

บทที่ 3

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก

การศึกษากระบวนการดึงขึ้นรูปลึกแผ่นไททาเนียมจะทำการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมใน 2 ลักษณะคือ แผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นค้ำย โดยเน้นพิจารณาถึงอิทธิพลของแรงในการจับยึดชิ้นงานต่อการเกิดรอยร้าวและการฉีกขาดของชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการจำลองการขึ้นรูปและผลที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการ เพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นค้ำยด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และการเปรียบเทียบผลของการจำลองการขึ้นรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก ลักษณะของชิ้นงานต้นแบบมีลักษณะที่ไม่สมมาตร และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาดังอิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดรอยร้าวและการฉีกขาด วิธีการศึกษาจะประกอบไปด้วย การกำหนดสมมติฐานเบื้องต้น การสร้างชิ้นงานต้นแบบจากข้อมูล การเลือกขนาดและรายละเอียดของแม่พิมพ์ การกำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลอง การกำหนดคุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุ การสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต การประมวลผล และการวิเคราะห์ผล รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

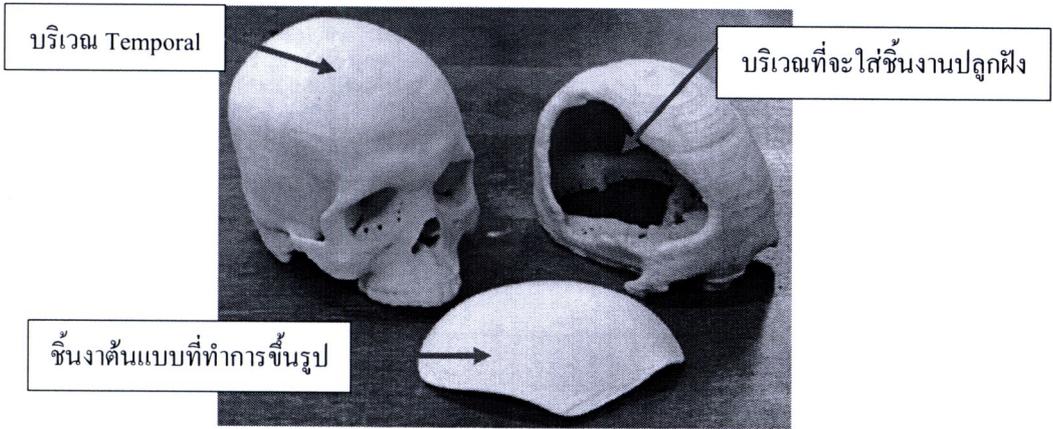
3.1 การกำหนดสมมติฐานเบื้องต้น

การศึกษานี้ได้กำหนดสมมติฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ไว้ดังต่อไปนี้

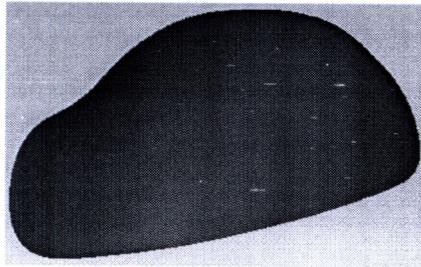
- 1) ลักษณะชิ้นงานต้นแบบเป็นชิ้นงานที่ไม่สมมาตร
- 2) แผ่นโลหะเปล่ามีความหนาเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร
- 3) การวิเคราะห์ชิ้นงานจะวิเคราะห์ในระบบ 3 มิติ
- 4) กำหนดคุณสมบัติการเปลี่ยนรูปวัสดุเป็น แอนไอโซโทรปิกพลาสติก-อีลาสติก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียด (Stress-Strain) เป็นไปตามสมการกำลัง (Power Law)
- 5) งานวิจัยนี้พิจารณาการเกิดรอยร้าวและการฉีกขาดไม่ได้รวมถึงการติดตัวกลับของชิ้นงาน
- 6) การวิเคราะห์ผลใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป

3.2 รูปแบบของแม่พิมพ์

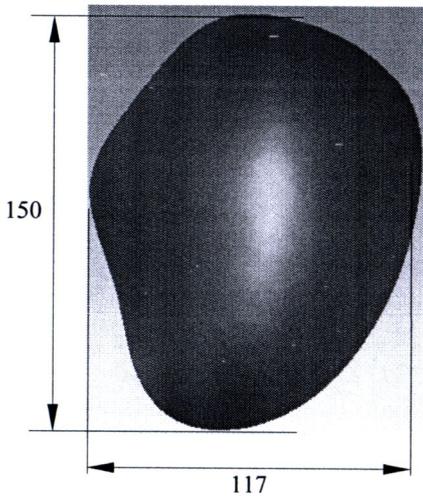
รูปแบบของแม่พิมพ์ที่ทำการศึกษาเป็นรูปแบบเฉพาะและเป็นรูปแบบที่ไม่สมมาตร คือเป็นรูปแบบของกะโหลกศีรษะของคนไทย และจากการศึกษาของ เขมจิต เสนา (2549) ได้ทำการวัดขนาดและรูปร่างกะโหลกศีรษะของคนไทยจำนวน 100 คน เพื่อเป็นข้อมูลขนาดมาตรฐานในการออกแบบชิ้นส่วนปลุกฝัง โดยผลจากการวัดได้ขนาดมาตรฐาน 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ และรูปร่างของบาดแผลกะโหลกศีรษะที่พบเห็นได้มากเมื่อได้รับการกระทบกระเทือนถึงกระดูกจะเป็นบริเวณขมับ (Temporal) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเปลือกหอย ดังนั้นในการขึ้นรูปบริเวณขมับนี้ จึงใช้กระบวนการดึงขึ้นรูปลึกเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ



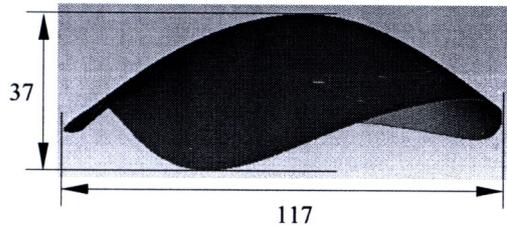
ภาพที่ 3.1 ขนาดรูปร่างกะโหลกศีรษะคนไทย บริเวณ ขมับและลักษณะชิ้นงานต้นแบบที่ทำการขึ้นรูป



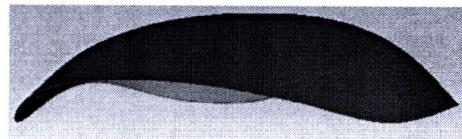
(ก) มุมมอง 3 มิติ



(ข) มุมมองด้านบน



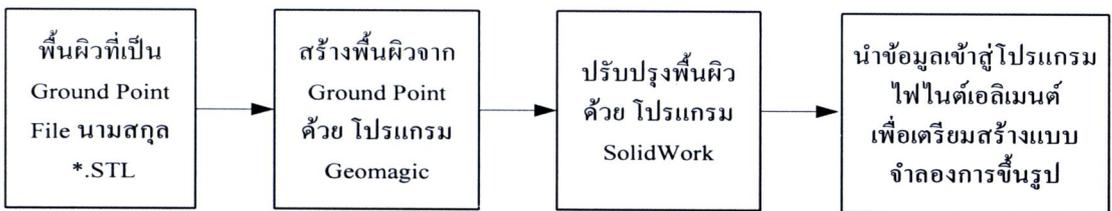
(ค) มุมมองด้านหน้า



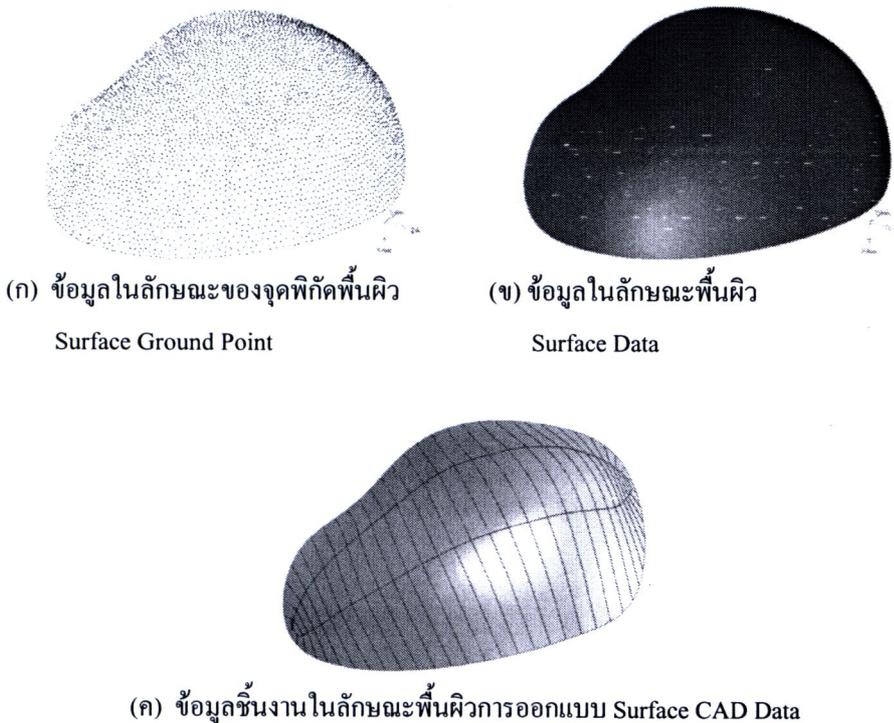
(ง) มุมมองด้านข้าง

ภาพที่ 3.2 ขนาดรูปร่างมาตรฐานกะโหลกศีรษะคนไทย บริเวณขมับขนาดกลาง

ในการศึกษานี้ นำรูปร่างขนาดมาตรฐานกะโหลกศีรษะของคนไทยขนาดกลางมาใช้เป็นชิ้นงานต้นแบบ ในการสร้างแม่พิมพ์ โดยรายละเอียดแสดงในภาพที่ 3.2 คือมีความกว้าง 117 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และสูง 37 มิลลิเมตร จากข้อมูลชิ้นงานต้นแบบในเบื้องต้นมีลักษณะเป็นจุดพิคพื้นผิวของชิ้นงาน (Ground point) ในบริเวณขมับ จากนั้นทำการสร้างพื้นผิวให้กับชิ้นงานด้วย โปรแกรม GEOMAGIC V.10 ให้อยู่ในรูปของ ข้อมูลพื้นผิว (Surface data) ลักษณะ 3 มิติ เมื่อได้พื้นผิวของชิ้นงานแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวให้เรียบ ด้วยโปรแกรม SOLIDWORK และสร้างผิวชิ้นงานอยู่ในรูปของข้อมูลพื้นผิวในการออกแบบ (Surface CAD data) ในภาพที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการสร้างพื้นผิวของชิ้นงานและภาพที่ 3.4 แสดงถึงลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน ที่สร้างขึ้น



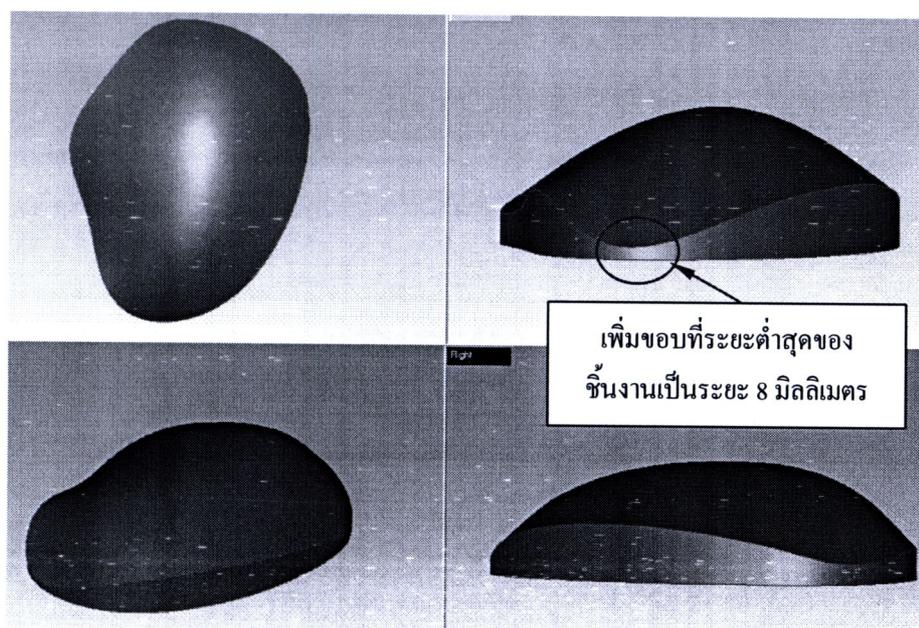
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างพื้นผิวชิ้นงานต้นแบบให้อยู่ในรูปของ CAD Data เพื่อเข้ากระบวนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 3.4 ลักษณะข้อมูลของชิ้นงานในรูปแบบต่าง ๆ

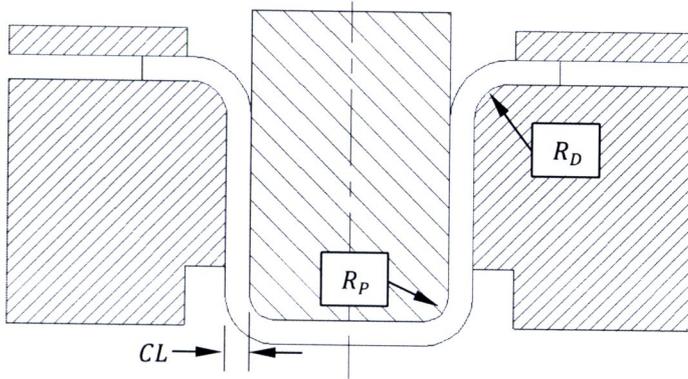
3.3 หลักการออกแบบแม่พิมพ์

จากลักษณะของชิ้นงานต้นแบบที่ได้เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับถ้วยรูปวงรีหรือลักษณะคล้ายกับเปลือกหอย และเงื่อนไขต้องการของการขึ้นรูปคือให้มีความหนาเปลี่ยนแปลงไม่มากและไม่มียอดตะเข็บในชิ้นงาน ดังนั้นกระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก จากชิ้นงานต้นแบบนำมาปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยการเพิ่มขอบด้านข้างของชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3.5 เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก ในการเพิ่มจะเพิ่มที่ขอบต่ำสุดของชิ้นงานเป็นระยะ 8 มิลลิเมตร เพื่อให้ขอบชิ้นงานอยู่ในระดับเดียวกัน มีพื้นที่สำหรับการกำหนดรัศมีพันซ์ คาย และใกล้เคียงกับรูปแบบมาตรฐานของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา



ภาพที่ 3.5 ลักษณะข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้ปรับปรุงเพิ่มขนาดของขอบข้างเป็นระยะ 8 มิลลิเมตร

เงื่อนไขของการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกนั้นได้แก่ รัศมีพันซ์ (R_p) รัศมีคาย (R_d) และระยะช่องว่างแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 แสดงองค์ประกอบหลักของแม่พิมพ์ในกระบวนการดึงขึ้นรูปและตำแหน่งของการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบแม่พิมพ์



ภาพที่ 3.6 บริเวณในการกำหนดขนาดของ รัศมีพื้นซ์ รัศมีคาย และ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์

การกำหนดเงื่อนไขของการออกแบบแม่พิมพ์ Sellin (1931) แนะนำค่ารัศมีคายที่เหมาะสมดังสมการที่ (2.5)

$$R_D = (5 - 10) \times T \quad (2.5)$$

ส่วนรัศมีพื้นซ์ R_p ควรจะใหญ่กว่ารัศมีคายประมาณ 3-5 เท่า ค่ารัศมีพื้นซ์ต้องไม่เล็กกว่ารัศมีคาย และ การกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ ค่าระยะช่องว่างแม่พิมพ์ ที่เหมาะสม ดังสมการที่ (2.4)

$$CL = T + 0.04\sqrt{10T} \quad \text{สำหรับโลหะนอกกลุ่มเหล็กอื่น ๆ} \quad (2.4)$$

โดย CL คือ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์
 T คือ ความหนาของแผ่นโลหะเปล่า

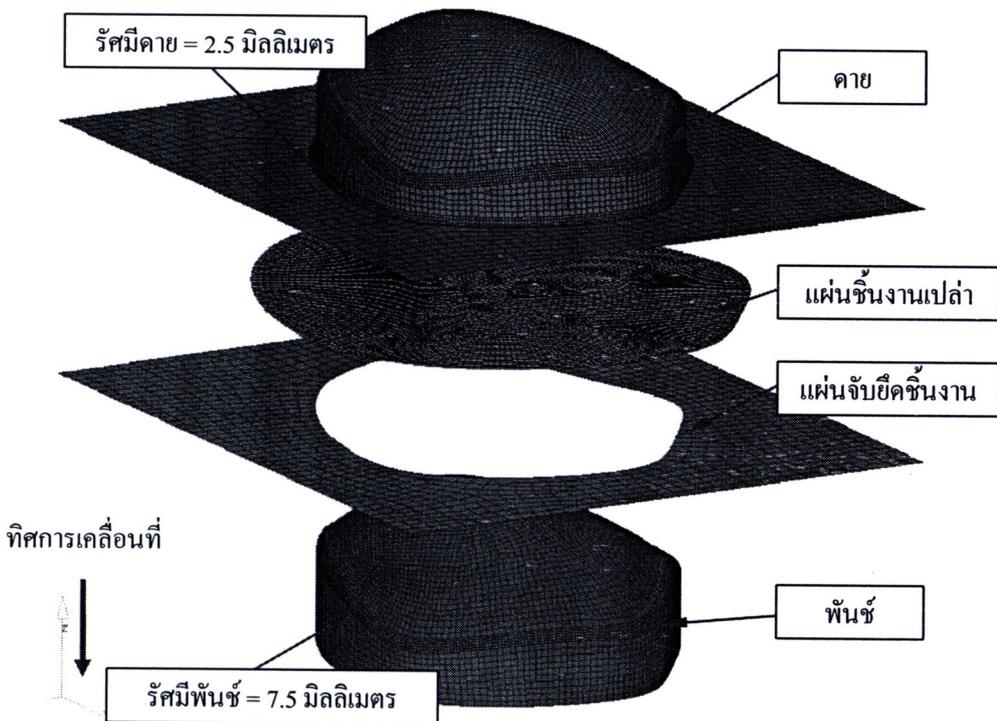
ค่าระยะช่องว่างที่แนะนำนี้ใช้สำหรับงานรูปถ้วยทรงกระบอกที่มีลักษณะสมมาตรรอบแนวแกน และ จากสมการดังกล่าวระยะช่องว่างแม่พิมพ์อยู่ที่ 0.589 จากการศึกษาของ ไมตรี กมลรัตนพิกุลศรี (2550) ได้กำหนด ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่มีลักษณะไม่สมมาตรอยู่ที่ 10% ของความหนาของแผ่นชิ้นงาน ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์อยู่ที่ 10% ของความหนาของแผ่นชิ้นงานคือมีค่าอยู่ที่ 0.55 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงค่าที่ได้จากสมการที่ (2.4) และจากสมการที่ (2.3) จะได้ว่ารัศมีพื้นซ์เท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร รัศมีคายเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการออกแบบแม่พิมพ์ของการศึกษานี้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขของการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก

รายละเอียดแม่พิมพ์	ขนาด
รัศมีพินซ์ (R_P)	7.5 มิลลิเมตร
รัศมีคาย (R_D)	2.5 มิลลิเมตร
ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ (CL)	0.55 มิลลิเมตร

3.4 การออกแบบแม่พิมพ์โดยการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

จากชิ้นงานต้นแบบที่ได้ทำการปรับปรุงและการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบสำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก จากนั้นกำหนดโครงสร้างแม่พิมพ์ในการกำหนดต้องสอดคล้องกับการขึ้นรูปจริง โครงสร้างของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษานี้จะเป็นแม่พิมพ์แบบกลับทาง (Inverted die) ดังแสดงในภาพที่ 3.7 คือ คายจะอยู่ข้างบนสุดตามด้วยแผ่นชิ้นงาน และแผ่นจับยึดชิ้นงาน โดยที่พินซ์จะอยู่ด้านล่างและไม่มีการเคลื่อนที่ โดยกระบวนการทำงานนี้คายเป็นตัวเคลื่อนที่



ภาพที่ 3.7 ลักษณะโครงสร้างของแม่พิมพ์ของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกแบบกลับทาง และลักษณะของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

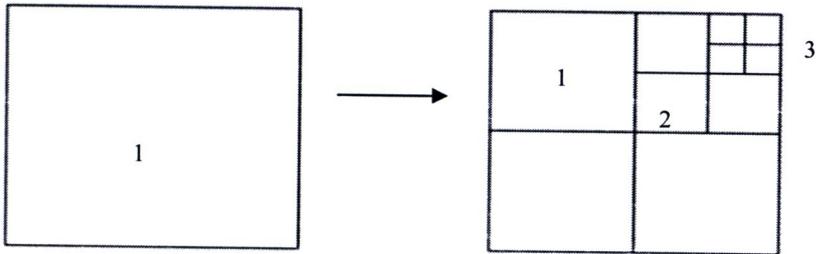
3.5 การกำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลอง

การกำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การกำหนดเอลิเมนต์แบบจำลองของแผ่นชิ้นงานเปล่า และการกำหนดเอลิเมนต์ของแม่พิมพ์ ในการกำหนดเอลิเมนต์ทั้ง 2 ส่วนนี้จำเป็นต้องกำหนดเอลิเมนต์ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลจากการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง รายละเอียดของกำหนดเอลิเมนต์เป็นดังนี้

3.5.1 การกำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลองของแผ่นโลหะเปล่า

จากการศึกษาของ K.Harihara (2009) และ ทวีภัทร์ บรมชิตติ (2006) ได้กำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลองของแผ่นชิ้นงานเปล่าด้วยเอลิเมนต์โครงสร้างแบบเปลือก (Shell element) ที่เป็นชนิดของ Belyschko-Tsay ที่เป็นเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมที่กำหนดให้มีจำนวน 5 จุดอินทิเกรตตามแนวความหนา ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบจากการเกิดสปริงตัวกลับ (Spring black) ของแผ่นชิ้นงาน นอกจากนี้ยังกำหนดให้แผ่นชิ้นงานเปล่ามีการปรับเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์ตามบริเวณที่เสียรูปมาก (Adaptive meshing) เช่น ส่วนที่เป็นส่วนเว้าส่วนโค้งของชุดแม่พิมพ์ การปรับเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์จะปรับเปลี่ยนได้ 3 ระดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และกำหนดให้แผ่นชิ้นงานเปล่าเป็นวัสดุที่เปลี่ยนรูปได้ (Deformable body) จากวิธีดังกล่าวให้ผลการจำลองการขึ้นรูปได้ใกล้เคียงกับการขึ้นรูปจริงมากที่สุด

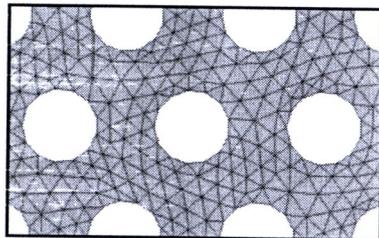
ดังนั้นในการศึกษานี้การกำหนดเอลิเมนต์ของแผ่นชิ้นงานเปล่ากำหนดเป็น โครงสร้างแบบเปลือกที่เป็นชนิดของ Belyschko-Tsay เป็นเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมที่กำหนดให้มี 5 จุดอินทิเกรตตามแนวความหนาดังแสดงในภาพที่ 3.9 (ก) ในส่วนของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เป็นแผ่นตาข่ายเนื่องจากมีรูตาข่ายมีเป็นจำนวนมากพื้นที่ผิวของแผ่นชิ้นงานเปล่าไม่ได้เป็นแผ่นเดียวการกำหนดเอลิเมนต์จึงกำหนดโดยใช้โปรแกรม HYPERFORM V.9 เป็นตัวกำหนดโดยใช้คำสั่งสร้างเอลิเมนต์อัตโนมัติ (Automeshing) ดังแสดงในภาพที่ 3.10 (ข)



ภาพที่ 3.8 ลักษณะการเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์เมื่อมีการเสียรูปของแบบจำลองเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม



(ก) การกำหนดเอลิเมนต์ของแผ่นเรียบ

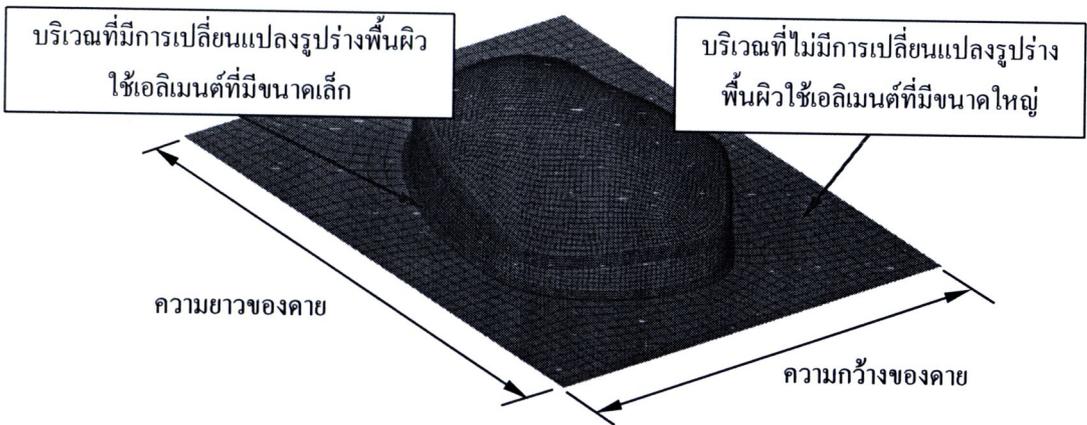


(ข) การกำหนดเอลิเมนต์ของแผ่นตาข่าย

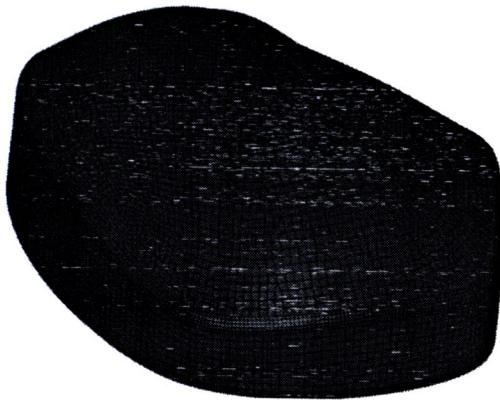
ภาพที่ 3.9 ลักษณะเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม โครงสร้างแบบเปลือกของ โลหะแผ่นเรียบและเอลิเมนต์ของแผ่นตาข่าย ที่สร้างด้วยคำสั่งสร้างเอลิเมนต์อัตโนมัติ

3.5.2 การกำหนดเอลิเมนต์ของแบบจำลอง พันซ์ ดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงาน

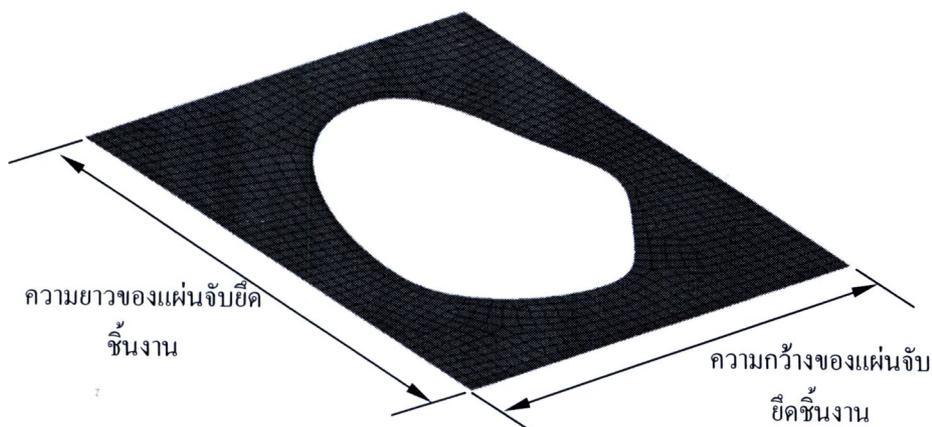
ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2550) กล่าวว่า การแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element model) จะต้องสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมให้มากที่สุดคือ บริเวณที่เป็นส่วนเว้า ส่วนโค้งหรือตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างฉับพลันแทนด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้การวิเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนักก็อาจจะแทนด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยจำนวนเอลิเมนต์มากเกินไปจะทำให้ใช้เวลามากในการคำนวณ และอาจทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์มีความละเอียดในการคำนวณไม่เพียงพอ โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้แบบจำลองของ พันซ์ ดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงาน ให้เป็นเอลิเมนต์แบบแข็งแกร็ง (Rigid Body) ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ถึง 3.12 จากภาพแสดงการกำหนดเอลิเมนต์ของ พันซ์ ดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงาน ตามลำดับ



ภาพที่ 3.10 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการกำหนดเอลิเมนต์ของดาย



ภาพที่ 3.11 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการกำหนดเอลิเมนต์ของพันซ์



ภาพที่ 3.12 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการกำหนดเอลิเมนต์ของแผ่นจับยึดชิ้นงาน

จากภาพที่ 3.10 ถึง 3.12 เป็นลักษณะของแบบจำลองที่ได้กำหนดเอลิเมนต์ของ คาย พันซ์ และแผ่นจับยึดชิ้นงาน โดยการกำหนดขนาดของความกว้างและความยาวของ คาย และแผ่นจับยึดชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าและจะได้กล่าวต่อไป

3.6 การกำหนดคุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุ

จากการศึกษาของ K.Harihara (2009) และ John O. Hallquist (2003) ในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ ได้กำหนดให้ชุดเครื่องมือเป็นวัสดุแข็งเกร็ง ในส่วนของแผ่นชิ้นงานเปล่า นั้น เป็นการวิเคราะห์ที่มีการเปลี่ยนรูปในช่วง อีลาสติก-พลาสติก และพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่เท่ากันในทุกทิศทุกทางหรือเรียกว่าคุณสมบัติแอนไอโซโทรปิก เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นเอลิเมนต์แบบโครงสร้างแบบเปลือก คุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสมนั้นเป็นแบบ แอนไอโซโทรปิกอีลาสติก-พลาสติก (Anisotropic Elastic-Plastic) ฟังก์ชันการครากใช้ทฤษฎีแอนไอโซโทรปิก ของ Hill และพฤติกรรมความแข็งของวัสดุ (Hardening Curve) เพื่อกำหนดความเค้น และความเครียดนั้น ใช้สมการกำลัง ดังแสดงในสมการที่ (3.2) โดยคุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การขึ้นรูปด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

$$\sigma = k(\varepsilon)^n \quad (3.2)$$

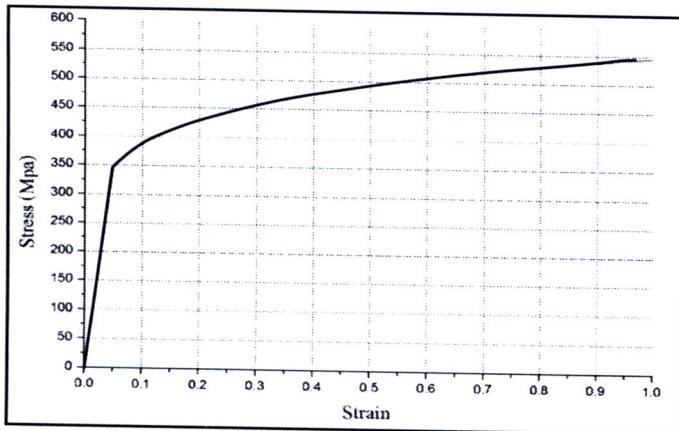
จากการศึกษาของ Joji Satoh (2003) ได้ทำการศึกษารับยึดขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมและได้ทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไททาเนียม โดยทดสอบแผ่นไททาเนียมที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร และชนิดของไททาเนียมที่ทดสอบ CP Titanium Grade 2: JIS-2 TP340 มาตรฐาน JIS และทำการทดสอบทิศทางการรีด (Rolling Direction) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแอนไอโซโทรปิก ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3.2 และเป็นขึ้นเดียวกันกับที่ใช้ในการศึกษานี้

ดังนั้นในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ชุดเครื่องมือเป็นวัสดุแข็งเกร็ง แผ่นชิ้นงานเปล่าเป็นการวิเคราะห์ที่มีคุณสมบัติของวัสดุการเปลี่ยนรูปเป็นแบบ แอนไอโซโทรปิกอีลาสติก-พลาสติก ฟังก์ชันการครากใช้ทฤษฎี

แอนไอโซโทรปิก ของ Hill และพฤติกรรมความแข็งของวัสดุ เพื่อกำหนดค่าความเค้นและความเครียด เป็นไปตามสมการกำลัง จากภาพที่ 3.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ที่ได้จากการกำลัง

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ CP Titanium Grade 2 (Joji Satoh, 2003)

คุณสมบัติเชิงกล	CP Titanium Grade 2: JIS-2 TP340
Modulus Young (E)	105 GPa.
Yield Stress (YS)	275 Mpa.
Poisson's Ratio	0.37
Hardening Exponent (n)	0.149
Hardening Coefficient (k)	546 GPa
Anisotropy Coefficients (r_0, r_{45}, r_{90})	1.99, 2.22, 1.40



ภาพที่ 3.13 พฤติกรรมความแข็ง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ของไททาเนียม

3.7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

การกำหนดเงื่อนไขของการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกลับประกอบด้วย การกำหนดระยะของการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน ความเร็วในการขึ้นรูป การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และแรงในการจับยึดชิ้นงาน จากการทดลองใช้โปรแกรม การกำหนดให้ระยะการเคลื่อนที่ของคายต้องเป็นระยะที่น้อยที่สุดเพราะจะทำให้เวลาในการประมวลผลน้อยตามไปด้วย ในส่วนของความเร็วของการเคลื่อนที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องการประมวลผลทำให้กำหนดความเร็วเริ่มต้นที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที เพราะจากการทดลองใช้โปรแกรมของกรณีศึกษาที่ความเร็วที่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตรต่อวินาที โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของแต่ละชิ้นงานจะกำหนดโดยให้ชิ้นงานทุกชิ้นเคลื่อนที่ในแนวแกน z

ได้เพียงอย่างเดียวและไม่มีภาระหมุนรอบทุก ๆ แนวแกน ยกเว้นแผ่นชิ้นงานเปล่าที่กำหนดให้สามารถเคลื่อนที่และหมุนรอบได้ทุกแนวแกน จากการศึกษาของ J.Adamus (2006) ที่ได้ทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างโลหะต่าง ๆ และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเหล็กและไททานเนียมเท่ากับ 0.365 แรงในการจับยึดชิ้นงานจะเริ่มต้นที่ความดัน 1 บาร์ (เครื่องปั๊มใช้ความดันในการส่งกำลังให้กับแผ่นจับยึดชิ้นงาน)

3.8 การประมวลผล (Processing) และการแสดงผลลัพธ์ (Post-processing)

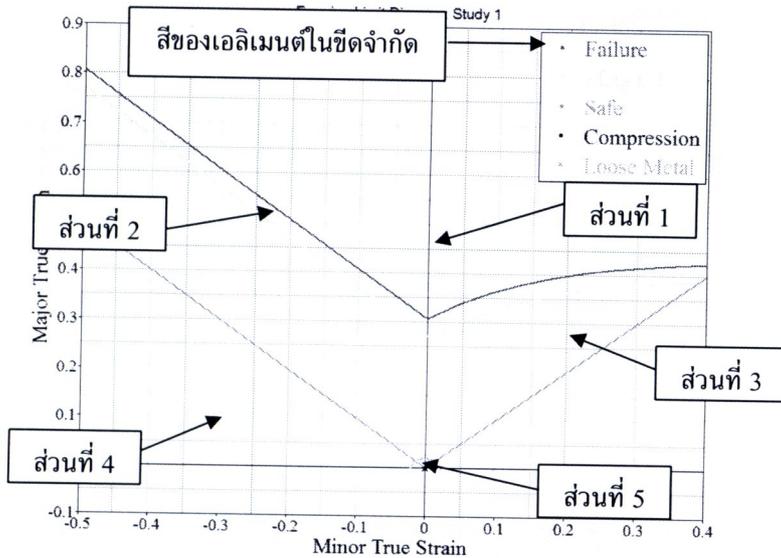
ในการประมวลผลของการศึกษานี้ใช้โปรแกรม HYPERFORM V.9 โดยทำงานร่วมกับโปรแกรม LS-DYNA ANSYS และก่อนทำการวิเคราะห์ได้ใช้คำสั่งการปรับเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์ตามบริเวณที่เสียรูปมาก ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะเวลาที่คายเคลื่อนที่กดแผ่นชิ้นงานให้เข้าไปในพันธ จะทำให้เอลิเมนต์ตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปของชิ้นงานที่สูงมีขนาดเล็กลงและเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ให้สูงขึ้นในการศึกษานี้ได้ใช้ คอมพิวเตอร์ประมวลผลที่มีส่วนประกอบดังนี้

- 1) หน่วยประมวลผล AMD Phenom (tm) 9650 Quad-Cord Processer 2.30 GHz (ในการประมวลผลใช้ 3 CPUs ต่อกรณีการศึกษา)
- 2) หน่วยความจำหลัก 3.25 GB (Ram)
- 3) การ์ดจอที่ใช้ประมวลผลแบบ 3D ATI Radeon HD 3800 Series หน่วยความจำ 512 MB

3.9 การหาผลเฉลยการเกิดรอยร่นและการฉีกขาด

จากการศึกษาของ สวัสดิ์ ไสคานูช (2550) ได้ทำการสร้างแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามมาตรฐาน ASTM E 2218-02 ตลอดจนประยุกต์ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์และเปรียบเทียบแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองและการขึ้นรูปชิ้นงานจริงกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิจัยพบว่าแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปโดยวิธีการทดลองเมื่อเทียบกับแผนภาพขีดจำกัดจากการขึ้นรูปที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความแตกต่างกัน 12% ณ ความเครียดในระนาบ ผลการขึ้นรูปได้สอดคล้องกับความเสียหายและสามารถในการขึ้นรูปงานจริงกับผลจากการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และ คมสันต์ งามขำ (2550) พบว่าแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนไนต์ชนิด SUS 304 ที่เพิ่มความหนาชิ้นงานทดสอบ มีผลทำให้ขีดจำกัดการขึ้นรูปไม่เป็นไปตามสัดส่วนความหนา การเปรียบเทียบแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองและการขึ้นรูปชิ้นงานจริงให้ผลสอดคล้องกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ดังนั้นในการศึกษานี้ได้ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ประกอบด้วยเส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming limit curve; FLC) นำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินสภาพปัญหา การเกิดรอยร่น การเกิดการคอด และการฉีกขาดที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงาน เส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแกนหลัก (Major strain; E_1) และความเครียดในแกนรอง (Minor strain; E_2) ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์โดยพารามิเตอร์ในการกำหนดแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปคือ Hardening Exponent (n) และความหนาของแผ่นชิ้นงาน โดยในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้คำนวณจากหลักการของ Keeler และ Goodwin ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



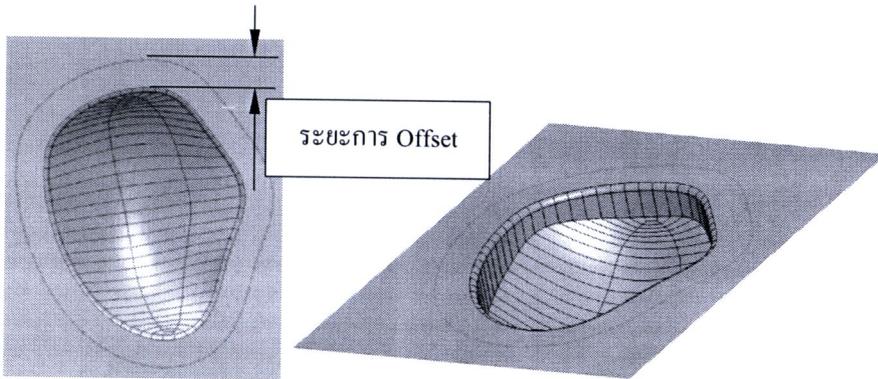
ภาพที่ 3.14 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ประกอบด้วยเส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูปและการแบ่งส่วนต่างๆ ของพื้นที่ได้กราฟ

หลักการประเมินสภาพปัญหาของแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปมีดังนี้ในกราฟจะมีเส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูปจำนวน 4 เส้น ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ประกอบด้วย เส้นสีแดงคือเส้นโค้งขีดจำกัดการฉีกขาด เส้นสีเขียวคือเส้นโค้งขีดจำกัดการที่มีแนวโน้มฉีกขาดแต่ยอมรับได้ เส้นสีเหลืองคือเส้นโค้งขีดจำกัดที่มีความปลอดภัยในการขึ้นรูป และเส้นสีฟ้าคือเส้นโค้งขีดจำกัดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน และแบ่งบริเวณพื้นที่ในกราฟออกเป็น 5 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 เป็นบริเวณที่อยู่ในเส้นและเหนือเส้นโค้งขีดจำกัดสีแดงแสดงว่าตำแหน่งของเอลิเมนต์ในชิ้นงานนั้นมีการฉีกขาด โดยจะแสดงเป็นจุดสีแดง ส่วนที่ 2 เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นโค้งขีดจำกัดสีแดงและสีเขียวแสดงตำแหน่งของเอลิเมนต์ในชิ้นงานนั้นมีแนวโน้มฉีกขาดที่ยอมรับได้ โดยจะแสดงเป็นจุดสีเหลือง ส่วนที่ 3 เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นโค้งขีดจำกัดสีเหลืองและสีเขียวแสดงว่าตำแหน่งของเอลิเมนต์ในชิ้นงานนั้นมีความปลอดภัยในการขึ้นรูป โดยจะแสดงเป็นจุดสีเขียว ส่วนที่ 4 เป็นบริเวณที่อยู่ใต้เส้นโค้งขีดจำกัดสีเขียวแสดงว่าตำแหน่งของเอลิเมนต์ในชิ้นงานนั้นจะเกิดการอัด (Compression) หมายความว่ามีความโน้มจะเกิดรอยยุบ โดยจะแสดงเป็นจุดสีน้ำเงิน และส่วนที่ 5 เป็นบริเวณที่อยู่ใต้เส้นที่ฟ้าแสดงว่าตำแหน่งของเอลิเมนต์ในชิ้นงานนั้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะแสดงเป็นจุดสีฟ้า

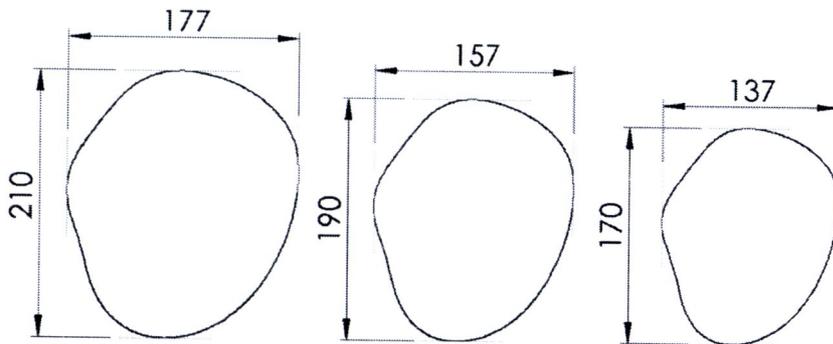
3.10 การกำหนดขนาดรูปร่างของแผ่นชิ้นงานเปล่า

ขนาดแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสมมีความสำคัญมากต่อการกำหนดขนาดของแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปจริง และทำให้ไม่สิ้นเปลืองวัสดุที่ทำการขึ้นรูป ในการศึกษาที่ต้องการให้แรงในการจับยึดชิ้นงานเท่ากันในทุกทิศทางของพื้นที่ในการจับยึด ดังนั้นการกำหนดขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่า จึงกำหนด โดยการขยายขอบ

ของเส้นรอบวงคายดังแสดงในภาพที่ 3.15 โดยกำหนดระยะขยายที่ 30, 20 และ 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 ลักษณะการขยายขอบของคายเพื่อกำหนดขนาดแผ่นชิ้นงานเปล่า



(ก) ขยายที่ระยะ 30 มิลลิเมตร (ข) ขยายที่ระยะ 20 มิลลิเมตร (ค) ขยายที่ระยะ 10 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.16 ขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่ระยะ 30, 20 และ 10 มิลลิเมตรตามลำดับ

3.11 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสม

จากการกำหนดขนาดและรูปร่างของแผ่นชิ้นงานเปล่าในหัวข้อที่ 3.10 ได้กำหนดขนาดอยู่ 3 ขนาดคือ 30, 20 และ 10 มิลลิเมตร พื้นที่ในการจับยึดคือ 15334.2, 8532.7 และ 3421.2 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ในการศึกษาจะเลือกขนาดแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากชิ้นงานมีการสูญเสียวัสดุน้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากชิ้นงานต้นแบบ ในการกำหนดแรงในการจับยึดชิ้นงานจะกำหนดอยู่ในรูปของความดัน การกำหนดใช้ความดันในการจับยึดเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และสามารถเปลี่ยนเป็นหน่วยของแรงในการจับยึดชิ้นงานได้ ดังนี้

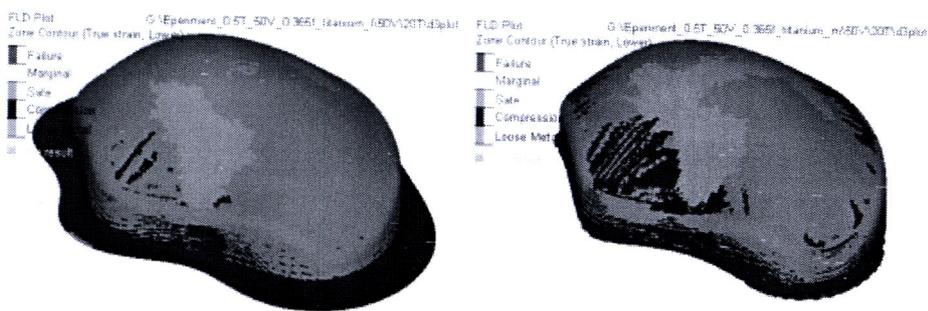
ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1 บาร์ มีค่าเท่ากับ 10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

$$\text{ดังนั้น } 10^5 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} = \frac{\text{แรงในการจับยึดชิ้นงาน}}{\text{พื้นที่ในการจับยึด}}$$

เงื่อนไขของการขึ้นรูปได้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 กำหนดเงื่อนไขของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของการหาขนาดแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสม

ขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่า	แรงในการจับยึดชิ้นงาน (BFH) (นิวตัน)			ความเร็วในการขึ้นรูป
	1 บาร์	2 บาร์	3 บาร์	
ขนาดเนื้อที่ 30 มิลลิเมตร	1530	3060	4590	50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที
ขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร	850	1700	2550	
ขนาดเนื้อที่ 10 มิลลิเมตร	340	680	1020	



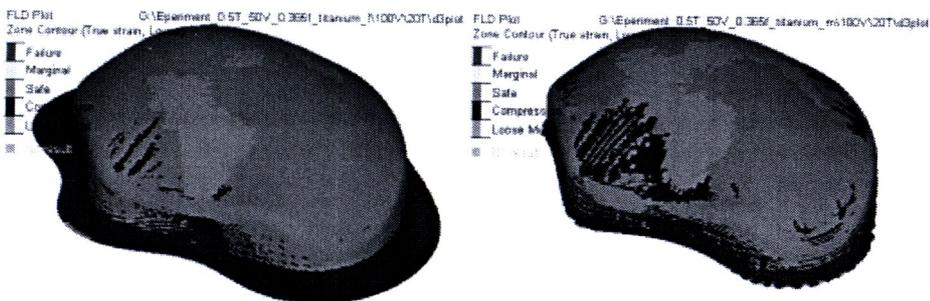
-ขนาดเนื้อที่ 30 มิลลิเมตร

-ขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร



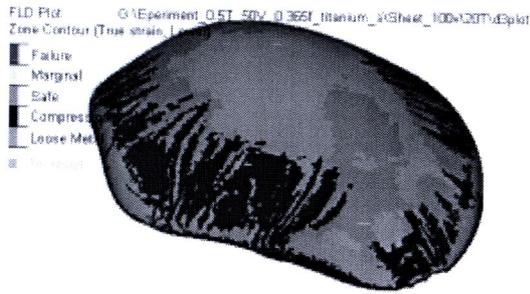
-ขนาดเนื้อที่ 10 มิลลิเมตร

(ก) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที



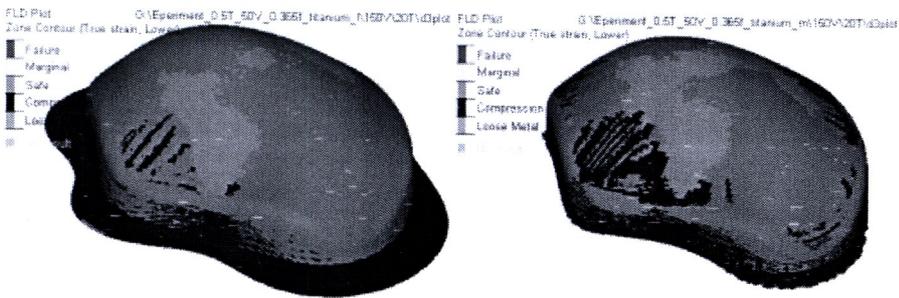
-ขนาดเนื้อที่ 30 มิลลิเมตร

-ขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร



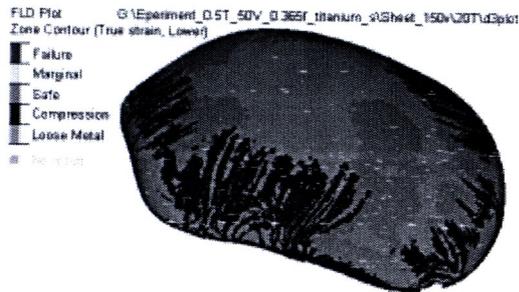
-ขนาดแผ่นที่ 10 มิลลิเมตร

(ข) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที



-ขนาดแผ่นที่ 30 มิลลิเมตร

-ขนาดแผ่นที่ 20 มิลลิเมตร



-ขนาดแผ่นที่ 10 มิลลิเมตร

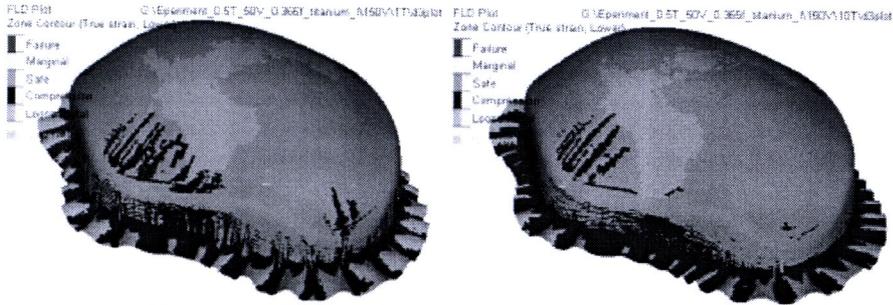
(ค) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3.17 ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานเปล่าในขนาดต่าง ๆ ที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ และที่ความเร็ว 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 3.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองการขึ้นรูปเพื่อหาขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 3 บาร์ ภาพที่ 3.18 (ก) แสดงผลที่การจำลองที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ภาพที่ 3.17 (ข) แสดงผลที่การจำลองที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที และ ภาพที่ 3.17 (ค) แสดงผลที่การจำลองที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

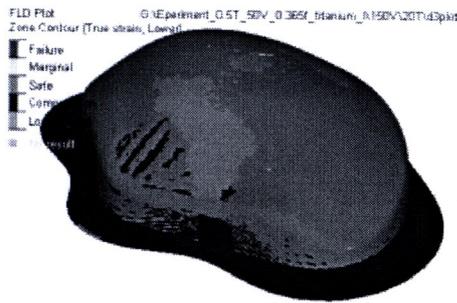
สรุปผลการวิเคราะห์หาค่าระยะความเผื่อที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองจะเห็นว่า ผลจากการเปลี่ยนความเร็วในการขึ้นรูปขนาดเผื่อที่ 30, 20 และ 10 มิลลิเมตร มีลักษณะเหมือนกันในทุกความเร็วของการขึ้นรูปคือ ที่ขนาดเผื่อ 30 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะเหลือปีกของชิ้นงานที่มากที่สุด ที่ขนาดเผื่อ 20 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะเหลือปีกของชิ้นงานบางส่วน และที่ขนาดเผื่อ 10 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะไม่เหลือปีกของชิ้นงานและชิ้นงานไม่ครอบคลุมผิวบนของพันธ์



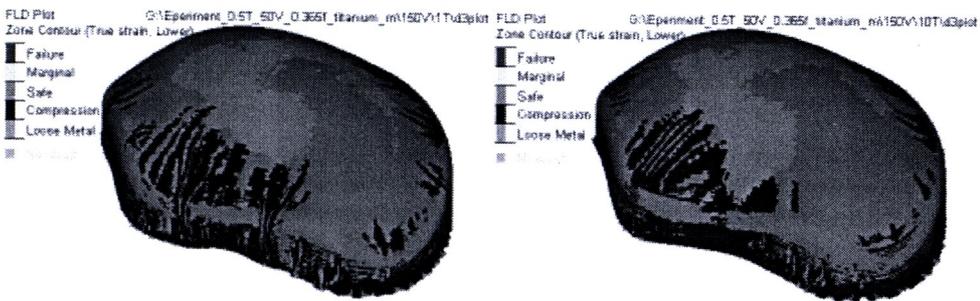
-ความดันในการจับยึดที่ 1 บาร์

-ความดันในการจับยึดที่ 2 บาร์



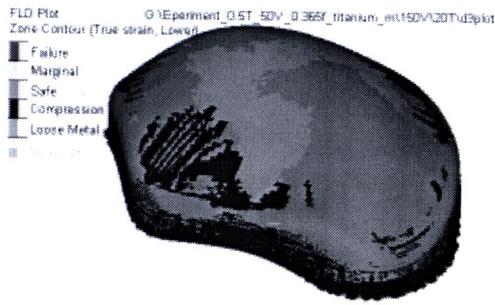
-ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์

(ก) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที



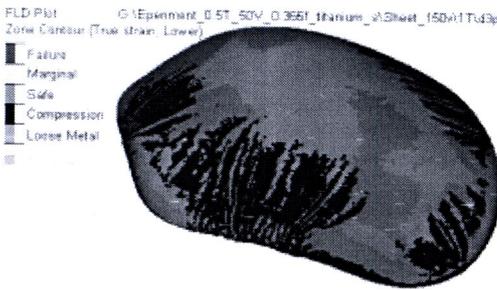
-ความดันในการจับยึดที่ 1 บาร์

-ความดันในการจับยึดที่ 2 บาร์

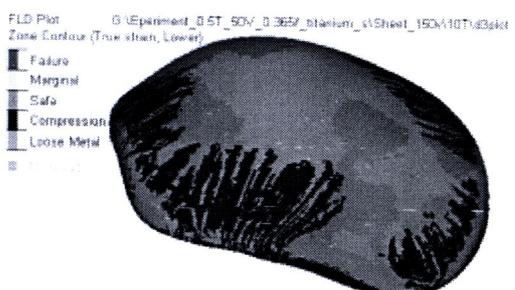


-ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์

(ข) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที



- ความดันในการจับยึดที่ 1 บาร์



-ความดันในการจับยึดที่ 2 บาร์



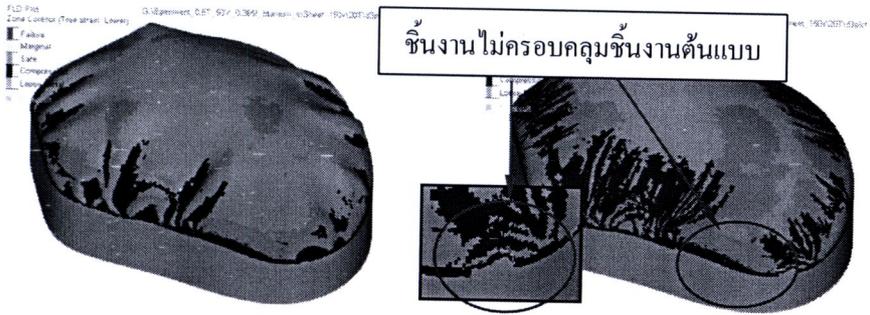
-ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์

(ค) การจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3.18 ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานเปล่าในขนาดต่าง ๆ ที่ความดันในการจับยึด 1, 2 และ 3 บาร์ ที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 3.18 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปโดยการเปลี่ยนแปลงความดันในการจับยึด 1, 2 และ 3 บาร์ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ภาพที่ 3.18 (ก) แสดงผลที่การจำลองที่ความดันในการจับยึด 1 บาร์ ภาพที่ 3.18 (ข) แสดงผลที่การจำลองที่ความดันในการจับยึด 2 บาร์ และ ภาพที่ 3.18 (ค) แสดงผลที่การจำลองที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์

เมื่อพิจารณารูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองจะเห็นว่า ผลจากการเปลี่ยนความดันในการจับยึด ชิ้นงานการขึ้นรูป ขนาดเนื้อที่ 30, 20 และ 10 มิลลิเมตร มีลักษณะเหมือนกันในทุกความดัน ในการจับยึดคือ ที่ขนาดเนื้อที่ 30 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะเหลือปีกของชิ้นงานที่มากที่สุด ที่ขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะเหลือปีกของ ชิ้นงานบางส่วน และที่ขนาดเนื้อที่ 10 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะไม่เหลือปีกของชิ้นงานและชิ้นงาน ไม่ครอบคลุมพื้นที่ ดังนั้นจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า แผ่นชิ้นงานเปล่าที่มีขนาดเนื้อที่ 30 มิลลิเมตร จะเหลือปีกของชิ้นงานที่มากที่สุด ทำให้ สิ้นเปลืองวัสดุสำหรับการขึ้นรูป และแผ่นชิ้นงานเปล่าที่มีขนาดเนื้อที่ 10 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่ได้ไม่ตรงกับ ความต้องการ กล่าวคือขนาดของชิ้นงานที่ได้เล็กกว่าชิ้นงานต้นแบบและเกิดการโค้งตัวของผิวชิ้นงานก่อนสิ้นสุด กระบวนการ จนเกิดการพับของผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.19 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกขนาดแผ่นชิ้นงาน เปล่าที่มีขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร โดยพิจารณาจากขนาดของชิ้นงานที่ได้จากผลการจำลองการขึ้นรูป

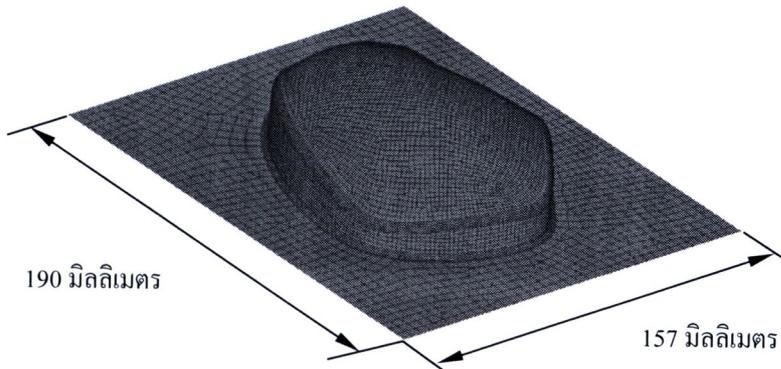


(ก) ผลการจำลองก่อนสิ้นสุดกระบวนการ (ข) ผลการจำลองเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ

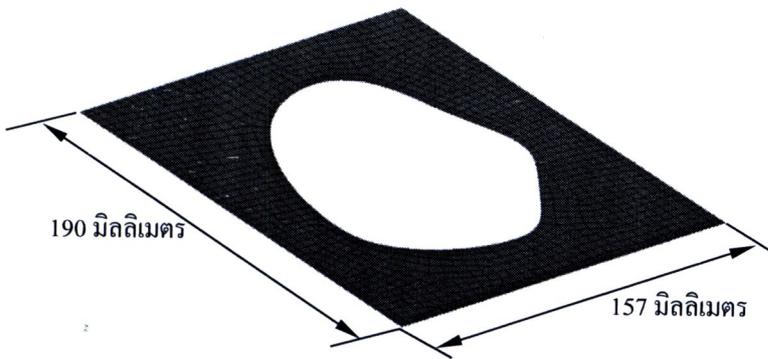
ภาพที่ 3.19 ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานเปล่าที่ขนาดขนาดเนื้อที่ 10 มิลลิเมตร ที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.12 ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททานเนียมที่เป็นแผ่นเรียบและแผ่นคาง่าย

จากผลการหาขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสมในกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกทั้ง 3 ขนาดในหัวข้อที่ ผ่านมา ขนาดของชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสม คือ ที่ขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร (157 x 190 มิลลิเมตร) จากขนาดของ ชิ้นงานที่เหมาะสมที่ได้นำไปกำหนดขนาดของแผ่นไททานเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบคาง่าย จากนั้นนำเข้าสู่ กระบวนการจำลองการขึ้นรูปเพื่อพิจารณาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก และอิทธิพลที่ผลต่อ การเกิดรอยร่นของชิ้นงาน เมื่อได้ขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสม นำผลที่ได้ไปกำหนดขนาดความกว้าง ความยาวของคาง่ายและแผ่นจับยึดชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3.20 และ 3.21 โดยจะเพิ่มขนาดให้เท่ากับขนาดเนื้อที่ 20 มิลลิเมตร (157 x 190 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 3.20 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของคานและการกำหนดขนาดความกว้างยาว



ภาพที่ 3.21 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นจับยึดชิ้นงานและการกำหนดขนาดความกว้างยาว

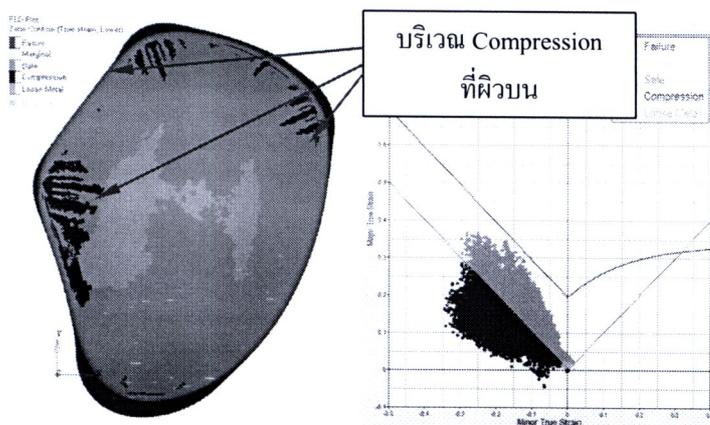
การกำหนดเงื่อนไขของการขึ้นรูปโดยจะกำหนดระยะของการเคลื่อนที่ที่สิ้นสุดซึ่งจะได้อาจจากการวิเคราะห์ของตัวโปรแกรมคือที่ 47 มิลลิเมตร ความเร็วในการขึ้นรูปในการศึกษานี้ได้กำหนดที่ความเร็วที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตร สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอยู่ที่ 0.365 (J.Adamus, 2006) และความดันในการจับยึดชิ้นงานจะเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนชิ้นงานฉีกขาด เงื่อนไขของการขึ้นรูปในการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 กำหนดเงื่อนไขของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแผ่นเรียบและแผ่นด้าย

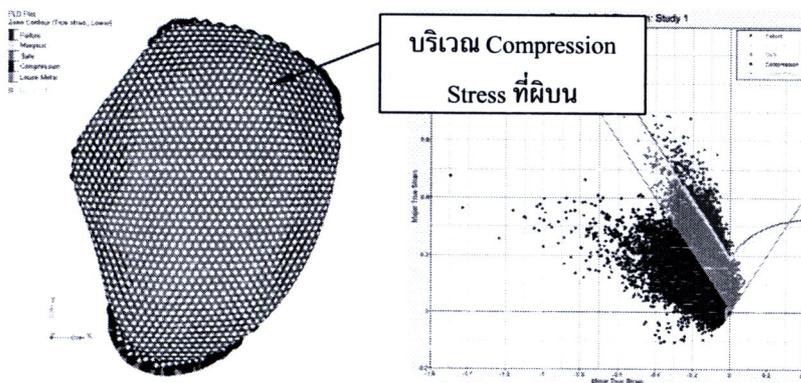
เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)	ค่าที่กำหนด
ระยะของการเคลื่อนที่	47 มิลลิเมตร
ความเร็วของการเคลื่อนที่	50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	0.365
แรงในการจับยึดชิ้นงาน	ใช้ความดันเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนชิ้นงานฉีกขาด

ลักษณะของผลการขึ้นรูปที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เป็นแผ่นเรียบและแผ่นด้ายแสดงในภาพที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ จากภาพจะแสดงบริเวณที่เกิดการฉีกขาด (Failure zone) บริเวณที่มีแนวโน้มจะ

ฉีกขาดแต่ยอมรับได้ (Marginal zone) บริเวณที่มีความปลอดภัย (Safe zone) บริเวณที่เกิดการอัด (Compression zone) และบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Loose metal zone) และแผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป ในการศึกษานี้ จะเน้นพิจารณาบริเวณที่เกิดการฉีกขาดและบริเวณที่เกิดการอัด เพราะเป็นบริเวณที่จะเกิดการฉีกขาดและจะเกิดรอยยับของชิ้นงาน



ภาพที่ 3.22 ลักษณะผลการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบ การเกิดการเกิดความเค้นอัด และผลจากแผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป



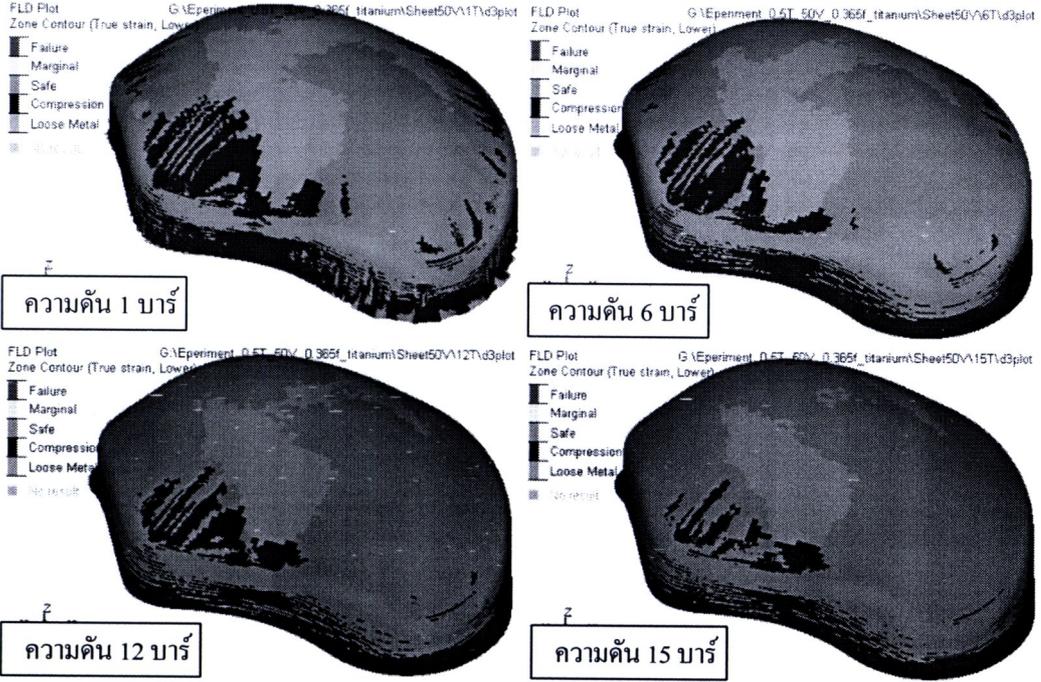
ภาพที่ 3.23 ลักษณะผลการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นตาข่าย การเกิดการเกิดความเค้นอัด และผลจากแผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป

บริเวณที่เกิดการฉีกขาดจะแสดงเป็นสีแดง บริเวณที่มีแนวโน้มจะฉีกขาดแต่ยอมรับได้จะแสดงเป็นเหลือง บริเวณที่มีความปลอดภัยจะแสดงเป็นเขียว บริเวณที่เกิดการอัดจะแสดงเป็น สีนํ้าเงินและบริเวณที่แผ่นโลหะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะแสดงเป็นสีฟ้า

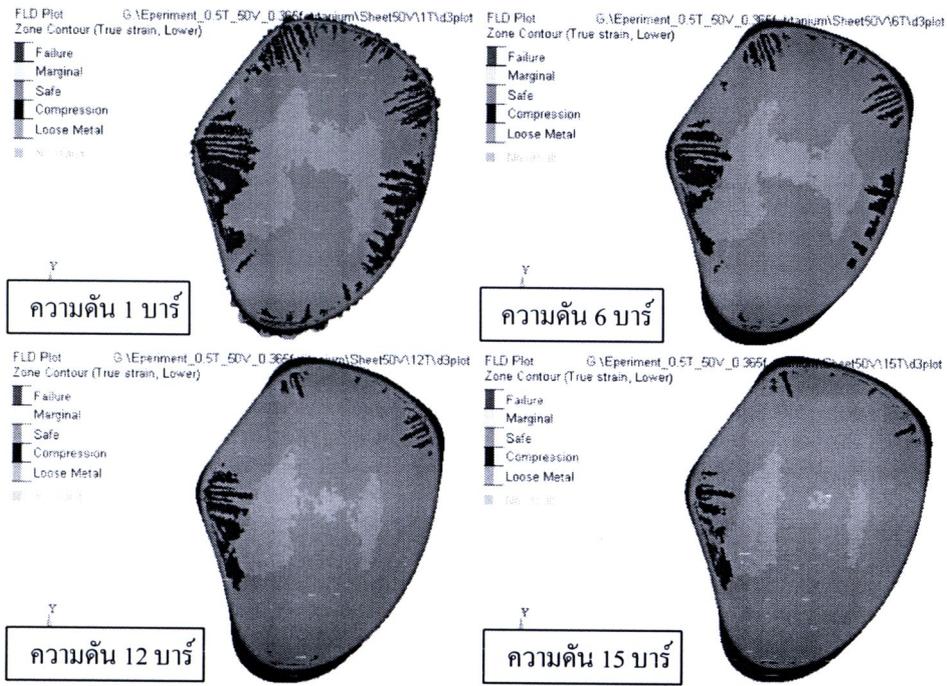


3.12.1 ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ ที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

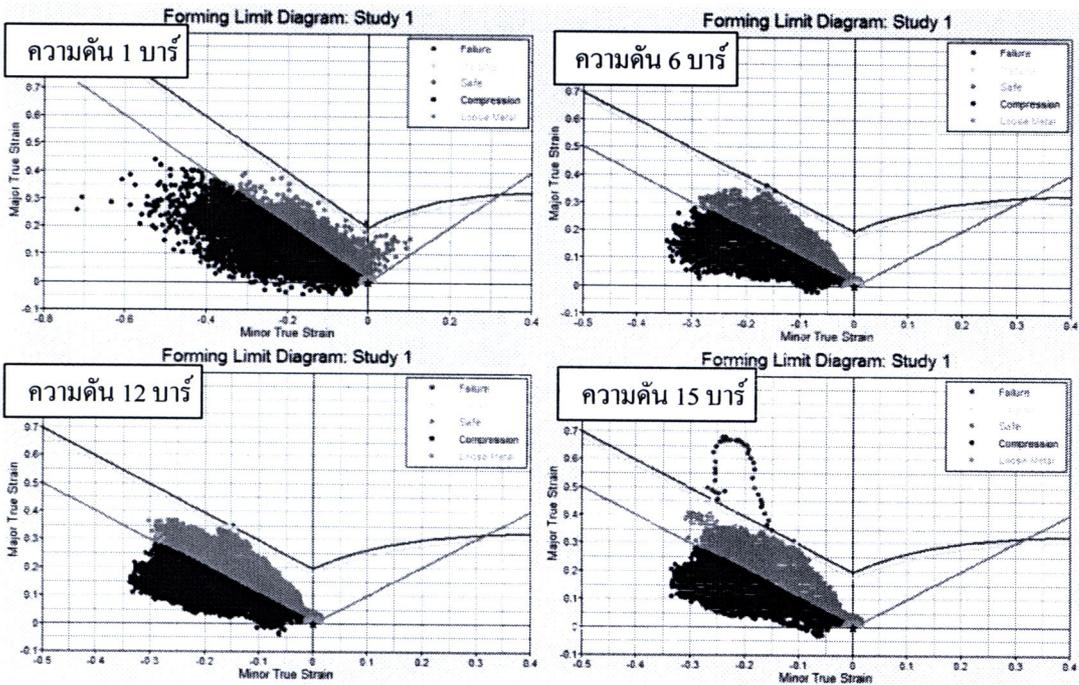
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้
ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.24 ถึง 3.26



ภาพที่ 3.24 ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที
ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์



ภาพที่ 3.25 ผลการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจัดขึ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ ในมุมมองภาพด้านบน



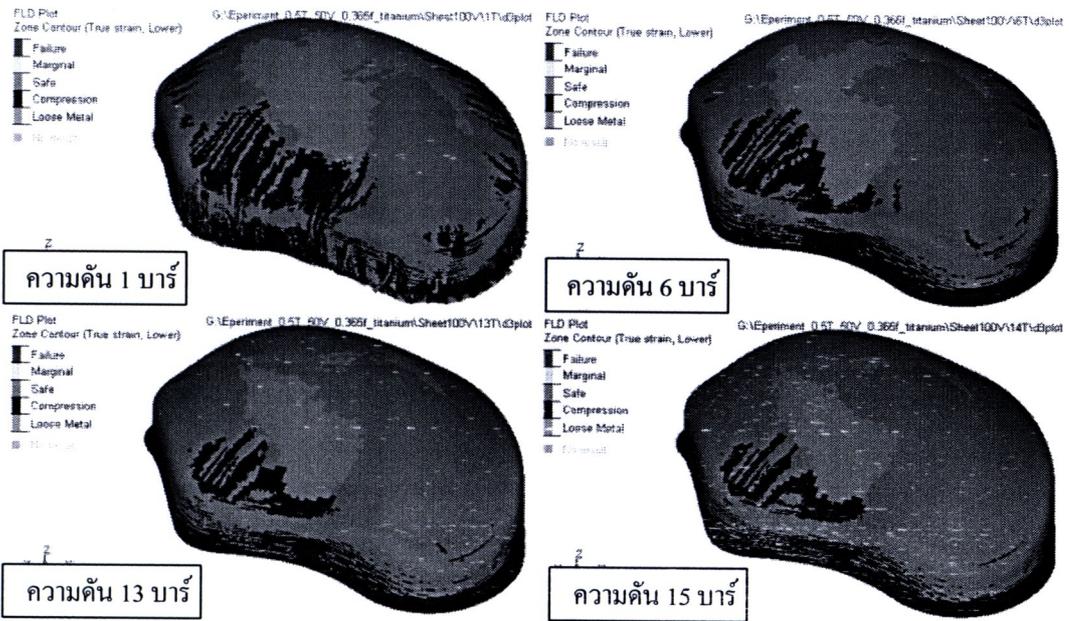
ภาพที่ 3.26 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจัดขึ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์

จากภาพที่ 3.24 และ 3.25 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ และภาพด้านบนของชิ้นงานตามลำดับ โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลง โดยพิจารณาจากการเกิดการอัด (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.26 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

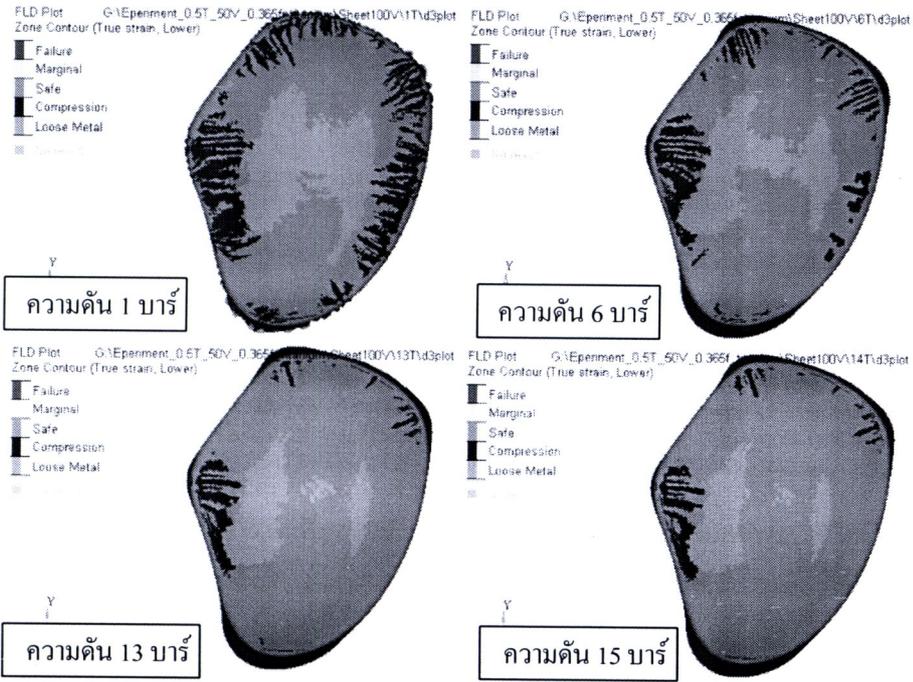
จากผลที่ได้ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 12 บาร์ โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.25 แสดงให้เห็นถึงบริเวณส่วนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัดน้อยที่สุด มีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัย (บริเวณที่เป็นสีเขียว) มากที่สุด และชิ้นงานไม่มีการฉีกขาด

ผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที

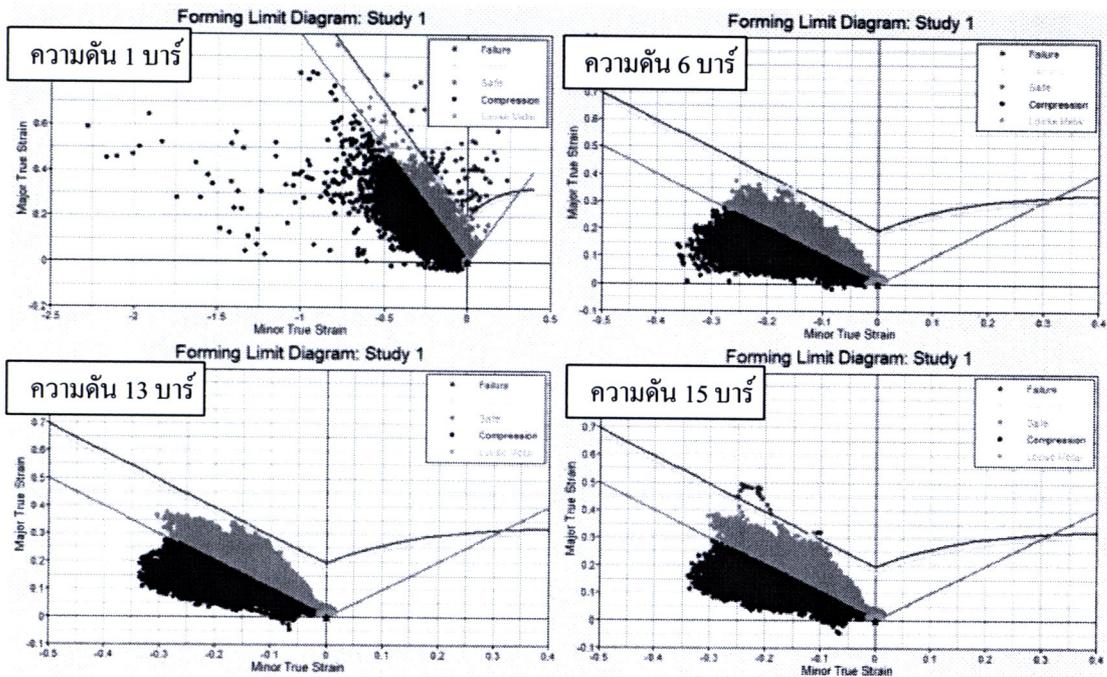
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.27 ถึง 3.29



ภาพที่ 3.27 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 13 และ 15 บาร์



ภาพที่ 3.28 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 13 และ 15 บาร์ ในมุมมองภาพด้านบน



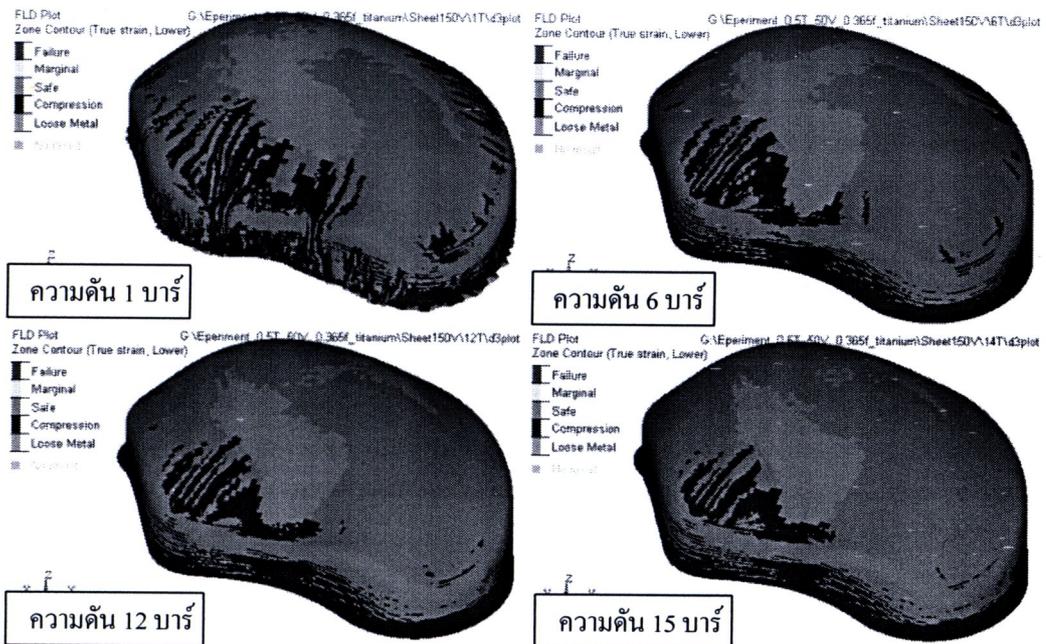
ภาพที่ 3.29 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์

จากภาพที่ 3.27 และ 3.28 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ และภาพด้านบนของชิ้นงานตามลำดับ โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลง โดยพิจารณาจากการเกิดการอัด (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.29 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

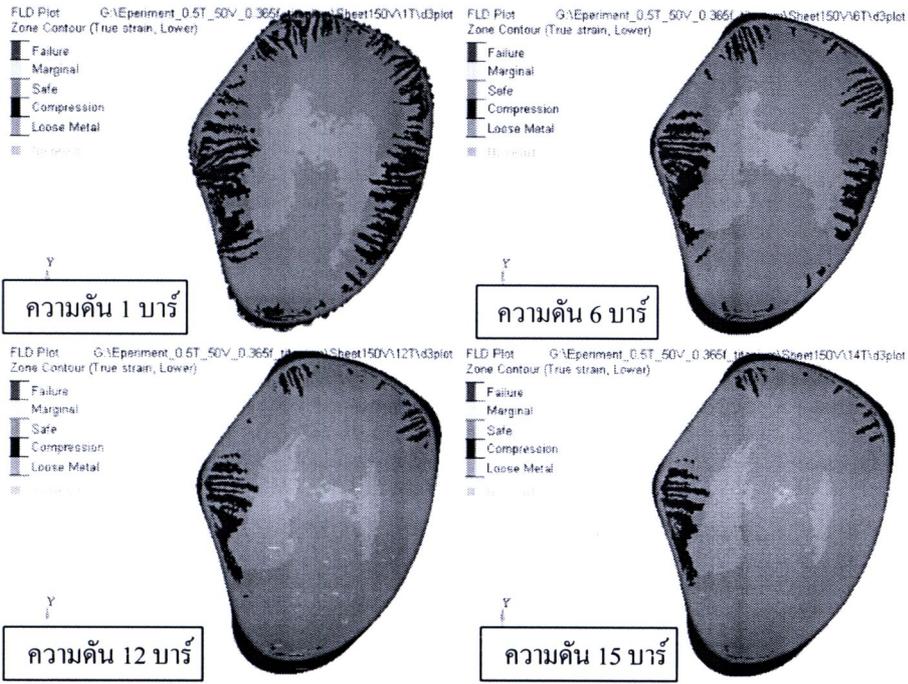
จากผลที่ได้ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 13 บาร์ โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.28 แสดงให้เห็นถึงบริเวณส่วนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัดน้อยที่สุด มีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัย (บริเวณที่เป็นสีเขียว) มากที่สุด และชิ้นงานไม่มีการฉีกขาด

ผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

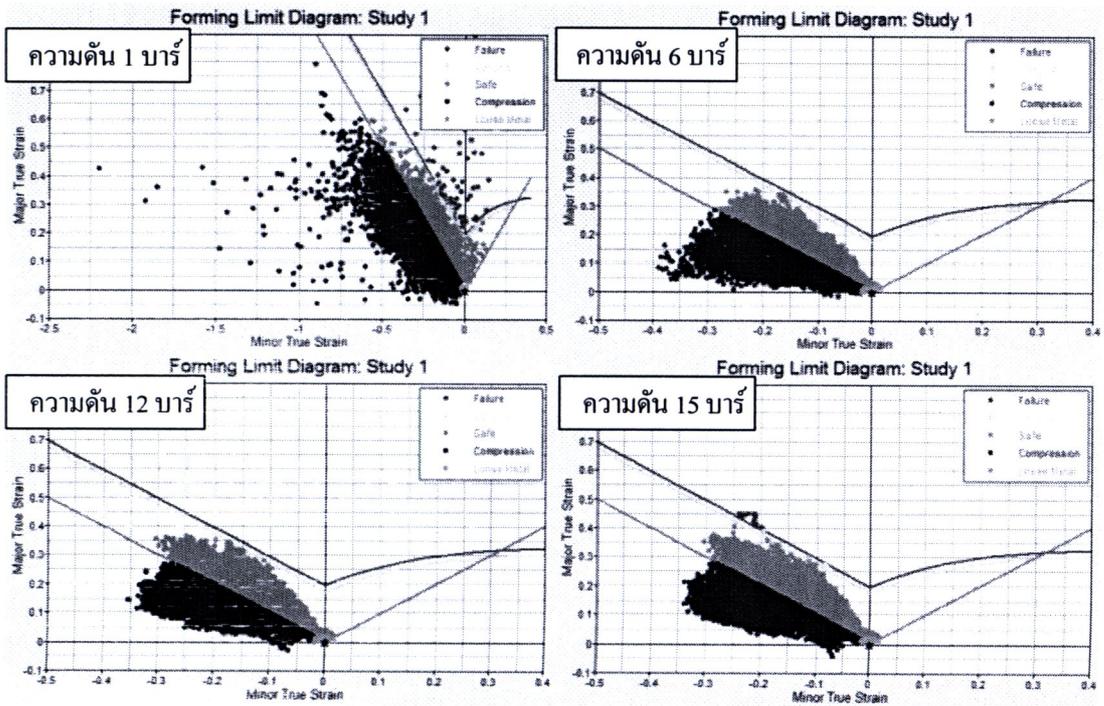
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.30 ถึง 3.32



ภาพที่ 3.30 ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์



ภาพที่ 3.31 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 13 และ 15 บาร์ ในมุมมองทางด้านบน



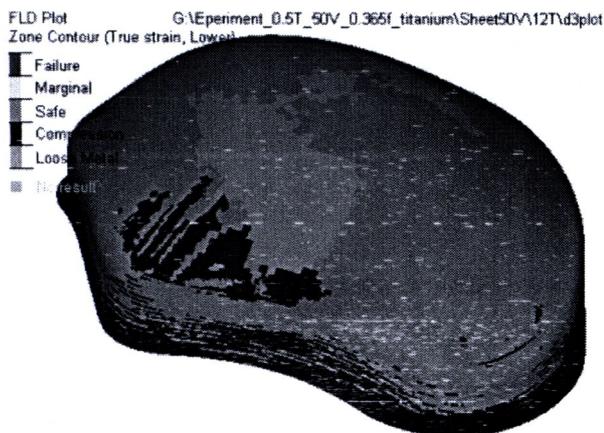
ภาพที่ 3.32 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 6, 12 และ 15 บาร์

จากภาพที่ 3.30 และ 3.31 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ และภาพด้านบนของชิ้นงาน โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลงโดยพิจารณาจากการเกิดการอัด (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.32 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 6, 12 และ 15 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

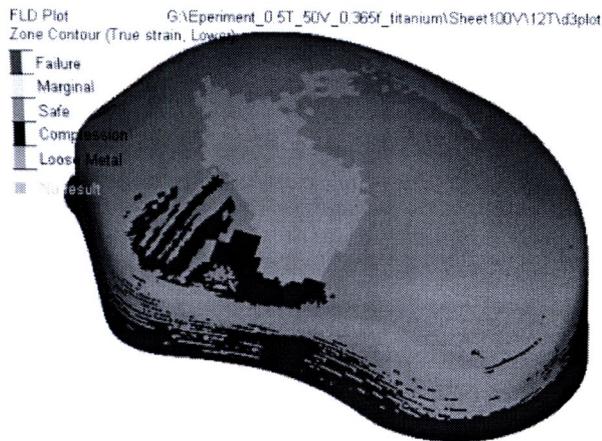
จากผลที่ได้ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 12 บาร์ โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.31 แสดงให้เห็นถึงบริเวณส่วนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัดน้อยที่สุด มีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัย (บริเวณที่เป็นสีเขียว) มากที่สุด และชิ้นงาน ไม่มีการฉีกขาด

การวิเคราะห์ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ

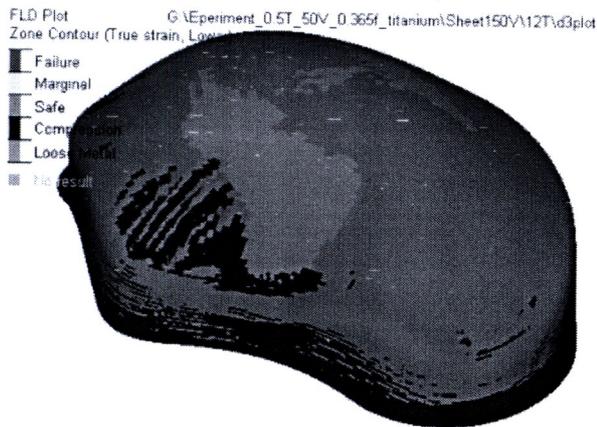
จากผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์การขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ผ่านมา นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นที่ความดันในการจับยึด ณ ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยในการศึกษานี้ได้เลือกความดันในการจับยึดที่ 12 บาร์ ใช้ในการเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นความดันที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปที่ความเร็ว 50 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ในส่วนความเร็วที่ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันที่เหมาะสมอยู่ที่ 13 บาร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วอื่น ๆ ผลจำลองและวิเคราะห์ได้แสดงในภาพที่ 3.33 ถึง 3.35



(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

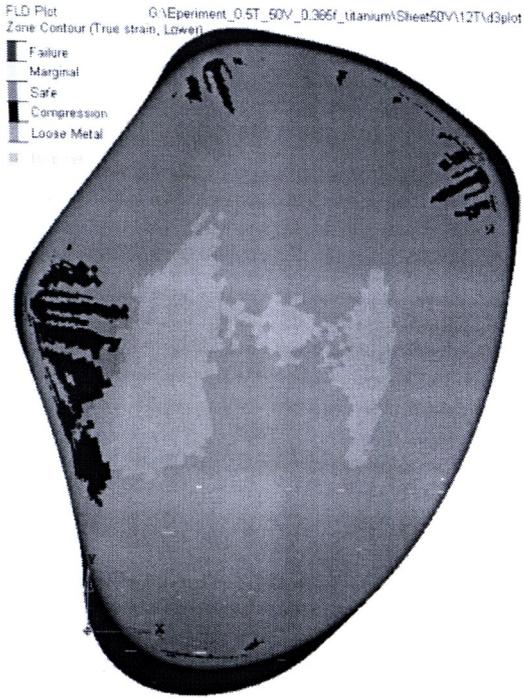


(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที

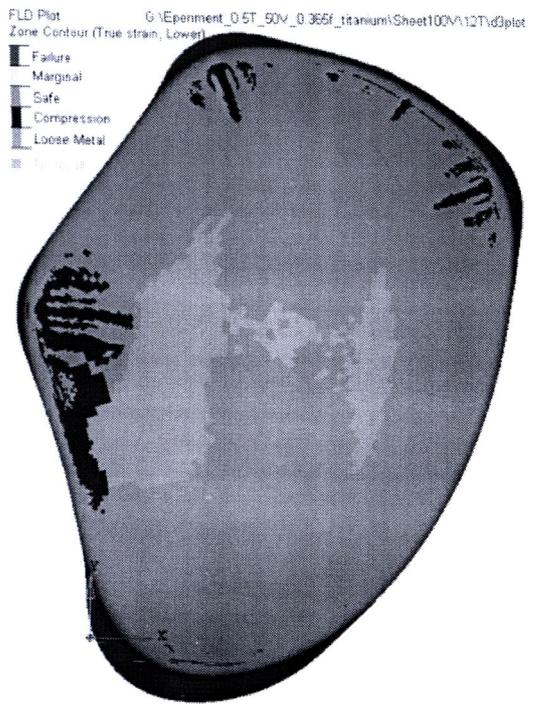


(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

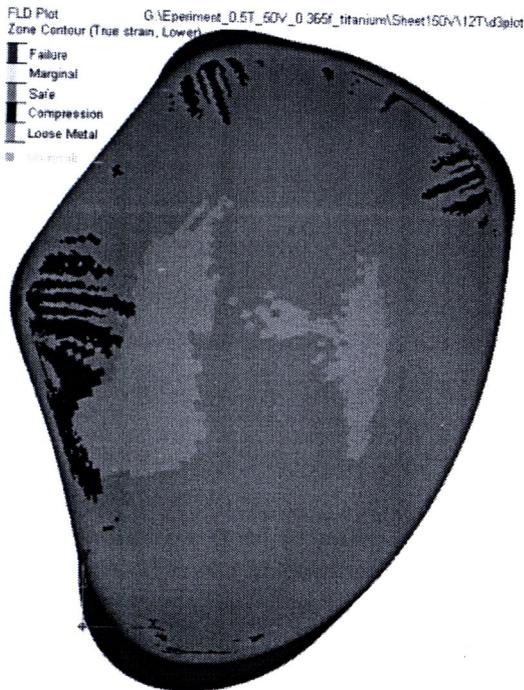
ภาพที่ 3.33 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ ที่ความดันในการจับยึดที่ 12 บาร์ ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

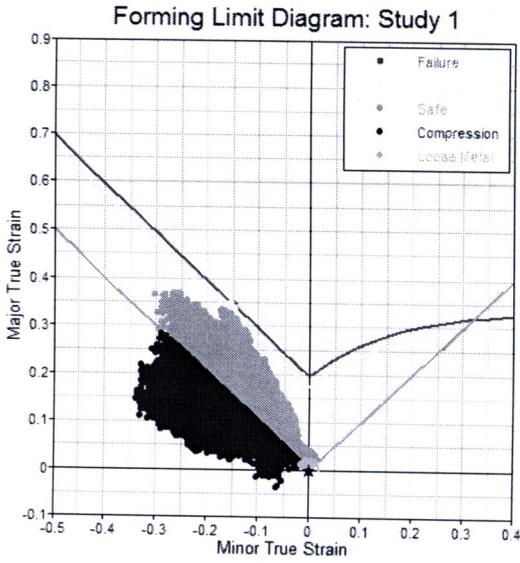


(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที

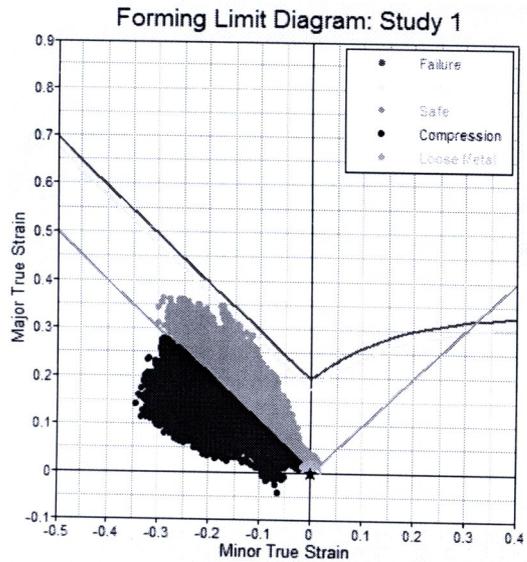


(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

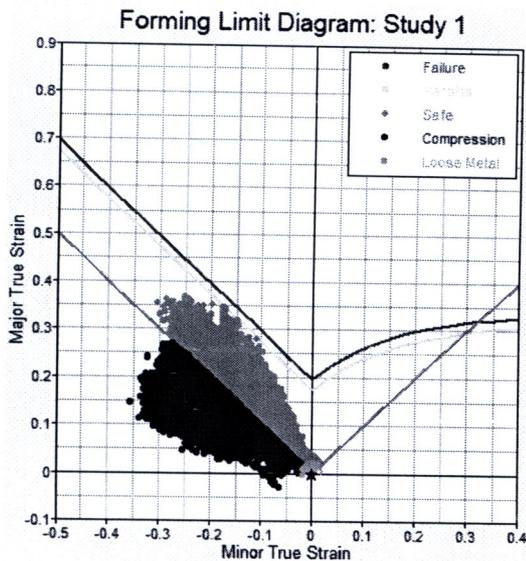
ภาพที่ 3.34 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความดันในการจับยึดที่ 12 บาร์ ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ในมุมมองด้านบน



(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3.35 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความดันในการจับยึดที่ 12 บาร์ ที่ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 3.33 และ 3.34 แสดงถึงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึด 12 บาร์ และที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ การฝึกขาดและการเกิดรอยขนบขึ้นงาน เมื่อพิจารณาส่วนบนของชิ้นงาน ภาพที่ 3.35 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการขึ้นรูปขึ้นงาน การเกิดบริเวณการอัด ของชิ้นงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และภาพที่ 3.35 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ แสดงถึงปริมาณและ

การกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงานจะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟไม่ต่างกัน

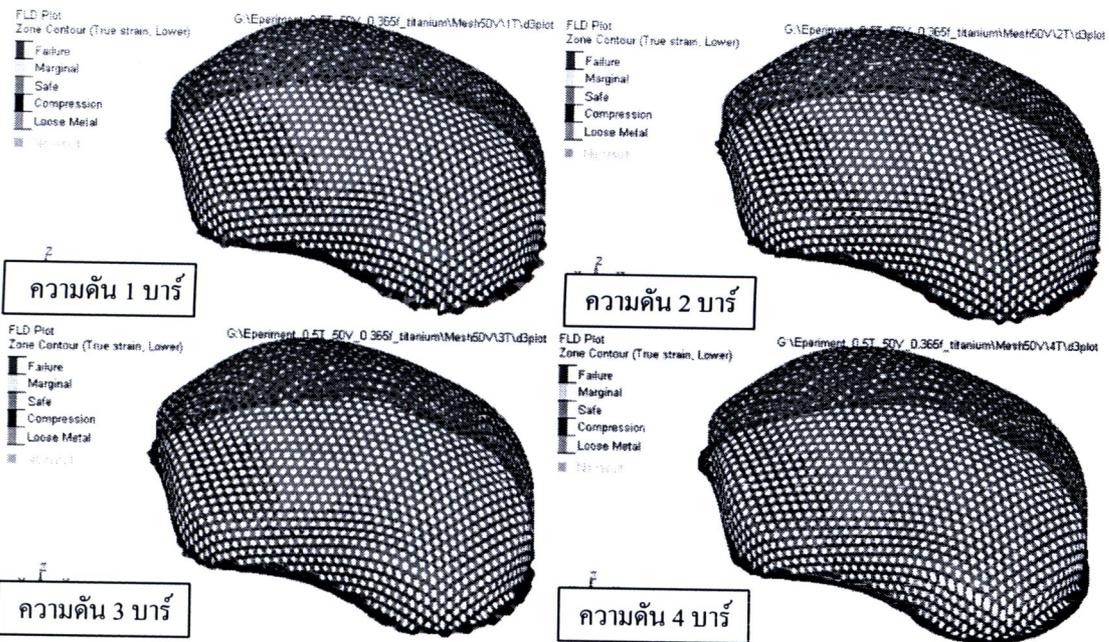
สรุปผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ

จากผลที่ได้สรุปได้ว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในการขึ้นรูป จาก 50 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็น 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยใช้ความดันในการจับยึดเดียวกันที่ 12 บาร์ โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.34 แสดงให้เห็นถึงบริเวณสวนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัด และมีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัย มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ผลของความเร็วในการขึ้นรูปมีผลน้อยมากต่อการเกิดรอยย่นบนผิวชิ้นงาน

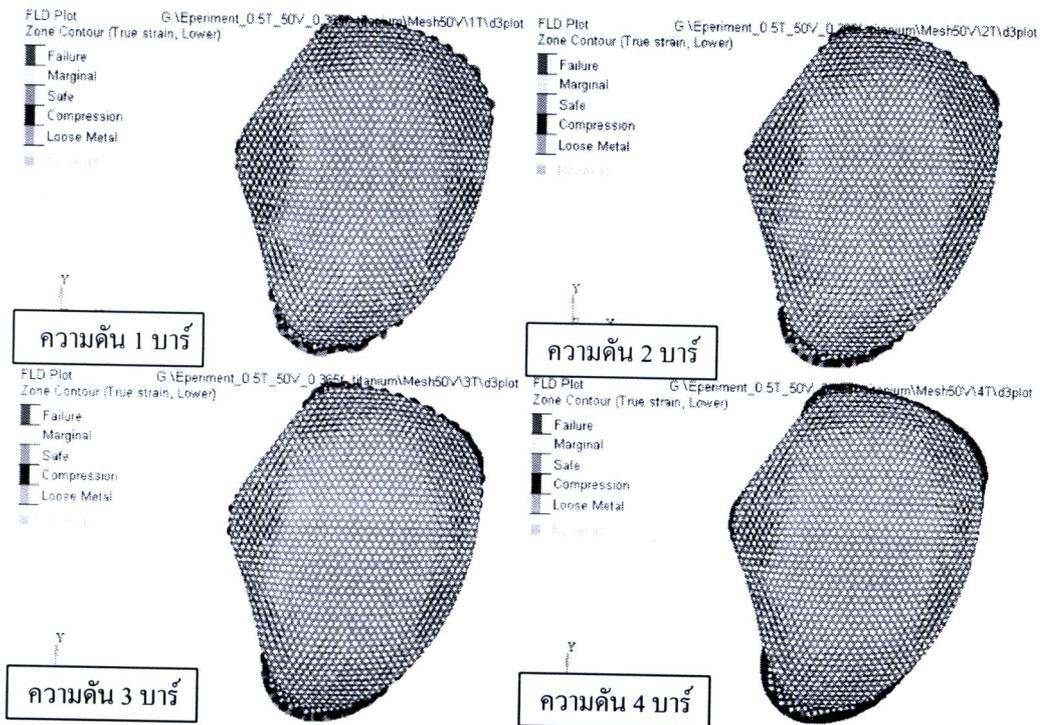
3.12.2 ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นตาข่าย

ที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

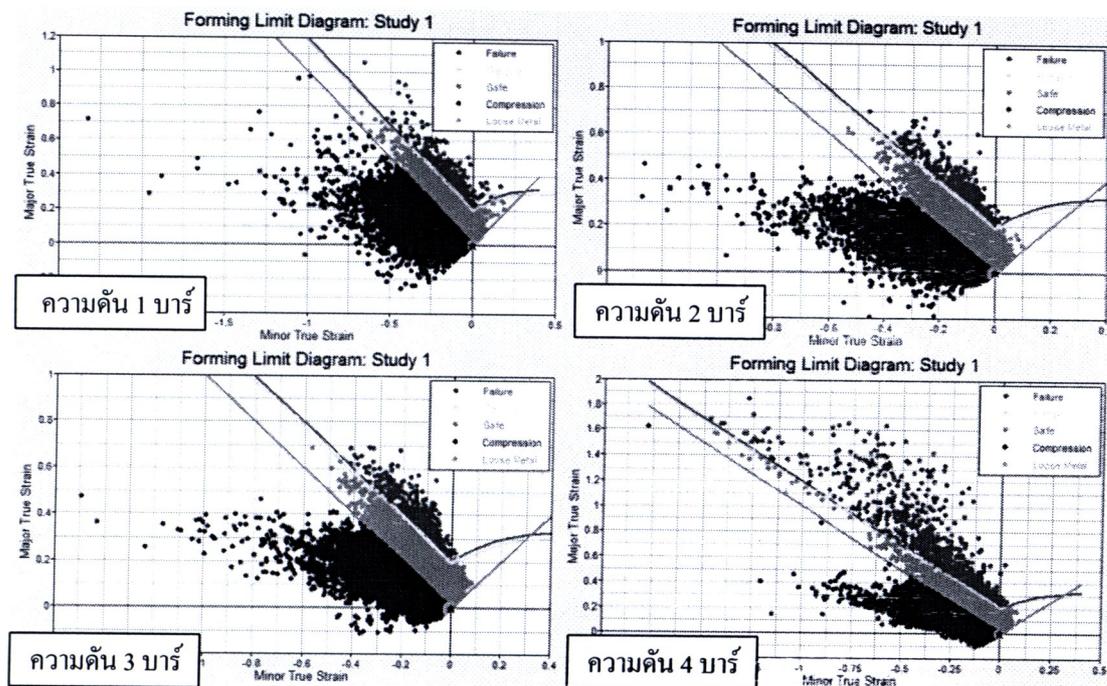
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.36 ถึง 3.38



ภาพที่ 3.36 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์



ภาพที่ 3.37 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ ในมุมมองทางด้านบน



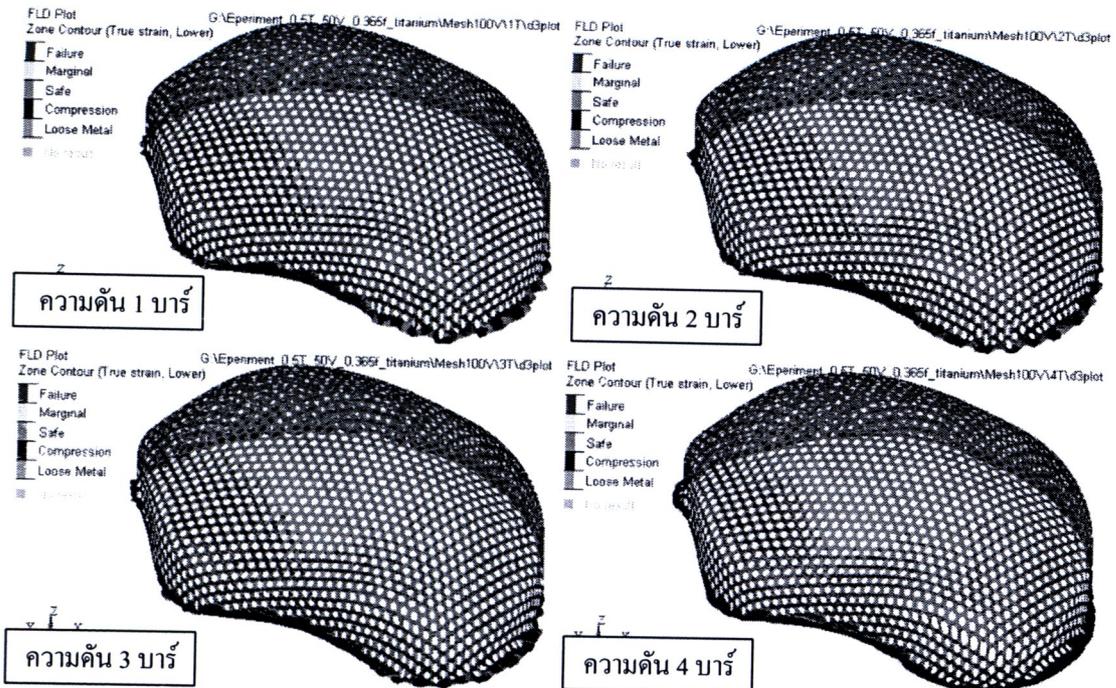
ภาพที่ 3.38 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์

จากภาพที่ 3.36 และ 3.37 แสดงถึงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ ในมุมมองภาพ 3 มิติ และภาพด้านบนของชิ้นงานตามลำดับ โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลงโดยพิจารณาจากการเกิดการอัด (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.38 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของ การเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงานยกเว้นที่ความดัน 4 บาร์ เอลิเมนต์ที่มีการฉีกขาด มีปริมาณที่สูงและมีการกระตัวที่กว้างในบริเวณของการฉีกขาด

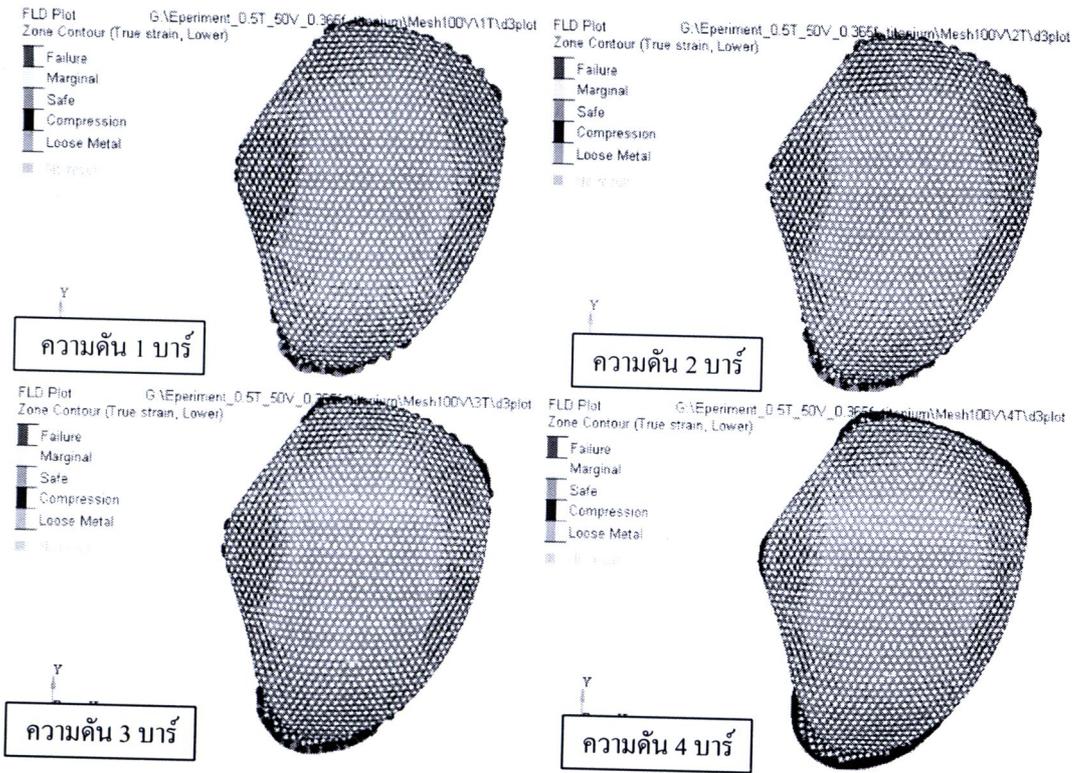
จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 3 บาร์ เนื่องจากเป็นความดันในการจับยึดชิ้นงานสูงสุดที่สามารถทำได้ก่อนการฉีกขาดที่เห็นอย่างชัดเจน และจากภาพที่ 3.38 แสดงให้เห็นว่าบริเวณสวนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัดน้อยที่สุด และมีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัยมากที่สุด

ที่ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที

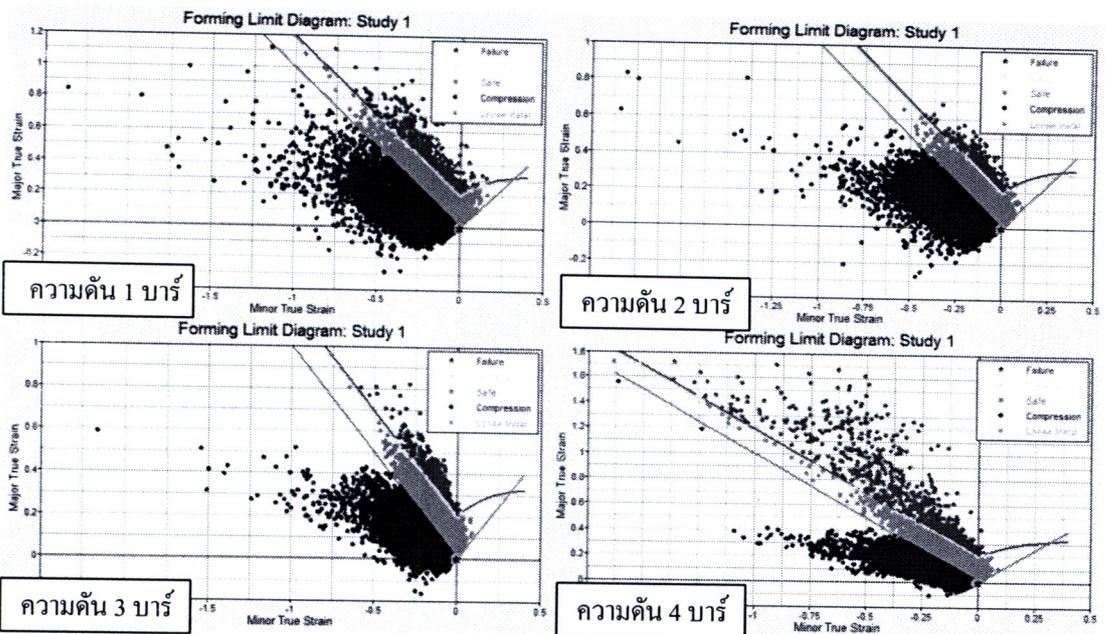
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.39 ถึง 3.41



ภาพที่ 3.39 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์



ภาพที่ 3.40 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ ในมุมมองภาพด้านบน



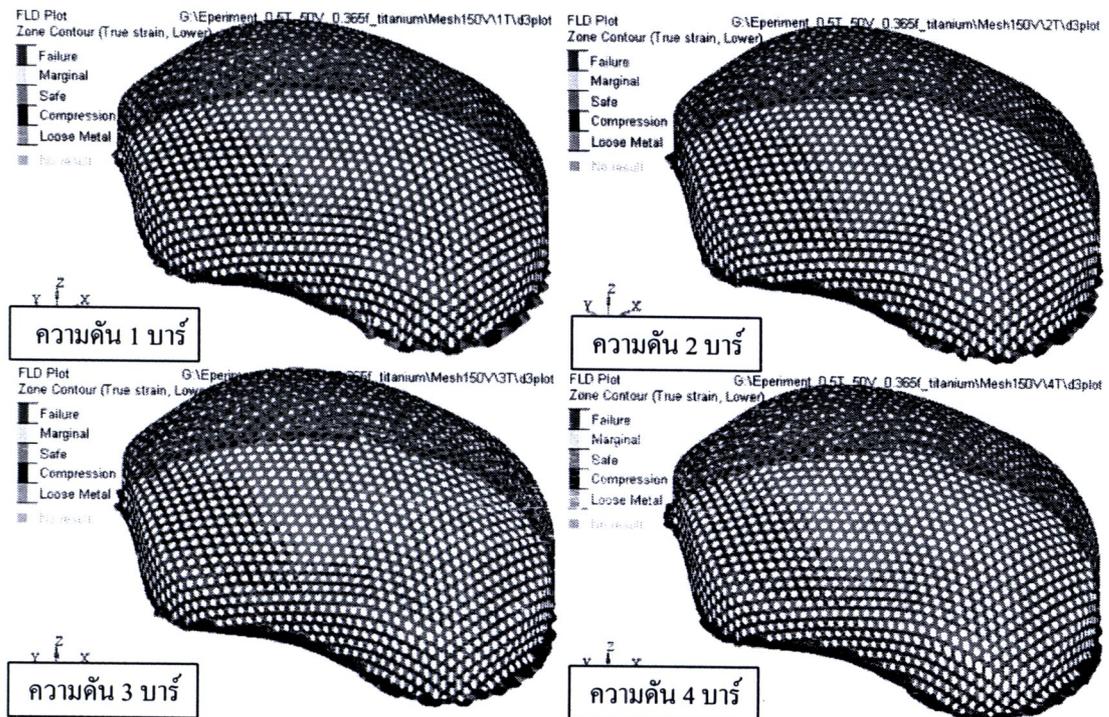
ภาพที่ 3.41 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาทีที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์

จากภาพที่ 3.39 และ 3.40 แสดงถึงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ และภาพด้านบนของชิ้นงานตาลำดับ โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลงโดยพิจารณาจากการเกิดการอัด (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.41 แสดงกราฟพืดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงานยกเว้นที่ความดัน 4 บาร์ เอลิเมนต์ที่มีการฉีกขาดมีปริมาณที่สูงและมีการกระจายตัวที่กว้างในบริเวณของการฉีกขาด

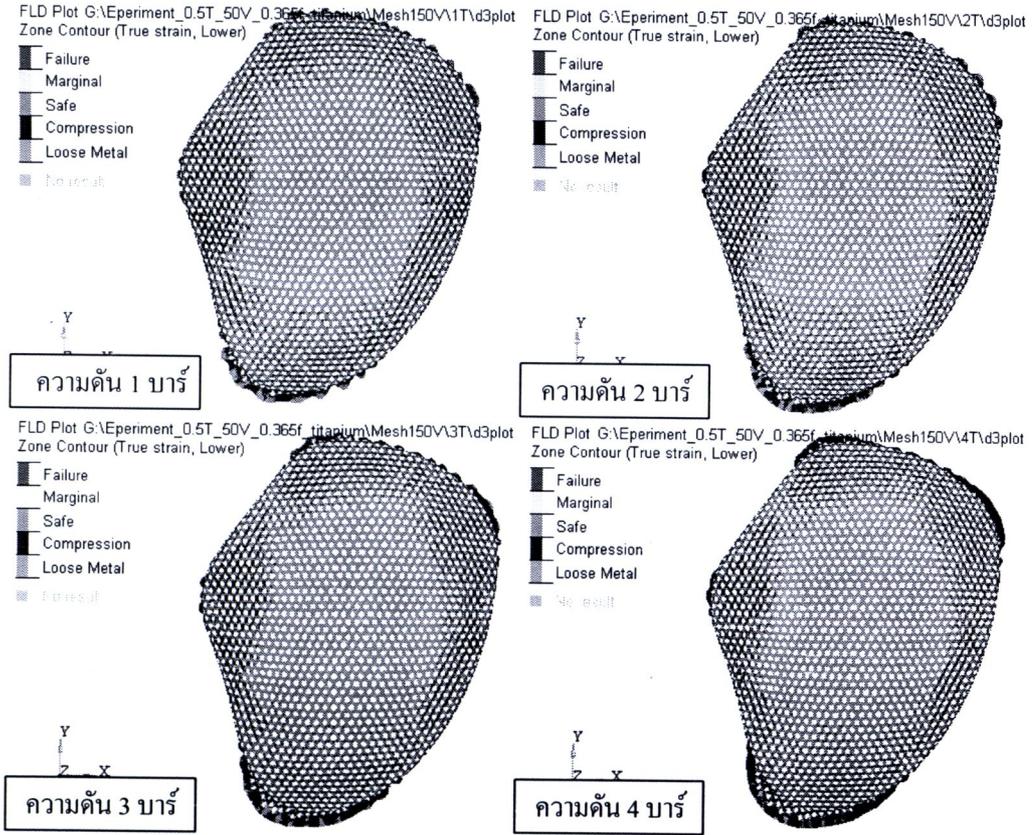
จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 3 บาร์ เนื่องจากเป็นความดันในการจับยึดชิ้นงานสูงสุดที่สามารถทำได้ก่อนการฉีกขาดที่เห็นอย่างชัดเจน และจากภาพที่ 3.40 แสดงให้เห็นว่าบริเวณสวนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัดน้อยที่สุด และมีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัยมากที่สุด

ที่ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

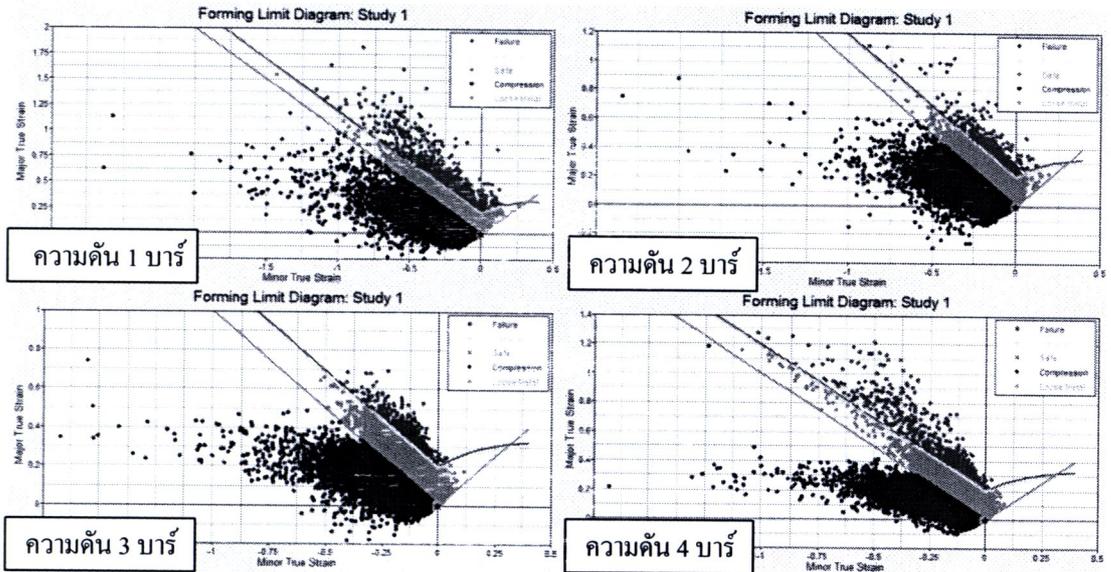
ผลการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ความดันในการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 3.42 ถึง 3.44



ภาพที่ 3.42 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททานเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์



ภาพที่ 3.43 ผลจากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ ในมุมมองภาพด้านบน



ภาพที่ 3.44 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 1, 2, 3 และ 4 บาร์

จากภาพที่ 3.42 และ 3.43 แสดงถึงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ และภาพด้านบนของชิ้นงานตาลำดับ โดยการฉีกขาด (บริเวณที่เป็นสีแดง) และการเกิดรอยย่น (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) บนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยย่นในชิ้นงานจะลดลง โดยพิจารณาจากการเกิดการฉีก (บริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน) ของชิ้นงาน และภาพที่ 3.44 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของการเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นของเอลิเมนต์ของชิ้นงานยกเว้นที่ความดัน 4 บาร์ เอลิเมนต์ที่มีการฉีกขาดมีปริมาณที่สูงและมีการกระจายตัวที่กว้างในบริเวณของการฉีกขาด

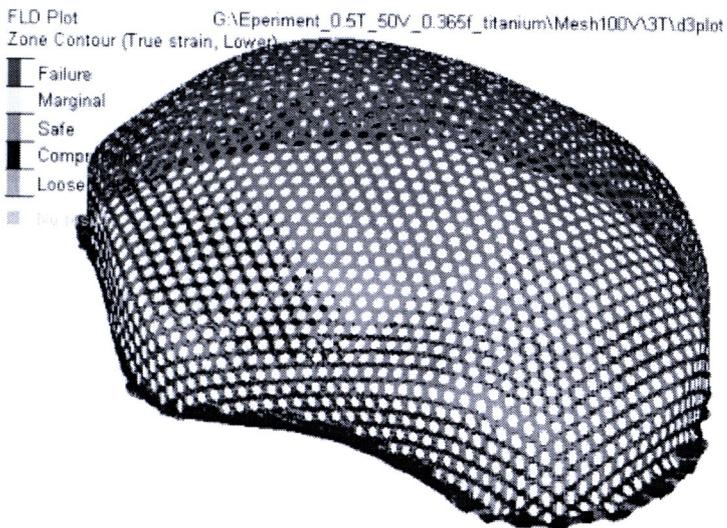
จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมอยู่ที่ 3 บาร์ เนื่องจากเป็นความดันในการจับยึดชิ้นงานสูงสุดที่สามารถทำได้ก่อนการฉีกขาดที่เห็นอย่างชัดเจน และจากภาพที่ 3.43 แสดงให้เห็นว่าบริเวณส่วนบนของชิ้นงานที่เกิดการฉีกน้อยที่สุด และมีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัยมากที่สุด

การวิเคราะห์ผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่าย

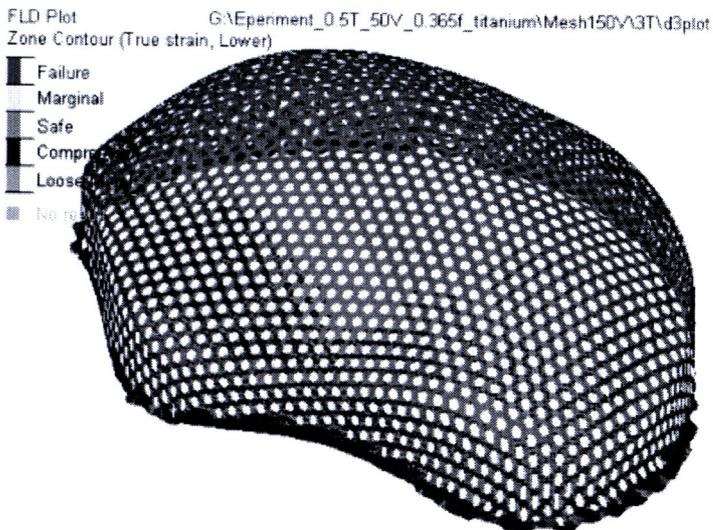
จากผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ผ่านมา นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นที่ความดันในการจับยึด ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยในการศึกษานี้ได้เลือกความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์ ใช้ในการเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นความดันที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ผลจำลองที่ได้แสดงในภาพที่ 3.45 ถึง 3.47



(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

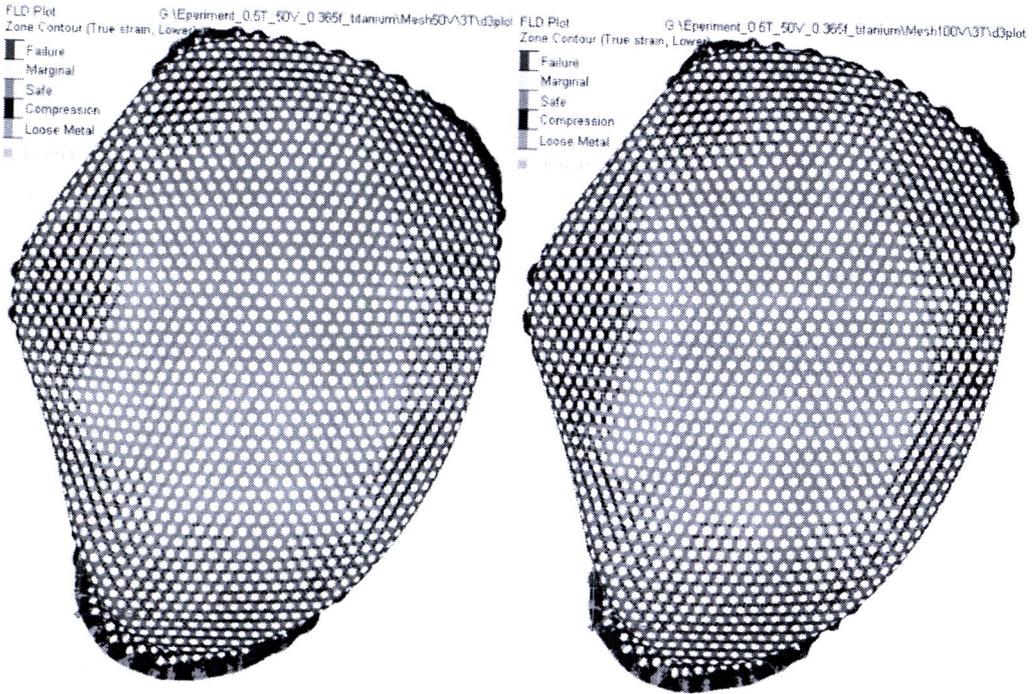


(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที



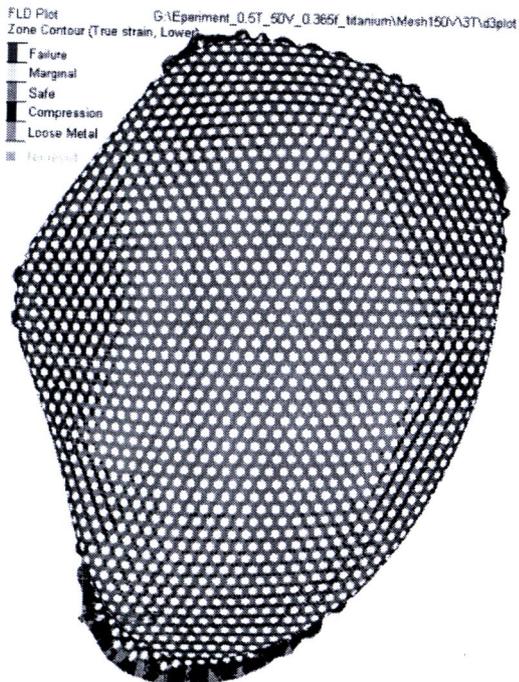
(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3.45 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์ ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที



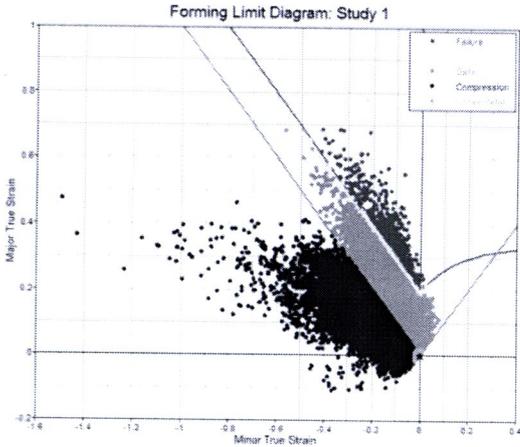
(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที

(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที

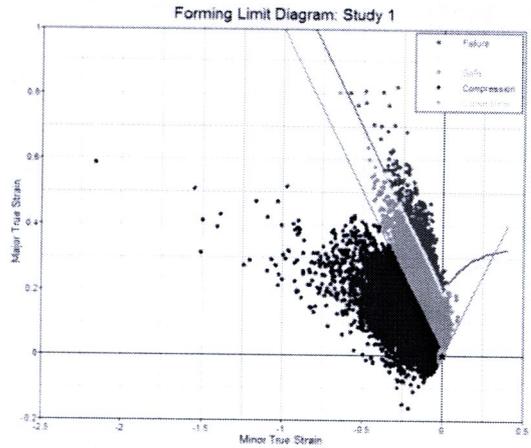


(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

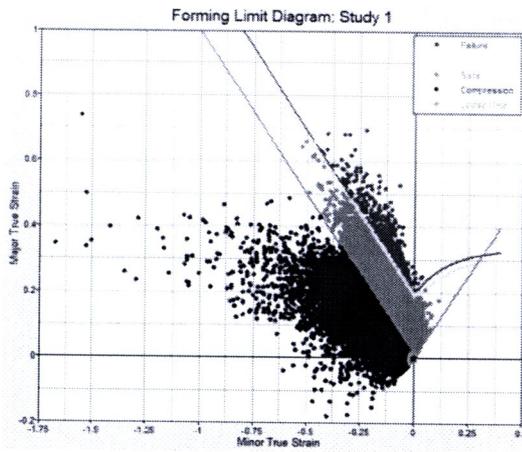
ภาพที่ 3.46 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์ ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ในมุมมองด้านบน



(ก) ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ข) ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ค) ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

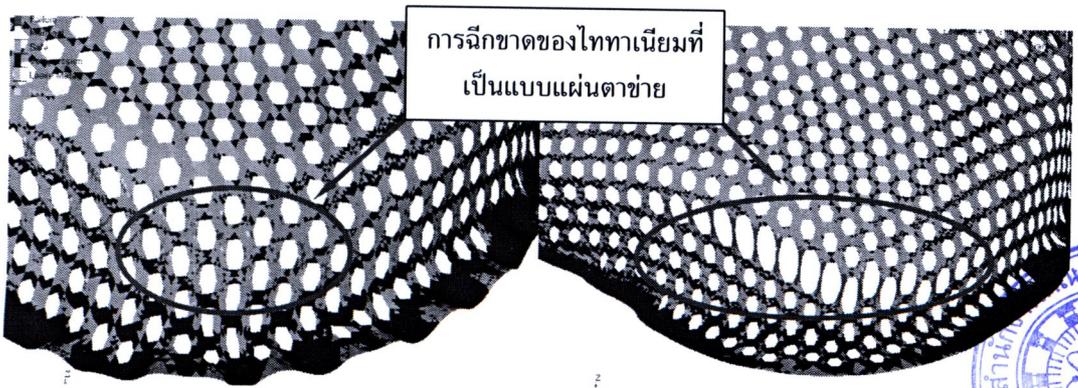
ภาพที่ 3.47 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นค้ำยที่ความดันในการจับยึดที่ 3 บาร์ ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 3.45 และ 3.46 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ และที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ในมุมมองภาพ 3 มิติ และภาพด้านบนของชิ้นงานตามลำดับ โดยแสดงในรูปของคอนทัวร์ของเคส การฉีกขาดและการเกิดรอยยับบนชิ้นงาน จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดการเกิดรอยยับในชิ้นงานจะลดลงโดยพิจารณาจากคอนทัวร์ของการเกิดการอัดของชิ้นงาน และภาพที่ 3.47 แสดงกราฟขีดจำกัดการขึ้นรูปของชิ้นงานที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4 บาร์ แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของเกิดการฉีกขาดและการเกิดรอยยับของเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

สรุปผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นค้ำย

จากผลที่ได้สรุปได้ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในการขึ้นรูป จาก 50 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็น 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยใช้ความดันในการจับยึดเดียวกันที่ 3 บาร์ โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.46 แสดงให้เห็นถึงบริเวณส่วนบนของชิ้นงานที่เกิดการอัด และมีบริเวณที่ชิ้นงานมีความปลอดภัย มีค่า

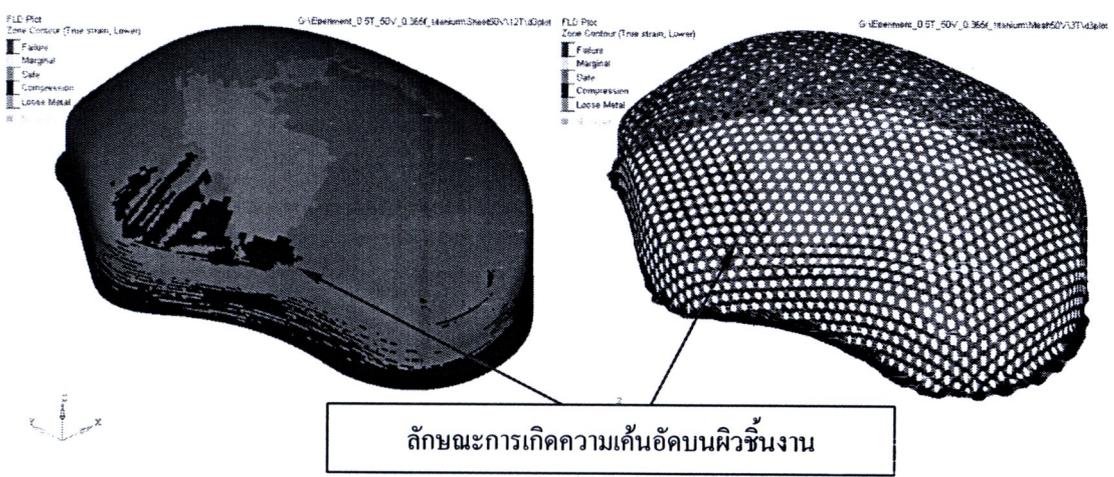
ใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ผลของความเร็วในการขึ้นรูปมีผลน้อยมากต่อการเกิดรอยร่นบนผิวชิ้นงาน และในการฉีกขาดของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายนั้นที่ความดันในการจับยึด 1 บาร์ และ 4 บาร์ นั้นการฉีกขาดที่เกิดขึ้นจะเกิดที่ผนังของชิ้นงานและจะเกิดเฉพาะเอลิเมนต์เท่านั้นพื้นผิวชิ้นงานจะไม่แยกออกจากกันดังแสดงในภาพที่ 3.48



ภาพที่ 3.48 การเกิดการฉีกขาดที่เอลิเมนต์ของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย

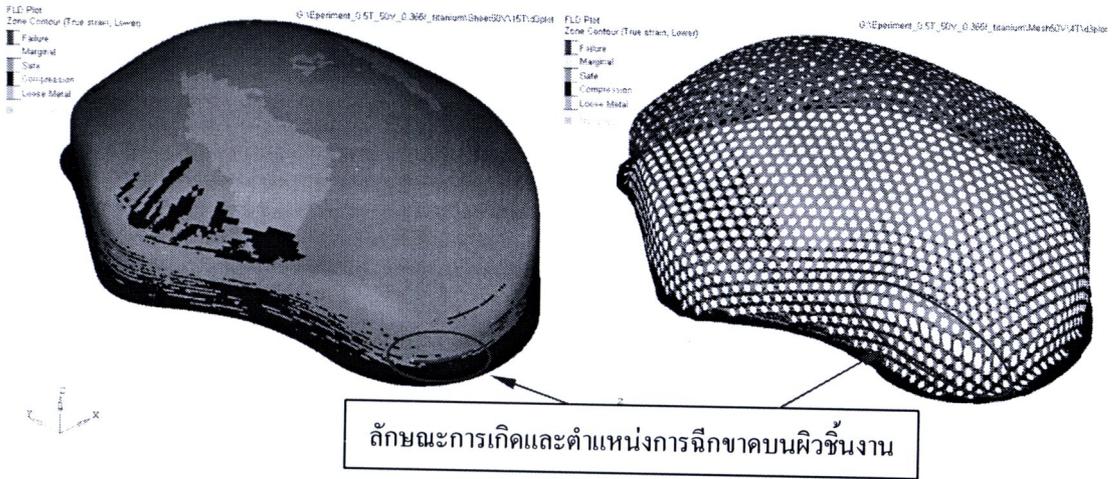
3.12.3 การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย

จากผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายที่ผ่านมานำผลที่ได้มาเปรียบเทียบโดยแผ่นเรียบนำผลที่ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึด 12 บาร์ และแผ่นตาข่ายนำผลที่ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ เป็นกรณีที่ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและเกิดรอยร่นน้อยที่สุดดังแสดงในภาพที่ 3.49



ภาพที่ 3.49 การเปรียบเทียบการเกิดความเค้นอัดจากการจำลองการขึ้นรูป ของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย

และเปรียบเทียบ โดยแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึด 15 บาร์ และแผ่นตาข่ายที่ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความดันในการจับยึด 4 บาร์ เป็นกรณีที่ขึ้นงานเกิดการฉีกขาดดังแสดงในภาพที่ 3.50



ภาพที่ 3.50 การเปรียบเทียบการเกิดการฉีกขาด จากการจำลองการขึ้นรูปของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย

จากภาพที่ 3.49 และ 3.50 เมื่อพิจารณาการบริเวณที่เกิดการอัดของชิ้นงานจะเห็นได้ว่าจะเกิดในตำแหน่งปีก หน้าและส่วนบนของชิ้นงานในลักษณะที่เหมือนกัน และในแผ่นเรียบนั้นการอัดการเกิดแบบกระจุกตัว ส่วนแผ่นตาข่ายจะเกิดแบบกระจายตัวทั่วบริเวณขอบของผิวบนของชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3.49 ในส่วนของการฉีกขาดนั้นจะเกิดในบริเวณตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 3.50

3.13 สรุป

การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการดึงขึ้นรูปของไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย โดยใช้โปรแกรม HYPERFORM V.9 โดยทำงานร่วมกับ โปรแกรม LS-DYNA ANS ชิ้นงานต้นแบบที่ทำการศึกษาเป็นชิ้นงานเฉพาะที่ไม่สมมาตร การกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ กำหนดเป็นดังนี้ การกำหนดเอลิเมนต์กำหนดเป็น โครงสร้างแบบเปลือกเป็นเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมที่กำหนดให้มี 5 จุด อินทิเกรตตามความหนาและกำหนดให้เอลิเมนต์เป็น Adaptive Meshing ไททาเนียมที่ใช้เป็น CP Titanium G2, JIS-2 TP 340 คุณสมบัติของวัสดุเป็น แอนไอโซโทรปิกพลาสติก-อีลาสติก พฤติกรรมความแข็งแรงของวัสดุใช้สมการกำลังในการกำหนดพฤติกรรม

จากผลการจำลองการดึงขึ้นรูปลักษณะของไททาเนียมของการศึกษานี้ นำมาวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดรอยยับและการฉีกขาดของชิ้นงาน รวมไปถึงการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ขนาดของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่เหมาะสมของการศึกษานี้เป็น 157 x 190 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่กว้างที่สุดและยาวที่สุดของแผ่นชิ้นงานเปล่า)

2) อิทธิพลที่เกิดจากแรงในการจับยึดชิ้นงาน แรงในการจับยึดชิ้นงานจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดรอยย่นที่บริเวณปีกและผนังของชิ้นงาน รวมไปถึงส่วนบนของชิ้นงานในบริเวณที่ใกล้ขอบของชิ้นงาน แรงในการจับยึดที่น้อยรอยย่นที่ปีกและผนังมากและเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดให้สูงขึ้นรอยย่นที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงแต่ถ้าแรงในการจับยึดมากเกินไปชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดได้

3) อิทธิพลที่เกิดจากความเร็วในการดึงขึ้นรูป เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงขึ้นรูปผลที่ได้คือไม่มีการลดลงของรอยย่นบนชิ้นงาน และตำแหน่งของการฉีกขาดทุกความเร็วของการดึงขึ้นรูปอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ความดันในการจับยึดชิ้นงานอยู่ที่ความดันเดียวกัน

4) อิทธิพลที่เกิดจากลักษณะของชิ้นงานต้นแบบและลักษณะของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่ทำการขึ้นรูป จากผลการจำลองการขึ้นรูปโดยเฉพาะแผ่นไททาเนียมรูปลักษณะที่โค้งนูนในส่วนบนและโค้งเว้าในขอบด้านข้างของชิ้นงานเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยย่นถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการฉีกขาดก็ตามชิ้นงานก็ยังคงเกิดรอยย่นอยู่