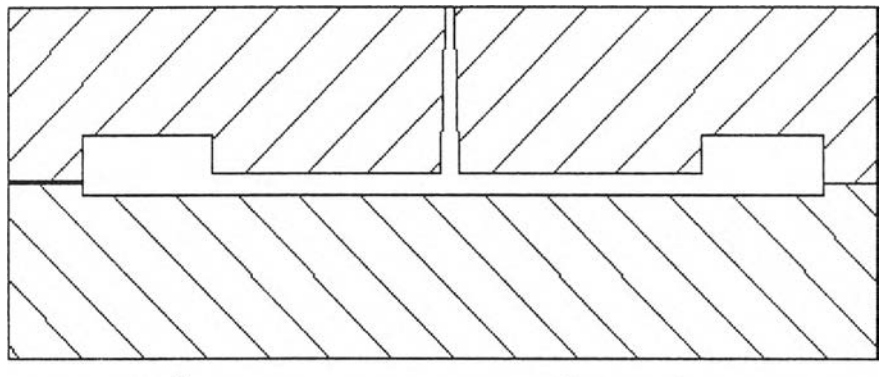
บทที่ 5

การวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์

จากบทที่ผ่าน ๆ มาเราได้เห็นถึงวิธีการออกแบบผลิตภัณฑ์และการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดสำหรับชิ้นงานพลาสติกแล้ว ในบทนี้เราจะแสดงให้เป็นการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม MOLDFLOW ช่วยในการวิเคราะห์

การเข้าสู่แม่พิมพ์ของพลาสติก



รูปที่ 5.1 รูปแสดงภาพตัดของแม่พิมพ์รูปร่างคล้ายจาน

จากการสังเกตุแม่พิมพ์ที่มีลักษณะคล้ายจานดังในรูปที่ 5.1 มีขอบหนา และมีทางเข้าของพลาสติกเหลวอยู่ที่จุดศูนย์กลาง ดังรูปข้างบน จะพบว่าแม้ว่าขบวนการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์จะซับซ้อน แต่ก็สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

1. Filling Phase

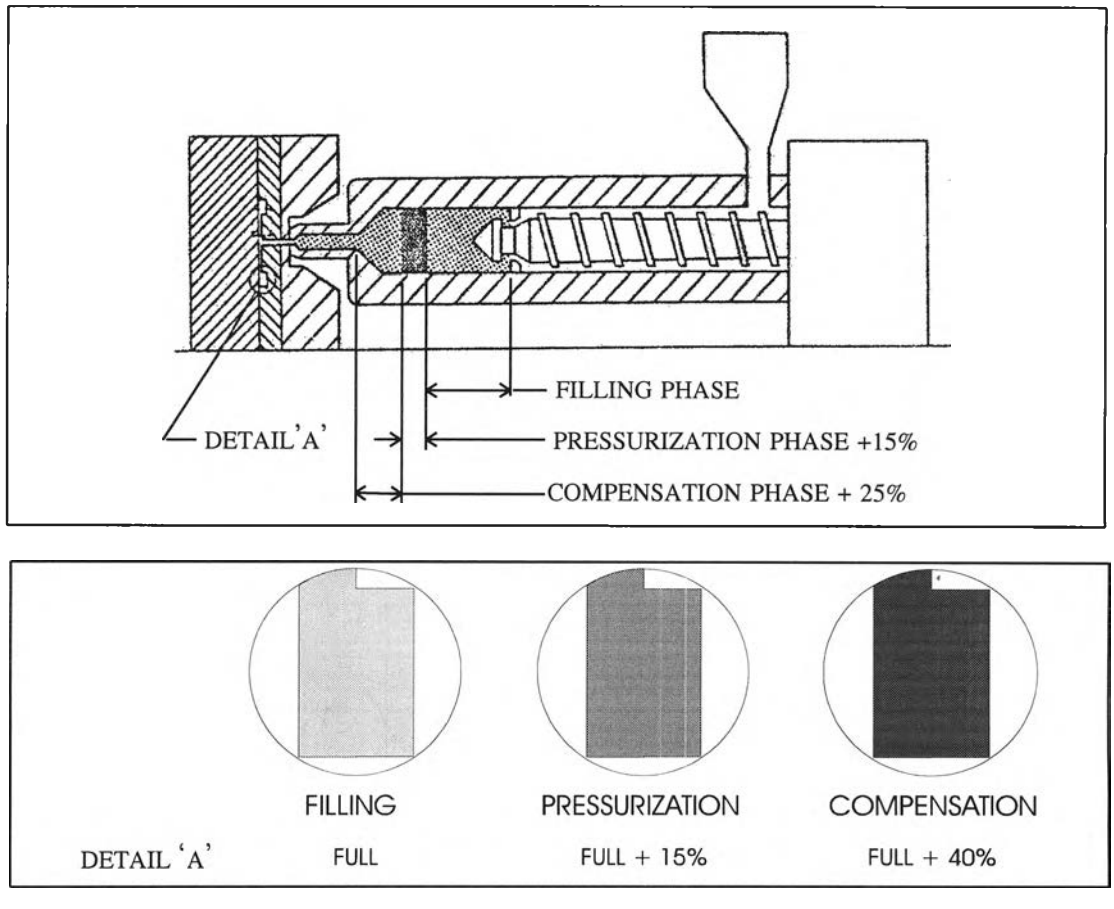
สกรูจะหมุนทำให้พลาสติกเหลวไหลไปข้างหน้าด้วยความเร็วคงที่เข้าสู่ช่องว่างภายในแม่พิมพ์ ช่วง Filling Phase นี้จะสิ้นสุดเมื่อแม่พิมพ์ถูกเติมจนเต็มแล้ว

2. Pressurization Phase

ช่วง Pressurization Phase นี้ สกรูจะเคลื่อนที่ทำให้ภายในแม่พิมพ์มีความดันมากขึ้น เมื่อแม่พิมพ์ถูกเติมจนเต็มแล้ว สกรูจะหมุนช้าลงแต่จะยังคงหมุนอยู่ เพราะว่าพลาสติกเหลวเป็นวัสดุที่สามารถถูกอัดได้ (Compressible) ดังนั้นสกรูจะหมุนจนกระทั่งวัสดุอีก 15% ถูกอัดเข้าไปในช่องว่างภายในแม่พิมพ์

3. Compensating Phase

หลังจากช่วง Pressurization Phase แล้ว สกรูจะยังไม่หยุดหมุนอย่างสมบูรณ์ แต่จะยังคงหมุนดันเนื้อพลาสติกให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอีกช่วงหนึ่ง เนื่องจากพลาสติกจะมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงจากช่วงหลอมเหลวกลายเป็นของแข็งมาก ประมาณ 25 % ซึ่งการหดและย่นของชิ้นงานจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้ ดังนั้นช่วง Compensating Phase จึงมีไว้เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้



รูปที่ 5.2 รูปแสดงการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ของพลาสติก

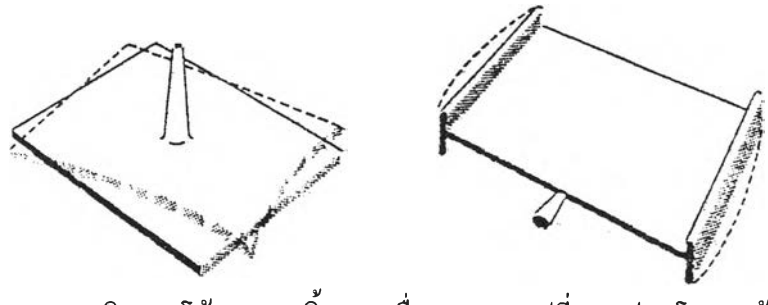
การเกิดการโค้งงอของชิ้นงานพลาสติก

Warping หรือ การโค้งงอ เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบแม่พิมพ์ มีสาเหตุมาจากการหดตัวที่แตกต่างกัน เช่น ถ้าบริเวณหนึ่งภายในแม่พิมพ์มีระดับการหดตัวแตกต่างจากบริเวณอื่น ชิ้นงานก็จะเกิดการโค้งงอ (Warp) ขึ้น ตัวอย่างเช่น ถ้าภายในชิ้นงาน บริเวณหนึ่งมีการอัดแน่นของพลาสติกมาก (Overpack) ขณะที่บริเวณอื่นมีการอัดแน่นของพลาสติกน้อยกว่า ก็จะทำให้เกิดการหดตัวไม่เท่ากัน ชิ้นงานก็จะเกิดการโค้งงอ (Warp) เรามาดูสาเหตุอื่นกัน

DIFFERENTIAL ORIENTATION

โดยปกติพลาสติกจะมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับตัวหนอนที่มีการขดงอ เมื่อพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ซึ่งต้องไหลผ่านช่องแคบ ๆ ซึ่งจะเกิดความเค้นเฉือนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกยืดตัวออกไปตามทิศทางการไหล ซึ่งเมื่อพลาสติกเหลวเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้โครงสร้างของพลาสติกที่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในสภาพนั้น ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของวัสดุต่างกันในทิศทางไหลที่ต่างกัน โดยวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Orientated) จะมีการหดตัวมากกว่าวัสดุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Non-orientated) ซึ่งการหดตัวไม่เท่ากันนี้จะทำให้เกิดการโค้งงอขึ้น

เราลองมาดูตัวอย่างชิ้นงานที่มีช่องทางเข้าอยู่ตรงจุดศูนย์กลาง การหดตัวตามเส้นแทยงมุมจะสูงกว่าตามแนวขอบ ซึ่งจะทำให้มีแรงดึงตามเส้นแทยงมุมเป็นสาเหตุให้เกิดการโค้งขึ้นหรือลงที่บริเวณมุม

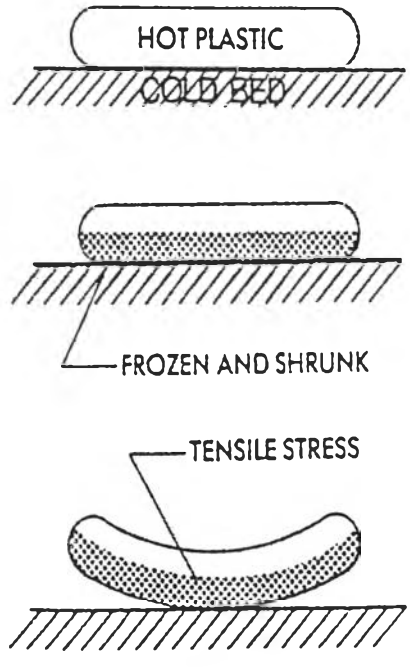


รูปที่ 5.3 รูปแสดงการเกิดการโค้งงอของชิ้นงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ไม่เท่ากัน

DIFFERENTIAL COOLING

เพื่อที่จะเข้าใจถึงการโค้งงอโดย Differential cooling เราต้องพิจารณาถึงช่วงเวลาของการหดตัว โดยที่พื้นที่แต่ละบริเวณมีการหดตัวเท่ากัน แต่ก็ยังเกิดการหดตัวขึ้นอีก พิจารณาพลาสติก

ที่มีรูปร่างคล้ายแพนเค้กขนาดใหญ่วางอยู่บนแม่พิมพ์ที่แบนราบ พลาสติกที่สัมผัสกับ cold bed จะแข็งตัวก่อนและหดตัว ขณะที่ผิวชั้นล่างหดตัวมันจะเลื่อนอยู่ภายใต้ผิวชั้นบนที่ยังคงหลอมเหลว ต่อมาเมื่อผิวชั้นบนแข็งตัวและหดตัว ขณะที่มันแข็งตัวจะถูกยึดอยู่กับผิวชั้นล่างไม่สามารถเลื่อนไปไหนได้ การหดตัวเช่นนี้จะทำให้เกิดความเค้นดึงกับผิวชั้นบนทำให้เกิดการโค้งงอขึ้น การโค้งงอ (Warping) ที่เกิดจาก differential cooling จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวบริเวณหนึ่งแข็งตัวในเวลาที่แตกต่างกันหรือผิวของแม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.4 รูปแสดงการเกิดการโค้งงอของชิ้นงานเนื่องจากการแข็งตัวที่ไม่เท่ากัน

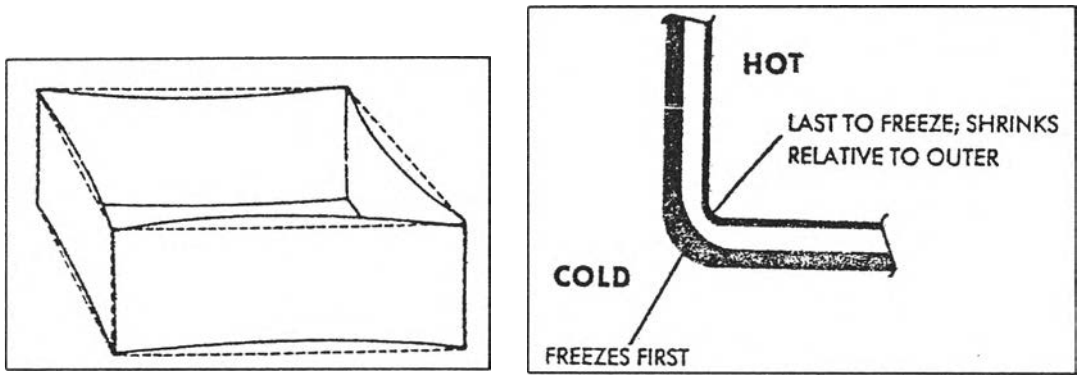
COOLING TIME

เนื่องจากบริเวณรอบ Sprue จะมีความร้อนมากกว่ารอบ ๆ ขอบ ด้วยอัตราการหล่อเย็นที่เท่ากัน บริเวณขอบจะแข็งตัวก่อน ชิ้นงานจึงเกิดการโค้งงอขึ้น

ความแตกต่างของช่วงเวลาการหล่อเย็นอาจมีสาเหตุมาจากความร้อนที่เกิดจากความเสียดทาน หรือ การออกแบบระบบหล่อเย็นที่ไม่ได้สัดส่วน บริเวณรอบช่องทางเข้ามีความจำเป็นที่ต้องดึงความร้อนออกไปมากกว่าบริเวณขอบ ดังนั้นช่องทางน้ำหล่อเย็นต้องถูกออกแบบเพื่อให้สามารถนำความร้อนออกจากบริเวณช่องทางเข้าได้มากกว่า

CORE AND CAVITY COOLING

การหล่อเย็นส่วนคอร์และส่วนเบ้าต้องถูกออกแบบด้วยความระมัดระวัง มันเป็นการง่ายในการหล่อเย็นส่วนเบ้า แต่มันเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากที่จะหล่อเย็นบริเวณส่วนคอร์ให้ได้ผลดี โดยเฉพาะส่วนมุม ถ้าส่วนมุมของส่วนคอร์จะร้อนกว่าส่วนเบ้า เมื่อนั้นความแตกต่างของการหล่อเย็นก็จะส่งผลให้เกิดการโก่งตัวเข้ามาด้านใน ดังรูปที่ 5.5

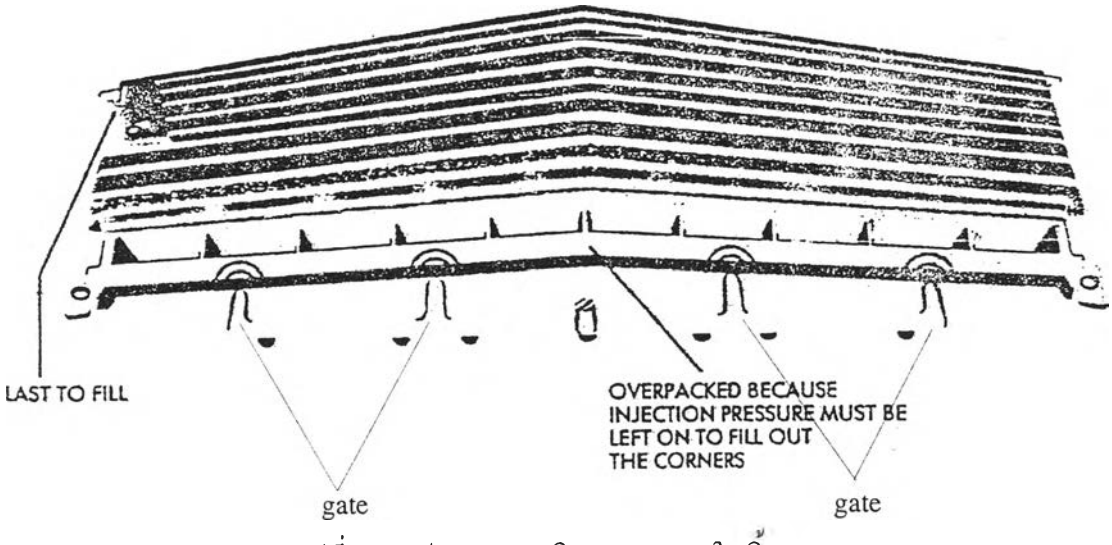


รูปที่ 5.5 รูปแสดงการโค้งงอของชิ้นงานที่เกิดจากการหล่อเย็นที่ไม่เท่ากันของ
ส่วนเบ้าและส่วนคอร์

OVERPACK

การเกิด Overpack เป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอมากที่สุด อันเนื่องมาจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกกดอัดได้สูง (Highly Compressible) ฉะนั้นบริเวณใดภายในแม่พิมพ์ที่พลาสติกเหลวไปได้ง่ายก็จะถูกเติมจนเต็มก่อน ขณะที่พลาสติกเหลวไปเติมบริเวณอื่น ๆ ต่อบริเวณที่ถูกเติมจนเต็มแล้วก็ยังคงถูกพลาสติกเหลวเติมเข้าไปต่อ ซึ่งบริเวณที่ถูกพลาสติกเหลวเติมมากกว่าบริเวณอื่นก็จะเกิดความเค้นมากกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้ความเค้นในบริเวณต่างๆของชิ้นงานไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการหดตัวของบริเวณต่าง ๆ ไม่เท่ากัน อันเป็นสาเหตุของการโค้งงอ (Warping)

จากรูปที่ 5.6 เป็นชิ้นงานที่จะเกิด overpack โดยชิ้นงานจะมี gate อยู่ 4 ตำแหน่งบริเวณด้านล่างของชิ้นงาน ซึ่งบริเวณที่จะเกิด overpack อยู่บริเวณตรงกลางด้านล่างของชิ้นงานระหว่าง gate คู่กลาง



รูปที่ 5.6 รูปแสดงการเกิด Overpack ในชิ้นงาน

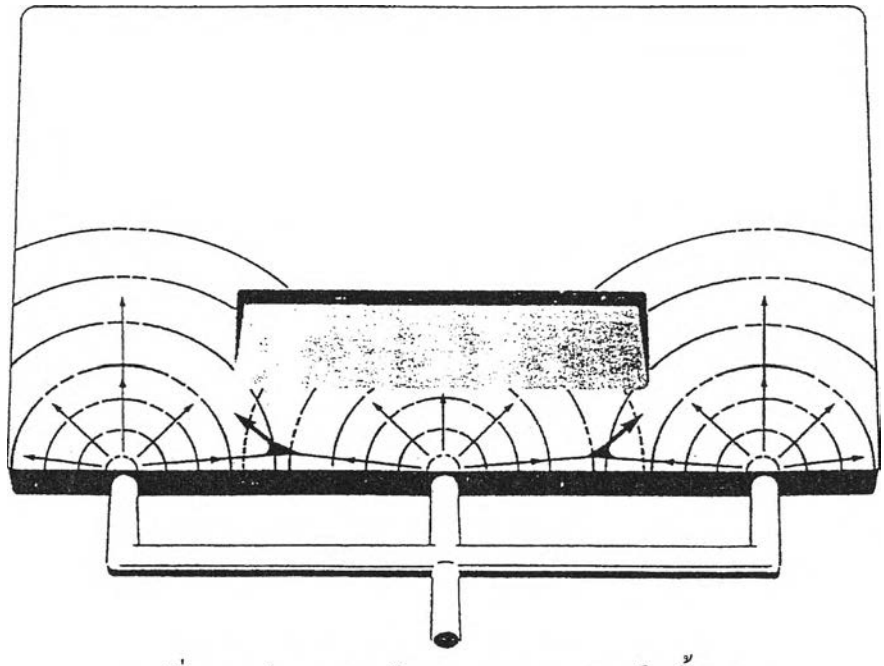
SIMPLE FLOW PATTERN

สิ่งที่จำเป็นในการเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ คือ รูปแบบการไหลของพลาสติกควรจะเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน โดยการไหลในอุดมคตินั้น คือ พยายามให้มีการไหลแบบเส้นตรงเพื่อที่จะทำให้เกิดรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ รูปแบบการไหลที่ซับซ้อนซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล และอัตราการไหล จะทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง

จุดประสงค์ของการออกแบบโดย Moldflow คือ การหาตำแหน่งของช่องทางเข้า ขนาดของระบบทางวิ่ง และการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงขนาดของชิ้นงานเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการไหล Simple Flow Pattern

UNDERFLOW EFFECT

ปัญหาเกี่ยวกับการไหลอีกประการหนึ่ง คือ Underflow Effect สังเกตรูปแบบการเติมพลาสติกดังรูป การไหลจากช่องทางเข้าแต่ละฝั่งจะพบกับการไหลจากช่องตรงกลาง จะทำให้เกิดการหยุดและเกิดการกลับทิศทางการไหล เมื่อเกิดการหยุดของการไหล ชั้นพลาสติกที่แข็งตัวจะเพิ่มขึ้น และเมื่อการไหลเกิดการเปลี่ยนทิศทาง ก็จะทำให้ชั้นพลาสติกที่แข็งตัวเกิดการหลอมเหลวอีกครั้งเนื่องจากความร้อนจากความเสียดทาน การไหลกลับทิศนี้จะทำให้เกิดชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดี ทั้งที่ปรากฏบนผิวหน้าและโครงสร้าง

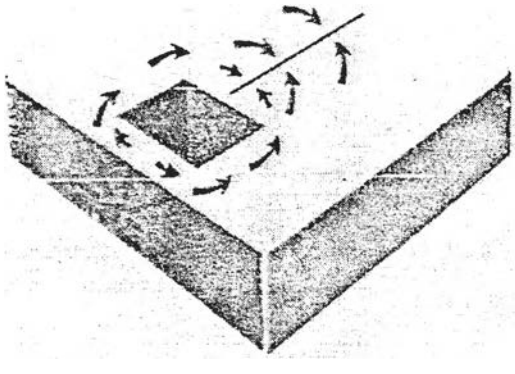


รูปที่ 5.7 รูปแสดงการเกิด Underflow effect ในชิ้นงาน

WELD LINES

Weld lines เกิดขึ้นเมื่อเกิดการพบกันของการไหล 2 ทาง ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งชิ้นงานที่มีช่องทางเข้าหลายช่องทางไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ พื้นที่ที่เกิด Weld lines นี้จะเป็นส่วนที่ไม่แข็งแรงของชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณนี้จะเกิดความเค้นมาก

การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงตำแหน่งของ Weld lines ให้เห็นได้ แม้ว่าไม่สามารถกำจัด Weld lines ทิ้งไปได้ก็ตาม แต่ก็สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแม่พิมพ์ใหม่เพื่อให้เกิด Weld lines ในตำแหน่งที่มีผลต่อชิ้นงานน้อยที่สุด ทั้งทางด้านโครงสร้างและความสวยงาม



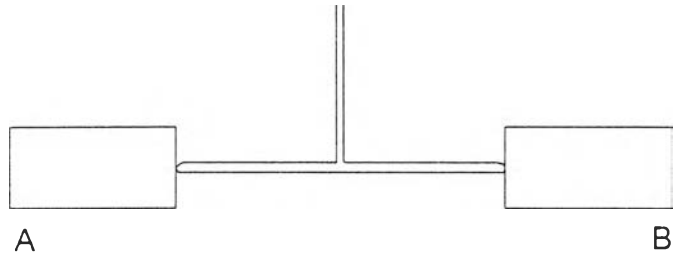
รูปที่ 5.8 รูปแสดงการเกิด Weld line ในชิ้นงาน

THERMAL INDUCED UNSTABLE FLOW

การไหลของพลาสติกบางครั้งเราไม่สามารถชี้ชัดลงไปได้ ซึ่งสิ่งนี้ขึ้นกับความไม่เสถียร (Instability) ที่เพิ่มขึ้นจากผลรวมของความร้อนและการไหลของของเหลว

พิจารณาระบบที่สมดุลที่ปรากฏดังรูปที่ 5.9 ระบบนี้อ้างอิงมาจากแม่พิมพ์ที่ใช้งานจริง ในการฉีดจริง พบว่าการเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์มีความไม่แน่นอน ถ้าฝั่ง A ถูกเติมก่อน ครั้งต่อมาฝั่งB ก็จะถูกเติมก่อนบ้าง แล้วก็กลับเป็นฝั่ง A ถูกเติมก่อนในครั้งต่อมา สลับกันไปมา

จากการสังเกตุจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแม่พิมเพียง $3^{\circ}C$ จะเป็นสาเหตุทำให้ช่องว่างฝั่งใดถูกเติมก่อน ส่วนสาเหตุของความไม่เสถียรเมื่ออุณหภูมิของช่องว่างทั้ง 2 ฝั่งเท่ากัน คือ ถ้าช่องว่างฝั่ง B ถูกเติมทีหลัง เมื่อนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้ว ความร้อนที่เหลืออยู่ในแม่พิมพ์ฝั่ง B จะมากกว่า ทำให้แม่พิมพ์ฝั่ง B จะมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย ในการฉีดครั้งต่อไปช่องว่างฝั่ง B ก็จะถูกเติมก่อน ซึ่งก็สาเหตุให้การฉีดครั้งต่อไปอุณหภูมิของช่องว่างฝั่ง A สูงกว่าช่องฝั่ง B ทำให้เกิดความไม่เสถียรในการเติมพลาสติก



รูปที่ 5.9 รูปแสดงแม่พิมพ์ที่ใช้อธิบายการไหลแบบ Themal induced unstable flow

หลักการออกแบบโดย MOLDFLOW

ทฤษฎีพื้นฐาน Moldflow จะใช้เป็นแนวทางสำหรับขั้นตอนในการออกแบบ โดยใช้ความสามารถของซอฟท์แวร์ Moldflow เพื่อที่จะบ่งบอกถึงความดัน อุณหภูมิ ความเค้นเฉือน และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น

ขั้นตอนในการออกแบบแบ่งได้หลายขั้นตอนเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการหาจำนวนทางเข้า ตำแหน่งทางเข้า แนวทางการไหล และ การออกแบบทางวิ่ง

1. จำนวนทางเข้า (Number of Gates)

การตัดสินใจเลือกใช้จำนวนทางเข้าเท่าไหร่ เราจะใช้คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงถึงความดันที่ต้องการในการให้พลาสติกไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะใช้จำนวนช่องทางเข้าที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ แล้วจึงเพิ่มจำนวนช่องทางเข้าเพื่อให้ได้แนวทางการไหลของพลาสติกเหลวตามที่ต้องการภายหลัง

2. ตำแหน่งของทางเข้า (Position of Gates)

การออกแบบตำแหน่งช่องทางเข้าออกแบบโดยหลักการสมดุลการไหล ตำแหน่งของช่องทางเข้านี้ต้องทำให้ส่วนต่างๆภายในแม่พิมพ์ถูกเติมเต็มด้วยความดันและเวลาเดียวกัน โดยถ้าไม่สามารถทำให้สมดุลได้ ขนาดของช่องว่างภายในแม่พิมพ์อาจจะต้องมีการแก้ไข

3. แนวทางการไหล (Flow Pattern)

แม่พิมพ์ควรจะมีการออกแบบให้มีแนวทางการไหลของพลาสติกเหลวเป็นเส้นตรง และไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง ขนาดของทางวิ่งและช่องว่างภายในแม่พิมพ์อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ได้แนวทางการไหลของพลาสติกเหลวที่ต้องการ ซึ่งแนวทางการไหลที่ไม่ดีอาจทำให้เกิดปัญหากับชิ้นงาน เช่น เกิดรอยต่อของเนื้อพลาสติก (Weld lines) เป็นต้น

4. การออกแบบทางวิ่ง (Runner Design)

ระบบทางวิ่งจะถูกออกแบบโดยคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้แนวทางการไหลของพลาสติกเหลวที่ต้องการ

แนวคิดการไหลแบบ MOLDFLOW

1. ให้มีแนวทางการไหลในทิศทางเดียวและควบคุมได้ (Uni-Directions and Controlled Flow Pattern)

2. สมดุลการไหล (Flow Balancing)

3. ความแตกต่างความดันของตำแหน่งต่างๆภายในแม่พิมพ์คงที่ (Constant Pressure Gradient)

4. ความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress)

5. ระยะเวลาหล่อเย็นที่สม่ำเสมอ (Uniform Cooling Time)

6. ตำแหน่งของรอยต่อของเนื้อพลาสติก (Positioning Weld Lines)

7. หลีกเลี่ยงการเกิด Underflow (Avoiding Underflow)

8. การทำให้เกิดสมดุลการไหลด้วยวิธี Flow Leaders และ Flow Deflectors (Balancing with Flow Leaders and Flow Deflectors)

9. ควบคุมความร้อนซึ่งเกิดจากความเสียดทาน (Controlled Frictional Heating)

10. การแข็งตัวของพลาสติกเหลวภายในทางวิ่ง (Thermal Shut Off of Runners)

11. อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของทางวิ่งและช่องว่างภายในแม่พิมพ์ต้องเป็นที่ยอมรับ (Acceptable Runner/Cavity Ratio)

วิธีการนำข้อมูลจากโปรแกรม CATIA ไปสู่โปรแกรม Moldflow

เนื่องจากในการออกแบบผลิตภัณฑ์เราได้ใช้โปรแกรมทางด้าน CAD (ในที่นี้ คือ โปรแกรม CATIA) ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์มาก่อนหน้านี้แล้ว จึงทำให้เรามีข้อมูลของแบบจำลอง (model) ของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการอยู่ ประกอบกับโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์การไหลของพลาสติก ในที่นี้ คือ โปรแกรม Moldflow มีความยากในการสร้างแบบจำลอง (model) ของชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ด้วยการสร้างแบบจำลอง (model) ในโปรแกรมทางด้าน CAD แล้วส่งข้อมูลที่ได้ไปเป็นแบบจำลอง (model) ในโปรแกรมวิเคราะห์การไหล โดยการวิจัยครั้งนี้จะสร้างแบบจำลอง (model) ของชิ้นงานในโปรแกรม CATIA แล้วส่งฐานข้อมูลของชิ้นงานที่ได้โดยวิธีที่จะได้กล่าวต่อไปไปให้โปรแกรม Moldflow ทำการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกต่อไป ส่วนขั้นตอนในการส่งฐานข้อมูลของชิ้นงานจากแบบจำลอง (model) ใน CATIA ไปให้โปรแกรม Moldflow จะแสดงตัวอย่างให้เห็นโดยใช้แบบจำลอง (model) ของกล่องสี่เหลี่ยมที่ไม่สมมาตรมีรูที่พื้นดังแสดงในรูปที่ 5.10 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

1. ทำการแบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็นส่วน ๆ ตามความหนาของชิ้นงานแต่ละส่วนและตามทิศทางการไหลจากจุดที่พลาสติกจะถูกฉีดเข้าชิ้นงาน ดังในรูปที่ 5.11 เนื่องจากในการกำหนดและเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานแต่ละส่วนนั้น เราจะกำหนดภายในโปรแกรม Moldflow ซึ่งพื้นผิวที่แบ่งเป็นส่วน ๆ ในโปรแกรม CATIA เมื่อถูกส่งเข้าโปรแกรม Moldflow ก็จะได้พื้นผิวเป็นส่วน ๆ ลักษณะเดียวกับโปรแกรม CATIA ฉะนั้นการแบ่งพื้นผิวให้ได้ถูกต้องตั้งแต่ในโปรแกรม CATIA ก็จะเป็นการสะดวกในการเปลี่ยนแปลงความหนาของพื้นผิวแต่ละส่วนของชิ้นงานในโปรแกรม Moldflow เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์การไหลต่อไป

2. สร้าง mesh ขึ้นทีละส่วนของพื้นผิวของชิ้นงาน โดยขนาดของ mesh ขึ้นกับความต้องการให้ mesh เหล่านั้นแทนพื้นผิวของชิ้นงานได้เหมือนเพียงไร ดังในรูปที่ 5.12

3. แปลงข้อมูลของ mesh ในแต่ละพื้นผิวของชิ้นงานออกมาเห็นข้อมูลในรูปแบบ Nastran ซึ่งจะมีรูปแบบดังนี้

NODE

1	0.500E-1	-0.861E-15	0.000E+0
2	0.400E-1	-0.861E-15	0.000E+0

3 0.300E-1 -0.861E-15 0.000E+0

CONNECTING CARDS

1 1 1 7 2

2 1 2 8 3

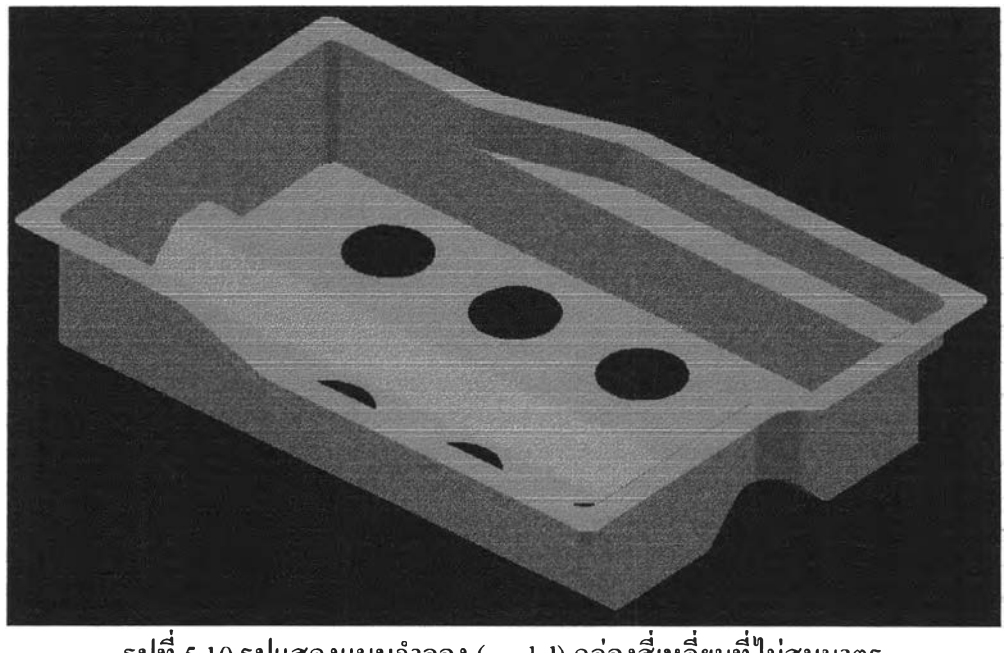
3 1 3 9 4

⋮

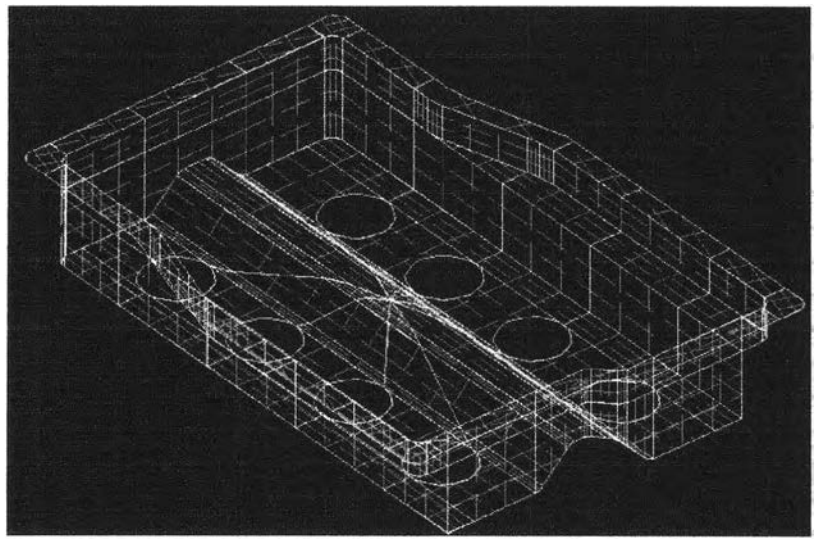
ซึ่งส่วนแรกจะเป็นค่าพิกัดของแต่ละ node ส่วนหลังจะแสดง element แต่ละ element ว่าประกอบด้วย node ใดบ้าง

4. ใช้โปรแกรม Moldflow อ่านข้อมูลของชิ้นงานในรูปแบบ Nastran ซึ่งโปรแกรม Moldflow จะทำการสร้าง mesh ขึ้นมา จากนั้นจึงใช้คำสั่งในโปรแกรม Moldflow สร้างพื้นผิวขึ้นมาดังรูปที่ 5.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพื้นผิวรูปร่างลักษณะเดียวกับแบบจำลอง (model) ในโปรแกรม CATIA

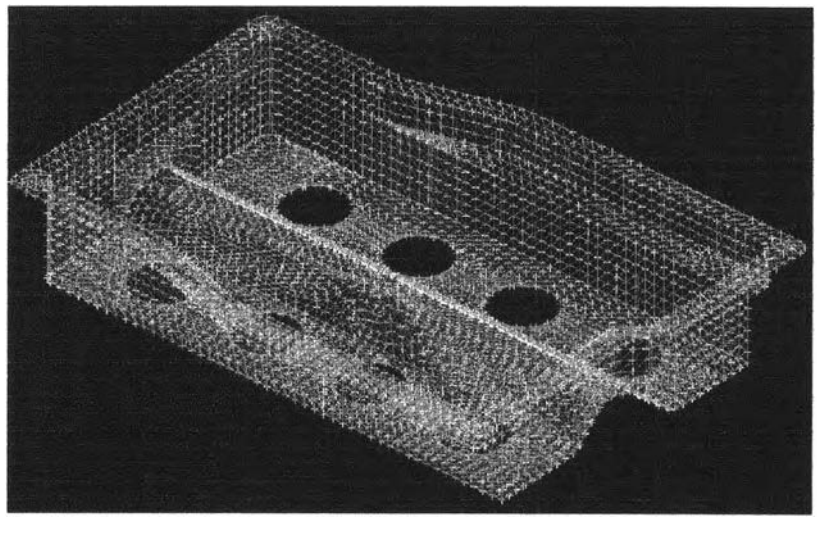
5. ใช้คำสั่งในโปรแกรม Moldflow ใส่ค่าความหนาให้แต่ละพื้นผิวของชิ้นงาน ก็จะเป็นอันว่าเราได้แบบจำลอง (model) ของชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปวิเคราะห์การไหลต่อไป



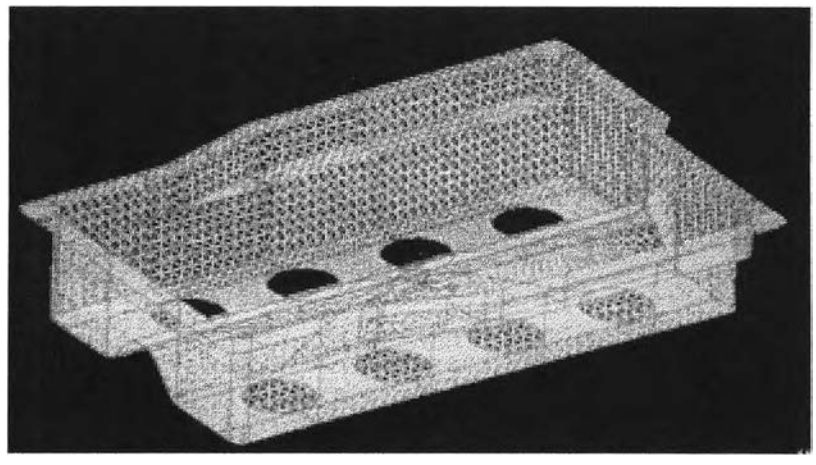
รูปที่ 5.10 รูปแสดงแบบจำลอง (model) กล่องสี่เหลี่ยมที่ไม่สมมาตร
ในโปรแกรม CATIA



รูปที่ 5.11 รูปแสดงการแบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็นส่วน ๆ ในโปรแกรม CATIA



รูปที่ 5.12 รูปแสดงการสร้าง mesh ในแต่ละพื้นผิวของชิ้นงานในโปรแกรม CATIA



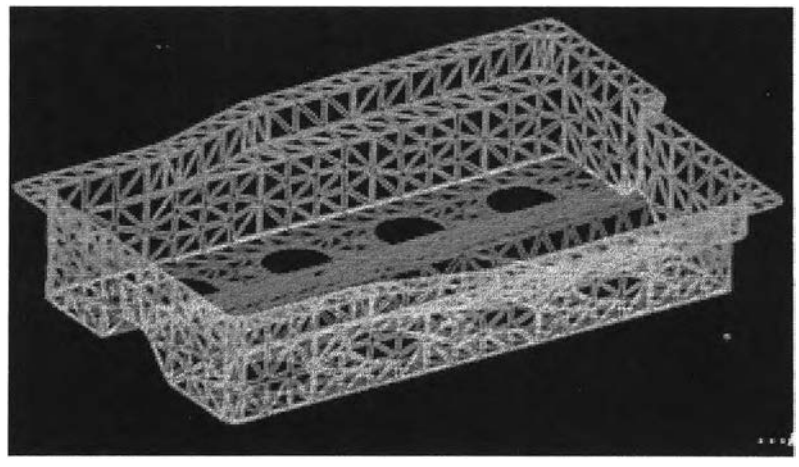
รูปที่ 5.13 รูปแสดง mesh และพื้นผิวของชิ้นงานในโปรแกรม Moldflow ที่อ่านข้อมูลเข้ามา

ตัวอย่างการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม Moldflow

ในส่วนนี้เราจะแสดงให้เห็นการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม Moldflow โดยใช้แบบจำลอง (model) ของกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เราได้ทำการออกแบบและนำข้อมูลเข้ามาจากโปรแกรม CATIA โดยกำหนดให้ความหนาที่ฐาน (พื้นผิวสีแดง) เท่ากับ 2 มม. และความหนาที่ขอบ (พื้นผิวสีฟ้า) เท่ากับ 3 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5.14 โดยให้รูฉีดเข้าที่จุดกึ่งกลางบริเวณฐานของชิ้นงาน โดยใช้วัสดุเป็นโพลีโพรไพลีน (polypropylene) ที่ผสมกลาสไฟเบอร์ (glass fiber) 30% ของผู้ผลิตชื่อ FERRO เกรด F001 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

Generic Melt Temperature Minimum	200 ^{o}C
Generic Melt Temperature Maximum	260 ^{o}C
Generic Mold Temperature Minimum	20 ^{o}C
Generic Mold Temperature Maximum	40 ^{o}C
Generic Maximum Shear Stress	0.25 Mpa
Generic Maximum Shear Rate	100000 1/s

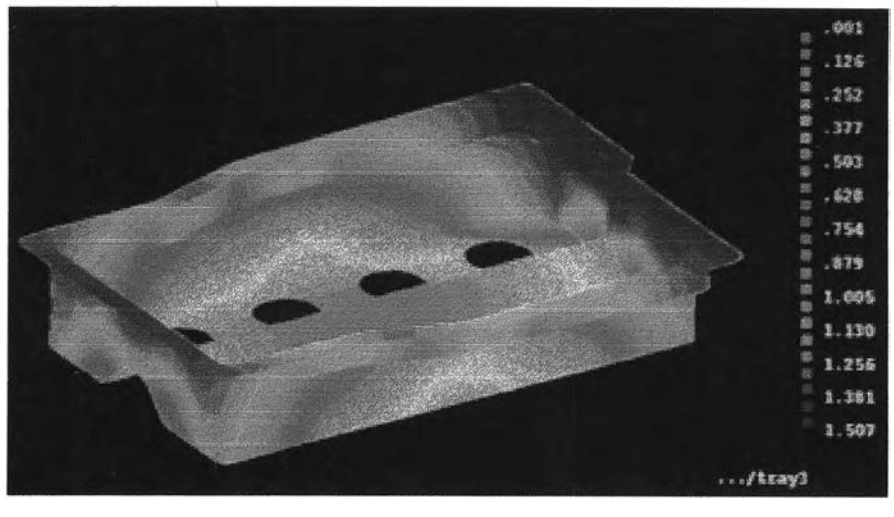
จากการวิเคราะห์ทางไหลของพลาสติกที่ไกลที่สุดคือไปสู่ส่วนมุมของชิ้นงานบริเวณขวาบนในรูปที่ 5.14 จะได้ว่าควรใช้เวลาในการฉีดเท่ากับ 1.5 วินาที ควรใช้อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกเท่ากับ 240 องศาเซลเซียส ควรใช้อุณหภูมิของแม่พิมพ์เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.14 รูปแสดงชิ้นงานใน Moldflow ที่กำหนดความหนาให้แต่ละพื้นผิวแล้ว

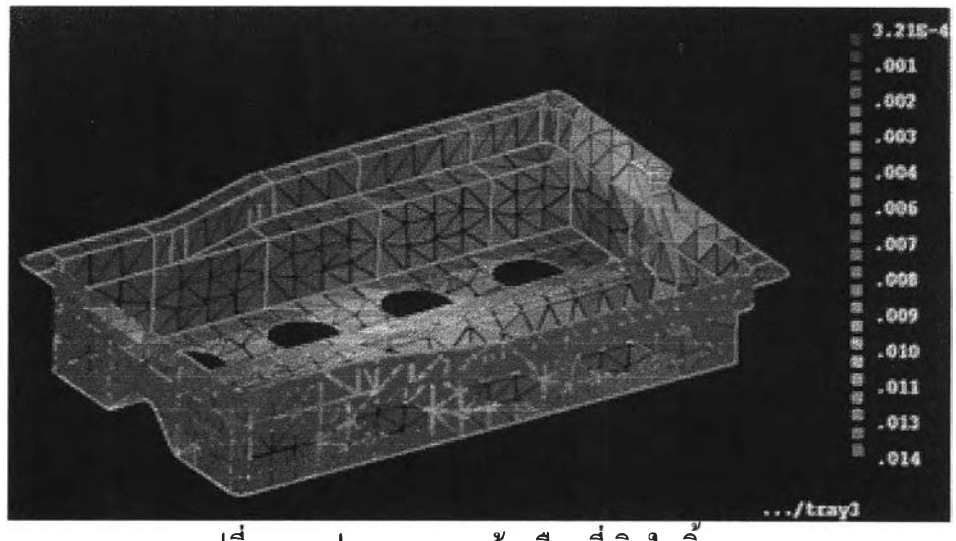
จากนั้นนำข้อมูล mesh ของชิ้นงานที่เราต้องการวิเคราะห์การไหลและสภาวะที่จะใช้ในการฉีดดังได้กล่าวถึงวิธีหามาแล้วข้างต้นและ node ที่จะทำการฉีดมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MF4 ซึ่งจะคำนวณสภาวะการไหลที่จะเกิดขึ้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลลิเมนท์ (Finite element method) ดังจะแสดงตัวอย่างของผลการคำนวณเป็นกราฟฟิกให้เห็นดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.15 แสดงเวลาที่แต่ละส่วนของชิ้นงานจะถูกเติมด้วยพลาสติกเหลวจะเห็นได้ว่าส่วนขอบด้านยาวของชิ้นงานจะถูกเติมเต็มก่อนส่วนขอบทางด้านกว้าง



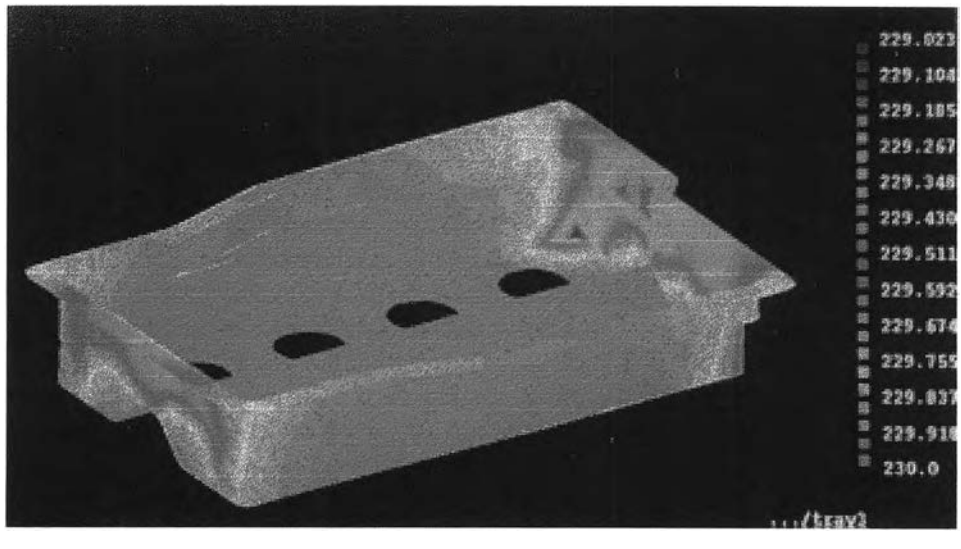
รูปที่ 5.15 รูปแสดงเวลาในการเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์

รูปที่ 5.16 แสดงความเค้นเฉือนที่แต่ละส่วนของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าจะเกิดความเค้นเฉือนมากที่สุดที่บริเวณปากทางเข้าของรูฉีดมีค่าเท่ากับ 0.014 Mpa ซึ่งยังไม่เกินค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของวัสดุ คือ 0.25 Mpa



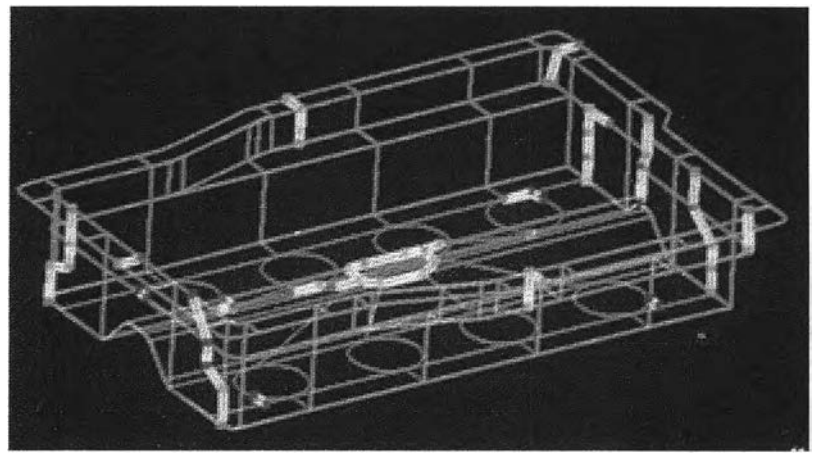
รูปที่ 5.16 รูปแสดงความแค้นเฉือนที่เกิดในชิ้นงาน

รูปที่ 5.17 แสดงอุณหภูมิสุดท้ายของส่วนต่าง ๆ ในชิ้นงาน เมื่อดูจากสเกลจะเห็นว่าอุณหภูมิของส่วนต่าง ๆ ในชิ้นงานจะใกล้เคียงกันจึงไม่จำเป็นต้องหล่อเย็นส่วนใดเป็นพิเศษ



รูปที่ 5.17 รูปแสดงอุณหภูมิ ณ ส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน

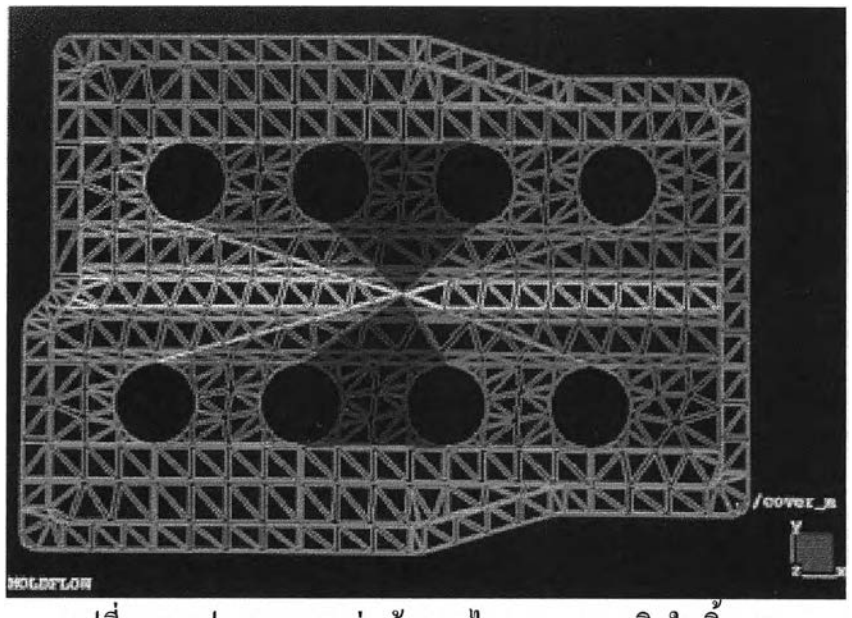
รูปที่ 5.18 แสดงการเกิด Weld lines บนชิ้นงาน เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบและแก้ไขหากชิ้นงานไม่เป็นที่ยอมรับ



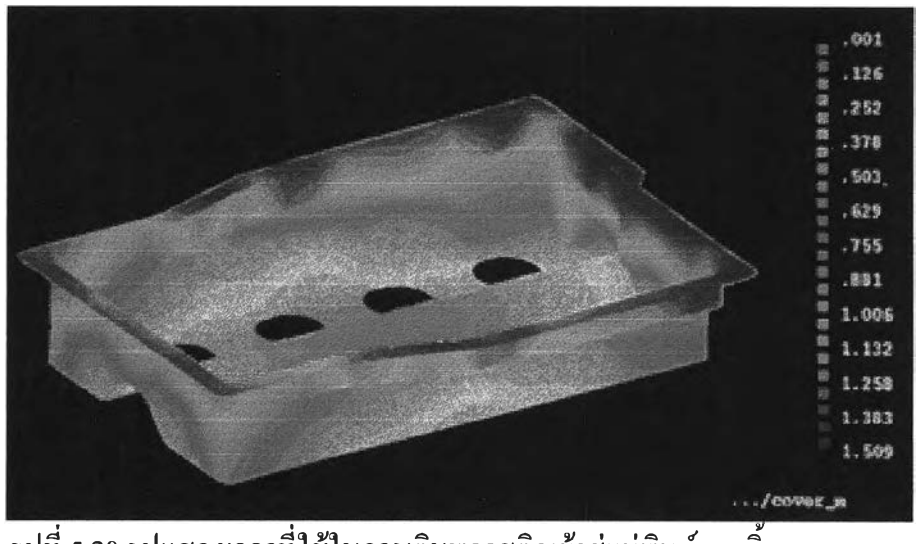
รูปที่ 5.18 รูปแสดง Weld lines บนชิ้นงาน

จากรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าแต่ละส่วนของชิ้นงานจะถูกเติมด้วยพลาสติกเหลวเต็มในเวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งบริเวณขอบด้านตามยาวจะถูกเติมเต็มก่อนขอบทางด้านกว้าง ซึ่งขอบด้านตามยาวอาจจะเกิดการ overpack ได้ ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดงอได้ ดังนั้นเราจะปรับปรุงชิ้นงานเพื่อทำให้เกิดสมดุลการไหล เพื่อให้ส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานถูกเติมด้วยพลาสติกเหลวในเวลาใกล้เคียงกัน โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานเพื่อบังคับทิศทางการไหล โดยแบ่งทางไหลออกตามสีที่เห็นในรูปที่ 5.19 ซึ่งเราได้สร้างพื้นผิวตามเป็นส่วน ๆ ตามที่เห็นเป็นสี ๆ ไว้ตั้งแต่การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม CATIA ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณแล้วต้องมีการเปลี่ยนความหนาของพื้นผิวส่วนใดก็จะทำได้อย่างง่าย ๆ จากการคำนวณโดยให้ทุกเส้นทางการไหลมีความดันในการฉีดเท่ากันและคงความหนาของพื้นผิวส่วนสีฟ้าให้เท่ากับ 2 มม. จะได้ความหนาของพื้นผิวส่วนอื่น ๆ เปลี่ยนไปเป็นดังนี้ พื้นผิวสีเหลืองมีความหนา 1.72 มม. พื้นผิวสีม่วงมีความหนา 1.44 มม. พื้นผิวสีน้ำเงินมีความหนา 1.22 มม. พื้นผิวสีแดงมีความหนา 1.4 มม. พื้นผิวสีเขียวมีความหนา 1.83 มม. และพื้นผิวสีขาวมีความหนา 1.38 มม. จากนั้นเราทำการเปลี่ยนความหนาของพื้นผิวส่วนต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลของแบบจำลองที่เปลี่ยนความหนาแล้วไปทำการประมวลผลเพื่อตรวจสอบสภาวะการไหลที่จะเกิดขึ้นด้วยโปรแกรม MF4 อีกครั้งหนึ่ง จะได้เวลาที่ใช้ในการเติม

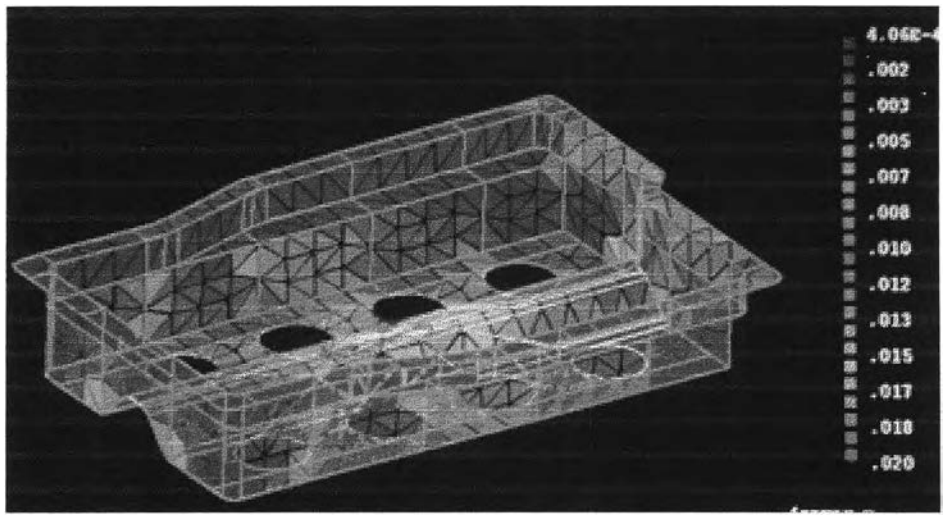
พลาสติกแต่ละส่วนดังในรูปที่ 5.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนขอบทั้งด้านยาวและด้านกว้างจะถูกเติมด้วยพลาสติกในเวลาที่ใกล้เคียงกัน แต่จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของพื้นผิวเช่นนี้จะทำให้พื้นผิวบางส่วนบางลง ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นมากขึ้นในบริเวณนั้น เราจึงได้ทำการตรวจสอบความเค้นของชิ้นงานดังในรูปที่ 5.21 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดความเค้นมากที่สุดเพิ่มขึ้นเป็น 0.02 Mpa แต่ยังไม่เกินความค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของวัสดุ จึงเป็นอันว่าใช้ได้



รูปที่ 5.19 รูปแสดงการแบ่งเส้นทางไหลของพลาสติกในชิ้นงาน



รูปที่ 5.20 รูปแสดงเวลาที่ใช้ในการเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ของชิ้นงาน
ที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา



รูปที่ 5.21 รูปแสดงความเค้นเฉือนของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแล้ว