

ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นฉนวนโครงสร้างที่เสริมด้วยวัสดุ
เสริมแรงคอมโพสิตเสริมเส้นใย

**FLEXURAL PERFORMANCE OF STRUCTURAL INSULATED
PANEL SLABS STRENGTHENED BY FIBER REINFORCED
POLYMER**

ธีระพล เปี่ยมสุภักคพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นฉนวนโครงสร้างที่เสริมด้วยวัสดุ
เสริมแรงคอมโพสิตเสริมเส้นใย

ธีระพล เปี่ยมสุภักค์พงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นฉนวน โครงสร้าง
ที่เสริมด้วยวัสดุเสริมแรงคอมโพสิตเสริมเส้นใย

Flexural Performance of Structural Insulated Panel
Slabs Strengthened by Fiber Reinforced Polymer

ชื่อ - นามสกุล

นายธีระพล เปี่ยมสุภักพงษ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา


อาจารย์ที่ปรึกษา


อาจารย์หมีง จิ่ง, D.Eng.

ปีการศึกษา

2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติศักดิ์ กร้ามาตร, ปร.ด.)


..... กรรมการ
(อาจารย์กั้ววัฒน์ แสนเจริญ, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์คุณพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)


..... กรรมการ
(อาจารย์หมีง จิ่ง, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2557

| | |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นฉนวน โครงสร้าง ที่เสริมด้วยวัสดุเสริมแรงคอมโพสิตเสริมเส้นใย |
| ชื่อ-นามสกุล | นายธีระพล เปี่ยมสุภักพงศ์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์หมิง จิ่ง, D.Eng. |
| ปีการศึกษา | 2556 |

บทคัดย่อ

แผงฉนวนโครงสร้าง (Structural Insulated Panels, SIP) เป็นวัสดุที่ดีในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย ซึ่งมีคุณสมบัติ เป็นฉนวนป้องกันความร้อน รองรับน้ำหนักได้ดี มีความแข็งแรง ทนทาน และประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่เนื่องจากในประเทศไทยยังขาดการวิจัยเกี่ยวกับ แผ่น SIP ในเรื่องการเพิ่มความแข็งแรงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้น SIP ที่เสริมและไม่เสริม GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)

ในงานวิจัยนี้จึงมีการเสริมสร้างความแข็งแรงด้วย GFRP ให้กับแผ่นพื้น SIP ด้วยวิธีการทดสอบจำนวนแผ่นทั้งหมด 4 ตัวอย่างสำหรับแผ่นพื้นรับแรงสองทาง แบบเท่าขนาดของจริงเต็มแผ่น SIP มีขนาดกว้าง 1.2 ม. และยาว 2.0 ม. ที่มีความหนา ต่างกัน คือ 0.10 ม. และ 0.14 ม. และ 5 ตัวอย่างสำหรับแผ่นพื้นรับแรงทางเดียว ขนาด 1.2 ม. ยาว 2.4 ม. เสริมและไม่เสริม GFRP ถูกทดสอบภายใต้การให้น้ำหนักแบบกระจายสม่ำเสมอจนวิบัติ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นสองทาง SIP ที่มีความหนา 0.10 ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 225 กก./ตร.ม ภายใต้ขีดจำกัดของน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อกำหนดสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยเชิงพาณิชย์และแผ่น SIP ความหนา 0.14 ม. สามารถรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 365 กก./ตร.ม. และผลการทดสอบแผ่นพื้นรับแรงทางเดียวแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้น SIP ที่เสริมด้วยวัสดุ CFRP สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นพื้นเสริมวัสดุ GFRP ดังนั้น GFRP ที่วางระหว่างแผ่นโฟมกับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เป็นผิวหน้าของแผ่น SIP นั้นเป็นวิธีที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการรับแรงดัด

คำสำคัญ: แผงฉนวนโครงสร้าง แผ่นพื้นทางเดียว แผ่นพื้นสองทาง วัสดุใยแก้วเสริมแรง
ประสิทธิภาพการรับแรงดัด การเสริมความแข็งแรง

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Flexural Performance of Structural Insulated Panel Slabs Strengthened by Fiber Reinforced Polymer |
| Name – Surname | Mr.Theeraphol Piamsuphakpong |
| Program | Civil Engineering |
| Thesis Advisor | Mrs.Meng Jing, D.Eng. |
| Academic Year | 2013 |

ABSTRACT

Structural Insulated Panels (SIP) is a good material in building and housing construction with the good properties such as heat insulation, load absorption, strength, durability and low construction cost. Due to the lack of research on SIP slabs in Thailand, the flexural performance of SIP slabs with or without GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) strengthening were studied in this research

In this research, it has to strengthen the GFRP to the mat SIP with the test four samples for two way slab is the size of a full scale SIP wide 1.2 m and 2.0 m with a thickness of 0.10 m and 0.14 m is different and the five sample strength for one way slab, 1.2 m wide and 2.4 m long reinforced and non-reinforced GFRP were tested under uniformly distributed loading till failure.

The test results indicated that, two-way SIP slabs in thickness of 0.10 m could bear load of 225 kg/m^2 under service limit, which met the requirements for residential and light commercial buildings. For slab in thickness of 0.14 m, the load bearing capacity increased to 365 kg/m^2 . And the test results of one way SIP slabs showed that CFRP strengthen SIP slabs can carry more load than that of slabs strengthened GFRP. Pasting GFRP between form core and fiber cement board facing of SIP slabs was a feasible method to improve the flexural performance of SIP panel slabs.

Keywords: structural insulated panel, one way slabs, two way slabs, glass fiber reinforced polymer, flexural performance, strengthen

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ ดร.หิมิง จิ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปีติสานต์ กร้ามาตร ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต กรรมการสอบและดร.ภักววัฒน์ แสนเจริญ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สมาชิกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนนักศึกษาที่ช่วยเหลือด้านกำลังกายและเป็นกำลังใจ บริษัท เอสซีจีผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แผ่นสมาร์ทบอร์ด และบริษัท เอเชียกั๊นัม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาการต่างๆ ให้ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา อีกทั้งเพิ่มพูนประสบการณ์เทคนิคต่างๆ ในการคิดวิเคราะห์และให้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธา พร้อมกับปลูกฝังแนวคิดแนวทางปฏิบัติตน เพื่อให้เป็นบุคลากรที่ดีของสังคมต่อไป

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ช่วยอบรมสั่งสอนและพี่น้อง ภรรยา ลูก ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

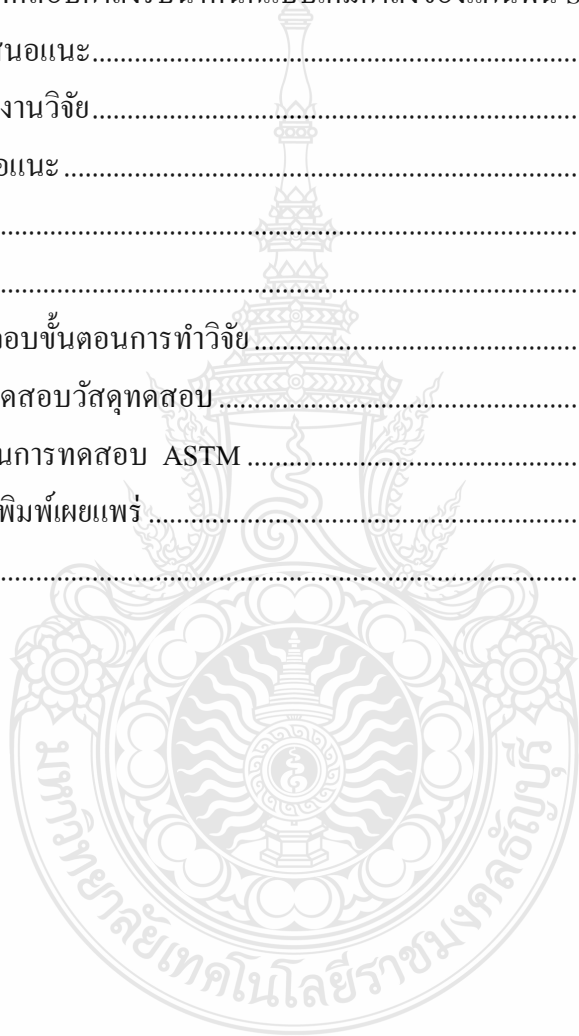
ธีระพล เปี่ยมสุภักพงศ์

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | (3) |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | (4) |
| กิตติกรรมประกาศ..... | (5) |
| สารบัญ..... | (6) |
| สารบัญตาราง..... | (8) |
| สารบัญรูป..... | (11) |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 16 |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... | 16 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 18 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... | 18 |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา..... | 20 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 20 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 21 |
| 2.1 แผงฉนวน โครงสร้าง (Structural Insulated Panels)..... | 21 |
| 2.2 ทฤษฎีมาตรฐานการทดสอบแผ่นพื้น..... | 24 |
| 2.3 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ ที่นำมาประกอบเป็นแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวน ใยแก้ว..... | 29 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 37 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 48 |
| 3.1 วัสดุ..... | 48 |
| 3.2 ขั้นตอนการประกอบแผ่น..... | 52 |
| 3.3 วิธีการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุตัวอย่าง..... | 56 |
| 3.4 การรายงานผลการทดสอบ..... | 64 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... | 66 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.1 ผลการทดสอบแรงอัดของวัสดุตัวอย่าง | 66 |
| 4.2 ผลการทดสอบแรงค้ำของวัสดุตัวอย่าง | 70 |
| 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของพื้น SIP (Two Way Slab) | 75 |
| 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของแผ่นพื้น SIP (One Way Slab) | 93 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... | 110 |
| 5.1 สรุปผลงานวิจัย..... | 110 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 111 |
| รายการอ้างอิง..... | 113 |
| ภาคผนวก..... | 116 |
| ภาคผนวก ก รูปประกอบขั้นตอนการทำวิจัย..... | 117 |
| ภาคผนวก ข ผลการทดสอบวัสดุทดสอบ | 137 |
| ภาคผนวก ค มาตรฐานการทดสอบ ASTM | 144 |
| ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ | 163 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 178 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโฟม (EPS) | 31 |
| ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์..... | 32 |
| ตารางที่ 2.3 ขนาด ความหนา และราคาของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์..... | 32 |
| ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไฟเบอร์รุ่น KNC 125 | 36 |
| ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตาข่ายใยแก้วรุ่น KNA 206-AC | 37 |
| ตารางที่ 2.6 การทดสอบการรับแรงค้ำของแผ่น 3D | 47 |
| ตารางที่ 3.1 แผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทดสอบแรงอัด..... | 51 |
| ตารางที่ 3.2 แผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทดสอบแรงค้ำ..... | 53 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชั้นตัวอย่าง SI-10-CT..... | 68 |
| ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชั้นตัวอย่าง SI-14-CT..... | 69 |
| ตารางที่ 4.3 จำลองลักษณะชั้นวัสดุ CSIP และการทดสอบแผ่นพื้น CSIP | 69 |
| ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชั้นตัวอย่าง GF-14-CT | 69 |
| ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชั้นตัวอย่าง CF-10-CT | 69 |
| ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชั้นตัวอย่าง | 70 |
| ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชั้นตัวอย่าง SI-10-BT..... | 71 |
| ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชั้นตัวอย่าง SI-14-BT..... | 72 |
| ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชั้นตัวอย่าง GF-10-BT | 72 |
| ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชั้นตัวอย่าง GF-14-BT | 72 |
| ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชั้นตัวอย่าง CF-12-BT | 72 |
| ตารางที่ 4.12 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงค้ำ | 73 |
| ตารางที่ 4.13 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab | 77 |
| ตารางที่ 4.14 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT Two Way Slab | 78 |
| ตารางที่ 4.15 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-10-FT Two Way Slab..... | 79 |
| ตารางที่ 4.16 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-14-FT Two Way Slab..... | 80 |
| ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) | 81 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | | |
|---------------|---|-----|
| ตารางที่ 4.18 | ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ $L/360$ หรือ 3.00 มม..... | 83 |
| ตารางที่ 4.19 | เปรียบเทียบร้อยละของการรับน้ำหนักแต่ละชนิดของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ $L/360$ หรือ 3.00 มม..... | 83 |
| ตารางที่ 4.20 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านบนที่ขนานกับด้านสั้น (Ch02)..... | 84 |
| ตารางที่ 4.21 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านบนที่ขนานกับด้านยาว (Ch03)..... | 85 |
| ตารางที่ 4.22 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่างที่ขนานกับด้านสั้น (Ch01)..... | 87 |
| ตารางที่ 4.23 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่างที่ขนานกับด้านยาว (Ch00)..... | 88 |
| ตารางที่ 4.24 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) $L/360 = 3.00$ mm ที่ได้จากการ Interpolated Data..... | 90 |
| ตารางที่ 4.25 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) $L/360 = 3.00$ mm เทียบระหว่างเสริมกับไม่เสริม GFRP ที่ความหนาเดียวกันและความหนาต่างกัน..... | 91 |
| ตารางที่ 4.26 | การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-10 –FT One Way Slab..... | 94 |
| ตารางที่ 4.27 | การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-10-FT One Way Slab..... | 95 |
| ตารางที่ 4.28 | การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น CF-10-FT One Way Slab..... | 96 |
| ตารางที่ 4.29 | การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT One Way Slab..... | 98 |
| ตารางที่ 4.30 | การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-14-FT One Way Slab..... | 100 |
| ตารางที่ 4.31 | ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab)..... | 102 |
| ตารางที่ 4.32 | ผลการหาค่า Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab) ที่ $L/360 = 6.6$ mm ที่ได้จากการ Interpolated Data..... | 103 |
| ตารางที่ 4.33 | ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH02) Top..... | 105 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | | |
|---------------|---|-----|
| ตารางที่ 4.34 | ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH00) Bottom | 106 |
| ตารางที่ 4.35 | ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH03) Top..... | 107 |
| ตารางที่ 4.36 | ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH01) Bottom..... | 108 |



สารบัญรูป

| | | หน้า |
|-------------|---|------|
| รูปที่ 2.1 | SIP ที่มีแกนกลางเป็น โฟมและคั่นด้วยแผ่นไม้เสริมเส้นใย | 21 |
| รูปที่ 2.2 | ชนิดของแผ่น SIP | 22 |
| รูปที่ 2.3 | เปรียบเทียบ SIP เสมือนเป็นคานเหล็กรูปพรรณตัวไอ | 22 |
| รูปที่ 2.4 | ส่วนต่างๆของ โครงสร้างบ้านที่ทำด้วย SIP | 22 |
| รูปที่ 2.5 | การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อน้ำหนักของวัสดุเซรามิก | 23 |
| รูปที่ 2.6 | โฟม Expanded Polystyrene Foam (EPS) ที่ตัดตามขนาด | 30 |
| รูปที่ 2.7 | ลักษณะเส้นใย FRP | 35 |
| รูปที่ 2.8 | ตาข่ายใยแก้ว (GFRP) รุ่น KNA 206-AC..... | 36 |
| รูปที่ 2.9 | การประยุกต์ใช้ใยธรรมชาติและโฟมพอลิยูรีเทนสำหรับ โครงสร้างอาคาร รับน้ำหนัก | 38 |
| รูปที่ 2.10 | จำลองวัสดุแกนกลางเป็น ฟีนอลิก และวัสดุประกบเป็น FRB | 39 |
| รูปที่ 2.11 | จำลองลักษณะชั้นวัสดุ CSIP และการทดสอบแผ่นพื้น CSIP | 39 |
| รูปที่ 2.12 | เปรียบเทียบแผ่น CSIP ค่าการโก่งตัวจากFE เทียบกับการทดสอบจริง..... | 40 |
| รูปที่ 2.13 | การทดสอบแผ่นตัวอย่างที่เสริม โครงเครื่อด้านนอกและด้านใน | 40 |
| รูปที่ 2.14 | แปลนของ โครงเคร่าแผ่นตัวอย่างที่เสริม โครงเคร่าในการทดสอบ | 41 |
| รูปที่ 2.15 | จำลองแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์ใหม่ (3-D GFRP) | 42 |
| รูปที่ 2.16 | การทดสอบการรับแรงคดและกราฟค่าแรงเฉือนของแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้ว สามมิติเสริม โพลีเมอร์ใหม่(3-D GFRP) | 43 |
| รูปที่ 2.17 | จำลองแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์แนวตั้ง..... | 43 |
| รูปที่ 2.18 | แผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์แนวตั้ง ทดสอบแรงเฉือน | 44 |
| รูปที่ 2.19 | แผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์แนวตั้ง ทดสอบแรงคดโดยใช้ น้ำหนักเฉพาะจุด | 44 |
| รูปที่ 2.20 | แผ่น SIP ที่ออกแบบโดยมีโครงทำด้วยคอนกรีตผสมวัสดุเสริมต่างๆที่ใช้ ทดสอบ | 45 |
| รูปที่ 2.21 | แผ่น SIP ที่ออกแบบโดยไม่มีโครงทำด้วยคอนกรีตผสมวัสดุเสริมต่างๆที่ ใช้ทดสอบ..... | 45 |
| รูปที่ 2.22 | เรขาคณิตจำลอง แผง 3D PANELS ที่ใช้รับแรงคด | 46 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|-------------|--|
| รูปที่ 2.23 | จำลอง แผง 3D PANELS ที่ใช้รับแรงดัดและฐานรองรับ 46 |
| รูปที่ 2.24 | ผลการทดสอบการรับแรงดัดของแผ่น 3D และการโก่งตัวมากที่สุด 46 |
| รูปที่ 2.25 | การทดสอบการรับแรงดัดของแผ่น SIP ที่มีแผ่นไม้ OSB ปะกั 47 |
| รูปที่ 3.1 | แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ 48 |
| รูปที่ 3.2 | แผ่นโฟม EPS 48 |
| รูปที่ 3.3 | กาวโพลีไคโด 49 |
| รูปที่ 3.4 | แผ่นฉนวนใยแก้วชนิด KNA 206-AC 49 |
| รูปที่ 3.5 | ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ชนิด KNC 125 49 |
| รูปที่ 3.6 | ขั้นตอนการทำแผ่น SIP ขึ้นตัวอย่าง 53 |
| รูปที่ 3.7 | ติดตามถ่ายใยแก้วและคาร์บอนไฟเบอร์บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ 53 |
| รูปที่ 3.8 | ให้นำน้ำหนักกดทับแผ่น SIP จนกว่ากาวจะแห้ง 54 |
| รูปที่ 3.9 | ขั้นตอนการทากาวบนแผ่น โฟมและติดตามใยแก้ว (GFRP) แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ 54 |
| รูปที่ 3.10 | ประกบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บนแผ่น โฟมที่ทำด้วยกาว Poly Coat 54 |
| รูปที่ 3.11 | จำลองการประกอบแผ่นพื้น SIP โดยเสริม CFRP และ GFRP 55 |
| รูปที่ 3.12 | จำลองการประกอบแผ่นพื้น SIP ไม่เสริมวัสดุเสริมแรง 55 |
| รูปที่ 3.13 | ขึ้นตัวอย่างแผ่น SIP ใช้ทดสอบแรงอัด 56 |
| รูปที่ 3.14 | จำลองทิศทางการวางขึ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงอัด 56 |
| รูปที่ 3.15 | ขึ้นตัวอย่าง SIP ที่ใช้ทดสอบการรับแรงดัด 57 |
| รูปที่ 3.16 | ลักษณะการวางวัสดุและทิศทางการทดสอบรับแรงดัด 57 |
| รูปที่ 3.17 | เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ขนาด 100 ตัน 58 |
| รูปที่ 3.18 | ฐานเหล็กรองรับแผ่นพื้น Two Way ใช้รับน้ำหนักแบบแรงดัด Full Scale 59 |
| รูปที่ 3.19 | การจำลองน้ำหนักโดยใช้กระสอบบรรจุทรายถุงละ 30 กก 59 |
| รูปที่ 3.20 | ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดการยืดหดตัว 59 |
| รูปที่ 3.21 | ติดตั้งเครื่องวัดการโก่งตัว Linear variable Differential Transformer (LVDT) และ Dial Gauge ใต้แผ่นพื้น SIP Two Way Slab 60 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 3.22 | เครื่อง Data Logger แสดงผลการ โกงตัวและการยืดหดตัวเมื่อใส่น้ำหนักลงบนแผ่นวัสดุทดสอบ..... | 60 |
| รูปที่ 3.23 | การใส่น้ำหนักเพื่อทดสอบและอ่านค่าที่เครื่อง Data Logger..... | 60 |
| รูปที่ 3.24 | การจัดวางแท่นทดสอบวัสดุฐานรองรับแบบ One Way Slab | 61 |
| รูปที่ 3.25 | การวางแผ่นพื้นทดสอบบนแท่นทดสอบพื้น One Way Slab..... | 61 |
| รูปที่ 3.26 | ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ด้านบนและมองทางด้านข้าง..... | 62 |
| รูปที่ 3.27 | ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการ โกงตัว LVDT และ Dial Gauge..... | 62 |
| รูปที่ 3.28 | การวางกระสอบบรรจุทรายบนแผ่นวัสดุทดสอบ..... | 63 |
| รูปที่ 3.29 | เครื่อง Data Logger แสดงผลการ โกงตัวและการยืดหดตัว เมื่อใส่น้ำหนักลงบนแผ่นวัสดุทดสอบ | 63 |
| รูปที่ 3.30 | การทดสอบแผ่นSIP โดยเพิ่มน้ำหนัก สังเกตพฤติกรรมของแผ่นSIP..... | 64 |
| รูปที่ 3.31 | การวิบัติของแผ่นวัสดุทดสอบ | 64 |
| รูปที่ 4.1 | ลักษณะการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง | 66 |
| รูปที่ 4.2 | ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-10-CT เนื่องจากแรงอัด..... | 67 |
| รูปที่ 4.3 | ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-10-CT เนื่องจากแรงอัด | 67 |
| รูปที่ 4.4 | ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง CF-10-CT เนื่องจากแรงอัด..... | 67 |
| รูปที่ 4.5 | ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-14-CT เนื่องจากแรงอัด..... | 68 |
| รูปที่ 4.6 | ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-14-CT เนื่องจากแรงอัด | 68 |
| รูปที่ 4.7 | ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงคัด (ก) GF-10-BT (ข) SI-14-BT | 70 |
| รูปที่ 4.8 | ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงคัด(ก) ชิ้นวัสดุรับแรงคัด SI-10-BT (ข) ชิ้นวัสดุรับแรงคัด GF-14-BT | 71 |
| รูปที่ 4.9 | ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงคัด CF-10-BT | 71 |
| รูปที่ 4.10 | ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงคัดของชิ้นตัวอย่าง SI-10-BT..... | 73 |
| รูปที่ 4.11 | ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงคัดของชิ้นตัวอย่าง GF-10-BT | 73 |
| รูปที่ 4.12 | ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงคัดของชิ้นตัวอย่าง SI-14-BT..... | 74 |
| รูปที่ 4.13 | ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงคัดของชิ้นตัวอย่าง GF-14-BT | 74 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | | หน้า |
|-------------|--|------|
| รูปที่ 4.14 | ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงคัดของชิ้นตัวอย่าง CF-10-BT..... | 74 |
| รูปที่ 4.15 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) | 82 |
| รูปที่ 4.16 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่กึ่งกลาง ด้านบนที่ขนานกับด้านสั้น (Ch02)..... | 85 |
| รูปที่ 4.17 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่กึ่งกลาง ด้านบนที่ขนานกับด้านยาว (Ch03)..... | 86 |
| รูปที่ 4.18 | ความสัมพันธ์ Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) บริเวณกึ่งกลางแผ่น ด้านล่างที่ขนานด้านสั้น (Ch01) | 88 |
| รูปที่ 4.19 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain (Ch03) ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่างที่ขนานกับด้านยาว | 89 |
| รูปที่ 4.20 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ด้านบนและด้านล่างในทิศทางขนาน ด้านยาวของ แผ่นพื้น (Two Way Slab)..... | 92 |
| รูปที่ 4.21 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ด้านบนและด้านล่าง ในทิศทางขนาน ด้านสั้นของแผ่นพื้น (Two Way Slab)..... | 93 |
| รูปที่ 4.22 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab) | 102 |
| รูปที่ 4.23 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) ด้านบนซ้าย(CH02)..... | 104 |
| รูปที่ 4.24 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านล่างซ้าย (CH00)..... | 105 |
| รูปที่ 4.25 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านบนซ้าย (CH02) และด้านล่างซ้าย (CH00)..... | 106 |
| รูปที่ 4.26 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) ด้านบน ขวา (CH03)..... | 107 |
| รูปที่ 4.27 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านล่างขวา (CH01)..... | 108 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|-------------|--|
| รูปที่ 4.28 | ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านบนขวา (CH03) และด้านล่างขวา (CH01) 108 |
|-------------|--|



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันโครงสร้าง พื้น เป็นโครงสร้างที่สำคัญอย่างหนึ่งคือทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักบรรทุกจร หรือน้ำหนักผู้คนที่ใช้อาคาร วัสดุอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ใช้ในอาคารช่วงความยาวไม่มากนักเช่นในอาคาร บ้าน ตึกแถวหรือแม้แต่ในอาคารสำนักงานใหญ่ๆ แต่เนื่องจากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีการใช้อย่างมากในประเทศไทย แต่มีขั้นตอนการก่อสร้างหลายขั้นตอน ตั้งแต่ เตรียมแบบสำหรับหล่อคอนกรีต ผูกเหล็กพื้น และเทคอนกรีตทั้งยังต้องอาศัยแรงงานเป็นจำนวนมาก และมีการนำความร้อนสูง ทำให้ต้องมีการปรับอากาศในห้องจึงไม่เป็นการประหยัดพลังงาน ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวัสดุ แผ่นพื้น ที่เป็นฉนวนกันความร้อน มีความสามารถในการรับแรงได้ดี แข็งแรง ทนทาน เพื่อนำมาสร้างอาคาร บ้าน ตึกแถวได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และที่สำคัญคือน้ำหนักเบา หากแผ่นพื้นน้ำหนักเบา ทำให้โครงสร้างในส่วนของเขา ฐานรากของอาคารเล็กลงไปด้วย ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างไปด้วย

การพัฒนาเทคโนโลยีของแผ่นพื้นฉนวนโครงสร้าง (SIP) ได้มีการพัฒนาแผ่นพื้น SIP ใช้ในงานอาคารต่างๆ ในต่างประเทศเช่น แคนาดา อเมริกา นอกจากนี้ยังพัฒนาเป็น แผ่นหลังคา SIP เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการตั้งองค์กรเป็นมาตรฐานเช่น SIPA และมีสมาชิกเป็นบริษัทผู้ผลิตแผ่น SIP ผู้ออกแบบ และก่อสร้าง อยู่หลายบริษัทเช่น Timberline Panel Company ในประเทศอังกฤษ บริษัท FischerSIPS® ในประเทศอเมริกา

แผ่นฉนวนโครงสร้าง Structure Insulated Panel (SIP) คือวัสดุที่ประกอบไปด้วย แผ่น 2 แผ่นประกบด้านบนและด้านล่างที่มีแกนกลางเป็นโฟมโพลีเมอร์แข็ง เรียงเป็นชั้นยึดติดด้วยกาว ซึ่งแผ่นประกบนั้นอาจจะเป็นโลหะ แผ่นไม้อัด แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ ส่วนโฟมนั้นอาจเป็นโฟมขยาย Expanded Polystyrene Foam (EPS) โฟมอัด Extruded Polystyrene (XPS) โฟม Polyisocyanurate หรือโฟมยูรีเทน ก็ได้

แผ่นฉนวนโครงสร้าง Structure Insulated Panel (SIP) อาจจะมีชื่อเรียกระบบงานแตกต่างกันออกไปในแต่ละบริษัท แต่หลักการสำคัญที่เหมือนกัน คือ การที่โครงสร้างถูกออกแบบให้เป็น ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing System) โดยที่ไม่ต้องก่อสร้างเสาและคานาก่อน แล้วจึงทำงานพื้นต่อไป (ด้วยการเทหรือยกแผ่นสำเร็จมาวาง)

โดยแผ่นพื้นและผนังสำเร็จ จะถูกผลิตขึ้นจากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพ และอัตราส่วน
ของส่วนประกอบต่างๆ โดยระบบคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นขนาดของเหล็ก ส่วนผสมของคอนกรีต
รวมทั้งการใช้เครื่องจักรกลเป็นส่วนหลักในการผลิต ที่ให้ความแม่นยำสูงกว่าแรงงานคน ซึ่งงานที่
ผลิตออกมาจึงมีคุณภาพมาตรฐานเท่าเทียมกันทุกชิ้น นอกจากนี้ยังมีการกำหนดตำแหน่งและเจาะช่อง
เปิดประตู หน้าต่าง ช่องสำหรับท่อร้อยสายไฟฟ้า ท่อน้ำดี น้ำเสีย เอาไว้ตั้งแต่ในขั้นตอนการผลิต เมื่อ
การนำชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันที่หน้างานเสร็จสิ้น งานระบบอื่น ๆ ก็สามารถทำงานต่อเนื่องได้
อย่างง่ายดาย

โดยหลักแล้วระบบก่อสร้างบ้านสำเร็จจะไม่มีเสาและคาน แต่จะใช้ผนังเป็นตัวรับน้ำหนัก
แทน ส่วนแผ่นผนังจะผลิตด้วยวิธีใดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของผู้ผลิตหรือผู้ก่อสร้างแต่ละราย เช่น ผนัง
คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นชิ้นสำเร็จ หรือ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กแบบแซนวิช (ผนัง 2 แผ่น เว้นช่องไว้
สำหรับเทคอนกรีตเชื่อม) เป็นต้น การเชื่อมต่อ (Connection) ของแต่ละชิ้นส่วนที่นำมาประกอบก็
แตกต่างกันไป เช่น บางระบบเชื่อมต่อด้วย น็อต คอนกรีต หรือแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเข้าลิ้น
หรือมีระบบล็อกในตัว เป็นต้น

ส่วนวิธีการก่อสร้างจะเริ่มตั้งแต่การตอกเสาเข็ม ทำฐานรากและคานคอดิน เหมือนกับการ
ก่อสร้างแบบเดิม ๆ จากนั้นจึงนำแผ่นพื้นและผนังสำเร็จรูปเข้ามาประกอบตามที่ได้ออกแบบไว้ เริ่ม
ตั้งแต่ ผนังรับน้ำหนักชั้นล่าง แผ่นพื้นชั้นล่าง ผนังชั้นสอง แผ่นพื้นชั้นสอง โดยชิ้นส่วนต่างๆ จะได้รับ
การเชื่อมประสานตามเทคนิควิธีการของแต่ละระบบ ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสำคัญ เพราะการเชื่อมต่อ
จะต้องมีคุณภาพ ต้องมั่นคง กันน้ำรั่วซึมและสามารถรับแรงด้านข้างได้

ความรวดเร็วในการก่อสร้างบ้าน 1 หลัง ที่แต่เดิมอาจต้องใช้เวลา 5-8 เดือน สำหรับบ้าน 2
ชั้นทั่ว ๆ ไป แต่เมื่อเป็นชิ้นส่วนสำเร็จที่ เพียงยกมาติดตั้งหลังจากงานฐานราก จากนั้นตกแต่งเพิ่มเติม
ในส่วนรายละเอียดปลีกย่อย รวมใช้เวลาก่อสร้างจนแล้วเสร็จพร้อมเข้าอยู่อาศัยประมาณ 2 เดือนเศษ
ขึ้นอยู่กับความรวดเร็วในการทำงานฐานรากและงานตกแต่งส่วนภายใน ลักษณะพื้นผิวของชิ้นส่วน
สำเร็จรูปมีความเนียนเรียบอยู่แล้ว เมื่อติดตั้งเสร็จไม่ต้องฉาบทับ ก็สามารถทาสีทับได้ทันที ส่วนใน
การวางระบบต่าง ๆ ทั้งไฟฟ้า ประปา สุขาภิบาล ก็ทำงานได้ง่ายขึ้นเพราะมีการวางท่อวางระบบไว้ใน
ช่องผนังและพื้นสำเร็จรูปอยู่แล้ว เหล่านี้คือปัจจัยที่ทำให้การก่อสร้างบ้านโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จมีความ
สะดวกรวดเร็วกว่าระบบก่อสร้างเสาคานพื้นและก่ออิฐฉาบปูนแบบเดิม

ในส่วนองแรงงานก่อสร้างนั้น ถือว่าระบบก่อสร้างบ้านโดยชิ้นส่วนสำเร็จเข้ามาช่วย
แก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานได้เป็นอย่างดี เพราะในขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนนั้น จะมีเพียง

คนขับรถเครนที่ใช้ยกชิ้นส่วน กับผู้ช่วยยึดจับอีกเพียงไม่กี่คน นอกจากนี้ในส่วนของแรงงานฝีมือก็ลด
ลดความจำเป็นต้องใช้ออกไป ลดปัญหาความไม่แน่นอนของแรงงานระดับฝีมือช่าง

ส่วนแบบบ้านที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างระบบสำเร็จรูปนั้น มักเป็นบ้านที่ไม่ค่อยมี
รายละเอียด การตกแต่งมากนัก รวมทั้งจะเป็นแบบที่ค่อนข้างซ้ำ ๆ เดิม ๆ โดยผู้ประกอบการที่ใช้
ระบบก่อสร้างชนิดนี้ ก็ยอมรับว่า ถ้าจะให้คุ้มค่างับการลงทุนออกแบบ และแบบบ้าน ผลิตชิ้นส่วนใน
การก่อสร้างแต่ละครั้ง ก็ จะต้องสร้างบ้านในแบบดังกล่าวเป็นจำนวน 50-100 หลังขึ้นไป ยิ่งสร้างใน
ปริมาณมากเท่าไรก็จะยิ่งเป็นการประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างของผู้ประกอบการมากเท่านั้น

จากแนวทางในการศึกษาผนังฉนวน โครงสร้าง (SIP) เพื่อใช้แทนเสานั้น พื้นที่เป็นส่วน
หนึ่งของโครงสร้างที่สำคัญของอาคารและบ้าน ดังนั้นจึงต้องการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกำลังรับ
น้ำหนักของพื้น SIP ว่าจะสามารถทดแทนแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้หรือไม่ ซึ่งในปัจจุบันนี้ยัง
พบว่ามีการศึกษาและวิจัยแผ่นพื้น SIP ในประเทศไทยไม่มากนักและอาจไม่มั่นใจว่าแผ่นพื้น SIP จะ
สามารถรับน้ำหนักมากน้อยเพียงใดและหากมีการศึกษาและวิจัยแผ่นพื้น SIP โดยเพิ่มวัสดุเสริมแรง
Fibre-Reinforced Plastic (FRP) จะได้ทราบว่ามีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้นหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP แบบแผ่นพื้นรับแรงทางเดียว
(One Way Slab) และแผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีแกนกลางเป็นโฟมมี
ความสูง(หนา)แตกต่างกัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษากำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุเสริมแรง FRP (Fiber Reinforced
Polymer)
- 1.2.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่เสริมวัสดุเสริมแรง FRP
(Fiber Reinforced Polymer) ต่างกันจะมีผลต่อกำลังของแผ่นพื้น SIP นั้นอย่างไร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุแกนกลางเป็น โฟม Polystyrene Foam
(EPS) ความหนาแน่น 24 กก./ม.³ ชนิดเติมสารหน่วงไฟหนา 80 มม. และ 120 มม. ที่ประกอบด้วยไฟ
เบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ด้านบนและด้านล่าง) กว้าง 1200 มม. ยาว 2400 มม. ด้วยกาวโ

ลิเธียม ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 2 ด้าน แบบแผ่นพื้นทางเดียว (One Way Slab) อย่างละ 1 ตัวอย่าง

1.3.2 ศึกษาการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุแกนกลางเป็น โฟม Polystyrene Foam (EPS) ความหนาแน่น 24 กก./ม.³ ชนิดเติมสารหน่วงไฟหนา 80 มม. และ 120 มม. ที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ด้านบนและด้านล่าง) กว้าง 1200 มม. ยาว 2000 มม. ทาด้วยกาว โพลียูรีเทนและเสริม ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 4 ด้าน แบบแผ่นพื้นสองทาง (Two Way Slab) อย่างละ 1 ตัวอย่าง

1.3.3 ศึกษาการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุแกนกลางเป็น โฟม Polystyrene Foam (EPS) ความหนาแน่น 24 กก./ม.³ ชนิดเติมสารหน่วงไฟหนา 80 มม. และ 120 มม. ที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ด้านบนและด้านล่าง) กว้าง 1200 มม. ยาว 2400 มม. ด้วยกาว โพลียูรีเทนและเสริมตาข่ายใยแก้ว (GFRP) รุ่น KNV 206-AC ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 2 ด้าน แบบแผ่นพื้นทางเดียว (One Way Slab) อย่างละ 1 ตัวอย่าง ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 2 ด้าน

1.3.4 ศึกษาการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุแกนกลางเป็น โฟม Polystyrene Foam (EPS) ความหนาแน่น 24 กก./ม.³ ชนิดเติมสารหน่วงไฟหนา 80 มม. ที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ด้านบนและด้านล่าง) กว้าง 1200 มม. ยาว 2000 มม. ด้วยกาว โพลียูรีเทนและเสริมฉนวนใยแก้ว (GFRP) รุ่น KNV 206-AC ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 4 ด้าน แบบแผ่นพื้นสองทาง (Two Way Slab) อย่างละ 1 ตัวอย่าง ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับรอบ 4 ด้าน

1.3.5 ศึกษาการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ที่มีวัสดุแกนกลางเป็น โฟม Polystyrene Foam (EPS) ความหนาแน่น 24 กก./ม.³ ชนิดเติมสารหน่วงไฟหนา 80 มม. ที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ด้านบนและด้านล่าง) กว้าง 1200 มม. ยาว 2000 มม. ด้วยกาว โพลียูรีเทนและเสริมคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) รุ่น KNC 125 ถายนํ้าหนักเข้าที่ฐานรองรับ 2 ด้าน แบบแผ่นพื้นทางเดียว (One Way Slab) จำนวน 1 ตัวอย่าง

โดยพิจารณากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของพื้นที่ทั้ง 2 แบบ ลักษณะการแตกร้าว และลักษณะรูปแบบการวิบัติแตกร้าวของแผ่นพื้น และระยะ โกงตัวสูงสุดโดยใช้นํ้าหนักที่ทดสอบ กระจายไปทั่วแผ่นพื้น โดยใช้ระยะ โกงตัวสูงสุดคือ L/50 ที่กึ่งกลางของแผ่นพื้นหรือจนกระทั่งแผ่นพื้นเสียรูปและไม่สามารถรับน้ำหนักได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ดำเนินการประกอบวัสดุแผ่นพื้น SIP ขนาด 1200 มม. ยาว 2400 มม. และขนาด 1200 มม. ยาว 2000 มม. วางบนฐานแท่นโครงเหล็กรับแผ่นพื้นตามพฤติกรรมการออกแบบ แล้วติดตั้งเครื่องมือวัดการโก่งตัวจำนวน 2 ชุดได้ตัวอย่างทดสอบ ติดตั้ง Strain Gauges ด้านล่างและด้านบนของพื้นทดสอบอย่างละ 2 ตัวและทำการเพิ่มน้ำหนักกระจายไปบนแผ่นพื้น SIP จนถึงน้ำหนักสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP แบบรับแรงทางเดียวและแบบรับแรงสองทางที่ไม่เสริม GFRP เสริม GFRP และเสริมคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP)

1.5.2 ทำให้ทราบว่าความหนาของแผ่นพื้น SIP แบบรับแรงทางเดียวและรับแรงสองทางมีผลต่อการรับน้ำหนักมากขึ้นหรือไม่ระหว่างแผ่นพื้น SIP ที่เสริมด้วย GFRP กับแผ่นพื้น SIP ที่ไม่เสริม GFRP และแผ่นพื้น SIP ที่เสริมด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

1.5.3 ทำให้สามารถนำค่าการโก่งตัว และค่าการยืดหดตัว ของแผ่นพื้น SIP ที่นำมาทดสอบแบบรับแรงทางเดียวและรับแรงสองทางที่เสริม ไม่เสริม GFRP และ CFRP มาสร้างสมการเพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป

1.5.4 เป็นพื้นฐานการศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุสำเร็จรูปเพื่อนำไปเป็นชิ้นส่วนของบ้านประหยัดพลังงานต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผงฉนวนโครงสร้าง (Structural Insulated Panels)

แผงฉนวนโครงสร้าง (Structural Insulated Panels) SIPs เป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งของวัสดุเชิงประกอบ (Composite Material) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นฉนวนโพลีโพลีเมอร์แข็งคั่นกลางระหว่างแผ่นวัสดุสองชั้น โดยวัสดุชั้นบนจะมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะ ไม้อัด ซีเมนต์ แผ่นแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) หรือแผ่นไม้เสริมเส้นใย Oriented Strand Board (OSB) ดังรูปที่ 2.1 และแกนกลางอาจเป็นทั้งโฟมสไตรีนที่ขยาย (EPS) โฟมสไตรีนอัด (XPS) โฟม Polyisocyanurate โฟมยูรีเทนหรือรังผึ้งประกอบ Honeycomb (HSC) อย่างใดอย่างหนึ่ง ดังรูปที่ 2.2 แผ่น SIPs มีคุณสมบัติของโครงสร้างเช่นเดียวกับ คานรูปตัว I หรือเสารูปตัว I ส่วนแกนกลางเป็นฉนวนกันความร้อนของ SIP ทำหน้าที่เป็น เว็บ (Web) ในขณะที่ แผ่นประกบทำหน้าที่เป็น ครีบ (Flanges) เหมือนในคานเหล็ก ดังรูปที่ 2.3

SIPs ใช้เป็นส่วนประกอบของอาคารทั่วไปเช่น คาน และตงไม้ ฉนวนกันความร้อนบริเวณแกนกลางป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ SIPs สามารถใช้สำหรับการใช้งานที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมากเช่น ผนังภายนอกหลังคาพื้นและระบบฐานราก [1]



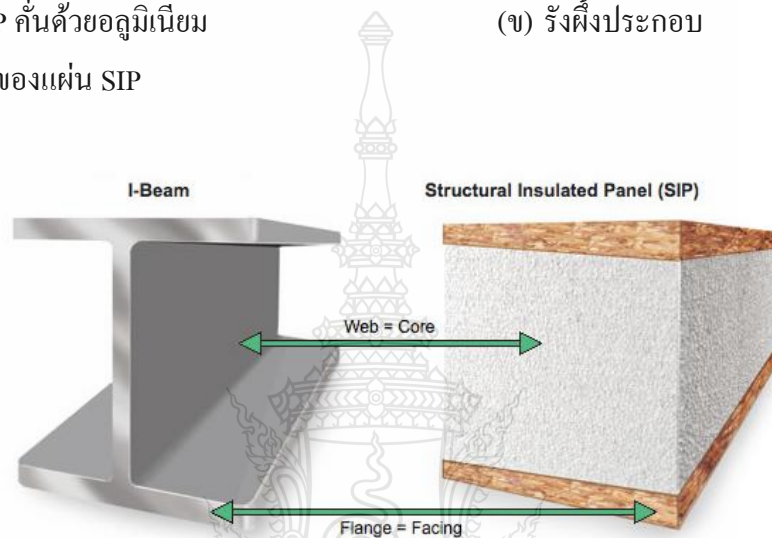
รูปที่ 2.1 SIP ที่มีแกนกลางเป็นโฟมและคั่นด้วยแผ่นไม้เสริมเส้นใย



(ก) SIP คั่นด้วยอลูมิเนียม

(ข) รั้งฟุ้งประกอบ

รูปที่ 2.2 ชนิดของแผ่น SIP



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบ SIP เสมือนเป็นคานเหล็กรูปพรรณตัวไอ

ผนังฉนวนโครงสร้างนี้สามารถใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ผนังภายนอก แผ่นหลังคา ดังรูปที่ 2.4 แผงฉนวนโครงสร้างนี้เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี 1930 ในประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นมีการวิจัยและทดสอบวัสดุ SIPs แพร่หลายมากในยุโรปและเอเชีย



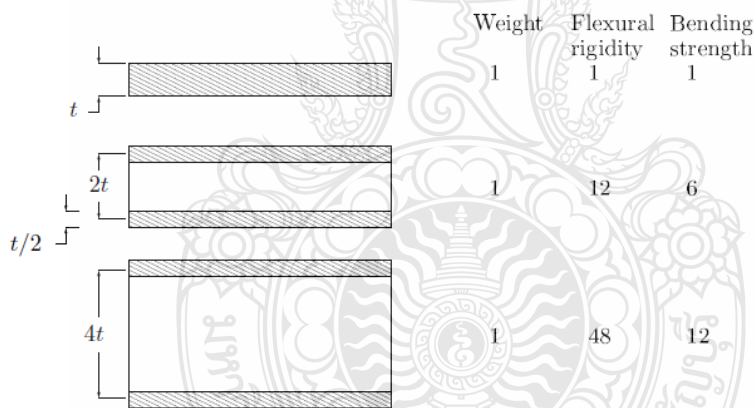
รูปที่ 2.4 ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างบ้านที่ทำด้วย SIP

ข้อดีของแผ่น SIPs คือ คุณภาพของวัสดุสามารถควบคุมได้ ระยะเวลาการก่อสร้างเร็วกว่าแบบทั่วไป น้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นที่รับแรงได้เท่ากัน

ผู้ผลิตบางรายอาจใช้เครื่องเคลือบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะขึ้นรูปและตัดตามขนาดที่ความโน้มหลดมาจาก แบบแปลนดิจิทัล และไปตัดตามแบบ ซึ่งสามารถนำไปประกอบเป็นชิ้นส่วนในงานก่อสร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว โดยคนงานที่ไม่จำเป็นต้องมีการฝึกหรือเรียนรู้มากนัก แต่หากมีการฝึกอบรมเพิ่มทักษะขึ้นจะทำให้การก่อสร้าง SIPs สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว มีความแข็งแรง และประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้ผลิตหลายรายในต่างประเทศจะผลิต ความกว้างของแผงมาตรฐาน จาก 4 ฟุตหรือ 1.20 เมตร เพื่อความสะดวกในการขนส่ง และการจัดการ แต่ บางครั้งอาจออกแบบให้มีความกว้างมากเพื่อออกแบบ สำหรับเจาะเป็นประตูและหน้าต่าง

2.1.1 คุณสมบัติของวัสดุแกนวิช คือมีอัตราส่วนของความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนัก ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 2.5 พบว่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสูงมากเมื่อมีการเพิ่มความหนาของวัสดุแกนกลาง ขณะที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น[2]



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อน้ำหนักของวัสดุแกนวิช [2]

แผ่นประกบ (Facesheets) ทำหน้าที่รับความเค้นแรงดึงและความเค้นแรงอัดในวัสดุแกนวิช ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งค่าความแข็งแรงการดัดโค้ง (Flexural Rigidity) มีน้อยมาก วัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาทำแผ่นประกบเช่น เหล็ก เหล็กกล้า ไรซินิม อะลูมิเนียม และไฟเบอร์กลาส เป็นต้น คุณสมบัติของแผ่นประกบมีดังนี้[3] [4] [5]

- แข็งแรงสูง

- ด้านทานแรงดึงและแรงอัด
- ด้านทานแรงกระแทก
- ผิวเรียบ
- ด้านทานสิ่งแฉดล้อม
- ด้านทานการสึกหรอ

แกนกลาง (Core) ทำหน้าที่รับแรงเฉือนเป็นหลัก ดังรูปที่ ดังนั้นควรมีคุณสมบัติแข็งแรงในทิศทางต่างๆ และมีความหนาแน่นน้อย ซึ่งวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้ทำแกนกลาง เช่น โฟมสไตรีนที่ขยาย (EPS) โฟมสไตรีนอัด (XPS) โฟม Polyisocyanurate โฟมยูรีเทน แกนกลางมีคุณสมบัติดังนี้[3] [4] [5]

- ความหนาแน่นน้อย
- โมดูลัสการเฉือนสูง
- ความแข็งแรงการเฉือนสูง
- เป็นฉนวนกันความร้อนดี
- การดูดซับความชื้นดี
- แข็งแรงในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นประกอบ

2.2 ทฤษฎีมาตรฐานการทดสอบแผ่นพื้น

ความเค้น Stress หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้น ในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$F = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่
 F = ค่าแรงอัดที่อ่านได้จากเครื่องกด กิโลกรัม
 P = น้ำหนักกระทำในแนวแกน (อัด) (กก.)
 A = พื้นที่รับแรงอัดที่ตั้งฉากกับแนวแรง (ซม.²)

2.2.1 การหาค่ากำลังรับแรงดัด ค่ากำลังดัดเทียบเท่า (Equivalent Bending Strength) หรือค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) เป็นค่าความเค้นดัดเทียบเท่าสูงสุดในขณะที่เกิดการ

แตกร้าวในแผ่นทดสอบของการทดสอบแรงค้ำแบบ 2 จุดตามมาตรฐาน ASTM C78 “Standard Method for Flexural Strength” การหาค่าความเค้นค้ำเทียบเท่า จะทำการคำนวณหาจากหน้าค้ำที่ไม่พิจารณาถึงการแตกร้าวที่เกิดขึ้น (Uncracked Section) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$f_t = \frac{PL}{bd^2} \quad (2.2)$$

- เมื่อ f_t คือ ความเค้นค้ำเทียบเท่า (ksc)
 P คือ น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)
 L คือ ความยาวของแผ่นตัวอย่าง (ซม.)
 b คือ ความกว้างของแผ่นตัวอย่าง (ซม.)
 d คือ ความหนาของแผ่นตัวอย่าง (ซม.)

2.2.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลัง (Full-Scale Loading Test) ในระบบพื้นทางเดียวการทดสอบจะเป็นการทดสอบแผ่นพื้น SIP จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E 72-05 ซึ่งเป็นมาตรฐานของวิธีการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นพื้น ที่ใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง จำเป็นต้องทราบค่าความแข็งแรงหรือความแกร่งของวัสดุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางด้านวิศวกรรมและในการออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้าง ดังนั้นการทดสอบนี้จึงใช้จากการทดสอบค่ากำลังค้ำเทียบเท่า เพื่อคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อไป โมเมนต์สูงสุดที่ได้จากการทดสอบค่ากำลังค้ำเทียบเท่าจากรูปที่ 3.15 จากสมการที่ 2.3 และนำมาคำนวณความเค้นสูงสุด จากสมการที่ 2.4

จาก
$$M_{max} = \frac{PL}{6} \quad (2.3)$$

และ

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{PLC}{I} \quad (2.4)$$

เมื่อ

- σ คือ ความเค้น (ksc)
 M_{max} คือ โมเมนต์สูงสุด (กก.-ม.)

- P คือ กำลังสูงสุด (กก.)
- L คือ ความยาวของแผ่นตัวอย่างของการทดสอบค่ากำลังตัดเทียบเท่า (ชม.)
- C คือ ระยะจากแนวแกนสะเทินถึงผิวบน (ชม.)
- I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (ชม.⁴)

เนื่องจากขนาดแผ่นตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีขนาดกว้าง 1.20 เมตรยาว 2.40 เมตร เพราะฉะนั้นความยาว (L) จะเท่ากับ 1.20 เมตร

2.2.3 มาตรฐานการทดสอบ ASTM E72-05

การทดสอบแผ่นพื้น SIP จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E72-05 ซึ่งเป็นมาตรฐานของวิธีการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นพื้น ที่ใช้ในเป็นวัสดุในการก่อสร้างจำเป็นต้องทราบค่าความแข็งแรงหรือความแกร่งของวัสดุเพื่อใช้เป็นข้อมูลทางด้านวิศวกรรมและในการออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้าง ดังนั้นการทดสอบนี้จึงใช้แค่การทดสอบแรงอัด (Compressive Stress) แรงตัด (Modulus of Rupture) รายละเอียดมาตรฐาน ASTM E72-05

1) ขอบเขต

1. วิธีการทดสอบนี้จะครอบคลุมถึงวิธีการคำนวณค่าคุณสมบัติของโครงสร้างในลักษณะชิ้นส่วนตัวอย่างของผนัง พื้น และ โครงหลังคา

2. หน่วยเมตริกเป็นหน่วยที่ใช้ในการพิจารณาตามมาตรฐานเดิม

2) เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM

E4 การปฏิบัติเพื่อพิสูจน์หน่วยแรงของเครื่องทดสอบ

E 73 การปฏิบัติเพื่อหาค่าน้ำหนักกระทำคงที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการต้านทานแรงเฉือนของผนังหรือเฟรมของอาคาร

E 564 การปฏิบัติเพื่อหาค่าน้ำหนักคงที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการต้านทานแรงเฉือนของผนังหรือเฟรมอาคาร

E 575 การปฏิบัติเพื่อทำรายงานข้อมูล จากการทดสอบ โครงสร้างอาคาร ชิ้นส่วนวัสดุ รอยต่อและชิ้นส่วนประกอบ

E 661 วิธีการทดสอบไม้ พื้น ไม้และหลังคาภายใต้ น้ำหนักกระทำรวมระหว่าง น้ำหนักกระทำคงที่กับน้ำหนักจากการกระแทก หรือที่เกิดจากการสั่นสะเทือน

E 695 วิธีการทดสอบเกี่ยวกับเกณฑ์การวัดค่าความต้านทานของผนัง พื้นและ

โครงสร้างที่มีผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนหรือแรงกระแทก

E 2322 วิธีการทดสอบสำหรับการรับแรงในแนวทแยงและน้ำหนักกระทำรวมของแผ่นชั้นส่วนที่ใช้ในโครงสร้างพื้นและหลังคา

3) ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

1. จำนวนชั้นตัวอย่างที่ทดสอบทางกายภาพ ทุกการทดสอบชั้นตัวอย่างใช้
อย่างละ 3 ชั้นตัวอย่างซึ่งชั้นตัวอย่างทำจากวัสดุ และกระบวนการผลิตหรือประกอบขึ้นที่เหมือนกัน
ตามตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

2. ส่วนแผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบแบบ Full Scale ใช้ขนาด
1.20 x 2.4 เมตรส่วนความหนาเปลี่ยนแปลงตามความหนาของโฟมอีพีเอส (EPS) ซึ่งเป็นขนาดที่คาดว่าจะ
ใช้ในขนาดจริงตามตารางที่ 3.3

4) น้ำหนักกระทำ (Loading)

1. เครื่องมือ (Apparatus) หรือเครื่องทดสอบหรือเครื่องวัดน้ำหนักกระทำจะต้อง
เป็นไปตามเงื่อนไขหรือข้อกำหนด ที่แสดงไว้ในขั้นตอนของ E4

2. น้ำหนักกระทำใช้งาน (Application of Load) การให้น้ำหนักกระทำต่อชั้น
ตัวอย่างที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นในทุกๆ การทดสอบแล้วเลือกค่าที่อ่านได้จากการกำหนดไว้แล้วนำไปคำนวณ
ทำเป็นกราฟ บันทึกค่าเริ่มแรกของน้ำหนักกระทำและการเสียรูป โดยที่ยังไม่มีน้ำหนักใดๆ กระทำต่อ
ชั้นตัวอย่างหรือมีแรงเริ่มแรกเล็กน้อย จากนั้นเพิ่มน้ำหนักกระทำและปรับค่ากลับไปเริ่มต้นใหม่ เพิ่ม
น้ำหนักครั้งที่ 2 แล้วบันทึกผลเมื่อมีการเปลี่ยนรูปของชั้นตัวอย่าง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ แล้วบันทึกค่า
ครั้งที่ 3,4,5 ต่อไปเรื่อยๆ เมื่อชั้นตัวอย่างแสดงพฤติกรรมภายใต้ น้ำหนักกระทำซึ่งอาจจะเกิดการพัง
แบบฉับพลันหรืออาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องวัดได้ ให้เอาเครื่องวัดออกและเพิ่มน้ำหนักกระทำ
ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ชั้นตัวอย่างสามารถรับได้หรือในการทดสอบแบบ
Full Scale หากค่าการโก่งตัวเกิน L/50 ถือเป็นการสิ้นสุดการทดสอบ เพราะอาจเกิดอันตรายได้

3. ระยะเวลาของการให้น้ำหนักกระทำ (Duration of Load Application) ยกเว้น
การทดสอบแบบดึง (Racking Test) หลังจากทุกๆ การเพิ่มน้ำหนักกระทำใช้งาน ให้น้ำหนักกระทำ
คงที่กระจายเต็มพื้นที่ เริ่มอ่านค่าการเสียรูปหลังจากให้น้ำหนักไปแล้ว 15 นาที หลังจากอ่านค่าแล้ว
เพิ่มน้ำหนักอีก ทำแบบนี้ซ้ำจนจบการทดสอบ จากนั้นพล็อตค่าลงในกราฟน้ำหนักกระทำกับการเสีย
รูป (Load-Deformation) ให้รักษาน้ำหนักกระทำ การเสียรูปและเวลาแล้วบันทึกค่าตลอดการทดสอบ
สำหรับรอบเวลาที่ใช้งานคงที่ 15 นาทีกับการเพิ่มน้ำหนักกระทำ ให้เป็นไปตามที่แสดงนี้

4. เพื่อสามารถหยุดการทดสอบได้เมื่อเห็นสมควรหรือก่อนทุกอย่างจะวิบัติหลัง

การวิบัติขั้นแรกที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อการใช้งาน

5) เกณฑ์การวัดการเสียรูป เครื่องวัดการเสียรูปต้องเที่ยงตรงมากพอต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของน้ำหนักกระทำกับการเสียรูป และค่าที่รายงานจะต้องใกล้เคียง 0.25 มม.(0.01นิ้ว) หรือน้อยกว่าเครื่องจะบอกรายละเอียดการวัดเสียรูปสำหรับน้ำหนักกระทำใดๆ อาจถูกแทนที่โดยเครื่องวัดอื่นๆ ที่อนุญาตให้ใช้อ่านค่าการเสียรูป และมาเทียบความถูกต้องเทียบเท่าเครื่องที่กำหนดไว้

6) การรายงานผลการทดสอบ แสดงผลการทดสอบของทุกๆ การทดสอบในรูปกราฟ โดยพล็อตน้ำหนักกระทำ (Load) เป็นจุดในกราฟสำหรับทุกๆ การทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบต้องมี 3 ตัวอย่างในแต่ละการทดสอบ ยกเว้นการทดสอบแบบ Full Scale ที่ให้ขึ้นตัวอย่างตามตารางที่ 3.2 และผลที่ได้จะต้องแสดงกราฟที่คล้ายกันแสดงจุดของการเสียรูปเป็นวงกลมทึบ เฉลี่ยผลที่ทดสอบได้ของ 3 ตัวอย่างสำหรับการเสียรูปทั้งสองกราฟ (วงกลมทึบและไม่ทึบ) และใช้ดินสอขีดเส้นเฉลี่ยลงในกราฟ ต้องเขียนเส้นโค้งให้เนียนที่สุดระหว่างจุดที่เฉลี่ยเพื่อที่จะนำค่าไปใช้งาน สำหรับ Load-Deformation จะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องและ Load-Set จะเป็นเส้นโค้งประ แม้ว่าจะจุดอื่นๆ ของตัวอย่างในกราฟไม่นำมาใช้งาน ก็ให้บันทึกลงในกระดาษข้อมูลของห้องปฏิบัติการ ถ้าค่าที่อ่านได้มีน้ำหนักกระทำมากกว่าอันอื่น ก็ให้พล็อตทั้งหมดลงในกราฟ แต่เขียนเส้นเฉพาะค่าเฉลี่ยของ 3 ค่าที่ได้

7) ความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนไม่มีข้อความอธิบายไว้สำหรับความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าโอเนียงของการทดสอบเหล่านี้ มาจากวัสดุผสมและที่เกี่ยวข้องมากมาย

8) เครื่องหมายและการใช้การอธิบายขั้นตอนจะแยกเป็นข้อๆ ของการทดสอบแผ่นพื้นที่ก่อสร้าง ภายใต้เงื่อนไขที่มาทดแทนได้จากการพบเจอในการทำงาน เกณฑ์การปฏิบัติพื้นฐานตามขั้นตอนเหล่านี้สามารถพอใจได้เกี่ยวกับโครงสร้างและชีวิตการใช้งาน

9) น้ำหนักกระทำในแผ่นพื้นหรือแรงดัด (Flexural) การทดสอบขึ้นตัวอย่าง การทดสอบจะกระทำ 3 ครั้งตามจำนวนขึ้นตัวอย่าง ให้ใช้ ขนาด 15 ซม. x 100 ซม. x ความหนาโฟมแต่ละชนิด ตามตารางที่ 3.1

1. เครื่องทดสอบ ใช้เป็นโต๊ะฐานรองรับ และใช้ทรายน้ำหนัก 30 กก/ถุงเป็นน้ำหนักกระทำต่อแผ่นพื้น โดยวางกระจายน้ำหนักทั่วแผ่นพื้น SIP

2. เครื่องวัดการเสียรูปหรือการโก่งตัว ให้ใช้เครื่อง LVDT และ Dial Gauge ติดตั้งไว้ที่โต๊ะฐานรองรับโดยปลายเครื่องวัดชนติดกับแผ่นพื้นตรงกึ่งกลางแผ่นพื้นและปลายสายเครื่อง LVDT ต่อเข้ากับเครื่องอ่านค่าข้อมูล ดาต้า ล็อกเกอร์ (Data Logger) ส่วนเครื่องวัดใดเอ้าเกจ

(Dial Gauge) ใช้การอ่านค่าด้วยสายตามีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

3. ตัววัดการยืดหดตัว (Strain Gauge) ติดไว้ที่กึ่งกลางแผ่นพื้น ด้านบนและด้านล่างที่กึ่งกลางแผ่น โดยติดไปตามความยาวของการแอ่นตัวของแผ่นพื้น ด้วยกาวที่ติดแน่น หากแผ่นพื้นมีแนวการแอ่นตัว 2 ทิศทางคือทางด้านสั้นและทางด้านยาวให้ติดตั้งฉากกัน และต่อสายไปยังเครื่องอ่านค่าข้อมูล ดาต้า ล็อกเกอร์ (Data Logger)

2.3 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ ที่นำมาประกอบเป็นแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว

วัสดุโฟมถูกจัดอยู่ในกลุ่มของวัสดุประเภท Cellular Solid ชนิดหนึ่ง เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างเล็กๆ ประกอบกันเป็นเนื้อวัสดุ Foam เป็นการเชื่อมต่อของโครงสร้างเซลล์ เป็น 3 มิติ โดยวัสดุโฟม ยังสามารถแบ่งลักษณะโครงสร้างออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. Open Cell เป็นโฟมที่มีการเชื่อมต่อกันของช่องว่างเป็นช่องว่างเดี่ยว โดยจะมีการเชื่อมต่อกันของเนื้อวัสดุตรงบริเวณขอบ และมุม ที่เซลล์ชนกัน

2. Close Cell เป็นโฟมที่มีการแบ่งแยกอิสระต่อกันระหว่างเซลล์ ซึ่งจะใช้นั่งเซลล์ ขอบ และมุมร่วมกัน

สมบัติที่สำคัญ สมบัติหนึ่ง que แสดงลักษณะเฉพาะของวัสดุประเภท Cellular Solid คือ สมบัติ Relative Density เป็นอัตราส่วนระหว่าง ความหนาแน่นของวัสดุโฟม เปรียบเทียบกับ ความหนาแน่นของวัสดุ ชนิดเดียวกันที่ไม่เป็น โฟม (โดยทั่วไป โฟมจะมีค่า Relative Density ประมาณ 0.05-0.2) ค่า Relative Density จะใช้บ่งชี้ว่าวัสดุนั้นใช้วัสดุโฟมหรือไม่ โดย วัสดุโฟมจะต้องมี ค่า Relative Density ต่ำกว่า 0.3 หากสูงกว่าจะไม่จัดว่าเป็นวัสดุประเภทโฟม

วัสดุโฟมสามารถผลิตได้จากวัสดุ พอลิเมอร์ โลหะ เซรามิก วัสดุแต่ละชนิดจะมีวิธีการผลิต ที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าวัสดุชนิดเดียวกันยังสามารถมีกระบวนการผลิตให้เป็นโฟมต่างกันได้

สมบัติของวัสดุโฟม โฟมเป็นวัสดุ Composite รูปแบบหนึ่งคือ เป็นวัสดุที่มี 2 เฟสขึ้นไป ผสมอยู่ด้วยกัน วัสดุโฟมเป็นการผสมกันระหว่าง เฟสของแข็ง กับเฟสที่เป็นช่องว่าง ซึ่งในช่องว่างอาจจะบรรจุด้วย แก๊ส ชนิดต่างๆ หรืออากาศ ในส่วนเฟสที่เป็นของแข็ง จะเรียกว่า Matrix ลักษณะทางกายภาพของโฟม จะมีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังบางย่อยๆ หลายผนังมาประกอบกัน ซึ่งจะมีทั้งแบบ เซลล์ปิดที่ช่องว่างถูกกันเป็นปริมาตรเล็กๆ โดยรอบอย่างสมบูรณ์ กับอีกลักษณะ คือเป็นการเชื่อมต่อของเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดช่องว่างที่เชื่อมต่อกันคล้ายฟองน้ำ เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของวัสดุโฟม กับวัสดุเดิม แนวโน้มของสมบัติเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน โดยหลักการของโฟม คือเป็นโครงสร้างย่อย

เล็กๆ ของวัสดุ ก่อขึ้นเป็น โครงสร้างใหญ่ สมบัติที่เปลี่ยนแปลงชัดเจนคือสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล ส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุและค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป

กายภาพของโฟม มีส่วนประกอบของช่องว่างแทรกตัวอยู่ในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้ปริมาณเนื้อของวัสดุต่อปริมาตรลดลงเมื่อเทียบกับวัสดุเดิม ผลที่ได้เช่นความหนาแน่นรวมของวัสดุ โฟมลดลง น้ำหนักเบาขึ้นเนื่องจากวัสดุโฟมเกิดจากการเชื่อมต่อของ โครงสร้างย่อยเล็กๆ เข้าด้วยกัน เนื้อของวัสดุมีปริมาณน้อยลงส่งผลให้การเชื่อมต่อไม่แข็งแรงเมื่อเทียบกับวัสดุเดิม ดังนั้นวัสดุโฟมจึงเสียหายง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำวัสดุ

2.3.1 โฟม Expanded Polystyrene Foam (EPS) คือโฟมที่ใช้ก๊าซ เพนเทน (Pentane) (C_5H_{12}) ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับก๊าซหุงต้ม หรือบิวเทน (Butane) (C_4H_{10}) เป็นสารที่ทำให้ขยายตัว (Blowing Agent) ในระหว่างกระบวนการผลิตวัตถุดิบที่เรียกว่าโพลีไมเซชัน Polymerization เนื้อพลาสติกโพลิสไตลีน Polystyrene (PS) จะทำปฏิกิริยากับก๊าซเพนเทน (Pentane) เอาไว้ภายในเมื่อนำมาผลิตโฟมอีทีเอส (EPS) วัตถุดิบจะขยายตัว และเมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำ (Steam) จะกลายเป็นเม็ดโฟมขาวๆ จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป (Molding) เม็ดอีทีเอส (EPS) ได้รับความร้อนจากไอน้ำ 90-100 องศาเซลเซียส เนื้อพลาสติกจะอ่อนตัวก๊าซเพนเทน (Pentane) ซึ่งเป็นสารพองตัวอยู่ในเม็ดจะขยายตัว 30-50 เท่า แล้วแต่ความหนาแน่นที่ต้องการซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้

หลังจากการขึ้นเม็ด EPS จะถูกนำไปเก็บไว้ในไซโล ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ก๊าซ Pentane ซึ่งเป็นก๊าซขยายตัวจะแพร่ออกมานอกเม็ด EPS ขณะเดียวกับอากาศที่อยู่รอบๆ จะซึมเข้าไปในเซลล์ของเม็ด EPS จนอยู่ในสถานะสมดุล เม็ด EPS จึงมีคุณสมบัตินำไปฉีดขึ้นรูปได้

เม็ด EPS จะถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ และเม็ด EPS จะขยายตัวหลอมติดกันได้รูปทรงตามต้องการ ภายใต้อุณหภูมิไอน้ำในอุณหภูมิช่วง 100-110 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นอยู่กับระยะพักตัว ความหนาแน่นของเม็ด EPS และการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป[6]



รูปที่ 2.6 โฟม Expanded Polystyrene Foam (EPS) ที่ตัดตามขนาด

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของ โฟมอีพีเอส (EPS)

| ที่ | รายละเอียด | หน่วย | โฟม EPS |
|-----|-------------------------|-------------|------------------|
| 1 | ความหนาแน่น | กก/ลบ.ม | 24 |
| 2 | ปริมาณการดูดซึมน้ำ | % นน. | 3.8-4.0 |
| 3 | อุณหภูมิใช้งาน | เซลเซียส | 80 (เริ่มหดตัว) |
| 4 | ค่าการนำความร้อน | W/m.K | 0.036 |
| 5 | สภาพการติดไฟ | | F-grade ไม่ลามไฟ |
| 6 | ระดับการกระจายของเปลวไฟ | ไม่เกิน 75 | N/A |
| 7 | ระดับการเกิดควัน | ไม่เกิน 450 | N/A |

2.3.2 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (Fiber Cement) ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ทรายละเอียด น้ำและเส้นใยต่างๆ เช่น เซลลูโลสไฟเบอร์ เป็นต้น ในปัจจุบันได้นำมาประยุกต์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมของใยหิน

ในระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค เส้นใยธรรมชาติจะถูกทำให้แยกตัวด้วย น้ำอุ่นที่ความเป็นด่าง (pH) 11 ถึง 12.5 เส้นใยที่แยกตัวแล้ว จะถูกนำไปผสมกับซีเมนต์ ทราย น้ำและส่วนผสมอื่นๆ ในกระบวนการผลิตส่วนผสมไฟเบอร์ซีเมนต์นี้ จะถูกกรองถึงความชื้นออกปล่อยให้แห้งตัว และฟอร์มขึ้นเป็นแผ่นที่ละชั้น จนได้ความหนารวมทั้งลวดลายที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างเดิมๆ แล้ว มีข้อได้เปรียบอยู่มากมาย โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับวัสดุไม้ธรรมชาติในเรื่องของการทนน้ำ ทนไฟ ปลอดภัยจากแมลงต่างๆ ความคงทนต่อทุกสภาพอากาศ เป็นต้น ปัจจุบันในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์นั้น ได้มีการนำเทคโนโลยีอโต้เคลฟเข้ามาใช้ด้วย ภายใต้เทคโนโลยีอโต้เคลฟนี้ ส่วนผสมต่างๆ จะผ่านกระบวนการความร้อนและแรงดันสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของเนื้อวัสดุที่มีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ และทางเคมีที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ผ่าน เทคโนโลยีอโต้เคลฟ เช่น มีความแข็งแรง โดยเฉพาะความเหนียวเพิ่มขึ้น การหดตัวน้อยลง มีคุณสมบัติวัสดุ เป็นกลาง (ไม่เป็นด่าง) มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น รวมทั้งการใช้งานง่าย สะดวก ทำให้งานก่อสร้างเป็นไปอย่างรวดเร็ว เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถเติมหรือใช้วัสดุชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ ตามต้องการได้มากขึ้น เช่น สี สันหลากหลาย การทนไฟ เป็นต้น ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะผลิตแบบความหนาแน่นปานกลาง

คุณสมบัติทางกายภาพ จะใช้ข้อมูลจากผู้ผลิตเป็นหลักเพราะวัสดุดังกล่าวที่มีขายตาม

ท้องตลาดนั้นถูกควบคุมโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่าคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก.1427-2540

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

| รายละเอียด | หน่วย | ค่า |
|--------------------------------|--------------|-------|
| ความหนาแน่น | กก/ลบ.ม | 1,350 |
| ความต้านทานแรงอัด | นิวตัน/ตร.มม | 12 |
| ความต้านทานแรงดึง | นิวตัน/ตร.มม | N/A |
| ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิว | นิวตัน/ตร.มม | 1.39 |
| ความต้านทานแรงดัด | นิวตัน/ตร.มม | 17 |
| โมดูลัสยืดหยุ่น | นิวตัน/ตร.มม | 7,000 |

ข้อมูลจากบริษัท มหพันธ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ จำกัด (มหาชน)

ตารางที่ 2.3 ขนาด ความหนา และราคาของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

| แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ขนาด กว้างxยาว (ซม.) | ความหนา (มม.) | น้ำหนัก/แผ่น (กก.) | ราคา (บาท) |
|---|---------------|--------------------|------------|
| 60x120 | 4 | 4.4 | 39.5 |
| 60x120 | 6 | 6.6 | 59.05 |
| 60x210 | 4 | 8.7 | 71.9 |
| 120x240 | 4 | 8.7 | 71.9 |
| 120x240 | 4 | 17.4 | 141.25 |
| 120x240 | 6 | 26.1 | 213.56 |
| 120x240 | 8 | 34.8 | 365 |
| 120x240 | 10 | 43.5 | 565 |
| 120x240 | 12 | 52.2 | 675 |
| 120x240 | 16 | 69.6 | 820 |
| 120x240 | 18 | 78.3 | 895 |

ข้อมูลจากตัวแทนจำหน่ายบริษัท โคราชรวมวัสดุ จำกัด

2.3.3 วัสดุเสริมแรง พอลิเมอร์ (อังกฤษ: polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นก็มาจากรากศัพท์กรีกสำคัญ 2 คำ คือ Poly (จำนวนมาก) และ Meros (ส่วน หรือ หน่วย) พอลิเมอร์เป็นสาร โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกัน (Repeating Unit) ของมอนอเมอร์ (Monomer) หลายๆ หน่วยมาทำปฏิกิริยากันมอนอเมอร์นี้จัดเป็นสาร ไมโครโมเลกุล (Micromolecule) ชนิดหนึ่ง พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) สารบางอย่างที่มีสมบัติอย่างพอลิเมอร์ เช่น สารพวกไขมันที่มีแต่ละหน่วยที่ไม่ซ้ำกันนั้นจะเป็นเพียงแค่สารแมคโครโมเลกุลเท่านั้น ไม่จัดเป็นพอลิเมอร์

พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดเองในธรรมชาติ (Natural Polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) ตัวอย่างของ โพลีเมอร์ธรรมชาติ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาว พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เราต้องใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน จึงนำหน้าที่หรือนำไปใช้งานที่ต่างกันได้

พอลิเมอร์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือพลาสติก ซึ่งเป็นคำที่ใช้อ้างถึงกลุ่มของวัสดุธรรมชาติและสังเคราะห์กลุ่มใหญ่ที่มีคุณสมบัติและการใช้งานต่างกัน พอลิเมอร์ธรรมชาติเช่นเซลลูลอสและแป้งที่ใช้มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิกที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพ พอลิเมอร์ธรรมชาติอื่นๆ เช่นเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษและไม้ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ บากาไลต์ นิโอพรีน ไนลอน พีวีซี พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ไตรล และพีวีบี การศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ได้แก่ เคมีพอลิเมอร์ ฟิสิกส์พอลิเมอร์และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์มีการใช้ในการยึดเกาะและการหล่อลื่นอย่างกว้างขวาง เช่นเกี่ยวกับการใช้เป็นโครงสร้างตั้งแต่ของเด็กเล่นจนถึงยานอวกาศ มีการใช้เป็นยาทางชีวภาพในฐานะเป็นตัวขนส่งยาในสิ่งมีชีวิต พอลิเมอร์เช่น พอลิ เมทิล เมทาคริเลต ที่ใช้ในกระบวนการโฟโตเรซิสในอุตสาหกรรมกึ่งตัวนำ และสารไดอิเล็กทริกโปแทสเซียมสำหรับใช้ในคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง ปัจจุบันยังมีการพัฒนาพอลิเมอร์ที่ยืดหยุ่นได้สำหรับอิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบการใช้งานของพอลิเมอร์พอลิเมอร์ที่เรามีการใช้งานในชีวิตประจำวันนั้นสามารถแบ่งออกตามลักษณะทางกายภาพได้ออกมามากมาย ได้ 4 แบบ ก็คือ

1) เส้นใย เป็นพอลิเมอร์กลุ่มที่แข็งแรงที่สุด เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยนั้นมีขนาดที่เล็กมาก ตัวพอลิเมอร์เองจึงจำเป็นต้องรับแรงในแนวแกนเส้นใยให้ได้สูงสุด เส้นใยจึงมีลักษณะทางกายรูปที่ดูเบาบาง แต่มีความแข็งแรงสูง

2) พลาสติก มีความแข็งแรงรองจากเส้นใย แม้ว่าการใช้งานพลาสติกนั้น จะมีมิติความกว้าง ยาว สูง มากกว่าเส้นใยหลายเท่า ทำให้ดูเหมือนว่าแข็งแรงกว่าเส้นใย แต่ถ้าลองนำพลาสติกไปฉีกให้มีความบางเท่าเส้นใย จะพบว่ามันแข็งแรงน้อยกว่ามาก

3) ยาง มีจุดเด่นคือความยืดหยุ่นสูง เราจึงไม่เปรียบเทียบเรื่องความแข็งแรง แต่มักจะคำนึงถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาด (Elongation at Break) และแรงดึงที่จุดขาด (Load at Break) แทน นอกจากนี้พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้จำเป็นต้องมีการคืนตัวกลับได้ดีด้วย (Recovery Property) จึงต้องมีการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโซ่โพลิเมอร์ด้วยการเชื่อมขวาง (Crosslink) ซึ่งจุดที่เชื่อมขวางนี้ควรจะอยู่ห่างกันในระยะที่เหมาะสม เนื่องจากหากถี่เกินไป ยางที่ได้จะมีลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น ในขณะที่ถ้าห่างเกินไป ก็จะได้ยางที่มีลักษณะนิ่มเกินไป

4) สารละลายและลาเทกซ์ ใช้งานในรูปแบบของพอลิเมอร์ที่กระจายตัวในของเหลวอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวทำละลายของพอลิเมอร์เอง หรือกระจายตัวเป็นอิมัลชันในน้ำ ลักษณะการใช้งานคือเป็น กาว สีทาบ้าน เพลกเล็ก หรือ สารเคลือบผิวอื่น ๆ พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ควรจะกระจายตัวได้ดีและมีความสามารถในการเชื่อมขวางได้ในสภาวะที่มีแสงหรือแก๊สออกซิเจนได้หรือไม่ก็สามารถที่จะนำตัวเองไปเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัสดุอื่น ๆ ได้

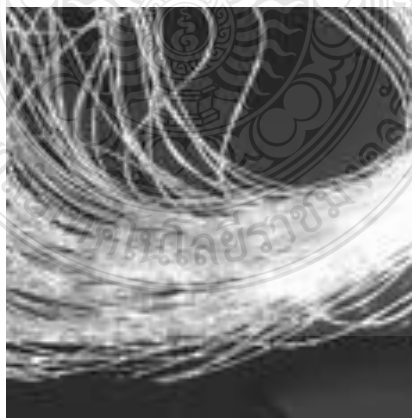
ซึ่งผลงานที่ได้จากการเสริมแรงนี้เรารู้จักกันดีทั่วไปในงาน “เอฟอาร์พี” Fiber Reinforce Polymer (FRP) และ Glass Fiber Plastic (GRP) หรือเรียกกันว่า งานไฟเบอร์กลาสโดยทั่วไป คุณสมบัติอันโดดเด่นของใยแก้วหรือไฟเบอร์กลาสที่สำคัญได้แก่ ไม่ติดไฟ, ไม่นำไฟฟ้าและความร้อน ไม่ผุกร่อนหรือเน่าเปื่อย ไม่เป็นสนิมและมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กที่ 7400 กก./ตร.มม. ในด้านความคงทนทานต่อแรงดึง เส้นใยแก้วถูกนำไปใช้เป็นตัวช่วยเสริมแรงให้กับพลาสติกเรซินและขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น หลังคาถาวรระบะ อ่างอาบน้ำ เรือ ถังน้ำขนาดใหญ่ นอกจากสมบัติความแข็งแรง ทนแรงดึงสูงมากแล้ว เส้นใยแก้วสามารถทอเป็นผืนผ้า เย็บเป็นชิ้น และด้วยโครงสร้างที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทำจากเส้นใยแก้วมีช่องว่างภายในที่ถูกดักเก็บไว้ทำให้มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดีเหมาะที่จะทำผ้าห่มกันไฟ เพื่อเป็นฉนวนที่ดีเช่นเดียวกับที่ใช้กับตู้เย็นหรือเสื้อหนาว ผ้าจากเส้นใยแก้วไม่มีการดูดซึมน้ำ ใช้เป็นผ้ากันน้ำ ไม่เกิดการหดตัวและไม่เกิดผลเสียจากน้ำ

2.3.4 แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ Carbon Fiber Reinforce Polymer (CFRP) รุ่น KNC 125 ของบริษัท เอเชียกัมม จำกัด เป็นแผ่นผ้าที่มีส่วนผสมของเส้นใยคาร์บอนและอีพ็อกซีเรซิน ซึ่งมีกำลังรับแรงดึงและ Rigidity ที่สูงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยและมีความสามารถต้านทานต่อความล้าได้อย่างดีเยี่ยม ความหนาแน่นต่ำ เส้นใยเรียงตัวตามแนวยาวของแผ่นเพื่อรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ดังนั้นแผ่นจึงมีโครงสร้างการเรียงตัวของเส้นใยไปในทิศทางทางเดียว ทำให้มีกำลังรับแรงดึงและแรงเฉือนในทิศทางขวางการเรียงตัวของเส้นใยต่ำ พฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงตามแนวยาวขึ้นอยู่กับประเภทของเส้นใยและปริมาณความหนาแน่นของเส้นใย



(ก) เส้นใยคาร์บอน Carbon Fiber

(ข) เส้นใยเคฟลาร์ Kevlar Fiber



(ค) เส้นใยแก้ว Glass Fiber

รูปที่ 2.7 ลักษณะเส้นใย FRP

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไฟเบอร์รุ่น KNC125

| Model No. | ลักษณะเส้น | KNC 125 |
|-------------------------|------------|-----------------------|
| Weave Yarn | | twill |
| Count Of Yarn (TEX) | warp | 3K |
| | fill | 3K |
| Density (Picks/Inch) | warp | 12.5 |
| | fill | 12.0 |
| Tensile Strength | warp | 216.7 kgf/25mm |
| | fill | 224.4 kgf/25mm |
| Width (mm) | | 1,350 (-0, +5 mm) |
| Thickness (mm) | | 0.22 + 0.01 |
| Weigth (g/sqm) | | 200 + 10 |
| Roll Length (m) | | 50 |
| Testing Method | | According To ksl 2513 |

ข้อมูลจากบริษัท เอเซียกันนัม จำกัด

2.3.5 คาข่ายใยแก้วไฟเบอร์ (Glass Fiber Reinforce Polymer) (GFRP) เป็นคาข่ายใยแก้วผลิตโดยแก้วหรือใยแก้วทอเป็นตามข่าย เคลือบด้วยพอลิอะคริลิกเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการเสริมแรงทางด้านวิศวกรรม เช่น คอนกรีต พลาสติก น้ำมันดิน พลาสติก หินอ่อน กระเบื้องโมเสก หลังคาผนังภายในและภายนอก และในงานอุตสาหกรรมอื่นๆ



รูปที่ 2.8 คาข่ายใยแก้ว (GFRP) รุ่น KNA 206-AC

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตาข่ายใยแก้วรุ่น KNA 206-AC

| | | |
|--|----------------|------------------------|
| Model No. | ลักษณะเส้น | KNA 206-AC |
| Weave | | Leno |
| Yarn | warp (ด้านยืน) | 135Tex (ecg 37 1/0) |
| | fill (ด้านนอน) | 330 Tex |
| Yarn Count | warp (ด้านยืน) | 6 (จำนวนเส้น/นิ้ว) |
| (Ea Per Inch) | fill (ด้านนอน) | 6(จำนวนเส้น/นิ้ว) |
| Tensile Strength | warp (ด้านยืน) | 66 kg (Min) แรงดึง |
| (Per Inch) | fill (ด้านนอน) | 66 kg (Min) แรงดึง |
| Bursting Strength (Per Cm ²) | | 14 kg (Min) |
| Width (mm) | | 1,000 (หน้ากว้าง) |
| Roll Length (m) | | 45 (ความยาวต่อม้วน) |
| Thickness (mm) | | 0.37 (ความหนา) |
| Weight (g/sqm) | | 145 (น้ำหนัก) |
| Coating Material | | Acrylic Modified Resin |
| Color | | Blue/White |

ข้อมูลของบริษัทเอเชียกึ่งนมจำกัด

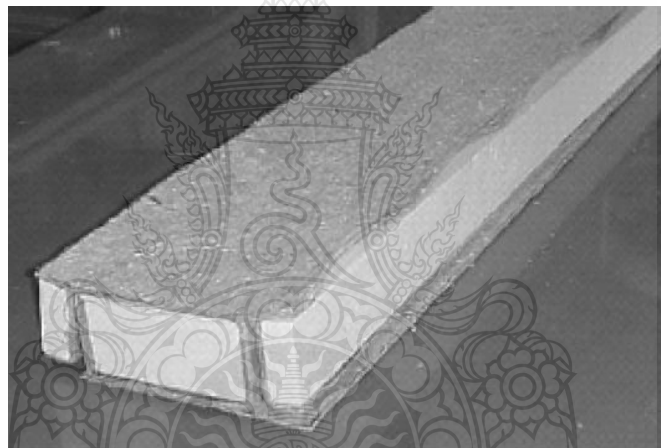
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุทธิ บัวพูน (2550) [7] ศึกษาเรื่องการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อเลือกใช้วัสดุสำหรับผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบแกนวิซบล็อคที่ใช้โพลีเมอร์เป็นฉนวน ทดสอบค่าการนำความร้อนด้วยมาตรฐาน ASTM C177 ของวัสดุโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่างๆ และจัดทำฐานข้อมูลโดยที่โปรแกรมสามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารที่มีโครงสร้างแบบแกนวิซบล็อคและราคาต่อตารางเมตรและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบในแต่ละรูปแบบ

พจน์ วงษ์ธนสุภรณ์ (2540) [8] ได้ออกแบบผนังอาคารที่มีวัสดุโพลีเอทิลีนทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน โดยมีโครงสร้างรับแรงภายในทำจากโลหะที่ถูกรูปและมีผิวภายในและภายนอกจากวัสดุแผ่นชนิดต่างๆ นำมาขึ้นรูปรวมกัน โดยใช้โพลีเอทิลีนบรรจุลงในแม่พิมพ์เป็นชิ้นส่วนผนังที่ได้มีขนาด 48.75 x 25.5 x 10 cm³ และชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงภายในขนาด 9 x 9 x 487.5 cm³

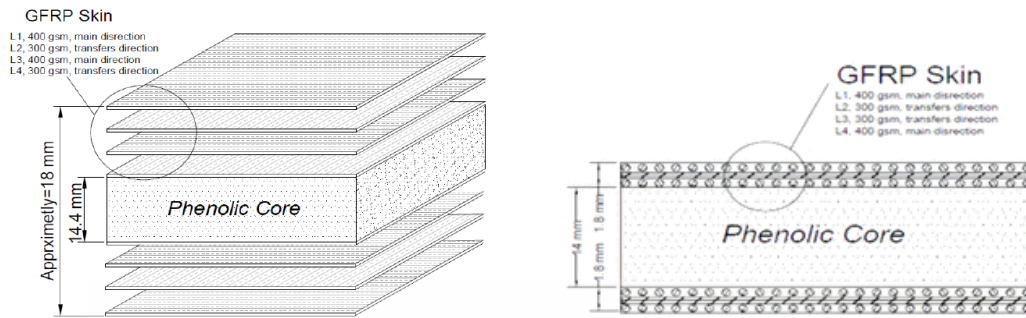
โดยที่ชิ้นงานมีลักษณะเด่นคือ สามารถเลือกวัสดุผิวได้ตามที่ต้องการ ใช้เครื่องมือทั่วไปในการติดตั้ง สามารถขนย้าย และติดตั้งโดยคนเพียงคนเดียวที่ไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือเฉพาะทาง ระยะเวลาในการติดตั้งสั้น และมีความเป็นฉนวนสูงใกล้เคียงกับผนังอาคารที่มีโครงสร้างแบบแกนวิชชบล็อกและการเชื่อมต่อกับเสาโครงสร้าง ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้นำชิ้นงานต้นแบบผนังมาใช้เป็นต้นแบบผนังอาคาร แกนวิชชบล็อกสำหรับการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนและราคาในการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป

Dweib M.A และคณะ (2006) [9] ได้พัฒนาโครงสร้างรับน้ำหนัก โดยใช้วัสดุโฟมพอลิยูรีเทนบรรจุอยู่ในโครงสร้างที่ทำมาจาก Composite จากใยธรรมชาติ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นโครงสร้างอาคารในส่วนคาน และพื้น ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจากงานวิจัยนี้ แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุโฟมมาผลิตเป็นวัสดุโครงสร้างรับแรง โดยใช้วัสดุเสริมแรงที่นำความร้อนต่ำ เช่น ใยพืช



รูปที่ 2.9 การประยุกต์ใช้ใยธรรมชาติและโฟมพอลิยูรีเทนสำหรับโครงสร้างอาคารรับน้ำหนัก[9]

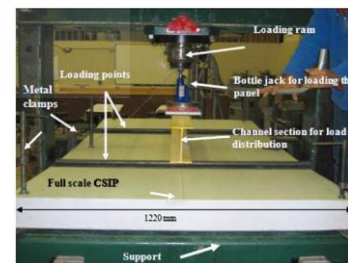
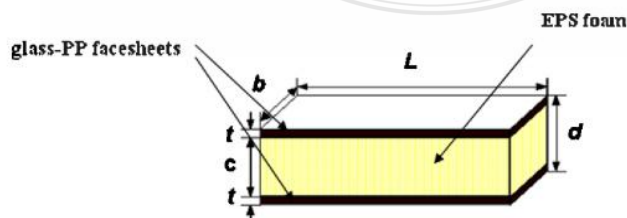
Ziad K., Awad, Thiru Aravinthan, Yan Zhuge (2011) [10] ได้ศึกษาการพัฒนาและปรับปรุงการผลิตแผงแกนวิชเสริมด้วยวัสดุเสริมเส้นใย FRP โดยมีการเสริมผิววัสดุประกบเป็น FRB และเปลี่ยนแปลงวัสดุแกนหลักที่มีความหนาแน่นสูงกว่าแบบเดิม โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและขั้นตอนวิธีการทางพันธุกรรมมาใช้ในการหาวัสดุที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดและรับแรงได้ดี ซึ่งผลของงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นแผงแกนวิชที่ใช้สำหรับเป็นพื้นรับแรงทางเดียวในชิ้นส่วนของโครงสร้างทางวิศวกรรมก่อสร้าง



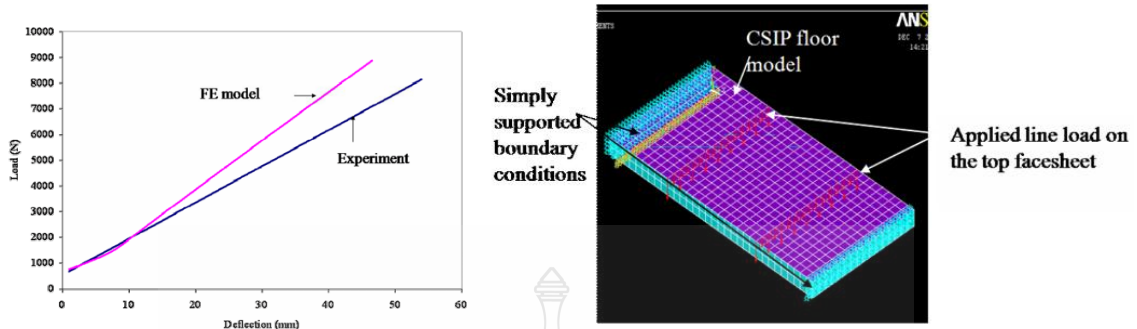
รูปที่ 2.10 จำลองวัสดุแกนกลางเป็น ฟีนอลิก และวัสดุประกบเป็น FRB [10]

A.S.Vaidya, N.Uddin, U.K.Vaidy (2007) [11] ได้ทำการทดสอบแผ่นพื้น Composites Structural Insulated Panels (CSIP) จำนวน 2 ตัวอย่างซึ่งมีแกนกลางเป็นโฟม (EPS) ปะกับน้ำฉิวด้วยแผ่นลามิเนตทั้ง 2 ด้านมีความหนาของโฟม 140 mm และแผ่นลามิเนตหนา 3.04 mm ขนาด 1219.2 mm x 2438.4 mm โดยทดสอบการรับแรงคดของแผ่นตามมาตรฐาน ASTM E-72-05 Standard (Using a Four-Point Bend) ASCE-7-051 และ ACI-318 เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ Finite Element (FE) ผลทดสอบแบบ Full Scale พบว่า

1. เปรียบเทียบน้ำหนักกับการโก่งตัว พบว่าเป็นแบบเส้นตรงโดยมี Load สูงสุดที่ 8000 N และค่าโก่งตัว 42 mm เทียบกับ (FE) ต่างกันอยู่ 20% และถ้าวัดที่ $L/240$ (10.16 mm) ค่าจากการทดสอบได้ที่ 9.60 mm
2. แผ่น CSIP มีค่า Strain ที่ฉิวด้านบนของแผ่นที่รับแรงอัดมีค่าสูงกว่าค่า Strain ที่ฉิวด้านล่างของแผ่นที่เกิดจากแรงดึง
3. ผลของการวิเคราะห์ FE เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลของการทดสอบโดยผลของการวิเคราะห์สูงกว่า 22% จากผลของการทดสอบ ในด้านการยึดเกาะระหว่างฉิวแผ่นกับแกนกลางที่เป็นโฟม



รูปที่ 2.11 จำลองลักษณะชั้นวัสดุ CSIP และการทดสอบแผ่นพื้น CSIP [11]

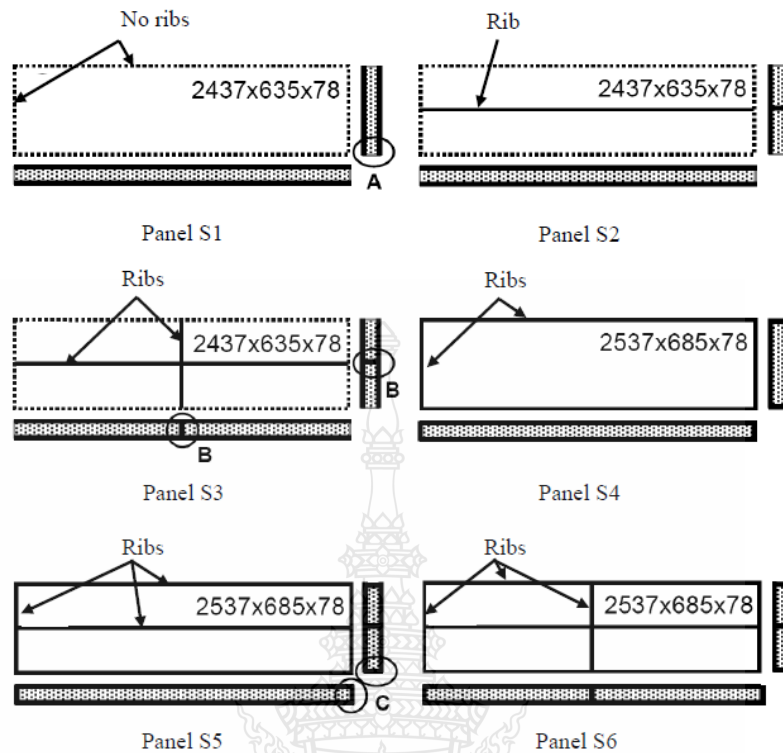


รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบแผ่น CSIP ค่าการโก่งตัวจาก FE เทียบกับการทดสอบจริง [11]

Tarek Abdel Moneim Sharaf, Queen's University Kingston, Ontario, Canada August, (2010) [12] ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการรับแรงคัดของแผ่นแซนวิชโดยมีโฟมโพลียูรีเทนเป็นแกนกลางและมีแผ่นผิวปะกับด้วยไซเลนอิกลาส 2022 ผสมเรซินมีความหนา 1.6 mm เสริมด้วยแผ่นใยแก้วเสริมเส้นใยโพลีเมอร์และไม่เสริมแผ่นใยแก้วเสริมเส้นใยโพลีเมอร์ที่ผลิตจากโรงงานผลิตโดยมีโครงด้านใน 6 แบบ ติดตั้งเสตนเกจตามตำแหน่งของโครงคร่าด้านใน ผลทดสอบมีการพังด้วยแรงอัดที่ผิวและพังด้วยแรงเฉือนที่แกนกลางของโฟม ซึ่งมีการทดสอบ 3 เฟส โดยเฟสแรกทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เฟสที่ 2 มีวัสดุทดสอบจำนวน 6 ตัวอย่าง มีขนาด (2500 x 660 x 78 mm) โดยใช้องค์ประกอบของโครงหลายชนิด เฟสที่ 3 ใช้ 2 ตัวอย่างทดสอบแบบ Full Scale ขนาด (9150 x 2440 x 78 mm) และมีฐานรองรับแบบ Simply Supported ผลปรากฏว่าแผ่นชนิดที่มีโครงคร่าด้านในแบบตามยาวตรงกลางสามารถรับแรงคัดเพิ่มขึ้น 91% ในทางกลับกันแผ่นชนิดที่มีโครงคร่ารอบๆ รับแรงคัดเพิ่มขึ้น 51%



รูปที่ 2.13 การทดสอบแผ่นตัวอย่างที่เสริมโครงคร่าด้านนอกและด้านใน [12]

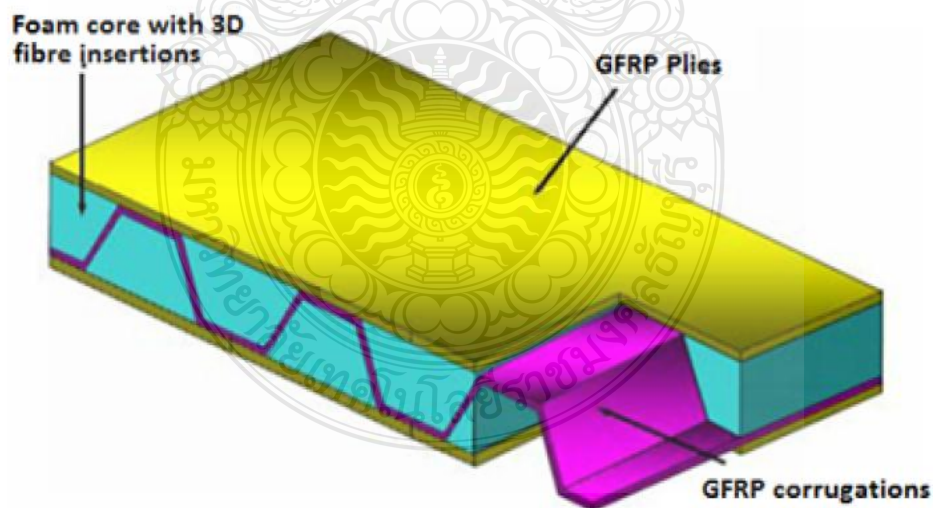


รูปที่ 2.14 แพลนของโครงคร่าวแผ่นตัวอย่างที่เสริมโครงคร่าวในการทดสอบ [12]

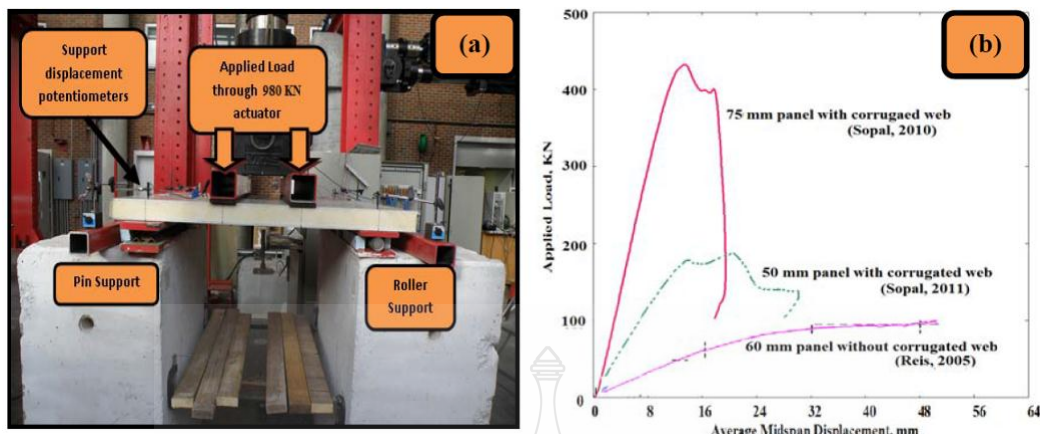
สดสวย สุจิตธรรมกุล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย (2544)[13] ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์แผ่นพื้นที่ซ่อมด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมใช้งานอย่างง่าย เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมช่วงอีลาสติกของแผ่นพื้นที่ถูกซ่อมแซมโดยการเสริมภายนอกด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยการวิเคราะห์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งพิจารณาผลของกำลังรับแรงที่ลดลงของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความเสียหายก่อนการซ่อมแซมด้วย โดยโปรแกรมใช้ทฤษฎีของ Reissner-Mindlin ว่าด้วยการเปลี่ยนรูปของแผ่นพื้นโดยคำนึงถึงผลจากแรงเฉือนและใช้ชิ้นส่วนแบบแผ่นซ้อน 4 ชั้นของ Ghosh และ Dey แต่ละชั้นมีระดับชั้นความเสริเท่ากับ 7 แนวการเสริมแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคือแนวขนานและตั้งฉากกับแกนหลักของแผ่นพื้นที่นั้น จากงานวิจัยพบว่า โปรแกรมสามารถวิเคราะห์แผ่นพื้นที่ซ่อมแซมด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยได้ผลค่อนข้างแม่นยำในช่วงอีลาสติก โดยแผ่นพื้นมีความเสียหายก่อนการซ่อมแซมหรือไม่ก็ได้ นอกจากนี้ งานวิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเสริมกำลัง อันได้แก่ ทิศทางและปริมาณการเสริมแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใย โดยได้ทำการทดสอบกับแผ่นพื้นที่ทางเดียวสี่เหลี่ยมผืนผ้ารับแรงกระทำ 2 ชุด และแผ่นพื้นที่เหลี่ยมจัตุรัส มีการรองรับที่มุม แรงกระทำเป็นจุดที่

กึ่งกลางแผ่นพื้น จากทั้งสองตัวอย่างพบว่า ทิศทางการเสริมแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเป็นปัจจัยสำคัญในการเสริมกำลังให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือ การเสริมแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยในแนวตั้งฉากกับรอยแตกร้าวจะช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้กับแผ่นพื้นประมาณ 30-50% ในขณะที่การเสริมในแนวนานรอยแตกร้าวไม่ช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้กับแผ่นพื้น ส่วนพื้นที่การเสริมแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยไม่มีผลมากนัก

Gautam SOPAL, Sami RIZKALLA, Greg SOLOMON,(2012)[14] นำเสนอการแผ่นวัสดุใยแก้วสามมิติเสริมโพลีเมอร์ใหม่ (3-D GFRP) ซึ่งแผงแซนวิชนี้สร้างด้วยแผ่นลูกฟูก GFRP นอกเหนือไปจาก เส้นใยผ่านความหนาเพื่อเพิ่มลักษณะโครงสร้างของวัสดุส่วนการทดลองนี้ถูกนำไปใช้ในการกำหนดลักษณะพื้นฐานของแซนวิชใหม่ ในเรื่องของค่าความเครียด การบีบอัดและแรงเฉือนที่มีความสำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้าง แผงแซนวิชใหม่นี้ใช้สำหรับประยุกต์ในงานด้านวิศวกรรมโยธาและ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มลูกฟูกนี้ทำให้สามารถเพิ่มแรงค้ำและโมดูลัสของแรงเฉือนทำให้การเกิดรอยแตกของแกน โฟมหลักข้างลงและเพิ่มความต้านทานต่อความล้าของแผ่น นอกจากนี้การเพิ่มลูกฟูกเสริมเส้นใย 3 มิตินี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของแผงแซนวิชโครงสร้างดีขึ้น

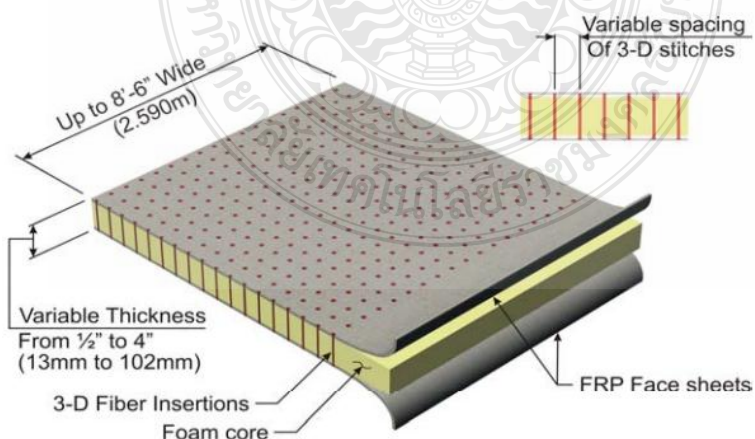


รูปที่ 2.15 จำลองแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริมโพลีเมอร์ใหม่ (3-D GFRP)[14]



รูปที่ 2.16 การทดสอบการรับแรงคดและกราฟค่าแรงเฉือนของแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์ใหม่ (3-D GFRP) [14]

TAREK K. HASSAN , ENGIN M. REIS, AND SAMI H. RIZKALLA, (2010)[15] ศึกษาการทำงานของโครงสร้างของ 3-D ใหม่ แผงแซนวิชไฟเบอร์กลาสในลักษณะแกนเป็นลอนลูกฟูกเพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนของสะพาน ในช่วงแรกของการทดลองศึกษาอิทธิพลของแผ่นลูกฟูกที่มอดุลัสเฉือนเทียบกับการติดตั้งโดยไม่ต้องมีแผ่นลูกฟูก ทั้งหมดหกตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C273 และทดสอบ แผงแซนวิชไฟเบอร์กลาสใหม่ 3-D ขนาด 72 x 46 นิ้วในการทดสอบในการกำหนดค่าการคดสามจุดโดยใช้ฐานรองรับแบบ Simply Support และศึกษาพฤติกรรมของนวัตกรรมใยแก้วเสริมโพลิเมอร์สามมิติ (3-D GFRP) แผงแซนวิชที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการโหลดต่างๆ



รูปที่ 2.17 จำลองแผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริม โพลีเมอร์แนวตั้ง [15]



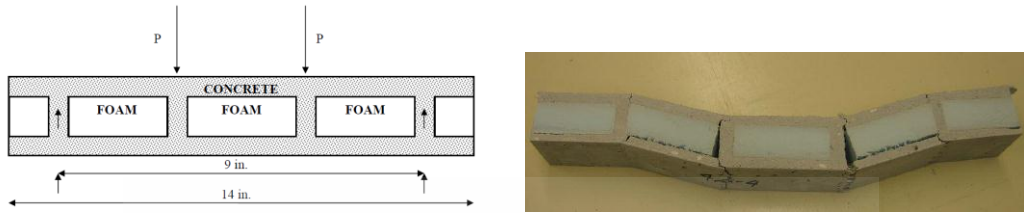
รูปที่ 2.18 แผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริมโพลีเมอร์แนวตั้งทดสอบแรงเฉือน [15]



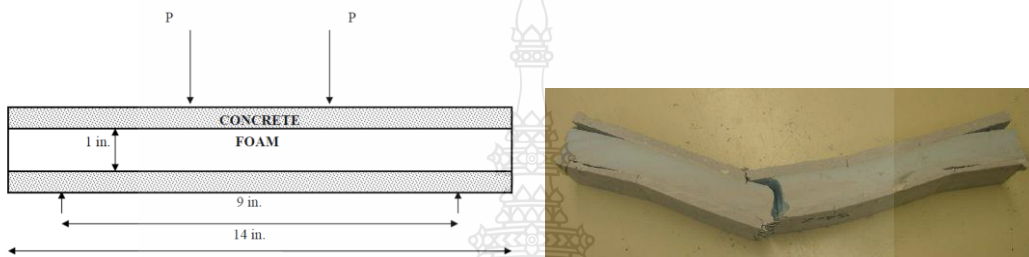
รูปที่ 2.19 แผ่นวัสดุลูกฟูกใยแก้วสามมิติเสริมโพลีเมอร์แนวตั้ง ทดสอบแรงตัดโดยใช้น้ำหนักเฉพาะจุด[15]

Nandini Banerjee (2006)[16] ได้ศึกษาการรับแรงคัดของแผ่นพื้นแซนวิชโดยลองผสมใยแก้วไฟเบอร์กับซีเมนต์ที่มีสูตรต่างๆ ใช้เป็นผิวหน้าของแผ่น SIP โดยใช้โฟม EPS ที่มีความหนาแตกต่างกันแล้วทำเป็นชั้นตัวอย่าง ยาว 14 นิ้ว นำมาทดสอบกำลังรับแรงคัดกับเครื่องทดสอบ จำนวน 5 ตัวอย่างที่มีแกนกลางเป็นโฟมคือ ผิวซีเมนต์ GFRP ผสมกับไฟเบอร์, ผิวซีเมนต์ GFRP ผสมกับไฟเบอร์และตาข่ายใยแก้วอีก 1 ชั้น ผิวซีเมนต์ GFRP ผสมด้วยไฟเบอร์และมีโครงค้ำใน ผิวซีเมนต์ GFRP ผสมด้วยไฟเบอร์และตาข่ายใยแก้วกับเพิ่มโครงค้ำ ผลทดสอบการเพิ่มใยแก้วไฟเบอร์ไม่มีผล

ต่อการเพิ่มความแข็งแรงมากนักแต่สามารถรับแรงค้ำมากขึ้นส่วนการเพิ่มโครงด้านในทำให้รับแรงค้ำได้ดีเพิ่มขึ้น

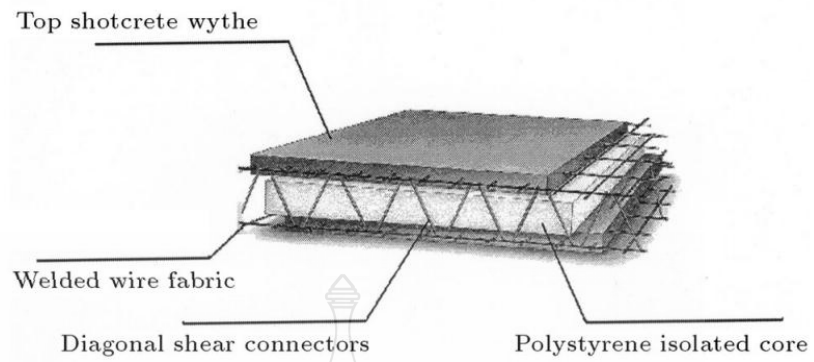


รูปที่ 2.20 แผ่นSIP ที่ออกแบบโดยมีโครงทำด้วยคอนกรีตผสมวัสดุเสริมต่างๆ ที่ใช้ทดสอบ[16]

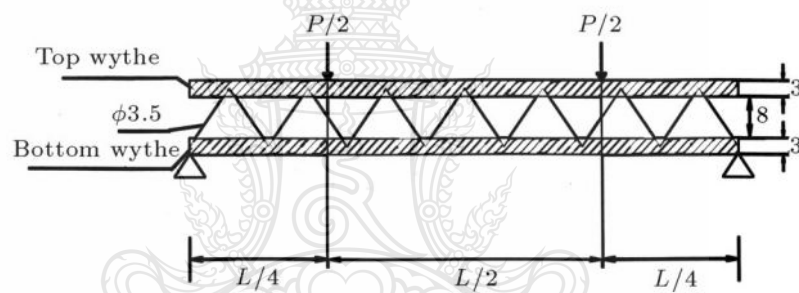


รูปที่ 2.21 แผ่น SIP ที่ออกแบบโดยไม่มีโครงทำด้วยคอนกรีตผสมวัสดุเสริมต่างๆ ที่ใช้ทดสอบ[16]

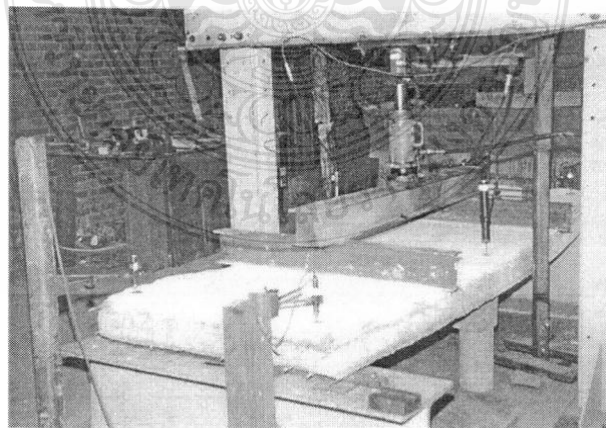
M.Z. Kabir (2005) [17] แผ่นผนัง 3D ถูกออกแบบขึ้นด้วยผิวบนและผิวล่างที่ทำด้วยคอนกรีตตรงกลางแกนทำด้วยโฟมโพลีเอสเตอร์ในส่วนรอบด้านข้างสานด้วยตาข่ายเหล็กเป็นรูปสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.22 ใช้ที่ในการก่อสร้างของการรับน้ำหนักแบกทานภายนอกและภายในและผนังที่ไม่ได้รับน้ำหนักและใช้เป็นพื้นรับน้ำหนัก ในทุกประเภทของการก่อสร้าง งานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะของผนัง 3D ภายใต้แรงเฉือนคงที่และแรงค้ำเพื่อให้เข้าใจองค์ประกอบของโครงสร้างของแผงนี้ ระเบียบวิธีการทางตัวเลขที่มีการให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพื่อจำลองการทดสอบและการตรวจสอบเพื่อให้เกิดพังในการทดสอบเพื่อทราบกำลังรับ แรงค้ำแนวตั้งและการรับน้ำหนักแบกทานแนวนอนและหาค่าสำหรับแรงเฉือนโดยตรง เส้นโค้งการโค้งตัวที่เกิดจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอเลเมนต์จะคล้ายกับตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเหล่านั้น, น้ำหนักสูงสุดในการทดสอบ การรับแรงค้ำ ทั้งผนังและพื้นเท่ากับน้ำหนักสูงสุดของการทดลอง การพังของแผ่น 3D ที่มีการเริ่มต้นหลังจากที่เคลื่อนมาจากโซนโมดูลัสยืดหยุ่นจนไปถึงที่ระดับ 700 กิโลกรัมพังเนื่องจากแรงค้ำใน Wythe ด้านล่างของคอนกรีต แล้ว แตกกระจายไปยังผิวชั้นบนที่น้ำหนัก 1200 กิโลกรัม ตาข่ายด้านล่างและสุดท้ายการน้ำหนักสูงสุดเป็น 2200 กิโลกรัมในการวิเคราะห์เฉือนโดยตรงแผงมีพฤติกรรมเป็นคานาลึกลับ



รูปที่ 2.22 เรายาคณิตจำลอง แผง 3D PANELS ที่ใช้รับแรงคัต[17]



รูปที่ 2.23 จำลอง แผง 3D PANELS ที่ใช้รับแรงคัตและฐานรองรับ [17]



รูปที่ 2.24 ผลการทดสอบการรับแรงคัตของแผ่น 3D และการโก่งตัวมากที่สุด [17]

ตารางที่ 2.6 การทดสอบการรับแรงดัดของแผ่น 3D [17]

| Specimen | Thickness (cm) | Type of Shotcrete | Cement Content | P ^u (kg) | Max. Deflection (mm) |
|----------|-------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Slab-1 | 16 | Manual | 300 kg/m ³ | 2000 | 80 |
| Slab-2 | 16 | Manual | 300 kg/m ³ | 1900 | 40 |
| Slab-3 | 16 | Manual | 300 kg/m ³ | 1800 | 80 |

Tarek Sharaf, Waleed Shawkat, Amir Fam [18] มีการศึกษา แผลงแบบใหม่โดยมีผิวปะกับหน้าด้วยลามิเนต เสริมด้วยเส้นใยพอลิเมอร์แกนกลางทำด้วยเป็น โฟมสำเร็จรูปซึ่งมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน คือ 0.31 KN/m³ โฟมนิ่ม และ 0.63 KN/m³ โฟมแข็งขนาด 1500 x 300 x 76 มิลลิเมตร อย่างละ 3 แผ่นตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงดัด และความแข็งแกร่ง เพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 165 % และ 113 % ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นของแกนกลางของโฟมที่แข็งเพิ่มเป็นสองเท่า ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนแกนกลาง โฟมที่มีความหนาแน่นน้อยและความหนาแน่นมากผลทดสอบที่ช่วงกลางแผ่นมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือโก่งตัวเป็น 75% และ 50 % ตามลำดับ แผลงแผ่นที่มีแกนโฟมความหนาแน่นน้อยมี ความเสี่ยงอย่างมากภายใต้แรงและผิวของแผ่นทดสอบมีการย่นของผิวแผ่นผิว

Mohammad Hossein Zarghooni [19] ทำวิจัยและทดสอบเกี่ยวกับพฤติกรรมการคืบของแผ่น SIP มีแผ่นไม้อัด (OSB) ปะกับบนและล่างตรงกลางเป็น โฟม การคืบของแผ่นในระยะสั้นและระยะยาวภายใต้การรับน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการคืบเพียงพองของแผล SIP ที่ผ่านการทดสอบในขณะที่ในระยะยาวผลการทดสอบคืบมีค่าเพิ่มขึ้นในแผล SIP



รูปที่ 2.25 การทดสอบการรับแรงดัดของแผ่น SIP ที่มีแผ่นไม้ OSB ปะกับ [19]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุ

แผ่นฉนวนที่ประกอบขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวประกอบด้วยวัสดุ 5 ชนิดและมีขนาดดังนี้

1) วัสดุผิวหน้า ใช้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 1 x 120 x 240 ซม. (หนา x กว้าง x สูง) โดยมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.1427-2547



รูปที่ 3.1 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

2) วัสดุแกนกลาง ใช้โฟม EPS ขนาด 8 x 120 x 240 ซม. (หนา x กว้าง x สูง) และโฟม EPS ขนาด 12 x 120 x 240 ซม. (หนา x กว้าง x สูง)



รูปที่ 3.2 แผ่นโฟม EPS

3) วัสดุเชื่อมประสาน ใช้กาวโพลีโก๊ต



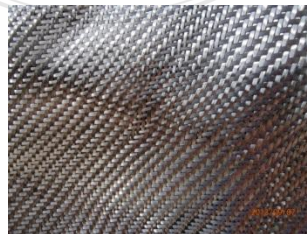
รูปที่ 3.3 กาวโพลีโก๊ต

4) วัสดุเสริมแรง ใช้แผ่นฉนวนใยแก้วชนิด KNA 206-AC ทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 3.4 แผ่นฉนวนใยแก้วชนิด KNA 206-AC


5) วัสดุเสริมแรง ใช้ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ชนิด KNC 125 ทั้ง 2 ด้าน จันทัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1





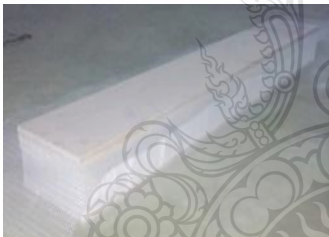
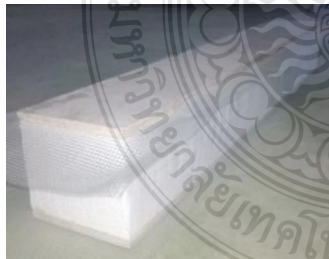

รูปที่ 3.5 ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ชนิด KNC 125

การทดสอบแผ่นพื้น SIP จำเป็นต้องทราบค่าความแข็งแรงหรือความแข็งแกร่งของวัสดุเพื่อใช้เป็นข้อมูลทางด้านวิศวกรรมและในการออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างดังแสดงตามตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทดสอบแรงอัด

| ชนิดของตัวอย่าง ทดสอบแรงอัด | ขนาดของ ตัวอย่าง (m) | รายละเอียด | จำนวน ตัวอย่าง |
|---|-------------------------|---|-------------------|
| SI-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม. ปกติ แผ่นไฟเบอร์ ซีเมนต์หนา 1 ซม | 3 |
| GF-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม. เสริม GFRP | 3 |
| CF-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม. เสริม CFRP แผ่น ไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 1 ซม | 3 |
| SI-14-CT  | 0.15×0.15×0.14 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 12 ซม. ปกติแผ่นไฟเบอร์ ซีเมนต์หนา 1 ซม | 3 |
| GF-14-CT  | 0.15×0.15×0.14 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 10 ซม. เสริม GFRP แผ่น ไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 1 ซม | 3 |

ตารางที่ 3.2 แผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทดสอบแรงดัด

| ชนิดของตัวอย่างทดสอบแรงดัด | ขนาดของตัวอย่าง (m) | รายละเอียด | จำนวนตัวอย่าง |
|---|---------------------|--|---------------|
| SI-10-BT  | 0.15x1.0x0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม.ปกติ แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 1 ซม | 3 |
| SI-14-BT  | 0.15x1.0x0.14 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 12 ซม.ปกติ แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 1 ซม) | 3 |
| GF-10-BT  | 0.15x1.0x0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม.เสริม GFRP | 3 |
| GF-14-BT  | 0.15x1.0x0.14 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม.เสริม GFRP | 3 |
| CF-10-BT  | 0.15x1.0x0.10 | แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม.เสริม CFRP | 3 |

ชั้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Full Scale แสดงอยู่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Full Scale

| สัญลักษณ์ | รายละเอียด | จำนวนตัวอย่าง | |
|-----------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | ขนาดแผ่น One Way (1.2 มx2.4 ม) | ขนาดแผ่น Two Way (1.2 มx2.0 ม) |
| SI-10-FT | แผ่นพื้น แกนกลางเป็น โฟม ขนาด 8 ซม. ปกติ (หนา 10 ซม.) | 1 | 1 |
| SI-14-FT | แผ่นพื้น แกนกลางเป็น โฟม ขนาด 12 ซม. ปกติ (หนา 14 ซม.) | 1 | 1 |
| GF-10-FT | แผ่นพื้น แกนกลางเป็น โฟม ขนาด 8 ซม. เสริม GFRP (หนา 10 ซม.) | 1 | 1 |
| GF-14-FT | แผ่นพื้น แกนกลางเป็น โฟม ขนาด 12 ซม. เสริม GFRP (หนา 14 ซม.) | 1 | 1 |
| CF-10-FT | แผ่นพื้น แกนกลางเป็น โฟม ขนาด 8 ซม. เสริม CFRP (หนา 10 ซม.) | - | 1 |

3.2 ขั้นตอนการประกอบแผ่น

3.2.1 แบบ SIP ปกติ (Normal)

- 1) ทำความสะอาดพื้นผิวแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ให้ปราศจากฝุ่น
- 2) ทากาวโดยเกลี่ยเนื้อกาวให้ทั่วแผ่น
- 3) ติดแผ่น โฟม EPS ลงบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ทากาวไว้
- 4) ทากาวให้ทั่วแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์อีกแผ่น ประกบลงบนแผ่น โฟม จัดให้

เข้ามุม

3.2.2 แบบ SIP เสริมตาข่ายใยแก้ว (GFRP) และเสริมคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP)

- 1) ทำความสะอาดพื้นผิวแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ให้ปราศจากฝุ่น
- 2) ทากาวโดยเกลี่ยเนื้อกาวให้ทั่วแผ่น
- 3) ติดเสริมฉนวนใยแก้วหรือผ้าคาร์บอนไฟเบอร์บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

โดยใช้กาวทาเกลี่ยให้ทั่วแผ่น

- 4) ตัดแผ่นโฟม EPS ลงบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ทากาวไว้บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์
- 5) ตัดเสริมฉนวนใยแก้วอีกแผ่นบนแผ่นโฟม EPS โดยใช้กาวทาเกลี่ยให้ทั่วแผ่น
- 6) ทากาวให้ทั่วแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์อีกแผ่น ประกบลงบนแผ่น โฟม จัดให้เข้ามุม



(ก) ทากาว

(ข) เกลี่ยกาว

(ค) ติด GFRP

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำแผ่น SIP ขึ้นตัวอย่าง



(ก) ติดตาข่าย GFRP

(ข) ติดผ้าคาร์บอนไฟเบอร์

รูปที่ 3.7 ติดตาข่ายใยแก้วและคาร์บอนไฟเบอร์บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 3.8 ให้นำน้ำหนักกดทับแผ่น SIP จนกว่ากาวจะแห้ง



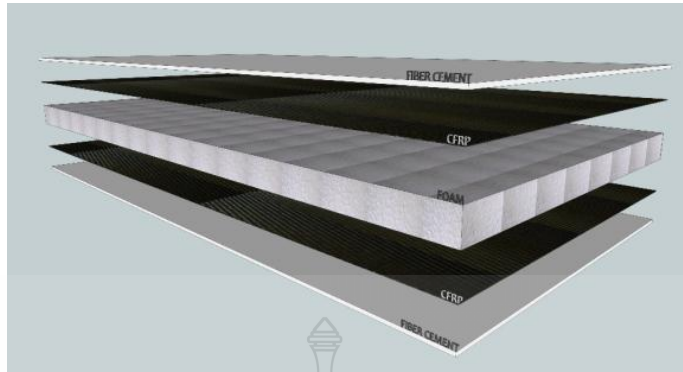
(ก) ทากาว

(ข) ติดตาข่ายใยแก้ว GFRP

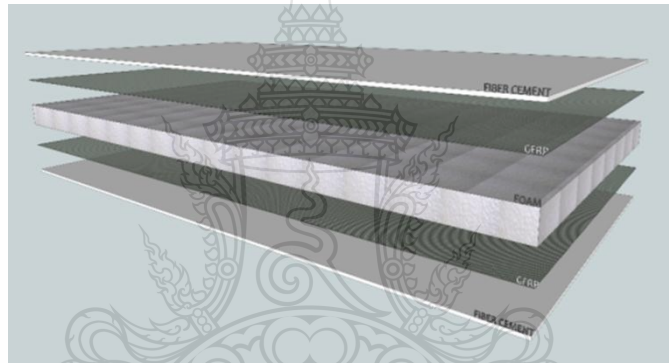
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทากาวบนแผ่นโฟมและติดตาข่ายใยแก้ว (GFRP) บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 3.10 ประกบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บนแผ่นโฟมที่ทำด้วยกาว Poly Coat

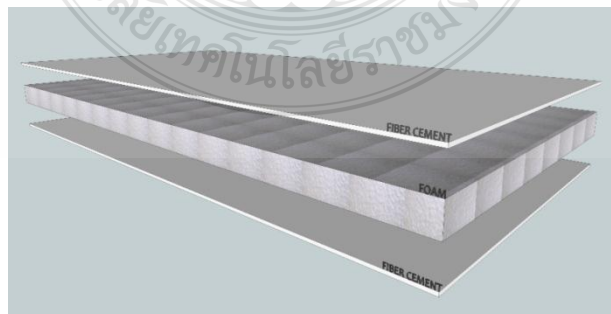


(ก) การประกอบวัสดุทดสอบเสริม CFRP



(ข) การประกอบวัสดุทดสอบเสริม GFRP

รูปที่ 3.11 จำลองการประกอบแผ่นพื้น SIP โดยเสริม CFRP และ GFRP



รูปที่ 3.12 จำลองการประกอบแผ่นพื้น SIP ไม่เสริมวัสดุเสริมแรง

3.3 วิธีการทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุตัวอย่าง

3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นส่วน SIP เป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (Compressive Strength) ของชิ้นแผ่นวัสดุ SIP แบบต่างๆ ขนาดกว้าง หนา 10 ซม. และ 14 ซม. กว้าง 15 ซม. สูง 15 ซม. โดยชิ้นส่วนที่ทดสอบมีขนาดตามตารางที่ 3.1 และลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างโดยใช้ขอบไฟเบอร์ซีเมนต์ทั้ง 2 ด้านขนานกับเครื่องทดสอบแรงอัดตามรูปที่ 3.14 โดยผลการทดสอบจะแสดงในบทที่ 4



รูปที่ 3.13 ชิ้นตัวอย่างแผ่น SIP ใช้ทดสอบแรงอัด



(ก) การวางชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงอัด (ข) ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบจริง

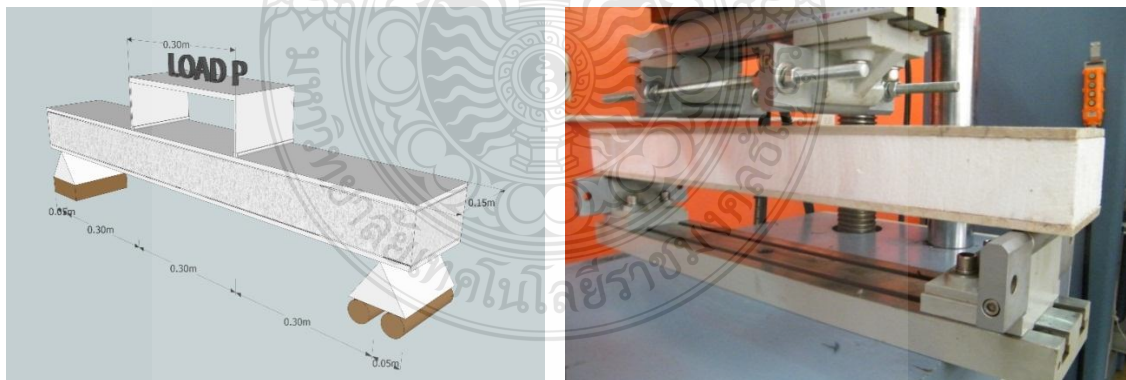
รูปที่ 3.14 จำลองทิศทางการวางชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงอัด

การคำนวณหาค่าหน่วยแรงอัด (Compressive Strength) ด้วยสมการที่ 2.1

3.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของชิ้นส่วน SIP เป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงดัด (Flexural Test) ของชิ้นตัวอย่าง SIP แบบต่างๆ ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 100 ซม. และความสูงต่างๆ ตามตารางที่ 3.2 โดยลักษณะการวางใช้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์วางแนวนอนทั้ง 2 ด้านตั้งฉากกับเครื่องทดสอบวางบนฐานรองรับซึ่งวางห่างกัน 60 ซม. โดยใช้แรงกดกระทำที่ระยะ 1/3 ของความยาว จำนวน 2 จุดดังรูปที่ 3.15 (ก) และทดสอบด้วยเครื่องทดสอบในรูปที่ 3.16 (ข)



รูปที่ 3.15 ชิ้นตัวอย่าง SIP ที่ใช้ทดสอบการรับแรงดัด



(ก) การวางวัสดุตัวอย่างรับแรงดัด

(ข) ชิ้นตัวอย่างทดสอบจริง

รูปที่ 3.16 ลักษณะการวางวัสดุตัวอย่างและทิศทางทดสอบรับแรงดัด



รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ขนาด 100 ตัน

คำนวณหาค่าหน่วยแรงคัต (Flexural Test) ด้วยสมการที่ 2.3

3.3.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก แบบ Full Scale ชนิดแผ่นพื้นและรับแรงสองทาง (Two Way Slab) โดยนำแผ่นพื้น SIP ตามตารางที่ 3.3 โดยการทดสอบครั้งละ 1 แผ่น

1) วางบนฐานเหล็กรับแผ่นพื้นตามรูปแบบของการรับแรงแผ่นพื้นสองทางคือมีฐานเหล็กรับทั้ง 4 ด้านของแผ่นพื้น โดยมีขนาด กว้าง 1.20 ม. ยาว 2.00 ม. และสูง 0.90 ม. ใช้เหล็กขนาด 200 มม. x 400 มม.หนา 2.3 มม. เชื่อมติดกันอย่างมั่นคงและแข็งแรงตามรูปที่ 3.18

2) และใช้ถ่วงทรายบรรจุน้ำหนัก 30 กก./ถุง เป็น น้ำหนัก (Load) วางกระจายน้ำหนักทั่วแผ่นพื้นตามขนาดพื้นที่ของแผ่นพื้น SIP และเพิ่มน้ำหนักทีละชั้นๆ ละ 360 kg ings น้ำหนักค้างไว้ 15 นาทีตามรูปที่ 3.19

3) การติด Strain Gauge ให้ติดที่ตำแหน่งกลางพื้นพื้นด้านบนบน 2 แผ่นในทิศทางขนานกับด้านสั้นและขนานกับด้านยาวทั้งด้านบนและด้านล่างกำหนดโดยกำหนดเป็นชื่อ CH00 หรือ CH02 ตามรูปที่ 3.20 เพื่อต่อสายเข้าเครื่องอ่าน Data Logger แล้วบันทึกค่าการยืดหดตัว ตามรูปที่ 3.22

4) การติดตั้ง LVDT วัดค่าการโก่งตัวของแผ่นพื้น โดยติดตั้งที่ตรงกลางด้านล่างของแผ่นพื้นที่ทดสอบตามรูปที่ 3.21 และหากเห็นว่าอาจเกิดความเสียหายของเครื่อง LVDT เมื่อแผ่นพื้นทดสอบโก่งตัวบิดให้นำเครื่อง LVDT ออกได้และบันทึกข้อมูลการโก่งตัวทีละชั้นของน้ำหนักบรรทุกจนแผ่นพื้นไม่สามารถรับน้ำหนักได้ หรือ ค่าโก่งตัวตรงกลางแผ่นพื้น SIP มีค่าเกิน $L/50$ หรือถ้าเห็นว่าอาจเกิดอันตรายจึงหยุดการให้น้ำหนักและถือว่าสิ้นสุดการทดสอบ ตามรูปที่ 3.23



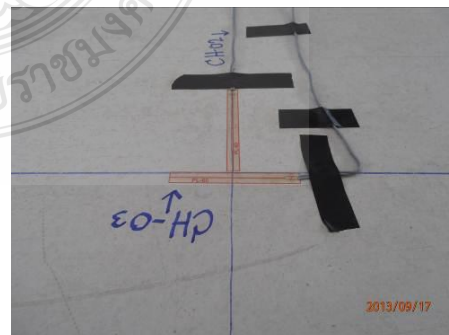
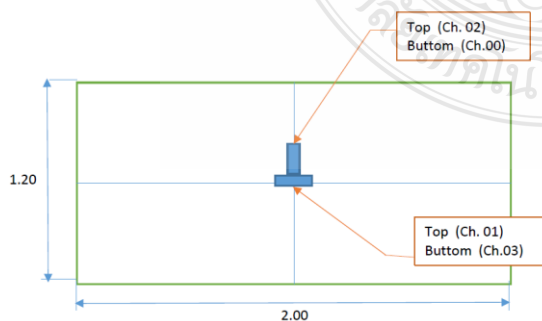
รูปที่ 3.18 ฐานเหล็กรองรับแผ่นพื้น Two Way Slab ใช้รับน้ำหนักแบบแรงคัต Full Scale



(ก) จำลองทราย 1 ชั้น

(ข) ถุงทรายจริงวาง 1 ชั้น

รูปที่ 3.19 การจำลองน้ำหนักโดยใช้กระสอบบรรจุทรายถุงละ 30 กก.



รูปที่ 3.20 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดการยืดหดตัว

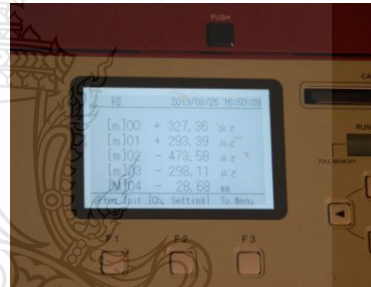


(ก) ติดตั้ง LVDT ที่ใต้กึ่งกลางแผ่น



(ข) ติดตั้ง Dial Gauge

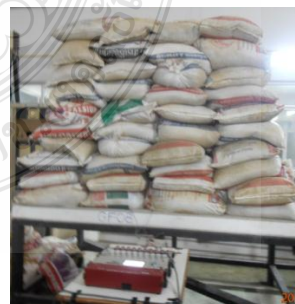
รูปที่ 3.21 ติดตั้งเครื่องวัดการโก่งตัว Linear Variable Differential Transformer (LVDT) และ Dial Gauge ใต้แผ่นพื้น SIP Two Way Slab



รูปที่ 3.22 เครื่อง Data Logger แสดงผลการโก่งตัวและการขีดหดตัวเมื่อใส่น้ำหนักลงบนแผ่นวัสดุทดสอบ



(ก) การใส่น้ำหนักทดสอบ

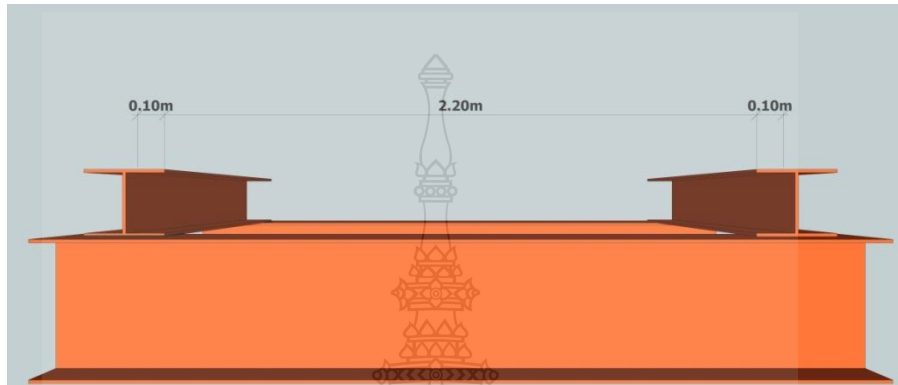


(ข) อ่านค่าต่างๆ ผ่าน Data Logger

รูปที่ 3.23 การใส่น้ำหนักเพื่อทดสอบและอ่านค่าที่เครื่อง Data Logger

3.3.4 การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก แบบ Full Scale ชนิดแผ่นพื้นและรับแรงทางเดียว (One Way Slab) โดยนำแผ่นพื้น SIP ตามตารางที่ 3.3 โดยการทดสอบครั้งละ 1 แผ่น

1) จัดวางจุดรองรับแผ่น (Support) ของแท่นทดสอบวัสดุ ให้ปลายแผ่นอยู่บริเวณจุดรองรับทั้ง 2 ข้าง ฤะ 10 ซม. ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การจัดวางแท่นทดสอบวัสดุฐานรองรับแบบ One Way Slab

2) วางวัสดุทดสอบตรงบริเวณฐานรองรับ (Support) ทั้ง 2 ข้าง โดยให้ปลายของแผ่นวัสดุทดสอบอยู่บริเวณจุดรองรับที่ 10 ซม. ดังรูปที่ 3.25

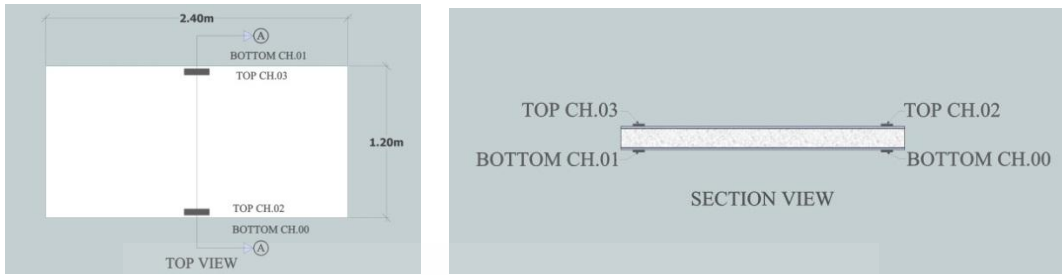


(ก) ลักษณะการวาง

(ข) ระยะการวางแผ่น

รูปที่ 3.25 การวางแผ่นพื้นทดสอบบนแท่นทดสอบพื้น One Way Slab

3) ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืดหดตัว (Strain Gauge) บริเวณกึ่งกลางด้านบนและด้านล่างของแผ่นวัสดุทดสอบ ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ด้านบนและมองทางด้านข้าง

4) ติดตั้งอุปกรณ์ LVDT และ Dial Gauge เพื่อวัดค่าการโก่งตัวของแผ่นวัสดุทดสอบ ดังรูปที่ 3.27 โดยติดตั้งไว้ที่ด้านข้างเพื่อความปลอดภัยและความเสียหายของอุปกรณ์



รูปที่ 3.27 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการโก่งตัว LVDT และ Dial Gauge

6) เชื่อมต่ออุปกรณ์วัดค่าการยืดหดตัว Strain Gauge และอุปกรณ์วัดค่าการโก่งตัว LVDT เข้ากับเครื่องอ่านค่า Data Logger ดังรูปที่ 3.28

7) เตรียมกระสอบบรรจุทรายที่กำหนดน้ำหนักไว้ ถุงละ 30 กิโลกรัม เพื่อเป็นการจำลองน้ำหนัก ในการทดสอบแบบ Full Scale Test

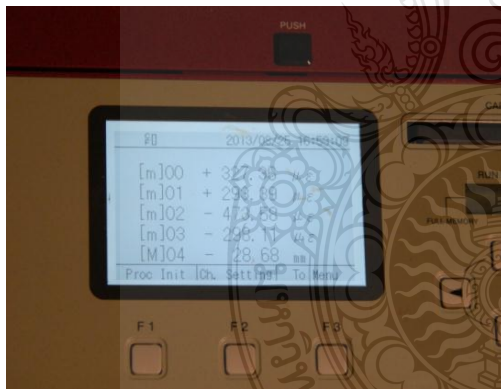
8) นำถุงทรายวางบนแผ่นวัสดุทดสอบ โดยวางให้ทั่วทั้งแผ่น กำหนดให้ชั้นละ 150 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.28 การวางกระสอบบรรจุทรายบนแผ่นวัสดุทดสอบ

9) ทิ้งไว้ 15 นาที อ่านค่าการโก่งตัวและการขีดหดตัว ที่เครื่อง Data Locker

ดังรูปที่ 3.28



(ก) เครื่อง Data Logger



(ข) ใส่น้ำหนักลงบนแผ่นวัสดุทดสอบ

รูปที่ 3.29 เครื่อง Data Logger แสดงผลการโก่งตัวและการขีดหดตัว เมื่อใส่น้ำหนักลงบนแผ่นวัสดุทดสอบ

10) เพิ่มน้ำหนักกองทราย ตามข้อ 9 และทำตามข้อ 10 จนกระทั่ง แผ่นวัสดุตัวอย่างเกิดการวิบัติดังรูปที่ 3.30 และรูปที่ 3.31



(ก) เพิ่มน้ำหนัก

(ข) แผ่นSIP โกงตัวเมื่อรับน้ำหนัก

รูปที่ 3.30 การทดสอบแผ่นSIPโดยเพิ่มน้ำหนัก สังเกตพฤติกรรมของแผ่นพื้นSIP

11) เมื่อแผ่นทดสอบเกิดการวิบัติ ให้วัดระยะจากจุด Support ถึงจุดที่แผ่นแตกหัก จากนั้นให้พิจารณารูปแบบการวิบัติ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลวิเคราะห์และเขียนรายงานผลการทดลอง ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การวิบัติของแผ่นวัสดุทดสอบ

3.4 การรายงานผลการทดสอบ

3.4.1 การรายงานผลการทดสอบในการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

(Compressive Stress) ของชิ้นตัวอย่างได้เป็นค่าเฉลี่ยของแรงอัด (Average Compressive Load) นำมาคิดเป็นหน่วยแรงอัด (Compressive Stress)

3.4.2 ในการทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Test) ของชิ้นตัวอย่างจะได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระทำสูงสุด (Maximum Load) นำมาคิดเป็นค่าการต้านทานกำลังดัดแตกหัก (Modulus of Rupture)

3.4.3 ผลการทดสอบของพื้น SIP ที่ทดสอบแบบ Full Scale นำผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้นรับแรงทางเดียว (One Way Slab) แบบปกติ เสริม GFRP และเสริม CFRP แล้วหาค่าการรับน้ำหนักสูงสุดของแผ่นพื้น

3.4.4 หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นรับแรงทางเดียว (One Way Slab) และแผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) แบบปกติ เสริม GFRP และเสริม CFRP



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

การทดสอบชิ้นตัวอย่างและการทดสอบแผ่นพื้น SIP แบบเสริมฉนวนใยแก้ว (GFRP) และไม้เสริมฉนวนใยแก้วได้ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัด แรงค้ำ และ การทดสอบแผ่นพื้นแบบ รับน้ำหนักเต็มกำลัง (Full Scale Loading Test) ซึ่งมีการผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบแรงอัดของวัสดุตัวอย่าง

การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (Compressive Strength) ของชิ้นส่วนตัวอย่าง SIP แบบต่างๆ ขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 15 ซม. สูง 15 ซม. และ ขนาดกว้าง 14 ซม. ยาว 15 ซม. สูง 15 ซม. โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างดังรูปที่ 4.1 และได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 - 4.6



รูปที่ 4.1 ลักษณะการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง

การวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SIP เสริมฉนวนใยแก้ว (GFRP) และ SIP ที่ไม่เสริมฉนวนใยแก้ว เนื่องจากกำลังอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Load) ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะเกิดขึ้นที่วัสดุ

บุผิวทั้งสองข้าง นั้นคือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เพราะใช้เป็นตัวรับแรงอัด ลักษณะของการวิบัติของ SIP จะเป็นรอยร้าวที่บริเวณขอบบนและขอบล่างของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 - 4.6



รูปที่ 4.2 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ 4.3 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ 4.4 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง CF-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ 4.5 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-14-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ 4.6 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-14-CT เนื่องจากแรงอัด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง SI-10-CT

| No. | Ultimate Compressive Load (kg) | Stress (ksc) |
|---------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 6,124.07 | 40.83 |
| 2 | 6,170.30 | 41.14 |
| 3 | 6,200.10 | 41.33 |
| Average | 6,164.82 | 41.10 |

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง SI-14-CT

| No. | Ultimate Compressive Load (kg) | Stress (ksc) |
|---------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 6,905.50 | 32.88 |
| 2 | 7,002.60 | 33.35 |
| 3 | 7,177.28 | 34.18 |
| Average | 7,078.83 | 33.71 |

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง GF-10-CT

| No. | Ultimate Compressive Load (kg) | Stress (ksc) |
|---------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 7,125.30 | 47.50 |
| 2 | 7,028.29 | 46.86 |
| 3 | 7,001.63 | 46.68 |
| Average | 7,051.74 | 47.01 |

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง GF-14-CT

| No. | Ultimate Compressive Load (kg) | Stress (ksc) |
|---------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 7,890.00 | 37.57 |
| 2 | 7,805.69 | 37.17 |
| 3 | 7,983.89 | 38.02 |
| Average | 7,938.30 | 37.80 |

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง CF-10-CT

| No. | Ultimate Compressive Load (kg) | Stress (ksc) |
|---------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 6,594.94 | 31.40 |
| 2 | 5,918.56 | 28.18 |
| 3 | 6,684.07 | 31.83 |
| Average | 6,399.19 | 30.47 |

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง

| Specimen | SI-10-CT | GF-10-CT | SI-14-CT | GF-14-CT | CF-10-CT |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Load (kg) | 6,164.82 | 7,073.75 | 7,078.83 | 7,983.30 | 6,399.19 |
| Compressive Strength (ksc) | 41.10 | 47.16 | 33.71 | 37.80 | 30.47 |

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างนั้น GF-10-CT รับความเค้นอัดสูงสุด 47.16 ksc ชิ้นตัวอย่าง CF-10-CT รับความเค้นอัดได้ต่ำสุดคือ 30.47 ksc

4.2 ผลการทดสอบแรงดัดของวัสดุตัวอย่าง

การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Test) ของชิ้นตัวอย่างแบบต่างๆขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 100 ซม. หน้า 10 ซม. และขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 100 ซม. หน้า 14 ซม. บนฐานรองรับซึ่งวางห่างกัน 90 ซม. ดังรูปที่ 4.3 และได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7 - 4.12 และรูปที่ 4.7 - 4.9



(ก) ชิ้นวัสดุรับแรงดัด GF-10-BT



(ข) ชิ้นวัสดุรับแรงดัด SI-14-BT

รูปที่ 4.7 ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงดัด



(ก) ชิ้นวัสดุรับแรงค้ำ SI-10-BT



(ข) ชิ้นวัสดุรับแรงค้ำ GF-14-BT

รูปที่ 4.8 ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงค้ำ



รูปที่ 4.9 ลักษณะการแตกหักของการทดสอบกำลังรับแรงค้ำ CF-10-BT

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกำลังรับแรงค้ำของชิ้นตัวอย่าง SI-10-BT

| No. | Load (kg) | Flexibility (cm) | Stress (ksc) |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 481.26 | 2.87 | 28.87 |
| 2 | 492.75 | 2.91 | 29.56 |
| 3 | 505.62 | 3.76 | 30.34 |
| Average | 493.21 | 3.18 | 29.59 |

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองกำลังรับแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง SI-14-BT

| No. | Load (kg) | Flexibility (cm) | Stress (ksc) |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 521.92 | 3.62 | 15.97 |
| 2 | 515.04 | 2.94 | 15.76 |
| 3 | 519.74 | 3.13 | 15.91 |
| Average | 518.90 | 3.23 | 15.88 |

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองกำลังรับแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง GF-10-BT

| No. | Load (kg) | Flexibility (cm) | Stress (ksc) |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 512.63 | 3.18 | 30.75 |
| 2 | 514.68 | 3.49 | 30.88 |
| 3 | 513.97 | 3.23 | 30.84 |
| Average | 513.76 | 3.30 | 30.83 |

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองกำลังรับแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง GF-14-BT

| No. | Load (kg) | Flexibility (cm) | Stress (ksc) |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 689.04 | 4.47 | 21.09 |
| 2 | 686.02 | 4.31 | 21.00 |
| 3 | 690.26 | 4.51 | 21.15 |
| Average | 688.44 | 4.43 | 21.09 |

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองกำลังรับแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง CF-10-BT

| No. | Load (kg) | Flexibility (cm) | Stress (ksc) |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 544.59 | 4.82 | 21.09 |
| 2 | 411.01 | 4.65 | 21.00 |
| 3 | 462.39 | 4.98 | 21.15 |
| Average | 472.66 | 4.82 | 21.09 |

ตารางที่ 4.12 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด

| Specimen | SI-10-BT | GF-10-BT | SI-14-BT | GF-14-BT | CF-10-BT |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Load (kg) | 493.21 | 513.76 | 518.90 | 688.44 | 544.59 |
| Deflection (cm) | 3.18 | 3.30 | 3.23 | 4.43 | 3.65 |
| Modulus of Rapture (ksc) | 29.59 | 30.83 | 15.88 | 21.09 | 32.68 |

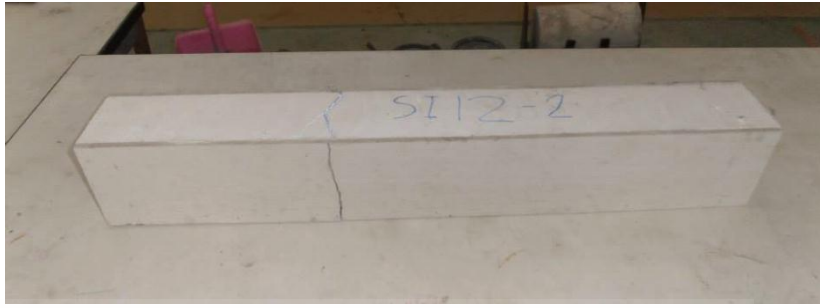
การวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SIP เสริมฉนวนใยแก้ว (GFRP) เนื่องจากการรับกำลังดัด แสดงดังรูปที่ 4.11, 4.13 และ 4.14 และ SIP ที่ไม่เสริมฉนวนใยแก้ว เนื่องจากการรับกำลังดัด แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.12



รูปที่ 4.10 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง SI-10-BT



รูปที่ 4.11 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง GF-10-BT



รูปที่ 4.12 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง SI-14-BT



รูปที่ 4.13 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง GF-14-BT



รูปที่ 4.14 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดัดของชิ้นตัวอย่าง CF-10-BT

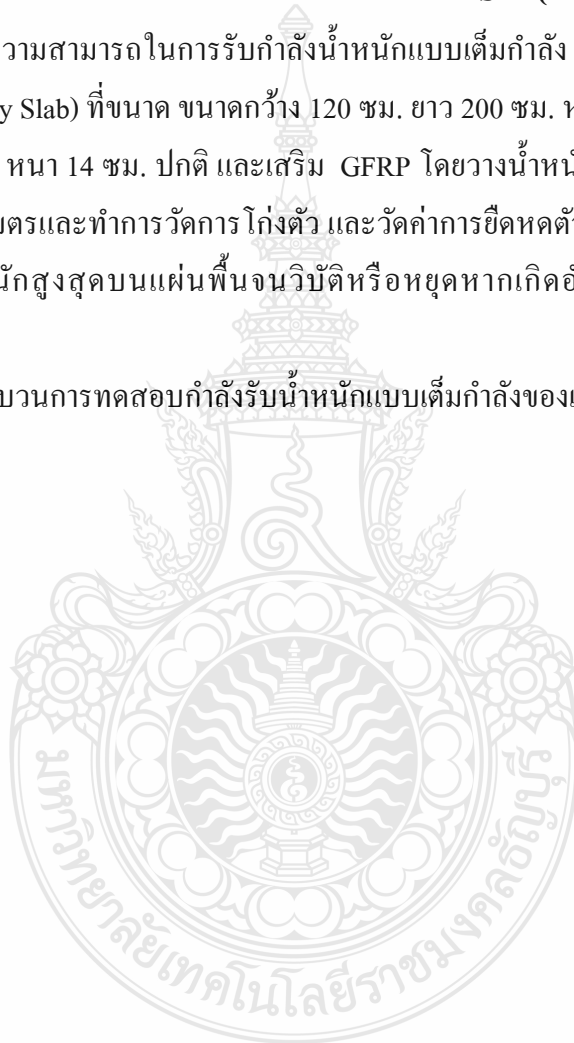
ลักษณะการวิบัติจะเกิดการแตกร้าวแบบเปราะขาด (Brash Tension) ที่น้ำหนักมากกระทำที่ระยะ $L/3$ คือ แตกร้าวที่บริเวณผิวล่างก่อนเนื่องจากแรงดึง จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า GF-10-BT และ GF-14-BT รับแรงได้สูงสุด 513.76 kg และ 688.44 kg ซึ่งรับแรงได้มากกว่า SI-10-BT และ SI-14-BT 493.21 kg และ 518.90 kg เกิดจากการเสริมฉนวนตาข่ายใยแก้วเพราะตาข่ายฉนวนใยแก้วช่วยรับแรงดึงจึงทำให้เกิดการวิบัติซึ่งมีความสามารถรับกำลังดัดได้มากขึ้นส่วน CF-10-BT นั้นเสริม

ด้วยผ้า CFRP นั้นรับแรงได้สูงสุด 544.59 kg ซึ่งสูงกว่าทุกตัวอย่างเนื่องจากผ้า CFRP นั้นเสริมช่วยรับแรงดึงได้ดีทำให้เกิดการวิบัติช้าและไม่เกิดการแตกร้าวแบบทันทีทันใด แต่รับแรงได้น้อยกว่า GF-14-BT เนื่องจากโพลีเมอร์ที่มีความหนามากกว่าถึง 4 ซม. ช่วยในการรับแรง แต่เกิดการแตกร้าวแบบทันทีทันใดโดยไม่มีรอยร้าวหรือมีความเหนียวเหมือน CF-10-BT ซึ่งปลอดภัยกว่า

4.3 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของพื้น SIP (Two Way Slab)

การทดสอบความสามารถในการรับกำลังน้ำหนักแบบเต็มกำลัง (Full-Scale Loading Test) ของพื้น SIP (Two Way Slab) ที่ขนาด ขนาดกว้าง 120 ซม. ยาว 200 ซม. หนา 10 ซม. และขนาดกว้าง 120 ซม. ยาว 200 ซม. หนา 14 ซม. ปกติ และเสริม GFRP โดยวางน้ำหนักแบบแผ่กระจายทีละชั้นๆ ละ 175 kg ต่อตารางเมตรและทำการวัดการโก่งตัว และวัดค่าการยึดหดตัวของแผ่นพื้นบันทึกค่าที่ได้ทีละชั้นจนวางน้ำหนักสูงสุดบนแผ่นพื้นจนวิบัติหรือหยุดหากเกิดอันตรายได้ซึ่งผลที่ได้ตามตารางข้อมูลดังนี้




4.3.1 กระบวนการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของแผ่นพื้น SIP รับแรงสองทางตามตาราง



ตารางที่ 4.13 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|---|
|  | 175 | - เริ่มให้ Load กับ แผ่นพื้นในระบบ แผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) ค่าการโก่งตัวน้อยกว่า 2.53 มม. |
|  | 350 | - เพิ่มน้ำหนักขึ้นและวัดค่าการโก่งตัวได้ 5.42 มม. |
|  | 950 | - ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงน้ำหนัก 950 Kg วัดค่าการโก่งตัวได้ 14.95 มม. |

ตารางที่ 4.13 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab (ต่อ)

| รายละเอียด (ต่อ) | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|--|
|  | 1250 | <p>- ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆถึง 1250 kg วัดค่าการโก่งตัวได้ 19.67 มม.</p> |
|   | 1700 | <p>- มีการโก่งตามน้ำหนักสูงสุดที่ 1700 kg วัดระยะการโก่งตัวได้ 23.70 มม. แต่ไม่มีการพังของแผ่นพื้นในระบบ แผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) จึงหยุดการให้น้ำหนัก เนื่องจากอาจเกิดอันตรายจากถุงทรายเลื่อนจากแผ่นพื้นได้อีกทั้งฐานรองรับเริ่มสั่นมีการโยก</p> |



ตารางที่ 4.14 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT Two Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|---|
|  | 175 | - เริ่มให้ LOAD กับ แผ่นพื้นในระบบ แผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) ค่าการโก่งตัวน้อยกว่า 2.37 มม. |
| | 800 | - เพิ่มน้ำหนักขึ้นและวัดค่าการโก่งตัวได้ 7.79 มม. |
|  | 1700 | - ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงน้ำหนัก 1700 กก. วัดค่าการโก่งตัวได้ 14.70 มม. จึงหยุดการทดสอบ |
|  | | |

ตารางที่ 4.15 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-10-FT Two Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|--|
|  | 500 | - ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง 500 กก. วัดค่าการโก่งตัวได้ 6.13 มม. |
|  | 950 | - ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆที่ละชั้นจนถึง 950 กก. วัดค่าการโก่งตัวได้ 11.04 มม. |
|  | 1700 | - มีการโก่งตามน้ำหนักสูงสุดที่ 1700 กก. วัดระยะการโก่งตัวได้ 18.53 มม. แต่ไม่มีการพังของแผ่นพื้นในระบบ แผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) |

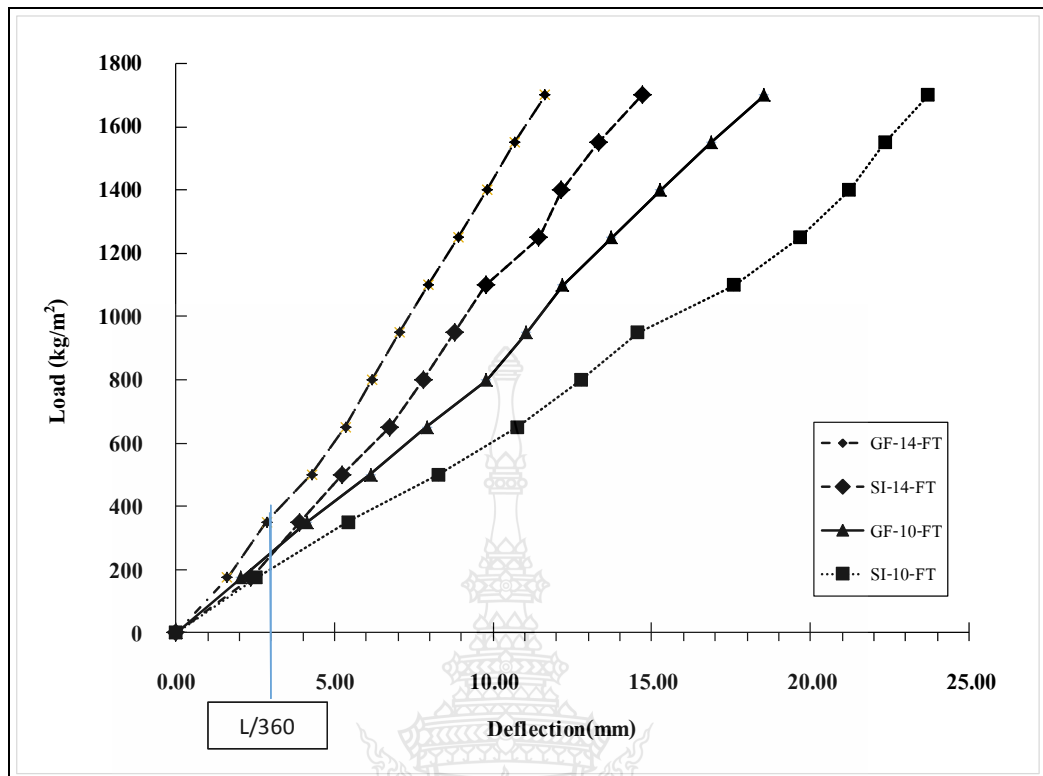
ตารางที่ 4.16 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-14-FT Two Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|--|---------------------------------|---|
|  | 1250 | - ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทีละชั้นจนถึง 1250 กก. วัดค่าการโก่งตัวได้ 8.91 มม. |
|  | 1700 | - มีการโก่งตามน้ำหนักสูงสุดที่ 1700 กก. วัดระยะการโก่งตัวได้ 11.64 มม. แต่ไม่มีการพังของแผ่นพื้นในระบบแผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) |

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของพื้น SIP แบบต่างๆ ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น
(Two Way Slab)

| Load (kg) | Load (kg/m ²) | Deflection(mm) | | | |
|-----------|---------------------------|----------------|----------|----------|----------|
| | | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 420 | 175 | 1.63 | 2.37 | 2.05 | 2.53 |
| 840 | 350 | 2.87 | 3.91 | 4.15 | 5.42 |
| 1200 | 500 | 4.28 | 5.24 | 6.13 | 8.29 |
| 1560 | 650 | 5.36 | 6.75 | 7.92 | 10.77 |
| 1920 | 800 | 6.18 | 7.79 | 9.79 | 12.76 |
| 2280 | 950 | 7.04 | 8.79 | 11.04 | 14.55 |
| 2640 | 1100 | 7.95 | 9.77 | 12.19 | 17.59 |
| 3000 | 1250 | 8.91 | 11.44 | 13.72 | 19.67 |
| 3360 | 1400 | 9.81 | 12.15 | 15.26 | 21.23 |
| 3720 | 1550 | 10.68 | 13.32 | 16.87 | 22.35 |
| 4080 | 1700 | 11.64 | 14.70 | 18.53 | 23.70 |



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (Two Way Slab)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการโก่งตัวของแผ่นพื้นระบบ SIP ทั้ง 4 ตัวอย่าง แบบพื้นสองทาง แสดงดังรูปที่ 4.15 นั้นสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 1700 kg/m^2 จะเห็นได้ว่าแผ่นพื้นที่เสริมใยแก้ว GFRP มีค่าการโก่งตัวน้อย เมื่อคิดการรับน้ำหนักการโก่งตัวที่ $L/360$ หรือเท่ากับ 3 มม. นั้น แผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP มาเปรียบเทียบกับแผ่นปกติจะเห็นได้ว่าแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP นั้นจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นปกติที่ไม่ได้เสริมฉนวนใยแก้ว ประมาณร้อยละ 32 สำหรับ แผ่นพื้น SIP ที่หนา 14 ซม. และร้อยละ 11 สำหรับแผ่นพื้น SIP ที่หนา 10 ซม. ตามตารางที่ 4.19 แสดงว่าการเสริมฉนวนใยแก้ว GFRP มีผลทำให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบในด้านความหนานั้นความหนาของแผ่นพื้น SIP จะมีผลต่อการรับน้ำหนักด้วยเช่นกัน คือแผ่นพื้น SIP ที่หนากว่าก็จะรับน้ำหนักได้มากกว่าประมาณร้อยละ 9 สำหรับแผ่นพื้นหนา 14 ซม. เสริมและไม่เสริม GFRP และร้อยละ 11 สำหรับแผ่นพื้นหนา 10 ซม. เสริมและไม่เสริม GFRP และการโก่งตัว (Deflection) ก็น้อยกว่า

ตารางที่ 4.18 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ $L/360$ หรือ 3.00 มม.

| ITEM | Deflection(mm) $L/360= 3.00$ mm | | | |
|--------------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| Load (kg) | 875 | 595 | 610 | 540 |
| Load (kg/m^2) | 365 | 248 | 254 | 225 |

จากตารางที่ 4.18 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้นแบบรับแรงสองทางที่ $L/360$ หรือ ระยะการ โกงตัวที่ 3.00 มม. แผ่นพื้นแบบเสริมหรือไม่เสริมสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรได้มากกว่า 150 kg/m^2 ซึ่งเป็นมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบน้ำหนักบรรทุกจรตามที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องส้วม ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบร้อยละของการรับน้ำหนักแต่ละชนิดของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ $L/360$ หรือ 3.00 มม.

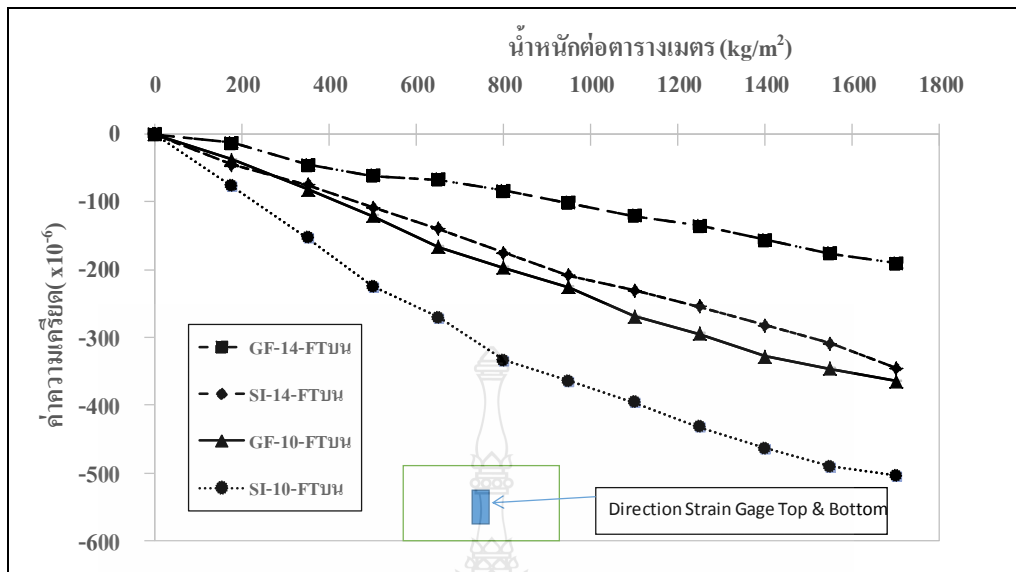
| GF-14-FT กับ SI-14-FT | GF-10-FT กับ SI-10-FT | GF-14-FT กับ GF-10-FT | SI-14-FT กับ SI-10-FT |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 32% | 11% | 30% | 9% |

จากตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบร้อยละของการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP พบว่า แผ่นพื้น SIP ที่ปกติไม่เสริม GFRP มีความหนาของโพนต่างกันแผ่นพื้นที่มีความหนาโพนมากกว่าจะรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ส่วนแผ่นพื้น SIP ที่เสริม GFRP ที่มีความหนาโพนต่างกันแผ่นพื้นที่มีความหนาโพน 14 ซม. จะรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 30 ของแผ่นพื้นที่มีโพน 10 ซม. แผ่นพื้นที่มีความหนาโพน 10 ซม. เท่ากันเสริม GFRP จะรับน้ำหนักมากกว่าแผ่นพื้นที่ไม่เสริม GFRP อยู่ร้อยละ 11 ส่วนแผ่นพื้นที่มีความหนาโพน 14 ซม. เท่ากันเสริม GFRP จะรับน้ำหนักมากกว่าแผ่นพื้นที่ไม่เสริม GFRP อยู่ร้อยละ 32 แสดงว่าหากเสริม GFRP ในแผ่นพื้น SIP นั้นจะช่วยให้น้ำหนักมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มความหนาของโพนและทำให้ไม่ต้องเสียระยะของความสูงของห้องไป

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) การวัดค่าการยืดหดตัวของแผ่นพื้น SIP แบบต่างๆในทิศทางได้ค่าการยืดหดตัวดังแสดงในตารางที่ 4.20 - 4.23

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านบน
ที่ขนานกับด้านสั้น (Ch02)

| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF 14 FT | SI 14 FT | GF 10 FT | SI 10 FT |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 175 | -12.56 | -45.41 | -37.74 | -76.41 |
| 350 | -45.41 | -74.40 | -81.13 | -152.83 |
| 500 | -61.84 | -108.21 | -120.75 | -224.53 |
| 650 | -66.67 | -140.10 | -166.09 | -270.81 |
| 800 | -83.43 | -174.88 | -197.17 | -333.96 |
| 950 | -101.23 | -208.70 | -225.47 | -364.09 |
| 1100 | -120.17 | -230.92 | -268.87 | -396.22 |
| 1250 | -134.82 | -254.11 | -294.34 | -432.02 |
| 1400 | -156.36 | -282.13 | -328.36 | -463.32 |
| 1550 | -176.25 | -309.18 | -346.17 | -490.56 |
| 1700 | -190.15 | -344.93 | -364.15 | -503.72 |



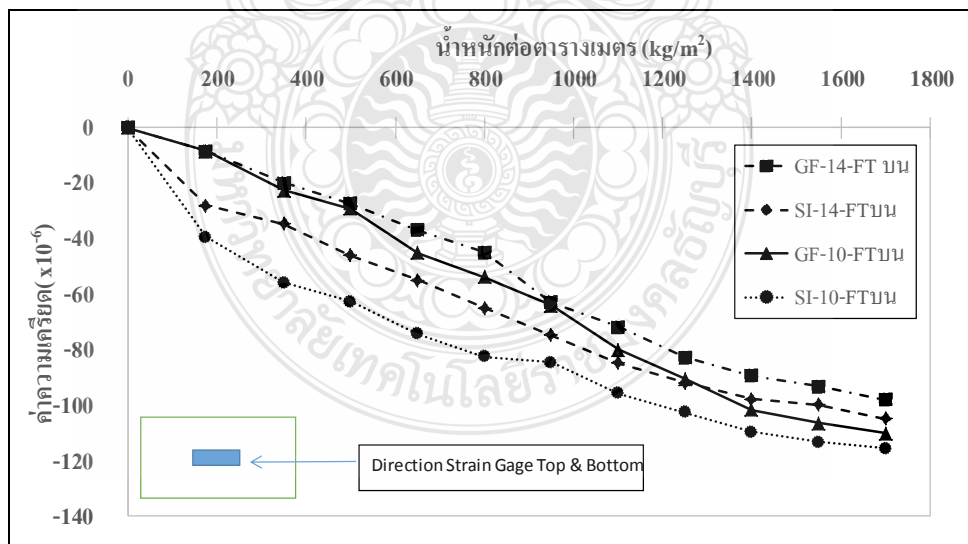
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่กลางคานบน ที่ขนานกับคานสั้น (Ch02)

ตารางที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่กลางคานบน ที่ขนานกับคานยาว (Ch03)

| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 175 | -8.49 | -28.00 | -8.43 | -39.53 |
| 350 | -19.81 | -34.78 | -22.64 | -55.92 |
| 500 | -27.36 | -46.00 | -29.25 | -62.82 |
| 650 | -37.00 | -55.00 | -45.28 | -74.38 |

ตารางที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลาง
 ด้านบนที่ขนานกับด้านยาว (Ch03) (ต่อ)

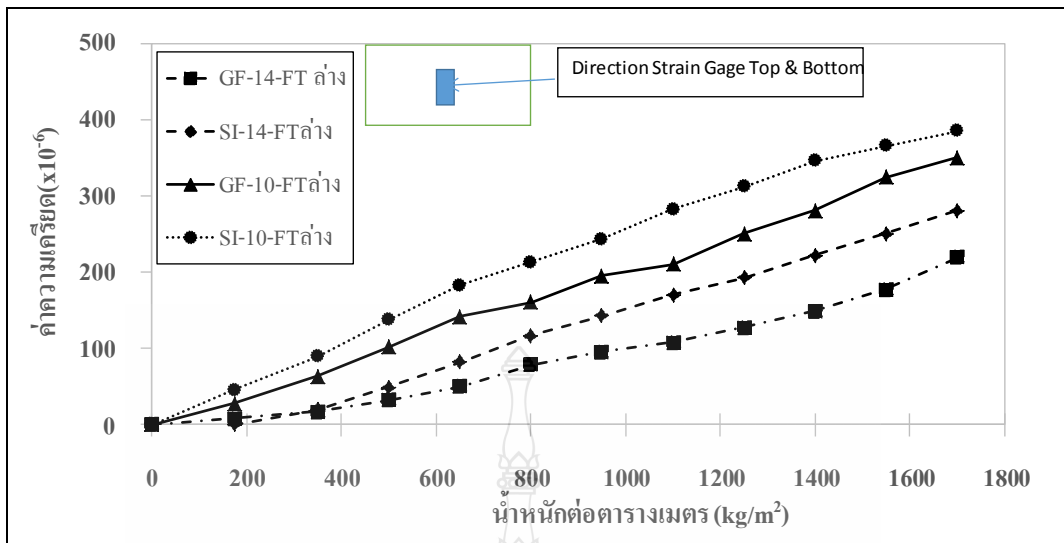
| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF-14 FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| 800 | -45.00 | -65.00 | -53.77 | -82.56 |
| 950 | -63.00 | -75.00 | -64.15 | -84.71 |
| 1100 | -72.00 | -85.00 | -80.19 | -96.01 |
| 1250 | -83.00 | -92.00 | -90.57 | -102.81 |
| 1400 | -89.62 | -98.00 | -101.89 | -109.84 |
| 1550 | -93.40 | -100.00 | -106.60 | -113.57 |
| 1700 | -98.11 | -105.00 | -110.38 | -115.72 |



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านบน
 ที่ขนานกับด้านยาว (Ch03)

ตารางที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่าง
ที่ขนานกับคานสั้น (Ch01)

| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF 14 FT | SI 14 FT | GF 10 FT | SI 10 FT |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 175 | 8.49 | 19.32 | 28.02 | 45.28 |
| 350 | 16.98 | 48.85 | 63.77 | 89.62 |
| 500 | 32.08 | 82.41 | 101.25 | 137.73 |
| 650 | 50.00 | 117.09 | 142.03 | 183.07 |
| 800 | 78.24 | 142.63 | 160.26 | 213.21 |
| 950 | 95.28 | 170.03 | 195.26 | 243.39 |
| 1100 | 107.55 | 192.17 | 210.73 | 282.07 |
| 1250 | 127.36 | 222.17 | 250.73 | 312.26 |
| 1400 | 149.06 | 250.26 | 280.28 | 345.28 |
| 1550 | 177.36 | 280.87 | 323.98 | 365.09 |
| 1700 | 218.87 | 310.07 | 350.21 | 384.96 |



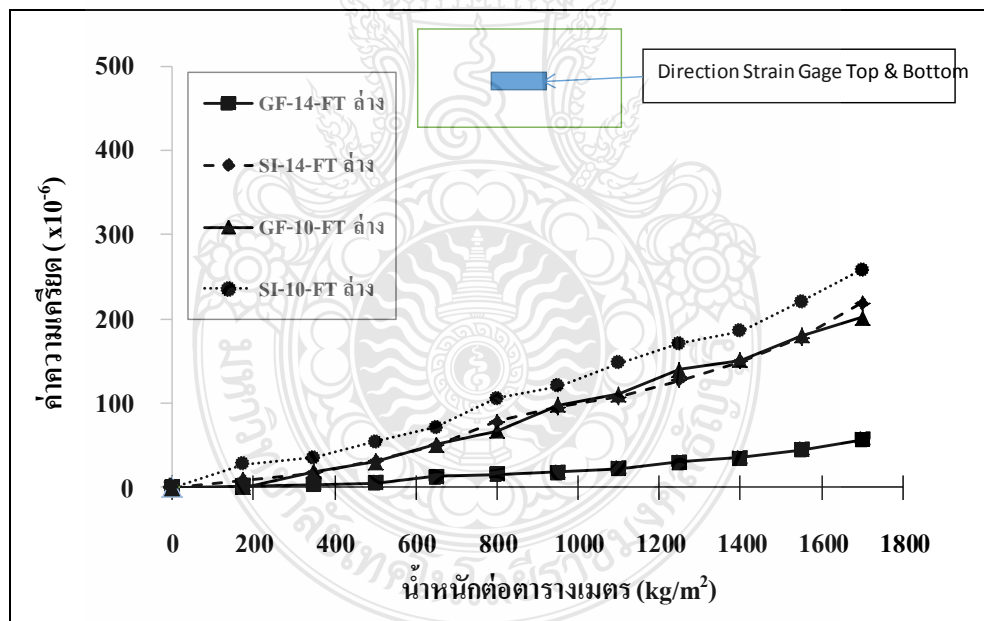
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) บริเวณกึ่งกลางแผ่นด้านล่างที่ขนานด้านสั้น (Ch01)

ตารางที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่างที่ขนานกับด้านยาว (Ch00)

| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 175 | 1.89 | 8.49 | 19.32 | 28.02 |
| 350 | 3.77 | 16.98 | 30.06 | 35.47 |
| 500 | 5.66 | 32.08 | 50.57 | 53.79 |
| 650 | 13.21 | 50.00 | 67.06 | 71.06 |
| 800 | 16.04 | 78.24 | 97.82 | 105.82 |

ตารางที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่าง ที่ขนานกับด้านยาว (Ch00) (ต่อ)

| Load (kg/m ²) | Strain x10 ⁻⁶ | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| 950 | 17.92 | 95.28 | 110.91 | 120.35 |
| 1100 | 22.64 | 107.55 | 139.98 | 147.98 |
| 1250 | 30.19 | 127.36 | 150.83 | 170.85 |
| 1400 | 34.91 | 149.06 | 180.47 | 185.63 |
| 1550 | 44.34 | 177.36 | 201.94 | 220.82 |
| 1700 | 56.60 | 218.87 | 250.03 | 258.03 |



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain (Ch03) ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) กึ่งกลางด้านล่างที่ขนานกับด้านยาว

ตารางที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ $L/360 = 3.00 \text{ mm}$ ที่ได้จากการ Interpolated Data

| ITEM | Deflection(mm) $L/360 = 3.00 \text{ mm}$ | | | |
|--|--|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
| Load (kg) | 875 | 595 | 610 | 540 |
| Load (kg/m^2) | 365 | 248 | 254 | 225 |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านบนที่ขนานกับ ด้านสั้น | -92.33 | -128.62 | -154 | -236.87 |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านล่างที่ขนานกับ ด้านสั้น | 86.76 | 104.37 | 131.16 | 149.82 |
| Strain($\times 10^{-6}$) ด้านบนที่ขนานกับ ด้านยาว | -54 | -51.7 | -41.01 | -65.9 |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านล่างที่ขนานกับ ด้านยาว | 16.98 | 43.43 | 45.1 | 40.36 |

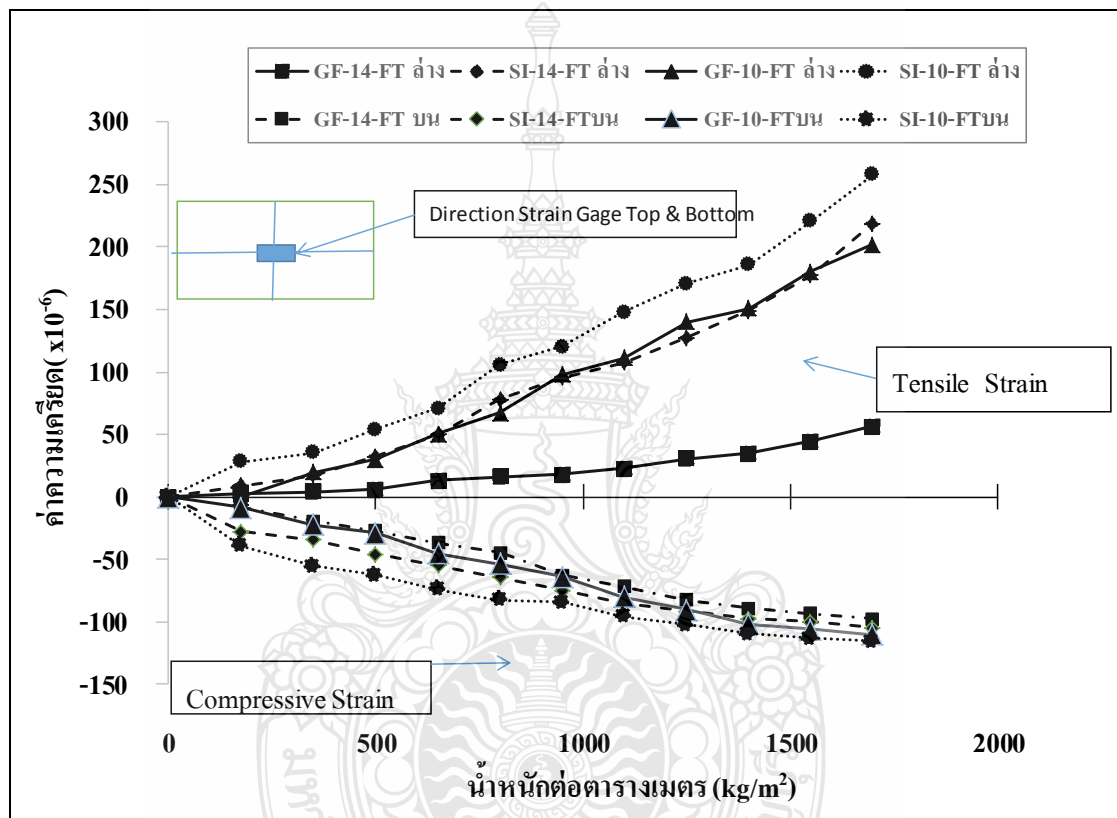
ตารางที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (Two Way Slab) ที่ L/360 = 3.00 mm เทียบระหว่างเสริมกับไม่เสริม GFRP ที่ความหนาเดียวกันและความหนาต่างกัน

| ITEM | % เทียบระหว่างเสริมกับไม่เสริม GFRP ที่ความหนาเดียวกัน | | % เทียบระหว่างเสริมกับไม่เสริม GFRP ที่ความหนาต่างกัน | |
|--|--|-----------------------|---|-----------------------|
| | GF-14-FT กับ SI-14-FT | GF-10-FT กับ SI-10-FT | GF-14-FT กับ GF-10-FT | SI-14-FT กับ SI-10-FT |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านบนที่ขนานกับด้านสั้น | 39% | 54% | 67% | 84% |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านล่างที่ขนานกับด้านสั้น | 20% | 14% | 51% | 44% |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านบนที่ขนานกับด้านยาว | -4% | 61% | 24% | 27% |
| Strain ($\times 10^{-6}$) ด้านล่างที่ขนานกับด้านยาว | 156% | -11% | 166% | 7% |

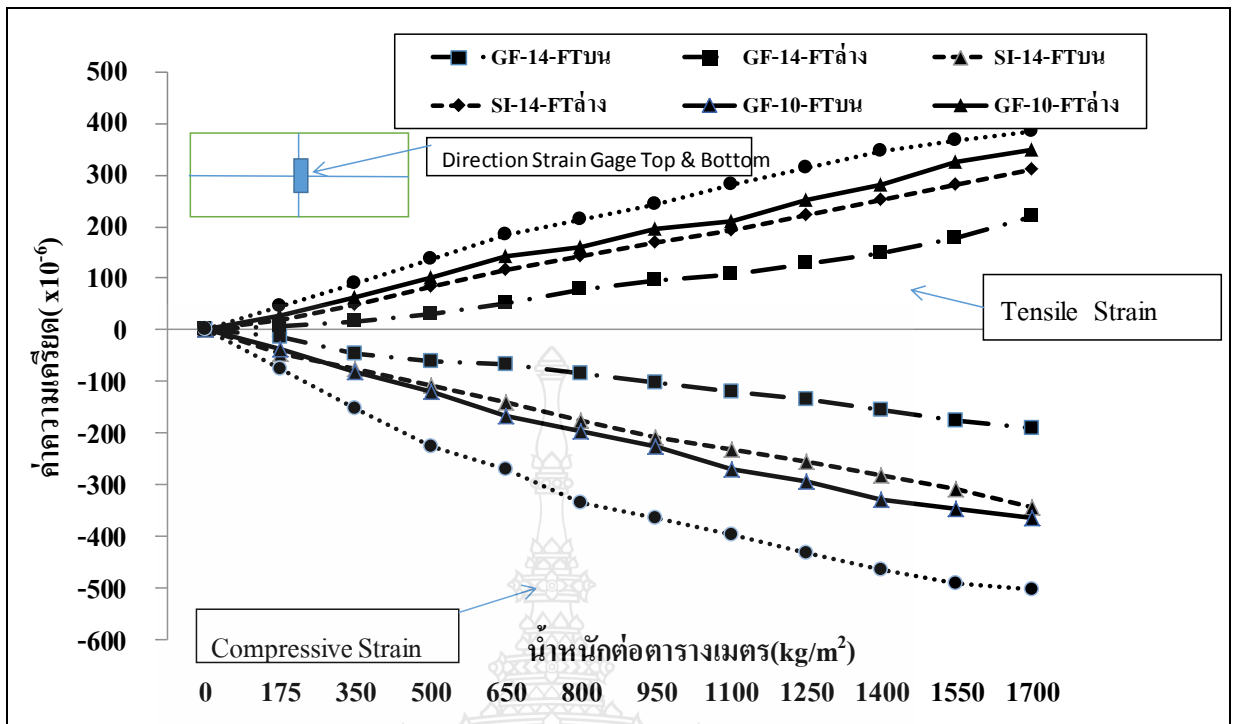
4.3.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าการยืดหดตัวของแผ่นพื้นในแนวทิศทางต่างๆจากตารางที่ 4.20 - 4.23 พิจารณาค่าการยืดหด (Strain Gauge) ที่ติดตามแนวขวางของผิวแผ่นด้านบนเมื่อรับน้ำหนักตามพฤติกรรมการรับน้ำหนัก แผ่นพื้นจะหดตัวด้วยแรงอัด แผ่น SI-14-FT หดตัวมากกว่าแผ่น GF-14-FT อยู่ 39% แผ่น SI-10-FT หดตัวมากกว่าแผ่น GF-10-FT อยู่ 54% แสดงว่าตาข่ายใยแก้วช่วยรับแรงมากขึ้นและทำให้แผ่นพื้นที่เสริม GFRP นั้นหดตัวน้อยลง และพิจารณาค่าการยืดหด (Strain) ตามแนวขวางของแผ่นผิวด้านล่าง เมื่อแผ่นพื้นรับน้ำหนักจะยืดตัวตามพฤติกรรมของการรับแรงเกิดแรงดึง แผ่น SI-14-FT จะยืดตัวมากกว่าแผ่น GF-14-FT อยู่ 20% และแผ่น SI-10-FT ยืดตัวมากกว่าแผ่น GF-10-FT อยู่ 14% แสดงว่าตาข่ายใยแก้วช่วยรับแรงมากขึ้นและทำให้ยืดตัวน้อยลงเฉลี่ยถึง 20%

พิจารณาตาม Stain Gauge ที่ติดตามแนวยาวของแผ่นผิวด้านบนตามตารางที่ 4.21 และ 4.23 เมื่อรับน้ำหนักแผ่นพื้นผิวด้านบนจะหดตัวจากแรงอัด แผ่น SI-14-FT หดตัวไม่ต่างกันกับแผ่น

GF-14-FT เพียง 4% แผ่น SI-10-FT จะหดตัวมากกว่าแผ่น GF-10-FT อยู่ 61% แสดงว่าตาข่ายใยแก้วช่วยรับแรงมากขึ้นและทำให้หดตัวน้อยลงเฉลี่ยถึง 29.50% และพิจารณาตาม Stain Gauge ที่ติดตามแนวยาวของแผ่นผิวด้านล่างเมื่อรับน้ำหนักจะยึดตัวออกตามแรงดึง แผ่น SI-14-FT จะยึดตัวมากกว่าแผ่น GF-14-FT อยู่ถึง 156% แผ่น SI-10-FT จะยึดตัวมากกว่าแผ่น GF-10-FT 11% แสดงว่าตาข่ายใยแก้วช่วยรับแรงมากขึ้นและทำให้ยึดตัวน้อยลง



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ด้านบนและด้านล่าง ในทิศทางขนานด้านยาวของแผ่นพื้น (Two Way Slab)



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ด้านบนและด้านล่าง ในทิศทางขนานด้านสั้นของแผ่นพื้น (Two Way Slab)

4.4 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของแผ่นพื้น SIP (One Way Slab)

การทดสอบความสามารถในการรับค้ำน้ำหนักแบบเต็มกำลัง (Full-Scale Loading Test) ของพื้น SIP (One Way Slab) ที่ขนาดต่างๆ ขนาดกว้าง 120 ซม. ยาว 240 ซม. หนา 10 ซม. และ ขนาดกว้าง 120 ซม. ยาว 240 ซม. หนา 14 ซม. โดยวางน้ำหนักแบบแผ่กระจายและทำการวัดการโก่งตัวและวัดค่าการยึดหดตัวของแผ่นพื้นได้ค่าการทดสอบดังนี้

4.4.1 กระบวนการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบเต็มกำลังของแผ่นพื้น SIP รับแรงทางเดียว (One Way Slab) ตามตาราง

ตารางที่ 4.26 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-10 –FT One Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|--|
|  | 150 | -มีการ โกงตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 17.48 มม. |
|  | 300 | -มีการ โกงลงเรื่อยๆจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 26.50 มม. |
|  | 450 | -มีการ โกงลงเรื่อยๆแม้ว่าจะถึงเวลาที่กำหนด ผ่านนาฬิกาที่ 20 ยัง โกงตัวลงอยู่เรื่อยๆ |
|  | 600 | - เริ่มมีรอย Crack บริเวณแผ่น โฟม EPS แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เคลื่อน จากโฟมเล็กน้อยในนาฬิกาที่ 25 และ ยัง โกงตัวลงเรื่อยๆในนาฬิกาที่ 25 โกงลงประมาณ 105.00 มม. จึง วิกฤติ |





ตารางที่ 4.27 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-10-FT One Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|---|
|  | 150 | -มีการ โกงตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 13.47 มม. |
|  | 300 | - มีการ โกงลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 28.00 มม. |
|  | 450 | <p>-มีการ โกงลงเรื่อยๆแม้ว่าจะถึงเวลาที่กำหนดผ่านนาที่ที่ 30 ยัง โกงตัวลงอยู่เรื่อยๆ</p> <p>- เริ่มมีรอยปริบริเวณแผ่นโฟม EPS แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เคลื่อนจากโฟมเล็กน้อยในนาที่ที่ 40 และยัง โกงตัวลงเรื่อยๆจนถึงนาที่ที่ 45 โกงลงประมาณ 60.00 มม. จึงวิบัติ</p> <p>- ได้เกิดการเคลื่อนตัวของจตุรรองรับ แผ่นพื้นที่ทำการทดสอบจึงมีผลทำให้เกิดวิบัติเร็วขึ้น</p> |

ตารางที่ 4.28 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น CF-10-FT One Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|--|---------------------------------|---|
|  | 150 | -มีการโก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนดโก่งตัวลงประมาณ 6.28 มม. |
|  | 300 | -มีการโก่งลงเรื่อยๆจนถึงเวลาที่กำหนดโก่งตัวลงประมาณ 15.50 มม. |
|  | 450 | -มีการโก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนดโก่งตัวลงประมาณ 28.50 มม. |
|   | 600 | -มีการโก่งลงเรื่อยๆจนถึงเวลาที่กำหนดโก่งตัวลงประมาณ 45.00 มม. |

ตารางที่ 4.28 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น CF-10 –FT One Way Slab (ต่อ)

| รายละเอียด (ต่อ) | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|--|---------------------------------|---|
|  | 750 | -มีการ โกงตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 62.00 มม. |
|  | 900 | -มีการ โกงลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 78.00 มม. |
|   | 1050 | -มีการ โกงลงเรื่อยๆจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 120.00 มม. |

ตารางที่ 4.29 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT One Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|--|
|  | 150 | -มีการโก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 8.08 มม. |
|  | 300 | - มีการโก่งลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 17.62 มม. |
|  | 450 | -มีการ โก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 28.54 มม. |
|  | 600 | - มีการโก่งลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 45.08 มม. |

ตารางที่ 4.29 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT One Way Slab (ต่อ)

| รายละเอียด (ต่อ) | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|--|---------------------------------|---|
|  | 750 | <p>-มีการโก่งลงเรื่อยๆ แม้ว่าจะถึงเวลาที่กำหนด ผ่านนาฬิกาที่ 5 ยังโก่งตัวลงอยู่เรื่อยๆ</p> <p>-เริ่มมีรอยปริบบริเวณแผ่นโฟม EPS แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เคลื่อนจากโฟมเล็กน้อยในนาฬิกาที่ 10 และยังคงโก่งตัวลงเรื่อยๆจนถึงนาฬิกาที่ 15 โกงลงประมาณ 60.00 มม. จึงวิบัติ</p> <p>-ได้เกิดการเคลื่อนตัวของจุดรองรับแผ่นพื้นที่ทำการทดสอบ จึงมีผลทำให้เกิดวิบัติเร็วขึ้น</p> |

ตารางที่ 4.30 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-14-FT One Way Slab

| รายละเอียด | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|---|---------------------------------|--|
|  | 150 | -มีการโก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 9.40 มม. |
|  | 300 | - มีการโก่งลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 22.49 มม. |
|  | 450 | - มีการโก่งตัวลงเล็กน้อยจนถึงเวลาที่กำหนด โกงตัวลงประมาณ 48.00 มม. |

ตารางที่ 4.30 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น GF-14-FT One Way Slab (ต่อ)

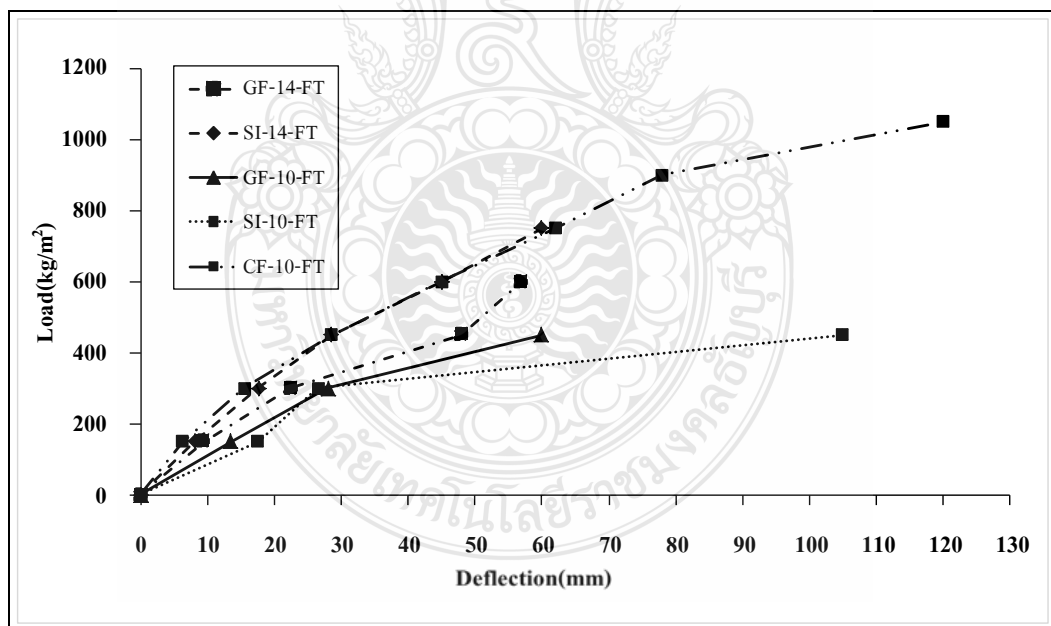
| รายละเอียด (ต่อ) | น้ำหนัก (kg/m ²) | ปฏิกิริยาของแผ่นพื้น SIP |
|--|---------------------------------|---|
|  | 600 | <ul style="list-style-type: none"> - มีการโก่งลงเรื่อยๆ แม้ว่าจะถึงเวลาที่กำหนด ผ่านนาฬิกาที่ 5 ยังโก่งตัวลงอยู่เรื่อยๆ - เริ่มมีรอยปริบริเวณแผ่นโฟม EPS แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เคลื่อนจากโฟมเล็กน้อยในนาฬิกาที่ 10 และยังโก่งตัวลงเรื่อยๆจนถึงนาฬิกาที่ 15 โก่งลงประมาณ 57.00 มม. จึงวิบัติ - ได้เกิดการเคลื่อนตัวของจุดรองรับแผ่นพื้นที่ทำการทดสอบ จึงมีผลทำให้เกิดวิบัติเร็วขึ้น |

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab)

ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของพื้น SIP แบบต่างๆ ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab)

| Load (kg/m ²) | Deflection(mm) | | | | |
|---------------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT | CF 10 BT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 9.4 | 8.08 | 13.47 | 17.48 | 6.28 |
| 300 | 22.49 | 17.62 | 28 | 26.5 | 15.5 |
| 450 | 48 | 28.54 | 60 | 105 | 28.5 |
| 600 | 57 | 45.08 | | | 45 |
| 750 | | -60 | | | -62 |
| 900 | | | | | -78 |
| 1050 | | | | | -120 |



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab)

ตารางที่ 4.32 ผลการหาค่า Load กับ Deflection ของแผ่นพื้น (One Way Slab) ที่ $L/360=6.6$ มม. ที่ได้จากการ Interpolated Data

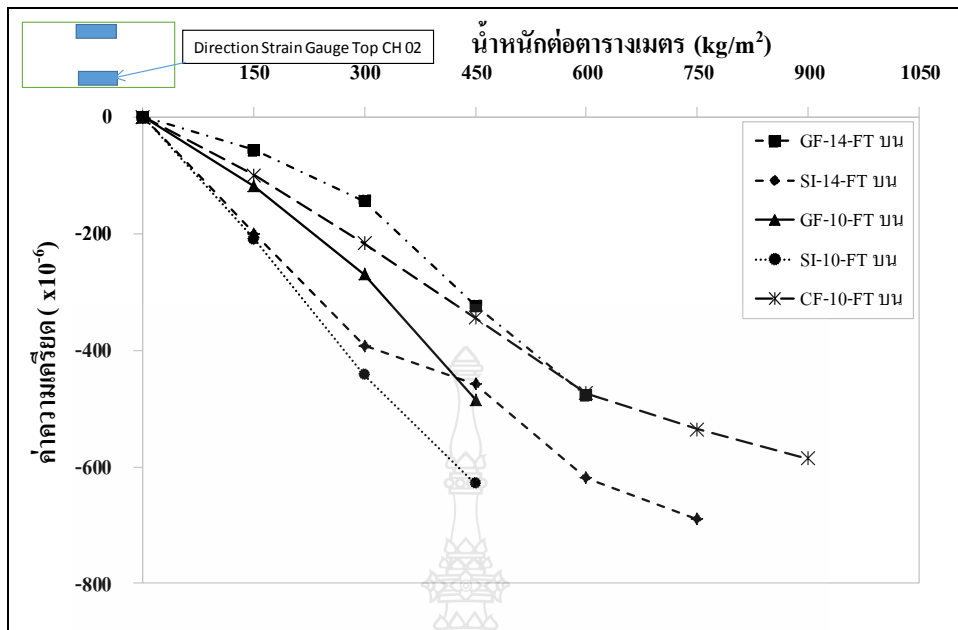
| Deflection (mm) | Load (kg/m ²) | | | | | |
|--------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | L/360 | SI-10-FT | GF-10-FT | SI-14-FT | GF-14-FT | CF-10-FT |
| 6.6 | | 52 | 67 | 97 | 113 | 145 |

4.4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการรับน้ำหนัก (Load) กับการแอ่นตัว (Deflection) ของแผ่นพื้นระบบ SIP ทั้ง 5 ตัวอย่างจากรูปที่ 4.23 จากกราฟการทดสอบพิจารณาพฤติกรรมการแอ่นตัว (Deflection) ของแผ่นพื้นระบบ SIP ทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่าแผ่นพื้น CF-10-FT จะรับน้ำหนักได้สูงสุด 1,050 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อคิดการโก่งตัวที่ $L/360$ นั้น ที่น้ำหนักบรรทุก 145 kg/m² ค่าการแอ่นตัวแผ่นพื้น CF-10-FT นำมาเปรียบเทียบกับแผ่น SI-10-FT จะเห็นได้ว่าแผ่นพื้น CF-10-FT นั้นจะแอ่นตัวน้อยกว่าแผ่นพื้น SI-10-FT อยู่ที่ร้อยละ 64 จากการพิจารณาผลการทดสอบพื้น SI-10-FT และพื้น GF-10-FT รับน้ำหนักได้ 450 kg/m² เท่ากัน แต่พื้น SI-10-FT แอ่นตัวมากกว่า GF-10-FT อยู่ที่ร้อยละ 75

ผลการวัดค่าการโก่งตัวการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SI-14-FT และแผ่นพื้น GF-14-FT นั้น แผ่นพื้น GF-14-FT รับน้ำหนักได้น้อยกว่าแผ่นพื้น SI-14-FT อยู่ร้อยละ 20 ที่รับน้ำหนักบรรทุก 600 kg/m² การแอ่นตัวของแผ่นพื้น SI-14-FT ได้ค่า 45.08 มม. และ แผ่นพื้น GF-14-FT ได้ค่า 57.00 มม. แผ่นพื้น GF-14-FT แอ่นตัวมากกว่าร้อยละ 26

ผลการทดสอบ เปรียบเทียบระหว่าง แผ่นพื้น SI-10-FT และแผ่นพื้น SI-14-FT ที่มีความหนาของโฟมแกนกลางมีความหนาต่างกัน 4.00 เซนติเมตร นั้น พบว่า แผ่นพื้น SI-10-FT รับน้ำหนักสูงสุดมากกว่าแผ่นพื้น SI-14-FT ร้อยละ 60 และ แผ่นพื้น GF-14-FT รับน้ำหนักสูงสุดมากกว่าแผ่นพื้น GF-10-FT และร้อยละ 75

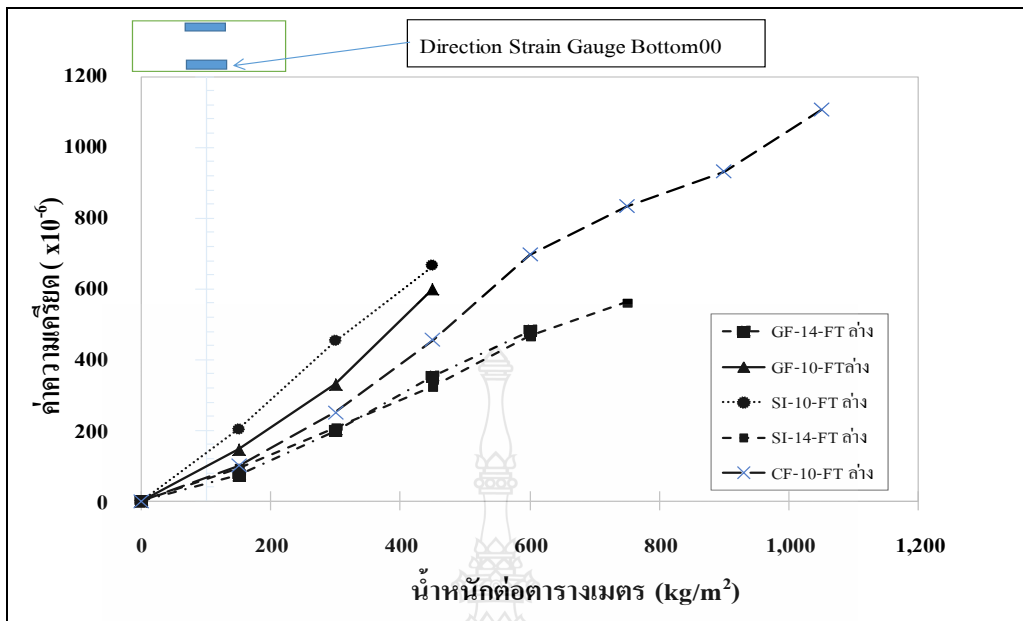
4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) การวัดค่าการยืดหดตัวของแผ่นพื้น SIP แบบต่างๆ ได้ค่าการยืดหดตัวดัง แสดงในตาราง



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) ด้านบนซ้าย (CH02)

ตารางที่ 4.33 ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH02) Top

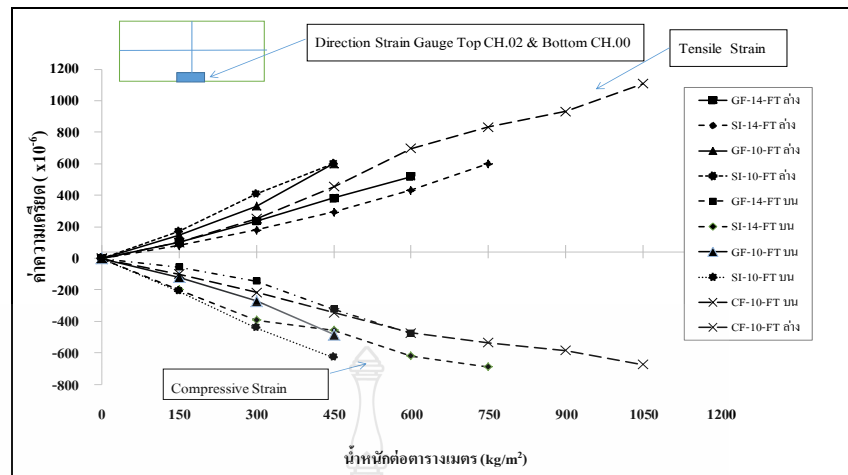
| Load (kg/m ²) | strain(x10 ⁻⁶) | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT | CF 10 BT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | -56.06 | -200 | -117.92 | -209.43 | -100 |
| 300 | -144.34 | -391.81 | -269.75 | -442.45 | -216.04 |
| 450 | -323.45 | -457.54 | -484.90 | -629.24 | -344.34 |
| 600 | -477.36 | -618.86 | | | -473.58 |
| 750 | | -689.62 | | | -535.85 |
| 900 | | | | | -585.85 |
| 1050 | | | | | -674.52 |



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านล่าง ช้อย (CH00)

ตารางที่ 4.34 ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH00) Bottom

| Load (kg/m ²) | strain(x10 ⁻⁶) | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT | CF 10 BT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 73.58 | 94.34 | 146.57 | 203.77 | 100 |
| 300 | 199.06 | 208.49 | 330.19 | 451.88 | 250.89 |
| 450 | 352.83 | 323.58 | 600.00 | 665.09 | 455.02 |
| 600 | 481.13 | 466.86 | | | 696.22 |
| 750 | | 561.32 | | | 833.96 |
| 900 | | | | | 932.07 |
| 1050 | | | | | 1106.6 |

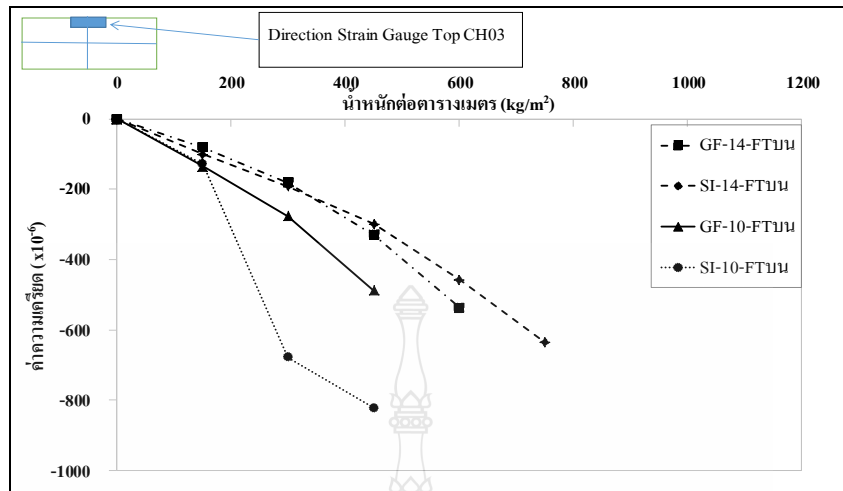


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านบน ซ้าย (CH02) และด้านล่างซ้าย (CH00)

จากรูปที่ 4.23 - 4.25 ค่าการหดตัวของแผ่นพื้น SIP ที่ติดตั้ง Strain Gauge CH02, CH00 ด้านบนของแผ่นพื้นชนิดต่างๆพบว่าในช่วงแรกพื้น GF-14-FT หดตัวน้อยกว่าพื้น SIP CF-10-FT แต่ช่วงปลายทดสอบพื้น SIP CF-10-FT นั้นหดตัวน้อยกว่าเนื่องจาก พื้น GF-14-FT วิบัติไปก่อน ส่วนผิวพื้นด้านล่างของแผ่นพื้นด้านล่างที่รับแรงดึงแผ่นพื้น CF-10-FT ยึดตัวในระดับกลางเทียบกับแผ่นพื้นชนิดอื่นๆในช่วงแรกของการทดสอบและเมื่อถึงปลายการทดสอบก็จะรับแรงได้มากกว่า

ตารางที่ 4.35 ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH03) Top

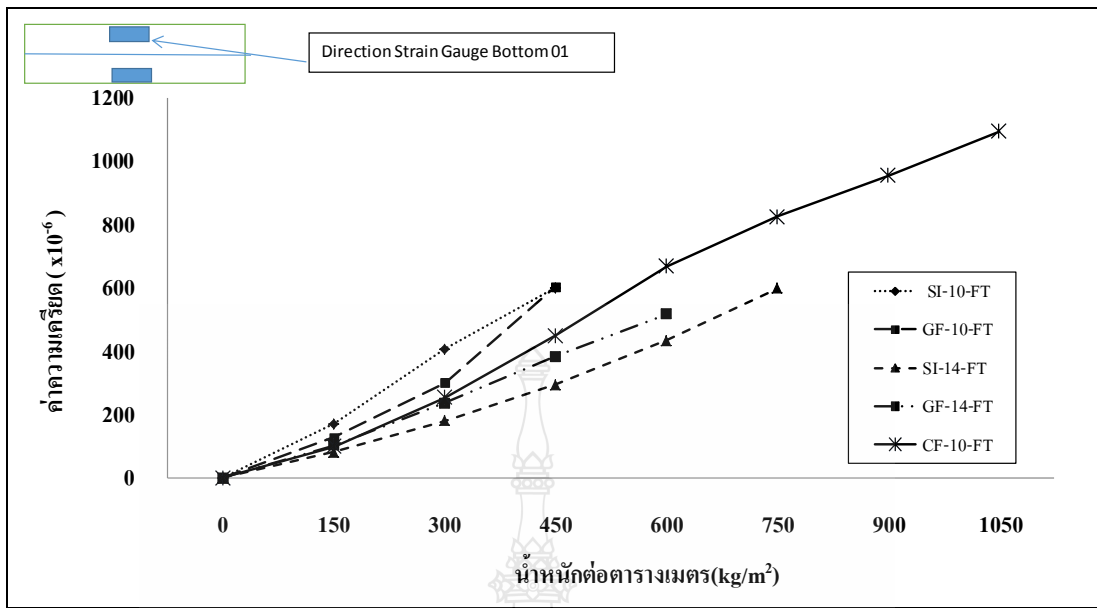
| Load (kg/m ²) | strain(x10 ⁻⁶) | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT | CF 10 BT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | -81.13 | -100.94 | -135.85 | -129.24 | -89.62 |
| 300 | -181.13 | -192.39 | -277.36 | -678.30 | -207.93 |
| 450 | -330.19 | -299.05 | -487.67 | -821.69 | -348.62 |
| 600 | -536.62 | -457.49 | | | -467.92 |
| 750 | | -635.84 | | | -541.51 |
| 900 | | | | | -637.73 |
| 1050 | | | | | -702.83 |



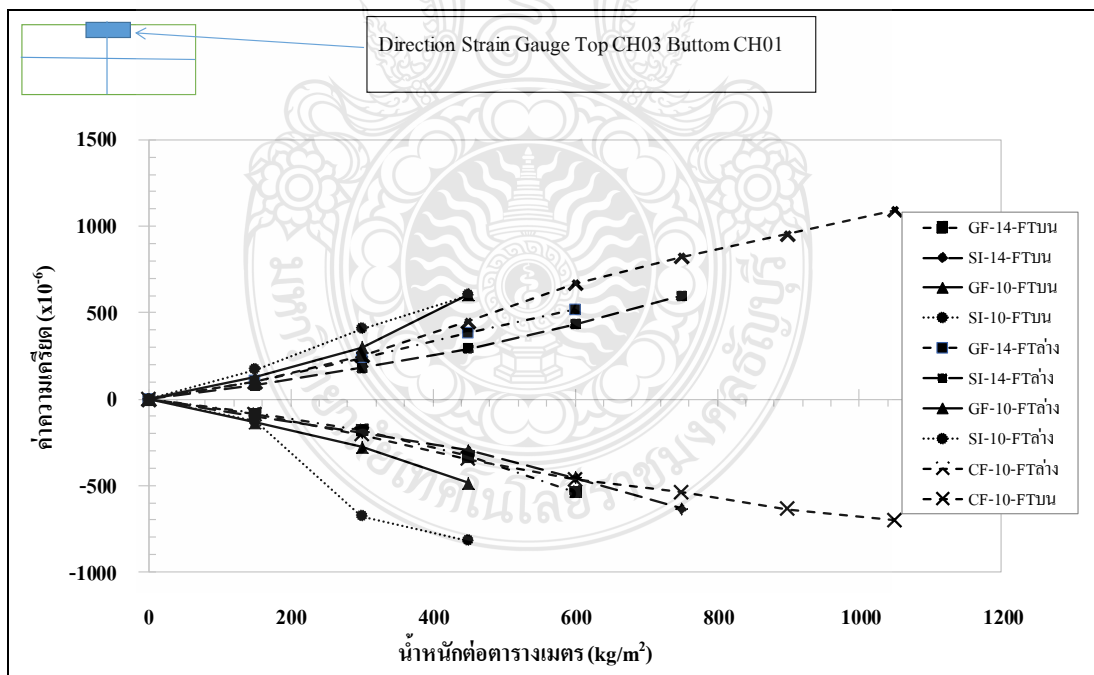
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านบน ขวา (CH03)

ตารางที่ 4.36 ผลการหาค่า Load กับ Strain ของแผ่นพื้น (One Way Slab) (CH01) Bottom

| Load (kg/m ²) | strain(x10 ⁻⁶) | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT | CF 10 BT |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 102.83 | 81.07 | 127.36 | 170.01 | 98.11 |
| 300 | 236.79 | 179.24 | 299.09 | 406.60 | 252.83 |
| 450 | 383.07 | 293.39 | 603.77 | 600.94 | 449.05 |
| 600 | 517.92 | 433.02 | | | 667.92 |
| 750 | | 599.28 | | | 825.47 |
| 900 | | | | | 954.82 |
| 1050 | | | | | 1095.28 |



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านล่าง ขวา (CH01)



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ (One Way Slab) ด้านบน ขวา (CH03) และด้านล่างขวา (CH01)

จากรูปที่ 4.26 - 4.28 ค่าการหดตัวของแผ่นพื้น SIP ที่ติดตั้ง Strain Gauge CH03, CH01 ด้านบนและด้านล่างของแผ่นพื้นชนิดต่างๆพบว่าพื้น SI-10-FT หดตัวและยืดตัวมากที่สุดเนื่องจากไม่มีตาข่ายใยแก้วเสริมส่วนพื้น SIP CF-10-FT ในช่วงปลายทดสอบนั้นหดตัวและยืดตัวน้อยกว่าแผ่นพื้นชนิดอื่น ในขณะที่แผ่นพื้นชนิดอื่นวิบัติไปก่อนแล้ว



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP โดย แผ่น SIP มีลักษณะคือ การนำเอาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ จำนวน 2 แผ่น ประกบด้านบนและด้านล่างที่มีแกนกลางเป็นโฟม (EPS) มีความหนา 10 มม. และ 14 มม. โดยไม่เพิ่มวัสดุเสริมแรง และเพิ่มวัสดุ CFRP และ GFRP ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรง

5.1.1 พื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab)

1) จากการศึกษาประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของพื้นระบบ SIP แบบ Two Way Slab การรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP ทั้ง 4 ตัวอย่าง (แบบพื้นสองทาง) จะรับน้ำหนักได้ถึง $1,700 \text{ kg/m}^2$ และแผ่นพื้น SIP หนา 14 ซม. จะรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นพื้น SIP ที่ หนา 10 ซม.

2) การโก่งตัว (Deflection) ของแผ่น SIP ก็น้อยกว่า ส่วนแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นปกติแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP นั้น การโก่งตัว (Deflection) ก็น้อยกว่า ประมาณ 20% เมื่อตรวจเช็คที่การโก่งตัว L/360 เท่ากับระยะ 3 มม. นั้น แผ่นพื้นรับแรงสองทางที่เสริมและไม่เสริม GFRP นั้นรับน้ำหนักได้มากกว่า 150 kg/m^2 ซึ่งเป็นมาตรฐานการออกแบบน้ำหนักบรรทุกจรของอาคารที่พักอาศัย

3) ดังนั้นฉนวนใยแก้ว GFRP มีส่วนช่วยในการรับแรงดึงได้มากกว่าการรับแรงอัด จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มฉนวนใยแก้ว GFRP ในบริเวณที่มีการรับแรงดึงและในการทดสอบการรับแรงดัด (Flexural Test) พบว่าแผ่นพื้น SIP ที่เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP จะบิดเบี้ยว ไม่เสียรูปหรือพังในทันที ทำให้การวิบัติในลักษณะนี้มีความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

4) แผ่นพื้น SIP แบบรับแรงสองทางทั้ง 4 ตัวอย่างนั้นสามารถนำไปใช้งานได้ในด้านารรับน้ำหนักบรรทุก แต่อาจต้องมีการออกแบบความยาวของฐานรองรับของแผ่นพื้น SIP หรือคานชอย เพื่อถ่ายน้ำหนักไปยังคานหลักต่อไป

5.1.2 พื้นรับแรงทางเดียว (One Way Slab)

1) จากการศึกษาประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น SIP แบบ พื้นรับแรงทางเดียว (One Way Slab) พบว่า พื้นที่เสริม CFRP เข้าไป จะส่งผลต่อการรับกำลังของแผ่นพื้น เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่เสริม GFRP เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ไม่เพิ่มวัสดุเสริมแรง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก

2) พิจารณาจากค่าการโก่งตัว เมื่อมีน้ำหนัก 150 kg/m^2 มากระทำที่แผ่นพื้น SIP เกิดการโก่งตัวที่ 6 มม. แต่ค่าการโก่งตัวที่ยอมรับได้ $L/360$ อยู่ที่ 5 มม. แผ่นพื้น SIP ยังรับน้ำหนักได้น้อยกว่ามาตรฐานการออกแบบน้ำหนักบรรทุกจรคือ 150 kg/m^2

3) เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้ในงานก่อสร้างพื้นภายในอาคารแล้ว พื้น CF-10-FT รับน้ำหนักได้ 145 kg/m^2 แต่ยังสามารถนำไปใช้งานในระบบ พื้นรับแรงทางเดียว (One Way Slab) ได้ แต่ต้องมีการเพิ่มจุกรองรับ หรือค้ำยันบริเวณกลางแผ่น ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองโครงสร้าง

4) แผ่นพื้น SIP ในระบบรับแรงทางเดียวที่เสริม GFRP และไม่เสริม GFRP นั้นพบว่าค่าการรับน้ำหนักบรรทุกไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ความหนาของแผ่นพื้น SIP ที่หนากว่า จะรับน้ำหนักได้มากกว่าประมาณร้อยละ 16

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำงานวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องควบคุมเพื่อให้ได้ข้อมูลการทดสอบและการทดลองแผ่นพื้น SIP ดังนี้

5.2.1 การเตรียมวัสดุและกระบวนการประกอบแผ่นพื้น SIP ต้องมีการควบคุมคุณภาพของการประกอบแผ่นด้วยวัสดุเชื่อมประสานหรือกาวที่มีคุณภาพสูงเพื่อการยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ต้องทาหลายชั้นในแต่ละชั้นวัสดุที่ประกอบรวมกัน

5.2.2 วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีผิวด้านทำให้ดูดซึมความชื้นมากเกิดการเปลี่ยนแปลง หากสามารถเลือกวัสดุที่เป็นผิวมันจะทำให้เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า

5.2.3 ชิ้นงานทดสอบมีขนาดใหญ่ จึงต้องมีการเตรียมความพร้อมในเรื่องเครื่องจักรที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน ให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นส่วนงานที่ทดสอบ

5.2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยต้องมีการนำมาประยุกต์เพื่อการใช้งาน หรือเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือให้มีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมของการทดสอบดังนั้นจึงต้องตรวจสอบการรับน้ำหนักของบริเวณจุกรองรับ

5.2.5 หากมีฐานรองรับที่แข็งแรงและมีโครงแนวตั้งรองรับเพื่อกันลู่ทรายน้ไหล เมื่อเพิ่มน้ำหนักมากขึ้นจากการทดสอบแผ่นพื้นรับแรงสองทางน่าจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพการรับแรงสูงสุดของแผ่นพื้นได้และไม่เกิดอันตรายจากการทดสอบ

5.2.6 แผ่นพื้น SIP เสริม GFRP นี้ราคา 825 บาท/ตารางเมตร ซึ่งมีราคาสูงหากทำเป็น
อุตสาหกรรมปริมาณมากอาจลดต้นทุนการผลิตได้



รายการอ้างอิง

- [1] From Wikipedia, the free encyclopedia “ การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Structural_insulated_panel, [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2556]
- [2] Takle, S.(2002.) Experimental and numerical studies of impact behavior of GRP reinforced composite sandwich materials,; Department of Mathematics mechanics division, University of Oslo, Oslo,
- [3] Zenkert, D, (1997)The Handbook of Sandwich Construction, EMAS, : London,
- [4] Gdoutos, E., Daniel, I. and Wang, K.,(2002). Indentation Failure in Composite Sandwich Structures, Journal of Sandwich Structures and Materials, Vol.42, pp.426-431
- [5] ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ผศ. ไพฑูรย์ พูลสุขโข. 2553.“รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง การศึกษาวัสดุแกนวิซสำหรับงานโครงสร้างเบาในประเทศไทย” : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [6] บริษัท โพลีโฟม อุตสาหกรรม จำกัด, 2556”การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต” [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: <http://www.polyfoam.co.th>, [สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2556]
- [7] สรสุธี บัวพูน. 2550.”วิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อเลือกใช้วัสดุสำหรับผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบแกนวิซบล็อกที่ใช้โฟมพอลิเมอร์เป็นฉนวน” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [8] พนัง วงษ์ธนสุภรณ์. 2549.”วิทยานิพนธ์เรื่อง การออกแบบผนังอาคารโดยใช้โฟมพอลิเมอร์เพื่อการประหยัดพลังงาน” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [9] Dweib, M.A.; Hu, B.; Shenton, H.W.; Wool, R.P.(2006): Bio-based composite roof structure: Manufacturing and processing issues. Composite Structures vol. 74 issue 4 August, p. 379-388
- [10] Ziad K., Awad, Thiru Aravinthan, Yan Zhuge, : Cost optimum Design of Structural Fibre Composite Sandwich Panel for Flooring Applications , Engineering 2011, pp 478-481

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [11] A.S. Vaidya, N. Uddin and U.K.Vaidy, (2007):THERMOPLASTIC COMPOSITE STRUCTURAL INSULATED PANELS (CSIPS) FOR BUILDING CONSTRUCTION, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, University of Alabama at Birmingham, Alabama
- [12] Tarek Abdel Moneim Sharaf. 2010. FLEXURAL BEHAVIOUR OF SANWICH PANELS COMPOSED OF POLYURETHANE CORE AND GFRP SKINS AND RIBS. Department of Civil .Queen University,
- [13] สดสวย สุจริตธรรมกุล.(2554). ”การวิเคราะห์แผ่นพื้นที่เชื่อมด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใย โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์” กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [14] Gautam SOPAL, Sami RIZKALLA, Greg SOLOMON,(2012), PERFORMANCE OF NEW 3D GFRP SANDWICH PANELS WITH CORRUGATED GFRP SHEETS, North Carolina State University Constructed Facility laboratory, Raleigh, North Carolina
- [15] TAREK K. HASSAN, ENGIN M. REIS AND SAMI H. RIZKALLA,:INNOVATIVE 3-D FRP SANDWICH PANELS FOR BRIDGE DECKS, North Carolina State University, RaleighNC
- [17] Nandini Banerjee. 2006. FLEXURAL PERFORMANCE OF INSULATED SANWICH PANELS. Department of Civil & Environmental Engineering. South Illinois University Carbondale
- [17] M.Z. Kabir , Structural Performance of 3D Sandwich Panels Under Shear and Flexural Loading Scientia Iranica ,Vol .12,No.4,pp 402-408 Sharif University of Technology ,October (2005)
- [18] Tarek Sharaf, Waleed Shawkat, Amir Fam Journal of Composite Materials September 2010 44: 2249-2263, first published on May 19, 2010 Structural Performance of Sandwich Wall Panels with Different Foam Core Densities in One-way Bending

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [19] Mohammad Hussein Zarghooni. 2009. FLEXURAL CREEP BEHAVIOR OF STRUCTURAL INSULATED TIMBER PANELS. In partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Applied Science in the program of Civil Engineering (Structural).



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

รูปประกอบขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ ก.1 แท่นทดสอบแผ่นพื้น SIP One Way Slab



รูปที่ ก.2 Dial Gauge



รูปที่ ๓.3 Linear Variable Differential Transformer (LVDT)



รูปที่ ๓.4 Electric Strain Gauges



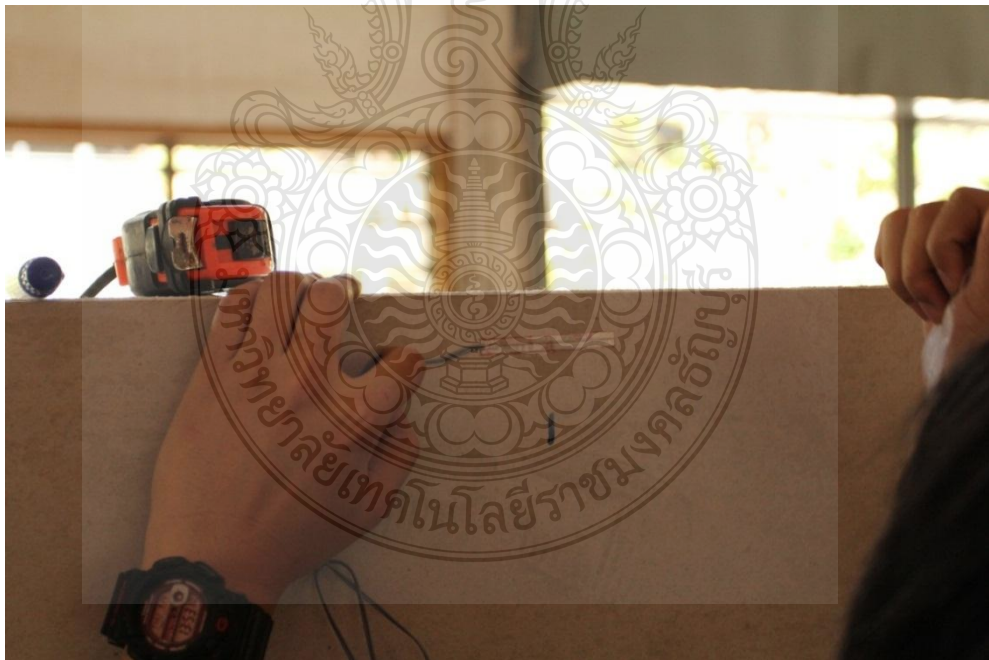
รูปที่ ก.5 เครื่องแปลงข้อมูล (Data Locker)



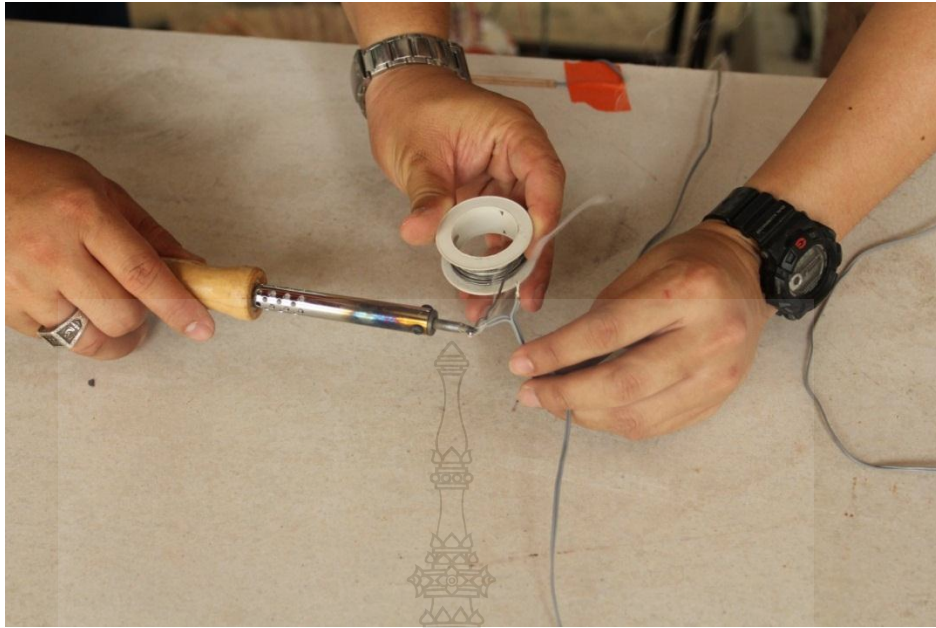
รูปที่ ก.6 วางแผ่นทดสอบบนแท่นทดสอบ



รูปที่ ก.7 ติดแผ่น Electric Strain Gauges



รูปที่ ก.8 ติดแผ่น Electric Strain Gauges



รูปที่ ก.9 เชื่อมสาย Electric Strain Gauges กับเครื่องแปลงข้อมูล (Data Locker)



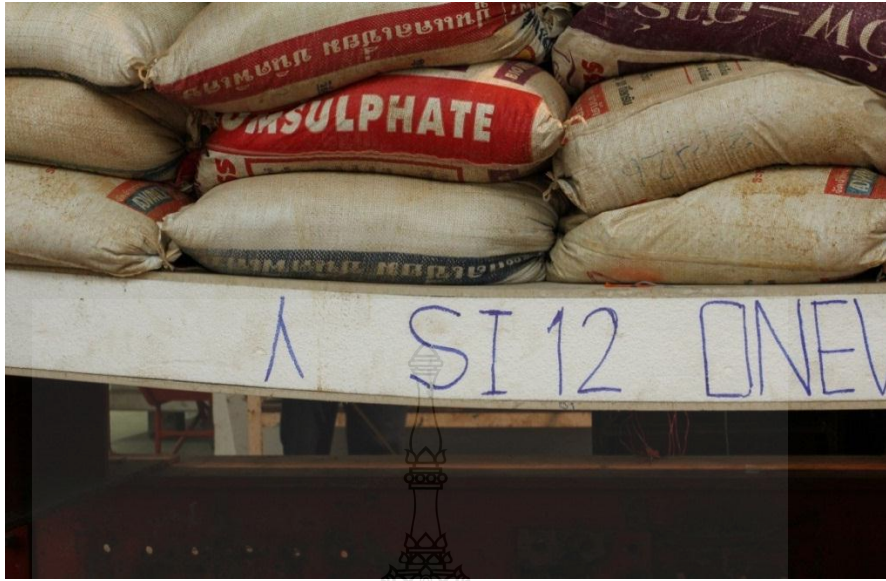
รูปที่ ก.10 ติดตั้ง LVDT กับ Dial Gauge



รูปที่ ก.11 ทำการทดสอบแผ่นพื้น SI-14-FT โดยวางถุงทรายชั้นแรกบนแผ่น



รูปที่ ก.12 แผ่นพื้น SI-14-FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 5 (ต่อ)



รูปที่ ก.13 แผ่นพื้น SI-14-FT หลังจากใส่ถุงทรายชั้นที่ 5 ประมาณ 5 นาที
เกิดการแตกที่โพนห่างจากจุดรองรับด้านซ้ายประมาณ 70 ซม.



รูปที่ ก.14 แผ่นพื้น SI-14-FT หลังจากใส่ถุงทรายชั้นที่ 5 ประมาณ 8 นาทีเกิด
การวิบัติของแผ่นพื้น



รูปที่ ก.15 ทำการทดสอบแผ่นพื้น GF-14-FT โดยวางถุงทรายชั้นแรกบนแผ่น



รูปที่ ก.16 แผ่นพื้น GF-14-FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 4



รูปที่ ก.17 แผ่นพื้น GF-14-FT หลังจากใส่ถุงทรายชั้นที่ 4 ประมาณ 9 นาทีเกิด
การวิบัติของแผ่นพื้น



รูปที่ ก.18 แผ่นพื้น SI-10-FT โดยวางถุงทรายชั้นแรกบนแผ่น



รูปที่ ก.19 แผ่นพื้น SI-10 FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 3 (ต่อ)



รูปที่ ก.20 แผ่นพื้น SI-10-FT หลังจากใส่ถุงทรายชั้นที่ 3 ประมาณ 5 นาที
เกิดการวิบัติของแผ่นพื้น (ต่อ)



รูปที่ ก.21 แผ่นพื้น GF-10-FT โดยวางถุงทรายชั้นแรกบนแผ่น



รูปที่ ก.21 แผ่นพื้น GF-10-FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 3 (ต่อ)



รูปที่ ก.22 แผ่นพื้น GF-10-FT หลังจากใส่ถุงทรายชั้นที่ 3 ประมาณ 10 นาทีเกิด
การวิบัติของแผ่นพื้น (ต่อ)



รูปที่ ก.23 แผ่นพื้น CF-10-FT โดยวางถุงทรายชั้นแรกบนแผ่น



รูปที่ ก.24 แผ่นพื้น CF-10-FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 6 (ต่อ)



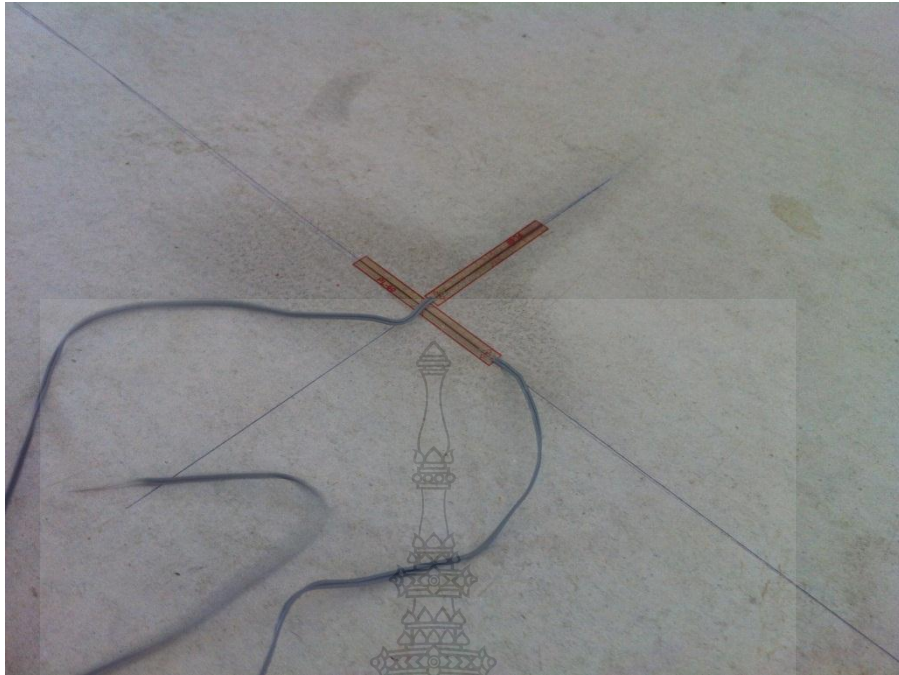
รูปที่ ก.25 แผ่นพื้น CF-10-FT หลังจากวางถุงทรายชั้นที่ 7 เกิดการนิกขาดของแผ่นไฟเบอร์ที่ฐานรองรับ แต่ก็ไม่เกิดการวิบัติของแผ่น (ต่อ)



รูปที่ ก.26 แผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab



รูปที่ ก.27 แผ่นพื้น SI-10-FT วางบนฐานรองรับ



รูปที่ ก.28 ทิศทางติดตั้งแผ่น Strain Gage บนแผ่นพื้น SIP



รูปที่ ก.29 แนวติดตั้ง LVDT ด้านล่างแผ่นพื้น SIP Two Way Slab



รูปที่ ก.30 ทดสอบแผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab โดยการใส่น้ำหนัก



รูปที่ ก.31 ทดสอบแผ่นพื้น SI-10-FT Two Way Slab โดยการใส่น้ำหนักสูงสุด



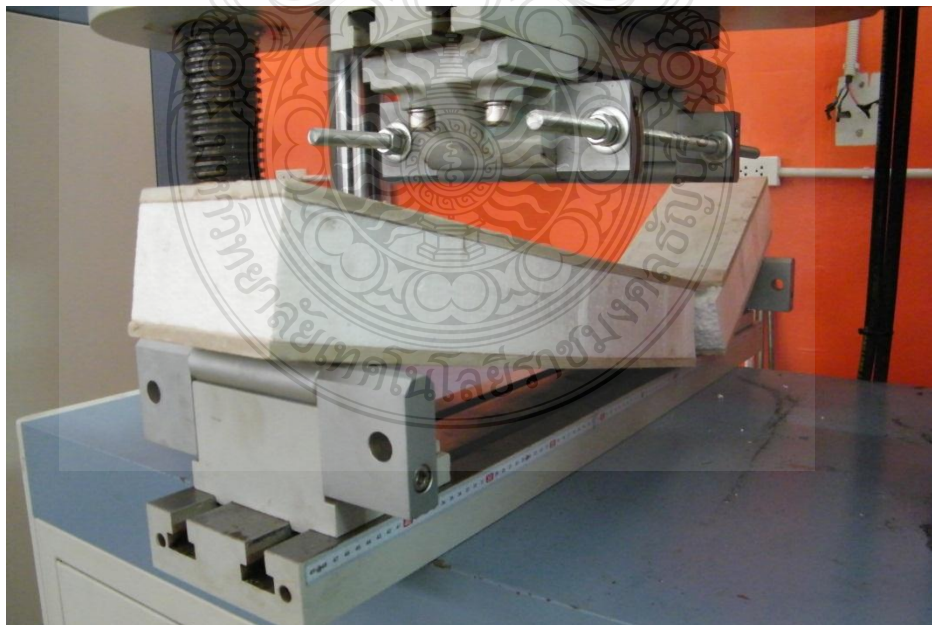
รูปที่ ก.32 ทดสอบแผ่นพื้น SI-14-FT Two Way Slab โดยการใส่น้ำหนักสูงสุด



รูปที่ ก.33 ทดสอบแผ่นพื้น GF-10-FT Two Way Slab โดยการใส่น้ำหนักสูงสุด



รูปที่ ก.34 ทดสอบแผ่นพื้น GF-14-FT Two Way Slab โดยการใส่น้ำหนักสูงสุด



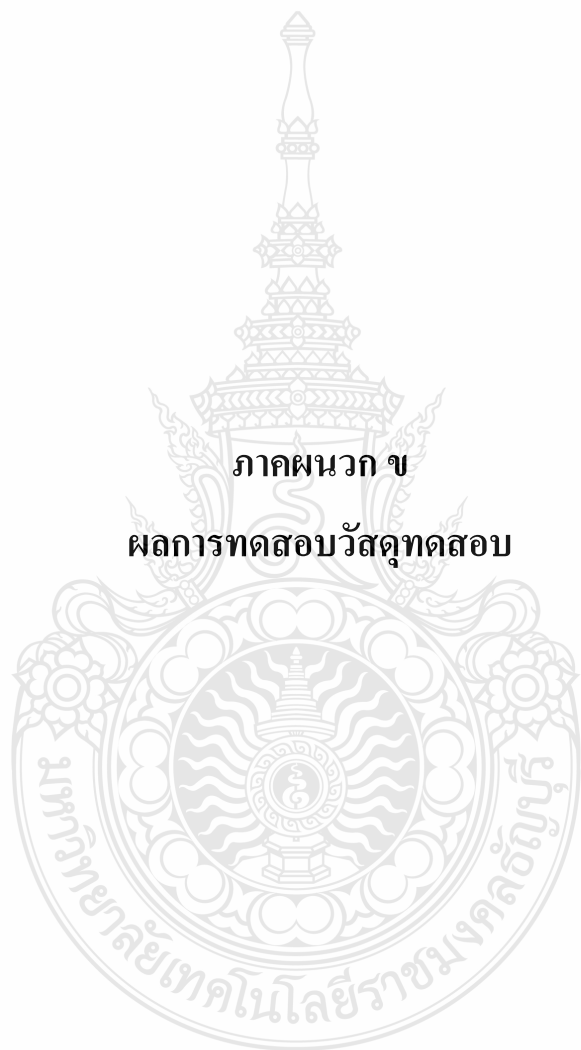
รูปที่ ก.35 ลักษณะการพังของชิ้นตัวอย่าง SI-10-BT



รูปที่ ก.36 ลักษณะการฟ้งของชิ้นตัวอย่าง GF-10-BT






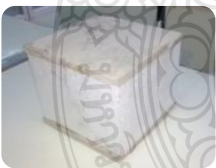
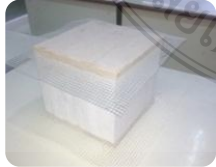
รูปที่ ก.37 ลักษณะการฟ้งของชิ้นตัวอย่าง GF-14-BT



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบวัสดุทดสอบ

ตารางที่ ข.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (Compression Strength) ของชิ้นส่วน
ตัวอย่าง SIP

| ชนิดของตัวอย่าง | ขนาดของ ตัวอย่าง (m) | ค่าเฉลี่ยของ แรงค้ำสูงสุด (kg) | หน่วยแรงค้ำ (ksc/m ²) |
|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| SI-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | 6610.43 | 44.07 |
| GF-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | 5151.34 | 34.35 |
| CF-10-CT  | 0.15×0.15×0.10 | 6377.52 | 52.52 |
| SI-14-CT  | 0.15×0.15×0.14 | 6738.16 | 32.08 |
| GF-14-CT  | 0.15×0.15×0.14 | 5498.99 | 26.19 |



รูปที่ ข.2 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ ข.3 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ ข.4 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง CF-10-CT เนื่องจากแรงอัด



รูปที่ ข.5 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-14 CT เนื่องจากแรงอัด



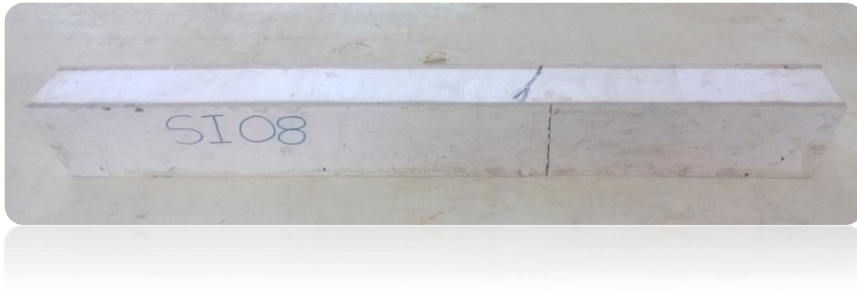
รูปที่ ข.6 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-14-CT เนื่องจากแรงอัด



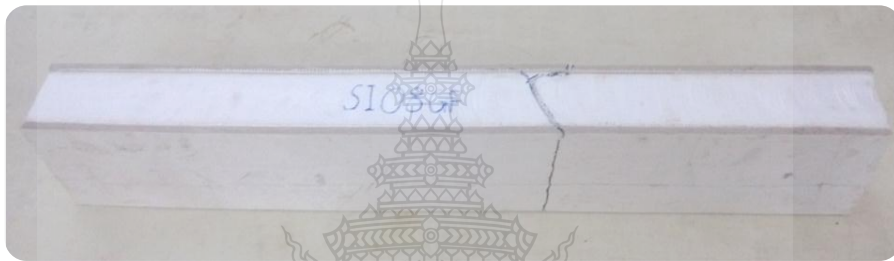
ตารางที่ ข.2 การทดสอบความสามารถในการรับแรงค้ด (Flexural Strength) ของชิ้นส่วนตัวอย่าง

SIP

| ชนิดของตัวอย่าง | ขนาดของ ตัวอย่าง (m) | ค่าเฉลี่ยของแรง ค้ดสูงสุด (kg) | Flexibility (cm) | หน่วยแรงค้ด (ksc) |
|---|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|
|  SI-10-BT | 0.15x1.00x0.10 | 493.21 | 3.18 | 29.59 |
|  GF-10-BT | 0.15×1.00×0.10 | 513.76 | 3.30 | 30.80 |
|  CF-10-BT | 0.15×1.00×0.10 | 544.59 | 3.65 | 32.68 |
|  SI-14-BT | 0.15×1.00×0.14 | 518.90 | 3.23 | 15.88 |
|  GF-14-BT | 0.15×1.00×0.14 | 688.84 | 4.43 | 21.07 |



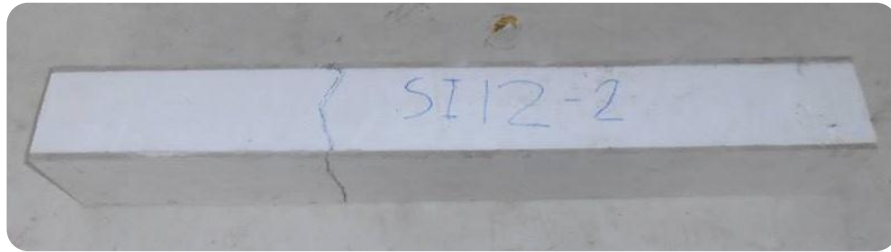
รูปที่ ข.7 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-10-BT เนื่องจากแรงค้ำ



รูปที่ ข.8 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-10-BT เนื่องจากแรงค้ำ



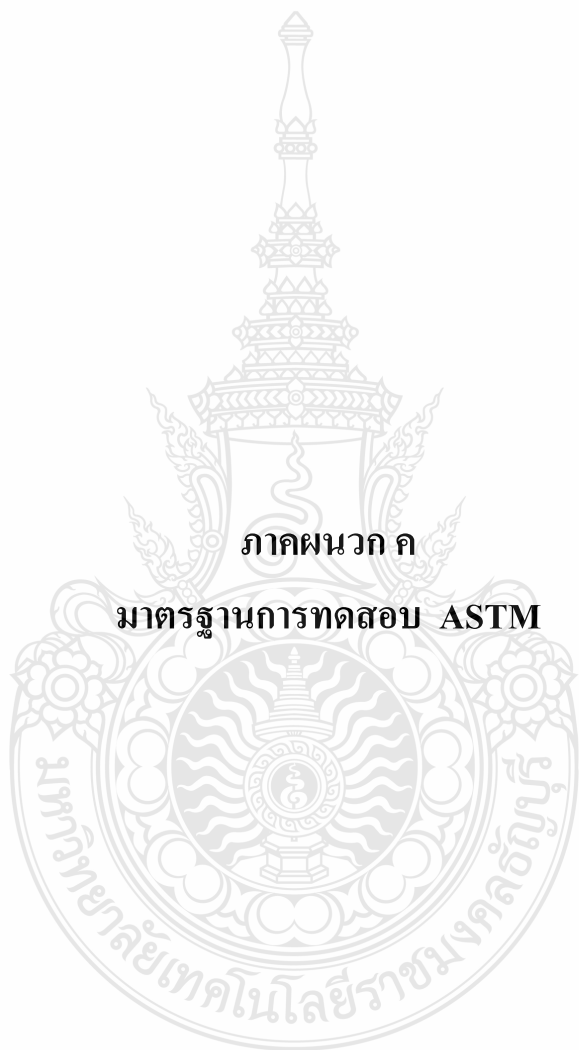
รูปที่ ข.9 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง CF-10-BT เนื่องจากแรงค้ำ



รูปที่ ข.10 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง SI-14-BT เนื่องจากแรงดัด



รูปที่ ข.11 ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่าง GF-14-BT เนื่องจากแรงดัด



ภาคผนวก ก

มาตรฐานการทดสอบ ASTM



Standard Methods of CONDUCTING STRENGTH TESTS OF PANELS FOR BUILDING CONSTRUCTION¹

This standard is issued under the fixed designation E 72; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

INTRODUCTION

Sound engineering design of structures, using existing or new materials requires accurate technical data on the strength and rigidity of the basic elements employed in various construction systems. It is the purpose of these test methods to provide a systematic basis for obtaining engineering data on various construction elements and structural details of value to designers, builders, building officials, and others interested in this field. The results should closely approximate the performance in actual service.

1. Scope

1.1 These methods cover the following procedures for determining the structural properties of segments of wall, floor, and roof constructions:

| | |
|--------------------------|---|
| Test Specimens | 3 |
| Loading | 4 |
| Deformation Measurements | 5 |
| Reports | 6 |
| Precision and Accuracy | 7 |

TESTING WALLS

| | |
|---|----|
| Significance | 8 |
| Compressive Load | 9 |
| Tensile Load | 10 |
| Transverse Load—Specimen Horizontal | 11 |
| Transverse Load—Specimen Vertical | 12 |
| Concentrated Load | 13 |
| Impact Load—See Methods E 695 and E 661 | |
| Racking Load—Evaluation of Sheathing Materials on a Standard Wood Frame | 14 |
| Racking Load—Evaluation of Sheathing Materials (Wet) on a Standard Wood Frame | 15 |

TESTING FLOORS

| | |
|---|----|
| Significance | 16 |
| Transverse Load | 17 |
| Concentrated Load | 18 |
| Impact Load—See Methods E 695 and E 661 | |

TESTING ROOFS

| | |
|-------------------|----|
| Significance | 19 |
| Transverse Load | 20 |
| Concentrated Load | 21 |

APPENDIX

| | |
|--|----|
| Technical Interpretation | X1 |
| 1.2 Metric units are to be considered as the primary standard units. | |

2. Applicable Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
 - E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines²
 - E 73 Methods of Testing Truss Assemblies³
 - E 564 Method of Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings³
 - E 575 Practice for Reporting Data from Structural Tests of Building Constructions, Elements, Connections, and Assemblies³

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-6 on Performance of Building Constructions and are the direct responsibility of Subcommittee E 06.12 on Structural Performance of Vertical Structures.

Current edition approved Nov. 6, 1980. Published March 1981. Originally published as E 72 - 47 T. Last previous edition E 72 - 77.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.07.



E 661 Test Method for Performance of Wood and Wood-Based Floor and Roof Sheathing Under Concentrated Static and Impact Loads³

E 695 Method for Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Constructions to Impact Loading³

3. Test Specimens

3.1 *Size*—The specimens shall be representative as to material and workmanship and shall be as large as practicable to minimize the effect of variations in the material and workmanship, in order to obtain results representative of the construction. Obviously, the size of the specimens shall be limited to the size that can be tested in the larger testing machines available in a well equipped laboratory, and which can be subjected to loads in accordance with good testing procedure, and for which the deformation can be measured with sufficient accuracy.

3.2 *Length or Height*—The length or height of specimen for each element shall be chosen to conform to the length or height of that element in actual use.

3.3 *Width*—The width of specimen shall be chosen, insofar as possible, to include several of the principal load-carrying members to ensure that the behavior under load will simulate that under service conditions. With the exception of specimens for the racking load test, the nominal width of wall specimens shall be 1.2 m (4 ft). The actual width of specimens shall be a whole number multiplied by the spacing of the principal load-carrying members except for prefabricated panels, for which the actual width shall be the width of panel used. If the structural properties of a particular construction are to be compared with another construction, there should not be a great difference in the actual widths of the specimens.

3.4 *Age*—Constructions, such as concrete and masonry (brick, structural clay tile, concrete block) for which the structural properties depend upon the age of the specimen, shall be tested not less than 25 days nor more than 31 days after fabrication. This age requirement applies also to plastered and stuccoed constructions.

4. Loading

4.1 *Apparatus*—The testing machine or load-measuring apparatus shall comply with

the requirements prescribed in Methods E 4.

4.2 *Application of Load*—Apply the load to all of the specimens in any test in increments so chosen that a sufficient number of readings will be obtained to determine definitely the load-deformation curve (see Section 6). Record the initial reading of the load and the reading of the deformation, either with no load on the specimen or under a small initial load. Increase the load to the first increment and record the deformation. Unless otherwise specified, decrease the load to the initial load and record the set (sometimes designated “permanent set”). Increase the load to two increments and record the set, when it is released to the initial load. Follow this sequence of readings for three increments, four increments, etc., of load. When for each specimen the behavior of the specimen under load indicates that the specimen might fail suddenly and damage the deformation-measuring apparatus, remove this apparatus from the specimen and increase the load continuously until the maximum load that can be applied to the specimen is determined.

4.3 *Duration of Load Application*—Except for racking tests, after each increment of load is applied, maintain the load level as constant as possible for a period of 5 min (see Note 1). Take deformation readings as soon as practical after load application, at the end of the 5-min period under constant load, and immediately and at the end of the 5-min period after any partial or complete load release. Plot initial and 5-min readings in the form of load-deformation curves. Maintain complete load-deformation-time records throughout the test. If application of a given load is required for a certain period, such as 24 h, take deformation readings at the beginning, at intervals during this period, and at the end of this period, to allow the satisfactory plotting of a time-deformation curve for the complete period.

NOTE 1—Reasons for the 5-min application of constant-level increment loads are as follows:

(1) To permit the assembly to come to a substantial rest prior to taking the second set of readings (Depending on the method employed for applying the test load, it may be necessary to continue, at a reduced rate, the motion of the loading device in order to maintain the constant load level during the 5-min period.)

(2) To provide sufficient time for making all observations. (Longer time intervals may be required under certain conditions.)

(3) To observe any time-dependent deformation



or load redistribution, or both, and to record accurately the load level when time-dependent deformation starts, that is, at the divergence of the immediate and delayed load-deformation curves. This load level may, under certain conditions, have an important bearing on the design load.

(4) To be able to stop the test, if this should be desirable, prior to total failure, after initial failure has been anticipated as a result of the observations.

(5) To assure uniformity in test performance and consistency in test results.

5. Deformation Measurements

5.1 Measure the deformations with sufficient precision to define the load-deformation relationship, and report at least to the nearest 0.25 mm (0.01 in.). The deformation-measuring apparatus specified for any loading may be replaced by other apparatus, provided that it permits readings of deformation that are equivalent in accuracy to those from the specified apparatus.

6. Reports

6.1 Show the results of each of the tests graphically, as illustrated in Fig. 1. Plot loads as ordinates and the deformations as abscissas for all tests. There shall be at least three specimens for each test, and the results for each test shall be shown on the same graph. Show the points for deformation under load by open circles and those for set by solid circles. Average the three values for either the deformation or the set and plot this average value in pencil on the graph. Draw a smooth curve among the average points to show the average behavior of the construction. The load-deformation curves shall be continuous lines and the load-set curves shall be dashed lines. Although the particular specimen for each point on the graph is not designated, record it on the laboratory data sheets. If readings are obtained under greater loads for some specimens than for others, plot all the values, but draw the curves only to the average values for which there are three values.

6.2 Prepare the test report in accordance with Recommended Practice E 575.

7. Precision and Accuracy

7.1 No statement is made either on the precision or on the accuracy of these methods due to the variety of materials and combinations of materials involved.

TESTING WALLS

8. Significance

8.1 The procedures described are those that will test the behavior of segments of wall construction under conditions representative of those encountered in service. Performance criteria based on data from those procedures can ensure structural adequacy and service life.

9. Compressive Load

9.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens, each having a height equal to the length of the element and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

9.2 *Apparatus*—The apparatus shall be assembled as shown in Fig. 2 and shall conform to the detailed requirements for component parts prescribed in 9.2.1 and 9.2.2, or the equivalent.

9.2.1 *Compressometer*—A bracket shall be attached to the specimen near the upper end, supporting a metal rod. A bracket shall also be attached to the specimen near its lower end, supporting a dial micrometer with the spindle up and the gage length shall be recorded. The conical end of the rod shall seat in a hole in the end of the spindle and the rod and spindle shall be held in contact by stretched rubber bands. The dial shall be graduated to 0.025 mm (0.001 in.).

9.2.2 *Deflectometer*—A fine wire shall be attached to a clamp near the upper end of the specimen. The free end connected to stretched rubber bands shall be attached to a clamp near the lower end of the specimen. A mirror having a paper scale one-half the width of the mirror shall be attached horizontally to the edge of the specimen at midheight. The scale shall be graduated to 2.5 mm (0.1 in.).

9.3 Procedure:

9.3.1 *Loading*—Test the specimen as a column having a flat end at the bottom (Fig. 2). Apply compressive loads to a steel plate covering the upper end of the specimen. Apply the load uniformly along a line parallel to the inside face, and one-third the thickness of the specimen from the inside face. For wood construction, a rate of loading corresponding to a movement of the testing machine crosshead of nominally 0.8 mm/min (0.03 in./min) has been found satisfactory.



9.3.2 *Load-Deformation Data*—Attach four compressometers to the faces of the specimen, one near each corner of the specimen as shown in Fig. 2, to measure the shortening of the specimen. Record the readings to the nearest 0.025 mm (0.001 in.).

9.3.3 *Lateral Deflection*—Attach two deflectometers, one to each edge of the specimen, as shown in Fig. 2. Record the readings, when the image of the wire coincides with the wire, to the nearest 0.25 mm (0.01 in.).

9.4 *Calculations and Report:*

9.4.1 *Deformation*—For each compressometer, calculate the shortening under each load as the difference between the reading of the compressometer when the load is applied and the initial reading. Calculate the shortening of the specimen as the average of the shortenings for each of the four compressometers multiplied by the ratio: specimen length divided by the compressometer gage length. Obtain the sets in a similar manner.

9.4.2 *Lateral Deflection*—Calculate the lateral deflection and the lateral set under each load for each deflectometer as the difference between the reading of the deflectometer when the load is applied and the initial reading. Calculate the lateral deflection and lateral set for the specimen as the average of the lateral deflection and lateral set of the two deflectometers.

9.4.3 *Data Presentation*—Record the maximum load for each specimen and report the results of load-deformation and load-deflection measurements in the form of a graph in accordance with Section 6. Report gage lengths of all deflection or deformation gages.

10. Tensile Load

10.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens, each having a height equal to the length of the element and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

10.2 *Apparatus*—The apparatus preferably shall be assembled in a vertical testing machine and shall conform to the detailed requirements for component parts prescribed in 9.2.1 and 9.2.2, or the equivalent, with the exception that the compressometers prescribed in 9.2.1 shall be replaced by extensometers which shall be like the compressometers but so adjusted before

load is applied that the stretch of the specimen can be measured.

10.3 *Procedure:*

10.3.1 *Loading*—Test the specimen as a tension specimen by uniform application of tensile forces along the line of the fastenings at the top and the bottom of the wall in a building. The top and bottom pulling fixtures may be attached to the specimen by fastenings similar to those used in a building, provided that, under the maximum load, failure of the specimen occurs between the top and the bottom of the specimen, not in either the pulling fixtures or the fastenings. If, under the tensile load, failure occurs either in a pulling fixture or in a fastening, the results of the test determine only the properties of the fixtures or the fastenings, not of the wall construction. When the failure occurs in fastenings, the tensile load indicates the maximum tensile strength of the construction that can be realized in actual service unless improved fastenings are provided.

10.3.1.1 *Masonry Constructions*—The construction may be continued upward beyond the top of the specimen and downward below the bottom of the specimen to enclose attachments for the pulling fixtures.

10.3.1.2 *Framed Wall Constructions*—If the construction has studs (either of wood or metal) the studs may be extended upward and downward beyond the top and bottom of the specimen and attached to the pulling fixtures. If the framed wall has plates at the top and the bottom, attach the pulling fixtures to the plates in the specimen.

10.3.2 *Load-Deformation Data*—Attach four extensometers to the faces of the specimen, one near each corner, as shown in Fig. 2, to measure the stretch of the specimen. Record the readings to the nearest 0.025 mm (0.001 in.).

10.3.3 *Lateral Deflection*—Attach two deflectometers, one to each edge of the specimen, as shown in Fig. 2. Record the readings, when the image of the wire coincides with the wire, to the nearest 0.25 mm (0.01 in.). Lateral deflection (if any) may be caused by nonaxial loading of the specimen.

10.4 *Calculations and Report*—For tensile loads, the calculations and report shall be similar to those required for compressive loads (see 9.4).



11. Transverse Load—Specimen Horizontal

11.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens on symmetrical assemblies and six like specimens on unsymmetrical assemblies, each having a length equal to the length of the element and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

11.2 *Apparatus*—The apparatus shall be assembled as shown in Fig. 3 and shall conform to the detailed requirements for component parts prescribed in 11.2.1 through 11.2.3, or the equivalent.

11.2.1 *Supports*—Two steel rollers with a steel plate between each supporting roller and the specimen.

11.2.2 *Loading Assembly*—Two steel rollers with a steel plate between each loading roller and the specimen.

11.2.3 *Deflection Gage*—A frame shall be placed on the upper face of the specimen. To prevent stresses deforming the frame as the specimen deforms under load, this frame shall rest on three hardened steel balls each supported by a steel block on the face of the specimen. Two of the balls shall be placed in a line vertically above one support and the third ball vertically above the other support. Two dial micrometers, one near each longitudinal edge of the specimen, shall be attached to the frame at midspan. The spindles shall rest on the upper face of the specimen. The micrometers shall be graduated to 0.025 mm (0.001 in.).

11.3 Procedure:

11.3.1 *Loading*—Use “two-point” loading for transverse load tests. Test the specimen as a simple beam (Fig. 3) on a span 150 mm (approximately 6 in.) less than the specimen length. Apply two equal loads, each at a distance of one quarter of the span from the supports, toward the middle of the span. For wall specimens tested horizontally (Fig. 3), the load on the specimen shall include the weight of specimen between the supports. Apply the transverse loads to the outside face for three of the specimens and to the inside face for three of the specimens. For symmetrical assemblies, test only three specimens.

11.3.1.1 Uniformly distributed loading may be used instead of quarter-point loading, if a satisfactory method is available. The transverse strength for any span may be greater for some constructions under uniformly distributed load

than under loads applied at the quarter-points of the span. Transverse load, uniformly distributed, may be applied by air pressure, either in a bag or in a chamber having the specimen as one face. Support specimens tested under uniform loading by rollers as for quarter-point loading.

11.3.1.2 The bag method of loading is shown schematically in Fig. 4. Connect a reaction platform parallel to the face to be loaded and wider than the specimen to the supports by tie rods. Place an airtight bag of rubberized cloth as wide as the specimen and as long as the span between the specimen and the reaction platform. Apply transverse load to the specimen by increasing the air pressure in the bag. Measure the pressure by means of a manometer. Water is usually the liquid in the manometer, but the specific gravity of the liquid shall be such that the error in pressure readings does not exceed 1 %.

11.3.1.3 When the chamber method of loading is used with the specimen horizontal, place the specimen near the floor, which should be practically airtight. An airtight frame or curb shall surround the specimen closely and be about flush with the upper surface of the specimen. A rubber blanket covers the specimen, overlaps the frame, and is sealed so that it is reasonably airtight. Use a small vacuum pump or positive action exhaust blower to reduce air pressure between the specimen and floor. Measure the difference in pressure above and below the specimen by means of a manometer.

11.3.2 *Strength on Short Span*—The transverse strength of any construction increases as the span is shortened. If the strength of the construction for a shorter span is desired, do not compute it, but test the construction on the short span.

11.4 Calculations and Report:

11.4.1 *Load-Deflection Data*—For each micrometer, calculate the deflection under a given load as the difference between the reading to the nearest division of the micrometer when the load is applied and the initial reading. Calculate the deflection of the specimen for the span as the average of the deflections obtained from each of the two micrometers. Calculate the sets under the initial load by using a similar method. Record the maximum load for each specimen.



11.4.2 *Data Presentation*—Report the results in the form of a graph in accordance with Section 6.

12. Transverse Load—Specimen Vertical

12.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens on symmetrical assemblies and six like specimens on unsymmetrical assemblies each having a length equal to the length of the element and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

12.2 *Apparatus*—The apparatus shall be assembled as shown in Fig. 3 and shall conform to the requirements for component parts prescribed in 12.2.1 through 12.2.5, or the equivalent.

12.2.1 *Steel Channel.*

12.2.2 *Rollers*—Cylindrical rollers, two supporting rollers, two loading rollers.

12.2.3 *Screw Jack.*

12.2.4 *Ring Dynamometer.*

12.2.5 *Deflectometers*—Two taut-wire mirror-scale deflectometers similar to those described in 9.2.2.

12.3 *Procedure*—Transverse loads cannot be applied satisfactorily to some wall constructions, such as masonry, with the specimen in a horizontal position. For such constructions, apply the loads with the specimen in a vertical position, as shown in Fig. 3, thus simulating service conditions. The specimen, on a steel channel, shall rest on cylindrical rollers to prevent restrained end conditions. The axes of the rollers shall be parallel to the faces of the specimen. The two supporting rollers shall be in contact with the vertical surface of the frame and each roller shall rest horizontally on sponge rubber about 10 mm (0.4 in.) thick to prevent longitudinal restraint. Each of the two loading rollers shall also rest on sponge rubber. Apply the loads horizontally by a screw jack and measure by a ring dynamometer between the jack and the specimen. The error in the load indicated by the dynamometer shall not exceed 1%. Attach two taut-wire mirror-scale deflectometers to the specimen, one to each vertical edge.

12.3.1 Apply the transverse load to the outside face for three of the specimens, and to the inside face for three of the specimens. For symmetrical assemblies, test only three specimens.

12.3.2 When the Chamber Method of loading is used with the specimen vertical, the specimen forms one face of an airtight chamber from which the air is exhausted. If all four edges of the specimen bear on the chamber, this loading determines the strength of the specimen as a plate supported at the four edges, not the transverse strength as defined in these methods.

12.3.3 If a specimen tested by the chamber method, either horizontally or vertically, has an airtight cavity, vent each cavity to the low-pressure face by a hole in the face of the specimen not less than 5 mm (0.2 in.) in diameter, located where it will least affect the transverse strength of the specimen.

12.4 *Calculations and Report*—Calculate the results of test and report as described in 11.4, and report deflectometer readings to the nearest 0.25 mm (0.01 in.).

13. Concentrated Load

13.1 *Test Specimens*—Concentrated load tests shall be made on each transverse specimen after the transverse load tests, the concentrated load being applied to the same face to which the transverse load was applied.

13.2 *Apparatus*—The apparatus shall be assembled as shown in Fig. 5 and shall conform to the requirements for component parts prescribed in 13.2.1 through 13.2.3, or the equivalent.

13.2.1 *Steel Bar*—Steel bar having a diameter of 25.4 mm (1 in.) and the edge of the face contacting the specimen rounded to a radius of 1.3 mm (0.05 in.).

13.2.2 *Depth Gage*—The depth gage shall consist of a dial micrometer graduated to 0.025 mm (0.001 in.) mounted on a three-legged support. The support shall be notched to permit placing the micrometer directly adjacent to the bar and shall be long enough to permit placing the supporting legs on undisturbed areas of the face of the specimen.

13.2.3 *Loading Device*—Any convenient means for applying a compressive load up to 5 kN (1100 lbf) and means for measuring the load within 1%.

13.3 *Procedure:*

13.3.1 *Loading*—Place the entire specimen or portion of the specimen on a horizontal support and properly level. Place the steel bar on the face of the specimen at what is judged



to be the weakest place and, also, at what is judged to be the strongest place. Apply a load vertically downward to the upper surface of the bar. Continue loading until maximum load or 4.45 kN (1000 lbf) is attained.

13.3.2 *Depth of Indentation*—Measure the depth of indentation, by means of the depth gage, and record the reading of the micrometer to the nearest 0.025 mm (0.001 in.).

13.4 *Calculations and Report:*

13.4.1 *Depth of Indentation*—Calculate the depth of indentation (set) after a given load has been applied and the bar removed to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) as the difference between the depth for that load and the initial reading of the micrometer before a load has been applied to the specimen.

13.4.2 *Data Presentation*—Report the results in the form of a graph in accordance with Section 6.

14. Racking Load—Evaluation of Sheathing Materials on a Standard Wood Frame

NOTE 2—If the test objective is to measure the performance of the complete wall, Method E 564 is recommended.

14.1 *Scope*—This test method measures the resistance of panels, having a standard wood frame, and sheathed with sheet materials such as structural insulating board, plywood, gypsum board, transite, etc., to a racking load such as would be imposed by winds blowing on a wall oriented at 90° to the panel. It is intended to provide a reliable, uniform procedure for determining the resistance to racking load provided by these sheet materials as commonly employed in building construction. Since a standard frame is employed, the relative performance of the sheathing is the test objective.

14.1.1 This test is conducted with standardized framing, loading procedures, and method of measuring deflection, as detailed in the method to ensure reproducibility. Provision is made for following the sheathing manufacturers' recommendations for attaching the sheathing to the frame, and for reporting the behavior of the specimen over its entire range of use.

14.1.2 In applying the results, due allowance shall be made for any variation in construction details or test conditions from those in actual service.

14.2 *Test Specimens:*

14.2.1 *Size and Number*—The test specimen shall be 2.4 by 2.4 m (8 by 8 ft) and the framing shall be constructed as shown in Fig. 6 and a minimum of three panels of each construction shall be tested. It is the intent of this test procedure to evaluate the stiffening effect of the sheathing material; therefore, the frame shall be constructed as nearly like the frames shown in Fig. 6 as possible. Frames shall be newly constructed for each test. All individual framing members shall be continuous. The moisture content of framing material shall be between 12 and 15 % when the panel is fabricated, and shall not vary by more than 3 % from the initial moisture content when the panel is tested.

14.2.2 *Application of Sheathing*—The method of applying the sheathing shall be exactly as specified by the manufacturer. The spacing of fasteners shall be as recommended. Fasteners shall be driven through the sheathing into only the outside stud of each corner post shown in Fig. 6. The importance of the attachment of sheathing to the framing cannot be overemphasized. Slight differences in edge clearances, angle of fastener, and amounts of penetration of heads of fasteners into the sheathing have appreciable effects on the results of test. Unless otherwise specified, fasteners shall be driven perpendicular to the surface of the sheathing with the center of each fastener the specified distance from the edge of the sheathing. Fasteners shall be driven so that the head of the fastener contacts the surface of the sheathing but not so deep as to crush the surface, unless specified differently by the manufacturers.

14.3 *Apparatus*—The apparatus shall be assembled as shown in Fig. 7. Load shall be measured by means of a testing machine, or a dynamometer attached to cables that load the specimen, or in linkage with a hydraulic jack used to apply load. The essential parts of the testing apparatus, exclusive of the loading frame, are as described in 14.3.1 through 14.3.5.

14.3.1 *Base and Loading Frame*—The test panel shall be attached to a timber or steel plate that is in turn attached rigidly to the base of the loading frame in such a manner that when the panel is racked, the sheathing will not bear on the loading frame. This member may be of



any convenient cross section, but it shall be at least as long as the panel and not greater in width than the thickness of the frame, 89 mm (3½ in.). Means shall be provided to bolt or otherwise attach the sole plate of the panel firmly to this member. For illustrative purposes, two bolts are shown in Fig. 7. More may be used if required.

14.3.2 *Hold-Down*—A hold-down shall be provided as shown in Fig. 7 to overcome the tendency of one end of the panel to rise as the racking load is applied. Plates and rollers shall be provided between the test specimen and the hold-down so that the top of the specimen can deflect horizontally with respect to the bottom without unnecessary interference from the hold-down. Because the amount of tension in the rods of the hold-down may have an effect on the results of the test, nuts on the hold-down rods shall be tightened prior to load application so that the total force in each rod does not exceed 90 N (20 lbf) at the beginning of test as determined by previous calibration.

14.3.3 *Loading Apparatus*—Load shall be applied to the specimen through an 89 by 89-mm (3.5 by 3.5-in.) timber firmly bolted to the upper plates of the panel. Loading shall be a compressive force against the end of the timber attached to the upper plate. When a testing machine is used, pulleys and cables may be used to transmit the vertical movement of the tension head of the machine to the horizontal movement in the specimen.

14.3.4 *Lateral Guides*—Lateral guides shall be provided so that the specimen will deflect in a plane. The rollers should be bearing-supported to reduce friction to a minimum. The lateral guides shall be firmly attached to the loading frame. Plates for the rollers may be up to 300 mm (12 in.) in length as required.

14.3.5 *Indicating Dials*—Indicating dials, or scales and wires, shall be provided to measure the displacement of the different parts of the panel during test. The readings shall be recorded to the nearest 0.25 mm (0.01 in.). The locations of the dials shall be as shown in the lower left, lower right, and upper right corners of the side view of the test assembly in Fig. 7. The dial at the lower left, which is attached to the stud, measures any rotation of the panel, the dial at the lower right measures any slippage of the panel, and the dial at the upper right measures the total of the other two plus

the deformation of the panel. Therefore, the horizontal deflection of the panel at any load is the reading of the dial at the upper right less the sum of the readings of the other two.

14.4 *Procedure:*

14.4.1 *Loading*—Apply the load continuously throughout test at a uniform rate of motion of the loading device used. The recommended speed of testing shall be such that the loading to 3.5 kN (790 lbf) total load shall be completed in not less than 2 min from the start of the test. The loading to 7.0 to 10.5 kN (1570 to 2360 lbf) total load and to failure shall employ the same rate of travel of the loading device as for the loading to 3.5 kN. Give the speed of testing used in the report of test.

14.4.2 *Loading Procedure*—Load the specimen in three stages to 3.5, 7.0, and 10.5 kN (790, 1570, and 2360 lbf) total load at a uniform rate.

14.4.2.1 To provide data to meet performance requirements, other values of total load may be included in the test procedure. Use the same rate of loading as for the loadings specified and indicate additional loadings evaluated and the results obtained in the report.

14.4.2.2 After the load of 3.5 kN (790 lbf) is placed on the specimen, remove all of the load and any residual deflection (set) in the panel noted. Then load the specimen to 7.0 kN (1570 lbf) and again remove the load and note any additional set; after this increase the loading to 10.5 kN (2360 lbf), remove the load again, and note the set. Apply load continuously for each of the increment loads specified above and obtain load-deflection data. Obtain these data for at least each 900 N (200 lbf) of loading. Obtain deflections during the loading cycle and, if desired, during the unloading cycle as well.

14.4.2.3 After the specimen is loaded as specified to 3.5, 7.0, and 10.5 kN (790, 1570, and 2360 lbf) load it again to failure or until the total deflection of the panel becomes 100 mm (4 in.). Obtain readings of deflection for the same intervals of load as were used for the other loadings.

14.5 *Calculations and Report:*

14.5.1 *Deformation*—For each dial, or other measuring device, calculate the movement under each racking load as the difference between the readings when load is applied and the initial readings at the start of the test. Calculate set

readings as the difference between the readings when the load is removed and the initial readings.

14.5.2 Data Presentation—Report the deflections at 3.5, 7.0, and 10.5 kN (790, 1570, and 2360 lbf) and the set after loading to these amounts. Present load-deflection curves obtained during loading to failure and to 3.5, 7.0, and 10.5 kN in the form of a graph as prescribed in Section 6. Include maximum load and any observations on the behavior of the panel during test and at failure. Express residual deflections (sets) as percentages of the deflections that produced the sets as well as in millimetres or inches. If the specimen fails, describe the visible failure. If the specimen has been subjected to any special conditioning prior to test, describe this treatment in detail. Describe in the report the sheathing used, the method of applying the sheathing, the type and spacing of fasteners, and the method and rate of loading employed.

15. Racking Load—Evaluation of Sheathing Materials (Wet) on a Standard Wood Frame

15.1 Scope—This test has been developed to simulate the degree of wetting possible during construction of a structure when, because of rain, the framing and sheathing may be wetted on one or both sides. Both sides of the wall panel are wetted because this represents the maximum exposure possible during the stage of construction before the structure is roofed.

15.2 Test Specimens—The test specimens shall conform in size and fabrication details to the requirements of 14.2.

15.3 Specimen Conditioning—Mount the fabricated test specimens or suspend them in a vertical position in such a manner as to prevent continuous immersion of the bottom edge of the specimen. Expose both sides of the test specimen to a water spray applied at or near the top along the entire length to ensure that the top of the specimen is being wetted. The spray shall have no jet action that cuts into the sheathing material, and the spray areas shall overlay sufficiently so that a continuous sheet of water flows down both surfaces of the specimen. Maintain the temperature of the water in the line to the spray nozzle at $24 \pm 3^\circ\text{C}$ ($75 \pm 5^\circ\text{F}$). Wet the specimens for a period of 6 h

and then allow to dry for a period of 18 h. Dry in laboratory air, preferably at a temperature of $24 \pm 3^\circ\text{C}$ ($75 \pm 5^\circ\text{F}$). Make no attempt to increase the air movement over the specimens by fans or blowers. Subject the test specimens to two complete wetting and drying cycles and then a third wetting cycle.

15.3.1 No more than 2 h shall elapse between the completion of the third wetting cycle and the start of the racking test.

15.4 Procedure—Test the specimens in accordance with the procedure described in 14.4.

15.5 Moisture Content Determination—After the racking test is completed, cut moisture samples from the sheathing material, and determine moisture content on a weight basis with the moisture content expressed as a percentage of the oven dry weight in accordance with 15.5.1. Preferably, take five moisture content samples at least 100 by 150 mm (4 by 6 in.) in size from each 1.2 by 2.4-m (4 by 8-ft) sheathing panel of the test specimen: one from the center of each sheathing panel at the top and bottom edges, one from midlength on each side, and one from the panel center. Weigh the moisture content samples immediately upon being cut from the test specimen to an accuracy of not less than $\pm 0.2\%$. Carefully remove all loose particles from the sample before weighing. Then dry the samples to constant weight in an oven at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ($217 \pm 4^\circ\text{F}$). If large amounts of volatile matter or substances other than free water are removed from the sheathing material by drying at $103 \pm 2^\circ\text{C}$, the sheathing material may be dried to constant weight at a lower temperature and the drying time and temperature given in the report.

15.5.1 Calculation—Calculate the moisture content as follows:

$$M = 100 [(W - F)/F]$$

where:

M = moisture content, %,

W = initial weight, and

F = final weight when oven dry.

15.6 Calculations and Report—The report shall include the racking test data as specified in 14.5. It shall also include the line temperature of the water sprayed on the test specimens; the air temperature and relative humidity during the drying portion of the cycle; and the location of the moisture content samples and the moisture content of each.



TESTING FLOORS

16. Significance

16.1 The procedures outlined will serve to evaluate the performance of floor segments under conditions representative of those sustained in service. Performance criteria based on data from these procedures can ensure structural adequacy and effective service.

17. Transverse Load

17.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens, each having a length equal to the length of the floor panel and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

17.2 *Apparatus*—The apparatus shall conform to the requirements of 11.2.

17.3 *Procedure*—Conduct the test in accordance with 11.3 on transverse load tests of walls, except apply the loads only to the upper (finish floor) face of the specimen. If practicable, test floor specimens in the horizontal position. If tested in the vertical position, conduct the test in accordance with 12.1 through 12.4 on transverse load tests on walls in the vertical position. If tested in the vertical position, deduct transverse load equal to the weight of the specimen from each recorded load to obtain the applied load on the specimen.

17.3.1 *Strength on Short Span*—The transverse strength of any floor construction increases as the span is shortened. If the strength of the construction for a shorter span is desired, do not compute it, but test the construction on the shorter span.

17.4 *Calculations and Report*—Report the results as indicated in 11.4.

18. Concentrated Load

18.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on each of the transverse specimens after the transverse tests are completed.

18.2 *Apparatus*—The apparatus shall conform to the requirements of 13.2.

18.3 *Procedure*—Conduct the test in accordance with 13.3 on concentrated load tests on walls, except apply the loads only to the upper (finish floor) face of the specimen.

18.4 *Calculations and Report*—Report the results as indicated in 13.4.

TESTING ROOFS

19. Significance

19.1 These procedures will serve to evaluate performance of roof segments under simulated service conditions. Roof trusses shall be evaluated under Methods E 73.

20. Transverse Load

20.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on three like specimens, each having a length equal to the length of the roof panel and a nominal width of 1.2 m (4 ft) (see Section 3).

20.2 *Apparatus*—The apparatus shall conform to the requirements of 11.2.

20.3 *Procedure*—Conduct the test in accordance with 11.3 on transverse load tests of walls, except normally apply the loads only to the upper (weatherproofed) face of the specimen. The transverse strength of a roof construction under loads acting outward may appear to be less than the strength under loads acting inward. For such constructions, apply loads acting outward to specimens.

20.3.1 *Strength on Short Span*—The transverse strength of any roof construction increases as the span decreases. If the strength of the construction for a shorter span is desired, do not compute it, but test the construction on the shorter span.

20.4 *Calculations and Report*—Report the results as indicate in 11.4.

21. Concentrated Load

21.1 *Test Specimens*—Tests shall be made on each of the transverse specimens after the transverse tests are completed.

21.2 *Apparatus*—The apparatus shall conform to the requirements of 13.2.

21.3 *Procedure*—Conduct the test in accordance with 13.3 on concentrated load tests of walls, except apply the loads only to the upper (weatherproofed) face of the specimen.

21.4 *Calculations and Report*—Report the results as indicated in 13.4.

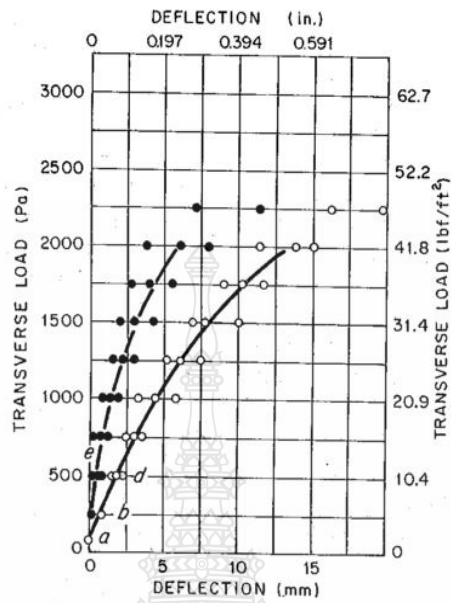


FIG. 1 Typical Graph Showing Results

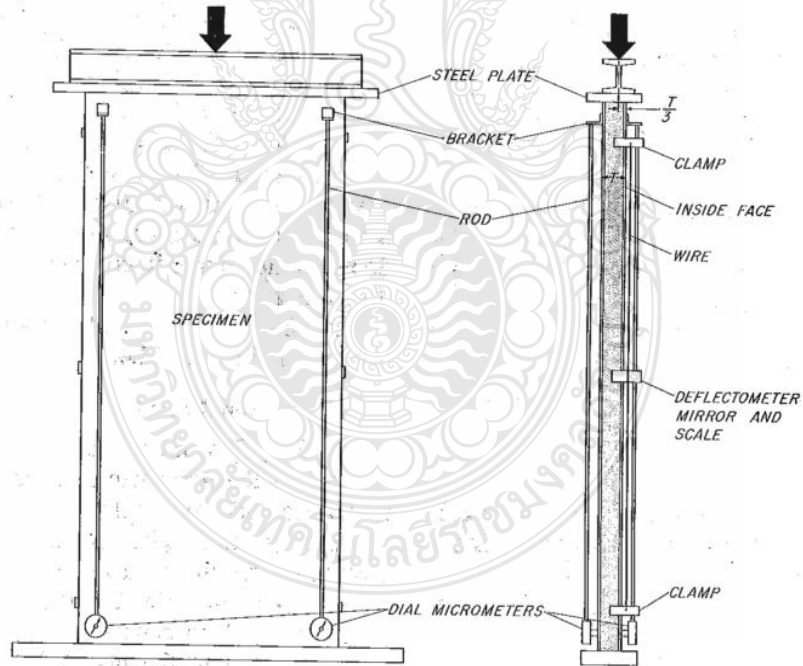


FIG. 2 Compressive Load Test on Wall Specimen

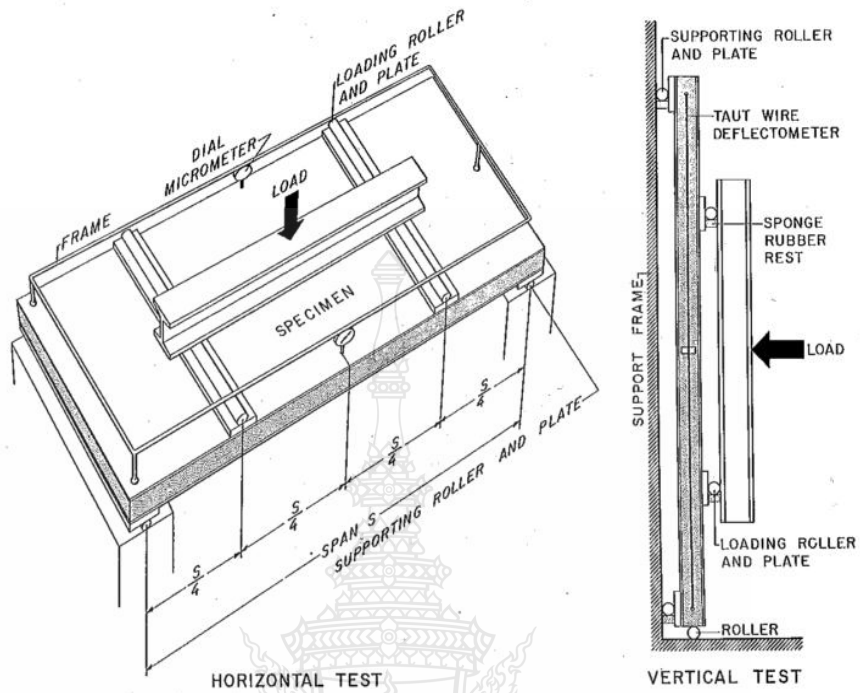


FIG. 3 Transverse Load Test on Wall Specimen

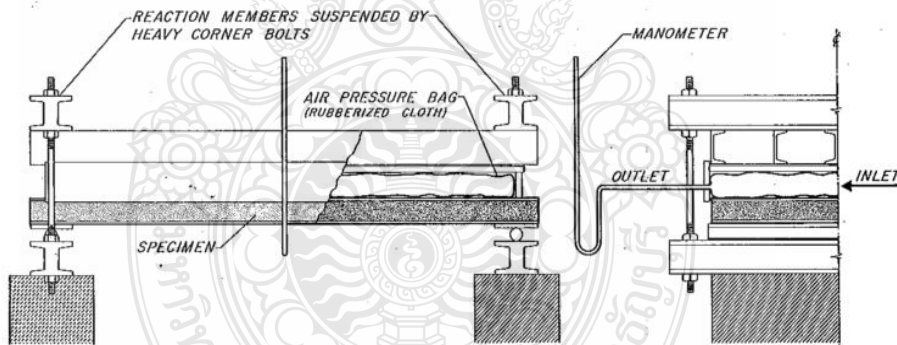


FIG. 4 Apparatus for Uniformly Distributed Transverse Load (Bag Method)

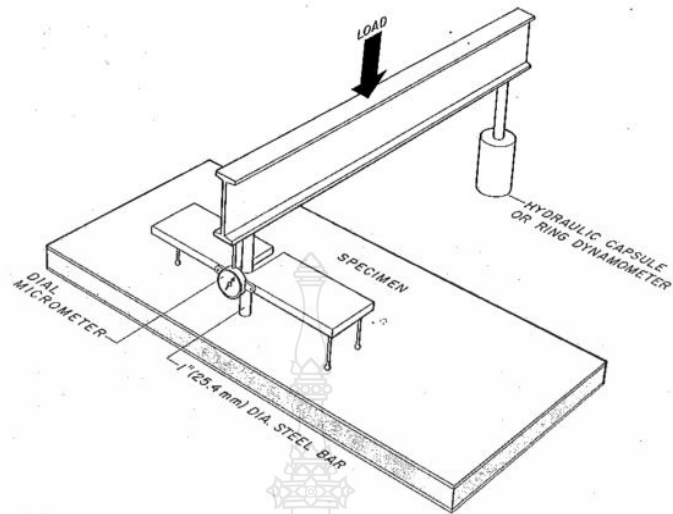
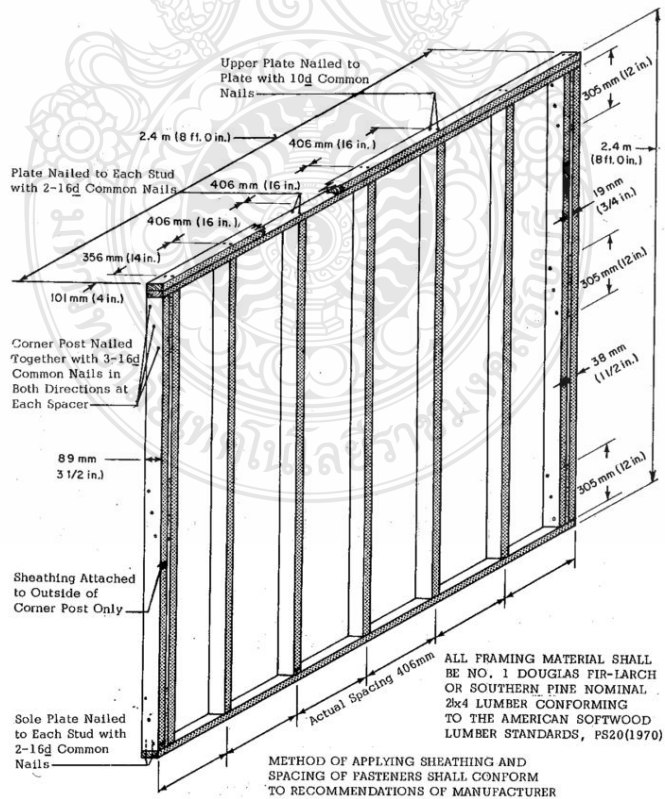


FIG. 5 Concentrated Load Test



NOTE—To eliminate test data that may be misleading, use lumber of average density for the species involved.

FIG. 6 Standard Wood Frame

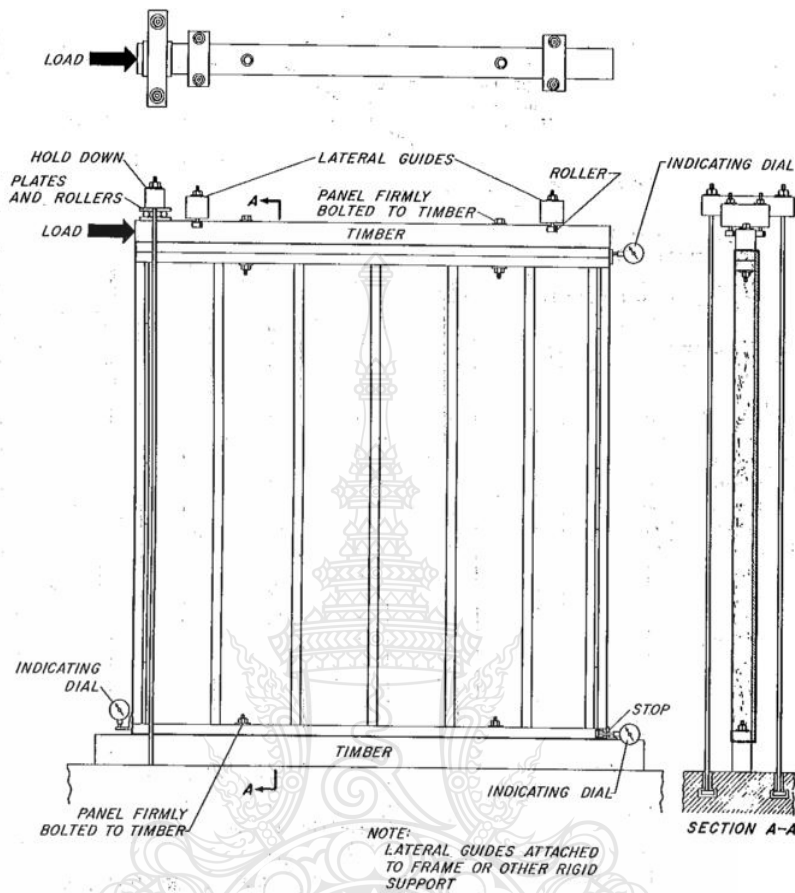


FIG. 7 Racking Load Assembly

APPENDIX
(Nonmandatory Information)

X1. TECHNICAL INTERPRETATION

X1.1 It is the purpose of these test methods to provide a systematic basis for obtaining comparable engineering data on various construction elements and structural details of value to designers, builders, building officials, and others interested in this field.

X1.2 Subjecting complete structures to known loads is very expensive and requires much time; therefore, that method of carrying out investigations to establish structural properties is not likely to be used to any great extent. Such tests have the further disadvantage that only the strength of the weakest elements of a particular structure could be measured.

X1.3 For these reasons, it seems more practicable to apply loads to specimens that accurately reproduce a structural portion of a finished building. These portions of a building have been designated as "elements"; for example, floor, wall, roof, etc. For the procedure described in these methods, the elements

have been restricted to those most important structurally. For each element, methods of loading are described that simulate the loads to which the element would be subjected under service conditions. It is believed that the results of these measurements on the structural elements will be more useful to architects and engineers than the results of tests on specimens of the materials from which the structure was fabricated, or the results of tests of the individual structural members. Although it may be impracticable to determine all of the structural properties of each element of a building, it is believed that the more important properties may be determined by tests described in these methods.

X1.4 The test method, involving the application of the loads in increments and the concurrent measurement of deformation and set, simulates, to some extent, the conditions of repeated loading under ser-



vice conditions. Therefore, results by such a method of loading may be more useful than those obtained by increasing the load continuously throughout the test. The results from increment loading tests may show whether different portions of a construction act as a unit under load, whether the fastenings or bonds have adequate strength, or whether they rupture under repeated loads. For any engineering structure, including small houses, it is necessary not only that the strength be adequate, but also that the deformation under load shall not appreciably decrease the usefulness of the structure. If the working load and the allowable deformation for an element for a structure are known, constructions complying with these requirements may be selected by inspection of the graphs from tests of such constructions.

X1.5 A structure is elastic if, after a load has been

applied and then removed, the set is inappreciable. If the set is small for an element of a building, it may be assumed that the construction has neither been damaged nor appreciably deformed by the load. The set, therefore, is another property that may be used when comparing different constructions and may be useful when selecting a construction for a particular purpose.

X1.6 The variations in the properties of a construction as used commercially for buildings, in all probability, will be greater than the variations for the three specimens tested as directed in these methods because these specimens will be all fabricated at the same time by the same workmen and from the same lot of material. This fact should be clearly indicated in any general report based on these test procedures.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.





Designation: C 78 – 02

Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within ± 0.05 in. (± 1.3 mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be 1.0 ± 0.03 .

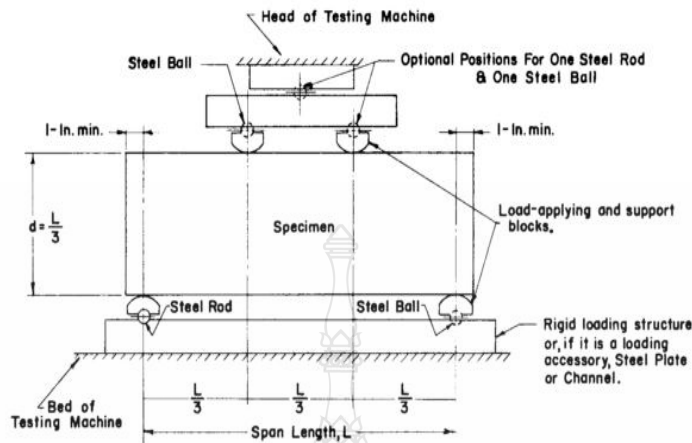
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used, the load-applying and support blocks should not be more than $2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least 45° (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 78 – 30T. Last previous edition C 78 – 00.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.
 NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2% of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6% of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether

any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform 1/4 in. (6.4 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min) until rupture occurs. The loading rate is calculated using the following equation:

$$r = Sbd^2/L \tag{1}$$

where:
 r = loading rate, lb/min (MN/min),
 S = rate of increase in extreme fiber stress, psi/min (MPa/min),
 b = average width of the specimen, in. (mm),
 d = average depth of the specimen, in. (mm), and
 L = span length, in. (mm).

7. Measurement of Specimens After Test

7.1 To determine the dimensions of the specimen cross section for use in calculating modulus of rupture, take measurements across one of the fractured faces after testing. For each dimension, take one measurement at each edge and one at the center of the cross section. Use the three measurements for each direction to determine the average width and the average depth. Take all measurements to the nearest 0.05 in. (1 mm). If

the fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in the measurement.

8. Calculation

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

where:

- R = modulus of rupture, psi, or MPa,
- P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,
- L = span length, in., or mm,
- b = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and
- d = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

NOTE 2—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5% of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2 \quad (3)$$

where:

- a = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm).

NOTE 3—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5% of the span length, discard the results of the test.

9. Report

- 9.1 Report the following information:
 - 9.1.1 Identification number,

- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,
- 9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and
- 9.1.10 Age of specimens.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.⁴ The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7%. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16%. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0%. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19%.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

11. Keywords

11.1 beams; concrete; flexural strength testing; modulus of rupture

⁴ See "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 119-1F, Project 3-9-37-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารประกอบการประชุม

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19

The 19th National Convention on Civil Engineering

เนื่องในโอกาสเฉลิมฉลองครบรอบ 50 ปี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



วิศวกรรมโยธา กับ ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน
Civil Engineering and ASEAN Economic Community



14-16 พฤษภาคม 2557
ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด
May 14-16, 2014
Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel

จัดโดย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)



Wednesday 14th May 2014

ตารางนำเสนอบทความสาขา วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering, STR)

Technical Session 1: Mechanics, Finite Element

Room: CHAT TAN 2

Chairperson: Assoc. Prof. Taweeep Chaisomphob, Assoc. Prof. Suchart Limkatanyu

| Time | Paper ID | Title | Page No |
|---------------|----------|---|---------|
| 09:00 - 09:15 | 250 | Analysis of Generalized T-Stress for Cracks in 3D Linear Piezoelectric Media | 97 |
| 09:15 - 09:30 | 254 | Flexural Performance of Structural Insulated Panel (SIP) Slabs Strengthened by Fiber Reinforced Polymer (FRP) | 98 |
| 09:30 - 09:45 | 263 | T-Stresses for Penny-Shaped Crack in 3D Transversely Isotropic Elastic Medium under Mixed-Mode Loading | 98 |
| 09:45 - 10:00 | 314 | Evaluation of Dynamic Load Allowance for Steel Stringer-FRP Deck Bridge System | 99 |
| 10:00 - 10:15 | 504 | Dynamic Response of Multi-Layered Poroelastic Medium Subjected to Moving Loads | 99 |
| 10:15 - 10:30 | 576 | Buckling Behavior of Steel Rebars with Non-Linear Lateral Bracing | 100 |

Technical Session 2-1: Steel Structures

Room: CHAT TAN 2

Chairperson: Assoc. Prof. Akhrawat Lenwari, Dr. Yasothorn Sapsathiarn

| Time | Paper ID | Title | Page No |
|---------------|----------|--|---------|
| 10:45 - 11:00 | 305 | Effect of Opening Width and Opening Angle to the Flexural Strength of the Castellated Beam | 100 |
| 11:00 - 11:15 | 306 | Behavior of Cold-Formed Steel Connection under Lap Shear Tests | 101 |
| 11:15 - 11:30 | 412 | The Study Efficiency of Cellular Beams Design according to the SCI P100 | 101 |
| 11:30 - 11:45 | 453 | Behaviors of Beam-to-Column Connection of Steel Storage Racks by Portal Frame Testing | 102 |
| 11:45 - 12:00 | 477 | Experiment on Cold-Formed Steel Lipped C-Section with Track under Compression | 102 |



จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

Flexural Performance of Structural Insulated Panel (SIP) Slabs Strengthened by Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Theeraphol Piamsuphakpong¹, Meng Jing²

^{1,2} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

E-mail: ¹theeraphol@bangchak.co.th, ²jingmeng72@hotmail.com

ABSTRACT

SIP (Structural Insulated Panels) is a good material in building and housing construction with the good properties such as heat insulation, load absorption, strength, durability and low construction cost. Due to the lack of research on SIP slabs in Thailand, the flexural performance of two-way SIP slabs with or without GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) strengthening were studied here in experimental method. Totally four full scale SIP slab samples, 1.2 m wide and 2.0 m long, with different thickness of 0.10 m and 0.14 m, were tested under uniformly distributed loading till failure. The test results indicated that, two-way SIP slabs in thickness of 0.10 m could bear load of 220 kg/m² under service limit, which met the requirements for residential and light commercial buildings. For slab in thickness of 0.14 m, the load bearing capacity increased to 300 kg/m². The test results also shown that, pasting GFRP between form core and fiber cement face of SIP slabs was a feasible method to improve the flexural performance.

Keywords: Structural Insulated Panel (SIP), Two-Way Slabs, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), Flexural Performance, Strengthen

T-Stresses for Penny-Shaped Crack in 3D Transversely Isotropic Elastic Medium under Mixed-Mode Loading

Matana Pinitpanich¹, Jaron Rungamornrat²

^{1,2} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: ¹matana.pp@gmail.com, ²Jaron.r@chula.ac.th

ABSTRACT

This paper presents an analytical solution of the T-stresses for a penny-shaped crack in a transversely isotropic, linearly elastic infinite medium under general mixed-mode loadings. A complete stress field for two fundamental loading conditions associated with a pair of self-equilibrated unit normal and tangential point forces acting on both crack surfaces is obtained first via a technique of potential theory. Such explicit solutions are then utilized along with the proper limiting process to derive closed-form Green's functions for the T-stresses. By using a method of superposition, the T-stresses of a penny-shaped crack subjected to general self-equilibrated tractions on the crack surface can be obtained explicitly in terms of an integral formula. Numerical results for some special loading conditions are then compared with available benchmark solutions to verify the formulation and derived solutions.

Keywords: T-Stresses, Green'S Functions, Penny-Shaped Crack, Mixed-Mode Loading, Transversely Isotropic Elastic Media



ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

| | | | |
|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| 1 | ศ.ดร.ธีรพงศ์ | เสนจันทร์ดีไชย | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2 | ศ.ดร.เอกสิทธิ์ | ลิ้มสุวรรณ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3 | รศ.ดร.เกษม | ชูจารกุล | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 4 | รศ.ดร.ฐิรวัตถ์ | บุญญะฐี | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 5 | รศ.ดร.ธัญวัฒน์ | โพธิศิริ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 6 | รศ.ดร.บรรเจิด | พละการ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 7 | รศ.ดร.บุญไชย | สถิตมันน์ในธรรม | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8 | รศ.ดร.วิสุทธิ์ | ช่อวิเชียร | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 9 | รศ.ดร.ศักดิ์สิทธิ์ | เฉลิมพงศ์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 10 | รศ.ดร.สรวิศ | นฤปิติ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 11 | รศ.ดร.สุเชษฐ์ | ลิขิตเลอสรวง | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 12 | รศ.ดร.อัศวินทร์ | เล่นวารีย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 13 | รศ.วิชัย | เยี่ยงวีรชน | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 14 | ผศ.ดร.จิตติชัย | รจนกนกนาฏ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 15 | ผศ.ดร.ฉัตรพันธ์ | จินตนาภักดิ์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 16 | ผศ.ดร.ธเนศ | ศรีศิริโรจนากร | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 17 | ผศ.ดร.นพดล | จอกแก้ว | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 18 | ผศ.ดร.มาโนช | โลหเตปานนท์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 19 | ผศ.ดร.วัชร | เพียรสุภาพ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 20 | ผศ.ดร.ศรีเลิศ | โชติพันธ์รัตน์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 21 | อ.ดร.เบญจพร | สุวรรณศิลป์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 22 | อ.ดร.อรอนงค์ | ลาภปริสุทธิ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 23 | ศ.ดร.วิโรจน์ | รุโจปการ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 24 | รศ.ดร.ก่อโชค | จันทรวงกูร | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 25 | รศ.ดร.ชวเลช | วณิชเวทิน | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 26 | รศ.ดร.ตีบุญ | เมธากลชาติ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 27 | รศ.ดร.วิชรินทร์ | วิทยกุล | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 28 | รศ.ดร.สุธาริน | สถาปิตานนท์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 29 | รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ | ศรีลัมพ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 30 | รศ.ดร.สุวัฒนา | จิตตลดากร | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 31 | รศ.ดร.สุวิมล | สัจจวานิชย์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |



จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

| | | | |
|----|--------------------------|----------------------|------------------------|
| 32 | ผศ.ดร.กิจพัฒน์ | ภู่วรรณ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 33 | ผศ.ดร.ปิยนุช | เวทย์วิวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 34 | ผศ.ดร.วราเมศวร์ | วิเชียรแสน | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 35 | ผศ.ดร.วันชัย | ยอดสุดใจ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 36 | ผศ.ดร.วีระเกษตร | สวนผกา | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 37 | ผศ.ดร.เหมือนมาศ | วิเชียรสินธุ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 38 | ผศ.ดร.อดิษฐ์ | พรพรหมินทร์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 39 | ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ | โฆสิตสกุลชัย | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 40 | ผศ.ทีฆวุฒิ | พุทธภิรมย์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 41 | อ.ดร.จิระกานต์ | ศิริวิชญ์ไมตรี | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 42 | อ.ดร.จิระวัฒน์ | กณะสุด | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 43 | อ.ดร.บัณฑิตา | กสิกิจวิวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 44 | อ.ดร.พรรณพิมพ์ พุทธรักษา | มะเปี่ยม | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 45 | อ.ดร.ยุวดี | แช่ตั้ง | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 46 | อ.ดร.วิษุวัฒน์ | แต่สมบัติ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 47 | อ.ดร.สมชาย | ดอนเจดีย์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 48 | อ.ดร.สโรช | บุญศิริพันธ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 49 | อ.ดร.สุภาพร | แก้วกอ เลี้ยวโพโรจน์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 50 | อ.ดร.สุรียน | เปรมปราโมทย์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 51 | อ.ดร.เอกชัย | ศิริกิจพาศน์ชัยกุล | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 52 | อ.ลิตาภรณ์ | พ้อบุตรดี | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 53 | อ.ต่อศักดิ์ | ประเสริฐสังข์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 54 | อ.ทศพล | จตุระบุล | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 55 | ศ.ดร.ปริญญา | จินดาประเสริฐ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 56 | รศ.ดร.เฉลิมชัย | พาวัดนา | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 57 | รศ.ดร.พงศกร | พรรณรัตน์ศิลป์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 58 | รศ.พัชรี | ทอวิจิตร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 59 | รศ.วินัย | ศรีอำพร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 60 | รศ.วีระ | หอสกุลไท | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 61 | ผศ.ดร.กอปร | ศรีนาวิน | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 62 | ผศ.ดร.จารึก | ธีระวงษ์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 63 | ผศ.ดร.ชาติชาย | ไวยสุระสิงห์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 64 | ผศ.ดร.ณรงค์ | เหลื่องบุตรนาค | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 65 | ผศ.ดร.ณัฐพงษ์ | อารีมิตร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 66 | ผศ.ดร.ดลฤดี | หอมดี | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |



| | | | |
|-----|-----------------|-----------------|--|
| 67 | ผศ.ดร.ธเนศ | เสถียรนาม | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 68 | ผศ.ดร.ธัญดา | พรรณเชษฐ์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 69 | ผศ.ดร.พนกฤษณ | คลังบุญครอง | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 70 | ผศ.ดร.รัตมณี | นันทสาร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 71 | ผศ.ดร.ลัดดา | ต้นวณิชกุล | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 72 | ผศ.ดร.วันชัย | สะอาด | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 73 | ผศ.ดร.วิชุดา | เสถียรนาม | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 74 | อ.ดร.กิตติเวช | ขันตยวิชัย | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 75 | อ.ดร.ธนากร | เมธาธรรม | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 76 | อ.ดร.ธัญลักษณ์ | ราษฎร์ภักดี | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 77 | อ.ดร.ปิยะวัชร | ฝอยทอง | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 78 | อ.ดร.พัศพันธ์ | ชาญสุนันท์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 79 | อ.สุรัตน์ | ประมวลศักดิ์กุล | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 80 | รศ.ชูโชค | อายุพงศ์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 81 | รศ.ดร.ธนพร | สุปรียศิลป์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 82 | ผศ.ดร.พุทธิพล | ดำรงชัย | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 83 | อ.ดร.เกรียงไกร | อรุณทยานันท์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 84 | อ.ดร.ปรีดา | พิชยาพันธ์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 85 | อ.ดร.รังสรรค์ | อุดมศรี | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 86 | อ.ดร.อรธณวิทย์ | อุบโยคิน | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 87 | ศ.ดร.ชัย | จาดรพิทักษ์กุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 88 | ศ.ดร.ชัยยุทธ | ชินณะราศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 89 | รศ.ดร.พรเกษม | จงประดิษฐ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 90 | รศ.ดร.วิโรจน์ | ศรีสุรภานนท์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 91 | ผศ.ดร.ธิดารัตน์ | บุญศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 92 | ผศ.ดร.พิชญ์ | สุธีรวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 93 | ผศ.ดร.วรรษ | ก้องกิจกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 94 | ผศ.ดร.วิลาสินี | อยู่ชัชวาล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 95 | ผศ.ดร.วีระชาติ | ตั้งจิรภัทร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 96 | ผศ.ดร.วุฒิพงศ์ | เมื่อน้อย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 97 | อ.ดร.ชัยวัฒน์ | เอกวัฒน์พานิชย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 98 | อ.ดร.ทรงเกียรติ | ภัทรปัทมาวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 99 | อ.ดร.ประพัทธ์ | พงษ์เกียรติกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 100 | รศ.ดร.กิตติชัย | ธนทรัพย์สิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 101 | รศ.ดร.ปิติ | สุคนธสุขกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |



| | | | |
|-----|------------------|-------------------|---|
| 102 | รศ.ดร.พานิช | วุฒิปภักษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 103 | รศ.ดร.วรรณวิทย์ | แต่่มทอง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 104 | รศ.ดร.สมิตร | สงพิริยะกิจ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 105 | รศ.ดร.สุพรชัย | อุทัยนฤมล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 106 | ผศ.ดร.เทอดศักดิ์ | รองวิริยะพานิช | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 107 | อ.ดร.ณัฐพงศ์ | มกระธัช | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 108 | รศ.ดร.สายสุนีย์ | พุทธาคุณเจริญ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 109 | ผศ.ดร.ปิติศานต์ | กร้ามาตร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 110 | อ.ดร.จตุพล | ตั้งปกาศิต | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 111 | ผศ.ดร.สำเร็จ | รักช้อน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 112 | รศ.จรรยา | เจริญเนตรกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 113 | ผศ.นัฐวุฒิ | ทิพย์โยธา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา |
| 114 | อ.ดร.เกียรติสุดา | สมนา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา |
| 115 | อ.ดร.รัฐพล | สมนา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา |
| 116 | รศ.ดร.วชรภูมิ | เบญจโอฬาร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 117 | รศ.ดร.วิฒนวงศ์ | รัตนวราห์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 118 | รศ.ดร.สิทธิชัย | แสงอาทิตย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 119 | รศ.ดร.อวิรุทธิ์ | ชินกุลกิจนวิวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 120 | ผศ.ดร.ฉัตรชัย | โชติษฐยางกูร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 121 | ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ | สินศิริ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 122 | ผศ.ดร.ปรียาพร | โกษา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 123 | ผศ.ดร.พรพจน์ | ต้นเส็ง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 124 | ผศ.ดร.รัฐพล | ภูบุผาพันธ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 125 | อ.ดร.ศิริดล | ศิริธร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 126 | รศ.ดร.ชวลิต | ชาลีรักษ์ตระกูล | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 127 | รศ.ดร.นคร | ภู่วโรดม | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 128 | รศ.ดร.บุรฉัตร | ฉัตรวีระ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 129 | รศ.ดร.วีรยา | ฉิมอ้อย | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 130 | รศ.ดร.สายันต์ | ศิริมนตรี | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 131 | ผศ.ดร.กฤดายุทธ์ | ชมภูนึ่ง | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 132 | ผศ.ดร.ภาวิณี | เอี่ยมตระกูล | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 133 | ผศ.ดร.สสิกรณณ์ | เหลื่องวิชชเจริญ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 134 | อ.ดร.ดุขุฎี | สลิเรศรฐทวี | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 135 | ผศ.ดร.ทวีชัย | สำราญวานิช | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 136 | ผศ.ดร.ธรรมนุญ | รัศมีมาสเมือง | มหาวิทยาลัยบูรพา |



| | | | |
|-----|---------------------|-----------------|--------------------------------|
| 137 | ผศ.ดร.วิเชียร | ชาลี | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 138 | ผศ.ดร.สยาม | ยิ้มศิริ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 139 | ผศ.ดร.สุรเมศวร์ | พิริยะวัฒน์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 140 | อ.ดร.ฐิติมา | วงศ์อินดา | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 141 | อ.ดร.ปิติ | โรจน์วรรณสินธุ์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 142 | อ.ดร.พัทธพงษ์ | อาสนจินดา | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 143 | อ.ดร.เพชรรัตน์ | ลิ้มสุปรียรัตน์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 144 | อ.เรือเอก ดร.สรารัฐ | ลักขณะโต | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 145 | ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ | ดำรงวิริยะนุกาพ | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| 146 | ผศ.ดร.ธนกร | ชมภูรัตน์ | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| 147 | ผศ.ดร.สมบูรณ์ | เซียงฉิน | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| 148 | ผศ.ดร.กฤษณ์ | ชัยมูล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 149 | ผศ.ดร.เรืองรุชต์ | ชีระโรจน์ | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 150 | ผศ.ดร.สหลาภ | หอมวุฒิมงคล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 151 | ผศ.ดร.ธัชวีร์ | ลีละวัฒน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 152 | ผศ.ดร.สมชาย | ปฐุมศิริ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 153 | อ.ดร.ชลลดา | เลาะพอ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 154 | ผศ.ดร.วรรณณี | ศุขสาตร | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 155 | ผศ.สมศักดิ์ | เอื้ออ้อขมาสัย | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 156 | อ.ดร.กรกนก | บุญเสริม | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 157 | อ.ดร.สกลารรณ | ท่านจิตสุวรรณ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 158 | ผศ.ดร.วสันต์ | ธีระเจตกุล | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 159 | ศ.ดร.พิชัย | ธานีรณานนท์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 160 | ผศ.ดร.ธนนท์ | ชูปอุปการ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 161 | ผศ.ดร.ภาสกร | ชัยวิริยะวงศ์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 162 | อ.ดร.ปรเมศวร์ | เหลือเทพ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 163 | อ.ดร.วิชัยรัตน์ | แก้วเจือ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 164 | อ.ดร.ภูกลพัศ | เจนจิวัฒนกุล | มหาวิทยาลัยสยาม |
| 165 | รศ.ดร.สถาพร | โศคา | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 166 | ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ | แก้วกุลชัย | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 167 | ผศ.ดร.สิทธา | เจนศิริศักดิ์ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 168 | อ.ดร.ณัดกิจ | ชาวีรัตน์ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 169 | พ.อ.ผศ.ดร.โท | ชาญกุล | โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า |
| 170 | อ.ดร.ภักดิ์วัฒน์ | แสนเจริญ | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 171 | อ.ดร.รักติพงษ์ | สหมิตรมงคล | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |



จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

| | | | |
|-----|----------------|---------------|--|
| 172 | อ.ดร.วรางคณา | แสงสร้อย | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 173 | รศ.ดร.จักรพงษ์ | พงษ์เพ็ง | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 174 | รศ.ดร.เอกชัย | สุมาลี | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 175 | รศ.แหลมทอง | เหล่าคงถาวร | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 176 | ผศ.ดร.อุมา | สีบุญเรือง | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 177 | อ.ดร.จรัส | พิทักษ์ศฤงคาร | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 178 | ดร.สุเมธ | องกิตติกุล | สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย |

หมายเหตุ: เรียงลำดับตามชื่อสถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชน (ก-ฮ)





ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นฉนวนโครงสร้างที่เสริมด้วย
วัสดุเสริมแรงคอมโพสิตเสริมเส้นใย

FLEXURAL PERFORMANCE OF STRUCTURAL INSULATED PANEL (SIP)
SLABS STRENGTHENED BY FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)

ธีระพล เปี่ยมสุภักดิ์* และ หมิง จิ่ง*

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

บทคัดย่อ

SIP (Structural Insulated Panels) แฉกฉนวนโครงสร้าง เป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ที่พักอาศัย ซึ่งมี คุณสมบัติที่ดี เช่น ฉนวนป้องกันความร้อน รองรับน้ำหนัก ความแข็งแรง ทนทาน และประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เนื่องจากในประเทศไทยยังขาดการวิจัยเกี่ยวกับ แผ่น SIP ในด้านประสิทธิภาพการรับแรงดัดของแผ่นพื้นสองทางของแผ่น SIP ที่เสริมหรือไม่เสริม GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) ในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับแผ่นพื้น SIP ด้วยวิธีการทดสอบจำนวนทั้งหมด 4 ตัวอย่าง แบบทำขนาดของจริงเต็มแผ่น SIP มีขนาดกว้าง 1.2 ม. และยาว 2.0 ม. ที่มีความหนา ต่างกันคือ 0.10 ม. และ 0.14 ซม. ถูกทดสอบภายใต้การให้น้ำหนักแบบกระจาย สมมาตร จนถึง ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นสองทาง SIP ที่ความหนาของ 0.10 ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 220 กก./ตร.ม ภายใต้ขีดจำกัดของน้ำหนักบรรทุก ตามข้อกำหนดสำหรับอาคาร ที่อยู่อาศัย เชิงพาณิชย์ และแผ่น SIP ความหนา 0.14 ม. สามารถรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 300 กก./ตร.ม. ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเสริม GFRP ที่วางระหว่างแผ่นโฟมแกนกลางกับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ประหน้าของแผ่น SIP เป็น วิธีที่ เป็นไปได้ ในการปรับปรุง ประสิทธิภาพการรับแรงดัด

คำสำคัญ: แฉกฉนวน โครงสร้าง,แผ่นพื้นสองทาง, วัสดุใยแก้วเสริมแรง, ประสิทธิภาพการรับแรงดัด,การเสริมความแข็งแรง

Abstract

SIP (Structural Insulated Panels) is a good material in building and housing construction with the good properties such as heat insulation,

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)
E-mail address: theeraphol@bangchak.co.th

load absorption, strength, durability and low construction cost. Due to the lack of research on SIP slabs in Thailand, the flexural performance of two-way SIP slabs with or without GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) strengthening were studied here in experimental method. Totally four full scale SIP slab samples, 1.2 m wide and 2.0 m long, with different thickness of 0.10 m and 0.14 m, were tested under uniformly distributed loading till failure. The test results indicated that, two-way SIP slabs in thickness of 0.10 m could bear load of 220 kg/m² under service limit, which met the requirements for residential and light commercial buildings. For slab in thickness of 0.14 m, the load bearing capacity increased to 300 kg/m². The test results also shown that, pasting GFRP between form core and fiber cement face of SIP slabs was a feasible method to improve the flexural performance.

Keywords: Structural Insulated Panel (SIP), Two-way slabs, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), Flexural performance, Strengthen

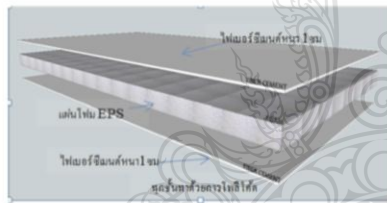
1. คำนำ

ปัจจุบัน โครงสร้างพื้น เป็นโครงสร้างที่สำคัญอย่างหนึ่งคือทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักบรรทุกจร หรือน้ำหนักผู้คนที่ใช้อาคาร วัสดุอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในอาคารช่วงความยาวไม่มากนักเช่นในอาคาร บ้าน ดิเกอหรือแม้แต่ในอาคารสำนักงานใหญ่ๆ แต่เนื่องจากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีการใช้อย่างมากในประเทศไทย แต่มีขั้นตอนการก่อสร้างหลายขั้นตอนตั้งแต่เตรียมแบบสำหรับหล่อคอนกรีต ผูกเหล็กพื้น และเทคอนกรีตทั้งยังต้องอาศัยแรงงานเป็นจำนวนมาก และมีกรรมราคาแพงสูง ทำให้ต้องมีการปรับราคาในท้องจึงไม่เป็นการประหยัดพลังงาน[1] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวัสดุ แผ่นพื้น ที่เป็นฉนวนกันความร้อน มีความสามารถในการรับ

แรงได้ดี แข็งแรง ทนทาน เพื่อนำมาสร้างอาคาร บ้าน ตึกแถวได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และที่สำคัญคือน้ำหนักเบา หากแผ่นพื้นน้ำหนักเบา ทำให้โครงสร้างในส่วนของเขา ฐานรากของอาคารลดลงไปด้วย ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างไปด้วย

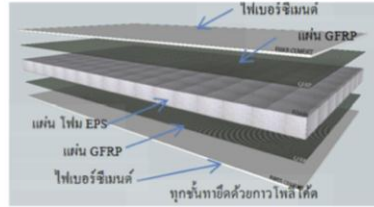
การพัฒนาเทคโนโลยีของแผ่นพื้นโครงสร้างฉนวน (SIP) ได้มีการพัฒนาแผ่นพื้น SIP ใช้ในงานอาคารต่างๆ ในต่างประเทศเช่น แคนาดา อเมริกา นอกจากนี้ยังพัฒนาเป็น แผ่นหลังคา SIP เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการตั้งองค์กรเป็นมาตรฐานเช่น SIPA และมีสมาชิกเป็นบริษัทผู้ผลิตแผ่น SIP ผู้ออกแบบ และก่อสร้าง อยู่หลายบริษัทเช่น Timberline Panel Company ในประเทศอังกฤษ บริษัทFischer SIPS๑,ในประเทศอเมริกา Structure Insulated Panel (SIP) แผ่นฉนวนโครงสร้าง(รูปที่ 1) คือวัสดุที่ประกอบไปด้วย แผ่น 2 แผ่นประกบด้านบนและด้านล่างที่มีแกนกลางเป็น โฟม โพลีเมอร์แข็งเรียงเป็นชั้นอัดติดด้วยกาว ซึ่งแผ่นประกบนั้นอาจจะเป็น โพลีสไตรีนแข็ง แผ่นไม้อัด แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ ส่วนโฟมนั้นอาจเป็นโฟมขยาย polystyrene foam (EPS), โฟมอัด Extruded Polystyrene (XPS) โฟม Polyisocyanurate หรือ โฟมซูรีเทน ก็ได้ [2]

Structure Insulated Panel (SIP) อาจจะมีชื่อเรียกระบบงานแตกต่างกันออกไปในแต่ละบริษัท แต่หลักการสำคัญที่เหมือนกัน คือ การที่โครงสร้าง ถูกออกแบบให้เป็น ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing System) โดยที่ไม่ต้องก่อสร้างเสาและคานาก่อน แล้วจึงทำงานพื้นต่อไป (ด้วยการเทหรือยกแผ่นสำเร็จมาวาง)



รูปที่ 1 แผ่น SIP ที่ทำการทดสอบ

จากแนวทางในการศึกษาค้นคว้าโครงสร้างฉนวน (SIP) เพื่อใช้แทนเสานั้น พื้นที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่สำคัญของอาคารและบ้าน ดังนั้นจึงต้องการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของพื้น (SIP) ว่าจะสามารถทดแทนแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้หรือไม่ ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังพบว่ามีการศึกษาและวิจัยแผ่นพื้น (SIP) ในประเทศไทยไม่มากนักและอาจไม่มั่นใจว่าแผ่นพื้น (SIP) จะสามารถรับน้ำหนักมากน้อยเพียงใดและหากมีการศึกษาและวิจัยแผ่นพื้น (SIP) โดยเพิ่มวัสดุเสริมแรง Fibre-reinforced plastic (FRP) จะได้ทราบว่ามีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้นหรือไม่ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แผ่น SIP ชนิดเสริม GFRP ที่ทำการทดสอบ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น (SIP) แผ่นพื้นรับแรงสองทาง (Two Way Slab) ที่เสริม Glass Fiber Reinforce Polymer (GFRP) และไม่เสริม GFRP

2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น (SIP) ที่มีแกนกลางเป็นโฟมมีความสูง (หนา) ที่แตกต่างกันต่อค่าความโค้งตัว

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก แบบ FULL SCALE สำหรับแผ่นพื้น SIP จัดทำเป็น 4 ชุดๆละ 1 ตัวอย่าง โดยที่สัญลักษณ์ GF คือการเสริม GFRP และ SI คือ ไม่เสริม GFRP ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ตัวอย่างทดสอบ

| รายละเอียด (ขนาดแผ่น 1.2x2.0 ม.) | สัญลักษณ์ |
|---------------------------------------|-----------|
| แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม. ปกติ | SI-10-FT |
| แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 12 ซม. ปกติ | SI-14-FT |
| แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 8 ซม. เสริม GFRP | GF-10-FT |
| แกนกลางเป็นโฟม ขนาด 12 ซม. เสริม GFRP | GF-14-FT |

*หมายเหตุ จำนวนการทดสอบละ 1 ตัวอย่าง (ขนาดแผ่น 1.20 x 2.00 ม.)

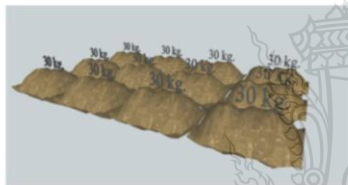


รูปที่ 3 แผ่น SIP ที่ใช้ในการทดสอบ

โดยแผ่นพื้น SIP ที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเหมือนกันคือแกนกลางเป็นโฟม EPS มีความหนา 2 ด้านปะด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 10 มม. โดยต่างกันที่ความหนาของโฟมและเสริมด้วย GFRP กับไม่เสริม GFRP โดยนำแผ่นพื้น SIP วางบนฐานเหล็กปรับระดับพื้น และใช้ถุงทรายน้ำหนัก 30 กก/ถุง เป็น น้ำหนักวางกระจายน้ำหนักทั่วแผ่นพื้นตามขนาดพื้นที่ของแผ่นพื้น SIP และเพิ่มน้ำหนักที่ละชั้น ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จนแผ่นพื้นไม่สามารถรับน้ำหนักได้ หรือ ค่าโก่งตัวตรงกลางแผ่นพื้น SIP มีค่าเกิน $L/50$ จึงหยุดการให้น้ำหนักและถือว่าสิ้นสุด



รูปที่ 4 ลักษณะของกรวางแผ่นพื้น SIP บนโต๊ะทดสอบ



รูปที่ 5 จำลองการวางน้ำหนักถุงทราย 30 Kg

การวัดค่าการโก่งตัวและการยืดตัวของแผ่นพื้น SIP แบบ FULL SCALE เป็นการวัดค่าการโก่งตัวและการยืดตัวของแผ่นพื้น SIP แบบ และขนาดต่างๆ



รูปที่ 6 การทดสอบให้น้ำหนักกับแผ่นพื้น



รูปที่ 7 การทดสอบให้น้ำหนักกับแผ่นพื้น SI-10-FT ที่ละชั้น

การทดสอบ FULL SCALE ทำโดยการติดตั้ง สเตรนเกจ (Strain Gauge) จำนวน 2 ตัวด้านบน และ 2 ตัวด้านล่างที่กลางแผ่น และติดตั้ง LVDT (Linear Variable Displacement Transducers) จำนวน 1 ตัว ติดตั้งไว้ใต้แผ่นพื้น SIP ตรงกึ่งกลางแผ่นพื้นและเมื่อวางน้ำหนักการกระจายทั่วแผ่นพื้น SIP ที่จี่งน้ำหนัก 15 นาที จึงอ่านค่าการโก่งตัวและการยืดตัวของแผ่นพื้น SIP โดยฐานรองรับเป็นแบบ รับแรงสองทาง (Two Way Slab) มีฐานรองรับรอบแผ่นพื้น SIP รายละเอียดดังรูปที่ 6 และ 7 ภายหลังจากนั้นทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบค่าการโก่งตัว

การทดสอบความสามารถในการรับกำลังน้ำหนักแบบแผ่กระจาย (Distribution Load Test) ของพื้น SIP ที่ขนาดต่างๆ ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 2.0 ม. หนา 0.10 ม. และ ขนาดกว้าง 1.2 ม ยาว 2.0 ม. หนา 0.14 ม. โดยวางน้ำหนักแบบแผ่กระจายและทำการวัดการโก่งตัว และวัดค่าการยืดหด ผลการทดสอบแผ่นพื้นยังไม่มีการแตกร้าวและยังสามารถรับน้ำหนักต่อไปได้ แต่ได้หยุดการให้น้ำหนักที่ 4080 กก. หรือ 1700 กก./ตรม. เมื่อระยะโก่งตัวถึง $L/50$ และแผ่นพื้น SI-10-FT ได้ค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 23.70 มม. แผ่นพื้น SI-14-FT ได้ค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 14.10 มม. แผ่นพื้น GF-10-FT ได้ค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 18.53 มม. แผ่นพื้น GF-14-FT ได้ค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 11.64 มม.

ตารางที่ 2 แสดงระยะการโก่งตัวของแผ่นพื้น SIP ที่รับน้ำหนักสูงสุดของการทดสอบ

| ITEM | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Sand (kg) | 4080 | 4080 | 4080 | 4080 |
| Load (kg/m ²) | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 |
| Deflection (mm.) | 11.64 | 14.10 | 18.53 | 23.70 |

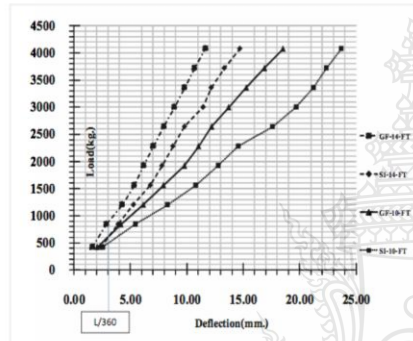
* หมายเหตุ เนื่องจากอาจเกิดอันตรายได้จึงให้น้ำหนักสูงสุดไม่ถึงระยะโก่งตัว $L/50$ คือ 24 มม.

ตามตารางที่ 2 และจาก รูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นการโก่งตัวก็จะมากขึ้นไปด้วยและเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาที่มีความหนามากกว่าก็จะทำให้การโก่งตัวน้อยกว่าอย่างแผ่นพื้น SI-10-FT จะมีค่าการโก่งตัวมากกว่าแผ่นพื้น SI-14-FT ในส่วนที่มีการเสริมฉนวนใย

แก้วก็จะทำให้การโก่งตัวน้อยกว่าอย่าง แผ่นพื้น SI-10-FT จะมีค่าการโก่งตัวมากกว่าแผ่นพื้น GF-10-FT และแผ่นพื้น SI-14-FT จะมีค่าการโก่งตัวมากกว่าแผ่นพื้น GF-14-FT เมื่อรับน้ำหนักเท่ากัน ที่ L/360 แผ่นพื้น SIP ที่เสริม GFRP นั้นรับน้ำหนักได้ 220 กก./ตรม. ตามตารางที่ 3

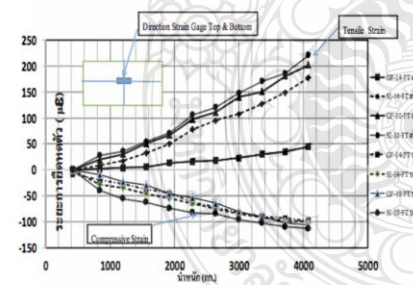
ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น SIP ชนิดต่างๆ ที่การโก่งตัว L/360

| ITEM | GF-14-FT | SI-14-FT | GF-10-FT | SI-10-FT |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Load (kg) | 875 | 595 | 610 | 540 |
| kg/m ² | 365 | 248 | 254 | 225 |
| Deflection L/360 (mm.) | 3 | 3 | 3 | 3 |

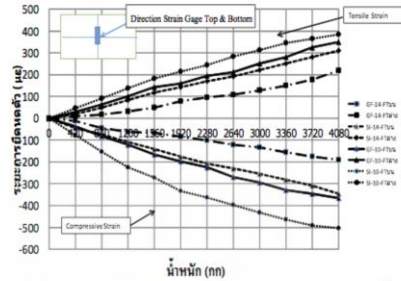


รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load – Vertical Deflection ที่กลางแผ่นพื้น

4.2 ผลการทดสอบค่าการยึดหดตัว



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load Strain ที่กลางคิวนและคิวนล่างแผ่นพื้นขนานกับคานยาว



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load Strain ที่กลางคิวนแผ่นพื้นขนานกับคานสั้น



รูปที่ 11 การทดสอบให้น้ำหนักกับแผ่นพื้น SIP GF-14-FT

จากรูปที่ 9 และ 10 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นที่คิวนแผ่นพื้นคืออย่างจะหดตัวจากแรงอัด คานน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการหดตัวกับน้ำหนักที่เท่ากันนั้นปรากฏว่าในความหนาที่เท่ากันตัวอย่างที่มีการเสริมใยแก้ว GF-14-FT มีการหดตัวน้อยกว่า SI-14-FT และ GF-10-FT มีการหดตัวน้อยกว่า SI-14-FT เปรียบเทียบด้านความหนาที่มีความหนามากกว่าก็จะทำให้การหดตัวน้อยกว่า ยกตัวอย่าง SI-10-FT จะมีค่าการหดตัวมากกว่า SI-14-FT ในส่วนที่มีการเสริมฉนวนใยแก้วก็จะทำให้การหดตัวน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักกระทำที่เท่ากันดังรูปผลการทดสอบตามรูปที่ 11

5. บทสรุป

จากผลการทดสอบแผ่นพื้น SIP แบบพื้นสองทาง (Two Way Slab) นั้นสรุปผลการทดสอบดังนี้

จากการที่ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการโก่งตัวของแผ่นพื้นระบบ SIP ทั้ง 4 ตัวอย่าง (แบบพื้นสองทาง) ที่ได้จากการทดสอบ นั้นสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 1700 กก./ตรม. จะเห็นได้ว่าแผ่นพื้นที่เสริมใยแก้ว GFRP มีค่าการโก่งตัวน้อย เมื่อคิดการรับน้ำหนักและการโก่งตัวที่ L/360 หรือเท่ากับ 3 มม. นั้น แผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP เปรียบเทียบกับแผ่นปกติจะเห็นได้ว่าแผ่นพื้น SIP เสริมฉนวนใยแก้ว GFRP นั้นจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นปกติที่ไม่ได้เสริมฉนวน

ใยแก้วคือ 365 กก/ตรม.กับ 248 กก/ตรม.คิดเป็นร้อยละ 47 สำหรับ แผ่น
พื้น SIP ที่หนา 14 ซม.และ 254 กก/ตรม.กับ 225 กก/ตรม.หรือร้อยละ 13
สำหรับแผ่นพื้น SIP ที่หนา 10 ซม. แสดงว่าการเสริมฉนวนใยแก้ว
GFRP มีผลทำให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

CORE AND GFRP SKINS AND RIBS. Department of Civil
.Queen University, Canada

เมื่อเปรียบเทียบในด้านความหนาน้ำหนักความหนาจะมีผลต่อการรับ
น้ำหนักด้วยเช่นกัน คือแผ่นพื้น SIP ที่หนากว่าก็จะรับน้ำหนักได้มากกว่า
ประมาณร้อยละ 43 สำหรับแผ่นพื้นหนา 14 ซม.เสริมและไม่เสริม GFRP
และร้อยละ 10 สำหรับแผ่นพื้นหนา 10 ซม.เสริมและไม่เสริม GFRP และ
การโก่งตัว (Deflection) ก็น้อยกว่า

ดังนั้นเป็นไปได้ว่าแผ่นพื้น Structure Insulated Panel (SIP) ที่เสริม
GFRP ทำการทดสอบนี้สามารถนำมาใช้เป็นแผ่นพื้น ที่มีน้ำหนักเบา รับ
แรงคดได้ดี และสามารถใช้น้ำหนักบรรทุกในโครงสร้างได้และหากมี
การผลิตเป็นอุตสาหกรรมจะสามารถใช้ได้ดีในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.บดินทรศักดิ์ กร้ามาต, ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต,
ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำมาโดยตลอด
ขอขอบพระคุณ บริษัท เอเชียกัมมันท์ จำกัด โดยคุณพัฒนา ผดุงพงษ์, บริษัท
โพลีโพนเมเนทเคเจอร์ จำกัด โดยคุณชญาดา ธนรัตน์วงศ์ เอื้อเฟื้อวัสดุใน
งานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่
เป็นกำลังใจให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สรสุธี บัวพูน. 2550."วิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาโปรแกรม
สำเร็จรูปเพื่อเลือกใช้วัสดุสำหรับคานาอาคารประหยัดพลังงานแบบ
แกนวิซบล็อคที่ใช้โพนพอลิเมอร์เป็นฉนวน" ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี
- [2] พงษ์ วงษ์ธนสุภรณ์. 2549."วิทยานิพนธ์เรื่อง การออกแบบคานา
อาคารโดยใช้โพนพอลิเมอร์เพื่อการประหยัดพลังงาน" ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบ
บูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] Wemphy Hanafi. 2007. FLEXURAL PERFORMANCE OF
GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE SANDWICH
PANELS. Department of Civil & Environmental Engineering.
Southern Illinois University Carbondale
- [4] Nandini Banerjee. 2001. FLEXURAL PERFORMANCE OF
INSULATED SANWICH PANELS. Department of Civil &
Environmental Engineering .South Illinois University Carbondale
- [5] Tarek Abdel Moneim Sharaf. 2010. FLEXURAL BEHAVIOUR
OF SANWICH PANELS COMPOSED OF POLYURETHANE

ประวัติผู้เขียน

| | |
|--------------------|--|
| ชื่อ-นามสกุล | นายธีระพล เปี่ยมสุภักค์พงศ์ |
| วัน เดือน ปี เกิด | วันที่ 29 เมษายน 2511 |
| ที่อยู่ | 199 ซอยจันเนียรสุข 3 ถนนเพชรเกษม แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ จังหวัด กรุงเทพฯ 10600 |
| การศึกษา | ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| ประสบการณ์การทำงาน | ผู้จัดการเขต บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) พ.ศ.2535 |
| เบอร์โทรศัพท์ | 02-465-3036 |
| อีเมล | theeraphol@bangchak.co.th |

