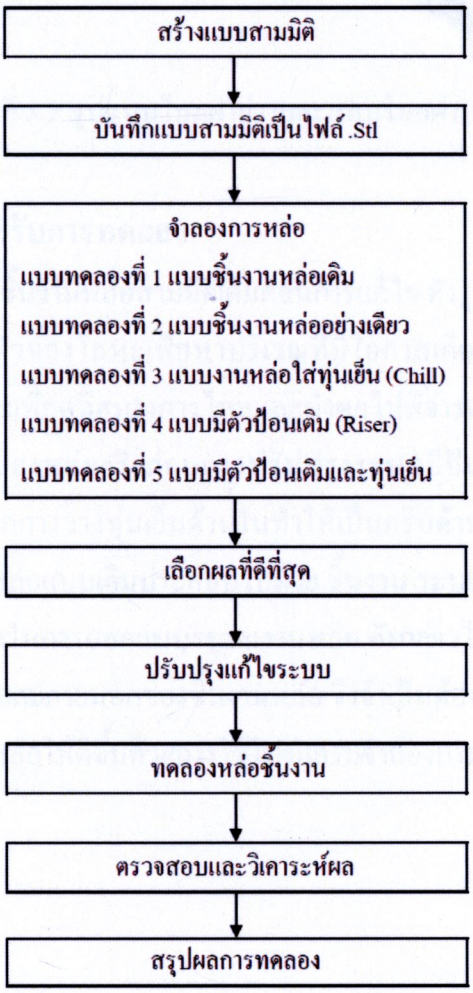
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานหล่อโลหะนั้นมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้เกิดจุดเสียแก่ชิ้นงานหล่อ ดังนั้นการออกแบบระบบงานหล่อโลหะไม่ว่าจะเป็นระบบทางเข้าน้ำโลหะก็มีส่วนที่สำคัญประการแรกที่มีผลต่อการหล่อโลหะเพราะถ้าการออกแบบระบบทางน้ำที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดจุดเสียในงานหล่อได้ ซึ่งผู้ออกแบบจึงจำเป็นจะต้องมีความเชี่ยวชาญและมีทักษะเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยโดยการใช้โปรแกรมจำลองการหล่อมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบและช่วยลดการทดลองหล่อชิ้นงานจำนวนหลายครั้ง ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย สำหรับโครงงานวิจัยนี้ได้นำปัญหาการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองการหล่อจำนวนหลายครั้งแต่ยังพบจุดเสียอยู่นำมาทำโครงงานวิจัยด้วยการนำเทคโนโลยีการจำลองการหล่อด้วยคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้และนำผลที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขระบบ เพื่อลดจุดเสียของชิ้นงานดังกล่าวให้ได้ชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพสามารถนำเป็นมาตราฐานในการผลิตต่อไป

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

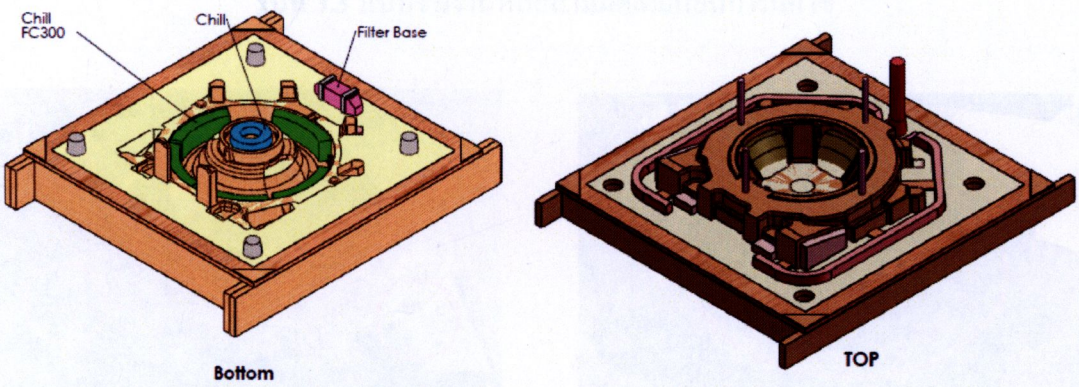


รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.1 การสร้างแบบสามมิติ

3.1.1 แบบไม้ (Wood Pattern)

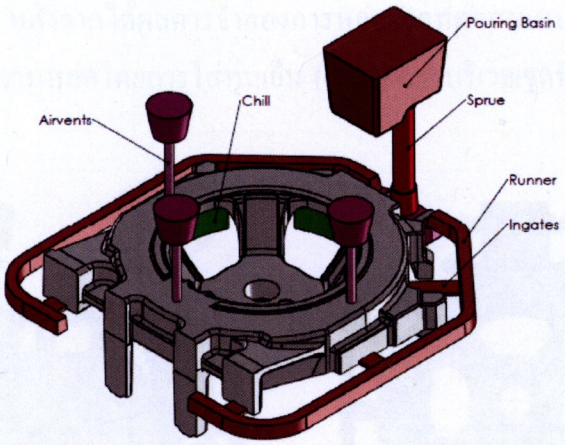
แบบไม้ใช้ทำเป็นแม่แบบ (Pattern) สำหรับทำกระสวนงานหล่อโดยใช้ทรายชนิด ฟูราน เรซิ่น (Furan resin) ทำแบบ ดังรูปที่ 3.2 จะแบ่งออกเป็นสองฝาคือ แบบฝาล่าง (Bottom Mould) กับแบบฝาบน (Top Mould) ซึ่งทั้งสองฝาจะถูกแบ่งออก จากการออกแบบเส้นตัดผ่าน Parting Line กำหนดให้เป็นแบบฝาบนและแบบฝาล่างนั่นเอง



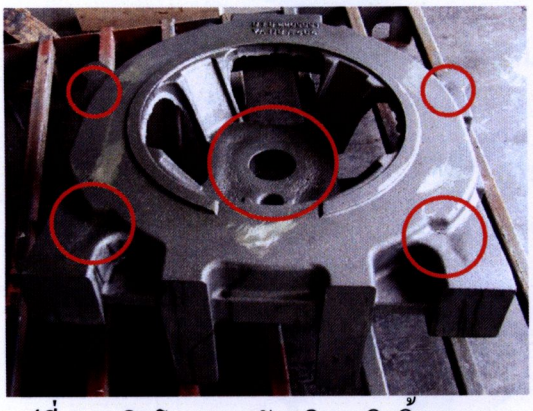
รูปที่ 3.2 รูปแบบโมลฝาล่างและแบบโมลฝาบน

3.1.2 แบบสามมิติที่ใช้สำหรับการทดลอง

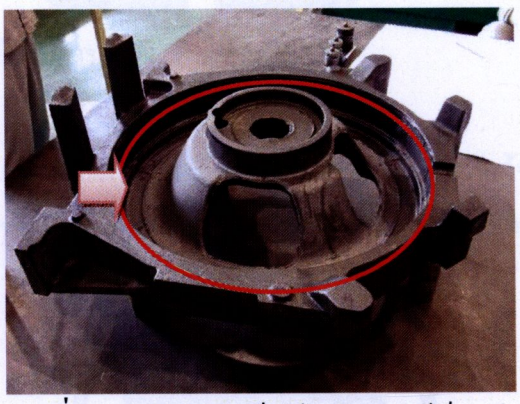
- แบบทดลองที่ 1 แบบชิ้นงานหล่อสามมิติเดิมก่อนการแก้ไข ดังรูปที่ 3.3 มาทำการทดลองโดยการจำลองการหล่อการแข็งตัวของโลหะเพื่อหาบริเวณที่มีโอกาสเกิดจุดเสียของชิ้นงานหล่อและจำลองการไหลตัวของน้ำโลหะเพื่อดูทิศทางการไหลและนำผลไปพิจารณาเพื่อปรับปรุงระบบและทำการกลับฝาเนื่องจากการทดลองหล่อจริงก่อนการปรับปรุงระบบมีปัญหาเรื่องโพรงหดตัวบริเวณผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.4 ผลจากการวางทุ่นเย็นด้านในทำให้เป็นครีบด้านในทำให้การเจียระไนทำได้ยาก ดังรูปที่ 3.5 แบบชิ้นงานหล่อแบบเดิมประกอบไปด้วย ชิ้นงาน ระบบทางเข้าน้ำโลหะและทุ่นเย็น โดยมีลักษณะและตำแหน่งซึ่งในการออกแบบระบบงานหล่อ ดังกล่าวได้ทำการทดลองหล่อแล้วเกิดจุดเสีย เกิดโพรงหดตัวภายในและภายนอกของชิ้นงานหล่อ จึงจำเป็นต้องนำระบบเดิมมาพิจารณาเพื่อการปรับปรุงแก้ไขระบบงานหล่อให้ดีขึ้นด้วยการใช้โปรแกรมจำลองการหล่อด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.3 แบบชิ้นงานหล่อสามมิติเดิมก่อนการแก้ไข

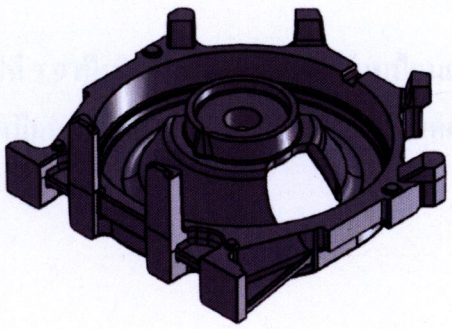


รูปที่ 3.4 เกิดโพรงหดตัวบริเวณผิวชิ้นงาน



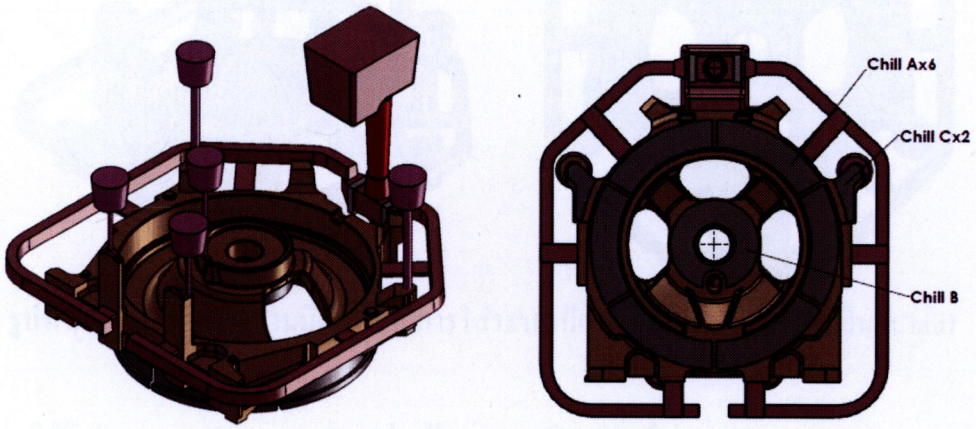
รูปที่ 3.5 การวางทุ่นเย็นด้านในทำให้เป็นครีบด้านในทำให้การเจียระไนทำได้ยาก

- แบบทดลองที่ 2 เป็นการนำเอาแบบสามมิติที่เป็นชิ้นงานหล่ออย่างเดียวมาทำการทดลองเพื่อการจำลองพฤติกรรมการแข็งตัวของโลหะและ พื้นที่เย็นตัวสุดท้ายบริเวณที่อาจเกิดโพรงหดตัว ขั้นตอนนี้จึงเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นขั้นตอนแรกเพื่อการปรับปรุงการออกแบบระบบทางน้ำโลหะเพราะจะทำให้ทราบว่าจุดใดที่มีโอกาสเกิดเป็นจุดเสียในชิ้นงานหล่อ ดังรูปที่ 3.6



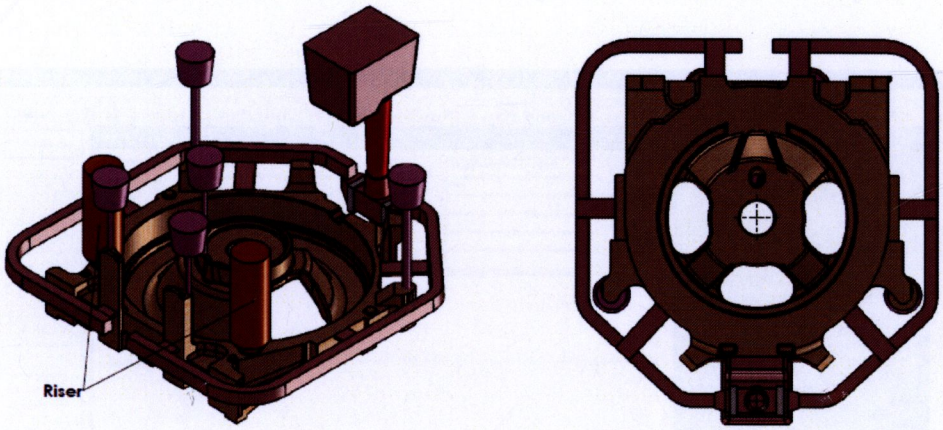
รูปที่ 3.6 แบบชิ้นงานสามมิติสำหรับแบบทดลองที่ 2

- แบบทดลองที่ 3 หลังจากได้ผลการจำลองการหล่อจากทดลองแบบทดลองที่ 1 และ 2 ได้มีการปรับปรุงแก้ไขระบบงานหล่อโดยการใส่ทุ่นเย็น (Chill) ตรงบริเวณจุดที่มีโอกาสเกิดโพรงหดตัว ดังรูปที่ 3.7



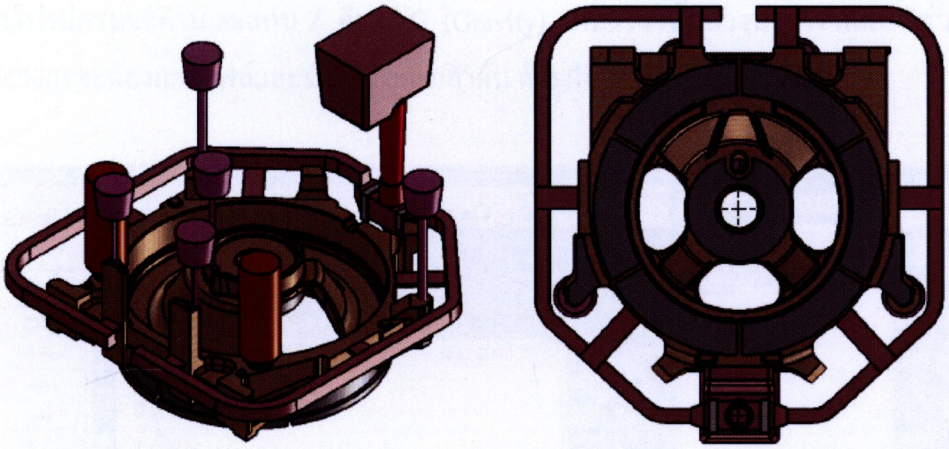
รูปที่ 3.7 แบบชิ้นงานสามมิติมีโดยมีการใส่ทุ่นเย็น (Chill)

- แบบทดลองที่ 4 ดังรูปที่ 3.8 ได้ทำการเพิ่มรูล้น (Riser) เพื่อเป็นตัวป้อนเติมขณะแข็งตัวกับระบบทางเข้าน้ำโลหะเดิมทดลองดูว่าถ้าใส่เฉพาะรูล้นจะช่วยลดโอกาสการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานได้หรือไม่



รูปที่ 3.8 แบบชิ้นงานสามมิติมีโดยมีการใส่รูล้น (Riser) เพื่อเป็นตัวป้อนเติมขณะแข็งตัว

- แบบทดลองที่ 5 ดังรูปที่ 3.9 เป็นการทดลองเพิ่มทั้งระบบป้อนเติม (Riser) และทุ่นเย็น (Chill) โดยใช้ระบบทางเข้าน้ำโลหะเหมือนเดิมเพื่อลดโอกาสการเกิดโพรงหดตัวที่ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น



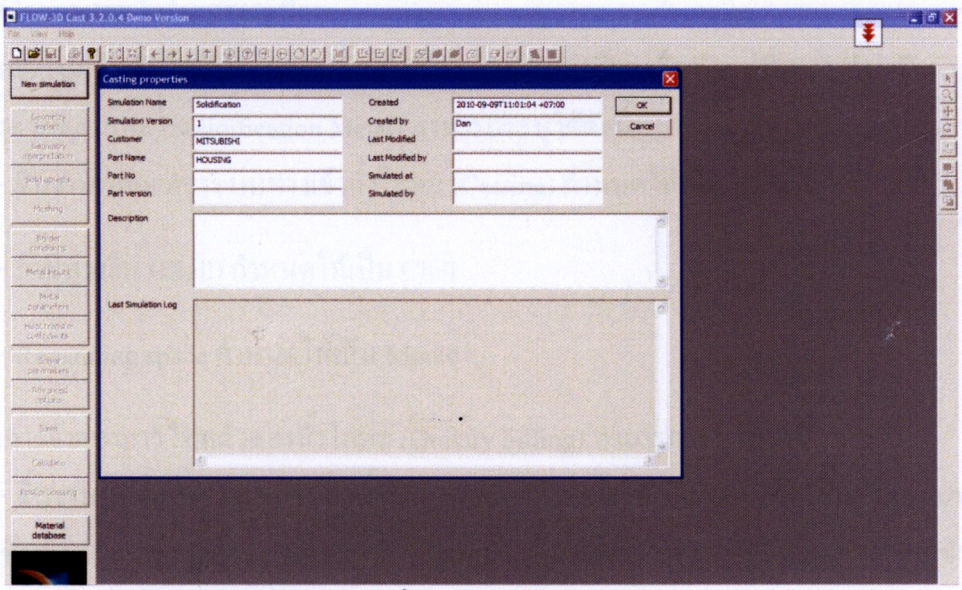
รูปที่ 3.9 แบบชิ้นงานสามมิติมีโดยมีการใส่ระบบป้อนเติม (Riser) และทุ่นเย็น (Chill)

3.2 การใช้โปรแกรมจำลองการหล่อด้วยคอมพิวเตอร์

3.2.1 เข้าเมนูหลัก

เริ่มจากเปิดโปรแกรม Flow-3D

จากนั้น คลิก เลือก New simulation >>>> ตั้งชื่องาน ชื่อลูกค้า และอื่นๆที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.10

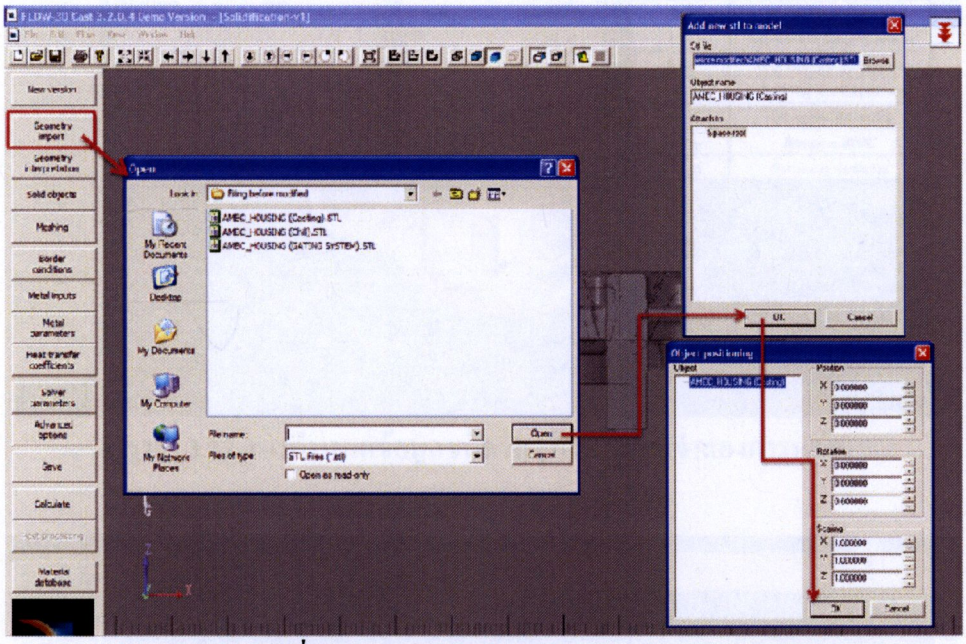


รูปที่ 3.10 เข้าเมนูหลัก

3.2.2 Geometry import

เป็นคำสั่งเพื่อนำไฟล์ .Stl (Stereo Litho-graphic) ที่แปลงมาจาก ไฟล์ CAD 3D ของชิ้นงานเข้ามาโดย เริ่มจากการนำชิ้นงานกับระบบทางเข้าน้ำโลหะเข้ามา ซึ่งรูทางเข้าน้ำโลหะจะต้องอยู่ที่แกน Z

เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณแกน Z คือค่า G (Gravity) ตามแรงโน้มถ่วงนั่นเอง และในส่วนที่เป็นทุ่นเย็น (Chill) จะต้องแยกไฟล์และนำเข้ามาตามลำดับ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การนำไฟล์ Stl เข้าสู่โปรแกรม

3.2.3 Geometry interpretation

เป็นการกำหนดค่าเพื่อให้โปรแกรมทราบถึงสิ่งที่นำเข้ามาว่าคืออะไร ดังรูปที่ 3.12 สำหรับการจำลองการแข็งตัวของโลหะ (Solidification Metal) สามารถระบุได้ดังนี้

- ชิ้นงานหล่อและระบบทางเข้าน้ำโลหะ (Casting) กำหนดให้เป็น Metal

- ถ้ามีทุ่นเย็น (Chill) กำหนดให้เป็น Chill

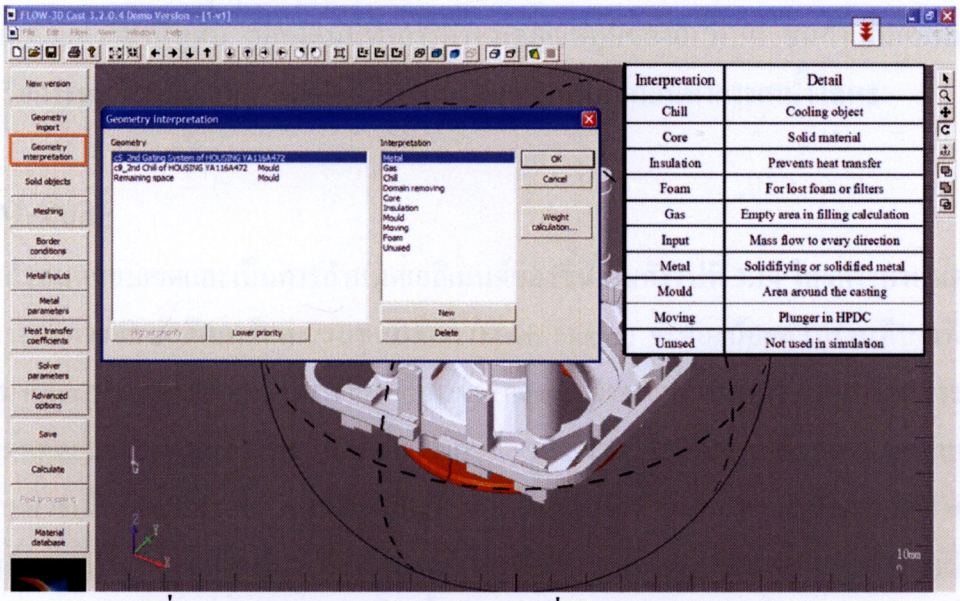
- Remaining space กำหนดให้เป็น Mould

สำหรับการจำลองการไหลตัวของน้ำโลหะ (Gravity Filling) สามารถระบุได้ดังนี้

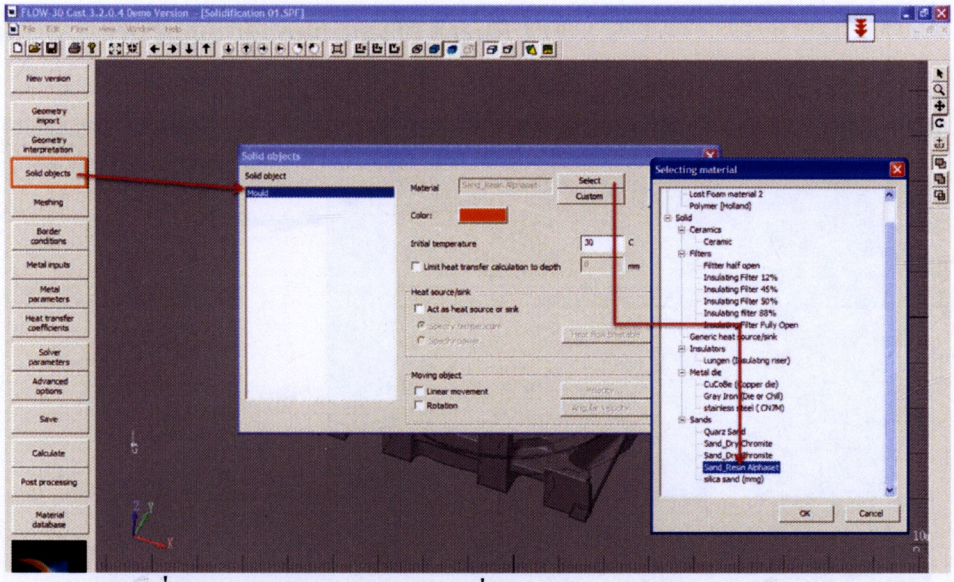
- ชิ้นงานหล่อและระบบทางเข้าน้ำโลหะจะต้องกำหนดให้เป็น Gas เพื่อให้โปรแกรมทราบถึงส่วนที่เป็นชิ้นงานหล่อและระบบทางเข้าน้ำโลหะนั้นเป็นช่องว่างเพื่อการคำนวณการไหลเข้าของน้ำโลหะ

- ถ้ามีทุ่นเย็น (Chill) กำหนดให้เป็น Chill

- Remaining space กำหนดให้เป็น Mould



รูปที่ 3.12 การกำหนดข้อมูลชนิดวัสดุที่ใช้ในการจำลองการหล่อ



รูปที่ 3.13 การกำหนดวัตถุส่วนที่มีผลต่อการแข็งตัวของงานหล่อ

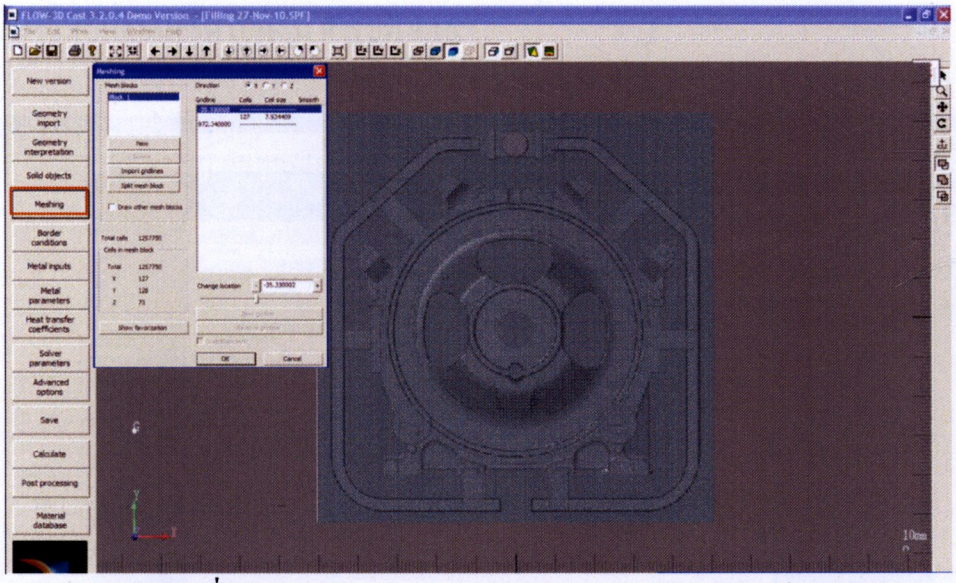
3.2.4 Solid Objects

เป็นการกำหนดข้อมูลเกี่ยวกับส่วนที่มีผลต่อการแข็งตัว คือ ชนิดของวัสดุที่เป็นแบบหล่อ เช่น การใช้ทรายทำเป็นแบบหรือใช้เหล็กเป็นแม่พิมพ์ โดยในส่วนของงานวิจัยนี้ใช้ทรายทำแบบชนิด Furan Resin ดังนั้นในการกำหนดค่าในโปรแกรมจึงเลือกวัสดุที่ใช้ทำแบบ Sand Resin Alphaset ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงส่วนวัสดุที่ใช้ทำทุ่นเย็นคือ Gray Iron (Die or Chill) ให้เลือกวัสดุดังกล่าว ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแบบหรือแม่พิมพ์นั้นมีความสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อทำการหล่อโลหะ และจะมีผลทำให้โลหะที่ผ่านการหล่อจะมีอัตราการเย็นตัวที่เร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแบบ เช่นแม่พิมพ์ที่เป็นโลหะจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการ

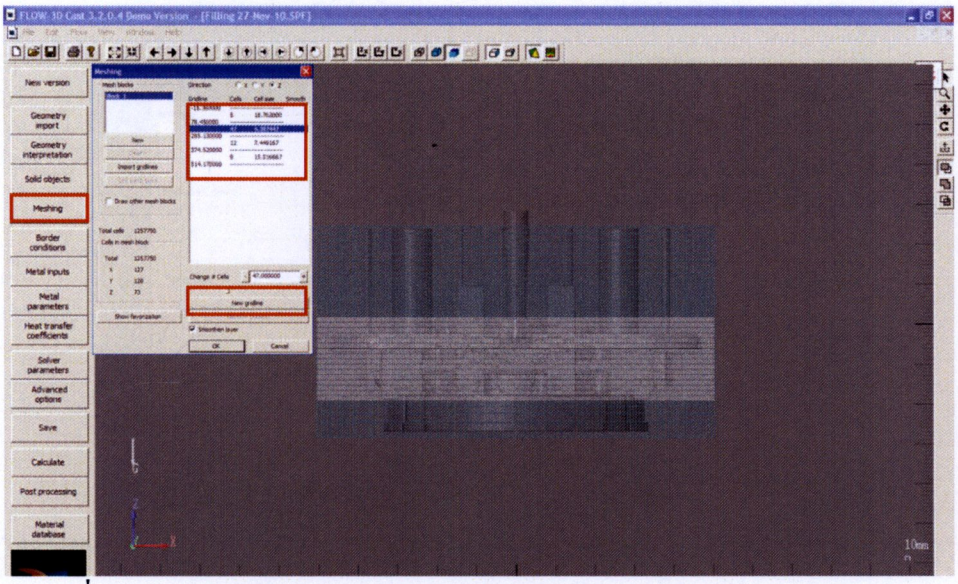
หล่อแบบด้วยทราย เป็นต้น ต่อจากนั้นทำการกำหนดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ เช่นถ้าเป็นแม่พิมพ์ชนิดโลหะหรือการหล่ออลูมิเนียมอาจจะต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนทำการเทน้ำโลหะ

3.2.5 Meshing

เป็นการกำหนดขอบเขตและเป็นการกำหนดเอลิเมนต์ของชิ้นงานดังรูปที่ 3.14 โดยการกำหนดจะต้องกำหนดระยะห่างของเอลิเมนต์แต่ละเมชทบล็อค (Mesh blocks) จะต้องน้อยกว่าส่วนที่บางที่สุดของความหนาชิ้นงานทดลองซึ่งส่วนที่บางที่สุดคือรูเข้า (Ingate) มีขนาดความหนา 6 มม. ดังนั้นระยะของเอลิเมนต์แต่ละเมชทบล็อคควรมีความหนาน้อยกว่า 6 มม. งานวิจัยนี้เมชทบล็อคมีขนาดเซลล์อยู่ที่ 3 มม. และควรเน้นความละเอียดในส่วนที่เป็นชิ้นงานกับทางเข้าน้ำโลหะเพราะเป็นส่วนที่สำคัญทั้งนี้เพื่อการคำนวณที่แม่นยำแต่ค่าที่ละเอียดมากเกินไปหรือระยะห่างของช่องของเมชบล็อคถี่เกินไปจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณยาวนาน ดังนั้นจึงควรสร้าง New gridline เพื่อช่วยลดจำนวนของเมชบล็อก โดยเน้นตรงส่วนที่เป็นชิ้นงานกับระบบทางน้ำโลหะให้ละเอียดส่วนที่อยู่รอบนอกนั้นไม่สำคัญให้กำหนดจำนวนเมชบล็อคหยาบลงได้ ดังรูปที่ 3.15



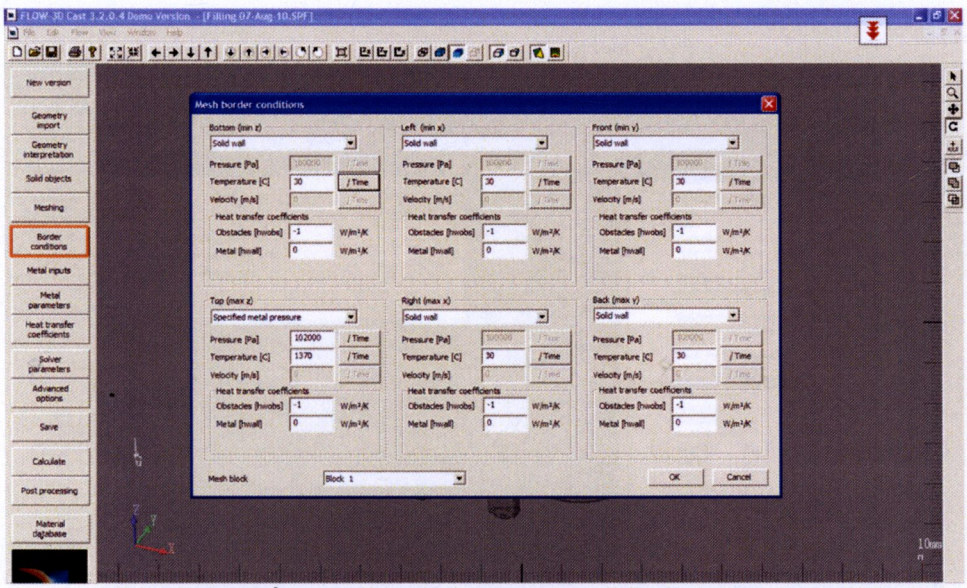
รูปที่ 3.14 การกำหนดขอบเขตและการกำหนดเอลิเมนต์



รูปที่ 3.15 การกำหนดขอบเขตและการกำหนดเอลิเมนต์จำนวนเมชบล็อคหยาบ

3.2.6 Border conditions

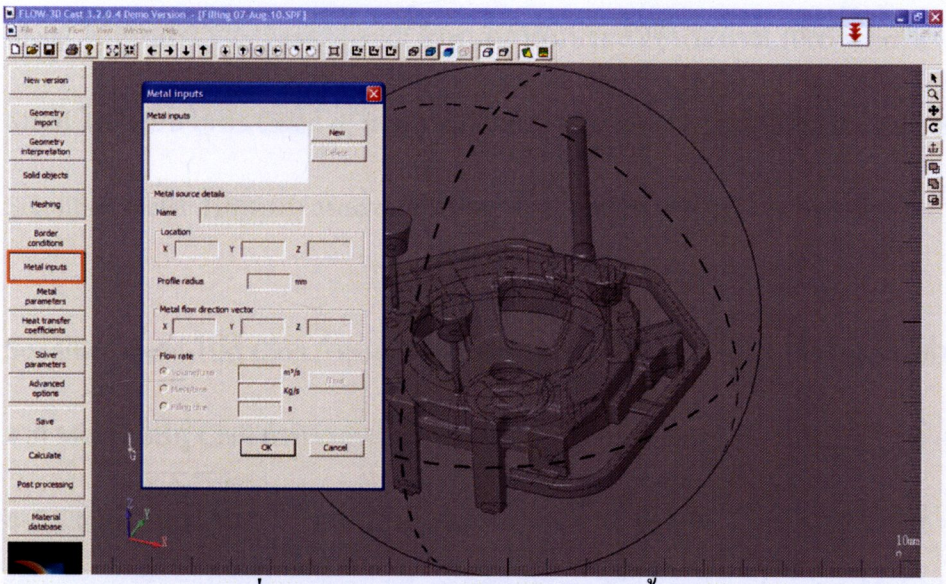
เป็นการบอกอุณหภูมิและสภาวะขอบเขตของผนังโดยรอบโมล เช่นผนังโมลเป็นเหล็กโดยรอบเป็นอากาศและพื้นเป็นคอนกรีต เป็นต้น ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การกำหนดสภาวะขอบเขตโดยรอบ

3.2.7 Metal inputs

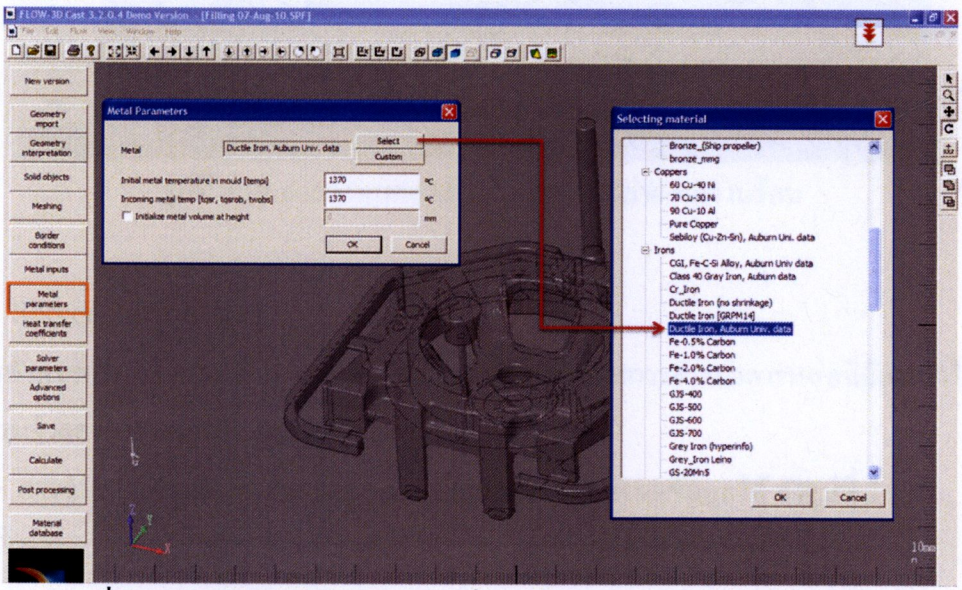
เป็นการกำหนดช่องทางเข้าของน้ำโลหะจากปากเบ้าเท (Ladle) ลงสู่ช่องทางเข้าน้ำโลหะ ในส่วนของงานวิจัยนี้ไม่ต้องกำหนดเนื่องจากได้กำหนดให้ช่องทางเข้าน้ำโลหะอยู่สูงกว่าเมชบล็อค (Mesh blocks) ในแกน Z แล้วโดยโปรแกรมจะสามารถคำนวณได้ว่าเป็นช่องทางเข้าของน้ำโลหะ



รูปที่ 3.17 การกำหนดช่องทางเข้าของน้ำโลหะ

3.2.8 Metal parameters

เป็นการกำหนดชนิดของวัสดุที่จะนำมาทำการทดลองและอุณหภูมิเท ในการวิจัยครั้งนี้วัสดุที่นำมาจำลองการหล่อคือชนิดเหล็กหล่อเหนียว (Ductile iron) จากนั้นทำการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการเทน้ำโลหะลงสู่แบบโมลและกำหนดอุณหภูมิเทจะอยู่ที่ประมาณ 1370 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การกำหนดชนิดของวัสดุที่จะนำมาทำการทดลองและอุณหภูมิเท

3.2.9 Heat transfer coefficients

เป็นการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างกันและการกำหนดค่าต่างๆดังนี้

- Metal ไปสู่แบบทราย (Sand Mould) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ประมาณ 1000 W/m²/K

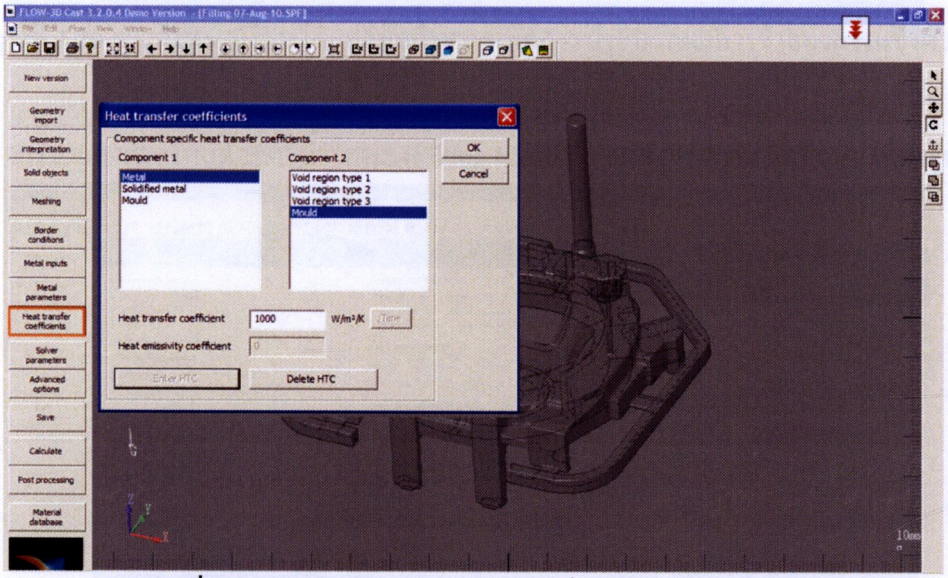
- Metal ไปสู่แบบโลหะ (Steel of Iron Mould) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ประมาณ 2000 W/m²/K

- Solidified metal ไปสู่แบบ Mould กำหนดค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1 W/m²/K (ถ้าไม่ทราบค่าใส่ –1)

- Solidified metal ไปสู่ Chill กำหนดค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1 W/m²/K (ถ้าไม่ทราบค่าใส่ –1)

- จาก Mould ไปสู่ Chill กำหนดค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1 W/m²/K (ถ้าไม่ทราบค่าใส่ –1)

- จาก Chill ไปสู่ Mould กำหนดค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1 W/m²/K (ถ้าไม่ทราบค่าใส่ –1)

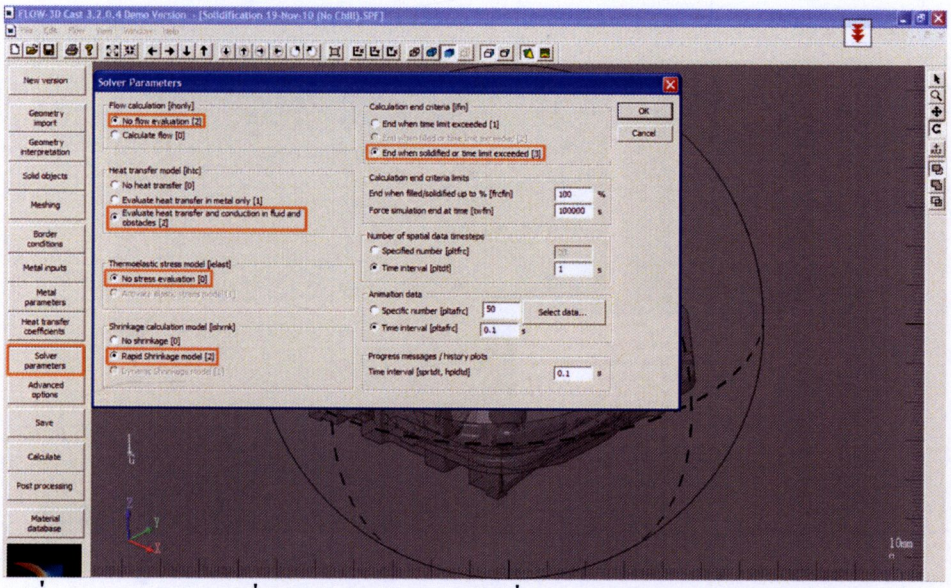


รูปที่ 3.19 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

3.2.10 Solver Parameters

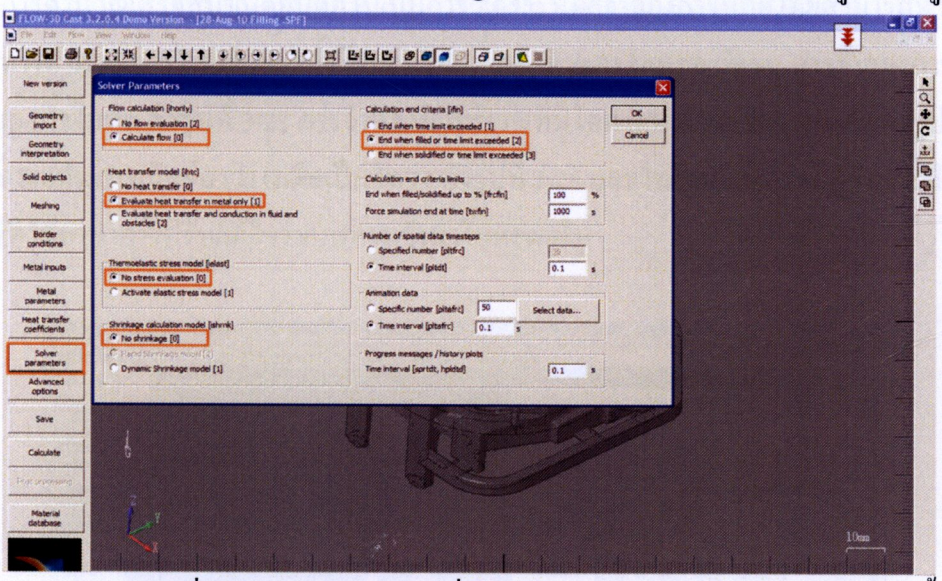
เป็นการกำหนดเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆเพื่อการประมวลผลการจำลองการหล่อที่ต้องการให้โปรแกรมจำลองการหล่อการหล่อคำนวณหา

- การจำลองการแข็งตัว (Solidification) โดยสามารถกำหนดข้อมูลได้ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การกำหนดเงื่อนไขและข้อกำหนดเพื่อการประมวลผลการจำลองการแข็งตัว

- การจำลองการไหลตัวของน้ำโลหะ (Filling Metal) โดยสามารถกำหนดข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.21



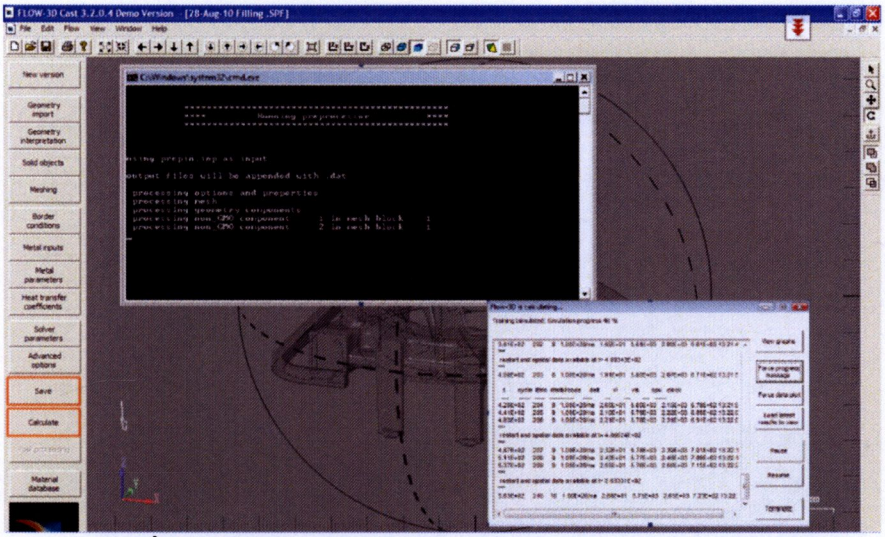
รูปที่ 3.21 การกำหนดเงื่อนไขและข้อกำหนดเพื่อการประมวลผลการจำลองการไหลของน้ำโลหะ

3.2.11 Advanced options

เป็นส่วนที่ต้องกำหนดถ้ามีความต้องการให้โปรแกรมคำนวณในส่วนที่ต้องการหานอกเหนือไปจากข้อมูลที่อยู่ใน Solver Parameters เช่นการจำลองการไหลตัวของน้ำโลหะอาจจะต้องเพิ่มข้อมูลลงไป

3.2.12 การบันทึก Save และเริ่มการคำนวณ Calculate

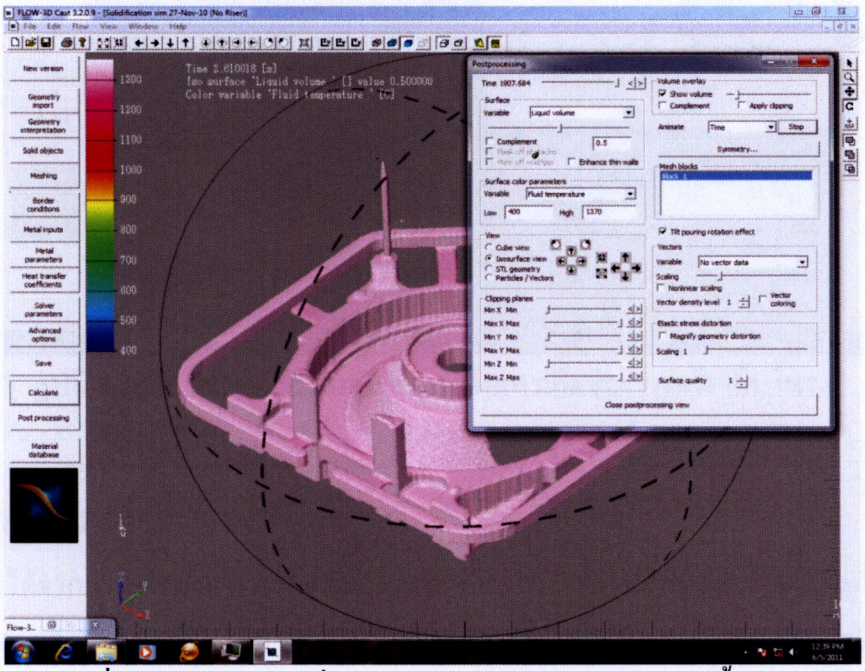
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการกำหนดข้อมูลต่างๆครบถ้วนแล้วทำการ Save ต่อจากนั้นกด Calculate เพื่อเริ่ม Running โปรแกรมจำลองการหล่อและรอจนกว่าจะคำนวณเสร็จ



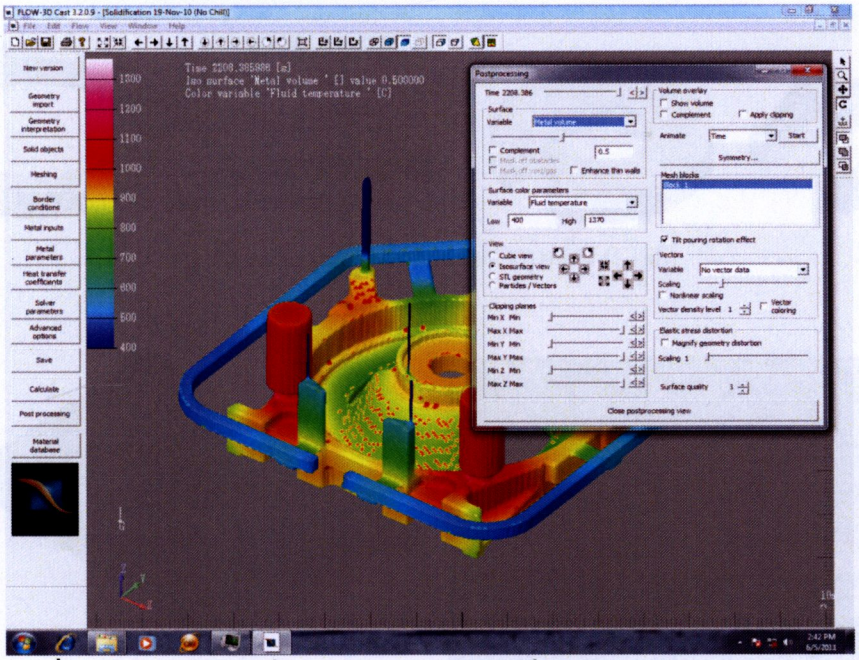
รูปที่ 3.22 การบันทึก (Save) และเริ่มการคำนวณ (Calculate)

3.2.13 การเลือกคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ผลจำลองการหล่อ (Post processing)

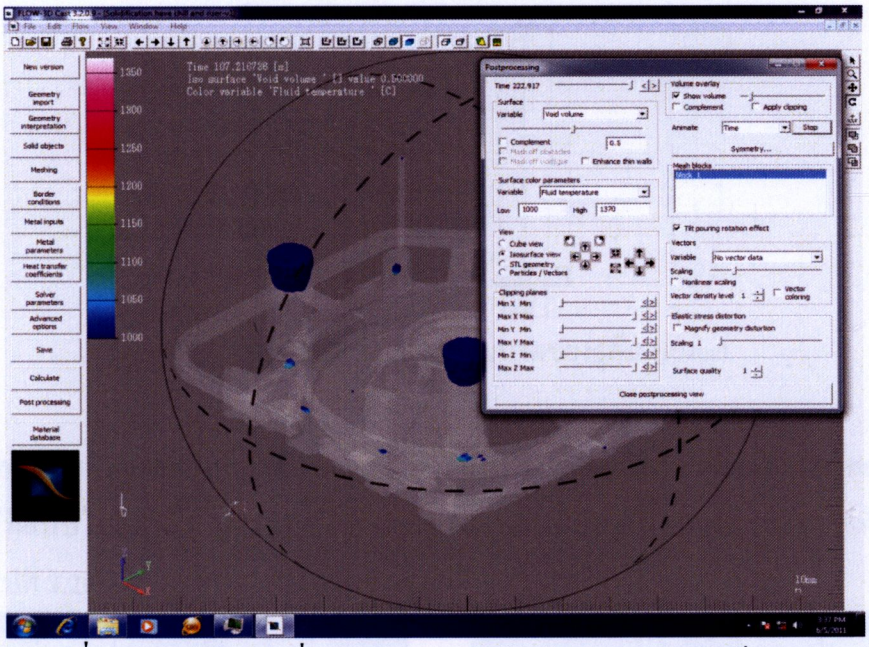
หลังจากการคำนวณเสร็จสิ้นขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ผลจำลองการหล่อโดยสามารถหาผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการไหลตัวของน้ำโลหะหรือการแข็งตัวของโลหะอาทิเช่น การจำลองการแข็งตัวสุดท้ายของน้ำโลหะ ดังรูปที่ 3.23 การจำลองหาบริเวณที่มีโอกาสเกิดการโพรงหดตัว ดังรูปที่ 3.24 การจำลองระดับการเกิดช่องว่างหรือเป็นโพรง ดังรูปที่ 3.25 และในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาทำการปรับแก้ไขระบบทางเข้าน้ำโลหะต่อไป



รูปที่ 3.23 การเลือกคำสั่งการจำลองการแข็งตัวสุดท้ายของน้ำโลหะ



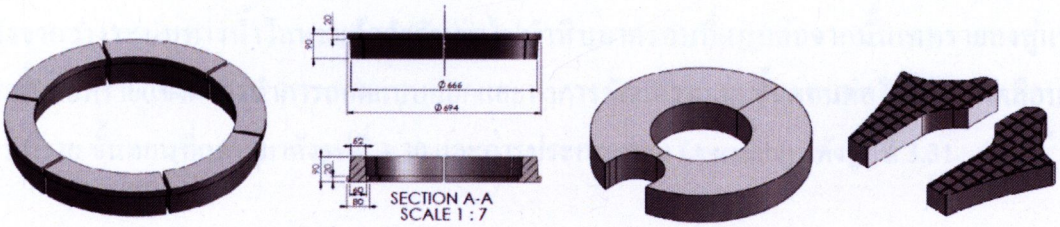
รูปที่ 3.24 การเลือกคำสั่งการจำลองหาบริเวณที่มีโอกาสเกิดการโพรงหดตัว



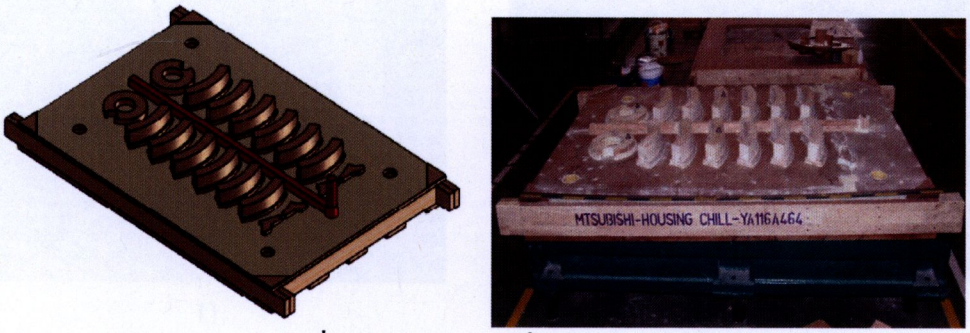
รูปที่ 3.25 การเลือกคำสั่งการจำลองระดับการเกิดช่องว่างหรือเป็นโพรง

3.3 การทดลองหล่อชิ้นงานจริง

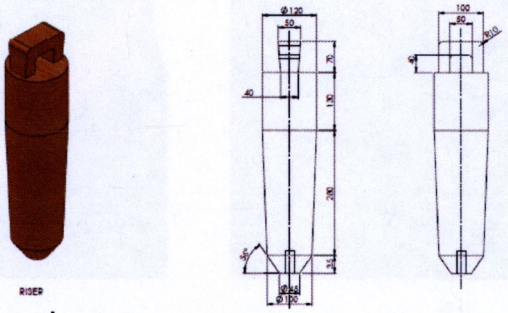
จากข้อมูลที่ได้จากการจำลองการหล่อแล้วนำผลที่ดีที่สุดมาทำการปรับปรุงแก้ไขระบบโดยการเพิ่มทุ่นเย็น (Chill) และ ตัวป้อนเติม (Riser) เพื่อลดการเกิดจุดเสียชนิดโพรงหดตัว ซึ่งจะทำการออกแบบสร้างทุ่นเย็นดังรูปที่ 3.26 โดยใช้แบบไม้ (Wood Pattern) สำหรับทำแบบทุ่นเย็น ดังรูปที่ 3.27 และรูล้น (Riser) ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.26 รูปร่างลักษณะของทุ่นเย็น (Chill)

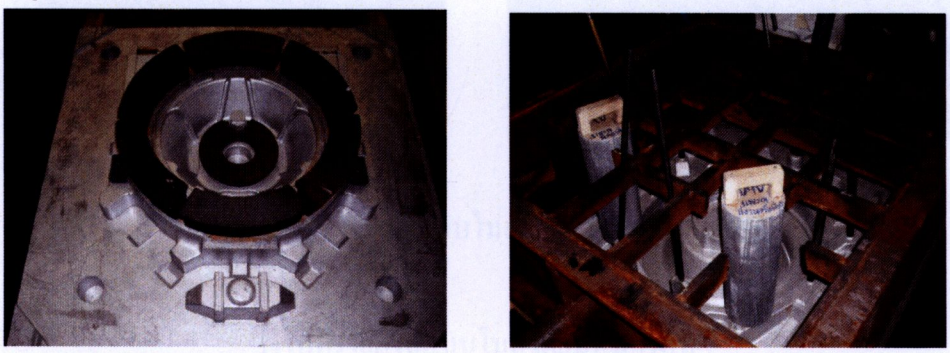


รูปที่ 3.27 รูปแบบไม้ที่ใช้ทำทุ่นเย็น



รูปที่ 3.28 รูปร่างและขนาดของรูล้น (Riser)

จากการทดลองการจำลองการหล่อได้นำผลแบบทดลองที่ 5 มาทำการทดลองหล่อจริง โดยวางทุ่นเย็น (Chill) ไว้ที่แบบโมลฝาล่าง และแบบโมลฝาบนจะวางระบบทางน้ำโลหะ รูระบายแก๊สและรูล้น (Riser) ดังรูปที่ 3.29



แบบโมลฝาล่าง แบบโมลฝาบน

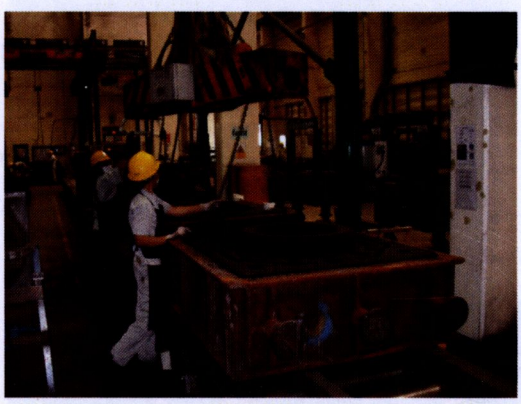
รูปที่ 3.29 การวางระบบทางน้ำโลหะจากผลการจำลองการหล่อ แบบทดลองที่ 5

หลังจากวางระบบทางน้ำโลหะแล้วลำดับต่อไปนำหีบมาครอบที่แบบต่อจากนั้นเททรายลงสู่แบบ จากนั้นรอทรายแข็งตัวจึงทำการถอดแบบออกและทำการขัดแต่งทราย ขั้นตอนต่อไปทำการเคลือบผิวแบบทราย ขั้นตอนที่กล่าวมาดังรูปที่ 3.30 และการประกอบงาน (Assembly) ดังรูปที่ 3.31

1)

2)

3)



4)

5)

6)

รูปที่ 3.30 การทำแบบโมลสำหรับการทดลองหล่อจริง

1) เททรายลงสู่แบบโมลโดยมีหีบครอบ

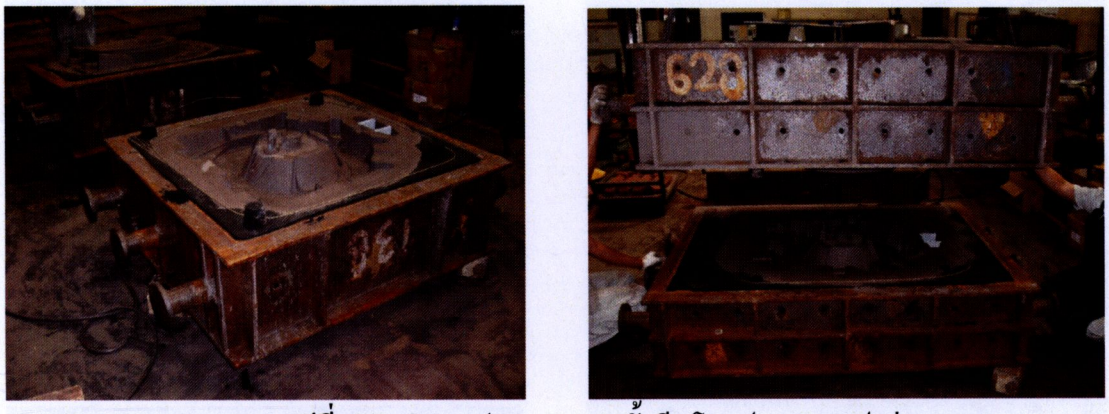
2) ทำการปาดทรายและรอทรายแข็งตัว

3) ตกแต่งครีบทราย

4) ทำการเคลื่อนย้ายแบบทรายโมล

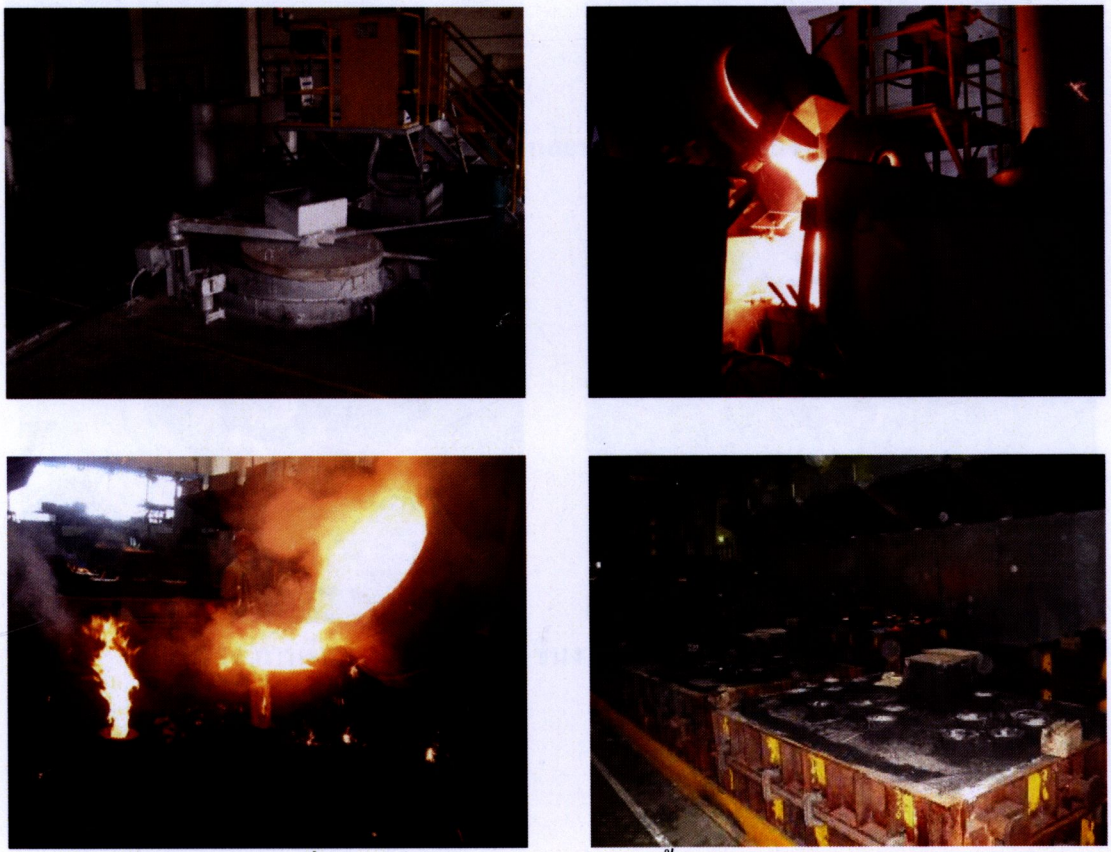
5) ทำการพ่นโค๊ท (Coating) เพื่อป้องกันทรายละลายเมื่อแบบทรายสัมผัสกับน้ำโลหะ

6) แบบทรายโมลหลังการพ่นโค๊ท



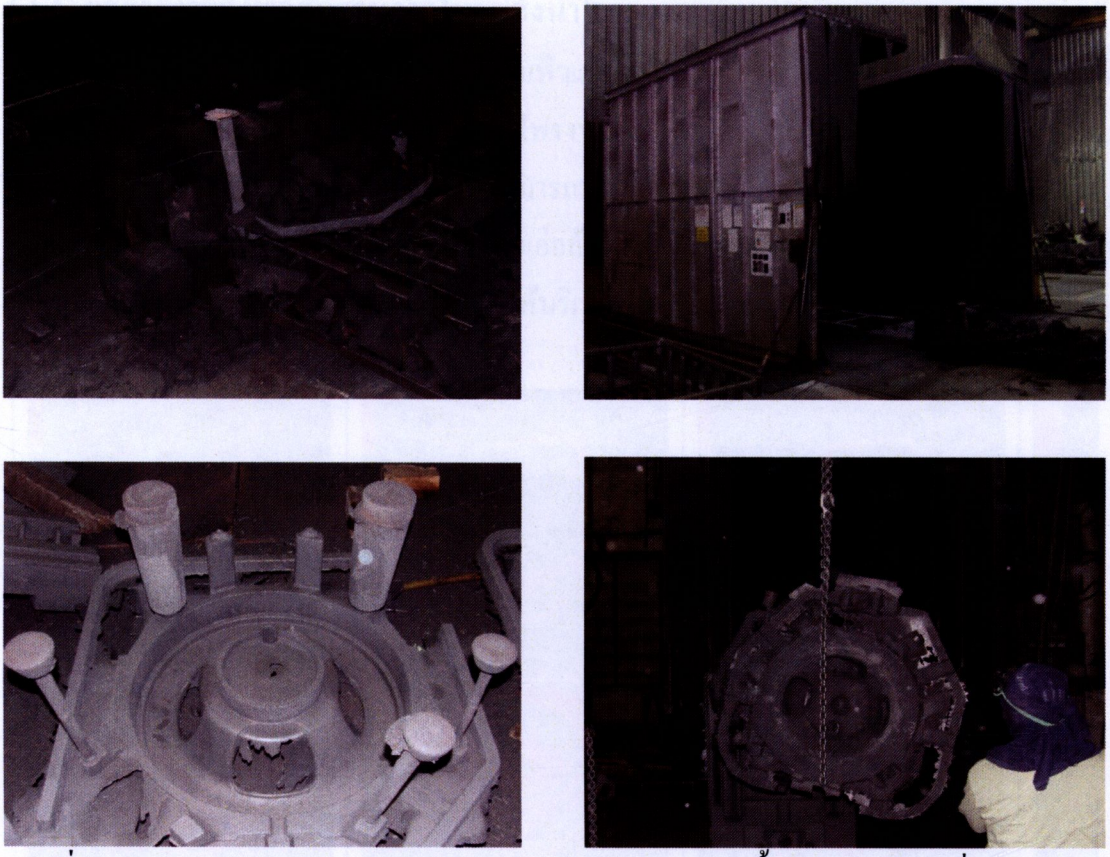
รูปที่ 3.31 ทำการประกอบงานทั้งหีบโมลฝาบนและฝาล่าง

หลังจากประกอบงานเสร็จแล้วลำดับต่อไปเป็นขั้นตอนการหล่อหลอมโลหะ (Melting) และการเทน้ำโลหะลงสู่แบบ (Pouring) ดังรูปที่ 3.32

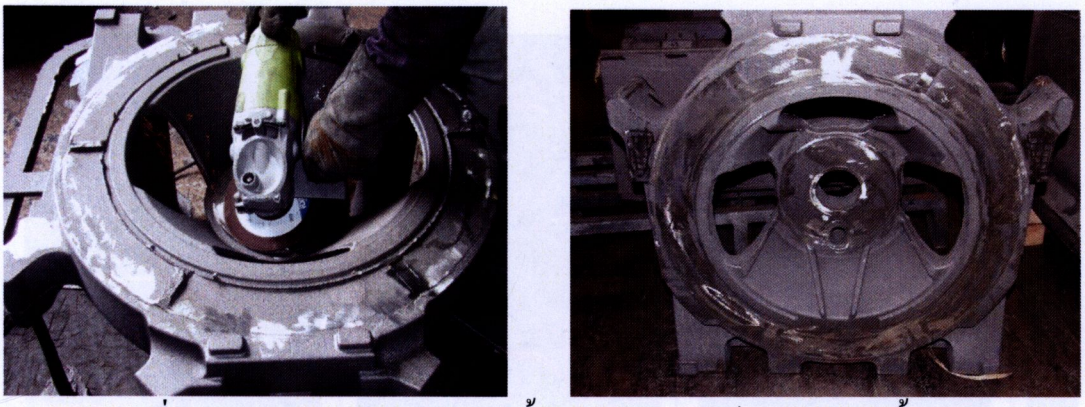


รูปที่ 3.32 การหล่อโลหะและการเทน้ำโลหะลงสู่แบบ

เมื่อทำการหล่อโลหะเสร็จแล้ว รอจนกว่าโลหะแข็งตัวแล้วจึงนำไปเขย่าเอาทรายออกและทำความสะอาดผิวชิ้นงานหล่อด้วยการนำเข้าเครื่องยิงทราย (Shot blast) ดังรูปที่ 3.33 จากนั้นนำไปเจียร์ตกแต่งครีบโลหะและระบบทางน้ำโลหะออกดังรูปที่ 3.34 เพื่อสามารถนำชิ้นงานไปตรวจสอบในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.33 การเขย่าเอาทรายออก (Shake out) และทำความสะอาดชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องยิงทราย



รูปที่ 3.34 การเจียระไน (Grinding) ชิ้นงานและการเจียร์ตัดระบบทางน้ำออก