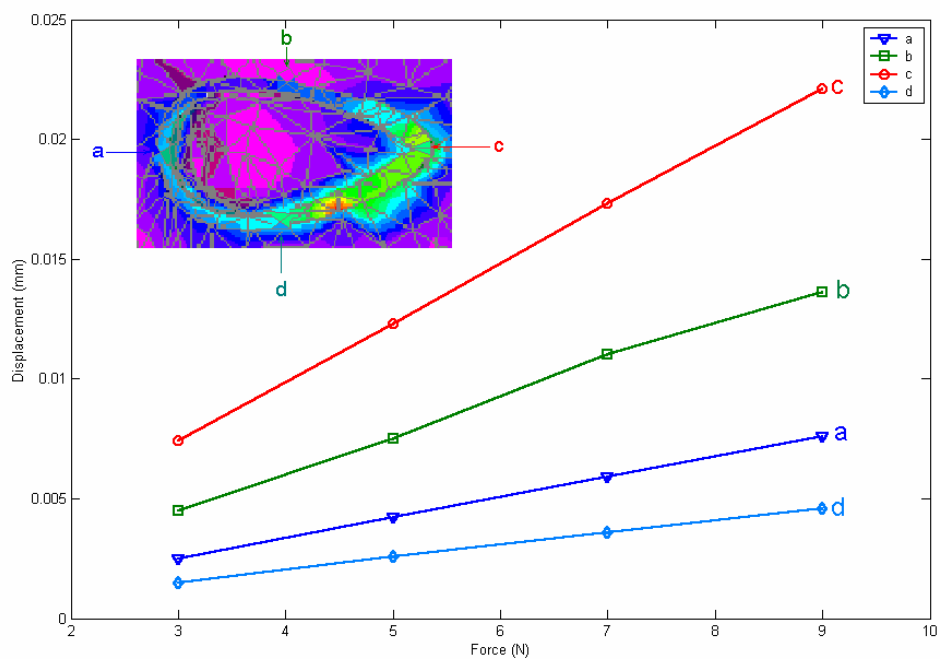
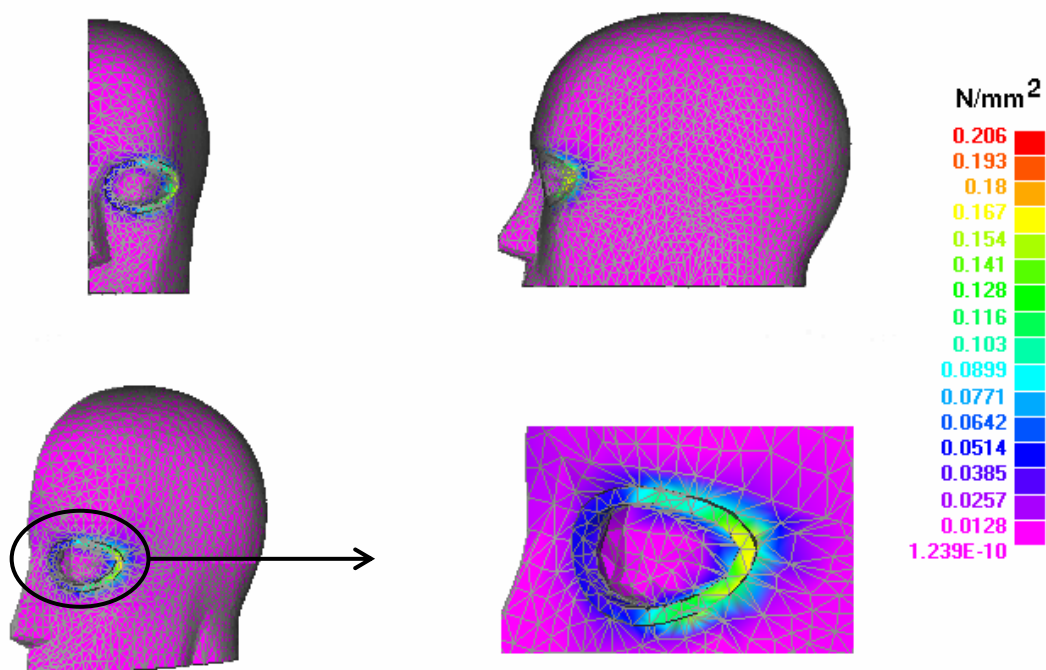
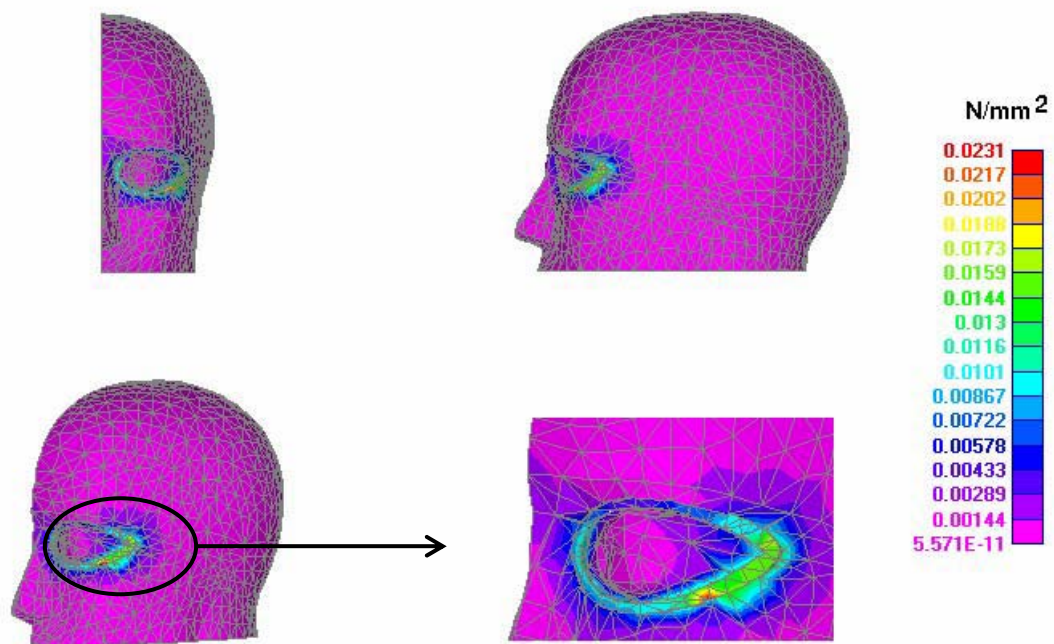




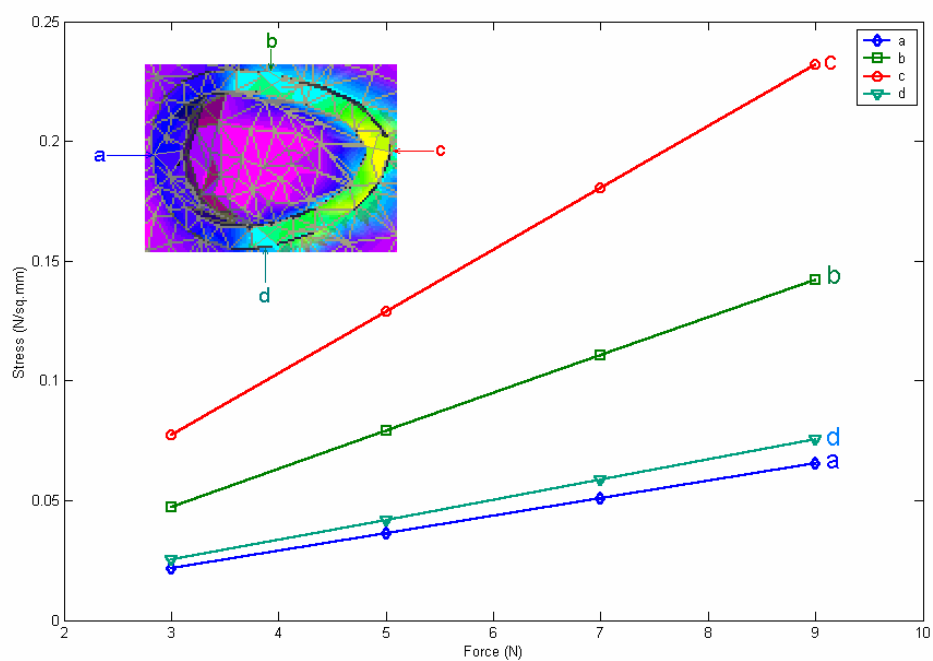
ภาพที่ 117 กราฟของระยะยุบ 4 บริเวณบนผิวหนังจากผล FEA ของแรง ในช่วง 3 N ถึง 9 N ของการสวมใส่ถ้วยตาข่าย 1006



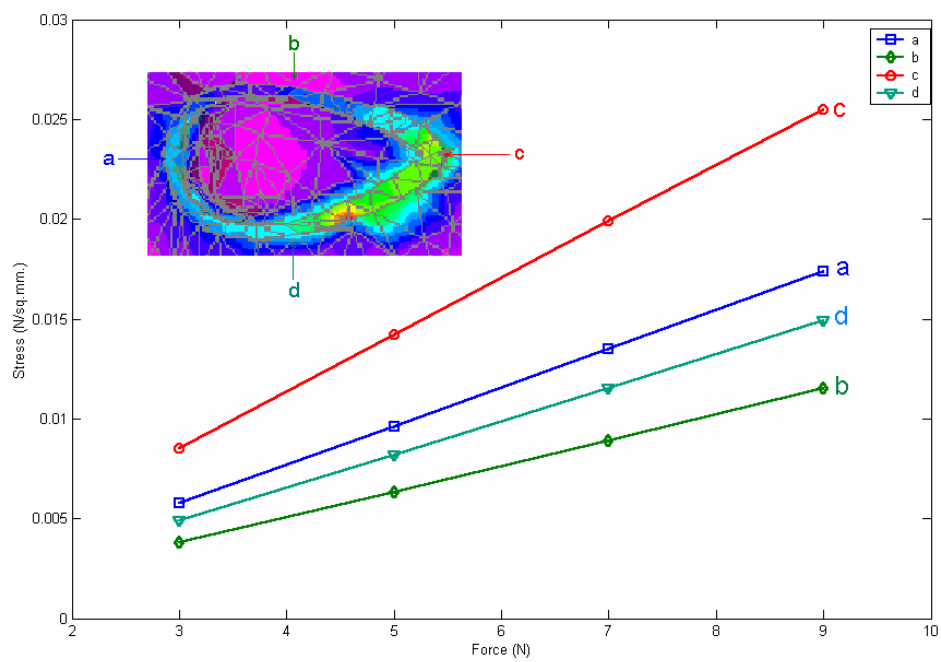
ภาพที่ 118 ความเค้นบนใบหน้าจากผล FEA ที่แรงเท่ากับ 5 N ของถ้วยตาข่าย 2006



ภาพที่ 119 ความเค้นบนใบหน้าจากผล FEA ที่แรงเท่ากับ 5 N ของถ้วยทารุ่น 1006



ภาพที่ 120 กราฟของความเค้น 4 บริเวณบนใบหน้าจากผล FEA ของแรงในช่วง 3 N ถึง 9 N ของการสวมใส่ถ้วยทารุ่น 2006



ภาพที่ 121 กราฟของความเค้น 4 บริเวณบนใบหน้าจากผล FEA ของแรง ในช่วง 3 N ถึง 9 N ของการสวมใส่ถ้วยตา รุ่น 1006

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการออกแบบแวนตาว่ายนํ้า แล้วได้พัฒนาวิธีการออกแบบแวนตาว่ายนํ้าโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ (CAD) และได้ทำการศึกษาและทดสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของแวนตาว่ายนํ้า ตามมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์แวนตาว่ายนํ้าของ BS5883:1996 โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (CAE) แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับทดสอบจริง (หรือการทดสอบทางกล) โดยผลที่ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ในการพัฒนาการออกแบบแวนตาว่ายนํ้าโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบทำให้สามารถออกแบบรูปทรงต่างๆ ของแวนตาว่ายนํ้าได้สะดวกรวดเร็วและสามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนแวนตาว่ายนํ้าได้ก่อนทำการผลิตและการทดสอบจริง นอกจากนี้กรรมวิธีและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางกลตามมาตรฐาน BS5883:1996 อันได้แก่ การทดสอบการดึง การทดสอบการอัด และการกระแทกของเลนส์ถ้วยตา ได้พัฒนาให้สามารถทำการทดสอบเบื้องต้นได้ภายในประเทศ

ผลจากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนากรรมวิธีการออกแบบแวนตาว่ายนํ้า ชิ้นส่วนของแวนตาว่ายนํ้าที่สำคัญและซับซ้อนมากที่สุดคือถ้วยตา ในงานวิจัยนี้ได้แยกส่วนประกอบของถ้วยตา เป็นรูปทรงเฉพาะแบบหรือพีเจอรืได้เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ ส่วนฐาน กรอบลำตัว เลนส์ ตัวหู และอื่นๆ จากการรวบรวมถ้วยตาจำนวน 31 รุ่น สามารถสร้างและรวบรวมจำนวนพีเจอรืได้ตามสรุปในตารางที่ 15 โดยแต่ละพีเจอรืที่สร้างขึ้นมานี้สามารถดัดแปลงและแก้ไขได้ เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเป็นรุ่นใหม่ๆ ได้ง่ายและสะดวกขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบนำพีเจอรืต่างๆ มาประกอบเป็นถ้วยแวนตารุ่นใหม่เป็นตัวอย่างจำนวน 4 แบบ นอกจากนี้ลำดับขั้นตอนและวิธีการสร้างแต่ละพีเจอรื สามารถนำมาใช้ศึกษาการออกแบบที่ซับซ้อนได้ สำหรับชิ้นส่วนอื่นๆ ไม่สามารถจัดแยกเป็นกลุ่มพีเจอรืได้และเป็นชิ้นส่วนที่มีรูปทรงที่ไม่ซับซ้อนมาก ดังนั้นการออกแบบชิ้นส่วนแวนตาอื่นๆ จะง่ายและสะดวกกว่าโดยการขึ้นรูปโดยตรง

ตารางที่ 15 สรุปฟีเจอร์ต่างๆ ของถ้วยตาจำนวน 31 รุ่น

ชิ้นส่วน	จำนวนฟีเจอร์	ชิ้นส่วน	จำนวนฟีเจอร์
ส่วนฐาน	9	ขึ้นหู	3
กรอบลำตัว	11	ขึ้นจุ่ม	5
เลนส์	6	อื่นๆ	3

2. การทดสอบทางกลของการดึงขึ้นจุ่ม ได้ทดสอบตามมาตรฐาน BS5883:1996 โดยมีความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบการดึงและการอัดของแรง 0.5% และระยะทาง 0.01 mm จำนวนขึ้นจุ่มที่ใช้ในการทดสอบมี 2 รุ่น คือ รุ่น J-1 และ J-10 จำนวนรุ่นละ 5 ชิ้น การทดสอบเริ่มที่แรงดึง 5 N จนขึ้นทดสอบขาด ผลการทดสอบของขึ้นจุ่มทั้งสอง แสดงความสัมพันธ์ของระยะยืดและแรงดึงเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นในช่วงบันทึกผลตั้งแต่ 5 N ถึง 60 N โดยมีความเปื่อยเบนของระยะยืดต่ำที่แรงดึงต่ำและเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดึงเพิ่ม การฉีกขาดเกิดขึ้นที่จุดจับยึดขึ้นจุ่ม

3. การทดสอบทางกลของการอัดถ้วยตา ได้ทดสอบถ้วยตารูปทรงต่างๆ จำนวน 3 รุ่น จำนวนรุ่นละ 5 ชิ้น แล้วบันทึกค่าระยะยุบตัวและแรงอัด ที่แรงอัดตั้งแต่ 0 N ถึง 1000 N ผลทดสอบนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวกับแรงอัดเป็นแบบเชิงเส้น ถ้วยตา รุ่น JR-1006 มีค่าเปื่อยเบนของระยะยุบตัวอยู่ในช่วง 0.016 ถึง 0.035 mm รุ่น 2006 มีค่าเปื่อยเบนอยู่ในช่วง 0.018 ถึง 0.053 mm และ รุ่น 981 มีค่าเปื่อยเบนอยู่ในช่วง 0.025 ถึง 0.053 mm โดยในแต่ละรุ่นจะมีค่าเปื่อยเบนเพิ่มขึ้นเมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้น ที่แรงกดทดสอบสูงสุด (1000 N) ไม่ปรากฏความเสียหายหรือการเปลี่ยนแปลงรูปทรง (บัพยุบ) อย่างถาวร

4. การทดสอบทางกลของการกระแทกเลนส์ถ้วยตา ได้ทดสอบด้วยลูกบอลโลหะหนัก 44 กรัม ปลดปล่อยจากความสูง 0.7 เมตร ถึง 1.6 เมตร ที่ความสูงทดสอบสูงสุดที่ 1.6 เมตร พบว่าถ้วยตาของแวนตาว่ายนํ้า ทั้ง 3 รุ่น ไม่ปรากฏความเสียหาย การบัพยุบอย่างถาวรและไม่พบรอยร้าวบนผิวเลนส์

5. การสร้างแบบจำลอง FEM ของขึ้นจุมุกและถ้วยตาแว่นตาว่ายน้ำ แบบจำลอง Finite Element Model (FEM) ของขึ้นจุมุกและถ้วยตาเพื่อใช้วิเคราะห์หาระยะยืดหรือระยะยุบตัว และความเค้น เนื่องด้วยรายละเอียดของรูปแบบของขึ้นจุมุกและถ้วยตาที่มีความซับซ้อนสูงและความหนาไม่คงที่จึงต้องใช้เอลิเมนต์รูปทรงโพลิโดร 3 มิติ แบบ Tetrahedral รายละเอียดที่สูงและซับซ้อนจึงทำให้การกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เล็กลง จึงทำให้มีจำนวนโหนดและเอลิเมนต์จำนวนมาก วัสดุของเอลิเมนต์ (PVC และ PC) ใช้เป็น Isotropic

6. ผลการวิเคราะห์ FEA ของการทดสอบการดึงขึ้นจุมุก ของขึ้นจุมุกทั้งสองรุ่นได้ความสัมพันธ์ของระยะยืดและแรงดึงเป็นแบบเส้นตรงเช่นเดียวกับผลการทดสอบทางกล แต่ความชันของเส้นน้อยกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (e_{AVG}) ของทั้งสองรุ่น เท่ากับ 11.00%

7. ผลการวิเคราะห์ FEA ของการทดสอบการอัดถ้วยตาแว่นตาว่ายน้ำ ของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น พบแบบจำลอง FEM แบบ ค (ไม่มีเลนส์ และใช้แรงกดเป็นบริเวณ 1/4 ตามขอบบนของกรอบลำตัว) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด โดยมี e_{AVG} อยู่ในช่วง -4.208% ถึง 0.285%

8. เมื่อพิจารณาจากการทดสอบทางกลพบว่าทั้งการทดสอบการดึงและการทดสอบการอัด ความสัมพันธ์ของระยะยืดและระยะยุบกับแรง เป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ค่าทดสอบสูงสุดเป็น 6 เท่า สำหรับการทดสอบการดึง และ 1.7 เท่าสำหรับการอัด จากค่ามาตรฐานทดสอบของ BSI ดังนั้นการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุสามารถกำหนดเป็นแบบเชิงเส้นได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ FEA

9. ผลการวิเคราะห์ FEA ของการทดสอบการกระแทกเลนส์แว่นตาว่ายน้ำ ได้วิเคราะห์จากอิมพัลส์แล้วแปลงเป็นแรงสถิตย ผลจาก FEA ที่ความสูง 1.6 ม. หรือ 1.23 เท่าของความสูงที่ทดสอบตาม BSI แสดงค่าความเค้นสูงสุด ค่าเท่ากับ 47.045 N/mm^2 สำหรับเลนส์ถ้วยตารุ่น JR-1006 ค่าความเค้นเท่ากับ 47.775 N/mm^2 สำหรับ รุ่น 2006 และ 48.197 N/mm^2 สำหรับรุ่น 981 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเลนส์ถ้วยตา ทั้ง 3 รุ่น ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของความเค้นสูงสุดของโพลีคาบอนเนต ที่ได้จากการทดสอบตามภาพที่ 52 (53 N/mm^2) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำเลนส์ถ้วยตา และผล FEA ของค่าความเครียด (0.0192) ต่ำกว่าค่าความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุด (0.103) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเลนส์ไม่เกิดการบวมยุบถาวร สอดคล้องกับการทดสอบจริง

10. ผลการวิเคราะห์ FEA ของความสลายในการสวมใส่ ได้วิเคราะห์โดยใช้แรงกดบนขอบของกรอบถ้วยตาจำนวน 2 รุ่น รอบดวงตาขนาด 3, 5, 7 และ 9 N ผลจาก FEA ที่ได้พบว่าบริเวณหางตาจะเกิดความเค้นและระยะยุบมากที่สุด ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องจากการประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบสวมใส่จริง ผลที่ได้นี้ยังไม่สามารถระบุเป็นระดับความสลายของการสวมใส่ได้เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลของค่าความเค้นบนใบหน้าที่จะระบุความเจ็บปวด หลักการเบื้องต้นจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อให้ทางคณะผู้วิจัยดำเนินการต่อไปในอนาคตได้ภายหลังสิ้นสุดโครงการวิจัยนี้

11. ตัวแปรความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ และผล FEA มีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด วิธีทดสอบหาคุณสมบัติทางกล วัสดุที่นำมาใช้ทดสอบซึ่งไม่สามารถควบคุมกรรมวิธีการผลิตให้ใกล้เคียงได้
- ความคลาดเคลื่อนจากการจำลอง FEM เช่นการกำหนดขอบเขตและโหนด เป็นตำแหน่งตายตัว แต่ในขณะทดสอบจะเกิดการเคลื่อนตัวของชิ้นงานและ Fixture ที่ใช้รองรับชิ้นงาน
- ความคลาดเคลื่อนของแบบที่ใช้จำลอง FEA เช่นความหนาของชิ้นงาน ไม่สามารถวัดได้แม่นยำ เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็ก และโปร่งใส

12. ผลจากการวิจัยนี้สามารถทำให้บริษัทประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาลงได้โดย

- ประหยัดเวลาในกระบวนการสร้างแบบแว่นตาว่ายน้ำรุ่นใหม่ ตั้งแต่เริ่ม ออกแบบโดยใช้ CAD จนถึงขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์เพื่อการผลิต ลงได้ 50%
- ประหยัดเวลาในออกแบบแว่นตาว่ายน้ำรุ่นใหม่ ได้ 80% หากเป็นการนำแบบแว่นตาว่ายน้ำรุ่นเก่ามาแก้ไขให้เป็นแบบใหม่ โดยระยะเวลาในการออกแบบขึ้นอยู่กับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ออกแบบซึ่งจำเป็นต้องเป็นผู้ที่มีหน้าที่ในการออกแบบและใช้ซอฟต์แวร์เป็นหน้าที่ประจำ
- ช่วยเพิ่มผลผลิตเนื่องจากการลดขนาดของชิ้นส่วนแว่นตาว่ายน้ำ ทำให้ใช้วัตถุดิบลดลงเป็นผลให้ใช้เวลาในการฉีดต่อชิ้นลดลงด้วย และลดพลังงานที่ใช้ในการผลิต
- ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการแก้ไขแม่พิมพ์ หากแว่นตาว่ายน้ำรุ่นนั้นไม่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกล จาก BSI

เอกสารอ้างอิง

1. ทานตวาวณ เด็กขึ้น, นิรันดร์ จันรัสมิ, อติศักดิ์ แก้วใส. 2544. พลาสติก1. สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
2. บรรเลง ศรีนิล. 2539. เทคโนโลยีพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. น. 59-66.
3. บริษัทไทยโพลีคาร์บอเนต จำกัด. สมบัติทางกายภาพของ PC S-3000UR.
4. บริษัท บางกอก พีวีซี (1996) จำกัด. Physical properties of PVC Compound.
5. <http://www.ptli.com/testlopedia/tests/tensile-plastics-D638-ISO527.asp>, 10 มีนาคม 2546.
6. สัจจาทิพย์ ทศนียพันธุ์. 2545. ซิลิตโมเดล เทคโนโลยีที่แท้จริงสำหรับการออกแบบ. **วิศวกรรมสาร** 55 (7): 37- 43.
7. สัจจาทิพย์ ทศนียพันธุ์. 2545. การจัดระบบ CAD/CAM/CAE ให้เหมาะสมกับธุรกิจ ตอนที่ 2. **ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม** 9 (2): 73-79.
8. สัจจาทิพย์ ทศนียพันธุ์. 2545. การจัดระบบ CAD/CAM/CAE ให้เหมาะสมกับธุรกิจ ตอนที่1. **ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม** 9 (1): 106-111.
9. สัจจาทิพย์ ทศนียพันธุ์ และคณะ. การออกแบบภาชนะบรรจุของเหลวโดยกรรมวิธีวิศวกรรม, สกว, เมษายน 2546.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

คุณลักษณะเฉพาะของชุดทดสอบการดึงและการอัด

H50K-S MATERIALS TESTING MACHINE



- Double column load frame with 50kN capacity
- Speed range 0.001 to 500 mm/min
- Set speed resolution 0.001 mm/min
- Speed accuracy 0.005%
- Extension resolution 0.001 mm
- Extension accuracy 0.01 mm
- Force measurement conform to EN10002-2, ASTM E4, DIN 51221
- Accuracy 0.5% of applied force
- Available, load cells:
5,10,25,50,100,250,500N
- 1kN,2.5kN,5kN,10kN,25kN,50kN
- Automatic identification of load cell
- Large backlit graphical display
- Storage and retrieval of 5 Test profiles
- Alpha numeric keypad
- Multi unit
- Multi language
- High resolution graphical output direct to standard printer
- Programmable Limits, Force, Extension, Auxiliary and Jog
- Automatic auxiliary equipment recognition
- PC Control Mode for use with HOUNSFIELD QMAT-Software (Win 95,98,NT)
- Height 1620mm, Width 720mm, Depth 500mm, Weight 180kg

The H50K-S materials testing machine is designed to test a wide range of materials including: Plastic, Rubber, Metals, Timber, Packaging materials, Textiles, Leather, Chains, Wires, Medical products and components etc. in Tension, Compression, Shear, Tear, Flexural and Peel.

Through advanced technology and quality engineering Hounsfield has produced this machine which is accurate and easy to use. Powerful as a stand-alone unit, the machine capability is enhanced by the functionality of connecting it direct to a standard printer and obtain a comprehensive test report by pressing a single key.

The Hounsfield H50K-S machine can be used in laboratory and factory environments. It is designed to work with the full range of contacting and non-contacting Hounsfield extensometers.

By connecting the H50K-S to a PC and operating under Hounsfield QMAT Software, the most complex tests are made simple to create or run. The Software does also include statistical data analysis and storage.

Hounsfield guarantees the resolution and accuracy of the machine by providing a traceable calibration certificate free of charge.

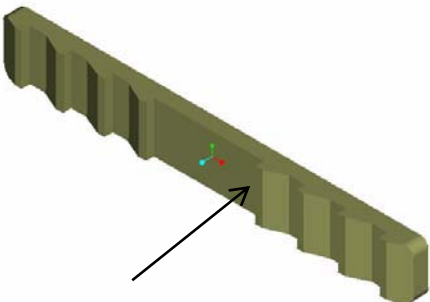
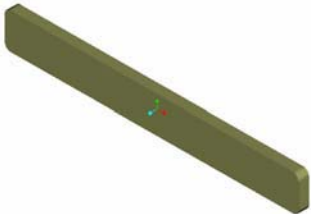
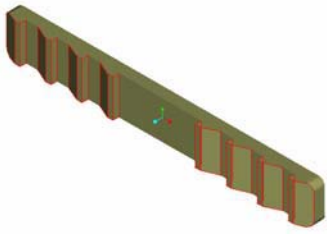
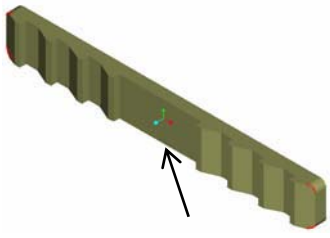
ภาคผนวก 2

การสร้างซิลิตโมเดลของชิ้นส่วนของแวนดาว่ายน้ำ

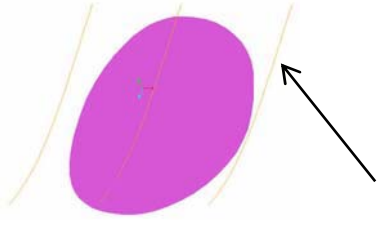
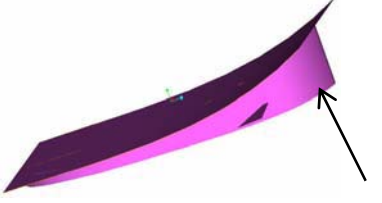
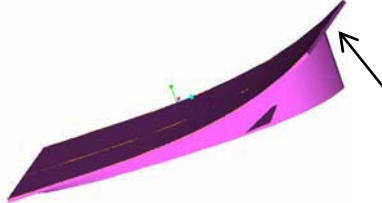
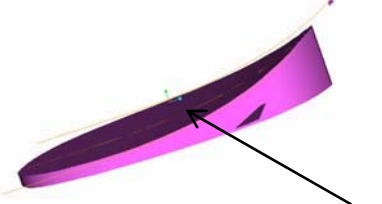
การจำลองแบบโดยใช้ CAD

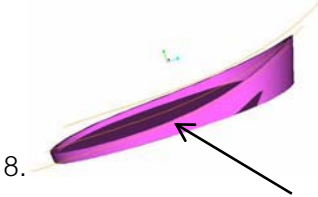
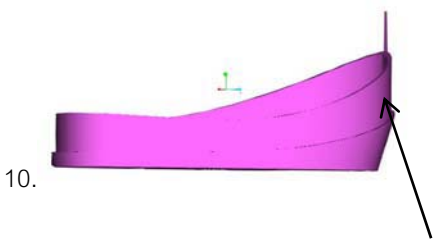
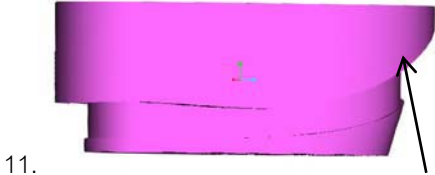
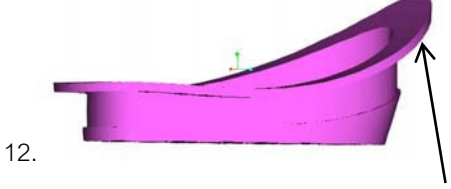
ชิ้นส่วนต่างๆ ของแว่นตาว่ายน้ำ ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้ Lens และ Eye Cup, Lipseal, Joint, Buckle และสายรัด ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนนั้นมีวิธีการสร้างให้เป็นโซลิตโมเดล ที่ต่างกันออกไป โดยสามารถสรุปวิธีการสร้างส่วนต่างๆ ของชิ้นส่วนของแว่นตาว่ายน้ำได้ดังนี้

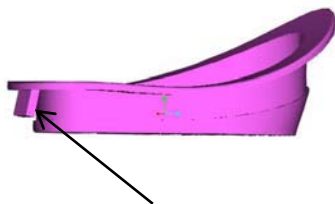
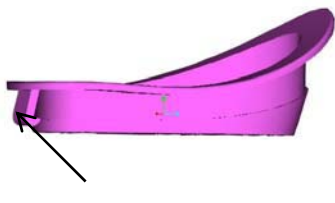
1. การสร้าง Joint

โซลิตโมเดล	รูปทรงเฉพาะแบบ (Feature)	คำสั่ง
	 1.	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	 2.	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	 3.	Create : Solid ↓ Cut ↓ Extrude

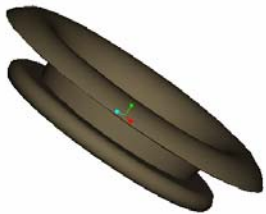
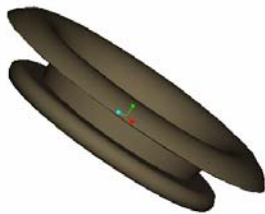
2. การสร้าง ซิลิตโมเดล ของ Lens และ Eye cup

ซิลิตโมเดล	รูปทรงเฉพาะแบบ (Feature)	คำสั่ง
	1. 	Create : Surface ↓ Flat ↓ Extrude
	2. 	Create ↓ Datum ↓ Curve
	3. 	Create : Surface ↓ Advance ↓ Boundaries
	4. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	5. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Use Quilt
	6. 	Create : Solid ↓ Cut ↓ Extrude

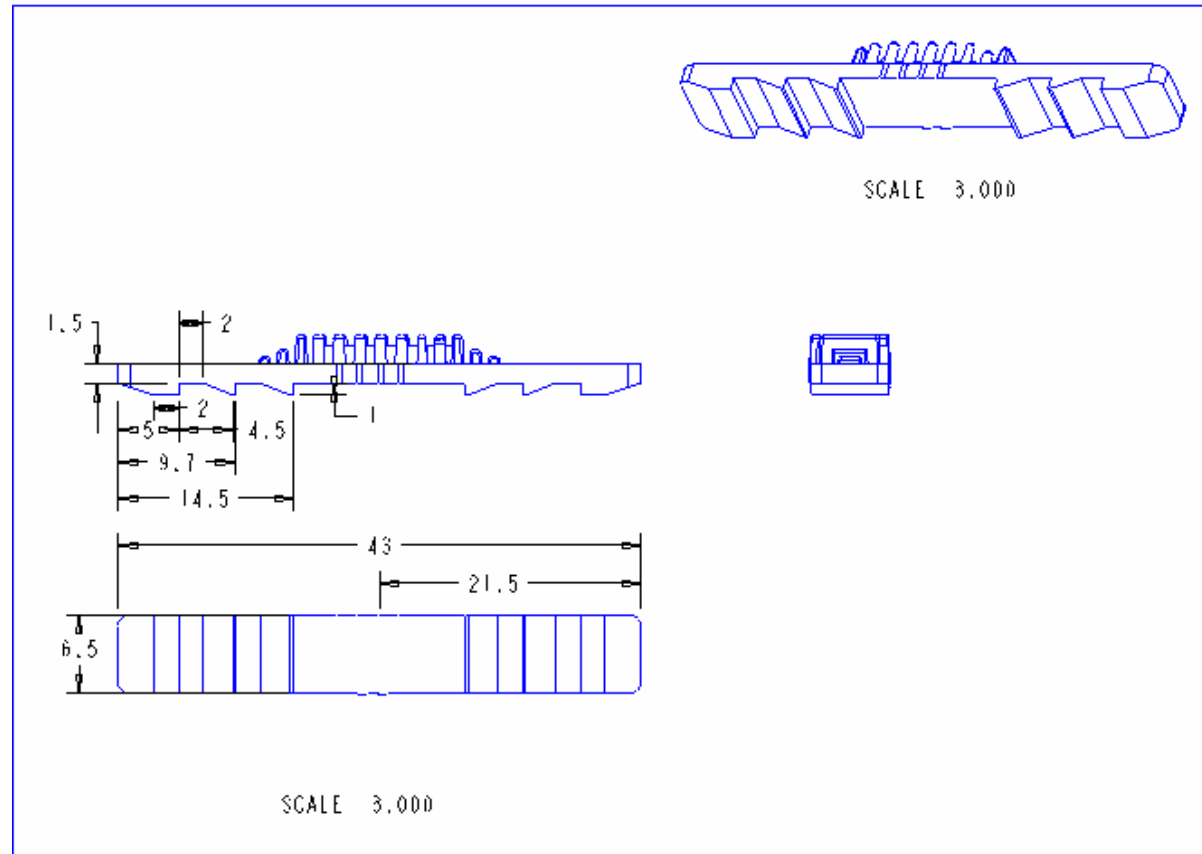
โซลิตโมเดล	รูปทรงเฉพาะแบบ (Feature)	คำสั่ง
	7. 	Create : Solid ↓ Cut ↓ Extrude
	8. 	Create : Solid ↓ Shell
	9. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	10. 	Create : Solid ↓ Cut ↓ Extrude
	11. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	12. 	Create : Solid ↓ Cut ↓ Extrude

โซลิตโมเดล	รูปทรงเฉพาะแบบ (Feature)	คำสั่ง
	13. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude
	14. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Extrude

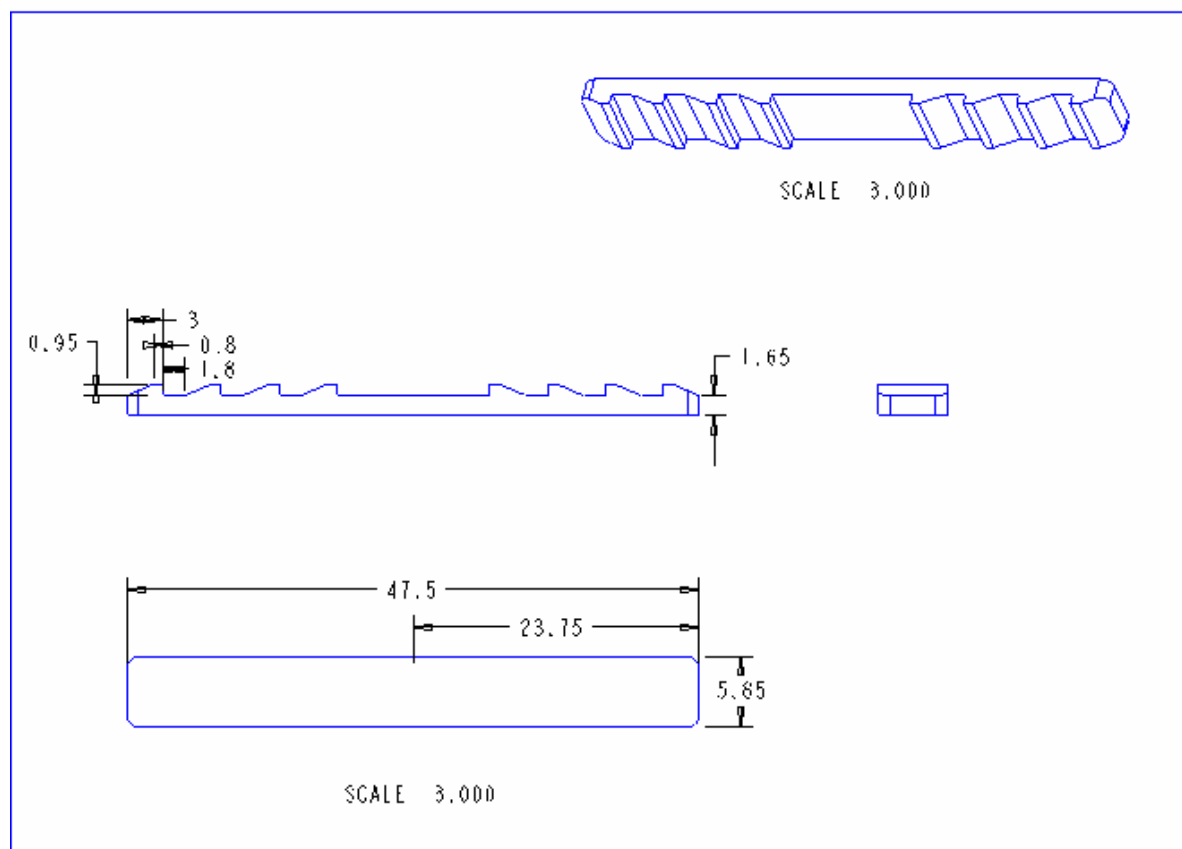
3. การสร้าง Lip seal

โซลิตโมเดล	รูปทรงเฉพาะแบบ (Feature)	คำสั่ง
	1. 	Create : Solid ↓ Protrusion ↓ Revolve : Thin

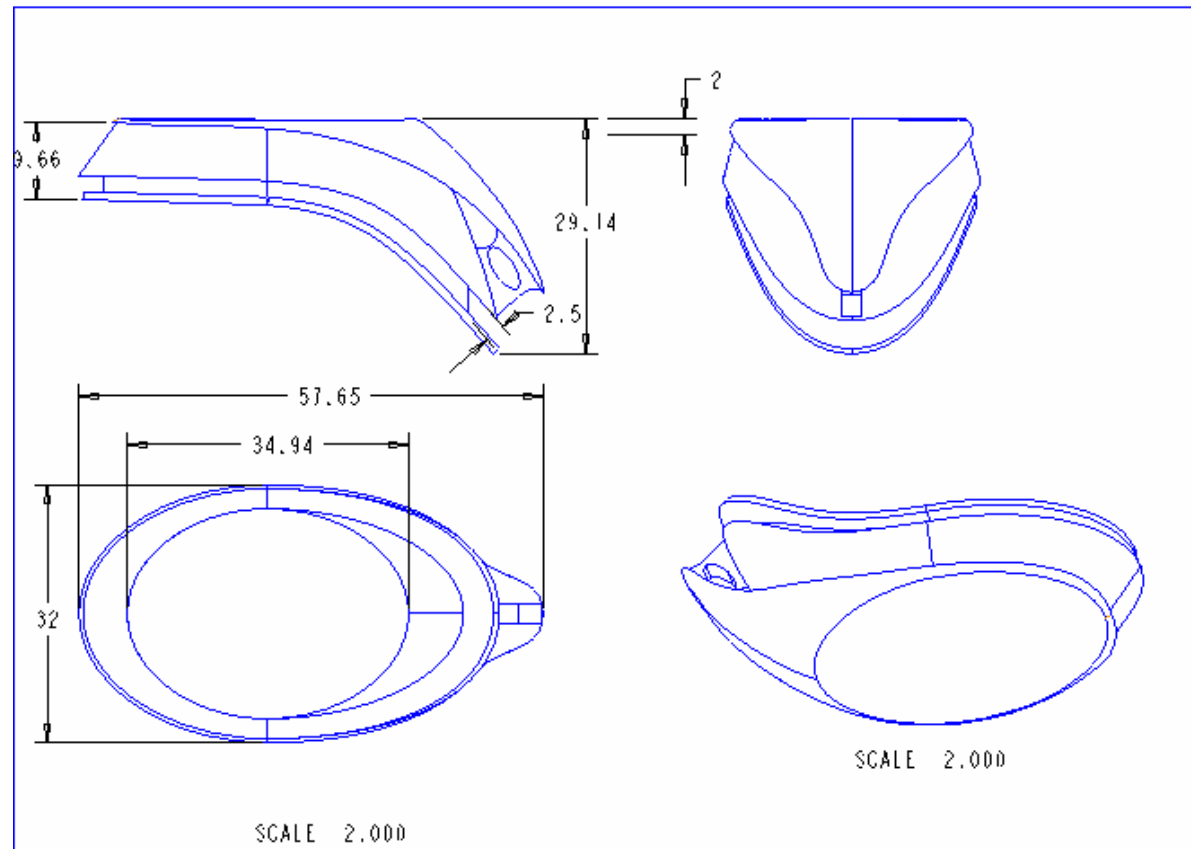
ภาคผนวก 3
ภาพวาดรายละเอียดของชิ้นส่วนของแว่นตาว่ายน้ำ



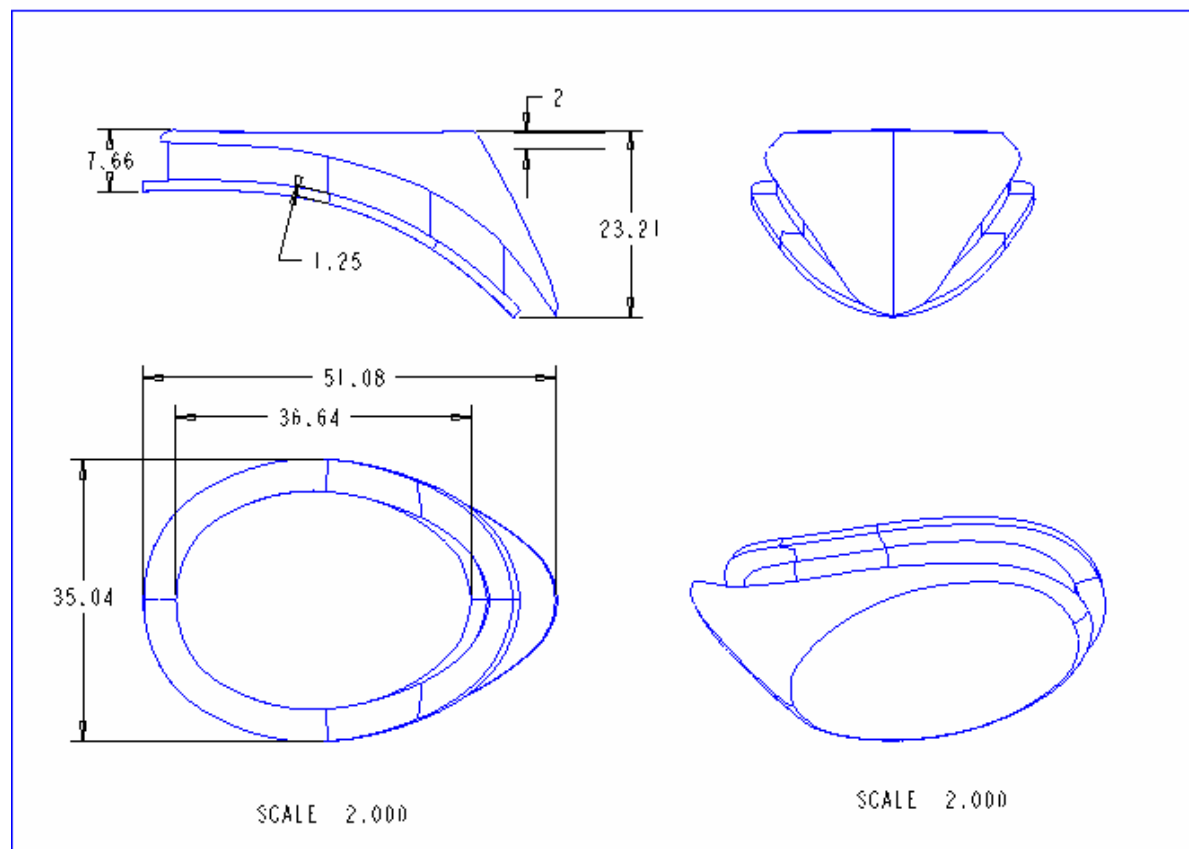
ภาพผนวกที่ 2 ภาพวาดรายละเอียดของขนาดของชิ้นจุมูกรุ่น J-1



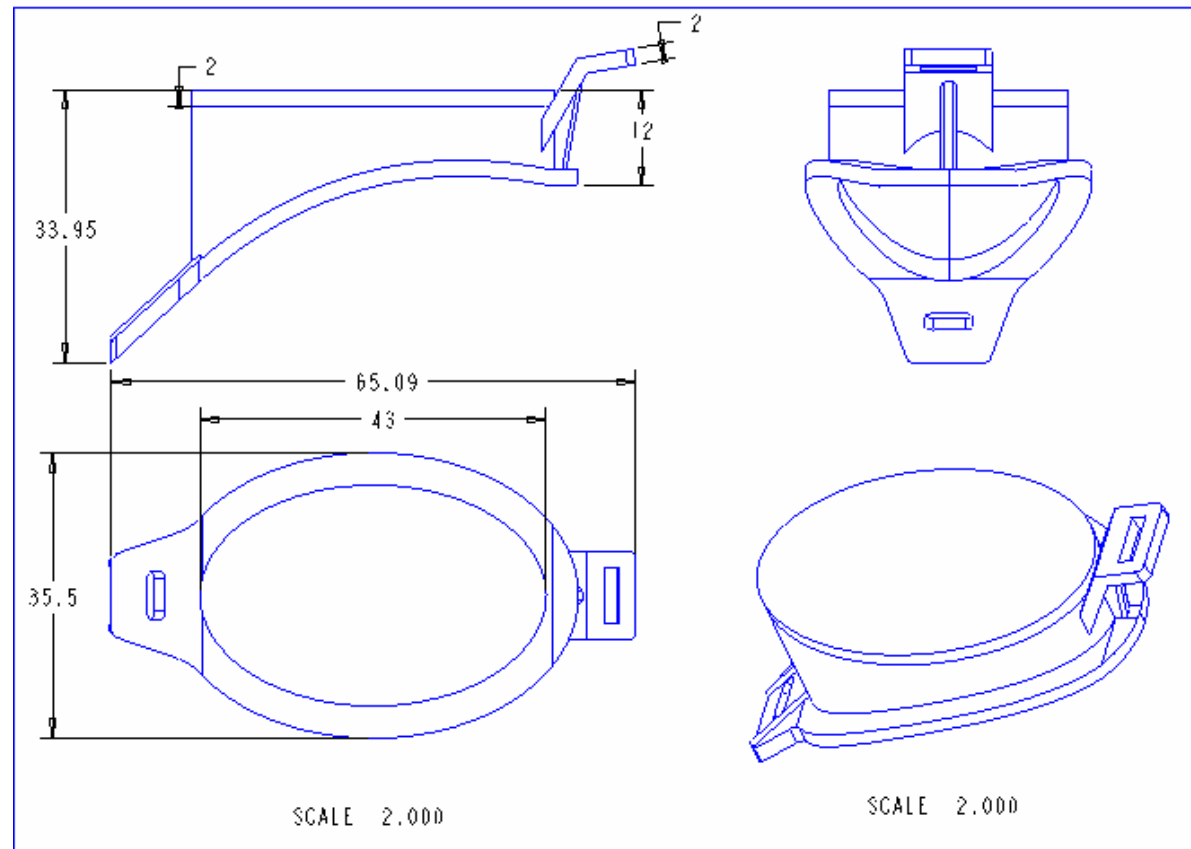
ภาพผนวกที่ 3 ภาพวาดรายละเอียดของขนาดของชิ้นจุ่มรุ่น J-10



ภาพผนวกที่ 4 ภาพวาดรายละเอียดของขนาดของถ้วยตารุ่น JR-1006



ภาพผนวกที่ 5 ภาพวาดรายละเอียดของขนาดของถ้วยตารุ่น 2006



ภาพผนวกที่ 6 ภาพวาดรายละเอียดของขนาดของถ้วยตารุ่น 981

ภาคผนวกที่ 4

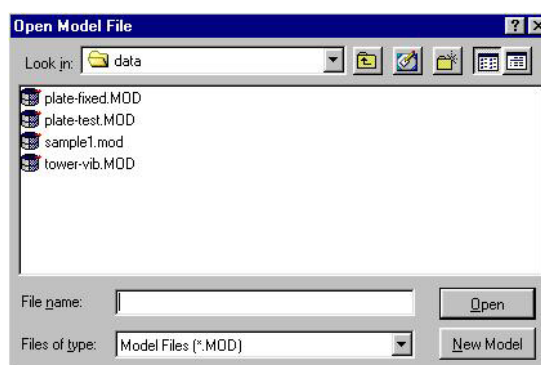
ขั้นตอนการวิเคราะห์ CAE ของการดึงขึ้นจุ่ม

1. ขั้นตอน Pre-Processing

1.1 เปิดโปรแกรม MSC/NASTRAN for Windows โดย กดสองครั้ง ที่ไอคอน

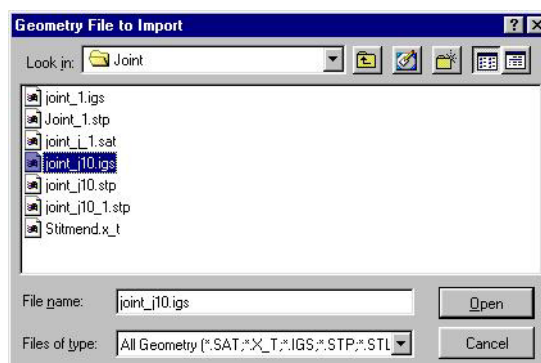


1.2 กดที่ New Model

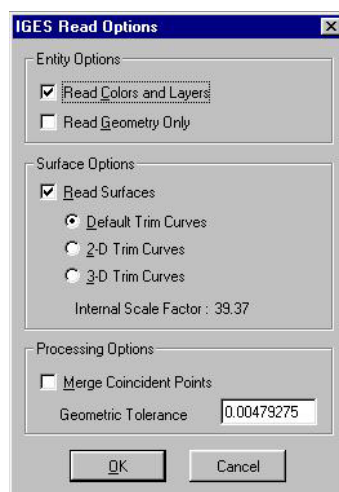


1.3 กดที่ File → Import → Geometry

1.4 เลือกไฟล์ ของแบบที่จะทำการวิเคราะห์ (เช่น joint_j10.igs) จากโฟลเดอร์ ที่เก็บไฟล์นี้ แล้วกดที่ปุ่ม Open



1.5 กดที่ปุ่ม OK



1.6 กดที่ Geometry → Solid → Stitch

กด Select All → OK → OK

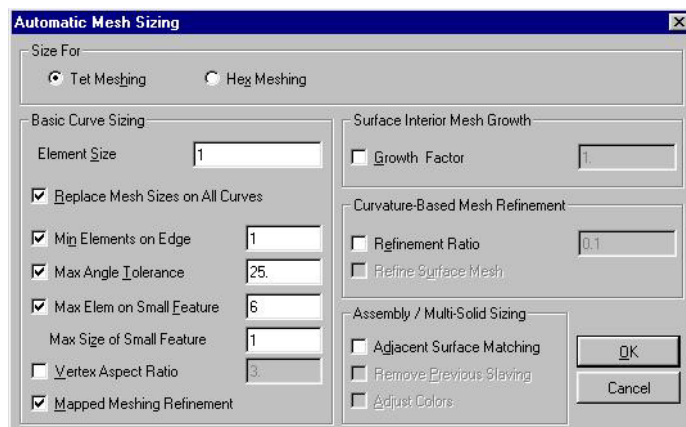


1.7 กดที่ Mesh → Geometry → Solids

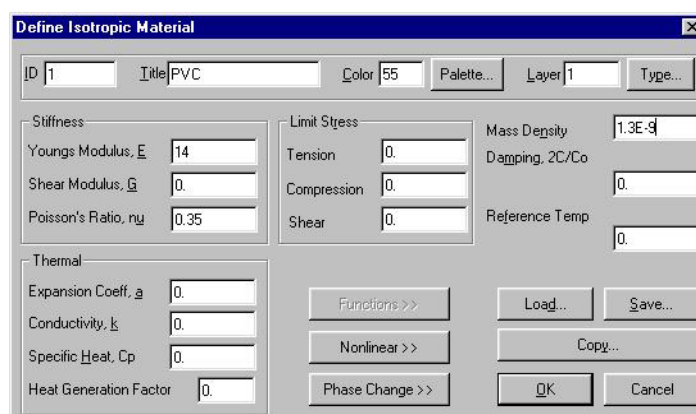
กด Select All → OK



พิมพ์ 1 ในช่อง Element Size และ Max Size of Small Feature แล้วกด OK

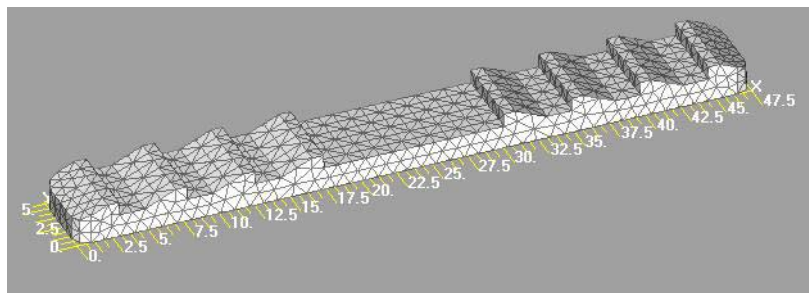


1.8 ในช่อง Title, Youngs Modulus, E, Poisson's Ratio, ν และ Mass Density พิมพ์ PVC, 14, 0.35 และ $1.3E-9$ ตามลำดับ แล้วกด OK



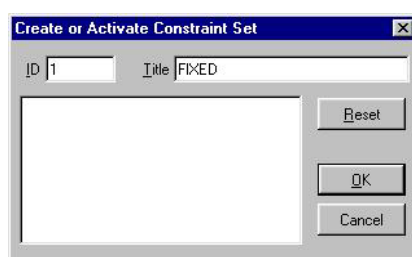
กด OK



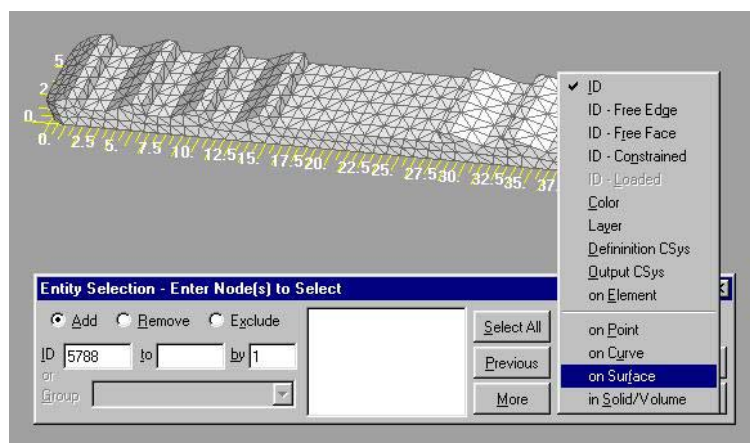


1.9 กดที่ Model → Constraint → Nodal

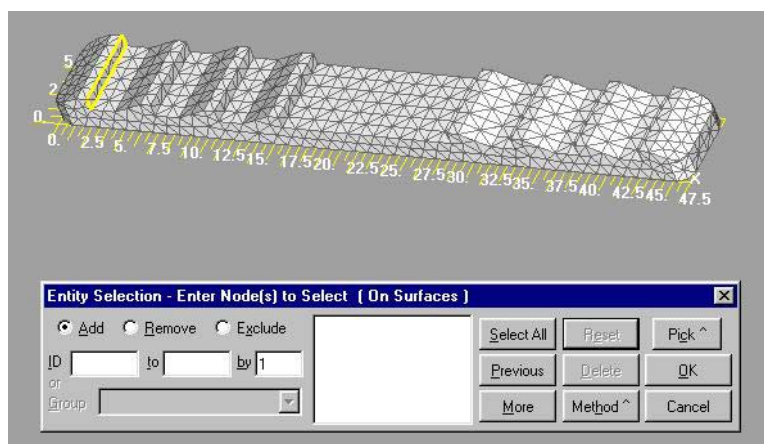
พิมพ์ Fixed ในช่อง Ititle แล้วกด OK



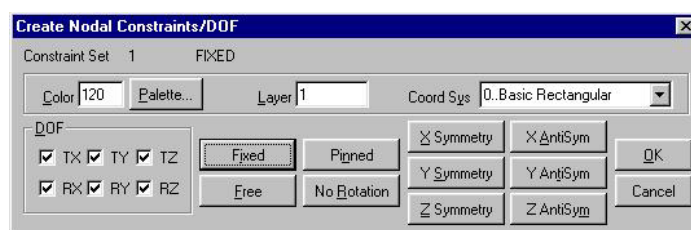
กด Method^ → on Surface



เลือก ผิวที่จะทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (เช่น 82) แล้วกด OK

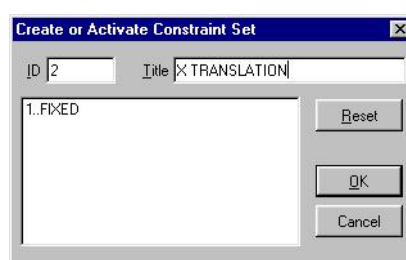


กด Fixed → OK → Cancel



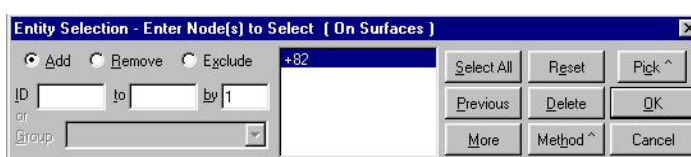
1.10 กด Model → Constraint → Set

พิมพ์ 2 ในช่อง ID และ X TRANSLATION ในช่อง Title แล้วกด OK

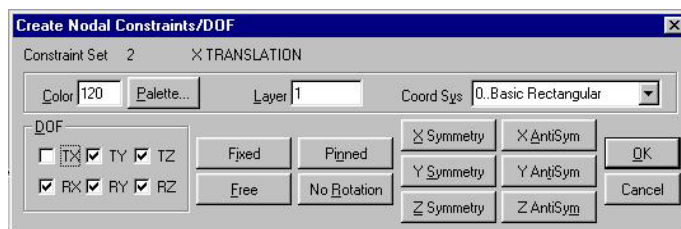


กดที่ Model → Constraint → Nodal

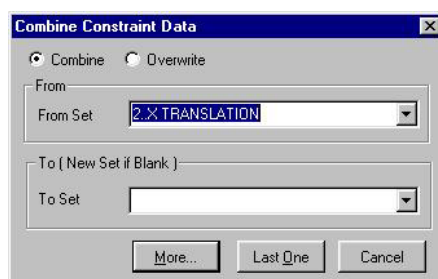
กด Method^ → on Surface → เลือกเลือกผิวที่ต้องการ (เช่น 82) → OK



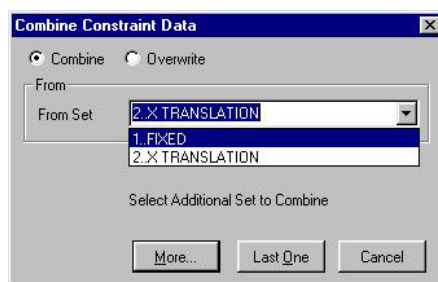
กด Fixed → TX → OK → Cancel



1.11 กดที่ Model → Constraint → Combine

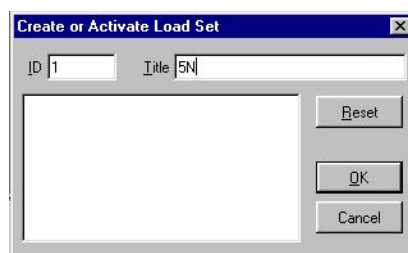


กด More, เลือก 1..FIXED ในช่อง From Set แล้วกด Last One

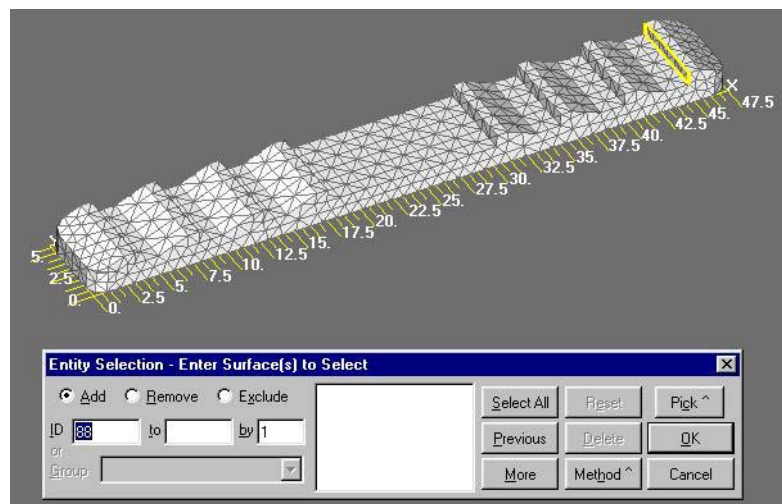


1.12 กดที่ Model → Load → On Surface

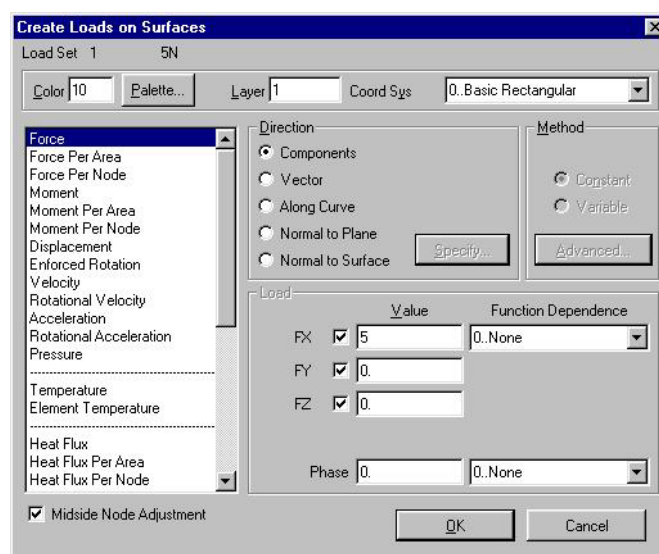
1.12.1 พิมพ์ 5N ในช่อง Title แล้วกด OK



1.12.2 เลือก Surface 54 แล้วกด QK



1.12.3 พิมพ์ 5N ในช่อง FX → QK → Cancel

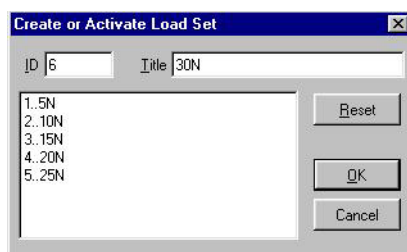


1.13 กดที่ Model → Load → Set

1.13.1 พิมพ์ 2 ในช่อง ID และ 10N ในช่อง ITitle แล้วกด QK



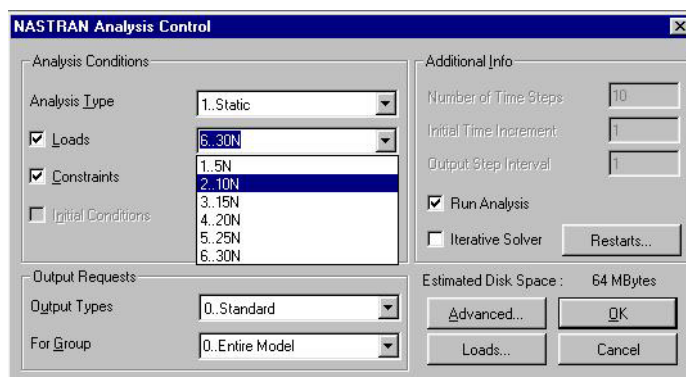
- 1.13.2 ทำตามขั้นตอนที่ 1.12.2 ถึง 1.12.3 โดยเปลี่ยนค่าในช่อง FX เป็น 10
- 1.14 ทำตามขั้นตอนที่ 13 โดยเพิ่มค่าโหลดในช่อง FX ขึ้น ครั้งละ 5 จนถึง 30



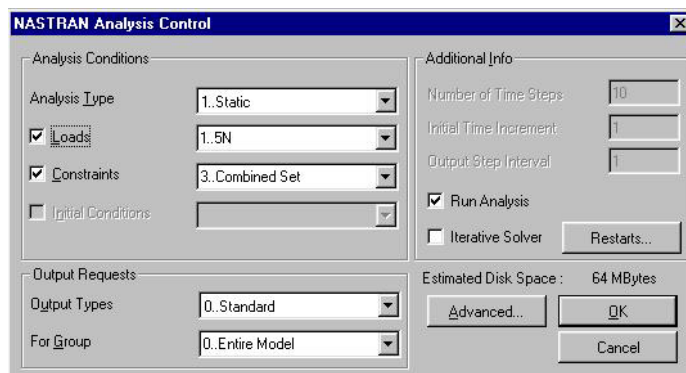
2. ขั้นตอน Processing

- 1.1 กดที่ File → Analyze

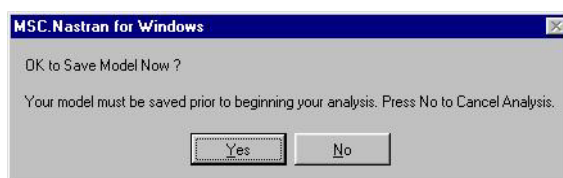
กด ในช่อง Load เพื่อเลือก Load Set 5N



กด OK



กด Yes แล้วตั้งชื่อ File และเลือก Folder สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูล → Save



1.1 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ ใช้เวลาประมาณ 2 นาที

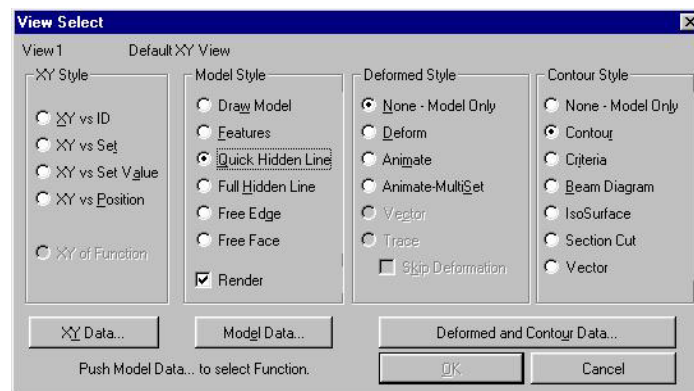
กด Continue



1.1 ทำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยเปลี่ยน Load Set ไปเรื่อยๆจนครบทุก Set

3. ขั้นตอน Post Processing

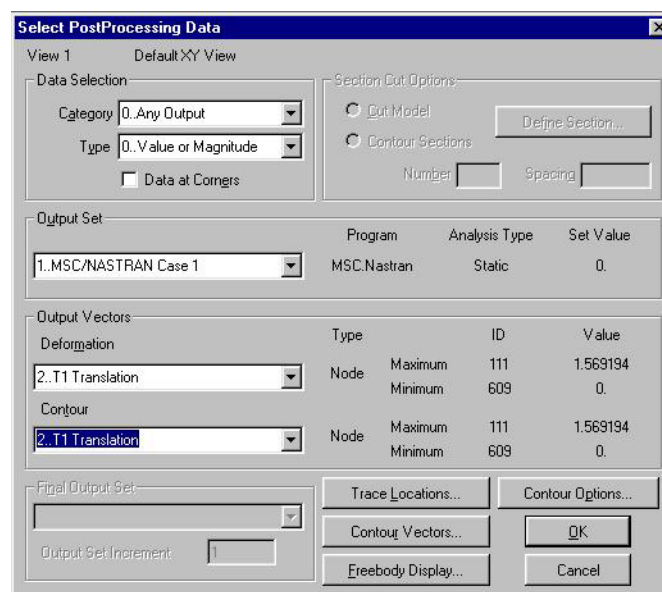
3.1 กด View → Select → Deformed and Contour Data



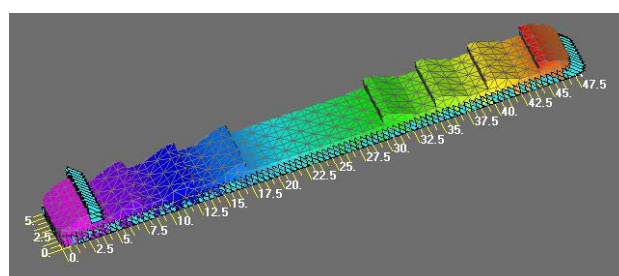
3.2 เลือก 1..MSC/NASTRAN Case 1 ในช่อง Output Set (ผลลัพธ์ ของ Load set 1)

3.3 เลือก 2..T1 Translation ในช่อง Deformation (ดูผลการเคลื่อนตัวในแนวแกน X)

3.4 เลือก 2..T1 Translation ในช่อง Contour (ดูผลการกระจายการเคลื่อนตัวในแนวแกน X)



3.5 กด QK → QK



ภาคผนวก 5

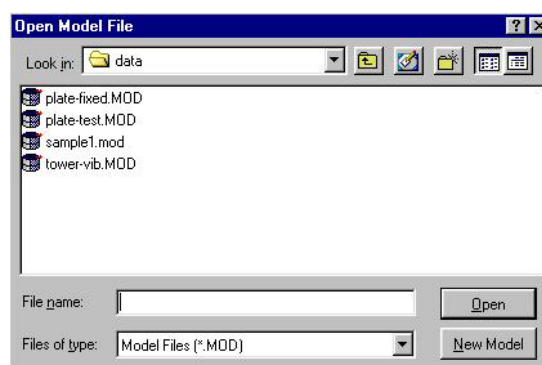
ขั้นตอนการวิเคราะห์ CAE การกดของเลนส์

1. ขั้นตอน Pre-Processing

1.1 เปิดโปรแกรม MSC/NASTRAN for Windows โดย กดสองครั้ง ที่ไอคอน

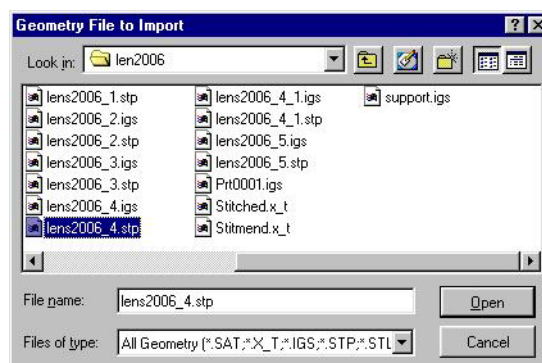


1.2 กดที่ New Model

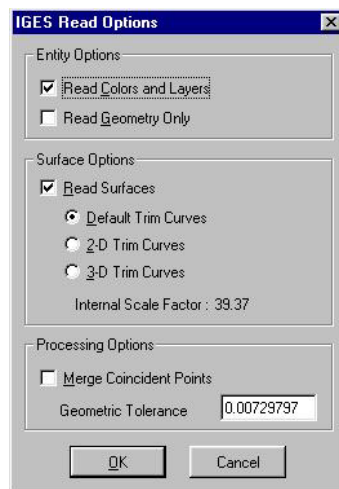


1.3 กดที่ File → Import → Geometry

1.4 เลือกไฟล์ ของแบบที่จะทำการวิเคราะห์ (เช่น lens2006_4.igs) จากโฟลเดอร์ ที่เก็บไฟล์นี้ แล้วกด Open



กด OK



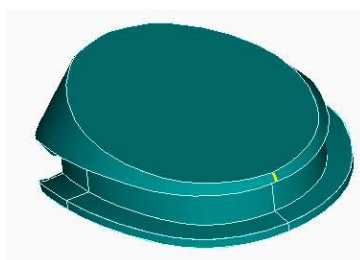
1.5 กดที่ Geometry → Solid → Stitch

กด Select All → OK → OK

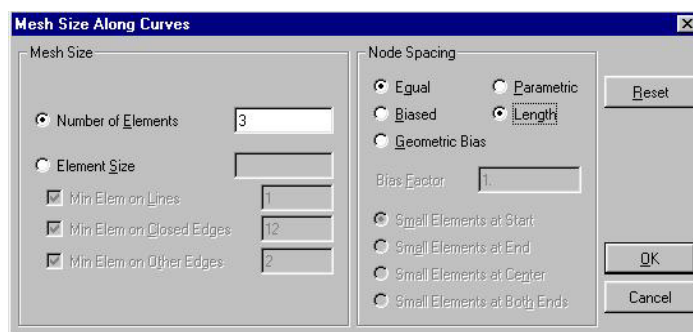


1.6 กดที่ Mesh → Mesh Control → Size Along Curve

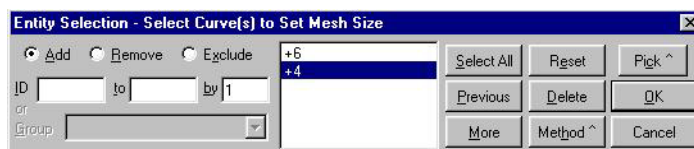
เลือก Curve 1 → OK



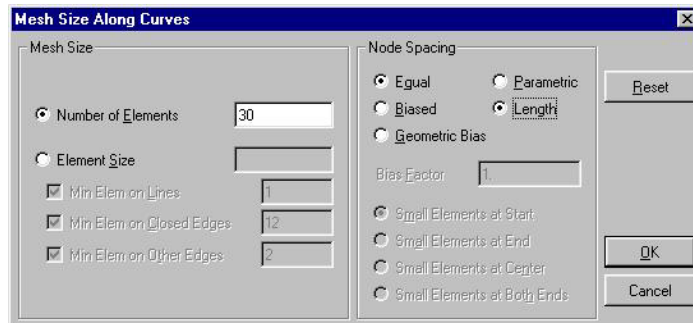
พิมพ์ 3 ในช่อง Number of Element, กด Equal, กด Length → OK



เลือก Curve 4 และ 6 → OK



พิมพ์ 30 ในช่อง Number of Element, กด Equal, กด Length → OK



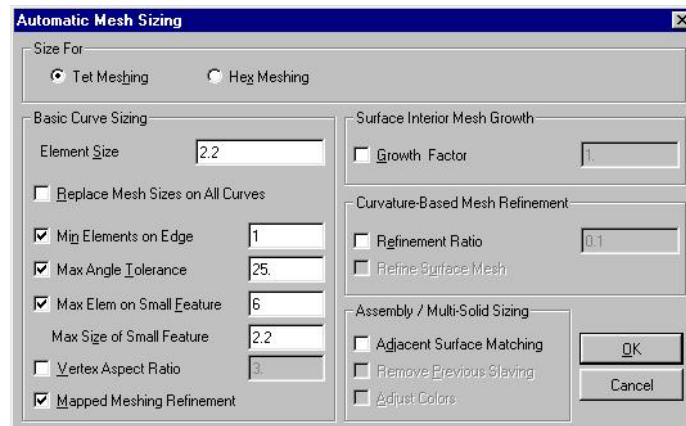
กด Cancel

1.7 กดที่ Mesh → Geometry → Solids

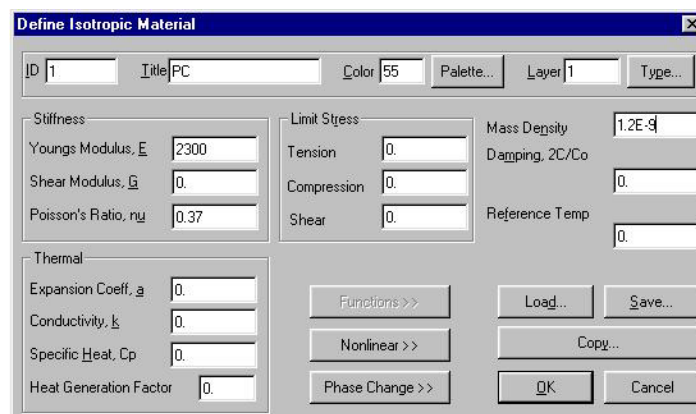
กด Select All → OK



พิมพ์ 2.2 ในช่อง Element Size และ Max Size of Small Feature แล้วกด QK

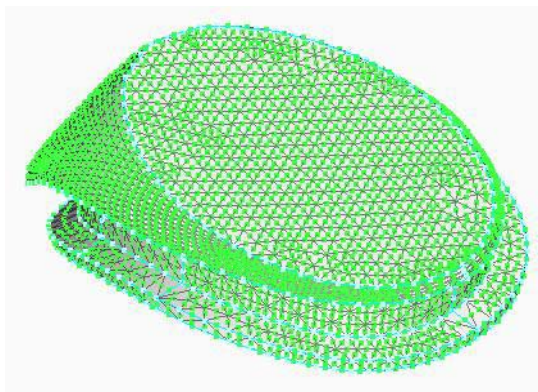


1.8 ในช่อง Title, Youngs Modulus, E, Poisson's Ratio, ν และ Mass Density พิมพ์ PC, 2300, 0.37 และ 1.2E-9 ตามลำดับ แล้วกด QK



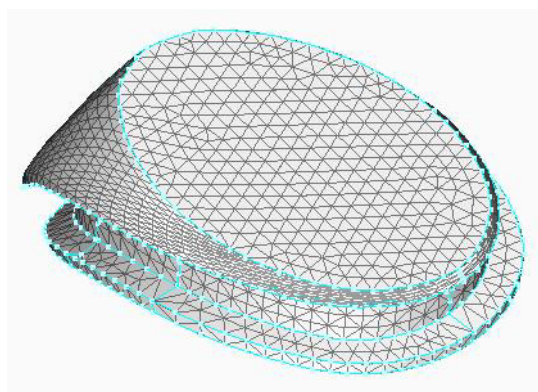
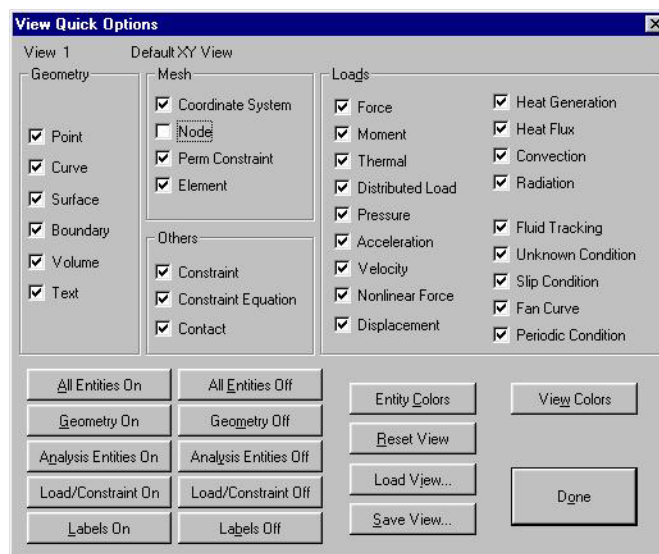
กด QK





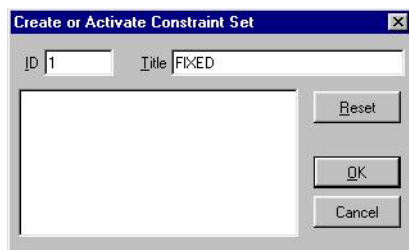
1.9 กดปุ่ม Ctrl + Q ที่คีย์บอร์ด

กดที่ Node → Done



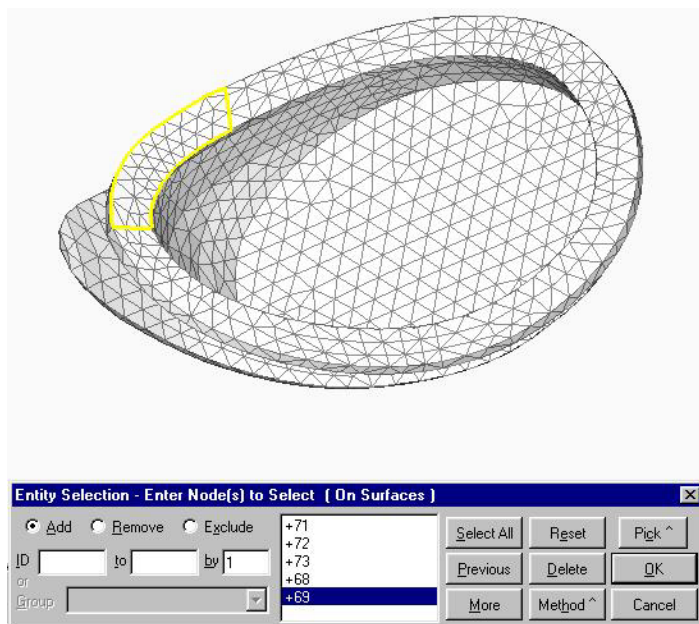
1.10 กดที่ Model → Constraint → Nodal

พิมพ์ Fixed ในช่อง Ititle แล้วกด OK

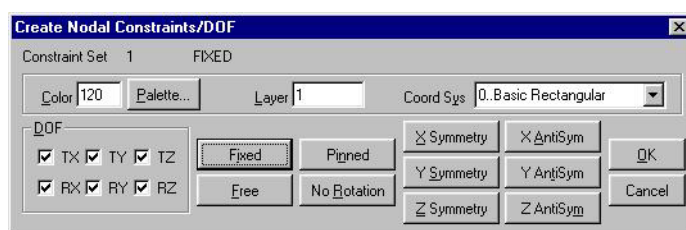


กด Method ^ → on Surface

เลือก Surface 68, 69, 70, 71, 72 และ 73 แล้วกด OK

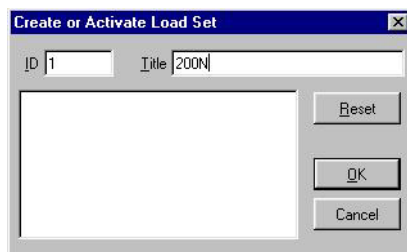


กด Fixed → OK → Cancel

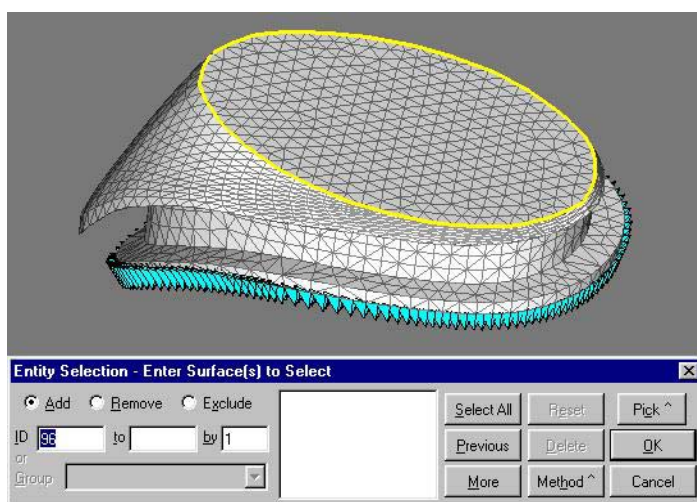


1.11 กดที่ Model → Load → On Surface

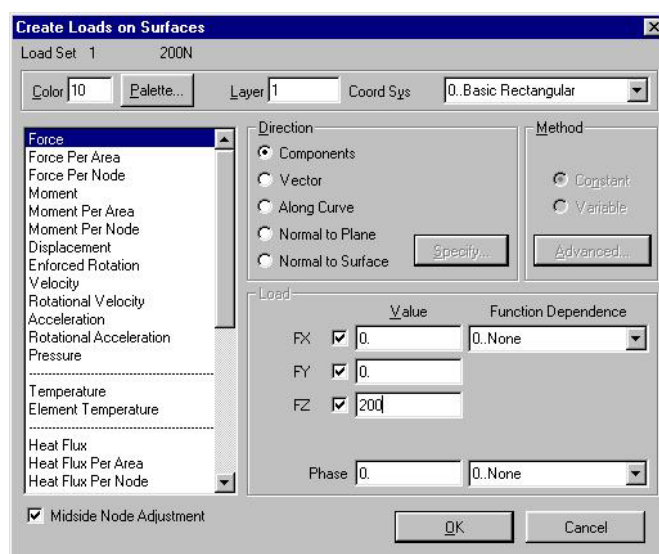
1.11.1 พิมพ์ 200N ในช่อง Ititle แล้วกด OK



1.11.2 เลือก Surface 93 แล้วกด OK

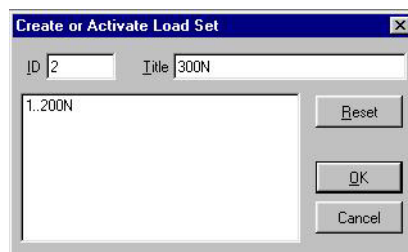


1.11.3 พิมพ์ 200 ในช่อง FZ → OK → Cancel



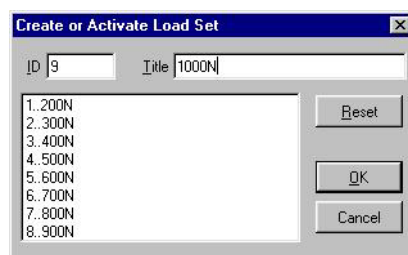
1.12 กดที่ Model → Load → Set

1.12.1 พิมพ์ 2 ในช่อง ID และ 300N ในช่อง Title แล้วกด OK



1.12.2 ทำตามขั้นตอนที่ 1.11.2 ถึง 1.11.3 โดยเปลี่ยนค่าในช่อง FZ เป็น 300

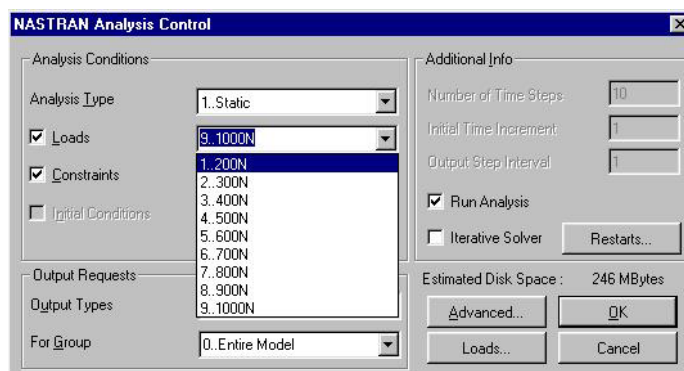
1.13 ทำตามขั้นตอนที่ 12 โดยเพิ่มค่าโหลดในช่อง FZ ขึ้น ครั้งละ 100 จนถึง 1000



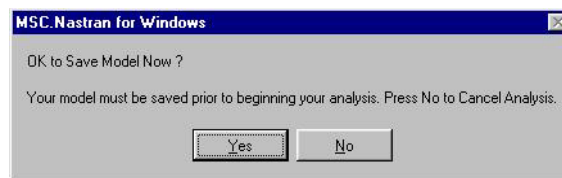
2. ขั้นตอน Processing

2.1 กดที่ Eile → Analyze

กด ในช่อง Load เพื่อเลือก Load Set 200N → กด OK



กด Yes แล้วตั้งชื่อ File และเลือก Folder สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูล → Save



1.1 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที

กด Continue

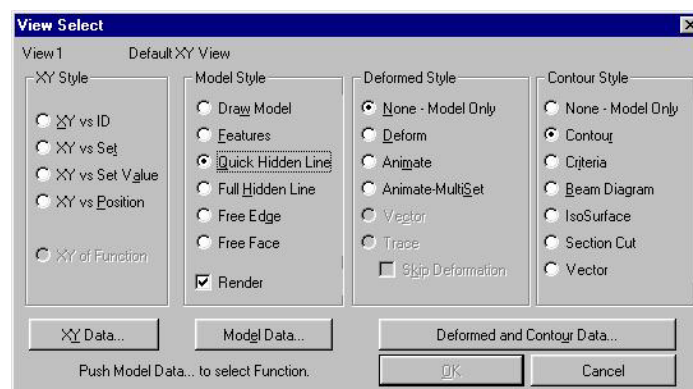


1.1 ทำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยเปลี่ยน Load Set ไปเรื่อยๆจนครบทุก Set

3. ขั้นตอน Post Processing

1.1 กด View → Select

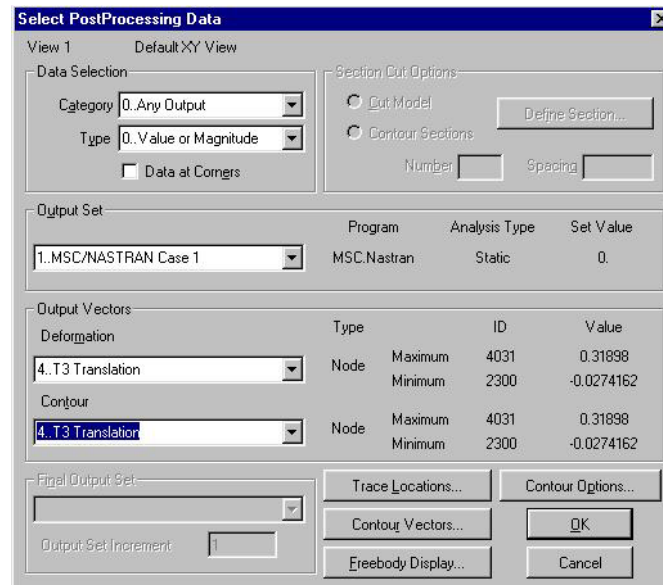
กด Deformed and Contour Data



3.1.1 เลือก 1..MSC/NASTRAN Case 1 ในช่อง Output Set (ผลลัพธ์ ของ Load set 1)

3.1.2 เลือก 4..T3 Translation ในช่อง Deformation (ดูผลการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z)

3.1.3 เลือก 4..T3 Translation ในช่อง Contour (ดูผลการกระจายการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z)

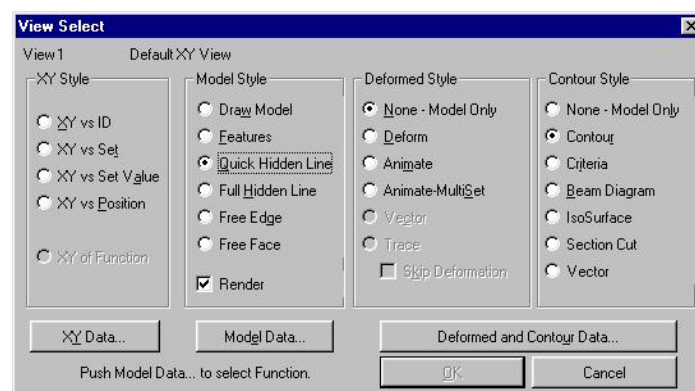


กด OK → OK

3.2 กรณีต้องการดูการกระจายของความเค้น

กด View → Select

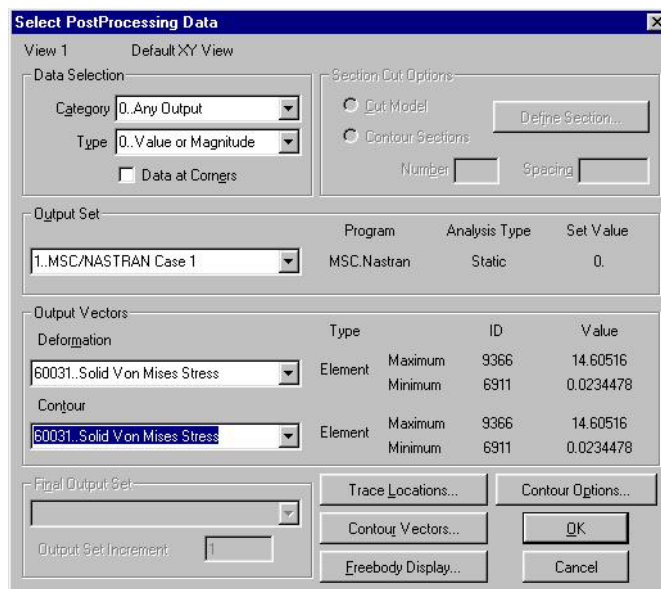
กด Deformed and Contour Data



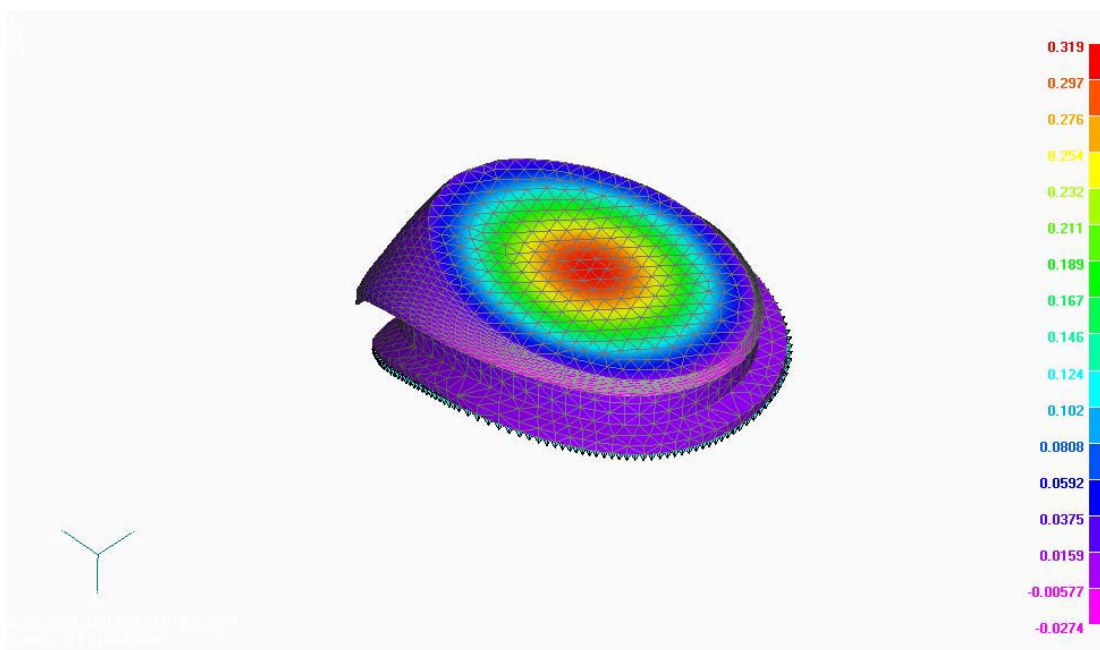
3.2.1 เลือก 1..MSC/NASTRAN Case 1 ในช่อง Output Set (ผลลัพธ์ ของ Load set 1)

3.2.2 เลือก 60031..Solid Von mises Stress ในช่อง Deformation

3.2.3 เลือก 60031.. Solid Von mises Stress ในช่อง Contour



กด OK → OK



ภาคผนวก 6

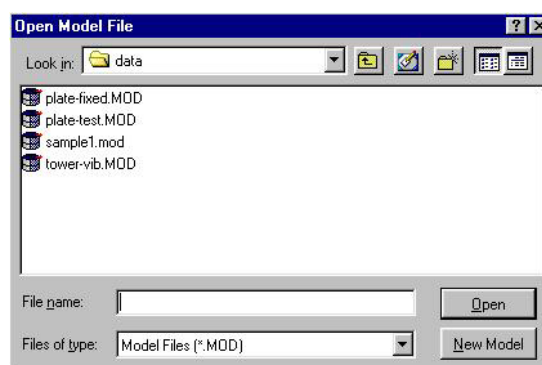
ขั้นตอนการวิเคราะห์ CAE ของการกระแทกของเลนส์

1. ขั้นตอน Pre-Processing

1.1 เปิดโปรแกรม MSC/NASTRAN for Windows โดย กดสองครั้ง ที่ไอคอน

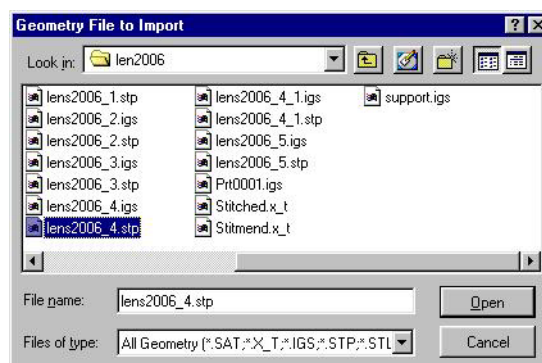


1.2 กดที่ New Model

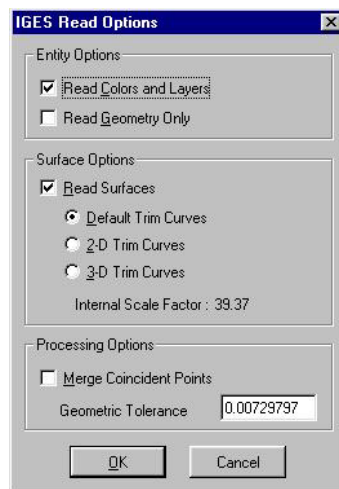


1.3 กดที่ File → Import → Geometry

1.4 เลือกไฟล์ ของแบบที่จะทำการวิเคราะห์ (เช่น lens2006_4.igs) จากโฟลเดอร์ ที่เก็บไฟล์นี้ แล้วกด Open



กด OK



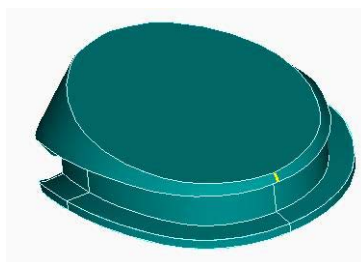
1.5 กดที่ Geometry → Solid → Stitch

กด Select All → OK → OK

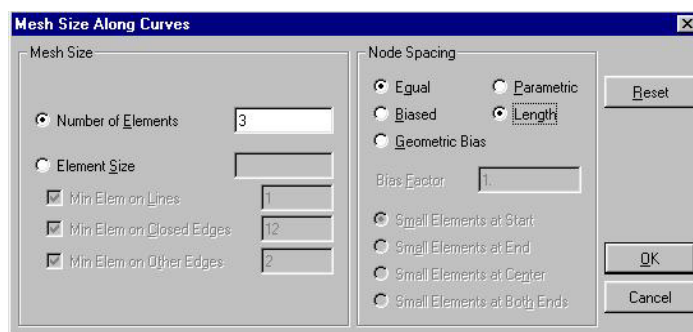


1.6 กดที่ Mesh → Mesh Control → Size Along Curve

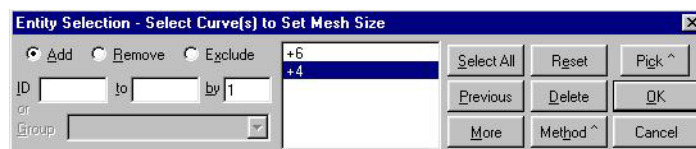
เลือก Curve 1 → OK



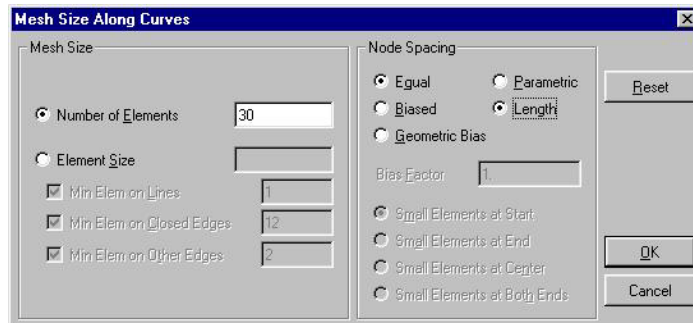
พิมพ์ 3 ในช่อง Number of Element, กด Equal, กด Length → OK



เลือก Curve 4 และ 6 → OK



พิมพ์ 30 ในช่อง Number of Element, กด Equal, กด Length → OK



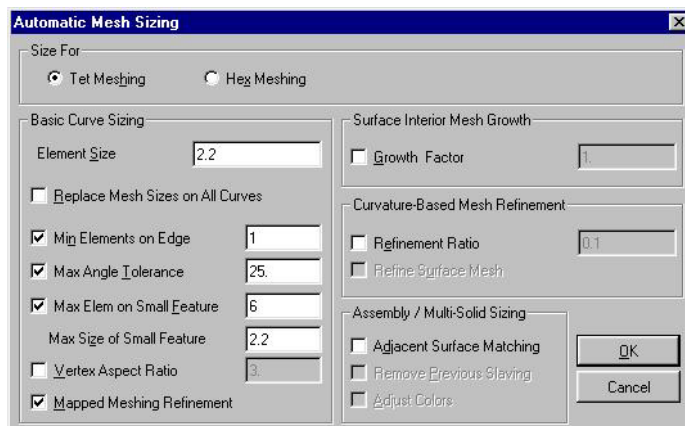
กด Cancel

1.7 กดที่ Mesh → Geometry → Solids

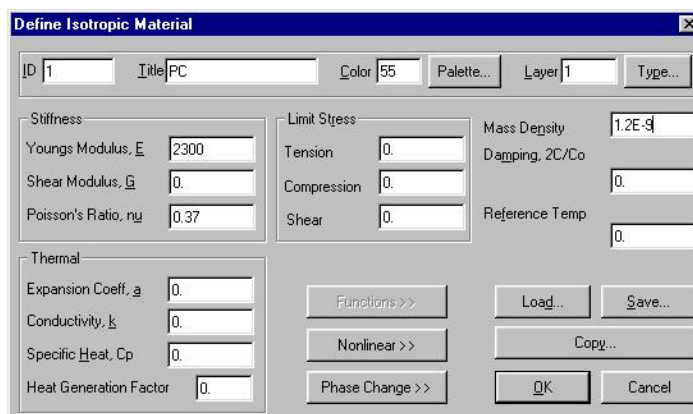
กด Select All → OK



พิมพ์ 2.2 ในช่อง Element Size และ Max Size of Small Feature แล้วกด QK

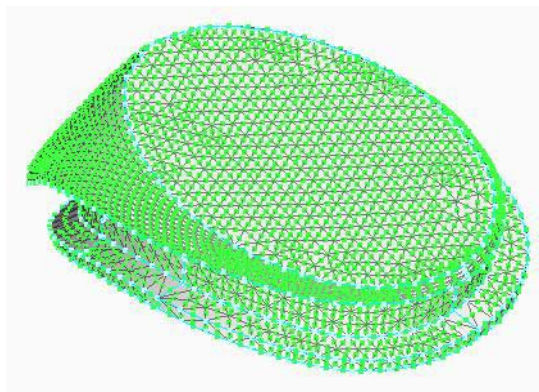


1.8 ในช่อง Title, Youngs Modulus, E, Poisson's Ratio, ν และ Mass Density พิมพ์ PC, 2300, 0.37 และ 1.2E-9 ตามลำดับ แล้วกด QK

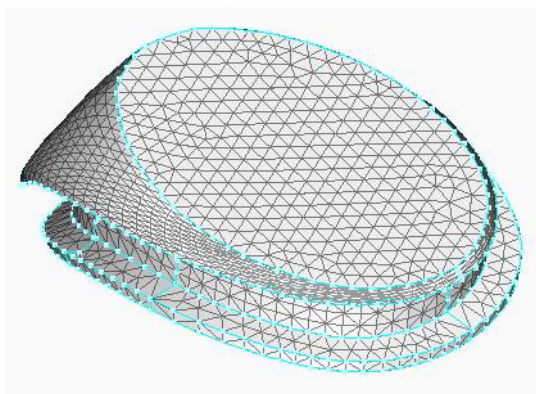
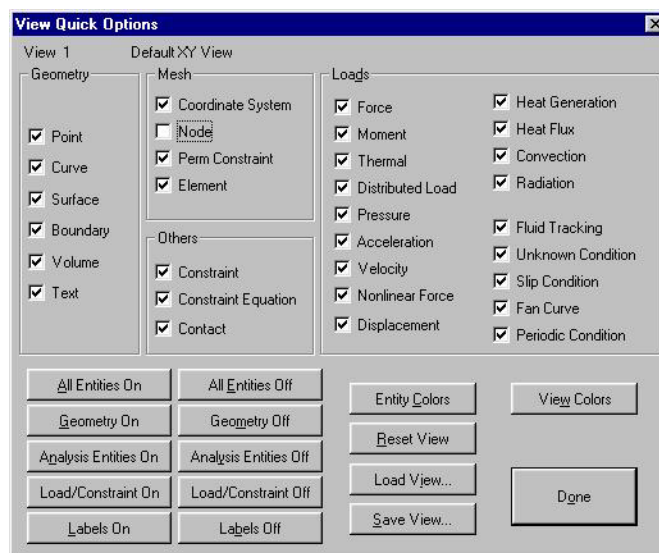


กด QK

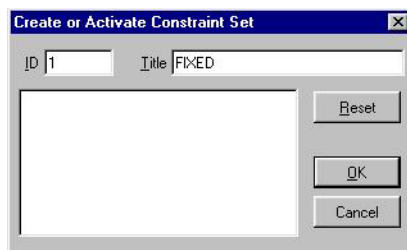




1.9 กดปุ่ม Ctrl + Q ที่คีย์บอร์ด
กดที่ Node → Done

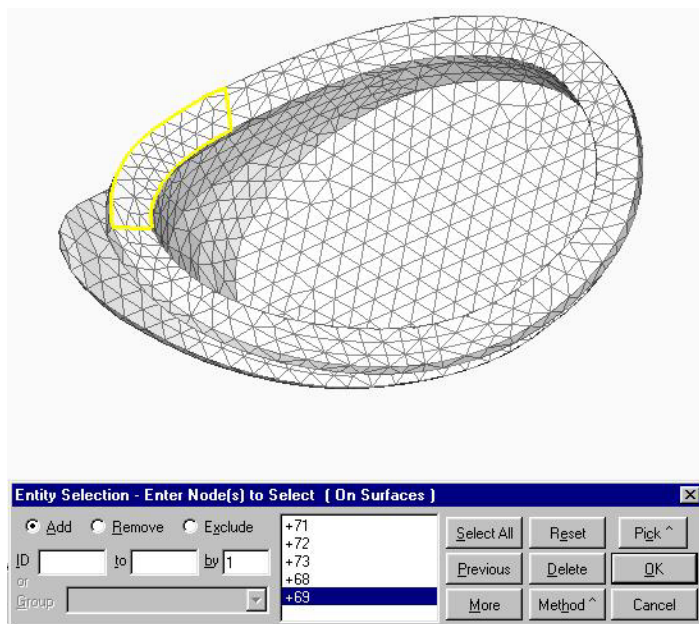


1.10 กดที่ Model → Constraint → Nodal
พิมพ์ Fixed ในช่อง Title แล้วกด OK

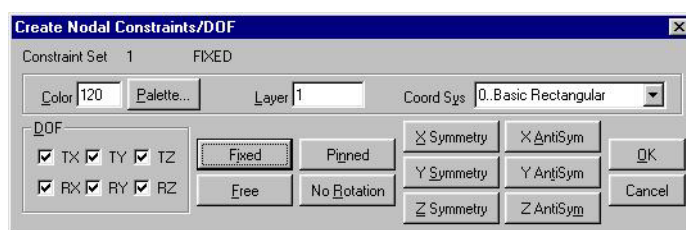


กด Method ^ → on Surface

เลือก Surface 68, 69, 70, 71, 72 และ 73 แล้วกด OK

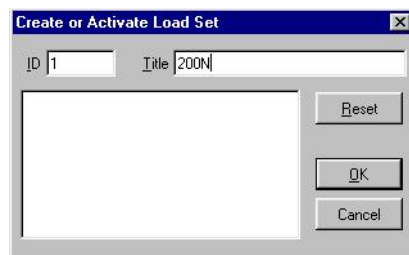


กด Fixed → OK → Cancel

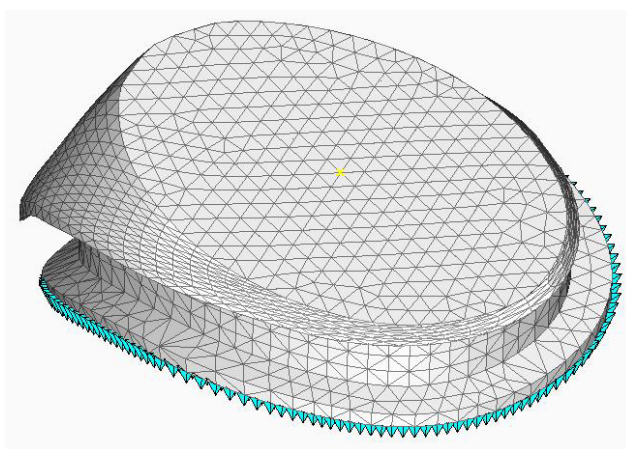


1.11 กดที่ Model → Load → Nodal

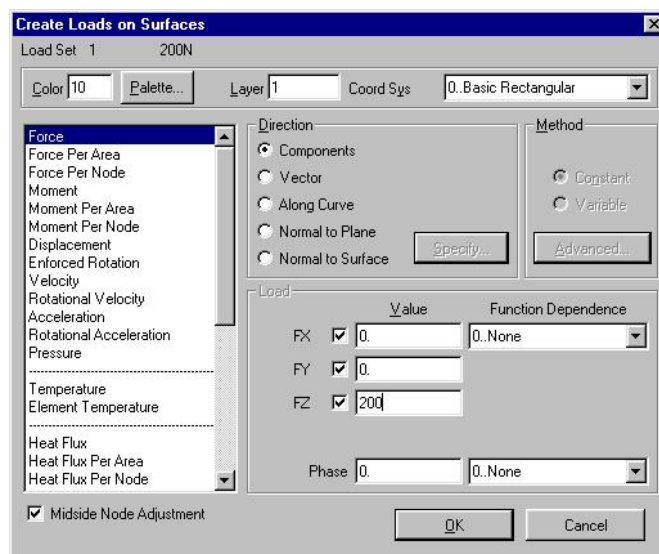
1.11.1 พิมพ์ 200N ในช่อง Ititle แล้วกด OK



1.11.2 เลือก Node 1834 แล้วกด OK



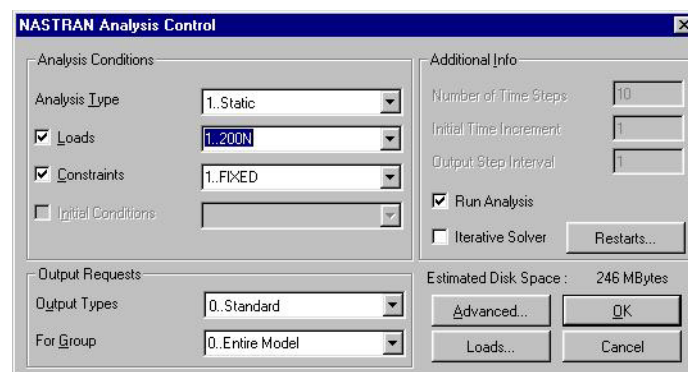
1.11.3 พิมพ์ 200 ในช่อง FZ → OK → Cancel



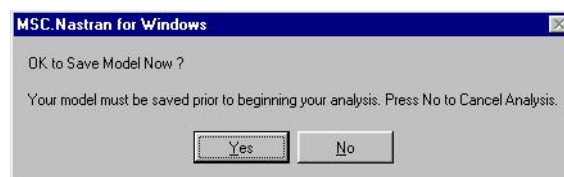
2. ขั้นตอน Processing

2.1 กดที่ Eile → Analyze

กด OK



กด Yes แล้วตั้งชื่อ File และเลือก Folder สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูล → Save



2.2 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที

กด Continue

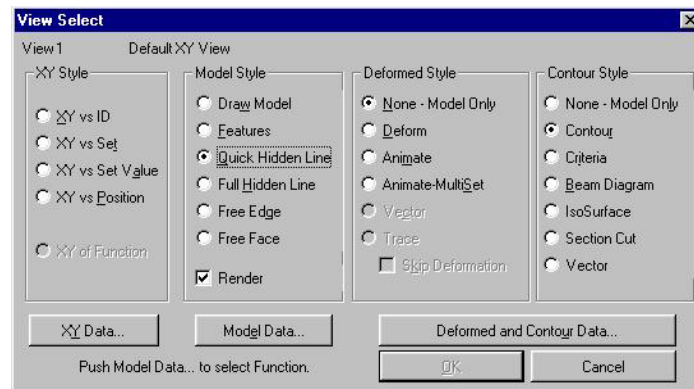


2.3 ทำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยเปลี่ยน Load Set ไปเรื่อยๆจนครบทุก Set

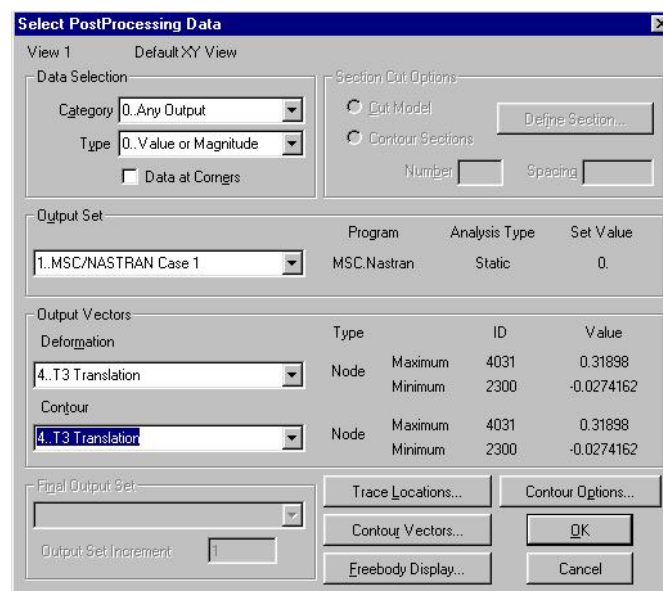
3. ขั้นตอน Post Processing

2.1 กด View → Select

กด Deformed and Contour Data



- 3.1.1 เลือก 1..MSC/NASTRAN Case 1 ในช่อง Output Set (ผลลัพธ์ ของ Load set 1)
- 3.1.2 เลือก 4..T3 Translation ในช่อง Deformation (ดูผลการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z)
- 3.1.3 เลือก 4..T3 Translation ในช่อง Contour (ดูผลการกระจายการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z)

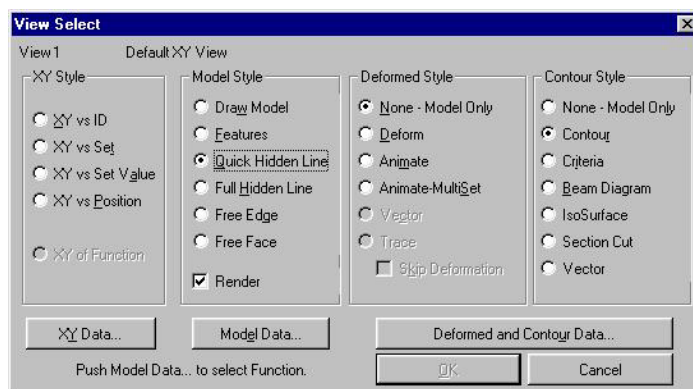


กด OK → OK

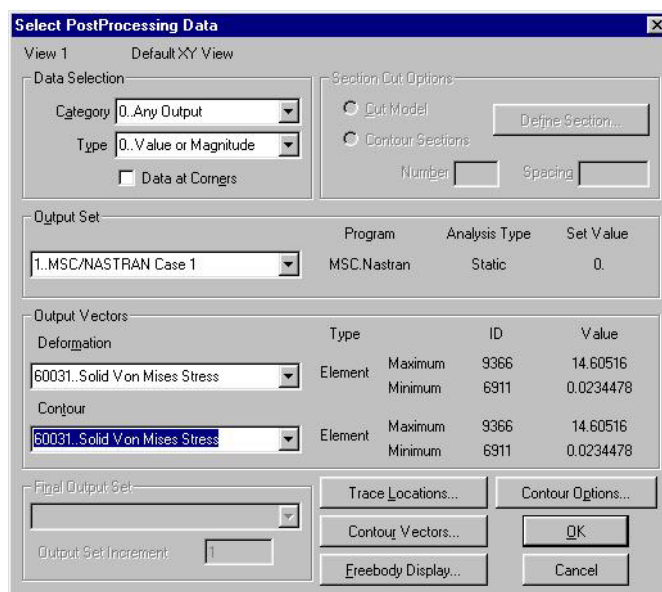
3.2 กรณีต้องการดูการกระจายของความเค้น

กด View → Select

กด Deformed and Contour Data



- 3.2.1 เลือก 1..MSC/NASTRAN Case 1 ในช่อง Output Set (ผลลัพธ์ ของ Load set 1)
- 3.2.2 เลือก 60031..Solid Von mises Stress ในช่อง Deformation
- 3.2.3 เลือก 60031.. Solid Von mises Stress ในช่อง Contour



กด OK → OK