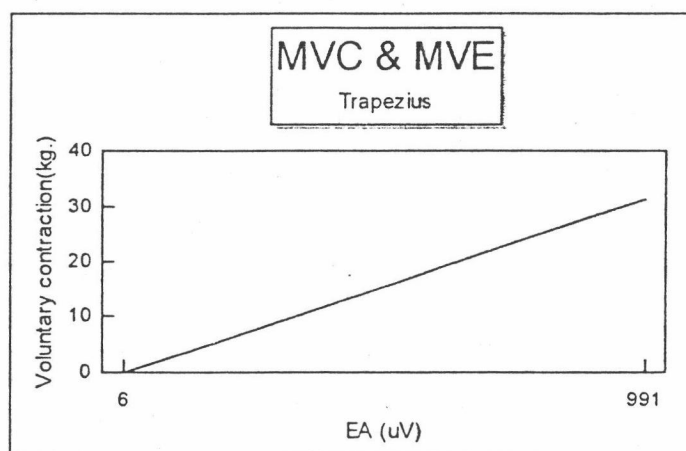
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบหาค่า MVC และ MVE ของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid

ผู้ถูกทดสอบคนที่	ค่า EA ของ MVE(uV)		ค่า contraction ของ MVC(kg.)		ค่า EA ขณะพัก(uV)		ค่า EA เฉลี่ยของงานยิงสกรู(uV)		%MVCของงานยิงสกรู	
	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid
1	422	3124	34.2	4.8	6	2	18.31	200.36	4.4	6.4
2	835	725	28.2	4.5	3	2	68.23	68.74	8.2	9.5
3	991	1359	31.2	6.7	6	3	93.11	106.10	9.5	7.8
4	992	980	31.7	6.9	6	1	74.89	74.61	7.6	7.6
5	746	1351	24.3	5.6	10	6	88.30	158.80	12.0	11.8
6	597	849	23.4	4.3	2	11	85.04	91.78	14.3	11.0
7	911	1039	30.9	5.8	60	4	77.14	106.92	9.1	10.3
8	399	609	28.6	7.2	15	4	47.54	75.31	12.4	12.5
9	315	152	29.8	7.3	4	1	31.10	20.68	10.0	13.7
10	711	905	28.0	7.1	16	3	77.78	72.21	11.2	8.0

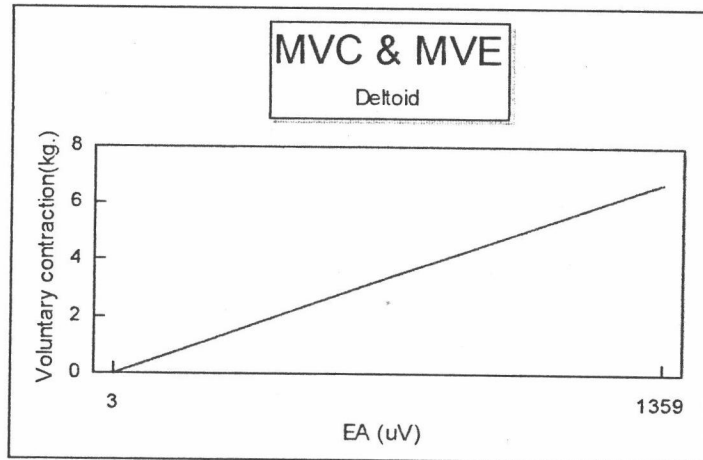
ค่าเฉลี่ย%MVC ของกล้ามเนื้อ Trapezius = 9.857 และ Deltoid = 9.861

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบหาค่า %MVC และ %MVE ของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ตัวอย่างการคำนวณหาค่า %MVC ของกล้ามเนื้อ แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ตัวอย่างของผู้ถูกทดสอบคนที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EA และ Voluntary contraction ของกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ได้ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA และ Voluntary contraction ของกล้ามเนื้อ Trapezius



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EA และ Voluntary contractionของกล้ามเนื้อ Deltoid

$$Y = 0.0317X \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.7}$$

$$Y = 0.0049X \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.8}$$

เมื่อ X คือ ค่า EA มีหน่วยเป็น μV

Y คือ ค่าน้ำหนักที่วัดได้ มีหน่วยเป็น กก.

ค่าเฉลี่ย EA ของงานยิงสกรูมีค่าเป็น 93.11 และ $106.10\mu\text{V}$ เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 4.7 และ 4.8 ได้ผลดังนี้

สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius

$$X = 0.032(93.11)$$

$$= 2.98$$

$$\text{ดังนั้น \%MVC} = (2.98/31.2) * 100$$

$$= 9.5$$

สำหรับกล้ามเนื้อ Deltoid

$$X = .0049(106.10)$$

$$= 0.52$$

$$\text{ดังนั้น \%MVC} = (0.52/6.7) * 100$$

$$= 7.8$$

เมื่อนำค่า \%MVC ของผู้ถูกทดสอบทั้ง 10 คน มาเฉลี่ยจะได้ค่า \%MVC เป็น 9.857 และ 9.861 สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ตามลำดับ

ในการทำงานเดียวกันผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดสอบยีนสกรูที่วัฏจักรการทำงานซ้ำ ระดับแรงดันลมของสว่านลมต่ำ และไม่สวมถุงมือทำงาน ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานมีโอกาสจะก่อให้เกิดความเครียดต่อกล้ามเนื้อมากที่สุด ได้ค่าเฉลี่ย %MVC เป็น 8.034 และ 8.941 สำหรับกล้ามเนื้อ Trapezius และ Deltoid ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบหาค่า MVC และ MVE ของกล้ามเนื้อ

Trapezius และ Deltoid (ในสภาวะการทำงานที่มีโอกาสจะก่อให้เกิดความเครียดต่อกล้ามเนื้อมากที่สุด)

ผู้ถูกทดสอบคนที่	ค่า EA ของ MVE(uV)		ค่า contraction ของ MVC(kg.)		ค่า EA ขณะพัก(uV)		ค่า EA เฉลี่ยของงาน ยีนสกรู(uV)		%MVCของงานยีนสกรู	
	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid	Trapezius	Deltoid
1	953	1045	28.3	5.6	5	2	30.18	103.88	3.2	10.0
2	1554	1751	26.9	5.2	12	3	71.59	191.35	4.6	10.9
3	829	2050	37.2	6.8	3	2	80.27	139.31	9.7	6.8
4	660	844	31.5	8.3	3	3	58.47	77.69	8.9	9.2
5	1889	1972	27.8	6	7	7	82.06	68.38	4.4	3.5
6	1040	1587	26.1	4.1	8	3	83.98	206.59	8.1	13.0
7	850	1204	38.6	6.8	11	11	78.40	93.44	9.3	7.8
8	263	578	36.6	6.3	5	5	27.33	72.73	10.6	12.7
9	332	522	30.1	8.2	3	3	38.63	38.90	11.7	7.5
10	914	1156	26.8	7.3	6	4	88.30	91.32	9.7	7.9

สรุปได้ว่า ค่า %MVC ของงานยีนสกรูมีค่าน้อยกว่า 15% ของ MVC ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับคนงานยีนสกรู จึงจัดได้ว่างานยีนสกรูเป็นงานที่ปลอดภัยแต่อย่างไรก็ตาม โรคที่เกิดจากงานซ้ำชากนั้นบางครั้งจะไม่แสดงผลทันที แต่จะเกิดการสะสมเป็นเวลานานแล้วจึงจะแสดงผลของโรคในภายหลัง ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาและค้นคว้าหาวิธีการต่างๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อคนงานที่ทำงานซ้ำชากต่อไป