

การศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัวเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม

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

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์<sup>1</sup>, ดร. ปรีชญา มัททชนทวิ, ดร.จันท์ฉาย ทองปิ่น,  
ดรุณี มงคลสวัสดิ์, ดร.ขวัญชัย โรจนกันันท์ และ ดร.องอาจ หุตากร

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว หรือ ICF (Insulating concrete forms) และประยุกต์ระบบการก่อสร้างขึ้นใช้สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ในการศึกษาได้ออกแบบผนัง ICF และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของผนัง ศึกษาสูตรและคุณสมบัติของโพน PVC (Poly vinyl chloride) ที่อาจใช้แทนโพน EPS (Expanded poly styrene) เพื่อการผลิตผนัง ICF ออกแบบบ้านต้นแบบขึ้น 2 หลัง โดยใช้ชั้นส่วนผนังและระบบการก่อสร้างที่ออกแบบขึ้น คำนวณโครงสร้างอาคาร และประมาณราคาก่อสร้างบ้าน แล้วจึงวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของบ้านทั้ง 2 หลังเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

ผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นใช้เป็นแบบหล่อสำเร็จรูป (Panel system) มีขนาดแผ่นมาตรฐาน 1.20 x 1.20 x 0.18 เมตร (ความกว้าง x ความสูง x ความหนา) และมีช่องกลวงอยู่ภายในสำหรับใช้เทคอนกรีต (โครงสร้าง) ผลิตขึ้นจากโพน EPS และใช้กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบเป็นวัสดุผิวสำเร็จทั้งสองด้าน ผลการทดลองสูตรโพน PVC พบว่าสามารถต้านทานแรงอัดได้ดี แต่ยังมีค่าความหนาแน่นสูง และการใช้หัวขึ้นรูปแบบปลายเปิดที่มีไข้อยู่ในร่องปฏิบัติการ ไม่สามารถขึ้นรูปหรือจัดรูปของชิ้นงานโพนให้มีรูปร่างที่แน่นอนได้ ส่วนผลการประมาณราคาก่อสร้างเฉลี่ยของบ้าน ICF ชั้นเดียว และบ้าน ICF สองชั้นที่ออกแบบขึ้น พบว่ามีราคาสูงกว่าของบ้านทั่วไป 1.9% และ 7.6% ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์พลังงาน พบว่าในกรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงกลางวันเป็นส่วนใหญ่ บ้าน ICF ชั้นเดียวและบ้าน ICF สองชั้น จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ 7.4% และ 5.9% ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** 1. ผนังโพน. 2. ระบบการก่อสร้างบ้าน 3. บ้านประหยัดพลังงาน. 4. ผนังเบา. 5. แบบหล่อผนังคอนกรีต.

---

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## **Abstract**

The objectives of this research are to study and design an Insulated Concrete Form (ICF) and to apply this ICF component system to housing construction in Thailand. In the study, the prototype ICF panel was designed and its mechanical properties were tested. The properties and formula of PVC foam were tested in order to determine whether it could be utilized to replace EPS foam. Two ICF model houses were designed 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.

The developed ICF system is a "Panel System" which has concrete structures inside the ICF wall. The standard size of the ICF wall prototype is 1.20 x 1.20 x 0.18 m. (width x height x thickness). ICF concrete forms are made of EPS foam finished with fiber cement boards on both sides. The developed PVC foam has high compressive strength but its density is quite high. The costs 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. In the case of operating air conditioning mainly at night, the ICF one-storey house and ICF two-storey houses reduce electrical energy consumption by 7.4% and 5.9% respectively.

**Keywords:** 1. Foam core panel. 2. Housing construction system. 3. Lightweight panel.  
4. Insulating concrete form.

## คำนำ

ผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว (Insulating Concrete Form หรือ ICF) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันในช่วง ค.ศ.1950-60 ปัจจุบันนิยมใช้ในทวีปยุโรป และอเมริกาเหนือซึ่งมีอากาศหนาวเย็น เป็นระบบการก่อสร้างที่มีความแข็งแรงสูงและประหยัดพลังงานได้ดี โดยมีองค์ประกอบสำคัญคือ ผลิตภัณฑ์โพนที่ใช้เป็นแบบหล่อถาวร และโครงสร้างคอนกรีตที่ซ่อนอยู่ภายใน ซึ่งคอนกรีตอาจมีลักษณะเป็นผนังที่ทั้งผืน ตะแกรงหรือตาตาราง (Grid wall) โดยอาจใช้เป็นโครงคร่าวรับน้ำหนัก (Stud wall) ได้ โพนที่หุ้มอยู่โดยรอบผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนในตัว จึงเป็นระบบก่อสร้างที่มีจุดเด่น หรือลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจ จึงควรนำมาศึกษาและพิสูจน์ผลการใช้งานในประเทศไทย ซึ่งเคยมีผู้สนใจที่จะนำผลิตภัณฑ์ ICF ของต่างประเทศเข้ามาจำหน่าย แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบซับซ้อน หรือต้องใช้อุปกรณ์ประกอบพิเศษ ผนังมีความหนามาก และมีราคาแพงหรือไม่ประหยัดค่าก่อสร้าง จึงแข่งขันกับระบบทั่วไปในท้องตลาดได้ยาก จึงได้ศึกษาและประยุกต์ผนัง ICF ขึ้นมาใช้ให้เหมาะสมกับข้อจำกัดของประเทศไทย แทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์ต่างประเทศมาใช้โดยตรง ซึ่งผลจากการศึกษาราคาค่าก่อสร้าง และการประหยัดพลังงานของระบบ ICF ในขั้นตอนการออกแบบ ช่วยให้สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระบบผนังหรือการก่อสร้างอื่นๆ ได้ ก่อนที่จะปรับปรุงหรือพัฒนาเพื่อการผลิตเชิงธุรกิจหรือใช้ก่อสร้างในโครงการจริงได้ต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว (ICF) และระบบการก่อสร้างที่ประยุกต์ขึ้นใช้สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ทดลองสูตรและคุณสมบัติเบื้องต้นของโพน PVC (Poly vinyl chloride) ที่อาจใช้ในการผลิตผนัง ICF แทนโพน EPS (Expanded poly styrene) ในอนาคต และเพื่อศึกษาราคาค่าก่อสร้างและประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้าน ICF ที่ออกแบบขึ้นจากผนัง ICF และระบบการก่อสร้างดังกล่าว

## วิธีการศึกษา

- 1) ศึกษาผลิตภัณฑ์และระบบการก่อสร้าง ICF ในต่างประเทศ จากข้อมูลเอกสารของผู้ผลิตและผู้ก่อสร้าง และผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบผนังโพนสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว (ICF) และระบบการก่อสร้างเพื่อใช้สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยนำผลการวิเคราะห์ด้านพลังงาน และของวิศวกรโครงสร้างมาพิจารณาประกอบการออกแบบด้วย
- 3) ศึกษาทดลองสูตร และคุณสมบัติของโพน PVC เพื่อดูความเป็นไปได้เบื้องต้นที่จะนำมาใช้ในการผลิตผนัง ICF แทนโพน EPS
- 4) ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นส่วนประกอบผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบกับผลการคำนวณตามทฤษฎีโครงสร้างของวิศวกร
- 5) ออกแบบบ้านตัวอย่างขึ้น 2 หลัง โดยใช้ชิ้นส่วนประกอบผนังและระบบการก่อสร้างที่ออกแบบหรือประยุกต์ขึ้นใช้ คำนวณโครงสร้าง เขียนแบบก่อสร้าง และประมาณราคาค่าก่อสร้างบ้าน
- 6) วิเคราะห์ค่าพลังงานของบ้านทั้งสองหลัง โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus และคำนวณค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบกับบ้านที่ใช้ระบบการก่อสร้างทั่วไป (โครงสร้างคอนกรีต และผนังก่ออิฐฉาบปูน) เพื่อศึกษาผลของการประหยัดพลังงาน และระยะเวลาการคืนทุน

## ผลที่ได้จากการศึกษา

### 1. ผลิตภัณฑ์ ICF และระบบที่เลือกนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์ ICF ในต่างประเทศสามารถแบ่งตามรูปลักษณะและขนาดของผลิตภัณฑ์ออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ผลิตเป็นแผ่นขนาดใหญ่ (Panel system) เป็นแผ่นยาว (Plank system) และเป็นก้อนหรือบล็อก (Block system) แต่ถ้าแบ่งตามรูปแบบของช่องกลวงภายในผนังโพนหรือโครงสร้างคอนกรีตที่ซ่อนอยู่ภายในผนัง จะแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบเช่นกัน ได้แก่ แบบแผ่นเรียบ (Flat) แบบตาตาราง (Grid) และแบบเสาและคาน (Post-and-beam) ICF ที่พิจารณาเห็นว่ามีควม

เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษา คือ ระบบผนังที่เป็นแผ่นขนาดใหญ่ (Panel system) ซึ่งมีช่องว่างอยู่ภายในแผ่นโฟม สำหรับใช้หล่อคอนกรีตให้ทำหน้าที่เป็นโครงคร่าวผนังรับน้ำหนัก (Structural stud) หรือเสาและคาน (Post-and-beam) ได้ เพื่อทำการก่อสร้างได้สะดวกและรวดเร็ว ประหยัดคอนกรีต และลดจำนวนรอยต่อลงได้

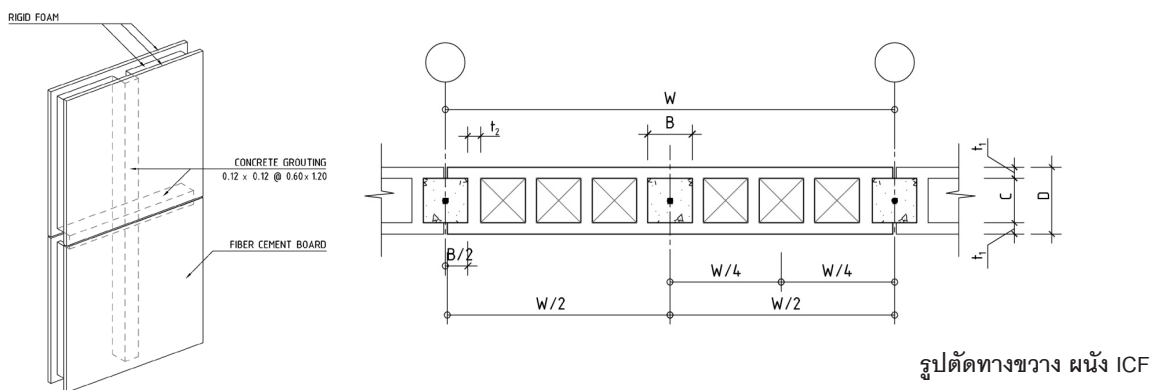
## 2. รูปแบบผนัง ICF ที่ออกแบบ และประยุกต์ขึ้นใช้

ผนัง ICF ที่ออกแบบและประยุกต์ขึ้นเพื่อใช้ศึกษา (Panel System) มีขนาดแผ่นมาตรฐาน 1.20 x 1.20 x 0.18 เมตร (ความกว้าง ความสูง และความหนา) มีช่องกลวงภายใน ขนาด 0.12 x 0.12 เมตร @ 0.30 เมตร เพื่อให้สามารถเทคอนกรีตในแนวตั้งได้ทุกระยะ 0.60 เมตร (จากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง) ใช้โฟม EPS หุ้มคอนกรีตมีความหนา 3 ซม. ที่ขอบแผ่นผนังทั้ง 4 ด้านมีช่องหล่อคอนกรีตเพื่อการเชื่อมต่อแผ่นได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ส่วนวัสดุบุผิวนอกของผนังหรือแบบหล่อโฟม ใช้แผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ (Fiber cement board) กรูทับทั้งสองด้าน (รูปที่ 1) โดยสามารถเปลี่ยนแผ่นวัสดุบุผิวได้ตามความต้องการเฉพาะโครงการ เช่น แผ่นโลหะเคลือบสี ฯลฯ คอนกรีตที่ซ่อนอยู่ในผนังโฟมทำหน้าที่เป็นโครงคร่าวผนังรับน้ำหนัก (Structural stud) โดยสามารถปรับความหนา

แผ่น ICF และขนาดช่องกลวงภายในให้เหมาะที่จะใช้กับการก่อสร้างระบบเสาและคานได้

## 3. การศึกษาสูตร คุณสมบัติและความเป็นไปได้เบื้องต้นที่จะใช้โฟม PVC แทนโฟม EPS เพื่อการผลิตผนัง ICF

จากการศึกษาเบื้องต้นนี้ พบว่า PVC Foam ที่ใช้สูตรผสม PVC 100 phr, Plasticizer 20 phr, Ca-Zn St<sub>2</sub> 3 phr, AZD 3 phr, Zeolite 5 phr และ PA 20 phr สภาวะของเครื่อง Twin Screw extruder : 140, 150, 160, 175 °C ความเร็วรอบ 60 rpm จะมีการกระจายตัวของฟองอากาศใน PVC ที่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ไรท์ดี PVC สูตร PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St<sub>2</sub> 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 จะสามารถให้ฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจะนำไปสู่การเป็นฉนวนความร้อนที่ดีได้ ดังนั้น ด้วยสูตรของ PVC Compound ในสูตรหลังนี้ หากทำการปรับสภาวะในการขึ้นรูปอีก จะสามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของฟองอากาศได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการอัดรีดและรูปแบบของหัวขึ้นรูปที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการขึ้นรูปนั้น การใช้หัวขึ้นรูปแบบปลายเปิด (เหมือนที่มีชื่ออยู่ในห้องปฏิบัติการ) ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปหรือจัดรูปของชิ้นงานโฟมให้มี



รูปตัดทางขวาง ผนัง ICF

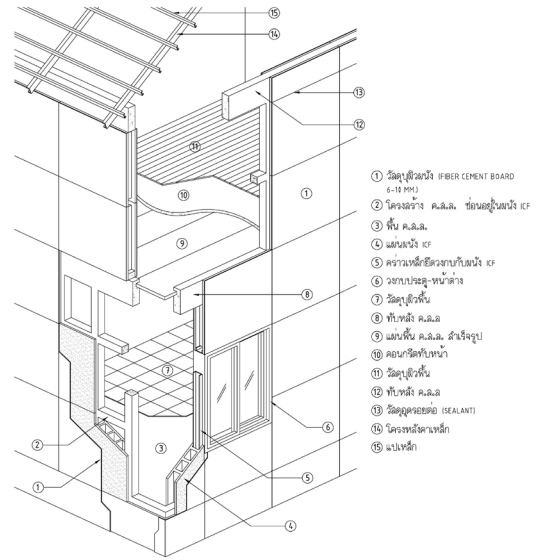
รูปที่ 1. รูปแบบของผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นใช้ในโครงการ

รูปร่างที่แน่นอนได้

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่น และคุณสมบัติการต้านทานแรงอัด (Compressive strength) กับมาตรฐานของ ICF Technical Testing (November 2006) พบว่า มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ แต่ความหนาแน่นของโพนั้ PVC ยังมีค่าสูง และไม่สามารถเพิ่มปริมาณของ AZD และ Plasticizer ให้มากขึ้นได้อีก ถ้าต้องการที่จะพัฒนาสูตรผสมให้ได้ค่าความหนาแน่นตามมาตรฐานนั้น อาจต้องเปลี่ยนชนิดสารเติมแต่งที่ใช้ เปลี่ยนเทคนิคการขึ้นรูป หรือใช้เทคนิคที่มีความซับซ้อนในการควบคุมความหนาแน่น

#### 4. การออกแบบบ้าน ระบบการก่อสร้าง และผลการประมาณราคาก่อสร้าง

บ้านที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ศึกษา มีจำนวน 2 หลัง เป็นบ้านเดี่ยวชั้นเดียว จำนวน 1 หลัง (เนื้อที่ใช้สอยรวมภายนอกและภายในอาคาร 174 ตารางเมตร) และบ้านเดี่ยวสองชั้นอีก 1 หลัง (เนื้อที่ใช้สอยรวมภายนอกและภายในอาคาร 248 ตารางเมตร) เป็นอาคารพักอาศัยสำหรับผู้ที่มีรายได้ปานกลางค่อนข้างสูงโดยทั่วไป (รูปที่ 2) ก่อสร้างในเขตกรุงเทพฯ ฐานรากและพื้นชั้นล่างเป็นโครงสร้างคอนกรีตเหมือนกับบ้านทั่วไป แต่ใช้ผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักอาคารทั้งหลัง ส่วนพื้นชั้น 2 ออกแบบให้ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป โครงหลังคาเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น และมุงด้วยกระเบื้องซีเมนต์เคลือบสี (รูปที่ 3) ส่วนงานระบบไฟฟ้า ประปา และสุขาภิบาล รวมทั้งวัสดุตกแต่งทาง



รูปที่ 3. ภาพแสดงระบบการก่อสร้างของบ้าน ICF สองชั้น

สถาปัตยกรรม ถูกออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานการก่อสร้างของบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป เพื่อให้สามารถศึกษาผลเปรียบเทียบกับผนัง และระบบการก่อสร้างของบ้านทั่วไปได้ชัดเจน

ผลจากการประมาณราคาก่อสร้างจากแบบก่อสร้างของบ้าน ICF ที่ได้ออกแบบขึ้นนั้น พบว่าบ้าน ICF ชั้นเดียวมีค่าก่อสร้างเฉลี่ยประมาณ 11,200 บาท/ตารางเมตร โดยมีสัดส่วนราคาของงานสถาปัตยกรรมประมาณ 54.3% งานโครงสร้าง 33.4% และงานไฟฟ้า



รูปที่ 2. รูปทัศนียภาพของบ้าน ICF ชั้นเดียว และสองชั้น ที่ออกแบบขึ้นใช้ศึกษา

รวมกับงานสุขาภิบาล 12.3% เมื่อเปรียบเทียบราคา ค่าก่อสร้างเฉลี่ยของบ้าน ICF กับบ้านทั่วไป (โครงสร้าง คอนกรีต และผนังวัสดุก่อ) ซึ่งตกประมาณ 11,000 บาท/ ตารางเมตร บ้าน ICF ชั้นเดียวจะมีค่าก่อสร้างใกล้เคียง กับบ้านทั่วไปมาก ส่วนบ้าน ICF สองชั้นจะมีค่าก่อสร้าง เฉลี่ยประมาณ 11,800 บาท/ตารางเมตร ซึ่งแพงกว่าบ้าน ทั่วไปเล็กน้อย โดยมีสัดส่วนราคาของงานสถาปัตยกรรม ประมาณ 57.1% งานโครงสร้าง 33.3% และงานไฟฟ้า รวมกับงานสุขาภิบาล 9.6% สาเหตุที่บ้าน ICF ชั้นเดียว มีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยต่อตารางเมตรถูกกว่าบ้าน ICF สองชั้น เนื่องจากรูปแบบของบ้านชั้นเดียวไม่มีหลังคา คลุมที่จอตระย่นต์ ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบของบ้านสอง ชั้น

#### 5. ผลการวิเคราะห์พลังงาน ค่าไฟฟ้า และ ระยะเวลาคืนทุนของบ้าน ICF

จากการศึกษาและวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ของบ้าน ICF โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (EnergyPlus) มีอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ และช่วง เวลาการใช้งานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ พบว่า สำหรับ แบบบ้าน ICF ชั้นเดียว ในกรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศ ตามปกติ (ช่วงกลางคืนเป็นส่วนใหญ่) จะใช้พลังงาน ไฟฟ้าปีละ 7,603 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนบ้านทั่วไป (ชั้น เดียว) ที่มีแบบแปลนและเงื่อนไขการใช้งานเหมือนกัน จะใช้พลังงานไฟฟ้าปีละ 8,207 กิโลวัตต์ชั่วโมง แต่ในกรณีที่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง บ้าน ICF ชั้นเดียว จะใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้นปีละ 12,438 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่บ้านทั่วไป (ชั้นเดียว) จะใช้พลังงานไฟฟ้าปีละ 13,543 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วน แบบบ้าน ICF สองชั้นนั้น ในกรณีที่เปิดเครื่องปรับ อากาศตามปกติ (ช่วงกลางคืนเป็นส่วนใหญ่) จะใช้พลัง งานไฟฟ้าปีละ 9,534 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนบ้านทั่วไป (สองชั้น) จะใช้พลังงานไฟฟ้าปีละ 10,133 กิโลวัตต์ ชั่วโมง แต่ในกรณีที่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง บ้าน ICF สองชั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น ปีละ 14,892 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่บ้านทั่วไป (สอง ชั้น) จะใช้พลังงานไฟฟ้าปีละ 16,363 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของบ้าน ICF (ชั้นเดียวและบ้านสองชั้น) กับบ้านทั่วไป สรุปได้ว่า

1) กรณีที่ใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ เมื่อ เปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป บ้านชั้นเดียวและบ้านสองชั้น ที่ใช้ผนัง ICF ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ 7.4 % และ 5.9 % ตามลำดับ แต่เนื่องจากบ้าน ICF ชั้นเดียว และสองชั้น มีค่าก่อสร้างสูงกว่าบ้านทั่วไป (1.94% และ 7.6%) ค่าวนระยะเวลาในการคืนทุนได้ 16 และ 88 ปี ตามลำดับ

2) กรณีที่ใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป บ้านชั้นเดียวและบ้านสอง ชั้นที่ใช้ผนัง ICF จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ 8.2% และ 9.0% ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาในการคืน ทุน 9 ปี และ 36 ปี ตามลำดับ หรือคืนทุนได้เร็วกว่ากรณี ที่ใช้เครื่องปรับอากาศตามปกติ

#### 6. ความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำไปใช้ งาน หรือการผลิตทางอุตสาหกรรม

ผนังและระบบการก่อสร้าง ICF ที่ออกแบบ และประยุกต์ขึ้นใช้กับบ้านพักอาศัยนั้น เมื่อเปรียบ เทียบกับบ้านที่ก่อสร้างทั่วไปสามารถประหยัดพลังงาน ไฟฟ้าได้จริง (7% - 9%) แต่มีผลให้ราคาค่าก่อสร้างที่แพง ขึ้นด้วย (6% - 7.6%) จึงคิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัด ได้น้อย และเนื่องจากราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยของบ้าน ICF ต่างจากบ้านทั่วไปไม่มากนัก (ต่ำกว่า 10%) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อใช้เป็นระบบการ ก่อสร้างทางเลือกได้

ระบบการก่อสร้าง ICF มีน้ำหนักเบา ก่อสร้าง ได้รวดเร็วขึ้น ช่างสามารถปรับหรือตัดแต่งชิ้นส่วนผนัง และเดินท่อหรือฝังอุปกรณ์ไว้ภายในโครงสร้างอาคาร ได้สะดวก ประกอบกับมีอุตสาหกรรมโฟม และผนังวัสดุ แผ่นประกบโฟม (Structural insulated panel หรือ SIP) ภายในประเทศรองรับอยู่แล้ว จึงมีโอกาสที่จะ พัฒนาใช้เป็นระบบก่อสร้างทางเลือกเพื่อสนองความ ต้องการของตลาดบ้านหรืออาคารที่มีความต้องการ เฉพาะ (Niche market) ซึ่งจากองค์ประกอบของระบบ ผนัง พบว่าผนัง ICF จะให้ความแข็งแรงและปลอดภัย ทางโครงสร้างสูงกว่า SIP ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ เพราะ มีโครงสร้างคอนกรีตซ่อนอยู่ภายใน แต่ระบบผนัง ICF มีข้อจำกัดหรือข้อเสียเปรียบระบบการก่อสร้างทั่วไป ในด้านอายุการใช้งานของอาคารโดยรวม หรือความ

คงทนของวัสดุที่ใช้ โดยเฉพาะวัสดุแผ่นผนังภายนอก และโพน ซึ่งต้องการการดูแล และบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ใช้กันทั่วไป

### ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้

ผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นใช้ในโครงการนี้ มีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อความอิสระของผู้ผลิตและผู้ออกแบบให้ได้ผนังที่มีคุณสมบัติและต้นทุนการผลิตตามต้องการ รวมทั้งระยะห่างของคอนกรีตในช่องผนัง (Concrete stud) และการเลือกใช้หรือติดตั้งวัสดุผิวสำเร็จในสถานที่ก่อสร้าง ฯลฯ

1) ระบบผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้น เมื่อใช้แผ่นโลหะเคลือบสีบุผิวภายนอกผนังโพนแทนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดโดยผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานสามารถใช้แทนผนัง Metal Claddings หรือ ACM (Aluminum composite material) ได้ดี

2) ค่าก่อสร้างอาจประหยัดขึ้นได้ ถ้าสามารถกำหนดรูปแบบ ขนาดและระยะต่างๆ ของอาคารให้สอดคล้องกับหน่วยพิกัดของผนัง ICF (ออกแบบในระบบประสานทางพิกัด)

3) ผนังและระบบการก่อสร้าง ICF มีแนวโน้มที่จะช่วยให้ประหยัดพลังงานหรือคืนทุนได้เร็วขึ้น ถ้านำไปประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นที่มีภาระเครื่องปรับอากาศมากขึ้น หรือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง เช่น ร้านค้าสะดวกซื้อ อาคารพักอาศัยที่ใช้เป็นสำนักงานได้ในตัว และอาคารชุดพักอาศัยหรือที่พักตากอากาศระดับสำหรับผู้มีรายได้สูงซึ่งมีความสูง 1-3 ชั้น ฯลฯ

### ข้อสังเกต และคำวิจารณ์ผลวิจัย

1) การทดสอบกำลังวัสดุของผนัง ICF มีวัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษาเพื่อใช้ผลเปรียบเทียบกับทฤษฎีทางโครงสร้าง การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างจึงใช้ผลการคำนวณของวิศวกรเป็นสิ่งสำคัญ

2) การศึกษาพลังงานของบ้านในโครงการนี้ เป็นการพิสูจน์ผลการใช้วัสดุ ICF เป็นผนังอาคารตามระบบก่อสร้างที่ประยุกต์ขึ้นใช้เป็นสำคัญ โดยไม่ได้เน้นการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานด้วยวิธีการอื่นๆ (เช่น การใช้กระจกพิเศษหรือกระจก 2 ชั้น และการเพิ่มอุปกรณ์หรือแผงกันแดด ฯลฯ) อีกทั้งไม่ได้นำค่ามวลสารในตัวอาคาร (เฟอร์นิเจอร์) และวิธีการระบายอากาศร้อนที่สะสมออกจากตัวอาคารในช่วงที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศมาใช้ประกอบการคำนวณค่าพลังงานในอาคารแต่อย่างใด

ผลการศึกษานี้ เป็นเพียงการออกแบบ และกรณีศึกษาหนึ่งเท่านั้น จึงควรทำการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติม และเปรียบเทียบผลกับกรณีศึกษาอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

### กิตติกรรมประกาศ

สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และอาจารย์นันท์ คุณคำชู ผู้ช่วยทำให้รายงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์



## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- เจริญวัฒน์ ภูวนันท์ และคณะ. (2550). การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง **Structural Sandwich Panels** เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ปรีชญา มหัทธนนที, จริญญาวัฒน์ ภูวนันท์ และ ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์. (2550). ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็ก (**Steel Framing**) และบ้านโครงสร้างไม้ (**Wood Framing**) ที่ได้พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย. รายงานวิจัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

### ภาษาอังกฤษ

- Amvic Inc. (2007). **ICF technical testing**. [Online]. Retrieved August 1, 2007. from <http://www.Amvicssystem.com/TestingCodeApprovals.aspx>.
- Davies, J.M. (2001). **Lightweight sandwich construction**. London: Blackwell Science.
- Enermodal Engineering Limited, Oak Ridge National Labs, and Polish Academy of Sciences. (2001). **Modeling Two- and Three-Dimensional heat transfer through composite wall and roof assemblies in transient energy simulation programs (1145-TRP)**, Part I: Final Report.
- Kabir, Md. E., Saha, M. C., Jeelani, S. (2006). Tensile and fracture behavior of polymer foam. **Materials Science and Engineering: A** 429. 1-2 : 225-235.
- Morley, Michael. (2000). **Building with Structural Insulated Panels (SIPs): strength and energy efficiency through structural panel construction**. Newtown, Conn.: The Taunton Press.
- Pansuhev, Ivan S. and VanderWerf, Pieter A. (2004). **Insulating concrete forms construction: demand, evaluation, and technical practice**. New York: McGraw-Hill.
- Strand, Richard and others. (1999). **Enhancing and extending the capabilities of the building heat balance simulation technique for use in energyplus**. Proceedings of Building Simulation 1999, International Performance Simulation Association. Kyoto, Japan 13-15 September, 1999.