บทที่ 3
วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลโดยได้จากการวิเคราะห์ทาง Finite Element Analysis (FEA) โดยโปรแกรมมีชื่อว่า ABAQUS มีรายละเอียดดังนี้

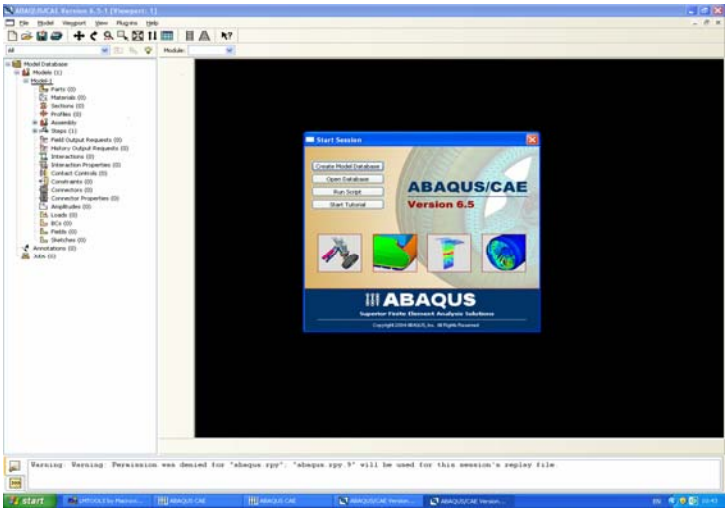
3.1 การวิเคราะห์เชิง Finite Element Analysis (FEA)

โปรแกรมวิเคราะห์เชิง Finite Element Analysis (FEA) นี้มีชื่อว่า โปรแกรม ABAQUS เป็นโปรแกรมที่สร้างแบบจำลองขึ้นมาคำนวณหาค่าต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

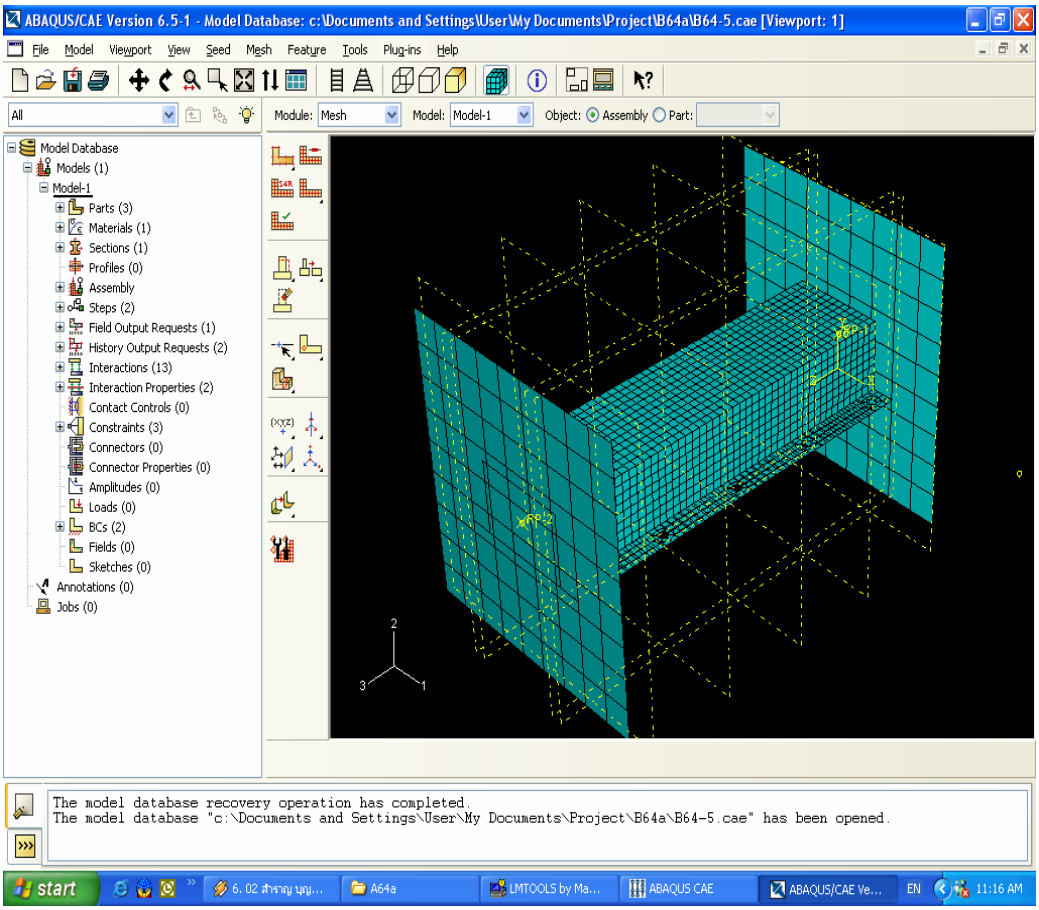
3.1.1 การคำนวณและวิเคราะห์ผลในโปรแกรม

โปรแกรม ABAQUS เป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลิเมนต์แบบ 2D และ 3D ซึ่งมีส่วนประกอบหลักของโปรแกรมอยู่ 3 ส่วนคือ

3.1.1.1 การสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ABAQUS มีอยู่ 2 แบบ คือ การสร้างรูปชิ้นงานขึ้นมาในโปรแกรม และการเขียนในลักษณะของ Text file format หรือเรียกว่า Input file ตัวอย่างของโปรแกรม ABAQUS แสดงในรูปที่3.1 และ รูปที่3.2



รูปที่3.1 แสดงหน้าจอตัวอย่างโปรแกรม ABAQUS



รูปที่3.2 แสดงลักษณะชิ้นงานในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS

จากรูปที่3.2 ข้างบนจะแสดงให้เห็นลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยจะมีอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างรูปกมวกปิด (Top Hat) และ ส่วนที่เป็นของแข็งปิดกั้น (Rigid)

3.1.1.2 การกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุและคำนวณ การที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้นั้นจะต้องมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเสียก่อน เช่น ค่าคุณสมบัติ Elastic และ Plastic เป็นต้น เมื่อกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้วจะต้องทำการตีเมช และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้เลย การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำได้ 2 วิธี คือ การใช้ CAE และ ABAQUS Command โดยโปรแกรมจะคำนวณตามที่ผู้ใช้กำหนดเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆ ในโครงการนี้ได้ให้ค่าคุณสมบัติดังนี้ E = 50 GPa, Y= 50 MPa, Poisson's Ratio =0.3, friction ที่ผิวสัมผัสของตัวมันเอง = 0.05, friction ที่ผิวชิ้นงานกับ Rigid body = 0.3 และกำหนดให้วัสดุเป็นแบบ Shell มีการคำนวณแบบ Explicit ดังแสดงต่อไปนี้

```
*Heading
** Job name: A64-3 Model name: Model-1
*Preprint, echo=NO, model=NO, history=NO, contact=NO
*Part, name=Close
*Part, name=Part-4
*Part, name=Rigid
*Part, name=Tophat
 *Element, type=S4R
*Element, type=R3D4
** Constraint: Constraint-1
*Tie, name=Constraint-1, adjust=yes
_PickedSurf26, _PickedSurf25
** Constraint: Constraint-2
*Rigid Body, ref node=_PickedSet28, elset=_PickedSet29
** Constraint: Constraint-3
*Rigid Body, ref node=_PickedSet72, elset=_PickedSet73
*End Assembly
*Material, name=Material-1
*Density
 7.7e-06,
*Elastic
50000., 0.3
```

*Plastic

 50.,   0.

 80., 0.00909

170., 0.01809

291., 0.02292

300., 0.04027

319., 0.05712

340., 0.07733

355., 0.09614

** INTERACTION PROPERTIES

*Surface Interaction, name=IntProp-1

*Friction

 0.05,

*Surface Interaction, name=IntProp-2

*Friction

 0.3,

** STEP: Step-1

*Step, name=Step-1

*Dynamic, Explicit

, 16.8

*Bulk Viscosity

0.06, 1.2

 ** FIELD OUTPUT: F-Output-1

 *Output, field

*Node Output

A, RF, U, V

*Element Output, directions=YES

S,

** HISTORY OUTPUT: H-Output-2

*Output, history

*Node Output, nset=Set-1

RF1, RF2, RF3, RM1, RM2, RM3, U1, U2

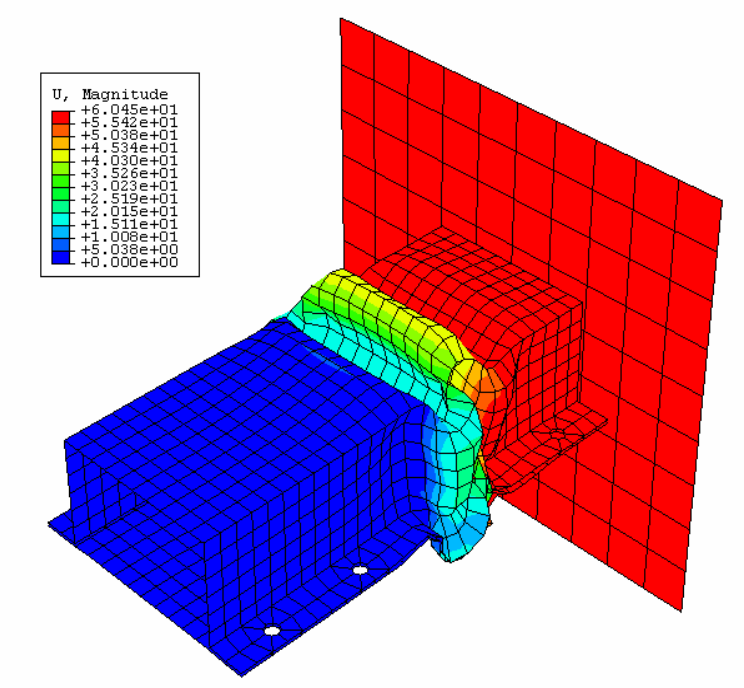
U3, UR1, UR2, UR3

** HISTORY OUTPUT: H-Output-1

*Output, history, variable=PRESELECT

*End Step

3.1.1.3 การแสดงผลของโปรแกรม ABAQUS การแสดงผลใน ABAQUS จะได้ผลการคำนวณตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ในหัวข้อ 3.1.1.2 และผลที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 และตารางที่3.1



รูปที่3.3 แสดงตัวอย่างภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากภาพเป็นการแสดงการจำลองการยุบตัวของชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม ABAQUS สีที่แตกต่างกันของชิ้นงานเพราะค่าของความเร็วในการเคลื่อนตัวในแต่ละตำแหน่งต่างกัน

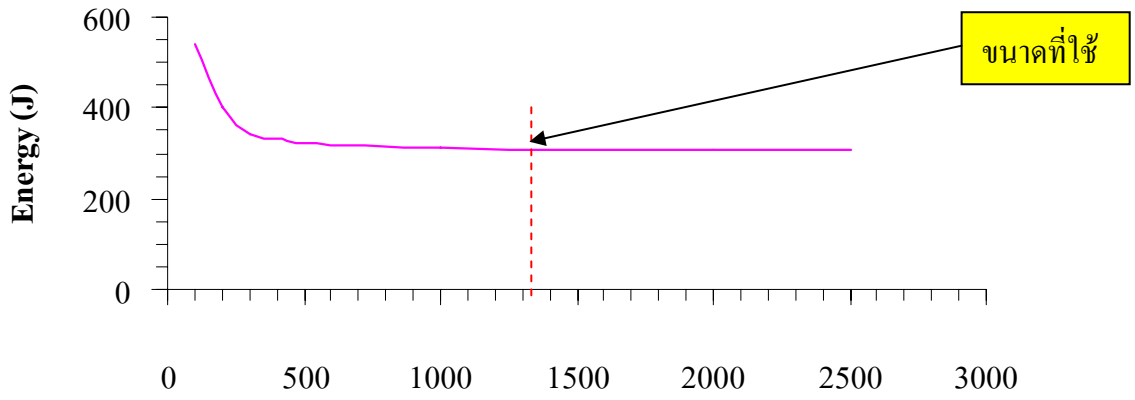
ตารางที่3.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Time (second)	Displacement (mm)	Force (N)
0	0	25.5883
$30.0075*10^{-3}$	$300.078*10^{-3}$	$78.7117*10^{3}$
$60.0168*10^{-3}$	$600.183*10^{-3}$	$68.1277*10^{3}$
$90.006*10^{-3}$	$900.071*10^{-3}$	$55.4388*10^{3}$
$120.013*10^{-3}$	1.20014	$48.927E*10^{3}$
$150.02*10^{-3}$	1.50021	$44.7201*10^{3}$
$180.006*10^{-3}$	1.80007	$41.9928*10^{3}$
$210.012*10^{-3}$	2.10014	$39.8556*10^{3}$
$240.019*10^{-3}$	2.4002	$38.1119*10^{3}$

จากตารางที่ 3.1 จะได้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขในหัวข้อ 3.1.1.2 ซึ่งกำหนดให้แสดงผล 3 ค่า คือเวลา (Time), ระยะยุบตัว (Displacement) และโหลดภาระ (Force) และนำค่าในตารางไปคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.1.2 การทำ Mesh Independent

การทำ Mesh Independent นั้นเพื่อเป็นการหาขนาดเมชที่เหมาะสมที่จะใช้ในโปรแกรม ABAQUS เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกมามีขนาดผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งการทำ Mesh Independent นั้นมีวิธีการทำอย่างง่ายๆคือ ใช้ขนาดเมชเพิ่มขึ้นที่ละ 1 ต่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1 ครั้ง และดูว่าพลังงานค่อยๆคงที่ที่ขนาดเมชเท่าไร ก็ใช้ขนาดเมชนั้นใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 3.4



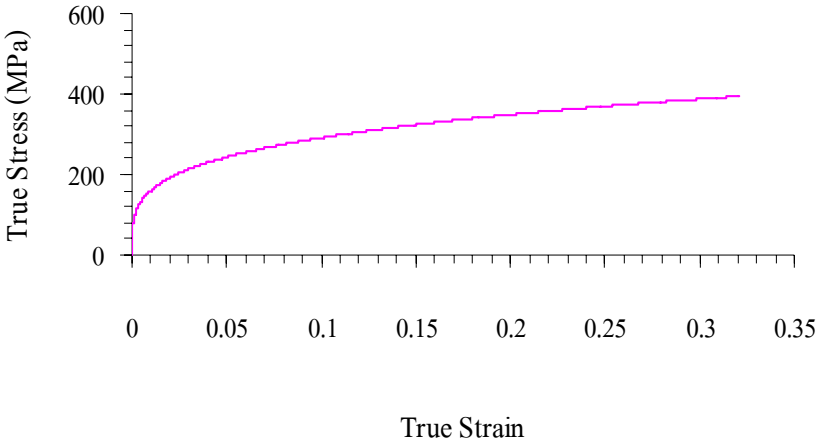
รูปที่3.4 กราฟแสดงผลการทำ Mesh Independent ในโปรแกรม ABAQUS

จากรูปที่3.4 จะเห็นว่ากราฟจะค่อยๆคงที่ หลังจาก element อยู่ที่ประมาณ 12000 element ดังนั้นในการศึกษานี้จะได้ element อยู่ที่ประมาณ 12000 element จึงมีขนาดเมช เท่ากับ 4

3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็ก

เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการประกอบการวิเคราะห์ จึงได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางวัสดุ ในการทดสอบได้เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานของ British Standard ดังตัวอย่างชิ้นงานที่แสดงในรูปที่ 3.5 เมื่อทดสอบแล้วผลที่ได้จากการทดสอบจะเป็นความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Stress, Engineering Strain) หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อแปลงความเค้นและความเครียดจริง (True Stress, True Strain) ดังแสดงผลในรูปที่3.6

รูปที่3.5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ



รูปที่3.6 แสดงคุณสมบัติของชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยผลที่ได้จากการทดสอบที่อยู่ในรูปของ True Stress และ True Strain นี้จะนำไปใช้การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Finite Element Analysis) ต่อไป

3.2 การสอบเทียบโปรแกรม (Verification)

ในการทำโครงการนี้จะต้องมีการสอบเทียบในด้านโปรแกรม เพื่อที่จะให้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมนั้นได้ผลออกมาใกล้เคียงกับผลงานวิจัยที่ใช้อ้างอิง จึงมีการ Verification ดังนี้

3.2.1 อิลิเมนต์ (Element)

- Element ของ Rigid body ที่ใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS คือ R3D4

- Element ของ Top hat ที่ใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS คือ S4R

3.2.2 ขนาดเมช (Mesh size)

จากผลการทดลองของ M.D.White and N. Jones มีผลการทดลองอยู่ 3 ชิ้น คือชิ้นงานชื่อ 15F, 15D และ 15E ซึ่งมีขนาดรูปร่างคล้ายกับชิ้นงานในโครงการนี้ และขนาดของ 15F คือ ระยะขอบชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร ยาว 333 มิลลิเมตร ส่วน 15D คือ ระยะขอบชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร ยาว 166 มิลลิเมตร , 15E คือ ระยะขอบชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และ 20F คือระยะขอบชิ้นงาน 20 มิลลิเมตร ยาว 333 มิลลิเมตร ได้นำผลการทดลองนี้มาทำการสอบเทียบ (Verification) เนื่องจากมีระยะยุบน้อยและใช้เวลาไม่มากในการให้ผลการทดลอง Mesh size ได้ดังนี้

ตารางที่3.2 แสดงการหา Mesh size

Mesh	Displacement	Ea (kJ)	Pm (kN)	Pmax	mode
20F	**79**	**1.402**	**17.75**	**55**	**Regular**
4	78.9305	1.607	20.637	56.3	Regular
5	78.9968	1.84	23.248	56.1	Regular
6	78.9829	1.89	23.941	56.2	Regular
7	78.7384	2.053	26.08	55.917	Regular
8	78.7372	2.118	26.908	55.9	Regular

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าที่ Mesh size = 4 ให้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมได้ใกล้เคียงกับการทดลองที่อ้างอิง จึงใช้ขนาดของ Mesh size = 4 เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

3.2.3 ความเร็ว (Velocity)

เป็นการหาความเร็วที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม และในการวิเคราะห์นี้ใช้ Mesh size = 4 จะได้ผลดังตารางข้างล่าง

ตารางที่3.3 แสดงการหาความเร็ว (Velocity)

Velocity	Mesh	Displacement	Ea (kJ)	Pm (kN)	Pmax	mode
5	4	78.8903	1.6167	20.493	54.93	Regular
10		78.9305	1.607	20.637	56.3	Regular
15		78.978	1.8472	23.388	56.103	Regular
20F actual		**79**	**1.402**	**17.75**	**55**	**Regular**

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าที่ความเร็ว 5 มิลิเมตร/วินาที กับ 10 มิลิเมตร/วินาที จะได้ผลที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เนื่องจากมีผลของระยะเวลาในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจึงเลือกใช้ที่ความเร็ว 10มิลิเมตร/วินาที

3.2.4 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction)

เป็นการหา Friction ที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการหา Friction คือ Velocity = 10, Mesh size = 4 ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่ได้นั้นมีผลดังนี้

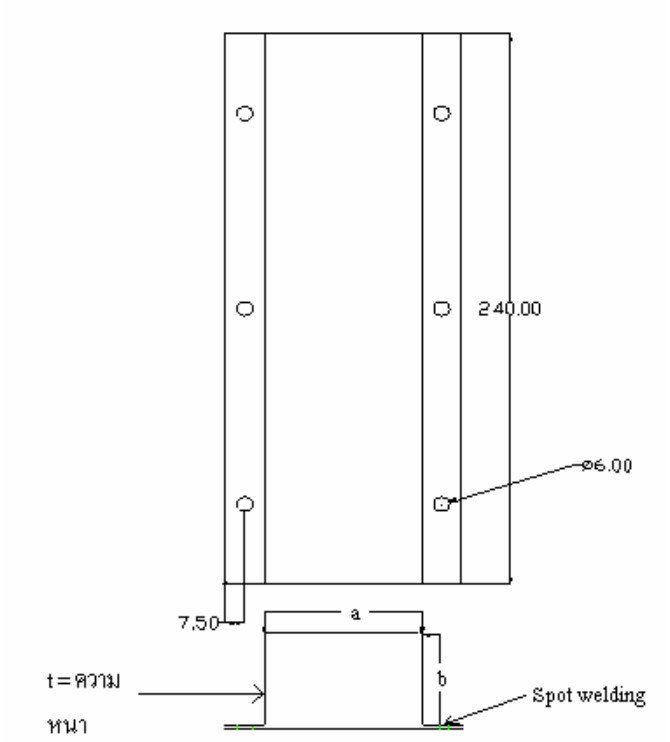
Friction = 0.05 ใช้เป็น Friction ในผิวสัมผัสของตัวมันเอง

Friction = 0.3 ใช้เป็น Friction ระหว่าง Rigid body กับ Top hat

จากผลที่ได้จะใช้เงื่อนไขเหล่านี้เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS กับทุกกรณีที่ M.D.White and N. Jones ทำการทดลอง ในผลการทดลองมีชิ้นงานที่มีขนาดรูปร่างคล้ายกับงานในโครงการนี้คือ 15F, 15D และ 15E นำค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมาหาตัวคูณแก้ไข เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามผลการทดลองของ M.D.White and N. Jones โดยการนำตัวคูณแก้ไขจากทั้ง 3 กรณีมาหาค่าเฉลี่ยได้ 0.845 ดังนั้นจึงต้องนำค่านี้ไปคูณกับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทุกกรณี

3.3 รายละเอียดของโปรแกรม

ในการทำโครงการนี้จะมีการสร้างชิ้นงานในโปรแกรม ABAQUS ขึ้นโดยจะมีตัวแปรที่จะใช้ในการศึกษาดังนี้



รูปที่3.7 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมABAQUS

3.3.1 ความหนาของชิ้นงาน (Thickness)

ในการทำโครงการนี้จะได้ความหนาจากการศึกษางานวิจัยจากหลายๆงานวิจัย และสรุปได้ว่าจะได้ชิ้นงานที่มีความหนา 3 ค่า ดังนี้คือ ความหนา 1.2 มิลลิเมตร, 1.6 มิลลิเมตรและ 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งจะใช้ความหนาเหล่านี้เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS

3.3.2 ระยะห่างของรอยเชื่อม (Spot Welding)

ในการทำโครงการนี้ได้ออกแบบระยะห่างของรอยเชื่อมเอาไว้ 5 แบบด้วยกันดังตารางที่3.4 ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมนั้นจะใช้คำสั่ง Tie ในการเชื่อมงานให้ติดกัน แต่ถ้าเป็นการทดลองนั้นจะใช้เชื่อมเหล็กด้วยการเชื่อมแบบ Spot Welding

ตารางที่3.4 แสดงระยะห่างและจำนวนรอยเชื่อมที่ความยาว 240 มิลลิเมตร

Spot-welding position (mm)	Amount of Spot welding (mm)
85	3
70	4
45	5
40	6
25	10

3.3.3 ขนาดของโครงสร้างรูปหมวกปิด (Top- Hat)

ในการทำโครงการนี้ได้กำหนดขนาดของรูปหมวกปิด (Top Hat) ไว้ 4 ขนาดตามลักษณะดังรูปที่3.7 คือ a x b โดยที่ a คือความกว้างของรูปหมวก และ b คือ ความสูงของรูปหมวก โดยขนาดของรูปหมวกดังนี้ 70 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร, 70 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร, 60 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร, 60 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร และมีระยะขอบของชิ้นงาน (Flange) เท่ากับ 15 มิลลิเมตร ทุกชิ้นงาน ความยาว 240 มิลลิเมตร ทุกชิ้นงานเช่นกัน