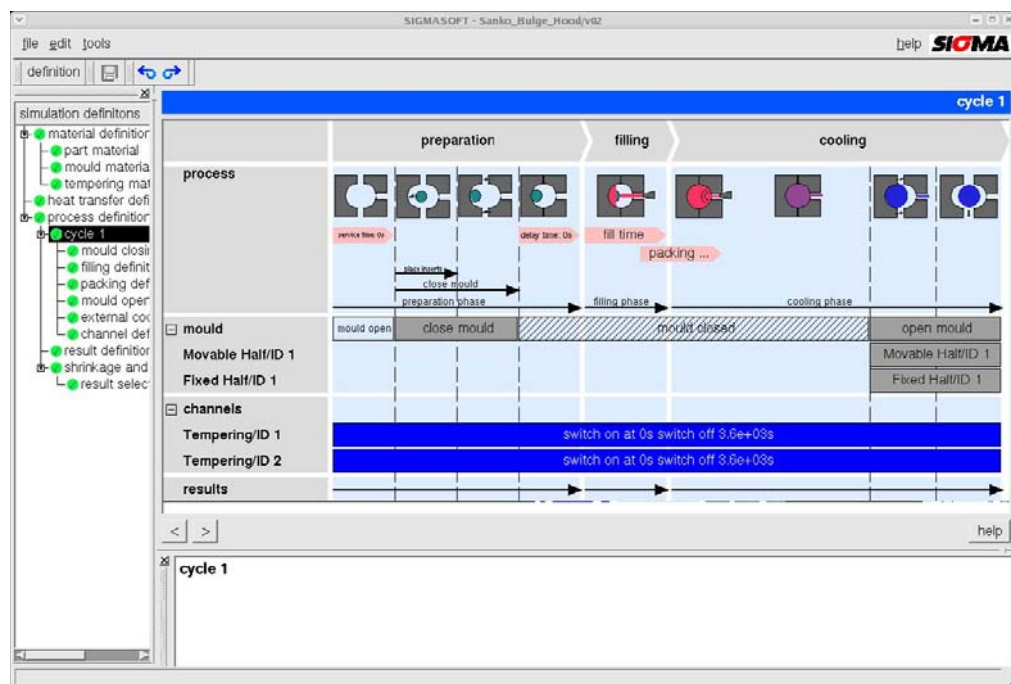


การกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองการไหล แบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลา ที่จะต้องกำหนดค่าลงไป โปรแกรมได้แก่ซึ่งเวลาทั้งหมดนี้จะรวมกันอยู่ในหนึ่งไซเคิลการทำงานซึ่งสามารถกำหนดค่าต่างๆ ลงไปได้ดังแสดงในรูปที่ 81

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



รูปที่ 81 แสดงการกำหนดรอบการทำงานที่ต้องการจำลองการไหล

4.3.3 เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง

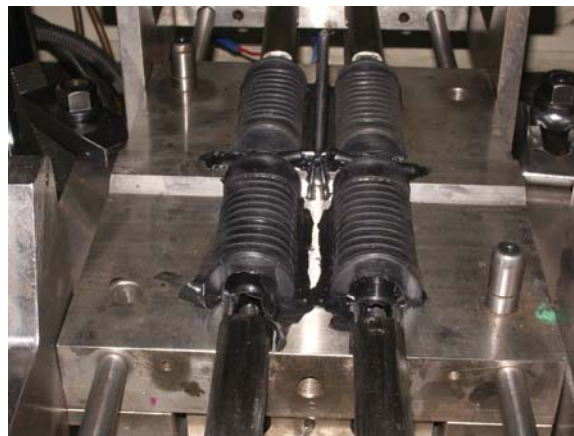
เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง (Vertical Injection Machine) ยี่ห้อ Nissei รุ่น TH100-25VSER ขนาด 100 ตัน ปริมาตรกระบอกฉีด 254 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 82



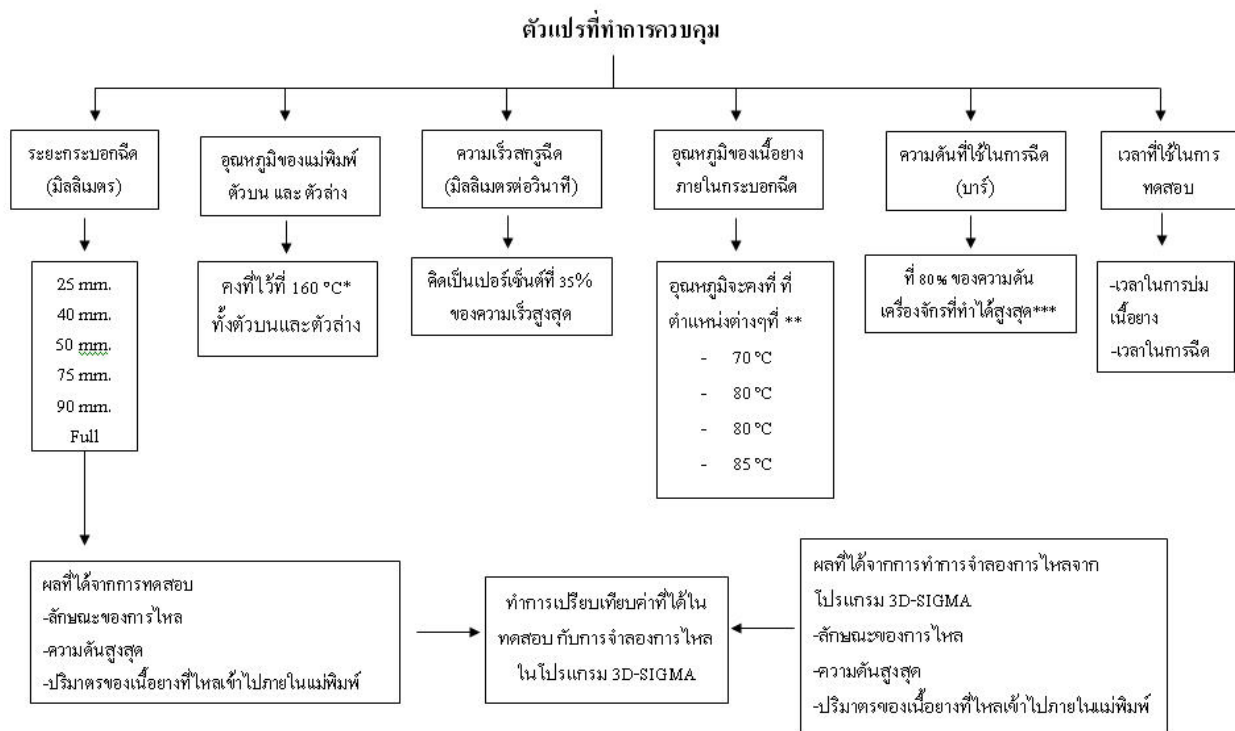
รูปที่ 82 เครื่องอัดยางแนวตั้ง ขนาด 100 ตัน

4.4 ตัวอย่าง ตัวแปรและการควบคุม

ชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ที่ได้ทำการอัด ดังแสดงในภาพที่ 83



รูปที่ 83 ชิ้นงานที่ได้จากการอัด

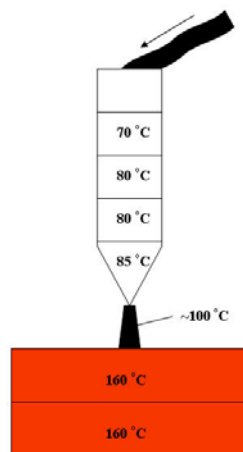


รูปที่ 84 แสดงตัวแปรที่ควบคุม

* ในให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 160°C เนื่องจากทางโรงงานที่ผลิตชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ในรุ่นนี้ใช้ได้ใช้อุณหภูมิที่ค่า 160°C เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ยางเกิดการสุกตัวได้ในระยะเวลาที่กำหนด

** การให้ความร้อนแก่เนื้อยางภายในกระบอกฉีดนั้นเป็นการควบคุมให้อุณหภูมิของยางอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด และมีลักษณะเป็นของเหลว แต่เนื้อของจะยังไม่ทำปฏิกิริยา เนื้อยาง NR40 จะให้ความร้อนเริ่มต้นอยู่ที่ 70°C และ เพิ่มมาในช่วงที่ 2 และ 3 เป็น 80°C และในช่วงสุดท้ายก่อนออกจากหัวฉีดจะอยู่ที่ 85°C ดังแสดงในรูปที่ 84 เนื้อยางที่ไหลออกมาจากหัวฉีดจะมีอุณหภูมิของเนื้อยางสูงกว่าประมาณ 15-20°C ซึ่งในการฉีดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100°C

*** ในการใช้ความดันในการฉีดของเครื่องฉีดยางที่ใช้อยู่ นั้นโดยทั่วไปจะใช้ความดันในการฉีดที่ 80% - 90% ของความดันสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้



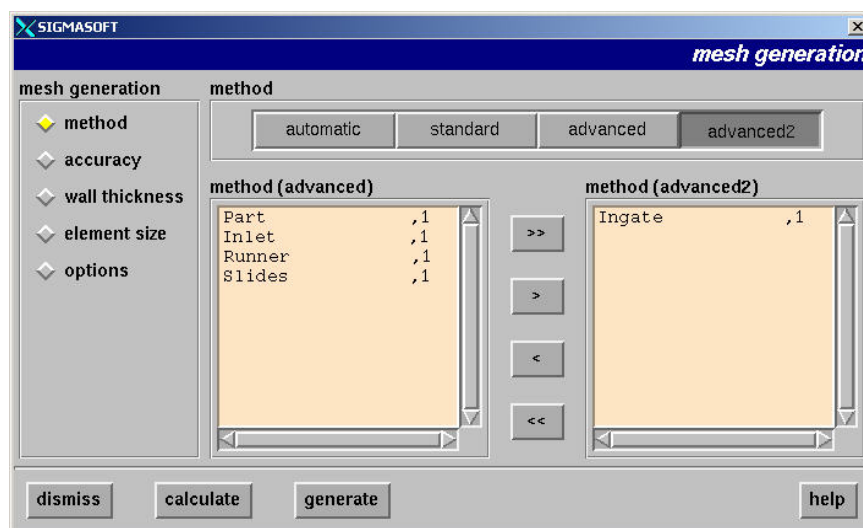
รูปที่ 85 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของส่วนต่างๆ

5. การวิเคราะห์และการอภิปรายผล

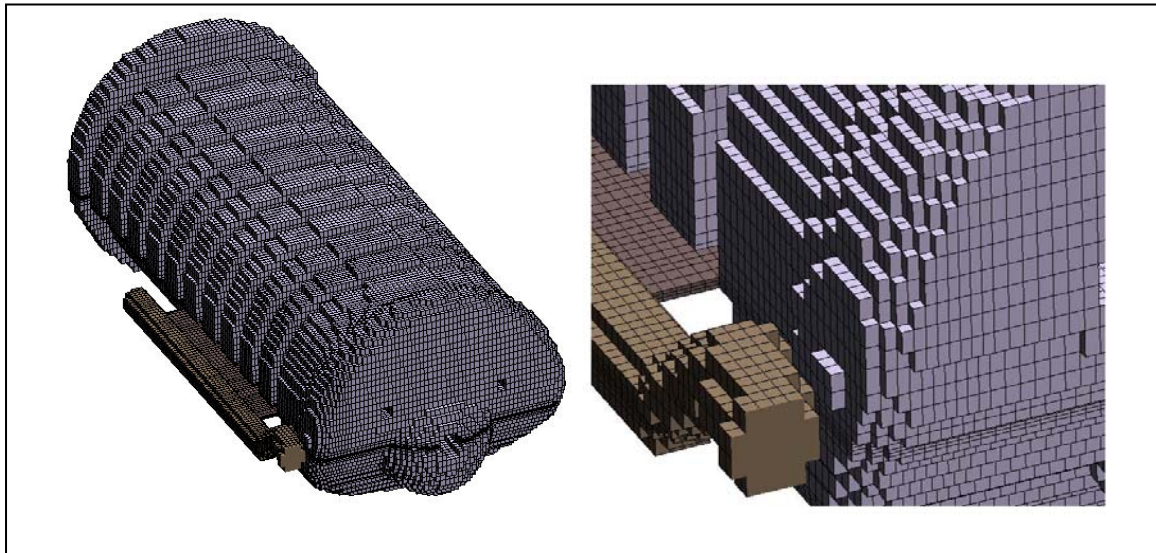
5.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

ขั้นตอนแรก คือ Preprocessor เป็นการเปิดไฟล์แบบชิ้นงานที่ได้จัดเก็บไว้ในรูปแบบ STL File ทำการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์เพิ่มเติม ได้แก่ แผ่นแม่พิมพ์บน (Cavity Plate) แผ่นแม่พิมพ์ล่าง (Core Plate) แท่งความร้อน (Heater Rod) ช่องฉีด (Inlet) และอนุภาคยาง (Tracer) จากนั้นทำการกำหนดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ให้โปรแกรมรับรู้

หลังจากเสร็จสิ้น Preprocessor ก็จะทำการแบ่งเอลิเมนต์ (Elements) คือการแบ่งชิ้นงาน และแม่พิมพ์ ออกเป็นลักษณะทรงลูกบาศก์เล็กๆ ขั้นตอนนี้เรียกว่า Enmeshment ซึ่งตัวโปรแกรมจะมีการแบ่งได้ 4 แบบ คือ 1) Automatic 2) Standard 3) Advanced และ 4) Advanced 2 ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกการแบ่งเอลิเมนต์แบบ Advanced 2 เพราะสามารถเลือกแบ่งระดับความละเอียดให้แต่ละส่วนได้ทำให้ค่าการวิเคราะห์ที่ได้แม่นยำมากขึ้น เช่น ในส่วนของรูเข้าซึ่งมีขนาดเพียง 0.5 มม. ขนาดของเอลิเมนต์จึงต้องเล็กกว่าส่วนอื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 86 และ 87 แสดงการกำหนดขนาดของและลักษณะเอลิเมนต์

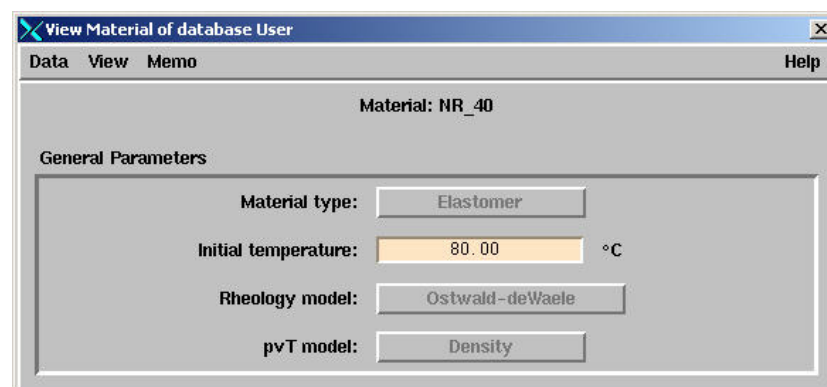


รูปที่ 86 แสดงการกำหนดเอลิเมนต์

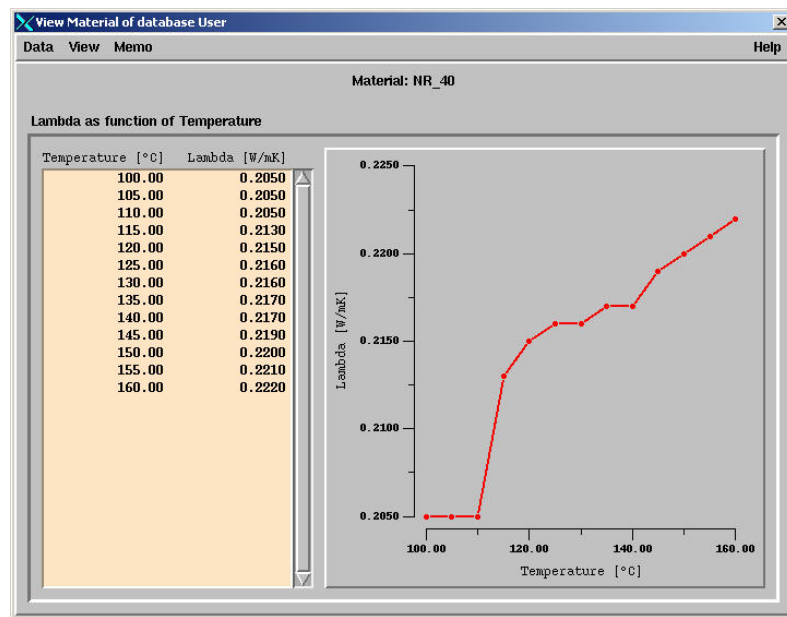


รูปที่ 87 แสดงลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

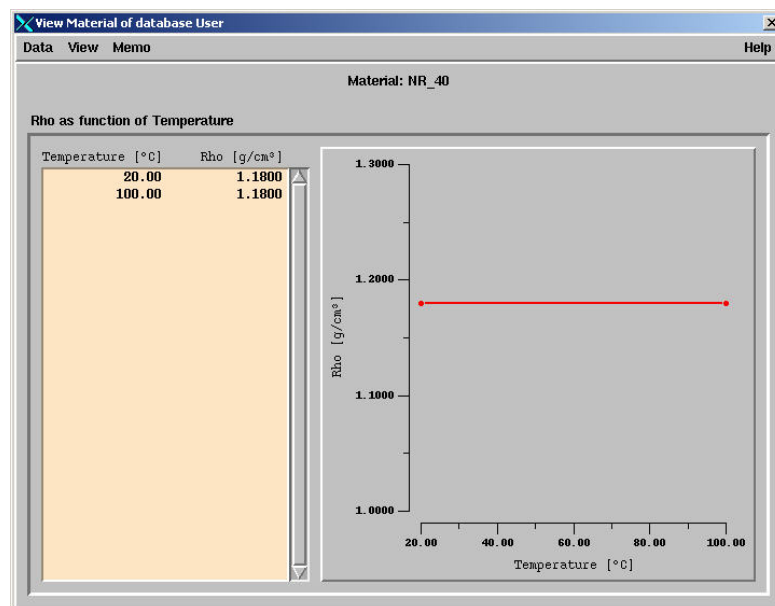
ขั้นตอนต่อมาเป็นการกำหนดวัสดุ และค่าต่างๆ ของกระบวนการฉีด วัสดุที่ใช้กับชิ้นงานเป็นวัสดุที่ใช้กับผลิตภัณฑ์จริง คือ ยางธรรมชาติ (NR-40) ซึ่งไม่มีในฐานข้อมูลของโปรแกรมจึงต้องนำยางไปทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติบางประการที่จำเป็นในการวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งค่าที่จำเป็นได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีด (Initial Temperature) ค่าของ Heat Conductivity (Lambda) ค่าของ Density (Rho) ค่าของ Heat Capacity (Cp) ค่าของ Dynamic Viscosity ที่ 3 อุณหภูมิ ค่าของ Curing Rate ที่ 3 อุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 88 ถึง 93



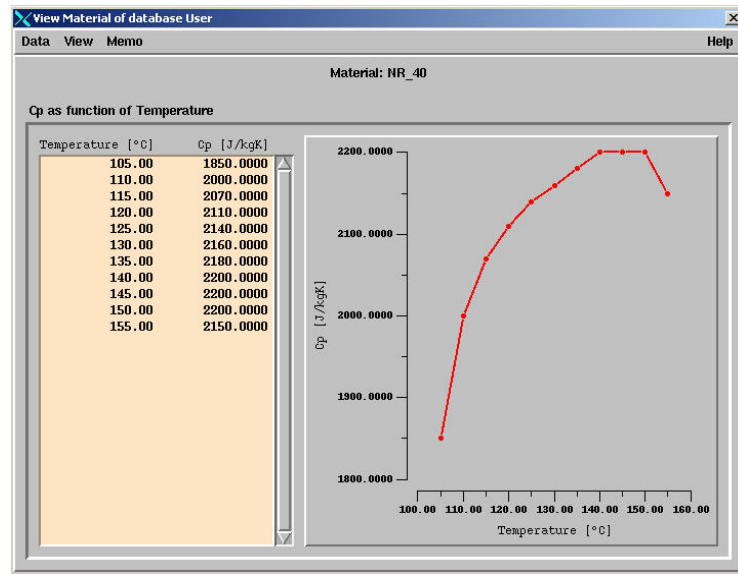
รูปที่ 88 แสดงการกำหนดค่าทั่วไปของยาง



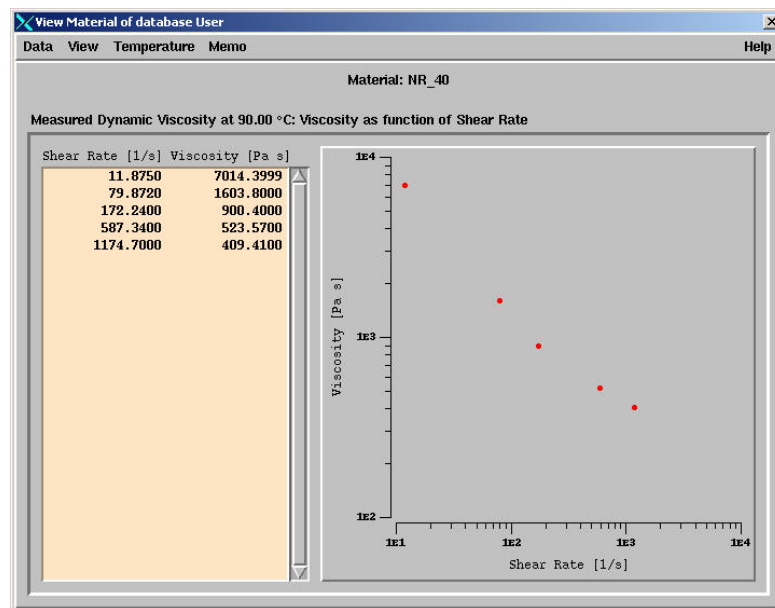
รูปที่ 89 แสดงการกำหนดค่า Heat Conductivity (Lambda)



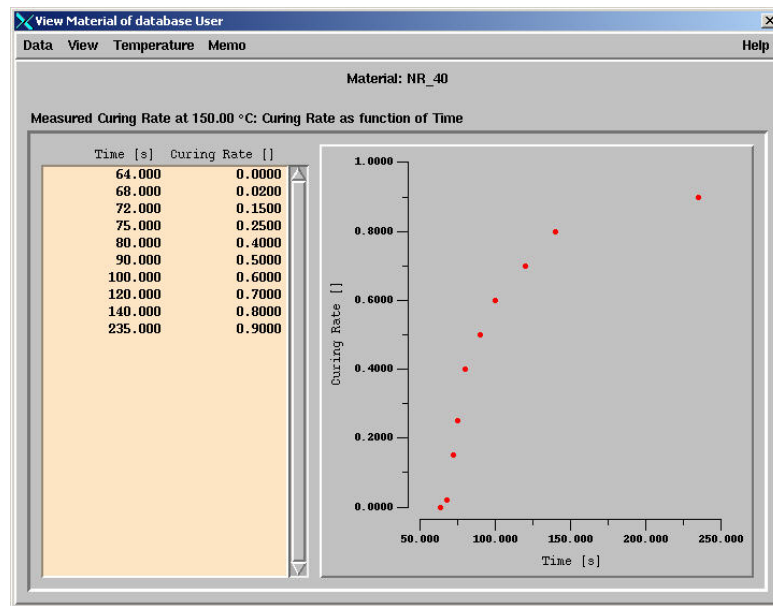
รูปที่ 90 แสดงการกำหนดค่า Density (Rho)



รูปที่ 91 แสดงการกำหนดค่า Heat Capacity (Cp)



รูปที่ 92 แสดงการกำหนดค่า Dynamic Viscosity



รูปที่ 93 แสดงการกำหนดค่า Curing Rate

ในการกำหนดวัสดุของกระบวนการนั้นยังรวมไปถึงการกำหนดวัสดุแม่พิมพ์ด้วยซึ่งในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้เหล็ก X45NiCrMo4 ซึ่งเป็นเหล็กสำหรับงานแม่พิมพ์ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมอยู่แล้ว จากนั้นต้องทำการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของส่วนต่างๆ อีกด้วย ดังนี้

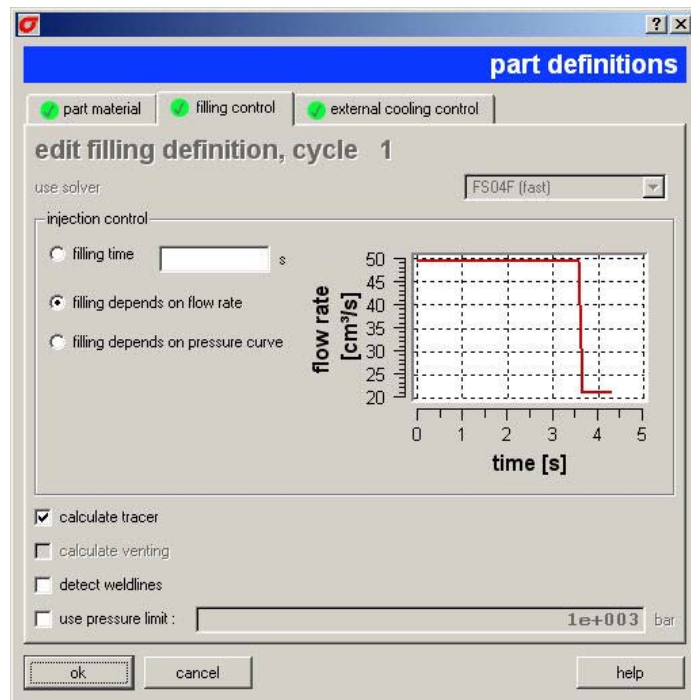
1. ยาง อุณหภูมิเริ่มต้น 100 °C
2. แม่พิมพ์ อุณหภูมิเริ่มต้น 160 °C
3. ทำตัวความร้อน อุณหภูมิเริ่มต้น 160 °C

เนื่องจากโปรแกรมสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ด้านผลกระทบของอุณหภูมิของยางและแม่พิมพ์ได้ จึงต้องมีการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละส่วนประกอบด้วย ดังรูปที่ 94 ซึ่งค่าที่ใช้ได้นั้นอ้างอิงจากคู่มือการอบรมโปรแกรม 3D-SIGMA

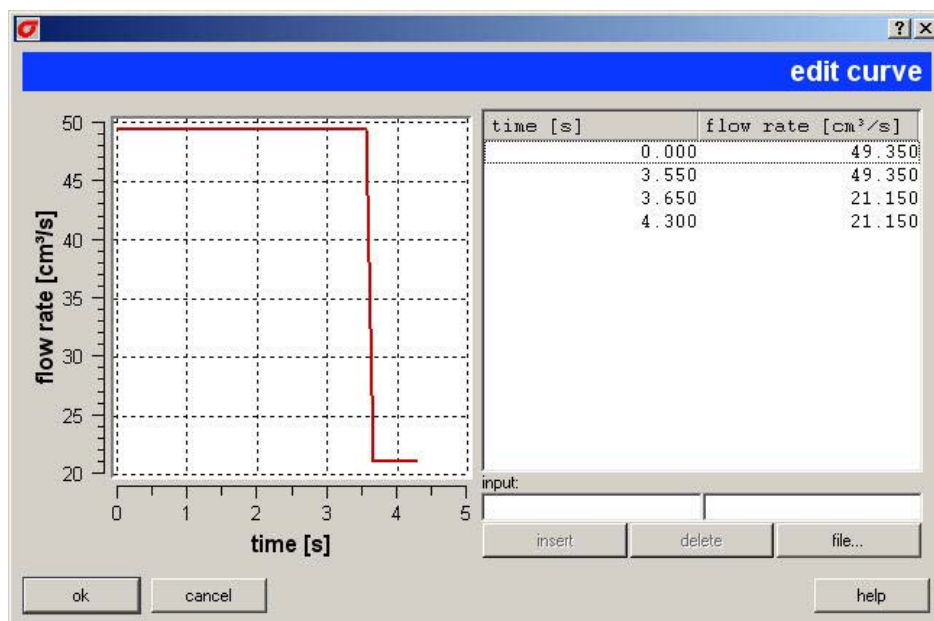
heat transfer definitions					
material 1	ID label 1	material 2	ID label 2	HTC database/filename	HTC dataset group
Part class		Mould class		SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Slides	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Fixed Half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

รูปที่ 94 แสดงการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละส่วน

ต่อจากนั้นทำการกำหนดค่าการฉีด ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถเลือกได้ 3 วิธี คือ 1. ควบคุมการฉีดด้วยเวลา (Filling Time) 2. ควบคุมการฉีดด้วยอัตราฉีด (Filling Depend on Flow Rate) และ 3. ควบคุมการฉีดด้วยความดัน (Filling Depend on Pressure Curve) ในการวิจัยนี้ได้เลือกค่าการฉีดแบบควบคุมด้วยอัตราฉีด เนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากเครื่องฉีดจริงที่ทำการควบคุมการฉีดด้วยความเร็วฉีด (ความดันฉีดคงที่) ลักษณะการกำหนดค่าการฉีดดังแสดงในรูปที่ 95 และ 96

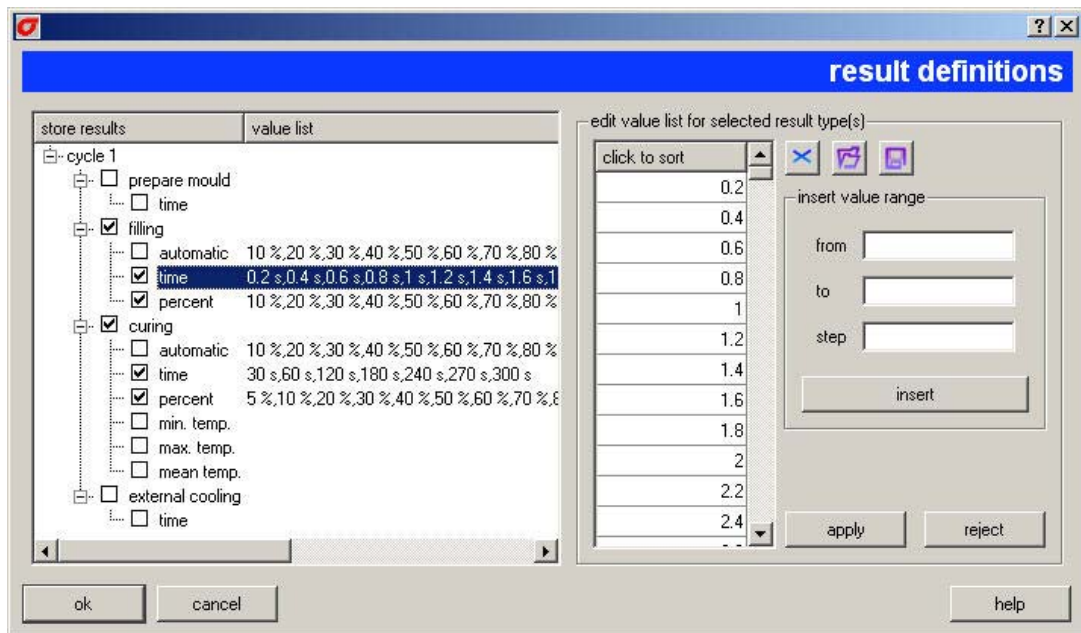


รูปที่ 95 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าการฉีด



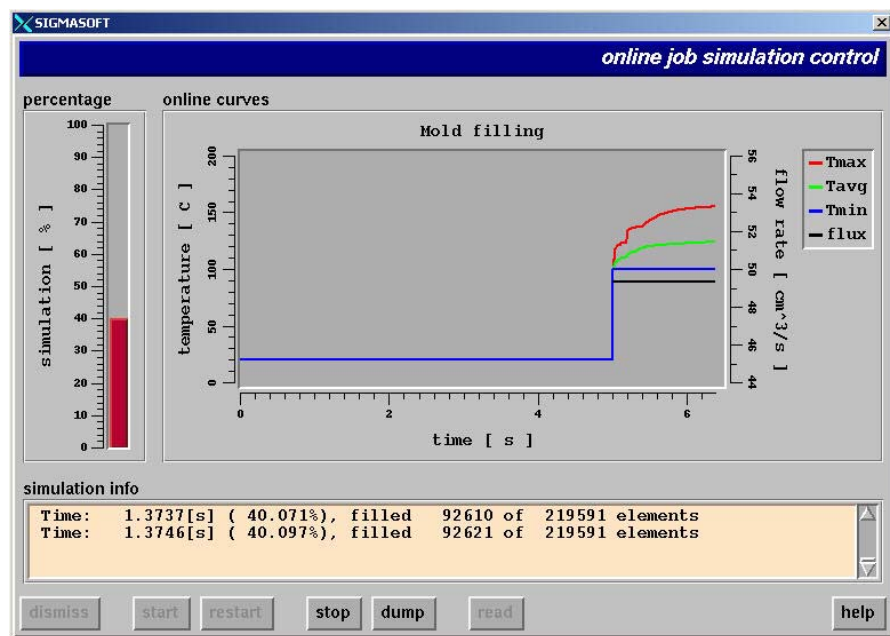
รูปที่ 96 แสดงการกำหนดค่าการฉีดที่ควบคุมด้วยอัตราฉีด

ขั้นตอนสุดท้ายในการกำหนดค่าของกระบวนการฉีดนั้นคือการกำหนดค่าการเก็บผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งการเก็บผลนั้นสามารถให้โปรแกรมเก็บโดยขึ้นกับเวลา หรือเปอร์เซ็นต์ หรือทั้งเวลาและเปอร์เซ็นต์ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 97



รูปที่ 97 แสดงการกำหนดค่าการเก็บผลการวิเคราะห์

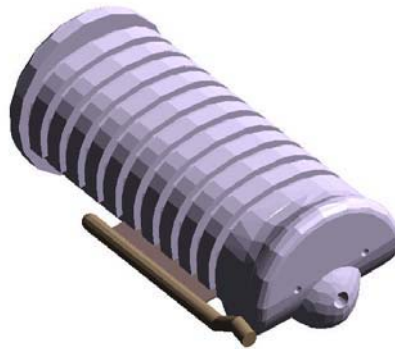
เมื่อเสร็จการกำหนดค่ากระบวนการฉีดแล้วก็สามารถเริ่มการวิเคราะห์ได้ ซึ่งขณะทำการวิเคราะห์ โปรแกรมจะมีหน้าต่างแสดงสถานะขึ้นตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 98



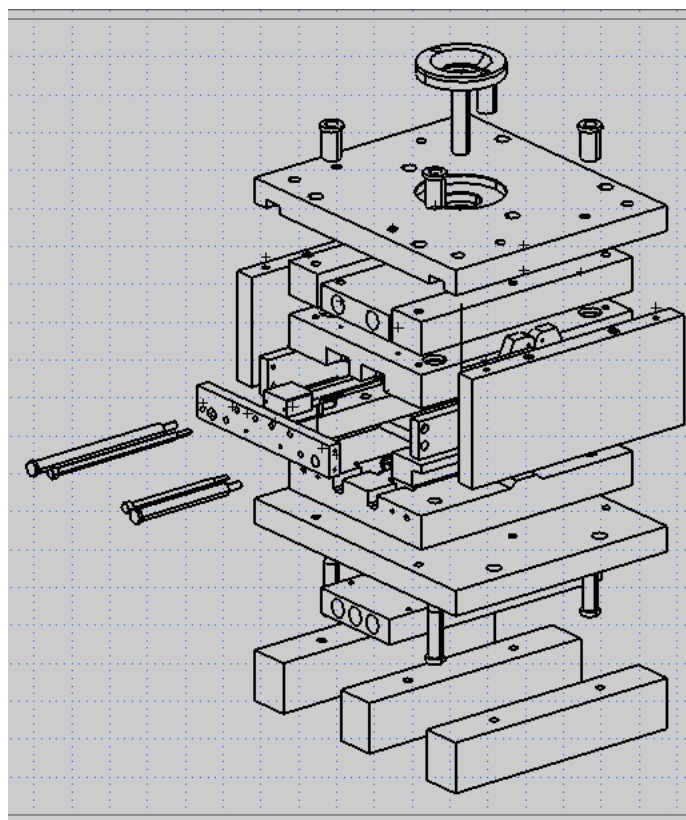
รูปที่ 98 หน้าต่างแสดงสถานะขณะทำการวิเคราะห์

5.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปที่วางแท่งจักรยานยนต์

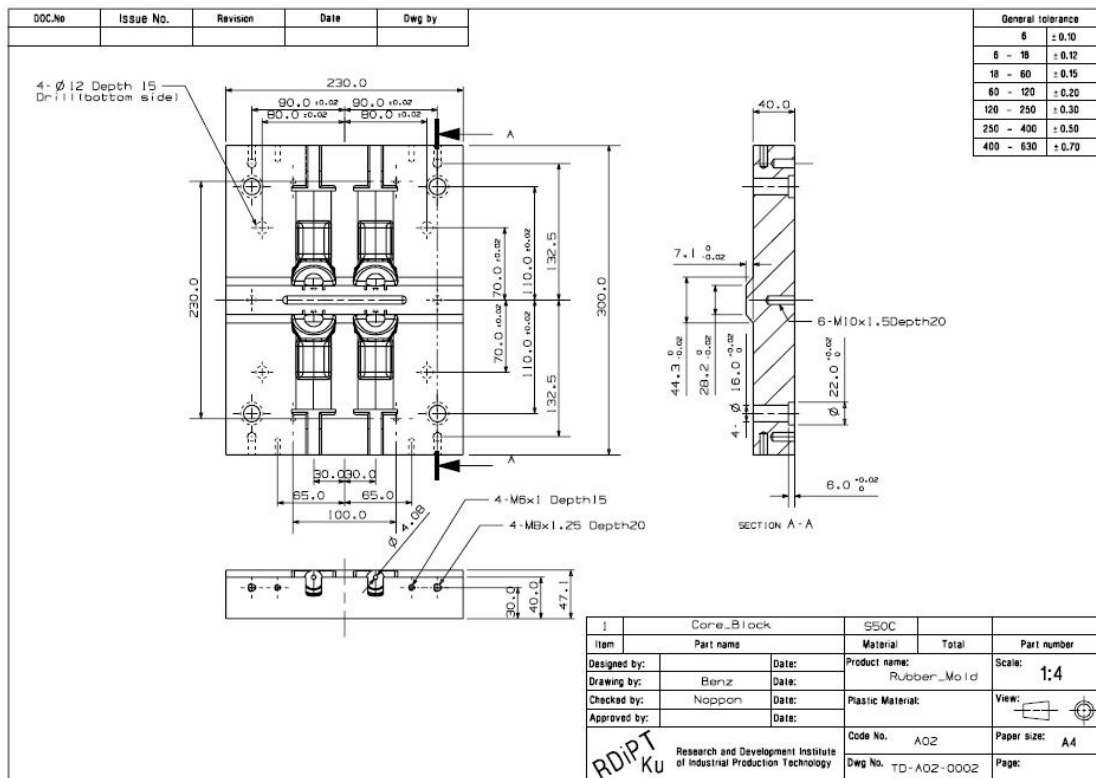
การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปในการทดสอบกับเครื่องฉีดยาง โดยมีจำนวนของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์อยู่ 4 เป้า มีลักษณะทางวิ่งแบบวงกลม ขนาด 4 มิลลิเมตร และลักษณะรูเข้าแบบเข้าด้านข้าง (Side Gate) ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนชุดสไลด์ซึ่งใช้ในการขึ้นรูปส่วนแอนเดอร์คัท (Under Cut) โดยมีแผ่นร่อนนำในการประกบอินเสิร์ตเข้ากับแม่พิมพ์ โดยส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ และภาพแม่พิมพ์จริงดังแสดงในรูปที่ 99 ถึง 102



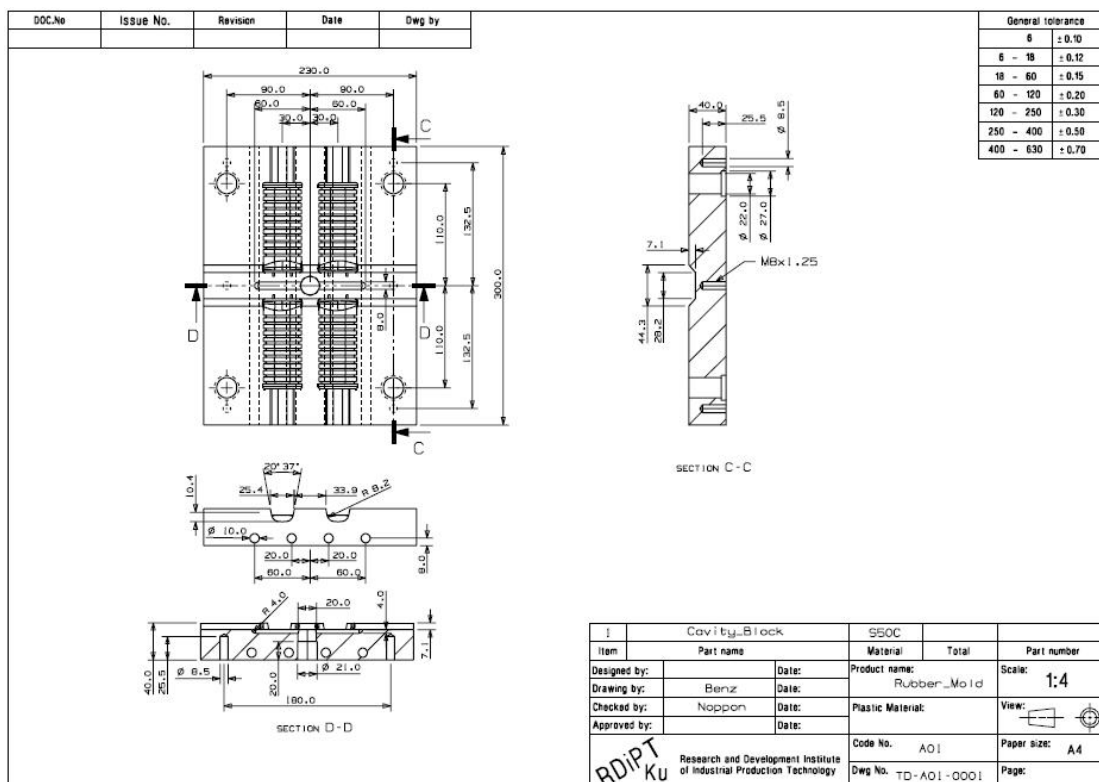
รูปที่ 99 ลักษณะรูเข้า



รูปที่ 100 ส่วนประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ที่วางแท่งจักรยานยนต์



รูปที่ 101 แผ่นแม่พิมพ์ส่วนตัวผู้ (Core Plate)



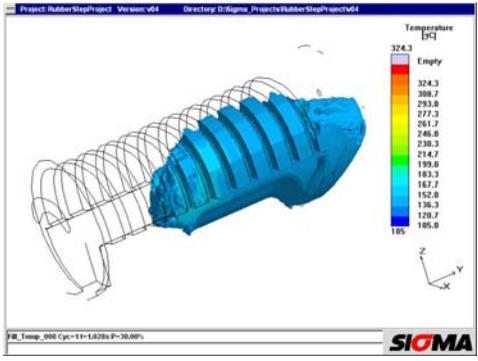
รูปที่ 102 แผ่นแม่พิมพ์ส่วนตัวเมีย (Cavity Plate)

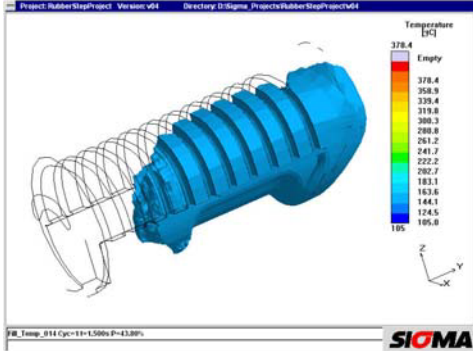

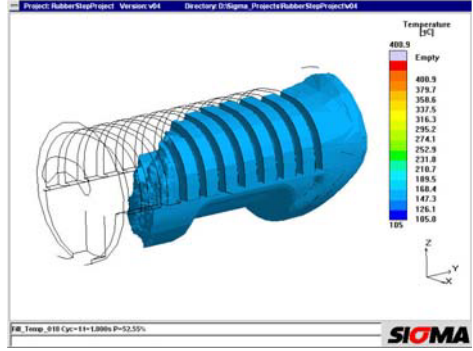

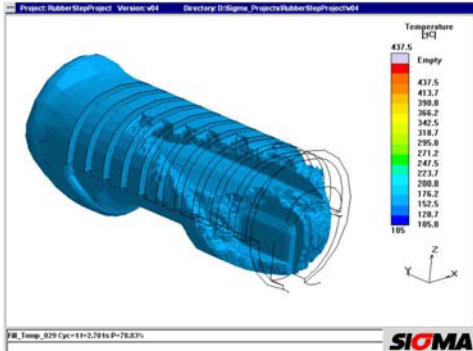

5.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

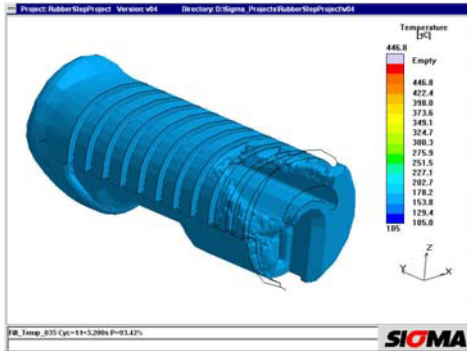

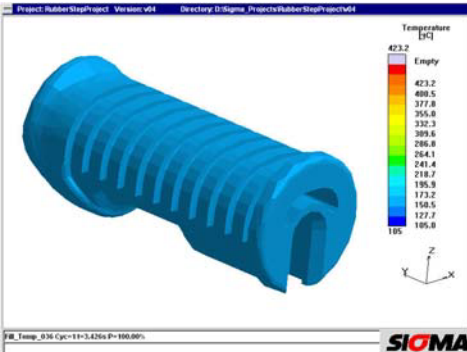

5.3.1 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม และการทดลองจริง

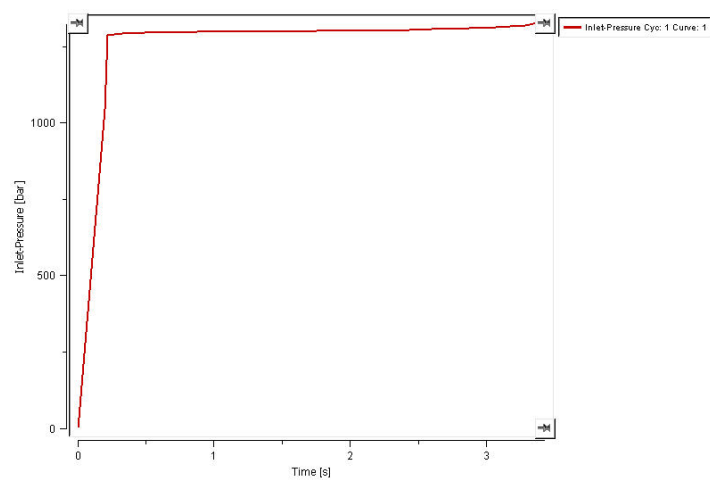
ในการทดลองจริงทางคณะวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้แม่พิมพ์ที่มี 4 เบ้า แต่เนื่องจากปริมาตรกระบอกฉีดของสถาบันค่อนข้างและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมไม่เพียงพอที่จะสามารถฉีดได้ทั้ง 4 เบ้า ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยทำการทดลองฉีดเพียง 2 เบ้า อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับการจำลองด้วยโปรแกรมเป็น 2 เบ้าด้วยเช่นกัน โดยที่ค่าต่างๆของกระบวนการที่ใส่ลงในโปรแกรมได้มาจากการทดลองฉีด ซึ่งตัวแปรควบคุมต่างๆนั้นได้แสดงในรูปที่ 84 โดยการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าระยะถอยของสกรู (Stroke) ที่ระยะต่างๆ เพื่อเก็บลักษณะการไหล แรงดันฉีด และเวลานัด แล้วนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งทุกๆ ระยะของสกรูแสดงให้เห็นว่าลักษณะการไหลของยางที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมและการทดลองฉีดจริงมีลักษณะการไหลที่ใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง ส่วนผลที่ไม่สอดคล้องกันของแรงดันฉีดระหว่างผลจากโปรแกรมและการทดลองฉีด มีแนวโน้มที่จะเกิดมาจากการแบ่งอิลิเมนต์ของชิ้นงานบริเวณรูเข้า (Ingate) ที่มีขนาดเล็กนั้นมีจำนวนชั้นของอิลิเมนต์ (Layer) 3 ชั้น ทำให้การคำนวณแรงดันฉีดของโปรแกรมมีค่ามากกว่าการทดลองจริง ซึ่งการแบ่งชั้นอิลิเมนต์ที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามการแบ่งชั้นที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณใช้เวลานานยิ่งขึ้น อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของยางที่ใส่ในโปรแกรมส่งผลให้ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ใช้ในโปรแกรมมีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการทดลองฉีดจริง และรูปที่ 103 แสดงกราฟของแรงดันฉีดบริเวณรูจ่ายเนื้อยาง (Inlet) ที่ได้จากโปรแกรมจะเห็นได้ว่าความดันนั้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สันจนความดันไปถึงประมาณ 1,300 บาร์ และความจะคงที่จะยางไหลเข้าไปเต็มแม่พิมพ์

ตารางที่10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการไหลของยาง แรงดันฉีด และเวลานัด

ระยะสกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองฉีดจริง
25 mm	 <p>แรงดันฉีด 1298 บาร์ เวลานัด 1.028 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 777 บาร์ เวลานัด 1.02 วินาที</p>

ระยะสกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองจริง
40 mm	 <p>แรงดันฉีด 1300 บาร์ เวลาฉีด 1.500 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 858 บาร์ เวลาฉีด 1.49 วินาที</p>
50 mm	 <p>แรงดันฉีด 1300 บาร์ เวลาฉีด 1.800 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 840 บาร์ เวลาฉีด 1.83 วินาที</p>
75 mm	 <p>แรงดันฉีด 1307 บาร์ เวลาฉีด 2.701 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 865 บาร์ เวลาฉีด 2.69 วินาที</p>

ระยะสกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองจริง
90 mm	 <p>แรงดันฉีด 1315 บาร์ เวลาฉีด 3.200 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 918 บาร์ เวลาฉีด 3.18 วินาที</p>
120 mm	 <p>แรงดันฉีด 1326 บาร์ เวลาฉีด 3.426 วินาที</p>	 <p>แรงดันฉีด 911 บาร์ เวลาฉีด 4.19 วินาที</p>

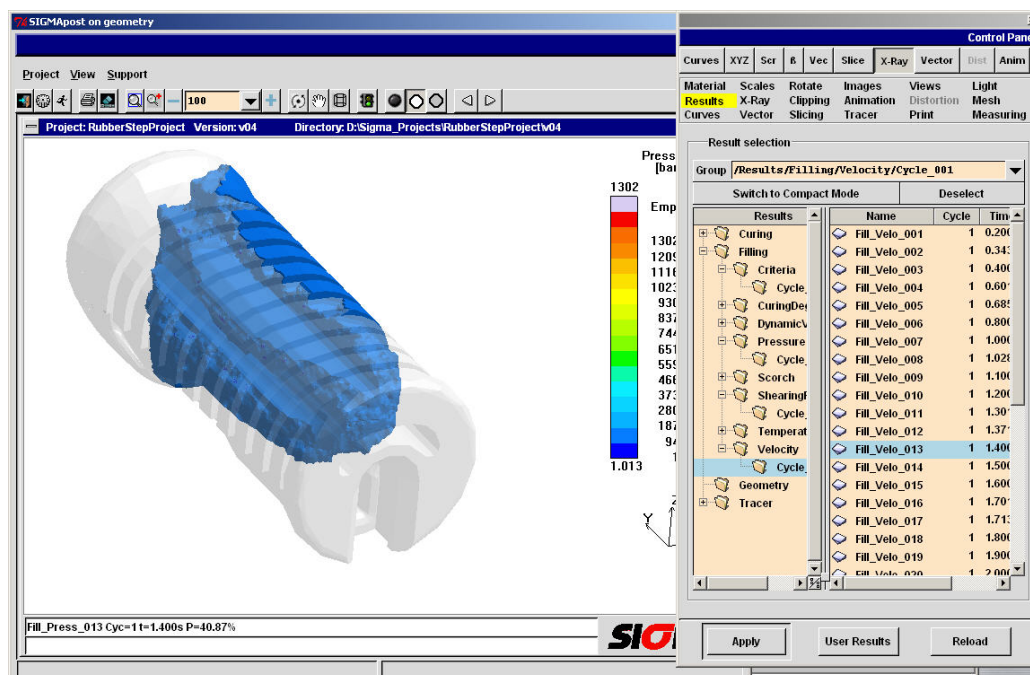


รูปที่ 103 แสดงกราฟแรงดันฉีดที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA

5.3.2 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

ลักษณะการแสดงผลของโปรแกรม 3D-SIGMA ดังแสดงในรูปที่ 104 โดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA ดังนี้

- 1) ระยะเวลาที่ยางสัมผัสอากาศ (Air Contact)
- 2) ระยะเวลาฉีด (Filled Time)
- 3) ความยาวของการไหล (Flow Length)
- 4) อายุของยาง (Material Age)
- 5) ระยะเวลาที่ยางสัมผัสผิวแม่พิมพ์ (Wall Contact)
- 6) รอยต่อ (Weldline)
- 7) แสดงผลการไหลของอนุภาคนาโน (Tracers)
- 8) อุณหภูมิของยางขณะฉีด (Injection Temperature)
- 9) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mould Temperature)
- 10) แรงดันฉีด (Injection Pressure)
- 11) ความเร็วฉีด (Injection Velocity)
- 12) อัตราการเฉือน (Shearing Rate)
- 13) การเปลี่ยนแปลงของเนื้อยางหลังการฉีดเต็ม (Scorch Index)
- 14) การสุกของเนื้อยางภายในชิ้นงาน (Curing Rate)



รูปที่ 104 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม 3D-SIGMA

1) ระยะเวลาที่ยางสัมผัสอากาศ (Air Contact)

รูปที่ 105 แสดงระยะเวลาของยางที่สัมผัสกับอากาศเห็นได้ว่าการสัมผัสอากาศของยางนั้นจุดที่มีค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 0.0896 วินาที ซึ่งจะมีโอกาสที่จะทำให้ชิ้นงานนั้นเกิดโพรงอากาศหรือมีอากาศอื่นที่บริเวณผิวได้

2) ระยะเวลาฉีด (Filled Time)

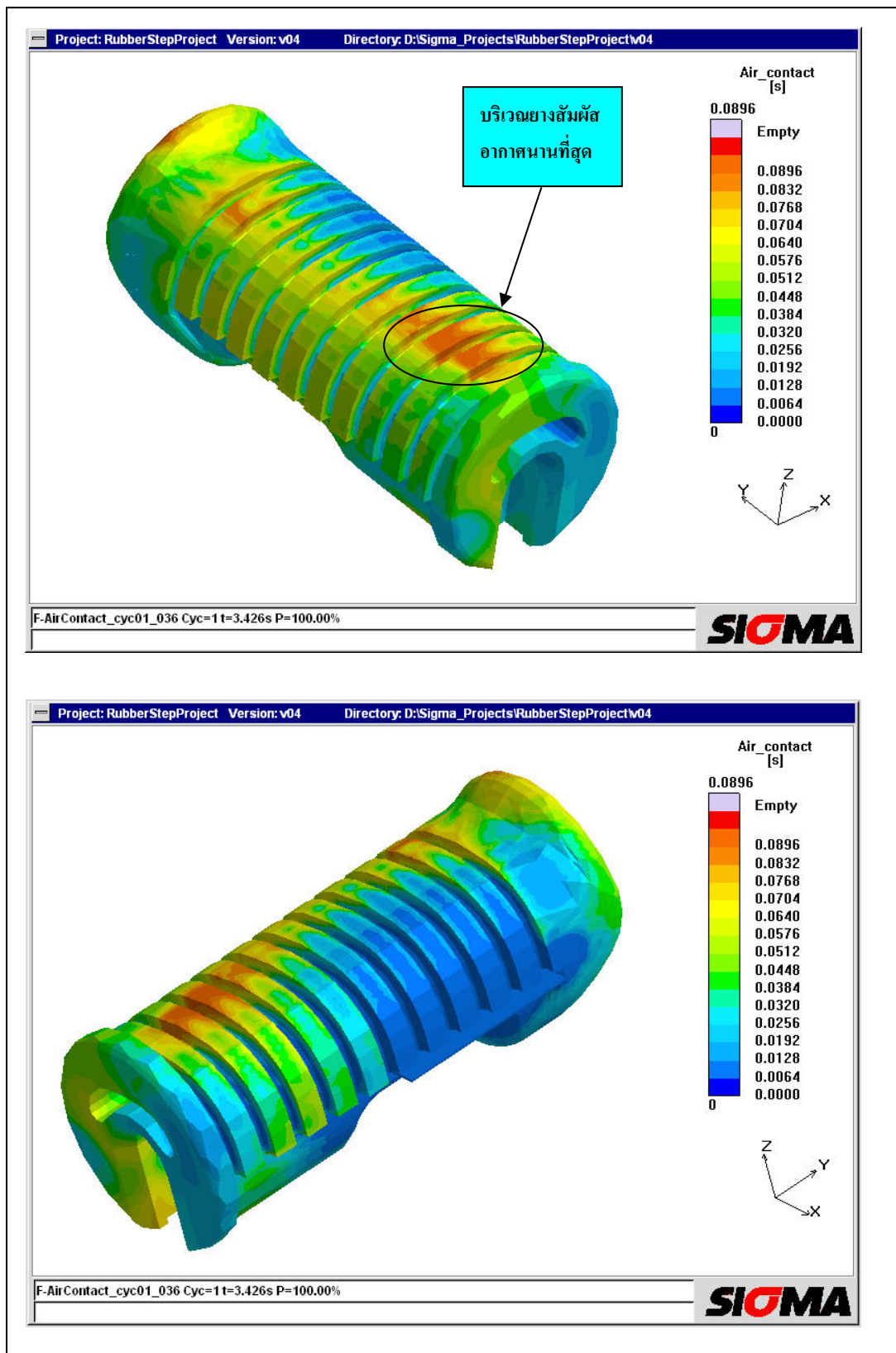
รูปที่ 106 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ยางถูกฉีดเข้าไปภายในแม่พิมพ์โดยที่ระยะเวลาของเนื้อยางในแต่ละส่วนจะไม่เท่ากัน ซึ่งในกรณีของแม่พิมพ์ที่มีหลายบ่าระยะเวลาในการฉีดนั้นจะมีผลกระทบมากเนื่องจากเนื้อยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์ระยะเวลาต่างกันมากจึงมีโอกาสที่เนื้อยางที่ไหลเข้าไปก่อนจะเกิดการสุกตัวก่อน

3) ความยาวของการไหล (Flow Length)

รูปที่ 107 แสดงระยะทางของยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์ถ้าชิ้นงานมีระยะการไหลที่ยาวเกินไปหรือรูปทรงที่ซับซ้อนอาจจะทำให้ชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้

4) อายุของยาง (Material Age)

รูปที่ 108 แสดงถึงอายุของยางที่อยู่ในแต่ละส่วนของชิ้นงาน เนื้อยางที่ไหลเข้ามาก่อนจะมีอายุมากกว่า ถ้าแม่พิมพ์ที่ทำการฉีดมีขนาดใหญ่หรือหลายบ่าอายุของยางจะมีผลสำคัญ เนื่องจากยางที่มีอายุที่มากจะมีโอกาสที่จะสุกตัวก่อน



รูปที่ 105 แสดงผลของระยะเวลาที่ยางสัมผัสอากาศ (Air Contact)