ประสิทธิภาพของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้: นวัตกรรมระบบกรอบอาคารเพื่อสภาพแวดล้อมที่ยั่งยืน

The Efficiency of Structural Sealant Glazing (SSG) on Timber Frame: The Innovative Façade System for Sustainable Environment

สิริรัตน์ เสรีรัตน์ และกิโยล์ม เลอกรองด์
Sirirat Sereerat and Guillaume Legrand

ประสิทธิภาพของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้: นวัตกรรมระบบกรอบอาคารเพื่อสภาพแวดล้อมที่ยั่งยืน

The Efficiency of Structural Sealant Glazing (SSG) on Timber Frame: The Innovative Façade System for Sustainable Environment

สิริรัตน์ เสรีรัตน์[1] และกิโยล์ม เลอกรองด์[2]

Sirirat Sereerat[1] and Guillaume Legrand[2]

[1] บัณฑิตวิทยาลัยวิทยาศาสตร์แนวใหม่ มหาวิทยาลัยโตเกียว เขตคาชิวะ-ชิ จังหวัดชิบะ 277-8563 ประเทศญี่ปุ่น
Graduate School of Frontier Science, Tokyo University, Kashiwa-shi, Chiba 277-8563, Japan
E-mail: serirat@yahoo.com

[2] ศูนย์อุตสาหกรรมทางเทคนิคสำหรับบริษัทผลิตวัสดุไม้และเฟอร์นิเจอร์ อัลเล่ เดอ โบโตว์ บี.พี. 277-332028 บอร์โด เซเด็กซ์ ประเทศฝรั่งเศส
Technical Industrial Centre for Wood and Furniture Companies (CTBA), Allée de Boutaut, BP 227-33028 Bordeaux Cedex, France, E-mail: guillaume.legrand@ctba.fr

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ ซึ่งเป็นระบบที่นำกรอบไม้มาประยุกต์ใช้แทนกรอบอลูมิเนียม โดยกรอบไม้จะต้องได้รับการปกป้องจากสภาวะอากาศภายนอกอาคารด้วยระบบรอยต่อที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศและการรั่วซึมของน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้หลายประการในเชิงสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะในเชิงสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้โดยทั่วไปในการก่อสร้างอาคาร อาทิ คอนกรีต เหล็ก และไม้ พบว่าไม้มีข้อได้เปรียบในแง่ของการเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมอยู่หลายประการ หากมีการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากป่าไม้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนหมุนเวียน และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วัสดุก่อสร้างประเภทไม้ใช้พลังงานในการผลิตและการนำมาใช้ในการก่อสร้างต่ำกว่าเหล็กและอลูมิเนียม อีกทั้งยังช่วยลดก๊าซเรือนกระจกซึ่งก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน เนื่องจากวัสดุไม้สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่เหล็กและอลูมิเนียมคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อกล่าวถึงประสิทธิภาพเชิงสถาปัตยกรรม ผนังระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ มิได้มีเพียงแต่ความงามและสุนทรียภาพเชิงสถาปัตยกรรมเท่านั้น แต่ยังพร้อมด้วยข้อได้เปรียบในแง่ของคุณสมบัติทางกลที่มีมวลเบากว่าโลหะ นอกจากนั้น คุณสมบัติการนำความร้อนต่ำ และคุณสมบัติการดูดซับเสียงที่ดีกว่าของไม้ส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของกรอบอาคารดีขึ้นในเชิงอนุรักษ์พลังงานและสภาวะน่าสบายภายในอาคารอีกด้วย

Abstract

This paper presents the study on the efficiency of façade system 'the structural sealant glazing (SSG) on timber frame' concerning the architectural and environmental constraints. The idea of utilizing SSG on timber frame as innovative façade system has enrolled towards an energetic action of sustainable development for the new building construction market as well as the existing architectural transformation and renovation. In fact, the principle of 'SSG on timber frame' is aimed to be the substitution of the metallic frame. The timber frame is attached to a glass panel by structural silicone adhesive in which the timber frame must be protected from inclement weather; from air infiltration and water penetration by the effective protection joints. The results demonstrated the efficiencies of 'SSG on timber frame' with several architectural advantages especially for environmental aspects. In comparison with the common materials used in construction such as concrete, glass, metal, and wood (or timber), wood is the only one material derived from a renewable resource, it requires less energy in production and reduce Greenhouse Effect Gases (GEG) in the atmosphere by stocking CO_2 gas, in contrast with metal and concrete that emit CO_2 gas. In term of architectural aspect, the efficiency of SSG on timber frame is absolutely not only the architectural esthetic quality but also the advantage in mechanical performances better than metal especially the light mass aspect, moreover regarding in thermal and acoustic comfort leading to improving the energy preservation of building envelope.

คำสำคัญ (Keywords)

ไม้ (Timber)
การติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ (Structural Sealant Glazing—SSG)
สภาพแวดล้อมที่ยั่งยืน (Sustainable Environment)

1. บทนำ

แนวความคิดระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ (structural sealant glazing on timber frame) เป็นการนำเอากรอบไม้มาใช้แทนกรอบโลหะในระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ (รูปที่ 1) เนื่องจากวัสดุไม้มีคุณสมบัติหลายประการแตกต่างจากวัสดุโลหะโดยเฉพาะคุณสมบัติการรับแรง และคุณสมบัติการยึดเกาะของผิ้นผิวที่แตกต่างกับวัสดุประเภทโลหะอย่างมาก ส่งผลให้จำเป็นต้องศึกษา วิจัย และทดลองเพื่อพัฒนาโครงไม้ให้สามารถรับน้ำหนักกระจกผ่านการใช้วัสดุยาแนวซิลิโคน (silicone adhesive) ที่มีคุณสมบัติยึดเกาะวัสดุสองประเภทที่มีค่าการยึดเหนี่ยวที่แตกต่างกันและสามารถรับน้ำหนักโครงสร้างผนังได้

ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้าง (Structural Sealant Glazing—SSG) ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีผนังกระจกแขวนไม่รับน้ำหนักชนิดเบาแบบดั้งเดิม (รูปที่ 2) โดยถูกนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1980 ซึ่งได้รับความนิยมและนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานสถาปัตยกรรมร่วมสมัยใหม่ หลักการของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้าง (รูปที่ 1) คือการประกอบชิ้นส่วนสำเร็จของชุดผนังที่ประกอบขึ้นจากแผ่นกระจกที่ถูกยึดติดบนกรอบโลหะด้วยวัสดุยาแนวซิลิโคนที่มีคุณสมบัติรับแรงได้ (structural silicone adhesive) จากนั้นจึงนำเอาชุดผนังที่เตรียมสำเร็จแล้วไปติดตั้งบนโครงสร้างหลักของอาคาร ระบบผนังประเภทนี้นับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบเปลือกอาคารจนเกิดรูปลักษณะของผนังอาคารที่ไร้กรอบ (seamless frame) ด้วยคุณลักษณะต่อเนื่องของความโปร่งใส (continuous transparency) ส่งผลให้เกิดนิยามและรูปแบบใหม่แก่งานสถาปัตยกรรมนับแต่นั้นมา

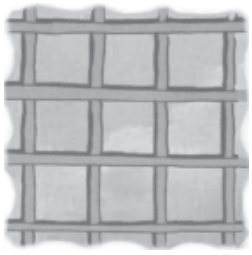
จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ SSG พบว่า เป็นระบบผนังกระจกแขวนที่ได้มีการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาระบบ SSG ให้เป็นวัสดุอาคารที่ตอบสนองกับบริบททางสังคม ซึ่งให้ความสำคัญกับการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหามลภาวะเป็นพิษและปัญหาด้านพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์มากขึ้นทุกขณะ แนวความคิดระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ จึงเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1999 (รูปที่ 3) เป็นแนวคิดการนำกรอบไม้มาใช้ทดแทนกรอบอลูมิเนียมในผนังระบบ SSG เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างประเภทอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่

การพัฒนาแนวความคิดเบื้องต้นเป็นการประยุกต์ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบโลหะเดิมให้เป็นระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้ ซึ่งใช้โครงคร่าวไม้หลัก (primary support frame) รองรับผนังกระจกกรอบอลูมิเนียม เนื่องจากพบปัญหาและข้อจำกัดในแง่ของวัสดุกาวซิลิโคนไม่สามารถยึดติดวัสดุสองประเภทที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันได้ เพราะไม้ซึ่งมีโครงสร้างวัสดุประกอบด้วยใยชีวภาพสามารถหลุดลอกได้ ต่างกับกระจกซึ่งมีผิวมันและลื่น จึงได้มีการออกแบบให้ยึดติดกระจกบนคร่าวอลูมิเนียมตามหลักการเดิม แต่มีการออกแบบให้มีขนาดบางพิเศษและทำการยึดซ้อนเข้ากับโครงไม้อีกชั้นหนึ่ง (เมื่อมองด้วยสายตาแล้วจะมองไม่เห็นกรอบอลูมิเนียม) เมื่อประเมินคุณสมบัติขั้นต้นพบว่า ระบบผนัง SSG on timber primary support frame มีจุดด้อยคือ ระบบผนังยังคงมีค่าการนำความร้อน (thermal conductivity (λ)) สูงเทียบเท่ากับโครงอลูมิเนียมทั่วไป (200 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส) เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านจุดต่อในส่วนของกรอบอลูมิเนียม ดังนั้นแนวความคิดที่จะพัฒนาระบบผนัง SSG โดยใช้ไม้เป็นโครงรับแผ่นกระจกทั้งหมดแทนวัสดุโลหะและยึดด้วยกาวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้างสำหรับยึดกระจกและไม้จึงเกิดขึ้นเพื่อพัฒนาระบบผนังที่ช่วยลดการสูญเสียการใช้พลังงานในอาคารและลดปัญหาภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจก ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

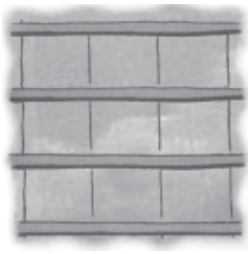
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยแนวทางการคิดค้นนวัตกรรมผนังอาคารซึ่งมีพื้นฐานมาจากผนังระบบ SSG เริ่มในปี ค.ศ. 2001 ดำเนินการวิจัยโดยศูนย์อุตสาหกรรมทางเทคนิคสำหรับบริษัทผลิตวัสดุไม้และเฟอร์นิเจอร์ แผนกการก่อสร้างด้วยไม้ ประเทศฝรั่งเศส (CTBA—Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Timber Construction Department, Technical Industrial Centre for Wood and Furniture

รูปที่ 1 อาคารหอสมุดแห่งชาติฝรั่งเศส นครปารีส ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งใช้ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้าง (classic SSG)

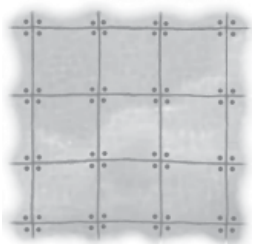


ระบบติดตั้งแผ่นกระจกในกรอบ (infill-panel system) หรือแบบกรอบ 4 ด้าน (four-sided frame)



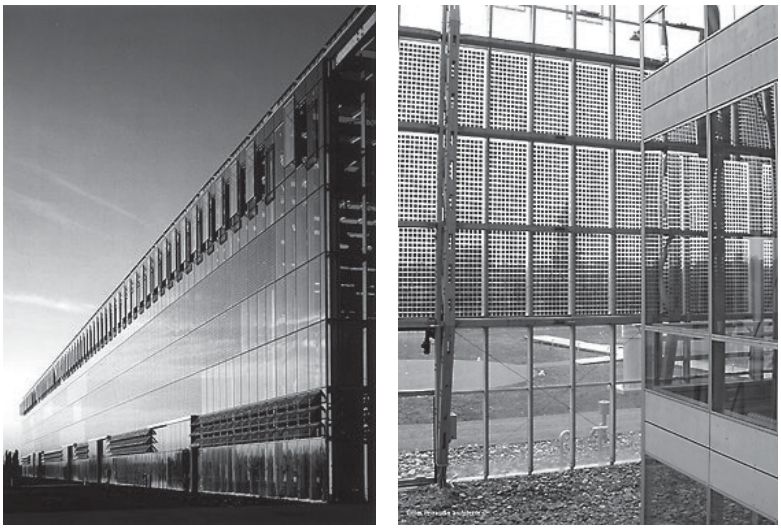
ระบบติดตั้งแผ่นกระจกกึ่งในกรอบ (semi-infill panel system) หรือแบบไร้กรอบ 2 ด้าน (two-sided frame)

ระบบติดตั้งแผ่นกระจกด้วยกาวซิลิโคนรับแรงโครงสร้างบนกรอบ (structural sealant glazing system) หรือแบบไร้กรอบ 4 ด้าน (seamless frame)



ระบบติดตั้งแผ่นกระจกด้วยยึดหมุด (attached glazing system) หรือแบบสไปเดอร์ (spider)

รูปที่ 2 ระบบของผนังกระจกแบ่งตามวิธีการติดตั้งกระจกและลักษณะทางสถาปัตยกรรม



รูปที่ 3 อาคารฟอร์มเมชั่นอะคาเดมี่ ประเทศเยอรมันนี ใช้ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้าง แต่นำไม้มาประยุกต์ใช้ในโครงรับผนังหลัก โดยที่ยังใช้กรอบรับกระจกเป็นอลูมิเนียม

Companies) ร่วมกับหน่วยงานราชการด้านบริหารการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฝรั่งเศส (French Environment and Energy Management Agency—ADEME) โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ส่งเสริมการใช้ไม้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เพื่อตอบสนองนโยบายการพัฒนาที่ยั่งยืนแห่งชาติฝรั่งเศส (นำไปใช้จริงเมื่อ ค.ศ. 2003) ด้วยกลยุทธ์การส่งเสริมการใช้วัสดุไม้ในงานสถาปัตยกรรมและการก่อสร้าง (อย่างน้อย 2.5% ในอาคารส่วนราชการ) โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อลดปัญหาอากาศเป็นพิษอันเนื่องมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของเปลือกอาคาร และเพื่อลดข้อจำกัดของไม้ที่มีการใช้งานเฉพาะงานสถาปัตยกรรมแบบดั้งเดิมและอาคารขนาดเล็กทำให้มีการใช้น้อยลง ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีวัสดุไม้เป็นองค์ประกอบเพื่อสร้างสรรค์ทางเลือกใหม่และขยายขอบเขตของการใช้วัสดุไม้ในงานสถาปัตยกรรม และสามารถประยุกต์ใช้กับอาคารขนาดใหญ่ไปจนถึงอาคารสูงได้ ซึ่งในงานวิจัยส่วนนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงของผนัง SSG on timber frame ในอนาคต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงผสมระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยทำการศึกษาและประเมินคุณสมบัติเชิงกลจากผลการทดลองของต้นแบบทดลอง และการวิจัยเชิงประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาศักยภาพของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างที่ใช้กรอบไม้รองรับกระจก เปรียบเทียบกับระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างเดิมซึ่งใช้กรอบโลหะเป็นกรอบรับกระจก โดยอาศัยข้อมูลจาก 5 สาขา ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคและกฎข้อบังคับ ด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน ด้านสังคมศาสตร์ และด้านเศรษฐศาสตร์ จำนวนทั้งสิ้น 315 คน โดยมีกระบวนการดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างแบบเดิม หลักการและผลการทดสอบระบบผนัง ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้

2. ศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. ประเมินผลเชิงเปรียบเทียบศักยภาพของวัสดุและระบบโดยรวม

ตัวแปรหลักในการวิจัยประกอบด้วย

1. ชุดตัวแปรด้านวัสดุ ได้แก่ ไม้และโลหะ เนื่องจากระบบผนังประเภทนี้เป็นรูปแบบใหม่ ไม่เคยมีการใช้มาก่อน จึงจำเป็นต้องสร้างชิ้นส่วนทดลอง โดยผลสรุปจากการศึกษาขั้นต้นจะถูกนำมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดกระบวนการการทดสอบ วัสดุ ผลิตภัณฑ์ และเทคนิคการผลิต เพื่อทำการทดสอบและประเมินศักยภาพของวัสดุ รูปแบบการประกอบ และเทคนิคที่เหมาะสม

2. ชุดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อศักยภาพของระบบผนังที่ออกแบบใหม่ ประกอบด้วยปัจจัยทางด้านเทคนิค กฎข้อบังคับ สถาปัตยกรรม สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

ต้นแบบทดลองได้รับการพัฒนาขึ้นโดยอาศัยข้อกำหนดด้านเทคนิคของระบบ SSG ทั่วไป ซึ่งอ้างอิงมาจากคู่มือการออกแบบและประดิษฐ์ระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้าง (Le Guide de Conception et de Réalisation du VEC) จัดทำโดย l'ITBTP—Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (1989) และคู่มือข้อตกลงประชาคมยุโรปทางเทคนิคสำหรับระบบ SSG (Le Guide pour l'Agrément Technique Européen pour les Systémes VEC) จัดทำโดย l'EOTA—European Organization for Technical Approvals (1998) ในส่วนของการนำไม้มาประยุกต์ใช้เป็นโครงสร้างเพื่อรองรับกระจกที่ยึดติดด้วยวัสดุยาแนวประเภทซิลิโคนชนิดรับแรง อ้างอิงจากเอกสารว่าด้วยการตรวจสอบคุณภาพหน้าต่าง 'Pose des Vitrages en Atelier: Recueil des Procédures et Qualification des Fenêtres Certifiées' Certifiées' (อ้างอิงข้อมูลบางส่วนของ cahier CTBA L114 ตามกฎข้อ XP.P. 23 310.) และใช้กระบวนการทดสอบตามคู่มือแนะนำของ ATEX (equipment intended for use in potentially explosive atmospheres) ผนวกกับทฤษฎีการพัฒนาสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ซึ่งอ้างอิงมาจากคู่มือคุณภาพสภาพแวดล้อมอาคาร 'Qualité Environnementale Des Bâtiments' จัดทำโดย ADEME (2000)

การประเมินผลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ การใช้แบบสอบถามมีกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 300 ชุด เป้าหมายประกอบด้วย สถาปนิก วิศวกร ผู้รับเหมาก่อสร้าง ผู้ผลิตผนังระบบ SSG และผู้ประกอบการผนังระบบ SSG ในประเทศฝรั่งเศส ดำเนินการส่งข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ใช้เวลาในการติดตามผล 30 วัน ในการสัมภาษณ์นั้น ได้สัมภาษณ์นักเคมีภัณฑ์ ผู้เชี่ยวชาญระบบผนังอาคาร นักวนศาสตร์ สถาปนิก ผู้เชี่ยวชาญสถาปัตยกรรมไม้ ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน นักสังคมศาสตร์ และนักเศรษฐศาสตร์ จำนวน 15 ท่าน โดยเน้นประเด็นคำถามเกี่ยวกับความเชี่ยวชาญเฉพาะทางเทคนิค หรือนโยบายเฉพาะทางที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการส่งข้อมูลผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ใช้เวลาในการติดตามข้อมูลโดยการโทรศัพท์สัมภาษณ์ภายหลังการส่ง 30 วัน

ในส่วนของการวิเคราะห์และแปรผลข้อมูล ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์สำหรับข้อมูลเชิงเปรียบเทียบศักยภาพของวัสดุ และสถิติเชิงพรรณนาในส่วนของข้อมูลเชิงประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา

4. ผลการวิจัย

4.1 ความเป็นไปได้และศักยภาพเชิงสถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อม

4.1.1 ศักยภาพเชิงภาพลักษณ์

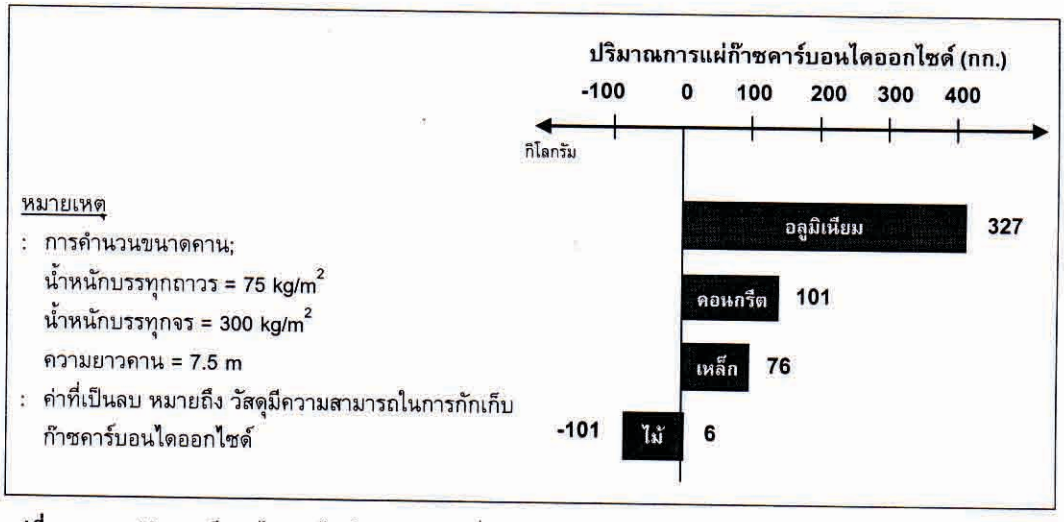
ผลจากการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับภาพลักษณ์ทางสถาปัตยกรรมของระบบผนัง SSG on timber frame (การสำรวจความคิดเห็นได้จัดส่งเอกสารแนะนำแนวความคิดและผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างความเข้าใจไปก่อนแล้วจึงทำการเก็บข้อมูลภายหลัง) พบว่า ร้อยละ 70 ของผู้ร่วมตอบแบบสอบถามพึงพอใจกับรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่มีการนำไม้กลับมาใช้ในแนวทางใหม่ผนวกกับการลดทอนองค์ประกอบให้เรียบง่ายของระนาบกระจกที่ต่อเนื่อง ปราศจากกรอบเมื่อมองจากภายนอก ระบบผนัง SSG on timber frame นับเป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างที่ผสานความสวยงามของงานไม้รวมเข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญในมุมมองสถาปนิกชาวฝรั่งเศสโดยส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามข้อด้อยวัสดุไม้ในแง่ของอายุการใช้งาน คุณสมบัติการติดไฟง่าย และราคาที่สูงของไม้ยังคงส่งผลให้เกิดทัศนคติเชิงลบ และเกิดความไม่มั่นใจในการนำไปใช้งานจริง ซึ่งอาจส่งผลถึงความสำเร็จและความนิยมในตลาดการก่อสร้างในอนาคต ซึ่งผลการศึกษาที่ได้นี้จะถูกนำไปพัฒนาและแก้ปัญหาในโครงการวิจัยขั้นต่อไป

4.1.2 ศักยภาพเชิงสุนทรียศาสตร์

ผลจากการสำรวจพบว่า ศักยภาพเชิงสุนทรียศาสตร์อยู่ในเกณฑ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพในด้านอื่น ผู้ร่วมตอบแบบสอบถามทั้งหมดพึงพอใจกับความสวยงามทางกายภาพมาก โดยส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็นเชิงบวกกับความสวยงามของการนำไม้มาใช้ผสานระบบเทคโนโลยีอาคารขั้นสูงที่ใช้กับอาคารขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมซึ่งมีสีสังเคราะห์ไม่เป็นธรรมชาติ มีผิวสัมผัสที่เย็นหรือร้อนกว่าไม้ (ค่าการนำความร้อนสูงกว่าไม้) ให้ความรู้สึกแข็งที่อเย็นชา ไร้ชีวิต ตรงกันข้ามกับวัสดุไม้ที่ให้คุณค่าทั้งความสวยงามด้วยสีสันและลวดลายที่เป็นธรรมชาติ การสัมผัสอบอุ่นสบาย ก่อให้เกิดความรู้สึกผ่อนคลายและมีชีวิตชีวา

4.1.3 ความเป็นไปได้และศักยภาพเชิงสิ่งแวดล้อม

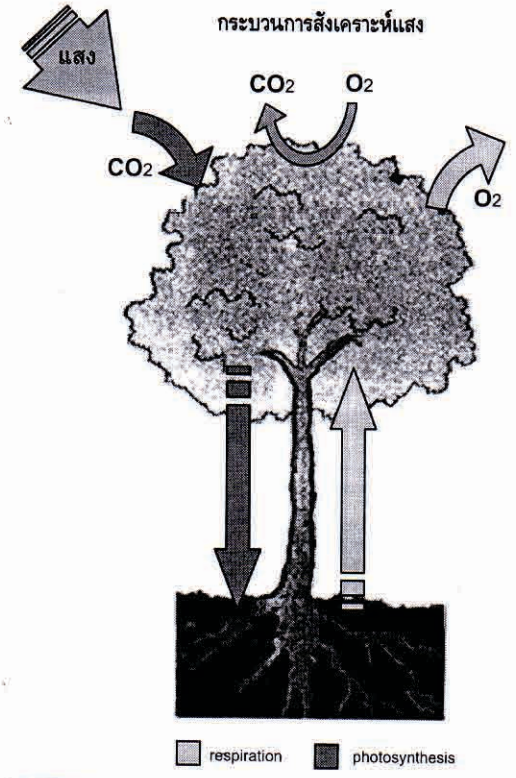
ผนังระบบ SSG on timber frame นับได้ว่าเป็นความสำเร็จอีกขั้นหนึ่งของระบบผนังกระจกแขวนไม่รับน้ำหนักชนิดเบาที่พัฒนาไปสู่ความเป็นวัสดุอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในด้านการลดปัญหาคุณภาพอากาศ โดยอาจต้องกล่าวย้อนกลับไปถึงปัญหาสภาวะโลกร้อน ซึ่งมีสาเหตุจากปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นปัญหาสำคัญที่จำเป็นต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วนและต้องอาศัยความร่วมมือในระดับสากล โดย The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNF CCC) ได้ทำสัญญาข้อตกลง The Kyoto Protocol (ค.ศ. 1990) เพื่อสร้างความร่วมมือกว่า 160 ประเทศ ในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Green House Gases—GHG) ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีปริมาณเป็นสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 55) และก๊าซชนิดอื่น ๆ อีก 5 ชนิด ได้แก่ มีเทน (CH_4) คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ประเทศฝรั่งเศสได้ออกกฎหมาย



รูปที่ 4 การแผ่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากคานที่ทำจากวัสดุต่างประเภทกันตลอดช่วงอายุการใช้งาน (ดัดแปลงจาก ENSTIB, 2004)

เพื่อควบคุมคุณภาพอากาศ 'Loi sur l'Air' (Loi no. 96-1236) ว่าด้วยการลดปัญหาสภาวะเรือนกระจก โดยกำหนดนโยบายและกฎข้อบังคับเพื่อลดปริมาณการคายก๊าซเรือนกระจกอันเกิดจากการก่อสร้างอาคารเป็นปริมาณร้อยละ 16.6 โดยเริ่มมีผลบังคับใช้ ค.ศ. 1996 และต้องดำเนินการให้บรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมายภายในปี ค.ศ. 2010 หลักการในการแก้ปัญหาในส่วนของอาคารและการก่อสร้าง คือ การลดปริมาณวัสดุก่อสร้างที่คายก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตและในช่วงอายุระหว่างการใช้งาน พร้อมกับส่งเสริมการนำไม้เข้ามาใช้ทดแทนให้มากขึ้นในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูง หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุก่อสร้างที่คายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะอาคารในส่วนของภาครัฐต้องใช้วัสดุไม้อย่างน้อยร้อยละ 2.5 (เริ่มบังคับใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2003) เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง (รูปที่ 4) จะพบว่าวัสดุไม้เป็นวัสดุก่อสร้างเพียงอย่างเดียวที่มีการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการผลิตน้อยที่สุด อีกทั้งยังช่วยกักเก็บปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงตลอดอายุการใช้งานอีกด้วย

หัวใจสำคัญของแนวคิดการส่งเสริมการใช้วัสดุไม้ในงานก่อสร้าง เป็นผลมาจากการศึกษาคุณสมบัติพิเศษของไม้และพัฒนาแนวคิดเชิงการจัดการสิ่งแวดล้ออย่างมีประสิทธิภาพ (รูปที่ 5) ประการแรกในช่วงชีวิตของไม้ ไม้เติบโตได้ด้วยการสังเคราะห์แสงซึ่งต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์และ



รูปที่ 5 การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกักเก็บก๊าซคาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ (ดัดแปลงจาก CNDB, 2003)

คายก๊าซออกซิเจนสู่บรรยากาศ ดังนั้นป่าจึงเปรียบเสมือนถังฟอกอากาศและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อมีการตัดไม้มาใช้ ก๊าซคาร์บอนจะถูกกักเก็บไว้ตลอดอายุการใช้งานและจะคายกลับสู่บรรยากาศเมื่อเกิดการย่อยสลาย ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการแก้ปัญหาด้วยวิธีการจัดการแบบบูรณาการ โดยการปลูกป่าหมุนเวียนและนำไม้ส่วนหนึ่งมาใช้ในการก่อสร้างเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนในรูปแบบของวัสดุอาคารในพื้นที่เมือง โดยที่ป่าไม้ต้องมีการปลูกทดแทนอย่างมีระบบ จะเห็นได้ว่าด้วยวิธีการนี้จะช่วยให้สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ได้มากกว่าการอนุรักษ์ปลูกป่าเพียงอย่างเดียว ดังนั้นวัสดุที่เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ SSG on timber frame จึงจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่เป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม ผ่านกระบวนการคัดสรรและคิดค้นวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุเคมีที่คายสารพิษ ทั้งการเลือกกระจก กาวซิลิโคน ไม้ รวมถึงผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานได้จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานมวลรวมตลอดวงจรชีวิตของวัสดุก่อสร้างไม้กับโลหะ (ในที่นี้หมายถึงเหล็กและอลูมิเนียมเป็นหลัก) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองระยะเวลา คือ ระยะเวลาการผลิต และระยะเวลาการใช้งาน จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการผลิตวัสดุในปริมาณที่เท่ากัน ไม้ใช้พลังงาน (energy cost) 350 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร (kWh/m^3) ในขณะที่เหล็กใช้พลังงานในการผลิต 46,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 130 เท่าของพลังงานในการผลิตไม้ และอลูมิเนียมใช้พลังงานในการผลิตถึง 141,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 400 เท่าของพลังงานในการผลิตไม้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาช่วงอายุการใช้งาน ในส่วนของการใช้พลังงานในช่วงระยะเวลาการใช้งานนั้นพบว่า กรอบไม้มีศักยภาพสูงกว่าเนื่องจากไม้มีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำกว่าอลูมิเนียมมาก (ตารางที่ 2) ผนัง SSG on timber frame จึงช่วยให้การสูญเสียพลังงานในการปรับอุณหภูมิภายในอาคารน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบผนัง SSG เดิม ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของเปลือกอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารแล้ว กรอบไม้ช่วยส่งเสริมให้การใช้พลังงานในอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งแต่เดิมระบบ SSG มีจุดอ่อนอยู่ที่รอยต่อของกรอบอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดี อย่างไรก็ตาม SSG on timber frame ยังคงเป็นระบบเปลือกอาคารที่ประกอบด้วยวัสดุกระจกเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 90 โดยประมาณ) ซึ่งมีค่าถ่ายเทความความร้อนสูง ดังนั้นการนำ SSG on timber frame มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องการการออกแบบวางผังอาคาร โดยคำนึงถึงตำแหน่งที่ตั้ง ทิศทางของแดดและลมเป็นสำคัญ จึงจะส่งผลให้เกิดภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของอาคารโดยรวม

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุไม้ เหล็ก และอลูมิเนียม (ดัดแปลงจาก STEP, 1994)

วัสดุ	พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยการผลิต กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร (kWh/m^3)	%
ไม้	350	1
เหล็ก	46,000	130
อลูมิเนียม	141,500	400

ตารางที่ 2 คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของวัสดุไม้ เหล็ก และอลูมิเนียม (ดัดแปลงจาก RT2000, 2003)

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลขั้นพื้นฐาน ระบบผนัง SSG on timber frame

แนวความคิดระบบการติดตั้งกระจกด้วยวัสดุยาแนวชนิดรับแรงโครงสร้างบนกรอบไม้เกิดจากสมมุติฐานที่ว่ากรอบไม้สามารถถูกนำมาใช้แทนกรอบอลูมิเนียมในระบบผนัง SSG ได้ หากกรอบไม้ถูกปกป้องจากสภาวะทางอากาศด้วยกระจกและระบบรอยต่อป้องกันความชื้นที่มีประสิทธิภาพ โดยได้กำหนดวัสดุที่ใช้ในโครงงานวิจัยตามข้อบังคับและคู่มือแนะนำจากผู้ผลิตผนังอาคาร (EOTA, 1998) ซึ่งประกอบด้วย

1. กระจก Low E (low-emissivity) หนา 12 มิลลิเมตร

2. กรอบโครงสร้าง

- อลูมิเนียมอะโนไดซ์ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เป็นกรอบโครงสร้างของระบบผนัง SSG ทั่วไป นำมาใช้เป็นวัสดุอ้างอิง

- ไม้เนื้อแข็ง 3 ชนิด (รูปที่ 6) ถูกเลือกมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ไม้โอ๊ค ซึ่งมีจุดเด่นในด้านความงาม ไม้โมอาบี ซึ่งมีข้อดีด้านความทนทาน และไม้สน ซึ่งมีราคาถูกเนื่องจากเป็นไม้ท้องถิ่น

3. ผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ลาซูร์ (มาจากภาษาฝรั่งเศส lasure ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์รักษาผิวไม้ประเภทหนึ่ง ซึ่งไม่มีคำแปลในภาษาอังกฤษ) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนผสมของน้ำมันและเรซิ่นซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติช่วยปกป้องไม้จากความชื้นและน้ำ อีกทั้งยังทนทานต่อรังสียูวีได้ดี ทำให้อายุใช้งานยาวนาน ง่ายต่อการใช้งานและบำรุงรักษา ประกอบกับผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ลาซูร์มีคุณสมบัติอิ่มตัวและไม่เป็นแผ่นฟิล์ม จึงยังคงรักษาความสวยงามของลวดลายผิวไม้และรายละเอียดของเสี้ยนไม้ ทำให้เป็นที่นิยมใช้แพร่หลายสำหรับงานภายนอกอาคารในประเทศฝรั่งเศส

4. วัสดุยาแนวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้าง โมโนคอมโพแซนท์ (Monocomposant Structural Adhesive Silicone 995 ผลิตโดยบริษัท Dow Corning Chemical ตามกฎ EN 28 339 ว่าด้วยเรื่องจุดต่อในการก่อสร้างอาคาร ถูกกำหนดให้ใช้กาวโครงสร้างซิลิโคน) มีคุณสมบัติสามารถยึดเกาะและรับน้ำหนักได้ทั้งไม้และกระจก

5. ตัวยึดโลหะ ใช้มาตรฐานเดียวกันกับระบบ SSG ทั่วไป

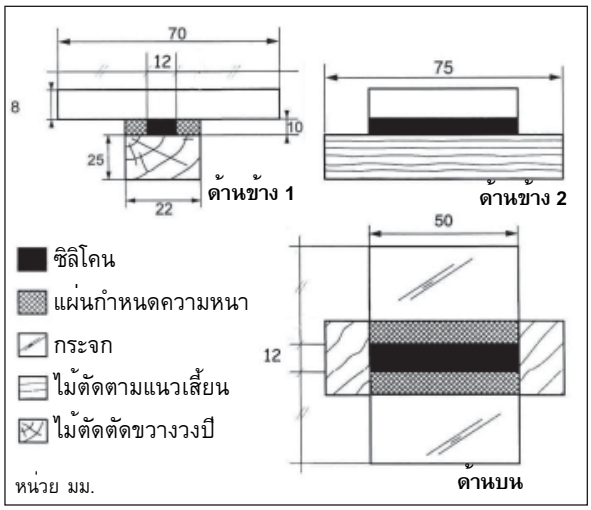
4.2.1 ความเป็นไปได้และศักยภาพเชิงเทคนิค

เนื่องจากยังไม่มีการทำงานโดยการติดกระจกบนกรอบไม้โดยตรงด้วยซิลิโคน โดยไม่มีขอบหรือร่องยึดแผ่นกระจกนั้นมาก่อน จึงได้ทำชิ้นส่วนทดลอง (ชิ้นส่วนตัวอย่างถูกออกแบบโดยอ้างอิงการทำชิ้นส่วนเพื่อทดสอบในงานประกอบไม้จาก ‘le cahier CTBA L114) เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพความแข็งแรงทนทานขั้นพื้นฐานตามสภาพการใช้งาน (รูปที่ 7) และชิ้นส่วนทดลองเพื่อใช้ทดสอบการยอมให้อากาศผ่าน การป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ความทนทานต่อแรงลม การเสื่อมสภาพตามปัจจัยด้านภูมิอากาศ และลักษณะการใช้งาน (รูปที่ 8) โดยทำการทดสอบชิ้นส่วนทดลองทั้งสิ้นกว่า 900 ชิ้น แบ่งออกเป็นชิ้นส่วนทดลองที่ใช้ไม้ต่างกันอีก 3 ชนิด (ไม้สน ไม้โมอาบี และไม้โอ๊ค) (รูปที่ 6) อย่างละ 253 ชิ้น และชิ้นส่วนทดลองกรอบอลูมิเนียมที่ผ่านกรรมวิธีอะโนไดซ์ ซึ่งใช้เป็นวัสดุอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับระบบ SSG on timber frame กับมาตรฐานของระบบ SSG ทั่วไป

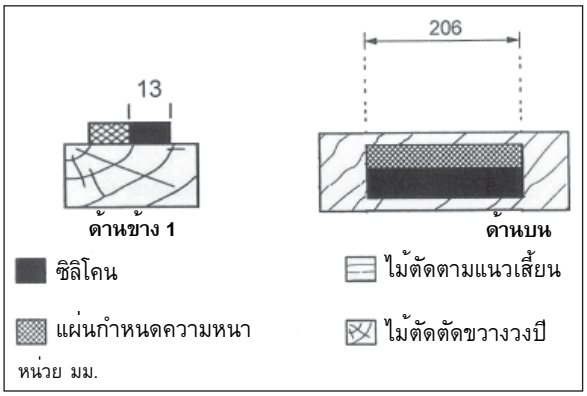
ผลจากการทดสอบความทนทานขั้นพื้นฐานโดยการวัดค่าคุณสมบัติเชิงกลของการยึดติดด้วยกาวซิลิโคนโมโนคอมโพแซนท์ ด้วยการทดสอบแรงดึงใน

ไม้สน ไม้โมอาบี ไม้โอ๊ค

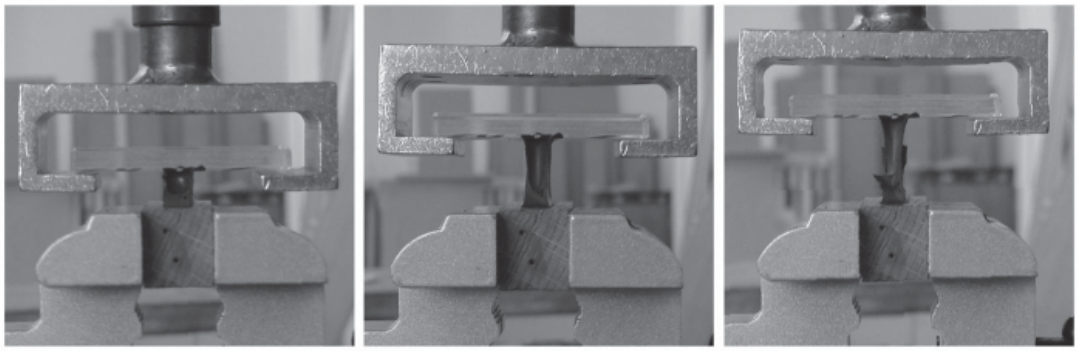
รูปที่ 6 ตัวอย่างไม้เนื้อแข็ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ไม้สน ไม้โมอาบี และไม้โอ๊ค ตามลำดับ



รูปที่ 7 ชิ้นส่วนทดลองที่ใช้ในการทดสอบเชิงกล (La Roue de Dégradation Accélérée: RDA การทดลองนี้ทำขึ้นเฉพาะในประเทศฝรั่งเศส โดย CTBA อาจไม่สามารถใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานสากลได้)



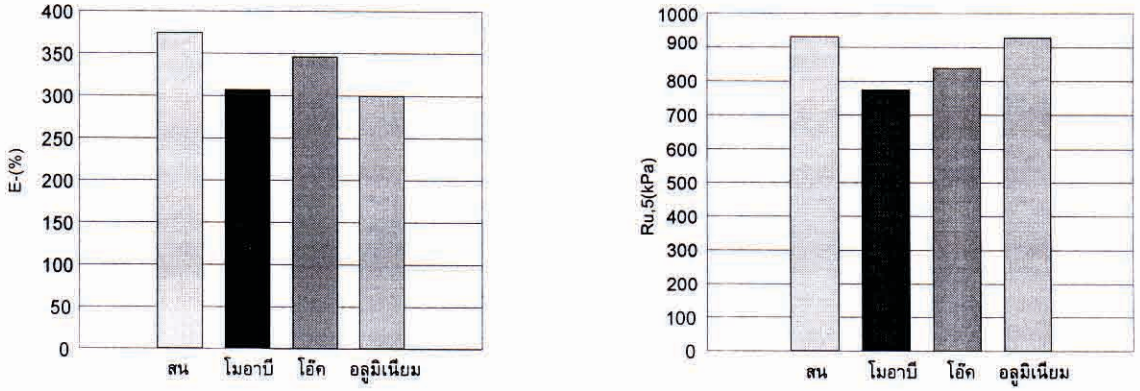
รูปที่ 8 ชิ้นส่วนทดลองที่ใช้ในการทดสอบทางเคมี (La Roue de Dégradation Accélérée: RDA การทดลองนี้ทำขึ้นเฉพาะในประเทศฝรั่งเศส โดย CTBA อาจไม่สามารถใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานสากลได้)



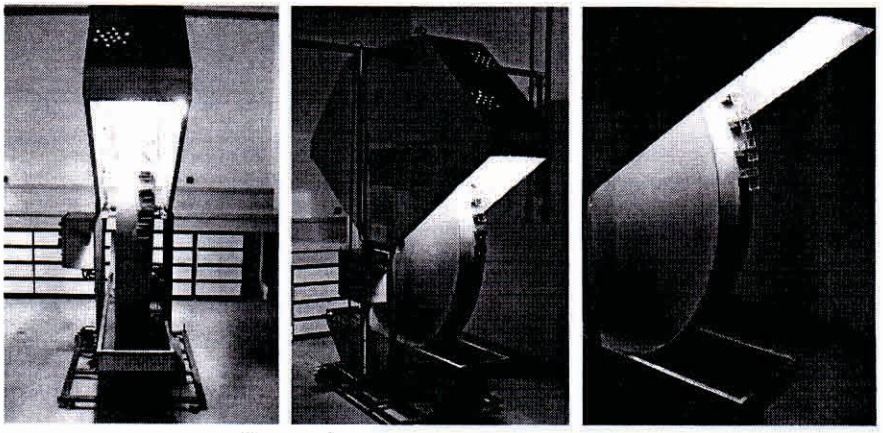
รูปที่ 9 การทดสอบประสิทธิภาพแรงดึงในแนวตั้งฉาก

แนวตั้งฉาก (รูปที่ 9) เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ในส่วนเชื่อมต่อระหว่าง กระจก ไม้ และกาวซิลิโคน ภายใต้สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบชิ้นส่วนทดลองระหว่าง ไม้สน ไม้โอ๊ค ไม้โมอาบี และอลูมิเนียม รวมวัสดุทั้งหมดสี่ประเภท (รูปที่ 10) พบว่า ร้อยละของการลดลงของพื้นที่ยึดเกาะ (A(%)) ของซิลิโคน ระหว่างไม้ทั้งสามชนิดกับกระจกมีค่ามากกว่าเกณฑ์ (50%) และพบว่า ค่าการยืดตัวของกาวซิลิโคนจนถึงจุดประลัย (rupture characteristic) ของรอยต่อ สามารถทนแรงดึงได้มากกว่า 700 kPa (รูปที่ 9) ตามข้อกำหนดของ Le Guide pour l'Agrément Technique Européen pour les Systèmes VEC (EOTA,1998) ดังนั้นผลการทดสอบจึงแสดงในรูปที่ 10 (La Roue de Dégradation Accélérée: RDA การทดลองนี้ทำขึ้นเฉพาะในประเทศฝรั่งเศส โดย CTBA อาจไม่สามารถใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานสากลได้) ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากคุณสมบัติของไม้ทั้งสามประเภทผ่านข้อกำหนดการรับแรงของระบบ SSG

ส่วนผลการทดสอบความคงทนและการเสื่อมสภาพของวัสดุ การวัดผลของสภาพวัสดุที่เสื่อมสภาพตามปัจจัยด้านความชื้น ฝน และรังสีอัลตราไวโอเลต ณ ภูมิอากาศรุนแรงที่ -20 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส โดยนำชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบผ่านเครื่องเร่งการเสื่อมสภาพ (Legrande, 2002) การทดสอบทำโดยการนำชิ้นส่วนทดสอบมาติดตั้งบนวงล้อที่หมุนผ่านแสงและน้ำเทียบเท่ากับสภาวะจริงที่กำหนด (รูปที่ 11) ผลการทดสอบพบว่า วัสดุผ่านข้อกำหนดพื้นฐาน (Legrande, 2002) ภายใต้การทดสอบความคงทน ยกเว้นไม้ยางที่ได้รับความเสียหายจากรังสียูวีมากกว่า



รูปที่ 10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงดึงโดยทดสอบค่าความยืดหยุ่น—Elongation (E%) และกำลังรับแรงดึงประลัยของซิลิโคน—Rupture (Ru, 5(kPa)) เปรียบเทียบกันระหว่างไม้สน ไม้โมอาบี ไม้โอ๊ค และอลูมิเนียม (CTBA, 1997)



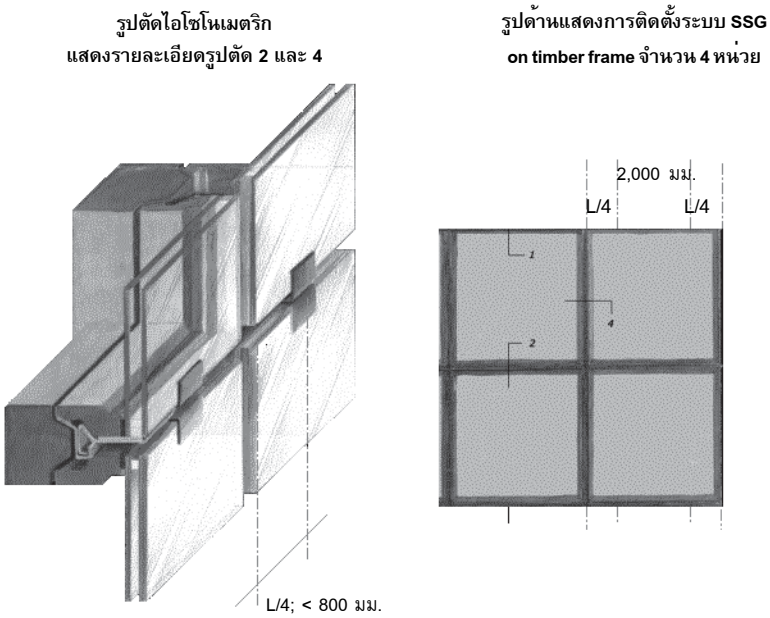
รูปที่ 11 วงล้อเร่งการเสื่อมสภาพ (Legrande, 2002)

มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างไม้ทั้งสามชนิดในด้านความแข็งแรงและความสวยงาม จึงคัดเลือกไม้โอ๊คมาใช้ทำต้นแบบจริงในขั้นต่อไป

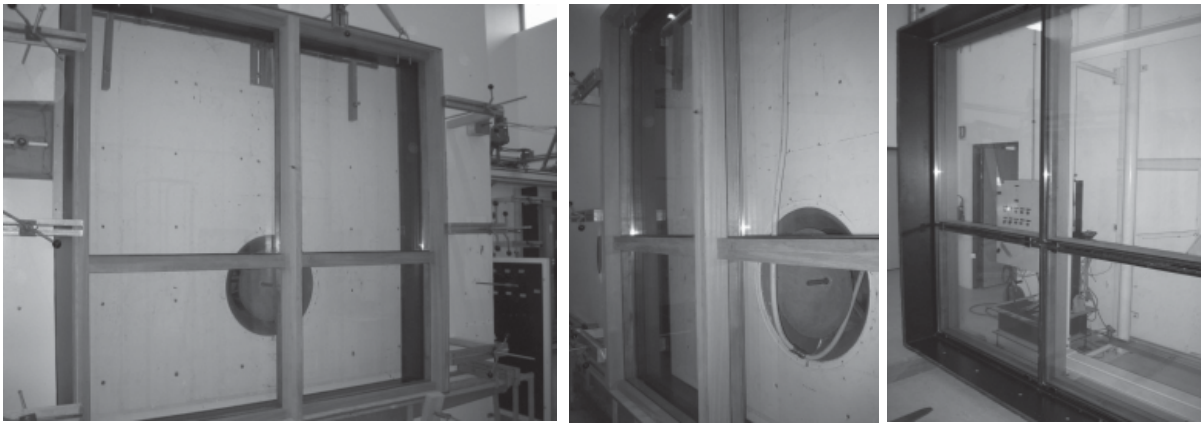
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพจากต้นแบบทดลอง (Experimental Prototype)

คุณสมบัติของไม้มีความแตกต่างอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของโลหะ เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่เท่ากันทุกด้าน (anisotropic material) และมีปฏิกิริยาไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงต้องประกอบไม้ในทิศทางที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการรับแรงสูงสุด และจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องการออกแบบระบบกันความชื้นและระบบระบายน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างกรอบเป็นพิเศษ โดยจัดทำต้นแบบกรอบไม้โอ๊ค อัตราส่วน 1 : 1 ขนาด 2,000 x 2,500 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเดียวกันกับกรอบอลูมิเนียมทั่วไป แสดงหลักการติดตั้งในรูปตัด (รูปที่ 12) ซึ่งถูกออกแบบสำหรับต้นแบบที่ 1 (รูปที่ 13) โดยอ้างอิงจากระบบ SSG เดิมและมีการปรับแบบให้สวยงามขึ้นในต้นแบบที่ 2 ออกแบบโดยสถาปนิกจูร์ดา

กระบวนการวิจัยกับต้นแบบดำเนินการโดยทีมวิจัยร่วมหลายฝ่าย แบ่งออกเป็นการกำหนดเกณฑ์ในการประกอบต้นแบบ จัดทำโดยทีมวิจัยร่วมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านผนังอาคารจาก ATEM ด้านงานประกอบงานไม้จาก CTBA ส่วนทีมวิจัยร่วมจาก l'ESEM และ le LRBB ได้ทำการทดสอบการต้านแรงลม (wind pressure) และการเปลี่ยนรูป (dimensional change) อันเนื่องมาจากการสัมพัทธ์กับอากาศและความชื้น (thermo-hygrometric dilatation) ซึ่งเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของกรอบไม้ (รูปที่ 14 และ 15) ผนังต้องทำการยึดเข้ากับโครงคร่าวไม้หลัก โดยจุดยึดต้องเว้นระยะห่างไม่เกิน 800 มิลลิเมตร ระหว่างจุดรับน้ำหนักสองจุดโดยจะไม่มีการทำจุดเชื่อมต่อใด ๆ ที่มุมของกรอบไม้เนื่องจากเป็นบริเวณที่ไม่แข็งแรง (รูปที่ 12 และ 16)

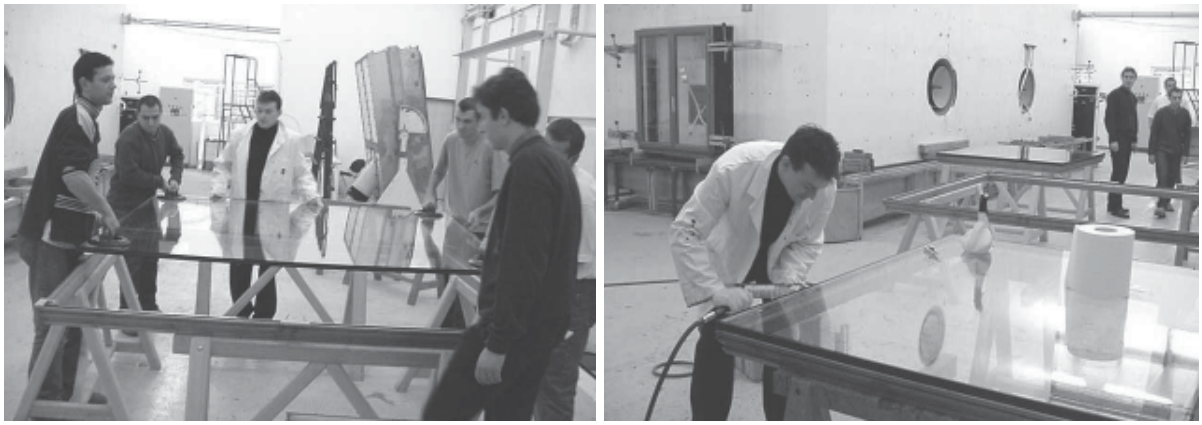


รูปที่ 12 แนวความคิดการกำหนดรูปแบบการพัฒนากรอบต้นแบบ

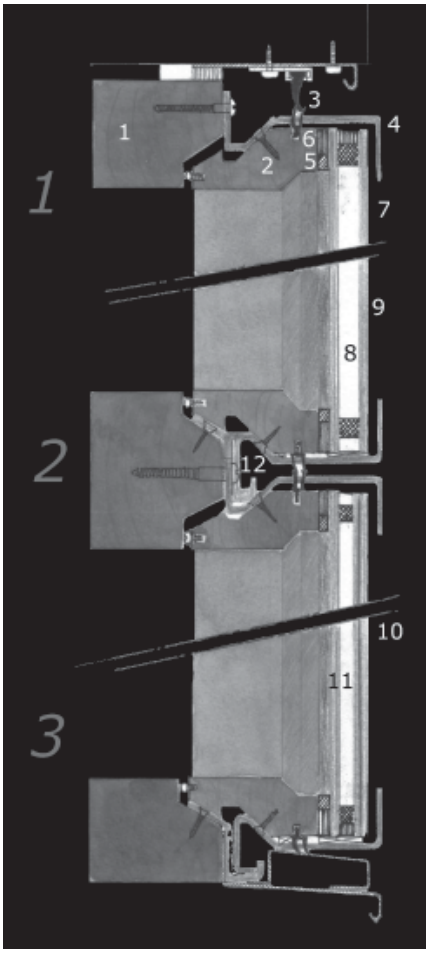


รูปที่ 13 ต้นแบบที่ 1—ภาพซ้ายแสดงมุมมองจากภายในอาคาร ภาพกลางแสดงการทดสอบแรงดันจากลม ภาพขวาแสดงมุมมองจากภายนอกอาคาร (กรอบสีดำเป็นโครงของเครื่องทดสอบแรงดันอากาศ)

รูปที่ 14 ต้นแบบที่ 2—ภาพซ้ายแสดงการทดสอบแรงดันลม ภาพกลางแสดงมุมมองจากภายในอาคาร และภาพขวาแสดงมุมมองจากภายนอกอาคาร บริเวณที่มีการติดตั้งตัวยึดอลูมิเนียมเพื่อป้องกันผนังหลุดร่วงอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 15 ขั้นตอนการประกอบต้นแบบที่ 2 ขนาด 2,000 x 2,500 มม. ในห้องทดลองที่ CTBA ภาพซ้ายแสดงการนำแผ่นกระจกวางบนกรอบไม้ และภาพขวาแสดงขั้นตอนการยิงกาวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้าง



รูปตัดขยาย

SSG on timber frame

1. โครงสร้างหลัก (primary structure)
2. เส้นขอบรอบนอกขนาด 35 x 75 มม. ของการยาแนวซิลิโคนบนกรอบไม้โอ๊ค (support profile of 35 x 75 mm attaching on oak frame)
3. แผ่นกันน้ำ (water protection tongue)
4. ตัวยึดอลูมิเนียมป้องกันระบบหล่น (security aluminum plate)
5. แผ่นกำหนดความหนาวัสดุยาแนว (spacer)
6. วัสดุยาแนวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้าง (structural silicone adhesive)
7. กระจกสองชั้น (double glazing)
8. ช่องอากาศ (air gap)
9. กระจกนิรภัยภายนอกหนา 12 มม. (exterior tempered glass 12 mm.)
10. กระจกลามิเนตภายนอกหนา 16 มม. (exterior laminated floating glass 16 mm.)
11. กระจกนิรภัยภายในหนา 12 มม. (interior tempered glass 12 mm.)
12. แผ่นยึดกรอบเข้ากับโครงสร้างหลัก (fixing plate)

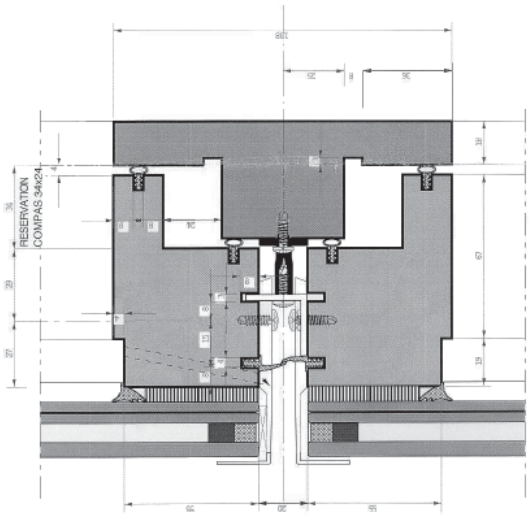
รูปที่ 16 หลักการการติดตั้งผนังกระจก SSG on timber frame พัฒนาแบบโดย สิริรัตน์ เสรีรัตน์

4.3.1 ผลการทดสอบความเสื่อมสภาพของจุดต่อ

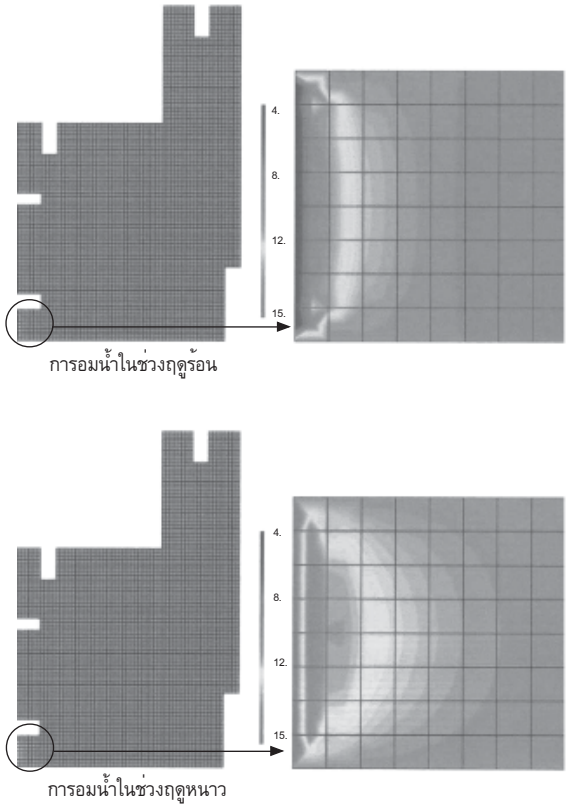
การทดสอบนี้ทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความชื้นที่จะแทรกซึมเข้าสู่ภายในผ่านจุดต่อระหว่างกรอบไม้ ดังแสดงในรูปที่ 17 และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของกรอบไม้บริเวณที่ไม่ได้ปกปิดผิวไม้ติดด้วยการเข้าลิ้น (tongue and groove joint) (รูปที่17) ดังนั้นบริเวณนี้จึงเป็นส่วนที่เกิดความเสื่อมสภาพมากที่สุด โดยการทดสอบภายใต้สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity—RH) 65% พบว่าไม้มีค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Humidity—EH) 12% จากการจำลองโดยตัวเร่งสภาพการเสื่อมทดสอบในช่วงอายุวัสดุ 10 ปี พบว่า กรอบไม้ (รูปที่ 18) ไม่สัมผัสน้ำโดยตรง แต่กรอบไม้ผ่านสภาวะอากาศตามฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ไม้ในส่วนที่อยู่ภายนอกนั้นเสื่อมสภาพและเสียหายมากกว่าส่วนอื่น โดยผลการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็นประเด็นที่สำคัญดังนี้

1. การทดสอบการยอมให้อากาศผ่านจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ตามเกณฑ์ La norme EN 1026 (CTBA, 1997) วัดค่าของอากาศที่ผ่านรอยต่อ โดยจำลองแรงลมที่ความกดอากาศต่ำ และความกดอากาศสูง 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 และ 600 ปาสคาล (Pa) กระทำบนพื้นผิวด้านนอกของต้นแบบที่ 1 และ 2 ซึ่งถูกยึดติดอยู่กับที่ พบว่า ต้นแบบที่ 2 มีค่าการยอมให้อากาศผ่าน ($m^3/h.m^2$) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระบบประตูและหน้าต่าง EOTA โดยจัดอยู่ในหมวด le classement A2 (Legrande, 2002), (รูปที่ 19)

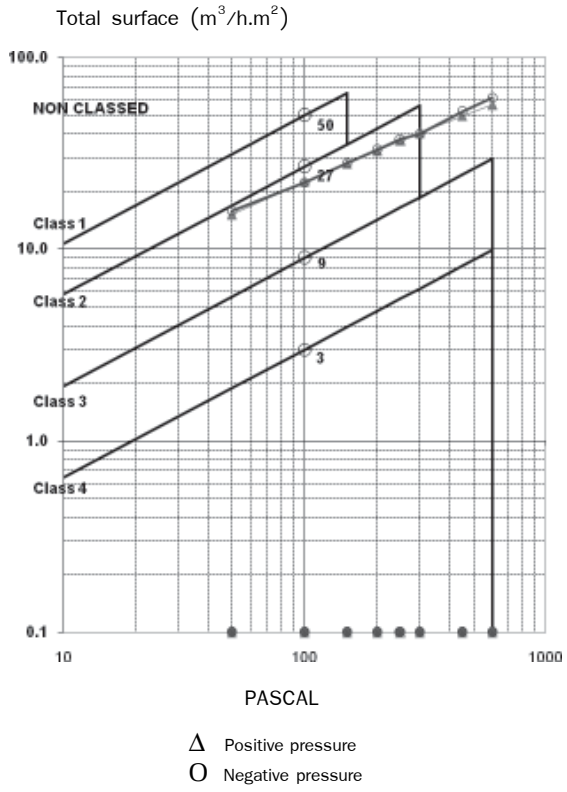
2. การทดสอบความต้านทานแรงลม ตามเกณฑ์ La norme EN 12 211 (CTBA, 1997) เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงและความทนทานพบว่า ต้นแบบที่ 2 สามารถทนแรงกดและแรงกระทำขนาด 800 ปาสคาล โครงสร้างเสียหายที่แรงดัน 700 ปาสคาล เกิดจากการฉีกขาดส่วนล่างของกรอบไม้และโครงคร่าวหลักของอาคาร จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุเกิดจากตัวยึดอลูมิเนียม (รูปที่ 20) ที่ใช้ยึดบริเวณมุมทั้งสี่ของกรอบกระจกไม่แข็งแรง โดยเฉพาะบริเวณด้านนอก จึงทำให้ไม่สามารถเชื่อมประกอบระบบทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อให้รับแรงอย่างมีประสิทธิภาพได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบจุดต่อส่วนนี้อีกครั้งเพื่อทำให้ระบบสมบูรณ์และสามารถนำไปใช้ได้จริง



รูปที่ 17 รูปตัดทางนอนแสดงการต่อของผนังกระจกต้นแบบที่ 1 (Legrande, 2002)



รูปที่ 18 รูปตัดทางนอนของกรอบไม้และแผนภาพขยายแสดงบริเวณที่สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรงซึ่งมีผลต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากการอมน้ำของกรอบไม้ ภายหลังทำการจำลองสภาพอากาศช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว (Legrande, 2002)

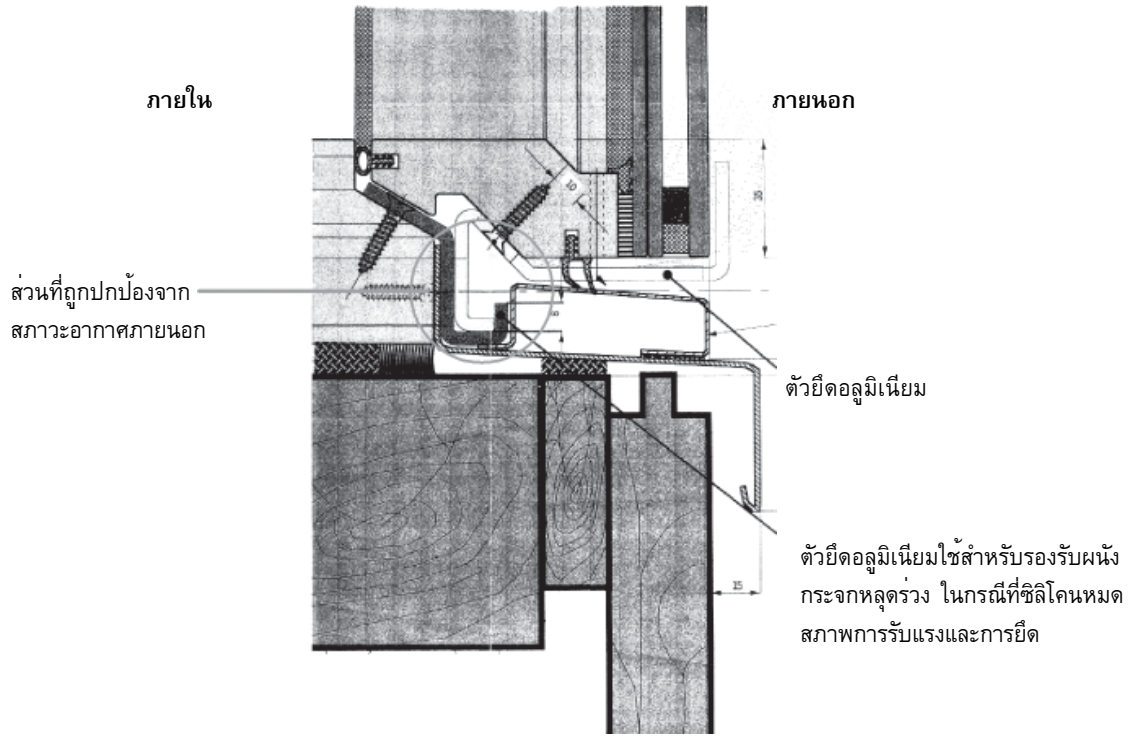


รูปที่ 19 ค่าการยอมให้อากาศผ่าน ณ พื้นผิวทั้งหมดของต้นแบบที่ 2

4.3.2 ผลการทดสอบศักยภาพในควบคุมคุณภาพการผลิต การประกอบติดตั้ง และความยากง่ายในการบำรุงรักษา

เมื่อพิจารณาด้านการควบคุมคุณภาพการผลิตพบว่าควบคุมได้ยาก จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบและชิ้นตัวอย่างและต้นแบบพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อความคงที่ของคุณภาพผลิตภัณฑ์คือความคลาดเคลื่อนของคุณภาพกรอบไม้ แม้ว่าได้ใช้มาตรฐานการควบคุมโครงสร้างไม้ของประชาคมยุโรป Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1) เป็นเกณฑ์ โดยกำหนดให้ใช้ไม้ในกลุ่มสำหรับใช้ในงานโครงสร้าง (class 3 หรือ class 4) ซึ่งได้ผ่านการทดสอบแล้ว อย่างไรก็ตาม ไม้เป็นวัสดุธรรมชาติซึ่งไม่สามารถผลิตให้มีมาตรฐานเดียวกันได้ทั้งหมดเช่นเดียวกันกับการผลิตวัสดุโลหะ อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจมีผลเพียงเล็กน้อยในแง่ของความสวยงามของสีและลวดลายไม้ แต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงแต่อย่างใด

ในส่วนของศักยภาพในการประกอบและติดตั้ง (รูปที่ 16) นั้นมีศักยภาพเทียบเท่ากับระบบ SSG โดยทั่วไป แต่กลับพบข้อด้อยในแง่ของการบำรุงรักษาและความคงทน จากผลการทดลองความเสื่อมสภาพพบว่า



รูปที่ 20 รูปตัดทางตั้งในส่วนต่อด้านล่างของต้นแบบที่ 2 (Legrande, 2002)

ระบบ SSG on timber frame มีอายุการใช้งานเพียง 10 ปีโดยประมาณ และจำเป็นต้องทำการบำรุงรักษาผิวไม้ทุก 2-3 ปี ในขณะที่ระบบ SSG ทั่วไปนั้นมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี และไม่ต้องการการบำรุงรักษาบ่อยครั้ง

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โครงงานวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อพัฒนาแนวความคิดในการนำมาไม้มาใช้ในระบบผนัง SSG on timber frame อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาขั้นต้นโดยการทดสอบชิ้นส่วนบริเวณรอยต่อระหว่างกระจก ซึ่งประกอบด้วยวัสดุยาแนวซิลิโคนชนิดรับแรงโครงสร้างที่ยึดต่อกระจกเข้ากับกรอบไม้ทำจากไม้โอ๊ค ไม้โมอาบี และไม้สน ผนวกกับการทดสอบความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมโดยทำการทดสอบผ่านการจำลองสภาพอากาศ ลม น้ำ และแสงแดด ภายในห้องทดลอง ภายใต้ข้อกำหนดตามมาตรฐาน EN 1026, 1027 และ 12 211 พบว่า ประสิทธิภาพเชิงกลของระบบผนังโดยรวมผ่านมาตรฐานความปลอดภัยตามข้อกำหนดเบื้องต้น ในขณะที่พบข้อด้อยของต้นแบบบริเวณจุดต่อระหว่างกรอบผนังกับโครงสร้างหลักของอาคารที่ยังไม่สามารถหารูปแบบที่เหมาะสมสามารถปกป้องกรอบไม้จากการสัมผัสของน้ำและความชื้นจากภายนอกอาคารได้อย่างสมบูรณ์แบบ ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะถูกนำมาศึกษาหาแนวทางการแก้ปัญหาในโครงการวิจัยขั้นต่อไป

การนำกรอบไม้มาประยุกต์ใช้ทดแทนกรอบเหล็กหรืออลูมิเนียมนั้น มีแนวโน้มที่จะให้ผลเชิงบวกในหลาย ๆ ด้าน ทั้งทางด้านสุนทรียศาสตร์ในงานสถาปัตยกรรมทางสิ่งแวดล้อม และทางสังคมในแง่ของสุขภาพ จากการศึกษาพบว่า ไม้มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม และเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ทดแทนเหล็กและอลูมิเนียมในระบบผนัง SSG เพื่อก่อให้เกิดมิติใหม่ของการพัฒนาและออกแบบงานสถาปัตยกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมและเพื่อความยั่งยืน เนื่องจากไม้เป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ใช้พลังงานในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าเหล็กและอลูมิเนียม ที่สำคัญไม้ช่วยกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่วัสดุเหล็กและอลูมิเนียมคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในช่วงกระบวนการผลิตและช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก นอกจากนั้นไม้ยังพร้อมด้วยคุณสมบัติอื่น ๆ ทั้งคุณสมบัติทางกลที่มีข้อได้เปรียบทางมวลวัตถุที่เบา และคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน ทั้งนี้ยังรวมถึงคุณสมบัติทางด้านความงามทางสถาปัตยกรรมอีกด้วย

References

ADEME. (2000). *Qualité environnementale des bâtiments* [Environmental quality of buildings]. Paris: Author.

CNDB. (2003). *CO_2 absorption et stock de la photosynthèse* [CO_2 absortion and stock in photosynthesis]. Retrieved August 3, 2004, from http://www.cndb.fr/,

CTBA. (1997). *Pose du vitrage en usine et en atelier: Recueil des procédures et qualification des fenêtres certifiées* [Fitting the glass at factory and workshop: Compendium of procedures and qualifications of certified windows]. Paris: Author.

ENSTIB. (2004). *Carbone émission dans le cycle de la vie de poutres simple avec matériaux différents* [Carbon emission during the life cycle of basic beams made by different material]. Retrieved August 16, 2004, from http://www.enstib.uhp-nancy.fr/,

EOTA. (1998). *Guide pour l'agrément technique européen pour les systèmes VEC* [Guide for European technical approval for the structural sealant glazing system (SSG)]. Bruxelles, Belgium: Author.

ITBTP. (1989). *VEC: Guide de conception et de réalisation* [Structural sealant glazing (SSG): Guide design and implementation] Annales de l'ITBTP n °473. Paris: Author.

Legrande, G. (2002). *Validation d'une solution technique innovant le verre extérieur collé (VEC) sur bois* [Validation of an innovative technique structural sealant glazing (SSG) on wood]. Bordeaux cedex, France: CTBA.

RT2000. (2003). *Propriétés thermiques des matériaux; bois, acier et aluminum* [Thermal performance of materials; wood, metal and aluminum]. Retrieved September 21, 2004, from http://www.rt2000.net/,

STEP. (1994). *Coût d'energetic comparé des matériaux bois, acier et aluminum* [Energy cost of material compared; wood, metal and aluminum]. Retrieved September 21, 2004, from http://www.step.fr/fr/index.htm,