แบบสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหารในส่วนโครงการย่อยที่ 3

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย)

เทคนิคการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาอังกฤษ)

Installation Techniques of Structural Insulated Panels with NR Core Filler for Interior Uses

ชื่อแผนงาน (ภาษาไทย) การพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้เป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคาร

ชื่อแผนงาน (ภาษาอังกฤษ) The Development of Structural Insulated Panels with NR Core Filler for Interior Uses

หัวหน้าโครงการ

ชื่อหัวหน้าโครงการ นางสาวสุผาณิต วิเศษสาธร

หน่วยงานต้นสังกัด มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

สถานที่ติดต่อ สำนักวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80161

หมายเลขโทรศัพท์ 075-672522 / 081-9262375

หมายเลขโทรสาร 075-672399

E-mail supanit.wi@wu.ac.th / supanit.wi@hotmail.com

งบประมาณ 321,400 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กันยายน 2557 ถึง วันที่ 14 กันยายน 2558 ขยายระยะเวลา 3 เดือน ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2558

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Construction Technology for Building) นับเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ได้รับความสนใจและนำมาสู่การพัฒนาทั้งในเรื่องของแนวทางการออกแบบพื้นที่ใช้สอย แนวทางการเลือกใช้ระบบโครงสร้าง แนวทางการเลือกใช้กระบวนการก่อสร้าง และวัสดุก่อสร้าง อีกทั้งเมื่อคำนึงถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างที่เหมาะสม (Appropriate Technology for Construction) ของในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งให้ความสำคัญกับความสามารถและข้อจำกัดในการทำการก่อสร้างของช่างก่อสร้าง การ

เลือกใช้วัสดุที่หาง่ายหรือสามารถผลิตหรือมีวัสดุตั้งต้นในการผลิตอยู่ในท้องถิ่นนั้น ๆ ก็จะทำให้เกิดอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

จากการพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางซึ่งมีลักษณะเป็น Structural Insulated Panels (SIP) โดยการใช้เศษไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้เพื่อเป็นส่วนของชั้นผิวแทนไม้จากป่า และใช้โฟมจากยางธรรมชาติเป็นชั้นฉนวนแกนกลางแทนโฟมสังเคราะห์ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปชั้นผิวและโฟมยางแกนกลางในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งจัดเป็นกลุ่มผนังที่เป็นโครงสร้างภายในตัว (Frameless Panel) เน้นการใช้งานภายในตัวอาคาร ผลการศึกษาพบว่า แผ่นผนังฉนวนดังกล่าวนี้มีน้ำหนักเบากว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประมาณ 5 เท่า ซึ่งหากสามารถพัฒนาวัสดุชนิดดังกล่าวมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างผนังเบาภายในอาคาร (Drywall) จะช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ลดภาระการรับน้ำหนักบรรทุกรวมของโครงสร้างหลักของอาคาร

ระบบการก่อสร้างผนังเบาภายใน (Drywall) ในปัจจุบันของประเทศไทยยังคงใช้ในรูปแบบของกลุ่ม ผนัง Board on Frame คือ ผนังเป็นผนังที่ใช้โครงสร้างเหล็กหรือไม้ประกอบกันเป็นโครงสร้าง และใช้วัสดุปิดผิวประเภทวัสดุแผ่นใหญ่บาง (Board) เช่น แผ่นไม้อัด แผ่นยิปซั่ม แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นต้น โดยโครงสร้างแฟรม (Frame Structure) จะเป็นตัวรับน้ำหนักวัสดุปิดผิวทั้งหมด แล้วจึงถ่ายแรงสู่โครงสร้างอาคารหลัก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสอดคล้องและความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีในการก่อสร้างในประเทศไทย จึงต้องคำนึงถึงทักษะและเครื่องมือของช่างก่อสร้างที่ยังคงใช้เทคนิคการก่อสร้างผนังภายในแบบผนัง Board on Frame และปรับใช้วิธีการที่ได้รับมาตรฐานเทียบเคียงกับการติดตั้งแผ่นผนังแบบ SIP ดังนั้นการพัฒนาตัววัสดุแผ่นผนังควบคู่ไปกับการศึกษาเทคนิคในการใช้งานวัสดุดังกล่าวไปพร้อม ๆ กันจะเป็นการสร้างแนวทางที่สอดคล้องกับความเป็นไปได้ในการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับนำไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป
2. เพื่อศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร

ผลการดำเนินงาน

1. จากศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังฯสำหรับการใช้งานในลักษณะผนังสำเร็จรูปพบว่า พบว่าแผ่นผนังฯควรมีความหนาอย่างน้อย 6.5 เซนติเมตร มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร

เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)โดยมีน้ำหนักผนังเฉลี่ยประมาณ 28 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตรเพื่อให้แผ่นผนังฯใช้ร่วมกับวัสดุก่อสร้างที่ใช้ประกอบสำหรับติดตั้งได้

2. ศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคารพบว่า

   2.1 การใช้ตะปูเกลียวยึดแผ่นผนังควรจะต้องทำการเว้นระยะจากของแผ่นผนังฯอย่างน้อย 1.5 เซนติเมตร

   2.2 จากการศึกษาแบบการใช้งานแผ่นผนังฯเพื่อการติดตั้งในอาคาร พบว่าการติดตั้งผนังจะมีรอยต่อได้ 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Pnel) และ รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall)

   2.3 รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ในการวิจัยได้เสนอรูปแบบเพื่อนำมาพิจารณา 4 รูปแบบด้วยกัน และเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่าแต่ละรูปแบบสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าการรับแรงกดด้านข้างของผนังโดยประมาณที่ 50%ของแผ่นผนังที่ไม่มีรอยต่อ แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมในการทำงานของช่างก่อสร้างรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Floor) รูปแบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการติดตั้งมากที่สุด

   2.4 รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ในการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุประกอบการติดตั้งเป็นโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24 (หนา 0.55 มิลลิเมตร) ที่มีมาตรฐาน มอก.863 - 2532 โดยโครงคร่าวมีค่าการการรับน้ำหนักได้ในช่วง 240-480 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงด้วยวิธีการจำลองส่วนดังกล่าวตามหลักการทางวิศวกรรม โดยเปรียบเสมือนคานยื่น แล้วทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด พบว่า รอยต่อที่ทดสอบสามารถน้ำหนักได้เฉลี่ยในช่วง 80.30 – 90.35 กิโลกรัม (จากช่วงความกว้างขอผนังที่ 0.4 เมตร) ขึ้นอยู่กับประเภทของตะปูเกลียวที่เลือกใช้ ซึ่งลักษณะความเสียหายของรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการฉีกระหว่างแผ่นผนังฯกับตะปูเกลียว

สรุปผลการวิจัย

ได้รูปแบบ รายละเอียดและความเหมาะสมส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) การติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคารภายใต้ข้อจำกัดของวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้างที่มีการใช้งานในปัจจุบันและมีความแข็งแรงทางโครงสร้างตามอ้างอิงในข้อกำหนดของมาตรฐานที่จำเป็น

ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากในปัจจุบันการติดตั้งชิ้นส่วนของอาคารที่ไม่จัดเป็นโครงสร้างรับแรง (Non-structural Elements) ไม่มีมาตรฐานเฉพาะในการพิจารณาด้านความแข็งแรงของการติดตั้ง การวิจัยครั้งนี้ให้มาตรฐานของวัสดุที่ใช้มาประกอบในการติดตั้งเป็นหลัก
- ขนาดความหนาของแผ่นผนังที่มากขึ้น จะสามารถนำเสนอวัสดุประกอบการติดตั้งได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น
- ควรพัฒนารูปแบบของโครงคร่าวฯที่ออกแบบขึ้นมาโดยเฉพาะควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคนิคการติดตั้ง
-การเปลี่ยนวัสดุปิดผิวจะช่วยให้แผ่นผนังฯสามารถรับแรงได้มากขึ้น

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย)

เทคนิคการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาอังกฤษ)

Installation Techniques of Structural Insulated Panels with NR Core Filler for Interior Uses

ชื่อแผนงาน (ภาษาไทย) การพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้เป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคาร

ชื่อแผนงาน (ภาษาอังกฤษ) The Development of Structural Insulated Panels with NR Core Filler for Interior Uses

บทคัดย่อ

Structural Insulated Panels with NR Core Filler is a kind of frameless panel which is often used to the interior construction of buildings. It weighs less than six as much as brick and precast concrete wall. That suitable to be used as drywall to decrease building dead load.

In this research, it aims to (1) Find out suitable proportion of Structural Insulated Panels with NR Core Filler to apply as precast wall. (2) Study the detail of installation such as patterns and joint details that suitable for the conditions of construction technique in Thailand.

To install in the building, Structural Insulated Panels with NR Core Filler should not be less than 6.5 centimeters in thickness, not more than 2.80 meters in height and 1.20 meters in width. The 4 existing patterns of Panel-To-Panel joints were tested to find the suitable methods to construct by the modular system and can be combined with another existing materials, tools and construction techniques. Under ISO 3349, the results have been shown; loading capacities of each pattern are similar. The designed joints give side compression around 50% of seamless wall. To fix the wall to floor and construction wall, the Galvanized Steel Frame were chosen and the tested joints can be carried 80.30 – 90.35 Kilograms of load. It is equal of 700 Newton per square meters. However, the kind of screws must be considered because the strength of installation is up to the laceration between the panel wall and those screws.

จากการพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง(Structural Insulated Panels with NR Core Filler)ซึ่ง ซึ่งจัดเป็นกลุ่มผนังที่เป็นโครงสร้างภายในตัว (Frameless Panel) เน้นการใช้งานภายในตัวอาคาร โดยแผ่นผนังดังกล่าวนี้มีน้ำหนักเบากว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประมาณ 5 เท่า ซึ่งหากสามารถพัฒนาวัสดุชนิดดังกล่าวมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างผนังเบาภายในอาคาร (Drywall) จะช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ลดภาระการรับน้ำหนักบรรทุกรวมของโครงสร้างหลักของอาคาร

การวิจัยในส่วนนี้จะมุ่งเน้นเพื่อศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับนำไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูปและศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร ภายใต้ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการการก่อสร้างในประเทศไทย

ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์แผ่นผนังดังกล่าวไปใช้งานภายในอาคารควรผลิตแผ่นที่มีความหนาอย่างน้อย 6.5 เซนติเมตร มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)และสามารถใช้งานร่วมกับวัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้งผนังเบาที่ใช้กันอยู่ในโดยเมื่อทำการติดตั้งตามรูปแบบที่นำเสนอพบว่า รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ในการวิจัยได้เสนอรูปแบบเพื่อนำมาพิจารณา 4 รูปแบบด้วยกัน และเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่าแต่ละรูปแบบสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าการรับแรงกดด้านข้างของผนังโดยประมาณที่ 50%ของแผ่นผนังที่ไม่มีรอยต่อ และรอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ในการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุประกอบการติดตั้งเป็นโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี พบว่า รอยต่อที่ทดสอบสามารถน้ำหนักได้เฉลี่ยในช่วง 80.30 – 90.35 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า 700 นิวตันต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับประเภทของตะปูเกลียวที่เลือกใช้ ซึ่งลักษณะความเสียหายของรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการฉีกระหว่างแผ่นผนังฯกับตะปูเกลียว

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการที่ 2 "เทคนิคการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร"

---

1. ความเป็นมาและความสำคัญของแผนงานวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Construction Technology for Building) นับเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ได้รับความสนใจและนำมาสู่การพัฒนาทั้งในเรื่องของแนวทางการออกแบบพื้นที่ใช้สอย แนวทางการเลือกใช้ระบบโครงสร้าง แนวทางการเลือกใช้กระบวนการก่อสร้าง และวัสดุก่อสร้าง อีกทั้งเมื่อคำนึงถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างที่เหมาะสม (Appropriate Technology for Construction) ของในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งให้ความสำคัญกับความสามารถและข้อจำกัดในการทำการก่อสร้างของช่างก่อสร้าง การเลือกใช้วัสดุที่หาง่ายหรือสามารถผลิตหรือมีวัสดุตั้งต้นในการผลิตอยู่ในท้องถิ่นนั้น ๆ ก็จะทำให้เกิดอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

จากการพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางซึ่งมีลักษณะเป็น Structural Insulated Panels (SIP) โดยการใช้เศษไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้เพื่อเป็นส่วนของชั้นผิวแทนไม้จากป่า และใช้โฟมจากยางธรรมชาติเป็นชั้นฉนวนแกนกลางแทนโฟมสังเคราะห์ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปชั้นนผิวและโฟมยางแกนกลางในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งจัดเป็นกลุ่มผนังที่เป็นโครงสร้างภายในตัว (Frameless Panel) เน้นการใช้งานภายในตัวอาคาร ผลการศึกษาพบว่า แผ่นผนังฉนวนดังกล่าวนี้มีน้ำหนักเบากว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประมาณ 5 เท่า ซึ่งหากสามารถพัฒนาวัสดุชนิดดังกล่าวมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างผนังเบาภายในอาคาร (Drywall) จะช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ลดภาระการรับน้ำหนักบรรทุกรวมของโครงสร้างหลักของอาคาร

ระบบการก่อสร้างผนังเบาภายใน (Drywall) ในปัจจุบันของประเทศไทยยังคงใช้ในรูปแบบของกลุ่ม ผนัง Board on Frame คือ ผนังเป็นผนังที่ใช้โครงสร้างเหล็กหรือไม้ประกอบกันเป็นโครงสร้าง และใช้วัสดุปิดผิวประเภทวัสดุแผ่นใหญ่บาง (Board) เช่น แผ่นไม้อัด แผ่นยิปซัม แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นต้น โดยโครงสร้างแบบมีโครงคร่าว (Frame Structure) จะเป็นตัวรับน้ำหนักวัสดุปิดผิวทั้งหมด แล้วจึงถ่ายแรงสู่โครงสร้างอาคารหลัก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสอดคล้องและความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีในการก่อสร้างในประเทศไทย จึงต้องคำนึงถึงทักษะและเครื่องมือของช่างก่อสร้างที่ยังคงใช้เทคนิคการก่อสร้างผนังภายในแบบผนัง Board on Frame และปรับใช้วิธีการที่ได้รับมาตรฐานเทียบเคียงกับการติดตั้งแผ่นผนังแบบ SIP ดังนั้นการพัฒนาตัววัสดุแผ่นผนังควบคู่ไปกับการศึกษาเทคนิคในการใช้งานวัสดุดังกล่าวไปพร้อม ๆ กันจะเป็นการสร้างแนวทางที่สอดคล้องกับความเป็นไปได้ในการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง

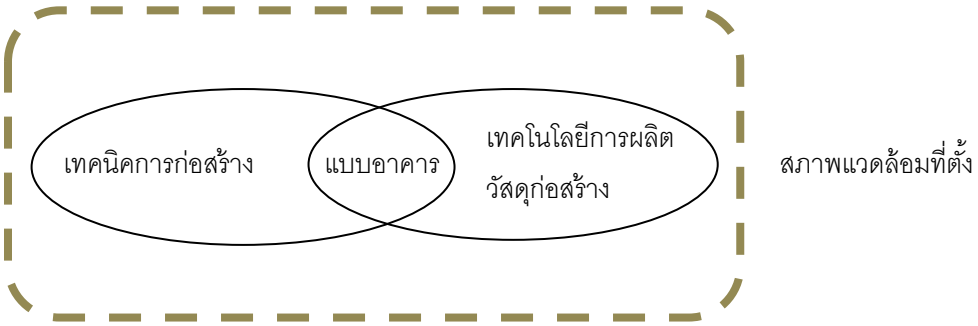
2. วัตถุประสงค์

3. เพื่อศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับนำไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป
4. เพื่อศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร

3. ทฤษฎี แนวคิด ผลงานที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทคโนโลยีการก่อสร้าง

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปรัชญาเทคโนโลยีการก่อสร้าง ได้มีการกล่าวถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ เทคโนโลยีในการผลิตวัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีในการทำการก่อสร้างอาคารจากวัสดุก่อสร้างนั้น เรียกว่า เทคนิคการก่อสร้าง ทั้ง 2 อย่างนี้ประกอบรวมกันเป็นอาคาร



รูปที่ 3.1 การรวมเทคโนโลยีการผลิตวัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีการก่อสร้าง
(ที่มา: ทรงเกียรติ, 2550)

โดยเทคโนโลยีทั้งสองจะประกอบกันให้เกิดเป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยที่เหมาะสมได้นั้น จะมีปัจจัยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ที่ตั้ง ทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องที่ ทักษะผู้ใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ การคมนาคม สภาพสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ (ทรงเกียรติ. 2550)

เทคนิคการก่อสร้างเป็นวิธีการใช้ทักษะเฉพาะบุคคลทำการก่อสร้างอย่างมีศิลปะ โดยใช้ความรู้และความชำนาญในการใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรประกอบ ผสม ตัดแต่ง วัสดุก่อสร้างที่ได้จากเทคโนโลยีการผลิตระดับต่าง ๆ ระดับของเทคนิคการก่อสร้างสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับเช่นกัน โดยคำนึงถึงความรู้และการใช้ทักษะของแรงงานในการใช้เครื่องมือเป็นสำคัญ

(1) เทคนิคการก่อสร้างระดับล่าง (Traditional or Low Construction Technique) เป็นการใช้เครื่องมือง่าย ๆ เช่น มีด สิ่ว ค้อน สามารถหาเครื่องมือได้ทั่วไปหรือใช้เครื่องมืออย่างอื่นแทนกันได้ ไม่ต้องการฝึกฝนที่ต้องใช้เวลานานและสามารถใช้แรงงานทดแทนได้

(2) เทคนิคการก่อสร้างระดับกลาง (Intermediate Construction Technique) เป็นการใช้เครื่องมือง่าย ๆ เช่น มีด สิ่ว ค้อน แต่มีกระบวนการใช้เครื่องมือที่สลับซับซ้อนกว่าต้องอาศัยทักษะในการใช้เครื่องมือและความชำนาญในกระบวนการก่อสร้างนั้นหรือการใช้เครื่องจักรทุ่นแรงโดยมีกระบวนการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนมาก

(3) เทคนิคการก่อสร้างระดับสูง (High Construction Technique) เป็นการใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรที่ซับซ้อนสามารถประหยัดแรงงานหรือได้งานที่มีคุณภาพดีต้องใช้ทักษะในการใช้เครื่องมือ และความชำนาญในกระบวนการไม่สามารถใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรทดแทนกันได้ แรงงานที่มาทดแทนต้องได้รับการถ่ายทอดเทคนิควิธี

(4) เทคนิคการก่อสร้างระดับก้าวหน้า (Future Construction Technique) ใช้เครื่องจักรแทนแรงงานคนเพื่อประหยัดแรงงานและได้งานที่มีคุณภาพดีหรือตรงตามการออกแบบเกือบทุกประการใช้การออกแบบกระบวนการและการตั้งแผนงานให้กับเครื่องจักร

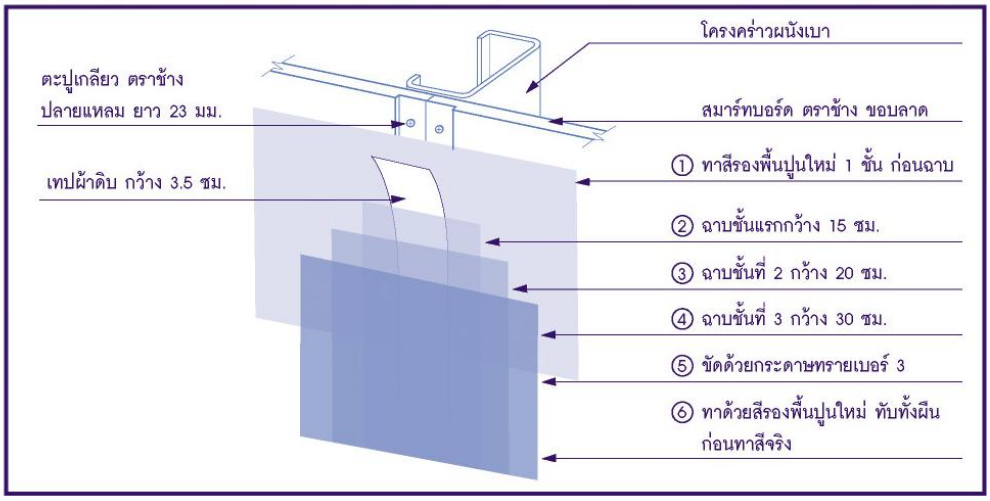
3.2 การก่อสร้างระบบผนังเบาภายในอาคาร (Dry Wall) ในประเทศไทย

ผนังภายในอาคาร ทำหน้าที่แบ่งพื้นที่ใช้สอยต่าง ๆ ภายในอาคาร โดยผนังจะเป็นผนังที่สามารถรับแรงหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบ (Francis D.K. Ching, 2008) โดยการเลือกใช้รูปแบบผนังภายในอาคารจะมีผลต่อการออกแบบการรับน้ำหนักโครงสร้างหลัก ซึ่งผนังภายในจัดเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ดังนั้นการเลือกใช้รูปแบบของผนังภายในให้เหมาะสมจึงมีส่วนช่วยลดภาระของการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารที่ต้องทำการคำนวณไว้ตั้งแต่แรก และหากจะต้องทำการต่อเติมหรือกันพื้นที่ใช้สอยภายหลัง การเลือกใช้ระบบผนังเบาภายในอาคาร (Dry Wall) จึงมีความเหมาะสม ปลอดภัยต่อโครงสร้างและคุ้มค่ามากว่า อีกทั้งยังง่ายต่อกระบวนการก่อสร้าง เพราะใช้กระบวนการที่เป็นในลักษณะการก่อสร้างแบบแห้ง (Dry Construction) โดยรูปแบบของเทคนิคหรือกรรมวิธีการก่อสร้างผนังเบาภายในอาคารซึ่งในต่างประเทศมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ แต่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบพื้นฐาน (จรัญพัฒน์ และคณะ, 2551) ได้แก่ ระบบการก่อสร้างในสถานที่ก่อสร้าง (Stick Build) และระบบนำชิ้นส่วนที่กรุแผ่นผนังไว้แล้วจากโรงงาน (Prefabricated System)

ซึ่งในประเทศไทยกระบวนการก่อสร้างแบบแห้งนั้นเป็นที่คุ้นชินกับช่างก่อสร้างในประเทศไทย มีเพียงการใช้งานเป็นผนังภายในอาคารในลักษณะของผนังเบา (Dry wall) ในระบบการก่อสร้างในสถานที่ก่อสร้าง (Stick Build) มีลักษณะเป็นผนัง Board on Frame คือ ผนังเป็นผนังที่ใช้โครงสร้างเหล็กหรือไม้ประกอบกันเป็น

โครงสร้าง และใช้วัสดุปิดผิวประเภทวัสดุแผ่นใหญ่บาง (Board) เช่น แผ่นไม้อัด แผ่นยิปซั่ม แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ แผ่นไม้อัดซีเมนต์ เป็นต้น โดยโครงสร้างแฟรม (Frame Structure) จะเป็นตัวรับน้ำหนักวัสดุปิดผิวทั้งหมด

รูปที่ 3.2 การก่อสร้างผนังเบา (Dry Wall) ซึ่งโครงสร้างเป็นลักษณะ Board on Frame โดยผลิตภัณฑ์ปิดผิวที่ใช้เป็นแผ่นไฟเบอร์ซีมเนต์ ตรา สมาร์ทบอร์ด ของบริษัท SCG



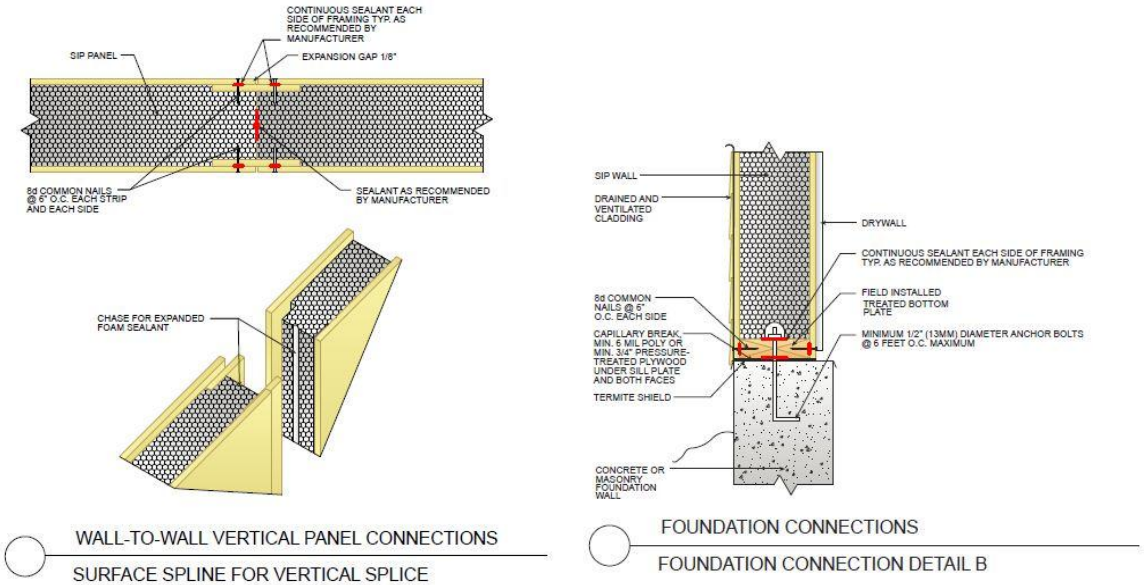
รูปที่ 3.3 รายละเอียดการติดตั้งผนังภายในด้วยวัสดุแผ่นประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์

(ที่มา : คู่มือการใช้งานวัสดุสมาร์ท บอร์ด โดยบริษัท กระเบื้องกระดาษไทย จำกัด (บริษัทในเครือ SCG))

ส่วนระบบนำชิ้นส่วนที่กรุแผ่นผนังไว้แล้วจากโรงงาน (Prefabricated System) อาทิเช่น ผนังแบบ Structural Insulated Panels (SIP) ซึ่งเป็นผนังในกลุ่มผนังที่เป็นโครงสร้างภายในตัว (Frameless Panel) เนื่องจากประกอบด้วยชั้นผิวที่ทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจึงไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างไว้สำหรับให้เป็นที่ยึดติด

แผ่นผนัง แผ่นผนังชนิดนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป แต่ยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

รูปที่ 3.4 การก่อสร้างผนัง SIP ซึ่งโครงสร้างเป็นลักษณะ Frame Structure
(ที่มา: คู่มือการติดตั้งผลิตภัณฑ์ INSULSPAN (www.insulspan.com))



รูปที่ 5 แสดงรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อของผนัง SIP
(ที่มา: American panel association)

3.3 ขนาดแผ่นของวัสดุและหลักการประสานทางพิกัด (modular coordination) ในการก่อสร้าง

การประสานทางพิกัด(modular coordination) หมายถึง ข้อตกลงในเรื่องขนาดที่สัมพันธ์กัน เพื่อการประสานมิติของส่วนประกอบอาคารกับตัวอาคารเข้าด้วยกัน โดยใช้หน่วยพิกัดมูลฐาน (พ = 100 มม.) หรือหน่วย

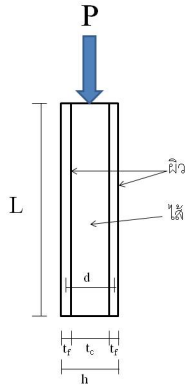
คูณพิกัด (200 มม. สำหรับแนวดิ่ง และ 300 มม. สำหรับแนวนอน) ในการออกแบบ การผลิต และการประกอบติดตั้ง ซึ่งจำเป็นต่อการก่อสร้างทั้งในระบบดั้งเดิมและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป (ชนินทร์,2545) ที่รวมถึงแผ่นผนังกลุ่ม board on frame และ SIP ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดที่มีจำหน่ายจะเป็นขนาดเป็นสัดส่วนในหน่วยคูณพิกัด เช่น ขนาดแผ่นที่ กว้าง 120 เซนติเมตร และ ยาว 240 เซนติเมตร และมีความหนาไม่เกิน 25 เซนติเมตร แต่ต้องใช้ร่วมกับโครงสร้างอื่นในการติดตั้ง (โครงคร่าวผนัง)

ดังนั้น ในการพัฒนาออกแบบวัสดุก่อสร้างให้เหมาะสมกับการก่อสร้างในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป จึงจะเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงสัดส่วนของขนาดวัสดุตามหลักการประสานทางพิกัด โดยในการศึกษาการติดตั้งวัสดุจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาขนาดแผ่นของวัสดุที่เป็นไปได้ในการผลิตภายใต้ข้อจำกัดของความหนาที่ผลิตได้และความต้องการในการใช้งาน

3.4 การวิบัติของแผ่นผนังแบบชั้นไส้ (Sandwish Panals)

โดยทั่วไปแผ่นแซนวิชที่ใช้สำหรับการรับแรงทางด้านขอบนั้นสามารถวิบัติได้ใน 3 รูปแบบหลัก คือ การวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ (global buckling) การวิบัติเนื่องจากการย่นของผิวหน้า (facesheet wrinkling) และการวิบัติของผิวเนื่องจากความเค้นอัด (Face sheet compression failure) (Allen, 1969) (โดยการสมมติว่าบริเวณรอยต่อของชั้นผิวและไส้มีความแข็งแรงมากและจะไม่วิบัติบริเวณรอยต่อนี้) ในการใช้งานจริงโดยทั่วไปเมื่อความสูงของแผ่นฉนวนมีค่ามาก การโก่งเดาะจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แผ่นฉนวนวิบัติ (Allen, 1969) ดังนั้นในที่นี้จะวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชเพื่อประเมินศักยภาพของแผ่นแซนวิชในการนำไปใช้เป็นแผ่นฉนวนสำหรับรับแรงในโครงสร้างอาคาร

พิจารณาแผ่นแซนวิชซึ่งมีความหนาของผิว= t_f, ความหนาของไส้= t_c, ความหนาของแผ่นแซนวิช=h, ระยะระหว่างกึ่งกลางของผิวทั้งสองด้าน= d, มีความกว้างของแผ่นแซนวิช = b, ความสูง = L รับแรงทางด้านขอบ = P ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของแผ่นแซนวิชรับแรงทางด้านขอบ

ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้แผ่นแซนวิชเกิดการโก่งเดาะ ($P_{buckling}$) สามารถหาได้จากสมการ (Allen, 1969)

$$P_{buckling} = \frac{P_E}{1 + \frac{P_E}{AG}} \quad (1)$$

โดย A= พื้นที่เฉือน, G = โมดูลัสการเฉือนของไส้ และ PE = ค่าแรงวิกฤตโก่งเดาะของออยเลอร์ (Euler's formula) ซึ่งหาได้จากสมการ (Hibberler, 2011)

$$P_E = \frac{\pi^2 D}{L^2} \quad (2)$$

โดย D= ค่าความแข็งเกร็งเชิงดัด (flexural stiffness) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$D = E_f \frac{bt_f^{\,3}}{6} + E_f \frac{bt_f d^2}{2} + E_c \frac{bt_c^{\,3}}{12} \quad (3)$$

เมื่อ Ef= โมดูลัสยืดหยุ่นของผิว , Ec= โมดูลัสยืดหยุ่นของไส้

จากสมการที่ 1,2 และ 3 จะเห็นว่า ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะนั้นสามารถหาได้เมื่อทราบค่าสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแซนวิชนั่นคือโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นผิว (Ef) โมดูลัสยืดหยุ่นของไส้ (Ec) และโมดูลัสการเฉือนของไส้ (Gc) ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีการหาสมบัติดังกล่าวของวัสดุผิวและไส้ของแผ่นแซนวิชที่ผลิตขึ้นเพื่อนำมาใช้หาค่าแรงวิกฤตที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะในทางทฤษฎีตามสมการที่ 1 และเพื่อลดความยุ่งยากในการหาค่าโมดูลัสการเฉือนของไส้ (Gc) โดยการสมมติว่ายางเป็นวัสดุเนื้อเดียว (homogenous) ที่มีสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง ดังนั้นค่า Gc สามารถคำนวณได้จากสมการ (Hibbeler, 2011)

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\upsilon)} \quad (4)$$

โดย υ = อัตราส่วนปัวซอง (poisson's ratio) ซึ่งในที่นี้จะถูกประมาณเป็น 0.3

4. วิธีดำเนินการ

4.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อใช้ในการเตรียมอุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสม

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> ผู้วิจัยได้จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี สำหรับผลิตแผ่นผนังฯและห้องปฏิบัติการสำหรับทดสอบการรับแรงและคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง และทำการการปรับปรุงหัวทดสอบของเครื่อง UTM เพื่อรองรับการทดสอบโดยปรับใช้วิธีทดสอบจากมาตรฐาน ISO 3349

รูปที่ 4.1 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับผลิตแผ่นผนังฯ

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับผลิตแผ่นผนังฯ

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ เครื่องมือตัดผลิตแผ่นผนังฯสำหรับเป็นชิ้นตัวอย่าง

รูปที่ 4.4 เครื่องUTM และอุปกรณ์ปรับการถ่ายแรง(เหล็กแผ่น)สำหรับทดสอบชิ้นตัวอย่าง

4.2 ผลิตแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ได้แผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้ทดสอบหาค่าอัตราส่วนความชะลูดและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางเป็นแกนกลาง

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> ผู้วิจัยได้จัดเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางเป็นแกนกลาง และได้ผลิตแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางและตัดแต่งขอบ ดังแสดงในรูปที่ 5 – 7 โดยกำหนดให้ผลิตความหนาแผ่นฯที่ขนาด 6.5 เซนติเมตร เนื่องมาจากการสำรวจวัสดุก่อสร้างสำหรับการติดตั้งและความเหมาะสมของความหนาผนังภายในอาคารอยู่ที่ 6.5-10 เซนติเมตร นำแผ่นผนังที่ได้ไปทดสอบการใช้งานร่วมกับเครื่องมือก่อสร้างเพื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผนัง

รูปที่ 4.5 การขึ้นรูปแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

รูปที่ 4.6 การขึ้นรูปแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

4.3 (ขั้นตอนเพิ่มเติม) ผลิตแผ่นผนังฯที่มีการปรับปรุงชั้นไส้**ใหม่**

<u>วัตถุประสงค์</u> จากการรายงานผลการวิจัยในช่วง 6 เดือนแรก ทำให้ทราบว่า แผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง มีข้อด้อยจาก <u>การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ</u>ผ่านกระบวนการทางก่อสร้างโดยเฉพาะในเรื่องของการตัดแต่งแผ่นด้วยเครื่องมือช่าง ซึ่งส่งผลให้เลื่อยหยุดทำงานและเกิดความเสียหายระหว่างรอยต่อของชั้นไส้และชั้นผิว(OSB) จึงได้นำแผ่นผนังฯที่พัฒนาจากโครงการย่อยที่ 2 ซึ่งผสมผงไม้ในชั้นยางธรรมชาติเพื่อการลดต้นทุน นำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านทางกายภาพต่างๆผ่านกระบวนการทางก่อสร้าง

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> ผู้วิจัยได้จัดเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลางตามสูตรของโครงการย่อยที่ 2 และตัดแต่งขอบ และนำแผ่นผนังที่ได้ไปทดสอบการใช้งานร่วมกับเครื่องมือก่อสร้างเพื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผนัง

4.4 ศึกษาขนาดที่เป็นไปได้ของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ศึกษาขนาดที่เป็นไปได้ของแผ่นผนังฯ หากมีการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> ใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์เพื่อประเมินกลสมบัติของแผ่นผนังฯในการรับแรงทางด้านขอบซึ่งเป็นแรงที่ผนังต้องแบกรับเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยจะวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะของแผ่นผนังฯเพื่อประเมินศักยภาพของแผ่นผนังฯในการนำไปใช้เป็นแผ่นผนังฯสำหรับรับแรงในโครงสร้างอาคาร

4.5 ศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ศึกษาขนาดแผ่นผนังฯที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป

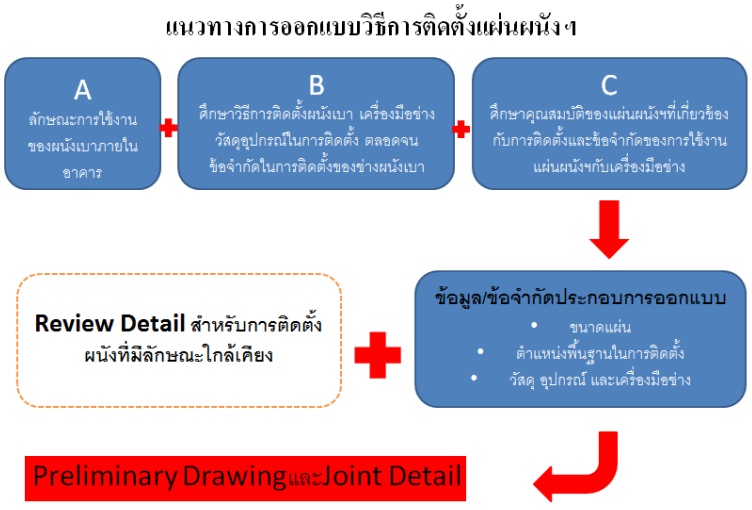
<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> ศึกษาข้อมูล และลักษณะของการนำแผ่นผนังฯไปใช้งานโดยคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

1. ความสูงขั้นต่ำที่ระบุไว้ในกฎหมายควบคุมอาคาร
2. ระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)

4.6 ศึกษารูปแบบและรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) การติดตั้งแผ่นผนังฯ

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อสร้างแนวทาง/แบบร่างทางเลือก(Preliminary Drawing)และรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อ(Joint Detail)การติดตั้ง

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> รายละเอียดตามแผนภาพที่ 1



รูปที่4.7 ขั้นตอนการดำเนินงานในการออกแบบ

4.7 จัดทำต้นแบบเพื่อการทดสอบ และทำการทดสอบการรับแรงของผนังที่ทำการก่อสร้างโดยวิธีการที่ออกแบบด้วยเครื่องทดสอบเชิงกล นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อทำการทดสอบการรับแรงของผนังที่ทำการก่อสร้างโดยวิธีการที่ออกแบบด้วยเครื่องทดสอบเชิงกล นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานและหลักการทางวิศวกรรม

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u> จัดทำต้นแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทรอยต่อได้ 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) และ รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) โดยรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) นำไปทดสอบทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 และ รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ทำการทดสอบค่าการรับแรงด้วยวิธีการจำลองส่วนดังกล่าวตามหลักการทางวิศวกรรม โดยเปรียบเสมือนคานยื่น แล้วทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของ โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24 (หนา 0.55 มิลลิเมตร) ที่มีมาตรฐาน มอก.863 – 2532 ที่วางระยะโครงห่างไม่เกิน 40 เซนติเมตร

5. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป

จากศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป พบว่าวัสดุก่อสร้างที่ใช้ประกอบในการติดตั้ง อาทิเช่น โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี และวงกบประตูเป็นต้น มีผลเป็นอย่างยิ่งในการกำหนดขนาดความหนาของแผ่นผนังฯ

ซึ่งจากข้อมูลพบว่าขนาดความหนาของแผ่นที่เริ่มต้นใช้ร่วมกับวัสดุก่อสร้างที่ใช้ประกอบในการติดตั้งได้จะอยู่ที่ 6.5 เซนติเมตร ขึ้นไป

5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผนังฯที่ส่งผลต่อการใช้งานร่วมกับเครื่องมือช่างและอุปกรณ์ในการทำการก่อสร้าง

จากการทำการทดสอบการใช้แผ่นผนังฯ งานร่วมกับเครื่องมือช่างและอุปกรณ์ในการทำการก่อสร้างได้ผลตามตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 5.2 การตัดแผ่นด้วยเครื่องมือช่าง

เครื่องมือตัด	ผลการตัด
 เลื่อยสายพาน	เกิดความร้อนขณะตัด แต่ไม่มีควัน เลื่อยหยุดตัดเนื่องมาจากแกนยางภายในแผ่นหนีบใบเลื่อยจนไม่สามารถตัดได้
 เลื่อยวงเดือนโต๊ะ	มีความร้อนเกิดขึ้นขณะตัด สามารถตัดแผ่นผนังได้ แต่ความสูงของใบเลื่อยมีผลต่อความหนาของแผ่นผนังฯ และจะทำให้ผิวของแผ่นผนังฯรวมถึงแกนยางมีรอยไม่เรียบ

ตารางที่ 5.3 การเจาะแผ่นผนังฯวัสดุเจาะยึดแบบต่างๆ

ประเภทวัสดุเจาะยึด	การเจาะ	ผิวหลังการเจาะ	ผิวหลังการถอน
ตะปูตอกไม้	ใช้ค้อนตอกเจาะได้ง่าย	เรียบสวยงามไม่เป็นแผล	ไม่สามารถถอนได้ ยกเว้นการงัดซึ่งส่งผลต่อผิวของแผ่น
สกรูเกลียวปล่อย (สกรูดำ)	ใช้สว่านไฟฟ้าในการขันเจาะ ไม่ต้องอกแรงมาก	ผิวไม่สวยเท่ากับการเจาะด้วยตะปูไม้ และหัวของสกรูไม่จมลงในแผ่น	ถอนได้ง่าย แต่แผลที่ผิวหลังการถอนไม่สวยงาม
สกรูเกลี่ยวปล่อย (แบบมีครีบ)	ใช้สว่านไฟฟ้าในการขันเจาะ ไม่ต้องอกแรงมาก	ผิวไม่สวยเท่ากับการเจาะด้วยตะปูไม้ แต่หัวของสกรูจมลงในแผ่น ทำให้ผิวโดยรวมสวยงาม	ถอนยากกว่าสกรูเกลี่ยวปล่อย (สกรูดำ)เพราะปลายสกรูซึ่งมีครีบพันอยู่กับแกนยางภายในแผ่นผนัง แต่ผิวหลังการถอนออกแล้วสวยกว่า

ตะปูตอกไม้ **ตะปูเกลียวสีดำ (สกรูดำ)** **ตะปูเกลียวแบบปลายสว่าน (แบบมีครีบ)**

เมื่อนำแผ่นผนังไปประเมินการใช้งานร่วมกับเครื่องมือช่างและอุปกรณ์ในการทำการก่อสร้างผนังเบา พบว่าแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง เมื่อทำการตัดแต่งชิ้นส่วนของแผ่นผนังฯด้วยเครื่องมือช่าง เช่น การตัดแต่งแผ่นด้วยเลื่อยวงเดือน พบว่าชั้นแกนกลางของแผ่นผนังที่ทำจากยางธรรมชาติจะมีแรงฝืดจับบีบใบเลื่อย ทำให้ใบเลื่อยเกิดความร้อนสูงจนเกิดการไหม้ที่ชั้นไส้ยางรวมถึงเกิดรอยแยกระหว่างชั้นผิวและชั้นไส้

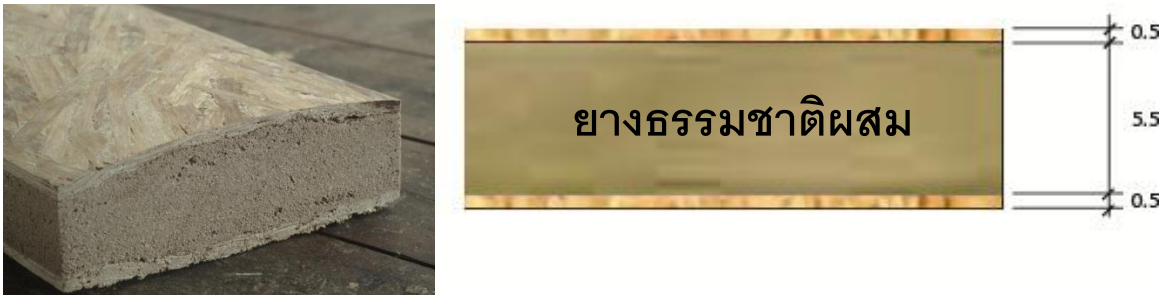
รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางเมื่อทำการตัดด้วยเลื่อยวงเดือน

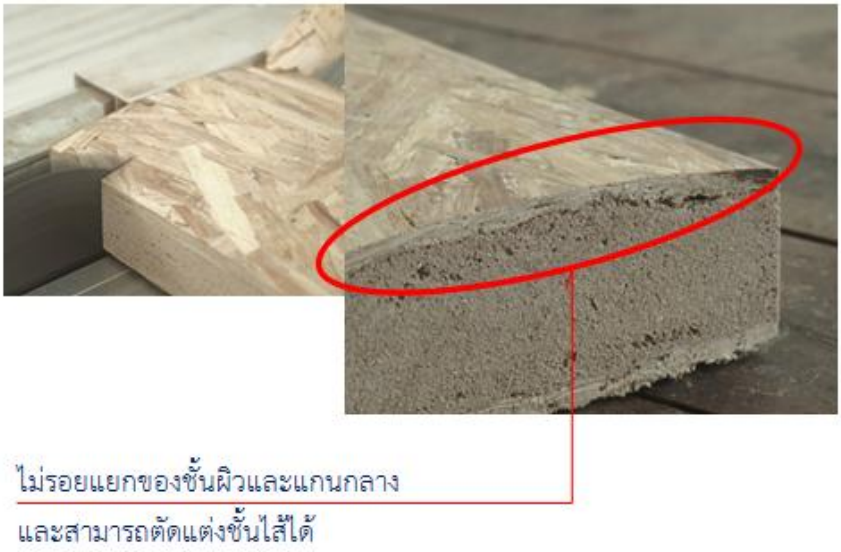
และการใช้ตะปูเกลียวแบบมีปีกสว่านในการยึดและถอนออก พบว่าการถอนออกนั้น ตะปูเกลียวจะยึดพันอย่างแน่นกับชั้นไส้ยางและเกิดความเสียหายที่ผิวของแผ่นผนังฯหลังการถอนเสร็จ

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางเมื่อยึดเจาะแผ่นด้วยตะปูเกลียวแบบมีปลายสว่าน (ซ้าย) และตะปูเกลียวสีดำ (ขวา)

แต่เมื่อทดลองแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลางใช้งานร่วมกับเครื่องมือช่างและอุปกรณ์ในการทำการก่อสร้างผนังเบากลับพบว่า สามารถใช้เลื่อยวงเดือนในการตัดแต่งผนังได้ง่าย ไม่เกิดความเสียหายแก่แผ่นผนังฯและเครื่องมือ



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง



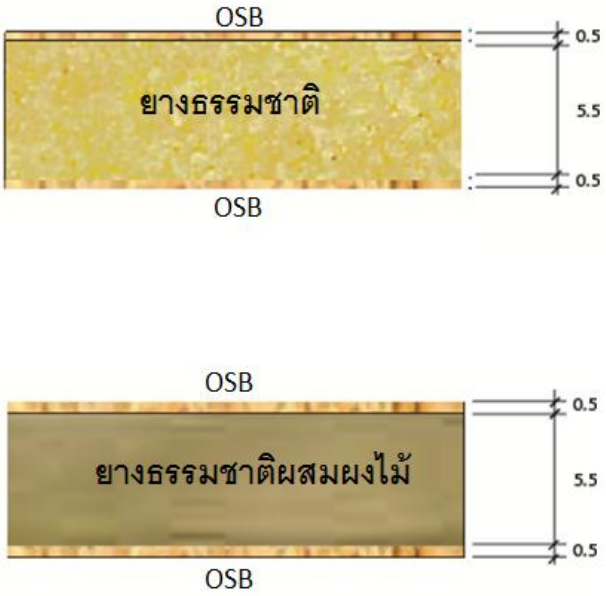
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง เมื่อทำการตัดด้วยเลื่อยวงเดือน

ในส่วนของการใช้ตะปูเกลียวแบบมีปีกสว่านในการยึดและถอนออก พบว่าสามารถถอนออกได้และเกิดความเสียหายแก่ผิวแผ่นผนังมากนัก ทั้งนี้ในการใช้ตะปูเกลียวยึดแผ่นผนังควรจะต้องทำการเว้นระยะจากของแผ่นผนังฯอย่างน้อย 1.5 เซนติเมตร

รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลางเมื่อยึดเจาะแผ่นด้วยตะปูเกลียวแบบมีปลายสว่าน (ซ้าย) และตะปูเกลียวสีดำ (ขวา)

5.3 ศึกษาขนาดที่เป็นไปได้ของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง

กระบวนการผลิตดังกล่าวก็ยังมีขีดจำกัดคือสามารถผลิตแผ่นผนังที่มีความหนาสูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 6.5 เซนติเมตร และมีความหนาของชั้นผิวสูงสุดของแผ่นผนังฯที่สามารถผลิตได้ คือ 5 มิลลิเมตร ดังนั้นในส่วนนี้ต้องการประเมินศักยภาพของแผ่นผนังฯที่ผลิตได้นี้ เพื่อนำไปใช้เป็นแผ่นฉนวนรับแรงของโครงสร้างอาคาร โดยจะใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์เพื่อประเมินกลสมบัติของแผ่นผนังฯในการรับแรงทางด้านขอบ ซึ่งเป็นแรงที่ผนังต้องแบกรับเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยการวิเคราะห์การโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่ผลิตได้เพื่อต้องการประเมินศักยภาพในการต้านทานต่อการโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่ผลิตได้ซึ่งมีความหนาของแผ่นสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ 6.5 เซนติเมตร และความหนาของชั้นผิวสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง (บน)
และแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง (ล่าง)

ในส่วนนี้จึงทำการวิเคราะห์ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของแผ่นผนังฯนี้ที่ความสูงของแผ่นผนังฯและความหนาของไส้ที่ค่าต่างๆ พบว่าค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของแผ่นแผ่นผนังที่มีผิวเป็นแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนและไส้เป็นยางพาราและยางพาราผสมขี้เลื่อยที่ค่าความสูงของแผ่นและความหนาของไส้ต่างๆสามารถคำนวณและพล๊อตกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงวิกฤตการ

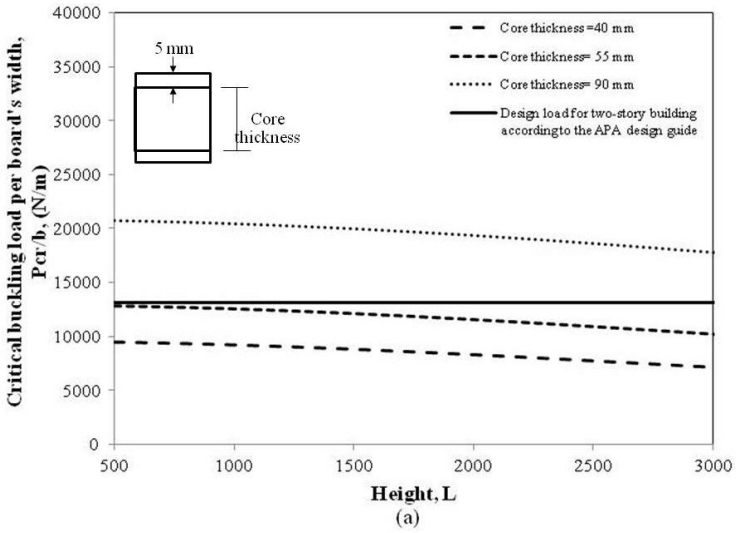
โก่งเดาะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความหนาของชั้นไส้ (ทั้งกรณีของไส้ยางธรรมชาติและไส้ยางธรรมชาติผสมผงไม้)มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือแผ่นผนังฯที่มีความหนาของชั้นไส้มากกว่าสามารถต้านทานต่อการโก่งเดาะได้ดีกว่า

ในขณะที่ค่าแรงวิกฤติในการโก่งเดาะมีค่าลดลงตามความสูงของแผ่นผนังฯที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเห็นได้ว่าค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของแผ่นผนังที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง มีค่าสูงกว่าของแผ่นแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติที่ความสูงของแผ่นผนังฯเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสการเฉือนของไส้ยางธรรมชาติผสมผงไม้มีค่าสูงกว่าของไส้ยางธรรมชาติ จึงทำให้แผ่นผนังที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง มีความสามารถในการต้านต่อการโก่งเดาะที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบค่าแรงวิกฤติโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง และแผ่นผนังที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง ที่มีขนาดความหนาของแผ่นผนังสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ แผ่นผนังฯหนา 6.5 ซม. และผิวหนา 5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาที่ค่าความสูงของแผ่นผนังฯเท่ากับ 2.6 เมตร ซึ่งเป็นความสูงของผนังโดยทั่วไปที่ใช้สร้างอาคารที่อยู่อาศัย (กฎกระทรวงควบคุมอาคาร 2543) พบว่าค่าแรงวิกฤตโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง มีค่ามากกว่าของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง ถึง 3.5 เท่า

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารโครงสร้างไม้สำหรับอาคารสองชั้นของสหรัฐอเมริกาและแคนาดา (The Engineered Wood Association (APA), 1998) ได้กำหนดไว้ว่าผนังฉนวนรับแรงต้องสามารถรับแรงทางด้านขอบเท่ากับ 13.13 kN/m โดยที่ไม่เกิดการวิบัติ โดยการเปรียบเทียบค่าแรงนี้กับค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่ผลิตได้ จะเห็นได้ว่าที่ความสูงของผนังเท่ากับ 2.6 เมตร แผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางมีค่าแรงวิกฤติต่ำกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA (รูปที่ 2a) นั่นคือแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางนี้จะวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะหากนำไปรับแรงดังกล่าวในการใช้งานจริง

นอกจากนั้น จากผลการคำนวณในรูปที่ 2a แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการวิบัติจากการโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง เพื่อให้สามารถรับแรงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารสองชั้นของ APA ที่ความสูงของผนังเท่า 2.6 เมตรได้หากสามารถพัฒนากระบวนการผลิตที่สามารถผลิตแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางที่มีความหนาของชั้นไส้ได้มากขึ้น

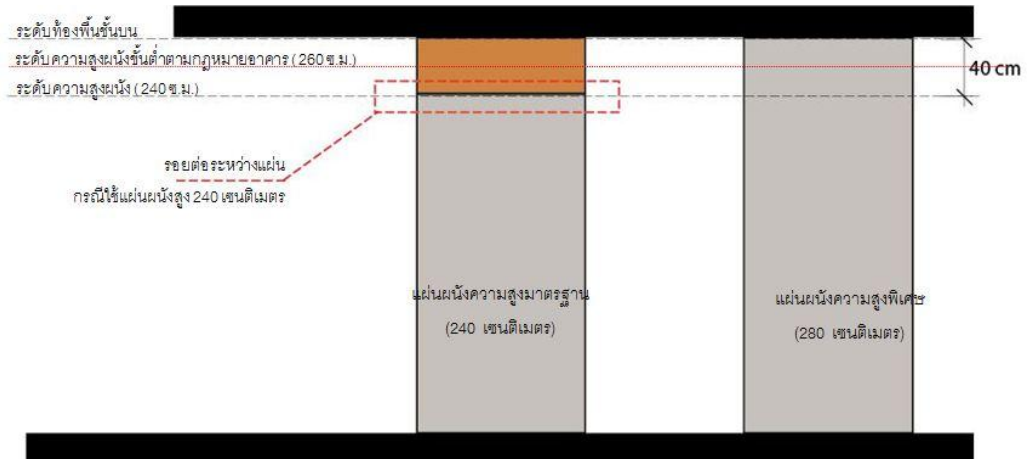
ในกรณีของแผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง (รูปที่ 2b) จะเห็นว่าที่ความสูงของแผ่นผนังฯ 2.6 เมตร ค่าแรงวิกฤติโก่งเดาะที่ทุกความหนาของไส้ของแผ่นผนังฯที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA นั่นคือ แผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลางที่มีความสูง 2.6 เมตรนี้ สามารถรับแรงดังกล่าวได้โดยที่ไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ ดังนั้นขนาดความหนาของแผ่นผนังที่ผลิตได้สูงสุดในการศึกษาครั้งนี้จึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นผนังฉนวนรับแรงของโครงสร้างอาคารสองชั้นที่มีความสูงของผนังเท่ากับ 2.6 เมตรและรับแรงทางด้านขอบเท่ากับ 13.13 kN/m โดยที่ไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ



รูปที่5.8-5.9 แสดงค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของแผ่นผนังที่มีผิวแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนซึ่งมีความหนาของชั้นผิวเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ที่ค่าความสูงของแผ่นและความหนาของไส้ต่างๆ (a) ไส้ยางธรรมชาติ และ (b) ไส้ยางธรรมชาติผสมผงไม้

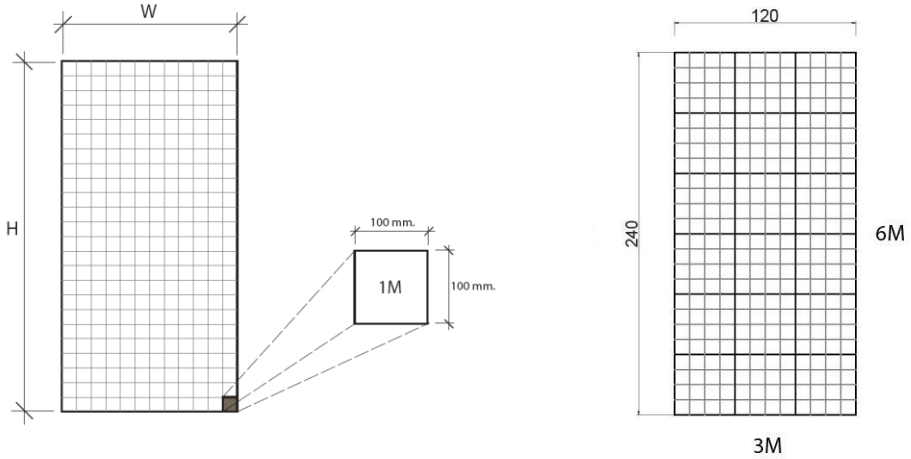
5.4 ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป

เมื่อพิจารณาความสูงขั้นต่ำที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพรบ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ข้อ 22 ระบุระยะดิ่ง (ระยะแนวตั้งจากพื้นถึงใต้ท้องพื้นชั้นบน) ตามห้องหรือส่วนของอาคารที่ใช้ทำกิจกรรมต่างๆ โดยระบุให้ ห้องที่ใช้พักอาศัย บ้านแถว ห้องพัก โรงแรม ห้องเรียนอนุบาล ครัวสำหรับอาคารอยู่อาศัย ห้องคนพักคนไข้พิเศษ ช่องทางเดินในอาคาร มีระยะดิ่ง 2.6 เมตร



รูปที่ 5.10 แสดงระยะดิ่งของตามกฎหมายเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุผนังกันห้องในปัจจุบัน

และเมื่อพิจารณาร่วมกับระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system) โดยเฉพาะวัสดุแผ่นบาง (Board) นั้นเป็นระบบที่คำนึงถึง การประสานทางพิกัด(Modular System) ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐานที่ละเอียดขึ้นเรียกว่า พิกัดมูลฐาน (Basic Modula)



รูปที่ 5.11 พิกัดมูลฐาน(ซ้าย) และขนาดวัสดุแผ่นบาง(Board) ที่คำนึงถึงระบบพิกัดมูลฐาน (ขวา)

โดยพิกัดมูลฐาน (Basic Modula) คือ 1M = 100 มิลลิเมตร เมือ M คือ Modularเป็นพื้นฐานในการออกแบบพื้นที่ใช้สอยร่วมกับการคำนึงถึงการใช้งานวัสดุก่อสร้างอย่างคุ้มค่าลดเศษวัสดุก่อสร้างเหลือทิ้ง

ตาราง 5.1 แสดงขนาดความกว้าง – ยาวของวัสดุแผ่นบาง (Board) ที่มีอยู่ในท้องตลาด

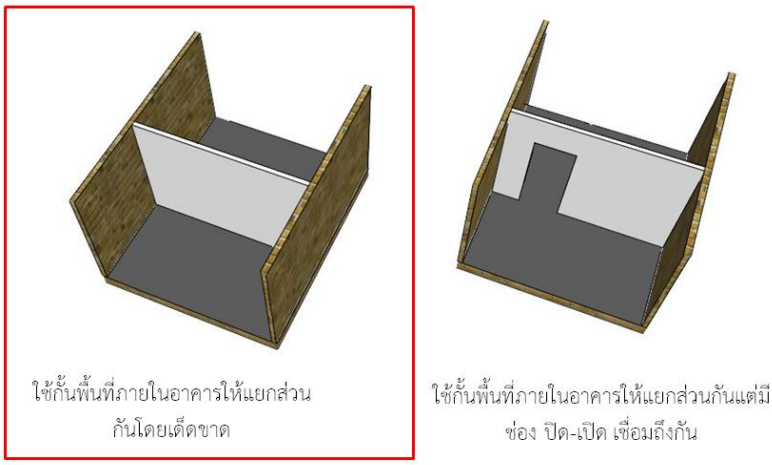
ที่มา : คู่มือการติดตั้งผลิตภัณฑ์ตราช้าง สมาร์ทบอร์ด : 2558

ความหนา (มม.)	กว้าง x ยาว (ซม.)	ชนิดขอบ		น้ำหนัก (กก./แผ่น)	จำนวนแผ่น / ตร.ม.
		ขอบเรียบ	ขอบลาด		
3.5	60 x 240	●	-	7.6	0.70
	120 x 120	●	-	7.6	0.70
	120 x 240	●	-	15.2	0.35
4	60 x 120	●	-	4.4	1.40
	60 x 240	●	-	8.7	0.70
	120 x 120	●	-	8.7	0.70
	120 x 240	●	-	17.4	0.35
5.5	120 x 240	●	4 ด้าน*	24.0	0.35
6	60 x 120	●	-	6.6	1.40
	120 x 240	●	4 ด้าน*	26.1	0.35
8	120 x 240	●	-	34.8	0.35
	120 x 280	●	2 ด้าน	40.2	0.30
10	120 x 240	●	-	43.5	0.35
12	120 x 240	●	-	52.2	0.35
16	120 x 240	●	-	69.6	0.35
	120 x 300	●*	-	87.0	0.28
18	120 x 240	●	-	78.3	0.35

ทำให้ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูปของแผ่นผนังฯ ที่มีชั้นไส้เป็นยางผสมขี้เลื่อย คือแผ่นผนังฯที่มีความหนาอย่างน้อย 6.5 เซนติเมตร มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)โดยมีน้ำหนักผนังเฉลี่ยประมาณ 28 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

5.5 ศึกษารูปแบบและรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) การติดตั้งแผ่นผนังฯสำหรับใช้งานภายในอาคาร

เมื่อพิจารณาลักษณะการใช้งานของผนังเบาภายในอาคาร พบว่าลักษณะการใช้งานของผนังเบาภายในอาคารคือการกั้นแบ่งพื้นที่ ในเบื้องต้นการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะการกั้นพื้นที่ห้องออกเป็นสองส่วน โดยยังไม่พิจารณาในส่วนของการเปิดช่องเปิดในแผ่นผนังกั้นห้อง ดังรูป



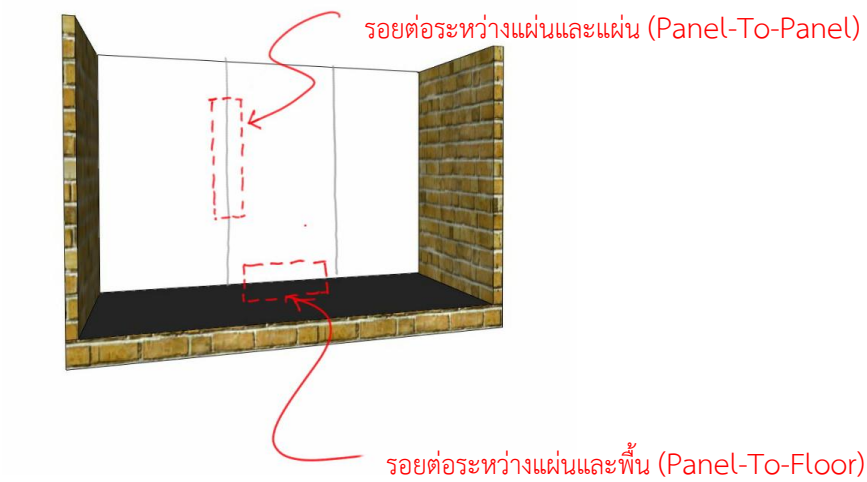
(A) (B)

รูปที่5.12 ลักษณะการใช้งานของผนังเบาภายในอาคาร โดยการวิจัยจะพิจารณาเฉพาะในส่วน A

โดยทั่วไปความหนารวมของผนังเบาทั้งระบบ จะมีที่มาจาก

1. วัสดุแผ่นบาง(Board) + โครงคร่าว (ที่เลือกใช้) + วัสดุแผ่นบาง(Board)
2. ขนาดวงกบประตู (7-10 ซม.)
3. ความต้องการการกันเสียงรบกวนจากห้องข้างเคียง

ซึ่งการใช้งานแผ่นผนังฯเพื่อการติดตั้งในอาคาร สามารถแบ่งประเภทรอยต่อได้ 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall)

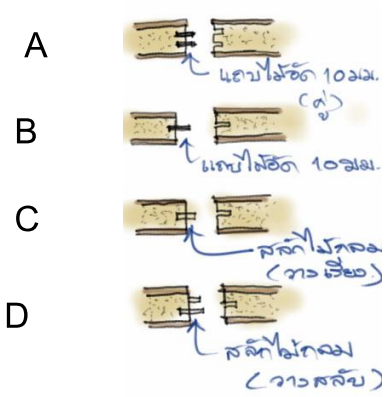


รูปที่ 5.13 ตำแหน่งรอยต่อที่ส่งผลต่อการออกแบบติดตั้งแผ่นผนังฯ

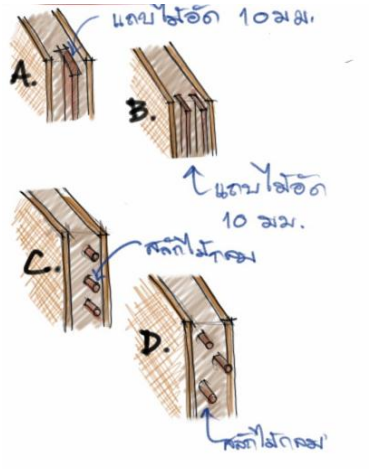
การออกแบบรอยต่อในแต่ละตำแหน่ง จะพิจารณาให้ใช้วัสดุประกอบการติดตั้งและเครื่องมือที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับวัสดุประกอบการติดตั้งและเครื่องมือของการติดตั้งผนังเบา โดยจะคำนึงถึงทักษะความสามารถของช่างก่อสร้างเป็นสำคัญเพื่อให้เกิดเทคนิคการติดตั้งแผ่นผนังที่เหมาะสมกับระดับของเทคโนโลยีในกาทำการก่อสร้างของช่างก่อสร้างในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแบ่งพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

ก. รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel)

โดยการวิจัยได้นำเสนอรูปแบบของรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) 4 รูปแบบดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.14 รูปแบบของรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ทั้ง 4 แบบ



รูปที่ 5.15 รูปแบบของรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ทั้ง 4 แบบ

โดยรอยต่อจะเชื่อมประสานด้วยกาวติดไม้ซึ่งผลจากการทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 319 ; 1993 พบว่ามีค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเฉลี่ย 425 นิวตัน และเมื่อนำรอยต่อแต่ละรูปแบบไปทำการทดความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่ารอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) แต่ละรูปแบบมีค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ยการรับแรงของรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ทั้ง 4 แบบ

รูปแบบรอยต่อ	ค่าเฉลี่ย Maximum Load (N)	SD
A	1467.1115	81.32
B	1324.765	51.62
C	1133.395	78.49
D	688.715	72.12
ชิ้นส่วนควบคุม (ชิ้นส่วนไม่มีรอยต่อ)	3892.23	131.52

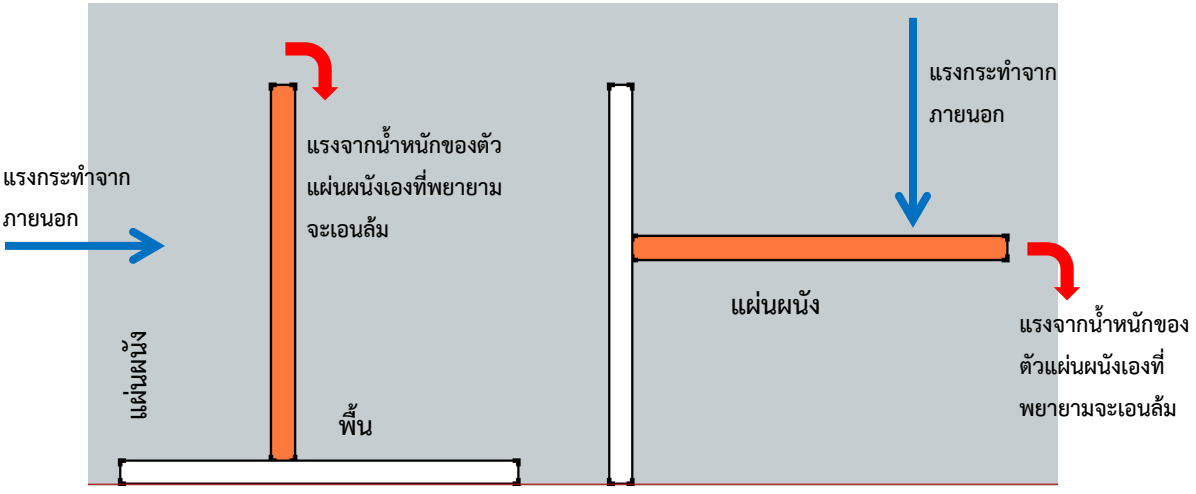
รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ในการวิจัยได้เสนอรูปแบบเพื่อนำมาพิจารณา 4 รูปแบบด้วยกัน และเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่าแต่ละรูปแบบสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าการรับแรงกดด้านข้างของผนังโดยประมาณที่ 40-50%ของแผ่นผนังที่ไม่มี

รอยต่อ แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมในการทำงานของช่างก่อสร้างรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Floor) รูปแบบที่ B มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการติดตั้งมากที่สุด ซึ่งหากต้องการที่จะเสริมความแข็งแรงอาจทำได้โดยการ

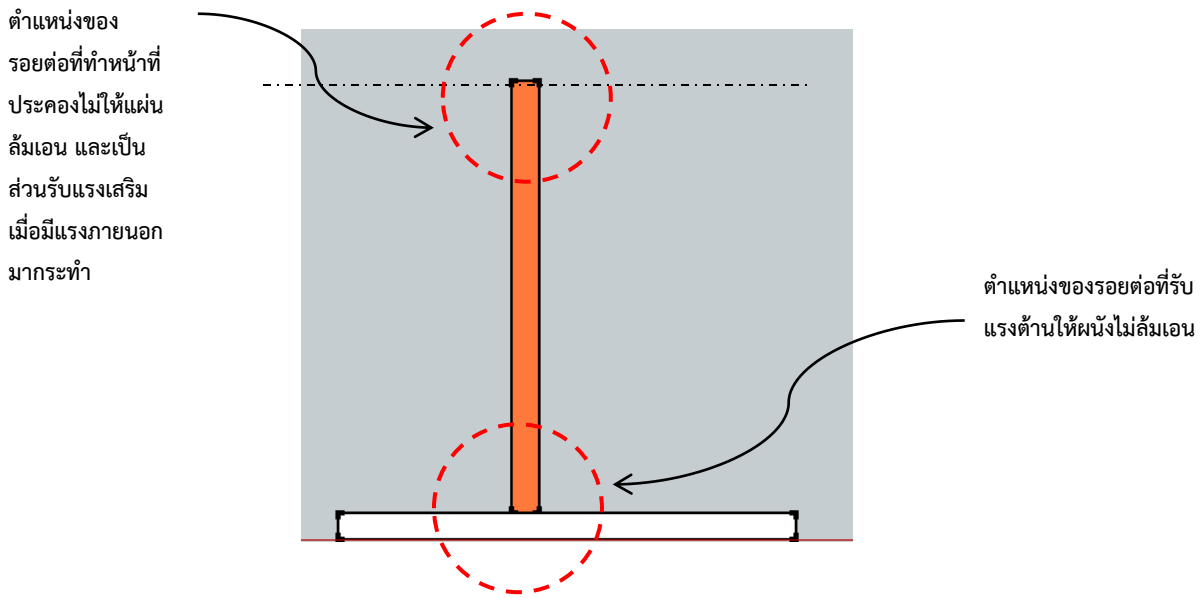
รูปที่ 5.16 รูปแบบของรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) แบบ B

ข. รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall)

เมื่อพิจารณาลักษณะการรับแรงของรอยต่อส่วนดังกล่าวพบว่าสามารถทำการทดสอบค่าการรับแรงด้วยวิธีการจำลองส่วนดังกล่าวตามหลักการทางวิศวกรรม โดยเปรียบเสมือนคานยื่น แล้วทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด

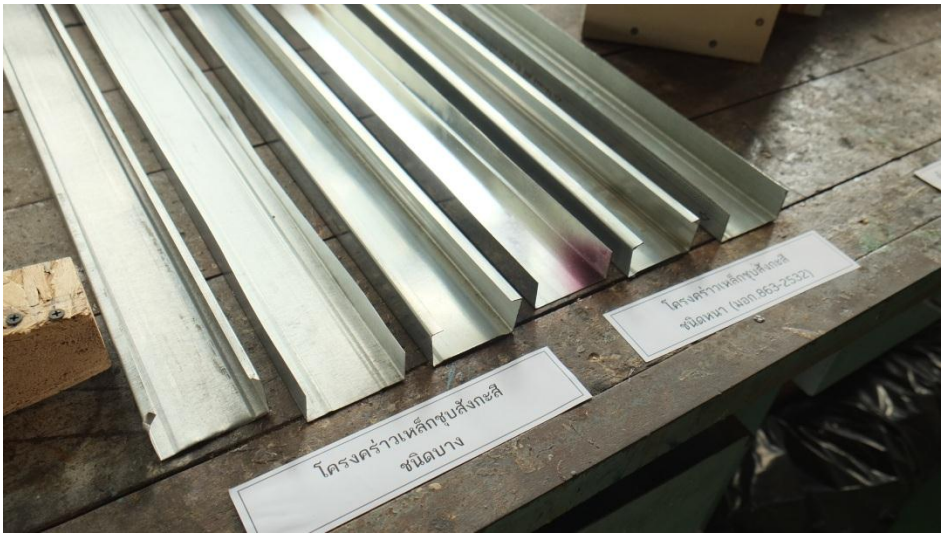


รูปที่ 5.17 แสดงการรับแรงของแผ่นผนังเปรียบเสมือนพฤติกรรมของคานยื่น



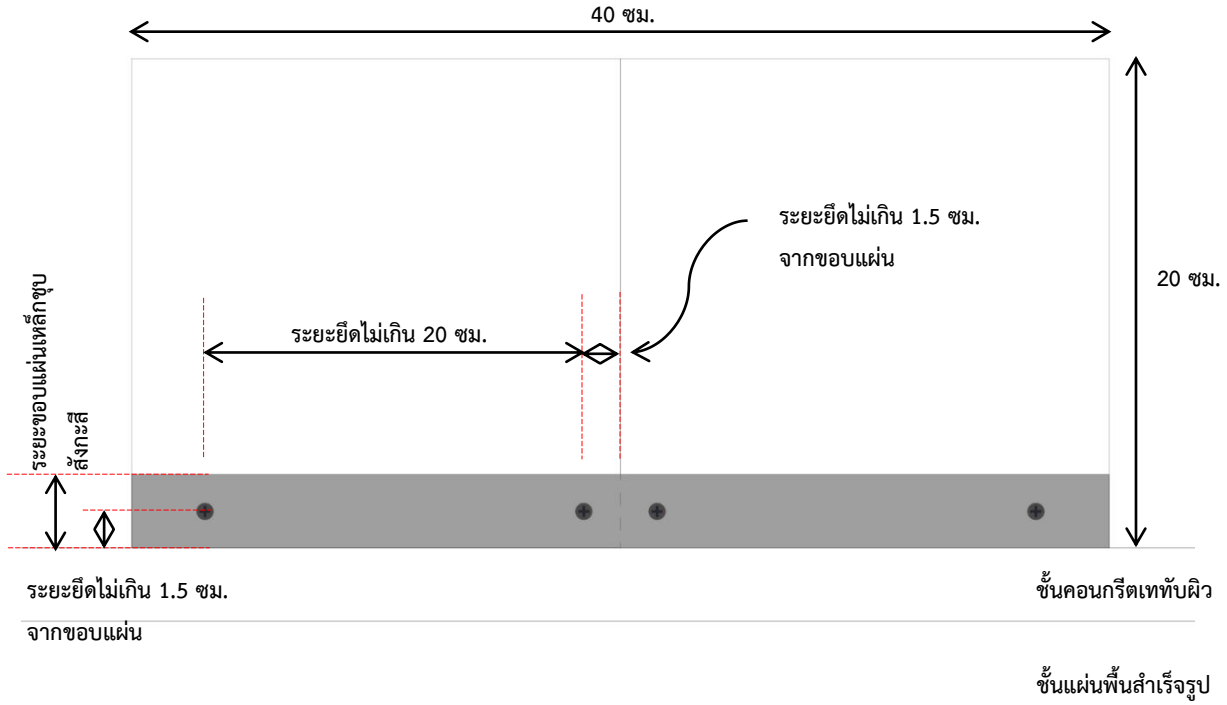
รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะการรับแรงของรอยต่อ

ในการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุประกอบการติดตั้งเป็นโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24 (หนา 0.55 มิลลิเมตร) ที่มีมาตรฐาน มอก.863 – 2532



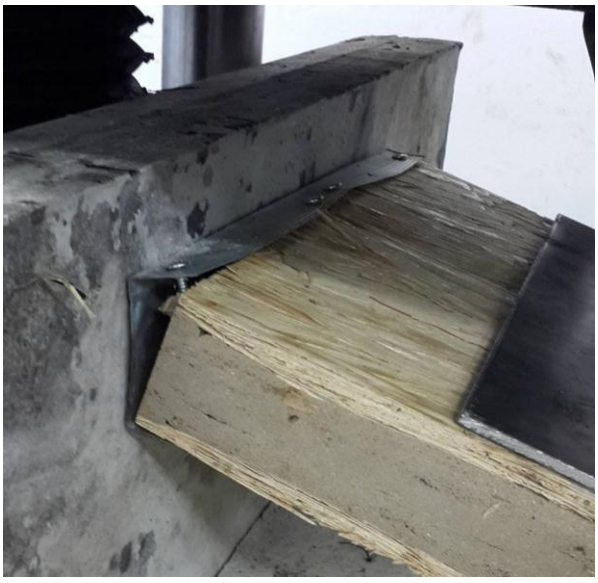
รูปที่ 5.18 แสดงโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24(ชนิดหนา)

รูปที่ 5.19 แสดงรอยต่อ แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor)



รูปที่ 5.19แสดงรายละเอียดรอยต่อแผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) โดยทำการยึดโครงฯกับแผ่นพื้นจำลองด้วยพุกคอนกรีต

รูปที่ 5.20 แสดงการกดทดสอบค่าการรับแรงของรอยต่อ แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) ด้วยเครื่อง UTM



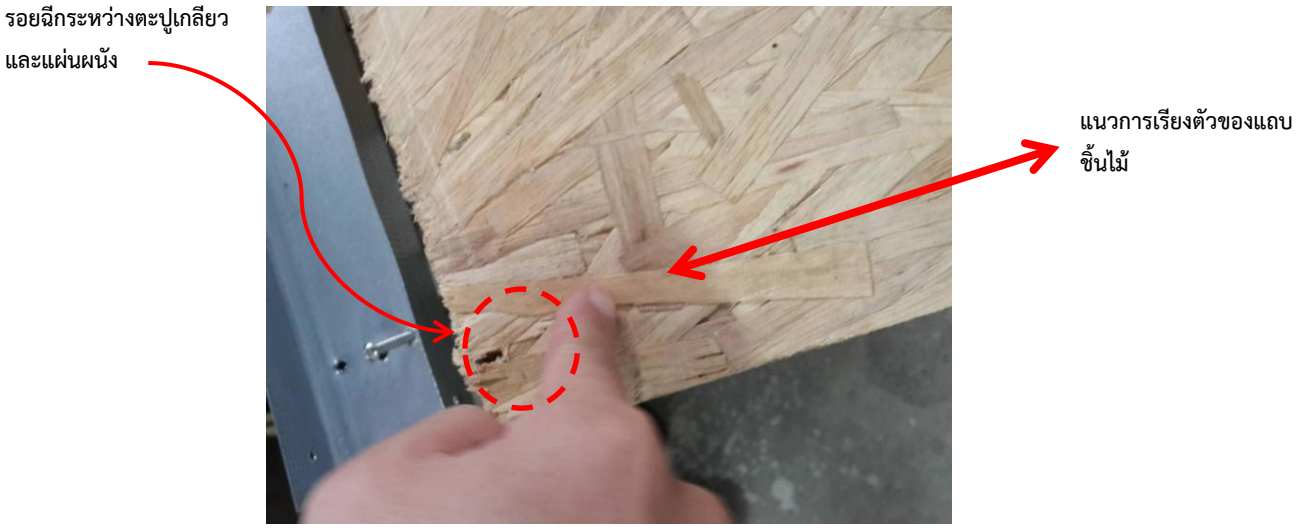
รูปที่ 5.21 แสดงลักษณะการพังของรอยต่อแผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) จากการกดทดสอบค่าการรับแรงด้วยเครื่อง UTM

พบว่า รอยต่อที่ทดสอบจนพังสามารถน้ำหนักได้เฉลี่ยในช่วง 80.30 – 90.35 กิโลกรัม ซึ่งจากการคำนวณพบว่า รูปแบบรอยต่อที่นำไปทดสอบหากพิจารณาจากช่วงความกว้างของผนัง 40 เซนติเมตรสูง 280 เซนติเมตร มีค่ารับแรงเฉลี่ยเทียบเท่า 700 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้มากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการรับน้ำหนักที่ผนังโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสีที่มีการวางโครงคร่าวแนวตั้งทุกๆ 40 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.863 – 2532 จะกำหนให้มีค่าการการรับน้ำหนักได้ในช่วง 240-480 นิวตันต่อตารางเมตร และเมื่อพิจารณาลักษณะความเสียหายของรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการฉีกระหว่างแผ่นผนังฯกับตะปูเกลียว โดยรอยต่อที่ใช้ตะปูเกลียวสีดำมีค่าการรับแรงถอนของตะปูเกลียวกับแผ่นผนังที่มากว่าตะปูเกลียวแบบปลายสว่านดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการรับแรงถอนของตะปูเกลียวกับแผ่นผนัง

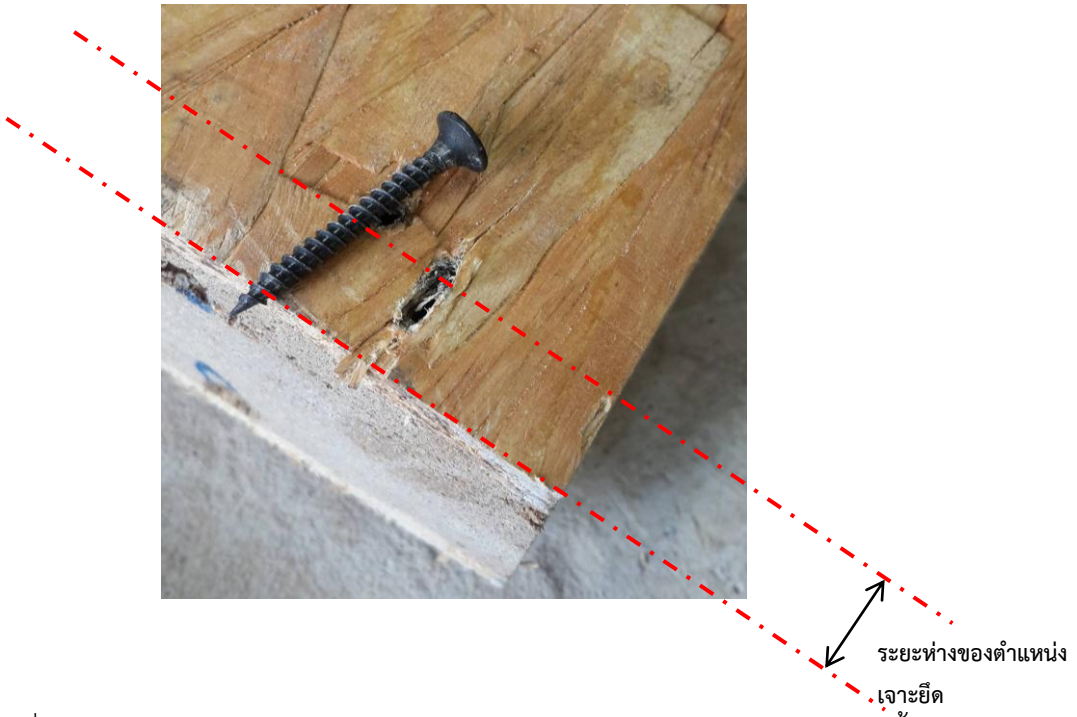
ชนิดแผ่นผนัง	ค่าการรับแรงถอนของตะปูเกลียวกับแผ่นผนัง (N)			
	ตะปูเกลียวแบบมีปลายสว่าน	SD	ตะปูเกลียวสีดำ	SD
แผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง	147.87	83.54	239.60	79.79
แผ่นผนังฯที่มียางธรรมชาติผสมผงไม้เป็นแกนกลาง	172.36	19.96	346.90	86.79
เฉพาะชั้นยางธรรมชาติผสมผงไม้	73.89	17.48	172.97	37.22

โดยความแข็งแรงของชั้นผิวแผ่นผนังรวมถึงการจัดเรียงของแนวแถบไม้และระยะห่างของขอบถึงตำแหน่งเจาะยึดก็มีผลต่อความแข็งแรงของการติดตั้งอีกด้วย



รูปที่ 5.22 ลักษณะการพังของรอยต่อแผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) จากการกดทดสอบค่าการรับแรงด้วยเครื่อง UTM โดยจะสังเกตแนวฉีกระหว่างตะปูเกลียวและแนวการเรียงตัวของแถบชิ้นไม้

รูปที่ 5.23 ลักษณะการพังของรอยต่อแผ่น-พื้น(Panel-To-Floor) จากการกดทดสอบค่าการรับแรงด้วยเครื่อง UTM



รูปที่ 5.24 ระยะห่างของขอบถึงตำแหน่งเจาะยึดก็มีผลต่อความแข็งแรงของการติดตั้ง

6. สรุปผล

6.1 จากศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังฯสำหรับการใช้งานในลักษณะผนังสำเร็จรูปพบว่า พบว่าแผ่นผนังฯควรมีความหนาอย่างน้อย 6.5 เซนติเมตร มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)โดยมีน้ำหนักผนังเฉลี่ยประมาณ 28 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตรเพื่อให้แผ่นผนังฯใช้ร่วมกับวัสดุก่อสร้างที่ใช้ประกอบสำหรับติดตั้งได้

6.2 ศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคารพบว่าพบว่าการติดตั้งผนังจะมีรอยต่อได้ 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Pnel) และ รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ซึ่งมีรายละเอียดการติดตั้งดังนี้

1. ตะปูเกลียวสีดำเหมาะสมที่จะทำการยึดแผ่นผนังกับวัสดุประกอบการติดตั้ง โดยการยึดต้องทำการเว้นระยะจากของแผ่นผนังฯอย่างน้อย 1.5 เซนติเมตร และห่างไม่เกิน 20 เซนติเมตร

2. รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ในการวิจัยได้เสนอรูปแบบเพื่อนำมาพิจารณา 4 รูปแบบด้วยกัน และเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่าแต่ละรูปแบบสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าการรับแรงกดด้านข้างของผนังโดยประมาณที่ 50%ของแผ่นผนังที่ไม่มีรอยต่อ แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมในการทำงานของช่างก่อสร้างรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Floor) รูปแบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการติดตั้งมากที่สุด

3. รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ในการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุประกอบการติดตั้งเป็นโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24 (หนา 0.55 มิลลิเมตร) ที่มีมาตรฐาน มอก.863 - 2532 โดยโครงคร่าวมีค่าการการรับน้ำหนักได้ในช่วง 240-480 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงด้วยวิธีการจำลองส่วนดังกล่าวตามหลักการทางวิศวกรรม โดยเปรียบเสมือนคานยื่น แล้วทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด พบว่า รอยต่อที่ทดสอบสามารถน้ำหนักได้เฉลี่ยในช่วง 80.30 – 90.35 กิโลกรัม (จากช่วงความกว้างขอผนังที่ 0.4 เมตร) ขึ้นอยู่กับประเภทของตะปูเกลียวที่เลือกใช้ ซึ่งลักษณะความเสียหายของรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการฉีกระหว่างแผ่นผนังฯกับตะปูเกลียว

7. ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากในปัจจุบันการติดตั้งชิ้นส่วนของอาคารที่ไม่จัดเป็นโครงสร้างรับแรง (Non-structural Elements) ไม่มีมาตรฐานเฉพาะในการพิจารณาด้านความแข็งแรงของการติดตั้ง การวิจัยครั้งนี้ให้มาตรฐานของวัสดุที่ใช้มาประกอบในการติดตั้งเป็นหลัก
- การพัฒนาเทคนิคการติดตั้งแผ่นผนังฯหากมีขนาดความหนาของแผ่นผนังที่มากขึ้น จะสามารถนำเสนอวัสดุประกอบการติดตั้งได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น
- ควรพัฒนารูปแบบของโครงคร่าวฯที่ออกแบบขึ้นมาโดยเฉพาะควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคนิคการติดตั้ง

8. เอกสารอ้างอิง

- จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ . 2547. **อุตสาหกรรมกับการก่อสร้างบ้านในอนาคต**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ. 2550. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง Structural Sandwich Panels เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากรฯ
- จิรานี กุลวรรณวิจิตร.2551. **ไม้ประกอบ...กอบกู้โลก.** วารสารเทคโนโลยีวัสดุฉบับที่ 53
- ชนินทร์ แซ่เตียว.2545. **แนวทางการออกแบบงานก่อสร้างบ้านแถวด้วยระบบประสานทางพิกัด**. ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ซิง,ฟรานซิส ดี.เค. . 2549. **การก่อสร้างอาคารบรรยายพร้อมภาพ** เรียบเรียงโดย กิติพงศ์ พลจันทร์ และทัต สัจจะวาที. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น
- ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์. 2550. **เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เหมาะสมสำหรับ พื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา. กรณีศึกษาหมู่บ้านสาขลา ต.นาเกลือ อ.พระสุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ**. ดุษฎีนิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- บริษัทกระเบื้องกระดาษไทย จำกัด. 2553. **คู่มือการติดตั้ง ฝ้า ผนัง พื้น ตราช้าง สมาร์ทบอร์ด**. ม.ป.ป. : ม.ป.ท.
- คู่มือการใช้งานวัสดุวีว่า บอร์ด จำกัด. 2553. **คู่มือการใช้งานวัสดุวีว่าบอร์ด.** ม.ป.ป. : ม.ป.ท.
- ANSI/APA PRS 610.1: Standard for Performance-Rated Structural Insulated Panela in Wall Applications,2013
- Structural Insulate Panel Association. 2012. **Designing with Structural Insulated Panels-Advance**. An American Institute of Architects (AIA) Continuing Education Program.
- Edward L. Keith. 2006. **Standardization testing of structural insulated panel (SIPs) for the structural insulated panel association**. APA Report T2006P-33. Gig Harbor, Washington.
- Insulspan, Inc .2008. **Installation Guide**. PI 4.01 Rev Date 4-25-08

9. ตารางเปรียบเทียบ Output ในข้อเสนอโครงการและที่ได้จริง

ตารางที่ 9.1 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	ผลที่ได้รับ
เพื่อศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับนำไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป	ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป ซึ่งจากข้อมูลพบว่าขนาดความหนาของแผ่นที่เริ่มต้นใช้ร่วมกับวัสดุก่อสร้างที่ใช้ประกอบในการติดตั้งได้จะอยู่ที่ 6.5 เซนติเมตร ขึ้นไป มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)โดยมีน้ำหนักผนังเฉลี่ยประมาณ 28 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
เพื่อศึกษารูปแบบ รายละเอียด และความเหมาะสมของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร	สามารถแบ่งประเภทรอยต่อได้ 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Pnel) และรอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall)

กิจกรรมที่วางแผน	*กิจกรรมที่ดำเนินการและผลที่ได้รับ*
— จัดเตรียมอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ	— จัดเตรียมห้องปฏิบัติการทดสอบทางวิศวกรรม โดยมีการปรับปรุงหัวทดสอบของเครื่อง UTM เพื่อรองรับการทดสอบโดยปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349

— ผลิตแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง	— ผลิตชิ้นตัวอย่างแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้เครื่องมือและวัสดุ/อุปกรณ์ในการติดตั้ง พบว่า แผ่นผนังที่มีชั้นไส้ยางธรรมชาติผสมขี้เลื่อยใช้งานร่วมกับเครื่องมือช่างได้ดีกว่าแผ่นผนังที่มีชั้นไส้เป็นยางธรรมชาติ
— ศึกษาขนาดที่เป็นไปได้ของแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง	— ทำการศึกษาขนาดที่เป็นไปได้ของแผ่นผนังฯ โดยทำการวิเคราะห์การโก่งเดาะ ที่ระยะความสูง 2.6 เมตร ซึ่งเป็นระยะของผนังทั่วไปที่ใช้สร้างอาคารที่อยู่อาศัยตามกฎกระทรวงควบคุมอาคาร พ.ศ. 2543 พบว่าค่าแรงวิกฤตโก่งเดาะของแผ่นผนังฯที่มีชั้นไส้เป็นยางผสมขี้เลื่อยมีค่ามากว่าของแผ่นแผ่นผนังที่มีชั้นไส้เป็นยางผสมขี้เลื่อยถึง 3.5 เท่า และมีค่าสูงกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA
— ศึกษาขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป	ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นผนังที่จะไปใช้งานเป็นผนังในลักษณะของแผ่นผนังสำเร็จรูป มีความหนาอย่างน้อย 6.5 เซนติเมตร มีความสูงที่ 2.8 เมตร และมีความกว้างที่ 1.2 เมตร เพื่อให้เข้าระบบประสานทางพิกัดของวัสดุก่อสร้าง (Modular system)โดยมีน้ำหนักผนังเฉลี่ยประมาณ 28 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
— ศึกษารูปแบบและรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อ(Joint Detail)การติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร	— ได้แนวทาง/แบบร่างทางเลือก(Preliminary Drawing)และรายละเอียดส่วนเชื่อมต่อ(Joint Detail)การติดตั้ง

— จัดทำต้นแบบเพื่อการทดสอบ และทำการทดสอบการรับแรงของผนังที่ทำการก่อสร้างโดยวิธีการที่ออกแบบด้วยเครื่องทดสอบเชิงกล นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	— รอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Panel) ในการวิจัยได้เสนอรูปแบบเพื่อนำมาพิจารณา 4 รูปแบบด้วยกัน และเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อดังกล่าวโดยการปรับใช้มาตรฐาน ISO 3349 พบว่าแต่ละรูปแบบสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าการรับแรงกดด้านข้างของผนังโดยประมาณที่ 50%ของแผ่นผนังที่ไม่มีรอยต่อ แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมในการทำงานของช่างก่อสร้างรอยต่อระหว่างแผ่น-แผ่น (Panel-To-Floor) รูปแบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการติดตั้งมากที่สุด — รอยต่อระหว่างแผ่นผนังกับอาคาร เช่น แผ่น-พื้น (Panel-To-Floor) แผ่น-ผนัง (Panel-To-Wall) ในการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุประกอบการติดตั้งเป็นโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร มีความหนาเป็นเบอร์ 24 (หนา 0.55 มิลลิเมตร) ที่มีมาตรฐาน มอก.863 - 2532 โดยโครงคร่าวมีค่าการการรับน้ำหนักได้ในช่วง 240-480 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงด้วยวิธีการจำลองส่วนดังกล่าวตามหลักการทางวิศวกรรม โดยเปรียบเสมือนคานยื่นแล้วทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด พบว่ารอยต่อที่ทดสอบสามารถน้ำหนักได้เฉลี่ยในช่วง 80.30 – 90.35 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า 700 นิวตันต่อตารางเมตร (คำนวนเทียบจากช่วงความ

	กว้างขอผนังที่ 0.4 เมตร สูง 2.80 เมตร) ขึ้นอยู่กับประเภทของตะปูเกลียวที่เลือกใช้ ซึ่งลักษณะความเสียหายของรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการฉีกระหว่างแผ่นผนังฯกับตะปูเกลียว
— วิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	— ได้ลักษณะของส่วนเชื่อมต่อ (Joint Detail) ที่เหมาะสมของการติดตั้งแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้งานภายในอาคาร ภายใต้ข้อจำกัดของวัสดุประกอบการติดตั้งที่มีอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน

10. ภาคผนวก

10.1 การประเมินศักยภาพของแผ่นผนังประหยัดพลังต่อการนำไปใช้เป็นแผ่นฉนวนโครงสร้างอาคาร

1. บทนำ

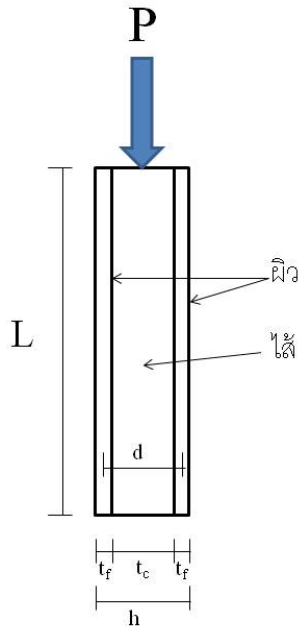
ในส่วนแรกของงานวิจัยนี้พบว่าสามารถพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นแซนวิชที่มีแกนกลางเป็นยางธรรมชาติและผิวหน้าเป็นแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปในขั้นตอนเดียวได้สำเร็จ แต่ทั้งนี้กระบวนการผลิตดังกล่าวก็ยังมีขีดจำกัดคือสามารถผลิตแผ่นแซนวิชที่มีความหนาสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 6.5 เซนติเมตร และมีความหนาของชั้นผิวสูงสุดของแผ่นแซนวิชที่สามารถผลิตได้คือ 5 มิลลิเมตร ดังนั้นในส่วนนี้ต้องการประเมินศักยภาพของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้นี้เพื่อนำไปใช้เป็นแผ่นฉนวนรับแรงของโครงสร้างอาคาร โดยจะใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์เพื่อประเมินกลสมบัติของแผ่นแซนวิชในการรับแรงทางด้านขอบซึ่งเป็นแรงที่ผนังต้องแบกรับเมื่อนำไปใช้งานจริง

2.ทฤษฎีพื้นฐาน

โดยทั่วไปแผ่นแซนวิชที่ใช้สำหรับการรับแรงทางด้านขอบนั้นสามารถวิบัติได้ใน 3 รูปแบบหลัก คือ การวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ (global buckling) การวิบัติเนื่องจากการย่นของผิวหน้า (facesheet wrinkling) และการวิบัติของผิวเนื่องจากความเค้นอัด (Face sheet compression failure) (Allen, 1969) (โดยการสมมติว่าบริเวณรอยต่อของชั้นผิวและไส้มีความแข็งแรงมากและจะไม่วิบัติบริเวณรอยต่อนี้) ในการใช้งานจริงโดยทั่วไปเมื่อความสูงของแผ่นฉนวนมีค่ามาก การโก่งเดาะจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แผ่นฉนวนวิบัติ (Allen, 1969) ดังนั้น

ในที่นี้จะวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชเพื่อประเมินศักยภาพของแผ่นแซนวิชในการนำไปใช้เป็นแผ่นฉนวนสำหรับรับแรงในโครงสร้างอาคาร

พิจารณาแผ่นแซนวิชซึ่งมีความหนาของผิว= t_f, ความหนาของไส้= t_c, ความหนาของแผ่นแซนวิช=h, ระยะระหว่างกึ่งกลางของผิวทั้งสองด้าน= d, มีความกว้างของแผ่นแซนวิช = b, ความสูง = L รับแรงทางด้านขอบ = P ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของแผ่นแซนวิชรับแรงทางด้านขอบ

ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้แผ่นแซนวิชเกิดการโก่งเดาะ ($P_{buckling}$) สามารถหาได้จากสมการ (Allen, 1969)

$$P_{buckling} = \frac{P_E}{1+\frac{P_E}{AG}} \quad (1)$$

โดย A= พื้นที่เฉือน, G = โมดูลัสการเฉือนของไส้ และ PE = ค่าแรงวิกฤตโก่งเดาะของออยเลอร์ (Euler's formula) ซึ่งหาได้จากสมการ (Hibberler, 2011)

$$P_E = \frac{\pi^2 D}{L^2} \quad (2)$$

โดย D= ค่าความแข็งเกร็งเชิงดัด (flexural stiffness) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$D = E_f \frac{bt_f^{\,3}}{6} + E_f \frac{bt_f d^2}{2} + E_c \frac{bt_c^{\,3}}{12} \quad (3)$$

เมื่อ Ef= โมดูลัสยืดหยุ่นของผิว , Ec= โมดูลัสยืดหยุ่นของไส้

จากสมการที่ 1,2 และ 3 จะเห็นว่า ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะนั้นสามารถหาได้เมื่อทราบค่าสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแซนวิชนั่นคือโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นผิว (Ef) โมดูลัสยืดหยุ่นของไส้ (Ec) และโมดูลัสการเฉือนของไส้ (Gc) ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีการหาสมบัติดังกล่าวของวัสดุผิวและไส้ของแผ่นแซนวิชที่ผลิตขึ้นเพื่อนำมาใช้หาค่าแรงวิกฤตที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะในทางทฤษฎีตามสมการที่ 1 และเพื่อลดความยุ่งยากในการหาค่าโมดูลัสการเฉือนของไส้ (Gc) โดยการสมมติว่ายางเป็นวัสดุเนื้อเดียว (homogenous) ที่มีสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง ดังนั้นค่า Gc สามารถคำนวณได้จากสมการ (Hibbeler, 2011)

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\upsilon)} \quad (4)$$

โดย υ = อัตราส่วนปัวซอง (poisson's ratio) ซึ่งในที่นี้จะถูกประมาณเป็น 0.3

3.การทดลองเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผิวและไส้

ผลิตแผ่นแซนวิชที่ผิวเป็นแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนและมีชั้นไส้ยางธรรมชาติและยางธรรมชาติผสมขี้เลื่อย โดยแต่ละแผ่นมีความหนา 6.5 เซนติเมตร และผิวหน้าแต่ละด้านมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร โดยใช้กระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้น จากนั้นทำการแยกชั้นผิวและชั้นไส้ของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้ออกจากกันเพื่อนำไปทดสอบสมบัติหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นผิวและชั้นไส้ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

-ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุผิว

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผิวจะหาโดยการใช้วิธีทดสอบการดัดงอแบบสามจุด โดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างวัสดุผิวให้มีขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร และยาว 120 มิลลิเมตร เพื่อนำไปทดสอบการดัดงอแบบสามจุดตามมาตรฐานของ EN 310 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ (Universal Testing Machine, UTM) โดยใช้อัตราของหัวกดที่กดลงบนตัวอย่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร/ นาที จากนั้นคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุผิว (E_f) จากสมการ

$$E_f = \frac{P_{Pl} L^3}{4\delta_{Pl} b_f t^3} \quad (5)$$

โดย P_{Pl}= ค่าแรงที่จุดขีดจำกัดคืนตัว (proportional limit), L= ความยาวของคาน, δ_{Pl} = ระโก่งกึ่งกลางคานที่จุดขีดจำกัดคืนตัว, b_f= ความกว้างของชิ้นตัวอย่าง และ t=ความหนาของชิ้นตัวอย่าง

-ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุไส้

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไส้จะหาจากการทดสอบการอัดโดยใช้มาตรฐานการทดสอบของไม้ (ASTM D 143) โดยขนาดของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด 2 เซนติเมตร (กว้าง) ×2 เซนติเมตร (หนา)×6 เซนติเมตร (สูง) จากนั้นไปทดสอบการอัดด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ (Universal Testing Machine, UTM) โดยใช้อัตราของหัวกดที่กดลงบนตัวอย่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร/ นาที จากนั้นทำการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไส้ (E_c)โดยใช้สมการ

$$E_c = \frac{P_{Pl} H}{\Delta_{Pl} A_c} \qquad (6)$$

โดย P_{Pl}= ค่าแรงที่จุดขีดจำกัดคืนตัว (proportional limit), H= ความสูงของตัวอย่าง, Δ_{Pl} = ระยะหดตัวของตัวอย่างที่จุดขีดจำกัดคืนตัว และ A_c = พื้นที่รับแรงกดของตัวอย่าง

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุผิวและไส้

จากผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุผิว ไส้ยางพารา และ ไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้พบว่ามีค่าเท่ากับ 5,000 $\pm$120 MPa, 0.5 $\pm$0.1 MPa และ 5 $\pm$0.5 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุผิวมีค่าสูงกว่าของไส้ยางพาราและไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยมาก และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยมีค่าสูงกว่าของไส้ยางพาราที่ไม่ผสมขี้เลื่อย ประมาณ 10 เท่า ดังนั้นการผสมขี้เลื่อยในไส้ยางพาราสามารถปรับปรุงสมบัติโมดูลัสยืดหยุ่นของยางพาราให้สูงขึ้นได้

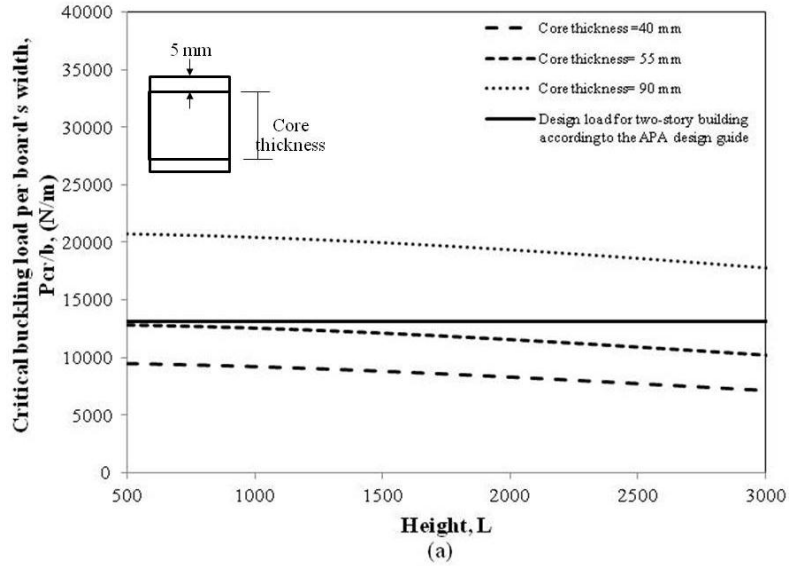
4.2 การวิเคราะห์การโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้

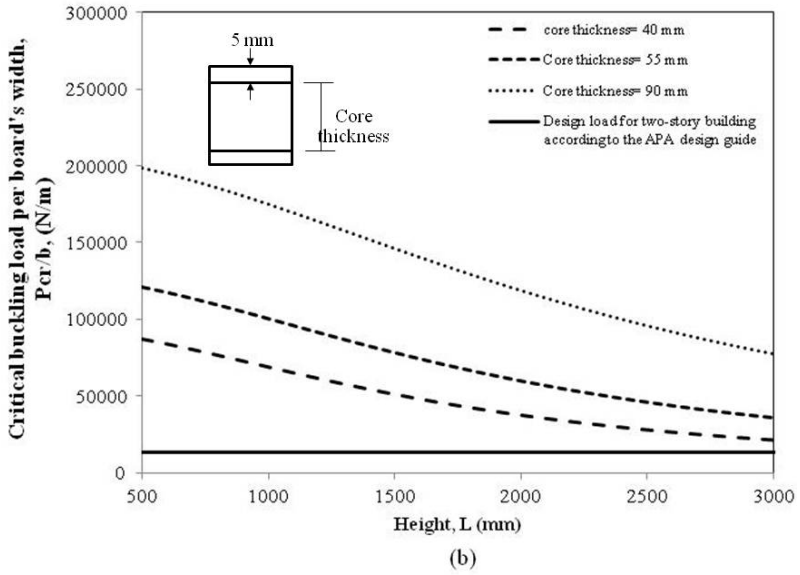
เพื่อต้องการประเมินศักยภาพในการต้านทานต่อการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้ซึ่งมีความหนาของแผ่นสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ 6.5 เซนติเมตร และความหนาของชั้นผิวสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ 5 มิลลิเมตร ในส่วนนี้จึงทำการวิเคราะห์ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชนี้ที่ความสูงของแผ่นแซนวิชและความหนาของไส้ที่ค่าต่างๆ โดยการแทนค่า Ef และ Ec ที่หาได้จากหัวข้อที่ 4.1 และค่า Gc ที่คำนวณจากสมการที่ 4 ไปในสมการที่ 1,2 และ 3 ค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีผิวเป็นแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนและไส้เป็นยางพาราและยางพาราผสมขี้เลื่อยที่ค่าความสูงของแผ่นและความหนาของไส้ต่างๆสามารถคำนวณและพล๊อตกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงวิกฤตการโก่งเดาะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความหนาของชั้นไส้ (ทั้งกรณีของไส้ยางพาราและไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อย)มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือแผ่นแซนวิชที่มีความหนาของชั้นไส้มากกว่าสามารถต้านทานต่อการโก่งเดาะได้ดีกว่า ในขณะที่ค่าแรงวิกฤติในการโก่งเดาะ

มีค่าลดลงตามความสูงของแผ่นแซนวิชที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเห็นได้ว่าค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยมีค่าสูงกว่าของแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราที่ไม่ผสมขี้เลื่อยที่ความสูงของแผ่นแซนวิชเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสการเฉือนของไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยมีค่าสูงกว่าของไส้ยางพาราที่ไม่ผสมขี้เลื่อยจึงทำให้แผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยมีความสามารถในการต้านต่อการโก่งเดาะที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบค่าแรงวิกฤติโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีไส้เป็นยางพาราและยางพาราผสมขี้เลื่อยที่มีขนาดความหนาของแผ่นแซนวิชสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ แผ่นแซนวิชหนา 6.5 ซม. และผิวหนา 5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาที่ค่าความสูงของแผ่นแซนวิชเท่ากับ 2.6 ซึ่งเป็นความสูงของผนังโดยทั่วไปที่ใช้สร้างอาคารที่อยู่อาศัย เมตร (กฎกระทรวงควบคุมอาคาร 2543) พบว่าค่าแรงวิกฤตโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีไส้เป็นยางพาราผสมขี้เลื่อยมีค่ามากกว่าของแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราที่ไม่ผสมขี้เลื่อยถึง 3.5 เท่า

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารโครงสร้างไม้สำหรับอาคารสองชั้นของสหรัฐอเมริกาและแคนาดา (The Engineered Wood Association (APA), 1998) ได้กำหนดไว้ว่าผนังฉนวนรับแรงต้องสามารถรับแรงทางด้านขอบเท่ากับ 13.13 kN/m โดยที่ไม่เกิดการวิบัติ โดยการเปรียบเทียบค่าแรงนี้กับค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะของผนังแซนวิชที่ผลิตได้ จะเห็นได้ว่าที่ความสูงของผนังเท่ากับ 2.6 เมตร แผ่นแซนวิชที่มีไส้เป็นยางพาราที่ไม่ผสมขี้เลื่อยซึ่งมีความหนาของไส้สูงสุดที่ผลิตได้คือ 55 มม.และผิวหนา 5 มิลลิเมตรนั้น มีค่าแรงวิกฤติต่ำกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA (รูปที่ 2a) นั่นคือ แผ่นแซนวิชนี้จะวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะหากนำไปรับแรงดังกล่าวในการใช้งานจริง นอกจากนั้น จากผลการคำนวณในรูปที่ 2a แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการวิบัติจากการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราเพื่อให้สามารถรับแรงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารสองชั้นของ APA ที่ความสูงของผนังเท่า 2.6 เมตรได้หากสามารถพัฒนากระบวนการผลิตที่สามารถผลิตแผ่นแซนวิชที่มีความหนาของชั้นไส้ได้มากขึ้น เช่น หากสามารถผลิตแผ่นแซนวิชมีไส้ยางพาราที่มีความหนา 90 มม. และผิวหนา 5 มม. พบว่าค่าแรงวิกฤตการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA นั่นคือแผ่นแซนวิชจะสามารถรับแรงดังกล่าวได้โดยไม่เกิดการวิบัติจากการโก่งเดาะดังแสดงในรูปที่ 2a

ในกรณีของแผ่นแซนวิชที่มีไส้เป็นยางพาราผสมขี้เลื่อย (รูปที่ 2b) จะเห็นว่าที่ความสูงของแผ่นแซนวิช 2.6 เมตร ค่าแรงวิกฤติโก่งเดาะที่ทุกความหนาของไส้ของแผ่นแซนวิชที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าแรงที่ต้องแบกรับตามมาตรฐานการออกแบบของ APA นั่นคือ แผ่นแซนวิชที่มีความสูง 2.6 เมตรนี้สามารถรับแรงดังกล่าวได้โดยที่ไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ ดังนั้นขนาดความหนาของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้สูงสุดในการศึกษาครั้งนี้จึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นผนังฉนวนรับแรงของโครงสร้างอาคารสองชั้นที่มีความสูงของผนังเท่ากับ 2.6 เมตรและรับแรงทางด้านขอบเท่ากับ 13.13 kN/m โดยที่ไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ





รูปที่ 2 แสดงค่าแรงวิกฤติที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่มีผิวแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนซึ่งมีความหนาของชั้นผิวเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ที่ค่าความสูงของแผ่นและความหนาของไส้ต่างๆ (a) ไส้ยางพารา และ (b) ไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อย

5. สรุป

จากการวิเคราะห์ค่าแรงวิกฤติการโก่งเดาะของแผ่นแซนวิชที่ผลิตได้โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานแสดงให้เห็นว่าแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราผสมขี้เลื่อยและผิวเป็นแถบชิ้นไม้ยางพาราอัดเรียงเสี้ยนที่ผลิตได้มีศักยภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นผนังฉนวนรับแรงสำหรับโครงสร้างอาคารสองชั้นตามมาตรฐานการออกแบบของ APA โดยที่ไม่เกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะที่ความสูงของผนังเท่ากับ 2.6 เมตร สำหรับแผ่นแซนวิชที่มีไส้ยางพาราที่มีขนาดสูงสุดที่สามารถผลิตได้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นผนังรับแรงตามมมาตรฐานดังกล่าวได้เนื่องจากจะวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ แต่ทั้งนี้ควรต้องมีการทดลองเพื่อทวนสอบผลที่ได้จากการคำนวณอีกครั้ง

6. อ้างอิง

1.กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 .(2543). ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

2. Allen, H. G. (1969). *Analysis and design of structural sandwich panels*. London: Pergamon Press.

3.Hibberler, R. C. (1997). *Mechanics of materials* (3 ed.). New York: Prentice-Hall.

10.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุประกอบการติดตั้งผนังเบาในปัจจุบัน

ตารางที่ 10.1 แสดงขนาดหน้าตัดมาตรฐานของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี

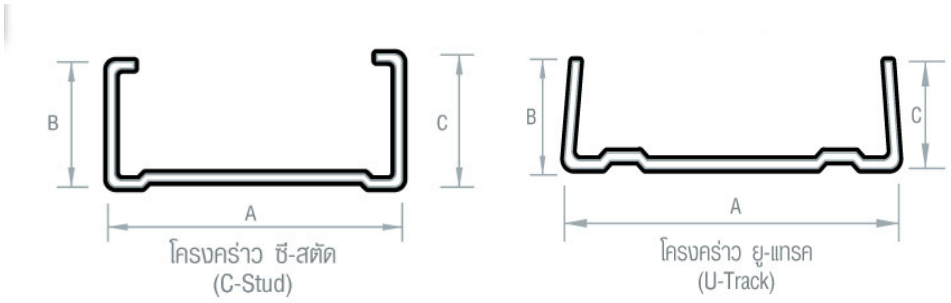
ขนาดหน้าตัดมาตรฐานของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี

	C-Stud	U-Track
ความหนา (มม.) Rigidised*	0.50	0.50
ความกว้าง A (มม.)	49	51
	62	64
	74	76
	92	94
ความสูง B (มม.)	32	32
ความสูง C (มม.)	34	32
ความยาวมาตรฐาน (มม.)**	3,000	3,000

* ความหนา Rigidised หมายถึงความหนาของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีก่อนการผ่านกระบวนการขึ้นลอนแบบสมมาตร UltraSTEEL™ โดยหลังจากการขึ้นลอนเรียบร้อยแล้ว โครงคร่าวเหล็กจะมีความหนารวมบริเวณลอนที่นูนสูงขึ้น 1.00 – 1.20 มม.

** ขนาดความยาวต่อท่อน สามารถสั่งผลิตได้ตามปริมาณการใช้งาน

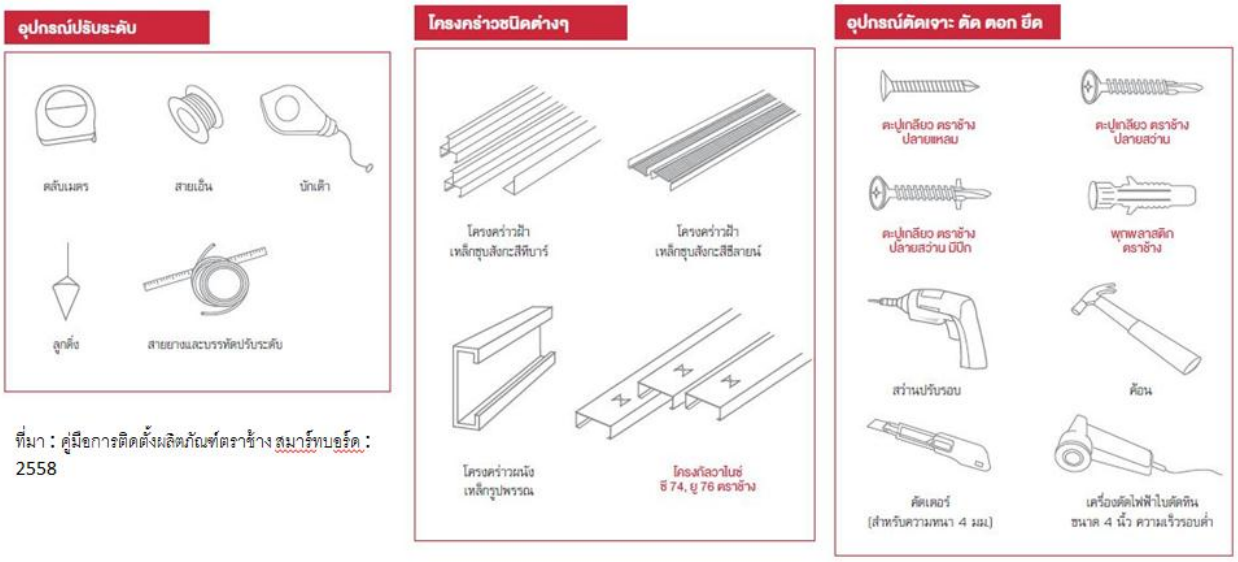
ที่มา : คู่มือแนะนำผลิตภัณฑ์ โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ระบบแผ่นผนังยิปซัม ยิปวอลล์, บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิบซั่ม จำกัด (มหาชน) ,2558



รูปที่ 10.1 แสดงหน้าตัดมาตรฐานของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี

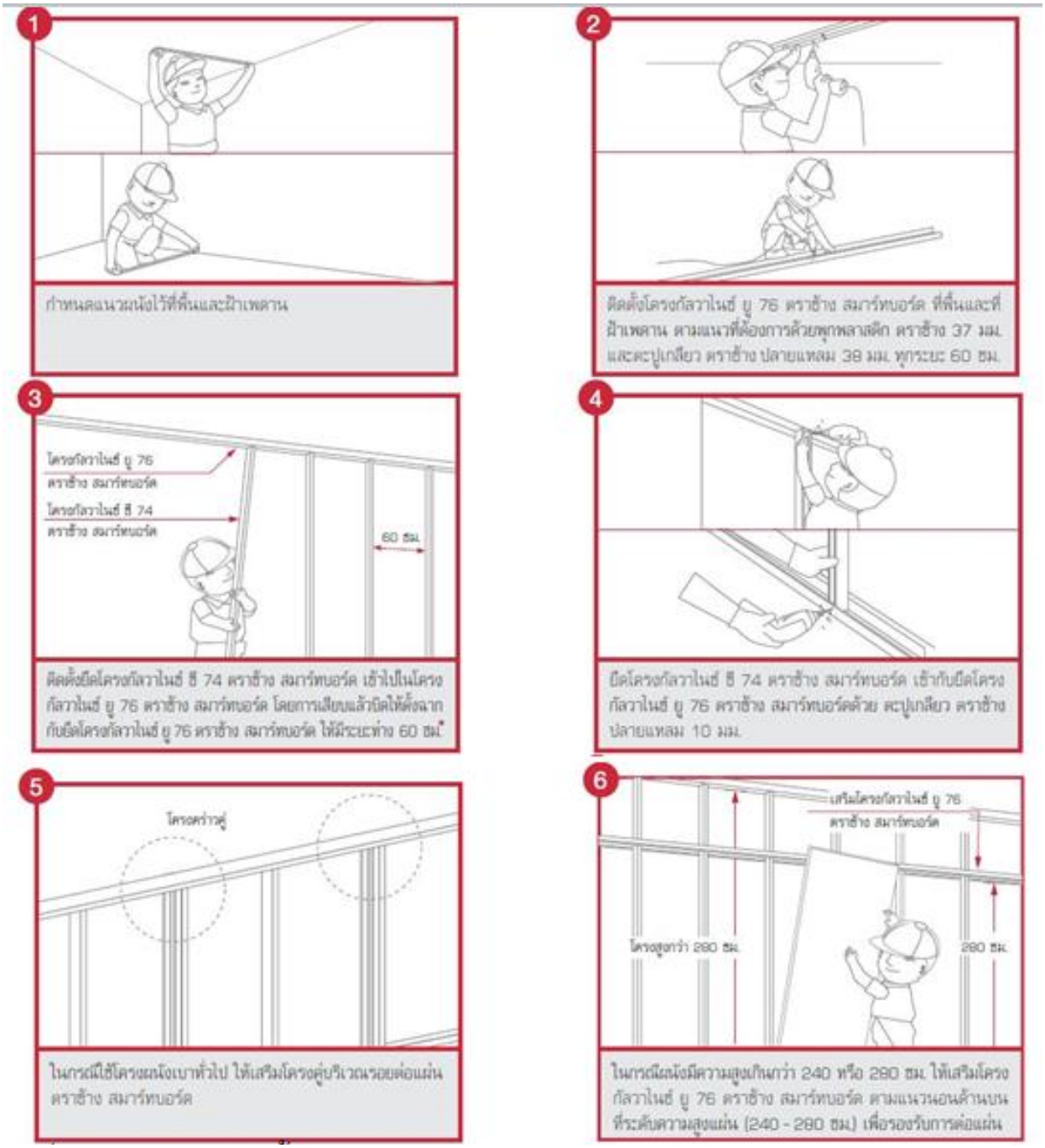
ที่มา : คู่มือแนะนำผลิตภัณฑ์ โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ระบบแผ่นผนังยิปซัม ยิปวอลล์, บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิบซั่ม จำกัด (มหาชน) ,2558

เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ในการติดตั้งดังนี้

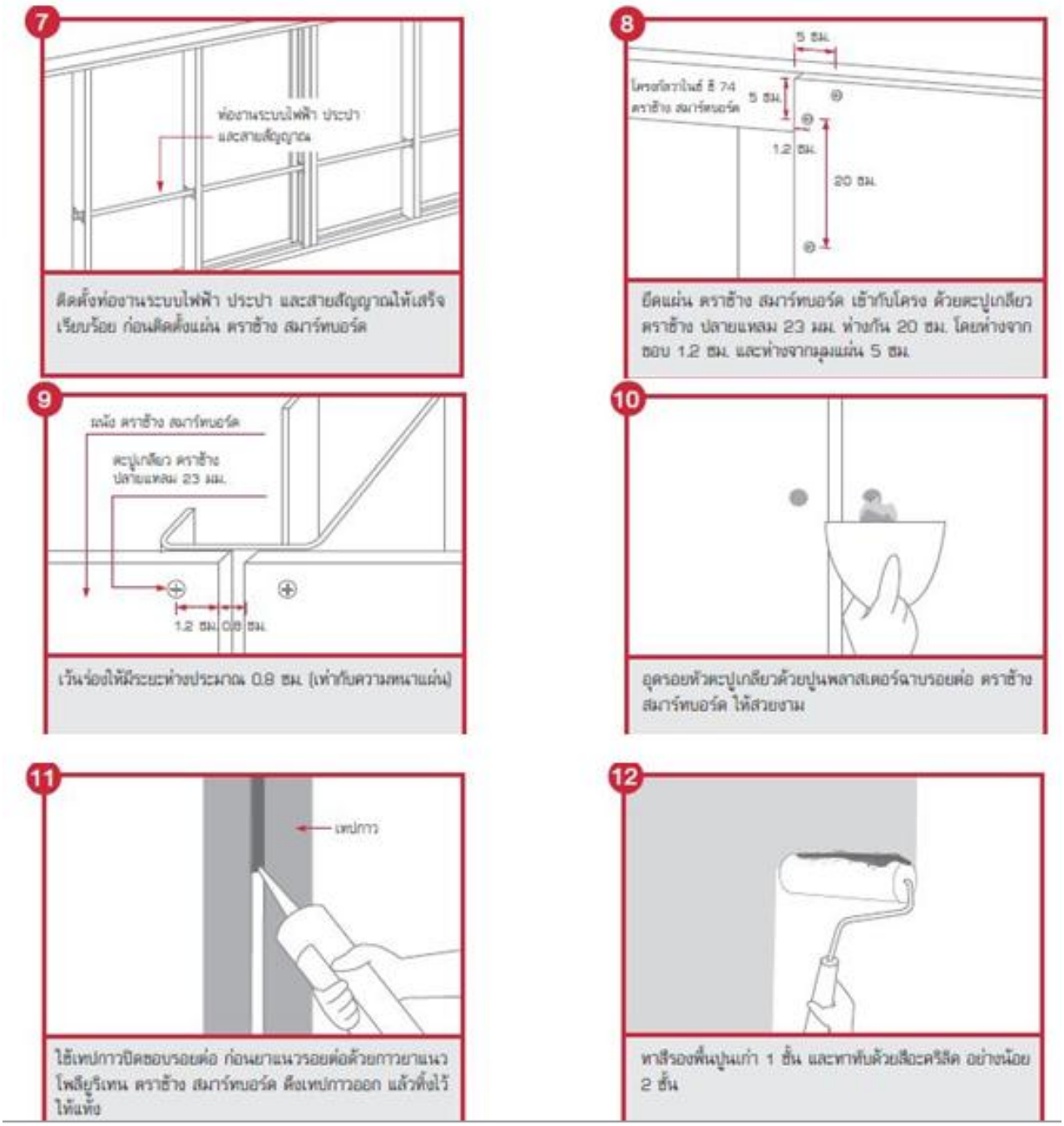


ที่มา : คู่มือการติดตั้งผลิตภัณฑ์ตราช้าง สมาร์ทบอร์ด : 2558

โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังกล่าวโดยสังเขปดังนี้



ที่มา : คู่มือการติดตั้งผลิตภัณฑ์ตราช้าง สมาร์ทบอร์ด : 2558

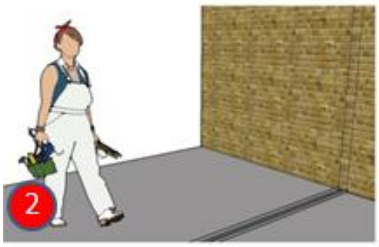


ที่มา : คู่มือการติดตั้งผลิตภัณฑ์ตราช้าง สมาร์ทบอร์ด : 2558

10.3 สรุปขั้นตอนการติดตั้งแผ่นผนังฯภายในอาคารจากงานวิจัย

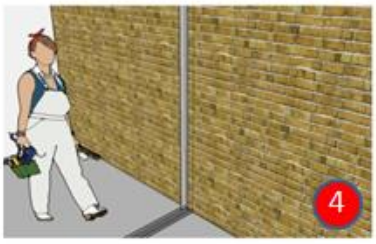
ขั้นตอน
การติดตั้ง

1. เตรียมพื้นที่สำหรับติดตั้งผนัง โดยตีผังแนวผนังที่พื้น ฝ้า และผนังห้องที่จะทำการติดตั้ง



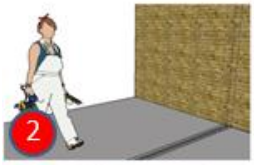
2. วางแนวโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ตัว U เป็นรางล่างบนพื้นตามแนวที่กำหนด ยึดด้วยพุกคอนกรีต ระยะห่างของการยึดตามมาตรฐานของพุกคอนกรีตที่เลือกใช้

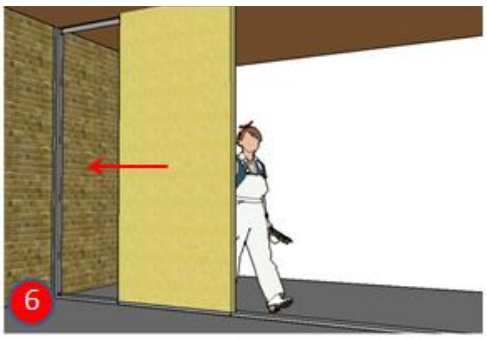
3. วางโครงคร่าวชุบสังกะสี ตัว U แนวตั้งเป็นรางด้านข้าง (ด้านที่ 1) ตามแนวที่กำหนดและยึดติดกับผนังห้องด้วยพุกคอนกรีต ระยะห่างของการยึดตามมาตรฐานของพุกคอนกรีตที่เลือกใช้



4. วางโครงคร่าวชุบสังกะสี ตัว L แนวตั้งเป็นรางด้านข้าง (ด้านที่ 2) ตามแนวที่กำหนดและยึดติดกับผนังห้องด้วยพุกคอนกรีต ระยะห่างของการยึดตามมาตรฐานของพุกคอนกรีตที่เลือกใช้

ขั้นตอน
การติดตั้ง

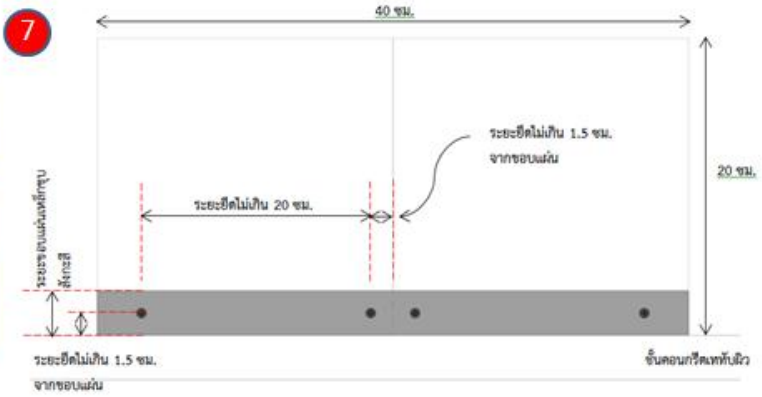


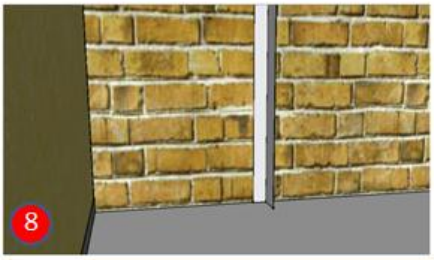


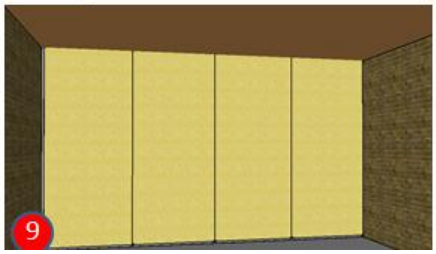
5. วางแนวโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ตัว L เป็นรางบนใต้ท้องพื้นชั้นบนตามแนวที่กำหนด ยึดด้วยพุกคอนกรีต ระยะห่างของการยึดตามมาตรฐานของพุกคอนกรีตที่เลือกใช้

6. นำแผ่นผนังฯวางบนรางล่าง เลื่อนส่งไปชิดรางด้านข้างจนเต็มแนวผนัง ยึดแผ่นกับรางด้วยตะปูเกลียวสีดำ กับโครงรางทุกด้านด้วยระยะห่างไม่เกิน 20 เซนติเมตร ต่อจุดยึด

7. ตรงแนวของรอยต่อระหว่างแผ่นกับแผ่น ให้ยึดแผ่นกับรางด้วยตะปูเกลียวสีดำเสริมห่างจากรอยต่อไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร







8. เลื่อนส่งแผ่นผนังฯแผ่นสุดท้ายซึ่งแผ่นดังกล่าวต้องมีการตัดแต่งแผ่นทิ้งให้สั้นกว่าความกว้างที่เหลือ 3- 5 เซนติเมตร โดยรางด้านข้างของแผ่นนี้จะเป็นรางตัว L ยึดแผ่นกับรางด้วยตะปูเกลียวสีดำ ระยะห่างไม่เกิน 20 เซนติเมตร ต่อจุดยึด และใช้รางตัว L อีกเส้นปิดเก็บรอยต่อเพื่อความสวยงาม

9. ในกรณีที่ต้องการให้สามารถติดตั้งท่องานระบบต่างๆได้ ควรเหลือระยะห่างระหว่างใต้ท้องพื้นประมาณ 15-20 เซนติเมตร และใช้รางบนตัว U ครอบบนแผ่นผนัง ยึดตึงด้วยสลิงฝ้าเพดานไว้กับท้องพื้นชั้นบน เพื่อเสริมความแข็งแรง

10. ปิดทับรอยโครงคร่าวด้วยบัวพื้น / บัวผนัง ด้วยกาวติดบัวผนังตามความจำเป็น รอยต่อระหว่างแผ่นอาจใช้ยาแนวไม้สีใกล้เคียงกับผิวแผ่นผนังฯ ขัดบางๆด้วยกระดาษทรายเบอร์ระเอียด ตามความจำเป็น