



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ, รศ.ดร. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- ยุทธนา เจริญวงศ์. การวิเคราะห์อายุความล้าภายใต้การเกิดฟีกัดในวัสดุเพลลาขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

- ASTM E 616-89. Standard Terminology Relating to Fracture Testing. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994.
- ASTM E 647-93. Standard Test method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994.
- Anderson, T.L. Fracture mechanics : Fundamentals and application. Boston: CRC Press Inc., 1991.
- Bannantine, J.A., Comer, J.J., and Handrock, J.L. Fundamentals of metal fatigue analysis. New Jersey: Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1990.
- Barsom, J.M., and Rolfe, S.T. Fracture and fatigue control in structures. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1987.
- Betancourt, T.K., and Matthews, J.R. Effects of the average increment ΔC on the scatter in da/dN data and mean life cycles in HY-80 steel plate. Journal of Testing and Evaluation 15 No.1 (1987) : 20-29
- Broek, D. The practical use of fracture mechanics. Netherlands: Kluwer academic publishers, 1989
- Dieter, G.E. Mechanical metallurgy. SI Metric ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1988.
- Dowling, N.E. Mechanical behaviour of engineering materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue. New Jersey: Prentice-Hall International Inc., 1993.

- Edwards, K.S., Jr., and Mckee, R.B. Fundamentals of mechanical component design. Singapore : McGraw-Hill Book Company, 1991.
- Foreman, R.G., and Tianlai Hu Application of fracture mechanics on the space shuttle. In J.B. Chang, and J.L. Rudd (eds) , Damage tolerance of metallic structures : Analysis methods and applications, ASTM STP 842, pp. 108-133. Philadelphia : American society for testing materials, 1981
- Hudson, C.M. A root-mean square approach for predicting fatigue crack growth under random loading. In J.B. Wheeler, H.H. Hoersch, H.P. Mahy, and A.S. Kleinberg (eds) , Methods and models for predicting fatigue crack growth under random loading, ASTM STP 748, pp. 41-52. Philadelphia : American society for testing materials, 1981
- Hudson, C.M., and Hardrath, H.F. Effects of changing stress amplitude on the rate of fatigue-crack propagation in two aluminium alloys. NASA TN D-960, 1961
- Itoga, K. On the effect of cyclic stress ratio on the fatigue crack propagation. Engineering Fracture Mechanics 7 (1975) : 445-455
- Jones, D.P., Hoppe, R.G., Hechmer, J.L., and James, B.A. An experimental study on the effects of compressive stress on the fatigue crack growth of low-alloy steel. Journal of Pressure Vessel Technology 116 (1994) : 317-323
- Juvinall, R.C., and Marshek, K.M. Fundamental of machine component design. 2nd ed. Singapore: John Wiley & Sons, Inc. , 1991.
- London, B., Nelson, D.V., and Shyne, J.C. The effect of tempering temperature on near-threshold fatigue crack behavior in quenched and tempered 4140 steel. Metallurgical Transactions A 19A (1988) : 2497-2502
- Meguid, S.A. Engineering fracture mechanics. Great Britain : Elsevier applied science, 1989.
- Mott, R.L. Machine elements in mechanical design. 2nd ed. Singapore: Macmillan Publishing company, 1992
- Newman, J.C., Jr., and Raju, I.S. Stress-intensity factor equations for cracks in three dimensional finite bodies subjected to tension and bending loads. In S.N. Atluri(ed.) , Computational methods in the mechanics of fracture, pp. 312-334. New York : Elsevier Science, 1986

- Newman, J.C., Jr., and Raju, I.S. An empirical stress-intensity factor equation for the surface crack. Engineering Fracture Mechanics 15 (1981) : 185-192
- Rudd, J.L. Air force damage tolerance design philosophy. In J.B. Chang, and J.L. Rudd (eds) , Damage tolerance of metallic structures : Analysis methods and applications, ASTM STP 842, pp. 134-141. Philadelphia : American society for testing materials, 1981
- Salivar, G.C. Fatigue crack growth life prediction for a bolthole specimen under constant amplitude loading. Journal of Testing and Evaluation 12 No. 5 (1984) : 324-327
- Shih, T.T., and Wei, R.P. A study of crack closure. NASA CR-2319, 1973
- Suresh, S. Fatigue of materials. UK. : Cambridge University Press, 1994.
- Taylor, D. Fatigue thresholds. UK. : Butterworths, 1989
- Wirsching, P.H., and Kempert, J.E. Models that predict fatigue failure. Machine Design (July 1976) : 65-69

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สมบัติเชิงกลของวัสดุ AISI 4140

มาตรฐานของวัสดุ

วัสดุที่นำมาศึกษาวิจัยมีคุณสมบัติตรงกับ

- วัสดุเหล็กเพลาขาว(cold-finished steel bars) ตามมาตรฐานประเทศไทย
- AISI 4140 ตามมาตรฐานอเมริกา
- ASSAB 709 ตามมาตรฐานสวีเดน

ส่วนประกอบของวัสดุ

วัสดุที่นำมาศึกษาวิจัย มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบของวัสดุ AISI 4140

คาร์บอน (C)	ซิลิกอน (Si)	แมงกานีส (Mn)	โครเมียม (Cr)	โมลิบดีนัม (Mo)
0.42%	0.25%	0.75%	1.1%	0.2%

สมบัติทางกลของวัสดุ

สมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาศึกษาวิจัยอ้างอิงจากงานวิจัยของ ยุทธนา(2537)
แสดงอยู่ในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุ AISI 4140

ความต้านแรงดึงคราก (MPa)	ความแข็ง(HRC)	ความต้านทานการ แตกหัก(MPa√m)
1210	30.5	114

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.3 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.04 ± 0.560 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	520,007	8.13	3.12	5.63
2	580,007	8.71	3.62	6.17
3	640,005	9.18	4.20	6.69
4	700,005	10.23	5.00	7.62
5	760,006	10.73	5.84	8.29
6	821,204	11.30	7.10	9.20
7	871,338	12.18	8.07	10.13
8	920,006	12.97	9.34	11.16
9	950,005	13.74	9.86	11.80
10	980,003	14.40	10.61	12.51
11	1,010,090	15.06	11.73	13.40
12	1,041,014	15.70	12.91	14.31
13	1,070,057	16.56	13.85	15.21
14	1,100,006	17.72	14.92	16.32
15	1,130,004	19.01	16.56	17.79
16	1,150,003	20.00	17.93	18.97
17	1,160,137	20.77	18.84	19.81
18	1,170,006	21.79	19.68	20.74
19	1,180,504	23.07	21.23	22.15
20	1,185,006	23.89	22.07	22.98

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.3 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 1.04 ± 0.560 ตัน (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,530,005	8.05	4.11	6.08
2	3,604,499	8.77	4.46	6.62
3	3,690,006	9.64	4.94	7.29
4	3,770,264	10.50	5.57	8.04
5	3,850,005	11.55	6.43	8.99
6	3,903,554	12.40	7.05	9.73
7	3,950,017	13.25	7.64	10.45
8	4,000,009	14.25	8.57	11.41
9	4,050,022	15.25	9.81	12.53
10	4,100,095	16.50	11.21	13.86
11	4,130,929	17.50	12.20	14.85
12	4,160,004	18.19	13.76	15.98
13	4,180,005	19.12	14.64	16.88
14	4,195,005	19.56	15.76	17.66
15	4,205,005	20.21	16.16	18.19
16	4,210,003	20.46	16.58	18.52
17	4,215,005	20.74	16.92	18.83
18	4,220,003	21.05	17.27	19.16
19	4,225,006	21.49	17.71	19.60
20	4,230,228	21.87	18.21	20.04
21	4,235,005	22.33	18.6	20.47
22	4,240,695	22.73	19.49	21.11
23	4,245,006	23.09	20.02	21.56
24	4,250,004	23.92	20.75	22.34

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.3 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 2.166 ± 1.167 ดัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	510,003	3.15	6.33	4.74
2	520,000	3.65	6.78	5.22
3	530,005	4.33	7.11	5.72
4	540,002	5.20	7.55	6.38
5	550,003	5.98	8.10	7.04
6	560,000	7.05	8.76	7.91
7	570,004	8.20	9.51	8.86
8	580,003	9.48	10.45	9.97
9	590,005	10.81	11.92	11.37
10	600,001	12.71	13.42	13.07
11	607,003	14.45	14.78	14.62
12	614,004	16.73	16.49	16.61
13	617,003	17.86	17.41	17.64
14	620,002	19.17	18.50	18.84
15	623,000	20.78	20.12	20.45
16	624,503	22.00	21.13	21.57



หมายเหตุ ความถี่ของภาวะที่กระทำเท่ากับ 20 Hz

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	5,640,536	5.58	0.47	3.03
2	5,675,999	6.72	0.80	3.76
3	5,710,000	8.04	1.27	4.66
4	5,740,006	9.55	2.25	5.90
5	5,772,002	11.55	4.02	7.79
6	5,790,004	12.96	5.94	9.45
7	5,800,002	13.80	7.49	10.65
8	5,805,003	14.40	8.29	11.35
9	5,810,347	14.96	9.36	12.16

หมายเหตุ ความถี่ของภาวะที่กระทำเท่ากับ 20 Hz

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.200 ± 0.400 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	7,550,004	6.82	11.35	9.09
2	7,701,110	6.82	11.70	9.26
3	7,880,005	7.08	11.90	9.49
4	8,040,004	7.73	12.17	9.95
5	8,200,003	8.58	12.67	10.63
6	8,350,612	9.75	13.26	11.51
7	8,500,007	11.10	14.28	12.69
8	8,629,507	12.45	15.50	13.98
9	8,720,024	13.69	16.64	15.17
10	8,790,009	15.32	17.59	16.46
11	8,840,003	16.63	18.54	17.59
12	8,880,295	17.76	19.51	18.64
13	8,900,004	18.40	20.06	19.23
14	8,920,003	19.17	20.78	19.98
15	8,940,002	20.15	21.49	20.82
16	8,960,007	21.33	22.45	21.89
17	8,975,009	22.51	23.44	22.98
18	8,985,006	23.57	24.42	24.00
19	8,990,004	24.12	25.00	24.56
20	8,995,004	24.90	25.65	25.28
21	9,000,001	25.85	26.60	26.23
22	9,005,007	27.34	27.84	27.59

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.200 ± 0.400 ตัน (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบั่นทีก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	676,001	4.16	3.85	4.01
2	827,002	4.90	3.85	4.38
3	978,001	5.45	3.85	4.65
4	1,128,501	6.27	4.00	5.14
5	1,280,000	6.92	4.39	5.66
6	1,428,005	7.78	5.18	6.48
7	1,527,002	8.37	5.77	7.07
8	1,620,004	8.90	6.30	7.60
9	1,725,000	9.41	7.23	8.32
10	1,825,000	10.05	8.20	9.13
11	1,925,034	10.84	9.20	10.02
12	2,025,017	11.65	10.23	10.94
13	2,130,000	12.73	11.58	12.16
14	2,205,004	13.63	12.71	13.17
15	2,281,000	14.47	13.95	14.21
16	2,360,000	15.70	15.21	15.46
17	2,430,500	17.04	16.51	16.78
18	2,497,016	18.60	18.45	18.53
19	2,548,009	20.30	20.59	20.45
20	2,570,001	21.80	21.72	21.76
21	2,590,100	23.38	23.67	23.53
22	2,600,005	24.75	25.02	24.89
23	2,605,005	25.69	25.94	25.82

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.500 ± 0.500 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	2,306,643	5.05	6.76	5.91
2	2,400,006	5.68	7.48	6.58
3	2,500,000	6.74	8.22	7.48
4	2,550,000	6.77	9.05	7.91
5	2,625,000	7.90	9.70	8.80
6	2,700,000	9.20	10.70	9.95
7	2,775,000	10.80	11.90	11.35
8	2,825,000	11.25	13.05	12.15
9	2,875,000	12.75	13.70	13.23
10	2,905,000	13.70	14.60	14.15
11	2,935,000	14.40	15.60	15.00
12	2,955,000	15.00	16.25	15.63
13	2,975,000	16.00	16.80	16.40
14	2,995,000	16.70	17.70	17.20
15	3,015,000	18.05	18.50	18.28
16	3,035,000	19.45	20.05	19.75
17	3,045,000	20.55	21.05	20.80
18	3,053,013	21.75	22.05	21.90
19	3,056,000	22.30	22.50	22.40
20	3,059,002	22.80	22.75	22.78
21	3,062,004	23.40	23.55	23.48
22	3,065,003	24.10	24.05	24.08
23	3,068,037	25.10	24.95	25.03
24	3,071,000	26.50	25.90	26.20
25	3,074,010	27.90	27.50	27.70

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.500 ± 0.500 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	6,798,503	1.90	4.53	3.22
2	6,884,165	2.37	4.85	3.61
3	6,990,027	2.90	5.15	4.03
4	7,080,004	3.48	5.44	4.46
5	7,196,009	4.24	6.00	5.12
6	7,297,012	5.25	6.40	5.83
7	7,390,004	5.84	6.77	6.31
8	7,550,000	6.80	7.40	7.10
9	7,700,000	8.45	8.50	8.48
10	7,775,010	9.40	9.20	9.30
11	7,850,000	10.20	10.90	10.55
12	7,925,000	11.60	12.40	12.00
13	7,975,000	12.70	13.50	13.10
14	8,025,000	14.10	15.00	14.55
15	8,075,000	15.90	16.90	16.40
16	8,104,008	17.30	18.40	17.85
17	8,115,008	18.00	19.25	18.63
18	8,120,006	18.40	19.60	19.00
19	8,124,907	18.75	20.00	19.38
20	8,129,903	19.25	20.45	19.85
21	8,134,909	19.75	20.95	20.35
22	8,139,909	20.40	21.50	20.95
23	8,144,934	21.10	22.30	21.70
24	8,150,000	22.00	23.10	22.55
25	8,155,000	24.30	23.30	23.80

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.500 ± 0.500 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 3

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,090,013	1.62	5.20	3.41
2	3,199,101	2.00	5.94	3.97
3	3,276,008	2.45	6.58	4.52
4	3,360,000	2.89	6.98	4.94
5	3,450,009	3.77	8.01	5.89
6	3,530,000	4.73	8.72	6.73
7	3,600,008	5.48	9.30	7.39
8	3,670,008	6.45	9.80	8.13
9	3,730,020	7.35	10.25	8.80
10	3,790,015	8.40	10.75	9.58
11	3,850,645	9.20	11.10	10.15
12	3,910,052	10.35	11.75	11.05
13	3,962,391	11.25	12.30	11.78
14	4,010,039	12.50	12.80	12.65
15	4,065,000	13.70	13.50	13.60
16	4,110,013	14.90	14.90	14.90
17	4,140,012	15.95	16.00	15.98
18	4,160,005	16.80	16.80	16.80
19	4,170,010	17.20	17.45	17.33
20	4,180,004	17.90	17.90	17.90
21	4,190,009	18.30	18.60	18.45
22	4,200,003	19.00	19.20	19.10
23	4,205,006	19.50	19.60	19.55
24	4,210,003	19.90	20.00	19.95
25	4,215,005	20.30	20.50	20.40
26	4,220,006	20.85	21.00	20.93
27	4,225,014	21.6	21.6	21.60

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.500 ± 0.500 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 4

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	1,977,001	23.60	24.40	24.00
2	1,980,006	24.40	25.50	24.95
3	1,982,003	25.15	26.20	25.68
4	1,983,505	26.00	26.80	26.40
5	1,984,506	26.50	27.30	26.90
6	1,986,004	27.50	28.20	27.85



หมายเหตุ เกิดภาระเกินพิกัดที่ความยาวรอยร้าวเฉลี่ย เท่ากับ 7.35 มม.

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 2.000 ± 0.667 ดัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	1,810,009	4.13	3.13	3.63
2	1,860,225	4.32	3.93	4.13
3	1,914,042	4.77	4.77	4.77
4	1,960,003	5.15	5.39	5.27
5	2,020,000	5.65	6.27	5.96
6	2,079,989	6.10	7.10	6.60
7	2,130,247	7.06	7.58	7.32
8	2,180,001	7.55	8.43	7.99
9	2,220,004	7.91	9.17	8.54
10	2,271,026	8.54	10.45	9.50
11	2,310,004	9.10	11.49	10.30
12	2,350,023	9.79	12.83	11.31
13	2,380,006	10.56	13.89	12.23
14	2,405,004	11.60	14.99	13.30
15	2,430,009	13.04	16.26	14.65
16	2,445,007	14.11	17.28	15.70
17	2,460,004	15.51	18.39	16.95
18	2,470,003	16.63	19.36	18.00
19	2,480,003	18.08	20.57	19.33
20	2,490,007	19.98	22.23	21.11
21	2,495,004	21.10	23.54	22.32
22	2,500,005	22.85	25.10	23.98
23	2,505,000	26.04	27.81	26.93

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 2.000 ± 0.667 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	2,100,000	5.08	1.27	3.18
2	2,150,010	5.50	1.80	3.65
3	2,200,002	5.91	2.08	4.00
4	2,250,006	6.67	2.50	4.59
5	2,300,005	6.80	3.00	4.90
6	2,410,000	8.11	3.93	6.02
7	2,460,004	8.37	4.91	6.64
8	2,510,007	9.11	5.56	7.34
9	2,560,003	9.89	6.54	8.22
10	2,610,003	11.03	7.50	9.27
11	2,640,006	11.78	8.05	9.92
12	2,670,002	12.53	9.08	10.81
13	2,701,085	13.48	10.25	11.87
14	2,715,003	14.11	10.85	12.48
15	2,730,103	14.65	11.61	13.13
16	2,750,000	15.59	12.81	14.20
17	2,765,003	16.47	13.80	15.14
18	2,780,002	17.57	14.90	16.24
19	2,790,004	18.47	15.86	17.17
20	2,800,005	19.42	17.12	18.27
21	2,805,004	20.08	17.80	18.94
22	2,810,324	20.85	18.53	19.69
23	2,815,005	21.63	19.40	20.52
24	2,820,005	22.67	20.40	21.54
25	2,825,009	23.99	21.90	22.95
26	2,828,006	24.90	23.05	23.98

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 2.500 ± 0.833 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,509,827	5.96	2.78	4.37
2	3,559,003	6.88	5.29	6.09
3	3,600,003	8.31	6.17	7.24
4	3,630,000	9.17	7.95	8.56
5	3,660,000	10.43	9.85	10.14
6	3,685,003	11.90	11.39	11.65
7	3,701,057	13.12	12.88	13.00
8	3,715,036	14.34	14.71	14.53
9	3,722,501	15.50	15.20	15.35
10	3,727,504	16.27	15.89	16.08
11	3,732,503	16.93	16.95	16.94
12	3,737,504	17.94	17.72	17.83
13	3,742,503	19.00	19.04	19.02
14	3,747,503	20.30	20.33	20.32
15	3,750,503	21.23	21.42	21.33
16	3,754,503	22.83	23.33	23.08

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	6,373,091	9.68	4.80	7.24
2	6,383,088	9.76	6.38	8.07
3	6,393,083	10.00	7.57	8.79
4	6,403,090	10.70	8.17	9.44
5	6,413,087	11.51	8.49	10.00
6	6,423,087	11.98	9.52	10.75
7	6,433,086	12.83	10.21	11.52
8	6,440,087	13.41	10.81	12.11
9	6,448,083	14.07	11.60	12.84
10	6,455,084	14.72	12.27	13.50
11	6,460,095	15.27	12.88	14.08
12	6,465,085	15.77	13.44	14.61
13	6,470,091	16.46	14.14	15.30
14	6,475,085	17.1	14.84	15.97
15	6,480,086	17.84	15.73	16.79

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 2.500 ± 0.833 ตัน (ต่อ)

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
16	6,485,083	18.57	16.75	17.66
17	6,488,085	19.1	17.44	18.27
18	6,491,088	19.69	18.14	18.92
19	6,494,085	20.4	18.88	19.64
20	6,497,085	21.19	19.8	20.50
21	6,500,083	22.2	20.79	21.50

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 3.000 ± 1.000 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,518,002	6.74	1.75	4.25
2	3,530,030	7.03	2.35	4.69
3	3,540,000	7.44	2.82	5.13
4	3,550,001	7.71	3.47	5.59
5	3,560,002	8.09	4.05	6.07
6	3,570,010	8.49	4.72	6.61
7	3,580,005	8.88	5.44	7.16
8	3,590,002	9.40	6.13	7.77
9	3,600,004	10.18	6.99	8.59
10	3,610,003	10.57	7.92	9.25
11	3,620,000	11.34	8.87	10.11
12	3,630,004	12.17	10.01	11.09
13	3,637,005	12.89	10.80	11.85
14	3,642,001	13.44	11.49	12.47
15	3,645,002	13.81	11.88	12.85
16	3,648,001	14.16	12.49	13.33
17	3,651,004	14.52	12.91	13.72
18	3,654,000	14.96	13.46	14.21
19	3,657,001	15.54	13.88	14.71
20	3,660,001	16.02	14.44	15.23
21	3,663,002	16.58	15.16	15.87
22	3,666,003	17.25	15.87	16.56
23	3,669,003	17.86	16.63	17.25
24	3,672,002	18.5	17.7	18.10
25	3,675,003	19.55	18.51	19.03
26	3,678,003	20.75	19.57	20.16
27	3,681,005	21.05	22.19	21.62
28	3,682,789	23.45	22.24	22.85

หมายเหตุ ความถี่ของภาระที่กระทำเท่ากับ 20 Hz

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.5 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 3.000 ± 1.000 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,150,001	5.96	7.32	6.64
2	3,160,003	6.91	8.01	7.46
3	3,170,003	7.95	8.70	8.33
4	3,180,000	8.39	9.83	9.11
5	3,190,002	9.55	10.84	10.20
6	3,200,002	10.92	11.78	11.35
7	3,210,006	12.51	12.90	12.71
8	3,220,003	14.17	14.56	14.37
9	3,227,502	15.64	16.20	15.92
10	3,235,000	17.61	18.06	17.84
11	3,242,503	20.43	21.06	20.75

หมายเหตุ ความถี่ของภาระที่กระทำเท่ากับ 20 Hz

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.360 ± 0.240 ตัน



ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	4,500,000	6.08	10.25	8.17
2	4,852,004	6.51	10.45	8.48
3	5,500,100	7.10	10.85	8.98
4	6,100,500	7.56	11.08	9.32
5	6,399,901	8.08	11.35	9.72
6	7,000,000	8.86	11.59	10.23
7	7,299,509	9.41	11.86	10.64
8	7,600,000	9.89	12.00	10.95
9	7,900,007	10.25	12.31	11.28
10	8,200,005	10.53	12.66	11.60
11	8,500,007	11.02	12.97	12.00
12	8,800,100	11.67	13.26	12.47
13	9,100,100	12.19	13.51	12.85
14	9,400,007	12.74	13.95	13.35
15	9,700,002	13.16	14.59	13.88
16	10,000,011	13.64	15.11	14.38
17	10,372,882	14.42	15.82	15.12
18	10,600,003	14.84	16.28	15.56
19	10,900,008	15.47	16.94	16.21
20	11,200,097	16.88	17.75	17.32
21	11,350,012	18.06	18.81	18.44
22	11,425,003	18.68	19.39	19.04
23	11,500,003	19.46	20.37	19.92
24	11,530,006	19.96	20.51	20.24
25	11,560,003	20.36	20.72	20.54
26	11,590,007	20.60	21.10	20.85
27	11,620,100	21.11	21.43	21.27
28	11,650,100	21.82	21.97	21.90
29	11,680,100	22.06	22.28	22.17
30	11,710,035	22.68	22.78	22.73
31	11,740,005	23.17	23.38	23.28
32	11,770,100	23.65	23.93	23.79
33	11,800,003	24.69	24.81	24.75
34	11,820,007	25.30	25.71	25.51
35	11,840,004	26.40	26.81	26.61
36	11,847,506	26.89	27.46	27.18
37	11,852,508	27.36	27.95	27.66
38	11,857,505	27.89	28.50	28.20

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.360 ± 0.240 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	2,600,000	13.95	9.95	11.95
2	2,701,000	13.95	10.62	12.29
3	2,830,462	14.15	11.08	12.62
4	2,950,000	14.16	11.86	13.01
5	3,101,000	14.80	12.41	13.61
6	3,250,000	15.08	13.18	14.13
7	3,401,000	15.84	13.67	14.76
8	3,550,000	16.00	14.75	15.38
9	3,700,003	16.53	15.82	16.18
10	3,850,009	17.16	17.17	17.17
11	3,950,002	17.74	18.12	17.93
12	4,050,001	18.75	18.70	18.73
13	4,150,002	19.73	19.59	19.66
14	4,221,000	20.25	20.52	20.39
15	4,290,172	21.64	20.98	21.31
16	4,360,003	22.80	22.12	22.46
17	4,430,001	24.77	23.36	24.07
18	4,480,003	26.60	24.93	25.77
19	4,510,000	28.67	27.00	27.84
20	4,520,009	30.15	28.54	29.35

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 2.000 ± 0.353 ตัน

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	4,490,001	1.18	5.32	3.25
2	4,705,000	1.89	5.87	3.88
3	4,946,012	2.96	5.91	4.44
4	5,090,302	3.46	6.38	4.92
5	5,290,006	4.35	6.60	5.48
6	5,490,000	4.90	7.10	6.00
7	5,820,005	5.74	7.27	6.51
8	5,970,013	6.37	7.64	7.01
9	6,140,376	7.28	7.83	7.56
10	6,370,001	8.22	8.26	8.24
11	6,500,010	8.70	8.61	8.66
12	6,600,017	9.35	8.62	8.99
13	6,720,007	9.77	9.00	9.39
14	6,845,005	10.94	9.10	10.02
15	6,940,007	11.36	9.91	10.64
16	7,040,004	12.12	10.20	11.16
17	7,140,017	12.95	11.08	12.02
18	7,230,005	13.55	11.80	12.68
19	7,310,005	14.33	12.13	13.23
20	7,390,006	15.06	12.47	13.77
21	7,480,007	16.01	14.21	15.11
22	7,540,006	16.72	14.78	15.75
23	7,600,012	17.85	15.93	16.89
24	7,650,015	18.65	17.07	17.86
25	7,690,535	19.45	17.64	18.55
26	7,710,004	19.90	18.09	19.00
27	7,735,005	20.45	18.67	19.56
28	7,760,007	21.17	19.50	20.34
29	7,780,007	21.81	20.16	20.99
30	7,795,005	22.30	20.82	21.56
31	7,810,008	23.08	21.61	22.35
32	7,820,007	23.69	22.18	22.94
33	7,825,007	23.97	22.56	23.27
34	7,830,004	24.40	22.94	23.67
35	7,835,009	24.75	23.35	24.05
36	7,840,005	25.15	24.00	24.58
37	7,845,016	25.60	24.45	25.03
38	7,850,005	26.40	25.10	25.75

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 2.000 ± 0.353 ตัน

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
39	7,855,005	27.15	25.85	26.50
40	7,858,006	27.70	26.50	27.10
41	7,860,007	28.10	27.05	27.58

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	2,900,074	11.55	6.68	9.12
2	2,960,006	11.78	7.08	9.43
3	3,043,013	11.78	7.60	9.69
4	3,120,000	12.32	8.31	10.32
5	3,210,000	12.74	8.88	10.81
6	3,300,001	13.26	9.64	11.45
7	3,400,000	13.79	10.48	12.14
8	3,480,000	14.22	11.14	12.68
9	3,570,000	14.94	11.81	13.38
10	3,660,201	15.72	12.78	14.25
11	3,730,005	16.48	13.38	14.93
12	3,800,007	16.94	14.58	15.76
13	3,830,006	17.55	14.88	16.22
14	3,860,012	17.91	15.19	16.55
15	3,900,000	18.46	16.05	17.26
16	3,940,624	19.31	16.49	17.90
17	3,980,001	19.95	17.38	18.67
18	4,020,004	20.95	18.24	19.60
19	4,060,000	21.82	19.94	20.88
20	4,080,008	22.42	20.87	21.65
21	4,100,003	23.24	22.13	22.69
22	4,110,008	23.64	23.01	23.33
23	4,120,005	24.27	24.27	24.27
24	4,125,005	24.84	24.62	24.73
25	4,130,004	25.40	25.34	25.37
26	4,135,009	26.20	25.95	26.08
27	4,140,002	27.07	27.15	27.11

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนการะ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 2.833 ± 0.500 ตัน

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,560,003	5.23	9.20	7.22
2	3,620,007	5.65	9.80	7.73
3	3,680,002	6.10	10.00	8.05
4	3,740,003	6.54	10.25	8.40
5	3,805,000	7.19	10.50	8.85
6	3,865,000	7.63	10.75	9.19
7	3,930,000	7.90	11.15	9.53
8	3,988,038	8.45	11.50	9.98
9	4,045,013	8.85	11.85	10.35
10	4,103,008	9.35	12.10	10.73
11	4,160,020	10.00	12.60	11.30
12	4,210,006	10.60	13.30	11.95
13	4,260,007	11.75	14.20	12.98
14	4,300,004	12.90	15.00	13.95
15	4,320,001	13.55	15.40	14.48
16	4,340,000	14.15	16.00	15.08
17	4,360,006	14.70	16.50	15.60
18	4,380,003	15.55	17.10	16.33
19	4,400,002	16.10	17.90	17.00
20	4,407,507	16.60	18.10	17.35
21	4,415,006	17.00	18.30	17.65
22	4,422,502	17.20	18.80	18.00
23	4,432,502	17.70	19.40	18.55
24	4,440,004	18.20	19.90	19.05
25	4,445,005	18.60	20.20	19.40
26	4,450,001	19.00	20.60	19.80
27	4,455,006	19.45	20.80	20.13
28	4,460,004	19.85	21.30	20.58
29	4,465,004	20.40	21.60	21.00
30	4,470,004	20.90	22.10	21.50
31	4,475,005	21.60	22.65	22.13
32	4,479,003	22.15	23.20	22.68
33	4,483,005	22.75	23.80	23.28
34	4,487,005	23.55	24.50	24.03
35	4,490,230	24.35	25.00	24.68

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนการะ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 2.833 ± 0.500 ตัน (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,765,008	4.10	2.16	3.13
2	3,865,007	4.42	2.51	3.47
3	3,965,005	4.73	2.80	3.77
4	4,065,007	4.98	3.05	4.02
5	4,270,000	5.56	3.81	4.69
6	4,475,000	6.33	4.54	5.44
7	4,670,002	7.02	5.26	6.14
8	4,770,005	7.45	5.69	6.57
9	4,874,662	7.92	6.10	7.01
10	4,970,004	8.40	6.49	7.45
11	5,070,655	8.91	6.88	7.90
12	5,170,028	9.36	7.32	8.34
13	5,270,022	9.89	7.89	8.89
14	5,370,010	10.52	8.40	9.46
15	5,475,000	11.15	9.00	10.08
16	5,570,013	11.81	9.68	10.75
17	5,670,029	12.93	10.58	11.76
18	5,740,007	14.18	11.90	13.04
19	5,790,005	15.38	13.04	14.21
20	5,820,002	16.03	13.98	15.01
21	5,850,001	17.06	14.92	15.99
22	5,880,006	18.15	16.03	17.09
23	5,900,006	19.03	17.07	18.05
24	5,915,004	19.84	18.00	18.92
25	5,925,004	20.46	18.70	19.58
26	5,935,008	21.17	19.56	20.37
27	5,940,004	21.65	20.04	20.85
28	5,945,010	22.17	20.62	21.40
29	5,950,004	22.70	21.26	21.98
30	5,955,011	23.31	22.03	22.67
31	5,960,004	24.03	22.86	23.45

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.7 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 2.833 ± 0.500 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 3

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	4,890,005	1.70	4.75	3.23
2	4,990,000	2.00	5.01	3.51
3	5,090,005	2.38	5.27	3.83
4	5,190,003	2.73	5.58	4.16
5	5,290,137	3.07	5.88	4.48
6	5,390,005	3.45	6.05	4.75
7	5,489,995	3.79	6.44	5.12
8	5,591,256	4.16	6.80	5.48

หมายเหตุ เกิดภาระเกินพิกัดที่ความยาวรอยร้าวเฉลี่ย เท่ากับ 5.48 มม.

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 4

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	4,002,895	3.12	2.80	2.96
2	4,290,005	4.79	4.00	4.40
3	4,590,007	6.49	5.10	5.80
4	4,690,002	7.05	5.78	6.42
5	4,792,241	7.94	6.63	7.29
6	4,840,004	8.10	6.96	7.53
7	4,890,004	8.43	7.45	7.94
8	4,940,042	8.87	7.95	8.41
9	4,990,003	9.38	8.46	8.92
10	5,050,000	9.84	9.10	9.47
11	5,090,003	10.36	9.52	9.94
12	5,140,002	11.07	9.86	10.47
13	5,190,004	11.53	10.65	11.09
14	5,240,011	12.28	11.40	11.84
15	5,290,005	12.95	12.28	12.62
16	5,330,000	13.60	12.88	13.24
17	5,360,008	14.05	13.74	13.90
18	5,375,004	14.54	13.95	14.25
19	5,390,002	14.91	14.35	14.63

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.8 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 1.440 ± 0.160 ตัน



ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	8,080,008	18.13	17.94	18.04
2	8,180,003	18.28	18.08	18.18
3	8,290,000	18.35	18.25	18.30
4	8,490,005	18.37	18.50	18.44
5	8,700,127	18.75	18.76	18.76
6	8,800,006	18.85	18.85	18.85
7	8,950,003	19.08	19.02	19.05
8	9,100,004	19.32	19.30	19.31
9	9,260,000	19.65	19.51	19.58
10	9,410,071	19.87	19.82	19.85
11	9,610,033	20.18	20.28	20.23
12	9,810,005	20.65	20.56	20.61
13	10,018,003	21.12	21.10	21.11
14	10,170,000	21.54	21.58	21.56
15	10,320,006	22.03	22.04	22.04
16	10,475,030	22.58	22.74	22.66
17	10,580,002	23.30	23.62	23.46
18	10,660,000	23.98	24.28	24.13
19	10,740,006	24.82	25.48	25.15
20	10,790,008	25.80	26.27	26.04
21	10,820,000	26.45	26.98	26.72
22	10,830,240	26.60	27.17	26.89
23	10,840,003	26.80	27.30	27.05
24	10,850,007	27.05	27.70	27.38
25	10,860,004	27.35	28.00	27.68
26	10,870,011	27.75	28.38	28.07
27	10,880,004	27.97	28.63	28.30
28	10,890,002	28.35	29.27	28.81
29	10,904,504	28.96	29.56	29.26
30	10,912,000	29.41	29.89	29.65
31	10,919,001	29.87	30.30	30.09
32	10,926,007	30.27	30.70	30.49
33	10,931,011	30.83	31.04	30.94

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.8 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 1.440 ± 0.160 ตัน (ต่อ)

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	6,070,000	18.05	16.84	17.45
2	6,230,000	18.12	17.20	17.66
3	6,390,000	18.26	17.62	17.94
4	6,540,005	18.53	17.92	18.23
5	6,690,005	18.77	18.25	18.51
6	6,849,505	19.12	18.50	18.81
7	7,000,758	19.30	18.79	19.05
8	7,209,902	19.59	19.24	19.42
9	7,410,000	20.14	19.69	19.92
10	7,610,000	20.81	20.28	20.55
11	7,770,000	21.29	21.01	21.15
12	7,870,387	21.75	21.48	21.62
13	7,970,005	22.21	22.02	22.12
14	8,074,069	22.82	22.64	22.73
15	8,176,003	23.45	23.12	23.29
16	8,278,504	24.20	24.05	24.13
17	8,331,000	24.86	24.42	24.64
18	8,380,006	25.25	24.75	25.00
19	8,431,000	25.81	25.31	25.56
20	8,460,004	26.09	25.64	25.87
21	8,490,003	26.58	26.16	26.37
22	8,520,002	27.10	26.65	26.88
23	8,550,006	28.03	27.20	27.62
24	8,580,007	29.16	28.20	28.68

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ เท่ากับ 0.8 และ
สภาวะของภาระเท่ากับ 3.000 ± 0.333 ตัน

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	3,740,004	3.07	2.92	3.00
2	4,210,000	3.52	3.55	3.54
3	4,680,000	3.89	3.85	3.87
4	5,049,005	4.25	4.42	4.34
5	5,490,047	4.65	4.87	4.76
6	5,930,000	5.12	5.30	5.21
7	6,250,000	5.47	5.58	5.53
8	6,559,956	5.81	5.94	5.88
9	6,860,008	6.06	6.24	6.15
10	7,170,000	6.46	6.70	6.58
11	7,470,873	6.82	7.00	6.91
12	7,780,008	7.15	7.40	7.28
13	8,080,000	7.59	7.71	7.65
14	8,390,000	7.95	8.14	8.05
15	8,720,000	8.62	8.73	8.68
16	9,030,000	9.03	9.20	9.12
17	9,330,002	9.53	9.80	9.67
18	9,540,004	10.04	10.25	10.15
19	9,740,200	10.62	10.67	10.65
20	9,940,003	11.49	11.35	11.42
21	10,080,001	12.15	11.82	11.99
22	10,230,011	13.20	13.05	13.13
23	10,390,003	13.93	13.89	13.91
24	10,559,502	14.61	14.85	14.73
25	10,650,000	15.66	15.64	15.65
26	10,740,246	16.33	16.20	16.27
27	10,820,004	17.56	17.58	17.57
28	10,900,002	18.26	18.53	18.40
29	10,980,004	19.93	19.66	19.80
30	11,030,000	21.12	21.10	21.11
31	11,055,012	21.79	22.01	21.90
32	11,080,000	22.82	22.91	22.87
33	11,090,038	23.28	23.45	23.37
34	11,100,001	23.73	23.97	23.85
35	11,105,003	24.03	24.29	24.16
36	11,110,005	24.34	24.61	24.48
37	11,115,001	24.71	25.00	24.86

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.8 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 3.000 ± 0.333 ตัน (ต่อ)

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
38	11,120,000	25.07	25.41	25.24
39	11,125,001	25.53	25.85	25.69
40	11,130,003	26.07	26.39	26.23

ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
1	4,300,058	4.95	9.01	6.98
2	4,500,004	5.50	9.33	7.42
3	4,700,004	5.98	9.55	7.77
4	4,900,004	6.37	9.79	8.08
5	5,095,210	7.00	10.13	8.57
6	5,310,000	7.41	10.36	8.89
7	5,510,000	7.88	10.69	9.29
8	5,700,010	8.26	11.01	9.64
9	5,900,000	8.43	11.70	10.07
10	6,100,001	9.83	11.85	10.84
11	6,309,071	10.96	12.84	11.90
12	6,410,002	11.59	13.17	12.38
13	6,510,003	11.95	13.62	12.79
14	6,610,012	12.44	14.56	13.50
15	6,700,003	12.96	15.17	14.07
16	6,800,491	13.73	16.06	14.90
17	6,852,137	14.38	16.32	15.35
18	6,904,008	15.13	17.02	16.08
19	6,953,023	15.98	17.62	16.80
20	7,000,006	16.82	18.21	17.52
21	7,050,000	17.67	18.84	18.26
22	7,100,005	18.68	19.67	19.18
23	7,150,005	19.71	20.42	20.07
24	7,200,078	21.26	22.00	21.63
25	7,230,987	22.50	23.20	22.85
26	7,250,002	23.35	24.10	23.73
27	7,260,003	24.03	24.69	24.36
28	7,265,003	24.43	25.01	24.72
29	7,270,002	24.94	25.45	25.20
30	7,276,121	25.42	26.12	25.77

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.8 และ
สภาวะของภาวะเท่ากับ 3.000 ± 0.333 ตัน (ต่อ)

ลำดับ ที่	จำนวนรอบบันทึก (รอบ)	ความยาวรอยร้าว(มม.)		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	ค่าเฉลี่ย
31	7,280,004	25.87	26.41	26.14
32	7,285,001	26.22	27.00	26.61
33	7,289,999	27.31	27.66	27.49

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน

ภาคผนวกนี้จะแสดงให้เห็นถึงการนำสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ได้จากการทดสอบไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินอายุความล้าของเพลากลมซึ่งรับภาระดัดที่กระทำเป็นรอบ อย่างไรก็ตามขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนั้นสามารถจะประยุกต์กับปัญหารูปแบบอื่น ๆ และวัสดุชนิดอื่น ๆ ได้เพียงแต่ผู้ใช้ทำการปรับแก้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เสียใหม่ เนื้อหาในภาคผนวกนี้จะเริ่มด้วยการกล่าวถึงลักษณะของปัญหา การทำปัญหาให้ง่ายขึ้นภายใต้ข้อมูลที่มืออยู่ ก่อนจะแสดงสมการใช้งานสำหรับปัญหานี้ จากนั้นจะแสดงขั้นตอนการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการใช้งานโปรแกรมในตอนท้าย

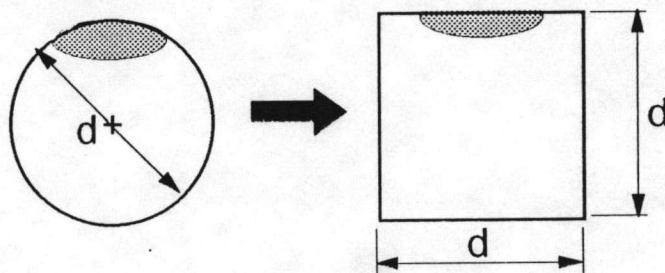
ลักษณะของปัญหา

ความเสียหายเนื่องจากความล้าของชิ้นส่วนที่หน้าตัดกลม เช่น เพลลา, สลัก ฯลฯ ภายใต้โมเมนต์ดัด(bending moment) ที่มีขนาดเปลี่ยนแปลง จัดได้ว่าเป็นปัญหาที่ยังคงพบเห็นอยู่เสมอ ความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนดังกล่าวมักมีจุดเริ่มต้นจากผิวของชิ้นส่วนก่อนที่จะเติบโตลึกลงไปในเรื่องของชิ้นส่วนนั้น โดยมีลักษณะของขอบหน้ารอยร้าว(crack front) เป็นรูปครึ่งวงรี

เนื่องจากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาใน 3 มิติทำให้การแก้ปัญหาโดยอาศัยแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น จากการสืบค้นเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับรอยร้าวที่ผิว(surface crack)โดยผู้วิจัยเองนั้น ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าความเข้มของความเค้นที่ตรงกับปัญหาดังกล่าว ด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อสมมุติเพิ่มเติมซึ่งจะได้กล่าวต่อไป เพื่อดัดแปลงให้ปัญหามีรูปแบบที่สามารถหาผลเฉลยของความเข้มของความเค้นได้

แม้ว่าแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักจะกำหนดเกณฑ์ความเสียหายแบบเปราะ (brittle fracture) ว่าชิ้นส่วนจะเกิดการเสียหายก็ต่อเมื่อค่าความเข้มของความเค้นถึงค่าความต้านทานการแตกหัก(fracture toughness) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเมื่อรอยร้าวมีความยาวถึง

ความยาววิกฤติก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติภายใต้สภาวะการทำงานที่บางครั้งมีอาจจะคาดการณ์ได้ และภายใต้เกณฑ์การทำงานที่ยอมรับได้ของเครื่องจักร เช่นระดับการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ยอมรับได้, ระยะโก่งตัวหรือมุมบิดสูงสุดที่ยอมรับได้ เป็นต้น จะส่งผลให้ความยาวรอยร้าวที่ยอมรับได้มีค่าน้อยกว่าความยาวรอยร้าววิกฤติ ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ที่กล่าวไปได้นำไปสู่ข้อสมมุติสำหรับปัญหานี้ที่ว่า เมื่อรอยร้าวมีขนาดเล็กและเพลามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่แล้วจะถือว่ารอยร้าวเติบโตจากขอบที่เป็นเส้นตรงได้(รูป ค.1) ซึ่งในกรณีหลังนี้ Newman และ Raju (1986) ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หาความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าความเข้มของความเค้นออกมาแต่เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ได้มีความยุ่งยากทำให้การนำสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวไปใช้งานจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมา ซึ่งจะปรากฏในตอนท้ายของภาคผนวกนี้



รูปที่ ค.1 แสดงการทำให้ปัญหาง่ายขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับผลเฉลยค่าความเข้มของความเค้นที่มีอยู่ ภายใต้ข้อสมมุติบางประการ

ความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าความเข้มของความเค้น

สำหรับรอยร้าวรูปครึ่งวงรีที่เติบโตจากผิว(semi-elliptical surface crack) ดังแสดงในรูปที่ ค.2 ภายใต้โมเมนต์ดัดนั้น สมการที่ใช้หาค่าความเข้มของความเค้นจะเขียนได้อยู่ในรูป

$$K = H \cdot \sigma_b \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot a}{Q}} \cdot F \tag{ค.1}$$

โดย $H = H_1 + (H_2 - H_1) \cdot \sin^p(\phi)$ (ค.2)

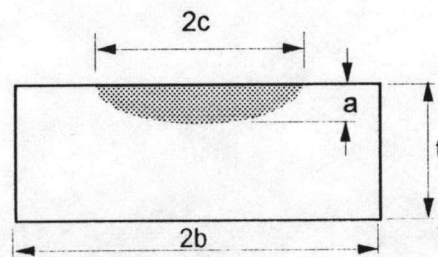
สำหรับกรณี $0 \leq a/c \leq 2$, $c/b < 0.5$ และ $0 \leq \phi \leq \pi$ และค่า a/t สอดคล้องกับเงื่อนไข

$$\frac{a}{t} < 1.25 \cdot \left(\frac{a}{c} + 0.6 \right) \quad \text{สำหรับ } 0 \leq a/c \leq 0.2 \quad (\text{ค.3.1})$$

$$\frac{a}{t} < 1 \quad \text{สำหรับ } 0.2 \leq a/c \leq \infty \quad (\text{ค.3.2})$$

แล้วเราจะได้

$$F = \left[M_1 + M_2 \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right] \cdot g \cdot f_\phi \cdot f_w \quad (\text{ค.4})$$



รูปที่ ค.2 แสดงลักษณะของปัญหา และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

สำหรับสมการที่ใช้หาค่าตัวแปรที่เหลือนั้น แยกพิจารณาได้ 2 กรณีด้วยกันคือ

กรณีที่ 1 $a/c < 1$

$$Q = 1 + 1.464 \cdot \left(\frac{a}{c} \right)^{1.65} \quad (\text{ค.5})$$

$$M_1 = 1.13 - 0.09 \cdot \left(\frac{a}{c} \right) \quad (\text{ค.6})$$

$$M_2 = -0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \frac{a}{c}} \quad (\text{ค.7})$$

$$M_3 = 0.5 - \frac{1}{0.65 + \frac{a}{c}} + 14 \cdot \left(1 - \frac{a}{c} \right)^{24} \quad (\text{ค.8})$$

$$g = 1 + \left[0.1 + 0.35 \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^2 \right] \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \quad (\text{ค.9})$$

$$G_{21} = -1.22 - 0.12 \cdot \left(\frac{a}{c} \right) \quad (\text{ค.10})$$

$$G_{22} = 0.55 - 1.05 \cdot \left(\frac{a}{c} \right)^{0.75} + 0.47 \cdot \left(\frac{a}{c} \right)^{1.5} \quad (\text{ค.11})$$

$$H_1 = 1 - 0.34 \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^2 - 0.11 \cdot \left(\frac{a}{c} \right) \cdot \left(\frac{a}{t} \right) \quad (\text{ค.12})$$

$$H_2 = 1 + G_{21} \cdot \left(\frac{a}{t}\right) + G_{22} \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \quad (\text{ค.13})$$

$$p = 0.2 + \frac{a}{c} + 0.6 \cdot \left(\frac{a}{t}\right) \quad (\text{ค.14})$$

$$f_\phi = \left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 \cdot \cos^2(\phi) + \sin^2(\phi) \right]^{0.25} \quad (\text{ค.15})$$

$$f_w = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi \cdot c}{2 \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{a}{t}}\right)} \quad (\text{ค.16})$$

กรณีที่ 2 $a/c > 1$

$$Q = 1 + 1.464 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{1.65} \quad (\text{ค.17})$$

$$M_1 = \left(\frac{c}{a}\right)^{0.5} \cdot \left(1 + 0.04 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)\right) \quad (\text{ค.18})$$

$$M_2 = 0.2 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^4 \quad (\text{ค.19})$$

$$M_3 = -0.11 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^4 \quad (\text{ค.20})$$

$$g = 1 + \left[0.1 + 0.35 \cdot \left(\frac{c}{a}\right) \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \right] \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \quad (\text{ค.21})$$

$$G_{11} = -0.04 - 0.41 \cdot \frac{c}{a} \quad (\text{ค.22})$$

$$G_{12} = 0.55 - 1.93 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{0.75} + 1.38 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{1.5} \quad (\text{ค.23})$$

$$G_{21} = -2.11 + 0.77 \cdot \frac{c}{a} \quad (\text{ค.24})$$

$$G_{22} = 0.55 - 0.72 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{0.75} + 0.14 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{1.5} \quad (\text{ค.25})$$

$$H_1 = 1 + G_{11} \cdot \frac{a}{t} + G_{12} \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \quad (\text{ค.26})$$

$$H_2 = 1 + G_{21} \cdot \frac{a}{t} + G_{22} \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \quad (\text{ค.27})$$

$$p = 0.2 + \frac{c}{a} + 0.6 \cdot \frac{a}{t} \quad (\text{ค.28})$$

$$f_\phi = \left[\left(\frac{c}{a}\right)^2 \cdot \sin^2(\phi) + \cos^2(\phi) \right]^{0.25} \quad (\text{ค.29})$$

$$f_w = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi \cdot c}{2 \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{a}{t}}\right)} \quad (\text{ค.16})$$

รายละเอียดเพิ่มเติม

การหารูปร่างของรอยร้าวที่เปลี่ยนแปลงไปกระทำได้โดยพิจารณาจากการเติบโตของรอยร้าวที่จุดปลายรอยร้าวที่ผิว (จุด C ; $\phi = 0^\circ$) และที่จุดที่ลึกที่สุด (จุด A ; $\phi = 90^\circ$) แล้วประมาณให้รอยร้าวมีลักษณะเป็นรูปวงรี Newman และ Raju (1981) ประมาณความสัมพันธ์ของการเติบโตของรอยร้าวที่จุดทั้งสองไว้ ดังแสดงในสมการที่ (ค.30)

$$\Delta a = \left(\frac{\Delta K_A}{0.9 \cdot \Delta K_C} \right)^n \cdot \Delta c \quad (\text{ค.30})$$

แม้ว่าปัญหาจะถูกดัดแปลงเป็นแท่งหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วก็ตาม ค่าความเค้นดัด σ_b ที่ปรากฏในสมการที่ ค.1 นั้นจะคำนวณจากกรณีที่เป็นเพลากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการที่ ค.31

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{ค.31})$$

ขั้นตอนการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนรับข้อมูล
2. ส่วนประมวลผลข้อมูล
3. ส่วนแสดงผลการคำนวณ

1. ส่วนรับข้อมูล

โปรแกรมจะทำการเปิดแฟ้มข้อมูลชื่อ INPUT.DAT เพื่ออ่านค่าตัวแปรที่ต้องใช้คำนวณหาอายุความล้าต่อไป ตัวแปรที่ต้องการ มีดังนี้

- จำนวนครั้งของการคำนวณ ; N
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ; D
- ขนาดของโมเมนต์ดัดสูงสุด และต่ำสุด ; BDMAX และ BDMIN
- ค่าคงตัวในสมการของ Paris ; CON และ AM

- มิติของรอยร้าว ได้แก่ ความลึกเริ่มต้น ความยาวเริ่มต้น และความยาวสิ้นสุด ; AI , CI , CF
- ความถี่ของภาระที่มากระทำ ; FREQ

2. ส่วนประมวลผลข้อมูล

หลังจากรับค่าตัวแปรที่ต้องการมาแล้ว โปรแกรมจะเริ่มทำการประมวลผลข้อมูลตามลำดับต่อไปนี้

- แปลงมิติของเพลากลม เป็นท่อนเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยที่ $T = D$ และ $B = D/2$ (ดูรูปที่ ค.1 และ ค.2 ประกอบ)
- กำหนดหาพารามิเตอร์พื้นฐาน คือ ความเค้นดัด, SBD และอัตราส่วนร่วมในลำดับเรขาคณิต, R
- แบ่งความยาวรอยร้าวที่พิสัยที่กำหนด(CI ถึง CF) ออกเป็นช่วง ๆ (ความยาวในแต่ละช่วงจะเป็นลำดับเรขาคณิต) และตรวจสอบอัตราส่วน C/B
- ทำการตรวจสอบค่าอัตราส่วน A/C เพื่อเลือกกรณีในการคำนวณค่าความเข้มของความเค้นจากโปรแกรมย่อย(subroutine) SUB1_1 หรือ SUB1_2 ตามลำดับ ผลการคำนวณค่าความเข้มของความเค้นที่จุด C จะถูกนำไปคำนวณหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ผิว ก่อนจะทำการเก็บค่าส่วนกลับของอัตราดังกล่าวเพื่อใช้หาอายุความล้าต่อไป ส่วนค่าความเข้มของความเค้นที่จุด A จะถูกนำไปคำนวณหาความลึกที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สมการที่ ค.30
- ทำการอินทิเกรตเชิงตัวเลขโดยใช้กฎของซิมป์สันซึ่งปรากฏอยู่ในสมการที่ 3.25

3. ส่วนแสดงผลการคำนวณ

โปรแกรมจะทำการบันทึกผลการคำนวณในแฟ้มข้อมูลชื่อ OUTPUT.DAT ซึ่งประกอบด้วย

- สรุปข้อมูลที่ป้อนเข้าไป ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา, ความเค้นดัดที่เกิดขึ้น, ความถี่ของภาระ
- อายุความล้า, NF
- ความยาว และความลึกของรอยร้าว

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยอาศัยแนวทางที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้วเราจะสามารถประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณอายุความล้าของปัญหานี้ได้ รายละเอียดของโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 มีดังนี้

```

C-----
C
C   COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING THE FATIGUE LIFE OF THE
C   CIRCULAR SHAFT THAT CONTAINS SEMI-SURFACE ELLIPTICAL CRACK
C   UNDER BENDING LOAD
C
C   MAIN VARIABLES LIST
C           BDMAX,BDMIN  --> MAX. or MIN. BENDING MOMENT
C           CON,AM       --> CONSTANT IN PARIS'S RELATION
C           AI           --> INITIAL CRACK DEPTH
C           CI           --> INITIAL HALF CRACK LENGTH
C           CF           --> FINAL HALF CRACK LENGTH
C           DKA         --> S.I.F. RANGE AT THE DEEPEST POINT
C           DKC         --> S.I.F. RANGE AT THE END POINT ON SURF.
C           FREQ        --> FREQUENCY OF CYCLIC LOAD
C-----
C           DIMENSION DCDN(0:60),C(0:60),A(0:60),Y(0:60)
C
C   PREPARING INPUT & OUTPUT FILES
C-----
C           OPEN(7,FILE = 'INPUT.DAT')
C           OPEN(8,FILE = 'OUTPUT.DAT')
C-----
C   READING INPUT DATA
C-----
C           READ(7,*) N
C           READ(7,*) D
C           READ(7,*) BDMAX,BDMIN
C           READ(7,*) CON,AM
C           READ(7,*) AI,CI,CF
C           READ(7,*) FREQ
C-----
C   SIMPLIFY THE PROBLEM
C-----
C           T = D
C           B = D/2
C-----
C   DETERMINE THE BASIC QUANTITIES
C-----
C           SBD = (32.*7./22.)*(BDMAX-BDMIN)/(D**3)
C           R   = (CF/CI)**(1./(N))
C-----
C   DIVIDED THE CRACK LENGTH RANGE INTO SUB-INTERVAL AND CHECK
C   FOR APPLICABLE RANGE OF THE EQUATIONS
C-----
C           DO 100 J = 0,N
C               C(J) = CI*(R**(J))
C           IF (C(J)/B.GT.0.5) GOTO 120
100  CONTINUE
120  N = J-1

```

```

A(0) = AI
C
C -----
C LOOP FOR CALCULATING STRESS INTENSITY FACTOR RANGE
C AND CRACK LENGTH INCREMENT
C -----
DO 500 I = 0, N-1
IF ((A(I)/C(I)).LE.1) CALL SUB1_1(B, T, I, C, A, HA, HC, Q, FA, FC)
IF (((A(I)/C(I)).GT.1) .AND. ((A(I)/C(I)).LE.2)) CALL SUB1_2(B,
# T, I, C, A, HA, HC, Q, FA, FC)
C
DKA = (HA*SBD)*SQRT((22./7.)*A(I)/Q)*FA
DKC = (HC*SBD)*SQRT((22./7.)*A(I)/Q)*FC
C
DCDN(I) = CON*((DKC/1000000)**AM)
Y(I) = 1./DCDN(I)
A(I+1) = A(I) + ((DKA/(0.9*DKC))**AM)*(C(I+1)-C(I))
500 CONTINUE
C
C -----
C NUMERICAL INTEGRATION FOR CALCULATING THE FATIGUE LIFE
C -----
NF = 0
DO 200 J = 1, (N/2)-1
X = (C(2*J)*(R**2.-1.)/(6.*R))*(Y(2*J)*R*(2.-R)+Y(2*J+1)*
# ((R+1.)**2.) + Y(2*J+2)*((2.*R)-1.))
NF = NF + X
200 CONTINUE
C
C -----
C OUTPUT PREPARATION
C -----
WRITE(8,*) 'SHAFT DIAMETER', D*1000, ' mm.'
WRITE(8,*) 'BENDING STRESS RANGE', SBD/1000000, ' MPa'
WRITE(8,*) 'CYCLIC FREQUENCY', FREQ, ' Hz'
WRITE(8,*) 'LIFE IS ', NF/FREQ/3600/24, ' DAYS'
WRITE(8,*)
WRITE(8,*) ' NO. CRACK LENGTH CRACK DEPTH'
DO 250 I = 1, N
WRITE(8,*) I, 2*C(I), A(I)
250 CONTINUE
STOP
END
C-----
SUBROUTINE SUB1_1(B, T, I, C, A, HA, HC, Q, FA, FC)
C-----
DIMENSION A(0:60), C(0:60)
Q = 1. + 1.464*((A(I)/C(I))**1.65)
AM1 = 1.13 - 0.09*(A(I)/C(I))
AM2 = -0.54 + 0.89/(0.2 + A(I)/C(I))
AM3 = 0.5 - 1./(0.65+A(I)/C(I)) + 14.*((1.-A(I)/C(I))**24)
GA = 1.
GC = 1. + (0.1 + 0.35*((A(I)/T)**2.))
G21 = -1.22 - 0.12*(A(I)/C(I))
G22 = 0.55 - 1.05*((A(I)/C(I))**0.75) +
# 0.47*((A(I)/C(I))**1.50)
H1 = 1. - 0.34*(A(I)/T) - 0.11*(A(I)/C(I))*(A(I)/T)
H2 = 1. + G21*(A(I)/T) + G22*((A(I)/T)**2.)
P = 0.2 + A(I)/C(I) + 0.6*(A(I)/T)
FPHIA = 1.
FPHIC = (A(I)/C(I))**0.5
FW = (COS((22.*C(I)/(14.*B))*SQRT(A(I)/T))**(-0.5)
HA = H2
HC = H1

```



```

FA = (AM1 + AM2*((A(I)/T)**2.) + AM3*((A(I)/T)**4.))*
# GA*FPHIA*FW
FC = (AM1 + AM2*((A(I)/T)**2.) + AM3*((A(I)/T)**4.))*
# GC*FPHIC*FW
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE SUB1_2(B,T,I,C,A,HA,HC,Q,FA,FC)
C-----
DIMENSION A(0:60),C(0:60)
  Q = 1. + 1.464*((C(I)/A(I))**1.65)
  AM1 = (SQRT(C(I)/A(I)))*(1. + 0.04*C(I)/A(I))
  AM2 = 0.2*((C(I)/A(I))**4.)
  AM3 = -0.11*((C(I)/A(I))**4.)
  GA = 1.
  GC = 1. + (0.1 + 0.35*(C(I)/A(I))*(A(I)/T)**2.)
  G11 = -0.04 - 0.41*(C(I)/A(I))
  G12 = 0.55 - 1.93*((C(I)/A(I))**0.75) +
# 1.38*((C(I)/A(I))**1.5)
  G21 = -2.11 + 0.77*(C(I)/A(I))
  G22 = 0.55 - 0.72*((C(I)/A(I))**0.75) +
# 0.14*((C(I)/A(I))**1.5)
  H1 = 1. + G11*(A(I)/T) + G12*((A(I)/T)**2.)
  H2 = 1. + G21*(A(I)/T) + G22*((A(I)/T)**2.)
  P = 0.2 + C(I)/A(I) + 0.6*(A(I)/T)
  FPHIA = (C(I)/A(I))**0.5
  FPHIC = 1.
  FW = (COS((22.*C(I)/(14.*B))*SQRT(A(I)/T)))**(-0.5)
C
  HA = H2
  HC = H1
  FA = (AM1 + AM2*((A(I)/T)**2.) + AM3*((A(I)/T)**4.))*
# FPHIA*GA*FW
  FC = (AM1 + AM2*((A(I)/T)**2.) + AM3*((A(I)/T)**4.))*
# FPHIC*GC*FW
C
RETURN
END

```

ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะแสดงตัวอย่างของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป(ไฟล์ INPUT.DAT) และผลลัพธ์ที่คำนวณได้(OUTPUT.DAT) จากตัวอย่างข้อมูลดังกล่าว

1. ไฟล์ INPUT.DAT

10	จำนวนครั้งของการคำนวณ
0.100	เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา (เมตร)
500 0	โมเมนต์ดัดสูงสุด และต่ำสุด (นิวตัน-เมตร)
3e-9 3.15	ค่าคงตัวในสมการของ Paris
0.001 0.0015 0.015	มิติเริ่มต้น และสิ้นสุดของรอยร้าว (เมตร)
30	ความถี่ (เฮิรตซ์)

2. ไฟล์ OUTPUT.DAT

SHAFT DIAMETER 100.000000 mm.
 BENDING STRESS RANGE 5.090909 MPa
 CYCLIC FREQUENCY 30.000000Hz
 LIFE IS 13.799670 DAYS

NO.	CRACK LENGTH	CRACK DEPTH
1	3.776776E-03	1.751741E-03
2	4.754680E-03	2.294718E-03
3	5.985787E-03	2.925334E-03
4	7.535660E-03	3.688705E-03
5	9.486834E-03	4.625637E-03
6	1.194322E-02	5.779960E-03
7	1.503562E-02	7.200925E-03
8	1.892872E-02	8.944084E-03
9	2.382985E-02	1.107112E-02
----->10	3.000001E-02	1.364844E-02

ในกรณีที่จำนวนข้อมูล (ลูกศรชี้) น้อยกว่าจำนวนครั้งของการคำนวณ หมายความว่า
 ว่าการคำนวณถัดจากจุดนั้นไปอยู่นอกขอบเขตการประยุกต์ใช้งานของสมการที่ใช้หาค่าความ
 เข้มของความเค้น



ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

ทฤษฎี

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยนั้น เราจะเริ่มต้นจากการเลือกรูปแบบสมการถดถอยเสียก่อน สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบสมการที่จะทำการวิเคราะห์การถดถอยคือ $\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m$ จากนั้นจึงดำเนินการคำนวณดังนี้

$$\text{ใส่ } \log \text{ ทั้งสองด้าน จะได้} \quad \log\left(\frac{da}{dN}\right) = m \cdot \log(\Delta K) + \log(C) \quad (\text{ง.1})$$

กำหนดตัวแปรใหม่ โดย $Y = \log(da/dN)$

$$X = \log(\Delta K)$$

$$a = m$$

$$\text{และ } b = \log(C)$$

ดังนั้นสมการที่ ง.1 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$Y = aX + b \quad (\text{ง.2})$$

และค่า a, b ที่ทำให้มีความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุดของข้อมูล N ข้อมูล คือ

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N X_i \\ \sum_{i=1}^N X_i & \sum_{i=1}^N X_i^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N Y_i \\ \sum_{i=1}^N X_i \cdot Y_i \end{pmatrix} \quad (\text{ง.3})$$

ดังนั้น

$$C = 10^b \quad (\text{ง.4ก})$$

และ

$$m = a \quad (\text{ง.4ข})$$

การประยุกต์

สำหรับข้อมูลทั้งหมดที่ปรากฏในรูปกราฟที่ 6.16 นั้น เมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 6.3 แล้วจะได้

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 650 & 763.918 \\ 763.918 & 930.2007 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} -3041.73 \\ -3475.74 \end{pmatrix}$$

ดังนั้น

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.058 \\ -8.274 \end{pmatrix}$$

และ

$$C = 10^{-8.274} = 5.321 \times 10^{-9}$$

$$m = 3.058$$

ภาคผนวก จ

ศัพท์เทคนิค

สำหรับเนื้อหาในภาคผนวกนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงคำภาษาอังกฤษของศัพท์เทคนิคภาษาไทยที่ผู้วิจัยใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจที่แจ่มชัดยิ่งขึ้น

ภาษาไทย

กลศาสตร์การแตกหัก
กลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น
การวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด
การหน่วง
ความต้านทานการแตกหัก
ความต้านแรงดึงคราก
ความเค้นที่ระยะไกล ๆ
ความเค้นระนาบ
ความเค้นส่วนเปลี่ยน
ความเค้นเฉลี่ย
ความเครียดระนาบ
ความเสียหายแบบเปราะ
ค่าพิสัยของความเข้มของความเค้นขีดเริ่ม
ค่าสัมประสิทธิ์ของการบ่งชี้
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ตัวประกอบความเข้มของความเค้น
ตัวประกอบเรขาคณิต

ภาษาอังกฤษ

Fracture mechanics
Linear elastic fracture mechanics
Least square regression analysis
Retardation
Fracture toughness
Yield strength
Far-field stress
Plane stress
Alternating stress
Mean stress
Plane strain
Brittle fracture
Threshold stress intensity factor
range
Coefficient of determination
Correlation coefficient
range
Stress intensity factor
Geometry factor

บริเวณเสีรูปร่างพลาสติก	Plastic zone
แบบจำลองแถบคราก	Strip yield model
พิสัยความเค้น	Stress range
พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น	Stress intensity factor range
ฟังก์ชันความเค้น	Stress function
ฟังก์ชันความเค้นเชิงซ้อน	Complex stress function
ภาระ	Load
ภาระกระทำเป็นรอบ	Cyclic load
ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมพลิจูดคงที่	Constant amplitude loading
ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง	Variable amplitude loading
ภาระสถิตย์	Static load
โมเมนต์ดัด	Bending moment
รอยร้าว	Crack
วิธีการทดลอง	Experimental method
วิธีเชิงตัวเลข	Numerical method
วิธีเชิงวิเคราะห์	Analytical method
สนามความเค้น	Stress field
สภาวะสถานะคงตัว	Steady state condition
เส้นตรงถดถอย	Regression line
อายุความล้า	Fatigue life
อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า	Fatigue crack growth rate
อัตราส่วนภาระ	Load ratio
แอมพลิจูดความเค้น	Stress amplitude

ประวัติผู้เขียน



นายจิรพงศ์ กสิวิทย์อำนวย เกิดวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2514 ที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2535 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2537