

**สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร**

การศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์  
ของวัสดุผนังประหัตถ์พลังงานประเภทเชิงประกอบ  
STUDY ON MACHANICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE WALL MADE FROM ENERGY-SAFE MATERIALS



โดย  
นายพงษ์พิพัฒน์ ภู่นุช  
นางสาวสุตารัตน์ สุจริยานุรักษ์

27/11/2550  
2550

เลขที่.....  
83315  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2550

b. 119 67 353
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON MACHANICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE WALL MADE FROM ENERGY-SAFE MATERIALS**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหยัดพลังงาน  
ประเภทเชิงประกอบ

ชื่อคณะวิจัย นาย พงษ์พิพัฒน์ ภู่นุช รหัสประจำตัว 47010476  
นางสาวสุดารัตน์ สุจริยานุรักษ์ รหัสประจำตัว 47010856


หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกล ห่อวโนทยาน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. อูมา สีนุญเรือง อ. ชลิตา อู่ตะเภา ผศ.ดร. สกล ห่อวโนทยาน	 สกล ห่อวโนทยาน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
(รศ. อำนวย พาณิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 26 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหัดพลังงานประเภท เชิงประกอบ (Composite Material)
นักศึกษา	นายพงษ์พัฒน์ ภูมูช นางสาวสุภารัตน์ สุจริยานุรักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุท ห่อวโนทยาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2550

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การประหัดพลังงานเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการออกแบบอาคาร มักมีการวางแผนการนำวัสดุประหัดพลังงานมาใช้ กับอาคารต่างๆ

ผนังประหัดพลังงานประเภทเชิงประกอบถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป ทำหน้าที่เป็นผนังรับแรง ซึ่งภายในประกอบด้วยโครงถัก(Truss) เหล็กหรือไม้ ภายนอกปิดด้วยฉนวน ซึ่งประกอบด้วยโฟมโพลีสไตรีนกับไฟเบอร์ซีเมนต์ ก่ออิฐทั่วไป และผู้วิจัย ได้จัดทำผนังก่อก่ออิฐปิดด้วยฉนวน ทดสอบการรับแรงอัด เพื่อเปรียบเทียบกับผนังประหัดพลังงานประเภทเชิงประกอบ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหัดพลังงานประเภทเชิงประกอบ

ชิ้นส่วน โครงถักจำนวนทั้งหมด 64 ชิ้นส่วน กำหนดให้ทดสอบรับแรงทั้ง 4 ประเภท คือการทดสอบการรับแรงอัด การรับแรงดึง การรับแรงเฉือน และการรับโมเมนต์ดัด ได้แบ่งชิ้นส่วนทดสอบออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

- 1) เหล็กบุด้วยโฟมโพลีสไตรีนปิดด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ 2 ด้าน
- 2) เหล็กบุด้วยโฟมโพลีสไตรีนปิดด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ 1 ด้าน
- 3) ไม้บุด้วยโฟมโพลีสไตรีนปิดด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ 2 ด้าน
- 4) ไม้บุด้วยโฟมโพลีสไตรีนปิดด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ 1 ด้าน

ผนังก่อก่ออิฐจำนวนทั้งหมด 8 ชิ้นส่วน กำหนดให้ทดสอบการรับแรงอัด ได้แบ่งชิ้นส่วนทดสอบออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ผนังก่อก่ออิฐเปลือยและผนังก่อก่ออิฐปิดด้วยฉนวน

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำผนังประหัดพลังงานประเภทเชิงประกอบไปประยุกต์ใช้เป็นชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป ประเภทผนังรับแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : STUDY ON MACHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE WALL  
MADE BY ENERGY- SAFE MATERIALS

Name : MR.PONGPIPAT PHUNOOCH  
MS.SUDARAT SUJARIYANURAK

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : ASSISTANT PROF.SAKUL HOVANOTAYAN

Year : 2007

## ABSTRACT

At present, energy-safe is important to building design, which is planned with energy-safe material used.

In order to applying the prefabrication system, the composite walls made from energy-safe materials are considered as bearing wall tested with 4 kinds of loading, which are designed inside and outside as steel or timber truss and insulation, respectively. To compare with the conventional system, brick with insulation is used for compression test.

The purpose of this research is the study on mechanical properties of composite wall made from energy-safe materials.

According to apply with 2 kind of insulation, the 64 specimens represent to the members of truss, can be divided into four groups as

- 1) steel-polystyrene-2 fiber boards (SF)
- 2) steel-polystyrene-1 fiber board (SE)
- 3) timber-polystyrene-2 fiber boards (WF)
- 4) timber-polystyrene-1 fiber board (WE)

which have been tested with 4 kinds of loading as compression, tension, bending and shear.

The 8 specimens represent to brick wall, are divided into two groups as

- 1) brick wall (B)
- 2) brick wall with insulation (BI)

which have been tested with compression.

The achievements of this research can be applied the composite walls made from energy-safe materials to the prefabrication system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.สกุล  
ห่อวโนทยาน อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลาย  
อย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ อบรมสั่ง  
สอน และกรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอน โครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทีมวิจัย โครงการศึกษาคุณสมบัติ  
ทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหัดพลังงานประเภทเชิงประกอบ (Composite Material) ทุกท่าน ที่กรุณา  
ให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องของ โครงการนี้ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็น  
ประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการ

ขอกราบขอบพระคุณบุพการีผู้ซึ่งให้กำเนิดมา มีสติปัญญาที่สมบูรณ์ มีโอกาสในการศึกษาเล่า  
เรียน พร้อมทั้งแรงใจในต่อสู้อุปสรรคนานา มาถึงบัดนี้

พงษ์พิพัฒน์ ภู่อุช  
สุครัตน์ สุจริยานุรักษ์  
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอ努ุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฅ
	สารบัญรูป	ฐ
1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
	1.4 แนวความคิดและวิธีดำเนินการศึกษาเพื่อให้บรรลุตาม วัตถุประสงค์และขอบเขตการดำเนินงาน	2
	1.4.1 การทบทวนข้อมูลทั่วไป	3
	1.4.2 การศึกษาระเบียบวิธีทดสอบทางวิศวกรรม	3
	1.4.3 การเตรียมการจัดทำวัสดุ และจัดเตรียมสถานที่ทดสอบ	4
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	5
	2.1 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ	5
	2.2 รูปแบบวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เป็นผนังอาคาร โดยทั่วไป	6
	2.3 หลักการทางกลศาสตร์วัสดุ	10
	2.3.1 แแรงและหน่วยแรง	10
	2.3.2 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุ	15
	2.3.3 รูปแบบการเสียหาย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.4 วัสดุที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ	24
	2.4.1 การพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสม	24
	2.4.2 ลักษณะการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม	25
3	ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการทดสอบ	26
	3.1 ขั้นตอนการศึกษา	26
	3.1.1 วิธีรวบรวมข้อมูล	26
	3.1.2 ขั้นตอนวิธีการศึกษา	27
	3.2 วิธีการทดสอบทางวิศวกรรม	29
	3.2.1 การทดสอบวัสดุโครงเคร่า	31
	3.2.2 การทดสอบวัสดุรูปแบบก่อ	42
	3.3 เครื่องมือทดสอบทางกลศาสตร์	46
	3.4 การจัดเตรียมวัสดุทดสอบ	47
	3.4.1 แนวความคิดในการจัดเตรียมวัสดุทดสอบ	47
	3.4.2 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุทดสอบ	49
4	การพิจารณาวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบภายในประเทศไทย	52
	4.1 การพิจารณาวัสดุ โครงสร้างและวัสดุฉนวนของประเทศไทย	52
	4.2 เกณฑ์ในการกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ	62
	4.3 การกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ	64
	4.4 สรุปรูปแบบวัสดุเชิงประกอบที่จะใช้ในการศึกษา	69
5	ผลการทดสอบทางวิศวกรรม	72
	5.1 การเรียกชื่อวัสดุทดสอบ	72
	5.2 การแสดงรายละเอียดค่าการทดสอบวัสดุเชิงประกอบ	
	ประเภทโครงเคร่าสำหรับการทดสอบกลศาสตร์แต่ละประเภท	74
	5.3 ผลการทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.3.1 การทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุโครงเคร่า ประเภทเหล็กรูปพรรณ	77
	5.3.2 การทดสอบการรับแรงอัดทิศทางขนานเส้น ของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง	81
5.4	ผลการทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า	85
	5.4.1 การทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุโครงเคร่า ประเภทเหล็กรูปพรรณ	86
	5.4.2 การทดสอบการรับแรงดึงทิศทางขนานเส้น ของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง	90
5.5	ผลการทดสอบการรับแรงดัดวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า	94
	5.5.1 การทดสอบการรับแรงดัดของวัสดุโครงเคร่า ประเภทเหล็กรูปพรรณ	95
	5.5.2 การทดสอบการรับแรงดัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง	98
5.6	ผลการทดสอบการรับแรงเฉือนวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า	102
5.7	ผลการทดสอบแรงอัดวัสดุประกอบประเภทวัสดุก่อ	104
6	แนวทางการใช้งานวัสดุ	106
	6.1 การทำงานของระบบก่อสร้างจริง	106
	6.1.1 การทำงานในระบบเปียก (Wet Process)	106
	6.1.2 การทำงานในระบบกึ่งสำเร็จรูป	108
	6.2 การพัฒนาในระบบอุตสาหกรรม	110
	6.2.1 แนวทางการพัฒนาชิ้นส่วนเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรม	110
	6.2.2 ข้อเสนอแนะในการผลิตเพื่อระบบอุตสาหกรรม	112
	6.3 การพิจารณาราคาของระบบผนัง	113
	6.3.1 ราคาของระบบผนังตามการวิจัยปัจจุบัน	113
	6.3.2 ราคาของระบบผนังเมื่อเปรียบเทียบกับ ระบบผนังโครงเคร่าอื่นๆ	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	6.3.3 แนวทางการลดต้นทุนของระบบผนัง	118
7	สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ	
	7.1 สรุปผลโครงการ	121
	7.2 ข้อเสนอแนะ	123
	บรรณานุกรม	124
ภาคผนวก ก	แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ	ผก1
ภาคผนวก ข	การรวบรวมค่าคุณสมบัติวัสดุจากการทดสอบมาตรฐาน	ผข1
ภาคผนวก ค	ข้อมูลรายละเอียดผลิตภัณฑ์	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.1	แสดงรายละเอียดวัสดุที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย	53
4.2	แสดงรายละเอียดวัสดุ โครงสร้างที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย	55
4.3	แสดงรายละเอียดวัสดุผนังที่ใช้ร่วมกับ โครงสร้างที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย	55
4.4	แสดงรายละเอียดคณวนที่มีการใช้งาน โดยทั่วไป	57
4.5	แสดงการเปรียบเทียบราคา ความยากง่ายในการจัดหา และลักษณะเฉพาะของคณวนแบบแผ่นแข็ง	61
4.6	แสดงวัสดุประกอบ โครงสร้าง และวัสดุประกอบคณวนที่จะใช้ในการศึกษา	64
4.7	แสดงสภาพการรับแรงที่เกิดขึ้นจากรูปแบบผนังที่ใช้ในวัสดุผนัง	69
5.1	แสดงการเรียกชื่อวัสดุสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์สำหรับวัสดุประเภท โครงสร้าง	73
5.2	แสดงการเรียกชื่อวัสดุสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์ สำหรับวัสดุประเภทวัสดุก่อ	74
5.3	แสดงรายละเอียดค่าการทดสอบสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์ แต่ละชนิด	75
5.4	แสดงค่าการทดสอบแรงอัดของวัสดุ โครงสร้างประเภทเหล็กรูปพรรณ	79
5.5	แสดงค่าการทดสอบแรงอัดขนานเส้นของวัสดุ โครงสร้างประเภทไม้เต็ง	84
5.6	แสดงค่าการทดสอบแรงดึงของวัสดุ โครงสร้างประเภทเหล็กรูปพรรณ	88
5.7	แสดงค่าการทดสอบแรงดึงขนานเส้นของวัสดุ โครงสร้างประเภทไม้	93
5.8	แสดงค่าการทดสอบแรงดัดของวัสดุ โครงสร้างประเภทเหล็กรูปพรรณ	97
5.9	แสดงค่าการทดสอบแรงดัดของวัสดุ โครงสร้างประเภทไม้เต็ง	101
5.10	แสดงค่าการทดสอบแรงดัดของวัสดุ โครงสร้าง	102
6.1	แสดงราคา ต่อ ตารางเมตร ของวัสดุต่างๆที่ใช้ในการวิจัย	113
6.2	แสดงการเปรียบเทียบราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้น และทำการเปรียบเทียบกับราคาของ โครงสร้างอื่นๆที่ใช้กันทั่วไป	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
6.3	แสดงราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมา เป็นวัสดุผนังประหยัคพลังงานประเภทเชิงประกอบ	119
7.1	ราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมา เป็นวัสดุผนังประหยัคพลังงานประเภทเชิงประกอบ	121
7.2	แสดงผลสรุปการทดสอบของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง	122



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงแนวความคิดในการศึกษาโครงการที่จะนำไปสู่ผลสำเร็จในการศึกษา	4
2.1	แสดงสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้จริงเพื่อทำความเย็นให้กับอาคารภายในห้อง และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปเพื่อลดความร้อนและความชื้นที่แทรกผ่านเปลือกอาคารเข้ามา	5
2.2	แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภท โครงเคร่า	7
2.3	แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภทผนังก่อ	8
2.4	แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภทอื่นๆ	9
2.5	แสดงการหาแรงภายใน	10
2.6	แสดงทิศทางของแรงต่อวัตถุ	12
2.7	แสดงรูปแบบของหน่วยแรงตั้งฉาก	12
2.8	แสดงรูปแบบของหน่วยแรงเฉือน	13
2.9	แสดงลักษณะของหน่วยแรงเฉือนเดี่ยว (Single shear) บนอุปกรณ์ยึด	13
2.10	แสดงลักษณะของหน่วยแรงเฉือนคู่ (Double shear) บนอุปกรณ์ยึด	14
2.11	แสดงลักษณะของหน่วยแรงเฉือนคู่ (Double shear) บนอุปกรณ์ยึด	14
2.12	แสดงการยึดของชิ้นส่วน dL ใดๆ ในวัตถุเมื่อได้รับความความเค้น	15
2.13	แสดงความเครียดตามยาวเฉลี่ย	15
2.14	แสดงทิศทางและรูปแบบของวัตถุก่อนและหลังการเสียรูป	16
2.15	แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเหนียวสองชนิด	17
2.16	แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเปราะ	18
2.17	แผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของเหล็กชนิดต่างๆ	18
2.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมและค่าระดับการต้านทานความร้อนของวัสดุ	24
3.1	แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษาของโครงการ	29
3.2	แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเหนียว	31
3.3	แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเปราะ	31
3.4	แสดงแนวคิดในการทดสอบวัสดุรูปแบบ โครงเคร่า	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.5	แสดงการประกอบและการปิดผิววัสดุรูปแบบโครงคร่า	32
3.6	Equipment Used for Compression Testing	35
3.7	Equipment Used for Tension Testing	37
3.8	Equipment Used for Shear Testing	39
3.9	Equipment Used for Flexural Bending Moment Testing (Center-Point Loading)	42
3.10	แสดงแนวคิดการทดสอบวัสดุรูปแบบก่อ	43
3.11	แสดงการประกอบและการปิดผิววัสดุรูปแบบ โครงคร่า	43
3.12	แสดงการเตรียมวัสดุตัวอย่าง สำหรับการทดสอบ	45
3.13	Equipment Used for Compression Testing	46
3.14	Universal Testing Machine	46
3.15	แสดงลักษณะการออกแบบวัสดุที่จะใช้ทดสอบภายในโครงการ	47
3.16	แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงดึง	48
3.17	แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงอัด	48
3.18	แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงเฉือน	48
3.19	แสดงขนาดของวัสดุทดสอบ โมเมนต์คัต	49
3.20	แสดงการติดตั้งวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เข้ากับฉนวน โฟมโพลีสไตรีน แล้วกดทับด้วยวัสดุ โครงสร้างเพื่อให้วัสดุประสานติดแน่นก่อนยกเข้าเก็บ	49
3.21	แสดงการจัดสร้างวัสดุฉนวนฉาบปิดผิวหน้าด้วย Base Coat	50
3.22	แสดงการตัดชั้นวัสดุให้พอดีกับขนาดชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดสอบ	50
3.23	แสดงวัสดุฉนวนประเภทฉาบปิดผิวด้วย Base Coat ภายหลังจากการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ด้านหลังแล้ว	51
3.24	แสดงการติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุ โครงสร้างด้วยกาวอีพอกซี Sikadur® -31 CF Normal	51
4.1	แสดงแผนภูมิแนวคิดในการกำหนดวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบ	52
4.2	แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของฉนวนแต่ละประเภท	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.3	แสดงรูปลักษณะของฉนวนชนิดต่างๆที่มีการจำหน่ายอยู่ ภายในประเทศไทย	59
4.4	แสดงสภาพปัญหาที่เกิดจากการใช้วัสดุฉนวนไม่คงรูป	61
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาและค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวน ที่คงรูป	62
4.6	แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับ โครงสร้างไม้	65
4.7	แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับ โครงสร้างเหล็ก	66
4.8	แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับผนังก่ออิฐฉาบปูน	66
4.9	แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับผนังก่อคอนกรีตมวลเบา	67
4.10	แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับผนังก่อคอนกรีตบล็อก	68
5.1	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง	77
5.2	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง	78
5.3	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้น และความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF- C	78
5.4	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้น และความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE- C	79
5.5	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่า ประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงอัด	81
5.6	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการ ทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	82
5.7	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการ ทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WE-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.8	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T	83
5.9	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยนวัสดุตัวอย่างประเภท WE-T	83
5.10	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเค่าประเภทไม้เต็งจากการรับแรงอัด	85
5.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SF-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	86
5.12	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SE-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	87
5.13	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SF-T	87
5.14	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SE-T	88
5.15	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเค่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงดึง	90
5.16	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	91
5.17	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WE-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง	91
5.18	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยน วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T	92

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.19	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเส้นวัสดุตัวอย่างประเภท WE-T	92
5.20	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภท ไม้เต็งจากการรับแรงดึง	94
5.21	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง	95
5.22	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง	96
5.23	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-B	96
5.24	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE-B	97
5.25	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงดัด	98
5.26	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท WF-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง	99
5.27	แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท WE-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง	99
5.28	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท WF-B	100
5.29	แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท WE-B	100
5.30	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภท ไม้เต็งจากการรับแรงดัด	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.31	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงเฉือน	103
5.32	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็งจากการรับแรงเฉือน	104
5.33	แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุประกอบประเภทวัสดุก่อจากการรับแรงอัด	105
6.1	แสดงวัสดุชั้นฉนวนแบบปิดผิวด้วยเบสโคท	106
6.2	แสดงการติดตั้งวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในระบบเปียก	108
6.3	แสดงวัสดุชั้นฉนวนแบบปิดผิวด้วยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	109
6.4	แสดงการติดตั้งวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในระบบกึ่งสำเร็จรูป	110
6.5	แสดงการผลิตในระบบอุตสาหกรรมสำหรับส่วนวัสดุฉนวน	111
6.6	แสดงการผลิตในระบบอุตสาหกรรมสำหรับส่วนวัสดุทั้งระบบ	111
6.7	แสดงราคาเปรียบเทียบวัสดุผนังประหยัดพลังงานประเภทเชิงประกอบทั้ง 4 ชนิด ร่วมกับราคาโครงสร้างในแต่ละส่วน	116
6.8	แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับราคาของโครงสร้างอื่นๆที่ใช้กันทั่วไป	118
6.9	แสดงราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงานประเภทเชิงประกอบ	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ในอาคารที่มีการปรับอากาศสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด<sup>1</sup> การใช้วัสดุฉนวนเป็นส่วนหนึ่งของผนังอาคารจึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายใน และภายนอกอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลง

ในการเลือกใช้วัสดุฉนวนเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของผนังอาคารที่เป็นโครงสร้าง วัสดุฉนวนดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสามารถรับแรงในรูปแบบที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารได้ ผู้ผลิตวัสดุก่อหลายรายจึงได้นำวัสดุก่อมาเสริมความเป็นฉนวนด้วยการสร้างฟองอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุฉนวนที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยตรงยังถือว่ามีความเป็นฉนวนที่ด้อยกว่าอยู่มาก จึงมีการแก้ปัญหาโดยการนำวัสดุฉนวนซึ่งมีคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับความต้องการในการใช้งานเป็นกรอบอาคารทั่วไป คือมีความสามารถในการรับแรงได้น้อย ไม่สามารถทนแรงกด กระแทกได้ และมีเนื้อวัสดุที่ไม่ยึดเกาะกันมาประกอบกับวัสดุก่อสร้างบางประเภทที่ใช้เป็น โครงสร้างเพื่อให้ฉนวนยึดเกาะและคงโครงสร้างอยู่ได้ในลักษณะวัสดุประกอบ (Composite Material) เพื่อสร้างเป็นวัสดุผนังอาคารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นกว่าการใช้วัสดุก่อที่มีรูพรุน

การใช้วัสดุเชิงประกอบเป็นกรอบอาคาร มีความน่าสนใจตรงที่เป็นการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นแต่ละด้านมาประกอบกันอย่างเหมาะสมเพื่อใช้ประโยชน์ทั้งในด้านความแข็งแรง ความคู่กับการประหยัดพลังงาน งานนี้มุ่งศึกษาลักษณะทางกลศาสตร์ของวัสดุเชิงประกอบจากฉนวน และวัสดุ โครงสร้างจากวัสดุก่อสร้างที่มีอยู่ในท้องตลาดของประเทศไทยด้วยเทคนิคทางกลศาสตร์วิศวกรรม เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพในการการดัดแปลงนำวัสดุทั้งสองชนิดมาใช้เป็นวัสดุผนังอาคาร ตลอดจนสนับสนุนให้มีการใช้ประโยชน์วัสดุประเภทนี้อย่างกว้างขวางขึ้นในอนาคต

<sup>1</sup> คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, รายงานฉบับสมบูรณ์: โครงการการศึกษาสภาพ

การใช้พลังงานและแนวทางส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย, (มีนาคม 2547): (1)-2-4.

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาวัสดุผนังแบบเชิงประกอบ (Composite Material) ที่มีความเหมาะสมทางกลศาสตร์เพื่อให้ได้วัสดุที่แข็งแรงในการนำไปใช้งานในส่วนต่างๆของอาคารที่มีการปรับอากาศ
- 2) เพื่อเป็นการสนับสนุนให้ผู้ออกแบบอาคารเห็นความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่แข็งแรงและมีค่าความเป็นฉนวนสูงเพื่อใช้เป็นวัสดุผนังอาคารปรับอากาศที่มีศักยภาพทั้งทางด้านการใช้งาน การประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่าย
- 3) เพื่อนำเทคนิควิธีการตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรมกลศาสตร์ มาใช้เพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบรูปแบบใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

- 1) วิเคราะห์และกำหนดวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง และมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง ไม่เกิน 5 รูปแบบ เพื่อนำไปทดสอบมาตรฐานทางกลศาสตร์ จากการประกอบวัสดุก่อสร้าง และวัสดุที่มีความเป็นไปได้ในลักษณะอื่นๆ โดยคัดเลือกจากวัสดุที่มีที่มาจากแหล่งต่างๆภายในประเทศไทยเท่านั้น
- 2) ตรวจวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลศาสตร์ 4 ประเภท อันได้แก่ การรับแรงอัด การรับแรงดึง การรับแรงเฉือน และ โมเมนต์ดัด ของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้วว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงเพื่อใช้เป็นวัสดุผนังอาคารสำหรับอาคารที่มีส่วนปรับอากาศภายในประเทศไทยโดยทั่วไป
- 3) ศึกษาแนวทางในการนำวัสดุดังกล่าวไปใช้ในการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นรูปแบบในการติดตั้ง ข้อดี-ข้อเสียของระบบ ฯลฯ เพื่อให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความสามารถในการนำไปใช้ในการก่อสร้างจริง

## 1.4 แนวความคิดและวิธีดำเนินการศึกษาเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการดำเนินงาน

เพื่อให้การศึกษาคูสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหยัดพลังงาน ประเภทเชิงประกอบ มีการดำเนินงานเป็น ไปอย่างมีระบบและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ จึง ให้มีการจัดทำรายงานอย่างเป็นระบบสอดคล้องตามแผนงาน ความเป็นไปได้ในการศึกษา ระยะเวลาการส่งและนำเสนอรายงาน การเข้าไปดำเนินการตามแผนงานแต่ละช่วงที่สัมพันธ์กับขอบเขตการดำเนินงาน ดังนั้น การศึกษาและจัดทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานในโครงการดังกล่าว จึงมีการลำดับความสำคัญของการะงานกิจกรรมต่างๆ ตามความจำเป็นเร่งด่วน ภายใต้ความร่วมมือและคาดการณ์ถึงปัญหาหรืออุปสรรคต่างๆ ล่วงหน้าที่อาจมีขึ้นได้

เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการดำเนินงานต่อไปในอนาคต จึงมีการวางแผนตามขั้นตอนตามแผน ดังนี้

#### 1.4.1 การทบทวนข้อมูลทั่วไป

##### 1) การศึกษาทบทวนวรรณกรรมจากเอกสาร ตำรา สิ่งพิมพ์ รายงานผลการศึกษา

วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ ข้อมูลจาก ห้องสมุด ข่าวสารอิเล็กทรอนิกส์

##### 1.1) ศึกษาปัจจัยด้านพลังงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อวางแผนความคิดสำคัญของโครงการ ในการ

กำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุผนังที่จะใช้ในการทดสอบ ขั้นตอนนี้มีความสำคัญและต้องการการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุทดสอบที่กำหนดขึ้นจะมีแนวโน้มในการใช้งานจริงเพื่อเป็นวัสดุผนังที่สามารถช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารปรับอากาศได้

##### 1.2) ศึกษาปัจจัยด้าน โครงสร้างการใช้งานเป็นผนังของบ้านพักอาศัย การทดสอบ

และเครื่องมือต่างๆ รวมถึง การนำข้อดีของวัสดุที่เป็นวัสดุโครงสร้าง และ วัสดุฉนวนเข้ามาประกอบกันเข้าเป็นวัสดุประหยัดพลังงาน

##### 2) การรวบรวมข้อมูลด้านวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในประเทศไทย เพื่อทราบถึงลักษณะการในงานวัสดุจริงที่เกิดขึ้นภายใต้ห้องทดลองของประเทศไทย การทราบข้อมูลในห้องทดลองจะช่วยให้วัสดุประหยัดพลังงานที่กำหนดขึ้นมีความเป็นไปได้ในการใช้งานภายในประเทศสูงมากขึ้น เนื่องจากจะสามารถหาได้ง่าย และเหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้างของประเทศไทย

#### 1.4.2 การศึกษาระเบียบวิธีทดสอบทางวิศวกรรม

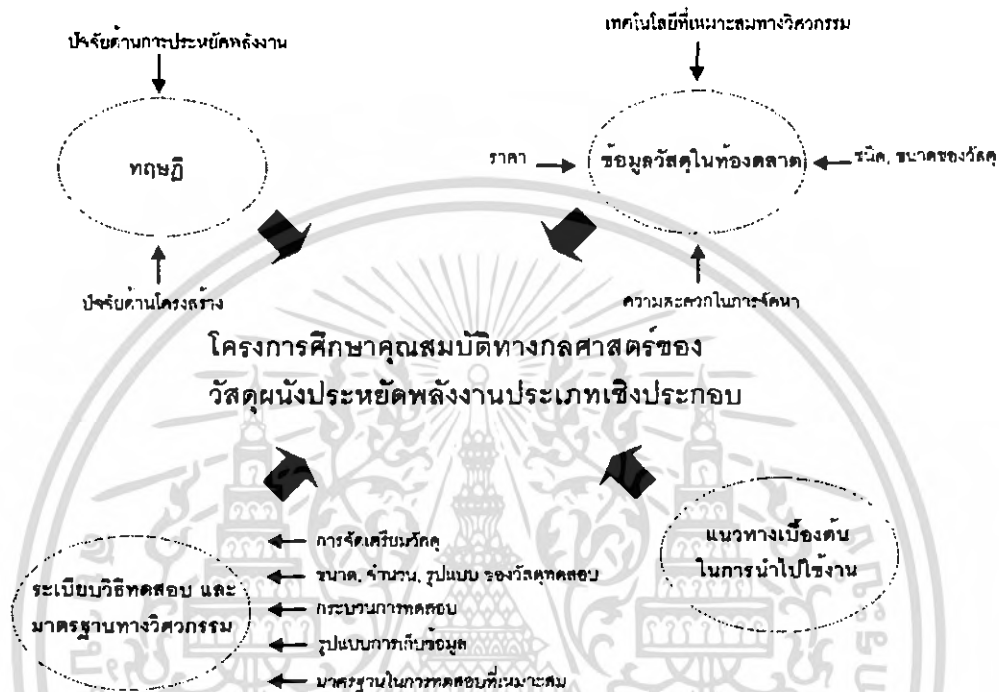
ภายหลังจากที่ได้กำหนดวัสดุที่เหมาะสมในการทดสอบขึ้นจากการทบทวนข้อมูล จึงเข้าสู่การเตรียมการทดสอบด้วยมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ การศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทางวิศวกรรมในด้านต่างๆ ดังนี้

- มาตรฐานการทดสอบทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ทำการทดสอบ
- รูปแบบการจัดเตรียมชิ้นวัสดุเพื่อการทดสอบ
- กระบวนการทดสอบที่เหมาะสม
- รูปแบบการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.4.3 การเตรียมการจัดทำวัสดุ และจัดเตรียมสถานที่ทดสอบ

สำหรับเครื่องมือเพื่อการทดสอบและเก็บข้อมูล จะใช้เครื่องมือซึ่งเป็นครุภัณฑ์ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นหลัก ทั้งนี้จะคำนึงถึงผลการทดสอบและตรวจวัดที่ถูกต้องได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับเป็นสำคัญ



รูปที่ 1.1 แสดงแนวความคิดในการศึกษาโครงการที่จะนำไปสู่ผลสำเร็จในการศึกษา

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับวัสดุผนังเชิงประกอบที่สามารถนำไปใช้งานเป็นระบบผนังประหยัดพลังงานให้กับอาคารที่มีการปรับอากาศ เพื่อเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการพัฒนาแนวทางการประหยัดพลังงานต่อไป
- 2) ได้รับค่าความแข็งแรงทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังเชิงประกอบ เพื่อเปรียบเทียบและเลือกใช้วัสดุ ไปใช้งานในเชิงวิศวกรรมได้อย่างถูกต้องเหมาะสม
- 3) ได้รับรูปแบบวัสดุใหม่ๆที่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างโดยมีความเหมาะสมกับการประหยัดพลังงานในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

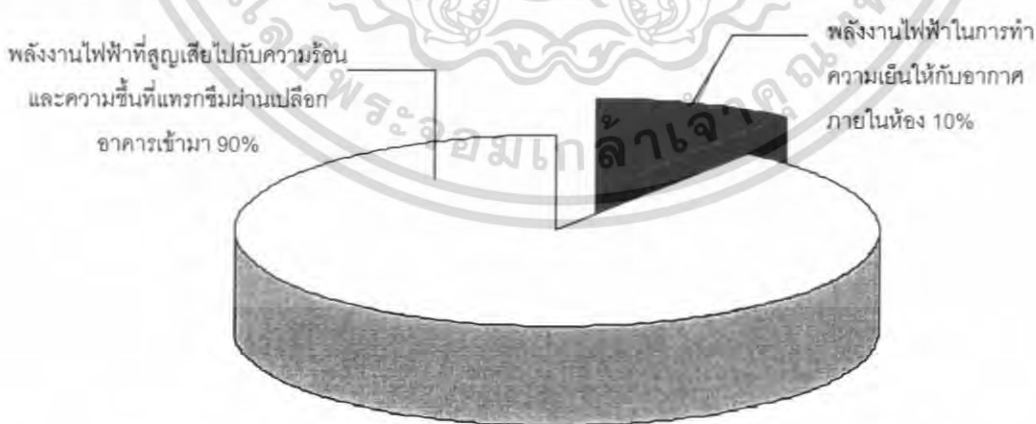
# บทที่ 2

## วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สภาพอากาศตลอดทั้งปีจึงมีระดับอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันสูงเกินจากเขตสบายทางอุณหภูมิของมนุษย์ การแก้ไขปัญหาคายความร้อนที่เกิดขึ้นจึงมักลงเอยที่การติดตั้งเครื่องปรับอากาศไว้ภายในอาคารซึ่งการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารพักอาศัย โดยส่วนใหญ่มักเป็นพลังงานอีกเท่าตัวของพลังงานไฟฟ้าในส่วนของไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารพักอาศัยการใช้พลังงานภายในเครื่องปรับอากาศจึงกลายเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องมีการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ต้นเหตุของการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเกิดจากสภาพอากาศที่ร้อนจัดและการใช้ระบบเปลือกอาคารที่ไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเป็นหลัก เมื่อสภาพภายนอกอาคารมีความร้อนชื้นสูงจะเกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็วเข้าสู่ภายในอาคารอันเป็นสาเหตุในการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงของเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในประเทศไทย การใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทยมักสิ้นเปลืองไปกับการลดความร้อนจากเปลือกอาคารและการรั่วซึมของอากาศร้อนจากภายนอกถึง 80–90 % ในขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าไปในการทำความเย็นให้กับอากาศภายในอาคารเพียง 10 % (เอกสารอ้างอิง: เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ B4 “บุญนวนกันความร้อนช่วยประหยัดพลังงาน หน้า 7”)



รูปที่ 2.1 แสดงสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้จริงเพื่อทำความเย็นให้กับอากาศภายในห้อง และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปเพื่อลดความร้อนและความชื้นที่แทรกผ่านเปลือกอาคารเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มค่าความเป็นฉนวนความร้อนให้กับเปลือกอาคารจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การใช้ฉนวนความร้อนอาจไม่ใช่ทางเลือกที่ดีทั้งหมดสำหรับอาคารทุกประเภทในส่วนที่ไม่มีการปรับอากาศ เนื่องจากการใช้ฉนวนความร้อนเมื่อสามารถสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารได้ ฉนวนความร้อนจะสกัดกั้นความร้อนภายในอาคารไม่ให้ระบายออกสู่ภายนอกได้เช่นกัน ฉนวนความร้อนจึงอาจไม่เหมาะสมกับอาคารบางประเภทที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนสูงอยู่ภายในอาคาร อาทิเช่น เครื่องจักรกลต่างๆ เป็นต้น การเพิ่มค่าความเป็นฉนวนให้กับเปลือกอาคารโดยการใช้วัสดุฉนวนความร้อนจึงเป็นทางเลือกที่ควรจะมีการพิจารณาอย่างเหมาะสมต่อไป

## 2.2 รูปแบบวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เป็นผนังอาคารโดยทั่วไป

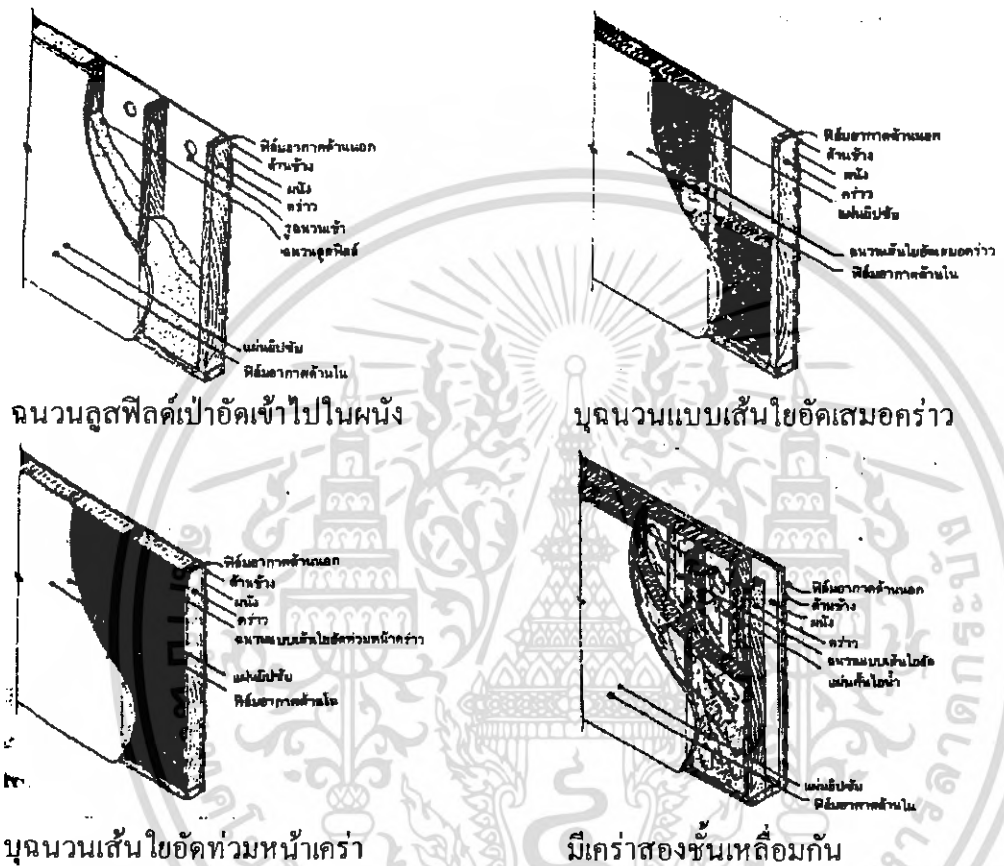
ระบบการก่อสร้างของประเทศไทยเน้นรูปแบบระบบ โครงสร้าง เสา-คาน (Post & Lintel) ไม่ว่าจะในการก่อสร้างในระบบเปียก (Wet Process) หรือระบบแห้ง (Dry Process) ระบบโครงสร้างในรูปแบบดังกล่าวมีรูปแบบการถ่ายน้ำหนักจากตัวโครงสร้างโดยตรง (ผนัง-พื้น-คาน-เสา) เปลือกอาคารไม่ว่าจะเป็นผนังหรือหลังคาล้วนแล้วแต่เป็นผิวปิดล้อมที่ไม่ต้องรับแรงอื่นนอกจากน้ำหนักของตนเองเป็นหลัก รูปแบบของผนังที่เกิดขึ้นจากการใช้งานส่วนใหญ่จึงเป็นผนังไม่รับแรงจากวัสดุก่อเป็นส่วนใหญ่ ผนังก่อดังกล่าวมักใช้วัสดุที่เป็นที่นิยมอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ กอนกรีตบดอัด และคอนกรีตมวลเบา

นอกจากรูปแบบของผนังที่สร้างจากวัสดุก่อยังมีอาคารบางประเภทที่ต้องการความรวดเร็วในการก่อสร้าง ซึ่งยังนิยมสร้างด้วยวัสดุ โครงสร้าง ไม้และเหล็กเป็นหลัก โดยมักใช้ผนัง โครงเคระบระบบ โครงสร้างแบบ เสา-คาน ผนังในรูปแบบนี้มีรูปแบบการรับน้ำหนักเช่นเดียวกับอาคารที่สร้างด้วยวัสดุ ก่อข้างต้น กล่าวคือการรับน้ำหนักไม่มีความจำเป็นต้องรับน้ำหนักในส่วนอื่นนอกจากน้ำหนักของ โครงสร้างผนังเอง

การใช้งานวัสดุฉนวนสำหรับพื้นที่ผนังมีการตัดแปลงการใช้งานหลากหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับวัสดุฉนวนที่นำมาใช้ และตำแหน่งการติดตั้ง สามารถพิจารณารูปแบบการหุ้มฉนวนออกได้เป็น 3 รูปแบบ หลักๆ คือ

- การหุ้มฉนวนกับผนัง โครงเคระบ
- การหุ้มฉนวนกับผนังก่อ
- การหุ้มฉนวนแบบอื่นๆ

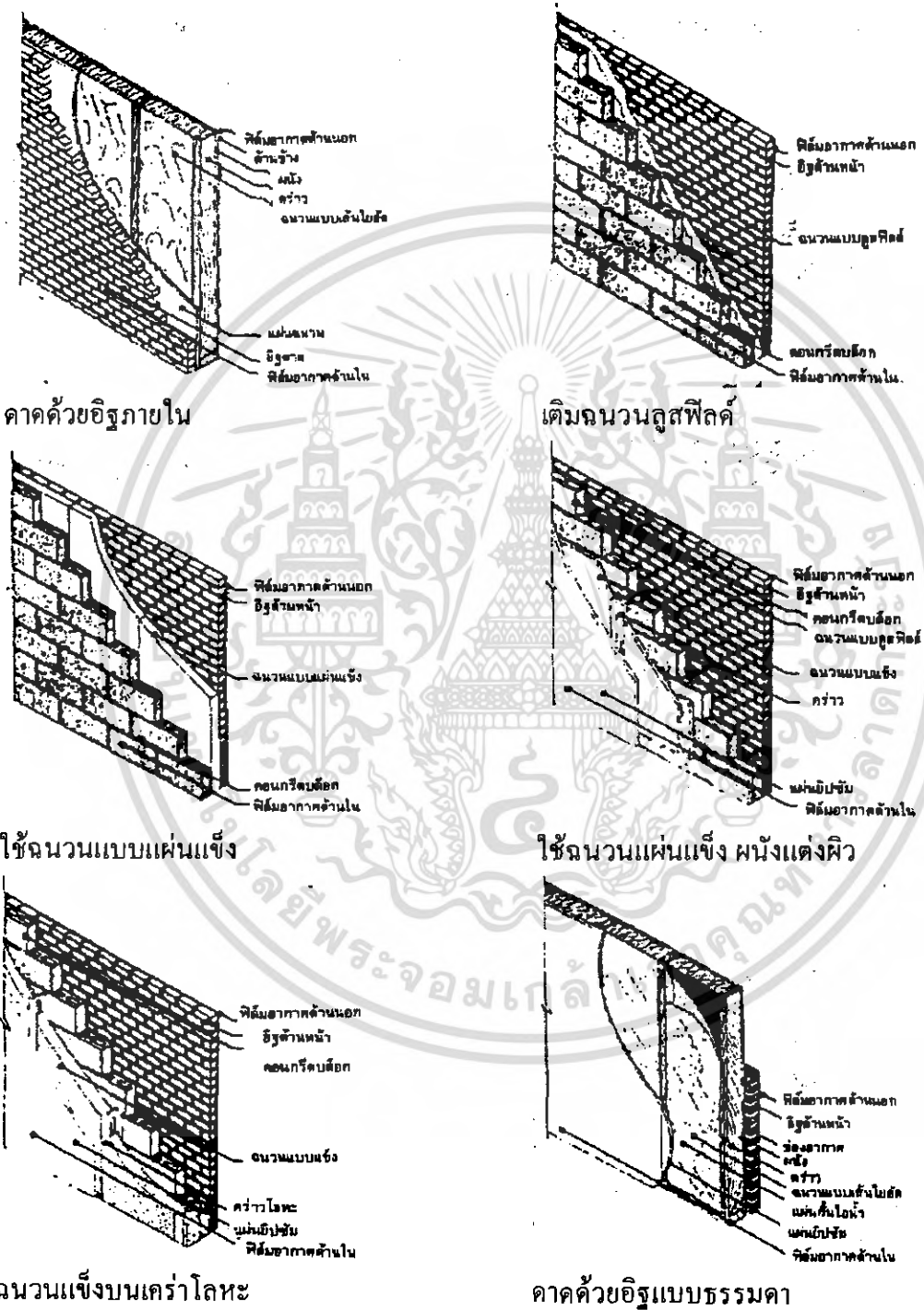
การมุดนนวนกับผนังโครงเคร่า – ผนังที่เป็นโครงเคร่ามีลักษณะที่เป็นช่องว่างภายในโครงผนังตามปกติอยู่แล้ว การติดตั้งฉนวนสามารถกระทำได้โดยการสอดฉนวนเข้าไปในช่องว่างระหว่างโครงเคร่าโดยตรง การใช้ฉนวนสามารถใช้ฉนวนในแบบแผ่นแข็งเป็นหลัก หรือใช้การเติมฉนวนประเภทลูสฟิลล์เข้าไปภายใน แต่มีข้อควรระวังในการป้องกันการแทรกซึมของไอน้ำจากภายนอกเนื่องจากฉนวนที่สอดเข้าไปภายในจะทำให้เกิดช่องว่างอากาศอยู่ตลอดแนวผนัง



รูปที่ 2.2 แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภท โครงเคร่า<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ตระกูล ก้าวสถิกรรณ, คู่มือฉนวนความร้อน (กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2537), หน้า 109-118  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

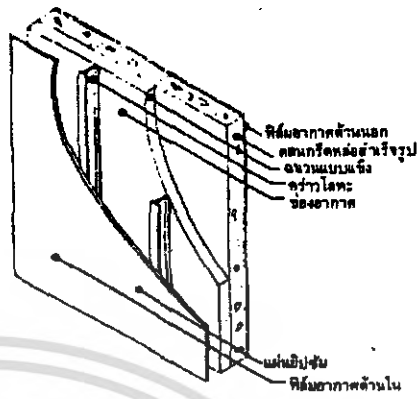
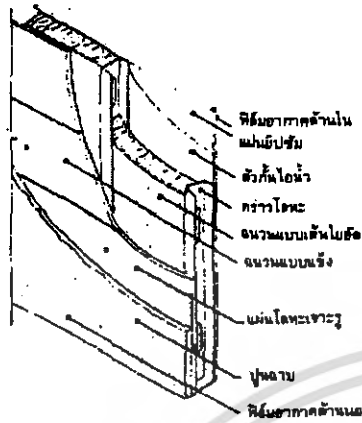
การบูรณฉนวนกับผนังก่อ – ผนังก่อมีลักษณะที่ปิดตันด้วยตัวเองเมื่อก่อเสร็จจึงไม่มีช่องว่างเพียงพอสำหรับการสอดฉนวนเข้าภายใน การติดตั้งฉนวนจึงต้องสร้างช่องว่างเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งระดับจะด้วยผนังก่อเองหรือ ผนังโครงเคร่าก็ได้ การติดตั้งฉนวนมักใช้ฉนวนแบบแผ่นแข็ง ติดตั้งระหว่างช่องว่าง ฟันลุตฟิลต์เข้าภายในช่องว่าง หรือฟันทนฉนวนโพนเข้าระหว่างช่องว่างได้โดยตรง



รูปที่ 2.3 แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภทผนังก่อ<sup>3</sup>

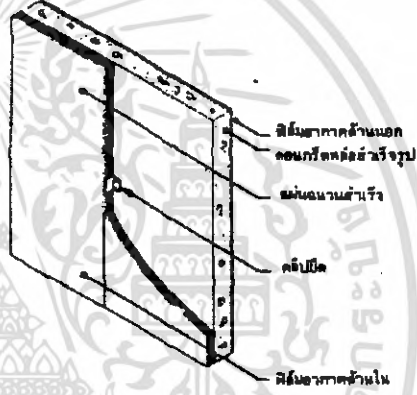
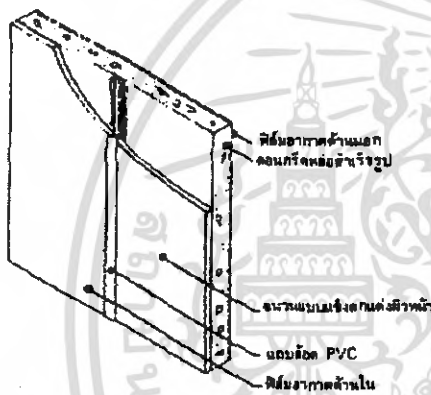
<sup>3</sup> ตระกูล ก้าวกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน (กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2537), หน้า 109-118  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบูรณนแบบอื่นๆ – นอกจากการบูรณนทั้งสองแบบข้างต้น ยังมีการบูรณนโดยการใช้แผ่นฉนวนสำเร็จ หรือการบูรณนในแผ่นโลหะ โดยจำเป็นต้องใช้กาวหรือวัสดุประสานอื่นๆ ร่วมด้วย



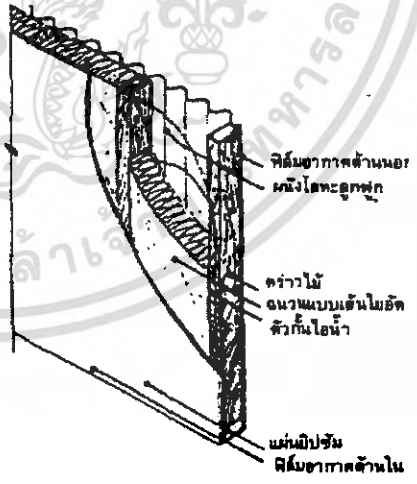
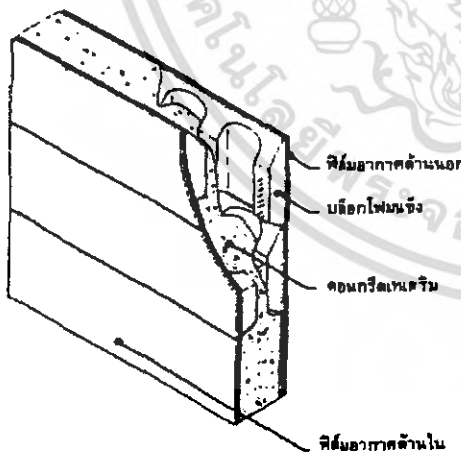
ฉนวนภายนอก และฉนวนเส้นใยอัด ระหว่างเคร่าโลหะ

ฉนวนแข็งระหว่างเคร่าโลหะ



ติดตั้งฉนวนสำเร็จรูปด้านใน

ติดตั้งฉนวนสำเร็จรูปด้านนอก



ฉนวนบล็อกโฟมแข็ง

ฉนวนเส้นใยอัดด้านหลังแผ่นเหล็ก

รูปที่ 2.4 แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆเข้ากับผนังประเภทอื่นๆ<sup>4</sup>

<sup>4</sup> ธรรมการ ก้าวไกลกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน (กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2537), หน้า 109-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม “ การบุนจนวนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมักเป็นการบุนเข้ากับโครงผนังที่ไม่มีารรับน้ำหนัก ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องทดสอบค่าทางกลศาสตร์ แต่สำหรับ โครงการศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหยัดพลังงานประเภทเชิงประกอบซึ่งเป็นการศึกษารูปแบบผนังที่สามารถนำไปใช้งานทางวิศวกรรมได้หลากหลายและสามารถรับน้ำหนักได้ การติดตั้งจนวนที่เกิดขึ้นจึงมีรูปแบบที่แตกต่างออกไป ”

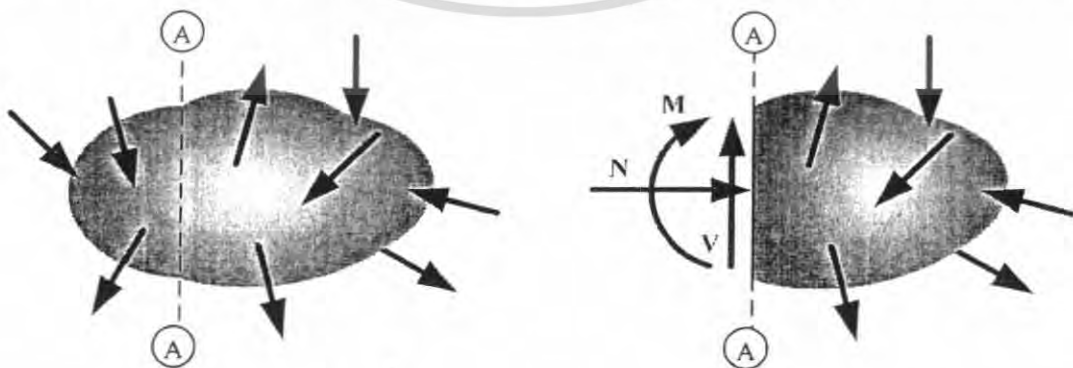
### 2.3 หลักการทางกลศาสตร์วัสดุ

กลศาสตร์วัสดุ (Mechanics of Materials) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกที่กระทำกับวัสดุ เช่น แรงจากน้ำหนักบรรทุก หรือ แรงปฏิกิริยา ซึ่งสามารถทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่างได้ และเสียรูปทรง (Deformable body) และศึกษาความเข้มข้นของแรงภายในที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ เช่น แรงดึง แรงอัด แรงบิด แรงคด และแรงเฉือน การศึกษาขั้รอบคลุมถึงการคำนวณการเปลี่ยนรูปร่าง และเสถียรภาพของของวัสดุภายใต้แรงกระทำจากภายนอกอีกด้วย

#### 2.3.1 แรงและหน่วยแรง

##### แรงภายใน (Internal Forces)

เมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อชิ้นส่วนวัสดุจะเกิดแรงภายในวัสดุนั้นออกมาด้าน เพื่อรักษารูปทรงให้อยู่ในสภาพสมดุล ในการหาแรงภายในที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใดๆ ในเนื้อวัสดุสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตัดรูป (Method of Sections) ส่วนของวัสดุจะถูกตัดออก ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบแรงภายใน ดังในรูปที่ 2.5 คือหน้าตัด A-A ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ภาวะสมดุลจะต้องมีแรงตั้งฉาก  $N$  (Normal force) ซึ่งตั้งฉากกับหน้าตัด แรงเฉือน  $V$  (Shear force) ซึ่งขนานกับหน้าตัดและ โมเมนต์คด  $M$  (Bending moment) โดยแรงเหล่านี้ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากภายในที่หน้าตัดนั้นและสมการสมดุลของแรงและ โมเมนต์



รูปที่ 2.5 แสดงการหาแรงภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการหาแรงภายในนั้นก็เพื่อใช้ในการคำนวณหน่วยแรง ซึ่งในการออกแบบนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบค่าหน่วยแรงที่มากที่สุด เพื่อจะได้เลือกใช้วัสดุที่มีกำลังเพียงพอที่จะรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้

### หน่วยแรง (Stress)

เมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ จะถือว่าแรงนั้นแผ่กระจายด้วยขนาดที่เท่าๆกัน ตลอดทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน จะเกิดแรงต้านภายในก็จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดเช่นเดียวกัน แรงดังกล่าวเมื่อเทียบต่อหน่วยพื้นที่ จะเรียกว่า หน่วยแรง หรือ “ความเค้น (Stress)” สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$\sigma$  = ความเค้น (Stress)

$P$  = น้ำหนักกระทำ (Load)

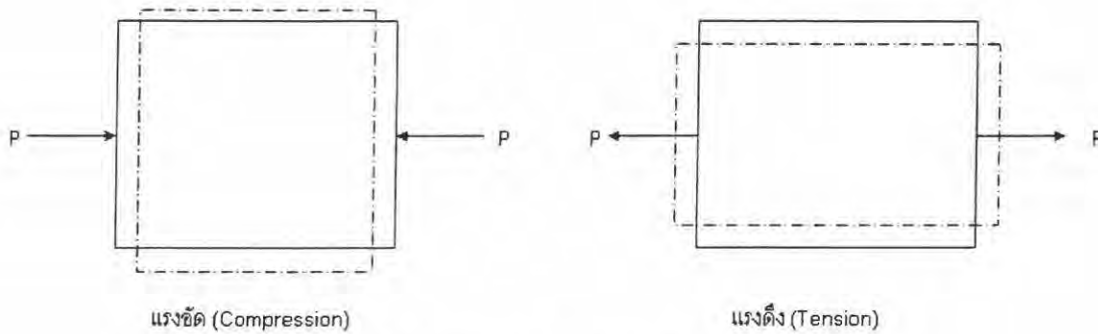
$A$  = พื้นที่หน้าตัด (Area)

ดังนั้น หน่วยแรง แปลความหมายได้ว่า เป็นความเข้มข้นของแรงที่กระจายบนพื้นที่หน้าตัด ซึ่งสามารถวัดความแข็งแรงหรือกำลัง (Strength) ของวัสดุได้นั่นเอง ซึ่งทิศทางของแรงและลักษณะของพื้นที่ที่รับแรงนั้นๆ จะเป็นส่วนที่แยกประเภทของหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็นหน่วยแรงตั้งฉาก (Normal force) หน่วยแรงเฉือน (Shear force) และ หน่วยแรงแบกทาน (Bearing Stress)

#### 1) หน่วยแรงตั้งฉาก

เมื่อมีแรงตั้งฉากต่อวัสดุ ทิศทางของแรงต่อวัตถุประกอบด้วย แรงดึง และแรงอัดอาจเรียกเจาะจงให้ชัดเจนอีกว่าเป็นหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) หรือหน่วยแรงอัด (Compression Stress) ตามชนิดของแรงกระทำภายนอก (ในรูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของแรงต่อวัตถุ) หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับองค์อาคารและแนวแรงเรียกว่า “หน่วยแรงตั้งฉาก (Normal stress)”

$$\sigma = P/A$$



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของแรงต่อวัตถุ

เมื่อนิยามหน่วยแรงที่จุด  $Q$  โดยบนหน้าตัด โดยพิจารณาพื้นที่เล็กๆบริเวณจุด  $Q$  คือ  $\Delta A$  ดังในรูปที่ 2.7 แรงที่กระทำบนพื้นที่คือ  $\Delta P$  เป็นส่วนหนึ่งของแรง  $P$  ที่กระทำลงพื้นที่ทั้งหมด  $A$  เมื่อ  $\Delta A$  น้อยลงเข้าสู่ศูนย์ ก็จะได้หน่วยแรงที่จุด  $Q$  คือ :

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

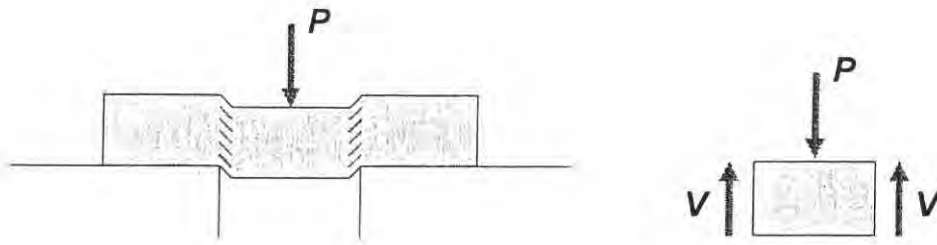


รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของหน่วยแรงตั้งฉาก

## 2) หน่วยแรงเฉือน (Shearing Stress)

เมื่อมีแรง  $P$  มากดลงบนท่อนวัสดุดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งถ้าแรง  $P$  มีค่ามากพอก็จะกดจนวัสดุเสียรูปจนวิบัติ โดยบล็อกวัสดุจะถูกเฉือนลงจนขาดที่ ระนาบเฉือน ทั้งสองที่บ่ารองรับ ซึ่งเรียกแรงกระทำที่ขนานกับหน้าตัดนี้ว่า “แรงเฉือน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



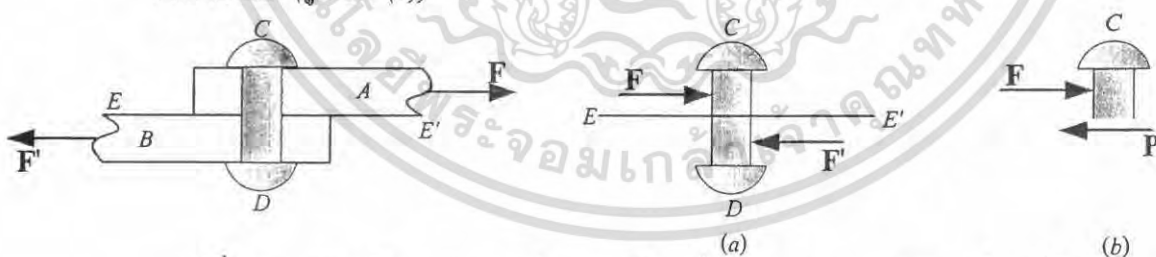
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบของหน่วยแรงเฉือน

โดยเมื่อหารแรงเฉือน  $P$  ด้วยพื้นที่หน้าตัด  $A$  ทำให้เราได้หน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยบนพื้นที่หน้าตัด ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์  $\tau$  (tau) เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\tau_{avg} = \frac{P}{A}$$

ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยเนื่องจากการกระจายหน่วยแรงเฉือนจะไม่คงที่เหมือนหน่วยแรงตั้งฉาก โดยจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ถึง  $\tau_{max}$  ซึ่งมีค่ามากกว่า  $\tau_{avg}$  มาก

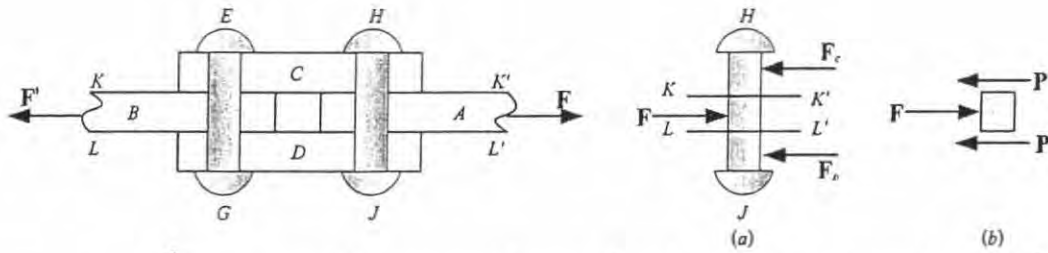
หน่วยแรงเฉือนมักพบได้ทั่วไปใน สลักเกลียว สลักจุดหมุน และหมุดย้ำ ที่ใช้ในการยึดต่อองค์อาคาร โครงสร้างหรือชิ้นส่วนจักรกลเข้าด้วยกัน เมื่อพิจารณารูปที่ 2.9 ถ้าแผ่นเหล็กถูกดึงด้วยแรง  $F$  ให้แยกออกจากกัน สลัก  $CD$  ถูกแรงดึงในแผ่นวัสดุทั้งสอง พยายามเฉือนให้ขาดที่ระนาบ  $EE'$  (รูป 2.9 (a))



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของหน่วยแรงเฉือนเดี่ยว (Single shear) บนอุปกรณ์ยึด

หน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยเกิดในหมุดย้ำบนระนาบ  $EE'$  หาได้จากการหารแรงเฉือน  $P = F$  ด้วยพื้นที่สลัก  $A$  เท่ากับ  $\tau_{avg} = F/A$  เนื่องจากมีระนาบเฉือนหนึ่งระนาบที่ตัดผ่านสลัก จึงเรียกว่า “การเฉือนเดี่ยว (Single shear)” อีกลักษณะหนึ่งก็คือการต่อโดยใช้แผ่นประกบ  $C$  และ  $D$  ในการต่อแผ่น  $A$  และ  $B$  ดังในรูปที่ 2.10 แรงเฉือนจะเกิดขึ้นในสลัก  $HJ$  ในสองระนาบคือ  $KK'$  และ  $LL'$  เช่นเดียวกันกับในสลัก  $EG$  เรียกว่า “การเฉือนคู่ (Double shear)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



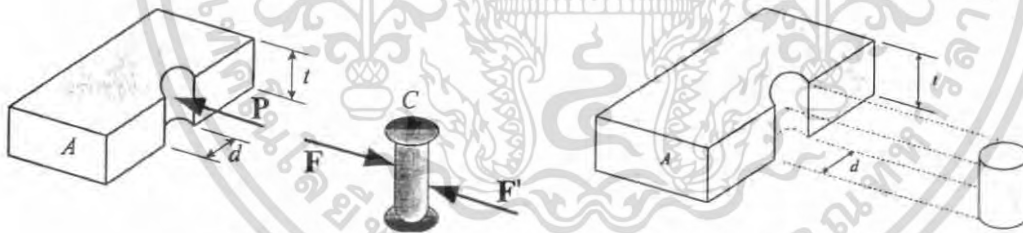
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของหน่วยแรงเฉือนคู่ (Double shear) บนอุปกรณ์ตัดยึด

เพื่อหาหน่วยแรงหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ย ให้พิจารณาส่วนของ  $HJ$  ที่อยู่ตรงกลางระหว่างระนาบเฉือน (รูปที่ 2.10 (b)) ซึ่งแรงเฉือน  $P$  ในแต่ละหน้าตัดจะมีค่าเท่ากับ  $F/2$

$$\tau_{avg} = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A}$$

### 3) หน่วยแรงแบกทาน (Bearing Stress)

การติดตั้งสลักเกลียว สลักจุดหมุน และหมุดย้ำ ก่อให้เกิดหน่วยแรงในองค์อาคารที่มาต่อกัน โดยผ่านทางพื้นผิวแบกทานหรือเรียกอีกอย่างว่าพื้นผิวสัมผัส ซึ่งผิวสัมผัสทั้งสองจะพยายามผลักสลักเกลียวให้เลื่อนขาดออกจากกัน โดยจะเกิดแรงปฏิกิริยาที่สลักเกลียว  $CD$  (ตามรูปที่ 2.11) ก็จะผลักกลับด้วยแรง  $P$  ขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของหน่วยแรงแบกทาน (Bearing Stress)

แรง  $P$  ที่กระทำกับแผ่นวัสดุจะกระจายบนพื้นที่ภายในรูปครึ่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง  $d$  เท่ากับขนาดรูเจาะของสลักเกลียว และหนา  $t$  เท่ากับความหนาแผ่นวัสดุ เนื่องจากการกระจายหน่วยแรงค่อนข้างซับซ้อน ในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าเฉลี่ยคือ  $\sigma_b$  เรียกว่า “หน่วยแรงแบกทาน (Bearing stress)” หน่วยแรงแบกทานคำนวณได้โดยการหารแรง  $P$  ด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งเป็นภาพตัดของร่องสลักเกลียวดังในรูปที่ 2.11 โดยพื้นที่จะเท่ากับ  $t d$  เมื่อ  $t$  คือความหนาแผ่นวัสดุ และ  $d$  คือเส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะสลักเกลียว

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุ

#### ความเครียด (Strain)

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง เรียกว่า การเสียรูปทรง นอกจากนั้นการเสียรูปทรงยังอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเสียรูปทรงของวัสดุจะไม่สม่ำเสมอทุกจุดในเนื้อวัสดุ

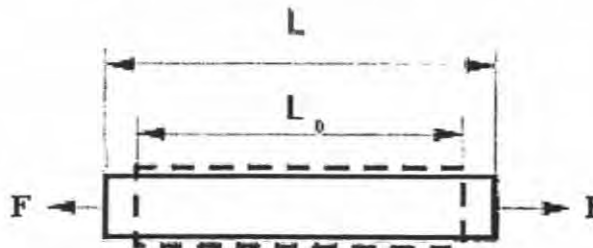
#### 1) ความเครียดดั่งฉาก (Linear Strain)

ความเครียดดั่งฉากหรือความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) สัญลักษณ์ คือ  $\epsilon$  จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปค่าความเครียดเชิงเส้นนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัสดุ และอาจคำนวณได้โดยการพิจารณาการยืดตัวของชิ้นส่วน  $dL$  เล็กๆ ณ ตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 2.12 แสดงการยืดของชิ้นส่วน  $dL$  ใดๆในวัสดุเมื่อได้รับความความเค้น

จากรูปชิ้นส่วน  $dL$  มีความเครียดเท่ากับ  $\epsilon = \frac{d\delta}{dL}$  เมื่อ  $d\delta$  คือความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมของชิ้นส่วน  $dL$  ซึ่งถ้าหากชิ้นส่วนที่รับแรงดึงมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตลอดความยาว มีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกันตลอด และแรงดึงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด ความเครียดตามยาวที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงที่ มีค่าเท่ากับความเครียดเฉลี่ย ดังนี้



รูปที่ 2.13 แสดงความเครียดตามยาวเฉลี่ย

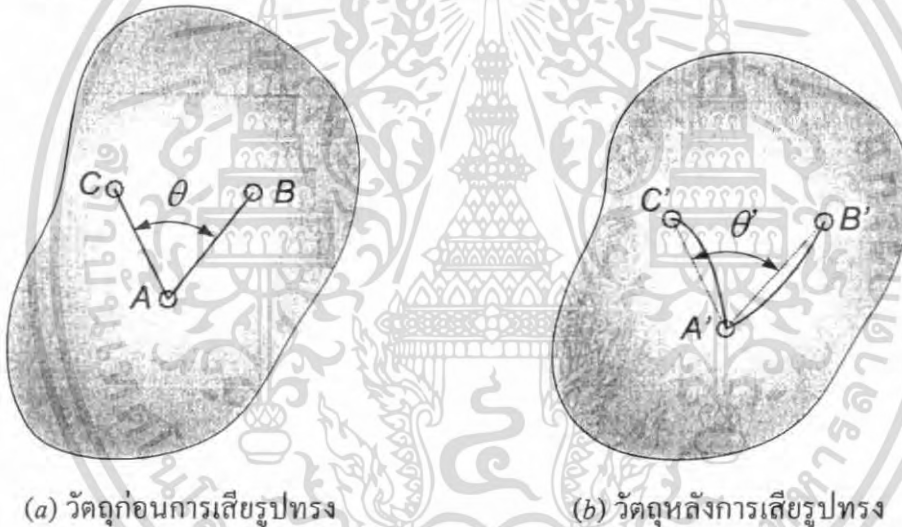
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุที่มีความยาวเดิมเป็น  $L_0$  และมีความยาวเปลี่ยนไปจากเดิม เป็น  $\delta = L - L_0$  เมื่อได้รับความเค้น ความเครียดเฉลี่ยมีค่า

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

## 2) ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ เมื่อพิจารณาวัตถุเดิมแต่รูปที่ 2.14 วัตถุมุมระหว่าง  $AB$  และ  $AC$  ได้  $\theta$  หลังจากวัตถุเสียรูปทรงวัตถุมุมได้  $\theta'$  ความเครียดเฉือนจะวัดการเปลี่ยนแปลงของมุมเท่ากับ  $\gamma$  มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)



รูปที่ 2.14 แสดงทิศทางและรูปแบบของวัตถุก่อนและหลังการเสียรูป

$$\gamma = \frac{a}{h}$$

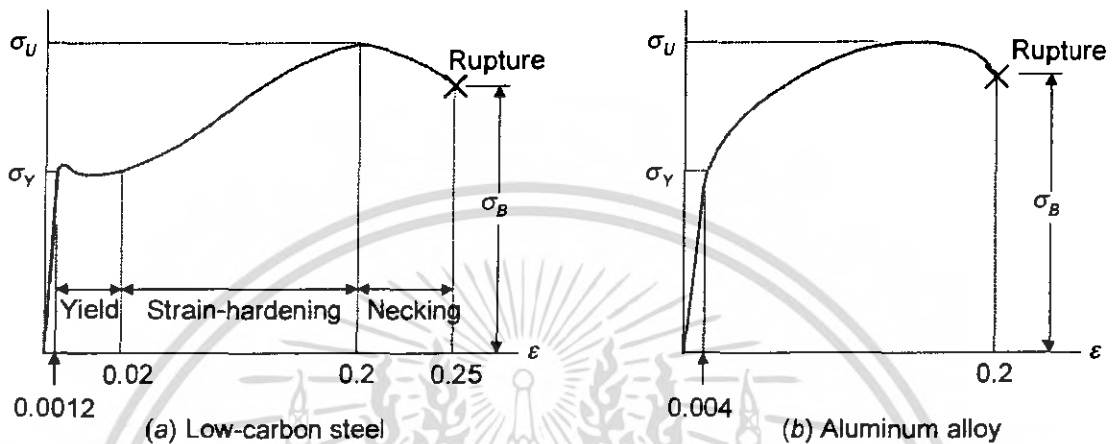
- เมื่อ  $\gamma = \theta' - \theta$  หรือ  $\tan \theta \approx \theta$  (หน่วย radian ในกรณีที่เป็นมุมเล็กๆ)  
 $a =$  ระยะที่เคลื่อนไป (displacement)  
 $h =$  ระยะห่างระหว่างระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# งานหอบคดกลาง ระดมเกล้าลาดกระบัง

## แผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียด (Stress-Strain Diagram)

แผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียด ของวัสดุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติ แล้วการทดสอบแรงดึงก็อาจให้ผลที่ต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เป็นเส้นโค้งหน่วยแรง-ความเครียด ของวัสดุเหนียวสองชนิดคือ เหล็กและอลูมิเนียม



รูปที่ 2.15 แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเหนียวสองชนิด

โดยปกติแล้ววัสดุที่สามารถยืดได้มากกว่า 5% ก่อนที่จะขาดจะถูกจัดเป็นวัสดุเหนียว ความเหนียวของวัสดุจึงมักวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การยืด

$$\% \text{ การยืด} = 100 \times (\text{ความยาวขณะขาด} - \text{ความยาวตั้งต้น}) / \text{ความยาวตั้งต้น}$$

ความเหนียวยังอาจวัดในรูปของเปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดที่ลดลง

$$\% \text{ การลดพื้นที่} = 100 \times (\text{พื้นที่เดิม} - \text{พื้นที่หลังขาด}) / \text{พื้นที่เดิม}$$

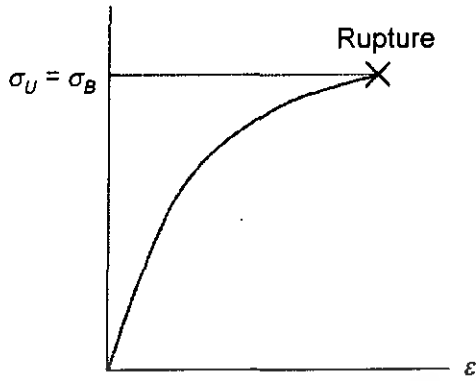
เมื่อเพิ่มแรงดึงขึ้น ในช่วงแรกความยาวชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในอัตราที่ช้ามาก จนกระทั่งถึงค่าแรงหนึ่งชิ้นงานจะเริ่มร้าว ซึ่ง ณ จุดร้าวนี้ ชิ้นงานจะยืดยาวอย่างมากสำหรับการเพิ่มแรงเพียงเล็กน้อย

หลังจากนั้นเมื่อแรงถึงค่าๆหนึ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบจะลดลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “คอดขาด” เมื่อเกิดคอดขาดแล้วแรงที่ต้องใช้ในการยืดชิ้นงานจะลดลง

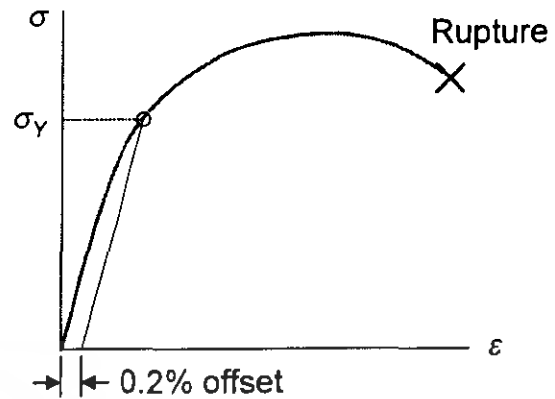
ในวัสดุเหนียวบางชนิดเช่น อลูมิเนียม จะไม่แสดงจุดครากที่ชัดเจน จึงต้องใช้การออฟเซต 0.2% ( $\epsilon = 0.002$ ) เพื่อพิจารณาจุดคราก

วัสดุประเภเช่น แก้ว เซรามิก เหล็กหล่อ จะไม่แสดงการยืดมากนักก่อนที่จะวิบัติ เราจะไม่เห็นการเกิดคอดขาด และกำลังประลัยจะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงขณะที่ชิ้นงานแตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **83315** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเปราะ



(b) การหาค่าลึงครากโดยวิธีออฟเซต

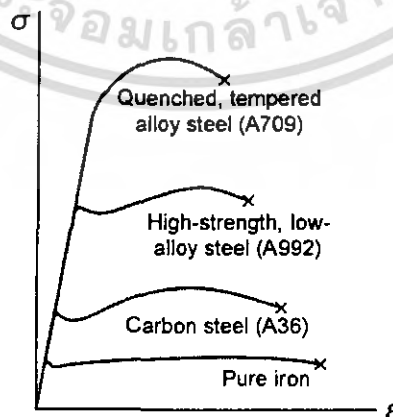
### รูปที่ 2.16 แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเปราะ

ในการใช้งานส่วนมากแล้วชิ้นส่วน โครงสร้างจะมีการเสียรูปทรงน้อย คืออยู่ในช่วงแรกที่เป็นเส้นตรงของเส้นกราฟหน่วยแรง-ความเครียด ภายใต้สภาวะการเสียรูปทรงหรือความเครียดน้อย หน่วยแรงจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับความเครียด ความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้ถูกเรียกโดยทั่วไปว่า “กฎของฮุก (Hooke’s law)”

$$\sigma = E\epsilon$$

ค่าคงที่การแปรผัน  $E$  เรียกว่า “โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) หรือ โมดูลัสของยัง (Young’s modulus)”

คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่างของ โลหะเช่น ค่าลึง ความเหนียว ความต้านทานการกัดกร่อน อาจเปลี่ยนแปลงได้โดย การผสมเจือปนโลหะอื่น การอบความร้อน และกระบวนการผลิตที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณาแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของเหล็กชนิดต่างๆ ในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของเหล็กชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่ามีความแตกต่างกันทั้ง กำลังคราก กำลังขีดสุด และความเครียดสุดท้าย (ความเหนียว) แต่คุณสมบัติที่ยังคงเหมือนกันก็คือ โมดูลัสยืดหยุ่นหรือสตีเฟนส ซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเสียรูปทรงในช่วงพฤติกรรมเส้นตรงจะยังคงเท่ากัน ดังนั้นการใช้เหล็กกำลังสูงแทนเหล็กกำลังต่ำในโครงสร้างจะทำให้โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น แต่ค่าสตีเฟนสจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่าง ได้แก่ พลาสติก, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

#### กำลังประลัย

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกประลัยของวัสดุในทิศทางตั้งฉากและเฉือน โดยทั่วไปแล้ว น้ำหนักบรรทุกประลัย  $P_u$  จะหมายถึงน้ำหนักบรรทุกซึ่งชิ้นงานทดสอบแตกหักหรือ เริ่มรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อยลง โดยที่ยังคงมีการเสียรูปทรงต่อไป เมื่อหารน้ำหนักบรรทุกประลัยด้วยพื้นที่หน้าตัดก็จะได้กำลังประลัย  $\sigma_u$  ของวัสดุ

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A}$$

#### 2.3.3 รูปแบบการเสียหาย

รูปแบบการเสียหายของระบบไม่ได้ขึ้นกับขนาดของการกระทำจากแรงภายนอกเพียงอย่างเดียว แต่อาจขึ้นกับวัสดุที่ใช้ว่ามีพฤติกรรมเช่นไร นอกจากนั้นสภาพแวดล้อมก็อาจมีผลต่อรูปแบบของการเสียหายด้วยเช่นสภาพที่อุณหภูมิสูงมากๆ นอกเหนือจากนั้นรูปแบบการเสียหายของวัสดุยังขึ้นอยู่กับประวัติที่วัสดุนั้นได้รับการกระทำมาอย่างไร เช่น อาจได้รับแรงกระทำซ้ำๆ มาก่อนหน้านี้แล้ว หรือได้ผ่านการทำงานที่อุณหภูมิสูงๆ มาแล้ว สาเหตุเหล่านี้ล้วนแต่จะมีผลต่อรูปแบบของการเสียหายของวัสดุด้วยกันทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบของการเสียหายของวัสดุที่จะพิจารณาในขั้นนี้ จะประกอบด้วยรูปแบบต่างๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1) การเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนรูปมากเกินไป
  - การเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น
  - การเปลี่ยนรูปเนื่องจากการคืบ
- 2) การเสียหายเนื่องจากการครากทั่วไป
- 3) การเสียหายเนื่องจากการแตกหัก
  - การแตกหักของวัสดุเปราะ
  - การแตกหักเนื่องจากรอยร้าว
  - การแตกหักเนื่องจากความล้า

#### การเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนรูปเชิงเส้นมากเกินไป

รูปแบบการเสียหายแบบแรกที่เราจะกล่าวถึงก็คือการเสียหายของโครงสร้างที่วัสดุยังคงสภาพอยู่ในช่วงการยืดหยุ่นเชิงเส้น แต่การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นมีค่ามากเกินไป คานเกิดการยุบตัวมากเกินไป แม้ว่าจะยังสามารถรับแรงได้อีก แต่การทำงานของโครงสร้างอาจไม่เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ หรืออาจทำให้ชิ้นส่วนอื่นๆในระบบเกิดการเสียหายได้ การเสียหายในรูปแบบนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็น

- เกิดการเปลี่ยนรูปมากเกินไปภายใต้สภาวะสมดุล เช่น การคืบมากเกินไปในชิ้นที่รับแรงดึง การบิดของเพลากลมมีมุมบิดที่สูงเกินไปจนเกิดการลื่นในการส่งกำลัง หรือการโก่งตัวของคานที่มากเกินไปจนเกินความต้องการ
- การโก่งของเสา (Buckling) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่ไม่สมดุล ซึ่งมักจะเป็นผลให้เกิดการพังทลายของโครงสร้าง เช่นการพังของตึกเป็นต้น
- การยืดตัวในช่วงยืดหยุ่นของชิ้นส่วนที่มีการลื่น ซึ่งบางครั้งแรงกระทำอาจทำให้ระบบเกิดการลื่นในย่านความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนหรือของระบบ ซึ่งแม้ว่าแรงที่กระทำมีค่าไม่มากนักแต่ด้วยลักษณะของการลื่นจะทำให้การยืดตัวของวัสดุเกิดขึ้นสูงมากและอาจจะนำมาซึ่งการเสียหายของระบบได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาการเสียหายในกรณีนี้จะต้องมีความเข้าใจในเรื่องการลื่นทางวิศวกรรมดังนั้นในขั้นนี้เราจะไม่ศึกษารูปแบบการเสียหายในกรณีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบเสียหายเนื่องจากการยืดตัวในช่วงยืดหยุ่นมากเกินไป สมการที่สำคัญก็คือสมการความสัมพันธ์ของการยืดตัวและแรงที่กระทำ เช่นการยืดตัวเนื่องจากแรงดึงจะมีความสัมพันธ์เป็น

$$e = \frac{PL}{AE}$$

จะเห็นว่าในสมการนี้จะประกอบไปด้วยแรงกระทำ ( $P$ ) ลักษณะของชิ้นส่วนได้แก่พื้นที่หน้าตัดและความยาว ( $A, L$ ) และค่าคุณสมบัติของวัสดุ โมดูลัสยืดหยุ่น ( $E$ ) ซึ่งจะพบว่าถ้าหากว่าการยืดตัว  $e$  ที่เกิดขึ้นในช่วงยืดหยุ่นเนื่องจากแรง  $P$  มีค่ามากเกินไปจนกระทั่งทำให้ชิ้นส่วนหรือระบบไม่สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้ การออกแบบใหม่เพื่อให้ระบบทำงานตามที่ต้องการเราจะต้องพิจารณาว่าจะเปลี่ยนค่าใดเพื่อที่จะทำให้วัสดุมีการยืดตัวที่ลดลง ยกตัวอย่างเช่นอาจให้พื้นที่หน้าตัด  $A$  มีค่าสูงขึ้น หรืออาจใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงยิ่งขึ้นคือหาวัสดุที่มีค่า  $E$  สูงขึ้น หากเราพิจารณาให้ละเอียดแล้วเราจะพบว่าเนื่องจากแรงที่กระทำนั้นยังคงทำให้วัสดุนี้เปลี่ยนรูปอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น แสดงว่าวัสดุนี้ยังสามารถรับแรงกระทำ  $P$  นี้ได้ต่อไป จึงทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนชนิดของวัสดุให้แข็งแรงยิ่งขึ้น เพราะการเลือกวัสดุใหม่อาจทำให้ค่าความเค้นครากลดลง และทำให้แรง  $P$  ที่กระทำต่อวัสดุนั้นทำให้เกิดการยืดตัวในช่วงไม่ยืดหยุ่นซึ่งจะทำให้รูปแบบการเสียหายเปลี่ยนไปได้ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาที่ง่ายที่สุดควรจะเป็นการเปลี่ยนขนาดหน้าตัด  $A$  ใหม่ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยใช้วัสดุเดิม

### การเสียหายเนื่องจากการครากทั่วไป

การครากทั่วไป (General Yielding) คือการเกิดการเปลี่ยนรูปแบบไม่ยืดหยุ่นในส่วนใดๆของวัสดุ ซึ่งปริมาตรของส่วนที่เกิดการครากนั้นมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับเนื้อวัสดุทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างจากการครากที่จุด (Local Yielding) ซึ่งจะมีการครากในส่วนเล็กๆของชิ้นส่วน นอกเหนือจากนั้นการครากทั่วไปที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้หมายถึงการครากที่เกิดกับวัสดุที่อุณหภูมิปกติ สำหรับการครากที่อุณหภูมิสูงเรานิยมเรียกว่า “การคืบ (creep)”

สำหรับโลหะทั่วไปจะประกอบด้วยหน่วยเล็กๆที่เรียกผลึกเป็นจำนวนมาก โดยผลึกเหล่านี้จะก่อให้เกิดแนวระหว่งช่องว่างผลึกซึ่งเป็นแนวระนาบที่เรียกว่า “ระนาบตื้น (Slip planes)” ซึ่งในแนวระนาบนี้ความต้านทานความเค้นเฉือนจะต่ำ สำหรับวัสดุเมื่อได้รับการกระทำที่ทำให้เกิดความเค้นในช่วงยืดหยุ่น ผลึกเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปเนื่องจากการดึงหรือคดของแรงระหว่างอะตอม ทำให้ผลึกเปลี่ยนรูปไปจากสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำแต่การเปลี่ยนรูปจะเกิดขึ้นเฉพาะส่วนของผลึก ดังนั้นเมื่อมีการนำภาระกรรมออกผลึกเหล่านี้ก็จะกลับสู่สภาพเดิมทำให้ไม่มีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงภายนอกที่กระทำต่อวัสดุทำให้เกิดค่าความเค้นในวัสดุสูงถึงค่าความเค้นคราก ผลึกเหล่านั้นก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเหมือนกับกรณีเดิม แต่ความเค้นอีกส่วนหนึ่งจะทำให้ผลึกเกิดการเคลื่อนตัวไปตามแนวระนาบเลื่อน เป็นปรากฏการณ์ที่นิยมเรียกว่า “การเปลี่ยนรูป (Dislocation)” ซึ่งเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของผลึกในแนวระนาบเลื่อนขึ้นก็จะเกิดการทำลายพันธะระหว่างอะตอมที่มีอยู่เดิมลงไป และจะสร้างพันธะใหม่ขึ้น ดังนั้นเมื่อน้ำหนักที่กระทำออกไป การเปลี่ยนรูปของผลึกจะกลับคืนสู่รูปเดิม แต่การผิดรูปจะคงอยู่ในวัสดุ ซึ่งเป็นเหตุทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรขึ้น หลังจากเกิดการครากขึ้นในวัสดุอันเนื่องมาจากภาระกรรมขนาดหนึ่งแล้ว ผลึกเหล่านั้นจะไม่เกิดการผิดรูปเพิ่มขึ้นหากไม่มีการเพิ่มภาระกรรมขึ้นอีก สาเหตุนี้ก็เนื่องมาจากการผิดรูปของโครงสร้างผลึกจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของผลึกในแนวระนาบเลื่อนมีความยากลำบากมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องการความเค้นที่สูงขึ้นเพื่อให้ผลึกเหล่านี้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวระนาบเลื่อนเพื่อให้ผิดรูปได้มากขึ้น ทำให้เหมือนกับว่าเกิดแรงต้านทานเพิ่มขึ้น หลังจากทีวัสดุเกิดการครากไปแล้ว ปรากฏการณ์นี้รู้จักกันในชื่อ “การทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain Hardening)” ดังนั้นสำหรับโลหะที่ผ่านการทำให้แข็งด้วยความเครียดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรและการเพิ่มความแข็งแรงจะเกิดขึ้นพร้อมกันภายหลังจากได้นำแรงที่กระทำออกไป

เมื่อวัสดุเกิดการเสียหายด้วยการครากทั่วไป ค่าความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration) มักจะไม่มีค่าสำคัญ เพราะการผิดรูปและแรงกระทำที่เกิดขึ้นภายในช่วงต่อของผลึกจะแพร่กระจายออกไปเป็นบริเวณกว้างภายในเนื้อวัสดุไม่เฉพาะบริเวณที่มีค่าความเค้นหนาแน่น ซึ่งความเค้นหนาแน่นนี้มักจะทำให้เกิดการครากเป็นบริเวณแคบในเนื้อวัสดุหรือที่เรียกว่าการครากที่จุด

#### การเสียหายด้วยการแตกหัก

ชิ้นส่วนในระบบอาจเกิดการเสียหายโดยการแตกหักก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนรูปมากเกินไปหรือก่อนเกิดการครากทั่วไปขึ้นได้ ดังนั้นการเสียหายที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดการครากขึ้นมาก่อนอย่างชัดเจนเราจึงนิยมเรียกว่า “การแตกหัก (Fracture)” สำหรับลักษณะการแตกหักที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

##### 1) การแตกหักอย่างทันทีทันใดของวัสดุเปราะ

วัสดุเปราะเช่น แก้ว หรือเหล็กหล่อ จะเกิดการแตกหักโดยไม่ปรากฏการครากที่ชัดเจน

##### 2) การแตกหักเนื่องจากรอยร้าว

สำหรับวัสดุเหนียวที่ตกอยู่ภายใต้แรงดึง จะไม่เกิดการแตกหักทันทีทันใดเหมือนกับวัสดุเปราะ หากว่าวัสดุนั้นไม่มีรอยร้าวหรือรอยแตกอยู่ในเนื้อวัสดุ อย่างไรก็ตามหากมีรอยร้าวหรือรอยแตกอยู่ในเนื้อวัสดุเหนียว การเสียหายของวัสดุเหนียวนั้นอาจเกิดขึ้นคล้ายกับว่าวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นเป็นวัสดุเปราะก็ได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะบริเวณรอยแตกในเนื้อวัสดุนั้นมักจะทำให้เกิดความเค้นชนิดหนึ่งซึ่งเป็นการเค้นที่เกิดขึ้นในทุกทิศทุกทางและมีขนาดเท่ากัน ซึ่งนิยมเรียกว่า “ความเค้นของไหลสถิต (Hydrostatic Stress)” อย่างไรก็ตามจากการทดสอบเราพบว่าความเครียดของไหลไหลสถิตนี้จะไม่ทำให้วัสดุเกิดการครากขึ้น ดังนั้นความเค้นประเภทนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของวัสดุขึ้นน้อยมาก ซึ่งทำให้เมื่อวัสดุเกิดการเสียหายขึ้นจึงทำให้เหมือนกับว่าวัสดุเหนียวนี้ไม่ได้เกิดการครากขึ้นก่อน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของวัสดุเปราะ

ด้วยสาเหตุนี้ความเค้นครากจึงไม่ใช่คุณสมบัติที่สำคัญหากว่าวัสดุเกิดการเสียหายด้วยการแตกหักเนื่องจากรอยร้าว แต่ค่าคุณสมบัติที่สำคัญคือความสามารถของวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานที่เกิดขึ้นรอบๆ รอยร้าว นั้นได้หรือที่เรียกว่า “ความแข็งของรอยแตก (Notch Toughness)”

### 3) การแตกหักเนื่องจากความล้า

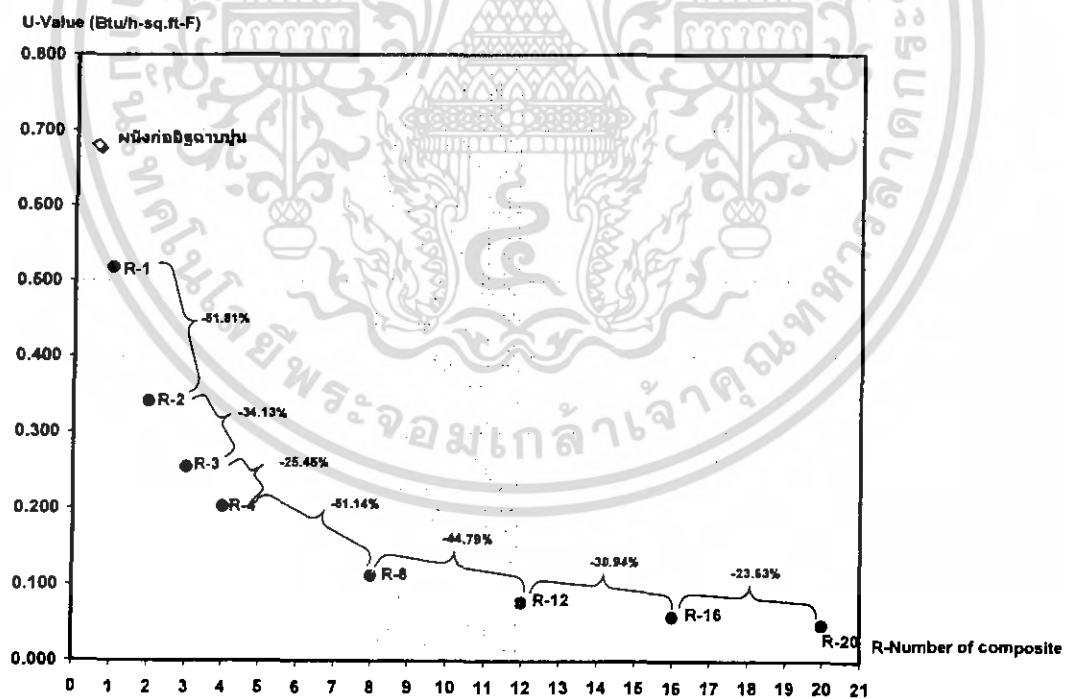
สำหรับวัสดุเหนียวที่ตกอยู่ภายใต้แรงกระทำซ้ำกันหลายๆรอบ รูปแบบการเสียหายก็อาจเกิดขึ้นโดยเกิดการแตกหักโดยที่ไม่เกิดการครากขึ้นก่อนได้เช่นกัน ถ้าหากว่าค่าของความเค้นที่มากระทำซ้ำๆกันนั้นมากกว่าความเค้นค่าหนึ่งที่เราเรียกว่า “ความเค้นล้า (Fatigue Strength)” ภายใต้สภาวะที่มีภาระกรรมที่ทำให้เกิดความเค้นกระทำซ้ำ แม้ว่าความเค้นที่กระทำไม่สามารถทำให้วัสดุครากได้แต่ความเค้นที่กระทำหลายๆครั้งนี้จะทำให้เกิดรอยแตกขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งในชิ้นวัสดุซึ่งมักจะเป็นจุดที่มีความเค้นสูงที่สุด และรอยแตกนี้จะค่อยๆขยายตัวกว้างขึ้นเมื่อแรงที่กระทำนั้นเพิ่มจำนวนครั้งขึ้น จนกระทั่งชิ้นวัสดุนั้นหักในที่สุด รูปแบบการเสียหายรูปแบบนี้มักจะเรียกความเสียหายเนื่องจากความล้า (Fatigue Failure) หรือบางกรณีจะเรียกรูปแบบการเสียหายจากการขยายตัวเนื่องมาจากแรงกระทำซ้ำ ค่าที่นิยมใช้กำหนดในการเสียหายเนื่องจากความล้าจะเป็นค่าความเค้นดิ่งที่สูงที่สุดที่วัสดุได้รับภายใต้แรงกระทำซ้ำ แม้ว่าความเสียหายที่แท้จริงอาจจะเป็นความเค้นเฉือนก็ได้ อย่างไรก็ตามจำนวนรอบที่แรงกระทำซ้ำกระทำต่อวัสดุจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก จะเปลี่ยนไปตามขนาดของแรงที่กระทำ ดังนั้นหากเราทราบค่าความเค้นที่กระทำต่อวัสดุแล้ว จำนวนรอบที่แรงกระทำซ้ำกระทำต่อวัสดุจะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของวัสดุนั้น แต่เนื่องจากว่าถ้าขนาดของแรงกระทำซ้ำมีค่าต่ำจำนวนรอบของการแตกหักจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ และเมื่อความเค้นลดต่ำลงกว่าค่าค่าหนึ่งวัสดุอาจจะไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากความล้าก็ได้ “ดังนั้นในทางวิศวกรรมจึงกำหนดว่าหากแรงกระทำซ้ำที่มีขนาดคงที่กระทำต่อวัสดุซ้ำกันเป็นจำนวนมากกว่า 10<sup>7</sup> รอบแล้ววัสดุนั้นจะไม่เกิดการเสียหายหรือแตกหัก จะถือว่าวัสดุนั้นจะไม่เกิดการแตกหักเนื่องจากความล้าด้วยแรงหรือความเค้นที่กระทำ

ในปริมาณนั้น”<sup>5</sup> และขนาดของความเค้นที่สูงสุดที่วัสดุได้รับจากแรงกระทำซ้ำที่ไม่ทำให้เกิดการแตกหักเนื่องจากความล้าจะเรียกว่า “ขีดจำกัดความอดทน (Endurance limit)”

## 2.4 วัสดุที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

วัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบปรับอากาศ สามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมที่เกิดขึ้นเป็นหลัก เนื่องจากสามารถถือได้ว่าสภาพภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีเครื่องปรับอากาศคอยควบคุมระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย การป้องกันความร้อนจึงขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อนของวัสดุเป็นหลัก

2.4.1 การพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสม – ระดับการต้านทานความร้อนที่เหมาะสมสำหรับวัสดุจะต้องทำการพิจารณาควบคู่ไปกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมของวัสดุเชิงประกอบทั้งชิ้น โดยรวมค่าความต้านทานความร้อนฟิล์มอากาศภายนอก และภายในอาคารไปด้วย จึงได้ทำการพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุโดยการสมมุติค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุเชิงประกอบ (R) ในระดับ 1 – 20 และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม และค่าระดับการต้านทานความร้อนของวัสดุ

<sup>5</sup> [www.sut.ac.th/e-texts/eng/solid/index1-3.html](http://www.sut.ac.th/e-texts/eng/solid/index1-3.html)

ทางผู้ศึกษาพบว่าค่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสม อยู่ที่ระดับ R-8 – R-12 ซึ่งเป็นช่วงที่ความโค้งของเส้นกราฟเริ่มนิ่งในแนวนอน และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยแสดงว่าหลังจากช่วง R-12 เป็นต้นไปถึงจะพยายามเพิ่มค่าความเป็นฉนวนขึ้นมากแต่ค่าการนำความร้อนจะแทบไม่ลดลง

“ ทางผู้ศึกษาจึงพิจารณาใช้ช่วงค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่ช่วง  $R = 8-12 \text{ h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{F}^\circ/\text{Btu}$  เป็นช่วงในการพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ ”

**2.4.2 ลักษณะการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม – การติดตั้งฉนวนให้กับผนังอาคารที่มีการปรับอากาศ มีปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต่อรูปแบบในการพิจารณาติดตั้ง ดังต่อไปนี้**

**2.4.2.1 ฉนวนควรอยู่ด้านนอกของอาคาร –** การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารจะช่วยลดความร้อนก่อนเข้ามาถึงภายในโครงสร้างอาคาร อันจะช่วยให้โครงสร้างอาคารไม่เก็บสะสมความร้อนเอาไว้ภายใน การติดตั้งฉนวนด้านในอาคารจะทำให้ผนังภายนอกซึ่งเป็นผนังปกปิดอมความร้อนและทำให้ผิวผนังมีความร้อนอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าจะไม่โดนรังสีดวงอาทิตย์ทำให้เกิดค่าความแตกต่างทางอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ ภาระการถ่ายเทความร้อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

**2.4.2.2 การป้องกันการนำความร้อนผ่านโครงสร้างผนัง –** การติดตั้งฉนวนระหว่างโครงเคร่าถึงแม้ว่าจะติดตั้งฉนวนความร้อนไว้ภายนอกอาคารแล้ว แต่ความร้อนก็จะยังสามารถแทรกผ่าน โครงเคร่าเข้ามาภายในอาคารได้ การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารจึงไม่ควรวางฉนวนไว้ระหว่างโครงเคร่า แต่ควรหาวิธีการติดตั้ง โดยให้ฉนวนทั้งหมดเป็นเสมือนผิวผนังภายนอกโดยตรง

**2.4.2.3 การป้องกันการเกิดไอน้ำภายในผนัง –** การเลือกใช้ฉนวนเพื่อการติดตั้งกับผนังเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งฉนวน โดยทั่วไปมักศึกษารูปแบบการติดตั้งที่เคยมีมาจากต่างประเทศซึ่งเป็นเขตหนาว และอากาศแห้ง ซึ่งรูปแบบการติดตั้งที่เกิดขึ้นมักเป็นการวางฉนวนไว้ระหว่างช่องว่างของผนังอย่างง่าย ๆ และมีช่องอากาศอยู่โดยทั่วไป แต่สำหรับภูมิภาคแบบร้อนชื้นของประเทศไทยการติดตั้งฉนวนที่มีลักษณะยึดหยุ่นตัวและทำให้เกิดช่องว่างอากาศภายในผนังจะเป็นผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำระหว่างช่องว่างและทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายไปพร้อมๆ กับการลดทอนประสิทธิภาพของฉนวนจากการที่ไอน้ำเข้าไป แทนที่ช่องว่างอากาศภายในเนื้อฉนวน การติดตั้งฉนวนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยจึงควรผนึกฉนวนเข้ากับวัสดุผนังให้เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแผ่นเพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำในผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการทดสอบ

### 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

#### 3.1.1 วิธีรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากการศึกษาโครงการมีขั้นตอนสำคัญในการกำหนดวัสดุที่จะใช้ทดสอบซึ่งวัสดุดังกล่าวเมื่อกำหนดขึ้นแล้วจะต้องมีความเป็นไปได้ในการใช้งานและผลิตขึ้นอย่างเหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้างมาตรฐานของประเทศไทย และช่างก่อสร้างทั่วไปสามารถทำได้เองเพื่อให้วัสดุดังกล่าวมีการแพร่หลายและเป็นประโยชน์อย่างแท้จริง การรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนนี้จึงเป็นส่วนการทำงานที่สำคัญซึ่งทางผู้ศึกษาจึงอยากนำเสนอวิธีการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญต่อการทำงานในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

3.1.1.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานของผนังในอาคารปรับอากาศ การรวบรวมข้อมูลในด้านการประหยัดพลังงานที่เกี่ยวข้องกับผนังของอาคารที่มีการปรับอากาศ มีการเน้นหนักไปที่ “ค่าความเป็นฉนวน” ของวัสดุ การเก็บข้อมูลจึงจะทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่าการป้องกันความร้อนของวัสดุ (Resistance: R-Value) โดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) แหล่งข้อมูลจากผู้ผลิต เป็นแหล่งข้อมูลหลักที่จะใช้ในการศึกษาค่าการป้องกันความร้อนของวัสดุโดยข้อมูลจากผู้ผลิตที่น่าเชื่อถือจะได้อมาโดยการทดสอบทั้งจากภายในและภายนอกประเทศด้วยมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทางวิศวกรรม

2) มาตรฐานข้อมูลวัสดุจากหนังสืออ้างอิงที่มีมาตรฐาน และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ASHRAE Handbook และ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings เพื่อใช้ในการกำหนดวัสดุที่จะใช้ในการทดสอบต่อไป

3.1.1.2 การรวบรวมข้อมูลวัสดุในท้องตลาด การรวบรวมข้อมูลในส่วนนี้ทางผู้ศึกษามีความประสงค์จะสำรวจวัสดุที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาปรับปรุงเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบการรวบรวมข้อมูลเพื่อให้เกิดความรวดเร็วจะใช้ฐานข้อมูลทุติยภูมิจากข้อมูลราคากลางของวัสดุก่อสร้าง เพื่อทราบถึงวัสดุที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด รวมถึงราคาที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

3.1.1.3 การรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบเชิงวิศวกรรม การรวบรวมข้อมูลในส่วนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลในเชิงวิศวกรรมกลศาสตร์ใน 2 ด้าน คือ

- 1) ด้านการรับแรงจริง จากการใช้งานเป็นผนังของบ้านพักอาศัย โดยพิจารณาถึงสภาพการรับแรงของโครงสร้างผนังสำหรับบ้านพักอาศัยเป็นหลัก
- 2) ด้านการทดสอบและเครื่องมือ โดยอาศัยมาตรฐาน และเครื่องมือทางวิศวกรรมซึ่งเป็นที่ยอมรับในเชิงวิชาการ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ออกมามีความน่าเชื่อถือต่อการใช้งานในการออกแบบทางวิศวกรรมต่อไปในอนาคต

### 3.1.2 ขั้นตอนวิธีการศึกษา

จากการจัดเตรียมแนวคิดในการศึกษาทั้ง 3 ขั้นตอน ทำให้สามารถแยกรายละเอียดของขั้นตอนการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ ดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดวัสดุและวิธีการทดสอบ

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญในการกำหนดวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านของศักยภาพการประหยัดพลังงาน ความเหมาะสมต่อเทคโนโลยีการก่อสร้างของประเทศ และความเหมาะสมในการใช้งานทางวิศวกรรมการก่อสร้าง เพื่อให้การกำหนดวัสดุและการทดสอบมีความเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ที่วางไว้จึงได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาย่อยออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานของผนังอาคารที่มีการปรับอากาศ
2. กำหนดคุณสมบัติ (Criteria) ของวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ
3. ศึกษาวัสดุในท้องตลาดภายในประเทศไทย
4. กำหนดแนวทางในการคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาประกอบเป็นวัสดุผนัง
5. ศึกษารายละเอียดวิธีและกระบวนการทดสอบที่มีมาตรฐานและเหมาะสม
6. ศึกษาแนวทางในการการประกอบวัสดุให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ
7. กำหนดวัสดุที่จะใช้เป็นตัวแทน 5 ชนิด
8. กำหนดขั้นตอนในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

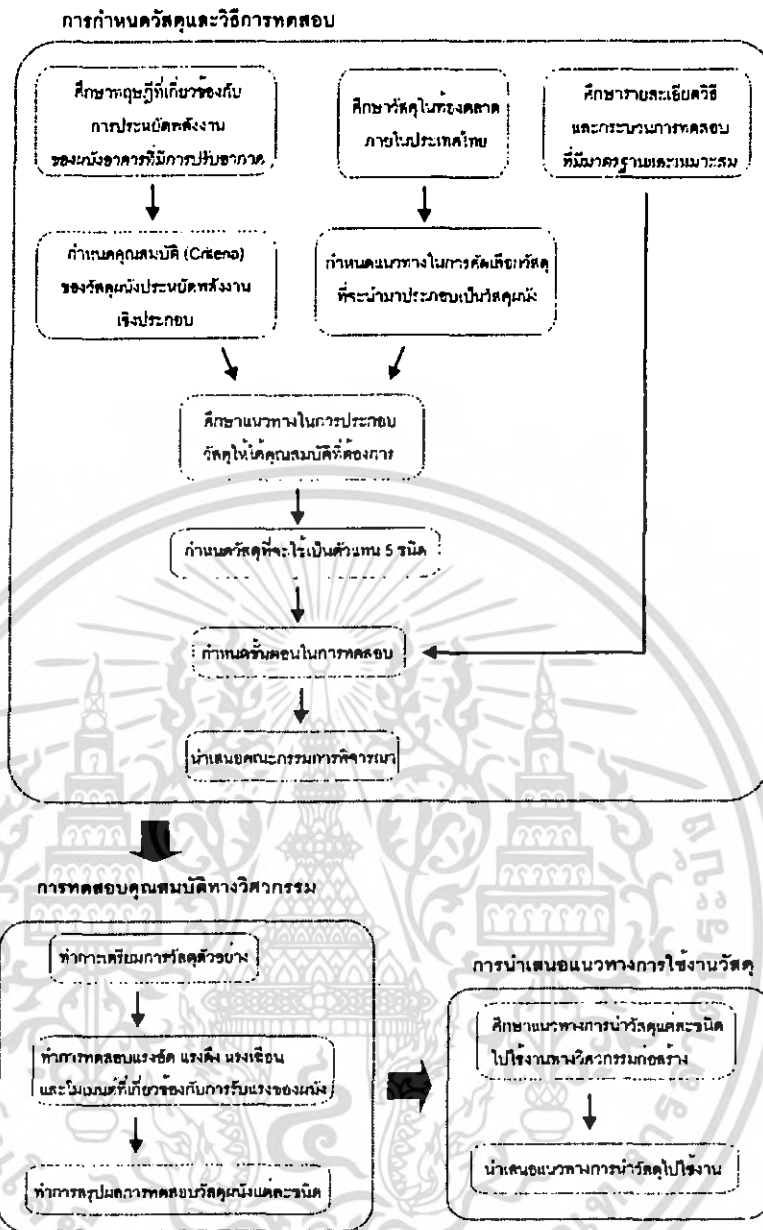
ในขั้นตอนนี้เป็นการทำงานเพื่อเก็บรายละเอียดทางกลศาสตร์ที่จะได้จากการทดสอบของวัสดุตัวอย่างไม่เกิน 5 ประเภท โดยทำการทดสอบมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและการรับน้ำหนักของผนังอาคารเป็นหลัก จากวัสดุผนังประเภทพลังงานเชิงประกอบที่ได้กำหนดขึ้น

1. ทำการเตรียมการวัสดุตัวอย่าง
2. ทดสอบแรงอัด แรงดึง แรงเฉือน และโมเมนต์ตามหลักการทางวิศวกรรมโดยมุ่งเน้นประโยชน์ในการนำไปใช้งานเป็นผนังประเภทพลังงาน
3. ทำการสรุปผลการทดสอบวัสดุผนังแต่ละชนิด

## ขั้นตอนที่ 3 การนำเสนอแนวทางการใช้งานวัสดุ

ในขั้นตอนนี้เพื่อให้ผลการศึกษาที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง ทางผู้ศึกษาจะทำการนำเสนอแนวทางการใช้งานเบื้องต้นไว้สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมที่สามารถนำวัสดุผนังประเภทพลังงานเชิงประกอบไปใช้งานได้ในการออกแบบและก่อสร้างได้ โดยรายละเอียดที่จะนำเสนอประกอบไปด้วยการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาแนวทางการนำวัสดุแต่ละชนิดไปใช้งานทางวิศวกรรมก่อสร้าง
2. นำเสนอแนวทางการนำวัสดุไปใช้งาน



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำการศึกษาของโครงการ

### 3.2 วิธีการทดสอบทางวิศวกรรม

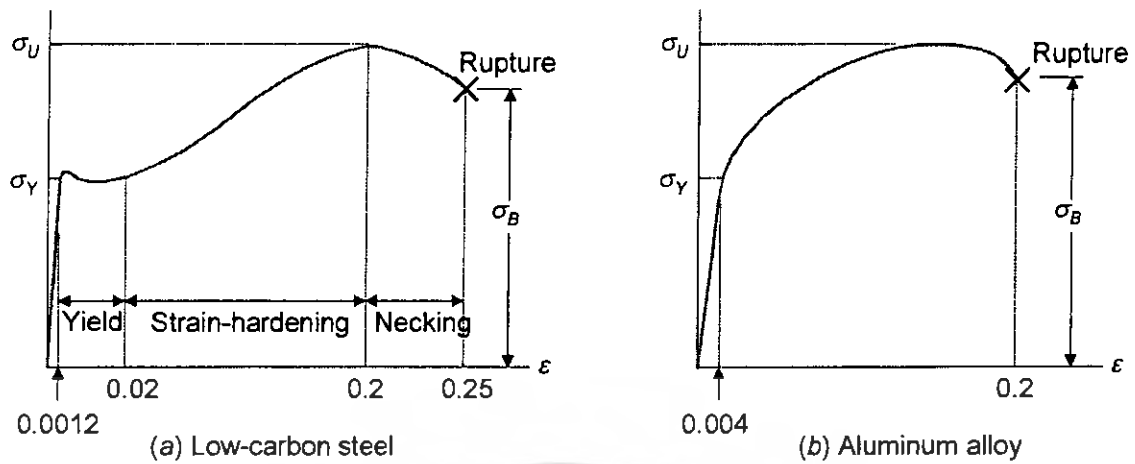
การศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์จะกระทำกับวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่ได้รับเลือกตามเกณฑ์การคัดเลือก จากผลการศึกษาโดยมีจำนวนไม่มากเกินกว่า 5 ชนิด โดยแต่ละชนิดทดสอบไม่เกิน 3 ตัวอย่าง และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ 4 ด้าน ด้วยกัน ได้แก่ การรับแรงอัด การรับแรงดึง การรับแรงเฉือน และการรับ โมเมนต์คด โดย เมื่อกำหนดถึงหลักการในการทางวิศวกรรมและการคำนึงถึงการนำไปออกแบบและใช้งานจริง จึงกำหนดขอบเขตในการทดสอบทางวิศวกรรมดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ในการทดสอบจะถือจุดวิบัติของวัสดุทดสอบเป็นสำคัญในการกำหนดมาตรฐานทางกลศาสตร์ที่เกิดขึ้น
- 2) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสากลที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการกลศาสตร์ของวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องดัดแปลงวิธีการทดสอบบางส่วนเพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบของวัสดุเชิงประกอบ แต่ยังคงไว้ซึ่งหลักการทางวิศวกรรมที่ถูกต้อง
- 3) การทดสอบขึ้นอยู่กับผลของการคัดเลือกวัสดุเชิงประกอบที่นำมาศึกษาว่ามีคุณสมบัติในการรับแรงทางโครงสร้างได้หรือไม่ โดยวัสดุเชิงประกอบที่มีคุณสมบัติในการรับแรงทางโครงสร้างควรเป็นวัสดุที่นอกจากมีความแข็งแรง และสามารถรับแรงได้หลายรูปแบบแล้ว ยังต้องมีคุณสมบัติในด้านความเหนียว คือเมื่อทดสอบแรงดึงจะเกิดการครากที่ชัดเจน โดยจะทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ การรับแรงอัด การรับแรงดึง การรับแรงเฉือน และการรับโมเมนต์ดัด กับวัสดุโครงสร้างที่มีรูปแบบเป็น โครงเคร่าดังกล่าว ส่วนวัสดุทดสอบที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นผนังที่ไม่ได้รับแรงทางโครงสร้างโดยตรง และมีคุณสมบัติเปราะ จะทำการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงอัดเพียงอย่างเดียวเพื่อทดสอบว่าการแตกหักของวัสดุฉนวนจะเป็นไปตามวัสดุก่อซึ่งเป็นวัสดุก่อที่รับแรง

เนื่องจากการศึกษาทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และการพิจารณาวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่ได้นำเสนอต่อไปใน บทที่ 4 พบว่ารูปแบบวัสดุ โครงสร้างกรอบอาคารที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานเป็นวัสดุผนังเชิงประกอบแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ วัสดุรูปแบบก่อ และวัสดุรูปแบบ โครงเคร่า เมื่อคำนึงถึงการรับแรงทางกลศาสตร์และการเสียรูปของโครงสร้างจะพบว่าเมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง วัสดุผนังรูปแบบก่อและวัสดุผนังรูปแบบ โครงเคร่ามีลักษณะการเสียรูปที่แตกต่างกัน ดังนี้

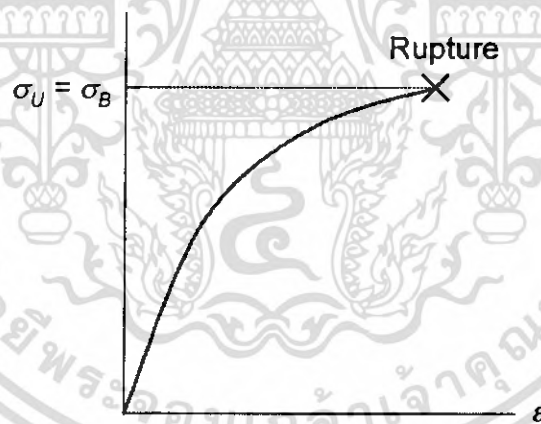
- วัสดุระบบโครงเคร่า เช่น ไม้หรือเหล็ก เป็นวัสดุเหนียว มีการยืดตัวสูง เมื่อผ่านช่วงการยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear Elasticity) จนถึงจุดคราก (Yield point) โดยมีช่วงการครากที่ชัดเจนก่อนถึงจุดแตกหักของวัสดุ (ดังรูปที่ 3.3) ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุโครงเคร่า การเสียหายของวัสดุฉนวนจะเป็นไปตามช่วงของ การคราก (Yield) ของวัสดุโครงเคร่าที่รับแรง เรียกว่า “ความเสียหายเนื่องจากการคราก”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเหนียว

- วัสดุระบบก่อ เช่น อิฐประเภทต่างๆ เป็นวัสดุเปราะ จึงมีการขีดตัวต่ำ และไม่มีพฤติกรรมการครากอย่างชัดเจน (ดังรูปที่ 3.2) ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุเชิงประกอบประเภทวัสดุก่อ การเสียหายของวัสดุจนวนจะเป็นไปตาม การแตกหัก (Fracture) ของวัสดุก่อนนั้นๆ จึงไม่เกิดการเสียหายอันเนื่องมาจากการครากของวัสดุ

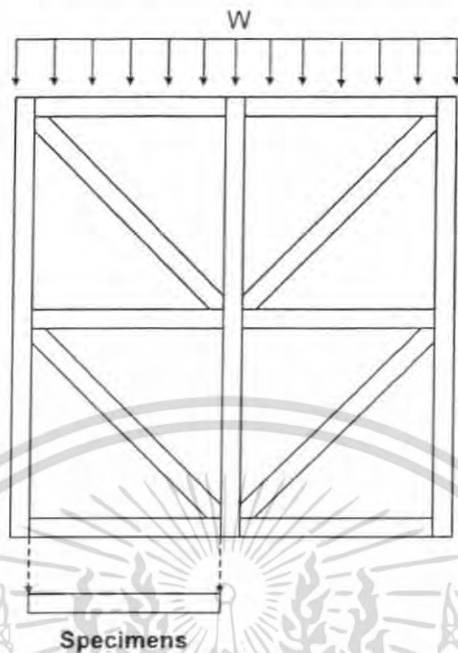


รูปที่ 3.3 แสดงแผนภูมิหน่วยแรง-ความเครียดของวัสดุเปราะ

### 3.2.1 การทดสอบวัสดุโครงเคร่า

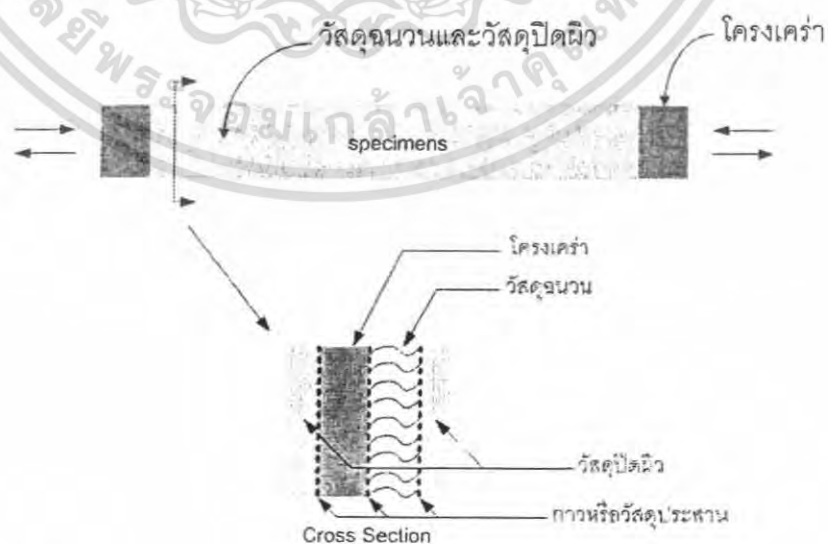
แนวคิดในการทดสอบวัสดุในส่วนของวัสดุผนังที่นำมาทดสอบนั้น จะพิจารณาจากวัสดุที่มีความเหมาะสมในการรับแรงทางโครงสร้าง จัดหาได้ง่ายตามท้องตลาด เป็นที่นิยมใช้กัน และสะดวกต่อการติดตั้งของแรงงานในท้องถิ่น นำมาประกอบกันเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงานประเภทเชิงประกอบ จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ทั้ง 4 แรง คือ การทดสอบการรับแรงอัด การทดสอบการรับแรงดึง การทดสอบการรับแรงเฉือน และการทดสอบการรับ โมเมนต์ดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแนวคิดในการทดสอบวัสดุรูปแบบโครงเคร่า

สำหรับแนวคิดในการทดสอบวัสดุประเภทนี้นั้น ให้พิจารณาแรงกระจายกระทำกับผนังที่มีรูปแบบเป็นโครงเคร่า หรือทางวิศวกรรม โครงสร้าง เรียก โครงสร้างรูปแบบนี้ว่า โครงข้อหมุน (Truss) ดังรูปที่ 3.4 เมื่อมีแรงกระทำต่อ โครงสร้างผนังอันเนื่องมาจากน้ำหนักกองค้ำอาคาร น้ำหนักบรรทุกจร และ น้ำหนักจากการใช้งานเป็นผนัง จะทำให้เกิดแรงภายในในทุกชิ้นส่วน (Specimens) และนำชิ้นส่วนหนึ่งมาทำการทดสอบแรงทั้ง 4 แรง และเมื่อทราบกำลังในการรับแรงของชิ้นส่วน เราสามารถนำแรงที่ได้ไปใช้ในการออกแบบต่อ ได้หลากหลายรูปแบบตามต้องการ



รูปที่ 3.5 แสดงการประกอบและการปิดผิววัสดุรูปแบบโครงเคร่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบชิ้นส่วนที่ทำการทดสอบจะมีการวิบัติในหลายรูปแบบ ซึ่งอาจไม่ใช่ค่าการรับแรงสูงสุดของวัสดุใดวัสดุหนึ่งแต่อาจเกิดจากการวิบัติเนื่องจากการยึดหดตัวไม่เท่ากันของวัสดุทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างพื้นผิวประสานของวัสดุซึ่งเมื่อชิ้นตัวอย่างมีการวิบัติอย่างใดอย่างหนึ่งก็จะถือว่าชิ้นตัวอย่างนั้นมีความต้านทานแรงถึงขีดจำกัดของตัววัสดุเอง

### 3.2.1.1 การทดสอบการรับแรงอัด

อ้างอิงรูปแบบการทดสอบตาม ASTM C 109-92

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของวัสดุตัวอย่าง เพื่อสังเกตการวิบัติที่จุดวิบัติ อันเนื่องจากการวิบัติตามแนวความคิดในการทดสอบเบื้องต้น คือ การวิบัติเนื่องจากการยึดหดตัวไม่เท่ากันของวัสดุทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างผิวประสานของวัสดุ

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงเคร่าเหล็ก 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงเคร่าไม้ 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

#### อุปกรณ์ที่ใช้

1. Universal Testing Machine พร้อมชุดทดสอบ Compression Test
2. Vernier Caliper
3. Dial Gauge
4. ตลับเมตร

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างที่ประกอบเป็นวัสดุเชิงประกอบ ใช้ขนาดที่เตรียมไว้เพื่อเป็นตัวแทนผนังในการทดสอบ
2. ทำการวัดขนาดภาคตัดขวาง (Cross section) ของวัสดุ อย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละจุด วัดตั้งฉากสองทิศทางตั้งฉากกันแล้วนำค่าขนาดตัดขวาง ไปหาค่าเฉลี่ย
3. นำวัสดุตัวอย่าง วางบน Lower Plate ของ เครื่อง UTM และ ให้ Upper Plate แตะบริเวณระนาบผิวบนของชิ้นตัวอย่าง ดังในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการบันทึกค่า พิกัดความยาว Gauge Length (ความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง)และบันทึกค่า Multiplication Ratio (ตัวคูณพิกัด Dial gauge) โดยให้มีความละเอียดในการอ่านค่า Deformation ถึง 0.01 mm
5. ดัด Dial gauge ให้สัมผัสกับ Upper Plate ของชุดการทดสอบรับแรงอัด โดยจะต้องทำการปรับเข็มบนหน้าปัดของ Dial Gauge และ เข็มอ่านค่าแรงกระทำของเครื่อง Universal Testing Machine ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
6. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์พร้อมแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ โดยให้ออกแรงกดที่ล้นน้อยตลอดการทดสอบด้วยความเร็วที่ทำให้ Cross Head เคลื่อนไปด้วยอัตราคงที่ 0.06 cm./min.
7. บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่ตกลงทุกๆ 20 กิโลกรัมสำหรับเหล็กและ 50 กิโลกรัมสำหรับไม้ จนกระทั่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่าง ว่ามีการเสียรูปตามแนวความคิดของการทดสอบ ทำการบันทึกค่า แรง และ ค่า Dial gauge และทำการทดสอบต่อไป จนกระทั่งผ่าน Proportion limit (ให้สังเกตเข็มบอกลำหนักกระทำของเครื่อง UTM จะอยู่นิ่งอยู่ขณะหนึ่ง แม้ว่าจะยังให้แรงกระทำด้วยอัตราเดิมอยู่) จึงถอด Dial gauge ออกแล้วให้นำหนักค้ำไปจนวัสดุถึงจุดวิบัติ ให้ทำการบันทึกค่า Ultimate Load นี้ไว้
8. บันทึกลักษณะความเสียหายของวัสดุตัวอย่างแต่ละชิ้น พร้อมทั้งวาดภาพประกอบประกอบตามลักษณะที่เป็นจริง
9. นำชิ้นตัวอย่างทำการทดสอบซ้ำ 2 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง ดังการทดสอบดังกล่าวข้างต้น

#### การคำนวณ

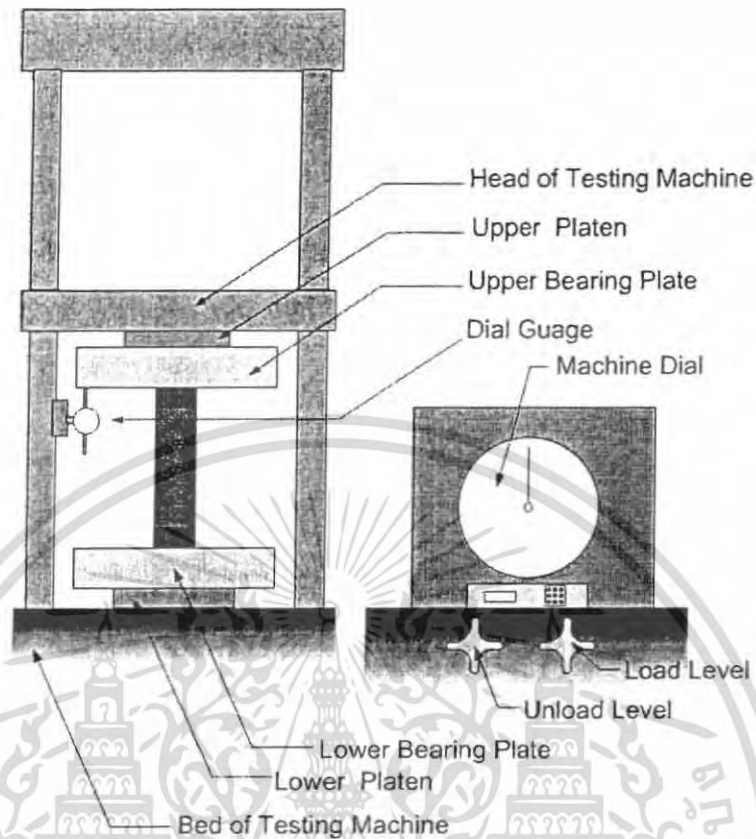
$$\text{Strength at Deformation Point} = \frac{\text{Load at Deformation Point}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Elastic Strength at Proportional Limit} = \frac{\text{Load at Proportional Limit}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Yield Strength} = \frac{\text{Yield Point Load}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Ultimate Strength} = \frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Equipment Used for Compression Testing

### 3.2.1.2 การทดสอบการรับแรงดึง

อ้างอิงรูปแบบการทดสอบตาม ASTM C 109-85

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุตัวอย่าง เพื่อสังเกตการวิบัติที่จุดวิบัติ อันเนื่องจากการวิบัติตามแนวความคิดในการทดสอบเบื้องต้น คือ การวิบัติเนื่องจากการยึดหดตัวไม่เท่ากันของวัสดุ ทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างผิวประสานของวัสดุ

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงคร่าเหล็ก 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงคร่าไม้ 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

#### อุปกรณ์ที่ใช้

1. Universal Testing Machine พร้อมชุดทดสอบ Tensile Test (Clamping)
2. Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Dial Gauge
4. ดัลป์เมตร

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างที่ประกอบเป็นวัสดุเชิงประกอบ ใช้ขนาดที่เตรียมไว้เพื่อเป็นตัวแทนผนังในการทดสอบ
2. ทำการวัดขนาดภาคตัดขวาง(Cross section) ของวัสดุ อย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละจุด วัดตั้งฉากสองทิศทางตั้งฉากกันแล้วนำค่าขนาดตัดขวางไปหาค่าเฉลี่ย
3. ทำการบันทึกค่า พิกัดความยาว Gauge Length (ความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง)และบันทึกค่า Multiplication Ratio (ตัวคูณพิกัด Dial Gauge ) โดยให้มีความละเอียดในการอ่านค่า Deformation ถึง 0.01 mm
4. นำวัสดุตัวอย่าง ยึดด้วย Clamps บนและล่าง โดยเลื่อนเครื่อง UTM ส่วนบนและล่าง ให้จับวัสดุตัวอย่างได้แน่นพอดีและไม่มีการออกแรงก่อนการทดสอบ ดังในรูปที่ 3.7
5. ติด Dial Gauge ให้สัมผัสกับ ส่วนล่าง ของชุดการทดสอบรับแรงดึง โดยจะต้องทำการปรับเข็มบนหน้าปัดของ Dial Gauge และ เข็มอ่านค่าแรงกระทำของเครื่อง Universal Testing Machine ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
6. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์พร้อมแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ โดยให้ออกแรงกดทีละน้อยตลอดการทดสอบด้วยความเร็วที่ทำให้ Cross Head เคลื่อน ไปด้วยอัตราคงที่ 0.06 cm./min.
7. บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่ลดลงทุกๆ 200 กิโลกรัม สำหรับเหล็กและ 100 กิโลกรัม สำหรับไม้ จนกระทั่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่าง ว่ามีการเสียรูปตามแนวความคิดของการทดสอบ ทำการบันทึกค่า แรง และ ค่า Dial gauge และทำการทดสอบต่อไป จนกระทั่งผ่าน Proportion limit (ให้สังเกตเข็มบอกน้ำหนักกระทำของเครื่อง UTM จะอยู่นิ่งอยู่ขณะหนึ่ง แม้ว่าจะยังให้แรงกระทำด้วยอัตราเดิมอยู่) จึงถอด Dial Gauge ออกแล้วให้นำหนักต่อไปจนวัสดุถึงจุดวิบัติ ให้ทำการบันทึกค่า Ultimate Load นี้ไว้
8. บันทึกลักษณะความเสียหายของวัสดุตัวอย่างแต่ละชิ้น พร้อมทั้งวาดภาพประกอบประกอบตามลักษณะที่เป็นจริง
9. นำชิ้นตัวอย่างทำการทดสอบซ้ำ 2 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง ดังการทดสอบดังกล่าวข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

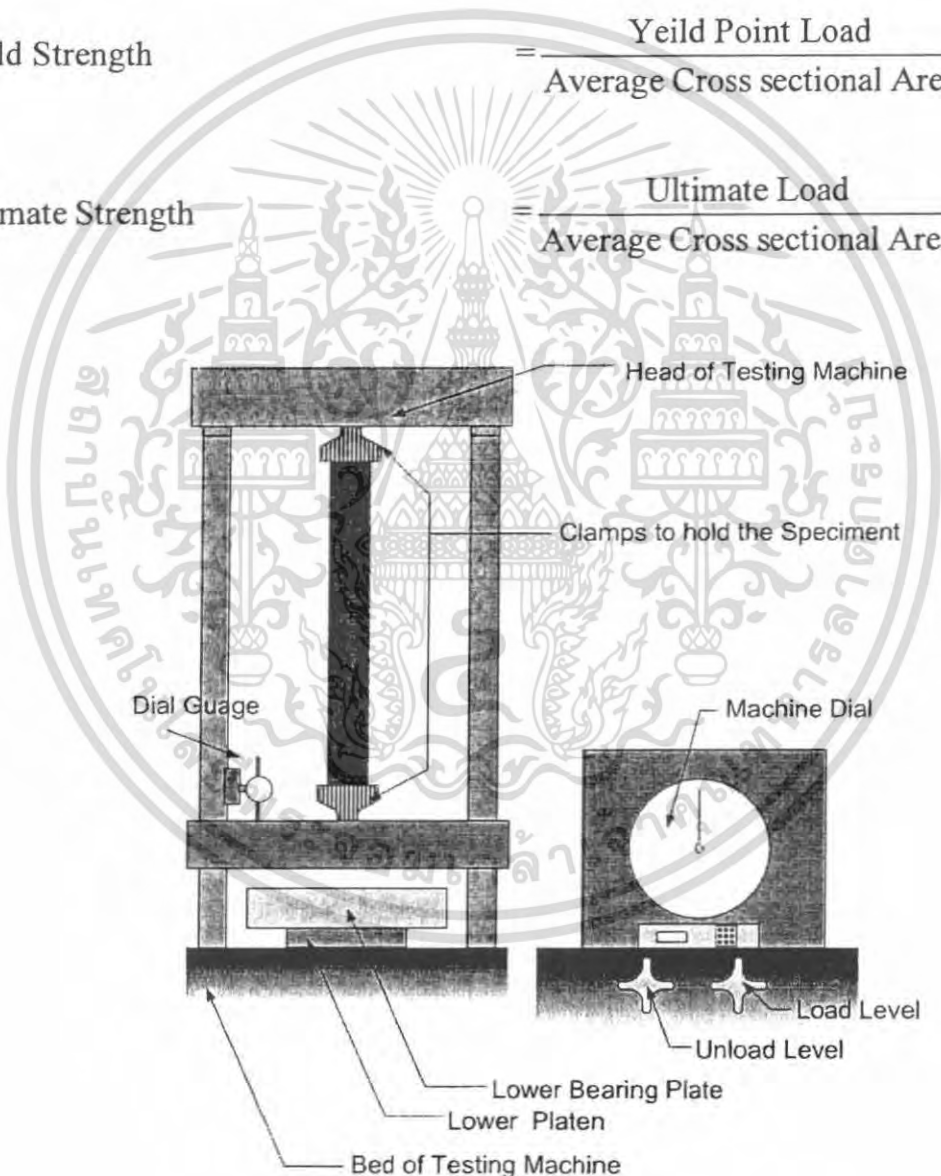
การคำนวณ

$$\text{Strength at Deformation Point} = \frac{\text{Load at Deformation Point}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Elastic Strength at Proportional Limit} = \frac{\text{Load at Proportional Limit}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Yield Strength} = \frac{\text{Yield Point Load}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Ultimate Strength} = \frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$



รูปที่ 3.7 Equipment Used for Tension Testing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.3 การทดสอบการรับแรงเฉือน

อ้างอิงรูปแบบการทดสอบตาม ASTM B565

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของวัสดุตัวอย่าง เพื่อสังเกตการวิบัติที่จุดวิบัติ อันเนื่องจากการวิบัติตามแนวความคิดในการทดสอบเบื้องต้น คือ การวิบัติเนื่องจากการแรงยึดหดตัวไม่เท่ากันของวัสดุทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างผิวประสานของวัสดุ อันเนื่องมาจากแรงเฉือน

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบโครงคร่ำเหล็ก 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบโครงคร่ำไม้ 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

#### อุปกรณ์ที่ใช้

1. Universal Testing Machine พร้อมชุดทดสอบ Shear Test
2. Vernier Caliper
3. ตลับเมตร

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างที่ประกอบเป็นวัสดุเชิงประกอบ ใช้ขนาดที่เตรียมไว้เพื่อเป็นตัวแทนผนังในการทดสอบ
2. ทำการวัดมิติต่างๆของชิ้นวัสดุ คือ ความยาวของตัวอย่าง ขนาดภาคตัดขวาง (Cross section) ของวัสดุ อย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละจุด วัดตั้งฉากสองทิศทางตั้งฉากกันแล้วนำค่าขนาดตัดขวาง ไปหาค่าเฉลี่ย
3. นำวัสดุตัวอย่างวางบนแท่นทดสอบแรงเฉือนที่วางบน ส่วนล่างของ UTM แล้วยึดรั้งไว้ด้วยอุปกรณ์ยึดรั้งเพื่อป้องกันการโก่งงอ แล้วนำส่วน Loading (ที่มีความกว้างเท่ากับร่องของแท่นรับแรงเฉือน) แตะบนบริเวณวัสดุตัวอย่าง ดังในรูปที่ 3.8
4. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์พร้อมแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ โดยให้ออกแรงกดทีละน้อยตลอดการทดสอบด้วยความเร็วที่ทำให้ Cross Head เคลื่อนไปด้วยอัตราคงที่ 0.06 cm./min.
5. ทำการสังเกตพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นตัวอย่าง จนกระทั่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่าง ว่ามีการเสียรูปตามแนวความคิดของการทดสอบ ทำการบันทึกค่า ในขณะที่นั้น แล้วเดินเครื่องทดสอบ ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งวัสดุถึงจุดวิบัติ ให้ทำการบันทึกค่า Ultimate Load นี้ไว้

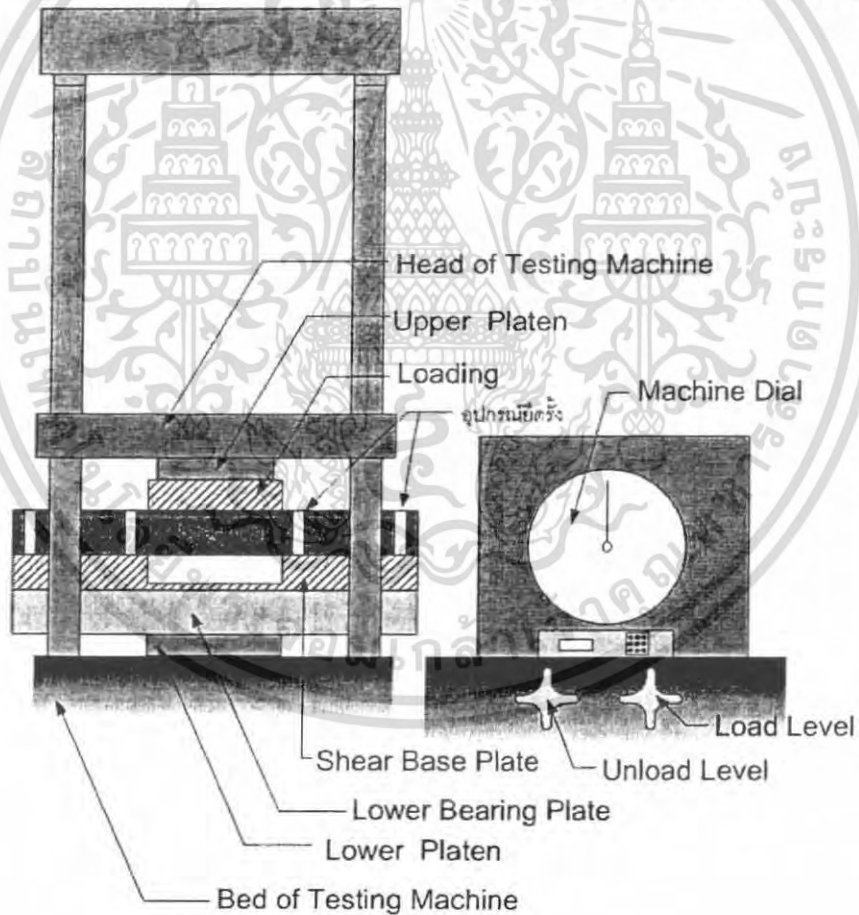
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. บันทึกลักษณะความเสียหายของวัสดุตัวอย่างแต่ละชิ้น พร้อมทั้งวาดภาพประกอบประกอบตามลักษณะที่เป็นจริง
7. นำชิ้นตัวอย่างทำการทดสอบซ้ำ 2 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง ดังการทดสอบดังกล่าวข้างต้น

**การคำนวณ**

$$\text{Shearing Stress at Deformation Point} = \frac{\text{Load at Deformation Point}}{2 (\text{Average Cross sectional Area})} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Shearing Stress} = \frac{\text{Ultimate Load}}{2 (\text{Average Cross sectional Area})} \text{ ,ksc}$$



**รูปที่ 3.8** Equipment Used for Shear Testing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.4 การทดสอบการรับโมเมนต์ดัด

อ้างอิงรูปแบบการทดสอบตาม ASTM C 293-94

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของวัสดุตัวอย่าง เพื่อสังเกตการวิบัติที่จุดวิบัติ อันเนื่องจากการวิบัติตามแนวความคิดในการทดสอบเบื้องต้น คือ การวิบัติเนื่องจากการแรงยึดหดตัวไม่เท่ากันของวัสดุทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างผิวประสานของวัสดุ อันเนื่องมาจากโมเมนต์ดัด

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงเคร่าเหล็ก 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบ โครงเคร่าไม้ 3 ตัวอย่าง 2 รูปแบบ

#### อุปกรณ์ที่ใช้

1. Universal Testing Machine พร้อมชุดทดสอบ Flexural Bending Moment Test (Center-Point Loading)
2. Vernier Caliper
3. Dial Gauge
4. คัลิบเมตร

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างที่ประกอบเป็นวัสดุเชิงประกอบ ใช้ขนาดที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวแทนผนังในการทดสอบ
2. ทำการวัดมิติต่างๆของชิ้นวัสดุ คือ ความยาวของตัวอย่าง ขนาดภาคตัดขวาง(Cross section) ของวัสดุ อย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละจุด วัดตั้งฉากสองทิศทางตั้งฉากกันแล้วนำค่าขนาดตัดขวางไปหาค่าเฉลี่ย
3. จัด Support สองฝั่งให้ห่างจากขอบพอสมควร ในระยะที่เท่ากัน นำวัสดุตัวอย่างวางบน Support ให้สมมาตร ทั้งสองข้าง แล้ว ให้ส่วนบนที่เป็น Loading สัมผัสกับชิ้นตัวอย่าง ตรงกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง ดังในรูปที่ 3.9
4. ติด Dial gauge ให้สัมผัสกับ ส่วนบน ของชุดการทดสอบรับโมเมนต์ดัด โดยจะต้องทำการปรับเข็มบนหน้าปัดของ Dial Gauge และ เข็มอ่านค่าแรงกระทำของเครื่อง Universal Testing Machine ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ และบันทึกค่า Multiplication Ratio (ตัวคูณที่ติด Dial Gauge) โดยให้มีความละเอียดในการอ่านค่า Deformation ถึง 0.01 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์พร้อมแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ โดยให้ออกแรงกดทีละน้อยตลอดการทดสอบด้วยความเร็วที่ทำให้ Cross Head เคลื่อนไปด้วยอัตราคงที่ 0.06 cm./min.
6. บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่กดลงทุกๆ 200 กิโลกรัม สำหรับเหล็ก และ 100 กิโลกรัม สำหรับไม้ จนกระทั่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่าง ว่ามีการเสียรูปตามแนวความคิดของการทดสอบ ทำการบันทึกค่าแรง และค่า Dial Gauge และทำการทดสอบต่อไป จนกระทั่งผ่าน Proportion Limit (ให้สังเกตเข็มบอคน้ำหนักกระทำของเครื่อง UTM จะอยู่นิ่งอยู่ขณะหนึ่ง แม้ว่าจะยังให้แรงกระทำด้วยอัตราเดิมอยู่) จึงถอด Dial Gauge ออกแล้วให้นำหนักต่อไปจนวัสดุถึงจุดวิบัติ ให้ทำการบันทึกค่า Ultimate Load นี้ไว้
7. บันทึกลักษณะความเสียหายของวัสดุตัวอย่างแต่ละชิ้น พร้อมทั้งวาดภาพประกอบประกอบตามลักษณะที่เป็นจริง
8. นำชิ้นตัวอย่างทำการทดสอบซ้ำ 2 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง คังการทดสอบดังกล่าวขึ้นต้น

การคำนวณ

กรณีโครงคร่าไม้

$$\text{Stress at Deformation} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_D L}{bd^2} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Stress at Proportional Limit} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_P L}{bd^2} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Ultimate Stress} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_U L}{bd^2} \text{ ,ksc}$$

กรณีโครงคร่าเหล็ก

$$\text{Stress} = \frac{Mc}{I} \text{ ,ksc}$$

โดย  $P_D$  = Load at Deformation Point, kg

$P_P$  = Load at Proportion Limit, kg

$P_U$  = Ultimate Load, kg

$I$  = Moment of Inertia

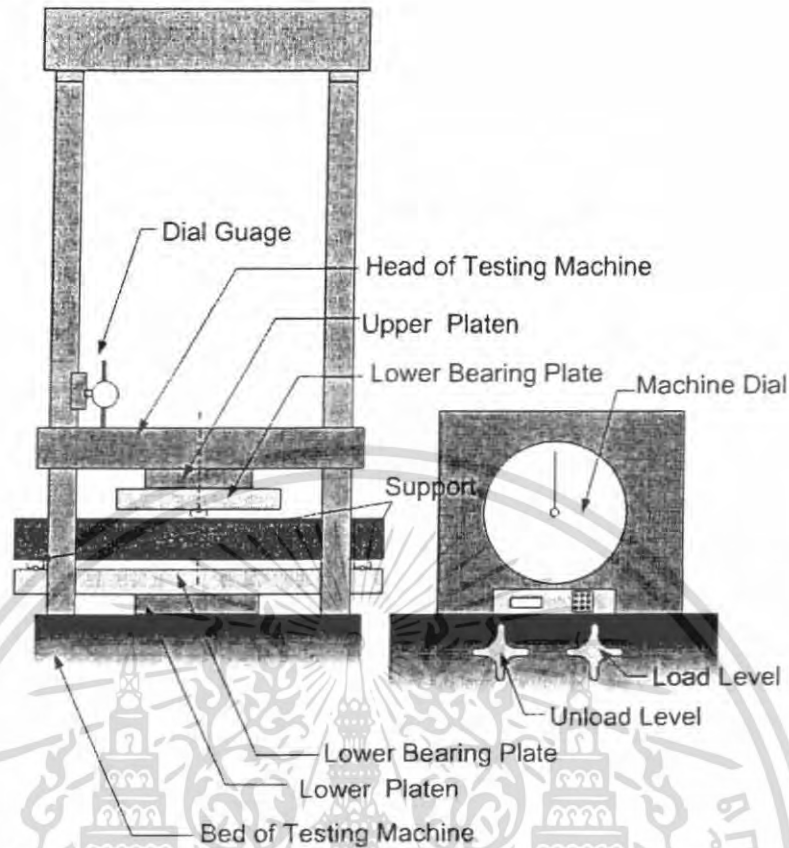
$b$  = width, cm

$d$  = depth, cm

$L$  = Length, cm

$c$  =  $d/2$  , cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



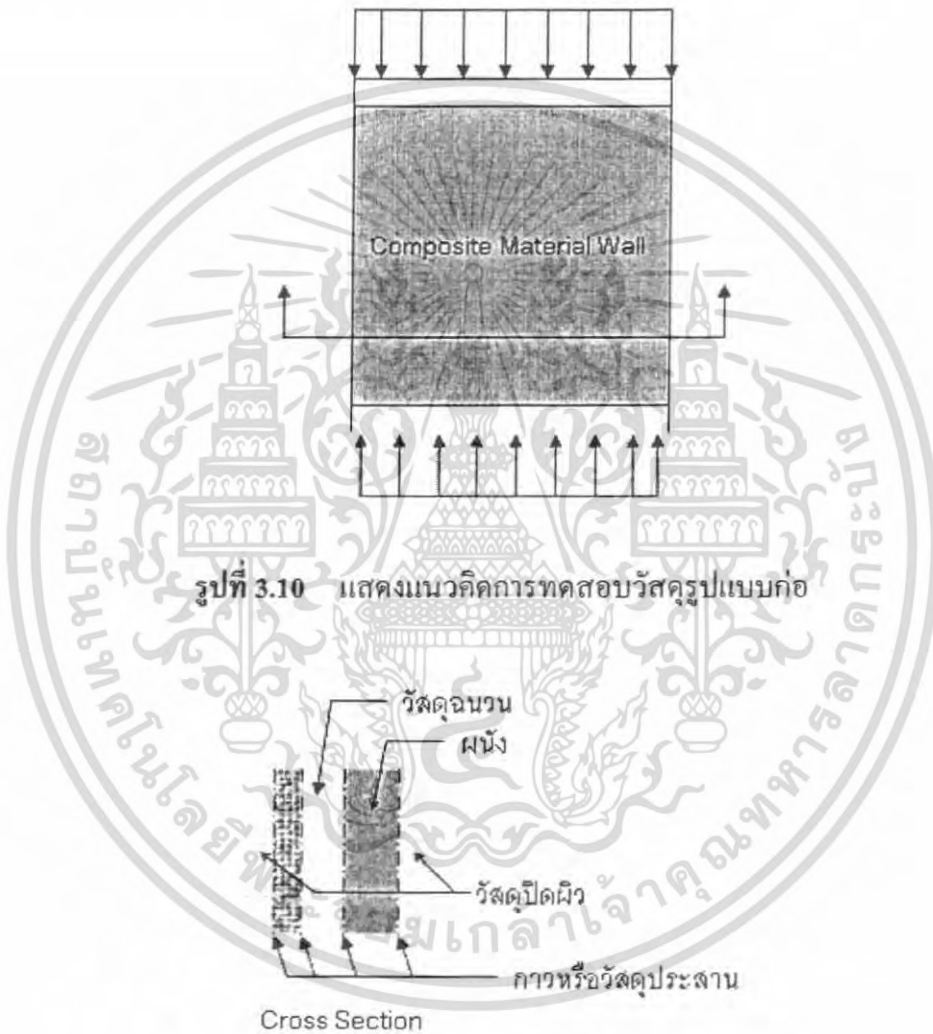
รูปที่ 3.9 Equipment Used for Flexural Bending Moment Testing (Center-Point Loading)

### 3.2.2 การทดสอบวัสดุรูปแบบก่อ

ปัจจุบันมีวัสดุก่อหลายใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น กอนกรีตบล็อก อิฐมอญ อิฐมวลเบา เป็นต้น วัสดุประเภทนี้มีข้อดีในแง่ความสะดวกในการใช้งานและความเคยชินของช่างทั่วไปแต่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการรับแรงทางโครงสร้างโดยตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาการใช้งานเป็นผนังที่อยู่อาศัยโดยทั่วไปแล้ววัสดุก่อเหมาะสำหรับการติดตั้งบนโครงสร้างที่รับน้ำหนักองค์อาคารมากกว่า รูปที่ 3.10 แสดงแนวคิดในการรับแรง แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีแรงกระทำบนวัสดุอันเนื่องมาจากน้ำหนักของวัสดุเองและน้ำหนักจากการใช้งานผนังทั่วไป จะเกิดแรงต้านจากส่วนประกอบที่ใช้เป็นโครงสร้าง ทำให้เกิดแรงอัดกระทำต่อวัสดุก่ออื่นๆ จึงสามารถสรุปได้ว่า การทดสอบทางกลศาสตร์วัสดุก่อนั้นจะทดสอบด้านการรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตาม วัสดุก่อที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นเป็นวัสดุเปราะ การยึดตัวต่ำ ไม่มีการครากหรือมีการครากไม่ชัดเจน ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุเชิงประกอบประเภทวัสดุก่อ การเสียหายของวัสดุฉนวนจะเป็นไปตาม การแตกหัก (Fracture) ของวัสดุก่ออื่นๆ โดยไม่ได้มาจากการครากของตัววัสดุก่อเอง ซึ่งมีการทดสอบเพื่อสร้างมาตรฐานค่ากำลังอัดประลัยของวัสดุก่อที่ใช้กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น อิฐมอญ อิฐบล็อก กัน โดยทั่วไปอยู่แล้ว ดังนั้นค่าการรับแรงของวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้จะไม่ต่างกับค่าการรับแรงมาตรฐานที่ทราบกันโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม เพื่อทดสอบแนวคิดดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุก่อขึ้นโดยนำวัสดุก่อที่ได้เลือกเป็นตัวแทนมาก่ออิฐฉาบปูนขนาดประมาณ 80x100 ซม. แล้วนำผนังก่ออิฐฉาบปูนตัวอย่างที่ได้มาประกอบกับวัสดุฉนวนและวัสดุบุปิดผิวทั้งภายนอกและภายใน (ตามรูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 แสดงการประกอบและการปิดผิววัสดุรูปแบบโครงเคร่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.1 การทดสอบการรับแรงอัด

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมกรรมการรับแรงอัดของวัสดุตัวอย่าง ระหว่างวัสดุเชิงประกอบก่ออิฐฉาบปูนและวัสดุก่ออิฐฉาบปูนทั่วไป เพื่อสังเกตการวิบัติที่จุดวิบัติของตัวอย่างแต่ละชนิด

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

วัสดุตัวอย่างเชิงประกอบก่ออิฐฉาบปูน 3 ตัวอย่าง

วัสดุตัวอย่างก่ออิฐฉาบปูน 3 ตัวอย่าง

#### อุปกรณ์ที่ใช้

1. Universal Testing Machine พร้อมชุดทดสอบ Compression Test
2. Vernier Caliper
3. Dial Gauge
4. ดัลป์เมตร

#### การเตรียมตัวอย่าง

1. คัดเลือกอิฐ โดยเลือกสภาพก้อนที่สมบูรณ์
2. นำตัวอย่างก้อนวัสดุแต่ละประเภทมาก่อเป็นชั้นๆ แบบสลับก้อนโดยใช้ปูนก่อ ให้ได้ระนาบตรงกัน และฉาบทับด้วยปูนฉาบ เสมือนผนังทั่วไป
3. จากนั้นประกอบวัสดุฉนวน และวัสดุบุผิวต่างๆ เข้ากับผนังในข้อ 2 เป็นวัสดุผนังก่อเชิงประกอบ
4. ทำการ Cap ผิวสัมผัสของวัสดุที่ทำการรับแรงให้เรียบเสมอกัน โดยก้ามะถัน

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดค่ามิติต่างๆ ของวัสดุผนังเชิงประกอบ โดยรอบ แล้วบันทึกค่า
2. นำวัสดุผนังเชิงประกอบวางบนเครื่องทดสอบ ให้เครื่องทดสอบสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่างโดยระวังการกดอัดอันเนื่องจากแรงกระแทก
3. ทำการบันทึกค่าพิสัยความยาว (Gauge Length) และบันทึกค่าตัวคูณพิสัยของ Dial Gauge ที่มีควมละเอียดถึง 0.01 mm
4. ทำการติดตั้ง Dial Gauge เข้ากับชุดทดสอบรับแรงอัด โดยจะต้องทำการปรับเข็มบนหน้าปัดของ Dial Gauge และเข็มอ่านค่าแรงกระทำของเครื่อง Universal Testing Machine ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เริ่มทดสอบ โดยการเดินเครื่องอย่างสม่ำเสมออย่างช้าๆ ในอัตราที่ไม่เร่งเกินไป (ป้องกันอันตรายเนื่องจากการค้ำของตัวอย่าง)
6. บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่างๆ จนกระทั่งวัสดุผนังเชิงประกอบเกิดการวิบัติ (สังเกตจากภายนอกพร้อมบันทึกลักษณะความเสียหายไว้) หากเพิ่มน้ำหนักกระทำของเครื่อง Universal Testing Machine หยุดนิ่งอยู่ขณะหนึ่ง ให้ถอดเครื่องวัด Dial Gauge ออกแล้วให้น้ำหนักต่อ จนถึงจุดวิบัติของผนัง ให้ทำการบันทึกค่า Ultimate Load นี้ไว้
7. บันทึกลักษณะความเสียหายของวัสดุผนังเชิงประกอบที่เกิดขึ้น พร้อมสเกตช์ภาพไว้
8. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่อง แล้วทำการ plot กราฟ Stress-strain Curve โดยให้แกนนอนเป็นค่า Strain และแกนตั้งเป็นค่า Stress พร้อมกับระบุค่า Proportional Limit และ Yield Strength บนกราฟ ถ้าเส้นกราฟไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0) ให้ทำการปรับแก้ไขกราฟ
9. ทำการทดสอบวัสดุผนังเชิงประกอบซ้ำ 3 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง จากข้อ 1-8

การคำนวณ

$$\text{Strength at Deformation} = \frac{\text{Load at Deformation}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Elastic Strength at Proportional Limit} = \frac{\text{Load at Proportional Limit}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

$$\text{Ultimate Strength} = \frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average Cross sectional Area}} \text{ ,ksc}$$

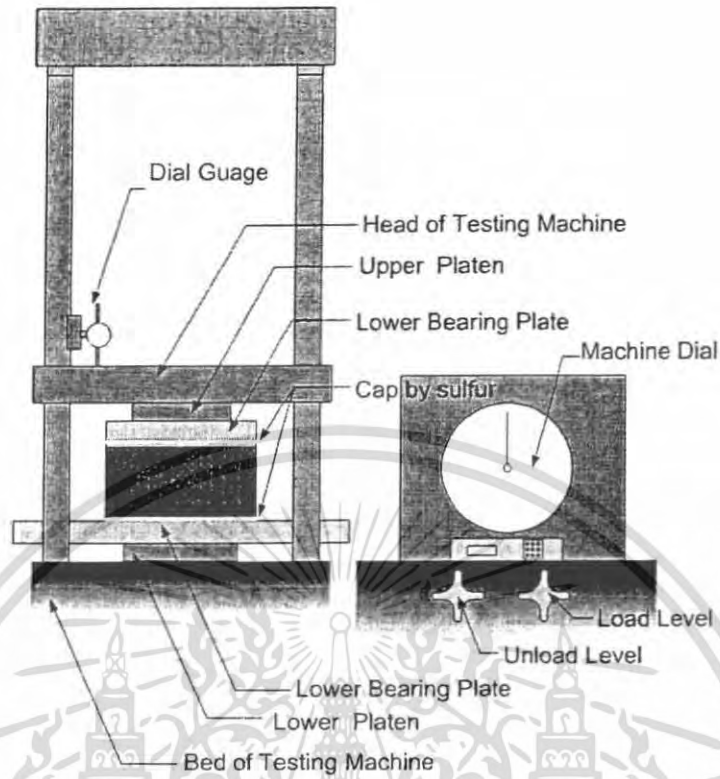
การเตรียมวัสดุตัวอย่าง สำหรับการทดสอบ



แคปมิวตั้มสำหรับแรงของวัสดุ

รูปที่ 3.12 แสดงการเตรียมวัสดุตัวอย่าง สำหรับการทดสอบ

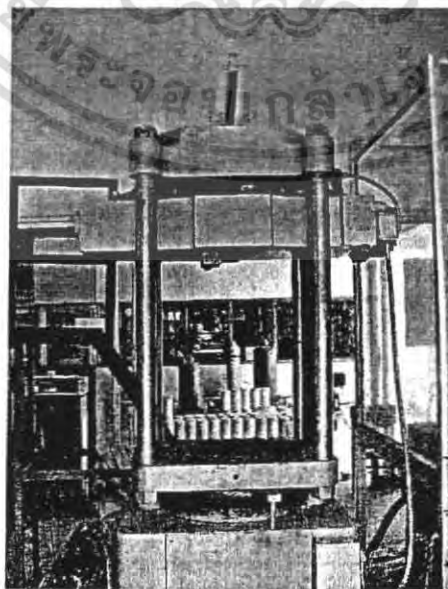
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 Equipment Used for Compression Testing

### 3.3 เครื่องมือทดสอบทางกลศาสตร์

เครื่องมือทดสอบทางกลศาสตร์กำหนดใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. คือเครื่อง TINIUS OLSEN TESTING MACHINE ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Universal Testing Machine (TINIUS OLSEN TESTING MACHINE) ด้านการคำนวณ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ทีเนียส ออลเซน จำกัด ในประเทศไทย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

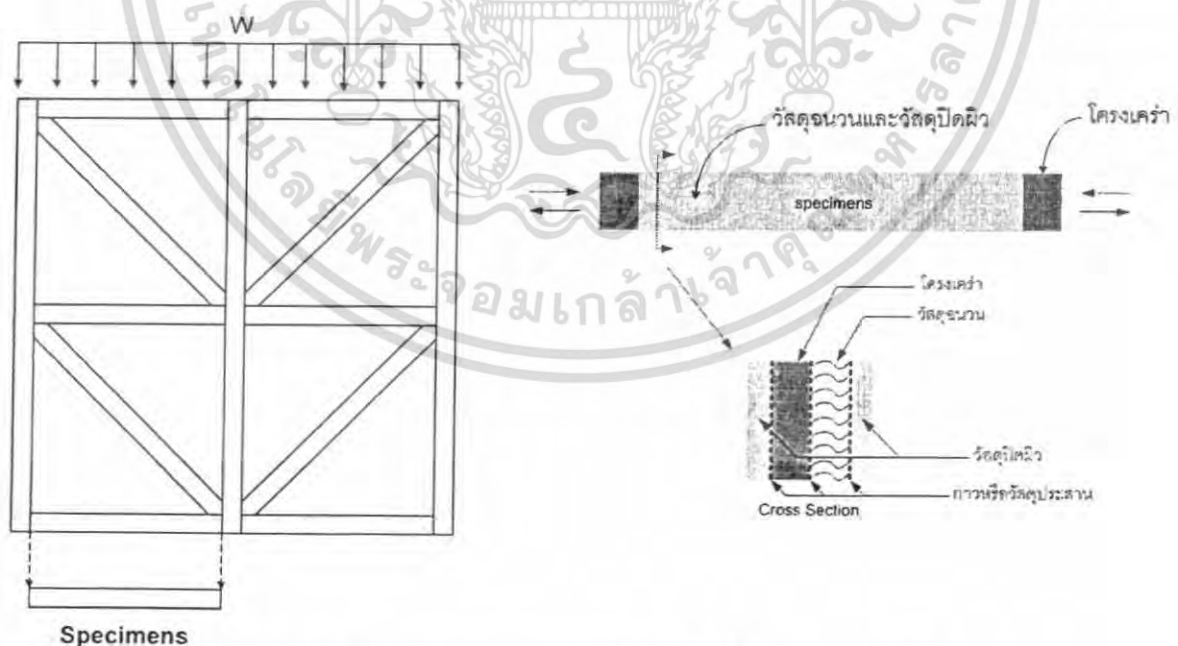
### 3.4 การจัดเตรียมวัสดุทดสอบ

#### 3.4.1 แนวความคิดในการจัดเตรียมวัสดุทดสอบ

แนวคิดสำคัญในการสร้างวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ คือ การสร้างวัสดุที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานทั้งในรูปแบบการก่อสร้างและเพื่อการประหยัดพลังงาน วัสดุจึงถูกออกแบบภายใต้แนวคิดระบบผนัง 2 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะทำหน้าที่แตกต่างกันไปตามลักษณะวัสดุ ดังนี้

- ชั้นวัสดุฉนวน ทำหน้าที่ป้องกันความร้อน และสามารถแยกนำไปติดตั้งร่วมกับระบบผนังแบบอื่นๆ ได้
- ชั้นวัสดุโครงสร้าง ทำหน้าที่รับน้ำหนักของระบบผนังทั้งหมด ส่วนโครงสร้างนี้ถูกออกแบบให้เป็นโครงถัก (Truss) เพื่อการรับน้ำหนักของผนังทั้งหมดในรูปแบบผนังรับน้ำหนัก

เนื่องจากโครงสร้างการรับน้ำหนักตามแนวคิดเป็นการรับน้ำหนักในรูปแบบของโครงถัก การรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นในโครงถักจึงมีการกระจายแรงไปตามชิ้นส่วน (Member) ต่างๆ โครงถัก โดยมีรูปแบบแรงอยู่ 4 ลักษณะด้วยกัน คือ แรงดึง แรงอัด แรงเฉือน และ โมเมนต์คด การทดสอบวัสดุจึงได้นำชิ้นส่วนของโครงถักที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมาทำการทดสอบการรับแรงทั้ง 4 ประเภท โดยมีแนวคิด ดังรูปต่อไปนี้

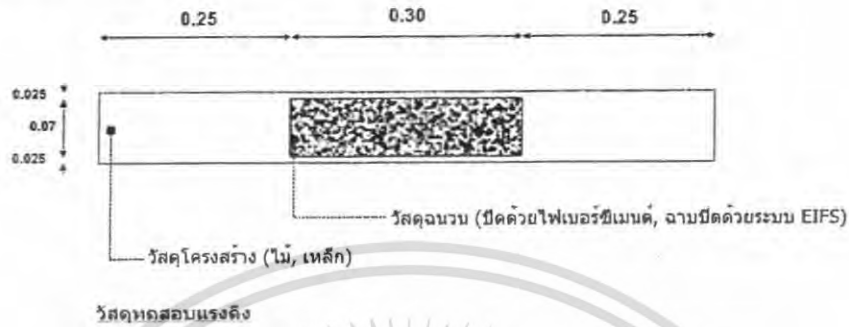


รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการออกแบบวัสดุที่จะใช้ทดสอบภายในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

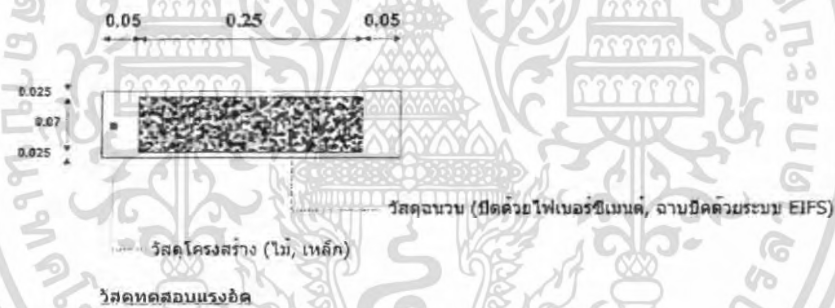
วัสดุที่ใช้ทดสอบแรงทั้ง 4 มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### วัสดุทดสอบแรงดึง



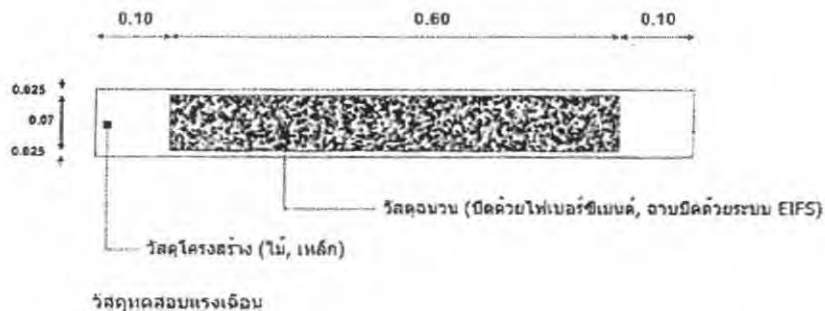
รูปที่ 3.16 แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงดึง

### วัสดุทดสอบแรงอัด



รูปที่ 3.17 แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงอัด

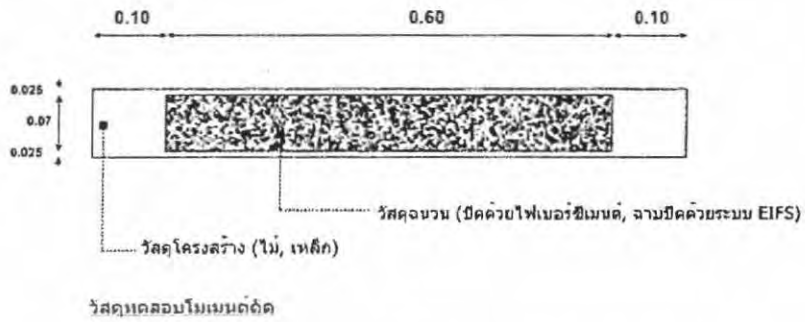
### วัสดุทดสอบแรงเฉือน



รูปที่ 3.18 แสดงขนาดของวัสดุทดสอบแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัสดุทดสอบโมเมนต์ดัด

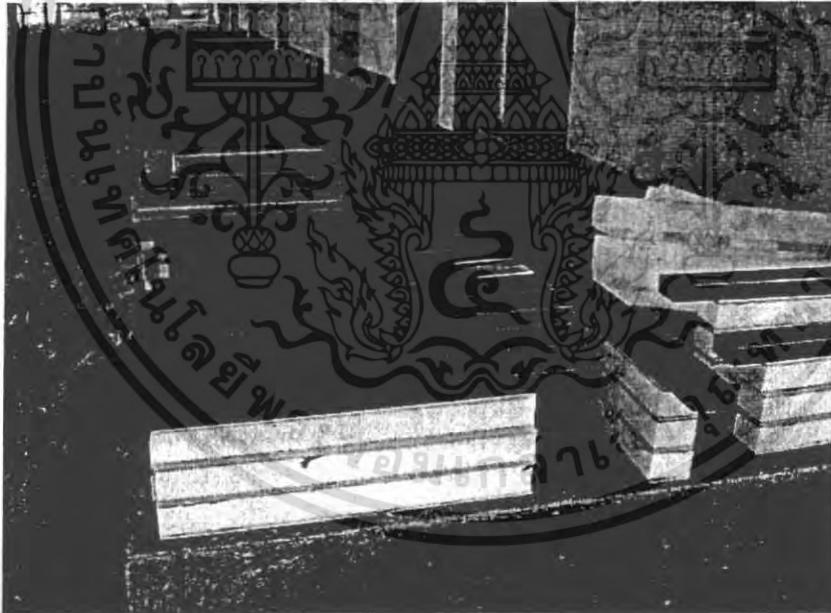


รูปที่ 3.19 แสดงขนาดของวัสดุทดสอบ โมเมนต์ดัด

#### 3.4.2 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุทดสอบ

##### 1) การติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์กับโฟมโพลีสไตรีน

การติดตั้งใช้วัสดุประสานประเภท Base Coat โดยการฉาบเต็มหน้าวัสดุฉนวนและทำการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ตาม

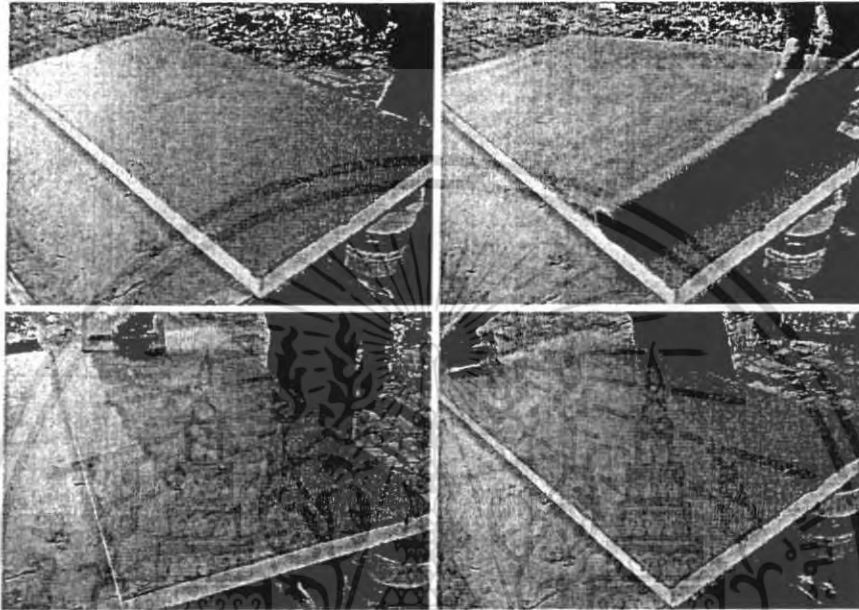


รูปที่ 3.20 แสดงการติดตั้งวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เข้ากับฉนวน โฟมโพลีสไตรีน แล้วกดทับด้วยวัสดุโครงสร้างเพื่อให้วัสดุประสานติดแน่นก่อนยกเข้าเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การฉาบหน้าวัสดุฉนวนประเภทฉาบปิดผิวด้วย Base Coat

การฉาบกระทำโดยการใช้เกรียงฉาบวัสดุ Base Coat รองพื้น 1 ชั้น จากนั้นจึงทำการรีดตาข่ายไฟเบอร์เข้ากับ Base Coat ที่กำลังแห้ง ทำการฉาบ Base Coat เพิ่มอีก 3 ครั้ง โดยในขณะที่แต่ละชั้นแห้งทำการลูบเบาๆด้วยกระดาษทรายหยาบเพื่อแต่งผิว

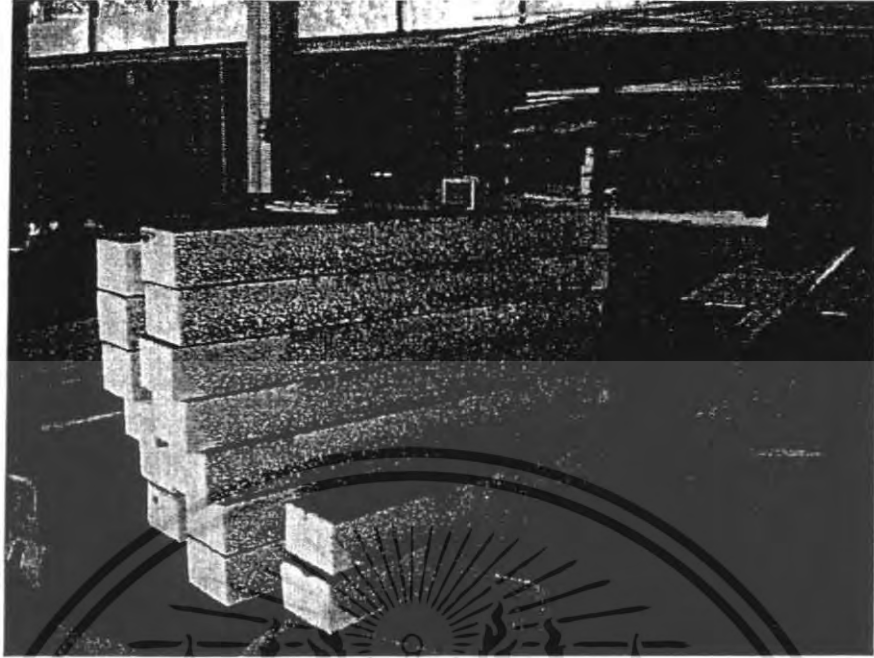


รูปที่ 3.21 แสดงการจัดสร้างวัสดุฉนวนฉาบปิดผิวหน้าด้วย Base Coat



รูปที่ 3.22 แสดงการตัดชั้นวัสดุให้พอดีกับขนาดชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดสอบ

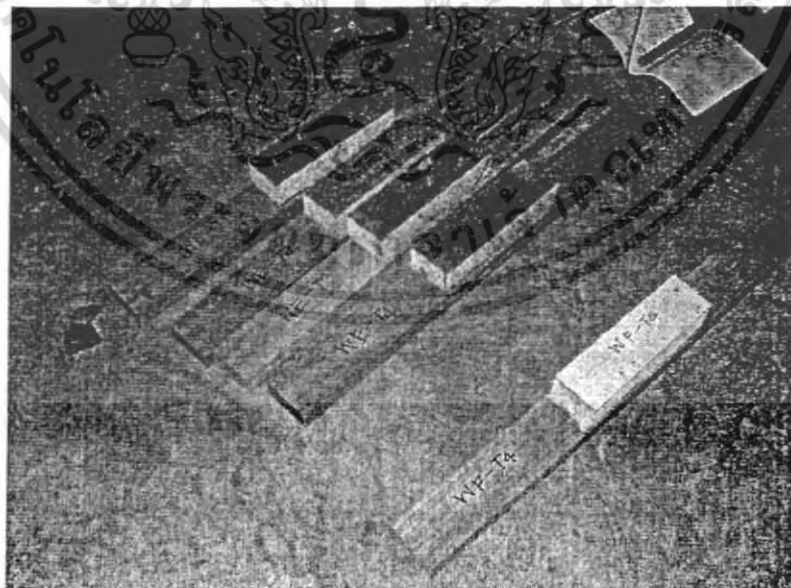
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเอกสารศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขเว็บไซต์ศูนย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงวัสดุฉนวนประเภทฉาบปิดผิวด้วย Base Coat ภายหลังจากการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ด้านหลังแล้ว

3) การติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุโครงสร้าง

การติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุโครงสร้างใช้กาวอีพอกซีของ Sikadur® -31 CF Normal ทาและติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุโครงสร้างทันที



รูปที่ 3.24 แสดงการติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุโครงสร้างด้วย กาวอีพอกซี Sikadur® -31 CF Normal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

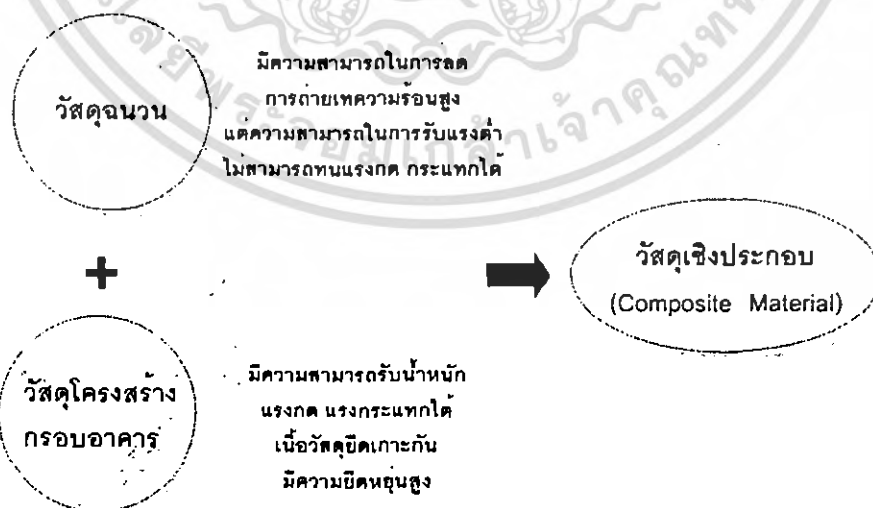
# การพิจารณาวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ ภายในประเทศไทย

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาเพื่อกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อการรับแรงไม่เกิน 5 รูปแบบ เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าทางกลศาสตร์สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบทางวิศวกรรมต่อไป ขั้นตอนในการพิจารณามีดังนี้

- การพิจารณาวัสดุ โครงสร้าง และ วัสดุฉนวน ของประเทศไทย เกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้งาน
- เกณฑ์ในการกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ
- การกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ
- สรุปรูปแบบวัสดุเชิงประกอบที่จะใช้ในการศึกษา

### 4.1 การพิจารณาวัสดุโครงสร้าง และ วัสดุฉนวน ของประเทศไทย

วัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบสำหรับ โครงการนี้ มีแนวคิดที่จะนำวัสดุ 2 คุณลักษณะเข้ามาประกอบรวมกันเพื่อให้ได้โครงสร้างรับน้ำหนักรูปแบบใหม่ที่มีการประหยัดพลังงานในระดับที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในระบบปรับอากาศ



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิแนวคิดในการกำหนดวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่นำเข้ามาประกอบกันเพื่อสร้างวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบสามารถพิจารณาแยกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

- วัสดุโครงสร้าง
- วัสดุฉนวน

โดยมีจุดมุ่งหมายให้วัสดุแต่ละรูปแบบได้ใช้ศักยภาพของตนเองอย่างเต็มที่ซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าการสร้างวัสดุมวลสารที่มีรูปพูนขึ้นเพื่อเพิ่มค่าความเป็นฉนวนได้เพียงเล็กน้อย

### 1) วัสดุโครงสร้างในประเทศไทย

วัสดุโครงสร้างมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูง แต่เนื่องจากมีความสามารถดังกล่าวจึงส่งผลให้ลักษณะของวัสดุที่ดิบตัน มีน้ำหนักมาก และมีค่าการนำความร้อนสูง สำหรับประเทศไทยนิยมใช้งานวัสดุชนิดนี้ในการก่อสร้าง ทั้งเปลือกอาคารและโครงสร้าง เป็นผลทำให้โครงสร้างต้องรับน้ำหนักเปลือกอาคารมากกว่าที่ควรจะเป็นรวมทั้งยังทำให้เกิดความร้อนสะสมในอาคารสูงจากค่าการนำความร้อนของตัววัสดุ

ในปัจจุบันการใช้งานวัสดุเพื่อสร้างผนังอาคารในประเทศไทยมีรูปแบบการใช้งานแตกต่างกันอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

- ผนังก่อ
- ผนังโครงคร่าว

#### 1.1) ผนังก่อ

เป็นผนังที่สร้างด้วยวัสดุก้อนขนาดเล็กเข้ามารวมกันเป็นผืนผนังขนาดใหญ่ด้วยปูนประสาน มีวัสดุที่ใช้เป็นหลักอยู่ในประเทศไทย 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ คอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดวัสดุก่อที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย

รายการวัสดุ	หน่วย	อิฐฉนวน เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา
รูปแบบภายนอก	-	ก้อน	ก้อน	ก้อน
ราคาต่อหน่วย	บาท	-	4.50	25.21
ราคารวมต่อตร.ม.	บาท	-	160-200	382-412
ขนาด (Volume)	cm. <sup>3</sup>	(2)7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60
ความหนาแน่น	kg./m <sup>3</sup>	1600-1700	750-780	500-600
จำนวนก้อนต่อตร.ม.	ก้อน,แผ่น	270-290	13.5	8.33
น้ำหนักต่อตร.ม.	kg./m <sup>2</sup>	-	90	46.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการวัสดุ	หน่วย	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา
น้ำหนักรวมปูนฉาบ ต่อตร.ม.	kg./m <sup>2</sup>	-	130	85-100
การนำความร้อน "K" (Conductivity - K value)	W/m.C	1.221	0.519	0.130
ค่าสัมประสิทธิ์การ ขยายตัว (Thermal Expansion / °C)	E/°C	4.6 x 10 <sup>-4</sup>	4.5 x 10 <sup>-4</sup>	8-10 x 10 <sup>-4</sup>
หดรัดเมื่อแห้ง		1.8	0.8	0.2
การต้านทานมรณรังสี	kg./cm <sup>2</sup>	35 kg./cm <sup>2</sup> -	-	40-50
ความแข็งแรงทางกล	kg./cm <sup>2</sup>	-	-	23
การกันเสียง	dB	36-40	-	38-43
การทนไฟ	ชั่วโมง	1-2	-	4
อัตราการซึมน้ำ	%	40%	30%	30%
การยึดหดตัวของวัสดุ	มม./ม.	+ 0.18	- 0.8	- 0.2
จำนวนผู้ผลิต	-	มาก	มาก	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับ ความต้องการใช้	-	เพียงพอ	เพียงพอ	กำลังผลิต - ไม่เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	-	ใช้เวลามากกว่า	ง่าย	ต้องการช่างเฉพาะ
การบำรุงรักษา	-	ง่าย	ง่าย	-
อายุใช้งาน	-	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	ยังไม่คงที่
ข้อดี	-	- เป็นที่ยอมรับทั่วไป - ช่างชำนาญ - แข็งแรง, ทน - กันความร้อนเข้า อาคาร	- แข็งแรง - ราคาถูก - มีช่องอากาศที่ช่วยกัน ความร้อนได้	- คุณภาพคงที่ - น้ำหนักรวมน้อย - ป้องกันความร้อนดี
ข้อเสีย	-	- ดูดซึมน้ำและเก็บ ความชื้น	- ราคาสูง - อายุใช้งานยังไม่มีการ ยืนยัน - ต้องใช้ปูนฉาบเฉพาะ	- ไม่ค่อยแข็งแรง - ไม่ทนน้ำ

## 1.2) ผนังโครงเคร่า

เป็นผนังที่มีส่วนโครงสร้างและส่วนฉนวนผนังแยกออกจากกัน มักใช้ในอาคารที่ต้องการความรวดเร็วในการก่อสร้าง วัสดุที่นิยมใช้กันในประเทศไทยมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ไม้ และเหล็ก โดยมีวัสดุที่ปิดเป็นฉนวนผนังแบ่งแยกออกได้หลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัสดุโครง

เป็นวัสดุที่รับน้ำหนักทั้งหมดของระบบผนัง ในปัจจุบันมีวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้ เช่น โลหะ ไม้ PVC แต่ที่สามารถใช้ในการรับน้ำหนักได้โดยตรง มีเพียง 2 ชนิด คือ โครงโลหะ และ โครงไม้

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดวัสดุโครงเคร่าที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย

รายการวัสดุ	หน่วย	โครงไม้	โครงโลหะ
รูปแบบกายภาพ	-	ตร.ม.	ตร.ม.
ราคาต่อหน่วย	บาท	-	-
จำนวนผู้ผลิต	-	มาก	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการใช้	-	เพียงพอ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง		ง่าย	ใช้เวลามากกว่า
การบำรุงรักษา		ง่าย	ง่าย
อายุใช้งาน		มากกว่า 15 ปี	มากกว่า 35 ปี
ข้อดี		- เป็นที่ยอมรับทั่วไป - ช่างชำนาญ - แข็งแรง,ทน	- เป็นที่ยอมรับทั่วไป - แข็งแรง,ทน
ข้อเสีย		- ดู ค ี ม น้ำ และ ก ี บ ความชื้น	- คุณภาพและขนาดไม่แน่นอน - ช่างไม่ชำนาญ - น้ำหนักมาก

### วัสดุพื้นผนัง

เป็นวัสดุที่ใช้เป็นพื้นผนังให้กับอาคาร วัสดุส่วนใหญ่มีกถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานภายในอาคาร ยกเว้นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดที่สามารถใช้ภายนอกอาคารได้ดีแต่ต้องทำการเคลือบผิวด้วยสีที่กันซึม วัสดุแผ่นปิดที่นิยมใช้มี 2 ประเภท ดังนี้ (แผ่นแอสเบสตอสถูกตัดออกจากการพิจารณาเนื่องจากเส้นใยมีผลต่อการเกิดมะเร็งในมนุษย์)

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดวัสดุพื้นผนังที่ใช้ร่วมกับ โครงเคร่าที่นิยมใช้กันอยู่ภายในประเทศไทย

รายการวัสดุ	ยิบซัมบอร์ด	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	ไม้อัด
รูปแบบกายภาพ	แผ่น	แผ่น	แผ่น
ราคาต่อหน่วย	200-250	400	ขึ้นกับความหนา
ราคารวมต่อตร.ม.	280-320	320	ขึ้นกับความหนา
ขนาด (Volume)	0.12x120x240	0.12x120x240	120x240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการวัสดุ	บิซซิมบอร์ค	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ค	ไม้อัด
ความหนาแน่น	800	1200-1300	800
น้ำหนักต่อตร.ม.	8.33	10.4 – 15.6	80
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม.	30-35	-	-
การนำความร้อน "K" (Conductivity – K value)	0.191	0.052	0.144
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion / °C)	0.14-0.19	-	-
หดตัวเมื่อแห้ง	-	-	-
การต้านทานแรงอัด	-	9-12 นิวตัน/ตร.ม.	-
ความแข็งแรงทางกล	-	-	-
การกันเสียง	35-65	64	-
การทนไฟ	½ -4	-	-
การปลดตกถื่น	ไม่มีกถื่น	ไม่มีกถื่น	ไม่มีกถื่น
การทานต่อการกัดกร่อน	-	-	-
ความต้านทานแมลง เชื้อรา และ ความปลอดภัยต่อธรรมชาติ	ไม่ขึ้นรา เนื่องจากผสมสาร กันเชื้อรา	ไม่ขึ้นรา เนื่องจากผสมสาร กันเชื้อรา	-
อัตราการซึมน้ำ	-	-	-
การยึดหดตัวของวัสดุ	-	-	-
จำนวนผู้ผลิต	มาก	มาก	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับความ ต้องการใช้	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย
อายุใช้งาน	-	-	-
ข้อดี	- ป้องกันความร้อน - ประหยัด - ง่ายต่อการดูแลรักษา - ทนไฟ ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียงรบกวน - สะดวก ติดตั้งง่าย	- ทำงานเร็ว - ประหยัดพลังงาน - ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียงรบกวน - สะดวกต่อการติดตั้ง	- ป้องกันความร้อน - ประหยัด - ง่ายต่อการดูแลรักษา - สะดวก ติดตั้งง่าย
ข้อเสีย	- หากขึ้นมากจะปิดจอ เปลี่ยนรูป - อาจมีรา หากขาดการ ป้องกัน	- นน.มาก	- ไม่ทนไฟ ลามไฟ - ไม่ป้องกันเสียงรบกวน - ความชื้นแทรกผ่านได้

สรุป จากที่กล่าวมาจะพบว่าวัสดุที่เป็นที่นิยมเพื่อใช้เป็นวัสดุ โครงสร้างในประเทศไทย มีอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ อิฐ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา โครงเหล็ก โครงไม้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) วัสดุฉนวนในประเทศไทย

การใช้ฉนวนของประเทศไทยมักมีการใช้งานกับพื้นที่ส่วนหลังคาของอาคารเป็นหลัก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เกิดความร้อนสูงจนสามารถรับรู้ได้ด้วยร่างกาย อาคารส่วนใหญ่จึงมักมีการใช้งานฉนวนกับพื้นที่ในส่วนหลังคาเป็นอันดับแรก สำหรับการใช้งานฉนวนสำหรับผนังอาคาร ยังมีการใช้งานกันไม่แพร่หลายมากนัก

ฉนวนมีการแบ่งประเภทตามลักษณะการผลิตออกเป็น 4 ชนิด คือ

- ฉนวนเส้นใยอัดเป็นแผ่น และแบบคลุม – เป็นฉนวนที่มีรูปลักษณะเป็นแผ่นอ่อนเกิดจากเส้นใยขนาดเล็กเกาะเกี่ยวเข้าด้วยกันจนเป็นรูปร่าง ฉนวนประเภทนี้มักมีปัญหาเกี่ยวกับไอน้ำและความชื้นเนื่องจากเมื่อไอน้ำแทรกตัวเข้าแทนที่ช่องว่างอากาศภายในจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนลดลง และเสียรูปร่าง จึงต้องมีส่วนฉนวนปิดเพื่อป้องกันไอน้ำจากภายนอก
- ฉนวนแบบลูสฟิลล์ – เป็นฉนวนในลักษณะเส้นใย ใช้วิธีพ่นด้วยแรงดันอากาศเข้าไปในช่องว่างระหว่างโครงสร้าง ฉนวนประเภทนี้มีปัญหาเกี่ยวกับไอน้ำและความชื้นเนื่องจากเมื่อไอน้ำแทรกตัวเข้าแทนที่ช่องว่างอากาศภายในจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนลดลง และเสียรูปร่าง จึงต้องมีการปิดกั้นไอน้ำพื้นที่ที่พ่นฉนวนเข้าไป
- ฉนวนแบบฉีดโฟมในชั้นงาน – เป็นฉนวนโฟมที่ทำการฉีดเข้าไปในพื้นที่ที่ต้องการ แต่เนื่องจากโฟมมีคุณสมบัติในการยึดติดคล้ายกาวจึงสามารถยึดติดเข้ากับพื้นที่ที่ต้องการพ่น นอกจากนี้เมื่อแห้งจะมีความแข็งในระดับที่สามารถคงรูปอยู่ได้จึงไม่เสียรูปเนื่องจากไอน้ำ
- ฉนวนแบบบล็อก, แผ่นอัด และฉนวนท่อ – เป็นฉนวนที่มีลักษณะคงรูปเป็นแผ่นแข็งเนื่องจากเกิดขึ้นจากการหล่อ หรือบีบอัดขึ้นรูป

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดฉนวนที่มีการใช้งานโดยทั่วไป<sup>6</sup>

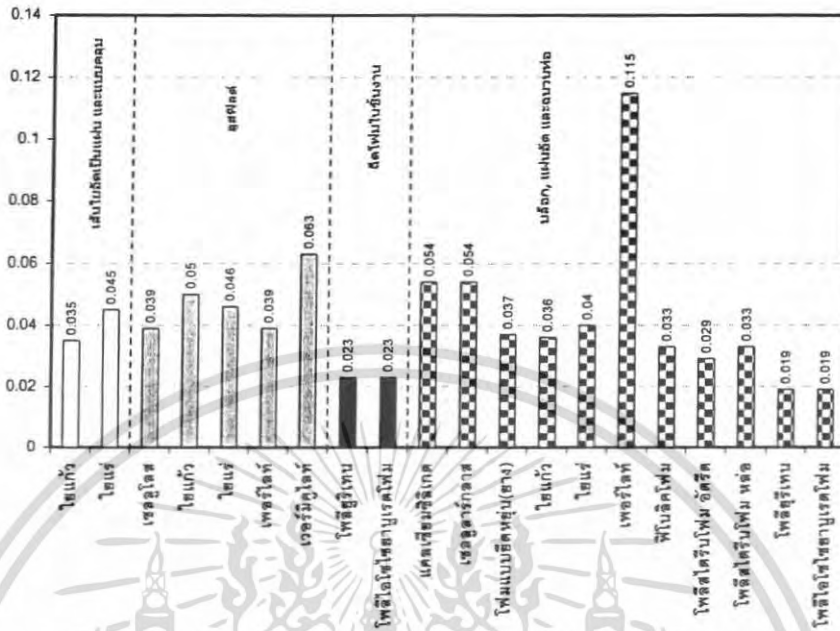
ฉนวน	Conductivity (k) W/m-K	Density kg/m <sup>3</sup>	ข้อดี	ข้อเสีย
เส้นใยอัดเป็นแผ่น และแบบคลุม				
ใยแก้ว	0.035	9.6-16.0	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ ไม่เป็นพิษ	อาจติดไฟ และเสียรูปจากไอน้ำ จึงต้องการเปลือกหุ้ม
ใยแร่	0.045	24.0-40.0	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ ไม่เป็นพิษ	อาจเสียรูปจากไอน้ำ จึงต้องการเปลือกหุ้ม
ลูสฟิลล์				
เซลลูโลส	0.039-0.045	35.2-51.3	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	ติดไฟได้ สูญเสียรูปเมื่อมีไอน้ำ

<sup>6</sup> วิศวกร ก้าวไกลกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน (กรุงเทพฯ: ซีไอเคยูเคชั่น, 2537), หน้า 72-75  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเผยแพร่ความรู้เท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

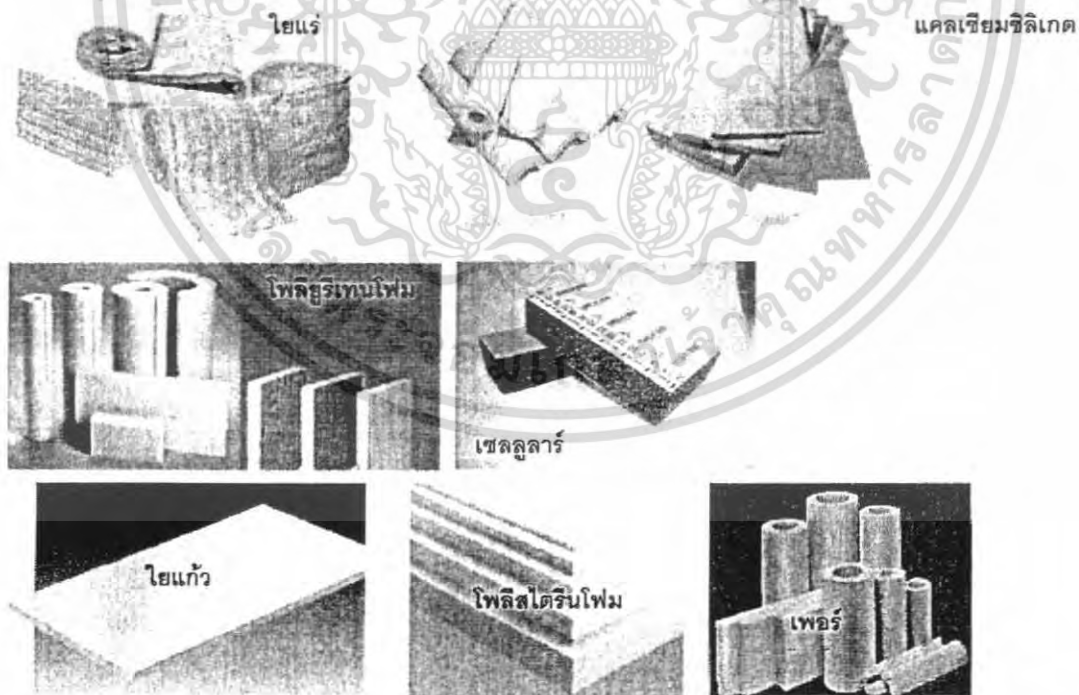
ฉนวน	Conductivity (k) W/m-K	Density kg/m <sup>3</sup>	ข้อดี	ข้อเสีย
ใยแก้ว	0.05	9.6-16.0	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	ต้องใช้สารหน่วงไฟ อาจติดไฟ และเสียดรูปจากไอน้ำ
ใยแร่	0.046	24.0	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	จึงต้องการเปลือกหุ้ม อาจเสียดรูปจากไอน้ำ จึงต้องการเปลือกหุ้ม
เพอร์ไลต์	0.039-0.058	32.0-176.2	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	สูญเสียรูปเมื่อมีไอน้ำ จึงต้องการเปลือกหุ้ม
เวอร์มิคูไลท์	0.063-0.068	64.1-192.2	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนต่ำ ไม่ติดไฟ	ต้องการเปลือกหุ้ม
ฉนวนโฟมในโรงงาน โพลียูรีเทน และ โพลีไอโซไซยานูเรตโฟม	0.023-0.024	32	ความเป็นฉนวนสูงสุด	เมื่อติดไฟมีควันมาก และโพลีไอโซไซยานูเรตโฟม ให้ควันที่เป็นพิษ
บล็อก, แผ่นอิฐ และฉนวนห่อ แคลเซียมซิลิเกต	0.054	208.3	ไม่ติดไฟ คงรูปได้เมื่อแห้ง	ความเป็นฉนวนปานกลาง ดูดซึมน้ำสูง หนัก ต้องป้องกันน้ำ
เซลดูลาร์กลาส	0.054	136.2	ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ป้องกันไอน้ำ	ความเป็นฉนวนปานกลาง อาจแตกตามวัฏจักรอายุใช้งาน
โฟมแบบฉีดหุ้ม(ยาง)	0.037	72.1	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ ติดตั้งง่าย	ติดไฟ มีควันมากเมื่อถูกไฟไหม้ ต้องการเปลือกหุ้มเพื่อกันไอน้ำ
ใยแก้ว	0.036	78.5	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	อาจติดไฟ และเสียดรูปจากไอน้ำ
ใยแร่	0.04	144.2-176.2	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	จึงต้องการเปลือกหุ้ม อาจติดไฟ และเสียดรูปจากไอน้ำ
เพอร์ไลต์	0.115	160.2	ไม่เป็นพิษ ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	จึงต้องการเปลือกหุ้ม สูญเสียรูปเมื่อมีไอน้ำ จึงต้องการเปลือกหุ้ม
พินอติกโฟม	0.033	32.0-48.1	ความเป็นฉนวนสูง ไม่ติดไฟ ราคาต่ำ	ไวต่อการเสื่อมสภาพเมื่อมีแสงอุลตราไวโอเลต มีการซึมผ่านของไอน้ำสูง
โพลีสไตรีนโฟม - อีครีต	0.029	28.8-41.6	ความเป็นฉนวนสูง ราคาต่ำ	ติดไฟ มีควันแค่น้อยกว่าโพลียูรีเทน
- หล่อ	0.033-0.037	24	ไม่เป็นพิษ และแบบ mold beads ไม่มี สาร ฟลูออโรคาร์บอน	ต้องใช้สารหน่วงไฟ
โพลียูรีเทน และ โพลีไอโซไซยานูเรตโฟม	0.019-0.024	32	ความเป็นฉนวนสูงสุด	เมื่อติดไฟมีควันมาก และโพลีไอโซไซยานูเรตโฟม ให้ควันที่เป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการนำความร้อน (Conductivity: k, W/m-K)



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของฉนวนแต่ละประเภท



รูปที่ 4.3 แสดงรูปลักษณะของฉนวนชนิดต่างๆที่มีการจำหน่ายอยู่ภายในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
<http://www.banseekeaw.com> และ <http://www.topinsulation.com>  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งวัสดุฉนวนตามรูปแบบการใช้งาน-ติดตั้ง สามารถแบ่งออกตามคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งออกเป็น 2 ประเภท คือ

### 1) วัสดุฉนวนที่คงรูป

วัสดุฉนวนที่คงรูปจะมีรูปร่างลักษณะที่แน่นอน จึงสามารถใช้งานในแนวตั้งหรือแนวนอนของแผ่นฉนวนได้โดยไม่เสียรูปไป วัสดุฉนวนที่มีลักษณะดังกล่าวได้แก่ ฉนวนแบบบล็อก, แผ่นอัด (ยกเว้นใยแก้ว และใยแร่ที่เป็นแผ่นแข็งแต่การคงรูปไม่ดีนัก) และฉนวนแบบฉีดยาโฟมในชั้นงาน

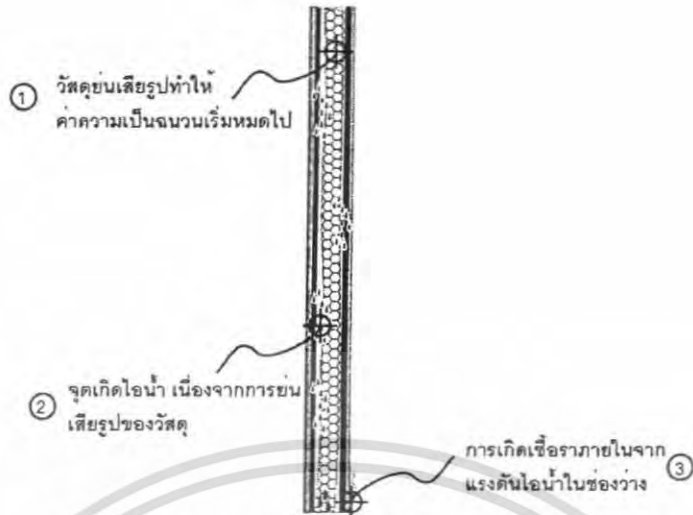
### 2) วัสดุฉนวนที่ไม่คงรูป

วัสดุฉนวนที่มีลักษณะไม่คงรูป จะมีรูปลักษณะเป็นแผ่นอ่อนจึงสามารถม้วนเข้าด้วยกันได้ ฉนวนประเภทนี้มักเหมาะกับการใช้งานร่วมกับพื้นที่แนวนอนต่างๆ เช่น หลังคา ระเบียง เป็นต้น ฉนวนประเภทนี้ได้แก่ ฉนวนเส้นใยอัดเป็นแผ่น ฉนวนแบบคลุม และฉนวนลูสฟิลต์

วัสดุฉนวนที่ไม่คงรูปไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นผนังเนื่องจากสภาพปัญหา 2 ข้อ คือ

- การยุบตัว ฉนวนที่ไม่คงรูปเกิดจากการเกาะกลุ่มในรูปแบบของเส้นใย ที่ไม่มีความแข็งแรงในแนวที่แน่นอน เมื่อมีการนำมาใช้กับ โครงผนังเส้นใยดังกล่าวจะไม่สามารถรับแรงและเลื่อนลงมาองรวมกันด้านล่างตามแรงดึงดูดของโลก การติดตั้งฉนวนชนิดนี้เข้ากับผนังจึงต้องใช้ตาข่ายชิงไว้ให้คงรูปเหมือนกับการห่มผนังไว้ด้วยผ้าใบจากนั้นจึงหาวัสดุปิดด้านนอกอีกชั้นหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุจะค่อยๆเสียรูปไปเรื่อยๆ จนหมดสภาพความเป็นฉนวน เมื่อวัสดุไม่คงรูปเกิดการทรุดตัวลงจะทำให้ช่องว่างอากาศภายในหอดเล็กลงจนติดกันที่สุดในที่สุด เมื่อไม่มีช่องว่างอากาศวัสดุก็จะหมดสภาพความเป็นฉนวนไป การใช้งานวัสดุชนิดนี้จึงนิยมใช้กับพื้นที่ทางนอนซึ่งสามารถวางแผ่นที่มีความหนาไม่มากราบไปกับพื้นผิวโดยตรงซึ่งจะทำให้เกิดอัตราการทรุดตัวน้อยกว่า
- การเกิดช่องว่างอากาศภายใน เมื่อใช้วัสดุฉนวนไม่คงรูปพร้อมกับวัสดุผนังอื่นๆเพื่อสร้างวัสดุประกอบโดยการอัด หรือชิง ไว้ระหว่างช่องว่างของชั้นวัสดุอื่นจะพบว่า วัสดุฉนวนแบบไม่คงรูปจะเกิดการเสียรูปและเกิดช่องว่างอากาศเล็กๆขึ้นระหว่างวัสดุฉนวน และวัสดุผนังอื่นๆ ตามปกติถ้าวัสดุที่ใช้ทำผนังมีการนำความร้อนที่สูงอากาศภายในช่องว่างจะมีอุณหภูมิไม่แตกต่างจากภายนอกมากนัก แต่เมื่อมีวัสดุฉนวนขวางอยู่จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นผิวต่างๆอย่างรุนแรง จนเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำระหว่างช่องว่างอากาศต่างๆในชั้นผนัง ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่เกิดกับอาคารในภูมิภาคร้อนชื้นเท่านั้น เมื่อมีการสะสมของน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวมากเข้าจะทำให้เกิดเชื้อรา และถ้าฉนวนมีช่องว่างที่สามารถให้ไอน้ำแทรกผ่านได้จะเกิดการสูญเสียค่าความเป็นฉนวนของวัสดุฉนวนตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



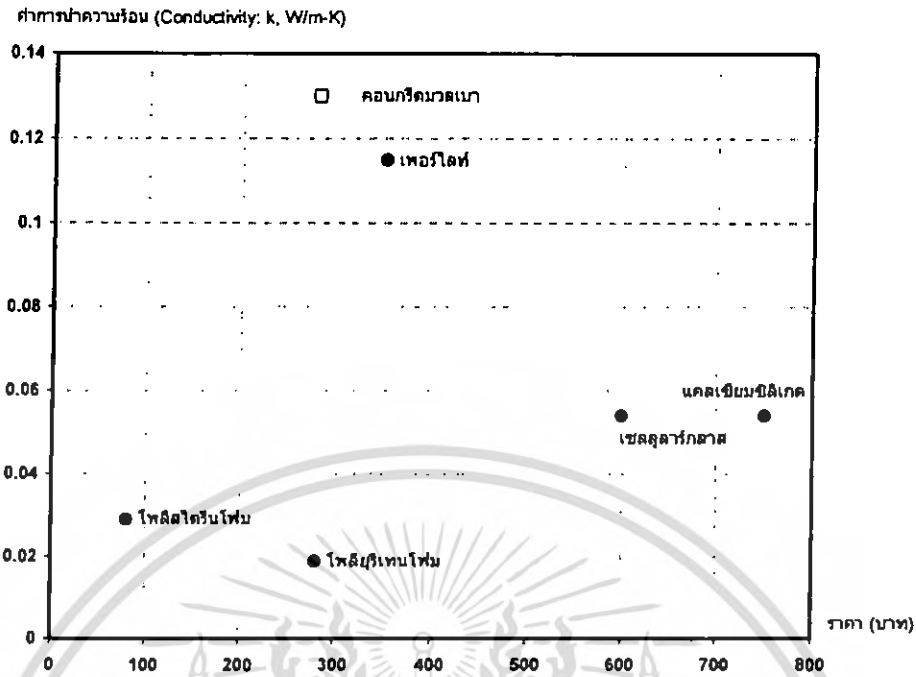
รูปที่ 4.4 แสดงสภาพปัญหาที่เกิดจากการใช้วัสดุฉนวนไม่คงรูป

เพื่อขจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับระบบผนังในการศึกษาวัสดุประหยัดพลังงานเชิงประกอบของโครงการ ทางผู้ศึกษาจึงตัดสินใจเลือกพิจารณาวัสดุฉนวนแบบคงรูปในการศึกษาโครงการซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยทางความสะดวกในการจัดหาเพื่อใช้ก่อสร้างจึงเปรียบเทียบพบว่าวัสดุฉนวนแบบคงรูปมีลักษณะดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบราคา ความยากง่ายในการจัดหา และลักษณะเฉพาะของฉนวนแบบแผ่นแข็ง

ฉนวน	ราคา (บาท/ตร.ม.)	ความยากง่ายในการจัดหา		ลักษณะเฉพาะ
		ยาก	ง่าย	
แคลเซียมซิติเกต	750 /inch	●		ใช้ในงานอุตสาหกรรมอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากเป็นหลัก
เซดูลาร์กลาส	400-800/inch	●		ใช้ทั่วไป, เปราะ
เพอร์ไลต์	200-500/inch	●		ใช้ในอุตสาหกรรมที่มีความเย็นสูงหรือต่ำมากเป็นหลัก
ใยแร่	460/inch		●	ไม่เหมาะกับงานผนังที่มีการรับน้ำหนัก เนื่องจากเส้นใยจะทรุดคจากน้ำหนักโครงสร้าง
ใยแก้ว	325-386/inch		●	ไม่เหมาะกับงานผนังที่มีการรับน้ำหนัก เนื่องจากเส้นใยจะทรุดคจากน้ำหนักโครงสร้าง
พินลิกโฟม	-	●		ใช้ในอุตสาหกรรมท่อ ห้องเย็นเป็นหลัก
โพลีสไตรีนโฟม	70-100/inch-lb		●	เฉพาะแบบที่ขึ้นรูปด้วยการบีบอัด ไม่มีสาร CFC
โพลียูรีเทนโฟม	280-300 /inch		●	มีสาร CFC
โพลีไอโซไซยานูเรทโฟม	-	●		ไม่มีการผลิต เนื่องจากเป็นพิษรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาและค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ทรงรูป

สรุป จากการศึกษาพบว่าโฟมโพลีสไตรีนแบบอครีติก มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุฉนวนของวัสดุผนังเชิงประกอบมากกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่นๆ

#### 4.2 เกณฑ์ในการกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ

เมื่อพิจารณากลุ่มวัสดุทั้งหมดข้างต้นจะพบว่าเป็นวัสดุในกลุ่มการก่อสร้างทั้งหมด วัสดุบางชนิดมีค่าความเป็นฉนวนสูงแต่ไม่สามารถใช้เป็นเปลือกอาคารด้วยตัวเองได้ ในขณะที่วัสดุบางประเภทมีจำหน่ายมากหาซื้อง่าย และเหมาะจะใช้เป็น โครงสร้างของเปลือกอาคาร แต่มีค่าความเป็นฉนวนต่ำ ทางออกที่เหมาะสมในการคัดเลือกวัสดุฉนวนประสิทธิภาพสูงสำหรับ โครงการ คือ การศึกษาเพื่อสร้างวัสดุประกอบ(Composite) ที่มีคุณสมบัติและลักษณะดังต่อไปนี้

- มีความแข็งแรงสามารถใช้เป็นโครงสร้างของอาคาร
- สามารถจัดซื้อได้ง่ายภายในประเทศ
- มีค่าความเป็นฉนวนเมื่อประกอบเป็นวัสดุประกอบสูง
- ป้องกันการแทรกซึมของไอน้ำได้ดี
- ป้องกันการเกิดความร้อนแทรกผ่านโครงสร้าง (Thermal Bridge)
- มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สะดวกในการสร้างและติดตั้ง
- มีความสามารถในการป้องกันน้ำของผนังภายนอก

เพื่อที่จะสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องแยกกลุ่มวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษา โดยจำแนกตามหัวข้อข้างต้น 3 หัวข้อ พบว่าจะได้กลุ่มวัสดุ 2 ประเภท ดังนี้

1. กลุ่มวัสดุโครงสร้าง ที่มีความแข็งแรงสูง แต่ค่าความเป็นฉนวนต่ำ และมีราคาถูกจัดหาได้ง่าย วัสดุในกลุ่มนี้มีความแข็งแรงสูงและสามารถจัดหาได้ง่ายตามท้องตลาด ได้แก่

- คอนกรีตมวลเบา
- คอนกรีตบล็อก
- อิฐ
- โครงไม้
- โครงโลหะ

แต่ข้อเสียของวัสดุดังกล่าว คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมสูง (ค่าความเป็นฉนวนต่ำ) ถึงแม้จะมีวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนค่อนข้างสูงอยู่บ้าง เช่น ไม้ วัสดุประเภทดังกล่าวก็จะมีค่านำความร้อนเพียงพอทำให้ เมื่อคำนวณกลับเป็นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแล้ว ค่าดังกล่าวจะยังค่อนข้างสูง เนื่องจากระดับค่าความเป็นฉนวนของวัสดุประกอบใดจะขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุประกอบนั้นๆ

2. กลุ่มวัสดุฉนวน ที่มีค่าความแข็งแรงต่ำแต่มีค่าความเป็นฉนวนสูง วัสดุกลุ่มนี้มักจะมีคุณสมบัติพิเศษที่มีความเป็นฉนวนสูง แต่วัสดุฉนวนเกือบทุกชนิดไม่สามารถประกอบเป็นเปลือกอาคารได้ด้วยตัวเองจำเป็นต้องมีวัสดุชนิดอื่นมาเป็นโครงสร้างให้ เช่น วัสดุใยแร่ต่างๆ วัสดุในกลุ่มนี้ ได้แก่

- โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบีอัด

จะพบว่าวัสดุจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีค่าความเป็นฉนวนต่ำแต่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งเหมาะจะใช้ทำเปลือกอาคาร และวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงแต่มีค่าความแข็งแรงต่ำ หลายชนิดไม่สามารถใช้เป็นเปลือกอาคารได้ด้วยตัวเอง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก การสร้างวัสดุฉนวนคือการทำให้เนื้อวัสดุมีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ในเนื้อวัสดุ เนื่องจากอากาศแห้งเป็นฉนวนตามธรรมชาติที่ดีที่สุด การสร้างฉนวนจึงใช้กรรมวิธีต่างๆเพื่อสร้างฟองอากาศแห้งไว้ภายในเนื้อวัสดุ วัสดุจึงมีค่าความเป็นฉนวนสูง แต่เมื่อใช้กรรมวิธีดังกล่าวก็ย่อมจะลดความแข็งแรงของเนื้อวัสดุลง ไป ทางออกที่ดีที่สุดในการศึกษา ฉนวนประสิทธิภาพสูงสำหรับโครงการ จึงควรจะเป็นการนำวัสดุทั้ง 2 รูปแบบเข้ามาประกอบกัน (Composite) เพื่อสร้างวัสดุเปลือกอาคารที่มีทั้งความแข็งแรง และมีค่าความเป็นฉนวนสูงในขณะเดียวกันขึ้นมาคัดเลือกวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดเข้ามาประกอบกันเป็นรูปแบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ

การศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ เป็นการศึกษาเพื่อทราบถึงความสามารถในการรับแรงของวัสดุผนังในขณะที่ไม่สูญเสียคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนไปจากการศึกษา วัสดุที่จะนำมาใช้ร่วมกับ เหนือในการกำหนดวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ พบว่าวัสดุที่จะใช้ในการสร้างวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบมี ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงวัสดุประกอบโครงสร้าง และวัสดุประกอบฉนวนที่จะใช้ในการศึกษา

วัสดุประกอบโครงสร้าง		วัสดุประกอบฉนวน
อิฐ		โฟม
คอนกรีต		โพลีสไตรีน เป่งขยายตัว (Molded Bead)
คอนกรีตบล็อก หรือคอนกรีตมวลเบา		
โครงไม้	วัสดุปิดผิว เป็นอิปซั่ม	
โครงโลหะ	บอร์ด และไฟเบอร์ซีเมนต์ บอร์ด	

จากการศึกษาจะพบว่าสามารถจับคู่ระหว่างวัสดุได้ 5 รูปแบบคือ

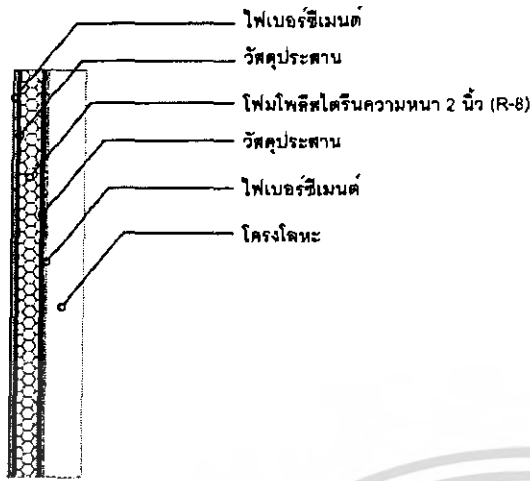
- รูปแบบที่ 1 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างไม้
- รูปแบบที่ 2 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างเหล็ก
- รูปแบบที่ 3 โฟมโพลีสไตรีน บน อิฐก่อฉาบปูน
- รูปแบบที่ 4 โฟมโพลีสไตรีน บน คอนกรีตมวลเบา
- รูปแบบที่ 5 โฟมโพลีสไตรีน บน คอนกรีตบล็อก

(ในการใช้งานจริงโฟมโพลีสไตรีนอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแทนโฟมโพลีสไตรีนในการใช้งานได้)

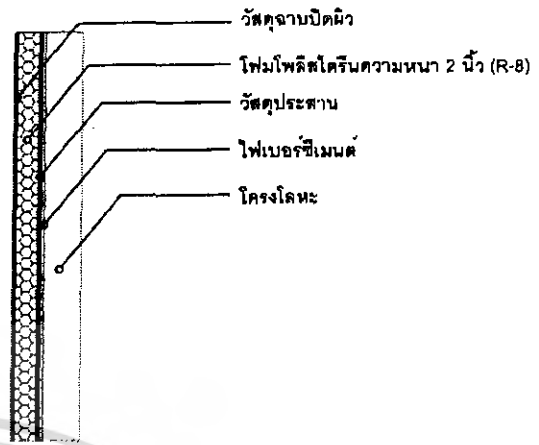
เมื่อแยกพิจารณาถึงโครงสร้างวัสดุผนังเชิงประกอบทั้ง 5 รูปแบบจะพบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ รูปแบบฉนวนบนผนังก่อ และรูปแบบฉนวนบนผนังโครงเคร่า ซึ่งในขั้นต้นสามารถพิจารณารูปแบบวัสดุที่จะเกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





แบบที่ 1 ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน



แบบที่ 2 ใช้วัสดุฉนวนปิดผิวด้านนอกของฉนวน

**รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับ โครงสร้างเหล็ก**

**รูปแบบที่ 3 โฟมโพลีสไตรีน บน อิฐก่อฉาบปูน**

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนอิฐก่อฉาบปูน มีแนวความคิดหลักที่ฉนวนต้องอยู่ด้านนอกสุดของพื้นผิวผนังก่อเพื่อลดการนำความร้อนจากโครงสร้าง (Thermal Bridge) ให้หมดสิ้น การติดตั้งสามารถกระทำได้โดยการทาวัดฉนวนให้โฟมสามารถทาบประสานยึดติดได้จากนั้นจึงป้องกันด้านนอกของโฟมจากรังสีอุลตราไวโอเลตด้วยวัสดุปิดทับหรือวัสดุฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนผนังก่ออิฐสามารถกระทำ 2 รูปแบบคือ การปิดผิวนอกด้วยวัสดุและการฉาบปิดผิว



แบบที่ 1 ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน



แบบที่ 2 ใช้วัสดุฉนวนปิดผิวด้านนอกของฉนวน

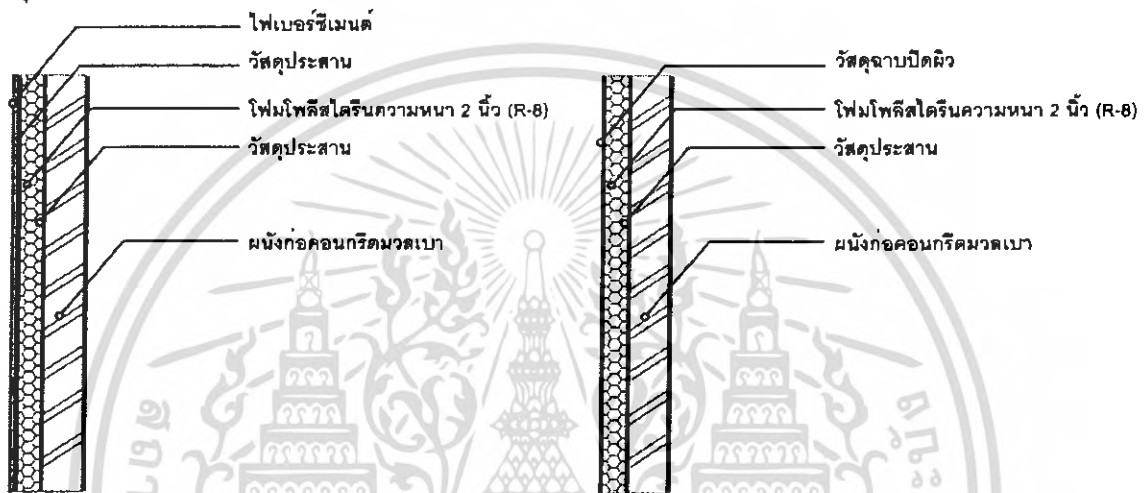
**รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับผนังก่ออิฐฉาบปูน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### แบบที่ 4 โฟมโพลีสไตรีน บน คอนกรีตมวลเบา

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนคอนกรีตมวลเบา มีแนวความคิดหลักที่ฉนวนต้องอยู่ด้านนอกสุดของพื้นผิวผนังก่อเพื่อลดการนำความร้อนจากโครงสร้าง(Thermal Bridge) ให้หมดสิ้น การติดตั้งสามารถทำได้โดยการทาวีสดุประสานให้โฟมสามารถทาดัวประสานยึดติดได้จากนั้นจึงป้องกันด้านนอกของโฟมจากรังสีอุลตราไวโอเลตด้วยวัสดุปิดทับหรือวัสดุฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนคอนกรีตมวลเบาสามารถกระทำ 2 รูปแบบคือ การปิดผิวนอกด้วยวัสดุ และการฉาบปิดผิว



แบบที่ 1 ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน

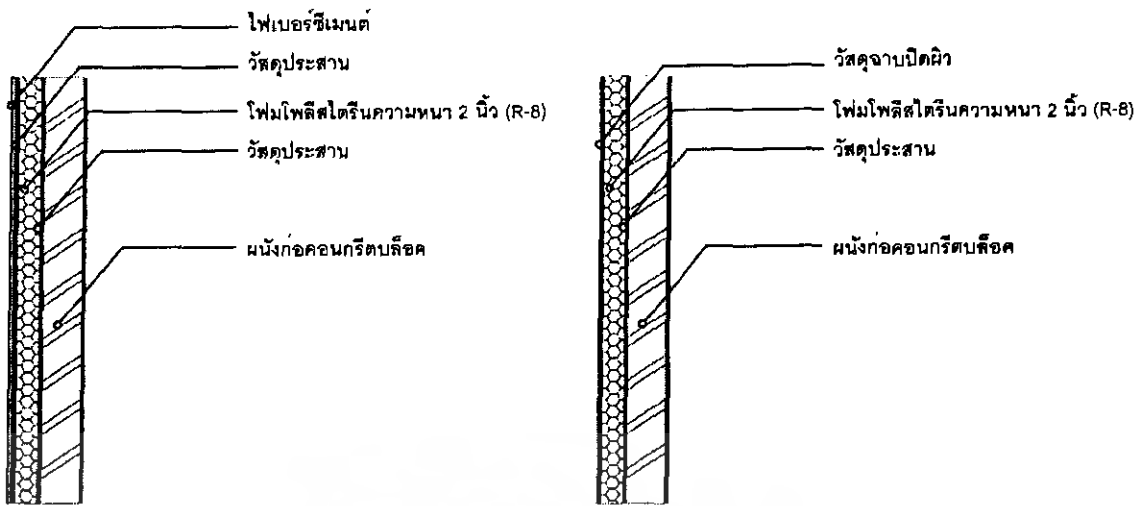
แบบที่ 2 ใช้วัสดุฉาบผิวด้านนอกของฉนวน

รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนเข้ากับผนังก่อคอนกรีตมวลเบา

#### แบบที่ 5 โฟมโพลีสไตรีน บน คอนกรีตบล็อก

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนคอนกรีตบล็อก มีแนวความคิดหลักที่ฉนวนต้องอยู่ด้านนอกสุดของพื้นผิวผนังก่อเพื่อลดการนำความร้อนจากโครงสร้าง(Thermal Bridge) ให้หมดสิ้น การติดตั้งสามารถทำได้โดยการทาวีสดุประสานให้โฟมสามารถทาดัวประสานยึดติดได้จากนั้นจึงป้องกันด้านนอกของโฟมจากรังสีอุลตราไวโอเลตด้วยวัสดุปิดทับหรือวัสดุฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

การติดตั้งโฟมโพลีสไตรีนบนคอนกรีตมวลเบาสามารถกระทำ 2 รูปแบบคือ การปิดผิวนอกด้วยวัสดุ และการฉาบปิดผิว



แบบที่ 1 ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน

แบบที่ 2 ใช้วัสดุฉนวนผิวด้านนอกของฉนวน

#### รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบการติดตั้งแนวนเข้ากับผนังก่อคอนกรีตบล็อก

จากรูปแบบที่เกิดขึ้นทั้ง 10 รูปแบบ เมื่อคำนึงถึงการรับแรงทางกลศาสตร์ที่จะทำการทดสอบในด้านแรงอัด แรงดึง แรงเฉือน และ โมเมนต์คด เพื่อให้ตัววัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่จะพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมได้หลากหลาย โดยวัดระดับของแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่วัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบเกิดการเสียรูปของโครงสร้างอันเป็นผลให้โครงสร้างเกิดการแอ่นบิดจนวัสดุที่ประกอบกันเข้ามาเกิดการแตกหรือฉีกขาดอันจะทำให้สภาพความเป็นฉนวนหมดสิ้นลง พบว่ารูปแบบผนังที่เกิดขึ้นระหว่างผนังในระบบก่อ และผนังในระบบ โครงเครามีลักษณะการเสียรูป (Elongation) ซึ่งจะทำให้วัสดุหมดสภาพความเป็นฉนวนที่แตกต่างกันดังนี้

- ผนังรูปแบบก่อ – วัสดุก่อเป็นวัสดุที่มีการเสียรูปในช่วงที่แคบมาก เมื่อเกิดการเสียรูปก็จะเกิดการแตกร้าวแทบจะในทันที นอกจากนั้นในการพิจารณาจะสามารถพิจารณาได้แค่แรงอัด เนื่องจากวัสดุก่อไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้รับแรงอื่นๆ นอกเหนือจากแรงอัด จึงเป็นผลทำให้วัสดุมีการนำไปใช้ได้ยาก ไม่เหมาะสมต่อการรับแรงทางกลศาสตร์นัก นอกจากนี้เมื่อนำไปทดสอบทางผู้ศึกษาได้ตั้งสมมุติฐานจากความรู้ทางทฤษฎีของวัสดุก่อว่าวัสดุเชิงประกอบที่สร้างขึ้นจากวัสดุก่อจะสูญเสียความเป็นฉนวนทันทีเมื่อถึงช่วงการรับแรงอัดของผนังก่อ
- ผนังรูปแบบโครงเคร่า – วัสดุโครงเคร่าเช่น ไม้และเหล็กมักมีช่วงการเสียรูปที่กว้าง เมื่อเกิดการเสียรูปวัสดุจะยังคงสามารถให้ตัวได้ในอีกช่วงหนึ่งซึ่งจะเป็นผลทำให้วัสดุอื่นๆ ที่นำเข้ามาประกอบสามารถให้ตัวตามได้ด้วยนอกจากนี้เมื่อนำเข้ามาประกอบเป็นโครงรับแรงในลักษณะต่างๆ จะสามารถรับแรงทางกลศาสตร์ได้ทุกรูปแบบจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงมากกว่าวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่สร้างจากผนังก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงสภาพการรับแรงที่เกิดขึ้นจากรูปแบบผนังที่ใช้ในวัสดุผนังประหยัดพลังงาน  
เชิงประกอบ

วัสดุ	การรับแรงที่เกิดขึ้น			
	แรงอัด	แรงดึง	แรงเฉือน	โมเมนต์คด
วัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ ในรูปแบบผนังก่อ	●	ไม่รับ	ไม่รับ	ไม่รับ
วัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบ ในรูปแบบผนังโครงคร่าว	●	●	●	●

ดังนั้นในการทดสอบจึงเลือกรูปแบบของวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่เกิดจากผนัง  
โครงคร่าวทั้ง 4 รูปแบบ มาทดสอบเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง ส่วนผนังประหยัดพลังงาน  
เชิงประกอบที่จะสร้างขึ้นจากผนังก่ออิฐซึ่งเป็นผนังที่มีการใช้งานแพร่หลายที่สุดมาทำการทดสอบ  
เพื่อให้เห็นถึงสภาพการรับแรงอย่างชัดเจน ได้มีสมมุติฐานว่า “วัสดุจะสูญเสียสภาพความเป็นวัสดุเชิง  
ประกอบทันทีเมื่อถึงช่วงการรับแรงอัดของผนังก่อ” ซึ่งถ้าเป็นไปตามสมมุติฐาน ก็จะทำให้ถือว่ารูปแบบ  
วัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบที่สร้างขึ้นจากผนังก่อทุกแบบมีค่ารับแรงอัดทางกลศาสตร์  
เทียบเท่ากับค่ารับแรงอัดของวัสดุก่อที่นำมาทำการทดสอบ ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องทดสอบ

#### 4.4 สรุปรูปแบบวัสดุเชิงประกอบที่จะใช้ในการศึกษา

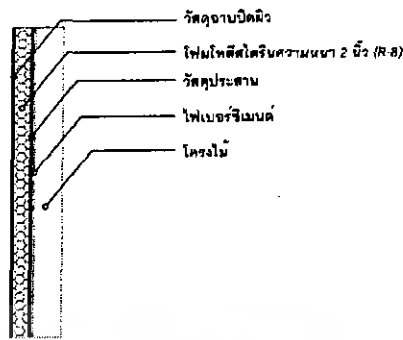
รูปแบบที่ 1 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างไม้ ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน



วัสดุ	k (W/m-K)	thickness (m)	R(SI-unit)	R(IP-unit)	หมายเหตุ
1 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
2 โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด	0.029	0.05	1.724	9.935	Molded bead
3 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
<b>Total R</b>			<b>1.819</b>	<b>10.484</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 2 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างไม้ ใช้วัสดุฉนวนผิวด้านนอกของฉนวน



วัสดุ	k (W/m-K)	thickness (m)	R(SI-unit)	R(IP-unit)	หมายเหตุ
1 วัสดุฉนวน	0.274	0.003	0.011	0.063	ปูนฉาบ น้ำหนักปาน กลาง
2 โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด	0.029	0.05	1.724	9.935	Molded bead
3 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
<b>Total R</b>			<b>1.783</b>	<b>10.272</b>	

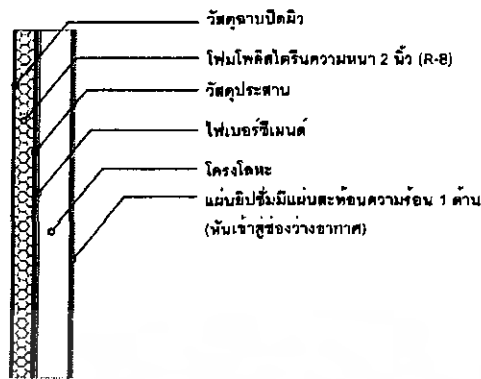
รูปแบบที่ 3 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างเหล็ก ใช้วัสดุปิดผิวด้านนอกฉนวน



วัสดุ	k (W/m-K)	thickness (m)	R(SI-unit)	R(IP-unit)	หมายเหตุ
1 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
2 โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด	0.029	0.05	1.724	9.935	Molded bead
3 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
<b>Total R</b>			<b>1.819</b>	<b>10.484</b>	

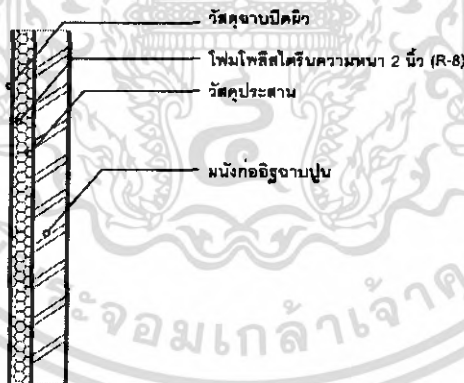
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 4 โฟมโพลีสไตรีนบน โครงสร้างเหล็ก ใช้วัสดุฉนวนผิวด้านนอกของฉนวน



วัสดุ	k (W/m-K)	thickness (m)	R(SI-unit)	R(IP-unit)	หมายเหตุ
1 วัสดุฉนวน	0.274	0.003	0.011	0.063	ปูนฉาบ น้ำหนักปาน กลาง
2 โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด	0.029	0.05	1.724	9.935	Molded bead
3 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	0.084	0.004	0.048	0.274	Smart Board - Manufacturing Specification
<b>Total R</b>			<b>1.783</b>	<b>10.272</b>	

รูปแบบที่ 5 โฟมโพลีสไตรีน บน อิฐก่อฉาบปูน ใช้วัสดุฉนวนปิดผิวด้านนอกฉนวน



วัสดุ	k (W/m-K)	thickness (m)	R(SI-unit)	R(IP-unit)	หมายเหตุ
1 วัสดุฉนวน	0.274	0.003	0.011	0.063	ปูนฉาบ น้ำหนักปาน กลาง
2 โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด	0.029	0.05	1.724	9.935	Molded bead
3 มนังก่ออิฐ	1.211	0.1	0.083	0.476	Smart Board - Manufacturing Specification
<b>Total R</b>			<b>1.818</b>	<b>10.474</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะด้านวิศวกรรมเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบทางวิศวกรรม

เนื้อหาเรื่องผลการทดสอบทางวิศวกรรมเป็นการรายงานผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบวัสดุทางกลศาสตร์โดยการรวบรวมผลการทดสอบที่บันทึกจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มาเรียบเรียงและวิเคราะห์ ประเมินผลเพื่อนำไปสู่การสรุปผลและการนำเสนอการใช้งานที่เหมาะสม ในที่นี้การรายงานผล จะรายงานตามประเภทการทดสอบทางกลศาสตร์ คือ การรับแรงอัด แรงดึง แรงดัด และแรงเฉือน โดยแสดงผลในรูปแบบตารางเก็บข้อมูล และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นและความเครียด

#### 5.1 การเรียกชื่อวัสดุทดสอบ

ควรมีการเรียกชื่อวัสดุแต่ละชิ้นสำหรับการทดสอบแต่ละประเภท เนื่องจากอาจมีความสับสนในการบันทึกข้อมูลอันเกิดจากจำนวนวัสดุทดสอบที่ค่อนข้างมาก และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการอ้างอิง โดยทางคณะกรรมการวิจัยกำหนดให้ เรียกชื่อตัวอักษรกลุ่มแรกคือประเภทวัสดุ และขึ้นด้วยเครื่องหมายติดกั้นค่านั้นจึงเรียกชื่อรูปแบบวิธีการทดสอบ ซึ่งการเรียกชื่อวัสดุทดสอบแบ่งเป็น

##### การเรียกชื่อวัสดุ

1. วัสดุประเภทโครงเคร่า โดยแทนโครงเคร่าประเภทไม้เต็งด้วย “W” และประเภทเหล็ก รูปพรรณด้วย “S” ตามด้วยประเภทวัสดุฉนวนซึ่งแบ่งเป็น โฟมสไตรีนบุผิวแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ 2 ด้าน แทนด้วย “F” และ โฟมสไตรีนบุผิวแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์หนึ่งด้าน และฉนวนปิดผิว (ระบบ EIFS) หนึ่งด้านแทนด้วย “E”
2. วัสดุประเภทวัสดุก่อ ซึ่งแทนด้วย “B” ซึ่งต้องการทดสอบเปรียบเทียบการรับแรงอัดระหว่างประเภทที่มีฉนวนและไม่มีฉนวนดังนั้นการเรียกชื่อประเภทที่มีฉนวนจะถูกตามด้วย “I”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียกชื่อการทดสอบ

1. การทดสอบแรงอัด แทนด้วย "C"
2. การทดสอบแรงดึง แทนด้วย "T"
3. การทดสอบแรงค้ำ แทนด้วย "B"
4. การทดสอบแรงเฉือน แทนด้วย "S"

ทั้งนี้วัสดุแต่ละชนิดต้องมีการทดสอบ 4 ครั้ง โดยตัดผลทดสอบที่มีความเบี่ยงเบนมากที่สุด เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลทดสอบ 3 ครั้ง จึงใช้ตัวเลข 1-4 ต่อท้ายชื่อวัสดุ (ตามตารางที่ 5.1 และ 5.2)

ตารางที่ 5.1 แสดงการเรียกชื่อวัสดุสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์สำหรับวัสดุประเภท  
โครงเคร่า

การทดสอบ	โครงเคร่าเหล็ก ( S )		โครงเคร่าไม้ ( W )	
	Fiber Cement ( F )	EIFS ( E )	Fiber Cement ( F )	EIFS ( E )
Compression Test ( C )	SF-C1	SE-C1	WF-C1	WE-C1
	SF-C2	SE-C2	WF-C2	WE-C2
	SF-C3	SE-C3	WF-C3	WE-C3
	SF-C4	SE-C4	WF-C4	WE-C4
Tensile Test ( T )	SF-T1	SE-T1	WF-T1	WE-T1
	SF-T2	SE-T2	WF-T2	WE-T2
	SF-T3	SE-T3	WF-T3	WE-T3
	SF-T4	SE-T4	WF-T4	WE-T4
Shear Test ( S )	SF-S1	SE-S1	WF-S1	WE-S1
	SF-S2	SE-S2	WF-S2	WE-S2
	SF-S3	SE-S3	WF-S3	WE-S3
	SF-S4	SE-S4	WF-S4	WE-S4
Bending Moment ( B )	SF-B1	SE-B1	WF-B1	WE-B1
	SF-B2	SE-B2	WF-B2	WE-B2
	SF-B3	SE-B3	WF-B3	WE-B3
	SF-B4	SE-B4	WF-B4	WE-B4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงการเรียกชื่อวัสดุสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์สำหรับวัสดุประเภทวัสดุก่อ

การทดสอบ	วัสดุก่อ ( B )	
	เปลือย	มีฉนวน ( I )
วัสดุก่อ Compression Test ( C )	B -C1	BI-C1
	B -C2	BI-C2
	B -C3	BI-C3
	B -C4	BI-C4

## 5.2 การแสดงรายละเอียดค่าการทดสอบวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่าสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์แต่ละประเภท

การทดสอบทางกลศาสตร์วัสดุฉนวนมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่าง โครงเคร่าซึ่งทำหน้าที่รับแรงและวัสดุประกอบซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวน ดังนั้น แนวทางการทดสอบจึงกำหนดให้วัสดุ โครงเคร่าเท่านั้นที่ทำหน้าที่รับแรงรูปแบบต่างๆตามการทดสอบ โดยผลของแรงดังกล่าวจะทำให้วัสดุโครงเคร่าเกิดการเปลี่ยนรูป (Deflection) และส่งผลให้วัสดุฉนวนเปลี่ยนรูปตามจนกระทั่งแตกหักเสียหาย ซึ่งการทดสอบนี้พิจารณาการเสียหายโดยรวมทั้งระบบ ดังนั้นถ้ามีการวิบัติของวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งจะถือว่าเกิดความเสียหายทั้งระบบ

ผลการทดสอบทางกลศาสตร์ แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และค่าการทดสอบที่สำคัญที่ใช้เป็นค่าในการออกแบบโครงสร้างโดยทั่วไป ได้แก่ค่ากำลังประลัย (Ultimate Stress) ค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดการแปรเป็นเส้นตรง (Elastic Strength at Proportional limit) ค่ากำลัง ณ จุดคราก (Yield Stress) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ตลอดจนการพิจารณาลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่เกิดจากการรับแรงทางกลศาสตร์ 4 ชนิด ได้แก่ แรงอัด แรงคด แรงดึง และแรงเฉือน ซึ่งการทดสอบแต่ละชนิดมีการคำนวณและตรวจวัดค่าดังกล่าว แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการทดสอบดังตารางที่ 5.3 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงรายละเอียดค่าการทดสอบสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์แต่ละชนิด

การทดสอบ	กราฟ	Ultimate Stress	Elastic Strength at Proportional limit	Yield Stress	ลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	หมายเหตุ
แรงอัด	โครง เคร่า ไม้	$\frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ ความเค้น - ความเครียด	$\frac{\text{Load at proportional limit}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain equation)	$\frac{\text{Load at yield Point}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (Offset From Stress-Strain Diagram)	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	
	โครง เคร่า เหล็ก	$\frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ ความเค้น - ความเครียด	$\frac{\text{Load at proportional limit}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain equation)	$\frac{\text{Load at yield Point}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain Diagram)	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	พิจารณาเมื่อการรับแรงมีผลจากการโค้งตัวของวัสดุ
แรงดึง	โครง เคร่า ไม้	$\frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ ความเค้น - ความเครียด	$\frac{\text{Load at proportional limit}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain equation)	$\frac{\text{Load at yield Point}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (Offset From Stress-Strain Diagram)	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	
	โครง เคร่า เหล็ก	$\frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ ความเค้น - ความเครียด	$\frac{\text{Load at proportional limit}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain equation)	$\frac{\text{Load at yield Point}}{\text{Average cross Sectional Area}}$ (From Stress-Strain Diagram)	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	

การทดสอบ	กราฟ	Ultimate Stress	Elastic Strength at Proportional limit	Yield Stress	ลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	หมายเหตุ	
แรงดัด	โครง ค้ำ ไม้	แรงกด - ระลอกการ โค้งตัว	$\frac{3 P_u L}{2 b d^2}$	$\frac{3 P_f L}{2 b d^2}$	-	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	ดูการอธิบายสูตร หัวข้อ 3.2.1 ข้อ 4) การทดสอบการรับ โมเมนต์ดัด
	โครง ค้ำ เหล็ก	แรงกด - ระลอกการ โค้งตัว	$\frac{M_u c}{I}$	$\frac{M_f c}{I}$	-	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	ดูการอธิบายสูตร หัวข้อ 3.2.1 ข้อ 4) การทดสอบการรับ โมเมนต์ดัด
แรงเฉือน	โครง ค้ำ ไม้		$\frac{Ultimate Load}{2 Average cross Sectional Area}$			แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	
	โครง ค้ำ เหล็ก		$\frac{Ultimate Load}{2 Average cross Sectional Area}$			แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก	

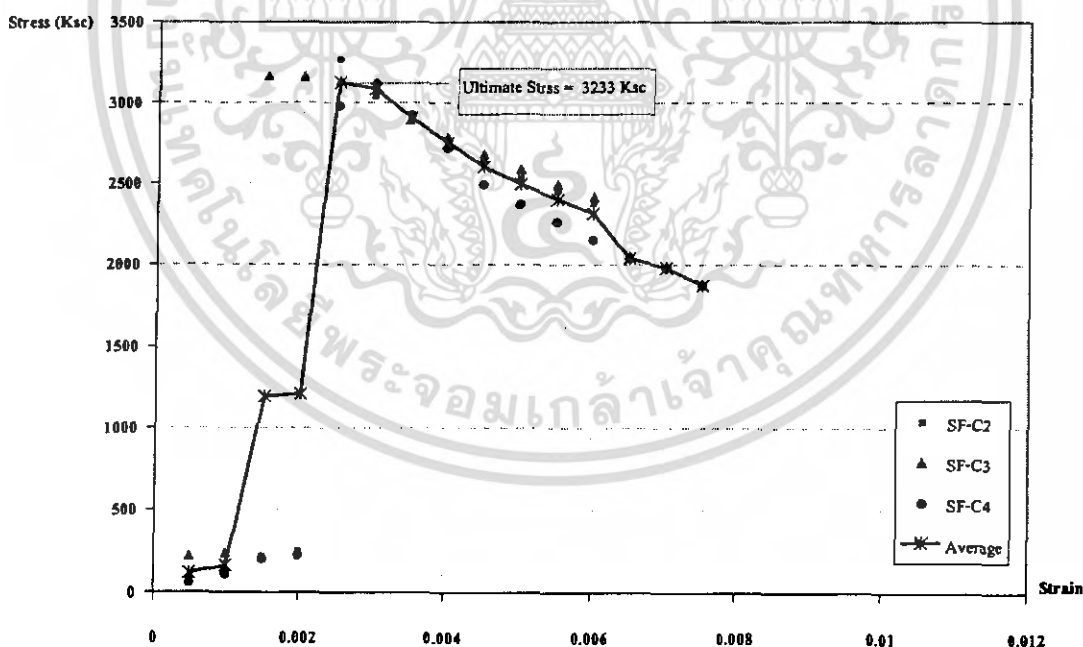
ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดค่าการทดสอบสำหรับการทดสอบทางกลศาสตร์แต่ละชนิด

### 5.3 ผลการทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า

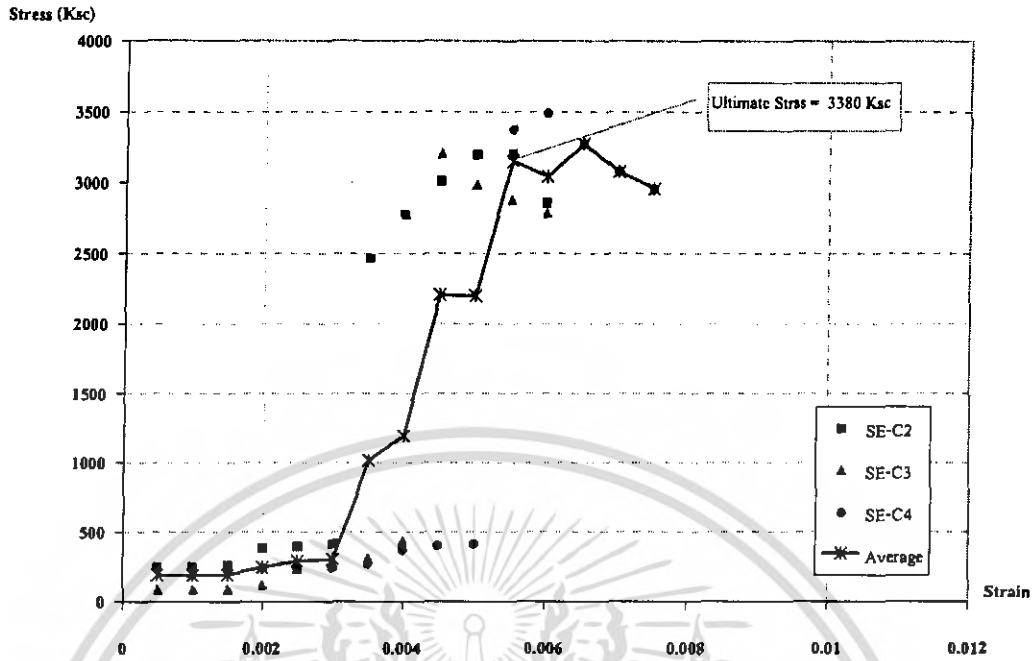
ผลการทดสอบการรับแรงอัด จากการบันทึกผลการทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุตัวอย่างประเภทเชิงประกอบโครงเคร่าจำนวน 4 ชนิด โดยเลือกผลการทดสอบ 3 ผลการทดสอบ จากการทดสอบชนิดละ 4 ตัวอย่าง ดังนี้

#### 5.3.1 การทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

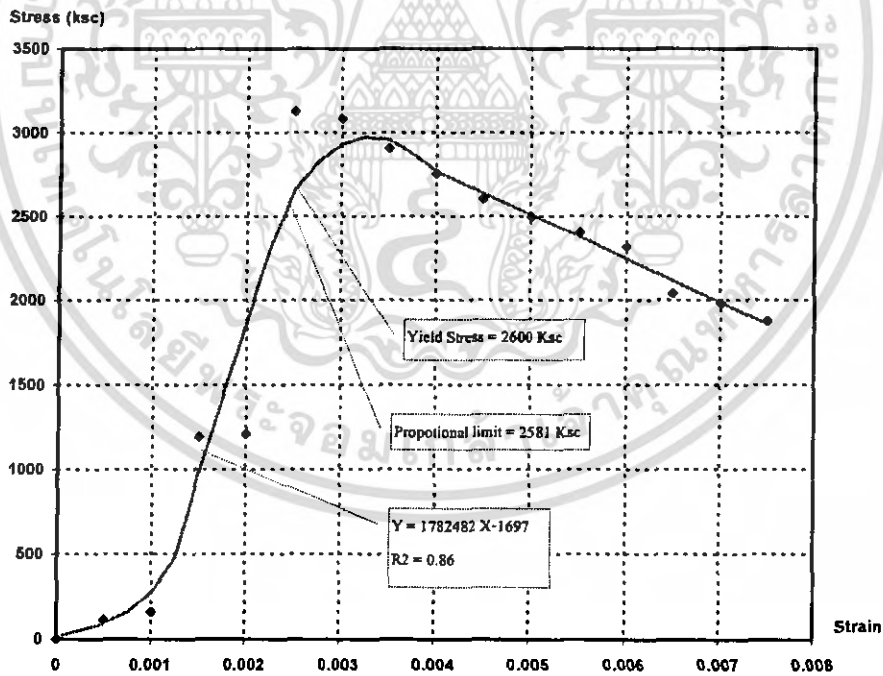
จากการทดสอบแรงอัดกับวัสดุประกอบโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ SF- C และ SE-C (อ้างอิงการเรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) โดยได้แสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลและแสดงค่าเฉลี่ยของ Ultimate Stress ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1-5.2 และแสดงกราฟเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อหาการทดสอบที่สนใจ (อ้างอิงหัวข้อ 5.2) ดังแสดงในรูปที่ 5.3-5.4 และสามารถสรุปค่าการทดสอบของวัสดุทั้ง 4 ชนิดตามตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.1 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง

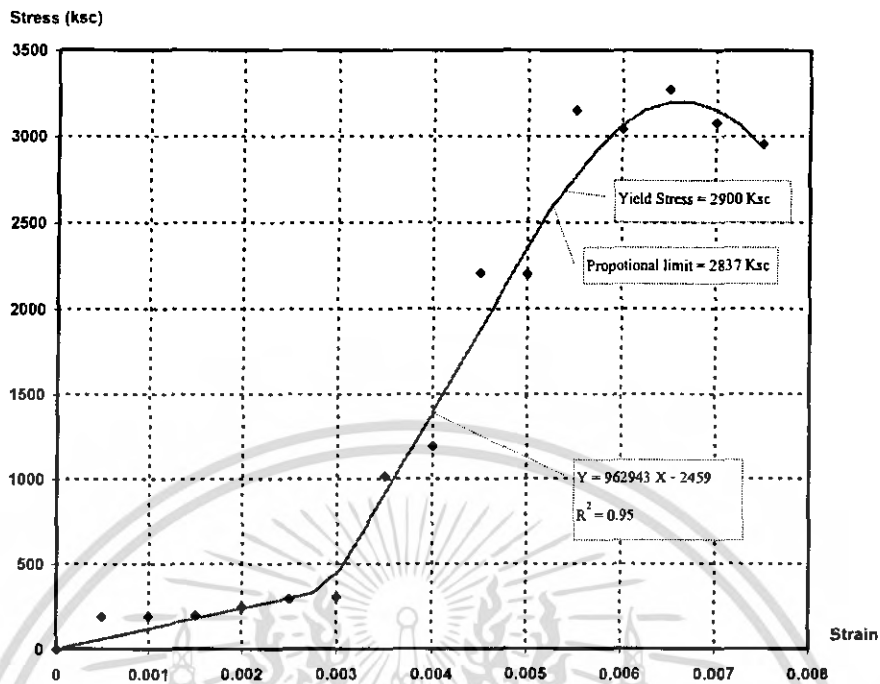


รูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.3 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดวัสดุตัวอย่างประเภท SE-C

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าการทดสอบแรงอัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Yield Stress (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ			
SF-T	3,233	3,233	2,581	2,600	
SE-T	3,380	3,380	2,837	2,900	

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงอัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างความเค้น – ความเครียด ของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณมีรูปแบบแตกต่างจากลักษณะของกราฟการทดสอบแรงอัดเหล็กทั่วไป โดยมีเส้นตรงความชันแตกต่างกันในช่วงการยืดหยุ่น ซึ่งในช่วงแรกมีลักษณะเป็นเส้นตรงความชันน้อยกว่าเส้นตรงในช่วงหลัง ซึ่งอธิบายได้ว่า จากการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงแรกของการกดอัดพบว่ามี “การยุบ” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุในส่วนที่สัมผัสกับพื้นผิวที่กดอัดซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป (Deflection) ค่อนข้างมากในช่วงแรก จากนั้นวัสดุจะมีลักษณะคงรูปและยืดหยุ่นตามแรงกดเพิ่มมากขึ้นและเกิด Deflection น้อยลง ซึ่งถือว่าเป็นช่วงการยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุจริง หลังจากนั้นรูปแบบกราฟจะมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบของเหล็กโครงสร้างหรือเหล็กเหนียวโดยทั่วไป คือมี ช่วงคลาก (Yielding) ช่วง Strain hardening และช่วงคอคอด (Necking) โดยค่าแรงอัดประลัยของวัสดุโครงเคร่าประเภท SF-C และ SE-C มีค่าใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 3,233 Ksc และ 3,380 Ksc ตามลำดับซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐาน (โดยค่ามาตรฐาน ASTM A7 ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของเหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น และเหล็กเส้น เพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างทั่วไป เท่ากับ 4100 – 5000 Ksc และค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของเหล็กโครงสร้าง A 36 ซึ่งเท่ากับ 4000 Ksc (ดูภาคผนวก ข)) ทั้งนี้เนื่องจากผลของขนาดวัสดุทดสอบคือ อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness) ทำให้เกิดการโก่งคด (Buckling) และส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของวัสดุลดลง

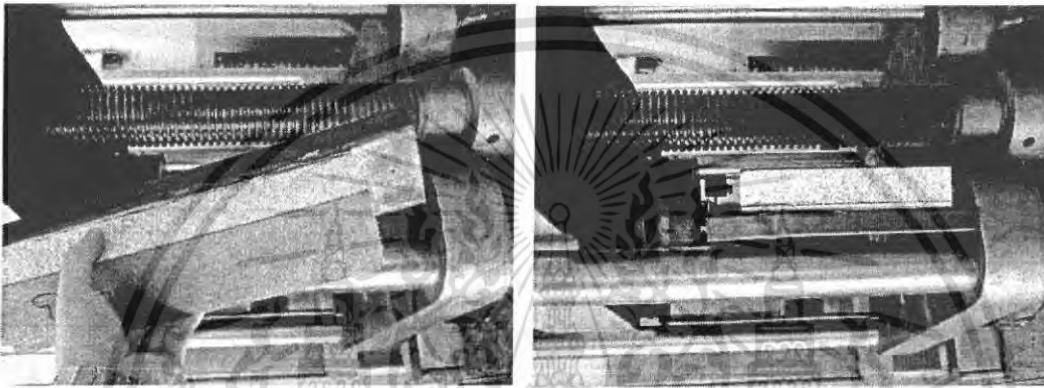
2. ค่าแรงอัดประลัยของวัสดุเชิงประกอบทั้งระบบ วัสดุประเภท SF-C และ SE-C มีค่าเท่ากับค่ากำลังอัดประลัยของวัสดุโครงเคร่า คือเท่ากับ 3,233Ksc และ 3,380 Ksc ตามลำดับ แสดงว่า วัสดุฉนวนมีการแตกหักภายหลังจากวัสดุโครงเคร่าถึงจุดวิบัติและชี้ให้เห็นว่า ในการใช้วัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณในการรับแรงอัด เหล็กจะรับแรงอัดและทำให้เกิดการยุบตัวขึ้น โดยระยะแรกค่าการยืดตัวจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับแรง (Elastic) และเมื่อผ่านช่วงคราก (Yielding) จะมีอัตราการยืดตัวสูง และเกิดการแตกหัก โดยหลังจากนั้นวัสดุฉนวนจะแตกหักตามไปด้วย

3. ค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุ และค่ากำลัง ณ จุดครากเป็นค่าที่นิยมนำมาใช้ประเมินความสามารถในการรับแรงในช่วงยืดหยุ่นและช่วงคราก และมักจะออกแบบให้วัสดุรับแรงไม่เกินช่วงนี้ โดยค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุประเภท SF-C และ SE - C มีค่าใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 2,581 Ksc และ 2,837 Ksc ตามลำดับ เช่นกันกับค่ากำลัง ณ จุดครากซึ่งเท่ากับ 2,600 Ksc และ 2,900 Ksc ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเหล็กชนิด A36 แล้วพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน (ดูภาคผนวก ข)

4. จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามข้อ 1- 3 สามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมการรับแรงอัดของวัสดุเชิงประกอบไม่แตกต่างกับการรับแรงอัดของเหล็กรูปพรรณเพียงอย่างเดียว ดังนั้น ในการนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานจริง โดย การประกอบวัสดุในลักษณะใดๆก็ตาม โดยให้เหล็กรูปพรรณทำหน้าที่ในการรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว วัสดุฉนวนที่ประกอบติดตั้งไม่ได้ทำให้ลักษณะการรับแรงอัดของเหล็กรูปพรรณผิดไปจากเดิม แต่การยุบตัวหรืออัดตัวของเหล็กรูปพรรณจะทำให้วัสดุฉนวนยุบตัวตามและแตกหักภายหลังจากเหล็กรูปพรรณแตกหัก จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับอัดสามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการฝีกขาดของฉนวนเมื่อมีการรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก ขณะที่เหล็กรูปพรรณได้รับแรงอัดจะเกิดการยุบอย่างชัดเจนบริเวณด้านบนหรือด้านล่างของวัสดุ โดยเริ่มจากจุดที่รับแรง จนถึงจุดวิบัติ ซึ่งพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างค่อนข้างสูง โดยไม่มีการฉีกขาดออกจากกันเกิดขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติการรับแรงอัดของวัสดุเหนียวเช่นเหล็กโครงสร้างทั่วไป ส่วนลักษณะการวิบัติของวัสดุฉนวนนั้น เกิดจากการยุบตัวตามการยุบตัวของวัสดุโครงสร้าง ในบริเวณที่มีการยุบ โดยวัสดุฉนวนจะปริแตกและหลุดออกจากวัสดุโครงสร้างอย่างรวดเร็วโดยเนื้อวัสดุประสานบางส่วนจะติดไปกับไฟเบอร์ซีเมนต์

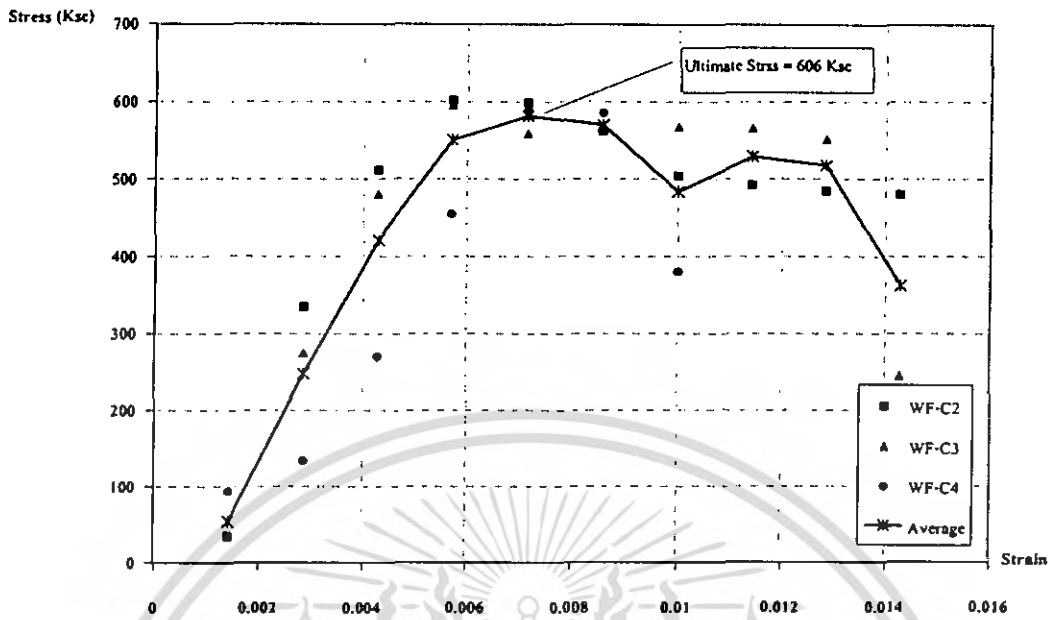


รูปที่ 5.5 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงอัด

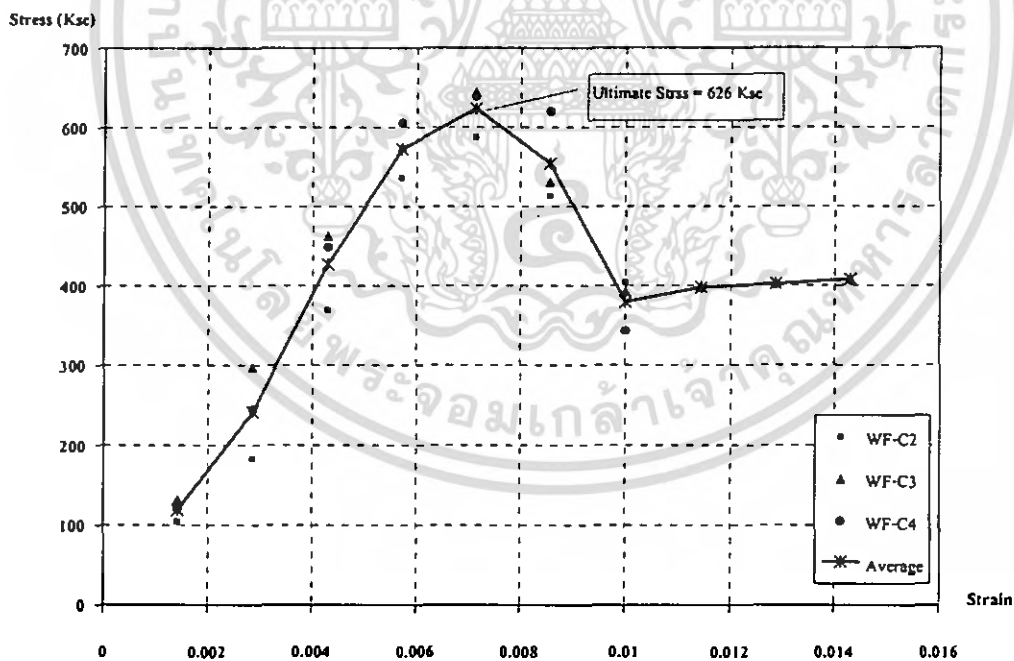
### 5.3.2 การทดสอบการรับแรงอัดทิศทางขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

จากการทดสอบแรงอัดทิศทางขนานเส้นกับวัสดุประกอบโครงเคร่าประเภทไม้(ไม้เต็ง) WF-C และ WE-C (อ้างอิงการเรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) โดยได้แสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลและแสดงค่าเฉลี่ยของ Ultimate Stress ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.6-5.7 และแสดงกราฟเส้นแนวโน้ม ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อหาค่าการทดสอบที่สนใจ (อ้างอิงหัวข้อ 5.2) ดังแสดงในรูปที่ 5.8-5.9 และสามารถสรุปค่าการทดสอบของวัสดุทั้ง 4 ชนิดตามตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

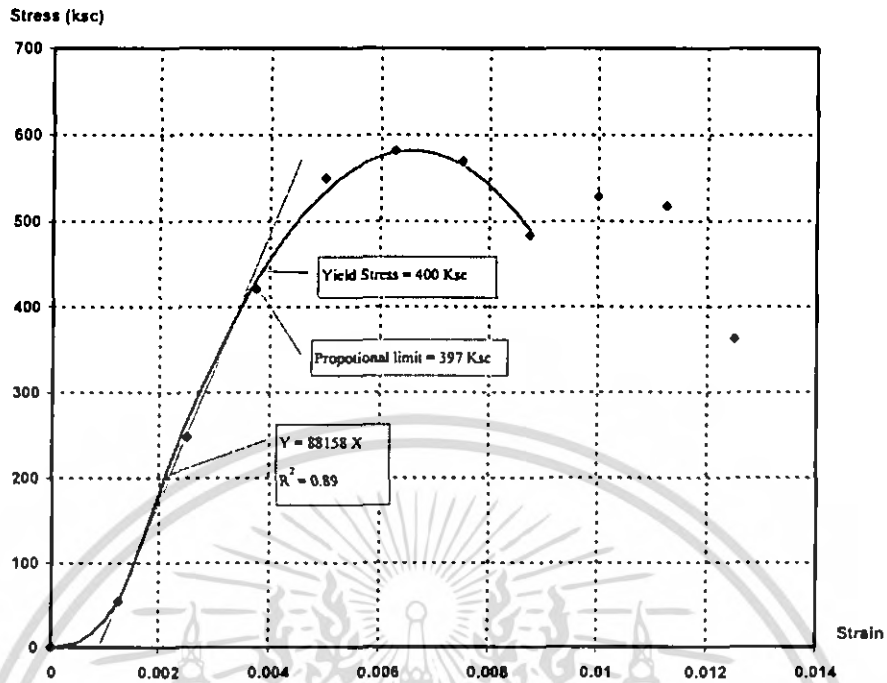


รูปที่ 5.6 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนาน  
 เส้น วัสดุตัวอย่างประเภท WF-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง

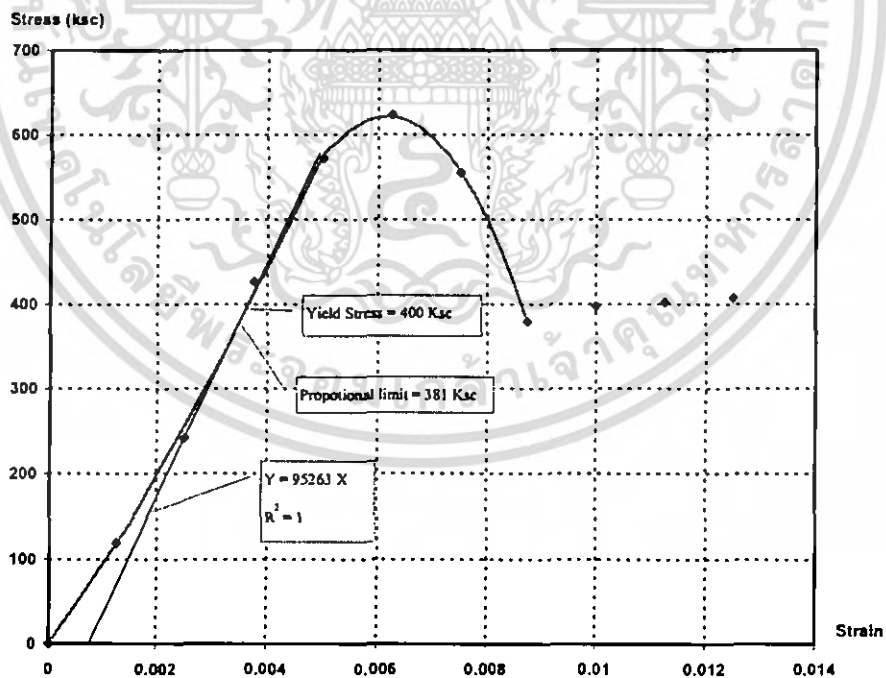


รูปที่ 5.7 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนาน  
 เส้น วัสดุตัวอย่างประเภท WF-C ทั้ง 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนานเส้นวัสดุตัวอย่างประเภท WF-C



รูปที่ 5.9 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงอัดขนานเส้นวัสดุตัวอย่างประเภท WE-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าการทดสอบแรงอัดขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Yield Stress (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ			
WF-C	606	606	397	400	
WE-C	626	626	381	400	

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงอัดขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างความเค้น – ความเครียด ของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็งมีรูปแบบคล้ายกับรูปแบบของไม้โดยทั่วไป โดยมีช่วงการยืดหยุ่น (Elastic) ที่ชัดเจน ทั้งนี้เพราะไม่เกิดการยุบเหมือนการทดสอบแรงอัดโครงเคร่าเหล็กรูปพรรณ และไม้มีลักษณะเป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียว (Non-homogenous Material) การรับแรงอัดจะทำให้เกิดแรงต้านภายในเนื้อวัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ จึงมีช่วงคลาก (Yielding) และช่วงคอบวด (Necking) ไม่ชัดเจนนักซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของไม้ที่รับแรงอัด โดยค่าแรงดึงประลัยของวัสดุโครงเคร่าประเภท WF - C และ WE - C เท่ากับ 606 Ksc และ 626 Ksc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานทั่วไปของไม้เต็งทั่วไป (ดูภาคผนวก ข) ทั้งนี้จากการคำนวณพบว่าขนาดของไม้เต็งที่ใช้ทดสอบไม่ทำให้เกิดผลจากความชะลูด (Slenderness) ซึ่งการที่ผลการทดสอบน้อยกว่าค่ามาตรฐานอาจเนื่องมาจากมีตัวแปรหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงของไม้ อาทิเช่น ปริมาณความชื้น ลักษณะและตำแหน่งตำแหน่งไม้ และแนวเสี้ยนไม้

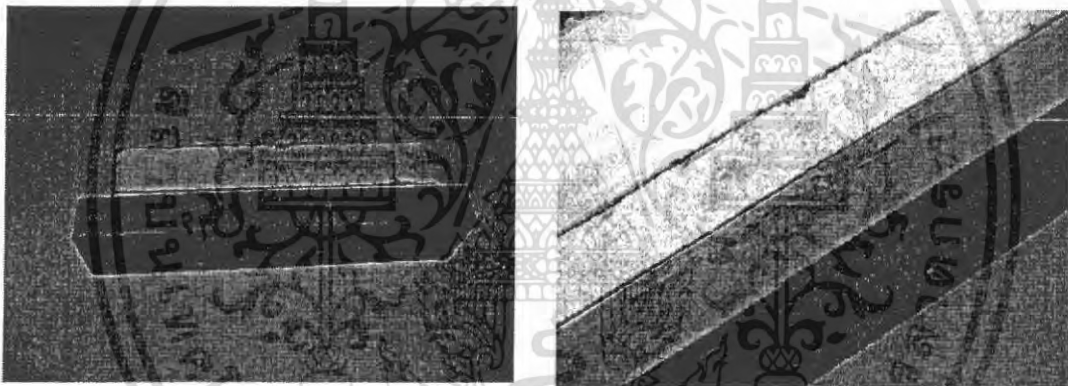
2. ค่าแรงอัดประลัยของวัสดุเชิงประกอบทั้งระบบ ของวัสดุประเภท WF-C และ WE - C มีค่าเท่ากับค่ากำลังอัดประลัยของวัสดุโครงเคร่า คือเท่ากับ 606 Ksc และ 626 Ksc ตามลำดับ แสดงว่า วัสดุฉนวนมีการแตกหักหลังจากวัสดุโครงเคร่าถึงจุดวิบัติและชี้ให้เห็นว่า ในการใช้วัสดุโครงเคร่าประเภทไม้ในการรับแรงอัด ไม้จะรับแรงอัดและทำให้เกิดการยุบตัวหรืออัดตัวขึ้น โดยระยะแรกค่าการยืดตัวจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับแรง (Elastic) และเมื่อผ่านช่วงคราก (Yielding) จะมีอัตราการยุบตัวสูงและแตกหัก จนกระทั่งทำให้วัสดุฉนวนเกิดการแตกหักตามมา

3. ค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุประเภท WF-C และ WE - C มีค่าเท่ากับ 397 Ksc และ 381 Ksc ตามลำดับ และค่า Yield Stress เท่ากับ 400 Ksc และ 400 Ksc ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไม้เต็งทั่วไป แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (ดูภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามข้อ 1- 3 สามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุเชิงประกอบไม้แตกต่างกับการรับแรงอัดของไม้เต็งเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าค่าการทดสอบจะน้อยกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้จากธรรมชาติของไม้ก็ตาม แสดงว่า ในการนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานจริง การประกอบวัสดุในลักษณะใดๆก็ตามโดยให้ไม้เต็งทำหน้าที่ในการรับแรงอัด(ในแนวนานสั้น)เพียงอย่างเดียว วัสดุฉนวนที่ประกอบติดตั้งไม่ได้ทำให้ลักษณะการรับแรงอัดของไม้เต็งผิดไปจากเดิม แต่การยุบตัวของไม้เต็ง จะทำให้วัสดุฉนวนยุบตัวตามและแตกหักภายหลังจากการแตกหักของไม้จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับอัดสามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการฉีกขาดของฉนวนเมื่อมีการรับแรงอัด

5. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก การกดอัดในแนวนานสั้นจะทำให้เกิดการแตกของเส้น ไม้ที่พยายามดันเนื้อ ไม้ให้แยกออกจากกัน โดยสังเกตได้จากรอยเส้น ไม้ที่หลุดและฉีกออก โดยไม่มีการฉีกขาดออกจากกันเกิดขึ้น วัสดุฉนวนจะเกิดการยุบตัวตามและฉีกขาดบริเวณในเนื้อชิ้นส่วนไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 5.10 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเคร่าประเภทไม้เต็งจากการรับแรงอัด

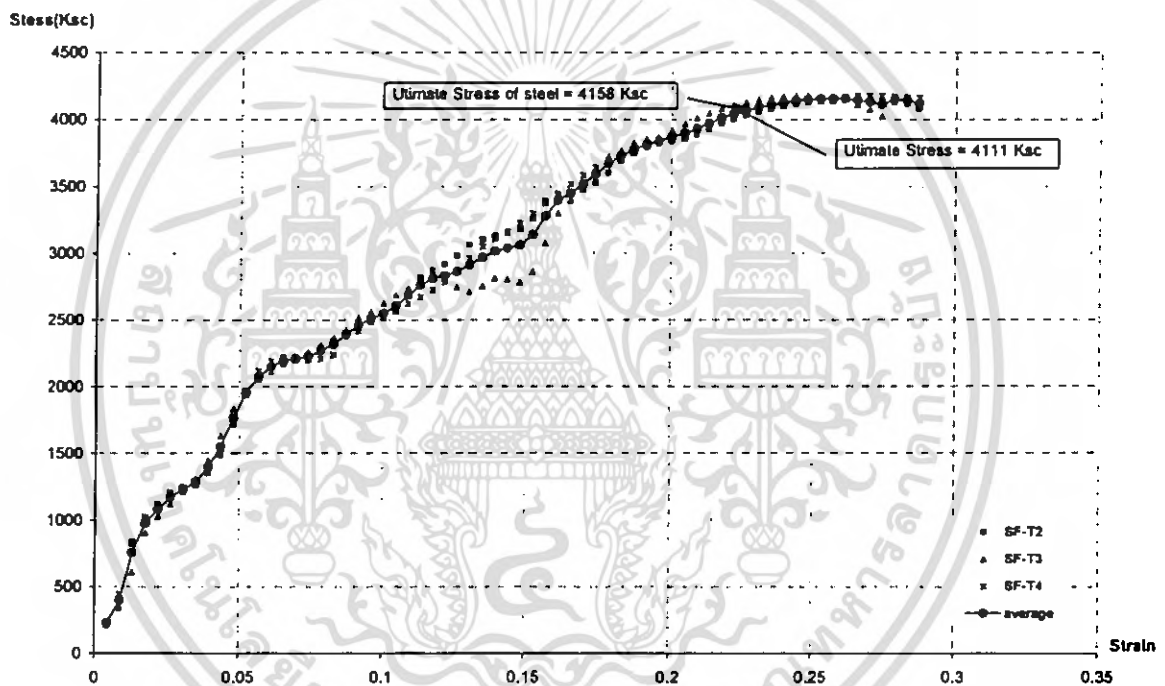
#### 5.4 ผลการทดสอบการรับแรงดึงวัสดุวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า

ผลการทดสอบการรับแรงดึง จากการบันทึกผลการทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุตัวอย่างประเภทเชิงประกอบโครงเคร่าจำนวน 4 ชนิด โดยเลือกผลการทดสอบ 3 ผลการทดสอบ จากการทดสอบชนิดละ 4 ตัวอย่าง ดังนี้

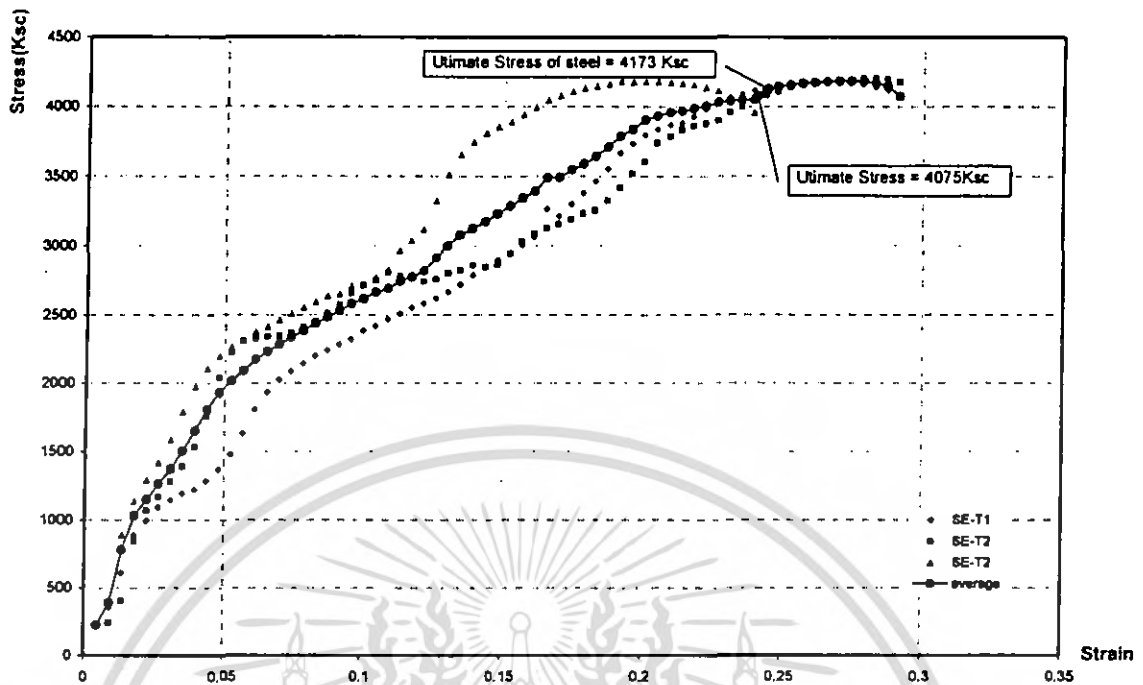
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.1 การทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

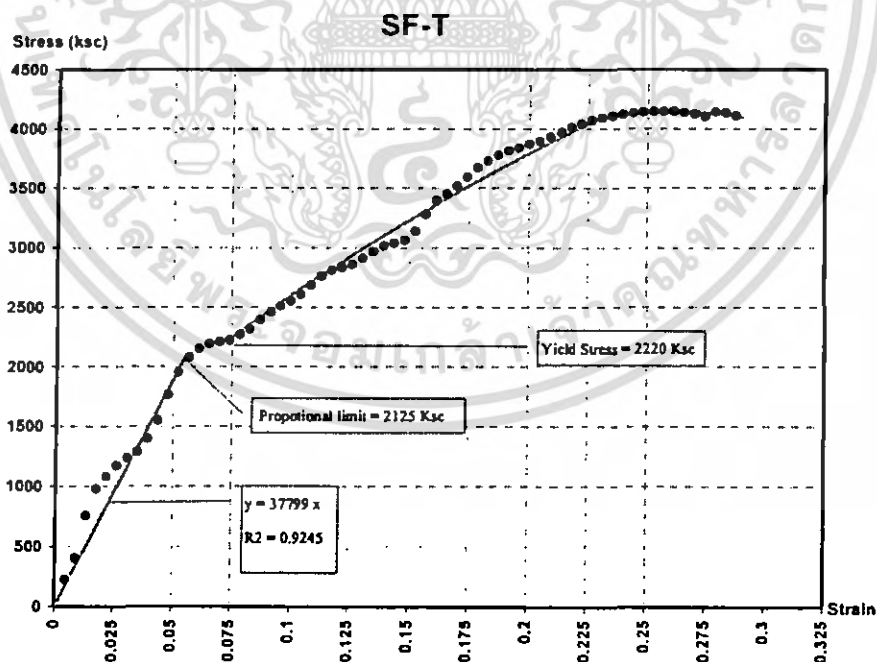
จากการทดสอบแรงดึงกับวัสดุประกอบโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ SF-T และ SE-T (อ้างอิงการเรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) โดยได้แสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลและแสดงค่าเฉลี่ยของ Ultimate Stress ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.11-5.12 และแสดงกราฟเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อหาค่าการทดสอบที่สนใจ (อ้างอิงหัวข้อ 5.2) ดังแสดงในรูปที่ 5.13-5.14 และสามารถสรุปค่าการทดสอบของวัสดุทั้ง 4 ชนิดตามตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SF-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง

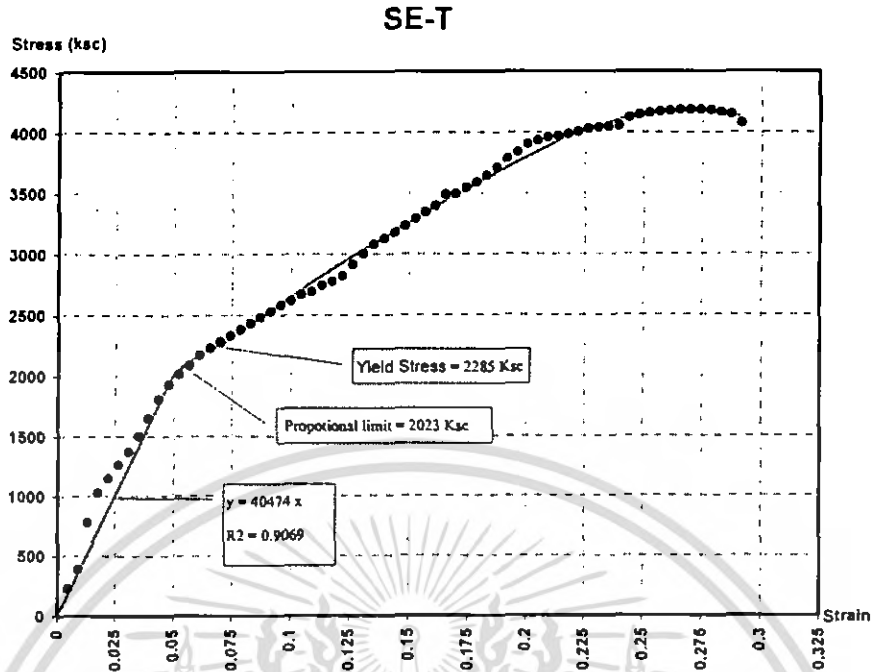


รูปที่ 5.12 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SE-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.13 แสดงแผนภูมิต้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SF-T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงวัสดุตัวอย่างประเภท SE-T

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าการทดสอบแรงดึงของวัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Yield Stress (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ			
SF-T	4,158	4,111	2,125	2,220	
SE-T	4,173	4,075	2,023	2,285	

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างความเค้น - ความเครียด ของวัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ มีรูปแบบคล้ายกับรูปแบบของเหล็ก โครงสร้างหรือเหล็กเหนียวโดยทั่วไป ซึ่งมีช่วงการยืดหยุ่น (Elastic) ช่วงคลาก (Yielding) ช่วง Strain hardening และช่วงคอบวด (Necking) โดยค่าแรงดึงประลัยของวัสดุ โครงเคร่าประเภท SF-T และ SE-T มีค่าใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 4,158 Ksc และ 4,173 Ksc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ASTM A7 ซึ่งกำหนดกำลังรับแรงดึงประลัยของเหล็กแผ่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเหล็กเส้นเพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างทั่วไป เท่ากับ 4100 – 5000 Ksc และค่ากำลังรับแรงอัด  
ประลัยของเหล็กโครงสร้าง A 36 ซึ่งเท่ากับ 4000 Ksc (ดูภาคผนวก ข)

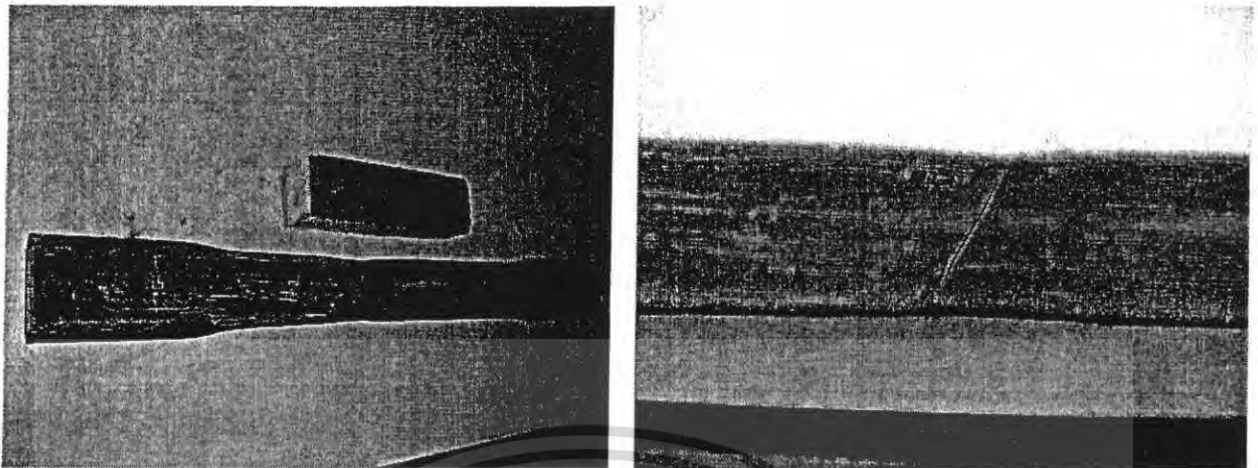
2. ค่าแรงดึงประลัยของวัสดุเชิงประกอบทั้งระบบ ของวัสดุประเภท SF-T และ SE-T มีค่า  
น้อยกว่าค่ากำลังดึงประลัยของวัสดุโครงเคร่า คือเท่ากับ 4,111 Ksc และ 4,075 Ksc ตามลำดับ โดยค่า  
ดังกล่าวจะอยู่ในช่วง Strain hardening แสดงว่า วัสดุฉนวนมีการแตกหักก่อนวัสดุโครงเคร่าจะถึงจุด  
วิบัติและชี้ให้เห็นว่า ในการใช้วัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณในการรับแรงดึง เหล็กจะรับแรงดึง  
และทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น โดยระยะแรกค่าการยืดตัวจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับแรง (Elastic) และเมื่อ  
ผ่านช่วงคราก (Yielding) จะมีอัตราการยืดตัวสูง จนกระทั่งทำให้วัสดุฉนวนเกิดการแตกหักก่อนการ  
แตกหักของวัสดุโครงเคร่าจะเกิดขึ้น

3. ค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุ และค่ากำลัง ณ จุดครากเป็นค่าที่นิยม  
นำมาใช้ประเมินความสามารถในการรับแรงในช่วงยืดหยุ่นและช่วงคราก และมักจะออกแบบให้วัสดุรับ  
แรงไม่เกินช่วงนี้ โดยค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุประเภท SF-T และ SE-T มีค่า  
ใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 2,125 Ksc และ 2,023 Ksc ตามลำดับ เช่นกันกับค่ากำลัง ณ จุดครากซึ่งเท่ากับ  
2,220 Ksc และ 2,285 Ksc ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเหล็กชนิด A36 แล้วพบว่ามีค่า  
ใกล้เคียงกัน (ดูภาคผนวกข)

4. จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามข้อ 1- 3 สามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุ  
เชิงประกอบจะพังก่อนที่ฉนวน โดยจะพังก่อนที่วัสดุโครงเคร่าถึง Ultimate Stress แสดงว่า ในการนำ  
วัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานจริงโดย การประกอบวัสดุในลักษณะใดก็ตามโดยให้เหล็ก  
รูปพรรณทำหน้าที่ในการรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว วัสดุฉนวนที่ประกอบติดตั้งไม่ได้ทำให้ลักษณะการ  
รับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณผิด ไปจากเดิม แต่การยืดตัวของเหล็กรูปพรรณจะทำให้วัสดุฉนวนยืดตัว  
ตามและแตกหักก่อนเหล็กรูปพรรณจะถึง Ultimate Stress เล็กน้อย จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบ  
ประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับแรงดึง ต้องคำนึงถึงการฉีกขาดของฉนวนเมื่อมีการรับแรงดึงที่  
ค่อนข้างสูง

5. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก วัสดุมีการวิบัติในลักษณะที่ฉีกขาดออกจากกัน  
บริเวณส่วนกลางของวัสดุ และรอยแตกหักเฉียงเป็นมุม 45 องศาจากขอบ และมีลักษณะสมมาตร ซึ่งเป็น  
ลักษณะการแตกหักของวัสดุเหนียวเช่นเหล็ก โครงสร้างที่ได้รับแรงดึงอย่างสม่ำเสมอผ่านจุดศูนย์กลาง  
ของวัสดุ โดยวัสดุฉนวนเกิดการยืดตัวตามและหลุดออกจากเหล็กรูปพรรณอย่างรวดเร็ว โดยเนื้อวัสดุ  
ประสานจะติดไปกับไฟเบอร์ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

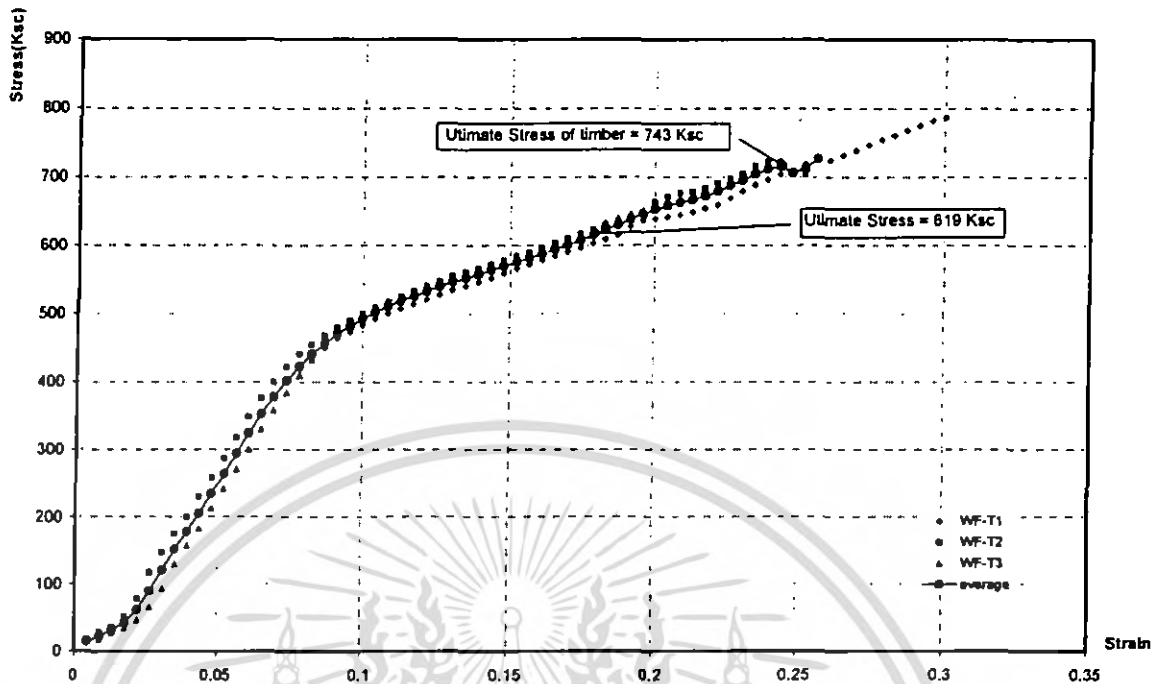


รูปที่ 5.15 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงดึง

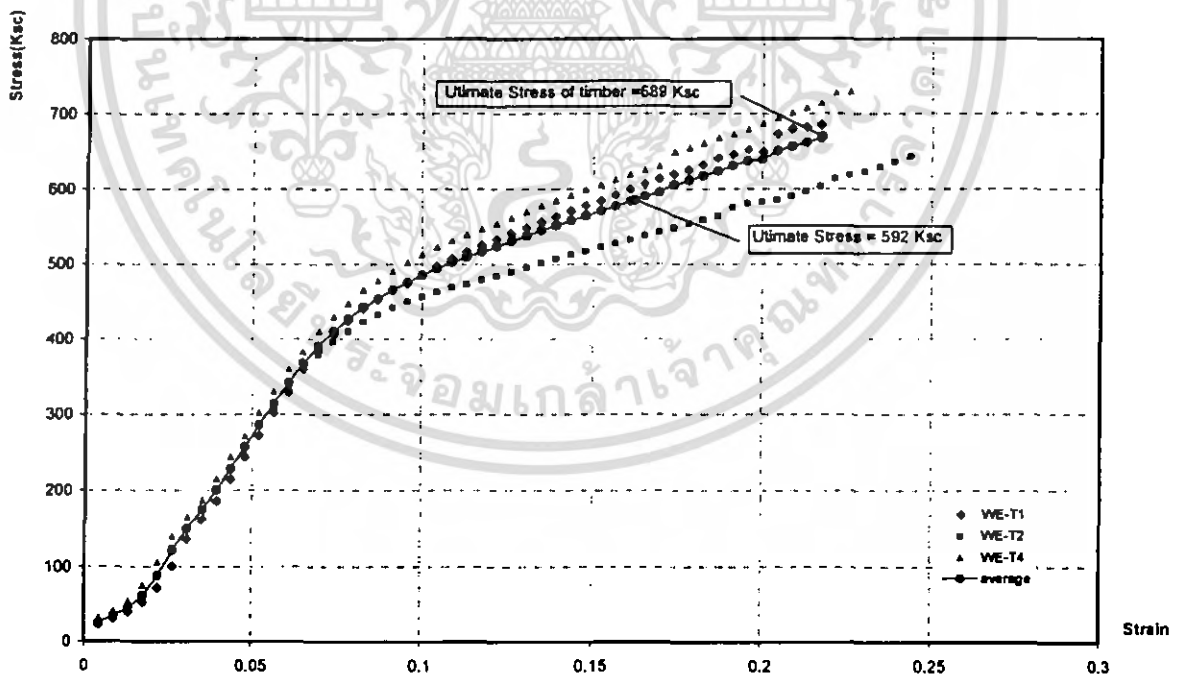
#### 5.4.2 การทดสอบการรับแรงดึงที่ทางขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

จากการทดสอบแรงดึงที่ทางขนานเส้นกับวัสดุประกอบ โครงเคร่าประเภทไม้ (ไม้เต็ง) WF-T และ WE-T (อ้างอิงการเรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) โดยได้แสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลและแสดงค่าเฉลี่ยของ Ultimate Stress ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.16-5.17 และแสดงกราฟเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อหาค่าการทดสอบที่สนใจ (อ้างอิงหัวข้อ 5.2) ดังแสดงในรูปที่ 5.18-5.19 และสามารถสรุปค่าการทดสอบของวัสดุทั้ง 4 ชนิดตามตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

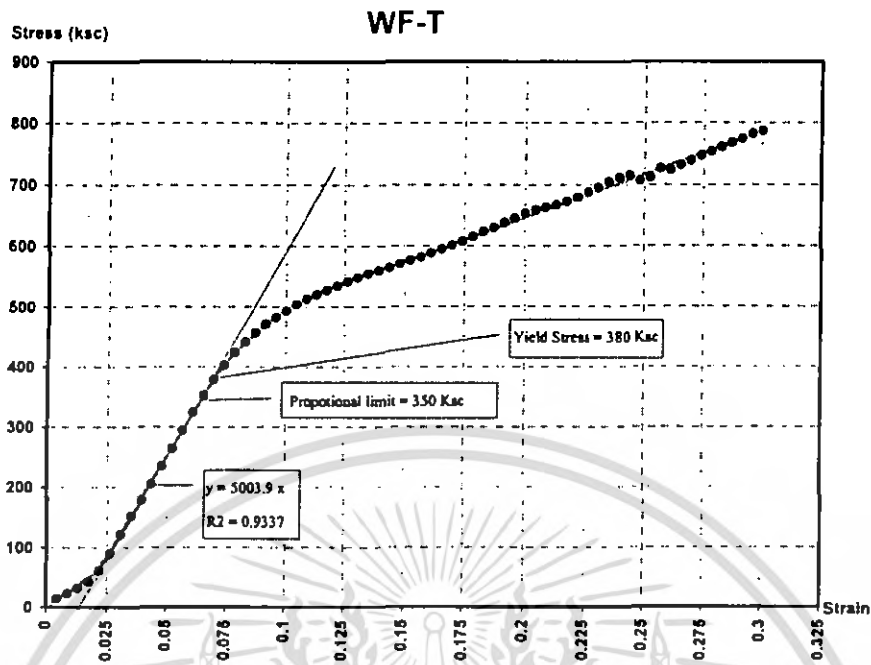


รูปที่ 5.16 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนาน  
เส้น วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง

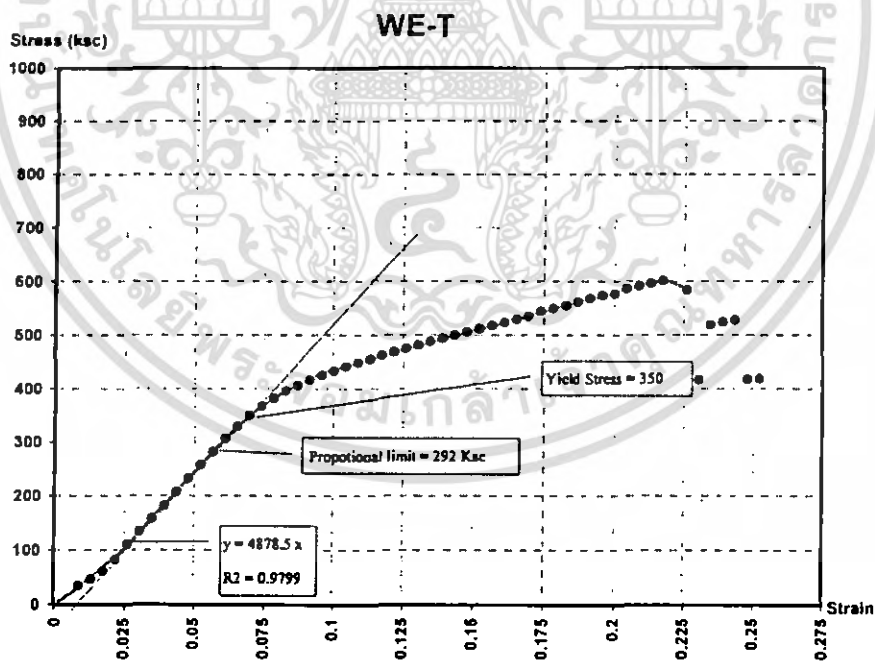


รูปที่ 5.17 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนาน  
เส้น วัสดุตัวอย่างประเภท WE-T ทั้ง 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเส้น วัสดุตัวอย่างประเภท WF-T



รูปที่ 5.19 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแรงดึงขนานเส้นวัสดุตัวอย่างประเภท WE-T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าการทดสอบแรงดึงขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Yield Stress (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ			
WF-T	743	619	350	380	
WE-T	689	592	292	350	

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงดึงขนานเส้นของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างความเค้น – ความเครียด ของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็งมีรูปแบบคล้ายกับรูปแบบของไม้โดยทั่วไปเมื่อมีการรับแรงในทิศทางขนานเส้น ซึ่งมีช่วงการยืดหยุ่น (Elastic) และช่วง Strain hardening แต่มีช่วงคราก (Yielding) และช่วงคอขวด (Necking) ไม่ชัดเจนนัก โดยค่าแรงดึงประลัยของวัสดุโครงเคร่าประเภท WF-T และ WE -T เท่ากับ 743Ksc และ 689 Ksc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานทั่วไปของไม้เต็ง (ดูภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีตัวแปรหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงของไม้ อาทิเช่น ปริมาณความชื้น ลักษณะและตำแหน่งค้ำหนีไม้ และแนวเส้น
2. ค่าแรงดึงประลัยของวัสดุเชิงประกอบทั้งระบบ ของวัสดุประเภท WF-T และ WE -T มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังดึงประลัยของวัสดุโครงเคร่า คือเท่ากับ 619 Ksc และ 592 Ksc ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วง Strain hardening แสดงว่า วัสดุฉนวนมีการแตกหักก่อนวัสดุโครงเคร่าจะวิบัติ และชี้ให้เห็นว่า ในการใช้วัสดุโครงเคร่าประเภทไม้ในการรับแรงดึง ไม้จะรับแรงดึงและทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น โดยระยะแรกค่าการยืดตัวจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับแรง (Elastic) และเมื่อผ่านช่วงคราก (Yielding) จะมีอัตราการยืดตัวสูง จนกระทั่งทำให้วัสดุฉนวนเกิดการแตกหักก่อนการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าจะเกิดขึ้น
3. ค่ากำลัง ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุประเภท WF-T และ WE-T มีค่าเท่ากับ 350 Ksc และ 292 Ksc ตามลำดับ และค่า Yield Stress เท่ากับ 350 Ksc และ 380 Ksc ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไม้เต็งทั่วไป แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (ดูภาคผนวก ข )
4. จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามข้อ 1- 3 สามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุเชิงประกอบจะพังก่อนที่ฉนวน โดยจะพังก่อนที่วัสดุโครงเคร่าถึง Ultimate Stress ถึงแม้ว่าค่าการทดสอบจะน้อยกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเป็นผลมาจากมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้จากธรรมชาติของไม้ก็ตาม แสดงว่า ในการนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานจริง การประกอบวัสดุในลักษณะใดๆก็ตาม โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ไม้ตั้งทำหน้าที่ในการรับแรงดึง (ในแนวนานเส้น) เพียงอย่างเดียว วัสดุฉนวนที่ประกอบติดตั้งไม่ได้ทำให้ลักษณะการรับแรงดึงของไม้ตั้งผิดไปจากเดิม แต่การยึดตัวของไม้ตั้ง จะทำให้วัสดุฉนวนยึดตัวตามและแตกหักก่อนไม้ตั้งจะถึง Ultimate Stress เล็กน้อย จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับแรงดึง ต้องคำนึงถึงการฉีกขาดของฉนวนเมื่อมีการรับแรงดึงที่ค่อนข้างสูง

5. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก การดึงในแนวนานเส้นจะทำให้เกิดยึดและการแตกของเส้น ไม้ที่พยายามดันเนื้อไม้ให้แยกออกจากกัน โดยสังเกตได้จากรอยเส้น ไม้ที่หลุดและฉีกออกโดยไม่มีการฉีกขาดออกจากกันเกิดขึ้น ส่วนวัสดุฉนวนจะเกิดการยึดตัวตามและฉีกขาดบริเวณในเนื้อขึ้นส่วน ไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 5.20 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเคร่าประเภทไม้ตั้งจากการรับแรงดึง

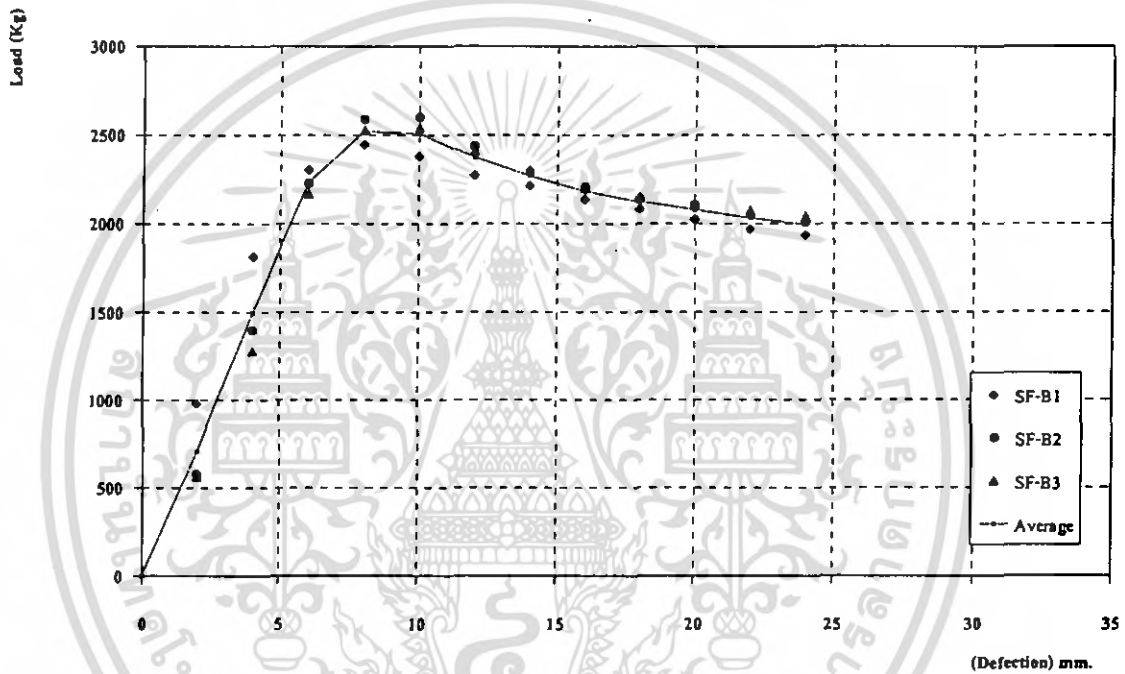
### 5.5 ผลการทดสอบการรับแรงดึงวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า

ผลการทดสอบการรับแรงดึง จากการบันทึกผลการทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุตัวอย่างประเภทเชิงประกอบโครงเคร่าจำนวน 4 ชนิด และเลือกผลการทดสอบ 3 ผลการทดสอบ จากการทดสอบชนิดละ 4 ตัวอย่าง ทั้งนี้การหาค่าการทดสอบสำหรับการทดสอบแรงดึงนั้น ต้องมีการคำนวณ (ตามการอ้างอิงหัวข้อ 5.2) จึงมิได้แสดงค่าการทดสอบในกราฟความสัมพันธ์ โดยแสดงผลการทดสอบดังนี้

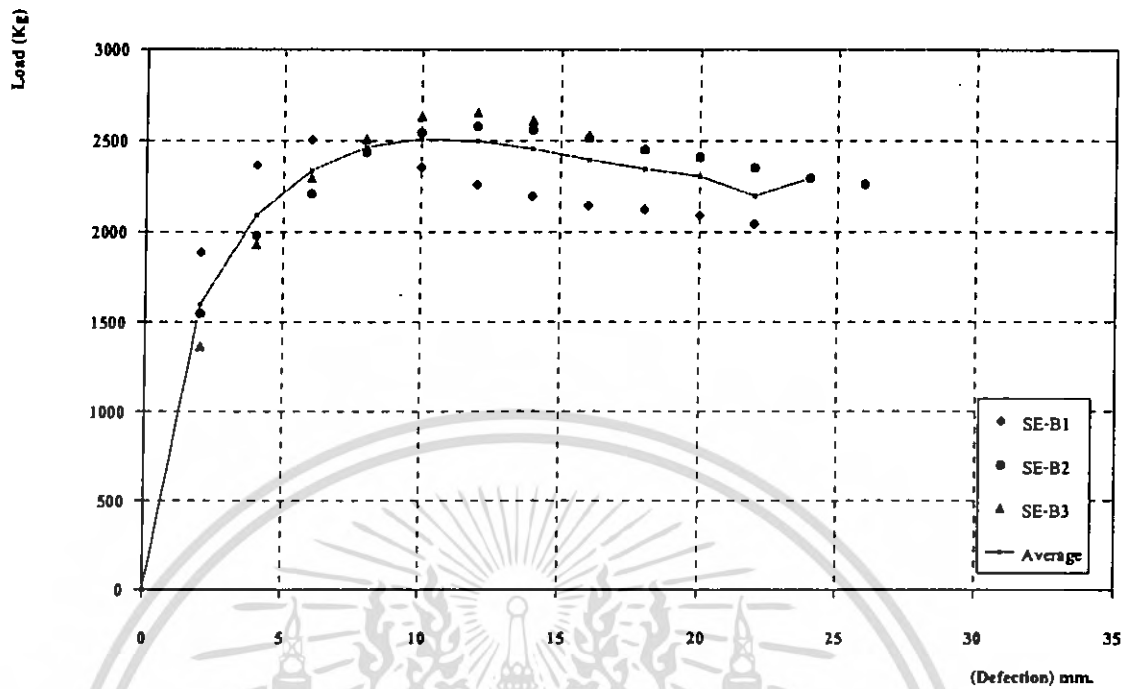
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.1 การทดสอบการรับแรงดัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

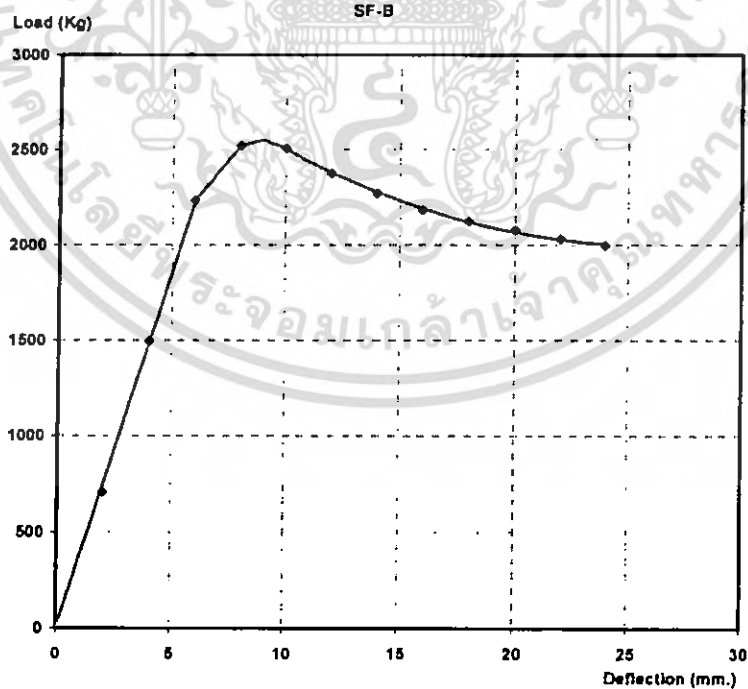
ผลการทดสอบแรงดัดของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณชนิด SF-B และ SE-B (อ้างอิงการเรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) แสดงด้วยกราฟแรงกดและระยะการโก่งคิ้ว และค่าการทดสอบที่สนใจ โดยแสดงผลการทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงการกระจายของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.21 - 5.22 และแสดงเส้นกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งคิ้วเพื่อหาค่าการทดสอบ (ในรูปที่ 5.23 - 5.24) โดยสรุปค่าการทดสอบในตารางที่ 5.7



รูปที่ 5.21 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งคิ้วจากการทดสอบแรงดัดวัสดุตัวอย่างประเภท SF-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง

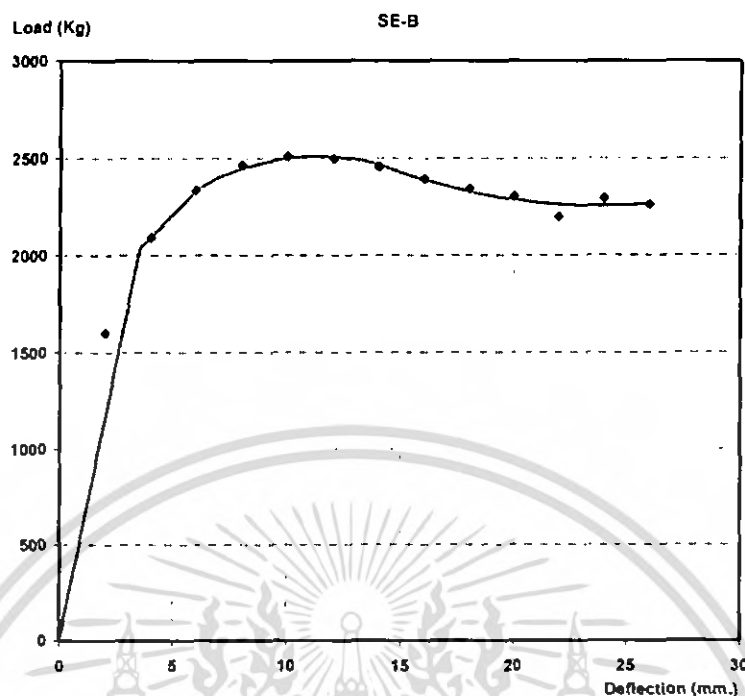


รูปที่ 5.22 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงคัตวัสดุตัวอย่างประเภท SE-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.23 แสดงแผนภูมิลำเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงคัตวัสดุตัวอย่างประเภท SF-B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวของวัสดุทดสอบแรงค้ำวัสดุตัวอย่างประเภท SE-B

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าการทดสอบแรงค้ำของวัสดุ โครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ		
SF-B	4,794	4,794	4,192	
SE-B	4,861	4,861	4,340	

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงค้ำของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวของวัสดุประเภท SF-B และ SE-B มีลักษณะคล้ายกราฟ ความเค้น-ความเครียด คือ เมื่อมีแรงกระทำบนชิ้นส่วนคาน ทำให้เกิด โมเมนต์และแรงค้ำบริเวณผิวด้านล่างของชิ้นส่วนและเกิดแรงอัดบนผิวด้านบน และทำให้เกิดการ โกงตัวของชิ้นส่วนขึ้น โดยการ โกงตัวในช่วงแรกจะเกิดขึ้นน้อยและแปรผันเป็นเส้นตรงกับระยะกด (ช่วง Elastic) จนกระทั่งถึงช่วงแรงค้ำที่ แต่มีการ โกงตัวเพิ่มขึ้น และช่วงที่มีการ โกงตัวอัตราสูงถึงค่าแรงค้ำประลัย และวัสดุแตกหักในที่สุด โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของวัสดุเชิงประกอบประเภท SF-B และ SE-B มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเท่ากับ 4,794 Ksc และ 4,861 Ksc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับค่ากำลังรับแรงคดประลัยของวัสดุโครง  
เคร่า แสดงว่าในการใช้วัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณในการรับแรงคด เหล็กรูปพรรณจะรับแรง  
และทำให้เกิดการโก่งตัวของวัสดุจนวนตามมา โดยวัสดุจนวนจะแตกหักภายหลังจากวัสดุโครงเคร่า  
ได้รับแรงคดประลัยและแตกหักเสียหายไปแล้ว จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานใน  
ลักษณะที่รับแรงคดสามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการฉีกขาดของจนวนเมื่อมีการรับแรงคด

2. ค่ากำลังรับแรงคด ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุ SF-B และ SE-B มีค่าเท่ากับ  
4,192 Ksc และ 4,340 Ksc ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าค่ากำลังรับแรงคด ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงมีค่า  
ใกล้เคียงกับค่ากำลังรับแรงคดประลัย (ซึ่งแตกต่างกับการทดสอบแรงดึงและแรงอัด) เนื่องจากการคราก  
ของวัสดุในการทดสอบแรงคดจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันตลอดหน้าตัด แต่จะเกิดขึ้นบริเวณผิวบนสุดและผิว  
ล่างสุดของตัวอย่างทดสอบก่อนแล้วจึงขยายเข้าสู่แกนสะเทินของคาน

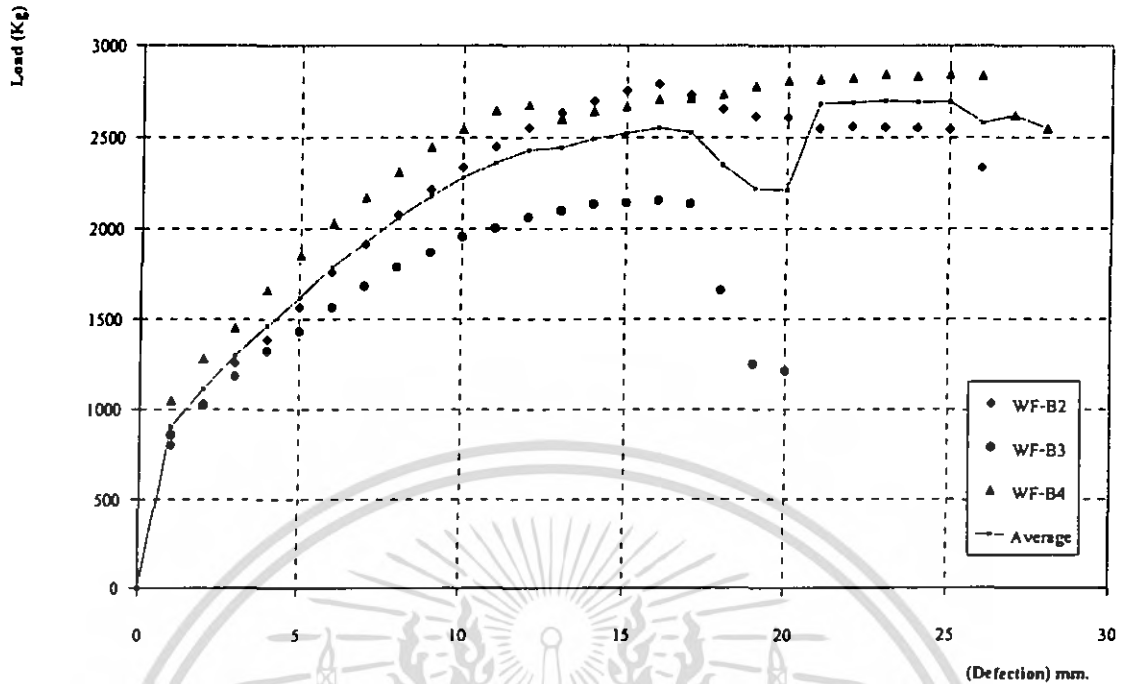
3. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก การวิบัติของเหล็กรูปพรรณเกิดจากการอยู่และ  
ยุบตัวบริเวณกึ่งกลางจุดที่สัมผัสกับแรงแล้วค่อยขยายเป็นวงกว้างออกไปจนถึงจุดวิบัติในที่สุด โดยวัสดุ  
จนวนเกิดการแยกตัวตามวัสดุโครงเคร่าและฉีกออกจากกันบริเวณเนื้อวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์



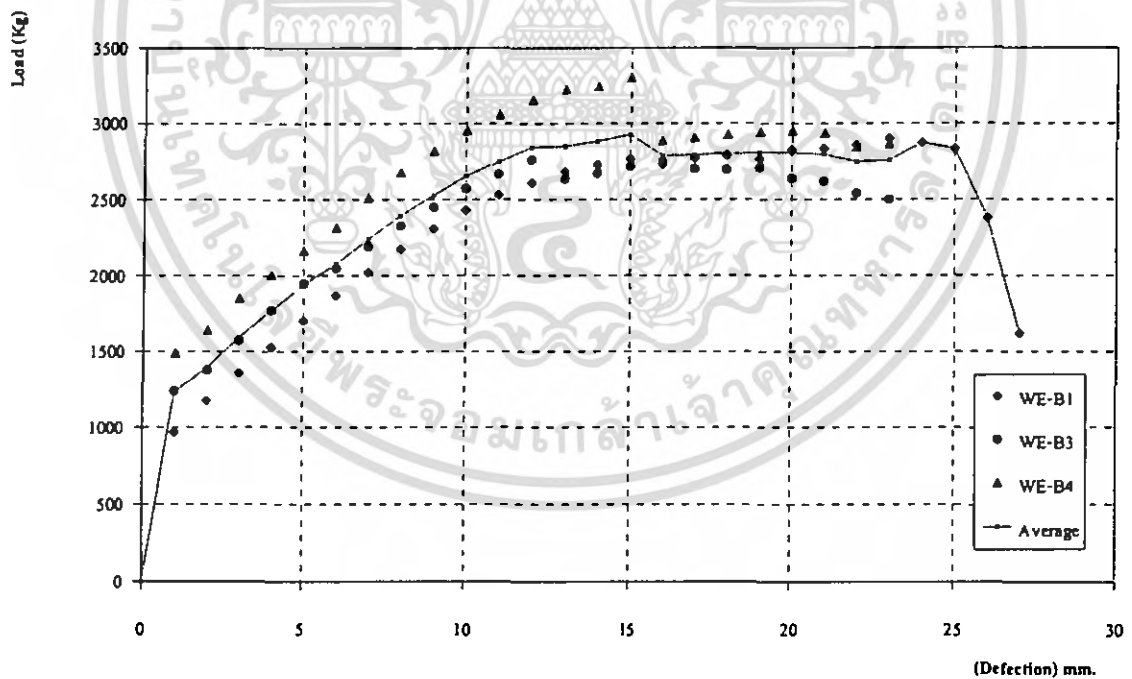
รูปที่ 5.25 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณ  
จากการรับแรงคด

### 5.5.2 การทดสอบการรับแรงคดของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

ผลการทดสอบแรงคดของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง ชนิด WF-B และ WE-B (อ้างอิงการ  
เรียกชื่อวัสดุ หัวข้อ 5.1) แสดงด้วยกราฟแรงกดและระยะการโก่งตัว และค่าการทดสอบที่สนใจ โดย  
แสดงผลการทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างและค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงการกระจายของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.25 -  
5.26 และแสดงเส้นกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวเพื่อหาค่าการ  
ทดสอบ (ในรูปที่ 5.27-5.28) โดยตารางที่ 5.8 แสดงค่าการทดสอบการคด  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

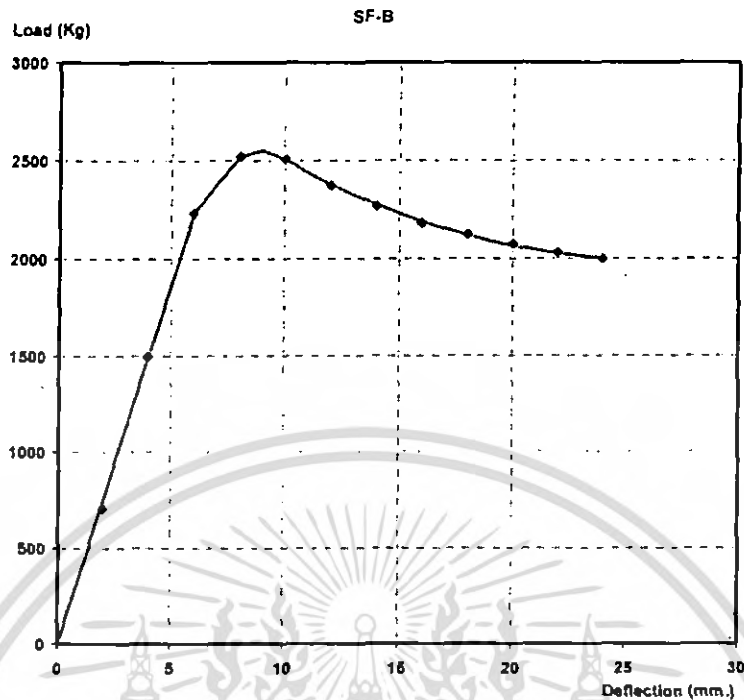


รูปที่ 5.26 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงคดวัสดุตัวอย่างประเภท WF-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง

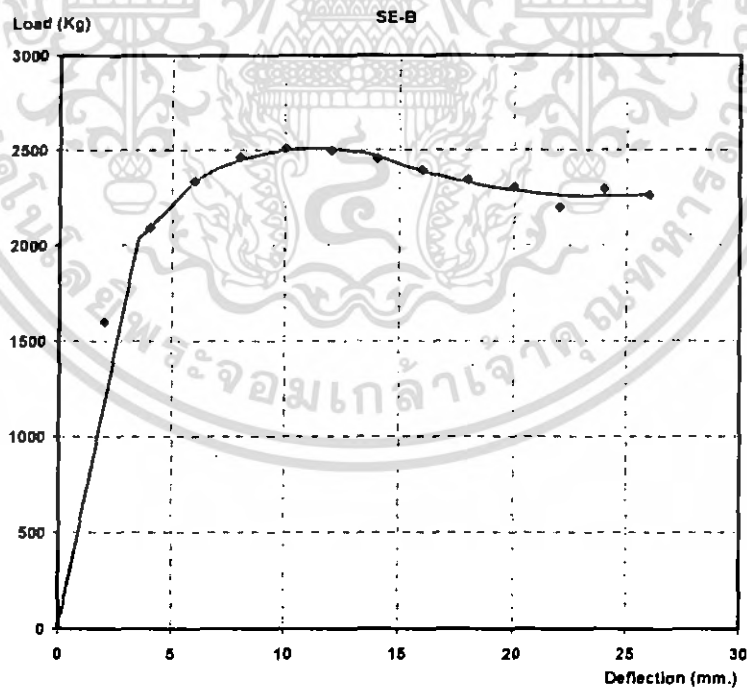


รูปที่ 5.27 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงคดวัสดุตัวอย่างประเภท WE-B ทั้ง 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงค้ำวัสดุตัวอย่างประเภท WF-B



รูปที่ 5.29 แสดงแผนภูมิเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวจากการทดสอบแรงค้ำวัสดุตัวอย่างประเภท WE-B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าการทดสอบแรงคัตของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)		Elastic Strength at Proportional limit (Ksc)	Remark
	วัสดุโครงเคร่า	วัสดุเชิงประกอบ		
WF-B	1,250	1,250	1,097	
WE-B	1,444	1,444	1,304	

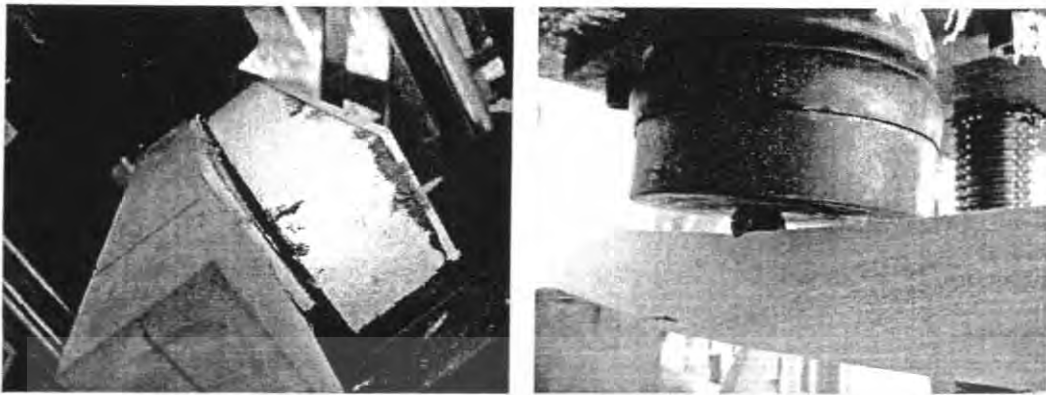
จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบแรงคัตของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะกราฟระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวของวัสดุประเภท WF-B และ WE-B แสดงให้เห็นการโก่งตัวในช่วงแรกจะเกิดขึ้นน้อยและแปรผันเป็นเส้นตรงกับระยะกด (ช่วง Elastic) จนกระทั่งช่วงที่มีการโก่งตัวอัตราสูงถึงค่าแรงคัตประลัยและวัสดุแตกหักในที่สุด โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของวัสดุเชิงประกอบประเภท WF-B และ WE-B มีค่าเท่ากับ 1,250 Ksc และ 1,444 Ksc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับค่ากำลังรับแรงคัตประลัยของวัสดุโครงเคร่า แสดงว่าในการใช้วัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็งในการรับแรงคัต ไม้เต็งจะรับแรงและทำให้เกิดการโก่งตัวของวัสดุจนวนตามมา โดยวัสดุจนวนจะแตกหักภายหลังจากวัสดุโครงเคร่าได้รับแรงคัตประลัยและแตกหักเสียหายไปแล้ว จึงทำให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับแรงคัตสามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการล้าของจนวนเมื่อมีการรับแรงคัต

2. ค่ากำลังรับแรงคัต ณ จุดขีดจำกัดความเป็นเส้นตรงของวัสดุ WF-B และ WE-B มีค่าเท่ากับ 1,097 Ksc และ 1,304 Ksc ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่ากำลังรับแรงคัตประลัยเนื่องจากการครากของวัสดุในการทดสอบการคัตจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันตลอดหน้าคัตแต่จะค่อยๆเริ่มเกิด

3. แสดงลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก เมื่อมีแรงกดบนคานไม้จะทำให้เกิดโมเมนต์และแรงดึงบริเวณผิวด้านล่าง ลักษณะของการวิบัติจะเริ่มเกิดบริเวณผิวตรงกลางด้านล่างของไม้เต็งซึ่งเป็นบริเวณที่รับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยนไม้มากที่สุด โดยเมื่อมีแรงกดมากขึ้นแรงดึงดังกล่าวก็มากขึ้นจนมากกว่าความแกร่งของไม้และเกิดการแตกหักในที่สุด โดยการแตกหักของวัสดุจนวนจะเกิดขึ้นตามการโก่งตัวของไม้ ซึ่งจะหลุดออกจากวัสดุโครงเคร่าอย่างรวดเร็วภายหลังจากไม้เกิดการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงเคร่าประเภทไม้เต็งจากการรับแรงค้ำ

## 5.6 ผลการทดสอบการรับแรงเฉือนวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่า

การทดสอบแรงเฉือนของวัสดุประเภทโครงเคร่ามีวัตถุประสงค์ในการหาค่าทดสอบที่สนใจคือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนประลัย ซึ่งต้องมีการคำนวณค่าตามการอ้างอิงหัวข้อที่ 5.2 โดยในที่นี้มีการทดสอบวัสดุเชิงประกอบจำนวน 4 ตัวอย่างและนำมาหาค่าเฉลี่ยค่าการทดสอบ ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าการทดสอบแรงเฉือนของวัสดุโครงเคร่า

ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (Ksc)	
	วัสดุโครงเคร่า (Ksc)	วัสดุเชิงประกอบ(Ksc)
SF-S	1,189	1,189
SE-S	1,158	1,158
WF-S	180	180
WE-S	220	220

จากการทดสอบแรงเฉือนของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณพบข้อสรุปที่น่าสนใจดังนี้

1. ค่ากำลังรับแรงเฉือนประลัยของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่าทั้ง 2 ชนิดนั้น มีค่าเท่ากับค่ากำลังรับแรงเฉือนประลัยของวัสดุโครงเคร่า แสดงว่าในการทดสอบการรับแรงเฉือนวัสดุโครงเคร่าจะรับแรงจนทำให้วัสดุโก่งตัวและฉีกขาดเสียหายและส่งผลให้วัสดุฉนวนเสียหายตามไปด้วย จึงทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

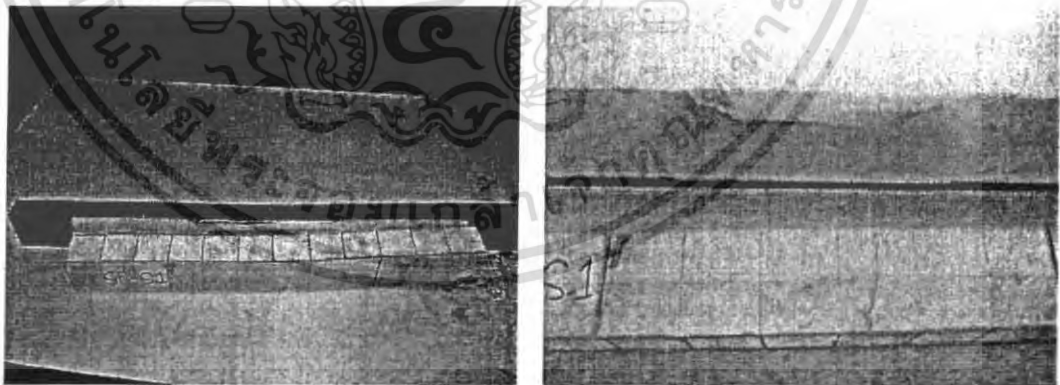
ให้การนำวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้มาใช้งานในลักษณะที่รับแรงเฉือนสามารถทำได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการฉีกขาดของฉนวนเมื่อมีการรับแรงเฉือน

2. ค่ากำลังรับแรงเฉือนประลัยของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่าเหล็กรูปพรรณประเภท SF- S และ SE- S มีค่าเท่ากับ 1,189 Ksc และ 1,158 Ksc ตามลำดับ โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานการรับแรงเฉือนของเหล็กโครงสร้างประเภท A36 ซึ่งเท่ากับ 1250 Ksc พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการตีวัสดุฉนวนบนวัสดุโครงเคร่าประเภทนี้เพื่อรับแรงเฉือนจะไม่ทำให้การรับแรงเฉือนต่างจากมาตรฐาน

3. ค่ากำลังรับแรงเฉือนประลัยของวัสดุเชิงประกอบประเภทโครงเคร่าไม้เต็งประเภท WF- S และ WE- S มีค่าเท่ากับ 180 Ksc และ 220Ksc ตามลำดับ โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานการรับแรงเฉือนของไม้เต็งในประเทศไทยพบว่ามีค่ามากกว่า ซึ่งเท่ากับ 146 Ksc (คุณภาพผนวก) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการรับแรงของไม้ขึ้นอยู่กับตัวแปรทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ ประกอบกับเนื้อไม้มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียว (Non-homogenous) จึงทำให้การรับแรงไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งเนื้อ

4. ลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก การแตกหักที่จุดวิบัติเนื่องมาจากแรงเฉือนจะมีความแตกต่างกับการแตกหักที่จุดวิบัติเนื่องจากแรงดึงและแรงกดอัด เนื่องจากว่า ที่จุดวิบัติภายใต้แรงเฉือนตัวอย่างทดสอบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่หน้าตัดและความยาวของตัวอย่างทดสอบ ลักษณะการวิบัติในแต่ละประเภทโครงเคร่าเป็นดังนี้

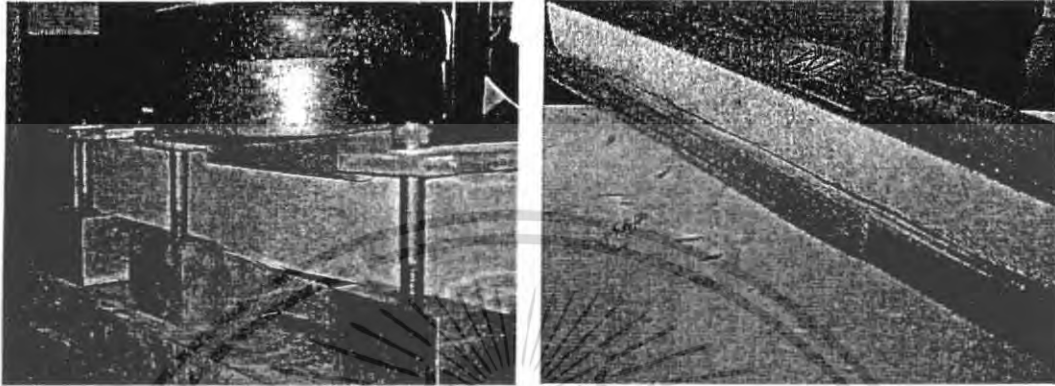
- การวิบัติของวัสดุประกอบประเภทโครงเคร่าเหล็กรูปพรรณ เมื่อเหล็กรูปพรรณได้รับแรงเฉือนจะเกิดการวิบัติ โดยเกิดการขูดและขูดตัวบริเวณจุดที่สัมผัสกับแท่นกดเฉือน แล้วค่อยขยายเป็นวงกว้างออกไปจนถึงจุดวิบัติในที่สุด โดยวัสดุฉนวนเกิดการแยกตัวตามวัสดุโครงเคร่าและฉีกออกจากกันบริเวณเนื้อวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 5.31 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุโครงเคร่าประเภทเหล็กรูปพรรณจากการรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิบัติของวัสดุประกอบประเภทโครงคร่าวไม้เต็ง เมื่อมีแรงจากแท่นเลื่อนกระทำบนวัสดุ จะทำให้เกิดการยุบตัวทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยน ไม้และแตกหักตามรอยการกดของแท่นกด โดยเนื้อไฟเบอร์ซีเมนต์จะปริและฉีกขาดตามรอยการกดเลื่อนของแท่นเลื่อน



รูปที่ 5.32 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุ โครงคร่าวประเภทไม้เต็งจากการรับแรงเลื่อน

## 5.7 ผลการทดสอบแรงอัดวัสดุประกอบประเภทวัสดุก่อ

การทดสอบแรงอัดของวัสดุก่อ มีแนวคิดในการทดสอบวัสดุก่อที่ใช้กันทั่วไปซึ่งเป็นวัสดุเปราะ และมีการยึดตัวต่ำ มีความแข็งแรงต่ำ จึงไม่มีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุโครงสร้าง เช่น อิฐดินเผา อิฐบล็อก อิฐมอญ ฯลฯ เพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ว่า “ถ้าประกอบวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุก่อเพื่อให้วัสดุก่อรับแรง โดยวัสดุก่อทำหน้าที่รับแรงอัด (ตามสภาพการใช้งานจริง อันเกิดจากน้ำหนักคงที่ (Dead Load) เพียงอย่างเดียว) วัสดุฉนวนจะเกิดการแตกหักเสียหายตามวัสดุก่อในทันที” โดยงานวิจัยนี้ได้เลือก อิฐมอญเป็นวัสดุทดสอบและมีการฉาบปูนในลักษณะที่เหมือนกับสภาพการใช้งานจริงทุกประการ และนำวัสดุฉนวนประกอบเข้ากับวัสดุก่อด้วยวัสดุประสาน (ดู หัวข้อ 3.4) สำหรับการทดสอบจำนวน 4 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่ออิฐฉาบปูนที่ไม่มีการประกอบวัสดุฉนวนจำนวน 4 ชั้น เช่นกัน

ผลการทดสอบแรงอัดวัสดุประกอบประเภทวัสดุก่อพบว่าวัสดุก่อมีการรับแรงเป็นไปตามสมมุติฐานดังนี้

1. วัสดุเชิงประกอบทั้งระบบสามารถรับแรงอัดได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 132.74 Ksc ส่วนวัสดุก่อสามารถรับแรงอัดได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 158.22 Ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุฉนวนจะเกิดการแตกหักเสียหายตามวัสดุก่อในทันที เนื่องจากวัสดุก่อเป็นวัสดุเปราะ มีการเสีรูปค่อนข้างน้อย ดังนั้นเมื่อมีแรงกดมากจะทำให้เกิดการเสีรูปและแตกหักใกล้เคียงกัน ส่งผลให้วัสดุฉนวนแตกหักตามในทันทีทันใด

3. ลักษณะทางกายภาพของการแตกหัก จะเริ่มเกิดรอยแตกร้าวบริเวณพื้นผิวส่วนมุมของวัสดุ โดยมีแนวทแยง 45 องศา จากนั้นปูนฉาบจะเกิดการหลุดร่อนออกมาและเกิดการแตกหักของอิฐภายใน ซึ่งวัสดุฉนวนจะหลุดออกจากพื้นผิวซึ่งเป็นปูนฉาบและถือเป็นจุดวิกฤติของวัสดุทั้งระบบ



รูปที่ 5.33 แสดงการลักษณะทางกายภาพของการแตกหักของวัสดุประกอบประเภทวัสดุก่อจากการรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

## แนวทางการใช้งานวัสดุ

### 6.1 การทำงานในสภาพการก่อสร้างจริง

วัสดุประหยัคพลังงานเชิงประกอบ ประกอบด้วยชั้นวัสดุจำนวน 2 ชั้นที่ทำหน้าที่แยกจากกัน  
ได้แก่

- ชั้นฉนวน ชั้นฉนวนประกอบด้วยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์และฉนวนโพลีสไตรีน  
ประกอบติดกันด้วยกาว ได้รับการออกแบบให้อยู่ในรูปแบบแผ่นแข็งที่สามารถ  
นำไปติดตั้งกับ โครงสร้างต่างๆ ได้อย่างเป็นอิสระ
- ชั้นโครงสร้าง ชั้น โครงสร้างทำหน้าที่รับน้ำหนักโดยได้รับการออกแบบให้อยู่ใน  
รูปแบบ โครงสร้างถัก(truss)จาก ไม้และเหล็ก

การทำงานเพื่อการติดตั้งระบบผนังสามารถกระทำได้ 2 รูปแบบ คือ

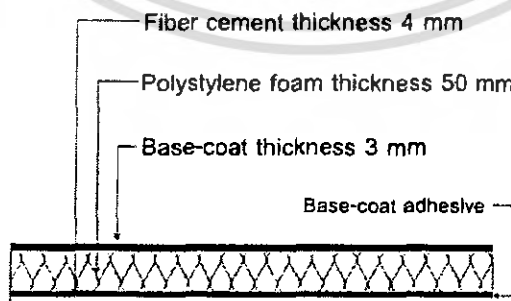
- การทำงานในระบบเปียก
- การทำงานในระบบกึ่งสำเร็จรูป

#### 6.1.1 การทำงานในระบบเปียก (Wet Process)

การทำงานในระบบเปียกสามารถทำได้กับวัสดุผนังประหยัคพลังงานเชิงประกอบในรูปแบบ  
ฉาบผิวหน้าเป็นหลักเนื่องจากวัสดุประเภทที่มีแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิวหน้าจะมีความยุ่งยากในการ  
กำหนดตำแหน่งแผ่นให้อยู่กับที่ ในขณะที่วัสดุประสานยังไม่แห้งสนิท

#### ลักษณะของวัสดุ

วัสดุชั้นฉนวน วัสดุชั้นฉนวนประกอบด้วยรายละเอียดทางโครงสร้างดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 แสดงวัสดุชั้นฉนวนแบบปิดผิวด้วยเบส โคท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

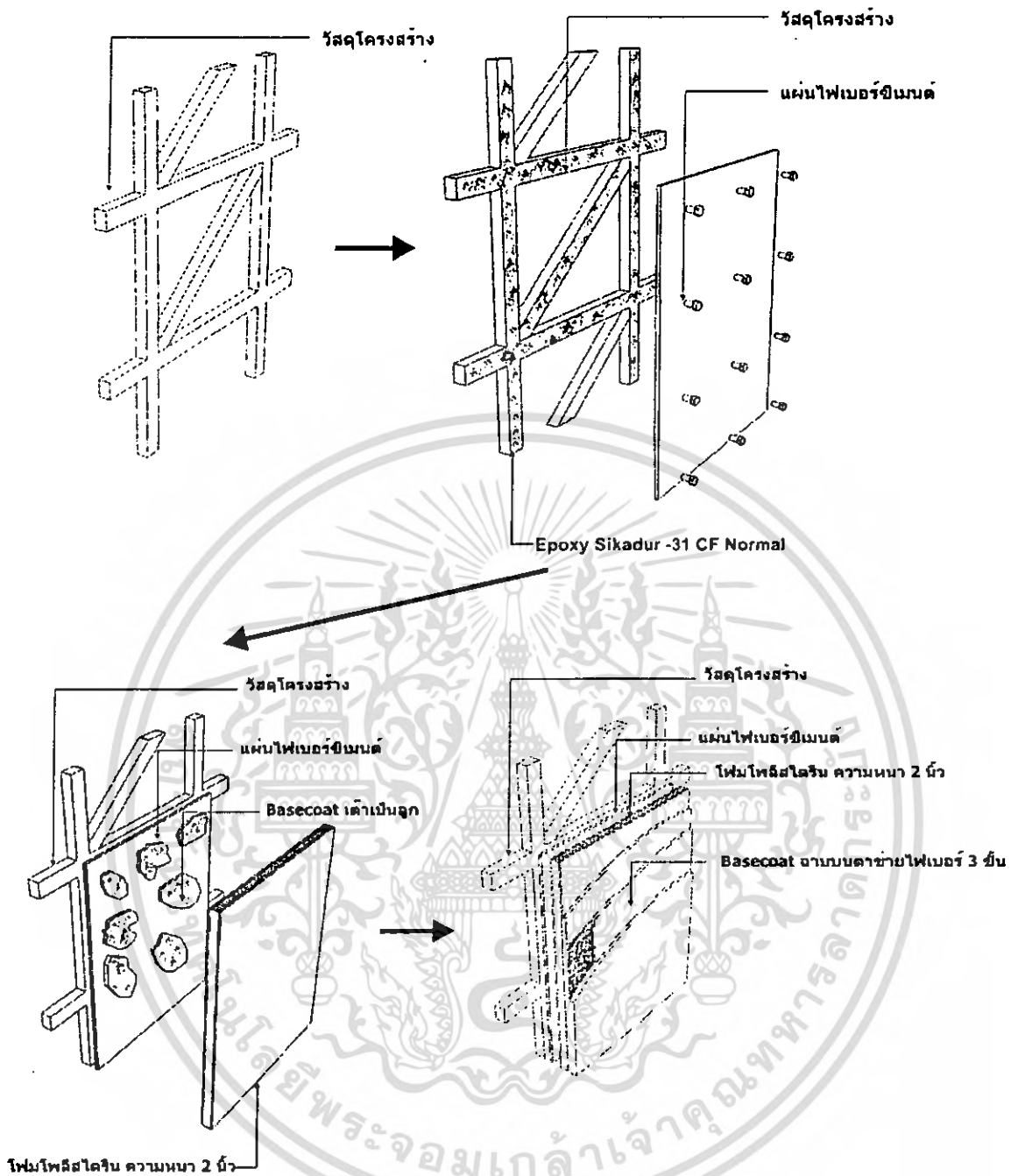
วัสดุชั้นโครงสร้าง วัสดุชั้นโครงสร้างสามารถทำการออกแบบตามลักษณะโครงถัก (truss) ได้ตามการคำนวณโดยการใช้ค่าแรงมาตรฐานจากการทดสอบในการวิจัยชิ้นนี้

### การจัดสร้างชั้นวัสดุ

การจัดสร้างวัสดุสามารถจัดทำจากแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาดมาตรฐาน (1.20 x 2.40 m) โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. ทำการผสมกาวอีพ็อกซี่ Sikadur -31CF normal ตามอัตราส่วนที่กำหนด และทาเข้ากับส่วนโครงสร้าง
2. ทำการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชั้นแรกเข้ากับโครงสร้างและยิงด้วยสกรูเพื่อยึดตำแหน่ง
3. ผสมเบสโคทเข้ากับปูนซีเมนต์ชนิดโครงสร้างในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1 ต่อ 1 และทำการฉาบปูนกาวที่ได้เข้ากับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยการเดินเป็นลูกๆ บนแผ่นโฟมโพลีสไตรีน
4. ทำการฉีกแผ่นโฟมโพลีสไตรีนลงไปโดยการกดและคลึงให้ลูกปูนภายในแผ่นออก
5. รอวัสดุแห้งและยึดติดกันดี
6. ผสมเบสโคทเข้ากับปูนซีเมนต์ชนิดโครงสร้างในอัตราส่วนโดยปริมาตร 4 ต่อ 3 และทำการฉาบปูนกาวที่ได้เข้ากับแผ่นโฟมโพลีสไตรีนให้มีความหนา ประมาณ 1-2 มิลลิเมตรโดยการฉาบและกด
7. ติดตั้งตาข่ายไฟเบอร์มาตรฐานและทำการรีดแผ่นไฟเบอร์ให้เข้ากับชั้นเบสโคทที่ฉาบไว้
8. ทำการฉาบเบสโคทที่ผิวอีก 3 ชั้น โดยการฉาบและปล่อยให้แห้งจากนั้นจึงขัดผิวด้วยกระดาษทรายหยาบเบาๆ ในแต่ละชั้น
9. ผสมเบสโคทเข้ากับปูนซีเมนต์ชนิดโครงสร้างในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1 ต่อ 1 และทำการฉาบปูนกาวที่ได้เข้ากับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยการเดินเป็นลูกๆ บนแผ่นโฟมโพลีสไตรีน
10. ทำการฉีกแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลงไปโดยการกดและคลึงให้ลูกปูนภายในแผ่นออก จากนั้นจึงกดทับชั้นวัสดุด้วยแบบโครงไม้เพื่อป้องกันแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บิดงอในขณะที่ปูนกาวกำลังแห้งตัว
11. เมื่อวัสดุแห้งสนิทจึงถอดแบบโครงไม้ออก และนำแผ่นฉนวนไปติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในระบบเปียก

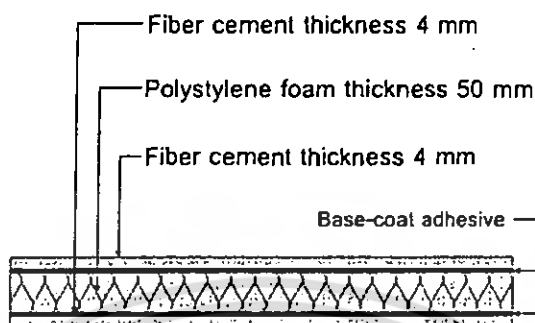
### 6.1.2 การทำงานในรูปแบบกึ่งสำเร็จรูป

การทำงานในระบบกึ่งสำเร็จรูปสามารถทำได้กับวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในรูปแบบปิดผิวหน้าด้วยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นหลักเนื่องจากวัสดุประเภทที่ฉาบปิดผิวหน้าจะมีความยุ่งยากในการติดตั้งเข้ากับโครงสร้างเนื่องจากต้องยิงสกรูผ่านชั้นโพนเข้าไปจนถึงแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่อยู่ด้านหลัง อันอาจทำให้ชั้นฉนวนมีการเสียหายมากได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะของวัสดุ

วัสดุชั้นฉนวน วัสดุชั้นฉนวนประกอบด้วยรายละเอียดทางโครงสร้างดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.3 แสดงวัสดุชั้นฉนวนแบบปิดผิวด้วยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

วัสดุชั้นโครงสร้าง วัสดุชั้นโครงสร้างสามารถทำการออกแบบตามลักษณะโครงถัก (Truss) ได้ตามการคำนวณ โดยการใช้ค่าแรงมาตรฐานจากการทดสอบในการวิจัยชิ้นนี้

### การจัดสร้างชั้นวัสดุฉนวน

การจัดสร้างวัสดุสามารถจัดทำจากแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาดมาตรฐาน (1.20 x 2.40 m) ดังนี้

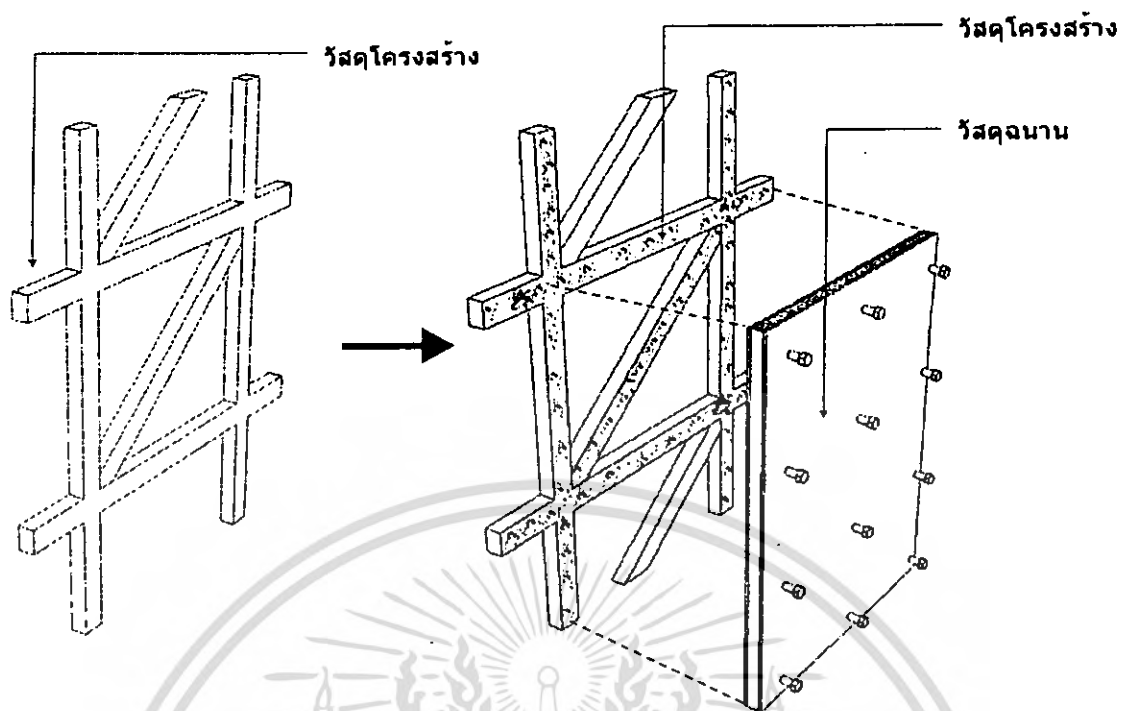
1. ผสมเบสโคทเข้ากับปูนซีเมนต์ชนิดโครงสร้างในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1 ต่อ 1 และทำการฉาบปูนกาวที่ได้เข้ากับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยการเติบเป็นลูกๆ บนแผ่นโฟมโพลีสไตรีน
2. ทำการฉีกแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลงไปโดยการกดและคลึงให้ลูกปูนภายในแผ่นออก จากนั้นจึงกดทับชั้นวัสดุด้วยแบบโครงไม้เพื่อป้องกันแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บิดงอในขณะที่ปูนกาวกำลังแห้งตัว
3. เมื่อวัสดุแห้งสนิทจึงถอดแบบโครงไม้ออก และนำแผ่นฉนวนไปติดตั้ง

### การติดตั้งวัสดุเข้ากับโครงสร้าง

การติดตั้งวัสดุประหยัคพลังงานเชิงประกอบภายหลังจากการจัดสร้างชั้นวัสดุฉนวน และชั้นวัสดุโครงสร้างแล้วการติดตั้งสามารถกระทำได้ดังนี้

1. ทำการผสมกาวอีพ็อกซี่ Sikadur -31CF normal ตามอัตราส่วนที่กำหนด และทาเข้ากับส่วนโครงสร้าง
2. ทำการติดตั้งแผ่นฉนวนเข้าตามระยะที่ต้องการและยึดด้วยโบลทเพื่อรอให้กาวแห้งตัวในตำแหน่งที่ถูกต้อง
3. ทำการขานแนวปิดรอยต่อด้วยวัสดุขานแนวตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในระบบกึ่งสำเร็จรูป

## 6.2 การพัฒนาในระบบอุตสาหกรรม

### 6.2.1 แนวทางการพัฒนาชิ้นส่วนเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรม

วัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบได้ทำการพัฒนาขึ้นภายใต้แนวคิดการให้ประโยชน์ในการใช้งานสูงสุดจึงสามารถแยกส่วนของระบบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

- ส่วนฉนวน
- ส่วน โครงสร้าง

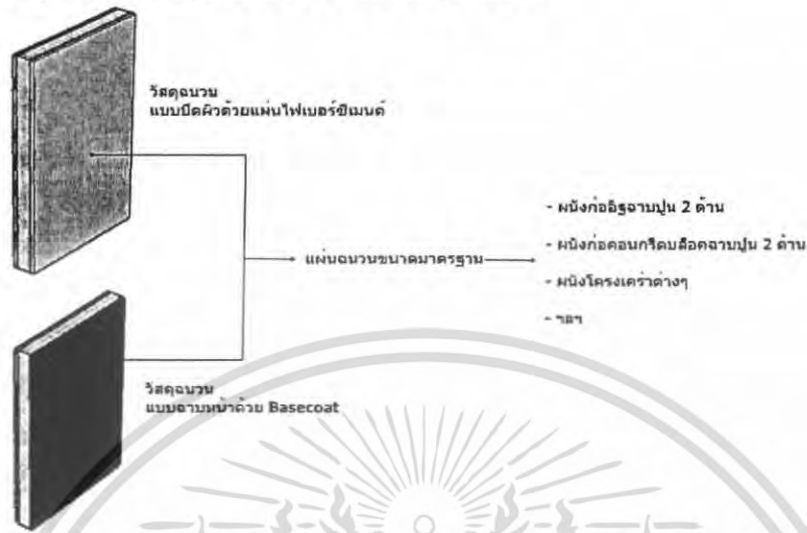
ระบบทั้งสองส่วนเมื่อทำงานร่วมกันเต็มระบบจะสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างผนังรับน้ำหนักได้ และเมื่อแยกส่วนวัสดุฉนวนออกจากวัสดุ โครงสร้างจะสามารถนำวัสดุฉนวน ไปติดตั้งกับ โครงสร้างอื่นๆ เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนได้เช่นเดียวกัน

ในการผลิตเพื่อเป็นระบบอุตสาหกรรมจึงสามารถแยกการผลิตออกเป็น 2 วิธีการย่อยๆด้วยกัน ดังต่อไปนี้

- 1) การผลิตแต่ส่วนวัสดุฉนวน เนื่องจากวัสดุฉนวนประหยัดพลังงานสามารถทำการแยกผลิตได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่สุดคือส่วนที่เป็นวัสดุฉนวน การผลิตในประเภทนี้จึงสมควรที่จะเน้นการผลิตวัสดุในส่วนของฉนวนออกเป็น

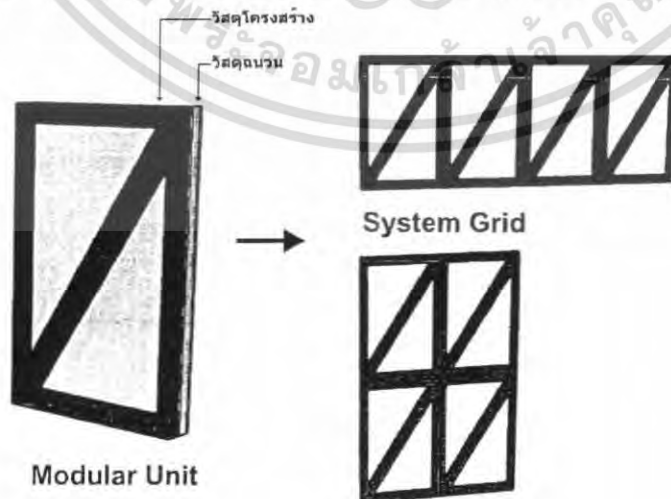
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นที่มีขนาดมาตรฐานที่มีความหลากหลายเพื่อนำไปใช้งานติดตั้งเข้ากับโครงสร้างต่างๆ รวมถึงระบบโครงสร้างของตนเองได้ต่อไป



รูปที่ 6.5 แสดงการผลิตในระบบอุตสาหกรรมสำหรับส่วนวัสดุฉนวน

- 2) การผลิตเป็นระบบพิกัดประสานเต็มระบบ การผลิตในรูปแบบเต็มระบบจำเป็นต้องคำนึงถึงการประกอบส่วนของโครงสร้างเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดั้งเดิม การออกแบบชิ้นส่วนของระบบจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบพิกัดประสานของชิ้นส่วนต่างๆ อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการผลิตเพื่อเป็นชิ้นส่วนสำเร็จจำเป็นต้องแยกส่วนที่เป็นวัสดุฉนวน และวัสดุโครงสร้างออกจากกัน เนื่องจากวัสดุฉนวนจำเป็นต้องใช้การประสานในการเชื่อมวัสดุแผ่นเข้ากับวัสดุฉนวน ในขณะที่การเชื่อมต่อโครงสร้างเหล็กและไม้จำเป็นต้องใช้การเชื่อมต่อในรูปแบบการเชื่อมและการยิงตะปูซึ่งอาจก่อความเสียหายให้แก่วัสดุได้ การผลิตจึงจำเป็นต้องแยกส่วนการผลิตทั้งสองออกจากกัน



รูปที่ 6.6 แสดงการผลิตในระบบอุตสาหกรรมสำหรับส่วนวัสดุทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2.2 ข้อเสนอแนะในการผลิตเพื่อระบบอุตสาหกรรม

ในการผลิตเพื่อเป็นระบบอุตสาหกรรมนับว่าเป็นการทำให้วัสดุอยู่ในสภาพสำเร็จรูปที่พร้อมต่อการนำไปประกอบใช้ ดังนั้นในการผลิตส่วนสำคัญที่ไม่สามารถขาดได้ คือ รายละเอียดการต่อและติดตั้งต่างๆ ซึ่งมีส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- **ขนาดของระบบที่เหมาะสม** ขนาดของชิ้นส่วนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และติดตั้ง เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก โดยทั่วไปขนาดของวัสดุแผ่นเรียบเท่ากับ 1.20 x 1.20 ม. ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐาน โดยทั่วไป ขนาดดังกล่าวมีขนาดที่ใหญ่พอสมควรแก่การทำงาน โดยทั่วไป การใช้ขนาดดังกล่าวเป็นขนาดมาตรฐานในการทำงานและการออกแบบ โครงสร้างของระบบจึงดูเหมาะสมและเป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตในระบบ อุตสาหกรรมที่ดี
- **รายละเอียดในการประกอบที่เหมาะสม** การประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าเป็นตัวอาคารซึ่งมี เหลี่ยมมุมต่างๆ จำเป็นต้องทำการออกแบบรายละเอียดการติดตั้งที่เหมาะสม เช่น ชิ้นส่วน เสริมมุมเพื่อรับแรงกระแทกในบริเวณมุม หรือรายละเอียดในการขานวระหว่างแผ่นเพื่อ ป้องกันน้ำอย่างเหมาะสม รายละเอียดที่ควรจัดทำเพิ่มเติมสำหรับการผลิตในระบบ อุตสาหกรรมสามารถระบุได้ ดังนี้
  - รายละเอียดการเชื่อมต่อระหว่างแผ่น
  - รายละเอียดการป้องกันน้ำ
  - รายละเอียดในการประกอบ
- **สารเคมีประสานที่เหมาะสม** สารเคมีประสานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ตามความเหมาะสม เนื่องจากค่าการรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นเกิดกับ โครงสร้าง และวัสดุ ประสานที่ใช้ในการติดตั้งวัสดุฉนวนเข้ากับวัสดุโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากวัสดุ ประสานที่ใช้ในโครงการวิจัยปัจจุบันยังเป็นสารเคมีตามท้องตลาดที่มีราคาแพง ทำให้ ราคาของผนังมีราคาสูง ถ้าเป็นการผลิตในระบบอุตสาหกรรมและทำการค้นคว้ารูปแบบ กาวที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดราคาของผนังลงได้จนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งาน ทั่วไปได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 การพิจารณาราคาของระบบผนัง

#### 6.3.1 ราคาของระบบผนังตามการวิจัยในปัจจุบัน

ราคาของระบบผนังที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยราคาของวัสดุในส่วนต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงราคาต่อ ตารางเมตร ของวัสดุต่างๆที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุฉนวนแบบใช้วัสดุแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิว 2 ด้าน

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
2	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
	รวม	692.4

วัสดุฉนวนแบบใช้วัสดุแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิว 1 ด้าน ฉาบปิดผิวด้วยระบบ EIFS 1 ด้าน

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland ฉาบ 3 ชั้น	$153.5 \times 3 = 460.5$
2	คาน้ำไฟเบอร์	55
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
	รวม	993.64

วัสดุโครงสร้างไม้

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	โครงไม้ขนาด $1 \frac{1}{2} \times 3$ นิ้ว # 0.60 x 0.6	548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วัสดุโครงสร้างเหล็ก**

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	เครื่อเหล็กกล่องขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	400

**วัสดุส่วนกันไฟ**

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380

เมื่อนำมาคำนวณราคาโดยรวมของระบบแต่ละประเภทจะพบว่ามามีราคาตามระบบ ดังนี้

**1. วัสดุฉนวนบนโครงสร้างไม้ปิดผิวด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์**

วัสดุ		ราคา ต่อ ตาราง เมตร
1	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด หนา 4 มม.	60.76
2	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
6	เครื่อไม้ขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	548
7	ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380
รวม		1620.4

**2. วัสดุฉนวนบนโครงสร้างไม้ปิดผิวด้วยการฉาบ**

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland ฉาบ 3 ชั้น	460.5
2	ตาข่ายไฟเบอร์	55
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
6	คร่ำไม้ขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	548
7	ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380
รวม		1921.64

3. วัสดุฉนวนบนโครงสร้างเหล็กปิดผิวด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์

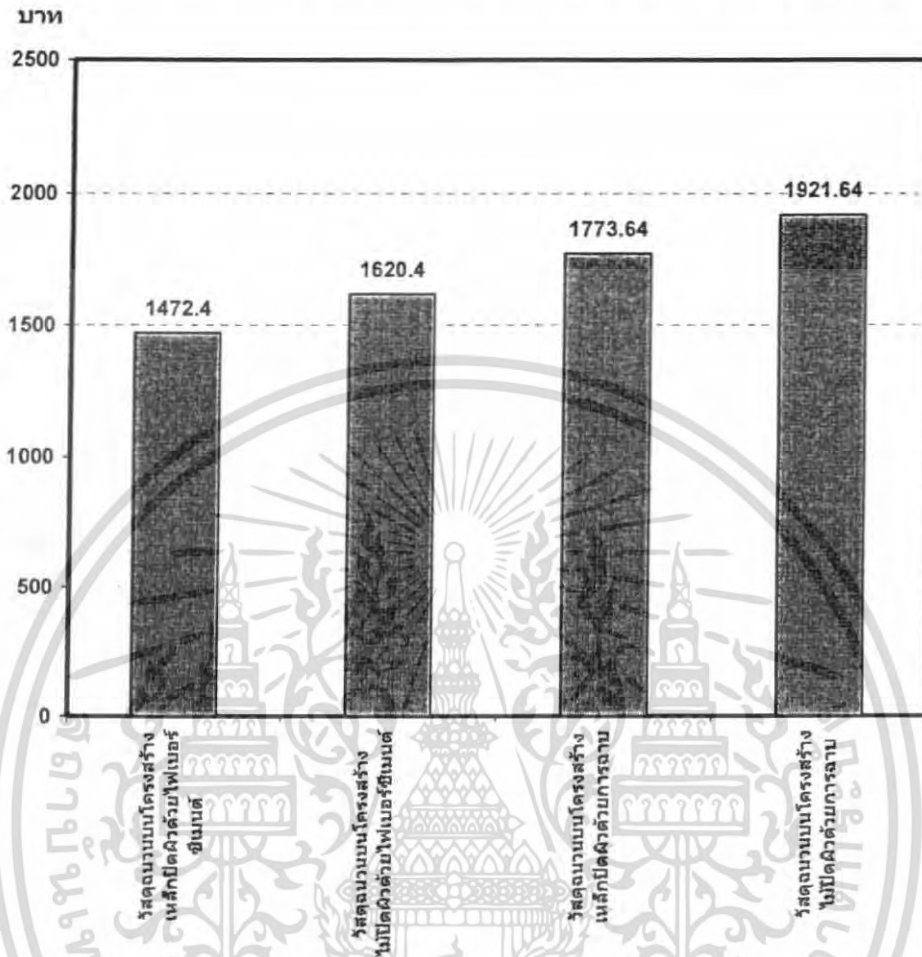
วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
2	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
6	คร่ำเหล็กกล่องขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	400
7	ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380
รวม		1472.4

4. วัสดุฉนวนบนโครงสร้างเหล็กปิดผิวด้วยการฉาบ

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland ฉาบ 3 ชั้น	460.5
2	คาน้ำไฟเบอร์	55
3	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.88
4	Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5
5	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.76
6	คร่ำเหล็กกล่องขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	400
7	ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380
รวม		1773.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบราคาของระบบทั้ง 4 พบว่าเป็นไปตามแผนภูมิ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.7 แสดงราคาเปรียบเทียบวัสดุหนึ่งประหยัดพลังงานประเภทเชิงประกอบทั้ง 4 ชนิด ร่วมกับราคาโครงสร้างในแต่ละส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

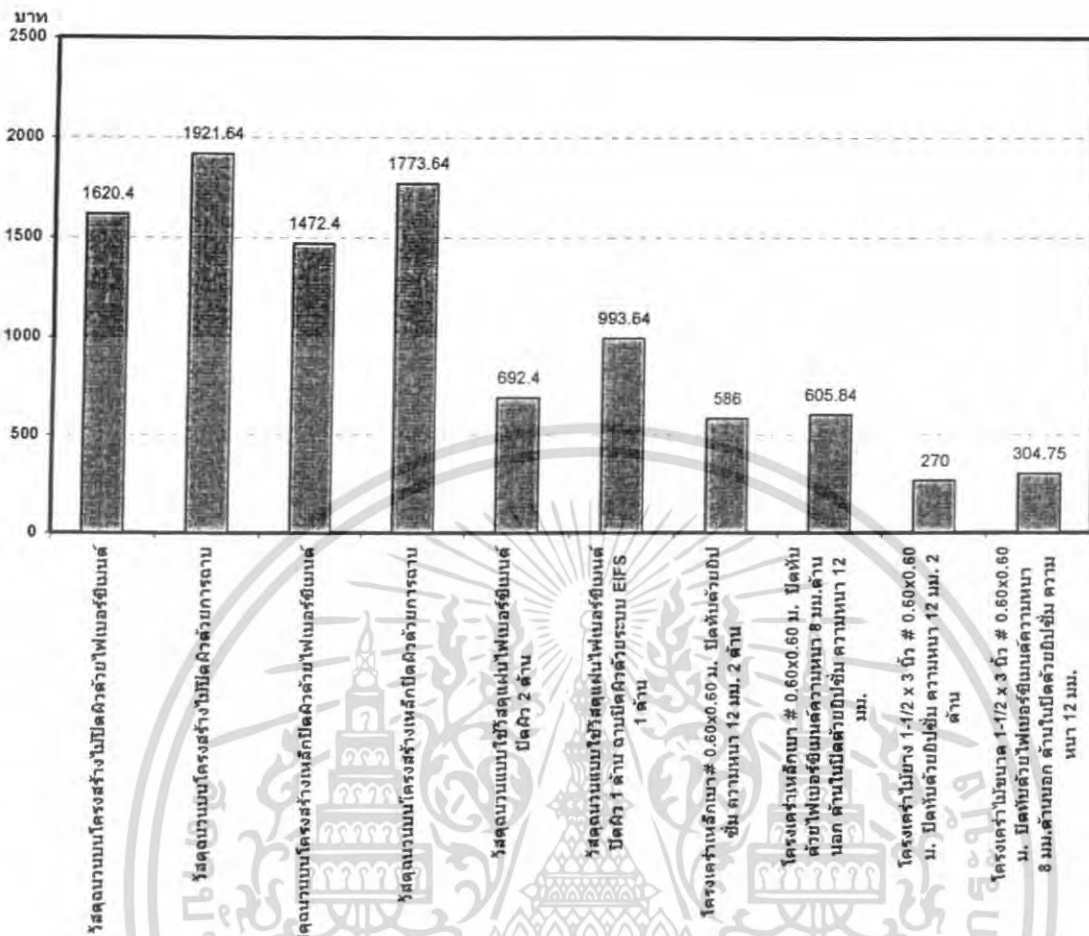
### 6.3.2 ราคาของระบบผนังเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผนังโครงเคร่าอื่นๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับราคาของโครงสร้างอื่นๆที่ใช้กันทั่วไปพบว่ามีความแตกต่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับราคาของโครงสร้างอื่นๆที่ใช้กันทั่วไป

วัสดุ		ราคา ต่อ ตารางเมตร
1	วัสดุฉนวนบน โครงสร้างไม้ปิดผิวด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์	1620.4
2	วัสดุฉนวนบน โครงสร้างไม้ปิดผิวด้วยการฉาบ	1921.64
3	วัสดุฉนวนบน โครงสร้างเหล็กปิดผิวด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์	1472.4
4	วัสดุฉนวนบน โครงสร้างเหล็กปิดผิวด้วยการฉาบ	1773.64
5	วัสดุฉนวนแบบ ใช้วัสดุแผ่น ไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิว 2 ด้าน	692.4
6	วัสดุฉนวนแบบ ใช้วัสดุแผ่น ไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิว 1 ด้าน ฉาบปิดผิว ด้วยระบบ EIFS 1 ด้าน	993.64
7	โครงเคร่าเหล็กเบา# 0.60x0.60 ม. ปิดทับด้วยยิปซัม ความหนา 12.5 มม. 2 ด้าน	586
8	โครงเคร่าเหล็กเบา # 0.60x0.60 ม. ปิดทับด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ความหนา 8 มม.ด้านนอก ด้านในปิดด้วยยิปซัม ความหนา 12.5 มม.	605.84
9	โครงเคร่าไม้ 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60x0.60 ม. ปิดทับด้วยยิปซัม ความหนา 12.5 มม. 2 ด้าน	270
10	โครงเคร่าไม้ขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว # 0.60x0.60 ม. ปิดทับด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ความหนา 8 มม.ด้านนอก ด้านในปิดด้วยยิปซัม ความหนา 12.5 มม.	304.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับราคาของโครงสร้างอื่นๆที่ใช้กันทั่วไป

ผลการเปรียบเทียบพบว่าราคาของระบบผนังที่สร้างขึ้นทั้ง 4 รูปแบบมีค่าเฉลี่ยในการก่อสร้าง (ไม่รวมค่าแรง) อยู่ที่ 1697 บาท/ตร.ม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบโครงค้ำปกติที่ไม่มีฉนวนอยู่ภายใน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในการก่อสร้าง (ไม่รวมค่าแรง) อยู่ที่ 441 บาท/ตร.ม. พบว่าค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 2.8 เท่า

### 6.3.3 แนวทางการลดต้นทุนของระบบผนัง

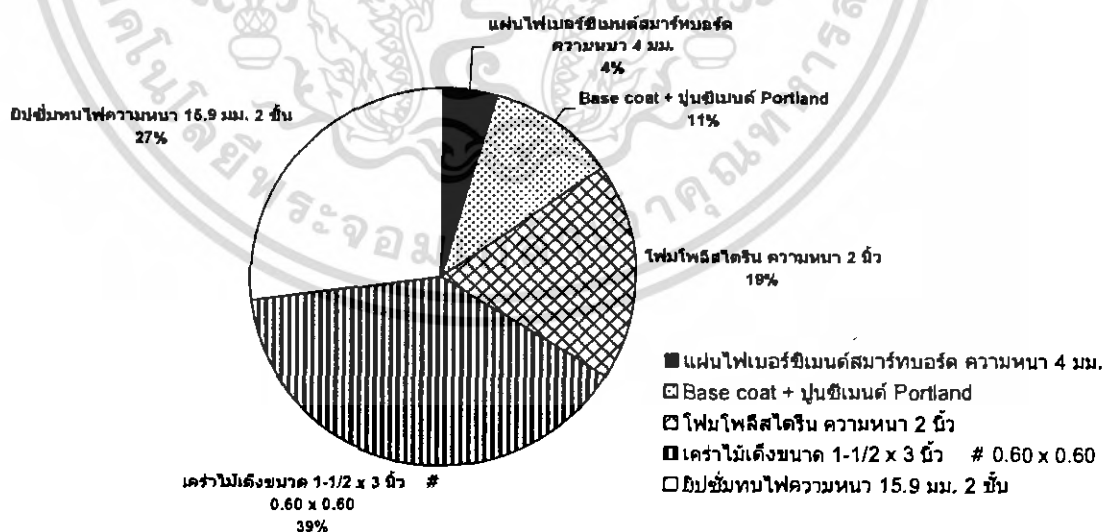
เมื่อพิจารณาระบบของวัสดุผนังประเภทพลังงานประเภทเชิงประกอบ พบว่าสามารถแยกสัดส่วนของราคาวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นระบบขึ้นมาได้ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงาน ประเภทเชิงประกอบ

วัสดุโครงสร้างไม้	ราคา	%
แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.8	4.3
Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5	10.9
โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.9	18.8
โครงไม้ตั้งขนาด 1-1/2 x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	548.0	39.0
ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380.0	27.0
	1406.14	100

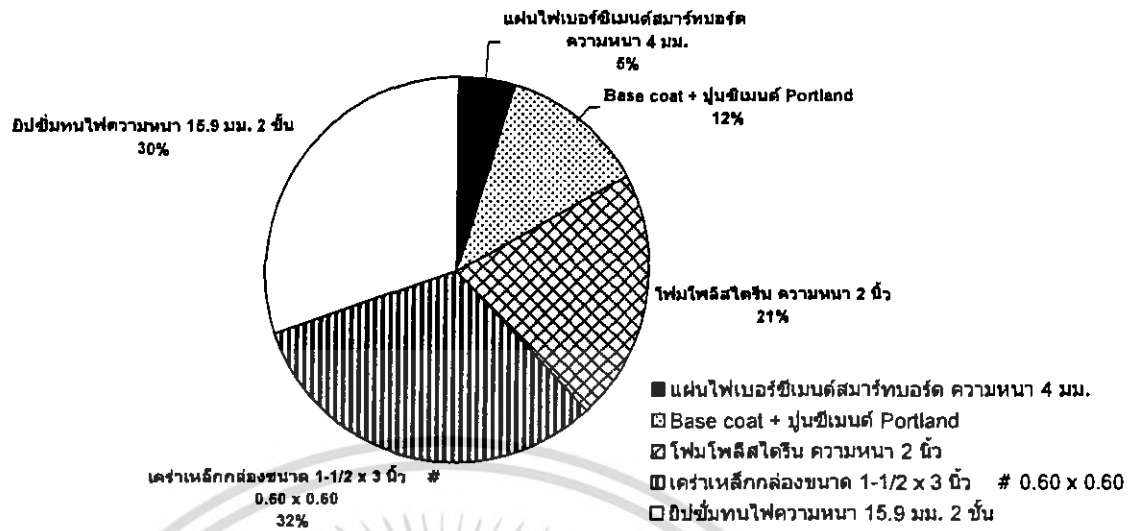
วัสดุโครงสร้างเหล็ก	ราคา	%
แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สมาร์ทบอร์ด ความหนา 4 มม.	60.8	4.8
Base coat + ปูนซีเมนต์ Portland	153.5	12.2
โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 2 นิ้ว	263.9	21.0
โครงเหล็กกล่องขนาด 1-1/2 x 3 นิ้ว # 0.60 x 0.60	400.0	31.8
ยิปซัมทนไฟความหนา 15.9 มม. 2 ชั้น	380.0	30.2
	1258.14	100



**วัสดุบนโครงสร้างไม้**

รูปที่ 6.9 แสดงราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงาน ประเภทเชิงประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### วัสดุบนโครงสร้างเหล็ก

รูปที่ 6.9 แสดงราคาและสัดส่วนของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นวัสดุผนังประหยัดพลังงาน ประเภทเชิงประกอบ (ต่อ)

เมื่อสังเกตจากแผนภูมิสัดส่วนราคาวัสดุของผนังพบว่าวัสดุที่มีราคาสูงสุดได้แก่ โครงเคร่าและ วัสดุทนไฟ ซึ่งในการปรับลดค่าก่อสร้างต้องทำการปรับลดค่าวัสดุใน 2 ส่วนนี้ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7

## สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

### 7.1 สรุปผลโครงการ

จากการดำเนินการตามโครงการสามารถสรุปผลของโครงการตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้ ดังนี้

1. จากการทดสอบค่าแรงทางกลศาสตร์ของการรับแรงอัดและแรงดึง จะนำค่าแรงและระยะยืดตัวมาวิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่หน้าตัดและความยาวเดิมของวัสดุ โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ของความเค้น - ความเครียด ในการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ , ค่าแรงทางกลศาสตร์ของการรับแรงกด จะนำผลของค่าแรงและระยะโก่งของวัสดุ มาวิเคราะห์ด้วยกราฟ ค่าแรง – ระยะโก่ง , ค่าแรงทางกลศาสตร์ของการรับแรงเฉือน จะนำผลของค่า Ultimate Stress มาวิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่หน้าตัดโดยไม่มีกราฟ จะได้ค่าต่างๆดังตาราง

ตารางที่ 7.1 แสดงผลสรุปการทดสอบของวัสดุ โครงสร้างประเภทเหล็กรูปพรรณ

การทดสอบ	ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (ksc)	Strength at Proportional limit (ksc)	Yield Stress (ksc)	Allowable Stress (ksc)
แรงอัด	SF-C	3,233	2,581	2,600	1460
	SE-C	3,380	2,837	2,900	
แรงดึง	SF-T	4,111	2,125	2,220	1351
	SE-T	4,075	2,023	2,285	
แรงค้ำ	SF-B	4,794	4,192	-	1500
	SE-B	4,861	4,340	-	
แรงเฉือน	SF-S	1,189	-	-	1000
	SE-S	1,158	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 แสดงผลสรุปการทดสอบของวัสดุโครงเคร่าประเภทไม้เต็ง

การทดสอบ	ประเภทวัสดุ	Ultimate Stress (ksc)	Strength at Proportional limit (ksc)	Yield Stress (ksc)	Allowable Stress (ksc)
แรงอัด	WF-C	606	397	400	107
	WE-C	626	381	400	
แรงดึง	WF-T	619	350	380	93
	WE-T	592	292	350	
แรงค้ำ	WF-B	1,250	1,097	-	207
	WE-B	1,444	1,304	-	
แรงเฉือน	WF-S	180	-	-	15
	WE-S	220	-	-	

ค่าการทดสอบการรับแรงทางกลศาสตร์จากตารางดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของการรับแรงพบว่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ประกอบกับการรวบรวมข้อมูลทางด้านพลังงานของฉนวนของวัสดุเชิงประกอบที่ทำการทดสอบมีค่าความต้านทานความร้อนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ดังนั้น จากการศึกษาวัสดุผนังแบบเชิงประกอบ (Composite material) พบว่าวัสดุดังกล่าวมีความเหมาะสมทางด้านกลศาสตร์เพื่อนำไปใช้งานในส่วนต่างของอาคารที่มีการปรับอากาศ

2. การพิจารณาวัสดุผนังประหยัดพลังงานเชิงประกอบในประเทศไทยได้พิจารณาการรับแรงของวัสดุ 5 รูปแบบ เพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ โดยนำเอาวัสดุฉนวนซึ่งมีความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนสูงแต่ความสามารถในการรับแรงต่ำและวัสดุโครงเคร่าที่มีความสามารถในการรับน้ำหนัก แรงกด แรงกระแทกได้ แต่มีค่าการนำความร้อนสูง จากลักษณะข้างต้นจึงหาทางออกที่ดีที่สุดในการนำเอาวัสดุโครงเคร่าและฉนวนรวมเป็นวัสดุเชิงประกอบ (Composite) เพื่อสร้างวัสดุผนังที่มีความแข็งแรงและค่าความเป็นฉนวนสูง

วัสดุที่นำมาใช้เป็นฉนวนนั้นเป็นวัสดุฉนวนที่คงรูปเนื่องจากฉนวนประเภทนี้มีรูปร่างที่แน่นอนไม่เกิดการยุบตัวและช่องว่างอากาศภายใน มีค่าความแข็งแรงต่ำ แต่มีค่าความเป็นฉนวนสูง เช่น วัสดุใยแร่ต่างๆ วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีนแบบบีบอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่คงรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าโพลีสไตรีน โฟมเป็นวัสดุฉนวนที่มีค่าราคาต่ำที่สุดและค่าการนำความร้อนก็ต่ำด้วย จึงเลือกใช้โฟมประเภทนี้มาทำหน้าที่เป็นวัสดุ ฉนวน เพราะจะทำให้วัสดุผนังเชิงประกอบมีพร้อมทั้ง ศักยภาพทางด้านการใช้งาน ประหยัดพลังงาน และราคาประหยัดอีกด้วย

3. ในการทำการทดสอบเนื่องจากวัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่เป็นวัสดุใหม่ ยังมีการทดสอบน้อย มาก ดังนั้น ขั้นตอนในการทดสอบจึงต้องมีแนวคิดทางด้านกลศาสตร์ของวัสดุประกอบกับมาตรฐาน ทางการทดสอบที่ใกล้เคียงเพื่อนำมาประยุกต์ออกแบบการทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าแรงทางกลศาสตร์ของ วัสดุมีค่าที่ยอมรับได้ และนำไปใช้ได้จริง เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบในรูปแบบ ใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบวัสดุเชิงประกอบในโครงการนี้ทดสอบแรงในชิ้นส่วนของวัสดุเพื่อนำค่าหน่วย แรงไปใช้ในการออกแบบแต่ ไม่ได้ทำการทดสอบข้อต่อที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในรูปแบบผนัง รับแรง ดังนั้น หากมีการทดสอบเรื่องข้อต่อด้วยการทดสอบจะมีความสมบูรณ์มากขึ้น

2. การทดสอบวัสดุเชิงประกอบในโครงการนี้ทดสอบแรงในชิ้นส่วนเพื่อนำค่าหน่วยแรงไปใช้ ในการออกแบบแต่ ไม่ได้มีการทดสอบว่าเมื่อชิ้นส่วนทั้งหมดประกอบขึ้นเป็นผนังที่มีขนาดเท่ากับใน การใช้งานจริงจะมีปัจจัยอื่นในการวิบัติจึงวัสดุเชิงประกอบหรือไม่

3. ค่าใช้จ่ายของการทำวัสดุเชิงประกอบตาม โครงการมีราคาค่อนข้างสูงจะมีแนวทางศึกษาการ ลดต้นทุนของวัสดุเชิงประกอบได้อย่างไร โดยที่ค่าการรับกำลังของวัสดุเชิงประกอบยังอยู่ในเกณฑ์ที่ ยอมรับได้

## บรรณานุกรม

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, มปป.

ตระการ ก้าวกสิกรรม, คู่มือจนวนความร้อน. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น, 2537.

วินิต ช่อวิเชียร และคณะ, การออกแบบโครงสร้างเหล็ก (Structural Steel Design). กรุงเทพฯ , 2550.

วินิต ช่อวิเชียร และคณะ, การออกแบบโครงสร้างไม้ (Structural Timber Design). กรุงเทพฯ , 2545.

วินิต ช่อวิเชียร และคณะ, กำลังวัสดุ/กลศาสตร์ (Strength of Materials / Mechanics of Materials). กรุงเทพฯ , 2548.

สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบ บ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

อำนาจ พาณิชกุลพงศ์, ปฏิบัติการทดสอบวัสดุ ไม้และเหล็ก. กรุงเทพฯ: หจก. วีเจพรินติ้ง , 2542.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1997 ASHARE Handbook of Fundamentals. I-P Edition. (n.p.), 1989.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1997 ASHARE Handbook of Fundamentals. I-P Edition. (n.p.), 1997.

Stein, Benjamin, and Reynolds, John, S. Mechanical and Electrical Equipment of Building. 8<sup>th</sup> ed. Newyork : John Wiley & Sons, 1992.



ภาคผนวก ก

แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ: คุณสมบัติของวัสดุทดสอบแรงอัด

Type of Specimen	Cross Sectional Area (mm <sup>2</sup> )				Area (cm <sup>2</sup> )	Weight of Specimen (gm)	Gauge Length (cm)	Load (kg)			Stress (kg/cm <sup>2</sup> )			Remark
	1	2	3	Average				Deform point	Yield Point	Ultimate Load	Deform point	Yield Point	Ultimate Load	
SF-C1	-	-	-	-	4.712	2101	40.05			16951.6				tested 3/02/08
SF-C2	-	-	-	-	4.712	2151	39.67			16095.5				tested 3/02/09
SF-C3	-	-	-	-	4.712	2056	39.85			15533.5				tested 3/02/10
SF-C4	-	-	-	-	4.712	2037	39.65			15517.6				tested 3/02/11
SE-C1	-	-	-	-	4.712	1991	39.65			12071.9				tested 3/02/13
SE-C2	-	-	-	-	4.712	1828	38.9			15820.2				tested 3/02/14
SE-C3	-	-	-	-	4.712	1929	39.45			16483				tested 3/02/15
SE-C4	-	-	-	-	4.712	1566	39.8			16976.8				tested 3/02/16
WF-C1	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	1434	35			15770				tested 3/02/18
WF-C2	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	1456	35			17605				tested 3/02/19
WF-C3	3.8x7.6	3.85x7.6	-	3.825x7.6	29.07	1428	35			17385.7				tested 3/02/20
WF-C4	3.9x7.6	3.9x7.6	-	3.9x7.6	29.64	1433	35			17501.3				tested 3/02/21
WE-C1	3.85x7.6	3.9x7.6	-	3.875x7.6	29.45	1325	35			15620.7				tested 3/02/23
WE-C2	3.8x7.6	3.9x7.6	-	3.85x7.6	29.26	1359	35			16996.6				tested 3/02/24
WE-C3	3.9x7.6	3.8x7.6	-	3.85x7.6	29.26	1273	35			18621.5				tested 3/02/25
WE-C4	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	1361	35			18619.7				tested 3/02/26

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงอัด

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SF-C1	SF-C2	SF-C3	SF-C4	
20		344	1065	280	tested date : 3/02/08
40		681	1154	531	
60		1050	15380	973	ผล SF-C1 วัตทะเล 100
80		1196	15360	1082	ไม่สามารถมองเห็นได้
100	926	15879	15247	14476	ชัดเจนนักคะ
120		14773	15067	15151	
140		14026	14139	14205	
160		13405	13545	13211	
180		12814	13021	12123	
200	14317	12301	12570	11526	
220		11920	12119	11000	
240		11571	11756	10457	
260				9917	
280				9636	
300	13487			9120	
320					
340					
360					
380					
400	12600				
420					
440					
460					
480					
500					
max	16951.6 kg.	16095.5 kg.	15533.5 kg.	15517.6 kg.	
fail	15367 kg.	-	11140 kg.	-	
remark	ไม่ยุบที่ปลายล่าง		ไม่ยุบที่ปลายบน	ไม่ยุบที่ปลายล่าง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผลร ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงอัด

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WF-C1	WF-C2	WF-C3	WF-C4	
50		1046	992	2716	tested date : 24/01/08
100	9072	9670	7945	3877	
150		14780	13885	7813	
200	11111	17382	17183	13143	
250		17289	16139	17000	
300	15290	16228	16246	16915	
350		14554	16388	10982	
400	12783	14215	16348		
450		14000	15910		
500	11366	13861	7076		
550					
600	11223				
650					
700	10398				
max	15770 kg.	17605 kg.	17385.7 kg.	17501.3 kg.	
fail	9867 kg.	16575 kg.	6605 kg.	10357 kg.	
		14480 kg.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงอัด

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WE-C1	WE-C2	WE-C3	WE-C4	
50	3371	3016	3806	3495	tested date : 24/01/08
100	7042	5306	8583	7077	
150	12459	10673	13365	12964	
200	15367	15490	16628	17492	
250	5218	16969	18616	18446	
300	4812	14826	15340	17912	
350	4698	11665	11332	9905	
400		11480	11492	9593	
450			11623	9170	
500			11786		
550			11899		
600					
max	15620.7 kg.	16996.6 kg.	18621.5 kg.	18619.7 kg.	
fail	6643 kg.	14826 kg.	12143 kg.	12365 kg.	
remark					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ: คุณสมบัติของวัสดุทดสอบแรงดึง

Type of Specimen	Cross Sectional Area (mm <sup>2</sup> )				Area (cm <sup>2</sup> )	Weight of Specimen (gm)	Gauge Length (cm)	Load (kg)			Stress (kg/cm <sup>2</sup> )			Remark
	1	2	3	Average				Deform point	Yield Point	Ultimate Load	Deform point	Yield Point	Ultimate Load	
SF-T1	-	-	-	-	4.712	-	80			19948				tested 3/02/08
SF-T2	-	-	-	-	4.712	-	80			19951				tested 3/02/09
SF-T3	-	-	-	-	4.712	-	80			20237				tested 3/02/10
SF-T4	-	-	-	-	4.712	-	80			19983				tested 3/02/11
SE-T1	-	-	-	-	4.712	-	79.85			19771				tested 3/02/13
SE-T2	-	-	-	-	4.712	-	80			19657				tested 3/02/14
SE-T3	-	-	-	-	4.712	-	80.05			20000				tested 3/02/15
SE-T4	-	-	-	-	4.712	-	-			-				tested 3/02/16
WF-T1	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	2682	79.8			23350.1				tested 3/02/18
WF-T2	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	2695	79.85			21496.5				tested 3/02/19
WF-T3	3.8x7.6	3.85x7.6	-	3.825x7.6	29.07	2677	79.9			17452				tested 3/02/20
WF-T4	3.9x7.6	3.9x7.6	-	3.9x7.6	29.64	2336	79.8			18330.3				tested 3/02/21
WE-T1	3.85x7.6	3.9x7.6	-	3.875x7.6	29.45	2581	79.85			20336.2				tested 3/02/23
WE-T2	3.8x7.6	3.9x7.6	-	3.85x7.6	29.26	2624	79.85			19252.3				tested 3/02/24
WE-T3	3.9x7.6	3.8x7.6	-	3.85x7.6	29.26	2140	79.8			17481.6				tested 3/02/25
WE-T4	3.8x7.6	3.8x7.6	-	3.8x7.6	28.88	2607	79.85			21799.1				tested 3/02/26

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SF-T1	SF-T2	SF-T3	SF-T4	
200	1112	1139	1027	1149	tested date : 29/01/08
400	2015	2022	1648	2146	
600	3678	3986	2964	4067	
800	4604	4851	4391	4970	
1000	4878	5346	4975	5433	
1200	5124	5766	5432	5861	
1400	5508	6000	5884	6043	
1600	5972	6105	6344	6226	
1800	6477	6548	6990	6776	
2000	7177	7199	7904	7416	
2200	8057	8316	8872	8453	
2400	8845	9363	9523	9529	
2600	9305	9984	9950	10256	
2800	9647	10430	10227	10607	
3000	9915	10753	10508	10622	
3200	10165	10770	10727	10634	
3400	10395	10768	10937	10654	
3600	10640	11119	11196	10687	
3800	10838	11343	11464	10842	
4000	11087	11527	11731	11562	
4200	11358	11820	12187	11708	
4400	11657	12042	12413	12046	
4600	11987	12215	12719	12162	
4800	12154	12413	13020	12464	
5000	12238	13070	13267	12717	
5200	12133	13652	13569	12947	
5400	11997	13900	13753	13203	
5600	11884	14132	13584	13482	
5800	11888	14442	13305	13853	
6000	12096	14832	13145	14352	
6200	12264	15038	13336	14762	
6400	12314	15154	13623	15045	
6600	12362	15257	13575	15308	
6800	12394	15398	13479	15611	
7000	12573	15776	13861	15962	
7200	13278	16419	14892	16333	
7400	13476	16658	15984	16701	
7600	14235	16661	16443	17025	
7800	14799	16822	16925	17347	
8000	15195	17086	17504	17627	
8200	15748	17441	18035	17868	
8400	16304	17867	18243	18071	
8600	16908	18155	18517	18220	
8800	17497	18374	18663	18403	
9000	17804	18497	18713	18578	
9200	18311	18583	18977	18685	
9400	18576	18666	19194	18726	
9600	18690	18822	19410	18906	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา ผก.7 ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SF-T1	SF-T2	SF-T3	SF-T4	
9800	18861	19022	19591	19067	
10000	19085	19230	19752	19308	
10200	19266	19373	19887	19465	
10400	19472	19521	19998	19594	
10600	19644	19644	20079	19703	
10800	19782	19744	20151	19812	
11000	19881	19846	20189	19905	
11200	19976	19932	20215	19983	
11400	20043	19978	20223	20065	
11600	20120	20019	20213	20111	
11800	20150	20031	20172	20144	
12000	20180	20072	20096	20194	
12200	20197	20092	19902	20218	
12400	20190	20068	19715	20228	
12600	20178	20041	19467	20212	
12800	20137	19986		20200	
13000	20067	19920		20183	
13200	20000	19743		20142	
13400	19836				
13600	19620				
13800	19372				
14000					
max	20210.2 kg.	20107.1 kg.	20237 kg.	20290.9 kg.	
fail	19948 kg.	19951 kg.	20047 kg.	19983 kg.	
remark	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SE-T1	SE-T2	SE-T3	SE-T4	
200	1027	1184	1108		tested date : 29/01/08
400	1735	1970	1985		
600	2958	4100	4303		
800	4313	5168	5504		
1000	4809	5664	6250		
1200	5297	6202	6872		
1400	5546	6735	7679		
1600	5782	7416	8661		
1800	5932	8521	9554		
2000	6227	9885	10196		
2200	6637	10783	10649		
2400	7162	11169	10958		
2600	7910	11236	11226		
2800	8755	11321	11501		
3000	9358	11360	11689		
3200	9795	11471	11925		
3400	10110	11676	12137		
3600	10386	11879	12358		
3800	10662	12155	12555		
4000	10848	12468	12759		
4200	11065	12861	12843		
4400	11238	13156	13118		
4600	11546	13321	13149		
4800	11711	13601	13419		
5000	11951	13466	13705		
5200	12138	13387	14356		
5400	12350	13284	14698		
5600	12509	13362	15101		
5800	12678	13570	16101		
6000	12915	13691	16997		
6200	13177	13858	17686		
6400	13493	13782	18130		
6600	13811	13873	18437		
6800	14049	14252	18639		
7000	14275	14676	18820		
7200	14557	14955	19084		
7400	14848	15139	19333		
7600	15815	15296	19576		
7800	15566	15457	19744		
8000	15991	15659	19885		
8200	16362	15775	20005		
8400	16779	16104	20077		
8600	17207	16556	20148		
8800	17748	17041	20237		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ ผก.9 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SE-T1	SE-T2	SE-T3	SE-T4	
9000	18088	17448	20220		
9200	18380	18109	20232		
9400	18580	18335	20234		
9600	18733	18562	20203		
9800	18795	18697	20176		
10000	19012	18772	20127		
10200	19285	18873	20025		
10400	19471	19179	19893		
10600	19651	19364	19667		
10800	19789	19563	19441		
11000	19926	19752	19150		
11200	20023	19894			
11400	20103	20027			
11600	20125	20127			
11800	20175	20201			
12000	20180	20249			
12200	20214	20287			
12400	20222	20307			
12600	20178	20342			
12800	20143	20350			
13000	20045	20321			
13200	19930	20226			
13400	19725	20214			
13600		20117			
13800		20066			
14000					
max	20229.5 kg.	20351.9 kg.	20272.2 kg.		
fail	19771 kg.	19657 kg.	20000 kg.		
remark	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WF-T1	WF-T2	WF-T3	WF-T4	
100	359	528	423	384	tested date : 31/01/08
200	691	841	528	485	
300	935	1074	822	669	
400	1287	1521	1035	919	
500	1790	2330	1374	1083	
600	2600	3491	1936	1331	
700	3651	4367	2767	1620	
800	4498	5187	3851	2002	
900	5260	5931	4663	2435	
1000	6016	6825	5421	2895	
1100	6907	7666	6313	3432	
1200	7813	8515	7178	3920	
1300	8733	9432	8033	4362	
1400	9609	10343	8914	4790	
1500	10451	11155	9800	5206	
1600	11212	11863	10632	5553	
1700	11888	12532	11399	5968	
1800	12444	13076	12143	6313	
1900	12946	13500	12842	6623	
2000	13346	13880	13432	6893	
2100	13746	14235	13942	7130	
2200	14040	14539	14352	7350	
2300	14345	14831	14687	7543	
2400	14604	15097	14992	7735	
2500	14838	15340	15271	7919	
2600	15041	15574	15519	8057	
2700	15225	15802	15740	8212	
2800	15437	16015	15948	8338	
2900	15643	16239	16145	8461	
3000	15848	16449	16340	8590	
3100	16034	16649	16509	8728	
3200	16202	16786	16670	8820	
3300	16385	16975	16847	8933	
3400	16596	17141	16988	9059	
3500	16784	17335	17134	9197	
3600	16959	17495	17288	9326	
3700	17151	17690	17470	9446	
3800	17347	17898	17649	9575	
3900	17517	18090	17852	9701	
4000	17695	18286	18035	9835	
4100	17893	18461	18359	10032	
4200	18058	18650	18768	10212	
4300	18235	18831	18959	10296	
4400	18598	19013	19148	10384	
4500	18873	19205	19341	10463	
4600	18936	19668	19502	10557	
4700	19019	19903	19651	10671	
4800	19113	20052	19820	10720	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WF-T1	WF-T2	WF-T3	WF-T4	
4900	19242	20117	19963	10831	
5000	19390	20273	20143	10935	
5100	19549	20480	20398	11044	
5200	19835	20695	20632	11165	
5300	20136	20892	20815	11283	
5400	20411	21211	21022	11403	
5500	20632	21404	21240	11521	
5600	20858	21404	21342	11635	
5700	20994		20897	11786	
5800	21309		20893	11912	
5900	21539			12009	
6000	21458			12136	
6100	21685			12245	
6200	21913			12381	
6300	22148			12562	
6400	22356			12704	
6500	22563			12843	
6600	22766			12974	
6700	22970			13040	
6800	23196			13129	
6900	23315			13244	
7000	23976			13353	
7100	18736			13476	
7200	7169			13618	
7300				13768	
7400				13974	
7500				14120	
7600				14275	
7700				14471	
7800				14845	
7900				15131	
8000				15313	
8100				15441	
8200				15627	
8300				15670	
8400				15963	
8500				16100	
8600				16297	
8700				16513	
8800				16726	
8900				16987	
9000				17146	
9100				17327	
9200				17519	
9300				17263	
9400				17871	
9500				18045	
9600				18211	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และนำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WF-T1	WF-T2	WF-T3	WF-T4	
9700				15613	
9800					
9900					
10000					
max	23350.1 kg.	21496.5 kg.	21364.2 kg.	18330.3 kg.	
fail	18351 kg.	19359 kg.	17452 kg.	15300 kg.	
remark	ฟังหลังค่า max	ฟังหลังค่า max	ฟังก่อนค่า max	ฟังหลังค่า max	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WE-T1	WE-T2	WE-T3	WE-T4	
100	692	652	865	957	tested date : 31/01/08
200	903	968	1074	1214	
300	1184	1272	1264	1634	
400	1570	1738	1528	2234	
500	2145	2552	1840	3132	
600	2978	3686	2236	4148	
700	4037	4431	2661	4881	
800	4799	5204	3158	5552	
900	5521	5951	3742	6372	
1000	6367	6762	4198	7233	
1100	7241	7624	4642	8051	
1200	8077	8427	5064	8958	
1300	8943	9194	5491	9792	
1400	9763	9966	5988	10675	
1500	10674	10696	6374	11350	
1600	11376	11241	6724	12158	
1700	12035	11742	7064	12737	
1800	12570	12166	7338	13252	
1900	13059	12545	7564	13794	
2000	13416	12826	7756	14155	
2100	13785	13108	7954	14530	
2200	14077	13337	8112	14870	
2300	14417	13531	8271	15194	
2400	14744	13717	8420	15486	
2500	15036	13896	8575	15735	
2600	15305	14029	8718	15973	
2700	15554	14186	8871	16184	
2800	15815	14343	9012	16420	
2900	16043	14512	9145	16641	
3000	16268	14701	9283	16879	
3100	16477	14878	9410	17122	
3200	16696	15024	9554	17322	
3300	16914	15194	9688	17520	
3400	17126	15330	9843	17739	
3500	17314	15498	9956	17947	
3600	17546	15635	10099	18142	
3700	17764	15785	10230	18343	
3800	17981	15954	10370	18524	
3900	18186	16097	10522	18690	
4000	18367	16254	10750	19246	
4100	18550	16423	10874	19412	
4200	18749	16573	10995	19590	
4300	19007	16711	11115	19795	
4400	19154	17066	11266	19945	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

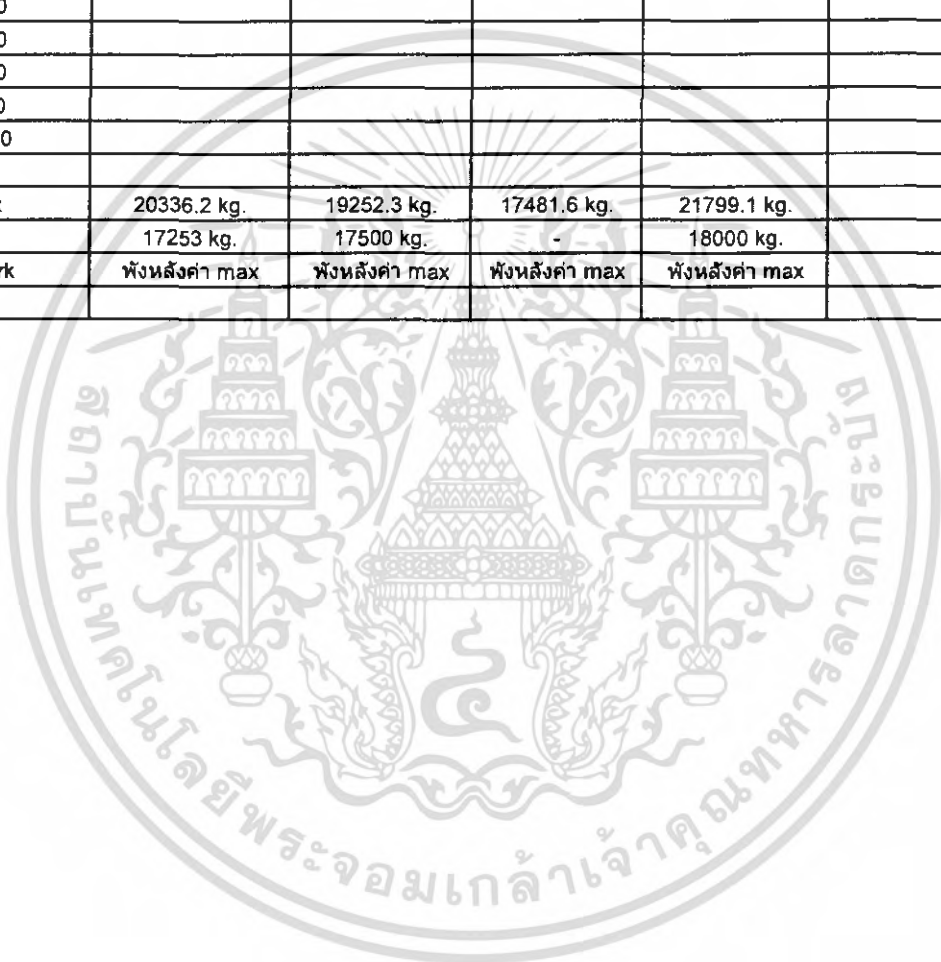
ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WE-T1	WE-T2	WE-T3	WE-T4	
4500	19345	17224	11381	20134	
4600	19250	17275	11535	20359	
4700	19963	17364	11667	20558	
4800	20145	17510	11749	20774	
4900	20217	17679	11834	20971	
5000	20309	17894	11945	21167	
5100	6227	18206	11954	21565	
5200		18335	12002	21619	
5300		18471	12095	6645	
5400		18664	12100		
5500		18870	12231		
5600		19075	12248		
5700		19244	12384		
5800		10400	12420		
5900			12445		
6000			12516		
6100			12676		
6200			12794		
6300			12902		
6400			13014		
6500			13117		
6600			13163		
6700			13274		
6800			13447		
6900			13554		
7000			13607		
7100			13742		
7200			13864		
7300			14016		
7400			14145		
7500			14253		
7600			14332		
7700			14567		
7800			14691		
7900			14838		
8000			14935		
8100			15250		
8200			15606		
8300			15704		
8400			15886		
8500			16047		
8600			16245		
8700			16424		
8800			16487		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดึง

Deformation 1Division = 0.01 mm	Load (kg)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WE-T1	WE-T2	WE-T3	WE-T4	
8900			16611		
9000			16942		
9100			17067		
9200			17228		
9300			17415		
9400			4640		
9500			2251		
9600					
9700					
9800					
9900					
10000					
max	20336.2 kg.	19252.3 kg.	17481.6 kg.	21799.1 kg.	
fail	17253 kg.	17500 kg.	-	18000 kg.	
remark	พืงหลังค่า max	พืงหลังค่า max	พืงหลังค่า max	พืงหลังค่า max	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : คุณสมบัติของวัสดุทดสอบแรงดัด

Type of Specimen	Width,b (mm)	Depth,d (mm)	Span of Support (cm)	Length of specimen (cm.)	Weight (gm.)	Load (kg.)			Center Deflection (cm)		Stress in Outer Fiber (kg/cm <sup>2</sup> )		Remark
						Deform	Proportional Limit	Ultimate	Proportional Limit	Ultimate	Proportional Limit	Ultimate	
SF-B1	75	35	70	80	-	-	2455.8						
SF-B2	75	35	70	80	-	-	2626.2						
SF-B3	75	35	70	80	-	-	2588.4						
SF-B4	-	-	-	-	-	-	-						
SE-B1	75	35	70	80	3815	-	2515.6						
SE-B2	75	35	70	80.1	3232	-	2594.6						
SE-B3	75	35	70	80.1	3236	-	2667.9						
SE-B4	-	-	-	-	-	-	-						
WF-B1	76	38	70	79.8	3230	-	3161 kg.						
WF-B2	76	38	70	79.8	3118	-	2803.2						
WF-B3	76	38.5	70	79.8	2694	-	2178.3						
WF-B4	76	38	70	79.8	3177	-	2720						
WE-B1	76	38.25	70	79.8	2960	-	2904.8						
WE-B2	76	38.5	70	79.8	3069	-	3501.2						
WE-B3	76	38.5	70	79.8	2915	-	2827.1						
WE-B4	76	38.5	70	79.8	3032	-	3333.5						

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดัด

Center Deflection (x 0.01mm.)	Load (kg.)				Remark
	Specimen 1 SF-B1	Specimen 2 SF-B2	Specimen 3 SF-B3	Specimen 4 SF-B4	
200	981	578	563		tested date : 24/01/11
400	1815	1398	1276		
600	2304	2228	2168		
800	2447	2589	2529		
1000	2381	2601	2543		
1200	2272	2439	2413		
1400	2215	2293	2303		
1600	2138	2209	2203		
1800	2083	2141	2150		
2000	2025	2105	2105		
2200	1969	2053	2075		
2400	1936	2011	2044		
2600					
2800					
3000					
max	2455.8 kg.	2626.2 kg.	2588.4 kg.		
fail	2301 kg.	2371 kg.	2360 kg.		
remark	พังก่อนถึงค่า max	พังก่อนถึงค่า max	พังก่อนถึงค่า max		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดัด

Center Deflection (x 0.01mm.)	Load (kg.)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	SE-B1	SE-B2	SE-B3	SE-B4	
200	1887	1549	1367		tested date : 6/02/11
400	2367	1981	1932		
600	2505	2210	2295		
800	2447	2436	2511		
1000	2354	2545	2633		
1200	2261	2579	2656		
1400	2197	2559	2612		
1600	2146	2514	2528		
1800	2125	2453	2457		
2000	2091	2410	2414		
2200	2045	2352			
2400		2295			
2600		2262			
2800					
3000					
max	2515.6 kg.	2594.6 kg.	2667.9 kg.		
fail	2027 kg.	-	-		
remark	พังหลังค่า max	พังหลังค่า max	พังหลังค่า max		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดัด

Center Deflection (x 0.01mm.)	Load (kg.)				Remark
	Specimen 1 WF-B1	Specimen 2 WF-B2	Specimen 3 WF-B3	Specimen 4 WF-B4	
100	1676	803	860	1049	tested date : 3/02/08
200	1846	1033	1022	1283	
300	2027	1257	1185	1453	
400	2181	1386	1326	1664	
500	2325	1567	1434	1853	
600	2495	1759	1566	2031	
700	2637	1914	1683	2171	
800	2799	2078	1789	2312	
900	2940	2216	1869	2447	
1000	3062	2339	1957	2547	
1100	3120	2449	2004	2644	
1200	3117	2553	2064	2678	
1300	3194	2636	2103	2603	
1400	3209	2700	2138	2644	
1500	3240	2757	2145	2671	
1600	3292	2793	2156	2711	
1700	3314	2734	2139	2715	
1800	3308	2655	1660	2736	
1900	3266	2617	1255	2783	
2000	3233	2610	1214	2811	
2100	3174	2551		2821	
2200	2915	2561		2826	
2300		2558		2844	
2400		2554		2836	
2500		2547		2846	
2600		2335		2839	
2700				2621	
2800				2550	
2900					
3000					
max	3351.8 kg.	2803.2 kg.	2178.3 kg.	2869.4 kg.	
fail	3161 kg.	2553 kg.	2121 kg.	2720 kg.	
remark	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	ฟังก์ชันค่า max	
	fail ที่จำนวน	fail ที่จำนวน	fail ที่จำนวน	fail ที่จำนวน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงดัด

Center Deflection (x 0.01mm.)	Load (kg.)				Remark
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	
	WE-B1	WE-B2	WE-B3	WE-B4	
100	970	1517	1242	1488	tested date : 3/02/08
200	1176	1743	1377	1639	
300	1356	1945	1572	1850	
400	1529	2091	1773	2004	
500	1704	2269	1948	2166	
600	1867	2453	2049	2318	
700	2023	2626	2192	2510	
800	2174	2755	2329	2677	
900	2310	2909	2449	2817	
1000	2430	3043	2571	2953	
1100	2531	3145	2666	3058	
1200	2609	3234	2760	3155	
1300	2684	3315	2633	3225	
1400	2727	3351	2672	3246	
1500	2763	3409	2715	3302	
1600	2731	3469	2745	2885	
1700	2771	3195	2701	2905	
1800	2790	3275	2696	2927	
1900	2769	3263	2711	2947	
2000	2825	2931	2637	2952	
2100	2835		2618	2937	
2200	2857		2540	2844	
2300	2901		2500	2867	
2400	2872				
2500	2831				
2600	2379				
2700	1621				
2800					
2900					
3000					
max	2904.8 kg.	3501.2 kg.	2827.1 kg.	3333.5 kg.	
fail	1789 kg.	2887 kg.	2701 kg.	3000 kg.	
remark	พืงหลังค้ำ max	พืงหลังค้ำ max	พืงหลังค้ำ max	พืงหลังค้ำ max	
	fail ที่ฉนวน	fail ที่ฉนวน	fail ที่ฉนวน	fail ที่ฉนวน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ: คุณสมบัติของวัสดุทดสอบแรงเฉือน

Type of Specimen	Cross Sectional Area (mm <sup>2</sup> )				2 x Cross Area (cm <sup>2</sup> )	Length of specimen (cm.)	Weight (gm.)	Load at Rupture(kg)		Shearing Stress (kg/cm <sup>2</sup> )		Remark
	1	2	3	Average				Deform point	Ultimate Load	Deform point	Ultimate Load	
SF-S1	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	12443.3			tested 23/01/08
SF-S2	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	11355.7			tested 23/01/09
SF-S3	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	11683.4			tested 23/01/10
SF-S4	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	10653.2			tested 23/01/11
SE-S1	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	10632			tested 23/01/13
SE-S2	-	-	-	4.712	9.424	80	-	10254	10552.6			tested 23/01/14
SE-S3	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	12422			tested 23/01/15
SE-S4	-	-	-	4.712	9.424	80	-	-	11332.8			tested 23/01/16
WF-S1	38x76	38x76	-	38x76	28.88	80	-	-	10817.4			tested 23/01/18
WF-S2	38.5x76.5	38.5x76	-	38.5x76.25	29.35	80	-	-	10752.8			tested 23/01/19
WF-S3	38x76	38x76.5	-	38x76.75	29.16	80	-	-	9425.9			tested 23/01/20
WF-S4	38x76	38x76	-	38x76	28.88	80	-	-	10614.4			tested 23/01/21
WE-S1	38.5x76	38.5x76	-	38.5x76	29.26	80	-	-	12977.2			tested 23/01/23
WE-S2	38.5x75.5	38x75.5	-	38.25x75.5	28.88	80	-	12306	13066.6			tested 23/01/24
WE-S3	38x76	38.5x76	-	38.25x76	29.07	80	-	11849	12566.8			tested 23/01/25
WE-S4	38.5x76	38x75.5	-	38.25x75.75	28.97	80	-	11555	12152.4			tested 23/01/26

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ: คุณสมบัติของวัสดุทดสอบผนังก่ออิฐ

Type of Specimen	Cross Sectional Area (mm <sup>2</sup> )				Weight of Specimen (gm)	Gauge Length (cm)	Load (kg)			Stress (kg/cm <sup>2</sup> )			Remark
	1	2	3	Average			Deform point	Yield Point	Ultimate Load	Deform point	Yield Point	Ultimate Load	
B-C1	84x101	84x101	-	84x101	4260	29.95	-	-	16238				
B-C2	78x98	80x98	-	79x98	3826	30	-	-	13735.4				
B-C3	81x101	82x101	-	81.5x101	4119	28.75	-	-	15052.4				
B-C4	85x105	86x105	-	85.5x105	4536	29.75	-	-	11461.5				
BE-C1	80x97	78x97	-	79x97	4047	29.65	-	-	12850				
BE-C2	86x102	84x101	-	85x101.5	4870	30.45	-	-	11960.7				
BE-C3	85x105	84x102	-	84.5x103.5	4658	28.85	-	-	11758.9				
BE-C4	85x109	86x105	-	85.5x107	4886	30.45	-	-	10819				

ภาคผนวก ก. แสดงตารางเก็บข้อมูลการทดสอบ : การทดสอบแรงอัดผนังก่ออิฐ

Center Deflection (x 0.01mm.)	Load (kg.)				Remark
	Specimen 1 B-C1	Specimen 2 B-C2	Specimen 3 B-C3	Specimen 4 B-C4	
20		686	521	564	tested date 18/02/08
40		837	524	572	
60	50-7968	1046	539	612	จนวน fail หลังค่า max
80		1370	542	786	ของคอนกรีตทั้งหมด
100	12331	1988	544	1016	
120		2739	545	1306	
140		6084	550	1835	
160	150-15069	7443	553	2679	
180		9113	563	3432	
200	16220	10371	568	6572	
220		11556	762	7795	
240		12529	964	8898	
260	250-15590	13249	1234	9934	
280		13643	2069	10581	
300	13743	13721	7096	11171	
320		13642	8976	11442	
340		13544	10704	11401	
360		13221	12370	11135	
380		12574	13359	10784	
400		11901	14239	10451	
420			14794		
440			15048		
460			14991		
480			14792		
500			14459		
max	16238 kg.	13735.4 kg.	15052.4 kg.	11461.5 kg.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาคผนวก ข

**การรวบรวมค่าคุณสมบัตีวิตดุ  
จากการทดสอบมาตรฐาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การรวบรวมค่าคุณสมบัติวัสดุจากการทดสอบมาตรฐาน

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติวัสดุจากการทดสอบมาตรฐาน

ค่าการทดสอบที่สนใจ	เหล็กรูปพรรณชนิด A 36 <sup>1</sup>	ไม้เต็ง <sup>2</sup>
Ultimate Compressive Stress	4000 Ksc	924 Ksc (ขนานเส้น)
Ultimate Tensile Stress	4000 Ksc	ไม่มี
Yield Compressive Stress	2500 Ksc	ไม่มี
Yield Tensile Stress	2500 Ksc	ไม่มี
Ultimate Shear Stress	1250 Ksc	146 Ksc (ขนานเส้น)
Proportional limit Compressive Stress	ไม่มี	443 (ขนานเส้น)
Proportional limit Bending Stress	ไม่มี	924 Ksc (ขนานเส้น)

หมายเหตุ : 1. ที่มา จากมาตรฐาน ASTM โดยกำหนดค่าการใช้งานเหล็กแต่ละประเภทดังนี้

ตารางแสดงลักษณะการใช้งานเหล็กแต่ละประเภทตามมาตรฐาน ASTM

ประเภท	ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการใช้งาน
A 36	Carbon-steel shapes, plates, bars with yielding strength about 250 MPa	Welded, riveted, and bolted construction; bridges, buildings, towers, and general structural purposes
A 53	Welded or seamless pipe, black or galvanized	Welded, riveted, and bolted construction; primary use in building, particularly columns and truss members
A 242	High-strength, low alloy shapes, plates, bars	Welded, riveted, and bolted construction; bridges, buildings, and general structural purposes; atmospheric-corrosion resistance about four times that of carbon steel; a weathering steel
A 441	High-strength, low alloy manganesevanadium steel shapes, plates, bars	Welded, riveted, and bolted construction but intended primary for welded construction; bridges, buildings, and other structures; atmospheric-corrosion resistance about two times that of carbon steel
A 514	Quenched and tempered plates of high yielding strength up to 700 MPa	Intended primarily for welded bridges and other structure; welding technique must not affect properties of the plate, especially in heat-affected zone

2. ที่มา ผ.ศ.ดร.สิทธิชัยแสงอาทิตย์, การทดสอบวัสดุ สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสุรนารี, 2545



ภาคผนวก ค

ข้อมูลรายละเอียดผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Sikadur® -31 CF Normal

2-part thixotropic epoxy adhesive

**Product Description** Sikadur®-31 CF Normal is a solvent-free, moisture tolerant, thixotropic, structural two part adhesive and repair mortar, based on a combination of epoxy resins and special fillers, designed for use at temperatures between +10°C and +30°C.

**Uses** As a structural adhesive and mortar for:

- Concrete elements
- Hard natural stone
- Ceramics, fiber cement
- Mortar, Bricks, Masonry
- Steel, Iron, Aluminium
- Wood
- Polyester, Epoxy
- Glass

As a repair mortar and adhesive:

- Corners and edges
- Holes and void filling
- Vertical and overhead use
- Joint filling and crack sealing:
- Joint and crack arris / edge repair

**Characteristics / Advantages** Sikadur®-31 CF Normal has the following advantages:

- Easy to mix and apply.
- Suitable for dry and damp concrete surfaces
- Very good adhesion to most construction
- High strength adhesive
- Thixotropic: non-sag in vertical and overhead
- Solvent free
- Hardens without shrinkage
- Different coloured components (for mixing)
- No primer needed
- High initial and ultimate mechanical strength
- Good abrasion resistance
- Impermeable to liquids and water vapour
- Good chemical resistance

**Tests**

**Approval/Standards** Testing according to ASTM, C881M-02, Type I, Grade 3, Class B+C.  
Testing according to EN 1504-4.

**Product Data**

**Form**

**Colours**

Part A: white  
Part B: dark grey  
Parts A+B mixed: concrete grey

**Packaging**

1 kg./set (A+B) (12 Sets/Box)  
2 kg./set (A+B)



เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
® ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร  
Sikadur® -31CF Normal 1/5 ไซค์  
D01705001205E

**Storage  
Storage Conditions /  
Shelf Life**

24 months from date of production if stored properly in original unopened, sealed and undamaged packaging, in dry conditions at temperatures between +5°C and +30°C. Protect from direct sunshine.

**Technical Data**

**Chemical Base**

Epoxy resin.

**Density**

1.90 ± 0.1 kg/l (part A) (at +23°C)

1.90 ± 0.1 kg/l (part B) (at +23°C)

1.90 ± 0.1 kg/l (part A+B mixed) (at +23°C) (evacuated)

**Sag Flow**

On vertical surfaces it is non-sag up to 15 mm thickness. (According to EN 1799)

**Layer Thickness**

30 mm max.

When using multiple units, one after the other. Do not mix the following unit until the previous one has been used in order to avoid a reduction in handling time.

**Change of Volume**

Shrinkage:

Hardens without shrinkage.

**Thermal Expansion  
Coefficient**

Coefficient W:

59 x 10<sup>-6</sup> per °C (Temp. range +23°C - +60°C)

(According EN 1770)

**Thermal Stability**

Heat Deflection Temperature (HDT):

HDT = +49°C (7 days / +23°C)

(According to ISO 75)  
(thickness 10 mm)

**Mechanical / Physical  
Properties**

**Compressive Strength**

(According to DIN EN 196)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	45 - 55 N/mm <sup>2</sup>	50 - 60 N/mm <sup>2</sup>
3 days	40 - 50 N/mm <sup>2</sup>	55 - 65 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>
7 days	50 - 60 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>

**Flexural Strength**

(According to DIN EN 196)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	11 - 17 N/mm <sup>2</sup>	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>
3 days	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>
7 days	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	30 - 40 N/mm <sup>2</sup>	30 - 40 N/mm <sup>2</sup>

**Tensile Strength**

(According to ISO 527)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	2 - 6 N/mm <sup>2</sup>	6 - 10 N/mm <sup>2</sup>	9 - 15 N/mm <sup>2</sup>
3 days	9 - 15 N/mm <sup>2</sup>	17 - 23 N/mm <sup>2</sup>	17 - 23 N/mm <sup>2</sup>
7 days	14 - 20 N/mm <sup>2</sup>	18 - 24 N/mm <sup>2</sup>	19 - 25 N/mm <sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำใบ

## Bond Strength

(According to EN ISO 4624, EN 1542 and EN 12188)

Curing time	Temperature	Substrate	Bond strength
1 day	+10°C	Concrete dry	> 4 N/mm <sup>2</sup> *
1 day	+10°C	Concrete moist	> 4 N/mm <sup>2</sup> *
1 day	+10°C	Steel	6 - 10 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+10°C	Steel	10 - 14 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+23°C	Steel	11 - 15 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+30°C	Steel	13 - 17 N/mm <sup>2</sup>

\*100% concrete failure.

---

<b>E-Modulus</b>	Tensile: ~ 5'000 N/mm <sup>2</sup> (14 days at +23°C) Compressive: ~ 4'600 N/mm <sup>2</sup> (14 days at +23°C)	(According to ISO 527) (According to ASTM D695)
------------------	--	--

---

<b>Elongation at Break</b>	0.4 ± 0.1% (7days at +23°C)	(According to ISO 75)
----------------------------	-----------------------------	-----------------------

---

<b>Strength Development</b>	Confirm the strength development by producing cubes on site and testing them for compressive and flexural strength.	
-----------------------------	---	--

---

## System Information

<b>Application Details</b> Consumption / Dosage	The consumption of Sikadur®-31 CF Normal is ~ 1.9 kg/m <sup>2</sup> per mm of thickness.	
--	--	--

---

<b>Substrate Quality</b>	Mortar and concrete must be older than 28 (depends on minimal requirement of strengths). Verify the substrate strength (concrete, masonry, natural stone). The substrate surface (all types) must be clean, dry and free from contaminants such as dirt, oil, grease, existing surface treatments and coatings etc.. Steel substrates must be de-rusted similar to Sa 2.5. The substrate must be sound and all loose particles must be removed.	
--------------------------	---	--

---

<b>Substrate Preparation</b>	Concrete, mortar, stone, bricks: Substrates must be sound, dry, clean and free from laitance, ice, standing water, grease, oils, old surface treatments or coatings and all loose or friable particles must be removed to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface. Steel: Must be cleaned and prepared thoroughly to an acceptable quality i.e. by blastcleaning and vacuum. Avoid dew point conditions. Other surfaces (polyester, epoxy, glass, ceramic): On these substrates pre-apply Sikafloor®-156 (primer) and then, "wet on wet" apply Sikadur®-31 CF Normal.	
------------------------------	---	--

---

**Application  
Conditions /  
Limitations**

<b>Substrate Temperature</b>	+10°C min. / +30°C max.
<b>Ambient Temperature</b>	+10°C min. / +30°C max.
<b>Material Temperature</b>	Sikadur®-31 CF Normal must be applied at temperatures between +10°C and +30°C
<b>Substrate Humidity</b>	When applied to mat moisture concrete, brush the adhesive well into substrate.
<b>Dew Point</b>	Beware of condensation! Ambient temperature during application must be at least 3°C above dew point.

**Application  
Instructions  
Mixing**

Part A : part B = 2 : 1 by weight or volume

**Mixing Time**



Pre-batched units:

Mix parts A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 600 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Avoid aeration while mixing. Then, pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its potlife.

**Application Method /  
Tools**

When using a thin layer adhesive, apply the mixed adhesive to the prepared surface with a spatula, trowel, notched trowel, (or with hands protected by gloves).

When applying as a repair mortar use some formwork.

When using for bonding metal profiles onto vertical surfaces, support and press uniformly using props for at least 12 hours, depending on the thickness applied (not more than 5 mm) and the room temperature.

Once hardened check the adhesion by tapping with a hammer.

**Cleaning of Tools**

Clean all tools and application equipment with Sika® Colma Cleaner immediately after use. Hardened / cured material can only be mechanically removed.

**Potlife**

Potlife (200 g)

(According to EN ISO 9514)

+10°C	+23°C	+30°C
~ 145 minutes	~ 55 minutes	~ 35 minutes

The potlife begins when the resin and hardener are mixed. It is shorter at high temperatures and longer at low temperatures. The greater the quantity mixed, the shorter the potlife. To obtain longer workability at high temperatures, the mixed adhesive may be divided into portions. Another method is to chill parts A+B before mixing them (not below +5°C).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

**Notes**

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests.  
Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

**Health and Safety Information**

**Protective Measures**

To avoid rare allergic reactions, use of protective gloves. Change soiled work clothes and wash hands before breaks and after finishing work.  
When uncured, Sikadur®-31 CF Normal parts A+B, are water-pollutants and must not be discharged into drains, waterways or the ground.  
Local regulation as well as health and safety advice on packaging labels must be observed.

**Important Notes**

Uncured / unmixed material must be removed according to local regulations. Fully cured material can be disposed of as household waste under agreement with the responsible local authorities.

Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g. physical, toxicological and ecological data can be obtained from the material safety data sheet.



The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**Sika (Thailand) Limited**

Head Office: 700/37 Moo 5 Bangpakong Industrial Park II, Km.57 Bangna-Trad Rd., T. Klongtamhru, Muang District, Choburi 20000  
Tel: +66 3821 4270-85  
Fax: +66 3821 4286  
E-mail: sikathai@th.sika.com  
website: http://www.sika.co.th

Sikadur® -31CF Normal 5/5



## A Summary of Terraco EIFS :

6

Product	Function	kg/m <sup>2</sup>	mm thickness
Styrofix	Adhesive	2.5	1.5mm
Styrobond DP	Basecoat and skimcoat	5.0	3.0mm
Penetrating Primer	Primer	0.1	---
Terracoat Excel/Granule	Decorative Finish	2.5	1.5mm
Terrashine Super Eggshell	Top-coat	0.2	---

### Notes:

- 16X16mm vertical notched trowel application of Styrofix will help create drainage channels which will allow any moisture ingress to drain away.
- Silprime can be used as an anti-efflorescence primer on concrete substrates prior to the application of Styrofix.
- The trowel-on grades of Terracoat are the most suitable grades for EIFS to achieve the required film-build of 1.5mm (2.5kg/m<sup>2</sup>).

### Technical Data

#### • Silprime

##### Properties :

It is a silane siloxane based penetrating primer for concrete surfaces.

It binds the substrate to give a solid base for decorative finishing coats. It penetrates into the substrate, creating a hydrophobic zone into which liquid water cannot enter, thereby preventing efflorescence from reaching the surface and debonding the final finish.

Binder : Silane siloxane / acrylic

Drying Time : 1 - 2 hrs

Toxicity : Non-toxic

Specific Gravity : 1.02

Coverage kg/m<sup>2</sup> : 0.1 - 0.2kg/m<sup>2</sup> depending on surface porosity

Application Method : Brush / roller / spray

Packaging : 4 kg and 20 kg jerricans

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผศ 6 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Styrofix

Properties :

An adhesive for the Terraco EIFS which provides excellent adhesion between substrate and expanded or extruded polystyrene panels. Also suitable for use with mineral fibre boards.

Appearance	: Fine grey powder
Mixing ratio	: By weight: 4.5:1 with water
Specific Gravity	: 1.7 (paste)
Pot life	: 3 hrs at 25°C
Colours	: Grey
Adhesion to concrete	: 1 MPa
Material consumption	: 1.7 kg/m <sup>2</sup> /mm thickness
Packaging	: 25 kg paper sacks

• Styrobond DP

Properties :

The basecoat for the Terraco EIFS. It provides a water resistant, flexible basecoat for embedding glass fibre mesh on top of which the EIFS finishing coat is applied.

Appearance	: Fine powder
Mixing ratio	: By weight: 4.5:1 with water
Specific Gravity	: 1.7 (paste)
Pot life	: 3 hrs at 25°C
Colours	: Grey / White
Adhesion to concrete	: 1 MPa
Material consumption	: 1.7kg/m <sup>2</sup> /mm thickness
Packaging	: 25kg paper sacks

• Insulation Boards

Type and specification of insulation board may vary depending on application. Terraco EIFS products can be used with expanded polystyrene, extruded polystyrene or mineral wool insulation boards.

See appendix.

## Technical Data

### \* Mechanical Fasteners

Plastic fasteners should be used to avoid thermal bridging.

See appendix.

### \* Fibre Mesh

Material: Alkali resistant glass fibre mesh.

Weight: 145 - 160 g/m<sup>2</sup>

Mesh Size: 5.0 mm x 8.0 mm

See appendix.

### \* Penetrating Primer

Properties :

An alkali resistant primer which penetrates into the substrate to provide a sound base for applying the finishing coat.

Binder : Acrylic

Drying Time : 1 - 2 hrs

Specific Gravity : 1.02 (Clear), 1.28 (White).

Coverage kg/m<sup>2</sup> : 0.1 kg/m<sup>2</sup>

Application Method : Brush / roller / spray

Packaging : 1 US gallon and 5 US gallon cans

### \* Terracoat Excel / Granule

Properties :

Ready-mixed acrylic based coatings. Terracoat Excel and Granule are textured coatings developed for use in areas with extreme climatic conditions such as the tropics, where high humidity is prevalent. They provide a grooved/granular finish and can be applied with different techniques to give a variety of patterns.

Product : Acrylic based textured coating

Binder : Acrylic

Thinning : Water, if required

Specific Gravity : 1.7 (Excel), 1.7 (Granule).

Material consumption : 2.5kg/m<sup>2</sup> ( Excel), 2.5kg/m<sup>2</sup> ( Granule)

Application Method : Trowel

Drying Time : 3 - 4 hrs

Flame Spread : Class 0 ASTM EB4 - 81H

...

**\*Terrashine Super Eggshell**

**Properties :**

Acrylic/silicone based topcoat available in a range of colours.

Terrashine Super provides the system with excellent resistance to moisture, UV and is highly dirt pick-up resistant.

- Product : Acrylic/silicone
- Thinning : Water, if required
- Specific Gravity : 1.25
- Material consumption : 0.2kg/m<sup>2</sup>
- Application : Roller/spray in 2 coats
- Drying Time : 1 - 2 hours
- Packaging : 20kg

**Appendix**

**Insulation boards:**

The suitability and specification of insulation boards may vary depending on the requirements of the application.

The mould injected Expanded Polystyrene (EPS) insulation boards with the following specification.

	Properties	Density 25 kg/m <sup>3</sup> ; Thickness 5cm					
		Metric		Imperial			
		Test Method	Value (EHD)	Test Method	Value (EHD)		
MECHANICAL	Minimum Permissible Compressive Stress at Compression Compression Stress at 10% compression Compression Stress at 10% compression Compression Stress at 10% compression Flexural Strength Flexural Strength Tensile Strength Shear Strength Modulus of elasticity (at 23°C test)	EN 23421	MPa	78 - 51	EN 23421	psi	4.06 - 7.25
		EN 23421	MPa	150 - 225	EN 23421	psi	21.3 - 30.45
		BS 5330	MPa	-	BS 5330	psi	-
		ASTM D 1621	MPa	-	ASTM D 1621	psi	-
		EN 53423	MPa	325 - 400	EN 53423	psi	47.12 - 58.0
		BS 5330	MPa	-	BS 5330	psi	-
		ASTM D 1621	MPa	-	ASTM D 1621	psi	-
		EN 18164	MPa	260 - 415	EN 18164	psi	37.7 - 60.7
		EN 53427	MPa	150 - 190	EN 53427	psi	21.75 - 27.55
		EN 53457	N/mm <sup>2</sup>	7.7 - 11.1			
		EN 53752	N	6.10	EN 53752	lbf/in <sup>2</sup>	3.4.10 <sup>1</sup>
		EN 53424	deg.C	95	EN 53424	deg.F	203
THERMAL	Average Coefficient of Linear Expansion between 20 and 30 deg.C Dimensional stability after 24 hr at 100% RH Dimensional stability after 24 hr, long term under 50% RH Dimensional stability under real long term under 70% RH Dimensional stability Continuous service temperature in air Thermal conductivity in air at 23 deg.C Thermal conductivity in soil at average operational temperature of 30 deg.C	EN 18161	deg.C	85	EN 18161	deg.F	183
		EN 18164	deg.C	75 - 90	EN 18164	deg.F	167 - 176
		BS 5370 part 1	deg.C	80	BS 5370 part 1	deg.F	176
			deg.C	-125 to -25		deg.F	-201 to -185
		EN 52612	W/m.K	0.030 - 0.035	EN 52612	Btu.in/h. <sup>2</sup> deg.F	0.20 - 0.27
		ASTM C518	W/m.K	-	ASTM C518	Btu.in/h. <sup>2</sup> deg.F	-
FIRE	Fire Class (EN 13501-1) - Type A1 Durability Characteristics (Type A - Type 1)	EN 4102	Class	B1	EN 4102	Class	B1
		EN 4102	class	A1-s1	EN 4102	non-A1-s1	A1-s1
WATER ABSORPTION	Absorption of water vapour (water vapour permeability) Absorption of water vapour (water vapour permeability) Water vapour diffusion resistance factor Absorption of water vapour (water vapour permeability) Water vapour diffusion resistance factor Time of water absorption after immersion in water for 7 days	EN 53429	g/m <sup>2</sup>	26	EN 53429	g/m <sup>2</sup>	26
		EN 53429 part 2	mg/m <sup>2</sup> .d	-	EN 53429 part 2	mg/m <sup>2</sup> .d	-
		EN 4106	g/m <sup>2</sup> .d	20 - 30	EN 4106	g/m <sup>2</sup> .d	20 - 30
		EN 53429 part 1	mg/m <sup>2</sup> .d	-			
		EN 53429	g/m <sup>2</sup> .d	-			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **พ.ศ. 9** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาร์ทบอร์ด ตราช้าง เป็นแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ที่ผสมผสานความแข็งแรงและยืดหยุ่นในเนื้อเดียวกัน ผลิตจากเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดจากตราช้าง ไม่มีส่วนผสมของใยหิน ใช้ทำฝ้าเพดานและฝ้าผนังได้ทั้งภายในและภายนอกบ้าน อาคาร

คุณสมบัติ	<p>ทนทาน - ทนน้ำ ทนชื้น ทนแดด/ฝน ปลวกไม่กิน ไม่เปื่อยยุ่ย โกง บวม หรือยืดหดตัว (ตามมาตรฐาน JIS A5420)</p> <p>- ทนต่อการลามไฟ (ตามมาตรฐาน BS 476)</p> <p>แข็งแรง - ทนทานต่อการรับแรงกระแทก มีความเหนียว ดัดโค้งได้ (ตามมาตรฐาน ASTM C1185)</p> <p>- ความหนา 4-6 มม. สามารถรับน้ำหนักวัสดุที่แขวนได้อย่างปลอดภัย 6 กิโลกรัม โดยยึดกับทุกพลาสติก PT-13</p> <p>- ความหนา 8 มม. ขึ้นไป สามารถรับน้ำหนักวัสดุที่แขวนได้อย่างปลอดภัย 25 กิโลกรัม โดยยึดกับทุกพลาสติก PT-13</p> <p>เย็นสบาย - สามารถป้องกันความร้อนจากห้องหลังคาได้ดีกว่าแผ่นฝ้าแบบเดิม (ตามมาตรฐาน ASTM C117)</p> <p>น้ำหนักเบา - ประหยัดค่าก่อสร้างและโครงสร้างอาคาร เมื่อใช้แทนระบบก้ออิฐฉาบปูนหรือผนังคอนกรีต</p> <p>ติดตั้งง่าย - รวดเร็วเพราะเป็นระบบแห้ง ประหยัดค่าแรงงาน</p>
พื้นที่ใช้งาน	<p>ฝ้าเพดาน - ทุกส่วนของบ้าน/อาคาร ที่ต้องการฝ้าภายในหรือภายนอก ที่เน้นเรื่อง ความแข็งแรงทนทาน และทนต่อความชื้นสูง</p> <p>โดยเฉพาะ ฝ้าห้องน้ำ ฝ้าชายคา โรงจอดรถ เป็นต้น</p> <p>ฝ้าผนัง - ทุกส่วนของบ้าน / อาคารที่ต้องการผนังภายในหรือภายนอกชนิดเบา (Lightweight Wall) พร้อมความแข็งแรง</p> <p>ทนทานและทนต่อความชื้นสูง</p> <p>- ห้องภายในบ้านและอาคารทั่วไป ทั้งในส่วนพื้นที่สร้างใหม่ และส่วนเพิ่มเติม</p> <p>ใช้ร่องวัสดุปิดผิว งานพื้นและฝ้า เช่น ร่องแผ่นลามิเนต ไม้ปาร์เก้ กระเบื้องยาง วอลเปเปอร์ กระเบื้อง เซรามิก ฯลฯ</p> <p>- งานผนังภายนอกและภายในที่ออกแบบให้มีลักษณะโค้งภายใต้รัศมี (Radius) ที่กำหนด</p>

**รุ่นและขนาดสินค้า**

สมาร์ทบอร์ด ตราช้าง	ความหนา (มม.)	กว้าง x ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก./แผ่น)	พื้นที่การใช้งาน (ตร.ม./แผ่น)	ชนิดขอบ	
					ขอบเรียบ	ขอบลาด
รุ่นโลก	3.5	60 x 240	7.6	1.44	●	-
		120 x 120	7.6	1.44	●	-
		120 x 240	15.2	2.88	●	-
รุ่นขอบเรียบ	4	60 x 240	8.7	1.44	●	-
		120 x 120	8.7	1.44	●	-
		120 x 240	17.4	2.88	●	-
รุ่นขอบลาด	6	120 x 240	26.1	2.88	●	●
	9	120 x 240	34.8	2.88	●	■
		120 x 300*	43.5	3.60	●	-
	10	120 x 240	43.5	2.88	●	-
		120 x 300*	54.4	3.80	●	-
	12	120 x 240	52.2	2.88	●	-
120 x 300*		65.2	3.60	●	-	
4	60 x 120	4.3	0.72	■	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ตรีเพ็ชร กรุ๊ป จำกัด จำกัด ใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มาเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเด็ดขาดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

การนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

ลักษณะการใช้งาน	สมาร์ทบอร์ด ธรรมดา		ความหนา (มม.)					พื้นที่ใช้งาน	
	รุ่น	ลักษณะติดตั้ง	3.5	4	6	8	10		12
ฝ้าภายใน	ไลท์	เว้นร่อง, ที-บาร์, ชนชิด	*	-	-	-	-	-	• ทุกห้องในบ้าน/อาคาร ( ห้องนอน ห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร ) โดยเฉพาะห้องที่มีความชื้นสูง เช่น ห้องน้ำ ห้องเก็บของ ห้องใต้ดิน
	ขอบเรียบ	เว้นร่อง, ที-บาร์	-	*	-	-	-	-	
	ขอบลาด	เว้นร่อง	-	-	*	-	-	-	
	ลายไม้	เว้นร่อง	-	*	-	-	-	-	
ฝ้าภายนอก บ้าน/อาคาร	ไลท์	เว้นร่อง, ชนชิด	*	-	-	-	-	-	• ระเบียงและบริเวณชายคาบ้าน
	ขอบเรียบ	เว้นร่อง, ชนชิด	-	*	-	-	-	-	
	ลายไม้	เว้นร่อง	-	*	-	-	-	-	
	ลายไม้ระนาดอากาศ	เว้นร่อง	-	*	-	-	-	-	
ผนังภายใน	ขอบเรียบ	เว้นร่อง	-	-	-	*	*	*	• ทุกห้องในบ้านที่ก่อการผนังเบา เพื่อแบ่งพื้นที่ใช้สอยหรือปรับเปลี่ยนรูปแบบห้อง • เพื่อพื้นที่รับแรงกระแทกและความชื้นเป็นประจำ เช่น ห้องเก็บของ, ห้องใต้หลังคา
	ขอบลาด	ฉาบเรียบ	-	-	-	*	*	*	
	ขอบเรียบ	ชนชิด	-	-	-	*	*	*	
ผนังภายนอก	ขอบเรียบ	เว้นร่อง	-	-	-	*	*	*	• ผนังบ้าน/อาคาร ภายนอกทุกรูปแบบ
วางรองวัสดุปิดผิวภายในอาคาร	ขอบเรียบ	เว้นร่อง	-	-	-	*	*	*	• ใช้เป็น Underlayment โดติดตั้งบนพื้นคอนกรีตที่ปรับระดับแล้ว แต่ยังไม่ฉีกรัน หรือ
ใช้เป็นแผ่นรองพื้น	ขอบเรียบ	เว้นร่อง	-	-	-	*	*	*	• ใช้เป็น Backer Board สำหรับรองวัสดุปิดผิวผนัง เช่น เซรามิค
ใช้เป็นแผ่นรองพื้น	ขอบเรียบ	เว้นร่อง	-	-	-	*	*	*	• ใช้เป็นแผ่นรองกันรั่ว (Sarking) ใต้กระเบื้องหลังคา บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการรั่ว

เปรียบเทียบกันสินค้าตราอื่น ๆ				
ข้อมูล	หน่วย	SmartBoard	VIVA Board	Flexy Board
ขนาดกว้างxยาว	ซม.	120x240, 120x300	120x240	120x240
ความหนา	มม.	8,10,12	8,10,12,16,20,24	4,4.5,6,8,9,10,12
ความต้านแรงดัดโค้ง	นิวตัน/ตร.มม.	17.5	9.0-12.0	17
ความหนาแน่น	กก./ลบ.ม.	1,260	1,100-1,300	1,350
การขยายตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	%	0.12	0.3	0.19
ค่าการกันเสียง	dB	38		22-28
ค่าการนำความร้อน (ค่า k)	W/m°C	0.084	0.125	0.3
รัศมีดัดโค้ง(6 มม.)	เมตร	1.5		2.2
มวลดูลึกลับตัน	นิวตัน/ตร.มม.	4,500	3,000	7,000
ปริมาณการดูดซึมน้ำ	% by Weight	34	29	37
ความเป็นด่างของผิวหน้า	pH	7	12	7-8
การทนไฟ	BS 476	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
มาตรฐาน	-	ม.อ.ก.1427-2540	ม.อ.ก.878-2537	ม.อ.ก.1427-2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้