



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาแบบจำลองคอนสติติวทีฟของวัสดุยาง
สำหรับระบบเบรคไฟฟ้าไฮดรอลิก (ระยะที่ 2)

โดย

ผศ.ดร. สมเจตน์ พิชรพันธ์

ตุลาคม 2557

สัญญาเลขที่ RDG5650091

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาแบบจำลองคอนสตีติวทีฟของวัสดุยาง
สำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ระยะที่ 2)

โดย

ผศ.ดร. สมเจตน์ พืชพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

แบบสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การพัฒนาแบบจำลองคอนสติติวทีฟของวัสดุยางสำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ระยะที่ 2)

(ภาษาอังกฤษ): Constitutive Model Development of Rubber material for Finite Element Method
(Phase 2).....

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร. สมเจตน์ พันธ์พันธ์.....

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....

ที่อยู่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900.....

โทรศัพท์/โทรสาร 02-942-8555 ต่อ 2121/02-955-1811 E-mail fengsjpc@ku.ac.th.....

ระยะเวลาดำเนินการ 14 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2556 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2557

ปัญหาที่ท้าวใจและความสำคัญ

แบบจำลองคอนสติติวทีฟที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการเสียรูปร่างของวัสดุยางเรียกว่า แบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติก (hyperelastic model) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วพัฒนามาจากวิธีการแทนพฤติกรรมจากการสังเกต (phenomenological approach) โดยมีข้อจำกัด คือ สามารถทำนายพฤติกรรมได้ดีในช่วงที่มีการยืดตัวระดับกลางๆ (moderate strain) และกำหนดสมมุติฐานให้ยางเป็นวัสดุไม่สามารถอัดตัวไม่ได้ (incompressible material) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับการอธิบายพฤติกรรมการยืดตัวของวัสดุยางตลอดช่วงการยืดตัว (ที่ความเครียดต่ำและความเครียดสูง) และนำเสนอแนวทางการพัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวได้ คือ ยางฟองน้ำหรือยางโฟมจากยางธรรมชาติ โดยแบบจำลองที่ได้รับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ยางได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบแบบดึงแกนเดียว กับผลการทดสอบแบบดึงสองแกนและแบบดึงในแนวระนาบ และศึกษาพฤติกรรมของวัสดุยางในขณะรับภาระแบบกดอัด และภาระแบบเฉือน รวมทั้งพัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวไม่ได้
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุยางที่อัดตัวได้ ในขณะทดสอบแบบดึงแกนเดียว แบบดึงสองแกน แบบดึงในแนวระนาบ และการทดสอบเชิงปริมาตร รวมทั้งพัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวได้

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวไม่ได้ภายใต้ภาระกดอัด (compression mode) และภาระเฉือน (shear mode) ซึ่งได้ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (neural network model) ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินวาเรียนท์ของความเครียด (strain invariant, I) และพลังงานความเครียด (strain energy, W) และสำหรับในกรณีวัสดุยางที่อัดตัวได้นั้น ได้ออกแบบและผลิตชุดทดสอบเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลอง รวมถึงได้พัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับการทำนายยางโฟมจากยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่น (density) แตกต่างกัน และใช้ความเร็วในการทดสอบ (crosshead speed) ต่างๆ กัน ซึ่งทำให้ได้แบบจำลอง

หรือสมการเดียวในการทำนายพฤติกรรมของยางโฟมที่มีสมบัติเชิงกลเริ่มต้นแตกต่างกัน (มีค่ามอดูลัสต่างกัน) และรับภาระที่ความเร็วต่างๆ กัน โดยแบบจำลองที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ (ทั้งวัสดุยางที่อัดตัวไม่ได้ และอัดตัวได้) สามารถนำไปพัฒนาร่วมกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนสูง และผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบครั้งเดียว (เพื่อ เป็น input ให้กับโปรแกรม FEM) มีขอบเขตการใช้งานที่กว้างมากขึ้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน อาทิเช่น แบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวไม่ได้ภายใต้ภาระกดอัดและภาระเฉือนสามารถนำไปใช้ในการออกแบบยางรองคอสพาน (rubber pad) ยางเบร้งป้องกันภัยแผ่นดินไหว (seismic isolator) และแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุยางที่อัดตัวได้ สามารถใช้ในการออกแบบเบาะนั่งในยานยนต์ (rubber cushion) หรือผลิตภัณฑ์รองรับแรงกระแทกได้

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม -
ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น -

บทคัดย่อ

แบบจำลองคอนสติดิวทิฟที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการเสียรูปร่างของวัสดุอย่างเรียกว่าแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติก (hyperelastic model) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วพัฒนามาจากวิธีการแทนพฤติกรรมจากการสังเกต (phenomenological approach) โดยมีข้อจำกัด คือ สามารถทำนายพฤติกรรมได้ดีในช่วงที่มีการยืดตัวระดับกลางๆ (moderate strain) และกำหนดสมมติฐานให้ยางเป็นวัสดุไม่สามารถอัดตัวไม่ได้ (incompressible material) โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับอธิบายพฤติกรรมการยืดตัวของวัสดุที่ยืดตัวไม่ได้ภายใต้การกดอัด (compression mode) และการเฉือน (shear mode) และนำเสนอแนวทางการพัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกสำหรับวัสดุที่ยืดได้ ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกร่วมกับแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (neural network model) ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินวาเรียนต์ของความเครียด (strain invariant, I) และพลังงานความเครียด (strain energy, W) สามารถทำนายพฤติกรรมได้ตลอดช่วงของการยืดตัว และผลจากการพัฒนาแบบจำลองของยางโฟมจากธรรมชาติในกรณีเป็นวัสดุที่ยืดตัวได้ พบว่า ขนาดรูพรุนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นและค่าโมดูลัสของขึ้นงานยาง ซึ่งสามารถนำแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกของขึ้นงานต่างๆ มารวมเป็นแบบจำลองเดียวกันได้ ส่งผลให้แบบจำลองใหม่สามารถทำนายได้ขอบเขตกว้างมากขึ้น

คำสำคัญ: วัสดุยาง แบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติก แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

Abstract

The so called hyperelastic model has been developed in order to predict the deformation of elastomeric materials. Generally, this model was developed by using phenomenological approach. However, due to the complexities of the mathematical formulation which can only obtained at the moderate strain and the assumption of incompressible material used for the analysis. Therefore, in this work the hyperelastic model is further developed to predict the deformation behavior of elastomer during compression and shear modes by using the assumption of compressible material. From the analytical results, it can be seen that the relationship between strain invariant and strain energy obtained by the use of developed hyperelastic model couple with the Neural Network (NN) model can accurately predict the whole deformation behavior of elastomer. In the case of compressible material, the sponge rubber (natural rubber) was used to investigate the influences of voids. It was found that the size of voids affects the density and modulus of sponge rubber. The combination between those obtained of hyperelastic models can be employed for the prediction of various rubber materials.

Key words: Elastomeric materials, Hyperelastic model, Neural Network model

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5) สำหรับทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมยางคอมพาวนด์และใช้เครื่องทดสอบสมบัติการคงรูปยางคอมพาวนด์ และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Blow, C.M. and C. Hepburn. 1978. **Rubber Technology and Manufacture**. Butterworths, London.
- Bergstrom, J.S. and M.C. Boyce. 2000. Large strain time-dependent behavior of filled elastomers. **Mechanics of Materials**. 32:627-644.
- Boyce, M.C. and Arruda, E.M. 2000. Constitutive models of rubber elasticity: A review. **Rubber Chemistry and Technology**. 73: 504-523.
- Charlton, D.J., J. Yang and K.K. Teh. 1993. A Review of Methods to Characterize Rubber Elastic Behavior for use in Finite Element Analysis. **Rubber Chemical and Technology**. 67: 481-503.
- Demuth, H. and M. Beale. 2001. **Neural Network Toolbox User's Guide**. 7th .The MathWorks, Inc., Natick.
- Diani, J., B. Fayolle and P. Gilormini. 2009. A review on the Mullins effect. **European Polymer Journal**. 45: 601–612.
- Dolwichai P., J. Limtragool, S. Inban and S. Piyasin. 2006. Hyperelastic Material Models for Finite Element Analysis with Commercial Rubber, pp. 769-774. **In Technology and Innovation for Sustainable Development Conference**. Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.
- Kenig, A., A. Ben-David, M. Omer and A. Sadeh. 2001. Control of Properties in Injection Molding by Neural Networks. **Artificial Intelligence**. 14: 819-823.
- Kroon, M. 2010. A constitutive model for strain-crystallising Rubber-like materials. **Mechanics of Materials**. 42: 873–885.
- Martin, H.T., D.B. Howard and B. Mark. 1995. **Neural Network Design**. PWS Publishing Company, Boston.

Miller, K. 2004. **Testing Elastomers for Hyperelastic Material Models in Finite Element Analysis**. <http://www.axelproducts.com/pages/hyperelastic.html>, Mar 21, 2012.

MSC.Software. 2010. **Nonlinear Finite Element Analysis of Elastomers**. <http://www.mscsoftware.com>, Mar 21, 2012.

Ogden, R.W. 1997. **Nonlinear Elastic Deformation**. Dover Publication, Inc.

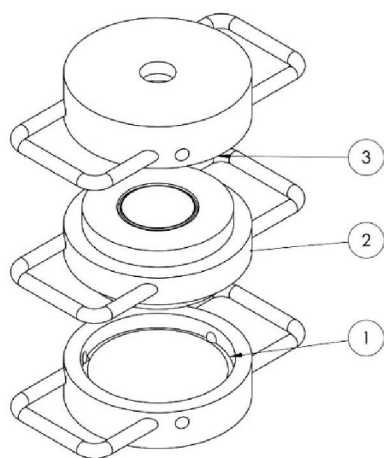
Sadeghi, B. H. M. 2000. A BP-Neural Network Predictor Model for Plastic Injection Moulding Process. **Materials Processing Technology**. 103: 411-416.

Shen, Y., K. Chandrashekhara, Breig, W. Oliver, L. R. 2004. Neural network based constitutive model for rubber material. **Rubber Chemistry and Technology**. 77(2): 257 – 277.

Treloar, L.R.G. 1958. **The Physics of Rubber Elasticity**. 2nd edition. Clarendon Press. Oxford, England.

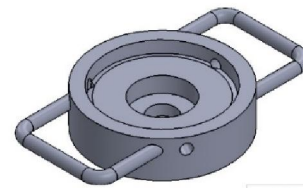
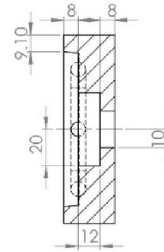
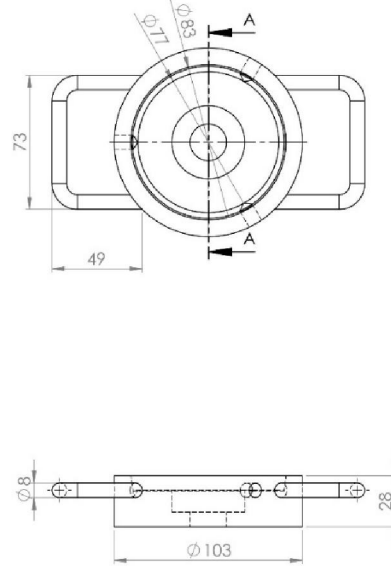
ภาคผนวก ก

การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อใช้ในการอัดขึ้นรูป และชุดอุปกรณ์ทดสอบ

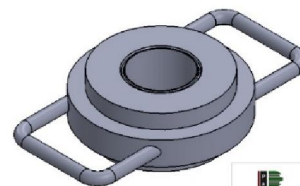
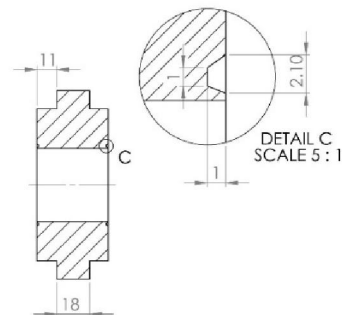
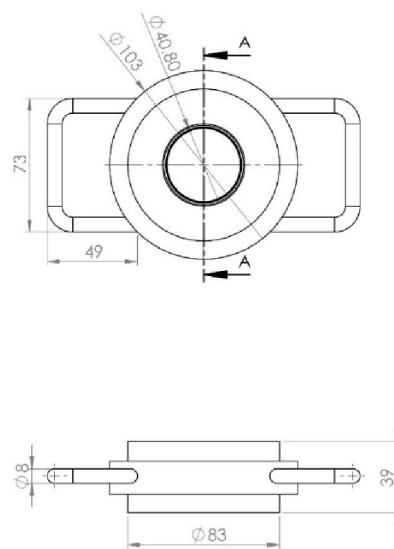


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Bottom	S50C	1
2	Middle	S50C	1
3	Top	S50C	1

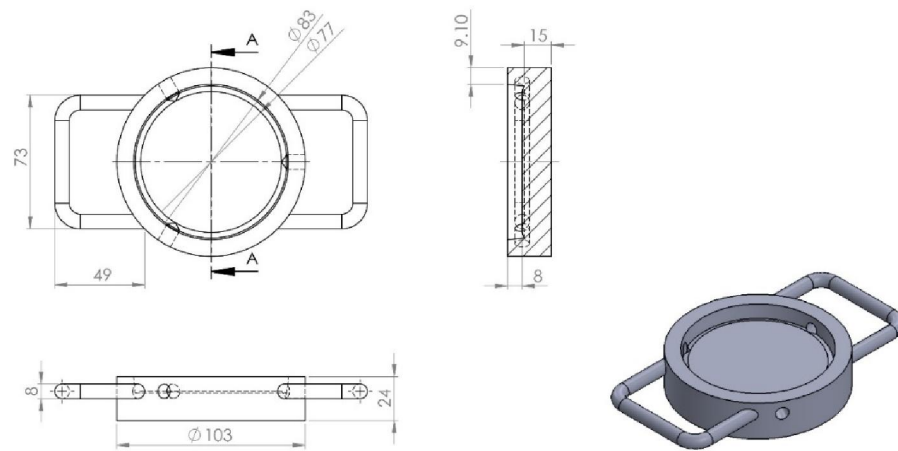
 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaR-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE	
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE 1:2
DRAWING NO.	



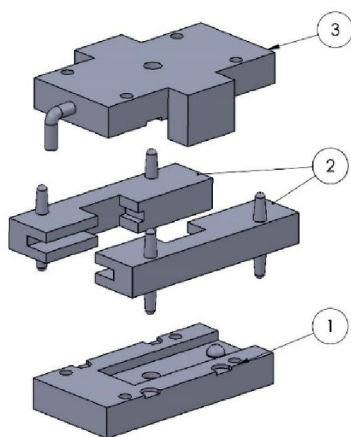
 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE TOP PLATE	
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE
DRAWING NO.	



 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE MIDDLE PLATE	
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE
DRAWING NO.	

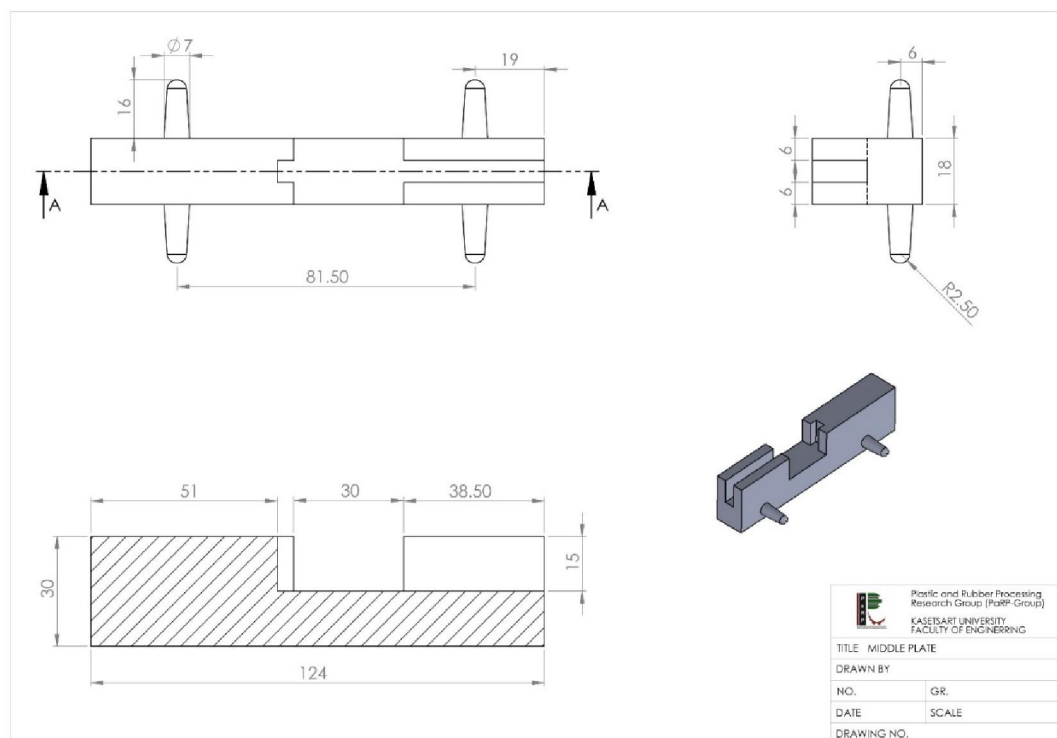
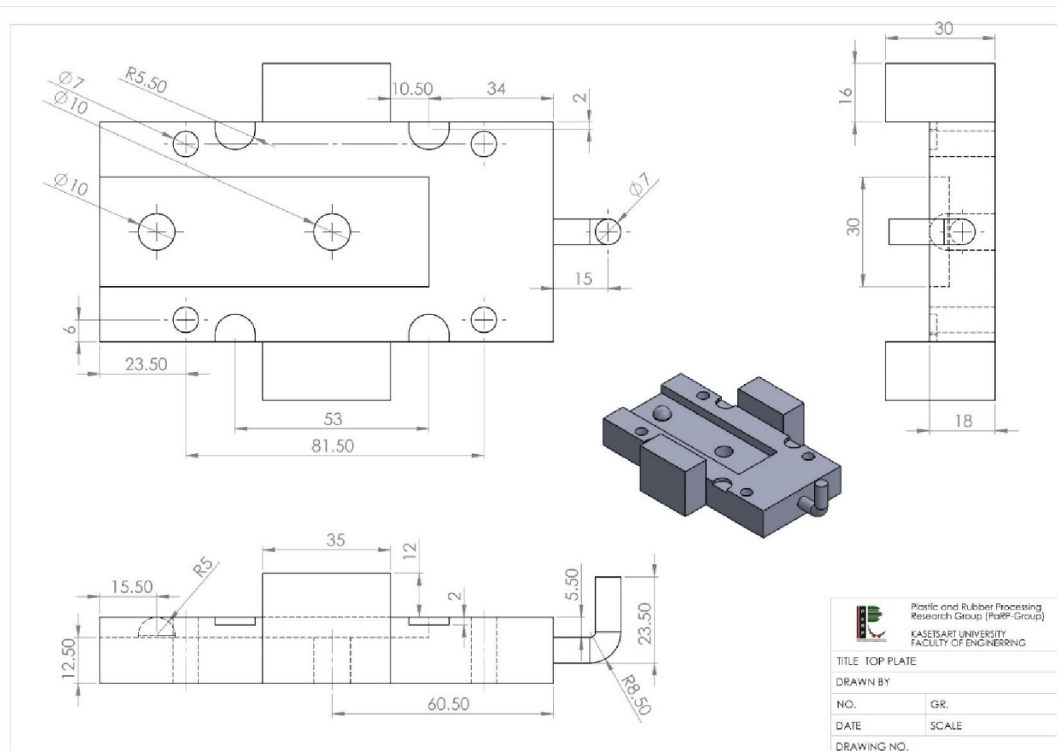


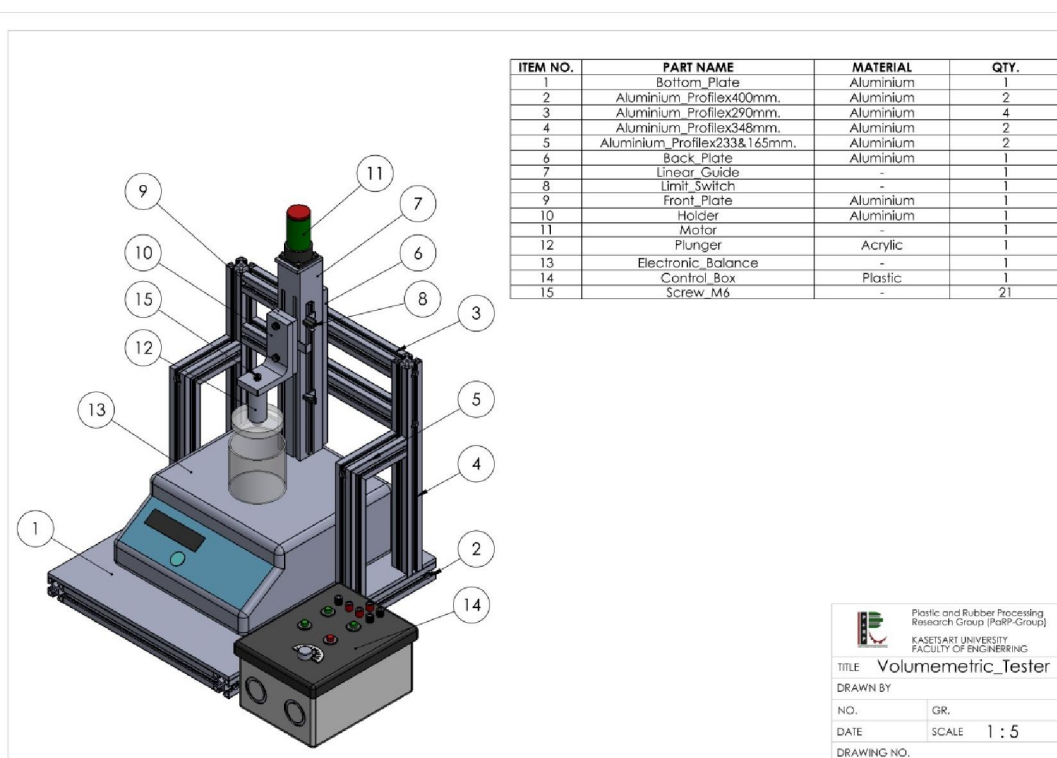
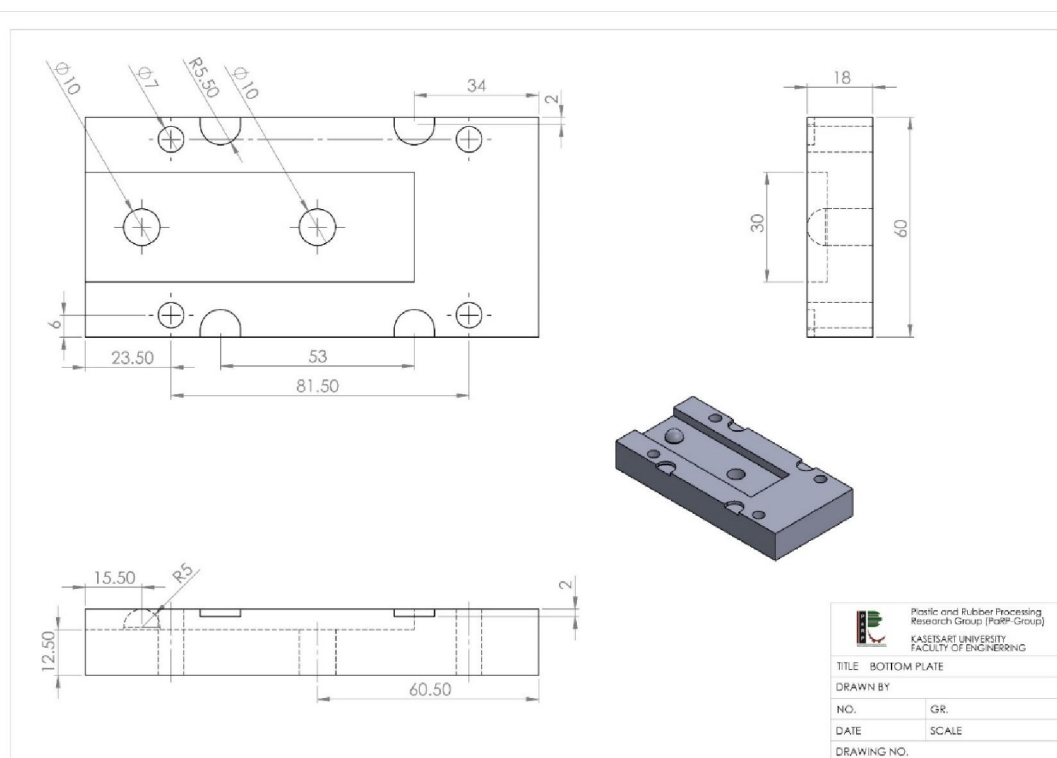
 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE: BOTTOM PLATE	
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE
DRAWING NO.	

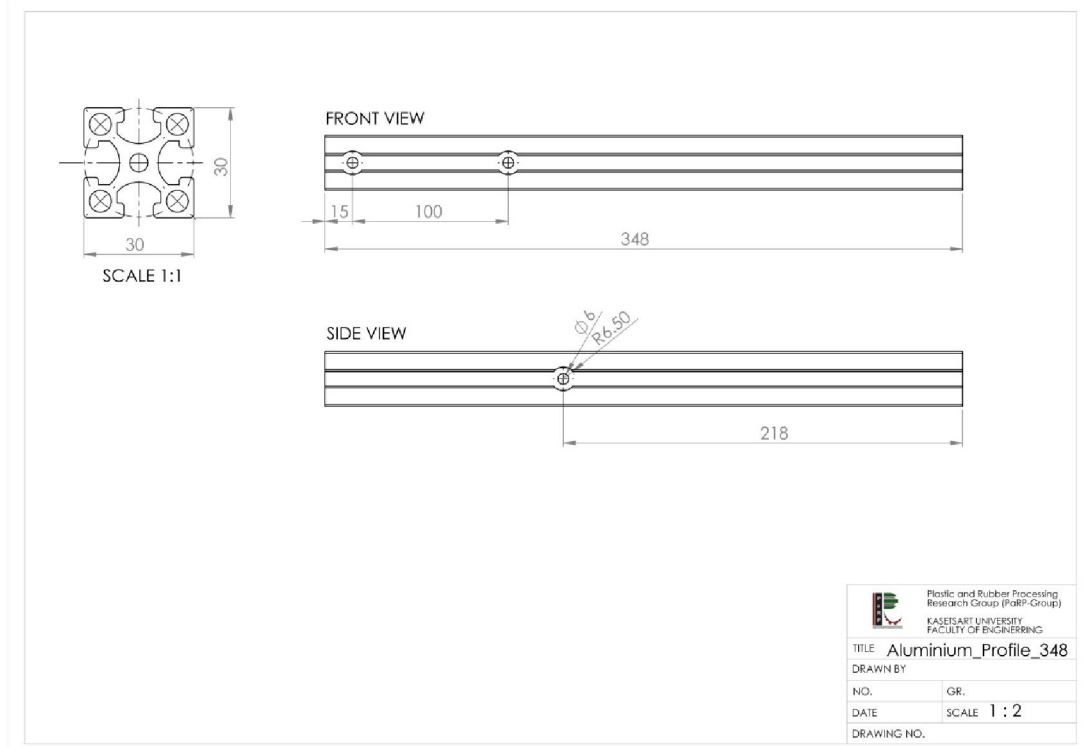
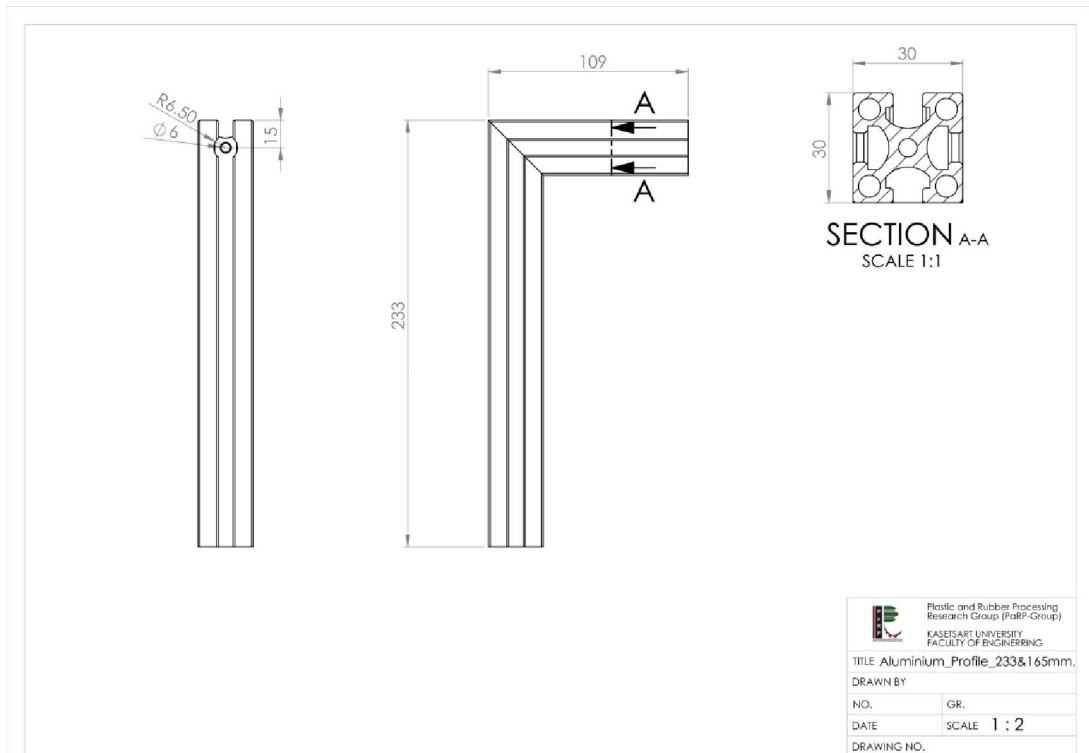


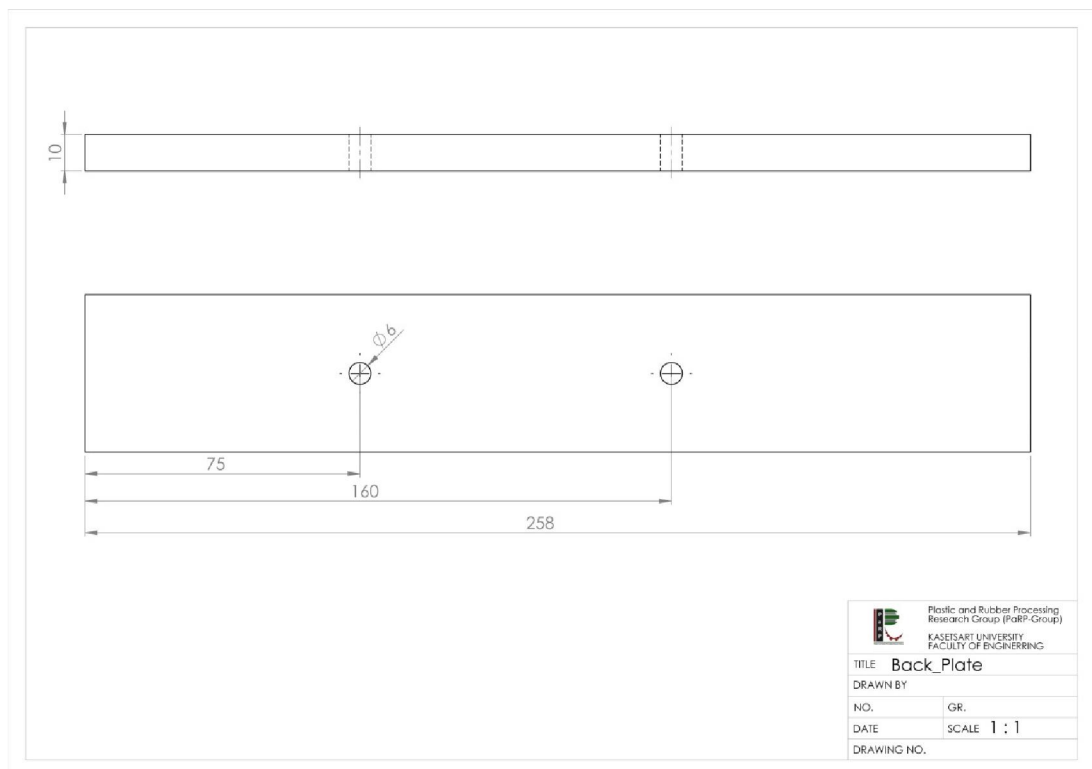
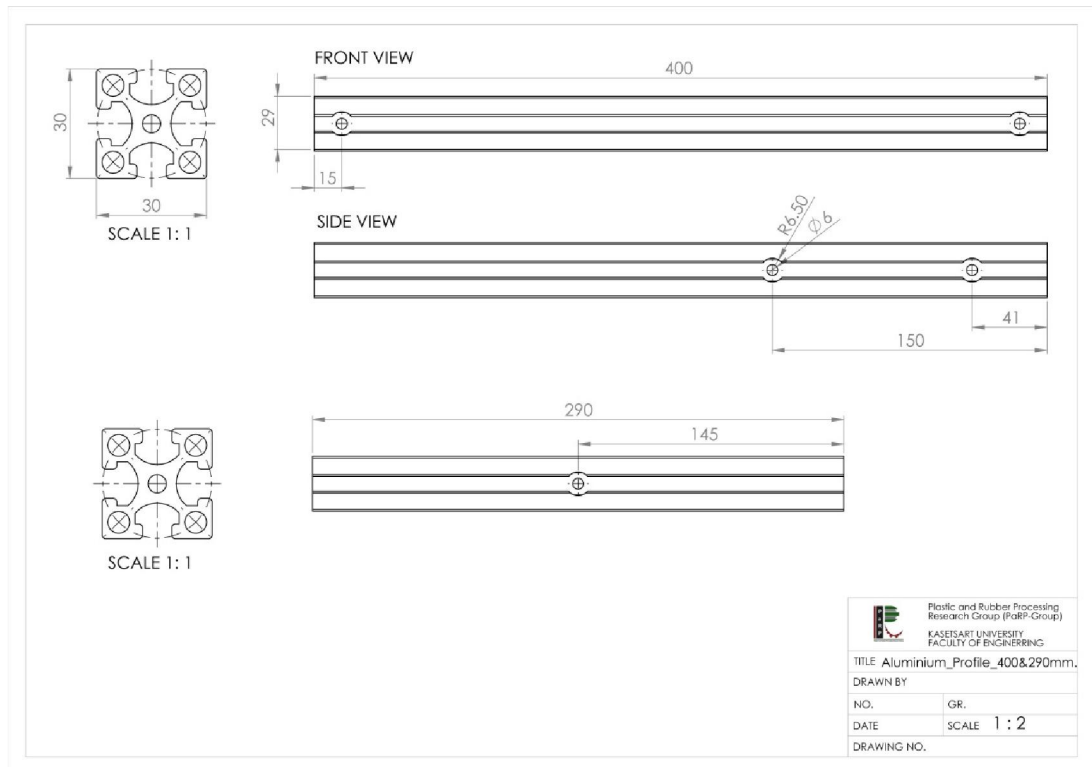
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Bottom	S50C	1
2	Middle	S50C	2
3	Top	S50C	1

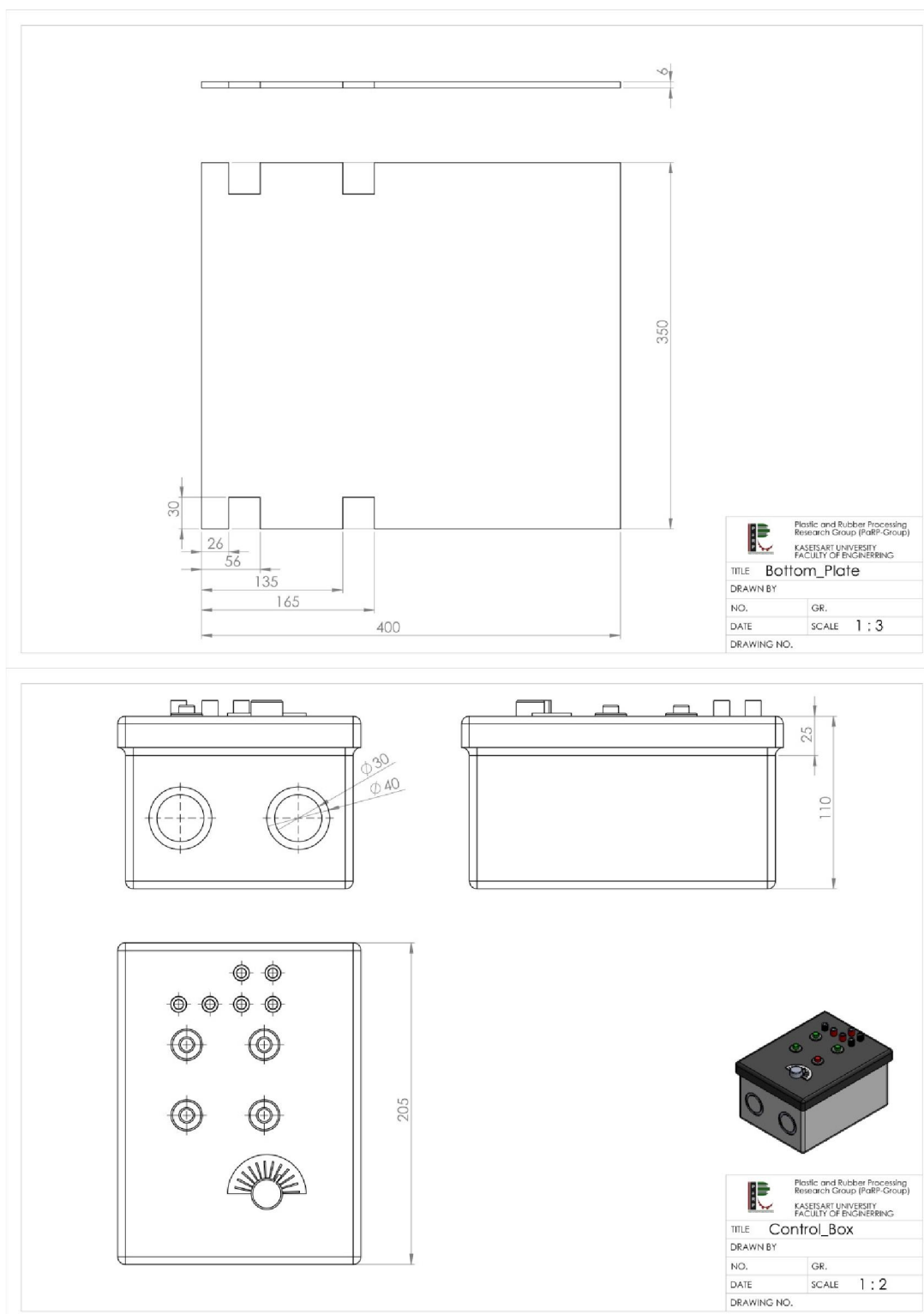
 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE	
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE 1:2
DRAWING NO.	

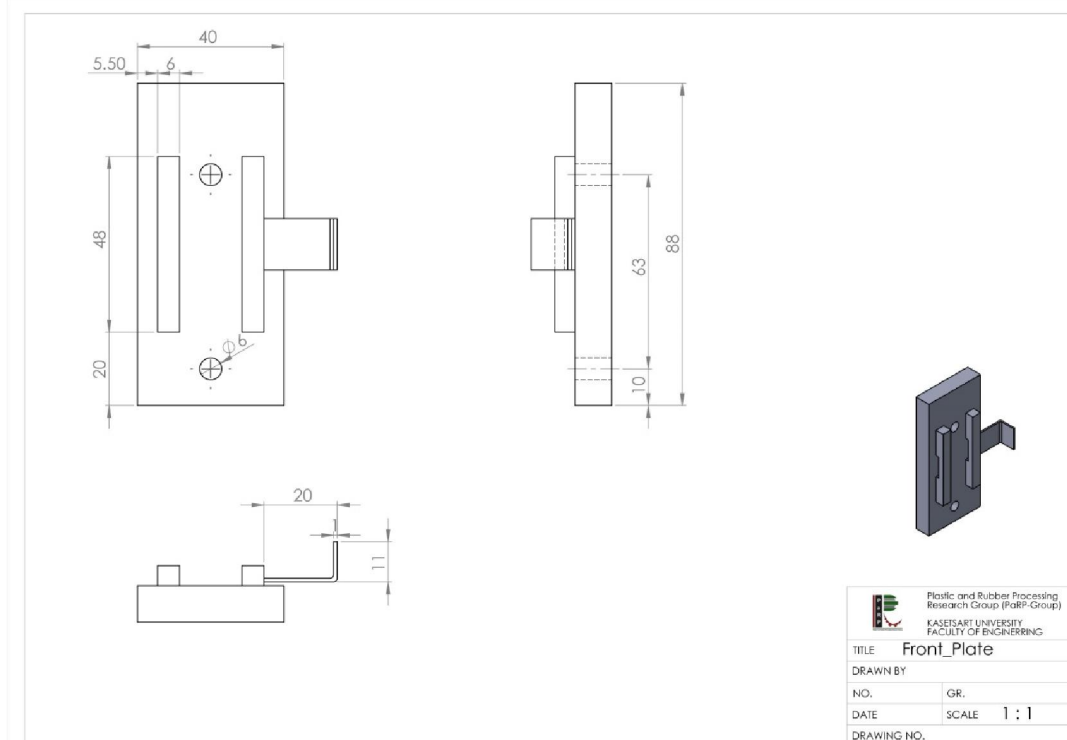
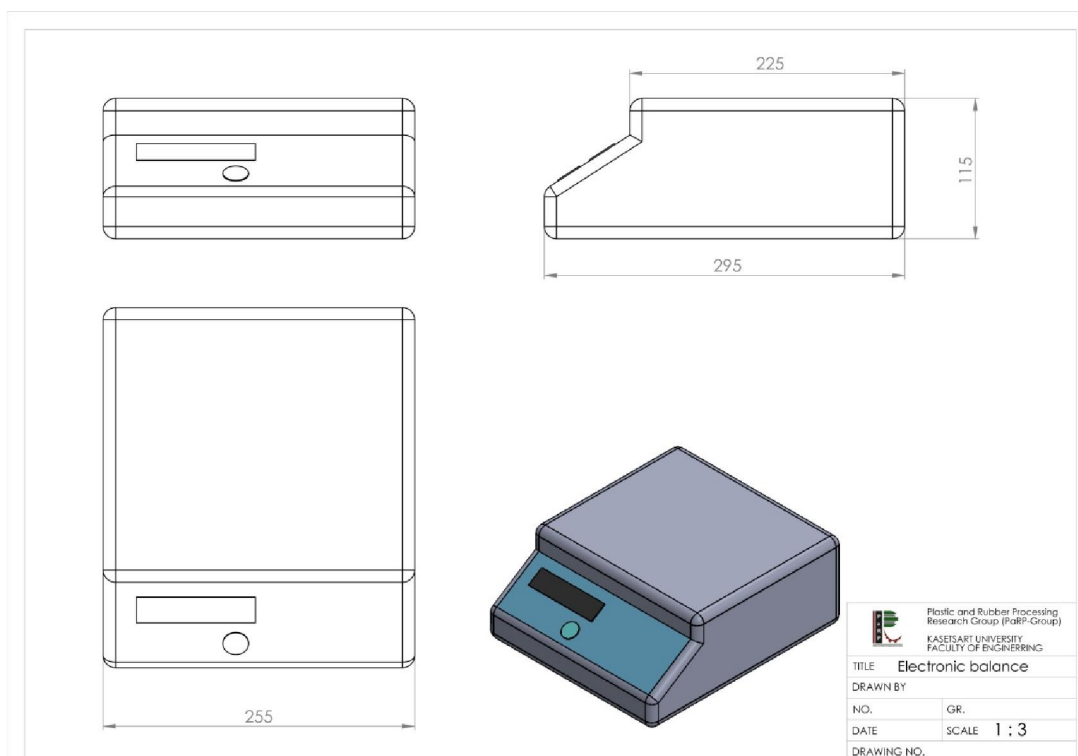


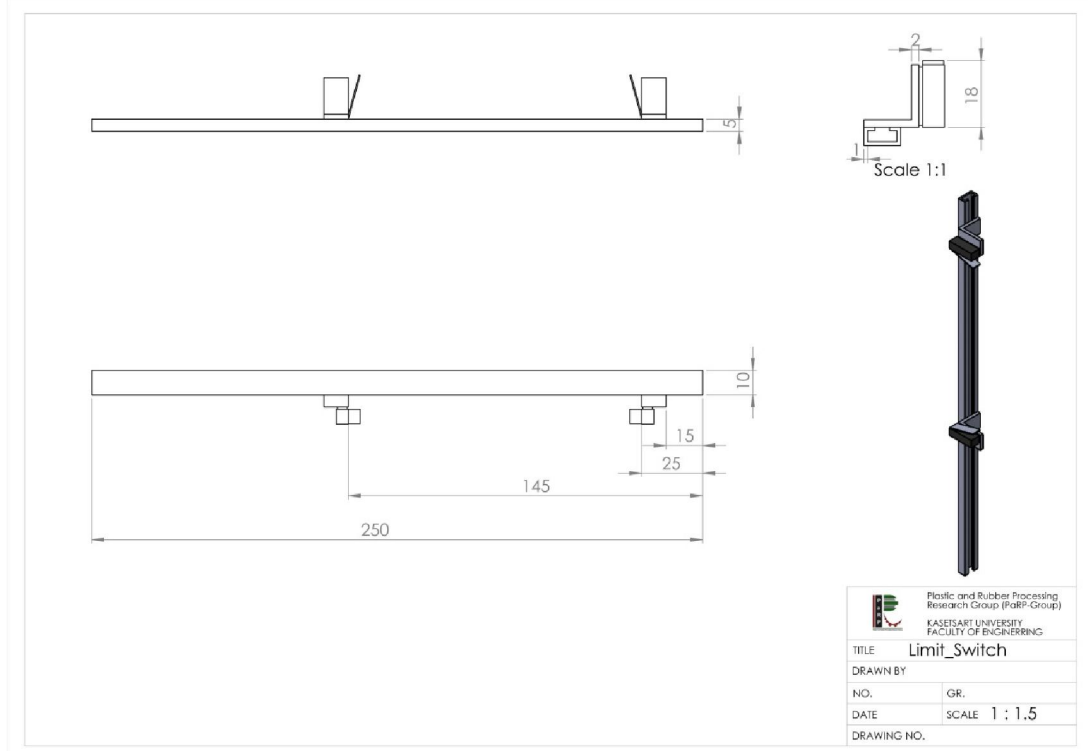
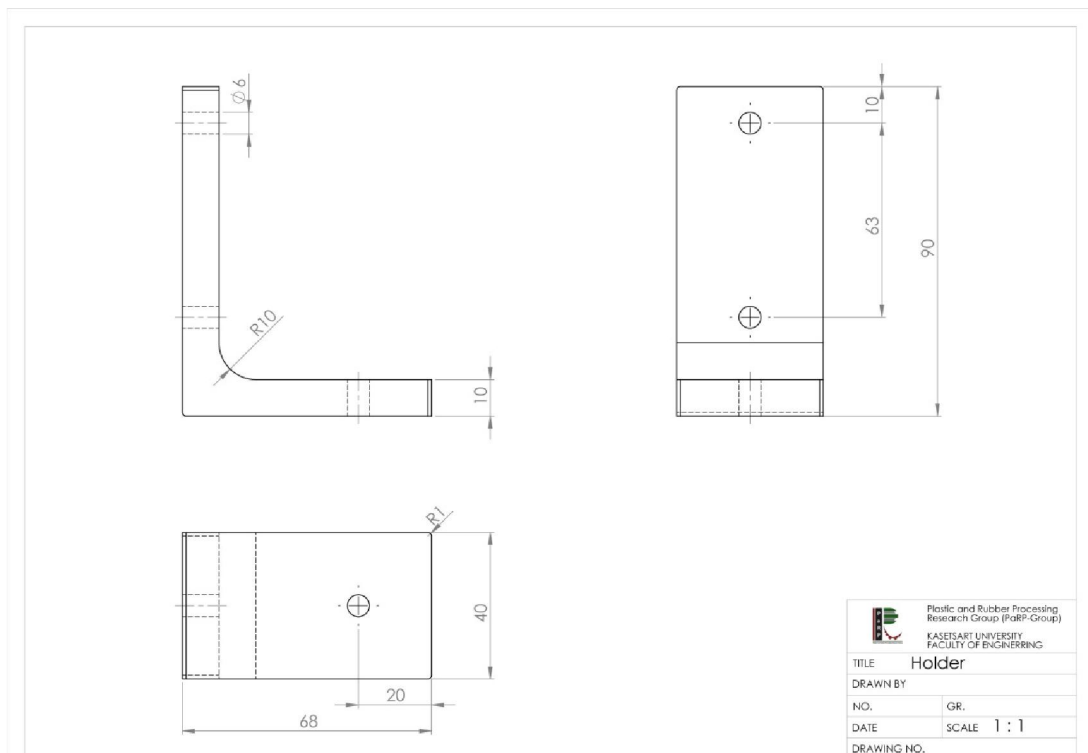


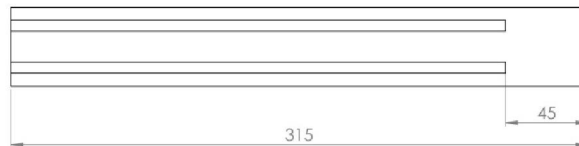
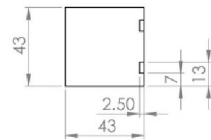




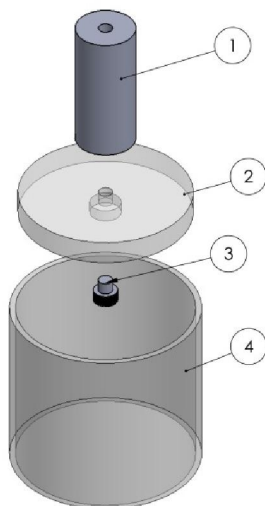






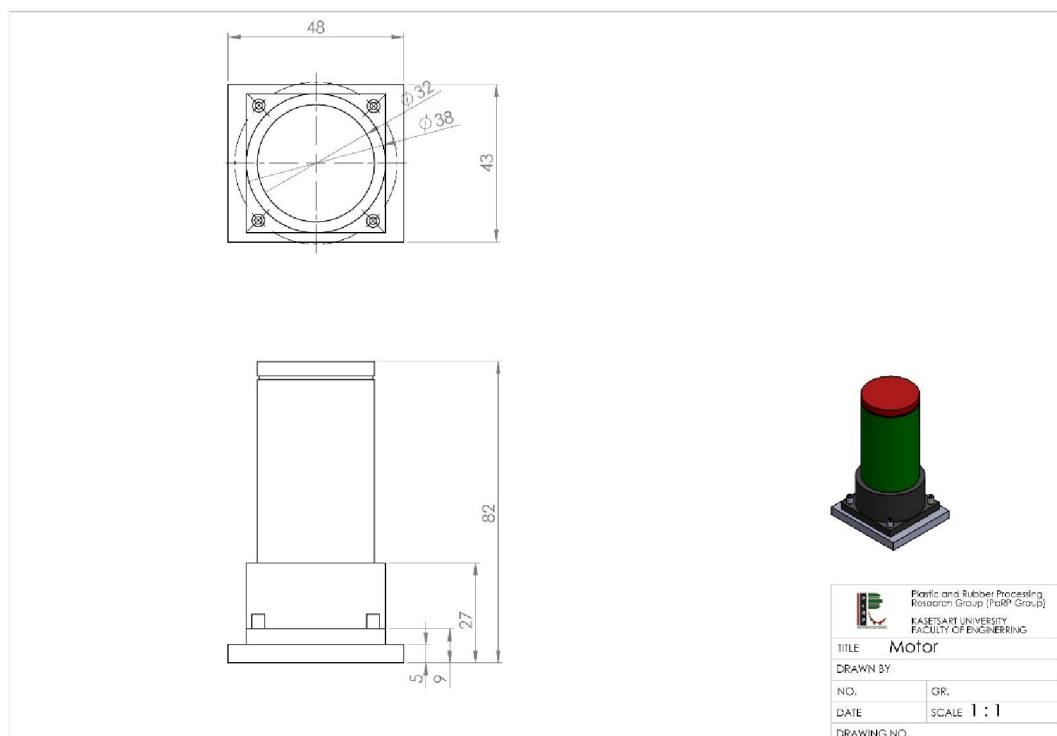
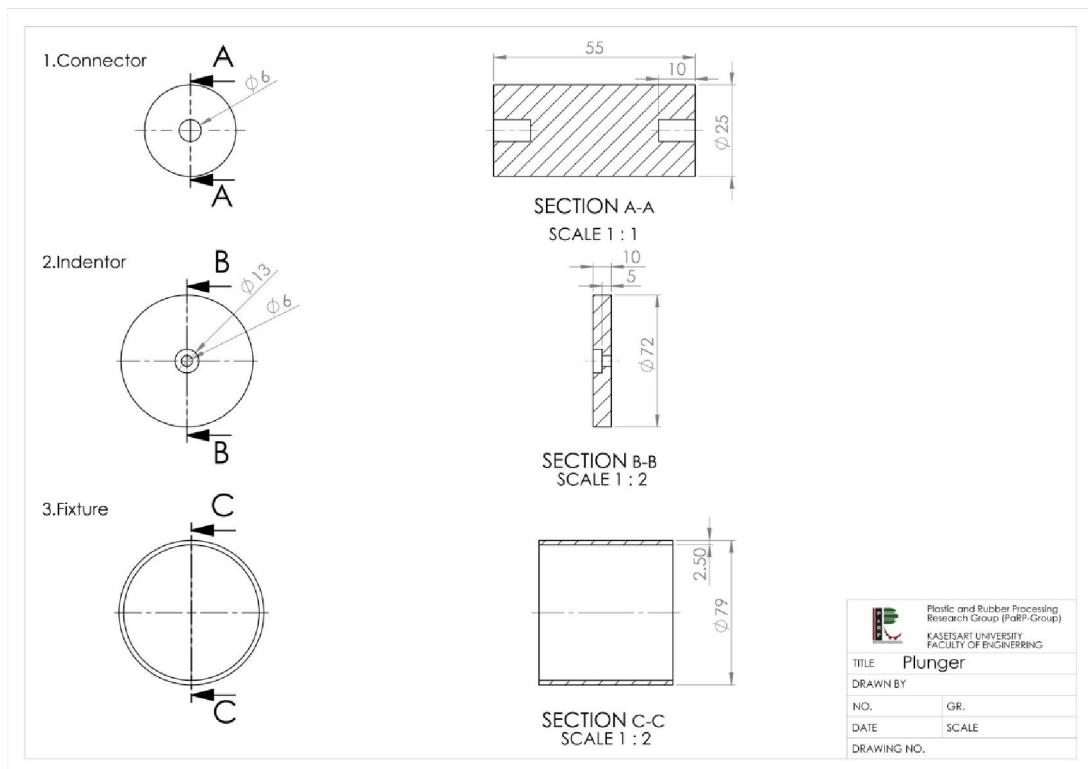


 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE	Linear_Guide
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE 1 : 2
DRAWING NO.	



ITEM NO.	PART NAME	Material	QTY.
1	Connector	Aluminium	1
2	Indenter	Acrylic	1
3	Screw M6	-	1
4	Fixture	Acrylic	1

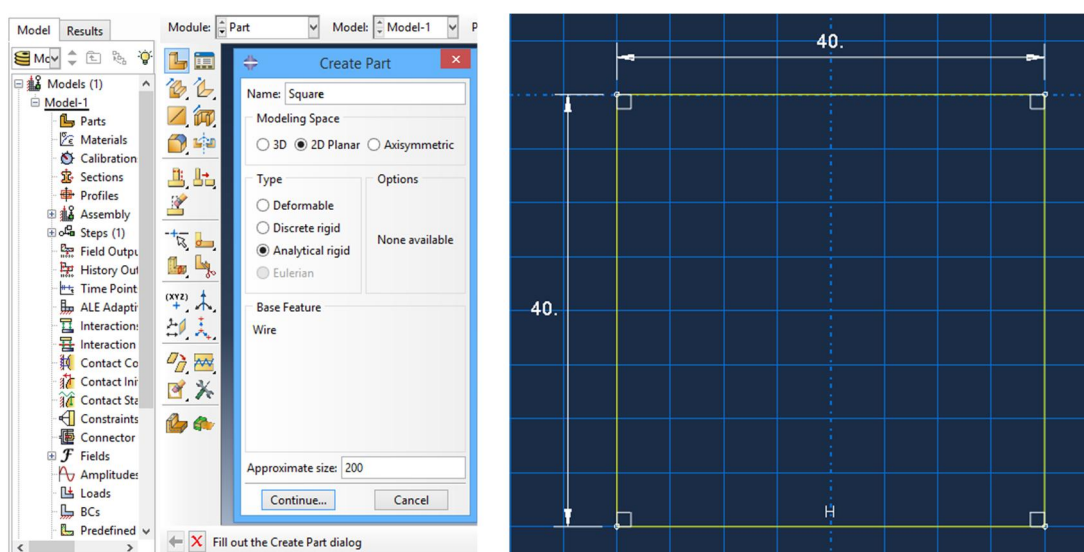
 Plastic and Rubber Processing Research Group (PaRP-Group) KASETSART UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	
TITLE	Plunger
DRAWN BY	
NO.	GR.
DATE	SCALE 1 : 1.5
DRAWING NO.	



ภาคผนวก ข

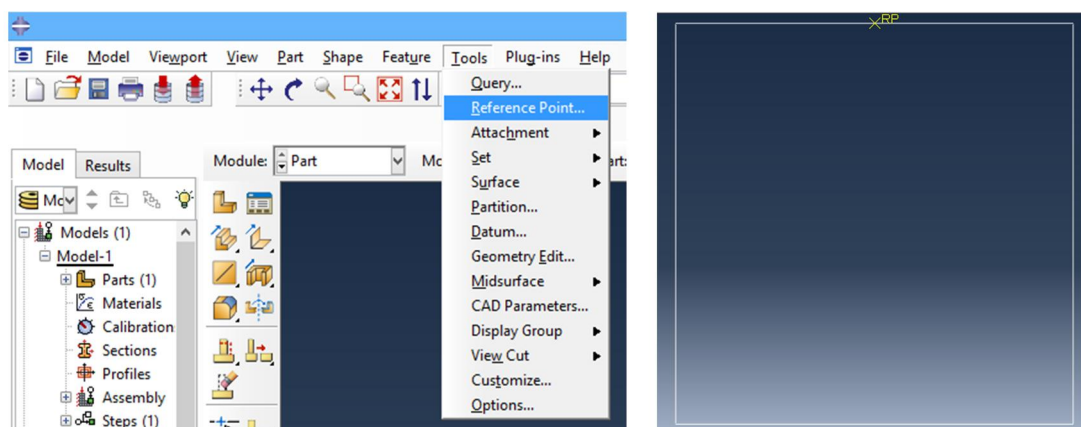
ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1. สร้างหัวกดขึ้นงานโดย Create Part กำหนดเป็น 2D Planar และ Analytical rigid ดังแสดงในภาพที่ 1



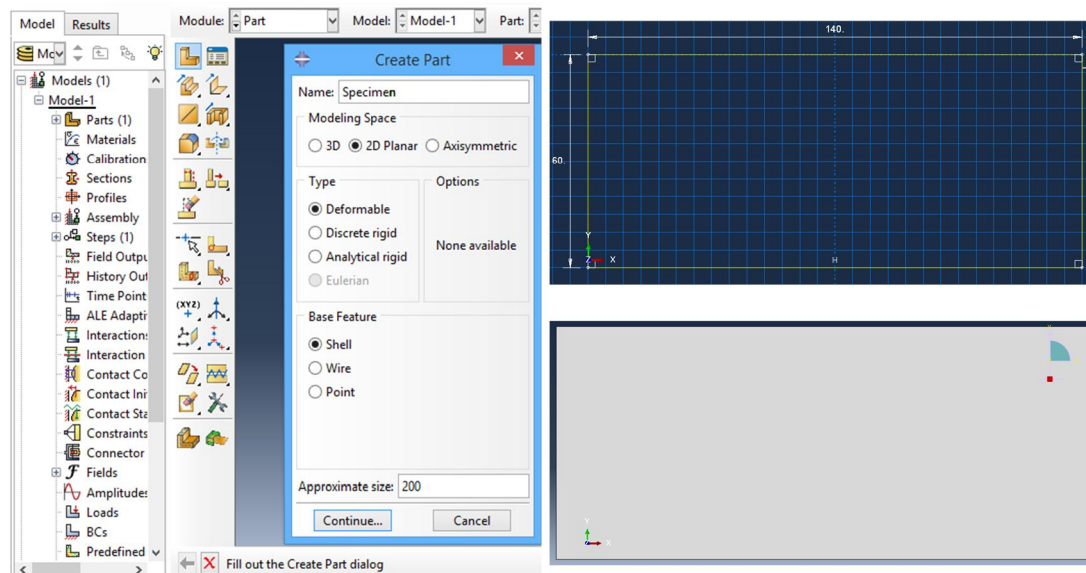
ภาพที่ ข1 การสร้างไฟล์หัวกดขึ้นงาน

2. การกำหนด Reference Point โดยเลือก Tools และ Reference Point... จากนั้นตำแหน่งกลางของด้านบนสี่เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ ข2



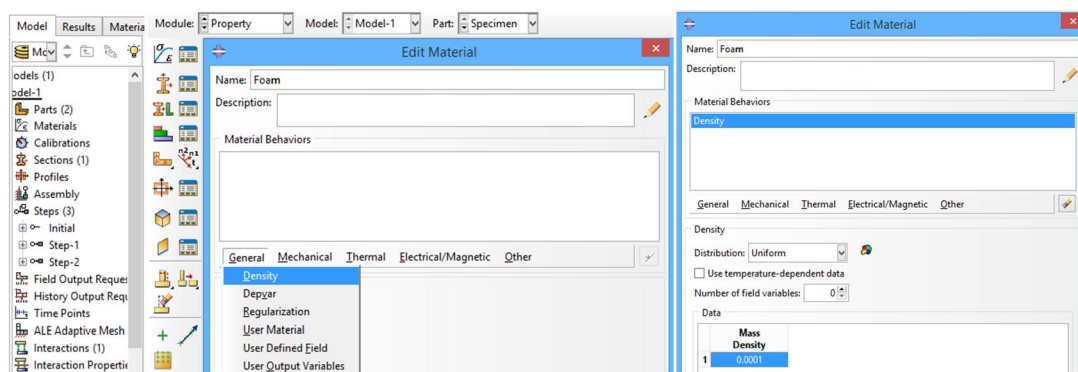
ภาพที่ ข2 การกำหนด Reference Point

3. สร้างชิ้นงานทดสอบโดย Create part กำหนดเป็น 2D Planar และ Deformable ดังแสดงในภาพที่ ข3



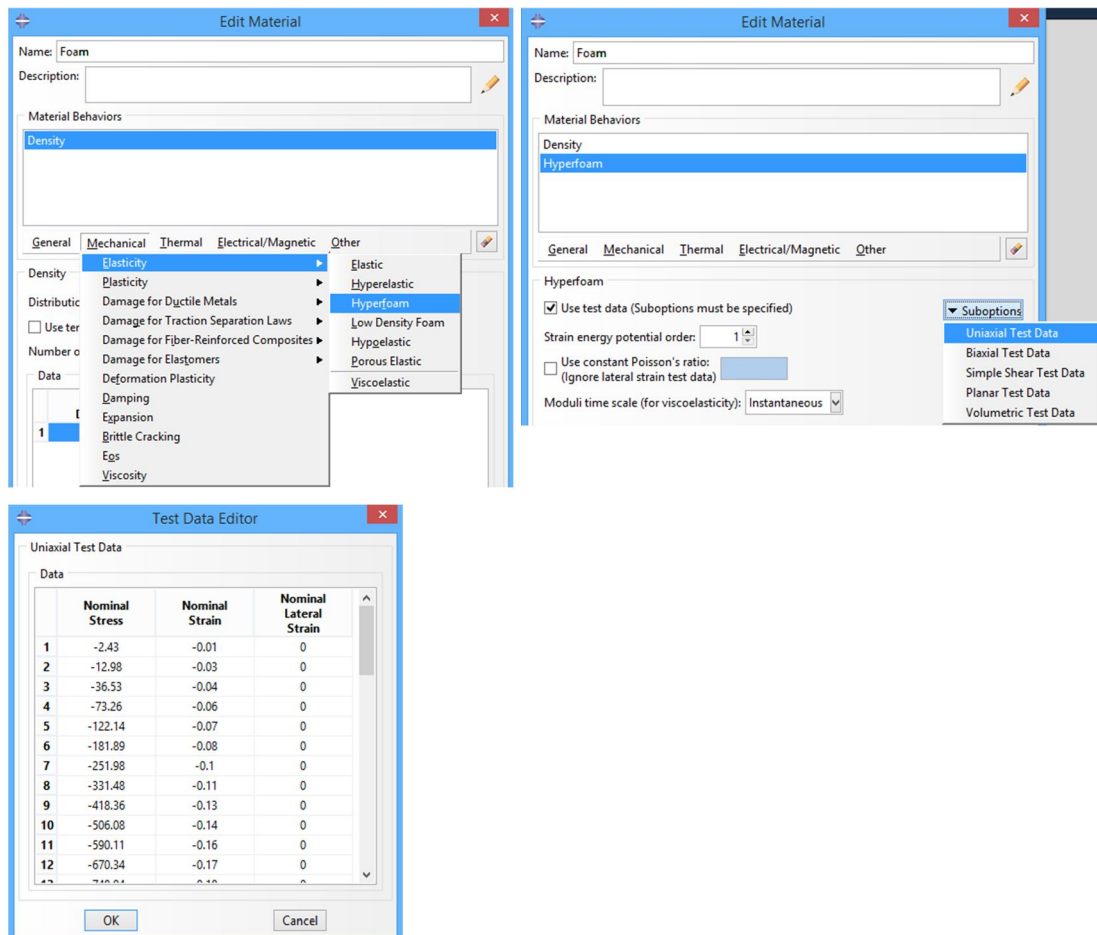
ภาพที่ ข3 การสร้างชิ้นงานทดสอบ

4. กำหนดสมบัติของวัสดุ โดย Create Material เลือก General และ Density จากนั้นกำหนดความหนาแน่น ดังแสดงในภาพที่ ข4



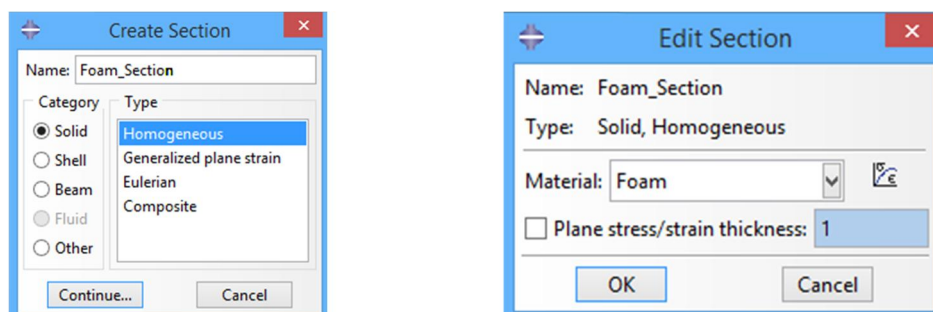
ภาพที่ ข4 การกำหนดความหนาแน่น

5. กำหนดสมบัติ Hyperfoam โดยเลือก Mechanical และ Elasticity จากนั้นเลือก Hyperfoam ซึ่งอ้างอิงจาก Uniaxial Test Data โดยเลือก Suboption และ Uniaxial Test Data จากนั้นป้อนค่า ดังแสดงในภาพที่ ข5



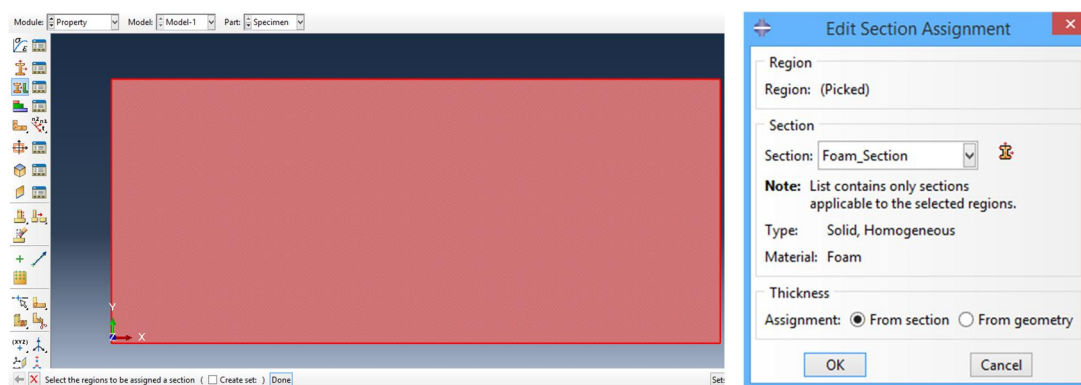
ภาพที่ 5 การกำหนด Hyperfoam โดยใช้ Uniaxial Test Data

6. การสร้าง Section โดย Creat Section กำหนดเป็น Solid และ Homogeneous จากนั้น Continue และเลือกวัสดุที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ ข6



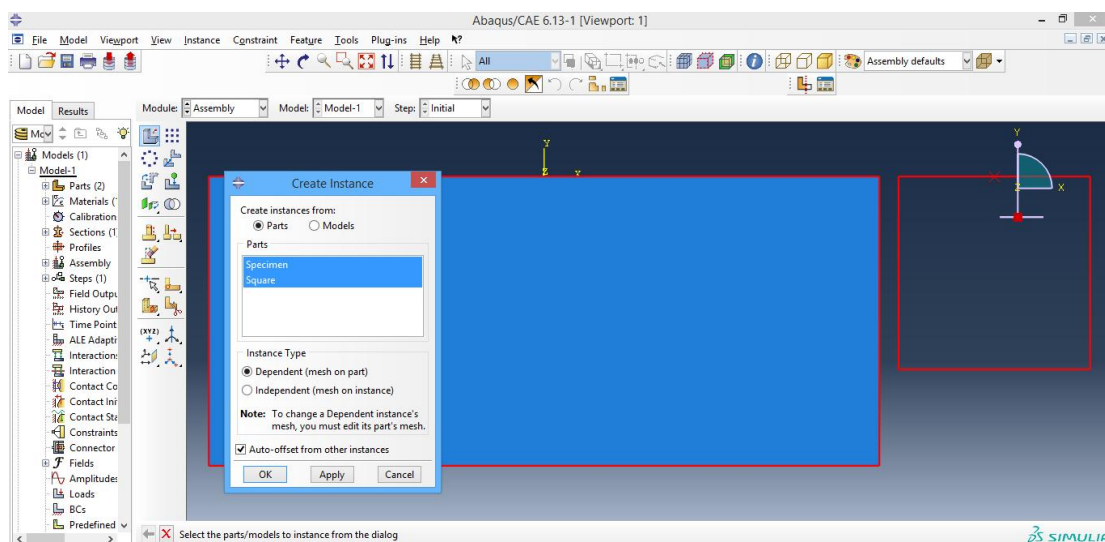
ภาพที่ ข6 การสร้าง Section และกำหนดวัสดุของ Section

7. กำหนด Section ให้กับชิ้นงานทดสอบ โดยเลือก Section Assignments และเลือกชิ้นงาน จากนั้นกด Done และเลือก Section ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข7



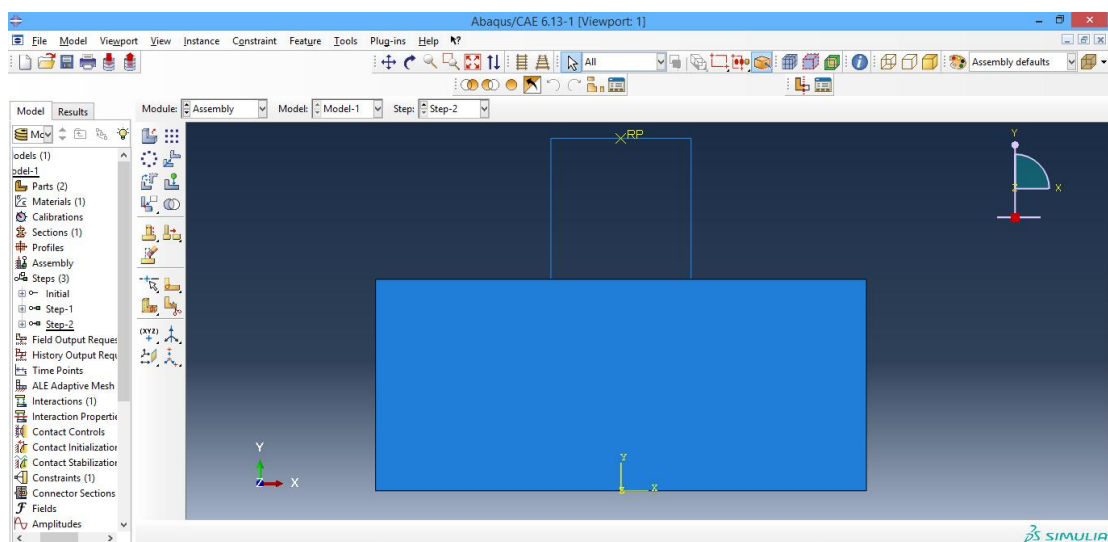
ภาพที่ ข7 การกำหนด Section ให้ชิ้นงานทดสอบ

8. การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน โดยเลือก Assembly และ Create Instance กดเลือกชิ้นงานทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ ข8



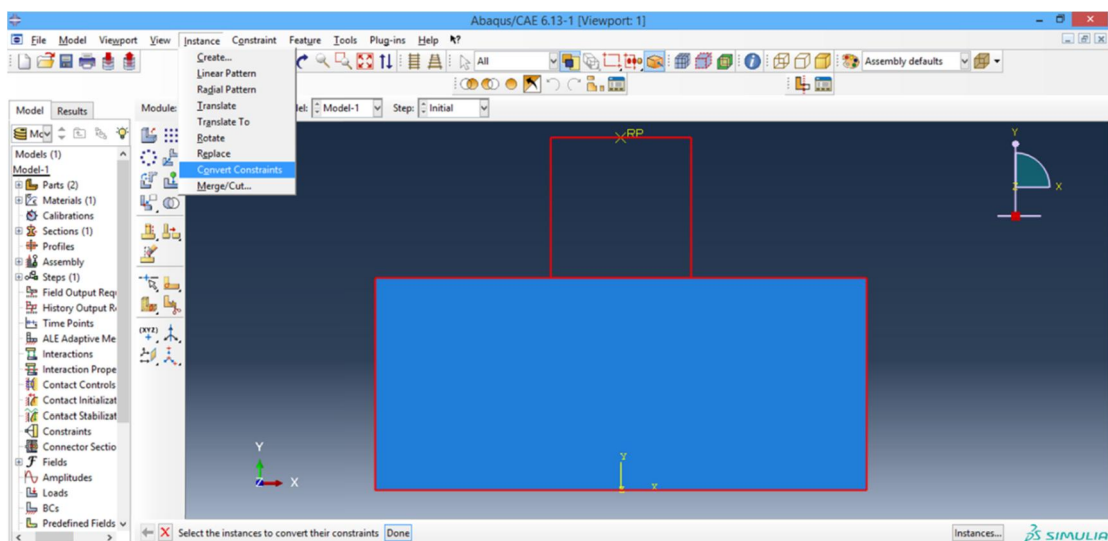
ภาพที่ ข8 การเลือกชิ้นส่วน

9. จากนั้นเลือก Translate Instance และเลือก RP บนหัวกด และเลือกตำแหน่งกลางของบนชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้จุดสัมผัสกัน ดังแสดงในภาพที่ ข9



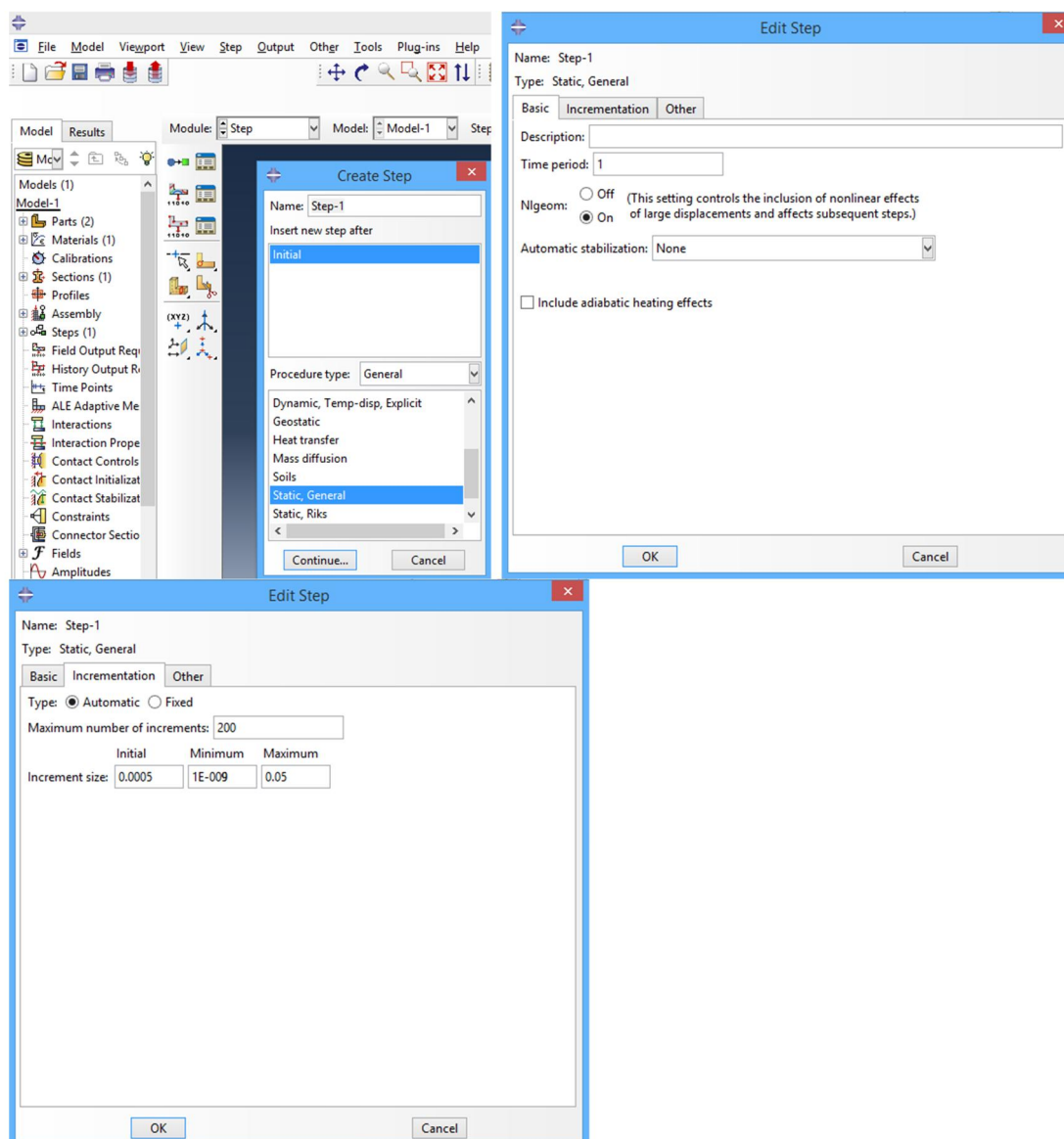
ภาพที่ ข9 การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

10. Convert Constraints โดยเลือก Instance และ Convert Constraints จากนั้นเลือกทั้งสองชิ้นงาน และกด Done



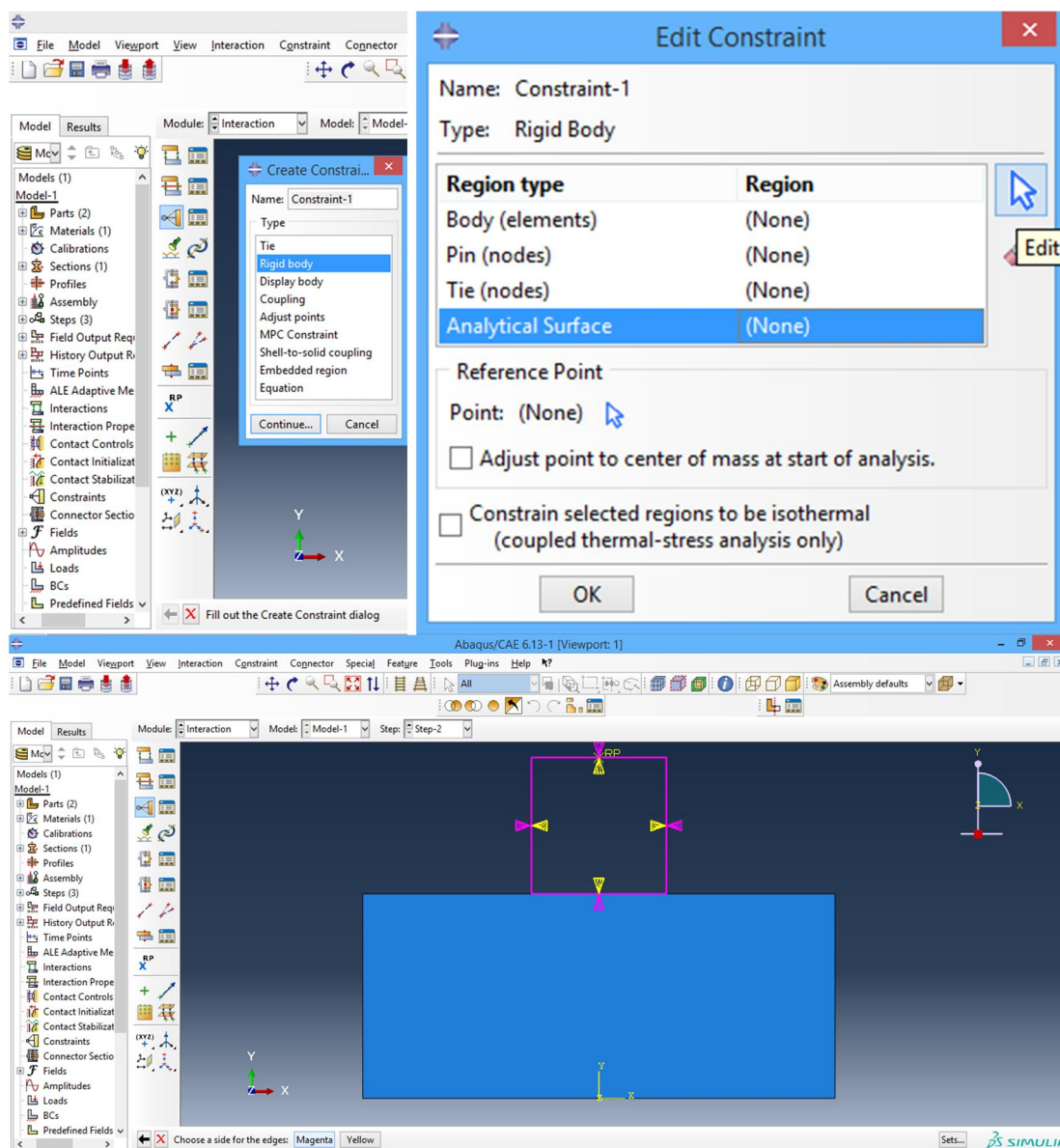
ภาพที่ ข10 การ Convert Constraints ของหัวกดและชิ้นงาน

11. กำหนดวิธีวิเคราะห์ โดยเลือก Create Step และ Static, General จากนั้นกด Continue และ OK ในแถบ Basic ปรับ Nlgeom เป็น On ในแถบ Incrementation ป้อนค่า และ Create Step ซ้ำอีกครั้ง ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข11



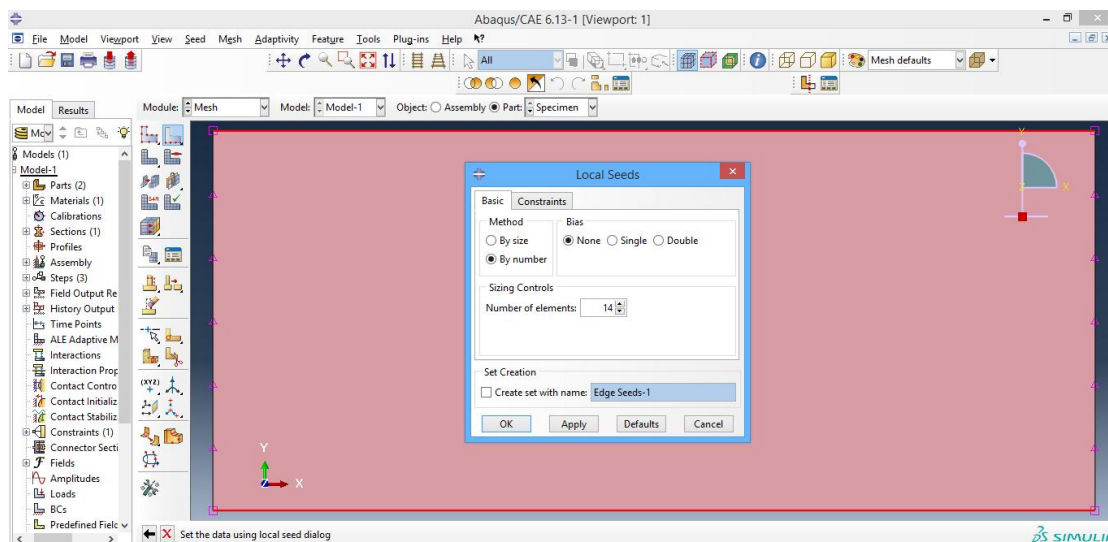
ภาพที่ ข11 การกำหนดวิธีวิเคราะห์ชิ้นงานทดสอบ

12. กำหนด Constraint โดย Create Constraint เลือก Rigid body และกด Continue จากนั้นเลือก Analytical Surface โดยเลือกที่หัวกด และเลือก Magenta จากนั้นเลือก Reference Point ที่หัวกด ดังแสดงในภาพที่ ข12



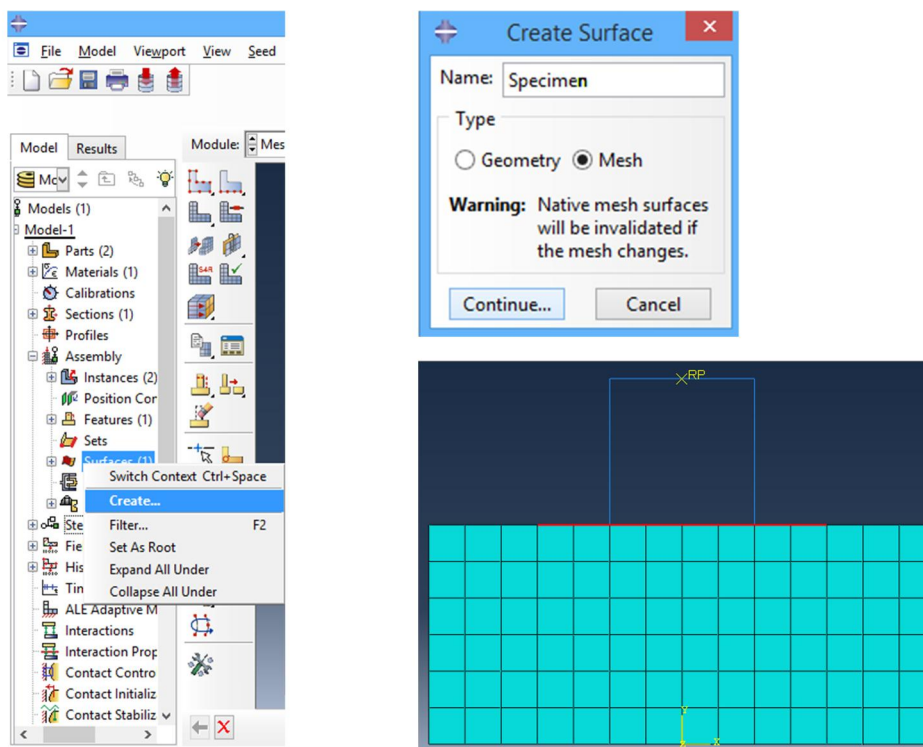
ภาพที่ ข12 การกำหนด Constraint

13. สร้าง Element ของชิ้นงานทดสอบ โดยเลือก Edge Part ปรับขนาด Element ให้เหมาะสม จากนั้นเลือก Mesh Part และกด Yes ดังแสดงในภาพที่ ข13



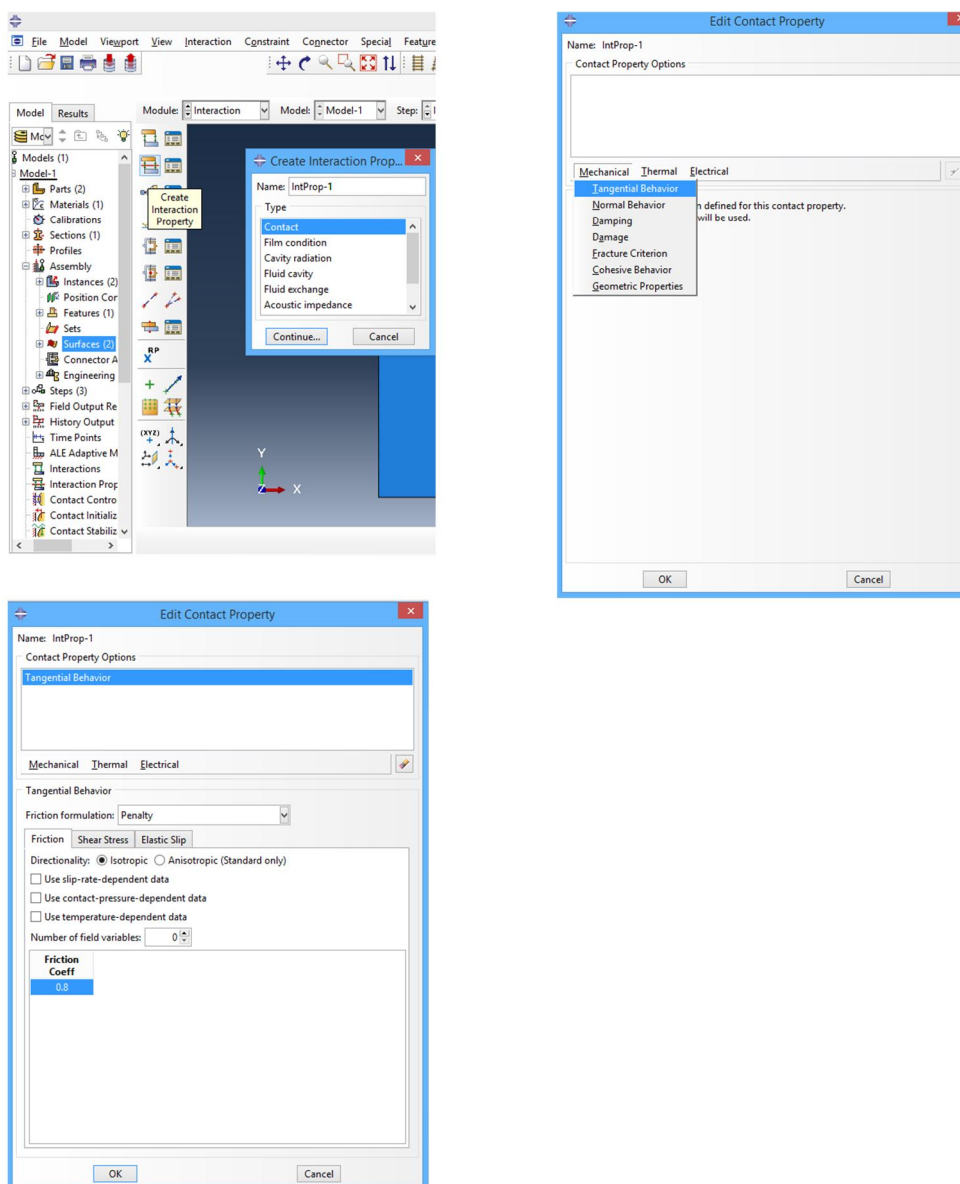
ภาพที่ ข13 การสร้าง Element ของชิ้นงานทดสอบ

14. สร้าง Surface โดยคลิกขวาที่ Surface แล้วเลือก Create จากนั้นเลือก Mesh Type และกด Continue จากนั้นเลือก Element ของชิ้นงานทดสอบที่ต้องการสร้าง Surface แล้วกด Done ดังแสดงในภาพที่ 14



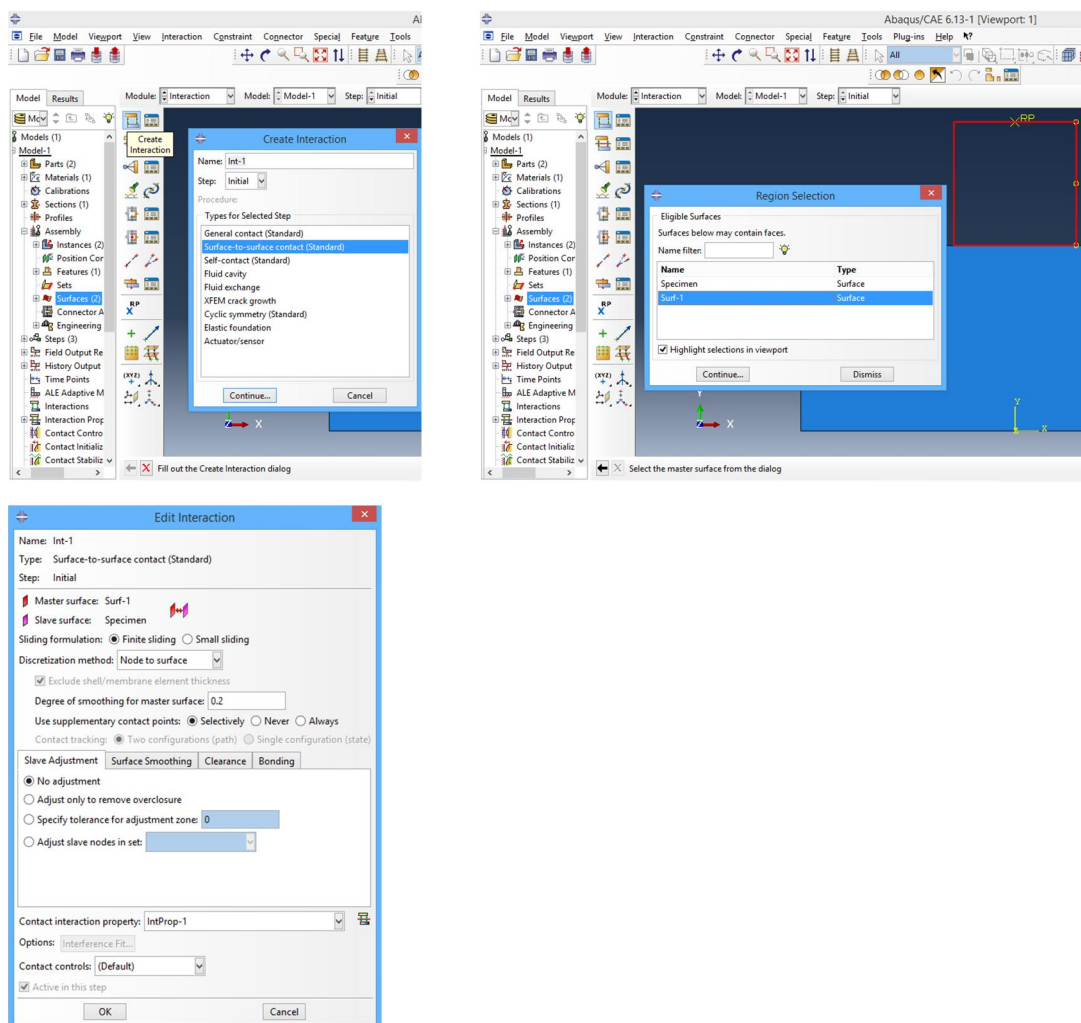
ภาพที่ ข14 การสร้าง Surface ของชิ้นงานทดสอบ

15. เลือก Create Interaction Properties เลือกเป็น Contact และกด Continue จากนั้นเลือก Tangential Behavior เพื่อกำหนดความแรงเสียดทาน ดังแสดงในภาพที่ ข15



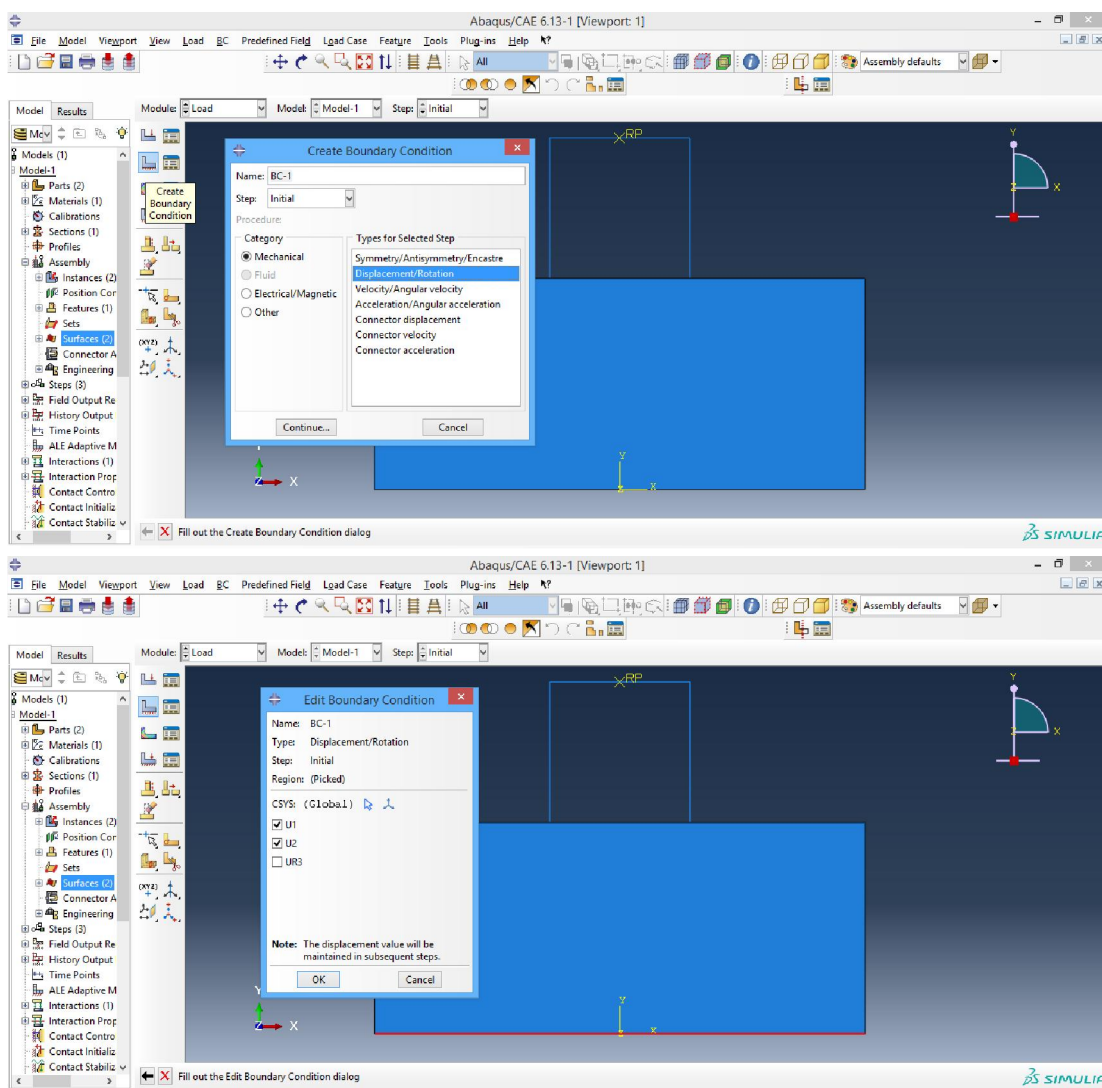
ภาพที่ ข15 การกำหนด Interaction Properties

16. กำหนด Interaction ระหว่างหัวกดกับชิ้นงานทดสอบ โดยเลือก Create Interaction และ Surface-to-surface contact (Standard) เลือกหัวกดแล้วกด Continue และกด Surface จากนั้นเลือกชิ้นงานทดสอบและกด Continue อีกครั้ง เลือก Node to surface และกด OK ดังแสดงในภาพที่ ข16



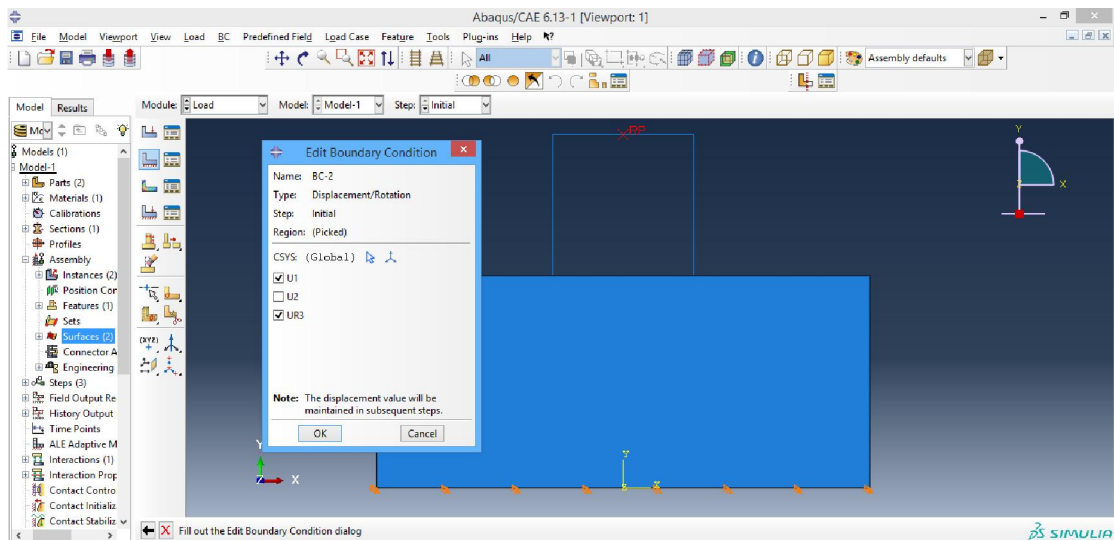
ภาพที่ ข16 กำหนด Interaction หัวกดและชิ้นงานทดสอบ

17. กำหนดสภาวะขอบล่างของชิ้นงาน เลือก Create Boundary Condition และ Displacement /Rotation ดังแสดงในภาพที่ ข17



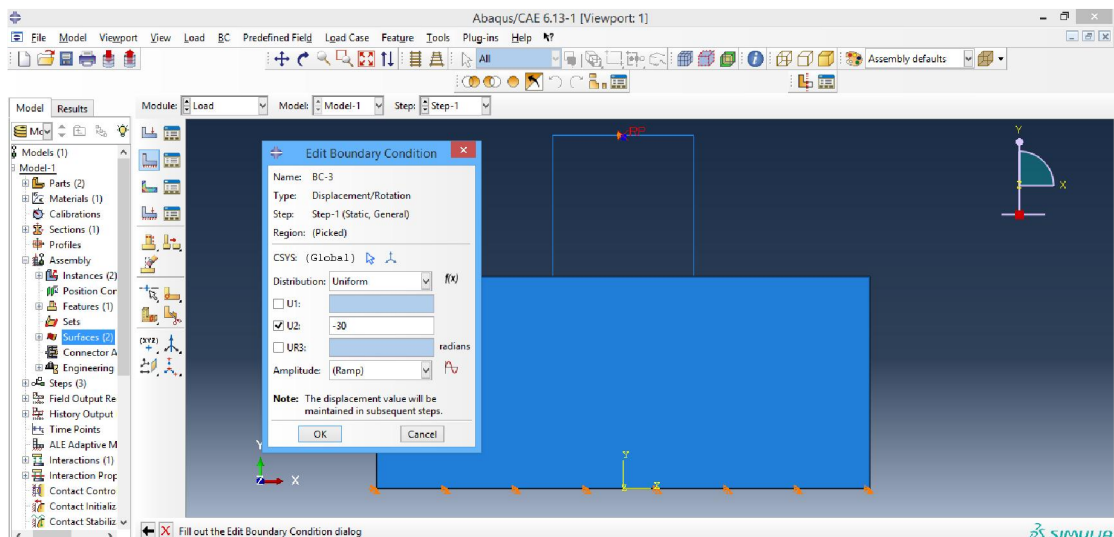
ภาพที่ ข17 การกำหนดสภาวะขอบล่างของชิ้นงาน

18. กำหนดสภาวะหยุดนิ่งของหัวกด เลือก Create Boundary Condition และ Displacement /Rotation ดังแสดงในภาพที่ ข18



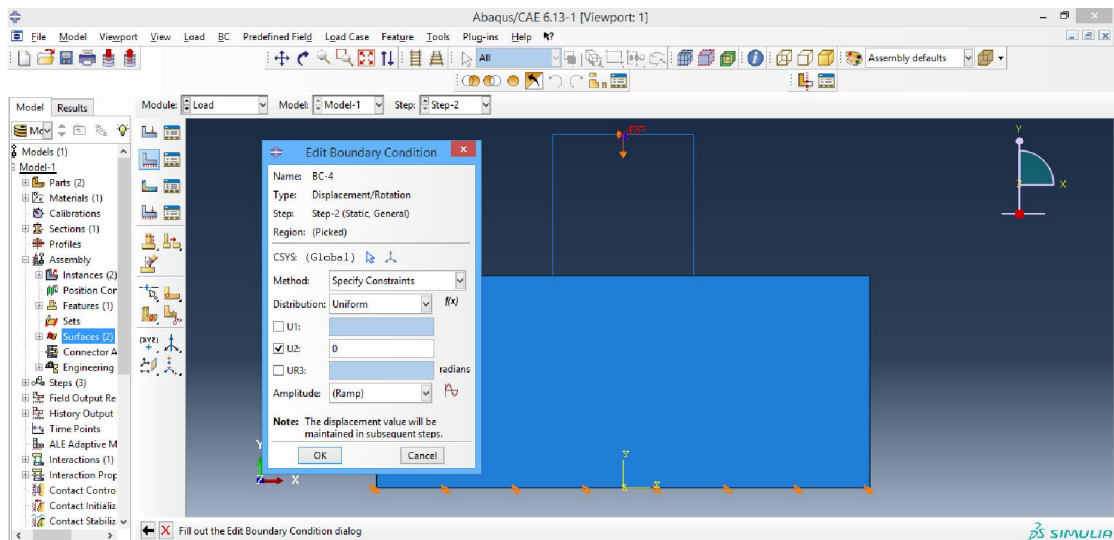
ภาพที่ ข18 การกำหนดสภาวะหยุดนิ่งของหัวกด

19. กำหนดสภาวะเคลื่อนหัวกดลง โดย Create Boundary Condition เลือก Step-1 และ Displacement /Rotation จากนั้นเลือก RP ดังแสดงในภาพที่ ข19



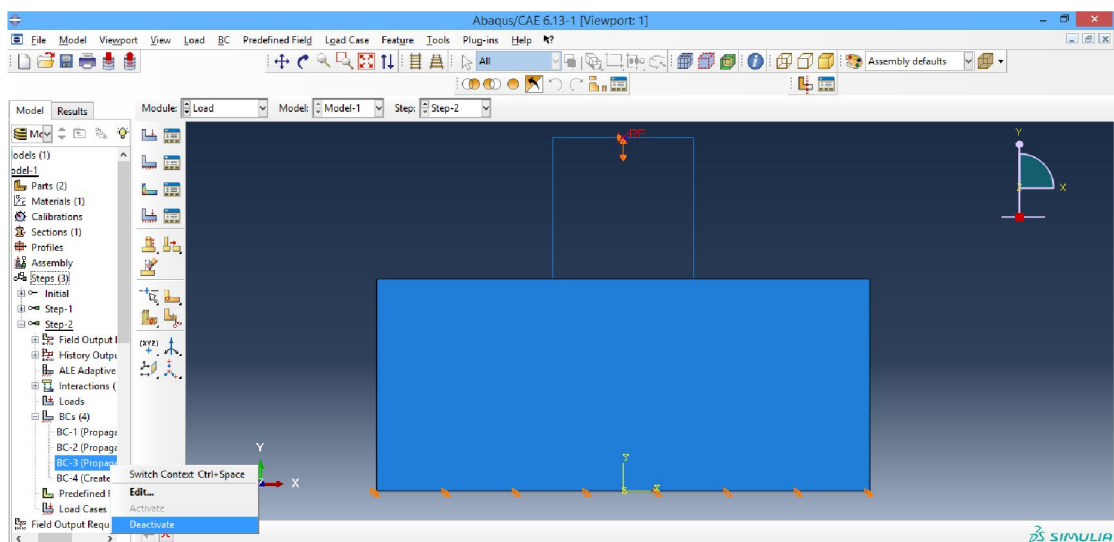
ภาพที่ ข19 การกำหนดสภาวะเคลื่อนหัวกดลง

20. กำหนดสภาวะเคลื่อนห้วกดขึ้น โดย Create Boundary Condition เลือก Step-2 และ Displacement /Rotation จากนั้นเลือก RP ดังแสดงในภาพที่ ข20



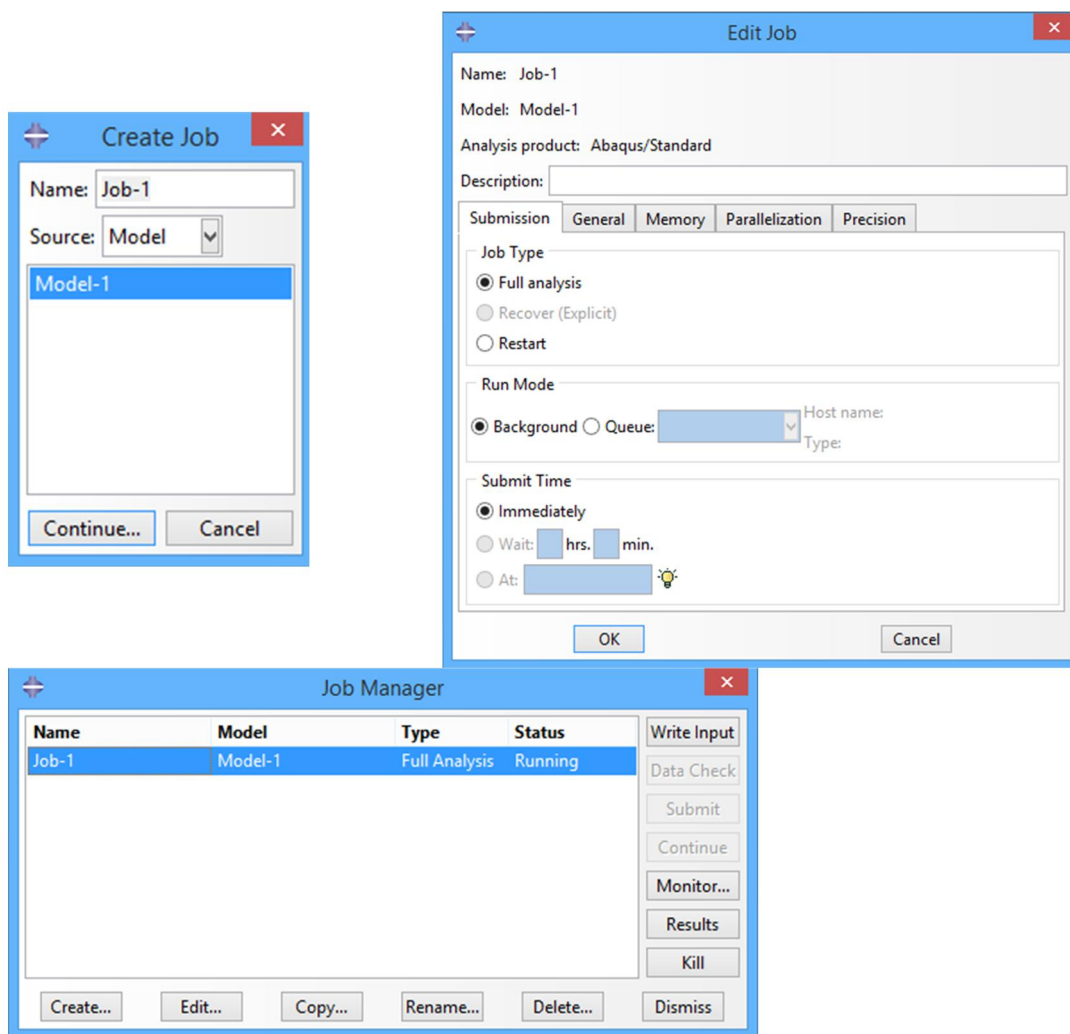
ภาพที่ ข20 การกำหนดสภาวะเคลื่อนห้วกดขึ้น

21. ทำการ Deactive BC-3 ของ Step-2 ดังแสดงในภาพที่ ข21



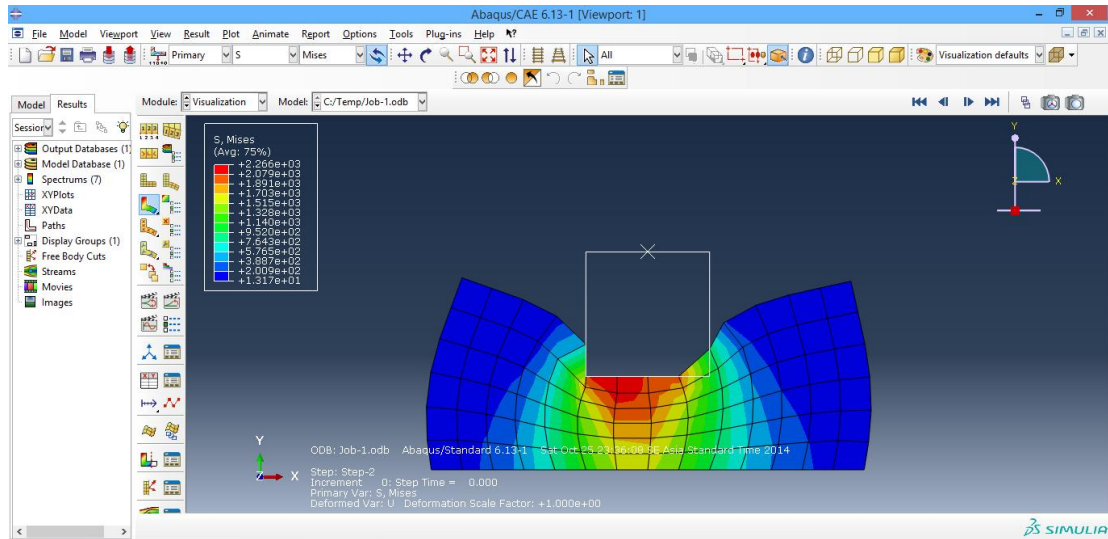
ภาพที่ ข20 การ Deactive BC-3 ของ Step-2

21. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลทำได้โดยเลือก Job Manager เลือก Create และ Continue จากนั้นหน้าต่าง Edit Job แสดงขึ้นมากด OK จากนั้นกด Summit จนสถานะเสร็จสมบูรณ์จึงกด Results ดังแสดงในภาพที่ ข21



ภาพที่ ข21 การสร้างไฟล์วิเคราะห์และการดูผลการวิเคราะห์

22. ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ ข22



ภาพที่ ข22 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม