

## บทที่ 4

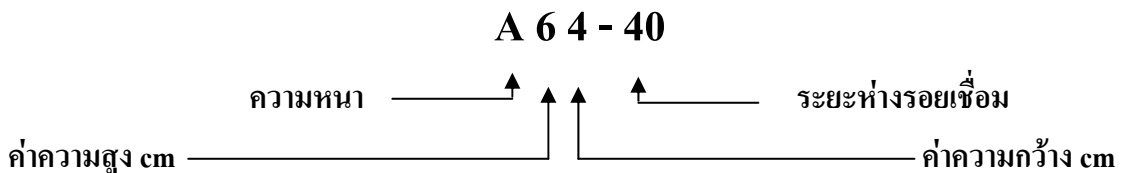
### การวิเคราะห์ผลการทดลองทางคอมพิวเตอร์

#### 4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองและผลการทดลอง

##### 4.1.1 การสอบเทียบโปรแกรม ABAQUS

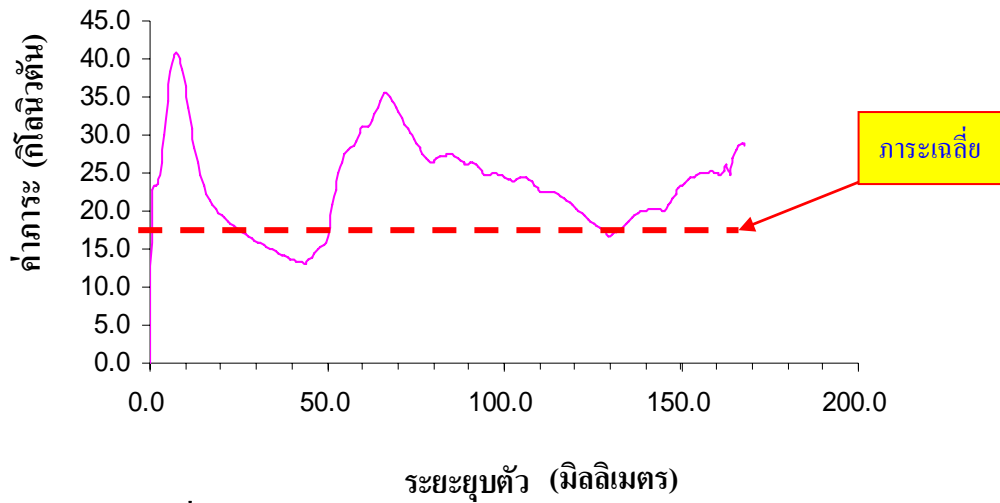
จากผลงานการวิจัยของ M.D. White และ N. Jones [1] ได้ทำการทดลองไว้ซึ่งได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ผ่านมาได้ถูกนำมาใช้ในการสอบเทียบ (Verification) โปรแกรม ABAQUS ที่ใช้งานอยู่ทำให้ทราบว่าผลการจำลองการเสียหายของชิ้นงานจะให้ค่าพลังงานคูดซัฟที่สูงกว่าค่าพลังงานคูดซัฟที่ได้จากการทดลองทุกกรณี ในกรณีนี้จึงทำให้เกิดการนำค่าคงที่มาคูณแก้ไขให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.845 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มีขนาดความกว้างของขอบ (flange) 15 มิลลิเมตร ความกว้าง (a) 60 มิลลิเมตร ความสูง (b) 60 มิลลิเมตร ความหนา (t) 1.2 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม(d) 25 มิลลิเมตร ความยาว(L) 333,250 มิลลิเมตร

คำอธิบายเกี่ยวกับสัญลักษณ์ใช้ในบทนี้เท่านั้น สัญลักษณ์ A, B, และ C ใช้แสดงแทนค่าความหนา 1.2, 1.6, และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เช่น



ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ความยาวของชิ้นงานเท่ากันทุกชิ้นงาน 24 มิลลิเมตร การจำลองการยุบตัวทางคอมพิวเตอร์ได้กำหนดการยุบตัวที่ 70% ของความยาวชิ้นงานซึ่งมีค่าเท่ากับ 168 มิลลิเมตร แต่การคำนวณผลของโปรแกรมไม่สามารถให้ค่าความยาวในการกดชิ้นงานที่เท่ากันได้มีค่าอยู่ระหว่าง 166-168 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลกับการเปรียบเทียบค่าพลังงานคูดซัฟแต่อย่างใด

จากการใช้โปรแกรม ABAQUS จำลองการยุบตัวของชิ้นงานทำให้ทราบรูปแบบการยุบตัว อีกทั้งค่าภาระที่ทำให้เกิดการยุบตัวที่ระยะต่างๆซึ่งสามารถนำมาสร้างกราฟเพื่อหาค่าพลังคูดซัฟได้ ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและระยะยุบตัว

ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกราฟนี้แต่ค่าภาระเฉลี่ยจะแตกต่างกันตามความสามารถในการรับแรงกดของแต่ละชิ้นงาน จะหาค่าพลังงานดูดซับได้

#### 4.1.2 ผลการทดลองจากโครงสร้างรูปหมวกปิด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง โครงสร้างรูปหมวกปิดความหนา 1.2 มิลลิเมตร

code	f (mm)	L (mm)	displacement (mm)	Ea (kJ)	Ea X 0.845 (kJ)	Pm (kN)	Mode of failure
A64-85	15	240	168.117	2.462	2.080	14.649	Regular
A64-70	15	240	168.287	1.606	1.357	9.547	Euler
A64-55	15	240	168.592	2.352	1.987	14.094	Regular
A64-40	15	240	166.967	2.922	2.469	17.501	Irregular
A64-25	15	240	167.754	2.691	2.274	16.044	Regular
A66-85	15	240	168.107	2.360	1.994	14.039	Regular
A66-70	15	240	166.896	2.646	2.236	15.855	Regular
A66-55	15	240	168.519	2.263	1.912	13.434	-
A66-40	15	240	168.059	3.068	2.592	18.256	Irregular
A66-25	15	240	166.799	2.796	2.363	16.768	Irregular
A74-85	15	240	168.117	2.386	2.016	14.192	Irregular
A74-70	15	240	168.825	2.128	1.798	12.682	Euler
A74-55	15	240	167.899	2.539	2.145	15.122	Irregular
A74-40	15	240	167.611	2.399	2.027	14.314	Euler
A74-25	15	240	168.299	2.700	2.282	16.054	Irregular
A76-85	15	240	167.346	2.305	1.948	13.775	Regular
A76-70	15	240	168.865	2.497	2.110	14.791	Euler
A76-55	15	240	167.607	2.430	2.053	14.491	Irregular
A76-40	15	240	167.390	2.900	2.451	17.325	Irregular
A76-25	15	240	168.350	2.691	2.274	15.987	Regular



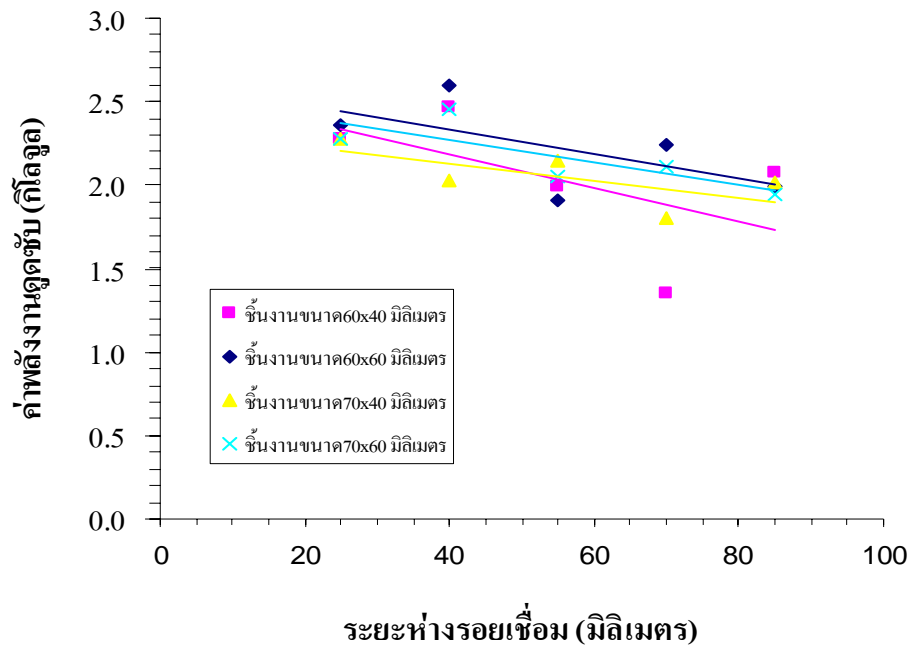
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโครงสร้างรูปหมวกปิดความหนา 2.0 มิลลิเมตร

code	f (mm)	L (mm)	displacement (mm)	Ea (kJ)	Ea X 0.845 (kJ)	Pm (kN)	Mode of failure
C64-85	15	240	167.550	2.770	2.341	16.532	Euler
C64-70	15	240	168.634	6.157	5.203	36.155	Regular
C64-55	15	240	168.361	6.113	5.165	36.309	Irregular
C64-40	15	240	168.426	5.982	5.055	35.518	Euler
C64-25	15	240	168.305	7.694	6.501	45.717	Euler
C66-85	15	240	168.274	5.493	4.642	32.646	Irregular
C66-70	15	240	166.149	5.744	4.854	34.573	Regular
C66-55	15	240	168.814	5.784	4.887	34.263	Regular
C66-40	15	240	167.495	6.019	5.086	35.937	Regular
C66-25	15	240	166.366	7.574	6.400	45.526	Regular
C74-85	15	240	167.983	3.317	2.803	19.748	Euler
C74-70	15	240	168.264	6.060	5.121	36.015	Regular
C74-55	15	240	167.312	7.058	5.964	42.188	Regular
C74-40	15	240	167.210	8.655	7.313	51.765	Regular
C74-25	15	240	167.871	7.204	6.087	42.916	Regular
C76-85	15	240	168.017	5.607	4.738	33.376	Irregular
C76-70	15	240	166.157	4.648	3.928	27.978	Irregular
C76-55	15	240	166.931	6.590	5.569	39.479	Regular
C76-40	15	240	168.494	7.538	6.370	44.737	Regular
C76-25	15	240	166.824	7.347	6.208	44.044	Regular

## 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางคอมพิวเตอร์

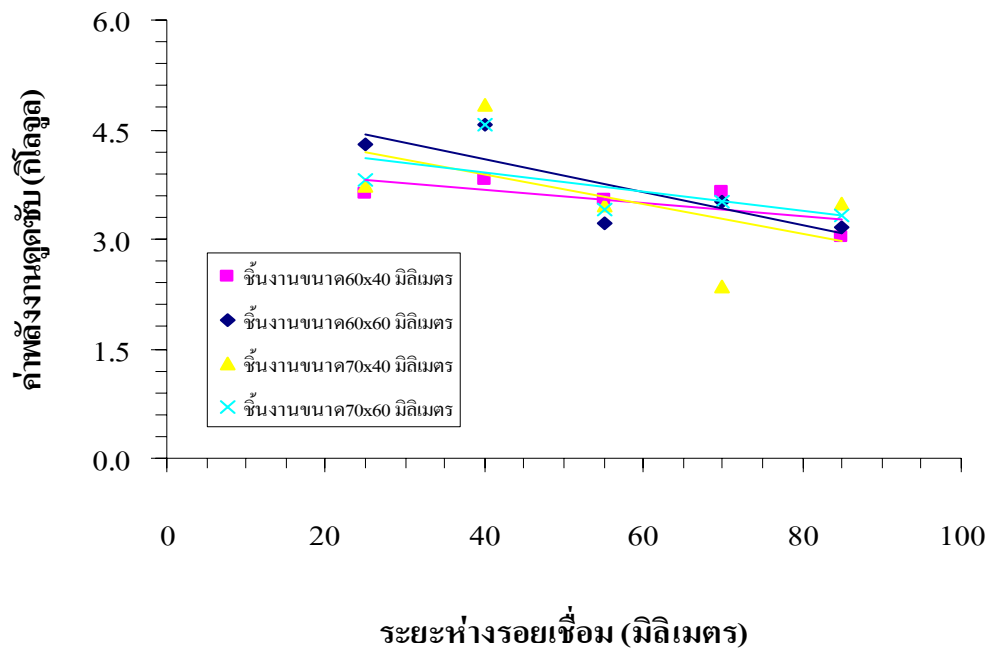
### 4.2.1 การวิเคราะห์ด้านระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมของโครงสร้างรูปหมวกปิด

เป็นการเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีขนาดเดียวกัน ความหนาเท่ากัน แต่มีระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมต่างกัน สามารถนำมาวิเคราะห์โดยใช้กราฟได้ผลการทดลองดังนี้



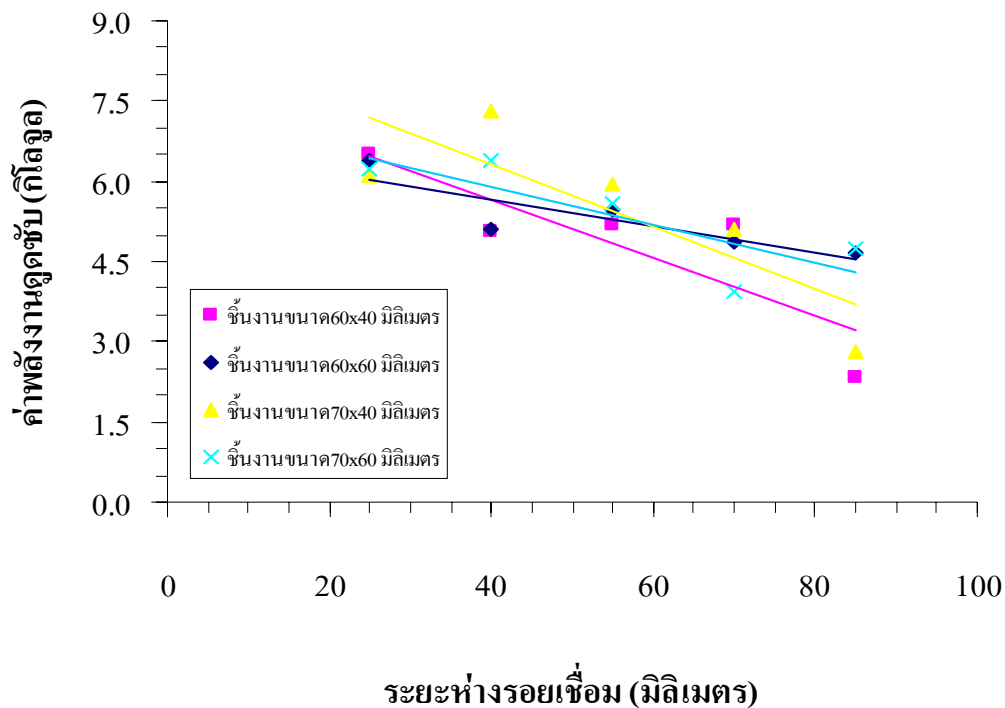
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานดุดับกับระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม ที่ความหนา 1.2 มิลลิเมตร

จากกราฟผลการทดลองเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมที่ความหนา 1.2 มิลลิเมตรผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าพลังงานดุดับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมลดลง ยกเว้นที่ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมเท่ากับ 40 มิลลิเมตร สามารถทำให้เกิดค่าพลังงานดุดับที่ดีแต่ทั้งนี้ไม่สามารถวิเคราะห์จากระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมเท่านั้น แต่ต้องดูผลของรูปแบบการยุบตัวที่เกิดขึ้นด้วย เพราะผลของรูปแบบมีผลอย่างมากกับค่าพลังงานดุดับที่เกิดขึ้น เช่นที่ ค่าความหนา 1.2 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร กว้าง 40 มิลลิเมตร (A74-40) ที่เส้นกราฟสีเหลืองได้ตกลงจากกลุ่มเนื่องจากเกิด An Euler-type global bending mode ถ้าดูจากเส้นแนวโน้มค่าพลังงานดุดับแปรผกผันกันระยะห่างรอยเชื่อม



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานดุดันกับระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม ที่ความหนา 1.6 มิลลิเมตร

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าเป็นลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 4.2 คือเส้นกราฟทำให้ทราบว่า ที่ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมเท่ากับ 40 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานดุดันสูงสุดแต่ทั้งนี้ต้องมีรูปแบบการยุบตัวที่เป็น Regular Progressive Collapse และเป็นที่ยอมรับอีกอย่างหนึ่งคือระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมที่มีค่าน้อยเมื่อมีการยุบตัวเกิดขึ้นจะให้ค่าพลังงานดุดันที่ดีกว่าชิ้นงานที่มีระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมมากเป็นไปตามเส้นกราฟแนวโน้ม

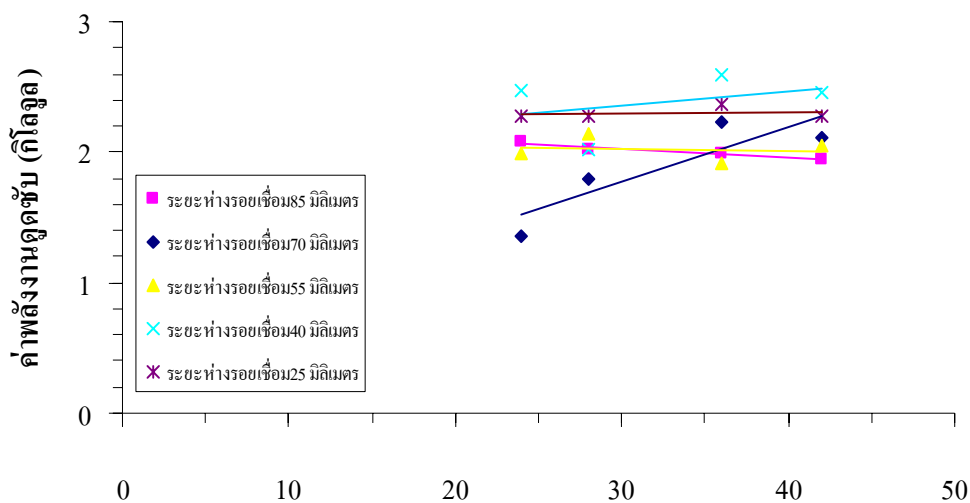


รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานดัดซับกับระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม ที่ความหนา 2.0 มิลลิเมตร

กราฟที่เห็นจากรูปที่ 4.4 จะแตกต่างไปจากกราฟรูปที่ผ่านมาคือที่ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม 40 มิลลิเมตรไม่ได้ให้ค่าพลังดัดซับสูงสุดทุกตัว ถ้าพิจารณาไปถึงเรื่องของรูปแบบการยุบตัวของความหนา 2.0 มิลลิเมตร ความสูง 60 มิลลิเมตร ความกว้าง 40 มิลลิเมตร (C64-40) เกิด An Euler-type global bending mode ซึ่งรูปแบบนี้ทำให้เกิดการโก่งตัวระหว่างการยุบ ค่าภาระที่ทำให้เกิดการยุบตัวมีค่าน้อย อาจจะสามารถบอกได้ว่ารูปแบบการยุบตัวของโครงสร้างรูปหมวกปิดนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์แค่เพียงตัวเดียว จะเกี่ยวข้องไปถึงเรื่องของความหนาด้วยที่ทำให้รูปแบบการยุบตัวของโครงสร้างรูปหมวกปิดเปลี่ยนไปด้วย

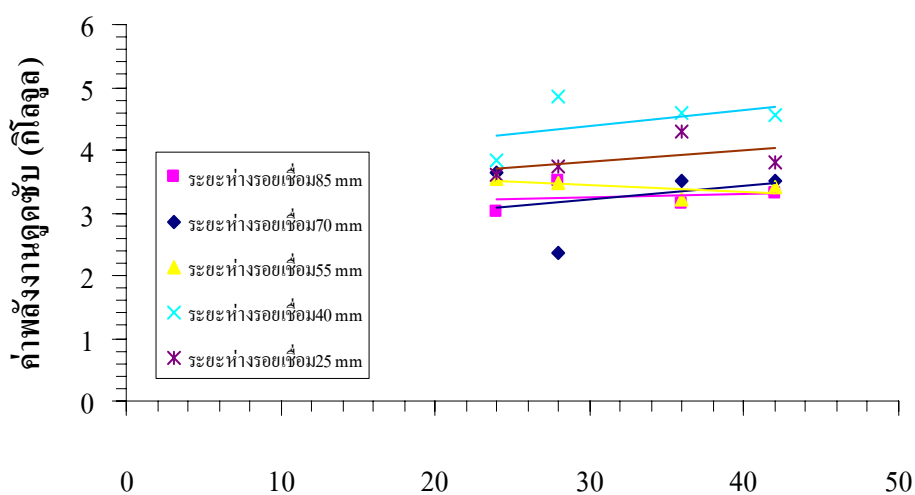
#### 4.2.2 การวิเคราะห์ด้านขนาดและรูปร่างของโครงสร้างรูปหมวกปิด

ขนาดและรูปร่างของโครงสร้างรูปหมวกปิดจะแตกต่างกันอยู่ 4 รูปแบบ ดังนี้ 60x40, 60x60, 70x40, และ 70x60 (ทุกค่าอยู่ในหน่วยมิลลิเมตร) กราฟที่จะแสดงต่อไปนี้เป็นกราฟที่ควบคุมระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม โดยมีเป้าหมายที่จะเปรียบเทียบว่าขนาดที่ต่างกันของโครงสร้างรูปหมวกปิดมีผลกระทบอย่างไรกับค่าพลังงานดัดซับ



#### พื้นที่หน้าตัดโครงสร้างรูปหมวกปิด (มิลลิเมตร<sup>2</sup>)

รูปที่ 4.5 แสดงค่าพลังงานกับขนาดชิ้นงานที่ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมเท่ากัน (24=60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 36=60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 28=70x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, และ 42=70x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร) ที่ความหนา 1.2 มิลลิเมตร



#### พื้นที่หน้าตัดโครงสร้างรูปหมวกปิด (มิลลิเมตร<sup>2</sup>)

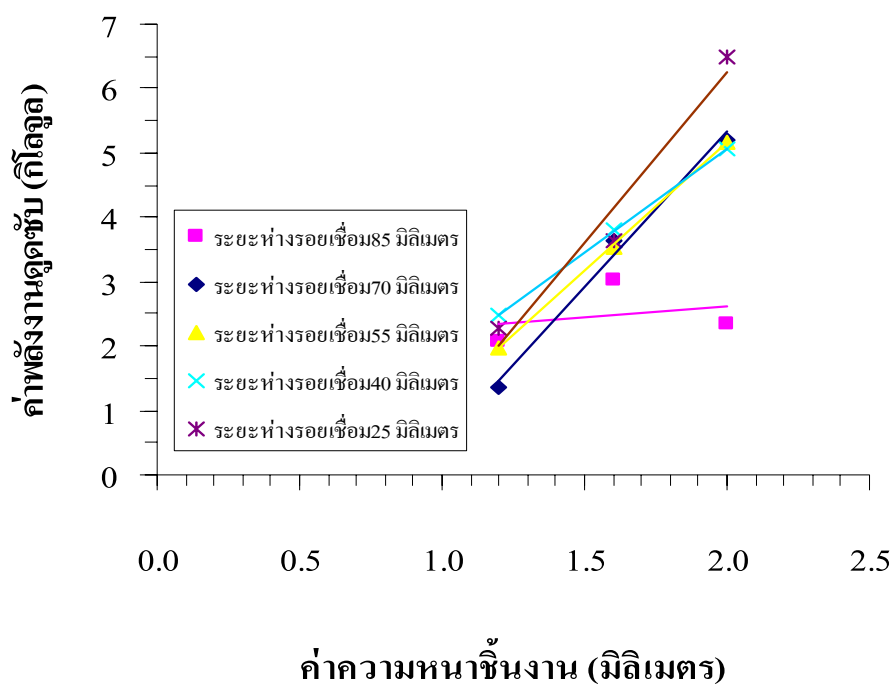
รูปที่ 4.6 แสดงค่าพลังงานกับขนาดชิ้นงานที่ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อมเท่ากัน (24=60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 36=60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 28=70x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, และ 42=70x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร) ที่ความหนา 1.6 มิลลิเมตร



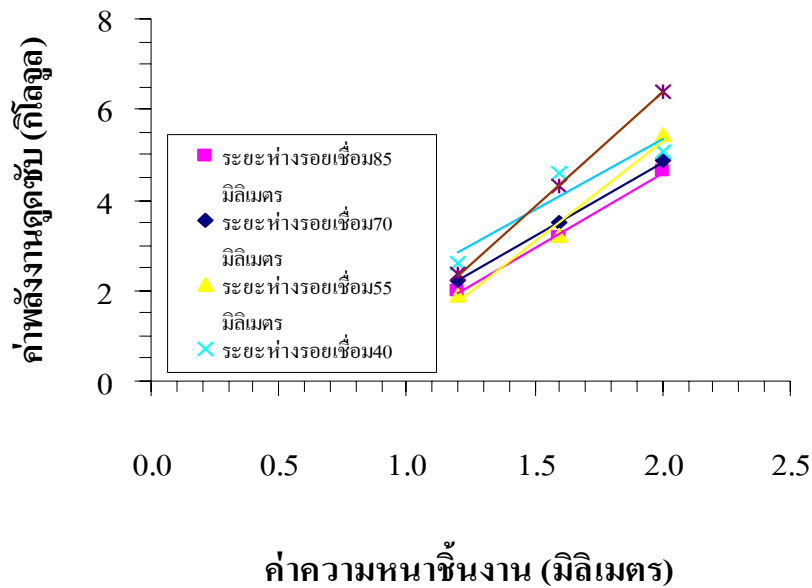
จากกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 ไม่สามารถสรุปเกี่ยวกับกรณีของขนาดได้ เพราะเส้นกราฟไม่บ่งชี้ให้เห็นได้ว่าขนาดของชิ้นงานในลักษณะใดให้ค่าพลังงานดูดซับสูงหรือต่ำ ทำให้ทราบเพียงว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนขนาดมีน้อยมาก ลักษณะของเส้นแนวโน้มคือ เมื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดเพิ่ม ค่าพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลที่ได้ทำให้ค่าพลังงานดูดซับมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของรูปแบบการยุบตัวที่มีผลอย่างมากมาย ถ้าการยุบตัวเกิดขึ้นในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดอาจจะทำให้เราสามารถสรุปกรณีนี้ก็เป็นได้

#### 4.2.3 การวิเคราะห์ด้านความหนาของโครงสร้างรูปหมวกปิด

โดยปกติแล้วเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นค่าพลังงานดูดซับต้องเพิ่มขึ้นตามในลักษณะแปรผันโดยตรงต่อกัน แต่เนื่องจากความหนาจะโยงไปถึงเรื่องของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาดังนั้นค่าความหนาที่มากขึ้นสามารถเพิ่มพลังงานดูดซับได้จริงแต่ควรจะดูในเรื่องของพลังงานดูดซับต่อน้ำหนักด้วยอีกอย่างหนึ่งเพราะส่วนมากแล้วความต้องการคือ ความแข็งแรงแต่ต่อน้ำหนักเบา จากผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับค่าพลังงานดูดซับที่ขนาดชิ้นงาน 60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับค่าพลังงานดัดที่ขนาดชิ้นงาน 60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเป็นกราฟลักษณะเชิงเส้นคือค่าพลังงานดัดจะแปรผันตรงกับค่าความหนาดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแต่ที่กราฟเส้นสีชมพูที่ขนาด 60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม 85 มิลลิเมตรนั้น เส้นกราฟตกลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อตรวจสอบดูที่ผลการทดลองพบว่าเกิด An Euler-type global bending mode ที่ความหนา 2.0 มิลลิเมตร

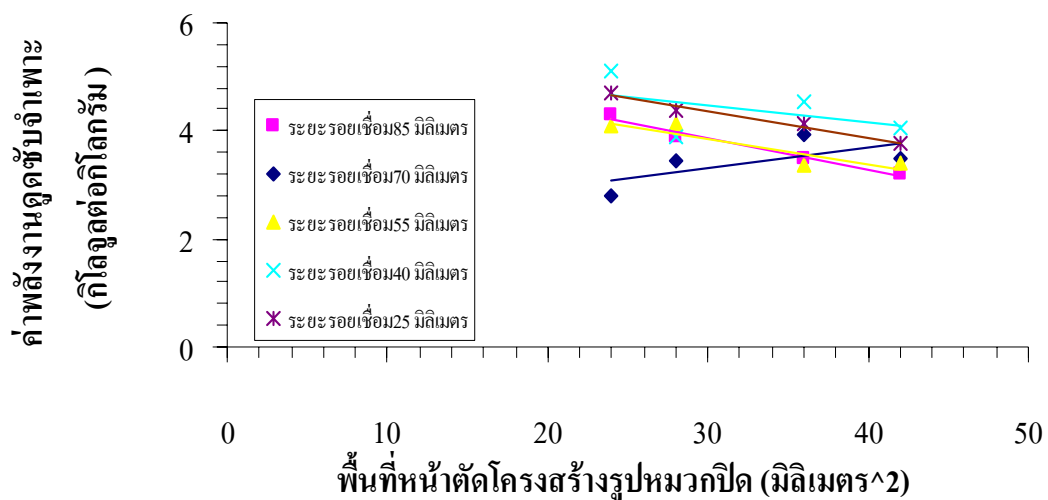
#### 4.2.4 การวิเคราะห์ด้านความหนาเปรียบเทียบกันน้ำหนักของโครงสร้างรูปหมวกปิด

เมื่อวัสดุมีความหนาขึ้นพลังงานดัดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งเป็นผลดีในแง่ของพลังงานดัดแต่ในอุตสาหกรรมรถยนต์นั้นมีความต้องการ โครงสร้างที่มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา จึงจำเป็นต้องมีพารามิเตอร์อีกตัวที่มาใช้ในการชีวิตคือ พลังงานดัดจำเพาะที่นำน้ำหนักของตัวชิ้นงานเองมาหารค่าพลังงานดัดที่ได้ โดยชิ้นงานมีน้ำหนักดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักของชิ้นงาน

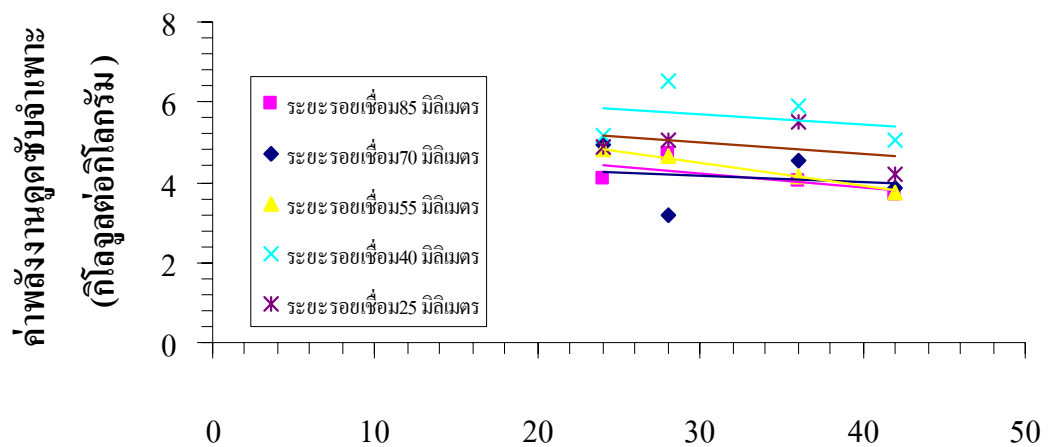
ชิ้นงาน	น้ำหนัก
A64	485
A66	570
A74	520
A76	605
B64	740
B66	780
B74	740
B76	905
C64	850
C66	990
C74	917
C76	1020

จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานจะมีน้ำหนักแตกต่างกันออกไปจึงจำเป็นต้องนำน้ำหนักนี้ไปคิดเทียบกับค่าพลังงานดูดซับที่ได้ แสดงดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 แสดงค่าพลังงานดูดซับจำเพาะกับประเภทชิ้นงานที่ระยะห่างรอยเชื่อมเดียวกัน

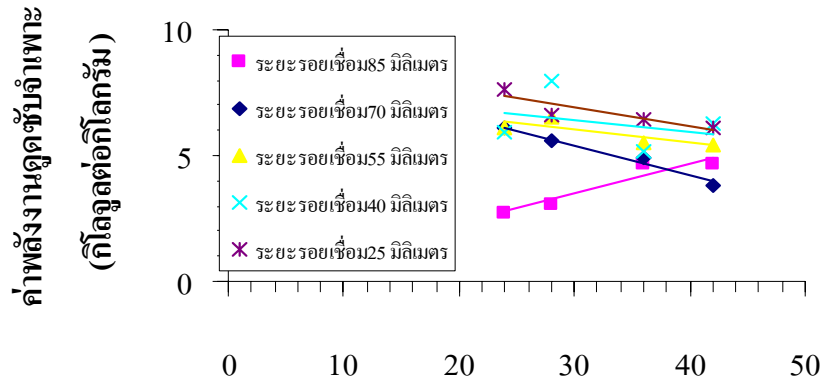
(24=60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 36=60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 28=70x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร และ 42=70x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร) ที่ความหนา 1.2 มิลลิเมตร



### พื้นที่หน้าตัดโครงสร้างรูปหมวกปิด (มิลลิเมตร<sup>2</sup>)

รูปที่ 4.10 แสดงค่าพลังงานคูดซับจำเพาะกับประเภทชิ้นงานที่ระยะห่างรอยเชื่อมเดียวกัน (24=60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 36=60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 28=70x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร และ 42=70x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร) ที่ความหนา 1.6 มิลลิเมตร

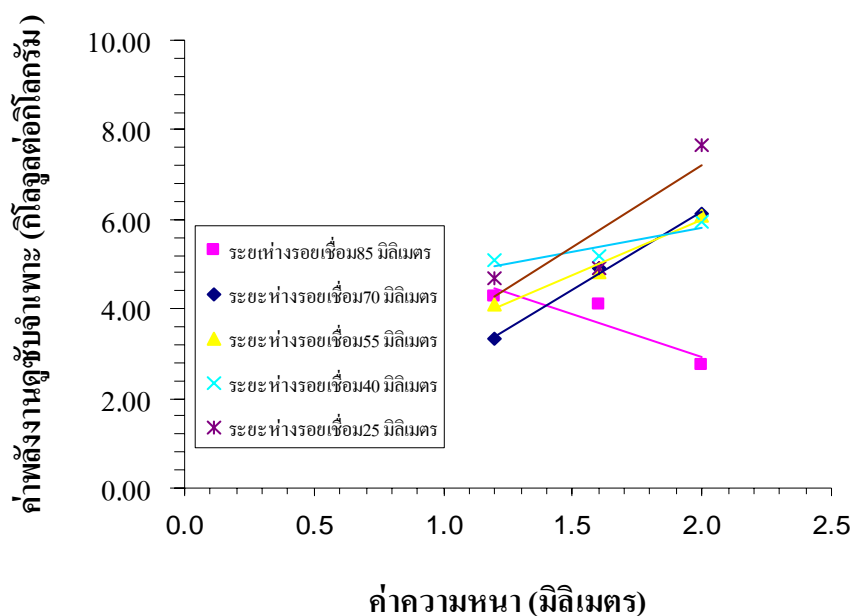
จากกราฟแยกสรุปเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ค่าพลังงานคูดซับต่อน้ำหนักมากที่ชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 24 มิลลิเมตร<sup>2</sup> และ 28 มิลลิเมตร<sup>2</sup> ตามลำดับเนื่องจากชิ้นงานสองขนาดนี้ให้พลังงานคูดซับที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานทุกขนาดแต่น้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่น จึงทำให้ค่าพลังงานคูดซับจำเพาะสูง ส่วนที่ 2 เส้นกราฟที่มีระยะห่างรอยเชื่อม 70 มิลลิเมตร ที่ชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 28 มิลลิเมตร<sup>2</sup> นั้นมีรูปแบบการขุดตัวแบบ โกงตัว (Euler mode) และส่วนที่ 3 ระยะห่างรอยเชื่อม 40 มิลลิเมตรไม่เป็นไปตามทั้งสองกรณีข้างต้นเนื่องจากให้ค่าพลังงานคูดซับจำเพาะที่พื้นที่หน้าตัด 36 มิลลิเมตร<sup>2</sup> สูง จากรูปที่ 4.9 ที่ชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 28 มิลลิเมตร<sup>2</sup> และระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม 70 มิลลิเมตร นั้นมีรูปแบบการขุดตัวแบบ โกงตัว (Euler mode) อย่างไรก็ตาม เส้นแนวโน้มที่เกิดขึ้นทำให้ทราบถึงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดเพิ่ม ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานคูดซับจำเพาะกับขนาดพื้นที่หน้าตัดจึงทำให้ค่าพลังงานคูดซับจำเพาะลดลงเมื่อพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น



### พื้นที่หน้าตัดโครงสร้างรูปหมวกปิด (มิลลิเมตร<sup>2</sup>)

รูปที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานดูดซับจำเพาะกับประเภทชิ้นงานที่ระยะห่างรอยเชื่อมเดียวกัน (24=60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 36=60x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร, 28=70x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร และ 42=70x60 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร) ที่ความหนา 2.0 มิลลิเมตร

จากกราฟความหนา 2.0 มิลลิเมตร จะเห็นได้อย่างชัดเจนเกี่ยวกับข้อสรุปของส่วนที่ 1 ด้านบนยกเว้นเส้นกราฟสีชมพูที่เกิดการยุบตัวแบบการโค้งตัวที่พื้นที่หน้าตัด 24 มิลลิเมตร<sup>2</sup> และ 28 มิลลิเมตร<sup>2</sup>



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับค่าพลังงานดูดซับจำเพาะที่ขนาด  
ชิ้นงาน 60x40 มิลลิเมตร x มิลลิเมตร

จากกราฟเมื่อเขียนกราฟระหว่างความหนากับค่าพลังงานดูดซับจำเพาะแล้วเห็นว่ากราฟที่ได้ ออกมายังคงเหมือนกับรูปที่ 4.6 เนื่องจากค่าความหนาที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ได้แตกต่างกันมากนักจึงทำให้กราฟยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง