

บทที่ 4 การดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการทดลองตามระดับปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 และนำค่าของระดับปัจจัยดังกล่าวมาดำเนินการทดลองและนำผลการทดลองที่ได้นั้นมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการประมวลผล และทำการทดสอบปัจจัยที่ได้มาจากการทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อเลือกใช้ตัวแปรของระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองอย่างเหมาะสม โดยมีวิธีการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

4.1 การดำเนินการทดลอง

ในการลดข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดจากข้อเรียกตัวของลูกค้ำในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง โดยทำให้เกิดข้อบกพร่องดังกล่าวน้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลยในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องทราบถึงจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมน็อตด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ร่วมกันของพนักงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องและหัวหน้างานที่มีความเชี่ยวชาญนั้นพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุดได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อมหรือเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน และแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อม

4.1.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.1 โดยใช้การทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล ซึ่งใช้เป็นแผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง และในการออกแบบการทดลองนั้นจะเป็นการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการออกแบบการทดลองโดยนำค่าระดับปัจจัยของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อมหรือเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน และแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมมากำหนดในแผนการทดลองซึ่งเป็นการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล ซึ่งการทดลองนั้นไม่สามารถทำได้ทุกระดับปัจจัยของการทดลองเนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตจริงในการทดลอง โดยไม่สามารถหยุดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตได้เป็นระยะเวลาสั้นเพราะต้องผลิตชิ้นส่วนให้ทันกับความต้องการของลูกค้า ดังนั้นทางผู้วิจัยต้องทำการทดลองปัจจัยที่ป้อนเข้า ซึ่งประกอบไปด้วย กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม ระยะเวลาในการเชื่อม แรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังในระดับ LOW กับ HIGH ดังตารางที่ 3.5 ระดับของปัจจัยในการทดลอง

4.1.2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองนั้นเมื่อทำการเชื่อมรอยให้ยึดติดกับชิ้นงานเสร็จแล้ว จะทำการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง (Push-Out Load Testing) ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำกันเป็นจำนวน 6 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้จากการทดลองไปทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์และหาจำนวนการทำซ้ำที่เหมาะสม ซึ่งผลการตรวจสอบหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากการใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการประมวลผล โดยกำหนดค่าความแตกต่างมากที่สุดที่ยอมรับได้ของค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึงเท่ากับ 500 นิวตัน (N) ซึ่งมีผลดังรูปที่ 4.1

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 799.809

Factors: 3 Base Design: 3, 8

Blocks: none

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
0	500	2	16	0.197215
0	500	3	24	0.301866
0	500	4	32	0.396595
0	500	5	40	0.483095
0	500	6	48	0.561002
0	500	7	56	0.630120
0	500	8	64	0.690608
0	500	9	72	0.742910
0	500	10	80	0.787658
0	500	11	88	0.825589
0	500	12	96	0.857475
0	500	13	104	0.884081
0	500	14	112	0.906134
0	500	15	120	0.924301

รูปที่ 4.1 การหาค่าอำนาจของการทดสอบจากค่าความแตกต่างมากที่สุดที่ต้องการตรวจจับ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 12 ตัวอย่าง นั้นมีความเหมาะสมเนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าอำนาจของการทดสอบพบว่ามีค่าสูงถึง 0.857475 และข้อมูลมีความไวไม่มากนักจากการตรวจจับค่าความแตกต่างมากที่สุดของความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง (Push-Out Load) เท่ากับ 500 นิวตัน (N)

4.1.3 การกำหนดสมมติฐานในการทดลอง

ในการทดลองนั้นต้องมีการตั้งสมมติฐานของการทดสอบ เพื่อที่จะทำการทดสอบว่าแต่ละปัจจัยนั้นมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง ซึ่งสามารถทำการกำหนดสมมติฐานของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ได้ดังนี้

1. สมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_0 : ค่าของเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าของเวลาที่ใช้ในการเชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_0 : ค่าของแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าของแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

2. สมมติฐานของปัจจัยร่วม

H_0 : ค่าของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_0 : ค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_0 : ค่าเวลาในการเชื่อมและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_1 : ค่าเวลาในการเชื่อมและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

H_0 : ค่าของกระแสไฟฟ้า เวลาในการเชื่อมและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

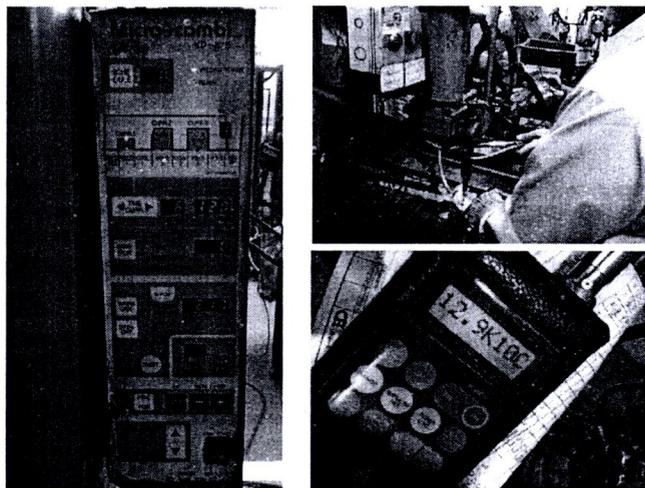
H_1 : ค่าของกระแสไฟฟ้า เวลาในการเชื่อมและแรงกดของหัวทูปที่ใช้เชื่อมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน

4.1.4 ขั้นตอนการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองจะทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การปรับค่ากระแสไฟฟ้า (Current) และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม (Welding Time) ด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุด

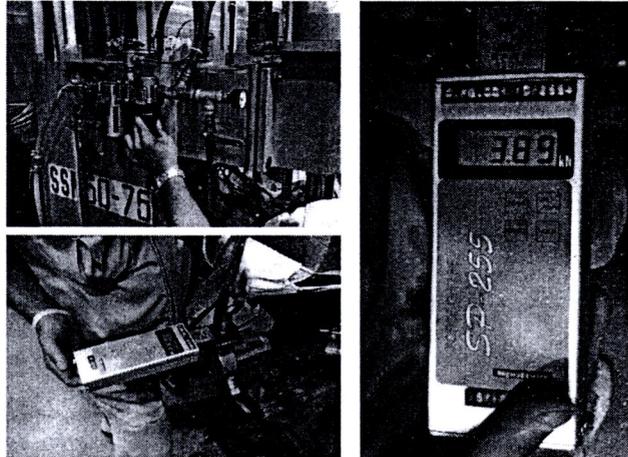
การปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า (Current) และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมหรือเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน (Welding Time) ที่ใช้ในการเชื่อมนั้นสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ที่แผงควบคุมที่ติดกับเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding Machine) ซึ่งค่าที่ใช้อยู่ในกระบวนการเชื่อมในปัจจุบันมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 11 kA และค่าเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานเท่ากับ 7 Cycles เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต การกำหนดค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมในการปรับตั้งค่าเท่ากับ 12 kA ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 16 kA และการกำหนดค่าของเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานต่ำสุดเท่ากับ 2 Cycles ค่าของเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานสูงสุดเท่ากับ 6 Cycles



รูปที่ 4.2 การปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า (Current) กับเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Welding Time)

2. การปรับค่าแรงกดของหัวทิวป์ (Electrode Force) ที่ใช้ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด

การปรับค่าแรงกดของหัวทิวป์ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (kN) ซึ่งกำหนดระดับแรงกดของหัวทิวป์ต่ำสุดเท่ากับ 4 กิโลนิวตัน (kN) และระดับแรงกดของหัวทิวป์สูงสุดเท่ากับ 6 กิโลนิวตัน (kN)



รูปที่ 4.3 การปรับตั้งค่าแรงกดของหัวทิวป์ (Electrode Force) โดยการปรับค่าของแรงดันลม

4.1.5 การเชื่อมเนื้อขนาด M5x0.8 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดตามค่าระดับของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

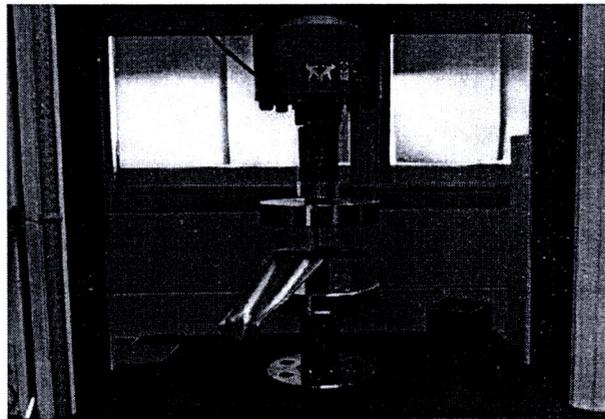
เมื่อทำการปรับค่าระดับพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า (Current) เวลาในการเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน (Welding Time) และแรงกดของหัวทิวป์ (Electrode Force) ตามระดับของปัจจัยที่ได้กำหนดไว้แล้วจะเริ่มทำการเชื่อมเนื้อให้สอดคล้องกับชิ้นงาน ต่อจากนั้นนำชิ้นงานที่เชื่อมเนื้อเสร็จแล้วมาทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง (Push-Out Load Testing) พร้อมทั้งบันทึกผลของการทดสอบลงในตารางที่ 4.1



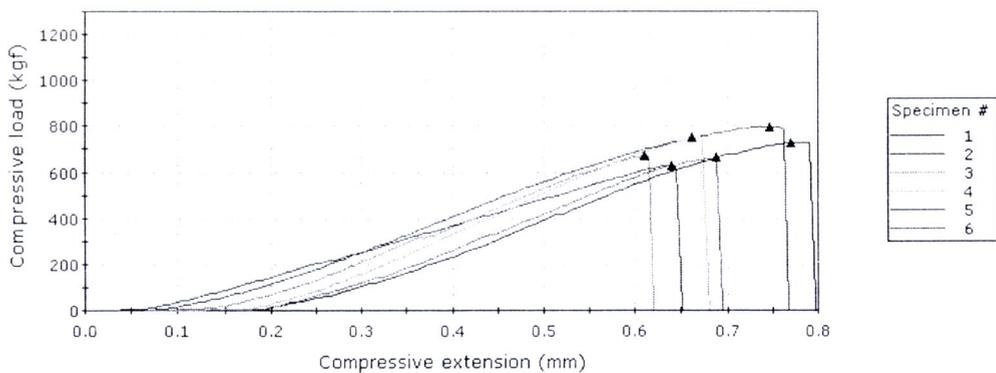
รูปที่ 4.4 ชิ้นส่วนแผ่นเพิ่มความแข็งแรงที่เชื่อมเนื้อขนาด M5x0.8 ตามค่าระดับของปัจจัยที่กำหนดไว้ตามการออกแบบการทดลอง

4.2 บันทึกผลการทดลอง

ในการบันทึกผลการทดลองจะนำชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงที่เชื่อมกับน็อตขนาด M5x0.8 ของชิ้นงานคานกันชนหลังนั้นมาทำการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) ด้วยเครื่อง Tensile เพื่อทำการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างน็อตกับชิ้นงาน โดยค่าของแรงดึงที่ใช้ต้องมากกว่า 4,500 นิวตัน (N) ซึ่งเป็นค่าทดสอบขั้นต่ำตามมาตรฐานการทดสอบที่ลูกค้าได้กำหนดไว้ โดยวิธีการทดสอบแรงดึงดังรูปที่ 4.5 และผลการทดสอบที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การทดสอบแรงดึง (Push-Out Load Testing)



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	630	0.6	6175
2	799	0.7	7833
3	671	0.5	6579
4	753	0.6	7381
5	728	0.6	7137
6	665	0.5	6518

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) ตามลำดับการสุ่มที่กำหนด และนำค่าที่ได้จากการทดลองมาบันทึกผล

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	กระแสไฟฟ้า (kA)	เวลาเชื่อม (Cycles)	แรงกด (kN)	ค่าทดสอบ แรงดึง (N)
52	1	1	1	16	6	4	11727
33	2	1	1	12	2	4	8561
18	3	1	1	16	2	4	11768
83	4	1	1	12	6	4	9346
35	5	1	1	12	6	4	8479
31	6	1	1	12	6	6	3836
58	7	1	1	16	2	4	11513
11	8	1	1	12	6	4	8198
48	9	1	1	16	6	6	8526
86	10	1	1	16	2	6	6685
21	11	1	1	12	2	6	3012
59	12	1	1	12	6	4	8738
79	13	1	1	12	6	6	2746
15	14	1	1	12	6	6	3720
93	15	1	1	12	2	6	3592
14	16	1	1	16	2	6	6670
66	17	1	1	16	2	4	10883
41	18	1	1	12	2	4	7729
77	19	1	1	12	2	6	3007
70	20	1	1	16	2	6	7712
92	21	1	1	16	6	4	11387
40	22	1	1	16	6	6	8920
67	23	1	1	12	6	4	6468
42	24	1	1	16	2	4	11899
62	25	1	1	16	2	6	7111

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) ตามลำดับการสุ่มที่กำหนดและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาบันทึกผล (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	กระแสไฟฟ้า (kA)	เวลาเชื่อม (Cycles)	แรงกด (kN)	ค่าทดสอบ แรงดึง (N)
94	26	1	1	16	2	6	7818
22	27	1	1	16	2	6	7833
9	28	1	1	12	2	4	6414
55	29	1	1	12	6	6	4344
20	30	1	1	16	6	4	10387
85	31	1	1	12	2	6	2246
60	32	1	1	16	6	4	11592
5	33	1	1	12	2	6	3191
65	34	1	1	12	2	4	7007
10	35	1	1	16	2	4	11555
49	36	1	1	12	2	4	7647
19	37	1	1	12	6	4	8870
6	38	1	1	16	2	6	6209
61	39	1	1	12	2	6	3519
50	40	1	1	16	2	4	11561
78	41	1	1	16	2	6	6449
17	42	1	1	12	2	4	6920
28	43	1	1	16	6	4	10493
46	44	1	1	16	2	6	5628
4	45	1	1	16	6	4	9856
89	46	1	1	12	2	4	5405
53	47	1	1	12	2	6	1970
95	48	1	1	12	6	6	3715
72	49	1	1	16	6	6	7270
38	50	1	1	16	2	6	6116

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) ตามลำดับการสุ่มที่กำหนดและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาบันทึกผล (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	กระแสไฟฟ้า (kA)	เวลาเชื่อม (Cycles)	แรงกด (kN)	ค่าทดสอบ แรงดึง (N)
45	51	1	1	12	2	6	2203
64	52	1	1	16	6	6	7787
81	53	1	1	12	2	4	5088
82	54	1	1	16	2	4	11480
32	55	1	1	16	6	6	8903
7	56	1	1	12	6	6	3126
43	57	1	1	12	6	4	7086
90	58	1	1	16	2	4	11781
34	59	1	1	16	2	4	11465
16	60	1	1	16	6	6	7682
30	61	1	1	16	2	6	6388
56	62	1	1	16	6	6	8005
39	63	1	1	12	6	6	3881
8	64	1	1	16	6	6	7306
63	65	1	1	12	6	6	4359
27	66	1	1	12	6	4	7243
73	67	1	1	12	2	4	6269
51	68	1	1	12	6	4	7695
36	69	1	1	16	6	4	11550
47	70	1	1	12	6	6	3948
25	71	1	1	12	2	4	7424
12	72	1	1	16	6	4	12270
26	73	1	1	16	2	4	11922
2	74	1	1	16	2	4	10894
84	75	1	1	16	6	4	10965

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน็อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) ตามลำดับการสุ่มที่กำหนดและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาบันทึกผล (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	กระแสไฟฟ้า (kA)	เวลาเชื่อม (Cycles)	แรงกด (kN)	ค่าทดสอบ แรงดึง (N)
74	76	1	1	16	2	4	12060
69	77	1	1	12	2	6	2652
96	78	1	1	16	6	6	6804
24	79	1	1	16	6	6	7136
37	80	1	1	12	2	6	1715
88	81	1	1	16	6	6	8186
1	82	1	1	12	2	4	5370
57	83	1	1	12	2	4	5656
75	84	1	1	12	6	4	7269
54	85	1	1	16	2	6	5378
3	86	1	1	12	6	4	5706
76	87	1	1	16	6	4	11944
71	88	1	1	12	6	6	3788
44	89	1	1	16	6	4	12102
29	90	1	1	12	2	6	2385
13	91	1	1	12	2	6	2454
87	92	1	1	12	6	6	3693
23	93	1	1	12	6	6	3984
68	94	1	1	16	6	4	11838
80	95	1	1	16	6	6	9903
91	96	1	1	12	6	4	7161

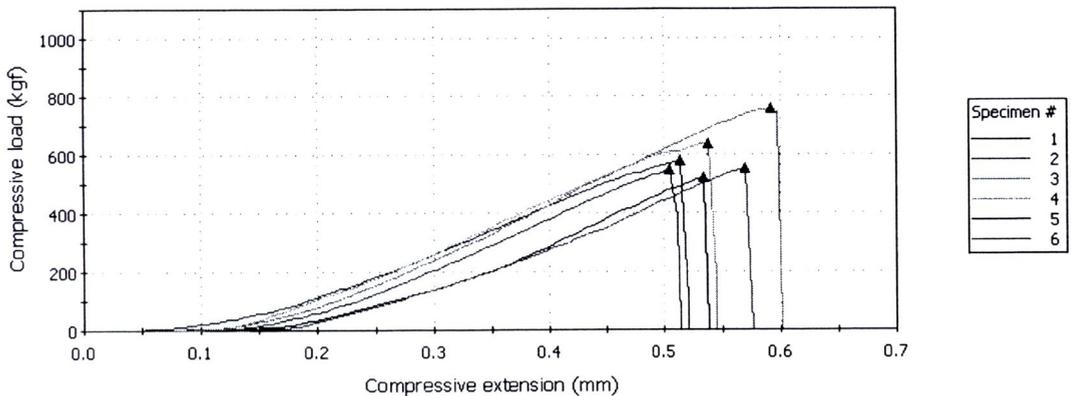


4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์

จากผลการทดลองที่ได้ตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำตัวอย่างชิ้นงานที่ได้มาทำการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) โดยใช้เครื่องทดสอบ Tensile ขนาด 100 kN (22,500 lb) และบันทึกค่าของแรงที่ใช้ในการดึงที่ทำให้รอยเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดออกจากชิ้นงาน ซึ่งค่าของแรงที่ใช้ชิ้นนี้ได้มาจากการปรับค่าของกระแสไฟฟ้า (Current) เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Welding Time) และค่าแรงกดของหัวทิวป์ (Electrode Force) ดังต่อไปนี้

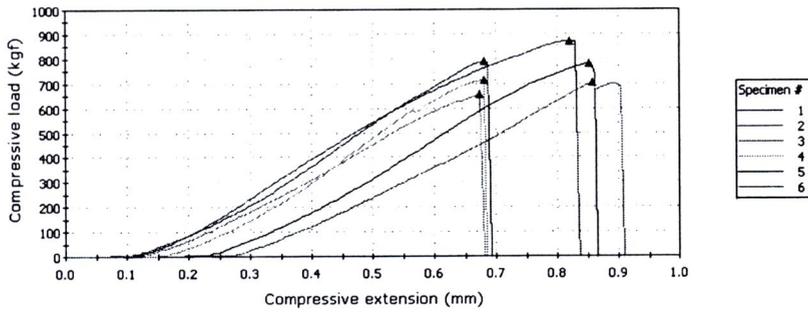
4.3.1 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทิวป์เท่ากับ 4 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,624.2 นิวตัน ดังรูปที่ 4.7 (a) และ รูปที่ 4.7 (b)



Results 1			
Specimen #	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	577	0.5	5656
2	548	0.5	5370
3	757	0.5	7424
4	639	0.5	6269
5	519	0.4	5088
6	551	0.4	5405

รูปที่ 4.7 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิวป์ 4 kN

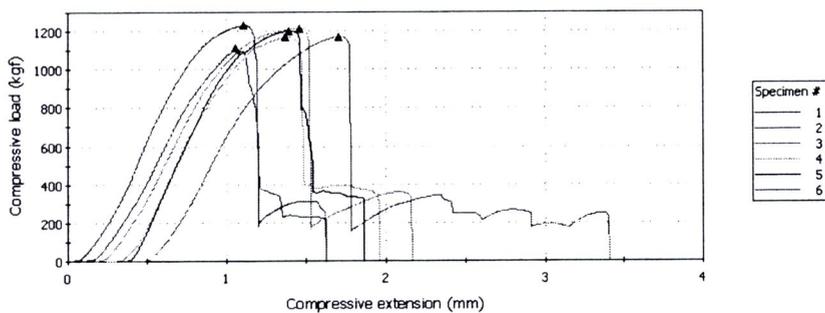


Results 1			
Specimen #	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	873	0.8	8561
2	788	0.6	7729
3	654	0.6	6414
4	714	0.6	7007
5	780	0.7	7647
6	706	0.6	6920

รูปที่ 4.7 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN

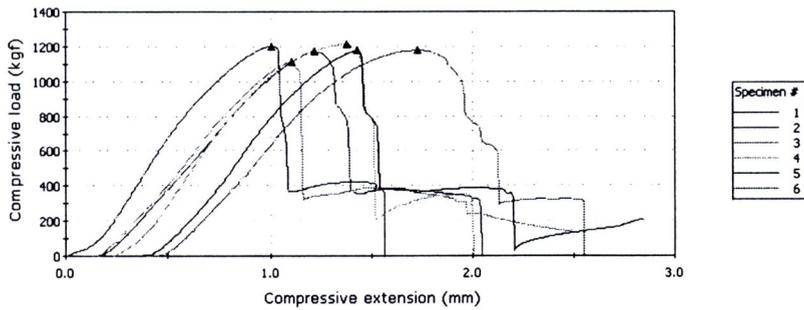
4.3.2 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทิปเท่ากับ 4 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11,565.1 นิวตัน ดังรูปที่ 4.8 (a) และรูปที่ 4.8 (b)



Results 1			
Specimen #	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	1230	1.1	12060
2	1111	1.0	10894
3	1216	1.3	11922
4	1169	1.1	11465
5	1201	1.1	11781
6	1171	1.3	11480

รูปที่ 4.8 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN

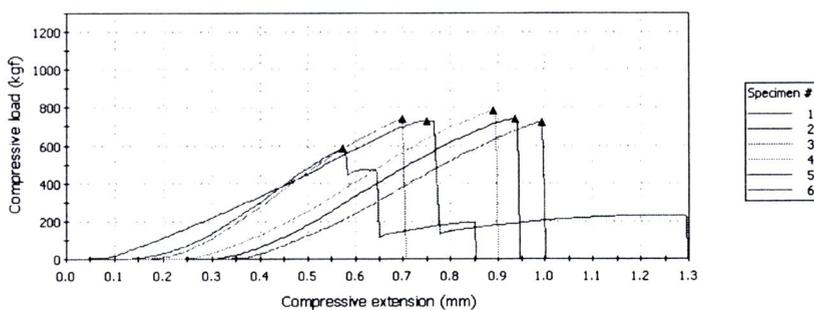


Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	1200	1.0	11768
2	1174	1.1	11513
3	1110	1.0	10883
4	1213	1.1	11899
5	1178	1.1	11555
6	1179	1.3	11561

รูปที่ 4.8 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทาบ 4 kN

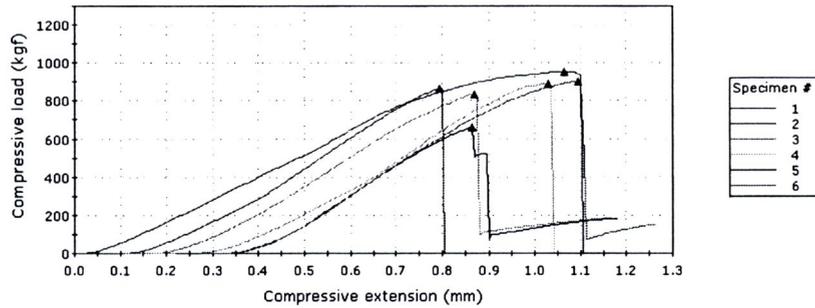
4.3.3 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทาบเท่ากับ 4 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7,688.3 นิวตัน ดังรูปที่ 4.9 (a) และรูปที่ 4.9 (b)



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	730	0.7	7161
2	582	0.5	5706
3	741	0.6	7269
4	785	0.7	7695
5	739	0.7	7243
6	723	0.7	7086

รูปที่ 4.9 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทาบ 4 kN

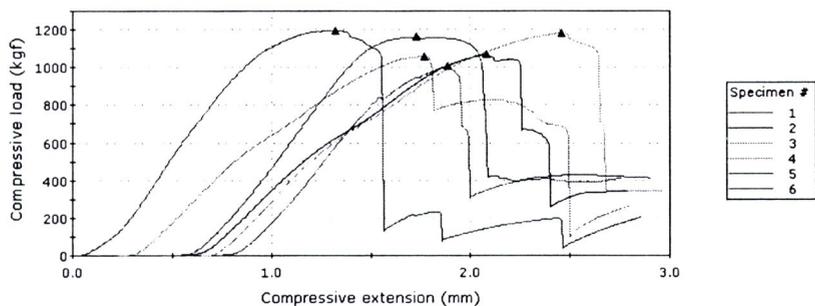


Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	953	1.1	9346
2	865	0.7	8479
3	836	0.8	8198
4	891	0.9	8738
5	660	0.6	6468
6	905	0.8	8870

รูปที่ 4.9 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทียิป 4 kN

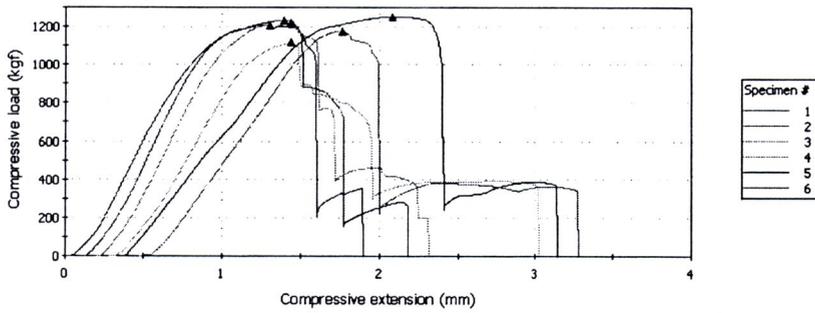
4.3.4 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทียิปเท่ากับ 4 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11,342.6 นิวตัน ดังรูปที่ 4.10 (a) และรูปที่ 4.10 (b)



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	1196	1.3	11727
2	1161	1.6	11387
3	1059	1.5	10387
4	1182	2.0	11592
5	1070	1.5	10493
6	1005	1.2	9856

รูปที่ 4.10 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทียิป 4 kN

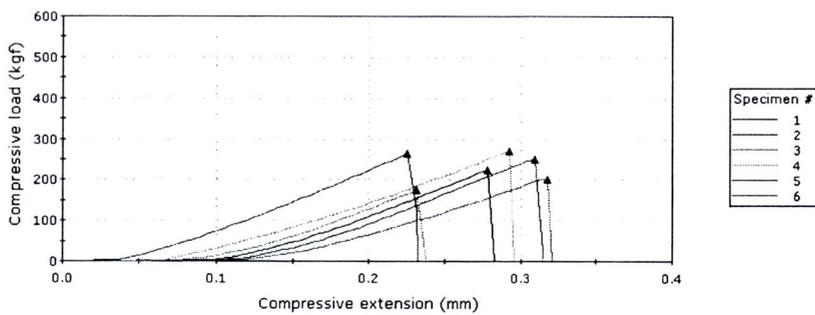


Results 1			
Specimen #	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	1207	1.3	11838
2	1234	1.3	12102
3	1218	1.3	11944
4	1118	1.2	10965
5	1251	1.7	12270
6	1178	1.3	11550

รูปที่ 4.10 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 4 kN

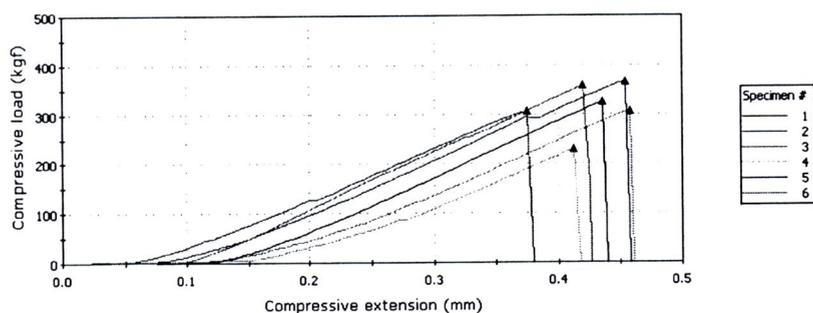
4.3.5 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทึบเท่ากับ 6 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,662.2 นิวตัน ดังรูปที่ 4.11 (a) และรูปที่ 4.11 (b)



Results 1			
Specimen #	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	250	0.3	2454
2	264	0.2	2585
3	175	0.2	1715
4	270	0.2	2652
5	225	0.2	2203
6	201	0.2	1970

รูปที่ 4.11 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 6 kN

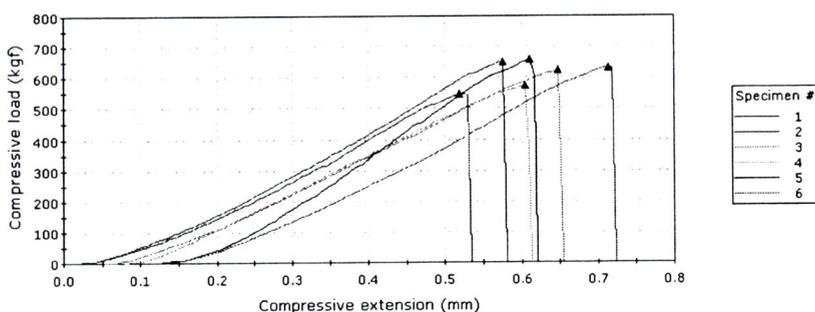


Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	307	0.4	3012
2	366	0.4	3592
3	307	0.4	3007
4	229	0.4	2246
5	325	0.4	3191
6	359	0.3	3519

รูปที่ 4.11 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทาบ 6 kN

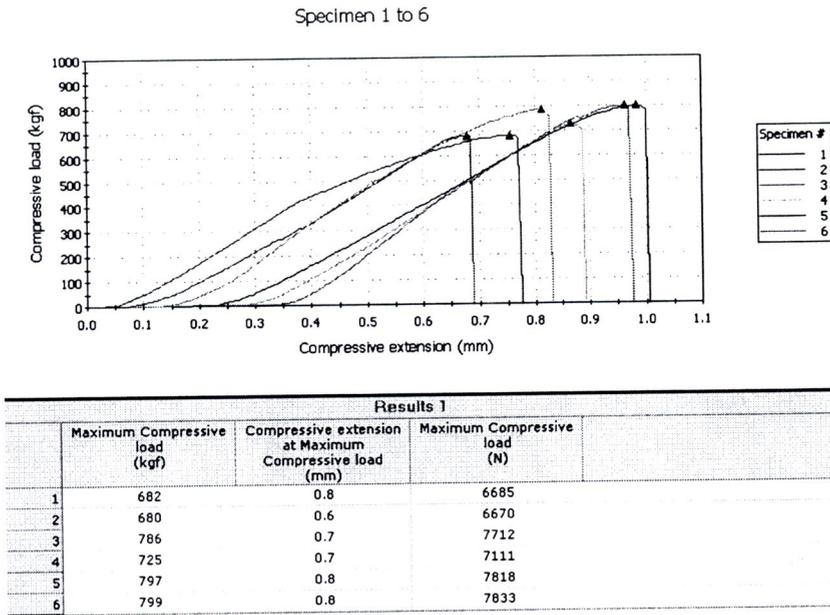
4.3.6 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทาบเท่ากับ 6 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,666.4 นิวตัน ดังรูปที่ 4.12 (a) และรูปที่ 4.12 (b)



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	548	0.5	5378
2	651	0.5	6388
3	624	0.6	6116
4	574	0.5	5628
5	658	0.5	6449
6	633	0.6	6209

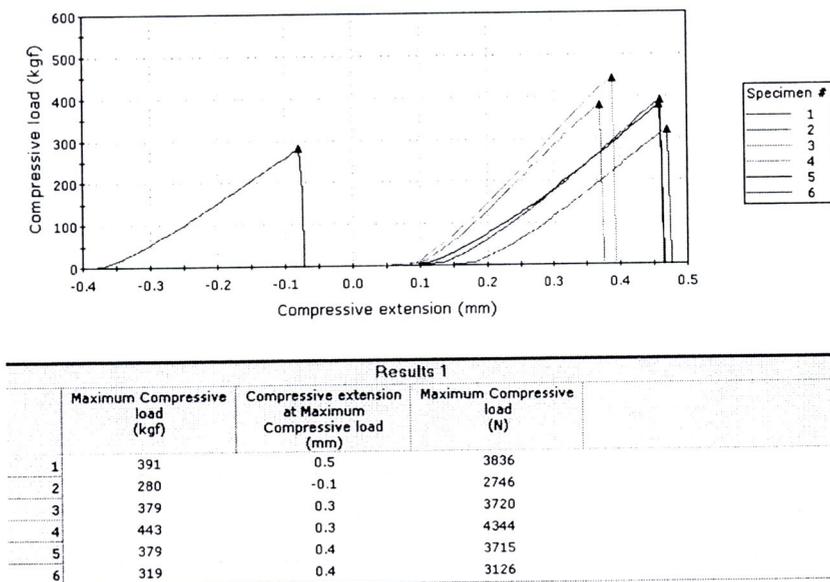
รูปที่ 4.12 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทาบ 6 kN



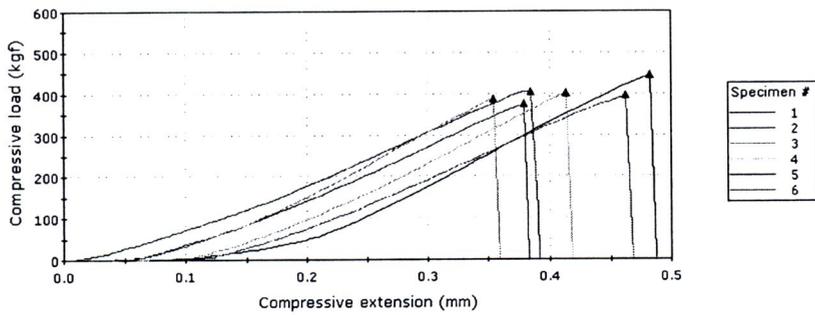
รูปที่ 4.12 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 6 kN

4.3.7 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทึบเท่ากับ 6 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,761.7 นิวตัน ดังรูปที่ 4.13 (a) และรูปที่ 4.13 (b)



รูปที่ 4.13 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 6 kN

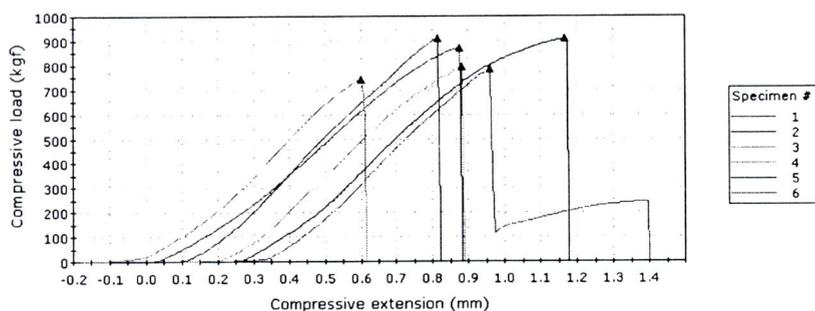


Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	406	0.4	3984
2	377	0.4	3693
3	386	0.3	3788
4	403	0.4	3948
5	445	0.4	4359
6	396	0.4	3881

รูปที่ 4.13 (b) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 6 kN

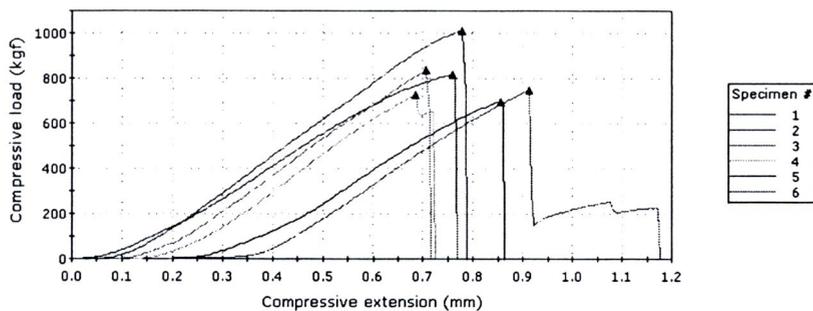
4.3.8 การตั้งค่าของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และค่าของแรงกดของหัวทึบเท่ากับ 6 kN

ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8,035.7 นิวตัน ดังรูปที่ 4.14 (a) และรูปที่ 4.14 (b)



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	869	0.9	8526
2	910	0.8	8920
3	741	0.5	7270
4	794	0.8	7787
5	908	1.0	8903
6	783	0.7	7682

รูปที่ 4.14 (a) ค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทึบ 6 kN



Results 1			
	Maximum Compressive load (kgf)	Compressive extension at Maximum Compressive load (mm)	Maximum Compressive load (N)
1	816	0.8	8005
2	1010	0.7	9903
3	835	0.6	8186
4	728	0.6	7136
5	694	0.7	6804
6	745	0.7	7306

รูปที่ 4.14 (b) ค่าของแรงดิ่ง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทียิป 6 kN

เมื่อได้ทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่ได้ออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.1 แล้วทำการสรุปผลค่าของแรงดิ่งที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของน็อตหลังผ่านกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ซึ่งได้สรุปผลค่าของแรงดิ่งที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าของแรงดิ่งที่ได้จากการทดลองตามระดับปัจจัยที่ได้ออกแบบการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของแรงดิ่งที่ได้จากการทดสอบ (นิวตัน)
กระแสไฟฟ้า (kA)	เวลาในการเชื่อม (Cycles)	แรงกดของหัวทียิป (kN)	
12	2	4	6,624.2
16	2	4	11,565.1
12	6	4	7,688.3
16	6	4	11,342.6
12	2	6	2,662.2
16	2	6	6,666.4
12	6	6	3,761.7
16	6	6	8,035.7

4.4 ประมวลผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการคำนวณค่าได้ดังนี้

4.4.1 ประมวลผลและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

จะทำการวิเคราะห์เพื่อดูความเหมาะสมของการทดลองที่ได้ออกแบบไว้จากค่า R^2 และ R^2 adjust จากการพิจารณาค่า $R^2 = 93.73\%$ ซึ่งแสดงว่าการทดลองได้รับการออกแบบมาดี ซึ่งมีความหมายว่า หากความแปรผันทั้งหมดนั้นมีค่าเท่ากับ 100 หน่วยแล้วจะสามารถอธิบายความผันแปรจากทรีดเมนที่ได้ถึง 93.73 หน่วย และส่วนที่เหลือจะไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีพีเทบิลิตี เมื่อพิจารณาในส่วนของค่า R^2 Adjust = 93.23% นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับ $R^2 = 93.73\%$ ซึ่งอยู่ในระดับสูงหรืออาจกล่าวได้ว่าการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูง แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมานั้นมีความเหมาะสมและมีจำนวนที่เพียงพอ

Estimated Effects and Coefficients for Push Out (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7293	81.63	89.35	0.000
Current	4218	2109	81.63	25.84	0.000
Weld Time	828	414	81.63	5.07	0.000
Electrode Force	-4024	-2012	81.63	-24.64	0.000
Current*Weld Time	-254	-127	81.63	-1.56	0.123
Current*Electrode Force	-79	-40	81.63	-0.49	0.629
Weld Time*Electrode Force	407	203	81.63	2.49	0.015
Current*Weld Time*Electrode Force	389	195	81.63	2.38	0.019

S = 799.809 PRESS = 66993462
 R-Sq = 93.73% R-Sq(pred) = 92.54% R-Sq(adj) = 93.23%

รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

4.4.2 ประมวลผลและวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

จะทำการวิเคราะห์เพื่อดูค่าความแปรปรวนของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมจากการพิจารณาค่า P-Value ว่ามีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดหรือไม่

Analysis of Variance for Push Out (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	832043265	832043265	277347755	433.56	0.000
2-Way Interactions	3	5673166	5673166	1891055	2.96	0.037
3-Way Interactions	1	3633260	3633260	3633260	5.68	0.019
Residual Error	88	56293118	56293118	639695		
Pure Error	88	56293118	56293118	639695		
Total	95	897642808				

รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการคำนวณค่าดังรูปที่ 4.16 พบว่า ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยหลัก แต่ละตัวนั้นมีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของน็อตเชื่อม ขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคานกันชนหลัง เมื่อทำการพิจารณาในส่วนของ ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย (2-Way Interactions Effect) พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.037 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับเวลาที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ชิ้นงาน (Welding Time) กระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงกดของหัวทูป (Electrode Force) และ เวลาที่ ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน(Welding Time) กับแรงกดของหัวทูป (Electrode Force) มีผลต่อความ แข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วน เพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคานกันชนหลังเมื่อทำการพิจารณาในส่วนของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย (3-Way Interactions Effect) พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.019 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับเวลาที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Welding Time) และแรงกด ของหัวทูป (Electrode Force) นั้นมีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทาน แบบจุดของน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคานกันชนหลังด้วย

4.4.3 ประมวลผลและวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมของ น็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคานกันชนหลัง

Estimated Coefficients for Push Out using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-12990.1
Current	2253.47
Weld Time	3547.75
Elect. Force	582.40
Current*Weld Time	-274.953
Current*Elect. Force	-214.354
Weld Time*Elect. Force	-579.198
Current*Weld Time*Elect. Force	48.6354

รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคานกันชนหลังกับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมได้แก่ กระแสไฟฟ้า(Current) เวลาที่ปล่อย กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Welding Time) และแรงกดของหัวทูป (Electrode Force)

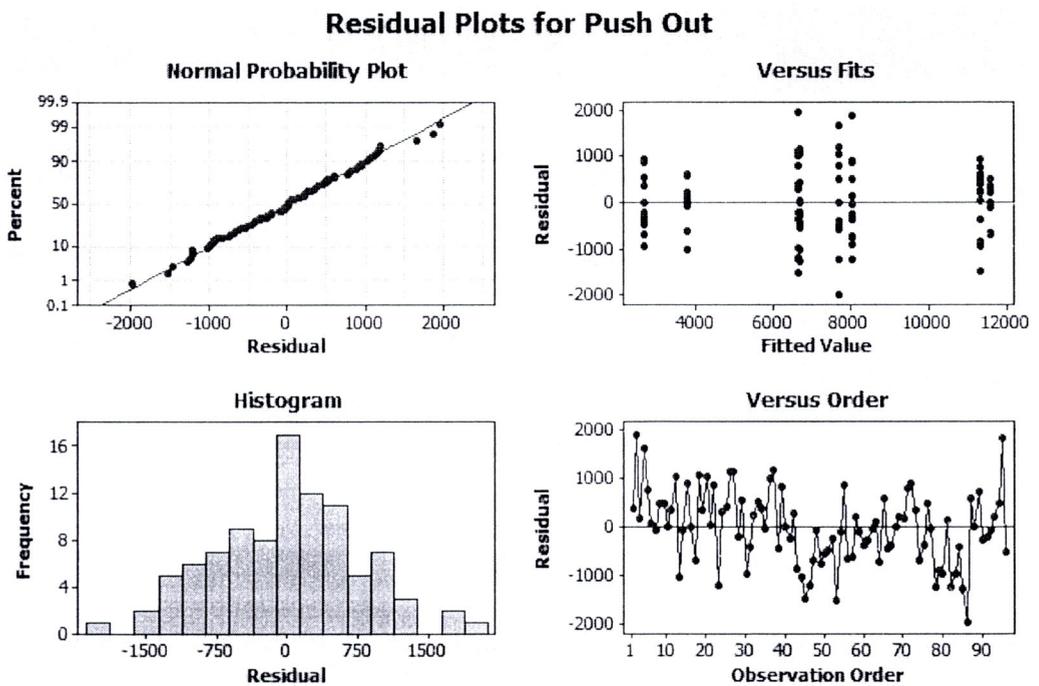
จากรูปที่ 4.17 สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานคาน

กันชนหลังกับกระแสไฟฟ้า (Current) ที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Welding Time) และแรงกดของหัวทูป (Electrode Force) แบบ Uncoded Units ได้ดังสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดึง (Push-Out Load)} = & -12990.1 + 2253.47\text{Current} + 3547.75\text{Welding Time} + \\ & 582.40\text{Electrode Force} - 274.95\text{Current} \times \text{Welding Time} - 214.35\text{Current} \times \text{Electrode Force} - \\ & 579.19\text{Welding Time} \times \text{Electrode Force} + 48.63\text{Current} \times \text{Welding Time} \times \text{Electrode Force} \quad (4.1) \end{aligned}$$

4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำไปยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพ และสามารถนำข้อมูลนี้ไปอนุมานการทดลองได้น่าเชื่อถือ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลดังนี้



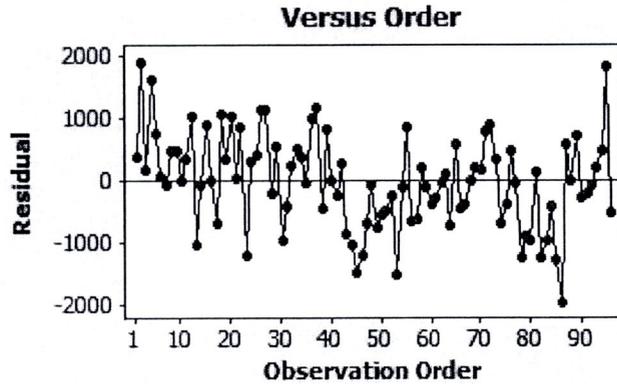
รูปที่ 4.18 แผนภาพ Residual Plots

4.5.1 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลเป็นการตรวจสอบว่า ข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นการเก็บข้อมูลแบบสุ่มหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิควบคุม โดยแกน X คือลำดับการทดลอง แกน Y คือค่าเสียหาย ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานในการทดสอบคือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้การสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้การสุ่ม



รูปที่ 4.19 แผนภาพ Versus Order

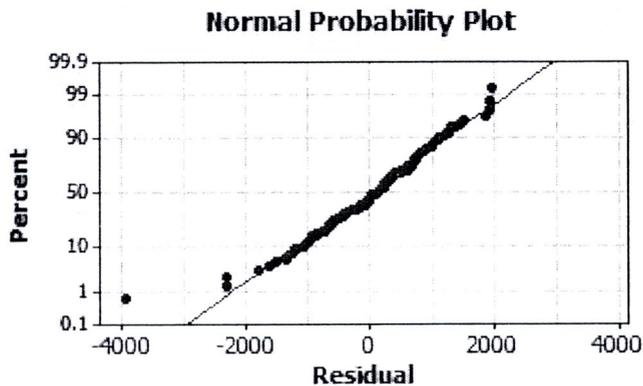
โดยจากรูปที่ 4.19 แผนภาพ Versus Order จะแสดงพฤติกรรมของค่าเศษเหลือตลอดช่วงการทดลองพบว่าไม่มีจุดใดอยู่นอกพิสัยควบคุมสูงสุดและต่ำสุดของแผนภูมิ และมีการกระจายของข้อมูลอย่างสมมาตรรอบค่ากลาง ซึ่งแสดงว่ามีความเป็นอิสระของข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือ H_0 และลำดับของข้อมูลที่เก็บมาได้อยู่ภายใต้การสุ่มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลเป็นการตรวจสอบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบค่าหนึ่งอย่างสมมาตรหรือไม่ ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานในการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.20 แผนภาพ Normal Probability Plot ของผลการทดสอบแบบ 2^k แฟคทอเรียล

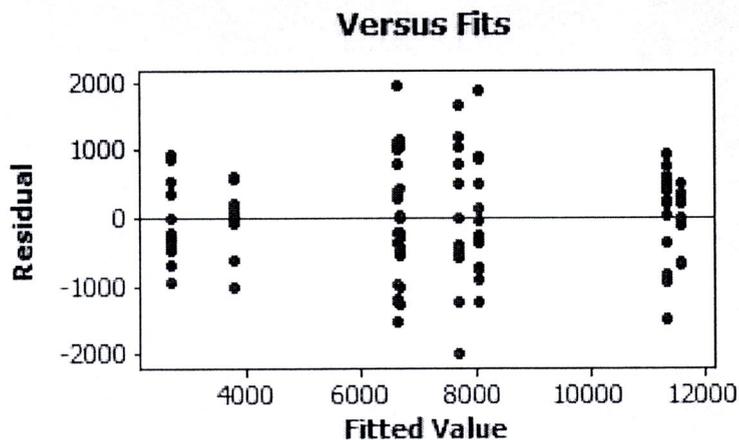
จากการพิจารณาในรูปที่ 4.20 Normal Probability Plot พบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบค่าหนึ่งอย่างสมมาตรและมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่มีอยู่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือ H_0 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาได้นั้นมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบความเสถียรของข้อมูล ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานในการทดสอบคือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

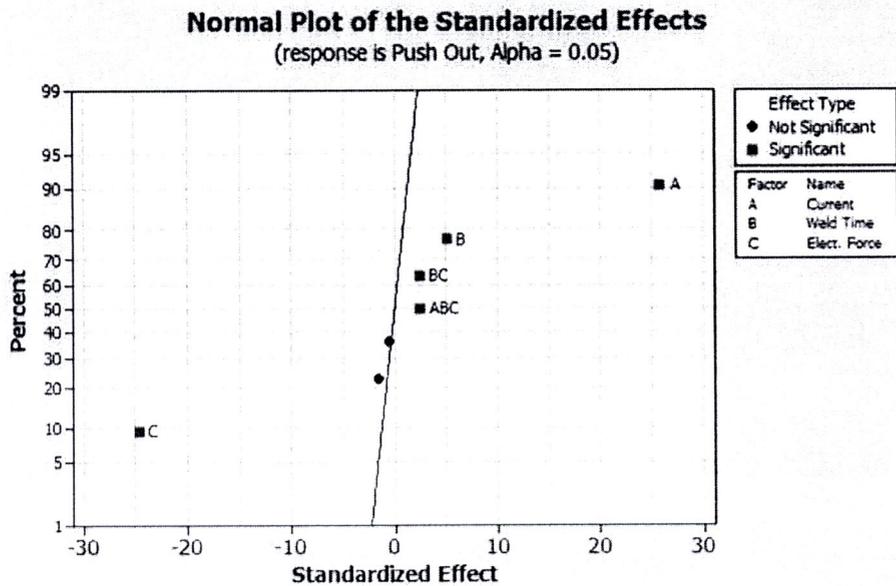


รูปที่ 4.21 แผนภาพ Residual Versus the Fitted Value

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21 Residual Versus the Fitted Value พบว่าข้อมูลมีการกระจายรอบเส้น 0 ด้วยระยะห่างที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ โดยมีความผันแปรที่ไม่แตกต่างกันและไม่มีแนวโน้มเกิดขึ้น แสดงว่าค่าความผันแปรของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หรือไม่พบข้อมูลที่ขาดคุณสมบัติความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้กล่าวมานั้นไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ H_0 หรือ สมมติฐานหลัก ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้เก็บมาได้จากการทดลองนั้นมีความเสถียรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หลังจากทำการประเมินข้อมูลการทดลองของแต่ละระดับปัจจัย ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความสุ่ม มีความแจกแจงแบบปกติ และมีความเสถียรของความแปรปรวน ซึ่งทางผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม

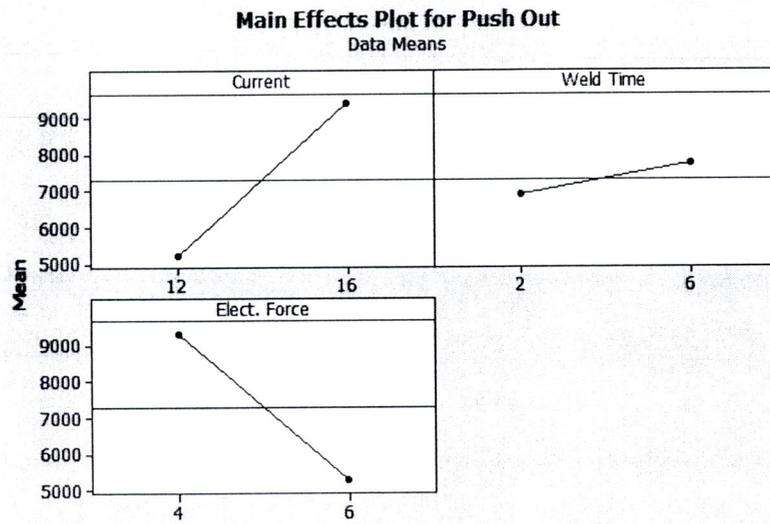
4.6 การเลือกใช้ตัวแปรของแต่ละปัจจัยในการทดลอง

จากการทดลองแล้วนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการประมวลผล และทำการทดสอบปัจจัยที่ได้มาจากการทดลอง ซึ่งจากการประมวลผลนั้นจะได้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.22

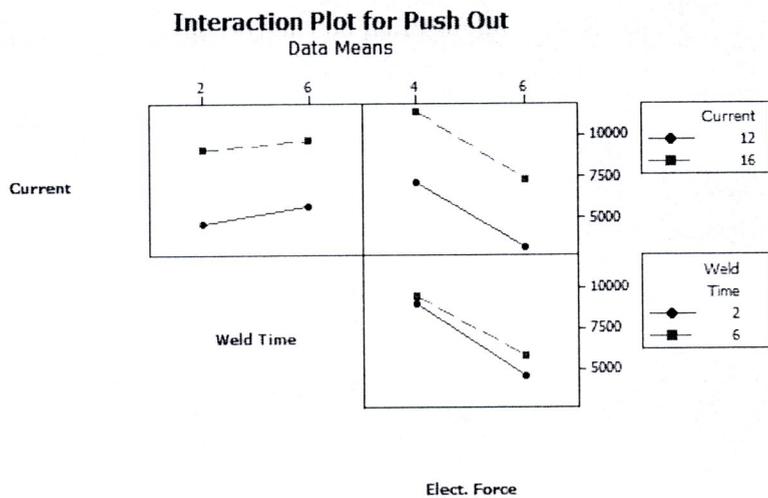


รูปที่ 4.22 กราฟของอิทธิพลแต่ละปัจจัย

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงอิทธิพลแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าของแรงดึง โดยมีปัจจัยหลักของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานและค่าของแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งมีปัจจัยร่วมของ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบคือปัจจัยของเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานและค่าของแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อม และปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลค่าของการทดสอบด้วยแรงดึงซึ่งเป็นปัจจัยร่วมของปัจจัยของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานและแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.23 กราฟของอิทธิพลหลักของ 3 ปัจจัย



รูปที่ 4.24 กราฟของอิทธิพลร่วม 2 ระดับ

4.7 สรุปผลการทดลอง

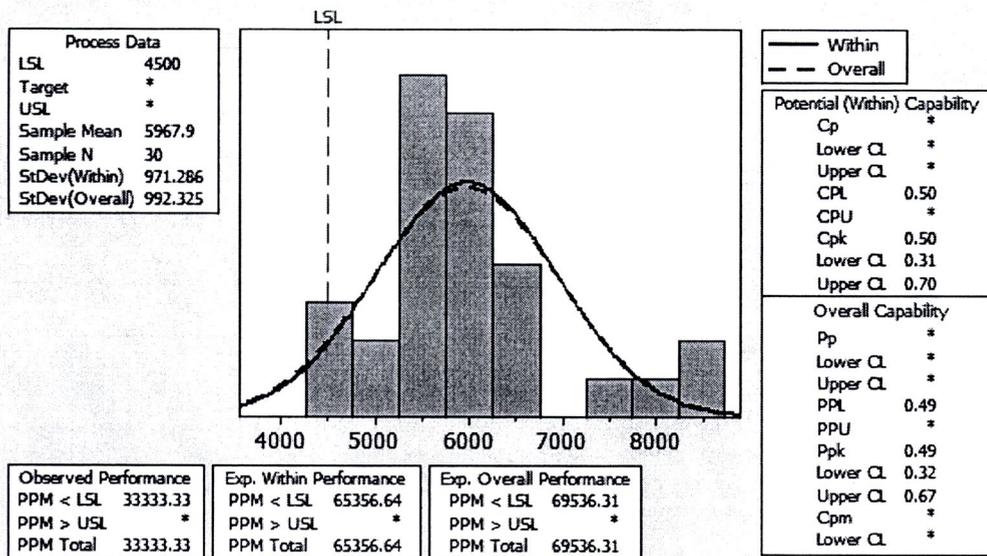
เนื่องจากปัจจัยร่วมกันนั้นมีผลต่อค่าของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของนอตเชื่อม ดังนั้นในการพิจารณาของผู้วิจัยจะเลือกใช้ตัวแปรของปัจจัยร่วมที่ได้จากการทดลอง ซึ่งทางผู้วิจัยต้องการเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าของแรงดึงที่ทำให้นอตเชื่อมหลุด โดยที่ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดลองนั้นต้องมีค่ามากที่สุดและมากกว่าค่ามาตรฐานของแรงกดที่ลูกค้ำกำหนดคือต้องมีค่าของแรงดึงมากกว่า 4,500 นิวตัน และมีค่าสอดคล้องกับค่าความปลอดภัย (factor

of safety) เท่ากับ 2.0 ที่ได้ทำการกำหนดไว้ ซึ่งจะทำการเลือกระดับปัจจัยที่มีค่าของแรงดึงที่มากกว่าหรือเท่ากับ 9,000 นิวตัน ซึ่งจากรูปที่ 4.24 พบว่าการปรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทิวที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 4 kN นั้นจะส่งผลให้สามารถได้ค่าของแรงดึงที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของนอตเชื่อม M5x0.8 ได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 11,342.6 นิวตัน (N) ซึ่งให้ค่าเหมาะสมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรของปัจจัยที่ระดับอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้การปรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทิวที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 4 kN มาทำการปรับปรุงกระบวนการการเชื่อมนอตขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงของคานกันชนหลังด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดและมีความสอดคล้องกับค่าความปลอดภัย (factor of safety) เท่ากับ 2.0 ที่กำหนดไว้ที่สามารถทนต่อแรงดึงที่มากกว่า 9,000 นิวตัน และทนต่อแรงบิดที่ได้จากการทดสอบที่มากกว่า 460.92 kgf.cm

4.8 การทดสอบและยืนยันผลทดสอบตัวแปรของปัจจัยที่เลือกนำมาปรับปรุง

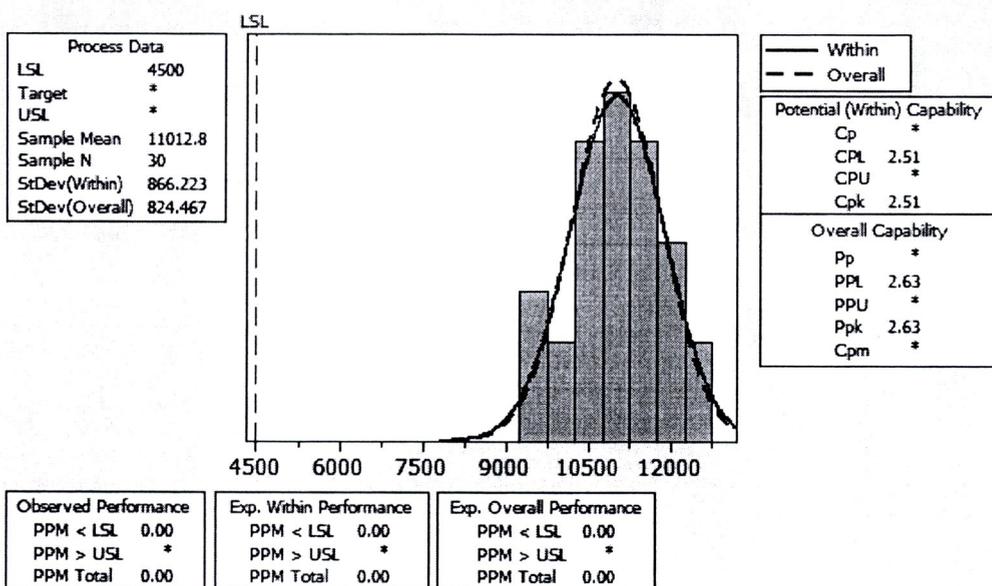
ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2554 ได้มีการนำค่าของระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นงานคานกันชนหลัง โดยทำการปรับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทิวที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 4 kN และทำการเปรียบเทียบกับระดับปัจจัยที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิตปัจจุบันซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเท่ากับ 11 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 7 Cycles และแรงกดของหัวทิวที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 6 kN ซึ่งการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองนั้นต้องเลือกค่าที่เหมาะสมสอดคล้องกับค่าความปลอดภัย (factor of safety) ที่ได้กำหนดไว้ นั่นเท่ากับ 2.0 ซึ่งจะทำการเลือกระดับปัจจัยที่มีค่าของแรงดึงที่มากกว่าหรือเท่ากับ 9,000 นิวตัน โดยใช้ในการเชื่อมนอตขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรง (Bracket Tail Gate Rubber) ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดสอบ โดยการสุ่มเก็บชิ้นงานทั้งหมด 30 ชิ้นในระยะเวลา 5 วัน ซึ่งแบ่งเป็นระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานตัวอย่างเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงแรกทำการสุ่มเก็บตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตภายใต้ปัจจัยในปัจจุบันตั้งแต่วันที่ 15 ถึง 19 สิงหาคม พ.ศ. 2554 และช่วงที่สองทำการเก็บตัวอย่างตามระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองตั้งแต่วันที่ 22 ถึง 26 สิงหาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งการเก็บตัวอย่างชิ้นงานทั้งสองช่วง จะทำการเก็บชิ้นงานวันละ 6 ชิ้น โดยแบ่งเป็นการเก็บตัวอย่างชิ้นงานในกะเช้าและกะกลางคืนกะละ 3 ชิ้น แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างที่เก็บมาทำการทดสอบและวิเคราะห์ผล เพื่อดูความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ก่อนและหลังการปรับปรุงในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 โดยจะทำการเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังทำการปรับปรุงดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26

Process Capability of Push Out (using 95.0% confidence)

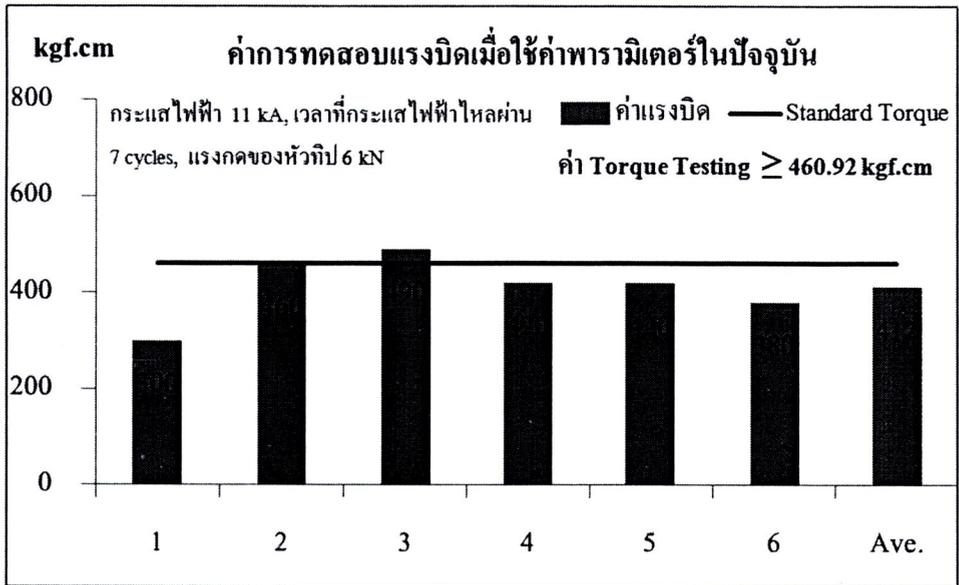


รูปที่ 4.25 ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

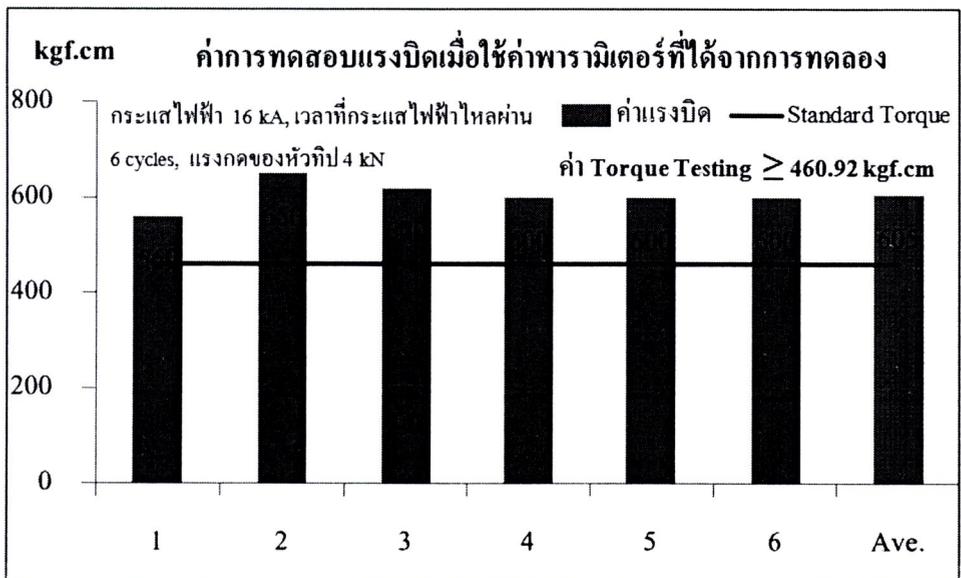
Process Capability of Push Out



รูปที่ 4.26 ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง



รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบแรงบิด (Torque Testing) ของกระบวนการก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบแรงบิด (Torque Testing) ของกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.27 จะพบว่าผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างน็อต M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังด้วยการทดสอบแรงบิด (Torque Testing) ซึ่งผลการทดสอบค่าแรงบิดของกระบวนการก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 412 kgf.cm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความปลอดภัย (factor of safety) ที่กำหนดไว้เท่ากับ 2.0 โดยต้องมีค่าของแรงบิดที่มากกว่าหรือเท่ากับ 460.92 kgf.cm แต่เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ตามค่าที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.28 พบว่าผลการ

ทดสอบค่าแรงบิดของกระบวนการหลังการปรับปรุงเท่ากับ 605 kgf.cm ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความปลอดภัย (factor of safety) ที่กำหนดไว้เท่ากับ 2.0 โดยต้องมีค่าของแรงบิดที่มากกว่าหรือเท่ากับ 460.92 kgf.cm ซึ่งสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองนำไปใช้ในการผลิตของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของน็อต M5x0.8

4.9 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังทำการปรับปรุง

จากผลการทดลองนั้นทำให้ทราบถึงระดับปัจจัยที่เหมาะสม และนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปปรับตั้งในเครื่องจักรซึ่งเป็นเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด และจะต้องจัดทำมาตรฐานการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งผลจากการทดลองโดยทำการปรับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 4 kN ทำการเก็บตัวอย่างตามระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองตั้งแต่วันที่ 22 ถึง 26 สิงหาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 30 ชิ้น โดยจะทำการเก็บชิ้นงานวันละ 6 ชิ้น โดยแบ่งเป็นการเก็บตัวอย่างชิ้นงานในกะเช้าและกะกลางคืนกะละ 3 ชิ้น แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างที่เก็บมาทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลเพื่อหาความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เพิ่มจาก 0.50 เป็น 2.51 ดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 โดยที่ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) เพิ่มจาก 5,967.9 นิวตัน (N) เป็น 11,012.8 นิวตัน (N) และค่าเฉลี่ยของการทดสอบด้วยแรงบิด (Torque Testing) เพิ่มจาก 412 kgf.cm เป็น 605 kgf.cm ซึ่งสอดคล้องกับค่าความปลอดภัย (factor of safety) ที่ได้กำหนดไว้เท่ากับ 2.0 คือ มีค่าการทดสอบด้วยแรงดึงที่มากกว่าหรือเท่ากับ 9,000 นิวตัน และมีค่าการทดสอบด้วยแรงบิดที่มากกว่าหรือเท่ากับ 460.92 kgf.cm ซึ่งการนำระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาใช้ในกระบวนการผลิต จะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน็อต M5x0.8 เพิ่มขึ้น โดยดูได้จากผลการทดสอบแรงดึงและแรงบิด และยังมีส่วนช่วยให้กระบวนการมีความสามารถที่ดีขึ้น คือมีความสามารถของกระบวนการมากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในกลุ่มอุตสาหกรรมรถยนต์ ซึ่งข้อมูลก่อนและหลังทำการปรับปรุงต้องมีการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังทำการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab ภายใต้วความแปรปรวนเดียวกัน ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบความแตกต่างความแปรปรวนของกระบวนการทั้งก่อนและหลังปรับปรุงก่อน แล้วจึงทำการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังทำการปรับปรุง โดยกำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้

H_0 : ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Test for Equal Variances: Push out Before, Push out After

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
Push out Before	30	765.959	992.325	1395.76
Push out After	30	636.392	824.467	1159.66

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 1.45, p-value = 0.324

รูปที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวนของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.29 พบว่าค่าของ P-Value = 0.324 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) นั่นคือความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ต่อจากนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Two-Sample T-Test and CI: Push out Before, Push out After

Two-sample T for Push out Before vs Push out After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Push out Before	30	5968	992	181
Push out After	30	11013	824	151

Difference = mu (Push out Before) - mu (Push out After)

Estimate for difference: -5045

95% CI for difference: (-5516, -4573)

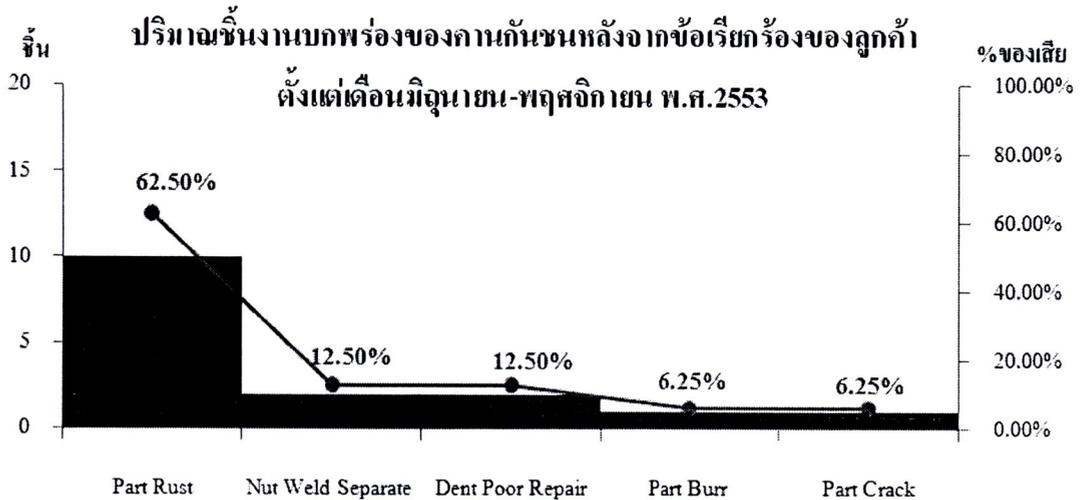
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -21.42 P-Value = 0.000 DF = 58

Both use Pooled StDev = 912.2651

รูปที่ 4.30 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.30 พบว่า P-Value = 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อทำการปรับตั้งค่าตามปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองทั้งสามปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และค่าแรงกดของหัวทูปนั้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push-Out Load Testing) ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน็อต M5x0.8 นั้นเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อทำการปรับระดับปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตตามระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองนั้นต้องเป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมมากที่สุด คือต้องมีค่าการทดสอบของแรงดึงที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 9,000 นิวตัน และมีค่าการทดสอบแรงบิดที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 460.92 kgf.cm ซึ่งสอดคล้องกับค่าความปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้เท่ากับ 2.0 โดยทางผู้วิจัยได้ทำการติดตามผลอย่างต่อเนื่องเพื่อติดตามผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผลิตภัณฑ์บร็อกประเภทอื่น ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการของผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องและมีข้อเรียกร้องให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจากการเก็บข้อมูลข้อเรียกร้องจากลูกค้าให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ซึ่งพบว่าจากการส่งชิ้นงานคานกันชนหลังให้กับลูกค้าทั้งหมด 189,991 ชิ้น นั้นมีปริมาณชิ้นงานคานกันชนหลังที่มีข้อบกพร่องและลูกค้ามีข้อเรียกร้องให้ทำการแลกเปลี่ยนชิ้นงานทั้งหมด 16 ชิ้น ซึ่งแบ่งเป็นประเภทของชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องเป็นชิ้นงานที่เป็นสนิม (Part Rust) มีจำนวน 10 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 62.50 ชิ้นงานที่น็อตเชื่อม M5x0.8 หลุด (Nut Weld Separate) มีจำนวน 2 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 12.50 ชิ้นงานมีรอยบุบ ยุบ (Dent Poor Repair) มีจำนวน 2 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 12.50 ชิ้นงานมีรอยครีป (Part Burr) มีจำนวน 1 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6.25 และชิ้นงานมีรอยแตกร้าว (Part Crack) มีจำนวน 1 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6.25 ซึ่งเป็นข้อมูลก่อนการ

ปรับปรุงการลดข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดในชิ้นงานคานกันชนหลัง ดังรูปที่ 4.31



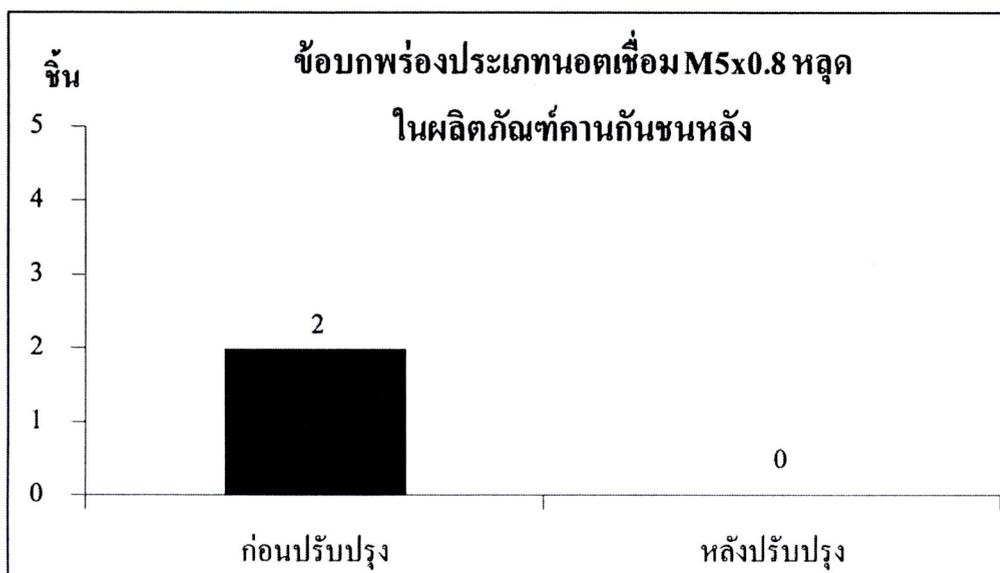
รูปที่ 4.31 ผลผลิตก้นบ่อกพร่องของชิ้นงานคานกันชนหลังที่มีข้อเรียกร้องจากลูกค้าให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานก่อนการปรับปรุง (เดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2553)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของผลผลิตก้นบ่อกพร่องที่มีข้อเรียกร้องให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานจากลูกค้าในผลผลิตก้นบ่อกคานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง

ประเภทของ ผลผลิตก้นบ่อกพร่อง	ก่อนการปรับปรุง(ชิ้น) (มิ.ย.53-พ.ย.53)	สัดส่วน (%)	หลังการปรับปรุง(ชิ้น) (ส.ค.54-ก.ย.54)	สัดส่วน (%)
สนิม	10	0.0053	0	0
น็อตเชื่อม M5x0.8 หลุด	2	0.0011	0	0
รอยบุบ ยุบ	2	0.0011	3	0.0043
รอยครีป	1	0.0005	0	0
รอยแตกร้าว	1	0.0005	0	0
รวม	16	0.0084	3	0.0043
จำนวนชิ้นงานที่ส่ง	189,991	-	69,396	-
รวมชิ้นงานทั้งหมด	190,007	-	69,399	-

จากข้อมูลตารางที่ 4.3 ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการแก้ไขปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตก้นบ่อกที่ทำให้ผลผลิตก้นบ่อกเกิดข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดซึ่งส่งผลกระทบต่อสายการผลิตของลูกค้า จึงนำ

ข้อมูลการเรียกร้อยของลูกค้าในหัวข้อดังกล่าวมาวิเคราะห์ก่อนและหลังทำการปรับปรุง ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีข้อเรียกร้อยให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานจากลูกค้า 2 ชิ้น (มิ.ย.-พ.ย.53) หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไข (ส.ค.-ก.ย.54) นั้นไม่พบข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังดังรูปที่ 4.32 และทำการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องจากข้อเรียกร้อยของลูกค้าก่อนและหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.32 ข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง โดยวัดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง จากข้อเรียกร้อยของลูกค้าให้มีการแลกเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง

การปรับปรุง	เดือน	ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	ข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม หลุด	รวม	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
ก่อนปรับปรุง	มิ.ย.-พ.ย.53	189,991	2	189,993	0.001053
หลังการปรับปรุง	ส.ค.-ก.ย.54	69,396	0	69,396	0.000000

จากข้อมูลตารางที่ 4.4 นั้นจะพบว่าข้อมูลก่อนการปรับปรุง (มิ.ย.-พ.ย.53) ในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังนั้นมีข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทน็อตเชื่อม M.5x0.8 หลุดอยู่จำนวน 2 ชิ้น ซึ่งทำให้ลูกค้า

ต้องหยุดสายการประกอบแล้วนำชิ้นงานที่เป็นปัญหาออกมาทำการแก้ไข ทำให้ต้องเสียเวลารอการแก้ไข ซึ่งทางพนักงานของแผนกควบคุมคุณภาพของบริษัทจะต้องเข้าไปดำเนินการแก้ไขผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องโดยนำน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 ไปเชื่อมติดแทนที่ชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องน็อตเชื่อมหลุด ซึ่งชิ้นงานที่ต้องรอการแก้ไขนั้นได้ผ่านกระบวนการทำสีแล้วการซ่อมแซมแก้ไขต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้สะเก็ดไฟจากการเชื่อมไปสัมผัสกับผิวชิ้นงานที่ทำสีแล้ว และส่วนของสายการประกอบของลูกค้ำที่หยุดรอเพื่อทำแก๊วขึ้นเป็นกระบวนการสุดท้าย ก่อนที่จะส่งผลิตภัณฑ์ออกจากสายการประกอบเข้าไปทดสอบในส่วนต่างๆ ซึ่งทำให้ลูกค้ำมีการเรียกร้องให้ทางแผนกควบคุมคุณภาพมีการตรวจสอบชิ้นงานก่อนส่งเข้ามาในสายการผลิตของลูกค้ำซึ่งทำให้ต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทั้งในส่วนคลังสินค้าของบริษัทผู้ผลิต และคลังสินค้าของลูกค้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสายการประกอบของลูกค้ำหยุดเพื่อรอทำการแก๊วและยืนยันคุณภาพของชิ้นงานเป็นเวลา ½ - 1 ชั่วโมง หลังจากทำการทำการปรับปรุง (ส.ค.-ก.ย.54) ค่าพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า เวลาในการเชื่อมและค่าแรงกดของหัวทูป ตามค่าที่ได้จากการทดลองแล้วนำไปใช้ในกระบวนการเชื่อมน็อตขนาด M.5x0.8 ด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุกจะพบว่าไม่เกิดข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมขนาด M.5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง ทำให้ลดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสายการประกอบของลูกค้ำและทำให้ลูกค้ำเกิดความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทอื่นในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง โดยวัดจากการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะทำการส่งให้กับลูกค้ำ

ประเภทของผลิตภัณฑ์บกพร่อง	ก่อนการปรับปรุง(ชิ้น) (มิ.ย.53-พ.ย.53)	สัดส่วน (%)	หลังการปรับปรุง(ชิ้น) (ส.ค.54-ก.ย.54)	สัดส่วน (%)
บูน, นูน	64,345	35.49	11,280	13.14
ครีป	210	0.11	0	0
เสียรูป	0	0	0	0
รูเยื้อง	0	0	0	0
ปีกแหง	0	0	0	0
จุดสปอตไม่ติด	0	0	0	0
หนามที่จุดสปอต	0	0	1,855	2.16
ตามค	0	0	0	0

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทอื่นในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อน และหลังการปรับปรุง โดยวัดจากการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะทำการส่งให้กับลูกค้า (ต่อ)

ประเภทของ ผลิตภัณฑ์บกพร่อง	ก่อนการปรับปรุง(ชิ้น) (มิ.ย.53-พ.ย.53)	สัดส่วน (%)	หลังการปรับปรุง(ชิ้น) (ส.ค.54-ก.ย.54)	สัดส่วน (%)
Spatter	0	0	0	0
ไม่มีน็อตเชื่อม	0	0	0	0
น็อตเยื้อง	0	0	0	0
รวม	64,555	35.60	13,135	15.30
จำนวนชิ้นงานที่ ตรวจสอบทั้งหมด	181,314	-	85,853	-

จากข้อมูลตารางที่ 4.5 นั้นพบว่าข้อมูลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนทำการปรับปรุง (มิ.ย.-พ.ย.53) นั้นพบว่ามีข้อบกพร่องของชิ้นงานทั้งหมด 64,555 ชิ้น จากการตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 181,314 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 35.60 ในที่นี้ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องกับการปรับค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมน็อต M5x0.8 ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเท่านั้น ซึ่งพบว่ามีข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องกับการปรับค่าพารามิเตอร์อยู่ 3 ข้อบกพร่องโดยแบ่งเป็นข้อบกพร่องของ Spatter ซึ่งมีเท่ากับ 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 และไม่มีน็อตเชื่อม 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 และน็อตเยื้อง ซึ่งมีเท่ากับ 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 หลังจากทำการปรับปรุง (ส.ค.-ก.ย.54) จะพบว่ามีข้อบกพร่องของชิ้นงานทั้งหมด 13,135 ชิ้น จากการตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 85,853 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 15.30 ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องเท่านั้น โดยแบ่งเป็นข้อบกพร่องของ Spatter ซึ่งมีเท่ากับ 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 และไม่มีน็อตเชื่อม 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 และน็อตเยื้อง ซึ่งมีเท่ากับ 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องเท่ากับ 0.0 และทำการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องจากการตรวจสอบชิ้นงานคานกันชนหลังก่อนที่จะทำการส่งให้กับลูกค้า ซึ่งการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อน และหลังการปรับปรุง โดยวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้า (ผลิตภัณฑ์บกพร่องภายใน)

ประเภทของ ผลิตภัณฑ์ บกพร่อง	ก่อนการปรับปรุง (ชิ้น) (มิ.ย.53-พ.ย.53)	สัดส่วน (%)	หลังการปรับปรุง (ชิ้น) (ส.ค.54-ก.ย.54)	สัดส่วน (%)
Spatter	0	0.0	0	0.0
ไม่มีน็อตเชื่อม	0	0.0	0	0.0
น็อตเยื้อง	0	0.0	0	0.0
รวม	0	0.0	0	0.0
จำนวนชิ้นงานที่ ตรวจสอบทั้งหมด	181,314	-	85,853	-

จากข้อมูลตารางที่ 4.6 นั้นจะพบว่าก่อนการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมน็อตขนาด M.5x0.8 ด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดนั้น ไม่พบข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในการเชื่อมน็อต ซึ่งประกอบไปด้วยข้อบกพร่องประเภท Spatter ไม่มีน็อตเชื่อม และน็อตเยื้อง และเมื่อทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมน็อตขนาด M.5x0.8 ด้วยวิธีการเชื่อมความต้านทานแบบจุดตามผลที่ได้จากการทดลองแล้วนำไปใช้ในการผลิตจริง ซึ่งหลังทำการปรับปรุงนั้นพบว่าไม่มีข้อบกพร่องประเภท Spatter ไม่มีน็อตเชื่อม และน็อตเยื้องเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังเช่นกัน

4.10 ผลที่ได้รับจากการปรับปรุงให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนของการทำงาน

โดยเน้นให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนของการทำงานและมีความรับผิดชอบต่อน้ำที่ที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การสร้างจิตสำนึกและความรับผิดชอบของพนักงานและหัวหน้าที่เกี่ยวข้องให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับบริษัทเมื่อพนักงานที่เกี่ยวข้องไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน จากการติดตามผลของการปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานของพนักงานทุกส่วนที่เกี่ยวข้องนั้นส่งผลให้เกิดจำนวนข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังลดลง ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุงดังในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องทั้งหมดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง โดยวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้า (ผลิตภัณฑ์บกพร่องภายใน)

การปรับปรุง	เดือน	ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	ผลิตภัณฑ์บกพร่อง	รวม	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
ก่อนปรับปรุง	มิ.ย.-พ.ย. 53	181,314	64,555	181,314	35.60
หลังการปรับปรุง	ส.ค.-ก.ย. 54	85,853	13,135	85,853	15.30

การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงสามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนการปรับปรุงน้อยกว่าหรือเท่ากับหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	64555	181314	0.356040
2	13135	85853	0.152994

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.203046

95% CI for difference: (0.199781, 0.206310)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 121.91 P-Value = 0.000

รูปที่ 4.33 ประมวลผลสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนและหลังการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธการยอมรับ H_0 สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

หลังจากได้ทำการปรับปรุงกระบวนการตามปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) มากกว่าระดับปัจจัยอื่นๆ โดยทำการปรับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 4 kN ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์บกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้าลดลงในส่วน of ผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดได้จาก 0.0011 เหลือเพียง 0.0000 เปอร์เซ็นต์ หรือจากข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดจาก 2 ชิ้นก่อนการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงไม่พบข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง หรือข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังลดลงหลังจากการปรับปรุงกระบวนการเชื่อมเป็น 0 ชิ้น ดังในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 และยังสามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์บกพร่องทั้งหมดจากการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้าก่อนการปรับปรุงลดลงจาก 64,555 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องเท่ากับ 35.60 ลดลงเหลือ 13,135 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องเท่ากับ 15.30 หลังทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง

4.11 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย

ในขั้นตอนการวางแผนควบคุมระดับปัจจัยนั้นเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการดำเนินการลดผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งการวางแผนการควบคุมนั้นมีวัตถุประสงค์ให้กระบวนการสามารถรักษาผลของระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง เพื่อป้องกันการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง

ตารางที่ 4.8 แนวทางการแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง

กิจกรรม	วิธีการ	เป้าหมาย	ผู้รับผิดชอบ	เครื่องมือที่ใช้ควบคุม
1. จัดประชุมผู้ที่เกี่ยวข้อง	-	เพื่อชี้แจงสาเหตุของปัญหาและผลที่ได้จากการทดลอง	ผู้ทำการทดลอง	ผลการทดลอง
2. การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์	กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม	ต้องการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้เหมาะสมกับ	หัวหน้าแผนกวิศวกรรมและหัวหน้าแผนกควบคุม	เอกสารการควบคุมการทำงาน

ตารางที่ 4.8 แนวทางการแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทนี้้อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง (ต่อ)

กิจกรรม	วิธีการ	เป้าหมาย	ผู้รับผิดชอบ	เครื่องมือที่ใช้ควบคุม
		กระบวนการผลิต	คุณภาพ	
3.การจัดทำมาตรฐาน	แก้ไขมาตรฐานการทำงาน	เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของกระบวนการทำงาน	หัวหน้าแผนกผลิต 1 (ประกอบ) และหัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ	มาตรฐานขั้นตอนการทำงาน
4.กำหนดการทดสอบและการควบคุม	การตรวจสอบค่าพารามิเตอร์และทำการทดสอบก่อนการทำงานในแต่ละกะ	เพื่อเป็นการควบคุมและรักษาระดับปัจจัยต่างๆ ให้ได้ตามมาตรฐานและทำการทดสอบยืนยันผล	หัวหน้าแผนกผลิต 1 (ประกอบ) และหัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ	เอกสารการตรวจสอบค่าของปัจจัยต่างๆ ก่อนการทำงาน
5.ฝึกอบรมพนักงาน	อบรมให้พนักงานเข้าใจในวิธีการทำงานใหม่	เพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานได้อย่างถูกต้อง	หัวหน้าแผนกผลิต 1 (ประกอบ)	ประเมินพนักงานตามมาตรฐานการทำงาน
6.การติดตามผล	ทำการประเมินผลการแก้ไขปัญหา	ติดตามผลระยะยาวเพื่อยืนยันผลการดำเนินการแก้ไข	หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ	1.แผนภูมิการควบคุม 2.รายงานข้อเรียกร้องของลูกค้า 3.รายงานการตรวจสอบชิ้นงานก่อนส่งให้กับลูกค้า