

บทที่ 7

ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในบทนี้จะเป็นการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Crack 2D มาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยวิธีไฟโตอีลาสติกซิตี ทั้ง 2 วิธีได้มีการนำเสนอการตรวจสอบความถูกต้องที่ได้ผลไปในแนวทางเดียวกัน [2] โดยพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบคือ ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมและรายละเอียดจะกล่าวในภาคผนวกต่อไป บทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติอย่างคร่าว ๆ และปัญหาที่จะนำมาพิจารณาเป็นปัญหาของขั้นตอนทดสอบที่มีรอยร้าวในรูปแบบอย่างง่ายที่มี 2 วัสดุ ประกอบกันดังนี้

1. แผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวที่ขอบข้างเดียวภายใต้แรงดึง (Single edge crack plate tension)
2. แผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง (Slant cracked 30° rectangular plate tension)
3. แผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง (Slant cracked 45° rectangular plate tension)

7.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประยุกต์การปรับขนาดเอลิเมนต์

ในการประยุกต์เทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติเข้ากับของแข็งยืดหยุ่นที่มีรอยร้าว นั้นซึ่งสามารถเขียนเป็นขั้นตอนคร่าว ๆ ได้ดังภาพที่ 7.1 โดยประกอบด้วย 3 โปรแกรมหลักคือ

7.1.1 โปรแกรม BUILT

เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element model) ซึ่งประกอบด้วยการทำงาน 2 แบบ คือ สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น (initial mesh) โดยรับข้อมูลจากผู้ใช้โดยตรง และปรับขนาดแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ใหม่ (remeshing) เป็นการปรับขนาดที่เหมาะสมจากโปรแกรมเป็นผู้กำหนด (SPACE)

7.1.2. โปรแกรม CRACK2D

เป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของแข็งยืดหยุ่นได้ที่มีรอยร้าว ซึ่งผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของค่าการเคลื่อนตัว และค่าความเค้นที่จุดต่อ

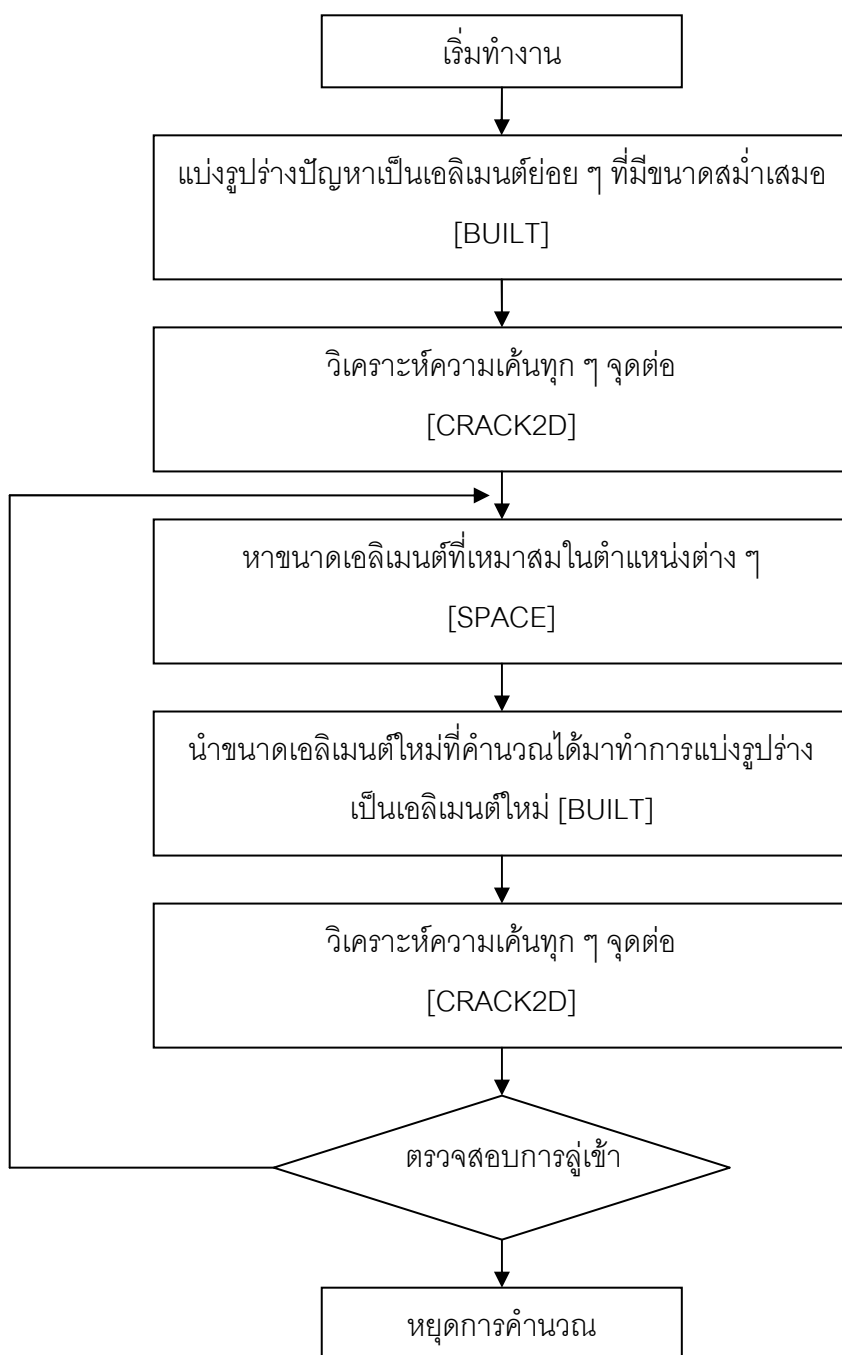
7.1.3. โปรแกรม SPACE

เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมบนโดเมนปัญหา โดยรับข้อมูลทั้งจากผู้ใช้กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็น และข้อมูลที่คำนวณได้จากโปรแกรม CRACK2D โดยผลการคำนวณจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม BUILT เพื่อสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

7.1.4 ลำดับขั้นตอนในการประยุกต์เทคนิคการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ

ลำดับขั้นตอนในการประยุกต์เทคนิคการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติเข้ากับปัญหาของแข็งยืดหยุ่นได้ที่มีรอยร้าวโดยใช้โปรแกรมทั้ง 3 ข้างต้น ดังนี้

1. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากันและกระจายโดยสม่ำเสมอตลอดโดเมนของปัญหา โดยใช้โปรแกรม BUILT
2. ใช้โปรแกรม CRACK2D วิเคราะห์หาผลของความเค้นในแนวแกนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้จากโปรแกรม BUILT ในขั้นตอนที่ 1
3. ใช้โปรแกรม SPACE เพื่อหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมโดยใช้ผลของการเปลี่ยนแปลงความชันของผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เป็นตัวกำหนด
4. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์อีกครั้งโดยใช้ผลของขนาดเอลิเมนต์ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3
5. วิเคราะห์ปัญหาที่มีรอยร้าวโดยโปรแกรม CRACK2D โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ผ่านการปรับขนาดครั้งแรกเรียบร้อยแล้ว
6. ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น (K) ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรอบก่อนหน้า หากผลที่ได้มีความแตกต่างกันมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้นำผลของความเค้นในแนวแกนในครั้งหลังไปใช้ในการหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมใหม่ในขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในการคำนวณในครั้งก่อน จึงสามารถใช้เอลิเมนต์พิเศษที่ปลายรอยร้าวได้



ภาพที่ 7.1

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาดอัตโนมัติ

7.2 ผลการคำนวณ

7.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

วัสดุที่ใช้ในการคำนวณ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามตารางที่ 7.1 คือ

1. วัสดุหลัก (Matrix)
2. วัสดุเสริมแรง (Inclusion) มีทั้งแบบแข็ง (Hard Inclusion) และแบบอ่อน

(Soft Inclusion)

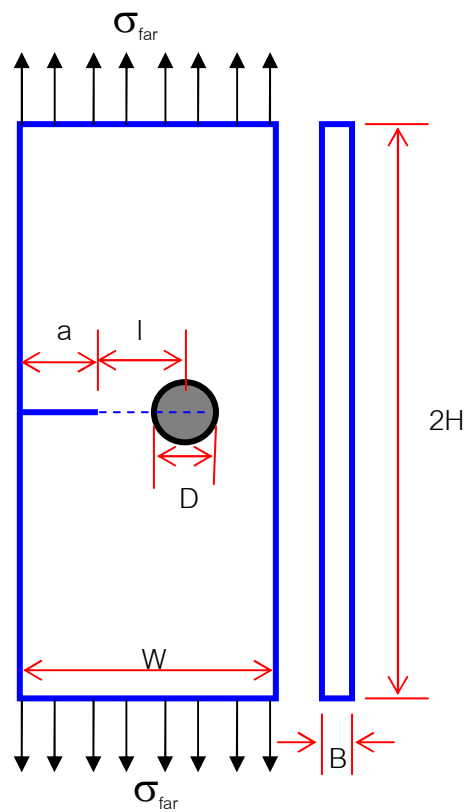
ตารางที่ 7.1

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Property	Polycarbonate sheet	Magnesium alloy AZ61	Teflon
	(Matrix)	(Hard Inclusion)	(Soft inclusion)
The modulus of elastic	2.5 GPa	45 GPa	0.6 Gpa
The Poisson's ratio	0.38	0.35	0.46

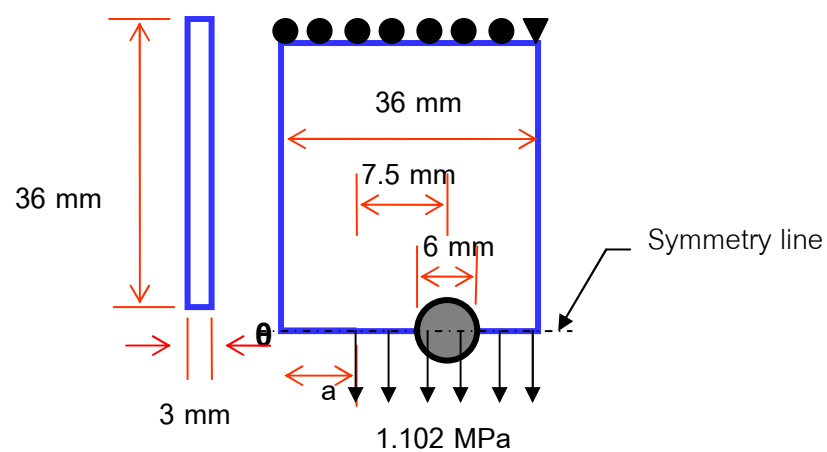
7.2.2 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง

ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง ความกว้างเท่ากับ W ความสูงเท่ากับ 2H ความหนาเท่ากับ B รายละเอียดของปัญหาแสดงในภาพที่ 7.2 และ 7.3 ถูกกระทำด้วยภาระความเค้นดึงขนาด 1.102 MPa ในแนวดิ่ง มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากับ 2.5 GPa อัตราส่วนปัวซองส์เท่ากับ 0.38 มีอัตราส่วนความยาวรอยร้าวต่อความกว้าง (a/W) ในช่วง 0.2-0.6 โดยความสูง (2H) เท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 36 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7.2

รูปร่างของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง



ภาพที่ 7.3

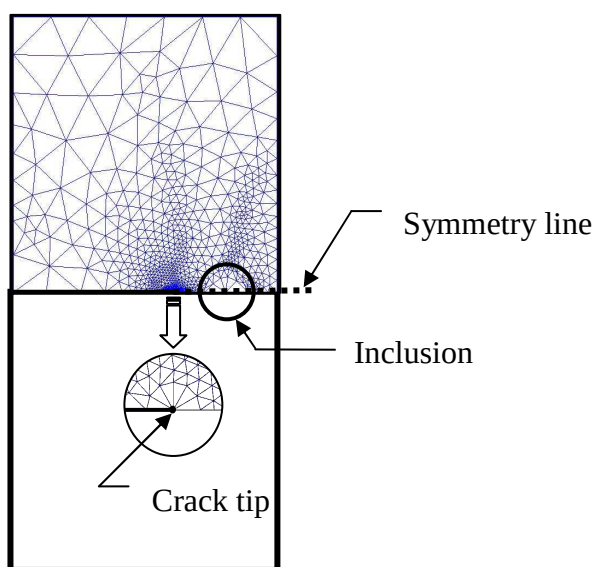
รายละเอียดของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง

โดย พารามิเตอร์ที่เจาะจงคือ

W	คือ	ความกว้างของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm
H	คือ	ความยาวของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm
B	คือ	ความหนาของชิ้นงาน มีขนาด 3 mm
I	คือ	ความยาวระหว่างปลายรอยร้าวกับจุดศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 7.5 mm
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 6 mm

ซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ข้างต้นกับทั้ง Soft และ hard inclusion โดยรูปร่างของปัญหาจะยึดแน่นที่มุมด้านใดด้านหนึ่ง และยึดไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ที่ขอบด้านบนที่เหลือทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 7.3 และเนื่องจากรูปร่างของปัญหาเป็นแบบสมมาตรในแนวแกน x ซึ่งสามารถพิจารณาเพียงหนึ่งในสองส่วนของรูปร่างของปัญหาได้ ดังแสดงในภาพที่ 7.4

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม CRACK2D โดยใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมแปดจุดต่อบริเวณรอบปลายรอยร้าว และคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นตามสมการที่ (5.17) สามารถหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นได้ผลตามตารางที่ 7.2 สำหรับ Hard inclusion และได้ผลตามตารางที่ 7.3 สำหรับ Soft inclusion



ภาพที่ 7.4

รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง ($a/W = 0.5$)

ตารางที่ 7.2

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวที่ขอบด้านเดียว
ภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion

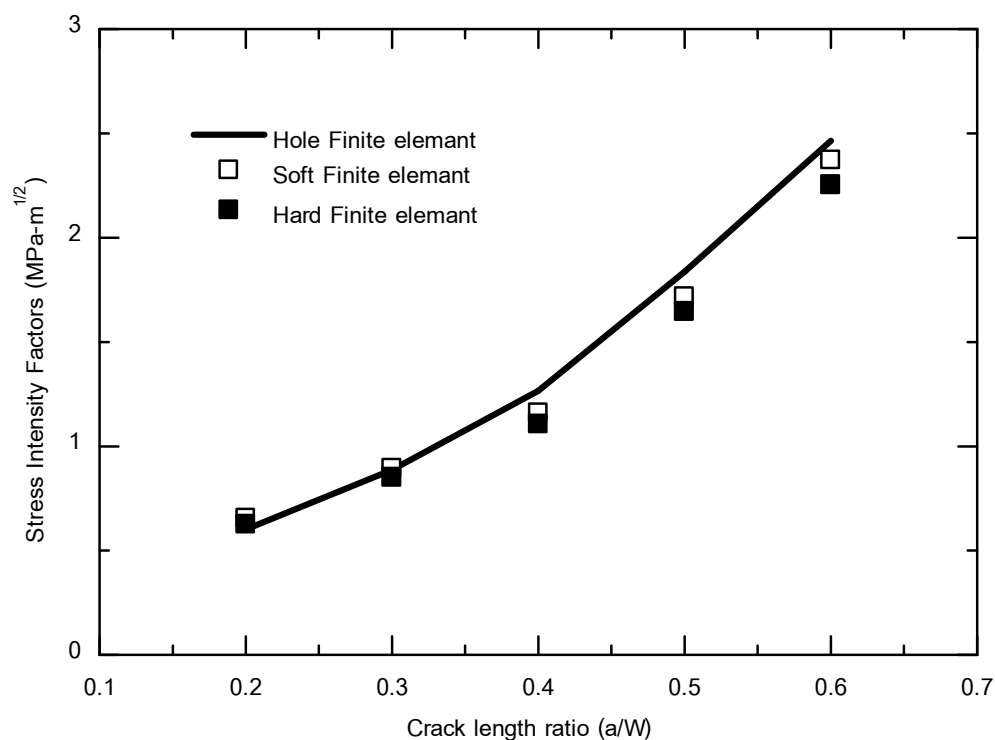
a/W	FEM				KI (Hard)	KI (Hole)	%Difference
	Node	Element	Vb ($\times 10^{-4}$ m)	Vc ($\times 10^{-4}$ m)	(Mpa·m ^{1/2})	(Mpa·m ^{1/2})	
0.2	3993	7725	0.0169	0.0327	0.6255	0.6011	4.07%
0.3	4303	8334	0.0233	0.0469	0.8508	0.8873	4.11%
0.4	2456	4666	0.0303	0.0612	1.1069	1.2663	12.58%
0.5	4325	8410	0.0451	0.0908	1.6457	1.8371	10.42%
0.6	3804	7361	0.0616	0.1235	2.2529	2.4649	8.60%

ตารางที่ 7.3

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบนมีรอยร้าวที่ขอบด้านเดียว
ภายใต้แรงดึงสำหรับ Soft inclusion

a/W	FEM				KI (Soft)	KI (Hole)	%Difference
	Node	Element	Vb ($\times 10^{-4}$ m)	Vc ($\times 10^{-4}$ m)	(Mpa·m ^{1/2})	(Mpa·m ^{1/2})	
0.2	3993	7725	0.0177	0.0343	0.6559	0.6011	9.12%
0.3	4303	8334	0.0245	0.0492	0.8942	0.8873	0.78%
0.4	2456	4666	0.0318	0.0642	1.1600	1.2663	8.39%
0.5	4325	8410	0.0470	0.0947	1.7163	1.8371	6.57%
0.6	3804	7361	0.0648	0.1301	2.3726	2.4649	3.75%

ผลการทดสอบพบว่าความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 กรณี (Hard inclusion, Soft inclusion, Hole) แต่หากเปรียบเทียบที่ความยาวรอยร้าวเท่ากันพบว่า ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ Hard inclusion มีค่าน้อยที่สุด ถัดมาคือ Soft inclusion และมากที่สุดที่กรณีที่ไม่มี Inclusion (Hole) ยกเว้นที่ a/W มีค่าเท่ากับ 0.2 เท่านั้น ที่ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของกรณีที่ไม่มี Inclusion (Hole) มีค่าน้อยที่สุด

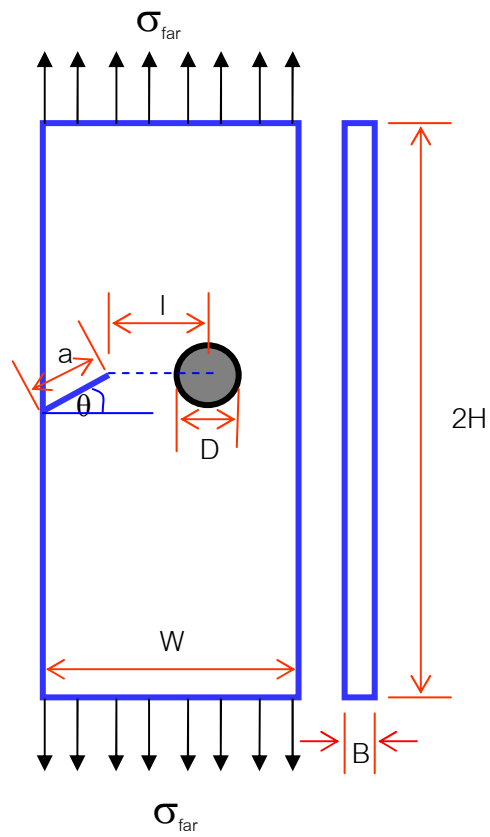


ภาพที่ 7.5

กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่าง ๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบที่มีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole)

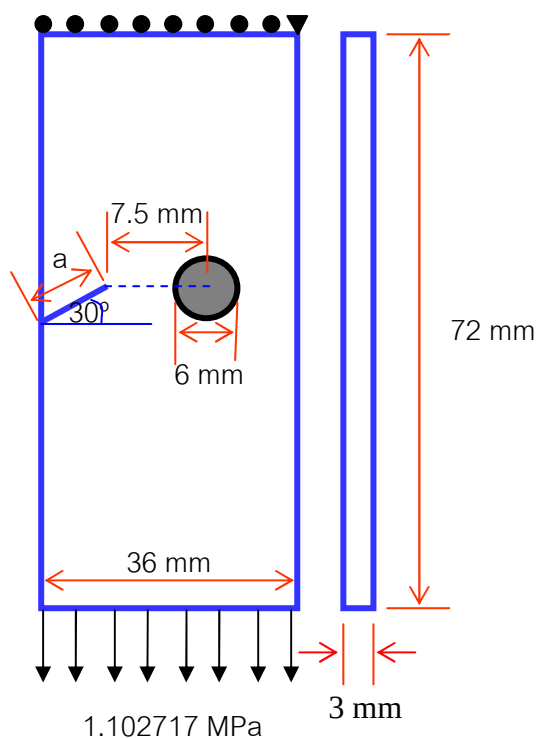
7.2.3 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง

ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง ความกว้างเท่ากับ W ความสูงเท่ากับ 2H ความหนาเท่ากับ B รายละเอียดของปัญหาแสดงในภาพที่ 7.6 และ 7.7 ถูกกระทำด้วยภาระความเค้นตึงขนาด 1.102 MPa ในแนวดิ่ง มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากับ 2.5 GPa อัตราส่วนบัวของสก็เท่ากับ 0.38 มีอัตราส่วนความยาวรอยร้าวต่อความกว้าง (a/W) ในช่วง 0.2-0.6 โดยความสูง (2H) เท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 36 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7.6

รูปร่างปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง



ภาพที่ 7.7

รายละเอียดของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง

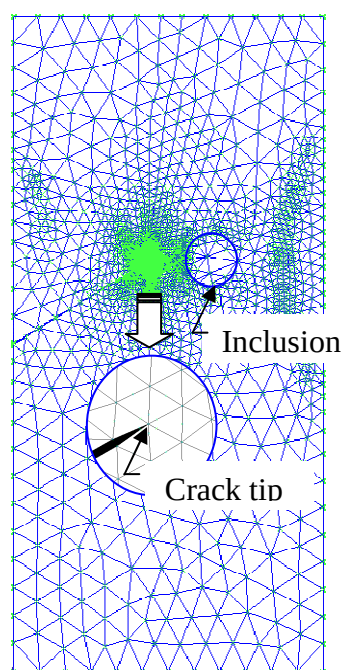
โดย พารามิเตอร์ที่เจาะจงคือ

- W คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm
- H คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm
- B คือ ความหนาของชิ้นงาน มีขนาด 3 mm
- I คือ ความยาวระหว่างปลายรอยร้าวกับจุดศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 7.5 mm
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 6 mm

ซึ่ง Inclusion จะเยื้องขึ้นตามระยะของ $a \sin \theta$

ซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ข้างต้นทั้ง Soft และ hard inclusion โดยรูปร่างของปัญหาจะยึดแน่นที่มุมบนด้านใดด้านหนึ่ง และยึดไม่ให้มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ที่ขอบด้านบนที่เหลือทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 7.8

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม CRACK2D โดยใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมแปดจุดต่อบริเวณรอบปลายรอยร้าว ได้ค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณปลายรอยร้าว แทนค่าตามสมการที่ (5.17) สามารถหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นได้ผลตามตารางที่ 7.4 สำหรับ Hard inclusion และได้ผลตามตารางที่ 7.5 สำหรับ Soft inclusion ค่าความแตกต่างของตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่มี Inclusion ของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง เปรียบเทียบกับผลการคำนวณกับปัญหาเดียวกันที่ไม่มี inclusion แสดงในภาพที่ 7.9



ภาพที่ 7.8

รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียง 30° ที่ขอบด้านเดียว ภายใต้แรงดึง ($a/W = 0.5$)

ตารางที่ 7.4

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียง 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion

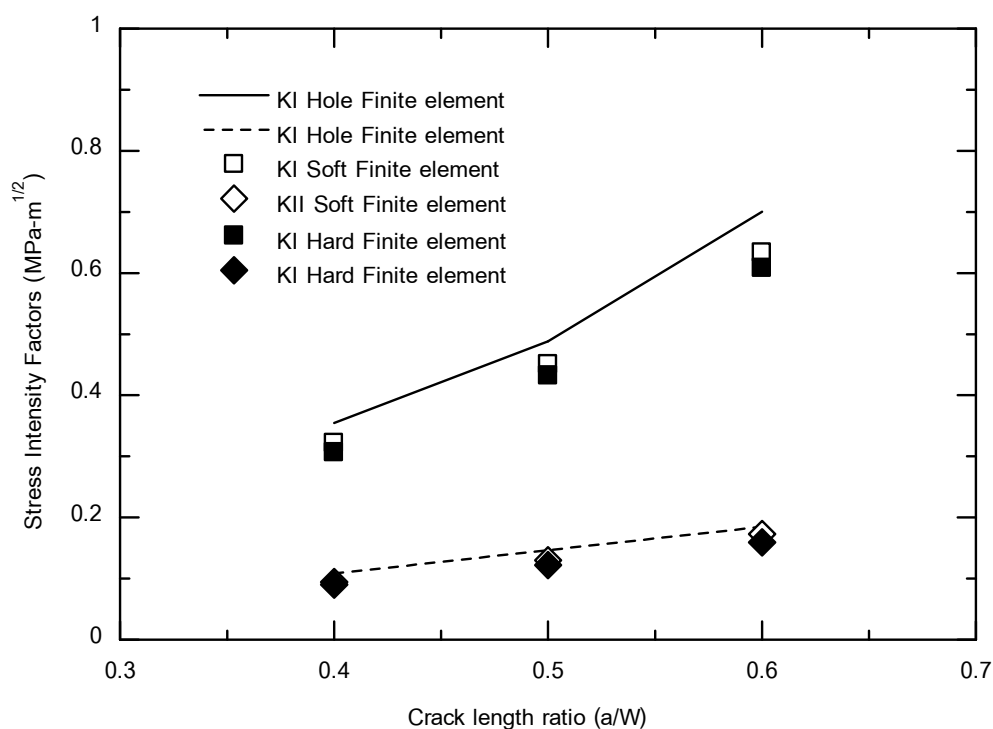
a/W	FEM		KI (Hard)	KI (Hole)	%	KII (Hard)	KII (Hole)	%
	Node	Element	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference
0.4	5236	10202	0.3067	0.3545	13%	0.0903	0.1083	17%
0.5	5007	9748	0.4323	0.4880	11%	0.1222	0.1467	17%
0.6	6688	13062	0.6084	0.7003	13%	0.1595	0.1848	14%

ตารางที่ 7.5

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียง 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Soft inclusion

a/W	FEM		KI (Soft)	KI (Hole)	%	KII (Soft)	KII (Hole)	%
	Node	Element	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference
0.4	5236	10202	0.3219	0.3545	9%	0.0946	0.1083	13%
0.5	5007	9748	0.4507	0.4880	8%	0.1299	0.1467	11%
0.6	6688	13062	0.6334	0.7003	10%	0.1729	0.1848	6%

ผลการทดสอบพบว่าที่ความยาวรอยร้าวเพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 กรณี (Hard inclusion, Soft inclusion, Hole) แต่หากเปรียบเทียบที่ความยาวรอยร้าวเท่ากันพบว่า ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ Hard inclusion มีค่าน้อยที่สุด ถัดไปคือ Soft inclusion และมากที่สุดที่กรณีที่ไม่มี Inclusion (Hole)

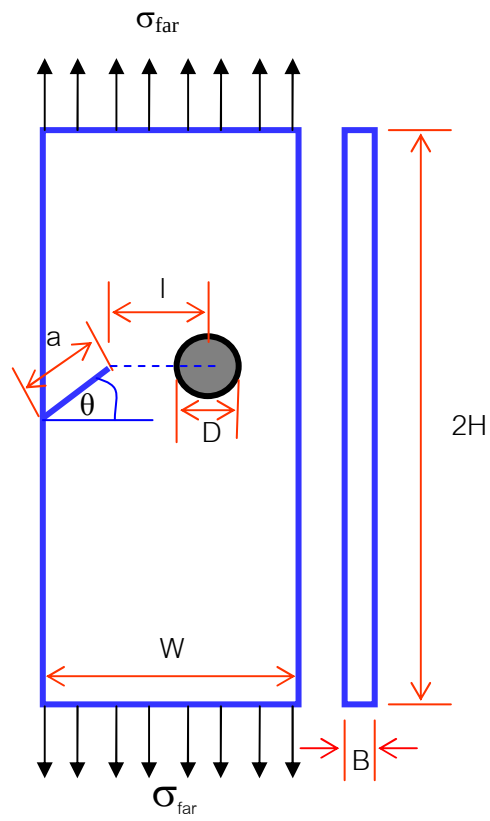


ภาพที่ 7.9

กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่าง ๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียง 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole)

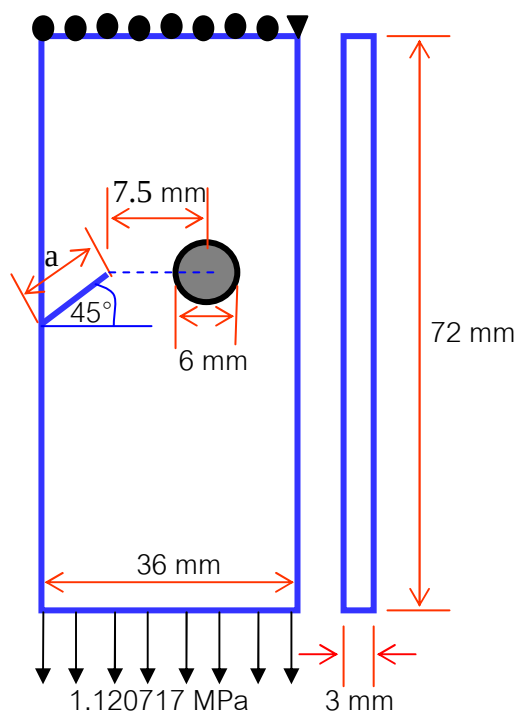
7.2.4 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง

ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง ความกว้างเท่ากับ W ความสูงเท่ากับ $2H$ ความหนาเท่ากับ B รายละเอียดของปัญหาแสดงในภาพที่ 7.10 และ 7.11 ถูกกระทำด้วยภาระความเค้นดึงขนาด 1.102 MPa ในแนวดิ่ง มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากับ 2.5 GPa อัตราส่วนปัวซองส์เท่ากับ 0.38 มีอัตราส่วนความยาวรอยร้าวต่อความกว้าง (a/W) ในช่วง $0.2-0.6$ โดยความสูง ($2H$) เท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 36 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7.10

รูปร่างของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง



ภาพที่ 7.11

รายละเอียดของปัญหาปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง

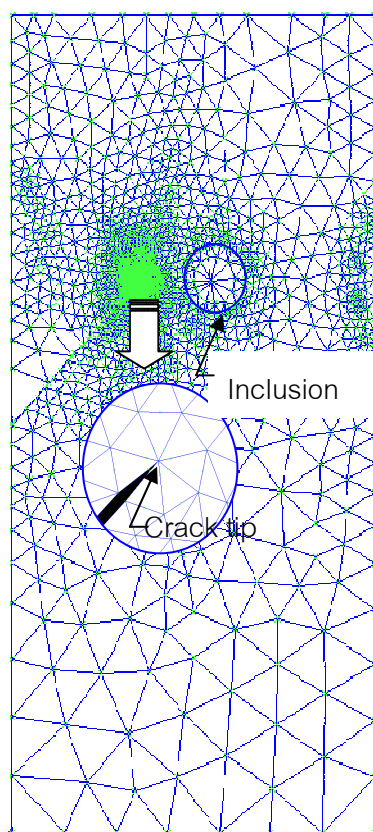
โดย พารามิเตอร์ที่เจาะจงคือ

- | | | |
|---|-----|---|
| W | คือ | ความกว้างของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm |
| H | คือ | ความยาวของชิ้นทดสอบ มีขนาด 36 mm |
| B | คือ | ความหนาของชิ้นงาน มีขนาด 3 mm |
| I | คือ | ความยาวระหว่างปลายรอยร้าวกับจุดศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 7.5 mm |
| D | คือ | เส้นผ่านศูนย์กลางของ inclusion มีขนาด 6 mm |

ซึ่ง Inclusion จะเยื้องขึ้นตามระยะของ $a \sin \theta$

ซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ข้างต้นกับทั้ง Soft และ hard inclusion โดยรูปร่างของปัญหาจะยึดแน่นที่ขอบบนด้านใดด้านหนึ่ง และยึดไม่ให้มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ที่ขอบด้านบนที่เหลือทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 7.12

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม CRACK2D โดยใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมแปดจุดต่อบริเวณรอบปลายรอยร้าว ได้ค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณปลายรอยร้าว แทนค่าตามสมการที่ (5.17) สามารถหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นได้ผลตามตารางที่ 7.6 สำหรับ hard inclusion และได้ผลตามตารางที่ 7.7 สำหรับ Soft inclusion ค่าความแตกต่างของตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่มี Inclusion ของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง เปรียบเทียบกับผลการคำนวณกับปัญหาเดียวกันที่ไม่มี inclusion แสดงในภาพที่ 7.13



ภาพที่ 7.12

รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียง 45° ที่ขอบด้านเดียว ภายใต้แรงดึง ($a/W = 0.5$)

ตารางที่ 7.6

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion

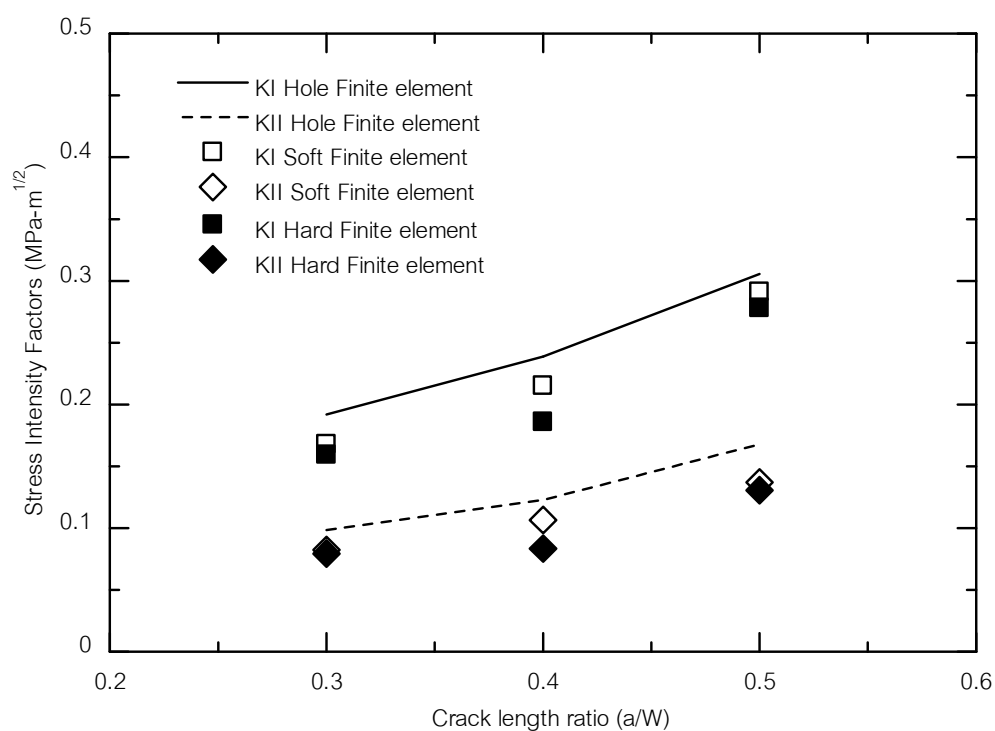
a/W	FEM		KI (Hard)	KI (Hole)	%	KII (Hard)	KII (Hole)	%
	Node	Element	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference
0.3	4915	9531	0.1594	0.1919	17%	0.0794	0.0985	19%
0.4	4782	9252	0.1859	0.2387	22%	0.0835	0.1228	32%
0.5	5021	9725	0.2782	0.3057	9%	0.1307	0.1680	22%

ตารางที่ 7.7

ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Soft inclusion

a/W	FEM		KI (Soft)	KI (Hole)	%	KII (Soft)	KII (Hole)	%
	Node	Element	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference	(Mpa-m ^{1/2})	(Mpa-m ^{1/2})	Difference
0.3	4915	9531	0.1679	0.1919	13%	0.0823	0.0985	16%
0.4	4782	9252	0.2152	0.2387	10%	0.1066	0.1228	13%
0.5	5021	9725	0.2912	0.3057	5%	0.1371	0.1680	18%

ผลการทดสอบพบว่าที่ความยาวรอยร้าวเพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 กรณี (Hard inclusion, Soft inclusion และ Hole) แต่หากเปรียบเทียบที่ความยาวรอยร้าวเท่ากันพบว่า ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่ Hard inclusion มีค่าน้อยที่สุด ถัดมาคือ Soft inclusion และมากที่สุดที่กรณีที่ไม่มี Inclusion (Hole)



ภาพที่ 7.13

กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่าง ๆ สำหรับปัญหาแผ่น
สี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion
และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole)