บทที่ 3

การประยุกต์แนวทางกลศาสตร์การแตกหักกับปัญหาความล้า

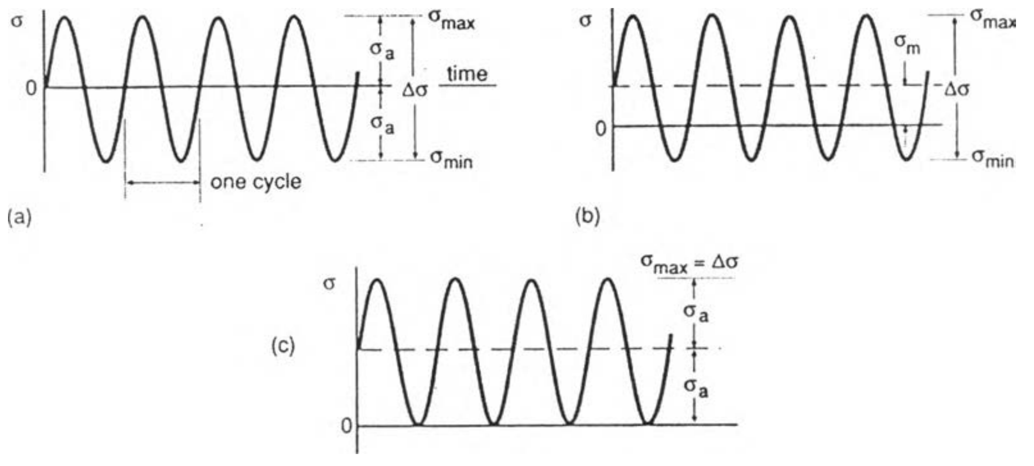
แนวทางกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้นเป็นแนวทางที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่ออธิบายถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้นที่มีรอยร้าว โดยอาศัยพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ตัวประกอบความเข้มของความเค้นเป็นตัวแสดงถึงระดับความรุนแรงของความที่บริเวณปลายรอยร้าว ในปี ค.ศ. 1960 Paris P.C. [2] เป็นนักวิจัยท่านแรกที่ได้ทำการประยุกต์แนวทางกลศาสตร์ยืดหยุ่นได้เชิงเส้นเข้ากับปัญหาความล้า โดยได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้ากับพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (Stress intensity factor range) ดังนี้

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m \tag{3.1}$$

โดยที่ C และ m เป็นค่าคงตัวที่จากการทดลอง แต่แนวทางดังกล่าวนี้ไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงแรก แม้ว่านักวิจัย Paris P.C. ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงความเป็นไปได้ของแนวความคิดนี้ก็ตาม แต่ในเวลาต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการทดลองได้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าวของ Paris จึงทำให้เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง และเรียกสมการ (3.1) นี้ว่า สมการของ Paris (Paris's equation)

3.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของภาระกระทำเป็นรอบ

สำหรับปัญหาความล้าลักษณะของภาระที่มากระทำจะมีลักษณะเป็นรอบ โดยภาระที่มากระทำเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่นั้นเป็นภาระที่มีขนาดของแอมปลิจูดสูงสุด และต่ำสุดคงที่ตลอดเวลา ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่

พิสัยความเค้น (Stress range, $\Delta\sigma$) คือ ผลต่างระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับค่าความเค้นต่ำสุด

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} \tag{3.2}$$

ความเค้นเฉลี่ย (Mean stress, σ_m) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตระหว่างค่าความเค้นสูงสุดกับค่าความเค้นต่ำสุด

$$\sigma_m = \left(\frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}\right) \tag{3.3}$$

แอมปลิจูดความเค้น (Stress amplitude, σ_a) หรืออาจเรียกได้ว่า ความเค้นส่วนเปลี่ยน (Alternating stress) คือ ครึ่งหนึ่งของค่าพิสัยความเค้น

$$\sigma_a = \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right) \tag{3.4}$$

อัตราส่วนความเค้น (Stress ratio, R) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเค้นต่ำสุดต่อค่าความเค้นสูงสุด

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \tag{3.5}$$

อัตราส่วนแอมปลิจูด (Amplitude ratio, A) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแอมปลิจูดความเค้นต่อค่าความเค้นเฉลี่ย

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max} + \sigma_{min}} \tag{3.6}$$

จากความสัมพันธ์ต่างๆ ข้างต้น สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta\sigma = 2 \cdot \sigma_a = \sigma_{max} \cdot (1 - R) \tag{3.7}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2} \cdot (1 - R) \tag{3.8}$$

$$R = \frac{1 - A}{1 + A} \tag{3.9}$$

และ

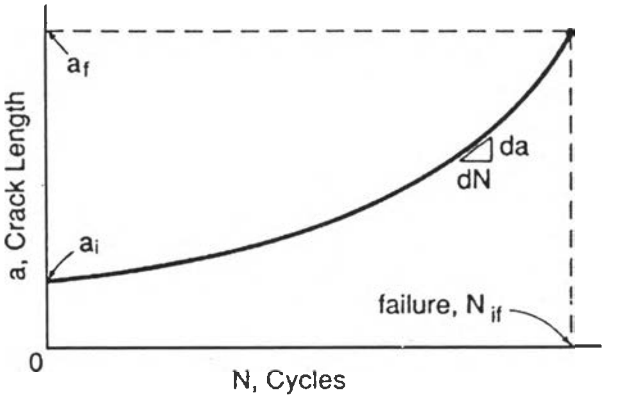
$$A = \frac{1 - R}{1 + R} \tag{3.10}$$

สำหรับการกำหนดลักษณะของภาระความเค้นเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่มีความเค้นเฉลี่ยเป็นศูนย์ สามารถทำได้โดยกำหนดแอมปลิจูดความเค้น หรือค่าความเค้นสูงสุด แต่หากว่าความเค้นเฉลี่ยไม่เท่ากับศูนย์ ในการระบุสภาวะของภาระเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่นั้นจะต้องใช้พารามิเตอร์สองตัว เช่น กำหนดด้วย σ_a และ σ_m ; σ_{max} และ R หรือ σ_{max} และ σ_{min} เป็นต้น

3.2 แนวทางกลศาสตร์การแตกหัก

การวิเคราะห์การเติบโตของรอยร้าวภายใต้ความล้านั้น มีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม เนื่องจากทำให้สามารถประเมินอายุที่เหลืออยู่ของชิ้นส่วนได้ และแนวทางสำคัญที่สามารถเข้าถึงปัญหาได้อย่างเหมาะสมก็คือ แนวทางกลศาสตร์การแตกหัก ซึ่งแนวทางนี้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อประเมินอายุความล้าเป็นจำนวนรอบที่ทำให้รอยร้าวเติบโตจากความยาวรอยร้าวเริ่มต้นค่าหนึ่งไปถึงความยาวรอยร้าวสิ้นสุดอีกค่าหนึ่งได้

พิจารณาการเติบโตของรอยร้าว โดยให้รอยร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นเท่ากับ Δa เมื่อมีภาระมากระทำเป็นจำนวน ΔN รอบ อัตราการเติบโตของรอยร้าวเทียบกับจำนวนรอบนี้สามารถแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (Δa) ต่อจำนวนรอบของภาระที่มากระทำเป็นจำนวน ΔN รอบ โดยลักษณะดังกล่าวสามารถเขียนแทนด้วยเส้นโค้งการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue crack growth curve) ซึ่งจะพบว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าก็คือ ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่ง หรือความชัน ($\frac{da}{dN}$) ของเส้นโค้งแสดงการเติบโตของรอยร้าวเทียบกับจำนวนรอบของภาระที่มากระทำดังรูปที่ 3.2 โดยในรูปแสดงถึงเส้นโค้งการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัตถุมีความยาวรอยร้าวเริ่มต้นขนาด a_i และถูกกระทำด้วยภาระความล้าเป็นรอบจำนวน N_{if} รอบ จนกระทั่งรอยร้าวมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็นความยาวรอยร้าวสุดท้ายขนาด a_f



รูปที่ 3.2 เส้นโค้งการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

หากภาระที่มากระทำเป็นภาระแบบรอบที่มีแอมปลิจูดคงที่ ซึ่งมีค่าภาระสูงสุดและต่ำสุดเป็น σ_{max} และ σ_{min} ตามลำดับ จะพบว่าตัวแปรพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของรอยร้าวคือ ค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าพิสัยของความเค้น ($\Delta\sigma$) ดังนี้ [31]

$$\Delta K = F \cdot \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \qquad (3.11)$$

โดยที่ F แทนตัวประกอบเรขาคณิต และ a แทนความยาวรอยร้าว ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นแปรผันตรงกับภาระที่มากระทำที่ความยาวรอยร้าวค่าหนึ่ง ดังนั้นจะได้

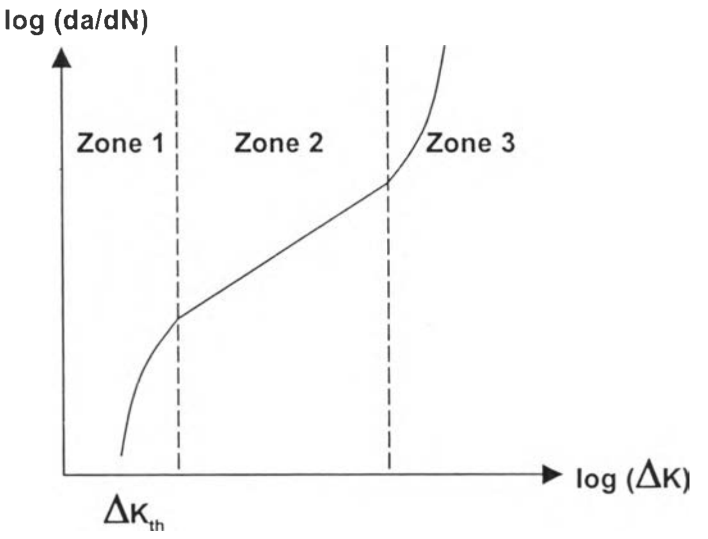
$$K_{max} = F \cdot \sigma_{max} \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \qquad (3.12)$$

$$K_{min} = F \cdot \sigma_{min} \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \qquad (3.13)$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \tag{3.14}$$

และ
$$R = \frac{K_{min}}{K_{max}} \tag{3.15}$$

สำหรับวัสดุโดยทั่วไปแล้ว พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า สามารถอธิบายได้ด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{da}{dN}$) กับค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) โดยเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปแสดงลงบนกราฟล็อค-ล็อคสเกล จะสามารถแสดงพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวได้เป็นอย่างดี ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เส้นโค้งแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

เมื่อพิจารณาเส้นโค้งแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในรูปที่ 3.3 จะพบว่า เส้นโค้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน [2] ดังนี้

1. บริเวณที่หนึ่ง เป็นบริเวณที่ค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าต่ำ พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวมีความสัมพันธ์กับค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ขีดเริ่ม (Threshold stress intensity factor range, ΔK_{th}) โดยหากว่าค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าต่ำกว่าค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ขีดเริ่มแล้ว การเติบโตของรอยร้าวจะไม่เกิดขึ้น หรือเกิดในอัตราที่ต่ำเกินกว่าจะสามารถตรวจพบได้ นอกจากนี้พฤติกรรมการเติบโตของ

รอยร้าวในบริเวณนี้ จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับจุลภาค ความถี่ของภาระที่มากระทำ และลักษณะของสภาพแวดล้อม

2. บริเวณที่สอง เป็นส่วนกลางของเส้นโค้ง ซึ่งการใช้งานแนวทางกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น (LEFM) โดยส่วนมากจะกล่าวถึงพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวที่เกี่ยวข้องกับบริเวณนี้เป็นหลัก เนื่องจากอายุความล้าของชิ้นส่วนส่วนมากจะใช้เวลาอยู่ในส่วนนี้มากที่สุด ซึ่งสำหรับวัสดุโดยทั่วไปแล้ว เส้นโค้งในบริเวณนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้จะไม่ขึ้นกับโครงสร้างระดับจุลภาค และลักษณะของภาระมากนัก

3. บริเวณที่สาม เป็นส่วนสุดท้ายของเส้นโค้ง ซึ่งจะมีค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นสูง โดยรอยร้าวจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดการเสียหายของชิ้นส่วนขึ้น ในงานทางวิศวกรรมทั่วไปมักจะไม่คำนึงถึงในบริเวณนี้ เนื่องจากมีอายุการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าน้อยเมื่อเทียบกับอายุความล้าทั้งหมด พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับจุลภาค และลักษณะของภาระเป็นอย่างมาก

3.2.1 สมการแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้านั้น สามารถแสดงได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของรอยร้าวเทียบกับพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น โดยสมการพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางก็คือ สมการของ Paris [2] เป็นสมการที่ควบคุมพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณที่สองของเส้นโค้งแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญมากต่อการประเมินอายุความล้านี้ โดยสมการของ Paris สามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \qquad (3.16)$$

โดยที่ a แทนความยาวรอยร้าวในชิ้นส่วนนั้น

N แทนจำนวนรอบของภาระที่มากระทำ

ΔK แทนพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น

C, m แทนค่าคงตัวของสมการ ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลอง

เนื่องจากสมการของ Paris ไม่สามารถครอบคลุมการเติบโตของรอยร้าวได้ทั้งหมด จึงได้มีผู้วิจัยท่านอื่นๆ ทำการดัดแปลงสมการของ Paris เพื่อให้สมการที่ได้ทำการดัดแปลงนั้นสามารถครอบคลุมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณอื่นได้มากขึ้น โดยสมการดังกล่าวจะทำการเพิ่มตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของรอยร้าวเข้าไปในสมการของ Paris เช่น ค่าอัตราส่วนของภาระ (R) , ค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ขีดเริ่ม (ΔK_{th}) และจากสมการแสดงการเติบโตของรอยร้าวต่างๆ นี้ สามารถนำไปใช้ในการทำนายอายุความล้าของชิ้นงานที่มีรอยร้าวได้

3.2.2 การประเมินอายุความล้า

เนื่องจากค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นจะค่ามากขึ้นตามความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้นภายใต้ภาระกระทำเป็นแบบแอมปลิจูดคงที่ นอกจากนี้อัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{da}{dN}$) ยังขึ้นอยู่กับพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ด้วย ดังนั้นอัตราการเติบโตของรอยร้าวจะมีค่าไม่คงที่ โดยรอยร้าวจะมีการเติบโตเร็วขึ้นตามขนาดความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า รอยร้าวจะเกิดการเติบโตด้วยความเร่ง ซึ่งแสดงได้รูปที่ 3.2 และด้วยเหตุนี้เอง อัตราการเติบโตของรอยร้าวเทียบกับจำนวนรอบ ($\frac{da}{dN}$) จึงมีความจำเป็นในการประเมินหาอายุการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ความล้า

อัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{da}{dN}$) สำหรับวัสดุโดยทั่วไปนั้น สามารถแสดงอยู่ในรูปแบบของสมการทั่วไป คือ

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K, R) \tag{3.17}$$

โดยสมมุติให้ผลของสภาวะแวดล้อม ความถี่ และผลกระทบอื่นๆ ถูกรวมไว้ในค่าคงที่ของวัสดุแล้ว ในการคำนวณหาอายุการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ความล้า สามารถแสดงได้เป็นจำนวนรอบของภาระที่มากระทำ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.17) ดังนี้

$$\int_{N_i}^{N_f} dN = N_f - N_i = N_{if} = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{f(\Delta K, R)} \tag{3.18}$$

ในการอินทิเกรดสมการ (3.18) นี้ จะได้จำนวนรอบของภาระที่มากระทำต่อชิ้นงาน ซึ่งทำให้ชิ้นงานที่มีขนาดรอยร้าวเริ่มต้น (Initial crack length) เท่ากับ a_i กระทำ ณ รอบที่ N_i มีความยาวรอยร้าวเพิ่มขึ้นจนถึงความยาวรอยร้าวสุดท้าย (Final crack length) ขนาด a_f กระทำ ณ รอบที่ N_f และเพื่อความสะดวกจะใช้สัญลักษณ์ N_{if} แทนจำนวนรอบของภาระที่มากระทำตั้งแต่รอบที่ N_i ถึงรอบที่ N_f

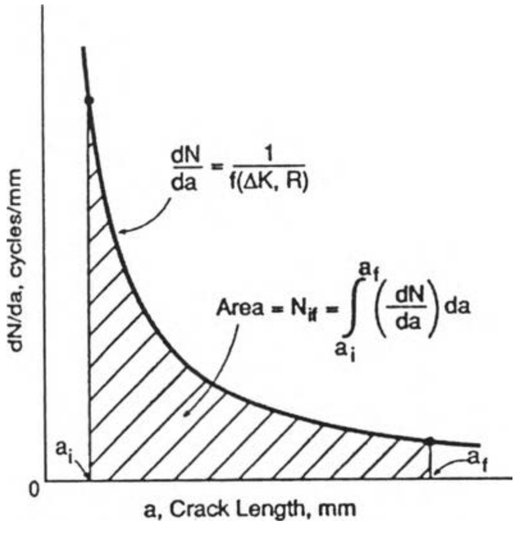
พิจารณาส่วนกลับของอัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{dN}{da}$) จะแสดงถึงอัตราการสะสมของจำนวนรอบ (N) ต่อการเพิ่มความยาวรอยร้าวหนึ่งหน่วยดังนี้

$$\frac{dN}{da} = \frac{1}{da/dN} = \frac{1}{f(\Delta K, R)} \qquad (3.19)$$

ดังนั้นจะได้

$$N_{if} = \int_{a_i}^{a_f} \left(\frac{dN}{da}\right) da \qquad (3.20)$$

หากนำสมการ (3.19) ไปแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของอัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{dN}{da}$) เทียบกับความยาวรอยร้าว (a) จะได้ว่าอายุความล้าจากความยาวรอยร้าวเริ่มต้น a_i ไปจนถึงความยาวรอยร้าวสุดท้าย a_f สามารถแสดงได้ด้วยพื้นที่ใต้เส้นโค้งในช่วงความยาวรอยร้าว a_i ถึง a_f ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการคำนวณหาอายุความล้าด้วยพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

ในการคำนวณอายุความล้าด้วยการอินทิเกรดดังสมการ (3.20) ที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถกระทำได้โดยง่ายสำหรับในกรณีที่ฟังก์ชัน $f(\Delta K, R)$ มีลักษณะไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น สมการของ Paris หากสมมุติให้ตัวประกอบเรขาคณิต (F) ในสมการ (3.11) มีค่าคงที่ตลอดช่วงความยาวรอยร้าวตั้งแต่ a_i ถึง a_f จะได้

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K, R) = C(\Delta K)^m \tag{3.21}$$

โดยที่

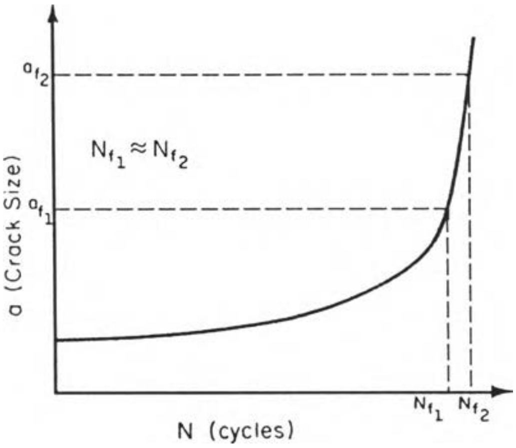
$$\Delta K = F \cdot \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \tag{3.22}$$

ดังนั้นจะได้ผลเฉลยแม่นตรง เมื่อ $m \neq 2$ คือ

$$N_{if} = \frac{a_f^{1-\frac{m}{2}} - a_i^{1-\frac{m}{2}}}{C \cdot (F \cdot \Delta\sigma \cdot \pi)^m \cdot (1 - \frac{m}{2})} \tag{3.23}$$

แต่ในกรณีที่ค่าตัวประกอบเรขาคณิต (F) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวรอยร้าว หรือกรณีที่รูปแบบของสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวมีลักษณะซับซ้อนยิ่งขึ้น จะทำให้การคำนวณเชิงวิเคราะห์เป็นไปได้ยาก ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้การระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาช่วยในการคำนวณหาอายุความล้านี้

การประเมินอายุความล้าของชิ้นงานที่มีรอยร้าว ในชิ้นงานที่มีความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) มากกว่าความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) มากๆ จะพบว่าอายุความล้าจะขึ้นอยู่กับความยาวรอยร้าวเริ่มต้นเป็นหลัก โดยที่ความยาวรอยร้าวสุดท้ายจะมีผลน้อย จากรูปที่ 3.5 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนค่าความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) จะมีผลกระทบต่อพื้นที่ใต้เส้นโค้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่บริเวณความยาวรอยร้าวเริ่มต้นจะมีพื้นที่มากเมื่อเทียบกับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่บริเวณความยาวรอยร้าวสุดท้าย



รูปที่ 3.5 แสดงผลกระทบของความยาวรอยร้าวสุดท้ายต่ออายุความล้า

สำหรับวิธีการในการทำนายอายุความล้าของรอยร้าวภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่โดยประมาณที่เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป [31] สามารถแสดงขั้นตอนโดยสรุปได้ดังนี้

1. เริ่มจากการกำหนดความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) และความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) ของชิ้นงาน
2. แบ่งการเติบโตของรอยร้าวออกเป็นช่วงๆ จากความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) ถึงความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) จำนวน $n-1$ ช่วง
3. ทำการคำนวณค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK_n) สำหรับแต่ละความยาวรอยร้าว (a_n)
4. คำนวณหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว ($\frac{da}{dN}$) จากสมการของ Paris ดังนี้

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_n = C(\Delta K_n)^m \tag{3.24}$$

5. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของอัตราการเติบโตของรอยร้าว สำหรับความยาวรอยร้าวสองตำแหน่งที่อยู่ติดกัน

$$\frac{(da/dN)_n + (da/dN)_{n+1}}{2} = \left(\frac{da}{dN}\right)_{avg} \tag{3.25}$$

6. คำนวณหาจำนวนรอบที่ใช้ในการเติบโตของรอยร้าวในแต่ละช่วงของความยาวรอยร้าว a_n ถึง a_{n+1} ดังนี้

$$\Delta N = \frac{\Delta a}{(da/dN)_{avg}} = \frac{2\cdot(a_{n+1} - a_n)}{(da/dN)_n + (da/dN)_{n+1}} \qquad (3.26)$$

จากขั้นตอนที่กล่าวมานี้ จะได้จำนวนรอบของภาระที่มากระทำในแต่ละช่วงของความยาวรอยร้าว a_n ถึง a_{n+1} ดังนั้นหากรวมจำนวนรอบของภาระ (ΔN) ทั้งหมดที่กระทำในช่วงความยาวรอยร้าวเท่ากับ a_i ถึง a_f จะได้ค่าประมาณของอายุความล้าทั้งหมด (N_{if}) โดยวิธีการประมาณอายุความล้าของรอยร้าวนี้ จะนำเสนอต่อไปในตัวอย่างการทำนายุความล้าของรอยร้าวในบทที่ 9