

การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลอง
แบบทางคอมพิวเตอร์
เพื่องานออกแบบและปรับปรุง
ชิ้นส่วนและเครื่องจักร

เสกฐาวรธ สุธริตภว้ตสกุต

Finite Element Method

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เป็นส่วนหนึ่งของ

เทคโนโลยีการคำนวณ

Computational Technology

FINITE ELEMENT METHOD

Example of Plate with Circular Cutout:



FINITE ELEMENT METHOD

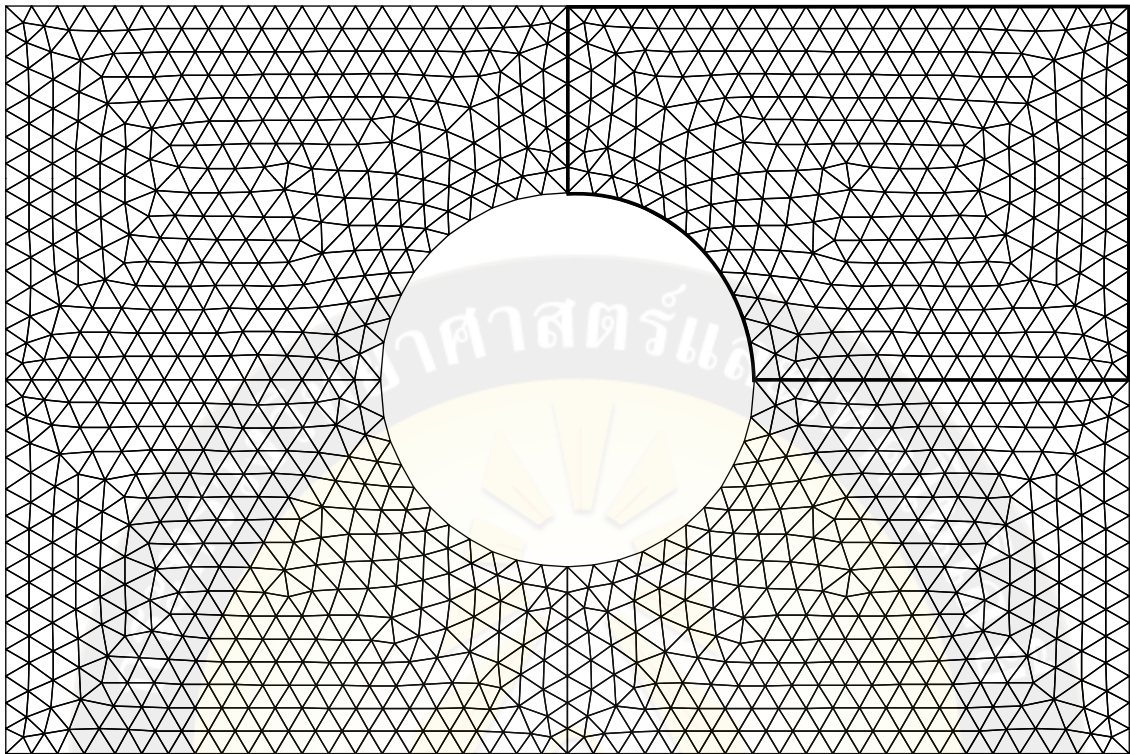
Analysis Choices for Plate Solution:

- Use experience from similar problems
- Look at engineering design handbook
- Solve set of equilibrium PDE,

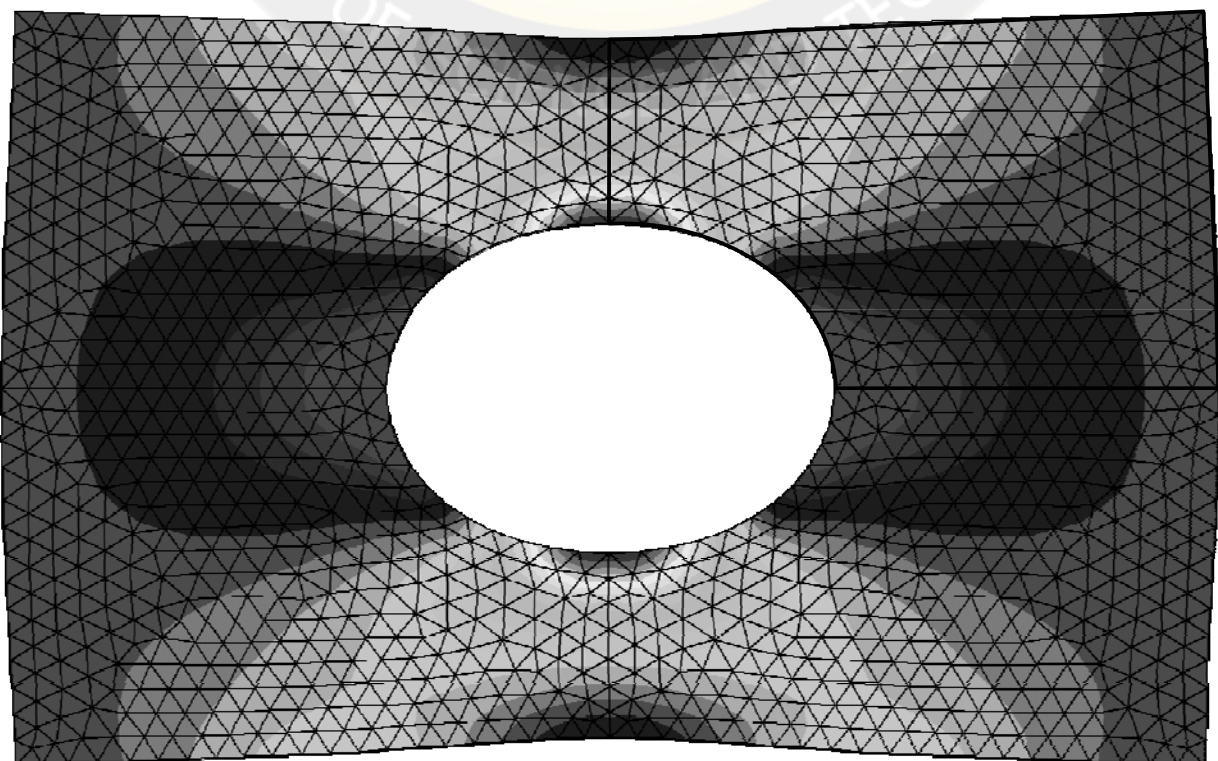
$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0$$

- Use the finite element method

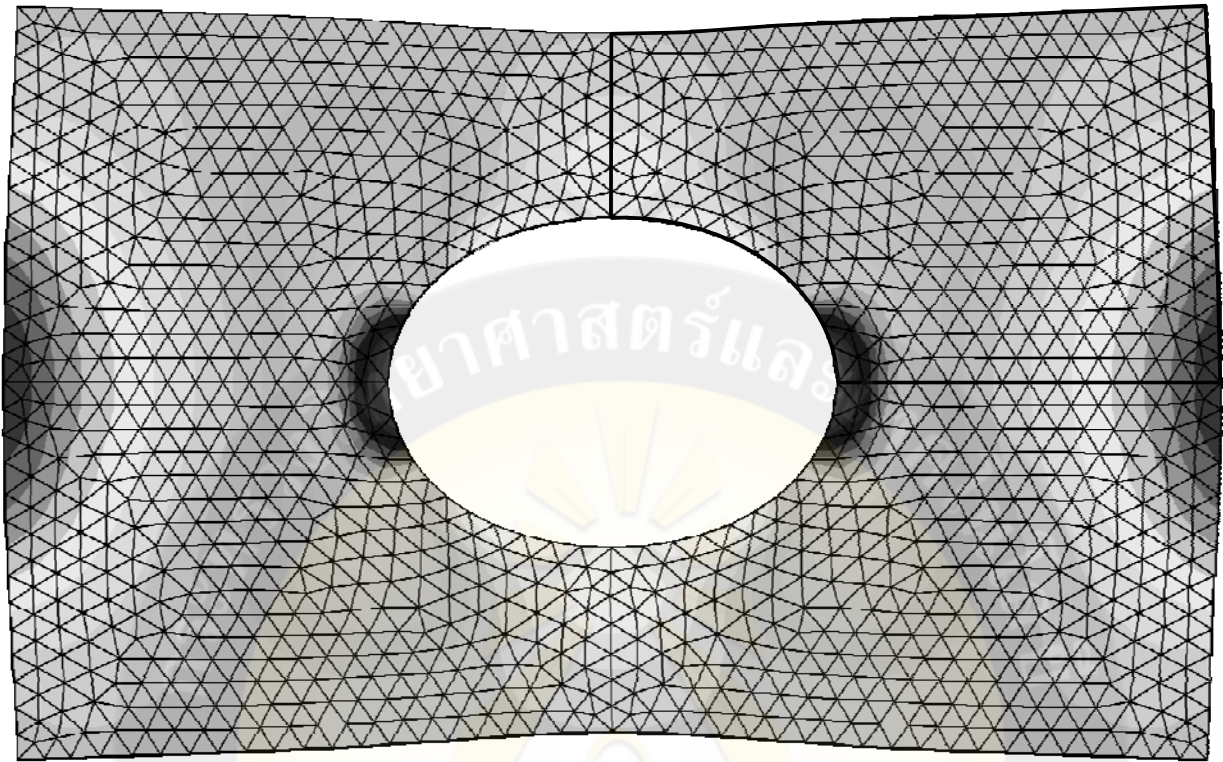
FINITE ELEMENT MODEL



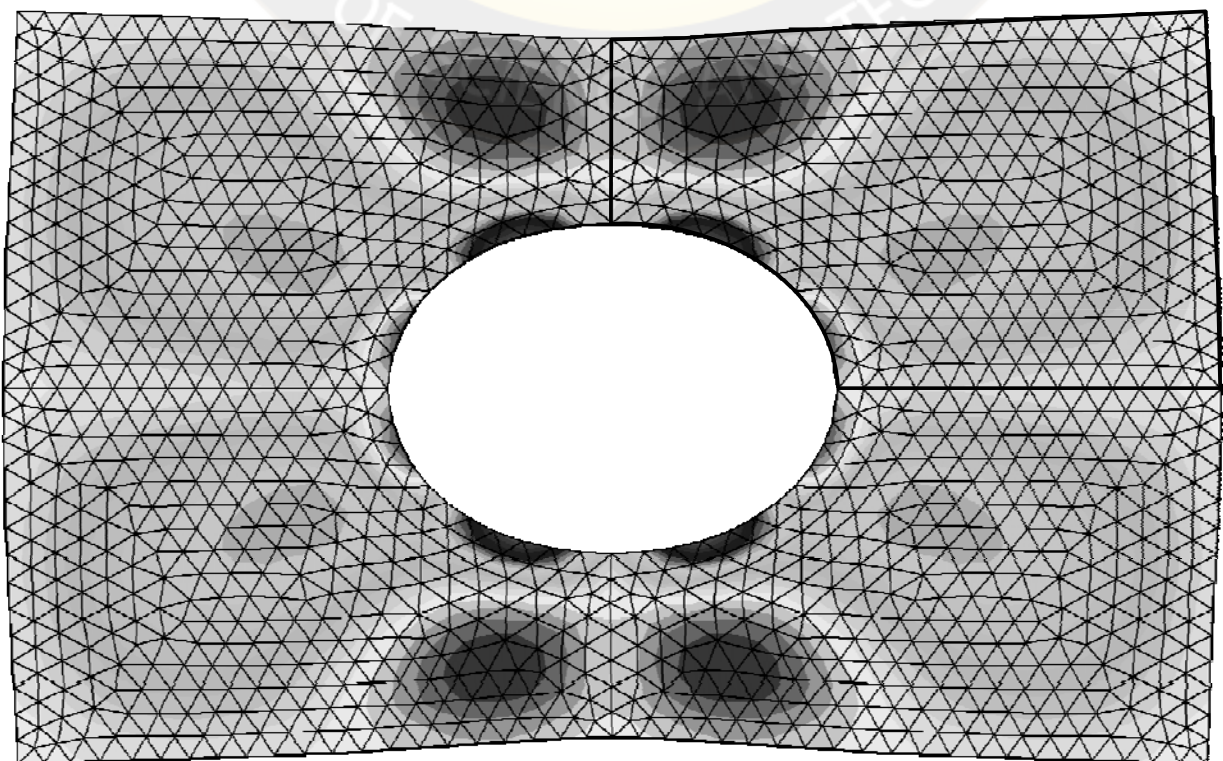
σ_x ON DEFORMED PLATE



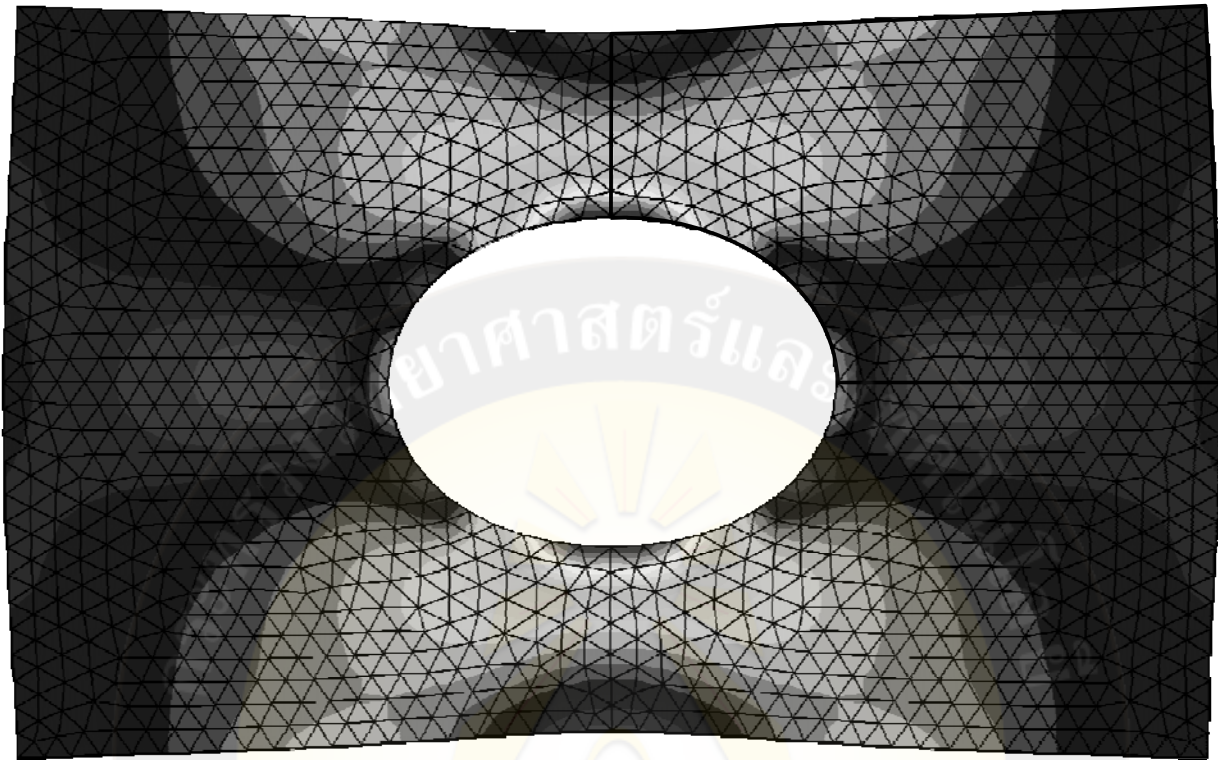
σ_y ON DEFORMED PLATE



τ_{xy} ON DEFORMED PLATE

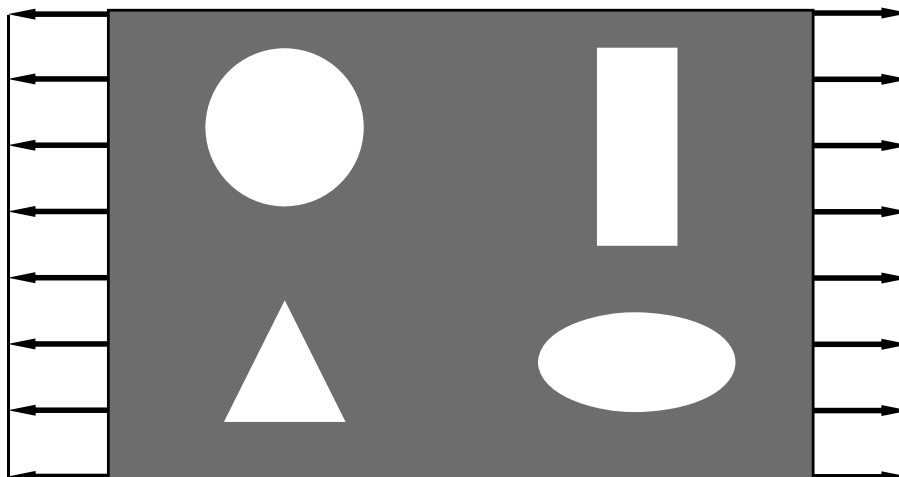


$\sigma_{\text{Von Mises}}$ ON DEFORMED PLATE

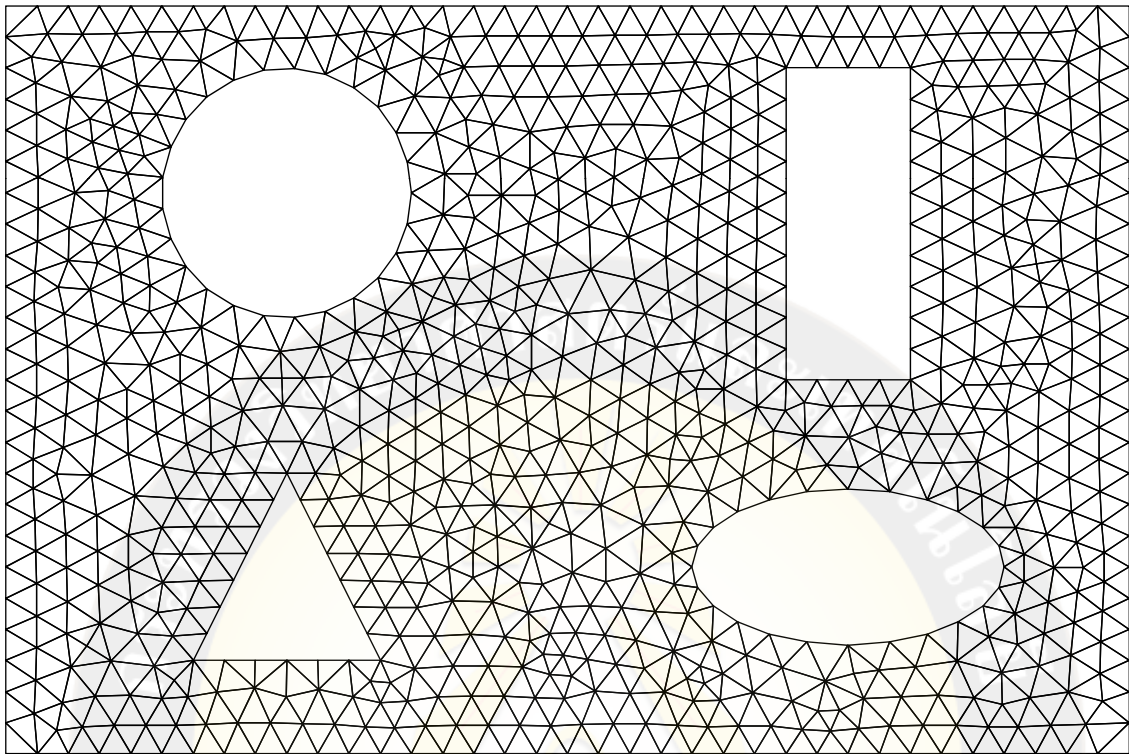


FINITE ELEMENT METHOD

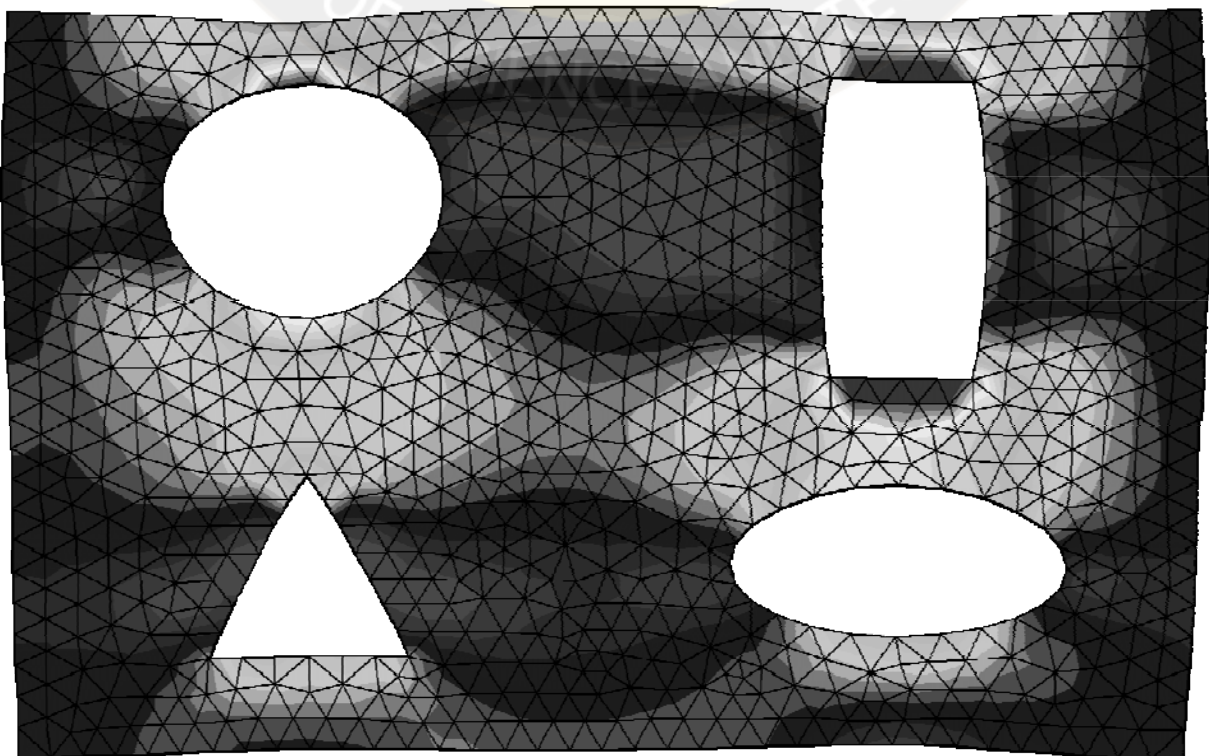
Plate with more complex geometry:



FINITE ELEMENT MODEL



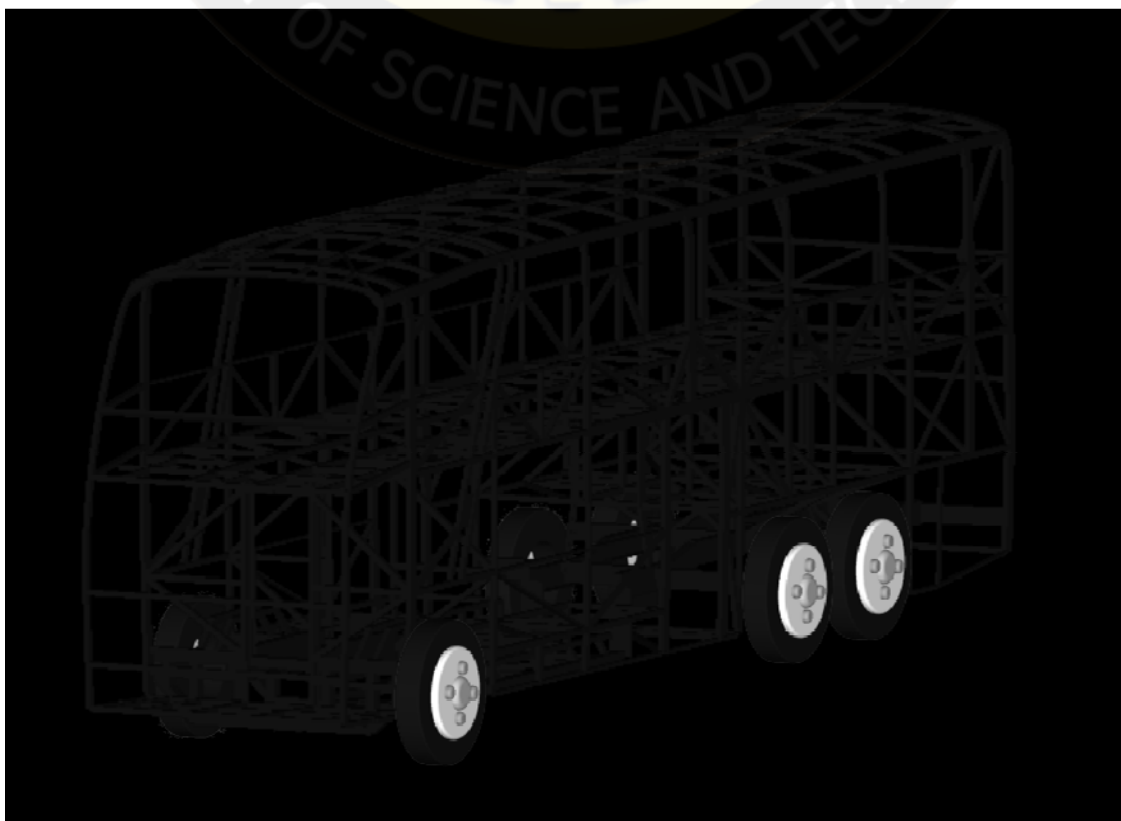
$\sigma_{\text{Von Mises}}$ ON DEFORMED PLATE



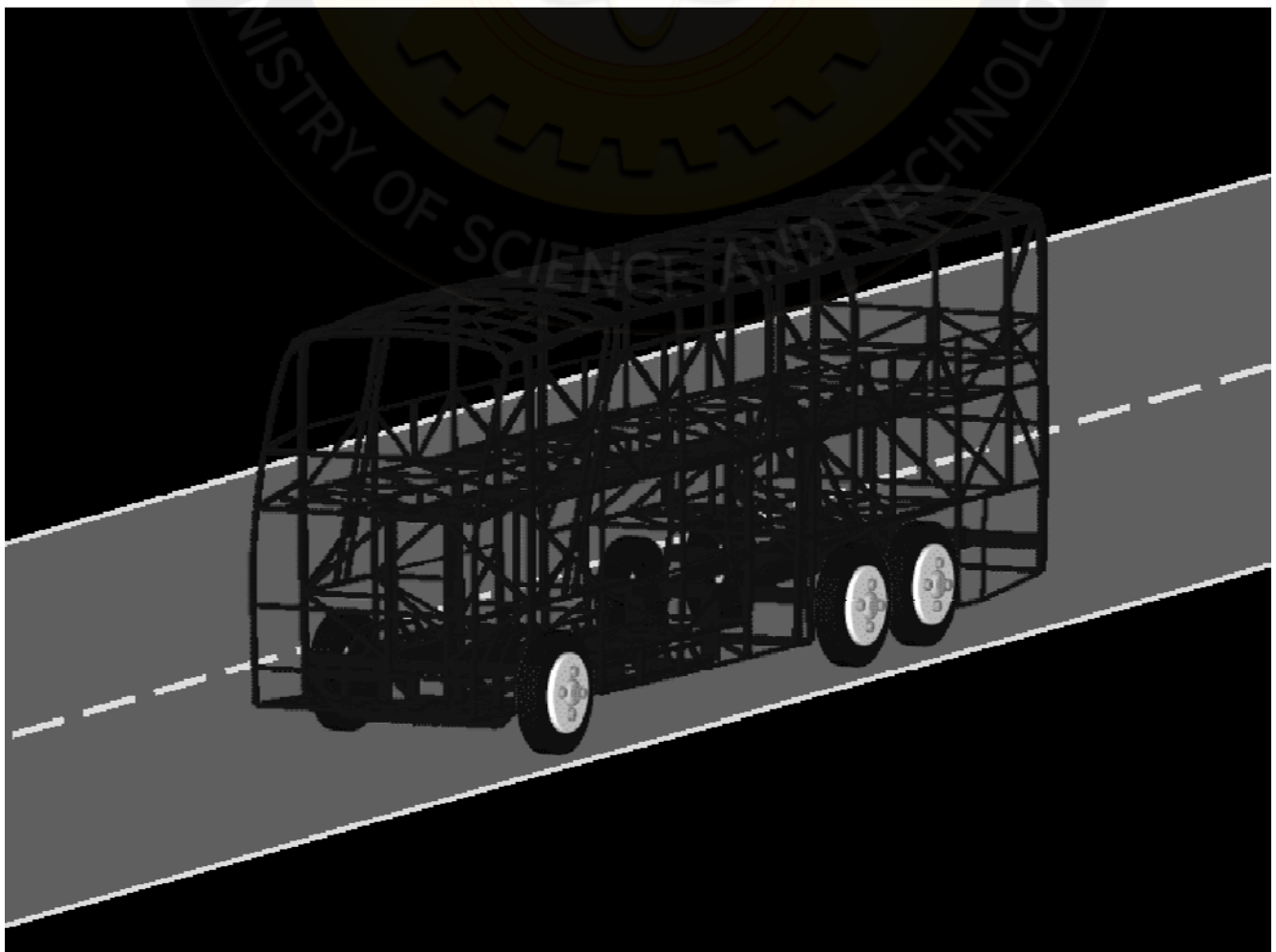
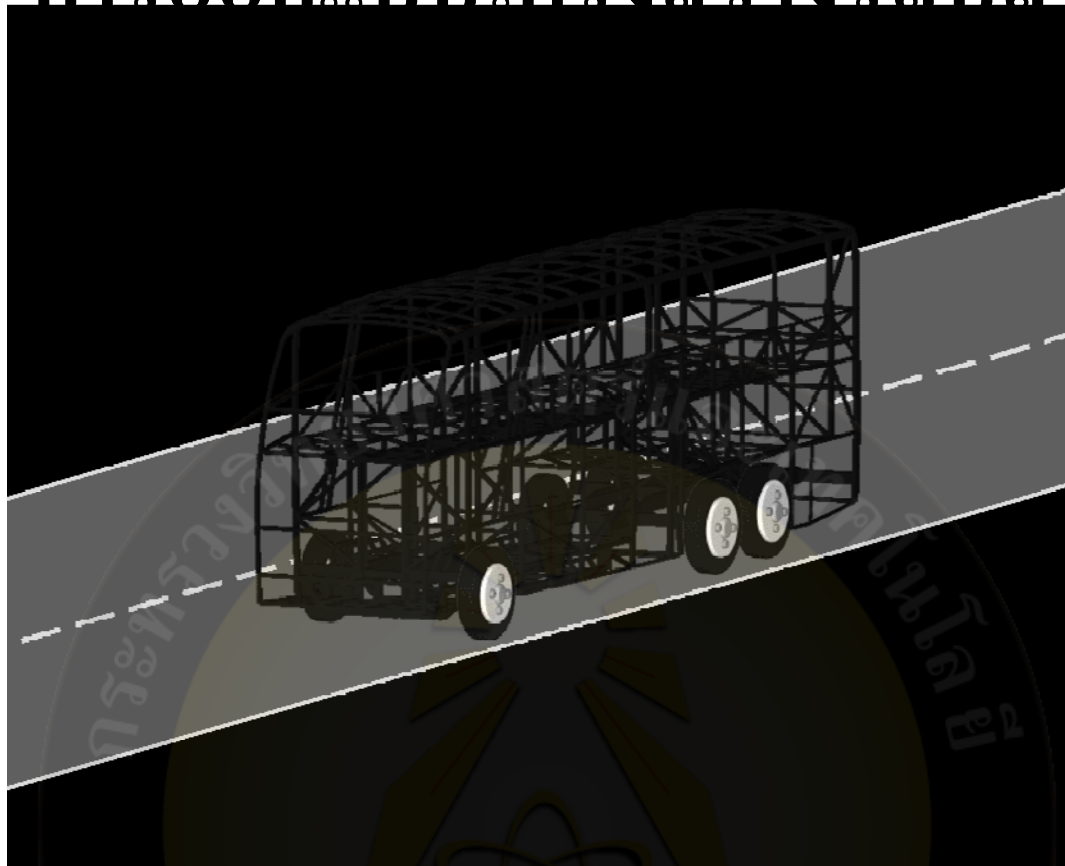
เทคโนโลยีการคำนวณ

**ความสำคัญและความจำเป็น
ของเทคโนโลยีนี้
ในโลกปัจจุบัน**

การออกแบบโครงสร้างรถบัส



การออกแบบโครงสร้างรถไถ

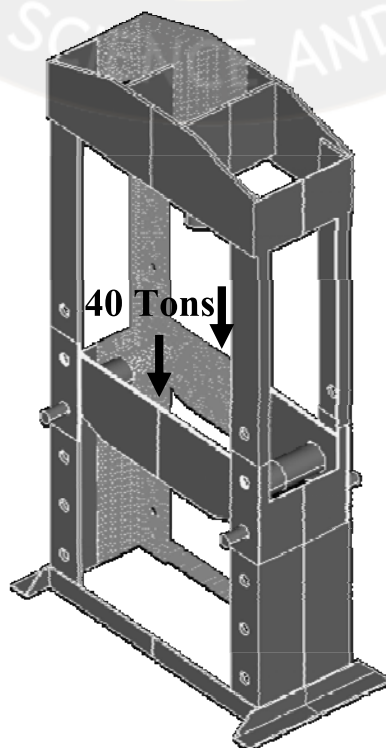


การออกแบบโครงสร้างรถบัส

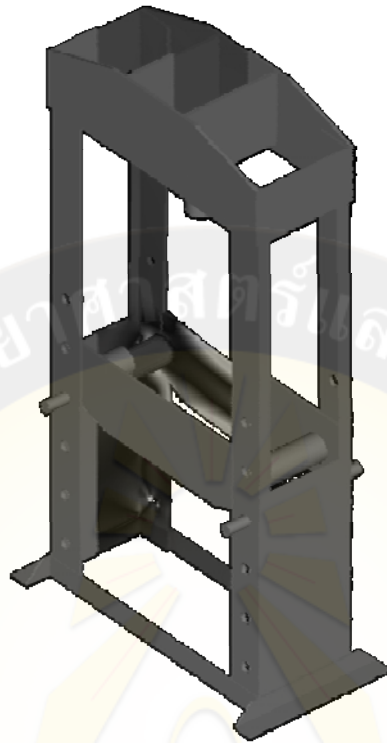
ประโยชน์:

- ลดแรงกระทำ
- หลีกเลี่ยงการลอบฝังลอบถูก

การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัด



ความเค้นที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน



การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัด ประโยชน์:

- เห็นปรากฏการณ์โดยตรงบนหน้าจอ
- ลดน้ำหนัก ลดปริมาณวัสดุ
- ลดเวลาการออกแบบ
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง



การออกแบบฐานปืนใหญ่บนรถบรรทุก



Howitzer



Firing Test



Analysis

การออกแบบฐานปืนใหญ่บนรถบรรทุก



- เป้าหมาย:
- ใต้ฐานปืนที่ใช้จริง
 - ลดการคาดเดาในการออกแบบ
 - ลดน้ำหนัก
 - เกิดฐานบนที่มีประสิทธิภาพแข็งแรง

อุณหภูมิในกระบวนการทำความร้อน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



กระบวนการทำความร้อน

ประโยชน์

- เห็นระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น
- ปรับเปลี่ยนรูปแบบได้รวดเร็ว
- ใช้ปริมาณวัสดุน้อยลง
- ได้ครีบที่ระบายความร้อนได้ดี

criบระบายความร้อน

ประโยชน์:

- เห็นระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น
- ปรับเปลี่ยนรูปแบบได้รวดเร็ว
- ใช้ปริมาณวัสดุน้อยลง
- ได้criบที่ระบายความร้อนได้ดี

เทคโนโลยีการคำนวณ

คืออะไร ?

เทคโนโลยีการคำนวณ

การวิเคราะห์และออกแบบ
งานทางวิศวกรรมในปัจจุบัน
ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วย
การใช้ CAE (Computer-Aided
Engineering)

Computer-Aided Engineering

- แตกต่างจาก CAD และ CAM ที่เราพบเห็นในปัจจุบันเป็นอย่างมาก
- CAE วิเคราะห์พฤติกรรมผลิตภัณฑ์
 - ทราบปรากฏการณ์โดยชัดเจน
 - เป็นผลสู่การลดวัสดุ ค่าใช้จ่าย
 - หลีกเลี่ยงการเดา ประหยัดเวลา
 - ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูงสุด

Computer-Aided Engineering

- ต่างชาติวิเคราะห์ปัญหาด้วย CAE
- จำนวนบริษัทในต่างประเทศ เช่น:
 - อเมริกา 120 บริษัท
 - จีน 40 บริษัท
 - อินเดีย 70 บริษัท
 - สิงคโปร์ 10 บริษัทเป็นต้น

CAE ในประเทศไทย

- ยังไม่มีบริษัทที่เป็นของคนไทย
- งานออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ จำเป็นต้องแนบผลวิเคราะห์ไปด้วย
- ค่าใช้จ่ายสูง หากให้ บ. ต่างชาติทำ
- บ. เอกชนในภาคอุตสาหกรรมไทยจำนวนมาก ขอความช่วยเหลือมาอย่างสวทช. ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา

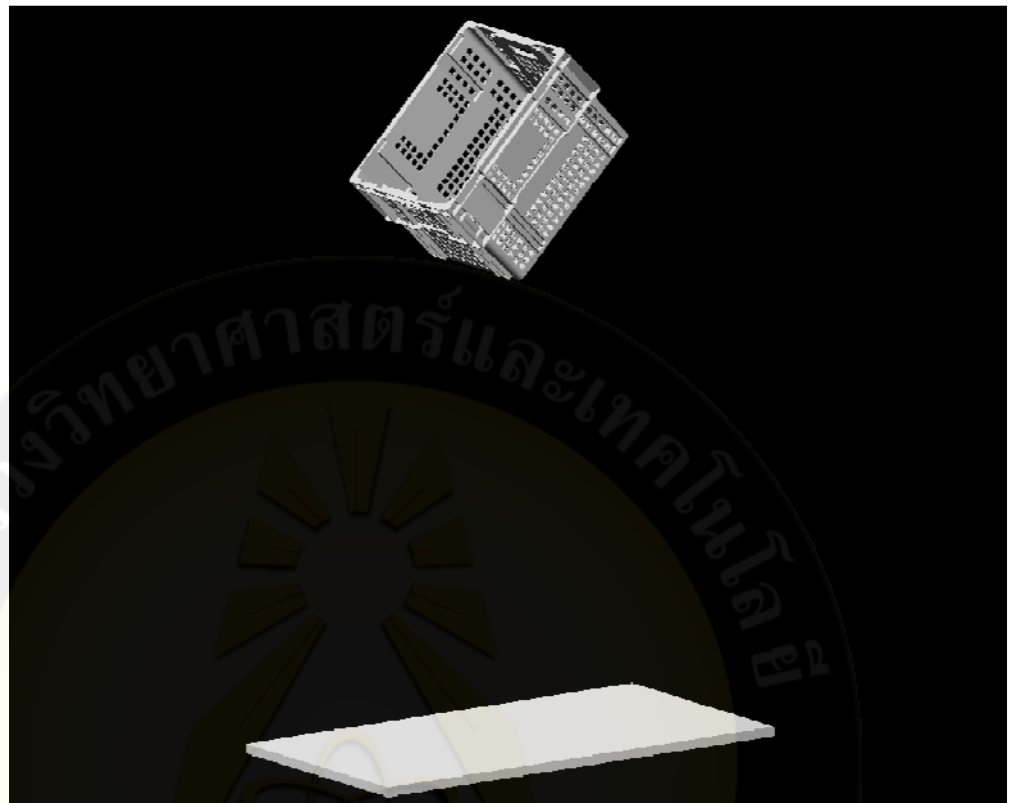
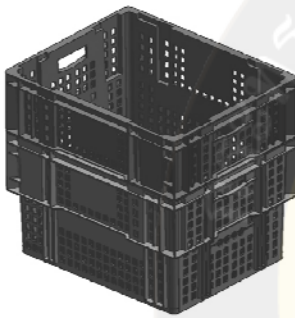
CAD/CAE Laboratory

ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ช่วย
ในการออกแบบ
(0-2564-6500 ต่อ 4389)

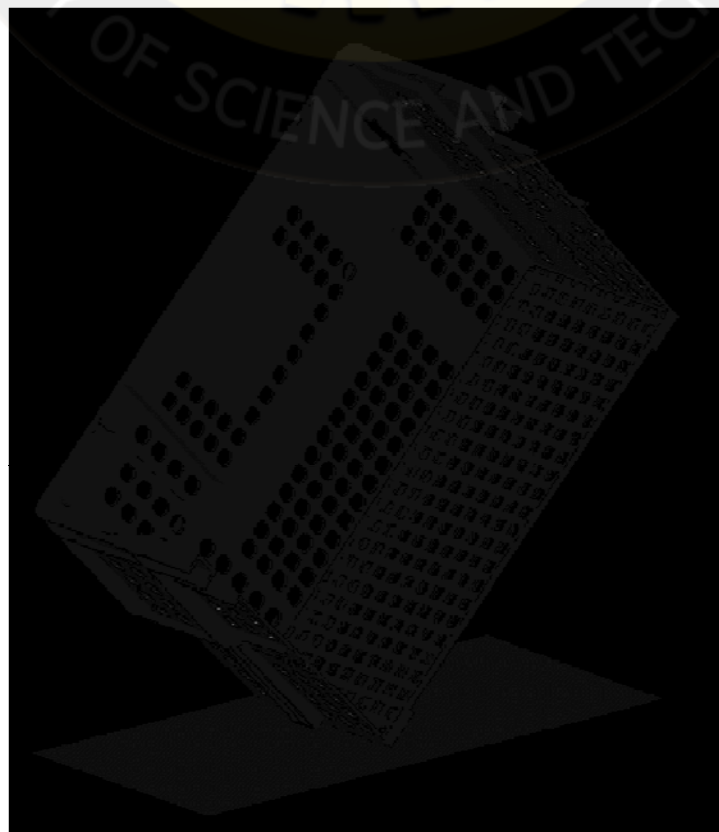


และอื่นๆ รวมประมาณกว่า 300 บริษัท

ความแข็งแรงตะกร้าพลาสติก



การเลี้ยวรูปและความเค้น



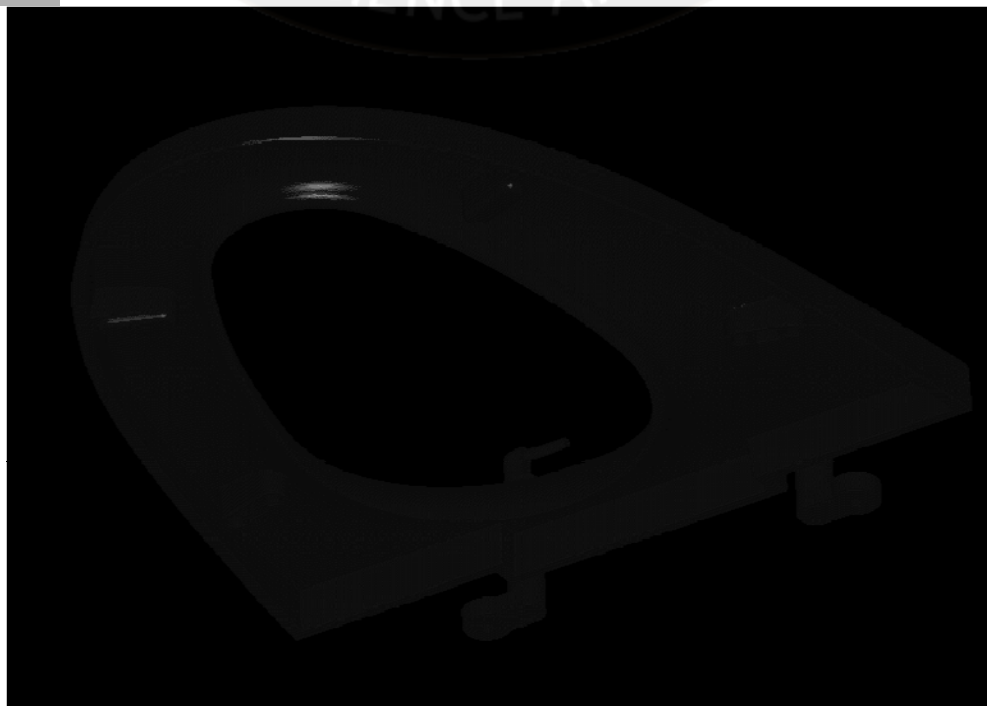
DROP TEST OF TOILET SEAT



DROP TEST OF TOILET SEAT



(At the time of impact)



DROP TEST OF TOILET SEAT



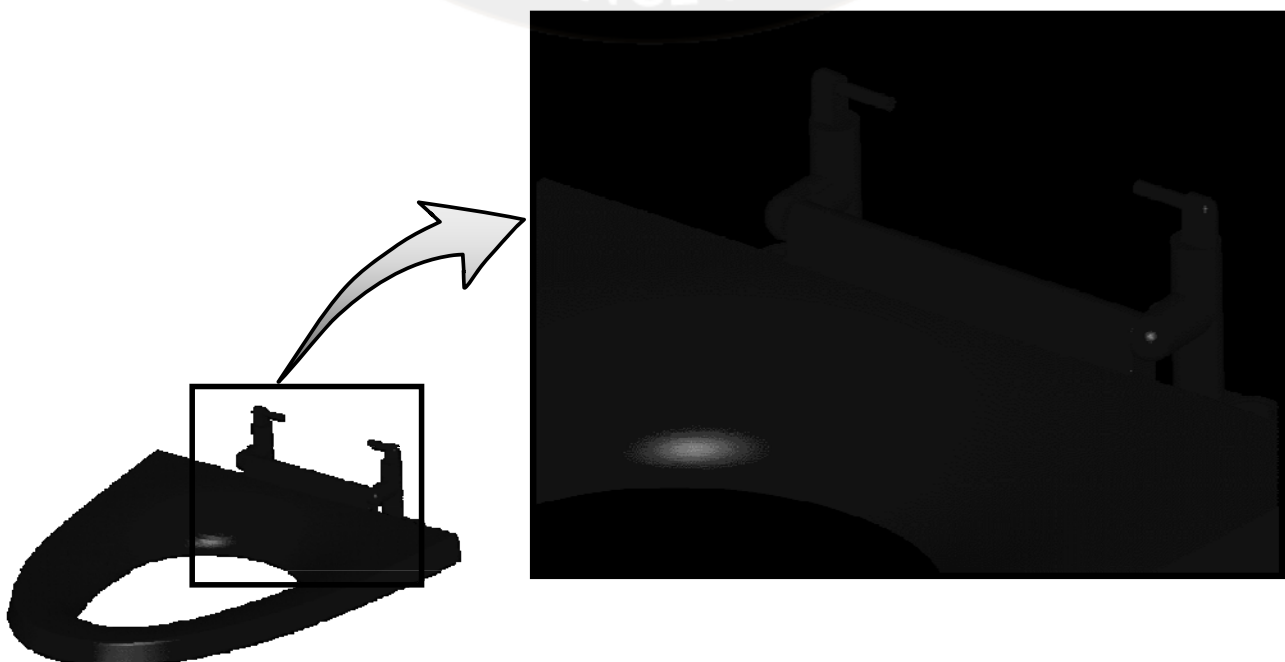
(At the time of impact)



DROP TEST OF TOILET SEAT



(At the time of impact)

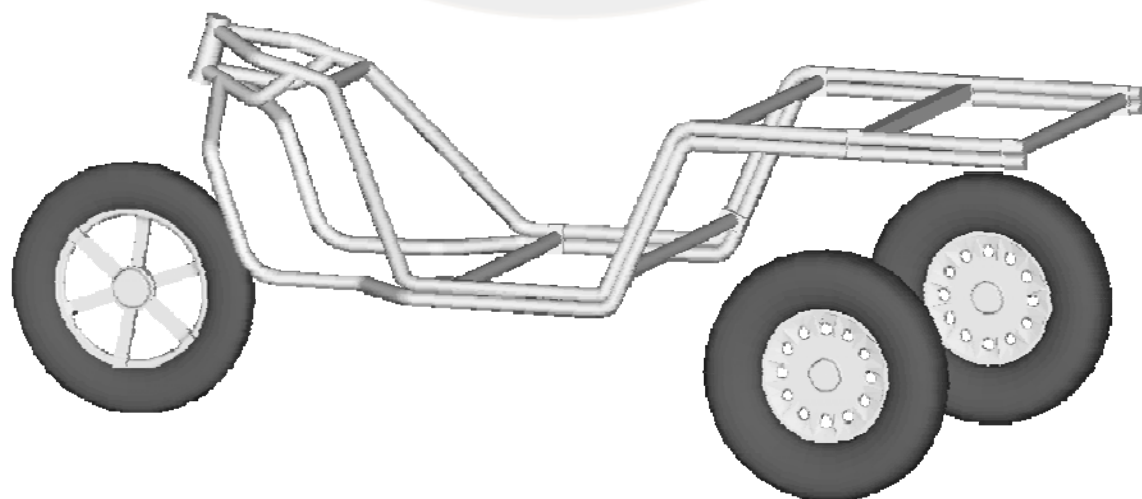
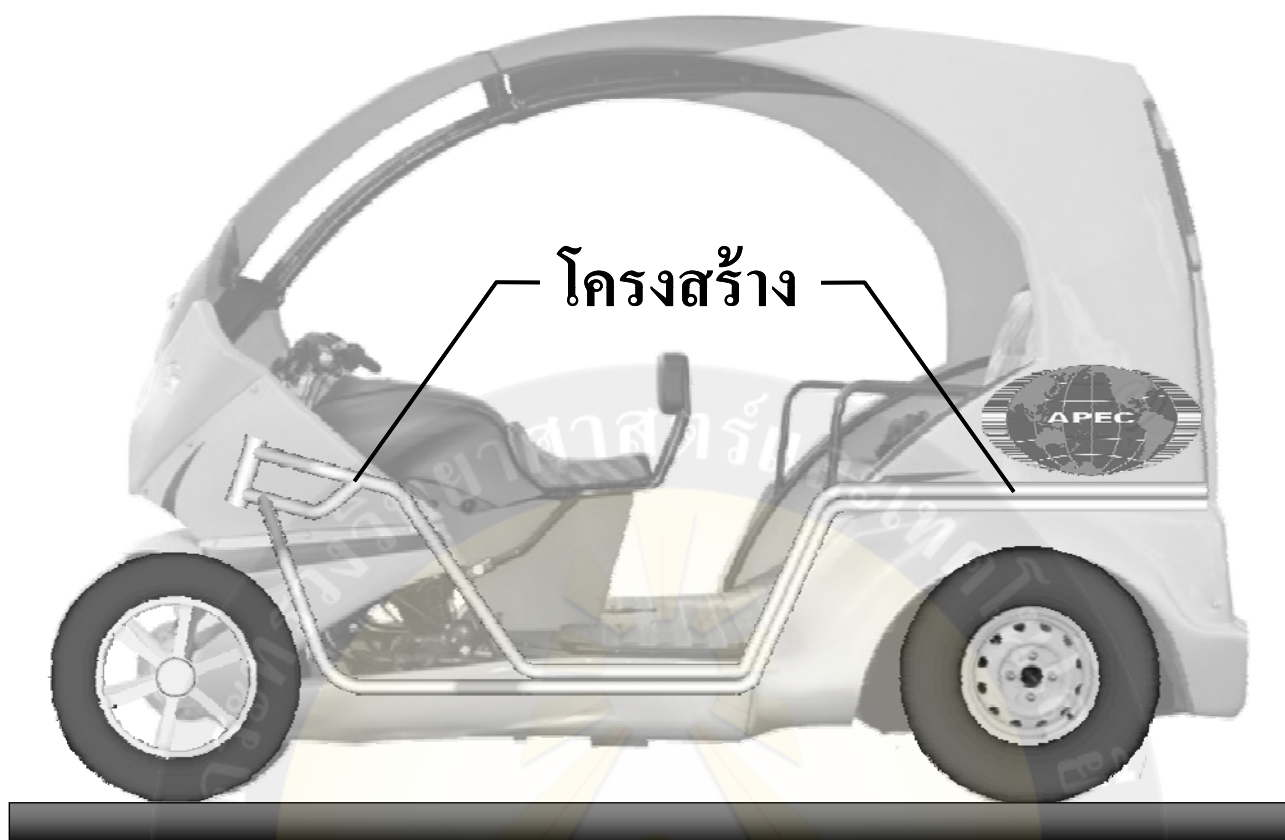


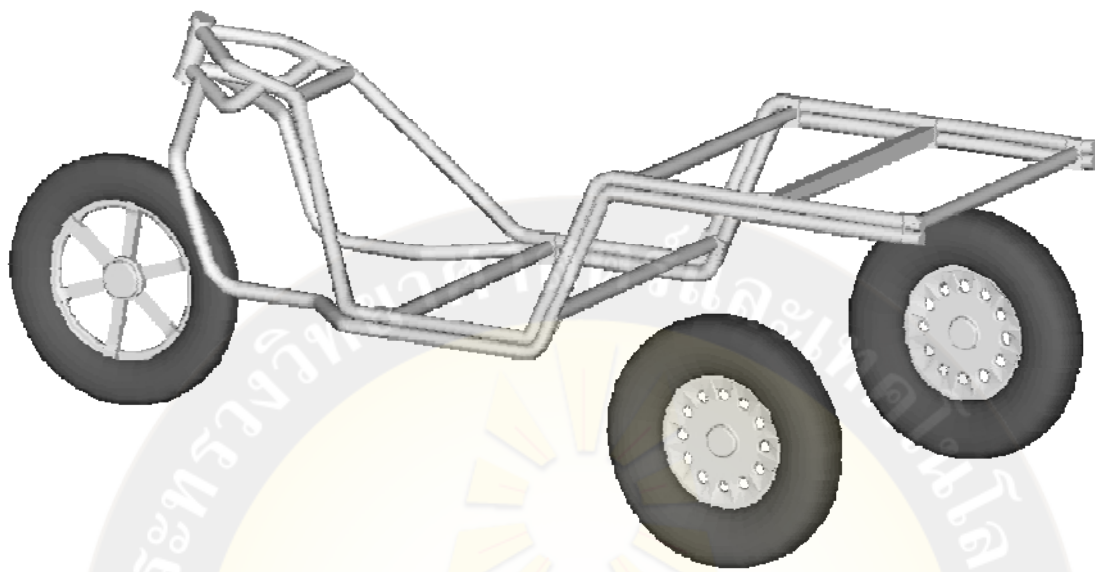
ตะกร้า & Toilet Seat



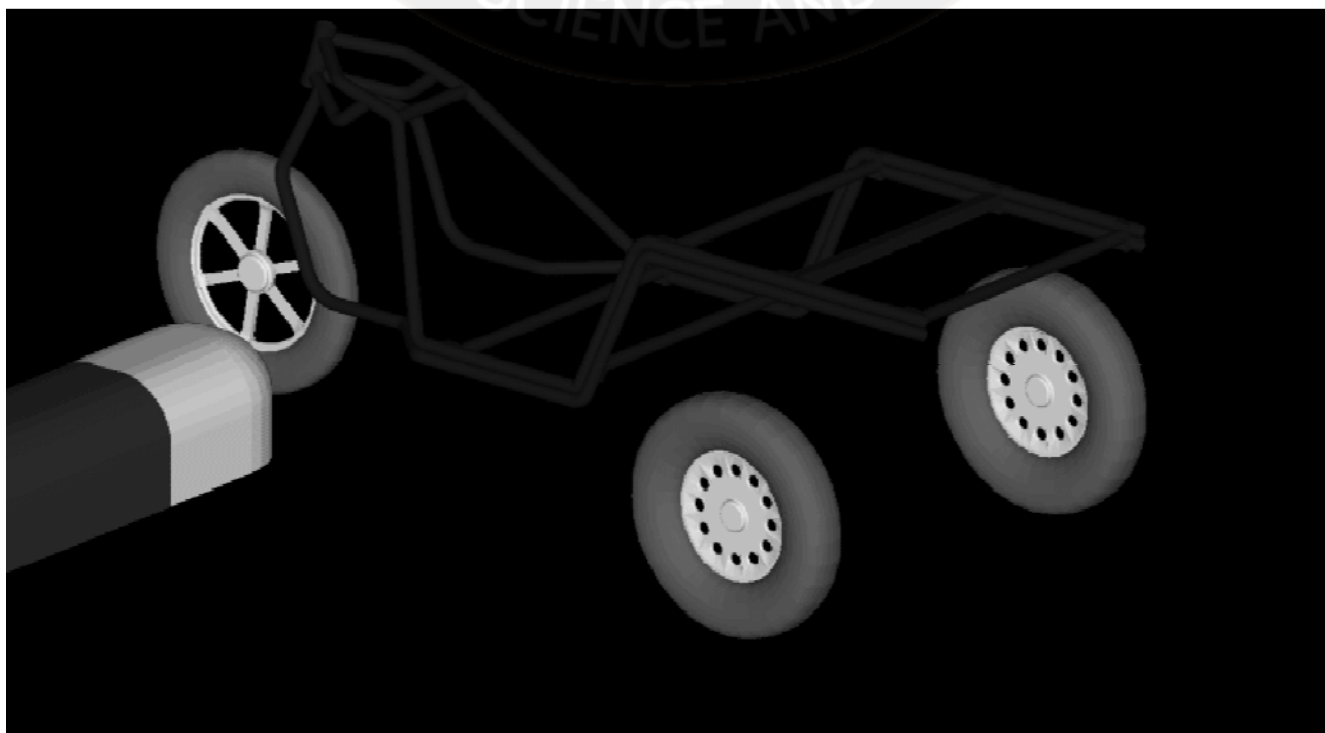
- ประสิทธิภาพการประหยัดน้ำสูง
- ผลิตจากพลาสติกคุณภาพดี
- ผลิตจากพลาสติกที่มีความแข็งแรง







ความเค้นในโครงสร้าง

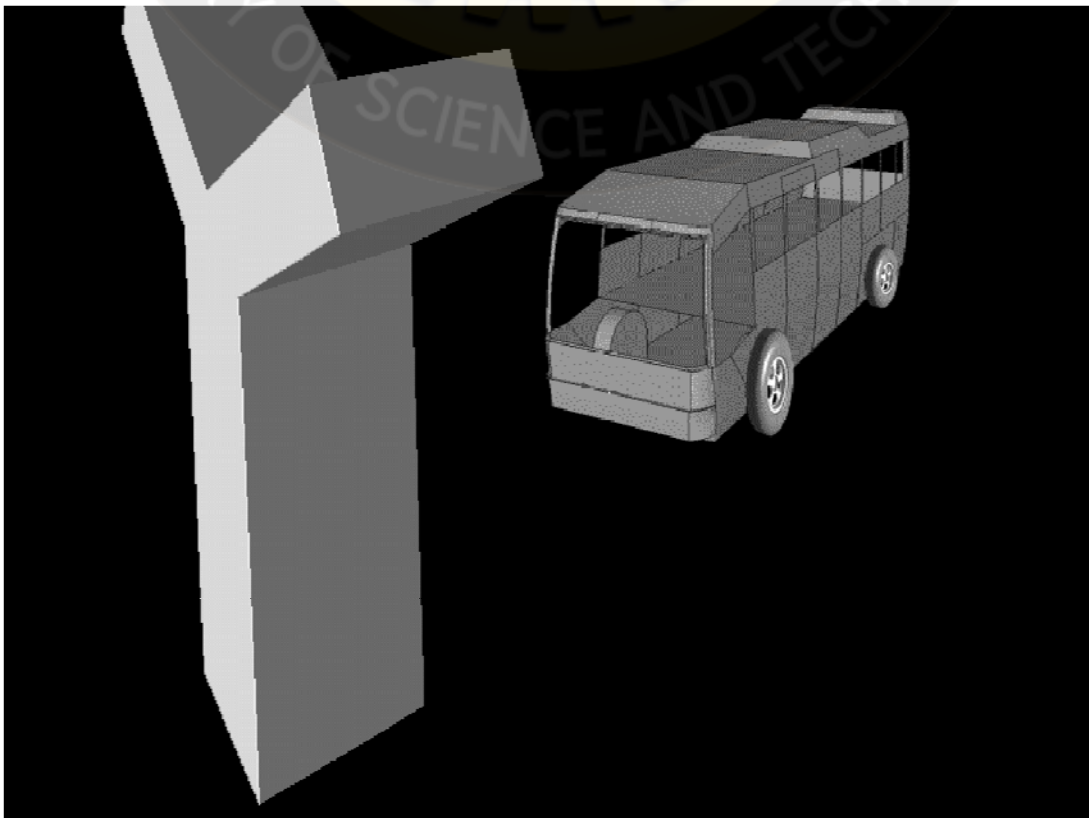


โครงสร้างรถไฟฟ้า

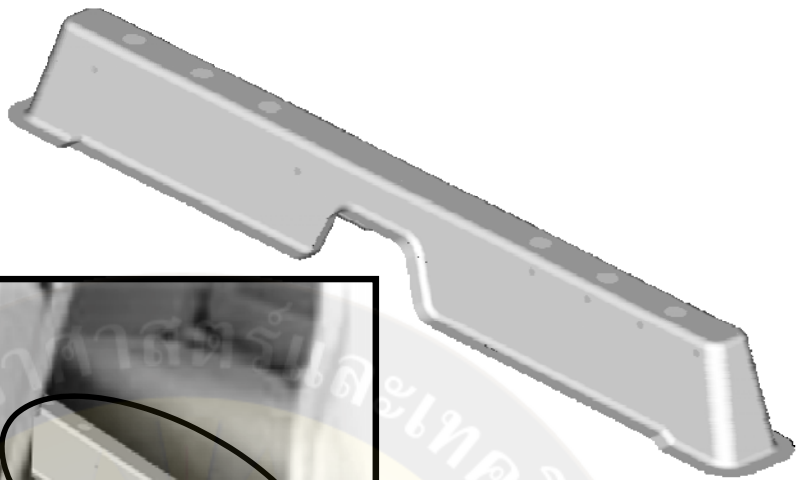
ประโยชน์:

- เทนตจากกฎการถ่วงโดยตรงบนหน้าจอ
- ลดน้ำหนักของรถประมาณร้อยละ
- ลดเวลาในการออกแบบ
- ได้โครงสร้างที่มีความแข็งแรง

การชนและยุบตัวของรถบัส



ฐานรองเบาะรถปีกอัฟ



ฐานรองเบาะรถปีกอัฟ



การขึ้นรูปฐานรองเบาะรถปิกอัพ^๓

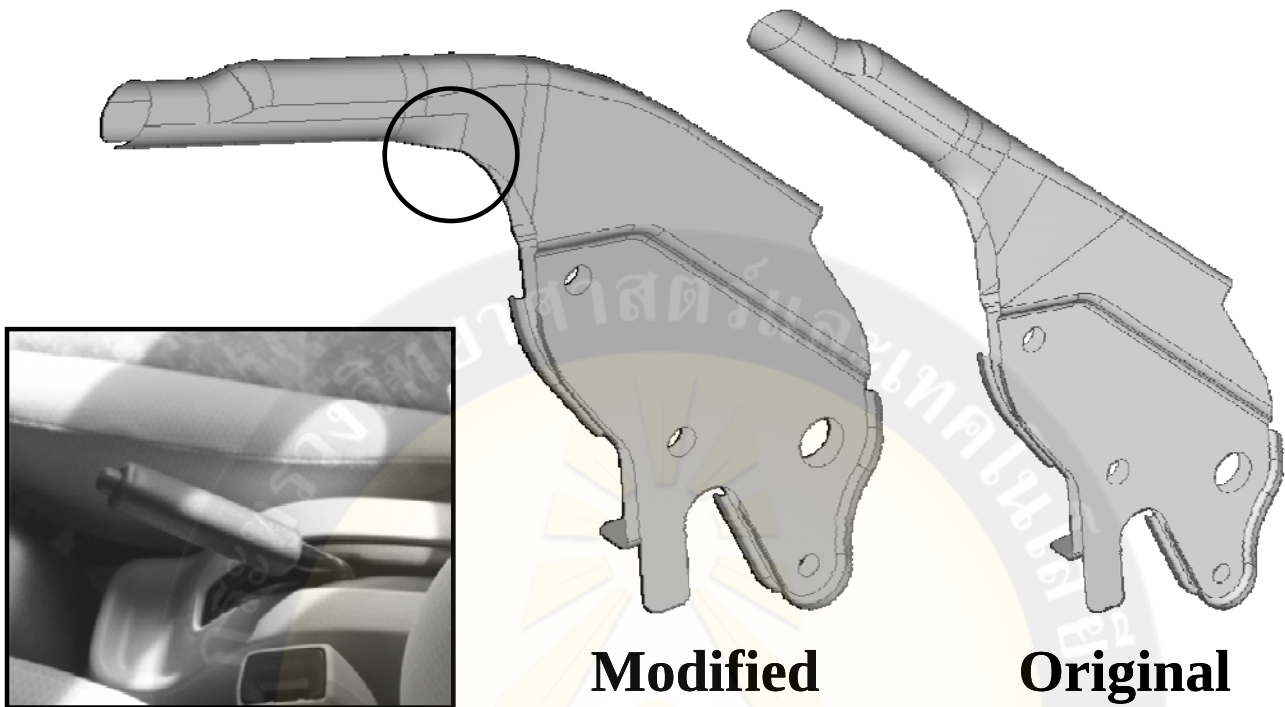


ฐานรองเบาะรถปิกอัพ^๓ ประโยชน์:

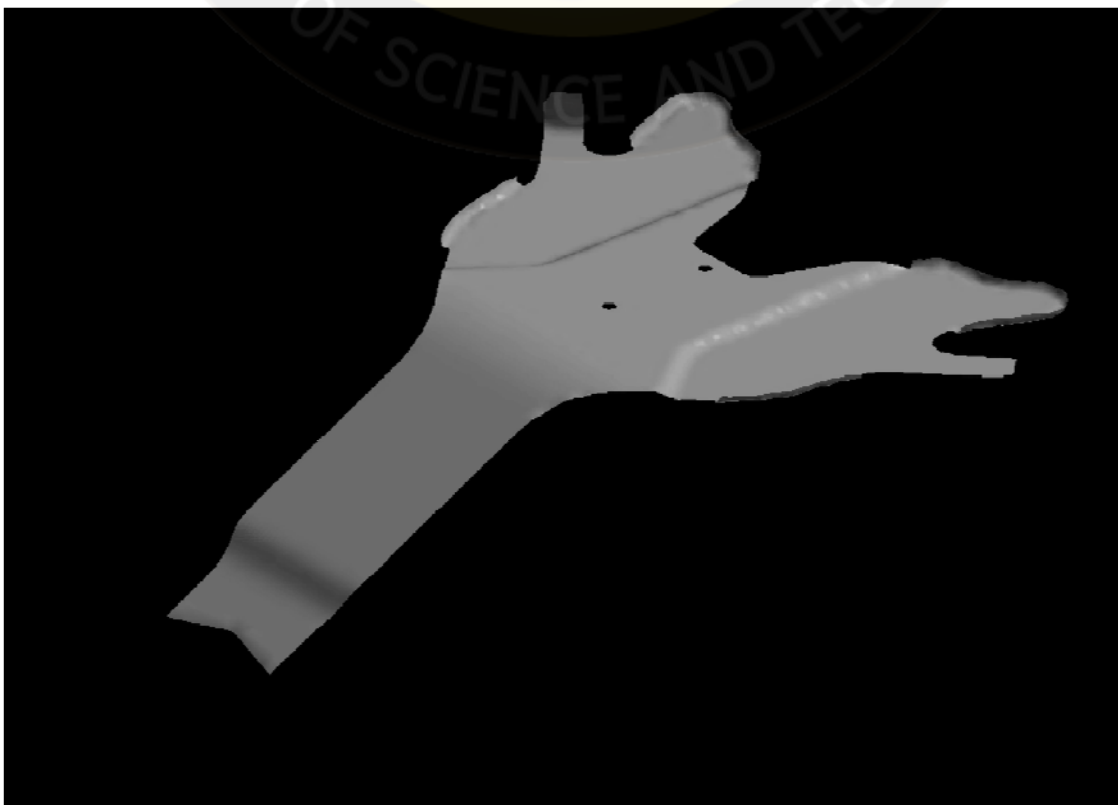
- ลดเวลา ลดการลองผิดลองถูก
- ลดการสูญเสียวัสดุแม่พิมพ์จากการคาดเดาแล้วใช้ไม่ได้
- เห็นภาพกฎการณ์ที่เกิดขึ้นขณะปั๊มขึ้นรูปโดยละเอียด

APR 26 2002

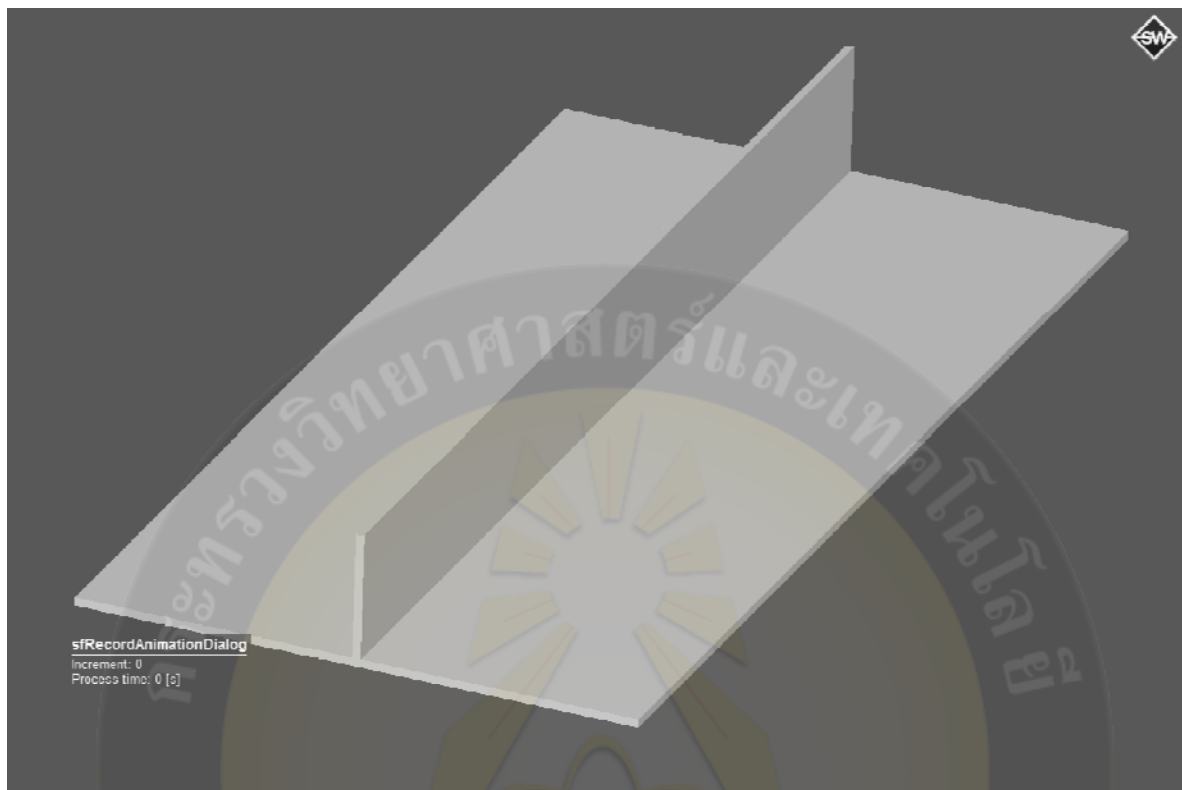
การขึ้นรูปเบรคมือรถฮอนด้า



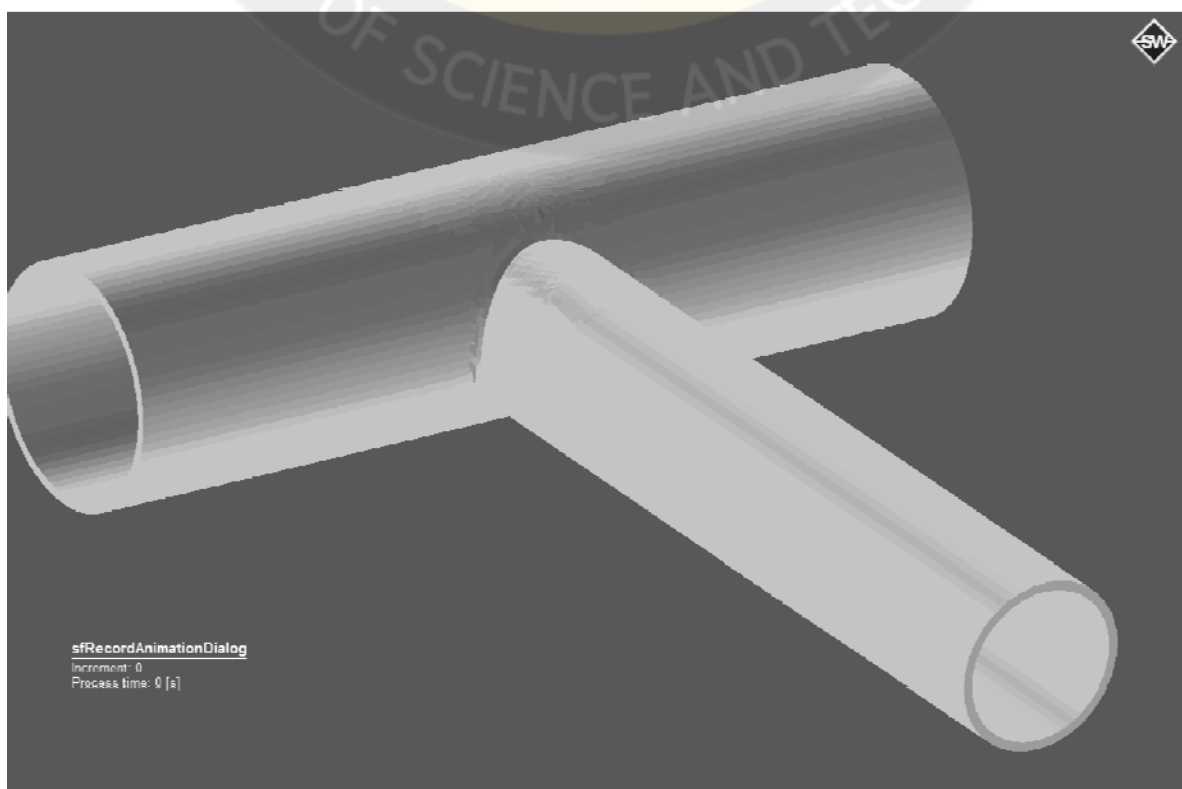
การขึ้นรูปเบรคมือรถฮอนด้า



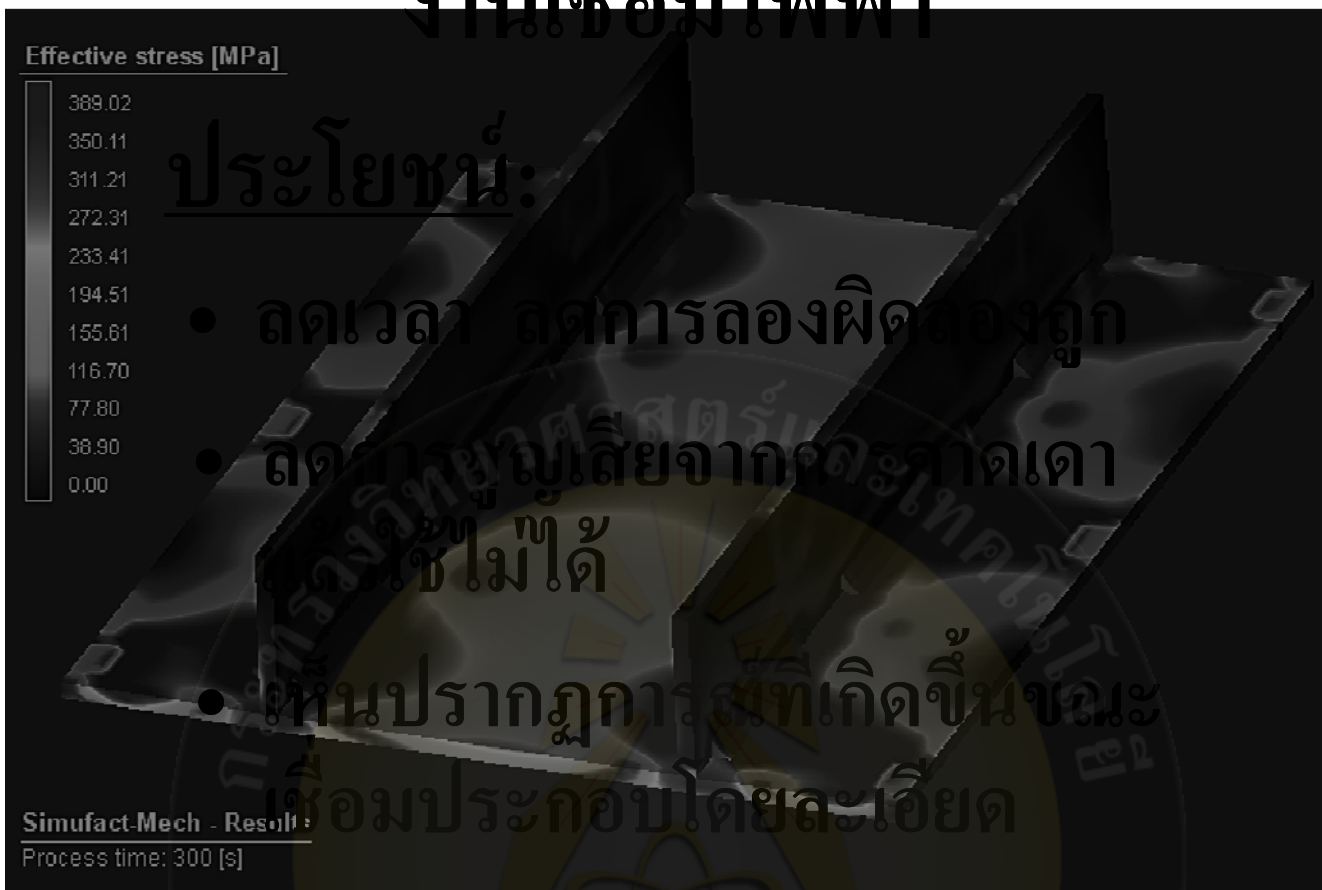
งานเชื่อมไฟฟ้า



งานเชื่อมไฟฟ้า



งานเชื่อมไฟฟ้า



สถานะอากาศรบขีปนาวุธแอมแรม



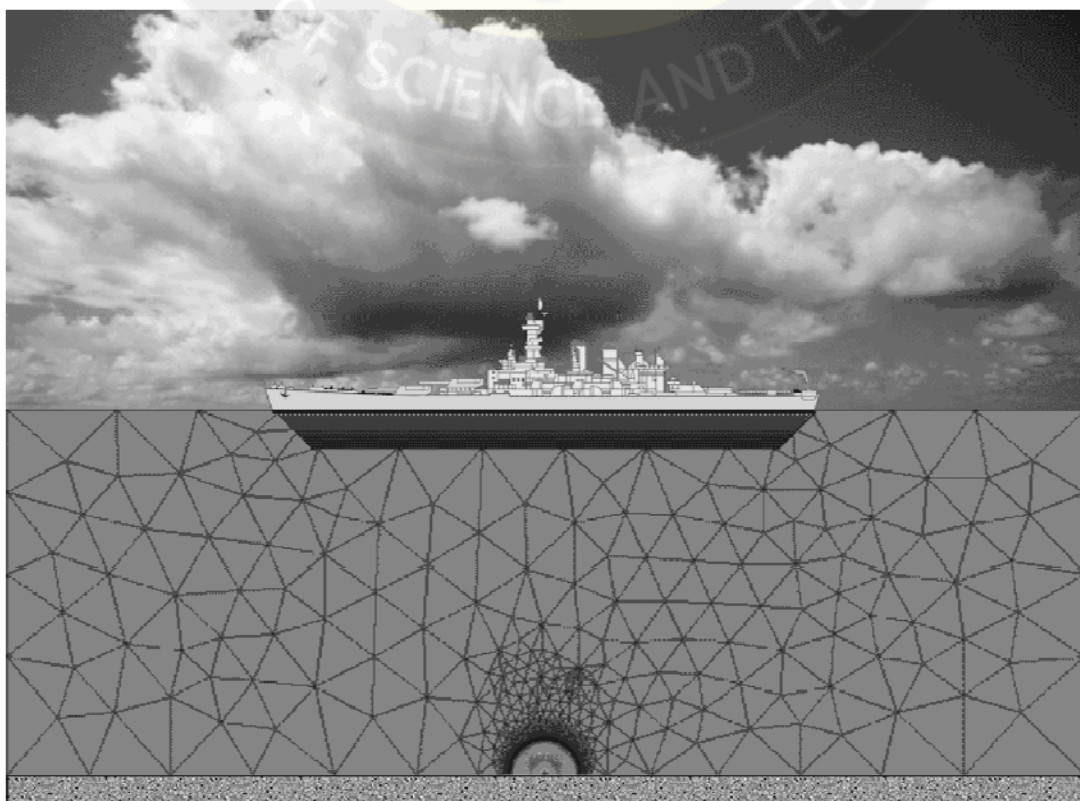


- เห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยตรง
บนจอภาพ
- ปรากฏการณ์เฉพาะแบบเฉพาะที่
- เพิ่มขีดความสามารถในการโจมตี

การระเบิดใต้น้ำ



คลื่นช็อกจากการระเบิดใต้น้ำ



การระเบิดใต้น้ำ

ประโยชน์:

- เห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยตรงบนหน้าจอ
- ใช้ห้องเรียน

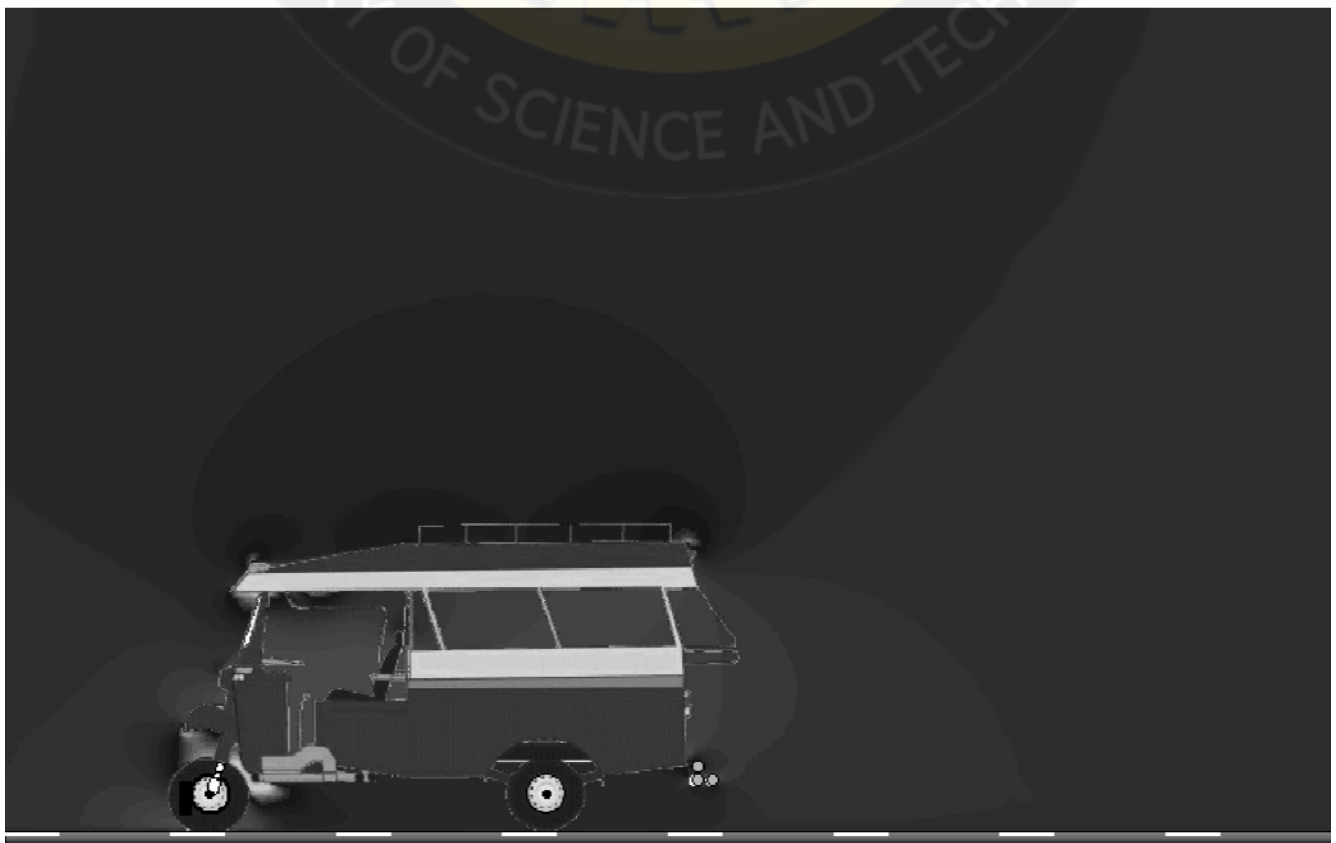
สภาวะอากาศรอบรถยนต์ส่วนบุคคล



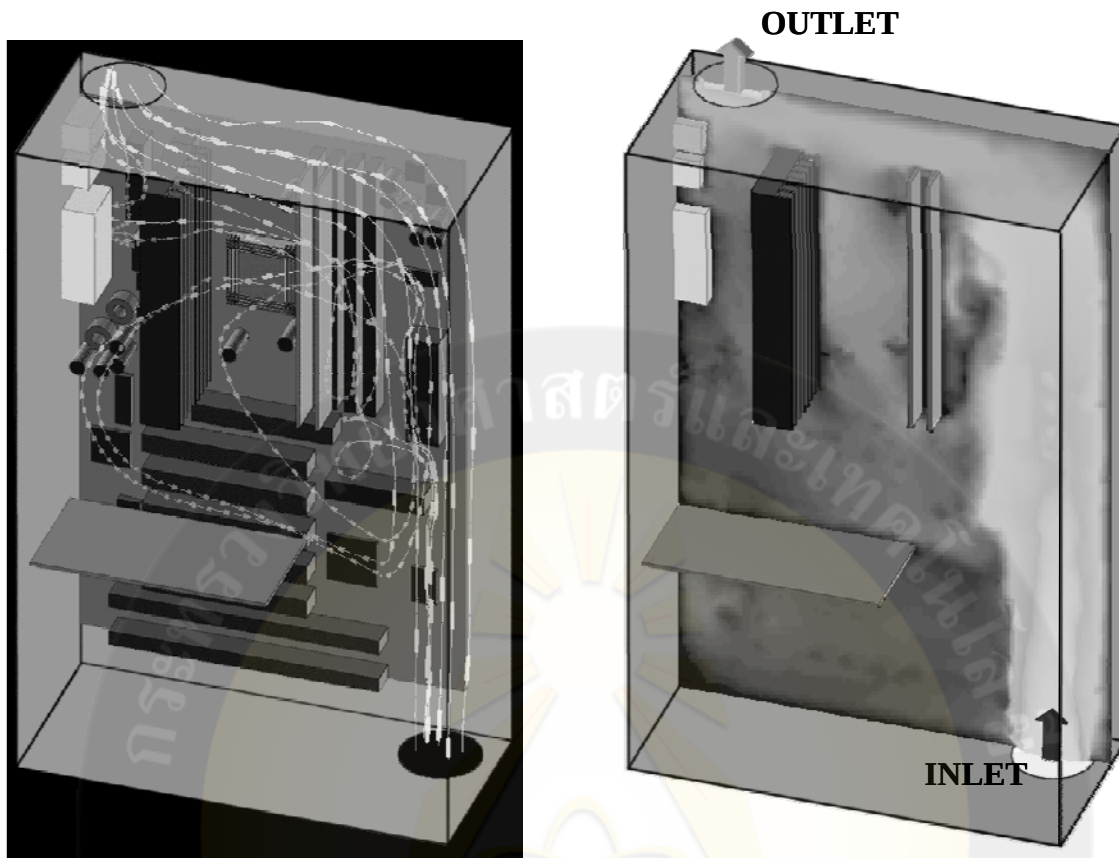
สถานะอากาศรอบรถสามล้อไฟฟ้า



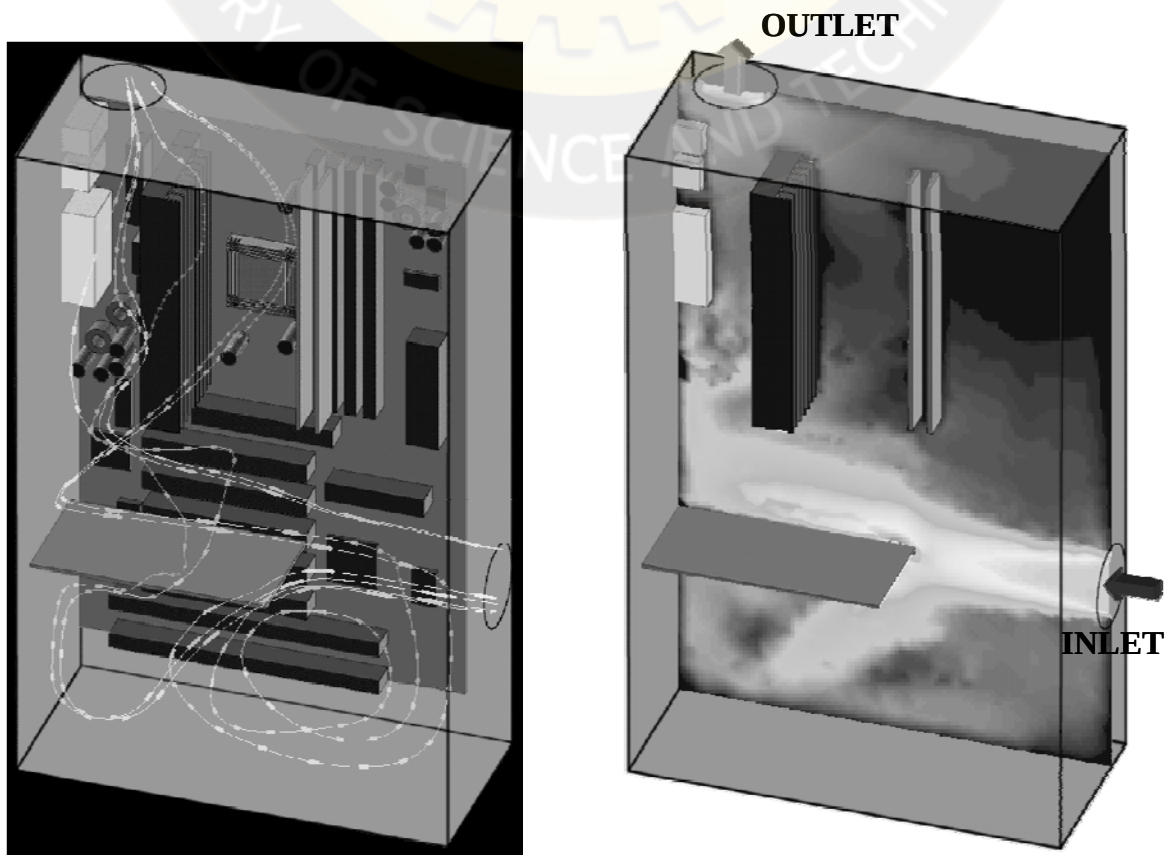
สถานะอากาศรอบรถสามล้อตุ๊กตุ๊ก



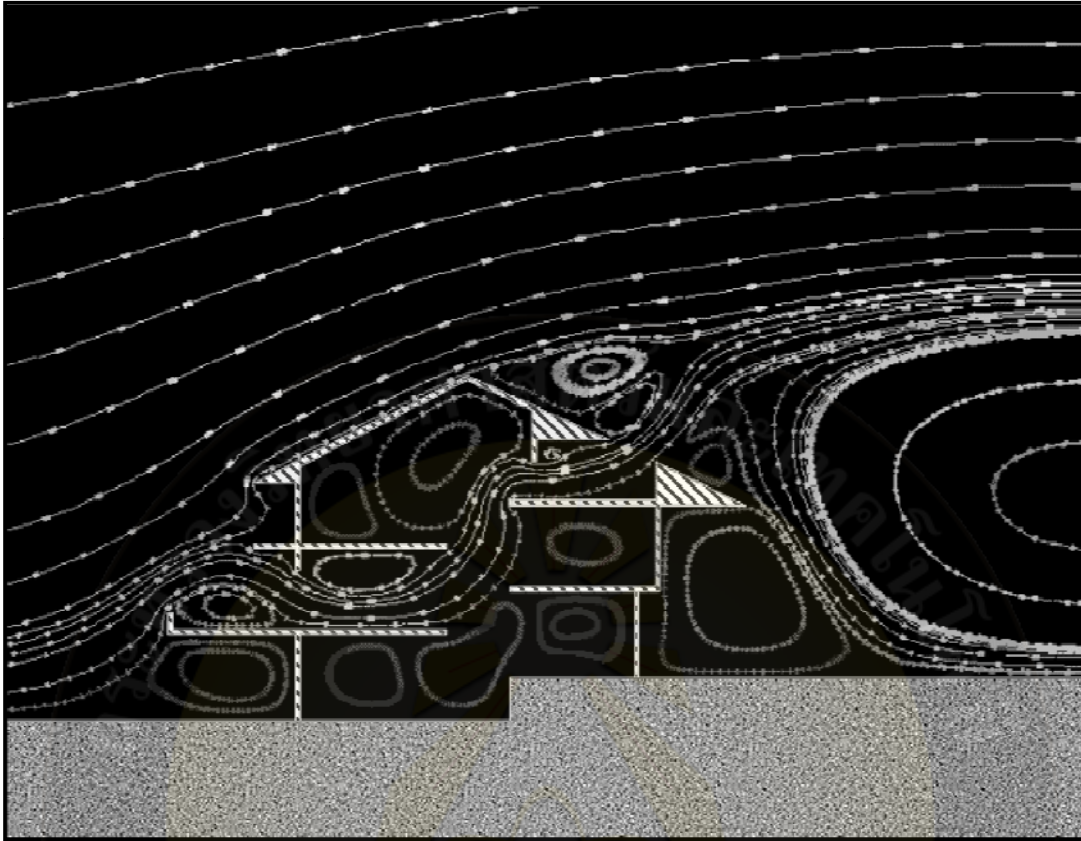
AIR VENTILATION IN COMPUTER BOX



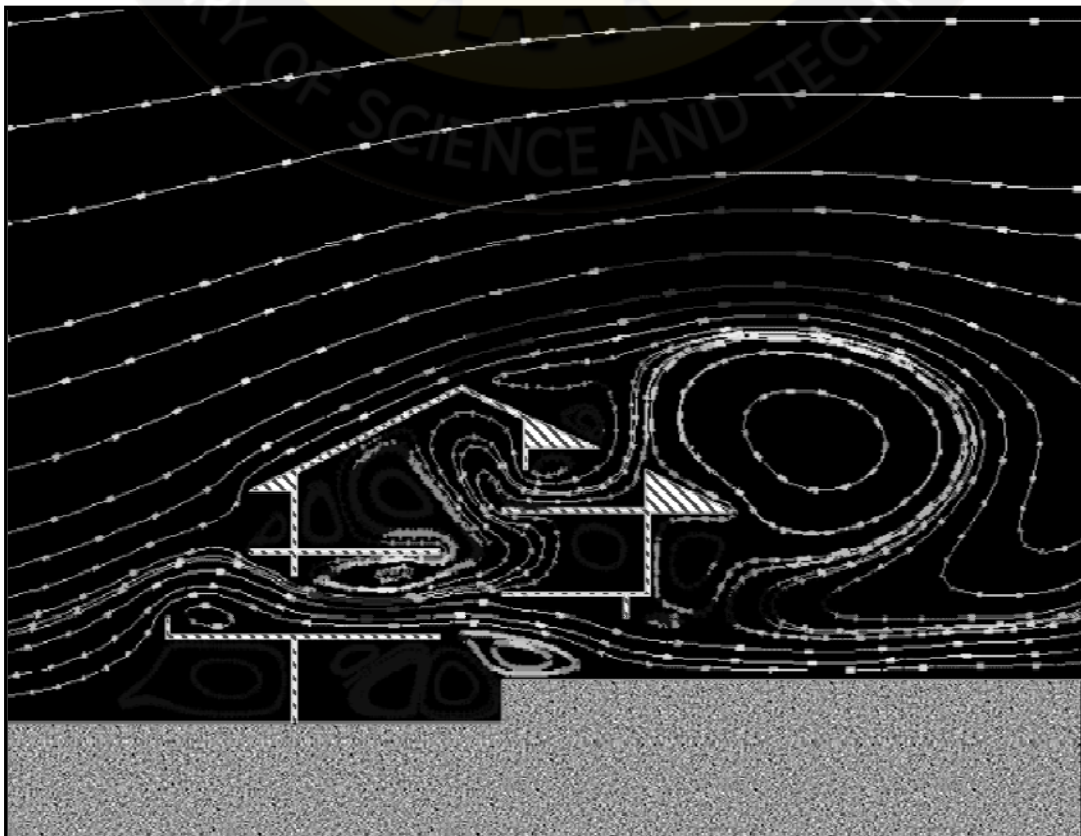
AIR VENTILATION IN COMPUTER BOX



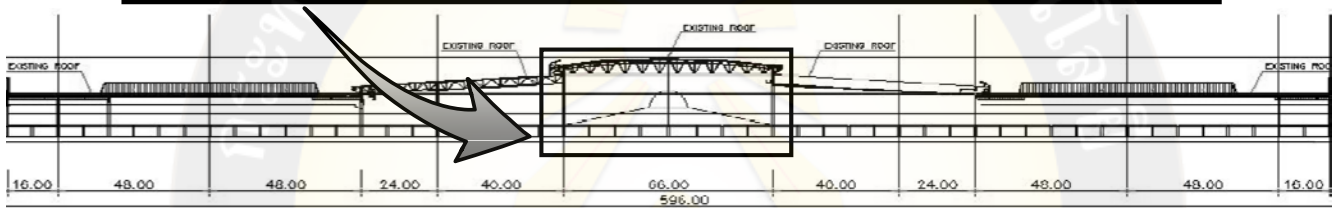
HOUSE VENTILATION



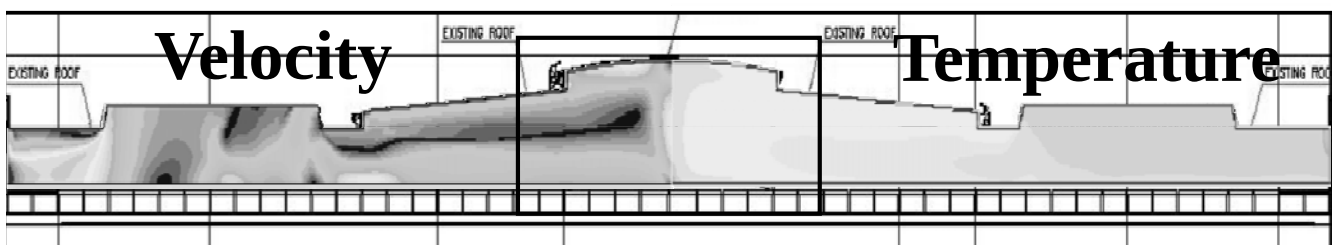
HOUSE VENTILATION



AIR FLOW IN THE GREAT SAPHA DHAMMAKAYA HALL



AIR FLOW IN THE GREAT SAPHA DHAMMAKAYA HALL



CAE ที่แท้จริง

มีเนื้อหาภายใน

เป็นอย่างไร ?

CAE คืออะไร ?

- เป็นกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งตั้งอยู่บนคณิตศาสตร์และการคำนวณขั้นสูง
 - CAE ยังแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี เช่น:
 - Finite Difference Method
 - Finite Element Method (FEM)
- เป็นต้น

CAE คืออะไร ?

- **Finite Element Method (FEM)**
ได้รับความนิยมสูงสุด:
 - สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้โดยสะดวก
 - ใช้กันในภาคอุตสาหกรรม

FINITE ELEMENT METHOD

- ผลิตภัณฑ์ที่แสดงด้วยเงดสีเช่นนี้เริ่มเห็นกันมากขึ้นในเมืองไทย
- จะเช็คได้อย่างไรว่าถูกต้อง ?
 - ต่างจาก CAD โดยสิ้นเชิง
 - ตอบไม่ได้หากไม่เข้าใจทฤษฎี
- ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเงดสีเหล่านี้ได้มาจากไหน ? อย่างไร ?

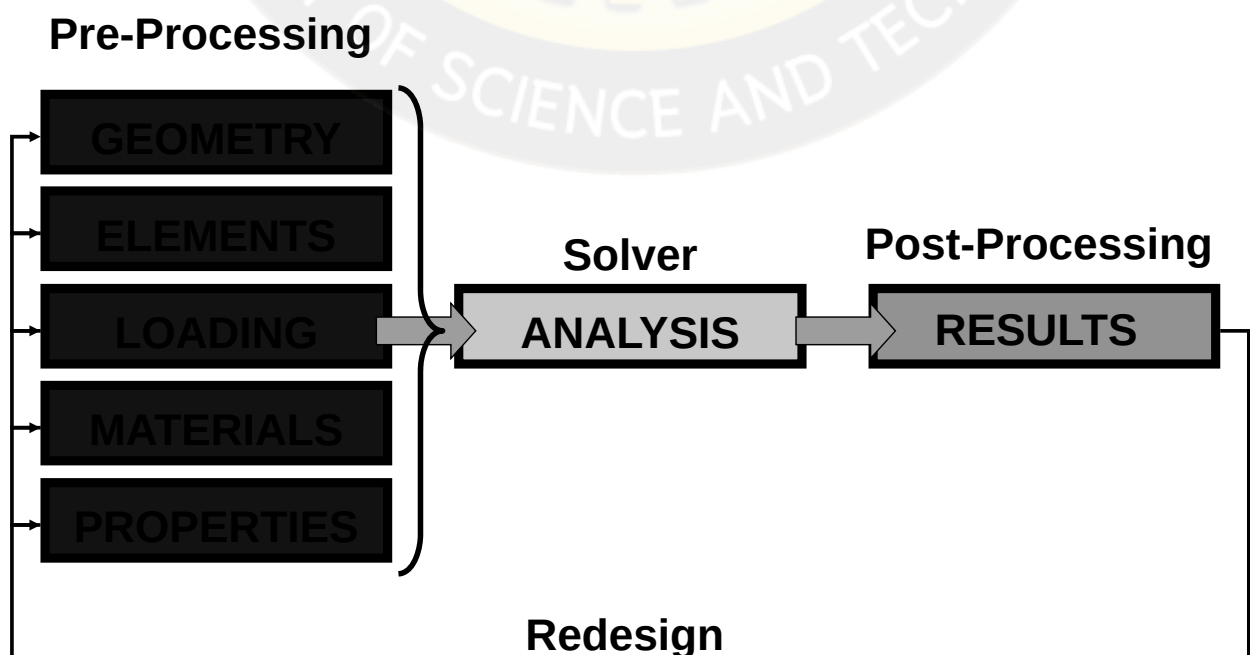
ผลลัพธ์เกิดมาจากไหน ?

- ผลลัพธ์เกิดจากการแก้ **Differential Equations** ที่ทุกท่านเคยเรียนกันมาแล้ว ในวิชาเช่น:

- **Strength of Materials**
- **Heat Transfer**
- **Fluid Flows**

ฯลฯ

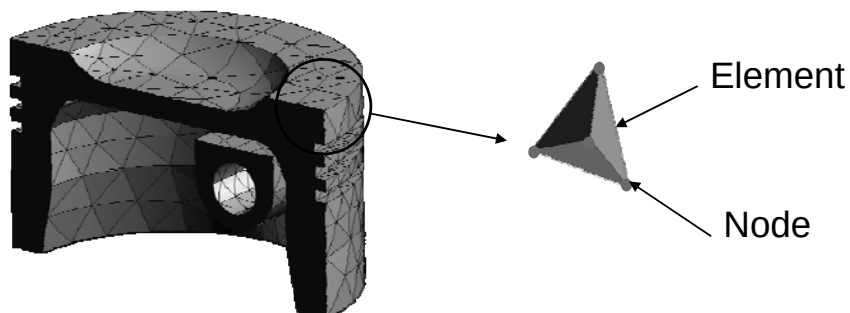
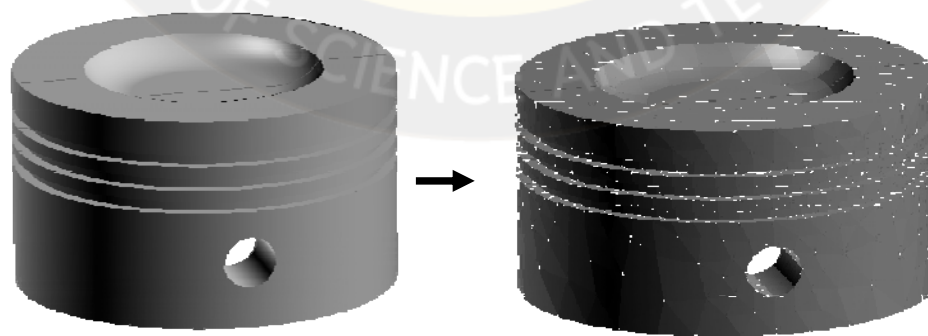
ขั้นตอนกระบวนการของ FEM



Pre-Processing / Geometry



Pre-Processing / Elements



Finite Element Model

Post-Processing



ผลลัพธ์ CAE

ได้มาจากไหน ?

STRENGTH OF MATERIALS

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z &= 0\end{aligned}$$

ENGINEERING MATHEMATICS

$$[K]\{\delta\} = \{F_0\} + \{F_B\} + \{F_t\}$$

$$\{\sigma\} = [C][B][\delta] - [C][\epsilon_0]$$

FINITE ELEMENT METHOD

```
DO 200 I=1,3
DO 300 J=1,6
B(I,J) = B(I,J)/(2.*AREA)
BT(J,I) = B(I,J)
300 CONTINUE
200 CONTINUE
C
C
C ELASTICITY MATRIX:
C
FAC = ELAS/(1.-PR*PR)
C(1,1) = FAC
C(1,2) = FAC*PR
C(1,3) = 0.
C(2,1) = C(1,2)
C(2,2) = C(1,1)
C(2,3) = 0.
C(3,1) = 0.
C(3,2) = 0.
C(3,3) = FAC*(1.-PR)/2.
C
C
C ELEMENT STIFFNESS MATRIX:
C
DO 100 I=1,3
DO 100 J=1,6
DUMA(I,J) = 0.
DO 200 K=1,3
DUMA(I,J) = DUMA(I,J) + C(I,K)*B(K,J)
200 CONTINUE
100 CONTINUE
```

COMPUTER PROGRAMMING



COLOR GRAPHICS

HEAT TRANSFER ANALYSIS

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

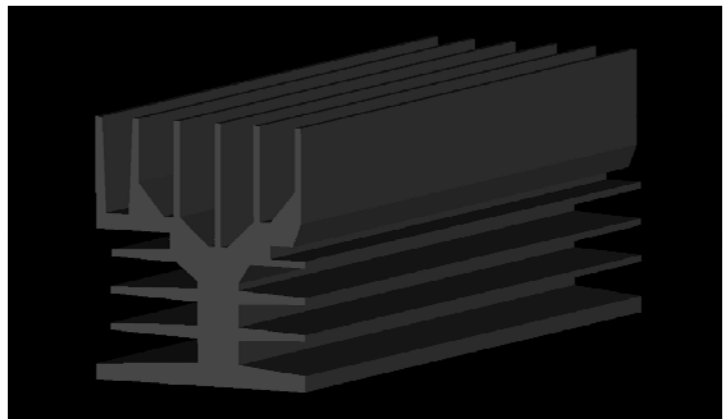
$$[C]\{\dot{T}\} + ([K_c] + [K_h] + [K_r])\{T\} = \{Q_c\} + \{Q_q\} + \{Q_g\} + \{Q_h\} + \{Q_r\}$$

ENGINEERING MATHEMATICS

FINITE ELEMENT METHOD

```
C
C
C ELEMENT CONDUCTION MATRIX:
C
DO 100 I=1,3
DO 100 J=1,3
AKC(I,J) = 0.
DO 110 K=1,2
AKC(I,J) = AKC(I,J) + BT(I,K)*B(K,J)
110 CONTINUE
AKC(I,J) = TK*AREA*THICK*AKC(I,J)
100 CONTINUE
DO 120 I=1,3
DO 120 J=1,3
AKE(I,J) = AKC(I,J) + AKC(I,J)
120 CONTINUE
C
C
C ELEMENT CONVECTION MATRICES:
C
IF(LTYPE(IE,3).NE.1) GO TO 300
FAC = H*AREA/12.
DO 230 I=1,3
DO 230 J=1,3
AKH(I,J) = FAC
230 CONTINUE
DO 240 I=1,3
AKH(I,I) = 2.*FAC
240 CONTINUE
FAC = H*AREA*TI/3.
DO 250 I=1,3
QH(I) = FAC
250 CONTINUE
DO 260 I=1,3
QE(I) = QE(I) + QH(I)
DO 260 J=1,3
AKE(I,J) = AKE(I,J) + AKH(I,J)
260 CONTINUE
300 CONTINUE
```

COMPUTER PROGRAMMING



COLOR GRAPHICS

FLUID FLOW ANALYSIS

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} = \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

ENGINEERING MATHEMATICS

$$K_{\alpha\beta\gamma}^x u_\beta u_\gamma + K_{\alpha\beta\gamma}^y v_\beta u_\gamma - H_{\alpha\lambda}^x P_\lambda = 0$$

$$K_{\alpha\beta\gamma}^x u_\beta v_\gamma + K_{\alpha\beta\gamma}^y v_\beta v_\gamma - H_{\alpha\lambda}^y P_\lambda = 0$$

$$H_{\beta\mu}^x u_\beta + H_{\beta\mu}^y v_\beta = 0$$

FINITE ELEMENT METHOD

```
DO 110 I=1,6
DO 110 J=1,3
DO 110 K=1,3
DO 110 L=1,6
CXX = CXX + A(IA,I)*B(I,J)*A(IB,L)*B(L,K)*G(J,K)
CYY = CYY + A(IA,I)*C(I,J)*A(IB,L)*C(L,K)*G(J,K)
CXY = CXY + A(IA,I)*B(I,J)*A(IB,L)*B(L,K)*G(J,K)
CYX = CYX + A(IA,I)*B(I,J)*A(IB,L)*C(L,K)*G(J,K)
110 CONTINUE
SXX(IA,IB) = 2.*ANEW*CXX + ANEW*CYY
SXY(IA,IB) = ANEW*CXY
SYX(IA,IB) = ANEW*CYX
SYY(IA,IB) = ANEW*CXX + 2.*ANEW*CYY
100 CONTINUE
C
C C C
C COMPUTE [HX] AND [HY] MATRICES:
DO 150 IA=1,3
DO 150 IB=1,6
CX = 0.
CY = 0.
DO 160 I=1,6
DO 160 J=1,3
CX = CX + A(IA,I)*B(I,J)*G(J,IA)
CY = CY + A(IA,I)*C(I,J)*G(J,IA)
160 CONTINUE
HX(IA,IB) = CX/DEN
HY(IA,IB) = CY/DEN
150 CONTINUE
```

COMPUTER PROGRAMMING



COLOR GRAPHICS

องค์พระขนาดใหญ่ปางโปรดพุทธมารดา

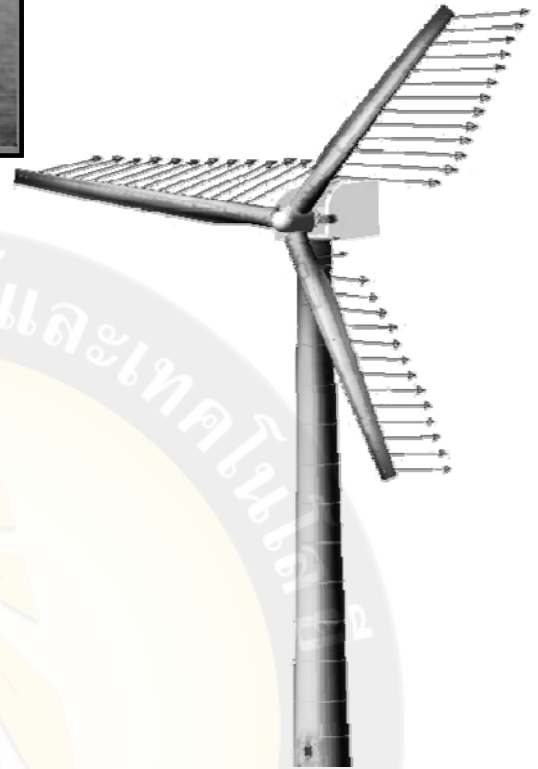


หน้าตัก 21 เมตร สร้างบนเนินเขา
วัดธุดงค์นิมิต จ.กาญจนบุรี

CAD/CAE Laboratory

ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ช่วย
ในการออกแบบ
(0-2564-6500 ต่อ 4389)





WIND TURBINE DESIGN

CFD & FEA and Life Prediction

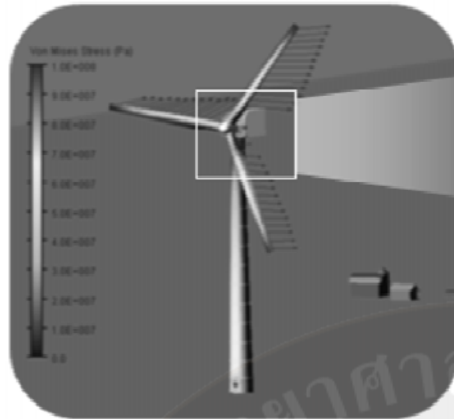
WIND TURBINE DESIGN

- Wind Turbine Sizes Increasing Rapidly
 - 2007: Average capacity of turbines installed around the world = 1,492 kW
 - 2009: Largest turbine in operation has power capacity of 6 MW (Enercon E126, rotor diameter = 126m)
- Wind Turbine Reliability a Major Issue for Industry OEM's and Suppliers
 - **"Current reliability unacceptable!"** -Dr. Falk Felker; NREL, Center Director, National Wind Technology Center
 - Challenges due to dynamic loading and fatigue, like failure of transmission gear pinions, failure of bearings, blade fracture, tower buckling, etc.
 - Failures are expensive (OEM warranty cost = 4-5% of sales) and many are spectacular
 - Certification processes requires simulation of hundreds of wind condition scenarios

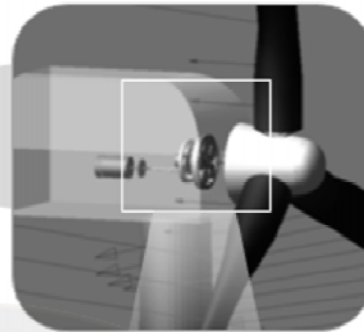


Sources: Global Wind Energy Outlook, Oct. 2008 (GWEC, Greenpeace and Wind Power Works)
Merrill Lynch (<http://www.ml.com/media/81290.pdf>)

WIND TURBINE DESIGN



Wind turbine model with flexible blades and tower



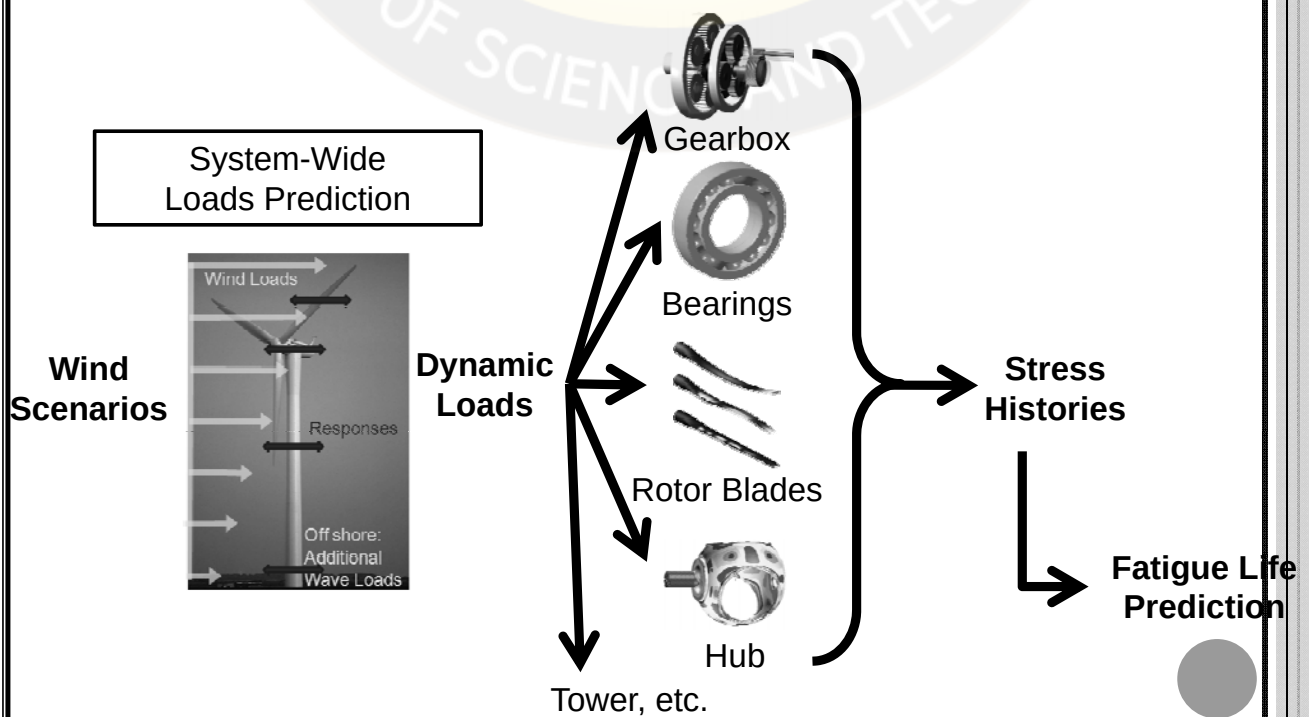
Planetary gear train model



Detailed modeling of a gear system

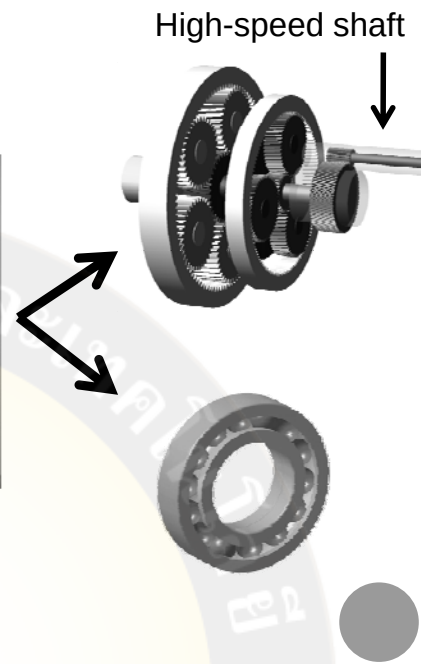
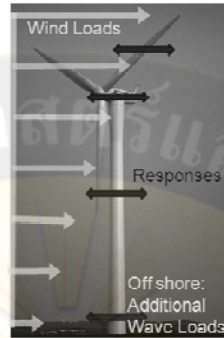
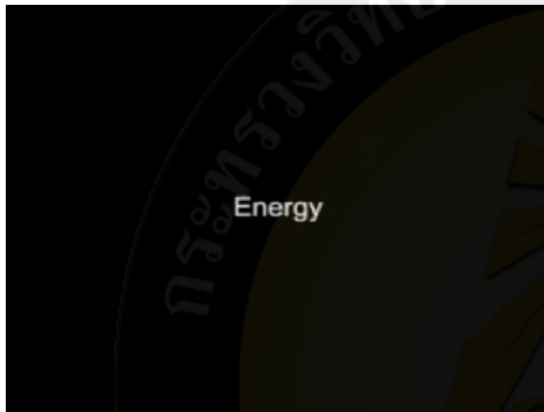
WIND TURBINE DESIGN

Sub-System and Component Design and Analysis

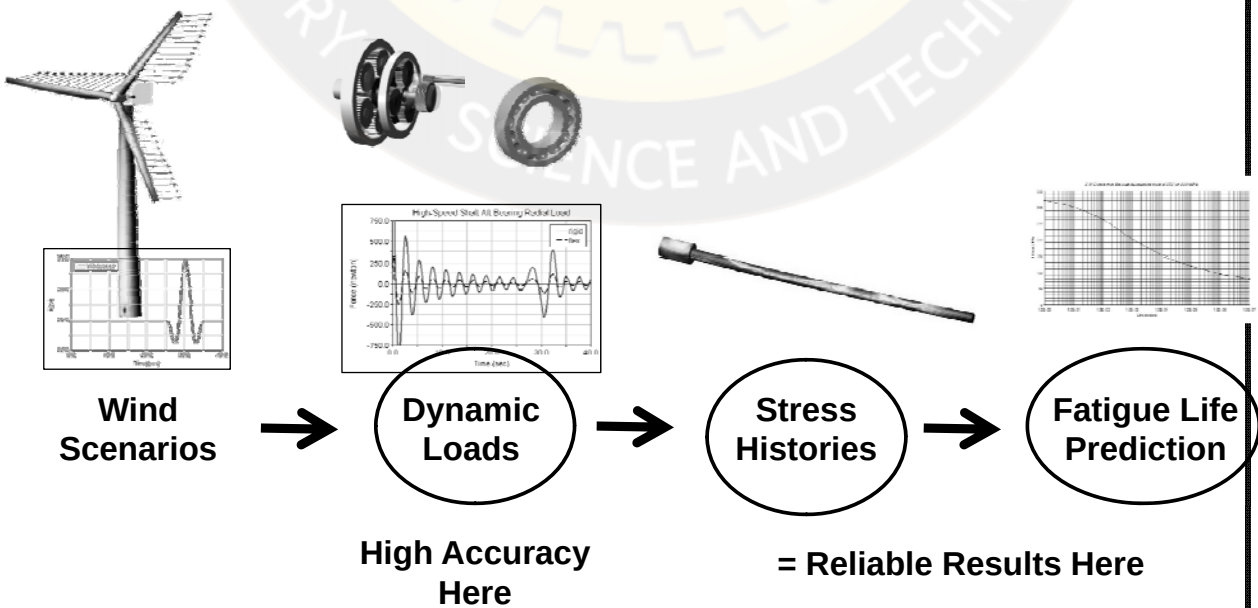


WIND TURBINE DESIGN

- Gearbox Loads
 - Apply wind loading event to wind turbine model
 - Predict shaft loads
 - Evaluate alternate shaft design
 - Stress recovery on high-speed shaft
 - Output loads for detailed component FEA

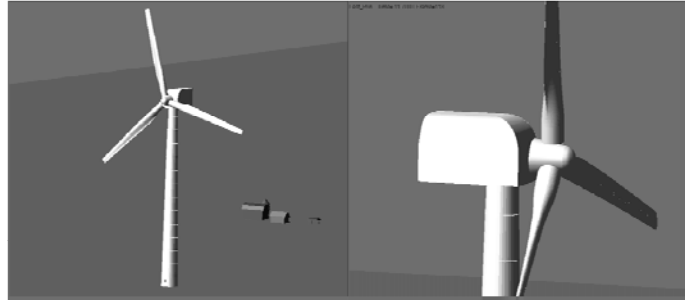


WIND TURBINE DESIGN

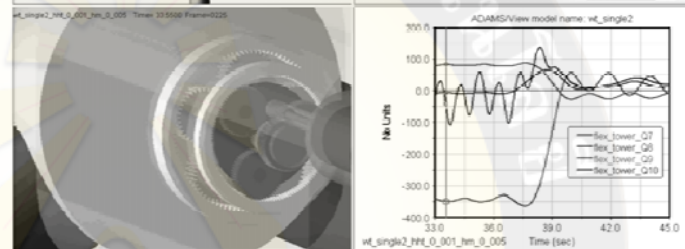
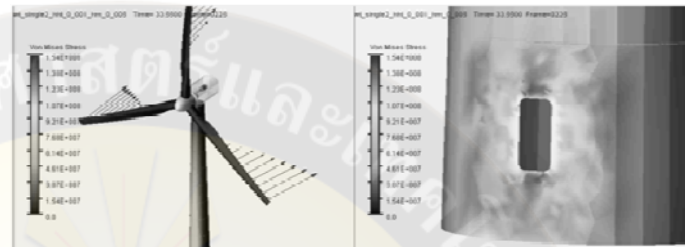


- Accuracy of FEA and fatigue results entirely depends on input loads
- Do not waste FEA and fatigue analysis with bad loads!

WIND TURBINE DESIGN



VIBRATION ANALYSIS



STRESS ANALYSIS

