

การศึกษาเชิงทดลองของโครงสร้างแบบรังผึ้งของวัสดุไม้ - ซีเมนต์ ภายใต้การดัด

AN EXPERIMENTAL STUDY OF HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURE OF
WOOD - CEMENT BOARD UNDER BENDING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-030-207

การศึกษาเชิงทดลองของโครงสร้างแบบรังผึ้งของวัสดุไม้ – ซีเมนต์ ภายใต้การดัด

AN EXPERIMENTAL STUDY OF HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURE OF
WOOD – CEMENT BOARD UNDER BENDING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ KMUTL-2017-EN-M-030-207 มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN EXPERIMENTAL STUDY OF HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURE OF
WOOD – CEMENT BOARD UNDER BENDING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMUTL-2017-EN-M-030-207
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่ภายใต้เงื่อนไขที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงทดลองของโครงสร้างแบบรังผึ้งของวัสดุไม้ – ซีเมนต์ ภายใต้การดัด
Thesis Title An Experimental Study of Honeycomb Sandwich Structure of
Wood – Cement Board under Bending
นักศึกษา นายปุณปวีร์ จงรัตน์ศรีกุล
รหัสประจำตัว 55610958
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เอกพจน์ ต้นตราภิวัดน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-030-207

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ฐิติระพล	หุຍະນັນท์	
ดร.จิตราภรณ์	วงศางาม	
รศ.ดร.กรรณชัย	กัลยาศิริ	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมพ์สาร	
ผศ.ดร.เอกพจน์	ต้นตราภิวัดน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงทดลองของโครงสร้างแบบรังผึ้งของวัสดุไม้ –
ซีเมนต์ ภายใต้การตัด

นักศึกษา

นายปณปวีร์ จงรัตน์ศรีกุล

รหัสประจำตัว

55610958

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้คือการศึกษากฎการของโครงสร้างแกนวิชแบบรังผึ้งที่ไม่เชื่อมต่อกันของแผ่นไม้-ซีเมนต์ภายใต้การตัด การทดสอบได้ดำเนินการโดยการอ้างอิงมาตรฐานมอก. 878-2532 ซึ่งเป็นแบบทดสอบภายใต้วิธีการตัดแบบ 3 จุด โดยใช้แผ่นทดสอบแบบทรงตันที่ความหนา 24 มิลลิเมตรเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับความเค้นสูงสุดและการประมาณค่าความยืดหยุ่น หลังจากการทดลองที่มีความเหมือนกันทั้งด้านขนาดและความหนาของรังผึ้ง ส่วนที่ต่างกันคือในชั้นกลางโครงสร้างแกนวิชที่ไม่เชื่อมต่อกัน ซึ่งแสดงสัดส่วนของการลดลงของความแข็งแรงและการลดลงของอัตราส่วนวัสดุ โครงสร้างที่ไม่เชื่อมต่อกันเหล่านี้สามารถวิเคราะห์เป็นคานแบบเรียงซ้อนได้ แผ่นชั้นไม้-ซีเมนต์ 3 แผ่นที่ความหนา 8 มิลลิเมตรถูกนำมารวมกันเพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นหนา 24 มิลลิเมตร มีการคำนวณอย่างง่ายและแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของทั้งสองโครงสร้าง เมื่อเพิ่มโครงสร้างของรังผึ้งเข้าไปในชั้นกลาง ความแข็งแรงโดยรวมจะลดลงตามสัดส่วนของวัสดุที่นำออก ที่ 10% ของน้ำหนักที่ลดลง ความแข็งแรงจะลดลงเหลือ 45% การลดลงของน้ำหนักที่ 50% ส่งผลให้ความแข็งแรงอยู่ที่ 25% เท่านั้น การลดน้ำหนักในแต่ละกรณีคำนวณจากจุดแข็งในรูปแบบของแผ่นเดี่ยวแบบปกติที่ความหนาต่างกันและเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของผลการทดสอบของโครงสร้างแบบแกนวิชแบบรังผึ้งที่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน ผลการศึกษาพบว่าเฉพาะที่การลดน้ำหนักที่ประมาณ 50% ความแข็งแรงของโครงสร้างแกนวิชรังผึ้งที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันจะเทียบเท่ากับแผ่นทรงตันที่ความหนาที่บางลง ในทางทฤษฎีแผ่นชั้นไม้-ซีเมนต์โครงสร้างแบบแกนวิชรังผึ้งควรมีความแข็งแรงที่เหนือกว่าแผงแข็งเดี่ยว อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของวิธีการผลิตคอมโพสิตไม้ซีเมนต์ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายในโครงสร้างแกนวิชแบบรังผึ้งที่เชื่อมต่อกัน โดยผลของงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและความเป็นไปได้จากการใช้โครงสร้างในรูปแบบดังกล่าว

คำสำคัญ วัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์, โครงสร้างแบบรังผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	AN EXPERIMENTAL STUDY OF HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURE OF WOOD – CEMENT BOARD UNDER BENDING
Student	Mr. Punepawee Jongrstsrikul
Student ID.	55610958
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Adviser	Asst. Prof. Dr.Akapot Tantrapiwat

ABSTRACT

This is a study of the behavior of non-connected honeycomb sandwich structure of wood and cement board under bending. The experiment was carried out by the reference of TIS 878-2532 standard which is a test under 3-point bending method. A single solid board at 24 millimeter thickness was put into the test as the reference for maximum bending stress and modulus of elasticity estimation. Following by similar experiments with different honeycomb sizes and thicknesses in the middle layer, the non-connected sandwich structures show the proportion of strength reductions and the losses of material ratio. These non-connected structures can be analyzed as the stacked beams. A three solid board at 8 millimeter thickness were combined to make a comparison with the single 24 millimeter thickness board. A simple calculation was made and shown the collaboration of both structures. With the honeycomb structures added into the middle layer, the strength of the combined boards were reduced proportionally to the amount of material removed. At 10% of the weight reduced, the strength was reduced to 45%. More decrease of the weight at 50% results in the strength remained only at 25%. These reductions of weight in each case were then calculated for strengths in the form of normal single boards at different thicknesses, and they were compared to the strength of the test results of the non-connected honeycomb sandwich structures. The results revealed that only at the reduction of weight at about 50%, the strength of the non-connected honeycomb sandwich structures is equivalent to the single solid board at a thinner thickness. Theoretically the honeycomb sandwich board should have more superior strength than the single solid board. However with the limitation of the manufacturing method, the wood-cement composite cannot be easily formed into a connected honeycomb sandwich structure. And yet the result of this work have shown the potential benefit of such structure.

Keyword : Wood-Cement Composite, Honeycomb Sandwich Structure

เอเจนซี่ที่ให้บริการด้านการตลาดออนไลน์และโซเชียลมีเดียไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ และ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมฉบับนี้ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้แนวคิดในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้โครงการวิจัยผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการจัดทำโครงการวิจัยอุตสาหกรรมนี้ รวมทั้งผู้ให้ความช่วยเหลือที่ไม่ได้เอ่ยนามมาในที่นี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณชญญา สุพรรณเภสัช ที่เป็นเสมือนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ปทุมปวีร์ จงรัตน์ศรีกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	3
2.1 วัตถุประสงค์ซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นใย.....	3
2.2 วัตถุประสงค์ซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นชั้น ๆ.....	5
2.3 คุณสมบัติเชิงกลของวัตถุประสงค์ประกอบ.....	5
2.4 คำศัพท์พื้นฐานของวัตถุประสงค์ชนิดเส้นแรงด้วยเส้นใยเป็นชั้น ๆ.....	7
2.5 โครงสร้างแบบแซนด์วิชรังผึ้ง.....	10
2.6 แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์.....	13
2.7 การทดสอบการตัดโค้ง.....	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.9 บทสรุปท้ายบท.....	22
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	23
3.2 วิธีและอุปกรณ์การทดลอง.....	24
3.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต.....	26
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
4.1 ผลการทดลอง.....	29
4.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง	32
4.3 การหาค่าความต้านแรงอัดสูงสุดและสมการในการพยากรณ์ค่าของแรงเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง.....	34
4.4 การหาค่าความโก่งตัวและสมการในการพยากรณ์ค่าของแรงเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง.....	38
4.5 การนำผลที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวัสดุทรงตันและโครงสร้างรังผึ้งที่มีความหนาอื่น.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	44
ภาคผนวก ข. กราฟผลการทดลอง.....	53
ภาคผนวก ค. มาตรฐาน มอก.878 – 2532.....	59
ประวัติผู้วิจัย.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเส้นใยและลวด.....	4
2.2 คุณสมบัติของเส้นใยสั้นหรือเส้นใยขน.....	4
2.3 คุณสมบัติของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์.....	14
2.4 คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพตามอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์และขึ้นไม้.....	14
2.5 คุณสมบัติของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ตาม มอก.878.....	15
3.1 ขอบเขตและเงื่อนไขในการทดลอง.....	30
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคูณประกอบและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง.....	39
4.2 ตารางเปรียบเทียบวัสดุทรงตันที่ความหนาอื่นๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของวัสดุเท่ากับแบบจำลอง ทั้ง 5 รูปแบบ.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูป	หน้า
2.1	คุณสมบัติเชิงกลสำหรับวัสดุประเภทแอนไอโซทรอปิก.....6
2.2	ลามิनाสองแบบที่มีความสำคัญมากกว่าแบบอื่น ๆ.....7
2.3	ผลที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยขาดในวัสดุประสานและความเค้นของเส้นใย.....8
2.4	คุณสมบัติของความเค้นและความเครียดแบบต่าง ๆ.....9
2.5	โครงสร้างของลามิเนท.....10
2.6	โครงสร้างแบบแซนด์วิชรังผึ้ง.....10
2.7	แสดงลักษณะแกนกลางแบบต่างๆ (a) แกนแบบตัน (foam core), (b) แกนแบบรังผึ้ง (honeycomb core), (c) แกนโครงถัก (corrugated core).....11
2.8	Expansion Process11
2.9	Corrugation process12
2.10	โครงสร้างแบบรังผึ้ง.....12
2.11	แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์.....13
2.12	Wood Cement Board process14
2.13	Pressing bending method16
2.14	Winding bending method16
2.15	V-block bending method17
2.16	โหลดเมื่อเทียบกับเส้นโค้งสำหรับ ไมซีเมนต์คอมโพสิต (CWBC) และ "ปูนซีเมนต์" ในการตัด18
2.17	แรงตัดเมื่อเทียบกับเส้นใย แสดงผลของปริมาณเส้นใยชนิดไฟเบอร์ (เมื่อเทียบกับเยื่อกระดาษ (TMP)) และTMP Autoclave19
2.18	แรงตัดเป็นส่วนหนึ่งของความหนาแน่น เปรียบเทียบข้อมูล FPL19
2.19	โมดูลัสแรงตัดของสภาพยืดหยุ่นเป็นส่วนหนึ่งของความหนาแน่น.....20
2.20	โหลดเมื่อเทียบกับการเสียรูป ข้อมูลแสดงให้เห็นผลกระทบของอัตราส่วนปูนซีเมนต์และไม้.....21
3.1	ทิศทางของแรงที่กระทำลงที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้างรังผึ้ง.....23
3.2	แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์รูปทรงตันและรูปทรงรังผึ้ง.....25
3.3	เครื่องทดสอบ FLEXURAL STRENGTH TESTING MACHINES26
3.4	การทดสอบความต้านแรงอัด.....27
3.5	แบบจำลองแสดงทิศทางของแรง.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 1.....	30
4.2 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 2.....	31
4.3 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 3.....	31
4.4 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 4.....	32
4.5 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 5.....	33
4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ.....	33
4.7 แผนภูมิแสดงผลจากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ.....	34
4.8 แผนภูมิแสดงการโก่งตัวจากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ.....	35
4.9 bending stress.....	36
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Correcting Factor และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง.....	38
4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุโครงสร้างทรงตัน 12 มม.และวัสดุโครงสร้างแบบแซนด์วิช แกนกลางเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม 16 มม. มีความหนารวม 24 มม.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ (wood cement particle board) เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (wood cement board) ชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมระหว่างชิ้นไม้สับ (wood chip) และปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่รวมคุณสมบัติที่ีระหว่างไม้และปูนซีเมนต์ ได้แก่ ทนน้ำ ทนไฟ ทนปลวก เชื้อราและแมลง เป็นฉนวนป้องกันเสียงและความร้อน รวมทั้งไม่มีอันตรายจากฝุ่นผงใยหิน แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไปใช้ ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนได้ทั้งหลัง พัฒนาเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา โครงคร่าวต่างๆทั้งหลัง เป็นบ้านสำเร็จรูป หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ทางวงการเกษตรและปศุสัตว์ ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไม้ขนาดเล็ก เศษไม้จากโรงงานมาใช้เป็นวัตถุดิบได้ เป็นการใช้ไม้อย่างคุ้มค่า ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้จริง ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนไม้ และช่วยลดภาวะโลกร้อน จะเห็นได้ว่าแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ไม้จริงได้และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่ได้รับความนิยม โดยในการทดลองนี้ทำการทดลองโดยนำ วัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์มาทำเป็นโครงสร้างแบบรังผึ้ง

โครงสร้างแบบรังผึ้งเป็นการก่อสร้างที่นิยมใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมั่นคงและมีประสิทธิภาพในการที่จะต้องรับน้ำหนักมากที่สุด โครงสร้างแบบรังผึ้งลักษณะหกเหลี่ยมเป็นวัสดุหลักพื้นฐานที่ทำให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้วัสดุประกอบที่ไม่แข็งแรงมีความแข็งแรงและทนต่อการเสีรูป โดยการยึดติดกับแผ่นวัสดุผิวด้านข้างและด้านบน โดยพื้นฐานแนวคิดของโครงสร้างนี้คือแผ่นผิวด้านหน้าจะเป็นโครงสร้างหลักที่รับแรงความเค้นดัด ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับความเค้น โดยมีความคล้ายคลึงอย่างมากกับลักษณะของการรับแรงแบบคาน โครงสร้างแบบรังผึ้งเป็นแนวคิดการออกแบบโครงสร้างที่น่าสนใจโดยเป็นทางเลือกที่เหมาะสมของวัสดุและรูปทรงเรขาคณิต โดยโครงสร้างมีอัตราส่วนที่สูงระหว่างความต้านทานการเสีรูปกับน้ำหนักสามารถรองรับได้ เนื่องจากความแข็งแรงนี้จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดความไม่แน่นอนของโครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะกับการใช้งานที่มีเงื่อนไขการรับโหลดที่เอื้อต่อการโก่งงอ

โครงสร้างรังผึ้งมักจะใช้สำหรับฉนวนกันความร้อน, ฉนวนดูดซับมลพิษสิ่งแวดล้อม การกรองของโลหะผสมโลหะหลอมเหลวและเป็นสารตั้งต้นสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งต้องมีพื้นที่ผิวภายในที่มีขนาดใหญ่โครงสร้างทางเรขาคณิต โครงสร้างรังผึ้งช่วยให้ลดปริมาณของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ มีน้ำหนักที่เบา จึงลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าวัสดุได้อย่างมาก รูปแบบรังผึ้งนั้นยังมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่สูงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ด้วยการทดสอบในห้องทดลอง เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878 - 2532 โดยพิจารณาโครงสร้างของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ และเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์โครงสร้างรังผึ้งกับวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์แผ่นทรงตัน ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยมีสมมติเชิงกลที่พิจารณาคือค่าความโก่ง และแรงที่ใช้ในการทดสอบ ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมในการทดลองคือแรงที่ใช้ในการทดสอบและโครงสร้างรังผึ้งของเอกสารนี้วัสดุเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง หน้า 8 มม.
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างชิ้นงานจากแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์จำนวน 5 รูปแบบ ที่มีความหนารวม 24 มม. มีขนาดโครงสร้างแบบรังผึ้งที่เท่ากันแต่มีจำนวนของรังผึ้งที่แตกต่างกัน
- 1.3.3 เซลล์รังผึ้งที่ใช้ในการทดสอบ มีขนาดเซลล์ เท่ากับ 25 มม.และมีจำนวนของรังผึ้งแตกต่างกันจำนวน 5 รูปแบบ
- 1.3.4 วิธีการทดสอบให้เป็นไปตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878 - 2532
- 1.3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล
 - แรงในการทดสอบจนวัสดุเกิดความเสียหาย
 - การโก่งตัวของวัสดุ

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ มี 2 หัวข้อ ดังนี้

- 1.4.1 เพื่อเป็นก้าวแรกในการพัฒนาวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ในรูปแบบของโครงสร้างแบบรังผึ้ง
- 1.4.2 ได้รู้ถึงพฤติกรรมในการโก่งตัวของวัสดุรังผึ้งเมื่อได้รับโหลดแบบต่อเนื่อง (Continuous Load)

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์และวัสดุรูปแบบรังผึ้งเพื่อใช้ในการคำนวณและการออกแบบ
- 1.5.2 ทำการออกแบบแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ในรูปแบบต่างๆที่กำหนดขึ้น
- 1.5.3 ทำการสร้างชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบจำนวน 5 รูปแบบที่มีความหนารวม 24 มม.
- 1.5.4 ทำการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์โครงสร้างรังผึ้ง โดยสร้างเป็นกรณีพิเศษเพื่อใช้ในการทดลอง
- 1.5.5 ทำการทดสอบโดยให้โหลดลงบนชิ้นทดสอบในแนวกึ่งกลาง
- 1.5.6 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง
- 1.5.7 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

บทนำ

วัสดุประกอบ หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุต่างชนิดกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติใหม่ตรงตามความต้องการหรือวัตถุประสงค์ในการทำงาน วัสดุประกอบที่จะกล่าวถึงเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุต่างชนิดกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปในมาตราส่วนมหภาค (MACROSCOPIC SCALE) วัสดุประกอบจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นใย (FIBROUS COMPOSITE MATERIALS) ประกอบขึ้นด้วยเส้นใย (FIBERS) และวัสดุประสาน (MATRIX)
2. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นเป็นชั้น ๆ (LAMINATED COMPOSITE MATERIALS) ประกอบขึ้นด้วยชั้นของวัสดุต่าง ๆ หลายชั้น
3. วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากอนุภาค (PARTICULATE COMPOSITE MATERIALS) ของวัสดุต่าง ๆ และวัสดุประสาน (MATRIX)

2.1 วัสดุประกอบซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นใย

วัสดุโดยทั่วไปถ้าทำให้เป็นเส้นใยจะมีความแข็งแรง (STRENGTHS) สูงกว่าวัสดุที่อยู่ในลักษณะรูปร่างเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน เช่น เป็นแท่ง เป็นแผ่น เป็นต้น แผ่นแก้วธรรมดาจะทนความเค้นได้มากกว่า 10 MN/m^2 เพียงเล็กน้อย แต่สำหรับเส้นใยแก้วในเชิงพาณิชย์สามารถทนความเค้นได้ $3,400 \text{ MN/m}^2$ ถึง $4,800 \text{ MN/m}^2$ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยแก้วที่เตรียมขึ้นในห้องทดลอง ในปัจจุบันนี้สามารถทนความเค้นได้สูงถึงประมาณ $6,800 \text{ MN/m}^2$ จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของเส้นใยนั้นแตกต่างจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนมาก ที่เป็นเช่นนั้นเพราะผลึกของวัสดุเรียงตัวกันตามความยาวของแกนของเส้นใยทำให้รับแรงได้ดีกว่าวัสดุที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนซึ่งผลึกของวัสดุจะเรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบ

คุณสมบัติของเส้นใย

คุณลักษณะทางกายภาพของเส้นใยก็คือมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางสูงมาก ๆ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของผลึก ตาราง 2.1 แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรง (STRENGTHS) และความแข็งขึ้น (STIFFNESSES) ของวัสดุบางจำพวก ค่าความหนาแน่นที่ให้มาในตารางนั้นใช้สำหรับเปรียบเทียบอัตราส่วนความแข็งแรงต่อความหนาแน่น และความแข็งขึ้นต่อความหนาแน่นของวัสดุแต่ละประเภท ซึ่งจะมีผลในเรื่องของน้ำหนักเมื่อต้องการเลือกใช้วัสดุนั้น ๆ

คุณสมบัติของเส้นใยสั้นหรือเส้นใยขน (WHISKERS)

เส้นใยสั้นหรือเส้นใยขนมีคุณลักษณะเหมือนกับเส้นใยที่ได้กล่าวผ่านมาแล้ว คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของผลึกของวัตถุ แต่มีขนาดความยาวที่สั้นมาก ๆ อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 เส้นใยสั้นหรือเส้นใยขนมีคุณสมบัติในการรับแรงได้สูงกว่าเส้นใยธรรมดา เพราะเส้นใยสั้นได้จากการตกผลึกในมาตราส่วนเล็ก (SMALL SCALE) ทำให้การจัดเรียงตัวของผลึกเรียงตัวกันเป็นระเบียบดีมาก โครงสร้างผลึกของเหล็กในทางทฤษฎีมีความแข็งแรง (STRENGTHS) 20 GN/m² แต่เหล็กโครงสร้างธรรมดามีความแข็งแรงอยู่ในราว 0.51 GN/m² ถึง 0.68 GN/m² เหล็กโครงสร้างธรรมดามีความแข็งแรงน้อยกว่าโครงสร้างผลึกของเหล็กมากและมีค่าความแข็งแรงแตกต่างกันมากในจำนวนเหล็กโครงสร้างด้วยกันที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะโครงสร้างของแนวผลึกต่างกันนั่นเอง โครงสร้างผลึกนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (เหล็กเหนียว) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงและความแข็งขึ้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตาราง 2.2 แสดงคุณสมบัติของเส้นใยสั้นหรือเส้นใยขน

ตาราง 2.1 คุณสมบัติของเส้นใยและลวด [1]

เส้นใยหรือลวด	ความหนาแน่น ρ lb/in. ³ (kN/m ³)	ความแข็งแรงดึง S 10 ³ lb/in. ² (GN/m ²)	S/ρ 10 ³ in. (km)	ความแข็งขึ้นดึง E 10 ⁶ lb/in. ² (GN/m ²)	E/ρ 10 ⁷ in. (Mm)
อลูมิเนียม	.097 (26.3)	90 (.62)	9 (24)	10.6 (73)	11 (2.8)
ไททาเนียม	.170 (46.1)	280 (1.9)	16 (41)	16.7 (115)	10 (2.5)
เหล็กกล้า	.282 (76.6)	600 (4.1)	21 (54)	30 (207)	11 (2.7)
อี-กลาส	.092 (25.0)	500 (3.4)	54 (136)	10.5 (72)	11 (2.9)
เอส-กลาส	.090 (24.4)	700 (4.8)	78 (197)	12.5 (86)	14 (3.5)
คาร์บอน	.051 (13.8)	250 (1.7)	49 (123)	27 (190)	53 (14)
เบอร์ลิเลียม	.067 (18.2)	250 (1.7)	37 (93)	44 (300)	66 (16)
โบรอน	.093 (25.2)	500 (3.4)	54 (137)	60 (400)	65 (16)
กราไฟท์	.051 (13.8)	250 (1.7)	49 (123)	37 (250)	72 (18)

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของเส้นใยสั้นหรือเส้นใยขน [1]

เส้นใยสั้น	ความหนาแน่น ρ lb/in. ³ (kN/m ³)	ความแข็งแรงเชิงทฤษฎี S_T 10 ⁶ lb/in. ² (GN/m ²)	ความแข็งแรงจากการทดลอง S_E 10 ⁶ lb/in. ² (GN/m ²)	S_E/ρ 10 ³ in. (km)	ความแข็งขึ้นดึง E 10 ⁶ lb/in. ² (GN/m ²)	E/ρ 10 ⁷ in. (Mm)
ทองแดง τ	.322 (87.4)	1.8 (12)	.43 (3.0)	13 (34)	18 (124)	5.6 (1.4)
นิกเกิล ϵl	.324 (87.9)	3.1 (21)	.56 (3.9)	17 (44)	31 (215)	9.6 (2.4)
เหล็ก	.283 (76.8)	2.9 (20)	1.9 (13)	67 (170)	29 (200)	10.2 (2.6)
B ₄ C	.091 (24.7)	6.5 (45)	.97 (6.7)	106 (270)	65 (450)	71 (18)
SiC	.115 (31.2)	12 (83)	1.6 (11)	139 (350)	122 (840)	106 (27)
Al ₂ O ₃	.143 (38.8)	6 (41)	2.8 (19)	196 (490)	60 (410)	42 (11)
C	.060 (16.3)	14.2 (98)	3 (21)	500 (1300)	142 (980)	237 (60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของวัสดุประสาน (MATRICES)

เส้นใยและเส้นใยสั้นนั้นโดยตัวของมันเองใช้ประโยชน์ได้น้อย นอกเสียจากจะนำมาประสานเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นโครงสร้างที่สามารถรับแรงได้จึงจะมีประโยชน์เป็นอย่างมาก วัสดุที่ใช้ในการประสานเส้นใยเข้าด้วยกันนั้นเรียกว่าวัสดุประสาน (MATRIX) วัสดุประสมของวัสดุประสาน ก็คือใช้เป็นตัวประสานเส้นใยยึดเส้นใย ป้องกันเส้นใย ถ่ายเทความเค้นระหว่างเส้นใย ฯลฯ โดยทั่วไปแล้ววัสดุประสานจะมีคุณสมบัติที่ต่ำกว่าเส้นใยทั้งในด้านของความหนาแน่น ความแข็งแรง และความแข็งขึ้น เมื่อประสานเส้นใยเข้าด้วยกันด้วยวัสดุประสานแล้วจะได้โครงสร้าง ซึ่งมีความแข็งแรงและความแข็งขึ้นสูงมากแต่มีความหนาแน่นต่ำ ตัวอย่างของวัสดุประสาน เช่น NARMCO 2387 มีความหนาแน่น 11.9 KN/m^3 รับความเค้นอัดสูงสุดได้ 0.158 GN/m^2 ค่า E ในกรณีรับแรงอัด 3.86 GN/m^2 รับความเค้นดึงสูงสุดได้ 0.0298 GN/m^2 ค่า E ในกรณีรับแรงดึง 3.38 KN/m^3

2.2 วัสดุประกอบซึ่งประกอปกกันขึ้นเป็นชั้น ๆ

วัสดุประกอบชนิดนี้จะประกอบด้วยชั้นของวัสดุที่แตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ประสานติดเข้าด้วยกัน การประสานติดกันเป็นชั้น ๆ นี้ก็เพื่อให้ได้วัสดุประกอบที่ดีตรงตามความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยเน้นคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรง ความแข็งขึ้น น้ำหนักเบา ด้านทานการกัดกร่อน ด้านทานการสึกหรอ สวຍงาม ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ฯลฯ เช่น วัสดุประกอบของโลหะสองชนิด (BIMETALS) โลหะหุ้มโลหะ (CLAD METALS) กระจกประสานติดกันเป็นชั้น ๆ พลาสติกประสานติดกันเป็นชั้น ๆ และวัสดุประกอบซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยนำมาประสานติดกันเป็นชั้น ๆ (LAMINATED FIBROUS COMPOSITE MATERIALS) เป็นต้น

2.3 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบ

วัสดุประกอบมีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากวัสดุธรรมดา มีคุณลักษณะบางอย่างเท่านั้นที่แตกต่าง ไปจากวัสดุธรรมดาทั่วไป คุณลักษณะอื่น ๆ อีกหลาย ๆ อย่างเป็นคุณลักษณะใหม่ทั้งหมด ซึ่งยังต้องมีการวิเคราะห์ ทดลองกันอีกมาก วัสดุธรรมดาทั่ว ๆ ไปแล้วเป็นวัสดุประเภทโฮโมจีเนียส (HOMOGENEOUS) และไอโซทรอปิก (ISOTROPIC) วัสดุประเภทโฮโมจีเนียส มีคุณสมบัติสม่ำเสมอทั้งหมดเนื้อวัสดุกล่าวคือ คุณสมบัติของวัสดุจะไม่แปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ในเนื้อวัสดุ วัสดุประเภทไอโซทรอปิกนั้น มีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นโฮโมจีเนียสและไอโซทรอปิกเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่เท่ากันทุกจุด วัสดุจะมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นโฮโมจีเนียสแต่จะยังคงมีคุณสมบัติเป็นไอโซทรอปิก

วัสดุประกอบโดยทั่วไปแล้วมีคุณสมบัติเป็น (INHOMOGENEOUS) หรือไม่เป็นโฮโมจีเนียส และนอนไอโซทรอปิก (NONISOTROPIC) หรือไม่เป็นไอโซทรอปิก

วัสดุประเภทอินโฮโมจีเนียสมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอทั้งหมดเนื้อวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ในเนื้อวัสดุ วัสดุประเภทนอนไอโซทรอปิกนั้นยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ วัสดุประเภทออร์โททรอปิก (ORTHOTROPIC) และวัสดุประเภทแอนไอโซทรอปิก (ANISOTROPIC)

วัสดุประเภทออร์โททรอปิก เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้ง 3 แนวแกน และมีระนาบสมมาตรของคุณสมบัติของวัสดุ 3 ระนาบตั้งฉากกัน ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางต่าง ๆ ในเนื้อของวัสดุ วัสดุประเภทแอนไอโซทรอปิกมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันทุกทิศทางในเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุ ไม่มีระนาบสมมาตรของคุณสมบัติของวัสดุคุณสมบัติของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางต่าง ๆ ในเนื้อของวัสดุเช่นเดียวกัน

วัสดุประกอบบางชนิดมีคุณสมบัติเป็นอินโฮโมจีเนียสแบบง่าย ๆ เช่น กระจกนิรภัย ทำจากแผ่นกระจกประสานซ้อนกันเป็นชั้น ๆ 3 ชั้น แต่ละชั้นเป็นวัสดุที่เป็นโฮโมจีเนียสและไอโซทรอปิก ดังนั้นคุณสมบัติของอินโฮโมจีเนียสก็จะเป็นสเตปฟังก์ชัน (STEP FUNCTION) ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบกระจก วัสดุประกอบที่มีลักษณะเป็นอนุภาคบางชนิดมีคุณสมบัติที่เป็นอินโฮโมจีเนียสแล้วยังเป็นไอโซทรอปิกด้วย แม้ว่าบางชนิดจะเป็นแอนไอโซทรอปิกก็ตาม

เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นอินโฮโมจีเนียสโดยธรรมชาติของวัสดุประกอบจึงได้แบ่งการศึกษาถึงเรื่องของวัสดุประกอบออกเป็น 2 ตอน ด้วยกันคือ กลศาสตร์มหภาค (MACROMECHANICS) และกลศาสตร์จุลภาค (MICROMECHANICS)

กลศาสตร์มหภาค เป็นการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประกอบ ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานขึ้นว่าเป็นวัสดุประเภทโฮโมจีเนียส และศึกษาถึงกระหอบของวัสดุองค์ประกอบเสมือนว่าเป็นคุณสมบัติโดยเฉลี่ยของวัสดุประกอบเท่านั้น

กลศาสตร์จุลภาคเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุประกอบ ซึ่งเป็นผลกระทบซึ่งกันและกันของวัสดุประกอบโดยพิจารณาลงไปในมาตราส่วนจุลภาค (MICROSCOIC SCALE)

ในที่นี้จะกล่าวถึง กลศาสตร์มหภาคเป็นหลัก คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบซึ่งเป็นแอนไอโซทรอปิกธรรมชาติของมันอยู่แล้ว (โดยทั่วไปจะเป็นออร์โททรอปิก) มีคุณลักษณะแตกต่างจากวัสดุธรรมดาทั่วไปที่เป็นไอโซทรอปิกเป็นอย่างมาก คุณสมบัติของวัสดุประเภทไอโซทรอปิก ออร์โททรอปิก และแอนไอโซทรอปิก ภายใต้ความเค้นปกติ (NORMAL STRESS) และความเค้นเฉือน (SHEAR STRESS) ได้แสดงไว้ใน รูป 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 2.1** คุณสมบัติเชิงกลสำหรับวัสดุประเภทแอนไอโซทรอปิก [1] ยখনด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุประเภทไอโซทรอปิกเมื่ออยู่ภายใต้ความเค้นปกติ (NORMAL STRESS) จะทำให้วัสดุยืดตัวในแนวความเค้นและหดตัวในแนวตั้งฉากกับความเค้น ส่วนในกรณีที่อยู่ภายใต้ความเค้นเฉือนจะมีผลให้วัสดุเสียรูปไปเนื่องจากการเฉือน

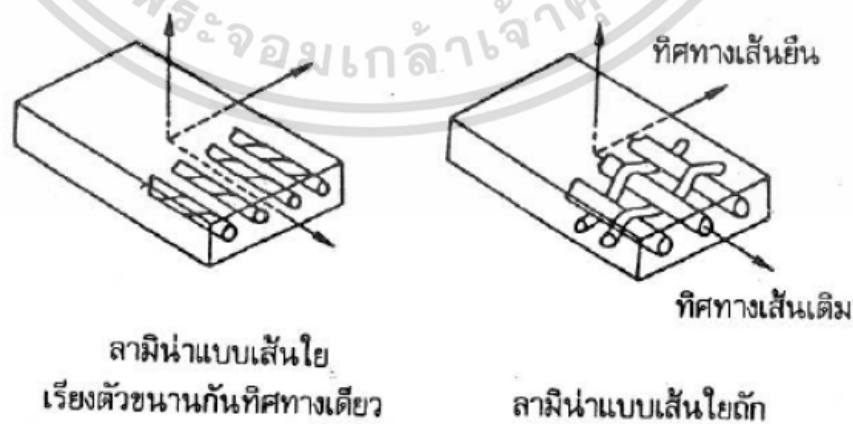
วัสดุประเภทออร์โททรอปิก เหมือนวัสดุประเภทไอโซทรอปิกความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวแกนสมมาตรของคุณสมบัติของวัสดุจะเป็นผลให้วัสดุยืดตัวตามแนวแกนสมมาตร และหดตัวตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนสมมาตร แต่การหดตัวของวัสดุในแนวตั้งฉากกับแนวความเค้นในแต่ละทิศทางรอบแกนดังกล่าวอาจไม่เท่ากันได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าดัชนีความยืดหยุ่น (ELASTIC MODULUS) ต่างกัน ซึ่งจะต่างกับวัสดุประเภทไอโซทรอปิกที่มีการหดตัวเท่ากันหรือเหมือนกันในทุกทิศทาง ความเค้นเฉือนมีผลทำให้วัสดุเสียรูปไปเนื่องจากการเฉือน แต่ขนาดของการเสียรูปของวัสดุจะแตกต่างกันไปตามค่าของดัชนีของยัง (YOUNG'S MODULUS) และอัตราส่วนของพัวซอง (POISSON'S RATIOS)

วัสดุประกอบแอนไอโซทรอปิก ภายใต้ความเค้นปกติจะไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการยืดตัวในแนวความเค้นและหดตัวในแนวตั้งฉากกับแนวความเค้นเท่านั้น แต่ยังทำให้วัสดุเสียรูปไปเนื่องจากการเฉือนด้วย ความเค้นเฉือนก็มีผลทำให้เกิดยืดตัวและหดตัวไปพร้อมกับการเสียรูปของวัสดุเนื่องจากการเฉือนด้วย ลักษณะเช่นนี้ก็จะเหมือนกับกรณีของวัสดุประเภทออร์โททรอปิกที่รับภาระหรือรับความเค้นไม่ตรงแนวสมมาตรของคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ผ้าเป็นวัสดุประเภทออร์โททรอปิกที่ประกอบขึ้นด้วยเส้นใยทอทำมุมกัน 90 องศา ถ้าให้ผ้ารับความเค้นในแนวเส้นใยก็จะทำให้เกิดทั้งการยืด การหดตัวและการเสียรูปของผ้าเนื่องจากการเฉือนในเวลาเดียวกัน

2.4 คำศัพท์พื้นฐานของวัสดุประกอบชนิดเส้นแรงด้วยเส้นใยเป็นชั้นๆ

ในที่นี้จะกล่าวถึงวัสดุประกอบชนิดเส้นแรงด้วยเส้นใยเป็นหลักคำศัพท์พื้นฐานที่จะใช้กล่าวถึงวัสดุประสมค์ชนิดนี้ที่ควรทราบ คือลามิना (LAMINA) และลามิเนท (LAMINATE)

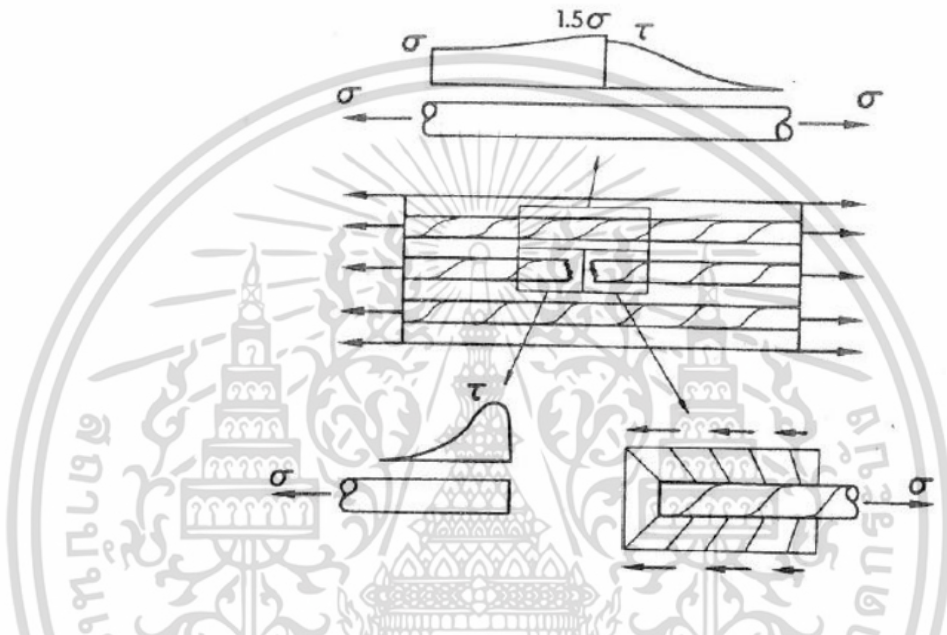
2.4.1 ลามิना คือชั้น บางๆ ของเส้นใยหรือเส้นใยถักที่จัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและมีทิศทาง ไปทางเดียวกัน ในวัสดุประสมค์ ดังรูป 2.2 เป็นลามิनाสองชนิดคือแบบเส้นใยเรียงตัวขนานกันในทิศทางเดียว และแบบเรียงตัวกันแบบถัก เส้นใยจะทำหน้าที่เป็นตัวรับแรงหรือเสริมแรง วัสดุประสมค์จะเป็นสารอินทรีย์เป็นเซรามิก หรือโลหะก็ได้



รูปที่ 2.2 ลามิनाสองแบบที่มีความสำคัญมากกว่าแบบอื่น ๆ [1]

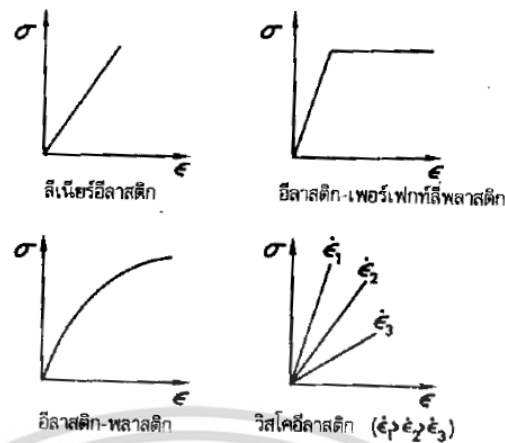
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของวัสดุประสานก็คือรองรับและป้องกันเส้นใย และยังทำหน้าที่เฉลี่ยการกระจายของแรงและการถ่ายเทแรงระหว่างเส้นใย หน้าที่หลังนี้สำคัญเป็นพิเศษ คือ ถ้าเส้นใยขาดดังแสดงในรูปที่ 2.3 แรงที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นใยที่ขาดจะถ่ายเทไปยังวัสดุประสาน แล้วถ่ายเทต่อไปยังอีกปลายหนึ่งของเส้นใยที่ขาดเหมือนกับเส้นใย ข้าง ๆ กลไกของการถ่ายเทแรงก็คือ ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในวัสดุประสาน ความเค้นเฉือนจะเป็นตัวต้านทานการดึงเส้นใยที่ขาดให้หลุดออก กลไกการถ่ายเทแรงนี้จะเหมือนกับการถ่ายเทแรงในลามิเนตที่ใช้เส้นใยสั้นหรือเส้นใยขน



รูปที่ 2.3 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยขาดในวัสดุประสานและความเค้นของเส้นใย [1]

รูปที่ 2.4 แสดงถึง คุณสมบัติในด้านความเค้น-ความเครียดขององค์ประกอบของลามิเนต โดยทั่วไปแล้วเส้นใยจะแสดงคุณสมบัติที่เป็นลิเนียร์อีลาสติก (LINEAR ELASTIC) ยกเว้นในกรณีของ เส้นใยที่เสริม ในคอนกรีตจะแสดงคุณสมบัติเป็นอีลาสติก-พลาสติกซึ่งที่จริงแล้วเป็นนอนลิเนียร์อีลาสติก (NONLINEAR ELASTIC) ถ้าไม่มีการคลายภาระ ตามธรรมชาติแล้ววัสดุประสานประเภทเรซินถ้าไม่ เป็นวิสโคพลาสติก (VISCOPLASTIC) ก็เป็นวิสโคอีลาสติก (VISCOELASTIC) ความสัมพันธ์ของความเค้น- ความเครียดต่าง ๆ บางครั้งก็เกี่ยวกับความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเชิงกลดังที่ได้อธิบายผ่านมาแล้ว ด้วย

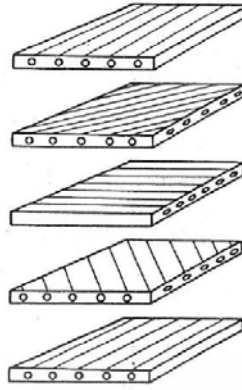


รูปที่ 2.4 คุณสมบัติของความเค้นและความเครียดแบบต่าง ๆ [1]

วัสดุประกอบประเภทเสริมด้วยเส้นใยเช่น โบรอน/อีพอกซี (BORON/EPOXY) และกราไฟท์/อีพอกซี (GRAPHITE/EPOXY) โดยทั่วไปแล้วมีคุณสมบัติเป็นลิเนียร์อีลาสติกเนื่องจากเส้นใยเป็นตัวหลักของความแข็งแรง (STRENGTH) และความแข็งขึ้น (STIFFNESS)

2.4.2 ลามิเนต คือ ลามิเนตที่ประสานซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น ในแต่ละชั้นจะมีแนวทางหรือทิศทางของเส้นใยต่าง ๆ กัน ต่างจากชั้นที่อยู่ใกล้เคียงดังแสดงในรูป 2.5 ทิศทางของเส้นใยในชั้นต่าง ๆ ของลามิเนตในรูป 2.5 นั้นไม่สมมาตรกันที่ชั้นกึ่งกลาง ชั้นต่าง ๆ ของลามิเนตโดยทั่วไปแล้วประสานติดกันด้วยวัสดุประสานเช่นเดียวกับที่ใช้กับลามิเนต ลามิเนตอาจจะประกอบด้วยแผ่นวัสดุอื่นหรือชั้นของลามิเนตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยตั้งได้กล่าวถึงแล้วนั้นก็ได้ในกรณีของทรงกระบอกกลม การสร้างลามิเนตที่ทำได้โดยการพันเส้นใยที่เคลือบด้วยวัสดุประสานไปตามทิศทางของเส้นรอบวงหลาย ๆ ชั้นจนได้ความหนาตามต้องการหรือจะใช้วิธีการอื่นก็ได้ การทำลามิเนตนั้นมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ต้องการจัดทิศทางของเส้นใยในลามิเนตให้มีความแข็งแรงและแข็งขึ้นตรงตามวัตถุประสงค์ของการรับแรงของโครงสร้าง เราสามารถที่จะจัดวางทิศทางของเส้นใยในชั้นต่าง ๆ อย่างไม่รู้ก็ได้ตามต้องการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน เช่น ลามิเนตชนิด 10 ชั้น จัดให้มีทิศทางของเส้นใยไปทางเดียวกัน 6 ชั้น อีก 4 ชั้นที่เหลือจัดมีทิศทางตั้งฉาก (ทำมุม 90 องศา) กับ 6 ชั้นที่กล่าวถึงในตอนต้น ผลของลามิเนตจะมีความแข็งแรงและความแข็งขึ้นจากการตั้งในแนวเส้นใยของ 6 ชั้นแรกสูงกว่าในแนว 4 ชั้นหลังประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของความแข็งขึ้นจาก

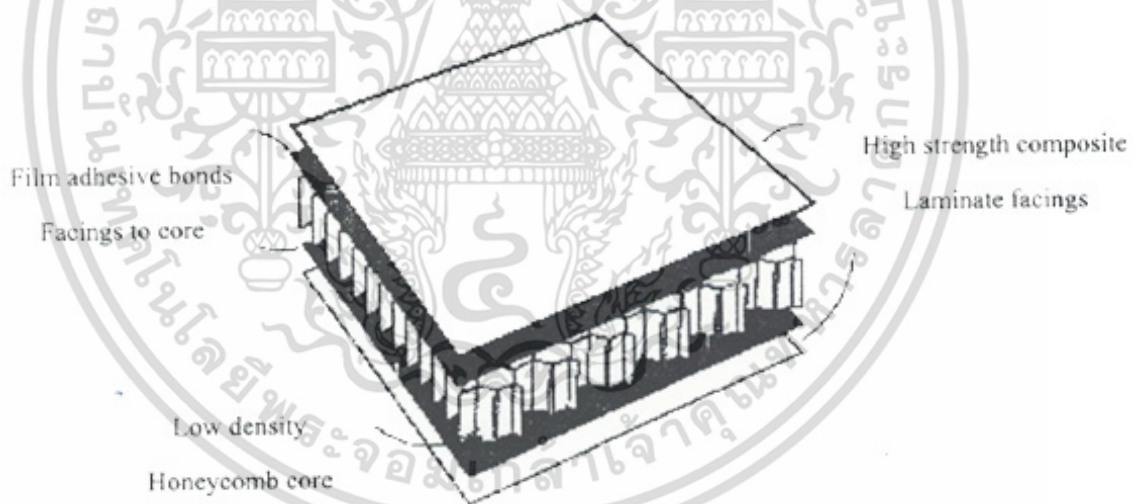
การตั้งของทั้งสองทิศทางจะประมาณ 6:4 แต่อัตราส่วนความแข็งขึ้นจากการตัดไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอน เนื่องจากตัวอย่างไม่ได้กำหนดว่าชั้นใดมีทิศทางเส้นใยไปทางใดบ้าง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลามิเนท [1]

2.5 โครงสร้างแบบแซนด์วิชริงผึ้ง (HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURE)

โครงสร้างนี้จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นแกน (CORE) ที่เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งจะมีค่าความแข็งแรงและความแข็งขึ้นน้อย อยู่ตรงกลาง และถูกประกบประกบด้วยแผ่นแบนที่ผิวหน้า (FACE SHEET) ที่เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงประกบอยู่ทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแผ่นที่ประกบที่บริเวณผิวทั้ง 2 ด้านนี้อาจจะเป็นวัสดุประกอบที่มีการเสริมแรงเป็นชั้นๆก็ได้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงบริเวณผิวด้านนอก

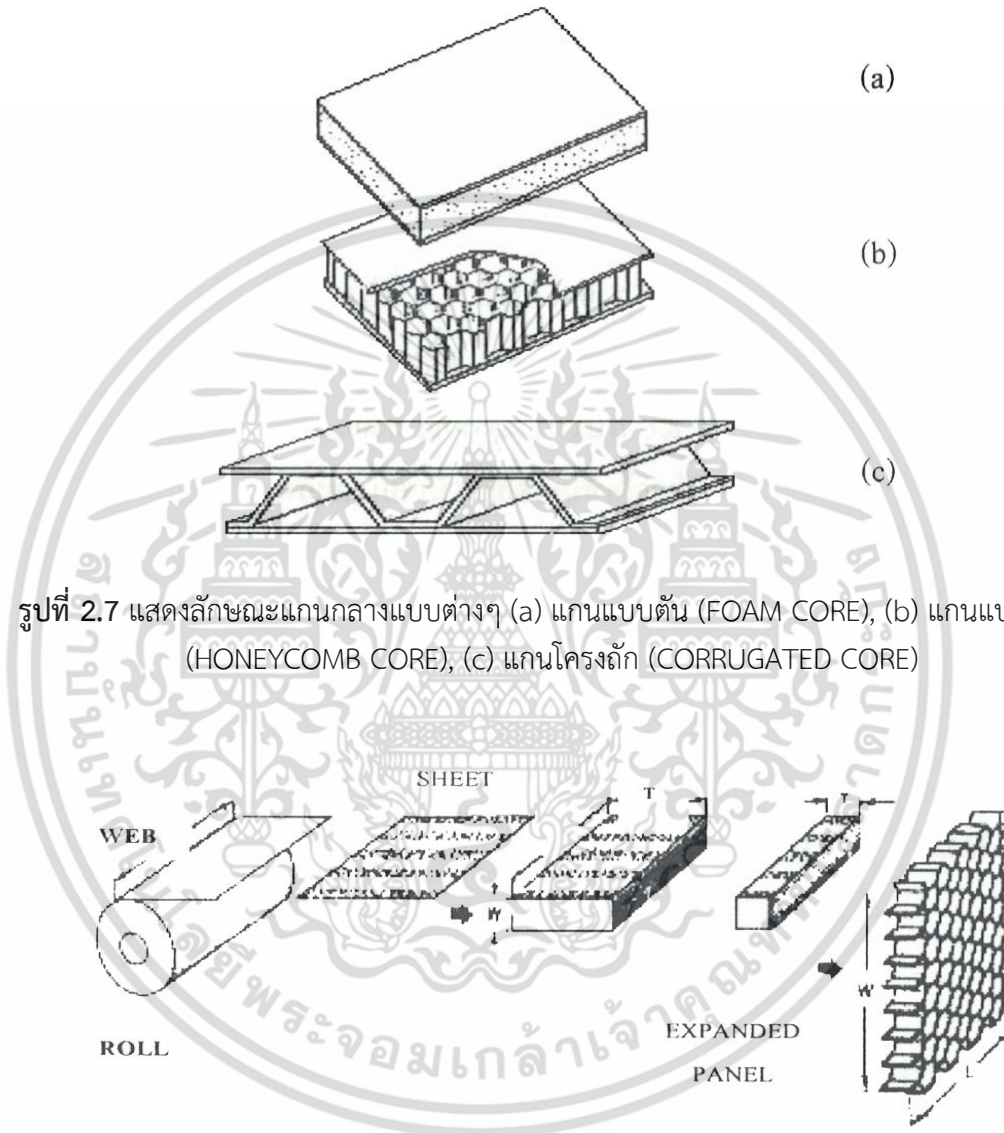


รูปที่ 2.6 โครงสร้างแบบแซนด์วิชริงผึ้ง [10]

การจัดเรียงโครงสร้างแบบนี้ จะให้ค่าความแข็งขึ้นที่สูงและมีน้ำหนักเบา และหลักการพื้นฐานของโครงสร้างแซนด์วิชริงผึ้งจะมีลักษณะเหมือนกับ I beam โดยส่วนที่ผิวหน้า (FACE SHEET) จะรองรับโหลดตามแนวแกนและความเค้นดัดตามขวางทั้งหมด ส่วนที่เป็นแกน (CORE) จำทำหน้าที่ต้านทานการเสีรูปร่างและรองรับแรงเฉือนในแนวตั้งฉากกับส่วนผิวหน้า และเป็นตัวกลางในการแยกให้ผิวหน้าทั้ง 2 ผิวอยู่ห่างกัน เพื่อเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ให้มีค่าสูงขึ้นมา ทำให้มีความแข็งแรงและต้านทานการดัดได้มากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ทำผิวหน้าอย่างเดียวโดยวัสดุที่นิยมใช้ทำแกนได้แก่ โพลีเมอร์, ยางสังเคราะห์, ไม้อัด, หรือ อลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งแกนกลางที่ใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แกนแบบตัน (FOAM CORE), แกนแบบโครงถัก (CORRUGATED CORE) และแกนแบบรวงผึ้ง (HONEYCOMB CORE) ดังแสดงในรูปที่ 2.8

โครงสร้างแบบแซนด์วิชที่มีแกนแบบรังผึ้งนั้นถือได้ว่าได้รับความนิยมนำมาใช้มากที่สุด โดยวัสดุที่ใช้ในการทำแกนรูปร่างส่วนใหญ่จะใช้อลูมิเนียมแผ่นบาง ซึ่งวิธีการผลิตแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 [11]

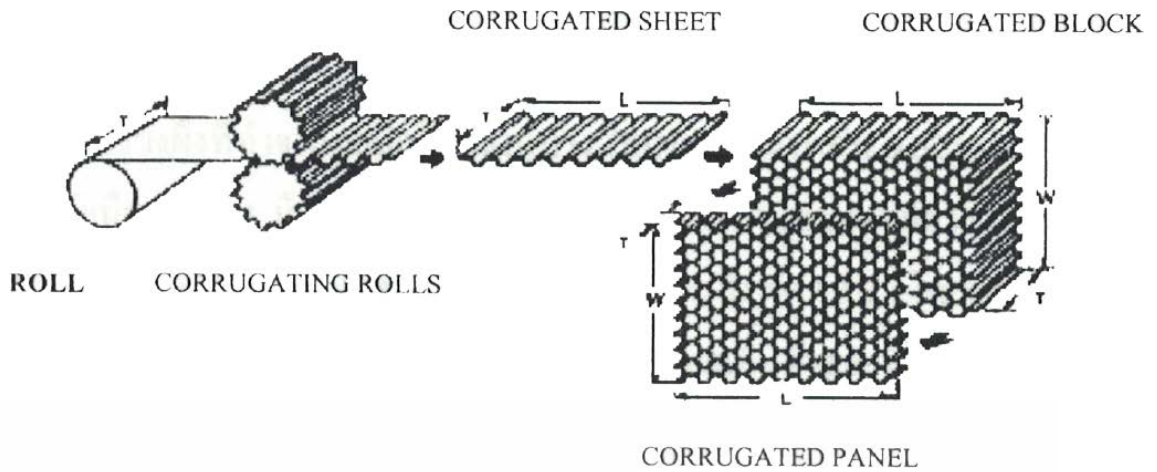


รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะแกนกลางแบบต่างๆ (a) แกนแบบตัน (FOAM CORE), (b) แกนแบบรังผึ้ง (HONEYCOMB CORE), (c) แกนโครงถัก (CORRUGATED CORE)



รูปที่ 2.8 EXPANSION PROCESS

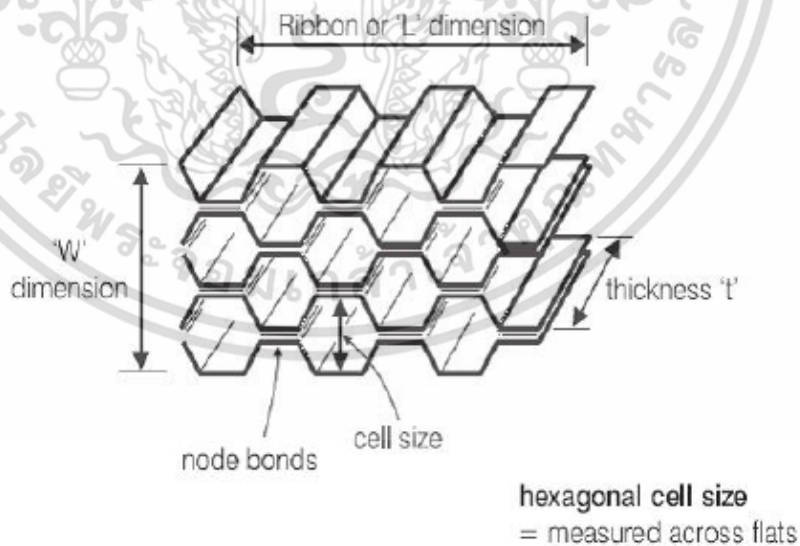
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 CORRUGATION PROCESS

โครงสร้างแบบรังผึ้งเป็นการก่อสร้างที่นิยมใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมั่นคงและมีประสิทธิภาพในการที่ต้องรับน้ำหนักมาก โครงสร้างแบบรังผึ้งลักษณะหกเหลี่ยมเป็นวัสดุหลักพื้นฐานที่ทำให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้วัสดุประกอบที่ไม่แข็งแรงมีความแข็งแรงและทนต่อการเสียรูป โดยการยึดติดกับแผ่นวัสดุผิวด้านล่างและด้านบน

โครงสร้างรังผึ้งมักจะใช้สำหรับฉนวนกันความร้อน, ฉนวนดูดซับมลพิษสิ่งแวดล้อม พื้นที่ผิวภายในที่มีขนาดใหญ่และมีโครงสร้างแบบเรขาคณิต โครงสร้างรังผึ้งจะช่วยให้ลดปริมาณของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ทำให้มีน้ำหนักที่เบาลง จึงลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าวัสดุได้อย่างมาก รูปแบบรังผึ้งนั้นยังมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่สูงอีกด้วย



รูปที่ 2.10 โครงสร้างแบบรังผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

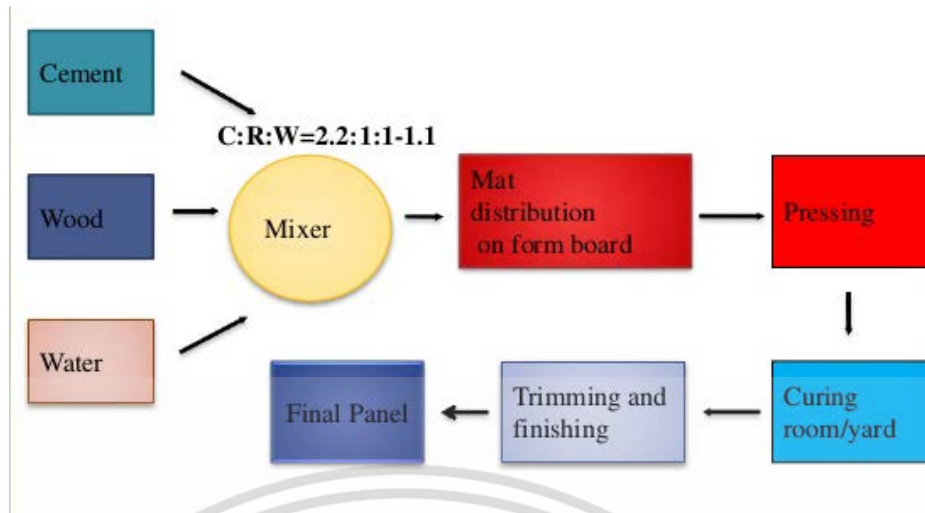
2.6 แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ (WOOD CEMENT PARTICLE BOARD)

แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ (WOOD CEMENT PARTICLE BOARD) เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (WOOD CEMENT BOARD) ชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมระหว่างชิ้นไม้สับ (WOOD CHIP) และปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่รวมคุณสมบัติที่ดีระหว่างไม้และปูนซีเมนต์ ได้แก่ ทนน้ำ ทนไฟ ทนปลวก เชื้อราและแมลง เป็นฉนวนป้องกันเสียงและความร้อน รวมทั้งไม่มีอันตรายจากฝุ่นผงใยหิน แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไปใช้ ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนได้ทั้งหลัง พัฒนาเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา โครงคร่าวต่างๆทั้งหลัง เป็นบ้านสำเร็จรูป หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ทางวงการเกษตรและปศุสัตว์ ในการผลิตแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไม้ขนาดเล็ก เศษไม้จากโรงงานมาใช้เป็นวัตถุดิบได้ เป็นการใช้อย่างคุ้มค่า ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้จริง ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนไม้ และช่วยลดภาวะโลกร้อน จะเห็นได้ว่าแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ไม้จริงได้และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงทำให้แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่ได้รับความนิยม โดยในการทดลองนี้ทำการทดลองโดยนำ วัสดุแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์มาทำเป็นโครงสร้างแบบบังผั้ง



รูปที่ 2.11 แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์

แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ (WOOD CEMENT PARTICLE BOARD) เป็นวัสดุก่อสร้าง ในวัสดุจำพวกผนังเบา (LIGHT WEIGHT WALL) มีลักษณะของ คือ เป็นการอัดซีเมนต์กับไม้ แล้วนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และสารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมาผสมกัน นำไปใส่ในแบบเหล็ก แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยแรงกดขนาดสูงให้ได้ความหนาตามต้องการ และกดทิ้งไว้จนกว่าซีเมนต์จะแข็งตัว นำไปอบลดความชื้น และตัดเป็นแผ่นขนาดมาตรฐาน ขนาดประมาณ 1.20 x 2.40 เมตร ซึ่งเป็นกรรมวิธีของผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ชื่อเรียกที่คุ้นเคยของ WOOD CEMENT BOARD เราเรียกกันว่า วิวาบอร์ด



รูปที่ 2.12 WOOD CEMENT BOARD PROCESS

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุแผ่นซีเมนต์

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3000	N/mm ²
Poison's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	300	N/mm ²
Mass Density	159.99	Kg/m ³
Yield Strength	20	N/mm ²

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพตามอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์และซีเมนต์

Wood:Cement	Density (g/cm ³)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
1:3	1.27(0.18)	12.68(0.5)	6009.6(32.1)	0.35(0.07)
1:4	1.28(0.12)	10.56(0.8)	7056.4(199.3)	0.56(0.04)
BISON type HZ	1.20	9.0	3000	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ตาม มอก.878

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบ ตาม
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงตัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	0.5	ข้อ 9.7

2.7 การทดสอบการดัดโค้ง (BENDING TEST)

การทดสอบการดัดโค้ง เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการแปรรูปของวัสดุหลังจากทำการดัดโค้ง โดยพิจารณาว่าที่ผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ทำการดัดโค้งเกิดรอยแตกขึ้นหรือไม่ หลังจากทำการดัดโค้งชิ้นทดสอบด้วยรัศมีความโค้งที่กำหนด จนได้มุมตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบหลักการในการทดสอบการดัดโค้ง คือ ใช้วิธีใดก็ได้ในการดัดขึ้นวัสดุทดสอบซึ่งอาจมีหน้าตัดเป็นวงกลม, สี่เหลี่ยม หรือรูปทรงหลายเหลี่ยม ให้ได้รัศมีความโค้งตามที่กำหนดไว้ หรือให้ได้มุมตามที่กำหนด โดยทิศทางของแรงที่ใช้ในการดัดโค้งต้องคงที่ และการให้แรงในการดัดโค้งต้องเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ของชิ้นทดสอบในแนวข้าง หลังจากชิ้นทดสอบโค้งงอไปตามที่กำหนดแล้ว ทำการตรวจสอบดูว่าที่ผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ดัดโค้ง ซึ่งเป็นบริเวณที่รับแรง ในระหว่างการดัดโค้งมีรอยแตกเกิดขึ้นหรือไม่ จะเห็นได้ว่าหลักการของการทดสอบการดัดโค้ง แตกต่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกลประเภทอื่นๆ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในเชิงปริมาณ คือ ได้ค่าสมบัติเชิงกลออกมาเป็นตัวเลข เช่น ค่าความแข็ง, ความเค้นจุดคราก ในขณะที่ผลจากการทดสอบการดัดโค้งจะเป็นผลในเชิงคุณภาพ คือพิจารณาแค่ชิ้นทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์การทดสอบหรือไม่ คือสามารถผ่านการดัดโค้งตามที่กำหนดไว้ใน การทดสอบ โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิวด้านนอกเนื่องจากแรงที่ใช้ในการทดสอบได้หรือไม่

การพิจารณาว่าชิ้นทดสอบผ่านการทดสอบการดัดโค้งนั้นหรือไม่นั้นพิจารณาจากการตรวจสอบดูที่ผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบว่าไม่มีรอยแตก การตรวจสอบอาจทำได้โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า หรืออาจใช้กล้องที่มีกำลังขยายไม่เกิน 20 เท่า (ปกติจะกำหนดให้ใช้ตาเปล่า) สำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วน ความกว้าง/ความหนา มากกว่า 8 ขึ้นไป ถ้าตรวจพบรอยแตกที่ขอบ (EDGE) ของชิ้นทดสอบ ให้ทำการขีดขอบของชิ้นทดสอบที่แตกนั้นให้เรียบ แล้วทำการทดสอบใหม่อีกครั้งวิธีการทดสอบการดัดโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเลือกวิธีการทดสอบการดัดโค้งได้หลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะแตกต่างกันในรายละเอียดแต่จะมีหลักการในการทดสอบที่เหมือนกัน วิธีทดสอบการดัดโค้งที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 3 วิธี ได้แก่

1. แบบ PRESSING BEND

การทดสอบทำโดย นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่บนตัวฐานรอง ซึ่งควรจะเป็นทรงกระบอกที่มีรัศมีความโค้งไม่ต่ำกว่า 10 มม. แล้วค่อยๆเพิ่มแรงในการกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการดัดโค้งชิ้นงาน ระยะห่างระหว่างฐานรองที่ใช้ในการทดสอบ = $2r + 3t$ โดยที่ r คือ รัศมีการดัดโค้ง และ t คือ ความหนา หรือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของชิ้นทดสอบ ส่วนปลายของ mandrel จะต้องเป็นทรงกระบอก ที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับรัศมีการดัดโค้งที่ต้องการจะทำการทดสอบ



รูปที่ 2.13 PRESSING BENDING METHOD

2. แบบ WINDING BEND

การ ทดสอบทำโดย ค่อยๆเพิ่มแรงที่ใช้ในการม้วนชิ้นทดสอบรอบๆ mandrel ตามที่กำหนดไว้ โดยการที่กดยึดปลายด้านหนึ่งของชิ้นทดสอบไว้ และทำการดัดโค้งที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดการดัดโค้งรอบ mandrel ดังรูป

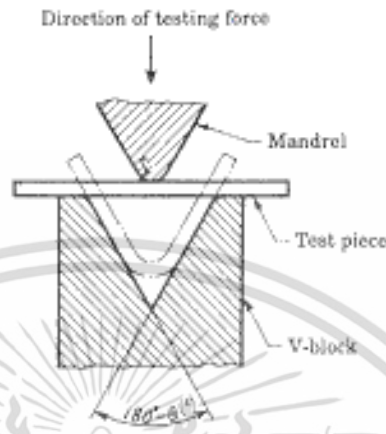


รูปที่ 2.14 WINDING BENDING METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบ V-BLOCK BEND

การ ทดสอบทำโดย นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่บนฐานรูปตัววี ดึงรูป แล้วค่อยๆ เพิ่มแรงกดผ่าน mandrel ลงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการดัดโค้งชิ้นงานให้ได้ตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.15 V-BLOCK BENDING METHOD

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบความแข็งแรงและความทนต่อการเสียรูปของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีลักษณะรูปร่างโครงสร้างรังผึ้งที่แตกต่างกันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และอธิบายพฤติกรรมของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์โครงสร้างรังผึ้งเมื่อได้รับแรงในขนาดที่เท่ากัน ซึ่งได้ทำการศึกษาบทความและผลการวิจัยที่ผ่านมาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของการศึกษางานวิจัย รวมทั้งใช้เป็นแนวทางเพื่อศึกษาและค้นคว้าเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์และโครงสร้างแบบรังผึ้ง และใช้เป็นแนวทางเพื่อศึกษาและค้นคว้าเพิ่มเติมแสดงดังต่อไปนี้

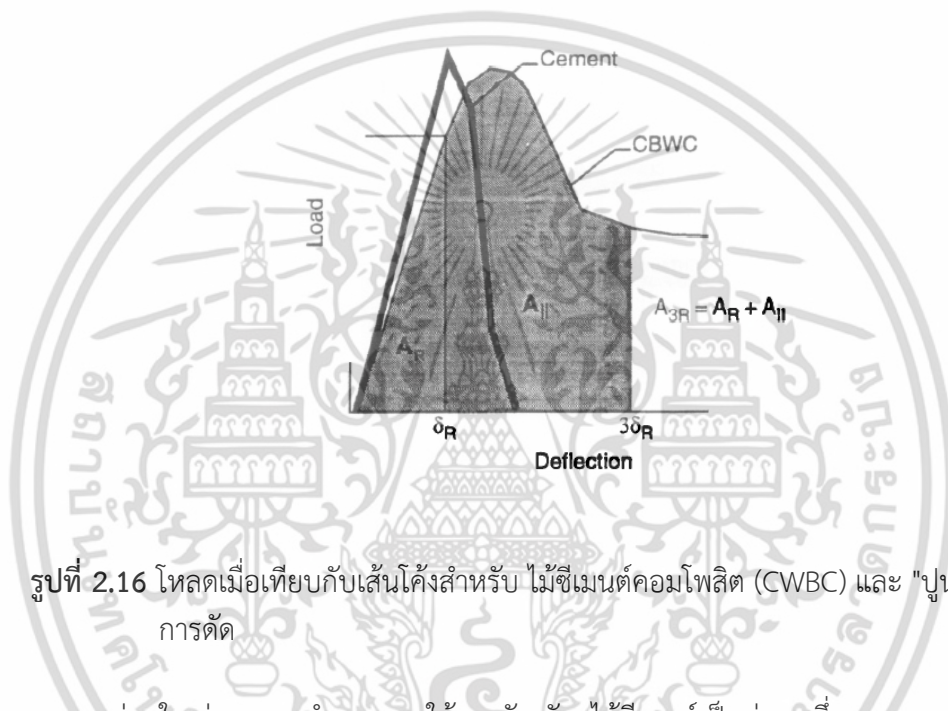
การทดลองของ Ronald W. Wolfe, Agron Gjinolli (1996) [9]

ในชื่อเรื่อง CEMENT-BONDED WOOD COMPOSITES AS AN ENGINEERING MATERIAL ได้กล่าวถึงวัสดุคอมโพสิตไม้-ซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพที่หลากหลายสำหรับการก่อสร้างอาคาร การใช้งานโดยใช้ความหลากหลายของการรีไซเคิล เศษไม้ รีไซเคิลกระดาษหนังสือพิมพ์และนิตยสาร พาเลทไม้เก่าก่อสร้าง ขยะและต้นไม้ที่มีลำต้นเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ได้ถูกนำมาใช้สำหรับทั้งการทดลองและการผลิตผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ มูลค่าของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสูงขึ้น โดยมีการปรับปรุงที่ดีขึ้นของกระบวนการผลิตและส่งผลให้มีการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุและการใช้งานของวัสดุผสมไม้ซีเมนต์ โดยสามารถยืนยันความสนใจของพวกเขาได้จากการใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง นอกจากนี้วัสดุเหล่านี้ยังมีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจคือการใช้งานในสภาพอากาศชื้นที่มีปลวกเนื่องจากซีเมนต์ทำให้พื้นผิวทนทานได้เป็นอย่างดี ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ผลการวิจัยเบื้องต้นแนะนำว่าเนื่องจากเป็นวัสดุคอมโพสิตจึงมีความหลากหลายทางคุณสมบัติไม่ซ้ำกันซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในพื้นที่ ที่อาจมีการสั่นสะเทือนหรือแรงลมหนัก สิ่งเหล่านี้ดึงดูดความสนใจของวิศวกร, สถาปนิก, ผู้รับเหมาและสำหรับการใช้งานในอาคารสาธารณะและที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการทดลองคือการประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาและการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ประโยชน์จากวัสดุไม้ซีเมนต์ คุณสมบัติที่เป็นลักษณะพิเศษของวัสดุคอมโพสิต วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือการสรุปสิ่งที่เรารู้เกี่ยวกับวัสดุเหล่านี้และเพื่อแนะนำพื้นฐานสำหรับการพัฒนาทางวิศวกรรมของวัสดุคอมโพสิตจากทรัพยากรเศษไม้ที่มีมูลค่าต่ำ

คุณสมบัติทางวิศวกรรม มีการศึกษาหลายแห่งที่มีการประเมินด้านต่างๆของวัสดุไม้ซีเมนต์คอมโพสิต ให้ความสำคัญกับการใช้งานในโครงสร้าง แต่ประเด็นหลักของการศึกษาในครั้งนี้ จะเกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันระหว่างไม้กับซีเมนต์ ผลกระทบของเส้นใย ความแข็งแรงและมีความเหนียว ในขณะที่ทำการศึกษาเหล่านี้ ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอมโพสิตสำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง

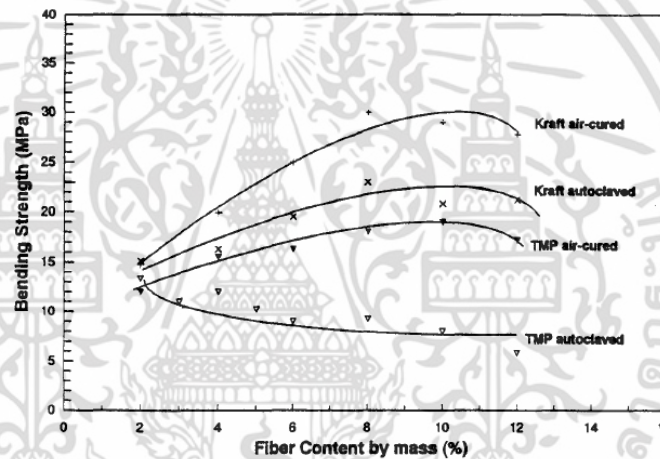


รูปที่ 2.16 โหลดเมื่อเทียบกับเส้นโค้งสำหรับ ไม้ซีเมนต์คอมโพสิต (CWBC) และ "ปูนซีเมนต์" ในการตัด

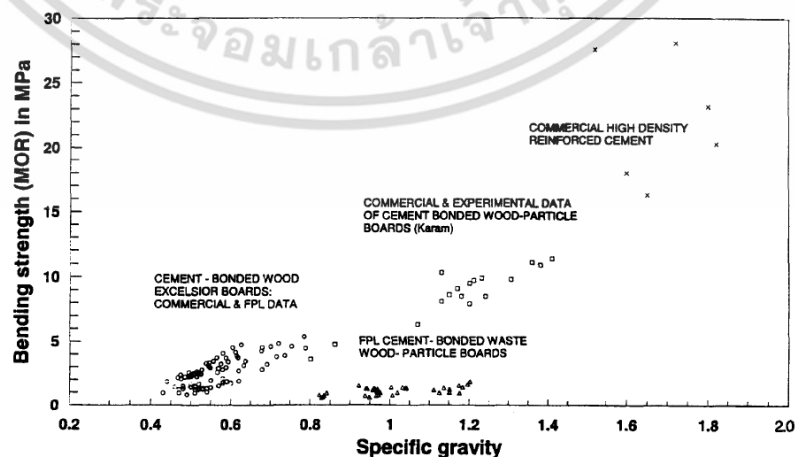
ส่วนใหญ่ของการทำงานภายใต้แรงตัด วัสดุไม้ซีเมนต์เป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในการพัฒนาความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์เสริมคอนกรีต คอนกรีตจะทนแรงอัดเบื้องต้นได้ที่ 20-35 MPa และ 68 MPa สำหรับแรงอัดสูงสุด ส่วนผลิตภัณฑ์ไม้ซีเมนต์จะทนแรงอัดเบื้องต้นได้ที่ 7-20 MPa นอกจากนี้ของอนุภาคไม้หรือเส้นใยเซลลูโลสช่วยปรับปรุงการแตกหัก โดยความเหนียวจะช่วยปิดกั้นการขยายตัวของการแตกร้าว วัสดุคอมโพสิตที่ได้รับแรงกระทำโหลดความเครียดสูงตามรูปที่ 1 แสดงให้เห็นการเสียรูปเมื่อได้รับโหลดทั่วไป สำหรับวัสดุคอมโพสิตไม้ปูนซีเมนต์เริ่มต้นส่วนของพ्लीด (โซน AR) แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ เมื่อเริ่มต้นที่จะล้มเหลวกลายเป็นพ्लीดแบบไม่เชิงเส้น ณ จุดนี้เส้นใยหรืออนุภาคจะเริ่มการแตกหัก การดำเนินการนี้อาจทำให้คอมโพสิตที่ใช้โหลดหรือเกิดแตกหัก จนกว่าจะถึงขีดจำกัดของวัสดุเส้นใย โดยปกติแล้วการโค้งตัวสำหรับไม้ อาจให้ความสามารถได้มากกว่า 40-400 เท่าของปูนซีเมนต์

เส้นใยไม้และผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์สามารถเสริมจุดแข็งตัดได้ถึง 7 ถึง 30 เมกะปาสคาลขึ้นอยู่กับมวลเส้นใย ความชื้นและชนิดของเส้นใย รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นวิธีการเหล่านี้ พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อแรงตัด มาประกอบแนวโน้มที่ลดลงของความแข็งแรงร้อยละ 8 ของเส้นใยที่มีประสิทธิภาพน้อย เป็นการเพิ่มขึ้นของมวล ความชื้นมีแนวโน้มที่จะลดลง ทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและมีเอกสารนี้เป็นแนวโน้มที่จะยับยั้งการแตกร้าวของปูนซีเมนต์ ยังพบว่าให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เท่าที่มีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่าครึ่งใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นทำเยื่อเคมี เขามาประกอบผลให้เกิดความเสียหายเส้นใยเช่นเดียวกับ ซีเมนต์โดยสกัด polysaccharides และกรดไม้ เหล่านี้ โดยการผลิตเยื่อกระดาษเป็นการลอกออกในระหว่างกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเคมี Couatts ยังเทียบการบ่มเพื่อปรับปรุง ตามรูปที่ 2.17 คอมโพลีตที่ผ่านการอบรวมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผสมทราย ไม้ที่มีกากใย ที่ไอน้ำร้อน 8 ชั่วโมงที่ 170 ถึง 180 °C กระบวนการบ่มนี้ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง เส้นใยเมื่อผ่านกระบวนการ thermomechanical จะให้ประสิทธิภาพสูง เยื่อถูกนำมาใช้ แต่ให้ความแข็งแรงสูงกว่า 20 เมกะปาสคาลเมื่อเยื่อกระดาษกราฟท์ถูกนำมาใช้บ่มซึ่งใช้เวลา 14-28 วันให้คอมโพลีตมีความแข็งแรง 30 เมกะปาสคาลเมื่อมีคอมโพลีตทำจาก 8 เปอร์เซ็นต์ผสมเยื่อกระดาษกราฟท์คอมโพลีตไม้นุภาคซีเมนต์ครอบคลุม ช่วงของการกำหนดค่าวัสดุเช่นเดียวกับความกว้างช่วงกว้างของจุดแข็งตัด มีการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนของปูนซีเมนต์ไม้อัดประกอบด้วยไม้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในการที่ไม่เป็นรูปแบบเศษไม้ขนาดยาว 10-30 มิลลิเมตร และหนา 0.2-0.3 มม. ความหนาแน่นของการรายงานในช่วง 1.2-1.3 g / cm³ และจุดแข็งตัด 10.1-12.9 MPa



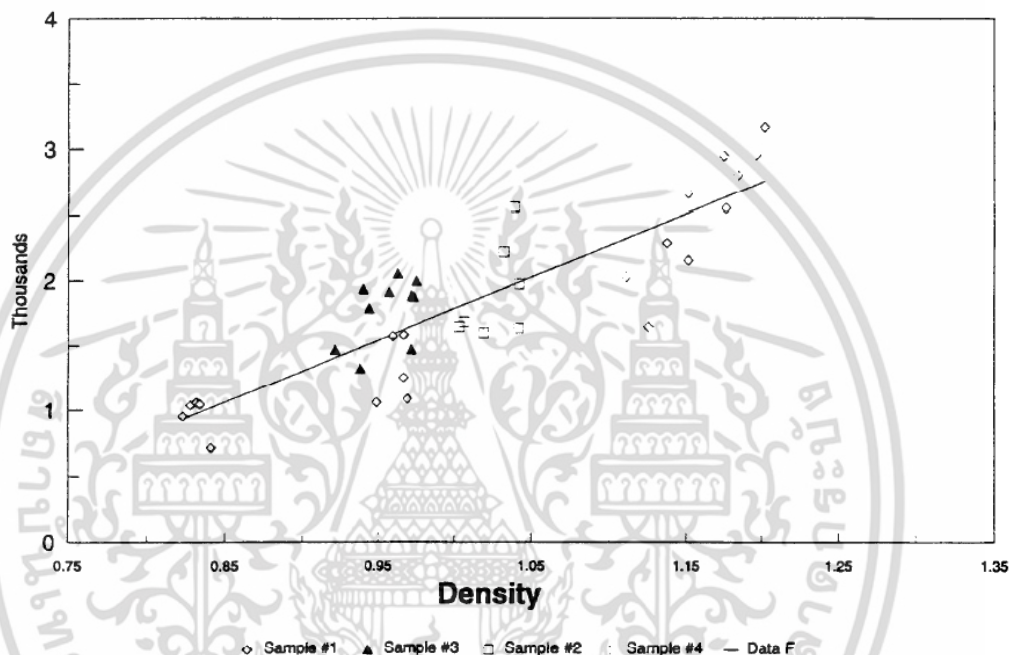
รูปที่ 2.17 แรงตัดเมื่อเทียบกับเส้นใย แสดงผลของปริมาณเส้นใยชนิดไฟเบอร์ (เมื่อเทียบกับเยื่อกระดาษ (TMP)) และTMP Autoclave [9]



รูป 2.18 แรงตัดเป็นส่วนหนึ่งของความหนาแน่น เปรียบเทียบข้อมูล FPL [9]

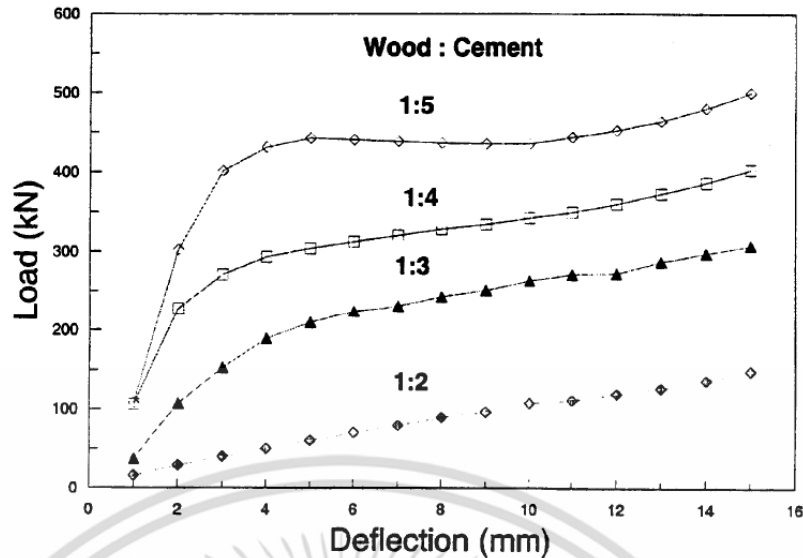
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์คอมโพสิตในเชิงพาณิชย์ (รูปที่. 2.19) ซึ่งประกอบไปด้วย การเสริมใยไม้อัดซีเมนต์ เช่นเดียวกับไม้คอมโพสิตซีเมนต์ที่มีเศษไม้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื้อไม้มีผลเพียงเล็กน้อยต่อโครงสร้าง ความแข็งแรงของซีเมนต์ นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์และไม้ที่ 1:3 และ 2:3 สำหรับคอมโพสิตที่ทำจากเกล็ดไม้สนความหนาเฉลี่ย 0.6 มิลลิเมตรและประเภทพอร์ตแลนด์ ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ความชื้นร้อยละ 90 ในค่าเฉลี่ย จากการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์ของ USDA ให้ผลที่ช่วง 2-4 MPa สำหรับคอมโพสิตที่มีอนุภาคไม้ร้อยละ 40 - 50 โดยน้ำหนักและมีความหนาแน่น ตั้งแต่ 0.5-1.2 g / cm³ ในเชิงพาณิชย์อ้างอิงจากรูปที่ 3 ทำจากไม้สนหนา 0.38 มิลลิเมตร ด้วย อัตราส่วนความกว้างต่อความลึก 4 : 5 ต้นไม้ชนิดที่ใช้สำหรับบอร์ด FPL



รูป 2.19 โมดูลัสแรงดัดของสภาพียืดหยุ่นเป็นส่วนหนึ่งของความหนาแน่น [9]

ความแข็งแรงของไม้ซีเมนต์คอมโพสิตแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ไม้ และชนิดของอนุภาคที่ใช้ ได้มีการพัฒนาอิฐขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ โดยมีคุณสมบัติทางด้าน ความแข็งแรงที่คล้ายกับไม้ อิฐเหล่านี้มีความหนาแน่นตั้งแต่ 0.5-1.32 g / cm³ ขึ้นอยู่กับกลุ่มของเส้น ใยไม้และอัตราส่วนไม้กับปูนซีเมนต์ รวมทั้งมีรายงานเกี่ยวกับเส้นโค้งของแรงอัดที่เพิ่มสูงขึ้นจนทำให้เกิด การเสียรูปเพิ่มขึ้นตามรูปที่ 2.20 ความลาดชันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ไม้ และ ปูนซีเมนต์ นอกเหนือจากจุดนี้แรงยังคงเพิ่มขึ้นด้วยการบีบอัดที่เพิ่มขึ้น แต่ความลาดชันที่เป็นที่ คล้ายกันสำหรับทุกสูตร การเสียรูปไม่เคยได้ถึง 15 มม การกระจัดเท่ากับร้อยละ 20 ของความลึกของ ขึ้นทดสอบ



รูป 2.20 โหลดเมื่อเทียบกับการเสีรูป ข้อมูลแสดงให้เห็นผลกระทบของอัตราส่วนปูนซีเมนต์และไม้

มีความเหนียวของวัสดุเป็นตัวชี้วัดของพลังงานที่ดูดซึม โดยตัวอย่างการทดสอบ จะถูกกำหนดเป็นพื้นที่ใต้เส้นโค้งโหลดการเสีรูป แสดงให้เห็นว่าความเหนียวเป็นพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (Joules / m²) หน่วยปกติหมายถึง ความเหนียวซึ่งเป็นการทดสอบชิ้นงานแตกหักเริ่มต้นและมีความเหนียวเป็นพลังงานที่มีต่อพื้นที่รอยแตกที่สร้างขึ้น การทดสอบความตึงเครียดในอุตสาหกรรมคอนกรีตมาตรฐาน ASTM C 1018 ที่กำหนดชุดของดัชนีความเหนียวสำหรับเส้นใยผสมปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นรายงานเป็นพื้นที่ภายใต้ภาระการเสีรูปโค้งขึ้นอยู่กับรูปร่างของ 3, 5.5 และ 10.5 ครั้งความผิดปกติที่แตกเป็นครั้งแรกที่หลายพื้นที่ คอนกรีตมีดัชนีความเหนียวเป็น 1 จากการแตกหักครั้งแรก วิธีการที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดความเหนียวทำให้ยากที่จะเปรียบเทียบค่า อย่างไรก็ตามคุณสมบัติพลังงานสลายของวัสดุไม้ซีเมนต์คอมโพสิตทำให้ความเหนียว มีข้อได้เปรียบของการเพิ่มเส้นใยและไม้ อนุภาคปูนซีเมนต์ การเพิ่มขึ้นในเชิงเส้นของความเหนียวที่มีมวลเส้นใย และการเพิ่มขึ้นของความเหนียวที่มีกากใยและความชื้น.

จากมุมมองของโครงสร้างความเหนียวจะปรากฏขึ้นเป็นข้อได้เปรียบหลักของไม้ซีเมนต์ที่ถูกผูกมัดเป็นวัสดุคอมโพสิต วัสดุเหล่านี้มีความแข็งแรงประมาณเพียง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงของไม้ ข้อจำกัดของความแข็งแรงสามารถรองรับที่มีขอบเขตผ่านการใช้งานที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสถานที่ตั้งที่คอมโพสิตไม้ซีเมนต์สามารถออกแบบเพื่อให้เกิดความเหนียวเป็นลักษณะที่น่าสนใจ

ความต้องการจากงานวิจัยปูนซีเมนต์ถูกผูกมัดคอมโพสิตไม้ได้รับพิสูจน์แล้วว่า เป็นไปได้ทางเศรษฐกิจเป็นวัสดุหุ้ม งานวิจัยเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า วัสดุสามารถประดิษฐ์ที่จะต้านทานความชื้นและผลกระทบของอุณหภูมิ แต่มีความจำเป็นสำหรับการวิจัยและพัฒนาความแข็งแรงความเหนียว, การเชื่อมต่อและภายใต้โหลดคงที่ วัสดุเหล่านี้ได้รับการพัฒนาไปยังจุดที่ตอนนี้เราต้องใช้ความพยายามในการสร้างการจัดระเบียบขั้นตอนการประเมินมาตรฐานเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำอิทธิพลของสารเติมแต่งและการประมวลผลตัวแปรต่อสมบัติเชิงกล

สรุปผลการวิจัยบ่งชี้ได้ว่ามีประโยชน์มากมายกับผลิตภัณฑ์ไม้ซีเมนต์ที่มีต่อการใช้งานของวัสดุผสมดังกล่าวในการก่อสร้าง การศึกษาเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าบางส่วนของคอมโพสิตไม้ซีเมนต์ยังมีเอกสารนี้แต่ทริบิวต์ที่อาจมีคุณสมบัติที่เป็นวัสดุโครงสร้างวิศวกรรม บนพื้นฐานของผลการทดสอบที่มีอยู่ที่โดดเด่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด ในลักษณะนี้ จะมีความเหนียวเป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตและการประเมินผลงานจะช่วยส่งเสริมงานวิจัยที่จำเป็นในการได้รับการยอมรับของวัสดุผสมเหล่านี้เป็นวัสดุวิศวกรรมและสนับสนุนการพัฒนาของพวกเขาในการใช้วัสดุไม้รีไซเคิลเหล่านี้

2.9 บทสรุปท้ายบท

ในการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างแบบแกนดิวริงฝิ่งและวัสดุคอมโพสิตไม้-ซีเมนต์ที่ผ่านมานั้น สิ่งที่น่าสนใจทั้งหลายได้ทำการทดลองไว้ส่วนมากจะเป็นการทำนายหรือวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้นำเสนอนั้น วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำโครงสร้างแบบแกนดิวริงฝิ่งเป็นวัสดุอลูมิเนียมหรือวัสดุเหล็กแผ่นเกรดต่างๆ เนื่องจากสามารถขึ้นรูปเป็นโครงสร้างแบบแกนดิวริงฝิ่งได้ง่าย

ในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ จึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบแกนดิวริงฝิ่ง โดยใช้วัสดุคอมโพสิตไม้-ซีเมนต์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ร่วมกับการทดลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบโครงสร้างแบบริงฝิ่งในลักษณะต่างกัน และนำเสนอผลของการวิเคราะห์และการทดลองเพื่อหาข้อสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป



บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาถึงการโก่งตัวที่เกิดขึ้นในการทดสอบวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ (wood cement particle board) และทำการศึกษารูปแบบของสมการอย่างง่ายเพื่อพยากรณ์การโก่งตัวเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำลงบนชิ้นทดสอบที่มีความแตกต่างกัน 5 การทดลอง โดยทำการทดสอบชิ้นงานด้วยวิธี 3-point bending

3.1.1 ทฤษฎีการทดสอบโครงสร้างแบบแซนวิชริงผึ้ง

วิธีที่ง่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่ง โดยแสดงจากชิ้นทดสอบที่มีโครงสร้างแบบแซนวิช โดยให้มีแรงกระทำที่โครงสร้างแซนวิชแบบริงผึ้งของวัสดุแกนภายใต้เส้นโหลดที่ช่วงกลางของโครงสร้างพิจารณาตามทีแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ทิศทางของแรงที่กระทำลงที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้างริงผึ้ง

จากรูป 3.1 จะแสดงให้เห็นทิศทางของแรงที่กระทำลงบนชิ้นทดสอบว่าผิวด้านหน้าได้รับแรงกระทำในทิศทางใด โดยสามารถหาค่าความเค้นสูงสุด จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$f = \frac{3Wl}{2bd^2}$$

เมื่อ	f	คือ	ความเค้นสูงสุด เป็นเมกะพาสคัล
	W	คือ	แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน
	l	คือ	ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
	b	คือ	ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับคือ รุ่งเรือง ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งสามารถหาค่าความต้านแรงดัด จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$E = \frac{l^3 \Delta W}{4bd^3 \Delta S}$$

เมื่อ	E	คือ	มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล
	ΔW	คือ	แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง เป็นนิวตัน
	l	คือ	ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
	b	คือ	ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
	d	คือ	ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
	ΔS	คือ	ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง เป็นมิลลิเมตร

3.2 วิธีและอุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 วิธีการทดลอง

ในส่วนของการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบเพื่อศึกษาขนาดของการโก่งตัวและแรงที่ใช้ในการทดสอบที่เกิดขึ้นจากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ และการหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาสมการทำนายการเสียรูปของชิ้นทดสอบ

1. กรณีการศึกษารูปแบบของการโก่งตัว

เพื่อทดสอบหาค่าการโก่งตัวของวัสดุชิ้นไม้อัดซีเมนต์ด้วยการดัด 5 รูปแบบ สำหรับชิ้นงานที่มีความหนา รวม 24 มม.

2. กรณีการหาค่าความสัมพันธ์

เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการหารูปแบบของสมการระหว่างการโก่งตัวและแรงที่ใช้ในการทดสอบ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการแทนค่าลงในโปรแกรมทางสถิติเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

3.2.1.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากทำการออกแบบและจัดทำเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแล้ว ก่อนนำมาใช้งานต้องทำการทดสอบความพร้อมก่อนใช้งานโดยการนำชิ้นส่วนต่างๆประกอบเข้าด้วยกันและนำไปติดตั้งเพื่อทำการทดลอง

3.2.1.2 การบันทึกผลการทดลอง

แบ่งการบันทึกผลออกเป็น การทดสอบเพื่อหาค่าการโก่งตัวของชั้นทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ

1. บันทึกผลแรงที่ใช้ในการทดสอบของชั้นทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ
2. บันทึกค่าการโก่งตัวจนเกิดการเสียรูปของชั้นทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ
3. บันทึกค่าการโก่งตัวจนเกิดการเสียรูปและแรงที่ใช้ในการทดสอบของชั้นทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ
4. บันทึกค่าแรงที่ใช้ในการทดสอบและมอดุลัสยืดหยุ่นของชั้นทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ

3.2.2 อุปกรณ์การทดลอง

วัสดุไม้ซีเมนต์โครงสร้างแบบแซนด์วิชแกนกลางเป็นรูปร่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งผ่านกระบวนการกลึงเพื่อให้ได้รูปทรงและขนาดของรังผึ้งตามต้องการเท่ากันทุกแบบ หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้ววัสดุไม้ซีเมนต์ดังกล่าว ก็จะถูกประกอบเข้าด้วยกันเพื่อทดสอบโดยการซ้อนกัน 3 แผ่น ให้มีความหนา รวม 24 มม. โดยการทดลองของวัสดุไม้ซีเมนต์จะถูกแบ่งออกเป็น 5 แบบการทดลอง

ตัวอย่างวัสดุไม้ซีเมนต์โครงสร้างแบบแซนด์วิชแกนกลางเป็นรูปร่าง มีความหนาเท่ากันทั้ง 3 แผ่น คือความหนา 8 มม. โดยมีความแตกต่างกันที่จำนวนของรังผึ้ง ซึ่งจะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของแต่ละการทดลองแตกต่างกัน ประกอบด้วย 5 รูปแบบดังนี้

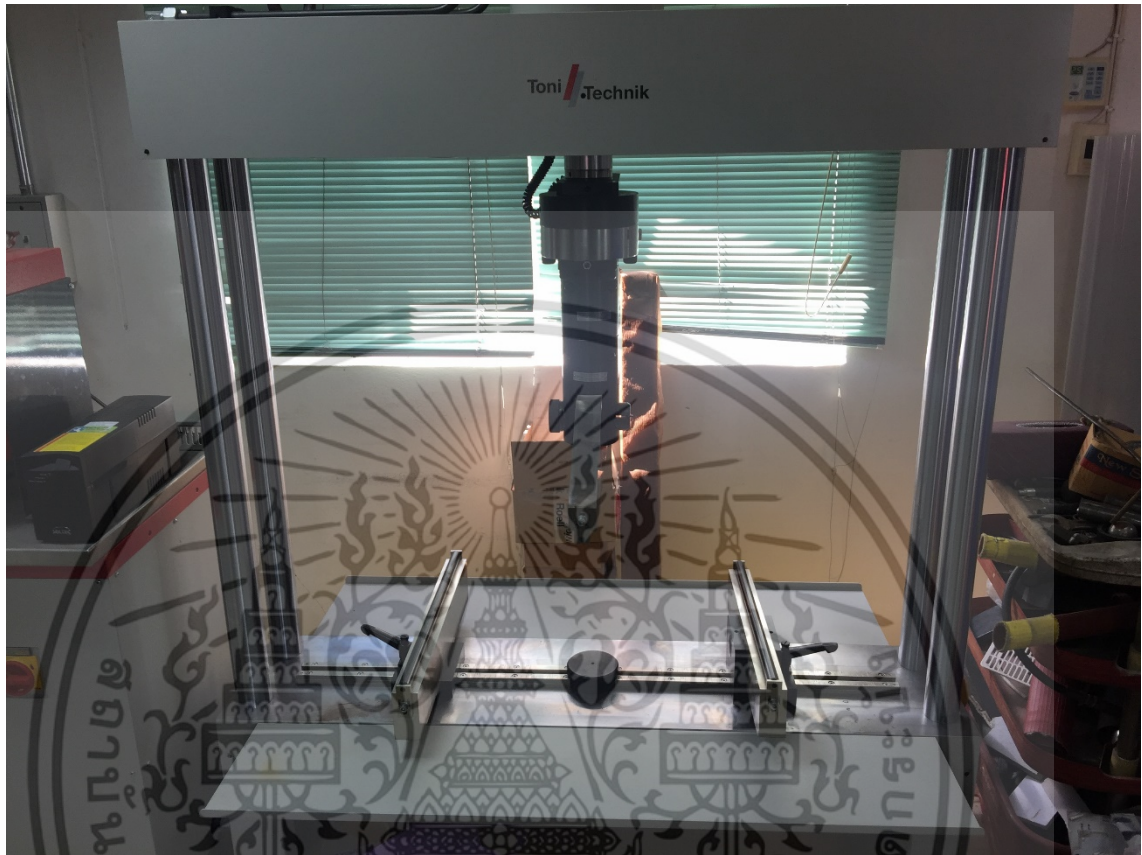


รูปที่ 3.2 แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์รูปทรงตันและรูปทรงรังผึ้ง

- แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์รูปทรงตันความหนา 24 มม.
- แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์รูปทรงตันความหนา 8 มม. จำนวน 3 แผ่น
- แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนา 8 มม. จำนวน 3 แผ่น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 10% จากปริมาตรรวม 24 มม.
- แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนา 8 มม. จำนวน 3 แผ่น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 15% จากปริมาตรรวม 24 มม.
- แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนา 8 มม. จำนวน 3 แผ่น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 25% จากปริมาตรรวม 24 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบ FLEXURAL STRENGTH TESTING MACHINES



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบ FLEXURAL STRENGTH TESTING MACHINES

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ FLEXURAL STRENGTH TESTING MACHINES ซึ่งเครื่องนี้จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบแบบ 3-Point Bending

รายละเอียดเครื่อง

TYPE : Model 1544 Capacity : 50 kN

3.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

ลักษณะของเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) นั้นได้กำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนตัวของชิ้นทดสอบ (Fix Displacement) เนื่องจากมีลักษณะสมมาตร จากนั้นจึงกำหนดให้เครื่องทดสอบเคลื่อนที่ด้วยแรงที่กำหนด และกำหนดให้ชิ้นทดสอบไม่มีการเคลื่อนตัวทั้งสองแกน

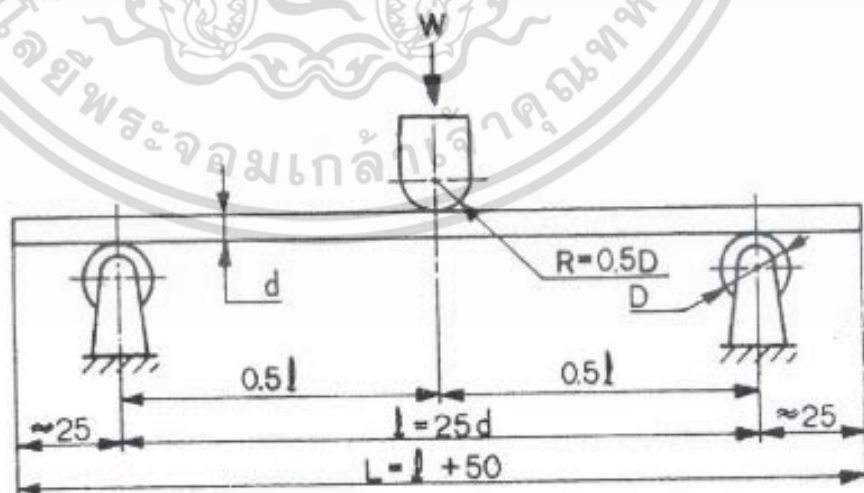
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ขอบเขตและเงื่อนไขในการทดลอง

Type of support	Movement Characteristics		
	Horizontal	Vertical	Rotation
Hinged Support	$\Delta_x = 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta \neq 0$
Roller Support	$\Delta_x \neq 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta \neq 0$
Fixed Support	$\Delta_x = 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta \neq 0$
Spring Support	$\Delta_x \neq 0$	$\Delta_y \neq 0$	$\theta \neq 0$

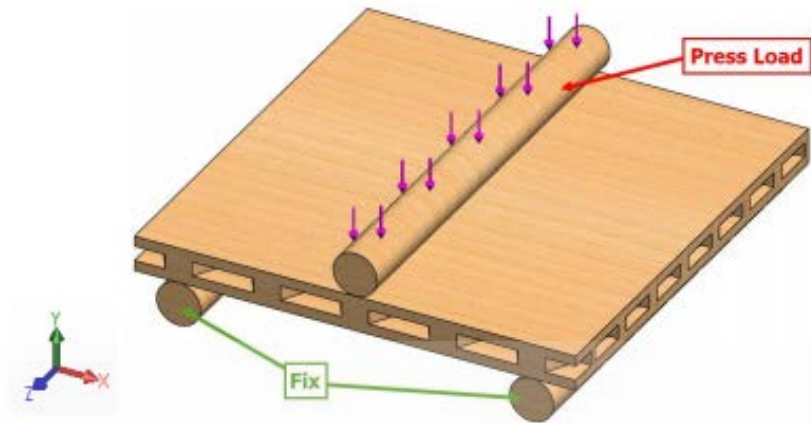
3.4 การดำเนินการทดลอง

- วางชั้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาของชั้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามรูปที่ 3.4 ให้ปลายชั้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่าๆกัน
- ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ ตามรูปที่ 3.5 โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชั้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที



รูปที่ 3.4 การทดสอบความต้านแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แบบจำลองแสดงทิศทางของแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

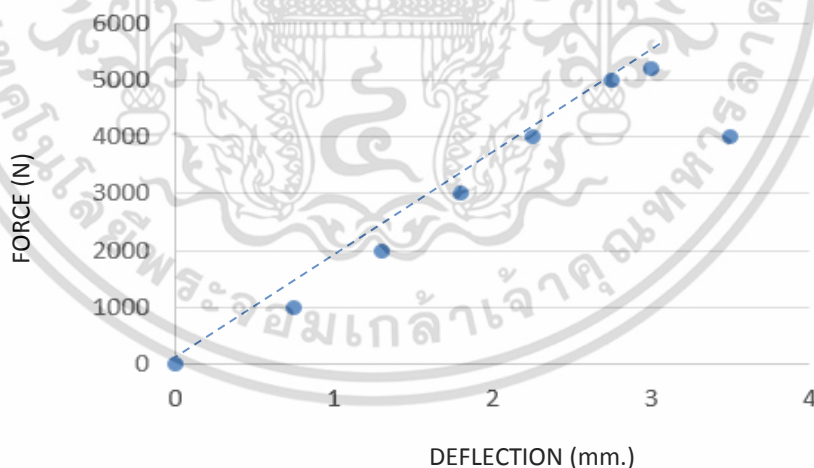
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของตัวแปรที่ทำการศึกษาซึ่งส่งผลต่อแรงที่กระทำลงบนวัสดุ ความเค้นสูงสุด และการโก่งตัวของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีความหนา 24 มม. โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ซึ่งในการทดลองได้มีการวัดค่าการโก่งตัวและแรงที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นจะนำผลจากการทดลองที่ได้มาทำการหารูปแบบของสมการเพื่อช่วยในการพยากรณ์แรงที่กระทำลงบนวัสดุ เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของการโก่งตัวของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 5 การทดลอง ในการทดลองแบบ 3 point bending นั้นจะใช้เครื่องในการทดลองคือ FLEXURAL STRENGTH TESTING MACHINES โดยที่ตัวเครื่องนั้นจะมีตัววัดแรงภายในซึ่งมีการเชื่อมต่อกับโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถวัดแรงที่ใช้ในการทดลองได้ง่าย โดยสามารถแยกผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลอง

- ผลการทดลองของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทรงตันหนา 24 มม.

โดยที่ชิ้นทดสอบมีลักษณะทรงตันความหนา 24 มม.ขนาด 430 มม. x 430 มม. ปรากฏผลการทดลองของแรงที่ใช้ในการทดลองและการโก่งตัว โดยแสดงดังรูปที่ 4.1

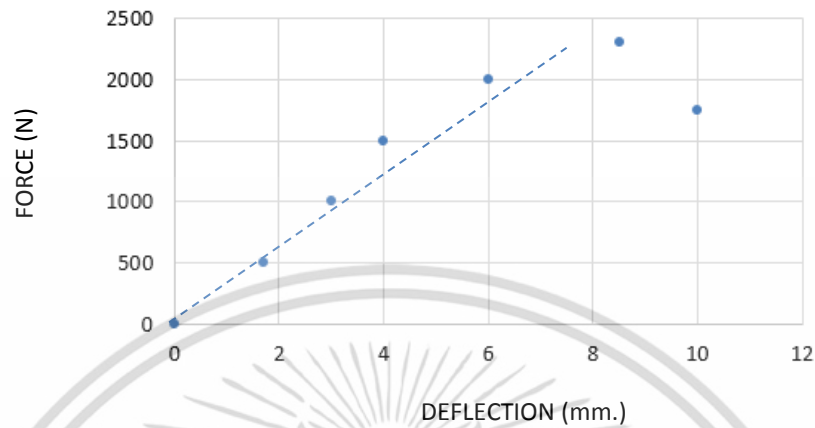


รูปที่ 4.1 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 1

ซึ่งจากรูปที่ 4.1 ทำให้ทราบได้ว่าค่าของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้เท่ากับ 5196 N และระยะการเสียรูปสูงสุดคือ 3 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

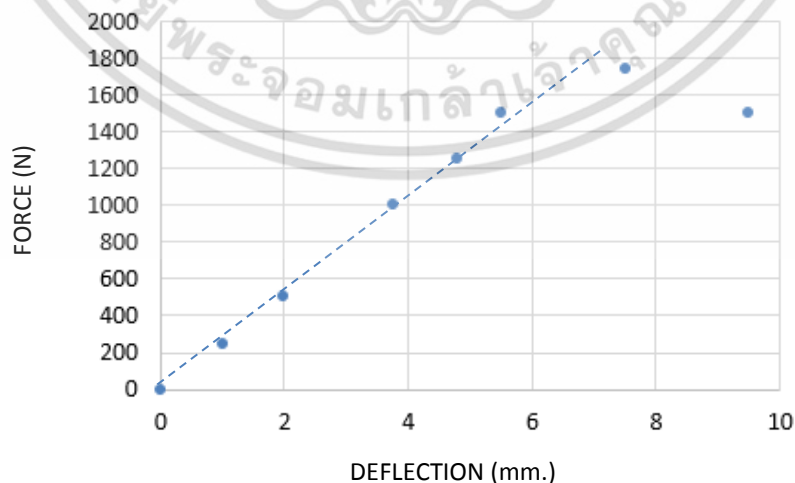
- ผลการทดลองของวัสดุแผ่นซีเมนต์ชั้นไม้อัดซีเมนต์ทรงตัน ความหนา 8 มม. 3 ชั้น โดยที่ชั้นทดสอบมีความหนา 8 มม. ซ้อนกัน 3 แผ่น ขนาด 430 มม. x 430 มม. ปรากฏผลการทดลองของแรงที่ใช้ในการทดลองและการโก่งตัว โดยแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 2

ซึ่งจากรูปที่ 4.2 ทำให้ทราบได้ว่าค่าของแรงกดสูงสุดที่ชั้นทดสอบรับได้เท่ากับ 2310 N และระยะการเสียดรูปสูงสุดคือ 8.5 มม.

- ผลการทดลองของวัสดุแผ่นซีเมนต์ชั้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 10% จากปริมาตรรวม 24 มม. โดยที่ชั้นทดสอบวัสดุแผ่นซีเมนต์ชั้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 10% จากปริมาตรรวม ขนาด 430 มม. x 430 มม. ปรากฏผลการทดลองของแรงที่ใช้ในการทดลองและการโก่งตัว โดยแสดงดังรูปที่ 4.3



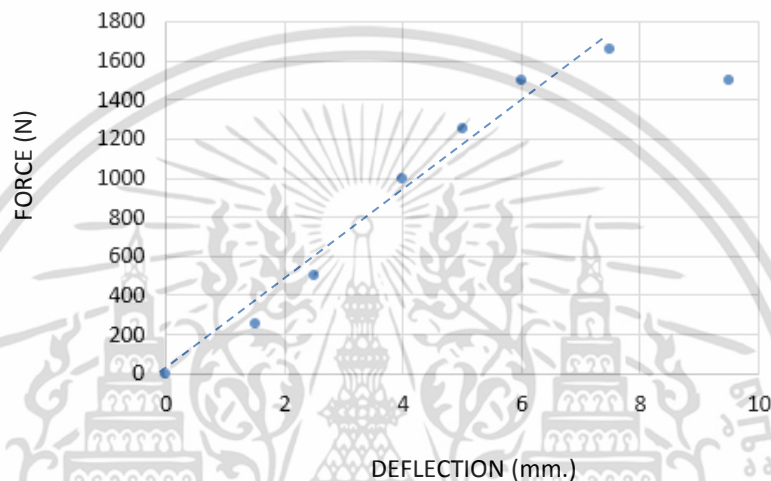
รูปที่ 4.3 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากรูปที่ 4.3 ทำให้ทราบได้ว่าค่าของแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้เท่ากับ 1740 N และระยะการเสียวรูปสูงสุดคือ 7.5 มม.

- ผลการทดลองของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 15% จากปริมาตรรวม

โดยที่ขึ้นทดสอบวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 15% จากปริมาตรรวม ขนาด 430 มม. x 430 มม. ปรากฏผลการทดลองของแรงที่ใช้ในการทดลองและการโก่งตัว โดยแสดงดังรูปที่ 4.4

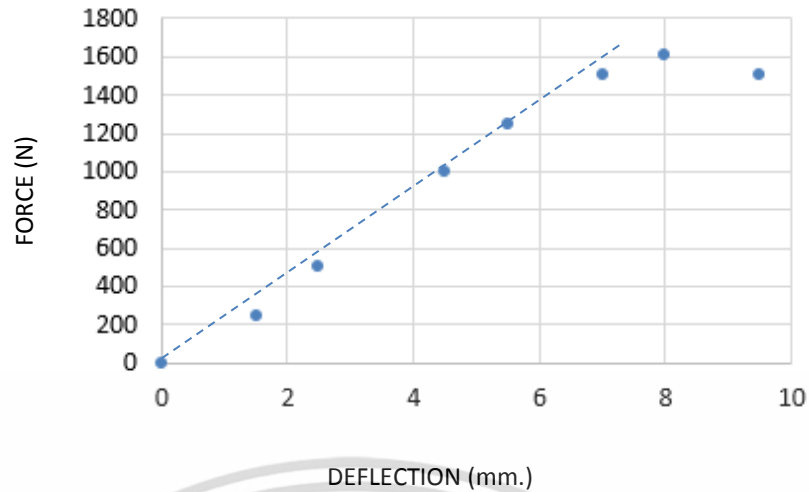


รูปที่ 4.4 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 4

ซึ่งจากรูปที่ 4.4 ทำให้ทราบได้ว่าค่าของแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้เท่ากับ 1660 N และระยะการเสียวรูปสูงสุดคือ 7.5 มม.

- ผลการทดลองของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 25% จากปริมาตรรวม

โดยที่ขึ้นทดสอบวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนา 8 มม. 3 ชั้น แผ่นกลางมีโครงสร้างแบบรูปร่าง มีปริมาตรลดลง 25% จากปริมาตร ขนาด 430 มม. x 430 มม. ปรากฏผลการทดลองของแรงที่ใช้ในการทดลองและการโก่งตัว โดยแสดงดังรูปที่ 4.5

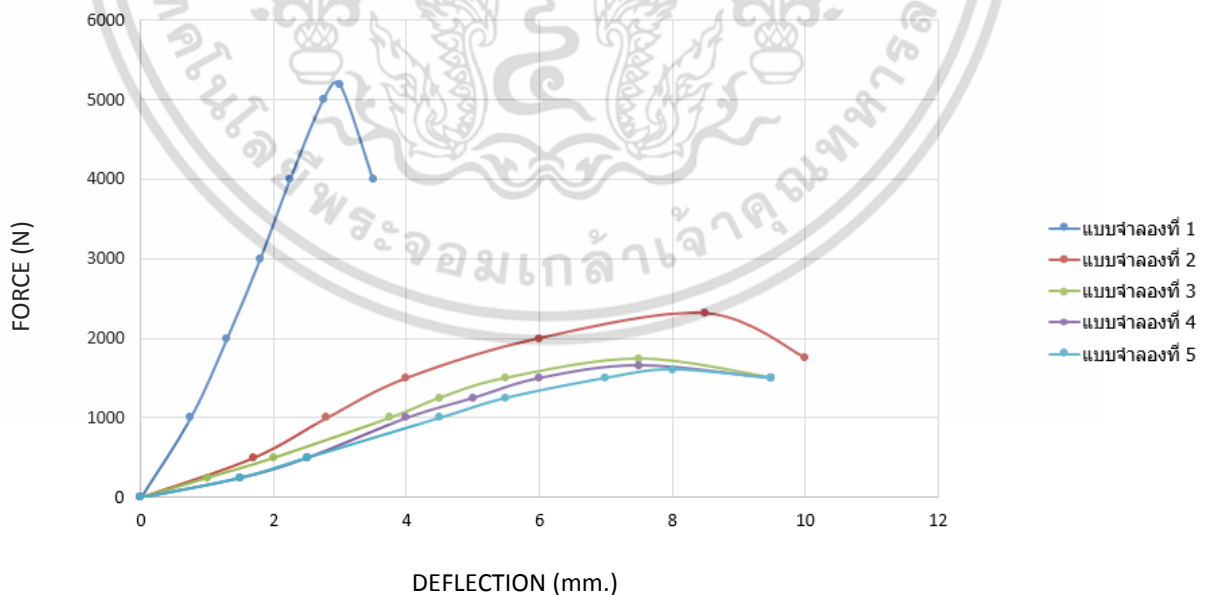


รูปที่ 4.5 แสดงผลของแรงและการโก่งตัวของแบบจำลองที่ 5

ซึ่งจากรูปที่ 4.5 ทำให้ทราบได้ว่าค่าของแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้เท่ากับ 1607 N และระยะการเสีรูปสูงสุดคือ 8.0 มม.

4.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบสามารถนำผลที่ได้ทั้ง 5 รูปแบบมาทำการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าของแรงสูงสุดที่กระทำลงบนชิ้นทดสอบและการโก่ง



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

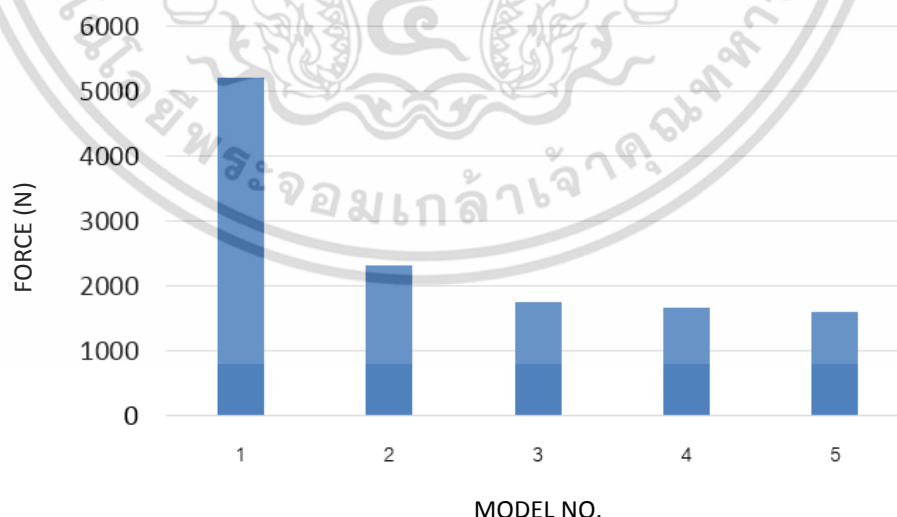
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองทั้ง 5 รูปแบบจากชุดการทดลองที่ 1

แบบจำลองที่	แรงสูงสุด ,N	การโก่งตัวที่แรงสูงสุด ,mm.
1	5196	3.0
2	2310	8.5
3	1740	7.5
4	1660	7.5
5	1607	8.0

จากการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การโก่งตัวที่เกิดขึ้นแปรผันโดยตรงกับแรงที่กระทำลงบนชิ้นทดสอบ ทั้งนี้เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของการยืดหยุ่น ซึ่งหมายถึงกราฟระหว่างแรงและการโก่งตัวเป็นกราฟเส้นผ่านจุดกำเนิด (0.0) และสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

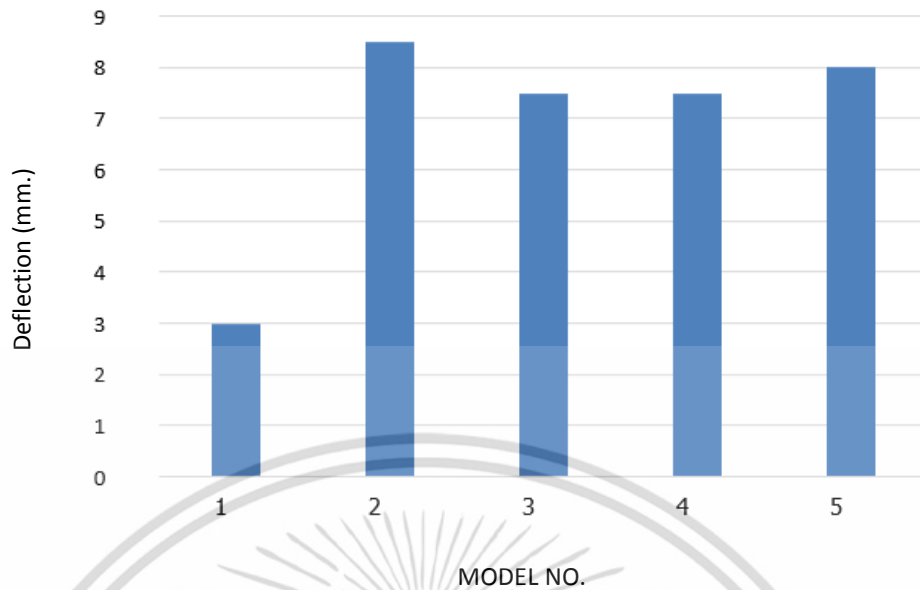
$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.1)$$

ในที่นี้ E เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน ซึ่งจะเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัตถุหนึ่งๆ มีชื่อว่าค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) ซึ่งก็คือความชันของกราฟที่ได้จากการทดลอง โดยจากรูป 4.6 ค่าความชันของแบบจำลองที่ 1 มีความชันสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองที่ 2 3 4 และ 5 ซึ่งเกิดจากการที่วัสดุเป็นรูปทรงรังผึ้งซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุลดลงไป



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงผลจากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงการโก่งตัวจากการทดลองทั้ง 5 รูปแบบ

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ 2 มีค่าการโก่งตัวสูงสุด เนื่องจากประกอบด้วยแผ่นวัสดุไม้ซีเมนต์ที่มีความหนาเท่ากันจำนวนสามแผ่นทำให้เกิดการแตกหักพร้อมกันที่แรงสูงสุด โดยในแบบจำลองที่ 3 4 และ 5 แผ่นชั้นไม้ซีเมนต์ที่มีความหนาเท่ากัน แต่แกนกลางเป็นลักษณะโครงสร้างรังผึ้ง จะเกิดการเสียหายของวัสดุก่อน

4.3 การหาค่าความต้านแรงอัดสูงสุดและสมการในการพยากรณ์ค่าของแรงกดเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง

จากสมการ :

$$f = \frac{3Wl}{2bd^2}$$

สามารถเขียนได้ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\sigma = \frac{3PS}{2bh^2} \quad (4.2)$$

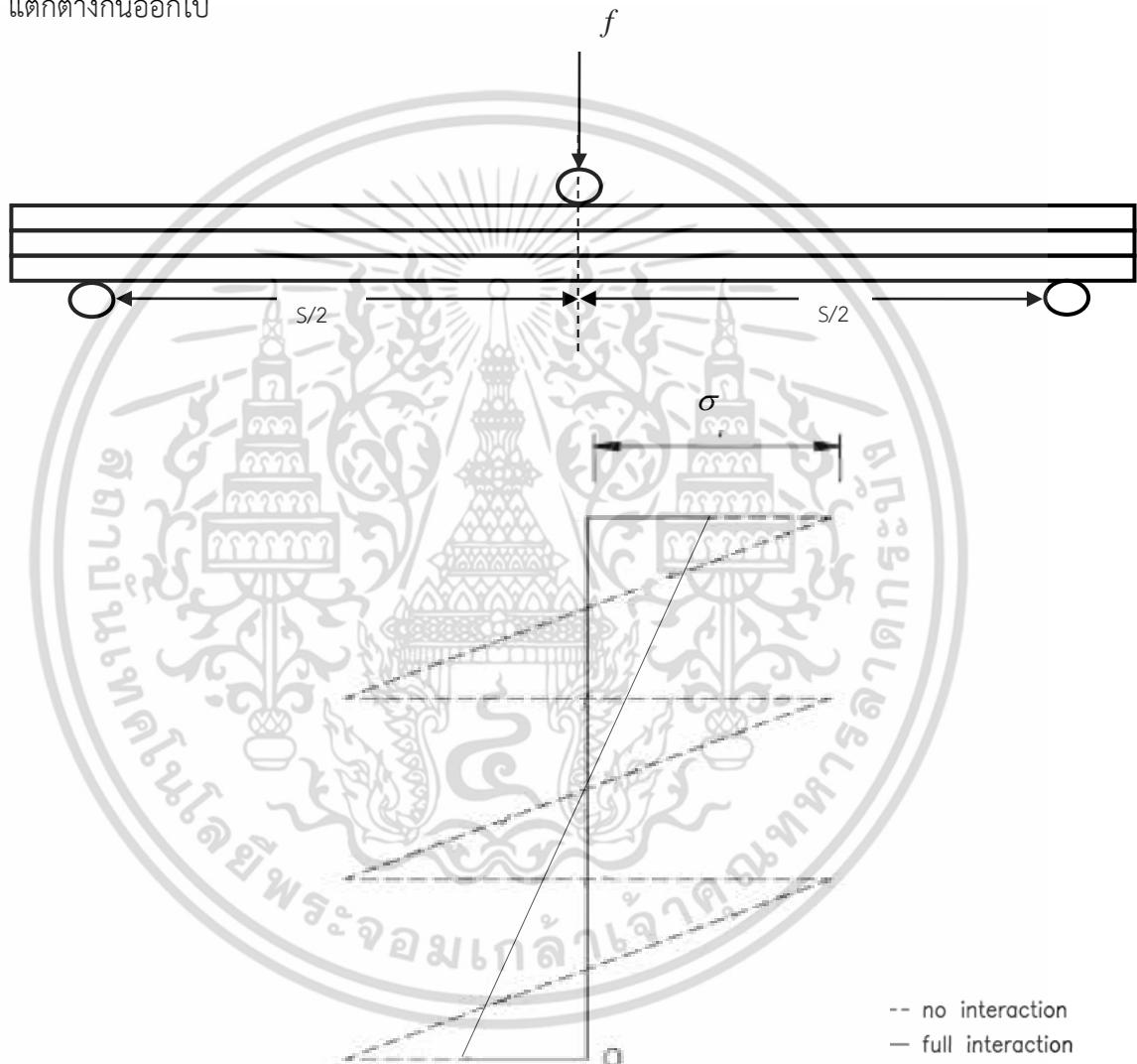
เมื่อ	σ	คือ	ความเค้นสูงสุด
	P	คือ	แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้
	S	คือ	ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ
	b	คือ	ความกว้างของชิ้นทดสอบ
	h	คือ	ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบวัสดุในรูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นวัสดุทรงตัน สามารถหาค่าความเค้นสูงสุดจากสมการที่ (4.2) โดยที่ $P = 5196 \text{ N}$, $S = 380 \text{ mm.}$, $b = 430 \text{ mm.}$ และ $h = 24 \text{ mm.}$

$$\sigma = 11.95 \text{ MPa}$$

ในการทดลอง 2 3 4 และ 5 มีลักษณะที่แตกต่างจากแบบจำลองที่ 1 โดยมีลักษณะซ้อนกันแบบ COMPOSITE BEAM ดังรูปที่ 4.9 การหาค่าความเค้นสูงสุดจึงต้องใช้วิธีการในการคำนวณหาที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 4.9 bending stress

โดยชิ้นงานทั้งสามแผ่นเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นระหว่างชิ้นงานจะไม่มีแรงเฉือนเกิดขึ้น โดย Moment of Inertia (I) ของแต่ละแผ่นจะสามารถหาได้จาก

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ที่เกิดขึ้น Bending Moment, (M) สามารถหาได้จาก

$$M = \frac{PS}{4} \quad (4.4)$$

โดยที่ในแบบจำลองที่ 2 ขึ้นทดสอบเป็นลักษณะซ้อนกันอย่างอิสระ 3 แผ่น ซึ่งจะสามารถคำนวณหาโมเมนต์ในแต่ละแผ่น ได้จาก

$$M = \frac{M}{n} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.5, n คือจำนวนชั้นของวัสดุที่ซ้อนกัน ที่มีขนาดความหนาเท่ากัน และสามารถหาค่าความเค้นสูงสุดของแต่ละแผ่นได้จาก

$$\sigma = \frac{My}{nI} \quad (4.6)$$

จากแบบจำลองที่ 2 สามารถหาค่าความเค้นสูงสุดได้เท่ากับ 14.49 MPa ของแต่ละแผ่น ดังนั้นในแบบจำลองที่ 2 ซึ่งเป็นลักษณะทรงตันแต่อยู่ในรูปแบบ COMPOSITE BEAM จึงสามารถหาค่าความเค้นสูงสุดได้โดยรวมความเค้นสูงสุดของแต่ละแผ่นเข้าด้วยกัน จึงสามารถหาค่าความเค้นสูงสุดในแบบจำลองที่ 2 ได้เท่ากับ 14.49 MPa

แต่เนื่องจากลักษณะโครงสร้างแบบรังผึ้งนั้นมีความซับซ้อน การหาค่าความเค้นของโครงสร้างแบบรังผึ้งจึงต้องใช้วิธีการหาค่าตัวคูณประกอบเพื่อให้ได้ค่าของความเค้นสูงสุดที่หาได้จากการทดลองที่ 3 4 และ 5 ที่เป็นโครงสร้างเป็นแบบรังผึ้ง เท่ากับแบบจำลองที่ 2 ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงตันซ้อนกัน โดยสามารถหาพื้นที่ของแกนกลางที่เป็นโครงสร้างแบบรังผึ้งได้จาก

$$I = \frac{bh^3}{12}(k_w)$$

โดยที่ จากสมการ 4.4 และสมการที่ 4.5 จะสามารถหาค่าโมเมนต์ที่โครงสร้างรังผึ้งส่วนกลาง ได้ดังนี้

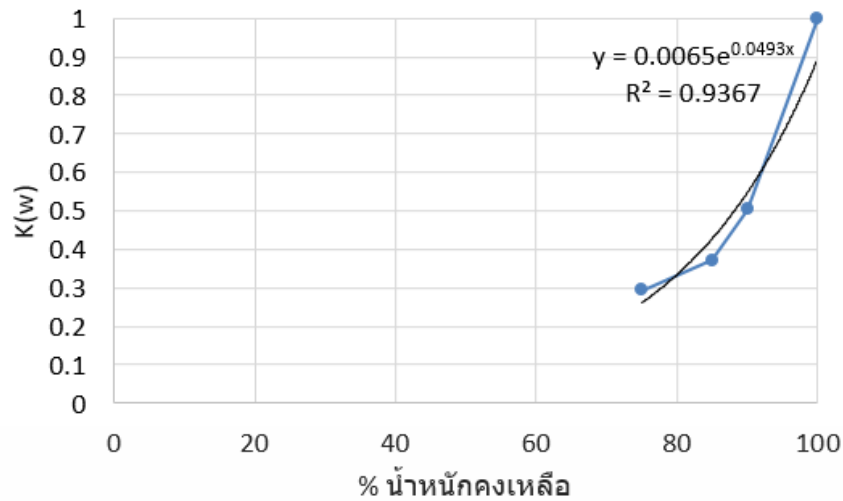
$$\sigma = \frac{My}{nI(k_w)} \quad (4.7)$$

จะสามารถหาค่าตัวคูณประกอบของแบบจำลองที่ 3, $k(w)_3 = 0.504$ ดังนั้นในแบบจำลองที่ 4 และ 5 จะสามารถหาค่าตัวคูณประกอบได้ดังนี้

$$k(w)_4 = 0.372 \quad \text{แบบจำลองที่ 4}$$

$$k(w)_5 = 0.295 \quad \text{แบบจำลองที่ 5}$$

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Correcting Factor และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง โดยจากรูปแบบของความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณค่าของรูปแบบของโครงสร้างรังผึ้งที่อยู่เอกสารนี้เป็นนอกเหนือจากรูปแบบที่ทดสอบ และสามารถคำนวณหาค่าแรงสูงสุดที่โครงสร้างรังผึ้งนั้นสามารถรับได้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Correcting Factor และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคูณประกอบและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง

อัตราส่วนระหว่างค่า Correcting Factor และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง				
% Weight	100	90	85	75
$k(w)$	1	0.504	0.372	0.295

สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคูณประกอบและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง

$$y = 0.0065e^{0.0493x}$$

ยกตัวอย่างที่ 80 เปอร์เซ็นต์แผ่นทรงตันจะสามารถหาค่า $k(w)$ ได้จากกราฟ ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 4.7 ค่าที่ได้หมายความว่าที่น้ำหนักของวัสดุประกอบไม้ซีเมนต์โครงสร้างแบบแกนค้ำกลางเป็นรูปร่างซึ่งมีน้ำหนักเป็น 80 เปอร์เซ็นต์แผ่นทรงตัน สามารถทนต่อแรงที่กระทำลงบนวัสดุได้สูงสุด

โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าของ AREA MOMENT OF INERTIA, (I) ในแต่ละการทดลองว่ามีสัดส่วนที่ลดลงกี่เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 4.2 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์สัดส่วนน้ำหนักคงเหลือที่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าของ AREA MOMENT OF INERTIA, (I)

การทดลองที่	% สัดส่วนที่ลดลงของ (I)
1	0
2	0
3	10
4	12

4.4 การหาค่าความโค้งตัวและเปรียบเทียบการโค้งตัวเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง

จากสมการหาค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) จากวัสดุทรงตันในแบบจำลองที่ 1

$$E = \frac{l^3 \Delta W}{4bd^3 \Delta S} \quad (4.8)$$

$$E = 3240 \text{ N/mm}^2$$

จากค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) ที่คำนวณได้นั้น ได้ค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติเบื้องต้นที่ได้ให้ไว้ตามตารางที่ 2.3 โดยในการทดลองที่ 3, 4 และ 5 มีลักษณะที่แตกต่างจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 โดยมีลักษณะภายในที่ซ้อนกัน 3 ชั้นรวมทั้งมีลักษณะแกนกลางเป็นแบบรังผึ้ง ค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.8 จากการทดลอง จะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) จากชุดการทดลองทั้ง 5 รูปแบบและเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

การทดลองที่	ค่ามอดูลัสของยัง N/mm^2	% ความแตกต่าง
1	3240	8
2	627	79
3	535	82
4	510	83
5	463	84

การโค้งตัวสูงสุดจึงต้องใช้วิธีการในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจากลักษณะโครงสร้างแบบรังผึ้งนั้นมีความซับซ้อน การหาค่าการโค้งตัวสูงสุดของโครงสร้างแบบรังผึ้งจึงต้องใช้วิธีการหาค่าตัวคูณประกอบเพื่อให้ได้ค่าของการโค้งตัวสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 ที่โครงสร้างเป็นแบบรังผึ้ง เท่ากับแบบจำลองที่ 1 ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงตัน โดยสามารถหาพื้นที่ได้จาก

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} \quad (4.9)$$

เมื่อ	E	คือ	มอดูลัสยืดหยุ่น
	F	คือ	แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง
	L	คือ	ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ
	I	คือ	พื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างรังผึ้ง
	δ	คือ	ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่วัสดุชนิดเดียวกันค่ามอดูลัสของยัง (young's modulus) ก็เท่ากัน ซึ่งสามารถหาค่าตัวคูณประกอบสำหรับแก้ไขค่าความโก่งตัวที่เปลี่ยนแปลงในแบบจำลองที่ 2 3 4 และ 5 ให้เท่ากับวัสดุทรงตันในรูปแบบที่ 1 ซึ่งสามารถหาค่า correcting deflection factor, $k(d)$ ของแต่ละการทดลองได้จากสมการที่ 4.9 สามารถหาค่า correcting factor ของแต่ละการทดลอง ได้ดังนี้

$k(d)_1 = 1$	แบบจำลองที่ 1
$k(d)_2 = 0.3362$	แบบจำลองที่ 2
$k(d)_3 = 0.2285$	แบบจำลองที่ 3
$k(d)_4 = 0.2037$	แบบจำลองที่ 4
$k(d)_5 = 0.2424$	แบบจำลองที่ 5

4.5 การนำผลที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวัสดุทรงตันและโครงสร้างรังผึ้งที่มีความหนาอื่น

ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างแบบแซนด์วิชแกนกลางเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม 16 มม. มีความหนารวม 24 มม. กับวัสดุโครงสร้างทรงตัน 12 มม. เนื่องจากต้องการทราบว่าเมื่อมีปริมาณการใช้วัสดุเท่ากันและมีน้ำหนักเท่ากันจะสามารถทนแรงสูงสุดได้เท่ากันหรือแตกต่างกันอย่างไรจากการทดลองที่ 5 ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบแซนด์วิชแกนกลางเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม 16 มม. มีความหนารวม 24 มม. ซึ่งสามารถคำนวณการลดลงของวัสดุได้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุทรงตัน โดยมีความเค้นสูงสุดที่ได้จากสมการที่ 4.2 เท่ากับ 11.95 MPa

โดยจากการคำนวณการลดลงของวัสดุได้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุนั้น สามารถเทียบเท่าได้กับวัสดุโครงสร้างทรงตัน 12 มม.



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุโครงสร้างทรงตัน 12 มม. และวัสดุโครงสร้างแบบแซนด์วิชแกนกลางเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม 16 มม. มีความหนารวม 24 มม.

ความเค้นสูงสุดของวัสดุโครงสร้างทรงตัน 12 มม. สามารถหาได้จากสมการที่ 4.3 โดยให้แทนค่าแรงสูงสุดเท่ากับที่ใช้ในการทดลองซึ่งเท่ากับ

$$P = 1328 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถหาค่าความเค้นสูงสุดได้เท่ากับ

$$\sigma_s = 12.22 \text{ MPa}$$

ทำการเปรียบเทียบกับความหนาที่ 16 มม. วัสดุโครงสร้างแบบแกนดัดวิชแกนกลางเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม 16 มม. มีความหนารวม 24 มม. ได้โดยใช้สมการที่ 4.3 ซึ่งสามารถหาค่า $\sigma_s = 12.22 \text{ MPa}$ โดยทำการเปรียบเทียบกับความหนาของวัสดุทรงตันความหนาอื่นๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของวัสดุเท่ากันได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบวัสดุทรงตันที่ความหนาอื่นๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของวัสดุเท่ากับแบบจำลองทั้ง 5 รูปแบบ ของชุดการทดลองที่ 1

แบบจำลองที่	ความหนาวัสดุทรงตัน (mm.)	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนวัสดุลดลง	ค่าความเค้นเมื่อเปรียบเทียบเป็นวัสดุทรงตัน, (MPa)
1	24	0%	11.95
2	21.6	10%	4.95
3	20.4	15%	6.867
4	16	25%	9.054
5	14.4	40%	9.303
6	12	50%	12.22

จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพบว่า หากต้องการผลิตแผ่นวัสดุไม้ซีเมนต์โครงสร้างรังผึ้งพบว่า ควรทำสัดส่วนให้มีอัตราการประหยัดวัสดุให้ได้ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป เพราะในโครงสร้างรังผึ้งขนาดเล็กหรือมีอัตราการประหยัดวัสดุน้อย ความแข็งแรงที่ได้ไม่คุ้มเมื่อเทียบกับการทำเป็นวัสดุแผ่นทรงตัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดสอบหรือวิเคราะห์จากการทดสอบแบบ 3-point bending ที่ไม่เชื่อมต่อกันของแผ่นไม้-ซีเมนต์ การทดสอบได้ดำเนินการโดยอ้างอิงมาตรฐานมอก. 878-2532 โดยใช้แผ่นทดสอบแบบทรงตันที่มีความหนา 24 มิลลิเมตรเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับความเค้นสูงสุดและการประมาณค่าความยืดหยุ่น หลังจากการทดลองที่มีความเหมือนกันทั้งด้านขนาดและความหนาของรังผึ้ง ส่วนที่ต่างกันคือในชั้นกลางโครงสร้างแกนวิชที่ไม่เชื่อมต่อกัน ซึ่งแสดงสัดส่วนของการลดลงของความแข็งแรงและการลดลงของอัตราส่วนวัสดุ โครงสร้างที่ไม่เชื่อมต่อกันเหล่านี้สามารถวิเคราะห์เป็นคานแบบเรียงซ้อนได้ แผ่นขึ้นไม้-ซีเมนต์ 3 แผ่นที่มีความหนา 8 มิลลิเมตรถูกนำมารวมกันเพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นหนา 24 มิลลิเมตร มีการคำนวณอย่างง่ายและแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของทั้งสองโครงสร้าง เมื่อเพิ่มโครงสร้างของรังผึ้งเข้าไปในชั้นกลาง ความแข็งแรงโดยรวมจะลดลงตามสัดส่วนของวัสดุที่นำออก จำนวน 3 รูปแบบ โดยรูปแบบการทดลองแรก ที่ 10% ของน้ำหนักที่ลดลง ความแข็งแรงจะลดลงเหลือ 45% การทดลองถัดมาที่ 15% ของน้ำหนักที่ลดลง ความแข็งแรงจะลดลงเหลือ 30% การทดลองสุดท้าย ที่การลดลงของน้ำหนักที่ 50% ส่งผลให้ความแข็งแรงอยู่ที่ 25% เท่านั้น การลดน้ำหนักในแต่ละกรณีคำนวณจากจุดแข็งในรูปแบบของแผ่นเดี่ยวแบบปกติที่มีความหนาต่างกันและเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของผลการทดสอบของโครงสร้างแบบแกนวิชแบบรังผึ้งที่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน ผลการศึกษาพบว่า เฉพาะที่การลดน้ำหนักที่ประมาณ 50% ความแข็งแรงของโครงสร้างแกนวิชรังผึ้งที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันจะเทียบเท่ากับแผ่นทรงตันที่มีความหนาที่บางลง ในทางทฤษฎีแผ่นขึ้นไม้-ซีเมนต์โครงสร้างแบบแกนวิชรังผึ้งควรมีความแข็งแรงที่เหนือกว่าแผ่นแข็งเดี่ยว อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของวิธีการผลิตคอมโพสิตไม้ซีเมนต์ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายในโครงสร้างแกนวิชแบบรังผึ้งที่เชื่อมต่อกัน โดยหากนำไปใช้งานจริงในรูปแบบการผลิตที่สามารถทำได้ควรออกแบบให้เป็นลักษณะสองชั้นประกบกันเพื่อให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้นในโครงสร้าง โดยถึงแม้ผลที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์จะมีความคลาดเคลื่อนโดยเกิดจากวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ แต่ก็ยังพอที่จะสรุปได้ว่าวัสดุที่ใช้ในการทดสอบนี้มีความสามารถที่จะนำไปใช้งานในลักษณะแผ่นพื้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องการคำนวณค่าของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นลักษณะแกนกลางเป็นรูปรวงผึ้งนั้นมีความซับซ้อน ซึ่งเป็นการยากที่จะทำให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องเพียงพอ ซึ่งมันเป็นผลมาจากข้อจำกัดหลายๆอย่างที่ไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ ซึ่งโดยแท้จริงแล้วความสัมพันธ์และตัวแปรต่างๆ ที่ต้องนำมาพิจารณาจะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่านี้ โดยวิธีการวิเคราะห์นี้จึงอาจจะยังไม่มีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ดังนั้นจึงควรที่จะหาวิธีการที่จะวัดหาค่าของโหลดที่เกิดขึ้นโดยเชิงทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแท้จริงก่อน แล้วจึงจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ. กลศาสตร์วัสดุประกอบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : JICA. 2535
- [2] W. D. Callister, “Materials Science and Engineering An Introduction.” India: Wiley. 2000,
- [3] C. Hwu and J. S. Hu, “Delamination buckling of honeycomb sandwich panels with laminated faces,” *Journal of Composite Materials*, 29(15), pp.1962-1987, 1995.
- [4] P. Qiao and M. Yang, “Impact Mechanics and High-Energy Absorbing Materials,” *Journal of Aerospace Engineering*, 21:4, pp.235–248, 2008.
- [5] I. G. Masters and K. E. Evans, “Models for elastic deformations of honeycombs,” *Composite structures*, 35, pp.403-422, 1996.
- [6] K. Rao and J. Rao, “Thermostructural analysis of honeycomb sandwich panels, *International Journal of Engineering, Science & Advanced Technology*,” 2(5), pp.1402-1409, 2012.
- [7] J. Paika, A. K. Thayamballi and G. S. Kim, “The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels,” *Thin - Walled Structures*, 35(3), pp.205-231, 1999.
- [8] C. Macaluso, D. Vandepitte, I. Verpoest, “Deepdrawing FE-simulations for thermoplastic sandwich structures,” DOI 10.1007/s12289-008-0243-5 © Springer/ESAFORM, 2008.
- [9] Ronald W. Wolfe, Agron Gjinolli, “Cement-Bonded Wood Composites as an Engineering Material,” *Forest Products Society, Proceedings No. 7286*, pp.84–91, 1996.
- [10] Ronald F. Gibson. “Principles of Composite Material Mechanics,” New York : McGraw-Hill, Inc. 1994
- [11] Raymond F. Wegman, Thomas R. Tullos. “Hand book of Adhesive bonded Structural Repeir,” New Jersey : Noyes Publications Park Ridge. 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

ISSN 0125-1724	
LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL	
วิศวกรรมลาดกระบัง	
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
ปีที่ 33 ฉบับที่ 3	กันยายน 2559
1. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ ANSYS และ ANSYS ซ้ำๆ ศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบคลื่นคนในสมการในระบบ โพธิ์กรัง	1
บดินทร์ วาณิชรัตน์ อรรถชาติ วีระภักตร์ นิรุชฌ์ ชีรสุวรรณพาล	
2. การศึกษากระบวนการสร้างและคุณสมบัติของพลาสมาจากแก๊สไนโตรเจนในอุณหภูมิ 0.5 ไมครอน	8
วิไลวรรณ เหมิณมณี สุธงษา เรืองทวนิช	
3. การวิเคราะห์ความเค้นของแบบจำลองคาน้ำร้อน(คาน้ำร้อนวิศวกรรมเครื่องกลและระบบอิเล็กทรอนิกส์) เอสเอ็มดี	16
อนุชิต มงคล เมศศักดิ์ พิณกลาง	
4. การวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้างแบบรีดเดอร์ของวัสดุคอมโพสิตไฟเบอร์ - คาร์บอน	24
บุญบริวี จงรัตนศิริกฤต พิณชัย บดินทร์สุโขดม	
5. การออกแบบหีกรัดอากาศแบบคาลิฟอร์เนียในระบบปรับอากาศ	32
วิฑูรย์ วัฒนากมล กวีดี สุทธิพงษ์	
6. ผลกระทบของปริมาณเส้นใยคาร์บอนผสมเป็นมันสำปะหลังต่อสมบัติของเมทริกซ์โพลีเอสเตอร์	39
ชาติวิทย์ มงคลแก้ว วรพงศ์ บุญช่วยเกษม วรวิทย์พร ชิววิวัฒน์	
7. การเลือกรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์เพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานรถบรรทุก กรณีศึกษาการบรรทุกสินค้าเกษตร	47
ธัญชัช เมลาหะ ศิวินันท์ สุโขดม	
8. ค่าพลังงานความร้อนและต้นทุนวิจัยชีวิตของต้นแบบตัวบ่งชี้สภาวะที่ด้อยแบบทดสอบอากาศยานรูปแบบ ใหม่	55
พรนิภา บุญใจ ชววิ สุวีรัมย์	

<http://www.kmitl.ac.th/obj>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้างแบบรังผึ้งของวัสดุ คอมโพสิตไม้ – ซีเมนต์

Design and Analysis of Wood-Cement Composite Honeycomb Sandwich Structure

ปฎิพักร จงรัตน์ศรีกุล สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: punpawee@tisi.go.th

บทคัดย่อ

โครงสร้างประกบรังผึ้งเป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่มีค่าทางวิศวกรรมโครงสร้างที่พัฒนาโดยอุตสาหกรรมคอมโพสิต ได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรมเช่นการบิน การขนส่งระบบรางและอื่น ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ เป็นแผ่นหน้าและด้านหลังที่เลือกใช้ โครงสร้างรังผึ้งส่วนใหญ่จะจัดเป็นระเบียบในรูปแบบของเซลล์หกเหลี่ยมกึ่งกลางกับผนังแนวตั้งของวัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ โครงสร้างรังผึ้งมีคุณสมบัติที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยโครงสร้างรังผึ้งเหล่านี้มีความหนาแน่นสูงมาก โดยทั่วไปแล้ว 75-95% ของโครงสร้างประกอบด้วยช่องว่าง การทดสอบโดยการคิดโค้งสามจุด ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบการไหลและเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองการทดลองระหว่างแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นต่างกัน นำมาประกอบกันเป็นโครงสร้างรังผึ้งที่มีความหนาแน่นรวม 24 มิลลิเมตรกับแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีความหนา 24 มม. โดยผลที่ได้นั้นวัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีโครงสร้างแบบรังผึ้ง ได้ทำให้พบกับความหลากหลายของการใช้งานในการแลกเปลี่ยนความร้อน การดูดซับพลังงาน การกระจายการไหลและน้ำหนักเบา วัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีโครงสร้างรังผึ้งที่ใช้ในงานวิศวกรรมและในทางวิทยาศาสตร์ในอุตสาหกรรมนั้นมีความพรุนและความแข็งแรง

คำสำคัญ : วัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์, โครงสร้างประกบรังผึ้ง

Abstract

The honey comb sandwich construction is one of the most valued structural engineering innovations developed by the composite industry. Used extensively in many industries like aerospace, transportation rails, etc. In this study a wood - cement particle board chosen a face sheet is a core material. Honeycombs are most often an array of hollow hexagonal cells with thin vertical walls wood - cement particle board with Honeycomb is low density permeable material with numerous applications. The defining characteristic of these Honeycombs is a very high porosity; typically 75-95% of the volume consists of void spaces. Static three-point bending tests were carried out in order to investigate load and compared with experimental and simulation results between Wood Cement different thickness. built to honeycomb structure total thickness of 24 mm and cement particle boards with a thickness of 24 mm. Wood - cement particle board Honeycombs have found a wide variety of applications in heat exchangers,

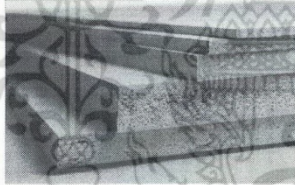
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

energy absorption, flow diffusion and lightweight optics. wood - cement particle board honeycomb is used in numerous engineering and scientific applications in industry for both porosity and strength

Keywords : Wood-Cement Composite, Honeycomb Sandwich Structure

1. บทนำ

แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ (wood cement particle board) เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (wood cementboard) ชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมระหว่างชั้นไม้สับ (wood chip) และปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่รวมคุณสมบัติที่ตรงข้ามกันของไม้และปูนซีเมนต์ ได้แก่ ทนน้ำ ทนไฟ ทนปลวก เชื้อราและแมลง รวมทั้งไม่มีอันตรายจากฝุ่นผงใยหิน แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไปใช้ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนได้ทั้งหลัง พัฒนาเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา ในการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์สามารถนำไม้ขนาดเล็ก เศษไม้จากโรงงานมาใช้เป็นวัตถุดิบได้ เป็นการใช้อย่างคุ้มค่า ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้จริง ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนไม้ และช่วยลดภาวะโลกร้อน จะเห็นได้ว่าแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ไม้จริงได้และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยในการทดลองนี้ทำการทดลองโดยนำ วัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์มาทำเป็นโครงสร้างแบบรังผึ้ง

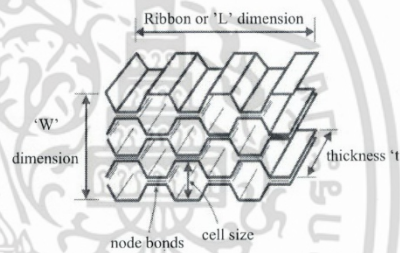


รูปที่ 1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์

โครงสร้างแบบรังผึ้งเป็นการก่อสร้างที่นิยมใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมั่นคงและมีประสิทธิภาพในการที่จะต้องรับน้ำหนักมากที่สุด โครงสร้างแบบรังผึ้งลักษณะหลักคือเป็นวัสดุหลักพื้นฐานที่ทำให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพ มีความแข็งแรงและทนต่อการเสีรูป โดยพื้นฐานแนวคิดของ

โครงสร้างนี้คือแผ่นผิวด้านหน้าจะเป็นโครงสร้างหลักที่รับแรงความเค้นคด ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับความเค้นแรงแบบคาน โครงสร้างแบบรังผึ้งเป็นแนวคิดการออกแบบโครงสร้างที่น่าสนใจโดยเป็นทางเลือกที่เหมาะสมของวัสดุและรูปทรงเรขาคณิต โดยโครงสร้างมีอัตราส่วนที่สูงระหว่างความต้านทานการเสีรูปกับน้ำหนักที่สามารถรองรับได้

โครงสร้างรังผึ้งมักจะใช้สำหรับฉนวนกันความร้อน, ฉนวนดูดซับมลพิษสิ่งแวดล้อม โครงสร้างรังผึ้งช่วยให้ลดปริมาณของวัสดุแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ มีน้ำหนักที่เบาลง จึงลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าวัสดุได้อย่างมาก



รูปที่ 2 โครงสร้างแบบรังผึ้ง

การศึกษาลักษณะความแข็งแรงของโครงสร้างแบบแซนวิชรังผึ้งนั้น เป็นที่แพร่หลายในหมู่นักวิจัย มีการนำเสนอผลงานวิจัยหลากหลายรูปแบบ แต่โดยส่วนใหญ่เน้นเป็นการศึกษาโดยใช้วัสดุในกลุ่มโลหะ เช่น [1] พยางและเถียว (2008) ได้ดำเนินการศึกษาวัสดุที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแบบแซนวิชรังผึ้ง ซึ่งจะนำมาใช้ในการจำลองผลกระทบและพบว่า มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงเมื่อมีการเพิ่ม โหลด.[2] ทีล และ อัล (1999) ได้ศึกษาลักษณะความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงของโครงสร้างแบบแชนวิชของแผลงลูมิเนียมรีงซึ่งโดยใช้ชุดการทดสอบความแข็งแรงคือการทดสอบจุดที่เกิดการโก่ง พวกเขาจะได้ดำเนินการศึกษาเชิงทฤษฎีในการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นพลาสติก พฤติกรรมการโก่งแรงที่ค้ำที่สุดและความแข็งแรงของแผลงแชนวิช.[3] สุภา นิน, จอห์น, โจชัว และ คัชเชอร์ ได้ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแบบแชนวิชแผลงรีงซึ่งในลักษณะอยู่กับที่โดยใช้วัสดุรีงในการทดลอง

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงขอนำเสนอการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างแบบแชนวิชรีงซึ่งของวัสดุที่แตกต่างออกไป เพื่อเป็นทางเลือกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

2.ขั้นตอนการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 วัสดุแผ่นรีง ไม้อัดซีเมนต์ความหนาต่างกัน โดยนำมาประกอบกันขึ้นเป็นโครงสร้างรีงซึ่งให้มีความหนา 24 มิลลิเมตร

2.1.2 วัสดุแผ่นรีง ไม้อัดซีเมนต์ความหนา 24 มิลลิเมตร

โดยทั้ง 2 ประเภทนั้นเลือกใช้วัสดุแผ่นรีง ไม้อัดซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างรีง ไม้และซีเมนต์ในอัตราส่วน 1:3 โดยหลักการเลือกวัสดุรีง ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.878 ซึ่งวัสดุแผ่นรีง ไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 2 อัตราส่วน (ตารางที่ 2) นั้น ให้คุณสมบัติที่ต่างจากค่าที่กำหนดและเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.878 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุแผ่นรีง ไม้อัดซีเมนต์

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	300	N/mm ²
Mass Density	159.99	Kg/m ³
Yield Strength	20	N/mm ²

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพอนอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์และรีงไม้

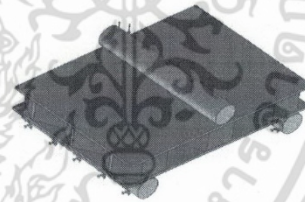
Wood:Cement	Density (g/cm ³)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	JB (N/mm ²)
1:3	1.27(0.18)	12.68(0.5)	6009.6(32.1)	0.35(0.07)
1:4	1.28(0.12)	10.56(0.8)	7056.4(199.3)	0.56(0.04)
BISON type HZ	1.20	9.0	3000	0.4

ตารางที่ 3 คุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.878

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	การพองตัวของน้ำ หรือจะไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดูลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดัดซึ่งยกกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	0.5	ข้อ 9.7

2.2 ทฤษฎีการจำลองของการทดสอบโครงสร้างแบบแชนวิช (พฤติกรรมการโก่ง)

วิธีที่ง่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่ง โดยแสดงจากรีงทดสอบที่มีโครงสร้างแบบแชนวิชได้เส้นโผลดที่ช่วงกลางของโครงสร้างได้รับการพิจารณาค่าที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้างรีงซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าผิวด้านหน้าได้รับความเค้นดัดเท่านั้น อย่างไรก็ตามรูปแบบของความเค้นดัดนั้นเป็นไปตามทิศทางของความหนา ทั้งโครงสร้างรีงซึ่งและผิวหน้า สามารถหาความหนาของแผ่นได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(t_f' = TC) = 5mm$$

โดย เกลซี (1958) ได้เสนอสูตรของการคำนวณการโก่งช่วงกลาง δ , โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น E_f , ปริมาตรของรังผึ้ง I_f , โครงสร้างรังผึ้งแฉงแขนวิหที่ท่าจากแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ในระบอบที่มีความยืดหยุ่นเชิงเส้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\delta = Pa^3 / 48E_f I_f + Pa / 4A_c G_{ca} \quad (1)$$

ในส่วนแรกทางด้านขวามือในของสมการ (1) เป็นผลกระทบที่เกิดจากการโก่งงอและในส่วนที่สองเกิดจากแรงเฉือน ดังจะเห็นในรูป 3 การเปรียบเทียบของทฤษฎีการลาดการณ (เช่นระหว่างโหลดและโก่งช่วงกลาง) โดยใช้สมการ 1 จะทำกับผลการทดลองสำหรับชิ้นงานทดสอบในปัจจุบันภายใต้การคิด จะเห็นว่าสมการ (1) สามารถคาดการณ์การตอบสนองการยืดหยุ่นเชิงเส้นของคานรับน้ำหนักแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รังผึ้งแขนวิหได้ดี โดยที่

- P = แรงที่กระทำลงบนวัตถุที่ทำให้เกิดการโก่ง
- a = ระยะห่างระหว่างแท่นที่รองรับวัตถุ
- E_f = โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น
- I_f = ปริมาตรของวัตถุ
- A_c = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ
- G_{ca} = โมดูลัสของแรงเฉือน

ที่ซึ่ง C เป็นค่าคงที่ ที่เป็นตัวแทนของแรงเฉือนที่เกิดจากแกนของรังผึ้งในขณะที่ได้รับการคิด ค่าคงที่ C อาจได้รับจากสมการ (1) โดยการสมมติว่ามีผลกระทบของแรงเฉือนของแกนเพื่อให้ความแข็งแรงและมีแนวโน้มที่จะคล้ายกับที่มีความต้านทานการเสีรูปร่างของผนังแฉง ผลลัพธ์เหล่านี้หาได้จาก

$$C = C1 / C1 + C2 \quad (2)$$

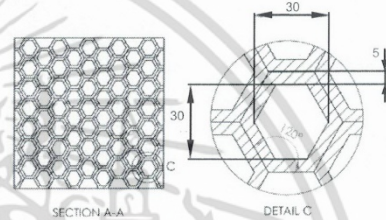
$$\text{where, } C1 = d^3 / 48E_f I_f,$$

$$C2 = d / 4A_c G_{ca} \quad (3)$$

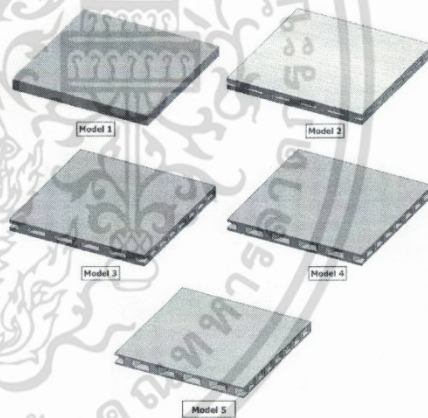
2.3.การคืนนินการทดลอง

ข้อมูลที่กำหนดในโปรแกรมการวิเคราะห์แบบจำลอง

1. แบบจำลองที่ 1 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 24 มม.
2. แบบจำลองที่ 2 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 9.5 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 5 มม.
3. แบบจำลองที่ 3 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 7 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 10 มม.
4. แบบจำลองที่ 4 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 4.5 มม.และชั้นรังผึ้ง หนา 15 มม.
5. แบบจำลองที่ 5 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 3.0 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 18 มม.



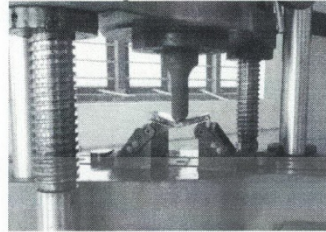
รูปที่ 4 ขนาดของรังผึ้ง



รูปที่ 5 แบบจำลองทั้ง 5 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง



รูปที่ 6 3-point bending test

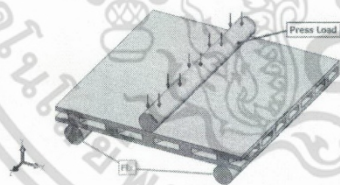
ขอบเขตและเงื่อนไขในการทดลอง

Type of support	Movement Characteristics		
	Horizontal	Vertical	Rotation
Hinged Support	$\Delta_x = 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta \neq 0$
Roller Support	$\Delta_x \neq 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta \neq 0$
Fixed Support	$\Delta_x = 0$	$\Delta_y = 0$	$\theta = 0$
Spring Support	$\Delta_x \neq 0$	$\Delta_y \neq 0$	$\theta \neq 0$

รูปที่ 7 Boundary Condition

- ชิดชิ้นงานแท่งเหล็กทรงกระบอกด้านล่างทั้ง 2 ข้าง ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางแท่งเหล็ก 240 mm
- แรงกระทำที่คานแท่งเหล็กทรงกระบอกด้านบน โดยมีขนาดของแรงดังนี้

- 2000 N
- 5000 N
- 7000 N



รูปที่ 8 แบบจำลองแสดงทิศทางของแรง

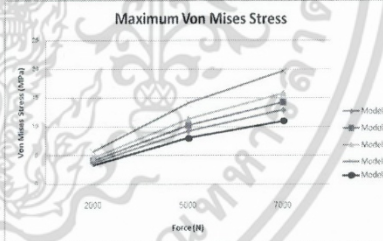
3.ผลการทดลอง

การวิเคราะห์แบบวัตถุไม่เคลื่อนที่ได้ ดำเนินการเพื่อที่จะได้รับผลของการตอบสนองของ โครงสร้างแข็งที่หกล้อมแขนวิชที่ได้รับแรงกระทำ โหลดที่แตกต่างกันคือ 2kN, 5kN, 7kN และที่ความ สูงของโครงสร้างที่ต่างกันคือ 0 มม. 5 มม. 10 มม. 15 มม. และ 18 มม. โดยทำการสังเกตใน ระหว่างการวิเคราะห์การโก่งที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการ เพิ่มขึ้นของแรงที่กระทำโดย รูปที่ 8 แสดงถึงทิศทางการ เปลี่ยนแปลงของชิ้นงานทั้ง 5 รูปแบบ



รูปที่ 9 Meshed Model

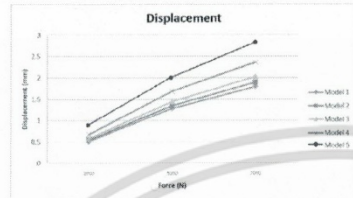
ความโก่ง และความเครียด จะถูกนำเสนอใน ลักษณะกราฟ ดังแสดงที่ในรูป 10 และ 11 กราฟแสดง ถึงการเปลี่ยนแปลงของความเครียด กับกร โหลด ตาม ขนาดความสูงของโครงสร้างที่ต่างกัน ในรูปที่ 12 จาก ตารางสรุปผล จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าความเครียด เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อมีแรงกระทำบนวัสดุทดสอบ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 รูปแบบของความเครียดที่เพิ่มขึ้นทั้ง 5 รูปแบบ

จากรูปที่ 10 พบว่าขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผล กระทบต่อวัสดุที่ทำการทดลอง โดย Max Von Mises

Stress สูงที่สุดที่เกิดขึ้นนั้น จะเกิดในขณะที่ให้แรงสูงสุดที่ 7 kN และที่ Model 1 เกิด Max Von Mises Stress สูงที่สุด เมื่อเทียบกับขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุเท่ากัน เนื่องจากรูปแบบของ Model ที่ 1 นั้น ไม่มีความกลวงจึงสามารถรับความเครียดได้ในระดับที่สูงกว่า Model อื่นๆ



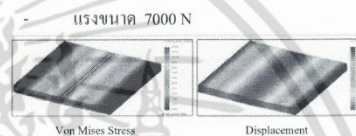
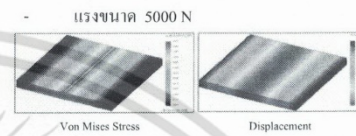
รูปที่ 11 รูปแบบการโก่งคดที่เกิดขึ้นทั้ง 5 รูปแบบ จากรูปที่ 11 พบว่าขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบบต่อวัสดุที่ทำการทดลอง โดยการเกิด Displacement สูงที่สุดที่เกิดขึ้นในแต่ละโมเดลนั้น จะเกิดในขณะที่ให้แรงสูงสุดที่ 7 kN และที่ Model 5 นั้น เกิด Displacement สูงที่สุด เมื่อเทียบกับขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุเท่ากัน นั่นคือเมื่อวัตถุมีความกลวงมากขึ้น จะทำให้ Displacement มากขึ้นเช่นกัน ตารางแสดงค่า Stress และ Displacement ในกราฟ

Part	Value	Force (N)		
		2000	5000	7000
Model 1 Wood 24 mm	Max Von Mises Stress (MPa)	3.695	9.237	12.93
	Max Displacement (mm)	0.513	1.283	1.796
	Max Shear Stress YZ (MPa)	0.221	0.531	0.744
	Max Shear Stress XY (MPa)	0.463	1.158	1.621
	Max Shear Stress XZ (MPa)	0.046	0.115	0.161
Model 2 Wood 9.5 mm Hex 5 mm	Max Von Mises Stress (MPa)	4.09	10.23	14.32
	Max Displacement (mm)	0.541	1.352	1.893
	Max Shear Stress YZ (MPa)	0.394	0.985	1.379
	Max Shear Stress XY (MPa)	1.015	2.538	3.533
	Max Shear Stress XZ (MPa)	0.43	1.075	1.505
Model 3 Wood 7 mm Hex 10 mm	Max Von Mises Stress (MPa)	4.531	11.33	15.86
	Max Displacement (mm)	0.579	1.447	2.026
	Max Shear Stress YZ (MPa)	0.502	1.255	1.756
	Max Shear Stress XY (MPa)	1.171	2.929	4.1
	Max Shear Stress XZ (MPa)	0.542	1.354	1.896
Model 4 Wood 4.5 mm Hex 15 mm	Max Von Mises Stress (MPa)	5.631	14.08	19.71
	Max Displacement (mm)	0.675	1.666	2.361
	Max Shear Stress YZ (MPa)	0.754	1.986	2.781
	Max Shear Stress XY (MPa)	1.287	3.218	4.505
	Max Shear Stress XZ (MPa)	0.638	1.595	2.233
Model 5 Wood 3 mm Hex 18 mm	Max Von Mises Stress (MPa)	7.453	18.63	26.06
	Max Displacement (mm)	0.804	2.01	2.814
	Max Shear Stress YZ (MPa)	1.007	2.517	3.523
	Max Shear Stress XY (MPa)	1.418	3.544	4.962
	Max Shear Stress XZ (MPa)	1.036	2.591	3.627

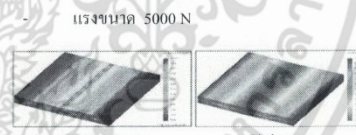
รูปที่ 12 ตารางสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1. แบบจำลองที่ 1 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 24 มม.



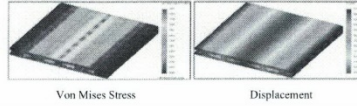
2. แบบจำลองที่ 2 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.หนา 9.5 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 5 มม.



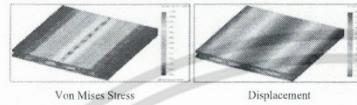
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 แบบจำลองที่ 3 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.
หนา 7 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 10 มม.

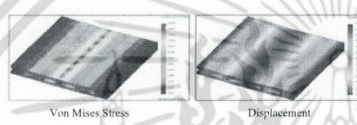
- แรงขนาด 2000 N



- แรงขนาด 5000 N



- แรงขนาด 7000 N

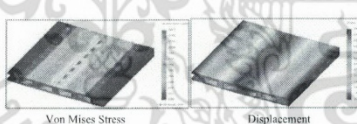


4 แบบจำลองที่ 4 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.
หนา 4.5 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 15 มม.

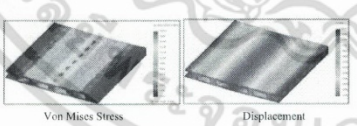
- แรงขนาด 2000 N



- แรงขนาด 5000 N

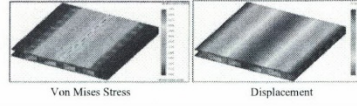


- แรงขนาด 7000 N

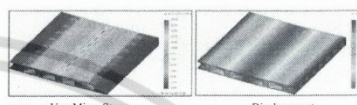


5 แบบจำลองที่ 5 คือ แผ่นไม้ขนาด 300 มม. x 300 มม.
หนา 3.0 มม. และชั้นรังผึ้ง หนา 18 มม.

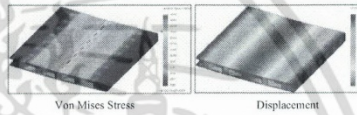
- แรงขนาด 2000 N



- แรงขนาด 5000 N



- แรงขนาด 7000 N



4.สรุปผล

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มแรงกระทำลงบนวัสดุทดสอบ โดยเริ่มจากแรงขนาด 2 kN 5 kN และ 7 kN นั้น จะส่งผลให้ค่า Von Mises Stress เพิ่มขึ้น ตามแรงที่เพิ่มขึ้น โดยวัสดุทดสอบในรูปแบบที่มีลักษณะกลวงหรือมีความสูงของส่วนผนังรังผึ้งมากจะทำให้เกิด Von Mises Stress น้อยกว่า วัสดุทดสอบที่มีลักษณะตันหรือมีความสูงของส่วนผนังรังผึ้งน้อย อีกทั้งในการทดสอบแบบ 3 point-bending นั้น จะทำให้เกิดการโก่งตัวของวัสดุ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มแรงกระทำลงบนวัสดุทดสอบ โดยเริ่มจากแรงขนาด 2 kN 5 kN และ 7 kN นั้น จะส่งผลให้ค่า Displacement เพิ่มขึ้น ตามแรงที่เพิ่มขึ้น โดยวัสดุทดสอบในรูปแบบที่มีลักษณะกลวงหรือมีความสูงของส่วนผนังรังผึ้งมากจะทำให้เกิด Displacement มากกว่า วัสดุทดสอบที่มีลักษณะตันหรือมีความสูงของส่วนผนังรังผึ้งน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเบร้งคั้งของวัสดุคอมโพสิทไม้ม-ซีเมนต์โดยทั่วไปสามารถใช้ได้ทันทีในปริมาณมาก โครงสร้างดังกล่าวจะถูกใช้ในงานวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ โดยจะถูกใช้งานจำนวนมากในอุตสาหกรรมที่ต้องการทั้งความพรุนและความแข็งแรง ในการทำงานในปัจจุบัน พฤติกรรมของโครงสร้างเบร้งคั้งของวัสดุคอมโพสิทไม้ม-ซีเมนต์มีการทดลองในแบบที่ได้รับความนิยมสูง โดยการจำลองเชิงตัวเลขถูกใช้ในการคาดการณ์การโก่งตัวรวมทั้งได้ทำการศึกษาค่าและเปรียบเทียบบนพื้นฐานของผลการทดลอง พบว่าการไล่ระดับสีของเส้นกราฟที่แสดงผลของความโก่งสำหรับความสูงของร้งคั้งต่ำจนถึงความสูงของร้งคั้งสูงสุด โดยผลลัพธ์เหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบแผงโครงสร้างเบร้งคั้งได้

5.เอกสารอ้างอิง

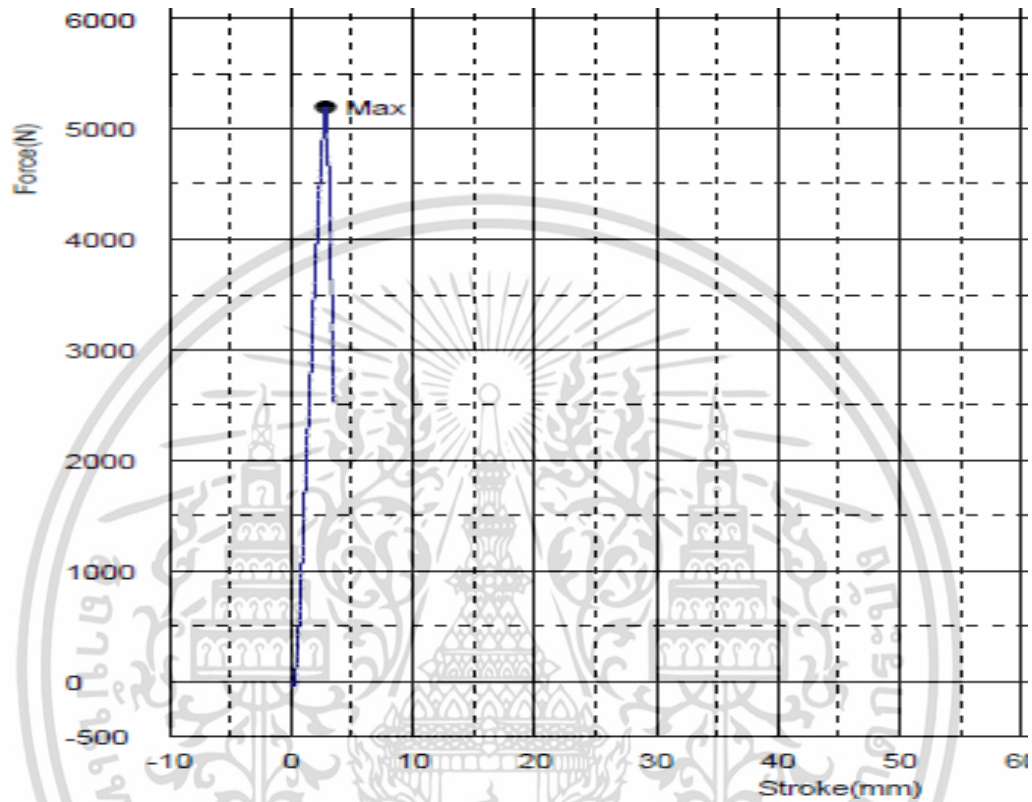
- [1] A. Katunin, M. John, K. Jozsko and A. Kajzer, "Characterization of quasi - static behavior of honeycomb core sandwich structures," Modelowanie Inzynierskie, nr 53, ISSN 1896-771X.
- [2] W. D. Callister, "Materials Science and Engineering An Introduction." India: Wiley, 2000.
- [3] C. Hwu and J. S. Hu, "Delamination buckling of honeycomb sandwich panels with laminated faces," Journal of Composite Materials, 29(15), pp.1962-1987, 1995.
- [4] I. G. Masters and K. E. Evans, "Models for elastic deformations of honeycombs," Composite structures, 35, pp.403-422, 1996.
- [5] P. Qiao and M. Yang, "Impact Mechanics and High-Energy Absorbing Materials," Journal of Aerospace Engineering, 21:4, pp.235-248, 2008.
- [6] K. Rao and J. Rao, "Thermostructural analysis of honeycomb sandwich panels, International Journal of Engineering, Science & Advanced Technology," 2(5), pp.1402-1409, 2012.
- [7] M. R. Said, M. K. Ismail and S. A. Syed Putra, "Paper Honeycomb Sandwiches Panels under Static 3 - Point Bending", International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM 2011) Solo-Indonesia, pp.271-278, 2011.
- [8] J. Paika, A. K. Thayamballi and G. S. Kim, "The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels," Thin - Walled Structures, 35(3), pp.205-231, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



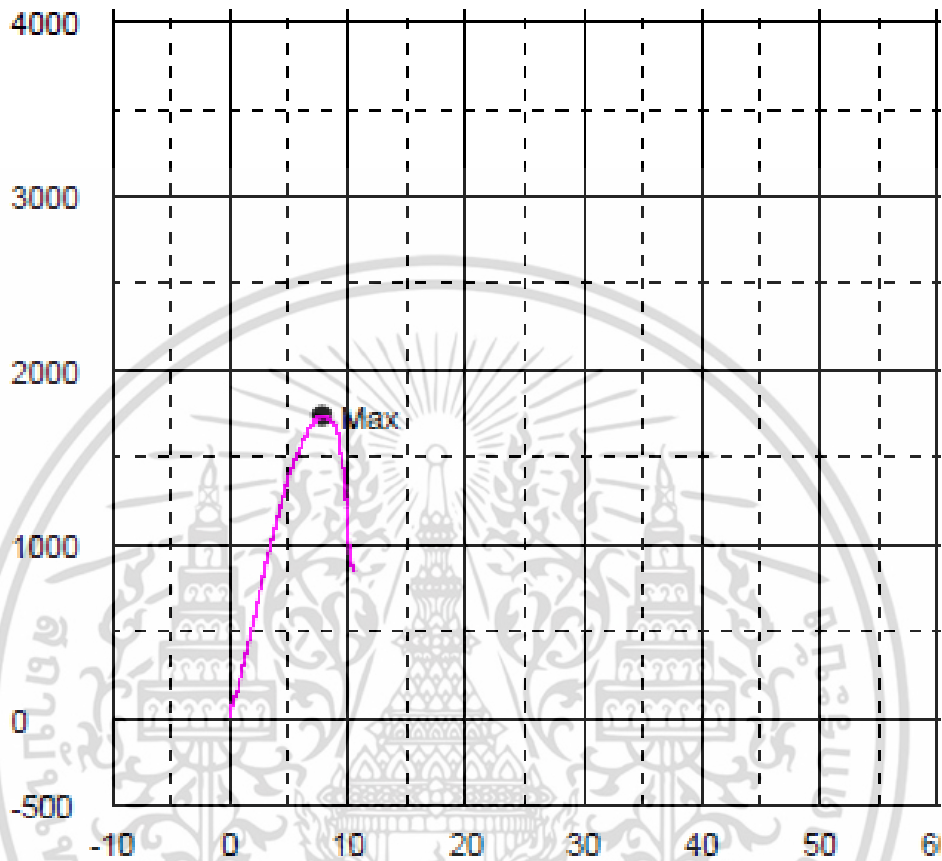
ภาคผนวก ข
ผลที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



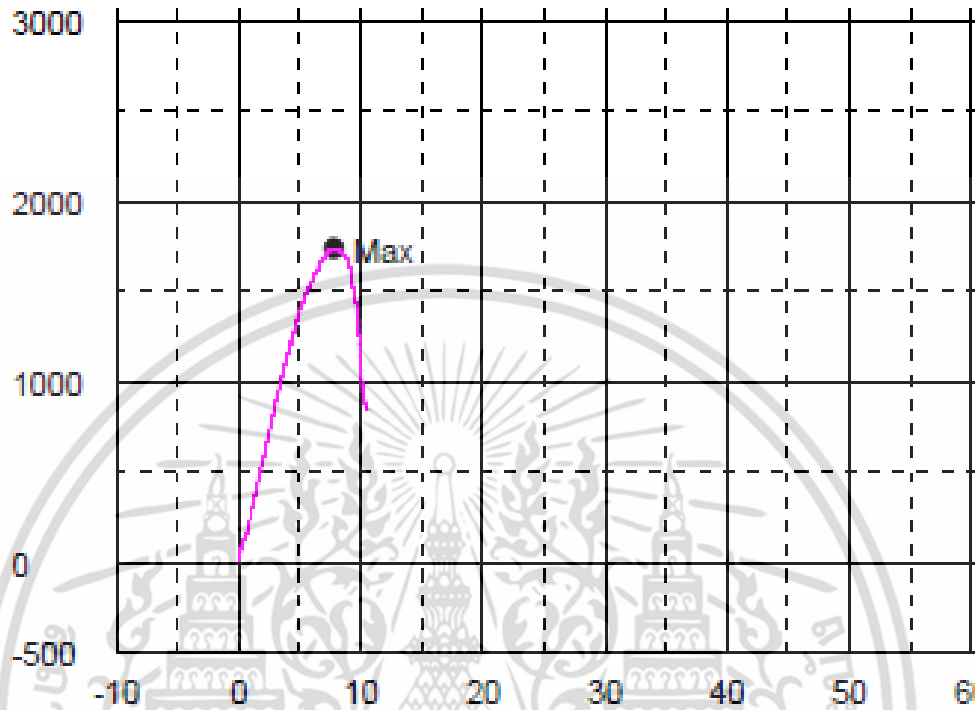
ผลการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



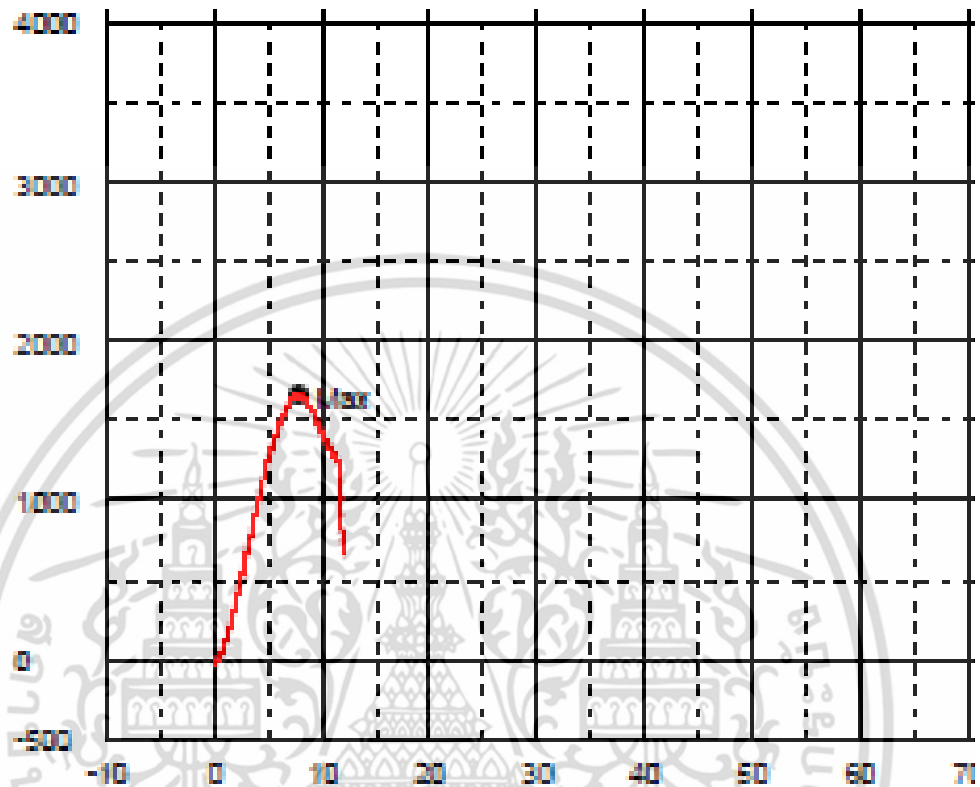
ผลการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



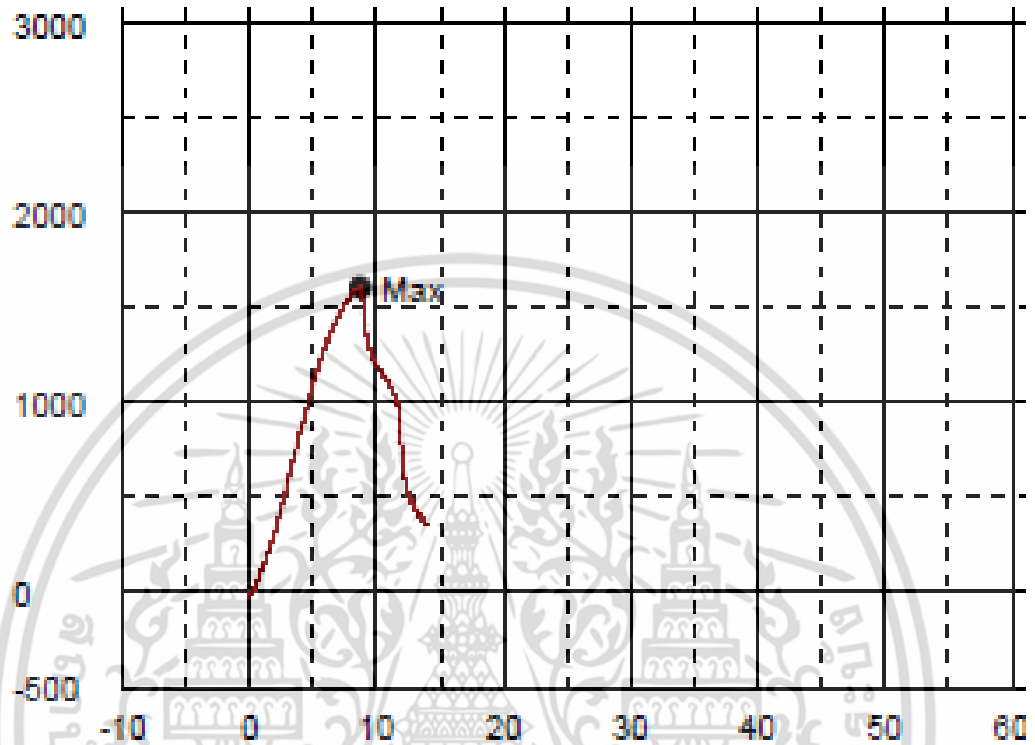
ผลการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง
มอก.878 - 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

มอก.878 - 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1999 (พ.ศ. 2537)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก.878-2532

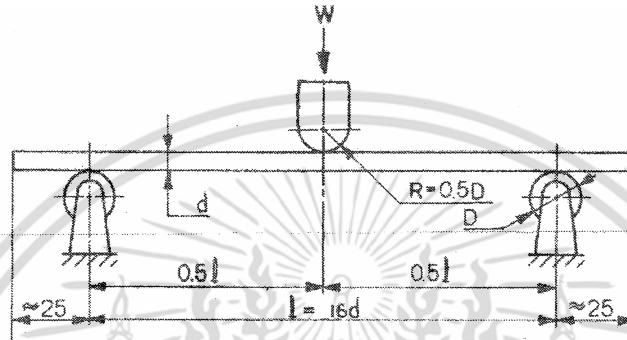
อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1516 (พ.ศ.2532) ลงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2532 ดังต่อไปนี้

1. ให้แก้หมายเลขมาตรฐานเลขที่ “มอก. 878-2532” เป็น “มอก. 878-2537”
2. ให้ยกเลิกความในข้อ 5.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“5.2 การทำ
ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชิ้นไม้แยกชิ้นไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการนำไปผสมกับปูนซีเมนต์แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นในแบบ โดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป”
3. ให้ยกเลิกความในข้อ 6.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“6.4 สภาพนำความร้อน
ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน
การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874 Part 2 หรือ ASTM C 177)”

4. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.3.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
“9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร สำหรับวัดความหนา”
5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.3.1.3
“9.3.1.3 เวอร์เนียสแคลิเปอร์ส ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวัดความกว้างและความยาว”
6. ให้ยกเลิกรูปที่ 4 และให้ใช้รูปต่อไปนี้แทน



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น
(ข้อ 9.6.1.2)

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

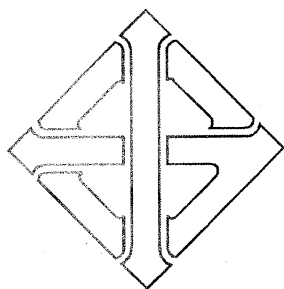
ประกาศ ณ วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2537

พลตรี สนั่น ขจรประศาสน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนที่ 87 ง

วันที่ 1 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2537



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 878-2532

แผ่นซีเมนต์อัดขึ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS : HIGH DENSITY

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 691.328.41:674.821

ISBN 974-8126-75-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง



ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่ม 106 ตอนที่ 137
วันที่ 24 สิงหาคม พุทธศักราช 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 120
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นอัดสำหรับการก่อสร้าง

ประธานกรรมการ

นายวรรณะ มณี

ผู้แทนสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

กรรมการ

นายสุธี หาญสงคราม

ผู้แทนกรมป่าไม้

นายสมศักดิ์ พัฒนประภาพันธุ์

นายยงยุทธ ศรีเมฆรัตน์

ผู้แทนกรมโยธาธิการ

นายสุทธิศักดิ์ ลำไธสงประสงค์

ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายอรุณ พุฒยางกูร

ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

นายฝั่งผาย สุนทรภักย์

ผู้แทนวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา

วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

นายพลสินธุ์ อาชวาคม

ผู้แทนกรมการค้าต่างประเทศ

นายวิจิตร กฤษณบำรุง

ผู้แทนคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นายอำนาจ พาณิชกุล

ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

นายอภัย วัฒนันท์

ผู้แทนบริษัท ศรีมหาราชา จำกัด

-

ผู้แทนบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด

ร.ต. อุทัย สินธุประมา

นายวิชัย ภูษิตวิทย์

นายชูชาติ บุญศิริ

ผู้แทนบริษัท ไทยชิปบอร์ด จำกัด

ร.ท. ฉลอง ชุนพรหม

ผู้แทนบริษัท สตราไมต์บอร์ด จำกัด

นายก่อเกียรติ แยมมีศรี

ผู้แทนบริษัท เซลโลกรีดไทย จำกัด

นายนิสสิต บุญ-หลง

ผู้แทนบริษัท ไทยทักซิณป่าไม้ จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายสมคิด แสงนิล

ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการทำแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้นได้เองภายในประเทศ โดยนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป และส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้และเพื่อประโยชน์แก่ผู้ใช้ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยอาศัยเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 8335 : 1987

Cement-bonded particleboards-Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles



คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1516 (พ.ศ. 2532)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2532

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบ และการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่ใช้งานก่อสร้างทั่วไป
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบ รูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ซึ่งต่อไปนีมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากชั้นไม้และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2.2 ชั้นไม้ หมายถึง ชั้นหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ligno-cellulosic material) อื่น ๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ชั้นไม้อาจมีลักษณะต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้
 - 2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ชั้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเส้นไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเส้นไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย
 - 2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า
 - 2.2.3 แแถบ (strand) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ
 - 2.2.4 ชี้กบ (planer shaving) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กมีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง มีลักษณะเป็นแจกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)
 - 2.2.5 แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้นไม้น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา
 - 2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน
 - 2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์
- 2.3 วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่าง ๆ ได้แก่ ขานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

3. แบบและสัญลักษณ์

3.1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะพื้นผิว คือ

3.1.1 แบบผิวขัดเรียบ มีสัญลักษณ์ SAN

3.1.2 แบบผิวไม่ขัด มีสัญลักษณ์ UNS

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้างและความยาว ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

หมายเหตุ 1. ความกว้างที่แนะนำ คือ 600 900 และ 1 200 มิลลิเมตร

2. ความยาวที่แนะนำ คือ 1 200 1 800 และ 2 400 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.2 ความหนา ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากแต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นสั้น

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 4.1 และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน		
	ความกว้าง และความยาว	ความหนา	
		SAN	UNS
ระบุ			
6 ถึง 12			± 1.0
เกิน 12 ถึง 20	± 5	± 0.3	± 1.5
เกิน 20			± 2.0

5. ส่วนประกอบและการทำ

5.1 ส่วนประกอบ

5.1.1 ชันไม้

5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชันไม้ แยกชันไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชันไม้อัดซีเมนต์เสียไป

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชันไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความหนาแน่นความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

6.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874)

6.5 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ
(ข้อ 6.5)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบ ตาม
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	0.5	ข้อ 9.7

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) คำว่า “แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์”
 - (2) สัญลักษณ์ของแบบ
 - (3) ขนาด (กว้าง × ยาว × หนา) เป็นมิลลิเมตร
 - (4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
 - (5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

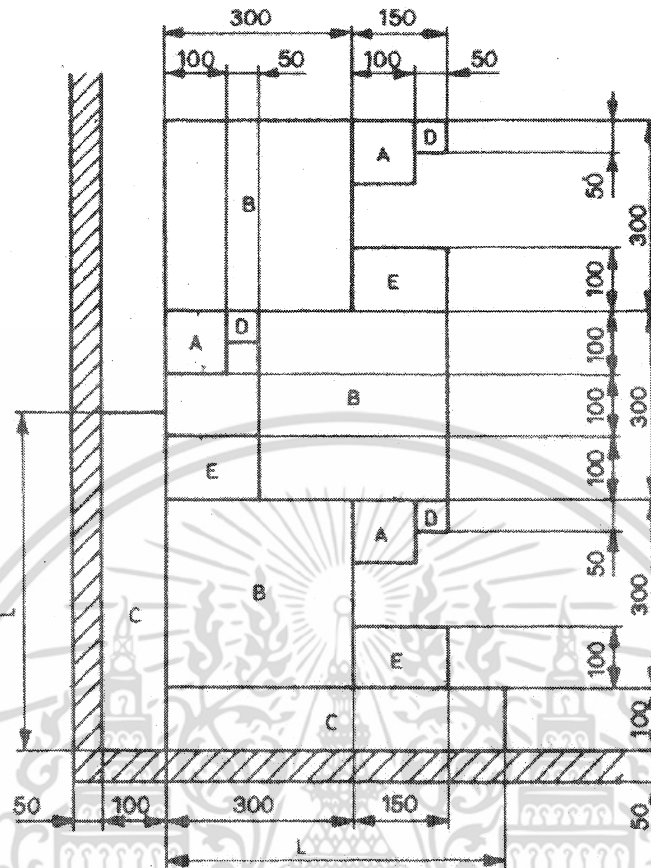
- 8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีแบบและความหนาระบุเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- 8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และลักษณะทั่วไป
- 8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 3
- 8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 6.1 ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับ ที่กำหนดในตารางที่ 3 จึงจะถือว่าแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป

(ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 150	3	0
151 ถึง 500	13	1
501 ขึ้นไป	20	2

- 8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น สภาพนำความร้อน และคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ
- 8.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่ม จากแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด และลักษณะทั่วไปแล้ว มาจำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นให้ตัดเป็นชิ้นทดสอบตามรูปที่ 1
- ชิ้นทดสอบ A สำหรับทดสอบความหนาแน่น และความชื้น จำนวน 3 ชิ้น
 - ชิ้นทดสอบ B สำหรับทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จำนวน 3 ชิ้น
 - ชิ้นทดสอบ C สำหรับทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จำนวน 2 ชิ้น
 - ชิ้นทดสอบ D สำหรับทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จำนวน 3 ชิ้น
 - ชิ้นทดสอบ E สำหรับการทดสอบสภาพนำความร้อน จำนวน 3 ชิ้น



L = 16 เท่าของความหนาระบุ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็ม
ของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) บวกด้วย 25 มิลลิเมตร

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตำแหน่งและการตัดชิ้นทดสอบ
(ข้อ 8.2.2.1)

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 ข้อ 6.3 ข้อ 6.4 และข้อ 6.5 ทุกรายการ จึงจะถือว่า
แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รูนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.3 เกณฑ์ตัดลิ้น

ตัวอย่างแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และ ข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าแผ่นชั้นไม้อัด
ซีเมนต์รูนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. การทดสอบ

9.1 การปรับภาวะขึ้นทดสอบ

ให้นำขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึง ตั้งฉากกับผิวหน้า และสภาพนำความร้อน ไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ 23 ± 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 60 ± 10 จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกิน ร้อยละ 0.5 แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับภาวะ ส่วนขึ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นและความชื้นไม่ต้องปรับภาวะ

9.2 ขนาด

9.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ประมาณ 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.2 ความหนา

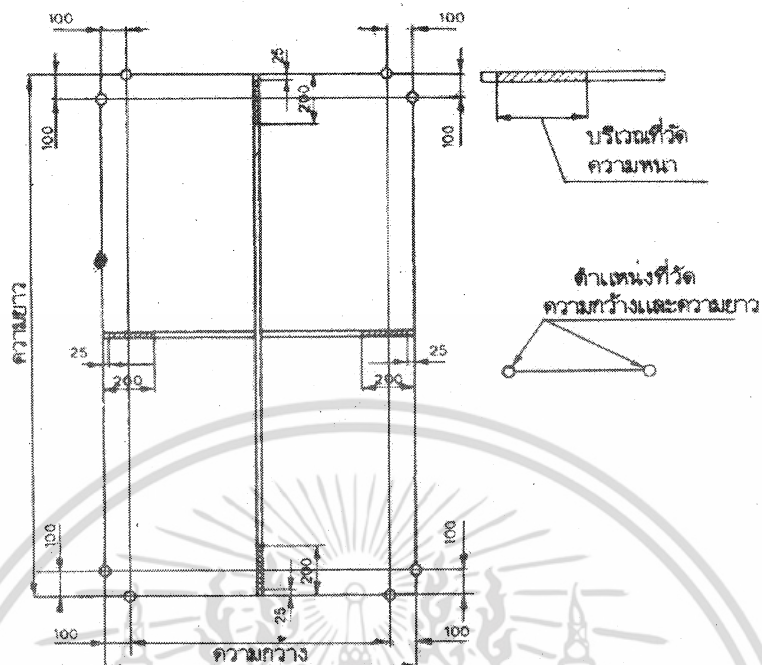
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

9.2.4 ความตรงของขอบ

ขึงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์
(ข้อ 9.2.1 และข้อ 9.2.2)

9.3 ความหนาแน่น

9.3.1 เครื่องมือ

9.3.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

9.3.2 วิธีทดสอบ

9.3.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม

9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.3 วิธีคำนวณ

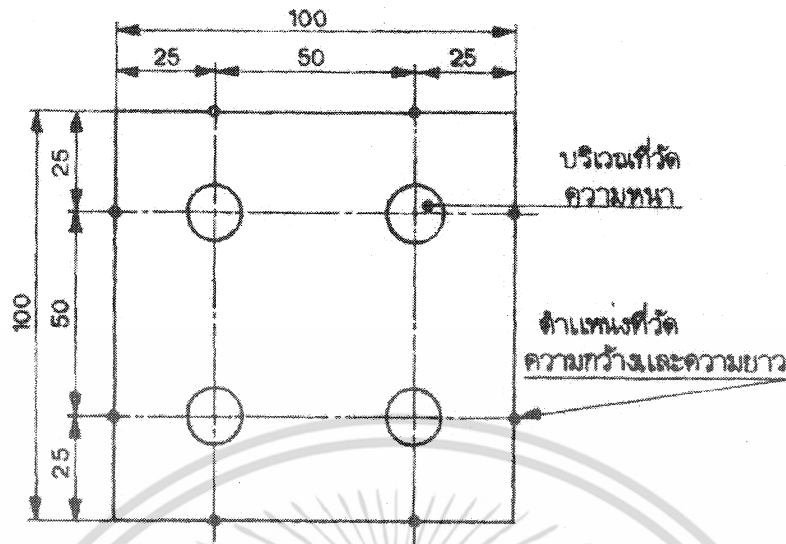
หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)}} \times 10^6$$

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ
(ข้อ 9.3.2.2 ข้อ 9.3.2.3 และข้อ 9.5.2.1)

9.4 ความชื้น

9.4.1 เครื่องมือ

- 9.4.1.1 เครื่องชั่ง ที่ซึ่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- 9.4.1.2 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 130 ± 2 องศาเซลเซียส
- 9.4.1.3 เดชิกเคเตอร์

9.4.2 วิธีทดสอบ

- 9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- 9.4.2.2 อบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 9.4.2.3 นำมาใส่ในเดชิกเคเตอร์ ปลดไอน้ำให้เย็น
- 9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้นร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

9.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

มอก. 878-2532

9.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

9.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

9.5.2 วิธีทดสอบ

9.5.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามรูปที่ 3 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

9.5.2.2 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

9.5.2.3 เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

9.5.2.4 เมื่อปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

9.5.3 วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$= \frac{\text{การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ}}{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร) - ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}} \times 100$$

$$\text{การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร) - ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}} \times 100$$

9.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

9.6 ความต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

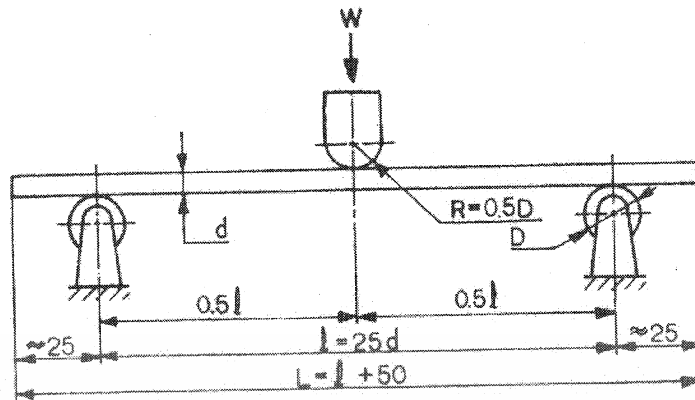
9.6.1.3 มาตรการแอนตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

9.6.2.1 วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามรูปที่ 4 ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่าๆ กัน

9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอนตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น
(ข้อ 9.6.2.1)

9.6.3 วิธีคำนวณ

9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

$$f = \frac{3 W \ell}{2 b f^2}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล

W คือ แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

9.6.3.2 หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{\ell^3 \Delta W}{4 b d^3 \Delta S}$$

เมื่อ f คือ มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

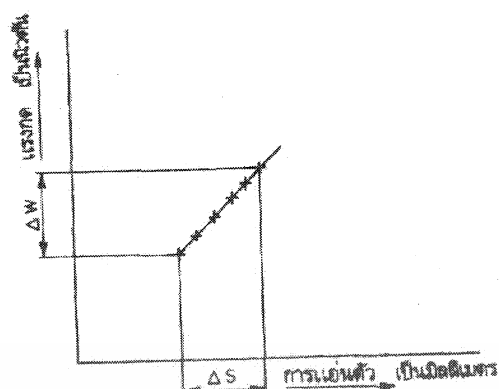
ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

ΔS คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการเอ่นตัว
(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงและมอดูลัสยืดหยุ่น

9.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

9.7.1 เครื่องมือ

9.7.1.1 เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที

9.7.1.2 แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

9.7.2 วิธีทดสอบ

9.7.2.1 ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ

9.7.2.2 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.7.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{เมกะพาสคัล} \times \text{ความกว้าง (มิลลิเมตร)} \times \text{ความยาว (มิลลิเมตร)}}$$

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นายปยุตปวีร์ จงรัตน์ศรีกุล
วัน เดือน ปีเกิด	20 พฤษภาคม 2527
ประวัติการศึกษา	โรงเรียนทวีธาภิเศก ปีการศึกษา 2545
ระดับมัธยมศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ระดับปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ปีการศึกษา 2549
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2560
ประวัติการทำงาน	วิศวกรพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท ฮิตาชิ เคมีคัล ออโตโมทีฟ โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด 2549 – 2555 ข้าราชการ ตำแหน่งนักวิชาการมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555 – ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้