

บทที่ 3

ขั้นตอนในการคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิ ในวัสดุที่มีสมบัติแบบลดระดับ

โปรแกรมสำเร็จรูปAbaqus ที่ใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ได้ง่ายโดยมีขั้นตอนต่างๆ ในการทำงานดังนี้

1. สร้างชิ้นงานที่จะทำการคำนวณ
2. กำหนดคุณสมบัติทางความร้อนลงในชิ้นงาน
3. นำชิ้นงานแต่ละชิ้นมาประกอบกัน
4. กำหนดการคำนวณเป็น Heat Transfer และใช้การคำนวณย่อยเป็นแบบ Transient
5. กำหนด Load หรือเงื่อนไขขอบเขตลงในชิ้นงาน
6. กำหนดเอลิเมนต์ในชิ้นงาน
7. ทำการคำนวณ

3.1 คำนวณค่าการนำความร้อน

จากสมการการนำความร้อน $k(x,y,z) = k_0 \cdot e^{2\beta z}$

เมื่อ $k_0 = 5 \text{ W/m.K}$

$$\beta = 1.5$$

$$Z = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$$

ดังนั้น	$k(x,y,0.2) = 9.110594002$	W/m.K
	$k(x,y,0.4) = 16.60058461$	W/m.K
	$k(x,y,0.6) = 30.24823732$	W/m.K
	$k(x,y,0.8) = 55.1158819$	W/m.K
	$k(x,y,1.0) = 100.4276946$	W/m.K

กำหนดให้ค่าความหนาแน่น(ρ) และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) มีค่าคงที่

$$\rho = 869 \text{ kg/m}^2$$

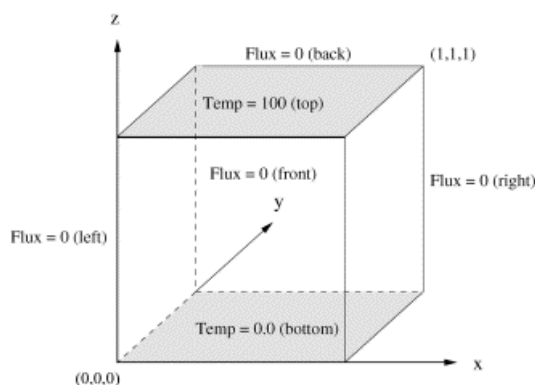
$$C_p = 1 \text{ J/kg.K}$$

นำค่าคุณสมบัติเหล่านี้ไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของโปรแกรม Abaqus

กรณีศึกษาที่ 1 มีเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้นของ Cube เท่ากับศูนย์ จากสมการ $\phi(x, y, z; t_0) = \phi(x, y, z) = 0$ และที่ Top Surface ของ Cube $[z = 1]$ มีอุณหภูมิเท่ากับ 100 และที่ Bottom face ที่ $[z = 0]$ มีอุณหภูมิเท่ากับ 0 และอีก 4 ด้านที่เหลือเป็น Insulated มี Normal Flux เป็น 0

$$\phi(x, y, 0; t) = 0, \phi(x, y, 1; t) = 100, \phi(x, y, z; 0) = 0$$



รูปที่ 3.1 แสดงปัญหาเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นของ FGM กับอุณหภูมิที่คงที่บน 2 ระนาบ
เงื่อนไขขอบเขตคุณสมบัติของวัสดุ

$$k(x, y, z) = k_0 e^{2\beta z} = 5e^{3z} \quad (3.1)$$

$$c(x, y, z) = c_0 e^{2\beta z} = 1e^{3z} \quad (3.2)$$

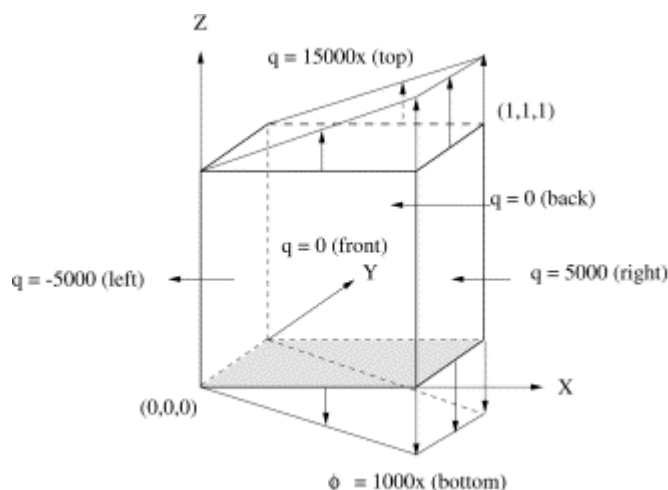
สมการที่ใช้คำนวณ

$$\phi(x, y, z; t) = \phi_s(x, y, z) + \phi_t(x, y, z; t) = T \frac{1 - e^{-2\beta z}}{1 - e^{-2\beta L}} + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin \frac{n\pi z}{L} e^{-\beta z} e^{-(n^2\pi^2/L^2 + \beta^2)\alpha t} \quad (3.3)$$

$$B_n = -\frac{2Te^{\beta L}}{\beta^2 L^2 + n^2 \pi^2} \left[\beta L \sin n\pi \frac{1 + e^{-2\beta L}}{1 - e^{-2\beta L}} - n\pi \cos n\pi \right] \quad (3.4)$$

กรณีศึกษาที่ 2 มีเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นดังนี้

มีฉนวนหุ้มที่ระนาบ $[y = 0]$ และ $[y = 1]$ มี Heat Fluxes of 5000 units เข้า และออกที่ระนาบ $[x = 1]$ และ $[x = 0]$ ที่ระนาบ $[z = 0]$ มีอุณหภูมิที่ขึ้นกับ x กระจายอยู่เท่ากับ $1000x$ และมี Normal Heat Flux of $q = 15000x$ ออก



รูปที่ 3.2 แสดงปัญหาเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นของ FGM กับ Linear Heat Flux และอุณหภูมิที่ผิว ($\phi = 1000x$)

เงื่อนไขขอบเขต

$$\phi(x, y, 0; t) = 1000x \quad (3.5)$$

$$k(z) = \frac{\partial \phi(x, 0, z; t)}{\partial y} = k(z) \frac{\partial \phi(x, 1, z; t)}{\partial y} = 0 \quad (3.6)$$

$$k(z) = \frac{\partial \phi(0, y, z; t)}{\partial x} = -5000 \quad (3.7)$$

$$k(z) = \frac{\partial \phi(1, y, z; t)}{\partial x} = 5000 \quad (3.8)$$

$$k(z) = \frac{\partial \phi(x, y, 1; t)}{\partial z} = -15000x \quad (3.9)$$

$$\phi(x, y, z; 0) = 0 \quad (3.10)$$

เงื่อนไขขอบเขตคุณสมบัติของวัสดุ

$$k(x, y, z) = k_0 e^{2\beta z} = 5e^{3z}$$

$$c(x, y, z) = c_0 e^{2\beta z} = 1e^{3z}$$

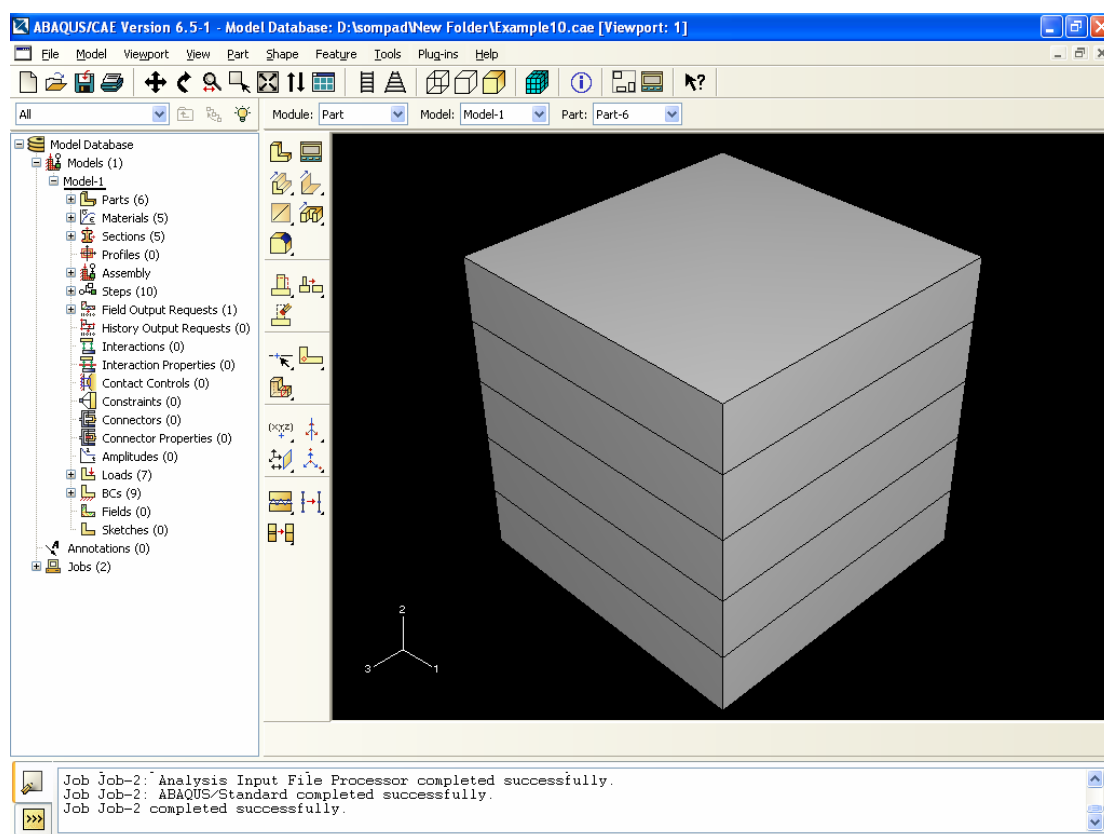
สมการที่ใช้คำนวณ

$$\phi(x, y, z) = 1000xe^{-3z} \quad (3.11)$$

$$\phi(x, y, z; t) = (1000xe^{-3z}) + (1000e^{-\alpha\lambda_n^2 t} \sin \lambda_n z) \quad (3.12)$$

3.2 ขั้นตอนการกำหนดสมบัติ และคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิของวัสดุแบบ FGM ในโปรแกรม ABAQUS

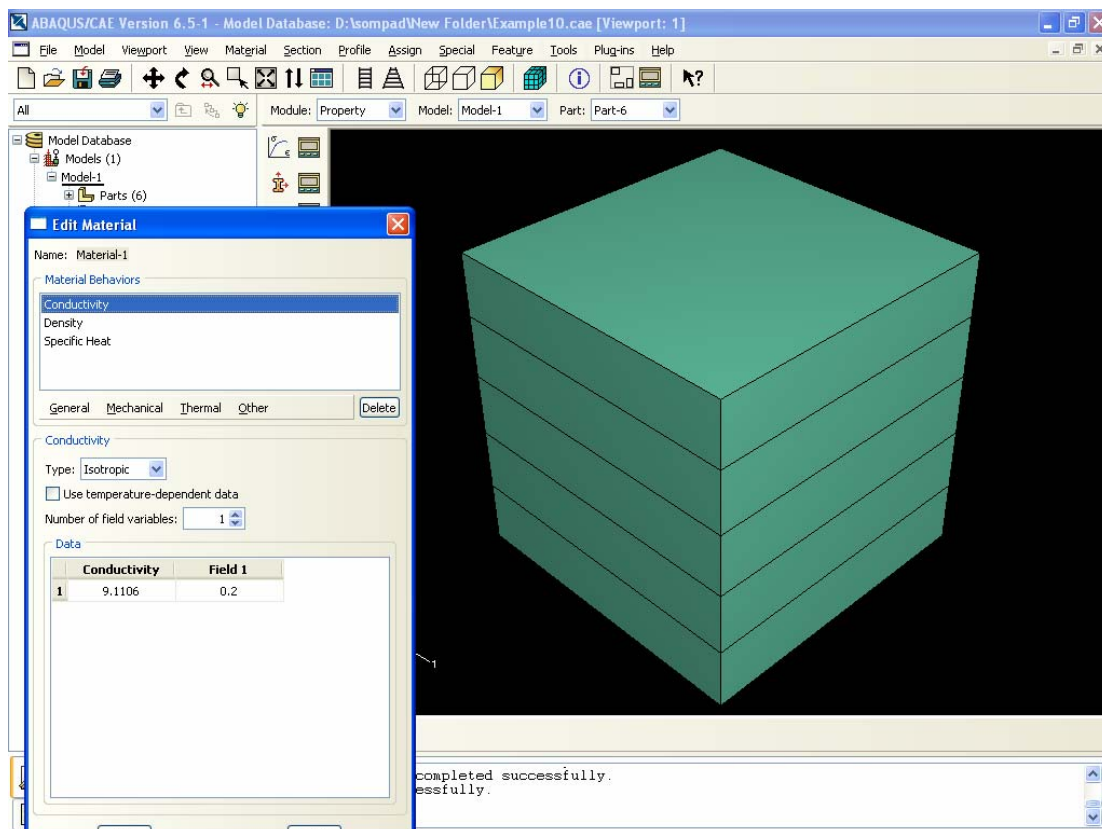
กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 3.3 แสดงการเริ่มต้นด้วยการกำหนด Part

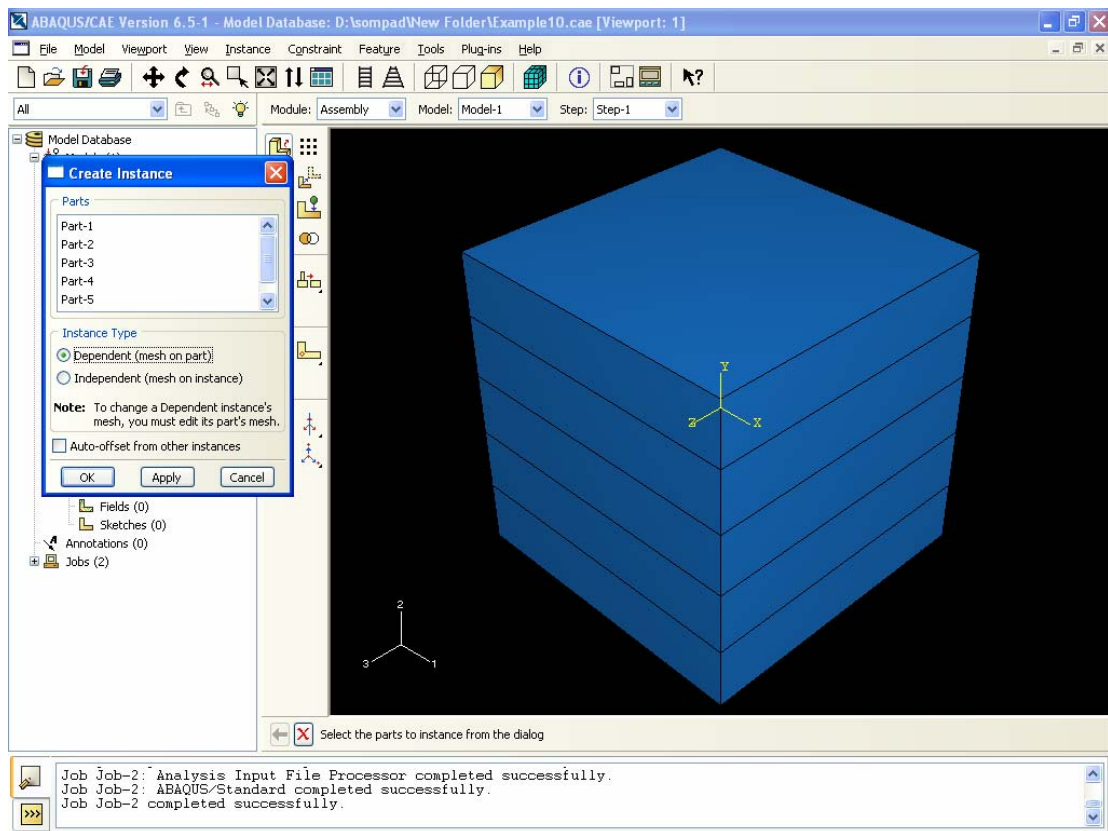
การสร้างชิ้นงานในโปรแกรม Abaqus เรากำหนดชิ้นงานให้มีขนาด $1 \times 1 \times 0.2$ จำนวน 5 ชั้น ดังรูปที่ 3.3 ในการสร้าง Part เป็นงานอันดับแรกที่เราจะต้องทำ โครงการนี้ศึกษาถึงสมบัติของวัสดุที่เป็น Non-homogeneous แต่ตัวโปรแกรมไม่สามารถที่จะกำหนดให้สมบัติของวัสดุเป็น

Non-homogenous ได้คั้งนั้นจึงต้องสร้าง Part ขึ้นมา 5 Part แล้วนำมาประกอบกันให้เป็นชิ้นงานชิ้นเดียวที่มีลักษณะเป็น Composite แล้วจึงกำหนดคุณสมบัติลงในชิ้นงาน



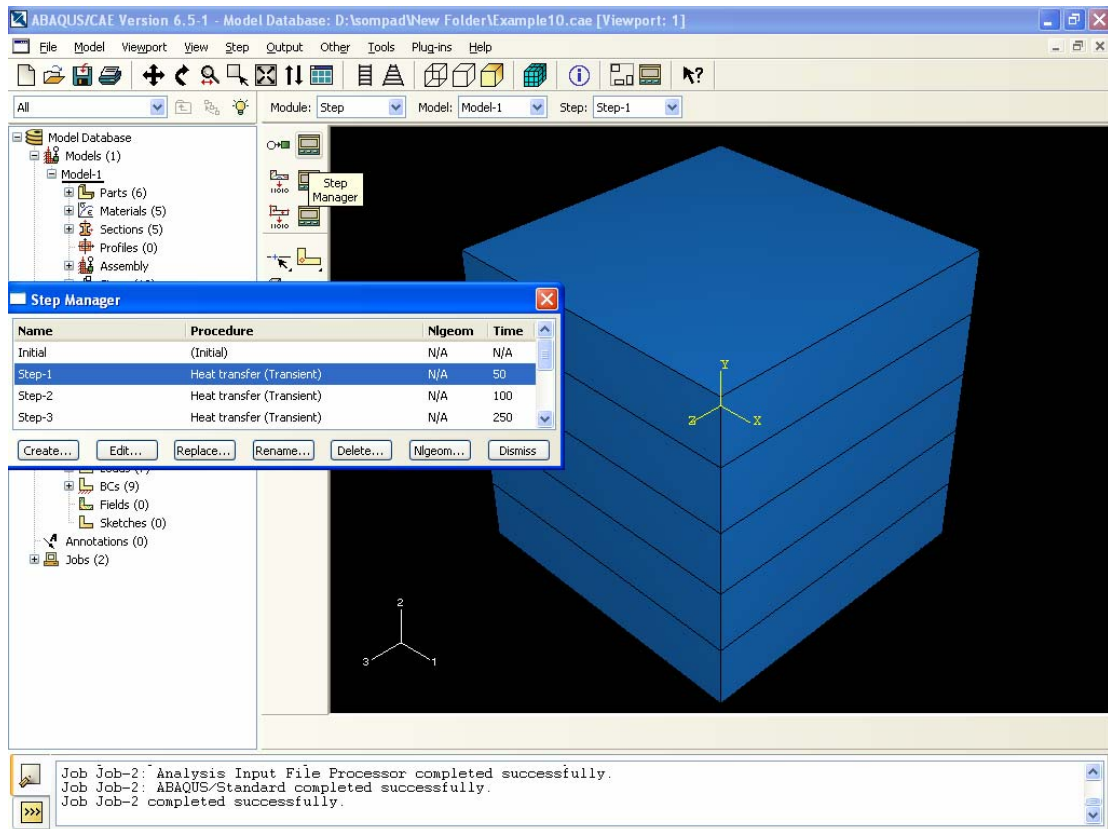
รูปที่ 3.4 แสดงการกำหนดค่า Property ต่างๆ

การกำหนดค่า Property ต่างๆ ที่คำนวณไว้ในขั้นตอนให้กับ Part ที่กำหนดเอาไว้โดยกำหนดให้ค่าการนำความร้อนในแต่ละ Part ไม่เท่ากันโดยลดหลั่นกันไปแบบ Exponential ตามลำดับตามสมการ $k = 5e^{3z}$ เริ่มจาก $z = 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.0$ และค่าความหนาแน่นของวัสดุเท่ากับ 2707 หน่วยกับค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 หน่วย



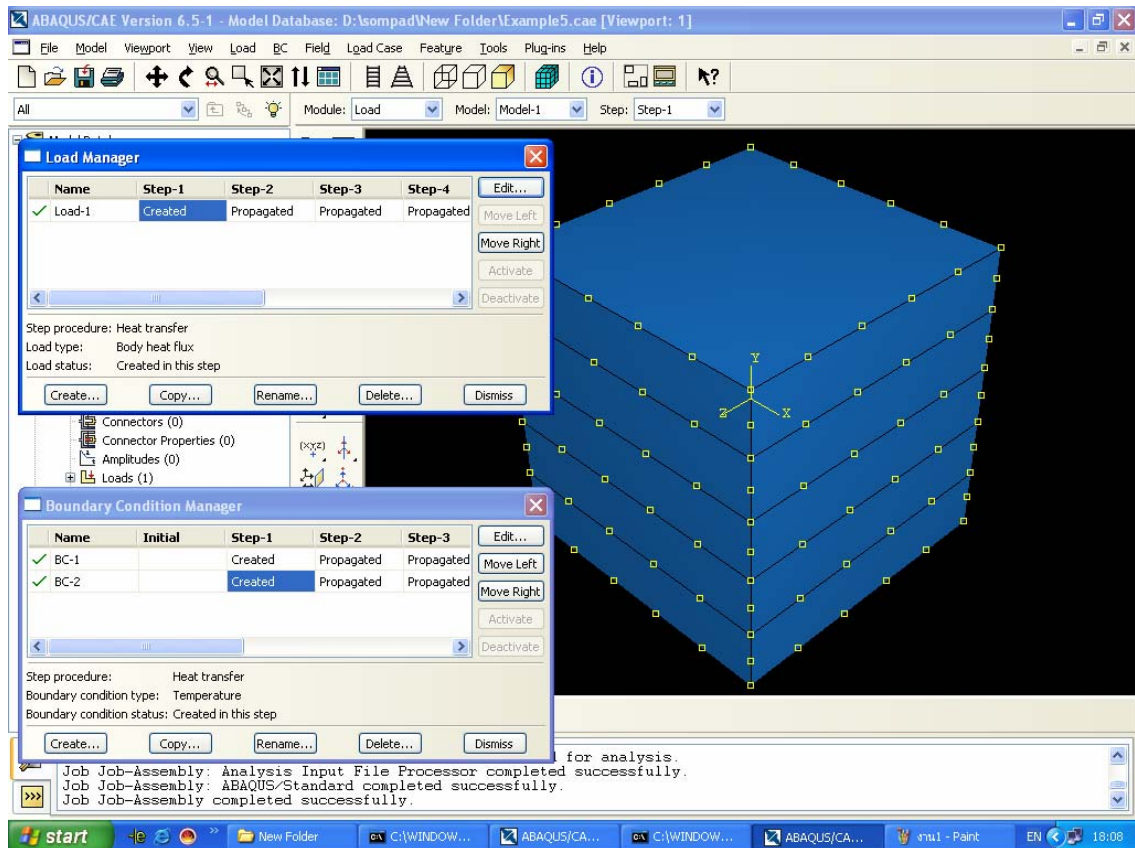
รูปที่ 3.5 แสดงการทำการประกอบ (Assembly)

เมื่อเสร็จจากการกำหนดคุณสมบัติทางความร้อนแล้วเป็นขั้นตอนการทำการประกอบ (Assembly) โดยการนำชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นมาประกอบกันเพื่อทำให้เป็นก้อนเดียวกัน โดยการคลิกที่ Create Instance เพื่อเลือก Part ทั้ง 5 Part หลังจากนั้นคลิกที่คำสั่ง Merge Part ทั้ง 5 จะกลายเป็นก้อนเดียวกัน หลังจากนั้นกำหนดคุณสมบัติลงใน Part ทั้ง 5 ใหม่อีกครั้ง



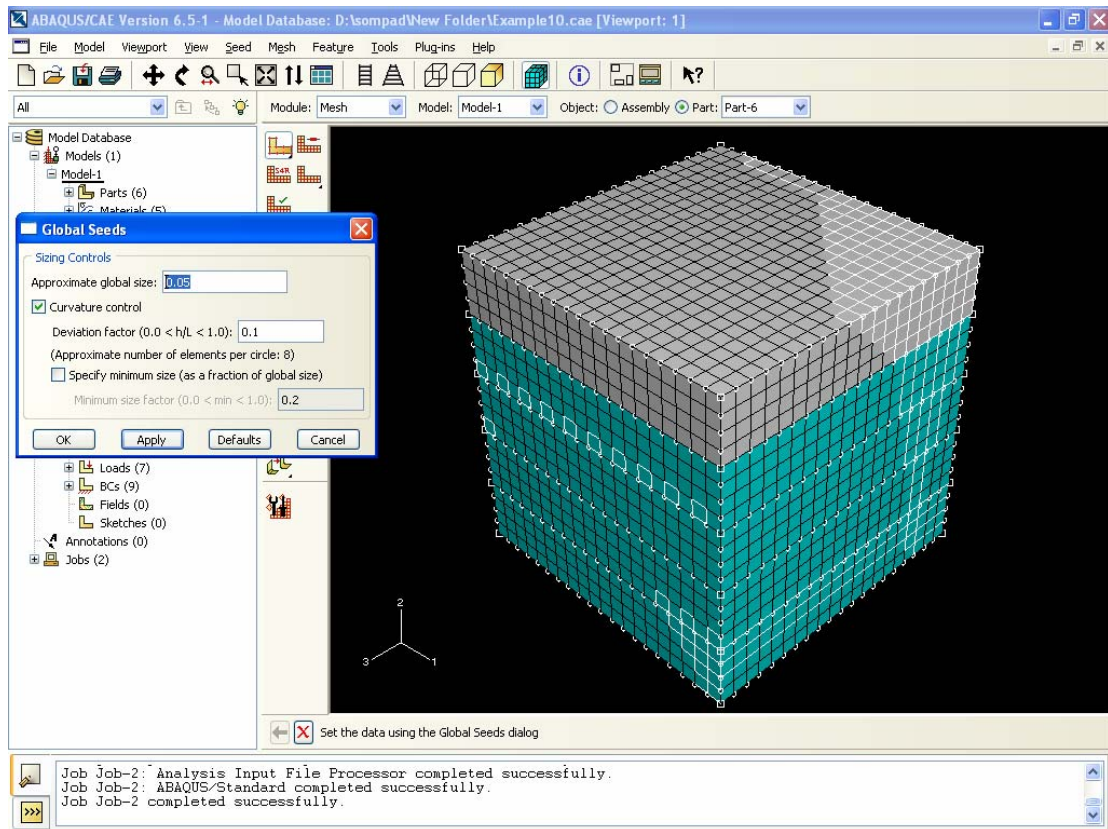
รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนด Step

ในขั้นตอนการกำหนด Step เป็นขั้นตอนที่ให้เลือกแบบการคำนวณ ให้เป็นแบบ Heat Transfer และเลือกการคำนวณย่อยเป็นแบบ Transient คือ กำหนดเวลาลงในโปรแกรมว่าจะให้อุณหภูมิกระจายผ่านชิ้นงานในเวลาเท่าใด



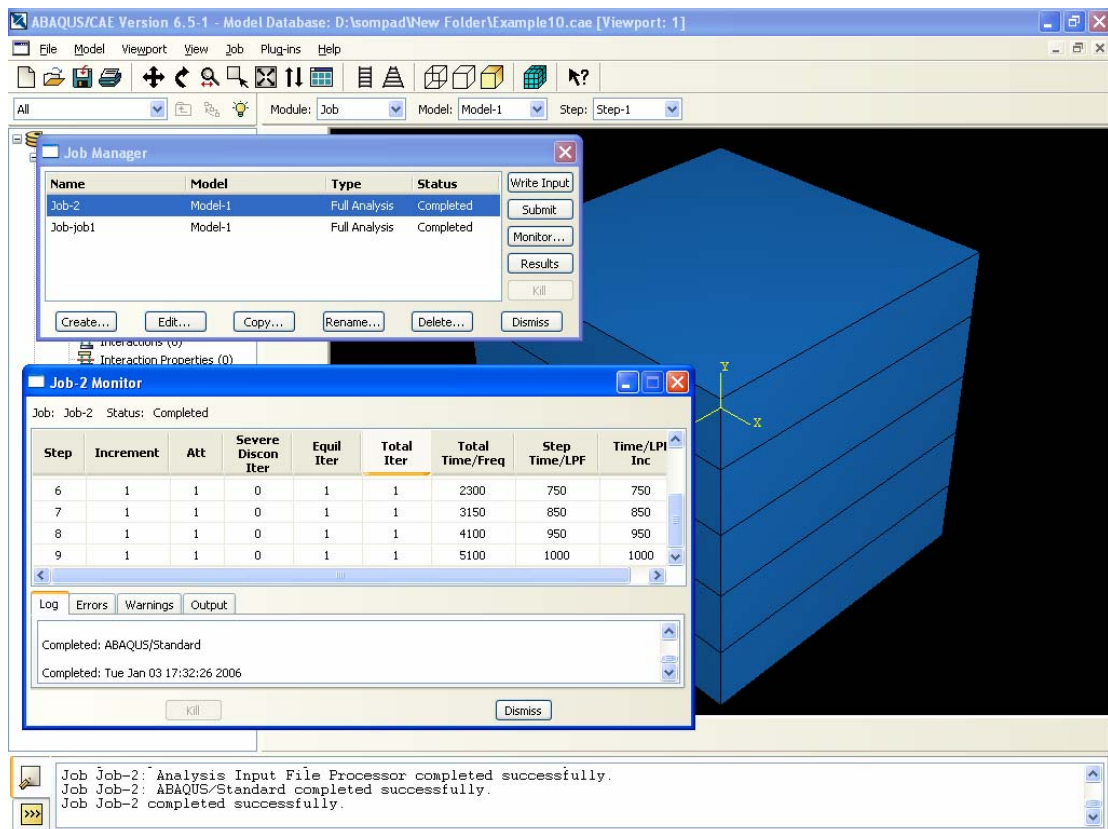
รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดโหลด

การกำหนดโหลดสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ที่ระนาบ $z = 1$ ให้ $Temp = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่ระนาบ $z = 0$ ให้ $Temp = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยคลิกเลือกที่ Create Load เป็นการกำหนด Heat Flux เป็นศูนย์ แล้วคลิกเลือกที่ Create Boundary เพื่อกำหนดอุณหภูมิที่ระนาบ $z = 1$ และที่ระนาบ $z = 0$



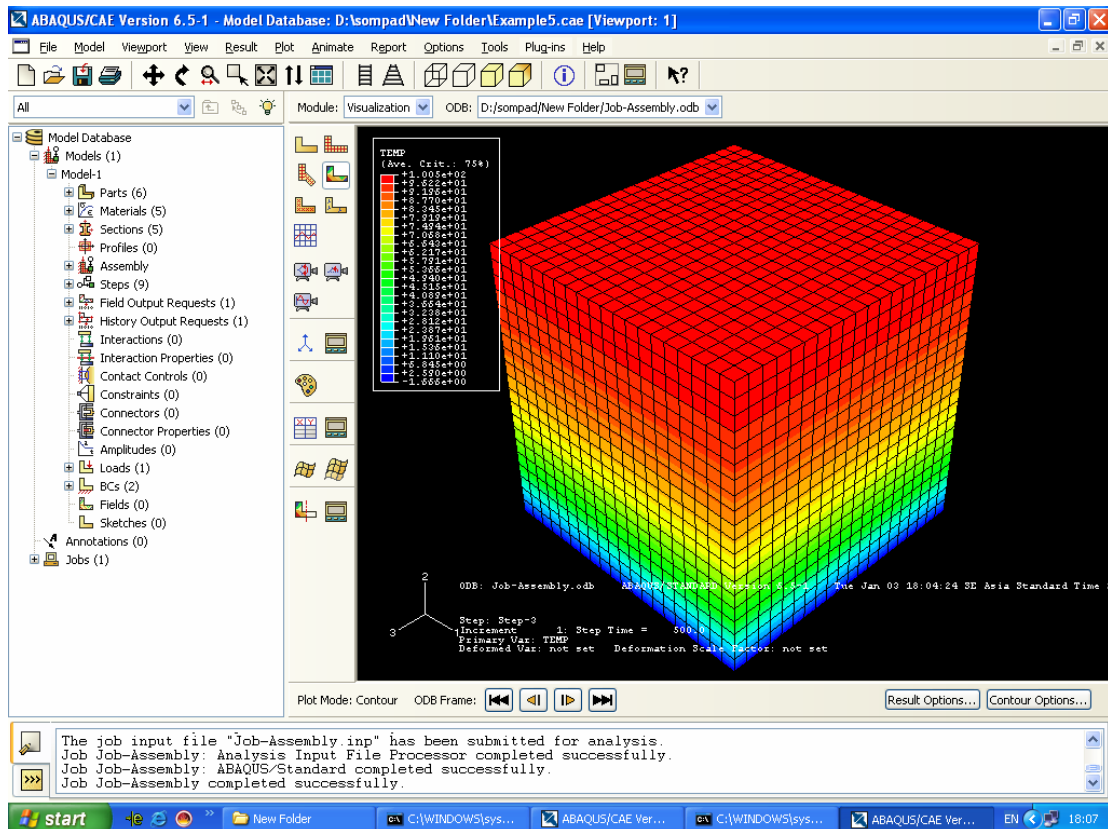
รูปที่ 3.8 แสดงการสร้าง Mesh

กำหนด Mesh โดยสามารถกำหนดให้มีขนาดเท่าใดก็ได้แต่ถ้ากำหนดให้มี Element เล็กเกินไปก็ยิ่งใช้เวลาในการรันมากขึ้นด้วยในการกำหนด Mesh จะต้องเลือก Condition ในการคำนวณในโครงการนี้เลือกเป็นแบบ Heat Transfer แล้วจึงจะสามารถกำหนด Mesh ได้



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการรันโปรแกรม

ในการรันโปรแกรม Abaqus ให้ดูที่ Module คลิกเลือกคำสั่ง Job จากนั้นจะเห็นหน้าต่าง Job Manager คลิกเลือก Create Job แล้วตั้งชื่อ Job ที่จะรัน ต่อไปคลิกเลือก Submit รอสักครู่แล้วคลิกเลือกที่ Monitor แล้วรอจนกว่าโปรแกรมจะรันเสร็จสมบูรณ์และคลิกเลือก Results เพื่อที่จะดูผลการรัน (ดูรูปที่ 3.10)

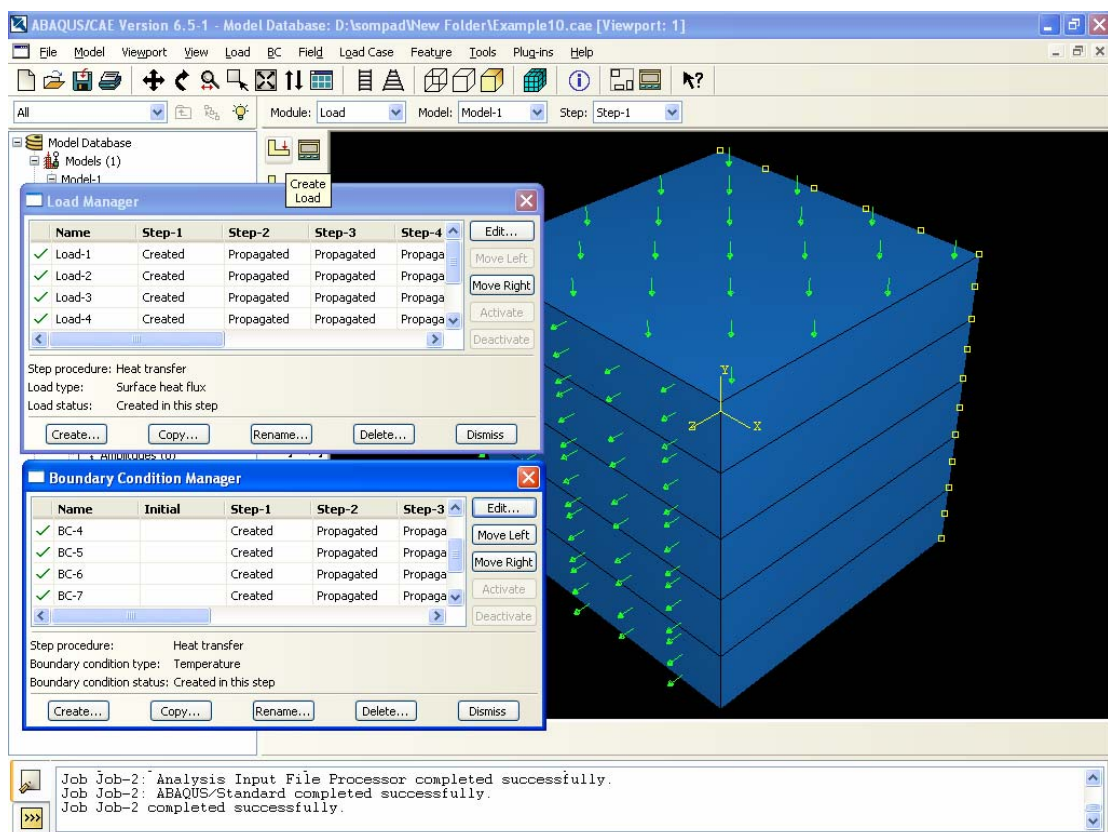


รูปที่ 3.10 แสดงผลรันของกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพคอนทัวร์ที่แสดงในโปรแกรมจะเห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิลดลงตั้งแต่จากคอนทัวร์สีแดงเป็นคอนทัวร์ที่บอกถึงจุดที่มีอุณหภูมิสูงลดหลั่นลงมาถึงจุดที่อุณหภูมิเป็นศูนย์ จะเห็นคอนทัวร์เป็นสีฟ้าและสามารถทราบได้อีกอย่างหนึ่งว่าที่คอนทัวร์สีแดงมีค่าการนำความร้อนสูงและต่ำลงจนถึงคอนทัวร์สีฟ้า

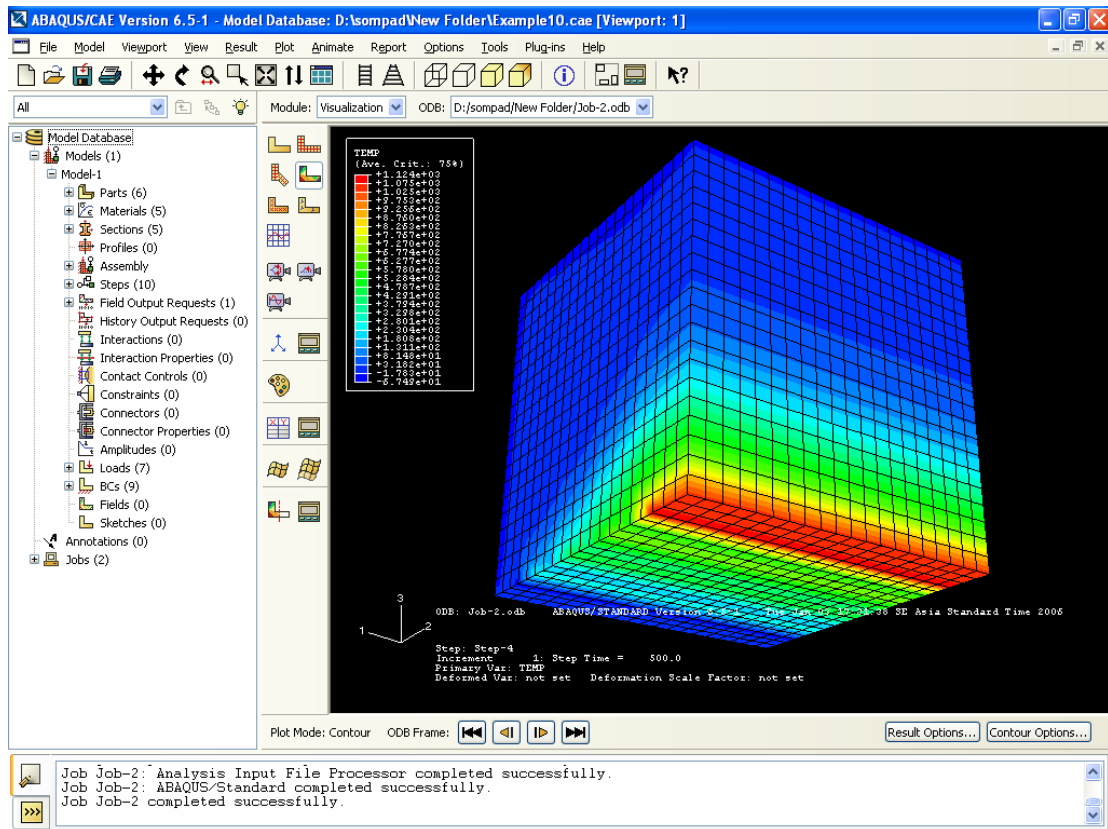
กรณีศึกษาที่ 2

ขั้นตอนการกำหนด Part กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ลงในโปรแกรมนั้นสามารถทำเหมือนกรณีศึกษาที่ 1 ได้โดยจะแตกต่างที่การกำหนด Load ให้กับ Part ซึ่งการกำหนด Load มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.11 แสดงการใส่โหลดตามเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น

การกำหนดโหลดสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ใส่โหลดตามเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นตามที่เอกสารอ้างอิงได้กำหนดเอาไว้ที่ระนาบ $z = 1$ ให้ Heat flux = $15000x$ ที่ระนาบ $z = 0$ ให้ Temp = $1000x$ ที่ระนาบ $x = 1$ ให้ Heat flux = 5000 และที่ระนาบ $x = 0$ ให้ Heat flux = -5000



รูปที่ 3.12 แสดงผลรันในกรณีศึกษาที่ 2

โดยจะเห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิช่วงสีแดงเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงและลดทึ่ลดลงตามระยะทาง x เมื่อกำหนดให้ $T = 1000x$ นอกจากโปรแกรมจะหาการกระจายตัวของอุณหภูมิได้แล้วยังสามารถหาค่าการทดลองทางด้าน Stress Strain ได้อีกด้วย