



การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด
Application of design of experiments to a spot welding process

โดย

นายนิติพล ไชยวงศ์

50111087-8

รายงานสหกิจศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2553

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด
Application of design of experiments to a spot welding process

โดย

นายนิติพล ไชยวงศ์
50111087-8

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา สหกิจศึกษา (AEN-492)
สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

ตุลาคม 2553

คณะกรรมการสอบ โครงการงานสหกิจศึกษา

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมพร ดันติวงศ์ไพศาล)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ.ดร.เลอเกียรติ วงศ์สารพิบูล)

หัวข้อโครงการ	การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด Application of design of experiments to a spot welding process
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายนิติพล ไชยวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมพร ตันติวงศ์ไพศาล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมยานยนต์
คณะ	วิศวกรรม
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

ชื่อโรงงาน	บริษัท ออโต้อัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด
สถานที่ตั้ง/จังหวัด	49 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด (ระยอง) ตำบล ปลวกแดง อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง
ประเภทธุรกิจ	อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์
ฝ่าย/แผนกที่สังกัด	Body Shop
ตำแหน่งงาน	ผู้ช่วยวิศวกร
ชื่อพนักงานที่ปรึกษา	นายวิทยา พรหมวงศ์

บริษัท ออโต้อัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ทำการผลิต รถยนต์ จากการได้เข้าไปปฏิบัติงานในตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกรในบริษัท เข้าไปปฏิบัติงานที่แผนก Body Shop เป็นแผนกที่ทำงานเกี่ยวกับการรูปตัวถังรถยนต์ พร้อมทั้งได้จัดทำโครงงานนี้นำเสนอการใช้ DOE ในการเชื่อมแบบจุดเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม ได้ดำเนินการการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อระบุพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแปรปรวนกระบวนการ

การเชื่อม Spot welding เป็นการเชื่อมแบบ Resistance welding ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของกระบวนการเชื่อมโดยการทำให้ชิ้นติดกันจากพลังงานความร้อน (Heat) ที่เกิดขึ้น จากความต้านทาน (Resistance) ระหว่างหน้าสัมผัส ค่า Resistivity ของชิ้นงาน (Work pieces) และค่า Resistivity ของ Electrode Tip ที่กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไหลผ่าน โดยอาศัยแรงกด (Pressure)

คำสำคัญ : การเชื่อม/สะเก็ดไฟ/พารามิเตอร์

Project Title	Application of design of experiments to a spot welding process
Project Credits	6
Candidate	Mr. Nitipon Chaiyawong
Project Advisor	Somporn Tantiwongpaisan
Program	B.Eng of Engineering
Field of Study	Automotive Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2533

Abstract

Company	Auto Alliance (Thailand) Co., Ltd.
Place	Eastern Seaboard Industrial Estate (Rayong) No. 49, Moo 4, Pluakdaeng, Rayong, Thailand 21140 10310
Type of Business	Car Products
Department	Body Shop
Position	Engineer Assistance
Advisor Name	Mr. Wittaya Promwong

Auto Alliance (THAILAND) Co., Ltd, where I work as asistane engineer in the company. I work at the Body Shop Department is a division working on vehicle body. With this project shall be presented to the DOE in connection point to determine key parameters that influence the spatter in conjunction and conducted statistical analysis to identify the parameters that affect the variance process

Design of experiments (DOE) is a scientific method for identifying the critical parameters associated with a process and thereby determining the optimal settings for these process parameters for enhanced performance and capability. It is a powerful technique employed in the improvement phase of the Six Sigma methodology as a means to improve process yield, stability, customer satisfaction and reduce process variability which results in high scrap, rework and warranty costs.

Keywords : DOE/Spatter/Six Sigma

กิตติกรรมประกาศ

ตามที่ได้มาฝึกประสบการณ์ การเรียนรู้ ในการทำงาน ณ บริษัท ออโต้ฮัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ระหว่าง วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2553 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2553 ทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ที่มีคุณค่าอย่างมากมาย ขอขอบคุณ บริษัท ออโต้ฮัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ตอบรับการให้เข้าฝึกงานในโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ พนักงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ เป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการฝึกงานสหกิจ ตลอดจนให้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ชีวิต การปฏิบัติงาน

นายนิติพล ไชยวงศ์



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ	1
1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการหรือการให้บริการหลักขององค์กร	1
1.3 รูปแบบการจัดการองค์กรและการบริหารองค์กร	1
1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย	2
1.5 พนักงานที่ปรึกษา และ ตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา	2
1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	2
1.7วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงาน สหกิจศึกษา	2
1.8ผลที่คาดว่าจะได้รับการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมาย	2
บทที่ 2 งานประจำที่ได้รับมอบหมาย	3
2.1 แผนงานปฏิบัติงาน	3
2.2. รายละเอียดงานที่นักศึกษาปฏิบัติในงานสหกิจศึกษา	4
บทที่ 3 โครงการการประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด	19
3.1 แผนงานปฏิบัติงาน	19
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานที่นักศึกษาปฏิบัติงานหรือโครงการ	19

สารบัญ

	หน้า
3.3 รายละเอียดงานที่นักศึกษาปฏิบัติในงานสหกิจศึกษา	21
3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	35
3.4.1. Portable spot welding	35
3.4.1.1 Equipment of Portable spot welding	35
3.4.1.2 หลักการทำงานของเครื่องเชื่อม Welding machine	44
3.4.1.3 ขบวนการเชื่อม Welding process	45
3.4.2 Welding condition	47
3.4.2.1 Under standing Welding condition	47
3.4.2.2 Function ต่างๆ	49
3.4.2.3 Current Control Method	50
3.4.2.4 Monitor Function	50
3.4.3 Welding parameters	51
3.4.3.1 parameters in spot welding	51
3.4.3.2 principle of Resistance welding	52
3.4.3.3 ปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการ Spot	53
3.4.4 การออกแบบการทดลอง Design Of Experiments (DOE)	55
3.4.4.1 บทนำ Introduction to Design of Experiments	55
3.4.4.2 Design of Experiment คืออะไร	56
3.4.4.3 ข้อแตกต่างระหว่าง OFAT กับ DOE	61
3.4.4.4 Full Factorial Design	65
3.4.4.5 Fractional Factorial Designs	71
3.5 ผลการทดลอง	81
3.6 ผลที่ได้รับ	90
บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์ และสรุปผลต่างๆ	91
4.1 สรุปการดำเนินงานและการวิเคราะห์ข้อมูล	91

สารบัญ

	หน้า
4.2 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับวัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายในการปฏิบัติงานหรือการจัดทำโครงการ	91
4.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	94
ประวัติผู้เขียน	98



รายการตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 SEQUENCE PROGRAM PARAMETERS	47
ตารางที่ 3.2 COMMON PROGRAM PARAMETERS	48
ตารางที่ 3.3 COMMON MONITOR PARAMETERS	48
ตารางที่ 3.4 SCHEDULE MONITOR PARAMETERS	49
ตารางที่ 3.5 OFAT แบบไม่มี Replicate	62
ตารางที่ 3.6 OFAT แบบไม่มี Replicate เมื่อใส่ค่า Response	62
ตารางที่ 3.7 OFAT แบบมี 1 Replicate เมื่อใส่ค่า Response	63
ตารางที่ 3.8 DOE แบบไม่มี Replicate	64
ตารางที่ 3.9 DOE เมื่อใส่ค่า Response	64
ตารางที่ 3.10 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของ Full factorial design	65
ตารางที่ 3.11 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย	66
ตารางที่ 3.12 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)	66
ตารางที่ 3.13 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยกรณีเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ	67
ตารางที่ 3.14 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)	68
ตารางที่ 3.15 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส	69
ตารางที่ 3.16 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (-) และ (+)	69
ตารางที่ 3.17 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level	70
ตารางที่ 3.18 อัตราส่วนของผลจาก Main effects	72
ตารางที่ 3.19 Full factorial ของ 4 Factor	73
ตารางที่ 3.20 Main effects และ Interaction ของ 3 Factor	73
ตารางที่ 3.21 Fractional factorial ของ 4 Factor	74
ตารางที่ 3.22 Alias structure ของ 4 Factor	75
ตารางที่ 3.23 จำนวน Run เทียบกับจำนวน Factor ของแต่ละ Design	77
ตารางที่ 3.24 ผลการออกแบบโดยวิธี 2^{7-3}	78
ตารางที่ 3.25 ระดับ Resolution ที่เป็นไปได้ เมื่อกำหนด Run และจำนวน Factor	81

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
รูปที่ 3 1.อุปกรณ์เครื่องเชื่อม Spot Welding	35
รูปที่ 3 2.อุปกรณ์เครื่องเชื่อม Spot Welding	36
รูปที่ 3.3 Power controller	36
รูปที่ 3.4 Kick less Cable	37
รูปที่ 3.5 Auxiliary Cable	37
รูปที่ 3.6 Balancer	38
รูปที่ 3.7 Transformer	38
รูปที่ 3.8 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า Transformer	39
รูปที่ 3.9 ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ	39
รูปที่ 3.10 ปืนเชื่อม	40
รูปที่ 3.11 วงจรปืนเชื่อม	41
รูปที่ 3.12 Start Switch	41
รูปที่ 3.13 วงจร Start Switch	42
รูปที่ 3.14 Safety Switch	42
รูปที่ 3.15 Electrode Tip	43
รูปที่ 3.16 วงจรไฟฟ้า Welding Machine	45
รูปที่ 3.17 Welding process	45
รูปที่ 3.18 สูตรพลังงานความร้อน	52
รูปที่ 3.19 ความต้านทานชนิดต่างๆ	53
รูปที่ 3.20 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	53
รูปที่ 3.21 จุดเชื่อม	54
รูปที่ 3.22 จุดเชื่อมปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง	55
รูปที่ 3.25 กราฟแสดงค่า Response ของแต่ละ Replicate และ Treatment	63
รูปที่ 3.26 กราฟแสดงค่า Response ของแต่ละ Treatment	65

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

บริษัท ออโต้ฮิลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด
49 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด (ระยอง)
ตำบล ปลูกแดง อำเภอปลูกแดง จังหวัดระยอง

1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการ

ภารกิจของบริษัท ออโต้ฮิลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด คือ ผลิตรถยนต์ ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ และส่งมอบรถยนต์คุณภาพระดับโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามกำหนดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการ การของลูกค้าทั่วโลก ซึ่งทำให้บริษัทฯ สามารถให้ผลตอบแทนกลับคืนไปยังผู้ถือหุ้นได้ตามสมควรรวมทั้งเสริมสร้างรากฐานชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีและการพัฒนาพนักงานของเราทุกคนในขณะเดียวกันก็ช่วยกันส่งเสริมชุมชนและ รักษาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่บริษัทฯ ของเราได้ดำเนินกิจการอยู่

กระบวนการผลิตของ ออโต้ฮิลลายแอนซ์ มีตั้งแต่การขึ้นรูปตัวถังรถยนต์ การประกอบตัวถังรถยนต์ การพ่นสี การประกอบเครื่องยนต์ ไปจนถึงการประกอบชิ้นสุดท้าย การตรวจสอบคุณภาพ การบรรจุภัณฑ์ และการขนส่ง

1.3 รูปแบบการจัดการองค์กรและการบริหารองค์กร

บริษัท ออโต้ฮิลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด หรือเอเอที ก่อตั้งขึ้น จากการร่วมทุนระหว่าง บริษัทฟอร์ด มอเตอร์ คัมปะนี และ บริษัทมาสด้า มอเตอร์ คอร์ปอเรชั่น ในพ.ศ. 2538 เพื่อเป็นศูนย์กลางการผลิตกระบะ 1 ตัน สำหรับตลาดทั้งในประเทศ และต่างประเทศทั่วโลก โดยได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน หรือ BOI

ในระยะเริ่มแรก เอเอที ใช้เงินลงทุนกว่า 500 ล้านบาทสหรัฐ ในการสร้างโรงงานผลิตกระบะที่ทันสมัย มีกระบวนการผลิตครบวงจร นับตั้งแต่การขึ้นรูปรถ การประกอบตัวถัง การพ่นสี การประกอบเครื่องยนต์ และการประกอบรายละเอียด นอกจากนี้ ยังผลิต และจัดส่งชุดชิ้นส่วนรถกระบะ 1 ตัน เพื่อสนับสนุนโรงงานของฟอร์ดและมาสด้าในประเทศอื่นๆอีกหลายประเทศ และได้ลงทุนอย่างต่อเนื่องเป็นมูลค่ารวม 1,000 ล้านบาทสหรัฐ

ใน พ.ศ. 2550 ฟอร์ด และมาสด้า ได้ประกาศการร่วมลงทุนเพิ่มเติมมูลค่ากว่า 500 ล้านบาทสหรัฐ เพื่อขยายฐานการผลิตสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้เทคโนโลยีอันทันสมัย โดยคิดตั้งระบบและ

กระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติในหลายๆ พื้นที่ และมีความยืดหยุ่นสามารถผลิตรถยนต์ได้หลายรุ่นในสายการผลิตเดียวกัน รวมเงินลงทุนร่วมกันเป็นมูลค่ากว่า 1,500 ล้านบาท

โรงงานของบริษัทฯ ตั้งอยู่บนเนื้อที่ 529 ไร่ ในนิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด มีประสิทธิภาพในการผลิตหลายขั้นตอนนับตั้งแต่ การขึ้นรูปตัวถังรถยนต์ การประกอบตัวถังรถยนต์ การพ่นสี การประกอบเครื่องยนต์ ไปจนถึงการประกอบชิ้นสุดท้าย การตรวจสอบคุณภาพ การบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง โดยทีมบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญสูง

1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

นักศึกษาฝึกงาน แผนกตัวถังรถยนต์

จัดทำโครงการ การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด

1.5 พนักงานที่ปรึกษา และ ตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

นายวิชา พรมงคล

ตำแหน่ง Supervisor

1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

2 มิถุนายน 2553 ถึง 1 ตุลาคม 2553

1.7วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

โครงการนี้นำเสนอการใช้ DOE ในการเชื่อมแบบจุดเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม ได้ดำเนินการการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อระบุพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแปรปรวนกระบวนการ

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับการจากการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมาย

เข้าใจกระบวนการในการเชื่อม และผลของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม

บทที่ 2 งานประจำที่ได้รับมอบหมาย

2.1 แผนงานปฏิบัติงาน

แผนปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

หัวข้องาน	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
เรียนรู้พื้นฐานการเชื่อมแบบ spot welding	↔			
เก็บข้อมูลการเกิด spatter		↔		
ทำการวิเคราะห์ข้อมูล		↔		
ค้นหาวิธีการแก้ไข			↔	
ทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุด			↔	
ตรวจสอบค่าที่คำนวณได้สามารถใช้ได้หรือไม่				↔
ทดลองนำไปใช้ในงานจริง				↔
ตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น				↔
ถ้าพบปัญหาตรวจสอบและแก้ไขใหม่				↔

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานที่นักศึกษาปฏิบัติงาน



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น
Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์
สัปดาห์ที่.....1.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินพ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 50111087-8
คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
ชื่อหน่วยงาน Body Shop
ผู้ควบคุมการฝึกงาน นาย วิเศษ ไชยวงศ์ ตำแหน่ง Supervisor
โทรศัพท์ 088-954 111 (มือถือ) E-Mail vprachon@tmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์/...../.....				
อังคาร/...../.....				
พุธ2...../.....6...../.....53	8½	Orientation	ความรู้ด้านความปลอดภัยของบริษัท	
พฤหัสบดี3...../.....6...../.....53	8½	Orientation	safety / Accident การดับเพลิง	
ศุกร์4...../.....6...../.....53	8½	Orientation	การควบคุมคุณภาพ	
เสาร์5...../.....6...../.....53	8½	Orientation + Plant tour	เยี่ยมชม แผนกต่างๆ ในโรงงาน	
อาทิตย์/...../.....	-			
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	34	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	-	ลงชื่อ นิตินพ ไชยวงศ์ (นิตินพ ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 7/6/2553 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ วิเศษ ไชยวงศ์ (วิเศษ ไชยวงศ์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 7/6/2553 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	34			

หมายเหตุ: นักศึกษาดำเนินการส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....2.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินพล ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 50111087-8
 คณะวิชา อาชีวการแพทย์ สาขาวิชา กิจการอนามัยและ
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน นายแพทย์ งามวงศ์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 038 - 754 1111 (ต่อ 6110) E-Mail vpromwon@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 7/6/53	8½	In-house Training Internship Project Improvement	ขั้นตอนการทำ project	
อังคาร 8/6/53	8½	Basic knowledge for new Comer Body shop - Scope	ทบทวนการทำงาน ในแผนก Bodyshop	
พุธ 9/6/53	8½	Study document of six sigma and DOE	รายละเอียดของ Six sigma & DOE	
พฤหัสบดี 10/6/53	8½	process Production-Training (1)	เข้าใจระบบการผลิต ในแผนกต่าง ๆ	
ศุกร์ 11/6/53	8½	process Production-Training (2) Body Maintenance		
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42½	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	34	ลงชื่อ นิตินพล ไชยวงศ์ (นิตินพล ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 11/6/53 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ นิตินพล ไชยวงศ์ (นิตินพล ไชยวงศ์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 11/06/2010 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	76½			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์ : 0-2763-275 โทรศัพท์ : 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....3.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา.....จิณฉา ไชยวงศ์.....รหัสนักศึกษา.....5011037-2
 คณะวิชา.....วิศวกรรมศาสตร์.....สาขาวิชา.....วิศวกรรมยานยนต์.....
 ชื่อหน่วยงาน.....Body Shop.....
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน.....นายวิชา พามวงศ์.....ตำแหน่ง.....Supervisor.....
 โทรศัพท์.....033-454.111 (ต่อ 6110).....E-Mail.....v.p.wong@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 14/.../53	8 1/2	statistical quality control study	การควบคุมของ BOE	
อังคาร 15/.../53	8 1/2	ศึกษาการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม PSW ตามมาตรฐาน	ทฤษฎีของ spot welding	
พุธ 16/.../53	8 1/2	spot welding process and instrument อุปกรณ์ทำงาน	วิธีการการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม PSW	
พฤหัสบดี 17/.../53	8 1/2	ดูขั้นตอนการผลิตของงานเชื่อม ศึกษาอุปกรณ์ของโรงงาน	การประกอบ การทำโครงงาน	
ศุกร์ 18/.../53	8 1/2	ศึกษากระบวนการผลิต		
เสาร์ 19/.../53				
อาทิตย์ 20/.../53				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	76 1/2	ลงชื่อ..... (.....จิณฉา ไชยวงศ์.....) วัน/เดือน/ปี.....14/6/53.....	ลงชื่อ..... (.....วิชา พามวงศ์.....) ตำแหน่ง.....Supervisor..... วัน/เดือน/ปี.....18/6/53.....	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	119	นักศึกษาฝึกงาน	ผู้ควบคุมการฝึกงาน	

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 4

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตพล ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 5011087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน นายวิทยา พรมวงศ์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 028-254111 (ต่อ 6110) E-Mail vpromwon@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 21./...6./53	8 1/2	ตรวจสอบบันทึกของการยิงจุด spot ของแต่ละ station ของวันต่อๆ	ตามความรู้ของ ISO	
อังคาร 22./...6./53	8 1/2	สังเกตบันทึกข้อบกพร่องของ splitter ที่เกิดขึ้น	ลักษณะและตำแหน่งที่เกิด	
พุธ 23./...6./53	8 1/2	สังเกตบันทึกข้อบกพร่องของ splitter ที่เกิดขึ้น	ลักษณะและตำแหน่งที่เกิด	
พฤหัสบดี 24./...6./53	8 1/2	ตรวจสอบตำแหน่งการยิงของจุด spot	ลักษณะการยิงของจุด spot	
ศุกร์ 25./...6./53	8 1/2	บันทึกข้อมูลลงใน Record splitter less sheet	รูปของของ daily check sheet	
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ		
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	119	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ		
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	161 1/2			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรศัพท์ : 0-2763-2754 www.ini.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....5.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา..... นิตติพล ไชยวงศ์.....รหัสนักศึกษา..... 50111087-8
 คณะวิชา..... วิศวกรรมศาสตร์.....สาขาวิชา..... วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน..... Baby Shop.....
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน..... วิชา พรมวงค์.....ตำแหน่ง..... supervisor
 โทรศัพท์..... ๐๒๕-๙๕๔ ๙๙ (๓๐ ๖ ๙๐)..... E-Mail..... vpromwong@ford.co

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 29.../...8.../53	8 1/2	ศึกษา ISO ของ Front Door Under body เพื่อสังเกตอาการผิดปกติ	รู้แบบสังเกตการซ่อม spot	
อังคาร 30.../...6.../53	8 1/2	เก็บข้อมูลของ station 4	ลักษณะการเกิด spatter	
พุธ 30.../...6.../53	8 1/2	เก็บข้อมูลของ station 3	ลักษณะการเกิด spatter	
พฤหัสบดี 1.../...6.../53	8 1/2	เก็บข้อมูลของ station 2	ลักษณะการเกิด spatter	
ศุกร์ 2.../...7.../53	8 1/2	เก็บข้อมูลของ station 1	ลักษณะการเกิด spatter	
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	161 1/2	ลงชื่อ..... นิตติพล ไชยวงศ์..... (..... นิตติพล ไชยวงศ์.....) วัน/เดือน/ปี..... 2/7/53 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ..... วิชา พรมวงค์..... (..... วิชา พรมวงค์.....) ตำแหน่ง..... Supervisor..... วัน/เดือน/ปี..... 2/7/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	204			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....6.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินันท์ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 50111087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน ศึกษา พรมวงษ์ ตำแหน่ง supervisor
 โทรศัพท์ 038-954111 (ต่อ 6110) E-Mail vprumwon@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 5/7/53	8½	บันทึกข้อมูลงาน DBL		
อังคาร 6/7/53	8½	บันทึกข้อมูลงาน RAP		
พุธ 7/7/53	8½	บันทึกข้อมูลงาน RED		
พฤหัสบดี 8/7/53	8½	บันทึกสถิติขจัดตำแหน่งจุด spot ที่ตรงตาม แผนงาน		
ศุกร์ 9/7/53	8½	สำรวจวิเคราะห์ตำแหน่งที่โหด spotter 100 จุด จุดตรวจ ทิศทางไฟ		
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42½	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	204	ลงชื่อ (นิตินันท์ ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 5/7/53 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ (ศึกษา พรมวงษ์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 9/7/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	246½			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.nit.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....7.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินันท์ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 5011087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน วิทยา พรมวงศ์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 039-954111 (ต่อ 610) E-Mail vprworn@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 12/...7/...53	2½	ทดลองเชื่อมของจุด spot ทำภาพให้ออกเส้นตรงจากสเปค	ภาพ เทคนิคเชื่อม	
อังคาร 13/...7/...53	8½	บันทึกข้อมูลค่า parameter ของ welding gun ทำตัวให้ลงใน check sheet (C/S)	ภาพค่า parameter ที่ลิ้น	
พุธ 14/...7/...53	8½	บันทึกข้อมูลค่า parameter ของ welding gun ทำตัวให้ลงใน check sheet (P/F)	ภาพค่า parameter ที่ลิ้น	
พฤหัสบดี 15/...7/...53	8½	ดูวิดีโอ Resistance Welding Electrode	ข้อดีของขั้วเชื่อม	
ศุกร์ 16/...7/...53	8½	วางแผนการทำงาน กำหนดขั้นตอนวิธีที่จะใช้ ในการทดลอง	ขั้นตอนการทดลอง ในการทำโครงงาน	
เสาร์ .../.../...				
อาทิตย์ .../.../...				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42½	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	246½	ลงชื่อ..... (นิตินันท์ ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 16/7/53 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ..... (วิทยา พรมวงศ์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 16/7/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	289			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรศัพท์: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 8

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินา ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 50111087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน วิชา พรมวงค์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ ๐๖๖ - ๙๕๔ ๓๓๓ (๑๐ ๖๓๐) E-Mail vpromwon@ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 19/7/53	8 1/2	สอนช่างใหม่ในการทากันกรวด spot welding, ฝึกซ่อมจุด spot สก ISO	การทากันกรวดให้ตรง แผ่นท่อน้ำหนักแผ่น ใช้ part 02 หรือ 03	
อังคาร 20/7/53	8 1/2	ฝึกทากันกรวด spot ที่ล้อให้ใกล้ spotter มาทำจุด ตรวจสอบความหนาของแผ่นเหล็ก	การรู้งานช่าง การใช้อุปกรณ์ การซ่อม spot	
พุธ 21/7/53	8 1/2	ฝึกช่างใหม่การตั้งองศาของ spot welding ต่างที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการตั้งองศา	การปรับตั้ง องศาในการตั้ง องศา welding	
พฤหัสบดี 22/7/53	8 1/2	สอนช่างใหม่การตั้งองศาต่าง ๆ เกี่ยวกับเหล็ก ที่ต้องใช้กับช่างเทคนิคงาน	การปรับการตั้ง องศาของเหล็ก spot welding	
ศุกร์ 23/7/53	8 1/2	สอนช่างใหม่แผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการ spot welding	การเลือกแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ให้ part 02 หรือ 03	
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ		
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	289	ลงชื่อ นิตินา ไชยวงศ์ (นิตินา ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 23/7/53 นักศึกษาฝึกงาน		
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	331 1/2	ลงชื่อ วิชา พรมวงค์ (วิชา พรมวงค์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 23/7/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน		

หมายเหตุ: นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร : 0-2763-2754 www.ini.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....๑.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษานายจิรุตติคุณ วิทยฐานะ รหัสนักศึกษา 5011087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน กิจก ตำแหน่ง supervisor
 โทรศัพท์ 038-754111 (ต่อ 6110) E-Mail vprom.won@hotmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์/...../.....				
อังคาร/...../.....		ลา	-	-
พุธ 28/7/53	8 1/2	ค้นคว้าหาข้อมูลวัสดุ spatter ทากแห้งต่าง ๆ	weld spatter weld lope	วัสดุ ทากแห้ง วัสดุ มีความคงทน แต่ มีปัญหา
พฤหัสบดี 29/7/53	8 1/2	ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล spatter เช่น surface resistance, bulk resistance	ความรู้เกี่ยวกับ การเชื่อม ปัจจัยที่กระทบต่อการเชื่อม	
ศุกร์ 30/7/53	8 1/2	ออกแบบกลไกของเครื่องทำผิวหน้า condition ของผิว	ความรู้เกี่ยวกับ 1) current, time 2) impulse weld	ชุดดำเนินการไม่ ตรงตามค่าที่คำนวณได้
เสาร์ 31/7/53	8 1/2	ศึกษาผิวหน้าเหล็ก	ความรู้เกี่ยวกับ ผิวหน้าเหล็ก part ของชิ้นงานต่าง ๆ	วัสดุผิวหน้าเหล็ก ขนาดที่ต่างกัน
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	34	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	331 1/2	ลงชื่อ นายจิรุตติคุณ (นายจิรุตติคุณ วิทยฐานะ) วัน/เดือน/ปี 1/7/53 นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ นายจิรุตติคุณ (นายจิรุตติคุณ วิทยฐานะ) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 1/7/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	365 1/2			

หมายเหตุ: นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 10

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นายจิณพศ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 5011 087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน วิทยา พรมวงษ์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 039-454111 (ต่อ 6110) E-Mail vpramwong@hotmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 2/8/53	8 1/2	ทอว spot welding ตรวจสอบลักษณะของชิ้นงาน spotwelder	ทอวที่สัปดาห์นี้ ได้มากเกินไป	ไม่รู้สึกอึดอัด ตามตัว จังทอว
อังคาร 3/8/53	8 1/2	ฝึกทอว การทอวที่ออกพบให้พบรวมทอว ในทอวทอว 101	ฝึกทอวตามขั้นตอน ในทอวด้านงาน	การทอวไม่ สามารถใช้งานได้ จริง
พุธ 4/8/53	8 1/2	ฝึกทอว powerpoint กับ fish bone diagram		
พฤหัสบดี 5/8/53	-	ลา		ท้องเสีย ทาบทา
ศุกร์ 6/8/53	8 1/2	presentation นำเสนอหน้าดำดำ สื่อโฆษณา บริษัทปวงเพ็ญ project ใหม่		
เสาร์ 7/8/53				
อาทิตย์ 8/8/53				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	34	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	365 1/2	ลงชื่อ นายจิณพศ ไชยวงศ์ (นายจิณพศ ไชยวงศ์)	ลงชื่อ วิทยา พรมวงษ์ (วิทยา พรมวงษ์)	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	399 1/2	วัน/เดือน/ปี 6/8/53 นักศึกษาฝึกงาน	ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 9/8/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 12

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นายณัฐพล ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 50111087-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน ศิพรา พรมวงษ์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 033-95111 (ต่อ 6110) E-Mail vpramwon@hotmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 16/8/53	8 ½	ทำอะไหล่เหล็ก ทดสอบเชื่อมตามที่ได้บอกแบบทางทดลองไว้	การออกแบบทางทดลอง แบบ DOE	
อังคาร 17/8/53	8 ½	ทดลองเชื่อม สัปดาห์ 2 บันทึกผลการทดลองโดยเขียนตัวแปรต่างๆ ทางทางทดลอง	3 level factor design	
พุธ 18/8/53	8 ½	คำนวณค่าได้มาได้จาก ค่าแปรผัน pressure ไม่ขึ้น linear function	2 level factor design	
พฤหัสบดี 19/8/53	8 ½	ปรับปรุงผลการวิเคราะห์ โดยเลือกฟังก์ชันของ ตัวแปรที่เหมาะสม มาวิเคราะห์ ใน minitab	การใช้ minitab ในการวิเคราะห์ผลการ ทดลอง	
ศุกร์ 20/8/53	8 ½	จัดทำรายงาน		
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 ½	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	399 ½	ลงชื่อ ณัฐพล ไชยวงศ์ (..... น.ส.ณัฐพล ไชยวงศ์)	ลงชื่อ ศิพรา พรมวงษ์ (..... ศิพรา พรมวงษ์)	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	442	วัน/เดือน/ปี 20/8/53 นักศึกษาฝึกงาน	ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 20/8/53 ผู้ควบคุมการฝึกงาน	

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรศัพท์: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....12.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา.....นางณิชนิศา ไชยวงศ์.....รหัสนักศึกษา.....5011087-9
 คณะวิชา.....วิศวกรรมศาสตร์.....สาขาวิชา.....วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน.....Body shop.....
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน.....วิทย์ พรมวงค์.....ตำแหน่ง.....supervisor
 โทรศัพท์.....038-954111 (ต่อ 6110).....E-Mail.....v.promwong@hotmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 22./8./53	-	ล้าง VISA		
อังคาร 24./8./53	-	ล้าง ไข้นวด		
พุธ 25./8./53	-	ล้าง ไข้นวด		
พฤหัสบดี 26./8./53	8½	เตรียมน้ำพ่น project		
ศุกร์ 27./8./53	8½	น้ำพ่น project		
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	17	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	442	ลงชื่อ..... <u>ณิชนิศา ไชยวงศ์</u> (..... <u>นิชนิศา ไชยวงศ์</u>) วัน/เดือน/ปี..... <u>27/8/53</u>	ลงชื่อ..... <u>วิทย์ พรมวงค์</u> (..... <u>วิทย์ พรมวงค์</u>) ตำแหน่ง..... <u>Supervisor</u> วัน/เดือน/ปี..... <u>28/8/53</u>	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	459	นักศึกษาฝึกงาน	ผู้ควบคุมการฝึกงาน	

หมายเหตุ: นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

Co-operative Education and Job Placement Center

177/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรศัพท์: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการฝึกงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่.....14.....

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นายนิติพล ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 5011087-9
 คณะวิชา ศึกษาศาสตร์ สาขาวิชา ศึกษาศาสตร์
 ชื่อหน่วยงาน วิทยาลัย shop
 ผู้ควบคุมการฝึกงาน วิชา ปรมาภรณ์ ตำแหน่ง supervisor
 โทรศัพท์ 039-954111 (40 6110) E-Mail vromwot@hotmail.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 30/.../53	8 1/2	แก้ไขปรับปรุงงาน powerpoint ของ project		
อังคาร 31/.../53	8 1/2	แก้ไขปรับปรุงงาน powerpoint ของ project		
พุธ 1/.../53	8 1/2	แก้ไขปรับปรุงงาน powerpoint ของ project		
พฤหัสบดี 2/.../53	8 1/2	present project		
ศุกร์ 3/.../53	8 1/2	แก้ไขให้สมบูรณ์มากขึ้น		
เสาร์ .../.../...				
อาทิตย์ .../.../...				
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานใน รายงานฉบับก่อน	459	ลงชื่อ.....นิติพล ไชยวงศ์..... (.....นิติพล ไชยวงศ์.....) วัน/เดือน/ปี.....3/9/53..... นักศึกษาฝึกงาน	ลงชื่อ.....วิชา ปรมาภรณ์..... (.....วิชา ปรมาภรณ์.....) ตำแหน่ง.....Supervisor..... วัน/เดือน/ปี.....22/09/53..... ผู้ควบคุมการฝึกงาน	
จำนวนชั่วโมง ฝึกงานรวม ทั้งหมด	501 1/2			

หมายเหตุ นักศึกษาคงส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาการฝึกงานของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดการงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

CCC – C08

Co-operative Education and Career Center

177/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรสาร : 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 15

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตพล ใจดวง รหัสนักศึกษา 5011081-8
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body Shop
 พนักงานที่ปรึกษา วิชา พรมวงค์ ตำแหน่ง Supervisor
 โทรศัพท์ 028 (954111) ถึง 0.610 E-Mail vpromwong.ford-con

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 20/9/53	8 1/2	ดูการติดตั้ง แขนงของหุ่นยนต์ hatching ยาว		
อังคาร 21/9/53	8 1/2	ดูการตั้งค่าไฟฟ้าแกมของหุ่นยนต์		
พุธ 22/9/53	8 1/2	เตรียมรายงาน 10 ตารางหน้า		
พฤหัสบดี 23/9/53	8 1/2	เตรียมรายงาน 10 ตารางหน้า		
ศุกร์ 24/9/53	8 1/2	เตรียมรายงาน 10 ตารางหน้า		
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติงานรวมใน รายงานฉบับนี้	42 1/2	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติงานใน รายงานฉบับก่อน	50 1/2	ลงชื่อ นิตพล ใจดวง (..... นิตพล ใจดวง)	ลงชื่อ (..... นิตพล ใจดวง)	
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติรวม ทั้งหมด	54 1/2	วัน/เดือน/ปี 24/9/53 นักศึกษาสหกิจศึกษา	ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 26/9/53 พนักงานที่ปรึกษา	

หมายเหตุ: นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ศูนย์สหกิจศึกษาและจัดหางาน สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

CCC – C08

Co-operative Education and Career Center

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์: 0-2763-275 โทรศัพท์: 0-2763-2754 www.tni.ac.th

แบบฟอร์มรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 16

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นิตินันท์ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 5011087-3
 คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
 ชื่อหน่วยงาน Body shop
 พนักงานที่ปรึกษา วิชา พวงวงศ์ ตำแหน่ง supervisor
 โทรศัพท์ 058 (95111) 610 E-Mail vprachon o ford.com

วัน/เดือน/ปี	จำนวน ชั่วโมง	งานที่ปฏิบัติโดยย่อ	ความรู้/ทักษะ ที่ได้รับ	ปัญหา/อุปสรรค
จันทร์ 27/9/53	8 ½	ตรวจเช็ค check sheet	รู้แนว check sheet แบบต่าง ๆ	
อังคาร 28/9/53	8 ½	ตรวจเช็ค check sheet	รู้แนว check sheet แบบต่าง ๆ	
พุธ 29/9/53	8 ½	ตรวจเช็ค check sheet	รู้แนว check sheet แบบต่าง ๆ	
พฤหัสบดี 30/9/53	8 ½	ตรวจเช็ค check sheet	รู้แนว check sheet แบบต่าง ๆ	
ศุกร์/...../.....				
เสาร์/...../.....				
อาทิตย์/...../.....				
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติงานรวมใน รายงานฉบับนี้	34	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ	
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติงานใน รายงานฉบับก่อน	544	ลงชื่อ นิตินันท์ ไชยวงศ์ (นิตินันท์ ไชยวงศ์) วัน/เดือน/ปี 30/9/53 นักศึกษาสหกิจศึกษา	ลงชื่อ วิชา พวงวงศ์ (วิชา พวงวงศ์) ตำแหน่ง Supervisor วัน/เดือน/ปี 30/9/53 พนักงานที่ปรึกษา	
จำนวนชั่วโมง ปฏิบัติงานรวม ทั้งหมด	578			

หมายเหตุ นักศึกษาต้องส่งรายงานฉบับนี้ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาของคณะวิชา ทุกสัปดาห์อย่างเคร่งครัด
 อย่าลืมถ่ายสำเนาเก็บไว้ เพื่อทำรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 3 โครงการงานการประยุกต์การออกแบบการทดลองในการเชื่อมแบบจุด

3.1 แผนงานปฏิบัติงาน

แผนปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

หัวข้องาน	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
เรียนรู้พื้นฐานการเชื่อมแบบ spot welding	↔			
เก็บข้อมูลการเกิด spatter		↔		
ทำการวิเคราะห์ข้อมูล		↔		
ค้นหาวิธีการแก้ไข			↔	
ทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุด			↔	
ตรวจสอบค่าที่คำนวณได้สามารถใช้ได้หรือไม่				↔
ทดลองนำไปใช้ในงานจริง				↔
ตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น				↔
ถ้าพบปัญหาตรวจสอบและแก้ไขใหม่				↔

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานที่นักศึกษาปฏิบัติงานหรือโครงการ

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติจำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ไม่ใช่แค่การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หากำระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไข ของ ANOVA ด้วย

7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะรับรู้ เพื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้



3.3 รายละเอียดงานที่นักศึกษาปฏิบัติในงานสหกิจศึกษา



Application of design of experiments to a spot welding process

Project by

Nitipon Chaipayong
Internship Student
Body Shop 1
Automotive Engineering
Thai-Nichi Institute of Technology



Project Advisor

Mr. Vitaya Promwong Supervisor

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Project Background



Design of experiments (DOE) is a scientific method for identifying the critical parameters associated with a process and thereby determining the optimal settings for these process parameters for enhanced performance and capability.

It is a powerful technique employed in the improvement phase of the Six Sigma methodology as a means to improve process yield, stability, customer satisfaction and reduce process variability which results in high scrap, rework and warranty costs.

This project presents the application of DOE to a spot welding process in order to discover the key process parameters, which influence the spatter of welded joints. Statistical analysis was carried out to identify the process parameters, which affect the variability of spatter.

Case study



Spot welding is the most commonly used form of resistance welding. The metal to be joined is placed between two electrodes, then pressure applied and current turned on.

Then the electrodes pass an electric current through the work pieces. As the welding current is passed through the material via the electrodes, heat is generated, mainly in the material at the interface between the sheets. As time progresses, the heating effect creates a molten pool at the joint interface, which is contained by the pressure at the electrode tip.

The duration of current flow in the joint is determined by the thickness and type of the material. Once the welding current is switched off, the molten pool cools under the continued pressure of the electrodes to produce a weld nugget. The weld nugget is formed internally with relation to the surface of the base metal.



The heat generated depends on the electrical resistance and thermal conductivity of the metal, and the time that the current is applied. The electrodes are held under a controlled pressure or force during the welding process. The amount of pressure affects the resistance across the interfaces between the work pieces and the electrodes. If the applied pressure is too low, weld splash

There are three stages to the welding cycle; squeeze time, weld time and hold time. The squeeze time is the time when the pressure is applied until the current is turned on. The weld time is the duration of the current flow. If the weld current is high, it might again lead to weld splash. The hold time is the time of holding the metal together after the current is stopped.

purpose of experiment



To understand the process, especially the operating range of important process parameters (current and pressure) and their impact on the spatter of the weld.

The purpose of a designed experiment is not just to obtain good results rather to understand the worst and best operating conditions so that small sequential experiments can be conducted to gain more process knowledge.

objectives of experiment



- (1) to identify the key welding process parameters which influence the spatter of the weld;
- (2) to identify the key welding process parameters, which influence variability in spatter; and
- (3) to determine the optimal settings of the welding process parameters, which can reduce spatter

3-level full factorial design



The spot welding process in this study is primarily used for joining sheet metal parts of up to 4 sheets.

example 0.8+1.2+1.2+0.8 plating steel sheet

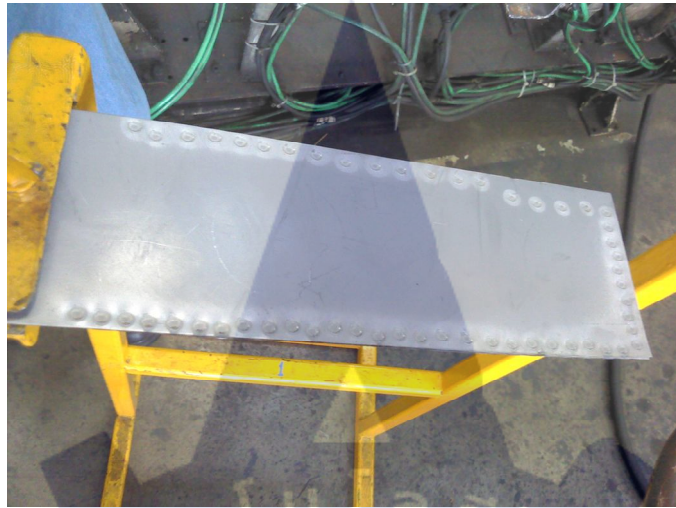
The spot weld tip diameters range from 6 to 8 mm. The material used for this study was plating carbon steel sheet.

Table I presents the list of process parameters along with their levels used for the experiment. As part of the initial investigation, it was decided to study the process parameters at 3-levels.

Count number of spatter take place per 100 spots

Spatter < 1 m no spatter

Spatter > 1 m have spatter





Process parameter	Label	Units	Low level	Mid level	High level
Welding current	A	kA	-1	0	+1
Electrode force	B	kN	-1	0	+1

Table I List of process parameters used for the experiment

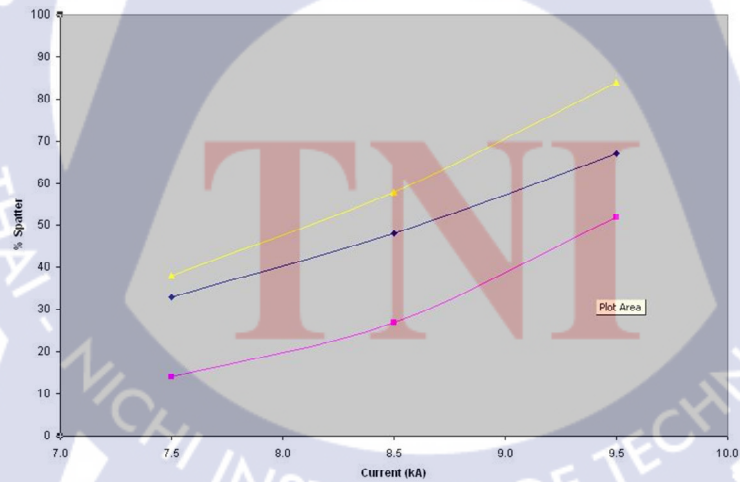
design matrix

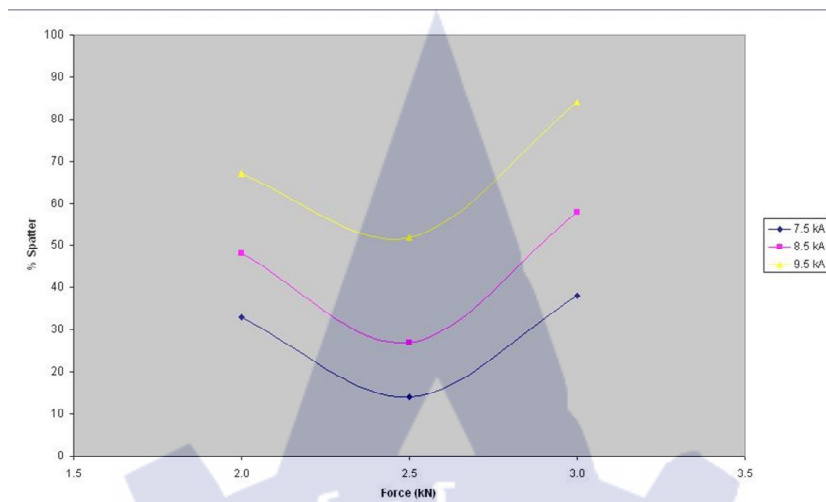


Run	Factor			
	A	B	A	B
1	-1	-1	7.5	2.0
2	-1	0	7.5	2.5
3	-1	+1	7.5	3.0
4	0	-1	8.5	2.0
5	0	0	8.5	2.5
6	0	+1	8.5	3.0
7	+1	-1	9.5	2.0
8	+1	0	9.5	2.5
9	+1	+1	9.5	3.0

Run	A	B	Y1	Y2	Y3	Mean
1	-1	-1	33	30	36	33
2	-1	0	15	16	12	14
3	-1	+1	35	37	43	38
4	0	-1	48	46	50	48
5	0	0	31	22	27	27
6	0	+1	56	55	62	58
7	+1	-1	64	69	69	67
8	+1	0	52	55	49	52
9	+1	+1	89	78	86	84

Table II Results of the experiment





2-level full factorial design



From results of experiment

Factor A (current) has a linear function with spatter

Factor B (pressure) has a non-linear function with spatter

Design new experiment

2-level full factorial design

Set factor B

2.0 kN for low level

2.5 kN for high level

Because from previous experiment 2.0 kN force have %spatter lower than 3.0 kN force



Process parameter	Label	Units	Low level	High level
Welding current	A	kA	-1	0
Electrode force	B	kN	-1	0

Table I List of process parameters used for the experiment

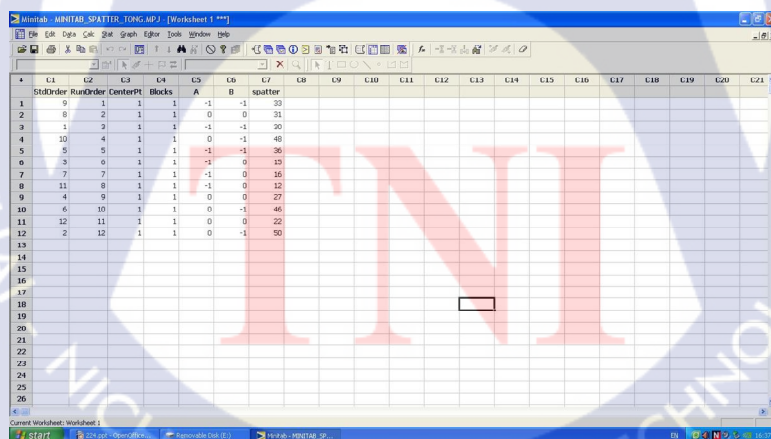
design matrix



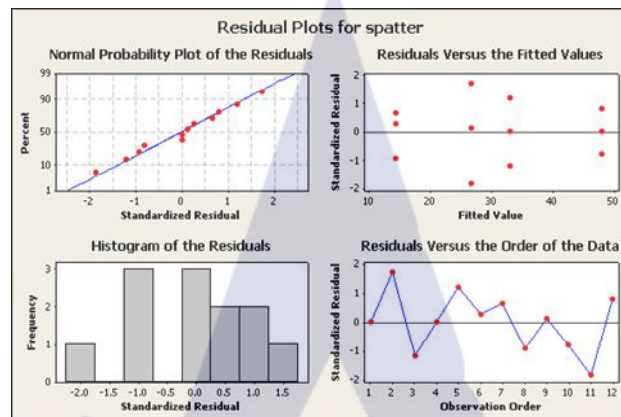
Run	Factor			
	A	B	A	B
1	-1	-1	7.5	2.0
2	0	-1	9.5	2.0
3	-1	0	7.5	2.5
4	0	0	9.5	2.5

Run	A	B	Y1	Y2	Y3
1	-1	-1	33	30	36
2	0	-1	48	46	50
3	-1	0	15	15	12
4	0	0	31	27	22

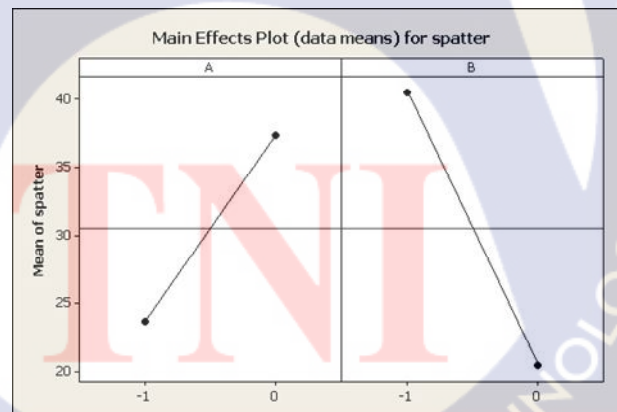
Table II Results of the experiment

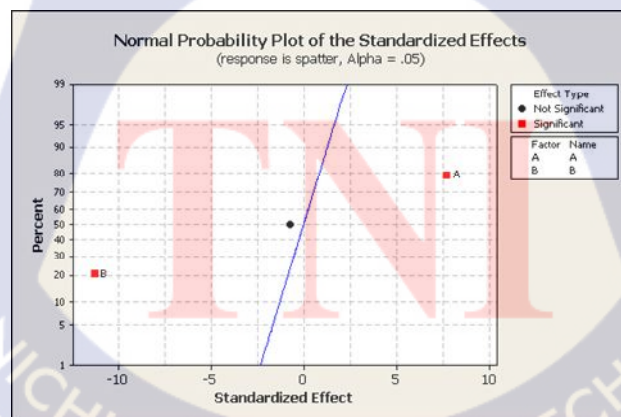
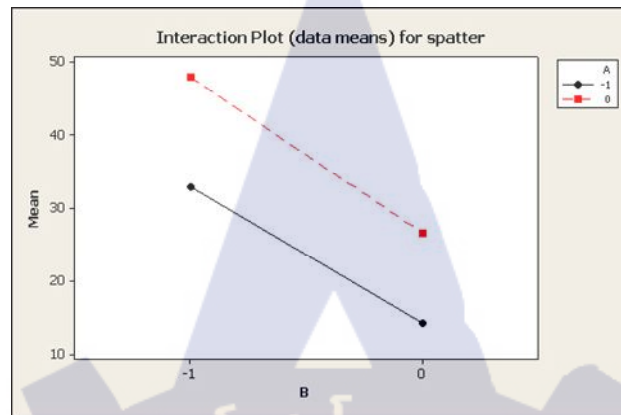


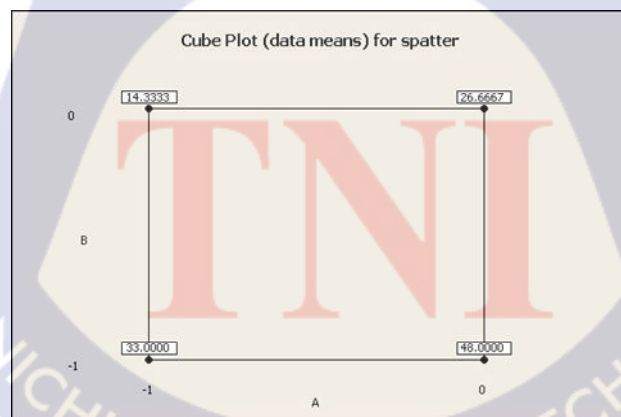
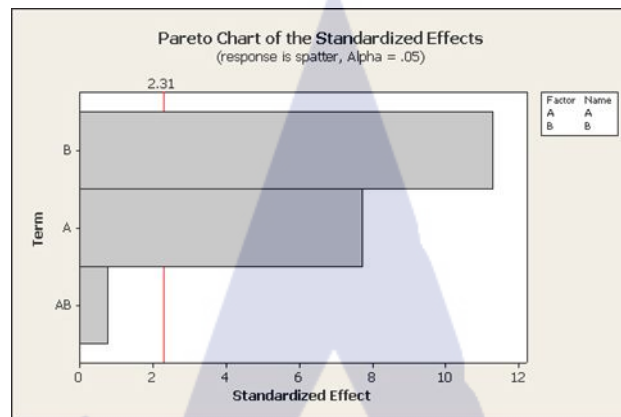
Run	StOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	spatter
1	9	1	1	1	-1	-1	33
2	8	2	1	1	0	0	31
3	1	3	1	1	-1	0	15
4	10	4	1	1	0	-1	48
5	5	5	1	1	-1	-1	36
6	3	6	1	1	-1	0	15
7	7	7	1	1	-1	0	15
8	11	8	1	1	-1	0	12
9	4	9	1	1	0	0	27
10	6	10	1	1	0	-1	46
11	12	11	1	1	0	0	22
12	2	12	1	1	0	-1	50



Pressure has a greater effect than current. Spatter increases as current increase.







Term Coef
 Constant 26.6667
 A 12.3333
 B -21.3333
 A*B -2.66667



	Coded Factors		Interaction		Response
	A	B	AB		Y
	-1	-1	1		48
	1	-1	-1		96
	-1	1	-1		72
	1	1	1		36
Y_{ave} at FACTOR _{high}	66	54	42	Grand Mean	63
Y_{ave} at FACTOR _{low}	60	72	84		
Effect	6	-18	-42		
Coefficient	3	-9	-21		

the prediction equation is: $\hat{Y} = 63 + 3A - 9B - 21AB$



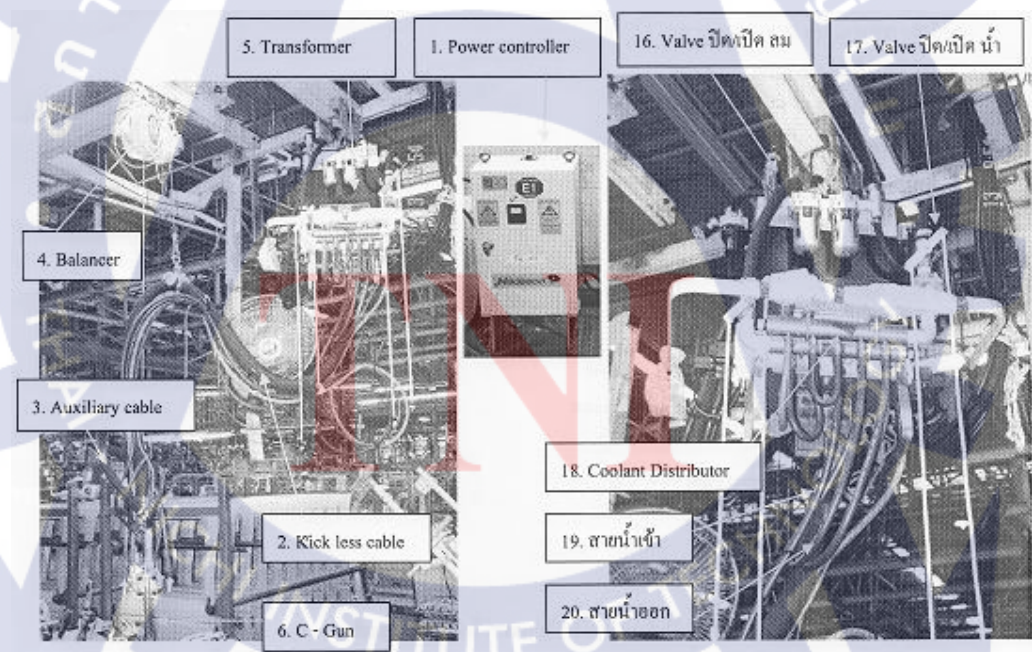
3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเชื่อม Spot welding เป็นการเชื่อมแบบ Resistance welding ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของการกระบวนการเชื่อมโดยการทำให้โลหะให้ยึดติดกันจากพลังงานความร้อน (Heat) ที่เกิดขึ้น จากความต้านทาน (Resistance) ระหว่างหน้าสัมผัส ค่า Resistivity ของชิ้นงาน (Work pieces) และค่า Resistivity ของ Electrode Tip ที่กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไหลผ่าน โดยอาศัยแรงกด (Pressure)

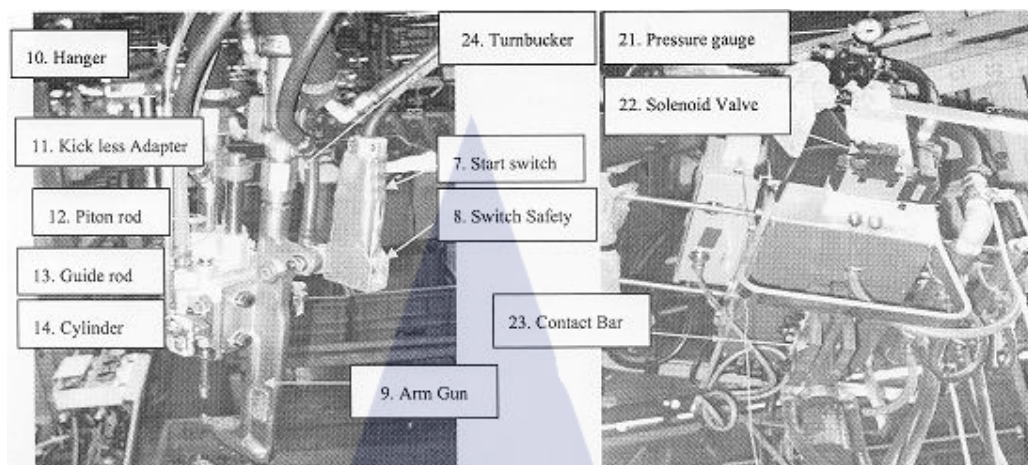
Resistance welding เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ และเกือบ 90% ของงานเชื่อมตัวถังรถยนต์ เป็นงานเชื่อมแบบ Spot welding ซึ่งอาจจะมีมากถึง 4,000 จุดเชื่อมต่อรถหนึ่งคัน

3.4.1 Portable spot welding

3.4.1.1 Equipment of Portable spot welding



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เครื่องเชื่อม Spot Welding



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์เครื่องเชื่อม Spot Welding

1. Power Controller

หน้าที่การทำงานคือ ON/OFF แรงดันไฟฟ้า จากแหล่งจ่าย เพื่อที่จะจ่ายให้ Transformer

อุปกรณ์ที่รวมอยู่ในตู้ power controller ประกอบด้วย

- a. Circuit Breaker
- b. Power SCR
- c. Timer Unit



รูปที่ 3.3 Power controller

2. Kick less Cable

หน้าที่การทำงานของ Kick less cable คือเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจาก Transformer ไปยัง Arm Gun

Kick less cable ที่ใช้กับ PSW หัวไปมีขนาด 150 mm (Diameter) มีความยาว 2.4 m

Kick less cable ที่ใช้กับ Robot หัวไปมีขนาด 200 mm (Diameter) มีความยาว 2.4 m



รูปที่ 3.4 Kick less Cable

Kick less cable ในหนึ่งเส้น จะมีขดทองแดงที่ใช้นำกระแสทั้งขั้วบวกและขั้วลบ อยู่ในเส้นเดียวกัน โดยไม่เกิดการ Short circuit สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ทองแดง(Cu) นำกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำ

3. Auxiliary Cable

หน้าที่การทำงานของ Auxiliary Cable คือเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม โดยรับกระแสไฟฟ้าจาก Kick less cable ไปยังด้าน Rod ของ Gun spot

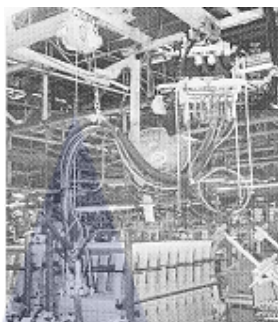


รูปที่ 3.5 Auxiliary Cable

Auxiliary Cable ที่ใช้กับ PSW มีความยาว 180 x 0.6 m และ 180 x 0.8 m

4. Balancer

หน้าที่การทำงานคือ ผ่อนน้ำหนักของปืนเชื่อมและน้ำหนักของ Kick less cable ให้เบา และให้ง่ายต่อการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.6 Balancer

5. Transformer

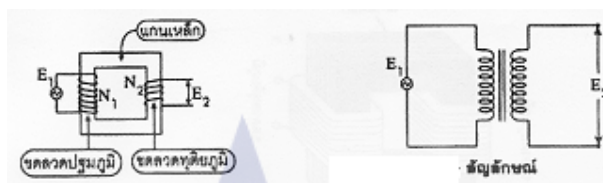
หน้าที่การทำงานคือ แปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage) จากแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำ (400 Volt ลดเหลือประมาณ 21 Volt) และแปลงกระแสไฟฟ้า (Current) จากกระแสต่ำให้เป็นกระแสสูง (600A เพิ่มขึ้นประมาณ 10 KA)



รูปที่ 3.7 Transformer

หม้อแปลง(transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยจะใช้ได้เฉพาะที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น
หม้อแปลงจะมีขดลวดอยู่ 2 ชุด ดังนี้

1. ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) คือ ขดลวดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า
2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) คือ ขดลวดที่แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ถูกแปลงแล้ว



รูปที่ 3.8 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า Transformer

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับจำนวนรอบของขดลวด

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots (1)$$

E1 แทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิ

E2 แทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดทุติยภูมิ

N1 แทนจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N2 แทนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

ข้อตกลง

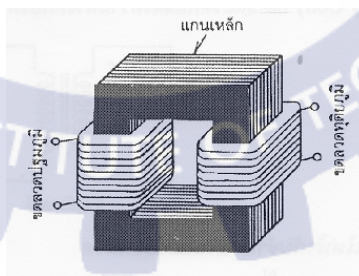
1. ถ้าขดลวดทุติยภูมิมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่าขดลวดปฐมภูมิแล้วจะถูกรเรียกว่า หม้อแปลงลง

(Step-Down Transformer)

2. ถ้าขดลวดทุติยภูมิมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าขดลวดปฐมภูมิแล้วจะถูกรเรียกว่า หม้อแปลงขึ้น

(Step-Up Transformer)

สรุป transformer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม



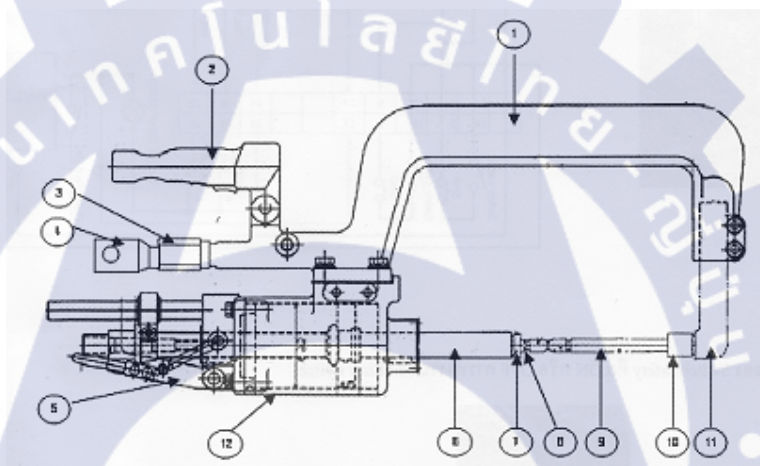
รูปที่ 3.9 ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าและจำนวนรอบของขดลวด(Turn ratio) ค่าอัตราส่วนของหม้อแปลง (Turn ratio) หรือ a

$$N1/N2 = E1/E2 = I2/I1 = a$$

6. C – Gun

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| 1)Arm Gun | 8)Straight Shank ด้าน Rod |
| 2)Switch start | 9) Straight Shank ด้าน Arm |
| 3)Turnbuckle | 10)Holder1 ด้าน Arm |
| 4)Kick less Adaptor | 11) Holder2 ด้าน Arm |
| 5)Stopper | 12)Cylinder |



รูปที่ 3.10 ปืนเชื่อม

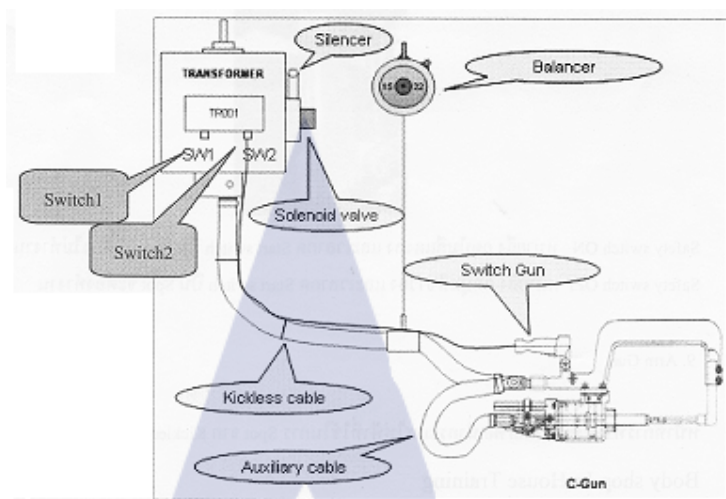
การเรียก Switch Gun

หันหน้าเข้าหา Transformer

- Switch Gun ที่ต่อไปใช้งานด้านซ้ายมือ เรียก Switch1

- Switch Gun ที่ต่อไปใช้งานด้านขวามือ เรียก Switch2

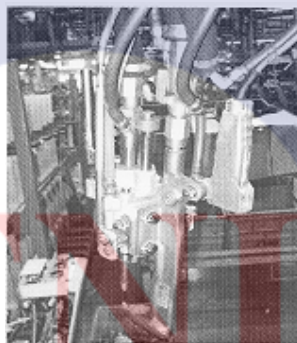
Silencer ทำหน้าที่เก็บเสียงลมที่ออกจากกระบอกสูบ Gun spot ไม่ให้มีเสียงดัง



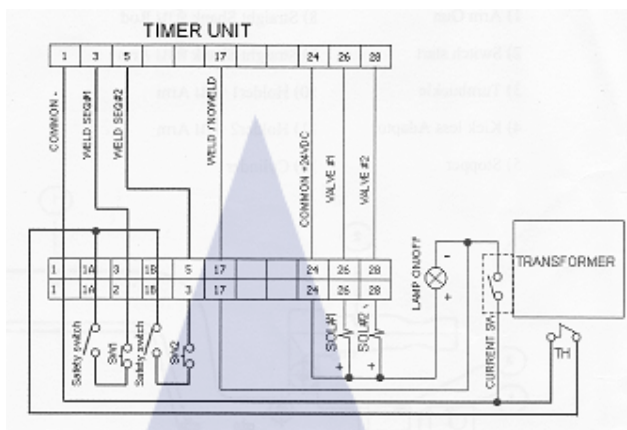
รูปที่ 3.11 วงจรปืนเชื่อม

7.Start Switch

หน้าที่การทำงานของ Start Switch คือรับไฟลบจากจุดที่ 1(Timer unit) ไปจ่ายให้จุดที่ 3 เพื่อให้ Gun spot#1 ทำงานและจ่ายให้จุดที่ 5 เพื่อให้ Gun spot#2 ทำงาน



รูปที่ 3.12 Start Switch



รูปที่ 3.13 วงจร Start Switch

8.Safety Switch

หน้าที่การทำงานของ Switch safety คือ ON หรือ OFF การทำงานของ Start switch



รูปที่ 3.14 Safety Switch

Safety switch ON หมายถึง กดปุ่มสีแดงลง และเวลากด Start switch ปืน Spot จะต้องไม่ทำงาน

Safety switch OFF หมายถึง กดปุ่มสีขาวลง และเวลากด Start switch ปืน Spot จะต้องทำงาน

9.Arm Gun

หน้าที่การทำงานของ Arm คือ นำกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ Spot จาก Kick less cable ไปที่ปลายของหัว Tip ด้าน Arm

10.Hanger

หน้าที่การทำงานของ hanger คือ ใช้ในการแขวนปืน Spot กับ Balancer เพื่อรับน้ำหนักและเคลื่อนที่

11.Kick less Adapter

หน้าที่การทำงานของ Kick less Adapter คือ เป็นข้อต่อให้กับ Kick less cable กับ Arm Gun

12.Piton rod

หน้าที่การทำงานของ Piton rod คือนำกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ Spot จาก Auxiliary cable ไปที่ปลายของหัว Tip ด้าน Rod

13. Guide rod

หน้าที่การทำงานของ Guide rod คือประกอบ Piton rod ให้ Alignment คงที่ตลอด

14. Cylinder

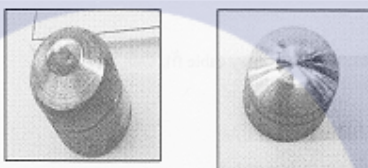
หน้าที่การทำงานของ Cylinder คือเคลื่อนที่ Piton rod ให้ Alignment คงที่ตลอด

15. Electrode Tip

Electrode Tip เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องเชื่อม PSW เพราะหัว Tip เป็นส่วนที่อยู่ใกล้ที่สุดของกระบวนการเชื่อมแบบ Spot welding ถ้า Material ที่ใช้ทำหัว Tip ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเชื่อมหลายอย่าง เช่น ปัญหา Cold weld ปัญหา Tip stick อื่นๆ

ปัจจุบัน Body Shop ใช้หัว Tip Obara ซึ่ง Material ที่ใช้ทำหัว Tip ประกอบด้วย

1. ทองแดง (Cu) มีคุณสมบัติเป็นตัวนำกระแส ที่ใช้ในการ Spot
2. โครเมียม (Cr) มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับหัว Tip เพราะการเชื่อมของปืน Spot เป็นการเชื่อมโดยอาศัยแรงกด
3. เซอร์โคเนียม (Zr) มีคุณสมบัติช่วยไม่ให้หัว Tip หลอมละลายติด Part เมื่อกระแสไฟฟ้าและความร้อนผ่านเป็นเวลานานๆ หรือป้องกัน Tip stick



รูปที่ 3.15 Electrode Tip

16. Valve ปิด/เปิดลม

ทำหน้าที่ปิดหรือเปิดลมที่ใช้ในกระบอกสูบของปืน Spot ซึ่งแรงดันลมที่อยู่ในระบบยังไม่ผ่าน Regulator จะมีแรงดันลม 6 bar

17. Valve ปิด/เปิดน้ำ

ทำหน้าที่ปิดหรือเปิดน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนของปืน Spot ซึ่งอัตราการไหลของน้ำตาม standard ไม่ควรต่ำกว่า 7 ลิตร/นาที

18. Coolant distributor

ทำหน้าที่เป็นจุดต่อของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนก่อนเข้าระบบและออกระบบ

19. สายน้ำเข้า

ทำหน้าที่รับน้ำมาจาก Coolant Distributor แล้วจ่ายเข้าไปในระบบ สายน้ำเข้านี้เป็นสายสีน้ำเงิน

20.สายน้ำออก

ทำหน้าที่รับน้ำจากระบบ ซึ่งสายน้ำออกนี้เป็นสีแดง ถ้ามีการเพิ่มสายน้ำหรือมีการ Modify สายน้ำเพิ่มจะเป็นสีเหลือง

21.pressure Gauge

ทำหน้าที่เป็น Gauge วัดแรงดันลมที่จะเข้าไปใช้งานในกระบอกสูบของปืน Spot มีหน่วยวัดแรงดันเป็น Kg.f/cm²

22.Solenoid Valve

ทำหน้าที่จ่ายลมเข้าและปล่อยลมออกจากกระบอกสูบของปืน Spot ซึ่ง Spec ของ Solenoid valve คือ 5/24 Volt DC Set ด้วยไฟฟ้า Reset ด้วย Spring หรือลม

23.Contact bar

ทำหน้าที่เป็นจุดต่อระหว่าง Transformer กับ Kick less cable

24.Turn bucker

ทำหน้าที่เป็นจุดต่อระหว่าง Auxiliary cable กับ Gun spot

3.4.1.2 หลักการทำงานของเครื่องเชื่อม Welding machine

Spot welding คืออะไร

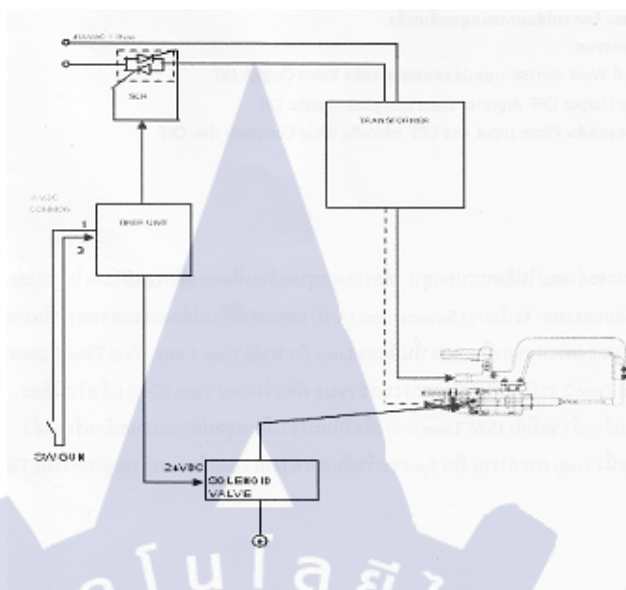
Spot welding เป็นการเชื่อมแบบ Resistance welding ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของขบวนการเชื่อม โดยการทำให้โลหะยึดติดกันจากพลังงานความร้อน(Heat) ที่เกิดขึ้น จากความต้านทาน (Resistance) ระหว่างหน้าสัมผัส ค่า Resistivity ของชิ้นงาน (Work pieces) และค่า Resistivity ของ Electrode Tip ที่กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไหลผ่าน โดยอาศัยแรงกด (Pressure)

Resistance welding เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ และเกือบ 90% ของงานเชื่อมตัวถังรถยนต์ เป็นงานเชื่อมแบบ Spot welding ซึ่งอาจจะมีมากถึง 4,000 จุดเชื่อมต่อรถหนึ่งคัน

ดังนั้นการเชื่อมแบบ Spot welding จึงเป็นการเชื่อมที่สำคัญมากสำหรับแผ่นก ตัวถังรถยนต์ (Body)

คุณสมบัติเด่นของ Spot welding

- 1.ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย และมีประสิทธิภาพงานเชื่อมดี
- 2.น้ำหนักสามารถควบคุมได้ เพราะ ไม่มีการเติมโลหะหรือสิ่งต่างๆลงในขณะที่เกิดการเชื่อม
- 3.รอยเชื่อมที่ได้พื้นผิวค่อนข้างสวยงามและมีการโค้งงอหรือบิดงอค่อนข้างน้อย
- 4.ทุกคนสามารถเชื่อมได้เพราะเป็นการเชื่อมที่ไม่ต้องการ Skill มาก
- 5.อุปกรณ์ที่ใช้ ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง



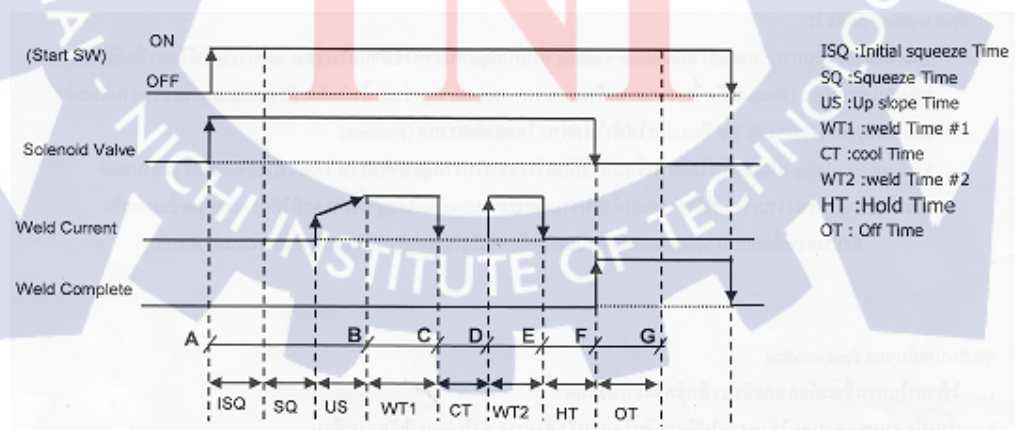
รูปที่ 3.16 วงจรไฟฟ้า Welding Machine

การทำงานของ PSW

เริ่มต้นจากกด Switch Gun ไฟ -0 จากจุดที่ 1 จะมาจ่ายให้จุดที่ 3 นั้นหมายความว่า Timer unit จะทำงานตาม Schedule1

Timer unit จะสั่งการให้ Power SCR จ่ายไฟให้กับ transformer และ Timer unit จ่ายไฟให้ Solenoid valve

3.4.1.3 ขบวนการเชื่อม Welding process



รูปที่ 3.17 Welding process

1. Pilot input ON valve Output เริ่ม ON
2. Weld current จะเริ่ม ON ได้หลังจากที่ Pilot input ON เป็นเวลาช้านานแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับค่า ISQ, SQ
- ISQ : เป็นค่าที่ใช้ในการหน่วงเวลา หลังจาก Pilot input ON จนถึงกระแสจะเริ่มปล่อย
3. UP: เป็นค่า Slope ในการเริ่มปล่อยกระแส
4. WT1: เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแส ดังนั้นกระแสจะปล่อยช้านานเท่าไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับค่านี้
5. CT: เป็นค่าที่หยุดปล่อยกระแสชั่วคราว ในการปล่อยกระแสคลื่นลูกหนึ่ง
6. WT2: เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแส
7. HT: เป็นค่าที่หน่วงเวลาไว้ หลังจาก Weld current หยุดปล่อยกระแส จนถึง Valve Output Off
8. OT: เป็นค่าที่เกิดขึ้นในขณะที่ Valve Output OFF สัญญาณ Weld Complete ก็จะเริ่ม ON
9. เมื่อจบ Sequence การทำงานในหนึ่งลูกคลื่น Pilot Input ก็จะ OFF พร้อมกับ Weld Complete ก็จะ OFF

เมื่อกดสวิทช์ปืน Solenoid Valve จะทำงานและจะจ่ายลมไปยังกระบอกสูบ ให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ออก แต่กระแสจะยังไม่ถูกปล่อยซึ่งเวลาตั้งแต่ กดสวิทช์จนกระทั่งปืนเริ่มปล่อยกระแส จะเรียกว่า Squeeze time (A-B) และเวลาที่ปืนปล่อยกระแสจนกระทั่งหยุดปล่อยกระแสเรียกว่า Weld Time1 (B-C) การปล่อยกระแสของปืน Spot นั้นมีสอง Loop คือ Weld Time 1 และ Weld Time 2 และจากช่วงการปล่อยกระแส Weld Time1 และ Weld Time2 จะมีการหยุดปล่อยกระแสชั่วคราว เรียกว่า Cool Time (C-D) แล้วเริ่มปล่อยกระแส Weld Time2 (D-E) เมื่อปล่อยกระแสเสร็จแล้วจะมีค่า Hold Time (E-F) เพื่อให้แน่ใจว่าปืนหยุดปล่อยกระแสเรียบร้อยแล้ว Solenoid Valve จึงจะหยุดทำงาน และเมื่อจบหนึ่ง Loop การทำงาน ปืน Spot จะเริ่มต้นการทำงาน Loop ใหม่ จะขึ้นอยู่กับค่า Off Time (F-G)

3.4.2 Welding condition

3.4.2.1 Under standing Welding condition

ตารางที่ 3.1 SEQUENCE PROGRAM PARAMETERS

SEQUENCE PROGRAM		
Y0	PRE-SQUEEZE TIME	เป็นค่าที่ใช้ในการหน่วงเวลา หลังจากที่ Pilot input ON จนถึงกระแสเริ่มปล่อย
Y1	SQUEEZE TIME	เป็นค่าที่ใช้ในการหน่วงเวลา หลังจากที่ Pilot input ON จนถึงกระแสเริ่มปล่อย
Y3	UP SLOPE TIME	เป็นค่า Slope ในการเริ่มปล่อยกระแส
Y4	#1 WELD TIME	เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแส ดังนั้นกระแสจะปล่อยยาวนานเท่าไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับค่านี้
Y5	#1 WELD CURRENT	เป็นค่ากระแส
Y6	#1WELD CURRENT(VC)	
Y8	COOL TIME	เป็นค่าที่หยุดปล่อยกระแสชั่วขณะ ในการปล่อยกระแสลูกคลื่นหนึ่ง
Y9	#2WELD TIME	เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแส
Y10	#2WELD CURRENT	เป็นค่ากระแส
Y11	#2WELD CURRENT(VC)	
Y12	HOLD TIME	เป็นค่าที่หน่วงเวลาไว้ หลังจากที่ Weld current หยุดปล่อยกระแส จนถึง Valve Output Off
Y14	OFF TIME	เป็นค่าที่เกิดขึ้นในขณะที่ Valve Output OFF สัญญาณ Weld Complete ก็จะเริ่ม ON
Y15	PULSATION	เป็นค่า Repeat การทำงานในหนึ่งลูกคลื่น โดยจะกลับมาเริ่มต้นที่ค่า Cool Time
Y20	TURN RATIO	เป็นอัตราส่วนของ Transformer
Y21	VALVE/STEPPER SELECT	เป็นค่ากำหนดการใช้ Solenoid valve
Y26	WELD PRESSURE	เป็นค่ากำหนด Pressure

ตารางที่ 3.2 COMMON PROGRAM PARAMETERS

COMMON PROGRAM		
Y2	LOW CURRENT	เป็นค่าที่ตั้งไว้ว่า กระแสที่ออกมาสามารถต่ำได้เป็นกี่เปอร์เซ็นต์
Y3	HIGH CURRENT	เป็นค่าที่ตั้งไว้ว่า กระแสที่ออกมาสามารถสูงได้เป็นกี่เปอร์เซ็นต์
Y10	CURRENT CONT.METHOD	
Y11	REPEAT	เป็นค่า Repeat Weld Squeeze
Y12	STEPPER	เป็นค่า Function stepper
Y13	PRESSURE CONTROL	เป็นค่าการตรวจเช็ค Pressure ของ PSW(ไม่ได้ใช้งาน)
Y15	PULSE PILOT	
Y16	FAULT RESET BY PILOT	เป็นค่า Reset Fault ต่างๆที่สามารถ Reset ได้
Y17	REWELD	

ตารางที่ 3.3 COMMON MONITOR PARAMETERS

COMMON MONITOR		
Y71	SCHEDULE No.	เป็นค่าที่แสดงว่า Schedule ไหน ON ล่าสุด
Y72	FAULT CODE	เป็นค่าที่แสดงเกิด Error อะไร
Y79	#1SECONDARY CURRENT(KA)	เป็นค่าที่บอกว่า กระแสที่ออกเท่าไร
Y80	#1LINE VOLTAGE(%)	เป็นค่าที่บอกว่า Voltage ออกเท่าไร(%)
Y85	#2SECONDARY CURRENT(KA)	เป็นค่าที่บอกว่า กระแสที่ออกเท่าไร
Y86	#2LINE VOLTAGE(%)	เป็นค่าที่บอกว่า Voltage ออกเท่าไร(%)

ตารางที่ 3.4 SCHEDULE MONITOR PARAMETERS

SCHEDULE MONITOR		
Y71	POWER FACTOR	เป็นการบอกว่า Power factor
Y72	MARGIN(%)	เป็นการบอกค่าความนำกระแสรวมของ PSW

3.4.2.2 Function ต่างๆ

(1) Repeat function

ถ้าสัญญาณ Pilot input (Start switch) ยัง ON อยู่การ repeat จะเริ่มจาก Squeeze time ไปยังตำแหน่ง off time โดยที่ weld complete ที่ off time จะ ON (Auto)

วิธีการ : โดยการ set ที่ Repeat Function (X0,Y1) เป็น 1

(2) Pressure control function

Controller จะไม่ support function นี้ (ปกติจะ set X0,Y13=1)

Setting : Set the pressure control (X0,Y13) เป็น 0

(3) Pulse pilot function

Pulse signal สามารถจะเป็นสัญญาณ pilot input ที่เพียงแคกด 1 ครั้ง ป็นจะอ่านค่าจนจบ Sequence ของการเชื่อม แม้จะปล่อย switch ป็นแล้ว

Setting : Set the pulse Pilot (X0,Y15) ที่ 1

(4) Fault reset by pilot function

การ Reset fault จะไม่สามารถ reset ได้หลังจากที่ถูก detect แต่จะสามารถ reset ได้ด้วย Pilot Input (Start switch)

วิธีการ : ตั้งค่าที่ Pilot function (X0,Y16) ที่ 1

(5) Re-weld at Function

ถ้าสาเหตุของการ Fault เกิดจากกระแสต่ำมากๆ (E60) หรือ กระแสต่ำ (E61) เครื่องเชื่อมจะปล่อยกระแสเชื่อมอีกครั้งหนึ่งแต่ถ้าสาเหตุยังเกิดจากกระแสต่ำอีก เครื่องเชื่อมก็จะ Alarm

วิธีการ : ตั้งค่าที่ Re-weld ที่ Fault function (X0,Y17) ที่ 1

(6) Low current limit set function

สามารถที่จะตั้งค่า ลิมิต ของกระแสได้เพื่อที่จะให้ Detect โดยการตั้งเป็น % เทียบจาก 100 %

เช่น สมมุติกระแส 100 Amp แล้ว ตั้งค่ากระแส low current limit function=90% กระแสจะ detect ถ้ากระแสต่ำกว่า 90 Amp

วิธีการ : ตั้งค่า % ที่ low Current Limit (X0,Y2) (50 to 99 %)

(7) High Current Limit set function

สามารถที่จะตั้งค่า ลิมิต ของกระแสได้เพื่อที่จะให้ Detect โดยการตั้ง % เทียบจาก 100 %
 เช่น สมมุติกระแส 100 Amp แล้ว ตั้งค่ากระแส High current limit function=120% กระแสจะ detect
 ถ้ากระแสสูงกว่า 120 Amp

วิธีการ : ตั้งค่า % ที่ low Current Limit (X0,Y3) (101 to 150 %)

3.4.2.3 Current Control Method

วิธีการควบคุมกระแสที่ 2 หมวด คือ Constant Current และ Voltage compensation ควรจะเลือกให้
 เหมาะสมและสอดคล้องกับ Specification

(1) Constant current control

กระแส Primary current จะถูกวัดสำหรับแต่ละ Cycle โดยอ้างอิงข้อมูลในเครื่อง และ มุม
 firing angle จะถูกคำนวณ เพื่อที่จะไปเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการแกว่งของกระแสจากแหล่งกำเนิด
 หรือ ในช่อง Load ที่ความเร็วสูงก็สามารถชดเชยกันได้

- Current setting method :

Set the current directly in : 100 A

Setting range : 2000 to 25500 A

- Turns ratio : Set the specification turns ratio

- Compensation factors : Fluctuation in weld power source on load

(2) Voltage compensation control

ในกรณีที่มีการเชื่อมพร้อมกันโดยป้อนเชื่อมหลายตัว วิธีการควบคุมกระแส ต้องใช้วิธีการ
 ควบคุม Voltage compensation ควบคุมแทน

- Current setting method : Set the current taking the weld current at rated voltage at 100 %

Setting range : 20 to 130 %

- Turn ratio : No need to set

- Compensation factors : Power voltage compensation only

สำหรับ Welding ที่มากกว่าหนึ่งป้อน ต้องเลือกแบบ Compensation control

3.4.2.4 Monitor Function

Monitor function of teaching box and reset box

(1) Schedule monitors (X1 to X15)

Y71 Power factor :

เป็นตัวเลขค่าของ Power factor ในงานเชื่อม

Y72 Tr. Margin

เป็นตัวชี้ค่า Margin ของ weld transformer ในรูปเปอร์เซ็นต์

(2) Common monitor (X0)

Y71 Schedule No:

เป็นตัวแสดง schedule No ของ Piloted

Y72 Fault Code:

เป็น fault code จะแสดงในรูปของ Code number แต่สำหรับ number 0 นั้น เป็น Code fault ที่มีสาเหตุที่เกิดระหว่างการเชื่อม

Y79#1 Weld Current (KA)

เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของกระแสเชื่อมสำหรับ #1 เวลาเชื่อมจะเทียบออกมาเป็น % จากอัตราส่วน Voltage ที่ 100%

Y80#1 Line voltage(%)

เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของ Weld power source สำหรับ #1 เวลาเชื่อมจะเทียบออกมาเป็น % ตามอัตราส่วน Voltage ที่ 100%

Y85#2 Weld Current (KA)

เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของกระแสเชื่อมสำหรับ #2 เวลาเชื่อมในการควบคุมกระแสเชื่อมคงที่ (Constant current control)

Y86#2 Line Voltage(%)

เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของ Weld power source สำหรับ #2 เวลาเชื่อมจะเทียบออกมาเป็น % ตามอัตราส่วน Voltage ที่ 100%

3.4.3 Welding parameters

3.4.3.1 parameters in spot welding

Portable spot welding (PSW)

เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบออสซี ค่าความต้านทานเป็นหลักในการเชื่อม โดยนำแผ่นเหล็กมาวางซ้อนกัน แล้วนำเอาความร้อนมาทำให้แผ่นเหล็ก ละลายกลายเป็นแผ่นเดียวกัน ซึ่งมีสมการในการเชื่อมดังนี้

กฎของ Ohm's Law $V(\text{Voltage}) = I(\text{Current}) \times R(\text{Resistance})$

กฎของ Joules' Law $H(\text{Heat}) = I(\text{Current}) \times V(\text{Voltage}) \times T(\text{Time})$

ดังนั้นสมการความร้อน $H = 0.24I^2RT$

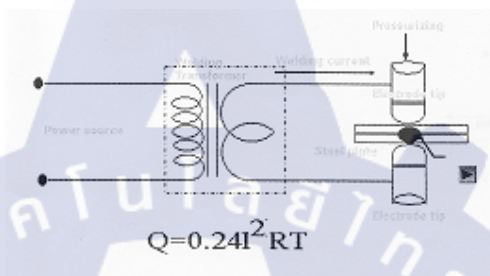
$H = \text{ค่าความร้อน(Calorie)}$

I = กระแส (Amp)

R = ค่าความต้านทาน (Ohm)

ซึ่งจากสมการความร้อนจะสังเกตเห็นว่า ค่าความร้อนในการเชื่อม(H) หรือค่าที่ทำให้เหล็กหลอมละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน(R) เพราะว่าค่ากระแสและค่า weld time มีการกำหนดตายตัวแน่นอน ไม่สามารถปรับค่าขึ้นลงตามได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความร้อนในการเชื่อม จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน (R) ถ้าค่าความต้านทานมีค่ามาก ค่าความร้อนก็จะมาก และถ้าความต้านทานน้อย ค่าความร้อนก็จะน้อยตาม



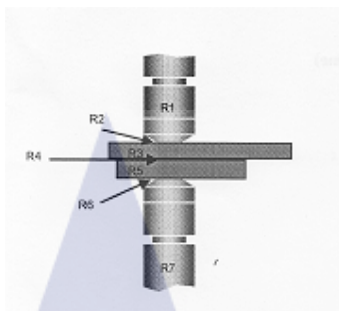
รูปที่ 3.18 สูตรพลังงานความร้อน

3.4.3.2 principle of Resistance welding

การเชื่อมแบบ resistance จะใช้ค่าความต้านทานของชิ้นงาน ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดพลังงานความร้อนสำหรับใช้เชื่อม ในการเชื่อมแบบ Resistance weld พลังงานความร้อนจะถูกกำหนดด้วย 7 Resistance ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

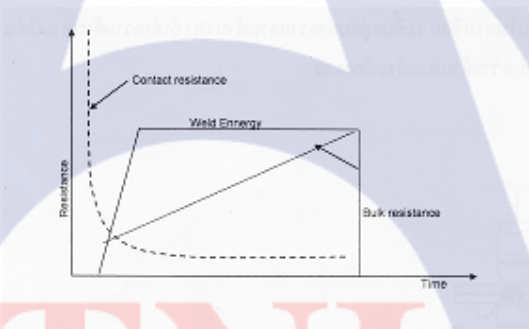
1. Bulk Resistance ความต้านทานเนื้อวัสดุ ได้แก่ R_1, R_7 (Electrode) และ R_3, R_5 (Work pieces)
2. Contact Resistance ความต้านทานหน้าสัมผัส ได้แก่ R_2, R_4 และ R_6

Bulk Resistance ความต้านทานเนื้อวัสดุ เป็นค่าความต้านทานการไหลกระแสไฟฟ้าภายในโลหะนั้นๆ จะมีค่าน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของ Material ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิความร้อนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.19 ความต้านทานชนิดต่างๆ

Diagram จะแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Bulk resistance และ Contact Resistance ซึ่งจะแปรผันไปตาม Function ของเวลา Contact resistance จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงแรกค่า Contact resistance จะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กระแสเริ่มปล่อยและยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง ตราบเท่าที่หัวเชื่อมยังคงสามารถรับแรงกด ได้อย่างต่อเนื่อง Bulk resistance จะขึ้นอยู่กับค่า Resistivity ของ material และ alloys เป็นสัดส่วนกับ material temperature

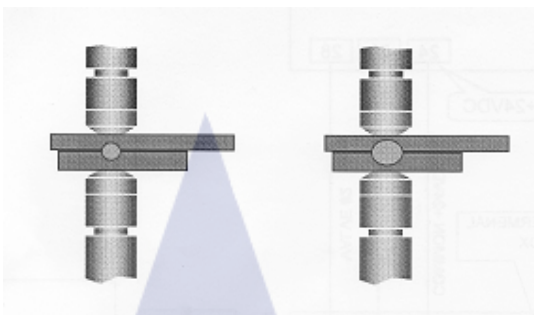


รูปที่ 3.20 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.4.3.3 ปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการ Spot

ปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญมี 4 ปัจจัย ซึ่งต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดความผันแปร เพราะจะมีผลต่อจุดเชื่อมอย่างมาก ซึ่งได้แก่

- 1.Weld current
- 2.Pressure
- 3.Weld Time
- 4.Electrode Tip



รูปที่ 3.21 จุดเชื่อม

1. Weld current กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมเป็น Parameter ที่สำคัญสุดในการเชื่อมแบบ Resistance welding ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นกำลังสองตามทีแสดงในสูตร
2. Weld time เวลาเชื่อม เป็น Factor ที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน การเปลี่ยนแปลงเวลาในการเชื่อม พลังงานความร้อนก็จะมีการเปลี่ยนแปลง โดยถ้าเวลาในการเชื่อมน้อย พลังงานความร้อนที่ได้ก็น้อย Nugget ที่ได้ก็จะเล็ก เมื่อเวลาเชื่อมมากเกินไป ก็จะทำให้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นมาก และ Nugget ที่ได้ก็จะลึกลับ
3. Pressure แรงกด (welding force) แรงกดจะมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเชื่อมแบบ Resistance welding โดยจะมี effect กับ Contact Resistance ตรงตำแหน่ง Contact area ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ชิ้นงานจะต้องรับแรงกดเพื่อให้ตำแหน่ง Weld Zone สามารถให้กระแสไหลผ่านได้
4. Electrode Tip คุณสมบัติของหัว Tip ในการเชื่อมแบบ Spot welding
 - สามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ Spot ไปยังตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมได้ดี
 - สามารถทนต่อ pressure ที่ใช้เชื่อมได้ดี
 - สามารถระบายความร้อนได้ดี

3.5 การออกแบบการทดลอง Design Of Experiments (DOE)

3.5.1 บทนำ Introduction to Design of Experiments

ในปี ค.ศ. 1920 ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการนำหลักการ Design of Experiment ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักทางการเกษตรเมื่อมีการใช้สูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกัน นั่นถือเป็นครั้งแรกในการประยุกต์ใช้ Design of Experiment ซึ่งเป็นอีกแขนงหนึ่งของสถิติประยุกต์ ในครั้งนั้นผู้ทำการทดลองได้เรียกสูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกันในการทดลองว่า Treatment จึงเป็นที่มาของการเรียกการควบคุมตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกันว่า Treatment มาจนถึงทุกวันนี้

ในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการออกแบบวิธีทดลองหาผลกระทบของตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวที่มีต่อตัวแปรตาม ได้เริ่มแพร่หลายมากขึ้นและเข้ามาสู่อุตสาหกรรมการผลิต และสาขาอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการเกษตร ก่อนที่สหรัฐอเมริกาก็จะเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 นั้น ประเทศในยุโรปที่เคยเป็นมหาอำนาจหลายๆ ประเทศ ซึ่งเป็นที่กำเนิดของทฤษฎีสถิติประยุกต์และได้มีการประยุกต์ใช้หลักสถิติในกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและการควบคุมคุณภาพของสินค้ามาก่อนหลายปี ได้เข้าสู่ภาวะถดถอยทางอุตสาหกรรม อันเป็นผลมาจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ต่อเนื่องมาจนถึงสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกา ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ก็ก้าวเข้ามาเป็นประเทศผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมแทนที่ จนเกิดสถานะที่เรียกว่าผลิตอะไรออกมาก็ขายได้ ทำให้ความใส่ใจในการวิจัยและพัฒนาด้านสินค้าและคุณภาพในเชิงลึกไม่ได้รับความเอาใจใส่เท่าที่ควร สหรัฐอเมริกาเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 หลังจากญี่ปุ่นได้โจมตีหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ที่เป็นดินแดนของสหรัฐอเมริกา หลังจากเข้ายึดครองดินแดนอื่นๆ ในทวีปเอเชีย แปซิฟิกได้หมดแล้ว ในที่สุดสหรัฐอเมริกาก็มีชัยชนะเหนือญี่ปุ่น และยังคงเข้าร่วมสงครามในดินแดนยุโรปด้วย ทำให้อิทธิพลของสหรัฐอเมริกา มากกว่าประเทศในยุโรปเป็นครั้งแรก

ทางฝั่งเอเชียตะวันออกไกล ญี่ปุ่นถือว่าเป็นประเทศแรกๆ ที่ก้าวเข้าสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรม แต่ภายหลังที่ญี่ปุ่นพ่ายแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศเข้าสู่ภาวะชะงักงันในด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะด้านสินค้าอุตสาหกรรม สหรัฐอเมริกาผู้ที่มีชัยชนะเหนือญี่ปุ่นจำเป็นต้องเข้าช่วยเหลือฟื้นฟูประเทศ และหนึ่งในความช่วยเหลือที่สหรัฐอเมริกามอบให้แก่ญี่ปุ่นคือ สอดคล้องกับสถิติประยุกต์ผู้มากประสบการณ์ในอุตสาหกรรม คือ Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ย้อนไปในช่วงปี ค.ศ. 1950-1960 ญี่ปุ่นในฐานะผู้แพ้สงคราม ได้เริ่มต้นด้วยการผลิตสินค้าเกรดต่ำ สินค้าลอกเลียนแบบ ขายในราคาต่ำ เทคโนโลยีการผลิตการควบคุมคุณภาพของสินค้าเมื่อเทียบกับสหรัฐอเมริกา ก็ยังถือว่าห่างไกลกันมาก ส่วนแบ่งการตลาดก็ยังถือว่าน้อยมากด้วยเช่นกัน ในขณะที่สหรัฐอเมริกาก็กำลังหลงลำพองในความเป็นผู้นำของตัวเองภายหลังได้รับชัยชนะในสงครามโลก

ครั้งที่ 2 เพราะในปี ค.ศ. 1964 สหรัฐอเมริกาได้เปรียบดุลการค้ากับประเทศอื่นๆ ทั่วโลกเฉพาะสินค้าอุตสาหกรรม มากถึง 6 พันล้านดอลลาร์ แต่ในปี ค.ศ. 1983 สหรัฐอเมริกากลบขาดดุลการค้าในหมวดสินค้าอุตสาหกรรมถึง 123 พันล้านดอลลาร์ โดยตลอด 20 ปีนั้น อัตราการเจริญเติบโตสินค้าอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 35 เทียบกับอัตราร้อยละ 60 ของประเทศในทวีปยุโรป และอัตราร้อยละ 120 ของประเทศญี่ปุ่น เกิดอะไรขึ้น

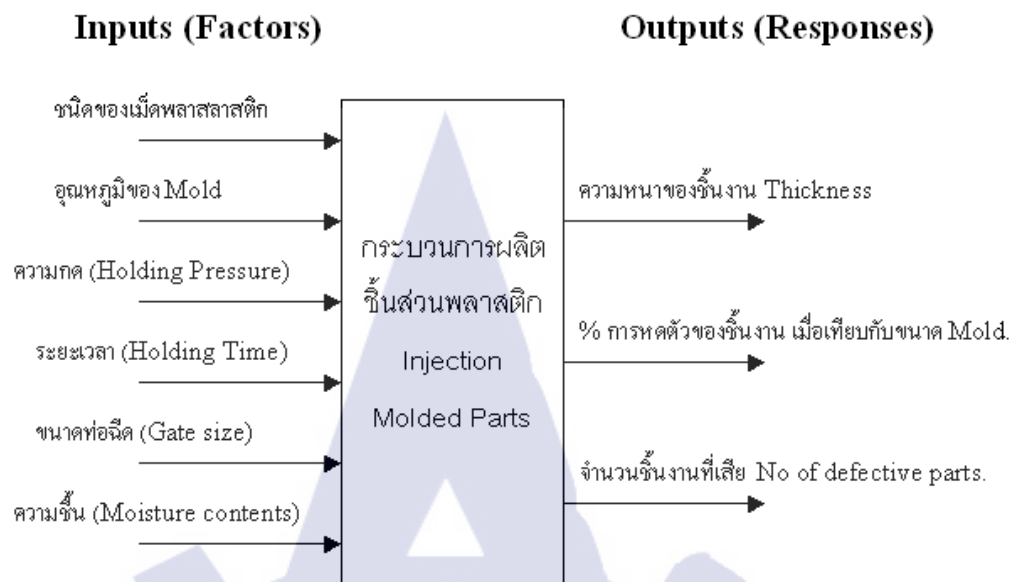
ขณะที่ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา ไม่ได้เน้นความสำคัญในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการผลิตและควบคุมคุณภาพสินค้า และนับวันก็น้อยลงเรื่อยๆ และการดูแลและควบคุมคุณภาพของสินค้าก็อยู่ในลักษณะที่เรียกว่าจวนจวนมากขึ้นๆ ในขณะที่บรรดาผู้นำด้านอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น กลับมองเห็นความจำเป็นและความสำคัญในวิธีคิดและแนวทางที่ทั้ง Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ได้ถ่ายทอดให้ จนกระทั่งในช่วง ปี ค.ศ. 1970 - 1980 ญี่ปุ่นได้ก้าวขึ้นมาเป็นคู่แข่งสำคัญของสหรัฐอเมริกา ในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมที่เกรดสูง คุณภาพดี แต่ราคาต่ำ จนทำให้อุตสาหกรรมหลายสาขาในสหรัฐอเมริกา ต้องปิดตัวลง เพราะไม่สามารถแข่งขันได้ เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร

ผู้นำด้านอุตสาหกรรมในญี่ปุ่นเขาจริงเขาจังในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการควบคุมคุณภาพสินค้า การใช้หลัก Design of Experiment ในการควบคุมการผลิตสินค้า และยึดถือปฏิบัติต่อเนื่องและมีการพัฒนาจนนำหลักดังกล่าวไปสู่พนักงานทุกระดับ ปลุกฝังให้มีจิตสำนึกในด้านคุณภาพ โดยเฉพาะพนักงานฝ่ายผลิตที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้าเอง จนเป็นที่กล่าวถึงกันมาจนทุกวันนี้ ถึงแม้ในสหรัฐอเมริกามีการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวมาก่อน แต่ก็ขาดความจริงจังและความต่อเนื่อง หลักการหลายอย่างไม่อาจลงไปถึงพนักงานระดับล่างที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้า

3.5.2 Design of Experiment คืออะไร

Design of Experiment (DOE) มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น

กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกัน ผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 3.22 จุดเชื่อมโยง กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวเราก็ไม่อาจจะควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อกกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เราเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันเราจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็ได้ วิธีวัดก็ได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเราจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เราเห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เราเรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากรูปที่ 2.18 ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั่นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคน

เท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั้นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ในช่วงเวลาใด (Where)
2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติจำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย
3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้น ได้ดีด้วย
4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น
5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง
6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ไม่ใช่แค่การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไข ของ ANOVA ด้วย
7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะรับรู้ เพื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

จะอย่างไรเมื่อต้องเป็นคนดำเนินการ การออกแบบการทดลอง

1. กำหนดเป้าหมาย ที่จะต้องทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด ให้ได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่เรากำลังพิจารณาให้มากที่สุด ให้ใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการน้อยที่สุด

2. กลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ควรจะเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาอย่างถ่องแท้ และรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารต้องการสิ่งใด

3. สิ่งที่ต้องยึดถือและต้องทำให้ได้ 3 ประการ

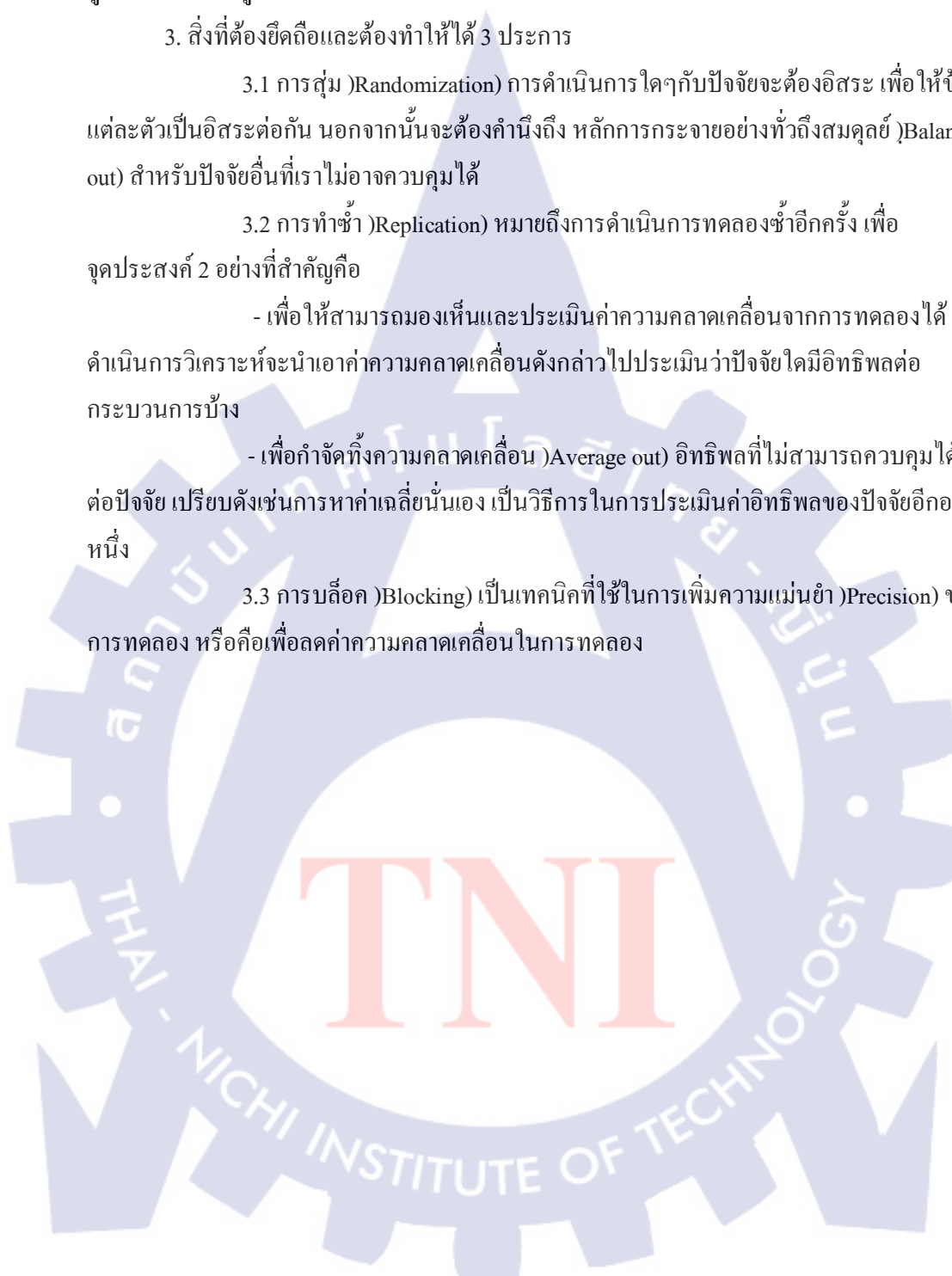
3.1 การสุ่ม (Randomization) การดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึง หลักการกระจายอย่างทั่วถึงสมดุล (Balance out) สำหรับปัจจัยอื่นที่เราไม่อาจควบคุมได้

3.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ

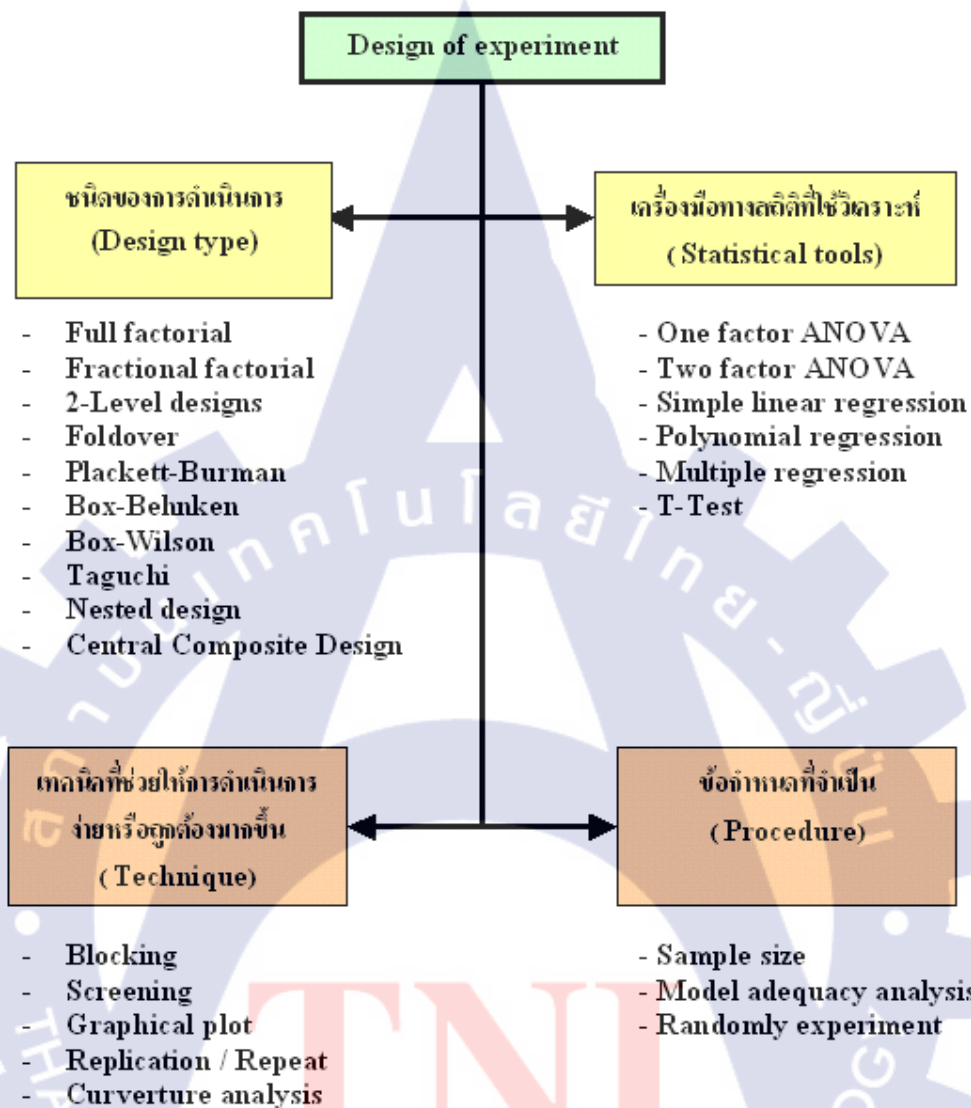
- เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง

- เพื่อกำจัดทั้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

3.3 การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง



ความเข้าใจในการศึกษาหัวข้อ Design of Experiment.



ชนิดของการดำเนินการ (Design type) หมายถึงรูปแบบมาตรฐานที่จะใช้ในการดำเนินการ ผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผน เพราะ Design จะนำไปสู่วิธีการดำเนินการทดลอง วิธีเก็บบันทึกข้อมูล และเครื่องมือทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุด การจะตัดสินใจเลือก Design ใดนั้น มีองค์ประกอบคือ ผลหรือเป้าหมายที่ต้องการได้รับ ความซับซ้อนของการทำการทดลอง และข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ นักสถิติในยุคที่ผ่านมาได้คิดค้น Design ต่างๆ ไว้มากมาย จำเป็นที่ผู้ต้องการใช้ จะต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละ Design เพิ่มเติมด้วย

เครื่องมือทางสถิติ (Statistical tools) หมายถึงกรรมวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เช่นเดียวกันที่ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง และที่สำคัญ ผู้ใช้จะต้องเข้าใจ Tool เหล่านี้ให้ดีพอ เมื่อผลการวิเคราะห์ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้ว จะแปลความหมายอย่างไร มีข้อผิดพลาดจะรู้ได้อย่างไรและจะตรวจได้ที่ใด

เทคนิคหรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึงวิธีการที่จะทำให้การดำเนินการทดลองง่าย สะดวก และประหยัดทรัพยากรมากขึ้น โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้ เช่นเดียวกันที่ผู้ทำการทดลอง จะต้องกำหนดเทคนิคหรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือก Design เพราะบาง Design ก็มีข้อห้ามข้อกำหนด หรือข้อยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไป

ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental procedure) เป็นสิ่งพื้นฐานที่ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ หากไม่แล้วผลการวิเคราะห์และข้อสรุปที่ได้ก็อาจจะไร้ความหมาย หากปราศจากสิ่งเหล่านี้

3.5.3 ข้อแตกต่างระหว่าง OFAT กับ DOE

OFAT (One factor at a time) เป็นคำนิยามของวิธีการดำเนินการทดลองแบบแรกๆที่นักสถิติได้ประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เงื่อนไขที่สำคัญอย่างหนึ่งของ การใช้ OFAT คือ การเปลี่ยนค่าปัจจัยใดๆ ระหว่างการทดลอง สามารถทำได้เพียงปัจจัยเดียวต่อการทดลองเท่านั้น

ตัวอย่างที่ 1 ผู้ทำการทดลองกำหนดปัจจัยของกระบวนการที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิ และเวลา โดยกำหนด Treatment ดังนี้

Temp Low (A_L) = 100°C

Temp High (A_H) = 200°C

Time Low (B_L) = 5 minutes

Time High (B_H) = 10 minutes.

กรณีทำการทดลองด้วยแนวทาง OFAT จะปรับเปลี่ยนปัจจัยได้เพียงครั้งละ 1 ปัจจัยเท่านั้น หมายความว่า ถ้าเริ่มต้นที่ A_L และ B_L เป็นการทดลองรอบที่หนึ่ง จากนั้นเปลี่ยนได้ครั้งแรกเป็น A_H และ B_L เป็นการทดลองรอบที่สอง เปลี่ยนครั้งถัดไปเป็น A_L และ B_H เป็นการทดลองรอบที่สาม สามารถเขียนตารางประกอบได้ดังนี้

รอบการทดลอง (RUN)	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)
1	Temp. =100°C, Time = 5 min
2	Temp. =200°C, Time = 5 min
3	Temp. =100°C, Time = 10 min

ตารางที่ 3.5 OFAT แบบไม่มี Replicate

ผู้ทำการทดลองจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยของทั้งสองได้พร้อมกัน เป็น A_H และ B_H จากตาราง 1 เราได้ทราบว่า ถ้าเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจะเกิดอะไรขึ้นกับกระบวนการ โดยใช้เวลาเท่าเดิมที่ 5 นาที ตาม Run ที่ 1,2 เช่นเดียวกันเราได้สาระอีกอย่างหนึ่งคือ ถ้าเปลี่ยนแปลงเวลาไป จะเกิดอะไรขึ้นกับกระบวนการ โดยใช้อุณหภูมิเท่าเดิมที่ 100°C ตาม Run ที่ 1,3

สมมติเรานำผลของตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ได้วัดได้จากการทดลองมาเขียนในตารางได้ดังนี้

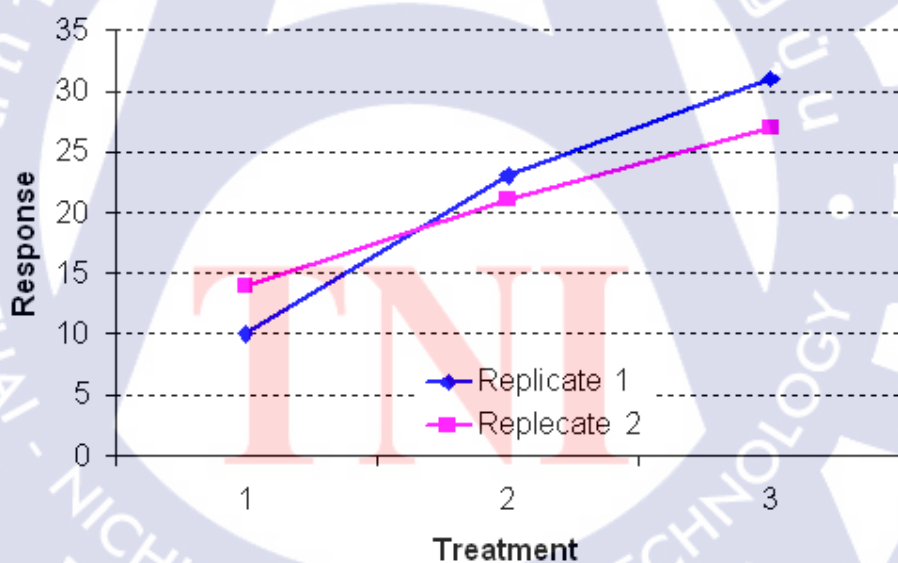
รอบการทดลอง (RUN)	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)	ค่าของตัวแปร Response
1	Temp. =100°C, Time = 5 min	10
2	Temp. =200°C, Time = 5 min	23
3	Temp. =100°C, Time = 10 min	31

ตารางที่ 3.6 OFAT แบบไม่มี Replicate เมื่อใส่ค่า Response

จากผลการทดลองตามตารางที่ 2 เราผู้ทำการทดลองคงจะสรุปว่า การเปลี่ยนแปลงเวลา มีผลต่อกระบวนการมากที่สุด จึงเลือกที่จะเปลี่ยนแปลงกระบวนการให้เป็นดัง Run ที่ 3 คือ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100°C และเวลาไว้ที่ 10 นาที ในความเป็นจริงแล้วหากเราพิจารณาว่า Run ที่ 1,2 นั้นก็ให้ผลการเปลี่ยนแปลงต่อตัวแปรตอบสนอง เช่นกัน แต่อาจจะน้อยกว่า เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองแนวทาง OFAT จึงกำหนดให้ผู้ทำการทดลองลดความคลาดเคลื่อนลงโดยทำการทดลองซ้ำ (Replicate) อย่างน้อยอีกหนึ่งรอบ แล้วนำผลที่ได้มาทำการเฉลี่ยค่าเพื่อลดความคลาดเคลื่อน ทำให้การทดลองต้องใช้ Run ทั้งหมด 6 Run เป็นอย่างน้อย

Replicate ที่	รอบการทดลอง (RUN)	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)	ค่าของตัวแปร Response
1	1	Temp. =100°C, Time = 5 min	10
1	2	Temp. =200°C, Time = 5 min	23
1	3	Temp. =100°C, Time = 10 min	31
2	4	Temp. =100°C, Time = 5 min	14
2	5	Temp. =200°C, Time = 5 min	21
2	6	Temp. =100°C, Time = 10 min	27

ตารางที่ 3.7 OFAT แบบมี 1 Replicate เมื่อได้ค่า Response



รูปที่ 3.25 กราฟแสดงค่า Response ของแต่ละ Replicate และ Treatment

ในปี ค.ศ. 1920 นักสถิติประยุกต์ที่ชื่อ Fisher ได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับวิธีการทดลองตามแนวทาง OFAT ว่า ถึงแม้จะเพิ่มจำนวน Run มากขึ้นแต่ก็ยังขาดสาระที่สำคัญคือกรณีปัจจัยทั้งสองเปลี่ยนแปลง

ไปพร้อมกัน เขาจึงได้นำเสนอให้เพิ่มรอบการทดลอง โดยให้เปลี่ยนค่าปัจจัยไปพร้อมกันได้ในรอบการทดลองเดียว ดังค่าในตารางที่ 4 และได้กำหนดให้เรียกว่า Design of experiment หรือ DOE

รอบการทดลอง (RUN)	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)
1	Temp. =100°C, Time = 5 min
2	Temp. =200°C, Time = 5 min
3	Temp. =100°C, Time = 10 min
4	Temp. =200°C, Time = 10 min

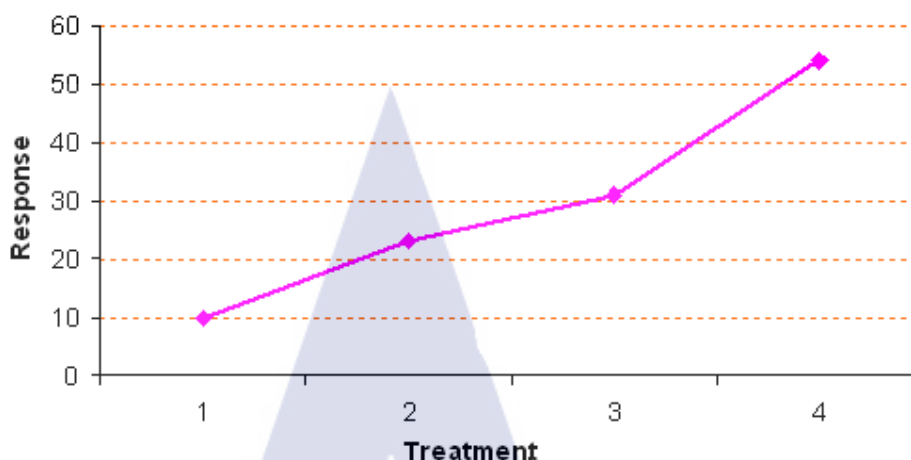
ตารางที่ 3.8 DOE แบบไม่มี Replicate

นั่นคือปัจจัยทั้งสองเปลี่ยนจาก Low ไปเป็น High ได้พร้อมกันในรอบการทดลองที่ 4 สมมติเรานำผลของตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ได้วัดได้จากการทดลองมาเขียนในตารางได้ดังนี้

รอบการทดลอง (RUN)	ค่าของปัจจัยที่กำหนด (Treatment)	ค่าของตัวแปร Response
1	Temp. =100°C, Time = 5 min	10
2	Temp. =200°C, Time = 5 min	23
3	Temp. =100°C, Time = 10 min	31
4	Temp. =200°C, Time = 10 min	54

ตารางที่ 3.9 DOE เมื่อใส่ค่า Response

ปรากฏการณ์ที่การทดลองตามแบบ OFAT ไม่อาจเกิดขึ้นได้คือ ผลกระทบร่วมของสองปัจจัย (Interaction) หมายความว่า ผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อกระบวนการที่วัดได้จากค่า Response นั้นก็มีปรากฏให้เห็นอยู่แต่เมื่อปัจจัยทั้งสองเปลี่ยนพร้อมกันอาจจะเกิดผลกระทบมากเป็นพิเศษ หรือทางตรงกันข้ามอาจจะส่งผลกระทบต่อ Response เพียงน้อยนิด ที่เป็นเช่นนี้เพราะผลรวมกันของสองปัจจัยพร้อมกัน



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงค่า Response ของแต่ละ Treatment

จากกราฟตามรูปที่ 2 เราสามารถที่จะค้นพบปรากฏการณ์ที่เราอาจจะได้ประโยชน์สูงสุดและสามารถนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการได้ หรือในทางตรงกันข้ามเราอาจจะค้นพบวิธีที่เราจะเสียประโยชน์มากที่สุดซึ่งจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงก็ได้เช่นกัน

3.5.4 Full Factorial Design

หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อดัชนีแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตัวอย่างตามตารางต่อไปนี้

Main Effects	2-Way Interaction	3-Way Interaction
A	AB	ABC
B	AC	
C	BC	

ตารางที่ 3.10 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของ Full factorial design

2-Level Full factorial design

หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect

ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ 2

ปัจจัย Main Effects	ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition)
A	$A_L = 1.25$ $A_H = 3.25$
B	$B_L = 20$ $B_H = 40$
C	$C_L = 2300$ $C_H = 2500$

ตารางที่ 3.11 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ $Run = 2^3 = 8$ ดังตารางที่ 3

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2500
3	1.25	40	2300
4	1.25	40	2500
5	3.25	20	2300
6	3.25	20	2500
7	3.25	40	2300
8	3.25	40	2500

ตารางที่ 3.12 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)

จากตารางที่ 3 หมายความว่า ผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A,B และ C ให้เป็นไปตามตารางที่ 3 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตาม Run ที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนอง อีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุก Run

3-Level Full factorial design

หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 3^k

ตัวอย่างที่ 2 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ 4

ปัจจัย Main Effects	ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition)
A	$A_L = 1.25$ $A_M = 2.25$ $A_H = 3.25$
B	$B_L = 20$ $B_M = 30$ $B_H = 40$
C	$C_L = 2300$ $C_M = 2400$ $C_H = 2500$

ตารางที่ 3.13 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยกรณีเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ $\text{Run} = 3^3 = 27$ ดังตารางที่ 5

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2400
3	1.25	20	2500
4	1.25	30	2300
5	1.25	30	2400
6	1.25	30	2500
7	1.25	40	2300
8	1.25	40	2400
9	1.25	40	2500
10	2.25	20	2300
11	2.25	20	2400
12	2.25	20	2500
13	2.25	30	2300
14	2.25	30	2400

15	2.25	30	2500
16	2.25	40	2300
17	2.25	40	2400
18	2.25	40	2500
19	3.25	20	2300
20	3.25	20	2400
21	3.25	20	2500
22	3.25	30	2300
23	3.25	30	2400
24	3.25	30	2500
25	3.25	40	2300
25	3.25	40	2400
27	3.25	40	2500

ตารางที่ 3.14 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)

การใช้รหัส (Coded)

เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วย สเกล ของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standardize) เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ เพราะหากใส่ค่าจริงแล้ว จะเสียเวลา และยุ่งยากในการเขียน โดยเฉพาะ Interaction อย่างมาก โดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High ดังตารางที่ 6 ที่ใช้ค่าจากตารางที่ 3 โดยแทนค่าของทุกปัจจัยด้วยรหัส

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1

7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 3.15 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส

จากตารางที่ 6

A = -1 หมายถึง ค่าของ A = 1.25 และ A = 1 หมายถึง ค่าของ A = 3.25

AB ก็หมายถึงเอารหัสของ A คูณกับ B ได้เลย ซึ่งก็จะ ได้รหัสของ Interaction ทันที

ในบางตำราการใช้รหัสก็ใช้เพียง (-) และ (+) เท่านั้น แต่ความหมายก็เช่นเดียวกัน จากตารางที่ 6 เราสามารถเขียนแทนด้วยรหัสอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังตารางที่ 7

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+

ตารางที่ 3.16 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (-) และ (+)

ในกรณีที่ผู้ทำการทดลองออกแบบโดยใช้ 3-Level และจะต้องใช้ Code แทน ก็จะใช้ 0 แทนค่าตรงกลางของแต่ละปัจจัย จากตารางที่ 5 เมื่อแทนด้วยรหัสจะได้ค่าดังนี้

Run	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	0

3	-1	-1	1
4	-1	0	-1
5	-1	0	0
6	-1	0	1
7	-1	1	-1
8	-1	1	0
9	-1	1	1
10	0	-1	-1
11	0	-1	0
12	0	-1	1
13	0	0	-1
14	0	0	0
15	0	0	1
16	0	1	-1
17	0	1	0
18	0	1	1
19	1	-1	-1
20	1	-1	0
21	1	-1	1
22	1	0	-1
23	1	0	0
24	1	0	1
25	1	1	-1
25	1	1	0
27	1	1	1

ตารางที่ 3.17 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level

แต่ผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจรหัสนี้ของทุกๆปัจจัยว่าหมายถึงค่าเท่าไร เพราะการใช้รหัส จะใช้ในช่วงขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์เท่านั้น เมื่อทำการทดลองจะต้องแปลงรหัสให้เป็นค่าจริง และเมื่อต้องการเขียน Model ที่ได้จากการทดลอง จะต้องแปลงรหัสนี้กลับเป็นค่าจริงด้วยเช่นกัน

ข้อดีของ Full factorial design

1. ไม่มีการเกิด Alias (ดูคำอธิบายในหัวข้อถัดไป)
2. สามารถวิเคราะห์ Main factor และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อด้อยของ Full factorial design

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุก Run ทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก ใช้เวลา
2. เมื่อจำนวน Run มากๆ อาจจะประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้

3.5.5 Fractional Factorial Designs

ความหมายและหลักการ

หมายถึงวิธีที่ผู้ทำการทดลองไม่ต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย เนื่องจากจะมีจำนวน Run มากจนเกินไปจนไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ แน่นอนว่าความแม่นยำของผลก็ไม่ได้เท่ากับ Full factorial ในเชิงทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติถึงเราจะสามารถดำเนินการทดลองด้วยวิธี Full factorial แต่อาจจะได้ผลที่แย่กว่า Fractional factorial ก็ได้ เนื่องจากยิ่งมาก Factor ยิ่งมาก Run เราก็ยิ่งควบคุมการทดลองได้ยาก ความผิดพลาดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีประโยชน์ที่เราจะคงยืนยันใช้การทดลองแบบ Full factorial เมื่อเรามี Factor หลายตัว

นักสถิติประยุกต์ในยุคแรกๆ ได้ค้นพบว่าในความเป็นจริงเมื่อเราดำเนินการทดลองจะมีเพียงบาง Main effects และบาง Interaction เท่านั้นที่มีความสำคัญ ยิ่งลำดับของ Interaction สูงขึ้นก็ยิ่งมีโอกาสจะมีนัยสำคัญน้อยลง จึงได้นำเอาหลักการนี้ไปใช้ประโยชน์เพื่อลดขนาดของการทดลองลง

จำนวน Main effects	จำนวน Interaction effects	จำนวนรวม effects	อัตราร้อยละของ Main effects
1	0	1	100
2	1	3	66.7
3	4	7	42.9

4	11	15	26.7
5	26	31	16.1
6	57	63	9.5
7	120	127	5.5
8	247	255	3.1
9	502	511	1.8
10	1013	1023	1

ตารางที่ 3.18 อัตราส่วนของผลจาก Main effects ต่อจำนวน Effects รวมทั้งหมดในการทดลอง

จากตารางที่ 1 จะพบว่าสัดส่วนของ Main effects ต่อ Effects ทั้งหมดจะยิ่งลดลงเรื่อยๆ เมื่อการทดลองนั้นมี Factor มากขึ้น เช่น หากการทดลองนั้นมี 6 Factor สัดส่วนผลที่มาจาก Main effects จะมีเพียงแค่ 9.5% ของจำนวน effects รวม ที่เหลืออีก 90.5% เป็น Interaction effects ซึ่งส่วนใหญ่ก็ไม่มีนัยสำคัญเชิงสถิติต่อการทดลองนั้นด้วย

วิธีการสร้าง Fractional factorial แบบ 2^{k-1} design

ความหมายคือ เมื่อออกแบบเสร็จจะได้จำนวน Run เท่ากับ Full factorial design ของการออกแบบเมื่อจำนวน Factor น้อยกว่าอยู่ 1 ตัว ($k-1$) หรือจำนวน Run จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของการออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design นั่นเอง เราเอาหลักการที่ว่ายิ่งอันดับ Interaction สูงเท่าใดก็จะมีคามสำคัญน้อยเท่านั้น และจะเอา Main effects บางตัวเข้าแทนที่ Interaction ดังกล่าว

ตัวอย่างที่ 1 มี Factor 4 ตัวคือ A,B,C,D ถ้าออกแบบโดยใช้วิธี 2^k Full factorial จะมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run ทั้งหมด 16 Run ดังตารางที่ 2

Run	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1

7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

ตารางที่ 3.19 Full factorial ของ 4 Factor

เมื่อเราต้องการทำการทดลองแบบ Fractional factorial โดยให้เหลือจำนวน 8 Run เท่ากับจำนวน Run ของ 3 ปัจจัย เราเริ่มด้วยการ เขียน 3 main effects และ Interaction ทั้งหมดในตาราง เราจะเรียก 3 main effects นี้ว่าตัวให้กำเนิด (generator) ของ Factor D

A	B	C	AB	AC	BC	ABC
-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

ตารางที่ 3.20 Main effects และ Interaction ของ 3 Factor

จากนั้นให้ใช้ค่าของ Interaction ที่มีอันดับสูงสุด เป็นค่าของ Main effect ตัวที่เหลือ จากตารางที่ 3 Interaction ที่มีอันดับสูงสุดคือ ABC เราจะใช้เป็นค่าของ D จึงได้ตาราง Fractional factorial design ของ 4 Factor ตามตารางที่ 4

Run	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1

ตารางที่ 3.21 Fractional factorial ของ 4 Factor

จากตารางที่ 4 เมื่อเทียบกับตารางที่ 2 ก็คือแถวที่พื้นที่สี่เหลี่ยมตัวเอง วิธีการออกแบบเช่นนี้ จะได้จำนวน Run ครึ่งหนึ่งของ Full factorial เสมอหรือ $1/2$ Fraction เราจึงเรียกวิธีการออกแบบการทดลองนี้ว่า Half factorial design ซึ่งบางครั้งก็เรียกว่า 2^{k-1} design เมื่อเราทำการทดลองตามที่ออกแบบนี้ ก็จะเรียกว่า Half factorial experiment ด้วยเช่นกัน

Alias / Confound

เมื่อเราเลือกใช้วิธี Fractional factorial design ประโยชน์ที่เราได้คือจำนวน Run ที่ลดลงได้น้อยก็ครึ่งหนึ่ง แต่ก็ต้องแลกด้วยความสงสัยที่ว่าความถูกต้องจะเหมือนกับ Full factorial design หรือไม่ อีกสิ่งหนึ่งที่เรจะต้องสูญเสียไปคือ ความสามารถในการแยกแยะผลกระทบของ Effects ที่ตอนนี้มีบางตัวที่แยกแยะกัน ไม่ออก จากตารางที่ 4 เราทราบแล้วว่าตอนนี้ $D=ABC$ นั่นคือถ้าสมมติเราพบว่า D เป็น Main effects ที่มีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากการวิเคราะห์แล้ว คำถามอยู่ที่ว่า เป็น Interaction ของตัวปัจจัย ABC หรือว่า D กันแน่ กรณีเช่นนี้เราเรียกว่า D มี Alias คือ ABC หรืออีกนัยหนึ่ง ABC คือ Alias ของ D ได้เช่นกัน กรณีเช่นนี้เราจะเรียกว่า D และ ABC เกิด Confound กันด้วยเช่นกัน

ใช่เพียงแค่นี้หากเราทำการทดลองตามตารางที่ 4 แล้ว จะมี Alias เกิดขึ้นหลายคู่ ดังตารางที่ 5 (ขออภัยผู้อ่านอาจจะลืมนึกจากสิ่งที่หลากหลาย โปรดดูตามสีเดียวกัน) นี่ก็คือ Alias ที่เกิดขึ้น ลักษณะเช่นนี้เราจะเรียกว่า Alias structure

A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 3.22 Alias structure ของ 4 Factor

เราอาจจะเขียน Alias structure ได้ดังนี้

$$A=BCD$$

$$B=ACD$$

$$C=ABD$$

$$D=ABC$$

$$AB=CD$$

$$AC=BD$$

$$AD=BC$$

$$I = ABCD$$

Defining word

ถ้าเราเอารหัสของแต่ละ Column คูณตัวเอง(ยกกำลังสอง) จะได้รหัสที่เท่ากับ (+1) ทุกตัวเสมอ เราจะเรียก Column ที่ได้ใหม่นี้ว่า Identity หรือ I

จากตารางที่ 4 เมื่อ

$$D = ABC$$

ดังนั้น ถ้าเอา D คูณทั้งสองฝั่ง จะได้เป็น $DD = ABCD$

หรือ

$$I = ABCD$$

เราจะเรียก $I=ABCD$ นี้ว่า Defining relation ซึ่งเราสามารถนำไปใช้ในการหา Alias ได้ โดยนำ Effect ที่เราอยากทราบ Alias คูณทั้งสองฝั่งของสมการ Defining relation เช่น ถ้าอยากทราบว่า AB จากตารางที่ 4 Alias อยู่กับ Effect อะไร ก็หาได้จาก

$$I(AB) = ABCD(AB)$$

$$AB = A^2B^2CD$$

$$AB = ICD = CD$$

นั่นคือ AB alias อยู่กับ CD นั่นเอง

Vertical Balance

หมายถึงการทดสอบความเท่ากันของจำนวน Code (+1) และ (-1) ของแต่ละ Column ทั้งของ main effects และ interaction effects ในตารางหลังจากการออกแบบการทดลอง โดยเงื่อนไขคือผลรวมของแต่ละ Column จะต้องเท่ากับ 0 นั่นหมายความว่าเรามีการเปลี่ยนแปลงค่าของ Factor นั้นให้เป็น High และ Low ในจำนวนครั้งที่เท่ากัน ผู้ออกแบบจะต้องทำการทดสอบทุกครั้ง

Orthogonal

เมื่อนำ Code (+1) หรือ (-1) ของ 2 Column ที่อยู่ติดกัน และอยู่แนว Row เดียวกัน คูณกันทุกๆ Row ของ 2 Column ดังกล่าว แล้วนำผลลัพธ์ดังกล่าวรวมกัน จะต้องได้เท่ากับ 0 เสมอ นั่นหมายความว่าเมื่อเราทำการวิเคราะห์ผลการทดลองแล้ว จะไม่ปรากฏเหตุการณ์ที่ Factor หนึ่งแปรเปลี่ยนตามอีก

Factor หนึ่ง (Dependency test) ถ้าสมมติว่า ไม่เป็น orthogonal แล้ว เป็นไปได้ว่า เราจะต้องเปลี่ยนค่าของ Factor มากกว่า 1 ตัว เป็น High หรือ Low พร้อมกันอาจจะส่งผลให้เราตีความผิดพลาดแยกแยะไม่ออกว่า Response แปรค่าตาม Factor ใดกันแน่ การออกแบบที่ดีจะต้องได้ตารางเป็น Orthogonal ผู้ออกแบบจะต้องทำการทดสอบทุกครั้งเช่นเดียวกับ Vertical balance และทำให้ครบทุก Column แต่ครั้งละ 1 คู่เท่านั้น

วิธีการสร้าง Fractional factorial แบบ 2^{k-p} design

เมื่อเรามี Factor อยู่ 3-5 ตัว เราอาจจะสามารถใช้วิธี Half factorial design หรือ 2^{k-1} design ได้ แต่ถ้าจำนวน Factor เพิ่มขึ้นเกินกว่านั้นอีก ก็ยากที่เราจะสามารถทำการทดลองตามแบบที่ออกแบบไว้ได้ เพราะจำนวน Run ก็ยังเยอะเกินกว่าจะทำตามได้

จำนวน Factor	จำนวนRun Full factorial design	จำนวนRun 2^{k-1} design	จำนวนRun 2^{k-2} design	จำนวนRun 2^{k-3} design
3	8	4	N/A	N/A
4	16	8	N/A	N/A
5	32	16	8	N/A
6	64	32	16	8
7	128	64	32	16
8	256	128	64	32
9	512	256	128	64

ตารางที่ 3.23 จำนวน Run เทียบกับจำนวน Factor ของแต่ละ Design

จากตารางที่ 6 จะพบว่าผู้ออกแบบการทดลองจำเป็นต้อง ใช้ค่า p ที่มากกว่า 1 ในการออกแบบเมื่อมี Factor ตั้งแต่ 6 ตัวขึ้นไป โดยข้อกำหนดง่ายๆ คือ เมื่อมีการออกแบบ ควรจะให้จำนวน Run เริ่มต้นที่ 8 และไม่ควรมากเกิน 32 (ความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนเอง)

ตัวอย่าง 2 มี Factor ทั้งหมด 7 ตัว (A,B,C,D,E,F,G) และในการทดลองแต่ละ Factor ปรับได้ 2 ค่า (Level) จากตารางที่ 6 หากเราออกแบบโดยใช้วิธี Full factorial จะมีจำนวน Run เท่ากับ $2^7=128$ ซึ่งเป็นไปได้เลยที่เราจะทำการทดลองให้ได้ตามนั้น แม้แต่ Half factorial design ก็ยังมีถึง 64 Run ซึ่งก็ยังถือว่ามากอยู่ดี ถ้าต้องการออกแบบการทดลองโดยให้เหลือจำนวน Run เพียง 16 เท่ากับ Full factorial ของ 4 factor นั่นคือ $7-p=4$ ดังนั้น $p=3$ นั่นคือเราเลือกการออกแบบ 2^{7-3} นั่นเอง

ขั้นตอนก็คล้ายกับวิธี 2^{k-1} เริ่มจากการเขียน Full factorial design ของ Main effect A,B,C,D และใช้เป็นตัวกำหนด Main effect E,F,G ที่เหลือ โดยเราจะเลือก $E=ABC$, $F=BCD$, $G=ABD$

Run	A	B	C	D	E=ABC	F=BCD	G=ABD
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	1	-1	-1
3	1	1	-1	1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	1	1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	1	1
7	1	-1	-1	1	1	1	-1
8	1	-1	-1	-1	1	-1	1
9	-1	1	1	1	-1	1	-1
10	-1	1	1	-1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1	1	-1	-1
12	-1	1	-1	-1	1	1	1
13	-1	-1	1	1	1	-1	1
14	-1	-1	1	-1	1	1	-1
15	-1	-1	-1	1	-1	1	1
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

ตารางที่ 3.24 ผลการออกแบบโดยวิธี 2^{7-3}

ทำไมเราถึงต้องเลือก $E=ABC$, $F=BCD$, $G=ABD$ จะเป็น $E=AB$, $F=BC$, $G=CD$ ได้หรือไม่ เนื่องจากข้อสมมติฐานที่ว่า Interaction ระดับที่สูงกว่า มีโอกาสมีนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า Interaction ที่มีระดับต่ำกว่า นั่นคือ 3 Main effect interaction ย่อมมีโอกาสนัยสำคัญทางสถิติต่ำกว่า ของ 2 main effects interaction . เมื่อเวลาวิเคราะห์โอกาสตีความ Confounding ก็จะผิคน้อยลง จึงต้องเลือก 3 Main effect interaction แทนตัว Factor ที่เหลือ ถ้าเหตุผลเป็นเช่นนี้ก็ควรใช้ 4 Main effect interaction แทนน่าจะดีที่สุด แต่ที่ไม่ใช่เพราะ 4 Main effect interaction ในการออกแบบด้วยวิธี 2^{7-3} มีเพียง 1 เดียวเท่านั้น ไม่พอที่จะใช้แทน 3 Main effect ที่เหลือได้ โดยที่ข้อกำหนดพื้นฐานคือต้องใช้ระดับ Interaction เดียวกันแทน main effects ที่เหลือทุกตัว

จากการที่เราต้องใช้ $E=ABC$, $F=BCD$, $G=ABD$ ในการออกแบบ ถ้าเอาตัว main effect คู่ทั้งสองด้านจะได้

$$EE = I = ABCE$$

$$FF = I = BCDF$$

$$GG = I = ABDG$$

นั่นคือเราจะได้ Defining word เริ่มต้น 3 ตัวคือ $I = ABCE = BCDF = ABDG$

เมื่อนำ Defining word มาคูณกันเอง ทีละคู่และคูณกันเองทั้งหมดจะได้เป็น

$$I^2 = ABCE(BCDF) \text{ จะได้เป็น } I = AB^2C^2DEF \text{ หรือ } I = ADEF$$

$$I^2 = ABCE(ABDG) \text{ จะได้เป็น } I = A^2B^2CDEG \text{ หรือ } I = CDEG$$

$$I^2 = ABDG(BCDF) \text{ จะได้เป็น } I = AB^2D^2CFG \text{ หรือ } I = ACFG$$

$$I^3 = (ABCE)(ABDG)(BCDF) \text{ จะได้เป็น } I = A^2B^3D^2C^2EFG \text{ หรือ } I = BEFG$$

ดังนั้น Defining word ทั้งหมดคือ $I = ABCE=BCDF=ABDG=ADEF=CDEG=ACFG=BEFG$

เราสามารถหา Alias ทั้งหมดได้โดยการนำ Effect ที่เราต้องการทราบว่ามี Alias อะไรบ้างคูณเข้ากับ Defining word ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Alias ของ A หาได้จาก

$$I(A) = ABCE(A)=BCDF(A)=ABDG(A)=ADEF(A)=CDEG(A)=ACFG(A)=BEFG(A)$$

$$A=BCE=ABCDF=BDG=DEF=ACDEG=CFG=ABEFG$$

Alias ของ BCD หาได้จาก

$$I(BCD) =$$

$$ABCE(BCD)=BCDF(BCD)=ABDG(BCD)=ADEF(BCD)=CDEG(BCD)=ACFG(BCD)=BEFG(BCD)$$

$$BCD = ADE = F = ACG = ABCE = BEG = ABDFG = CDEFG$$

Resolution (R)

คือระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ หาได้จากความยาวของ Alias ที่สั้นที่สุด จาก Defining relation หมายความว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากแค่ไหน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2 (R_{II}) จนถึง 5 (R_V) เช่นตัวอย่าง

$I = ACG = ABCE = BEG = ABDFG = CDEFG$ ได้ R_{III} เพราะ Alias สั้นที่สุด คือ 3 Main effect interaction

$I = ABCEG = BCDF = ABDG$ ได้ R_{IV} เพราะ Alias สั้นที่สุด คือ 4

Resolution มากกว่า ย่อมให้ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์มากกว่า นั่นเพราะเราได้เฉพาะ Interaction ระดับสูงๆ แทน Main effect ในการออกแบบ ทำให้โอกาสที่ Confound ที่พบในการวิเคราะห์มีโอกาสเป็นของ Main effect มากกว่า Interaction นั่นเอง การเลือกระดับ Resolution ต่ำหมายความว่าคนออกแบบใช้ค่า p ที่มาก เข้าใกล้ k มาก ทำให้ลดจำนวน Run ลงได้มาก และต้องใช้ Interaction ระดับต่ำในการแทน Main effects บางตัว

(R_{III}) เป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่คนออกแบบจะเลือกใช้ เหมาะสำหรับการเริ่มต้น (Screening) กรณีที่มีจำนวน Factor มากๆ ไม่ควรนำ Model ใดๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ และจะต้องมีการคัดกรองเอา Main effect ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติบางตัวออก และควรมีการออกแบบการทดลองอีกรอบ ที่มี Resolution มากกว่า R_{III}

(R_{IV}) เป็นระดับที่ดีปานกลางที่คนออกแบบควรจะใช้ สามารถนำ Model ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการพยากรณ์ หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการตามผลการวิเคราะห์ได้

(R_V) เป็นระดับที่ดีที่สุดที่คนออกแบบควรจะใช้ แต่ก็ต้องใช้ทรัพยากรมากกว่าระดับอื่นๆ ทั้งนี้เพราะ จะมีจำนวน Run มาก นั่นเอง

Available Factorial Designs (with Resolution)														
Runs	Factors													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

ตารางที่ 3.25 ระดับ Resolution ที่เป็นไปได้เมื่อกำหนด Run และจำนวน Factor

3.5 ผลการทดลอง



Process parameter	Label	Units	Low level	Mid level	High level
Welding current	A	kA	-1	0	+1
Electrode force	B	kN	-1	0	+1

Table I List of process parameters used for the experiment

design matrix

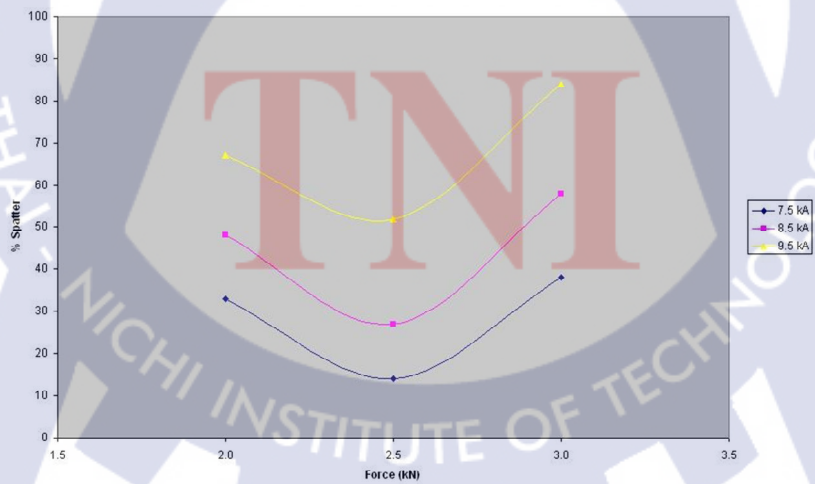
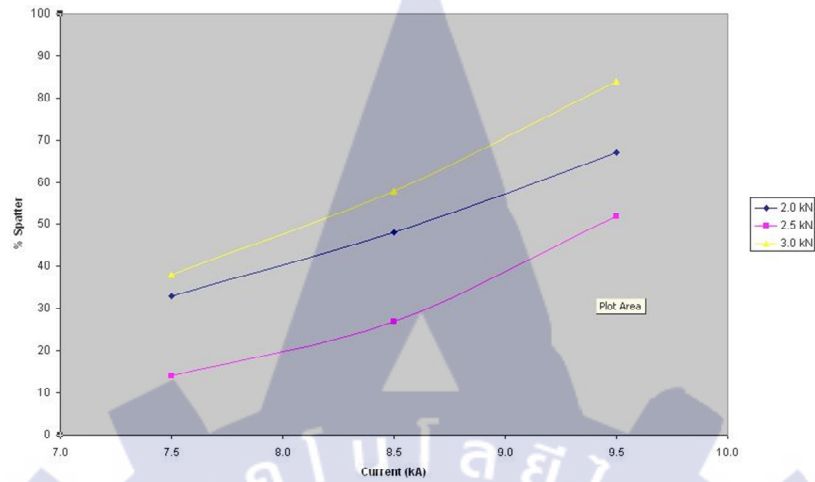


Run	Factor			
	A	B	A	B
1	-1	-1	7.5	2.0
2	-1	0	7.5	2.5
3	-1	+1	7.5	3.0
4	0	-1	8.5	2.0
5	0	0	8.5	2.5
6	0	+1	8.5	3.0
7	+1	-1	9.5	2.0
8	+1	0	9.5	2.5
9	+1	+1	9.5	3.0



Run	A	B	Y1	Y2	Y3	Mean
1	-1	-1	33	30	36	33
2	-1	0	15	16	12	14
3	-1	+1	35	37	43	38
4	0	-1	48	46	50	48
5	0	0	31	22	27	27
6	0	+1	56	55	62	58
7	+1	-1	64	69	69	67
8	+1	0	52	55	49	52
9	+1	+1	89	78	86	84

Table II Results of the experiment



2-level full factorial design



From results of experiment

Factor A (current) has a linear function with spatter

Factor B (pressure) has a non-linear function with spatter

Design new experiment

2-level full factorial design

Set factor B

2.0 kN for low level

2.5 kN for high level

Because from previous experiment 2.0 kN force have %spatter lower than 3.0 kN force



Process parameter	Label	Units	Low level	High level
Welding current	A	kA	-1	0
Electrode force	B	kN	-1	0

Table I List of process parameters used for the experiment

design matrix



Run	Factor			
	A	B	A	B
1	-1	-1	7.5	2.0
2	0	-1	9.5	2.0
3	-1	0	7.5	2.5
4	0	0	9.5	2.5



Run	A	B	Y1	Y2	Y3
1	-1	-1	33	30	36
2	0	-1	48	46	50
3	-1	0	15	15	12
4	0	0	31	27	22

Table II Results of the experiment

Minitab - Minitab - SPATTER.TUNG.MPJ - [Worksheet1 ***]

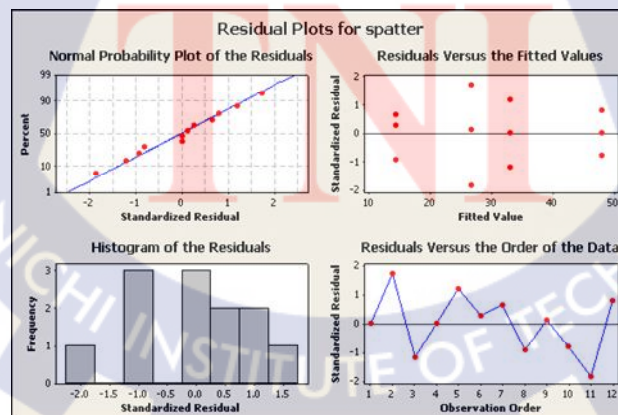
File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Standard Order Run Order Center Pt Blocks A B spatter

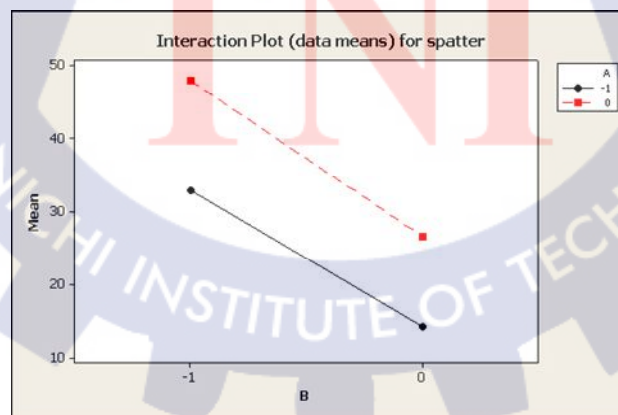
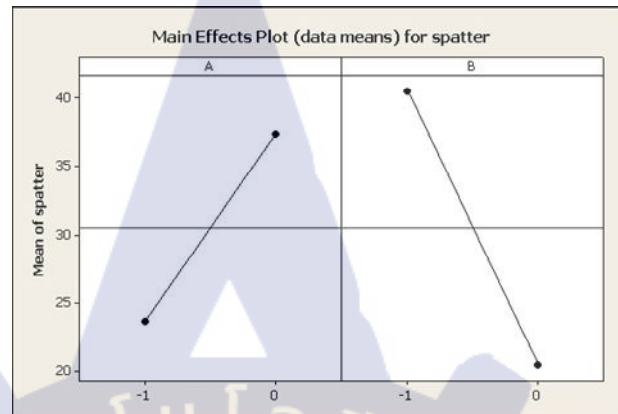
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20	U21
1	9	1	1	1	-1	-1	33														
2	8	2	1	1	0	0	31														
3	1	3	1	1	-1	-1	30														
4	10	4	1	1	0	-1	48														
5	5	5	1	1	-1	-1	36														
6	3	6	1	1	-1	0	37														
7	7	7	1	1	-1	0	35														
8	11	8	1	1	-1	0	52														
9	4	9	1	1	0	0	27														
10	6	10	1	1	0	-1	46														
11	12	11	1	1	0	0	22														
12	2	12	1	1	0	-1	50														
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					

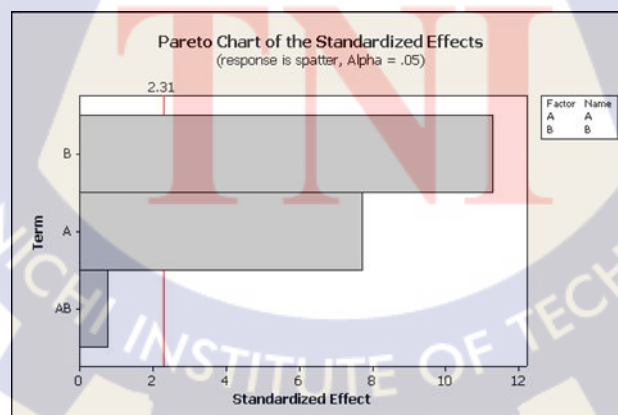
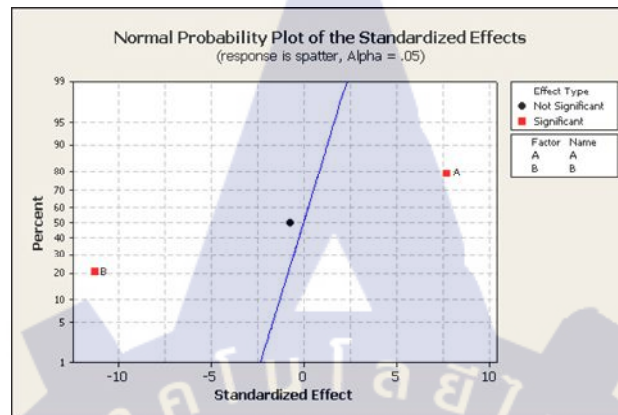
Current Worksheet: Worksheet1

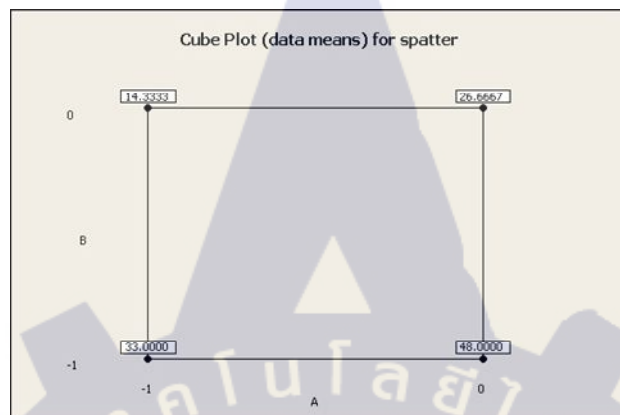
Start -> OpenOffice -> Minitab 16.0.2 (64-bit)



Pressure has a greater effect than current. Spatter increases as current increase.







Term Coef
Constant 26.6667
A 12.3333
B -21.3333
A*B -2.66667

	Coded Factors		Interaction		Response
	A	B	AB		Y
	-1	-1	1		48
	1	-1	-1		96
	-1	1	-1		72
	1	1	1		36
Y_{ave} at FACTOR _{high}	66	54	42	Grand Mean	63
Y_{ave} at FACTOR _{low}	60	72	84		
Effect	6	-18	-42		
Coefficient	3	-9	-21		

the prediction equation is: $\hat{Y} = 63 + 3A - 9B - 21AB$

3.6 ผลที่ได้รับ

การเชื่อมด้วยความต้านทานชนิดจุด เป็นกรรมวิธีการเชื่อมอีกวิธีหนึ่งที่ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมยานยนต์ เฟอ์นเจอร์ ก่อสร้างและอิเล็กทรอนิกส์นิยมใช้จำนวนมากเพราะสามารถเชื่อมประกอบเป็นชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว ผลกระทบทางความร้อนมีน้อย มีความแข็งแรงเพียงพอกับการใช้งาน และมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก การเชื่อมด้วยความต้านทานชนิดจุดเป็นการเชื่อมแบบต่อเกลียวโดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานคือ อิเล็กโทรดตัวบนเคลื่อนที่ลงมา(Electrode set-down)กดชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกัน(Squeeze) ปล่อยกระแสไฟฟ้า(Current Flow) กดอัดชิ้นงาน(Forging) กดค้างไว้(Hold Time) และปลดชิ้นงาน(Lift-off) การเชื่อมด้วยความต้านทานชนิดจุดจะมีองค์ประกอบหลักร่วมกัน 3 อย่าง คือ ความร้อน(Heat) ความดัน(Pressure) และเวลา(Time) เข้าใจกระบวนการในการเชื่อม และผลของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม โดยพบว่าแรงกดก่อนเข้ามีผลกระทบต่อสะเก็ดไฟมากกว่ากระแสไฟฟ้า



บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์ และสรุปผลต่างๆ

4.1 สรุปการดำเนินงานและการวิเคราะห์ข้อมูล

Spot welding เป็นการเชื่อมแบบ Resistance welding ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของขบวนการเชื่อม โดยการทำให้โลหะยึดติดกันจากพลังงานความร้อน(Heat) ที่เกิดขึ้น จากความต้านทาน (Resistance) ระหว่างหน้าสัมผัส ค่า Resistivity ของชิ้นงาน (Work pieces) และค่า Resistivity ของ Electrode Tip ที่กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไหลผ่าน โดยอาศัยแรงกด (Pressure)

Resistance welding เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ และเกือบ 90% ของงานเชื่อมตัวถังรถยนต์ เป็นงานเชื่อมแบบ Spot welding ซึ่งอาจจะมีมากถึง 4,000 จุดเชื่อมต่อรถหนึ่งคัน

ดังนั้นการเชื่อมแบบ Spot welding จึงเป็นการเชื่อมที่สำคัญมากสำหรับแผ่น ตัวถังรถยนต์ (Body)

คุณสมบัติเด่นของ Spot welding

1. ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย และมีประสิทธิภาพงานเชื่อมดี
2. น้ำหนักสามารถควบคุมได้ เพราะไม่มีการเติมโลหะหรือสิ่งต่างๆลงในขณะที่เกิดการเชื่อม
3. รอยเชื่อมที่ได้พื้นผิวค่อนข้างสวยงามและมีการโค้งงอหรือบิดงอค่อนข้างน้อย
4. ทุกคนสามารถเชื่อมได้เพราะเป็นการเชื่อมที่ไม่ต้องการ Skill มาก
5. อุปกรณ์ที่ใช้ ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

4.2 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับวัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายในการปฏิบัติงานหรือการจัดทำโครงการ

จากการทดลองโครงการนี้โดยการใช้ DOE ในการเชื่อมแบบจุดเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม ได้ดำเนินการการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อระบุพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแปรปรวนกระบวนการ ทำให้เข้าใจกระบวนการในการเชื่อม และผลของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อม โดยพบว่าแรงกดค่อนข้างมีผลกระทบต่อการเกิด ไฟมากกว่ากระแสไฟฟ้า ผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่มากจะทำให้ค่าแรงดึงเดือนลดลงเนื่องจากว่าบริเวณรอยเชื่อมจะมีเขตอิทธิพลความร้อนที่กว้าง ทำ ซึ่งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนนี้จะมีความแข็งแรงที่น้อยกว่าบริเวณนักกด ดังนั้นจึงส่งผลให้การเชื่อมที่เวลานานชิ้นงานจะขาดบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน อีกทั้งเมื่อให้เวลาในการปล่อยกระแสเชื่อมที่นานขึ้นยังส่งผลให้เกิดประกายไฟทำให้บริเวณนักกดสูญเสียเนื้อ โลหะจึงทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงไปด้วยและเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่เหมาะสมอยู่ที่ 8 ไซเคิล ถึง 10

ไซเคิล ในโครงการนี้จะป็นข้อมูลสำหรับการเลือกใช้เวลาที่ปล่อยกระแสเชื่อมให้เหมาะสมกับ
ชิ้นงาน ซึ่งจะทําให้ชิ้นงานที่ทําการเชื่อมมีความสมบูรณ์มากที่สุด

4.3 แนวทางการแก้ไขปัญหและข้อเสนอแนะ

ควรทําการศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์อย่างอื่นประกอบกันนอกจาก กระแส หรือ
แรงดัน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดสะเก็ดไฟในการเชื่อมมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- 1.บริษัท ออโต้อัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ,Portable spot welding (PSW),Body shop In-House Training,Body Assembly,Body Shop
2. รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา,รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์,การวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง :Design and Analysis of Experiment,บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด
- 3.รศ.ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์,การออกแบบการทดลอง DOE : Design of Experiments,ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาคผนวก

Spot welding parameters

Spot welding parameters include:

- Electrode force
- Diameter of the electrode contact surface
- Squeeze time
- Weld time
- Hold time
- Weld current

The determination of appropriate welding parameters for spot welding is a very complex issue. A small change of one parameter will effect all the other parameters. This, and the fact that the contact surface of the electrode is gradually increasing, makes it difficult to design a welding parameter table, which shows the optimum welding parameters for different circumstances. However, this table shows target values for the welding parameters.

Sheet thickness, t [mm]	Electrode force, F [kN]	Weld current, I [A]	Weld time [cycles]	Hold time [cycles]	Electrode diameter, d [mm]
0.63 + 0.63	2.00	8 500	6	1	6
0.71 + 0.71	2.12	8 750	7	1	6
0.80 + 0.80	2.24	9 000	8	2	6
0.90 + 0.90	2.36	9 250	9	2	6
1.00 + 1.00	2.50	9 500	10	2	6
1.12 + 1.12	2.80	9 750	11	2	6
1.25 + 1.25	3.15	10 000	13	3	6 7

1.40 + 1.40	3.55	10 300	14	3	6 7
1.50 + 1.50	3.65	10 450	15	3	6 7
1.60 + 1.60	4.00	10 600	16	3	6 7
1.80 + 1.80	4.50	10 900	18	3	6 7
2.00 + 2.00	5.00	11 200	3x7+2	4	7 8
2.24 + 2.24	5.30	11 500	3x8+2	4	7 8
2.50 + 2.50	5.60	11 800	3x9+3	5	8
2.80 + 2.80	6.00	12 200	4x8+2	6	8
3.00 + 3.00	6.15	12 350	4x9+2	6	8
3.15 + 3.15	6.30	12 500	4x9+2	6	8

Electrode force

The purpose of the electrode force is to squeeze the metal sheets to be joined together. This requires a large electrode force because else the weld quality will not be good enough. However, the force must not be too large as it might cause other problems. When the electrode force is increased the heat energy will decrease. This means that the higher electrode force requires a higher weld current. When weld current becomes too high spatter will occur between electrodes and sheets. This will cause the electrodes to get stuck to the sheet.

An adequate target value for the electrode force is 90 N per mm². One problem, though, is that the size of the contact surface will increase during welding. To keep the same conditions during the hole welding process, the electrode force needs to be gradually increased. As it is rather difficult to change the electrode force in the same rate as the electrodes are "mushroomed", usually an average value is chosen.

Diameter of the electrode contact surface

One general criterion of resistance spot-welding is that the weld shall have a nugget diameter of $5 \cdot t^{1/2}$, "t" being the thickness of the steel sheet. Thus, a spot weld made in two sheets, each 1 mm in thickness, would generate a nugget 5 mm in diameter according to the $5 \cdot t^{1/2}$ -rule. Diameter of the

electrode contact surface should be slightly larger than the nugget diameter. For example, spot welding two sheets of 1 mm thickness would require an electrode with a contact diameter of 6 mm. In practice, an electrode with a contact diameter of 6 mm is standard for sheet thickness of 0.5 to 1.25 mm. This contact diameter of 6 mm conforms to the ISO standard for new electrodes.

Squeeze time

Squeeze Time is the time interval between the initial application of the electrode force on the work and the first application of current. Squeeze time is necessary to delay the weld current until the electrode force has attained the desired level.

Weld time

Weld time is the time during which welding current is applied to the metal sheets. The weld time is measured and adjusted in cycles of line voltage as are all timing functions. One cycle is 1/50 of a second in a 50 Hz power system. (When the weld time is taken from American literature, the number of cycles has to be reduced due to the higher frequency (60Hz) that is used in the USA.)

As the weld time is, more or less, related to what is required for the weld spot, it is difficult to give an exact value of the optimum weld time. For instance:

- Weld time should be as short as possible.
- The weld current should give the best weld quality as possible.
- The weld parameters should be chosen to give as little wearing of the electrodes as possible. (Often this means a short weld time.)
- The weld time shall cause the nugget diameter to be big when welding thick sheets.
- The weld time might have to be adjusted to fit the welding equipment in case it does not fulfil the requirements for the weld current and the electrode force. (This means that a longer weld time may be needed.)
- The weld time shall cause the indentation due to the electrode to be as small as possible. (This is achieved by using a short weld time.)
- The weld time shall be adjusted to welding with automatic tip-dressing, where the size of the electrode contact surface can be kept at a constant value. (This means a shorter welding time.)

When welding sheets with a thickness greater than 2 mm it might be appropriate to divide the weld time into a number of impulses to avoid the heat energy to increase. This method will give good-looking spot welds but the strength of the weld might be poor.

By multiplying the thickness of the sheet by ten, a good target value for the weld time can be reached. When welding two sheets with the thickness 1 mm each, an appropriate weld time is 10 periods (50Hz).

Hold time (cooling-time)

Hold time is the time, after the welding, when the electrodes are still applied to the sheet to chill the weld. Considered from a welding technical point of view, the hold time is the most interesting welding parameter. Hold time is necessary to allow the weld nugget to solidify before releasing the welded parts, but it must not be too long as this may cause the heat in the weld spot to spread to the electrode and heat it. The electrode will then get more exposed to wear. Further, if the hold time is too long and the carbon content of the material is high (more than 0.1%), there is a risk the weld will become brittle. When welding galvanized carbon steel a longer hold time is recommended.

Weld current

The weld current is the current in the welding circuit during the making of a weld. The amount of weld current is controlled by two things; first, the setting of the transformer tap switch determines the maximum amount of weld current available; second the percent of current control determines the percent of the available current to be used for making the weld. Low percent current settings are not normally recommended as this may impair the quality of the weld. Adjust the tap switch so that proper welding current can be obtained with the percent current set between seventy and ninety percent.

The weld current should be kept as low as possible. When determining the current to be used, the current is gradually increased until weld spatter occurs between the metal sheets. This indicates that the correct weld current has been reached.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นายนิตพล ไชยวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 24 กุมภาพันธ์ 2524

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนกรุงเทพมหานคร 2

ทุนการศึกษา ทุนการศึกษาประเภท 1

ประวัติการฝึกอบรม สหกิจศึกษาบริษัท ออโต้ฮัลลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

