หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการใช้โปรแกรมที่ประดิษฐ์กับปัญหาต่าง ๆ

สำหรับโปรแกรม HEAT3D

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นกับเวลาของแผ่นสี่เหลี่ยมยาวที่มีความร้อนภายนอก

แผ่นสี่เหลี่ยมยาวหนา 10 มม. ได้รับความร้อนคงที่จากภายนอกตกกระทบด้านข้าง และอีกด้านหนึ่งมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 0°ซ ในการวิเคราะห์จะนำมาพิจารณาเพียงส่วนเดียว คือขนาด 10 มม. x 5 มม. x 5 มม. ดังในรูป 5.1 โดยถือได้ว่าแผ่นสี่เหลี่ยมยาวมาก

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรงดังนี้

$$T(x,t) = \frac{q(l-x)}{k} - \frac{8ql}{k\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \sin\frac{(2n+1)\pi(l-x)}{2l} e^{-\frac{k}{\rho c}\left[\frac{(2n+1)\pi}{2l}\right]^2 t}$$

โดย q คือ ปริมาณความร้อนจากภายนอก (0.2 จูล/ลบ. มม./วินาที)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (0.001736 จูล/°ซ/มม./วินาที)

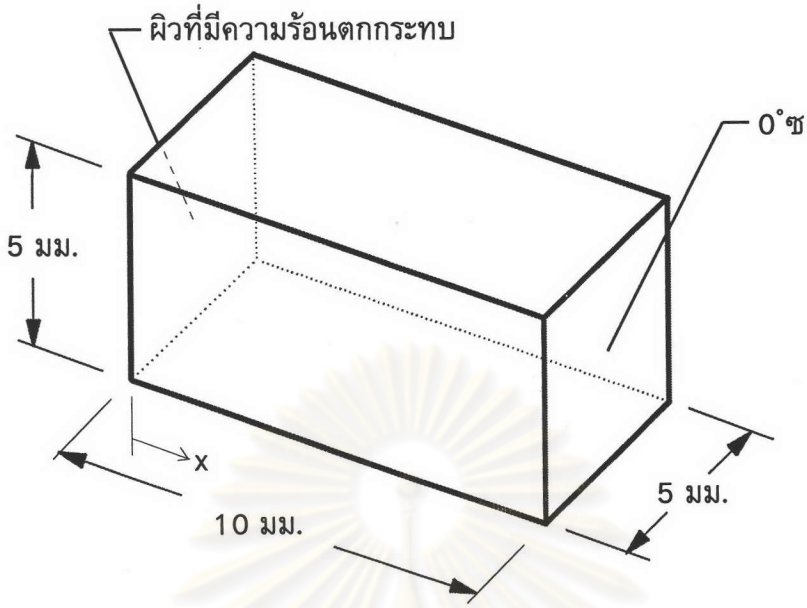
l คือ ความยาวทั้งหมด (10 มม.)

ρ คือ ความหนาแน่น (0.1 กรัม/ลบ. มม.)

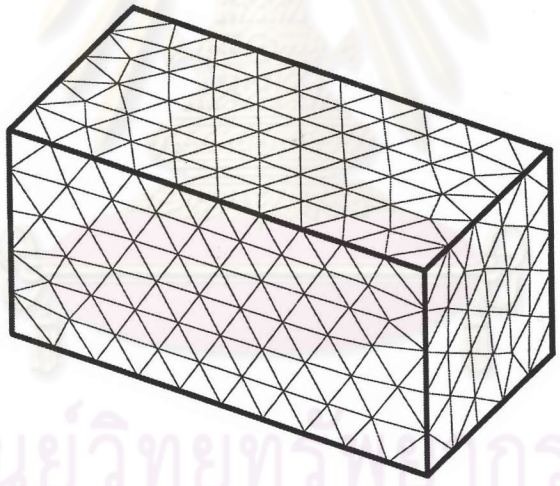
c คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (0.22 จูล/กรัม/°ซ)

t คือ เวลา (วินาที)

การคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จะเริ่มจากการสร้างรูปและจัดแบ่งเอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม I-DEAS ซึ่งจะได้ลักษณะการจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 546 จุดต่อ และ 2219 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.2 และจะทำการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ เงื่อนไขเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบเขตลงบนรูปแบบเอลิเมนต์ แล้วทำการส่งข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ข้อมูล และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรม HEAT3D ต้องการ จากนั้นเพิ่มเติมข้อมูลเกี่ยวกับเวลาลงในไฟล์ข้อมูล และทำการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D ขั้นตอนต่างๆจะเป็นไปตามบทที่ 4



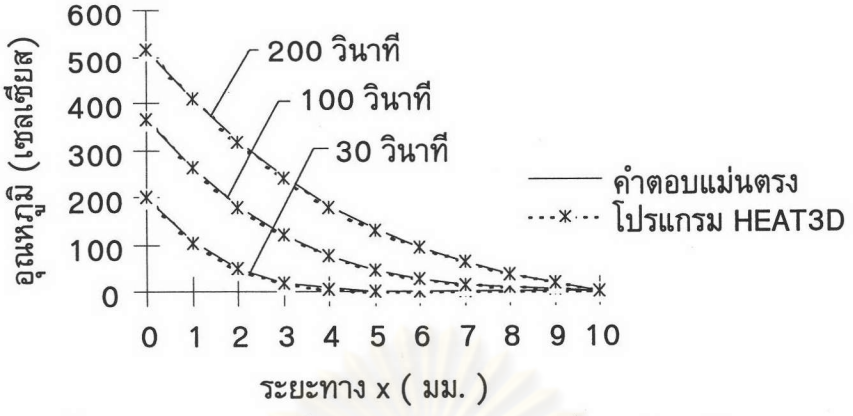
รูปที่ 5.1 แสดงรูปร่างของชิ้นส่วนแผ่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.2 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 546 จุดต่อ และ 2219 เอลิเมนต์

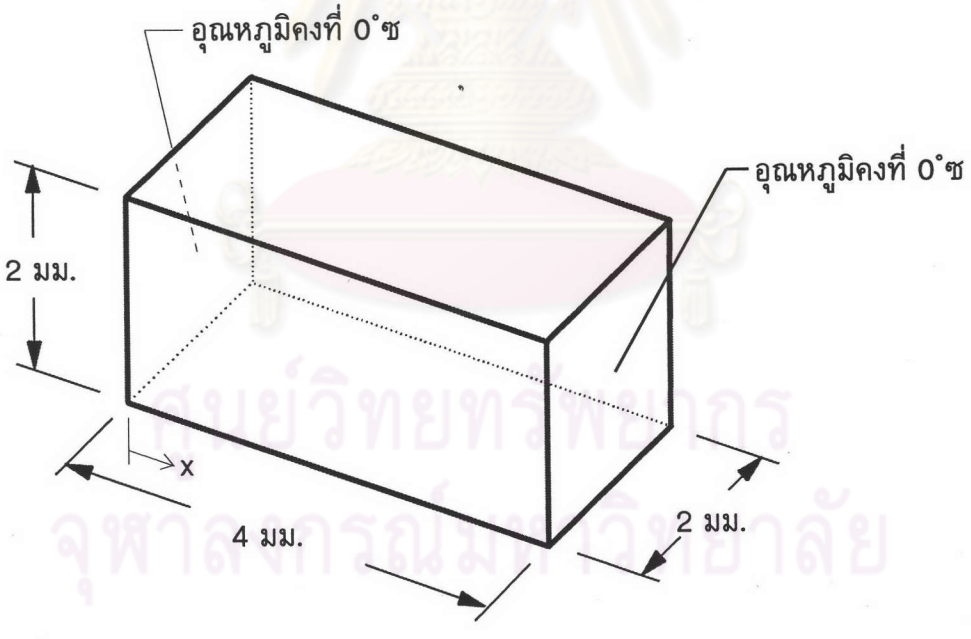
ผลลัพธ์จากโปรแกรม HEAT3D สามารถเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงได้ดังแสดงในรูป 5.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆกับระยะทาง

2. การกระจายอุณหภูมิขึ้นกับเวลาของแผ่นสี่เหลี่ยมยาวที่มีความร่อนผลิตได้เอง แผ่นสี่เหลี่ยมยาวหนา 8 มม. ภายในเกิดความร้อนตลอดเวลา และผิวทั้งสองข้างมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 0°ซ ในการวิเคราะห์จะพิจารณาชิ้นส่วยย่อยเพียงครึ่งหนึ่งของความหนา ดังแสดงในรูป 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงขนาดชิ้นส่วนแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความร้อนผลิตได้เอง

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรงได้ดังนี้

$$T(x,t) = \frac{Ql^2}{2k}\left\{1-\left(\frac{x}{l}\right)^2 - \frac{32}{\pi^3}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(2n+3)^3}\cos\left[\frac{(2n+1)\pi x}{2l}\right]e^{-\frac{k}{\rho c}\left[\frac{(2n+1)\pi}{2l}\right]^2 t}\right\}$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้เอง (2000 จูล/ตร. มม./วินาที)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (16 จูล/°ซ/มม./วินาที)

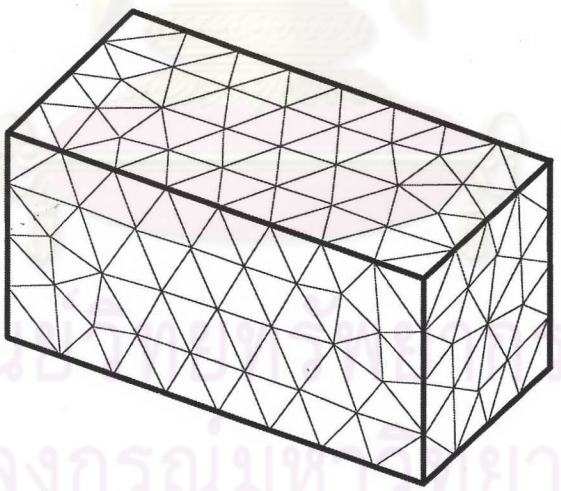
l คือ ความยาวทั้งหมด (4 มม.)

ρ คือ ความหนาแน่น (1 กรัม/ลบ. มม.)

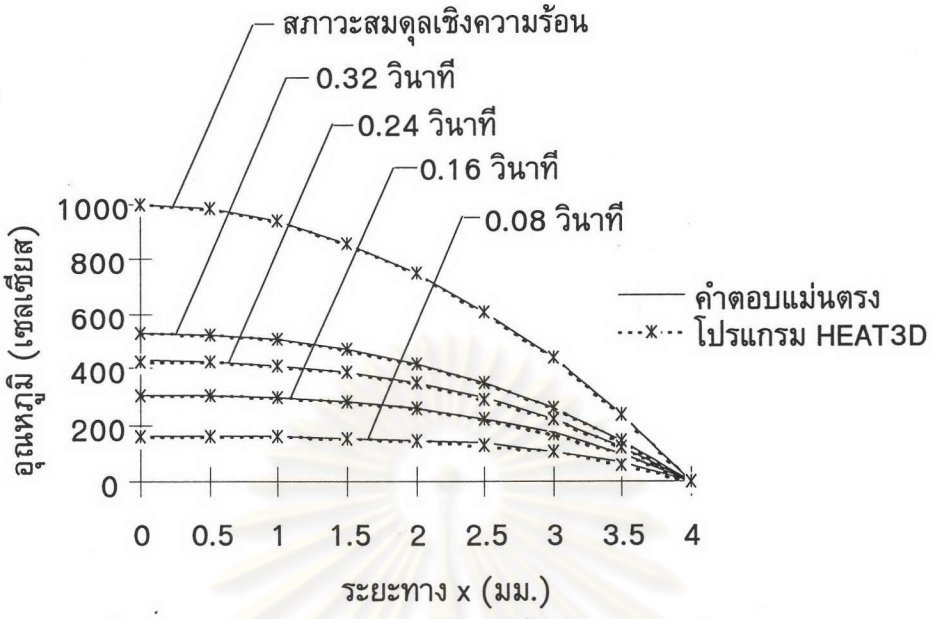
c คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (1 จูล/กรัม/°ซ)

t คือ เวลา (วินาที)

สำหรับการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม HEAT3D จะทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์ลงบนชิ้นส่วนในรูป 5.4 ได้ขนาด 278 จุดต่อ และ 1046 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.5 เมื่อคำนวณหาอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาออกมาจะเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงได้ดังในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 278 จุดต่อ และ 1046 เอลิเมนต์



รูปที่ 5.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ

3. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแท่งสี่เหลี่ยมอย่างง่าย

แท่งสี่เหลี่ยมมีอุณหภูมิคงที่ปลายด้านหนึ่งขนาด 500 °ซ และอีกด้านหนึ่งขนาด 100 °ซ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งมีการนำความร้อนเกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรง ณ สภาวะสมดุลทางความร้อน(Incropera and DeWitt , 1989)ได้ดังนี้

$$T(x) = \frac{x(T_2 - T_1)}{L} + T_1$$

โดย T_1 และ T_2 คืออุณหภูมิคงที่ตรงปลายทั้งสองข้าง(500°ซ และ 100°ซ ตามลำดับ)

L คือความยาวทั้งหมด (100 มม.)

x คือระยะจากปลายด้านที่มีอุณหภูมิ T_1

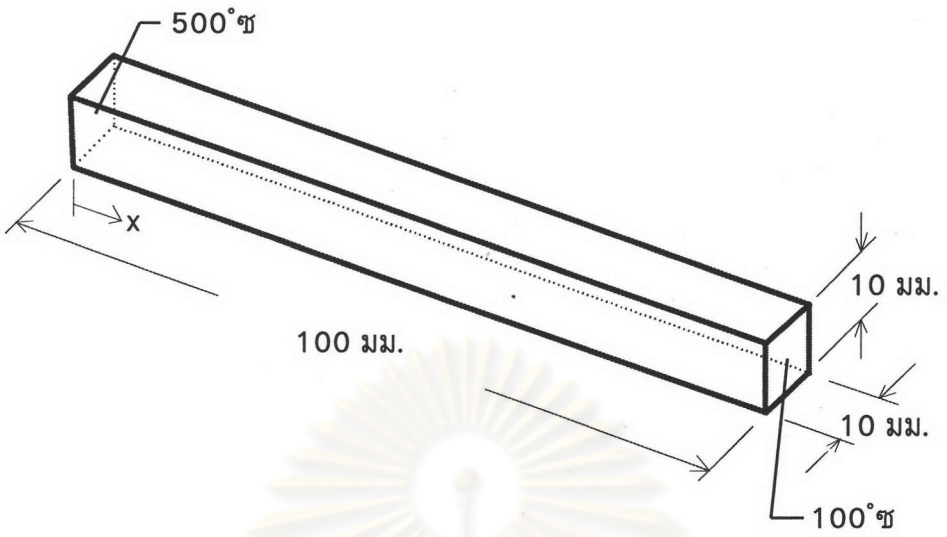
สำหรับการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม HEAT3D จะทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 51 จุดต่อ 95 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.8

คุณสมบัติของวัสดุมีค่าดังนี้

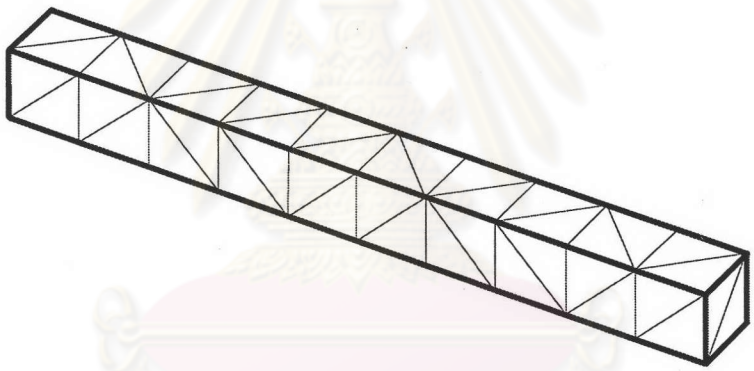
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 0.00221 จูล/°ซ/มม./วินาที

ค่าความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 0.01 กรัม/ลบ. มม.

ค่าความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 0.01 จูล/กรัม/°ซ

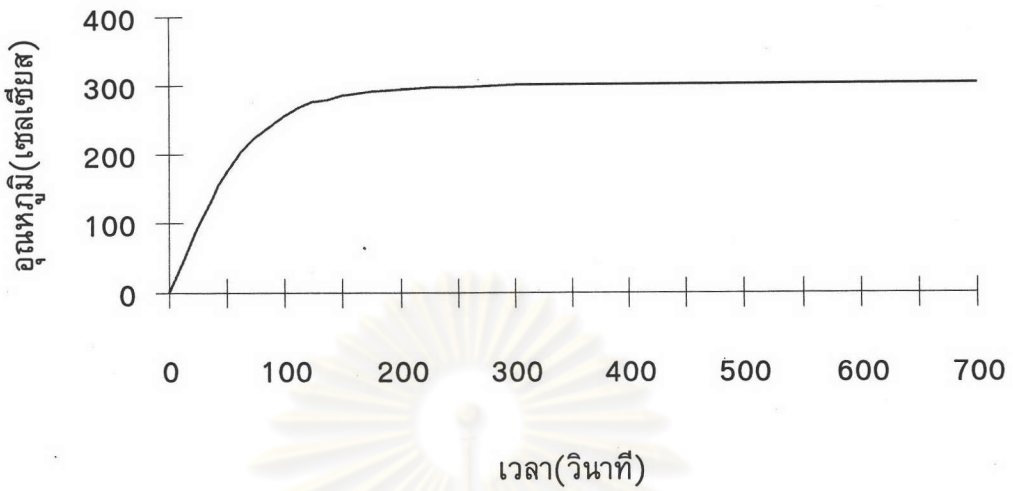


รูปที่ 5.7 ขนาดและเงื่อนไขขอบเขตของแท่งสี่เหลี่ยม

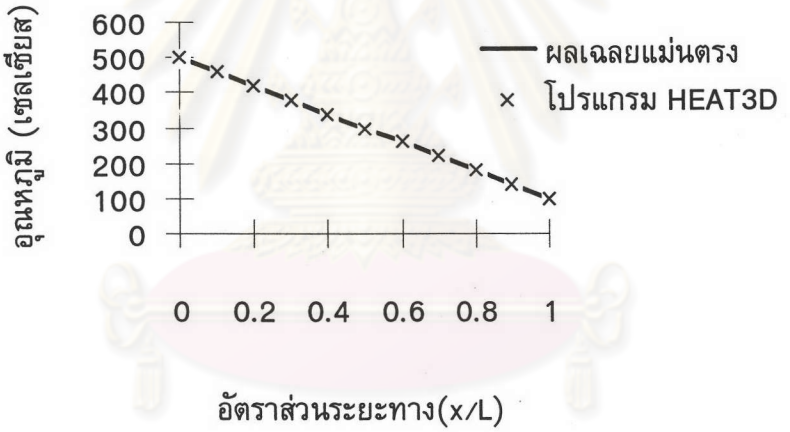


รูปที่ 5.8 ลักษณะการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 51 จุดต่อ และ 95 เอลิเมนต์

โปรแกรม HEAT3D จะทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ณ จุดต่อต่างๆจนเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน เช่น ในรูปที่ 5.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามเวลาที่จุดต่อบริเวณตรงกลางแท่งสี่เหลี่ยม (x=L/2)เป็นต้น ส่วนในรูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับอัตราส่วนระยะทาง ณ สภาวะสมดุลทางความร้อนระหว่างผลเฉลยแม่นตรงกับผลจากโปรแกรม HEAT3D



รูปที่ 5.9 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ณ ตำแหน่งตรงกลาง(x=L/2)



รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับอัตราส่วนระยะทางที่สภาวะสมดุลทางความร้อน

4. การกระจายอุณหภูมิของแผ่นอลูมินั่มรูปร่างซับซ้อน

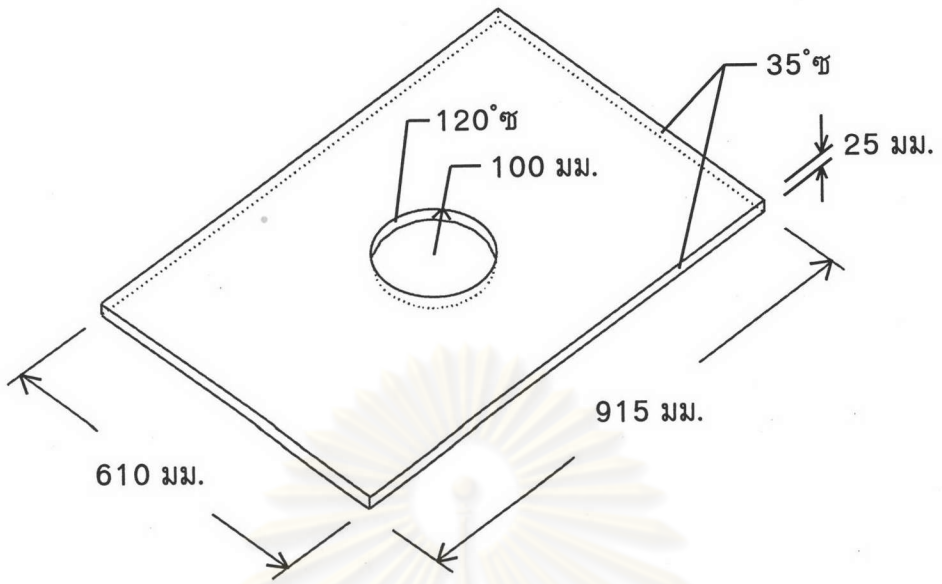
แผ่นโลหะอลูมินั่มมีอุณหภูมิคงที่บริเวณขอบ 35 °ซ และบริเวณรูตรงกลาง 120°ซ ดังแสดงในรูป 5.11 มีการนำความร้อนเกิดขึ้นภายใน และสามารถจัดแบ่งเอลิเมนต์ได้ 519 จุดต่อ 1431 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.12

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่มมีดังนี้

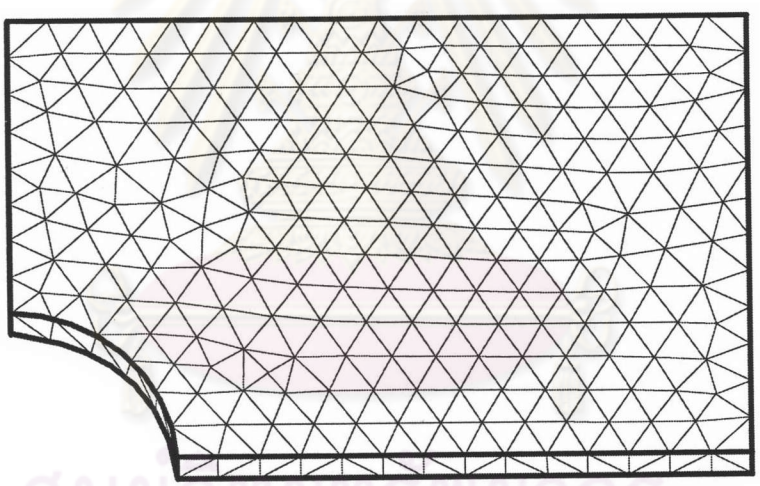
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.00221 จูล/°ซ/มม./วินาที

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 0.308945E-06 กรัม/ลบ.มม.

ความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 241.579 จูล/กรัม/°ซ



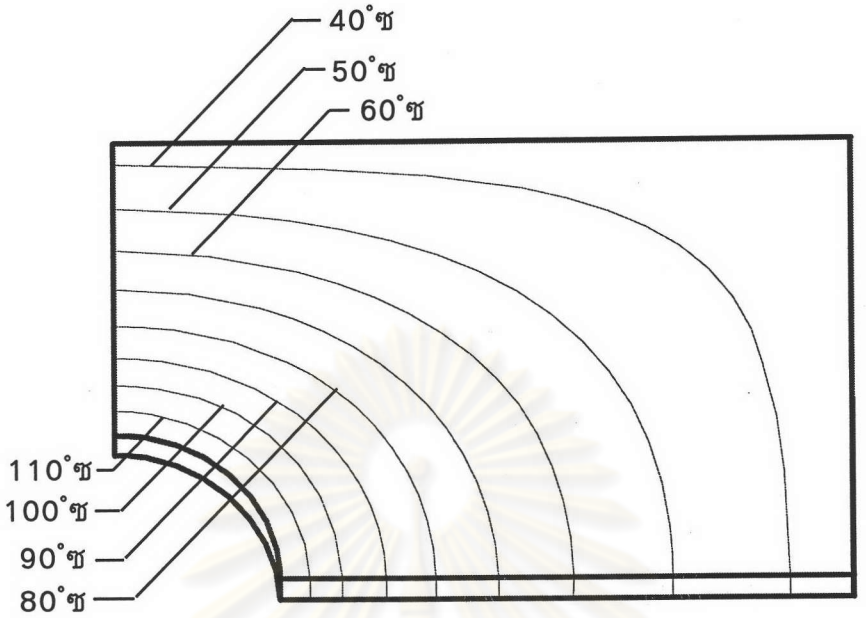
รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะโครงสร้างของแผ่นโลหะ



รูปที่ 5.12 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 519 จุดต่อ และ 1431 เอลิเมนต์

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จะได้ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่สภาวะสมดุลทางความร้อนดังในรูป 5.13

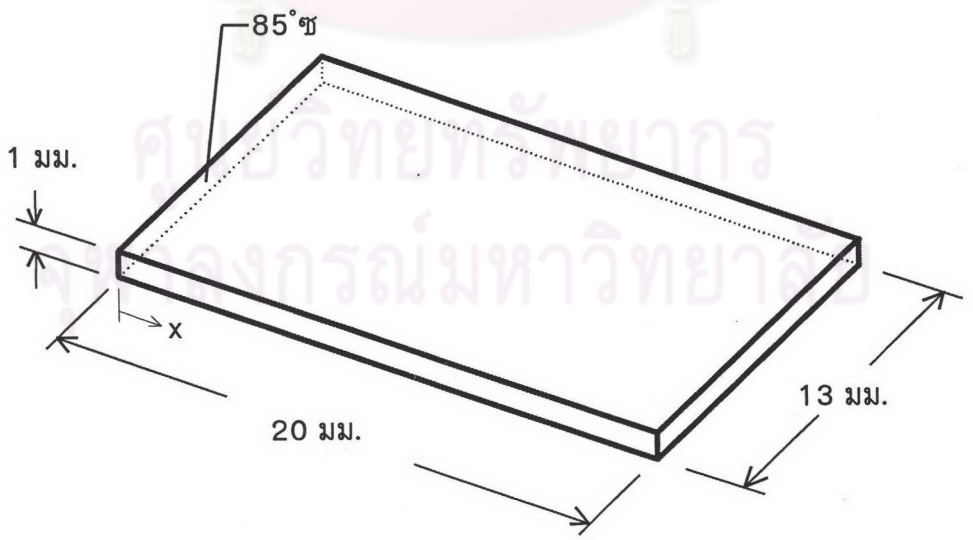
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่สภาวะสมดุลทางความร้อน

5. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นสี่เหลี่ยมอย่างง่ายที่มีการพาความร้อนเกิดขึ้น

แผ่นโลหะมีอุณหภูมิคงที่ปลายด้านหนึ่งเท่ากับ 85°ซ และมีการถ่ายเทความร้อนสู่อุณหภูมิอากาศ 25°ซ ดังแสดงในรูป 5.14 แผ่นโลหะจะเกิดการนำและการพาความร้อน



รูปที่ 5.14 แสดงรูปร่างของแผ่นโลหะ

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรง (Holman,1992) คือ

$$T(x) = 60\left[\frac{e^{-mx}}{1+e^{-2ml}} + \frac{e^{mx}}{1+e^{2ml}}\right] + 25$$

$$m = \sqrt{\frac{(645.16)hp}{kA}}$$

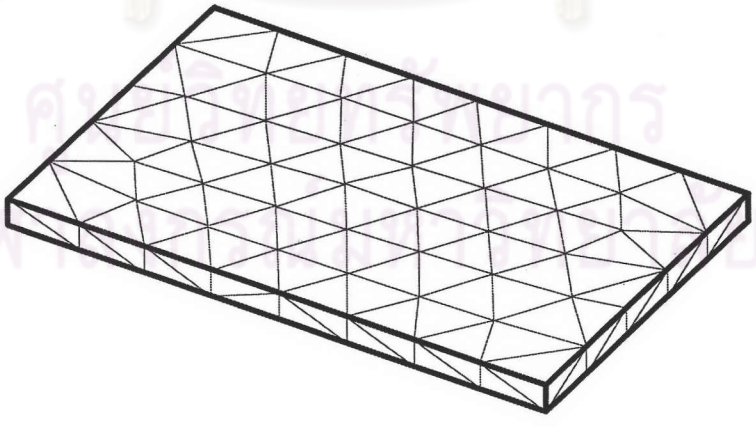
โดย h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (0.014718 จูล/°ซ/ตร. มม./วินาที)
p คือ เส้นรอบรูป
k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (3.98513 จูล/°ซ/มม./วินาที)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวาง

แผ่นโลหะถูกจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 125 จุดต่อ และ 309 เอลิเมนต์ ดังในรูป 5.15 เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จนเข้าสู่สภาวะสมดุล จะได้ผลเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงดังในรูป 5.16

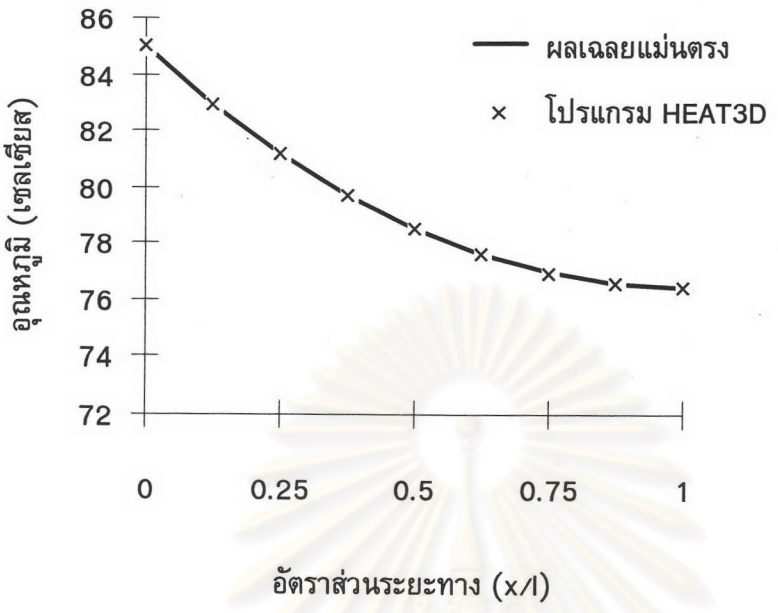
คุณสมบัติต่างๆของวัสดุ

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 8.913E-06 กรัม/ลบ.มม.

ความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 374.72 จูล/กรัม/°ซ

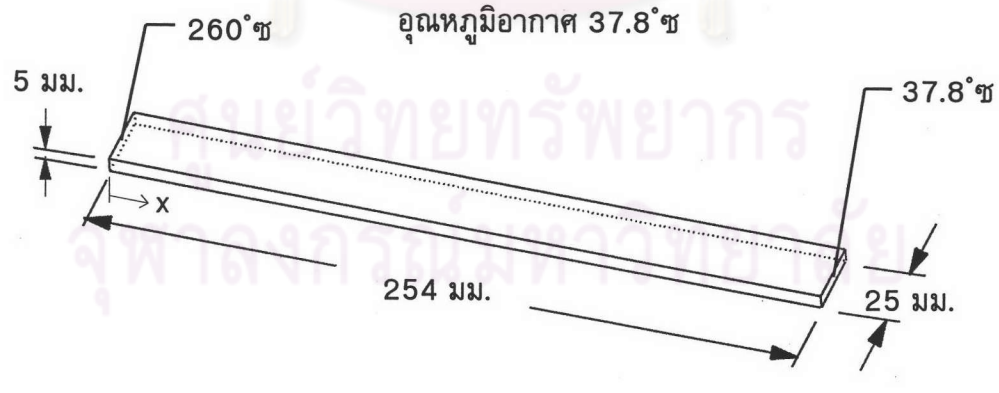


รูปที่ 5.15 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 125 จุดต่อ และ 309 เอลิเมนต์



รูปที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยแม่นตรงกับผลจากโปรแกรม HEAT3D

6. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นโลหะอย่างง่ายมีอุณหภูมิคงที่ทั้งสองด้าน แผ่นโลหะมีอุณหภูมิคงที่ปลายด้านหนึ่งเท่ากับ 260°ซ และอีกด้านหนึ่งเท่ากับ 37.8°ซ ดังแสดงในรูปที่ 5.17 และมีการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมที่อุณหภูมิอากาศเท่ากับ 37.8°ซ



รูปที่ 5.17 แสดงรูปร่างและเงื่อนไขต่างๆของแผ่นโลหะ

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรงออกมาเป็น

$$T(x) = N_1 T_1 + N_2 T_2 + (1 - N_1 - N_2)\, T_\infty$$

$$m = \sqrt{\frac{(645.16)hp}{kA}}$$

$$N_1 = \frac{\sinh m(L - x)}{\sinh mL}$$

$$N_2 = \frac{\sinh mx}{\sinh mL}$$

โดย h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (9.3313 จูล/°ซ/ตร. มม./วินาที)

p คือ เส้นรอบรูป

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (97.946 จูล/°ซ/มม./วินาที)

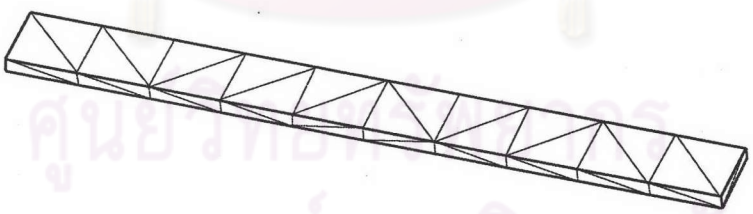
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวาง

L คือ ความยาวทั้งหมด

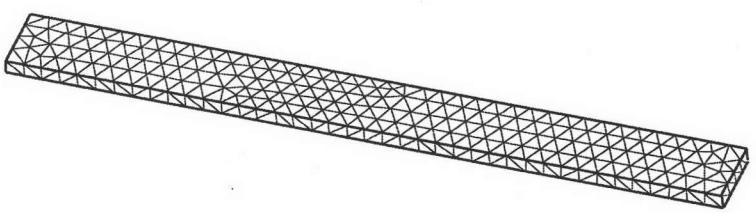
การคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จะจัดแบ่งเอลิเมนต์ในปัญหานี้ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 50 จุดต่อ 91 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.18 และ 454 จุดต่อ 1140 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.19

คุณสมบัติต่างๆของวัสดุ

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 7.85E-06 กรัม/ลบ.มม.

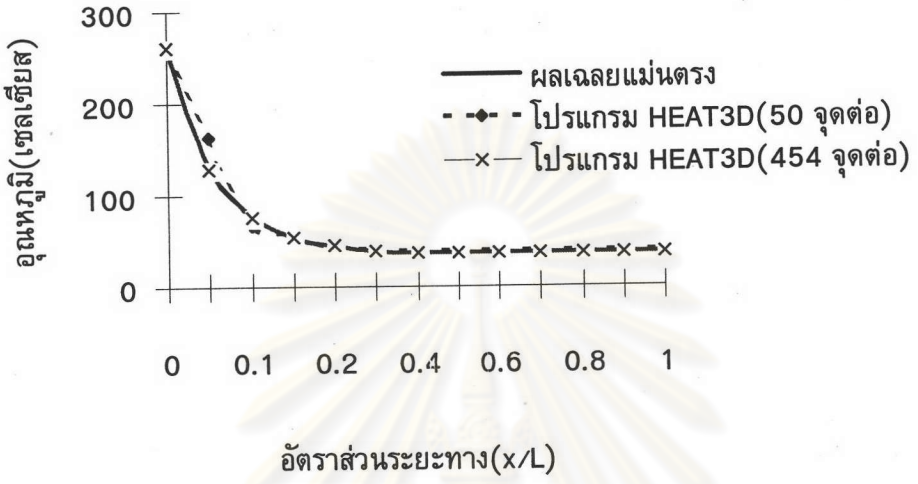


รูปที่ 5.18 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 50 จุดต่อ และ 91 เอลิเมนต์



รูปท 5.19 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 454 จุดต่อ และ 1140 เอลิเมนต์

ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรง ดังแสดงในรูป 5.20



รูปที่ 5.20 แสดงอุณหภูมิจากโปรแกรม HEAT3D กับผลเฉลยแม่นตรง

7. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองครีบระบายความร้อนรูปร่างซับซ้อน

ครีบระบายความร้อนทำหน้าที่รับความร้อนมาจากทรานซิสเตอร์ และระบายความร้อนต่อไปยังอากาศ สำหรับปัญหานี้ครีบระบายความร้อนจะรับความร้อนจากทรานซิสเตอร์จนมีอุณหภูมิคงที่ (125°ซ) ตรงบริเวณผิวที่ทั้งสองสัมผัสกัน และตัวครีบจะระบายความร้อนสู่อากาศที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 30°ซ ดังแสดงในรูป 5.21

คุณสมบัติต่างๆของครีบระบายความร้อน

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 7144 กรัม/ลบ.มม.

ความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 0.385 จูล/กรัม/°ซ

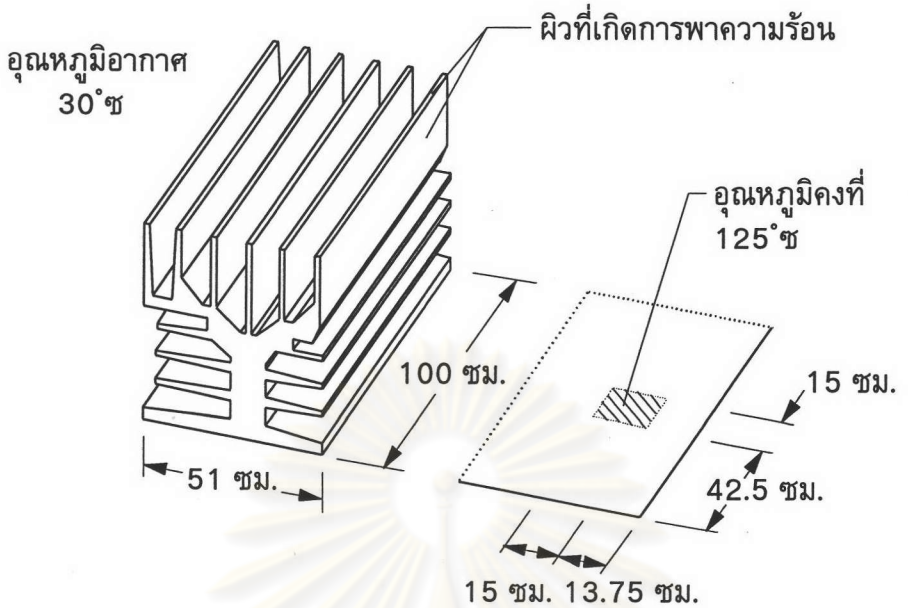
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 0.064 จูล/วินาที/มม./°ซ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ 1.0E-04 จูล/วินาที/ตร.มม./°ซ

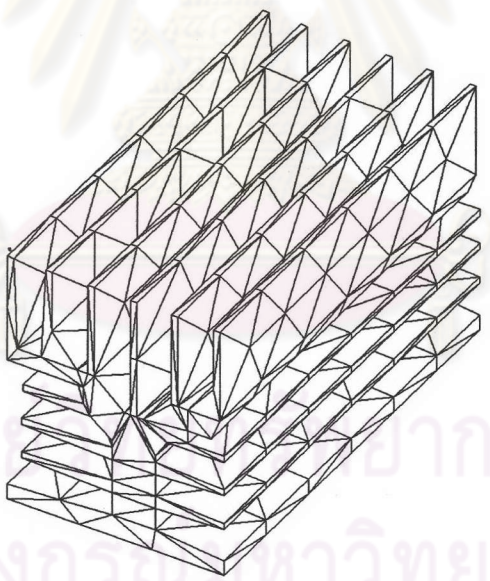
อุณหภูมิที่เวลาเริ่มต้น เท่ากับ 30 °ซ

อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 30 °ซ

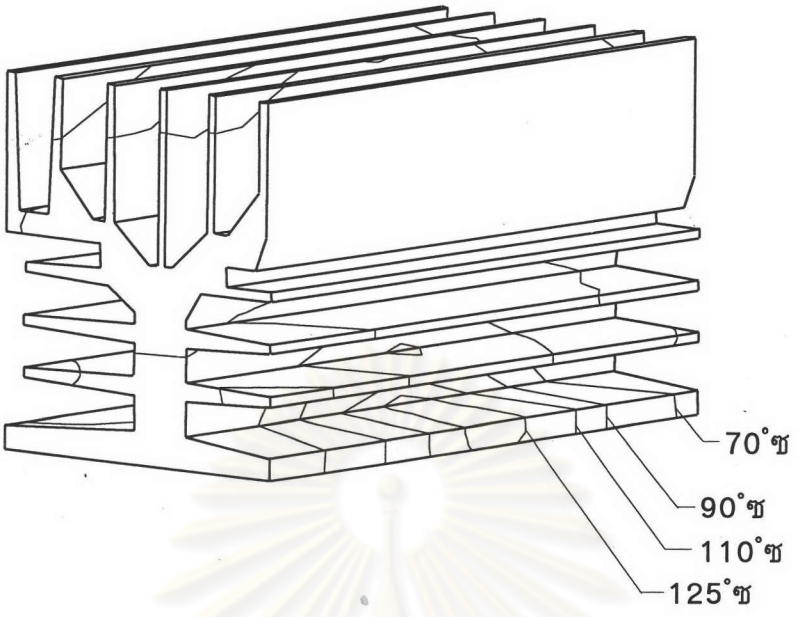
ครีบระบายความร้อนถูกจัดแบ่งออกเป็น 664 จุดต่อ และ 2017 เอลิเมนต์ดังแสดงในรูป 5.22 เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จะได้ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่สภาวะสมดุลทางความร้อน ดังแสดงในรูป 5.23



รูปที่ 5.21 แสดงรูปร่างและเงื่อนไขต่างๆของครีบระบายความร้อน



รูปที่ 5.22 การจัดแบ่งเอลิเมนต์ของครีบระบายความร้อนขนาด 664 จุดต่อ 2017 เอลิเมนต์



รูปที่ 5.23 แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่สภาวะสมดุลทางความร้อน

8. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองวาล์วไอเสีย

วาล์วไอเสียเครื่องยนต์เบนซิลได้รับความร้อนจากการสันดาปส่วนหนึ่งและมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ดังแสดงในรูป 5.24

ตำแหน่งที่วาล์วไอเสียรับความร้อนจะไม่อยู่จุดศูนย์กลางของวงกลมหน้าวาล์ว การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HEAT3D จะพิจารณาครึ่งหนึ่งของวาล์ว และจัดแบ่งเอลิเมนต์ได้ขนาด 1025 จุดต่อ 3752 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.25

คุณสมบัติต่างๆมีดังนี้

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 3.0308 กรัม/ลบ. มม.

ความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 0.46452 จูล/กรัม/°ซ

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 1.0489E-03 จูล/°ซ/มม./วินาที

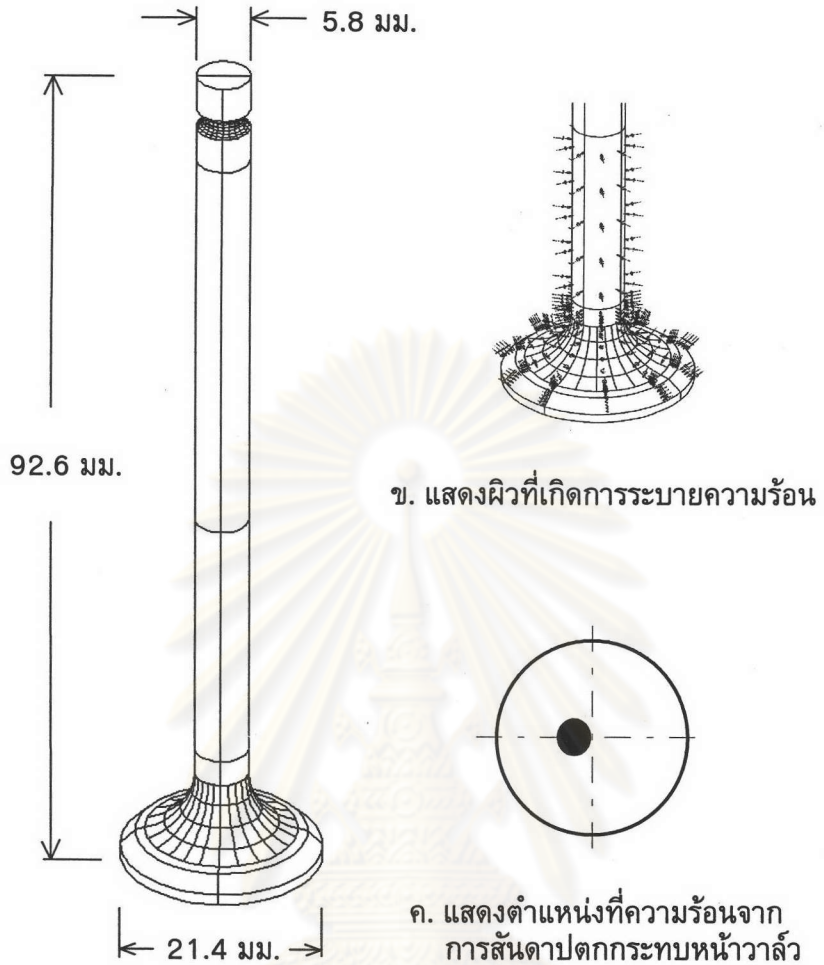
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ 5E-05 จูล/°ซ/ตร.มม./วินาที

อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 50°ซ

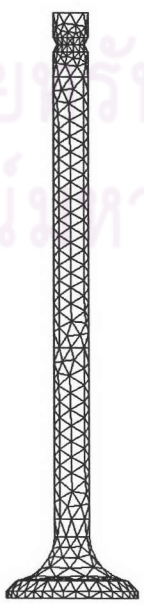
อุณหภูมิเริ่มต้นการคำนวน เท่ากับ 50°ซ

ปริมาณความร้อนจากภายนอก(Q) เท่ากับ 2.715 จูล/วินาที

ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการกระจายอุณหภูมิของวาล์ว ดังแสดงในรูป 5.26

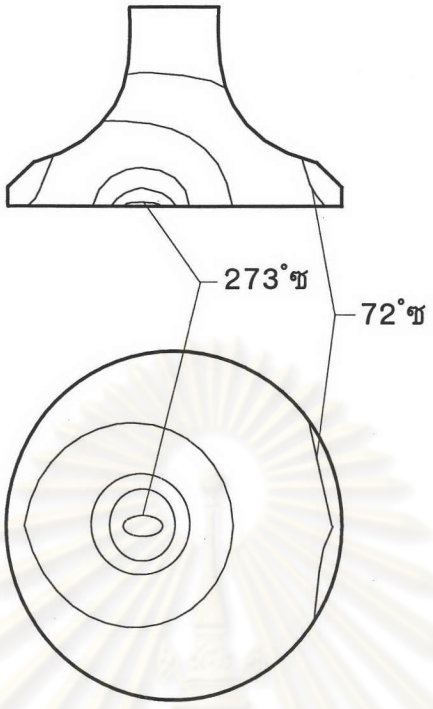


รูปที่ 5.24 แสดงลักษณะของวาล์วเครื่องยนต์



รูปที่ 5.25 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 1025 จุดต่อ 3752 เอลิเมนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.26 แสดงการกระจายอุณหภูมิของวาล์ว

9. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองลูกสูบเครื่องยนต์

ปัญหานี้จะทำการพิจารณาลูกสูบเครื่องยนต์เบนซิล 4 สูบ โดยแต่ละลูกสูบจะระบายความร้อนออกไปเท่ากับ 66.58 จูล/วินาที

คุณสมบัติต่างๆมีดังนี้

ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 3.0308 กรัม/ลบ. มม.

ความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 0.46452 จูล/กรัม/°ซ

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 1.0489E-03 จูล/°ซ/มม./วินาที

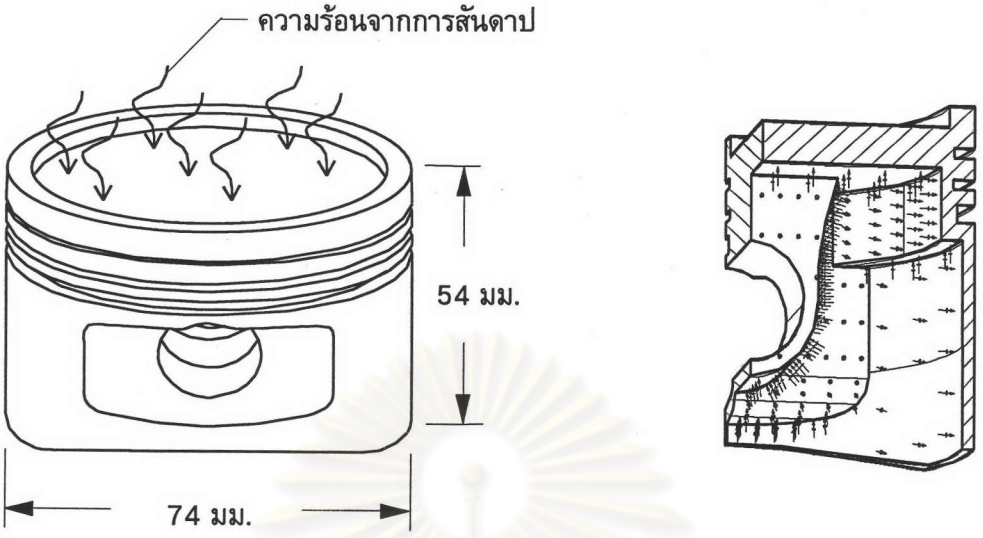
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ 5E-03 จูล/°ซ/ตร.มม./วินาที

อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 93°ซ

อุณหภูมิเริ่มต้นการคำนวน เท่ากับ 93°ซ

ปริมาณความร้อนจากภายนอก(Q) เท่ากับ 66.58 จูล/วินาที

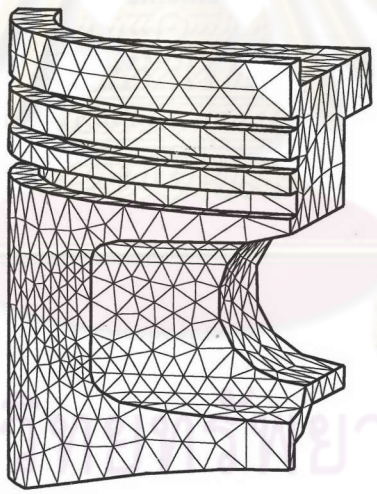
รูปที่ 5.27 แสดงถึงขนาดของลูกสูบและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในการวิเคราะห์ปัญหานี้จะนำลูกสูบมาพิจารณาเพียง 1/4 ส่วน เนื่องจากลูกสูบมีความสมมาตรทางรูปทรง และสามารถทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 945 จุดต่อ และ 3066 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.28 เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D จนเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อนจะปรากฏลักษณะการกระจายของอุณหภูมิออกมาดังแสดงในรูป 5.29



ก. ขนาดและผิวที่รับความร้อนจากการสันดาป

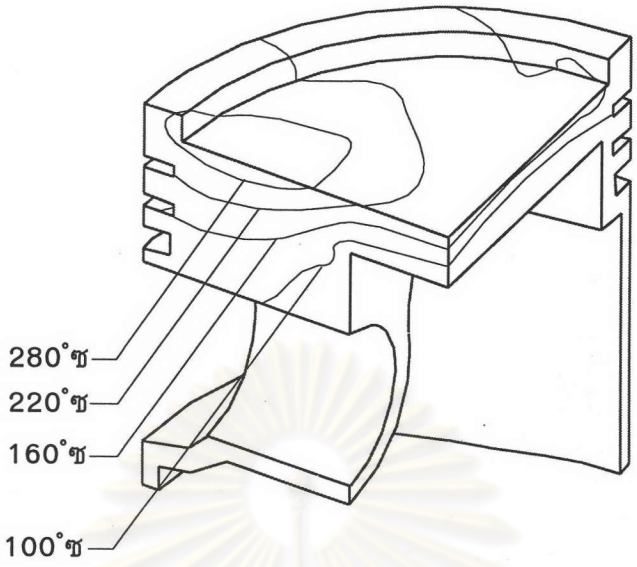
ข. แสดงผิวที่เกิดการพาความร้อน

รูปที่ 5.27 แสดงขนาดและลักษณะการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบ



รูปที่ 5.28 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 945 จุดต่อ และ 3066 เอลิเมนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

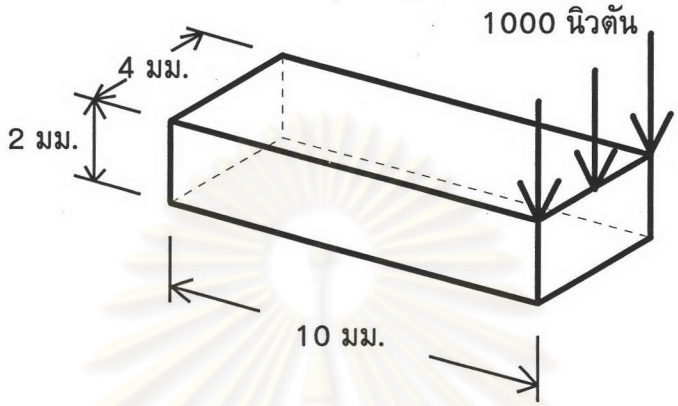


รูปที่ 5.29 แสดงการกระจายอุณหภูมิของลูกสูบที่สภาวะสมดุลทางความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับโปรแกรม STRES3D

1. ระยะแอ่นของแท่งสี่เหลี่ยมยาวที่มีแรงกดบนปลายด้านหนึ่ง แท่งสี่เหลี่ยมมีขนาดและแรงกดดังในรูป 5.30



รูปที่ 5.30 แสดงขนาดของแท่งสี่เหลี่ยม

ปลายแท่งสี่เหลี่ยมจะแอ่นลงเป็นระยะทางดังนี้ (Singer and Pytel,1980)

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

โดย δ คือ ค่าการเคลื่อนที่ (มม.)

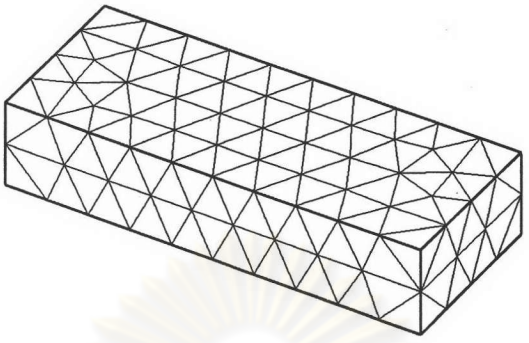
P คือ แรงที่กระทำ (1000 นิวตัน)

L คือ ความยาวทั้งหมด (10 มม.)

E คือ ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (17.5×10^6 นิวตัน/ตร.มม.)

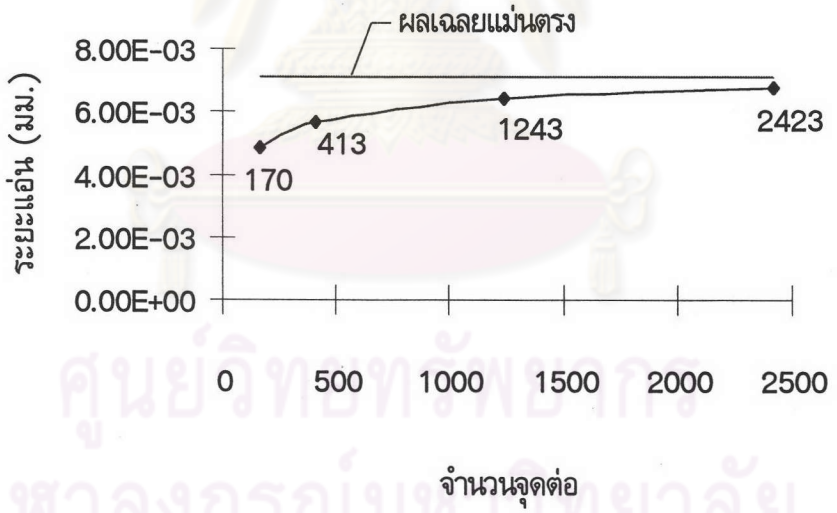
I คือ ค่าโมเมนต์ของความเฉื่อย ($\frac{bh^3}{12} = \frac{8}{3}$ มม^4)

ปัญหานี้จะทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 4 รูปแบบ ขนาด 170 จุดต่อ 413 จุดต่อ 1243 จุดต่อ และ 2423 จุดต่อ เช่น ในรูป 5.31 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 170 จุดต่อ 502 เอลิเมนต์ เป็นต้น



รูปที่ 5.31 การจัดแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 170 จุดต่อ 502 เอลิเมนต์

การคำนวณด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ผลเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงดังแสดงในรูป 5.32 ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนจุดต่อเพิ่มขึ้น ค่าความผิดพลาดจะน้อยลงหรือผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ผลเฉลยแม่นตรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.32 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยแม่นตรงกับผลจากโปรแกรม STRES3D

2. การขยายตัวและความเค้นของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 335 มม. x 318 มม. x 279 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5.33 มีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งก้อนเท่ากับ 140°ซ และถูกกำหนดเงื่อนไขออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ก. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์สามารถขยายตัวได้อย่างอิสระ ข. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ถูกยึดติดแน่นทุกด้าน สำหรับการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D สี่เหลี่ยมลูกบาศก์จะถูกจัดแบ่ง

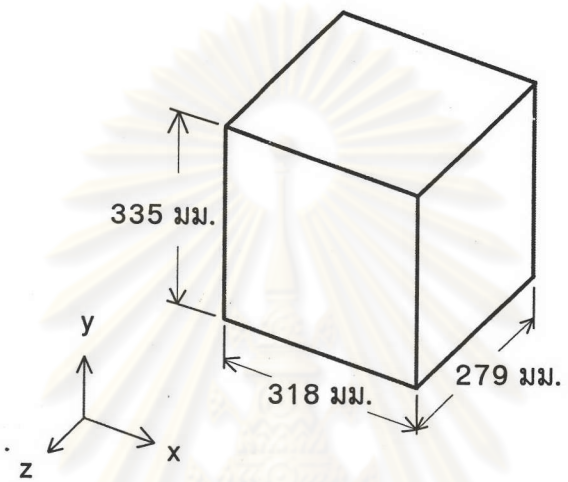
เอลิเมนต์ออกเป็น 25 จุดต่อ และ 45 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.34

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

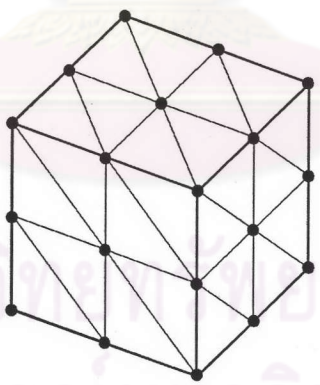
ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.7055×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

ค่าคงที่พัวซอง (υ) เท่ากับ 0.29

สัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) เท่ากับ 12.7×10^{-6} /°ซ



รูปที่ 5.33 ขนาดของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์



รูปที่ 5.34 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 25 จุดต่อ 45 เอลิเมนต์

กรณี ก. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์สามารถขยายตัวได้อย่างอิสระ

กรณีนี้จะเกิดการขยายตัวอย่างอิสระ และไม่มีความเค้นเกิดขึ้น ค่าการเคลื่อนที่ (Boley and Weiner,1962) จะมีค่าดังนี้

$$\delta = \alpha L(T - T_0)$$

โดย

δ คือ ค่าการเคลื่อนที่ (มม.)

L คือ ความยาวทั้งหมด (มม.)

T คือ อุณหภูมิของอลูมินั่ม (140°ซ)

T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิง (20°ซ)

ผลเฉลยแม่นตรงจะมีค่าดังนี้

u = 0.5835 มม.

v = 0.6162 มม.

w = 0.5135 มม.

โดย u คือ ค่าการเคลื่อนที่ในทิศทาง x

v คือ ค่าการเคลื่อนที่ในทิศทาง y

w คือ ค่าการเคลื่อนที่ในทิศทาง z

ผลการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ค่าออกมาใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นตรง และมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 0.045 %

กรณี ข. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ถูกยึดติดแน่นทุกด้าน

กรณีนี้จะไม่มีค่าการเคลื่อนที่เกิดขึ้น แต่จะก่อให้เกิดความเค้นดังนี้ (Boley and Weiner,1962)

$$\sigma_{xx} = -\frac{E}{(1-2\upsilon)}\alpha(T-T_0)$$

$$\sigma_{yy} = -\frac{E}{(1-2\upsilon)}\alpha(T-T_0)$$

$$\sigma_{zz} = -\frac{E}{(1-2\upsilon)}\alpha(T-T_0)$$

โดย

σ_{xx} คือ ความเค้นในแนว x

σ_{yy} คือ ความเค้นในแนว x

σ_{zz} คือ ความเค้นในแนว x

ผลเฉลยแม่นตรงจะมีค่าเท่ากับ

$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ = -7.9795E+04 นิวตัน/ตร.มม.

ผลการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ค่าออกมาใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นตรง และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.3 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การเสียรูปและความเค้นของแผ่นอลูมินั่มอย่างง่าย

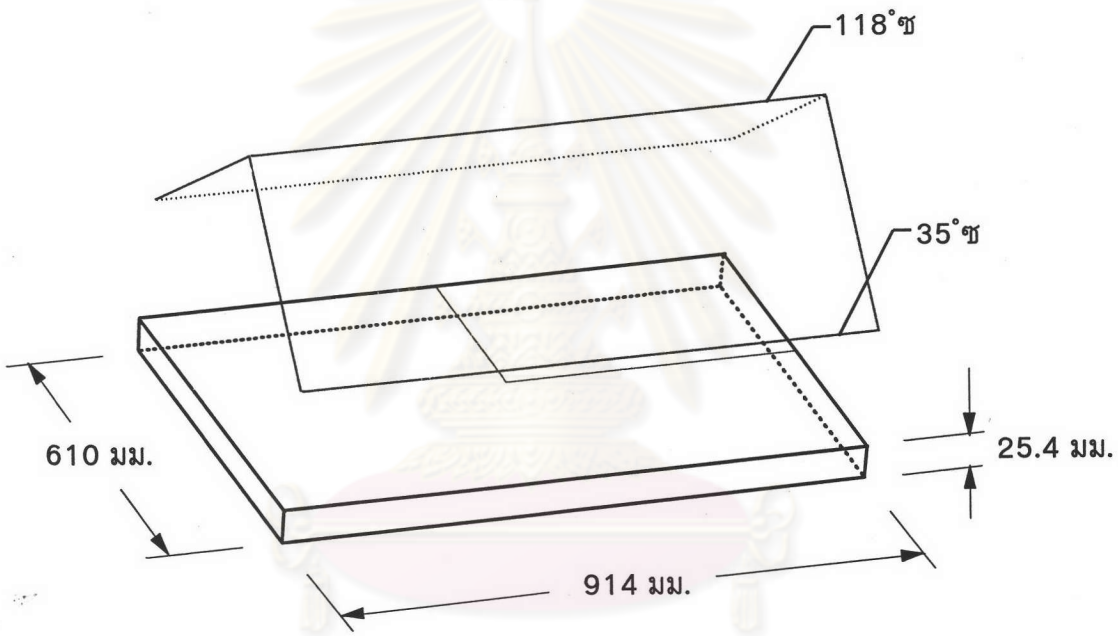
แผ่นอลูมินั่มมีอุณหภูมิเชิงเส้นดังแสดงในรูป 5.35 การวิเคราะห์แผ่นอลูมินั่มจะนำมาพิจารณาเพียง 1/4 ส่วน เนื่องจากคุณสมบัติความสมมาตรทางด้านรูปทรงและเงื่อนไขของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ชิ้นส่วนแผ่นอลูมินั่มถูกจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 75 จุดต่อ 177 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.36

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

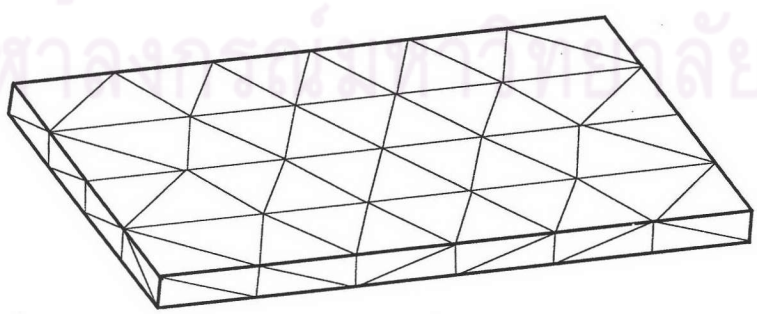
ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.7055×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

อัตราส่วนพัวซอง (υ) เท่ากับ 0.29

สัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) เท่ากับ 12.7×10^{-6} /°ซ

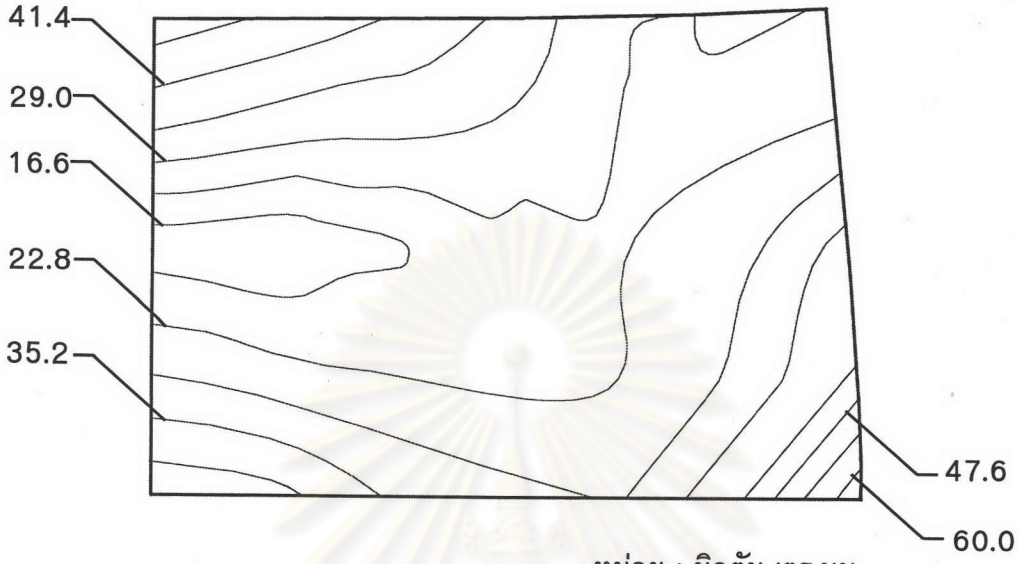


รูปที่ 5.35 ขนาดและลักษณะการกระจายอุณหภูมิเชิงเส้นของแผ่นอลูมินั่ม



รูปที่ 5.36 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 75 จุดต่อ 177 เอลิเมนต์

เมื่อทำการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ลักษณะการกระจายความเค้นแบบ Von Mises บนรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูป 5.37



รูปที่ 5.37 แสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นบนแผ่นที่เปลี่ยนรูปทรงไป

4. ความเค้นของฉนวนหุ้มท่อน้ำร้อน

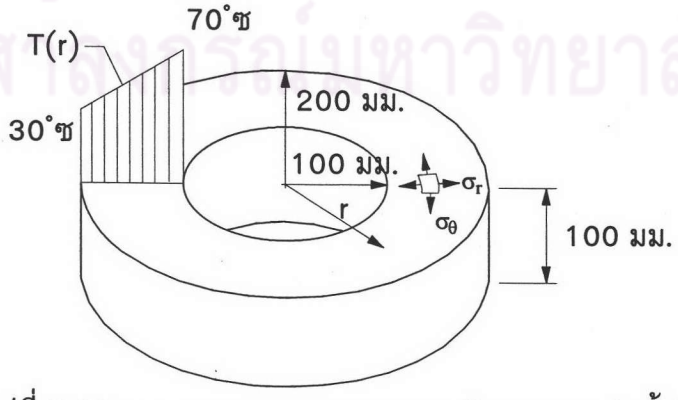
ฉนวนหุ้มท่อน้ำร้อนยาวมากถูกนำมาวิเคราะห์เพียงความหนา 100 มม. อุณหภูมิผิวในฉนวนมีค่าเท่ากับ 70°ซ อุณหภูมิผิวนอกที่สัมผัสกับอากาศมีค่าเท่ากับ 30°ซ และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับระยะทางในแนวรัศมี ดังแสดงในรูป 5.38

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.7055×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

ค่าคงที่พัวซอง (υ) เท่ากับ 0.29

สัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) เท่ากับ 2.286×10^{-5} /°ซ



รูปที่ 5.38 ขนาดและการกระจายอุณหภูมิของฉนวนท่อน้ำร้อน

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยแม่นตรง (Boley and Weiner,1962)ได้ดังนี้

$$T(r) = \frac{T_b - T_a}{100} r + 2T_a - T_b$$

$$\sigma_r = \frac{\alpha E}{(1-\upsilon)r^2}\left[\frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2}\int_a^b Tr\,dr - \int_a^r Tr\,dr\right]$$

$$= \frac{\alpha E}{(1-\upsilon)r^2}\left[\frac{r^2 - 10^4}{30000}\frac{T_b - T_a}{300}(7x10^6) - \frac{T_b - T_a}{300}(r^3 - 10^6)\right]$$

$$\sigma_\theta = \frac{\alpha E}{(1-\upsilon)r^2}\left[\frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2}\int_a^b Tr\,dr + \int_a^b Tr\,dr - Tr^2\right]$$

$$= \frac{\alpha E}{(1-\upsilon)r^2}\left[\frac{r^2 + 10^4}{30000}\frac{T_b - T_a}{300}(7x10^6) + (r^2 + 10^4)(T_a - \frac{T_b}{2})\right.$$

$$\left. + (T_a - \frac{T_b}{2})(r^2 - 10^4) - \frac{T_b - T_a}{100}r^3 - 2T_a r^2 + T_b r^2\right]$$

โดย $T(r)$ คือ ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งรัศมี (r) ใดๆ

T_a คือ อุณหภูมิที่ระยะรัศมี 100 มม. เท่ากับ 70°ซ

T_b คือ อุณหภูมิที่ระยะรัศมี 200 มม. เท่ากับ 30°ซ

a คือ ระยะรัศมีเท่ากับ 100 มม.

b คือ ระยะรัศมีเท่ากับ 200 มม.

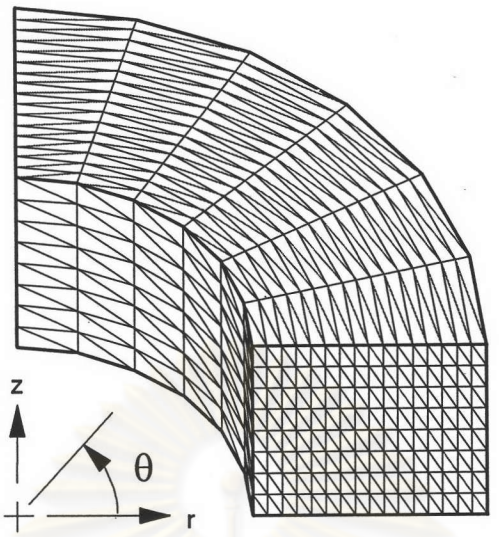
r คือ ระยะรัศมี (มม.)

σ_r คือ ความเค้นในแนวรัศมี (นิวตัน/ตร.มม.)

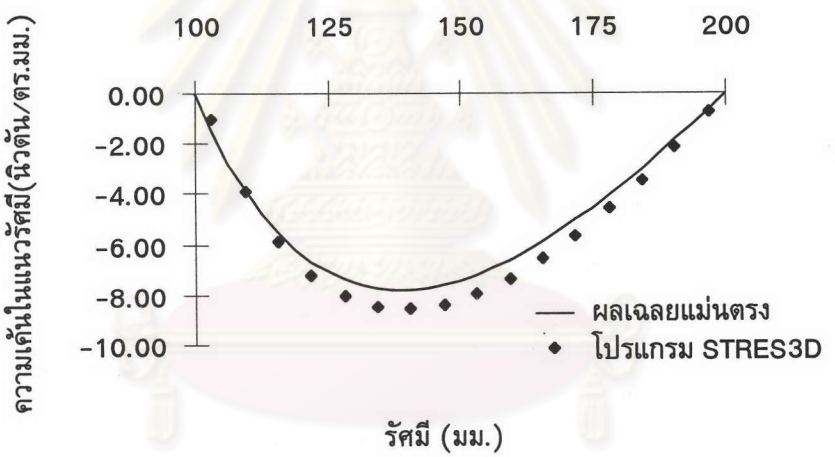
σ_θ คือ ความเค้นในแนวซีต้า (นิวตัน/ตร.มม.)

การวิเคราะห์จะนำมาพิจารณาเพียง 1/4 ส่วน เพราะฉนวนมีความสมมาตรทางด้านรูปทรง และฉนวนจะถูกจัดแบ่งออกเป็น 1100 จุดต่อ 4600 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.39

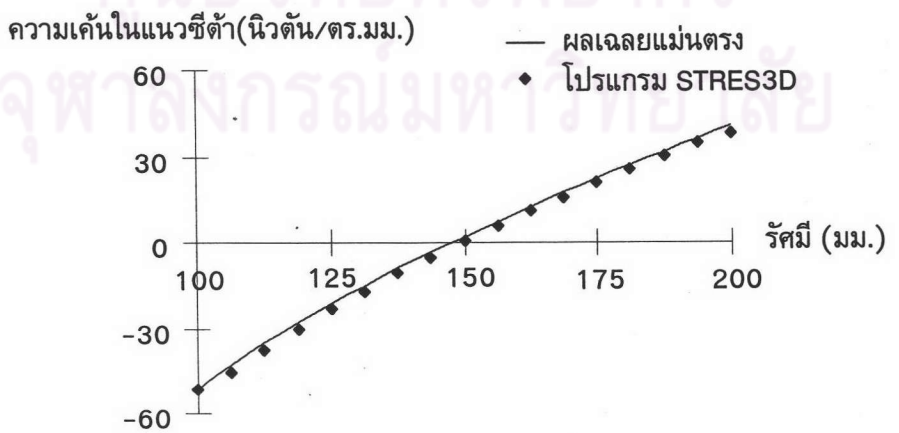
ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม STRES3D สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงได้ดังในรูป 5.40



รูปที่ 5.39 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 1100 จุดต่อ 4600 เอลิเมนต์



ก แสดงการเปรียบเทียบความเค้นในแนวรัศมีกับระยะทางในแนวรัศมี



ข แสดงการเปรียบเทียบความเค้นในแนวซีต้ากับระยะทางในแนวรัศมี

รูปที่ 5.40 แสดงการเปรียบเทียบความเค้นจากผลเฉลยแม่นตรงกับโปรแกรม STRES3D

5. การหดตัวของแบบจำลองคันสตาร์ทรถมอเตอร์ไซด์

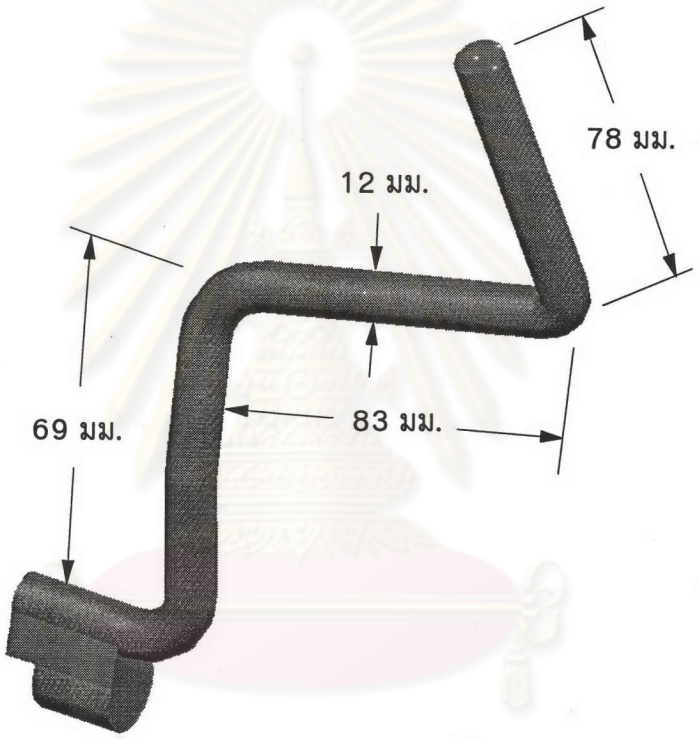
คันสตาร์ทรถมอเตอร์ไซด์มีขนาดดังในรูป 5.41 ถูกนำออกมาจากแม่พิมพ์มีอุณหภูมิ 1200°ซ และถูกปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30°ซ

คุณสมบัติต่าง ๆของอลูมินั่ม

ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.70549×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

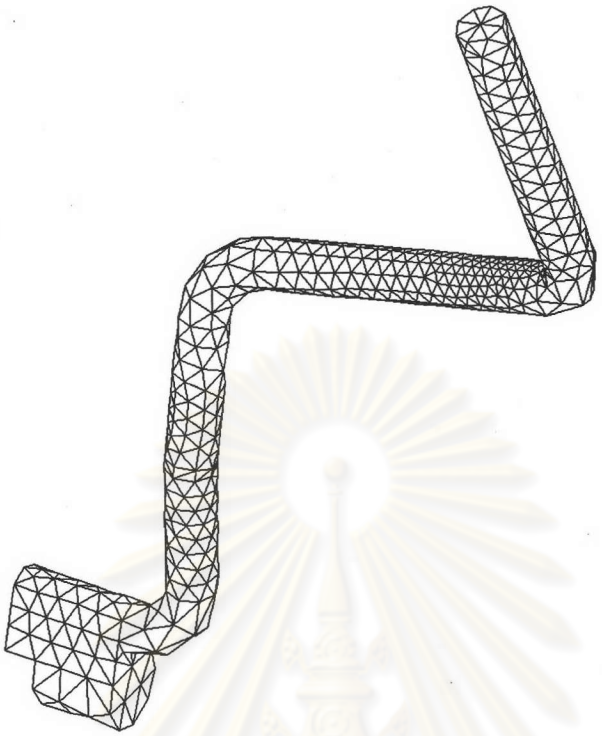
อัตราส่วนพัวซอง (ν) เท่ากับ 0.29

สัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) เท่ากับ 0.229×10^{-4} /°ซ

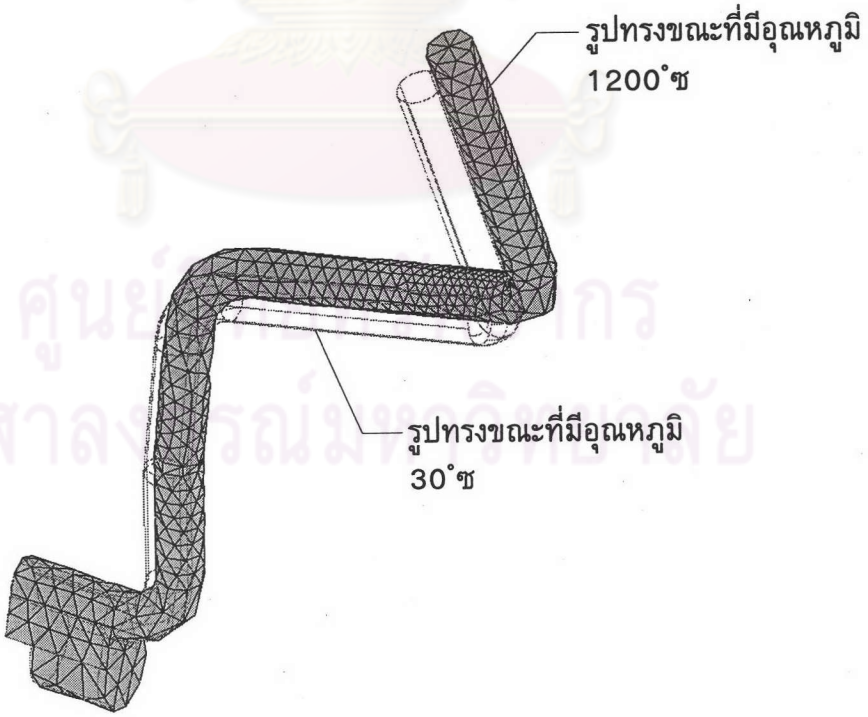


รูปที่ 5.41 แสดงขนาดของคันสตาร์ทรถมอเตอร์ไซด์

คันสตาร์ทถูกจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 1177 จุดต่อ 4252 เอลิเมนต์ ดังแสดงใน รูป 5.42 และเมื่อทำการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D พบว่าเมื่อคันสตาร์ทมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศจะเกิดการหดตัวลงประมาณ 3 % ดังแสดงในรูป 5.43 และไม่มีความเค้นเกิดขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์นี้จะทำให้ทราบลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ เช่น สามารถนำไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นได้พอดีหรือไม่ ชิ้นส่วนที่ได้มีความเค้นคงเหลืออยู่ก่อนที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ เป็นต้น



รูปที่ 5.42 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 1177 จุดต่อ 4252 เอลิเมนต์



รูปที่ 5.43 แสดงการหดตัวของคันสตาร์ท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ระยะหดตัวของแบบจำลองล้อแมกซ์อลูมินั่ม

ล้อแมกซ์อลูมินั่มมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อเท่ากับ 305 มม. และมีความกว้างกระทะล้อเท่ากับ 100 มม. ดังแสดงในรูป 5.44 ถูกนำออกมาจากแม่พิมพ์มีอุณหภูมิเท่ากับ 650°ซ และถูกปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิอากาศ 35°ซ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม STRES3D จะพิจารณาเพียงครึ่งหนึ่งของล้อและทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 940 จุดต่อ 3038 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 5.45

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

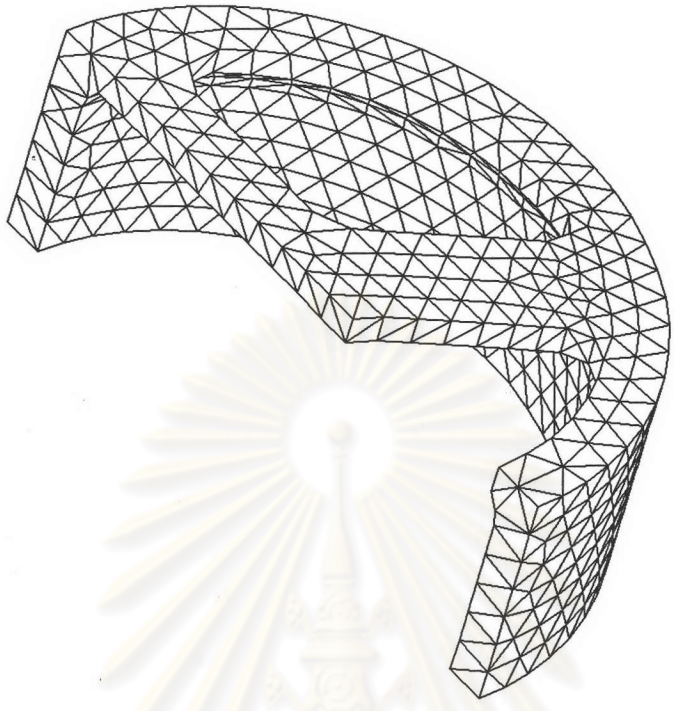
ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.70549×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

อัตราส่วนพัวซอง (ν) เท่ากับ 0.29

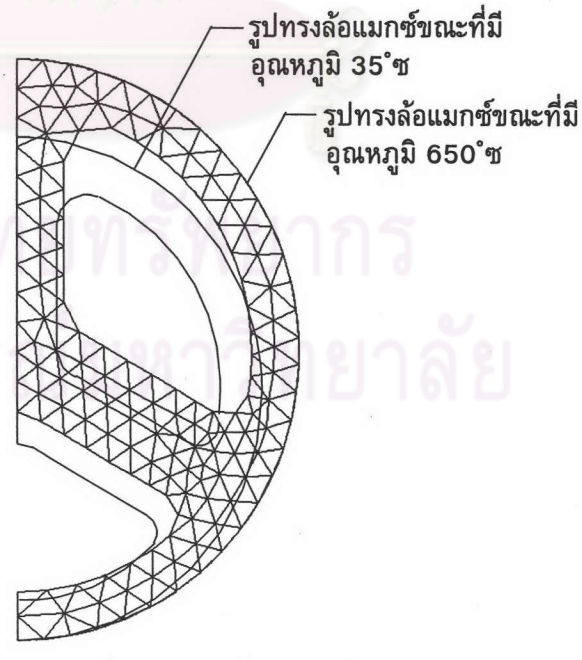
ค่าคงที่ของการขยายตัว (α) เท่ากับ 0.229×10^{-4} /°ซ

ภายหลังจากคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D ปรากฏว่าเมื่อล้อแมกซ์มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศจะเกิดการหดตัวลงประมาณ 1.4 % ดังแสดงในรูป 5.46

รูปที่ 5.44 การจำลองรูปร่างของล้อแมกซ์อย่างง่าย



รูปที่ 5.45 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 940 จุดต่อ 3038 เอลิเมนต์



รูปที่ 5.46 แสดงการหดตัวของล้อแมกซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. การเสียรูปทรงและความเค้นของแบบจำลองล้อแมกซ์อลูมินั่มรูปร่างซับซ้อน

ล้อแมกซ์อลูมินั่มขนาด 432 มม. ถูกแรงกระทำในแนวรัศมีขนาด 5521 นิวตัน ปัญหานี้จะทำการออกแบบล้อแมกซ์เป็น 2 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบว่ารูปแบบไหนจะเกิดความเค้นน้อยกว่า

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

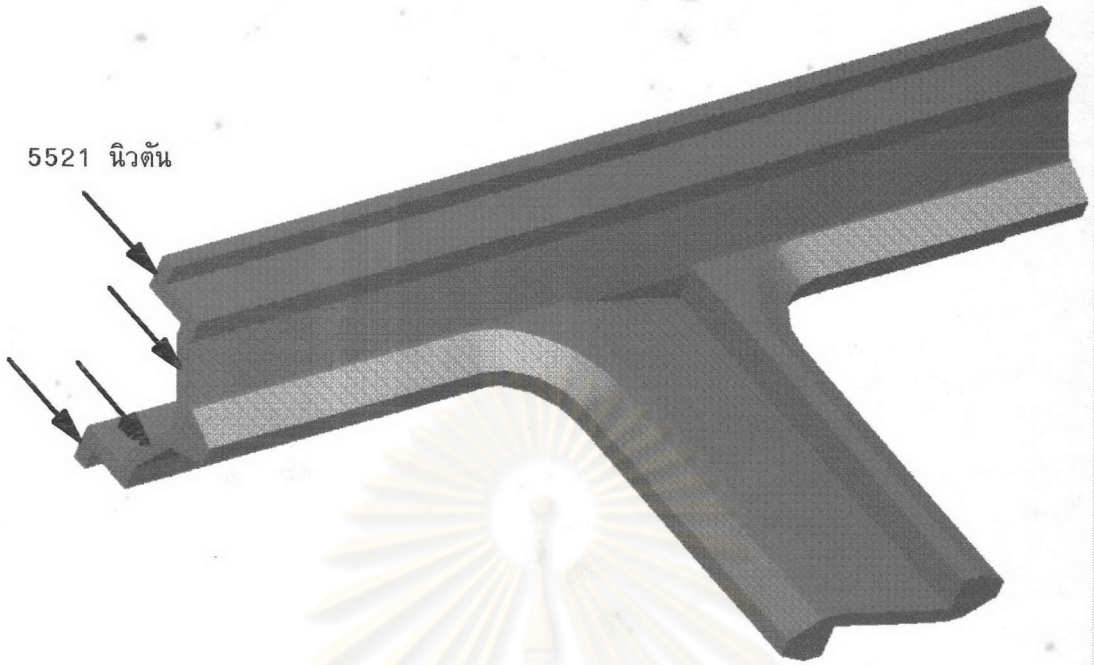
ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 69.627×10^3 นิวตัน/ตร.มม.

อัตราส่วนพัวซอง (ν) เท่ากับ 0.33

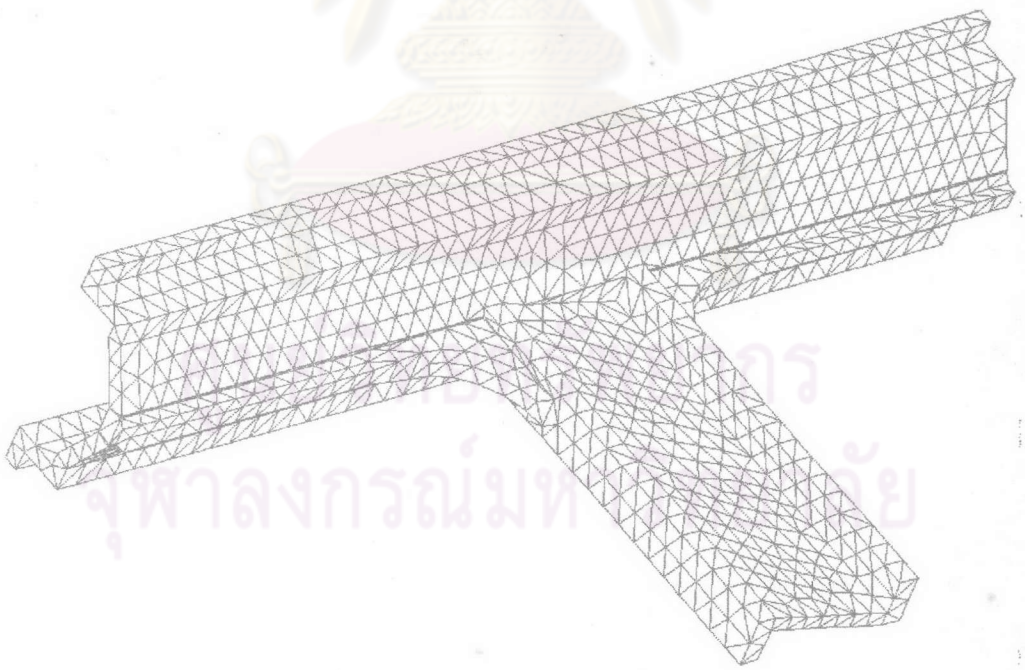
การวิเคราะห์ล้อแมกซ์จะพิจารณาเพียงบางส่วนของล้อ และทำการจำลองรูปร่างของล้อให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวน ดังแสดงในรูป 5.47 (รูปแบบที่ 1) และ รูป 5.48 (รูปแบบที่ 2) และสามารถจัดแบ่งเอลิเมนต์ได้ดังในรูปที่ 5.49 (รูปแบบที่ 1) และ รูป 5.50 (รูปแบบที่ 2)

รูปที่ 5.47 แสดงรูปร่างและแนวแรงของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 1

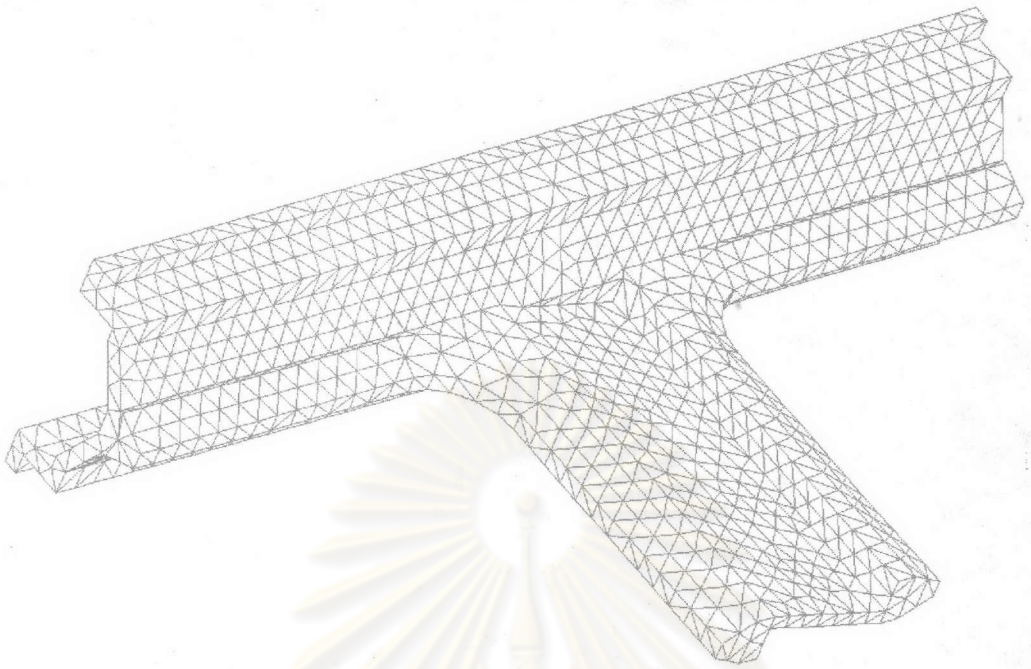
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.48 แสดงรูปร่างและแนวแรงของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 2



รูปที่ 5.49 การจัดแบ่งเอลิเมนต์ 2850 จุดต่อ 9303 เอลิเมนต์ ของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 1

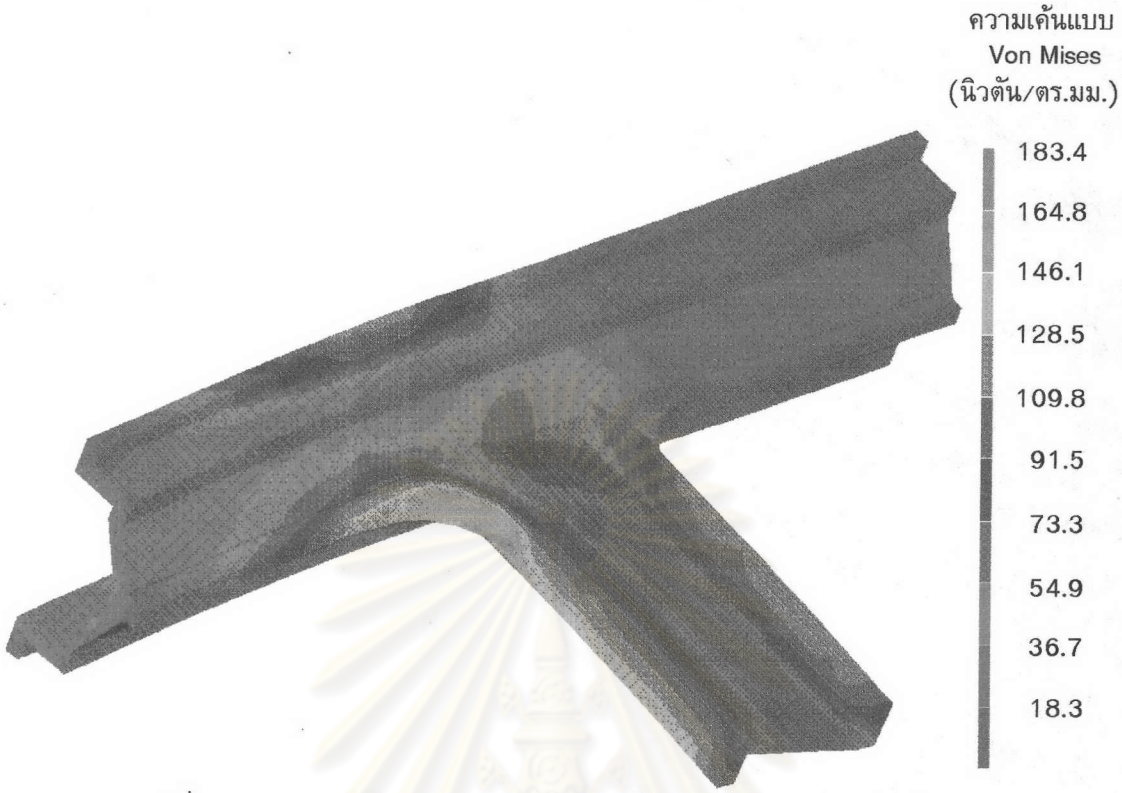


รูปที่ 5.50 การจัดแบ่งเอลิเมนต์ 2890 จุดต่อ 9427 เอลิเมนต์ ของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 2

เมื่อทำการคำนวนทั้ง 2 รูปแบบ ด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ลักษณะของความเค้นดังแสดงในรูป 5.51 (รูปแบบที่ 1) และ รูป 5.52 (รูปแบบที่ 2)

ความเค้นแบบ Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นของรูปแบบที่ 2 จะมีค่าน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ประมาณ 20 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.51 แสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 1

รูปที่ 5.52 แสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นของล้อแมกซ์รูปแบบที่ 2

8. การเสียรูปและความเค้นของแบบจำลองลูกสูบ

ลูกสูบมีความร้อนและแรงดันจากการสันดาปกระทำ ดังแสดงในรูป 5.53 การกระจายอุณหภูมิของลูกสูบเนื่องจากความร้อนจากการสันดาปจะเป็นไปตามผลของปัญหาข้อ 9 จากโปรแกรม HEAT3D และรูปแบบการจัดแบ่งเอลิเมนต์ที่ใช้จะเป็นแบบเดียวกับในรูป 5.28 เมื่อทำการคำนวนด้วยโปรแกรม STRES3D จะได้ลักษณะความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกสูบ ดังแสดงในรูป 5.54

คุณสมบัติต่างๆของอลูมินั่ม

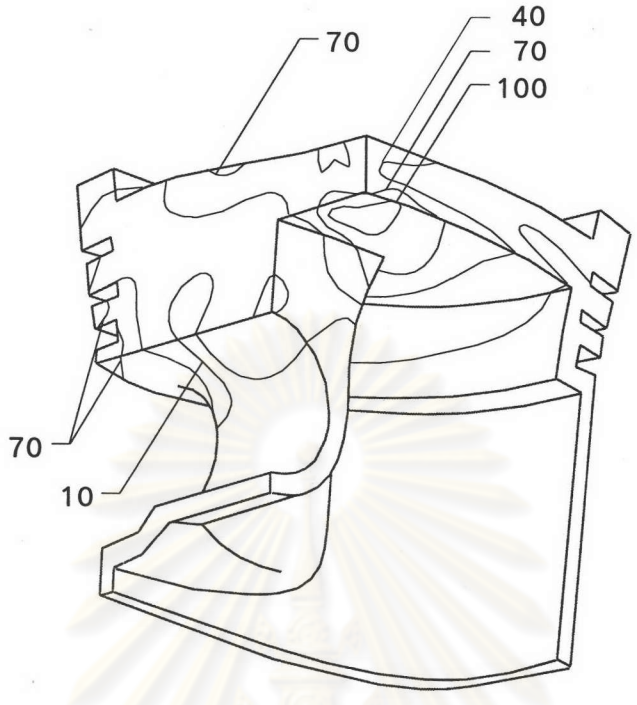
ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 71.70549×10^{3} นิวตัน/ตร.มม.

อัตราส่วนพัวซอง (ν) เท่ากับ 0.29

ค่าคงที่ของการขยายตัว (α) เท่ากับ 0.229×10^{-4} /°ซ

รูปที่ 5.53 แสดงรูปร่างของลูกสูบเครื่องยนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หน่วย : นิวตัน/ตร.มม.

รูปที่ 5.54 แสดงลักษณะความเค้นแบบ Von Mises ของลูกสูบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย