

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1. คอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์
2. โปรแกรม 3D-SIGMA สำหรับวิเคราะห์การไหลของยางในแม่พิมพ์
3. เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง

วิธีการ

แนวทางในการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบแม่พิมพ์และในการใช้งานแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยาง
2. ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการวิจัย
3. นำข้อมูลเบื้องต้นมาใช้เป็นความรู้พื้นฐานในการนำเทคโนโลยี CAD/CAE มาใช้
4. ทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงานที่ต้องการผลิตโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)
5. ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม 3D-SIGMA เพื่อทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ ความดัน และเวลา
6. วิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้และจัดทำเป็นเอกสารเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

7. สรุปผลการดำเนินงานโครงการวิจัย

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) ซึ่งเป็นการเก็บค่าตัวแปรในขั้นตอนการทดสอบในการฉีดยางเข้าไปในแม่พิมพ์ รวมถึงผลที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์การไหล 3D-SIGMA

ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) ซึ่งได้จากการสำรวจเอกสารจากงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้หมายถึงรวมถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจำลองการไหล และเอกสารประกอบการออกแบบแม่พิมพ์ยาง

ข้อมูลและแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. ข้อมูลสำรวจจากเอกสารทางด้านยางจาก ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ข้อมูลด้านการใช้โปรแกรม 3D-SIGMA จาก SIGMA Engineering GmbH
3. ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง และ curing time ของยาง จากทางบริษัท เอ็มเอสซี พีอาร์ สอง จำกัด
4. ข้อมูลค่าการนำความร้อนของยางจากกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
5. ข้อมูลค่าความหนาแน่นและค่าของความหนืดที่ขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนของยางจากศูนย์ทดสอบคุณสมบัติของยาง (Rubber Technology Unit (Mahidol – MTEC)) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

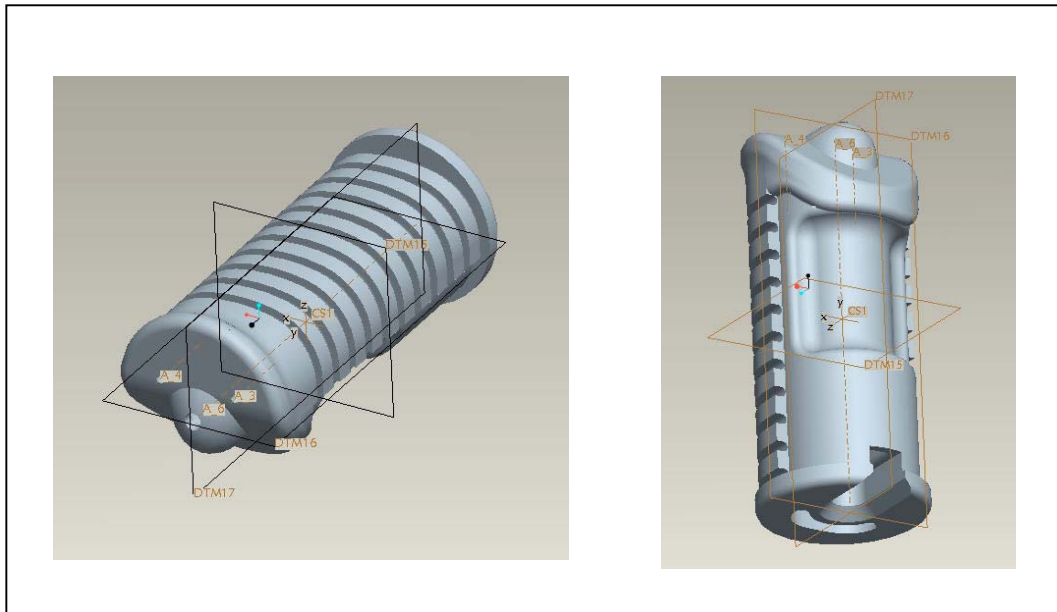
6. ข้อมูลค่าความจุความร้อนของยาง จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การออกแบบวิธีวิจัย (Research Design)

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มด้วยการเลือกชิ้นงานที่นำมาเป็นกรณีศึกษาจากบริษัทร่วมวิจัย คือ ที่วางเท้ารถจักรยานยนต์ (rubber step) ดังแสดงในภาพที่ 59 จากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นแบบชิ้นงาน 3 มิติโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (CAE) โดยอ้างอิงขนาดต่าง ๆ ตามแบบชิ้นงานที่เป็นแบบ 2 มิติ ดังภาพที่ 60 จากนั้นจึงเริ่มทำการออกแบบระบบทางวิ่ง (runner) รูเข้า (gate) และจำนวนเบ้า (cavity) โดยได้ออกแบบให้จำนวนเบ้าชิ้นงานเป็น 4 เบ้า ส่วนลักษณะของทางวิ่ง และรูเข้าได้ออกแบบโดยอ้างอิงให้ใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ของทางบริษัทร่วมวิจัยดังภาพที่ 61 เมื่อได้แบบชิ้นงานแล้วจึงทำการจัดเก็บไฟล์ในรูปแบบ STL File โดยแบ่งไฟล์ชิ้นงานออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ เช่น ไฟล์ชิ้นงาน ไฟล์รูเข้า ไฟล์ทางวิ่ง เป็นต้น เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA แล้วนำมาสร้างแม่พิมพ์ดังแสดงในภาพที่ 62



ภาพที่ 59 ชิ้นงานที่วางเท้ารถจักรยานยนต์

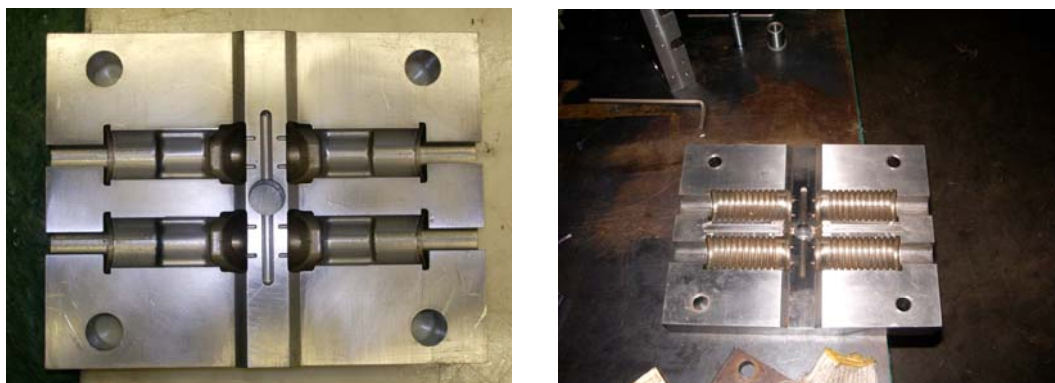


ภาพที่ 60 แบบชิ้นงานที่สร้างด้วยโปรแกรม CAD

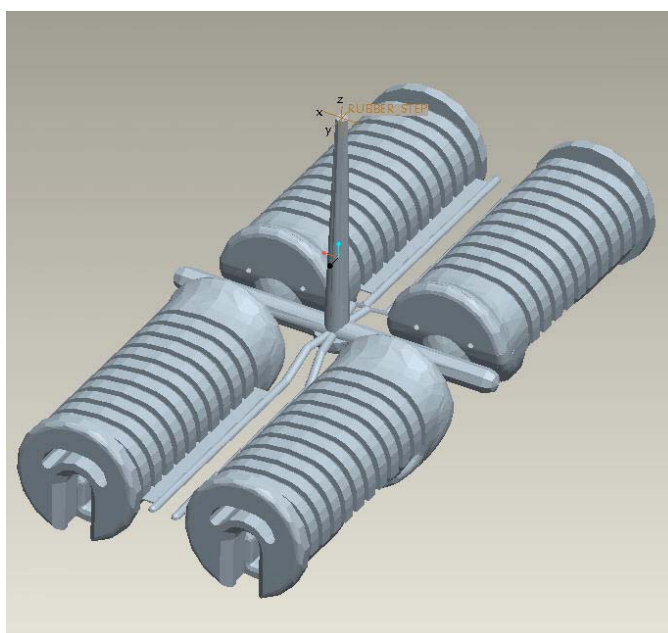


ภาพที่ 61 แม่พิมพ์ของทางบริษัทร่วมวิจัย

ที่มา: บริษัท เอ็มเอสซี พิวาร์ สอง จำกัด



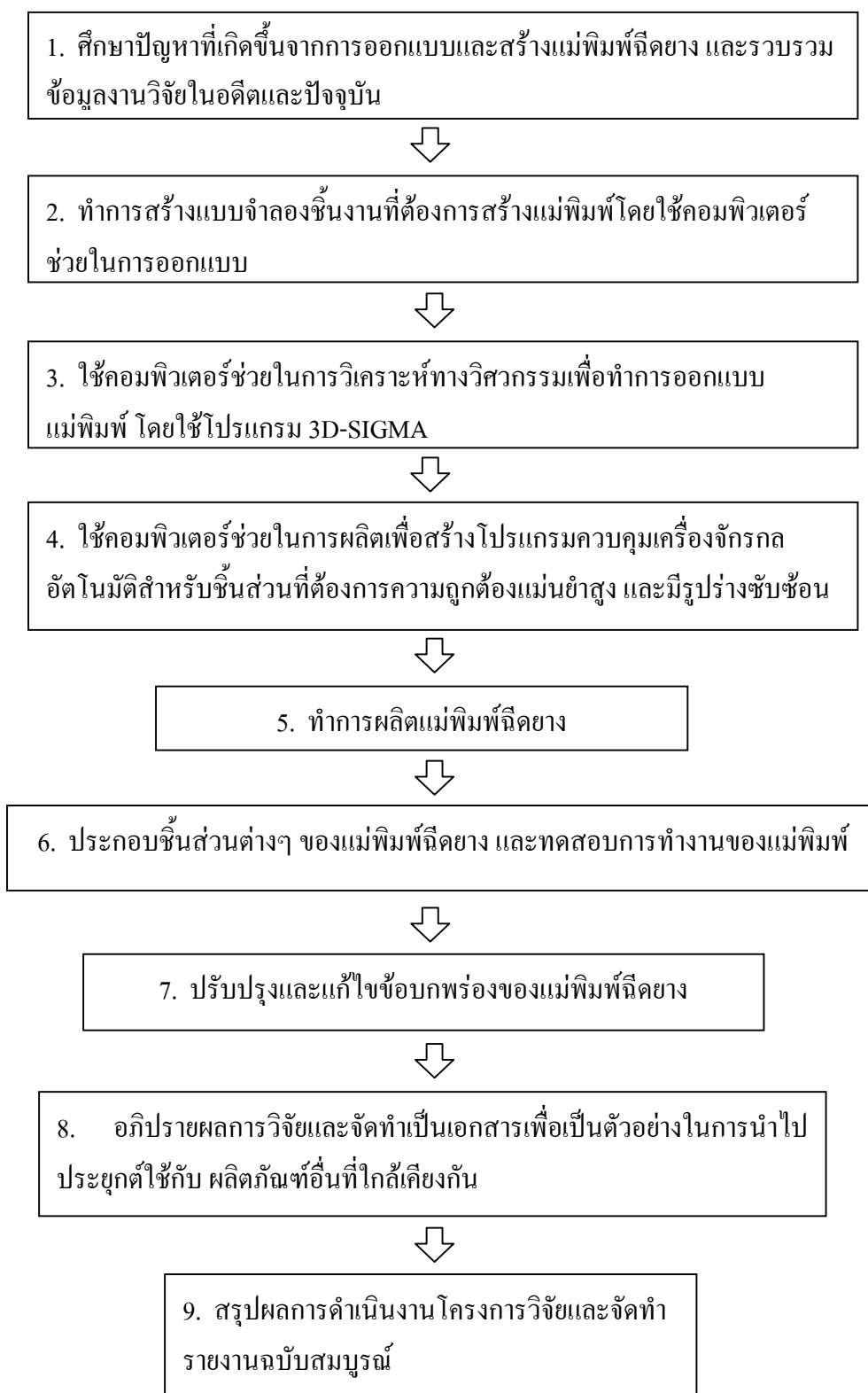
ภาพที่ 62 แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น



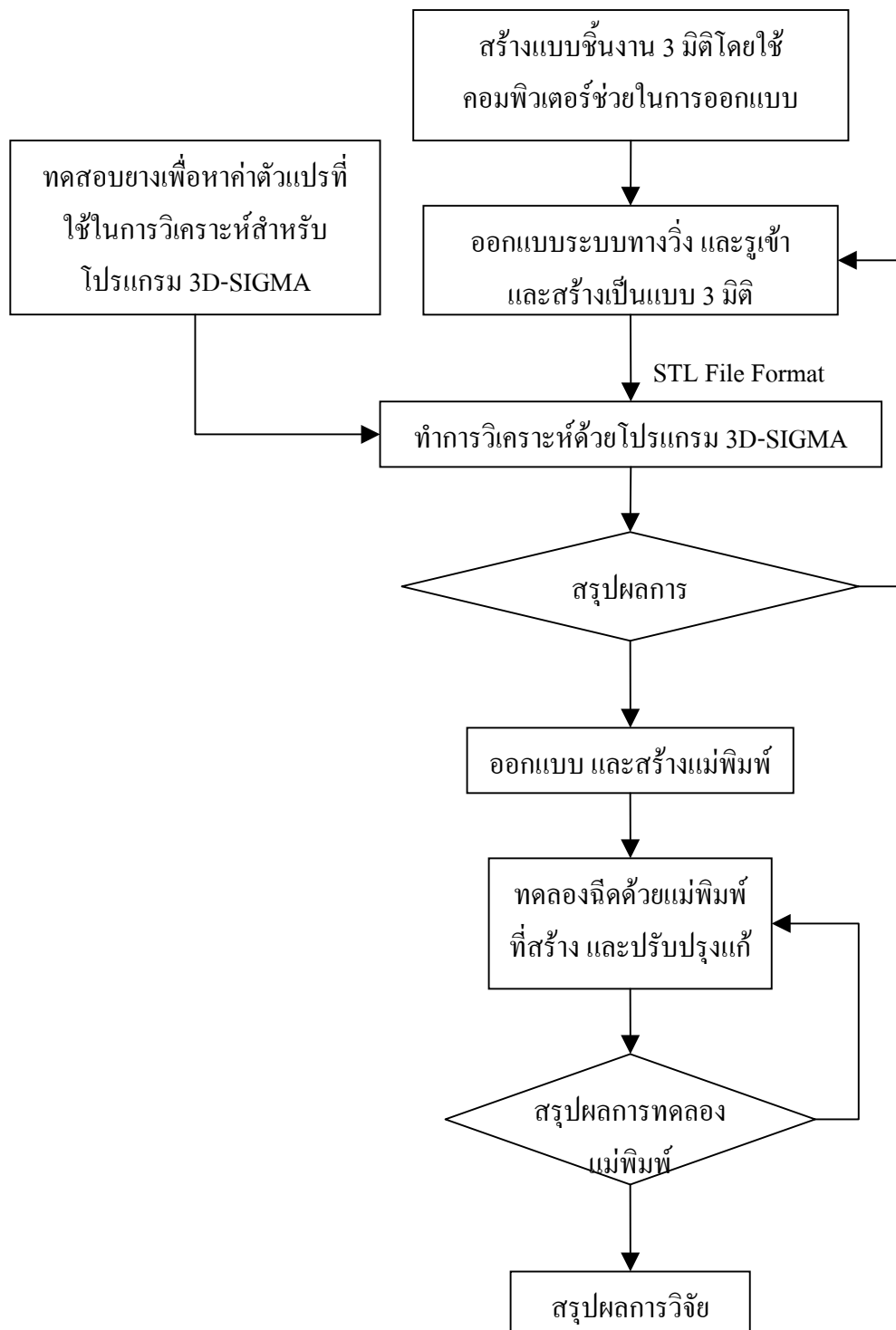
ภาพที่ 63 แบบชิ้นงาน ทางวิ่ง และรูเข้าที่สร้างด้วยโปรแกรม CAD

โดยการดำเนินโครงการวิจัยและ ลำดับการดำเนินการวิจัยแสดงในภาพที่ 64

แผนผังการดำเนินโครงการวิจัย



ภาพที่ 64 แสดงลำดับการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 64 (ต่อ)

รายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์

เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการติดตั้งโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การไหลภายในแม่พิมพ์ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- CPU Intel Xeon 2.4 GHz x2 CPU
- หน่วยความจำขนาด 4 GB
- ฮาร์ดดิสก์ ขนาด 240 GB
- การ์ดแสดงผล หน่วยความจำขนาด 256 MB
- ระบบปฏิบัติการ Window XP Professional

2. โปรแกรม 3D-SIGMA

3D-SIGMA เป็นโปรแกรมที่อยู่บนพื้นฐาน 3D Volume Elements ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์หาจุดการทำงานที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์และยาง (polymer and rubber injection moulding) ซึ่งโปรแกรมจะทำการจำลองรูปแบบของการไหลและการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งแต่เดิมแล้วโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาบนฐานของ UNIX แต่ในปัจจุบันสามารถที่จะนำมาใช้หรือสามารถรองรับโปรแกรมที่ใช้บน Windows ได้โดยในปัจจุบันโปรแกรมได้ถูกพัฒนาจนถึง Release 4.3 แล้ว

1) การทำงานของโปรแกรม 3D-SIGMA Release 4.3

ขั้นตอนของการใช้โปรแกรมเริ่มจากการกำหนดรูปทรงต่าง ๆ ของชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูปโดยการฉีด ต่อจากนั้นจึงออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์เพื่อที่จะทำการจำลองการทำงานของเครื่องฉีดวัสดุเข้าไปในแม่พิมพ์ผลิตซึ่งโปรแกรม 3D-SIGMA มีพื้นฐานการทำงานอยู่สมการ Navier – Stokes ซึ่งสามารถที่จะจำลองลักษณะการไหลของโพลีเมอร์และยางเพื่อช่วยในการกำหนดรูปร่างขนาดของแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบ

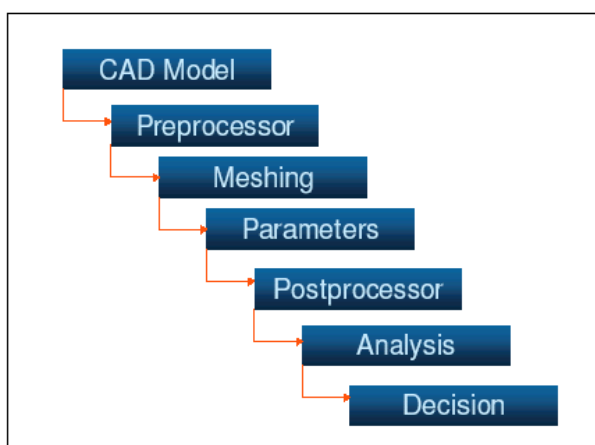
2) ข้อมูลทั่วไปของโปรแกรม 3D-SIGMA Release 4.3

- สามารถคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิของวัสดุในช่วงขณะทำการฉีด
- ขณะทำการจำลองการฉีด สามารถแสดงรูปแบบของการไหลของวัสดุที่เข้าไปในแม่พิมพ์ได้ทุกขั้นตอนตามที่ต้องการ
- ระยะเวลาของการฉีดวัสดุเข้าไปในแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ ซึ่งสามารถกำหนดได้ในโปรแกรมก่อนทำการจำลองการไหล
- ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถให้มีทั้งแบบการนำ (conduction) การพา (convection) และการแผ่รังสี (radiation) ได้
- สามารถใช้ศึกษาตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ในการฉีดวัสดุได้ เช่น เวลาในการฉีด ลักษณะของการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ ความเร็วที่ใช้ขณะทำการฉีด และความดันสูงสุดที่เกิดระหว่างการฉีด
- สามารถคำนวณเวลาการไหลของวัสดุที่เข้าสู่แม่พิมพ์ และตำแหน่งของวัสดุที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ได้
- สามารถแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่เกิดกับชิ้นงานและแม่พิมพ์ ซึ่งทำให้เกิดลักษณะของการหดตัวของวัสดุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลักษณะเฉพาะของการขึ้นรูปวัสดุโดยการฉีดนั้นจะต้องดูลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิทั้งตัวชิ้นงานและแม่พิมพ์ ซึ่งจะมีผลต่อการขึ้นรูป ดังนั้นโปรแกรม 3D-SIGMA สามารถกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในการฉีดวัสดุและดูถึงลักษณะของการกระจายตัวของอุณหภูมิของยางที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ได้อย่างชัดเจน
- สามารถคำนวณหาความเค้นที่ตกค้างที่กระจายอยู่ในชิ้นงานที่ฉีด
- สามารถคำนวณระดับความเค้นในแต่ละจุดของรูปทรงของชิ้นงานได้

- สามารถประมาณอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้เนื่องจากสามารถคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นที่แม่พิมพ์ได้

3) หลักการ โดยทั่วไปของโปรแกรม 3D-SIGMA

ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม 3D-SIGMA ดังแสดงในภาพที่ 65

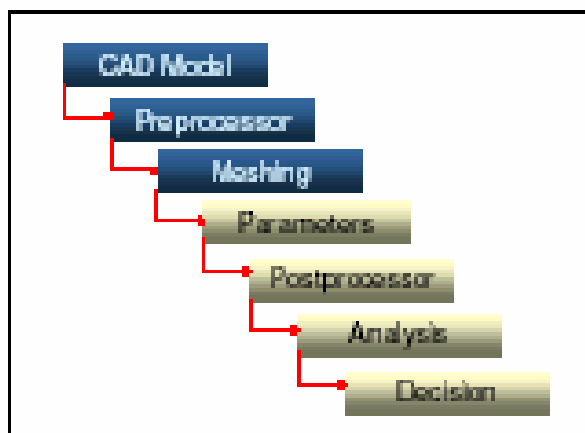


ภาพที่ 65 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโปรแกรม 3D-SIGMA

รูปทรงของแบบจำลองในโปรแกรม 3D-SIGMA

ในโปรแกรม 3D-SIGMA แบบจำลองจะถูกเขียนขึ้นจากโปรแกรม CAD ต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผ่านข้อมูลให้กับโปรแกรม 3D-SIGMA ได้โดยมีลักษณะเป็น STL (stereolithography - format) หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่สามารถที่จะแปลงรูปแบบของแบบจำลองเป็น STL files เช่น Solid Works, Unigraphics เป็นต้น

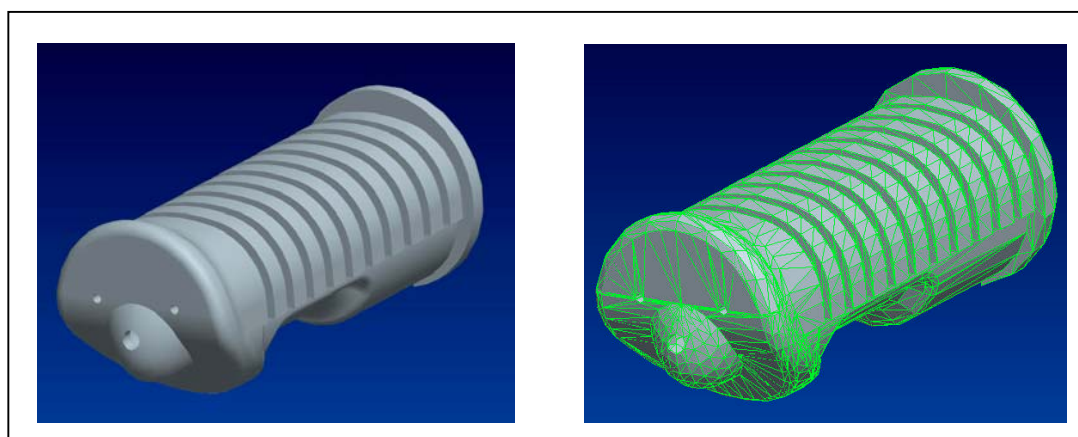
ในภาพที่ 66 นั้นจะแสดงถึงขั้นตอนในการสร้างรูปทรงของชิ้นงาน (CAD model) และการกำหนดชิ้นส่วนต่างที่จะทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม เช่น ชิ้นงาน (parts) ช่องทางวิ่ง (runner) รูฉีด (gate) แม่พิมพ์ (mould) และช่องทางเข้า (inlet) และการกำหนดขนาดของอิลิเมนต์ของชิ้นงานให้เหมาะสมก่อนที่จะทำการวิเคราะห์



ภาพที่ 66 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานโปรแกรม 3D-SIGMA ก่อนทำการจำลองการไหล

รูปทรงชิ้นงาน (CAD Model)

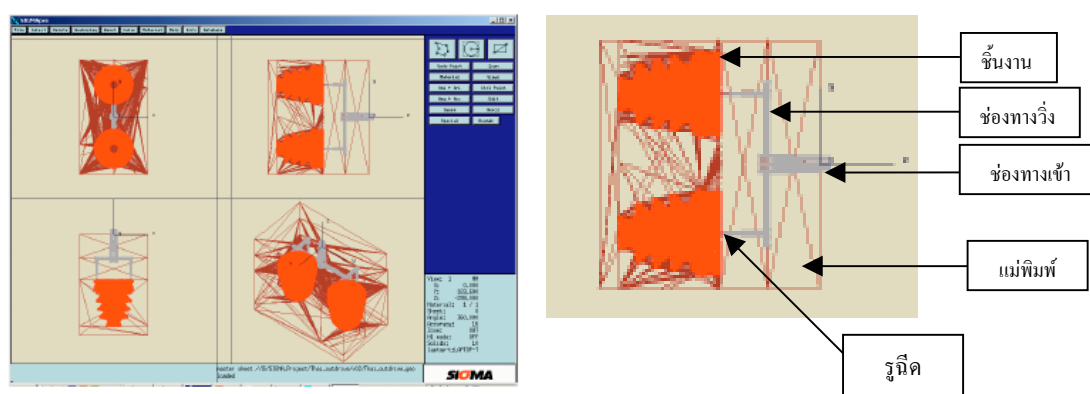
ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ยางรองเท้าจักรยานยนต์ (rubber step) (ภาคผนวก ก) ดังภาพที่ 67 เมื่อได้รูปทรงของชิ้นงาน ทางวัง รูธิดแล้วจากนั้นทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของ STL files (ต้องกำหนดพิกัดของชิ้นส่วนแต่ละอันให้อยู่ในรูปแบบจริงที่จะทำการฉีด) ควรกำหนดให้จุดเริ่มต้นของแกน (origin) อยู่บนปากทางเข้าของทางวัง



ภาพที่ 67 ยางรองเท้าจักรยานยนต์ที่ใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบเขียนขึ้น

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม 3D-SIGMA

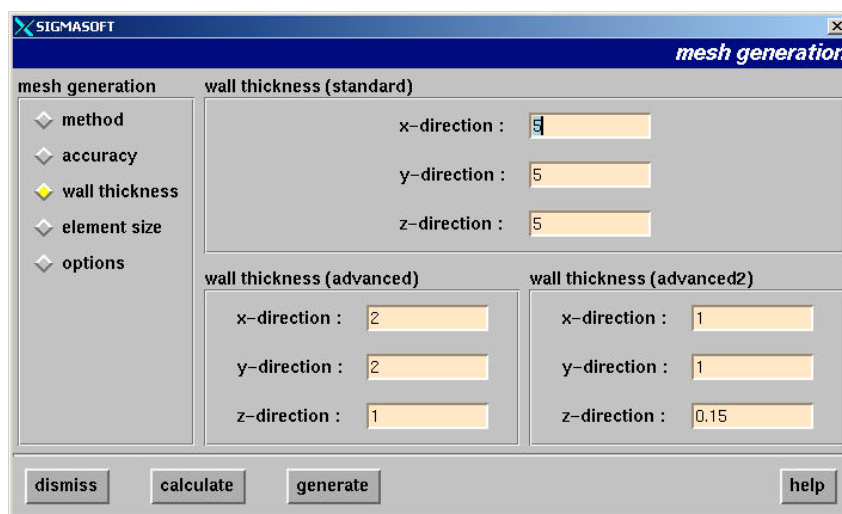
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปิดข้อมูลของแบบจำลองที่ได้ทำการเขียนไว้ในรูปของ STL files โดยการใช้คำสั่ง Preprocessor ในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้สร้างขึ้นภายในโปรแกรมได้แก่ ชิ้นงาน (parts) ช่องทางวิ่ง (runner) รูเข้า (gate) แม่พิมพ์ (mould) และช่องทางเข้า (inlet) ดังแสดงในภาพที่ 68



ภาพที่ 68 จะแสดงหน้าต่างของขั้นตอน Preprocessor

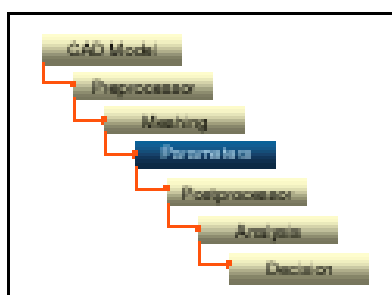
การกำหนดค่าของเอลิเมนต์ (Meshing)

ในการกำหนดค่าของเอลิเมนต์นั้นในขั้นแรกของโปรแกรมนั้นสามารถที่จะกำหนดได้ โดยการแบ่งโดยอัตโนมัติหรือถ้าจำนวนของเอลิเมนต์ที่แบ่งนั้นมีมากจนเกินไปก็สามารถที่จะลดจำนวนของเอลิเมนต์ให้น้อยลงได้โดยการกำหนดจำนวนของเอลิเมนต์เอง ซึ่งถ้าทำการกำหนดเอลิเมนต์เองนั้นจะต้องทำการเช็คค่าของแบบจำลองโดยการดูค่าของปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ความหนาของชิ้นงานเหมาะสมในการแบ่งเอลิเมนต์หรือไม่ถ้ามีปัญหาให้กลับมากำหนดค่าของความหนา (wall thickness) ให้เล็กลงหรือกำหนดค่าของขนาดเอลิเมนต์ (element size) ให้มีขนาดที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 69



ภาพที่ 69 แสดงการกำหนดค่าความหนาของชิ้นงานให้เหมาะสม (wall thickness)

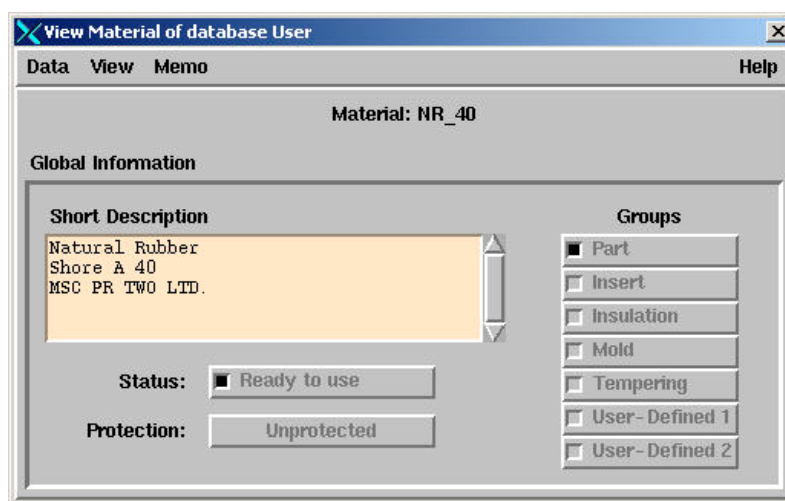
การกำหนดค่าของตัวแปร (Parameter Setting)



ในการกำหนดค่าตัวแปรก่อนที่จะทำการจำลองการไหลนั้นจะต้องเลือกที่จะใช้วัสดุใดในการผลิตชิ้นงานในตัวอย่างที่เห็นในภาพที่ 70 นั้นจะใช้ยาง NR 40 ซึ่งข้อมูลของยางในแต่ละชนิดนั้นจะอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมหรือสามารถที่จะสร้างซึ่งข้อมูลที่ต้องการของการสร้างฐานข้อมูลภายในโปรแกรมได้แก่

- ค่าการนำความร้อน (heat conductivity, Lambda)
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (density, Rho)
- ค่าความจุความร้อน (heat capacity, Cp)
- ค่าความหนืดที่ขึ้นกับอัตราการเฉือน (viscosity as function of shear rate)*
- อัตราการบ่มที่ขึ้นกับเวลา (curing rate as function of time)*

* ในการทดสอบนั้นควรจะทำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 3 ค่าและในแต่ละช่วงของอุณหภูมิหนึ่งควรมีการเก็บข้อมูลไม่ควรน้อยกว่า 15 ค่า



ภาพที่ 70 แสดงถึงการเลือกของชนิดของยางที่จะทำการจำลองการไหล

ทำการกำหนดค่าที่ต้องการพื้นฐานของโปรแกรมได้แก่ค่า

- ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีด (initial temperature) ต้องกำหนดขึ้นตามสภาวะความเป็นจริงดังแสดงในภาพที่ 71
- ค่าของ Heat Conductivity (Lambda) ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ (W/mK) ดังแสดงในภาพที่ 72
- ค่าของ Density (Rho) as function of Temperature ($\text{g/cm}^3, ^\circ\text{C}$) ดังแสดงในภาพที่ 73
- ค่าของ Heat Capacity (Cp) as function of Temperature ($\text{J/kg K, } ^\circ\text{C}$) ดังแสดงในภาพที่ 74
- ผลคูณค่าของ Density (Rho) x Heat Capacity (Cp) as function of Temperature ดังแสดงในภาพที่ 75

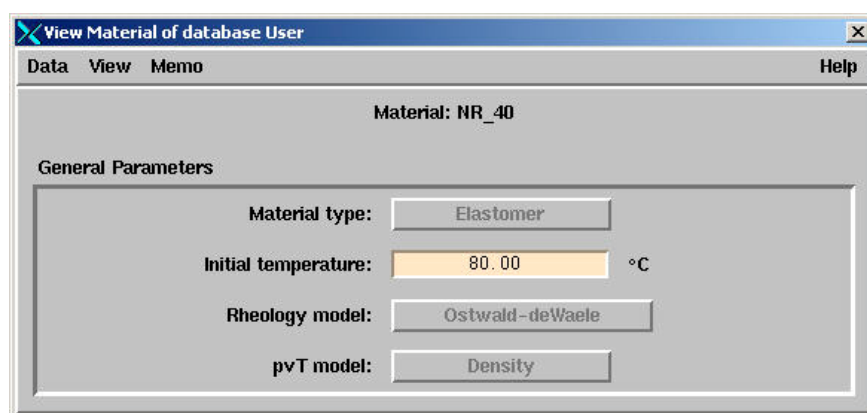
- ค่าของ Dynamic Viscosity at 100.00 c°: Viscosity as function of Shear Rate
 ดังแสดงในภาพที่ 76

เมื่อกำหนดค่าลงไปแล้วหรือเลือกเอาชนิดของยางที่มีในโปรแกรมแล้วโปรแกรม
 ก็จะทำการคำนวณค่าที่จะใช้ในการจำลองการไหลขึ้นมาเองได้แก่ค่าต่าง ๆ ดังนี้

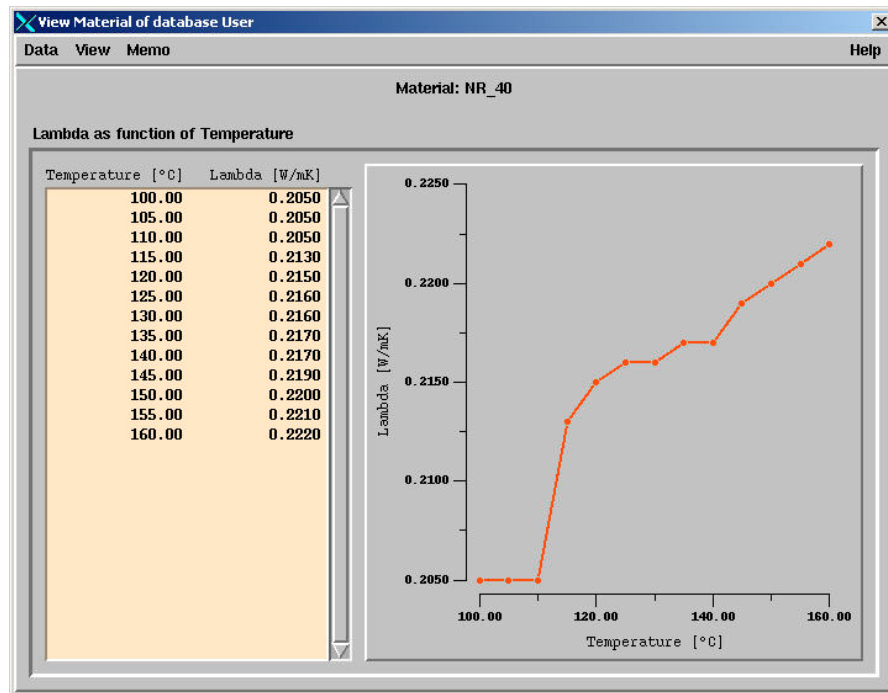
- ค่าของ Rheology (Carreau-WLF)
- Zero Shear Rate (dyn.) Visc. P1 (Pa s)
- Reciprocal Trans-Shear Rate P2 (s)
- Exponent P3
- Reference Temperature T_0 (c°)
- Standard Temperature T_s (c°)
- ค่าของ Dynamic Viscosity: Viscosity as function of Shear Rate ดังแสดงในภาพ
 ที่ 76

- ค่าของ Measured Curing Rate at 150.00 c°: Curing Rate as Function of Time
 ดังแสดงในภาพที่ 77

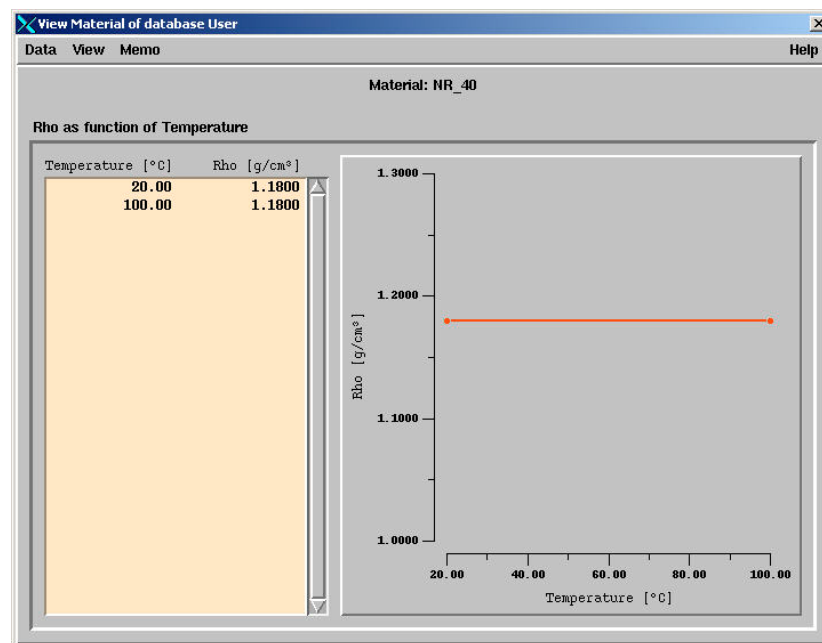
- ค่าของ Weighting Factor ดังแสดงในภาพที่ 78
- ค่าของ Incubation Time (scorch-index) (min, K) ดังแสดงในภาพที่ 79
- ค่าของ Reaction-Kinetics (deng-isayev) (1/minⁿ, J/mol) ดังแสดงในภาพที่ 80
- ค่าของ Curing Rate: Curing Rate as function of Time ดังแสดงในภาพที่ 81



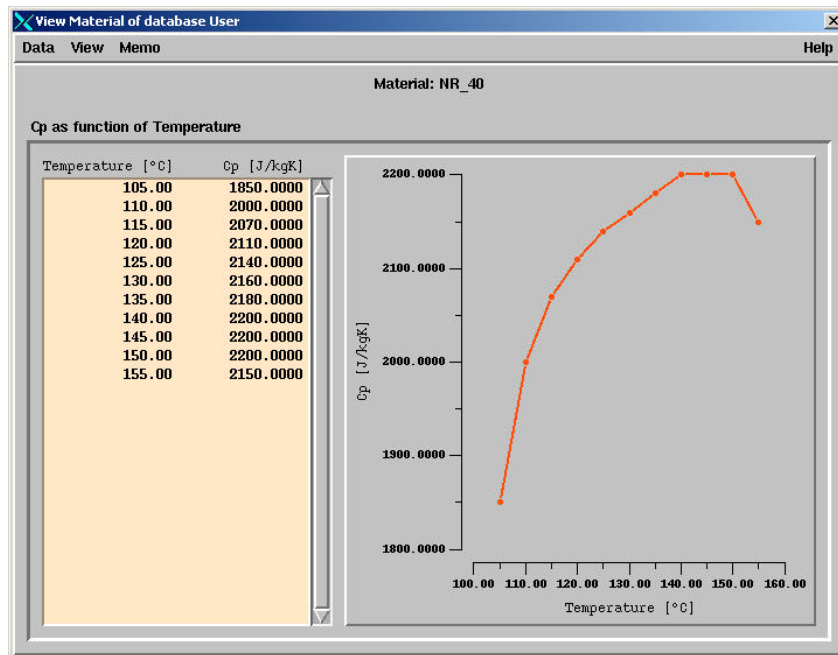
ภาพที่ 71 แสดงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีด (initial temperature)



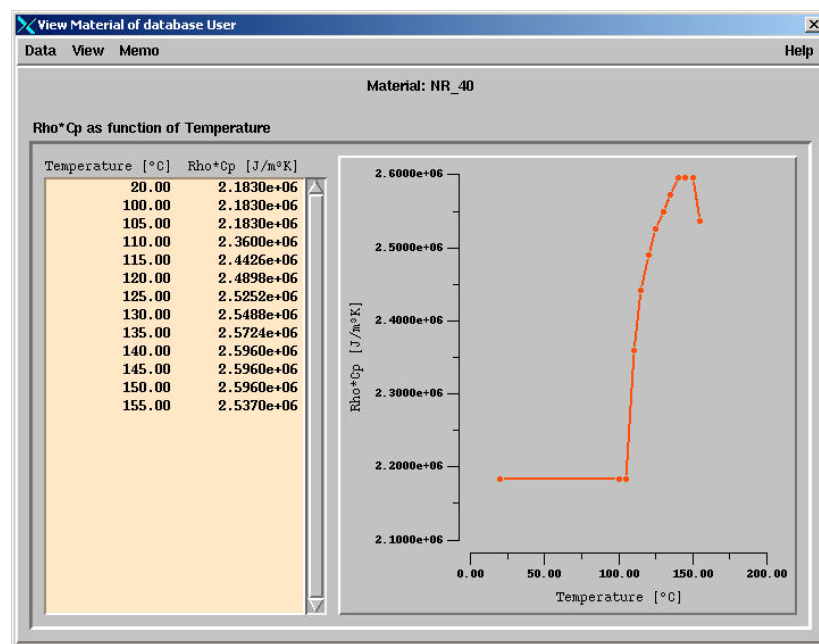
ภาพที่ 72 แสดงค่าของ Heat Conductivity (Lambda) ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ (W/mK)



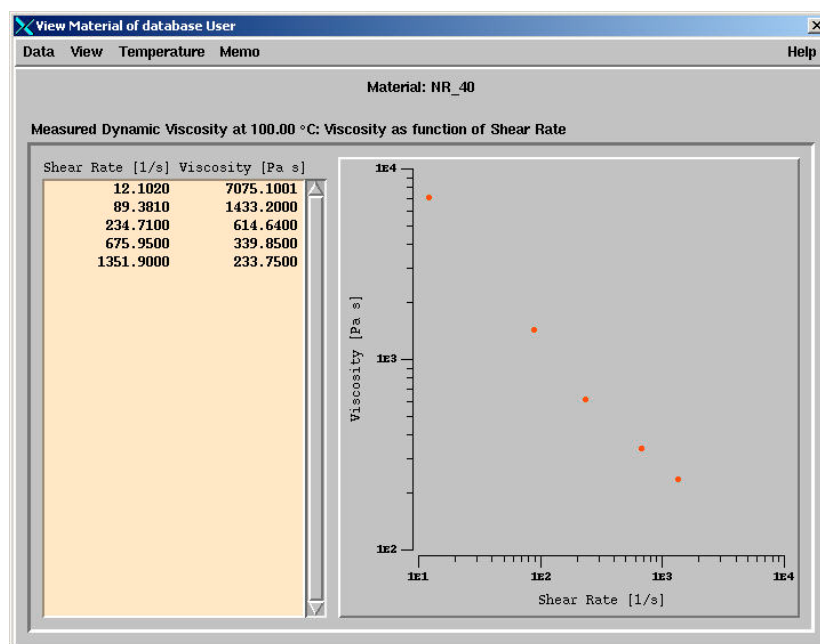
ภาพที่ 73 แสดงค่าของ Density (Rho) as function of Temperature (g/cm^3 , °C)



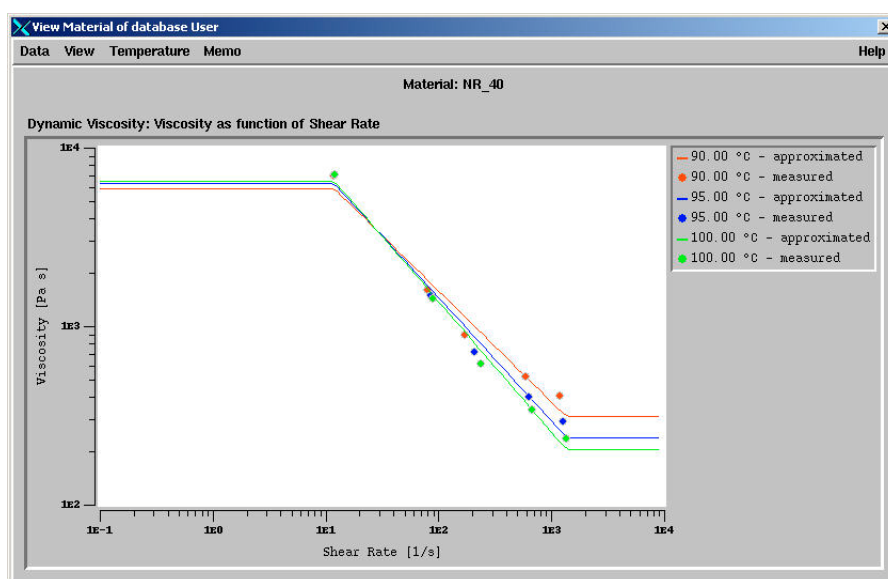
ภาพที่ 74 แสดงค่าของ Heat Capacity (Cp) as function of Temperature (J/kg K, c°)



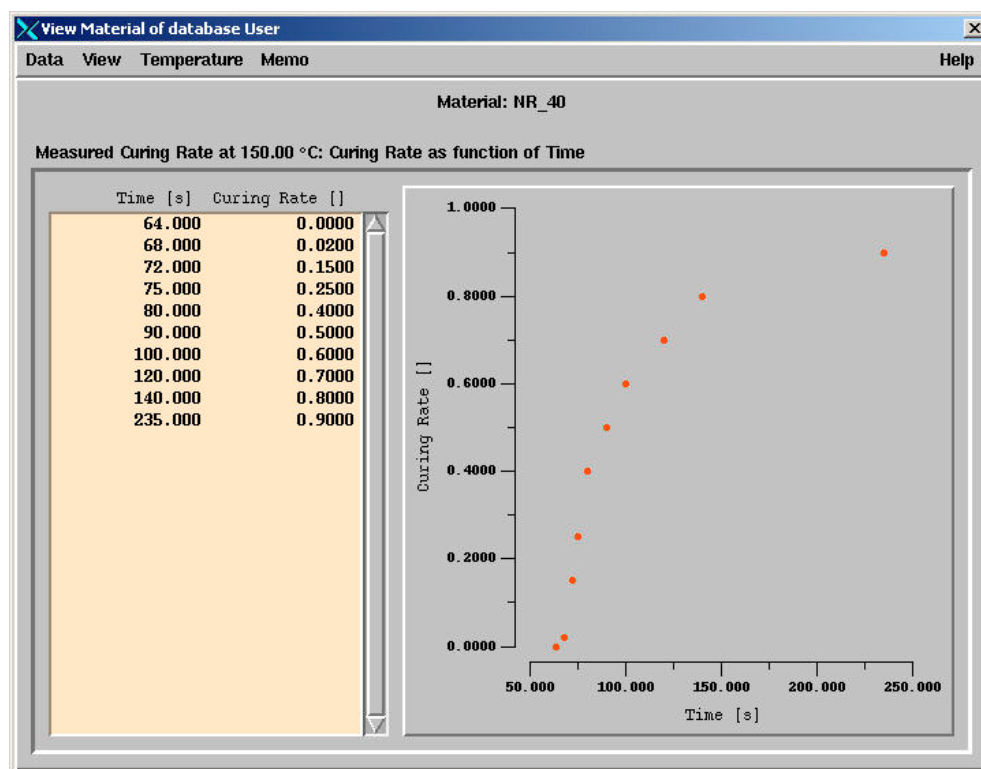
ภาพที่ 75 แสดงค่าของ Density (Rho) x Heat Capacity (Cp) as function of Temperature



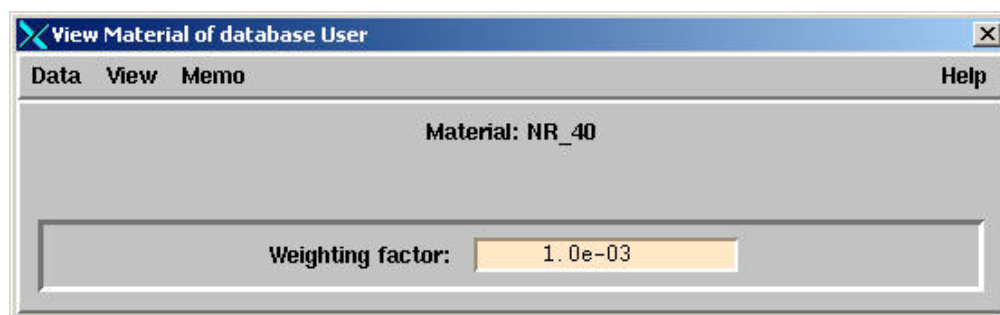
ภาพที่ 76 แสดงค่าของ Dynamic Viscosity at 100.00 °C : Viscosity as function of Shear Rate



ภาพที่ 77 แสดงค่าของ Dynamic Viscosity: Viscosity as function of Shear Rate



ภาพที่ 78 แสดงค่าของ Measured Curing Rate at 150.00 c° : Curing Rate as function of time



ภาพที่ 79 แสดงค่าของ Weighting Factor

View Material of database User

Data View Memo Help

Material: NR_40

Incubation Time (Scorch-Index)

log10(t0): -9.0370 min

T0: 8823.140 K

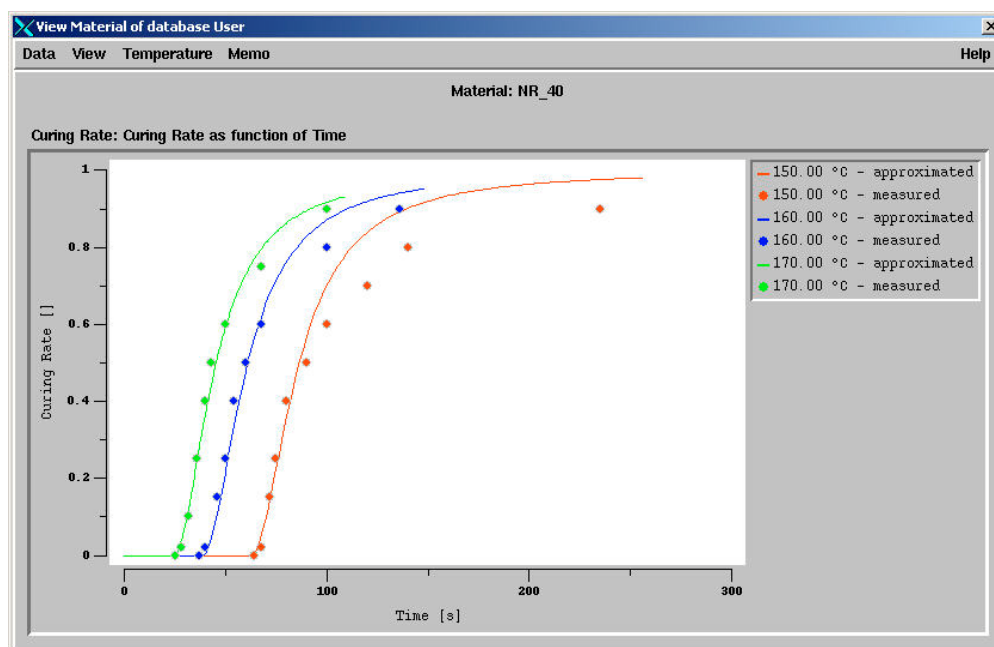
Reaction-Kinetics (Deng-Isayev)

log10(K0): 3.0710 1/minⁿ

Ea: 18762.80 J/mol

n: 1.8736

ภาพที่ 80 แสดงค่าของ Incubation Time (scorch-index) (min, K) และค่าของ Reaction-Kinetics (deng-isayev) (1/minⁿ, J/mol)



ภาพที่ 81 แสดงค่าของ Curing Rate: Curing Rate as function of Time

การกำหนดค่าของตัวแปรในกระบวนการ (Process Parameters)

ในกระบวนการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนทำการจำลองการไหลของกระบวนการนั้นจะต้องกำหนดค่าของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแม่พิมพ์และต้องกำหนดค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นของทั้งชิ้นงานและของแม่พิมพ์ดังแสดงในภาพที่ 82 ต่อจากนั้นทำการกำหนดค่าของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ หรือแม่พิมพ์ตัวที่คงที่กับแม่พิมพ์ตัวที่เคลื่อนที่ (part/mould-700 (W/m²K), mould/mould-2,000 (W/m²K)) ดังแสดงในภาพที่ 83

material	ID label	database/filename	material temp [° C]
 Part class		User Database/NR_40	100.000
 Part	ID 1	User Database/NR_40	100.000
 Inlet	ID 1	User Database/NR_40	100.000
 Runner	ID 1	User Database/NR_40	100.000
 Ingate	ID 1	User Database/NR_40	100.000
material	ID label	database/filename	material temp [° C]
 Mould class		SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
 Slides	ID 1	SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
 Movable I	ID 1	SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
 Movable I	ID 2	SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
 Fixed Hall	ID 1	SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
 Fixed Hall	ID 2	SIGMA Database/X45NiCrMo4	160.000
material	ID label	database/filename	material temp [° C]
 Tempering class		SIGMA Database/HEATMED	160.000
 Tempering I	ID 1	SIGMA Database/HEATMED	160.000
 Tempering I	ID 2	SIGMA Database/HEATMED	160.000

ภาพที่ 82 แสดงกำหนดค่าของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแม่พิมพ์

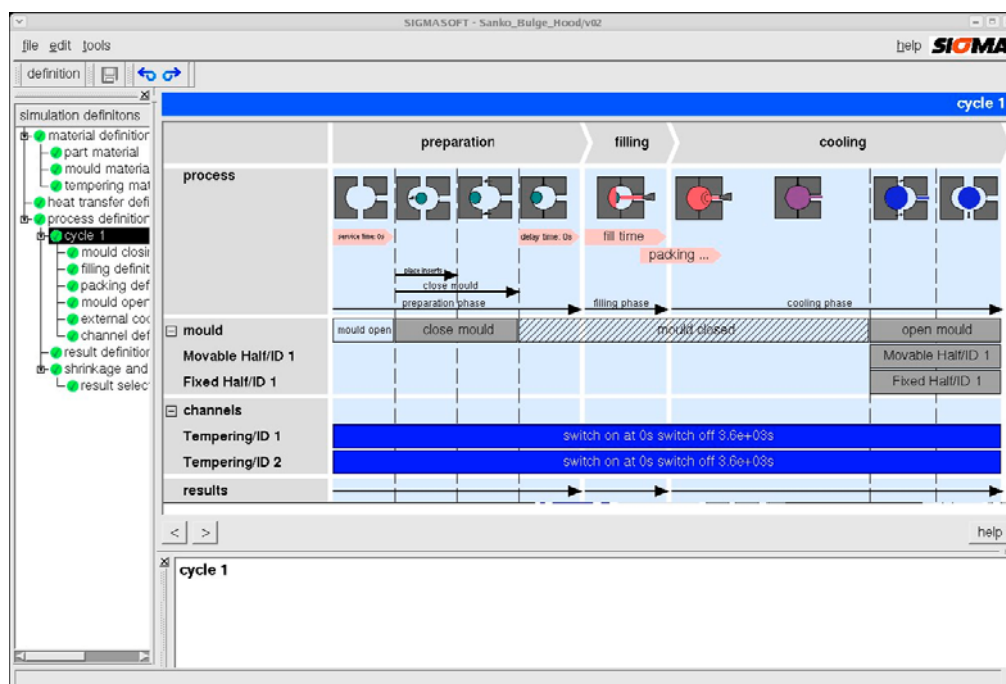
และต้องกำหนดค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นของทั้งชิ้นงานและของแม่พิมพ์

heat transfer definitions					
material 1	ID label 1	material 2	ID label 2	HTC database/filename	HTC dataset group
Part class		Mould class		SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Slides	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Runner	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Runner	ID 1	Movable Half	ID 2	SIGMA Database/C900.0	Constant
Runner	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Ingate	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Ingate	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Mould class		Mould class			Constant
Slides	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C300.0	Constant
Slides	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C300.0	Constant
Movable	ID 1	Movable Half	ID 2	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Movable	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Movable	ID 2	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Fixed Half	ID 1	Fixed Half	ID 2	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Mould class		Tempering class		SIGMA Database/C10000.0	Constant
Movable	ID 2	Tempering	ID 1	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Fixed Half	ID 2	Tempering	ID 2	SIGMA Database/C10000.0	Constant

ภาพที่ 83 แสดงการกำหนดค่าของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ หรือแม่พิมพ์ตัวที่คงที่กับแม่พิมพ์ตัวที่เคลื่อนที่

ในการกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองการไหลนั้นจะแบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลาที่จะต้องกำหนดค่าลงไปโปรแกรมได้แก่ช่วงเวลาทั้งหมดนี้จะรวมกันอยู่ในหนึ่งไซเคิลการทำงานซึ่งสามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ลงไปได้ดังภาพที่ 84

- Lead Time
- Filling time
- Movable Part
- Fix Part
- Part Take out



ภาพที่ 84 แสดงการกำหนดรอบการทำงานที่ต้องการจำลองการไหล

3. เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง

เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง (vertical injection machine) ยี่ห้อ Nissei รุ่น TH100-25VSER ขนาด 100 ตัน ปริมาตรกระบอกฉีด 254 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 85



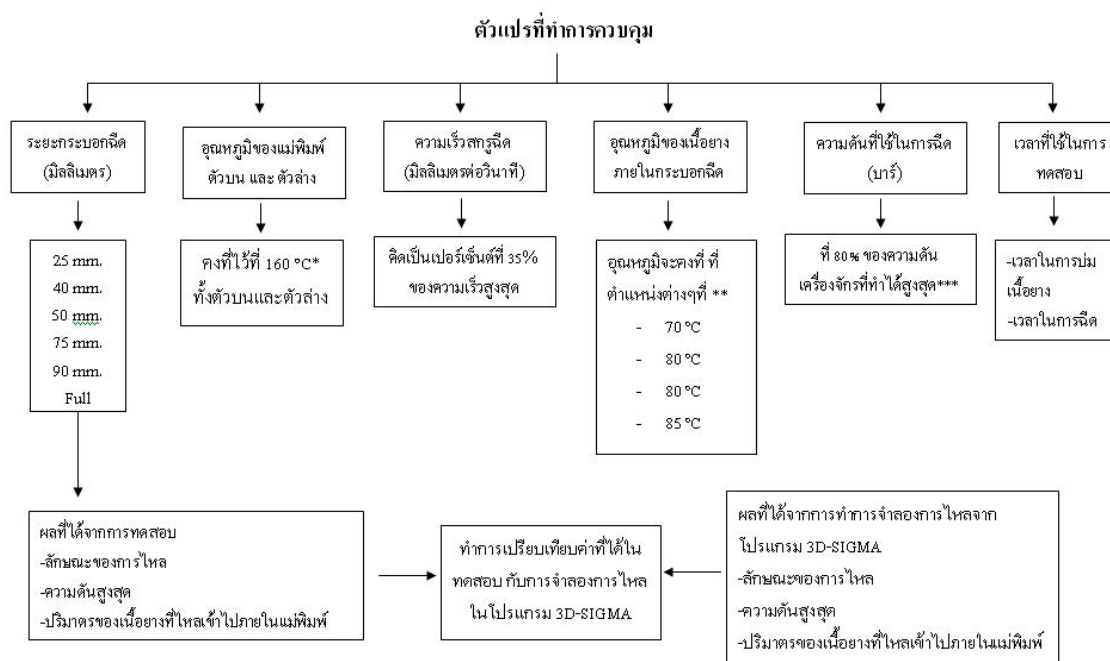
ภาพที่ 85 เครื่องนํีดยางแนวตั้ง ขนาด 100 ตัน

ตัวอย่าง ตัวแปรและการควบคุม

ชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ที่ได้ทำการนํีดดังแสดงในภาพที่ 86



ภาพที่ 86 ชิ้นงานที่ได้จากการนํีด

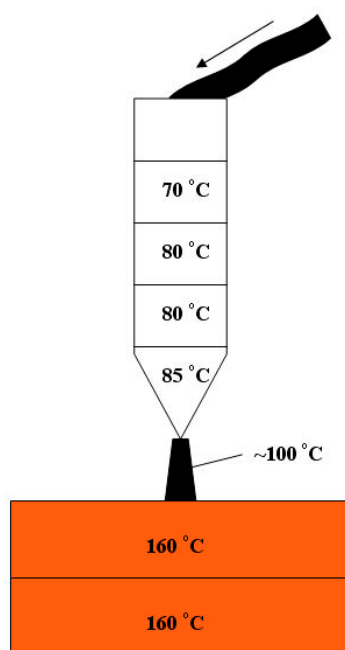


ภาพที่ 87 แสดงตัวแปรที่ควบคุม

หมายเหตุ * ในให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 160°C เนื่องจากทางโรงงานที่ผลิตชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ในรุ่นนี้สามารถใช้อุณหภูมิที่ค่า 160°C เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการสุกตัวได้ในระยะเวลาที่กำหนด

** การให้ความร้อนแก่เนื้อยางภายในกระบอกฉีดนั้นเป็นการควบคุมให้อุณหภูมิของยางอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด และมีลักษณะเป็นของเหลว แต่เนื้อของจะยังไม่ทำปฏิกิริยาเนื้อยาง NR40 จะให้ความร้อนเริ่มต้นอยู่ที่ 70°C และ เพิ่มมาในช่วงที่ 2 และ 3 เป็น 80°C และในช่วงสุดท้ายก่อนออกจากหัวฉีดจะอยู่ที่ 85°C ดังแสดงในภาพที่ 88 เนื้อยางที่ไหลออกมาจากหัวฉีดจะมีอุณหภูมิของเนื้อยางสูงกว่าประมาณ 15-20°C ซึ่งในการฉีดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100°C

*** ในการใช้ความดันในการฉีดยางของเครื่องฉีดยางที่ใช้อยู่ นั้นโดยทั่วไปจะใช้ความดันในการฉีดที่ 80% - 90% ของความดันสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้



ภาพที่ 88 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของส่วนต่าง ๆ