

บทที่ 9

การประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับปัญหาต่าง ๆ

หลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นในบทที่ 8 แล้ว ในบทนี้จะทำการประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวกับปัญหาต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการแก้ปัญหาหรรอยรั่วที่มีรูปร่าง และรูปแบบซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยตัวอย่างปัญหาหรรอยรั่วที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น ได้แก่

- (1) การทำนายอายุความล้าของรอยร้าวในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT
- (2) การทำนายอายุความล้าของรอยร้าวในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกด
- (3) การคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นภายใต้ภาระผสมแบบที่ 1 และ 2
- (4) การทำนายแนวรอยร้าวในแผ่นแบนที่มีรอยร้าวภายใต้แรงเฉือน

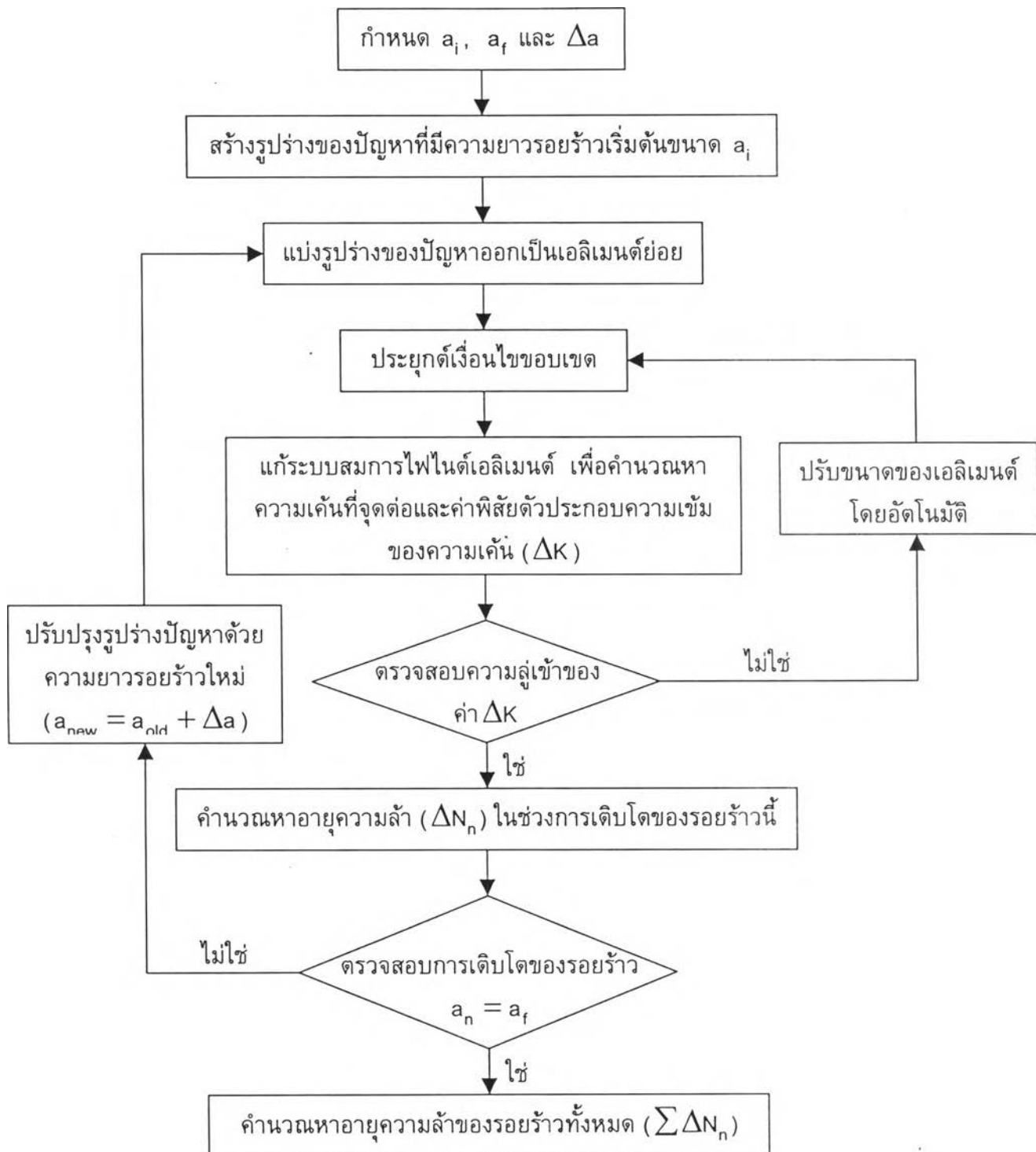
9.1 การทำนายอายุความล้าของรอยร้าวในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT

ในปัญหานี้เป็นการทำนายอายุความล้าของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT ซึ่งได้ทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวในชั้นทดสอบดังกล่าวมาแล้วดังแสดงในบทที่ 5 และจะนำมาใช้อ้างอิงและตรวจสอบผลการทำนายอายุของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบนี้ สำหรับขั้นตอนการทำนายอายุความล้าของรอยร้าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแสดงได้ดังนี้

1. เริ่มจากการกำหนดขนาดความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) ความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) และขนาดความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (Δa) ในแต่ละรอบการคำนวณ
2. สร้างรูปร่างของปัญหาที่มีความยาวรอยร้าวเริ่มต้นขนาด a_i
3. ทำการแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย
4. ประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตลงบนรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
5. แก่ระบบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อคำนวณหาความเค้นที่จุดต่อและค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK)

6. ตรวจสอบการลู่เข้าของค่า ΔK โดยหาค่า ΔK ลู่เข้าแล้วให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 9
7. ทำการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ
8. กลับไปขั้นตอนที่ 4
9. ทำการคำนวณหาอายุความล้าเป็นจำนวนรอบในช่วงการเติบโตของรอยร้าวนี้ (ΔN_n) ดั้งขั้นตอนที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 โดยใช้สมการแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวในรูปแบบสมการปารีสซึ่งหาได้จากการทดสอบ
10. เปรียบเทียบขนาดความยาวรอยร้าวในรอบการคำนวณนี้ (a_n) กับความยาว รอยร้าวสุดท้าย (a_f) โดยหาก $a_n = a_f$ ให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 13
11. ปรับปรุงรูปร่างของปัญหา โดยเพิ่มขนาดความยาวรอยร้าวขึ้นอีกเท่ากับ Δa
12. กลับไปในขั้นตอนที่ 3
13. ทำการหาผลรวมของอายุความล้าตลอดทุกช่วงความยาวรอยร้าว ($\sum \Delta N_n$) ตั้งแต่ขนาด a_i ถึง a_f ได้เป็นอายุความล้าของรอยร้าวทั้งหมด

ในรูปที่ 9.1 เป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณอายุความล้าของรอยร้าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยตัวอย่างการคำนวณดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ ทำยวิทยานิพนธ์นี้



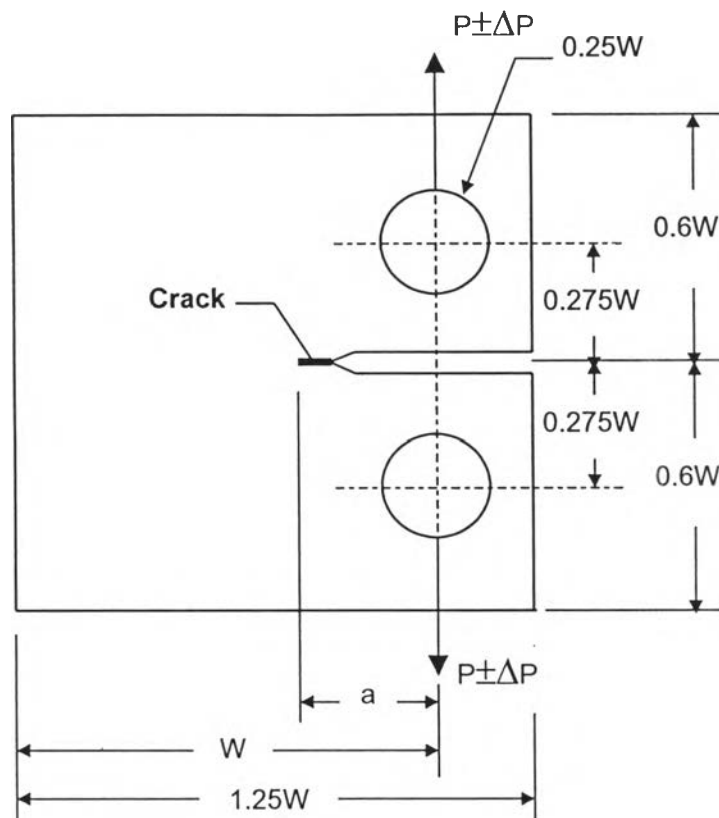
รูปที่ 9.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำนายอายุความล้าของรอยร้าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ลักษณะของขั้นตอนทดสอบมาตรฐานแบบ CT ภายใต้แรงดึงขนาด $P \pm \Delta P$ แสดงได้ดังรูปที่ 9.2 โดยมีสภาวะทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9.1 สำหรับภาระที่กระทำต่อขั้นตอนทดสอบนี้จะก่อให้เกิดภาระต่อรอยร้าวในรูปแบบที่ 1 เพียงอย่างเดียว จึงทำให้สามารถทราบทิศทางการเติบโตของรอยร้าวได้ว่าจะมีแนวรอยร้าวเกิดขึ้นในแนวเส้นตรงตั้งฉากกับทิศทางของแรงที่มากระทำ ในการทำนายอายุรอยร้าวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนทดสอบนี้ สามารถทำได้ตั้งขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยกำหนดให้ขั้นตอนทดสอบมีความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) เท่ากับ 12.75 mm และความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) เท่ากับ 33.15 mm และกำหนดให้ความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (Δa) ในแต่ละรอบการคำนวณ เท่ากับ 2.55 mm โดยสำหรับการคำนวณต่อไปนี้จะเป็นการหาค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งในการคำนวณหาค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นนี้สามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากแอมพลิจูดของภาระ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระที่มากระทำ และปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีความสมมาตร ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาเพียงส่วนบนของปัญหาได้ ดังแสดงในรูปที่ 9.3 และแสดงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาหลังผ่านการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติแล้วได้ในรูปที่ 9.4 โดยสำหรับปัญหานี้ สามารถคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในช่วง $a/W \geq 0.2$ ได้จากมาตรฐาน ASTM E647-95a [28] ดังนี้

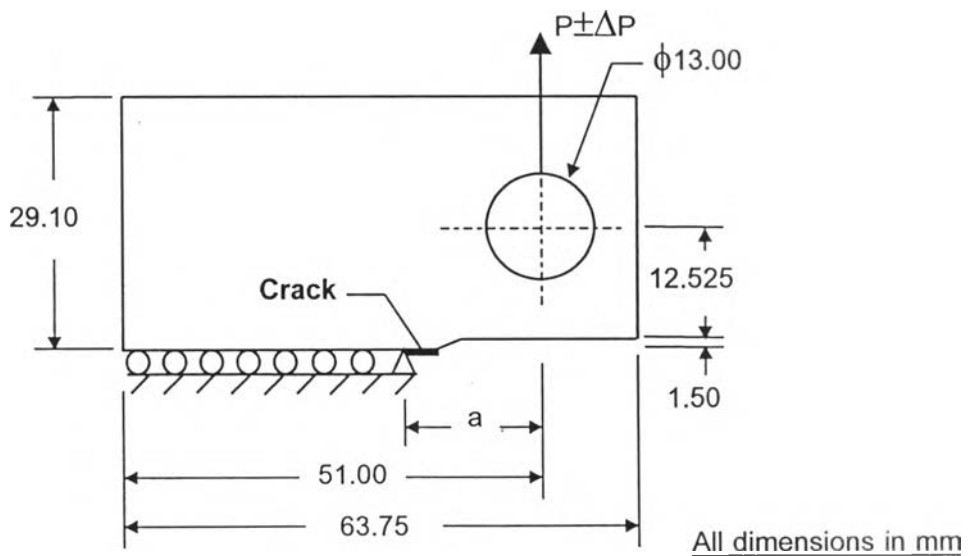
$$K_I = \frac{P}{B\sqrt{W}} \cdot \frac{2 + \frac{a}{W}}{(1 - \frac{a}{W})^{3/2}} \cdot [0.886 + 4.64(\frac{a}{W}) - 13.32(\frac{a}{W})^2 + 14.72(\frac{a}{W})^3 - 5.60(\frac{a}{W})^4] \quad (9.1)$$

ตารางที่ 9.1 สภาวะทดสอบที่ใช้ในการศึกษาสำหรับขั้นตอนทดสอบมาตรฐานแบบ CT

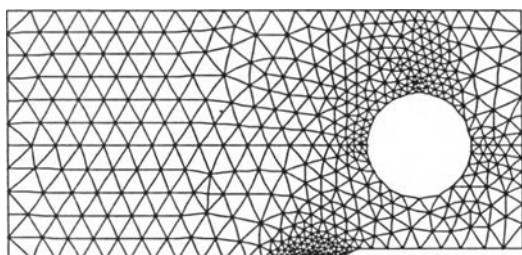
ชนิดของวัสดุ	ความถี่ (Hz)	ภาระเฉลี่ย (tons)	แอมพลิจูดภาระ (tons)
ASME SA-335 Gr P22	20	2.400	0.800
AL 6063-T6	20	1.000	0.333



รูปที่ 9.2 ลักษณะและรายละเอียดของชิ้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT

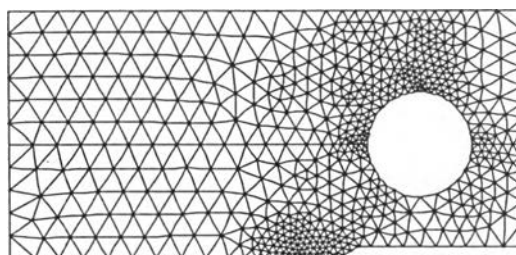


รูปที่ 9.3 รูปร่างและรายละเอียดของปัญหาที่นำมาพิจารณา



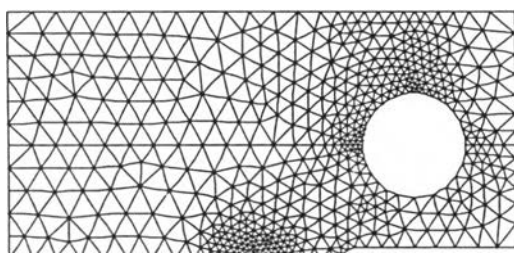
2088 nodes
980 elements

ก) $a = 12.75$ mm



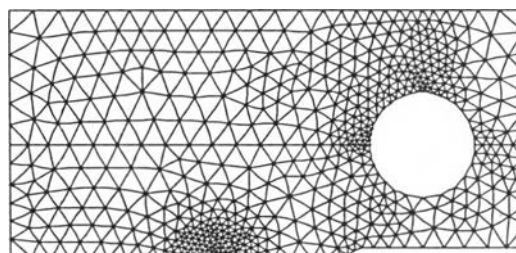
2388 nodes
1130 elements

ข) $a = 15.30$ mm



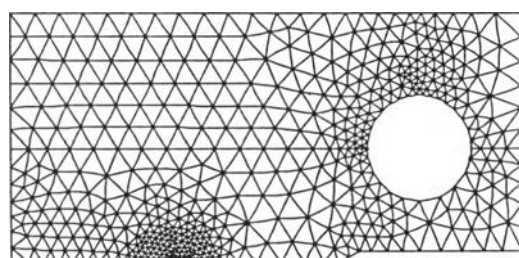
2208 nodes
1042 elements

ค) $a = 20.40$ mm



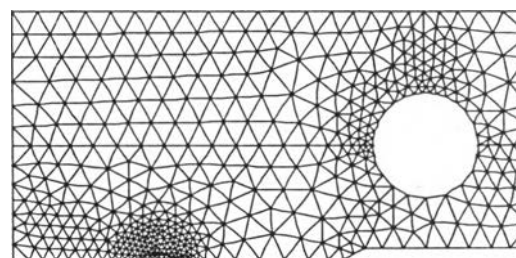
2390 nodes
1130 elements

ง) $a = 25.50$ mm



2091 nodes
985 elements

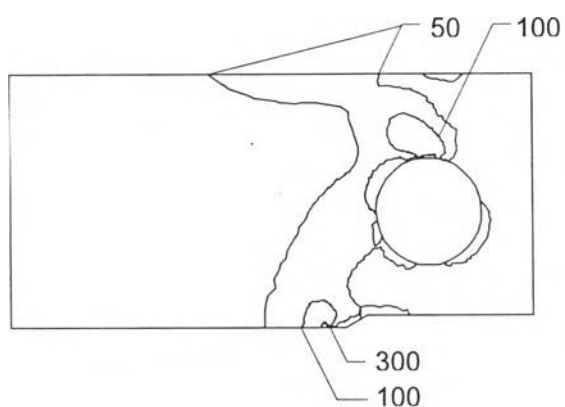
จ) $a = 30.60$ mm



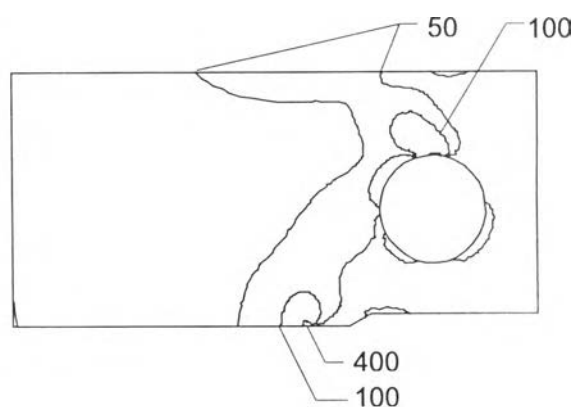
1948 nodes
916 elements

ฉ) $a = 33.15$ mm

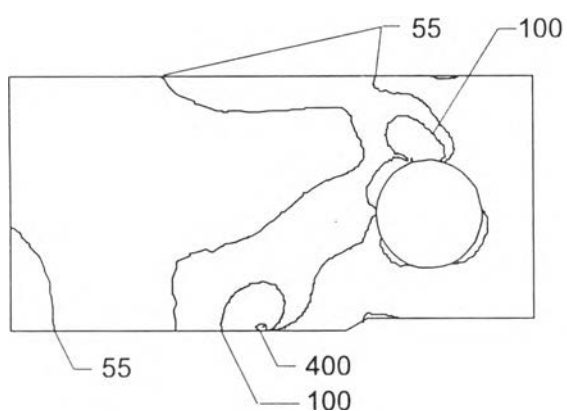
รูปที่ 9.4 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์หลังการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ สำหรับขั้นตอนทดสอบมาตรฐานแบบ CT ที่ความยาวรอยร้าวต่างๆ



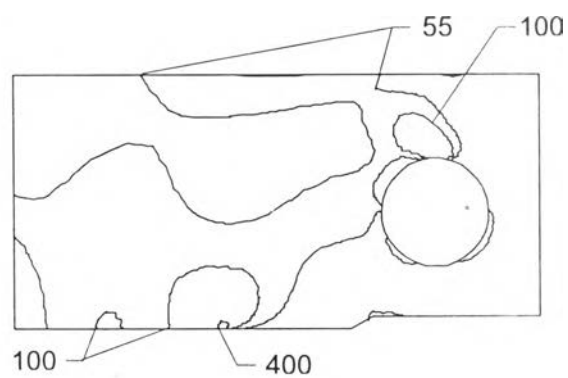
ก) $a = 12.75 \text{ mm}$



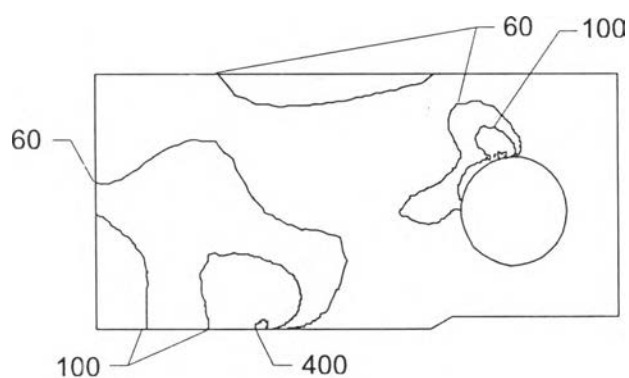
ข) $a = 15.30 \text{ mm}$



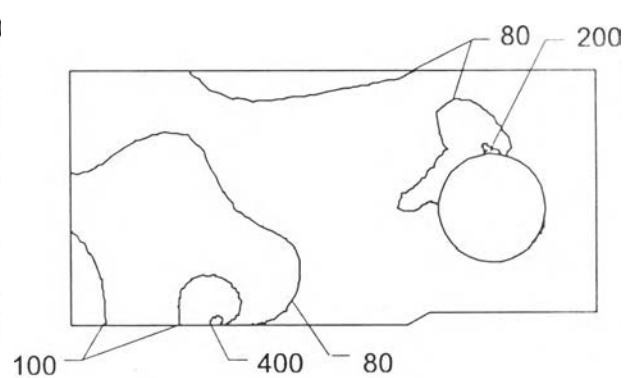
ค) $a = 20.40 \text{ mm}$



ง) $a = 25.50 \text{ mm}$



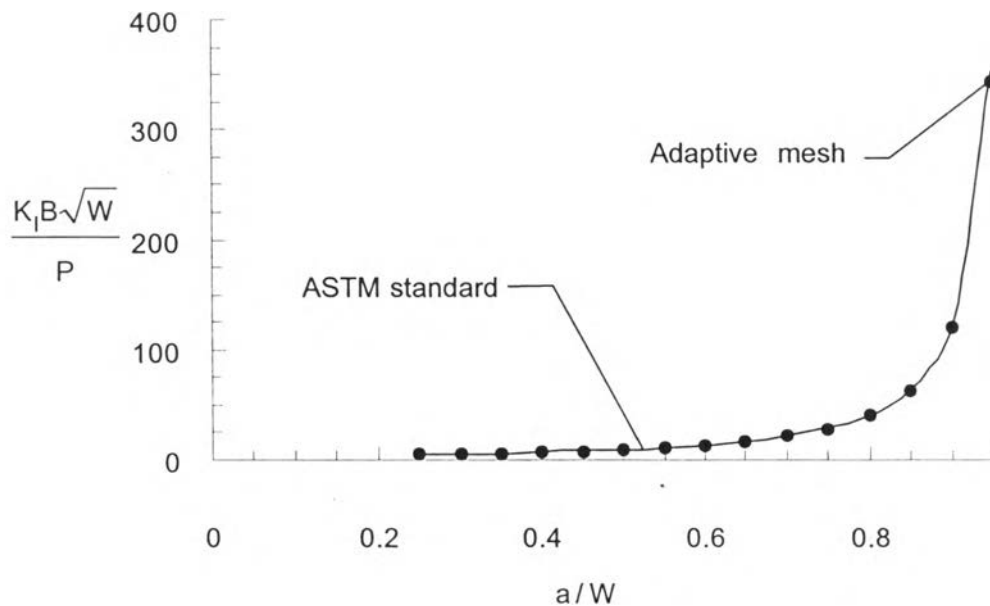
จ) $a = 30.60 \text{ mm}$



ฉ) $a = 33.15 \text{ mm}$

รูปที่ 9.5 ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นแบบ Von Mises, N/mm^2 ในชิ้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT ที่ความยาวรอยร้าวต่างๆ

รูปที่ 9.6 เป็นรูปภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับมาตรฐาน ASTM ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ มีค่าสอดคล้องกับผลเฉลยจากมาตรฐาน ASTM เป็นอย่างมาก



รูปที่ 9.6 กราฟเปรียบเทียบค่าพิสัยความเข้มของความเค้นที่ได้กับมาตรฐาน ASTM

ในตารางที่ 9.2 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลการทำนายอายุของรอยร้าวจากการคำนวณกับอายุรอยร้าวที่ได้จากการทดลอง จะพบว่าผลการทำนายอายุรอยร้าวสำหรับชิ้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT นี้ มีความผิดพลาดไม่เกิน 5.62 %

ตารางที่ 9.2 ตารางเปรียบเทียบผลการทำนายอายุรอยร้าวในชิ้นทดสอบมาตรฐานแบบ CT

Material	Life (Cycles)		Error (%)
	FEM	Experiment	
ASME SA-335 Gr P22	409066	387303	5.62
AL 6063-T6	289759	305004	5.00

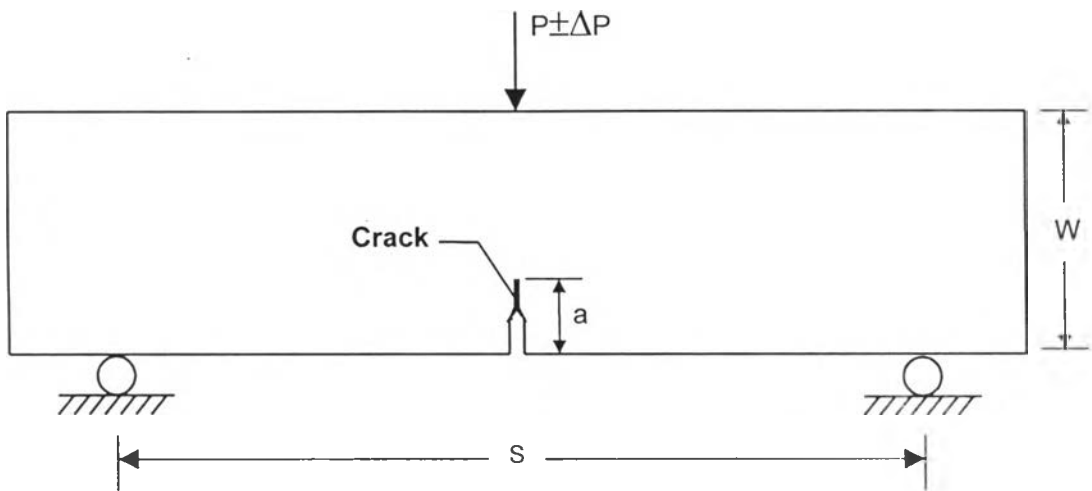
9.2 การทำนายอายุรอยร้าวในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกด

สำหรับปัญหานี้ ได้ทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวในชั้นทดสอบดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 5 และจะนำมาใช้อ้างอิงและตรวจสอบผลการทำนายอายุของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบนี้เช่นกัน ชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกดนี้จะรับภาระในรูปแบบของโมเมนต์ดัด ซึ่งก่อให้เกิดภาระต่อรอยร้าวในรูปแบบที่ 1 โดยมีสภาวะทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9.3 และลักษณะของชั้นทดสอบดังกล่าวนี้แสดงได้ดังรูปที่ 9.7 ในการทำนายอายุรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบนี้ กำหนดให้ชั้นทดสอบมีความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) เท่ากับ 12.70 mm และความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) เท่ากับ 33.02 mm และกำหนดให้ความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (Δa) ในแต่ละรอบการคำนวณเท่ากับ 2.54 mm เนื่องจากความสมมาตรของปัญหา จึงสามารถพิจารณาเพียงส่วนขวาของปัญหาได้ดังแสดงในรูปที่ 9.8 และแสดงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาหลังผ่านการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติแล้วได้ในรูปที่ 9.9 โดยสำหรับปัญหานี้สามารถหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นได้จากมาตรฐาน ASTM E647-95a [28] คือ

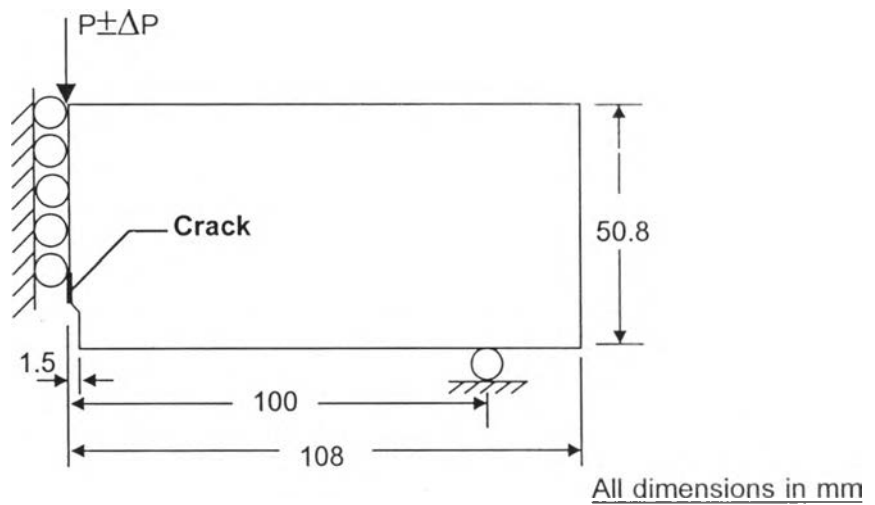
$$K_I = \frac{P}{B\sqrt{W}} \cdot \frac{3 \cdot (a/W)^{1/2} \cdot [1.99 - (a/W) \cdot (1 - a/W) \times [2.15 - 3.93 \cdot (a/W) + 2.7 \cdot (a/W)^2]]}{2 \cdot (1 + 2a/W) \cdot (1 - a/W)^{3/2}} \quad (9.2)$$

ตารางที่ 9.3 สภาวะทดสอบที่ใช้ในการศึกษาสำหรับชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกด

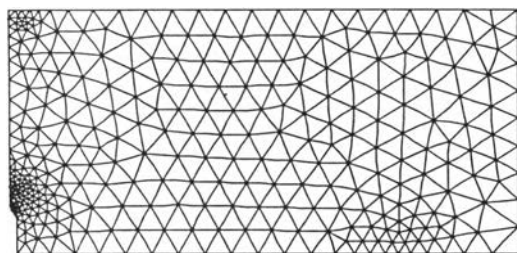
ชนิดของวัสดุ	ความถี่ (Hz)	ภาระเฉลี่ย (tons)	แอมพลิจูดภาระ (tons)
ASME SA-335 Gr P22	10	2.600	0.867
AL 6063-T6	10	1.000	0.333



รูปที่ 9.7 ลักษณะและรายละเอียดของขั้นตอนทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกด

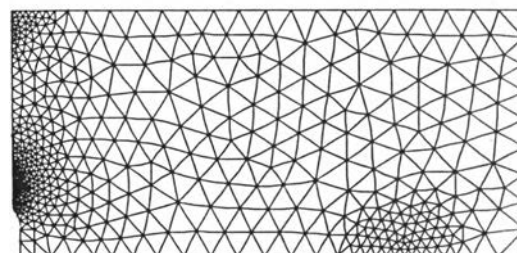


รูปที่ 9.8 รูปร่างและรายละเอียดของปัญหาที่นำมาพิจารณา



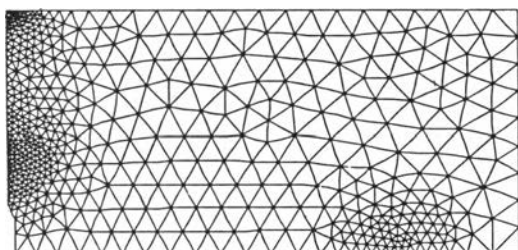
1359 nodes
636 elements

ก) $a = 12.70$ mm



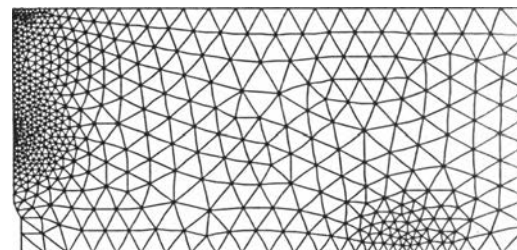
2113 nodes
1002 elements

ข) $a = 15.24$ mm



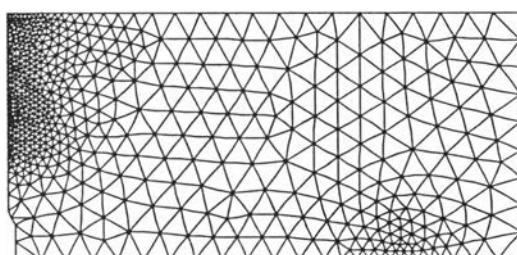
2155 nodes
1002 elements

ค) $a = 20.32$ mm



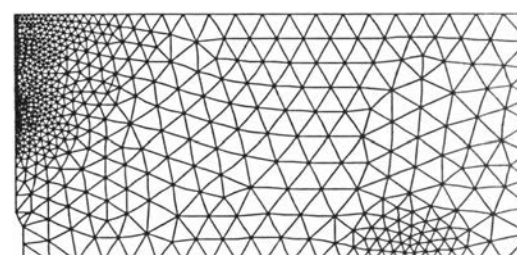
2235 nodes
1024 elements

ง) $a = 25.40$ mm



2235 nodes
1064 elements

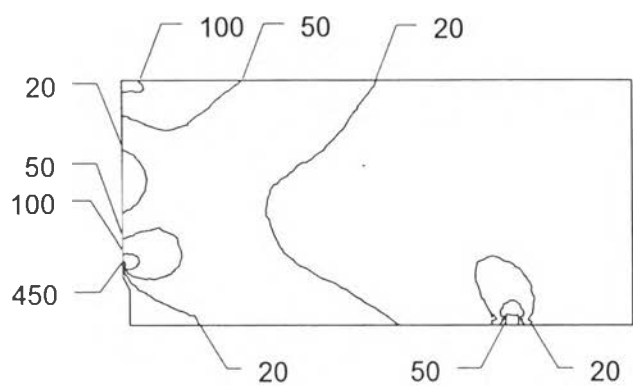
จ) $a = 30.48$ mm



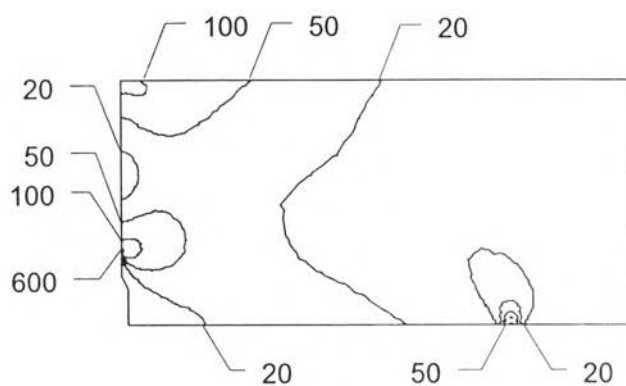
2378 nodes
1133 elements

ฉ) $a = 33.02$ mm

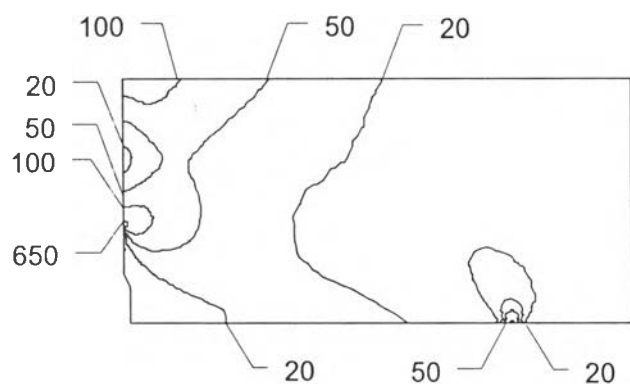
รูปที่ 9.9 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์หลังการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ
สำหรับขั้นตอนทดสอบมาตรฐานแบบคานัดัดสามจุดกึ่งที่มีความยาวรอยร้าวต่างๆ



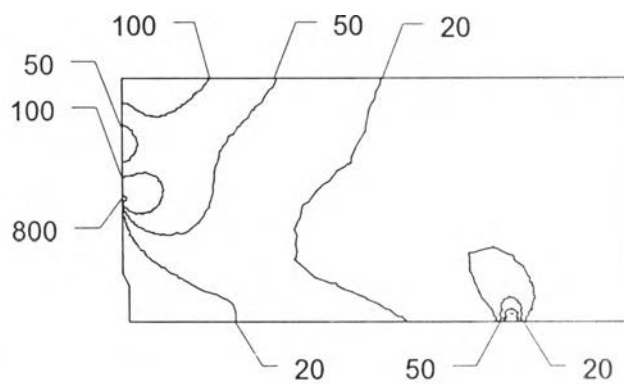
ก) $a = 12.70 \text{ mm}$



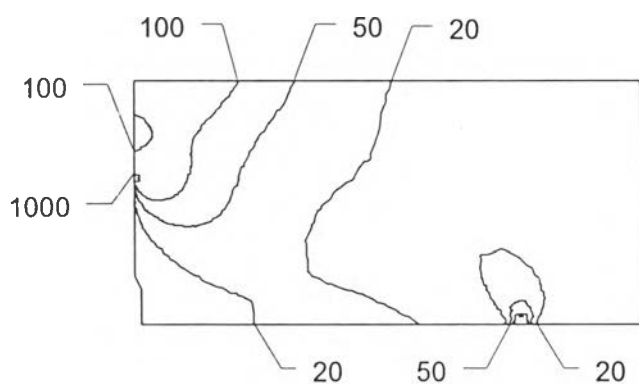
ข) $a = 15.24 \text{ mm}$



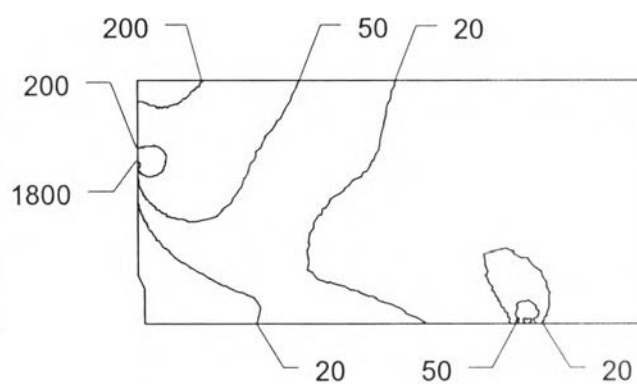
ค) $a = 20.32 \text{ mm}$



ง) $a = 25.40 \text{ mm}$



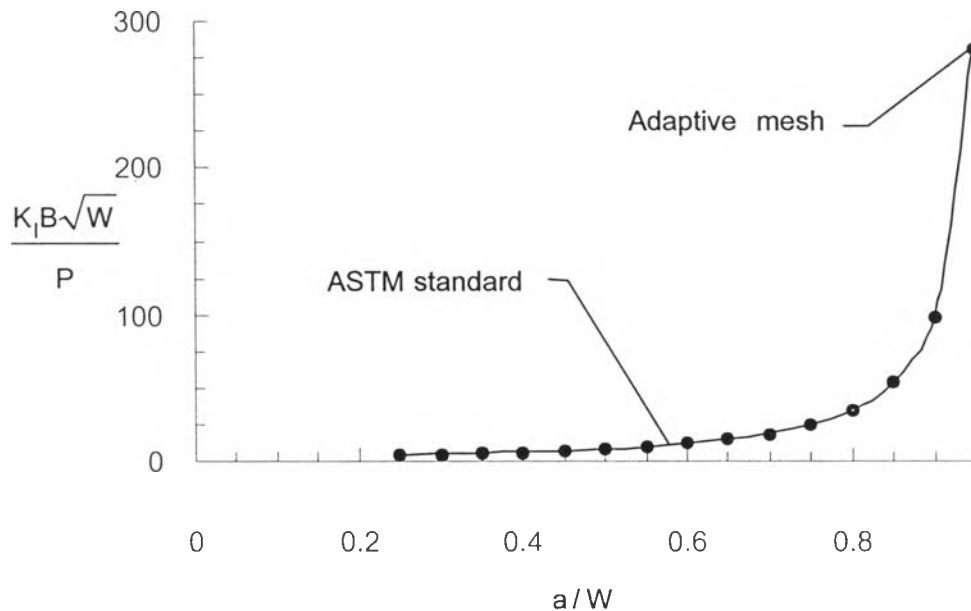
จ) $a = 30.48 \text{ mm}$



ฉ) $a = 33.02 \text{ mm}$

รูปที่ 9.10 ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นแบบ Von Mises, N/mm^2 ในชิ้นทดสอบมาตรฐานแบบคานดัดสามจุดกคที่ความยาวรอยร้าวต่างๆ

รูปที่ 9.11 เป็นรูปกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับมาตรฐาน ASTM ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ มีค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยจากมาตรฐาน ASTM



รูปที่ 9.11 กราฟเปรียบเทียบค่าพิสัยความเข้มของความเค้นที่ได้กับมาตรฐาน ASTM

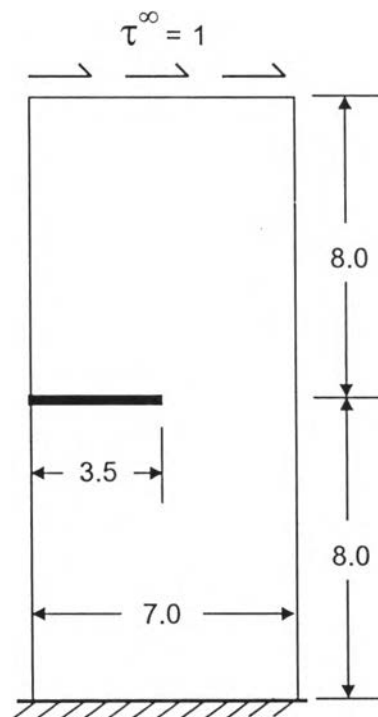
ในตารางที่ 9.4 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลการทำนายอายุของรอยร้าวจากการคำนวณกับอายุรอยร้าวที่ได้จากการทดลอง จะพบว่าผลการทำนายอายุรอยร้าวสำหรับชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานดัดสามจุดกุดนี้ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4.20 %

ตารางที่ 9.4 ตารางเปรียบเทียบผลการทำนายอายุรอยร้าวในชั้นทดสอบมาตรฐานแบบคานดัดสามจุดกุด

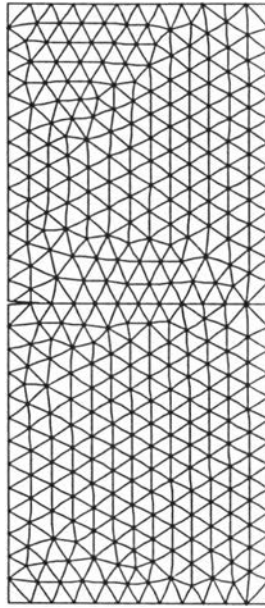
Material	Life (Cycles)		Error (%)
	FEM	Experiment	
ASME SA-335 Gr P22	518651	541396	4.20
AL 6063-T6	282768	291003	2.83

9.3 การคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นภายใต้ภาระแบบที่ 1 และ 2

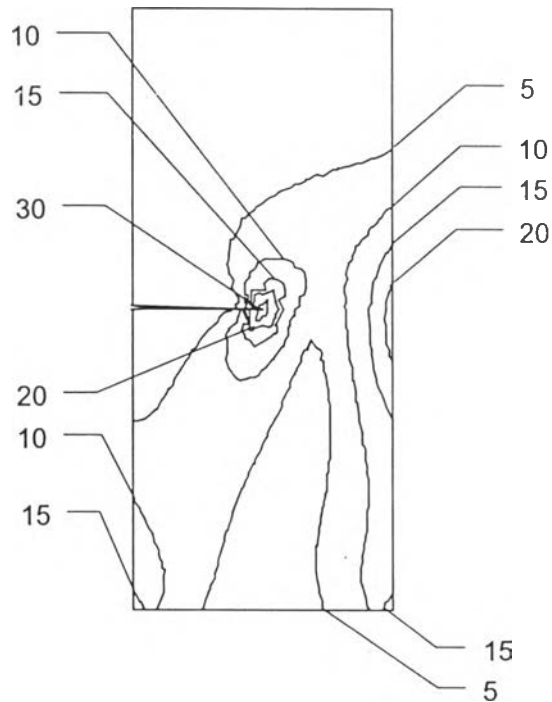
ในปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดก่อนหน้านี้ จะมีลักษณะของภาระที่กระทำต่อรอยร้าว ในรูปแบบที่ 1 เพียงอย่างเดียว สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัญหารอยร้าวที่อยู่ภายใต้ภาระแบบผสมในรูปแบบที่ 1 และ 2 โดยปัญหาที่นำมาวิเคราะห์เป็นปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบด้านข้าง และถูกกระทำด้วยความเค้นเฉือนที่ขอบด้านบน โดยรายละเอียดของปัญหาแสดงได้ดังรูปที่ 9.12 ซึ่งมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากับ 30000 หน่วย อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.25 และมีขนาดความยาวรอยร้าว (a) เท่ากับ 3.5 หน่วย ความสูง ($2H$) เท่ากับ 16 หน่วย ความกว้าง (W) เท่ากับ 7 หน่วย โดยถูกกระทำด้วยภาระความเค้นเฉือนขนาด 1 หน่วย ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกของปัญหาได้ดังรูปที่ 9.13 ประกอบด้วย 668 เอลิเมนต์ 1425 จุดต่อ



รูปที่ 9.12 รูปร่างของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวอยู่ที่ขอบภายใต้ความเค้นเฉือน

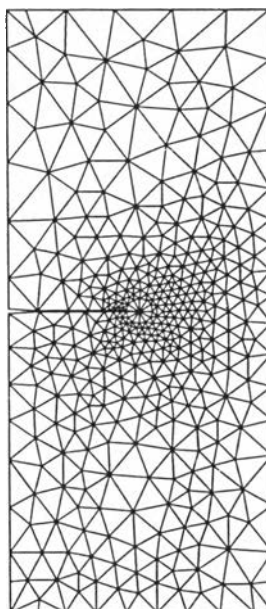


รูปที่ 9.13 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบ และอยู่ภายใต้ความเค้นเฉือน

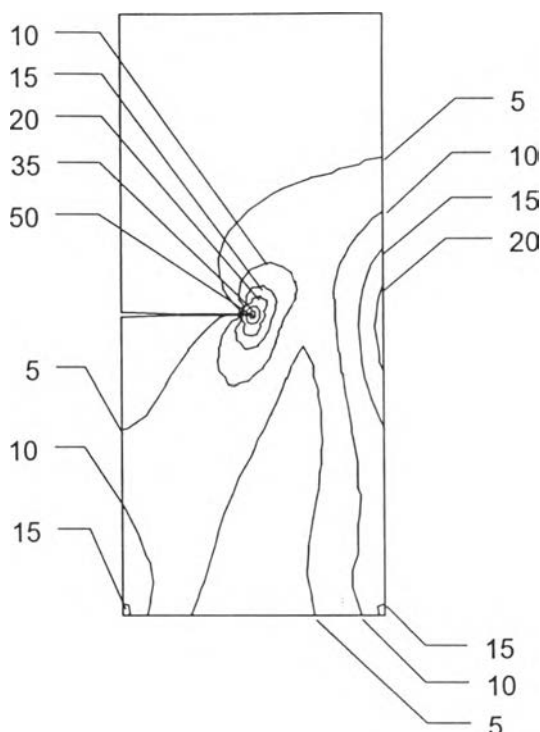


รูปที่ 9.14 ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นแบบ Von Mises, N/mm^2 สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบภายใต้ความเค้นเฉือน

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม KFACTOR โดยใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบหกจุดต่อ ซึ่งมีเอลิเมนต์สำหรับที่ปลายรอยร้าวจะได้รับการกระจายของความเค้นแบบ Von Mises ดังแสดงในรูปที่ 9.14 จากนั้นนำค่าความเค้นแบบ Von Mises ที่ได้มาใช้ในการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ โดยการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPACE จะได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 9.15 ประกอบด้วย 777 เอลิเมนต์ 1618 จุดต่อ โดยจากรูปพบว่าเอลิเมนต์ขนาดเล็กจะเรียงตัวอยู่ที่บริเวณปลายรอยร้าว ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องทฤษฎีกลศาสตร์การแตกหัก ยึดหยุ่นเชิงเส้น กล่าวคือ ที่บริเวณปลายรอยร้าวจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้นสูง เนื่องจากความเค้นที่ปลายรอยร้าวนั้นจะมีค่าเข้าสู่อนันต์ และจากนั้นทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ KFACTOR จะได้รับการกระจายของความเค้นแบบ Von Mises ดังแสดงในรูปที่ 9.16



รูปที่ 9.15 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 1 ของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบ ภายใต้ความเค้นเฉือน



รูปที่ 9.16 ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นแบบ Von Mises, N/mm^2 สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 1 ของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบภายใต้ความเค้นเฉือน

ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ จะนำผลเฉลยของการเคลื่อนตัวบริเวณปลายรอยร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ไปใช้ในการคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นสำหรับภาวะรูปแบบที่ 1 และ 2 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.9 และได้แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก ง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่คำนวณได้กับผลเฉลยของ W. K. Wilson โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9.5 ซึ่งจากผลเฉลยของ W. K. Wilson จะได้ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นสำหรับภาวะรูปแบบที่ 1 และ 2 เท่ากับ 34.0 และ 4.55 หน่วยตามลำดับ จากตารางจะพบว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าลดลงเมื่อทำการปรับขนาดของเอลิเมนต์

ตารางที่ 9.5 เปรียบเทียบการคำนวณค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ได้กับผลเฉลยของ W. K. Wilson

Mesh	Mode I		Mode II	
	K_I	Error (%)	K_{II}	Error (%)
Initial mesh	33.65	1.03	4.40	3.30
1 st adaptive	34.10	0.29	4.52	0.66

9.4 การทำนายแนวรอยร้าวในแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบภายใต้ความเค้นเฉือน

สำหรับปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีรูปร่างและลักษณะเช่นเดียวกับปัญหาที่แล้ว โดยในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อทำนายหาแนวทางเดินของรอยร้าว โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

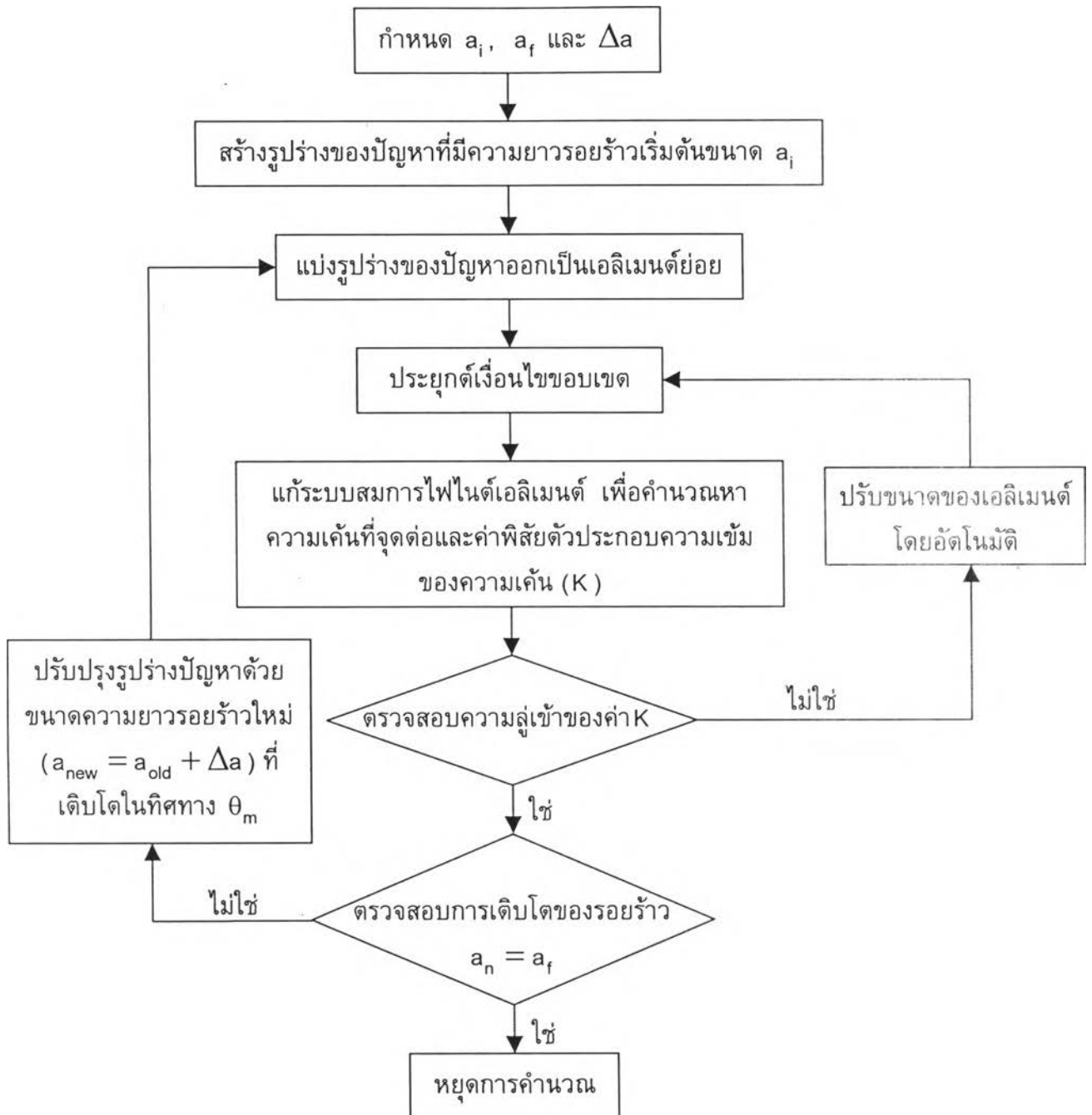
1. เริ่มจากการกำหนดขนาดความยาวรอยร้าวเริ่มต้น (a_i) ความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) และขนาดความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (Δa) ในแต่ละรอบการคำนวณ
2. สร้างรูปร่างของปัญหาที่มีความยาวรอยร้าวเริ่มต้นขนาด a_i
3. ทำการแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย
4. ประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตลงบนรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
5. แก่ระบบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อคำนวณหาความเค้นที่จุดต่อและค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น (K)
6. ตรวจสอบการลู่เข้าของค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นนี้ โดยหากค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นลู่เข้าแล้วให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 9
7. ทำการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ
8. กลับไปขั้นตอนที่ 4
9. ตรวจสอบความยาวรอยร้าวในรอบการคำนวณนี้ (a_n) กับความยาวรอยร้าวสุดท้าย (a_f) โดยหาก $a_n = a_f$ ให้ข้ามไปในขั้นตอนที่ 12
10. คำนวณทิศทางการเติบโตของรอยร้าวโดยใช้ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.10 ซึ่งจะได้ทิศทางการเติบโตของรอยร้าว (θ_m) คือ

$$\theta_m = 2 \tan^{-1} \left[\frac{\frac{K_I}{K_{II}} \pm \sqrt{\left(\frac{K_I}{K_{II}}\right)^2 + 8}}{4} \right] \quad (9.3)$$

โดยที่ θ_m แทนทิศทางการเติบโตของรอยร้าวจากทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

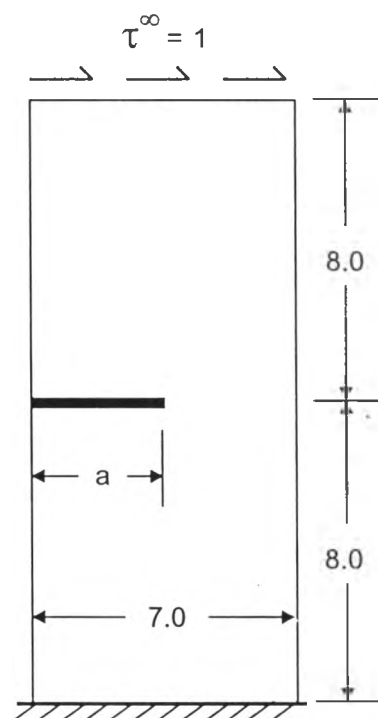
11. ปรับปรุงรูปร่างของปัญหา โดยให้รอยร้าวเติบโตในทิศทาง θ_m และมีขนาดความยาวรอยร้าวเพิ่มขึ้นเท่ากับ Δa
12. กลับไปในขั้นตอนที่ 3
13. หยุดการคำนวณ

ในรูปที่ 9.17 เป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการทำนายแนวทางการเติบโตของรอยร้าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



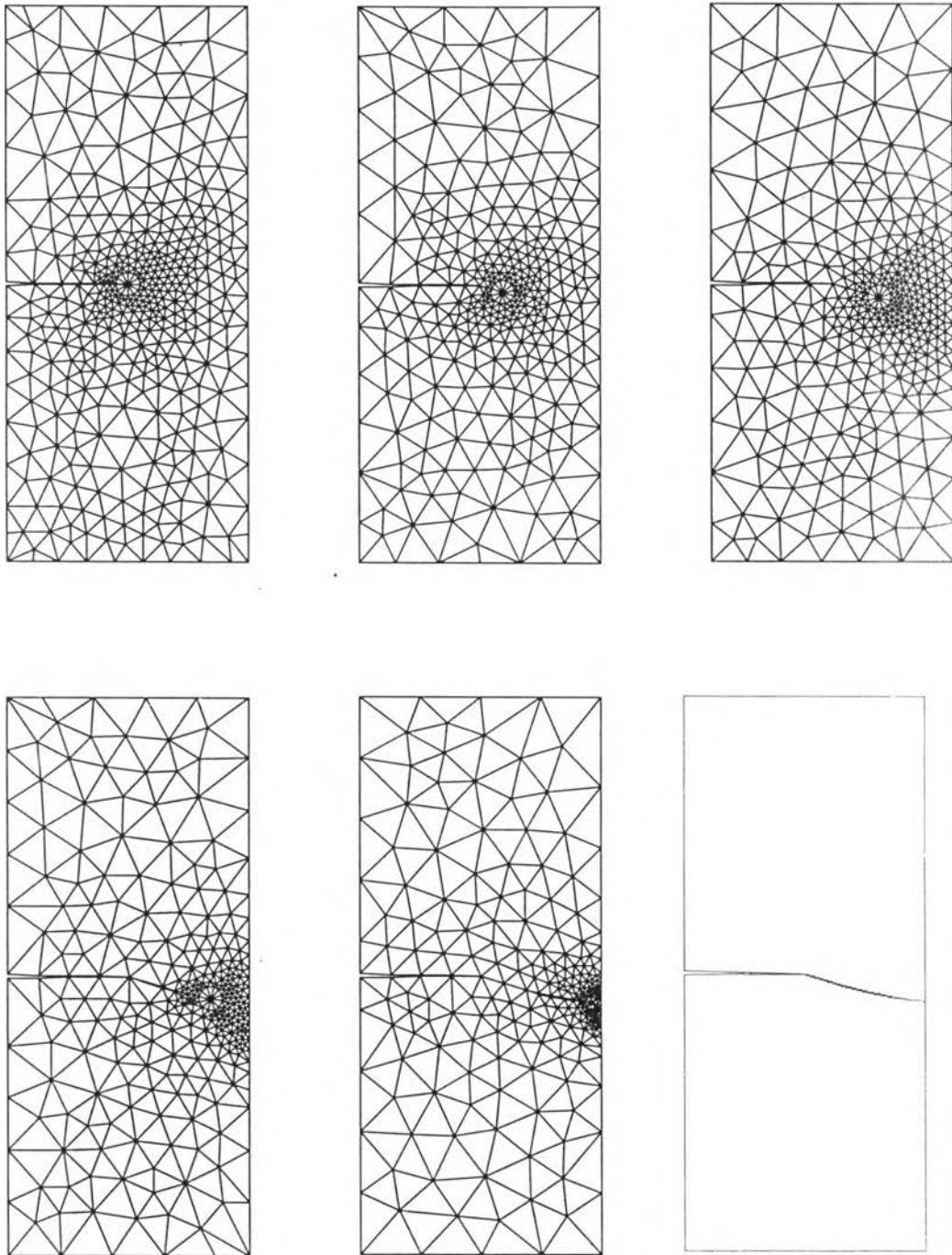
รูปที่ 9.17 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำนายแนวทางการเดินทางของรอยรั้ว

ปัญหาที่นำมาแสดงในที่นี้เป็นปัญหาการทำนายแนวรอยร้าวในแผ่นแบนที่มีรอยร้าวที่ขอบด้านข้างและถูกกระทำด้วยความเค้นเฉือนทางด้านบน โดยรายละเอียดของปัญหาแสดงได้ดังรูปที่ 9.18 ซึ่งมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากับ 30000 หน่วย อัตราส่วนปัวซองส์เท่ากับ 0.25 ความสูง ($2H$) เท่ากับ 16 หน่วย ความกว้าง (W) เท่ากับ 7 หน่วย และถูกกระทำด้วยภาวะความเค้นเฉือนขนาด 1 หน่วย



รูปที่ 9.18 รูปร่างของปัญหาแผ่นแบนที่มีรอยร้าวอยู่ที่ขอบภายใต้ความเค้นเฉือน

ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ปัญหาที่ขนาดความยาวรอยร้าวเริ่มต้นเท่ากับ 3.5 หน่วย และจากการประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ จะสามารถทำนายแนวทางเดินของรอยร้าว โดยแสดงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์หลังการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติของปัญหาที่ความยาวรอยร้าวต่างๆ ได้ดังรูปที่ 9.19



รูปที่ 9.19 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงแนวทางเดินของรอยร้าว