

## บทที่ 4

มาตรฐาน ข้อมูลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลของวัสดุ ชั้นทดสอบ และเครื่องทดสอบ

### ส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

#### มาตรฐานส่วนประกอบทางเคมี และองค์ประกอบเชิงกล

ในวิเคราะห์หาระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบการหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากจากความล้านี้ใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์จากการทดสอบ 2 แหล่งคือ

1. ข้อมูลการหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากจากความล้าของวัสดุ SA335 P22 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำ Main Steam Piping ของโรงไฟฟ้าขนอม 1 โดยจากมาตรฐาน ASTM A 335/ A 335M (Specification for Seamless Ferritic Alloy Steel Pipe for High-temperature Service) ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของ Wall Seamless Alloy-Steel Pipe ที่ใช้งานบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงๆ โดยมาตรฐานดังกล่าวได้กำหนดมาตรฐานขององค์ประกอบทางเคมี และมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SA335 P 11 และ SA 335 P 22 ไว้ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

2. ข้อมูลการหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากจากความล้าของวัสดุเหล็กเปล้าขาว (cold-finished steel bars) โดยมีมาตรฐาน AISI 4140 ตามมาตรฐานอเมริกาได้กำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ไว้ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

Grade	เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบเชิงเคมี (Chemical Composition, %)					
	Carbon (C)	Manganese (Mn)	Sulfur, max (S)	Silicon (Si)	Chromium (Cr)	Molybdenum (Mo)
P11	0.05-0.15	0.30-0.60	0.025	0.50-1.00	1.00-1.50	0.44-0.65
P22	0.05-0.15	0.30-0.60	0.025	0.50 max	1.90-2.60	0.87-1.13

ที่มา : มาตรฐาน ASTM A335 / A335M - 92b

ตารางที่ 4.1 แสดงมาตรฐานของส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ SA335 P11 และ SA335 P22

Identification Symbol	P11	P22
Tensile Strength (min), Mpa	415	415
Yield Strength (min), Mpa	205	205

ที่มา : มาตรฐาน ASTM A335 / A335M - 92b

ตารางที่ 4.2 แสดงมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SA335 P11 และ SA335 P22

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบเชิงเคมี (Chemical Composition, %)				
Carbon ( C )	Manganese ( Mn )	Silicon ( Si )	Chromium ( Cr )	Molybdenum ( Mo )
0.38-0.43	0.75-1.00	0.20-0.35	0.80-1.10	0.15-0.25

ที่มา : มาตรฐาน AISI 4140

ตารางที่ 4.3 แสดงมาตรฐานของส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

Identification Symbol	
Tensile Strength (min), N/mm <sup>2</sup>	685
Yield Strength (min), N/mm <sup>2</sup>	880-1,030

ที่มา : มาตรฐาน AISI 4140

ตารางที่ 4.4 แสดงมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

#### ผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี และองค์ประกอบเชิงกล

1. ในส่วนของผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) ของวัสดุ SA335 P22 โดยนำตัวอย่างของวัสดุดังกล่าวมาทำการทดสอบค่าต่าง ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ย (Average), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D. ), สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (Coefficient of Variation, C.V.) แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบกับค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน แล้วจะเห็นว่าส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่ทดสอบได้นั้นอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

การทดสอบหาคคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ทดสอบได้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้เช่นกัน

Composition Replication	Carbon (C)	Manganese (Mn)	Sulfur, max (S)	Silicon (Si)	Chromium (Cr)	Molybdenum (Mo)
1	0.089	0.519	0.007	0.225	1.870	0.758
2	0.079	0.520	0.006	0.227	2.013	0.808
3	0.094	0.552	0.007	0.238	1.965	0.717
Average	0.087	0.530	0.007	0.230	1.949	0.761
S.D.	0.006	0.015	0.000	0.006	0.059	0.037
C.V. (%)	0.071	0.029	0.071	0.025	0.030	0.049

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทดสอบวันที่ 29 ธันวาคม 2537

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ SA335 P22

No.	Yield Stress (Mpa)	Tensile Strength (MPa)
1	367	519
2	372	517
3	365	496
4	391	527
5	418	511
Average	382.60	514.00
S.D.	19.9459	10.3537

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทดสอบวันที่ 3 ตุลาคม 2538

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SA335 P22

2 ในส่วนของผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเหล็กเพลลาขาว ได้ผลการทดสอบ แสดงตารางที่ 4.7 ซึ่งเมื่อนำค่าที่ทดสอบมาเทียบกับองค์ประกอบต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ใน มาตรฐานจะได้ว่าระดับเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ใน มาตรฐาน

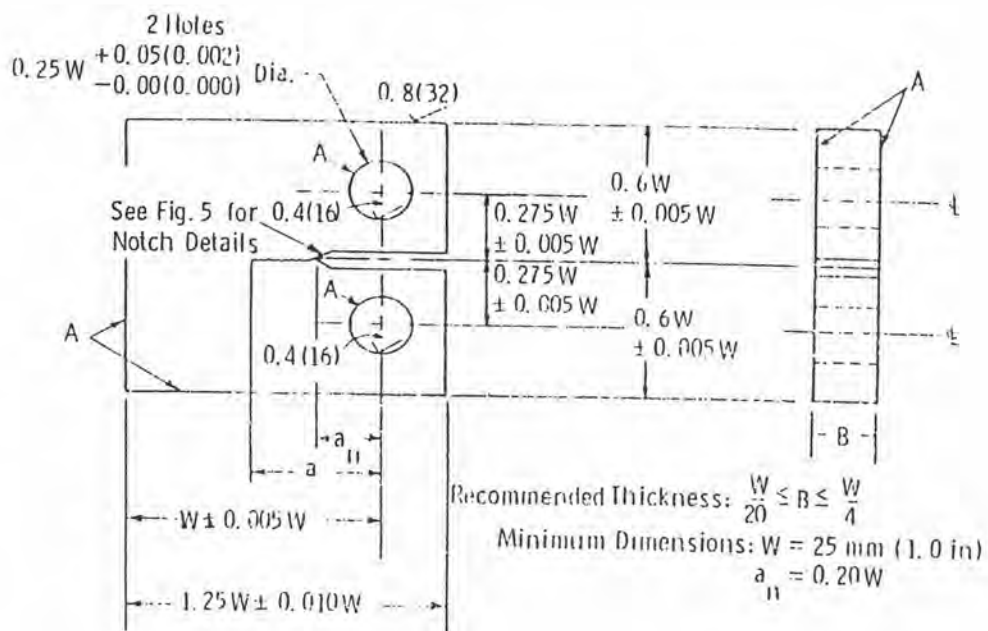
No.	Yield Strength (Mpa)	Hardness (HRC)
1	1040	28.3
2	1200	30.0
3	1390	33.2
Average	1210	30.5
S.D.	175.2142	2.4880

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

## ชั้นทดสอบ

### มาตรฐานชั้นทดสอบ

ในการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวจากความล้าได้กระทำโดยยึดตามมาตรฐาน ASTM E 647 (Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates) ซึ่งจากมาตรฐานได้กำหนดลักษณะของชั้นทดสอบไว้ 2 แบบคือ ชั้นทดสอบแบบ Centre-Cracked-Tension, M(T) และชั้นทดสอบแบบ Compact-Type, C(T) ซึ่งในการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ชั้นทดสอบแบบ C(T) โดยมีรูปร่าง และมิติของชั้นทดสอบที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงมาตรฐานของมิติของชั้นทดสอบ Compact-Type C(T) ในการทดสอบ อัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

จากรูป 4.1 หากสรุปค่าความคลาดเคลื่อนลักษณะเบี่ยงเบน (tolerance) ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน แสดงแยกตามแต่ละตัวแปร ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตัวแปร	ความหมาย	ความคลาดเคลื่อนลักษณะเบี่ยงเบน
a	ความยาวรอยร้าว (Crack Length)	-
a <sub>n</sub>	ความยาว Notch (Notch Length)	-
W	ความกว้าง (Width)	$W \pm 0.005W$
W1	ความยาว (Length)	$1.25W \pm 0.01W$
W2	notch-to-diameter	$0.275W \pm 0.005W$
W3	notch-to-outside width	$0.6W \pm 0.005W$
B	ความหนา (Thickness)	$W/2 \pm 0.005W$

ที่มา : มาตรฐาน ASTM E 647 - 91

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปค่าความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนของมิติต่างๆ ของชิ้นทดสอบแบบ C(T)

ในการทดสอบหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าเลือกทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นทดสอบที่ความกว้าง 2 ขนาดคือความกว้าง 51 มิลลิเมตร และ 25.50 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อค่าความกว้างของชิ้นทดสอบมาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามตารางข้างต้น จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนของมิติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตัวแปร	ความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบน (Tolerance)	
	51 มิลลิเมตร	25.50 มิลลิเมตร
W	50.745 , 51.255	25.37 , 25.63
W1	63.24 , 64.25	31.62 , 32.14
W2	13.77 , 14.28	6.88 , 7.14
W3	30.345 , 30.855	15.17 , 15.43
B	24.99 , 26.01	14.49 , 13.01

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนของชิ้นทดสอบที่ความกว้าง 51 และ 25.50 มิลลิเมตร

### ผลการวัดมิติของชิ้นทดสอบ

ก่อนการทดสอบการหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้านี้ได้นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้มาวัดค่าตัวมิติในด้านต่างๆ ของชิ้นทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 เพื่อเปรียบเทียบค่าของตัวแปรต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM E 647 ซึ่งสำหรับการทดสอบของวัสดุ SA335 P22 วัดมิติของชิ้นทดสอบ ได้ผลการวัดมิติของชิ้นทดสอบที่ความกว้าง 51 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.10 และได้ผลการวัดมิติของชิ้นทดสอบที่ความกว้าง 25.50 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.11 จากตารางทั้งสองจะได้ว่ามิติด้านต่างๆ ของชิ้นทดสอบที่วัดได้อยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

### เครื่องทดสอบ Dynamic Servo Fatigue Tester

#### ข้อมูลทั่วไปของเครื่องทดสอบ

ในการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าว เนื่องจากความล้านี้ กระจ่างบนเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester ของบริษัท Saginomiya รุ่น 2405 ขนาด 30 ตัน โดยควบคุมการทำงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือจากหน้าจอควบคุม (Monitor) เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ เช่นความถี่ (Frequency) ระดับภาระ (Load) ระยะเคลื่อนตัวของลูกสูบ (Displacement) ฯลฯ โดยเครื่องทดสอบติดตั้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

#### วิธีการทดสอบภาระของเครื่องทดสอบ

ตามเอกสารคู่มือในการตรวจสอบและบำรุงรักษาของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester ซึ่งได้แนะนำอุปกรณ์และวิธีการทดสอบความถูกต้องของภาระที่กระทำ ไว้คือ การทดสอบความถูกต้องของภาระ (Load Accuracy) ตรวจสอบโดยใช้มาตรวัดภาระมาตรฐาน (Reference Load Gauge) บนสภาวะที่คงที่ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้คือ

1. เดินเครื่องไฮดรอลิก (Hydraulic Unit) และตั้งความดันน้ำมันที่  $20 \text{ kgf/cm}^2$
2. ตั้งสวิตช์ที่สัมพันธ์กับหน้าจอที่ควบคุม และหน้าจอแสดงผล
3. กดปุ่มคำสั่ง "POSI"
4. ในสถานะโฮมคของการตั้งตำแหน่ง ให้กำหนดระยะห่างให้เป็นศูนย์โดยใช้ปุ่มลูกศรชี้ขึ้น หรือปุ่มลูกศรชี้ลง หรือ "FAST"

5. กดปุ่มคำสั่ง “ZERO”
6. ในการตั้งโหมดศูนย์ (Zero Set Mode) เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่ “>” ไปที่ 2ch โดยการใช้ปุ่ม “BACK” และ “NEXT”
7. ปรับหน้าจอให้แสดงผล ch Change-over switch ไปที่ 2ch และปรับจุดศูนย์ของตัวจับค่าภาระ (Load Detector) โดยการใช้ปุ่มลูกศรชี้ขึ้น หรือปุ่มลูกศรชี้ลง หรือ “FAST” ในสภาพปราศจากภาระ (load free)
8. ติดตั้งเครื่องวัดภาระมาตรฐาน (ซึ่งในการทดสอบใช้ Proving Ring) ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5
9. ตั้งความดันน้ำมันของเครื่องไฮโดรลิกในความดันที่สัมพันธ์ (related pressure)
10. กดปุ่มคำสั่ง “POSI”
11. เคลื่อนลูกสูบ (Piston) ที่ให้ภาระโดยการใช้ปุ่มลูกศรชี้ขึ้น หรือปุ่มลูกศรชี้ลง หรือ “FAST” และบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring
12. คำนวณค่าภาระที่เกิดขึ้นกับตารางเทียบวัด (ภาคผนวก)

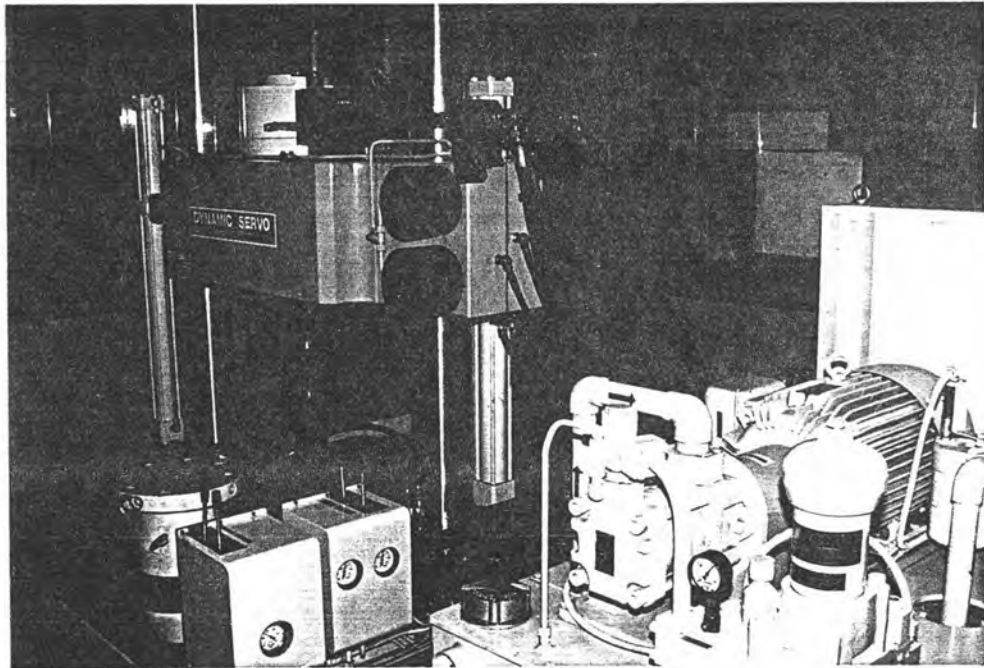


ชั้นที่	หมายเลข ชั้นทดสอบ	ความกว้าง (W) (50.745;51.255)	ความยาว (W1) (63.24;64.25)	notch-to-diameter (W2) (13.77;14.28)	notch-to-outside width (W3) (30.345;30.8550)	ความหนา (B) (24.99;26.01)
1	5	50.86	63.60	14.04	30.54	25.32
2	6	50.89	63.74	14.01	30.54	25.32
3	7	51.07	63.74	14.01	30.54	25.32
4	8	50.74	63.54	14.01	30.52	25.28
5	9	50.72	63.64	13.95	30.52	15.22
6	10	50.66	63.54	14.02	30.51	19.80
7	11	50.68	63.54	14.03	30.54	30.41
8	12	50.66	63.5	13.97	30.53	22.80
9	13	50.76	63.54	14.03	30.51	25.08

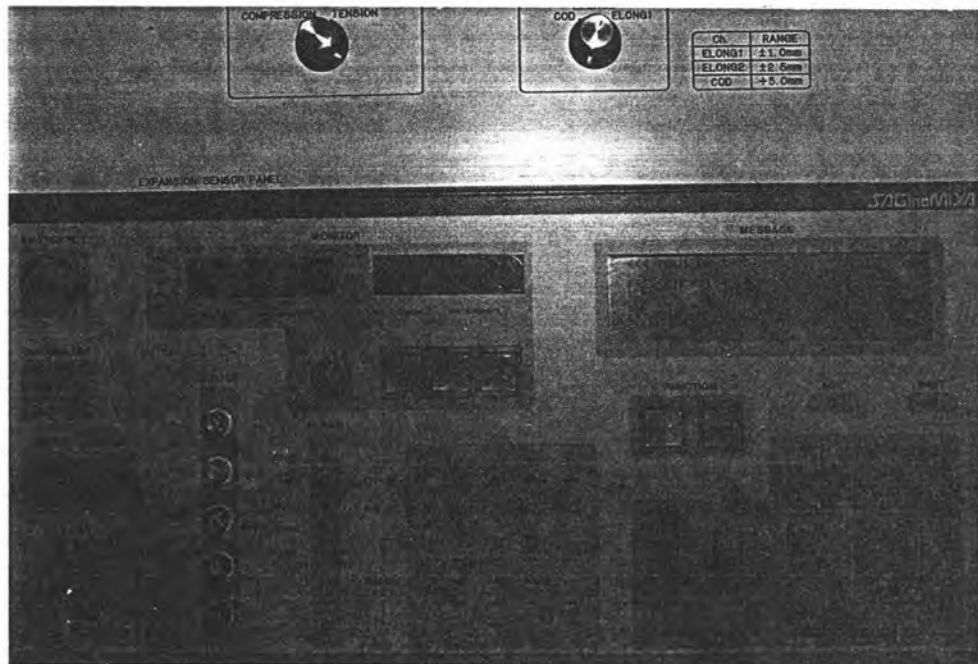
ตารางที่ 4.10 แสดงค่ามิติของชั้นทดสอบที่ความกว้าง 51 มิลลิเมตร

ชั้นที่	หมายเลข ชั้นทดสอบ	ความกว้าง (W) (25.37,25.63)	ความยาว (W1) (31.62,32.14)	notch-to-diameter (W2) (6.88,7.14)	notch-to-outside width (W3) (15.07,15.43)	ความหนา (B) (14.49,13.01)
1	15	25.60	31.82	6.99	15.22	12.76
2	16	25.65	31.82	7.01	15.24	12.76
3	17	25.60	31.86	6.95	15.24	12.52
4	18	25.60	31.82	6.97	15.23	12.76
5	19	25.62	31.82	7.00	15.24	12.76
6	20	25.62	31.82	7.01	15.25	12.76
7	21	25.62	31.82	6.97	15.23	12.76
8	22	25.58	31.78	7.02	15.26	12.77
9	23	25.57	31.82	7.04	15.25	12.77
10	24	25.62	31.82	7.02	15.25	12.77
11	25	25.56	31.82	6.97	15.23	12.76

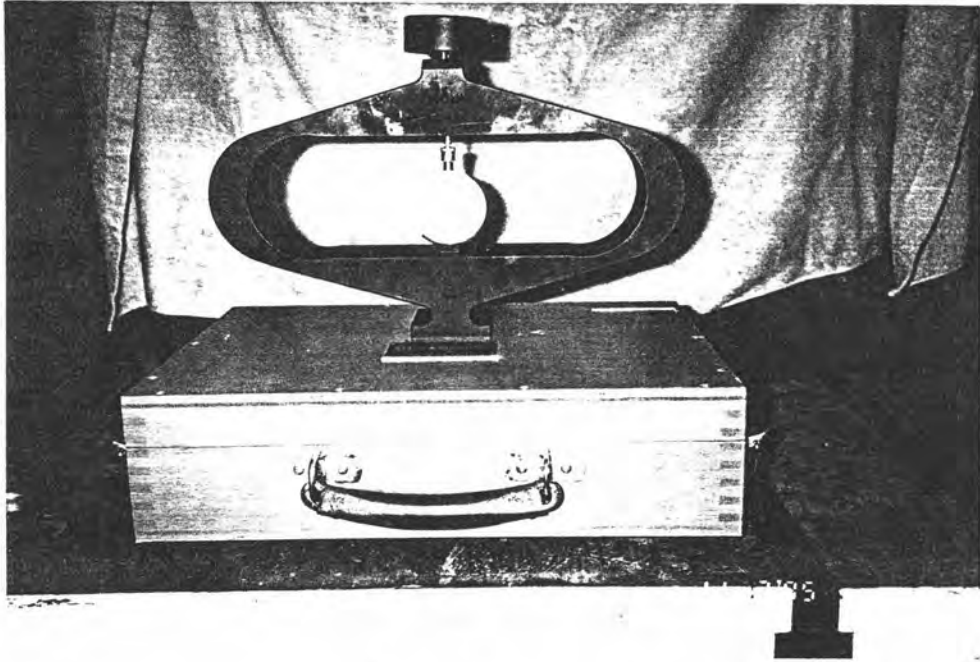
ตารางที่ 4.11 แสดงค่ามิติของชั้นทดสอบที่ความกว้าง 25.50 มิลลิเมตร



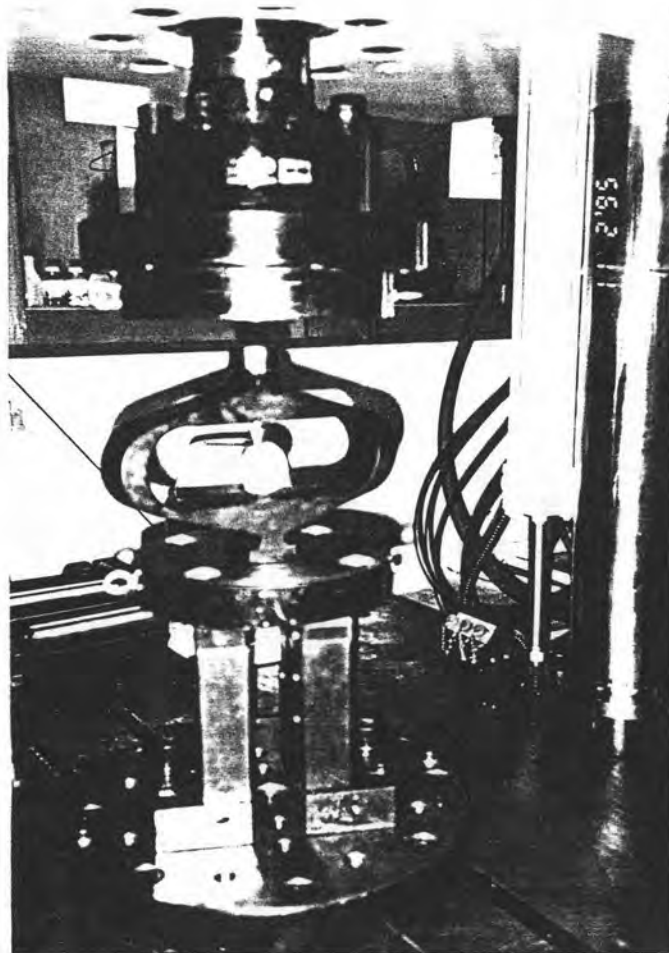
รูปที่ 4.2 แสดงเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester



รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอกควบคุมของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester



รูปที่ 4.4 แสดง Proving Ring



รูปที่ 4.5 แสดง Proving Ring ที่ติดตั้งกับเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester

### ผลการทดสอบภาระของเครื่องทดสอบ

ในการทดสอบความถูกต้องของภาระที่เกิดขึ้นของเครื่องทดสอบ Dynamic Servo Fatigue Tester นี้ทำการทดสอบที่ระดับภาระ 0.64, 0.675, 0.72, 0.765, 0.81, 1.32, 1.65, 1.752, 2.12, 2.41, 2.50 และ 3.10 ตัน เนื่องจากเป็นระดับภาระในช่วงของภาระที่จะใช้ในการทดสอบหาอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้า โดยสรุประดับภาระที่ใช้ในการทดสอบของวัสดุ SA 335 P22 แสดงดังตารางที่ 4.12 และสรุประดับภาระที่ใช้ในการทดสอบของวัสดุเหล็กเพลทขาว แสดงดังตารางที่ 4.13 ซึ่งในการทดสอบความถูกต้องของระดับภาระนี้ใช้อุปกรณ์มาตรฐาน Proving Ring ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

ผลการวัดระยะเคลื่อนตัวของ Proving Ring แสดงดังตารางที่ 4.14 ซึ่งจากผลของระยะเคลื่อนตัวของลูกสูบที่ทดสอบได้ นำมาเทียบกับตารางเทียบวัด (ภาคผนวก) เพื่อหาค่าภาระที่เกิดขึ้น ได้ค่าระดับภาระที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.15



Ratio	ระดับภาระ (ตัน)		ความหนา (มิลลิเมตร)	หมายเลขชั้นทดสอบ
	เฉลี่ย	Amplitude		
0.40	1.752	0.752	23.0	12
0.50	1.65	0.55	20.0	10
				11
	0.675	0.225	12.5	24
				25
0.60	2.12	0.53	25.5	5
				6
	0.64	0.16	12.5	15
				16
				17
0.66	2.5	0.5	25.5	13
0.70	2.41	0.42	25.5	8
	1.32	0.231	15.0	9
	0.765	0.135	12.5	18
				19
				20
0.80	3.10	0.34	25.5	7
	0.81	0.09	12.5	21
				22
				23

ตารางที่ 4.12 แสดงระดับภาระที่ใช้ในการทดสอบหาอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่อง  
จากความล้าของวัสดุ SA335 P22 แยกตามค่า Ratio (min load / max load),  
ระดับภาระ และความหนา

Ratio	ระดับภาระ (ตัน)		ความหนา (มิลลิเมตร)	หมายเลขชั้นทดสอบ
	เฉลี่ย	Ampitude		
0.3	1.04	0.56	25.40	26
				27
0.5	1.2	0.4	25.40	29
				30
	2	0.67	25.40	35
				36
	2.5	0.833	25.40	37
				38
39				
	3.0	1.00	25.40	40
				41
0.6	2.0	0.5	25.50	42
				43
				44
0.7	1.36	0.24	25.40	45
				46

ตารางที่ 4.13 แสดงระดับภาระที่ใช้ในการทดสอบหาอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุเหล็กเปล้าขาว แยกตามค่า Ratio (min load / max load), ระดับภาระ และความหนา

ครั้งที่ทดสอบ	ระดับภาระที่ทดสอบ (ตัน)											
	0.64	0.675	0.72	0.765	0.81	1.32	1.65	1.752	2.12	2.41	2.50	3.10
1	0.114	0.122	0.130	0.134	0.144	0.236	0.300	0.316	0.380	0.434	0.450	0.560
2	0.116	0.120	0.128	0.134	0.146	0.238	0.300	0.316	0.384	0.436	0.450	0.560
3	0.114	0.120	0.130	0.132	0.142	0.236	0.298	0.316	0.384	0.438	0.452	0.560
4	0.114	0.120	0.128	0.138	0.144	0.238	0.296	0.316	0.382	0.436	0.450	0.558
5	0.116	0.122	0.130	0.138	0.146	0.240	0.298	0.318	0.384	0.436	0.452	0.562
6	0.116	0.122	0.128	0.138	0.146	0.240	0.300	0.320	0.384	0.436	0.452	0.562
7	0.114	0.120	0.128	0.136	0.148	0.238	0.294	0.316	0.382	0.432	0.450	0.558
8	0.116	0.122	0.128	0.138	0.144	0.236	0.296	0.318	0.382	0.434	0.448	0.560
9	0.116	0.122	0.130	0.138	0.146	0.240	0.298	0.318	0.386	0.436	0.450	0.562
10	0.114	0.122	0.130	0.138	0.142	0.236	0.298	0.316	0.384	0.434	0.452	0.560
11	0.116	0.120	0.130	0.136	0.142	0.238	0.296	0.316	0.384	0.432	0.452	0.556
12	0.118	0.122	0.128	0.138	0.146	0.240	0.298	0.318	0.386	0.436	0.454	0.562
13	0.116	0.122	0.130	0.138	0.148	0.238	0.300	0.318	0.384	0.436	0.454	0.562
14	0.114	0.122	0.130	0.138	0.146	0.238	0.296	0.316	0.382	0.434	0.452	0.560
15	0.112	0.126	0.128	0.134	0.144	0.236	0.296	0.316	0.382	0.434	0.450	0.560

ตารางที่ 4.14 แสดงระยะเคลื่อนตัวของ Proving Ring ที่ระดับภาระต่าง ๆ ของการทดสอบ (มิลลิเมตร)



ครั้งที่ ทดสอบ	ระดับภาระที่ทดสอบ (ตัน)												F(x) = i(N-1)
	0.64	0.675	0.72	0.765	0.81	1.32	1.65	1.752	2.12	2.41	2.50	3.10	
1	0.63	0.67	0.72	0.74	0.79	1.30	1.65	1.74	2.10	2.39	2.48	3.09	0.063
2	0.64	0.66	0.71	0.74	0.81	1.31	1.65	1.74	2.12	2.40	2.48	3.09	0.125
3	0.63	0.66	0.72	0.73	0.78	1.30	1.64	1.74	2.12	2.42	2.49	3.09	0.188
4	0.63	0.66	0.71	0.76	0.79	1.31	1.63	1.74	2.11	2.40	2.48	3.08	0.250
5	0.64	0.67	0.72	0.76	0.81	1.32	1.64	1.75	2.12	2.40	2.49	3.10	0.313
6	0.64	0.67	0.71	0.76	0.81	1.32	1.65	1.76	2.12	2.40	2.49	3.10	0.375
7	0.63	0.66	0.71	0.75	0.82	1.31	1.62	1.74	2.11	2.38	2.48	3.08	0.438
8	0.64	0.67	0.71	0.76	0.79	1.30	1.63	1.75	2.11	2.39	2.47	3.09	0.500
9	0.64	0.67	0.72	0.76	0.81	1.32	1.64	1.75	2.13	2.40	2.48	3.10	0.563
10	0.63	0.67	0.72	0.76	0.78	1.30	1.64	1.74	2.12	2.39	2.49	3.09	0.625
11	0.64	0.66	0.72	0.75	0.78	1.31	1.63	1.74	2.12	2.38	2.49	3.07	0.688
12	0.65	0.67	0.71	0.76	0.81	1.32	1.64	1.75	2.13	2.40	2.50	3.10	0.750
13	0.64	0.67	0.72	0.76	0.82	1.31	1.65	1.75	2.12	2.40	2.50	3.10	0.813
14	0.63	0.67	0.72	0.76	0.81	1.31	1.63	1.74	2.11	2.39	2.49	3.09	0.875
15	0.62	0.69	0.71	0.74	0.79	1.30	1.63	1.74	2.11	2.39	2.48	3.09	0.938

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าภาระที่เกิดขึ้นในการทดสอบของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester (ตัน)

และฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นสะสมของภาระที่ระดับต่าง ๆ

จากผลการทดสอบภาระต่างๆ ที่เกิดขึ้นของเครื่องทดสอบนี้ เมื่อนำค่าระดับภาระมาทดสอบหาการกระจายของความน่าจะเป็น โดยคำนวณจากการหาฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นสะสม  $F(x)$  แสดงดังในคอลัมภ์สุดท้ายของตารางที่ 4.15 ซึ่งเนื่องจากจำนวนข้อมูลของการทดสอบที่ได้นั้นมีจำนวนไม่มากนัก จึงเลือกใช้วิธีการทดสอบการกระจายความน่าจะเป็น โดยวิธีกราฟ โดยเลือกลักษณะการกระจายที่ทดสอบเป็นกระจายแบบล็อกนอร์มอล

จากการทดสอบการกระจายความน่าจะเป็น เมื่อนำข้อมูลของฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นสะสมมาพล็อตค่าในกระดาษกราฟแบบล็อก แสดงดังรูปที่ ก 1 ถึงรูปที่ ก 12 ในภาคผนวก ก ซึ่งผลที่ได้จากการพล็อตค่าในกราฟพบว่าข้อมูลที่ใส่ลงในกราฟให้ผลเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าระดับภาระของการทดสอบที่เกิดของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester นี้มีกระจายของความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล และเนื่องจากการทดสอบที่สรุปได้ว่าระดับภาระที่เกิดขึ้นมีการกระจายแบบล็อกนอร์มอล จึงนำค่าที่ทดสอบได้แปลงเป็นค่าล็อก เพื่อให้ผลการทดสอบมีการกระจายแบบนอร์มอล และนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการกระจายแบบนอร์มอล และของการกระจายแบบล็อกนอร์มอล ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.16 จากนั้นนำค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ การกระจายแบบล็อกนอร์มอลที่ได้มาหาค่าความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนที่ 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ผลดังตารางที่ 4.17



ระดับภาระ (tons)	Average (take ln)	S.D. (take ln)	ค่าทางสถิติของระดับภาระ (การกระจายแบบ Lognormal)		
			Average	S.D.	C.V. (%)
0.64	-0.4553	0.0129	0.6343	0.00007	0.0106
0.675	-0.3997	0.0126	0.6706	0.00007	0.0107
0.72	-0.3403	0.0080	0.7115	0.00003	0.0046
0.765	-0.2837	0.0152	0.7531	0.00013	0.0175
0.81	-0.2243	0.0136	0.7992	0.00012	0.0150
1.32	0.2712	0.0067	1.3115	0.00008	0.0059
1.65	0.4954	0.0063	1.6412	0.00011	0.0066
1.752	0.5583	0.0040	1.7478	0.00005	0.0028
2.12	0.7486	0.0042	2.1141	0.00008	0.0038
2.41	0.8749	0.0038	2.3986	0.00008	0.0035
2.50	0.9116	0.0036	2.4884	0.00008	0.0034
3.10	1.1279	0.0031	3.0892	0.00010	0.0031

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของระดับภาระของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester

ระดับ ภาระ	Average	S.D.	1S Interval			2S Interval			3S Interval		
			Min	Max	Tolerance	Min	Max	Tolerance	Min	Max	Tolerance
0.64	0.6343	0.00007	0.634	0.634	0.00013	0.634	0.634	0.00027	0.634	0.635	0.00040
0.675	0.6706	0.00007	0.671	0.671	0.00014	0.670	0.671	0.00029	0.670	0.671	0.00043
0.72	0.7115	0.00003	0.712	0.712	0.00006	0.711	0.712	0.00013	0.711	0.712	0.00019
0.765	0.7531	0.00013	0.753	0.753	0.00026	0.753	0.753	0.00053	0.753	0.753	0.00079
0.81	0.7992	0.00012	0.799	0.799	0.00024	0.799	0.799	0.00048	0.799	0.800	0.00072
1.32	1.3115	0.00008	1.311	1.312	0.00016	1.311	1.312	0.00031	1.311	1.312	0.00047
1.65	1.6412	0.00011	1.641	1.641	0.00022	1.641	1.641	0.00043	1.641	1.642	0.00065
1.752	1.7478	0.00005	1.748	1.748	0.00010	1.748	1.748	0.00020	1.748	1.748	0.00030
2.12	2.1141	0.00008	2.114	2.114	0.00016	2.114	2.114	0.00032	2.114	2.114	0.00049
2.41	2.3986	0.00008	2.399	2.399	0.00017	2.398	2.399	0.00034	2.398	2.399	0.00051
2.50	2.4884	0.00008	2.488	2.489	0.00017	2.488	2.489	0.00033	2.488	2.489	0.00050
3.10	3.0892	0.00010	3.089	3.089	0.00019	3.089	3.089	0.00038	3.089	3.089	0.00057

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนของระดับภาระต่างๆ ของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester

### การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับภาระที่เกิดของเครื่อง Dynamic Servo Fatigue Tester

จากเงื่อนไขของการทดสอบจากขนาดของชั้นทดสอบ, ภาระที่กำหนดในการทดสอบ, ความถี่ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังตารางแสดงผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว ดังแสดงในภาคผนวก ข และ ค โดยเมื่อนำค่า Stress Intensity Factor ( $\Delta K$ ) และอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้า ( $da/dN$ ) มาพล็อตค่าลงในกระดาษกราฟแบบล็อกนอร์มอล แสดงดังรูปที่ ข 1 ถึง ข 21 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 1 ถึง ค 17 ซึ่งจากผลของการพล็อตกราฟที่ได้แนวโน้มของเส้นกราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายทางสถิติของค่า  $da/dN$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $\Delta K$  มีการกระจายแบบล็อกนอร์มอล นอกจากนี้แล้วในงานวิจัยของ Artley, 1979; Vicker, 1979 และ Ford, 1983 ก็แสดงให้เห็นว่าการกระจายทางสถิติของค่า  $da/dN$  มีการกระจายแบบล็อกนอร์มอลเช่นกัน

ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระดับภาระที่ป้อนของเครื่องทดสอบนี้ จะใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้จะทดสอบแยกตามความหนาของชั้นทดสอบ ซึ่งจะทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ความหนา 2 ค่าคือ 25.50 มิลลิเมตร และ 12.50 มิลลิเมตร

จากการทดสอบหาการกระจายของความน่าจะเป็นของภาระของเครื่อง Dynamic Fatigue Tester ซึ่งพบที่มีการกระจายแบบล็อกนอร์มอล และจากการพล็อตกราฟของผลการทดสอบอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้า กับค่า Stress Intensity Factor ซึ่งผลของการพล็อตค่าได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้ามีการกระจายความน่าจะเป็นของข้อมูลเป็นแบบล็อกนอร์มอล และเนื่องจากในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นมีข้อตกลงเบื้องต้นถึงลักษณะการกระจายความน่าจะเป็นของประชากรที่มาทดสอบ ว่าจะต้องมีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอล ดังนั้นในการวิเคราะห์อิทธิพลของระดับภาระนี้จึงต้องแปลงข้อมูลให้มีการกระจายแบบนอร์มอลก่อน โดยใส่ค่าล็อกให้กับข้อมูลแต่ละค่า ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าของ  $da/dN$  มีการกระจายแบบนอร์มอล ตรงตามลักษณะการกระจายของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

### การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยภาระพิจารณาที่ความหนา 25.50 มิลลิเมตร

เลือกปัจจัยของภาระ 4 ระดับคือ 2.12 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 5), 2.41 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 8), 2.50 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 13) และ 3.10 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 7) โดยเลือกค่าอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวที่จำนวนรอบการทดสอบ 1,500,000 รอบ ข้อมูลดังตารางที่ 4.18

No.	Load Level (tons)				รวม
	2.12	2.41	2.50	3.10	
A side	8.57E-05	6.90E-05	1.15E-04	7.50E-06	
ln(da/dN)	-9.37	-9.58	-9.07	-11.80	-39.82
B side	1.00E-06	2.57E-05	1.98E-04	1.35E-05	
ln(da/dN)	-13.82	-10.57	-8.53	-11.21	-44.13
รวม	-23.18	-20.15	-17.60	-23.01	-83.94

ตารางที่ 4.18 แสดงอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวของชิ้นทดสอบที่ระดับภาระต่าง ๆ (ความหนา 25.50 มม.) ของด้าน A และด้าน B ที่ 1,500,000 รอบ

จากตารางที่ 4.18 เมื่อนำค่ามาคำนวณหาผลบวกกำลังสองทั้งหมด ( $SS_T$ ), ผลบวกกำลังสองเนื่องจากปัจจัย ( $SS_{Tr}$ ) และผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม ( $SS_E$ ) ได้การวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.19

แหล่งความแปรผัน	ดีกรีของอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	F
ระดับของภาระ	3	10.5512	3.5171	1.31
ความผิดพลาดแบบสุ่ม	4	10.7126	2.6782	
รวม	7	21.2638		

ตารางที่ 4.19 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับภาระของชิ้นทดสอบที่ความหนา 25.50 มม.

โดยใช้ระดับนัยสำคัญ 5 % จะได้ว่าจากตาราง  $F_{0.05,3,4} = 6.59$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F ที่คำนวณได้ จึงได้ว่าภาระที่เกิดของเครื่อง Dynamic Servo fatigue Tester ที่ระดับข้างต้นนั้นระดับภาระทั้ง 4 ระดับที่ทดสอบนี้ไม่ให้ความแตกต่างกันของค่าอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ทดสอบ

การวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยภาระพิจารณาที่ความหนา 12.50 มิลลิเมตร

เลือกปัจจัยของภาระ 2 ระดับคือ 0.72 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 16), และ 0.81 ตัน (ข้อมูลจากชั้นทดสอบหมายเลข 23) โดยเลือกค่าอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวที่จำนวนรอบการทดสอบ 4,400,000 รอบ ข้อมูลดังตารางที่ 4.20

No.	Load Level (tons)		รวม
	0.720	0.810	
A side	4.50E-07	1.50E-07	6.00E-07
ln(da/dN)	-14.61	-15.71	-14.33
B side	6.20E-06	5.00E-08	6.25E-06
ln(da/dN)	-11.99	-16.81	-11.98
รวม	-26.60	-35.52	-59.13

ตารางที่ 4.20 แสดงอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวของชั้นทดสอบที่ระดับภาระต่าง ๆ (ความหนา 12.50 มม.) ของด้าน A และด้าน B ที่ 4,400,000 รอบ

จากตารางที่ 4.20 เมื่อนำค่ามาคำนวณหาผลบวกกำลังสองทั้งหมด ( $SS_T$ ), ผลบวกกำลังสองเนื่องจากปัจจัย ( $SS_T$ ) และผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม ( $SS_E$ ) ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.21

แหล่งความแปรผัน	ดีกรีของอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	F
ระดับของภาระ	1	8.7583	8.7583	4.33
ความผิดพลาดแบบสุ่ม	2	4.0437	2.0218	
รวม	3	12.8020		

ตารางที่ 4.21 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับภาระของชั้นทดสอบที่ความหนา 12.50 มม. (ชั้นทดสอบหมายเลข 16,23)

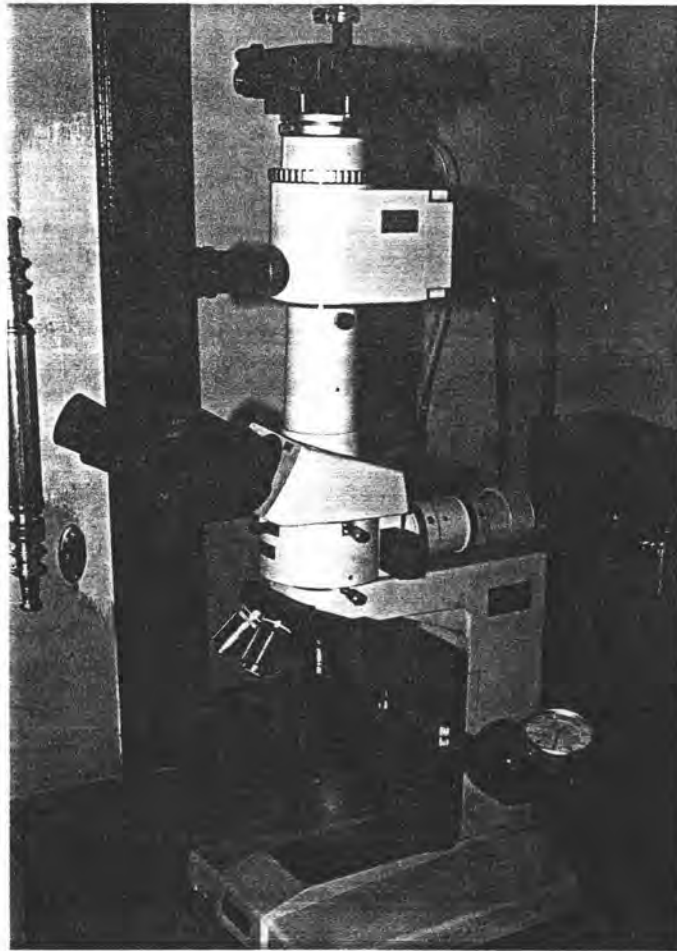
โดยใช้ระดับนัยสำคัญ 5 % จะได้ว่าจากตาราง  $F_{0.05,1,2} = 18.51$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $F$  ที่คำนวณได้ จึงได้ว่าภาระที่เกิดของเครื่อง Dynamic Servo fatigue Tester ที่ระดับข้างต้นนั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระดับภาระทั้ง 2 ระดับที่ทดสอบนี้ไม่ทำให้ค่าอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ทดสอบได้มีค่าแตกต่างกัน



### เครื่องมือวัดความยาวรอยร้าว

เนื่องด้วยรอยร้าวที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจำนวนรอบที่ทำการทดสอบนั้น ในบางครั้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การวัดด้วยตาเปล่า (visual) เป็นการวัดที่ง่ายและรวดเร็วที่สุด แต่ก็มีความผิดพลาดได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงใช้วิธีการวัดโดย สังเกตความยาวรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากกล้องไมโครสโคป (microscope) ซึ่งช่วยขยายรอยร้าวโดยมีกำลังขยายได้มากถึง 1,000 เท่า ทำให้เห็นรอยร้าวที่ชัดเจนมากขึ้นชัดเจนมากขึ้น ที่กล้องไมโครสโคปจะมีอุปกรณ์ Dial Gauge ตั้งฐานที่มั่นคงติดอยู่กับกล้อง เมื่อส่องกล้องเห็นรอยร้าวและเลื่อนกล้องไล่ตามรอยร้าวที่พบนั้น เข็มของ Dial Gauge ที่ติดอยู่ก็จะแสดงความยาวรอยร้าว (มิลลิเมตร) ที่วัดได้ในขณะนั้น ๆ

ในการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำในการวัดค่าของ Dial Gauge ที่ใช้ในการวัดนี้ กระทำโดยเตรียมชิ้นส่วน กำหนดจุดอ้างอิงซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายที่จะวัดความยาวรอยร้าว และทดสอบวัดค่าหลายครั้ง ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.22



รูปที่ 4.6 แสดงกล้องไมโครสโคป และ Dial Gauge

ครั้งที่ TIME	ระยะเคลื่อนตัวของ Dial Gauge ของเครื่อง Microscope															Average	S.D.	Range
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05	1.05	1.05	1.04	1.0473	0.0046	0.01
2	2.08	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.08	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.0887	0.0035	0.01
3	3.13	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.1393	0.0026	0.01
4	4.17	4.18	4.18	4.19	4.19	4.18	4.18	4.19	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.1813	0.0052	0.02
5	5.23	5.23	5.23	5.24	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.2307	0.0026	0.01
6	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.27	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.2793	0.0026	0.01
7	7.32	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33	7.32	7.33	7.32	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33	7.3280	0.0041	0.01
8	8.38	8.37	8.37	8.38	8.37	8.38	8.38	8.37	8.38	8.37	8.38	8.38	8.38	8.39	8.38	8.3773	0.0059	0.02
9	9.42	9.43	9.44	9.43	9.43	9.43	9.43	9.42	9.43	9.43	9.43	9.43	9.43	9.43	9.43	9.4293	0.0046	0.02
10	10.46	10.48	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.47	10.48	10.4707	0.0046	0.02

ตารางที่ 4.22 แสดงระยะเคลื่อนตัวของ Dial Gauge ของเครื่อง Microscope (มิลลิเมตร)

จากบทที่ 3 ที่ปัจจัยที่มีแสดงสมมติฐานว่า น่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรในการทดสอบ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อต่างๆ ข้างต้นแล้วนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในส่วนของการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) และองค์ประกอบเชิงกล (Mechanical Properties) ของวัสดุ จะได้ว่า

1.1 การทดสอบส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ SA335 P22 ได้ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของส่วนประกอบดังนี้คาร์บอน 0.087(0.006), แมงกานีส 0.530(0.015), ซัลเฟอร์ 0.007(0.071), ซิลิคอน 0.230(0.025), โครเมียม 1.949(0.030), โมลิบดีนัม 0.761(0.049) ซึ่งจะได้ว่าผลของการทดสอบของตัวอย่างดังกล่าวอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

1.2 การทดสอบองค์ประกอบเชิงกลของวัสดุ SA335 P22 ได้ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ดังนี้ Yield Strength 382.601(19.9459), Tensile Strength 514(10.3537) ซึ่งจะได้ว่าผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

1.3 การทดสอบองค์ประกอบเชิงกลของวัสดุเหล็กเพลลาขาว ได้ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ดังนี้ Yield Strength 1210(175.2142), ค่าความแข็ง 30.5(2.4880)

2. ในส่วนอิทธิพลของปัจจัยเนื่องจากมิติของชิ้นทดสอบนั้น ได้มีงานวิจัยของ Norman E. Dowling (1993) ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของรูปทรงของชิ้นทดสอบซึ่งมีรูปทรงต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 2.14 ในบทที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปทรงที่ต่างกันของชิ้นทดสอบให้ผลการทดสอบที่มีค่าใกล้เคียง ได้เส้นกราฟที่เป็นแนวเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งในการทดสอบเพื่อหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ SA335 P22 และวัสดุเหล็กเพลลาขาวนี้ ผู้ทดสอบได้ใช้ชิ้นทดสอบแบบเดี่ยวคือ Compact-Type Specimen, C(T)

จากผลการวัดมิติของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นก่อนการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งหากพิจารณาที่ตัวแปรมิติเดียวกันของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นจะได้ว่า มิติของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยมาก และค่ามิติในด้านต่างๆ ของแต่ละชิ้นทดสอบก็อยู่ในช่วงค่าสูงสุดและต่ำสุดของความคลาดเคลื่อน (tolerance limit) ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานการทดสอบอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว (ASTM E 647) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า มิติของชิ้นทดสอบที่แตกต่างกันของชิ้นทดสอบไม่มีผลต่อการทดสอบความผันแปรของข้อมูลการทดสอบอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้า

3. ในส่วนของปัจจัยเนื่องจากเครื่องทดสอบ Dynamic Servo Fatigue Tester นั้น จากเอกสารคู่มือการใช้งาน (User Manual) ได้แสดงค่าความแม่นยำ (accuracy) ที่เป็นมาตรฐานไว้ ก็จะอยู่ในช่วง  $\pm 1.0\%$  of Full Scale (FS.) ซึ่งระดับภาระคงที่สูงสุด (Max Static Load) และ ระดับภาระสลับสูงสุด (Max Cyclic Load) คือ 30 ตัน และ 25 ตัน ตามลำดับ

นั่นคือจะได้ว่าค่าความถูกต้องที่กำหนดไว้ตามคู่มือการใช้งานของเครื่องคือ ระดับภาระที่ใช้ในการทดสอบ  $\pm 0.3$  ตัน ในการให้ภาระคงที่ และ ระดับภาระที่ใช้ในการทดสอบ  $\pm 0.25$  ตัน ในสภาวะสลัป จากการทดสอบความเที่ยง (precision) และความแม่นยำ (accuracy) ของการให้ภาระของเครื่องจักรนี้ โดยได้ทำการทดสอบที่ระดับภาระ 0.64, 0.675, 0.72, 0.765, 0.81, 1.32, 1.65, 1.752, 2.12, 2.41, 2.50 และ 3.10 ตัน ซึ่งเป็นค่าภาระในช่วงของการทดสอบทั้งของวัสดุ SA 335 P22 และวัสดุเหล็กเพลลาขาว

ในการทดสอบ วัดค่าภาระที่ได้จาก Proving Ring ซึ่งจากผลการทดสอบจะได้ว่าระดับภาระที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อนำผลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 4.16 โดยภาระที่ทดสอบซ้ำของแต่ละภาระมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาความเบี่ยงเบนตามที่กำหนดไว้ในคู่มือใช้งาน กับผลที่ทดสอบได้ จะได้ว่าภาระที่วัดได้มีค่าความเบี่ยงเบนต่ำกว่าที่กำหนดได้ในคู่มือใช้งาน

จากผลการทดสอบภาระที่วัดได้ นำมาทดสอบหาการกระจายความน่าจะเป็นของภาระ ซึ่งจากผลการทดสอบได้ว่าการกระจายแบบลิกนอร์มอล และเมื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากเครื่องทดสอบนี้ โดยคำนวณจากข้อมูลของชั้นทดสอบที่ความหนา 25.50 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.19 และข้อมูลของชั้นทดสอบที่ความหนา 12.50 แสดงดังตารางที่ 4.21 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสรุปได้ว่า ความผันแปรของข้อมูลไม่มีอิทธิพลเนื่องจากเครื่องทดสอบ

3. ในส่วนของปัจจัยเนื่องจากเครื่องวัดความยาวรอยร้าว เป็นเครื่อง Microscope ซึ่งมี Dial Gauge ติดอยู่ ผลการวัดทดสอบอุปกรณ์ความแม่นยำของการทดสอบอุปกรณ์นี้ แสดงดังตารางที่ 4.22 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ใช้มีความแม่นยำ