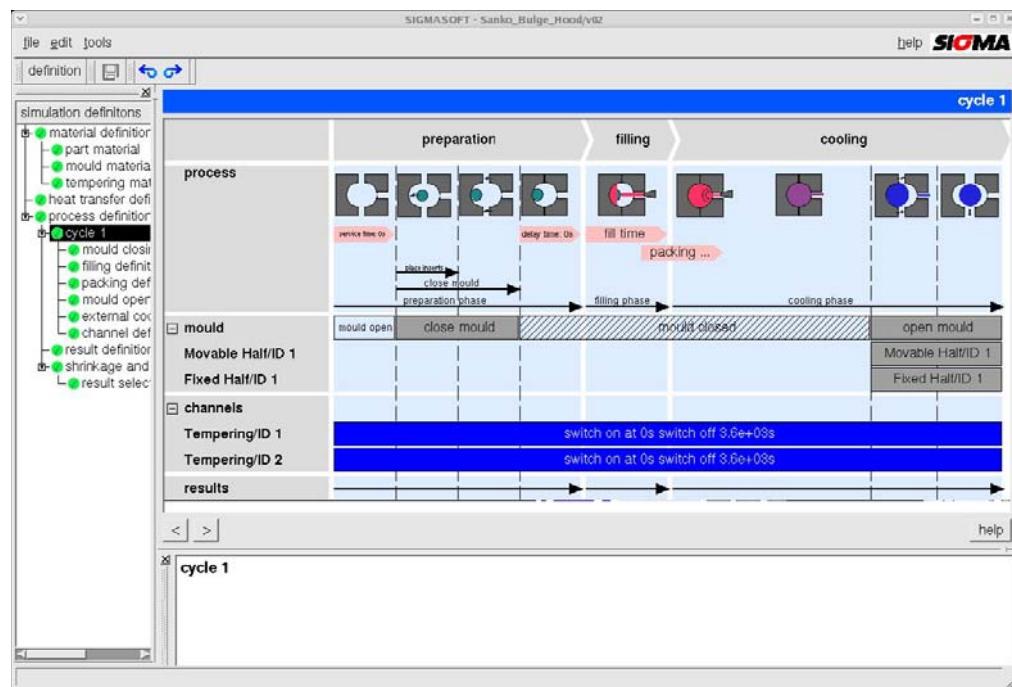


การกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองการไอล แบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลา ที่จะต้องกำหนดค่าลงไปในโปรแกรมได้แก่ ช่วงเวลาทั้งหมดนี้จะรวมกันอยู่ในหนึ่ง ใช้เคลื่อนการทำงานซึ่งสามารถกำหนดค่าต่างๆ ลงไปได้ดัง แสดงในรูปที่ 81

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



รูปที่ 81 แสดงการกำหนดรอบการทำงานที่ต้องการจำลองการไอล

4.3.3 เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง

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



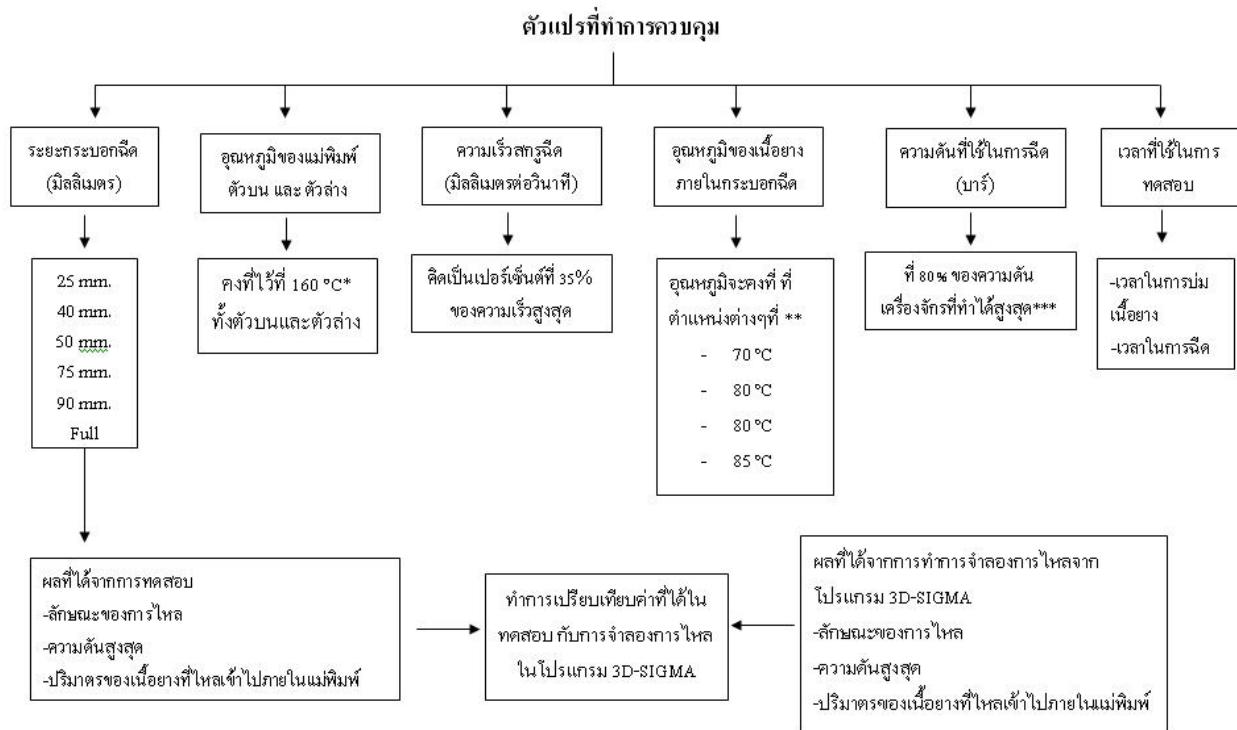
รูปที่ 82 เครื่องฉีดยางแนวตั้ง ขนาด 100 ตัน

4.4 ตัวอย่าง ตัวแปรและการควบคุม

ชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ที่ได้ทำการฉีด ดังแสดงในภาพที่ 83



รูปที่ 83 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด

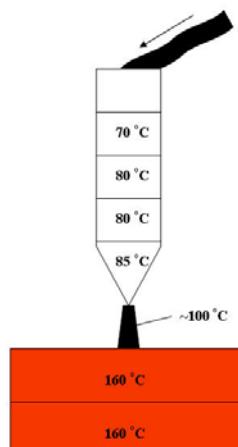


รูปที่ 84 แสดงตัวแปรที่ควบคุม

* ในให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 160°C เนื่องจากทางโรงงานที่ผลิตชิ้นงานยางรองเท้าจัดยานยนต์ในรุ่นนี้อยู่ได้ใช้อุณหภูมิที่ค่า 160°C เมื่อนอกกัน ซึ่งจะทำให้ยางเกิดการสูญตัวได้ในระยะเวลาที่กำหนด

** การให้ความร้อนแก่เนื้อยางภายในระบบกัดนี้เป็นการควบคุมให้อุณหภูมิของยางอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด และมีลักษณะเป็นของเหลว แต่เนื้อของจะยังไม่ทำปฏิกิริยา เนื้อยาง NR40 จะให้ความร้อนเริ่มต้นอยู่ที่ 70°C และเพิ่มมาในช่วงที่ 2 และ 3 เป็น 80°C และในช่วงสุดท้ายก่อนออกจากหัวฉีดจะอยู่ที่ 85°C ดังแสดงในรูปที่ 84 เนื้อยางที่ให้เหล้าไปป้ายจากหัวฉีดจะมีอุณหภูมิของเนื้อยางสูงกว่าประมาณ 15-20°C ซึ่งในการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100°C

*** ในการใช้ความดันในการฉีดยางของเครื่องฉีดยางที่ใช้อยู่นี้โดยทั่วไปจะใช้ความดันในการนี้ที่ 80% - 90% ของความดันสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้



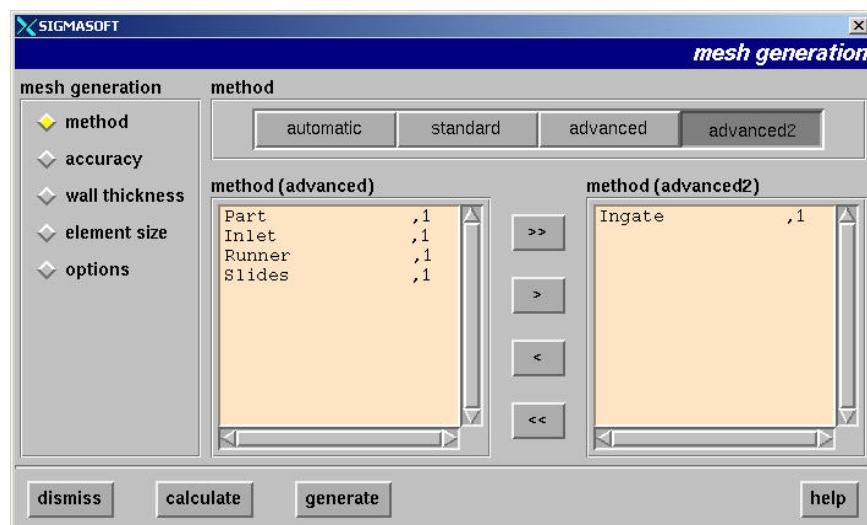
รูปที่ 85 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของส่วนต่างๆ

5. การวิเคราะห์และการอภิปรายผล

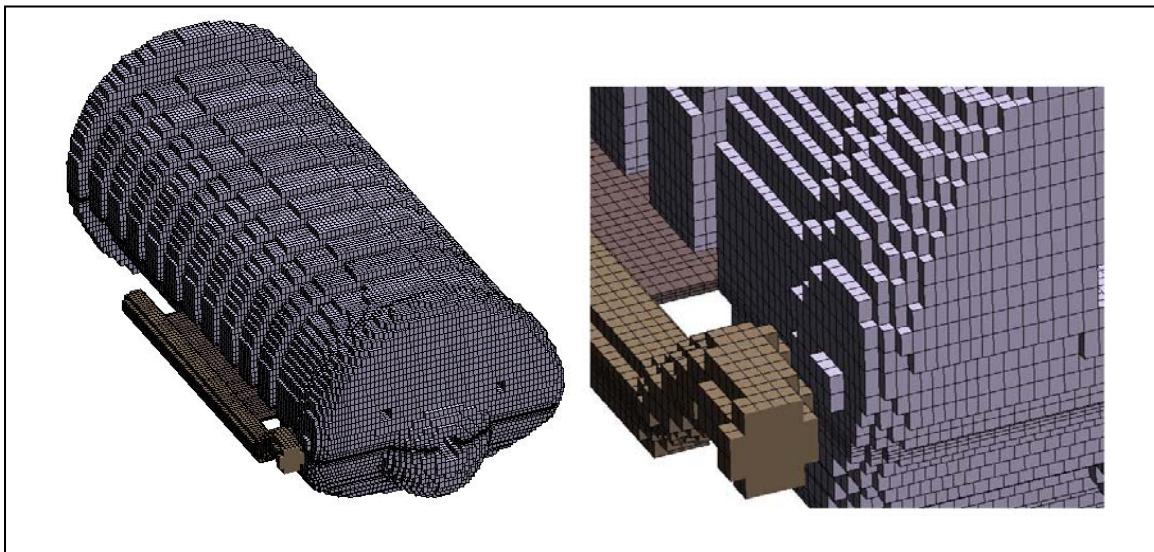
5.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

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

หลังจากเสร็จสิ้น Preprocessor ก็จะทำการแบ่งэлемент (Elements) คือการแบ่งชิ้นงาน และแม่พิมพ์ออกเป็นลักษณะทรงลูกบาศก์เล็กๆ ขั้นตอนนี้เรียกว่า Enmeshment ซึ่งตัวโปรแกรมจะมีการแบ่งได้ 4 แบบ คือ 1) Automatic 2) Standard 3) Advanced และ 4) Advanced 2 ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกการแบ่งэлементแบบ Advanced 2 เพราะสามารถเลือกแบ่งระดับความละเอียดให้แต่ละส่วนได้ทำให้ค่าการวิเคราะห์ที่ได้แม่นยำมากขึ้น เช่น ในส่วนของรูเข้าซึ่งมีขนาดเพียง 0.5 มน. ขนาดของэлементที่จึงต้องเลือกว่าส่วนอื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 86 และ 87 แสดงการกำหนดขนาดของและลักษณะэlement

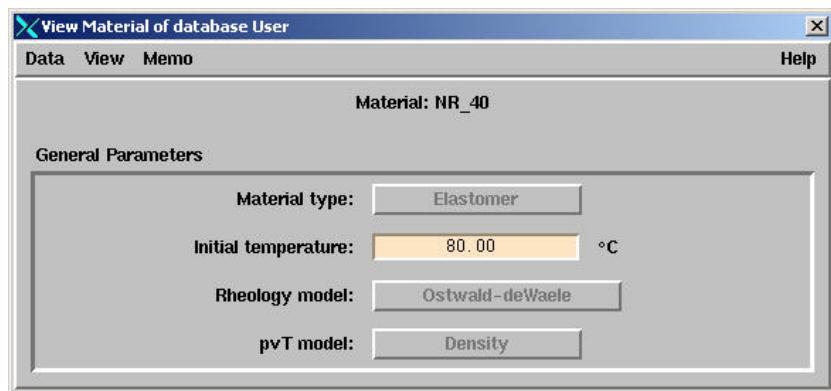


รูปที่ 86 แสดงการกำหนดэlement

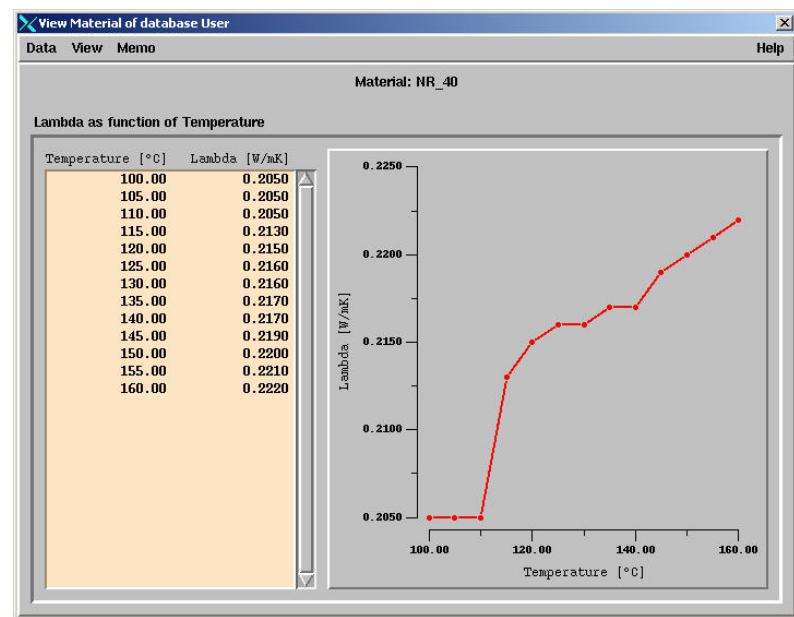


รูปที่ 87 แสดงลักษณะการแบ่งอลิเมนต์ของชิ้นงาน

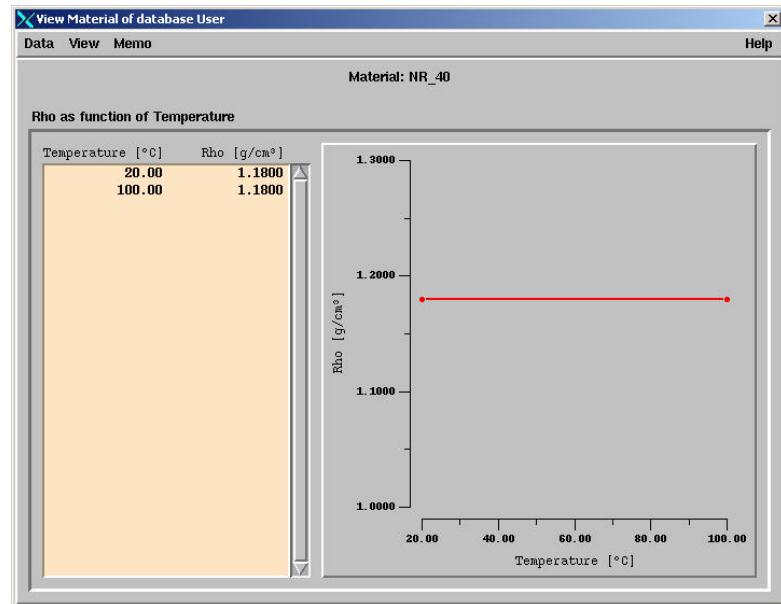
ขั้นตอนต่อมาเป็นการกำหนดค่าวัสดุ และค่าต่างๆ ของกระบวนการปิด วัตถุคิบที่เลือกใช้กับชิ้นงานเป็นวัตถุคิบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ริง คือ ยางธรรมชาติ (NR-40) ซึ่งไม่มีในฐานข้อมูลของโปรแกรมจึงต้องนำยางไปทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติบางประการที่จำเป็นในการวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งค่าที่จำเป็นได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการปิด (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



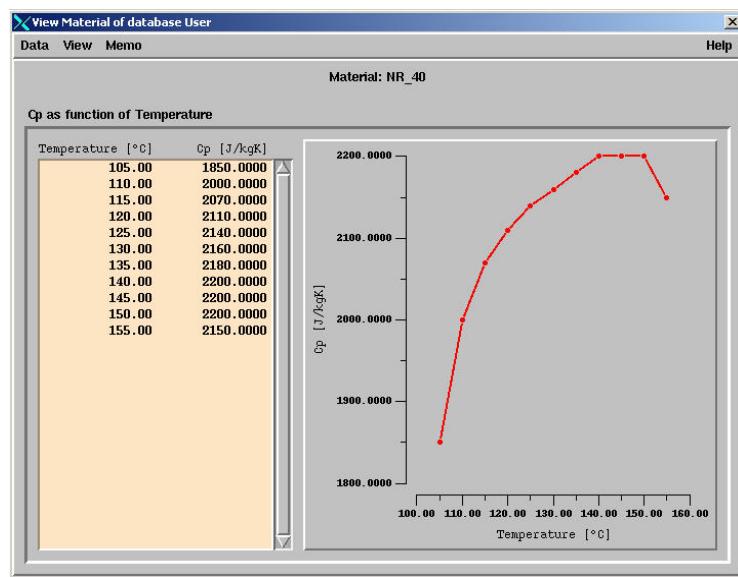
รูปที่ 88 แสดงการกำหนดค่าทั่วไปของยาง



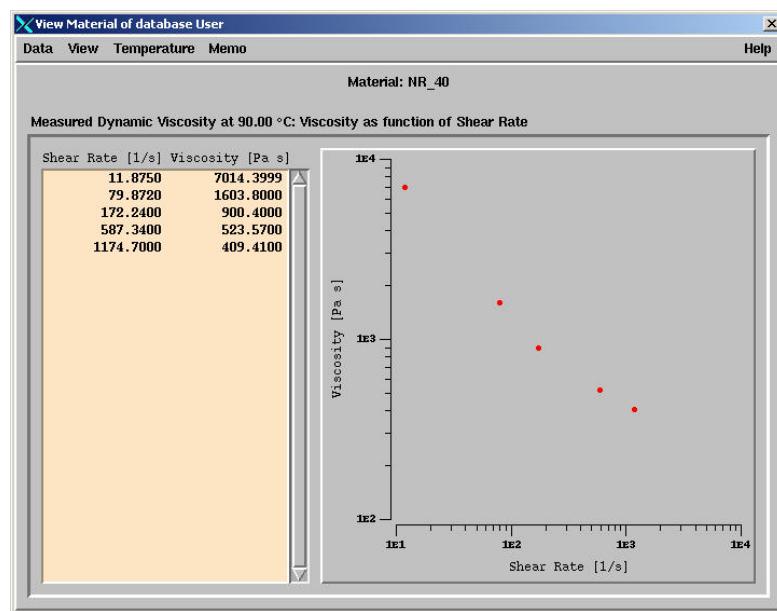
รูปที่ 89 แสดงการกำหนดค่า Heat Conductivity (Lambda)



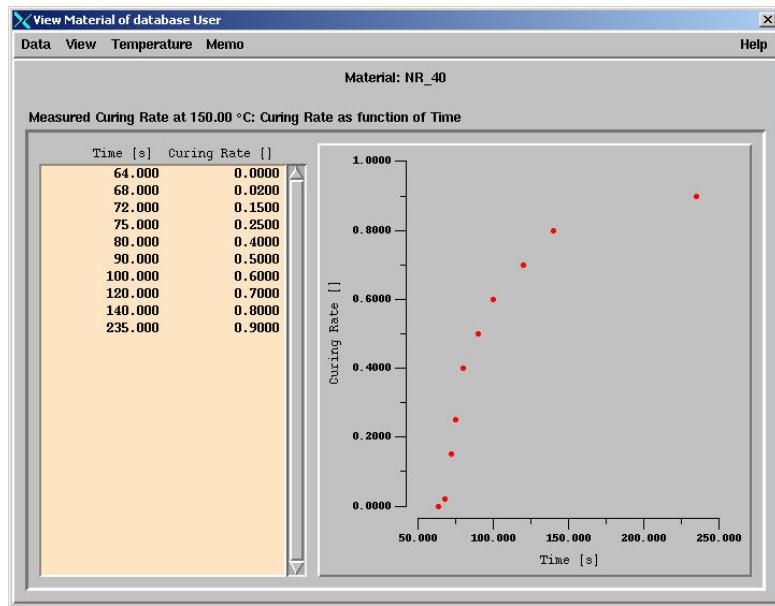
รูปที่ 90 แสดงการกำหนดค่า Density (Rho)



รูปที่ 91 แสดงการกำหนดค่า Heat Capacity (Cp)



รูปที่ 92 แสดงการกำหนดค่า Dynamic Viscosity



รูปที่ 93 แสดงการกำหนดค่า Curing Rate

ในการกำหนดวัตถุคิบของกระบวนการนี้ขั้งรวมไปถึงการกำหนดวัตถุคิบของวัสดุแม่พิมพ์ด้วยซึ่งในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้เหล็ก X45NiCrMo4 ซึ่งเป็นเหล็กสำหรับงานแม่พิมพ์ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมอยู่แล้ว จากนั้นต้องทำการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของส่วนต่างๆ อีกด้วย ดังนี้

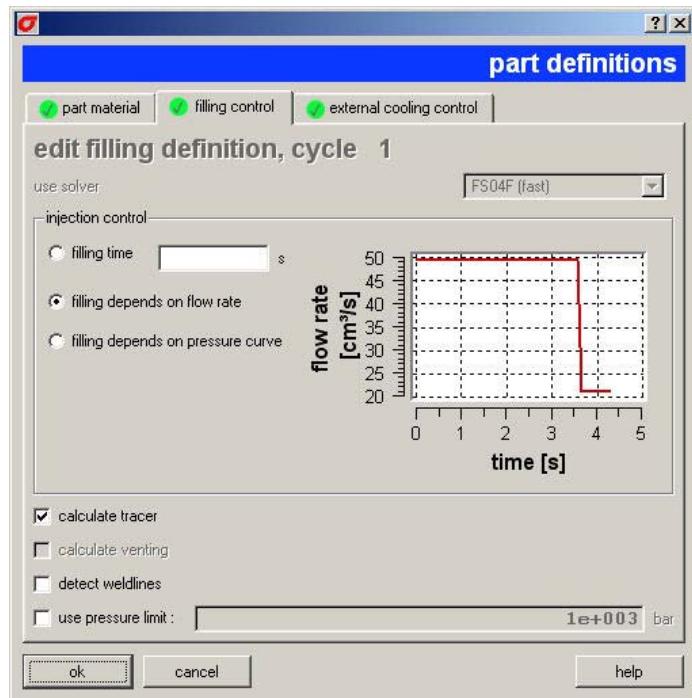
- | | | |
|------------------|------------------|--------|
| 1. ยาง | อุณหภูมิเริ่มต้น | 100 °C |
| 2. แม่พิมพ์ | อุณหภูมิเริ่มต้น | 160 °C |
| 3. ทำตัวความร้อน | อุณหภูมิเริ่มต้น | 160 °C |

เนื่องจากโปรแกรมสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ด้านผลกระทบของอุณหภูมิของยางและแม่พิมพ์ได้ จึงต้องมีการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละส่วนประกอบด้วย ดังรูปที่ 94 ซึ่งค่าที่ใช้นั้นอ้างอิงจากคู่มือการอบรมโปรแกรม 3D-SIGMA

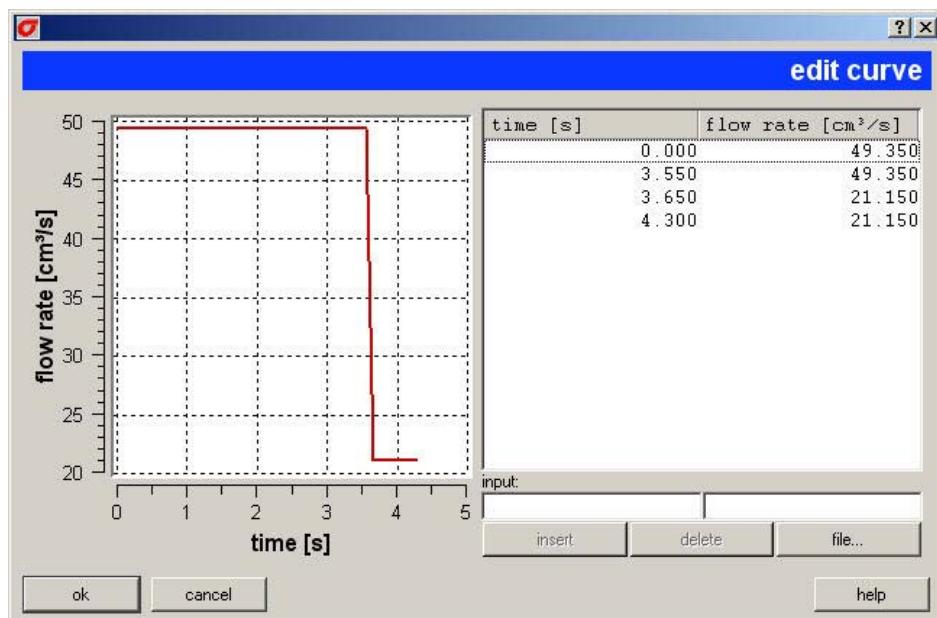
heat transfer definitions					
material 1	ID label 1	material 2	ID label 2	HTC database/filename	HTC dataset group
Part class		Mould class		SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Slides	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Movable Half	ID 1	SIGMA Database/C900.0	Constant
Part	ID 1	Fixed Half	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 I	ID 1	Movable Half	ID 2	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Movable I	ID 1	Fixed Half	ID 1	SIGMA Database/C10000.0	Constant
Movable I	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 I	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 ซึ่งโปรแกรมนั้นสามารถเลือกได้ 3 วิธี คือ 1. ควบคุมการฉีดด้วยเวลา (Filling Time) 2. ควบคุมการฉีดด้วยอัตราฉีด (Filling Depend on Flow Rate) และ 3. ควบคุมการฉีดด้วยความดัน (Filling Depend on Pressure Curve) ในการวิจัยนี้ได้เลือกค่าการฉีดแบบควบคุมด้วยอัตราฉีด เนื่องจาก เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากเครื่องฉีดจริงที่ทำการควบคุมการฉีดด้วยความเร็วฉีด (ความดันฉีดคงที่) ลักษณะการกำหนดค่าการฉีดังแสดงในรูปที่ 95 และ 96

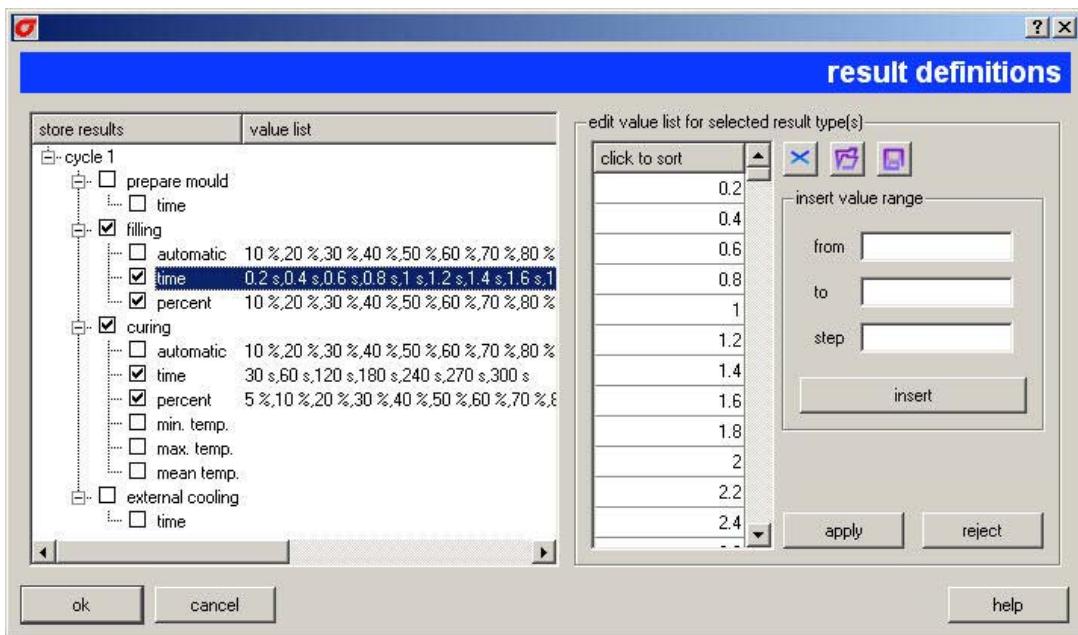


รูปที่ 95 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าการฉีด



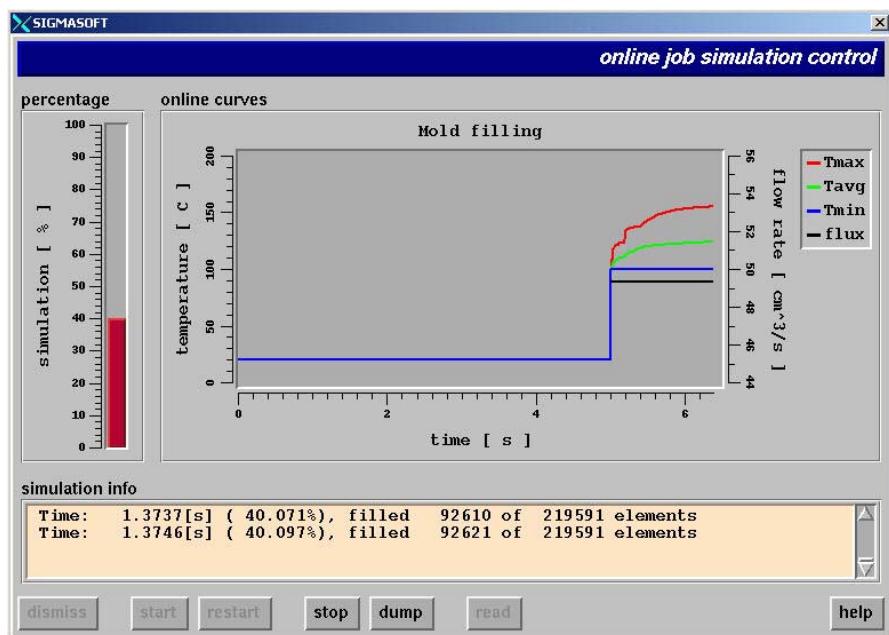
รูปที่ 96 แสดงการกำหนดค่าการฉีดที่ควบคุมด้วยอัตราฉีด

ขั้นตอนสุดท้ายในการกำหนดค่าของกระบวนการฉีดนี้คือการกำหนดค่าการเก็บผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งการเก็บผลนั้นสามารถให้โปรแกรมเก็บโดยขึ้นกับเวลา หรือเปอร์เซ็น หรือทั้งเวลาและเปอร์เซ็นต์ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 97



รูปที่ 97 แสดงการกำหนดค่าการเก็บผลการวิเคราะห์

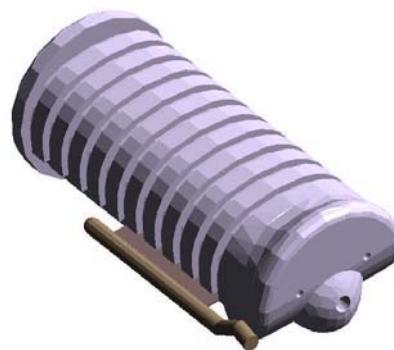
เมื่อเสร็จการกำหนดค่ากระบวนการนี้แล้วก็สามารถเริ่มการวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะมีหน้าต่างแสดงสถานะขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 98



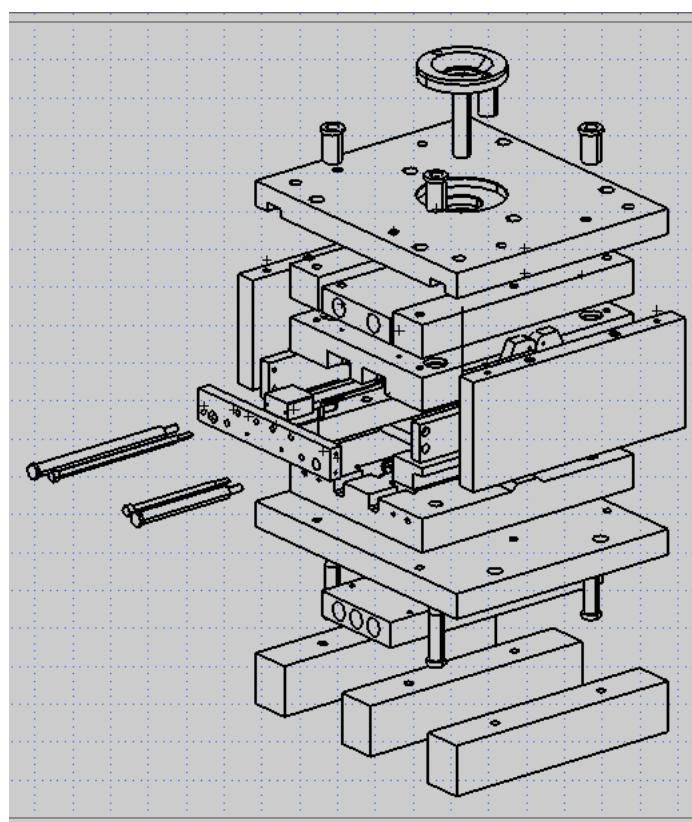
รูปที่ 98 หน้าต่างแสดงสถานะขณะทำการวิเคราะห์

5.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปที่วางแผนเท้ารถจักรยานยนต์

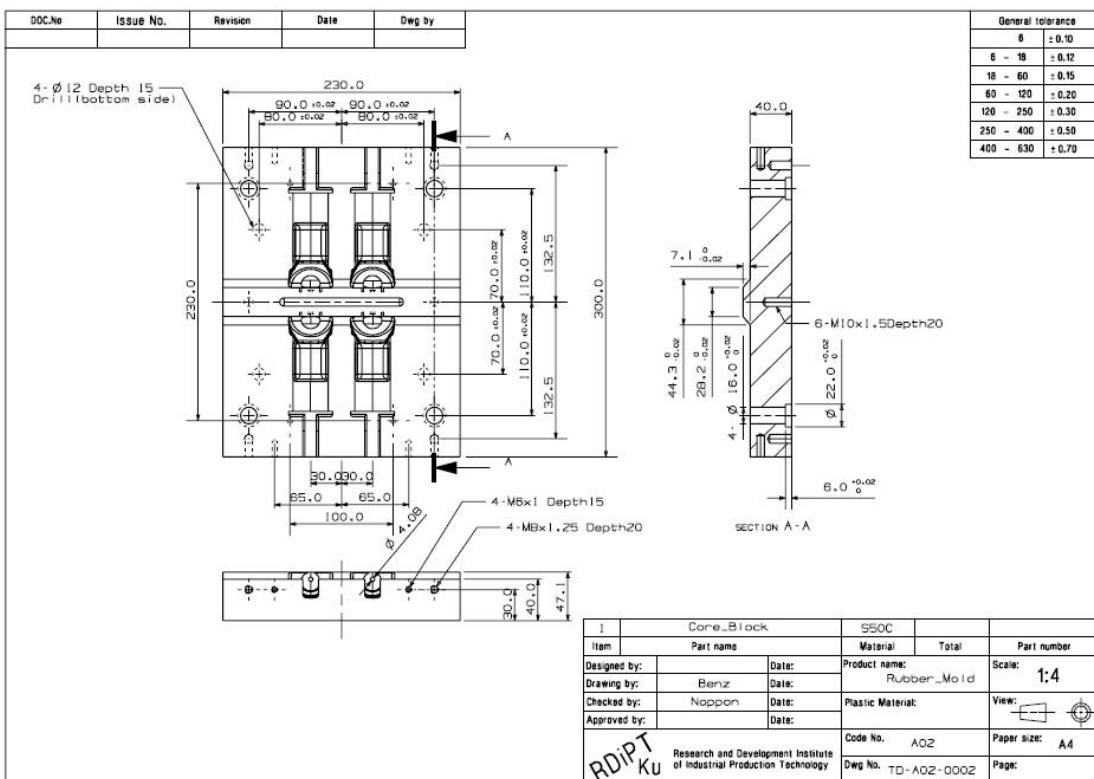
การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดในการทดสอบกับเครื่องฉีดยาง โดยมีจำนวนของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์อยู่ 4 เม็ด มีลักษณะทางวิ่งแบบวงกลม ขนาด 4 มิลลิเมตร และลักษณะรูเข้าแบบเข้าด้านข้าง (Side Gate) ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนชุดสไลด์ซึ่งใช้ในการขึ้นรูปส่วนอันเดอร์คัท (Under Cut) โดยมีแผ่นร่องน้ำในการประกนอินเลิร์ทเข้ากับแม่พิมพ์ โดยส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ และภาพแม่พิมพ์จริงดังแสดงในรูปที่ 99 ถึง 102



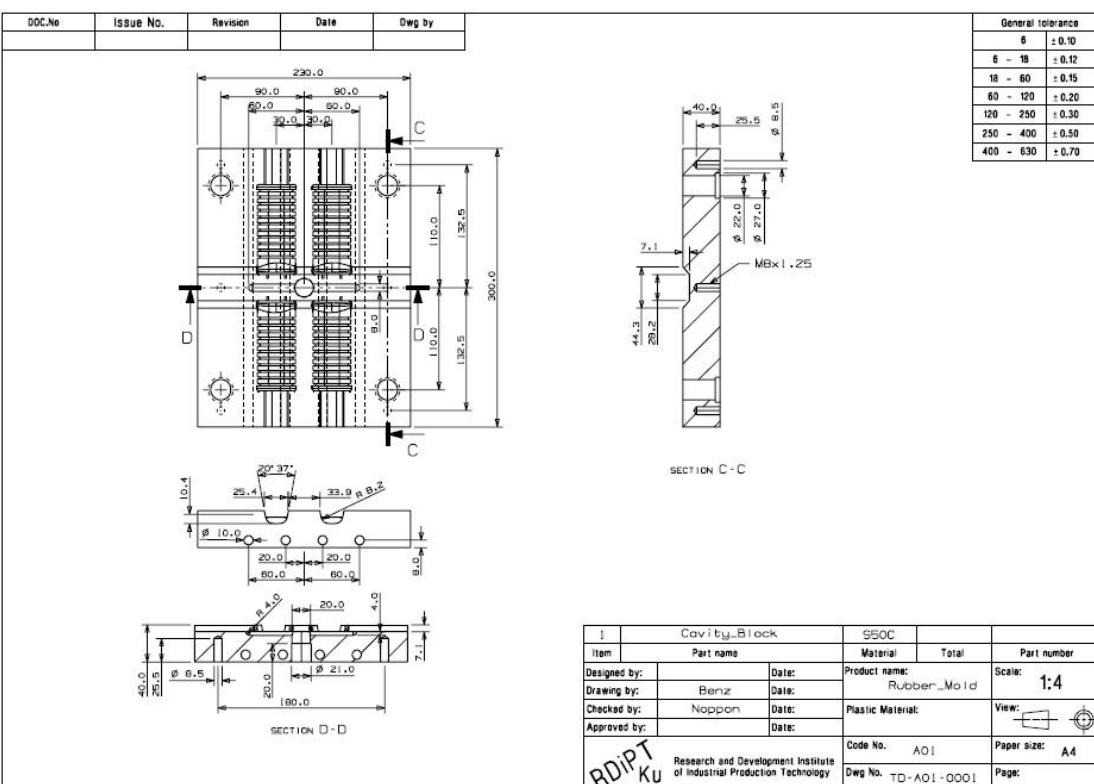
รูปที่ 99 ลักษณะรูเข้า



รูปที่ 100 ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่วางแผนเท้ารถจักรยานยนต์



รูปที่ 101 แผ่นแม่พิมพ์ส่วนตัวผู้ (Core Plate)



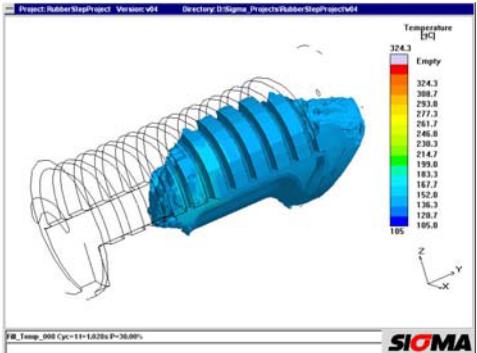
รูปที่ 102 แผ่นแม่พิมพ์ส่วนตัวเมีย (Cavity Plate)

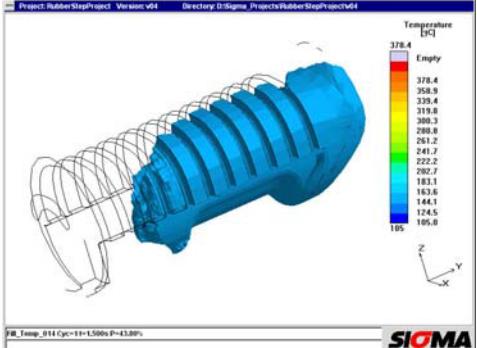
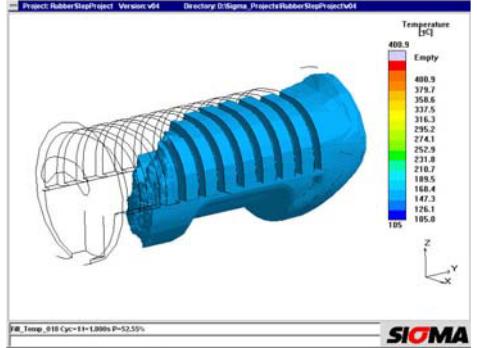
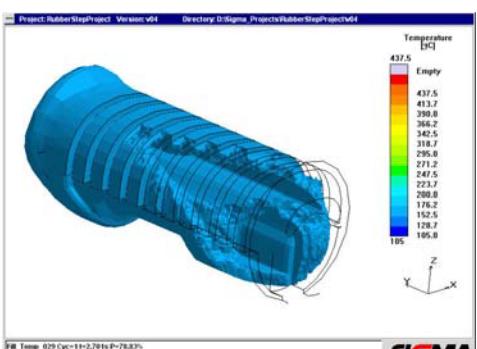
5.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

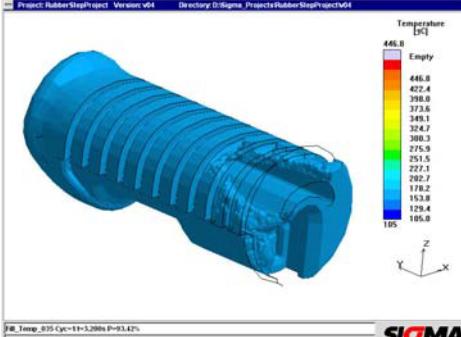
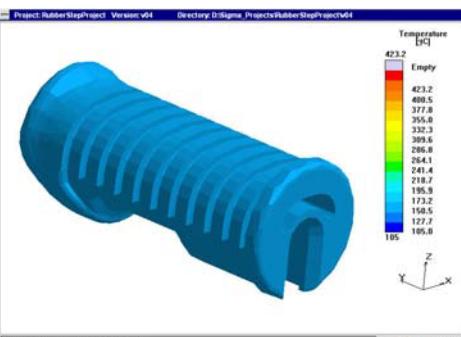
5.3.1 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม และการทดลองนีดจิริ

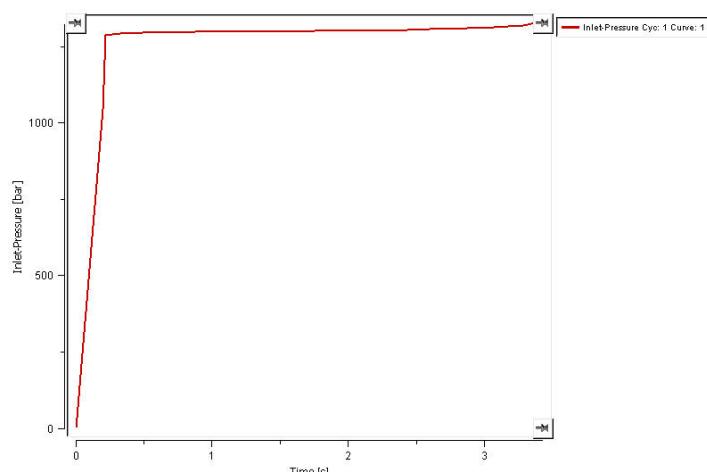
ในการทดลองนีดจิริทางคณะวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้แม่พิมพ์มี 4 เบ้า แต่เนื่องจากปริมาตรกระบอกนีดของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมไม่เพียงพอที่จะสามารถนีดได้ทั้ง 4 เบ้า ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยทำการทดลองนีดเพียง 2 เบ้า อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับการจำลองด้วยโปรแกรมเป็น 2 เบ้าด้วยเช่นกัน โดยที่ค่าต่างๆของกระบวนการที่ใส่ลงในโปรแกรมได้มาจากการทดลองนีด ซึ่งตัวแปรควบคุมต่างๆนั้นได้แสดงในรูปที่ 84 โดยการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าระยะถอยของสกรู (Stroke) ที่ระยะต่างๆ เพื่อเก็บลักษณะการไหล แรงดันนีด และเวลาฉีด แล้วนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งทุกๆ ระยะของสกรูแสดงให้เห็นว่าลักษณะการไหลของยางที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมและการทดลองนีดจิริมีลักษณะการไหลที่ใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง ส่วนผลที่ไม่สอดคล้องกันของแรงดันนีดระหว่างผลจากโปรแกรมและการทดลองนีด มีแนวโน้มที่จะเกิดมาจากการแบ่งอลิเมนต์ของชิ้นงานบริเวณรูเข้า (Ingate) ที่มีขนาดเล็กนั้นมีจำนวนชั้นของอลิเมนต์ (Layer) 3 ชั้น ทำให้การคำนวณแรงดันนีดของโปรแกรมมีค่ามากกว่าการทดลองจริง ซึ่งการแบ่งชั้นอลิเมนต์ที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามการแบ่งชั้นที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณใช้เวลานานยิ่งขึ้น อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของยางที่ใส่ในโปรแกรมล่างผลให้ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ใช้ในโปรแกรมมีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการทดลองนีดจิริ และรูปที่ 103 แสดงกราฟของแรงดันนีดบริเวณรูจ่ายเนื้อยาง (Inlet) ที่ได้จากโปรแกรมจะเห็นได้ว่าความดันนี้จะเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สั้นจนความดันไปถึงประมาณ 1,300 บาร์ และความจะคงที่จะยังไหลเข้าไปเติมแม่พิมพ์

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการไหลของยาง แรงดันนีด และเวลาฉีด

ระยะสกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองนีดจิริ
25 mm	 <p>แรงดันนีด 1298 บาร์ เวลาฉีด 1.028 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 777 บาร์ เวลาฉีด 1.02 วินาที</p>

ระยะสกัด	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองนีดจิริ
40 mm	 <p>แรงดันนีด 1300 บาร์ เวลา_nีด 1.500 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 858 บาร์ เวลา_nีด 1.49 วินาที</p>
50 mm	 <p>แรงดันนีด 1300 บาร์ เวลา_nีด 1.800 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 840 บาร์ เวลา_nีด 1.83 วินาที</p>
75 mm	 <p>แรงดันนีด 1307 บาร์ เวลา_nีด 2.701 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 865 บาร์ เวลา_nีด 2.69 วินาที</p>

ระยะสกัด	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองนีดจิง
90 mm	 <p>แรงดันนีด 1315 บาร์ เวลา nีด 3.200 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 918 บาร์ เวลา nีด 3.18 วินาที</p>
120 mm	 <p>แรงดันนีด 1326 บาร์ เวลา nีด 3.426 วินาที</p>	 <p>แรงดันนีด 911 บาร์ เวลา nีด 4.19 วินาที</p>

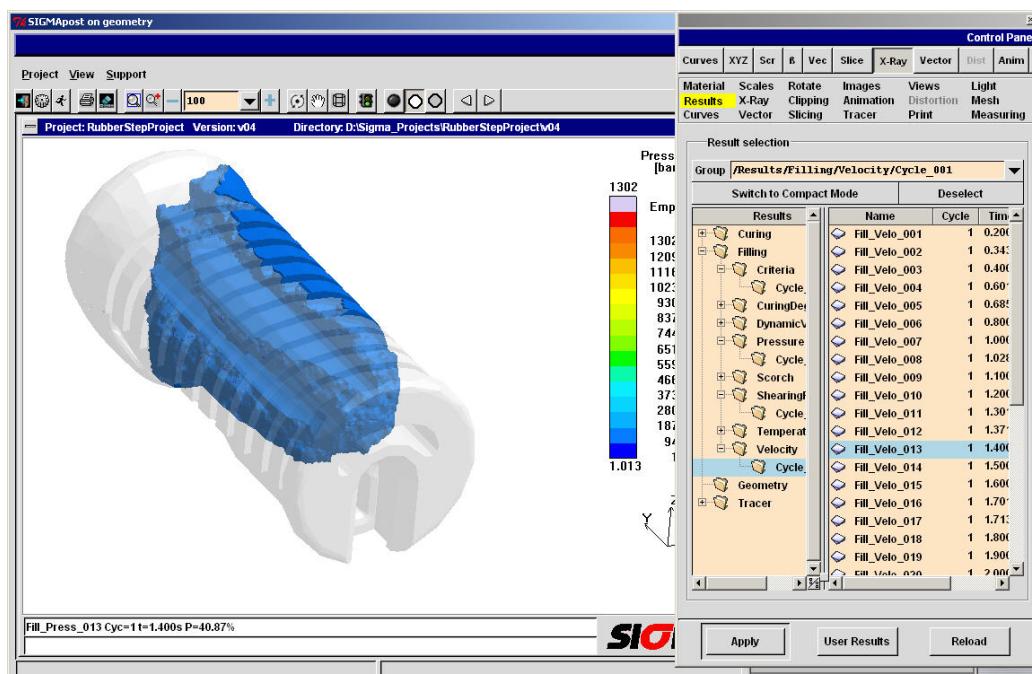


รูปที่ 103 แสดงกราฟแรงดันนีดที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA

5.3.2 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

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

- 1) ระยะเวลาที่ยางสัมผัสอากาศ (Air Contact)
- 2) ระยะเวลาเม็ด (Filled Time)
- 3) ความยาวของการไหล (Flow Length)
- 4) อายุของยาง (Material Age)
- 5) ระยะเวลาที่ยางสัมผัสผิวแม่พิมพ์ (Wall Contact)
- 6) รอยต่อ (Weldline)
- 7) แสดงผลการไหลของอนุภาคยาง (Tracers)
- 8) อุณหภูมิของยางขณะฉีด (Injection Temperature)
- 9) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mould Temperature)
- 10) แรงดันฉีด (Injection Pressure)
- 11) ความเร็วเม็ด (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 แสดงระยะเวลาของยางที่สัมผัสกับอากาศหันได้ว่าการสัมผัสอากาศของยางนั้นชุดที่มีค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 0.0896 วินาที ซึ่งจะมีโอกาสที่จะทำให้ชิ้นงานนั้นเกิดไฟไหม้อาการหรือมีอากาศอันที่บริเวณพิเศษ

2) ระยะเวลาฉีด (Filled Time)

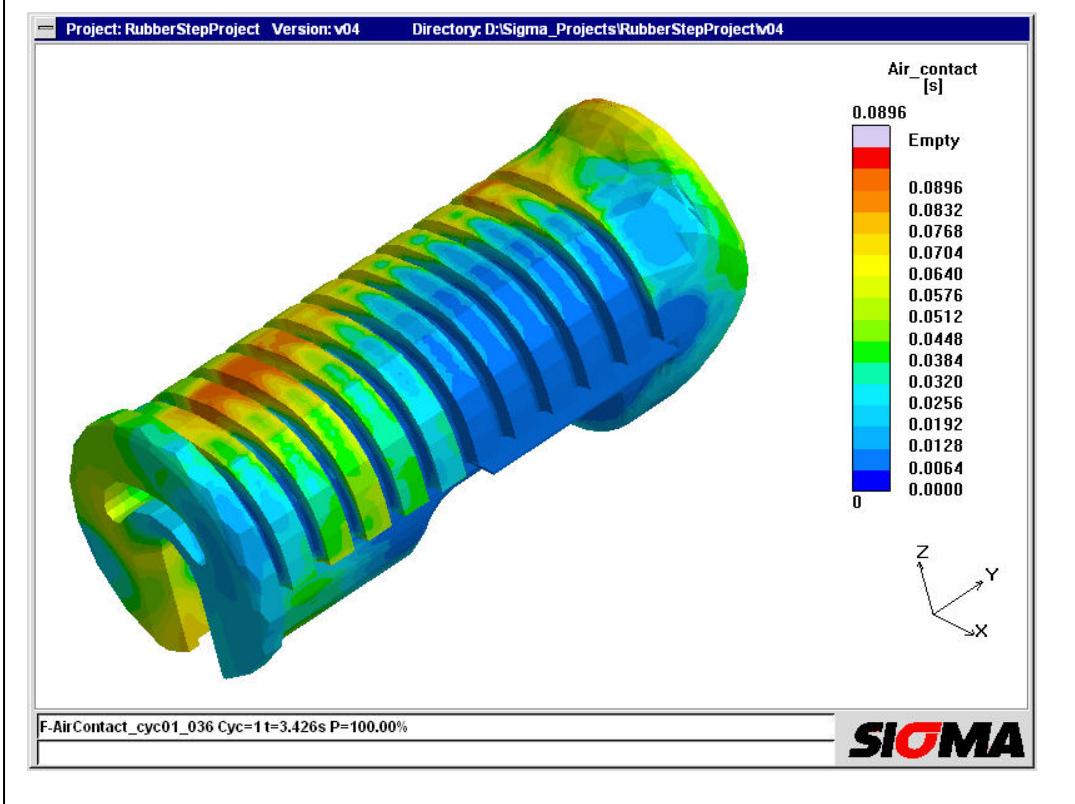
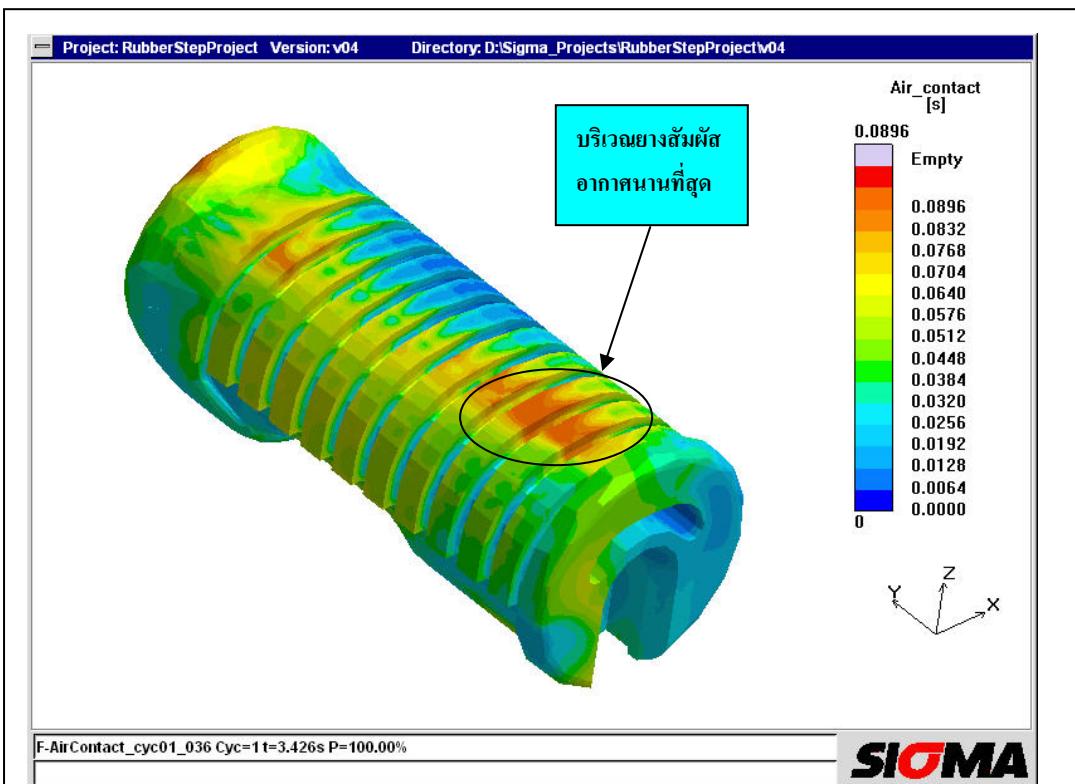
รูปที่ 106 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ยางถูกฉีดเข้าไปภายในแม่พิมพ์โดยที่ระยะเวลาของเนื้อยางในแต่ละส่วนจะไม่เท่ากัน ซึ่งในกรณีของแม่พิมพ์ที่มีหลายเบ้าระยะเวลาในการฉีดนั้นจะมีผลกระทบมากเนื่องจากเนื้อยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์ระยะเวลาต่างกันมากจึงมีโอกาสที่เนื้อยางที่ไหลเข้าไปก่อนจะเกิดการสูญตัวก่อน

3) ความยาวของการไหล (Flow Length)

รูปที่ 107 แสดงระยะทางของยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์ถ้าชิ้นงานมีระยะการไหลที่ยาวเกินไปหรือรูปทรงที่ซับซ้อนอาจจะทำให้ชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้

4) อายุของยาง (Material Age)

รูปที่ 108 แสดงถึงอายุของยางที่อยู่ในแต่ละส่วนของชิ้นงาน เนื้อยางที่ไหลเข้ามาก่อนจะมีอายุมากกว่าถ้าแม่พิมพ์ที่ทำการฉีดมีขนาดที่ใหญ่หรือหลายเบ้าอายุของยางจะมีผลสำคัญ เนื่องจากยางที่มีอายุที่มากจะมีโอกาสที่จะสูญตัวก่อน



รูปที่ 105 แสดงผลของระยะเวลาที่ยางสัมผัสอากาศ (Air Contact)