บทที่ 5

ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองซึ่งมีการทดลองด้านความต้านแรงดึงและทดสอบหาปริมาณธาตุที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก ด้วยเหตุที่การทดลองนี้ต้องใช้เครื่องทดสอบต่าง ๆ จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จึงทดสอบเหล็กที่ไม่ได้เชื่อมต่อของทั้ง 2 บริษัทเพียงชั้นคุณภาพละ 3 ชิ้น รวม 3 ชั้นคุณภาพ เป็นตัวอย่างที่ไม่ได้เชื่อมรวม 18 ชิ้น และเหล็กที่ผ่านการเชื่อมทั้งสิ้น 192 ชิ้น ซึ่งมีผลการทดสอบโดยเฉลี่ยตามตารางที่ 13,14 และ 15 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบหาปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กด้วยวิธีการ Quantitative Stereology โดย Underwood, 1970 และวิธีการของ Rolfe, 1937 เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนจากการใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังตารางที่ 5 และ 6

5.1 ผลทดสอบความต้านแรงดึง

จากการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามรูปที่ 4 และส่งทดสอบความต้านแรงดึงที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลการทดสอบโดยละเอียดตามภาคผนวก ก. ซึ่งเป็นผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อยที่ต่อกันแบบต่าง ๆ ผลที่ได้สรุปเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลความต้านแรงดึงโดยเฉลี่ยของการต่อแบบต่าง ๆ
2. ผลของความเค้นที่จุดครากเฉลี่ยของการต่อแบบต่าง ๆ
3. ผลของเปอร์เซนต์การยืดตัวเฉลี่ยของการต่อแบบต่าง ๆ

ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 13,14 และ 15 ตามลำดับ และพอจะสรุป

ผลเปรียบเทียบกันระหว่างเหล็กที่เชื่อมและเหล็กเส้นปกติตามตารางที่ 16 ซึ่งความต้านแรงดึงของเหล็กที่ผ่านการเชื่อมใช้ค่าเฉลี่ยจากความต้านแรงดึงของแบบที่มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (แบบที่ 4) จากการเปรียบเทียบในตารางที่ 16 พบว่า เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพต่าง ๆ ที่ผ่านการเชื่อมแล้วจะมีค่าความต้านแรงดึงลดต่ำลงอันเนื่องมาจากผลกระทบหลายประการ ซึ่งจะสรุปผลต่าง ๆ ไว้ในบทที่ 6

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึง (กก.แรง/มม.^{2})

ชั้นคุณภาพ	SD 30		SD 40		SD 50	
การต่อแบบที่	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท B
1	46.51	50.15	53.40	51.15	49.73	53.28
2	49.09	47.74	51.95	56.42	51.09	50.88
3	51.41	51.59	53.30	53.29	45.75	49.46
4	52.44	54.53	55.91	57.72	55.73	54.42

ตารางที่ 14 ผลเฉลี่ยความเค้นที่จุดดราก (กก.แรง/มม.^{2})

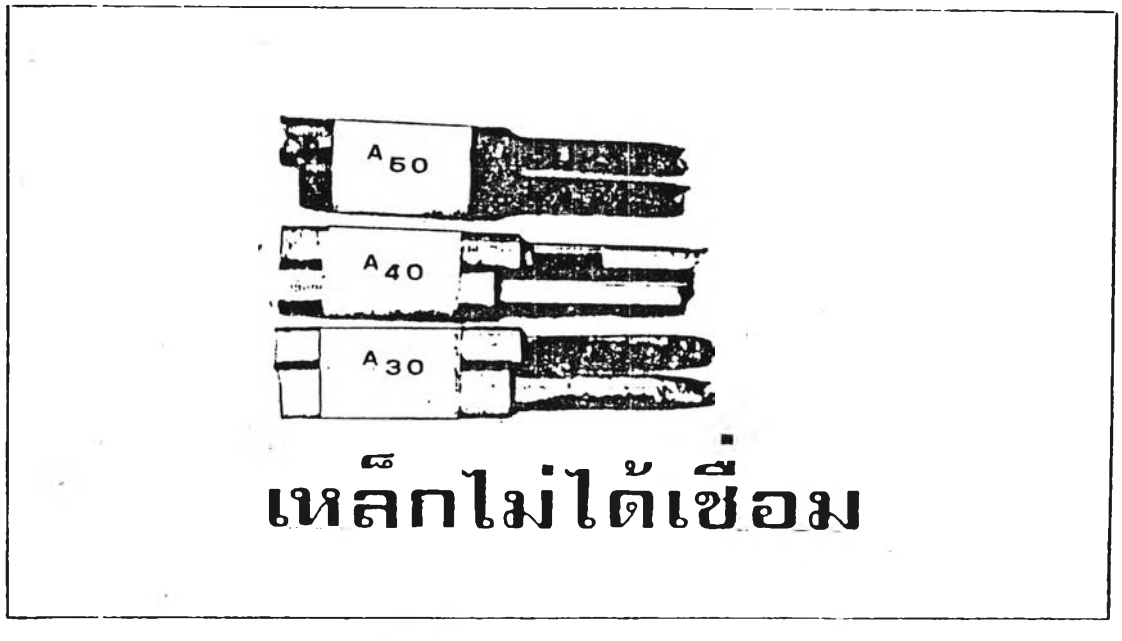
ชั้นคุณภาพ	SD 30		SD 40		SD 50	
การต่อแบบที่	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท A	บริษัท A	บริษัท B
1	30.46	40.41	44.23	39.64	36.57	43.22
2	40.95	43.37	44.31	48.00	13.27	38.42
3	40.73	40.08	44.08	47.91	33.00	36.74
4	40.98	40.37	40.01	47.73	49.13	45.61

ตารางที่ 15 เปอร์เซนต์การยืดตัวโดยเฉลี่ย (%)

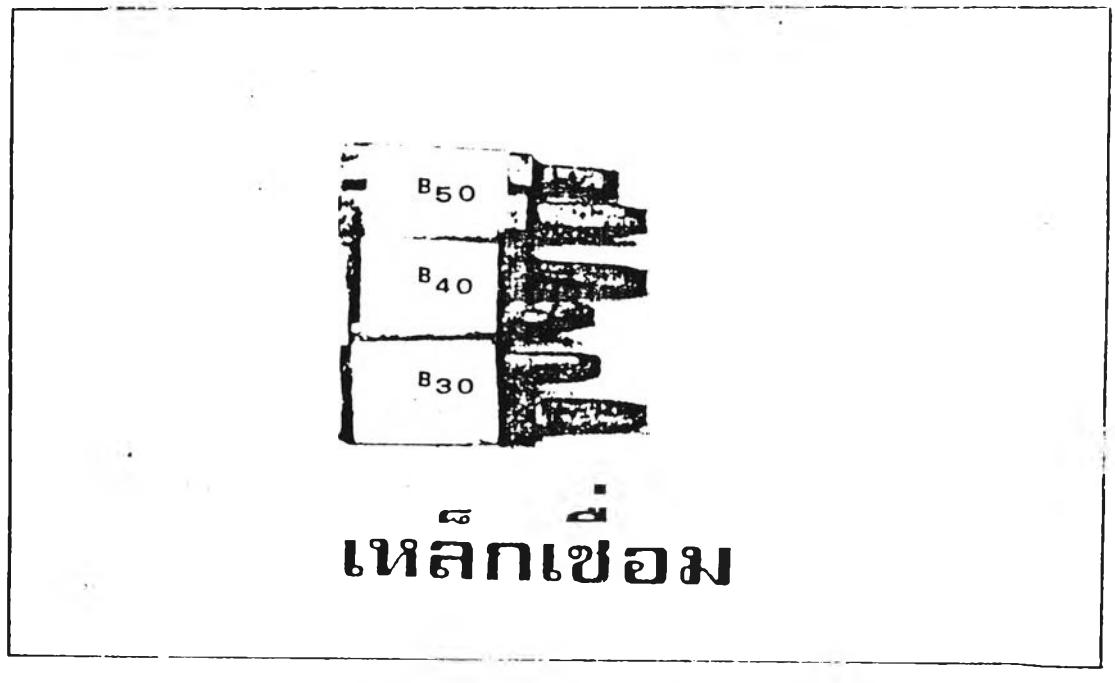
ชั้นคุณภาพ	SD 30		SD 40		SD 50	
การต่อแบบที่	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท B
1	9.56	10.71	8.72	8.63	12.74	9.43
2	8.52	8.94	6.55	7.80	4.07	6.32
3	13.95	14.14	10.86	12.92	15.54	16.47
4	9.52	11.19	6.64	8.67	6.50	7.40

ตารางที่ 16 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านแรงดึง

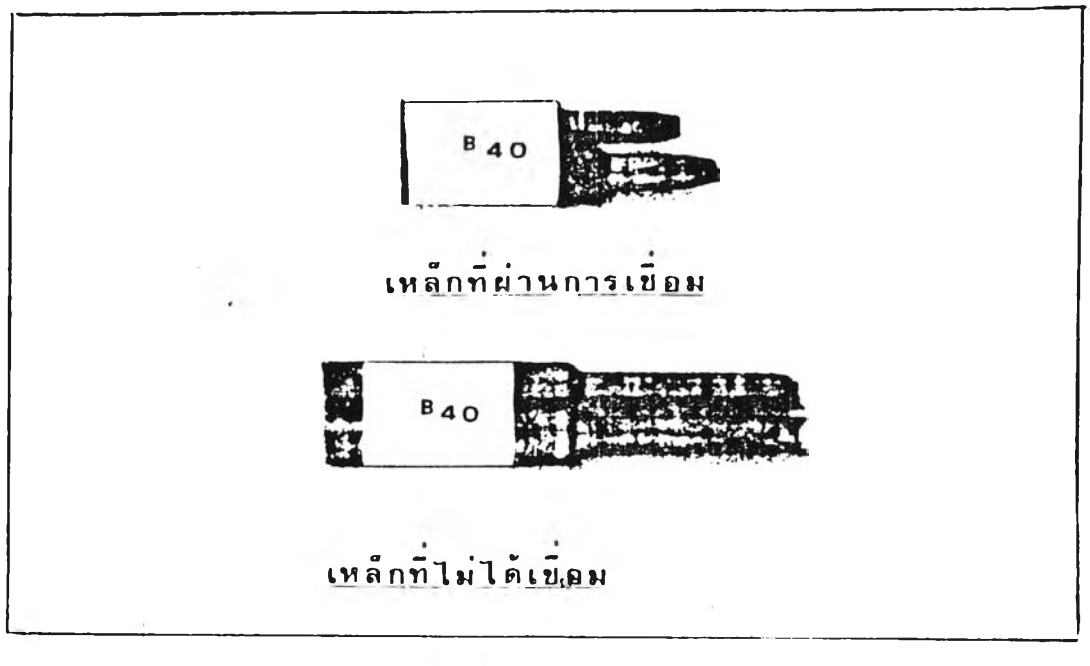
ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึงโดยเฉลี่ย (กิโลกรัมแรง/มม^2)			
	เหล็กเส้นปกติ		เหล็กที่ผ่านการเชื่อม	
	บริษัท A	บริษัท B	บริษัท A	บริษัท B
SD 30	61.92	58.79	52.44	54.53
SD 40	71.85	68.65	55.91	57.72
SD 50	80.11	78.66	55.73	54.42



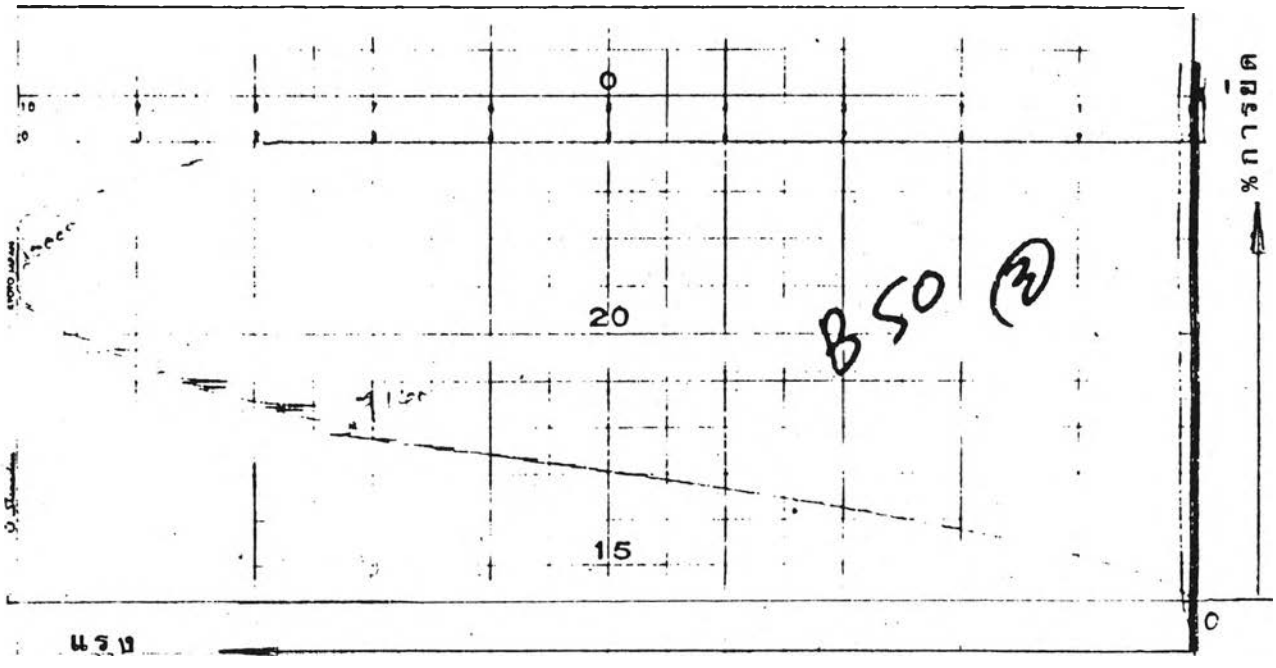
รูปที่ 27 ชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงเหล็กเส้นปกติ



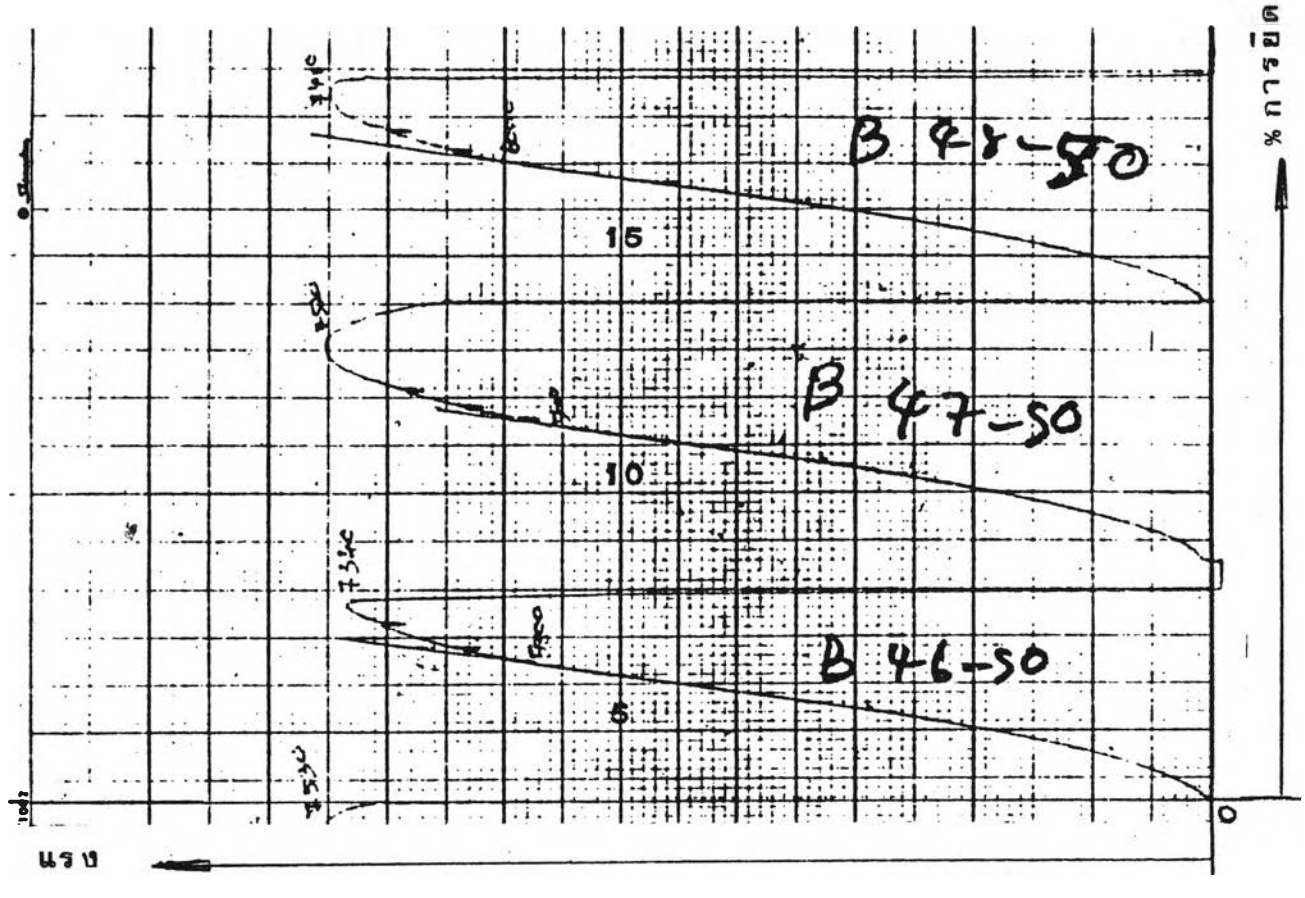
รูปที่ 28 ชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงที่ผ่านการเชื่อม



รูปที่ 29 เปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่ผ่านการเชื่อมและไม่เชื่อม



รูปที่ 30 กราฟแสดงผลการทดสอบเหล็กเส้นปกติ



รูปที่ 31 กราฟแสดงผลการทดสอบเหล็กที่ผ่านการเชื่อม

5.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลโดยเฉลี่ยตามตารางที่ 13, 14 และ 15 สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของการต่อแต่ละแบบ ในแต่ละชั้นคุณภาพได้อย่างชัดเจนถึงความแตกต่างในคุณสมบัติเชิงกลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากการใช้ผลของคุณสมบัติเชิงกลที่ทดสอบได้จากชิ้นตัวอย่างจำนวน 192 ชิ้น (ตามผลการทดสอบในภาค ผนวก ก.) การวิเคราะห์จะใช้ผลจากความต้านแรงดึง ผลความเค้นที่จุดคราก ผลเปอร์เซนต์การยืดตัว ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยละเอียดดังในภาคผนวก ค. สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปร ในระดับความเชื่อมั่น 95% ตามตารางที่ 17, 18 และ 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ค่า F Values ของตัวแปรต่าง ๆ

ตัวแปรอิสระ	ค่า F_o (F Values)ของตัวแปรตาม		
	ความต้านแรงดึง	ความเค้นที่จุดคราก	เปอร์เซนต์การยืดตัว
Main Effect	14.272	7.595	42.839
Type	15.995	4.877	76.537
Grade	16.587	11.461	11.244
Company	4.472	8.018	4.938

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่า F Values ระหว่างตัวแปร 2 ตัว

ระหว่างตัวแปร (2-way)	ค่า F_o(F Values)จากตัวแปรตามต่างๆ		
	ความต้านแรงดึง	ความเค้นที่จุดคราก	เปอร์เซนต์การยืดตัว
Type Grade	3.344 *	5.993 *	5.021 *
Type Company	.149	1.349	2.215
Grade Company	.070	2.395	.883

จากผลการวิเคราะห์ด้วยตัวแปร 3 ชุด พบว่าทุก ๆ ชุด ให้ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างแบบของการต่อ กับ ชั้นคุณภาพของเหล็ก (Type Grade) ดังตารางที่ 18 และตารางที่ 17 แสดงผลของ F_o ของตัวแปรตามทุกตัวมีค่าสูงกว่าค่า $F_{o.05},V_1,V_2$ ในทุก ๆ ชุดของการทดลอง ระหว่างตัวแปรอื่น ๆ คือ แบบของการต่อ และบริษัท (Type Company) ชั้นคุณภาพ และ บริษัท (Grade Company) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเพราะ F_o ต่ำกว่าค่า $F_{o.05}$ ในระหว่างตัวแปรที่มีความแตกต่างกันนี้ สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างกันได้ว่าใครดีกว่าหรือเลวกว่ากัน ใครดีที่สุด ใครเลวที่สุดด้วย Duncan's multiple range test

จากตารางที่ 17 พบว่าตัวแปรทุกตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวแปรทุกตัวมีค่า F_o สูงกว่า $F_{o.05},V_1,V_2$ ดังตารางที่ 19 แสดงผลจากการวิเคราะห์ด้วยความต้านแรงดึง

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบ F_o กับ $F_{0.05},V_1,V_2$

ตัวแปร	ค่า F_o	ค่า $V_{0.05},V_1,V_2$
Main Effect	14.272	2.10 (V_1 =6, V_2 =168)
Type	15.995	2.60 (V_1 =3, V_2 =168)
Grade	16.587	3.00 (V_1 =2, V_2 =168)
Company	4.472	3.84 (V_1 =1, V_2 =168)

จากตารางที่ 19 พบว่าตัวแปรตามทุกค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กันในลักษณะเป็นคู่ (2-way interaction) ในตารางที่ 18 พบว่านีความแตกต่างกันที่ แบบของการต่อ กับ ชั้นคุณภาพของเหล็ก (Type กับ Grade) ซึ่งมีค่า F_o = 3.344 ขณะที่ค่าของ $F_{0.05},V_1,V_2$ = 2.10 (V_1 =6, V_2 =168) โดยแต่ละแบบของการต่อของแต่ละบริษัทหรือระหว่างบริษัทไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพราะค่า F_o ต่ำกว่าค่า $F_{0.05},V_1,V_2$ และเหล็กแต่ละชั้นคุณภาพของแต่ละบริษัทก็ไม่แตกต่างกันดังผลการทดสอบข้างต้น พิจารณาผลจาก 3-way interaction พบว่าแต่ละแบบของการต่อของแต่ละชั้นคุณภาพของแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกันเนื่องจากค่า F_o =2.639 ขณะที่ค่า $F_{0.05},V_1,V_2$ = 2.10 ความแตกต่างกันเหล่านี้สามารถเขียนกราฟเปรียบเทียบให้เห็นได้อย่างชัดเจนดังในกราฟรูปที่ 32 และ 33 ด้วยการใช้แบบของการต่อที่ให้ค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงสูงที่สุดจากทั้งสองบริษัท คือ แบบที่ 4 สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของการต่อจากผลการทดสอบความต้านแรงดึงเฉลี่ยของทั้งสองบริษัทด้วย Duncan's multiple range test โดยการพิจารณาจากกราฟว่าเกรดใดมีความแตกต่างกัน (ตามผล interaction) ระหว่าง Type กับ Grade เช่นในกราฟของบริษัท A พบว่าในเกรด SD 50 มีความแตกต่างกันมากที่สด และเกรด SD 40 มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด และในกราฟของบริษัท B ทุก ๆ เกรดมีความแตกต่างไม่มากกว่ากันมากนัก จึงสุ่มเอาเกรด SD 50 ของบริษัท A และ SD 40 ของบริษัท B มาทดสอบด้วย

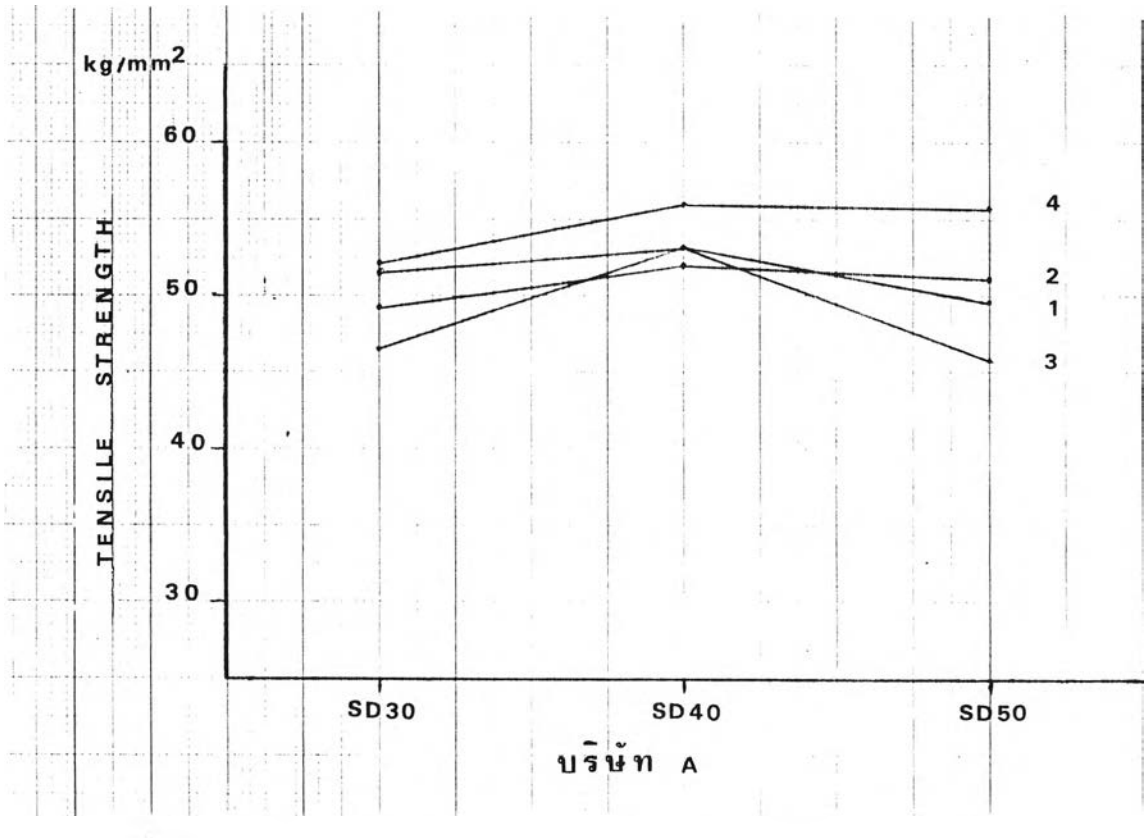
Duncan's multiple range test ได้ผลดังต่อไปนี้

<u>วิธีการทำ Duncan's multiple range test</u>

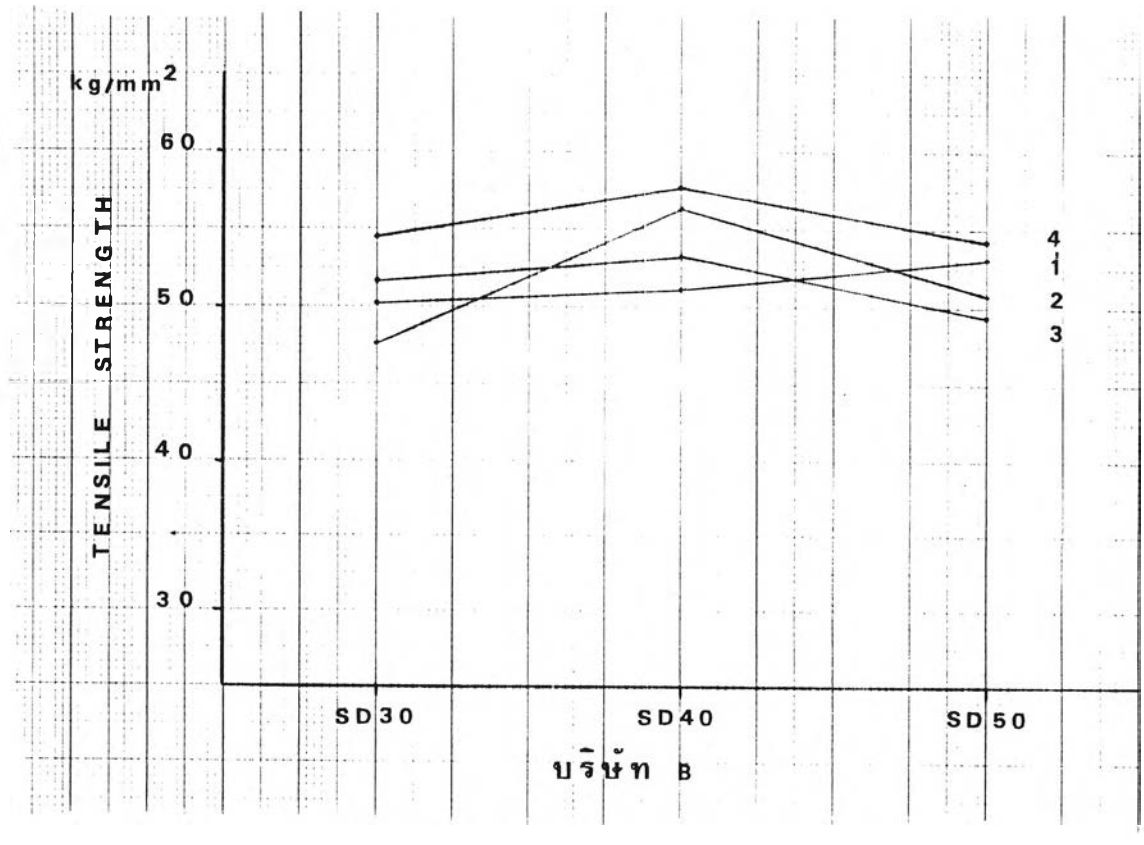
1. จัดเรียงผลหรือข้อมูลให้อยู่ในรูปเรียงจากน้อยไปหามาก
2. หาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(Standard error)จาก

สูตร $S_{\bar{Y}_{1\times}} = \sqrt{MS_E/n}$

3. หาค่าขอบเขตความมีนัยสำคัญต่ำสุด (The least significanct ranges) จากตาราง Duncan's multiple range test
4. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงระหว่างแบบต่อแบบกับค่าขอบเขตความมีนัยสำคัญต่ำสุดจากข้อ 3 เพื่อระบุแบบของการต่อที่ดีที่สุด



รูปที่ 32 กราฟระหว่างแบบของการต่อกับเกรดของเหล็ก (บริษัท A)



รูปที่ 33 กราฟระหว่างแบบของการต่อกับเกรดของเหล็ก (บริษัท B)

ทดสอบผลของ SD 50 จากบริษัท A และ SD 40 จากบริษัท B ตามลำดับด้วย Duncan's multiple range test

1. เรียงลำดับของผลความต้านแรงดึงเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก

ของบริษัท A	ของบริษัท B
ต่อแบบที่ 3 ความต้านแรงดึงเฉลี่ย = 45.75	แบบที่ 1 = 51.15
ต่อแบบที่ 1 ความต้านแรงดึงเฉลี่ย = 49.73	แบบที่ 3 = 53.29
ต่อแบบที่ 2 ความต้านแรงดึงเฉลี่ย = 51.09	แบบที่ 2 = 56.42
ต่อแบบที่ 4 ความต้านแรงดึงเฉลี่ย = 55.73	แบบที่ 4 = 57.72

2. หาค่า Standard error (Residual) ของการทดลองนี้

$$S_{\bar{Y}13} = \sqrt{MS_E/n} = \sqrt{14.140/8} = 1.329 \simeq 1.33$$

3. หาค่าขอบเขตความมีนัยสำคัญต่ำสุด (The least significant range)จากตาราง

$R_2 = r_{0.05}(2,168) = (2.77)(1.33) = 3.68$

$R_3 = r_{0.05}(3,168) = (2.92)(1.33) = 3.88$

$R_4 = r_{0.05}(4,168) = (3.02)(1.33) = 4.02$

4. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงในแต่ละแบบกับค่านัยสำคัญต่ำสุดในข้อ 3

<u>เปรียบเทียบการต่อแบบต่าง ๆ จาก SD 50 ของบริษัท A</u>

แบบที่ 4 กับแบบที่ 3 = 55.75 - 45.75 = 10.00 > 4.02 (R_4)

แบบที่ 4 กับแบบที่ 1 = 55.75 - 49.73 = 6.02 > 3.88 (R_3)

แบบที่ 4 กับแบบที่ 2 = 55.75 - 51.09 = 4.66 > 3.68 (R_2)

แบบที่ 2 กับแบบที่ 3 = 51.09 - 45.75 = 5.34 > 3.88 (R_3)

แบบที่ 2 กับแบบที่ 1 = 51.09 - 49.73 = 1.36 < 3.68 (R_2)

แบบที่ 1 กับแบบที่ 3 = 49.75 - 45.75 = 3.98 > 3.68 (R_2)

แบบที่ 4	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 3
55.73	<u>51.09</u>	<u>49.73</u>	45.75

เปรียบเทียบการต่อแบบต่าง ๆ จาก SD 40 ของบริษัท B

แบบที่ 4 กับแบบที่ 1 = 57.72 - 51.15 = 6.57 > 4.02 (R_4)

แบบที่ 4 กับแบบที่ 3 = 57.72 - 53.29 = 4.43 > 3.88 (R_3)

แบบที่ 4 กับแบบที่ 2 = 57.72 - 56.42 = 1.30 < 3.68 (R_2)

แบบที่ 2 กับแบบที่ 1 = 56.42 - 51.15 = 5.27 > 3.88 (R_3)

แบบที่ 2 กับแบบที่ 3 = 56.42 - 53.29 = 3.13 < 3.68 (R_2)

แบบที่ 3 กับแบบที่ 1 = 53.29 - 51.15 = 2.14 < 3.68 (R_2)

แบบที่ 4	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 1
57.72	56.42	53.29	51.15

ผลการเปรียบด้วย Duncan ของบริษัท A พบว่าแบบที่ 2 กับแบบที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนแบบอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตามกราฟเส้นที่ขีดเส้นไว้) ส่วนผลการเปรียบเทียบของบริษัท B พบว่าการต่อแบบที่ 4 ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด และมีผลของหลายคู่ที่เปรียบเทียบกันแล้วพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน คือมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ได้แก่ แบบที่ 4 กับแบบที่ 2 แบบที่ 2 กับแบบที่ 3 และแบบที่ 3 กับแบบที่ 1 ส่วนแบบที่ 4 ซึ่งให้ค่าความต้านสูงที่สุดแล้วยังมีปริมาตรของรอยต่อน้อยกว่าอันมีผลต่อความประหยัดในการเชื่อมต่อชิ้นงานตามผลสรุปในบทที่ 6