

การออกแบบอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป THE DESIGN OF LIGHTWEIGHT STEEL FRAME HOUSE IN PANELIZED SYSTEM

อมร ปิยะวาจิ

นักศึกษาหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่นำเสนอผลการรวบรวมข้อมูลขั้นต้นจากเอกสารทางวิชาการทั้งในและต่างประเทศพร้อมทั้งการสัมภาษณ์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุและระบบการก่อสร้าง รวมถึงพัฒนาการในต่างประเทศและประเทศไทยตามสภาพการณ์ที่เป็นอยู่

ข้อค้นพบจากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กเบาผลิตจากเหล็กแผ่นรีดเย็นที่ผ่านการเคลือบผิวเพื่อป้องกันสนิม นำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปเย็นเป็นหน้าตัดแบบต่างๆ ส่วนระบบการก่อสร้างมี 2 ระบบที่ใช้เป็นหลัก คือ ระบบการสร้างในที่ตั้ง (Stick-built System) และระบบการผลิตเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Panelized System) ซึ่งในต่างประเทศจะมีสถาบันหรือองค์กรที่เผยแพร่ข้อมูลการก่อสร้างอาคารพักอาศัยด้วยระบบนี้อย่างละเอียดและมีแนวทางการปฏิบัติค่อนข้างชัดเจนสำหรับ สถาปนิก วิศวกร ผู้ก่อสร้าง และบริษัทรับสร้างบ้าน ส่วนสภาพการณ์ในประเทศไทย พบว่า ระบบนี้ยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก อาคารที่ก่อสร้างเกือบทั้งหมดเป็นอาคารพักอาศัยไม่เกิน 2 ชั้น แม้ว่าบริษัทรับสร้างบ้านในระบบนี้ที่ยังดำเนินกิจการอยู่ในปัจจุบันมีศักยภาพในการก่อสร้างด้วยระบบการผลิตเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปก็ตาม แต่ก็ยังเป็นการผลิตแบบหลังต่อหลังที่มีการปรับแก้ไขบางจุดตามความต้องการของลูกค้า อีกทั้งยังมีปัญหาด้านการประสานงานอย่างเป็นระบบระหว่างผู้เกี่ยวข้องแต่ละฝ่ายเพื่อการเตรียมงานก่อนการก่อสร้าง

คำสำคัญ : ระบบโครงสร้างเหล็กเบา, เหล็กแผ่นรีดเย็น, การขึ้นรูปเย็น, เหล็กกล้ากำลังสูง

Abstract

This article is part of research which aimed to present about primary data collection and interview data in Thailand of lightweight steel frame house for analysis basic data of material and construction system including development in other countries and situation in Thailand.

The study demonstrated that lightweight steel frame member is made of cold rolled steel sheet, which is already coated for rustproof and cold forming in many kinds of section. There are two main systems of construction, first is Stick-built System, and second is Panelized System. In developed countries, there are institutes or organizations that official publish the information and procedures to architects, engineers, builders and house builder companies. On the other hand, the study showed that this construction system in Thailand is used in limited group. Even some house builder companies have enough capability of Panelized System. But this system is made by order and adjusted some points by customers. Moreover, there are problems about systematically coordination among involved staffs for preconstruction preparation.

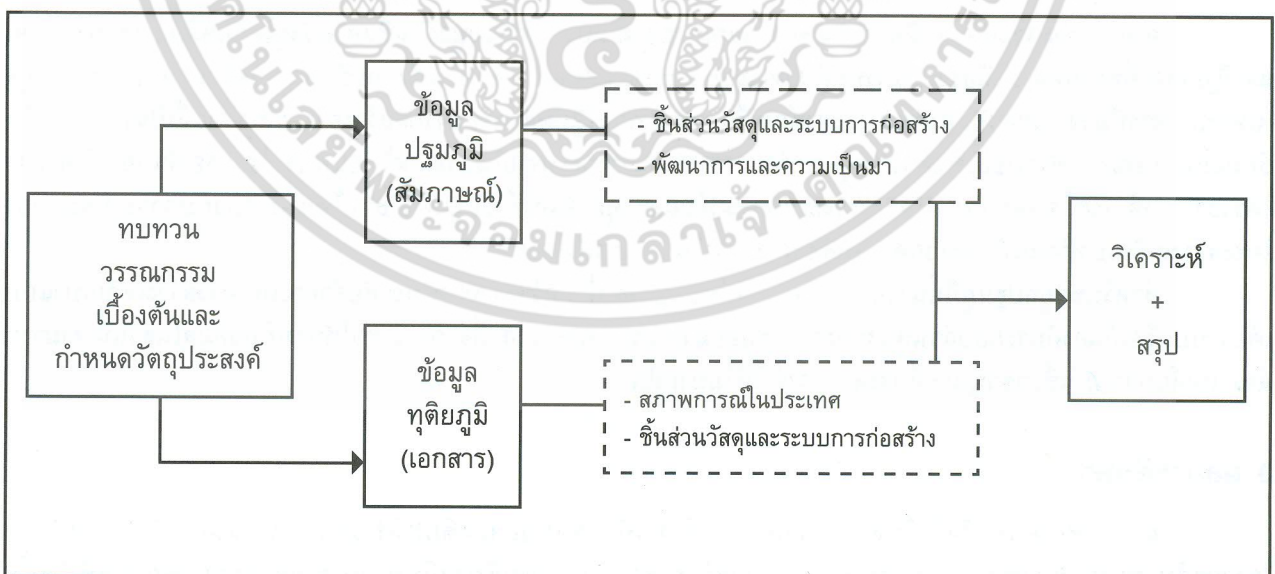
Keywords : Lightweight Steel Framing, Cold Rolled Steel Sheet, Cold Forming, High Strength Steel

1 บทนำ

ปัจจุบันอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวในประเทศไทยมีโครงการเกิดขึ้นมากมาย โดยเฉพาะโครงการบ้านจัดสรรที่ต้องทำการก่อสร้างครวละหลาย ๆ หน่วย แต่ระบบการก่อสร้างทั่วไปก็ยังคงเป็นแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ค่อนข้างล่าช้า เนื่องจากเป็นระบบเปียกที่ต้องใช้เวลานานมาก เป็นผลให้บางโครงการที่มีปริมาณงานมากต้องทำการก่อสร้างอย่างรีบเร่ง จึงทำให้คุณภาพงานต่ำเพราะระบบการก่อสร้างที่ไม่เอื้ออำนวย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาหาวิธีการก่อสร้างที่มีพื้นฐานในระบบ อุตสาหกรรมเพื่อให้สามารถก่อสร้างได้รวดเร็วตามธรรมชาติของระบบการก่อสร้างที่ไม่ใช่เกิดจากการเร่งรีบจนไม่มีคุณภาพ จึงเป็นที่มาของการศึกษาเรื่องระบบโครงสร้างเหล็กเบาซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นในเรื่องของความรวดเร็วในการก่อสร้าง รวมถึงการไว้วัสดุที่มีมาตรฐานแน่นอน มีน้ำหนักเบา โดยมีพื้นฐานมาจากระบบผนังรับน้ำหนัก ซึ่งการศึกษาโครงสร้างเหล็กเบาที่พบในผลงานทางวิชาการที่ผ่านมา มักจะเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระบบโครงสร้างเหล็กทั่วไปและการเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบอื่นในด้านราคาหรือระยะเวลาการก่อสร้าง ซึ่งยังไม่มีการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กเบาโดยตรงที่สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบอาคารพักอาศัยเพื่อก่อสร้างด้วยระบบนี้ ซึ่งคำว่าอาคารออกแบบในที่นี้มีได้มุ่งเน้นที่การศึกษาถึงเรื่องจัดวางพื้นที่ใช้สอยหรือรูปลักษณะทางสถาปัตยกรรมเป็นประเด็นหลัก เนื่องจากสิ่งเหล่านี้เป็นหลักการเบื้องต้นสำหรับการก่อสร้างทุก ๆ ระบบอยู่แล้ว วัตถุประสงค์หลักจึงเป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารพักอาศัยในระบบดังกล่าว ซึ่งมีแตกต่างจากระบบการก่อสร้างแบบเสา-คานาที่คุ้นเคยกันในประเทศไทยอย่างชัดเจน รวมถึงศึกษาข้อมูลพัฒนาการของอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาทั้งในต่างประเทศและประเทศไทย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อความเข้าใจด้านสภาพการณ์ของอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานที่จะนำไปสู่การออกแบบอย่างมีความเข้าใจในธรรมชาติของระบบมากขึ้นและสามารถมองเห็นภาพรวมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องเนื่องกัน

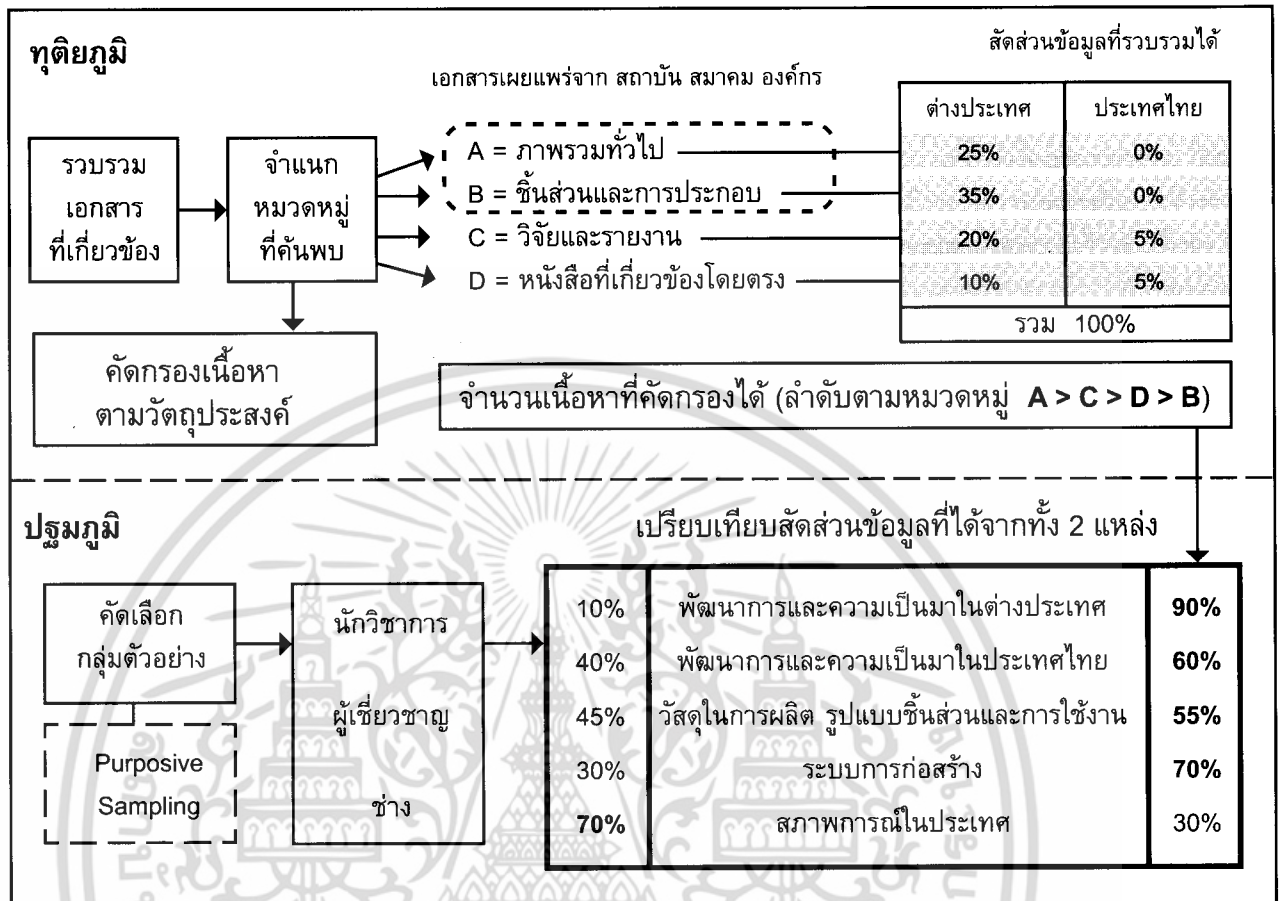
2 วิธีการศึกษา

ในการรวบรวมข้อมูลขั้นต้นนั้น ได้รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งในประเทศและต่างประเทศเป็น พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ โดยทำการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านอาคารโครงสร้างเหล็กเบาภายในประเทศ ซึ่งมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงใช้การเลือกตัวอย่างแบบมีจุดหมาย (Purposive Sampling) เพื่อการเก็บข้อมูลได้อย่างตรงจุดในรายละเอียดที่มีลักษณะเฉพาะ โดยมีบุคคลที่ติดต่อสัมภาษณ์ได้ในขั้นต้นนี้ 6 คน สำหรับการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลในประเด็นทางกายภาพของระบบโครงสร้างเหล็กเบา รวมถึงพัฒนาการในต่างประเทศและประเทศไทย มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพวิธีการศึกษาโดยสังเขป (ผู้วิจัย. 2553)

โดยกระบวนการรวบรวมและศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ ทั้งแหล่งที่มาจากต่างประเทศและในประเทศไทยร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านอาคารโครงสร้างเหล็กเบาภายในประเทศ สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิโดยสังเขป (ผู้วิจัย. 2553)

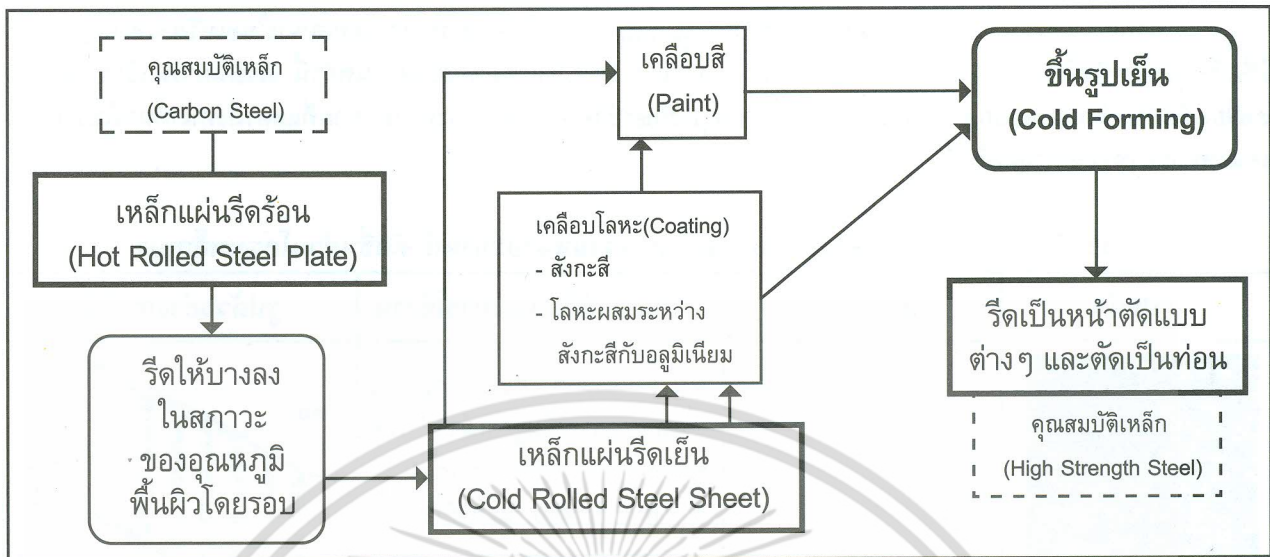
จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมินั้น พบว่า เอกสารของต่างประเทศมีข้อมูลด้านชิ้นส่วนวัสดุโครงสร้างเหล็กเบาค่อนข้างมาก และมีรูปแบบที่หลากหลาย เนื่องจากมีบริษัทผู้ผลิตและผู้ก่อสร้างอาคารพักอาศัยระบบนี้ค่อนข้างมาก จึงต้องเลือกรวบรวมข้อมูลเฉพาะเอกสารที่มาจากสถาบัน สมาคม และองค์กร ที่ออกแนวทางปฏิบัติสำหรับการก่อสร้างอาคารในระบบนี้เป็นหลักซึ่งจะได้ข้อมูลในลักษณะภาพรวมของชิ้นส่วนวัสดุและพัฒนา การส่วนเอกสารภายในประเทศไทยแทบจะไม่มีเรื่องที่เกี่ยวข้องกับอาคารโครงสร้างเหล็กเบาโดยตรงเลย ที่พบมากจะเป็นงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ข้อมูลที่ได้ส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับความเป็นมาของโครงสร้างเหล็กเบาที่ค่อนข้างละเอียด และพัฒนาการทั้งในและต่างประเทศ

สำหรับข้อมูลปฐมภูมินั้น พบว่า ในประเทศไทยมีบริษัทที่ก่อสร้างอาคารพักอาศัยด้วยระบบโครงสร้างเหล็กเบาแบบเต็มระบบหรือเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของอาคารน้อยมาก ประกอบกับเวลาที่จำกัด จึงทำให้การเก็บข้อมูลในส่วนนี้ สามารถสัมภาษณ์บุคลากรผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ ได้ไม่มากนัก

3 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาในครั้งนี้ ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิร่วมกัน โดยเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลในประเด็น ทางกายภาพของวัสดุและระบบการก่อสร้าง พัฒนาการโดยสังเขปในต่างประเทศและสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นในประเทศ รวมถึงปัจจัยที่ส่งต่อการพัฒนาอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบา โดยผลการศึกษาสามารถสรุปในประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

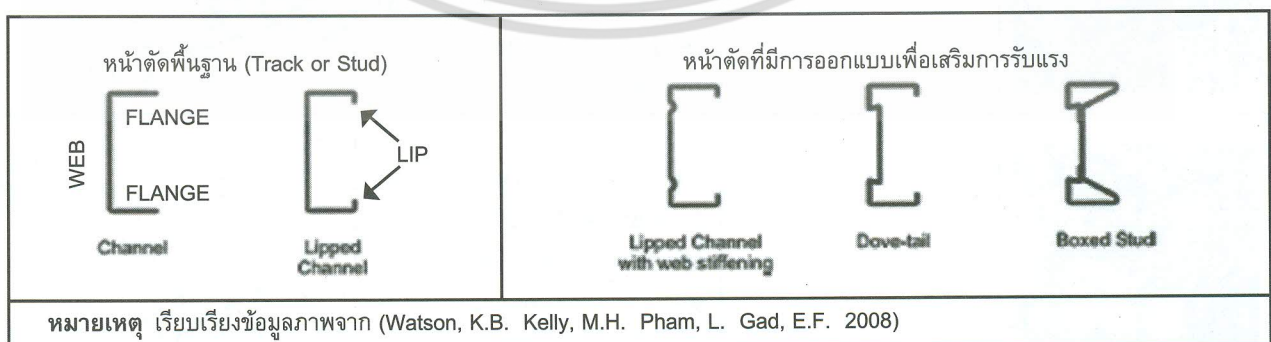
3.1 วัสดุและกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโครงเหล็กเบา



รูปที่ 3 แสดงภาพรวมทั้งหมดของวัสดุและกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโครงเหล็กเบา (ผู้วิจัย. 2553)

จากการรวบรวมข้อมูลทั้งด้านเอกสารและการสัมภาษณ์ พบว่า เหล็กที่ใช้สำหรับผลิต คือ เหล็กแผ่นรีดเย็น (Cold Rolled Steel Sheet) ที่นำมาทำการขึ้นรูปเย็น (Cold Forming) เป็นหน้าตัดแบบต่างๆ คำว่าเหล็กแผ่นรีดเย็น คือ กระบวนการที่นำเหล็กแผ่นรีดร้อน (Hot Rolled Steel Plate) มาทำการรีดให้บางลงในขณะเย็นหรืออยู่ในสถานะของอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบจนมีสภาพเป็นแผ่นบาง (Sheet) เพื่อปรับสภาพผิวและเพิ่มกำลัง จากนั้นจึงนำไปทำการแปรรูปโดยทำการเคลือบโลหะ (Coating) และอาจเคลือบสีทับ (Paint) เป็นขั้นสุดท้าย แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเย็นเป็นหน้าตัดแบบต่างๆก่อนตัดเป็นท่อน โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นส่วนโครงเหล็กเบามีความบาง จึงไม่ควรนำไปทำการก่อสร้างแบบระบบเสาและคานได้เหมือนกับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น (Cold Formed Structural Steel) ตามมาตรฐาน มอก. 1228-2549 ที่มีความหนามากกว่า โดยลักษณะที่เป็นจุดเด่นของวัสดุโครงสร้างเหล็กเบามีดังนี้

- 1 โดยทั่วไปมักเรียกตามคุณสมบัติของวัสดุว่า “เหล็กกล้ากำลังสูง” (High Strength Steel) ซึ่งมาจากการถูกรีดให้บางลง เป็นการเพิ่มกำลังเหล็กให้มากขึ้น ยิ่งบางลงเท่าไรกำลัง (Yield Strength) ก็ยิ่งสูงขึ้น
- 2 เหมาะกับการใช้ในระบบผนังรับน้ำหนักอันเกิดจากการวางระยะคร่าวตั้งถี่ๆ แล้วมีวัสดุแผ่นมาหุ้มปิดโครงทำให้เกิดความแข็งแรงขึ้นมาก ที่สำคัญไม่สามารถตัดโค้งได้ (เว้นแต่ใช้กรรมวิธีพิเศษ) และต้องระวังเรื่องการเสียรูปจากการกระแทกเมื่อทำการประกอบโครงหรือขณะอยู่ในระหว่างการขนส่ง
- 3 โดยทั่วไปจะถูกเรียกในภาษาอังกฤษว่า Cold-Formed Steel เนื่องจากผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปเย็นเป็นหลัก และจะต่างจากเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็นที่ขายตามท้องตลาดตรงที่มีความหนาน้อยกว่า



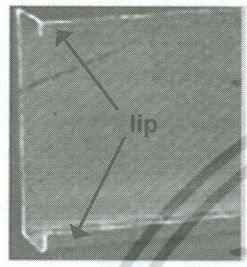
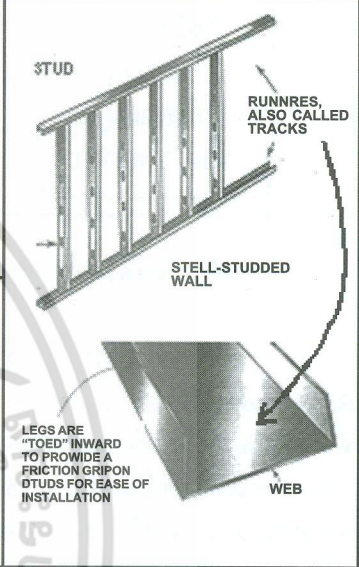


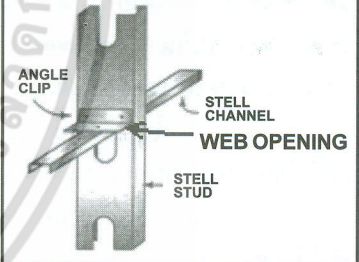
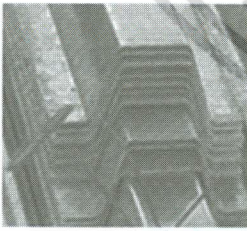
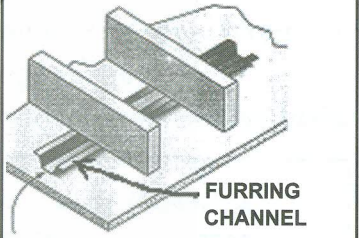
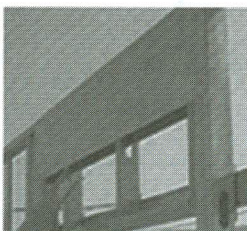
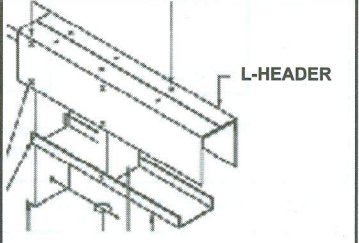
รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างความหลากหลายของชิ้นส่วนโครงเหล็กเบาในส่วนของคร่าวหลัก (ผู้วิจัย. 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ

3.2 รูปแบบหน้าตัดและการระบุชิ้นส่วน

จากการรวบรวมข้อมูลทั้งด้านเอกสาร พบว่า รูปตัดมาตรฐานในต่างประเทศ โดยเฉพาะในอเมริกาและแคนาดาจะมีชื่อเรียกตามหน้าที่หลักที่ค่อนข้างชัดเจน ซึ่งในการกล่าวถึงรูปแบบหน้าตัดของชิ้นส่วนเหล่านี้ จะเป็นการนำอักษรตัวแรกมาเรียง ติดกันคล้ายกับตัวย่อ คือ STUFL โดยสามารถสรุปอักษรย่อจากคำเต็ม และความหมายที่แสดงถึงหน้าที่การใช้งานของแต่ละหน้าตัดได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงสรุปอักษรย่อจากคำเต็มและความหมายของหน้าตัดชิ้นส่วนโครงเหล็กเบา

รูปหน้า	ตัดคำเต็ม	คำอธิบายลักษณะการใช้งาน	รูปตัวอย่างการใช้
	(S) Stud	หน้าตัดเป็นรูปตัวซีแบบมี lip เป็นชิ้นส่วนคร่าวพื้นฐานสำหรับใช้ประกอบโครงเป็นคร่าวตั้งผนัง (Stud) มากที่สุด และใช้ในส่วนของตง (Joist) และจันทัน (Rafter)	
	(T) Track or runner	หน้าตัดเป็นรูปตัวซีแบบไม่มี lip เป็นชิ้นส่วนพื้นฐานที่ยึดปลายคร่าวตั้งบนและล่างในการประกอบโครงผนัง หรือเป็นตัวปิดขอบปลายตง หรือปลายจันทัน	
	(U) U-channel	หน้าตัดเป็นรูปตัวยู ใช้เป็นชิ้นส่วนแนวอนเสริมความแข็งแรงระหว่างคร่าวตั้งผนังเป็นระยะๆ ตามความสูงของแผ่นผนัง โดยสอดผ่าน Web opening ของคร่าวตั้งแต่ละชั้นเพื่อป้องกันการโก่ง	
	(F) Furring channel	หน้าตัดคล้ายรูปหมวก เป็นชิ้นส่วนรอง เช่น แป้ คร่าวฝ้าเพดาน หรือเป็นตัวเสริมในแนวอนยึดกับหน้าคร่าวตั้งสำหรับการติดตั้งเครื่องเรือน Built-in หรือกรุผนังภายใน	
	(L) L-header	หน้าตัดเป็นรูปตัวแอล เป็นชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงบริเวณโครงที่อยู่เหนือช่องเปิด เช่น ประตู หรือ หน้าต่าง ทำหน้าที่เสมือนทับหลัง	

หมายเหตุ เรียบเรียงข้อมูลภาพจาก (Steel Framing Alliance. 2007) และ (Lewis, Gaspar. 1995)

ในที่นี้หน้าตัดพื้นฐานหลักสำหรับโครงสร้างเหล็กเบาที่ถูกพิจารณาเลือกใช้เพื่อการประกอบโครงมากที่สุด คือ หน้าตัดรูปตัวซี (C-section) สำหรับการประกอบเป็นพื้น ผนัง และหลังคา ซึ่งการก่อสร้างอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบา จะใช้หน้าตัดนี้เป็นหลักในการก่อสร้างเกือบทุกองค์ประกอบอาคาร โดยอาจจะมีการใช้หน้าตัดแบบอื่นเป็นตัวเสริมความแข็งแรง จากการรวบรวมข้อมูลยังค้นพบอีกว่า ในประเทศอื่นนอกเหนือไปจากอเมริกาและแคนาดา เช่น อังกฤษ ออสเตรเลีย จะมีการบอกขนาดหรือให้ระยะและการเรียกชื่อที่เป็นมาตรฐานคล้ายคลึงกัน แต่ต่างกันในระยะละเอียดปลีกย่อย เช่น หน่วยที่ใช้ในการวัด การเรียงลำดับอักษรหรือตัวเลขที่ถูกปรับรูปแบบให้ง่ายขึ้น

3.3 ระบบการก่อสร้าง

จากการรวบรวมข้อมูลด้านเอกสาร พบว่า โครงสร้างเหล็กเบาต้องการการประกอบโครงแต่ละแผ่นในแนวนอนจนชิ้นส่วนประกอบย่อยมีความประสานกันจนเป็นแผ่นผืนที่สามารถยกตั้งได้ จากนั้นจึงจะนำชิ้น ส่วนแต่ละแผ่นที่ประกอบเสร็จไปทำการประกอบติดตั้งเป็นอาคารที่ละชั้น ซึ่งระบบการก่อสร้างที่นิยมมากที่สุดมี 2 ระบบดังนี้

1 ระบบการประกอบโครงที่จุดก่อสร้าง (Stick-built System)

เป็นเทคนิคพื้นฐานของโครงสร้างเหล็กเบา หลักการคือ วัสดุโครงสร้างเหล็กเบาจะถูกส่งไปทำการประกอบโครงในส่วนต่างๆ ขององค์ประกอบอาคาร ณ ที่ก่อสร้าง โดยจะเก็บวัสดุตามความยาวของเหล็กเป็นหลัก ระบบนี้จะทำการประกอบโครงที่ตำแหน่งการติดตั้งหรือจุดที่ก่อสร้างเลย ส่วนใหญ่แล้วมักใช้ระบบนี้ในกรณีที่ไม่ค่อยมีความแปรปรวนจากสภาพอากาศ และเป็นงานที่มีความซ้ำของขนาดและรูปร่างชิ้นส่วนน้อย (Scharff, Robert. 1996.) ซึ่งจะประหยัดกว่าการประกอบเป็นชิ้นส่วนสำเร็จ

2 ระบบการประกอบโครงเป็นแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Panelized System)

เป็นระบบที่ทำการประกอบโครงขององค์ประกอบอาคารหลัก ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา จากโรงงานแล้วทำการขนส่งแต่ละชิ้นส่วนในลักษณะแผ่นผืนมาทำการประกอบติดตั้ง ณ ที่ก่อสร้าง ระบบนี้มีความเหมาะสมกับงานที่มีความซ้ำของขนาดและรูปร่างชิ้นส่วนมาก (Scharff, Robert. 1996.) ในการประกอบที่โรงงานนั้นสามารถที่จะสั่งตัดชิ้นส่วนประกอบย่อยโครงเหล็กเบาตามความยาวที่ต้องการได้ และสามารถควบคุมคุณภาพจากโรงงานได้ดีกว่า และแต่ละชิ้นส่วนมีขนาดที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ระบบนี้มักใช้ในกรณีที่สภาพอากาศที่ก่อสร้างมีความแปรปรวนมาก ทำให้ไม่สามารถเข้าไปทำอยู่ในพื้นที่ก่อสร้างได้ตลอด ทำให้ต้องประกอบโครงมาก่อนแล้วจึงส่งไปติดตั้ง

3.4 อาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในต่างประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูลด้านเอกสาร พบว่า เริ่มจากทวีปอเมริกาเหนือเป็นหลักโดยเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ช่วงเริ่มต้นนั้นเกิดจากระบบวิธีการก่อสร้างที่นำเข้ามาโดยผู้อพยพจากยุโรปโดยเฉพาะ อังกฤษและฝรั่งเศสและชาติต่างๆ ในยุโรป จนมีการผสมผสานและปรับปรุงแก้ไขเทคนิคและรูปแบบจนก้าวพ้นออกไปจากอิทธิพลของวิธีการดั้งเดิมแบบยุโรป โดยพัฒนามาเป็นรูปแบบการก่อสร้างที่ใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา (Lightweight Construction) ในระบบผนังรับน้ำหนักที่ใช้ไม้เป็นท่อนเล็กๆ มาเป็นวัสดุก่อสร้างหลัก พัฒนาการของระบบที่นิยมก่อสร้างในช่วงแรก คือ บอลลูนเฟรม (Balloon Frame) ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้ไม้โครงแนวตั้ง (Stud) ที่ยาวต่อเนื่องระหว่างชั้น ในเวลาต่อมาหาโครงไม้ที่ยาวต่อเนื่องได้ยาก ทำให้นิยมน้อยลง จึงมีการพัฒนามาเป็นระบบการก่อสร้างแพลตฟอร์มเฟรม (Platform Frame) ที่เป็นการสร้างทีละชั้นๆ โดยแยกระหว่างชุดโครงผนังและชุดโครงแผ่นพื้นทำให้ไม่ต้องใช้ชิ้นส่วนวัสดุโครงผนังที่ยาวมาก ระบบดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมแพร่หลายในอเมริกาเหนือจนถึงได้ว่าเป็นระบบการก่อสร้างที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไป (จริญพัฒน์ ภูวนันท์ และ อำนาจ รัตนบัญญัติ. 2541) ต่อมาได้มีการพัฒนาการก่อสร้างอาคารด้วยเหล็กขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็น (Cold-formed Steel) เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่จะมีผลต่อการพัฒนาไปสู่การใช้ชิ้นส่วน โครงสร้างเหล็กเบาในการก่อสร้างพัฒนาการที่สำคัญในต่างประเทศมีดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงพัฒนาการที่สำคัญของอาคารโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศต่าง ๆ

ประเทศสหรัฐอเมริกา	
ช่วงปี (ค.ศ)	รายละเอียดโดยสังเขป
1930 - 1940	รูปแบบหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็นเริ่มต้นพัฒนาอย่างจริงจัง
1946	<i>American Iron and Steel Institute</i> สนับสนุนมหาวิทยาลัย <i>Cornell</i> ทำการวิจัย โดย <i>Dr. George Winter</i> เป็นแกนนำในการจัดทำข้อเสนอแนะในการออกแบบและออกข้อ กำหนด (<i>Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members</i>)
หลังสงครามโลกครั้งที่ 2	มีการก่อสร้างอาคารทางอุตสาหกรรมและกิจการที่เน้นการใช้สอยเป็นหลัก โดยใช้หลังคาและเหล็กแผ่นชุบสังกะสีที่มีช่วงพาดขนาดกลาง
1950	สามารถผลิตเหล็กแผ่นชนิดม้วน โดยเคลือบสีเหล็กแผ่นก่อนแล้วจึงนำมารีดขึ้นรูปได้เลย
1956	ตัวแทนบริษัทผลิตอาคารเหล็ก 5 แห่ง ร่วมกันก่อตั้งสมาคมผู้ผลิตอาคารเหล็ก (<i>Metal Building Manufacturers Association</i>)
1968	ก่อตั้งกลุ่มผู้ค้าอาคารเหล็ก (<i>Metal Building Dealers</i>) เนื่องจากที่ผ่านมารัฐกิจอาคารเหล็กเติบโตเร็วมาก โดยให้บริการในลักษณะออกแบบและก่อสร้างรวมเบ็ดเสร็จ (<i>Design Build Contractor</i>)
1983	ก่อตั้งสมาคมการก่อสร้างด้วยเหล็ก (<i>Metal Construction Association</i>) มีวัตถุประสงค์เพื่อขยายการใช้เหล็กในการก่อสร้างให้มากขึ้น ทั้งด้านการตลาด และการศึกษา
1990	ก่อตั้ง (<i>Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures</i>) โดยมหาวิทยาลัย <i>Missouri-Rolla</i> ภายใต้การนำของ <i>Wei-Wen Yu</i> และการสนับสนุนจาก <i>American Iron and Steel Institute</i> โดยเน้นการพัฒนาและวิจัยด้านเหล็กขึ้นรูปเย็นโดยตรง รวมถึงการจัดประชุมวิชาการ
1998	ก่อตั้ง (<i>Steel Framing Alliance</i>) เพื่อกระตุ้นการใช้ชิ้นส่วนเหล็กขึ้นรูปเย็นในการก่อสร้างอาคารพักอาศัย ระบบ <i>Framing</i> ส่งเสริมการใช้โครงคร่าวเหล็กเบาและเชื่อมโยงข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ก่อสร้าง (<i>Builder</i>) รวมทั้งเป็นผู้รับรองงานวิจัยและตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลด้านแนวทางปฏิบัติต่าง ๆ
1999	ก่อตั้ง (<i>Steel Stud Manufacturers Association</i>) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของบริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนโครงคร่าวที่มีหน้าตัดแบบต่าง ๆ ที่ใช้กับอาคารโครงสร้างเหล็กเบา ตีพิมพ์เอกสารเผยแพร่ทางเทคนิคต่าง ๆ
ประเทศออสเตรเลีย	
ช่วงปี (ค.ศ)	รายละเอียดโดยสังเขป
1940	ความขาดแคลนของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคาร นำไปสู่การพัฒนาระบบโครงเหล็กโดยการใช้หน้าตัดเหล็กที่เคลือบด้วย <i>Bitumen</i>
1960	เริ่มมีการใช้โครงเหล็กชุบสังกะสีที่มีความหนาพื้นฐาน 1.6 มม. (<i>Base Material</i>) ในการสร้างบ้าน
1968	เป็นครั้งแรกที่มีการใช้โครงเหล็กชุบสังกะสีหน้าตัดแบบ <i>Channel</i> ที่มีความหนา 1.2 มม. และผู้ประกอบชิ้นส่วนแต่ละรายได้พัฒนาระบบโครงเหล็กเบาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่นั้นมา จนถึงทุกวันนี้
1982	ก่อตั้ง (<i>The National Association of Steel-framed Housing INC.</i>) เพื่อส่งเสริมข้อมูลด้านอาคารพักอาศัย โครงสร้างเหล็กเบา โดยมีสมาชิกเป็นบริษัทผู้ก่อสร้างที่เชี่ยวชาญและ <i>suppliers</i> ผลิตภัณฑ์ต่างๆ
หมายเหตุ เรียบเรียงข้อมูลจาก (จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ. 2547) (<i>The National Association of Steel-framed Housing INC</i>) และ (<i>American Iron and Steel Institute</i>)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณ Vol.10 ังสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ 34 ึ่งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตประการหนึ่งของการพัฒนาในต่างประเทศก็คือ บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนโครงเหล็กเบาหรือบริษัทผู้ก่อสร้างสร้างด้วยระบบโครงสร้างเหล็กเบาที่ดำเนินการในระบบอุตสาหกรรมอย่างครบวงจร ต่างก็มีการพัฒนารูปแบบหน้าตัด เทคนิคการผลิตวัสดุและเทคนิคการก่อสร้างเพื่อสร้างจุดขายทางการตลาด ทำให้เกิดความหลากหลายของรูปแบบและการระบุใช้ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กเบาสำหรับผู้ออกแบบทั่วไปอยู่บ้าง สำหรับสถาบันหรือองค์กรหลักที่เกี่ยวข้อง ข้องกับระบบโครงสร้างเหล็กเบาที่เพื่อเผยแพร่ข้อมูลในด้านวัสดุ การออกแบบและวิธีการก่อสร้าง อันเป็นประโยชน์ทั้งแก่ผู้ออกแบบและผู้ก่อสร้างได้ปฏิบัติอย่างถูกต้องตามหลัก การมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงสถาบันหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้างเหล็กเบาที่สำคัญ (ผู้วิจัย)

สถาบันหรือองค์กร	ประเทศ	หน่วยที่ใช้	ชื่อเรียกระบบโครงสร้างเหล็กเบา
CSSBI	แคนาดา	ระบบ Imperial และ Metric	Lightweight Steel Frame
SFA	สหรัฐอเมริกา	ระบบ Imperial	Cold-formed Steel Framing
NASH	ออสเตรเลีย	ระบบ Metric	
หมายเหตุคำย่อ CSSBI = CANADIAN SHEET STEEL BUILDING INSTITUTE SFA = STEEL FRAMING ALLIANCE NASH = NATIONAL ASSOCIATION OF STEEL-FRAMED HOUSING INC.			

3.5 อาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย

จากการรวบรวมข้อมูลด้านเอกสารและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีสถาบันหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้างเหล็กเบาเพื่อเผยแพร่ข้อมูลนั้นมีน้อยมาก ที่ใกล้เคียงพอจะกล่าวถึงได้ คือ มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2131-2545 (เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีโดยการรมวิธีจุ่มร้อนและเคลือบสี : แผ่นม้วนและแผ่นตัด) และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรีดเย็น พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นรายละเอียดข้อกำหนดในการคำนวณสำหรับวิศวกร ส่วนสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (สทท.) ยังไม่ค่อยมีข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและการผลิตโครงเหล็กเบามากนัก สำหรับพัฒนาการที่สำคัญในประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงพัฒนาการที่สำคัญของอาคารโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย

ประเทศไทย	
ช่วงปี (ค.ศ.)	รายละเอียดโดยสังเขป
1982	บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิปซัม จำกัด ได้นำเข้าโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี จากสหรัฐอเมริกาจำหน่ายควบคู่กันกับแผ่นยิปซัม ที่ใช้กับระบบฝ้าเพดานและระบบผนังเบา และได้พยายามนำเอาเทคโนโลยี การก่อสร้างบ้านในระบบนี้มาบริการให้กับลูกค้าด้วย
1984	มีการสร้างบ้านชั้นเดียวเพื่อใช้เป็นสำนักงานขายของบริษัท การ์เด็นท์ โฮม วิลเลจ จำกัด โดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น (เสาและคาน) ผสมกับโครงคร่าวผนังเหล็กชุบสังกะสี
1988 - 1997	มีหลายบริษัท (ของไทยและต่างประเทศ) พยายามเปิดตลาดการสร้างบ้านด้วยระบบนี้โดยการสร้างบ้านตัวอย่างและบ้านบางหลังในหลายโครงการหมู่บ้าน เพื่อให้ลูกค้ารู้จักและเกิดความต้องการเชิงปริมาณปรากฏว่า ไม่ประสบความสำเร็จด้านการตลาดมากนักประกอบกับในช่วง เวลานั้นเกิดวิกฤตเศรษฐกิจร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 35 วิศวกรรมศาสตราจารย์ ดร.ศรศักดิ์ สจล.

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ประเทศไทย	
ช่วงปี (ค.ศ)	รายละเอียดโดยสังเขป
หลังปี 1998	ระบบอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาก็ได้เริ่มเปิดตลาดใหม่อีกครั้ง
2001 - 2004	เมื่อเศรษฐกิจเริ่มดีขึ้น จึงมีโครงการในช่วงนี้มากขึ้นและมีความพยายามจากหลายฝ่ายที่จะส่งเสริมและผลักดันทั้งในด้านวิชาการและความร่วมมือกับกลุ่มผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างจนเริ่มเป็นที่ยอมรับในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะเรื่อง ความรวดเร็วในการก่อสร้าง แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะทำให้เป็นที่ยอมรับได้มากเท่าไร เนื่องจากยังไม่มี การก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง
หมายเหตุ เรียบเรียงข้อมูลจาก (เจริญวัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ. 2547) และ รายงานการประเมินผลบ้านโครงสร้างเหล็ก #5 งานสถาปนิก '47 เมืองทองธานี	

เมื่อมองภาพรวมของการพัฒนาอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย จะเห็นได้ว่า มีความพยายามที่จะผลักดันให้เกิดระบบนี้ขึ้นในประเทศ แต่ก็มีข้อจำกัดหลายด้านที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา โดยผลสรุปที่สำคัญจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วัสดุโครงสร้างเหล็กเบาไม่สามารถหาซื้อตามท้องตลาดทั่วไปได้และมีราคาวัสดุสูงกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีตประมาณ 20% (เจริญวัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ. 2547) ส่วนการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องยังพบว่า บุคคลกรแต่ละฝ่าย ทั้งผู้ออกแบบและผู้ก่อสร้างไม่เห็นความสำคัญเท่ากับระบบการก่อสร้างตามแบบที่คุ้นเคย อีกทั้งทัศนคติของประชาชนทั่วไปที่เข้าใจว่าไม่แข็งแรงเนื่องจากลักษณะโครงสร้างดูไม่ทึบตัน ในขณะที่องค์กรต่างๆ ยังไม่เห็นความสำคัญต่อการส่งเสริมอย่างจริงจัง จึงทำให้ไม่มีมาตรฐานหรือหลักปฏิบัติใดๆ เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

3.6 เปรียบเทียบการพัฒนาอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบา

จากการรวบรวมข้อมูลขั้นต้น สามารถวิเคราะห์ถึงการพัฒนาอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทยว่ามีความแตกต่างกับต่างประเทศอย่างไรบ้าง โดยสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการพัฒนาอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบา (ผู้วิจัย. 2553)

ต่างประเทศ	ประเทศไทย
1 มีการค้นคว้า ออกข้อกำหนดและมาตรฐานในการรองรับ การก่อสร้าง รวมทั้งการส่งเสริมการผลิตชิ้นส่วนวัสดุและ กระบวนการในระบบอุตสาหกรรม	1 ไม่มี การก่อสร้างอาคารระบบนี้ในปริมาณที่มากพอจะให้เกิดการทำในระบบอุตสาหกรรมที่จริงจัง และยังไม่มี การออกข้อกำหนดมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างในประเทศไทย
2 ค่าแรงงานในการก่อสร้างแพง ทำให้ต้องพัฒนาระบบการก่อสร้างที่ใช้วัสดุได้อย่างคุ้มค่าและใช้เวลาในการก่อสร้างน้อย	2 เป็นการก่อสร้างแบบหลังต่อหลัง ที่มีการปรับแก้แบบในช่วงการผลิตชิ้นส่วนและการติดตั้งที่จุดก่อสร้างอยู่
3 มีโปรแกรมในการออกแบบและคำนวณโครงสร้างพร้อม เทคนิคการผลิตวัสดุในระดับสูง	3 สามารถผลิตและขึ้นรูปหน้าตัดในประเทศได้ แต่ยังคงต้องสั่งวัตถุดิบจากต่างประเทศเข้ามา
4 มีองค์กรต่างๆส่งเสริมให้เกิดการทำงานวิจัยและมีการรวมกลุ่มของผู้ผลิตและผู้ก่อสร้างอาคารเหล็ก ทำให้มีการพัฒนาอย่างเป็นระบบ	4 มีความคุ้นเคยกับการก่อสร้างในระบบเสาและคาน จึงมักใช้โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสีในส่วนผนังไม่รับน้ำหนัก การก่อสร้างในระบบอย่างเต็มรูปแบบยังมีอยู่น้อย
5 มีความสามารถในการผลิตวัสดุเหล็กที่มีกำลังสูง ทำให้มีความหนาแน่นน้อยลงและเบาขึ้น	5 เนื่องจากไม่มีการก่อสร้างปริมาณมาก จึงไม่คุ้มในการผลิตชิ้นส่วนที่มีหน้าตัดที่หลากหลาย เพราะใช้ไม่ได้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการตีพิมพ์ Vol.10 ขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้อง 36 ึ่งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ข้อสรุป

อาคารพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยระบบนี้ในประเทศไทยมีการก่อสร้างน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบอื่น ส่วนใหญ่จะไม่เกิน 2 ชั้น ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตรูปเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปก็ตาม แต่ก็ยังเป็นการผลิตแบบหลังต่อหลังที่มีการปรับแก้ไขแบบระหว่างการผลิตชิ้นส่วนและการติดตั้งที่จุดก่อสร้างอยู่พอสมควร ส่วนบุคคลกรแต่ละฝ่าย ยังมีความเคยชินกับระบบก่อสร้างแบบเดิมที่มีพื้นฐานจากระบบเสาและคาน จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ระบบนี้ไม่แพร่หลายเพราะไม่มี “ผู้สื่อสาร” ที่เป็นหน้าด่านที่สำคัญในการเสนอระบบการก่อสร้างชนิดนี้แก่เจ้าของโครงการให้เกิดการยอมรับ ถึงแม้ว่าอาคารโครงสร้างเหล็กเบาที่ใช้ระบบการประกอบโครงเป็นแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีข้อได้เปรียบด้านระยะเวลาในการก่อสร้างอย่างชัดเจน แต่ชิ้นส่วนวัสดุยังถูกใช้อยู่ในวงจำกัดและมีราคาสูงกว่าการก่อสร้างในระบบเดิม รวมถึงขาดบุคลากรแต่ละฝ่ายที่มีความเข้าใจในระบบอย่างลึกซึ้ง ทำให้ไม่เกิดการประสานงานที่ดีและมีการจัดการอย่างเป็นระบบภายหลังจากการสรุปแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อการเตรียมงานก่อนการก่อสร้าง

5 ข้อเสนอแนะ

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับรวบรวมมาในเรื่องของสภาพการณ์ด้านอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อเท็จจริงของปัญหาด้านต่าง ๆ ในปัจจุบันที่ทำให้ระบบนี้ยังไม่แพร่หลายในวงกว้าง รวมถึงข้อสังเกตที่เป็นประเด็นคำถามสำหรับผู้สนใจในการศึกษาและวิจัยต่อไปในรายละเอียดเฉพาะ สำหรับการออกแบบอาคารพักอาศัยด้วยระบบนี้ โดยมีข้อเสนอแนะที่เป็นแนวทางดังนี้

5.1 ปัญหาด้านการพัฒนาในประเทศไทย

- 1 ทิศนคติความคิดที่มักประเมินคุณค่าระบบการก่อสร้างแบบใหม่เร็วเกินไป พอมีปัญหาเกิดขึ้นมาในบางจุดก็มักจะสรุปทันทีว่าเป็นระบบไม่ดี โดยไม่สนใจว่ามีอย่างจริงจังก่อให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น
- 2 ไม่เกิดความต่อเนื่องในการสานต่อด้านความรู้ เนื่องจากที่ผ่านมาเป็นความสนใจตามกระแสและสภาพเศรษฐกิจ ในช่วงเวลานั้น จึงไม่เกิดการพัฒนาอย่างจริงจังให้เหมาะสมกับการสร้างในประเทศไทย

5.2 ปัญหาด้านบุคลากรและกระบวนการทำงานในประเทศไทย

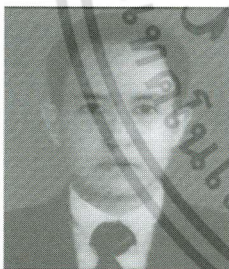
- 1 เนื่องจากในประเทศไทยยังมีการก่อสร้างด้วยระบบนี้ค่อนข้างน้อยและยังไม่มีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการพัฒนาแรงงานและบุคลากรที่เกี่ยวข้อง จึงไม่เกิดระบบการจัดการและกระบวนการที่เป็นรูปธรรม
- 2 วิศวกรและสถาปนิกส่วนใหญ่ยังไม่เข้าใจภาพรวมในการก่อสร้างด้วยระบบนี้ ทำให้ไม่สามารถประเมินลักษณะปัญหาที่อาจเกิดตามมาในขั้นตอนการก่อสร้างจริง
- 3 ผู้ทำการก่อสร้างหรือผู้รับเหมาส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคยกับระบบนี้ ทำให้ขาดความมั่นใจในการก่อสร้าง

ข้อสังเกตที่สำคัญประการหนึ่งของอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาในประเทศไทย ก็คือ มีปริมาณความต้องการอาคารในระบบนี้น้อยมาก แต่ที่ผ่านมายังคงใช้ระบบการก่อสร้างแบบ Panelized System ซึ่งน่าจะมีความเหมาะสมกับปริมาณงานในเชิงอุตสาหกรรมมากกว่า แต่ในสภาพปัจจุบันเป็นการสร้างอาคารแบบหลังต่อหลังตามความต้องการของลูกค้ารายเดียวที่ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงแบบบางจุดภายหลังจากการสรุปแบบในขั้นสุดท้าย จากสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้เกิดประเด็นที่น่าศึกษาต่อไปว่าระบบการก่อสร้างแบบ Panelized System นั้น มีปัญหาในช่วงการผลิตและการติดตั้งชิ้นส่วน องค์ประกอบต่างๆ ที่จุดก่อสร้างบ้างหรือไม่ อย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- [1] จรรย์พัฒน์ ภูวนันท์ และ คณะ. รายงานวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างบ้านด้วยโครงสร้างเหล็กเบา กับ โครงสร้างไม้ขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร 2547
- [2] จรรย์พัฒน์ ภูวนันท์ และ อำนาจ รัตนบัญญัติ. รายงานวิจัย เรื่อง ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำระบบก่อสร้าง 2x4 ของแคนาดา มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 2541
- [3] จรรย์พัฒน์ ภูวนันท์ และ คณะ. รายงานการประเมินผลบ้านโครงสร้างเหล็ก #5 (งานสถาปนิก '47 เมืองทองธานี). สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย 2547
- [4] American Iron and Steel Institute. **profile of cold-formed steel in building construction**. Washington, DC : n.p.
- [5] Lewis, Gaspar. **Carpentry**. New York : Delmar Publisher. 1995.
- [6] Scharff, Robert. **Residential Steel Framing Handbook**. Indiana : The McGraw-Hill Companies. 1996.
- [7] Steel Framing Alliance. **A Building Inspector's Guide to Steel Frame Construction**. Washington, DC : n.p. 2008.
- [8] Steel Framing Alliance. **A Builder's Guide to Steel Frame Construction**. Washington, DC : n.p. 2007.
- [9] The National Association of Steel-framed Housing INC. **Guide to Steel-framed Construction**. Victoria : n.p. n.d.
- [10] Watson, K.B. Kelly, M.H. Pham, L. Gad, E.F. The development of generic span tables for cold formed steel studs in residential and low-rise construction. **Australasian Structural Engineering Conference (ASEC)**. Melbourne : n.p. 2008.

ประวัติผู้เขียน



นายอมร ปิยะวาทิ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2547-2550 สถาปนิก บริษัท DESIGN 103 INTERNATIONAL LTD.
พ.ศ. 2547 สถาปนิก บริษัท บริษัท GIM design studio.