



บทที่ 3

การประยุกต์แนวทางของกลศาสตร์การแตกหัก กับปัญหาความล้า

ความเป็นมา

แม้ว่ากลศาสตร์การแตกหักยึดหยุ่นเชิงเส้นจะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้อธิบายความเสียหายที่เกิดกับวัสดุเปราะที่รับภาระสถิตย์ก็ตาม แต่เนื่องจากกลไกการเติบโตของรอยร้าวเป็นปรากฏการณ์เฉพาะที่(local phenomenon) ที่ขึ้นกับขนาดของความเค้นบริเวณปลายรอยร้าว (Wirsching and Kempert, 1976) และตัวประกอบความเข้มของความเค้นนั้นเป็นพารามิเตอร์ตัวเดียวที่บ่งบอกถึงขนาดของความเค้นในบริเวณใกล้เคียงกับปลายรอยร้าว ทำให้แนวทางในการเข้าถึงปัญหาความล้าในเชิงปริมาณโดยอาศัยโมเดลของพารามิเตอร์ความเข้มของความเค้นเริ่มต้นขึ้น ในราวปี ค.ศ. 1960 Paris P.C. ได้นำแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักไปประยุกต์กับปัญหาความล้าโดยแนวความคิดของเขาก็คือถ้าชิ้นส่วนรับภาระเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดบริเวณเสีรูปร่างพลาสติกที่ปลายรอยร้าวขนาดเล็ก ๆ แล้วค่าพิสัยของตัวประกอบความเข้มของความเค้น(stress intensity factor range)จะเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าว Paris ได้เสนอ empirical formular ในรูป $da/dN = C(\Delta K)^m$ โดย C และ m คือค่าคงตัวที่ได้จากการทดลอง อย่างไรก็ตามแนวคิดดังกล่าวนั้นกลับไม่เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง แม้ Paris จะยืนยันความเป็นไปได้ของแนวคิดดังกล่าวโดยอาศัยผลการทดสอบกับวัสดุในกลุ่มโลหะชนิดต่าง ๆ ก็ตาม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการประยุกต์แนวทางของกลศาสตร์การแตกหักกับปัญหาความล้านั้นเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางแล้ว เนื่องจากมีข้อได้เปรียบเหนือแนวทางการเข้าถึงปัญหาความล้าแบบอื่น ๆ หลายประการ นอกจากนี้ข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวของวัสดุต่าง ๆ ภายใต้สภาวะทดสอบต่าง ๆ ประกอบกับการพัฒนาแบบจำลองอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่เพิ่มมากขึ้นทำให้แนวทางของกลศาสตร์การแตกหักยังมีความเชื่อถือได้ในการทำนายอายุความล้าของชิ้นส่วน และโดดเด่นเหนือแนวทางอื่น ๆ มากยิ่งขึ้น

ความสัมพันธ์พื้นฐานเกี่ยวกับภาระกระทำเป็นรอบ

ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมพลิจูดคงที่(constant amplitude loading) ก็คือภาระกระทำเป็นรอบที่มีขนาดของภาระสูงสุด และขนาดของภาระต่ำสุดคงที่ตลอดเวลา ภาระดังกล่าวต้องการตัวแปรหรือพารามิเตอร์ในการบ่งบอกลักษณะของภาระ 2 ตัวแปรพร้อม ๆ กัน

พารามิเตอร์พื้นฐานที่ควรทราบมีดังนี้ พิสัยความเค้น(stress range) คือผลต่างระหว่างค่าความเค้นสูงสุด และต่ำสุด เขียนแทนด้วย $\Delta\sigma$ ความเค้นเฉลี่ย(mean stress) คือค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความเค้นสูงสุด และต่ำสุด เขียนแทนด้วย σ_m แอมพลิจูดความเค้น(stress amplitude) หรือเรียกได้อีกอย่างว่าความเค้นส่วนเปลี่ยนแปลง(alternating stress) คือครึ่งหนึ่งของพิสัยความเค้น เขียนแทนด้วย σ_a พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวถึงนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (3.1)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (3.2)$$

และ

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2} \quad (3.3)$$

นิยามอัตราส่วนความเค้น(stress ratio) และอัตราส่วนแอมพลิจูด(amplitude ratio) ซึ่งเขียนแทนด้วย R และ A ตามลำดับ ดังนี้

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (3.4)$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} \quad (3.5)$$

จากนิยามที่กำหนดขึ้นในสมการที่ (3.4) และ (3.5) เราจะสามารถเขียนสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) เสียใหม่ได้เป็น

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} \cdot (1 - R) \quad (3.6)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2} \cdot (1 + R) \quad (3.7)$$

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

นอกจากนี้เราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R และ A ได้ดังต่อไปนี้

$$R = \frac{1 - A}{1 + A} \quad (3.9)$$

และ

$$A = \frac{1 - R}{1 + R} \quad (3.10)$$

Kujawski และ Ellyin (1987) กล่าวว่าอัตราส่วนความเค้นที่ระยะทางต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่บริเวณใกล้ ๆ กับปลายรอยร้าวมาก ๆ ถึงขอบเขตของบริเวณเสีयरูปแบบพลาสติกกรณีรับภาระกระทำเป็นรอบ และขอบเขตของบริเวณเสีयरูปแบบพลาสติกกรณีรับภาระสถิตย์ตามลำดับนั้นจะมีค่าไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ดีที่ระยะห่างจากปลายรอยร้าวมากกว่าขนาดของบริเวณเสีयरูปแบบพลาสติกกรณีรับภาระสถิตย์ การถือว่าอัตราส่วนภาระ(load ratio) สมมูลกับอัตราส่วนความเค้นนั้นเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ และเมื่อพิจารณาสมการที่ (2.14) ถึง (2.16) จะพบว่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเข้มของความเค้นจะสมมูลกับอัตราส่วนภาระด้วยเช่นกัน ดังแสดงในสมการที่ (3.11)

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{K_{\min}}{K_{\max}} \quad (3.11)$$

แนวทางของกลศาสตร์การแตกหัก

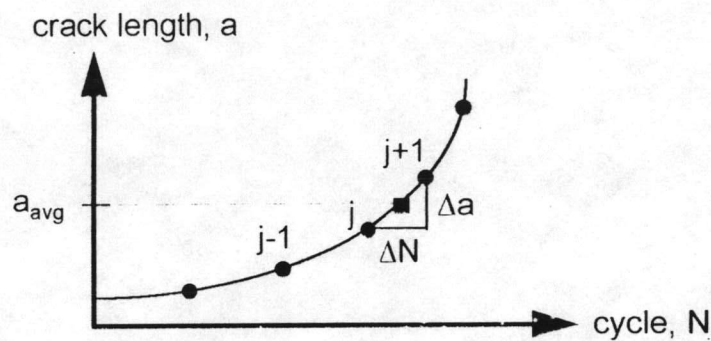
เป้าหมายหลักของการนำแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักไปประยุกต์กับปัญหาความล้านั้นก็เพื่อประเมินจำนวนรอบที่รอยร้าวต้องการเพื่อเติบโตจากความยาวเริ่มต้นค่าหนึ่งถึงความยาวสิ้นสุดค่าหนึ่ง โดยการประเมินนั้นจะอาศัยข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานดังกล่าว ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดการหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่งานวิจัยนี้ดำเนินการ ตลอดจนรายละเอียด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การสร้างเส้นโค้งอัตราเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

ขั้นตอนในการสร้างเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (fatigue crack growth rate curve) สามารถอธิบายให้เข้าใจได้โดยง่ายโดยเริ่มจากการพิจารณาเส้นโค้ง

การเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (fatigue crack growth curve) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลดิบประกอบด้วย ความยาวรอยร้าว และจำนวนรอบของภาระที่มากกระทำ ณ ความยาวรอยร้าว นั้นนั้น (รูปที่ 3.1)

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.1 จะเห็นว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวก็คือค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่แทนเส้นโค้งดังกล่าว แต่เนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) ทำให้ต้องประมาณค่าอนุพันธ์ดังกล่าวด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นโค้งการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

$$\left. \frac{da}{dN} \right)_j \approx \left. \frac{\Delta a}{\Delta N} \right)_j = \frac{a_{j+1} - a_j}{N_{j+1} - N_j} \quad (3.12)$$

โดย ตัวห้อย j แสดงถึงการคำนวณลำดับที่ j

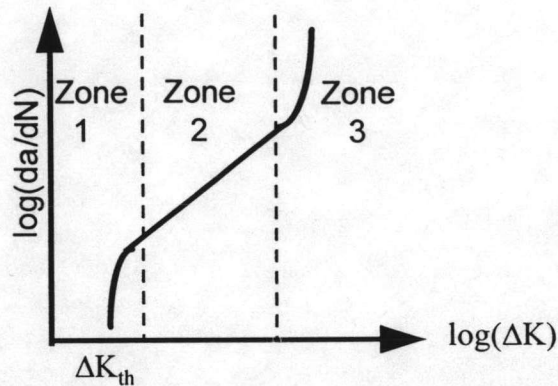
เมื่อได้อัตราการเติบโตของรอยร้าวในช่วงที่ j แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการหาค่าความยาวรอยร้าวเฉลี่ยในการคำนวณลำดับที่ j จากสมการที่ (3.13)

$$a_{avg})_j = \frac{a_{j+1} + a_j}{2} \quad (3.13)$$

หลังจากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณได้จากสมการ (3.13) ไปแทนในสมการที่ (2.14) ที่ถูกปรับแก้เล็กน้อยเพื่อใช้หาค่าพิสัยของความเข้มของความเค้น ผลลัพธ์สุดท้ายแสดงอยู่ในสมการที่ (3.14)

$$\Delta K)_j = \frac{\Delta P}{B \cdot \sqrt{W}} \cdot f \left(\frac{a_{avg})_j}{W} \right) \quad (3.14)$$

ของความเค้นเป็นแกนนอน และใช้สเกลแบบล็อก-ล็อก สำหรับกราฟอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ได้นั้นจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทั่วไปของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

2. บริเวณต่าง ๆ ของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าว

เมื่อพิจารณาเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าเราสามารถแบ่งเส้นโค้งดังกล่าวออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1 บริเวณใกล้ขีดเริ่ม (near threshold regime)

การเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในอาณาบริเวณนี้ถือเป็นกระบวนการเสียหายที่ไม่ต่อเนื่อง (noncontinuum failure process) อัตราการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้จะมีค่าต่ำกว่า 10^{-6} มม./รอบ พารามิเตอร์ที่สำคัญในบริเวณนี้ก็คือ ค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นขีดเริ่มซึ่งเขียนแทนด้วย ΔK_{th} ณ จุดนี้จะเป็นตำแหน่งที่ไม่สามารถตรวจวัดการเติบโตของรอยร้าวได้เมื่อจำนวนรอบของภาระผ่านไป $q/10^{-11}$ รอบ โดย q แทนความละเอียด (resolution) ของการวัดมีหน่วยเป็นเมตร (Taylor, 1989) ดังนั้นในกรณีที่มีความละเอียดเท่ากับ 0.1 มม. โดยนิยามดังกล่าวจะถือว่า ΔK_{th} เกิดที่ตำแหน่ง $da/dN = 10^{-8}$ มม./รอบ พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้จะขึ้นกับโครงสร้างระดับจุลภาค อัตราส่วนภาระ และลักษณะของสภาพแวดล้อมอย่างมาก



2.2 บริเวณรอยร้าวเติบโตอย่างเสถียร (stable crack growth regime)

บริเวณนี้ถือได้ว่ามีค่าความสำคัญไม่น้อยไปกว่าบริเวณใกล้ขีดเริ่ม ทั้งนี้เนื่องจากอายุความล้าส่วนใหญ่ของชิ้นส่วนจะตกอยู่ภายในอาณาบริเวณนี้ สำหรับวัสดุส่วนใหญ่ นั้นเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้สามารถประมาณได้เป็นเส้นตรง รูปแบบหนึ่งของสมการเส้นตรงซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีก็คือสมการของ Paris ซึ่งเขียนอยู่ในรูป

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m \quad (3.15)$$

พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้โดยทั่วไปจะไม่ขึ้นกับโครงสร้างระดับจุลภาค และอัตราส่วนภาระมากนัก

2.3 บริเวณรอยร้าวเติบโตอย่างไม่เสถียร

ในบริเวณนี้รอยร้าวจะเติบโตอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดความเสียหายในที่สุด อายุความล้าในอาณาบริเวณนี้จะมีค่าน้อยทำให้การศึกษาพฤติกรรมการเติบโตในบริเวณนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณนี้จะขึ้นกับโครงสร้างระดับจุลภาค และอัตราส่วนภาระอย่างมาก แต่จะไม่ขึ้นกับลักษณะของสภาพแวดล้อมมากนัก

3. สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

ในการประเมินอายุความล้าของชิ้นส่วนเราจำเป็นต้องทราบสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนนั้น ๆ สมการที่ใช้แสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่พื้นฐานที่สุดก็คือสมการของ Paris แต่สมการดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องตรงที่ไม่ได้คำนึงถึงผลของตัวแปรอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของภาระ จากจุดนี้เองที่นำไปสู่การดัดแปลงสมการของ Paris เพื่อให้สามารถครอบคลุมบริเวณของการเติบโตของรอยร้าวได้มากกว่าเดิมซึ่งครอบคลุมเพียงบริเวณที่สอง อีกทั้งครอบคลุมลักษณะของภาระแบบแอมพลิจูดคงที่ได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป ได้แก่ อัตราส่วนภาระ ค่าพิสัย ความเข้มของความเค้นขีดเริ่ม เป็นต้น อย่างไรก็ตามสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเหล่านั้นจะประกอบด้วยค่าคงตัวที่ไม่ทราบค่ารวมอยู่ด้วย ซึ่งค่าคงตัวเหล่านั้นสามารถหาได้จากการทำ

การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least square regression analysis) กับจุดข้อมูลที่พล็อตบนกราฟ $da/dN - \Delta K$

สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ สมการของ Walker และสมการของ Foreman ซึ่งแสดงอยู่ในสมการที่ (3.16) และ (3.17) ตามลำดับ

$$\frac{da}{dN} = \frac{C}{(1-R)^{m(1-r)}} \cdot (\Delta K)^m \quad (3.16)$$

$$\frac{da}{dN} = \frac{C \cdot (\Delta K)^m}{(1-R) \cdot K_c - \Delta K} \quad (3.17)$$

สมการของ Walker นั้นครอบคลุมเพียงบริเวณที่สองของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ในขณะที่สมการของ Foreman จะครอบคลุมบริเวณที่สองและสาม นอกจากนี้สมการทั้งสองสามารถใช้ได้กับกรณีที่ R มีค่าเป็นบวกเท่านั้น (Besuner et al., 1986) จากข้อจำกัดดังกล่าวนำไปสู่แนวความคิดที่ว่าในการเลือกเส้นกราฟเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลจากการทดสอบนั้นเราจำเป็นต้องพิจารณาถึงลักษณะของข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ได้จากการทดลองในอาณาบริเวณที่สนใจ ร่วมกับความสามารถและขีดจำกัดของสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวควบคู่กันไปด้วยเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น

4. การคำนวณอายุความล้า

จากหัวข้อที่แล้วเราจะเห็นว่าสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้คือ

$$\frac{da}{dN} = g(\Delta K, R, \dots) \quad (3.18)$$

การคำนวณอายุความล้าจากสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวจะเริ่มต้นจากการจัดรูปสมการที่ (3.18) เสียใหม่เป็น

$$\frac{dN}{da} = \frac{1}{g(\Delta K, R, \dots)} \quad (3.19)$$

อินทิเกรตทั้งสองข้าง จะได้

$$N = \int_{a_i}^{a_f} \frac{1}{g(\Delta K, R, \dots)} da \quad (3.20a)$$

หรือ

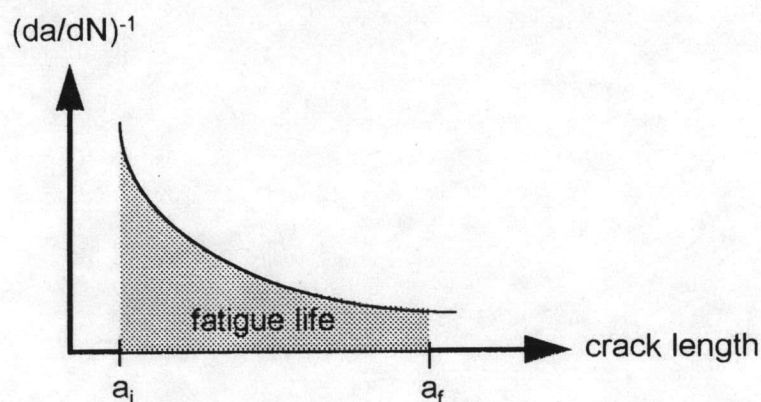
$$N = \int_{a_i}^{a_f} \frac{1}{\left(\frac{da}{dN}\right)} da \quad (3.20ข)$$

การเขียนสมการที่ใช้หาอายุความล้าในรูปของสมการที่(3.20ก)นั้นเหมาะกับกรณีที่ฟังก์ชัน g มีลักษณะไม่ซับซ้อน เช่น สมการของ Paris ซึ่งในกรณีนี้ถ้าถือว่าตัวประกอบเรขาคณิตมีค่าคงที่ตลอดช่วงความยาวรอยร้าวเท่ากับ a_i ถึง a_f เราจะได้ผลเฉลยแม่นยำตรงเมื่อ $m \neq 2$ คือ

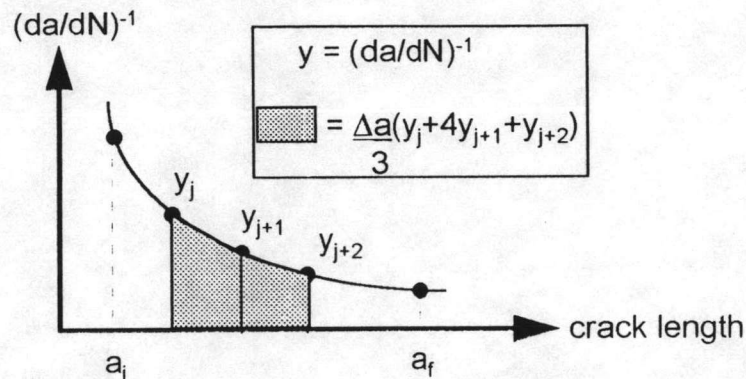
$$N = \frac{a_f^{1-\frac{m}{2}} - a_i^{1-\frac{m}{2}}}{C(\Delta K)^m \cdot (1-\frac{m}{2})} \quad (3.21)$$

แต่ในกรณีที่ต้องการการคำนวณอย่างละเอียดโดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวประกอบเรขาคณิตขณะที่รอยร้าวมีความยาวเพิ่มมากขึ้นด้วย หรือในกรณีที่สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวอยู่ในรูปที่ซับซ้อนขึ้น ดังที่แสดงในสมการที่ (3.16) และ (3.17) การเขียนสมการที่ใช้หาอายุความล้าในแบบของสมการที่(3.20ข)จะสามารถตีความได้ง่ายกว่าดังนี้คือ เมื่อพิจารณาสมการที่(3.20ข)จะเห็นว่าอายุความล้าคือพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่เป็นส่วนกลับของสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวในช่วงความยาวรอยร้าวเท่ากับ a_i ถึง a_f (รูปที่ 3.3)

พื้นที่ใต้เส้นโค้ง y ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นั้นสามารถหาได้จากการอินทิเกรตเชิงตัวเลข(numerical integration) โดยใช้ระเบียบวิธีแบบใดก็ได้



รูปที่ 3.3 แสดงความหมายทางกายภาพของอายุความล้าซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ที่เขียนอยู่ในรูปสมการที่ (3.20ข)



รูปที่ 3.4 แสดงคำนวณพื้นที่ใต้เส้นกราฟโดยใช้กฎของซิมป์สัน

ในกรณีที่เลือกใช้กฎของซิมป์สัน หากทำการแบ่งการอินทิเกรตพื้นที่ใต้เส้นกราฟ ออกเป็นส่วน ๆ โดยให้ความกว้างในแต่ละส่วนมีค่าเท่าๆ กัน (รูปที่ 3.4) เป็นจำนวน k ส่วน(จำนวนคู่) แล้วเราจะได้

$$\int_{a_j}^{a_{j+2}} y da = \frac{\Delta a}{3} \cdot (y_j + 4 \cdot y_{j+1} + y_{j+2}) \quad (3.22)$$

โดย Δa แทนความกว้างของช่วง และ $j = 0, 2, 4, 6, \dots, k/2$

อย่างไรก็ดีเพื่อให้ค่าอินทิกรัลมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นและไม่เสียเวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นมากนักจึงได้มีการดัดแปลงกฎของซิมป์สันเสียใหม่โดยให้ขนาดของช่วงในบริเวณที่เส้นกราฟมีความชันมากมีค่าน้อย และค่อย ๆ เพิ่มขนาดของช่วงเมื่อเส้นกราฟมีความชันลดลง Dowling(1993) ได้กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของช่วงถัดไปกับขนาดของช่วงก่อนหน้าเป็นแบบลำดับเรขาคณิต(geometric sequence) ตามสมการที่ (3.23)

$$a_n = a_i \cdot r^n \quad (3.23)$$

โดย r แทนอัตราส่วนร่วม(common ratio) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนร่วมจะมีค่ามากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้ก็เพื่อให้ขนาดของช่วงเพิ่มขึ้น ค่าของ r สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$r = \left(\frac{a_f}{a_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.24)$$

และสมการที่ (3.22) จะกลายเป็น

$$\int_{a_j}^{a_{j+2}} y da = \frac{a_j \cdot (r^2 - 1)}{6 \cdot r} \cdot [y_j \cdot r \cdot (2 - r) + y_{j+1} \cdot (r + 1)^2 + y_{j+2} \cdot (2r - 1)] \quad (3.25)$$

5. มาตรฐานการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าว

มาตรฐานในการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่งานวิจัยนี้ยึดเป็นแนวทางก็คือมาตรฐาน ASTM E 647-93 ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดในการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมพลิจูดคงที่ของชิ้นงานทดสอบ 2 ชนิดคือ CT และ MT แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้เลือกใช้ชิ้นงานทดสอบแบบ CT ดังนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานทดสอบชนิดนี้เท่านั้น

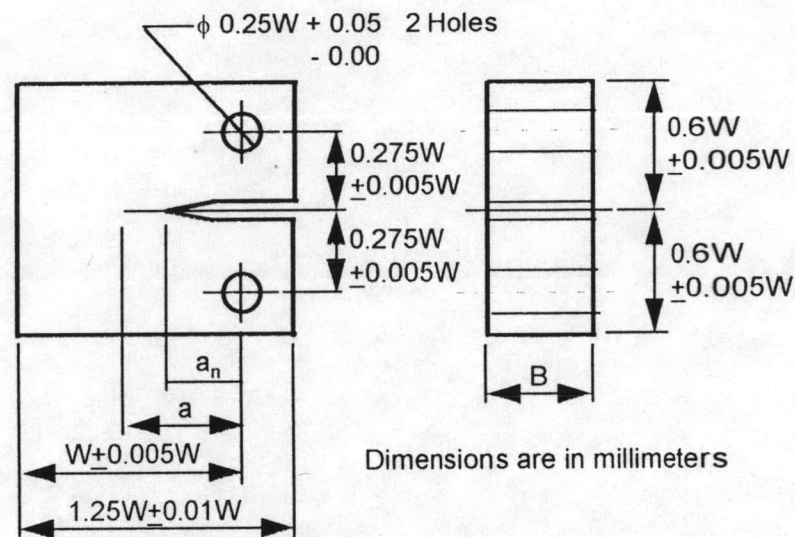
5.1 มิติของชิ้นงานทดสอบ

มิติของชิ้นงานทดสอบแบบ CT ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 3.5 นั้นมีรายละเอียดตามมาตรฐานการทดสอบซึ่งสามารถแจกแจงเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- ความยาวของรอยบากกล(รูปที่ 3.6) a_n ต้องไม่ต่ำกว่า $0.2W$
- ความยาวของเนื้อวัสดุบริเวณที่ยังไม่ปรากฏรอยร้าว(uncracked ligament) ซึ่งกำหนดโดย $W-a$ จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้

$$W - a \geq \left(\frac{4}{\pi} \right) \cdot \left(\frac{K_{max}}{\sigma_y} \right)^2 \quad (3.26)$$

- ความกว้างของรอยบากกล(รูปที่ 3.6) h ต้องไม่เกิน $W/16$
- ความหนาของชิ้นงานทดสอบ B นั้นตามมาตรฐานแนะนำว่าควรอยู่ในช่วง $W/20 \leq B \leq W/4$ แต่อย่างไรก็ดีสามารถใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีความหนามากถึง $W/2$ ได้



รูปที่ 3.5 แสดงมิติของชิ้นงานทดสอบแบบ CT ตามมาตรฐาน ASTM E 647-93

5.2 ขั้นตอนการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว

ขั้นตอนในการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

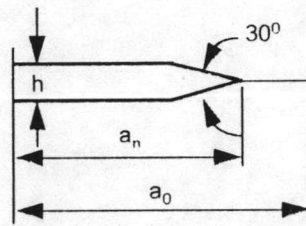
5.2.1 สร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้าต่อจากรอยบากทางกลให้มีความยาว และความตรงตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อให้ผลกระทบบจากรอยบากกลหมดไป

5.2.2 ทำการทดสอบภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมพลิจูดคงที่ ณ สภาวะของภาระตามที่ต้องการ โดยขณะทำการทดสอบนั้นจะต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนรอบ และความยาวรอยร้าว ณ ค่าจำนวนรอบนั้น ๆ เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

5.3 ข้อกำหนด และค่าแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

- ความยาวของรอยร้าวก่อนหน้า $a_0 - a_n$ (รูปที่ 3.6) ต้องไม่น้อยกว่าค่ามากที่สุดของ $0.1B$ หรือ h หรือ 1.0 มม.

- ค่า K_{max} สูงท้ายระหว่างการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าจะต้องไม่เกินค่า K_{max} เริ่มต้นที่ใช้สำหรับการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าว



รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของรอยบาก

- เพื่อลดระยะเวลาในการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า มาตรฐานดังกล่าวยอมให้มีการเริ่มต้นการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าโดยใช้ภาระค่าสูง ๆ ได้ แต่ก็ต้องลดขนาดของภาระลงจนค่า K_{max} ท้ายสุดของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าไม่มากกว่าค่า K_{max} ตอนเริ่มต้นการทดสอบ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าไม่ควรลดขนาดของภาระเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ในแต่ละครั้ง ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการเกิดการหยุดการเติบโตของรอยร้าว (crack arrest) และเพื่อลดผลของภาระก่อนหน้า มาตรฐานดังกล่าวกำหนดให้รอยร้าวต้องเติบโตไปเป็นระยะ 3 เท่าของบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกในสถานะความเค้นระนาบ

- ความแตกต่างของความยาวรอยร้าวล้าที่วัดที่ผิวชิ้นงานทดสอบทั้งสองด้านต้องแตกต่างกันไม่เกิน $0.25B$ ทั้งในขณะทำการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า และขณะทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว หากเงื่อนไขดังกล่าวไม่เป็นจริงจะถือว่าข้อมูลที่ได้นั้นไม่ถูกต้อง (invalid)

- ในระหว่างทำการทดสอบ เราสามารถหยุดกระทำภาระต่อชิ้นงานทดสอบได้ แต่ต้องเริ่มต้นการกระทำภาระใหม่อีกครั้งในช่วงเวลาไม่เกิน 10 นาที

- ช่วงการวัดความยาวรอยร้าวตามที่มาตรฐานแนะนำไว้ มีดังนี้

$$\Delta a < 0.04W \quad \text{สำหรับ } 0.25 < a/W < 0.40$$

$$\Delta a < 0.02W \quad \text{สำหรับ } 0.40 < a/W < 0.60$$

$$\Delta a < 0.01W \quad \text{สำหรับ } a/W > 0.60$$

นอกจากนี้ค่า Δa ต่ำสุดที่ยอมรับได้ก็คือ 0.25 มม. อย่างไรก็ตามค่า Δa ต่ำสุดสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ที่ว่าค่า Δa ต่ำสุดมีค่าประมาณ 10 เท่าของความเที่ยงตรงในการวัด ซึ่งอาจจะน้อยกว่า 0.25 มม. ก็ได้

- หากเส้นทางการเติบโตของรอยร้าวเบี่ยงเบนจากระนาบสมมาตรมากกว่า 20 องศา เป็นระยะทาง $0.1W$ หรือมากกว่าจะถือว่าข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้อง (invalid)