การศึกษาสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

นายกนก หมอกมืด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ได้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF WORKING PERFORMANCE OF SHIELD METAL ARC WELDING

Mr. Kanok Mokmued

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม
โดย	นายกนก หมอกมืด
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

กนก หมอกมืด : การศึกษาสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม. (A study of Working Performance of Shield Metal Arc Welding) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 112 หน้า)

การประเมินการทำงานในทางวิศวกรรมอุตสาหการ โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการทำงานเป็นตัวชี้วัดหลัก แต่สำหรับงานฝีมือหรืองานที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ที่มีระดับความยากง่ายของงานแตกต่างกัน อาจใช้แนวคิดของ Fitts' law มาประยุกต์หาตัวชี้วัดสำหรับประเมินการทำงาน ที่เรียกว่า สมรรถนะของฟิตส์ (Fitts' Performance) มาใช้ประกอบการวางแผนและการประเมินการทำงาน งานเชื่อมโลหะ เป็นงานฝีมือได้ถูกนำมาหาสมรรถนะของงานเชื่อม เริ่มต้นจากการหารูปแบบความยากง่ายของงานเชื่อม จากท่าเชื่อมและรอยต่อชิ้นงานทั้ง 6 รูปแบบ (3 ท่าเชื่อม x 2 รอยต่อชิ้นงาน) โดยมีช่างเชื่อมอาชีพที่มีความสมัครใจเข้าร่วมการทดลองนี้

การสร้างการวัดสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ได้กำหนดให้ผู้เข้าร่วมทดสอบเชื่อมชิ้นงานให้เสร็จโดยที่คำนึงถึงคุณภาพด้วยความเร็วสูงสุด ตามรูปแบบงานที่กำหนด นำเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Movement Time : MT) ที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นกับดัชนีความยาก(Index of Difficulty : ID) ที่ทำให้ผลรวมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยเชิงเส้นของผู้เข้าร่วมทดสอบทั้ง 4 คน มีค่าสูงสุด แต่เนื่องจาก ID ของงานเชื่อมเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) การสร้าง ID จึงเป็นการหาวิธีในการระบุมาตรา ID และจากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถหาวิธีสร้าง ID ได้ 2 วิธีคือ สร้าง ID จากค่าเฉลี่ย MT และสร้าง ID จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งทั้งสองแบบทำให้ผลรวมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผู้ทดสอบ 4 คน ใกล้เคียงกัน

จากการกำหนด ID ของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบได้ และสามารถแปลผลจากกราฟสมรรถนะได้หลายรูปแบบที่จะแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบมีสมรรถนะเป็นอย่างไร เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต มอบหมายงาน ประเมินความสามารถ ประเมินค่าจ้าง และการพัฒนาฝีมือแรงงาน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556 .

5471065221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SPEED AND ACCURACY TRADE OFF / WORKING PERFORMANCE / INDEX OF DIFFICULTY / WELDING / FITTS' LAW

KANOK MOKMUED : A STUDY OF WORKING PERFORMANCE OF SHIELD METAL ARC WELDING. ADVISOR : PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 112 pp.

Commonly, work evaluating in Industrial Engineering uses working time as a primary indicator. However, the skilled or professional work which have a variety of difficulty level, may applied Fitts' law concept to evaluate work as call as Fitts' performance. It also can use for work planning. A metal arc welding is a kind of skill work. In this study, there were 3 posture factors and 2 welding joint factors. Which were used to create 6 level of Index of Difficulty (ID). Four experience welders were recruited voluntary as the subject.

In order to evaluate the work performance of shield metal arc welding, subjects were order to work with maximum speed within the acceptable quality level. For the results, movement time (MT) was used to create relationship with ID. The target was to maximize total coefficient of determinant of the performance line from 4 subjects. However, ID of metal arc welding are qualitative data. So establish ID is to define ID scale. Two methods were proposed to define ID. One was created from average MT and another one was created from Optimization.

Establish Index of Difficulty of shield metal arc welding is useful for performance evaluation. It can apply for production planning, work assignment, wage estimate and skill training.

Department : Industrial Engineering . Student's Signature .

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

Academic Year : 2013 .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือให้คำแนะนำและปรึกษาจาก อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก ผู้วิจัยขอถือโอกาสกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการงานโลหะ ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการเตรียมชิ้นงาน และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ สถานที่ และผู้เข้าร่วมทดสอบ ของบริษัท บารมีเกษตรยนต์ จำกัด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าของกิจการและผู้เข้าร่วมทดสอบทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

บทที่ 1 บทนำ ที่มาและความสำคัญ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 5

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย..... 5

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 การประเมินสมรรถนะโดยอาศัยกฎของฟิตส์..... 7

2.2 งานเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม..... 9

2.3 มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ..... 10

2.4 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยสายตา..... 11

2.5 ปัจจัยที่กระทบต่อคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม..... 12

2.6 ชนิดของรอยต่อ และ ตำแหน่งท่าเชื่อม..... 14

2.7 ลักษณะโครงสร้างและการเคลื่อนไหวร่างกาย..... 16

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 18

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย..... 21
3.1 ผู้เข้าร่วมทดลอง..... 21
3.2 สถานที่ในการทดลอง..... 22
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 23
3.4 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย..... 29
3.5 ตัวแปรสำหรับการเชื่อมชิ้นงาน..... 31
3.6 การตรวจคุณภาพชิ้นงาน..... 32
3.7 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานโดยละเอียด..... 32
3.8 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล..... 34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 35
4.1 เวลาการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน (Movement Time ; MT)..... 35
4.2 การกำหนดมาตราส่วนของดัชนีความยาก..... 40
4.3 การเปรียบเทียบวิธีการกำหนดมาตรา ID..... 47
4.4 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟค่าเฉลี่ย กับ กราฟสมรรถนะ..... 48
4.5 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านท่าทางกับดัชนีความยาก..... 49
4.6 การประเมินสมรรถนะการทำงานการทำงานระหว่างผู้ทดสอบ..... 51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 55
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 55
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 56
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 57
รายการอ้างอิง..... 58
ภาคผนวก..... 60
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง..... 61
ภาคผนวก ข ชิ้นงานที่ทำการทดลอง..... 72
ภาคผนวก ค วิธีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) ในโปรแกรม Excel..... 86
ภาคผนวก ง คู่มือการวัดสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม..... 91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เกณฑ์การวัดคุณภาพชิ้นงาน	11
3.1	ข้อมูลผู้เข้าร่วมทดสอบ	21
3.2	ระดับความสูงของจุดติดตั้งชิ้นงานในแต่ละท่าเชื่อม	23
3.3	รูปแบบการทดลอง	29
3.4	ลำดับในการทดลองของแต่ละรูปแบบงาน	30
3.5	เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน	32
3.6	แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณของการทดสอบเชื่อมชิ้นงาน	33
4.1	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (MT) ของผู้เข้าร่วมทดสอบก่อนการเชื่อมชิ้นงานใหม่	37
4.2	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (MT)จากทดแทนชิ้นงานซ่อมที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ	38
4.3	ผลการกำหนดมาตราส่วน ID จากค่าเฉลี่ย MT	41
4.4	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่าผลรวม R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน	42
4.5	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization	44
4.6	เปรียบเทียบมาตรา ID ระหว่างวิธีหาค่าเฉลี่ย MT กับวิธี Optimization	47
4.7	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงของผู้ทดสอบ A, B, C และ D	51

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	อัตราค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ภาคอุตสาหกรรม 5 อันดับแรก.....	2
1.2	จำนวนผู้ที่ผ่านการทดสอบ มาตรฐานฝีมือแรงงาน ปี 2553 – 2555.....	3
2.1	ลักษณะการทำงานของ Fitts' Law.....	8
2.2	แสดงสภาวะของการเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยเครื่องลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม.....	10
2.3	รูปหน้าตัดและรูปแนวราบของงานเชื่อมภายใต้ปัจจัยต่างๆ.....	11
2.4	ชนิดของรอยต่อแนวเชื่อม.....	14
2.5	ตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าราบ (Flat) และท่าระดับ (Horizontal)…….…...	15
2.6	ตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าตั้ง (Vertical) และท่าเหนือศีรษะ (Overhead)……..…….	15
2.7	โครงสร้างกระดูก.....	16
2.8	โครงสร้างกล้ามเนื้อ.....	17
2.9	ชนิดและตำแหน่งข้อต่อในร่างกาย.....	18
3.1	พื้นที่การติดตั้งสถานีงาน.....	22
3.2	แผนผังแสดงพื้นที่สถานีงานภายในแผนกเชื่อมและประกอบรถบรรทุก.....	22
3.3	ชุดจับยึดชิ้นงาน ที่สามารถปรับระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงานได้.....	23
3.4	ชุดจับยึดชิ้นงาน ที่ช่องยึดชิ้นงานในทุกรูปแบบที่ออกแบบการทดลอง.....	24
3.5	เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คชนิดกระแสสลับ.....	24
3.6	ลวดเชื่อมสารพอกหุ้มที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.7	ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.8	อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สำหรับผู้ทดลอง.....	26
3.9	กล้องถ่ายภาพดิจิตอล.....	26
3.10	ขาตั้งกล้อง.....	27
3.11	นาฬิกาดิจิตอล.....	27
3.12	ชุดติดตั้งและทำความสะอาดชิ้นงาน.....	28

รูปที่		หน้า
3.13	อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สำหรับเก็บข้อมูล	28
3.14	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	29
3.15	ระยะเวลาที่ใช้การเชื่อมท 1 รูปแบบต่อคน	34
4.1	สัดส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพต่อชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ	36
4.2	สัดส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพต่อชิ้นงานทั้งหมดของแต่ละรูปแบบงาน	36
4.3	กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน	44
4.4	กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่า R^2	42
4.5	กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization	44
4.6	กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization จากค่า R^2	46
4.7	มาตรา ID ที่กำหนดด้วยวิธี Optimization	46
4.8	มาตรา ID ที่กำหนดด้วยวิธี Optimization	47
4.9	กราฟสมรรถนะผู้ทดสอบ A, B, C และ D ตามแนวคิด Fitts' law	48
4.10	ค่าเฉลี่ย Movement Time ของแต่ละผู้ทดสอบ แบ่งตามรูปแบบงาน	48
4.11	ท่าทางการเชื่อมชิ้นงานด้วยตำแหน่งท่าเชื่อมท่าราบ, ท่าตั้ง และท่าระดับ	50
4.12	กราฟสมรรถนะของผู้ทดสอบ A, B, C และ D	51
4.13	เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ B กับ C	52
4.14	เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ B	53
4.15	เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ C	54

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

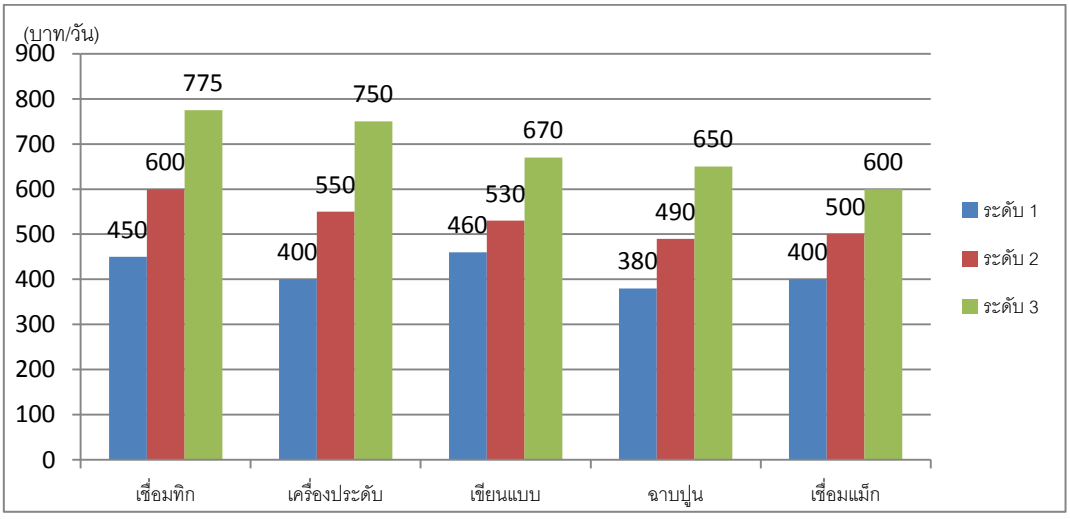
แรงงานมนุษย์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ตั้งแต่ยุคเกษตรกรรม จนถึงยุคอุตสาหกรรม ในปัจจุบัน แรงงานมนุษย์มีหน้าที่ในการดำเนินกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบด้วยเครื่องจักร ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาเครื่องมือและเครื่องจักรในการทำงานแทนแรงงานมนุษย์เพิ่มมากขึ้นแล้วก็ตาม แต่ด้วยการลงทุนที่มีมูลค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนด้านแรงงาน ความแตกต่างของสภาวะเศรษฐกิจและระดับคุณภาพชีวิตของแต่ละประเทศ จึงทำให้ แรงงานมนุษย์ ยังคงเป็นกลไกสำคัญในภาคอุตสาหกรรม

ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก โดยมีจำนวนแรงงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต 5.98 ล้านคน ในปี 2555 ซึ่งมีเพิ่มขึ้นเกือบ 1 ล้านคน จากปี 2545 ที่มีจำนวนแรงงานอยู่ที่ 5.02 ล้านคน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ) ด้วยค่าจ้างที่ได้รับจากการทำงานในภาคอุตสาหกรรมมีความสม่ำเสมอมากกว่ารายได้จากการประกอบอาชีพเกษตรกรรมที่ผลผลิตขึ้นอยู่กับฤดูกาล และสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติ ทำให้แรงงานได้มุ่งเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น

การรับแรงงานเข้าทำงานในภาคอุตสาหกรรม ขึ้นอยู่กับ ประเภทของแรงงานที่ประกอบด้วย แรงงานไม่มีฝีมือ และ แรงงานฝีมือ โดยแรงงานไม่มีฝีมือ คือ ผู้ทำงานซึ่งลักษณะงานที่ทำ ไม่ต้องใช้ความรู้ความสามารถมาก เพียงได้รับคำแนะนำเล็กน้อย ก็สามารถทำได้ โดยวัดผลงานจาก จำนวนชิ้นงานหรือจำนวนชั่วโมงที่ทำงาน ได้รับค่าจ้างไม่น้อยกว่าอัตราค่าจ้างขั้นต่ำวันละ 300 บาท ตามประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ ที่มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2556 ซึ่งการรับแรงงานไม่มีฝีมือเข้าทำงานจะพิจารณาคุณสมบัติทางร่างกายที่ความเหมาะสมในงานที่ทำและทัศนคติของผู้สมัคร ส่วนแรงงานฝีมือ คือ ผู้ทำงานที่มีความสามารถในการทำงานงานเฉพาะทาง ที่เกิดจากการเรียนรู้ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ หรือเกิดจากการสะสมความชำนาญ ลักษณะงานที่ทำต้องอาศัยฝีมือ มีการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานด้วยตนเองได้ สำหรับค่าจ้างของแรงงานฝีมือนั้น จะได้รับค่าจ้างไม่น้อยกว่า

อัตราตามประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือ (ฉบับที่ 3) ที่มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2555 ประกอบด้วย 22 สาขาอาชีพ โดยแรงงานฝีมือในสาขาที่กำหนด ต้องยื่นหนังสือรับรองการผ่านการทดสอบให้แก่นายจ้าง เพื่อรับค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ

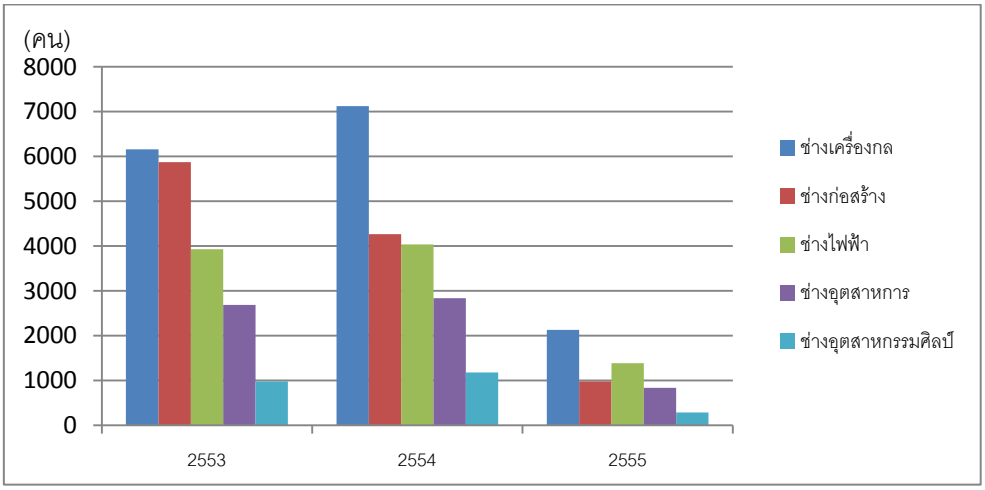
มาตรฐานฝีมือแรงงาน ได้แบ่งระดับฝีมือแรงงานของแต่ละสาขาอาชีพ ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ 1 , 2 และ 3 ตามความรู้ความสามารถ ระดับความยากของงาน ซึ่งจะได้รับค่าจ้างในอัตรา ที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานแต่ละระดับจะประกอบด้วยการทดสอบ 3 ด้าน คือ ด้านความรู้ (Knowledge) ด้านความสามารถ (Skill) และด้านทัศนคติ (Attitude) ซึ่งด้านความรู้ เป็นการทดสอบความรู้ที่นำมาใช้ในการทำงานตามหลักวิชาการด้านความสามารถ เป็นการทดสอบ การปฏิบัติงานจากการที่สะสมประสบการณ์จนเกิดความชำนาญ มีความสามารถเพียงพอ ที่จะทำงานได้อย่างมีคุณภาพตามข้อกำหนด ถูกขั้นตอน และเสร็จตามเวลาที่กำหนดไว้ และด้านทัศนคติ ที่จะต้องมีจิตสำนึกในการทำงานด้วยจริยธรรม และจรรยาบรรณ (พระราชบัญญัติส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน, 2545) ซึ่งจากอัตราค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ค่าจ้างในสาขาอาชีพทางด้านอุตสาหกรรม 5 อันดับแรก พบว่าช่างเชื่อมทิกระดับ 3 จะได้รับค่าจ้างสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 1.1



ข้อมูลจากกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน

รูปที่ 1.1 อัตราค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ภาคอุตสาหกรรม 5 อันดับแรก

จำนวนผู้ผ่านการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานในปี 2553 – 2555 ในกลุ่มสาขาอาชีพภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ในแต่ละปี มีจำนวนไม่ถึง 20,000 คน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแรงงานในภาคอุตสาหกรรมด้านการผลิตของประเทศทั้งหมด พบว่า มีแรงงานฝีมือที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงาน เป็นสัดส่วนที่น้อยมาก โดยเฉพาะ สาขาอาชีพเชื่อมทิกและสาขาช่างเชื่อมแม็ก ที่มีอัตราค่าจ้างอยู่ใน 5 อันดับแรก ซึ่งเป็นกลุ่มช่างอุตสาหการที่มีผู้ผ่านการทดสอบฝีมือแรงงานปีละไม่ถึง 3,000 คน แสดงให้เห็นว่า ทั้งที่งานประเภทงานเชื่อมมีการจ่ายค่าตอบแทนสูงกว่าสาขาอาชีพอื่นในปัจจุบัน แต่ยังมีผู้ผ่านการทดสอบจำนวนไม่มาก



ข้อมูลจากกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน

รูปที่ 1.2 จำนวนผู้ผ่านการทดสอบ มาตรฐานฝีมือแรงงาน ปี 2553 - 2555

จากข้อมูลด้านค่าจ้างและจำนวนแรงงานฝีมือ ทำให้เกิดกรณีที่ แรงงานฝีมือ ที่ไม่มีหนังสือรับรองผ่านการทดสอบฝีมือแรงงานแห่งชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ที่เป็นประเภทงานเชื่อมที่เป็นที่แพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน แต่ไม่ได้ถูกกำหนดอยู่ใน 22 สาขาอาชีพงานฝีมือ จะมีเกณฑ์การจ่ายค่าจ้างอย่างไร เช่น กรณีการประเมินขึ้นเงินค่าจ้างในแต่ละปีจะใช้เกณฑ์อะไรในการพิจารณา กรณีการจ้างช่างเชื่อมที่จบใหม่จากสาขาวิชาช่างเชื่อม จะจ่ายค่าจ้างที่มากกว่าหรือเท่ากันกับผู้จบใหม่ในสาขาอื่นที่ไม่ใช่ฝีมือแรงงาน กรณีจะจ่ายค่าจ้างเท่าไรสำหรับช่างเชื่อมที่มีประสบการณ์ แต่ไม่ได้จบมาสาขาช่างเชื่อมโดยตรง

กรณีการรับเข้ามาทำงานของช่างเชื่อมที่มีประสบการณ์จากการทำงานที่อื่นก่อนหน้า จะจ่ายค่าจ้างเท่าไรเมื่อเปรียบเทียบกับช่างเชื่อมที่มีอยู่ กรณีเส้นทางการเติบโตในอาชีพของแรงงานฝีมือ ซึ่งเมื่ออายุมากขึ้นและได้รับค่าจ้างที่สูง แต่ความสามารถด้านการทำงานลดลง โดยเฉพาะงานเชื่อมที่ต้องทำงานกับความร้อน แสงที่เกิดจากประกายเชื่อมส่งผลกระทบต่อสายตา ความล้าของกล้ามเนื้อ หากนายจ้างเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการมอบหมายตำแหน่งที่ไม่ต้องใช้แรงงาน ก็จะทำให้แรงงานคนนั้นสามารถมีงานทำอยู่ได้ แต่หากนายจ้างไม่มีตำแหน่งให้ก็จะทำให้แรงงานฝีมือนั้นอาจจะต้องออกจากงาน หรือแม้กระทั่งกรณีที่แรงงานฝีมือที่ได้รับหนังสือรับรองผ่านการทดสอบฝีมือแรงงานมาแล้วในระดับหนึ่ง แต่ระหว่างการทำงานอย่างต่อเนื่อง ยังไม่ได้การรับหนังสือรับรองฝีมือแรงงานในระดับที่สูงกว่าจะ มีเกณฑ์ในการปรับค่าจ้างอย่างไร สิ่งเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดอัตราการเข้า – ออกของแรงงานฝีมือสูง เนื่องจากการต้องการค่าแรงที่สูงกว่า การขาดแคลนแรงงานฝีมือ เนื่องจากค่าจ้างที่ได้รับไม่เพียงพอกับอนาคตที่ประสิทธิภาพของร่างกายลดลง ทำให้เยาวชนมุ่งความสนใจจากการศึกษาจากสายอาชีพ ไปสู่สายสามัญมากกว่า

จากปัญหา ค่าจ้างที่ไม่เพียงพอ และ เกณฑ์การประเมินค่าจ้างที่ไม่ชัดเจน จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางในการพัฒนา เนื่องจากการทำงานประเภทนี้ เป็นงานที่ใช้ทักษะความสามารถทางด้านการเคลื่อนไหวของร่างกาย ในการทำงานที่มีความหลากหลาย มีความระดับความยากของงาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่มีคุณภาพและภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งแรงงานฝีมือจะทำงานประเภทนี้ได้ดีเมื่ออยู่ในช่วงเวลาที่ร่างกายแข็งแรง

Index of difficulty คือ ตัวชี้วัดความยากของงาน ทำหน้าที่ในการแบ่งระดับความยากของงาน เพื่อนำมาใช้ในการวัดความสามารถในการทำงานที่แสดงผลออกมาในรูปแบบของสมรรถนะ (Performance) ให้เห็นถึงความสามารถทางกายภาพในการทำงานของมนุษย์ ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจ่ายค่าแรงได้ สำหรับงานที่เป็นลักษณะมีระดับความยาก ซึ่งสอดคล้องกับงานประเภทแรงงานฝีมือ

การนำรูปแบบการหาสมรรถนะของ Fitts' law มาประยุกต์ใช้ในการหาสมรรถนะของงานประเภทแรงงานฝีมือ จึงเป็นการสร้างรูปแบบการวัดความสามารถทางด้านกายภาพ ที่จะแสดงให้เห็นถึงระดับฝีมือ ซึ่ง สมรรถนะ ที่หาได้นั้นจะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระดับความสามารถของแรงงานแต่ละคนว่า ใครมีฝีมือดีกว่ากัน ซึ่งจะใช้เป็นเกณฑ์การจ่ายค่าแรงให้กับแรงงานฝีมือ

ทั้งการรับเข้างานใหม่ การประเมินขึ้นค่าจ้างประจำปี ซึ่งนอกจากนั้น ยังสามารถนำสมรรถนะที่ได้นำไปใช้ในการจัดงานให้เข้ากับคน โดยมอบหมายงานที่มีความยากให้กับผู้ที่สมรรถนะสูง ซึ่งจะทำให้งานที่ทำเกิดประสิทธิภาพทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สร้างการวัดสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษางานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้มที่ใช้ในงานเชื่อมประกอบตัวถังรถบรรทุกสิบล้อ
2. คุณภาพของงานเชื่อมเป็นคุณภาพสำหรับงานเชื่อมตัวถังรถบรรทุกสิบล้อ
3. จำลองสถานีงาน โดยมีผู้เข้าร่วมทดสอบและมีสภาพแวดล้อม ของสถานประกอบการที่เข้าร่วมวิจัยจริง
4. เป็นการวิจัยด้านการแลกเปลี่ยนระหว่างความเร็วกับความแม่นยำ ที่ไม่ได้นำการประเมินทางด้านประสิทธิภาพ (Efficiency) มาใช้ในการวิเคราะห์

1.3 ประโยชน์ที่ได้คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์ในการจ่ายค่าแรงสำหรับช่างเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม
2. เป็นข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการในการจัดงานให้เข้ากับคน
3. เป็นแนวทางในการหาสมรรถนะของงานที่สามารถไปประยุกต์กับงานฝีมือประเภทอื่น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

	2556							
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวกับสมรรถนะและงานเชื่อม								
2.ออกแบบและทดลองเบื้องต้น								
3.ดำเนินการทดลองงานเชื่อมเพื่อหา ID								
4.สร้างดัชนีความยากของงาน								
5.หาสมรรถนะของช่างเชื่อมแต่ละคน								
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย								
7.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์								
8.เผยแพร่ผลงานวิจัย								

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Speed-Accuracy Trade off Theory เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงความสามารถในการทำงานของมนุษย์ภายใต้ระบบการทำงานหนึ่งๆ ซึ่งระบบการทำงานนี้จะประกอบไปด้วย มนุษย์ อุปกรณ์หรือเครื่องจักร และการทำงานหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนกับเครื่องจักร โดยอธิบายไว้ว่า การทำงานของมนุษย์นั้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เช่น งานที่ต้องใช้ความเร็วก็จะสูญเสียความแม่นยำ หรืองานที่ต้องการความแม่นยำก็จะสูญเสียความเร็ว ซึ่งอธิบายได้ทั้งงานที่อาศัยการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Physical workload) และงานที่อาศัยความคิดของมนุษย์ (Cognitive workload)

2.1 การประเมินสมรรถนะโดยอาศัยกฎของฟิตส์

ฟิตส์ได้ศึกษาความสามารถทางกายภาพของมนุษย์ที่พัฒนาจากทฤษฎีข่าวสารของแชนนอน (Shannon's Theorems 17, communication model) โดยกฎของฟิตส์ (Fitts' law) ใช้ในการประเมินการเคลื่อนที่ของร่างกายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งโดยคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลายสาขา ทั้งด้านการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Kinematic) ปัจจัยเกี่ยวกับมนุษย์ (Human Factor) และการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interface : HCI) ซึ่ง Fitts' law เป็นงายวิจัยที่สามารถหาดัชนีวัดสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance : IP) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันได้ โดยฟิตส์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเคลื่อนที่กับระยะทางและขนาดของเป้าหมาย ด้วยทดลองหาความสัมพันธ์ดังกล่าวจาก การกำหนดงานอย่างง่ายให้ผู้ถูกทดสอบจรดปากกาภายในพื้นที่เป้าหมายที่กำหนด โดยมีการกำหนดความกว้างของเป้าหมายเป็นตัวแปรต้น และยกปากกาเคลื่อนที่ไป-กลับระหว่าง 2 เป้าหมาย ดังรูปที่ 2.1 โดยระยะระหว่างเป้าหมายก็เป็นตัวแปรต้นเช่นกัน เคลื่อนที่ไป-กลับซ้ำกันไปมาหลายๆ ครั้ง ระหว่างนั้นได้จับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไว้ด้วยซึ่งเป็นตัวแปรตาม ระยะทางการ

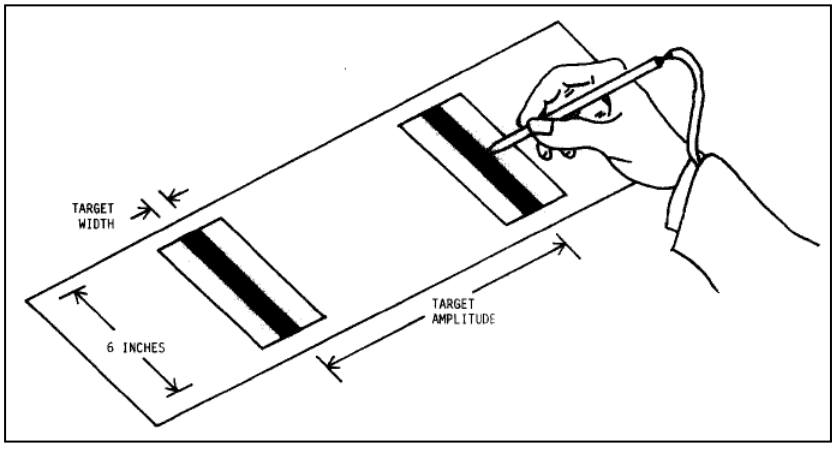
เคลื่อนที่และความกว้างของเป้าหมายคือ ข้อจำกัดของงาน และได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการทำงานนี้กับผู้ถูกทดสอบไว้ว่าให้เคลื่อนที่ให้เร็วที่สุด โดยยังคงจรดปากกาภายใต้ความกว้างของเป้าหมายที่กำหนดไว้ ในที่นี้ความกว้างของเป้าหมายก็คือข้อกำหนดความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งสรุปได้ว่า ระยะทางมากขึ้นในขณะเดียวกันที่เป้าหมายมีขนาดเล็กลง เวลาที่ใช้ในการทำงานก็จะเพิ่มขึ้น แสดงให้เป็นว่าอัตราประสิทธิภาพการทำงานของผู้เข้าร่วมทำการทดลองจะปรับไปตามลักษณะที่แตกต่างกัน จึงนำไปสู่สมการการประเมินการเคลื่อนที่ส่วนของร่างกายโดยเรียกว่ากฎของฟิตส์ (Fitts' law) ดังสมการที่ 1

$$IP = \frac{ID}{MT} \qquad (1)$$

IP = ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of performance)

ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)

MT = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จนงานสำเร็จ (Moment Time)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของ Fitts' Law (Mackenzie, 1954)

ซึ่งดัชนีความยากของงานมีมาจาก 2 ตัวแปร คือ ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดศูนย์กลางเป้าหมาย (Amplitude) และขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (Width) ดังสมการที่ 2

$$ID = \log_2 \frac{2A}{W} \qquad (2)$$

โดยที่ A คือ ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมาย (Amplitude)

W คือ ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (Width)

นอกจากดัชนีสมรรถนะสามารถหาได้จากสมการที่ 1 แล้ว ยังสามารถหาได้จากการหาถดถอยของ MT เทียบ ID ซึ่งจะได้เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นดังสมการที่ 3

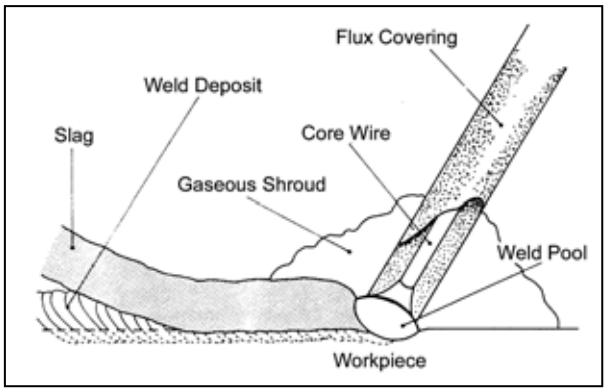
$$\text{Movement Time} = a + b^* ID \qquad (3)$$

โดยที่ a เป็นจุดตัดแกน y

b เป็นความชัน ที่เป็นส่วนกลับของ IP ในสมการที่ 1

2.2 งานเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

การเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม (Shielded Metal Arc Welding: SMAW) เป็นการเชื่อมโดยเกิดการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนจนชิ้นงานบริเวณ ที่เชื่อมและลวดเชื่อมหลอมละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อโลหะจากลวดเชื่อมที่หลอมละลายจะเติมลงไปบนแนวเชื่อม สารพอกหุ้มจะหลอมละลายกลายเป็นก๊าซปกคลุมแนวเชื่อม ป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับรอยเชื่อม สารพอกหุ้มที่ละลายและเกาะติดปกปิดรอยเชื่อมอยู่เรียกว่า แสลก (Slag) เมื่อรอยเชื่อมเย็นตัวลงจะต้องเคาะแสลกออก ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสภาวะของการเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม (ณรงค์, 2552)

2.3 มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ

มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ได้กำหนดให้สาขาอาชีพช่างเชื่อมแม็ก และช่างเชื่อมทิก เป็นมาตรฐานฝีมือแรงงาน ที่มีการแบ่งระดับ เป็น 3 ระดับ โดยมีการจ่ายค่าจ้างตามระดับฝีมือ ซึ่งการทดสอบเพื่อได้การรับรองแต่ละระดับ มีการทดสอบในภาคความรู้ ภาคความสามารถ โดยที่การทดสอบภาคความรู้จะเป็นการทำแบบทดสอบความเข้าในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานเชื่อม ส่วนภาคความสามารถเป็นการทดสอบเชื่อมชิ้นงานตามที่กำหนด

สาขาอาชีพช่างเชื่อมแม็ก คือ ผู้ที่ทำการเชื่อมด้วยมือหรือกึ่งอัตโนมัติด้วยกระบวนการเชื่อมแบบอาร์ก โดยใช้ลวดเชื่อมต่อเนื่องและแก๊สแอคทีฟปกป้อง แก๊สแอคทีฟที่ใช้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์-อาร์กอน หรือแก๊สผสมอื่นๆ โดยแบ่งตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งการทดสอบแต่ละระดับประกอบด้วยการทดสอบภาคความรู้ 50 คะแนน และการทดสอบภาคความสามารถ 100 คะแนน ที่จะต้องเชื่อมในตำแหน่งท่าเชื่อมต่างๆ ได้ทุกตำแหน่ง ตามมาตรฐาน ISO 9606-1 มีคุณภาพรอยเชื่อมระดับ B Class ตามมาตรฐาน ISO 5817 คะแนนเต็ม 100 คะแนน โดยความแตกต่างของแต่ละระดับคือ ระดับ 1 เป็นการเชื่อมเหล็กแผ่นกับเหล็กแผ่น และเหล็กแผ่นกับท่อ รูปแบบแนวเชื่อมฟิลเล็ท (Fillet Weld) ระดับ 2 เป็นการเชื่อมเหล็กแผ่นกับเหล็กแผ่น รูปแบบแนวเชื่อมต่อ (Butt Weld) และระดับ 3 เป็นการเชื่อมท่อ รูปแบบแนวเชื่อมต่อชน (Butt Weld) ซึ่งผู้ผ่านการทดสอบในแต่ละระดับจะต้องได้คะแนนรวมไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ของคะแนนทั้งหมด

สาขาอาชีพช่างเชื่อมทิก คือ ผู้ที่ทำการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าสแตนเลสด้วยมือ หรือกึ่งอัตโนมัติ โดยกระบวนการเชื่อมอาร์คซึ่งใช้แท่งทังสเตนเป็นอิเล็กโทรด และใช้แก๊สเฉื่อยเป็นแก๊สปกป้อง โดยแบ่งตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งมีการทดสอบความรู้ 50 คะแนน ส่วนการสอบภาคความสามารถ 100 คะแนน ที่จะต้องเชื่อมในท่าเชื่อมตำแหน่งต่างๆ ได้ทุกตำแหน่งตามมาตรฐาน ISO 9606-1 มีคุณภาพรอยเชื่อมระดับ B Class ตามมาตรฐาน ISO 5817 แต่ละระดับมีความแตกต่างกัน คือ ระดับ 1 เป็นการเชื่อมเหล็กแผ่นกับเหล็กแผ่น และเหล็กแผ่นกับท่อ ที่เป็นแนวเชื่อมฟิลเล็ท (Fillet Weld) ระดับ 2 เป็นการเชื่อมเหล็กแผ่นกับเหล็กแผ่น ที่เป็นแนวเชื่อมต่อชน (Butt Weld) และระดับ 3 เป็นการเชื่อมท่อที่เป็นแนวเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld)

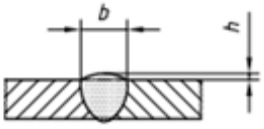
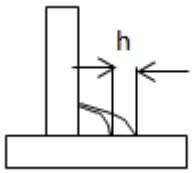
2.4 **การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยสายตา** (Visual Inspection)

การตรวจสอบด้วยสายตา เป็นกรรมวิธีตรวจสอบพื้นฐาน ประเมินผลการตรวจสอบในระดับการยอมรับ (Acceptance) หรือไม่ยอมรับ (Rejection) ซึ่งการตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมในงานวิจัยนี้ อ้างอิงจากงานเชื่อมตัวถังรถบรรทุก และ วิธีการตรวจสอบด้วยสายตา ตามมาตรฐาน ISO 5817 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การวัดคุณภาพชิ้นงาน (ณรงค์, 2552)

รายการตรวจสอบ	**ยอมรับ**	**ไม่ยอมรับ**
บริเวณเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของแนวเชื่อมสมบูรณ์หรือไม่	ไม่มีจุดบกพร่อง	กองนูนผิดปกติ มีรูพรุนมีรอยแตกปลาย มีรอยเว้าผิดปกติ
ความยาวแนวเชื่อม	ความยาวแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด	ความยาวแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ตามที่กำหนด
เกล็ดแนวเชื่อมสม่ำเสมอ	เกล็ดแนวเชื่อมสม่ำเสมอตลอดแนว	มีระยะห่างเกล็ด เกิน 3 มม.

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การวัดคุณภาพชิ้นงาน (ต่อ)

รายการตรวจสอบ	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
ความกว้างของแนวเชื่อมสม่ำเสมอ (แบบต่อชน)	ต่างกันไม่เกิน 3 มม.	ต่างกันเกิน 3 มม.
ความสูงแนวเชื่อมด้านหน้า (แบบต่อชน) 	$h \leq$ 1 มม. + 0.25b โดยที่ h ; ความสูงแนวเชื่อม b ; ความกว้างแนวเชื่อม	h > 1 มม. + 0.25b
ระยะขาของแนวเชื่อมสม่ำเสมอ (แบบฟิลเล็ท) 	$h \leq$ 3 มม. โดยที่ h ; ระยะของขาแนวเชื่อม	h > 3 มม.

2.5 ปัจจัยที่กระทบต่อคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม

กระแสไฟฟ้าเชื่อม การปรับกระแสไฟฟ้าเชื่อมขึ้นอยู่กับ ความหนาชิ้นงาน ลักษณะงาน และชนิดของลวดเชื่อม ซึ่งกระแสเชื่อมมีผลต่อคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน กระแสเชื่อมที่ต่ำเกินไป จะทำให้ชิ้นงานมีแนวเชื่อมที่นูนเกินไป โลหะลวดเชื่อมไม่หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับโลหะ มีความกว้างแนวเชื่อมที่แคบกว่าปกติ เกิดรอยเกยซึมลึกไม่ดี ส่วนกระแสเชื่อมที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดสะเก็ดเชื่อมกระเด็นมาก บ่อหลอมละลายกว้างไม่สม่ำเสมอ ควบคุมแนวเชื่อมยาก เกิดรอยกัดขอบตลอดแนวเชื่อม มีความกว้างของแนวเชื่อมมากกว่าปกติ

ระยะอาร์คที่มากเกินไป จะทำให้แนวเชื่อมกว้าง เกิดสะเก็ดเชื่อมกระเด็นมาก การซึมลึกของโลหะจากลวดเชื่อมน้อย ส่วนระยะอาร์คที่น้อยเกินไป จะทำให้แนวเชื่อมแคบและนูน แนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอ ปลายลวดเชื่อมติดชิ้นงานง่าย ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม การเดินลวดเชื่อมเร็วเกินไปจะทำให้ได้แนวเชื่อมที่เล็กเกินไป การซึมลึกน้อย ส่วนการเดินลวดเชื่อมที่ช้าเกินไปจะทำให้แนวเชื่อมที่ใหญ่เกินไป

ผลงานการเชื่อมชิ้นงานภายใต้ปัจจัยต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.3

A คือ ชิ้นงานเชื่อมที่ใช้กระแสเชื่อมต่ำเกินไป ทำให้แนวเชื่อมแคบเกินไป

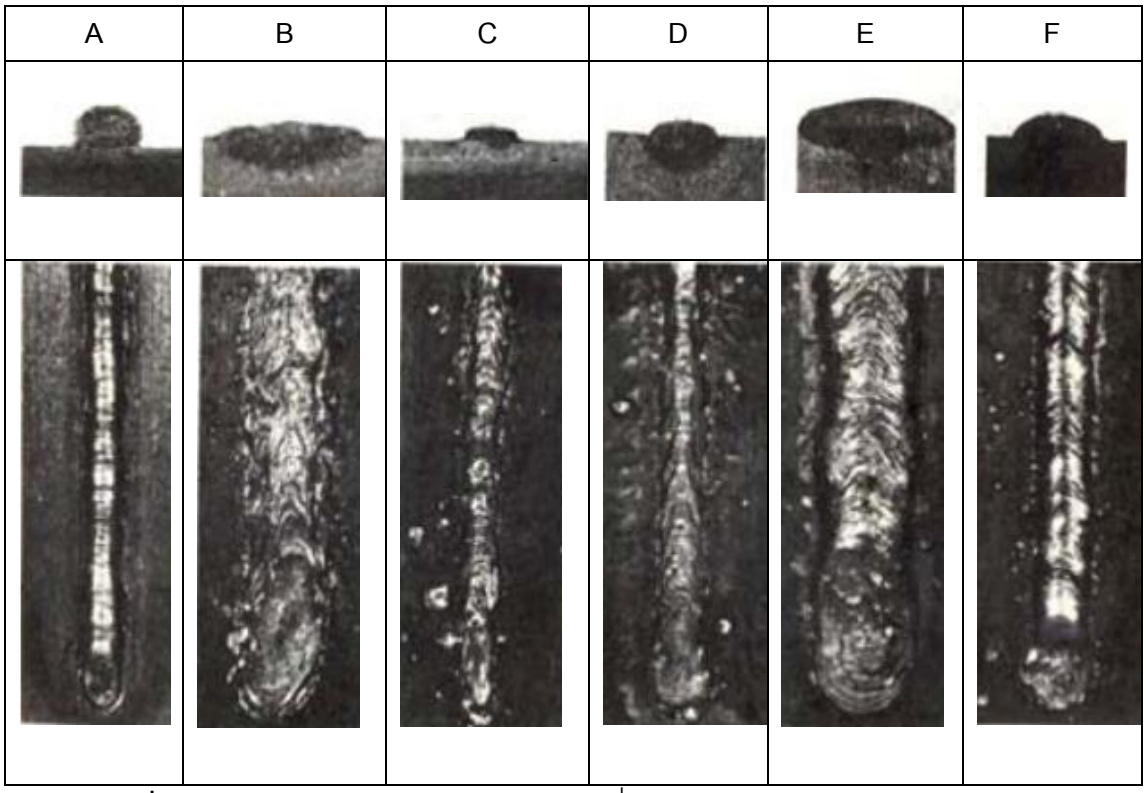
B คือ ชิ้นงานเชื่อมที่ใช้กระแสเชื่อมสูงเกินไป ทำแนวเชื่อมมีความกว้างมากเกินไป

C คือ ชิ้นงานที่มีระยะอาร์คสูงเกินไป แนวเชื่อมมีความกว้างไม่สม่ำเสมอ

D คือ ชิ้นงานที่เดินลวดเชื่อมเร็วเกินไป ทำให้แนวเชื่อมแคบกว่าปกติ

E คือ ชิ้นงานที่เดินลวดเชื่อมช้าเกินไป ทำให้แนวเชื่อมกว้างกว่าปกติ

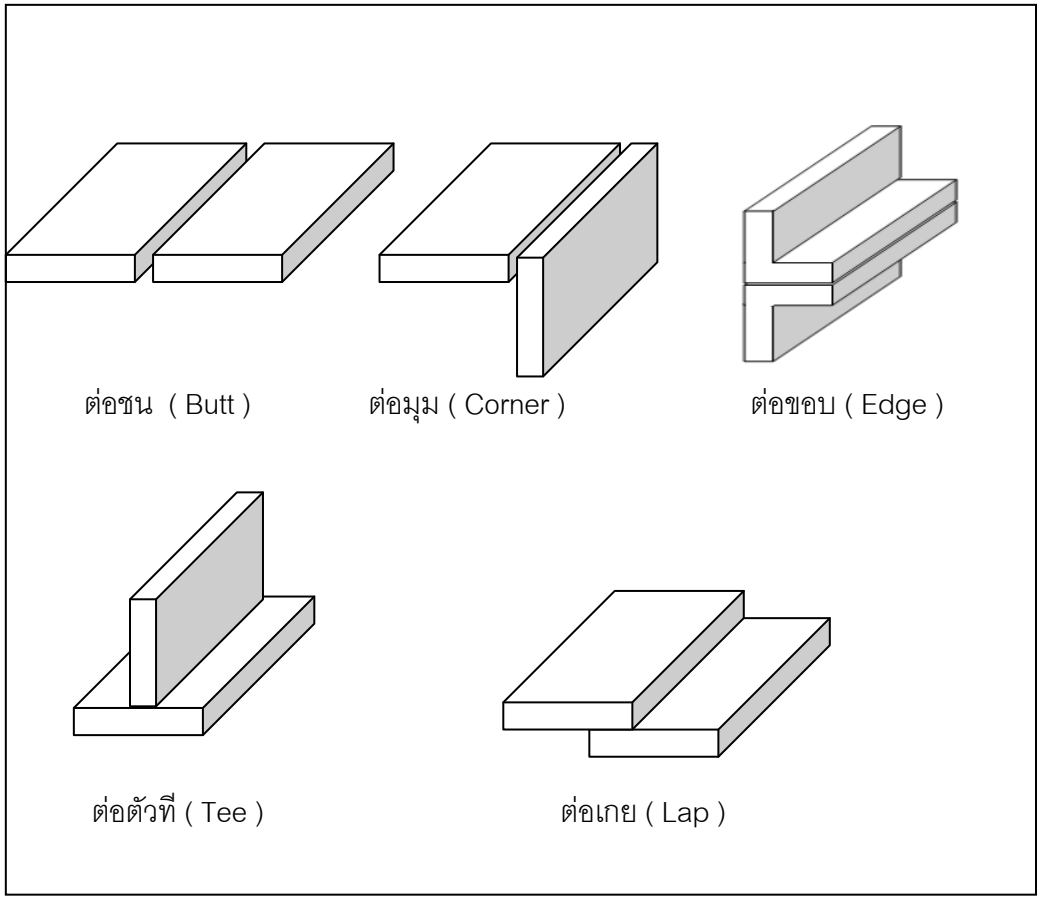
F คือ ชิ้นงานที่มีการปรับกระแสไฟฟ้า ระยะอาร์ค และความเร็วในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสมทำให้แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.3 รูปหน้าตัดและรูปแนวราบของงานเชื่อมภายใต้ปัจจัยต่างๆ (ณรงค์, 2552)

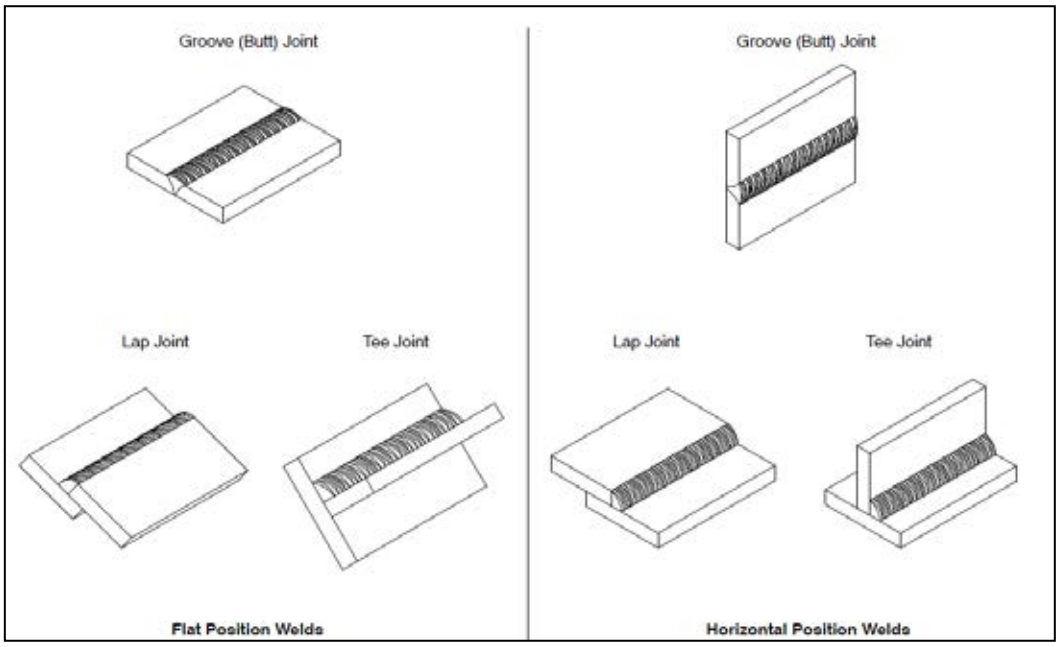
2.6 ชนิดของรอยต่อ (Type of Joints) **และ ตำแหน่งท่าเชื่อม** (Welding position)

รอยต่องานเชื่อมมีทั้งหมด 5 ชนิด ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งรอยต่อแต่ละแบบมีผลต่อการเชื่อม จึงกล่าวได้ว่า รอยต่อมีระดับความยาก ทำให้ช่างเชื่อมต้องใช้ทักษะในการเชื่อมสำหรับรอยต่อแต่ละแบบที่แตกต่างกัน

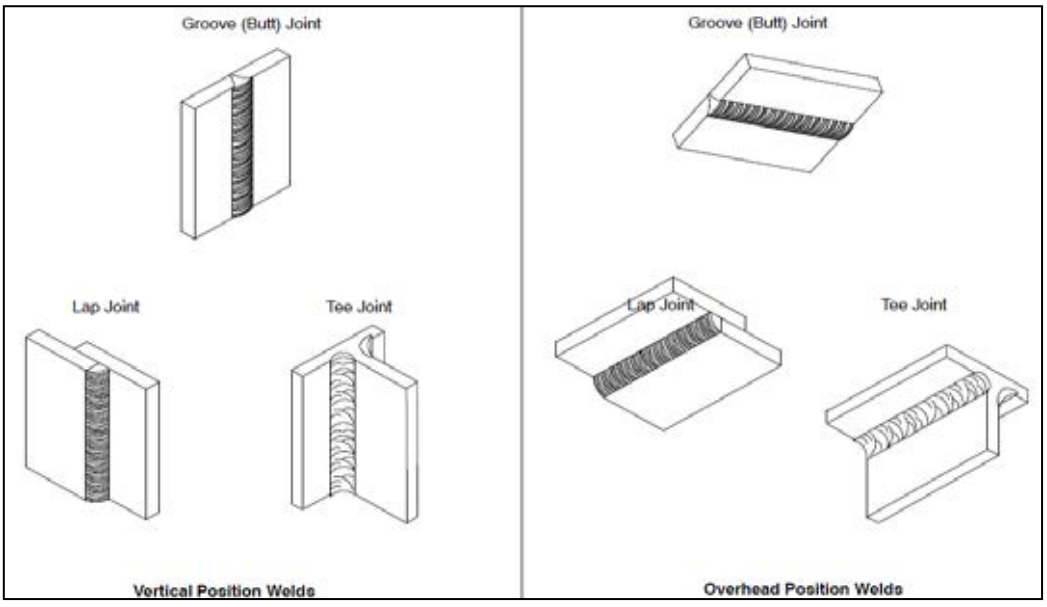


รูปที่ 2.4 ชนิดของรอยต่อแนวเชื่อม (ณรงค์, 2552)

สำหรับตำแหน่งท่าเชื่อม (Welding position) ประกอบด้วย 4 ท่า คือ ท่าราบ (Flat) ท่านอน (Horizontal) ท่าตั้ง (Vertical) และท่าเหนือศีรษะ (Overhead) ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าราบ (Flat) และท่าระดับ (Horizontal) (ณรงค์, 2552)

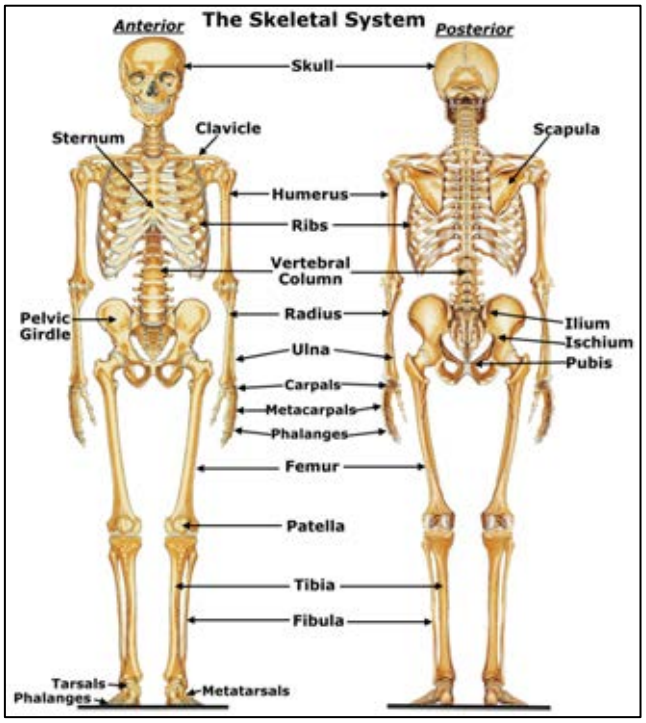


รูปที่ 2.6 ตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าตั้ง (Vertical) และท่าเหนือศีรษะ (Overhead) (ณรงค์, 2552)

2.7 ลักษณะโครงสร้างและการเคลื่อนไหวร่างกาย

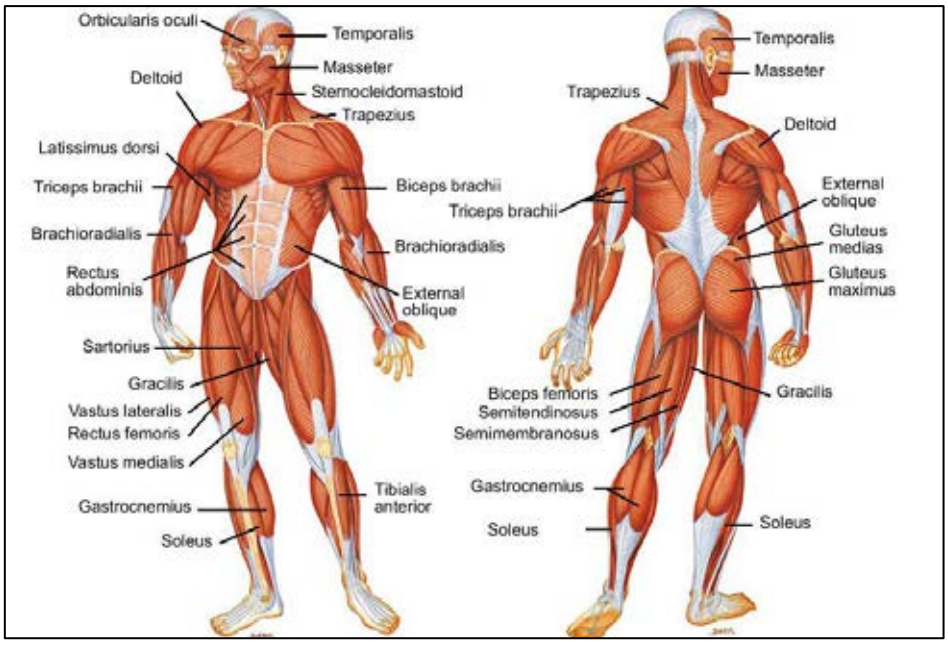
โครงสร้างร่างกายที่ใช้ในการเคลื่อนไหวประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนของกระดูก (Bones) และกล้ามเนื้อ (muscle)

2.7.1 **กระดูก** เป็นโครงสร้างหลักที่เชื่อมโยงชิ้นส่วนต่างๆ เป็นส่วนที่กล้ามเนื้อและเอ็นยึดติดอยู่ ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อทำกิจกรรมต่างๆ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างกระดูก (บุญเทียม, 2539)

2.7.2 **กล้ามเนื้อ** เป็นเนื้อเยื่อที่พบในอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนไหวของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อ คือ การหดตัว (Contraction) ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย และการทำงานร่วมกับกระดูก ทำให้ส่วนของร่างกายทรงตัวอยู่ได้ในท่าทางต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างกล้ามเนื้อ (บุญเทียม, 2539)

2.7.3 **การเคลื่อนไหวร่างกาย** ทำหน้าที่กระดูก ที่ติดกันด้วยข้อต่อ เคลื่อนที่ด้วยมุมและทิศทางที่ต้องการ โดยที่กระดูกประกอบด้วยข้อต่อชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

1. Hinge Joint (1) และ (2) ทำมุมการเคลื่อนไหวได้ทิศทางเดียวเหมือนบานพับประตู เคลื่อนไหวในลักษณะการงอและการเหยียด (Flexion and Extension) ที่เป็นข้อต่อบริเวณข้อศอก (Elbow Joint) และข้อเข่า (Knee Joint)

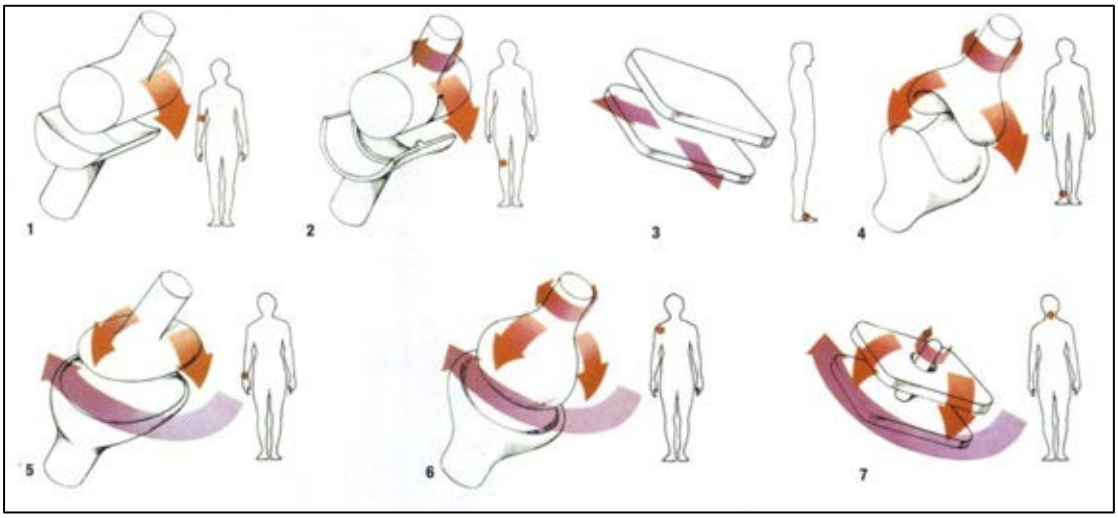
2. Plane Joint (3) เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกที่มีหน้าตัดเรียบ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะถูกันไปมา ที่เป็นข้อต่อที่กระดูกข้อมือและกระดูกข้อเท้า

3. Saddle Joint (4) คล้ายกับข้อต่อแบบบานพับ ทำมุมได้ 2 ทิศทาง โดยเคลื่อนที่ในแนวหน้าหลังและหมุนไปด้านข้าง เคลื่อนไหวในลักษณะการงอและการเหยียด (Flexion and Extension) และการหมุน (Circumduction) ที่เป็นข้อต่อบริเวณโคนนิ้วหัวแม่มือและข้อเท้า

4. Ellipsoidal (5) เป็นข้อต่อที่เคลื่อนไหว ในลักษณะกางและหุบ (Abduction and Adduction) และการหมุนไปทางนิ้วหัวแม่มือและนิ้วก้อย ที่เป็นข้อต่อบริเวณข้อมือ

5. Ball and socket Joint (6) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกด้านหนึ่งมีลักษณะโค้งกลม และปลายกระดูกที่ติดกันเป็นเบ้าเพื่อรองรับกัน เคลื่อนไหวในลักษณะกางและหุบ (Abduction and Adduction) และการหมุนควง (Circumduction) ที่เป็นข้อต่อบริเวณหัวไหล่ และข้อสะโพก

6. Pivot Joint (7) เป็นข้อต่อที่มีเดือย เคลื่อนไหวในลักษณะหมุนรอบ (Circumduction) ที่เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังส่วนคอชิ้นที่ 1 (Atlas) กับกระดูกสันหลังส่วนคอชิ้นที่ 2 (Axis)



รูปที่ 2.9 ชนิดและตำแหน่งข้อต่อในร่างกาย (บุญเทียม, 2539)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fitts' Law เป็นกฎที่ได้รับการยอมรับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานประเภท Human-computer interaction ซึ่งรูปแบบการศึกษาทั้งหมดจะเป็นการพิสูจน์ การหาสมรรถนะตามแนวคิดของ Fitts เป็นการทดลอง "การทำงานกับเวลา" นอกจากนั้นเป็นการความผิดพลาดและข้อมูลอื่นๆ ด้วย แต่จะใช้ในการวิเคราะห์แยกออกจากกัน ซึ่งหลักการสำคัญคือการทำงานซ้ำๆ กับงานที่มีระดับความยากและความแตกต่างของอุปกรณ์

Drury, 1975 ทำการศึกษาการประเมินสมรรถนะตามแนวคิดของ Fitts เพื่อศึกษาการออกแบบคันเหยียบสำหรับเท้า การทดลองใช้เท้าข้างที่ถนัดแตะที่คันเหยียบสลับกันระหว่างคันเหยียบด้านหน้าและด้านหลังจำนวน 30 ครั้ง (15 รอบ) ด้วยระยะห่างของคันเหยียบ (150, 225, 300, 375, 525, และ 675 มิลลิเมตร) ขนาดความกว้างของคันเหยียบ 2 ขนาด (25 และ 50 มิลลิเมตร) ขนาดของรองเท้าผู้ทดสอบมีขนาดความกว้างเฉลี่ยอยู่ที่ 108.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาด

ที่แตะได้ครอบคลุมขนาดของคันเหยียบที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่ 50 มิลลิเมตร ผลการทดลองนั้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนไหวกับดัชนีความยากสูงถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01

Card et al., 1978 ทำการศึกษาถึงความสามารถในการใช้งานของอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง 4 ชนิด ได้แก่ mouse, joystick, step keys และ text keys กำหนดงานที่จะต้องทดสอบคือเคลื่อนที่จุดชี้ตำแหน่งจากจุดเริ่มต้นไปยังข้อความเป้าหมายด้วยอุปกรณ์ทั้ง 4 ชนิด โดยกำหนดระดับความยากด้วย ระยะห่างของเป้าหมาย 5 ระดับ (1, 2, 4, 8 และ 16 เซนติเมตร) และขนาดของข้อความเป้าหมาย (1, 2, 4, 10 ตัวอักษร) ที่มีขนาดความกว้างตัวอักษรตัวละ 0.246 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า mouse เป็นอุปกรณ์ที่ดีที่สุดในการใช้งาน เนื่องจาก มีเวลาในการเคลื่อนที่เร็ว ความผิดพลาดน้อย และเป็นอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างการมองและการเคลื่อนไหวดีที่สุด

Epps, 1986 ทำการทดลองเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายด้วยอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง 6 ชนิด คือ Trackball, relative กับ displacement touchpad, displacement กับ force joystick และ mouse ทดสอบโดยเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่มีระยะห่าง 4 ระดับ (2, 4, 8 และ 16 เซนติเมตร) ขนาดเป้าหมาย 5 ระดับ (0.13, 0.27, 0.54, 1.07, และ 2.14 เซนติเมตร) โดยผลการทดลองได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง MT กับ ID ที่มีความหลากหลายดังนี้ ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.70 (relative touchpad) ถึง 0.93 (Trackball), จุดตัดแกน y อยู่ระหว่าง -587 ms (force joystick) ถึง 282 (trackball), ค่าสมรรถนะการทำงาน (IP) อยู่ระหว่าง 1.1 bits/s (displacement joystick) ถึง 2.9 bits/s (trackball)

Thomas et al., 1996 ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับมุมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเมาส์จากตำแหน่งหนึ่งบนหน้าจอไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่ต้องการ โดยไอคอนจะมีขนาดและระยะห่างต่างๆ กัน พิจารณาตามหลักของ Fitts' Law ถึงความเร็วและความแม่นยำที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมนุษย์ พบว่าเวลาในการเคลื่อนที่มากขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างไอคอนมากขึ้นและเวลาลดลงเมื่อไอคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น จากการทดลองพบว่าขนาดของไอคอน 0.5 – 1.5 ตารางเซนติเมตร ระยะทางอย่างน้อย 4 เซนติเมตร และมุมที่ 0 180 หรือ 270 มีผลต่อการเคลื่อนที่ของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งควรได้รับการปรับปรุง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ

Kantowitz and Elvers, 1988 ทำการประเมินสมรรถนะระหว่าง Joystick 2 รูปแบบที่เป็นแบบควบคุมตำแหน่ง กับแบบควบคุมความเร็ว ทดสอบโดยการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่อยู่ภายในช่องสี่เหลี่ยมตรงกลางจอรับภาพ ไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยมีระยะห่างถึงเป้าหมาย 3 ระดับ

(170, 226, และ 339 pixels) ขนาดของเป้าหมาย(20 และ 30 pixels) ซึ่งผลการทดลองพบว่า แบบควบคุมความเร็วมีเส้นตรงของสมการถดถอยที่มีความชันมากกว่า ซึ่งทำให้มีสมรรถนะต่ำกว่า แบบควบคุมตำแหน่ง และความสัมพันธ์ระหว่าง MT กับ ID มีค่าที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งอยู่ที่ 0.62 – 0.85 และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 25 เปอร์เซ็นต์

Mackenzie et al., 1993 ได้ทำการศึกษาถึงความเร็วในการตอบสนองระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งาน โดยจากการทดสอบงานที่ใช้ความเร็วมากที่สุด จะให้เวลาในการเคลื่อนที่และความผิดพลาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจาก Fitts' law สามารถสรุปได้ว่า ความยากของงาน (Index of difficulty) มีผลต่อการเคลื่อนที่ ทำให้ผู้ทดลองแต่ละคนใช้เวลาแตกต่างกัน เนื่องจากมีสมรรถนะไม่เท่ากัน

ภัทรพร, 2012 ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Fitts' law ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ปกติที่ใช้ในสำนักงานกับเมาส์การยศาสตร์ ใน 3 ลักษณะ คือ น้ำหนัก ขนาด และองศาการวางมือ โดยรูปแบบการทำงาน คือ การชี้ตำแหน่ง (Pointing task) ใน 2 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางตามแนวแกนนอน (Horizontal) และแกนตั้ง (Vertical) โดยแบ่งระดับความยากของงานเป็น 3 ระดับ และมีการกำหนดเป้าหมายของการทำงานคือ ทำงานให้เร็วที่สุดโดยไม่ให้เกิดความผิดพลาดและชี้ตำแหน่งให้อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การใช้เมาส์การยศาสตร์ มีสมรรถนะการทำงานเทียบเท่ากับการใช้งานเมาส์ทั่วไป

พงศ์ภัทร, 2012 ได้ทำการประเมินสมรรถนะตามแนวคิด Fitts' law เพื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้แป้นพิมพ์การยศาสตร์ 2 แบบ กับแป้นพิมพ์มาตรฐาน ด้วยการออกแบบรูปแบบการพิมพ์ที่มีระดับความยาก ที่มีผลของระยะเวลาในการทำความคุ้นเคยของแป้นพิมพ์การยศาสตร์เร็วกว่าแป้นพิมพ์มาตรฐาน และค่าสมรรถนะการใช้แป้นพิมพ์การยศาสตร์สูงกว่าแป้นพิมพ์มาตรฐาน

จึงเป็นการนำแนวคิดของ Fitts' law เพื่อสร้างการหาสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ซึ่งเป็นการทดลองในรูปแบบงานด้านอุตสาหกรรม โดยจัดทำการทดลองภายในสถานประกอบการ

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการนำรูปแบบการหาสมรรถนะของ Fitts' law มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาสมรรถนะของการทำงานจริงด้านงานฝีมือ คือ งานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ทำการวิจัยภายในสถานประกอบการที่มีสภาพแวดล้อมการออกแบบการทดลอง และเกณฑ์การตัดสินคุณภาพที่สอดคล้องกับลักษณะการทำงานจริงของแผนกเชื่อมและประกอบตัวถังรถบรรทุกสิบล้อที่เป็นชิ้นส่วนเหล็ก ที่มีการเชื่อมประกอบด้วยท่าเชื่อมและชนิดรอยต่อตามมาตรฐานงานเชื่อม

3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

ผู้เข้าร่วมทดสอบ คือ ช่างเชื่อม แผนกเชื่อมและประกอบตัวถังรถบรรทุกสิบล้อ สำหรับบรรทุกรถเกี่ยวข้าว ของ บริษัท บารมีเกษตรยนต์ จำกัด จำนวน 4 คน ที่มีประสบการณ์ในงานเชื่อมแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในระหว่างการเชื่อมต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในการทดลอง มีความเข้าใจในหลักเกณฑ์การตัดสินคุณภาพแนวเชื่อมของชิ้นงาน และงดสูบบุหรี่ระหว่างการทดสอบ

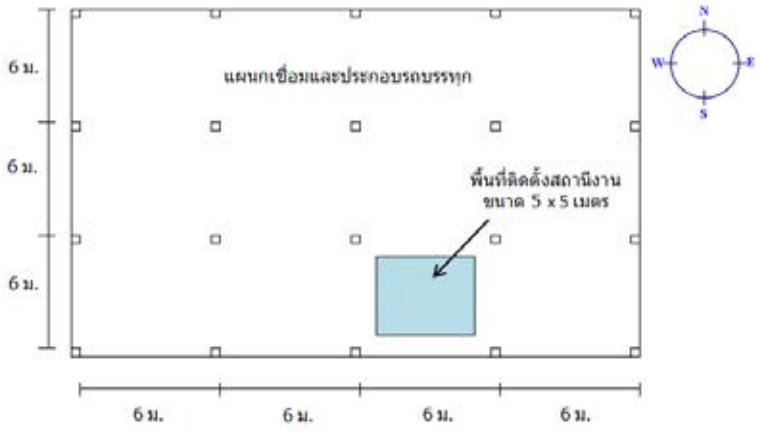
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลผู้เข้าร่วมทดสอบ

รายการข้อมูล	ผู้เข้าร่วมทดสอบ			
	A	B	C	D
อายุ (ปี)	42	25	36	25
ประสบการณ์ในงานเชื่อม (ปี)	20	1	3	6
ระดับการศึกษา	มัธยมศึกษา	ปวช.	มัธยมศึกษา	มัธยมศึกษา
การรับรองด้านงานเชื่อม	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
มือที่ใช้ในการจับหัวจับลวดเชื่อม	ขวา	ขวา	ขวา	ขวา
ความสูง (ซม.)	160	168	162	170
น้ำหนัก (กก.)	60	56	56	70
ดัชนีมวลกาย : BMI (กก./ม^2)	23.43	19.84	21.33	24.22

3.2 สถานที่ในการทดลอง

สถานที่ในการทดลอง คือ พื้นที่ปฏิบัติงาน แผนกเชื่อมและประกอบตัวถังรถบรรทุกสิบล้อ บริษัท บารมีเกษตรยนต์ จำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นอาคาร ขนาด 24 x 18 เมตร ทรงโปร่งแบบเปิดโล่ง 2 ด้าน ในทิศเหนือ และทิศตะวันออก ระดับความสูงจากพื้นถึงหลังคา 5 เมตร พื้นและเสาคอนกรีตหลังคาเมทัลชีท ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ติดตั้งสถานีงานอยู่ในบริเวณที่เป็นสภาพแวดล้อมเดียวกันกับสภาพการทำงานปกติ ทำให้มีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการทดลองเป็นสภาวะเดียวกันกับการทำงานด้านงานเชื่อม ทั้งทางด้าน แสง เสียงและอุณหภูมิ โดยกำหนดพื้นที่ในสำหรับการทดลองขนาด 5 x 5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.1 พื้นที่การติดตั้งสถานีงาน



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงพื้นที่สถานีงานภายในแผนกเชื่อมและประกอบรถบรรทุก

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดจับยึดชิ้นงาน ขนาด 110 x 70 เซนติเมตร ความสูง 90 เซนติเมตร สำหรับยึดชิ้นงานทดลองด้วยช่องยึดชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมาสำหรับชิ้นงานทดลองที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร ในทุกรูปแบบงานที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4 และชุดจับยึดชิ้นงานนี้สามารถปรับระดับความสูงได้เพื่อให้ตำแหน่งของชิ้นงานอยู่ในระดับความสูงที่สัมพันธ์กับระดับความสูงของผู้ทดลองแต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เนื่องจากระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงาน มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านท่าเชื่อม จึงเป็นการกำหนดให้ ผู้ทดลองแต่ละคนมีความเท่าเทียมกันในด้านท่าเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ระดับความสูงของจุดติดตั้งชิ้นงานในแต่ละท่าเชื่อม

ท่าเชื่อม	ความสูงตำแหน่งติดตั้งชิ้นงาน (เซนติเมตร)							
	ระดับข้อศอก				ระดับหน้าอก			
	A	B	C	D	A	B	C	D
ท่าราบ (Flat)	100	112	107	102				
ท่าระดับ(Horizontal)					115	127	125	117
ท่าตั้ง (Vertical)					115	127	125	117

รูปที่ 3.3 ชุดจับยึดชิ้นงาน ที่สามารถปรับระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงานได้

รูปที่ 3.4 ชุดจับยึดชิ้นงาน ที่มีช่องยึดชิ้นงานในทุกรูปแบบที่ออกแบบการทดลอง

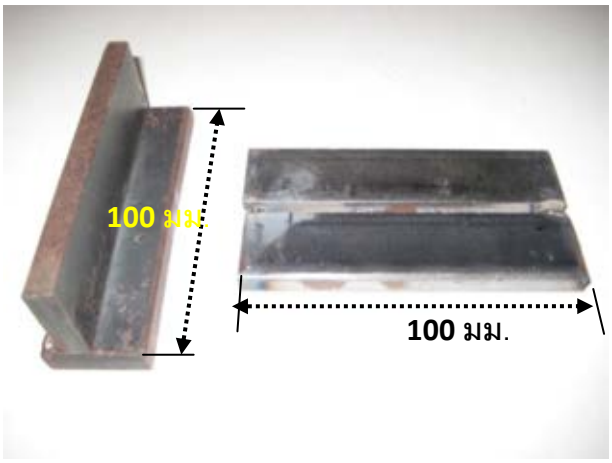
2. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คชนิดกระแสสลับ ยี่ห้อ พลัง กระแสด้านทุติยภูมิสูงสุด 300 แอมแปร์ พร้อมด้วยหัวจับลวดเชื่อมที่มีสายไฟเชื่อมความยาว 8 เมตร และคีมจับสายดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยระหว่างการทดลอง ปรับกระแสด้านทุติยภูมิที่ 90 แอมแปร์

รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คชนิดกระแสสลับ

3. ลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ยี่ห้อ ยาวาตะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ลวดเชื่อมสารพอกหุ้มที่ใช้ในการทดลอง

4.ชิ้นงาน คือ เหล็กแบนความหนา 8 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ตัดให้มีความยาวสำหรับระยะความยาวแนวเชื่อมเท่ากับ 100 มิลลิเมตร โดยเตรียมชิ้นงานเป็น 2 รูปแบบ แบ่งตามชนิดของรอยต่อ คือ ต่อชน (But Joint) และต่อตัวที (Tee Joint) ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

5. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สำหรับผู้เข้าร่วมทดสอบ ที่ประกอบด้วย เสื้อผ้าชุดปฏิบัติงาน หน้ากากเชื่อม และถุงมือหนัง ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สำหรับผู้เข้าร่วมทดสอบ

6. กล้องถ่ายภาพดิจิตอล ยี่ห้อแคนนอน รุ่น IXUS 75 ที่ใช้บันทึกวิดีโอการเคลื่อนไหวในการเชื่อมชิ้นงาน และถ่ายภาพชิ้นงาน สำหรับนำไปวิเคราะห์ข้อมูลการหาสมรรถนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 กล้องถ่ายภาพดิจิตอล

7. ขาตั้งกล้อง สำหรับใช้ติดตั้งกล้องถ่ายภาพดิจิตอล เพื่อความสะดวกและความนิ่งในการบันทึกวิดีโอ ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 ขาตั้งกล้อง

8. นาฬิกาดิจิตอล สำหรับจับเวลาของขั้นตอนการทดลอง เพื่อให้การทดลองดำเนินงานตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น เวลาพักของผู้ทดลองระหว่างชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 นาฬิกาดิจิตอล

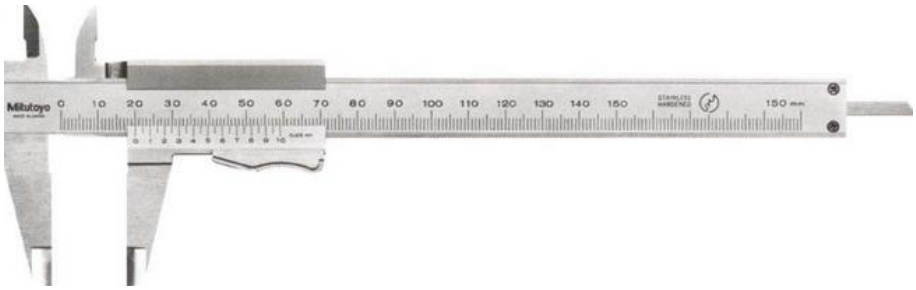
9. ชุดติดตั้งและทำความสะอาดชิ้นงาน ที่ใช้ในการติดตั้งและถอดชิ้นงานออกจากชุดจับยึดชิ้นงาน และทำความสะอาดชิ้นงาน ประกอบด้วย กระดานไวท์บอร์ด ค้อนเคาะแสลก คีมจับชิ้นงาน แปรงขัดชิ้นงาน ชอล์กเขียนเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชุดติดตั้งและทำความสะอาดชิ้นงาน

10. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลสำหรับผู้เก็บข้อมูล ประกอบด้วย หมวกนิรภัย เสื้อผ้าชุดปฏิบัติงาน แว่นตากรองแสง ถุงมือหนัง ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สำหรับผู้เก็บข้อมูล

11. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ใช้ในการวัดขนาดของแนวเชื่อม เพื่อประเมินคุณภาพงานเชื่อม



รูปที่ 3.14 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

3.4 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาสภาพการทำงานเพื่อพิจารณาหาปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง

2. สร้างเครื่องมือ “ชุดจับยึดชิ้นงาน” ที่สามารถปรับระดับความสูงได้ ซึ่งทำให้ระดับความสูงของตำแหน่งติดตั้งชิ้นงาน อยู่ในท่าเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของผู้ทดลองแต่ละคน เพื่อตัดปัจจัยที่จะทำให้เกิดท่าทางการเชื่อมที่ไม่ถนัด และความสูงของตำแหน่งติดตั้งชิ้นงานมี 2 ระดับ คือ ความสูงระดับข้อศอก และความสูงระดับหน้าอก

3. ออกแบบการทดลองงานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบของงานเชื่อม ที่จะใช้ในการทดลอง โดยแบ่งตาม ท่าเชื่อม (Position) และ ชนิดรอยต่อ (Type of Joint) ได้เป็น 6 รูปแบบ คือ VB (ท่าตั้งแบบต่อชน), HB (ท่าระดับแบบต่อชน), FB (ท่าราบแบบต่อชน), VT (ท่าตั้งแบบต่อตัวที), HT (ท่าระดับแบบต่อตัวที) และ FT (ท่าราบแบบต่อตัวที) ซึ่งได้ทำการเรียงลำดับการทดลองตั้งแต่ Set 1 ถึง Set 6 ด้วยวิธีการสุ่ม และมีจำนวนซ้ำในการทดลองเท่ากับ 10 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รูปแบบการทดลอง

	Horizontal position	Vertical position	Flat position
Butt Joint			
Tee Joint			

4. กำหนดลำดับผู้เข้าร่วมทดลอง ของแต่ละ Set ด้วยวิธีการสุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ลำดับในการทดลองของแต่ละรูปแบบงาน

ครั้งที่	รูปแบบงาน	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4
1	Set 1 (HB)	B	C	A	D
2	Set 2 (VT)	C	B	A	D
3	Set 3 (FB)	D	A	C	B
4	Set 4 (HT)	B	C	A	D
5	Set 5 (FT)	C	D	B	A
6	Set 6 (VB)	D	B	C	A

5. ทำการทดลองงานเชื่อมชิ้นงาน หาเวลาที่ใช้ในการเชื่อมแต่ละรูปแบบ
   - ผู้ทดลองทำการเชื่อมชิ้นงานตามรูปแบบงานที่กำหนด โดยมีการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ เพื่อปรับสภาวะร่างกาย จำนวน 1 ชิ้น ก่อนเชื่อมชิ้นงานจริง ตามรูปแบบการทดลอง และลำดับในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ ตารางที่ 3.4
   - จับเวลาที่ใช้ในการเชื่อม ด้วยการถ่ายวิดีโอ เพื่อนำไฟล์ที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการเชื่อม
   - การพักของผู้ทดลองระหว่างการทดลอง ให้ผู้ทดลองนั่งในพื้นที่ที่จัดไว้ให้ สามารถดื่มน้ำและเข้าห้องน้ำได้ แต่ไม่อนุญาตให้สูบบุหรี่และทำกิจกรรมอื่น เพื่อให้ผู้ทดลองขจัดความล้าที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
   - ทำความสะอาดชิ้นงานและจัดเก็บอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปพิจารณาผ่านเกณฑ์ของชิ้นงาน

6. พิจารณาคุณภาพชิ้นงานโดยใช้เกณฑ์การตัดสิน ยอมรับ หรือ ปฏิเสธ ตรวจสอบด้วยสายตา พิจารณา บันทึกผลการพิจารณาคุณภาพ

7. หาเวลาที่ใช้ในการเชื่อมของชิ้นงานที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ จากไฟล์วิดีโอ เพื่อบันทึกเป็นเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน โดยที่นับเฉพาะช่วงเวลาที่ทำให้เกิดงาน คือ ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมเท่านั้นสังเกตจากประกายไฟที่เกิดจากการเชื่อมที่มีความต่อเนื่อง

8. ทำการทดลองเชื่อมใหม่ สำหรับชิ้นงานที่ปฏิเสธ หลังสิ้นสุดการทดลอง Set ที่ 6

9. หาความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน เพื่อหาดัชนีความยาก

10. หาสมรรถนะของช่างเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

3.5 ตัวแปรสำหรับการเชื่อมชิ้นงาน

3.5.1 ตัวแปรผันแปร

รูปแบบงาน (ท่าเชื่อม และ รอยต่อ)	VB (ท่าตั้งแบบต่อชน) HB (ท่าระดับแบบต่อชน) FB (ท่าราบแบบต่อชน) VT (ท่าตั้งแบบต่อตัวที) HT (ท่าระดับแบบต่อตัวที) FT (ท่าราบแบบต่อตัวที)

3.5.2 ตัวแปรควบคุม

วิธีการเชื่อม	แบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม
เครื่องเชื่อม	แบบอาร์คชนิดกระแสสลับ
กระแสไฟฟ้าเครื่องเชื่อม	90 แอมแปร์
ลวดเชื่อม	ลวดเชื่อมสารพอกหุ้มขนาด 3.2 มม. ความยาว 350 มม.
ความหนาชิ้นงาน	8 มิลลิเมตร
ระยะความยาวแนวเชื่อมของชิ้นงาน	100 มิลลิเมตร
ระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงานแต่ละรูปแบบงาน	สัมพันธ์กับระดับความสูงของผู้ทดลองรายบุคคล
เวลาพักระหว่างการเชื่อมแต่ละชิ้นงาน	เวลาพักรวมกับเวลาเชื่อม 5 นาที และหลังจากสิ้นสุดชิ้นงานที่ 5 กำหนดให้พัก 10 นาที

3.6 การตรวจคุณภาพชิ้นงาน

การตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อม ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา ต้องเคาะแสลกแล้วรอให้ชิ้นงานเย็นตัวแล้วจึงทำความสะอาดก่อนการตรวจสอบ และมีวิธีการวัดคุณภาพแบ่งตามรายการตรวจสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การประเมิน	
	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ความยาวแนวเชื่อม 100 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแนวเชื่อมไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแนวเชื่อม มากกว่า 3 มม.
ความกว้างแนวเชื่อมแบบต่อชน 10 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความกว้างไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความกว้างมากกว่า 3 มม.
ความสูงแนวเชื่อมด้านหน้าแบบต่อชน	มีความสูงไม่เกิน 3.5 มม.	มีความสูงเกิน 3.5 มม.
ความกว้างแนวเชื่อมแบบต่อตัวที (ระยะขา) 8 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของระยะขา ไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของระยะขามากกว่า 3 มม.
ความสม่ำเสมอของแนวเชื่อม	ไม่มีจุดบกพร่อง	กองนูนผิดปกติ มีรูพรุนมีรอยแตกปลาย มีรอยเว้าผิดปกติ

3.7 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานโดยละเอียด

1. เมื่อผู้ทดสอบเข้าสู่สถานีงาน ผู้เก็บข้อมูลเริ่มจับเวลาถอยหลัง 10 นาที
2. อธิบายการทดสอบและเกณฑ์ในการตัดสินคุณภาพแนวเชื่อมแก่ผู้ทดสอบ
3. ผู้ทดสอบนั่งพักในพื้นที่ที่จัดไว้ให้
4. ผู้เก็บข้อมูลติดตั้งชิ้นงาน
5. ผู้เก็บข้อมูลเขียนรหัสชิ้นงานที่กระดานไวท์บอร์ด
6. เมื่อเวลาครบตามกำหนดที่จับเวลาไว้ เชิญผู้ทดลองยืนประจำในจุดพร้อม

7. ผู้เก็บข้อมูลเริ่มจับเวลา 5 นาที
8. ผู้เก็บข้อมูล กดเริ่มบันทึกวิดีโอ พร้อมให้สัญญาณ “เริ่มได้”
9. ผู้ทดสอบเริ่มทำการเชื่อมชิ้นงานจนเสร็จสิ้น
10. ผู้เก็บข้อมูล กดหยุดบันทึกวิดีโอ
11. ผู้ทดสอบนั่งพักในพื้นที่ที่จัดไว้ให้
12. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 – 11 จนครบจำนวนชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 3.6

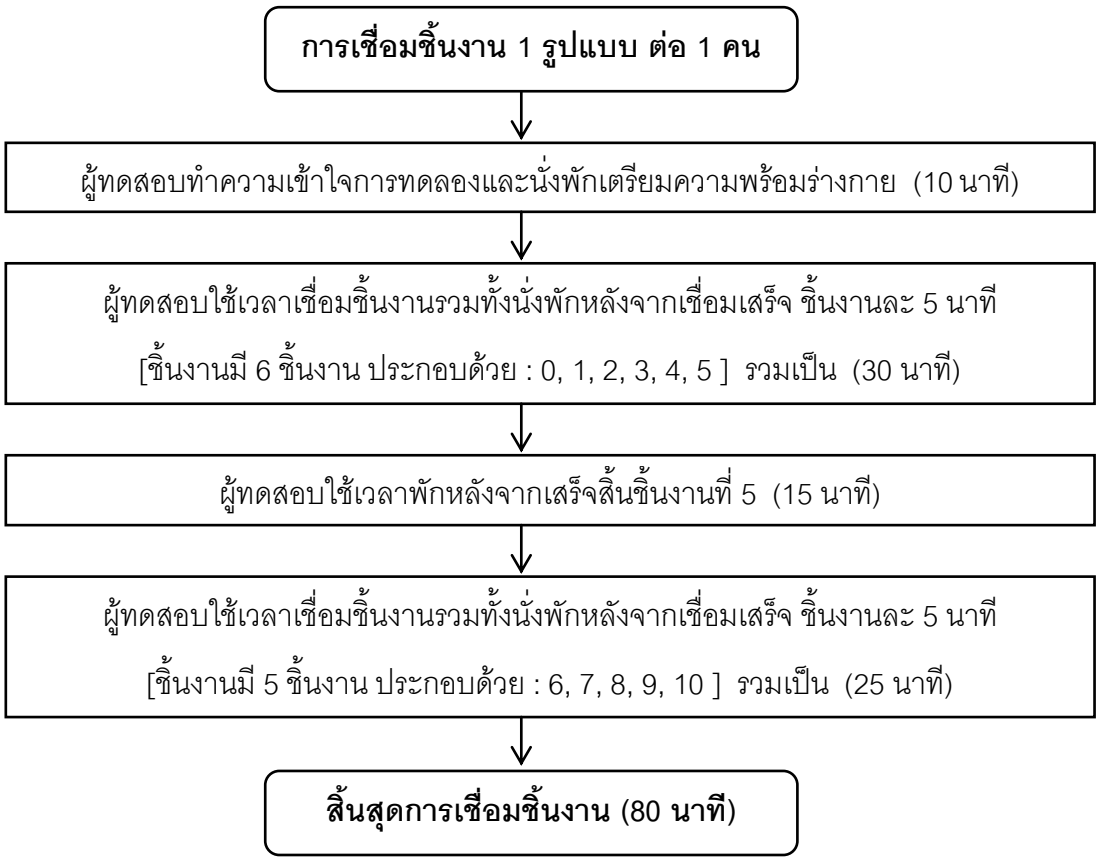
ตารางที่ 3.6 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณของการทดสอบเชื่อมชิ้นงาน

เวลา (วินาที)	แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ Multiple Activity Chart	
	ผู้เก็บข้อมูล	ผู้ทดสอบ
10	1.เชิญผู้ทดสอบเข้าสู่สถานีงาน	เข้าสู่สถานีงาน
15	2.อธิบายวัตถุประสงค์การทดสอบ	รับฟังวัตถุประสงค์การทดสอบ
20	3.ติดตั้งชิ้นงาน	นั่งพักในที่ที่จัดไว้ให้
10	4. เชิญผู้ทดสอบประจำที่	เข้าประจำที่
5	5.เริ่มจับเวลาและบันทึกวิดีโอ	รอคำสั่ง “เริ่ม”
3	6.ออกคำสั่ง “เริ่ม”	เริ่มเชื่อมชิ้นงาน
120	7.รอ	เชื่อมชิ้นงาน
5	8.หยุดบันทึกวิดีโอ	เชื่อมชิ้นงานเสร็จ
300	9.เก็บชิ้นงานและติดตั้งชิ้นงานใหม่	นั่งพักในที่ที่จัดไว้ให้

3.8 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล

ด้านระยะเวลา (Period) การทดลองเชื่อมชิ้นงาน 1 รูปแบบ จะใช้ระยะเวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง 20 นาทีต่อคน ดังแสดงในรูปที่ 3.15 การทดลอง 6 รูปแบบ ผู้ทดสอบ 1 คน จะใช้ระยะเวลาอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล ทั้งสิ้น 8 ชั่วโมง ในกรณีที่สามารถทำการทดลองได้โดยสมบูรณ์ ตามรูปแบบการทดลองที่ออกแบบไว้ ผู้ทดลอง 4 คน จะใช้ระยะเวลาของผู้ทดสอบในกระบวนการเก็บข้อมูลทั้งหมด 32 ชั่วโมง

ด้านกำหนดการ (Schedule) กำหนดให้การทดลอง 1 วัน จะทำการทดลองรูปแบบเดียวกัน จำนวน 1 รูปแบบ สำหรับผู้เข้าร่วมทดสอบทั้ง 4 คน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ 1 ระหว่างเวลา 9:00 น. – 12:00 น. และช่วงที่ 2 ระหว่างเวลา 14:00 – 17:00 น. ช่วงเวลาละ 2 คน ในกรณีที่สามารถทำการทดลองได้โดยสมบูรณ์ จะมีกำหนดการในการทำการทดลองทั้งสิ้น 6 วัน โดยทำการทดลองสัปดาห์ละ 1 วัน ในวันเสาร์ จะใช้เวลาทั้งสิ้น 6 สัปดาห์



รูปที่ 3.15 ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 1 รูปแบบงานต่อคน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

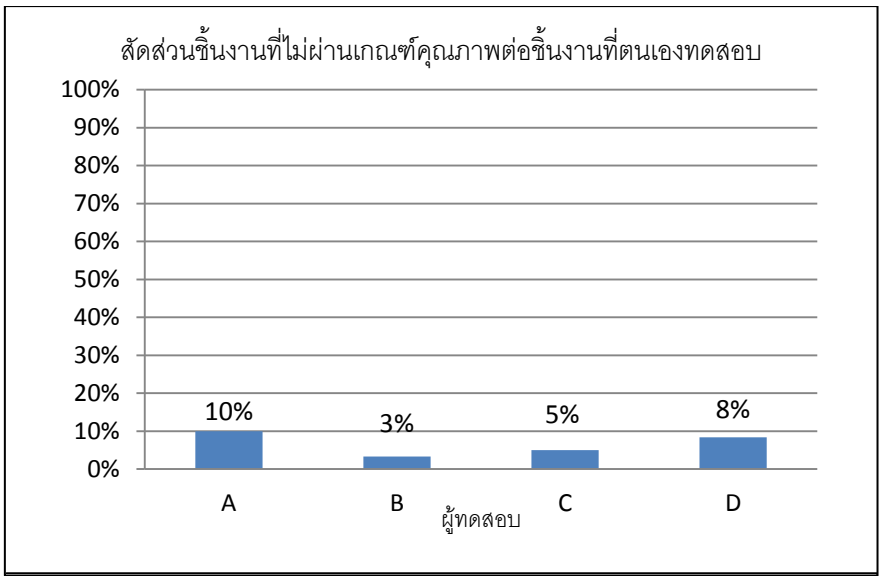
การทดลองการเชื่อมชิ้นงาน ตามที่ได้ออกแบบการทดลอง (3 ท่าเชื่อม x 2 ชนิดรอยต่อ) ที่มีจำนวนการทำซ้ำ 10 ครั้ง โดยผู้เข้าร่วมทดสอบที่เป็นช่างเชื่อมอาชีพจำนวน 4 คน เพื่อหาเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement Time ; MT) ในหน่วยของ วินาที ที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างการวัดสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

4.1 เวลาการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน (Movement Time ; MT)

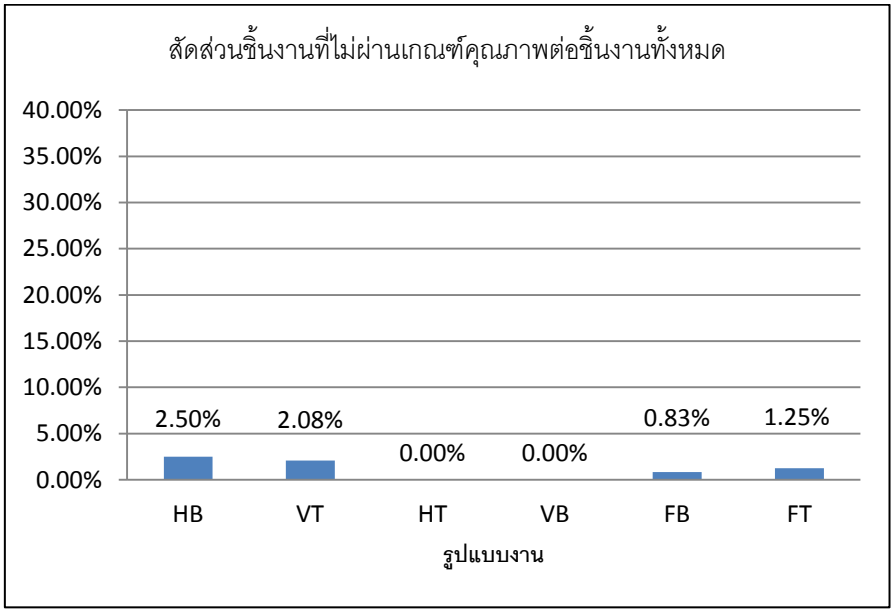
การเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมเท่านั้นที่นับเป็น MT ซึ่งจากการทดสอบงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม สำหรับผู้เข้าร่วมทดสอบทั้ง 4 คน ได้ผลของ MT ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ตามรูปแบบการทดลองทั้งหมด 240 ชิ้น โดยมีชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ และถูกปฏิเสธที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์จำนวน 16 ชิ้น โดยชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพดังกล่าวเมื่อทำการเชื่อมซ่อม ทำให้ค่าเฉลี่ย MT และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลง

ตามข้อกำหนดในการทดลองที่จะต้องให้ผู้เข้าร่วมทดสอบทำการเชื่อมซ่อมชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ ซึ่ง MT ของชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ แสดงในช่องที่แบบอักษรขีดเส้นใต้แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ผู้ทดสอบ A มีจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพมากที่สุด โดยมีจำนวน 6 ชิ้น คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ, ผู้ทดสอบ B มีชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพจำนวน 2 ชิ้น คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ของชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ, ผู้ทดสอบ C มีชิ้นงาน ที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพจำนวน 3 ชิ้น คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ และผู้ทดสอบ D มีชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพจำนวน 5 ชิ้น คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ของชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

และแบ่งตามรูปแบบงาน (Type of work) วิเคราะห์สัดส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพต่อชิ้นงานทั้งหมด พบว่า HB เท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์, VT เท่ากับ 2.08 เปอร์เซ็นต์, FB เท่ากับ 0.83 เปอร์เซ็นต์ และ FT เท่ากับ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 สัดส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพต่อชิ้นงานที่ตนเองทดสอบ



รูปที่ 4.2 สัดส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพต่อชิ้นงานทั้งหมดของแต่ละรูปแบบงาน

ผู้เข้าร่วมทดสอบเชื่อมซ่อมชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ จนกระทั่งได้ชิ้นงานที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ นำ MT ที่ได้มาแทนที่ชิ้นงานเดิมที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ แสดงในช่องที่แบบอักษรขีดเส้นใต้ตัวเลขของตารางที่ 4.2 ทำให้แต่ละรูปแบบงานมีจำนวนชิ้นงานครบ 10 ชิ้น

ซึ่งจากการเชื่อมซ่อมชิ้นงาน ทำให้ค่าเฉลี่ย MT และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

ผู้ทดสอบ A ในรูปแบบงาน VB ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 93.30 วินาที เป็น 85.90 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 13.63 วินาที เป็น 3.87 วินาที และรูปแบบงาน FT ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 113.80 วินาที เป็น 106.30 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 11.93 วินาที เป็น 4.30 วินาที

ผู้ทดสอบ B ในรูปแบบงาน FB ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 102.70 วินาที เป็น 96.60 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 12.74 วินาที เป็น 5.38 วินาที

ผู้ทดสอบ C ในรูปแบบงาน HB ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 86.80 วินาที เป็น 80.40 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 11.78 วินาที เป็น 4.20 วินาที

ผู้ทดสอบ D ในรูปแบบงาน HB ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 88.44 วินาที เป็น 84.20 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 8.25 วินาที เป็น 3.77 วินาที และรูปแบบงาน VT ค่าเฉลี่ย MT เปลี่ยนแปลงจากเดิม 92.70 วินาที เป็น 90.70 วินาที โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 7.04 วินาที เป็น 3.86 วินาที

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (MT) ของผู้เข้าร่วมทดสอบก่อนการเชื่อมชิ้นงานใหม่

(หน่วย ; วินาที)

		เวลาที่ใช้ในการเชื่อมแต่ละชิ้นงาน												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}$	SD	$\bar{\bar{X}}$
ผู้ทดสอบ A	HB	87	84	85	80	82	73	75	77	80	81	80.40	4.43	93.26
	VT	77	87	88	86	106	83	118	112	89	87	93.30	13.63	
	HT	90	84	102	99	97	86	87	84	82	85	89.60	7.14	
	VB	81	88	91	87	83	88	88	84	87	84	86.10	3.00	
	FB	94	101	107	94	94	99	90	96	97	95	96.40	4.99	
	FT	113	120	105	99	107	107	108	138	112	129	113.80	11.93	
ผู้ทดสอบ B	HB	84	77	84	78	90	80	80	80	91	87	83.10	4.93	90.51
	VT	80	76	80	82	82	84	84	83	97	95	84.30	6.62	
	HT	82	91	82	85	86	79	78	78	79	81	82.10	4.18	
	VB	102	92	94	89	101	93	88	81	78	89	90.70	7.60	
	FB	101	103	97	94	127	123	89	93	95	105	102.70	12.74	
	FT	102	96	110	106	92	96	97	100	104	99	100.20	5.39	
ผู้ทดสอบ C	HB	77	110	81	82	98	101	82	82	75	80	86.80	11.78	90.16
	VT	82	80	79	75	84	76	81	79	79	86	80.10	3.35	
	HT	82	82	93	93	94	84	87	85	84	84	86.80	4.73	
	VB	89	101	95	84	103	82	80	78	82	85	87.90	8.85	
	FB	100	95	94	94	97	97	99	97	103	100	97.60	2.91	
	FT	102	104	107	106	105	103	102	94	105	90	101.80	5.49	
ผู้ทดสอบ D	HB	80	80	79	95	87	85	88	99	103	88	88.44	8.25	96.89
	VT	88	94	92	102	94	89	107	84	90	87	92.70	7.04	
	HT	96	103	98	95	94	95	102	96	98	100	97.70	3.09	
	VB	95	101	99	97	95	91	95	97	94	94	95.80	2.82	
	FB	100	101	110	108	110	95	100	103	98	101	102.60	5.13	
	FT	94	108	101	107	111	103	108	100	103	106	104.10	4.95	

หมายเหตุ : แบบอักษรที่ขีดเส้นใต้ เป็นชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ ได้ทำการเชื่อมซ่อม

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (MT)จากทดแทนชิ้นงานซ่อมที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ

(หน่วย ; วินาที)

		เวลาที่ใช้ในการเชื่อมแต่ละชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}$	SD	$\bar{\bar{X}}$
ผู้ทดสอบ A	HB	87	84	85	80	82	73	75	77	80	81	80.40	4.43	90.33
	VT	77	87	88	86	84	83	91	87	89	87	85.90	3.87	
	HT	90	84	102	99	97	86	87	84	82	85	89.60	7.14	
	VB	90	88	91	87	83	88	88	84	87	84	87.00	2.62	
	FB	94	101	107	94	99	90	96	97	91	95	96.40	4.99	
	FT	113	102	105	99	107	107	108	107	112	103	106.30	4.30	
ผู้ทดสอบ B	HB	84	77	84	78	90	80	80	80	91	87	83.10	4.93	89.50
	VT	80	76	80	82	82	84	84	83	97	95	84.30	6.62	
	HT	82	91	82	85	86	79	78	78	79	81	82.10	4.18	
	VB	102	92	94	89	101	93	88	81	78	89	90.70	7.60	
	FB	101	103	97	94	99	90	89	93	95	105	96.60	5.38	
	FT	102	96	110	106	92	96	97	100	104	99	100.20	5.39	
ผู้ทดสอบ C	HB	77	78	81	82	90	77	82	82	75	80	80.40	4.20	89.10
	VT	82	80	79	75	84	76	81	79	79	86	80.10	3.35	
	HT	82	82	93	93	94	84	87	85	84	84	86.80	4.73	
	VB	89	101	95	84	103	82	80	78	82	85	87.90	8.85	
	FB	100	95	94	94	97	97	99	97	103	100	97.60	2.91	
	FT	102	104	107	106	105	103	102	94	105	90	101.80	5.49	
ผู้ทดสอบ D	HB	80	80	79	82	87	85	88	89	84	88	84.20	3.77	95.85
	VT	88	94	92	97	94	89	92	84	90	87	90.70	3.86	
	HT	96	103	98	95	94	95	102	96	98	100	97.70	3.09	
	VB	95	101	99	97	95	91	95	97	94	94	95.80	2.82	
	FB	100	101	110	108	110	95	100	103	98	101	102.60	5.13	
	FT	94	108	101	107	111	103	108	100	103	106	104.10	4.95	

หมายเหตุ : แบบอักษรที่ขีดเส้นใต้ เป็นชิ้นงานหลังจากการเชื่อมซ่อม

4.2 การกำหนดมาตราส่วนของดัชนีความยาก (Index of Difficulty ; ID)

การทดลองในการเคลื่อนที่โดยการจรดปากการะหว่างตำแหน่งของ Fitts แสดงผลเป็นเวลาที่ ใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามดัชนีความยาก (Index of Difficulty ; ID) ที่เพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้แกน y เป็นเวลาที่ใช้ในการทำงาน (MT) และแกน x คือ ดัชนีความยาก (ID) ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นเส้นตรงที่มีความชันในรูปแบบของคณิตศาสตร์ ที่ทำให้แกน x ที่เป็นมาตราส่วน ID อยู่ในรูปแบบของลอกการิทึ่ม เรียงลำดับจากงานที่มีความง่ายไปหายาก เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง MT กับ ID สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะจากความชันของแต่ละบุคคลได้ สำหรับงานวิจัยนี้ การวัดสมรรถนะของผู้ทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' law นั้นจะต้องทำให้ความสัมพันธ์ของ MT กับ ID แสดงเป็นเส้นตรง แต่เนื่องจาก ID ของงานเชื่อมโลหะที่กำหนดในการทดสอบเป็นงานประเภทฝีมือ ที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งยังไม่ได้มีการจัดเรียงและเทียบมาตราส่วน จึงต้องมีการนำข้อมูล MT ของทุกคนมาใช้ในการทำให้ความสัมพันธ์ของ MT กับ ID เป็นเส้นตรง โดยการทดลอง Trail ตำแหน่งมาตรา ID ซึ่งได้แนวทางการกำหนดมาตรา ID 2 รูปแบบ ดังนี้

4.2.1 การกำหนดมาตราส่วน ID จากค่าเฉลี่ย MT ของผู้ทดสอบ

1. หาค่าเฉลี่ย MT ในแต่ละรูปแบบงานจากผู้ทดสอบทุกคน แล้วเรียงลำดับจากน้อยไปมาก จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 ซึ่ง HB มีค่าเฉลี่ย MT ต่ำที่สุดคือ 82.05 วินาที และ FT มีค่าเฉลี่ย MT สูงที่สุดคือ 103.10 วินาที

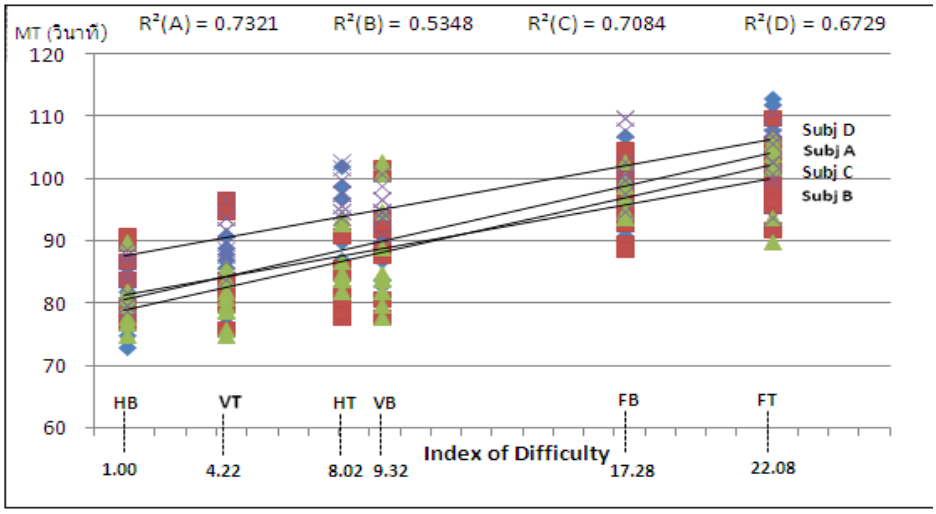
2. หาผลต่างของค่าเฉลี่ย MT รูปแบบงานที่อยู่ลำดับติดกัน จากตารางที่ 4.3 ในคอลัมน์ผลต่างค่าเฉลี่ย MT เริ่มต้นจาก HB เป็นรูปแบบงานแรก มีผลต่างค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0, HB กับ VT มีผลต่างค่าเฉลี่ย MT เท่ากับ 85.25 – 82.03 = 3.22 วินาที, VT กับ HT มีผลต่างค่าเฉลี่ย MT เท่ากับ 3.80 วินาที, HT กับ VB มีผลต่างค่าเฉลี่ย MT เท่ากับ 1.30 วินาที, VB กับ FB มีผลต่างค่าเฉลี่ย MT เท่ากับ 7.95 วินาที และ FB กับ FT มีผลต่างค่าเฉลี่ย MT เท่ากับ 4.80 วินาที

3. นำผลต่างของค่าเฉลี่ย MT มาใช้ในการกำหนดค่า ID ที่แสดงในตารางที่ 4.3 คอลัมน์ค่า ID (มาตราแกน X) โดยที่รูปแบบงาน HB เริ่มต้นค่า ID ที่ 1.00 เพราะเป็นงานที่มีค่าเฉลี่ย MT น้อยที่สุด จากนั้นกำหนดค่า ID ของรูปแบบงานถัดไป โดยนำค่า ID ในรูปแบบงานก่อนหน้า รวมกับ ผลต่างค่าเฉลี่ย MT ที่หาได้จากข้อ 2 เช่น VT มีค่า ID = 1.00 + 3.22 = 4.22 และ HT มีค่า ID = 4.22 + 3.80 = 8.02 และค่า ID ของ VB, FB และ FT เท่ากับ 9.32, 17.28 และ 22.08 ตามลำดับ

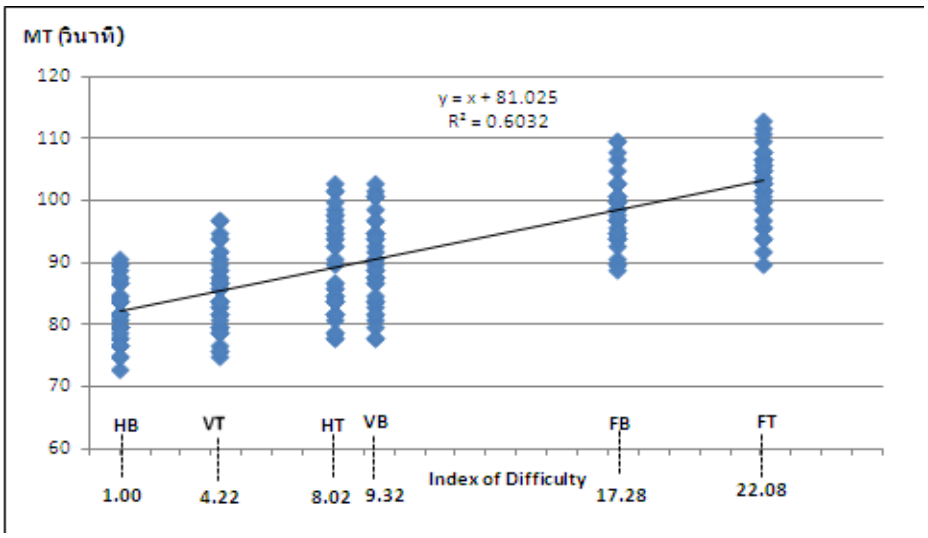
ตารางที่ 4.3 ผลการกำหนดมาตราส่วน ID จากค่าเฉลี่ย MT

รูปแบบงาน	**ค่าเฉลี่ย MT (วินาที)**	**ผลต่างค่าเฉลี่ย MT รูปแบบงานก่อนหน้า**	**ค่า ID (มาตราแกน x) ID = ID ก่อนหน้า + ผลต่าง MT**
HB	82.03	0	**1.00**
VT	85.25	3.22	1.00 + 3.22 = **4.22**
HT	89.05	3.80	4.22 + 3.80 = **8.02**
VB	90.35	1.30	8.02 + 1.30 = **9.32**
FB	98.30	7.95	9.32 + 7.95 = **17.28**
FT	103.10	4.80	17.28 + 4.80 = **22.08**

4. นำค่า ID ที่กำหนดของรูปแบบงาน HB, VT, HT, VB, FB, และ FT จากตารางที่ 4.3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00, 4.22, 8.02, 9.32, 17.28 และ 22.08 ตามลำดับ ให้เป็นค่าของแนวแกน x ในการสร้างแผนภูมิกระจายที่แสดงความสัมพันธ์กับ MT ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ผลรวมค่า R^2 ของผู้ทดสอบทุกคนสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และจากค่า R^2 สูงสุดจากการรวม MT ผู้ทดสอบทุกคน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน



รูปที่ 4.4 กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่า R^2

จากกราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนดมาตรา ID จากวิธีหาค่าเฉลี่ย MT ทำให้ผลรวมค่า R^2 ของผู้ทดสอบทุกคนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 2.648 ดังแสดงตารางที่ 4.4 และกราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนดมาตรา ID ที่ทำให้ค่า R^2 ที่มาจากการรวม Movement Time ของผู้ทดสอบทุกคน มีค่าเท่ากับ 0.603 ซึ่งเป็นมาตรา ID เดียวกัน จึงสามารถสร้างมาตรา ของ HB, VT, HT, VB, FB, และ FT มีค่าเท่ากับ 1.00, 4.22, 8.02, 9.32, 17.28 และ 22.08 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID จากค่าผลรวม R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน

ผู้ทดสอบ	สมการถดถอย	R^2
A	y = 1.119x+79.39	0.732
B	y = 0.891x + 80.34	0.535
C	y = 1.107x + 77.67	0.708
D	y = 0.883x + 86.74	0.673
	รวม	2.648

4.2.2 กำหนดมาตราส่วน ID ด้วยวิธีหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

การกำหนดมาตราส่วน ID ที่ทำให้สมการถดถอยเชิงเส้น มีค่าผลรวม R^2 ของผู้ทดสอบทั้ง 4 คนมีค่าสูงสุด จากข้อมูล MT ทั้งหมด ด้วยวิธีหาค่าที่ดีที่สุด มีรูปแบบดังนี้

Parameter : รูปแบบงาน $I \in (1,2,3,4,5,6)$

ผู้ทดสอบ $J \in (1,2,3,4)$

การทำซ้ำ $K \in (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)$

n = 60 (จำนวนรูปแบบงาน x จำนวนผู้ทดสอบ x จำนวนครั้งในการทำซ้ำ)

Decision variable :

x_{ijk} คือ Index of difficulty

Objective function :

$$Maximize\ Z = \sum_{j \in J} \left(\frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (x_{ijk} - \frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ijk}}{n})(y_{ijk} - \bar{y}_j)}{\sqrt{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (x_{ijk} - \frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ijk}}{n})^2 \ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \ (y_{ijk} - \bar{y}_j)^2}} \right)^2$$

Subject to :

$$x_{1jk} = x_{111} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

$$x_{2jk} = x_{211} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

$$x_{3jk} = x_{311} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

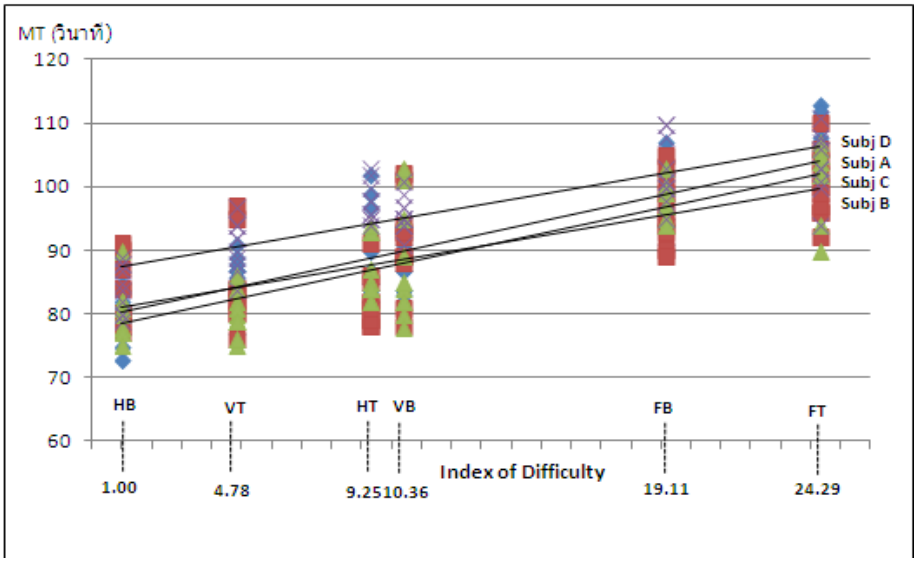
$$x_{4jk} = x_{411} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

$$x_{5jk} = x_{511} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

$$x_{6jk} = x_{611} \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{k \in K}$$

$$x_{ijk} \geq 1 \qquad \forall_{i \in I}, \forall_{j \in J}, \forall_{k \in K}$$

ซึ่งผลจากการ Optimization ทำให้ค่าผลรวม R^2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.649 ที่มาจาก ID ที่อยู่บนแนวแกน x ตามลำดับ คือ HB อยู่บนแกน x ที่ค่า 1.00, VT อยู่บนแกน x ที่ค่า 4.78, HT อยู่บนแกน x ที่ค่า 9.25, VB อยู่บนแกน x ที่ค่า 10.35, FB อยู่บนแกน x ที่ค่า 19.11 และ FT อยู่บนแกน x ที่ค่า 24.29 ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization

การกำหนด ID ด้วยวิธี Optimization ทำให้ผลรวม R^2 ของทุกคนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.649 โดยที่ค่า R^2 ของแต่ละคน คือ ผู้ทดสอบ A มีค่า R^2 เท่ากับ 0.732, ผู้ทดสอบ B มีค่า R^2 เท่ากับ 0.527, ผู้ทดสอบ C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.707 และผู้ทดสอบ D มีค่า R^2 เท่ากับ 0.682 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization

ผู้ทดสอบ	**สมการถดถอย**	R^2
A	y = 1.017x + 79.26	0.732
B	y = 0.804x + 80.27	0.527
C	y = 1.005x + 77.56	0.707
D	y = 0.808x + 86.58	0.682
	รวม	2.649

และจากวิธี Optimization จึงได้ทำการกำหนดมาตรา ID ที่ทำให้ค่า R^2 ที่มาจากการรวมของ Movement Time ของทุกคน ซึ่งเป็นค่า R^2 เดียว ให้มีค่าสูงสุด ซึ่งให้ผลคือ ได้ค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.603 และมีมาตราแกน x ที่แตกต่างจาก วิธีผลรวม R^2 ของผู้ทดสอบทั้ง 4 คนมีค่าสูงสุดแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยมีรูปแบบการคำนวณดังนี้

Parameter : รูปแบบงาน $I \in (1,2,3,4,5,6)$

การทำซ้ำ $J \in (1,2,3,...,40)$

n = 240 (จำนวนรูปแบบงาน x จำนวนครั้งในการทำซ้ำ)

Decision variable :

x_{ij} คือ Index of difficulty

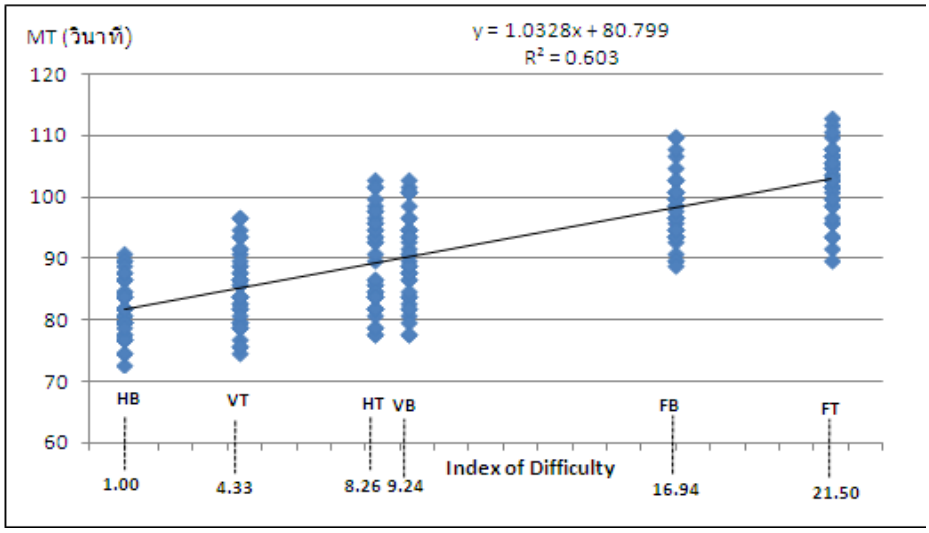
Objective function

$$Maximize\ Z = \left(\frac{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(x_{ij} - \frac{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}x_{ij}}{n})(y_{ij} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(x_{ij} - \frac{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}x_{ij}}{n})^2 \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(y_{ij} - \bar{y})^2}} \right)^2$$

Subject to :

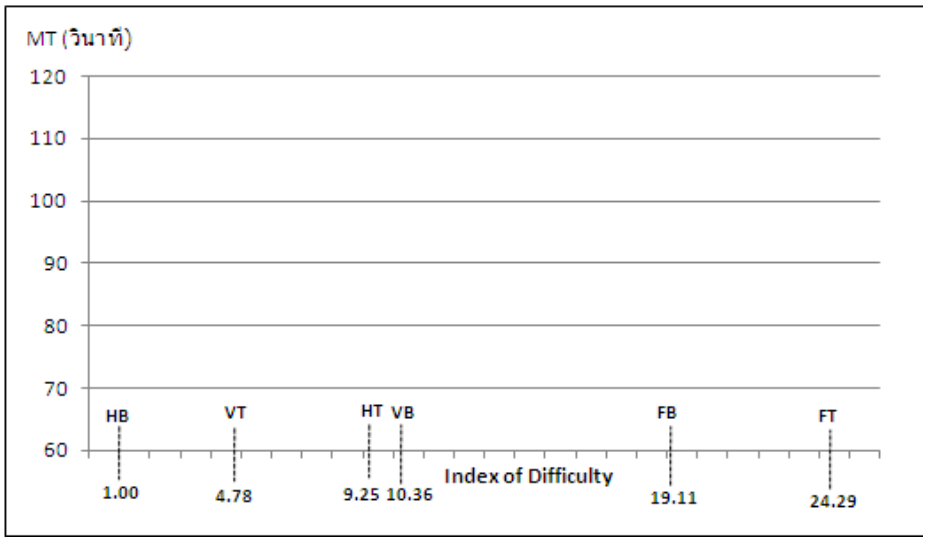
$$x_{1j} = x_{11} \quad \forall_{j\in J}$$
$$x_{2j} = x_{21} \quad \forall_{j\in J}$$
$$x_{3j} = x_{31} \quad \forall_{j\in J}$$
$$x_{4j} = x_{41} \quad \forall_{j\in J}$$
$$x_{5j} = x_{51} \quad \forall_{j\in J}$$
$$x_{6j} = x_{61} \quad \forall_{j\in J}$$

$$x_{ij} \geq 1 \quad \forall_{i\in I}, \forall_{j\in J}$$



รูปที่ 4.6 กราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนด ID ด้วยวิธี Optimization จากค่า R^2

จากกราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนดมาตรา ID จากวิธี Optimization ทำให้ผลรวมค่า R^2 ของผู้ทดสอบทุกคนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 2.649 ดังแสดงตารางที่ 4.6 และกราฟสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่กำหนดมาตรา ID ที่ทำให้ค่า R^2 ที่มาจากการรวม Movement Time ของผู้ทดสอบทุกคน มีค่าเท่ากับ 0.603 มีมาตรา ID แตกต่างกัน แต่มีความใกล้เคียงกัน และเมื่อใช้ ID จากแต่ละแบบสร้างกราฟสมรรถนะของผู้ทดสอบ ซึ่งให้ค่า R^2 ของแต่ละคนใกล้เคียงกันระหว่าง 2 วิธี โดยที่เลือกใช้วิธี Optimization ที่มีผลรวมค่า R^2 ของผู้ทดสอบทั้ง 4 คนสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.7



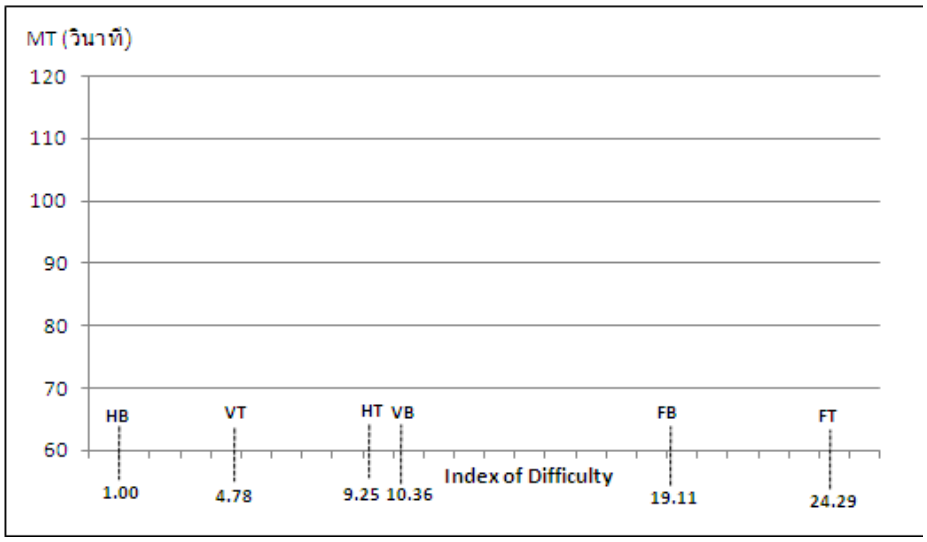
รูปที่ 4.7 มาตรา ID ที่กำหนดด้วยวิธี Optimization

4.3 การเปรียบเทียบวิธีการกำหนดมาตรา ID

จากการกำหนดมาตรา ID ด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย MT กับ วิธี Optimization ที่ทำให้ผลรวม R^2 มีค่าสูงสุด ซึ่งผลจากการกำหนดมาตราของทั้งสองวิธี มีค่าผลรวม R^2 ที่ใกล้เคียงกัน คือ 2.648 และ 2.649 มาตรา ID ที่ได้จากสองวิธี เริ่มต้นจากรูปแบบงาน HB ได้กำหนดค่ามาตรา ID เท่ากัน คือ 1.00 แต่สำหรับ 5 รูปแบบงานที่เหลือมีมาตรา ID แตกต่างกัน โดยที่วิธี Optimization จะมีมาตรา ID ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4.6 แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งสองวิธีให้ผลรวมค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้เลือกใช้มาตรา ID ที่มาจากวิธี Optimization ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบมาตรา ID ระหว่างวิธีหาค่าเฉลี่ย MT กับวิธี Optimization

	มาตรา ID บนแกน x						R^2 รวม
	HB	VT	HT	VB	FB	FT	
วิธีหาค่าเฉลี่ย MT	1.00	4.22	8.02	9.32	17.28	22.08	2.648
วิธี Optimization	1.00	4.78	9.25	10.36	19.11	24.29	2.649

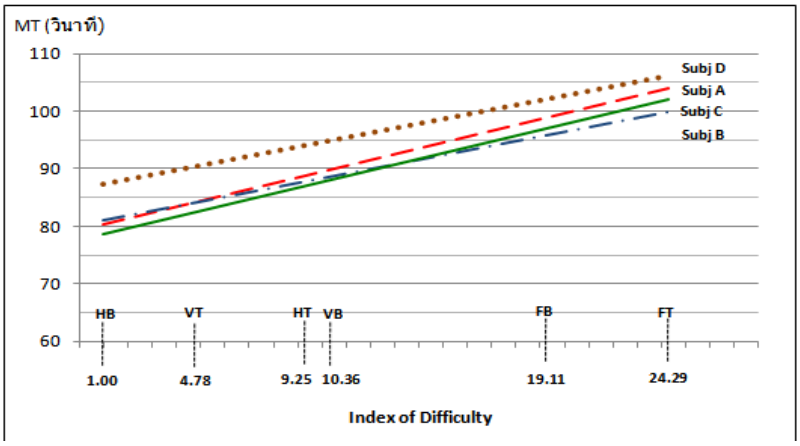


รูปที่ 4.8 มาตรา ID ที่กำหนดด้วยวิธี Optimization

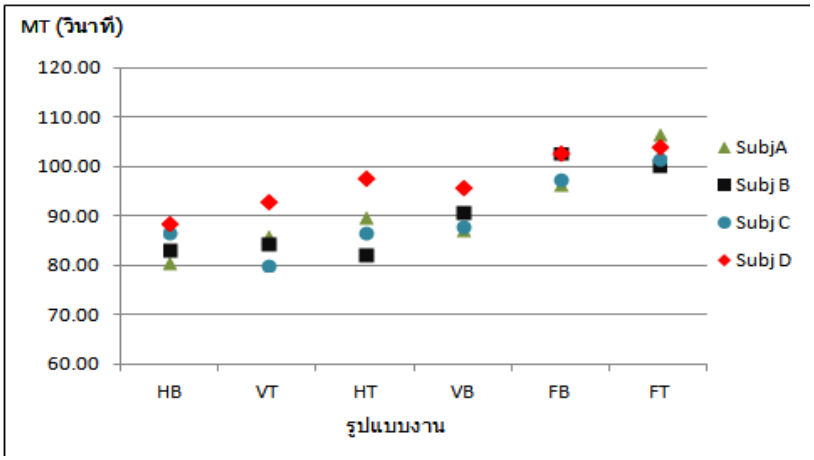
4.4 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟค่าเฉลี่ย MT กับ กราฟสมรรถนะตามแนวคิดของ Fitts' law

จากการสร้างวิธีการวัดสมรรถนะงานเชื่อมตามแนวคิดของ Fitts' law ทำให้ได้กราฟที่แสดงถึงสมรรถนะของผู้ทดสอบที่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งแตกต่างจากกราฟค่าเฉลี่ย Movement Time ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ที่แสดงเฉพาะค่าเฉลี่ยของผู้ทดสอบในแต่ละรูปแบบงาน โดยไม่ได้แสดงความความสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบงาน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์สมรรถนะได้

กราฟสมรรถนะสามารถพิจารณาจุดตัดระหว่างสมรรถนะของผู้ทดสอบ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาการมอบหมายงาน และแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการทำงานที่ระดับความยากต่างๆ และแสดงถึงคุณค่าของตำแหน่งดัชนีความยาก ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ



รูปที่ 4.9 กราฟสมรรถนะผู้ทดสอบ A, B, C และ D ตามแนวคิด Fitts' law



รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย Movement Time ของแต่ละผู้ทดสอบ แบ่งตามรูปแบบงาน

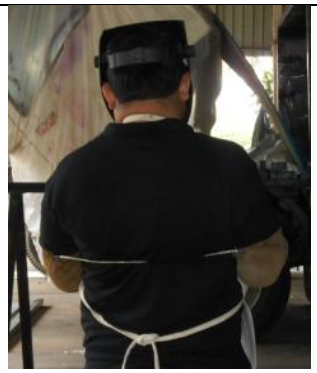
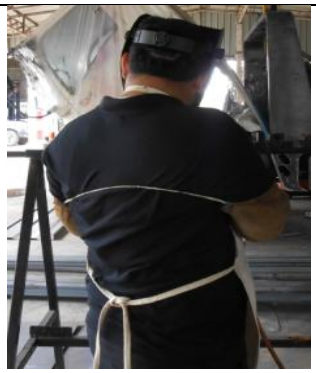
4.5 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านท่าทางกับดัชนีความยาก

ดัชนีความยาก ที่กำหนดจาก ท่าเชื่อม และ ชนิดรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า HB อยู่ในตำแหน่ง ID ที่ง่ายที่สุด คือ 1.00 ลำดับถัดไปคือ VT, HT, VB มีค่าเท่ากับ 4.78, 9.25 และ 10.36 ตามลำดับ และ FB กับ FT อยู่ในตำแหน่ง ID ที่มีความยากมากที่สุด จากตำแหน่ง ID ที่กำหนดดังกล่าว จึงทำการเปรียบเทียบท่าทางของแต่ละรูปแบบงานเพื่อหาความแตกต่างซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่

เปรียบเทียบท่าทางของร่างกาย ในรูปที่ 4.11 แถว A ซึ่งเป็นภาพถ่ายด้านหน้าของผู้ทดสอบ พบว่า ตำแหน่งของหัวไหล่ในท่าราบ (คอลัมน์ F) ยกสูงกว่า ตำแหน่งหัวไหล่ในท่าตั้งและท่าระดับ ซึ่งแสดงในคอลัมน์ V และคอลัมน์ H ตามลำดับ ซึ่งการยกหัวไหล่และกางแขนออกเช่นนี้เป็นการเคลื่อนไหวของกระดูกชิ้นส่วน Clavicle และ Humerus ที่กางออกจากลำตัวและทำมุมประมาณ 30 องศา กับลำตัว ซึ่งแตกต่างจากท่าตั้งและท่าระดับ ที่แขนกางออกเพียงเล็กน้อย และกล้ามเนื้อที่ใช้ในการยกแขนขึ้นเช่นนี้ คือ Deltoid, Trepezius และ Triceps brachii ซึ่งเช่นเดียวกันกับ แถว B ซึ่งเป็นภาพถ่ายด้านหลังของผู้ทดสอบ ที่แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของตำแหน่งหัวไหล่ของท่าราบ (คอลัมน์ F) ที่ยกตัวสูงกว่าท่าเชื่อมอื่นอย่างชัดเจน

เปรียบเทียบท่าทางของร่างกาย ในรูปที่ 4.11 แถว C ซึ่งเป็นภาพถ่ายด้านขวาของผู้ทดสอบที่แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของข้อมือที่ใช้ในการเชื่อม โดยที่ท่าราบ (คอลัมน์ F) ที่ลักษณะข้อมือจะแตกต่างจากท่าเชื่อมอื่นคือ ข้อมือจะต้องจับหัวจับลวดเชื่อมเพื่อให้ลวดเชื่อมตั้งฉากกับพื้น โดยที่ท่าตั้งและท่าระดับจะใช้ข้อมือในการจับหัวลวดเชื่อมให้ขนานกับพื้น ซึ่งตำแหน่งของข้อมือนี้เป็นการเคลื่อนไหวของกระดูก Radius, Ulna และ Carpals

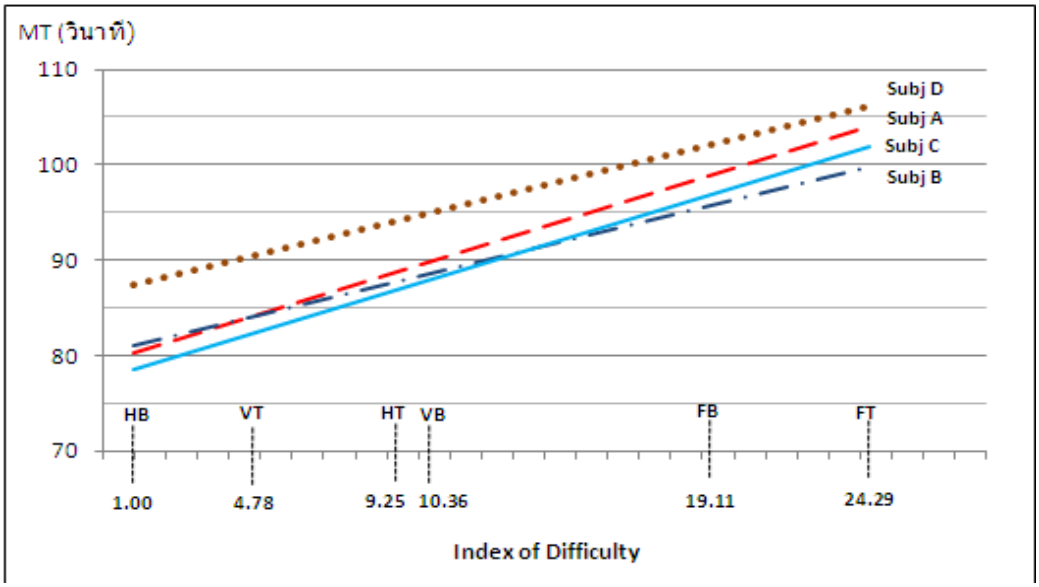
เปรียบเทียบท่าทางของร่างกาย ในรูปที่ 4.11 พิจารณาในแถว D ซึ่งเป็นภาพถ่ายด้านซ้ายของผู้ทดสอบ พบว่า ตำแหน่งศีรษะของผู้ทดสอบในท่าราบ (คอลัมน์ H) ก้มมากกว่าตำแหน่งศีรษะในท่าตั้งและท่าระดับ ซึ่งแสดงในคอลัมน์ V และคอลัมน์ H ตามลำดับ การก้มศีรษะเช่นนี้เป็นการเคลื่อนไหวของกระดูก Cervicle vert และ Pivot และใช้กล้ามเนื้อ Sternocieidomastoid, และ Trapezius

	ท่าราบ (F)	ท่าตั้ง (V)	ท่าระดับ (H)
A			
B			
C			
D			

รูปที่ 4.11 ท่าทางการเชื่อมชิ้นงานด้วยตำแหน่งท่าเชื่อมท่าราบ, ท่าตั้ง และท่าระดับ

4.6 การประเมินสมรรถนะการทำงานระหว่างผู้ทดสอบ

จากการเลือกมาตรา ID ที่มาจากวิธีการ Optimization ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance : IP) คำนวณจากส่วนกลับของความชันสมการถดถอยเชิงเส้นของเวลาในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงานจนสำเร็จ ที่มีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น คือ MT = b*ID + a โดยที่ IP = 1/b ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง MT ที่ใช้ในการเชื่อมกับดัชนีความยากของงาน (ID) ที่แสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.7 หากเปรียบเทียบเฉพาะค่า IP พบว่า ผู้ทดสอบ B มีค่าสมรรถนะสูงสุด คือ 1.243 และผู้ทดสอบ D, C และ A มีค่าสมรรถนะ 1.237, 0.995 และ 0.983 ลดลงมาตามลำดับ



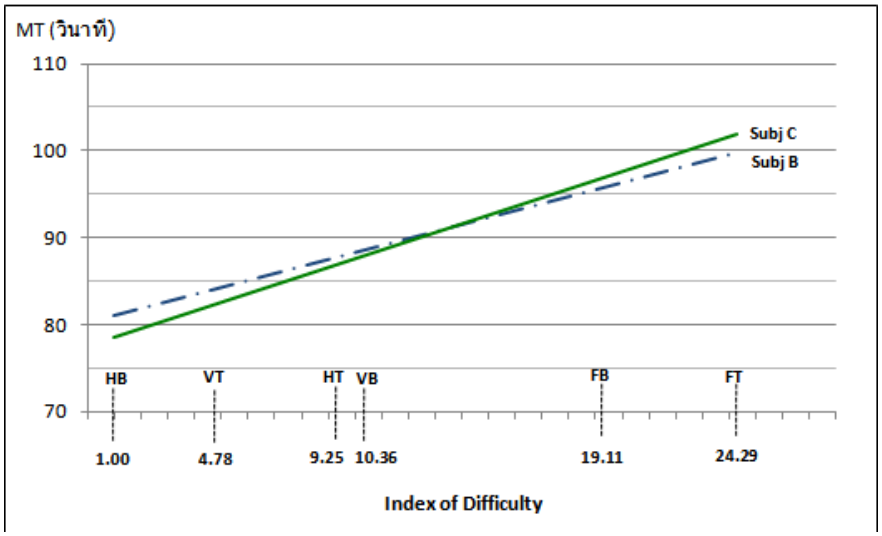
รูปที่ 4.12 กราฟสมรรถนะของผู้ทดสอบ A, B, C และ D

ตารางที่ 4.7 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงของผู้ทดสอบ A, B, C และ D

ผู้ทดสอบ	สมการถดถอย	R^2	a	b	IP = 1/b
A	y = 1.017x + 79.26	0.732	79.26	1.017	0.983
B	y = 0.804x + 80.27	0.527	80.27	0.804	1.243
C	y = 1.005x + 77.56	0.707	77.56	1.005	0.995
D	y = 0.808x + 86.58	0.682	86.58	0.808	1.237

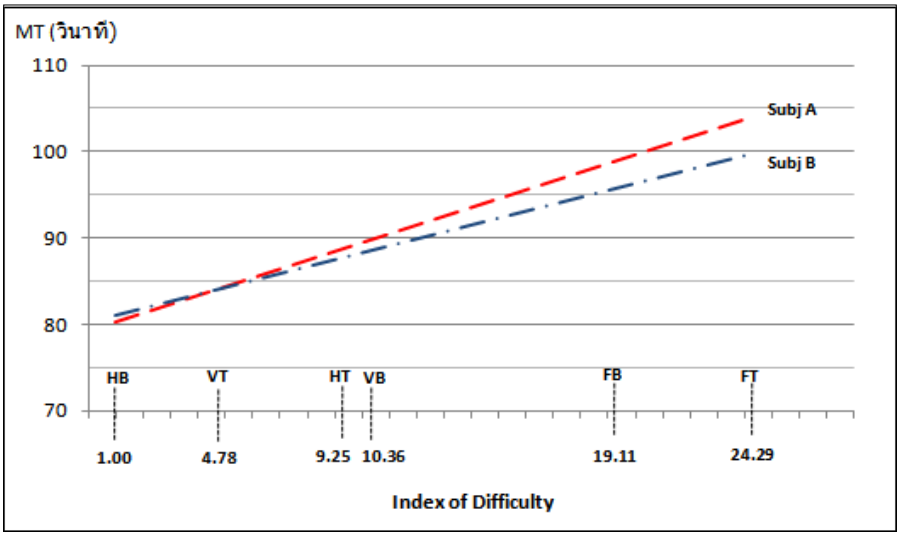
การเปรียบเทียบโดยการนำค่าจุดตัดแกน y (y Intercept) หรือ ค่า a ที่แสดงในตารางที่ 4.7 มาใช้ในการร่วมพิจารณา ซึ่งค่า a ที่น้อยกว่าที่ตำแหน่ง ID เดียวกัน หมายความว่า ใช้เวลาน้อยกว่าในการทำงานจนสำเร็จ ซึ่งผู้ทดสอบ A, B, C และ D มีค่า a เท่ากับ 79.26, 80.27, 77.56 และ 86.58 วินาที ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า ถึงแม้ว่า ผู้ทดสอบ D จะมีค่าสมรรถนะดีเป็นลำดับที่ 2 แต่ค่า a ที่มีค่าเท่ากับ 86.58 วินาที ซึ่งสูงกว่าผู้ทดสอบอีก 3 คน เมื่อพิจารณาจากเส้นตรงถดถอยแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ D ใช้เวลาในการเชื่อมชิ้นงานมากกว่าผู้ทดสอบอื่นในทุกดัชนีความยากของงาน ถึงแม้จะมีค่าสมรรถนะดีเป็นลำดับที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ทดสอบคนอื่น เช่น ผู้ทดสอบ A ซึ่งเป็นผู้ที่มีค่าสมรรถนะต่ำสุด แต่ว่าค่า a ของผู้ทดสอบ A มีค่าเท่ากับ 79.26 ซึ่งดีกว่าผู้ทดสอบ D สามารถเปรียบเทียบได้ว่า ผู้ทดสอบ A ใช้เวลาน้อยกว่า และการพิจารณาจากเส้นตรง แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ A ทำงานสำเร็จด้วยเวลาที่น้อยกว่าผู้ทดสอบ D ในทุกดัชนีความยากของงาน พิจารณาจาก โดยกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง MT กับ ID จากรูปที่ 4.12 สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบรายบุคคลได้หลายกรณี ดังนี้

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ B กับ ผู้ทดสอบ C แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่า ในงานที่ง่ายกว่า ผู้ทดสอบ B จะใช้เวลาในการทำงานมากกว่าผู้ทดสอบ C แต่เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบ B สามารถทำงานได้ด้วยเวลาที่น้อยผู้ทดสอบ C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของผู้ทดสอบ B ที่เพิ่มขึ้นเมื่อดัชนีความยากเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการมอบหมายงานให้เหมาะสมกับสมรรถนะของพนักงาน เช่น ถ้าหากมีงานที่มีระดับความยากมาก จะมอบหมายให้ผู้ทำงานนั้นได้ด้วยเวลาที่น้อยกว่าเป็นผู้ทำงาน



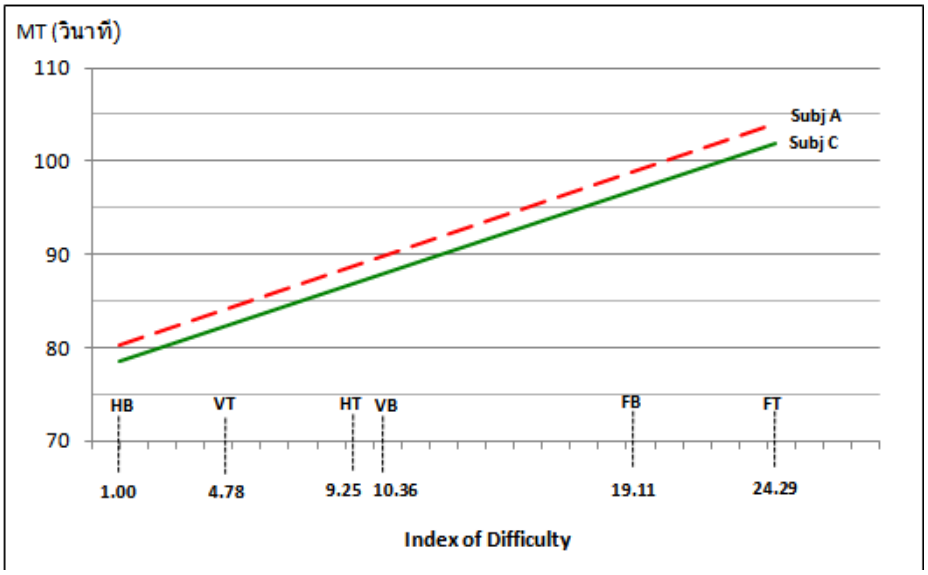
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ B กับ C

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ ผู้ทดสอบ B ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่า ดัชนีความยากที่น้อยๆ เวลาที่ใช้ในการทำงานของผู้ทดสอบ A และ B ใช้เวลาใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดัชนีความยากเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบ A มีแนวโน้มที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้นมากกว่าผู้ทดสอบ B ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการประเมินสมรรถนะประจำปี และเป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์การขึ้นค่าจ้าง ที่แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ B มีสมรรถนะดีกว่าผู้ทดสอบ A



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ B

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ ผู้ทดสอบ C ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าในทุกดัชนีความยาก ผู้ทดสอบ C ใช้เวลาน้อยกว่าผู้ทดสอบ A ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการประเมินค่าจ้าง เช่น หากผู้ทดสอบ C เป็นพนักงานที่จะรับเข้ามาทำงานใหม่ และผู้ทดสอบ A เป็นพนักงานเดิมที่ทำงานอยู่แล้ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบ C มีสรรถนะดีกว่า ผู้ทดสอบ A ถึงแม้ว่าผู้ทดสอบ A จะทำงานมานานแล้วก็ตาม ผลการทดสอบสมรรถนะจะเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยตัดสินใจในการประเมินค่าจ้างให้พนักงานใหม่



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ C

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยของงานเชื่อมโลหะที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมโลหะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างการวัดสมรรถนะของงานเชื่อม ปัจจัยด้านท่าเชื่อมและชนิดรอยต่อแนวเชื่อม มีผลต่อเวลาในการเชื่อมโลหะ ซึ่งนำไปใช้ในการกำหนดดัชนีความยาก (Index of Difficulty) ที่ประยุกต์ใช้ Fitts' law ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความยากกับเวลาที่แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะ โดยทำการศึกษางานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม ที่มีรูปแบบงาน 6 รูปแบบ กับผู้เข้าร่วมทดสอบ 4 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีอาชีพช่างเชื่อม

การกำหนดมาตราส่วน ID ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง MT กับ ID เพื่อให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเส้นตรง สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีสร้างความสัมพันธ์จากค่าเฉลี่ย MT และ วิธี Optimization ซึ่งแต่ละวิธีได้กำหนดเป้าหมายในการสร้างความสัมพันธ์ไว้ 2 รูปแบบ คือ ทำให้ผลรวมของค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน มีค่าสูงสุด กับ ค่า R^2 ที่มาจากการรวมของ MT ของทุกคน ซึ่งเป็นค่า R^2 เดียว ให้มีค่าสูงสุด โดยผลจากการกำหนด ID พบว่า

วิธีสร้างความสัมพันธ์จากค่าเฉลี่ย MT ให้ผลการกำหนดมาตรา ID ที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งสองเป้าหมาย ทั้งเป้าหมายที่ให้ผลรวมของค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน มีค่าสูงสุด และ เป้าหมายที่ค่า R^2 มาจากการรวมของ MT ของทุกคน เพื่อให้เป็นค่า R^2 เดียว ให้มีค่าสูงสุด ซึ่งมาตรา ID ที่ได้ของสองเป้าหมายนี้คือ HT, VT, HT, VB, FB และ FT เท่ากับ 1.00, 4.22, 8.02. 9.32, 17.28 และ 22.08 ตามลำดับ

วิธีหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) จากเป้าหมายที่กำหนดให้ผลรวมของค่า R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน มีค่าสูงสุด ทำให้มาตรา ID ที่คำนวณได้ คือ HB เท่ากับ 1.00, VT เท่ากับ 4.78,HT เท่ากับ 9.25, VB เท่ากับ 10.36, FB เท่ากับ 19.11 และ FT เท่ากับ 24.29 ซึ่งตำแหน่ง ID แตกต่างจาก เป้าหมายที่กำหนดให้ ค่า R^2 มาจากการรวมของ MT ของทุกคน เพื่อให้เป็นค่า R^2 เดียวที่มีมาตรา ID ที่คำนวณได้ คือ HB เท่ากับ 1.00, VT เท่ากับ 4.33, HT เท่ากับ 8.26, VB เท่ากับ 9.24, FB เท่ากับ 16.94 และ FT เท่ากับ 21.56 ซึ่งเมื่อนำ ID จากทั้งสองเป้าหมายไปสร้างกราฟสมรรถนะของผู้ทดสอบ 4 คน พบว่า ให้ค่า R^2 รายบุคคล ระหว่าง สองวิธีใกล้เคียงกัน

ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการกำหนดมาตรา ID ระหว่าง ความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ย กับ วิธี Optimization จึงขึ้นอยู่การตัดสินใจของผู้ใช้ ซึ่งวิธี Optimization จะเป็นวิธีที่มีรูปแบบมากกว่า

การเปรียบเทียบปัจจัยด้านท่าทางกับดัชนีความยาก พบว่า ID ของท่าเชื่อมแบบท่าราบอยู่ในระดับที่ยากที่สุด ซึ่งการเคลื่อนไหวของร่างกายมีความแตกต่างจากท่าเชื่อมที่มีระดับความยากน้อย คือ การยกหัวไหล่ที่มากกว่าโดยต้องกางแขนออกจากลำตัว การก้มของศีรษะที่มากกว่า และมีทิศทางของข้อมือที่บิดลงมากกว่า ซึ่งการเคลื่อนไหวของร่างกายสำหรับดัชนีความยากที่น้อย ศีรษะจะตั้งตรง หัวไหล่จะไม่ยกสูงและแขนแนบกับลำตัว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของท่าทาง มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเชื่อม

การประเมินสมรรถนะระหว่างผู้ทดสอบ พบว่า ผู้ทดสอบ B มีสมรรถนะดีที่สุด เนื่องจากมีค่า ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (IP) สูงสุด และจากการเปรียบเทียบกับผู้ทดสอบอื่นพบว่า ผู้ทดสอบ B สามารถทำงานที่มีระดับความยากที่สุดได้ดีที่สุด ในขณะที่งานที่ง่าย ผู้ทดสอบ C สามารถทำได้เร็วที่สุด

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

การสร้างการวัดสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คแบบลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม เป็นงานฝีมือทางด้านอุตสาหกรรม ที่ใช้แนวคิดของฟิตส์ ในการทำให้สามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้น ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของช่างเชื่อมได้ ด้วยการกำหนดรูปแบบงานที่มีดัชนีความยากในการทดสอบ ที่นำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

5.2.1 การวางแผนการผลิต และการมอบหมายงานให้ตรงตามสมรรถนะของช่างเชื่อม จากจุดตัดระหว่างสมรรถนะของช่างเชื่อมแต่ละคน แสดงให้เห็นถึงบางช่วงของดัชนีความยาก เช่น ช่างเชื่อมบางคนสามารถทำงานที่ง่ายกว่าได้เร็วกว่า และช่างเชื่อมบางคนสามารถทำเวลาได้ดีกว่าในงานที่มีดัชนีความยากสูง จึงสามารถมอบหมายงานให้ตรงกับสมรรถนะของช่างเชื่อม ส่งผลให้แผนการผลิตเป็นไปตามที่วางแผนไว้

5.2.2 การประเมินวัดผลความสามารถของพนักงาน ที่ใช้การวัดสมรรถนะ สามารถแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาฝีมือของช่างเชื่อม ของการประเมินประจำปี และใช้เป็นส่วนหนึ่งของการปรับเพิ่มค่าแรงประจำปี

5.2.3 การประเมินค่าแรงในการรับช่างเชื่อมเข้าใหม่ ใช้การวัดสมรรถนะที่สร้างขึ้น สามารถแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของช่างเชื่อมใหม่ เปรียบเทียบสมรรถนะกับช่างเชื่อมเดิม ที่จะใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจ่ายค่าแรงกับช่างเชื่อมในการรับเข้าทำงาน

5.2.4 การพัฒนาฝีมือแรงงาน ใช้การวัดสมรรถนะ ทราบถึงฝีมือในการทำงาน และการพัฒนาของฝีมือ ที่สามารถใช้การวัดสมรรถนะเป็นตัวชี้วัดทางด้านการประเมินทางด้านความสามารถได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การควบคุมท่าทางในการเชื่อมของผู้ทดสอบ ควรให้ผู้ทดสอบติดตั้งชิ้นงานในตำแหน่งที่ตนเองมีความถนัด เนื่องจากความถนัดของแต่ละคนจะส่งผลต่อสมรรถนะ

5.3.2 รูปแบบ ID มาตรฐาน จะเปลี่ยนไป หากจำนวนผู้เข้าร่วมทดสอบมีความหลากหลายและมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งการยอมรับรูปแบบ ID มาตรฐาน จึงขึ้นอยู่กับจำนวนผู้เข้าร่วมทดสอบแนวทางการกำหนดดัชนีความยาก และการหาสมรรถนะของงานเชื่อมในการศึกษานี้ จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้แนวคิดของฟิตส์กับงานอุตสาหกรรม และนำไปประยุกต์ใช้สร้างวิธีการวัดสมรรถนะของงานฝีมือประเภทอื่นได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จรัญ ภาสุระ, เออร์กอนอมิกส์ (Ergonomic) ศาสตร์เพื่อการปรับสภาพแวดล้อมในการทำงานประจำวัน. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539.

ณรงค์ มากชม. งานเชื่อมและโลหะแผ่นเบื้องต้น. สำนักพิมพ์วังอักษร พิมพ์ครั้งที่ 7, 2552.

บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล. กายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยา ระบบกล้ามเนื้อ กระดูก และข้อต่อ. กรุงเทพฯ. ภาควิชาสรีรวิทยา มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539.

ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน, เรื่อง มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติสาขาอาชีพช่างเชื่อมแม็ก, 2549

ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน, วิธีการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานและการออกหนังสือรับรองว่าเป็นผู้ผ่านการทดสอบ มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ สาขาอาชีพช่างเชื่อมแม็ก, 2550

ประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง, เรื่อง อัตราค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือ (ฉบับที่ 3), 2555

ประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง, เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ 7), 2556

ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน, เรื่อง มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติสาขาอาชีพ ช่างเชื่อมทิก, 2555

ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน, วิธีการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานและการออกหนังสือรับรองว่าเป็นผู้ผ่านการทดสอบ มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ สาขาอาชีพช่างเชื่อมทิก, 2555

พงศ์ภัทร อุไรวงค์. การประเมินสมรรถนะการใช้แป้นพิมพ์การยศาสตร์โดยอาศัยหลักการกฎของฟิตส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

ภัทรพร เกียรติธรรม. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของเมาส์และ สมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

ภาษาอังกฤษ

Card, S. K., English, W. K.and Burr, B. J. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric Joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRY, Ergonomics, 21, (1978):601-613.

Drury, C. G. Application of Fitts' law to foot-pedal design. Human Factors, 17, (1975): 368-373.

Epps, B. W. Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society, (1986): 327-331.

Mackenzie, I. S. Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. Human-Computer Interaction, 7, pp.91-139. University of Toronto : Lawrence Erlbaum Associates, Ind., 1992

Kantowitz, B. H. and Elvers, G. C. Fitts' law with an isometric controller: Effect of order of control and control-display gain. Journal of Motor Behavior. 20, (1988):53-66.

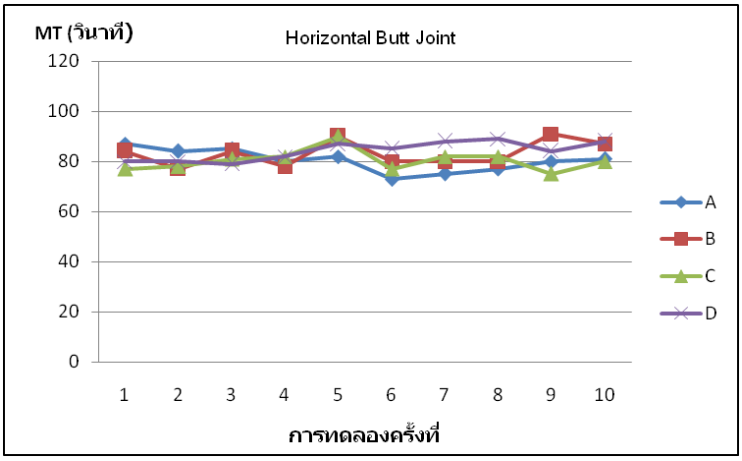
Richard J. Jagacinski. John M. and Flach., Information Theory and Fitts' Law (Control Theory for Humans), (2003):21-22.

Richard J. Jagacinski. John M. and Flach., Schmidt's Law (Control Theory for Humans), (2003):74-75.

Thomas, C. and Milan, S. Which input device should be used with interactive video? In B. Shackel (Ed.), Human-Computer Interaction, (1987):587-592.

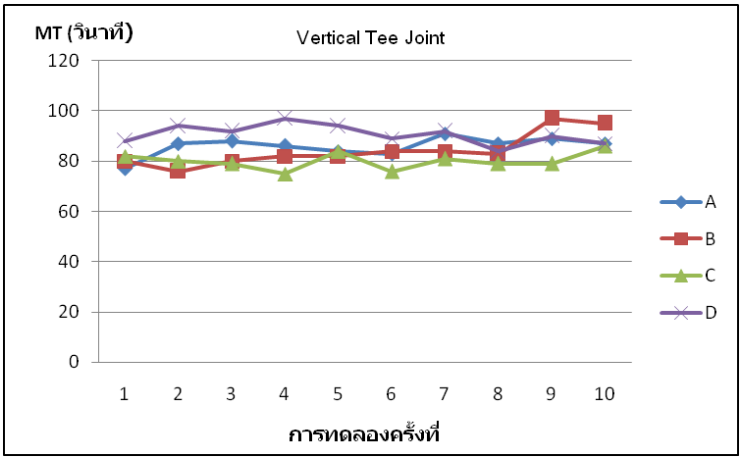
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

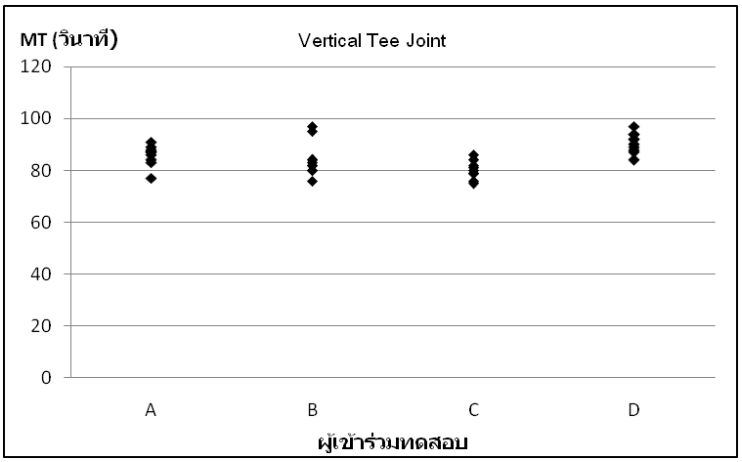


รูปที่ ก.1 MT ของรูปแบบงาน HB

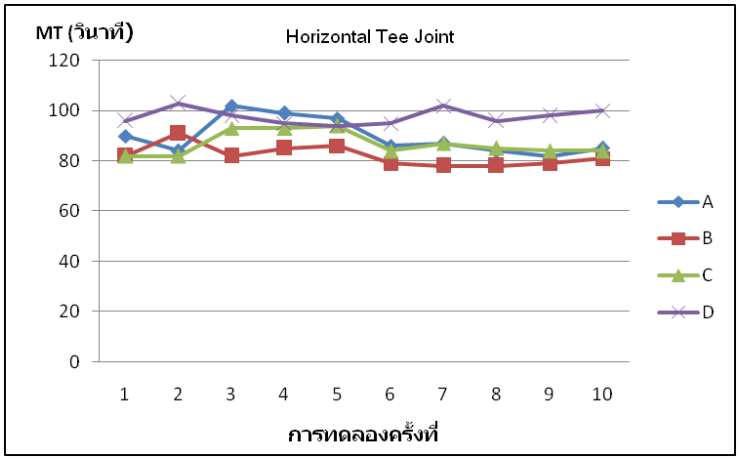
รูปที่ ก.2 MT ของรูปแบบงาน HB แบ่งตามผู้ทดสอบ



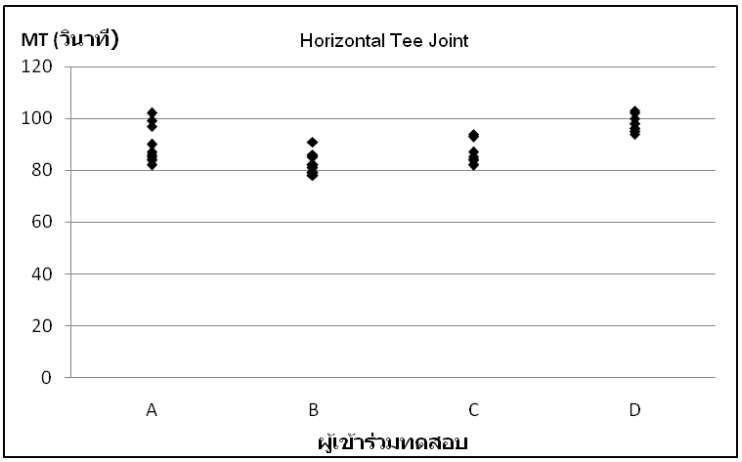
รูปที่ ก.3 MT ของรูปแบบงาน VT



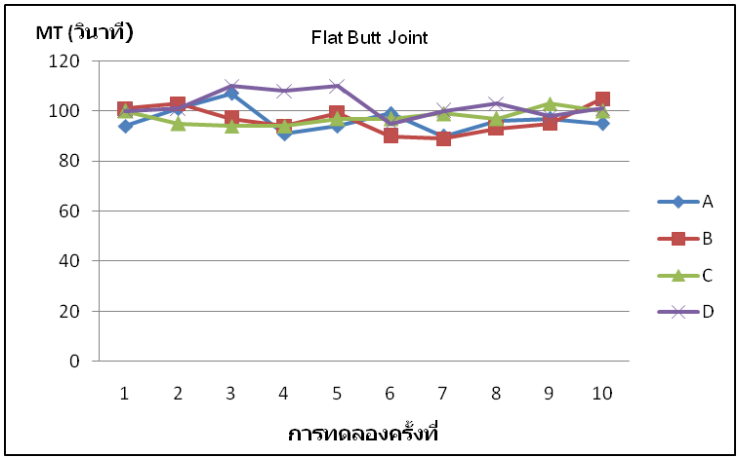
รูปที่ ก.4 MT ของรูปแบบงาน VT แบ่งตามผู้ทดสอบ



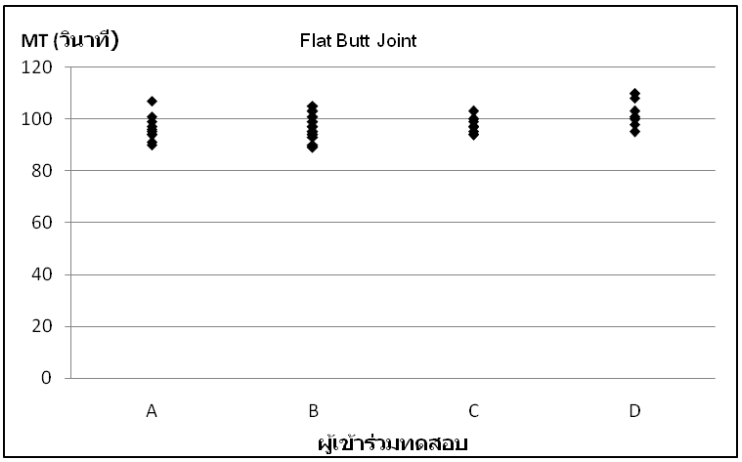
รูปที่ ก.5 MT ของรูปแบบงาน HT



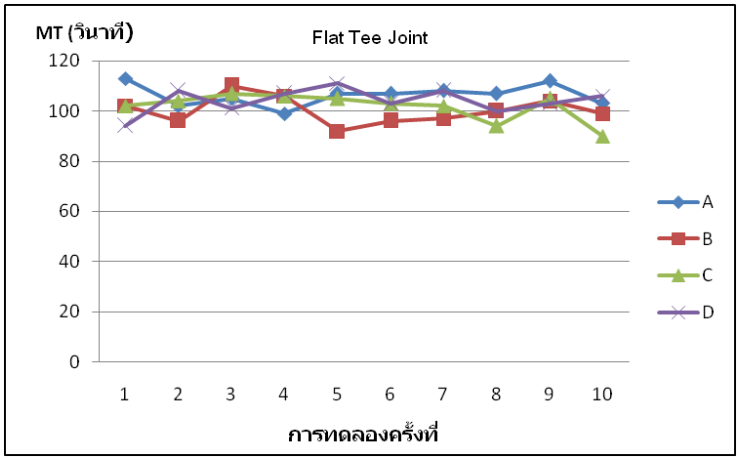
รูปที่ ก.6 MT ของรูปแบบงาน HT แบ่งตามผู้ทดสอบ



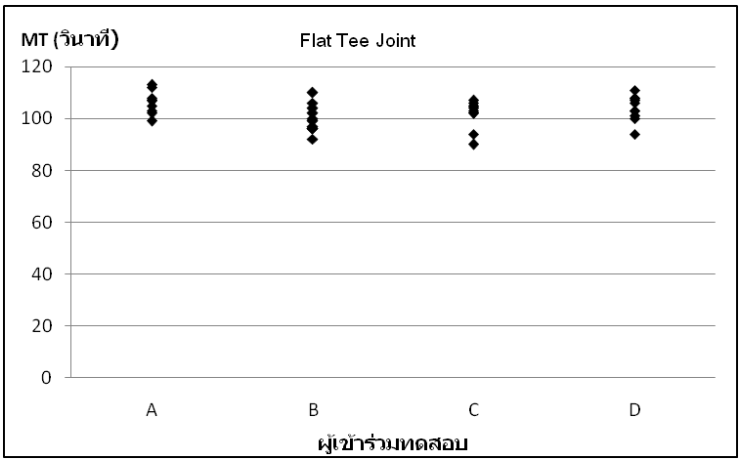
รูปที่ ก.7 MT ของรูปแบบงาน FB



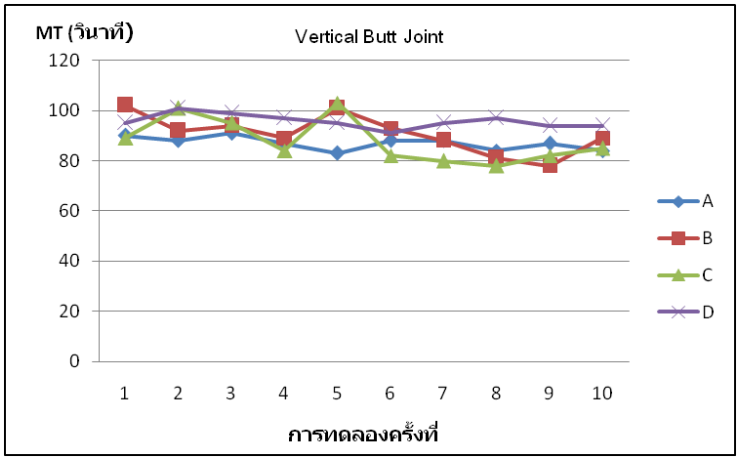
รูปที่ ก.8 MT ของรูปแบบงาน FB แบ่งตามผู้ทดสอบ



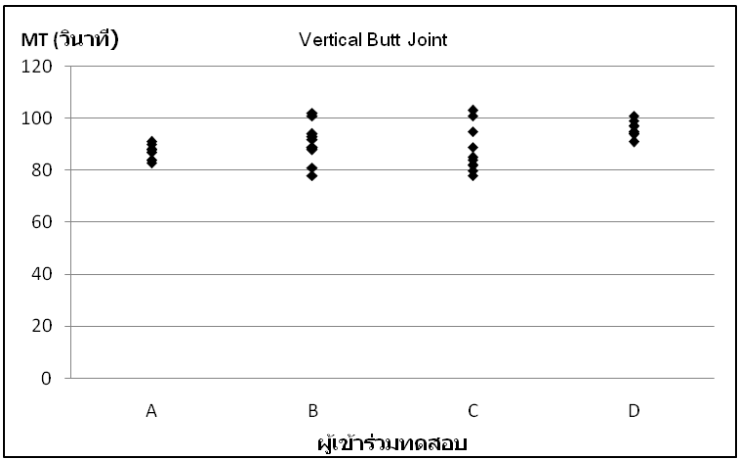
รูปที่ ก.9 MT ของรูปแบบงาน FT



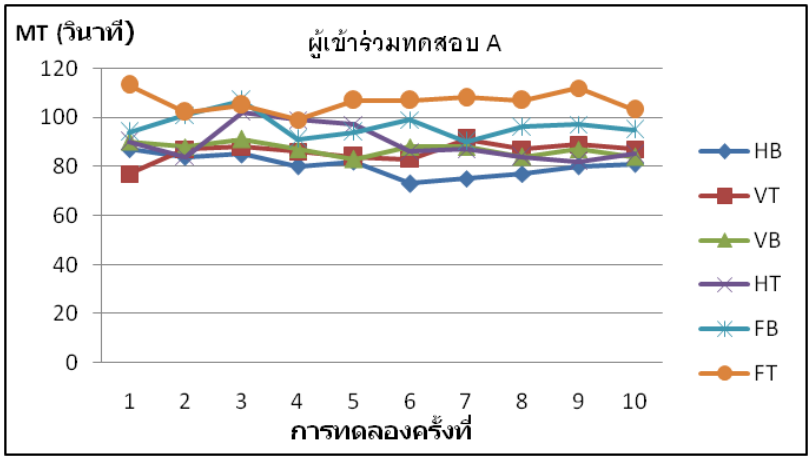
รูปที่ ก.10 MT ของรูปแบบงาน FT แบ่งตามผู้ทดสอบ



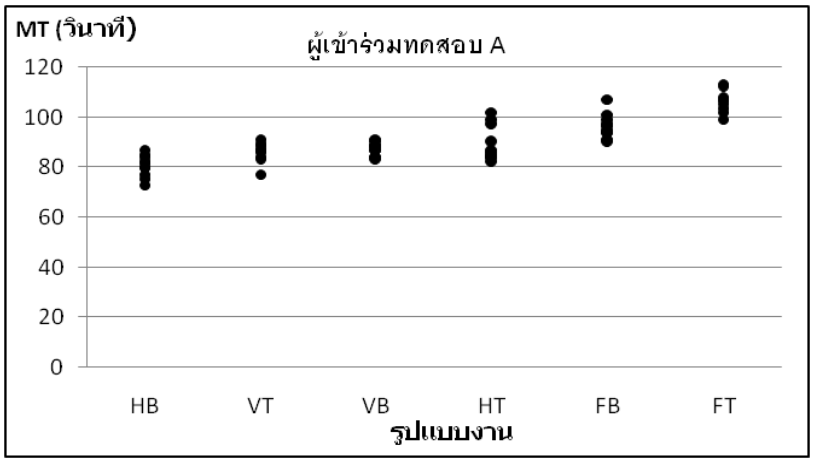
รูปที่ ก.11 MT ของรูปแบบงาน VB



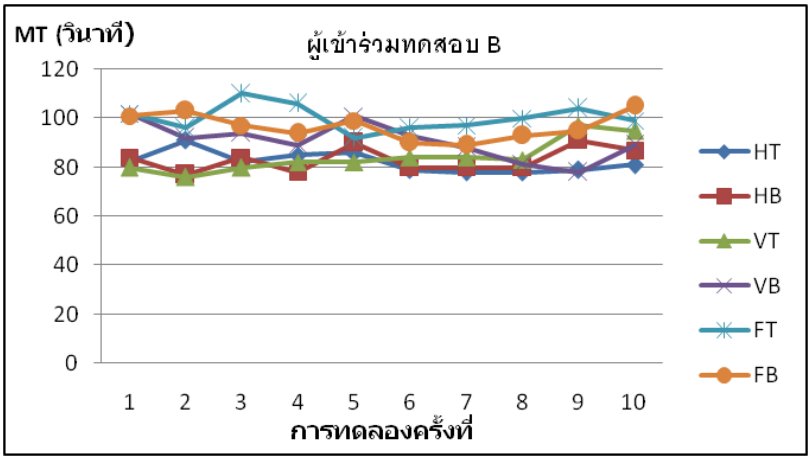
รูปที่ ก.12 MT ของรูปแบบงาน VB แบ่งตามผู้ทดสอบ



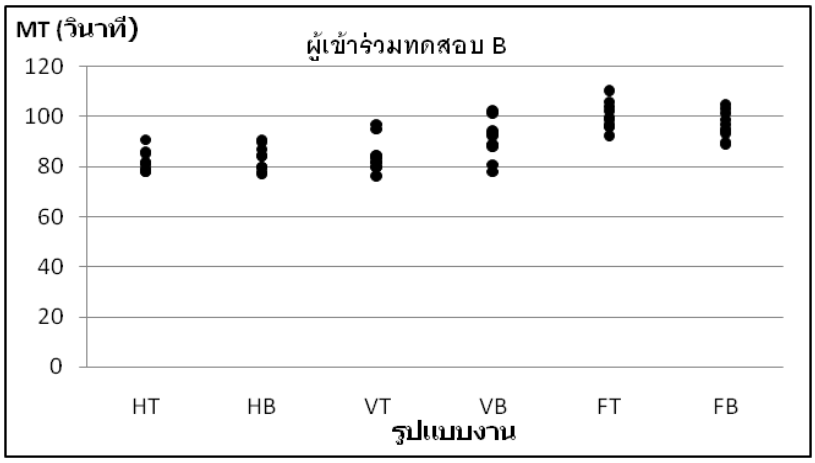
รูปที่ ก.13 MT ของผู้ทดสอบ A ในทุกรูปแบบงาน



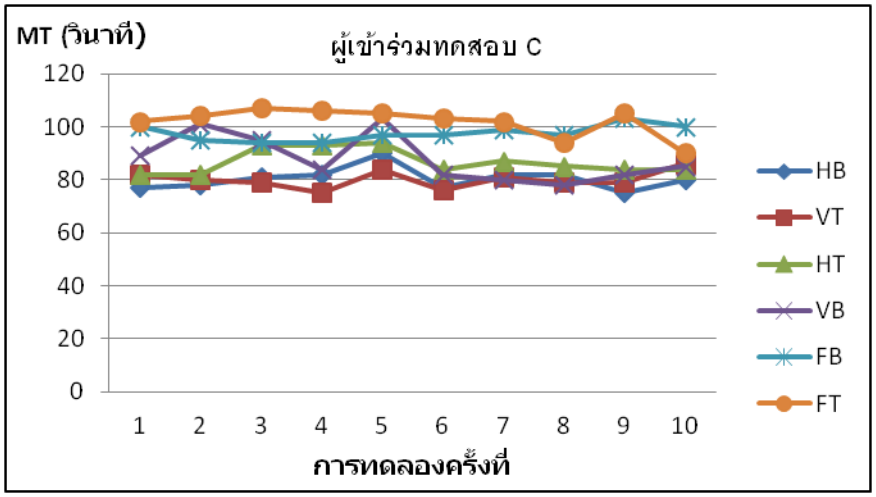
รูปที่ ก.14 MT ของผู้ทดสอบ A ในทุกรูปแบบงาน เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย



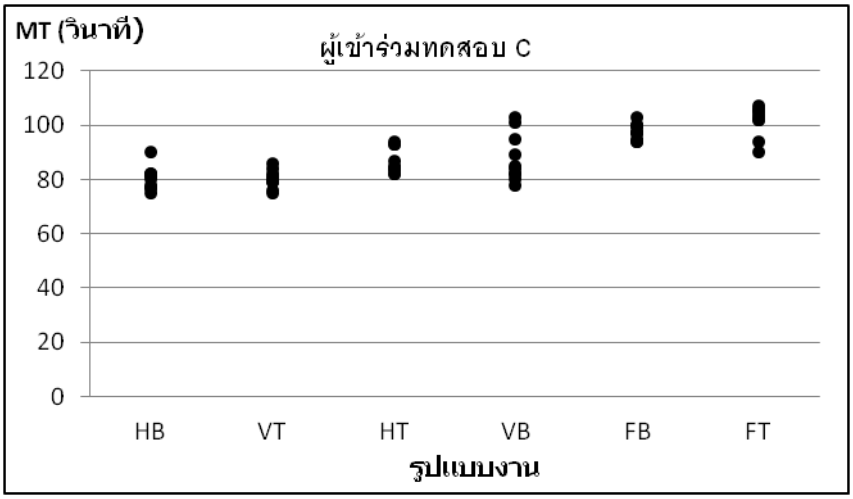
รูปที่ ก.15 MT ของผู้ทดสอบ B ในทุกรูปแบบงาน



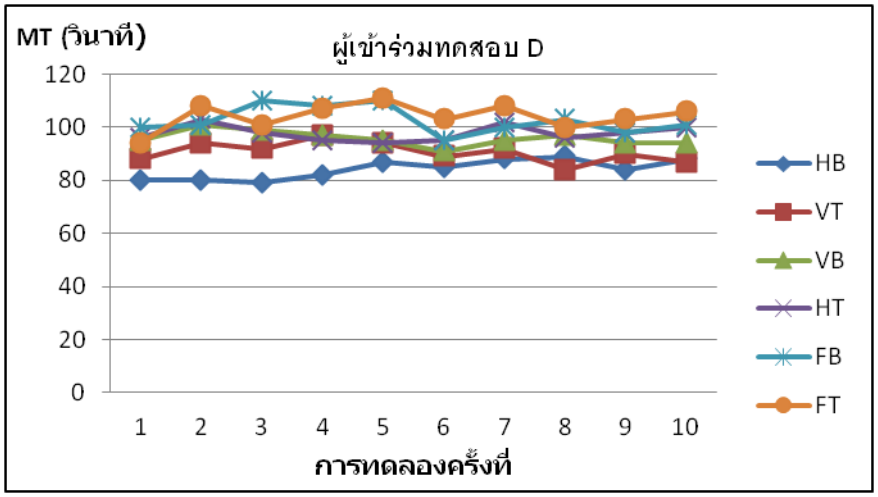
รูปที่ ก.16 MT ของผู้ทดสอบ B ในทุกรูปแบบงาน เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย



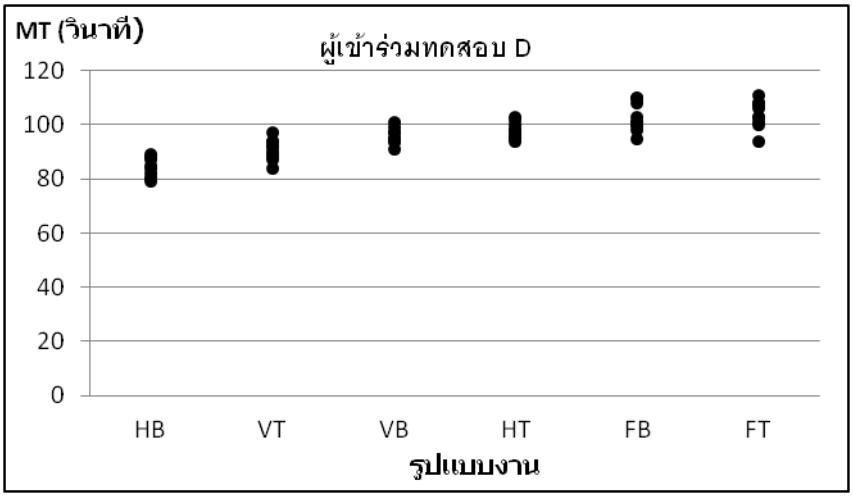
รูปที่ ก.17 MT ของผู้ทดสอบ C ในทุกรูปแบบงาน



รูปที่ ก.18 MT ของผู้ทดสอบ C ในทุกรูปแบบงาน เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย



รูปที่ ก.19 MT ของผู้ทดสอบ D ในทุกรูปแบบงาน



รูปที่ ก.20 MT ของผู้ทดสอบ D ในทุกรูปแบบงาน เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย

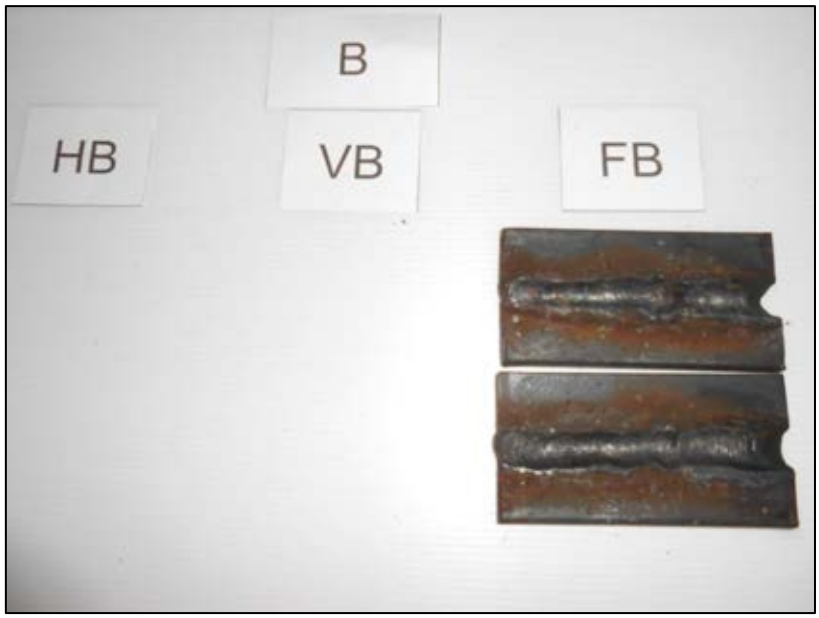
ภาคผนวก ข
ชิ้นงานที่ทำการทดลอง

รูปที่ ข.1 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ A รูปแบบงาน HB, VB และ FB

รูปที่ ข.2 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ A รูปแบบงาน HT, VT และ FT

รูปที่ ข.3 ชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของผู้ทดสอบ A รูปแบบงาน VT และ FT

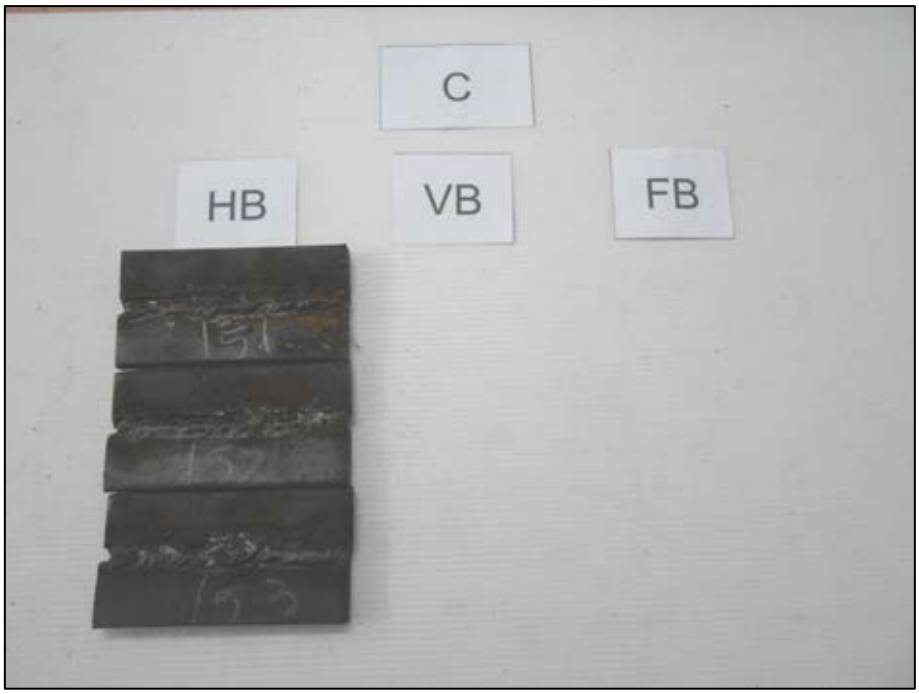
รูปที่ ข.4 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ B รูปแบบงาน HB, VB และ FB



รูปที่ ข.5 ชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของผู้ทดสอบ B รูปแบบงาน FB

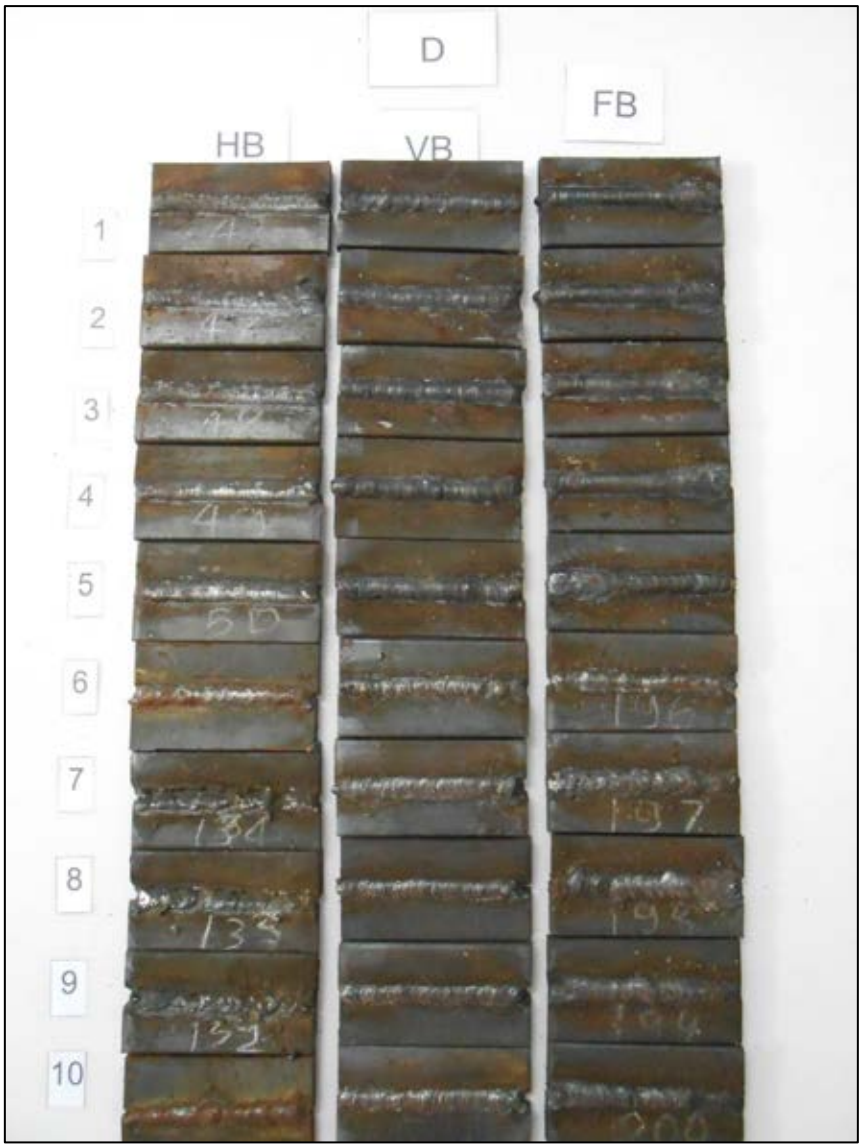
รูปที่ ข.6 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ B รูปแบบงาน HT, VT และ FT

รูปที่ ข.7 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ C รูปแบบงาน HB, VB และ FB

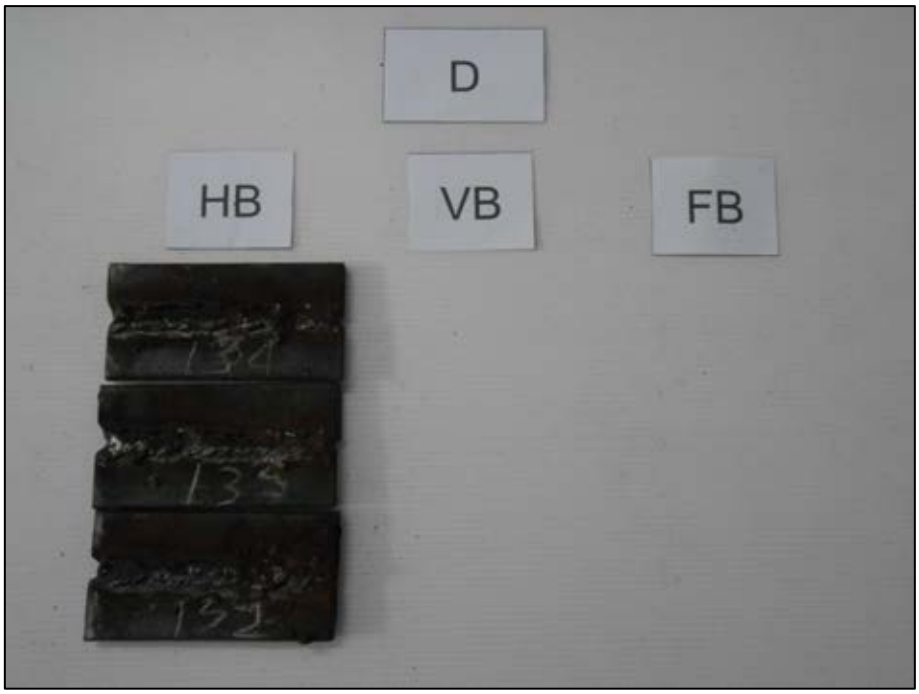


รูปที่ ข.8 ชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของผู้ทดสอบ C รูปแบบงาน HB

รูปที่ ข.9 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ C รูปแบบงาน HT, VT และ FT



รูปที่ ข.10 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ D รูปแบบงาน HB, VB และ FB



รูปที่ ข.11 ชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของผู้ทดสอบ D รูปแบบงาน HB

รูปที่ ข.12 ชิ้นงานของผู้ทดสอบ D รูปแบบงาน HT, VT และ FT

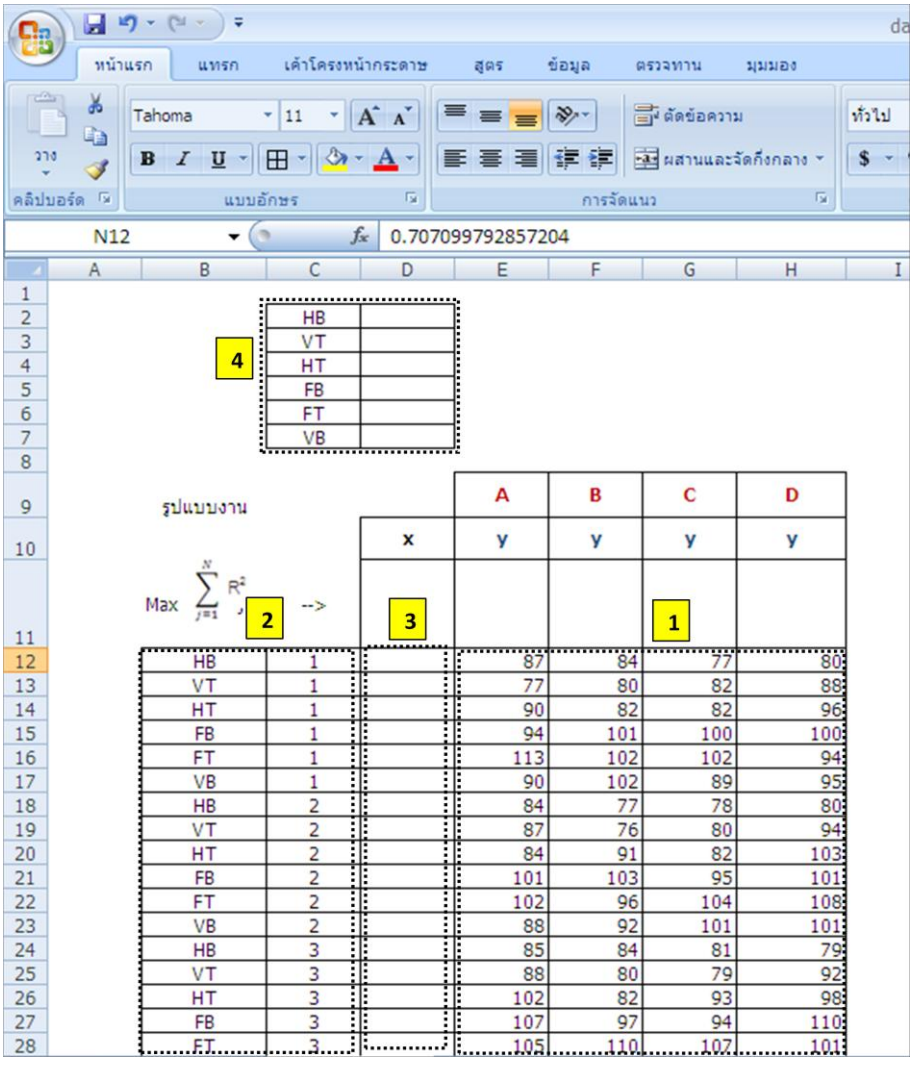
รูปที่ ข.13 ชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของผู้ทดสอบ D รูปแบบงาน VT

ภาคผนวก ค
วิธีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) ในโปรแกรม Excel

การกำหนดดัชนีความยาก โดยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) ที่แบ่งเป็น หาผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของผู้ทดสอบ 4 คนสูงสุด กับ หา R^2 สูงสุดจากการรวมเวลาที่ใช้ในการเชื่อมของทุกคน มีขั้นตอนการทำในโปรแกรม Excel ดังนี้

<u>วิธีหาผลรวม R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน</u>

1. สร้างตารางข้อมูลทดสอบดังรูป โดยที่คอลัมน์ E, F, G และ H คือ ข้อมูล MT ของผู้ทดสอบ A, B, C และ D ตามลำดับ
2. รูปแบบงาน และลำดับชิ้นงาน กำหนดในคอลัมน์ B และ C
3. สร้างเซลล์สำหรับแสดงค่ามาตราแกน x ในช่อง (D2:D7)
4. เชื่อมข้อมูลค่ามาตราแกน x ในข้อ 3 ลงในคอลัมน์ D



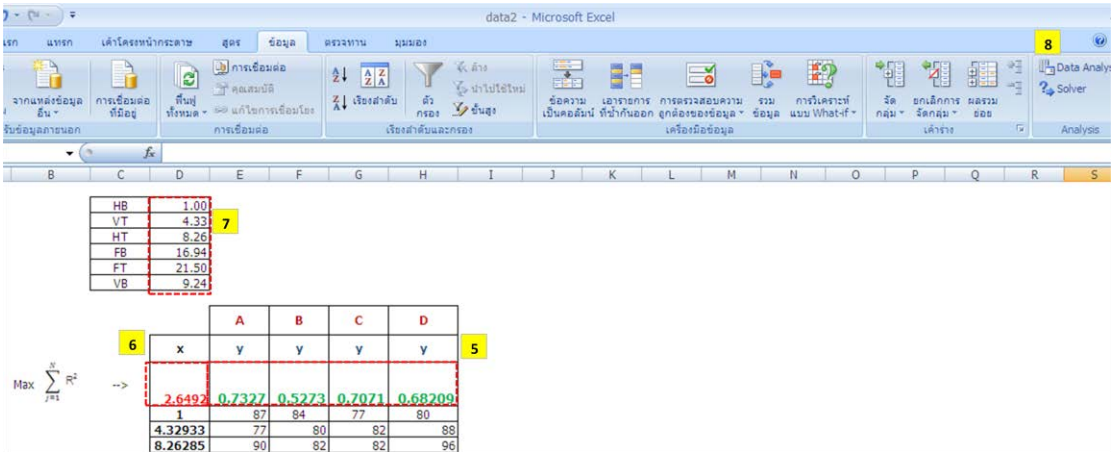
HB	1		87	84	77	80
VT	1		77	80	82	88
HT	1		90	82	82	96
FB	1		94	101	100	100
FT	1		113	102	102	94
VB	1		90	102	89	95
HB	2		84	77	78	80
VT	2		87	76	80	94
HT	2		84	91	82	103
FB	2		101	103	95	101
FT	2		102	96	104	108
VB	2		88	92	101	101
HB	3		85	84	81	79
VT	3		88	80	79	92
HT	3		102	82	93	98
FB	3		107	97	94	110
FT	3		105	110	107	101

5. ใส่สูตร R^2 ในช่อง E11, F11, G11 และ H11 สำหรับค่า R^2 ของ A, B, C และ D ตามลำดับ

6. รวมผล R^2 ของทั้ง 4 คนในช่อง D11

7. ใส่มาตรา x ในช่อง D2:D7 ด้วยค่าจาก วิธีการหาค่าเฉลี่ย

8. บนแถบเครื่องมือ เลือก ข้อมูล -- > Solver



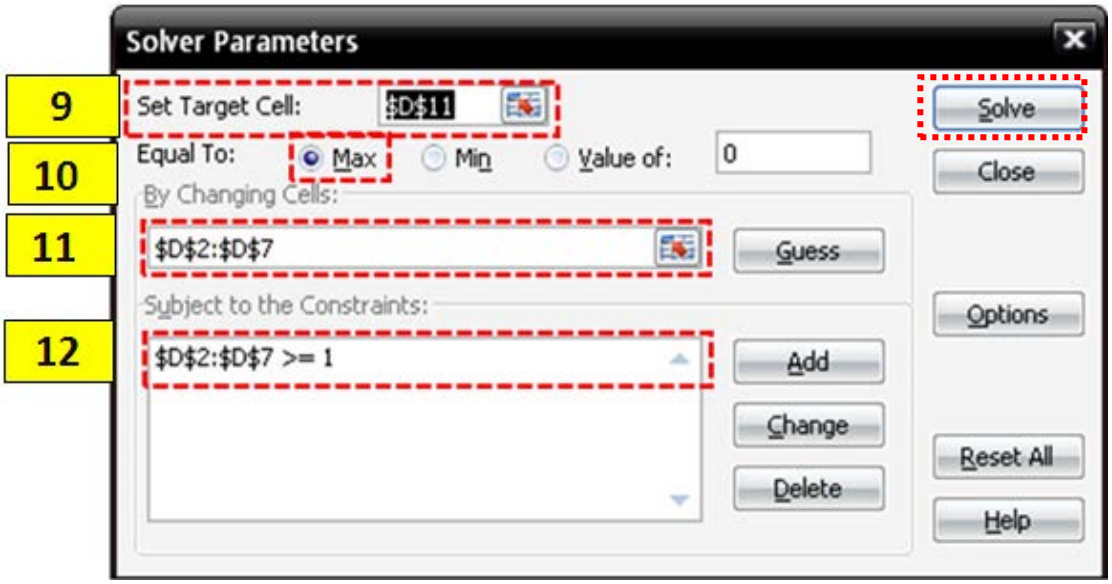
9. Set Target cell : ช่องของผลรวม R^2 D11 ตามข้อ 6

10. Equal to : Max (ค่าสูงสุด)

11. By changing cells : D2:D7 ตามข้อ 3 และ 6 (ตำแหน่งมาตราแกน x)

12. Subject to the constraints : D1:D7 ≥ 1 (ID ทุกตัว ≥ 1)

13. กดปุ่ม Solve

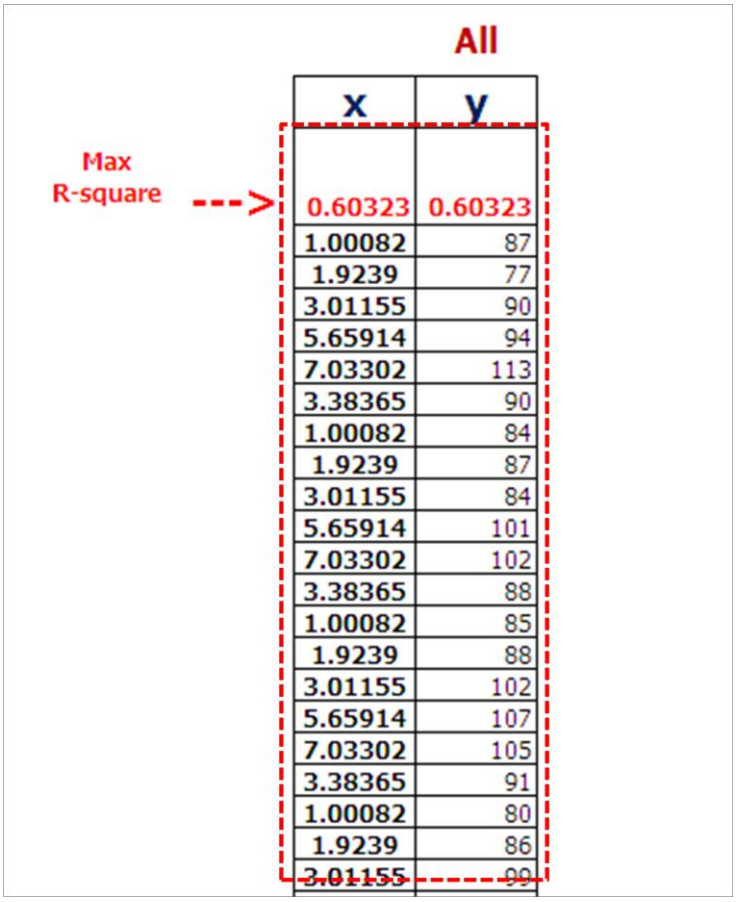


15. จะได้ตำแหน่งของมาตราแกน x ของรูปแบบงานทั้ง 6 รูปแบบ เพื่อนำไปสร้างกราฟสมรรถนะ โดยสามารถเปลี่ยนตัวเลขที่อยู่ในช่องดังกล่าว ให้มีค่าน้อยกว่า มาตราแกน x ที่หาจากค่าเฉลี่ย ก่อนการกดป่า Solve

HB	**1.00**
VT	**4.54**
HT	**8.72**
FB	**17.94**
FT	**22.78**
VB	**9.75**

<u>วิธีหา R^2 ค่าเดียวจากเวลารวมจากผู้ทดสอบทุกคน</u>

วิธีนี้มีขั้นตอนเหมือนกับวิธีผลร่วม R^2 ของผู้ทดสอบ 4 คน โดยที่แตกต่างกันตรงที่การสร้างตารางข้อมูลที่สร้างสำหรับค่า x มี 1 คอลัมน์ และสำหรับค่า y มี 1 คอลัมน์ และขั้นตอนต่อจากนั้น ดำเนินการในเหมือนกัน



ภาคผนวก ง
คู่มือการวัดสมรรถนะของงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

คำนำ

คู่มือนี้จัดทำขึ้นจากผลการวิจัย การศึกษาสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวัดสมรรถนะของช่างเชื่อม ซึ่งเป็นแรงงานประเภทฝีมือที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ลักษณะการทำงานที่มีหลายรูปแบบ หรือมีระดับความยากไม่เท่ากันในแต่ละงาน คนที่ทำงานเก่งหรือมีฝีมือที่สูงกว่า จะทำงานที่ยากกว่าด้วยเวลาที่เร็วกว่า หรือที่ถูกเรียกว่า มีสมรรถนะในการทำงานที่ดีกว่า โดยอาศัยทฤษฎี การแลกเปลี่ยนความเร็วกับความแม่นยำ คือ งานที่ต้องใช้ความเร็วก็จะไม่แม่นยำ หรืองานที่ต้องการความแม่นยำจะต้องทำให้ช้าลง

การทดสอบสมรรถนะของงานเชื่อม จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ตลอดไปจนถึงการประเมินการจ่ายค่าตอบแทน ซึ่งงานเชื่อมโลหะในปัจจุบันเกิดปัญหาขาดแคลนแรงงาน อาจเป็นเพราะส่วนหนึ่งคือ ลักษณะงานที่ยากและอันตราย ทั้งจากความร้อนและแสงสว่าง หรือการจ่ายค่าแรงที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะช่างเชื่อมที่ไม่มีหนังสือรับรองมาตรฐานฝีมือแรงงาน ทำให้ช่างเชื่อมมีการเปลี่ยนงานใหม่ที่ให้ค่าแรงมากกว่าหรือเปลี่ยนไปทำงานประเภทอื่นที่ให้ค่าแรงใกล้เคียงกัน จึงส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการในด้านต่างๆ เช่น การสูญเสียช่างเชื่อมที่มีฝีมือ เสียค่าใช้จ่ายในการฝึกหัดช่างเชื่อมใหม่ เป็นต้น คู่มือฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ประกอบการนำไปใช้ในการวัดสมรรถนะของช่างเชื่อม เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจในการบริหารการผลิต

การทดสอบ : การวัดสมรรถนะงานเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

วัตถุประสงค์ : วัดสมรรถนะของช่างเชื่อม

คำอธิบาย : การวัดสมรรถนะในคู่มือฉบับนี้เป็นการทดสอบเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม (ธูปเชื่อม) ที่ใช้ชิ้นงานความหนา 8 มม.

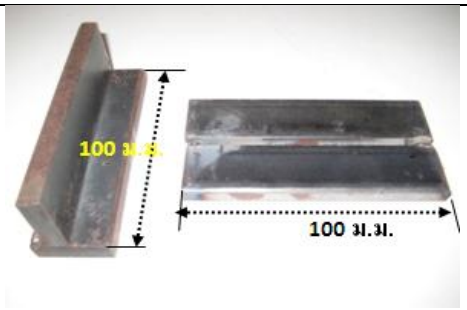
ข้อมูลที่เก็บ : เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน ที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ

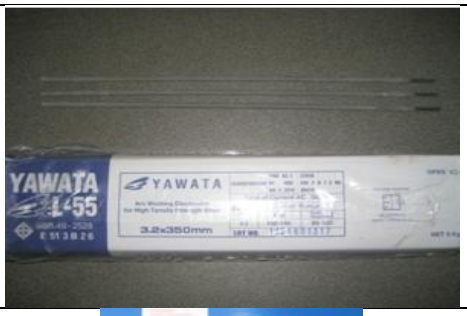
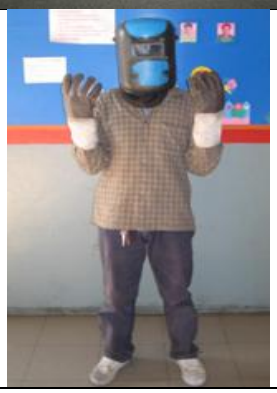
เงื่อนไข : กำหนดวัตถุประสงค์ในการเชื่อมชิ้นงาน ให้กับ ผู้ทดสอบ คือ ให้เชื่อมชิ้นงานด้วยความเร็วสูงสุด โดยที่คุณภาพของชิ้นงานต้องผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ

สถานที่ในการทดสอบ

พื้นที่สำหรับงานเชื่อม ภายในสถานประกอบการ ที่มีขนาดพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 3 x 3 เมตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ (สำหรับผู้ทดสอบ)

อุปกรณ์	รูปภาพ
1.ชิ้นงานเหล็ก ความหนา 8 มม. ความกว้าง 25 มม. ความยาว 100 มม. (แนวเชื่อม) ที่มีรอยต่อ 2 รูปแบบ คือ แบบต่อตัวที และ แบบต่อชน	
2. ชุดจับยึดชิ้นงาน ชุดจับยึดชิ้นงานที่ใช้ยึดชิ้นงานในการทดสอบ ที่สามารถปรับระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงานได้ เพื่อรองรับท่าเชื่อมที่จะใช้ในการทดสอบ	
3. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ ปรับเท่ากันตลอดการทดสอบในทุกรูปแบบงาน (จากการวิจัยปรับกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 90 แอมแปร์)	

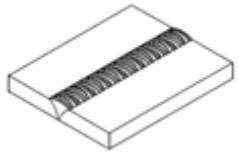
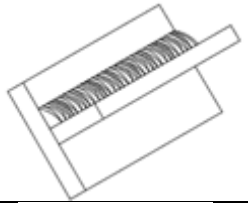
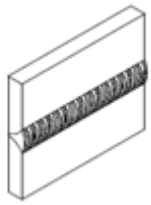
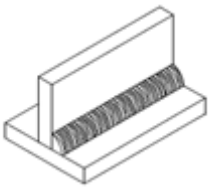
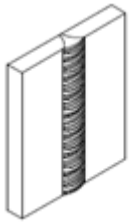
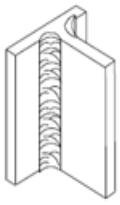
อุปกรณ์	รูปภาพ
4. **ลวดเชื่อม** ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.	
5. **อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล** เสื้อผ้าชุดปฏิบัติงานเชื่อม หน้ากากเชื่อม และถุงมือหนัง	

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ (สำหรับผู้เก็บข้อมูล)

อุปกรณ์	รูปภาพ
1.**กล้องบันทึกวิดีโอ** ยี่ห้อใดก็ได้ พร้อมขาตั้งกล้อง	
2. **อุปกรณ์ติดตั้งและทำความสะอาดชิ้นงาน** ประกอบด้วย กระดานไวท์บอร์ด ค้อนเคาะแสลก คีมจับชิ้นงาน แปรงขัดชิ้นงาน ชอล์กเขียนเหล็ก และ	

รูปแบบงานที่ใช้ในการทดสอบ

รูปแบบงานที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 6 รูปแบบงาน ดังนี้

	ท่าราบแบบต่อชน (Flat Butt Joint : HB)
	ท่าราบแบบต่อตัวที (Flat Tee Joint : FT)
	ท่าระดับแบบต่อชน (Horizontal Butt Joint : HB)
	ท่าระดับแบบต่อตัวที (Horizontal Tee Joint : HT)
	ท่าตั้งแบบต่อชน (Vertical Butt Joint : VB)
	ท่าตั้งแบบต่อตัวที (Vertical Tee Joint : VT)

ข้อกำหนดในการทดสอบ

1. ผู้ทดสอบจะต้องทำการเชื่อมชิ้นงานครบทั้ง 6 รูปแบบงาน
2. แต่ละรูปแบบงาน ผู้ทดสอบจะต้องเชื่อมชิ้นงานไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นงาน ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนชิ้นงานได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของผู้ประกอบการ
3. ผู้ทดสอบทำการเชื่อมชิ้นงานรูปแบบเดียวกันจนครบ โดยไม่เปลี่ยนไปเชื่อมรูปแบบงานอื่น
4. เวลาพักระหว่างชิ้นงานไม่น้อยกว่า 5 นาที หรือจนกว่าผู้ทดสอบจะพึงพอใจ
5. เวลาพักระหว่างรูปแบบงานไม่น้อยกว่า 15 นาที หรือจนกว่าผู้ทดสอบจะพึงพอใจ
6. ห้ามผู้ทดสอบสูบบุหรี่ระหว่างการทดสอบ

ปัจจัยควบคุมในการทดสอบ

วิธีการเชื่อม	แบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม
เครื่องเชื่อม	แบบอาร์คชนิดกระแสสลับ
กระแสไฟฟ้าเครื่องเชื่อม	90 แอมแปร์
ลวดเชื่อม	ลวดเชื่อมสารพอกหุ้มขนาด 3.2 มม. ความยาว 350 มม.
ความหนาชิ้นงาน	8 มิลลิเมตร
ระยะความยาวแนวเชื่อมของชิ้นงาน	100 มิลลิเมตร
ระดับความสูงของตำแหน่งชิ้นงานแต่ละรูปแบบงาน	ตามความถนัดของแต่ละผู้ทดสอบ

หมายเหตุ : ปัจจัยควบคุมด้านกระแสไฟฟ้า ลวดเชื่อม สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความหนาชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปรที่ต้องเก็บ หรือแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล

1. คุณภาพชิ้นงาน ลงในแบบฟอร์มบันทึกคุณภาพชิ้นงาน
2. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน (วินาที) ที่บันทึกจากกล้องวิดีโอ ลงในแบบฟอร์มบันทึก Movement Time

ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ และเตรียมชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบ

เวลา (วินาที)	แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ Multiple Activity Chart	
	ผู้เก็บข้อมูล	ผู้ทดสอบ
10	1.เชิญผู้ทดสอบเข้าสู่สถานีงาน	เข้าสู่สถานีงาน
15	2.อธิบายวัตถุประสงค์การทดสอบ	รับฟังวัตถุประสงค์การทดสอบ
20	3.ติดตั้งชิ้นงาน	นั่งพักในที่ที่จัดไว้ให้
10	4. เชิญผู้ทดสอบประจำที่	เข้าประจำที่
5	5.เริ่มจับเวลาและบันทึกวิดีโอ	รอคำสั่ง “เริ่ม”
3	6.ออกคำสั่ง “เริ่ม”	เริ่มเชื่อมชิ้นงาน
120	7.รอ	เชื่อมชิ้นงาน
5	8.หยุดบันทึกวิดีโอ	เชื่อมชิ้นงานเสร็จ
300	9.เก็บชิ้นงานและติดตั้งชิ้นงานใหม่	นั่งพักในที่ที่จัดไว้ให้
	ดำเนินการขั้นตอนที่ 3 – 9 จนครบจำนวนชิ้นงานที่กำหนด	

การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา ที่มีเกณฑ์การประเมิน ผ่าน และ ไม่ผ่าน สำหรับชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ให้ผู้ทดสอบทำการเชื่อมซ่อมชิ้นงานใหม่ โดยทดสอบหลังจากการทดสอบ ทุกรูปแบบ ทุกชิ้นงานเสร็จสิ้น

รายการตรวจสอบ	**เกณฑ์การประเมิน**	
	ผ่าน	**ไม่ผ่าน**
ความยาวแนวเชื่อม 100 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแนวเชื่อมไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแนวเชื่อม มากกว่า 3 มม.
ความกว้างแนวเชื่อมแบบต่อชน 10 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความกว้างไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของความกว้างมากกว่า 3 มม.
ความสูงแนวเชื่อมด้านหน้าแบบต่อชน	มีความสูงไม่เกิน 3.5 มม.	มีความสูงเกิน 3.5 มม.
ความกว้างแนวเชื่อมแบบต่อตัวที (ระยะขา) 8 ± 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของระยะขา ไม่เกิน 3 มม.	ความคลาดเคลื่อนของระยะขามากกว่า 3 มม.
ความสม่ำเสมอของแนวเชื่อม	ไม่มีจุดบกพร่อง	กองนูนผิดปกติ มีรูพรุนมีรอยแตกปลาย มีรอยเว้าผิดปกติ

หมายเหตุ : เกณฑ์การพิจารณาสำหรับชิ้นงานความหนา 8 มม. ด้วยลวดเชื่อมขนาด 3.2 มม. และกระแสไฟเชื่อม 90 แอมแปร์ (ถ้าหากการทดสอบมีตัวแปรที่เปลี่ยนไป ต้องทำการเปลี่ยนเกณฑ์การตรวจสอบ)

การบันทึกเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงาน

สำหรับชิ้นงานที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ ให้ทำการหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการเชื่อมชิ้นงานจากไฟล์วิดีโอ โดยที่นับเฉพาะช่วงเวลาที่ทำให้เกิดงาน คือ ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมเท่านั้นสังเกตจากประกายไฟที่เกิดจากการเชื่อมที่มีความต่อเนื่อง

แบบฟอร์มบันทึกคุณภาพชิ้นงาน ผู้ทดสอบ.....

		เกณฑ์การพิจารณา					ผ่าน	ไม่ผ่าน
		ความยาว	กว้าง(Butt)	สูง (Butt)	กว้าง(Tee)	แนวเชื่อม		
ชิ้นงาน	ที่	± ≤ 3 มม.	± ≤ 3 มม.	≤ 3 มม.	± ≤ 3 มม.	ปกติ		
HB	1							
	2							
	3							
VT	1							
	2							
	3							
HT	1							
	2							
	3							
VB	1							
	2							
	3							
FB	1							
	2							
	3							
FT	1							
	2							
	3							

หมายเหตุ : แบบฟอร์มบันทึกคุณภาพชิ้นงาน ใช้เกณฑ์การพิจารณาสำหรับชิ้นงานความหนา 8 มม. ด้วยลวดเชื่อมขนาด 3.2 มม. และกระแสไฟเชื่อม 90 แอมแปร์ (ถ้าหากการทดสอบมีตัวแปรที่เปลี่ยนไป ต้องทำการเปลี่ยนเกณฑ์การตรวจสอบ)

แบบฟอร์มบันทึก Movement Time ผู้ทดสอบ.....

(หน่วย : วินาที)

ชิ้นงาน	ที่	เวลาเริ่มต้นการเชื่อม (วินาทีที)	เวลาสิ้นสุดการเชื่อม (วินาทีที่)	จำนวนเวลาที่หยุด	Movement Time = (สิ้นสุด – เริ่ม) - หยุด
HB	1	5	127	23	(127-5)-23 = 99
	2				
	3				
VT	1				
	2				
	3				
HT	1				
	2				
	3				
VB	1				
	2				
	3				
FB	1				
	2				
	3				
FT	1				
	2				
	3				

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยการสร้างแผนภูมิกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Movement Time (แกน Y) กับ ดัชนีความยาก (แกน x) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.หาค่าเฉลี่ย Movement Time แต่ละรูปแบบงานของผู้ทดสอบทุกคน และเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก

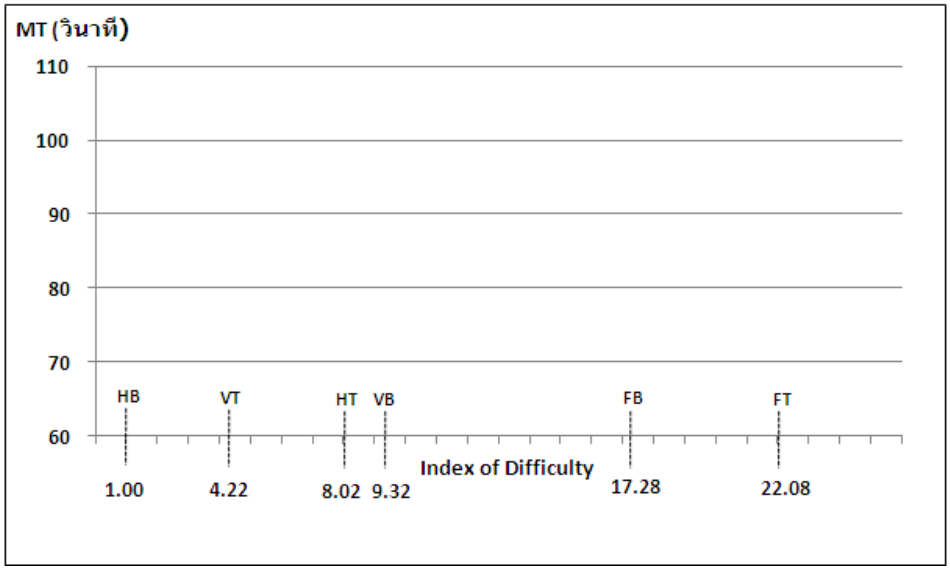
รูปแบบงาน	ค่าเฉลี่ยของทุกคน
HB	
VT	
HT	
VB	
FB	
FT	

2.แปลงค่าเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบงาน ให้เป็นดัชนีความยาก โดยนำค่าเฉลี่ยจากข้อ 1 มาหาผลต่าง และกำหนดเป็นมาตราในแกน x (ตำแหน่งของดัชนีความยาก) โดยที่ให้ ดัชนีความยาก เริ่มต้นที่ 1.00

ตัวอย่าง

รูปแบบงาน	ค่าเฉลี่ยของทุกคน	ผลต่าง	มาตราแกน x
HB	82.03		1.00
VT	85.25	VT – HB = 3.22	1.00 + 3.22 = 4.22
HT	89.05	HT – VT = 3.80	4.22 + 3.80 = 8.02
VB	90.35	VB – HT = 1.30	8.02 + 1.30 = 9.32
FB	98.30	FB – VB = 7.95	9.32 + 7.95 = 17.28
FT	103.10	FT - FB = 4.80	17.28 4.80 = 22.08

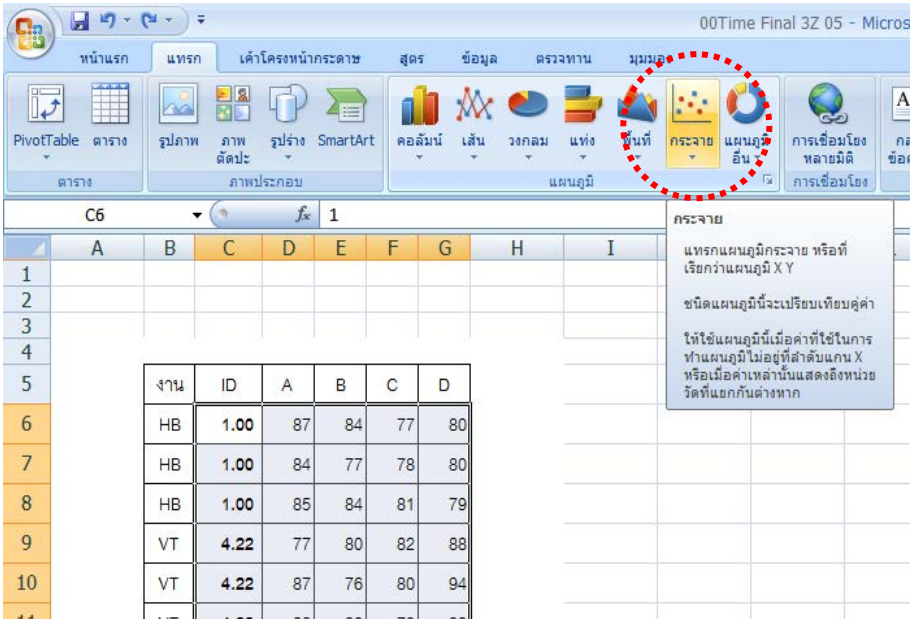
3.นำมาตราแกน x ที่ได้จากข้อ 2 มาใช้ในการกำหนดตำแหน่งของรูปแบบงาน ซึ่งเรียกเป็น ดัชนีความยาก (Index of Difficulty : ID) โดยที่ ID ที่ง่ายที่สุดเริ่มต้นที่ 1.00 เป็นของรูปแบบงาน HB และ ID ที่ยากที่สุด คือ 22.08 เป็นของรูปแบบงาน FT



4.นำข้อมูล ID และ Movement Time ของผู้ทดสอบมาบันทึกในโปรแกรม Excel ดังตาราง

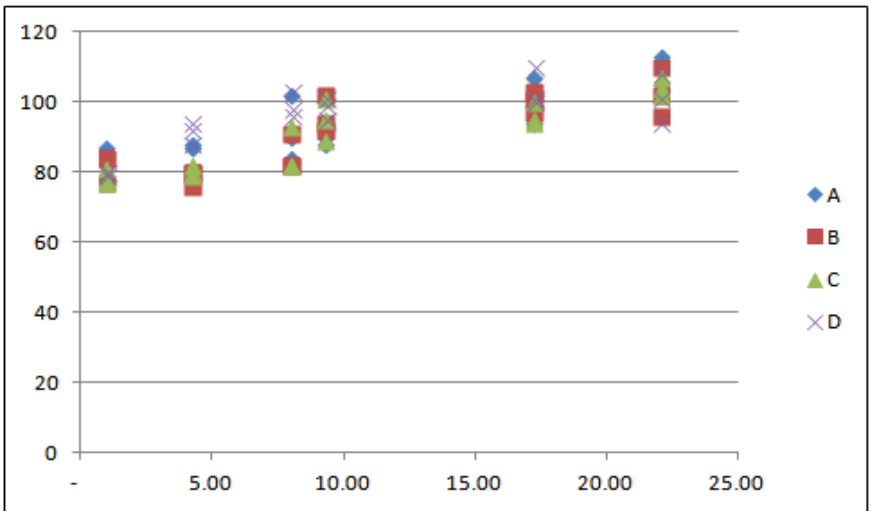
งาน	ID	A	B	C	D
HB	1.00	87	84	77	80
HB	1.00	84	77	78	80
HB	1.00	85	84	81	79
VT	4.22	77	80	82	88
VT	4.22	87	76	80	94
VT	4.22	88	80	79	92
HT	8.02	90	82	82	96
HT	8.02	84	91	82	103
HT	8.02	102	82	93	98
VB	9.32	90	102	89	95
VB	9.32	88	92	101	101
VB	9.32	91	94	95	99
FB	17.28	94	101	100	100
FB	17.28	101	103	95	101
FB	17.28	107	97	94	110
FT	22.08	113	102	102	94
FT	22.08	102	96	104	108
FT	22.08	105	110	107	101

5. เลือกข้อมูลใน ตาราง แล้วเลือกคำสั่ง แทรก -- > แผนภูมิ --> กระจาย

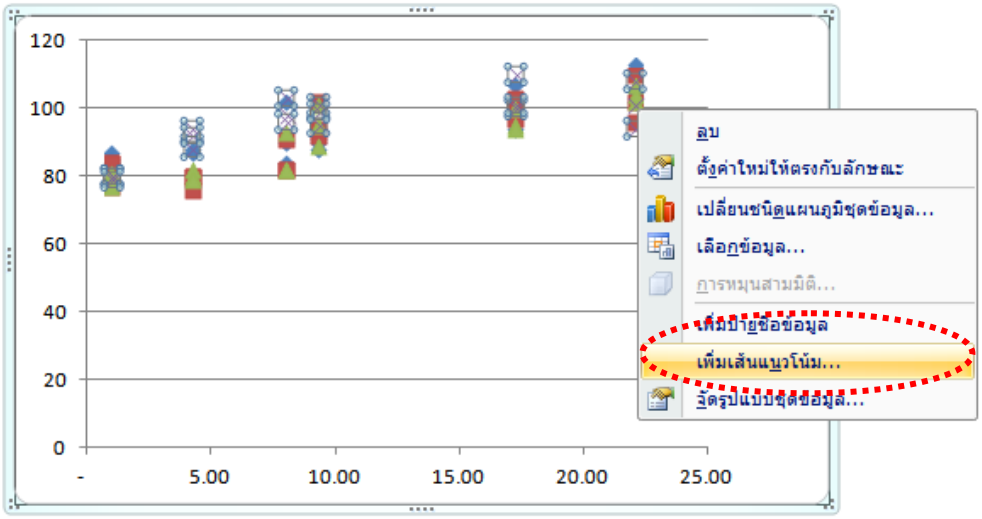


งาน	ID	A	B	C	D
HB	1.00	87	84	77	80
HB	1.00	84	77	78	80
HB	1.00	85	84	81	79
VT	4.22	77	80	82	88
VT	4.22	87	76	80	94

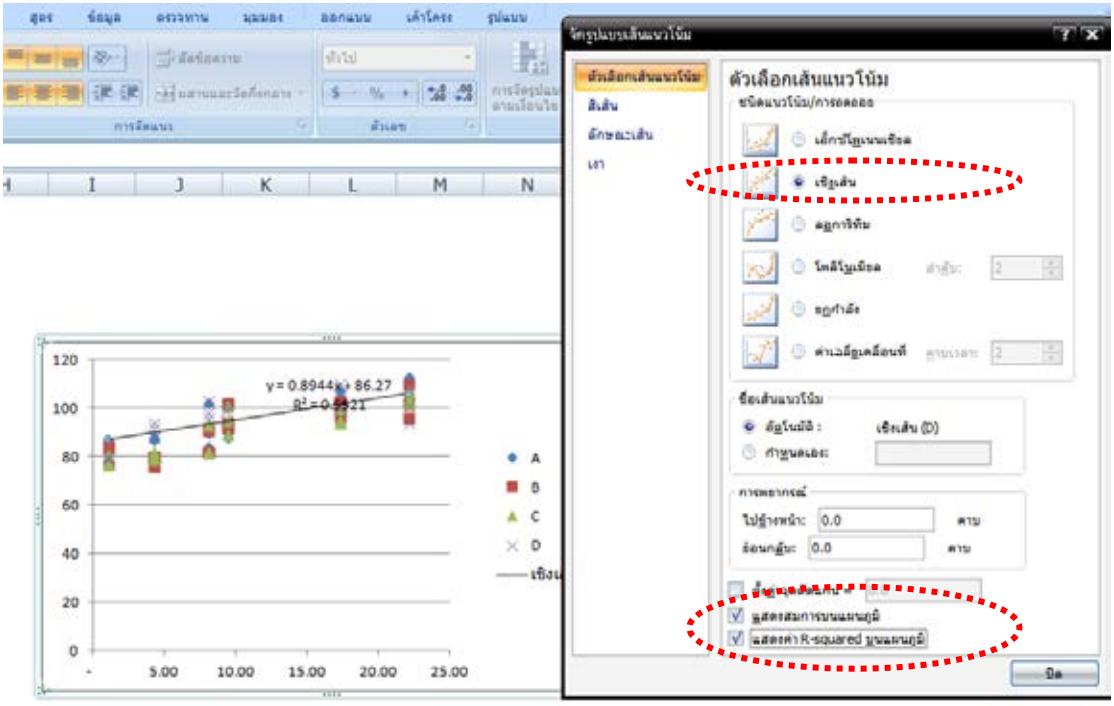
6.จากข้อ 5 จะได้แผนภูมิกระจายดังรูป



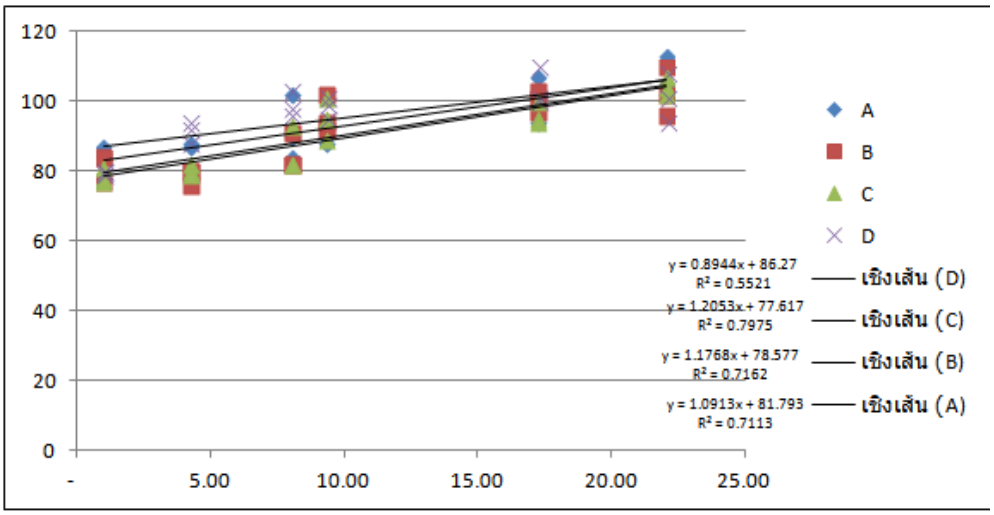
7.เพิ่มเส้นแนวโน้มข้อมูล โดยเลือกที่ข้อมูลในแผนภูมิ -- > คลิกขวา -- > เพิ่มเส้นแนวโน้ม



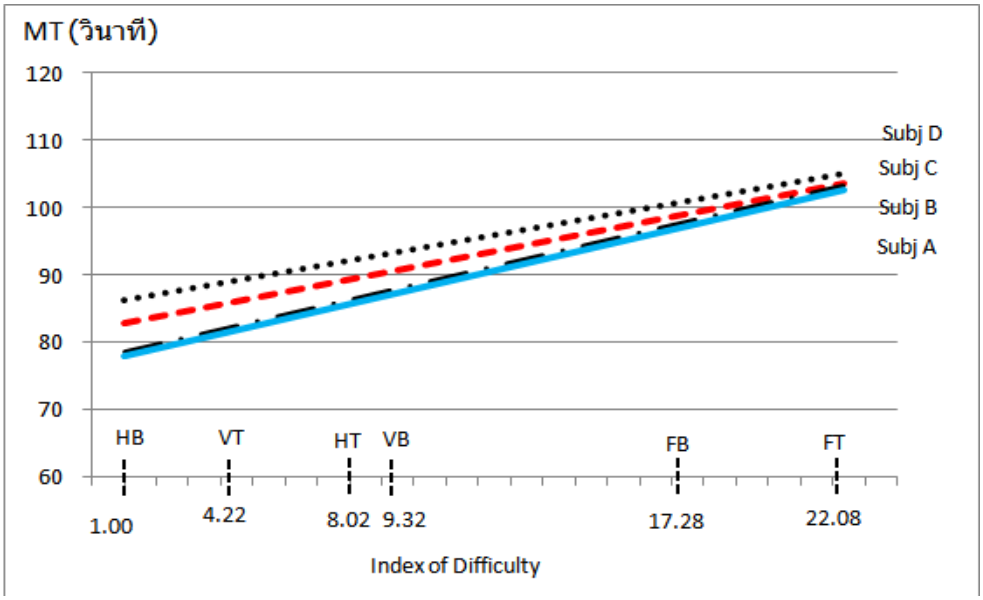
8. เลือก เชิงเส้น , แสดงสมการบนแผนภูมิ และ แสดง ค่า R-squared บนแผนภูมิ



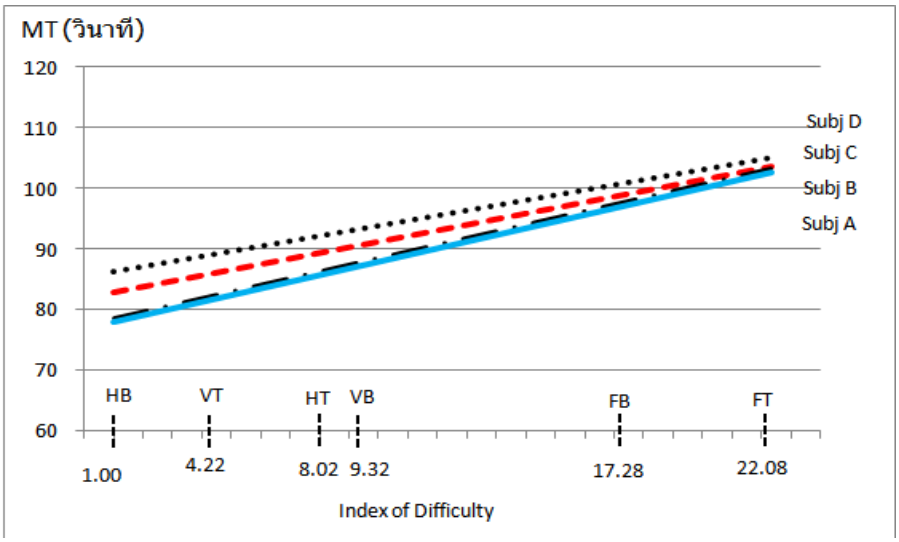
9.จากข้อ 8 จะได้เส้นแนวโน้มของแต่ละผู้ทดสอบ สมการเชิงเส้นดังรูป



10. ปรับรูปแบบแผนภูมิให้แสดงเฉพาะเส้นแนวโน้ม



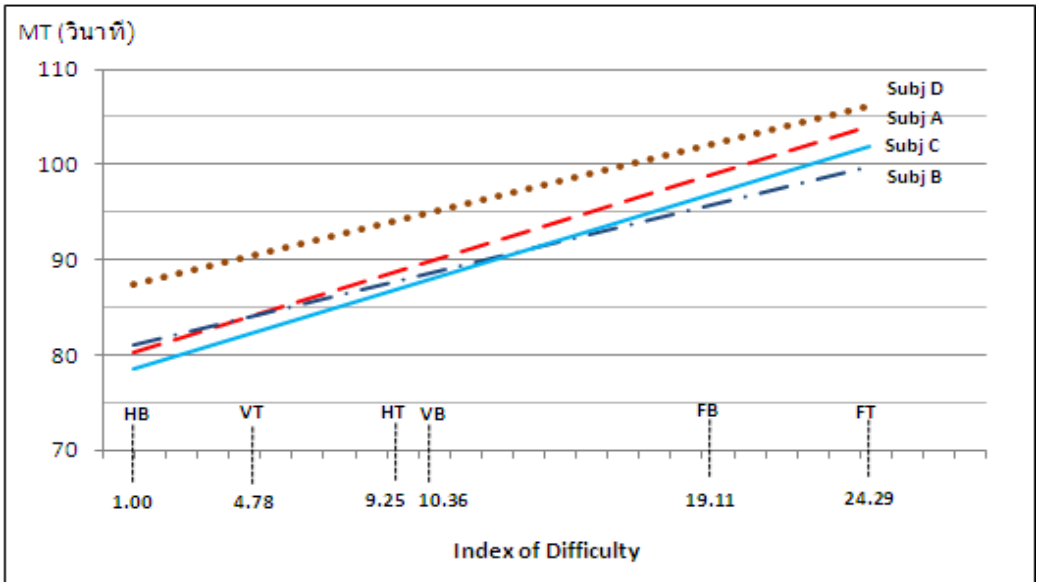
การเปรียบเทียบสมรรถนะ



ผู้ทดสอบ	สมการถดถอย	b	IP = 1/b
A	y = 1.09x + 81.79	1.09	0.91
B	y = 1.17x + 18.57	1.17	0.85
C	y = 1.20x + 77.61	1.20	0.83
D	y = 0.89x + 86.27	0.89	1.12

จากกราฟแสดงสมรรถนะของผู้ทดสอบ A, B, C และ D และค่าดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance: IP) ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบได้ ซึ่งดูจากกราฟสามารถสังเกตได้ว่า ผู้ทดสอบ A ใช้เวลาในการทำงานในทุกระดับความยาก น้อยที่สุด และผู้ทดสอบ D ใช้เวลาในการทำงานทุกระดับความยากมากที่สุด ซึ่งถ้าหากเส้นแนวโน้มมีจุดตัดสามารถนำไปใช้ในการมอบหมายงานให้ผู้ทดสอบได้ ซึ่งยกตัวอย่างการประเมินสมรรถนะในรูปแบบที่มีจุดตัด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

ตัวอย่างการเปรียบเทียบสมรรถนะในรูปแบบต่าง ๆ



รูปที่ 1 กราฟสมรรถนะของผู้ทดสอบ A, B, C และ D

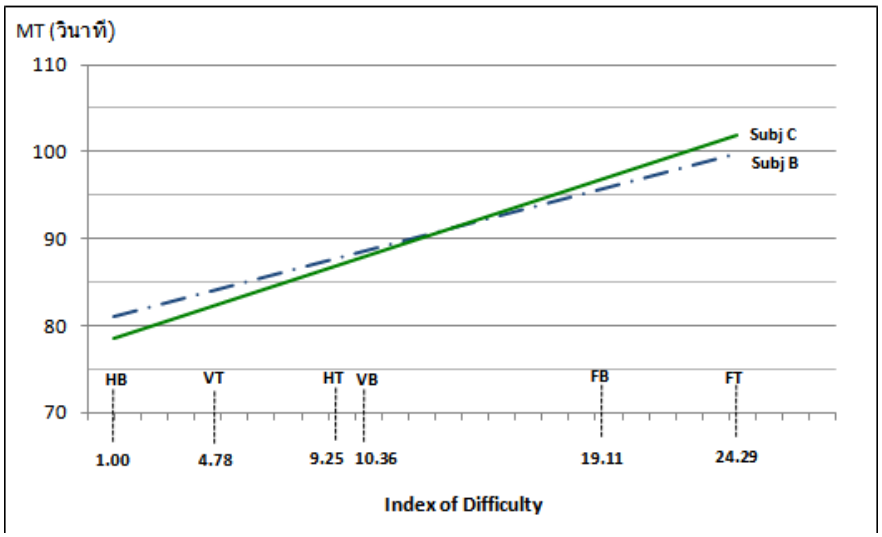
ตารางที่ 1 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงของผู้ทดสอบ A, B, C และ D

ผู้ทดสอบ	สมการถดถอย	a	b	IP = 1/b
A	y = 1.017x + 79.26	79.26	1.017	0.983
B	y = 0.804x + 80.27	80.27	0.804	1.243
C	y = 1.005x + 77.56	77.56	1.005	0.995
D	y = 0.808x + 86.58	86.58	0.808	1.237

การเปรียบเทียบโดยการนำค่าจุดตัดแกน y (y Intercept) หรือ ค่า a ที่แสดงในตารางที่ 1 มาใช้ในการร่วมพิจารณา ซึ่งค่า a ที่น้อยกว่าที่ตำแหน่ง ID เดียวกัน หมายความว่า ใช้เวลาน้อยกว่าในการทำงานจนสำเร็จ ซึ่งผู้ทดสอบ A, B, C และ D มีค่า a เท่ากับ 79.26, 80.27, 77.56 และ 86.58 วินาที ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า ถึงแม้ว่า ผู้ทดสอบ D จะมีค่าสมรรถนะดีเป็นลำดับที่ 2 แต่ค่า a ที่มีค่าเท่ากับ 86.58 วินาที ซึ่งสูงกว่าผู้ทดสอบอีก 3 คน เมื่อพิจารณาจากเส้นตรงถดถอยแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ D ใช้เวลาในการเชื่อมชิ้นงานมากกว่าผู้ทดสอบอื่นในทุกดัชนีความยากของงาน ถึงแม้จะมีค่าสมรรถนะดีเป็นลำดับที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ทดสอบคน

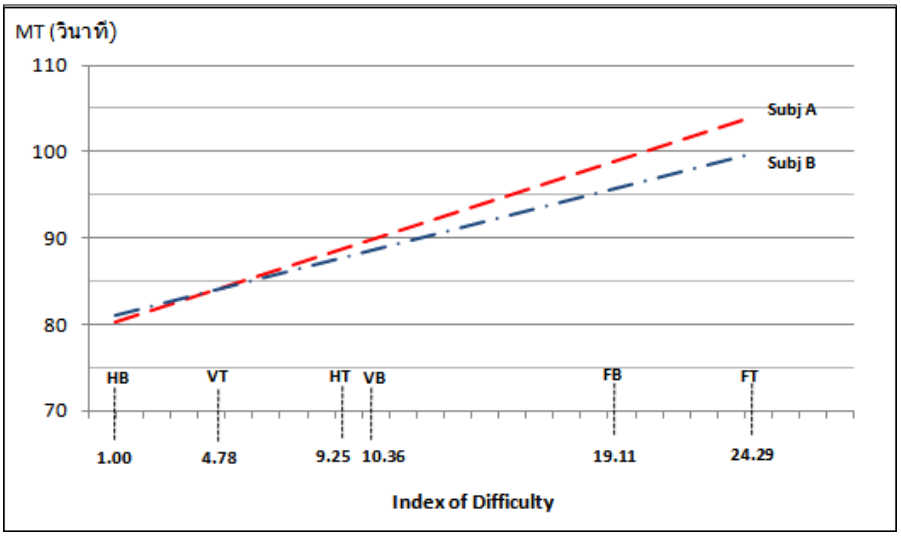
อื่น เช่น ผู้ทดสอบ A ซึ่งเป็นผู้ที่มีค่าสมรรถนะต่ำสุด แต่ว่าค่า a ของผู้ทดสอบ A มีค่าเท่ากับ 79.26 ซึ่งดีกว่าผู้ทดสอบ D สามารถเปรียบเทียบได้ว่า ผู้ทดสอบ A ใช้เวลาน้อยกว่า และการพิจารณาจากเส้นตรงถดถอย แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ A ทำงานสำเร็จด้วยเวลาที่น้อยกว่าผู้ทดสอบ D ในทุกดัชนีความยากของงาน พิจารณาจาก โดยกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง MT กับ ID จากรูปที่ 1 สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบรายบุคคลได้หลายกรณี ดังนี้

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ B กับ ผู้ทดสอบ C แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ในงานที่ง่ายกว่า ผู้ทดสอบ B จะใช้เวลาในการทำงานมากกว่าผู้ทดสอบ C แต่เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบ B สามารถทำงานได้ด้วยเวลาที่น้อยผู้ทดสอบ C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของผู้ทดสอบ B ที่เพิ่มขึ้นเมื่อดัชนีความยากเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการมอบหมายงานให้เหมาะสมกับสมรรถนะของพนักงาน เช่น ถ้าหากมีงานที่มีระดับความยากมาก จะมอบหมายให้ผู้ทำงานนั้นได้ด้วยเวลาที่น้อยกว่า



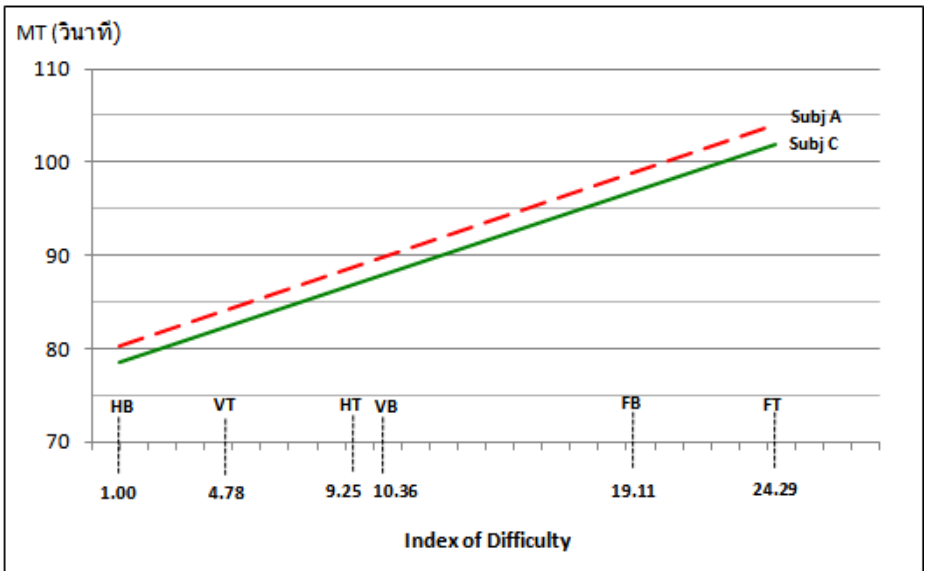
รูปที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ B กับ C

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ ผู้ทดสอบ B ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า ดัชนีความยากที่น้อยๆ เวลาที่ใช้ในการทำงานของผู้ทดสอบ A และ B ใช้เวลาใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดัชนีความยากเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบ A มีแนวโน้มที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้นมากกว่าผู้ทดสอบ B ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการประเมินสมรรถนะประจำปี และเป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์การขึ้นค่าจ้าง ที่แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ B มีสมรรถนะดีกว่าผู้ทดสอบ A



รูปที่ 3 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ B

เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ ผู้ทดสอบ C ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าในทุกดัชนีความยาก ผู้ทดสอบ C ใช้เวลาน้อยกว่าผู้ทดสอบ A ซึ่งการเปรียบเทียบรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการประเมินค่าจ้าง เช่น หากผู้ทดสอบ C เป็นพนักงานที่จะรับเข้ามาทำงานใหม่ และผู้ทดสอบ A เป็นพนักงานเดิมที่ทำงานอยู่แล้ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบ C มีสรรถนะดีกว่า ผู้ทดสอบ A ถึงแม้ว่าผู้ทดสอบ A จะทำงานมานานแล้วก็ตาม ผลการทดสอบสมรรถนะจะเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยตัดสินใจในการประเมินค่าจ้างให้พนักงานใหม่



รูปที่ 4 เปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ทดสอบ A กับ C

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกนก หมอกมืด เกิดเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ.2527 ที่ จังหวัดตาก สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และรับราชการตำแหน่ง นักวิชาการอุตสาหกรรมปฏิบัติการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เมื่อปี พ.ศ.2555