

การวิเคราะห์การโค้งงอและการดัดกลืนพลังงานของวัสดุประกอบรูปร่างผึ้ง

ENERGY ABSORPTION AND BUCKLING ANALYSIS

OF

HONEYCOMB COMPOSITE MATERIALS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2536 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

033292

ปีการศึกษา 2536

การวิเคราะห์การโค้งงอและการดัดกลืนพลังงานของวัตถุประกอบรูปรีงผึ้ง



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การโค้งงอและการดุดกิ้นพลังงานของวัตถุประกอบรูปร่าง

ฐานิภูรฺ์ ทินนาม

ณัฐภูมิ มัจพันธ์

รศ. สมชัย นรเศรษฐ์โคภน อ. ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านการโค้งงอและการดุดกิ้นพลังงานของวัตถุประกอบรูปร่าง โดยการทดลองจะกำหนดให้วัตถุซึ่งมีพลังงานตกมากระแทกวัตถุประกอบที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาโครงสร้างของวัตถุประกอบรูปร่างที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปใช้งานตามความต้องการ

ลักษณะของการทำโครงการแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ งานสร้างอุปกรณ์ ทดสอบชิ้นงานและสร้างชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบ กับงานทดสอบชิ้นงานและสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY ABSORPTION AND BUCKLING ANALYSIS

OF

HONEYCOMB COMPOSITE MATERIALS

THANIT THINNAM

NATTAPOOM MATJAPANT

ASSOC. PROF. SOMCHAI NORASETHASOPON ADVISOR

1993

ABSTRACT

The objective of this project is the study of the property of energy absorption and buckling analysis of Honeycomb composite materials. Testing is made by using a falling object crash to test pieces which are formed in different size and feature, then calculate the experimental's result to analysis for right structure to use in actual work.

This project is separated into two parts. One is making the test pieces and the testing device. Another is experimental and concluding.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บท

หน้า

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. บทนำ | 1 |
| 2. วัตถุประสงค์ประกอบ | 2 |
| 3. การทดลอง | 8 |
| 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ | 14 |
| 5. สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง | 36 |
| หนังสืออ้างอิง | 37 |
| กิตติกรรมประกาศ | 38 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

วัสดุประกอบ (Composite Materials) เกิดจากการนำวัสดุสองชนิดมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นตามความต้องการใช้งานเช่น คุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกกร่อน การนำไฟฟ้า ความทนทานต่ออุณหภูมิ ทำให้มีน้ำหนักเบากว่าเดิมหรือให้อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น โดยวัสดุที่นำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้น อาจจะเป็น โลหะ - โลหะ , โลหะ - เซรามิกส์ , โลหะ - โพลีเมอร์ , โพลีเมอร์ - เซรามิกส์ , เซรามิกส์ - เซรามิกส์ หรือระหว่างโพลีเมอร์ - โพลีเมอร์ ก็ได้ นอกจากนี้แล้ววัสดุธรรมชาติที่เราคุ้นเคยกันคืออย่างไม้ (Wood) ก็จัดเป็นวัสดุประกอบประเภทหนึ่งเช่นกัน

สำหรับอลูมิเนียม เมื่อใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง อลูมิเนียมจะมีความต้านแรงพอกๆ กับเหล็กกล้า แต่เนื่องจากโมดูลัสความยืดหยุ่นของอลูมิเนียมมีค่าประมาณหนึ่งในสามของเหล็กกล้า จึงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาทางด้านอัตราส่วนความต้านแรงต่อน้ำหนักซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบแล้ว อลูมิเนียมจะได้เปรียบโลหะชนิดอื่นมาก เช่นในกรณีของเครื่องบิน จรวด รถไฟ เป็นต้น

ในช่วงระยะเวลากว่า 30 ปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาค้นคว้าทางด้าน Composite Materials กันอย่างมาก จากความรู้ที่ได้มาทำให้วัสดุประเภทนี้มีการพัฒนาทางด้านคุณสมบัติต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น และได้นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น ในงานอุตสาหกรรมด้านอากาศยาน เราใช้วัสดุประเภทนี้ในการทำโครงสร้างหรือตัวถังของเครื่องบิน เครื่องบินรบ เฮลิคอปเตอร์ ลำตัวของซีปนาวุธ ตลอดจนใช้เป็นโครงสร้างของดาวเทียมและเสาอากาศ

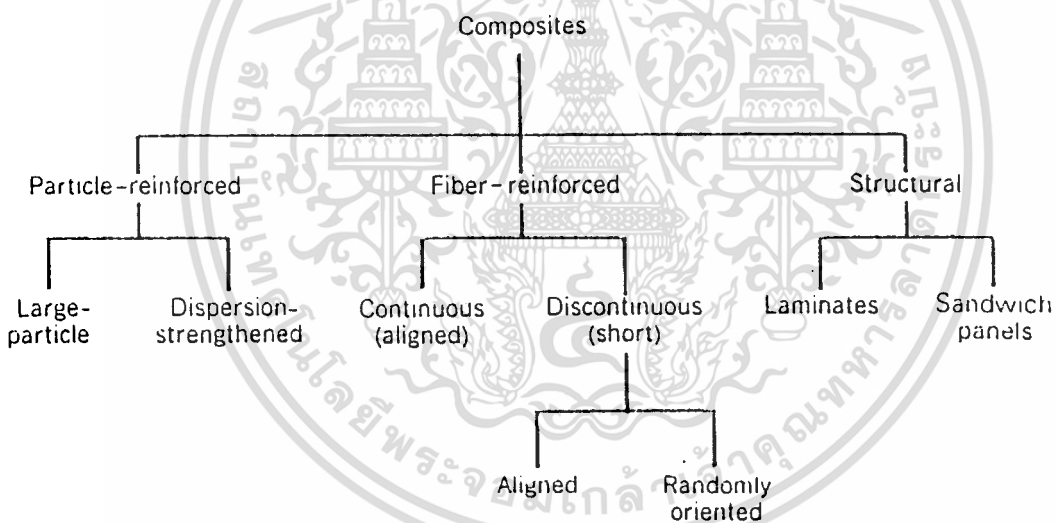
ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ จากการทดสอบสภาพความปลอดภัยจากการชนปะทะแบบ offset - crash ที่ความเร็ว 55 กม/ชม ของรถยนต์ขนาดกลางทั่วโลกจำนวน 8 ตระกูล ได้แก่ BMW 520i , Opel Omega 2.4i , Nissan Maxima , Fiat Croma i.e, Volvo 740 , Renault 25 , Mercedes 200 และ Honda Legend ผลการทดสอบปรากฏว่า มีผู้ขับซึ่รถเพียง 2 คันเท่านั้นที่ไม่ได้รับอันตรายมากนัก นอกจากนั้นก็ล้วนแต่ได้รับบาดเจ็บตั้งแต่ปานกลางไปถึงรุนแรงซึ่งหมายถึงอันตรายถึงแก่ชีวิต โดยที่อันตรายส่วนใหญ่เกิดจาก การกระแทกอย่างรุนแรงที่ศีรษะ แรงกระชากที่ศีรษะ แรงกระชากที่ทรวงอก การศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ช่วยในการลดแรงปะทะมาใช้จึงจำเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันก็ได้เริ่มมีการนำวัสดุประกอบมาใช้ทำเป็นตัวถัง และส่วนประกอบอื่นๆของรถยนต์กันบ้างแล้ว นอกจากนี้ในงานทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือในงานกิจการขนส่งท่อน้ำมัน ด้งๆ เชื้อเพลิง ก็ได้มีการนำวัสดุประกอบไปใช้ด้วยเช่นกัน

บทที่ 2

วัสดุประกอบ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ววัสดุประกอบนั้นสามารถประกอบขึ้นมาจากวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ และด้วยลักษณะของการประกอบเข้าด้วยกันนี้ทำให้สามารถจำแนกวัสดุประกอบออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากอนุภาค (Particle - Reinforced)
 2. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นใย (Fiber - Reinforced)
 3. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นเป็นโครงร่าง (Structural)
- ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดของแต่ละประเภทต่อไป



รูปที่ 2-1 : การจำแนกประเภทของวัสดุประกอบ

1. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นมาจากอนุภาค

วัสดุประกอบชนิดนี้จะประกอบด้วยอนุภาคของวัสดุหนึ่งชนิดหรือมากกว่าประสานเข้าด้วยกันด้วยวัสดุประสาน แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ

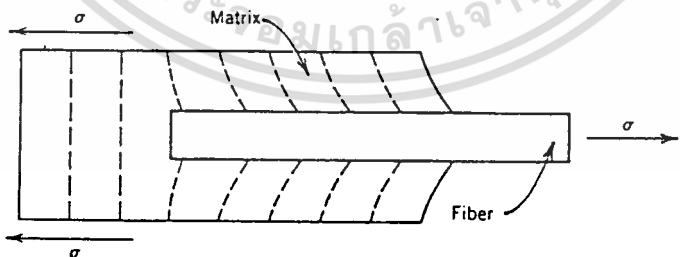
1.1 วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากอนุภาคขนาดใหญ่ (Large - particle

Composites) โครงสร้างประเภทนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอนุภาคของวัสดุ และ วัสดุประสาน โดยจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอนุภาคของวัสดุในระดับไมโคร และอะตอม เนื่องจากอนุภาคของวัสดุมีความแข็งและความเหนียวมากกว่าวัสดุประสานตัวอย่าง ของ วัสดุประกอบประเภทนี้ได้แก่ เซอร์เมท (Cermets) ซึ่งเกิดจากการประสานของอนุภาคเซรามิกส์เช่น ทังสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) หรือ ไททาเนียม- คาร์ไบด์ (Titanium carbide) ด้วยโลหะเช่น โคบอลต์ (Cobolt) หรือ นิกเกิล (Nickel) ซึ่งนำไปใช้งานเป็นเครื่องมือตัดเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง อนุภาคของเซรามิกส์มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะ เมื่อประสาน ด้วยโลหะซึ่งมีความเหนียว และเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการกระแทกกันระหว่างอนุภาคของ เซรามิกส์ ก็จะได้วัสดุประกอบที่มีความแข็งแรงสามารถทนทานต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการ ตัดเหล็ก ได้เป็นอย่างดี

1.2 วัสดุประกอบที่มีการกระจายความแข็งแรง (Dispersion - strengthened Composites) เนื่องจากอนุภาคของวัสดุในโครงสร้างชนิดนี้มีขนาดเล็กมาก คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง อยู่ระหว่าง 0.01 - 0.10 ไมโครเมตร การทำปฏิกิริยากันระหว่างวัสดุประสานกับอนุภาคของวัสดุ (ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่ใช่ปฏิกิริยาเคมี) จะมีผลเพิ่ม ความแข็งแรงของอะตอมและไมโครลของ อนุภาค

2. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นใย

วัสดุประกอบชนิดนี้ประกอบขึ้นมาจากเส้นใยและวัสดุประสาน โดยเส้นใยจะทำ หน้าที่รับแรง เพราะผลึกของเส้นใยมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบตามความยาวของเส้นใยทำ ให้รับแรงได้ดี ส่วนวัสดุประสานทำหน้าที่ถ่ายเทแรงจากเส้นใยเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งและแสดง คุณสมบัติด้านการอ่อนตัวและความเหนียว ทำให้วัสดุที่ได้มีความแข็งแรงสูงต้านทานการล้าได้ดี มีความเหนียวและ มีอัตราส่วน ระหว่างความแข็งต่อน้ำหนักสูง



รูปที่ 2-2 : การถ่ายเทความเค้นระหว่างเส้นใยกับวัสดุประสาน

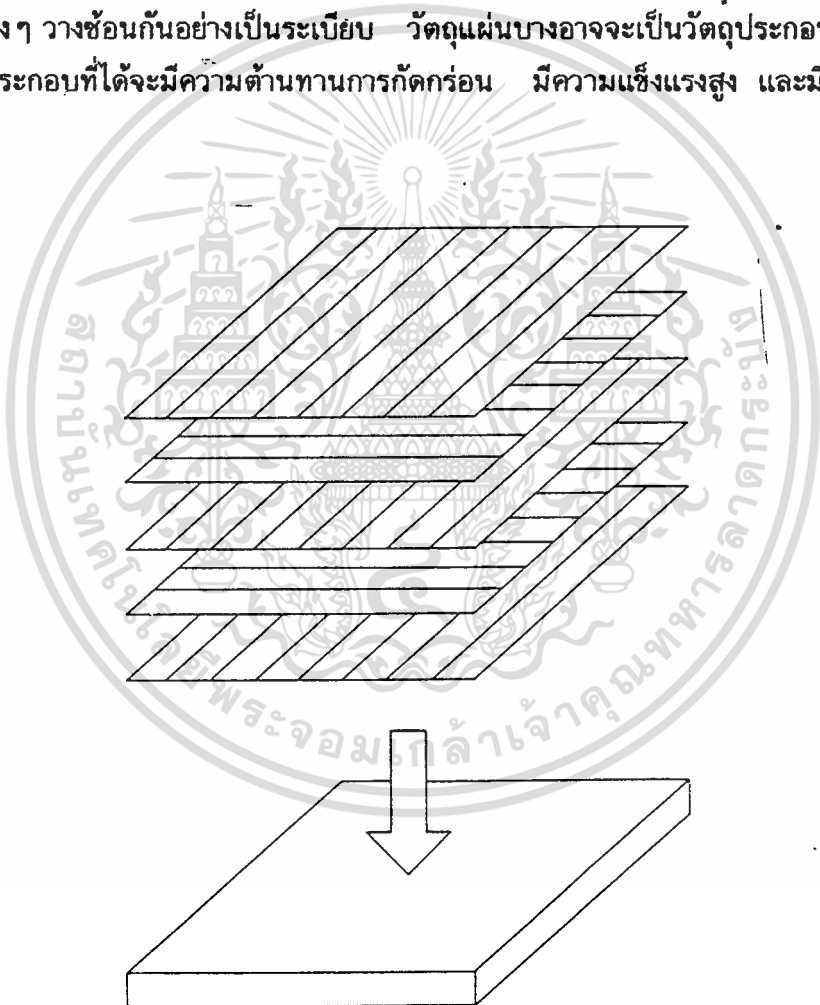
ความยาวของเส้นใยและการต่อเนื่องเป็นเส้นเดียวกันของเส้นใย มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุเช่นกัน เส้นใยที่สั้นมีคุณสมบัติในการรับแรงได้สูง เส้นใยที่มีความยาว จะถ่ายเทความเค้นได้ดี

3. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นเป็นโครงสร้าง

วัสดุชนิดนี้อาจประกอบจากวัสดุชนิดเดียวกันหรือประกอบจากวัสดุประกอบหลายชนิดนำมาจัดเรียงไว้ด้วยกัน คุณสมบัติของวัสดุชนิดนั้นนอกจากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาประกอบเข้าด้วยกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของการจัดวางวัสดุด้วย

เราแบ่งกลุ่มของวัสดุประกอบชนิดนี้ตามลักษณะโครงสร้างเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

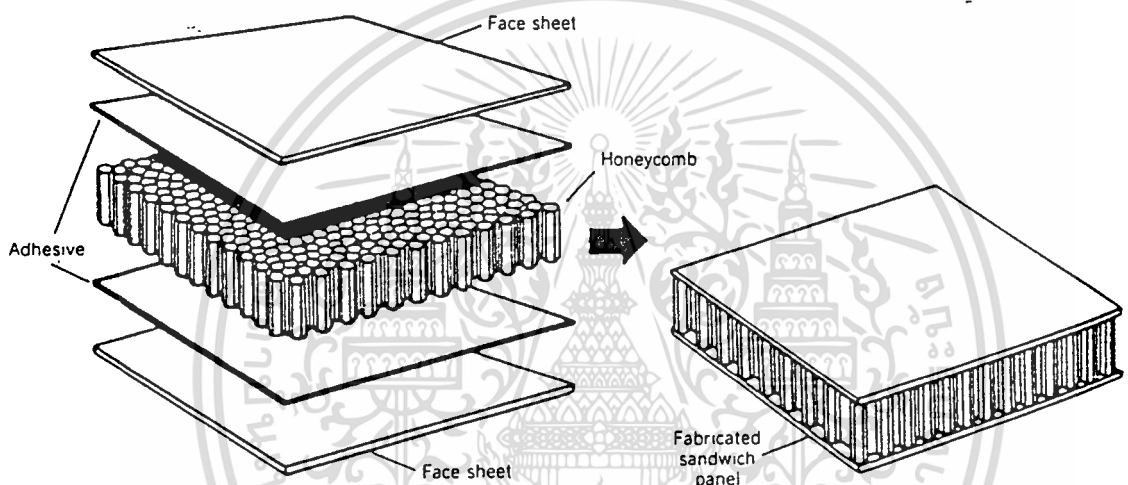
3.1 วัสดุประกอบแบบลามิเนต (Laminates) คือวัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากวัสดุแผ่นบาง ๆ วางซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ วัสดุแผ่นบางอาจจะเป็นวัสดุประกอบ จำพวกเส้นใยก็ได้ วัสดุประกอบที่ได้จะมีความต้านทานการกัดกร่อน มีความแข็งแรงสูง และมีน้ำหนักเบา



รูปที่ 2-3 : วัสดุประกอบแบบลามิเนต

การนำวัสดุประกอบแบบลามิเนทไปใช้งานเช่น ใช้ทำกระจกนิรภัยโดยนำแผ่นกระจกมาประกบกัน โดยใช้พลาสติกเป็นตัวเชื่อมประสาน ทำให้กระจกนี้มีความแข็งแรงสูงและรับแรงกระแทกได้ดีกว่าแผ่นกระจกธรรมดา เมื่อแผ่นกระจกแตกชั้นของพลาสติกจะยึดเศษกระจก ที่แตกไว้ไม่ให้กระจายออกเป็นอันตรายแก่ผู้คน

3.2 โครงสร้างที่เป็นแผ่นประกบ (Sandwich Structure) ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นแกนหรือชั้นที่มีความหนาแน่นน้อย ที่มีความแข็งแรงและความแข็งขึ้นต่ำอยู่ตรงกลางกับส่วนที่เป็นแผ่นปิดทั้งสองด้านดังรูป



รูปที่ 2-4 : โครงสร้างที่เป็นแผ่นประกบ

ส่วนที่เป็นแกน (Core) ทำหน้าที่ต้านทานการเสีรูปร่างในแนวตั้งฉากกับแผ่นปิด และทำให้เกิดความแข็งขึ้นเฉือน (Shear rigidity) คงที่ในแนวตั้งฉากกับแผ่นปิด วัสดุที่นิยมใช้ทำแกนได้แก่ โพลีเมอร์ ยางสังเคราะห์ ไม้อัด อลูมิเนียมเป็นต้น

วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นแกนอีกอย่างหนึ่งคือวัสดุโครงสร้างแบบรังผึ้ง (Honey-comb) โดยนำแผ่นอลูมิเนียมมาประกบติดกันเป็นรูปหกเหลี่ยมในลักษณะเดียวกับรังผึ้งและนำแผ่นปิดหัวท้ายมาประกบในทิศทางตั้งฉากกัน คุณสมบัติที่ได้คือ มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงรวมทั้งความแข็งขึ้นสูงนอกจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วยังสามารถใส่วัสดุเก็บเสียง และดูดซับการสั่นสะเทือนลงในช่องว่างของแกนได้อีกด้วย

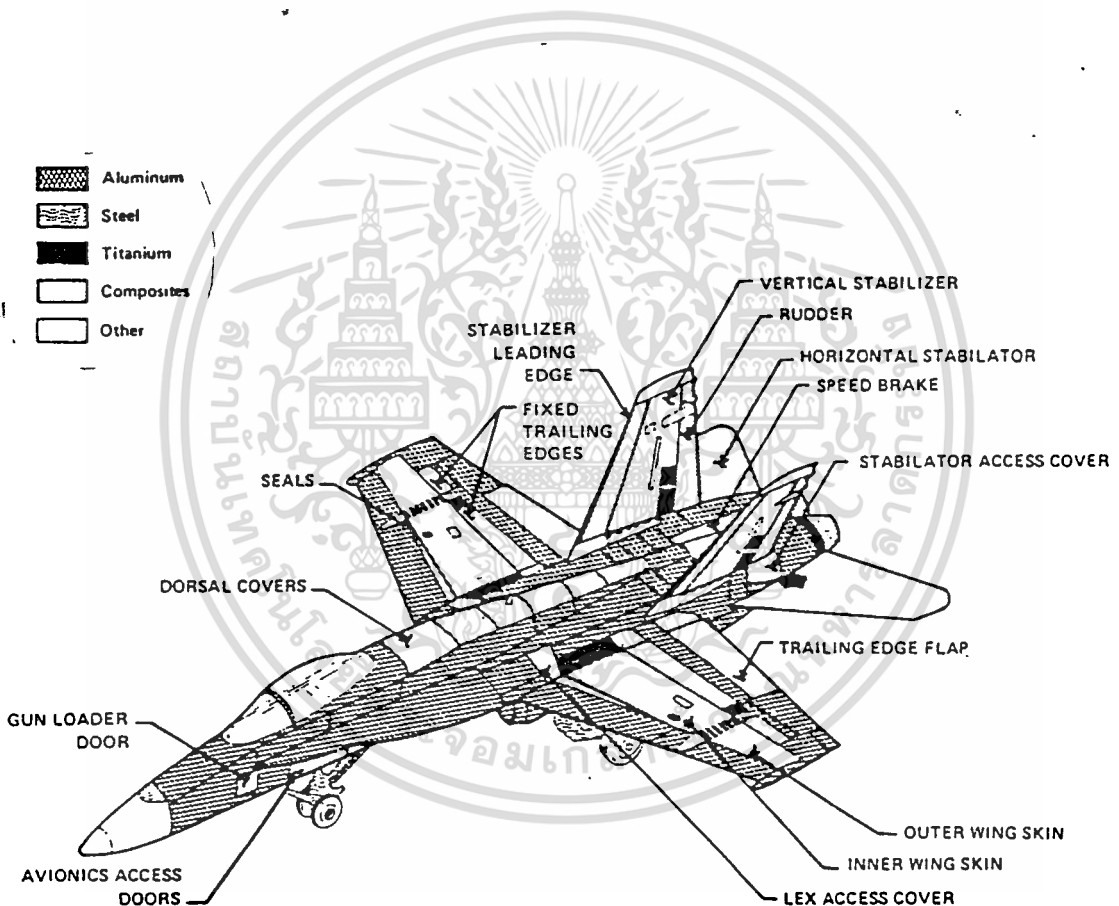
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำวัสดุประกอบไปใช้งาน

ลักษณะเด่นของวัสดุประกอบคือ ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิมน้ำหนักเบา ทนทานต่อการกัดกร่อน ทนต่ออุณหภูมิสูง เป็นต้น รวมถึงราคาที่ถูกลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีใช้อยู่เดิม

ในกิจการการบินพลเรือน ได้มีการนำวัสดุประกอบมาทดแทนใช้แทนที่วัสดุเดิมในส่วนต่างๆ ของลำตัวเครื่องบินเช่น ใบต่อแพนหางซึ่งทำหน้าที่ในการปรับระดับการบิน (Elevator) หางเสือ (Rudder) ปีกแก้อียง (Aileron) ในเครื่องบิน DC 10 โบอิง 727 , L - 1101 ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงได้มีแผนที่จะนำวัสดุประกอบชนิดใหม่ๆ มาใช้ในเครื่องบิน MD - 11 , โบอิง 757 , โบอิง 767 รวมทั้งเครื่องบิน แอร์บัส A 310 , A 320 , A 330 และ A 340



รูปที่ 2-5 : การใช้วัสดุประกอบในส่วนต่างๆ ของเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกิจการทางทหาร ได้เริ่มใช้วัสดุประกอบครั้งแรกกับเครื่องบินรบแบบ F - 14 โดยใช้เป็นผนังของกล่องควบคุมระดับการบินในแนวระดับ (The horizontal stabilizer box) วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุประกอบของโบรอนกับอีพอกซี และใช้วัสดุประกอบของกราฟท์กับอีพอกซีเป็น ปีกชั้นนอกของเครื่องบิน A - 7D และใช้เป็นสไปรอลเลอร์ของเครื่องบิน S - 3D

เครื่องบิน F - 15 มีการใช้วัสดุประกอบในส่วนที่เป็นทางเสื่อ ครีบ และผนัง ของเครื่องบิน คิดเป็นน้ำหนัก 1 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องบิน ทำให้สามารถลดน้ำหนัก ของเครื่องบินลงได้ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเครื่องบิน F - 18 ได้มีการใช้วัสดุประกอบในส่วน ต่างๆ คิดเป็นน้ำหนัก 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเครื่องบินทั้งลำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักของ เครื่องบินลงได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์สมัยใหม่ วัสดุประเภทวัสดุประกอบนี้ได้ถูกนำไป ใช้ทำส่วนต่างๆของรถยนต์ โดยในส่วนตัวถังของรถซึ่งแต่เดิมใช้วัสดุประเภทเหล็กแผ่นก็ได้นำวัสดุ ประเภทพลาสติกเสริมแผ่นโลหะ (แผ่นโลหะบางสอดระหว่างชั้นของพลาสติกเป็นลักษณะแบบ ลามิเนท) มาใช้แทนทำให้สามารถลดน้ำหนักของตัวรถลงได้มากนอกจากนี้คุณสมบัติการยืดหยุ่น ตัวได้ของวัสดุยังทำให้ตัวถังสามารถป้องกันการกระแทกที่อาจทำให้เกิดรอยบุบหรือรอยขีดข่วนได้ใน รถยนต์นิสสันรุ่นแวนเนท (VANETTE) ได้นำวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาสเสริมอีพอกซีเรซิน (FRP) มาใช้ทำสปริงรถยนต์แทนวัสดุจำพวกเหล็กสปริงแบบใหม่มีความแข็งแรงสูงและค้ำยังสโมคูลัสต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

การทดลอง

ในการศึกษาถึงลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุประกอบประเภทโครงสร้างแบบบร้งฝ้ง จะอาศัยการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ซึ่งได้จากการทดลองเป็นหลักค่าที่ได้จากการทดลองจะแสดงให้เห็นผลของความเค้น ความเครียด แรง พลังงาน และระยะยวบตัวของชิ้นวัสดุทดสอบเมื่อได้รับแรงกระทำ และเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ก็จะสามารถอธิบายลักษณะคุณสมบัติของวัสดุในแต่ละรูปแบบ (โครงสร้างที่ต่างกัน) ได้ และจากผลที่ได้เหล่านี้ก็จะนำไปกำหนดเป็นทฤษฎีคุณสมบัติของวัสดุประกอบประเภทนี้ได้ (จากที่ได้มีการศึกษาวิจัยที่ผ่านมายังมิได้มีการกำหนดเป็นทฤษฎีที่แน่นอน)

การทดลองของโครงงานนี้เป็น การทดลองซึ่งศึกษาถึงคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานของโครงสร้างแบบบร้งฝ้งโดยจะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่กระทำต่อวัสดุเปรียบเทียบกับพลังงานที่วัสดุดูดกลืนไว้ได้ และรวมทั้งการพิจารณาการโค้งงอ การเสียรูปและค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุเกิดการเสียรูป แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หารูปแบบหรือขนาดของโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของการทดลอง ซึ่งชุดทดลองส่วนประกอบต่าง ๆ และการทดลองจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

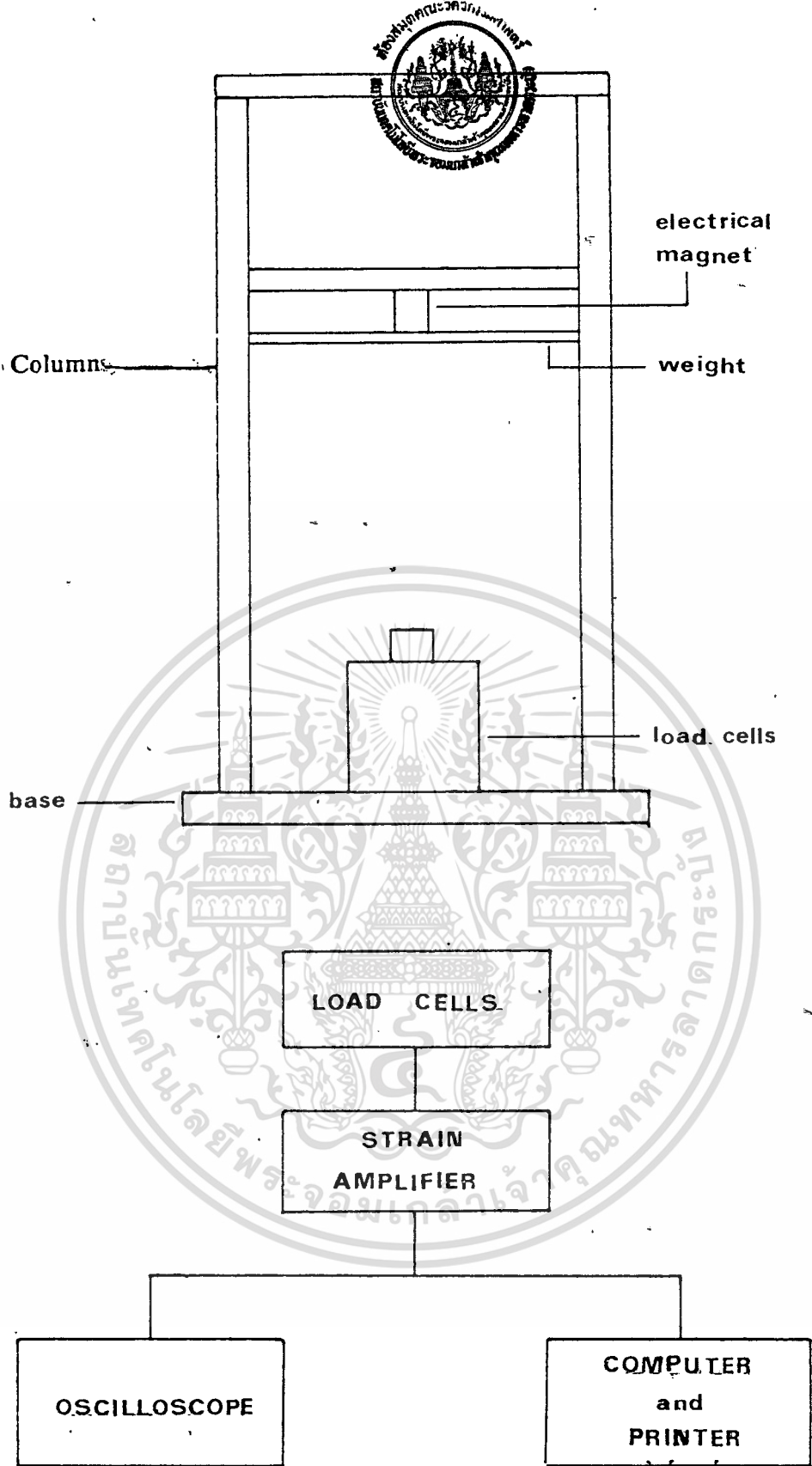
ชุดทดลอง

ลักษณะของชุดทดลองแสดงไว้ตามรูป ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนโครงสร้าง ประกอบด้วย
 - ชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า
 - แม่เหล็กและแผ่นน้ำหนักทดสอบ
 - เสาราง
 - ฐาน
2. อุปกรณ์วัด อุปกรณ์แสดงผลและบันทึกผลการทดลอง ประกอบด้วย
 - โหลดเซลล์ (Load cells)
 - ชุดขยายสัญญาณ (Strain amplifier)
 - ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
 - คอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ (Computer and Printer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



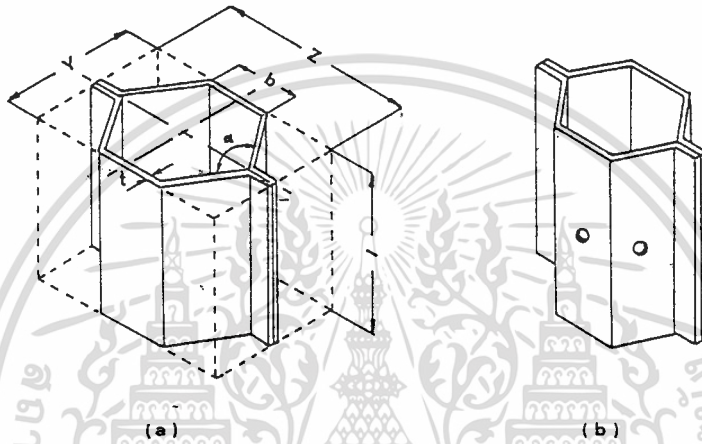
รูปที่ 3-1 : แสดงส่วนประกอบของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานทดสอบ

โครงสร้างรังผึ้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นโครงสร้างของวัสดุอลูมิเนียม และประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างเซลล์เดียว โดยการนำแผ่นอลูมิเนียมซึ่งตัดได้ตามขนาด 2 แผ่นมาพับและประกบเข้าด้วยกันเป็นรูปหกเหลี่ยม (อาจจะทำเป็นโครงสร้างรูปแบบอื่นก็ได้ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม เป็นต้น) โดยใช้วัตถุประสานประเภทเรซินเชื่อมติดเข้าด้วยกัน

ขนาดรูปร่างของชิ้นทดสอบเป็นตัวแปรของการทดลอง ซึ่งเปลี่ยนแปลงโดยรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 3-2 : (a) แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นทดสอบ
(b) ชิ้นทดสอบที่มีรูเจาะด้านข้าง

กำหนด

- S = ความกว้างของแผ่นอลูมิเนียม (mm)
 t = ความหนาของแผ่นอลูมิเนียม (mm)
 ρ_a = ความหนาแน่นของอลูมิเนียม (kg/m^2)
 ρ_c = ความหนาแน่นของเซลล์ (Kg/m^2)
 A = พื้นที่หน้าตัดของเซลล์ (mm^2)
 l = ความสูงของเซลล์ (mm)
 b = ความกว้างของด้าน (mm)
 α = มุมภายในระหว่างด้าน = 120

จากรูปจะได้

$$Y = 2b (\sin \alpha/2) + 2t$$

$$Z = 2b (1 + \cos \alpha/2)$$

$$A = Z * Y$$

$$= 4 b^2 (\sin \alpha/2) (1 + \cos \alpha/2)$$

และจะได้

$$\rho_c = (2t \rho_a) / [(\sin \alpha/2) (1 + \cos \alpha/2)]$$

จากสูตรความสัมพันธ์ พิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบของโครงสร้างคือ

1. ความสูงของเซลล์
2. ความกว้างของด้านของเซลล์
3. จำนวน ตำแหน่งและขนาดครุเจาะบนชั้นทดสอบ (ในกรณีที่มีชั้นทดสอบมีรูเจาะด้านข้าง ดังแสดงในรูป 3-2 b)

หลักการทํางาน

หลักการทํางานของชุดทดลองนี้คือการสร้างแรงกระทำต่อชั้นทดสอบในลักษณะของแรงจลน์ (Dynamic force) เพื่อให้ชั้นทดสอบเกิดการเสียรูป แรงกระทำนี้เกิดจากการปล่อยแผ่นน้ำหนักตกกระทบบนชั้นทดสอบ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าแรงได้ด้วยการกำหนดขนาดของแผ่นน้ำหนัก (มวล : m) และระยะความสูงของการตกกระทบบนชั้นทดสอบ (ระยะห่างระหว่างแผ่นน้ำหนักกับชั้นทดสอบ : h) และโดยการตกกระทบบ่อยังอิสระ ค่าพลังงานของการตกกระทบบนชั้นทดสอบสามารถพิจารณาได้ด้วยความสัมพันธ์

$$\text{พลังงาน (E)} = mgh$$

ค่าพลังงานตกกระทบบนชั้นทดสอบที่ได้จากความสัมพันธ์นี้จะใช้เปรียบเทียบกับค่าสัญญาณที่อ่านได้จากการทดลองเพื่อพิจารณาถึงการดูดกลืนพลังงานของชั้นทดสอบ

ในขณะที่ทำการทดลอง ค่าสัญญาณจากโพลด์เซลล์จะถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์เครื่องขยายสัญญาณ สัญญาณที่ออกจากเครื่องขยายสัญญาณจะอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 5 โวลต์ และจะส่งผ่านไปยังออสซิลโลสโคปแสดงออกมาเป็นค่าสัญญาณที่เกิดขึ้น สัญญาณที่ได้จากการทดลองเป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบในช่วงระยะเวลาที่ชั้นทดสอบได้รับแรงกระทำซึ่งจะนำไปใช้คำนวณวิเคราะห์พลังงานที่ชั้นทดสอบดูดกลืนได้ในภายหลัง

สำหรับชุดการทดลองรับแรงสถิตยนั้น ทดลองโดยเครื่อง UNIVERSAL TESTING MACHINE ซึ่งใช้ข้อมูลการทดลองดังนี้

Test Mode Single Compression

Test Speed 5 mm/min

Transverse Speed 300 mm/min
 Recorder Mode X-P
 X-Axis Load
 Load Cell 10,000 kgf.
 F/S Load 2,000 (*5)
 Chart Mode Forward Down Connect
 Test Time 13 min.

สำหรับอลูมิเนียมที่นำมาใช้เป็นชิ้นงาน เป็นอลูมิเนียมแผ่นบริสุทธิ์ทางการค้า (มีปริมาณอลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99 เปอร์เซ็นต์) เบอร์ 25

ตาราง 3-1 : คุณสมบัติบางอย่างของอลูมิเนียมที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

| คุณสมบัติของอลูมิเนียม | มีค่า |
|---|--------|
| หมายเลขอะตอม | 13 |
| น้ำหนักอะตอม | 26.97 |
| วาเลนซ์ | 3 |
| โครงสร้างผลึก | fcc |
| มิติของแลตทิซ (lattice dimension) A | 4.049 |
| ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส (g/cm^3) | 2.6989 |
| จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) | 660.2 |
| จุดเดือด (องศาเซลเซียส) | 2450 |
| การหดขณะแข็งตัว (%) | 6.6 |
| ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (cal/g) | 94.5 |
| ความร้อนแฝงของการเป็นไอ (cal/g) | 2260 |
| ความร้อนจำเพาะที่ 100 องศาเซลเซียส (cal/g) | 0.224 |
| การนำความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียส (cal/sec $cm^2 C/cm$) | 0.57 |
| การต้านทานไฟฟ้าที่ 20 C ($\mu\Omega$ -cm) | 2.6548 |
| การนำไฟฟ้า (% IACS) | 64.94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| คุณสมบัติของอลูมิเนียม | มีค่า |
|------------------------|---------|
| การสะท้อนแสง (%) | |
| แสงจากหลอดทั้งแสดน | 90 |
| แสง 2000 - 2500 A | 86 - 87 |
| แสง 1000 A | 96 |
| ฉล | ชาวเงิน |



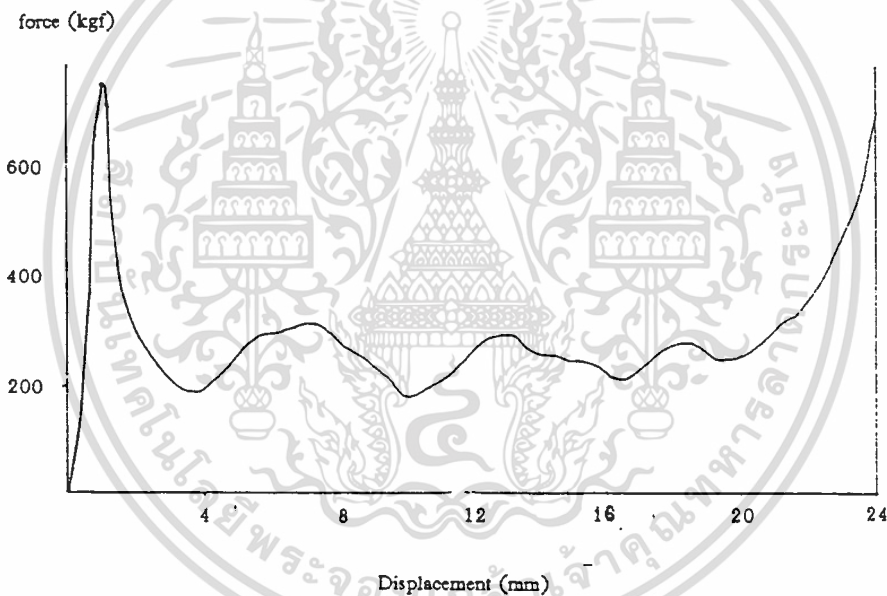
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 13
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

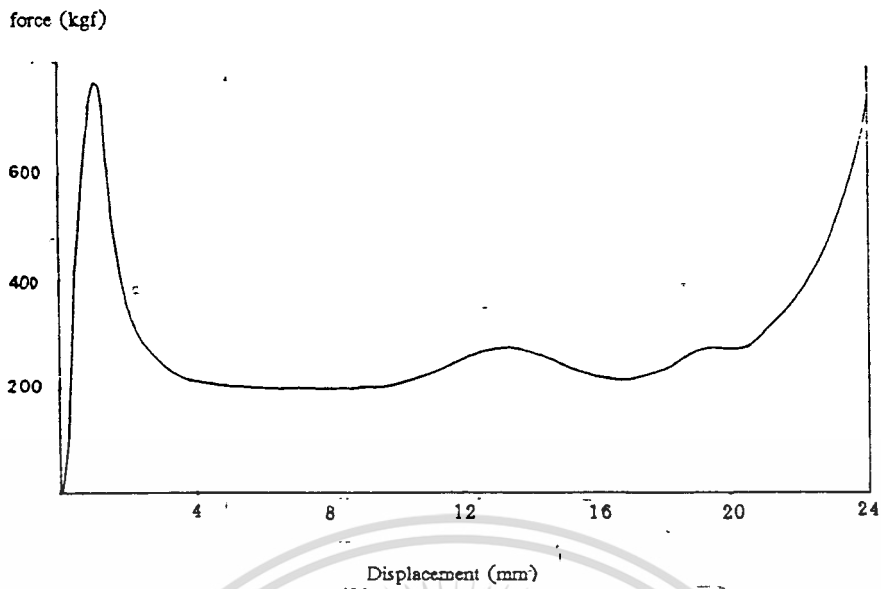
ผลการทดลองสำหรับโครงสร้างรังผึ้งภายใต้แรงสถิตย์

ผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ดังรูป 4 - 1 และรูป 4 - 2 เป็นการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นผลของความเค้นอัด (Compressive stress) ที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆตามระยะขจัด (Displacement) โดยเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างกันระหว่างโครงสร้างสองแบบคือแบบมีรูเจาะและแบบไม่มีรูเจาะด้านข้าง โดยแรงซึ่งกระทำกับชั้นทดสอบเป็นแรงสถิตย์ (Static force) โดยจะค่อยๆ กดแผ่นอัดลงบนชั้นทดสอบอย่างช้าๆ และต่อเนื่องจากแรงทั้งชั้นทดสอบเกิดการเสียรูปและถูกอัดติดเป็นชั้นเดียวกัน



รูปที่ 4 - 1 : แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบแบบไม่มีรูเจาะด้านข้าง

จากรูปที่ 4 -1 เมื่อเริ่มส่งแรงกดอัดชั้นทดสอบค่าความเค้นในชั้นทดสอบจะสูงขึ้นและแปรผันตรงกับระยะขจัดที่เปลี่ยนไป กราฟจะแสดงเป็นรูปเส้นตรงซึ่งมีความชันคงที่ จนกระทั่งถึงจุดค่าความเค้นอัดมีค่ามากที่สุด ชั้นทดสอบก็จะเริ่มเกิดการโก่งงอทำให้ความเค้นลดลงจนถึงจุดต่ำสุด ในช่วงนี้ชั้นทดสอบจะเกิดการโก่งงออย่างต่อเนื่องไปเรื่อย เส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะแกว่งขึ้นลงไม่แน่นอน จนกระทั่งชั้นทดสอบถูกอัดแบนติดกันก็จะทำให้ ค่าความเค้นกลับสูงขึ้นไปอีกครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 4 - 2 : แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบแบบมีรูเจาะด้านข้าง

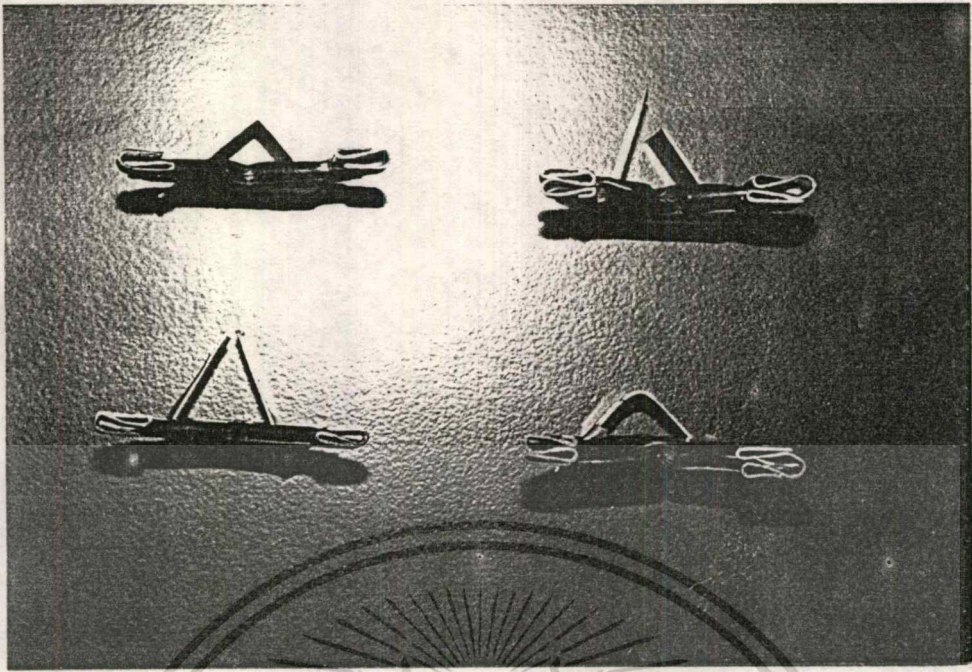
ในรูปที่ 4 - 2 ก็พิจารณาเช่นเดียวกัน สำหรับชั้นทดสอบที่มีรูเจาะด้านข้างจะ เห็นได้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นในช่วงการโก่งตัวจะมีความสม่ำเสมอราบเรียบกว่าในกรณีแรก

ตาราง 4-1 : ผลของการดุดกลืนพลังงานของชิ้นงานที่มีขนาดแตกต่างกัน

| ความสูงของเซลล์ (mm) | ความกว้างของเซลล์ (mm) | การดุดกลืนพลังงาน (kgf-mm) | |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|--------|
| | | ไม่เจาะรู | เจาะรู |
| 25 | 15 | 5669 | 5895 |
| | 20 | 5922 | 6004 |
| | 25 | 5974 | 7132 |
| 30 | 15 | 6173 | 7525 |
| | 20 | 7831 | 7608 |
| | 25 | 7910 | 8707 |
| 35 | 15 | 9737 | 9120 |
| | 20 | 9971 | 9514 |
| | 25 | 11840 | 9967 |
| 40 | 15 | 10534 | 9491 |
| | 20 | 10857 | 9842 |
| | 25 | 13577 | 10832 |

ผลความสูงของเซลล์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าของการดุดกลืนพลังงานแปรผันไปตามความสูงของเซลล์ กล่าวคือเมื่อความสูงของเซลล์เพิ่มขึ้น เซลล์สามารถดุดกลืนพลังงานเอาไว้ได้มากขึ้น เนื่องจากความสูงของเซลล์เพิ่มขึ้นจะเกิดการโค้งภายในเซลล์ได้หลายครั้งขึ้นซึ่งการโค้งในแต่ละครั้งก็ต้องใช้พลังงานในการทำให้โค้งงอ จึงกล่าวได้ว่าเซลล์สามารถดุดกลืนพลังงานได้มากขึ้น(ในที่นี้การดุดกลืนพลังงานของเซลล์ก็คือ การที่เซลล์เปลี่ยนรูปพลังงานที่ได้รับไปใช้เป็นพลังงานที่ ทำให้เกิดการเสียรูปภายในเซลล์นั่นเอง) ดังแสดงในรูปที่ 4-4 สำหรับชิ้นงานที่ไม่เจาะรู ส่วนชิ้นงานที่เจาะรูด้านข้างก็มีผลเช่นเดียวกันดังรูปที่ 4-5 แต่ถ้าใช้เซลล์ที่มีความสูงมากๆ เซลล์จะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ



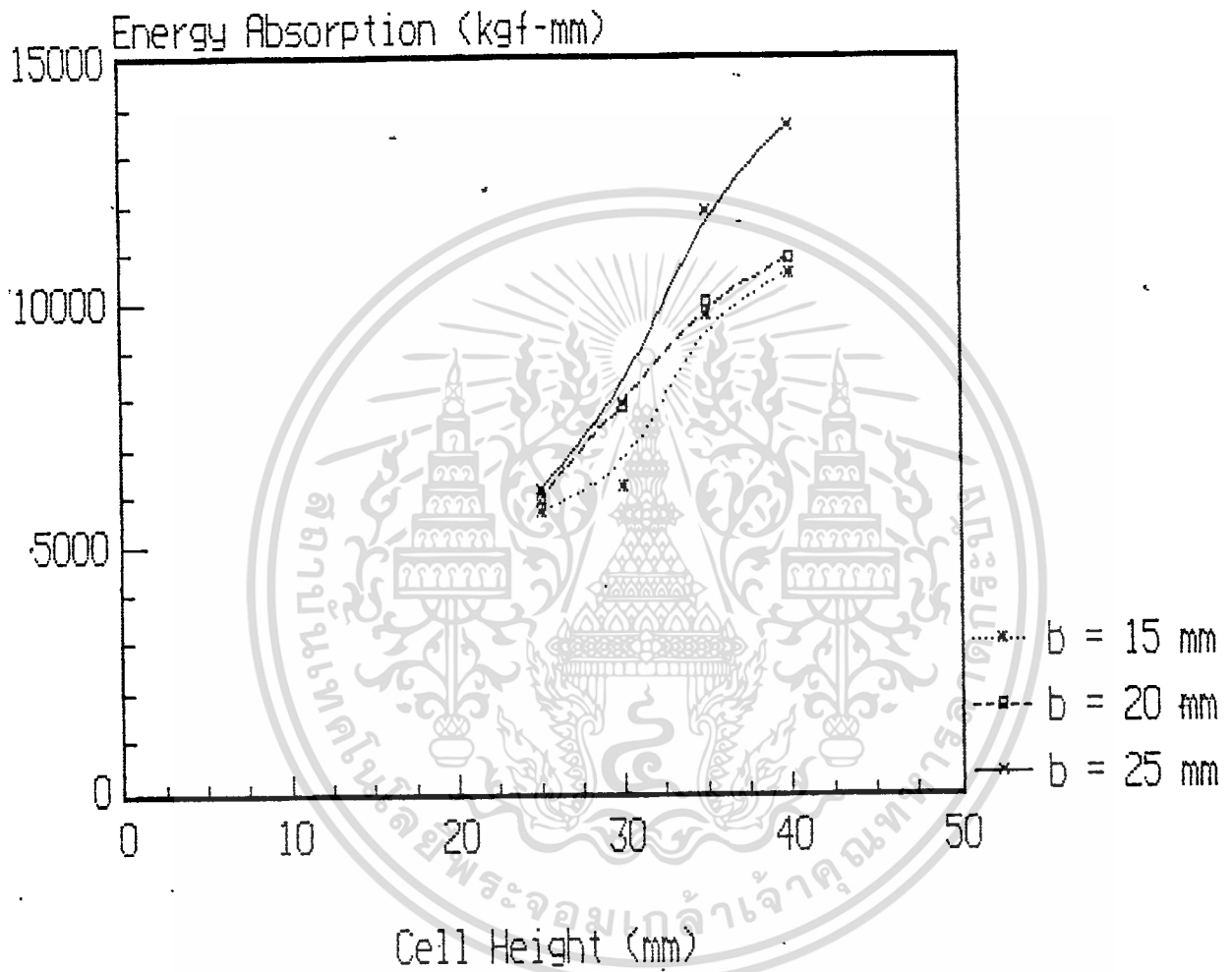
(a) (b)
รูปที่ 4-3 : ภาพถ่ายหน้าตัดแสดงการโค้งงอของเซลล์ที่มีขนาดความสูงต่างกัน

(a) เซลล์ที่มีความสูง 25 mm

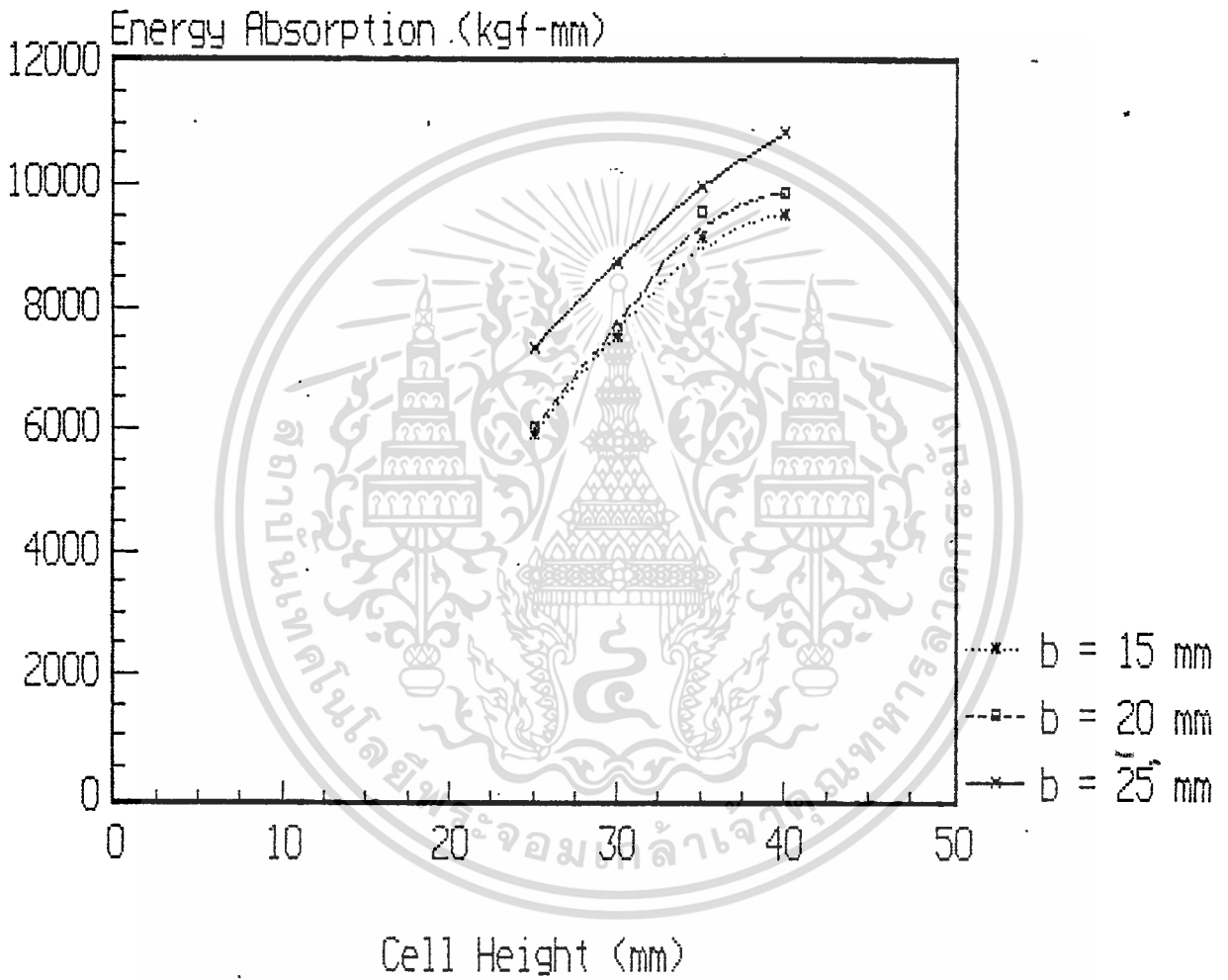
(b) เซลล์ที่มีความสูง 40 mm

ผลของความกว้างของเซลล์

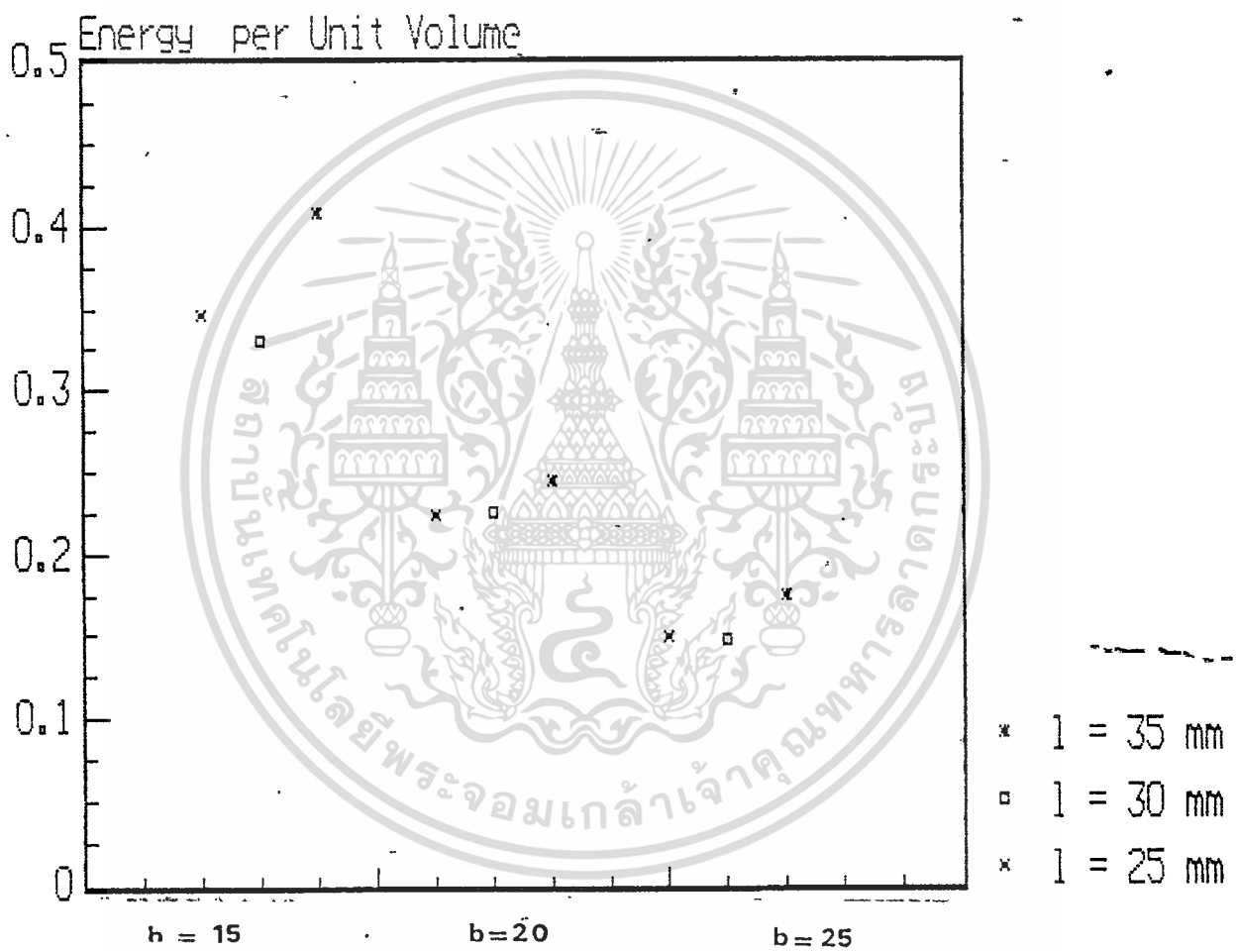
ความกว้างของเซลล์ในที่นี้ก็คือค่า b จากการทดลองจะเห็นว่าค่าของการดูดกลืนพลังงานแปรผันไปตามขนาดความกว้างของเซลล์ เนื่องจากเมื่อเซลล์มีความกว้างมากขึ้นก็จะมีพื้นที่หน้าตัดรับแรงมากขึ้น ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานได้มากขึ้นตามไปด้วย



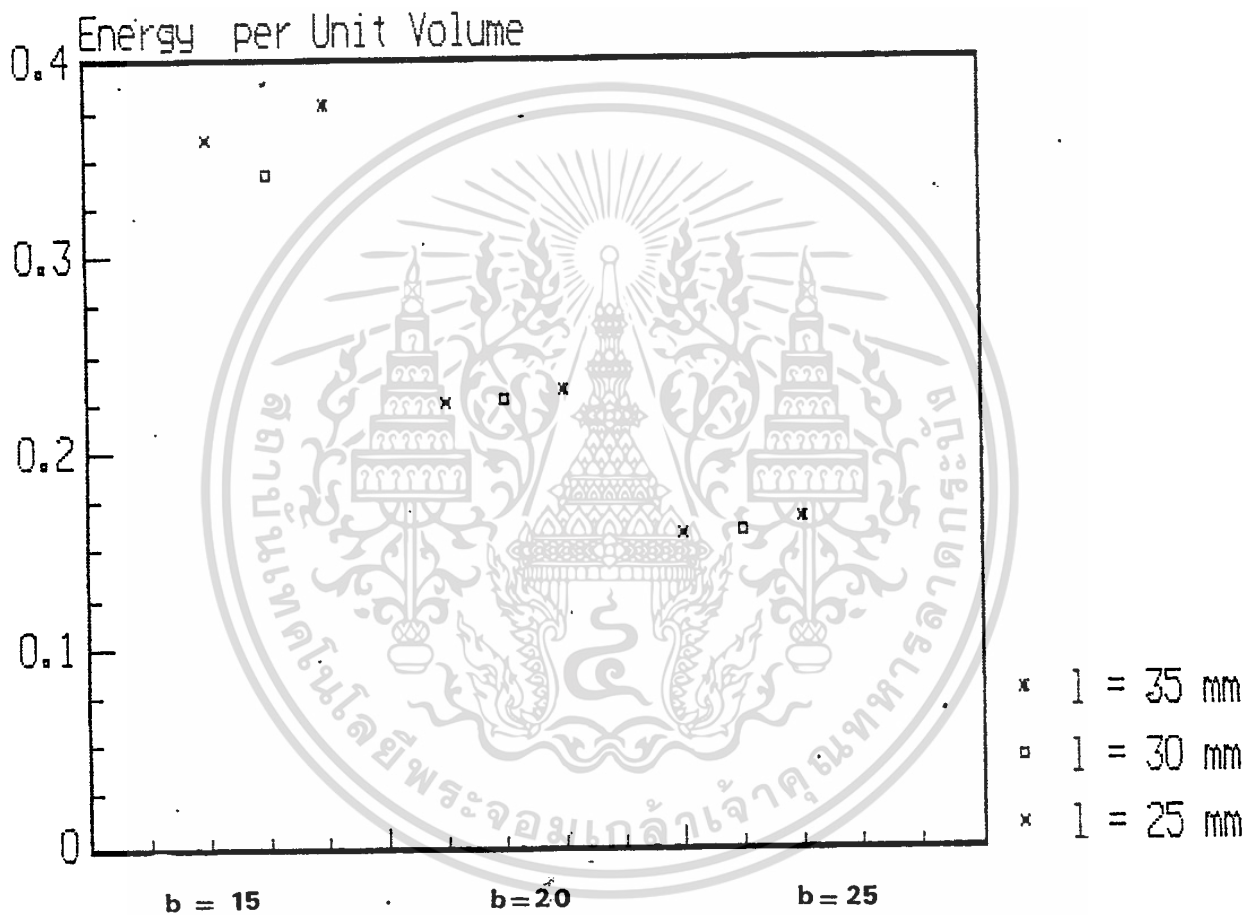
รูปที่ 4.4 แสดงการติดกลืนพลังงานของวัสดุประกอบบรูปรังผึ้งที่ไม่เจาะรู



รูปที่ 4. - 5 แสดงการดูดกลืนพลังงานของวัสดุประกอบรูปร่างที่เจาะรู

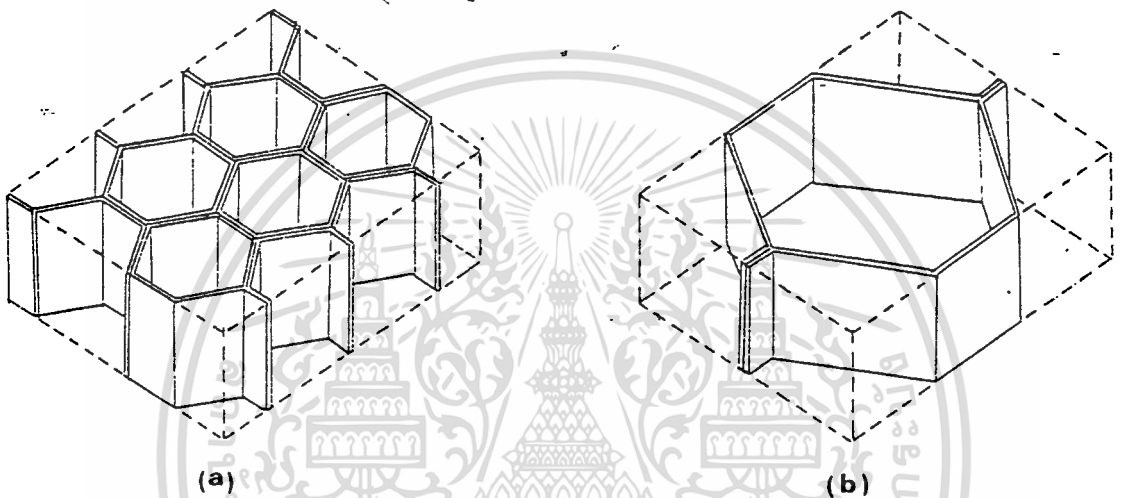


รูปที่ 4-6 : แสดงปริมาณพลังงานที่ดูดกลืนได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงานที่ไม่เจาะรู



รูปที่ 4-7 แสดงปริมาณพลังงานที่ดูดกลืนได้ต่อหนึ่งหน่วย ปริมาตรของชิ้น งาน ที่มีรูเจาะ

จากกราฟรูปที่ 4-6 และ 4-7 แสดงผลของการดูดกลืนพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเซลล์ จะเห็นว่าที่ขนาดความกว้างของเซลล์เดียวกันปริมาณพลังงานที่ดูดกลืนต่อหน่วยปริมาตรจะมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าความสูงของเซลล์จะแตกต่างกัน และค่าของการดูดกลืนพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดความกว้างของเซลล์ลดลง ดังนั้นที่พื้นที่ใช้งานเดียวกัน การใช้เซลล์ขนาดเล็กหลาย ๆ เซลล์ประกอบกัน จะสามารถให้ผลการดูดกลืนพลังงาน ได้มากกว่าการใช้เซลล์ขนาดใหญ่เพียงเซลล์เดียว



รูปที่ 4-8 : เปรียบเทียบการดูดกลืนพลังงานของเซลล์ชั้นงานที่ประกอบไปด้วยเซลล์ขนาดเล็กหลาย ๆ เซลล์ดังรูป (a) จะสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าชั้นงานที่มีเซลล์ขนาดใหญ่เพียงเซลล์เดียวดังรูป (b)

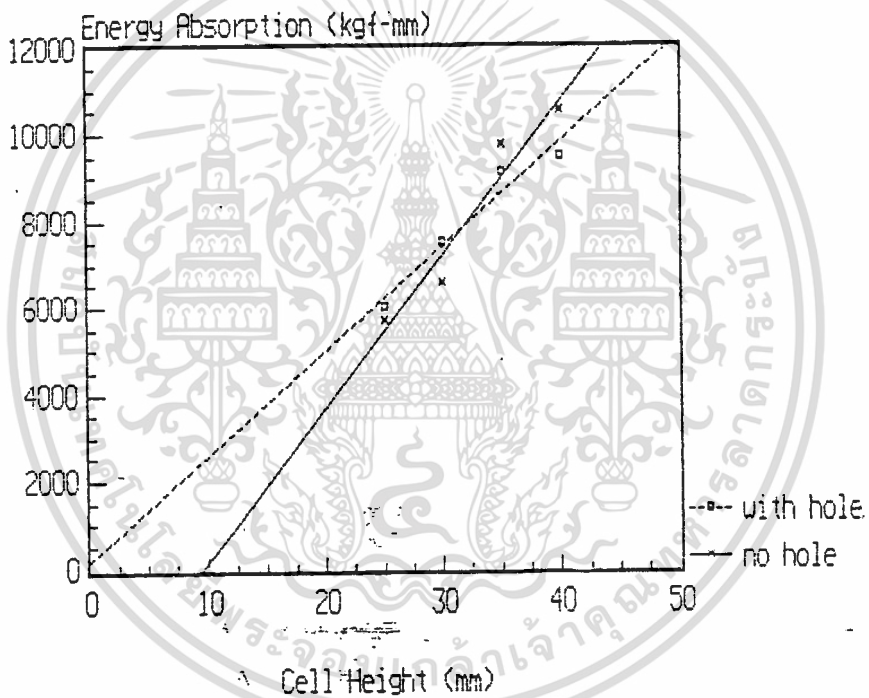
การเปรียบเทียบการดูดกลืนพลังงานของเซลล์ที่เจาะรูและไม่เจาะรูภายใต้แรงสดีตย์
 จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าชั้นงานที่เจาะรูจะสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าชั้นงานที่ไม่มีรูเจาะ เนื่องจากการมีรูเจาะจะช่วยให้เกิดการโค้งงอได้ง่ายขึ้นเพราะผลจากความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ รูเจาะ แต่จากการทดลองพบว่าสมมติฐานนี้ใช้ได้เฉพาะกรณีเท่านั้นขึ้นอยู่กับความสูงของเซลล์เป็นสำคัญ กล่าวคือในชั้นงานที่ความสูงของเซลล์น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร ($l < 30 \text{ mm}$) ชั้นงานที่เจาะรูจะสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าชั้นงานที่ไม่เจาะรู แต่เมื่อความสูง เซลล์มากขึ้น ($l > 35 \text{ mm}$) ชั้นงานที่ไม่เจาะรูกลับสามารถที่จะดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าอธิบายได้ว่ารูที่เจาะนั้นมีขนาดเล็กเกินไปเมื่อเทียบกับความสูงของเซลล์จนไม่มีผลช่วยในการเสียรูป แต่จะทำให้เซลล์มีความแข็งแรง ลดลงเนื่องจากการมีรูเจาะ

ขนาดของรูที่มีผลต่อการดูดกลืนพลังงาน

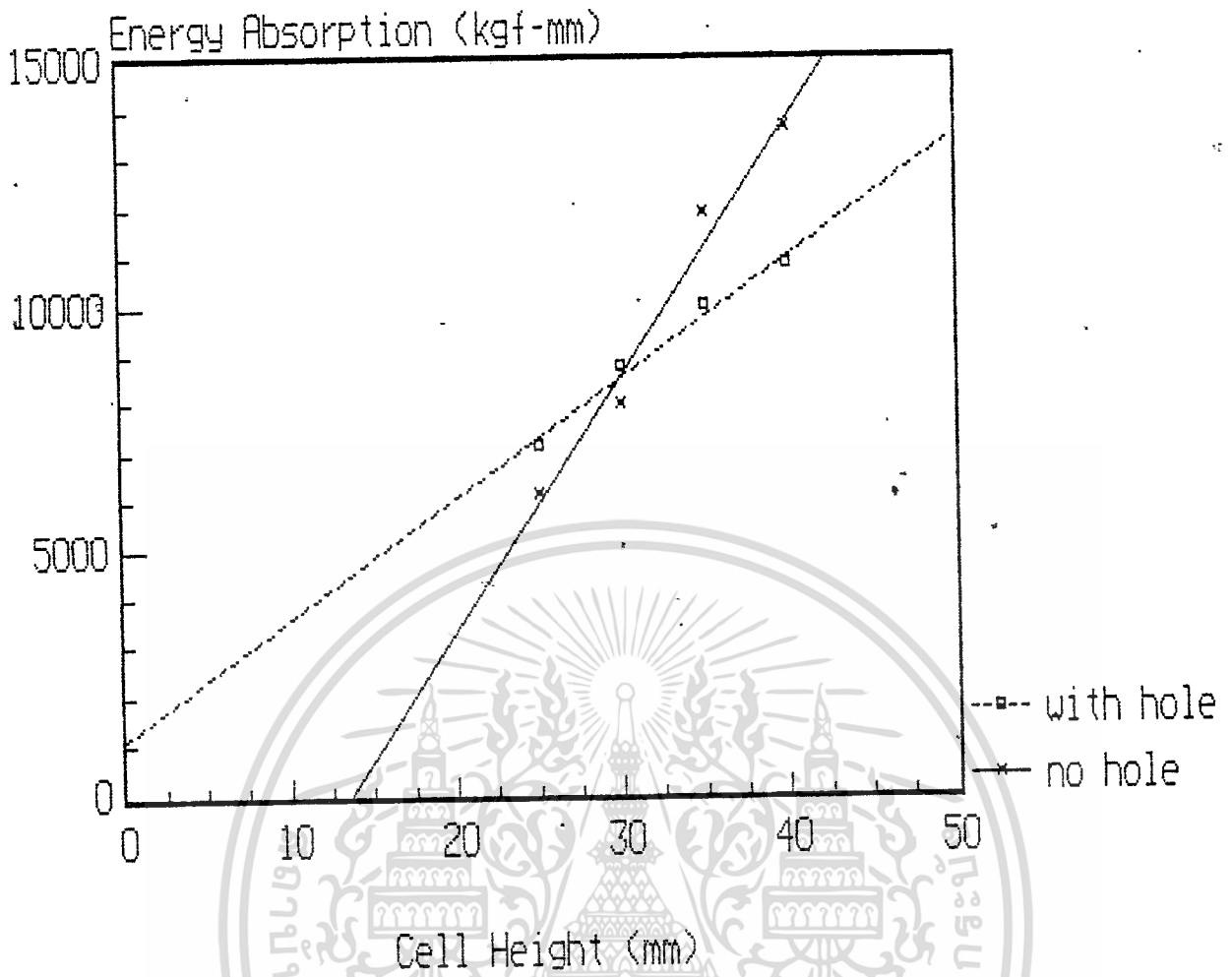
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของรูมีผลต่อการดูดกลืนพลังงาน
ในที่นี้เราจะพิจารณาในรูปของความสูงของเซลล์ต่อขนาดของรู พบว่า

ค่า $l/d < 10$: รูจะมีผลทำให้เกิดการดูดกลืนพลังงานของเซลล์เพิ่มขึ้น

$l/d > 11.67$: รูจะมีผลทำให้การดูดกลืนพลังงานลดลง



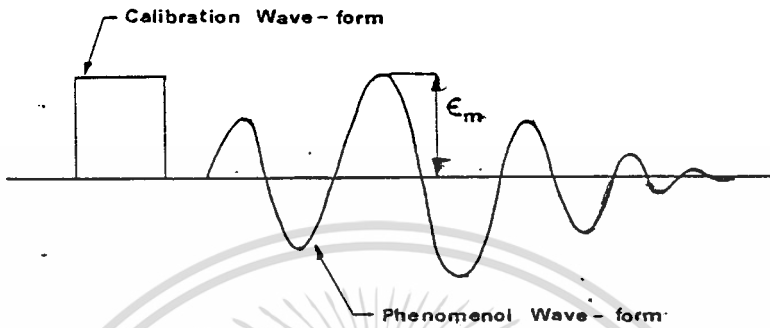
รูปที่ 4-9 กราฟเปรียบเทียบการดูดกลืนพลังงาน ระหว่างชิ้นงานที่เจาะรูและไม่เจาะรู ที่ $b = 15$ mm



รูปที่ 4-10 กราฟเปรียบเทียบการดูดกลืนพลังงาน ระหว่างชิ้นงานที่เจาะรูและไม่เจาะรู
ที่ $b = 25 \text{ mm}$

ผลของการดูดกลืนพลังงานของชิ้นงานภายใต้แรงจลน์

จากการทดลองเรวัตค่าการดูดกลืนพลังงานจากสัญญาณที่ปรากฏที่ออสซิลโลสโคป โดยสัญญาณที่ได้นั้นเป็นรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลา ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าแรงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏดังนี้



รูปที่ 4- 11 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลา

$$E_m = E_c \times \frac{V_m}{V_c}$$

และ $F = (0.004995 \times 10^3) E_m$

โดยที่ $E_m =$ ความเครียดสูงสุด : $\mu\epsilon$

$E_c =$ ค่าความเครียดเปรียบเทียบจากตัวขยายสัญญาณ : $\mu\epsilon$

$V_m =$ ความต่างศักย์สูงสุดที่จุดบนเส้นกราฟ : V

$V_c =$ ความต่างศักย์เปรียบเทียบจากตัวขยายสัญญาณ : V

$F =$ แรงที่จุดสูงสุดบนเส้นกราฟ : kgf

ดังนั้นโดยความสัมพันธ์ตามเส้นกราฟที่ปรากฏ เราจึงสามารถเปรียบเทียบรูปความสัมพันธ์ของกราฟจากความต่างศักย์-เวลา ไปเป็นกราฟ แรง-เวลา ในขณะที่เกิดแรงกระทำบนชิ้นทดสอบนั้นได้โดยสมการข้างต้น โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความต่างศักย์และแรง ดังนั้นทุกๆจุดบนเส้นกราฟความต่างศักย์-เวลา จึงแทนจุดบนกราฟ แรง-เวลา ได้ ซึ่งสามารถใช้พื้นที่ใต้กราฟนี้ในการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ส่งผ่านจากชิ้นทดสอบไปยัง Load Cell ระหว่างผลการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ กันได้ นั่นหมายถึงจะสามารถเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนพลังงานของชิ้นทดสอบได้โดย การ

เทียบปริมาณพื้นที่ใต้กราฟ โดยที่หากการทดสอบชิ้นงานใดให้ผลของปริมาณพื้นที่ใต้กราฟน้อยกว่า ย่อมหมายความว่าชิ้นงานนั้นสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่า

รูปที่ 4-12 ถึง รูปที่ 4-20 แสดงกราฟผลการทดลองที่สภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ขึ้นทดสอบขนาดต่างๆกัน โดยในรูปที่ 4-12 แสดงผลกราฟของสัญญาณที่เกิดขึ้นขณะปล่อยแผ่นน้ำหนัก โดยไม่มีการดูดกลืนโดยชิ้นทดสอบ ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟตามรูปนั้นเปรียบได้เป็นพลังงานตกกระทบ ที่ระดับความสูงต่างกัน 3 ระดับคือ

- รูป (a) : ระยะ 63 cm : พลังงานตกกระทบ = 56.241 J
- (b) : ระยะ 73 cm : พลังงานตกกระทบ = 65.168 J
- (c) : ระยะ 83 cm : พลังงานตกกระทบ = 74.095 J

ซึ่งค่าพลังงานตกกระทบที่ระดับต่างๆ กันนี้ เปรียบเทียบได้กับพื้นที่ใต้กราฟที่ได้เป็น 760 , 827 และ 897 หน่วยตามลำดับ ซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E = U - 40.3$$

$$7.8414$$

และ $E_{ab} = E_p - E$

โดยที่ $E =$ พลังงานซึ่งคิดเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟ (พลังงานที่ส่งผ่านจากชิ้นทดสอบไปยัง Load Cell : J)

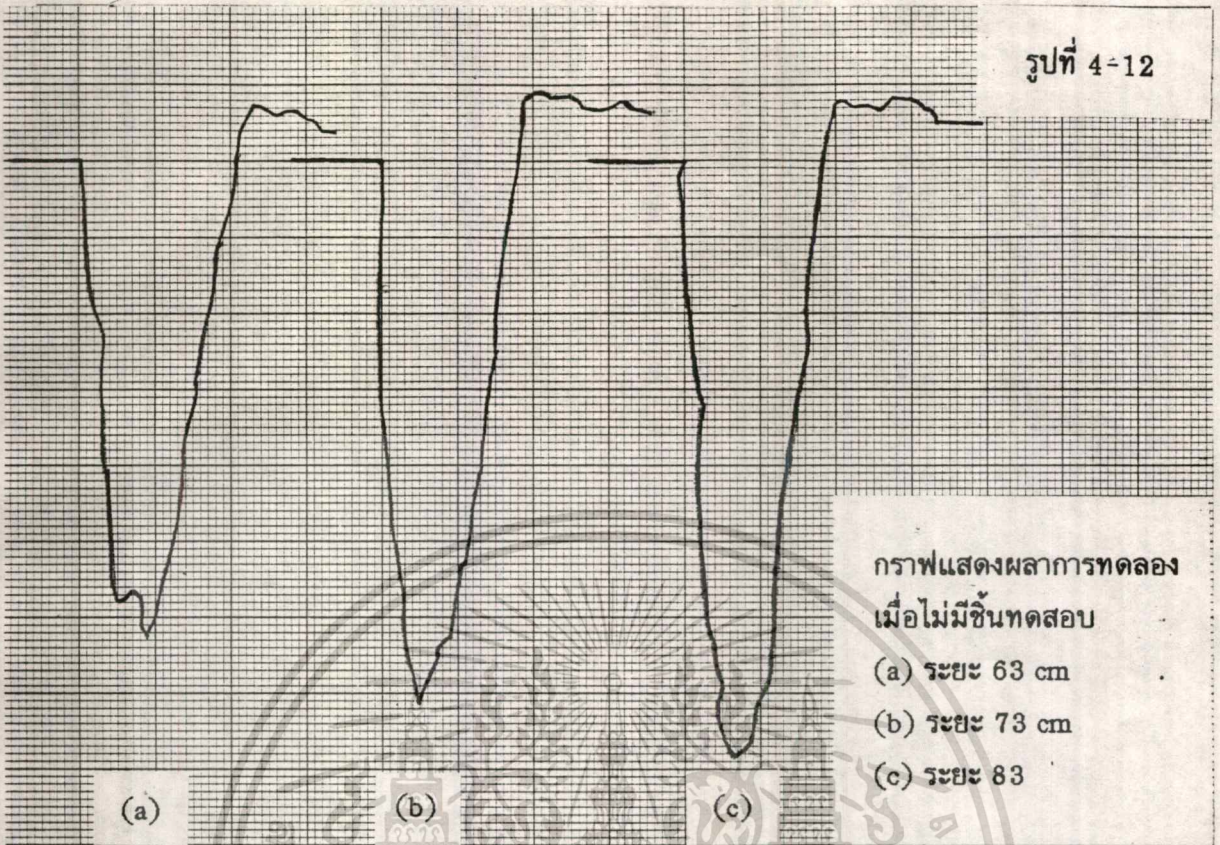
$U =$ พื้นที่ใต้กราฟ

$E_{ab} =$ ค่าพลังงานการดูดกลืน (absorped Energy : J)

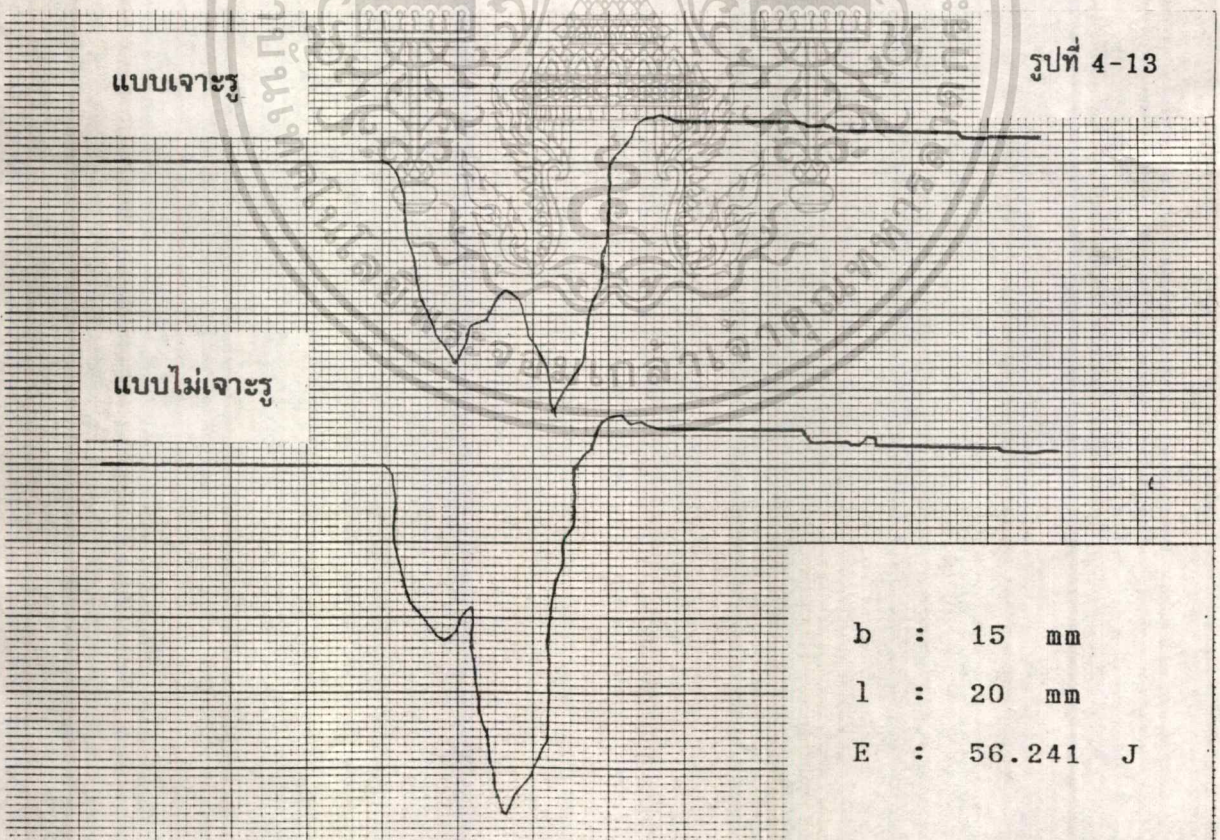
$E_p =$ พลังงานตกกระทบที่ระดับทำการทดลอง (พลังงานตกกระทบ : J)

จากการทดลองและสมการความสัมพันธ์ข้างต้น จะได้ผลการทดลองตามข้อมูลซึ่งแสดงไว้ดังตาราง 4-2 และตาราง 4-3

รูปที่ 4-12



รูปที่ 4-13



แบบเจาะรู

รูปที่ 4-14

แบบไม่เจาะรู

b : 15 mm
l : 25 mm
E : 56.241 J

แบบเจาะรู

รูปที่ 4-15

แบบไม่เจาะรู

b : 15 mm
l : 30 mm
E : 56.241 J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 28 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเจาะรู

รูปที่ 4-16

แบบไม่เจาะรู

b : 15 mm
 l : 35 mm
 E : 56.241 J

แบบเจาะรู

รูปที่ 4-17

แบบไม่เจาะรู

b : 15 mm
 l : 20 mm
 E : 65.168 J

รูปที่ 4-18

แบบเจาะรู

แบบไม่เจาะรู

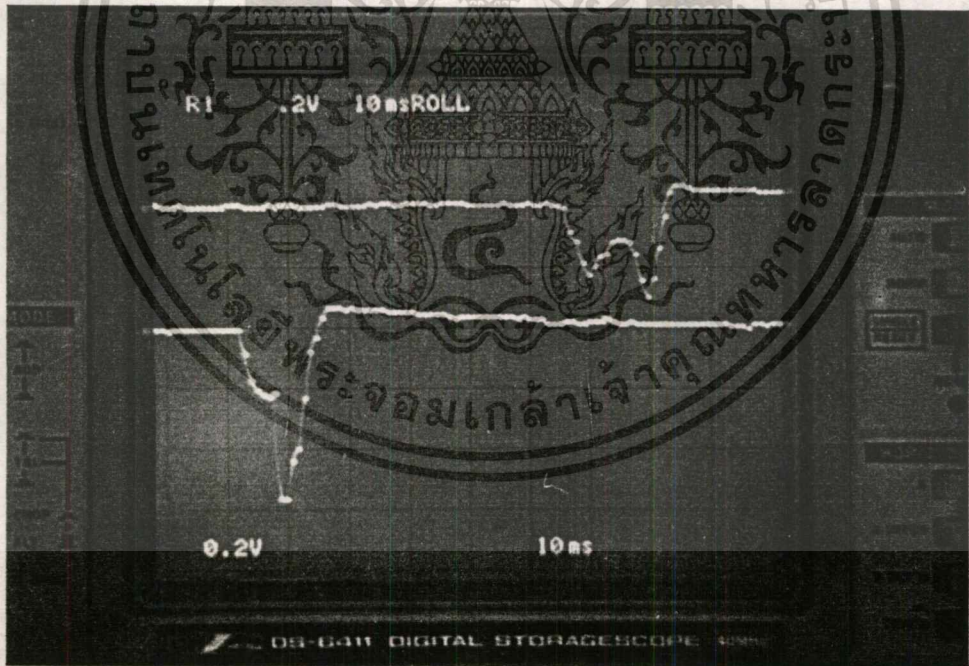
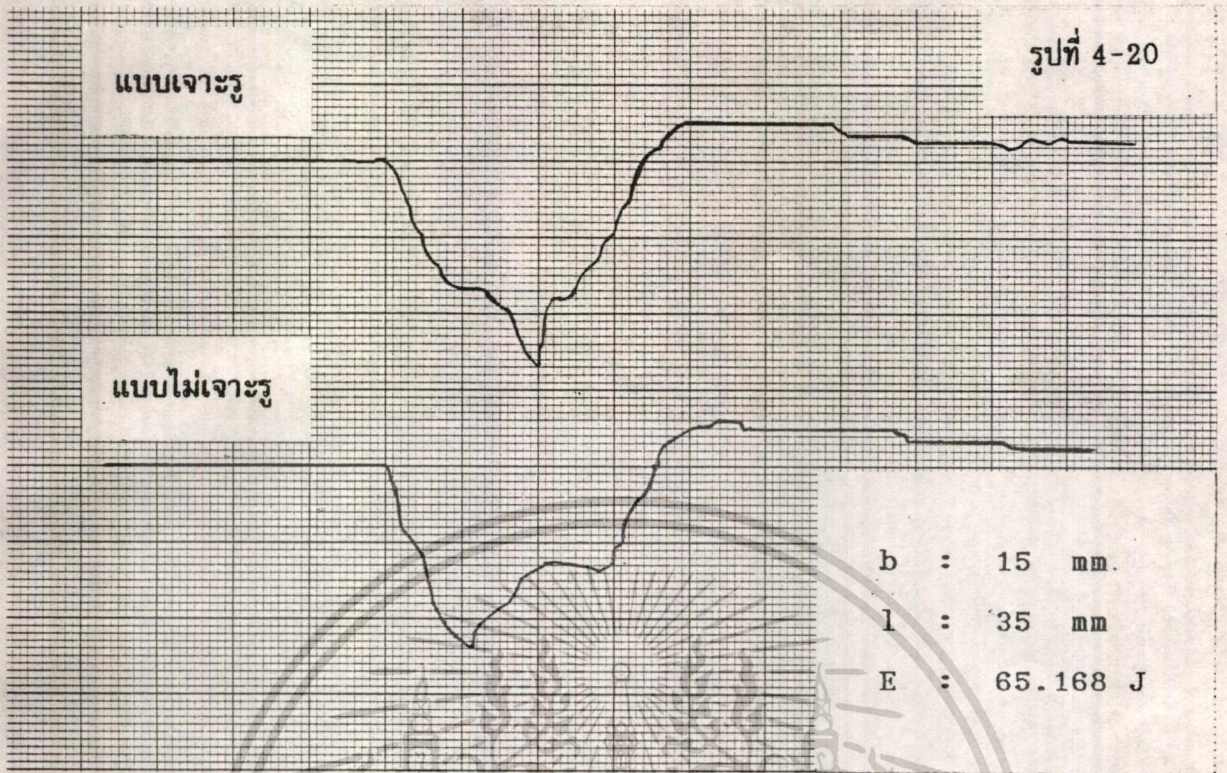
b : 15 mm
l : 25 mm
E : 65.168 J

รูปที่ 4-19

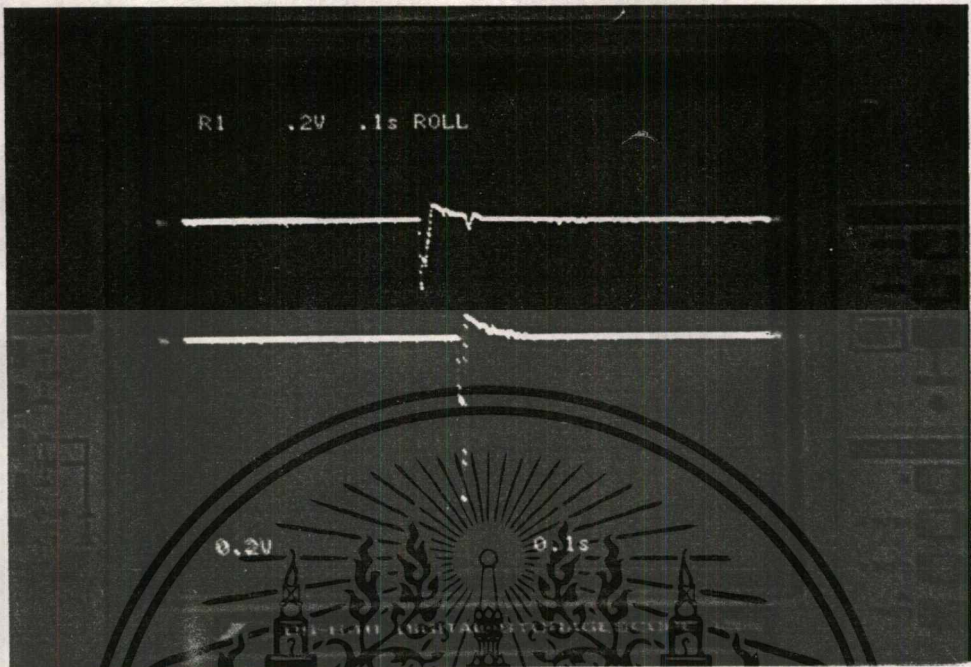
แบบเจาะรู

แบบไม่เจาะรู

b : 15 mm
l : 30 mm
E : 65.168 J



รูปที่ 4-21 ภาพถ่ายออสซิลอสโคป แสดงผลการทดลองที่ระดับ 83 ซม. ระหว่าง b:15 l:20 และ b:15 l:35



รูปที่ 4-22 ภาพถ่ายออสซิลอโคป เปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนทดสอบ 2 ขนาดที่ต่างกัน

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบปริมาณพื้นที่ใต้กราฟระหว่างขั้นตอนทดสอบแบบเจาะรู และแบบไม่เจาะรูของรูปที่ 4-12 ถึง รูปที่ 4-19

| b = 15 | พื้นที่ใต้กราฟ | | | | | | | |
|-------------|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | l = 20 | | l = 25 | | l = 30 | | l = 35 | |
| | เจาะรู | ไม่เจาะ | เจาะรู | ไม่เจาะ | เจาะรู | ไม่เจาะ | เจาะรู | ไม่เจาะ |
| ระดับ 63 cm | 574 | 648 | 505 | 543 | 481 | 547 | 430 | 500 |
| ระดับ 73 cm | 627 | 660 | 552 | 600 | 552 | 585 | 470 | 500 |

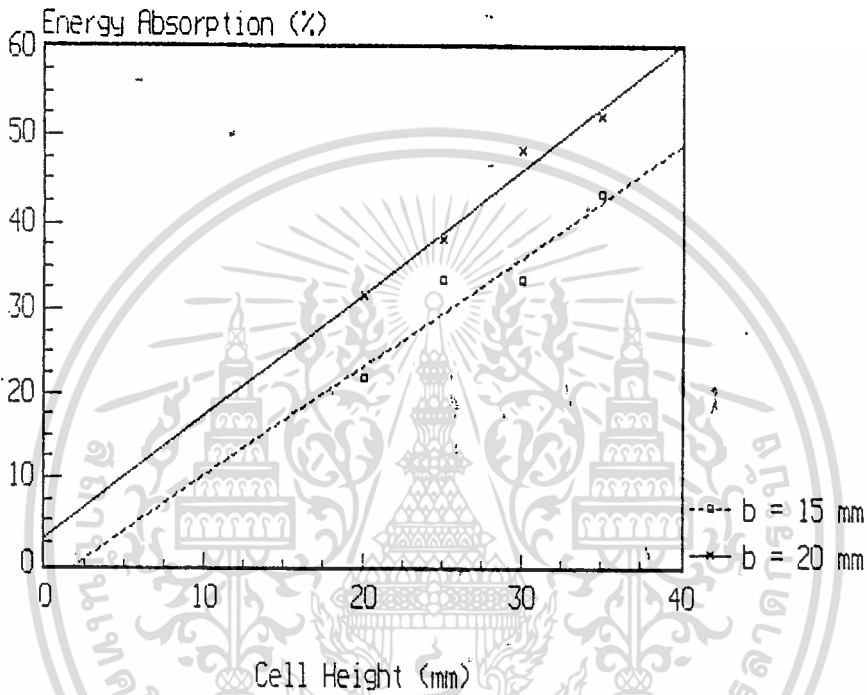
ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลพลังงานที่ดูดกลืนโดยชั้นทดสอบที่มีรูเจาะภายใต้แรงจลน์

| เงื่อนไขการทดลอง | พื้นที่ได้กราฟ (U) | คิดเทียบเป็นพลังงาน (J) (E) | พลังงานที่ดูดกลืนโดยเซลล์ (Eab) |
|-------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| ระยะ 63 cm | | | |
| ไม่มีชั้นทดสอบ | 760 | 56.241 | - |
| b 15 : 120 | 574 | 32.9 | 23.341 |
| b 15 : 125 | 505 | 24.1 | 32.141 |
| b 15 : 130 | 481 | 21.14 | 35.201 |
| b 15 : 135 | 430 | 14.54 | 41.701 |
| ระยะ 73 cm | | | |
| ไม่มีชั้นทดสอบ | 827 | 66.168 | - |
| b 15 : 120 | 627 | 39.66 | 25.508 |
| b 15 : 125 | 552 | 30.09 | 35.078 |
| b 15 : 130 | 552 | 30.09 | 35.078 |
| b 15 : 135 | 470 | 19.64 | 45.528 |
| b 20 : 120 | 567 | 32.01 | 33.159 |
| b 20 : 125 | 512 | 24.99 | 40.174 |
| b 20 : 135 | 429 | 14.41 | 50.758 |
| ระยะ 83 cm | | | |
| ไม่มีชั้นทดสอบ | 897 | 74.096 | - |
| b 15 : 120 | 690 | 47.69 | 26.405 |
| b 15 : 125 | 607 | 37.11 | 36.985 |
| b 15 : 130 | 597 | 35.83 | 38.265 |
| b 15 : 135 | 531 | 27.42 | 47.675 |
| b 15 : 140 | 495 | 22.83 | 51.268 |
| b 20 : 120 | 626 | 39.53 | 34.562 |
| b 20 : 125 | 596 | 35.71 | 38.388 |
| b 20 : 130 | 546 | 29.33 | 44.765 |
| b 20 : 135 | 495 | 22.83 | 51.268 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความกว้างของเซลล์

ผลของความกว้างของเซลล์ต่อการดูดกลืนพลังงานภายใต้แรงจลน์ มีแนวโน้มเหมือนการดูดกลืนพลังงานภายใต้แรงสถิตย์ ดังรูป



รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบผลของการดูดกลืนพลังงานภายใต้แรงจลน์ของเซลล์ที่มีความกว้างแตกต่างกัน โดยกำหนดให้ พลังงานที่ตกกระทบมีค่า 56.241 J

ผลของความสูงของเซลล์

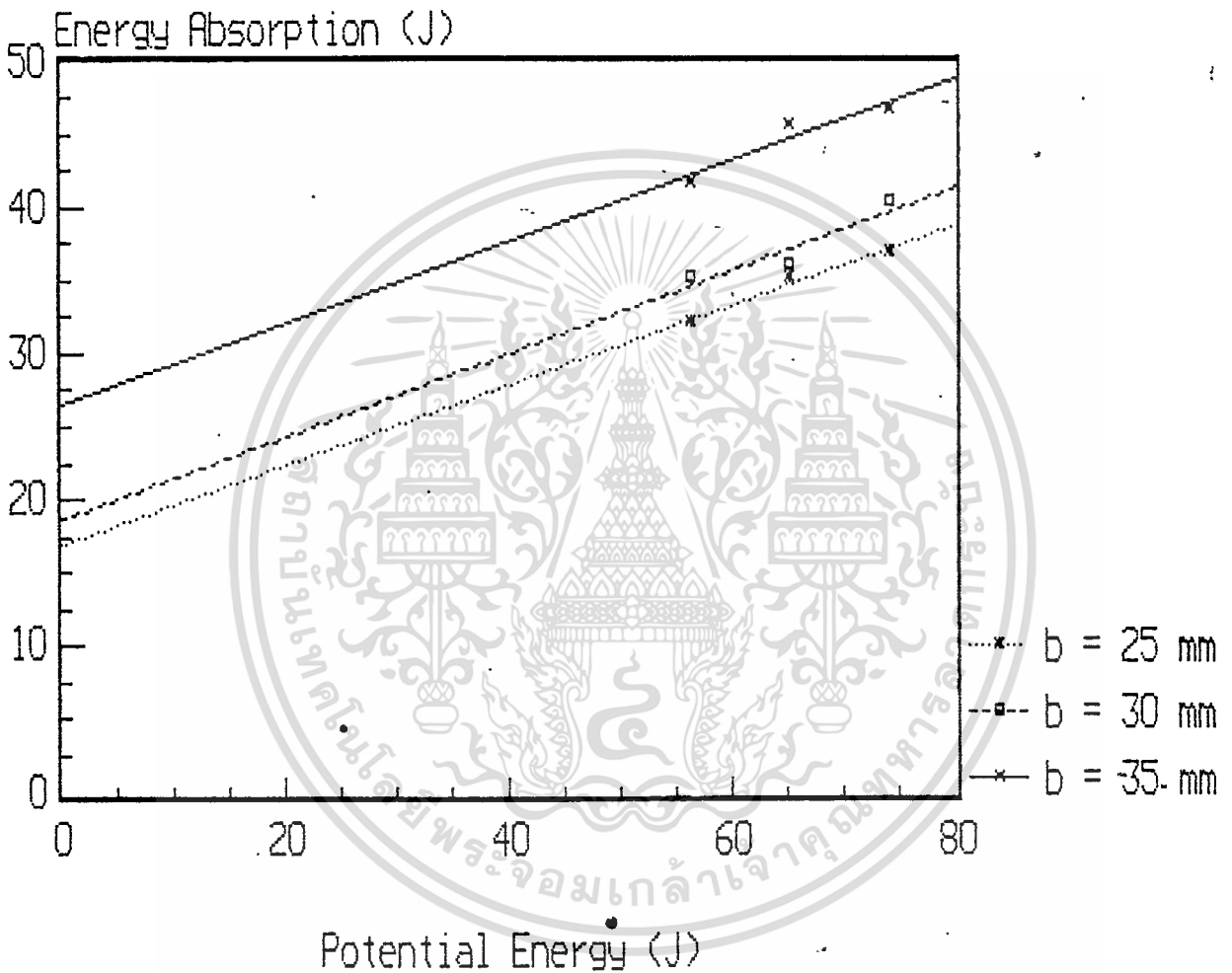
ผลของความสูงของเซลล์พิจารณาจากกราฟรูป 4-23 ได้เช่นเดียวกัน พบว่าเมื่อความสูงของเซลล์เพิ่มขึ้นเซลล์สามารถดูดกลืนพลังงานได้มากขึ้น

ผลการดูดกลืนพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ตกกระทบ

เราพิจารณาการดูดกลืนพลังงานจากการเปรียบเทียบระหว่างการปล่อยแผ่นน้ำหนัก

ลงมากระทบกับ LoadCell โดยไม่มีชิ้นงาน ค่าที่วัดได้คือพลังงานการตกกระทบทั้งหมด กับการปล่อยแผ่นน้ำหนักลงมาตกกระทบกับ LoadCell ที่มีชิ้นงานวางอยู่ ค่าที่วัดได้คือพลังงานที่เหลือจากการดูดกลืนพลังงานของวัตถุ

ส่วนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ตกกระทบทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นน้ำหนัก ที่ปล่อยลงมาตกกระทบ ได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4-24 ผลของการดูดกลืนพลังงาน เมื่อพลังงานที่ตกกระทบแตกต่างกันที่ความกว้างของเซลล์เดียวกัน (b = 15mm)

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

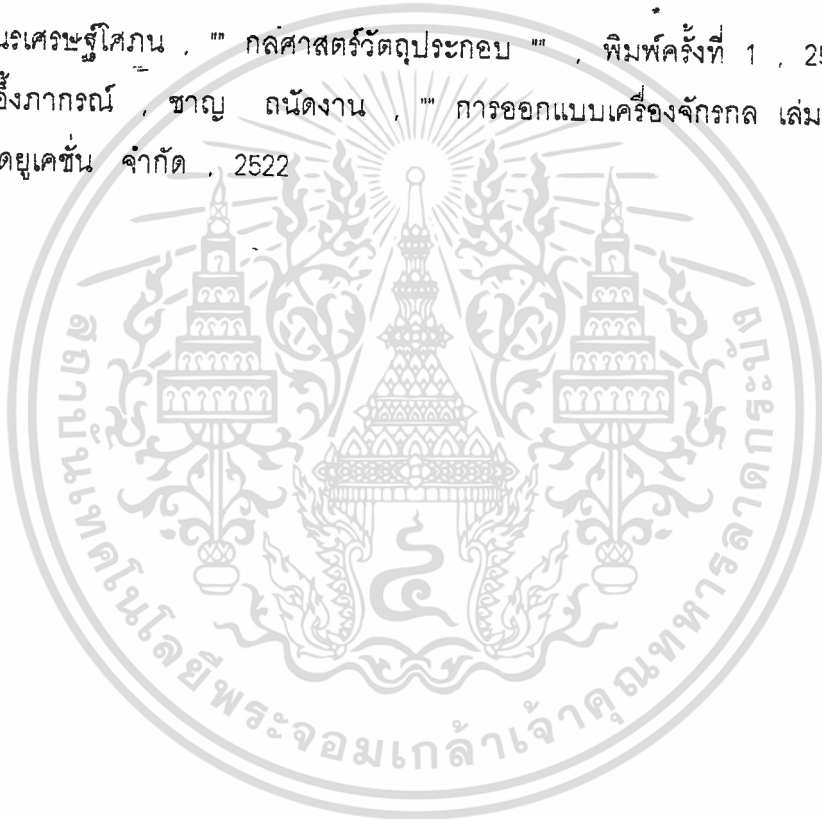
จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ทำให้เราสามารถทราบคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานของวัตถุประกอบรูปร่างได้ดีขึ้น แต่คุณสมบัติที่ทราบนี้เป็นเพียงข้อมูลกว้าง ๆ ที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเท่านั้น ส่วนในการออกแบบจริง ๆ เราต้องพิจารณาปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ นอกเหนือจากคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานอีก อาทิเช่น เราทราบว่าเซลล์ที่มีขนาดใหญ่มีค่า a และ b มาก ๆ สามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าเซลล์ที่มีขนาดเล็ก แต่ในขณะเดียวกันขนาดของเซลล์ที่ใหญ่อาจเป็นอุปสรรคในการออกแบบ เราอาจต้องใช้เซลล์ขนาดเล็กหลาย ๆ เซลล์แทนเซลล์ขนาดใหญ่เพราะจากการทดลองเราทราบว่า เซลล์ขนาดเล็กหลาย ๆ เซลล์สามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าเซลล์ขนาดใหญ่เพียงเซลล์เดียว แต่การใช้เซลล์ขนาดเล็กหลาย ๆ เซลล์ก็มีข้อเสียคือทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น นอกจากขนาดของเซลล์แล้วขนาดของรูเจาะก็มีความสำคัญที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบด้วยเช่นกัน

สำหรับชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นชิ้นงานที่ทำด้วยมือ ชิ้นงานขนาดเดียวกันจึงอาจมีข้อแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ซึ่งทำการแก้ไขได้โดยการทำให้ชิ้นงานแต่ละขนาดมีความแตกต่างกันพอสมควร และในแต่ละขนาดก็ทำการทดลองกับชิ้นงานหลาย ๆ ชิ้น แล้วนำค่าเฉลี่ยมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- Donald E Asheland , "" The Science and Engineering of Material "" , 2nd SI Edition , Chapman and Hall , 1990
- William D Callistor , Jr "" Material Science and Engineering Introduction "" , 2nd Edition , John Wiley & Sons , 1990
- สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ , "" กลศาสตร์วัสดุประกอบ "" , พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2536
- วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ , ชาญ ถนังงาน , "" การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 "" , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2522



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สมชัย นเรศรัฐโคภน ที่ให้คำปรึกษามาโดยตลอด
ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาคเครื่องกลทุกท่าน
ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทั้งภาคเครื่องกลและเพื่อนสถาบันที่แวะเวียนมาให้กำลังใจ
อย่างไม่ขาดสาย
และขอขอบคุณเพื่อน ๆ เหล่านี้ ที่ช่วยให้เรามีวันนี้

- ชา , ต่อ , แป๊ะ , ไข่ , จุ่ม , ดวง , ช้าง , ไข่ , ชัช , ตรี , ต้น , มด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้