

บทที่ 6



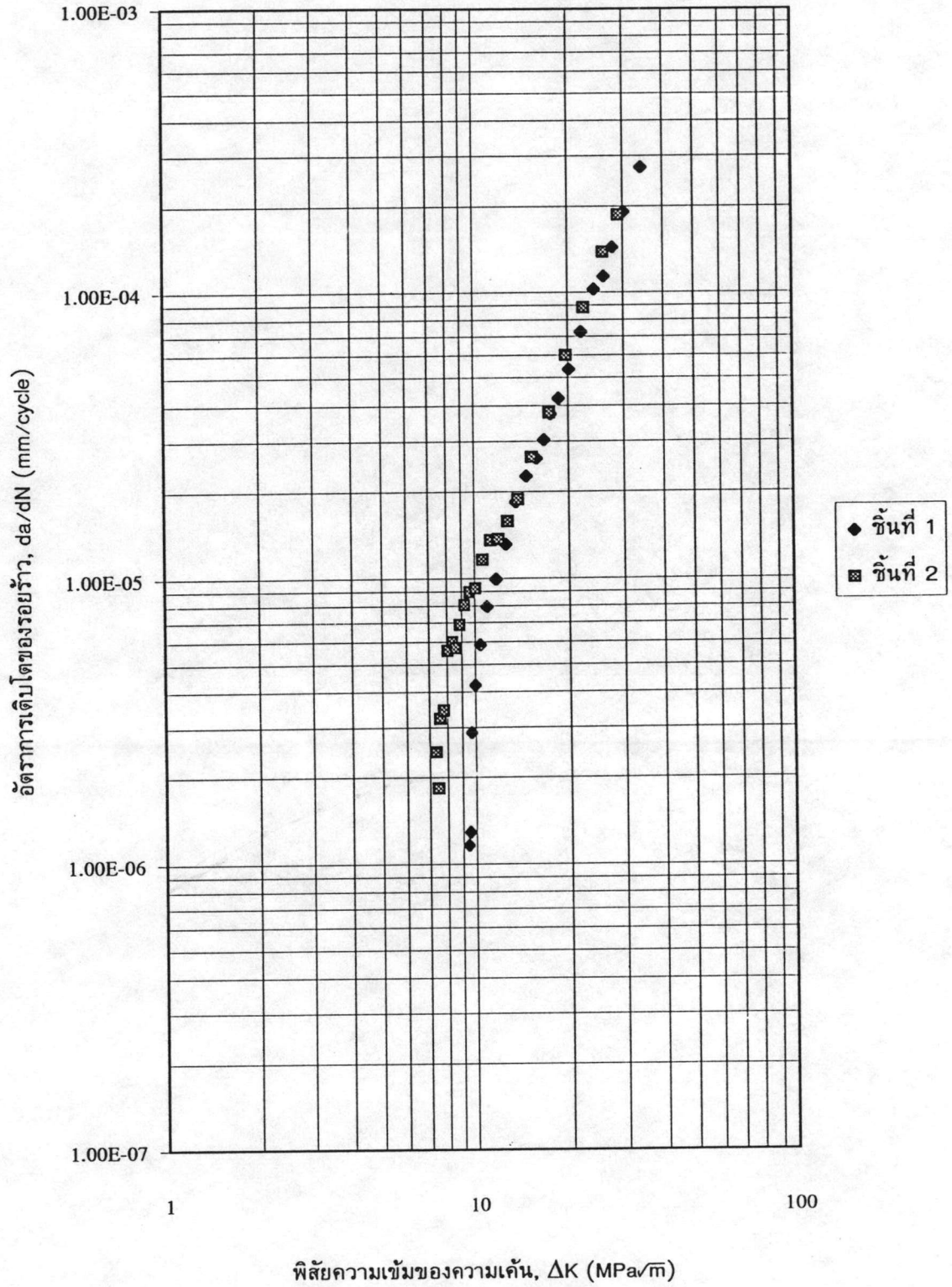
การอภิปรายผลการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงลักษณะของเส้นกราฟอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ได้จากการทดสอบซึ่งแสดงอยู่ในบทที่ 5 จากนั้นผู้วิจัยจะแสดงกราฟเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ภาระสูงสุด และอัตราส่วนภาระ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เงื่อนไขในการจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนโครงสร้างมายังชิ้นงานทดสอบ และการหาสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าต่อไป

อัตราการเติบโตของรอยร้าวที่สภาวะทดสอบต่าง ๆ

จากผลการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่แต่ละสภาวะทดสอบ(รูปที่ 5.1-5.12) พบว่าจุดข้อมูลของแต่ละสภาวะทดสอบซึ่งได้จากชิ้นงานทดสอบต่างชิ้นกันมีการกระจายอยู่ภายในขอบเขตเดียวกัน แสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลการทดสอบในแต่ละสภาวะทดสอบได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 2 ชิ้น(รูปที่ 5.1-5.3, 5.5-5.9 และ 5.11-5.12) หรือจำนวน 4 ชิ้น(รูปที่ 5.4 และ 5.10) ทำให้การทดสอบที่สภาวะทดสอบถัด ๆ ไปใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 2 ชิ้น อีกทั้งยังสามารถนำผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 2 ชิ้น และ 4 ชิ้นมาเปรียบเทียบกันได้

อย่างไรก็ดีแม้ว่าจุดข้อมูลที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานต่างชิ้นที่สภาวะทดสอบเดียวกันส่วนใหญ่จะสอดคล้องกันตามที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่จากผลการทดสอบที่สภาวะของภาระทดสอบ 1.200 ± 0.400 ดัน(รูปที่ 5.3) และที่สภาวะของภาระทดสอบ 2.166 ± 1.167 ดัน(รูปที่ 5.2) กลับพบว่ามีค่าแตกต่างกันในช่วงเริ่มต้นของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวหรือในบริเวณใกล้ขีดเริ่ม แต่เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมในบริเวณใกล้ขีดเริ่มอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ ประกอบกับจำนวนข้อมูลจากการทดสอบที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์นั้นยังมีจำนวนไม่เพียงพอ(คือ 2 ชิ้น)ทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนั้นเป็นเพียงข้อสมมุติฐานเบื้องต้นที่สอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่เท่านั้น



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ณ สภาวะทดสอบ อัตราส่วนภาระเท่ากับ 0.5 และภาระสูงสุดเท่ากับ 1.600 ตัน (1.200 ± 0.400 ตัน)

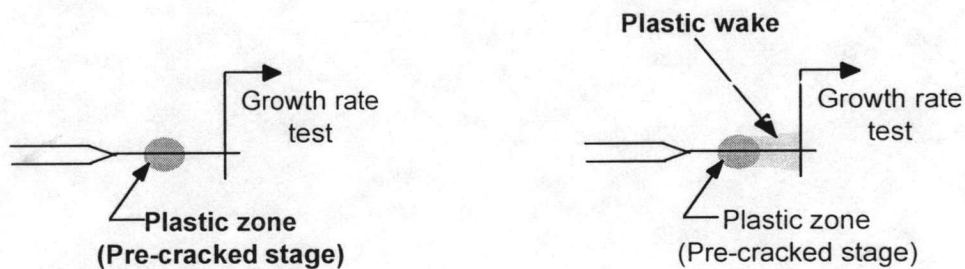
1. สภาวะของภาวะทดสอบ 1.200 ± 0.400 ตัน

ณ สภาวะทดสอบนี้พบว่าพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในบริเวณใกล้ขีดเริ่มที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานทดสอบชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีความแตกต่างกัน(รูปที่ 6.1) และโดยอาศัยแนวโน้มของจุดข้อมูลที่มีสามารถบอกได้อย่างคร่าว ๆ ว่าชิ้นงานทดสอบชั้นที่ 1 มีแนวโน้มที่จะมีค่า ΔK_{th} สูงกว่าชิ้นงานทดสอบชั้นที่ 2

พิจารณารูปที่ 6.1 ในช่วง ΔK ตั้งแต่ 9.5-13 MPa \sqrt{m} พบว่าที่ตำแหน่ง ΔK เดียวกัน อัตราการเติบโตของรอยร้าวในชิ้นงานทดสอบชั้นที่ 2 จะสูงกว่าในชั้นที่ 1 เสมอ แสดงว่าต้องมีกลไกบางอย่างที่บั่นทอนระดับความรุนแรงหน้าปลายรอยร้าวของชิ้นงานทดสอบชั้นที่ 1 ให้ลดต่ำลง ตามความเห็นของผู้วิจัยปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจาก

1.1 การเกิดการหน่วงเนื่องจากบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกที่ตำแหน่งสุดท้ายของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า(รูปที่ 6.2) ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในขณะทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว

1.2 การเกิดการหน่วงเนื่องจาก plastic wake ที่เกิดขึ้นตลอดความยาวรอยร้าวตั้งแต่จุดสิ้นสุดของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าถึงจุดเริ่มต้นการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว(รูปที่ 6.3) ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวในขณะทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว



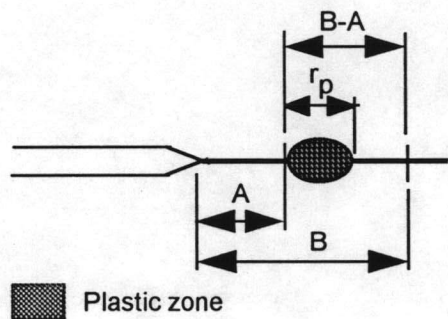
รูปที่ 6.2 แสดงบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกที่จุดสิ้นสุดการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า

รูปที่ 6.3 แสดง Plastic wake ที่เกิดขึ้นล้อมรอบรอยร้าว

สำหรับการตรวจสอบผลกระทบเนื่องจากกลไกในข้อ 1.1 ว่าอยู่ในระดับใดนั้นสามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนของความยาวรอยร้าวระหว่างจุดสุดท้ายของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าและจุดเริ่มต้นของการทดสอบหาอัตราการเติบโต ต่อขนาดของบริเวณเสียรูปแบบพลาสติก หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากผลกระทบจะน้อย และในทางตรงกันข้ามหากมีค่าน้อยผลกระทบก็จะมาก Taylor (1989) กล่าวว่าหากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากกว่า 4

แล้วจะถือว่า loading history ไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ห่างจากจุดนั้นเป็นระยะ 4 เท่าของขนาดบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกภายใต้สภาวะความเค้นแบบความเค้นระนาบ

ถ้ากำหนดให้ A และ B แทนความยาวรอยร้าว ณ ตำแหน่งจุดสุดท้ายของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า และความยาวรอยร้าว ณ ตำแหน่งเริ่มต้นการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว(รูปที่ 6.4) แล้วอัตราส่วนดังกล่าวคือ $(B-A)/r_p$ สำหรับค่าของ A, B, ภาวะสูงสุด, ขนาดของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติก และค่าของ $(B-A)/r_p$ ณ ตำแหน่งความยาวรอยร้าวยาวเท่ากับ A และ B ของชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 และ 2 นั้นแสดงอยู่ในตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ



รูปที่ 6.4 แสดงความหมายของจุด A,B และระยะที่ใช้สำหรับคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติก

ตารางที่ 6.1 แสดงความยาวรอยร้าวในตำแหน่งสุดท้ายของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า A และความยาวรอยร้าว ณ ตำแหน่งเริ่มต้นการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าว B ในชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 และ 2 ณ สภาวะทดสอบคือ 1.200 ± 0.400 ตัน

ชิ้นที่	จุด A(มม.)			จุด B(มม.)		
	ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย	ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
1	6.82	10.40	8.61	6.82	11.35	9.09
2	3.78	3.85	3.82	4.16	3.85	4.00

ตารางที่ 6.2 แสดงภาวะสูงสุด และขนาดของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกที่จุด A และ B

ชั้นที่	A				B			
	ภาวะสูงสุด (ตัน)	r_p (มม.) ⁿ			ภาวะสูงสุด (ตัน)	r_p (มม.) ⁿ		
		ซ้าย	(ตัน)	เฉลี่ย		ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
1	1.800	0.08	0.11	0.09	1.600	0.06	0.10	0.08
2	2.000	0.07	0.07	0.07	1.600	0.05	0.05	0.05

ⁿ คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.22

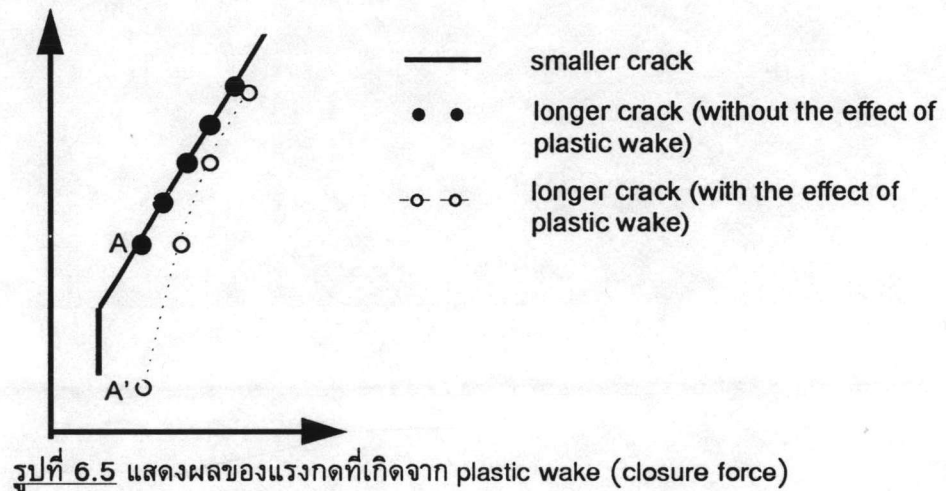
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าอัตราส่วนของระยะทางระหว่างตำแหน่งสุดท้ายของการสร้างรอยร้าว ก่อนหน้า และตำแหน่งแรกของการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว กับขนาดของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติก

ชั้นที่	$(B-A)/r_p$ (มม.)		
	ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
1	0.00	8.56	5.11
2	5.43	0.00	2.71

จากผลที่ได้(ตารางที่ 6.3) พบว่าบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกที่เกิดจากการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าในชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1 ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวที่ทำการทดสอบต่อมา ในขณะที่ชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2 ได้รับผลกระทบดังกล่าว แต่อย่างไรก็ดี ΔK_{th} ของชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2 ซึ่งถือว่าถูกหน่วงก็ยังคงมีค่าต่ำกว่า ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการหน่วงเนื่องจากบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกที่เกิดขึ้นตอนท้ายสุดของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าจึงมีข้อเสาคือหลักที่ทำให้ ΔK_{th} ของชั้นงานทดสอบชั้นที่ 1 มีค่ามากกว่า ΔK_{th} ของชั้นงานทดสอบชั้นที่ 2

ก่อนที่จะนำเสนอสาเหตุในข้อ 1.2 ไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงผลกระทบของสาเหตุนี้เสียก่อน Shih และ Wei (1973) ได้อธิบายถึงผลของ plastic wake ไว้ว่า plastic wake จะบีบอัดให้ผิวหน้าของรอยร้าวปิดเข้าหากัน(crack closure) ด้วยแรงกดค่าหนึ่ง ทำให้ภาวภายนอกที่มากกระทำต้องเอาชนะแรงกดดังกล่าวนี้ก่อนที่จะไปสร้างความเสียหายที่ปลายรอยร้าวต่อไปได้ สำหรับลักษณะของรูปกราฟที่ 6.1 นั้นสามารถอธิบายโดยใช้กลไกนี้ได้ว่า การเริ่มต้นทดสอบที่ความยาวรอยร้าวสั้น ๆ (ซึ่งไม่ขัดกับเงื่อนไขของ LEFM) จะให้จุดข้อมูลเริ่มตั้งแต่ ΔK ค่าน้อย ๆ ซึ่ง ณ จุดนี้การปรับพฤติกรรมการเติบโตจากที่อยู่ใน

บริเวณใกล้ขีดเริ่มเข้าสู่บริเวณเติบโตอย่างเสถียรจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว(รูปที่ 6.5 เส้นขีดเต็ม)เนื่องจากแรงกดจาก plastic wake มีน้อย หรืออาจไม่มีเลย แต่ในกรณีที่เริ่มทดสอบที่ความยาวรอยร้าวยาวกว่า เราจะได้ข้อมูล ณ ตำแหน่งที่มีค่า ΔK เริ่มต้นมากกว่า ประกอบกับแรงกดมีค่ามากทำให้จุดข้อมูลที่ได้จะมีค่า da/dN ลดต่ำลง ยกตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 6.5 หาก closure force มีขนาดไม่มาก และแม้จะเริ่มทดสอบที่ค่าเริ่มต้น ΔK สูงกว่ากรณีแรก(เส้นขีดเต็ม)ก็ตามค่า da/dN ที่ได้ก็ควรจะอยู่บนเส้นตรงเส้นเดิม(จุด A) แต่ถ้าหาก closure force มีค่ามาก ที่ตำแหน่ง ΔK เดียวกันกับจุด A ค่า da/dN ที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับว่าจุด A นั้นเลื่อนต่ำลงไปอยู่ที่จุด A' แทน(เส้นประที่มีวงกลมกลวง) ถัดจากนั้นรอยร้าวจะปรับพฤติกรรมการเติบโตให้เข้าสู่บริเวณการเติบโตอย่างเสถียร และในที่สุดก็จะมีจุดข้อมูลร่วมกับกรณีแรก(เส้นขีดเต็ม)



ตัวอย่างข้อมูลจากการทดสอบที่สนับสนุนพฤติกรรมดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 6.4 จากตารางนี้จะเห็นว่าที่ค่า ΔK เดียวกันชิ้นงานชิ้นที่ 1 มีอัตราการเติบโตของรอยร้าวต่ำกว่าชิ้นงานชิ้นที่ 2 อย่างชัดเจน

ตารางที่ 6.4 แสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวในชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 และ 2 ณ ตำแหน่ง ΔK เท่ากับ $9.41 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

ขั้นตอนทดสอบ ชิ้นที่	ความยาวรอยร้าว, มม.	da/dN (มม./รอบ)
1	9.09(9.41)*	1.2×10^{-6}
2	9.13(9.43)*	9.0×10^{-6}

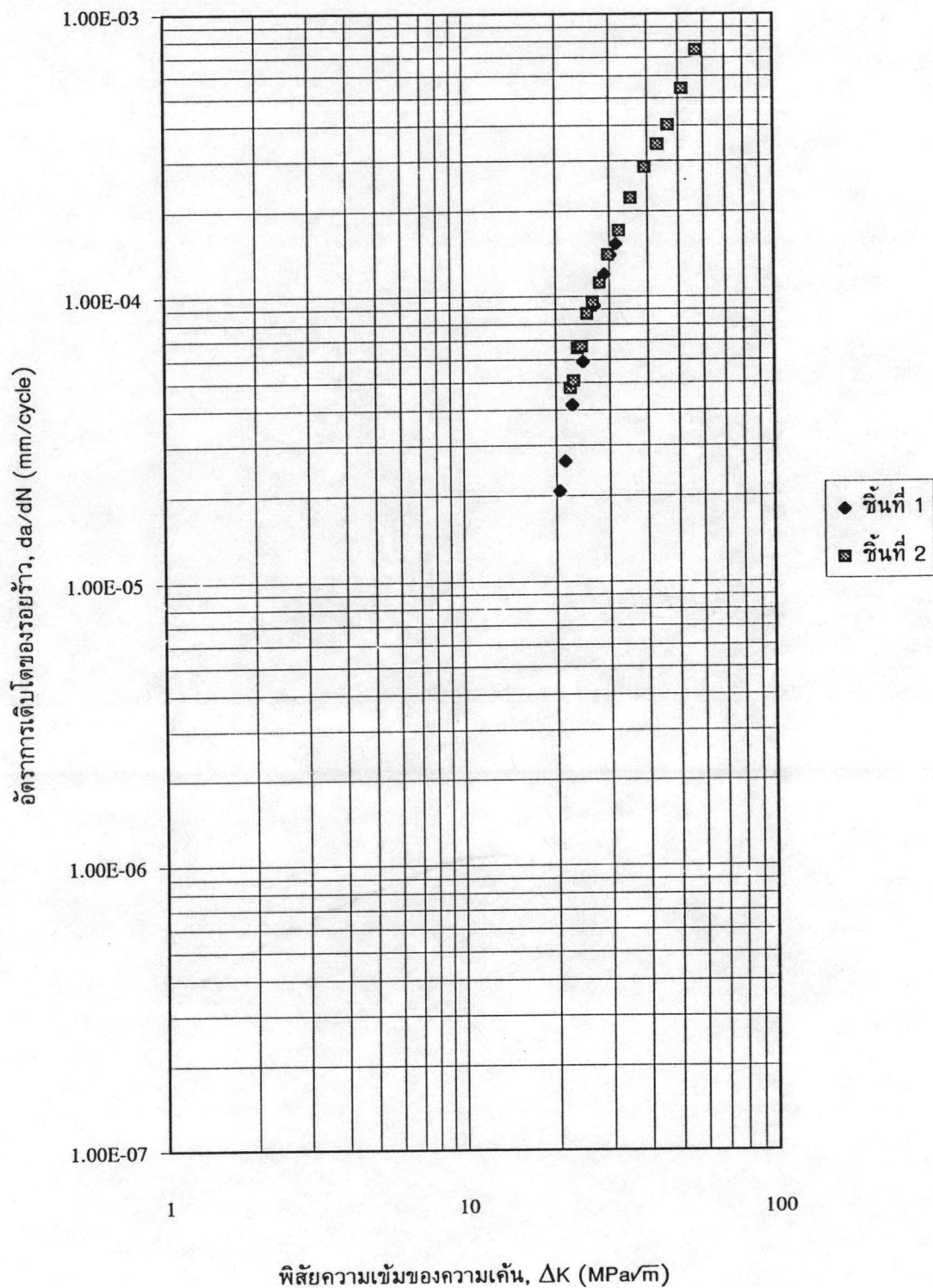
* ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าพิสัยความเข้มของความเค้น ณ ความยาวรอยร้าว นั้น ๆ

2. สภาวะของภาวะทดสอบ 2.166 ± 1.167 ตัน

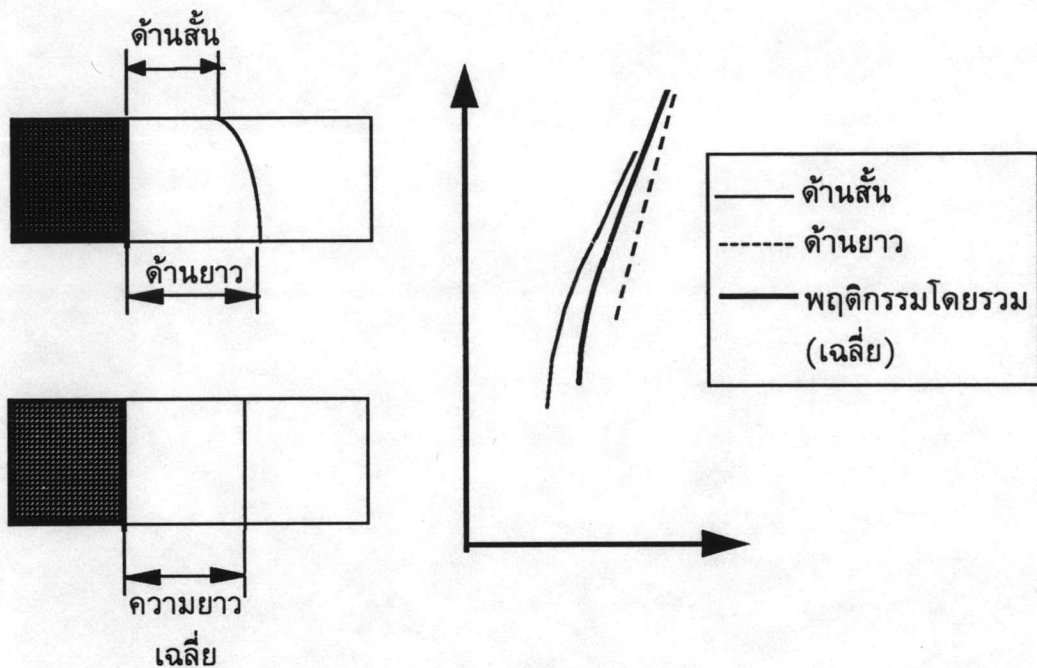
ณ สภาวะทดสอบนี้ พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวของชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 ในช่วงเริ่มต้นมีลักษณะโค้งคล้ายกับมีบริเวณใกล้ขีดเริ่ม อ่านค่า ΔK_{th} ได้ประมาณ $20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ (รูปที่ 6.6) แต่จากงานวิจัยของ London (1988) พบว่าค่า ΔK_{th} ของวัสดุ AISI 4140 ที่ผ่านกระบวนการอบคืนตัว (tempering) ณ อุณหภูมิต่าง ๆ กันในช่วง $200-700^\circ\text{C}$ ทดสอบที่อัตราส่วนภาระเท่ากับ 0.05 และชิ้นงานมีการวางตัวในทิศทางแบบเดียวกับของงานวิจัยนี้ จะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ $2.8-9.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วเมื่ออัตราส่วนภาระมีค่าเพิ่มขึ้นค่า ΔK_{th} จะมีแนวโน้มลดลงไปอีก (Kujawski, and Ellyin 1987) จึงสนับสนุนให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ลักษณะการโค้งดังกล่าวมิได้นำไปสู่ค่า ΔK_{th} ที่แท้จริง ณ ค่าอัตราส่วนภาระนั้น ๆ

ตามความเห็นของผู้วิจัย สาเหตุของการเกิดพฤติกรรมดังกล่าวนี้อาจเป็นผลมาจากความยาวรอยร้าวที่ผิวทั้งสองของชิ้นงานแตกต่างกันมาก และด้านที่มีความยาวรอยร้าวเริ่มต้นสั้นกว่ามีความยาวรอยร้าวน้อยกว่า เพราะการที่ความยาวของรอยร้าวที่ผิวทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดการผสมผสานของพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวด้านที่มีความยาวน้อยกว่า กับด้านที่มีความยาวมากกว่า แต่เนื่องจากด้านที่มีความยาวรอยร้าวน้อยกว่าจะมีแนวโน้มได้จุดข้อมูลที่ตกอยู่ในบริเวณใกล้ขีดเริ่ม (เพราะค่า ΔK ในขณะนั้นมีค่าน้อย และอาจมีการหน่วงเกิดขึ้นหากความยาวรอยร้าวมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของบริเวณเสีรูปร่างพลาสติก) เมื่อรวมกับพฤติกรรมการเติบโตในด้านที่มีความยาวรอยร้าวมากกว่า (ซึ่งอาจจะไม่ปรากฏจุดข้อมูลในบริเวณใกล้ขีดเริ่มก็ได้) ก็จะได้จุดข้อมูลที่มีแนวโน้มตกอยู่ในบริเวณใกล้ขีดเริ่มเช่นกัน กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวด้านที่สั้นได้โน้มนำให้พฤติกรรมการเติบโตโดยรวมเปลี่ยนไป (รูปที่ 6.7)

เพื่อแสดงความเป็นไปได้ของเหตุผลข้างต้น ข้อมูลของชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1 (ตารางที่ ข.2) ได้ถูกนำมาสร้างกราฟอัตราการเติบโตของรอยร้าวโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนคือ ด้านที่รอยร้าวมีความยาวเริ่มต้นสั้นกว่า (0.47 มม.) ด้านที่รอยร้าวมีความยาวเริ่มต้นมากกว่า (5.58 มม.) และพฤติกรรมโดยรวม ก่อนจะนำไปพล็อตบนแกนเดียวกันเพื่อให้สะดวกต่อการเปรียบเทียบ (รูปที่ 6.8) จากกราฟจะเห็นว่าพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวใน



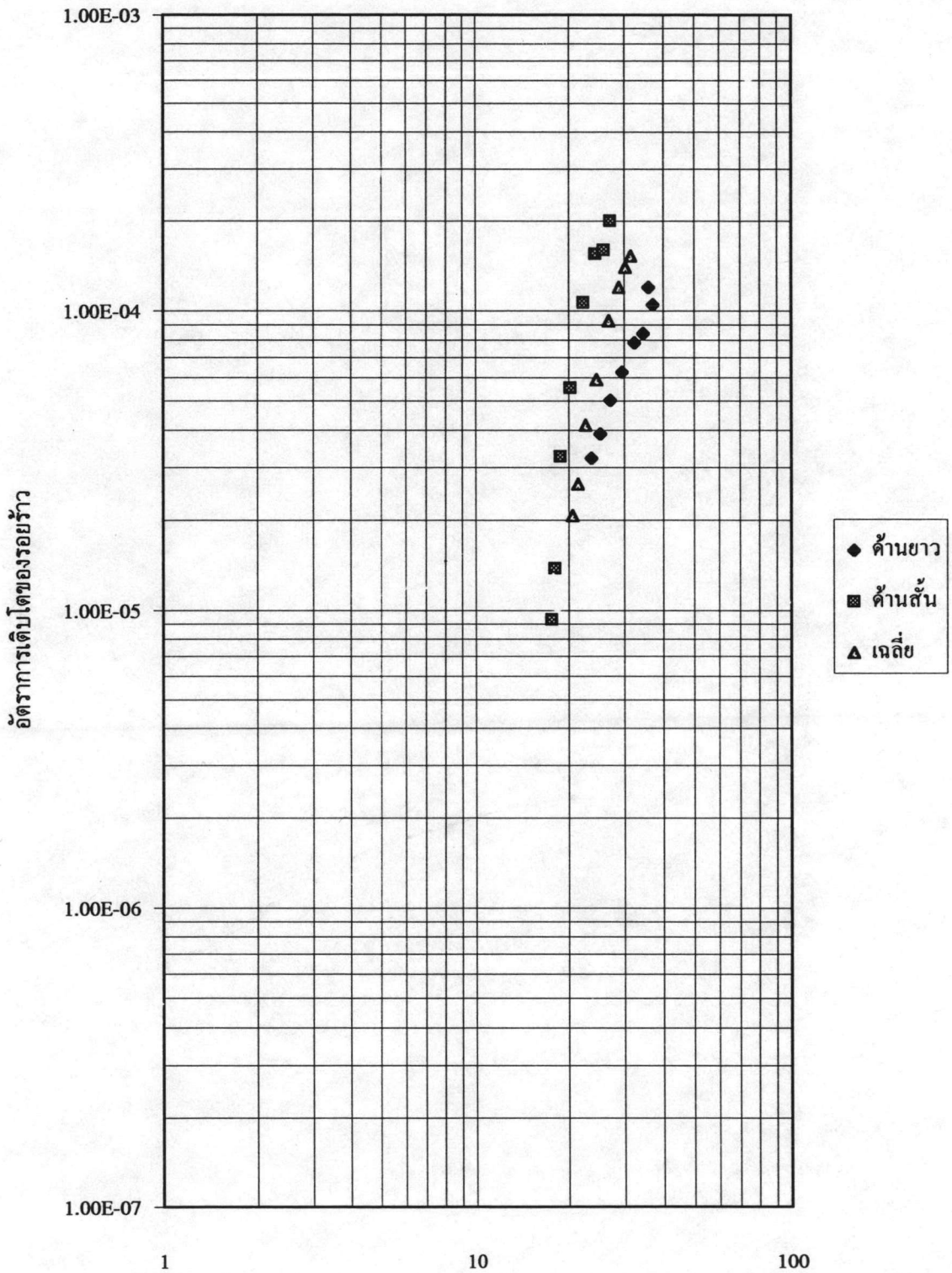
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ณ สภาวะทดสอบ อัตราส่วนภาระเท่ากับ 0.3 และภาระสูงสุดเท่ากับ 3.333 ตัน (2.166 ± 1.167 ตัน)



รูปที่ 6.7 แสดงผลของความแตกต่างของความยาวรอยร้าวที่ผิวทั้งสองต่อความเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมคาร์บิโตของรอยร้าวโดยรวมในบริเวณใกล้ขีดเริ่ม

ด้านที่รอยร้าวมีความยาวเริ่มต้นยาวกว่าจะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ขณะที่พฤติกรรมคาร์บิโตของรอยร้าวในด้านที่รอยร้าวมีความยาวเริ่มต้นน้อยกว่าจะมีลักษณะโค้ง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าความโค้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรอยร้าว จากการคำนวณโดยใช้สมการ 2.22 พบว่าขนาดของบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติกคือ 0.13 มม. ดังนั้นรอยร้าวจึงมีความยาวเพียง $3.6r_p$ เท่านั้น (ปกติความยาวรอยร้าวที่ทำให้เงื่อนไขของ LEFM เป็นจริงจะหาได้จากสมการที่ 2.27 ซึ่งมีค่าประมาณ $10r_p$) และท้ายสุดเมื่อพิจารณาพฤติกรรมโดยรวมก็จะเห็นว่าลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นโค้งที่ลูเข้าสู่ค่าขีดเริ่มค่าหนึ่งดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น

จากผลการทดสอบที่ได้นี้ ผู้วิจัยคิดว่าเงื่อนไขในการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า ASTM กำหนดว่าความยาวรอยร้าวเฉลี่ยต้องมากกว่า 3 มม. นั้นอาจไม่เพียงพอ อาจจะต้องระบุเพิ่มลงไปอีกว่ารอยร้าวทั้งสองด้านต้องมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับบริเวณเสี้ยวรูปแบบพลาสติก และมีความยาวไม่แตกต่างกันมากด้วย



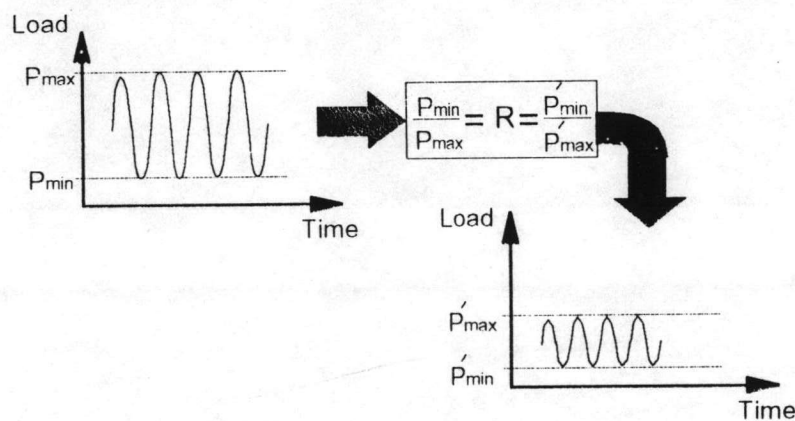
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงอัตราการใช้ชีวิตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ผิวทั้งสองข้าง และอัตราการใช้ชีวิตเฉลี่ย สำหรับวัสดุ AISI 4140 ที่สภาวะของภาระเท่ากับ 2.166 ± 1.167 ตัน



ผลของภาระสูงสุด

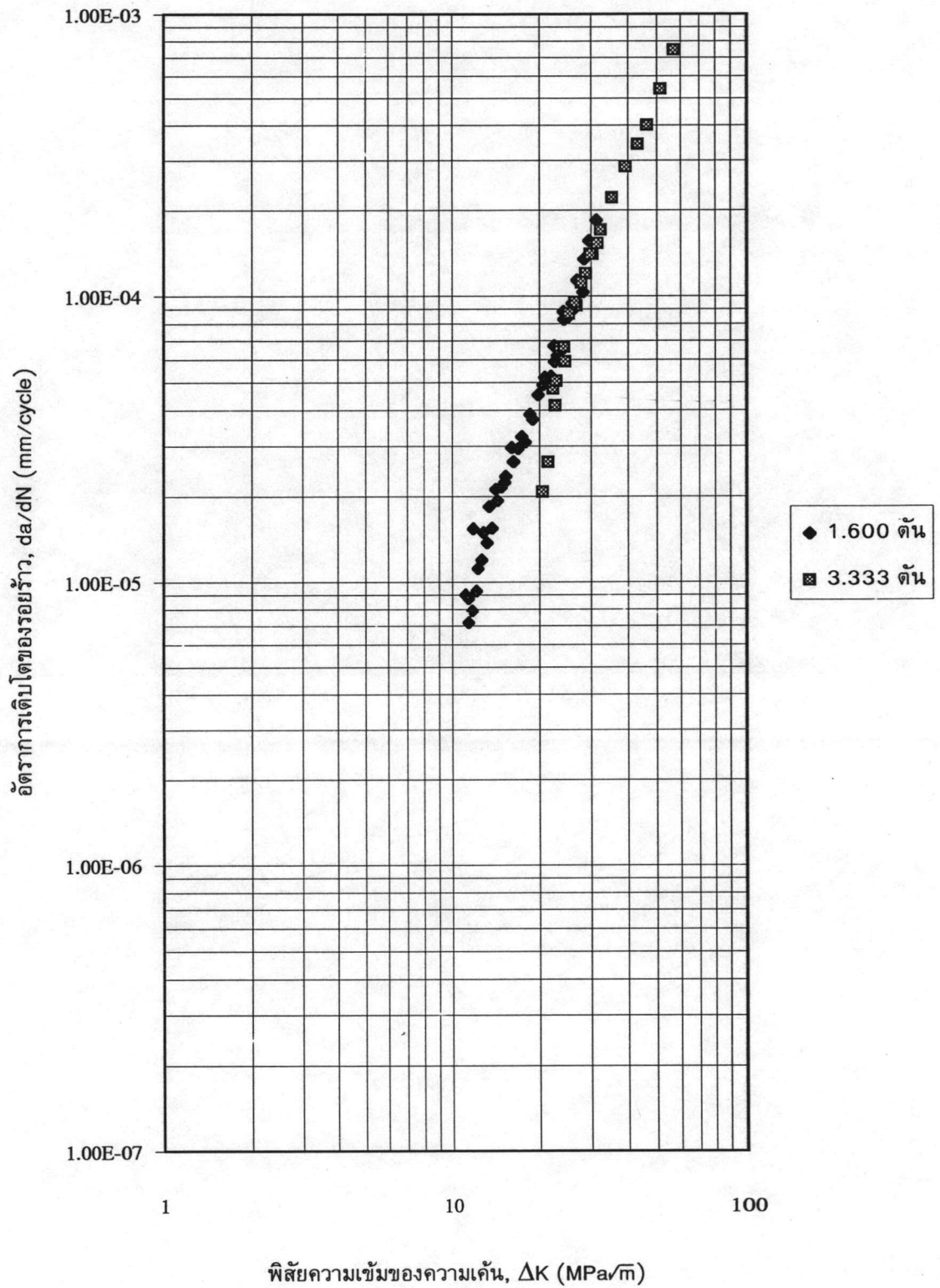
จากการเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ขนาดของภาระสูงสุดต่าง ๆ กัน (รูปที่ 6.10-6.13) พบว่า ณ อัตราส่วนภาระหนึ่ง ๆ ตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.8 อัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุ AISI 4140 ภายใต้ขนาดของภาระทดสอบสูงสุดต่าง ๆ กันที่อัตราส่วนภาระค่าหนึ่งในช่วง 0.3 ถึง 0.8 นั้นไม่แตกต่างกัน

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถกำหนดพารามิเตอร์ไว้หน่วยอัตราส่วนภาระแทนการกำหนดภาระเฉลี่ย และแอมพลิจูดภาระได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือสามารถใช้อัตราส่วนภาระเป็นพารามิเตอร์ในการจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนโครงสร้างมาying สภาวะของภาระทดสอบที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบได้ (รูปที่ 6.9)

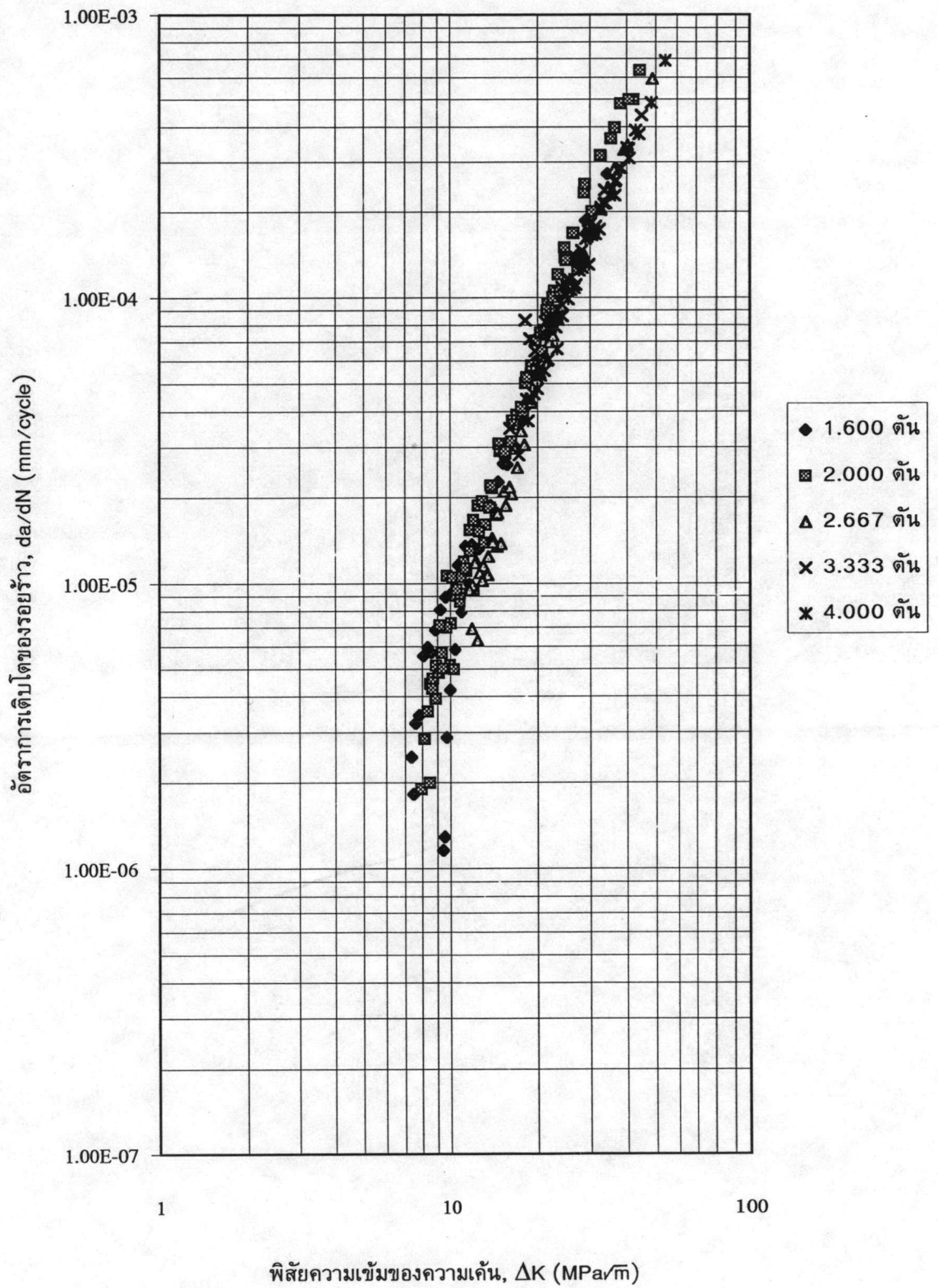


รูปที่ 6.9 แสดงขั้นตอนการใช้พารามิเตอร์ไว้หน่วยอัตราส่วนภาระในการจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนโครงสร้างมาying สภาวะของภาระที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบ

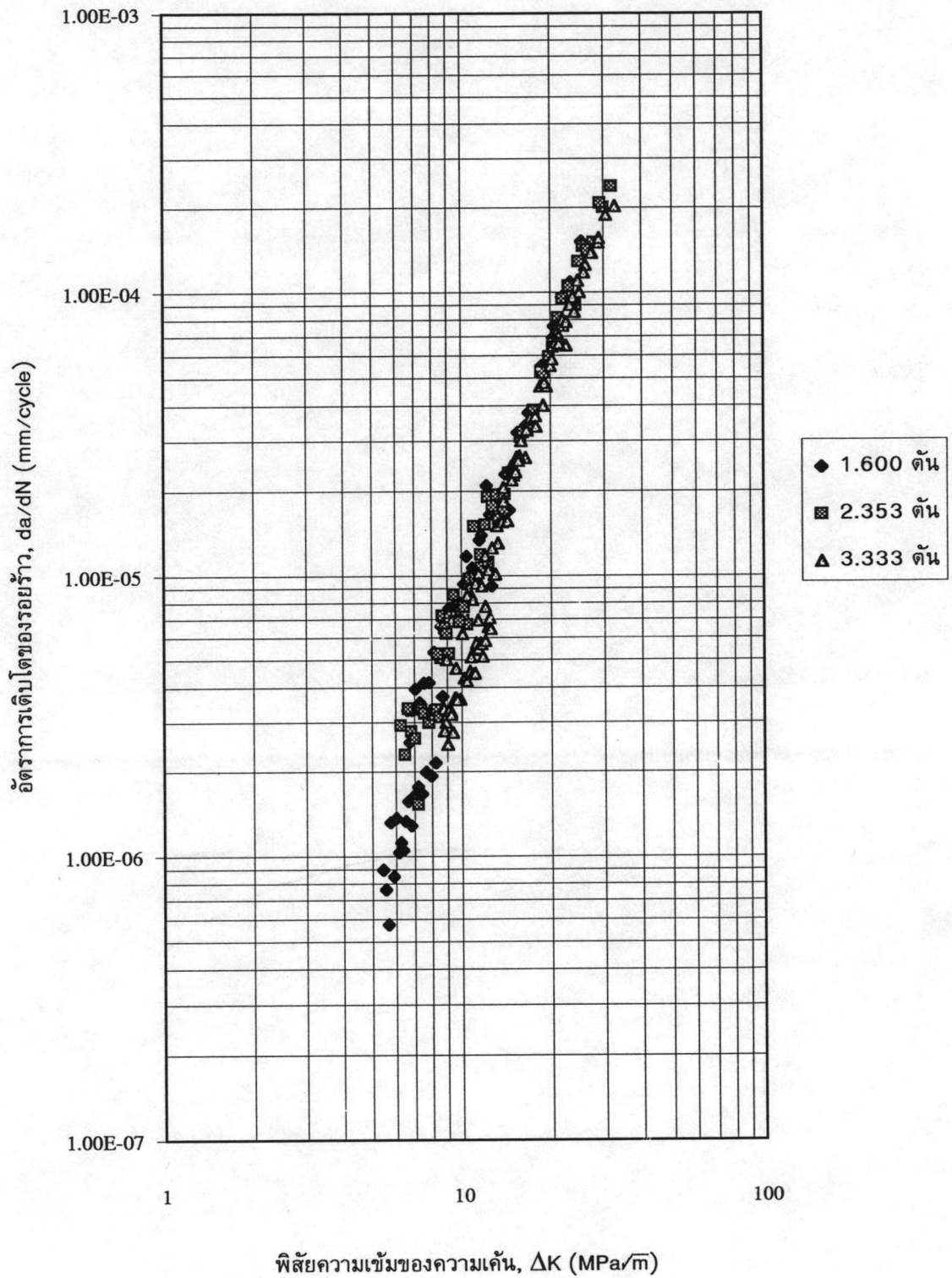
นอกจากนี้ยังเกิดผลดีในเชิงการทดสอบคือ สามารถกำหนดสภาวะของภาระทดสอบให้มีความเหมาะสมกับขีดความสามารถของเครื่องทดสอบ, ขนาดของชิ้นงานทดสอบ, เกิดบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับมิติของชิ้นงานทดสอบ(ทำให้สามารถประยุกต์แนวทางของกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้นกับปัญหาได้) และสามารถกำหนดขอบเขตบนเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่จะให้มีจุดข้อมูลไปปรากฏได้ ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการจุดข้อมูลที่ ΔK สูง ๆ ก็สร้างรอยร้าวให้มีความยาวพอสมควร แล้วทดสอบที่ค่าแอมพลิจูดภาระสูง ๆ แทนที่จะทดสอบที่แอมพลิจูดภาระต่ำ ๆ ความยาวรอยร้าวมาก ๆ เป็นต้น



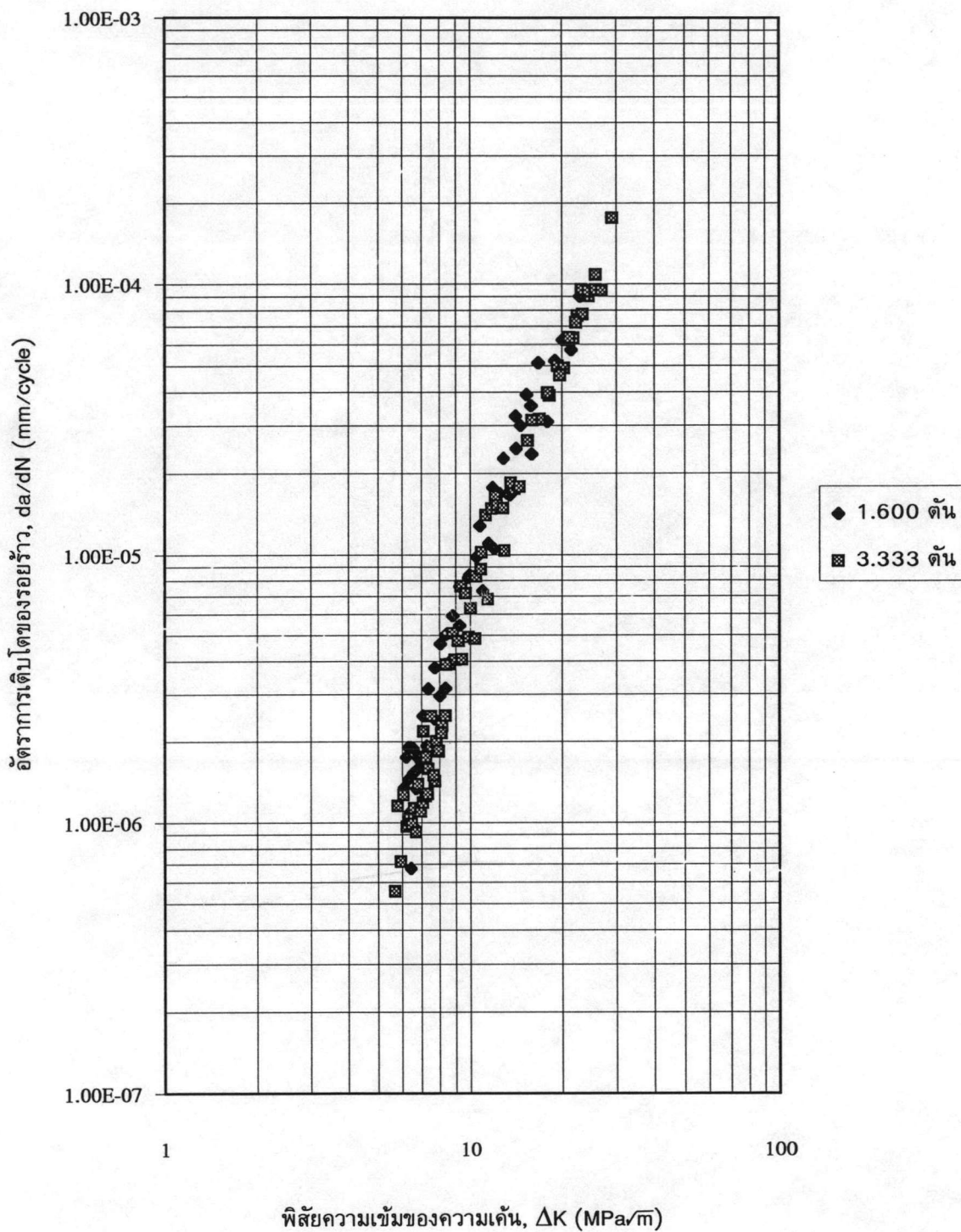
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงผลของภาวะสูงสุดที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่อัตราส่วนภาระเท่ากับ 0.3



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงผลของภาวะสูงสุดที่มีต่ออัตราการใช้ของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่อัตราส่วนภาวะเท่ากับ 0.5



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงผลของภาระสูงสุดที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่อัตราส่วนภาระเท่ากับ 0.7



รูปที่ 6.13 กราฟแสดงผลของภาวะสูงสุดที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่อัตราส่วนภาวะเท่ากับ 0.8

ผลของอัตราส่วนภาวะ

จากผลการทดสอบในช่วงอัตราส่วนภาวะตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.8 ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุ AISI 4140 นั้นไม่ขึ้นกับอัตราส่วนภาวะ ทั้งจากการทดสอบที่ขนาดของภาวะสูงสุดเท่ากับ 1.600 ดัน(รูปที่ 6.14) และที่ขนาดของภาวะสูงสุดเท่ากับ 3.333 ดัน(รูปที่ 6.15)

สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าว

จากผลการทดสอบที่ว่าพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ไม่ขึ้นกับอัตราส่วนภาวะ และภาวะสูงสุด ได้นำไปสู่การพล็อตกราฟผลการทดสอบที่สภาวะของภาวะทดสอบทั้งหมดรวมกัน(รูปที่ 6.16)เพื่อหาสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่แทนจุดข้อมูลทดสอบเหล่านั้น จากกราฟแสดงให้เห็นลักษณะแนวโน้มของข้อมูลเป็นแบบเส้นตรง(บนสเกลล็อก-ล็อก)มีการกระจายของจุดข้อมูลในช่วง $\Delta K = 7-13 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ มากกว่าในบริเวณอื่นๆ นอกจากนี้ยังไม่ปรากฏจุดข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่อยู่ในบริเวณใกล้ขีดเริ่มอย่างชัดเจน ทำให้สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวของปารีสซึ่งเขียนอยู่ในรูปของ $\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K^m$ ถูกเลือกมาเป็นเส้นตรงถดถอย และจากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด(ภาคผนวก ง) จะได้สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุ AISI 4140 คือ

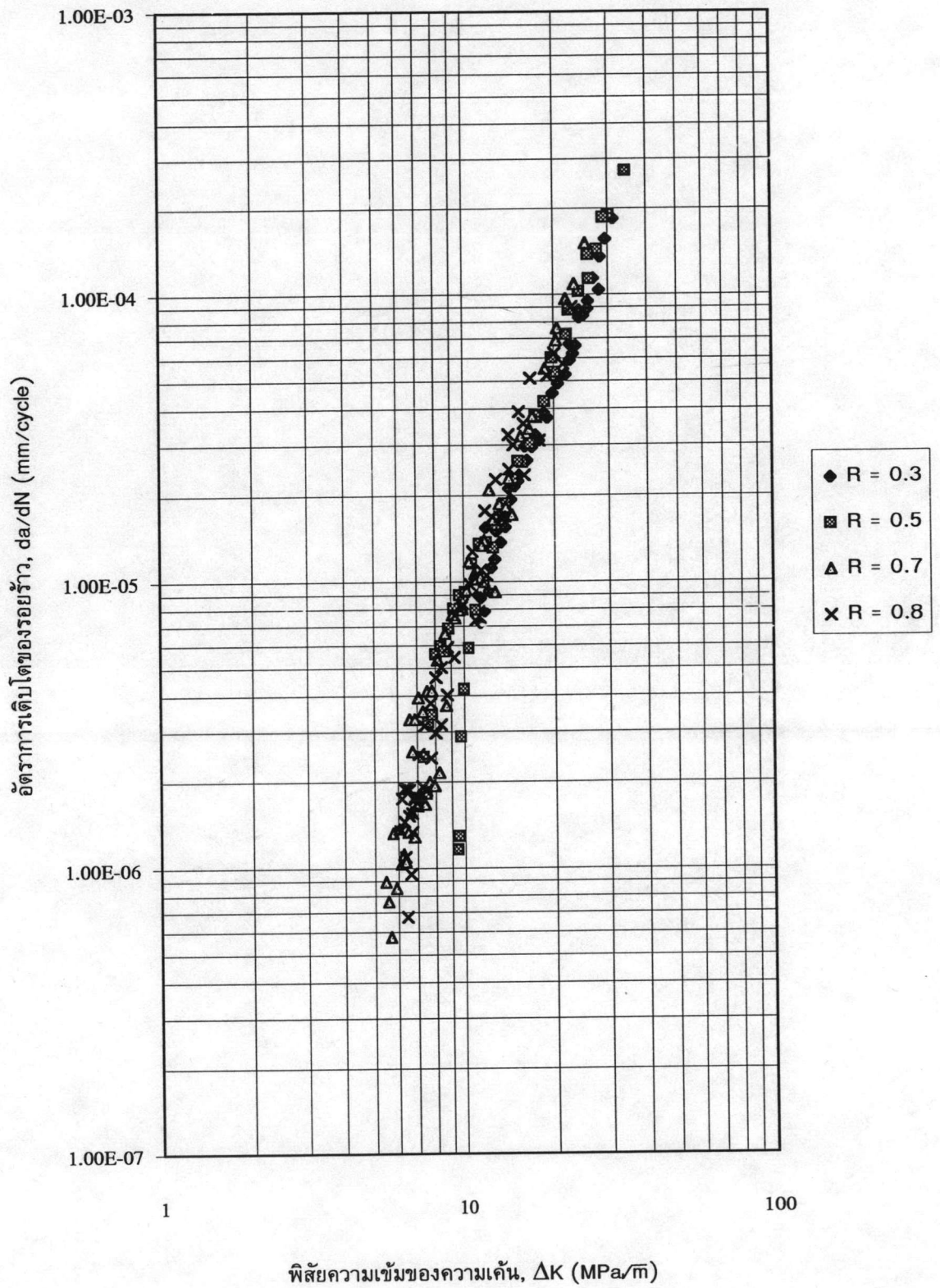
$$\frac{da}{dN} = 5.32 \times 10^{-9} \cdot \Delta K^{3.06} \quad (6.1)$$

โดยมี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlation coefficient), r เท่ากับ 0.983 หรือค่าสัมประสิทธิ์ของการบ่งชี้(coefficient of determination), r^2 เท่ากับ 0.966

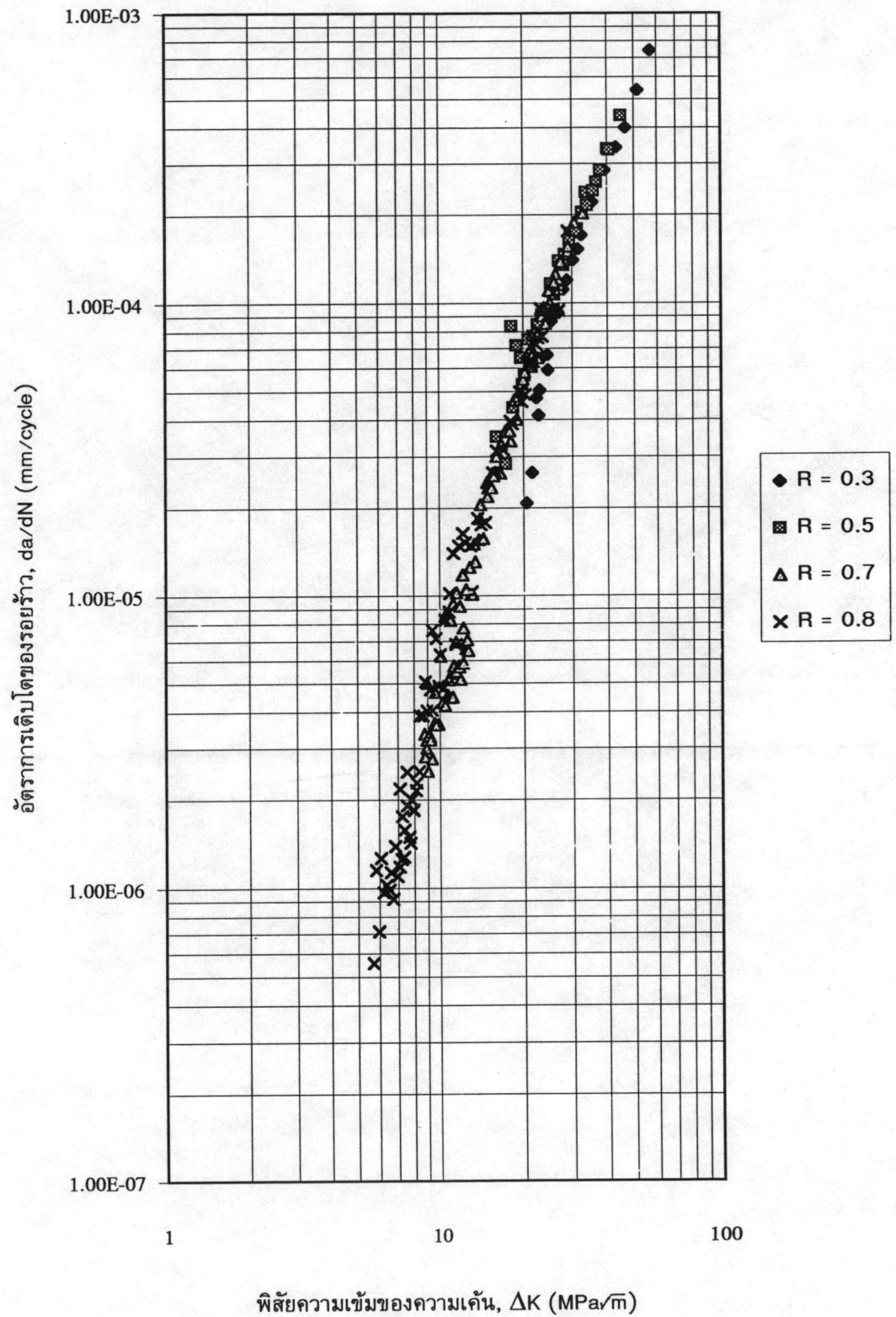
นอกจากนี้โดยการ trial and error พบว่าขอบเขตบน และล่างของจุดข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวสามารถแทนได้ด้วยสมการที่ 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ(รูปที่ 6.17)

$$\text{ขอบเขตบน} \quad \frac{da}{dN} = 10 \times 10^{-9} \cdot \Delta K^{3.06} \quad (6.2)$$

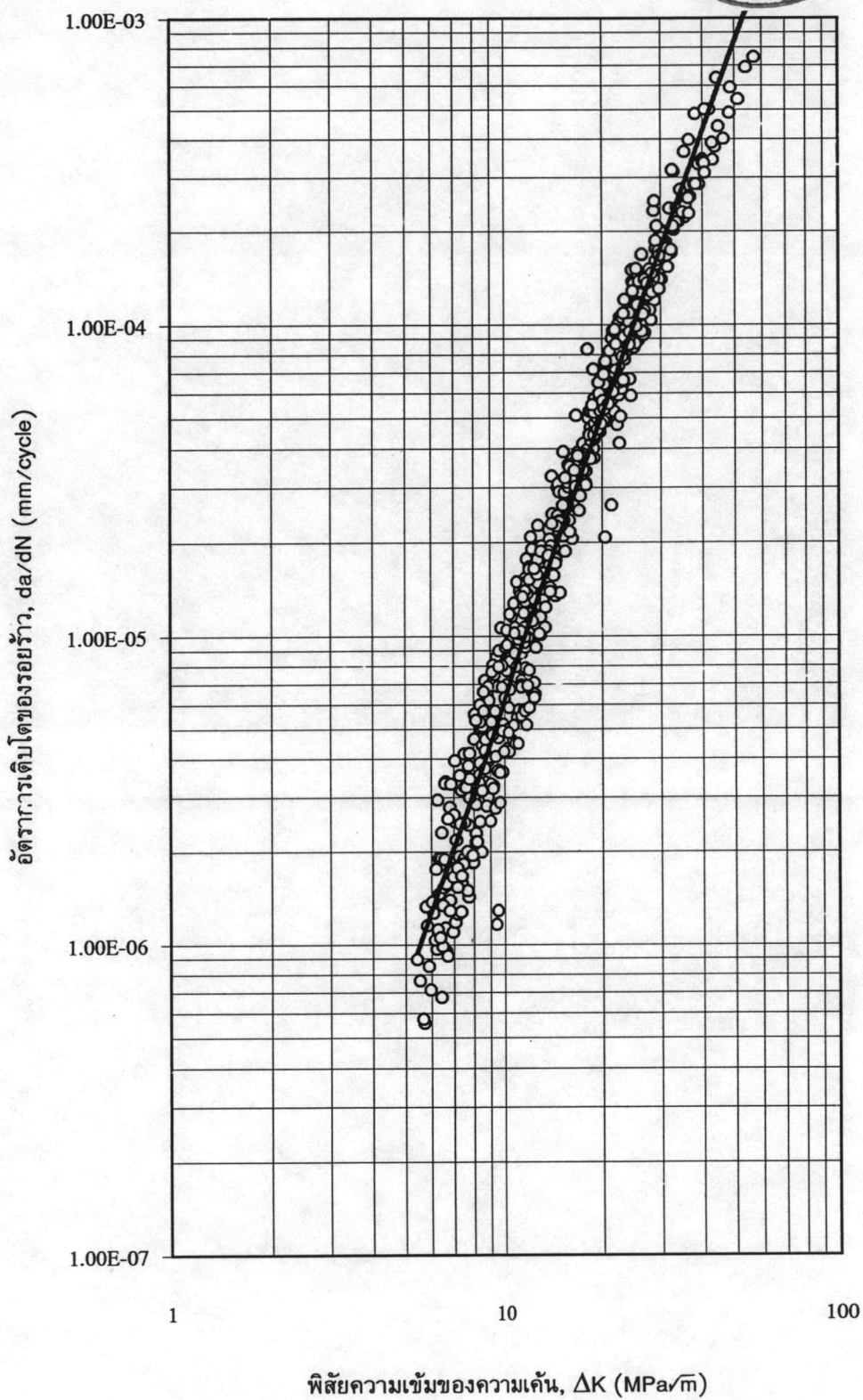
$$\text{ขอบเขตล่าง} \quad \frac{da}{dN} = 2.5 \times 10^{-9} \cdot \Delta K^{3.06} \quad (6.3)$$



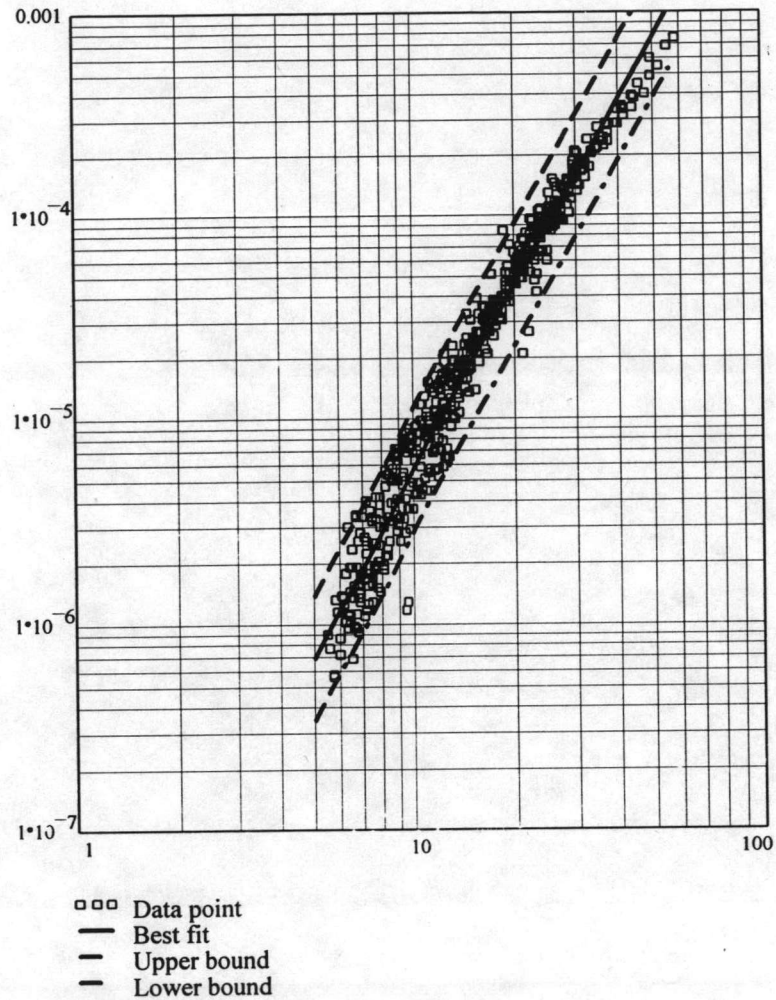
รูปที่ 6.14 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนภาระที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่ภาระสูงสุดเท่ากับ 1.600 ตัน



รูปที่ 6.15 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนภาระที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของวัสดุ AISI 4140 ที่ภาระสูงสุดเท่ากับ 3.333 ตัน



รูปที่ 6.16 กราฟแสดงจุดข้อมูลที่ได้จากทุก ๆ สภาวะทดสอบ



รูปที่ 6.17 แสดงเส้นขอบเขตบน และล่างของจุดข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าว เนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุ AISI 4140

จากสมการที่แทนเส้นขอบเขตบน และเส้นขอบเขตล่าง แสดงให้เห็นว่าการกระจายของข้อมูลการทดสอบมีความแตกต่างจากเส้นตรงที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดประมาณ 2 เท่า ทำให้การนำสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดไปใช้ทำนายอายุความล้าของชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุ AISI 4140 นั้นจะต้องชดเชยความไม่แน่นอนเนื่องจากความกระจายของข้อมูลด้วยตัวประกอบความปลอดภัยประมาณ 2 อย่างไรก็ตามก็ตีหากำหนดถึงความไม่แน่นอนของตัวแปรอื่น ๆ เช่นภาระที่เกิดขึ้นจริง, สมบัติของวัสดุ ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เลือกใช้ควรมีค่ามากกว่า 2

ในเชิงการทดสอบ การทราบว่าข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวมีความกระจายอยู่ในขอบเขตบน และล่างที่แตกต่างกันถึง 4 เท่า ทำให้ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องหาข้อมูลอัตราการเติบโตเพื่อใช้ในการประเมินอายุคร่าว ๆ นั้น สามารถกระทำโดยทดสอบกับชิ้นงานทดสอบจำนวนไม่มากนัก จากนั้นจึงใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักเพื่อตรวจสอบว่าควรใช้ตัวประกอบความ

ปลอดภัยเท่ากับเท่าใด(แทนการที่พยายามจะทดสอบชิ้นงานทดสอบจำนวนมากชิ้นจนกระทั่งเกิดความมั่นใจซึ่งเป็นการเสียเวลาอย่างมาก) นอกจากนี้การประเมินอายุความล้าจริง ๆ ในชิ้นส่วนอุปกรณ์จะมีการตรวจสอบเป็นช่วง ๆ ระหว่างการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว ทำให้ความผิดพลาดในการประเมินอายุโดยใช้ข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานทดสอบจำนวนน้อยชิ้นนั้นลดลง เนื่องจากข้อมูลดิบต่าง ๆ ที่ถูกป้อนเข้าสู่สมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวจะถูกปรับให้เข้ากับสถานะการณ์ปัจจุบัน(ที่เกิดขึ้นจริง)เสมอ ยกตัวอย่างเช่น ความยาวรอยร้าวขณะนั้น(ซึ่งเป็นค่าที่แท้จริง)จะถูกนำไปแทนที่ค่าความยาวรอยร้าวซึ่งทำนายจากการตรวจวัดครั้งก่อน เป็นต้น