บทที่ 8

บทสรุป ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการทดลองของปัญหาที่นำมาพิจารณา รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งแนวทางการแก้ไข ทั้งจากการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ และการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยในอนาคต

8.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงวิธีการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ในการหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของวัสดุผสมที่ยืดหยุ่นได้ในสองมิติ โดยในบทแรกจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มา รวมถึงวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ ส่วนบทที่ 2 เป็นพัฒนาการของวัสดุผสม (Composite material) ที่เป็นวัสดุหลักในการวิจัย เพื่อให้ทราบถึงความสำคัญและที่มา รวมถึงการนำมาใช้งานในปัจจุบัน ทำให้การออกแบบการทดลองสอดคล้องกับการใช้งานจริงที่เกิดขึ้น บทที่ 3 และ บทที่ 4 เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตามลำดับ ซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียด เริ่มตั้งแต่พื้นฐานของทฤษฎี จนกระทั่งกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ในปัญหาความเค้นและตัวประกอบความเข้มของความเค้นในบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทหลักของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ทั้งหมด คือจะกล่าวทั้งสองวิธี ได้แก่ เทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ ซึ่งเป็นการทดสอบหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในรูปแบบการทดลอง เปรียบเทียบกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาดที่พัฒนาขึ้นมา

หลักจากทำความเข้าใจจากหลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมดได้ผลการทดสอบของเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ แสดงในบทที่ 6 ส่วนบทที่ 7 เป็นผลการคำนวณจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาด ในปัญหาอย่างง่ายสามปัญหาคือ แผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง (Single edge crack plate tension) แผ่นสี่เหลี่ยมมีร้อยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดี่ยวภายใต้แรงดึง (Slant cracked 30° rectangular plate tension) แผ่นสี่เหลี่ยมมีร้อยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดี่ยวภายใต้แรงดึง (Slant cracked 45° rectangular plate tension) ซึ่งทั้งสามกรณีดังกล่าวจะวิเคราะห์ด้วยวัสดุผสมที่มีวัสดุเสริมแรงสองแบบคือ แบบแข็ง (Hard

inclusion) และแบบอ่อน (Soft inclusion) โดยทั้งสองแบบดังที่กล่าวมา จะทำการเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีวัสดุเสริมแรง เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงวัสดุที่มีรูปร่างเป็นรูกลวงหากมีวัสดุอื่น ๆ มาเติมลงไปจะส่งผลอย่างไรกับปัญหารอยร้าว

ผลการทดสอบของทั้งเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาด ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวรอยร้าวกับวัสดุที่เสริมแรง (Inclusion) ในหลาย ๆ ด้านดังนี้

1. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมกับปัญหาอย่างง่ายที่นำมาศึกษา โดยจะเห็นได้จากค่าการแปรผันตรงกันของค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวรอยร้าวเพิ่มขึ้น และจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับการคำนวณของโปรแกรมในขณะนี้

2. การประยุกต์นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาดมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ โดยจะเห็นได้จากค่าความแตกต่างของผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาดกับผลการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ มีค่าน้อยมากไม่เกิน 5%

3. การนำเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้มาใช้กับปัญหารอยร้าวพบว่า ให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ แต่อาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เกิดจากมีข้อผิดพลาดบางประการในการทดสอบ เช่น รูปร่างรอยร้าว ค่าความเค้นตกค้างในวัสดุที่ทดสอบ พื้นผิวของชิ้นทดสอบ รวมถึงอุปกรณ์ในการทดสอบ หากไม่เป็นตามข้อกำหนด อาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการนำเทคนิคโฟโตอีลาสติกมาพิจารณาวัสดุที่มีรอยร้าว จำเป็นต้องมีการศึกษาและระมัดระวัง ตั้งแต่การเตรียมชิ้นทดสอบ ตลอดจนขั้นตอนการทดลองต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเม่นยำมากขึ้น

4. วัสดุเสริมแรง (Inclusion) เมื่อเปรียบเทียบในปัญหารูปร่างเหมือนกัน พบว่าความแข็งแรงของวัสดุเสริมแรง แปรผกผันกับค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น โดยที่ความแข็งแรงของวัสดุเสริมแรงแบบแข็ง (Hard inclusion) พบว่ามีค่าความเข้มของความเค้นต่ำกว่าที่วัสดุเสริมแรงแบบอ่อน (Soft inclusion) จึงสรุปได้ว่า การจะทำให้วัสดุผสมแข็งแรงขึ้นนั้น ควรที่จะเลือกใช้วัสดุเสริมแรงที่มีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุหลัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุผสม

5. ผลการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ และการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีผลสอดคล้องกันในเรื่องของความยาวของระยะห่างของปลายรอยร้าวกับกึ่งกลางของวัสดุเสริมแรงว่า ที่ความยาวของระยะห่างของปลายรอยร้าวกับกึ่งกลางของวัสดุเสริมแรงมากกว่าความยาวของรอยร้าว ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของวัสดุผสม จะมีค่า

มากกว่าวัสดุที่มีรูกลวง ในทางกลับกัน ที่ค่าความยาวรอยร้าวมีค่ามากที่สุด และค่าความยาวของระยะห่างของปลายรอยร้าวมีค่าเท่าเดิมพบว่า ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่น้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีเดียวกันที่เป็นวัสดุที่มีรูกลวง ทั้งนี้สรุปได้ว่า ผลของการใส่วัสดุเสริมแรงจะมีผลกระทบเมื่อระยะของความยาวรอยร้าวมากกว่าความยาวของระยะห่างของปลายรอยร้าวกับกึ่งกลางของวัสดุเสริมแรง และจะเกิดผลกระทบอย่างมากเมื่อวัสดุนั้นมีค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นสูง ๆ เท่านั้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยขั้นสูงต่อไปได้

6. ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นความรู้เบื้องต้นในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนหรือวัสดุโครงสร้าง ที่มีการเจาะรูวัสดุเพื่อใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานหรือโครงสร้าง และนำไปเป็นพื้นฐานในงานออกแบบทางวิศวกรรมได้

8.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

8.2.1 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้

เป็นที่ทราบกันดีว่าการทำการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ เป็นการทำการทดลองโดยใช้วัสดุจริง สร้างรูปร่างให้เหมือนกับปัญหาที่กำลังพิจารณา ความผิดพลาดจึงมักเกิดกับขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นทดสอบเป็นส่วนใหญ่ เพราะในการทำงานจริงอุปกรณ์และเครื่องมือที่นำมาใช้อาจถูกจำกัด พร้อมกันนี้วัสดุที่นำมาใช้ต้องไม่มีความเค้นตกค้าง ซึ่งเป็นไปได้ยากหากต้องมีการขึ้นรูปร่างชิ้นทดสอบตามที่ต้องการ ดังนั้น หากจำเป็นต้องมีการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ จึงควรขึ้นรูปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้มนุษย์เป็นผู้ควบคุม เพราะจะทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่น้อยกว่าการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลต่างๆ แต่มักเกิดข้อผิดพลาดจากรูปร่างได้ง่ายด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ และเลือกวิธีขึ้นรูปชิ้นทดสอบที่เหมาะสมด้วย

8.2.2 ความเค้นตกค้าง (Residual stress)

ในการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้นั้น เป็นการทดลองคุณสมบัติของวัสดุ ไม่มีค่าความเค้นตกค้างมาเกี่ยวข้อง ก่อนการทดสอบจึงต้องมีการลดความเค้นตกค้างก่อน แต่การลดความเค้นตกค้างด้วยวิธีการอบอ่อนนั้นไม่สามารถกำหนดเป็นค่าตายตัวได้ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความเค้นตกค้างที่มีอยู่ในชิ้นทดสอบนั้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธี

ต่าง ๆ ด้วย ทำให้ในแต่ละครั้ง การอบอ่อนแต่ละครั้ง จึงใช้จำนวนอบในการอบต่างกัน ทำให้เสียเวลาในการอบต่างกันออกไป

8.2.3 **เทคนิคการถ่ายภาพ**

เทคนิคการถ่ายภาพ เป็นอีกปัญหาหนึ่งของการทดสอบ ด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ ทั้งนี้เพราะผลการทดสอบที่ได้จะอยู่ในรูปของภาพที่เกิดขึ้น การถ่ายภาพจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผลการทดสอบที่ได้น่าเชื่อถือ การถ่ายภาพที่ดีควรเลือกใช้วิธีการถ่ายแบบ Bulb ซึ่งเป็นการถ่ายโดยการเปิดหน้ากล้องไว้เพื่อรับแสงที่เกิดขึ้นอย่างเต็มที่ และจะปิดก็ต่อเมื่อมีการกดชัตเตอร์อีกครั้ง ทำให้ภาพที่ได้มีความคงชัดมาก แต่ต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพนาน จึงไม่สามารถใช้กับกล้องดิจิตอลได้ ทำให้ต้องใช้กล้องฟิล์มแทน

8.2.4 **ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม BUILT (สร้าง)**

โปรแกรม BUILT เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดย Joaquim Peiro ปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้นกับโปรแกรม BUILT มีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ โดยจะกล่าวในลักษณะที่เกิดขึ้นบ่อยดังต่อไปนี้

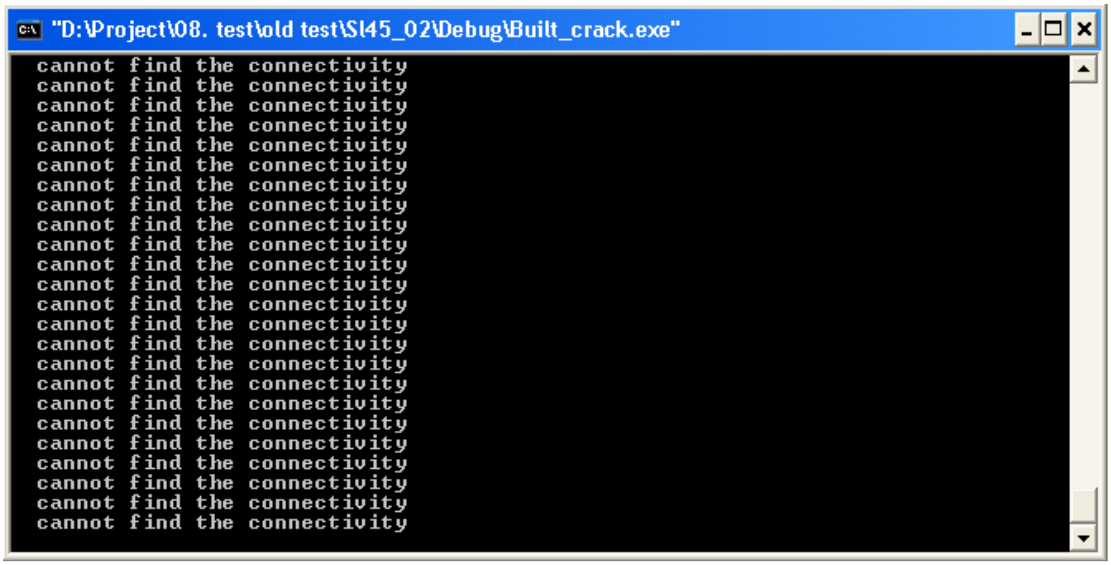
1. การกำหนดจุดต่อไปเป็นแบบปิด (Close loop)

การใช้โปรแกรม BUILT นั้น การกำหนดจุดต่อแต่จะด้านของรูปร่างชิ้นทดสอบ โดยจะต้องวนทวนเข็มนาฬิกาที่ต่อเนื่องกันเท่านั้น หากวงตามเข็มนาฬิกา โปรแกรมจะคิดเป็นการลบพื้นผิวที่ถูกสร้างแต่ต้องเป็นแบบปิดเท่านั้น หากไม่เช่นนั้น โปรแกรมจะไม่สามารถอ่านค่าได้ โดยอาจจะขึ้นข้อมูลดังภาพที่ 8.1 ซึ่งมีข้อความที่ทำให้ทราบเรื่องการกำหนดจุดไม่เป็นแบบปิดคือ “Cannot find the connectivity” ซึ่งสามารถกลับปรับไปเปลี่ยนที่ข้อมูลนำเข้า (Input) ของโปรแกรม BUILT ได้

2. การกำหนดทิศทางของขอบของพื้นผิวที่ต้องการสร้าง

จากตัวอย่างที่หนึ่งได้กล่าวไปแล้วว่าการกำหนดจุดในแต่ละด้านของพื้นผิวที่สร้างขึ้น เหมือนการกำหนดว่าบริเวณดังกล่าวจะเป็นพื้นผิววัสดุหรือเป็นที่ว่าง ดังนั้นเวลากำหนดค่าในแต่ละจุดนั้นต้องศึกษาให้ดีถึงทิศทางที่จะใส่ลงไป ไม่เช่นนั้น โปรแกรม BUILT อาจจะสับสนได้โดยจะเกิดข้อความลักษณะเดียวกับภาพที่ 8.1 ดังนั้นควรที่จะวาดรูปเพื่อกำหนดจุดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้เกิดเป็นผิวของรูปร่าง และทิศตามเข็มนาฬิกา เพื่อลบผิวตามรูปร่างที่กำหนด

สรุปแล้วการสร้างข้อมูลนำเข้ามีความสำคัญมาก เพราะจะเกี่ยวเนื่อง กับโปรแกรม CRACK2D ที่จะกล่าวต่อไป ดังนั้นควรศึกษาถึงข้อกำหนดให้ถี่ถ้วนก่อนการใช้งาน



ภาพที่ 8.1

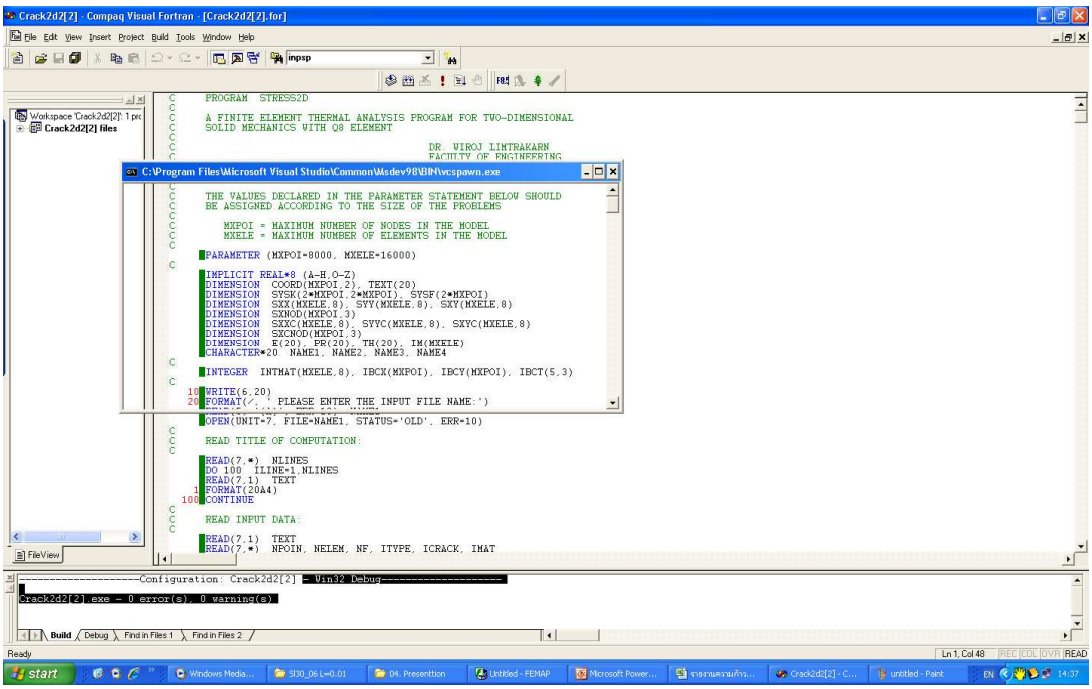
ตัวอย่างปัญหาของโปรแกรม BUILT เรื่องข้อผิดพลาดจากข้อมูลรับเข้าของโปรแกรม (Input file)

8.2.5 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม CRACK2D

ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม CRACK2D ส่วนมากเกิดจากข้อจำกับของโปรแกรมเอง สามารถแบ่งได้หลาย ๆ ลักษณะโดยจะขอกล่าวถึงลักษณะที่พบบ่อยเท่านั้น ดังนี้

1. ข้อจำกัดจำนวนจุดต่อและเอลิเมนต์

ในการคำนวณในโปรแกรม CRACK2D นั้น จะต้องมีการกำหนด จำนวนมากสุดของโนดและจำนวนมากที่สุดของเอลิเมนต์ เพื่อให้สามารถกำหนดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลได้ แต่การเพิ่มขึ้นของของมูลนั้นถูกจำกัดไม่ให้เกิน 7,500 โนด และ 15,000 เอลิเมนต์เท่านั้น หากผลที่ได้เกินกว่าค่าที่กำหนดขึ้น จะไม่สามารถเรียกหน้าต่างคำสั่งขึ้นมาใช้งานได้ดังภาพที่ 8.2 จึงเป็นอีกข้อจำกัดหนึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาที่ยุ่งยากมากขึ้น แนวทางการแก้ไข คือ ต้องเพิ่ม Ram หรือ เขียนโปรแกรมที่สามารถ Run ขนาดได้ จึงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 8.2

แสดงตัวอย่างผลของจำนวนโนดและเอลิเมนต์ที่มากเกินที่โปรแกรมทำงานได้ ทำให้ไม่สามารถเรียกหน้าต่างคำสั่งมาใช้งานได้

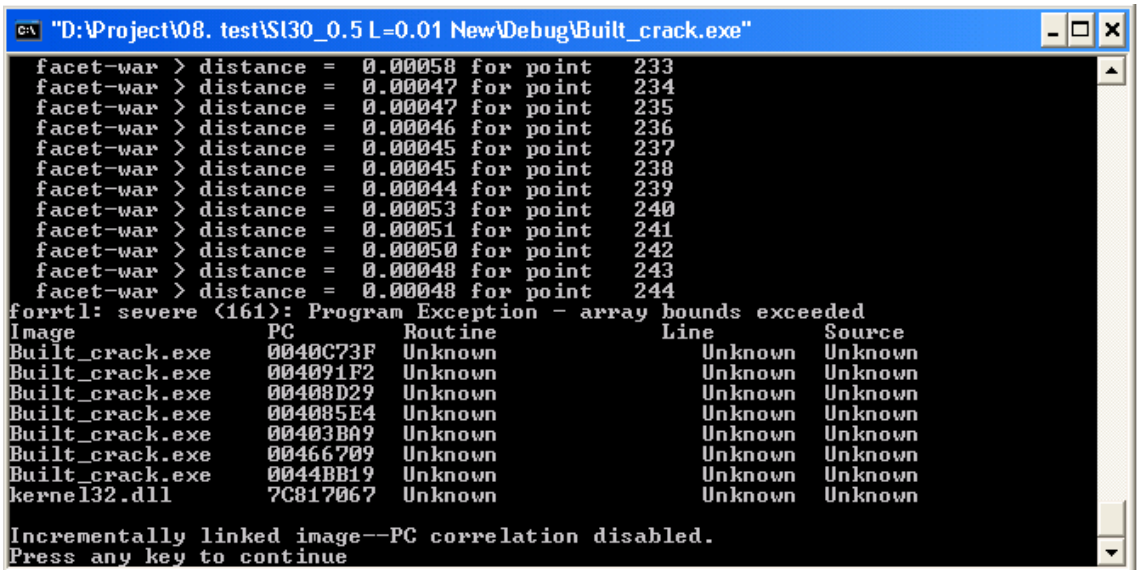
8.2.6 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม SPACE_CRACK2D กับโปรแกรม BUILT (Remashing)

ในการใช้โปรแกรม Space_crack2D มักไม่แสดงที่ตัวโปรแกรมนี้ แต่จะสร้างปัญหาให้กับการทำ remeshing ที่โปรแกรม BUILT เป็นส่วนใหญ่ โดยสรุปปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกันของโปรแกรม Space_Crack2D กับโปรแกรม BUILT (Remeshing) ได้ดังนี้

1. สัดส่วนของค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์ที่กำหนดใหม่

การใช้โปรแกรม Space_crack2D เป็นการนำค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม CRACK2D มาคำนวณขนาดที่เหมาะสมใหม่ โดยจำเป็นต้องกำหนดค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์ แต่การกำหนดขนาดดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนวัสดุของปัญหาที่พิจารณา และมักพบว่า หากปัญหาที่นำมาพิจารณามีขนาดใหญ่แต่เพียงวัสดุเดียว จะยิ่งทำให้สัดส่วนของค่ากำหนดค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์มีค่าน้อย ในทางกลับกัน การเพิ่มวัสดุเข้าไปจะยิ่งทำให้เกิดการขยายอัตราส่วนดังกล่าวขึ้น ตัวอย่างหน้าต่างคำสั่งที่บ่งบอกถึง

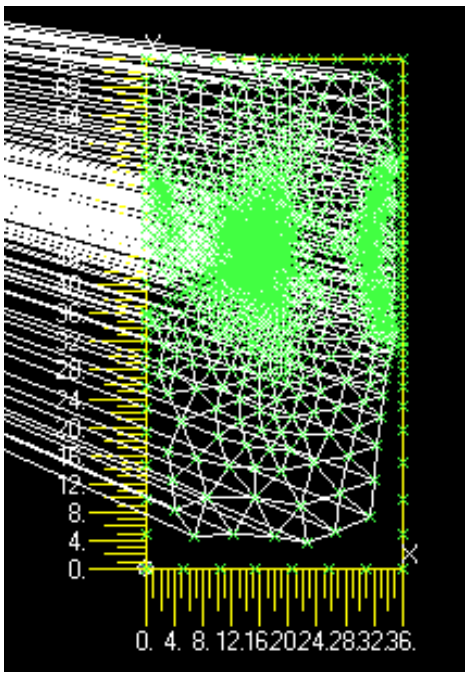
อัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 8.3 ซึ่งจะทราบต่อเมื่อเปิดใช้โปรแกรม BUILT ที่เรียกข้อมูลนำเข้าจากโปรแกรม Space_crack2D เท่านั้น



ภาพที่ 8.3
แสดงตัวอย่างหน้าต่างตำสั่งของโปแกรม BUILT ที่เกิดข้อผิดพลาดจากสัดส่วนมากที่สุด และน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์ในโปรแกรม Spece_crack2D

2. จำนวนจุดต่อเกินค่าที่โปรแกรมกำหนด

ในบางครั้งการกำหนดค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์ ทำให้มีจำนวนโนดมากเกินกว่าค่า “mxnnp” ในโปรแกรม BUILT กำหนด จะทำให้ รูปร่างที่ได้จากโปรแกรม BUILT (Remashing) เป็นดังภาพที่ 8.4 โดยสามารถปรับค่าดังกล่าวได้ แต่ไม่ควรเกินข้อกำหนดของโปรแกรม CRACK2D ด้วย หากต้องการที่จะนำเป็นข้อมูลนำเข้าของโปรแกรม CRACK2D แต่หากไม่จำเป็นก็สามารถกำหนดได้มากตามที่ต้องการ



ภาพที่ 8.4
แสดงตัวอย่างของโปรแกรม BUILT (Remashing) โดยข้อมูลที่ได้เกินข้อกำหนด “mxnnp” ของโปรแกรม BUILT

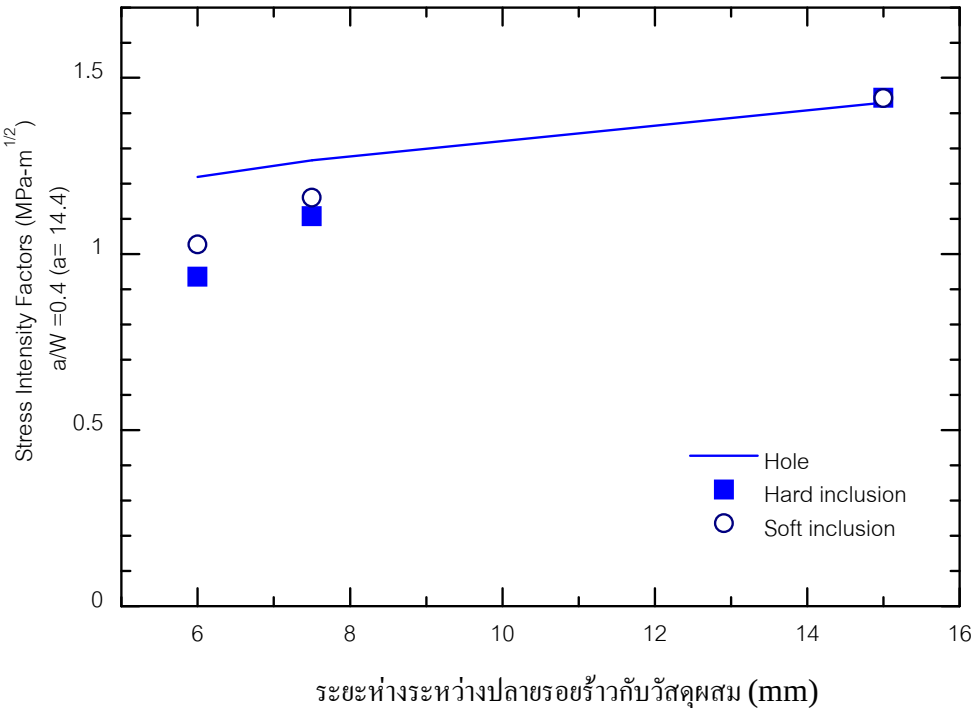
8.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เป็นพื้นฐานในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรอยร้าวกับวัสดุผสม (Composite material) ที่ศึกษาถึงความยาวรอยร้าวกับระยะห่างของปลายรอยร้าวกับกึ่งกลางของวัสดุเสริมแรงที่เท่าเดิม โดยยังมีพารามิเตอร์อื่นที่น่าสนใจในการวิเคราะห์ต่อไป อาทิ เช่น ระยะห่างของปลายรอยร้าวกับกึ่งกลางของวัสดุเสริมแรงที่เปลี่ยนแปลง การเรียงตัวของวัดสุเสริมแรง จำนวนของวัสดุเสริมแรง ทิศทางของรอยร้าวในรูปแบบเฉือนกับวัสดุเสริมแรง ฯลฯ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นในการใช้งานจริงกับวัสดุที่อาจเกิดรอยร้าวได้ เพราะผลการทดสอบที่ได้อาจไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับวัสดุผสมได้ทั้งหมด โดยมีข้อสงสัยอยู่ในหลายประเด็นที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเป็นอย่างมาก เช่น เรื่องของการเปรียบเทียบ Stress บริเวณปลายร้อยร้าว กับวัสดุผสม ในส่วนต่าง ๆ ทั้งนี้การศึกษาในเรื่องต่อ ๆ ไปของวัสดุผสม จึงควรที่จะศึกษาให้ครอบคลุมในหลาย ๆ ด้าน ตามที่กล่าวมา โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึง

ความสัมพันธ์ของความยาวรอยร้าวกับระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion บางส่วนดังต่อไปนี้

8.3.1 ความสัมพันธ์ของความยาวรอยร้าวกับระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion

ในการทดสอบปัญหาเรื่องความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion สืบเนื่องมาจากผลการทดลองของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวด้านเดียวภายใต้แรงดึง ที่ความยาวรอยร้าวเท่ากับ 7.2 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion ที่ 7.5 มิลลิเมตร พบว่าค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นของวัสดุที่ไม่มี Inclusion มีค่าน้อยกว่าวัสดุที่มี Inclusion ซึ่งแตกต่างจากผลการทดสอบในกรณีความยาวรอยร้าวที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองใหม่ โดยเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion จากเดิมมีค่าเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตรเสมอ เป็น 6 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร โดยเลือกความยาวรอยร้าวที่ 14.4 มิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังภาพที่ 8.5



ภาพที่ 8.5

ผลการทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion ที่ความยาวรอยร้าวเท่ากับ 14.4 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วนระหว่างความยาวรอยร้าวกับระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion (a/l) น้อยกว่า 1 จะทำให้ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในวัสดุที่ไม่มี inclusion มีค่าน้อยกว่าในวัสดุที่มี Inclusion เล็กน้อย คือ ที่ a/l เท่ากับ 0.96 มีค่าความแตกต่างระหว่างวัสดุที่ไม่มี Inclusion กับที่มี Hard inclusion เท่ากับ -0.04% แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วน a/l เป็น 1.96 พบว่าค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในวัสดุที่ไม่มี Inclusion มากกว่า วัสดุที่มี Hard inclusion ถึง 12.58% หากเพิ่มอัตราส่วน a/l เป็น 2.40 พบว่าค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในวัสดุที่ไม่มี Inclusion มากกว่า วัสดุที่มี Hard inclusion ถึง 23.26% ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอยร้าวกับระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบกับค่าตัวประกอบความเข้มของความเข้มของความเค้น ดังตัวอย่างที่แสดงไป