

บทที่ 4

ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน (Axial Load)

4.1.1 การวิเคราะห์หา Mesh Independent

ในการทดลองนี้ต้องการหาค่าการดูดซับพลังงานของเหล็กเหนียว ซึ่งจะมีตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับพลังงาน ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ ,รูปร่าง ,ลักษณะของโหมคความเสียหาย และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Strain rate) ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อการดูดซับพลังงานของวัสดุ

ก่อนที่จะทำการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ABAQUS) ได้ทำการศึกษาหาค่าขนาดของเอลิเมนต์ที่จะสร้างขึ้นเพื่อที่จะได้ทราบขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมในการรัน โปรแกรมวิเคราะห์ทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ABAQUS) ทั้งนี้ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ออกมาจากการวิเคราะห์จาก โปรแกรมถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากที่สุดและก็ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยที่สุดอีกด้วย ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดเอลิเมนต์มีดังนี้

คุณสมบัติภายนอก

-ใช้วัสดุหน้าตัดแบบวงกลม			
-วัสดุมีความหนา (t)	=	2	mm.
-รัศมี (r)	=	30	mm.
-วัสดุมีความสูง	=	150	mm.

คุณสมบัติวัสดุ

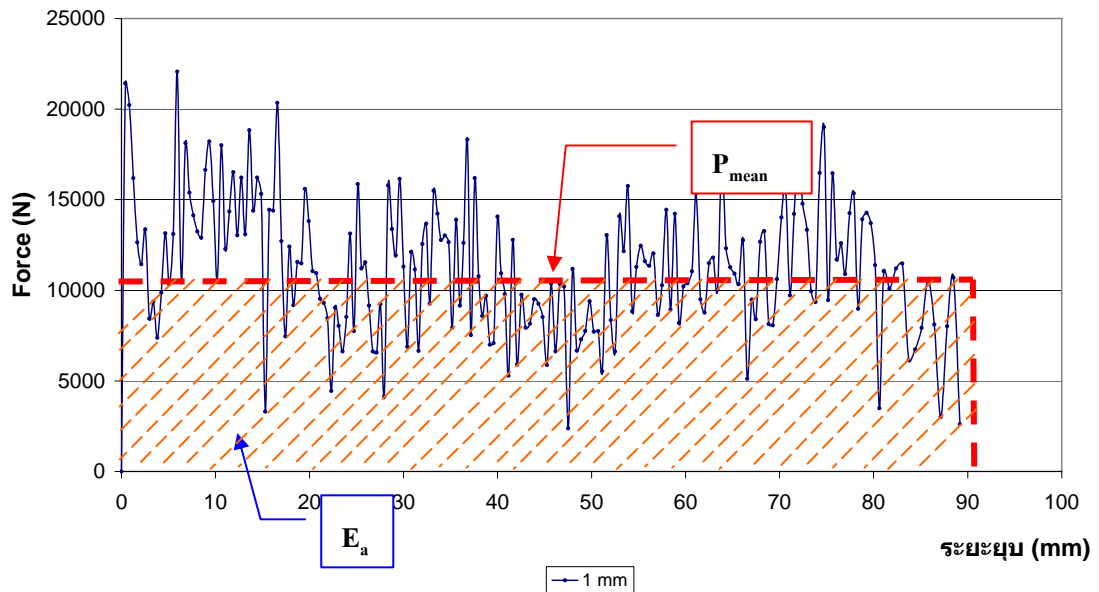
-ความหนาแน่นของวัสดุ (Density)	=	7800	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
-ค่า Young' Modulus	=	200	GPa.
-ค่า Poisson's Ratio	=	0.3	
-ค่าความเค้นครากตัว (Yield' Stress)	=	200	MPa.

โหลดที่มากระทำ

-ความเร็วในการชนกระแทก (v)	=	10	mm/s.
-เวลาในการชนกระแทก (Time)	=	8.5	s

ค่าพลังงานการดูดซับหาได้จาก พื้นที่ใต้กราฟของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยุบตัว แต่เนื่องจากกราฟที่ได้มีขนาดของแรงที่ไม่คงที่ทำให้ยากแก่การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ เราจึงใช้ขนาดของแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดมาคูณกับระยะยุบตัวที่ยุบตัวมากที่สุด

$$\text{พลังงานการดูดซับ (E}_a\text{)} = P_{\text{mean}} \text{ (N)} \times \text{ระยะยุบตัว (m.)}$$

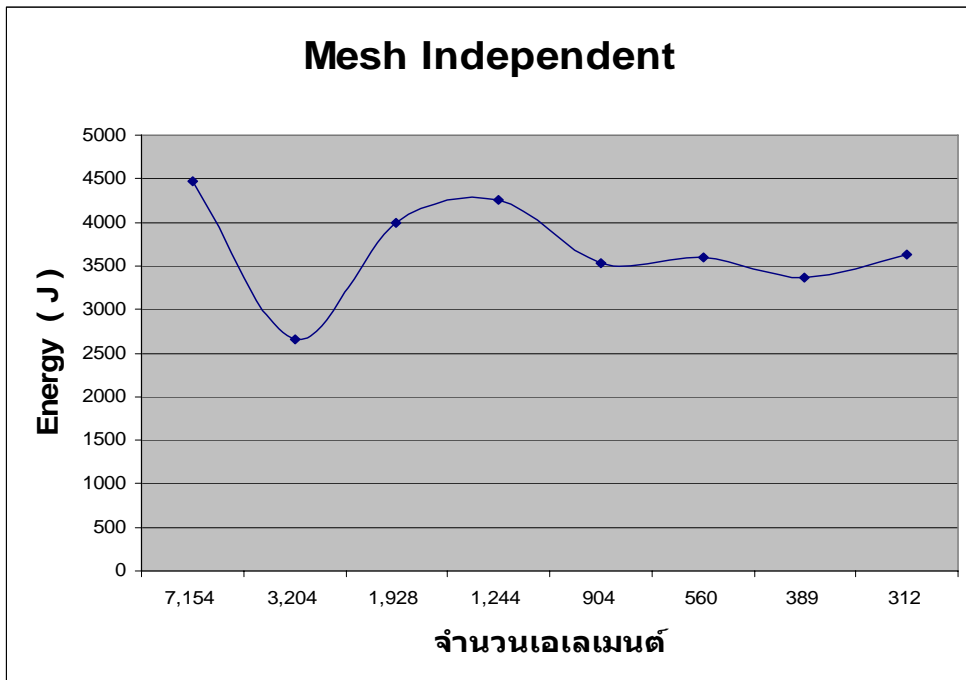


กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรง (N) กับ ระยะยุบตัว (mm.)

ซึ่งตารางผลการทดลองจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพลังงานดูดซับที่ขนาดของเอเลเมนต์ต่างๆ (Axial Load)

ขนาด Mesh	จำนวนเอเลเมนต์	ค่าพลังงานดูดซับ (J)
2	7,154	3,630.702
3	3,204	3,371.814
4	1,928	3,603.620
5	1,244	3,536.228
6	904	4,261.797
8	560	3,994.171
10	389	2,663.067
12	312	4,464.172



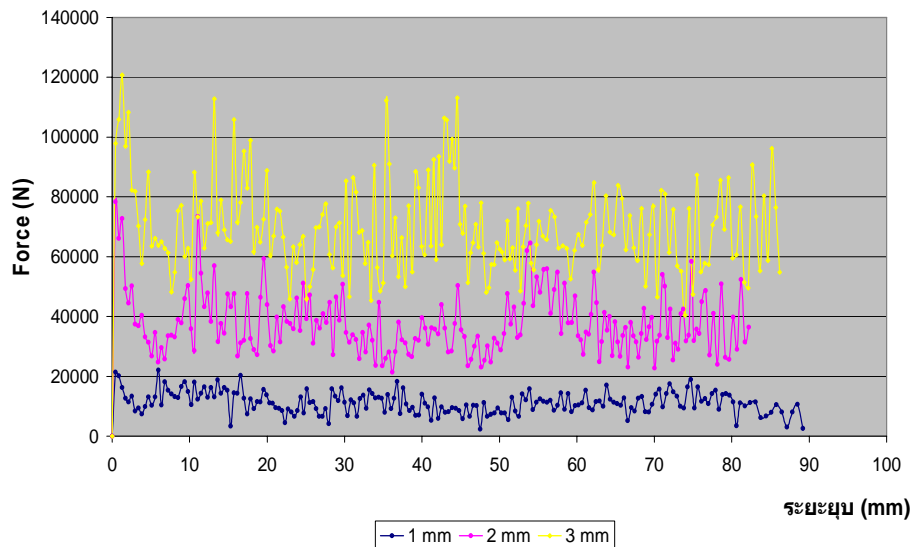
กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนเอเลเมนต์ กับ พลังงานดูดซับ

จากกราฟที่ 4.2 วิเคราะห์ขนาดเอเลเมนต์จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานการดูดซับบนพื้นที่หน้าตัดแบบวงกลมจะเริ่มลู่ออกหาค่าตอบประมาณที่ขนาดของ Mesh เท่ากับ 5 จากนั้นผลจากการทดสอบหรือคำตอบก็จะขึ้นๆ ลงๆ อยู่ระหว่างค่าพลังงานการดูดซับ 3,300 J - 3,700 J ซึ่งจะอยู่ระหว่างขนาดของ Mesh เท่ากับ 2 - 5 ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดของ Mesh เท่ากับ 3 เพราะว่าเป็นขนาดที่อยู่กึ่งกลางระหว่างขนาด Mesh เท่ากับ 5 กับ ขนาดของ Mesh เท่ากับ 2 และค่าข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมก็น่าจะใกล้เคียงค่าความจริงมากเนื่องจากขนาดของเอเลเมนต์มีขนาดเล็กทำให้การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมก็จะมีค่าการวิเคราะห์ละเอียดมากขึ้นด้วย

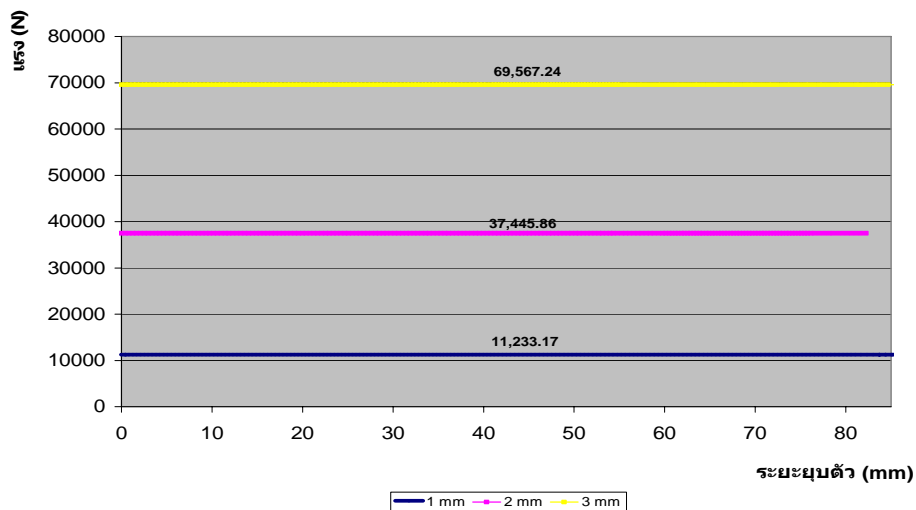
4.1.2 ผลการคำนวณ

การทดสอบการชนในแนวแกนสำหรับหน้าตัดแบบต่างๆ จะได้กราฟความสัมพันธ์ของแรง กับ ระยะยุบตัวจากวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมดังนี้

4.1.2.1 สี่เหลี่ยม



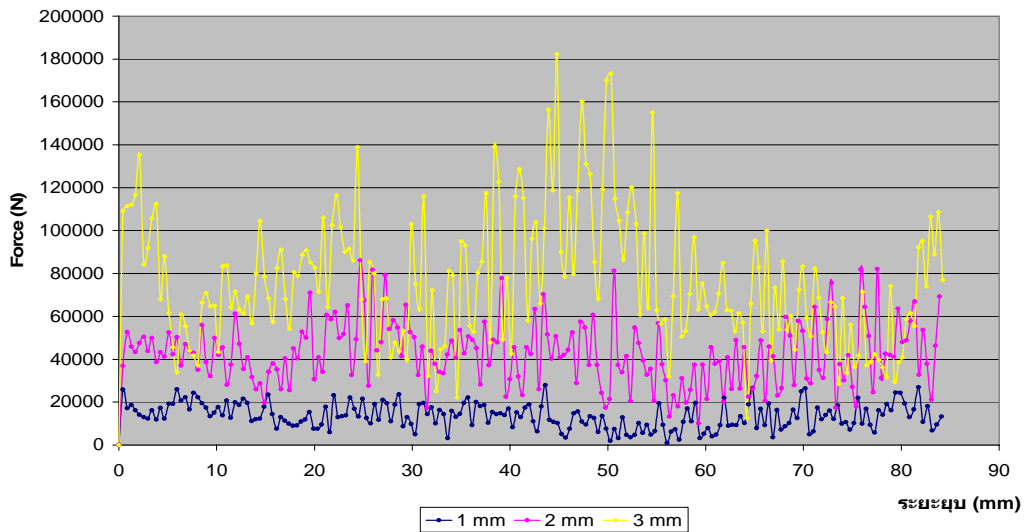
กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัว(mm.) กับแรง(N) ของหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม



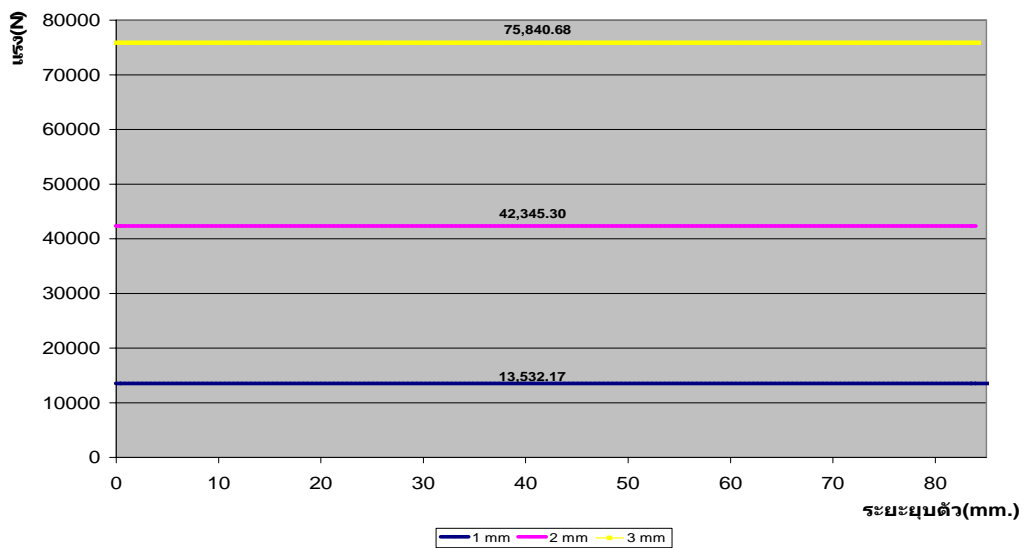
กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัว(mm.)กับแรงเฉลี่ย(N) ของหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม

จากกราฟที่ 4.3 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยุบตัวของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม และกราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยกับระยะยุบตัวของท่อ โดยแรงเฉลี่ยจะหาได้จากกราฟที่ 4.3

4.1.2.2 หกเหลี่ยม



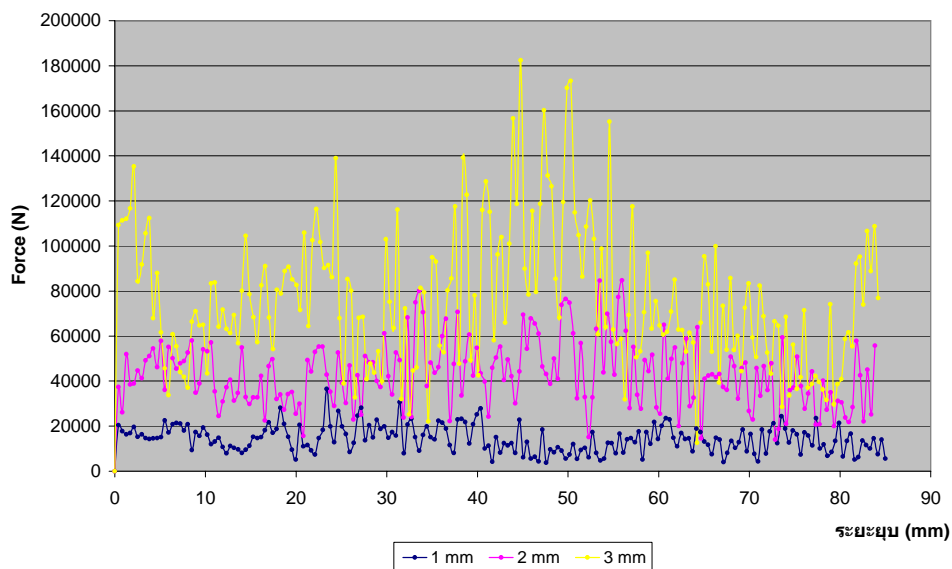
กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขอบตัว(mm.) กับแรง(N) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยม



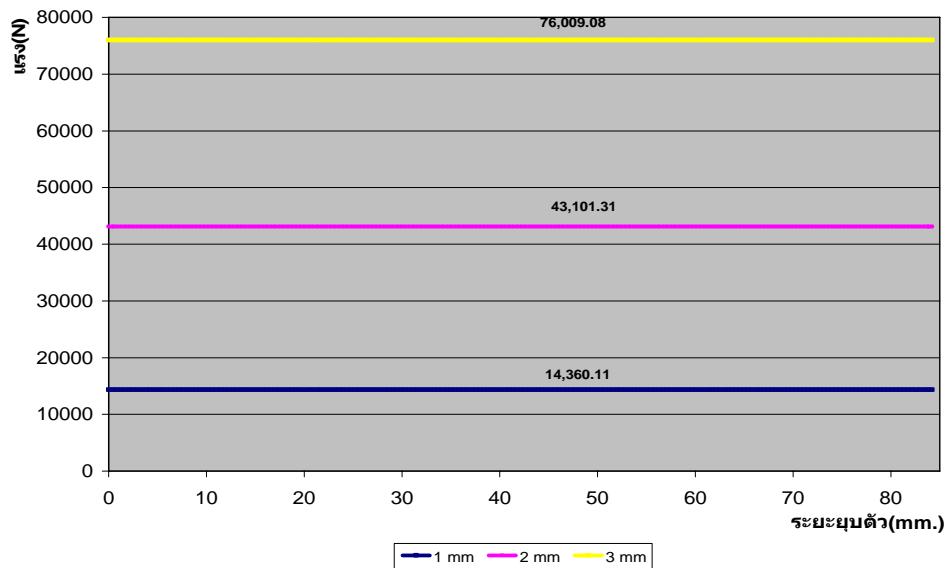
กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขอบตัว(mm.) กับแรงเฉลี่ย(N) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยม

กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะขอบตัวของท่อน้ำตัดหกเหลี่ยมและเปรียบเทียบค่าความหนาของท่อที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าท่อที่มีความหนา 2 mm. จะให้ค่าของแรงที่สูงกว่า 1 mm. ส่วนกราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยกับระยะขอบตัวของท่อ จะเห็นได้ว่าท่อขนาด 2 mm. จะให้ค่าแรงเฉลี่ยที่สูงกว่าท่อหนา 1 mm.

4.1.2.3 แปรเหลี่ยม



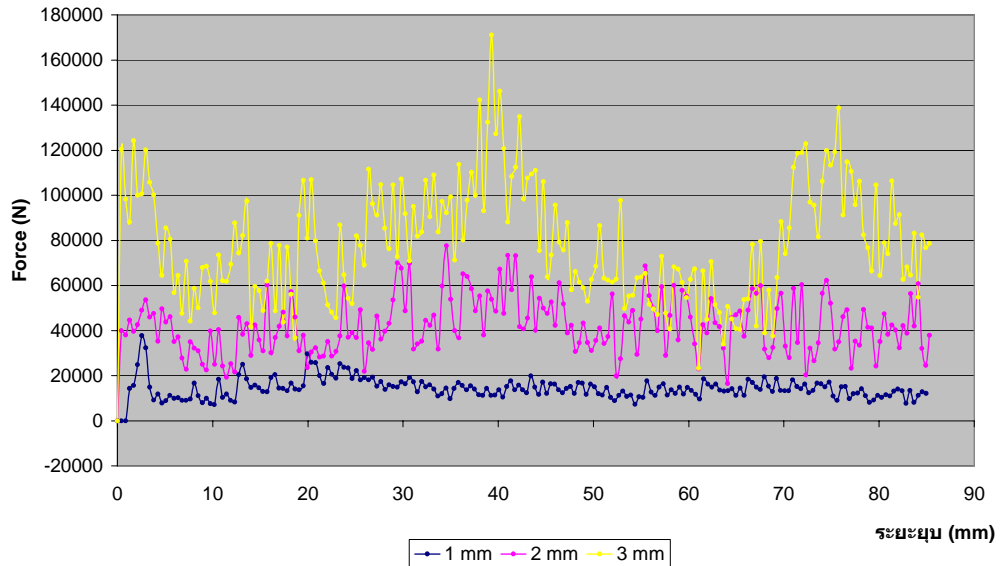
กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขุมตัว(mm.) กับแรง(N) ของหน้าตัดแบบแปดเหลี่ยม



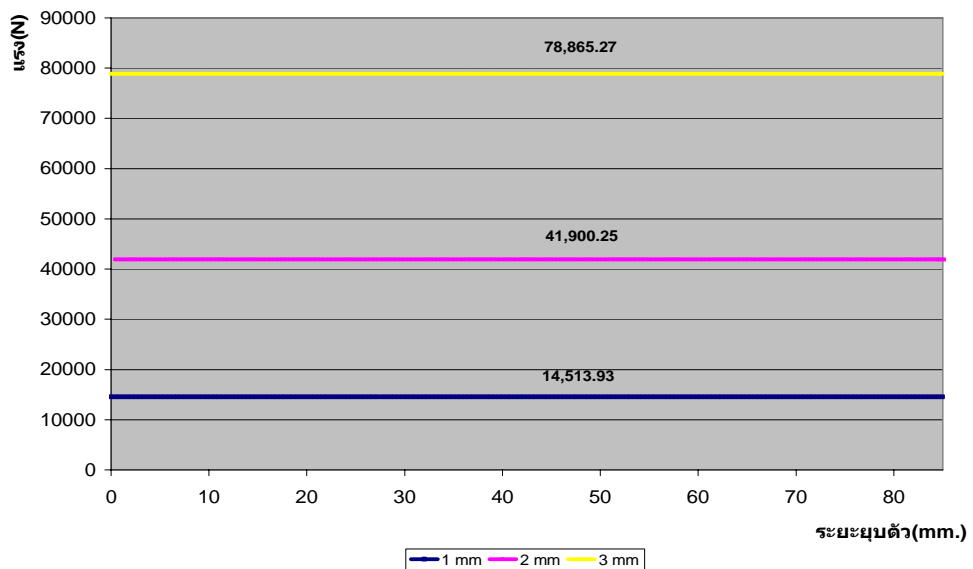
กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขุมตัว(mm.) กับแรงเฉลี่ย(N) ของหน้าตัดแบบแปดเหลี่ยม

กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะขุมตัวของท่อหน้าตัดแปดเหลี่ยมและเปรียบเทียบความหนาที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าท่อหนา 3 mm. จะรับแรงเฉลี่ยที่สูงที่สุดตามกราฟที่ 4.8

4.1.2.4 วงกลม



กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขยุบตัว(mm.) กับแรง(N) ของหน้าตัดแบบวงกลม

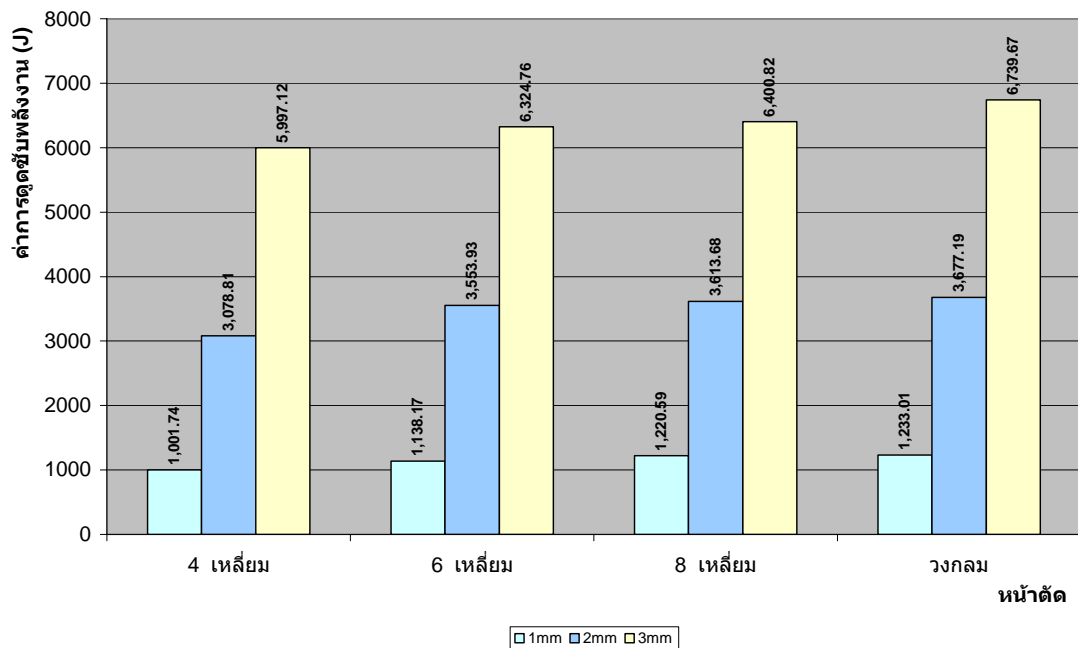


กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขยุบตัว(mm.) กับแรงเฉลี่ย (N) ของหน้าตัดแบบวงกลม

กราฟที่ 4.9 และกราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและแรงเฉลี่ยกับระยะขยุบตัวของท่อหน้าตัดวงกลมตามลำดับ โดยจะเห็นว่าที่มีความหนาขนาด 3 mm. จะให้ค่าแรงและแรงเฉลี่ยสูงสุด

4.1.2.5 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัด

แตกต่างกัน



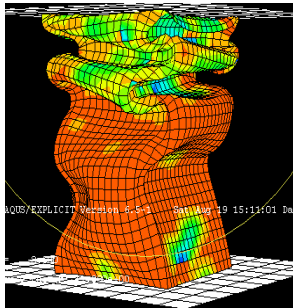
กราฟที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัดแตกต่างกัน

กราฟที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัดแตกต่างกัน จะเห็นว่าท่อหน้าตัดวงกลมจะให้ค่าการดูดซับพลังงานสูงที่สุดและท่อสี่เหลี่ยมจะให้ค่าการดูดซับพลังงานน้อยที่สุด

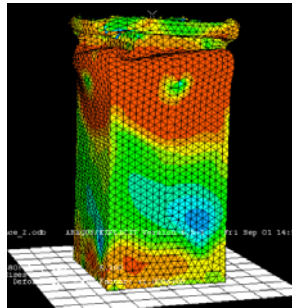
4.1.2.6 เมื่อเปรียบเทียบที่โมดความเสียหาย

ในการออกแบบเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของที่มีหน้าตัดแตกต่างกันนั้น โมดความเสียหายต้องเป็นโมดแบบคอนเคอร์ตินา (concertina) ซึ่งเป็นโมดที่ให้ค่าพลังงานดูดซับดีกว่าโมดแบบอื่น โดยขั้นตอนการออกแบบขนาดของท่อในโมดคอนเคอร์ตินาจึงคือ $\frac{R}{t} > 20$ และค่าความยาวท่อต้องไม่เกินจุดการโก่งของท่อ (Buckling criteria) จากการคำนวณสามารถแสดงผลของโมดความเสียหายของท่อที่มีหน้าตัดแตกต่างกัน ดังนี้

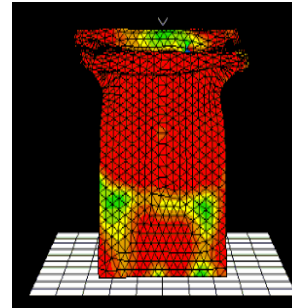
1) ท่อสี่เหลี่ยม



1 mm.



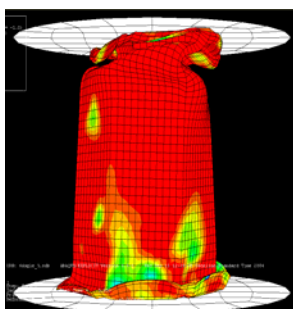
2 mm.



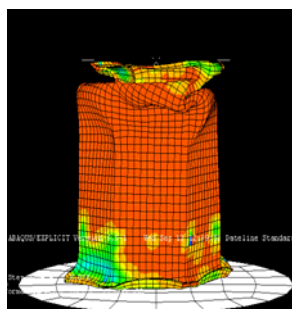
3 mm.

รูปที่ 4.1 รูปแบบของความเสียหาย ของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม

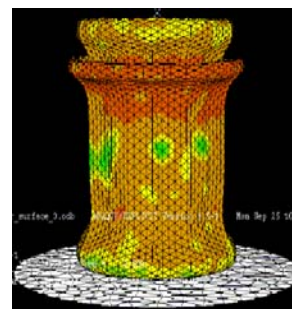
2) ท่อสี่หกเหลี่ยม



1 mm.



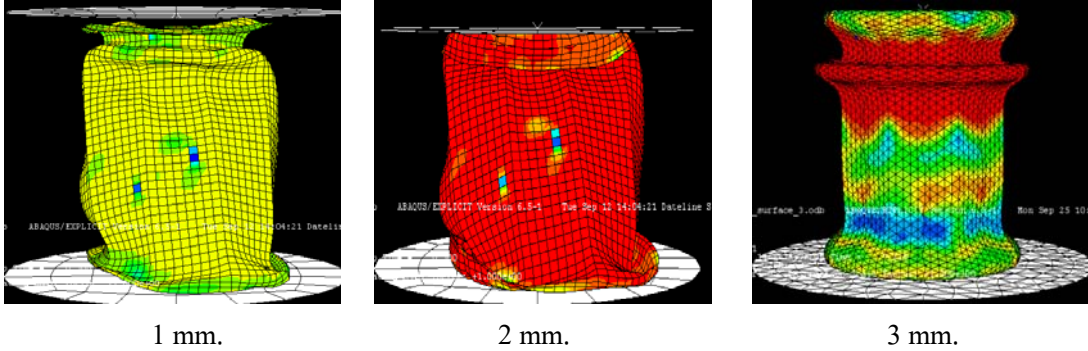
2 mm.



3 mm.

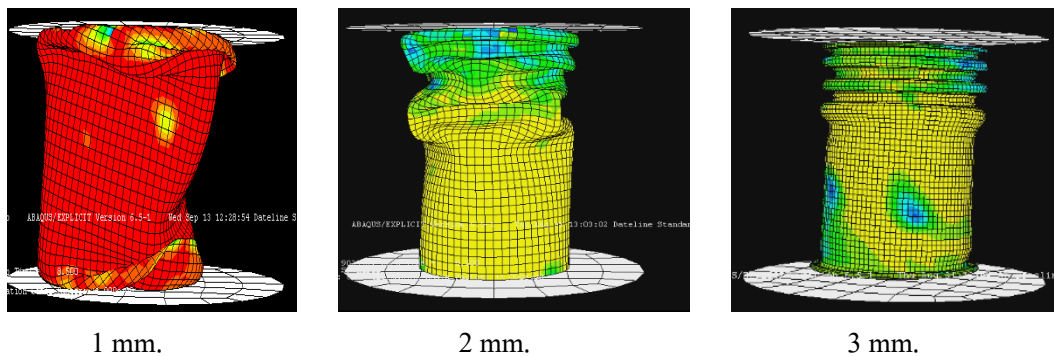
รูปที่ 4.2 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดหกเหลี่ยม

3) ท่อแปดเหลี่ยม



รูปที่ 4.3 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดแปดเหลี่ยม

4) ท่อวงกลม



รูปที่ 4.4 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดวงกลม

เมื่อเปรียบเทียบการเสียรูปแบบโมดต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นการเสียรูปก็จะเป็นรูปแบบโมดคอนเคอร์ตินา (Concertina mode) ซึ่งจะทำให้การดูดซับพลังงานของวัสดุมีค่ามากขึ้นด้วย แต่ถ้าวัสดุมีความหนาน้อยก็จะทำให้การเสียรูปเป็นแบบโมดแบบไดมอนด์ (Diamond mode) ซึ่งจะทำให้การดูดซับพลังงานของวัสดุมีค่าน้อย นั้นแสดงว่าการเสียรูปแบบโมดคอนเคอร์ตินา (Concertina mode) จะให้ค่าการดูดซับพลังงานมากกว่าการเสียรูปแบบโมดแบบไดมอนด์ (Diamond mode)

4.2 การวิเคราะห์ภายใต้แรงกระทำด้านข้าง (Bending Load)

4.2.1 การวิเคราะห์หา Mesh Independent

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดเอเลเมนต์มีดังนี้

คุณสมบัติภายนอก

-ใช้วัสดุหน้าตัดแบบวงกลม			
-วัสดุมีความหนา (t)	=	1	mm.
-รัศมี (r)	=	31.83	mm.
-วัสดุมีความยาว	=	150	mm.

คุณสมบัติวัสดุ

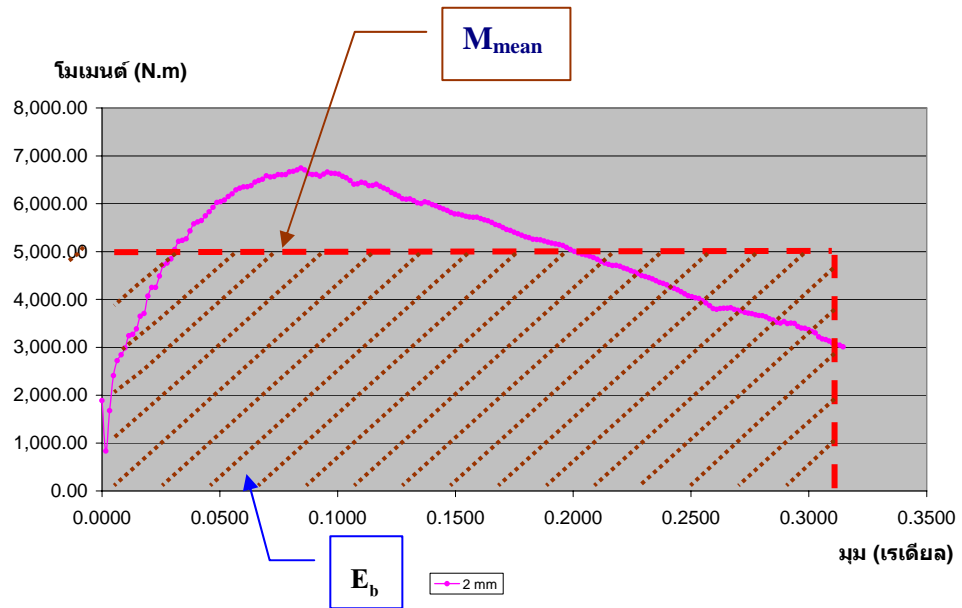
-ความหนาแน่นของวัสดุ (Density)	=	7800	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
-ค่า Young' Modulus	=	200	GPa.
-ค่า Poisson's Ratio	=	0.3	
-ค่าความเค้นครากตัว (Yield' Stress)	=	390	MPa.

โหลดที่มากกระทำ

-ความเร็วในการชนกระแทก (v)	=	10	mm/s.
-เวลาในการชนกระแทก (Time)	=	13	s

ค่าพลังงานการดูดซับหาได้จาก พื้นที่ใต้กราฟของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์กับมุม(เรเดียน) แต่เนื่องจากกราฟที่ได้มีขนาดของแรงที่ไม่คงที่ทำให้ยากแก่การ คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ เราจึงใช้ขนาดของโมเมนต์เฉลี่ยคูณกับมุม(เรเดียน)ที่กวาดไปเป็น ระยะทางสูงที่สุด

$$\text{พลังงานการดูดซับ (E}_b\text{)} = M_{\text{mean}} \text{ (N.m)} \times \theta \text{ (radial)}$$

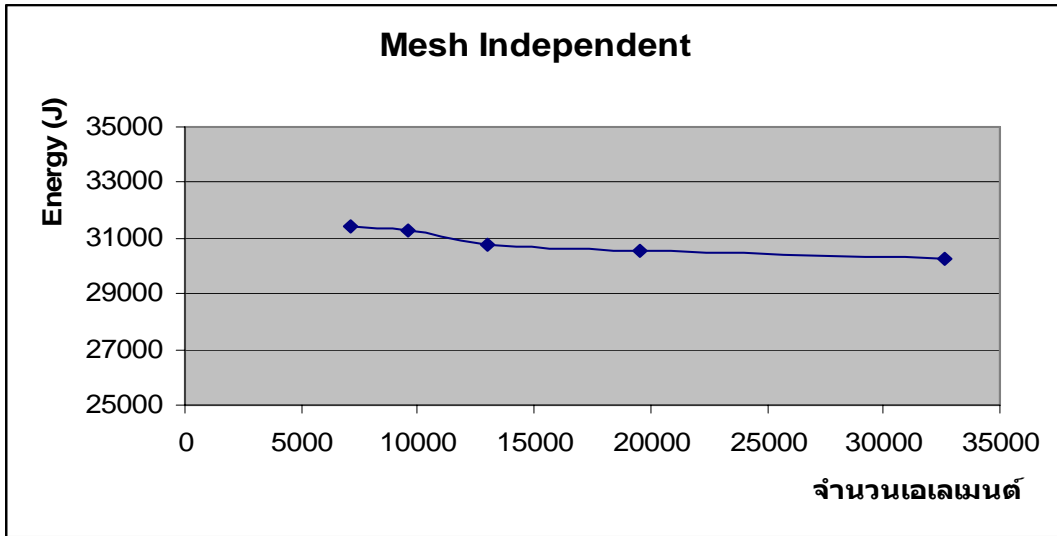


กราฟที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม(มุมเรเดียล)

ซึ่งตารางผลการทดลองจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานดูดซับที่ขนาดของเอเลเมนต์ต่างๆ (Bending Load)

ขนาด Mesh	จำนวนเอเลเมนต์	ค่าพลังงานดูดซับ (J)
3	32,584	30238.93
4	19,584	30518.10
5	12,984	30765.10
6	9,584	31248.80
7	7,148	31421.28



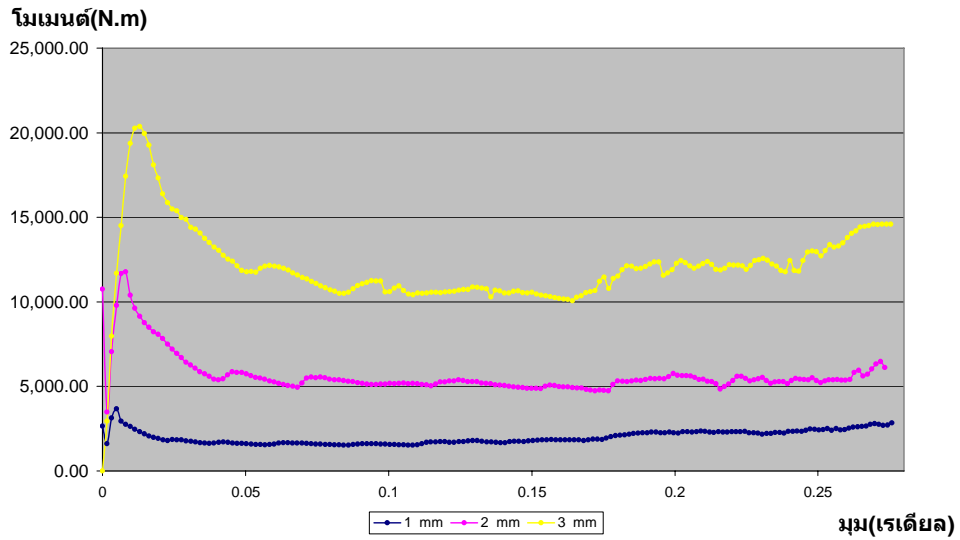
กราฟที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนเอเลเมนต์ กับ พลังงานดูดซับ

จากกราฟที่ 4.13 วิเคราะห์ขนาดเอเลเมนต์จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานการดูดซับจากการชนด้านข้างจะเริ่มลู่เข้าหาค่าตอบประมาณที่ขนาดของ Mesh เท่ากับ 5 จากนั้นผลจากการทดสอบหรือคำตอบจะค่อนข้างคงที่ อยู่ระหว่างค่าพลังงานการดูดซับ 30,238.93 J - 30765.10 J ซึ่งจะอยู่ระหว่างขนาด Mesh เท่ากับ 5 – 3 ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดของ Mesh เท่ากับ 4 เพราะว่าเป็นขนาดที่อยู่กึ่งกลางระหว่างขนาด Mesh เท่ากับ 5 กับขนาด Mesh เท่ากับ 3 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การชนในแนวแกน

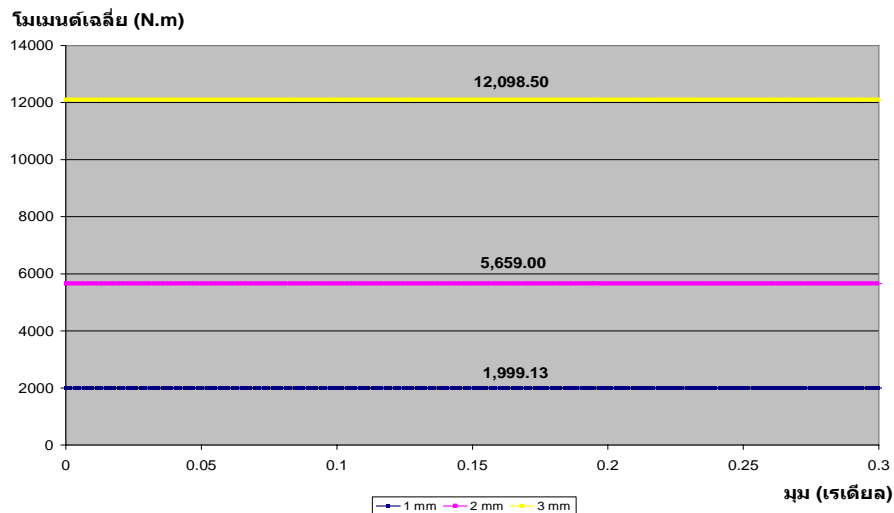
4.2.2 ผลการคำนวณ

การทดสอบการชนด้านข้างสำหรับหน้าตัดแบบต่างๆ จะได้กราฟความสัมพันธ์ของโมเมนต์ กับ มุม(เรเดียน) จากวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมดังนี้

4.2.2.1 สี่เหลี่ยม



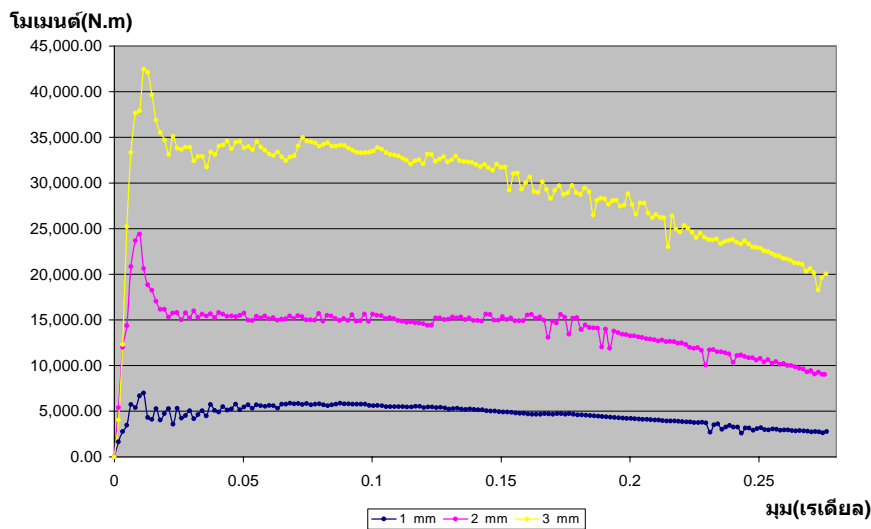
กราฟที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม



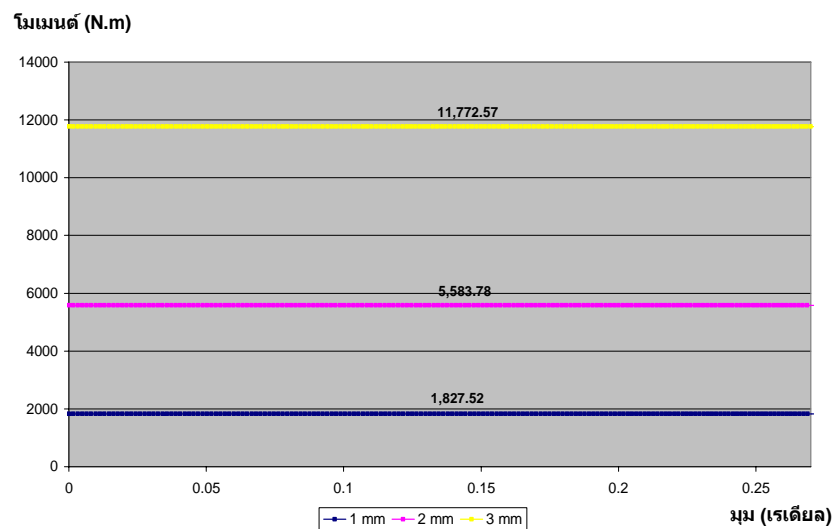
กราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์เฉลี่ย(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม

จากกราฟที่ 4.14 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม และกราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉลี่ยกับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของท่อ โดยแรงเฉลี่ยจะหาได้จากกราฟที่ 4.14

4.2.2.2 หกเหลี่ยม



กราฟที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยม

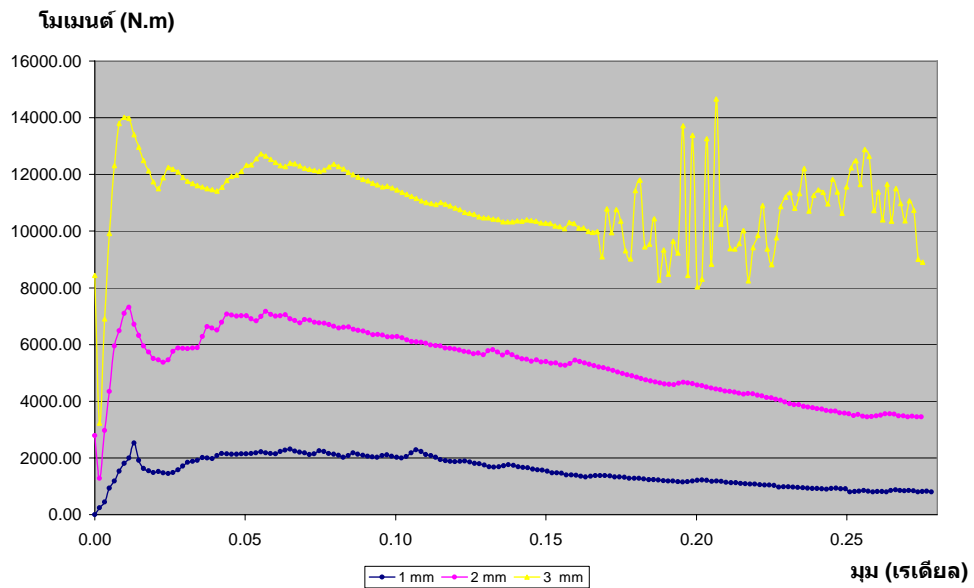


กราฟที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉลี่ย(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยม

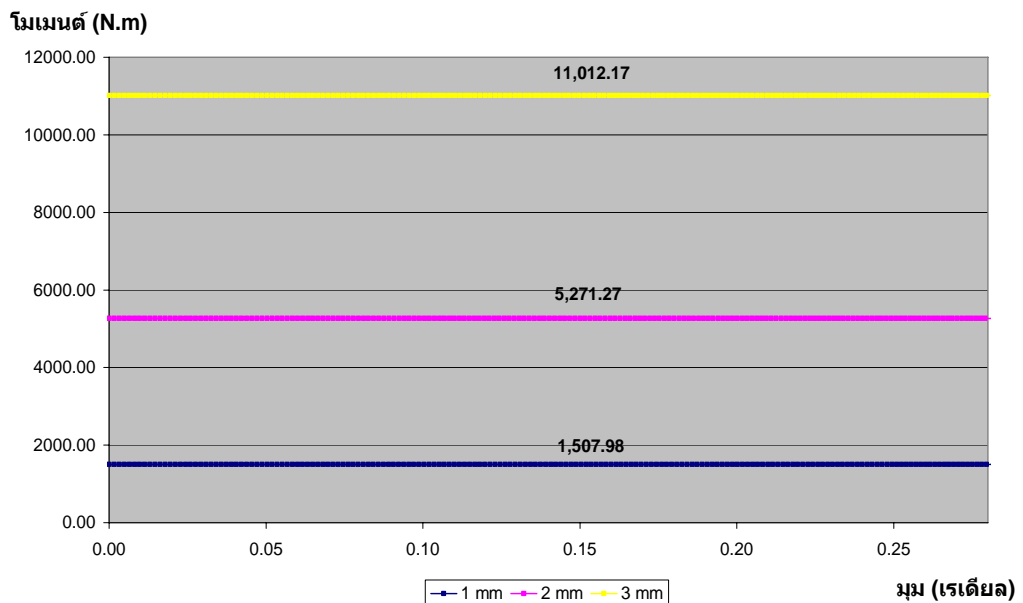
กราฟที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (เรเดียน) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยมและเปรียบเทียบค่าความหนาของท่อที่แตกต่างกัน จะเห็นว่า

ท่อที่มีความหนา 3 mm จะให้ค่าของแรงที่สูงกว่า 2 mm และ 1 mm ส่วนกราฟที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉื่อย(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (เรเดียน) ของหน้าตัดแบบหกเหลี่ยม

4.2.2.3 แปดเหลี่ยม



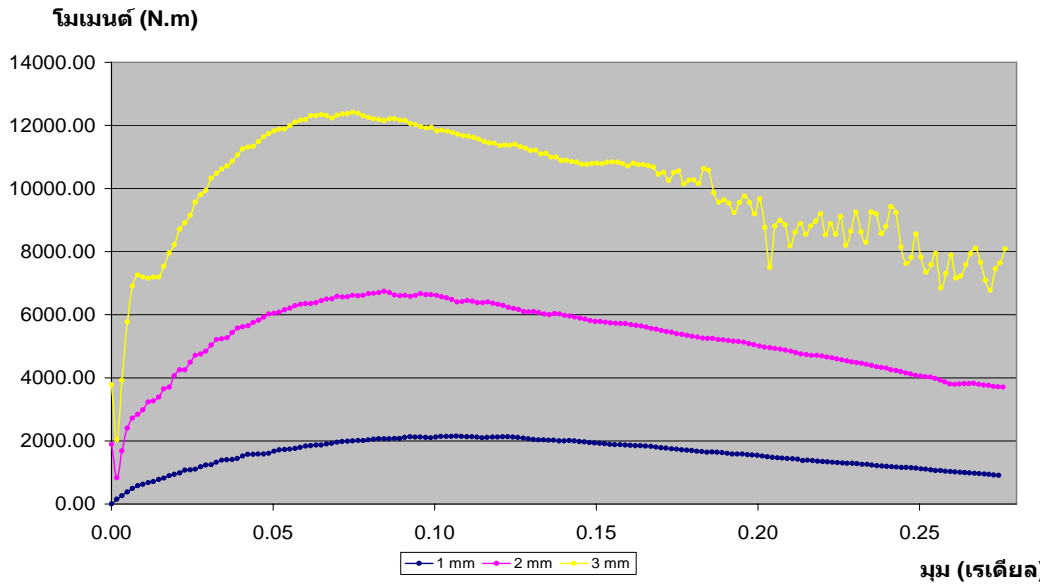
กราฟที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบแปดเหลี่ยม



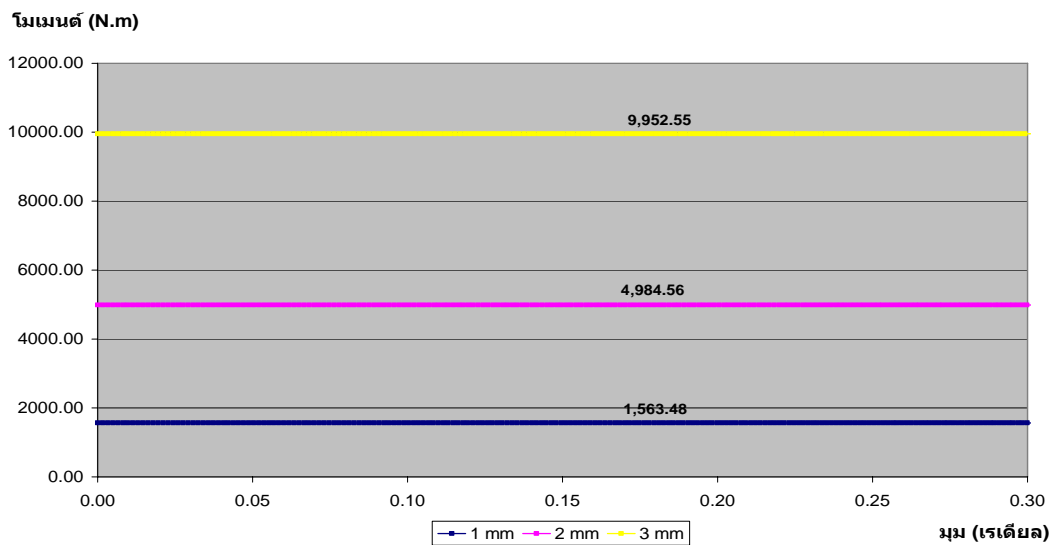
กราฟที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉื่อย(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบแปดเหลี่ยม

กราฟที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบแปดเหลี่ยมและเปรียบเทียบความหนาที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าท่อหนา 3 mm จะรับโมเมนต์เฉื่อยที่สูงที่สุดตามกราฟที่ 4.19

4.2.2.4 วงกลม



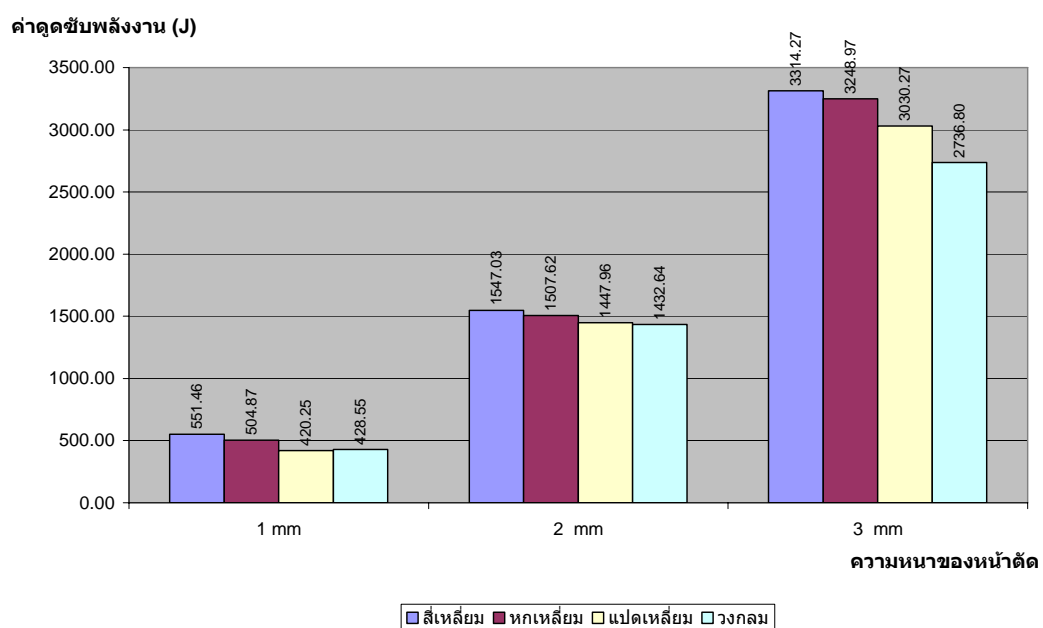
กราฟที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบวงกลม



กราฟที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉื่อย (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียน) ของหน้าตัดแบบวงกลม

กราฟที่ 4.20 และกราฟที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ (N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียล) กับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เฉลี่ย(N.m) กับมุมที่กวาดไปจากเดิม (มุมเรเดียล) ของท่อหน้าตัดวงกลมตามลำดับ โดยจะเห็นว่าที่มีความหนาขนาด 3 mm จะให้ค่าแรงและแรงเฉลี่ยสูงที่สุด

4.2.2.5 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัดแตกต่างกัน



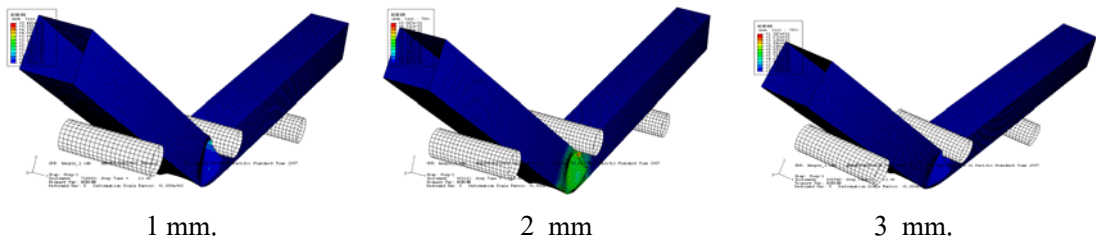
กราฟที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัดแตกต่างกัน

กราฟที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อที่มีขนาดและหน้าตัดแตกต่างกัน จะเห็นว่าท่อหน้าตัดแต่ละชนิดจะให้ค่าดูดซับพลังงานสูงสุดที่หน้าตัดมีความหนา 3 mm. และเมื่อเปรียบที่ความหนาเดียวกันแต่หน้าตัดต่างกันจะเห็นได้ว่าที่ความหนา 1 mm และ 3 mm. ท่อที่มีหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมจะให้ค่าดูดซับพลังงานสูงสุด แต่ที่ความหนา 2 mm. ท่อที่มีหน้าตัดแบบหกเหลี่ยมกลับมีค่าการดูดซับพลังงานสูงสุด ทั้งนี้ค่าการดูดซับพลังงานอาจจะขึ้นอยู่กับโมดความเสียหาย

4.2.2.6 รูปแบบความเสียหายที่เกิดจากการชนด้านข้าง

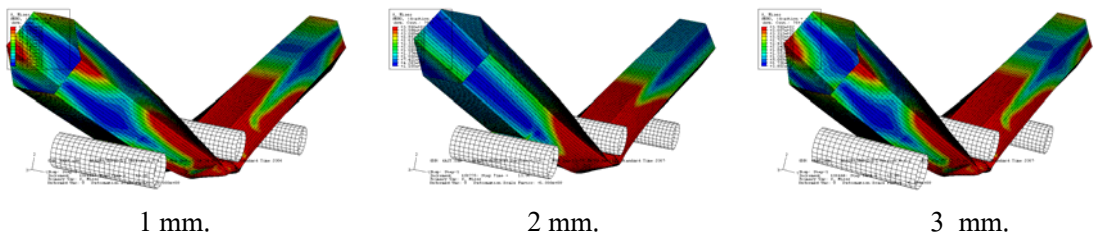
ในการออกแบบเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของที่มีหน้าตัดแตกต่างกันนั้น โมดความเสียหายก็มีผลกับค่าการดูดซับพลังงาน ซึ่งเมื่อมีการชนด้านข้างต้อง จะมีรูปแบบของความเสียหายดังแสดงด้านล่าง

1) ท่อสี่เหลี่ยม



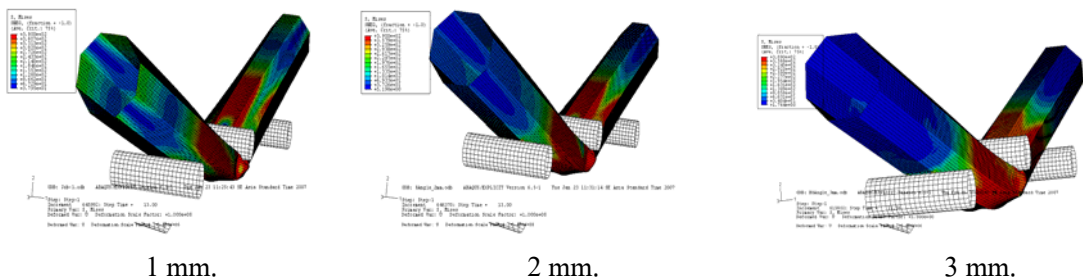
รูปที่ 4.5 รูปแบบของความเสียหาย ของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม

2) ท่อสี่เหลี่ยม



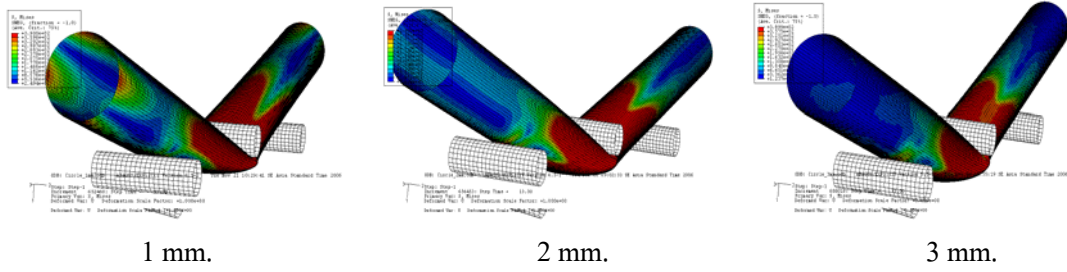
รูปที่ 4.6 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดหกเหลี่ยม

3) ท่อแปดเหลี่ยม



รูปที่ 4.7 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดแปดเหลี่ยม

4) ท่อวงกลม



รูปที่ 4.8 รูปแบบของความเสียหายของท่อหน้าตัดวงกลม