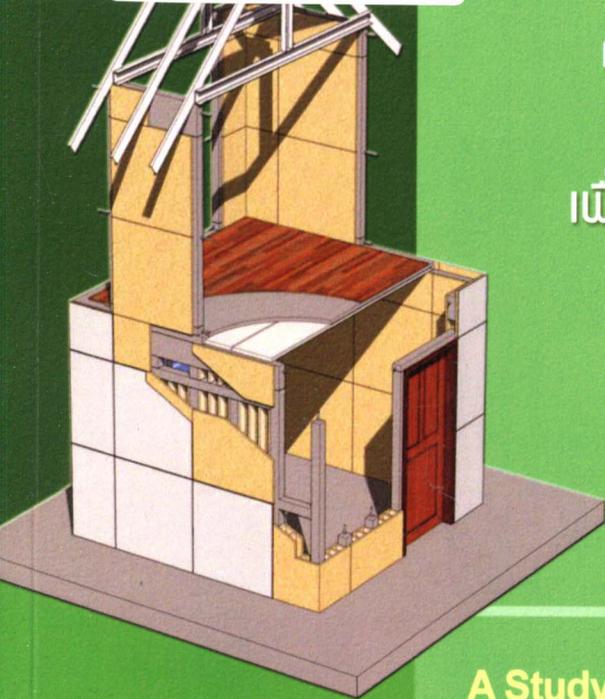


ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

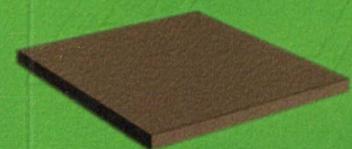
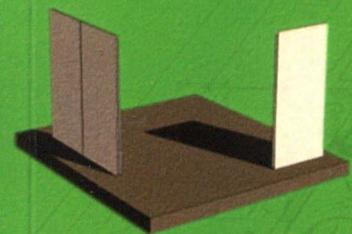
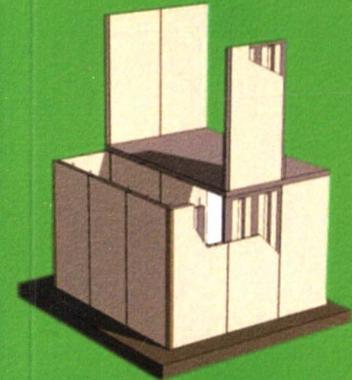


249891



การศึกษาและออกแบบผนังโพลีโฟมสำเร็จรูป
ที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว
เพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงาน
และเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม

**A Study and Design of Insulating Concrete Forms
for Energy Efficient House Construction
and Industrialized Production**



จรัญพัฒน์ กุวานันท์
ดร.ปรีชญา มหิทรนทวิ
ดร.จันทรฉาย ทอวปิ่น
ดรุณี มงคลสวัสดิ์
ดร.ขวัญชัย โรจนกนันทน์
ดร.อวชา หุตากร

ISBN 978-974-8258-31-7



การศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว
เพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม

A Study and Design of Insulating Concrete Forms
for Energy Efficient House Construction and Industrialized Production



คณะผู้วิจัย

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์
ดร.ปรีชญา มหัทธนนทวิ
ดร.จันทรฉาย ทองปิ่น
ดรุณี มงคลสวัสดิ์
ดร.ขวัญชัย โรจนกนกันท์
ดร.องอาจ หุตากร

อภิรักษ์ หนากการ
จาก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารวิจัยเรื่อง การศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว เพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม นี้เป็นผลงานวิชาการที่รังสรรค์ขึ้นจากความมุ่งมั่น และความเพียรพยายามอย่างยิ่งของคณะผู้วิจัยจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มหัทธนนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทรฉาย ทองปิ่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์ อาจารย์ ดร. ขวัญชัย โรจนกนันท์ และ อาจารย์ ดร. งามอาจ หุดากร ซึ่งการพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าดังกล่าวโดยภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในครั้งนี้นั้นไม่เพียงแต่จะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการเรียนการสอนในรายวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย และการเขียนรายงานวิจัยเท่านั้น หากแต่ยังจะเอื้อประโยชน์ในวงกว้างต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทยอีกด้วย

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิทธิ์ ต่านกิตติกุล
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

หนังสือ การศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว เพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม เป็นรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ของ รองศาสตราจารย์จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ ที่ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิและสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นงานวิจัยที่มีคุณภาพและมีคุณค่า สมควรเผยแพร่ออกไปในวงกว้าง เพื่อใช้เป็นตำรา เอกสารอ้างอิงในการเรียนการสอน และเป็นตัวอย่างสำหรับการเขียนงานวิจัย ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรเห็นถึงคุณค่าของงานวิจัยนี้ ที่จะมีต่อการศึกษาด้านสถาปัตยกรรม และวงการก่อสร้าง จึงได้สนับสนุนให้จัดพิมพ์ และขอแสดงความชื่นชมในการทำงานวิจัยที่ รองศาสตราจารย์จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ ได้ทำมาอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อความก้าวหน้าทางวิชาการ และการเรียนการสอนของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปณิตา วงศ์มหาดเล็ก
หัวหน้าภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

คำนำ

การพัฒนาวัสดุและระบบการก่อสร้างใหม่ๆ ขึ้น เพื่อเสนอเป็นทางเลือกให้กับสังคมหรือประเทศนั้น มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเป็นอย่างยิ่ง เพราะเกี่ยวเนื่องกับอุตสาหกรรมการผลิต และการบริการวิชาชีพสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมโดยตรง การนำเข้าวัสดุ เทคโนโลยี และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของต่างประเทศมาใช้หรือบริโภคเกินความจำเป็น หรือไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จะส่งผลกระทบต่อพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศ ฝีมือแรงงาน สถาปนิก วิศวกร และผู้ก่อสร้าง หรือสังคมไทยโดยรวม การศึกษาทำความเข้าใจในวัสดุ และเทคโนโลยีก่อสร้างของต่างประเทศ เพื่อนำมาปรับปรุงหรือประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมไทยนั้น น่าจะเป็นแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้าง และรูปแบบสถาปัตยกรรมไทยร่วมสมัยได้เป็นอย่างดี อย่างน้อยที่สุดเป็นการพิสูจน์ผลการใช้งาน และสร้างองค์ความรู้หรือภูมิปัญญาที่ดีให้กับสังคมไทย เพราะสื่อโฆษณาและกลยุทธ์การตลาดของธุรกิจผลิตภัณฑ์นำเข้า และบริการสำเร็จรูป มักมีอิทธิพลสำคัญต่อค่านิยม และการตัดสินใจของผู้ใช้หรือผู้บริโภค (ผู้ออกแบบ ผู้ก่อสร้าง และเจ้าโครงการ)

คณะวิจัยได้ให้ความสนใจ และเน้นศึกษาวัสดุและระบบการก่อสร้างบ้านที่มีน้ำหนักเบาของต่างประเทศเพื่อการประยุกต์ในไทย ตัวอย่างผลงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ โครงสร้างไม้ขนาดเล็ก (Wood-frame Construction) โครงสร้างเหล็กเบา (Cold-formed Steel Frame Construction) และผนังวัสดุแผ่นประกบโพน (Structural Insulated Panel Construction) เนื่องจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมก่อสร้างได้มุ่งพัฒนาและให้ความสำคัญกับวัสดุหรือระบบการก่อสร้างที่ประหยัดเวลาและราคาก่อสร้าง เพื่อให้มีประสิทธิภาพหรือสมรรถนะการใช้งานที่สูงขึ้นกว่าเดิม โดยเฉพาะด้านการประหยัดพลังงาน และการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งความรู้หรือเทคโนโลยีการก่อสร้างของวัสดุและระบบการก่อสร้างดังกล่าว นั้น ได้ถูกพัฒนาในประเทศอุตสาหกรรมมานานแล้ว และปัจจุบันได้ถูกถ่ายทอด แพร่หลายแทรกซึมอยู่ในระบบเศรษฐกิจ การค้า และอุตสาหกรรมของประเทศต่างๆ เป็นสากลทั่วโลกสำหรับประเทศไทย ถึงแม้ว่าเรามีอุตสาหกรรมวัสดุพื้นฐาน ผลิตภัณฑ์ และเทคโนโลยีรองรับในประเทศ เพื่อการพัฒนากระบวนการก่อสร้างดังกล่าวมาแล้ว แต่ยังคงขาดข้อมูล และผลการศึกษายืนยันถึงข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของระบบการก่อสร้างใหม่ๆ เมื่อถูกนำมาใช้งานในท้องถิ่นที่มีสภาพภูมิอากาศ และพื้นฐานทางเศรษฐกิจหรือสังคมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะค่าตอบแทนราคาและความสามารถในการประหยัดพลังงาน ซึ่งนับเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาระบบการก่อสร้างและรูปแบบสถาปัตยกรรมดังกล่าวให้เป็นที่ยอมรับ และเป็นทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคหรือตลาดบ้านพักอาศัยได้ในอนาคตต่อไป Insulating Concrete Form นับเป็นระบบก่อสร้างสุดท้ายที่คณะวิจัยตั้งใจเลือกใช้ศึกษา เพราะจะช่วยให้ผลการศึกษาระบบการก่อสร้างที่ผ่านมามีทั้งหมด มีข้อสรุปที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะแนวคิดและรูปแบบของผนังที่

ออกแบบขึ้นนั้น สามารถนำไปใช้กับวัสดุหรือฉนวนชนิดอื่น ที่สามารถใช้แทนโพนหรือโพนใช้แล้วได้ในอนาคต ซึ่งผู้สนใจในสาขาที่เกี่ยวข้องอาจนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดผลได้ต่อไป

รายงานวิจัยนี้ เรียบเรียงขึ้นเพื่อประโยชน์ทางการศึกษาในสาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ เป็นสำคัญ โดยมีเนื้อหาแบ่งตามขั้นตอนและวิธีการศึกษาซึ่งมีหลายส่วนด้วยกัน ได้แก่ **บทที่ 1** เป็นสรุปผลวิจัยที่ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย ซึ่งแตกต่างจากในต่างประเทศ **บทที่ 2** เป็นพื้นฐานและพัฒนาการของระบบการก่อสร้าง Insulated Concrete Form (ICF) ในต่างประเทศ และระบบผนังที่ถูกเลือกนำมาใช้ออกแบบหรือประยุกต์ใช้ เพื่อการพิสูจน์ผลในการศึกษานี้ **บทที่ 3** เป็นความรู้เกี่ยวกับชนิด และคุณสมบัติของโพนที่ใช้ผลิต ICF **บทที่ 4** เป็นผลการทดลองสูตรและศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของโพน PVC เพื่อใช้แทนโพน EPS **บทที่ 5** เป็นแนวคิด และผลการออกแบบผนังโพนที่ใช้เป็นแบบหล่อได้ในตัว **บทที่ 6** เป็นผลการวิเคราะห์และการทดสอบทางโครงสร้าง เพื่อใช้ประกอบการออกแบบผนัง ICF และการคำนวณโครงสร้างบ้าน **บทที่ 7** และ **บทที่ 8** เป็นแนวคิด และผลการออกแบบบ้าน ICF ชั้นเดียวและสองชั้น และผลการประมาณราคาค่าก่อสร้าง **บทที่ 9** เป็นผลการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารทั้ง 2 หลังที่ได้ออกแบบขึ้นนั้น และท้ายสุดเป็น **บทสรุป** ผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ และแบบก่อสร้างบ้านในภาคผนวกเพื่อการอ้างอิงสำหรับนักศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหัวข้อวิจัย และศาสตร์ทางสถาปัตยกรรมมีความเกี่ยวพันกับวิชาการด้านอื่นหลายสาขา เช่น วิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรม ฯลฯ รวมทั้งข้อจำกัดของการทำวิจัยในแต่ละโครงการ วิธีการศึกษาและผลที่ปรากฏอยู่ในรายงานวิจัยนี้คงไม่สามารถตอบเจตนาในรายละเอียดต่างๆ ตามความสนใจของผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องนั้นได้ครบถ้วน ผลวิจัยนี้จึงเป็นเพียงกรณีศึกษาหนึ่งที่จะช่วยชี้ประเด็นปัญหาต่างๆ ในภาพรวมเพื่อการพัฒนาวัสดุและระบบการก่อสร้างกลุ่มนี้ต่อไป ซึ่งผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาสามารถนำไปศึกษา พิสูจน์ผล หรือหาคำตอบในรายละเอียดต่างๆ เพิ่มเติมได้ เช่นเดียวกับกับภาคธุรกิจหรืออุตสาหกรรมการผลิต การออกแบบ และการก่อสร้าง ก็สามารถนำแนวคิด และผลการออกแบบไปใช้ประโยชน์ หรือพัฒนาต่อไปได้เช่นกัน

จึงหวังว่ารายงานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์ให้กับวงการการศึกษา อุตสาหกรรม และวิชาชีพฯ ซึ่งรวมทั้งสถาปนิก วิศวกร ผู้ก่อสร้าง ผู้ประกอบการธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ และผู้ที่สนใจทั้งในหน่วยงานของรัฐหรือภาคเอกชนได้ตามความประสงค์ของผู้วิจัย และขอขอบคุณคณะทำงาน และผู้มีส่วนร่วมทำวิจัยหรือช่วยให้รายงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ทุกท่าน

เจริญวัฒน์ ภูวนันท์
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงาน และบุคคลต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วม หรือสนับสนุนในโครงการวิจัยนี้ ข้อมูล ความคิดเห็น และความร่วมมือที่ได้รับการอนุเคราะห์จากทุก ๆ ท่านนั้นมีส่วนช่วยให้รายงานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี จึงขอกล่าวรายนามไว้ดังต่อไปนี้

1. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาลัยศิลปากร ผู้สนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการบริหารโครงการ
2. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ต้นสังกัด และสถานที่วิจัย
3. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ห้องปฏิบัติการวัสดุ
4. การเคหะแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการโครงสร้าง
5. บริษัท โพลีโพน จำกัด ให้ข้อมูลวัสดุโพน กระบวนการผลิต และทดลองผลิตผนังตัวอย่าง
6. บริษัท สตรักเจอร์วัล แซนด์วิช แพนเนล จำกัด ให้ข้อมูลระบบการก่อสร้าง
7. นายกมล ภูวนันท์ วิศวกรผู้ออกแบบ และที่ปรึกษาทางโครงสร้าง
8. อ. ดร. นนท์ คุณคำชู ผู้ช่วยประสานงานและปรับแก้ไขรายงานวิจัยช่วงสุดท้ายแทนผู้ร่วมวิจัย
9. นางสาวอารีรัตน์ ว่องกัก การเงินและบัญชี
10. นายปรีชา มงคลสง่า นายกิตติพัฒน์ ศิริจำปา และนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้ช่วยวิจัย
11. นางสาวพรศรี แหยมอบล ช่วยพิมพ์แก้ไข และจัดทำรูปเล่มรายงานขั้นสุดท้าย

รวมทั้งองค์กรและบุคคลอื่นๆ อีกมากมาย ที่ไม่สามารถระบุชื่อไว้ ณ ที่นี้ได้ครบถ้วน จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

249891

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว (Insulating Concrete Form หรือ ICF) และประยุกต์ระบบการก่อสร้างขึ้นใช้สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน และราคาค่าก่อสร้างของบ้านตัวอย่างที่ออกแบบขึ้นจากระบบการก่อสร้างดังกล่าว รวมทั้งได้ศึกษาทดลองสูตรและคุณสมบัติเบื้องต้นของโพน PVC ที่จะใช้แทนโพน EPS เพื่อการผลิตผนัง ICF ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นรูปแบบผลิตภัณฑ์และระบบการก่อสร้างบ้านแบบอุตสาหกรรมที่สามารถนำไปพัฒนาหรือปรับใช้กับโครงการก่อสร้างได้ต่อไป

วิธีการวิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเอกสาร และผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และระบบการก่อสร้าง ICF รวมทั้งทดลองสูตรและศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของโพน PVC ที่อาจนำมาใช้ผลิตผนัง ICF แทนโพน EPS ได้ จากนั้นจึงออกแบบผนัง ICF และทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางโครงสร้างของวิศวกร ทำการออกแบบบ้านตัวอย่างขึ้น 2 หลัง โดยใช้ชิ้นส่วนประกอบผนังและระบบการก่อสร้างที่ออกแบบขึ้น คำนวณโครงสร้างอาคาร และประมาณราคาค่าก่อสร้างบ้าน ทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานและค่าไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus เปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป (โครงสร้างคอนกรีต และผนังก่ออิฐฉาบปูน) รวมทั้งระยะเวลาการคืนทุน แล้วจึงสรุปผล เพื่อนำไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์และระบบการก่อสร้างสำหรับใช้ในโครงการจริงได้ต่อไป

ผลที่ได้จากการศึกษา สรุปได้ว่า

1. ผนัง ICF ที่พิจารณานำมาประยุกต์ใช้ เป็นระบบแผ่นขนาดใหญ่ (Panel system) ซึ่งมีโครงสร้างคอนกรีต (Post-and-beam หรือ Concrete stud) ทำหน้าที่รับน้ำหนักซ่อนอยู่ภายใน โดยผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้น ใช้โพน EPS เป็นแบบหล่อ มีขนาดแผ่นมาตรฐาน 1.20 x 1.20 x 0.18 เมตร (ความกว้าง x ความสูง x ความหนา) ภายในแผ่นมีช่องกลวงขนาด 0.12 x 0.12 เมตร ซึ่งมีระยะห่างกัน 0.15 เมตร (c/c) เพื่อให้สามารถเทคอนกรีตได้ทุกระยะ 0.30 0.60 หรือ 1.20 เมตร แบบหล่อโพนมีกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ (Fiber cement board) บุกิวทั้งสองด้านจากโรงงาน เพื่อให้เป็นผนังสำเร็จรูปที่มีผิวสำเร็จในตัว

2. ผลการศึกษาโพน PVC ด้วยสูตร PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St2 5 phr, AZD 15 phr และ PA 7 phr ผ่านการผสมด้วย Food Mixer และสภาวะในการขึ้นรูปของเครื่อง Twin Screw Extruder อุณหภูมิ 160, 170, 180, 190 °C ความเร็วรอบ 120 rpm สามารถให้ฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ และเป็นฉนวนความร้อนที่ดีได้ แต่การใช้หัวขึ้นรูปแบบปลายเปิดที่มีไข้อยู่ในห้องปฏิบัติการ ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูป หรือจัดรูปของชิ้นงานโพนให้มีรูปร่างที่แน่นอนได้ โดยโพน PVC ที่ผลิตขึ้นนั้น มีค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงกว่ามาตรฐาน

249891

ของ ICF Technical Testing ที่ได้กำหนดไว้ แต่ความหนาแน่นของโพน PVC ยังมีค่าสูง ซึ่งมีผลให้ผนังมีน้ำหนักและราคาแพงกว่าผนัง ICF ทั่วไปที่ผลิตจากโพน EPS

3. บ้านเดี่ยวชั้นเดียว และบ้านเดี่ยวสองชั้น ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้ผนังโพนสำเร็จรูป (ICF) เป็นแบบหล่อโครงสร้างคอนกรีต มีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยประมาณ 11,200 บาท/ตารางเมตร และ 11,800 บาท/ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับราคาเฉลี่ยระดับปานกลางของบ้านทั่วไป (โครงสร้างคอนกรีต และผนังวัสดุก่อ) หรือประมาณ 11,000 บาท/ตารางเมตร โดยราคาเฉลี่ยของบ้าน ICF ชั้นเดียว และของบ้าน ICF สองชั้นสูงกว่าของบ้านทั่วไปประมาณ 1.9% และ 7.6% ตามลำดับ

4. ราคาเฉลี่ยของผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นประมาณ 760 บาท/ตารางเมตร (ไม่รวมโครงสร้างคอนกรีต) มีราคาแพงกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยทั่วไป แต่สามารถใช้ผนังเป็นแบบหล่อเสาและคานคอนกรีต และลดงานโครงสร้างชั่วคราวลงได้ เป็นผนังสำเร็จรูปที่มีฉนวนกันความร้อนและเสียงได้ดี และมีวัสดุแผ่นผิวสำเร็จหุ้มในตัว

5. จากการศึกษาและวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของบ้าน ICF ที่ออกแบบขึ้นพบว่าในกรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศตามปกติ (ช่วงกลางวันเป็นส่วนใหญ่) เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป บ้าน ICF ชั้นเดียว และบ้าน ICF สองชั้น จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ประมาณ 7.4% และ 5.9% ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป บ้าน ICF ชั้นเดียว และบ้าน ICF สองชั้นจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 8.2% และ 9.0% ตามลำดับ

เนื่องจากบ้าน ICF ชั้นเดียว และสองชั้นมีราคาค่าก่อสร้างใกล้เคียงกับราคาเฉลี่ยระดับปานกลางของบ้านทั่วไป (สูงกว่า 1.9% และ 7.6% ตามลำดับ) และช่วยให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ประมาณ 7.4% และ 5.9% ตามลำดับ สำหรับบ้าน ICF สองชั้นมีระยะเวลาคืนทุนนานถึง 88 ปี จึงอาจไม่จูงใจเจ้าของโครงการให้มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีความเป็นไปได้ในการลงทุนเพิ่มขึ้น ถ้านำไปใช้กับอาคารที่มีภาระเครื่องปรับอากาศมาก หรือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง และสามารถลดราคาค่าก่อสร้างลงได้ โดยการออกแบบอาคารให้มีรูปแบบที่เรียบง่าย ประสานกับระบบการก่อสร้างได้ดีขึ้น และมีจำนวนมากพอที่จะผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรมได้

Abstract

249891

The objectives of this research are to study and design an Insulating Concrete Form (ICF), to apply the component system for housing construction in Thailand, to study cost and energy-saving efficiency of ICF model houses, and to study a formula and properties of PVC foam used for substituting EPS foam in ICF production. The results obtained from the study are ICF products and industrialized construction system which can be further developed or adapted for prospective housing projects.

The study was conducted by means of document research related to ICF products and construction systems. Properties and formula of PVC were tested in order to determine whether it could be utilized to replace EPS foam. A prototype of ICF panels was then designed and its mechanical properties were tested in a laboratory. The testing results were compared with the structural analysis made by a structural engineer. Two ICF model houses were designed by using the ICF components and construction system developed in the study. The structural calculation, working drawings, and construction cost estimation of two ICF model houses were carried out. Energy consumption and electricity costs of ICF model houses were studied through the use of a computer program (EnergyPlus) and compared with conventional houses (concrete structure with brick plaster walls). Finally, the results from the study were applied for further development of ICF products and their construction system.

The research findings can be summarized as follows:

1. The ICF system selected for developing in the study is "Panel System" which has concrete structures (post-and-beams or concrete studs) inside the ICF wall. The standard size of an ICF wall prototype is 1.20 x 1.20 x 0.18 m. (width x height x thickness). The size of each cavity in the ICF is 0.12 x 0.12 m. with 0.15 m. (c/c) spacing. These cavities can be filled with concrete at every 0.30, 0.60, or 1.20 m. Both sides of the ICF wall are finished with fiber cement boards in a factory production.

2. The PVC foam was tested with formula: PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St2 5 phr, AZD 15 phr and PA 7 phr, mixed with Food Mixer, and molded by Twin Screw Extruder at temperatures of 160, 170, 180, and 190 °C at the speed of 120 rpm. The PVC foam contained large air gaps and has good thermal resistance properties. However, the extruder equipment which is normally used in the laboratory could not extrude PVC foam to the demanded shapes. The compressive strength of the PVC foam is higher than the value required from the ICF Technical Testing standard.

249891

However, the density of PVC foam is quite high. As a result, the ICF wall using the PVC foam is heavier and more expensive than the one using EPS foam.

3. The average construction costs of a one-storey house and a two-storey house designed by using ICF wall system are around 11,200 Baht/sq. m and 11,800 Baht/sq. m respectively. The cost of ICF houses are close to the average cost of conventional houses (concrete structure and brick walls) which is around 11,000 Baht/sq. m. The cost of the ICF one-storey house and the ICF two-storey house are 1.9% and 7.6% higher than the cost of the conventional ones, respectively.

4. The average cost of an ICF wall (without concrete) is around 760 Baht/sq. m which is higher than a brick wall with cement plaster. However, ICF walls have other advantages. For example, using as formwork for columns and beams, reducing temporary structures in construction, having good thermal and sound resistance properties, and facing with sheathing materials to function as finish wall components.

5. The results of energy simulations by utilizing a computer program show that, in the case of operating air conditioning (mainly at night), the ICF one-storey house and ICF two-storey houses decrease electrical energy consumption for air conditioning around 7.4% and 5.9% respectively compared to the conventional houses. In the case of operating an air conditioning system for a full 24 hours, the ICF one-storey house and ICF two-storey houses decrease electrical energy consumption around 8.2% and 9.0%, respectively.

The construction cost of the ICF one-storey house and the two-storey house are close to the average cost of the conventional houses (+1.9% and +7.6% respectively) whereas the ICF houses can save electrical cost by 7.4% and 5.9% respectively. The investment return period of the two-storey house is 88 years. Therefore, it is not tempting for owners for change. It may be a more feasible investment to only apply the ICF construction system to buildings that operate air conditioning for a full 24 hours throughout the day. The construction cost can also be reduced by simplifying the building's design, integrating well with the construction system and having sufficient demands to warrant industrialized production.

คำย่อ หรือ สัญลักษณ์

ACH	Air Change per Hour
ACM	Aluminum Composite Materials
c/c	Center to Center (ระยะห่างจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง)
CFM	Cubic Feet per Minute
Conc	Concrete
CMU	Concrete Masonry Unit
E.M.C	Equilibrium Moisture Content
EPS	Expanded Polystyrene Foam
HVAC	Heating, Ventilating, and Air Conditioning
ICF	Insulating Concrete Form (ผนังโพนั้ที่ใช้เป็นแบบหล่อกอนกริตได้ในตัว)
IECC	International Energy Conservation Code
LCA	Life Cycle Assessment
MJ	Megajoule
OSB	Oriented Strand Board
PS	Polystyrene Foam
PU, PUR	Polyurethane Foam (Rigid)
R-value	Thermal Resistance Value (R = ค่าความต้านทานความร้อน)
SIP	Structural Insulated Panel (ผนังวัสดุแผ่นประกบโพนั้ หรือ Sandwich Panel ชนิดที่ใช้โพนั้เป็นแกนกลาง)
XPS	Extruded Polystyrene Foam

คำศัพท์ที่ใช้

กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ (Fiber cement board)

เป็นวัสดุแผ่นที่ผลิตขึ้นจากซีเมนต์ และใช้เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) ในการเสริมแรง นิยมใช้เป็นแผ่นกรุผนัง และฝ้าเพดาน

กระเบื้องแอสเบสตอสซีเมนต์ (Asbestos cement board)

กระเบื้องแผ่นเรียบ เป็นวัสดุแผ่นที่ผลิตจากซีเมนต์ และใช้เส้นใยแอสเบสตอสในการเสริมแรง ใช้เป็นแผ่นกรุผนัง และฝ้าเพดาน

ชิ้นส่วนประกอบ (Component) หรือชิ้นส่วนประกอบอาคาร (Building component)

วัสดุ หรือชิ้นส่วนอาคาร ที่ผลิตหรือประกอบขึ้นไว้ล่วงหน้าในโรงงาน เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้าง เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่กว่าวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป และมีหน้าที่การใช้งานโดยเฉพาะ เช่น ชิ้นส่วนผนัง (Wall component) ชิ้นส่วนพื้น (Floor component) และ ชิ้นส่วนโครงสร้าง (Structural component) ฯลฯ

บ้าน ICF

บ้านที่ออกแบบขึ้นศึกษาในโครงการวิจัยนี้ โดยประกอบขึ้นจากผนัง ICF และระบบก่อสร้างที่ออกแบบหรือประยุกต์ขึ้นใช้สำหรับประเทศไทย

บ้านทั่วไป

บ้านที่ก่อสร้างด้วยวัสดุและระบบการก่อสร้างตามปกติ หรือที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทย (Conventional construction) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นระบบเสาและคาน คอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐฉาบปูน และโครงหลังคาเหล็ก (Cold-formed structural steel) หรือ ไม้แปรรูป

ผนังโพนที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว หรือ ผนัง ICF

ผนังโพนสำเร็จรูป ที่ผลิตให้ใช้เป็นแบบหล่อ หรือให้มีช่องว่างภายในสำหรับเทคอนกรีต เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหรือผนังรับน้ำหนักของอาคารได้ โพนที่หุ้มคอนกรีตจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันเสียงหรือความร้อนได้ในตัว เป็นวัสดุและระบบการก่อสร้างหนึ่ง ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้ดีในประเทศที่มีอากาศหนาว

แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ (Wood cement board)

เป็นวัสดุแผ่นเรียบที่ผลิตขึ้นจากซีเมนต์ผสมกับชิ้นไม้บด ใช้เป็นแผ่นกรุผนัง และฝ้าเพดาน

แผ่นซีเมนต์เสริมแรง

แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ และ แผ่นซีเมนต์ที่เสริมแรงด้วยวัสดุชนิดอื่นๆ ใช้เป็นแผ่นกรุผนัง และฝ้าเพดาน

โลหะแผ่นเคลือบสี (Metal sheet)

โลหะหรือเหล็กแผ่นบาง ที่ได้จากกระบวนการรีดเย็นโลหะแผ่น แล้วผ่านกระบวนการเคลือบสี หรือชุบผิวด้วยโลหะอื่นชั้นหนึ่งก่อนเพื่อป้องกันการสึกกร่อน แล้วจึงเคลือบสีทับอีกครั้งหนึ่ง เพื่อความสวยงาม นิยมใช้เป็นแผ่นมุงหลังคา และ กรุผนังหรือฝ้าเพดาน

CFM₅₀

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ที่ถูกดูดออกจากอาคาร เพื่อให้ค่าความดันอากาศภายในอาคารต่ำกว่าค่าความดันอากาศภายนอกอาคาร 50 Pascal (Pa) ค่า CFM₅₀ นี้เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินค่าการรั่วซึมอากาศของอาคาร โดยค่า CFM₅₀ ที่

สูงแสดงว่าอาคารมีการรั่วซึมของอากาศที่สูง ค่า CFM_{50} สามารถแปลงเป็นค่า ACH_{50} ได้ โดย $ACH_{50} = (CFM_{50} \times 60) / \text{ปริมาตรของอาคาร}$

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อ	v
Abstract	vii
คำย่อ และสัญลักษณ์	ix
คำศัพท์ที่ใช้	ix
สารบัญ	xiii
สารบัญรูป	xvii
สารบัญตาราง	xxiv
บทนำ	1
1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหาวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	3
4. ขอบเขตการวิจัย	4
5. สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	4
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
1. การใช้พลังงานของบ้านในประเทศไทย	7
2. การใช้พลังงานของบ้าน ICF ในต่างประเทศ	8
เอกสารอ้างอิง	16
บทที่ 2 ผนังโพนที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว	19
1. ความหมาย และประวัติความเป็นมา	19
2. พัฒนาการในต่างประเทศ และประเทศไทย	19
3. องค์ประกอบ ระบบ และรูปแบบของผนังโพนที่ใช้เป็นแบบหล่อได้ในตัว	20
4. ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของผนัง ICF และระบบการก่อสร้าง	23
5. เปรียบเทียบระบบการก่อสร้างด้วยผนัง ICF เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับ อาคารพักอาศัยในประเทศไทย	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6. สรุป	25
เอกสารอ้างอิง	26
บทที่ 3 ชนิดและคุณสมบัติของโฟมที่ใช้ผลิต ICF	27
1. โฟม EPS (Expanded Polystyrene Foam)	27
2. โฟม XPS (Extruded Polystyrene Foam)	34
3. โฟมโพลียูรีเทนแบบแข็ง (Rigid Polyurethane Foam – โฟม PU)	34
4. โฟมพีวีซีแบบแข็ง (Rigid Polyvinylchloride Foam – โฟม PVC)	36
5. เปรียบเทียบโฟมทั้ง 3 ชนิด	37
6. สรุปเหตุผลที่เลือกโฟมชนิด EPS เพื่อการผลิต ICF	40
เอกสารอ้างอิง	41
บทที่ 4 การศึกษา และขึ้นรูปโฟม PVC เพื่อใช้แทนโฟม EPS	43
1. บทนำ	43
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์โฟม	43
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโฟมพอลิเมอร์	49
4. การผสมสูตร และการอัดรีด PVC Foam	52
เอกสารอ้างอิง	65
บทที่ 5 การวิเคราะห์ และออกแบบชิ้นส่วนประกอบผนัง	67
1. แนวคิดในการพัฒนาผนังโฟมที่ใช้เป็นแบบหล่อได้ในตัว	67
2. รูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนัง	69
เอกสารอ้างอิง	85
บทที่ 6 ระบบโครงสร้างและผลการคำนวณโครงสร้างบ้าน ICF	87
1. การวิเคราะห์ขนาดและความแข็งแรงของผนัง	87
2. การทดสอบความแข็งแรง	93
3. การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร	96
4. ข้อคิดเห็น	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 ผลการออกแบบบ้านชั้นเดียว และการประมาณราคา	105
1. รูปแบบบ้าน ICF ที่ออกแบบขึ้นใช้ศึกษา	105
2. ชั้นส่วนประกอบผนังและขนาดพิกัดแผนผัง	111
3. ระบบโครงสร้าง	111
4. ผลการประมาณราคาค่าก่อสร้าง และการวิเคราะห์	112
5. สรุปผลและข้อคิดเห็น	113
บทที่ 8 ผลการออกแบบบ้านสองชั้น และการเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง	115
1. รูปแบบบ้าน ICF สองชั้น	115
2. ชั้นส่วนประกอบผนัง และขนาดพิกัดแผนผัง	119
3. ระบบโครงสร้าง	119
4. ผลการประมาณราคาค่าก่อสร้าง และการวิเคราะห์เปรียบเทียบ	119
5. รอยต่อชั้นส่วนผนังกับโครงสร้างหลัก และระบบการก่อสร้าง	121
6. ขั้นตอนและระยะเวลาของการก่อสร้าง	123
7. แนวทางการพัฒนารูปแบบผนัง ICF และระบบการก่อสร้าง เพื่อการศึกษาต่อไป	126
8. สรุปผลและข้อคิดเห็น	127
บทที่ 9 ผลการศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร	129
1. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร	129
2. วิธีการจำลองผนัง ICF	129
3. รายละเอียดและคุณสมบัติเชิงอุณหภาพของผนังที่ศึกษา	131
4. การคิดค่าไฟฟ้าและระยะเวลาดำเนินทุน	133
5. การใช้พลังงานของบ้านชั้นเดียว	133
6. การใช้พลังงานของบ้านสองชั้น	142
7. บทสรุป	150
เอกสารอ้างอิง	151

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 10 บทสรุป และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	153
1. บทสรุป	153
2. ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้	158
3. ข้อสังเกต และคำวิจารณ์ผลวิจัย	159
บรรณานุกรม	161
ภาคผนวก	
ก. แบบก่อสร้างบ้าน ICF ชั้นเดียว	A-3
ข. แบบก่อสร้างบ้าน ICF สองชั้น	A-39
ค. รายการปริมาณวัสดุและราคาค่าก่อสร้าง (BOQ) ของบ้าน ICF ชั้นเดียว	A-93
ง. รายการปริมาณวัสดุและราคาค่าก่อสร้าง (BOQ) ของบ้าน ICF สองชั้น	A-103
จ. ราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยของบ้านทั่วไป	A-115
ฉ. ผลการทดสอบทางวิศวกรรมของผนัง ICF (แบบที่ 2)	A-117
ช. ระบบการก่อสร้างบ้าน ICF และรายละเอียดการทำรอยต่อที่สำคัญ	A-129
ซ. การติดตั้งผนัง ICF และโครงสร้างชั่วคราว	A-141
ฅ. การผลิตและขึ้นรูปผนัง ICF	A-147
ประวัติผู้วิจัย	B-1

สารบัญรูป

	หน้า	
บทที่ 2	ผนังโพลีเอสเตอร์ที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว	
	รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบขนาดของผนังโพลีเอสเตอร์	21
	รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบช่องหล่อคอนกรีตภายในของผนังโพลีเอสเตอร์	22
	รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการยึดของผนังโพลีเอสเตอร์	22
บทที่ 3	ชนิดและคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ผลิต ICF	
	รูปที่ 3.1 ชนิดของโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ในการผลิต ICF	27
	รูปที่ 3.2 กราฟแสดงปริมาณการบริโภคโพลีเอสเตอร์ EPS ในประเทศตั้งแต่ พ.ศ. 2541-2548	31
	รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอัตราการรีไซเคิลโพลีเอสเตอร์ EPS ในประเทศตั้งแต่ พ.ศ. 2543-2548	31
บทที่ 4	การศึกษาและขึ้นรูป PVC Foam เพื่อใช้ในโครงการ	
	รูปที่ 4.1 เครื่องอัดรีดขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง (Screw extrusion)	47
	รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ICF ของต่างประเทศ และ Cross Section	48
	รูปที่ 4.3 แสดงการให้แรงกระทำ 3 ตำแหน่งบนชิ้นงาน	50
	รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วย Compression Molding สูตร PVC 100 Parts, Plasticizer 20 Parts, Ca-Zn St ₂ 3 Parts, AZD 3 Parts, Zeolite 5 Parts และ PA 20 Parts	55
	รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วย Twin screw extruder: (a) หัว Die กลม, (b) หัว Slit Die	56
	รูปที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วย Twin Screw Extruder ด้วยหัว Die บล็อกสี่เหลี่ยม	57
	รูปที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้จากการผสมสารด้วยเครื่อง Food Mixer ก่อนนำไปขึ้นรูปด้วย Twin Screw Extruder ด้วยหัว Die บล็อกสี่เหลี่ยม โดยใช้ความเร็วรอบ 120 rpm	60
	รูปที่ 4.8 ภาพตัดขวางของโพลีเอสเตอร์ PVC : (a) ใช้ PA ปริมาณ 3 phr และ (b) ใช้ PA ปริมาณ 7 phr	60

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 SEM Micrographs of PVC Foams กำลังขยาย 100 เท่า : PVC 100 phr, Plasticizer 20 phr, Ca-Zn St ₂ 3 phr, AZD 3 phr, Zeolite 5 phr และ PA 20 phr สภาวะของเครื่อง Twin Screw Extruder : 140, 150, 160, 175 °C ความเร็วรอบ 60 rpm	62
รูปที่ 4.10 SEM Micrographs of PVC Foams กำลังขยาย 20 เท่า : สูตร PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St ₂ 5 phr, AZD 15 phr และ PA 7 phr ผ่านการผสมด้วย Food Mixer และ สภาวะในการขึ้นรูปของเครื่อง Twin Screw Extruder อุณหภูมิ 160, 170, 180, 190 °C ความเร็วรอบ 120 rpm	62
บทที่ 5 การวิเคราะห์ และออกแบบชิ้นส่วนประกอบผนัง	
รูปที่ 5.1 แนวคิดในการประยุกต์ผนัง SIP ที่เคยออกแบบไว้แล้ว มาใช้ออกแบบ ICF	68
รูปที่ 5.2 ศึกษาารูปแบบของช่องกลวงในแผ่นโพน และการเว้นขอบเพื่อเชื่อมต่อแผ่น	69
รูปที่ 5.3 รูปตัดขวางและขนาดของแผ่นผนัง แบบที่ 1	71
รูปที่ 5.4 รูปตัดขวางและขนาดของแผ่นผนัง แบบที่ 2	71
รูปที่ 5.5 รูปตัดขวางและขนาดของแผ่นผนัง แบบที่ 3	72
รูปที่ 5.6 รูปตัดขวางและขนาดของแผ่นผนัง แบบที่ 4	72
รูปที่ 5.7 รูปตัดขวางและขนาดของแผ่นผนัง แบบที่ 5	73
รูปที่ 5.8 แสดงชิ้นส่วนผนัง แบบที่ 4 ที่ออกแบบขึ้นให้มียุทธศาสตร์ขนาด 0.15 x 0.15 เมตร อยู่ที่มุมห้องหรือมุมอาคาร ส่วนช่องกลวงขนาด 0.10 x 0.15 เมตร มีไว้เพื่อเทคอนกรีตสำหรับเชื่อมต่อแผ่น และทำหน้าที่เป็นโครงคร่าวผนัง หรือเสาเอ็น	75
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างชิ้นส่วนผนัง (แบบที่ 4) ที่ออกแบบขึ้นใช้กับอาคารโครงสร้างระบบเสาและคาน ซึ่งมีช่วงเสาประมาณ 3.60 เมตร	75

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.10 แนวคิดในการทำรอยต่อขึ้นส่วนประกอบผนัง	76
รูปที่ 5.11 รายละเอียดการทำรอยต่อของผนังที่ออกแบบขึ้นใช้ในโครงการที่ใช้ขึ้นส่วนพิเศษเป็นข้อต่อ (ผนังแบบที่ 2)	77
รูปที่ 5.12 ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงสร้างคอนกรีตที่ซ่อนในผนัง ICF ความสูง 2.40 เมตร (รูปด้าน)	78
รูปที่ 5.13 รูปแบบของผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้น (ยังไม่ได้กรุแผ่นวัสดุแข็งที่ผิวนอกของแผ่นโพน)	79
รูปที่ 5.14 แสดงโครงสร้างคอนกรีตที่เกิดขึ้นเป็นตารางขนาด 0.60 x 1.20 เมตร เมื่อเทคอนกรีตในช่องผนัง ICF (แบบที่ 2) ที่ติดตั้ง ต่อแผ่นทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง	80
รูปที่ 5.15 แสดงรูปตัดผนัง ICF (แบบที่ 2) และรอยต่อแผ่นซึ่งกรุด้วยกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ ความหนา 6 มม. ทั้ง 2 ด้าน (ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานหรือกรุผิวในสถานที่ก่อสร้างก็ได้) ใช้แทนผนังผิวปูนฉาบหรือคอนกรีตโดยทั่วไปได้	81
รูปที่ 5.16 แสดงรูปตัดผนัง ICF (แบบที่ 2) และรอยต่อแผ่นซึ่งกรุด้วยแผ่นโลหะเคลือบสี (Metal sheet) ความหนาประมาณ 0.5 มม. (ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงาน) ใช้แทน Metal Cladding หรือ ผนัง SIP ที่มีขายในท้องตลาดได้	81
รูปที่ 5.17 แสดงรูปตัดผนัง ICF (แบบที่ 2) กรุด้วยแผ่นยิปซัม ความหนา 9 มม. ใช้เป็นผนังภายในซึ่งจะช่วยให้การเดินท่อหรือฝังสายไฟในผนังทำได้ง่าย (ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงาน หรือกรุผิวในสถานที่ก่อสร้างได้)	82

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 5.18	ผนัง ICF (แบบที่ 2) ผิวนอกทำด้วยเหล็ก ตะแกรงแล้วทำผิวปูนฉาบหน้างาน (รูปซ้าย) และ ชนิดที่ถูกระเบียงซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบมาจาก โรงงานแล้วทำผิวปูนฉาบ หรือกรูด้วยกระเบื้อง เคลือบ (รูปขวา) โดยอาจกรูด้วยตะแกรงเหล็กก่อน หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการใช้งานที่ต้องการ	82
บทที่ 6	ระบบโครงสร้างและผลการคำนวณโครงสร้างบ้าน ICF	
รูปที่ 6.1	รูปแบบอาคารที่ใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของผนัง เพื่อใช้ประกอบการออกแบบรูปตัดของผนัง ICF ใน เบื้องต้น	89
รูปที่ 6.2	รูปแบบผนัง ICF (Insulating Concrete Forms) ที่ วิศวกรใช้คำนวณขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง คอนกรีต ในเบื้องต้น	89
รูปที่ 6.3	รูปผนัง ICF ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา	92
รูปที่ 6.4	การทดสอบแรงอัดผนัง (ICF-Panel) ขนาด 240 x 60 x 18 เซนติเมตร	100
รูปที่ 6.5	ลักษณะการวิบัติของผนัง ICF-Panel ขนาด 240 x 60 x 18 เซนติเมตร หลังการทดสอบแรงอัด	100
รูปที่ 6.6	ลักษณะการวิบัติของชั้นตัวอย่างเสาย่อย เมื่อรับ แรงอัดร่วมกับแรงดัดประลัย	101
รูปที่ 6.7	การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดร่วมกับ แรงดัดของเสาย่อย (Stud)	101
รูปที่ 6.8	การตรวจบันทึกรอยแตกร้าวบนชั้นตัวอย่าง เสาย่อยขณะทดสอบแรงอัดร่วมกับแรงดัด	101
รูปที่ 6.9	การทดสอบความสามารถรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด ของเสาย่อย (Stud)	102
รูปที่ 6.10	การทดสอบแรงอัดร่วมกับแรงดัดของเสาย่อย(Stud)	102
รูปที่ 6.11	ลักษณะการวิบัติของเสาย่อย (Stud) เมื่อรับแรงกด ประลัย	102

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 6.12	ขึ้นตัวอย่างเสาย่อย (Stud) สำหรับใช้ทดสอบ แรงอัด	102
รูปที่ 6.13	การทดสอบแรงอัดของขึ้นตัวอย่างเสาย่อย (Stud)	103
รูปที่ 6.14	การเคลื่อนย้ายขึ้นตัวอย่างผนัง (ICF-Panel) เพื่อ ติดตั้งบน Loading Frame	103
รูปที่ 6.15	การ Calibrate เครื่องมือทดสอบด้วย Load Cell	103
รูปที่ 6.16	แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเสาคอนกรีตย่อยในผนัง (Stud)	103
รูปที่ 6.17	การติดตั้งแบบหล่อขึ้นตัวอย่างผนัง (ICF-Panel)	104
รูปที่ 6.18	การผสมคอนกรีตที่ใช้หล่อขึ้นตัวอย่างด้วยหินและ ทรายที่ควบคุมความชื้น	104
รูปที่ 6.19	การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์เพื่อใช้ในการหล่อขึ้น ตัวอย่างผนัง ICF	104
รูปที่ 6.20	การทดสอบแรงดัด (Flexural strength) ของขึ้น ตัวอย่างเสาย่อย (Stud)	104
รูปที่ 6.21	ลักษณะการวิบัติของขึ้นตัวอย่างเสาย่อย (Stud) หลังการทดสอบแรงดัด	104
รูปที่ 6.22	การทดสอบแรงดัด (Flexural strength) ของขึ้น ตัวอย่างเสาย่อย (Stud)	104
บทที่ 7	ผลการออกแบบบ้านชั้นเดียว และการประมาณราคา	
รูปที่ 7.1	แบบร่างในช่วงแรก	106
รูปที่ 7.2	แบบร่างในช่วงแรก (แสดงรูปด้านอาคาร)	106
รูปที่ 7.3	แบบขั้นสุดท้าย แสดงผนังอาคารพร้อม เฟอร์นิเจอร์	108
รูปที่ 7.4	แสดงผังอาคาร และตารางพิกัดแผนผัง	108
รูปที่ 7.5	ผังอาคาร และขนาดตามระบบประสานทางพิกัด	109
รูปที่ 7.6	แสดงรูปด้านหน้าอาคาร	109

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 7.7	แสดงรูปตัดตามยาว	107
รูปที่ 7.8	รูปทัศนียภาพของบ้านชั้นเดียวที่ออกแบบขึ้นใช้ศึกษา	112
บทที่ 8	ผลการออกแบบบ้านสองชั้น และการเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง	
รูปที่ 8.1	แสดงผังอาคารของบ้านสองชั้น ที่ออกแบบในช่วงแรก	115
รูปที่ 8.2	รูปทัศนียภาพของบ้านสองชั้น ที่ออกแบบในช่วงแรก	116
รูปที่ 8.3	แบบบ้าน ICF สองชั้น ชั้นสุดท้าย (รูปทัศนียภาพ)	116
รูปที่ 8.4	แบบบ้าน ICF สองชั้น ชั้นสุดท้าย (ผังอาคาร)	117
รูปที่ 8.5	รอยต่อระหว่างผนัง ICF (แผ่นวัสดุแข็งที่บุภายนอกยึดติดกับโพนั่มด้วยกาว)	121
รูปที่ 8.6	รอยต่อระหว่างผนังกับวงกบประตูและหน้าต่าง	122
รูปที่ 8.7	ระบบการก่อสร้างบ้าน ICF ที่ประยุกต์ขึ้นใช้ศึกษา	122
รูปที่ 8.8	รอยต่อของผนังกับโครงสร้างพื้นและหลังคา	123
บทที่ 9	ผลการศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร	
รูปที่ 9.1	ตัวอย่างผนัง ICF ที่จำลองในโปรแกรม Therm (ลูกศรแสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อน)	130
รูปที่ 9.2	การแบ่งโซนอาคารในการจำลองการใช้พลังงานของบ้านชั้นเดียว	134
รูปที่ 9.3	ภาพบ้านชั้นเดียวที่จำลองทางด้านทิศใต้	136
รูปที่ 9.4	ภาพบ้านชั้นเดียวที่จำลองทางด้านทิศตะวันออก	136

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 9.5	ภาพบ้านชั้นเดียวที่จำลองทางด้านทิศเหนือ	136
รูปที่ 9.6	ภาพบ้านชั้นเดียวที่จำลองทางด้านทิศตะวันตก	136
รูปที่ 9.7	การแบ่งโซนอาคารในการจำลองการใช้พลังงาน ของบ้านสองชั้น ในส่วนชั้นล่าง	142
รูปที่ 9.8	การแบ่งโซนอาคารในการจำลองการใช้พลังงาน ของบ้านสองชั้น ในส่วนชั้นที่สอง	143
รูปที่ 9.9	ภาพบ้านสองชั้นที่จำลองทางด้านทิศใต้	144
รูปที่ 9.10	ภาพบ้านสองชั้นที่จำลองทางด้านทิศตะวันออก	144
รูปที่ 9.11	ภาพบ้านสองชั้นที่จำลองทางด้านทิศเหนือ	144
รูปที่ 9.12	ภาพบ้านสองชั้นที่จำลองทางด้านทิศตะวันตก	144

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 3	
ชนิดและคุณสมบัติของโฟมที่ใช้ผลิต ICF	
ตารางที่ 3.1	29
ความเป็นพิษของควันไฟจากโฟม EPS เปรียบเทียบกับวัสดุธรรมชาติอื่นๆ	
ตารางที่ 3.2	32
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโฟม EPS ด้วยวิธีการ ประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA)	
ตารางที่ 3.3	33
ค่าพลังงานเบื้องต้นที่ใช้ในการผลิตโฟม EPS เทียบเท่ากับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	
ตารางที่ 3.4	35
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโฟม PU ด้วยวิธีการ ประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA)	
ตารางที่ 3.5	38
เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของโฟมที่ จำหน่ายในประเทศ	
ตารางที่ 3.6	39
เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของโฟมแต่ละ ประเภท	
บทที่ 4	
การศึกษา และขึ้นรูป PVC Foam เพื่อใช้ในโครงการ	
ตารางที่ 4.1	44
ชนิดของโฟม	
ตารางที่ 4.2	47
CBA ชนิดต่างๆ ซึ่งใช้อุณหภูมิและให้ปริมาณของ แก๊สหลังการแตกตัวต่างกัน	
ตารางที่ 4.3	49
แสดง Mechanical Properties ของโฟมชนิดต่างๆ ในงานวิจัยของ Saha, Mahfuzb, Chakravarty, Uddin, Kabir และ Jeelani	
ตารางที่ 4.4	53
อัตราส่วนของสารเติมแต่งที่ใช้	
ตารางที่ 4.5	54
แสดงอัตราส่วนของการทดลองและ Condition ที่ใช้	
ตารางที่ 4.6	56
แสดงสูตรเริ่มต้นและสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วย Twin Screw Extruder ด้วยหัว Die กลม และหัว Die Slit	

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
	ตารางที่ 4.7 แสดงสูตร สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วย Twin Screw Extruder ด้วยหัว Die บล็อกสี่เหลี่ยม และผลการทดสอบความหนาแน่น (Density) และสมบัติการต้านทานแรงอัด (Compressive strength)	58
	ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่น (Density) และสมบัติการต้านทานแรงอัด (Compressive strength) โดยใช้สูตร PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St ₂ 5 phr, AZD 15 phr โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PA ที่ 3 และ 7 phr	61
	ตารางที่ 4.9 Summary of Experimental Data for Six Samples at Mean Temperature 175 K	63
บทที่ 5	การวิเคราะห์ และออกแบบชิ้นส่วนประกอบผนัง	
	ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณวัสดุที่ใช้ ค่าความต้านทานความร้อน และค่ามวลอุณหภาพของผนัง ICF แบบต่างๆ (กรณีที่ไม่มีวัสดุปิดผิวที่ด้านนอกและด้านในของผนัง)	74
	ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณวัสดุที่ใช้ ค่าความต้านทานความร้อน และค่ามวลอุณหภาพของผนัง ICF แบบต่างๆ (กรณีที่มีวัสดุปิดผิวที่ด้านนอกและด้านในผนัง)	74
บทที่ 6	ระบบโครงสร้างและผลการคำนวณโครงสร้างบ้าน ICF	
	ตารางที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงเฉือน (Shear force) ของผนัง	90
	ตารางที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงอัด (Axial load) และแรงดัด (Flexural load) ของผนัง	91
	ตารางที่ 6.3 รายการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์และตรวจสอบความแข็งแรงของผนัง	94
	ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผนัง	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7	ผลการออกแบบบ้านชั้นเดียว
ตารางที่ 7.1	พื้นที่ใช้สอยของบ้าน ICF ชั้นเดียว ในแบบชั้น สุดท้าย 111
ตารางที่ 7.2	แสดงการประมาณราคาในหมวดงานหลัก และ สัดส่วนของราคา 116
บทที่ 8	ผลการออกแบบบ้านสองชั้น และการเปรียบเทียบราคา ก่อสร้าง
ตารางที่ 8.1	พื้นที่ใช้สอยของแบบบ้าน ICF สองชั้น 118
ตารางที่ 8.2	ราคาเฉลี่ยของบ้านสองชั้น เปรียบเทียบกับบ้านชั้น เดียว 119
ตารางที่ 8.3	ราคา และสัดส่วนงานก่อสร้างของบ้านสองชั้น เปรียบเทียบกับบ้านชั้นเดียว 120
ตารางที่ 8.4	ประมาณการระยะเวลาการก่อสร้างของบ้าน ICF กับบ้านทั่วไป (บ้านเดี่ยวชั้นเดียว) 125
ตารางที่ 8.5	ประมาณการระยะเวลาการก่อสร้างของบ้าน ICF กับบ้านทั่วไป (บ้านเดี่ยวสองชั้น) 126
บทที่ 9	ผลการศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร
ตารางที่ 9.1	แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 131
ตารางที่ 9.2	เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนและมวล อุณหภาพของผนังแต่ละประเภท 132
ตารางที่ 9.3	รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในส่วนต่างๆ ของอาคาร สำหรับบ้านชั้นเดียว 135
ตารางที่ 9.4	แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ของแต่ละโซน และ ช่วงเวลาการใช้งาน สำหรับบ้านชั้นเดียว 137
ตารางที่ 9.5	แสดงช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของแต่ละ โซน สำหรับบ้านชั้นเดียว 139
ตารางที่ 9.6	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ค่าไฟฟ้า ระหว่าง บ้านชั้นเดียวทั่วไป และบ้าน ICF กรณีที่เปิด เครื่องปรับอากาศตามปกติ 139

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 9.7	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้า ของบ้านชั้นเดียว ระหว่างบ้านทั่วไป และบ้าน ICF กรณีที่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง	140
ตารางที่ 9.8	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่าไฟฟ้าของบ้านชั้นเดียว ระหว่างบ้าน ICF ดันแบบ และบ้าน ICF ที่มีการใช้ผนัง ICF แบบต่างๆ กรณีใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ	141
ตารางที่ 9.9	เปรียบเทียบพลังไฟฟ้าที่ใช้และค่าไฟฟ้าของบ้านชั้นเดียว ระหว่างบ้าน ICF ดันแบบ และบ้านที่มีการใช้ผนังโครงคร่าวไม้ ผนังโครงคร่าวเหล็ก และผนัง SIP กรณีใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ	141
ตารางที่ 9.10	รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในส่วนต่างๆ ของอาคาร สำหรับบ้านสองชั้น	143
ตารางที่ 9.11	แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ของแต่ละโซน และช่วงเวลาการใช้งาน สำหรับบ้านสองชั้น	145
ตารางที่ 9.12	แสดงช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของแต่ละโซน สำหรับบ้านสองชั้น	147
ตารางที่ 9.13	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ค่าไฟฟ้า ระหว่างบ้านสองชั้นทั่วไป และบ้าน ICF กรณีใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ	147
ตารางที่ 9.14	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้า ของบ้านชั้นสองชั้น ระหว่างบ้านทั่วไป และบ้าน ICF กรณีที่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง	148
ตารางที่ 9.15	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่าไฟฟ้าของบ้านสองชั้น ระหว่างบ้าน ICF ดันแบบ และบ้าน ICF ที่มีการใช้ผนัง ICF แบบต่างๆ กรณีใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 9.16	
เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่าไฟฟ้าของ บ้านสองชั้น ระหว่างบ้าน ICF ต้นแบบ และบ้านที่ มีการใช้ผนังโครงคร่าวไม้ ผนังโครงคร่าวเหล็ก และ ผนัง SIP กรณีใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ	149