บทที่ 6

ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม

1. การยึดขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม

จากการทดสอบโดยใช้ส่วนของโลหะแผ่นดังรูปที่ 5.5 ซึ่งจะได้ผลการทดสอบออกมาเป็นลักษณะการกระจายความเครียดในแนวความหนาและลักษณะการกระจายความเค้นวอนมิส ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 พบว่า ความเครียดและความเค้นสูงสุดจะอยู่ในบริเวณที่หัวกดสัมผัสกับแผ่นโลหะบริเวณขอบนอกสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ คาฟตานอกลู (Kaftanoglu) และ อเลกซานเดอร์ (Alexander) ค่าที่แตกต่างกันบริเวณที่หัวกดสัมผัสกับโลหะแผ่นมาจากผลของความเสียดทาน เนื่องจากในการทดสอบใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เป็นค่าคงที่ แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะไม่คงที่ แต่จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามระยะกดโดยที่ระยะกดน้อยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่ามากและที่ระยะกดมากสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าน้อย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มีค่าแปรผันตรงต่อกัน ถ้าแรงเสียดทานบริเวณที่หัวกดสัมผัสกับโลหะแผ่นมีค่าน้อยจะทำให้ความเครียดในแนวความหนามีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากโปรแกรมจะเห็นว่ามีค่าความเครียดในแนวความหนาต่ำกว่าจากการทดลองบริเวณจุดศูนย์กลางของหัวกดซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในบริเวณนั้นมีค่ามากกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ยังมีค่าความผิดพลาดของวิธีการไฟไนต์เอเลเมนต์อันเนื่องมาจากขนาดของเอเลเมนต์ที่ใช้

2. การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม

จากการทดสอบ โดยใช้ส่วนของโลหะแผ่นดังรูปที่ 5.12 ซึ่งจะได้ผลการทดสอบออกมาเป็นลักษณะการกระจายความเครียดในแนวความหนาและลักษณะการกระจายความเค้นวอนมิส ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ วูด (Wood) พบว่าลักษณะการกระจายความเครียดในแนวความหนามีแนวโน้มเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกับบริเวณแท่นกดแต่จะต่างกันมากบริเวณหัวกด ซึ่งเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในขณะทำการกดหัวกด โดยที่แนวโน้มความเสียดทานในความเป็นจริงจะลดลงแต่ในการทดสอบจะใช้ค่าสัมประสิทธิความเสียดทานคงที่จึงทำให้ได้ค่าความเครียดสูงกว่าความเป็นจริงและเป็นที่น่าสังเกตว่าบริเวณของความเครียดสูงสุดจะอยู่ต่างกันกับกรณีที่ 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเลื่อนตัวได้ของโลหะแผ่นทำให้ตำแหน่งความเครียดสูงสุดจะเลื่อนเข้ามาจากขอบนอกของหัวกดที่สัมผัสกับโลหะแผ่น

3. การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากการทดสอบ โดยใช้ส่วนของโลหะแผ่นดังรูปที่ 5.21 ซึ่งจะได้ผลการทดสอบออกมาเป็นลักษณะการกระจายความเครียดในแนวความหนาตามแกน X และ ตามเส้นทแยงมุม ดังรูปที่ 5.22 และ 5.23 พบว่าความเครียดสูงสุดจะเกิดในแนวเส้นทแยงมุม ส่วนความเครียดในแนวแกน X จะมีค่าน้อยกว่า ตำแหน่งที่เกิดความเครียดสูงสุดจะอยู่บริเวณมุมของหัวกดและแม่พิมพ์ ซึ่งหมายความว่าจะเกิดการฉีกขาดบริเวณนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ อิวาตะ (Iwata) แล้วพบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันค่าที่แตกต่างกันมาจากการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่อาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาของสารหล่อลื่นในบริเวณต่าง ๆ ไม่เท่ากันทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างกันโดยเฉพาะบริเวณมุมของหัวกดและแม่พิมพ์

<u>ปัญหาที่พบ</u>

1. ข้อจำกัดทางหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากโปรแกรมทางไฟไนต์

เอเลเมนต์ต้องการหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์มากในการคำนวน ทั้งนี้เป็นผลจากจำนวนจุดต่อและจำนวนเอเลเมนต์ ยิ่งมีมากเท่าใดก็จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำมากขึ้นเท่านั้น สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิทยานิพนธ์เป็นเครื่อง CPU 486 DX-2 หน่วยความจำขนาด 8 เมกะไบต์ ซึ่งจะสามารถทำการแก้ปัญหาที่มีจำนวนจุดต่อได้สูงสุดเพียง 300 จุดต่อเท่านั้น ดังนั้นข้อจำกัดของโปรแกรมก็จะถูกกำหนดไว้ที่ 300 จุดต่อและ 600 เอเลเมนต์

2. เวลาที่ใช้ในการคำนวนจากการทดสอบพบว่าปัญหาที่มีจำนวนจุดต่อ 164 จุดต่อ และ 266 เอเลเมนต์ จะใช้เวลาในการคำนวนประมาณ 2 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องคอมพิวเตอร์

3. การลู่เข้าหาคำตอบ เนื่องจากปัญหาการขึ้นรูปเป็นปัญหาที่มีเงื่อนไขที่ขอบเขต เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นหากในแต่ละขั้นของการกดมีการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขตไม่ถูกต้อง การลู่เข้าหาคำตอบก็จะไม่เกิดขึ้น ในแต่ละขั้นของการกดจะต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขที่ขอบเขตของทุกๆ จุดต่อให้ถูกต้องอยู่เสมอ

4. ความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบกับผลการทดลองมีสาเหตุอยู่หลายประการ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ใช้ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ยากในความเป็นจริงเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่ตรงกับความเป็นจริง ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดไปจากการทดลอง

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็นเครื่องที่มี CPU ตั้งแต่ PENTIUM 75 MHZ ขึ้นไป และมี RAM อย่างน้อย 8 เมกะไบต์ แต่ขอแนะนำให้ใช้ขนาด 16 เมกะไบต์ขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สามารถแก้ปัญหาที่มี 600 จุดต่อ และ 1200 เอเลเมนต์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม โปรแกรมนี้สามารถพัฒนาให้ใช้งานกับปัญหาที่มีรูปร่างทั่วไปได้ โดยการพัฒนาในส่วนของการตรวจสอบเงื่อนไขที่ขอบเขตให้สามารถตรวจสอบรูปร่างใดๆ ได้

สรุป

ในการวิเคราะห์การขึ้นรูปวัสดุแผ่นต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของของแข็ง (solid mechanics), พลาสติคซิตี้ (plasticity), ไฟไนต์เอเลเมนต์ (finite element), ระเบียบวิธีทางตัวเลข (numerical method) และ คอมพิวเตอร์โปรแกรม ความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของของแข็ง ช่วยในการสร้างสมการความสมดุล (equilibrium equation) ความรู้ทางพลาสติคซิตี้ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในช่วงพลาสติค ความรู้ทางไฟไนต์เอเลเมนต์ ช่วยในการแก้ปัญหาซึ่งไม่สามารถทำได้โดยวิธีการเชิงวิเคราะห์ (analytical) ความรู้ทางระเบียบวิธีทางตัวเลข ช่วยในการแก้สมการไฟไนต์เอเลเมนต์ และสุดท้าย การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการคำนวณ

วิธีการสร้างสมการไฟไนต์เอเลเมนต์ จะเริ่มต้นจากการสร้างสมการความสมดุล โดยใช้ทฤษฎีของงานเสมือน (virtual work) ร่วมกับการใช้เงื่อนไขการคลากของฮิลล์ และกฎการไหล จากนั้นทำการเปลี่ยนระบบสมการให้อยู่ในรูปของเอเลเมนต์ โดยแต่ละเอเลเมนต์จะประกอบไปด้วยจุดต่อ ทำการรวมสมการของแต่ละเอเลเมนต์เข้าด้วยกัน จะได้ระบบสมการรวม จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขตให้กับระบบสมการรวม แล้วทำการแก้สมการโดยใช้วิธีการของ นิวตันราฟสัน และ เกาส์

ในการวิเคราะห์การขึ้นรูปวัสดุแผ่นรูปวงกลม โดยการกดยึดด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม เป็นการวิเคราะห์รูปแบบการขึ้นรูปที่ง่ายที่สุด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง โดยเปรียบเทียบจากกราฟการกระจายของความเครียด จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์การขึ้นรูปโดยการกดลากด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม ซึ่งการขึ้นรูปแบบนี้จะต่างกันตรงที่ว่า ขอบของชิ้นงานถูกกดโดยแท่นกดด้วยแรงใดๆ ซึ่งทำให้ขอบของชิ้นงานสามารถเลื่อนตัวได้ จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่า มีความสอดคล้องกัน และกรณีสุดท้ายคือการขึ้นรูปถ้วยทรงสี่เหลี่ยมโดยใช้หัวกดรูปทรงสี่เหลี่ยมพบว่า การฉีกขาดจะเกิดในแนวเส้นทะแยงมุมบริเวณมุมของหัวกดและแม่พิมพ์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองแล้วพบว่า มีความใกล้เคียงกัน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตเฉพาะการขึ้นรูปแบบสมมาตร เช่น รูปถ้วยทรงกลม รูปถ้วยทรงกระบอก แต่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำการวิเคราะห์รูปแบบการขึ้นรูปแบบไม่สมมาตรได้บางรูปแบบ เช่น รูปถ้วยทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปให้สามารถใช้กับการขึ้นรูปแบบทั่วไปได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปแบบใหม่ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย