

การวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบ และสรุปผล

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่พิจารณา คือ อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยมิติชิ้นทดสอบ, อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยเครื่องทดสอบ Dynamic Servo Fatigue Tester และอิทธิพลเนื่องจากเครื่องวัดความยาวรอยร้าว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นแล้วนั้นพบว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบ นั้นไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย นั่นคือการกระจายของข้อมูลการทดสอบอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว เนื่องจากความล่าช้าที่มีอยู่นั้นเกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) ดังนั้นในส่วนการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบ จึงพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่มนี้มาเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์

ในการทดสอบอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้านี้ จะได้ค่าความยาวรอยร้าว (crack length, a) ที่เกิดขึ้นในแต่ละจำนวนรอบ (cycle, N) ของการทดสอบ ซึ่งจากการหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวตามวิธี Secant Method โดยนำค่าส่วนต่างของความยาวรอยร้าว ($a_{i+1} - a_i$) มาหารด้วยค่าส่วนต่างของจำนวนรอบของการทดสอบ ($N_{i+1} - N_i$) จะได้ค่าอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว (crack growth rate, $\frac{da}{dN}$)

ในการศึกษาพฤติกรรมการเติบโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้านี้ จะได้จากการทดสอบ ซึ่งเมื่อนำค่า da/dN และ ค่า Stress Intensity factor, ΔK ที่ได้มาพล็อตค่าในกระดาษกราฟแบบล็อก โดยจากฤษฎีได้แสดงไว้ว่า ในช่วงที่สองของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK แสดงในรูปที่ 2.7 จะเป็นช่วงที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง และเส้นตรงที่ได้นี้สามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ตามกฎของพารีส (Paris' Laws) คือ

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta K)^m \quad \text{----- 1}$$

เมื่อ $\frac{da}{dN}$ เป็นอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว
 c เป็นค่าคงที่



m เป็นความชันของเส้นตรงในกราฟล็อก
K เป็นค่า Stress Intensity Factor

ในสมการที่ 1 หากแปลงสมการให้เป็นค่าแบบล็อก โดยการใส่ล็อกทั้งสองข้างของสมการ จะได้สมการดังนี้

$$\ln\left(\frac{da}{dN}\right) = \ln(C) + m \ln(\Delta K) \quad \text{-----} \quad 2$$

หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของสมการทั่วไปของ Probabilistic Mathematical Model จะได้ว่า

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e \quad \text{-----} \quad 3$$

เมื่อ β_0 และ β_1 เป็นค่าคงที่ของสมการเส้นตรง
y เป็นตัวแปรตามซึ่งมีความสัมพันธ์กับ x ในรูปสมการเส้นตรง
e เป็นค่าความแตกต่างของ y ที่เกิดขึ้นจริงกับ y บนสมการถดถอย

ถ้ากำหนดให้ y_x เป็นค่าของ y เมื่อ x มีค่าใดๆ และ $\mu_{y/x}$ เป็นค่าเฉลี่ยของ y เมื่อ x มีค่าใดๆ จากการพิสูจน์ดังแสดงในบทที่ 2 จะได้สมการถดถอย ซึ่งเป็นสมการแทนความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่าง x และ y ของประชากร คือ

$$\mu_{y/x} = \beta_0 + \beta_1 x \quad \text{-----} \quad 4$$

เมื่อ β_0 และ β_1 เป็นสัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร

กำหนดให้ $\hat{\mu}_{y/x_i}$, $\hat{\beta}_0 = a$, $\hat{\beta}_1 = b$ เป็นค่าโดยประมาณของ $\mu_{y/x}$, β_0 และ β_1 จะได้ว่า

$$\hat{\mu}_{y/x_i} = \hat{y}(X) = a + bX_i \quad \text{-----} \quad 5$$

จากรูปแบบของสมการที่ 2 และสมการที่ 5 จะเห็นว่ามีรูปแบบของสมการแบบเดียวกัน นั่นคือจะได้ว่า ตัวแปรตาม $\hat{\mu}_{y/x_i}$ หรือ $\hat{y}(X)$ คือ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$, ค่าคงที่ a และ b คือ $\ln(C)$ และ $\ln(\Delta K)$ นั่นคือตัวแปรตาม $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ สัมพันธ์กับ $\ln(\Delta K)$ ในรูปของสมการเส้นตรง นั่นคือจะได้ว่าช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ สำหรับ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ ดังสมการ

$$P(-t_{\alpha/2, n-2} \leq \frac{\hat{\ln\left(\frac{da}{dN}\right)} - \ln\left(\frac{da}{dN}\right)}{\sigma_e \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{[\ln(\Delta K) - \bar{\ln}(\Delta K)]^2}{\sum_{i=1}^n [\ln(\Delta K_i) - \bar{\ln}(\Delta K)]^2}\right)}} \leq t_{\alpha/2, n-2}) = 1 - \alpha$$

ซึ่งจะได้ว่าช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ สำหรับ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ เมื่อ $\ln(\Delta K) = \ln(\Delta K_0)$ คือ

$$\hat{\ln(\Delta K)} \pm t_{\alpha/2, n-2} \sigma_e \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{[\ln(\Delta K_0) - \bar{\ln}(\Delta K)]^2}{\sum_{i=1}^n [\ln(\Delta K_i) - \bar{\ln}(\Delta K)]^2}\right)} \quad \text{-----} \quad 6$$

วิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบ

สำหรับข้อมูลการทดสอบของวัสดุ SA335 P22

ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ SA335 P22 แสดงดังตารางที่ ข 1 ถึง ข 2 ในภาคผนวก ข โดยนำค่า $\frac{da}{dN}$ และ ΔK มาแปลงค่าแบบล็อกได้ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ และ $\ln(\Delta K)$ เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบในสมการที่ 2 โดยจำนวนค่า $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ที่เก็บข้อมูลมาทั้งสิ้น $n = 247$ ค่า,

$$\sum_{i=1}^{247} \ln(\Delta K) = 584.65898, \quad \sum_{i=1}^{247} [\ln(\Delta K)]^2 = 1482.60496, \quad \sum_{i=1}^{247} \ln \frac{da}{dN} = -2926.31409,$$

$$\sum_{i=1}^{247} \left[\ln \frac{da}{dN} \right]^2 = 35,201.36966, \quad \sum_{i=1}^{247} \left[\ln(\Delta K) \times \ln\left(\frac{da}{dN}\right) \right] = -6,779.95119$$

ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่ดังรูปแบบในสมการที่ 2 ตามสูตรการคำนวณดังหัวข้อการถอดอยเชิงเส้นอย่างง่าย ได้ผลของค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\ln(C) = -19.61965$$

$$m = 3.28352$$

$$\sigma_e^2 = 0.20497$$

และค่าความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์การถอดอยคือ

$$\sigma_{\ln(c)}^2 = 0.026524$$

$$\sigma_m^2 = 0.000018$$

จะได้ว่า

$$\ln\left(\frac{da}{dN}\right) = -19.61965 + 3.28352 \ln(\Delta K)$$

เมื่อทำการแปลงค่าล็อกของสมการออกทั้งสองข้างจะได้

$$c = 3.01504 \times 10^{-9}$$

$$m = 3.28352$$

นั่นคือจะได้ว่าสมการของพาริสในสมการที่ 1 จะเป็น

$$\frac{da}{dN} = 3.01504 \times 10^{-9} (\Delta K)^{3.28352}$$

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 5 % และจำนวนข้อมูล $n = 247$ โดยมีสมมติฐานการทดสอบคือ

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

จากตาราง t จะได้บริเวณที่จะยอมรับสมมติฐานหลักคือ $(-t_{0.025,245}, t_{0.025,245}) = (-1.96, 1.96)$ ซึ่งจากการคำนวณได้ค่าสถิติ $t = 48.4865$ ดังนั้นค่า t ที่คำนวณได้จึงไม่ตกในบริเวณที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ da/dN และ ΔK มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงด้วยระดับนัยสำคัญ 5 %

ในการหาระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบนั้น นำค่า $\ln(\Delta K)$ ที่เป็นจำนวนเต็มบวก คือเริ่มจากช่วงของ ΔK ของผลการทดสอบคือ $\Delta K = 4, 5, \dots$ จนถึงค่า ΔK สุดท้ายของผลการทดสอบคือ $\Delta K = 28$ ซึ่งเนื่องจากต้องการหาค่าความเชื่อมั่นในของการทดสอบ $\frac{da}{dN}$ จากนั้นจึงนำค่า $\ln(C)$, m และ $\ln(\Delta K)$ ที่ค่าใด ๆ มาแทนค่าในสมการหาช่วงความเชื่อมั่นสำหรับตัวแปรตามดังสมการที่ 6 โดยช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้จะเป็นค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ ซึ่งเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ และนำช่วงความเชื่อมั่นที่ได้มาพล็อต

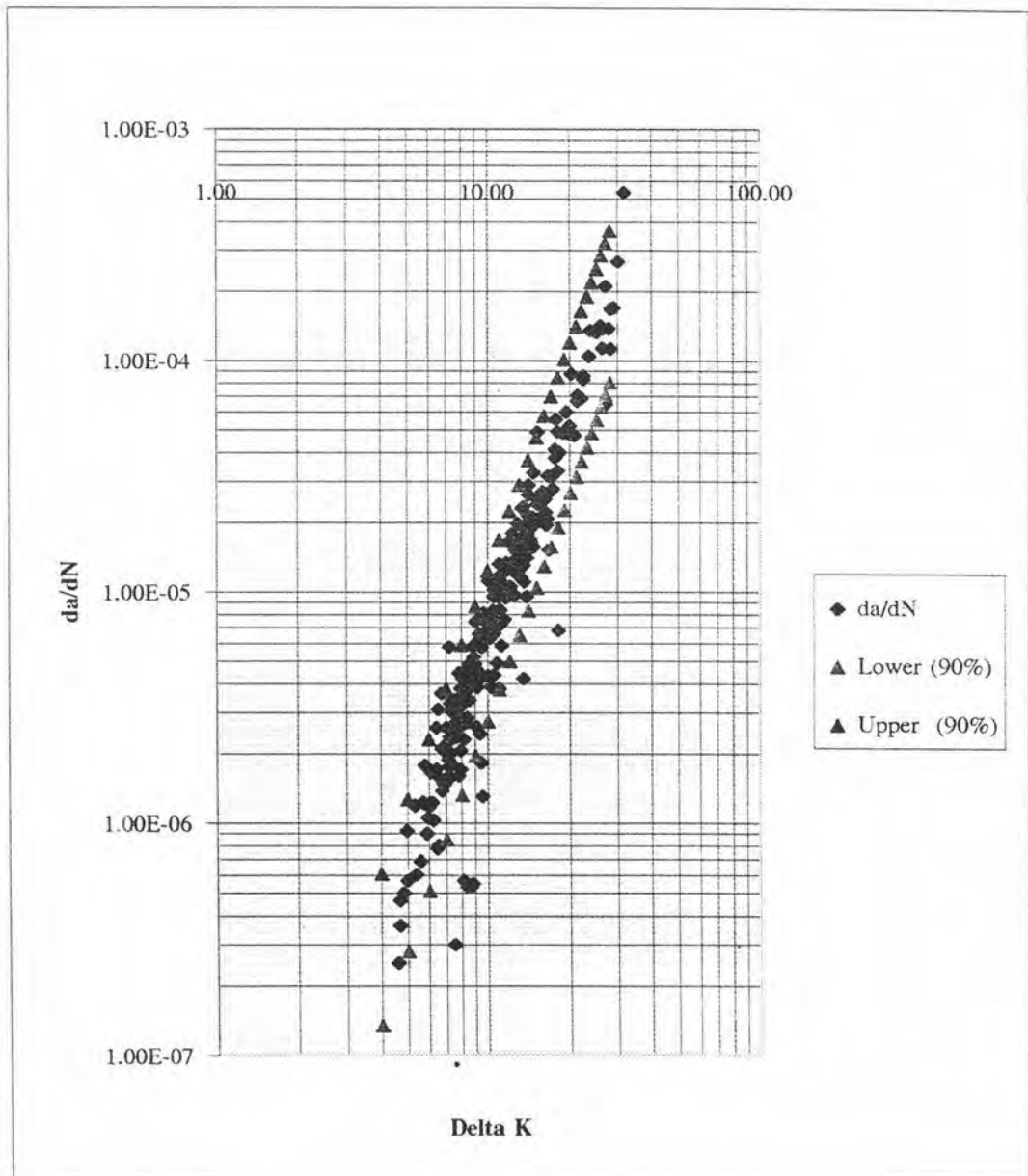
ร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ซึ่งพล็อตในกระดาษกราฟแบบล็อก จึง

แปลงค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ ให้เป็นค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\frac{da}{dN}$ โดยเลือกพิจารณาที่ช่วงความเชื่อมั่นในระดับต่าง ๆ คือ 99 %, 95 %, 90 %, 85 %, 80 %, 50 % และ 20 % จากนั้นนำค่าของช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มาพล็อตค่าลงในกราฟของผลการทดสอบอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น และผลการพล็อตกราฟช่วงความเชื่อมั่นต่างๆ กับผลการทดสอบอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ข้างต้นจะได้ว่า เส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 90 % ให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม เส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของช่วง (interval) ที่พอดีผลการทดสอบอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า มากที่สุด ผลการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น และผลการพล็อตกราฟ แสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 99 % แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ จ 1 และผลการพล็อตกราฟดังรูปที่ จ 1 หรือที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 95 % แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ จ 2 และผลการพล็อตกราฟดังรูปที่ จ 2 ในภาคผนวก จ จะได้ว่าเส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของค่าความน่าจะเป็นของช่วงความเชื่อมั่นที่กว้างเกินกว่าผลการทดสอบอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า และเมื่อพิจารณาของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 85 %, 80 %, 50 % และ 20 % แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ จ 3, จ 4, จ 5 และ จ 6 และผลการพล็อตกราฟดังรูปที่ จ 3, จ 4, จ 5 และ จ 6 ในภาคผนวก จ ซึ่งจะได้ว่าเส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของค่าความน่าจะเป็นของช่วงความเชื่อมั่นที่แคบกว่าผลการทดสอบอัตราขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ดังนั้นจึงสรุประดับความเชื่อมั่นของการทดสอบอัตราครีปโตของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าของข้อมูลวัสดุ SA 335 P22 มีค่าความเชื่อมั่นของการทดสอบที่ระดับ 90 %

Delta K	ln(Delta K)	ช่วงความเชื่อมั่น 90 % สำหรับอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว			
		ln(da/dN)		da/dN	
		Lower (90 %)	Upper (90 %)	Lower (90 %)	Upper (90 %)
4	1.3863	-15.8219	-14.3135	1.34E-07	6.08E-07
5	1.6094	-15.0860	-13.5840	2.81E-07	1.26E-06
6	1.7918	-14.4854	-12.9874	5.12E-07	2.29E-06
7	1.9459	-13.9779	-12.4825	8.50E-07	3.79E-06
8	2.0794	-13.5387	-12.0448	1.32E-06	5.87E-06
9	2.1972	-13.1515	-11.6585	1.94E-06	8.65E-06
10	2.3026	-12.8054	-11.3128	2.75E-06	1.22E-05
11	2.3979	-12.4924	-10.9999	3.76E-06	1.67E-05
12	2.4849	-12.2068	-10.7140	5.00E-06	2.22E-05
13	2.5649	-11.9442	-10.4510	6.50E-06	2.89E-05
14	2.6391	-11.7011	-10.2074	8.28E-06	3.69E-05
15	2.7081	-11.4749	-9.9805	1.04E-05	4.63E-05
16	2.7726	-11.2634	-9.7682	1.28E-05	5.72E-05
17	2.8332	-11.0648	-9.5687	1.57E-05	6.99E-05
18	2.8904	-10.8776	-9.3805	1.89E-05	8.44E-05
19	2.9444	-10.7005	-9.2025	2.25E-05	1.01E-04
20	2.9957	-10.5326	-9.0336	2.67E-05	1.19E-04
21	3.0445	-10.3730	-8.8728	3.13E-05	1.40E-04
22	3.0910	-10.2207	-8.7196	3.64E-05	1.63E-04
23	3.1355	-10.0753	-8.5730	4.21E-05	1.89E-04
24	3.1781	-9.9361	-8.4327	4.84E-05	2.18E-04
25	3.2189	-9.8027	-8.2981	5.53E-05	2.49E-04
26	3.2581	-9.6744	-8.1688	6.29E-05	2.83E-04
27	3.2958	-9.5511	-8.0443	7.11E-05	3.21E-04
28	3.3322	-9.4322	-7.9243	8.01E-05	3.62E-04

ตารางที่ 5.1 แสดงช่วงความเชื่อมั่น 90 % ของค่าอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว
เนื่องจากความล้า (da/dN) ของวัสดุ SA335 P22



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงช่วงความเชื่อมั่นของอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว
ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % ของวัสดุ SA335 P22

สำหรับข้อมูลการทดสอบของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

ผลการทดสอบหาอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาวที่นำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาระดับความเชื่อมั่น แสดงดังตารางที่ ก 1

ถึง ก 16 ในภาคผนวก ก ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้ นำค่า $\frac{da}{dN}$ และ ΔK มาแปลงค่าให้

เป็นค่าล็อกได้ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ และ $\ln(\Delta K)$ เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบในสมการที่ 2 โดยจำนวนค่า $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ที่เก็บข้อมูลมาทั้งสิ้น $n = 269$ ค่า, และผลรวมของค่าต่างๆ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{269} \ln(\Delta K) = 755.48644, \quad \sum_{i=1}^{269} [\ln(\Delta K)]^2 = 2234.95617, \quad \sum_{i=1}^{269} \ln \frac{da}{dN} = -2813.14645,$$

$$\sum_{i=1}^{269} \left[\ln \frac{da}{dN}\right]^2 = 30181.52304, \quad \sum_{i=1}^{269} [\ln(\Delta K) \times \ln\left(\frac{da}{dN}\right)] = -7615.53781$$

ซึ่งเมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณได้ผลดังนี้

$$\ln(C) = -17.53492$$

$$m = 2.51989$$

$$\sigma_c^2 = 0.16325$$

และค่าความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์การถดถอยคือ

$$\sigma_{\ln(c)}^2 = 0.0063$$

$$\sigma_m^2 = 0.000002$$

จะได้ว่า

$$\ln\left(\frac{da}{dN}\right) = -17.53492 + 2.51989 \ln(\Delta K)$$

เมื่อทำการแปลงค่าล็อกของสมการออกทั้งสองข้างจะได้

$$c = 2.42483 \times 10^{-8}$$

$$m = 2.5199$$

นั่นคือจะได้ว่าสมการของพาริสในสมการที่ 1 จะเป็น

$$\frac{da}{dN} = 2.42483 \times 10^{-8} (\Delta K)^{2.51989}$$

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้ นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง da/dN และ ΔK ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 5 % และจำนวนข้อมูล $n = 269$ โดยมีสมมติฐานการทดสอบคือ

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

จากตาราง t จะได้บริเวณที่จะยอมรับสมมติฐานหลักคือ $(-t_{0.025,269}; t_{0.025,269}) = (-1.96, 1.96)$ ซึ่งจากการคำนวณได้ค่าสถิติ $t = 91.1714$ ดังนั้นค่า t ที่คำนวณได้จึงไม่ตกในบริเวณที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ da/dN และ ΔK มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงด้วยระดับนัยสำคัญ 5 %

ในการหาระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบนั้น นำค่า $\ln(\Delta K)$ ที่เป็นจำนวนเต็มบวก คือเริ่มจากช่วงของ ΔK ของผลการทดสอบคือ $\Delta K = 3, 4, \dots$ จนถึงค่า ΔK สุดท้ายของผลการทดสอบคือ $\Delta K = 57$ ซึ่งเนื่องจากการหาค่าความเชื่อมั่นในของการทดสอบ

$\frac{da}{dN}$ จากนั้นจึงนำค่า $\ln(C)$, m และ $\ln(\Delta K)$ ที่ค่าใด ๆ มาแทนค่าในสมการหาช่วงความเชื่อมั่นสำหรับตัวแปรตามดังสมการที่ 6 โดยช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้จะเป็นค่าช่วงความเชื่อ

มั่นของ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ ซึ่งเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ และนำช่วงความเชื่อมั่นที่ได้มาพล็อต

รวมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ซึ่งพล็อตในกระดาษกราฟแบบล็อก จึง

แปลงค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\ln\left(\frac{da}{dN}\right)$ ให้เป็นค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\frac{da}{dN}$ โดยเลือกพิจารณาที่ช่วงความเชื่อมั่นในระดับต่าง ๆ คือ 99 %, 95 %, 90 %, 85 %, 80 %, 70 %, 50 % และ 20 % จากนั้นนำค่าของช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มาพล็อตค่าลงในกราฟของผลการทดสอบ อัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

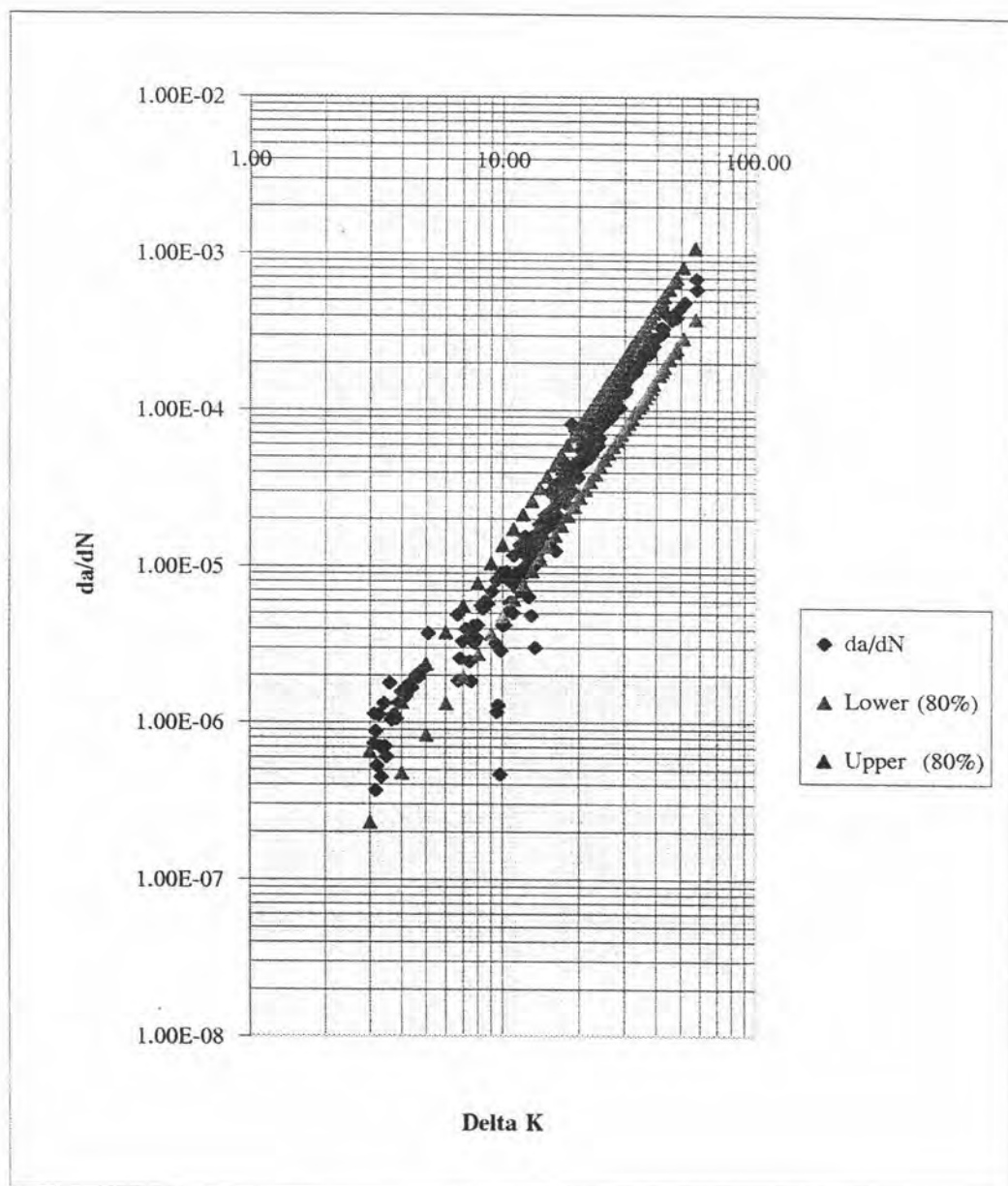
จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น และผลการพล็อตกราฟช่วงความเชื่อมั่นต่างๆ กับผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ข้างต้นจะได้ว่า เส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 80 % ให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม เส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของช่วง (interval) ที่พอดีผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า มากที่สุด ผลการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น และผลการพล็อตกราฟ แสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาของช่วงความเมื่อพิจารณาของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 99 %, 95 %, 90 % และ 85 % แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ ฉ 1, ฉ 2, ฉ 3 และ ฉ 4 และผลการพล็อตกราฟดังรูปที่ ฉ 1, ฉ 2, ฉ 3 และ ฉ 4 ในภาคผนวก ฉ จากผลดังกล่าวจะได้ว่าเส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของค่าความน่าจะเป็นของช่วงความเชื่อมั่นที่กว้างเกินกว่าผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า และเมื่อพิจารณาของช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 70 %, 50 % และ 20 % แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ ฉ 5, ฉ 6 และ ฉ 7 และผลการพล็อตกราฟดังรูปที่ ฉ 5, ฉ 6 และ ฉ 7 ในภาคผนวก ฉ ซึ่งจะได้ว่าเส้นกราฟของช่วงความเชื่อมั่นให้ผลของค่าความน่าจะเป็นของช่วงความเชื่อมั่นที่แคบกว่าผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ดังนั้นจึงสรุประดับความเชื่อมั่นของการทดสอบอัตราการเติบโตของความยาวรอยร้าวของข้อมูลที่ทดสอบวัสดุเหล็กเพลลาขานี้ มีระดับเชื่อมั่นในการทดสอบที่ระดับ 80 %

Delta K	ln(Delta K)	ช่วงความเชื่อมั่น 80 % สำหรับอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว			
		ln(da/dN)		da/dN	
		Lower (80%)	Upper (80%)	Lower (80%)	Upper (80%)
3	1.0986	-15.2890	-14.2441	2.29E-07	6.51E-07
4	1.3863	-14.5630	-13.5202	4.74E-07	1.34E-06
5	1.6094	-14.0000	-12.9586	8.32E-07	2.36E-06
6	1.7918	-13.5401	-12.4997	1.32E-06	3.73E-06
7	1.9459	-13.1513	-12.1116	1.94E-06	5.50E-06
8	2.0794	-12.8145	-11.7754	2.72E-06	7.69E-06
9	2.1972	-12.5175	-11.4788	3.66E-06	1.03E-05
10	2.3026	-12.2519	-11.2134	4.78E-06	1.35E-05
11	2.3979	-12.0116	-10.9733	6.07E-06	1.72E-05
12	2.4849	-11.7923	-10.7542	7.56E-06	2.14E-05
13	2.5649	-11.5905	-10.5525	9.25E-06	2.61E-05
14	2.6391	-11.4037	-10.3658	1.12E-05	3.15E-05
15	2.7081	-11.2299	-10.1920	1.33E-05	3.75E-05
16	2.7726	-11.0672	-10.0293	1.56E-05	4.41E-05
17	2.8332	-10.9145	-9.8766	1.82E-05	5.14E-05
18	2.8904	-10.7704	-9.7325	2.10E-05	5.93E-05
19	2.9444	-10.6342	-9.5963	2.41E-05	6.80E-05
20	2.9957	-10.5050	-9.4670	2.74E-05	7.74E-05
21	3.0445	-10.3820	-9.3440	3.10E-05	8.75E-05
22	3.0910	-10.2648	-9.2268	3.48E-05	9.84E-05
23	3.1355	-10.1529	-9.1147	3.90E-05	1.10E-04
24	3.1781	-10.0457	-9.0075	4.34E-05	1.22E-04
25	3.2189	-9.9428	-8.9045	4.81E-05	1.36E-04
26	3.2581	-9.8440	-8.8057	5.31E-05	1.50E-04
27	3.2958	-9.7490	-8.7105	5.84E-05	1.65E-04

ตารางที่ 5.2 แสดงช่วงความเชื่อมั่น 80 % ของค่าอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว เนื่องจากความล้า (da/dN) ของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

Delta-K	ln(Delta-K)	ช่วงความเชื่อมั่น 80 % สำหรับอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว			
		ln(da/dN)		da/dN	
		Lower (80 %)	Upper (80 %)	Lower (80 %)	Upper (80 %)
28	3.3322	-9.6574	-8.6188	6.40E-05	1.81E-04
29	3.3673	-9.5690	-8.5304	6.99E-05	1.97E-04
30	3.4012	-9.4836	-8.4449	7.61E-05	2.15E-04
31	3.4340	-9.4010	-8.3622	8.26E-05	2.34E-04
32	3.4657	-9.3211	-8.2822	8.95E-05	2.53E-04
33	3.4965	-9.2436	-8.2046	9.67E-05	2.73E-04
34	3.5264	-9.1684	-8.1293	1.04E-04	2.95E-04
35	3.5553	-9.0954	-8.0562	1.12E-04	3.17E-04
36	3.5835	-9.0245	-7.9852	1.20E-04	3.40E-04
37	3.6109	-8.9555	-7.9161	1.29E-04	3.65E-04
38	3.6376	-8.8883	-7.8488	1.38E-04	3.90E-04
39	3.6636	-8.8229	-7.7833	1.47E-04	4.17E-04
41	3.7136	-8.6970	-7.6572	1.67E-04	4.73E-04
42	3.7377	-8.6364	-7.5964	1.78E-04	5.02E-04
43	3.7612	-8.5771	-7.5371	1.88E-04	5.33E-04
45	3.8067	-8.4627	-7.4224	2.11E-04	5.98E-04
47	3.8501	-8.3532	-7.3127	2.36E-04	6.67E-04
48	3.8712	-8.3002	-7.2596	2.48E-04	7.03E-04
51	3.9318	-8.1476	-7.1067	2.89E-04	8.20E-04
57	4.0431	-7.8676	-6.8261	3.83E-04	1.09E-03

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) แสดงช่วงความเชื่อมั่น 80 % ของค่าอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าว เนื่องจากความล้า (da/dN) ของวัสดุเหล็กเพลลาขาว



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงช่วงความเชื่อมั่นของอัตราการขยายตัวของความยาวรอยร้าวของวัสดุเหล็กเพลลาขาว ที่ระดับความเชื่อมั่น 80 %

บทสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์นี้เป็นข้อมูลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้าโดยมีข้อมูลการทดสอบจาก 2 แหล่งคือ

1. ข้อมูลการทดสอบของวัสดุ SA335 P22 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำ Main steam Pipe ของโรงไฟฟ้าขนาด 1 เหล็กที่นำมาขึ้นรูปเป็นท่อที่ได้จากโรงไฟฟ้า นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบตามมิติดังแสดงไว้ในบทที่ 4

2. ข้อมูลการทดสอบของวัสดุเหล็กเพลทขาว (cold finished steel bars) ซึ่งเป็นวัสดุสำหรับทำอะไหล่ที่ต้องทนแรงดึงสูง ๆ วัสดุนี้ซื้อจากบริษัทขายเหล็กเอกชน ซึ่งจะมีการสั่งซื้อเข้ามาเป็นล็อต (lot)

ในส่วนของปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรในการทดสอบของข้อมูลการทดสอบนั้นได้เลือกปัจจัยที่น่ามาวิเคราะห์คือปัจจัยเนื่องจากเครื่องทดสอบ ปัจจัยเนื่องจากชิ้นทดสอบ ซึ่งพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเชิงกล และมิติของชิ้นทดสอบ และปัจจัยเนื่องจากการวัดความยาวรอยร้าว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของเครื่องทดสอบ Dynamic Servo Fatigue Tester โดยทดสอบที่ผลจากชิ้นความหนา 25.50 มิลลิเมตร และชิ้นทดสอบที่ความหนา 12.50 มิลลิเมตร โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ให้ผลว่าไม่มีอิทธิพลเนื่องจากเครื่องทดสอบด้วยระดับนัยสำคัญ 5 % ส่วนการวิเคราะห์ปัจจัยเนื่องจากการวัดความยาวรอยร้าวนี้ได้ทดสอบความถูกต้อง แม่นยำของอุปกรณ์ที่ใช้วัดรอยร้าวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนี้ ให้ผลว่าค่าที่วัดได้มีความเบี่ยงเบนน้อยมาก (10^{-3}) และในส่วนของปัจจัยเนื่องจากชิ้นทดสอบได้ว่าองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของของวัสดุที่นำมาทดสอบมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน โดยจากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างได้ว่าการกระจายของข้อมูลการทดสอบไม่ได้มีผลเนื่องจากปัจจัยที่เลือกพิจารณา แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายเนื่องมาจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

ดังนั้นในส่วนของการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นจึงใช้ทฤษฎีของการวิเคราะห์ความถดถอยโดยจากสมการของพารีส

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad \text{นำมาใส่ค่าล็อก}$$

$$\text{จะได้} \quad \ln\left(\frac{da}{dN}\right) = \ln(C) + m \ln(\Delta K)$$

ซึ่งจะถือว่าเป็นรูปแบบของสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จึงนำข้อมูล $\frac{da}{dN}$

ซึ่งจะได้ว่าเป็นรูปแบบของสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จึงนำข้อมูล $\frac{da}{dN}$ และ ΔK มาหาค่าคงที่ของสมการได้ว่าสำหรับข้อมูลการทดสอบวัสดุ SA335 P22 ได้ค่า C คือ 3.01504×10^{-9} และค่า m คือ 3.28352 สำหรับข้อมูลการทดสอบวัสดุเหล็กเพลลาขาว ได้ค่า C คือ 2.42483×10^{-8} และค่า m คือ 2.5199 จากนั้นนำข้อมูล $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ของวัสดุทั้งสอง มาทดสอบความมีนัยสำคัญเชิงเส้นตรงระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ซึ่งได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงด้วยระดับนัยสำคัญ 5 % จากนั้นนำผลการทดสอบ และค่าคงที่ของสมการที่คำนวณได้มาหาระดับความเชื่อมั่นโดยคำนวณที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ได้ว่าผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ SA335 P22 มีระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบที่ 90 % และผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาว มีระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบที่ 80 %

เนื่องจากเหตุผลเรื่องระยะเวลาในการทดสอบสำหรับแต่ละชั้นทดสอบที่ใช้เวลานาน และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงทำให้ข้อมูลของการทดสอบซ้ำที่ได้สำหรับการวิเคราะห์นั้น มีจำนวนของข้อมูลไม่มากนัก ซึ่งหากมีจำนวนซ้ำของการทดสอบก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์เข้าสู่ความเป็นจริงได้มากขึ้น โดยงานวิจัยฉบับนี้เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากความล้า โดยข้อมูลการวิเคราะห์จากวัสดุตัวอย่างทั้งสองได้แสดงให้เห็นกระบวนการ ซึ่งผลจะนำไปใช้ได้จริงสำหรับงานที่ทดสอบโดยเครื่องทดสอบ และอุปกรณ์วัดความยาวรอยร้าวที่มีการสอบเทียบมาตรฐานให้ผลใกล้เคียงกัน โดยหากเป็นการทดสอบโดยอุปกรณ์อื่นๆ งานวิจัยนี้ก็จะเป็นแนวทางที่แสดงให้เห็นกระบวนการในการวิเคราะห์ สำหรับในส่วนของปัจจัยที่เลือกพิจารณานั้นก็สามารถแยกทำการวางแผนการทดลองของแต่ละปัจจัย หรือรวมหลาย ๆ ปัจจัยได้จากได้ทฤษฎีของการวางแผนการทดลอง เช่นในส่วนของปัจจัยเนื่องจากเครื่องจักรที่ทดสอบ ก็จะต้องมีเครื่องจักรที่ใช้ทดสอบรุ่น ยี่ห้อเดียวกัน และรุ่น และยี่ห้อต่างกันหลายๆ เครื่อง หรือในส่วนของชั้นทดสอบก็อาจพิจารณาจากวัสดุที่มาจากหลาย ๆ ล็อต และทดสอบวิธีการขึ้นรูปของชั้นทดสอบที่แตกต่างกัน