

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 และทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ทางโครงสร้างของวิศวกร 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) บุกผิวทั้งสองด้านจากโรงงาน เพื่อให้เป็นผนังสำเร็จรูปที่มีผิวสำเร็จในตัว

2. ผลการศึกษาโพน PVC ด้วยสูตร PVC 100 phr, Plasticizer 40 phr, Ca-Zn St 2 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 แต่การใช้หัวขึ้นรูปแบบปลายเปิดที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูป หรือจัดรูปของชิ้นงานโพนให้มีรูปร่างที่แน่นอนได้ โดยโพน PVC ที่ผลิตขึ้นนั้น มีค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงกว่ามาตรฐาน

ของ ICF Technical Testing ที่ได้กำหนดไว้ แต่ความหนาแน่นของโฟม PVC ยังมีค่าสูง ซึ่งมีผลให้ผนังมีน้ำหนักและราคาแพงกว่าผนัง ICF ทั่วไปที่ผลิตจากโฟม EPS

3. บ้านเดี่ยวชั้นเดียว และบ้านเดี่ยวสองชั้น ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้ผนังโฟมสำเร็จรูป (ICF) เป็นแบบหล่อโครงสร้างคอนกรีต มีราคาต่าก่อสร้างเฉลี่ยประมาณ 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 และสองชั้นมีราคาต่าก่อสร้างใกล้เคียงกับราคาเฉลี่ยระดับปานกลางของบ้านทั่วไป (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 และสามารถลดราคาต่าก่อสร้างลงได้ โดยการออกแบบอาคารให้มีรูปแบบที่เรียบง่าย ประสานกับระบบการก่อสร้างได้ดีขึ้น และมีจำนวนมากพอที่จะผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรมได้

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.

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.