

บทที่ 6

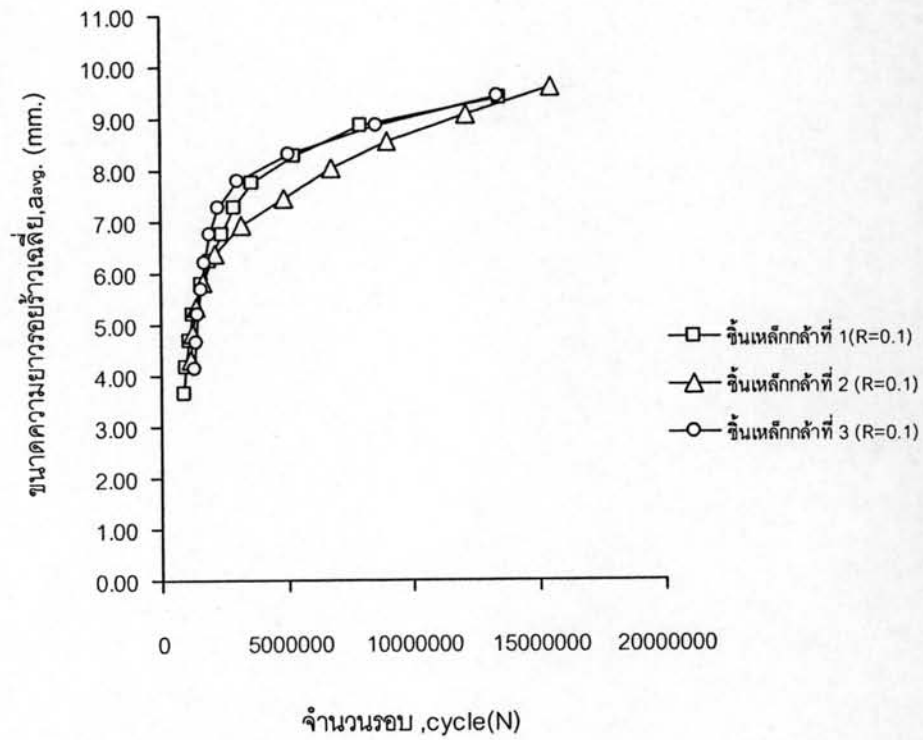
การอภิปรายผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบ และการวิเคราะห์ผลของขนาดความยาวรอยร้าวเติบโตเนื่องจากความล้าต่อความกว้างของชั้นเหล็กกล้าทดสอบ (a/W) ภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบ (N) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบต้องอยู่ภายใต้ขอบเขตเงื่อนไขตามที่มาตรฐานการทดสอบ ASTM E647-05 [2] ยอมรับ สำหรับการเลือกใช้ลักษณะรูปแบบของชั้นเหล็กกล้าทดสอบในแบบมาตรฐานชนิด compact-tension (CT-Specimen) ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ และรวมถึงการเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนภาระที่แตกต่างกัน ($R = 0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) และพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) โดยใช้ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกไว้ในภาคผนวก ข.2 และการประมวลผลแสดงในรูปแบบของกราฟ log-log สเกล ในบทที่ 5 เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการทดสอบซ้ำภายใต้เงื่อนไขการทดสอบละ 3 ชั้น (รวมทั้งหมด 12 ชั้น) เพื่อเป็นการสอบทวนถึงผลการทดสอบที่ได้จากการทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขของอัตราส่วนภาระ (R) ที่แตกต่างกัน และข้อมูลที่ทำการประมวลผลแสดงเป็นกราฟแบบ log-log สเกล และการวิเคราะห์ผลที่ได้นำไปหาข้อสรุปในลำดับต่อไป

6.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวรอยร้าวเฉลี่ยภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบ

ที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.1$)

ใช้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น



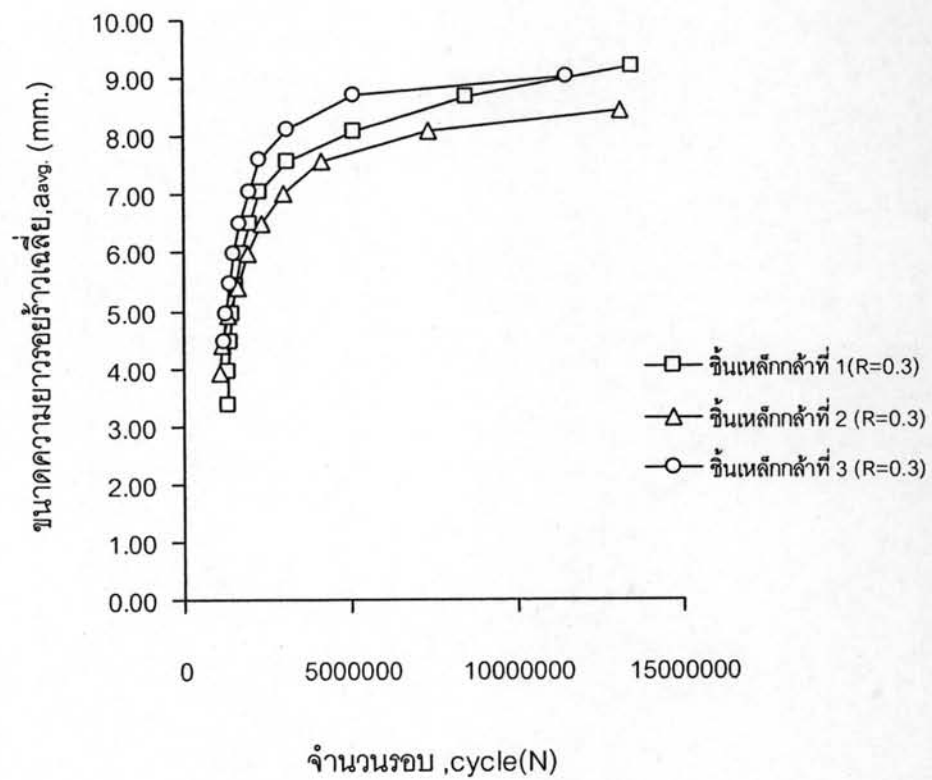
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวรอยร้าวเฉลี่ยเติบโต

ภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.1$)

การทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R=0.1$) โดยใช้เหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ภายหลังจากการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้าด้วยภาระกระทำเริ่มต้นที่ 1.90 ± 0.6 ตัน ขนาด ความถี่ (f) 10 Hz. คงที่ตลอดการทดสอบ และทำการปรับลดภาระลงที่ ภาระสูงสุด 1.500 ตัน ภาระต่ำสุด 0.150 ตัน พบว่ารอยร้าวเติบโตเฉลี่ยจากปลายรอยบากกล มีขนาด 3.67, 3.70 และ 3.62 mm. ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงแรกของการ เติบโตรอยร้าวมีลักษณะการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบในลักษณะใกล้เคียง กัน และเริ่มแตกต่างกันเมื่อจำนวนรอบภาระกระทำเพิ่มสูงขึ้นที่ 1610143, 1696512 และ 1574787 รอบ ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ลักษณะของเส้นกราฟที่ประมวลผล ได้บ่งบอกถึงการเติบโตของรอยร้าวที่ช้าลงภายใต้ภาระกระทำที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากการ ปรับภาระลงที่ 8 % ของภาระก่อนหน้า ทุกๆ ผลต่างความยาวรอยร้าวเติบโตมีขนาด ($\Delta a = 0.50\text{mm.}$) จนสิ้นสุดกระบวนการทดสอบในหนึ่งการทดสอบ

ที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.3$)

ใช้ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น



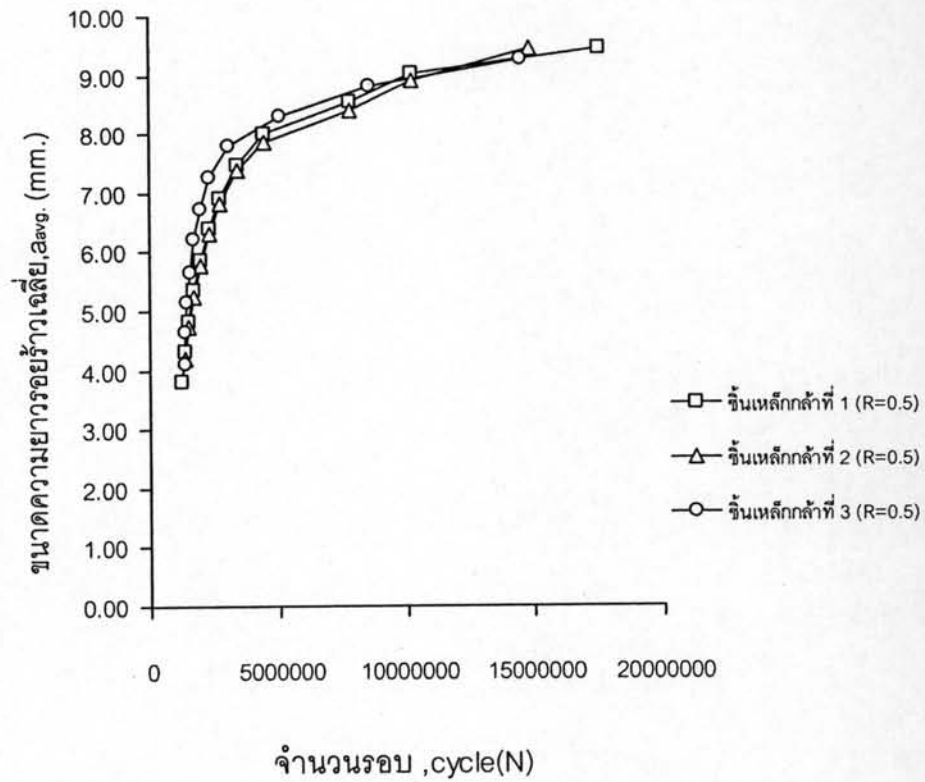
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวรอยร้าวเฉลี่ยเติบโต

ภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.3$)

การทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ ($R=0.3$) โดยใช้เหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ภายหลังจากการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้าด้วยภาวะกระทำเริ่มต้นที่ 1.90 ± 0.6 ตัน ขนาดความถี่ (f) 10 Hz. คงที่ตลอดการทดสอบ และทำการปรับลดภาวะลงที่ ภาวะสูงสุด 1.500 ตัน ภาวะต่ำสุด 0.450 ตัน พบว่ารอยร้าวเติบโตเฉลี่ยจากปลายรอยบากกล มีขนาด 3.37, 3.40 และ 3.90 mm. ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงแรกของการเติบโต รอยร้าวมีลักษณะการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาวะกระทำเป็นรอบในลักษณะใกล้เคียงกัน และเริ่มแตกต่างกันเมื่อจำนวนรอบภาวะกระทำเพิ่มสูงขึ้นที่ 1474206, 1354206 และ 1287361 รอบ ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ลักษณะของเส้นกราฟที่ประมวลผลได้บ่งบอกถึงการเติบโตของรอยร้าวที่ช้าลงภายใต้ภาวะกระทำที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากการปรับภาวะลงที่ 8 % ของภาวะก่อนหน้า ทุกๆ ผลต่างความยาวรอยร้าวเติบโตมีขนาด ($\Delta a = 0.50 \text{ mm.}$) จนสิ้นสุดกระบวนการทดสอบในหนึ่งการทดสอบ

ที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.5$)

ใช้ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น



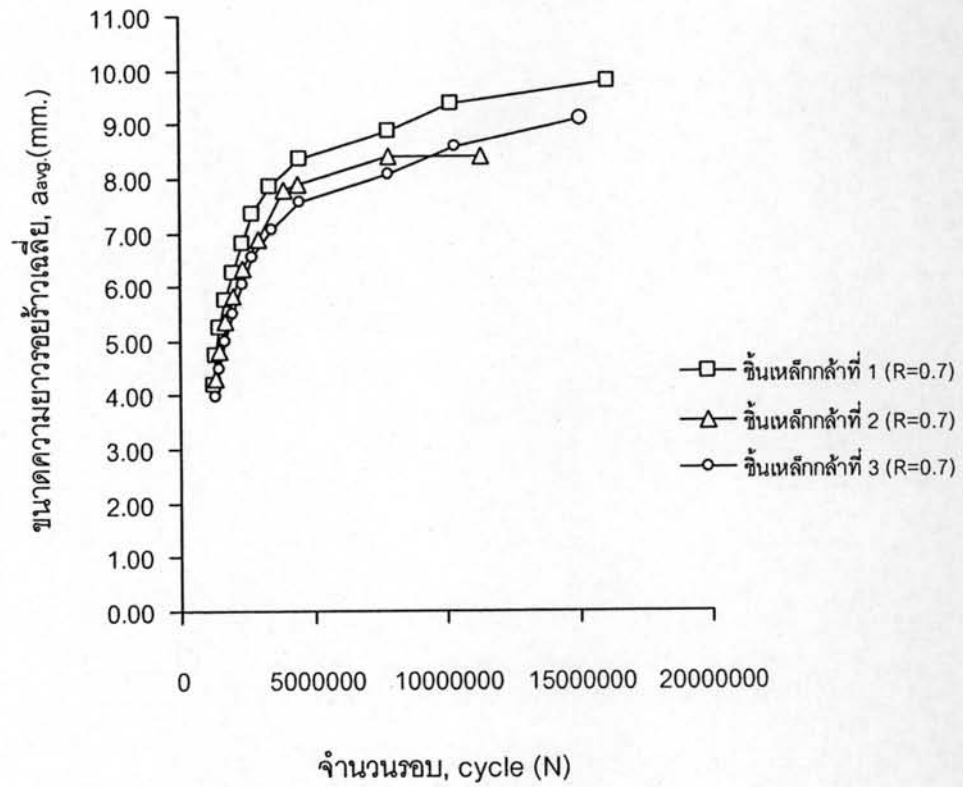
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวรอยร้าวเฉลี่ยเติบโต

ภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.5$)

การทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ ($R=0.5$) โดยใช้เหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ภายหลังจากการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้าด้วยภาวะกระทำเริ่มต้นที่ 1.90 ± 0.6 ตัน ขนาดความถี่ (f) 10 Hz. คงที่ตลอดการทดสอบ และทำการปรับลดภาวะลงที่ ภาวะสูงสุด 1.500 ตัน ภาวะต่ำสุด 0.750 ตัน พบว่ารอยร้าวเติบโตเฉลี่ยจากปลายรอยบากกล มีขนาด 3.82, 3.68 และ 3.61 mm. ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงแรกของการเติบโต รอยร้าวมีลักษณะการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาวะกระทำเป็นรอบในลักษณะใกล้เคียงกัน และเริ่มแตกต่างกันเมื่อจำนวนรอบภาวะกระทำเพิ่มสูงขึ้นที่ 1713739, 1492268 และ 1392354 รอบ ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ลักษณะของเส้นกราฟที่ประมวลผลได้บ่งบอกถึงการเติบโตของรอยร้าวที่ช้าลงภายใต้ภาวะกระทำที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากการปรับภาวะลงที่ 8 % ของภาวะก่อนหน้า ทุกๆ ผลต่างความยาวรอยร้าวเติบโตมีขนาด ($\Delta a = 0.50 \text{ mm.}$) จนสิ้นสุดกระบวนการทดสอบในหนึ่งการทดสอบ

ที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.7$)

ใช้ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวรอยร้าวเฉลี่ยเติบโต

ภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.7$)

การทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ ($R=0.7$) โดยใช้เหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ภายหลังจากการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้าด้วยภาวะกระทำเริ่มต้นที่ 1.90 ± 0.6 ตัน ขนาด ความถี่ (f) 10 Hz. คงที่ตลอดการทดสอบ และทำการปรับลดภาระลงที่ ภาวะสูงสุด 1.500 ตัน ภาวะต่ำสุด 1.050 ตัน พบว่ารอยร้าวเติบโตเฉลี่ยจากปลายรอยบากกลมมีขนาด 4.20, 3.81 และ 3.52 mm. ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงแรกของการเติบโต รอยร้าวมีลักษณะการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาวะกระทำเป็นรอบในลักษณะใกล้เคียงกัน และเริ่มแตกต่างกันเมื่อจำนวนรอบภาวะกระทำเพิ่มสูงขึ้นที่ 1493167, 1489716 และ 1493167 รอบ ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ลักษณะของเส้นกราฟที่ประมวลผล ได้บ่งบอกถึงการเติบโตของรอยร้าวที่ช้าลงภายใต้ภาวะกระทำที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากการ ปรับภาระลงที่ 8 % ของภาวะก่อนหน้า ทุกๆ ผลต่างความยาวรอยร้าวเติบโตมีขนาด ($\Delta a = 0.50\text{mm.}$) จนสิ้นสุดกระบวนการทดสอบในหนึ่งการทดสอบ

6.2 การตรวจสอบผลของขนาดความยาวรอยร้าวต่อความกว้างของชั้นเหล็กกล้าทดสอบ
ภายใต้ค่าช่วง (a/W) ตามมาตรฐาน ASTM E647-05 ยอมรับ

ตารางที่ 6.1 สรุปผลของขนาดความยาวรอยร้าวต่อความกว้างของชั้นเหล็กกล้าทดสอบ (a/W)
ที่อัตราส่วนภาระต่างๆ ($R=0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7)

ลำดับ ที่	R=0.1			R=0.3			R=0.5			R=0.7		
	(a/w) ₁	(a/w) ₂	(a/w) ₃	(a/w) ₁	(a/w) ₂	(a/w) ₃	(a/w) ₁	(a/w) ₂	(a/w) ₃	(a/w) ₁	(a/w) ₂	(a/w) ₃
1	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27
2	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28
3	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30	0.31	0.30	0.30
5	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31
6	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32	0.33	0.32	0.32
7	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33
8	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.34	0.34	0.35	0.35	0.34
9	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35
10	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36
11	0.37	0.38	0.37	0.37	0.36	0.38	0.38	0.37	0.37	0.38	0.36	0.37
12	0.38	0.39	0.38	0.38	-	-	0.38	0.39	0.38	0.39	-	0.38

หมายเหตุ: หมายเลขที่แสดงนอกวงเล็บ คือ ลำดับของชั้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3

สำหรับข้อมูลในลำดับที่ 12 ของผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R=0.5$) ชั้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 2, 3

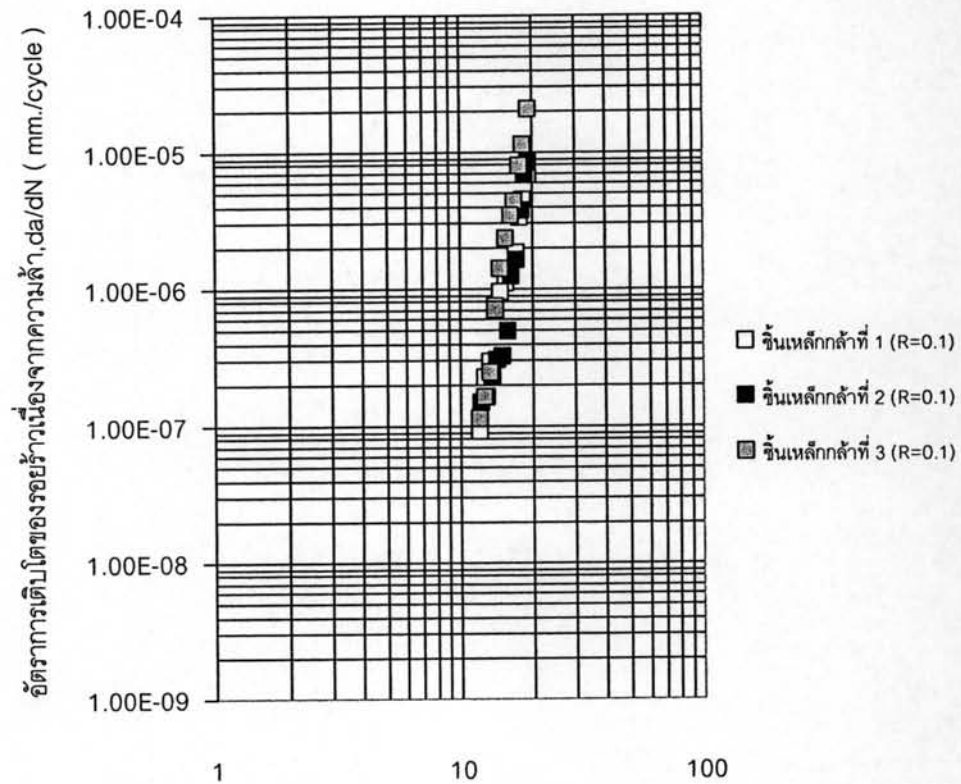
และผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R=0.7$) ชั้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 2 ได้ทำการหยุดภาระกระทำ

เนื่องจากขนาดของรอยร้าวไม่เติบโตในการปรับลดภาระกระทำในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ

สำหรับการทดสอบทั้งหมดจำนวน 12 ชั้น เลือกใช้รูปแบบของชั้นเหล็กกล้าทดสอบในแบบ compact-tension (CT-Specimen) เพื่อใช้ทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) กระทำภายใต้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM E647-05 [2] กำหนดและขนาดการเปลี่ยนแปลงของความยาวรอยร้าวเติบโตต่อความกว้างของชั้นเหล็กกล้าทดสอบถูกกระทำภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบ (N) จนถึงสุดกระบวนกรทดสอบใน 1 ชั้น ในหนึ่งการทดสอบสำหรับอัตราส่วนภาระ (R) หนึ่งค่า นั้น ผลที่ได้จากการทดสอบต้องอยู่ในช่วง $(0.25 \leq \frac{a}{W} \leq 0.40)$ และผลต่างความยาวรอยร้าวที่ $(\Delta a \leq 0.04W)$ ดังนั้นการตรวจสอบผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบจำนวน 12 ชั้น โดยทำการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ (R) ที่แตกต่างกัน ($R = 0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7) ใช้เงื่อนไขละ 3 ชั้นต่อหนึ่งอัตราส่วนภาระ (R) ในขณะการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลการทดสอบการวัดขนาดของความยาวรอยร้าวเฉลี่ย (a_{avg}) วัดได้จากขนาดรอยร้าวเติบโตนับจากปลายรอยบากกล ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาขนาดความยาวรอยร้าวต้องรวมความยาวที่วัดจากกึ่งกลางของรูเจาะร้อยสลักถึงปลายรอยบากกล ($a_n = 10.20mm$) จึงจะได้ขนาดของความยาวรอยร้าวที่แท้จริง ($a = a_n + a_{avg}$) ส่วนผลต่างความยาวรอยร้าวเลือกใช้ ($\Delta a = 0.50mm$) ของทุกช่วงการปรับลดภาระก่อนหน้าที่ 8 % และผลจากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของความยาวรอยร้าวเติบโตต่อความกว้างของชั้นเหล็กกล้าทดสอบตลอดการทดสอบที่อัตราส่วนภาระต่างๆกัน พบว่าค่า (a/W) ที่คำนวณได้ตกอยู่ในช่วง 0.27 ถึง 0.39 (ขอบเขตของข้อมูลต่ำสุดและสูงสุดที่ได้จากการประมวลผลจากการทดสอบจำนวน 12 ชั้น) ซึ่งอยู่ภายใต้ขอบเขตมาตรฐานการทดสอบที่ยอมรับได้และถือเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและยอมรับได้ของทุกชั้นเหล็กกล้าทดสอบดังสรุปรายละเอียดในตารางที่ 6.1

6.3 ผลของอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่อัตราส่วนภาระเดียวกัน

ที่อัตราส่วนภาระ $R = 0.1$ (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น)

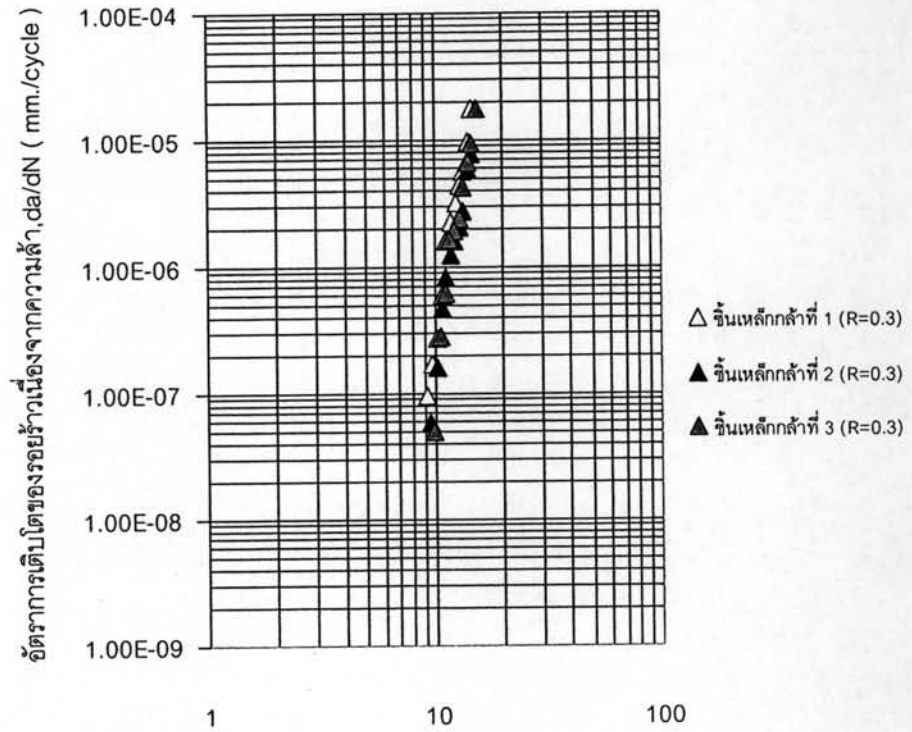


พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น, ΔK ($MPa\sqrt{m}$)

รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น) ณ สภาวะการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.1$)

จากผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.1$) ใช้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น พบว่าจุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลแสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลการทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ซึ่งมีการกระจายผลของข้อมูลอยู่ในขอบเขตเดียวกัน การทดสอบเริ่มเก็บข้อมูลเมื่อรอยร้าวเติบโตสูงกว่า 3.00 mm. ทั้งนี้ นับจากปลายรอยบากกลโดยที่ภาระกระทำสูงสุด 1.500 ตัน ภาระกระทำต่ำสุด 0.150 ตัน พบว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 เริ่มต้นที่ 6.88×10^{-6} , 8.36×10^{-6} และ $2.05 \times 10^{-5} \text{ mm./cycle}$ และพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) อยู่ที่ 19.199, 19.399 และ 19.116 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับลดภาระลงที่ 8 % ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุด โดยที่อัตราส่วนภาระคงที่ จนกระทั่งผลต่างความยาวรอยร้าวมีขนาดเท่ากับ $\Delta a = 0.50 \text{ mm}$. จากนั้นทำการปรับภาระลงอีก 8 % ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุดกระทำเช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดสอบ ผลจากการทดสอบแบบลด K ทำให้ (da/dN) และ ΔK ลดต่ำลงทุก ๆ การปรับลดภาระ ส่งผลให้เส้นทางอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) มีพฤติกรรมในลักษณะการปรับตัวลดต่ำลงเข้าสู่บริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าที่อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ต่ำสุดเท่ากับ 9.09×10^{-8} , 1.49×10^{-7} และ $1.13 \times 10^{-7} \text{ mm./cycle}$ และให้ผล ΔK ต่ำสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 12.099, 12.246 และ 12.128 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ตามลำดับของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ดังนั้น ΔK ต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.158 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$

ที่อัตราส่วนภาระ $R = 0.3$ (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น)

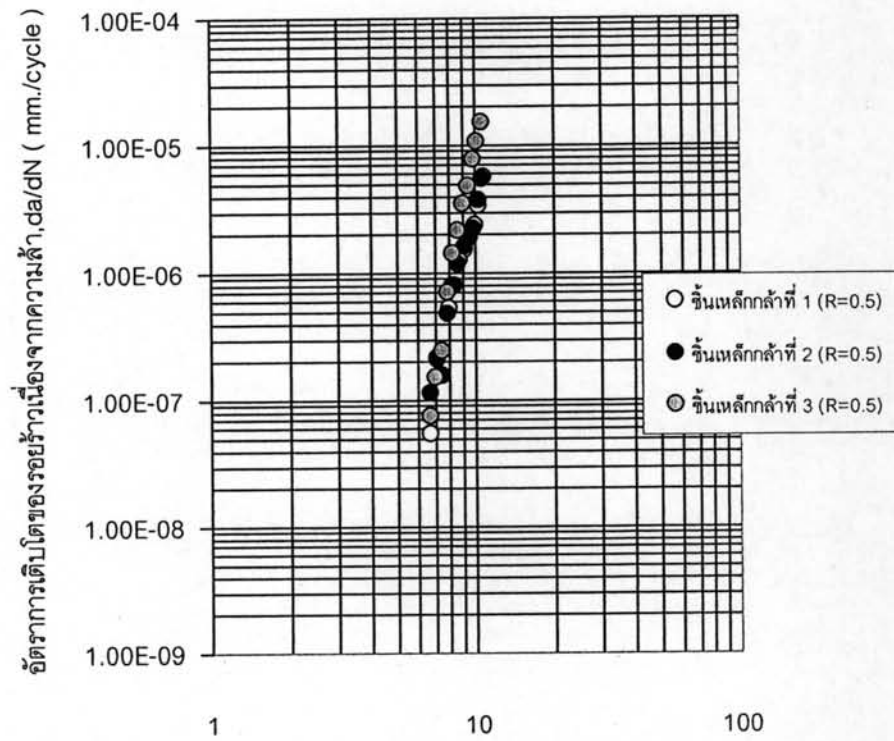


พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น, ΔK ($MPa\sqrt{m}$)

รูปที่ 6.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า
ของเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น)
ณ สภาวะการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.3$)

จากผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.3$) ใช้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น พบว่าจุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลแสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลการทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ซึ่งมีการกระจายผลของข้อมูลอยู่ในขอบเขตเดียวกัน การทดสอบเริ่มเก็บข้อมูลเมื่อรอยร้าวเติบโตสูงกว่า 3.00 mm. ทั้งนี้ นับจากปลายรอยบากกลโดยที่ภาระกระทำสูงสุด 1.500 ตัน ภาระกระทำต่ำสุด 0.450 ตัน พบว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 เริ่มต้นที่ 1.79×10^{-5} , 7.70×10^{-6} และ 1.75×10^{-5} mm./cycle และ พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) อยู่ที่ 14.621, 14.595 และ 15.295 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับลดภาระลงที่ 8 % ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุดโดยที่อัตราส่วนภาระคงที่ จนกระทั่งผลต่างความยาวรอยร้าวมีขนาดเท่ากับ $\Delta a = 0.50$ mm. จากนั้นทำการปรับภาระลงอีก 8 % ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุดกระทำเช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดสอบ ผลจากการทดสอบแบบลด K ทำให้ (da/dN) และ ΔK ลดต่ำลงทุก ๆ การปรับลดภาระ ส่งผลให้เส้นทางอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) มีพฤติกรรมในลักษณะการปรับตัวลดต่ำลงเข้าสู่ในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าที่อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ต่ำสุดเท่ากับ 9.81×10^{-8} , 5.92×10^{-8} และ 4.93×10^{-8} mm./cycle และให้ผล ΔK ต่ำสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 9.290, 9.635 และ 9.996 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ดังนั้น ΔK ต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 9.640 $MPa\sqrt{m}$

ที่อัตราส่วนภาระ $R = 0.5$ (ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น)

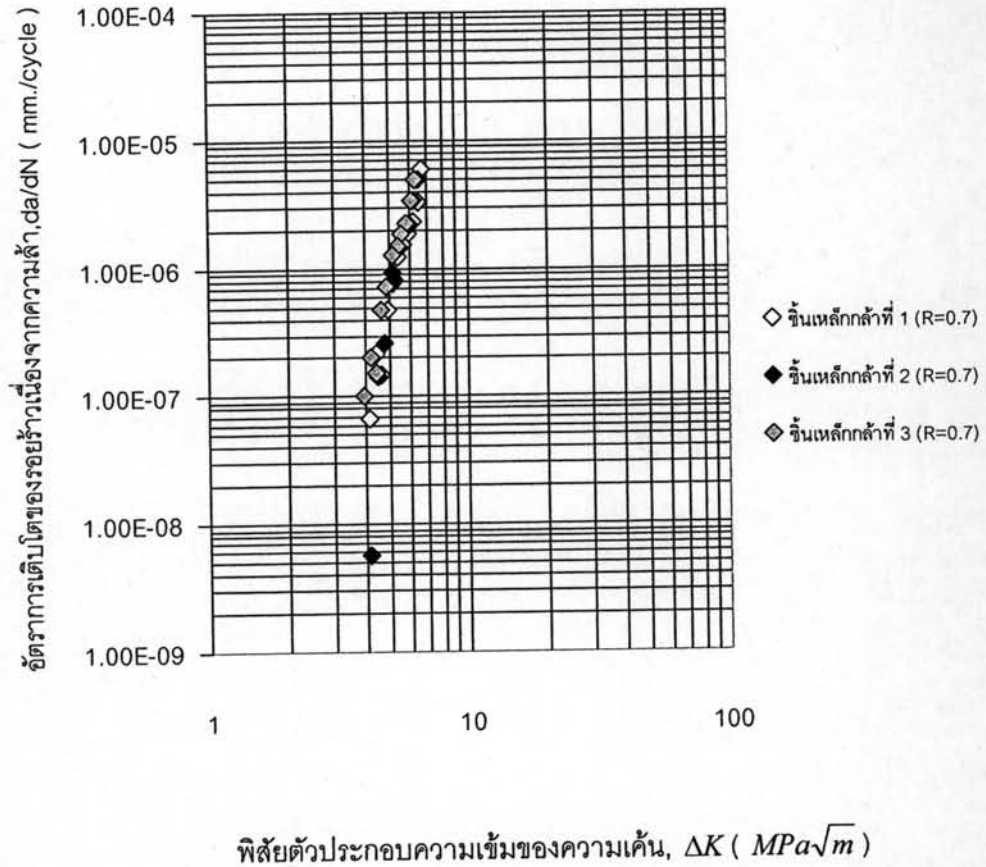


พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น, ΔK ($MPa\sqrt{m}$)

รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า
ของเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 (ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น)
ณ สภาวะการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.5$)

จากผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R=0.5$) ใช้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น พบว่าจุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลแสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลการทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ซึ่งมีการกระจายผลของข้อมูลอยู่ในลักษณะขอบเขตเดียวกัน การทดสอบเริ่มเก็บข้อมูลเมื่อรอยร้าวเติบโตสูงกว่า 3.00 mm. ทั้งนี้ นับจากปลายรอยบากกลโดยที่ภาระกระทำสูงสุด 1.500 ตัน ภาระกระทำต่ำสุด 0.750 ตัน พบว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 เริ่มต้นที่ 5.65×10^{-6} , 5.50×10^{-6} และ 1.52×10^{-5} mm./cycle และพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) อยู่ที่ 10.796, 10.685 และ 10.601 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับลดภาระลงที่ 8% ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุดโดยที่อัตราส่วนภาระคงที่ จนกระทั่งผลต่างความยาวรอยร้าวมีขนาดเท่ากับ $\Delta a = 0.50$ mm. จากนั้นทำการปรับภาระลงอีก 8% ของภาระก่อนหน้าทั้งภาระสูงสุดและต่ำสุดกระทำเช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดสอบ ผลจากการทดสอบแบบลด K ทำให้ (da/dN) และ ΔK ลดต่ำลงทุก ๆ การปรับลดภาระ และส่งผลให้เส้นทางอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) มีพฤติกรรมในลักษณะการปรับตัวลดต่ำลงเข้าสู่ในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าที่อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ต่ำสุดเท่ากับ 5.51×10^{-8} , 1.15×10^{-7} และ 7.55×10^{-8} mm./cycle และให้ผล ΔK ต่ำสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 6.746, 6.752 และ 6.681 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ดังนั้น ΔK ต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.726 $MPa\sqrt{m}$

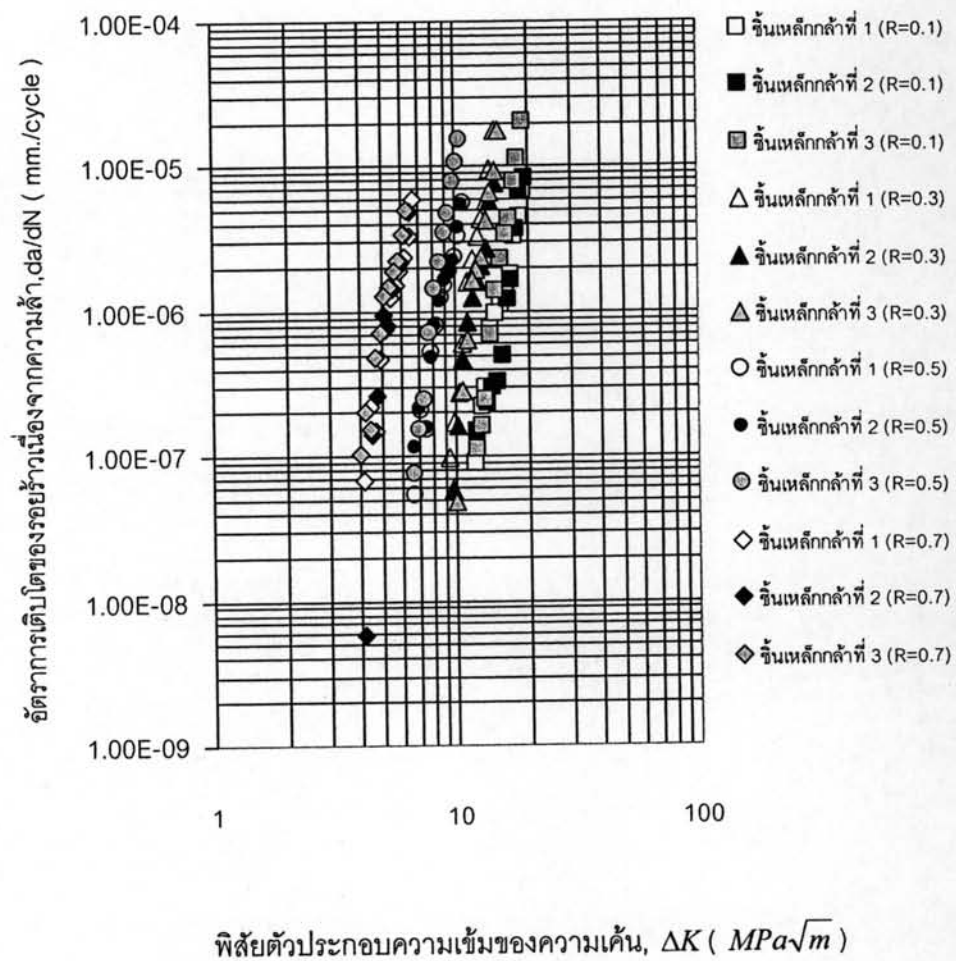
ที่อัตราส่วนภาระ $R = 0.7$ (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น)



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 (ชั้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชั้น) ณ สภาวะการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.7$)

จากผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ ($R = 0.7$) ใช้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจำนวน 3 ชิ้น พบว่าจุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลแสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลการทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ซึ่งมีการกระจายผลของข้อมูลอยู่ในขอบเขตเดียวกัน การทดสอบเริ่มเก็บข้อมูลเมื่อรอยร้าวเติบโตสูงกว่า 3.00 mm. ทั้งนี้ นับจากปลายรอยบากกลโดยที่ภาวะกระทำสูงสุด 1.500 ตัน ภาวะกระทำต่ำสุด 1.050 ตัน พบว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 เริ่มต้นที่ 5.97×10^{-6} , 4.88×10^{-6} และ 4.98×10^{-6} mm./cycle และพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) อยู่ที่ 6.711, 6.466 และ 6.283 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับลดภาวะลงที่ 8 % ของภาวะก่อนหน้าทั้งภาวะสูงสุดและต่ำสุดโดยที่อัตราส่วนภาวะคงที่ จนกระทั่งผลต่างความยาวรอยร้าวมีขนาดเท่ากับ $\Delta a = 0.50$ mm. จากนั้นทำการปรับภาวะลงอีก 8 % ของภาวะก่อนหน้าทั้งภาวะสูงสุดและต่ำสุดกระทำเช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดสอบผลจากการทดสอบแบบลด K ทำให้ (da/dN) และ ΔK ลดต่ำลงทุก ๆ การปรับลดภาวะส่งผลให้เส้นทางอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) มีพฤติกรรมในลักษณะการปรับตัวลดต่ำลงเข้าสู่บริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าที่อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) ต่ำสุดเท่ากับ 6.76×10^{-8} , 5.76×10^{-9} และ 1.02×10^{-7} mm./cycle และให้ผล ΔK ต่ำสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 4.131, 4.127 และ 3.962 $MPa\sqrt{m}$ ตามลำดับของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ 1, 2 และ 3 ดังนั้น ΔK ต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.073 $MPa\sqrt{m}$

6.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระต่างกัน



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

ของเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 ณ สภาวะการทดสอบ

ที่อัตราส่วนภาระต่างกัน $R = 0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7

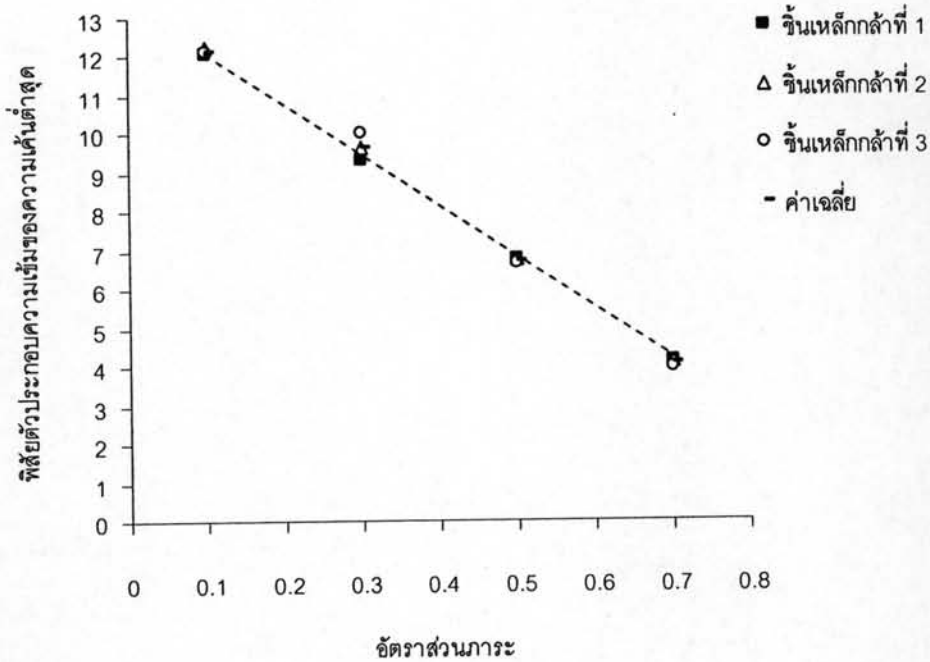
จากผลการทดสอบที่อัตราส่วนภาระ (R) ต่างๆ กัน ($R = 0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7) ทดสอบภายใต้เงื่อนไข 3 ชั้น (จำนวนรวม 12 ชั้น) เมื่อนำมาประมวลผลและพล็อตกราฟในรูป log-log สเกล ทั้งหมดรวมกัน ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมและแนวโน้มโดยรวมของข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) และพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) พบว่าขอบเขตการกระจายของข้อมูลในแต่ละอัตราส่วนภาระ (R) บนเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า (da/dN) มีลักษณะแบ่งแยกกันอย่างชัดเจน และพบว่าที่อัตราส่วนภาระ ($R = 0.1, 0.3, 0.5$ และ 0.7) ให้ผล ΔK เฉลี่ยต่ำสุดจากการทดสอบปรากฏบนเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าโดยที่อัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ต่ำกว่า $da/dN = 10^{-7} \text{ mm./cycle}$ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.158, 9.640, 6.726 และ 4.073 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ตามลำดับ การประมวลผล ΔK ต่ำสุด ที่ ($\Delta K = \Delta K_{th}$) ในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้า จากกราฟ log-log สเกล จากรูปที่ 6.9 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2 ผลของอัตราส่วนภาระแตกต่างกันที่ ΔK ต่ำสุดในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้า

อัตราส่วนภาระ (R)	ชั้นเหล็กกล้าที่ 1	ชั้นเหล็กกล้าที่ 2	ชั้นเหล็กกล้าที่ 3	ค่าเฉลี่ย ($\Delta K = \Delta K_{th}$)
0.1	12.099	12.246	12.128	12.158
0.3	9.290	9.635	9.996	9.640
0.5	6.746	6.752	6.681	6.726
0.7	4.131	4.127	3.962	4.073

มีหน่วยเท่ากับ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$

ผลของอัตราส่วนภาวะ (R) ต่างกันที่ ΔK ต่ำสุดในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าที่ทดสอบได้แสดงในตาราง 6.2 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔK ต่ำสุดกับอัตราส่วนภาวะ (R) ที่แตกต่างกันได้ดังนี้



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงค่าต่ำสุดของ ($\Delta K = \Delta K_{min}$) ในบริเวณใกล้

ขีดเริ่มความล้าลดลงเมื่ออัตราส่วนภาวะ (R) เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลที่แสดงนี้สรุปได้ว่าพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของเหล็กกล้า JIS SCM 440 ขึ้นกับอัตราส่วนภาวะ (R) ทั้งนี้เมื่อทดสอบที่อัตราส่วนภาวะ (R) เพิ่มขึ้นพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ต่ำสุดมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน