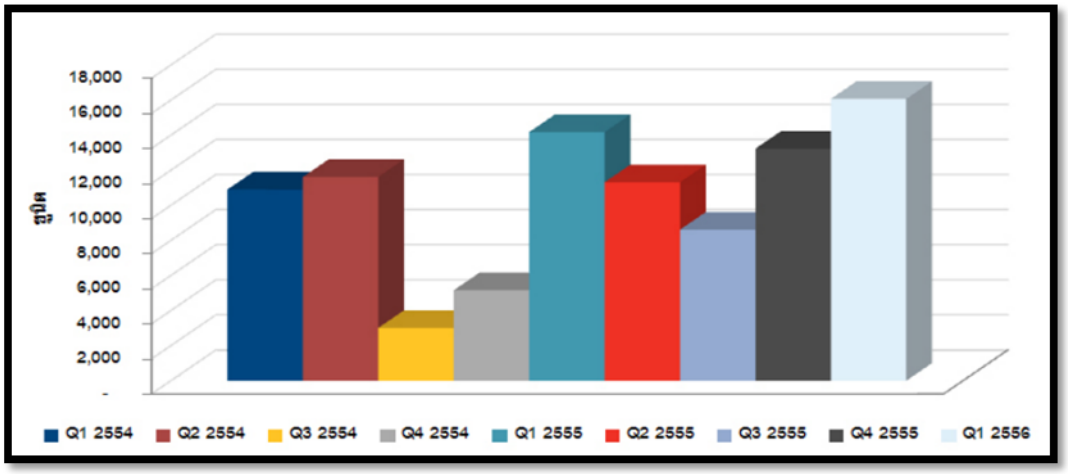
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการย้ายถิ่นฐานเข้าสู่สังคมเมือง ก่อให้เกิดปัญหาความแออัดที่อยู่อาศัยไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความต้องการที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์มีการขยายตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของที่พักอาศัย ซึ่งในปัจจุบันที่พักอาศัยประเภทอาคารชุดได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง จากสรุปสถานการณ์อสังหาริมทรัพย์ ปี พ.ศ. 2555 พบว่าความนิยมในส่วนของที่พักอาศัยประเภทอาคารชุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากแนวโน้มการเปิดขายอาคารชุดพักอาศัยเปิดขายใหม่ในไตรมาสที่1 ปี พ.ศ. 2556 มากกว่า 16,070 ยูนิต ซึ่งมากกว่าในช่วงไตรมาสที่ 4 ปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 2,840 ยูนิต และอัตราการเปิดขายใหม่ในไตรมาสที่ 1 ปี พ.ศ. 2556 นี้มีจำนวนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับในช่วง 9 ไตรมาสที่ผ่านมา โดยที่ไตรมาสที่1 ปี พ.ศ. 2556 มีอัตราการขายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 62 ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 อาคารชุดพักอาศัยที่เปิดขายใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึงไตรมาสที่1 ปี พ.ศ. 2556 จำแนกรายไตรมาส [1]

เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้เปลี่ยนแปลงไปตามวิถีของสังคม เน้นความสะดวกสบาย ป้องกันปัญหาอุทกภัย และตอบสนองข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ที่จำกำจัด แนวโน้มการสร้างที่พักในเมืองใหญ่จึงมีการสร้างที่พักอาศัยเป็นประเภทอาคารชุดพักอาศัยมากขึ้น ซึ่งกระบวนการการสร้างอาคารชุดพักอาศัยในทุกๆขั้นตอนของการก่อสร้างการล้วนก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัสดุก่อสร้าง ไปจนถึงขั้นตอนการก่อสร้าง [2] ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาวิธีการก่อสร้างอาคารโดยการนำเทคโนโลยีมาช่วย ตั้งแต่การเลือกใช้วัตถุดิบรวมทั้งการออกแบบ ที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในช่วงการก่อสร้างและพักอาศัยของอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทยที่มีรูปแบบต่างกัน โดยมีขอบเขตการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) กระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย (Use phase) โดยผลจากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาแบบอาคารชุดพักอาศัย รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่มีรูปแบบต่างกัน ขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างจนถึงกระบวนการก่อสร้าง

2. ศึกษาการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงอยู่อาศัยของอาคารชุดพักอาศัย เพื่อนำไปสู่การเสนอแนวทางในเลือกใช้วัสดุการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ(Low Rise) และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High Rise) วิธีการคำนวณอ้างอิงจากคู่มือ IPCC (2006) ในลักษณะ Gate-to-Gate โดยพิจารณาเริ่มต้นจากการนำวัสดุก่อสร้างเช่น อิฐ คอนกรีต ทราย ตลอดจนวัสดุสำเร็จรูป เข้ามาสู่กระบวนการก่อสร้างของแต่ละขั้นตอนจนได้รูปแบบอาคารชุดที่ก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ โดยมีขอบเขต ดังนี้

1. เลือกแบบอาคารชุดทั้งประเภท Low Rise และ High Rise อย่างละไม่ต่ำกว่า 2 แบบ โดยข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (B.O.Q.) ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในช่วงการก่อสร้างได้จากแบบสอบถามการใช้พลังงานในสถานที่ก่อสร้างจริง

2. คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้สอย โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Sima Pro 7.1 และอ้างอิงการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนของการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตในการศึกษาเริ่มตั้งแต่การได้มาของวัสดุก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง และการพักอาศัย

3. เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงอยู่อาศัยของอาคารชุดพักอาศัยทั้งประเภท Low Rise และ High Riseโดยเปรียบเทียบจากชนิดวัสดุก่อสร้างที่ต่างกัน โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี

4. เสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลือกประเภทอาคารชุดพักอาศัยและการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ (Low Rise) และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High Rise)

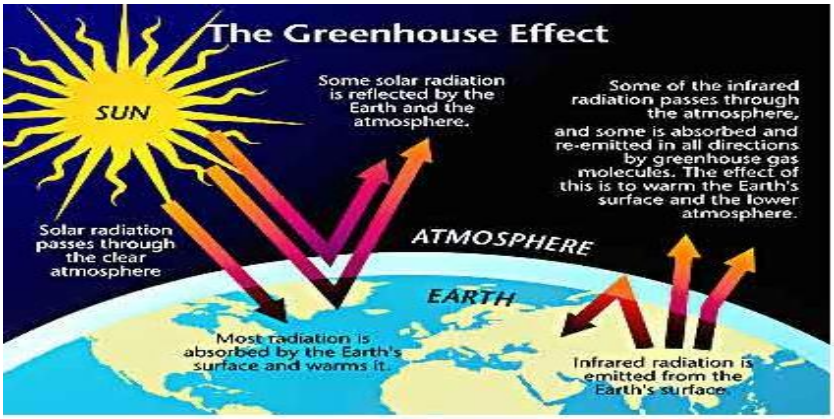
2. ได้แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย และแนวทางลดการใช้พลังงานในขั้นตอนอยู่อาศัย

3. สร้างความตระหนักในการออกแบบและการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้แก่ผู้ผลิต และเป็นแนวทางในการเลือกอาคารชุดพักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแก่ผู้บริโภค

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs)

ก๊าซเรือนกระจก คือก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ เป็นก๊าซที่มีสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดได้ดี ซึ่งก๊าซเหล่านี้มีความสำคัญต่อการรักษาอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลกให้คงที่ เนื่องจากสามารถดูดซับรังสีความร้อนไว้ในช่วงเวลากลางวันแล้วคายหรือแผ่รังสีความร้อนออกมาในช่วงเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน [3] อย่างไรก็ตาม บรรยากาศของโลกมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลาอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเป็นการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีการเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ในทุกๆ 20 ปี [4] ปรากฏการณ์นี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งก๊าซเรือนกระจกมีผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิของผิวโลก คือทำให้โลกมีพลังงานความร้อนสะสมอยู่บนผิวโลกและชั้นบรรยากาศมากขึ้น ล้วนแล้วแต่เป็นต้นเหตุที่ทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม การผันแปรของสภาพภูมิอากาศของโลกและท้องถิ่น [5] ส่งผลกระทบโดยตรงกับความหลากลายทางชีวภาพ และการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศบริเวณนั้น ทั้งต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์เรือนกระจก [6]

2.1.1 ประเภทของก๊าซเรือนกระจกและค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโตมีเพียง 6 ชนิด [7] โดยแต่ละชนิดมีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) แตกต่างกัน ได้แก่

1. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ โดยเฉพาะกิจกรรมของมนุษย์จากการใช้พลังงาน เช่น ภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งการเผาป่าเผาเชื้อเพลิงที่ให้ผลผลิตของปฏิกิริยาคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP 100) เท่ากับ 1 เท่า

2. มีเทน (Methane: CH_4) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เป็นก๊าซติดไฟไม่มีสีสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ ก๊าซมีเทนอาจได้มาจากการทำนาที่มีน้ำท่วมขังจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ใต้น้ำ ได้มาจากการทำปุ๋ยหมัก การทำหลุมฝังกลบแบบไร้ออกซิเจน เป็นต้น ก๊าซมีเทนสามารถดูดซึมรังสีความร้อนได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

3. ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N_2O) ไนตรัสออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไอเสียรถยนต์ การเกษตรที่ใช้ปุ๋ยซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกย่อยสลายในดินก็จะเกิดการปล่อยไนตรัสออกไซด์สู่อากาศ ซึ่งไนตรัสออกไซด์ ปริมาณ 1 หน่วยน้ำหนักจะมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนถึง 310 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100 ปี

4. ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon: HFC) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและฟลูออรีน โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่นการผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟม วัสดุบรรจุภัณฑ์ สารละลายและสารทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนมีความแตกต่างจากก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เนื่องจากไม่ทำลายโอโซนแต่สามารถทำให้โลกร้อนได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ โดยไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP 100) เท่ากับ 140 ถึง 11,700 เท่า

5. เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFC) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ทำลายชั้นโอโซนเช่นเดียวกับไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟม และสารทำความเย็น เป็นต้น เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP 100) มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 6,500 ถึง 9,200 เท่า (ขึ้นอยู่กับประเภท) และมีอายุในบรรยากาศสูงสุด 50,000 ปี

6. ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride: SF_6) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลาย เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากที่สุดจากการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) โดยซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP 100) มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 23,900 เท่า และมีอายุในบรรยากาศ 3,200 ปี ก๊าซนี้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ ยางรถยนต์ ฉนวนไฟฟ้า การผลิตสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า (เซมิคอนดักเตอร์)และในอุตสาหกรรมแมกนีเซียม [8]

ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนสามารถประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริง ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนและอายุของก๊าซนั้นๆ ในบรรยากาศ และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือศักยภาพในการทำให้ โลกร้อนที่ครอบคลุมโดยพิธีสารเกียวโต ประกอบด้วยก๊าซ 6 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตและค่า GWP โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระยะเวลา 100 ปี [9]

ก๊าซเรือนกระจก	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน GWP 100
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1
มีเทน (CH_4)	21
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	310
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	140 - 11,700
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	6,500 - 9,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)	23,900

จากตารางพบว่าก๊าซเรือนกระจกที่ค่าศักยภาพทำให้โลกร้อนมากที่สุดคือ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP 100) เท่ากับ 23,900 เท่า และก๊าซเรือนกระจกที่ค่าศักยภาพทำให้โลกร้อนน้อยที่สุดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP 100) เท่ากับ 1 เท่า

2.1.2 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกมีที่แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติและจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นการเพิ่มปริมาณการสะสมก๊าซเรือนกระจกให้เพิ่มปริมาณมากขึ้นในชั้นบรรยากาศ ซึ่งทำให้เกิด “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) โดยการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอย่างหนึ่งคือคือ การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น ที่เรียก “ภาวะโลกร้อน” (Global Warming)

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกโดยแบ่งตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจซึ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามพิธีสารเกียวโต [10] สามารถแบ่งได้เป็น 6 แหล่ง ดังนี้

สาขาพลังงาน (Energy) ได้แก่

(A) กลุ่มการเผาไหม้ก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Fuel combustion activities) เช่น

1. ภาคอุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปพลังงาน (Energy industries)
2. ภาคอุตสาหกรรมและการก่อสร้าง (Manufacturing industries and construction)
3. ภาคการคมนาคมขนส่ง (Transport)
4. การใช้พลังงานในภาคอื่นๆ เช่น ภาคครัวเรือน พาณิชยกรรม เป็นต้น

(B) กลุ่มการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิง (Fugitive emissions from fuels)

(C) กลุ่มอื่นๆ

สาขากระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial processes) ได้แก่

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการอุตสาหกรรม ไม่รวมถึงก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานโดยรวมกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

(A) กลุ่มถลุงแร่ (Mineral products)

(B) กลุ่มอุตสาหกรรมเคมี (Chemical industry)

(C) กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ (Metal production)

(D) กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ (Other production)

(E) กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารฮาโลคาร์บอน (Halocarbons) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (Production of halocarbons and sulphur hexafluoride)

(F) กลุ่มอุตสาหกรรมใช้สารฮาโลคาร์บอน (Halocarbons) และซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ (SF_6) (Consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride)

(G) กลุ่มอื่นๆ

สาขาการผลิตและการใช้ตัวทำละลาย (Solvent and other product use) ได้แก่
ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตและใช้ตัวทำละลาย

สาขาการเกษตร (Agriculture) ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการ เกษตร ได้แก่
(A) กลุ่มการหมักภายในลำไส้ของสัตว์ที่มีการบริโภคพืชเป็นอาหาร (Enteric fermentation)
(B) กลุ่มการจัดการมูลสัตว์ (Manure management)
(C) กลุ่มนาข้าว (Rice cultivation)
(D) กลุ่มดินที่ใช้ในการเกษตร (Agricultural solids)
(E) กลุ่มการเผาทุ่งหญ้าแบบซาวานา (Prescribed burning of savannas)
(F) กลุ่มการเผาเศษพืชจากการทำเกษตรกรรมในที่โล่ง (Field burning of agricultural residues)
(G) กลุ่มอื่นๆ

สาขาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ (Land use, Land-use change and Forestry : LULUCF) ได้แก่
(A) กลุ่มการเปลี่ยนแปลงของป่าและปริมาณชีวมวล (Changes in forest and other woody biomass stocks)
(B) กลุ่มการปรับเปลี่ยนป่าและทุ่งหญ้า (Forest and grassland conversion)
(C) กลุ่มการจัดการพื้นที่ว่างเปล่า (Abandonment of managed lands)
(D) กลุ่มอื่นๆ

สาขาของเสีย (Waste) ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการจัดการของเสีย
เช่น
(A) กลุ่มการจัดการของเสียขยะมูลฝอยบนดิน (Solid waste disposal on land)
(B) กลุ่มการจัดการน้ำเสีย (Wastewater handling)
(C) กลุ่มการจัดการขยะด้วยการเผา (Waste incineration)
(D) กลุ่มอื่นๆ

2.1.3 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Green House Gases: GHG) ในบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มของอุณหภูมิของโลก จนเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คำนวณหาได้ตามสมการดังนี้

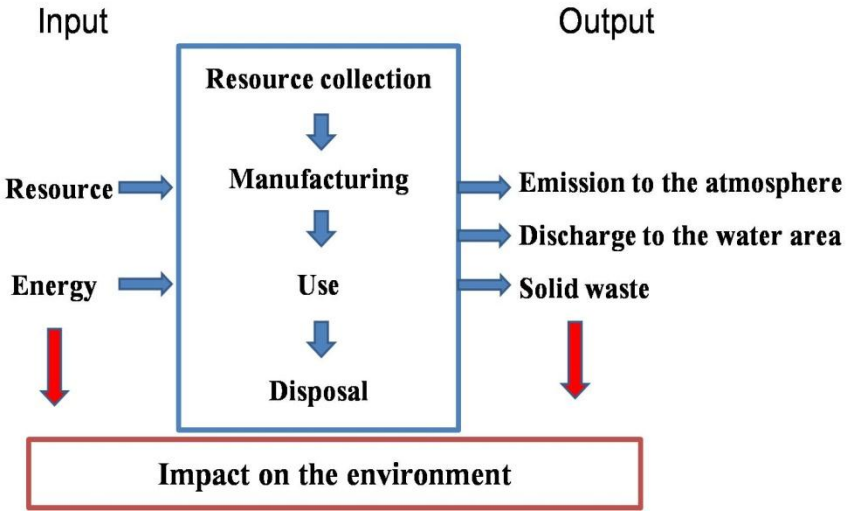
ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg) (2.1)
= ข้อมูลกิจกรรม (Unit)× ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgGHG/Unit)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) (2.2)
= ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg) × ค่าศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกชนิดนั้นๆ (GWP)

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

2.2.1 ความหมายของ LCA

Life Cycle Assessment (LCA) หรือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการประเมินเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้นและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อโลก ระบบนิเวศน์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือ กิจกรรมอื่น ๆ ครอบคลุมตลอดจนทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ไปปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการอย่างเป็นระบบและยั่งยืนต่อไป [11]



รูปที่ 2.2 กรอบแนวคิดหลักของ LCA [11]

เทคนิค LCA จะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของ LCA กับเครื่องมือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ LCA ให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา ตลอดจนมองผลกระทบในด้านต่างๆ ในลักษณะภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.2 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

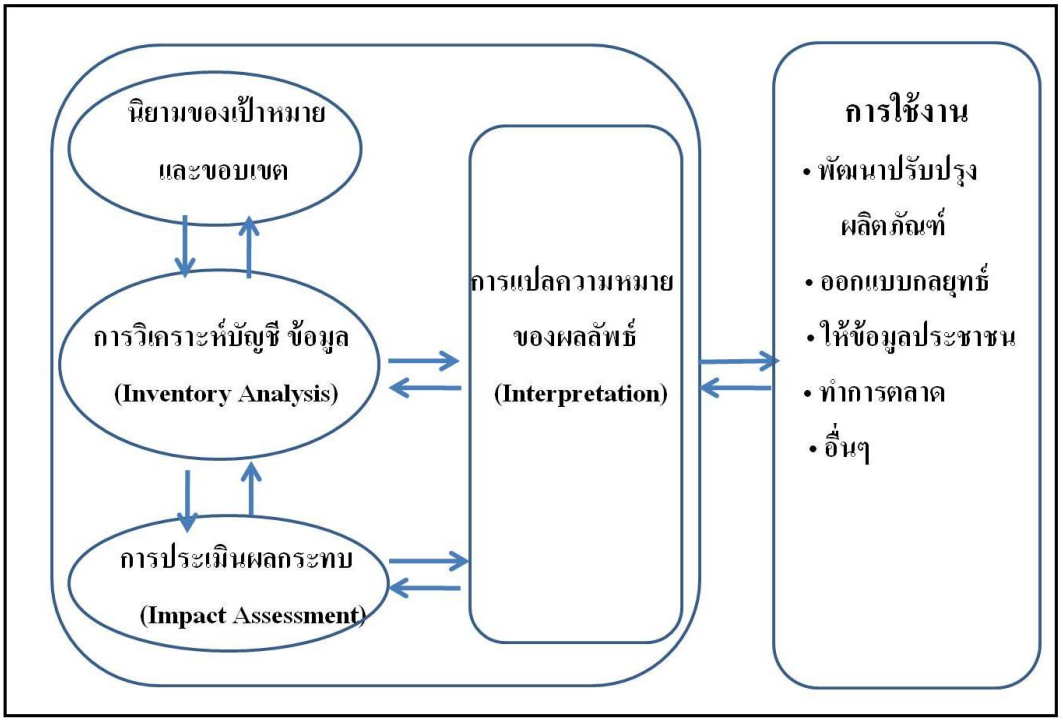
LCA ถูกนำมาใช้ทั่วโลกโดยทั้งภาครัฐและองค์กรอุตสาหกรรม เพื่อให้ทราบถึงความเป็นมาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะหาหนทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จึงได้มีการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน [12] ดังรูปที่ 2.3

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบ (System boundary) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษา โดยขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากมีอิทธิพลโดยตรงต่อความละเอียดในการศึกษาเพราะหากมีการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตผิดพลาด จะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินนั้นไม่ถูกต้องและไม่มีประโยชน์ในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้น

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) คือ การเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาขั้นตอนนี้มีการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาถึงพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นด้วย

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) คือ การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินจะแบ่งหัวข้อหลักๆ คือ การจำแนกประเภท (classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) คือ การนำผลการศึกษาที่ ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะจากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยการสรุปผลจะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่เราตั้งไว้



รูปที่ 2.3 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่บรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยอนุกรมมาตรฐาน ISO-14000 มีการกำหนดเริ่มต้นตั้งแต่หมายเลข 14001 ถึง 14100 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ดำเนินการโดยคณะกรรมการด้านเทคนิคชุดที่ TC207 (Technical Committee 207) คณะอนุกรรมการด้านเทคนิค (Sub Committee; SC), กลุ่มคณะทำงาน (Working Group; WG) คณะกรรมการดูแลเรื่องคำศัพท์ (TCG-Terminology Co-ordination Group) โดยอนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม [13]

มาตรฐาน	ประกอบด้วย
1. มาตรฐานระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System, EMS)	ISO 14001: 1996 ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม: ว่าด้วยข้อกำหนดและข้อแนะนำในการใช้ ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวในอนุกรม ISO 14000 ที่สามารถตรวจสอบและให้การรับรองได้โดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Certification Body) ได้ ISO 14004: 1996 ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม: ข้อแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับหลักการของระบบและเทคนิคในการปฏิบัติ
2. การตรวจสอบประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing and Related Environmental Investigations: EA)	ISO 14010: 1996 หลักการทั่วไป ISO 14011: 1996 การตรวจประเมินระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14012: 1996 เกณฑ์คุณสมบัติของผู้ตรวจประเมิน ISO 14015: 2001 การตรวจประเมินสิ่งแวดล้อมของหน่วยงาน ISO 19011: 2002 แนวทางการตรวจประเมินระบบบริหารงานคุณภาพ และระบบการจัดการ

ตารางที่ 2.2 อนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

มาตรฐาน	ประกอบด้วย
3. ฉลากกับผลิตภัณฑ์เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Labeling, EL)	เป็นการใช้ตลาดเป็นเครื่องมือในการป้องกันสภาพแวดล้อมโดยเน้นการมีส่วนรวมของผู้บริโภคและผู้ผลิตแบบสมัครใจ โดยการกำหนดมาตรฐานฉลากเพื่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย ISO 14020: 2000 หลักการทั่วไป ISO 14021: 1999 แบบที่ 2 การประกาศตนเองเกี่ยวกับการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ISO 14024: 1999 แบบที่ 1 หลักการและระเบียบปฏิบัติของการติดฉลากสิ่งแวดล้อม ISO/TR 14025: 2000 แบบที่ 3 การประกาศดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมโดยบุคคลที่ 3
4. การประเมินความสามารถในการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation, EPE)	ISO 14031: 1999 แนวทางการประเมินผลการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม ISO 14032/TR: 1999 ตัวอย่างการประเมินผลการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม
5. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis, LCA)	ISO 14040: 1997 หลักการและระเบียบปฏิบัติทั่วไป ISO 14041: 1998 ขอบข่ายคำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ISO 14042: 2000 การประเมินผลกระทบ ISO 14043: 2000 การตี ความ/การแปลความ ISO/TS 14048: 2002 รูปแบบเอกสาร ISO/TR 14049: 2000 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ISO 14041 คำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

โดยอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 มีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA ประกอบไปด้วย 5 ฉบับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. **ISO 14040 LCA-Principles and framework** เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2. **ISO 14044 LCA-Requirements and guidelines** เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI) การประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการตีความผลการประเมิน ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนต่างๆ และข้อจำกัดของการทำ LCA รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของข้อมูลต่างๆ ที่ได้มีการจัดเก็บรวบรวมด้วย

3. **ISO/TR 14047 LCA-Examples of application of ISO 14041** เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

4. **ISO/TS 14048 LCA-Data documentation format** เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

5. **ISO/TR 14049 LCA-Examples of application of ISO 14041** เป็นรายงานแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ [14]

2.2.3 ขอบเขตการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากของทุกขั้นตอนในกระบวนการต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณสารที่เข้าและสารที่ออก ของวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ [15]

Gate to Gate: พิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต ตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาเข้าสู่กระบวนการผลิตไปจนถึงสิ้นสุดกระบวนการและได้เป็นผลิตภัณฑ์

Cradle to Gate: การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ แต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก ซึ่งรูปแบบนี้นิยมนำมาใช้ในการทำเอกสาร Environmental Product Declaration (EPD)

Cradle to Grave: เป็น LCA เต็มรูปแบบที่ประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบมาผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

2.1.1 ประโยชน์ของการทำ LCA

LCA เป็นตัวช่วยเพิ่มความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของมนุษย์และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่กำลังสนใจในการพัฒนาคุณภาพสังคมและสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน

- สามารถนำผลจากการประเมินไปใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตว่า
- กระบวนการใดบ้างที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปใช้ในการออกแบบทำ Eco-design
- ทำให้ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิ ไม่เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่ง ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ครบทุกด้าน
- สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม
- สามารถเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค
- สามารถเป็นข้อมูลให้กับผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

2.3.1 ความหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์

หลายองค์กรได้มีการให้ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไว้หลายความหมาย เช่น

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)ได้ให้ความหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ว่าคือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [16]

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ให้ความหมายคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ว่าเป็นการวัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์และบริการจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณ โดยใช้ตัวบ่งชี้โอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) โดยทั่วไปจะใช้ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจก ที่ระยะเวลา 100 ปี ซึ่งมีการกำหนดค่า GWP ของก๊าซต่างๆ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [17]

2.3.2 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

โดยแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ สามารถแบ่งขอบเขตเป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

2.3.2.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง วัดออกมาในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพิจารณาจาก 3 ส่วนหลัก แบ่งเป็นขอบเขต ดังตารางที่2.3 [18] เป็นหนึ่งวิธีในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ เพื่อให้องค์กรต่างๆ สามารถจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการประเมินปริมาณการปลดปล่อย รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างยั่งยืนและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ตารางที่ 2.3 หลักในการพิจารณาขอบเขตของการหาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

Scope	ขอบเขตการคำนวณ
Scope I	การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง(Direct Emissions) จากกิจกรรมต่างๆขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร(ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัด เป็นต้น
Scope II	การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy Indirect Emission) ได้แก่ การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น
Scope III	การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่นๆ เช่น การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสัมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

2.3.2.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ทำการประเมินโดยประเมินตั้งแต่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) เริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตการใช้งานและการกำจัดเศษซากหลังการใช้งาน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to Gate)ได้ [19]

2.4 อาคารชุดอาศัย

2.4.1 ความหมายของอาคารชุด

อาคารชุด หมายถึงอาคารที่บุคคลสามารถแยกการถือกรรมสิทธิ์ออกได้เป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนประกอบด้วยกรรมสิทธิ์ในทรัพย์ส่วนกลางหรือสามารถถือกรรมสิทธิ์ร่วมกันในอาคารหลังเดียวกัน ซึ่งกฎหมายกำหนดให้กรรมสิทธิ์ในอาคารชุดแต่ละส่วนนั้นจะต้องประกอบด้วยกรรมสิทธิ์ 2 ส่วนคือ กรรมสิทธิ์ในทรัพย์ส่วนบุคคล (Personal Property) และกรรมสิทธิ์ร่วมในทรัพย์ส่วนกลาง (Common property) หากขาดกรรมสิทธิ์อย่างใดอย่างหนึ่ง จะไม่ถือว่าอาคารแห่งนั้นเป็นอาคารชุด และที่สำคัญอีกอย่างขิงอาคารชุดคือต้องมีการจดทะเบียนเป็นอาคารชุดตามกฎหมาย โดยอาคารชุดจะต้องประกอบด้วยหลัก 3 ประการ [20] ดังนี้

1. เป็นอาคารที่สามารถแบ่งแยกการถือกรรมสิทธิ์ในอาคารนั้นออกเป็นส่วน ๆ ได้
2. กรรมสิทธิ์แต่ละส่วนในข้อ (1) นั้นต้องประกอบด้วย
   - กรรมสิทธิ์ในทรัพย์ส่วนบุคคล
   - กรรมสิทธิ์ร่วมในทรัพย์ส่วนกลาง
3. ต้องมีการจดทะเบียนเป็นอาคารชุดแล้วตามกฎหมาย

โดยในปัจจุบันความต้องการที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เมื่อเปรียบเทียบตามสัดส่วนจำนวนการเปิดตัวโครงการที่อยู่อาศัยเปิดใหม่เดือนกันยายน พ.ศ. 2555 พบว่าอยู่อาศัยที่กำลังได้รับความนิยมสูงที่สุดได้แก่ ที่อยู่อาศัยประเภทอาคารชุด จากการศึกษาพบว่ามีอาคารชุดเปิดใหม่ จำนวน 3,195 หน่วย (ร้อยละ61) รองลงมาคือ ทาวน์เฮาส์ 913 หน่วย (ร้อยละ18) และบ้านเดี่ยว 699 หน่วย (ร้อยละ8) โดยส่วนอาคารชุดส่วนใหญ่อยู่บริเวณสุขุมวิท พหลโยธิน ลาดพร้าว-รัชโยธิน กรุงเทพฯ-นนทบุรี [21]

2.4.2 การแบ่งประเภทอาคารชุด

การแบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัย โดยใช้หลักเกณฑ์การแบ่งตามความสูงของอาคาร สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ Low Rise) เป็นอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 10 ชั้น และอาคารชุดประเภทแนวสูง (High Rise) เป็นอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไปจากพื้นดินก่อสร้างจนถึงพื้นดาดฟ้าหรือยอดผนังอาคาร หรือมักมีความสูงตั้งแต่ 10 ชั้นขึ้นไป [22]

2.5 การก่อสร้างอาคารชุด

งานด้านโครงสร้างจะเริ่มตั้งแต่ การทำโครงสร้างของฐานราก ซึ่งได้แก่ การลงเสาเข็ม และ การหล่อตอม่อ เพื่อทำหน้าที่รองรับโครงสร้างของเสาและคานที่จะต้องทำอย่างต่อเนื่องเป็นขั้น ขั้นตอนถัดไปก็จะเป็นงานโครงสร้างของพื้นและบันไดซึ่งจะต้องเชื่อมต่อกับเสาและคาน ที่ได้ทำไว้แล้ว โดยการทำพื้นจะต้องเริ่มทำจากชั้นล่างไล่ขึ้น ไปหาชั้นบนเพื่อความสะดวกในการทำงาน และการลำเลียงวัสดุ ต่อจากนั้น ก็จะเป็นงานโครงสร้างของหลังคา [23] หลังจากงานด้านโครงสร้างในแต่ละชั้นเสร็จ ก็จะเริ่มงานด้านสุขาภิบาล ด้านสาธารณูปโภค และงานด้านสถาปัตยกรรม โดยเริ่มงานจากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบนของอาคารชุดโดยจะทำต่อเนื่องกันไปในแต่ละชั้น สำหรับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างตัวอาคารในปัจจุบันมีให้เลือกหลายประเภทและหลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Construction) อิฐมวลเบา อิฐมอญ เป็นต้น แต่วัสดุที่กำลังได้รับความนิยมนำมาใช้ก่อสร้างตัวอาคารในปัจจุบัน ได้แก่ การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากง่ายต่อการใช้งานประหยัดเวลา

2.5.1 การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Construction)

Precast Construction เป็นการก่อสร้างที่ใช้การหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตก่อน ก่อนที่จะนำไปติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งจะตรงข้ามกับวิธีการหล่อในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งเป็นการเทคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวที่หน้างาน หลักการสำคัญคือ เป็นระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing System) โดยไม่ต้องอาศัยเสาและคาน โดยแผ่นพื้นและผนังสำเร็จรูปประกอบขึ้นจากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพการผลิตและ อัตราส่วนของส่วนประกอบต่างๆ โดยระบบคอมพิวเตอร์ชิ้นงานที่ผลิตออกมาจึงมีคุณภาพมาตรฐานเท่าเทียมกันทุกชิ้น [24]

2.5.1.1 ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป
ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยมีวิธีการดังนี้ [25]

1. ตอกเสาเข็มและการสกัดหัวเข็ม
ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง โดยคำนวณขนาดและความยาวของเสาเข็มจากผลการทดสอบลักษณะของชั้นดินในบริเวณก่อสร้างและทำการกำหนดตำแหน่งเข็มให้ถูกต้องตามแบบก่อนตอกเสาเข็มลงดิน

2. ติดตั้งฐานรากอาคาร
ทำการติดตั้งฐานรากอาคาร บนเสาเข็มที่ตัดให้ได้ผิวเรียบตามระดับที่กำหนด ทำการเสริมเหล็กและตรวจสอบก่อนการเทคอนกรีต ซึ่งจะใช้แรงงานคนในการติดตั้งและหล่อฐานราก

3. **เทพื้นชั้นล่าง**
ทำการปรับระดับพื้นดิน ลงน้ำยาป้องกันปลวก และทำการติดตั้งท่อประปาท่อร้อยสายไฟฟ้า และตรวจสอบก่อนการเทคอนกรีตผสมเสร็จ

4. ติดตั้งผนังชั้นล่าง
ทำการติดตั้งผนังรับแรงทีละแผ่น ซึ่งจะใช้เครนช่วยยกติดตั้งและวางค้ำยันผนังกับพื้นชั้นล่างหลังจากวางผนังได้ตำแหน่ง เพื่อยึดผนังไม่ให้ล้มรวมทั้งเสริมเหล็กเส้นและเทคอนกรีตพิเศษเพื่อเชื่อมรอยต่อของผนังภายนอก และใช้วัสดุกันน้ำซึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับผนังภายในทำการยึดผนังด้วยการเชื่อมเหล็กด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า และทาวัสดุกันสนิมก่อนการฉาบปูนปิดรอย

5. ติดตั้งแผ่นพื้นชั้นบน
ใช้เครนยกแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนังชั้นล่างให้ได้ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ เสริมเหล็กจุดเชื่อมต่อระหว่างพื้นชั้นบนกับผนังชั้นล่าง รวมทั้งเสริมเหล็กเส้นตรงจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นพื้นชั้นบนเข้าด้วยกัน ตรวจสอบตามมาตรฐานก่อนการเทคอนกรีตหรือคอนกรีตพิเศษ เพื่อประสานจุดเชื่อมโดยใช้แรงงานคนในการผสานรอยต่อ

6. ติดตั้งผนังชั้นบน

ใช้เครนติดตั้งผนังรับแรงทีละแผ่น โดยติดตั้งค้ำยันผนังกับพื้นชั้นบนหลังจากวางผนังได้ตำแหน่ง เพื่อยึดผนังไม่ให้ล้มรวมทั้งเสริมเหล็กเส้นและใช้คนงานเทคอนกรีตพิเศษเพื่อเชื่อมรอยต่อของผนังภายนอก และใช้วัสดุกันน้ำซึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับผนังภายใน

7. ปรับระดับพื้น

เจ้าหน้าที่จะสำรวจระดับพื้นชั้นล่างและชั้นบน ทำสัญลักษณ์ระดับที่ต้องการไว้ ตรวจสอบอีกครั้งก่อนเทคอนกรีตทับหน้า เพื่อปรับระดับพื้นให้เรียบเสมอกันและให้พร้อมสำหรับการติดตั้งวัสดุตกแต่งพื้นต่อไป

8. ติดตั้งโครงสร้างหลังคา

ทำการประกอบและยึดชิ้นส่วนของโครงสร้างหลังคาเข้าด้วยกันเป็นชุดๆ ด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนนำไปติดตั้งรวมกันบนผนังชั้นบน

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการก่อสร้างโดยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Construction) [26]

2.5.1.2 ข้อดีและข้อเสียของการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ข้อดีข้อเสียของการสร้างอาคารด้วยวิธีชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีข้อเสียของการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ประหยัดทรัพยากรทั้งแรงงานและวัสดุ 2. ชิ้นงานมีความคงทนแข็งแรง เนื่องจากชิ้นงานทุกชิ้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความคงทนแข็งแรงและใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักชั้นบนได้ 3. คุณภาพที่สม่ำเสมอเหมือนกันทุกชิ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ 4. ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อย 5. การขนส่งสะดวก 6. มีความสามารถในการต้านทานไฟไหม้สูงกว่าวัสดุพื้นฐานอื่นๆ เช่น อิฐ และไม้ 7. เป็นฉนวนกันความร้อนและสามารถป้องกันความเย็นออกสู่ภายนอก จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องทำความเย็น	1. ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการต่อเติมภายหลังได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างเป็นคอนกรีต ทำให้การเจาะ ตอก ทุบทำได้ยาก และจะทำให้ความแข็งแรงของบ้านลดลงด้วย 2. ไม่สามารถสร้างบ้านให้มีขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องการการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 3. ต้องการความรู้เฉพาะด้านและเทคโนโลยีระดับสูงในการผลิตชิ้นส่วนต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญ 4. ใช้เงินลงทุนที่สูง จากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากโรงงานผลิต ซึ่งจะใช้เจ้าหน้าที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีเฉพาะ

2.5.2 การก่อสร้างด้วยอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา

วิธีการก่อสร้างที่พักอาศัยที่ใช้กันทั่วไปนั้นมักจะมีโครงสร้างที่สร้างด้วยวิธีการแบบเดิมด้วยการก่ออิฐ ซึ่งอิฐที่นำมาใช้ในการก่อสร้างส่วนใหญ่ คือ อิฐมอญและคอนกรีตมวลเบาที่มีการนำมาใช้ก่อเป็นหลักโดยอิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้ในการก่อสร้างหลากหลายมาตั้งแต่อดีต อิฐมอญจึงเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย อิฐมอญทำมาจากดินเหนียว น้ำ ขี้เถ้าแกลบ ทราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งแต่ละแหล่งผลิตอาจจะมีอัตราส่วนที่ไม่เท่ากัน นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการทิ้งไว้ให้แห้งจากนั้นนำไปเผาจนสุก [27]

ในขณะที่ คอนกรีตมวลเบา เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และผงอะลูมิเนียมเพิ่มฟองอากาศโดยการผสมสูตรที่เหมาะสม และผ่านการอบด้วยไอน้ำแรงดันสูง อิฐมวลเบามีคุณสมบัติพิเศษ คือ ตัววัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบร้อยละ 100 ความเบาของวัสดุทำให้อาคารเบาลงประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างเสาคาน ไม่มีเศษหักเป็นชิ้นละมีความรวดเร็วในการก่อสร้าง [28] สามารถเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของอิฐมอญกับคอนกรีตมวลเบา ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะสมบัติอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา [29]

ข้อเปรียบเทียบสมบัติวัสดุ	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา
โครงสร้างบล็อค	ตัน	กลวง
ก่อผนังเป็นผนังรับแรง	ไม่ได้	ได้
การดูดซึมน้ำ	สูง	ปานกลาง
น้ำหนักวัสดุ (kg/m^2)	130	45
จำนวนใช้งานต่อ 1 m^2 (ก้อน/ m^2)	130 - 145	8.33
ค่ากำลังอัด (kg/m^2)	15 - 40	30 - 80
ค่าการนำความร้อน ($W/m^2.K$)	1.15	0.13
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV (W/m^2)	58 - 70	32 - 42
อัตราการกันเสียง (STC Rating) (dB)	38	43
ความเร็วในการก่อ (m^2/day)	6-12	15-25
ร้อยละการสูญเสีย / แตกร้าว	ร้อยละ 10 - 30	ร้อยละ 0 - 3

แต่ในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาได้รับความนิยมมากกว่าอิฐมอญเนื่องจาก คอนกรีตมวลเบามีน้ำหนักที่เบากว่า สามารถกันความร้อนได้ดีกว่า กันเสียงได้ดีกว่าและมีขั้นตอนในการทำงานที่ง่ายกว่าอิฐมอญ จากงานวิจัยพบว่าการสร้างอาคารด้วยการก่ออิฐมอญมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านมากกว่าการก่อสร้างอาคารด้วยคอนกรีตมวลเบาโดยวัดค่าการใช้พลังงานโดยมีค่า 9,438 kWh/y และ 8,234 kWh/y ตามลำดับ [30]

2.5.2.1 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารด้วยการก่ออิฐมอญหรือคอนกรีตมวลเบา
วิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ใช้กันทั่วไปนั้นจะมีโครงสร้างที่ทำด้วยการก่ออิฐมอญหรือก่อคอนกรีตมวลเบาและฉาบปูนเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมซึ่งการก่อสร้างด้วยวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะมีวิธีการก่อสร้างที่คล้ายคลึงกัน โดยวิธีการก่อสร้างแสดงดังรูปที่ 2.5 และมีขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้ [31]

1. งานปรับระดับดิน
การก่อสร้างบ้านจะต้องมีการปรับที่ดินให้มีความเหมาะสม โดยการถมและขุดดิน หรืออาจจะใช้ทั้งการถมและการขุดไป ซึ่งจะมีการใช้เครื่องจักรประเภทรถขุดดินหรือรถตักดิน โดยมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มาเกี่ยวข้องในขั้นตอนการถมดิน

2. งานฐานรากและเสาเข็ม
ฐานรากของอาคารเป็นสิ่งที่ให้ความมั่นคงและความแข็งแรงแก่ตัวอาคารเป็นอันดับแรก ส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างฐานราก คือ เสาเข็ม โดยเสาเข็มที่ใช้กับอาคารบ้านเรือนทั่วไปในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของการผลิตและการใช้งาน ได้แก่ เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง เสาเข็มเจาะ และเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง โดยจะมีการใช้ทั้งแรงงานคนในการขุดหลุมและหล่อฐานรากร่วมกับเครื่องจักร เช่น ปั้นจั่นในการตอกเสาเข็ม ซึ่งจะมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดังกล่าว

3. งานโครงสร้างพื้น
อาคารที่ก่อสร้างด้วยวิธีนี้จะมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อกับที่ ซึ่งเป็นรูปแบบของโครงสร้างที่ต้องมีการทำไม้แบบผูกเหล็กเส้นในลักษณะเป็นตะแกรง แล้วเทคอนกรีตหล่อลงไป จึงต้องใช้เวลานานกว่าปูนที่หล่อจะอยู่ตัวจนสามารถใช้งานรับน้ำหนักได้ ซึ่งมีการใช้แรงงานคนในการก่อสร้างร่วมกับเครื่องจักรเช่น เครื่องผสมปูนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการผสมปูนและเทพื้น

4. งานก่อตัวอาคาร

งานก่อสร้างตัวอาคารเป็นงานที่ต้องทำต่อเนื่องจากงานด้านโครงสร้าง งานหลักในส่วนนี้ได้แก่ การก่อผนังและการติดตั้ง วงกบประตู หน้าต่าง ซึ่งจะต้องทำควบคู่กันไป เนื่องจากวงกบประตูหน้าต่างและผนังอาคารเป็นสิ่งที่ติดตั้งเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ซึ่งการทำผนังอาคารในขั้นตอนนี้จะเป็นเพียงการก่อผนังให้เป็นรูปก่อนติดตั้งวงกบ หลังจากทำการติดตั้งวงกบเรียบร้อยแล้วจึงทำการฉาบผนังไปพร้อมๆ กับฉาบเสาและคาน โดยในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องผสมปูนและใช้แรงงานคนในการก่ออิฐและฉาบปูน

5. งานวงกบประตูและหน้าต่าง

วงกบประตู หน้าต่าง เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างผนังของตัวอาคารกับบานประตูหน้าต่าง ให้มีความมั่นคงแข็งแรง และทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ วัสดุที่ใช้ทำวงกบสำหรับอาคารบ้านเรือนทั่วไปมักจะทำจากไม้ หรืออะลูมิเนียม การติดตั้งวงกบประตูหน้าต่างมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสว่านเป็นหลัก

6. งานฝ้าเพดาน

การบุฝ้าเพดานตามห้องต่างๆ เพื่อความสวยงาม โดยเฉพาะห้องชั้นบนสุดเพื่อไม่ให้เห็นโครงสร้างหลังคา และแผ่นกระเบื้อง ฝ้าเพดานจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อยู่อาศัยหลายประการ เช่น ทำให้เกิดความสวยงาม ช่วยปิดกั้นการเดินท่อ และสายไฟต่างๆ และช่วยลดความร้อนจากหลังคา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศในภายในอาคารได้ ซึ่งจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักจากเครื่องมือเช่น เครื่องตัด สว่าน เป็นต้น

7. งานหลังคา

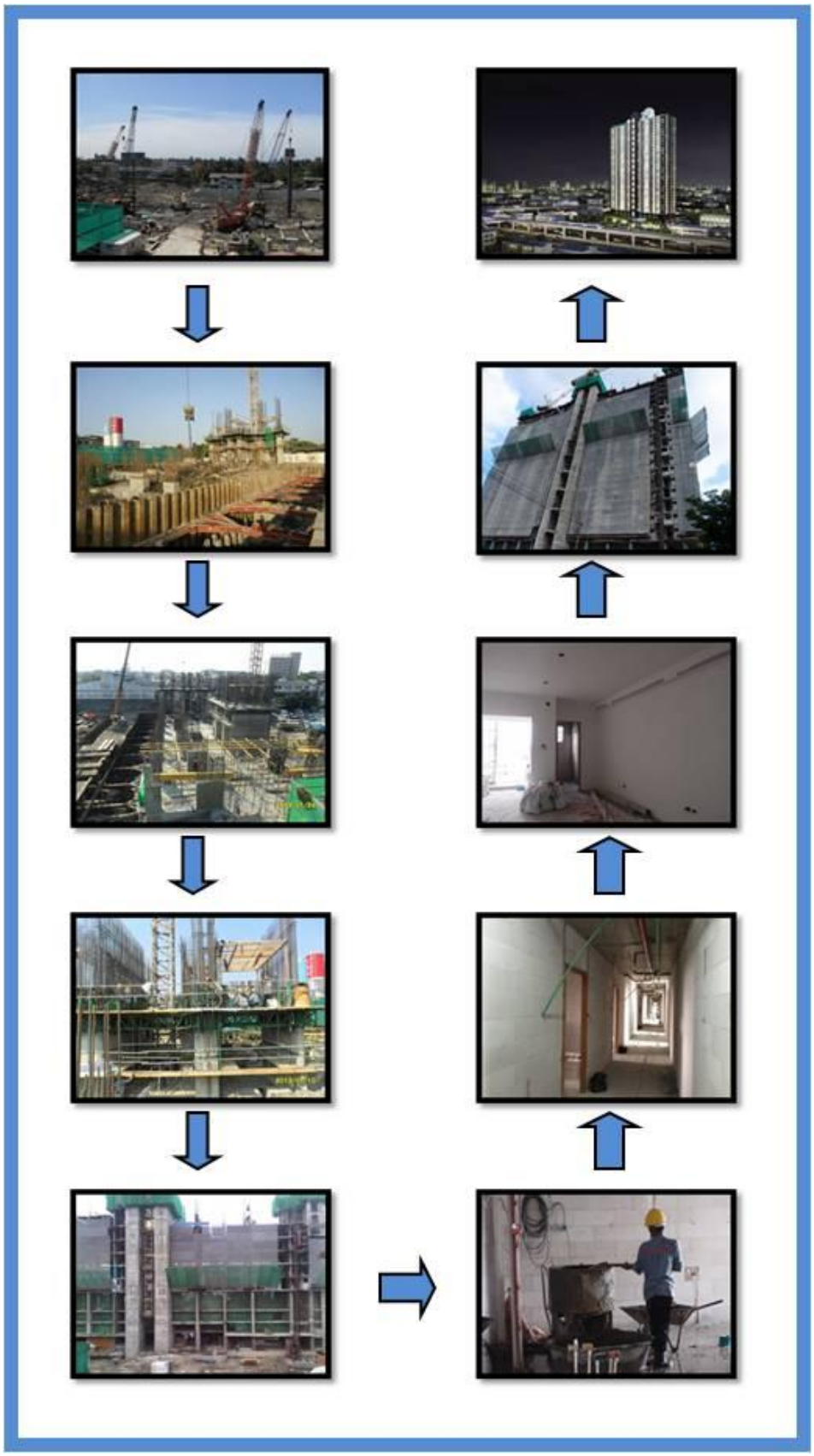
โครงสร้างหลังคานับว่าเป็นโครงสร้างส่วนที่สำคัญของอาคารอีกส่วนหนึ่งเช่นกัน เพราะหลังคาจะทำหน้าที่กันฝนและแดดให้แก่ตัวอาคารรวมทั้งผู้อยู่อาศัยด้วย ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร โดยวัสดุที่นิยมนำมามุงหลังคากันในปัจจุบันมีให้เลือกอยู่หลากสีหลายชนิด ที่พบเห็นกันทั่วไปคือ กระเบื้อง ซึ่งในขั้นตอนการมุงหลังคาจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องมือเช่นกันจากเครื่องตัด เครื่องเชื่อม สว่าน เป็นต้น

8. งานระบบต่างๆ

งานระบบต่างๆ ได้แก่ งานเดินสายไฟบนผนังหรือเดินร้อยสายผ่านท่อ งานเดินท่อน้ำประปา งานระบบกำจัดน้ำเสียสำหรับบ้าน งานระบบสื่อสาร งานระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น

9. งานสถาปัตยกรรมตกแต่ง

งานตกแต่งเป็นงานที่มีความสำคัญอีกงานหนึ่ง เช่น การปูพื้นและบุผนัง การทาสี การติดตั้งสุขภัณฑ์ การติดตั้งโคมไฟ ตลอดจนการติดตั้งเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการก่อสร้างโดยการก่ออิฐมอญออิฐมอญหรือคอนกรีตมวลเบา

2.5.2.2 ข้อดีและข้อเสียของการก่อสร้างด้วยการก่ออิฐ

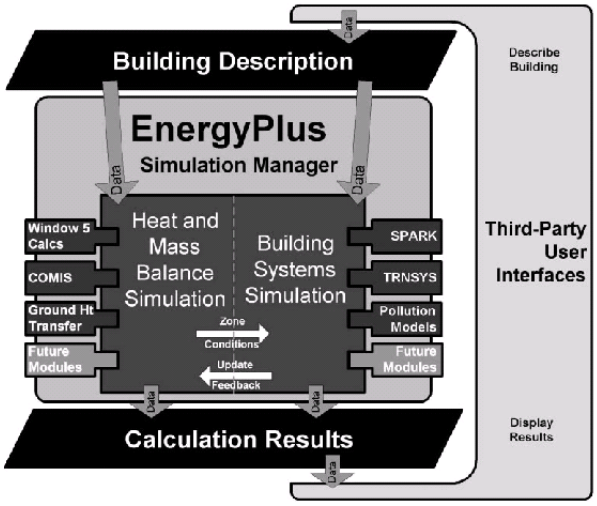
การก่อสร้างด้วยวิธีก่ออิฐฉาบปูนต้องใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างที่นาน รวมถึงคุณภาพของการก่อสร้างจะขึ้นอยู่กับความชำนาญและฝีมือของแรงงานเท่านั้น จึงทำให้ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารชุดด้วยวิธีการก่ออิฐฉาบปูนมีความนิยมลดลงข้อดีข้อเสียของการก่อสร้างด้วยวิธีการก่ออิฐแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อดีข้อเสียของการสร้างด้วยวิธีการก่ออิฐ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามรถก่อสร้างได้ง่ายเนื่องจากไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน 2. ลงทุนต่ำ 3. โครงสร้างมีความแข็งแรง ใช้ระบบเสาและคานเพื่อรับน้ำหนักลงสู่เสาเข็มและฐานราก 4. สามารถตกแต่งและต่อเติมภายหลังได้สะดวก 5. มีรูปแบบที่หลากหลาย สามารถตกแต่งได้ตามความต้องการ 6. สามารถนำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็วและลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง	1. อาจเกิดปัญหาภายหลังก่อสร้างแล้วได้จากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐานเช่น บ้านทรุด รอยแตกร้าว 2. ใช้เวลาการก่อสร้างนาน 3. สถานที่ก่อสร้างไม่มีความเป็นระเบียบ รวมทั้งความสะอาดที่เกิดจากการก่อสร้าง 4. คุณภาพของการก่อสร้างขึ้นกับความชำนาญและฝีมือแรงงาน 5. โครงสร้างผนังทึบที่เป็นอิฐฉาบด้วยปูนจึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านสูง 6. เกิดเศษวัสดุจากการก่อสร้างเช่น เศษหิน ทราย ปูน เป็นต้น

2.7 โปรแกรม EnergyPlus

โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่พัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 โดยกระทรวงพลังงานประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy) ร่วมกับหน่วยงานต่างๆ อีกหลายหน่วยงาน [32] โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทดแทนโปรแกรม DOE-2 ของกระทรวงพลังงานที่ใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 และโปรแกรม BLAST ของกระทรวงกลาโหม (U.S. Department of Defense) ที่ใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 โปรแกรมทั้งสองได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมขีดความสามารถเรื่อยมาแต่ก็ทำให้โปรแกรมนั้นซับซ้อนขึ้นตามไปด้วย ผู้ใช้จึงต้องศึกษาและมีความชำนาญจริงจึงจะใช้งานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐฯจึงได้คิดที่จะพัฒนาโปรแกรม EnergyPlus นี้ขึ้นโดยรวมเอาข้อดีของโปรแกรมต้นแบบทั้งสองเข้าด้วยกันทำให้เป็นโปรแกรมเชิงวัตถุมากขึ้นโปรแกรมย่อยต่างๆ มีความเป็นอิสระต่อกันมากขึ้น (Modularity) และจะเรียกใช้งานเฉพาะโปรแกรมย่อยที่ต้องการเท่านั้น ทำให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรและสามารถพัฒนาต่อไปได้สะดวกขึ้น ภาพรวมของการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานของโปรแกรม EnergyPlus [33]

โดยเริ่มต้นผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลของอาคาร (Building Description) เช่น สร้างแบบแปลนอาคาร การเลือกวัสดุอาคาร ตารางการใช้งาน เป็นต้น

จากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ที่มีรูปแบบให้เลือกตายตัวจากนั้นส่วนควบคุมหลักจะทำการเชื่อมโยงรับส่งข้อมูลระหว่างทั้งสองส่วนในระหว่างการคำนวณ คล้ายลักษณะของการคำนวณแบบวนรอบ (Iteration) โดยที่จะเป็นการส่งข้อมูลจากส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศไปยังส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศในทิศทางเดียวเหมือนในโปรแกรมต้นแบบทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นในส่วนของข้อมูลสภาพอากาศจะถูกดึงมาใช้ในระหว่างการคำนวณ เมื่อสิ้นสุดการคำนวณทั้งหมดก็จะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาเช่นปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละพื้นที่และทั้งอาคารสภาวะของอากาศภายในแต่ละพื้นที่ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร ฯลฯ

ในการใช้โปรแกรม EnergyPlus จากการที่ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลของวัสดุและโครงสร้างของอาคารที่ซับซ้อน ได้กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารที่ละเอียดซับซ้อนขึ้นได้และใช้ข้อมูลอากาศที่ละเอียดเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี รวมทั้งโปรแกรมยังนำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) เข้ามาช่วย จึงทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณค่าต่างๆดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับลักษณะของการแปรเปลี่ยนตามเวลาได้มากกว่าอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณภาระการปรับอากาศในการคำนวณด้วยมือภาระการทำความเย็นจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่เข้าสู่อาคารเนื่องจากการสมมุติให้เป็น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Oyeshola et al., 2009 [33] ศึกษาการประเมินการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยใน ช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง (Materials Manufacture) และช่วงการใช้งานของอาคาร (Operation Phase) ตลอดระยะเวลา 50 ปี ซึ่งงานวิจัย พบว่า ในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างนั้น กระบวนการผลิตคอนกรีตและเหล็กซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของอาคารมีการใช้พลังงานสูง คิดเป็นร้อยละ 35 และ 42 ตามลำดับ และช่วงการใช้งานของอาคารมีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 81 ซึ่งมาจากระบบปรับอากาศภายในอาคารคิดเป็นร้อยละ 56 ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในอาคาร หรือคิดเป็นการใช้พลังงานทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่า 2.2×10^6 GJ

Cole, 1999 [34] ได้ศึกษาพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากการก่อสร้างในที่ (On-site Construction) โดยใช้วัสดุโครงสร้าง เช่น ไม้ เหล็ก และคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่า ไม้ ใช้พลังงาน 20 MJ/m^2 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.8-2.5 kg/m^2 เหล็กใช้พลังงาน 3-7 MJ/m^2 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.4-1.0 kg/m^2 และคอนกรีตใช้พลังงาน 20-120 MJ/m^2 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 5-20 kg/m^2 นอกจากนี้ผู้เขียนได้เปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการก่อสร้างต่างๆ พบว่า กระบวนหล่อคอนกรีตในที่ (Cast-in-place) ใช้พลังงานสูงสุดประมาณร้อยละ 40-50 การยกผนังขึ้น ใช้พลังงาน 60-90 MJ/m^2 และพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากการหล่อ

คอนกรีตไว้ก่อนก่อสร้าง (Precast Concrete) มีค่า 20-35 MJ/m^2 และ 4-5 kg $/m^2$ ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าคิดเป็นร้อยละ 75 ถึงร้อยละ 80

Suzuki et al., 1995 [35] ได้ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดและการปล่อย CO_2 ทั้งผลกระทบทางตรงและทางอ้อมจากการก่อสร้างบ้าน ผลการศึกษาพบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่า 8-10 GJ/m^2 สำหรับบ้านที่ก่อสร้างด้วยไม้มีค่า 3 GJ/m^2 และบ้านที่ก่อสร้างด้วยโครงสร้างเสริมเหล็กน้ำหนักเบามีค่า 4.5 GJ/m^2 สำหรับ CO_2 ที่ปล่อยการก่อสร้างบ้านโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่า 850 kg/ m^2 ปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยจากการก่อสร้างบ้านด้วยไม้มีค่า 250 kg/m^2 และปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยจากการก่อสร้างบ้านด้วยโครงสร้างเสริมเหล็กน้ำหนักเบามีค่า 400 kg/m^2

ทสพล เขตเจนการ และคณะ, 2550 [36] ได้ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus ร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงตลอดทั้งปี ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานและผลประหยัดที่จะได้จากมาตรการต่างๆ ของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งเป็นอาคาร 9 ชั้นพื้นที่รวม 27,776 m^2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานที่ได้จากแบบจำลอง 742,919 kW/hr/y กับผลการตรวจวัดการใช้พลังงานจริง 727,716 kW/hr/y แล้วพบว่า มีค่าแตกต่างกันเพียงร้อยละ 2.09 เท่านั้น ผลการคำนวณของโปรแกรมจึงสามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างแม่นยำ

กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2552 [29] ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการสร้างบ้านด้วยวิธีการก่ออิฐ วิธีก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วนโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างบ้านก่ออิฐ มีค่าร้อยละ 97 และร้อยละ 3 ตามลำดับ บ้านชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีค่าร้อยละ 99 และร้อยละ 1 ตามลำดับและบ้านประกอบชิ้นส่วนมีค่าร้อยละ 86 และร้อยละ 14 ตามลำดับ และเมื่อประเมินทางนิเวศน์เศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของผลกำไรต่อก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการก่อสร้างบ้านก่ออิฐ บ้านชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และบ้านประกอบชิ้นส่วน มีค่าเท่ากับ 13,823 Bath/ $kgCO_2e$ $/m^2$ 12,613 Bath/ $kgCO_2e$ $/m^2$ และ 3,533 Bath/ $kgCO_2e$ $/m^2$ ตามลำดับนอกจากนี้ได้ศึกษาผลของวัสดุผนังที่มีต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้แบบจำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 ทั้ง 3 ชนิดคืออิฐ คอนกรีตและไม้อัดซีเมนต์ มีค่า 9,438 kWh/y, 8,234 kWh/y และ 5,494 kWh/y ตามลำดับ

นลินี เอกแสน, 2554 [2] ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในการก่อสร้างบ้านและการพักอาศัยของประเทศไทยที่มีรูปแบบบ้าน พื้นที่ใช้สอย รวมถึงวัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ บ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา บ้านชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) และบ้านครึ่งไม้ครึ่ง คำนวณโดยใช้โปรแกรม Energy Plus ในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ผลการศึกษา พบว่า บ้าน Precast มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับ 237.51 ± 40.08 $kgCO_2e$ $/m^2$ รองลงมาคือ บ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา และบ้านครึ่งไม้ครึ่งปูนเท่ากับ 215.61 ± 36.09 $kgCO_2e$ $/m^2$ 194.65 ± 26.56 $kgCO_2e$ $/m^2$ และ 4.41 ± 36.91 $kgCO_2e$ $/m^2$ ตามลำดับ

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่สร้างด้วยวิธีและวัสดุที่แตกต่างกัน โดยแบ่งประเภทอาคารชุดโดยใช้เกณฑ์การแบ่งตามความสูงของอาคาร และใช้เกณฑ์การแบ่งตามการเลือกใช้วัสดุหลักในการสร้างอาคารชุดพักอาศัย โดยมีขอบเขตการศึกษา 2 ขอบเขตคือ ขอบเขตแรก Cradle-to-Gate ซึ่งพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัสดุก่อสร้าง ข้อมูลได้จากรายการบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities) คำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro7.1

ขอบเขตที่สอง Gate-to-Gate ซึ่งพิจารณาเฉพาะกระบวนการก่อสร้าง คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้สอย อ้างอิงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจาก คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ คำนวณค่าของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรูปของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอย นอกจากนี้จะเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงอยู่อาศัย (Use phase) จากอาคารชุดประเภทแนวราบ (Low Rise) และแนวสูง (High Rise) โดยจะจำลองการใช้พลังงานในอาคารชุดตามขนาด ด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี เพื่อนำไปสู่การเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีขั้นตอนดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงานและการเก็บข้อมูล

3.1.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทย โดยพิจารณาแบ่งประเภทของอาคารชุดพักอาศัย โดยใช้เกณฑ์การแบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัย โดยแบ่งตามความสูงของอาคาร ซึ่งได้แก่ อาคารชุดประเภทแนวราบ (Low Rise) ที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร และอาคารชุดประเภทแนวสูง (High Rise) ที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป และพิจารณาถึงวัสดุและวิธีการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยตามการเลือกใช้วัสดุหลักในการสร้างหลัก เป็น 3 ประเภท ได้แก่ อิฐมอญคอนกรีตมวลเบา และแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

3.1.2 เก็บข้อมูลและทำแผนผังชนิดและปริมาณการใช้วัสดุ ประกอบด้วย

- ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
- รูปแบบและโครงสร้างของตัวอาคาร
- ข้อมูลขั้นตอนการก่อสร้าง

โดยการถอดแบบบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities; B.O.Q) และเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างจากสถานที่ก่อสร้าง

3.1.3 คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.1 ในขอบเขตการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) และในส่วนของกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย (Gate-to-Gate) ของการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ฐานข้อมูลจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

3.1.4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารชุดที่ก่อสร้างด้วยวัสดุต่างกัน ที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารชุดพักอาศัยในช่วงการอยู่อาศัยด้วยโปรแกรม Energy Plus ของการใช้พลังงานของภาระการปรับอากาศของความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gains) และภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ออกมาในหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี ($kWh/m^2/y$) และทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารชุดพักอาศัย เพื่อเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลือกแบบอาคารชุดและการเลือกใช้วัสดุ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 2 ประเภท

3.2 การคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้าง

งานวิจัยนี้ได้กำหนดหน่วยทำงาน (Functional Unit) ที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้างต่อพื้นที่ 1 m^2 โดยการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้าง มีวิธีการคำนวณตามตารางที่ 3.1 โดยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการคำนวณมาจากฐานข้อมูลของประเทศไทย อ้างอิงข้อมูลจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ [19] และโปรแกรม SimaPro 7.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งคิดเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ 1 m^2 ที่มาจากวัสดุหลักในการก่อสร้างที่ต่างกันทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารชุดพักอาศัย โดยแบ่งตามความสูงของอาคาร ซึ่งได้แก่ อาคารชุดประเภทแนวราบ (Low Rise) ที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร และอาคารชุดประเภทแนวสูง (High Rise) ที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ซึ่งพิจารณาในส่วนวัสดุก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) อ้างอิงจากฐานข้อมูลของโปรแกรม

3.2.2 คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งคิดเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้สอย 1 m^2 จากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในส่วนกระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) โดยใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการคำนวณจากฐานข้อมูลของประเทศไทย อ้างอิงข้อมูลจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในส่วนไฟฟ้าและเชื้อเพลิง (Cradle-to-Gate) ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลมีค่าเท่ากับ 0.6093 $kgCO_2e$ /kWh และ 0.3282 $kgCO_2e$ /L ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
การปล่อยจากกระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้าง	ปริมาณวัสดุที่ใช้ × EF ของวัสดุ
การปล่อยจากกระบวนการก่อสร้าง	ปริมาณไฟฟ้าและปริมาณเชื้อเพลิง × EF ของไฟฟ้าและตามชนิดของเชื้อเพลิง
การปล่อยจากการใช้พลังงานช่วงอยู่อาศัย	ปริมาณไฟฟ้า (ช่วงอยู่อาศัย) × EF ของไฟฟ้า

EF = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.3 การศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยวัสดุก่อสร้างหลัก ชนิดต่างกัน

การศึกษาการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างหลัก ในที่นี้วัสดุหลักหมายถึงวัสดุผนังที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารชุดพักอาศัย โดยความแตกต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงอยู่อาศัย เป็นผลมาจากภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในห้องชุดของอาคารชุดพักอาศัย ที่สร้างด้วยวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่างกัน งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus จำลองการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยการคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat gains) และภาระการทำความเย็น (Cooling load) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus

เลือกแบบอาคารชุดพักอาศัย ซึ่งประกอบด้วย อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ(Low rise) และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High rise) เพื่อนำมาใช้เป็นแบบในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมเพื่อศึกษาการปริมาณการใช้พลังงานในอาคารจากการเลือกวัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด คือ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารชุดพักอาศัย

3.3.1.1 การสร้างแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัย (Building Layout)

1. กำหนดให้สภาพที่ตั้งของแบบจำลองและฐานข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้คำนวณ ดังนี้

- สถานที่ตั้ง กรุงเทพฯ
- ข้อมูลสภาพอากาศ ประเทศไทย
- ละติจูด 100.6
- เวลา GMT +7:00 กรุงเทพ

2. สร้างแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัย โดยอาศัยข้อมูลการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในห้องชุด จากแบบแปลนที่ใช้ในการก่อสร้างจริง ซึ่งเป็นลักษณะอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ (Low rise) มีความสูง 8 ชั้น และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High rise) มีความสูง 30 ชั้น

3.3.1.2 กำหนดรูปแบบการพักอาศัย (Activity)

1. กำหนดให้ประเภทการพักอาศัยเป็นประเภท ที่พักอาศัย (Dwelling Template) และมีรายละเอียดดังนี้

- จำนวนผู้อาศัย 2 คน/1 ห้องชุด
- การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 25 ºC
- รูปแบบการพักอาศัย 2 รูปแบบคือ วันจันทร์-ศุกร์ และวันหยุดสุดสัปดาห์

3.3.1.3 กำหนดรูปแบบและตารางการใช้งานส่วนแสงสว่าง (Lighting)

กำหนดรูปแบบและตารางการใช้งานส่วนแสงสว่างให้เหมาะสมกับห้องต่างๆ ภายในห้องชุด ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การใช้งานห้องต่างๆ ภายในห้องชุด

ห้อง	เวลา			
	การใช้ห้อง	**แสงสว่าง**	**ระบบปรับอากาศ**	**เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน**
<u>ห้องนั่งเล่น</u>				
วันธรรมดา	7.00-9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	18.00 - 20.00	18.00 – 22.00
วันหยุด	09.00 – 22.00	18.00 – 22.00	12.00 -16.00	9.00 – 22.00
<u>ห้องครัว</u>				
วันธรรมดา	7.00–9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	-	18.00 – 21.00
วันหยุด	9.00 – 22.00	18.00 – 22.00	-	18.00 – 21.00
<u>ห้องน้ำ</u>				
วันธรรมดา	7.00–9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	-	-
วันหยุด	9.00 – 22.00	18.00 – 22.00	-	-
<u>ห้องนอน</u>				
วันธรรมดา	21.00 - 6.00	21.00 – 22.00	21.00 – 6.00	21.00 – 22.00
วันหยุด	23.00 - 9.00	23.00 – 24.00	23.00 – 9.00	21.00 – 23.00

3.3.1.4 กำหนดรูปแบบและตารางการใช้งานส่วนปรับอากาศ (Heating, Ventilation and Air Conditioning**: HVAC)**

1. กำหนดรูปแบบและสมบัติของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับการพักอาศัย ดังนี้

- ประเภทเครื่องปรับอากาศ Constant Volume Direct Expansion
- Cooling System (CoP) 3.4
- HVAC Sizing Manual
- อุณหภูมิ 25 °C

2. กำหนดตารางการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ของห้องต่างๆ ที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศไว้ ดังตารางที่ 3.2

3.3.1.5 กำหนดชนิดของวัสดุผนังที่ใช้ในแบบจำลอง (Construction)

1. เลือกชนิดของวัสดุผนังที่ใช้ในแบบจำลอง โดยเลือกจากฐานข้อมูลรายการวัสดุก่อสร้างของโปรแกรม
2. กำหนดขนาดที่จะใช้ในแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับขนาดวัสดุทั่วไปที่ใช้ก่อสร้างจริงดังตารางที่ 3.3
3. สมบัติของวัสดุต่างๆ ได้มาจากฐานข้อมูลของโปรแกรม EnergyPlus ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้คำนวณในโปรแกรม

วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
อิฐมอญ	0.1	0.84	1,700	800
คอนกรีต	0.1	2.3	2,300	1,000
คอนกรีตมวลเบา	0.1	0.76	780	840
ปูนฉาบ	0.01	0.72	1,650	920
ยิปซั่มบอร์ด	0.03	0.084	1,200	1,000
ฉนวนกันความร้อน	0.065	0.05	48	960

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้คำนวณในโปรแกรม (ต่อ)

วัสดุ	ความหนา (mm)	U-Factor ($W/m^2.K$)	Shading Coefficient	Light Transmission
กระจกเขียวตัดแสง	6	5.78	0.623	0.749

3.3.2 การประเมินค่าการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยวัสดุหลักต่างกัน

โปรแกรมประมวลผลจะแสดงค่าการใช้พลังงานของภาระการปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gains) และภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ออกมาในหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตารางเมตรต่อปี ($kWh/m^2/y$) โดยเปรียบเทียบอาคารที่ใช้วัสดุก่อสร้างหลักที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

3.3.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย ที่ได้จากแบบจำลองโดยโปรแกรม EnergyPlus นั้นเป็นการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกในช่วงการพักอาศัย (Use Phase) ซึ่งมาจากการใช้พลังงานภายในบ้านจากส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง รวมทั้งการใช้งานเครื่องปรับอากาศจากหัวข้อ 3.3.2 เพื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัย ในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี ($kgCO_2e/m^2/y$) โดยจะเปรียบเทียบที่อายุการใช้งานของอาคารชุดพักอาศัยอยู่ที่ 30 ปี

3.4 เสนอแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารชุด

เสนอทางเลือกในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่การเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้าง รวมถึงเสนอมาตรการในการประหยัดพลังงานในช่วงการก่อสร้างและช่วงการอยู่อาศัย เพื่อเป็นแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการธุรกิจก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยหันมาสนใจด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับการดำเนินด้านธุรกิจ เพื่อก้าวสู่สังคมคาร์บอนต่ำต่อไป

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษานี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 12 ข้อมูล โดยพิจารณาวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัยที่มีความแตกต่างกัน 3 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 12 ข้อมูล มีขนาดพื้นที่ใช้สอยและความสูงของอาคารแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของอาคารชุดพักอาศัย โดยใช้เกณฑ์การแบ่งตามความสูงของอาคาร เป็น 2 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ (Low Rise) ที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High Rise) ที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป ซึ่งตัวอย่างของประเภทอาคารชุดพักอาศัย แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งข้อมูลประเภทอาคารชุดพักอาศัยและข้อมูลวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จะนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างวัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างอาคารชุดพักอาศัย

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างประเภทอาคารชุดพักอาศัยแบ่งตามความสูง

4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ (Low rise)

ได้ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบจำนวน 6 ตัวอย่าง โดยทั้ง 6 ตัวอย่าง สามารถแบ่งประเภทตามการใช้วัสดุหลักได้ 3 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยอิฐมอญ จำนวน 2 ตัวอย่าง อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา จำนวน 2 ข้อมูล และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป จำนวน 2 ข้อมูล ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ (Low rise)

Low-rise	**จำนวนชั้น**	**พื้นที่ใช้สอยรวม (m^2)**	**วัสดุหลักในการก่อสร้าง**	**รูปแบบอาคาร**
อาคาร A	8	8,500	อิฐมอญ	
อาคาร B	8	8,844	อิฐมอญ	
อาคาร C	8	10,000	คอนกรีตมวลเบา	
อาคาร D	8	10,000	คอนกรีตมวลเบา	
อาคาร E	8	4,850	แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	
อาคาร F	8	8,600	แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	

4.1.2 ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง(High rise)

ได้ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง จำนวน 6 ข้อมูล โดยทั้ง 6 ข้อมูล สามารถแบ่งประเภทตามการใช้วัสดุหลักได้ 2 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา จำนวน 3 ข้อมูล และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป จำนวน 3 ข้อมูล ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบสร้างอาคารที่มีขนาดใหญ่ จะไม่นิยมเลือกใช้อิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างหลัก ในการก่อเป็นผนังอาคาร เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายอย่าง อาทิเช่น ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยอิฐมอญยุ่งยากต้องเตรียมหลายขั้นตอน ทำให้ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนาน อีกทั้งต้องใช้จำนวนแรงงานที่มีความชำนาญจำนวนมาก จึงหันมานิยมเลือกใช้วัสดุที่มีความสะดวกและรวดเร็ว เช่น คอนกรีตมวลเบา และแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง (High rise)

High-rise	จำนวนชั้น	พื้นที่ใช้สอยรวม (m^2)	วัสดุหลักในการก่อสร้าง	รูปแบบอาคาร
อาคาร G	36	64,445	คอนกรีตมวลเบา	
อาคาร H	35	61,400	คอนกรีตมวลเบา	
อาคาร I	35	58,680	คอนกรีตมวลเบา	

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนสูง (High rise) (ต่อ)

High-rise	**จำนวนชั้น**	**พื้นที่ใช้สอยรวม (m^2)**	**วัสดุหลักในการก่อสร้าง**	**รูปแบบอาคาร**
อาคาร J	31	30,600	แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	
อาคาร K	30	28,900	แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	
อาคาร L	32	35,000	แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	

4.2 การเก็บข้อมูลวัสดุก่อสร้าง ปริมาณพลังงานละเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้วัสดุหลักที่ต่างกัน

เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยทั้งหมด 12 ข้อมูล ที่มีการเลือกใช้วัสดุหลักในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน โดยในที่นี้วัสดุหลักในการก่อสร้าง คือ วัสดุผนังที่ต่างชนิดกัน โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัยนี้

โดยรายละเอียดของการเก็บข้อมูลต่างๆ จะเริ่มจากการการนำวัสดุหลักที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้าง เช่น อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา คอนกรีต ทราย เหล็ก ตลอดจนวัสดุสำเร็จรูป โดยได้ข้อมูลจากรายการบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities) เข้าสู่กระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยในแต่ละประเภท จนได้รูปแบบอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างเสร็จ ซึ่งการเก็บข้อมูลในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะส่วนของโครงสร้างของตัวอาคารชุดพักอาศัยเท่านั้น ในส่วนของปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างได้ทำการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงทั้งหมด 8 สถานที่ จำนวน 12 ข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลในส่วนของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื่อเพลิงจากอุปกรณ์ก่อสร้างและเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ข้อมูลการใช้วัสดุก่อสร้าง ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

รายการวัสดุและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยแนวราบ ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลการใช้วัสดุในการก่อสร้างทั้งหมด 6 ข้อมูล ที่มีการเลือกใช้วัสดุหลักในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน 3 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการป้อนในโปรแกรม SimaPro และแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้าง ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

วัสดุก่อสร้าง	หน่วย	อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ								
		ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ			ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมวลเบา			ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป		
		อาคาร A	อาคาร B	ค่าเฉลี่ย	อาคาร C	อาคาร D	ค่าเฉลี่ย	อาคาร E	อาคาร F	ค่าเฉลี่ย
ปูนซีเมนต์	kg/m^2	211.26	171.48	191.37	207.91	207.11	207.51	203.40	144.30	173.85
ทราย	kg/m^2	432.21	352.61	392.41	468.51	467.42	467.97	406.79	349.29	378.04
หิน	kg/m^2	806.32	647.32	726.82	620.86	615.71	618.29	813.58	698.58	756.08
น้ำประปา	L/m^2	102.41	84.09	93.25	124.09	123.99	124.04	93.56	80.34	86.95
เหล็ก	kg/m^2	45.90	41.85	43.47	50.33	50.11	50.17	110.93	98.59	104.76
กระเบื้องเซรามิก	kg/m^2	1.64	1.55	1.60	13.71	13.97	13.84	24.18	23.95	24.07
ฝ้ายิปซัม	kg/m^2	0.22	0.19	0.21	1.87	1.91	1.89	6.99	7.18	7.07
อิฐมอญ	kg/m^2	21.91	30.27	26.09	83.77	87.35	85.56	N.A.	N.A.	N.A.
คอนกรีตมวลเบา	kg/m^2	N.A.	N.A.	N.A.	51.22	51.22	51.22	N.A.	N.A.	N.A.
กระจก	kg/m^2	2.71	2.84	2.78	7.70	7.43	7.57	2.33	2.49	2.41

4.2.2 ข้อมูลการใช้วัสดุก่อสร้าง ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

รายการวัสดุและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยแนวสูง ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลใช้วัสดุในการก่อสร้างทั้งหมด 6 ข้อมูล ที่มีการเลือกใช้วัสดุหลักในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน 2 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้างในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยแนวสูง

วัสดุก่อสร้าง	หน่วย	อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง							
		ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมวลเบา				ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป			
		อาคาร G	อาคาร H	อาคาร I	ค่าเฉลี่ย	อาคาร J	อาคาร K	อาคาร L	ค่าเฉลี่ย
ปูนซีเมนต์	kg/m^2	202.614	213.46	210.57	208.88	265.56	417.23	334.49	339.09
ทราย	kg/m^2	444.98	478.96	427.72	450.55	613.87	857.76	681.70	717.78
หิน	kg/m^2	651.33	645.75	815.92	704.33	731.20	1575.74	1287.07	1198.00
น้ำประปา	L/m^2	114.68	126.29	100.42	113.80	166.84	204.51	160.74	177.36
เหล็ก	kg/m^2	72.74	74.46	88.84	78.68	63.02	71.44	64.03	66.16
กระเบื้องเซรามิก	kg/m^2	10.43	7.66	13.26	10.45	9.73	17.31	13.48	13.51
ฝ้ายิปซัม	kg/m^2	0.81	3.90	4.47	3.60	3.80	1.67	1.43	2.30
อิฐมอญ	kg/m^2	41.81	33.07	55.5	43.46	54.54	103.36	61.07	72.99
คอนกรีตมวลเบา	kg/m^2	54.80	42.16	38.87	45.28	31.71	N.A.	N.A.	10.57
กระจก	kg/m^2	2.63	3.16	2.12	2.64	5.97	5.22	4.85	5.35

4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย

ในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย จะมีลักษณะงานแตกต่างกันออกไปตามกระบวนการก่อสร้าง เช่น การตอกเสาเข็มและงานฐานราก งานโครงสร้างอาคาร งานสถาปัตย์ เป็นต้น ซึ่งนำไปสู่การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ก่อสร้างรวมทั้งเครื่องต่างๆ โดยมีตัวอย่างเครื่องมืออุปกรณ์ก่อสร้างและเครื่องจักรดังต่อไปนี้

1. รถแบคโฮ

รูปที่ 4.3 รถแบคโฮ [37]

ใช้ในการเตรียมพื้นที่ในช่วงเริ่มโครงการ ปรับพื้นที่ผิวดินและใช้ในการขุดดินเพื่องานฐานรากและเสาเข็ม รถแบคโฮเป็นเครื่องจักรที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซล

2. ทาวเวอร์เครน

รูปที่ 4.4 ทาวเวอร์เครน [38]

ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปบนอาคารพื้นที่ก่อสร้างเพื่อเป็นการลดภาระในการขนย้ายในกรณีที่ต้องขนวัสดุก่อสร้างในปริมาณที่มากและมีน้ำหนักเยอะไปบนอาคารในช่วงก่อสร้าง ทาวเวอร์เครนจึงเป็นเครื่องจักรที่ถูกติดตั้งตั้งแต่เริ่มก่อสร้างจนก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งถือเป็นเครื่องจักรที่มีการใช้งานในระยะเวลาที่นาน ทาวเวอร์เครนเป็นเครื่องจักรที่ใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการทำงานของทาวเวอร์เครนจึงมีผลโดยตรงต่อปริมาณไฟฟ้าในกระบวนการก่อสร้าง

3. เครื่องปั่นไฟ

รูปที่ 4.5 เครื่องปั่นไฟ [39]

ใช้ในการปั่นกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้กัลป์อุปกรณ์และเครื่องมือก่อสร้างในช่วงของกระบวนการการก่อสร้าง โดยเครื่องปั่นไฟเป็นเครื่องจักรที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซล

4. เครื่องจี้คอนกรีตไฟฟ้า

รูปที่ 4.6 เครื่องจี้คอนกรีตไฟฟ้า [40]

เครื่องจี้คอนกรีตจะใช้มากในช่วงของงานเทพื้นคอนกรีต โดยจะมีหน้าที่จี้คอนกรีตเพื่อให้เกิดความสั่นสะเทือนไปทำหน้าที่ลดฟองอากาศในพื้นคอนกรีตที่เท เพื่อทำให้พื้นหน้าของคอนกรีตเรียบ

5. สว่านไฟฟ้า

รูปที่ 4.7 สว่านไฟฟ้า [41]

สว่านไฟฟ้าจะใช้ในงานเจาะสิ่งต่างๆ เช่น ผนัง ไม้แบบต่างๆ จะใช้มากในช่วงของกระบวนการก่อสร้างและงานสถาปัตย์

4.3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยอิฐมอญ

ขอบเขตของกระบวนการก่อสร้างที่ก่ออาคารชุดพักอาศัยด้วยอิฐมอญ ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากสถานที่ก่อสร้างจริง จำนวน 2 อาคาร ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บจากอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบทั้ง 2 อาคาร ประกอบด้วยกระบวนการ ดังนี้

- **การตอกเสาเข็มและงานฐานราก**

การตอกเสาเข็มในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยจะใช้เครื่องจักรหลักคือปั้นจั่น และในส่วนของงานฐานรากส่วนใหญ่จะเป็นงานเกี่ยวกับการเทคอนกรีตโดยเครื่องจักรหลักคือ เครื่องผสมคอนกรีตและใช้แรงงานคนในการผูกลวดเหล็กโครงสร้างและหล่อคอนกรีตในฐานราก

- **งานโครงสร้างอาคาร**

งานโครงสร้างอาคารจะเป็นงานเกี่ยวกับงานพื้นสำเร็จรูป ซึ่งจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะมีการใช้แรงงานคนในการก่อสร้างเป็นหลักในการวางเหล็กผูกแล้วเทคอนกรีตหล่อลงไป ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการใช้แรงงานคนในการก่อสร้างร่วมกับเครื่องจักร เช่น เครื่องจี้คอนกรีต เครื่องผสมปูนที่ใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงมีการใช้เครนในการขนย้ายวัสดุก่อสร้างขึ้นบนอาคาร เป็นต้น

- **งานสถาปัตยกรรม**

งานด้านสถาปัตยกรรมมีขอบเขตรวมถึงงานต่างๆ ดังนี้

<u>งานก่อผนัง</u> ในขั้นตอนการก่อผนังจะใช้อิฐมอญก่อครึ่งแผ่น ก่อขึ้นเป็นโครงสร้างผนังของอาคาร โดยใช้แรงงานคนเป็นหลัก และมีการพลังงานใช้ไฟฟ้าจากการใช้เครื่องผสมปูนเป็นหลัก

<u>งานฉาบ</u> ในขั้นตอนการฉาบปูน จะมีการผสมปูนโดยเครื่องผสมฉาบปูนและมีการใช้แรงงานคนในการฉาบผนัง

<u>งานตกแต่ง</u> งานตกแต่งหลักคือ การปูกระเบื้องบุผนัง การบุฝ้าเพดานโดยต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักงานด้านสถาปัตยกรรมจะเป็นงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องตัด เครื่องเชื่อม สว่าน เครื่องผสมปูน และมีการใช้เครนในการช่วยขนย้ายวัสดุก่อสร้างขึ้นอาคาร เป็นต้น เนื่องจากงานด้านสถาปัตยกรรมเป็นงานที่มีหลายขั้นตอนจึงเป็นงานที่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงค่อนข้างมาก

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยด้วยอิฐมอญ แสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บจากอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบทั้ง 2 อาคาร

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยอิฐมอญ

ขั้นตอนการก่อสร้าง	**ค่าเฉลี่ยของปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh/m^2)**
	อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ
1. งานฐานรากและเสาเข็ม	1.34
2. งานโครงสร้าง	9.97
3. งานสถาปัตยกรรม	4.32
รวม	15.62
ชนิดเชื้อเพลิง	**ปริมาณเชื้อเพลิง (L/m^2)**
น้ำมันดีเซล	6.00

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยประเภทที่ใช้ที่ก่อด้วยอิฐมอญ พบว่าขั้นตอนของงานโครงสร้างมีสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากเป็นงานที่มีระยะในการทำงานนานและมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เช่น เครื่องจี้ปูน สว่าน เครื่องสกัด เครื่องผสมปูน เป็นต้น ในการเทพื้น หล่อเสาอาคาร ล้วนแต่เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้จำนวนแรงงานคนมากและใช้เวลามากทำให้มีการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากอุปการณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรไฟฟ้ามากขึ้นตามเวลาการทำงานด้วยเช่นกัน ดังนั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงมากขึ้นตามระยะเวลาการทำงานด้วย

เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงพบว่า ขั้นตอนการก่อสร้างฐานรากและเสาเข็มจะมีการใช้น้ำมันดีเซลกับปั้นจั่นที่ใช้ในการตอกเสาเข็มเพียงขั้นตอนเดียว

4.3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนครีตมวลเบา

ขอบเขตของกระบวนการก่อสร้างที่ก่ออาคารชุดพักอาศัยด้วยคอนกรีตมวลเบา ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากสถานที่ก่อสร้างจริง จำนวน 5 อาคาร โดยเป็นอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบจำนวน 2 อาคาร และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงจำวน 3 อาคาร ซึ่งมีกระบวนการก่อสร้างเหมือนกับการก่อสร้างด้วยการก่ออิฐมอญ ประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

- **การตอกเสาเข็มและงานฐานราก**

การตอกเสาเข็มในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยจะใช้เครื่องจักรหลักคือปั้นจั่นที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล และในส่วนของงานฐานรากส่วนใหญ่จะเป็นงานเกี่ยวกับการเทคอนกรีตโดยเครื่องจักรหลักคือ เครื่องผสมคอนกรีตและใช้แรงงานคนในการผูกลวดเหล็กโครงสร้างและหล่อคอนกรีตในฐานราก

- **งานโครงสร้างอาคาร**

งานโครงสร้างเสา คาน และแผ่นพื้นสำเร็จรูปจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะมีการใช้แรงงานคนในการก่อสร้างเป็นหลักในการวางเหล็กผูกแล้วเทคอนกรีตหล่อลงไป ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการใช้แรงงานคนในการก่อสร้างร่วมกับเครื่องจักร เช่น เครื่องจี้คอนกรีต เครื่องผสมปูนที่ใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงมีการใช้เครนในการขนย้ายวัสดุก่อสร้างขึ้นบนอาคาร เป็นต้น

- **งานสถาปัตยกรรม**

งานด้านสถาปัตยกรรมมีขอบเขตรวมถึงงานต่างๆ ดังนี้

<u>งานก่อผนังคอนกรีตมวลเบา</u> ในขั้นตอนการก่อผนังจะเหมือนกับการก่อผนังทั่วไป แต่การก่อผนังคอนกรีตมวลเบามักจะมีการติดเหล็กกรงไก่ไว้ที่ผนังก่อนทำการฉาบเพื่อช่วยให้ผนังยึดตัวกันดียิ่งขึ้นช่วยลดการแตกร้าวในอนาคต งานก่อผนังจะใช้แรงงานคนเป็นหลัก และมีการพลังงานใช้ไฟฟ้าจากการใช้เครื่องผสมปูนเป็นหลัก

<u>งานฉาบ</u> ในขั้นตอนการฉาบปูน จะมีการผสมปูนโดยเครื่องผสมฉาบปูนและมีการใช้แรงงานคนในการฉาบผนัง

<u>งานตกแต่ง</u> งานตกแต่งหลักคือ การปูกระเบื้องบุผนัง การบุฝ้าเพดานโดยต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักจะเป็นงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องตัด เครื่องเชื่อม สว่าน สกรู เครื่องผสมปูน และมีการใช้เครนในการช่วยขนย้ายวัสดุก่อสร้างขึ้นอาคาร เป็นต้น เนื่องจากงานงานสถาปัตยกรรมเป็นงานที่มีหลายขั้นตอนจึงเป็นงานที่ใช้พลังงานฟ้าค่อนข้างมาก

ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยด้วยคอนกรีตมวลเบา แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา

ขั้นตอนการก่อสร้าง	**ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh/m^2)**	
	อาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ(2)	อาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง(3)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม	1.82	0.76
1. งานโครงสร้าง	13.22	5.61
2. งานสถาปัตยกรรม	4.89	3.13
รวม	13.71	10.01
ชนิดเชื้อเพลิง	**ปริมาณเชื้อเพลิง (L/m^2)**	
น้ำมันดีเซล	6.07	3.74

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา พบว่า สัดส่วนของขั้นตอนงานโครงสร้างอาคารมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด โดยที่งานฐานรากและเสาเข็มมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด เนื่องจากงานโครงสร้างอาคารเป็นขั้นตอนที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากและมีระยะเวลาก่อสร้างนานกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนของงานฐานรากที่ใช้ระยะเวลาแค่ช่วงเริ่มต้นโครงการเท่านั้น โดยที่ขั้นตอนของงานโครงสร้างอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการตัด เชื่อม เจาะ เก็บรายละเอียดงาน เช่น เครื่องตัดและเชื่อมเหล็ก เครื่องเซาะคอนกรีต เครน เครื่องผสมปูน เป็นต้น โดยที่ขั้นตอนฐานรากและตอกเสาเข็มมีการใช้ปั้นจั่นในการตอกเสาเข็มเท่านั้น

เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงนั้นพบว่า มีการใช้น้ำมันดีเซลในปั้นจั่นเพื่อตอกเสาเข็ม และในเครื่องปั่นไฟเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องใช้ในอาคารขณะก่อสร้างและในขั้นตอนของงานสถาปัตยกรรมด้วยเช่นกัน

4.3.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

ขอบเขตของกระบวนการก่อสร้างที่ก่ออาคารชุดพักอาศัยด้วยแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากสถานที่ก่อสร้างจริง จำนวน 5 อาคาร ประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

- **การตอกเสาเข็มและงานฐานราก**

การตอกเสาเข็มจะใช้เครื่องจักรหลักคือ ปั้นจั่นที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล และในส่วนของงานฐานรากส่วนใหญ่จะเป็นงานเกี่ยวกับการเทคอนกรีตโดยเครื่องจักรหลักคือ เครื่องผสมคอนกรีตและใช้แรงงานคนในการผูกลวดเหล็กโครงสร้างและหล่อคอนกรีตในฐานราก

- **งานโครงสร้างอาคาร**

<u>เทพื้นชั้น1</u> พื้นชั้นล่างเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเทด้วยคอนกรีตเพื่อเป็นการเตรียมพื้นก่อนติดตั้งแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปในขั้นตอนต่อไป

<u>การติดตั้งแผ่นผนัง</u> ในขั้นตอนนี้จะมีเครื่องจักรหลักคือ เครน ในการยกแผ่นผนังสำเร็จรูป ติดตั้งผนังทีละแผ่น ซึ่งจะมีการใช้แรงงานคนในการผสมคอนกรีตเพื่อเชื่อมรอยต่อของผนัง ในแต่ละชั้นจะทำการติดตั้งแผ่นผนังด้วยวิธีเช่นเดียวกันนี้

<u>การติดตังแผ่นพื้น</u> ในขั้นตอนนี้จะมีเครื่องจักรหลักคือ เครน ในการยกแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนังชั้นล่างได้ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ และเทคอนกรีตเพื่อประสานจุดเชื่อมและปรับระดับพื้น

- **งานสถาปัตยกรรม**

งานด้านสถาปัตยกรรมมีขอบเขตรวมถึงงานต่างๆ ดังนี้

<u>งานฉาบ</u> ในขั้นตอนการฉาบปูน จะมีการผสมปูนโดยเครื่องผสมฉาบปูนและมีการใช้แรงงานคนในการฉาบผนัง เพื่อเป็นการตกแต่งและเก็บรายระเอียด

<u>งานตกแต่ง</u> งานตกแต่งหลักคือ การปูกระเบื้องบุผนัง การบุฝ้าเพดานโดยต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก

งานด้านสถาปัตยกรรมจะเป็นงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องตัด เครื่องเชื่อม สว่าน สกรู เครื่องผสมปูน และมีการใช้เครนในการช่วยขนย้ายวัสดุก่อสร้างขึ้นอาคาร เป็นต้น

ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยด้วยก่อสร้างด้วยแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

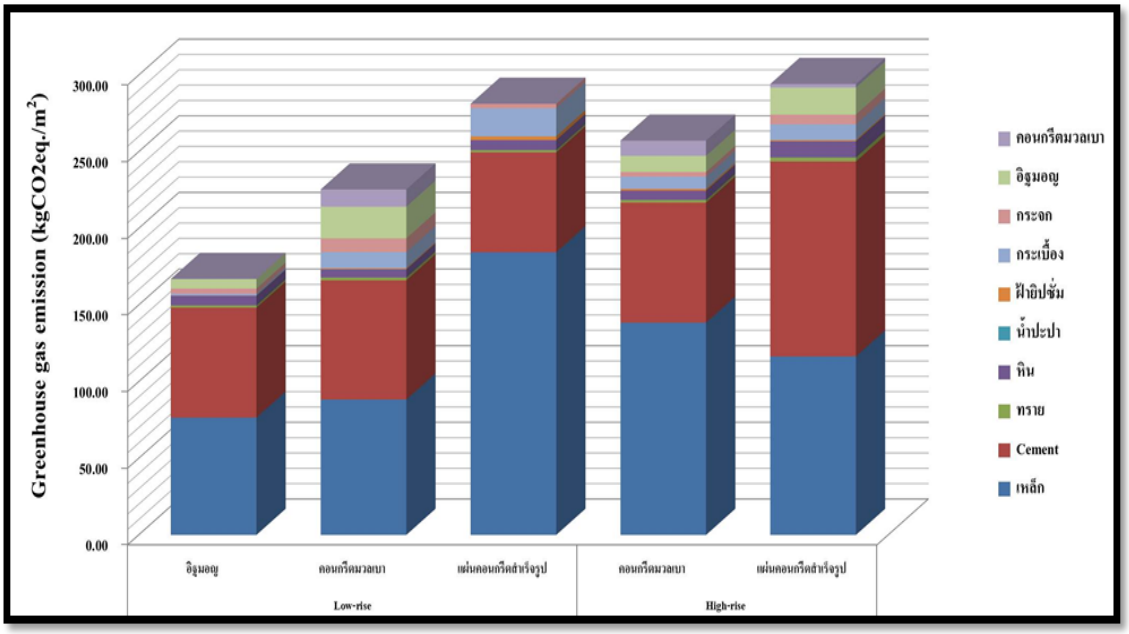
ขั้นตอนการก่อสร้าง	**ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh/m^2)**	
	อาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ(2)	อาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง(3)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม	2.08	1.40
1. งานโครงสร้าง	7.43	7.69
8. งานสถาปัตยกรรม	9.04	3.53
รวม	18.53	12.62
ชนิดเชื้อเพลิง	**ปริมาณเชื้อเพลิง (L/m^2)**	
น้ำมันดีเซล	6.61	4.12

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า ขั้นตอนของงานโครงสร้างมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคืองานสถาปัตยกรรมปัจจัยของการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากการที่ใช้เครนในการยกแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปรวมทั้งยกวัสดุก่อสร้างขึ้นอาคาร เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงนั้นพบว่า ใช้น้ำมันดีเซลในปั้นจั่นเพื่อตอกเสาเข็ม และในเครื่องปั่นไฟสำหรับผลิตไฟฟ้าให้อุปกรณ์ก่อสร้างที่ต้องใช้ไฟฟ้าบนอาคารก่อสร้าง

4.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.4.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนวัสดุก่อสร้าง

จากการเก็บข้อมูลวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักพักอาศัยทั้งหมด 12 แบบ สามารถแบ่งรูปแบบตามการเลือกใช้วัสดุหลักในการสร้างอาคารชุดพักอาศัย ออกเป็น 3 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยก่อด้วยอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างบ้านแต่ละประเภท จะแสดงในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) ซึ่งคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.1 โดยมีขอบเขตตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.8

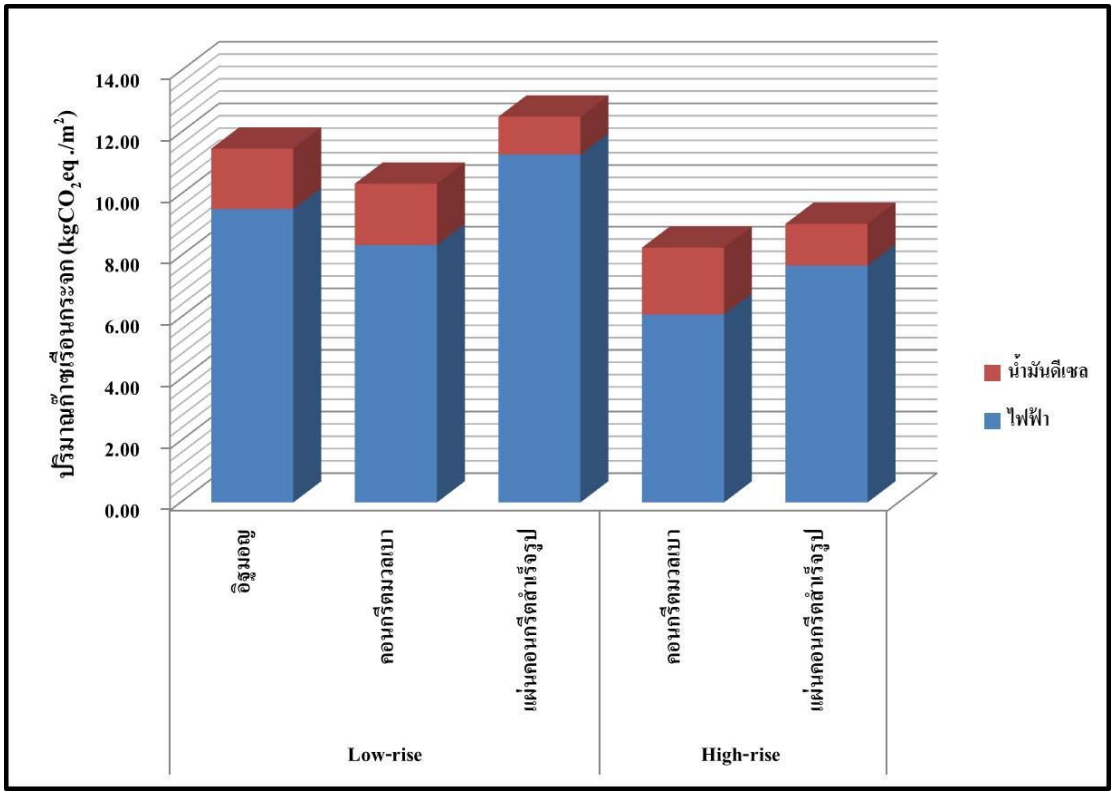


รูปที่ 4.8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ในหน่วย $kgCO_2eq/m^2$

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากจากส่วนวัสดุก่อสร้างพบว่าสัดส่วนก๊าซเรือนกระจกหลักมาจากเหล็กและปูนซีเมนต์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากจากส่วนวัสดุก่อสร้างระหว่างอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุก่อสร้างหลักแตกต่างกัน ระหว่างอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่าอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมีปริมาณค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็นอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ โดยมีปริมาณค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.66.99 ± 21.21 $kgCO_2e/m^2$, 241.35 ± 15.44 $kgCO_2e/m^2$ และ 287.75 ± 7.60 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของเหล็กและปูนซีเมนต์เป็นหลักและมีการใช้ในปริมาณที่สูง ซึ่งเหล็กและปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้อาคารชุดที่มีวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

4.4.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการก่อสร้าง

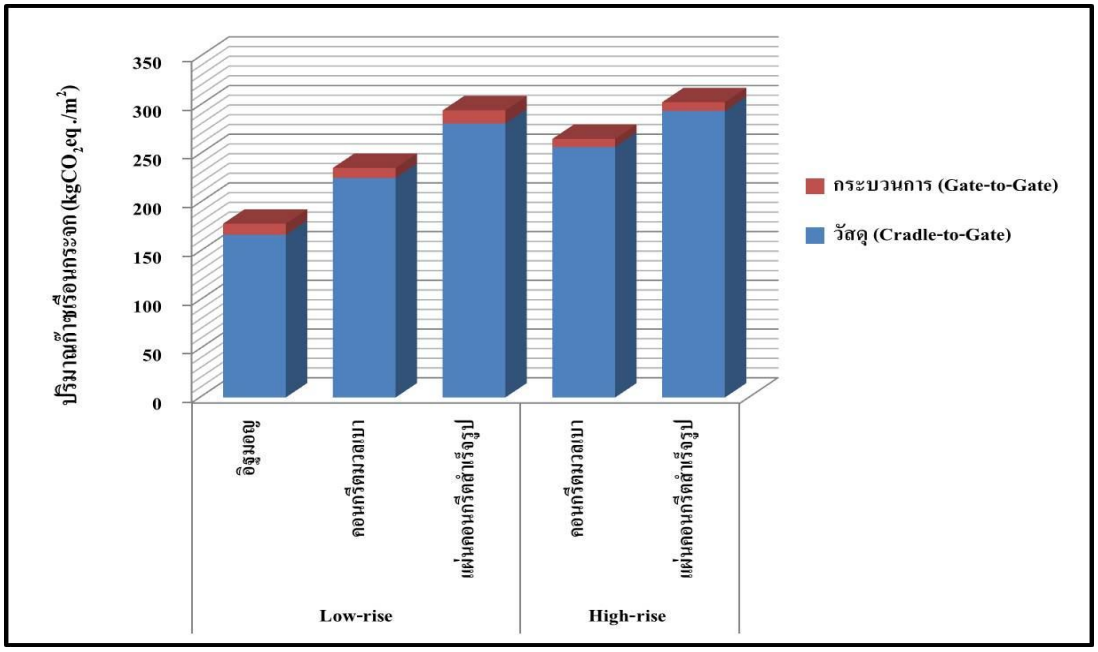
จากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย จากสถานที่ก่อสร้าง 12 แห่ง ซึ่งอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อนำมาประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการสร้าง พบว่าอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ มีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด ตามด้วยอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป และคอนกรีตมวลเบา มีค่าเท่ากับ 11.49 ± 1.10, 10.78 ± 0.52 และ 9.31 ± 0.45 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนการก่อสร้างฐานราก การตอกเสาเข็ม และการยกแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปของการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป จะมีการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลมาจากการใช้ปั้นจั่นในการตอกเสาเข็ม และใช้เครนในการยกแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเตรียมไว้แล้วมาติดตั้ง ทำให้การสร้างอาคารชุดพักอาคารชุดด้วยวิธีการนี้มีการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าวิธีการอื่น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงพบว่า สัดส่วนของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมากกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากในกระบวนการก่อสร้างมีการใช้อุปการณ์ไฟฟ้าจำนวนมากในทุกขั้นตอนและเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานาน เช่น ขั้นตอนของงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม เป็นต้น ขณะที่การใช้เชื้อเพลิงจะใช้มากเพียงในงานโครงสร้างและเสาเข็ม โดยข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการก่อสร้างโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร

4.4.3 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนวัสดุก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้าง

เมื่อพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนวัสดุก่อสร้างและส่วนกระบวนการก่อสร้าง พบว่า อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับ 303.25 ± 22.01 $kgCO_2e/m^2$ และ อาคารชุดพักอาศัยที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดคือ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ มีค่าเท่ากับ 178.48 ± 7.60 $kgCO_2e/m^2$ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้าง โดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร

เมื่อพิจารณาสัดส่วนค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัยมีค่า 96% และ 4% ตามลำดับ พบว่ามีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนวัสดุ (Cradle-to-Gate) มีสัดส่วนมากกว่า ส่วนของกระบวนการ(Gate-to-Gate) เนื่องจากส่วนวัสดุ (Cradle-to-Gate) จะรวมขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุแต่ละชนิดโดยไม่รวมการขนส่ง จึงทำให้มีสัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าส่วนของกระบวนการ(Gate-to-Gate) ที่ดูเฉพาะขอบเขตกระบวนการก่อสร้าง แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของส่วนวัสดุและกระบวนการก่อสร้างระหว่างการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยและการก่อสร้างบ้านประเภทก่ออิฐมอญที่มีสัดส่วนการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุและกระบวนการก่อสร้างที่ 97% และ 3% ตามลำดับ [29] พบว่ากระบวนการก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุน้อยกว่าการสร้างบ้าน 2% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามวัสดุหลักในการสร้างอาคารชุดพักอาศัย ออกเป็น 3 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ทั้งในประเภทแนวราบและแนวสูง ในขณะที่อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดและยังมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบปริมาณค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย โดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร

รายการวัสดุ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e/m^2$)				
	อาคารชุดประเภทแนวราบ			อาคารชุดประเภทแนวสูง	
	ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ	ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา	ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา	ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
ปูนซีเมนต์	71.89	77.82	65.19	78.33	65.19
ทราย	1.45	1.73	1.40	1.67	1.40
หิน	6.36	5.41	6.62	6.16	6.62
น้ำประปา	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
เหล็ก	76.51	88.30	184.34	138.45	184.38
กระเบื้องเซรามิก	1.22	10.56	18.36	7.97	
ฝ้ายิปซั่ม	0.07	0.65	2.45	1.06	
อิฐมอญ	6.30	20.65	N.A.	10.49	
อิฐมวลเบา	N.A.	11.27	N.A.	9.96	
ไฟฟ้า	6.434	6.587	7.056	7.275	
น้ำมันดีเซล	7.529	10.887	16.357	15.274	
รวม	187.01±7.60	275.19±7.97	297.14±16.18	292.14±14.78	315.67±22.01

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนวัสดุก่อสร้าง ของอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง พบว่า อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าการปล่อยสูงที่สุดเท่ากับ 315.67±22.01 $kgCO_2e/m^2$

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาดส่วนวัสดุก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ตามวัสดุหลักในการสร้างอาคารชุดพักอาศัย ออกเป็น 3 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยก่อด้วยอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยก่อด้วยอิฐมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 294.81±16.18, 235.76 ±7.97 และ 178.48 ±7.60 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามวัสดุหลักในการสร้างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง พบว่า อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป รองลงมาคืออาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมวลเบา โดยมีค่าเท่ากับ 303.25 ±22.01 และ 265.55 ±14.78 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบไปด้วยวัสดุที่ใช้ผลิตหลายชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เหล็ก ทราย น้ำ ซึ่งล้วนแต่เป็นวัสดุที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจะสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุหลักอีก 2 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญ และคอนกรีตมวลเบา เปรียบเทียบต่อขนาดพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร วัสดุหลักในการก่อสร้างชนิดแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปจึงมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านประเภทบ้านร่วมสมัยตามวัสดุหลักในการสร้างของการก่อสร้างบ้าน พบว่าบ้านที่ใช้วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเช่นกัน โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ237.51±40.28 $kgCO_2e/m^2$ รองลงมาคือบ้านที่ใช้วัสดุหลักเป็นอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบาตามลำดับ โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 206.08±24.17 และ 195.89±26.86 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ [2]

4.5 การศึกษาการใช้พลังงานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus

4.5.1 ข้อมูลเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยที่มีทั่วไปในท้องตลาดทั้งหมด 12 ข้อมูล ทางด้านการเก็บข้อมูลด้านการออกแบบอาคาร รูปแบบสถาปัตยกรรมรวมทั้งการใช้วัสดุหลักในการก่อสร้าง(วัสดุเปลือกอาคาร) เพื่อนำมาสร้างเป็นอาคารต้นแบบอ้างอิง สำหรับจำลองการใช้พลังงานในช่วงการอยู่อาศัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus โดยการจำลองได้แบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัยตามความสูงของอาคารคือ อาคารชุดประเภทแนวราบ (Low Rise) และอาคารชุดประเภทแนวสูง (High Rise) ดังแสดงตัวอย่างของรูปแบบอาคารชุดพักอาศัย ในรูปที่ 4.11-4.12

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

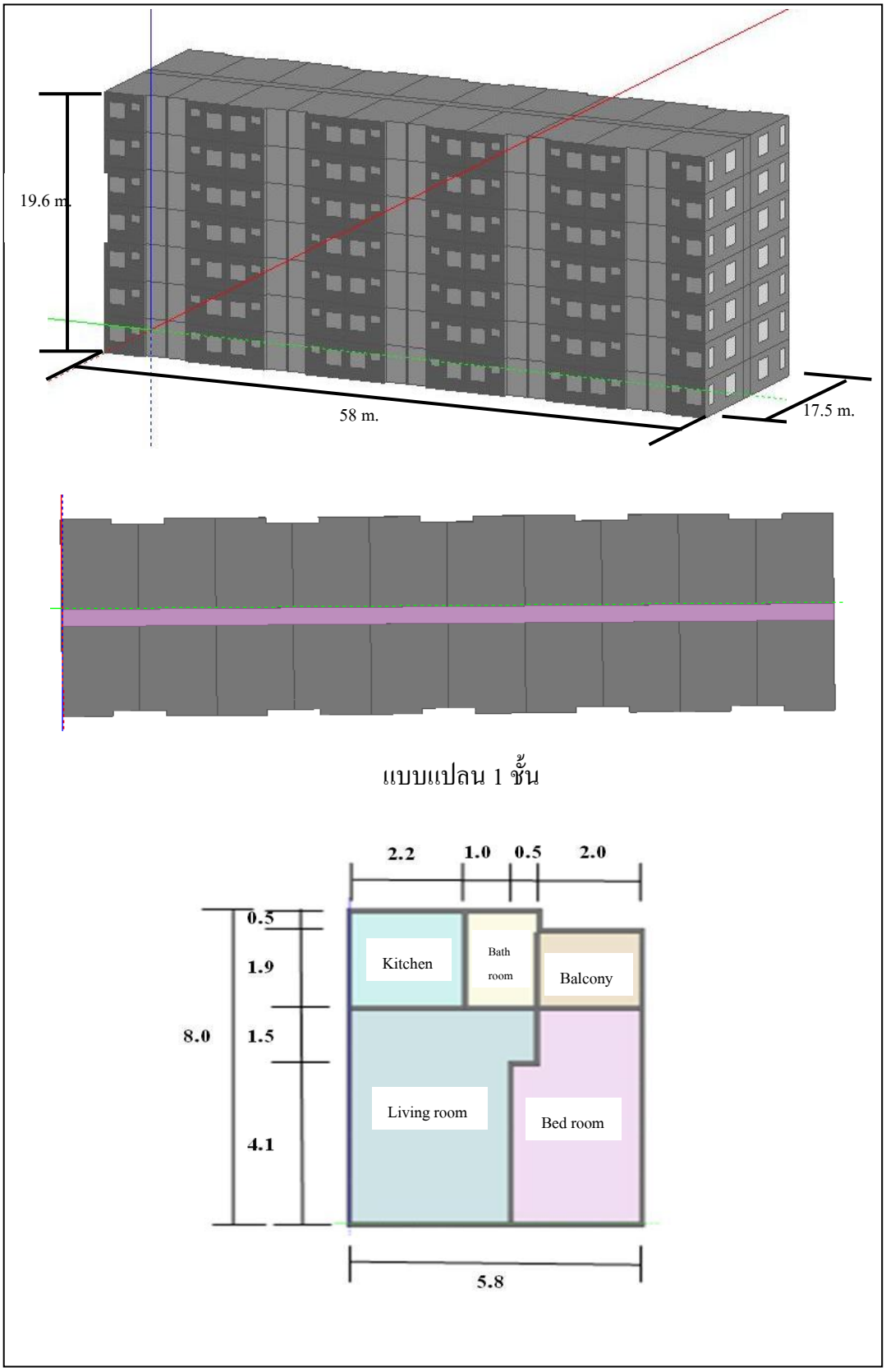
4.5.2 การศึกษาชนิดของวัสดุผนังที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย

การศึกษาการใช้วัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา คอนกรีต ที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารชุดพักอาศัย โดยที่ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลของวัสดุผนังและสร้างรูปแบบโครงสร้างของอาคารที่ซับซ้อน และกำหนดลักษณะการใช้งานอาคารที่ใกล้เคียงกับการอยู่อาศัยแบบบ้านพักอาศัยในชีวิตประจำวัน รวมทั้งใช้ข้อมูลอากาศสภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อนำมาช่วยในการวิเคราะห์ให้ได้ผลที่ใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งการใช้พลังงานในอาคารชุดพักอาศัยนี้ เป็นผลมาจากปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทผ่านวัสดุ การเก็บสะสมความร้อนไว้ภายในวัสดุที่ต่างชนิดกัน ซึ่งมีผลต่อภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในห้องชุด โดยจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EnergyPlus ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองรูปแบบและการใช้พลังงานในอาคาร โดยคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบต่างๆ เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

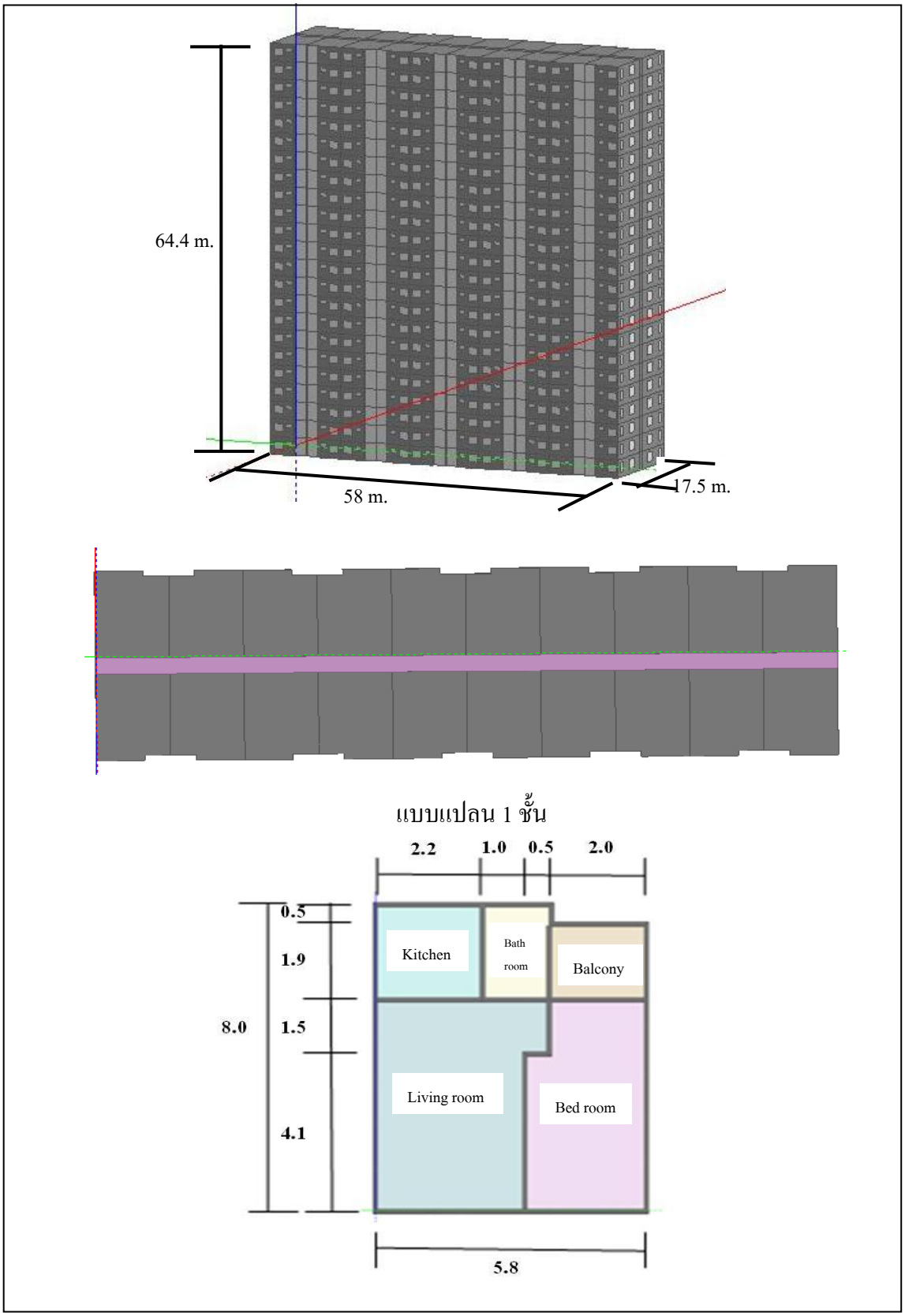
เพื่อคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gain) และภาระการทำความเย็น (Cooling Load) โดยการจำลองอาคารชุดพักอาศัยในการวิจัยมีดังนี้

4.5.2.1 การจำลองอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้ในการศึกษา

โดยการใช้แบบแปลนอาคารชุดพักอาศัย 2 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง โดยทั้ง 2 ประเภท นำมาสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus โดยจำลองเป็นอาคารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 17.5 เมตร มีขนาดยาว 58 เมตร โดยอาคารทั้ง 2 ประเภท จะมีความแตกต่างกันเพียงคามสูงของอาคาร โดยอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบจะจำลองเป็นอาคารที่มีความสูง 19.6 เมตร หรือเป็นอาคารสูง 7 ชั้น และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงจะจำลองเป็นอาคารที่มีความสูง 64.4 เมตร หรือเป็นอาคารสูง 23 ชั้น โดยแผนผังของแต่ละชั้นของทั้ง 2 แบบจำลองจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ โดยแต่ละชั้นจะมีห้องชุดประเภท 1 ห้องนอน จำนวน 20 ห้องชุดเช่นเดียวกัน ในแต่ละห้องชุดจะประกอบด้วยห้องต่างๆ ดังนี้ 1 ห้องนอน (Bedroom), 1 ห้องนั่งเล่น (Living room), 1 ห้องครัว (Kitchen), 1 ห้องน้ำ (Bath room) และระเบียง (Balcony) โดยพื้นที่ในแต่ละชั้นของอาคารจำลองดังกล่าวจะเป็นชั้นที่มีการอยู่อาศัยเท่านั้น จะไม่รวมไปถึงลานจอดรถใต้อาคาร ห้องโถงส่วนกลางของอาคาร และชั้นดาดฟ้า ซึ่งแสดงรูปแบบของอาคารชุดพักอาศัยและรายละเอียดของชั้นต่างๆ ภายในอาคารชุดพักอาศัย ในรูปที่ 4.13 - 4.14



รูปที่ 4.13 แบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ 7 ชั้นจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus



รูปที่ 4.14 แบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง 23 ชั้น จำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus

ส่วนประกอบในแปลนบ้านที่ใช้เป็นแบบจำลอง

ส่วนประกอบในแปลนอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้เป็นแบบจำลองในโปรมแกรม EnergyPlus นั้นแสดงในตารางที่ 4.9 – 4.10

ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบในแบบแปลนอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

รายการ	**ขนาด (m^2)**	**จำนวน (บาน/ห้อง)**	**จำนวน (บาน/อาคาร)**
<u>จำนวน 7 ชั้น</u>			
ประตู	2.0 × 0.8	3	420
หน้าต่าง	2.0 × 1.5	1	140
	1.27 × 1.5	1	140
ปล่องระบายอากาศ	0.6 × 0.9	1	140
พื้นที่ใช้สอย	42.68		

ตารางที่ 4.10 ส่วนประกอบในแบบแปลนอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

รายการ	**ขนาด (m^2)**	**จำนวน (บาน/ห้อง)**	**จำนวน (บาน/อาคาร)**
<u>จำนวน 23 ชั้น</u>			
ประตู	2.0 × 0.8	3	1,380
หน้าต่าง	2.0 × 1.5	1	460
	1.27 × 1.5	1	460
ปล่องระบายอากาศ	0.6 × 0.7	1	460
พื้นที่ใช้สอย	42.68		

กำหนดวัสดุที่ใช้ศึกษาในการเปลี่ยนวัสดุผนังของอาคารชุดพักอาศัย ชนิดต่างกัน ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต โดยวัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะด้านแตกต่างกัน อาทิเช่น ความหนา ค่าความหนาแน่น ด้านการถ่ายเทความร้อน เป็นต้นดังแสดงในตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางความร้อนของวัสดุจากฐานข้อมูลในโปรแกรม EnergyPlus

วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
อิฐมอญ	0.1	0.84	1,700	800
คอนกรีต	0.1	2.3	2,300	1,000
คอนกรีตมวลเบา	0.1	0.76	780	840
ปูนฉาบ	0.01	0.72	1,650	920
กระจกเขียวตัดแสง	6	5.78	0.623	0.749

4.5.2.2 ข้อมูลจำเพาะของการพักอาศัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

- **ข้อมูลทั่วไป**

ข้อมูลทั่วไปของการพักอาศัยที่ใช้ในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการจำลองอาคารชุดพักอาศัย เป็น 2 ประเภท ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง โดยกำหนดให้มีข้อมูลทั่วไป ดังตารางที่ 4.12

จำนวนผู้อาศัย	2	คน/1ห้องพัก
การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ	25	ºC
รูปแบบการพักอาศัย	2	รูปแบบคือ วันจันทร์-ศุกร์ และวันหยุดสุดสัปดาห์

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลทั่วไปของการพักอาศัย

รายละเอียดพื้นที่	**พื้นที่ (m^2)**
<u>อาคารชุดพักอาศัยแนวราบ</u> (7 ชั้น)	
พื้นที่ใช้สอยรวม	5,975.20
พื้นที่ปรับอากาศ	4,233.60
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	1,741.60
<u>อาคารชุดพักอาศัยแนวสูง</u> (23 ชั้น)	
พื้นที่ใช้สอยรวม	19,632.80
พื้นที่ปรับอากาศ	13,910.40
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	5,722.40

- **ตารางการใช้งาน**

รูปแบบการพักอาศัย ได้มีการกำหนดตารางการใช้งานภายในห้องชุดที่จำลองด้วยโปรแกรมแสดงไว้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การใช้งานห้องต่างๆ ภายในอาคารชุดพักอาศัย

ห้อง	เวลา			
	การใช้ห้อง	แสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	เครื่องใช้ไฟฟ้า
<u>ห้องนั่งเล่น</u>				
วันธรรมดา	7.00–9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	18.00-20.00	18.00 – 22.00
วันหยุด	7.00 – 22.00	18.00 – 22.00	12.00-16.00	7.00 – 22.00
<u>ห้องครัว</u>				
วันธรรมดา	7.00–9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	-	18.00-21.00
วันหยุด	7.00 – 22.00	18.00 – 22.00	-	18.00-21.00
<u>ห้องน้ำ</u>				
วันธรรมดา	7.00–9.00, 16.00-22.00	18.00 – 22.00	-	-
วันหยุด	7.00 – 22.00	18.00 – 22.00	-	-
<u>ห้องนอน</u>				
วันธรรมดา	21.00 - 6.00	21.00 – 22.00	21.00 – 6.00	21.00-23.00
วันหยุด	23.00 - 9.00	23.00 – 24.00	23.00 – 9.00	21.00-23.00

ตารางที่ 4.14 รายละเอียดการจัดแบ่งพื้นที่ของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

แบบห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	จำนวนคนใช้ห้อง	คน/m^2	การปรับอากาศ
A	Balcony	3.80	1	0.26	N
	Bed room	12.74	2	0.16	Y
	Kitchen	5.06	1	0.40	N
	Living room	17.48	2	0.11	Y
	Bath room.	3.60	1	0.28	N
B	Balcony	3.80	1	0.26	N
	Bed room	12.75	2	0.16	Y
	Kitchen	5.04	1	0.40	N
	Living room	17.49	2	0.11	Y
	Bath room.	3.60	1	0.28	N

Y = ติดเครื่องปรับอากาศ

N = ไม่ติดเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการจัดแบ่งพื้นที่ของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

แบบห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	จำนวนคนใช้ห้อง	คน/m^2	การปรับอากาศ
A	Balcony	3.80	1	0.26	N
	Bed room	12.74	2	0.16	Y
	Kitchen	5.06	1	0.40	N
	Living room	17.48	2	0.11	Y
	Bath room.	3.60	1	0.28	N
B	Balcony	3.80	1	0.26	N
	Bed room	12.75	2	0.16	Y
	Kitchen	5.04	1	0.40	N
	Living room	17.49	2	0.11	Y
	Bath room.	3.60	1	0.28	N

Y = ติดเครื่องปรับอากาศ

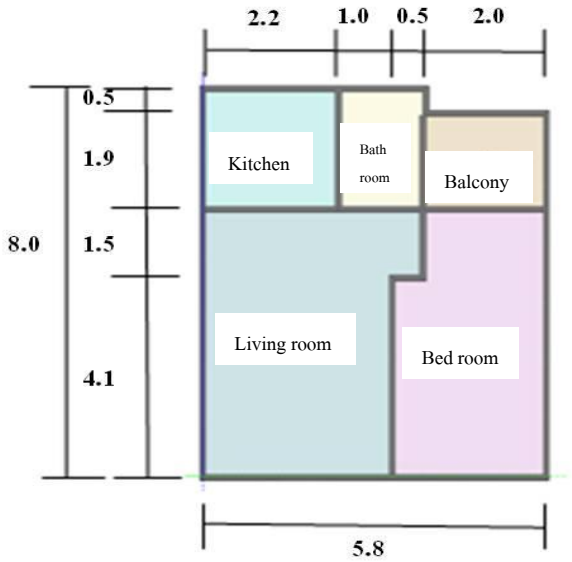
N = ไม่ติดเครื่องปรับอา

4.5.3 การประเมินการใช้พลังงานภายในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัย

ข้อมูลของอาคารอาคารชุด (Building Description) เช่น ตั้งทิศทางการหันหน้าของอาคาร แบบแปลนอาคาร วัสดุอาคาร ตารางการใช้งานของห้องต่างๆ จะถูกป้อนเข้าโปรแกรม จากนั้นทำการประมวลผล โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งไปยังส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศเพื่อคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gain) และภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะคำนวณออกมาในหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อพื้นที่ต่อปี ($kWh/m^2/y$) ที่มาจากทั้งระบบทำความเย็น ระบบแสงสว่าง ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบถึงผลของชนิดวัสดุผนังที่ใช้ในแบบจำลองที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย ในงานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบการใช้งานของโปรแกรม EnergyPlus ให้เป็นการจำลองอาคารให้เป็นประเภทอาคารชุดพักอาศัย (Dwelling Template) ขั้นตอนถัดมาคือการกำหนดชนิดของวัสดุหลัก(วัสดุผนัง) ที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยในงานวิจัยจะเปรียบเทียบวัสดุผนัง 3 ชนิดได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา คอนกรีต รวมทั้งการกำหนดตารางการใช้งาน (Activity) ทั้งส่วนห้องต่างๆ คือ ระบบแสงสว่าง (Lighting) ระบบปรับอากาศ (HVAC) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Computer + Equipment) ต้องมีการกำหนดให้สอดคล้องกันกับเวลาและการใช้งานของแต่ละห้อง เมื่อกำหนดค่าต่างๆ ได้ครบถ้วนแล้ว จึงทำการสั่งให้โปรแกรมประมวลผล และพบว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยที่จำลองด้วยโปรแกรมดังนี้

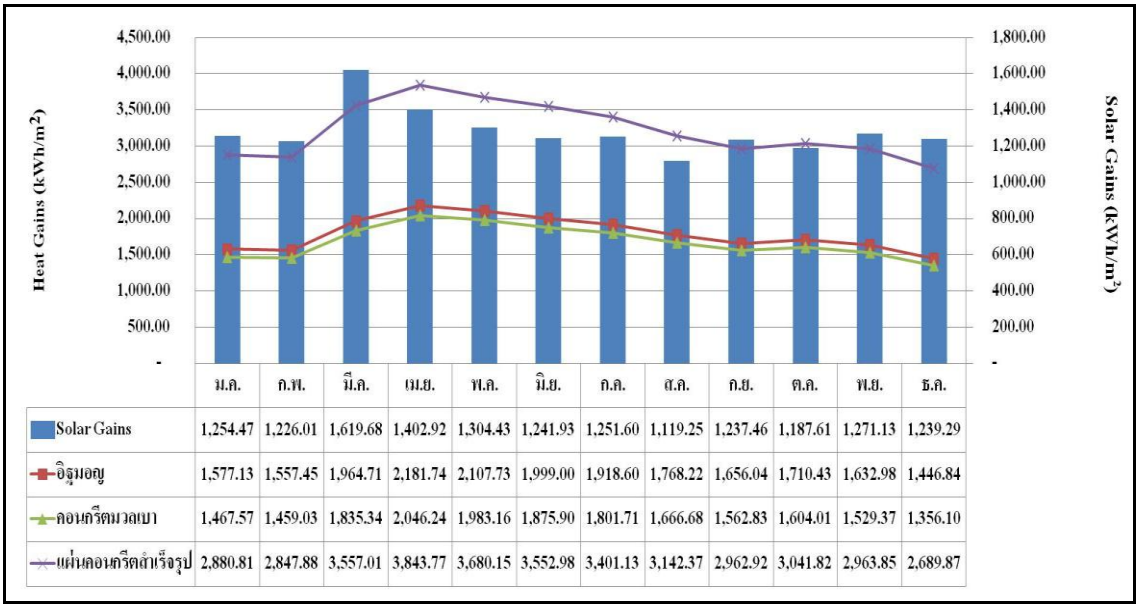
4.5.3.1 ผลการศึกษาการใช้พลังงานของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

การศึกษาการใช้พลังงานของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยแนวราบ อาศัยแบบแปลนตัวอย่างจากการเก็บข้อมูลแล้วนำมาสร้างด้วยโปรแกรม โดยจำลองห้องชุดพักอาศัยประเภท 1 ห้องนอน โดยจำลองพื้นที่และจำนวนห้องในแต่ละชั้นเหมือนกันทุกประการ สำหรับอาคารชุดพักอาศัยจะมีจำนวนห้องพักทั้งหมด จำนวน 140 ห้อง โดยมีรูปแบบการจัดแบ่งพื้นที่และอัตราความต้องการใช้พลังงานในส่วนแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.15



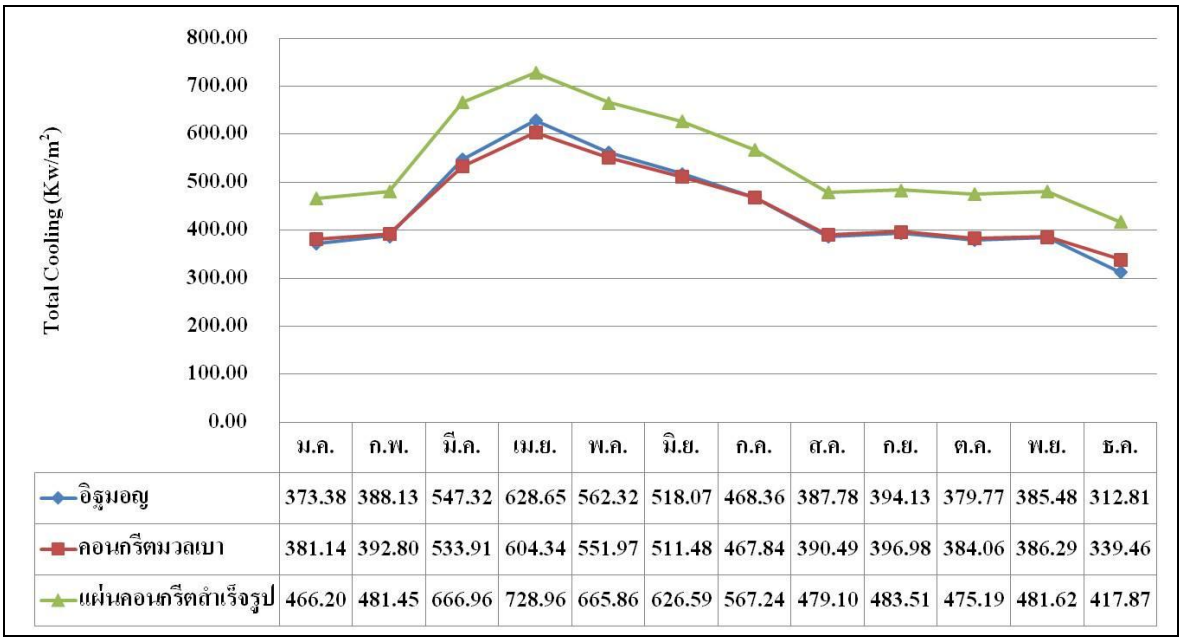
รูปที่ 4.15 การแบ่งพื้นที่ของห้องชุด

ผลการศึกษาการใช้พลังงานของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ ที่มีการใช้วัสดุผนังต่างกัน 3 ชนิดคือ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต โดยกำหนดให้ตารางการใช้งานในทุกๆ แบบจำลองเหมือนกัน เพื่อศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gains) และเป็นผลต่อภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ที่เกิดขึ้นกับระบบปรับอากาศภายในห้องชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Solar Gains	1,254.47	1,226.01	1,619.68	1,402.92	1,304.43	1,241.93	1,251.60	1,119.25	1,237.46	1,187.61	1,271.13	1,239.29
อิฐมอญ	1,577.13	1,557.45	1,964.71	2,181.74	2,107.73	1,999.00	1,918.60	1,768.22	1,656.04	1,710.43	1,632.98	1,446.84
คอนกรีตมวลเบา	1,467.57	1,459.03	1,835.34	2,046.24	1,983.16	1,875.90	1,801.71	1,666.68	1,562.83	1,604.01	1,529.37	1,356.10
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	2,880.81	2,847.88	3,557.01	3,843.77	3,680.15	3,552.98	3,401.13	3,142.37	2,962.92	3,041.82	2,963.85	2,689.87

รูปที่ 4.16 ปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารของวัสดุผนังแต่ละชนิดในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ



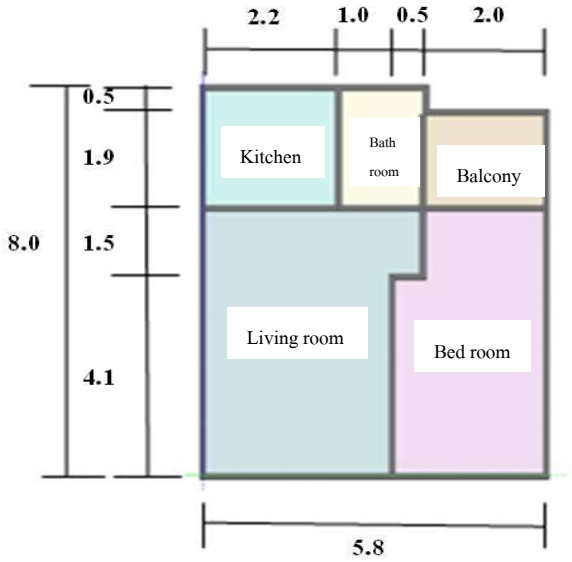
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อิฐมอญ	373.38	388.13	547.32	628.65	562.32	518.07	468.36	387.78	394.13	379.77	385.48	312.81
คอนกรีตมวลเบา	381.14	392.80	533.91	604.34	551.97	511.48	467.84	390.49	396.98	384.06	386.29	339.46
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	466.20	481.45	666.96	728.96	665.86	626.59	567.24	479.10	483.51	475.19	481.62	417.87

รูปที่ 4.17 ภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจำแนกตามวัสดุผนังในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารชุดพักอาศัยและภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เป็นผลมาจากความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในตัวอาคาร (Heat Gains) จากการที่แสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนผิวนอกของเปลือกอาคาร (Solar Gains) ทำให้อุณหภูมิผิวของผนังภายนอกสูงขึ้น และเกิดการส่งผ่านความร้อนผ่านเนื้อวัสดุของผนัง ทำให้ผนังมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อุณหภูมิผิวภายในของผนังสูงขึ้น ซึ่งผลมาจากการแผ่รังสี จากรูปที่ 4.21 พบว่า คอนกรีตมีการดูดซับความร้อนมากที่สุดเนื่องจากมีความหนาแน่นของมวลมากที่สุดเมื่อเทียบกับอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2, 300, 1700 และ 600 kg/m^3 ตามลำดับดังนั้นจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอาคารชุดพักอาศัยที่สร้างด้วยอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา โดยปริมาณความร้อนเข้ามาในอาคารมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน คือช่วงเดือน มี.ค-มิ.ย.

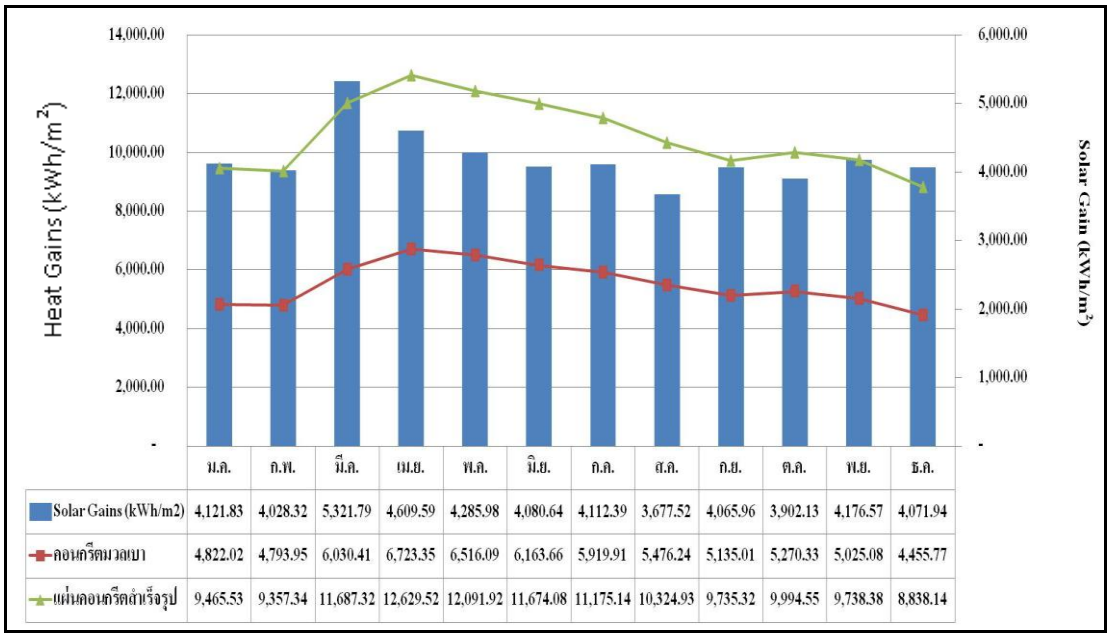
4.5.3.2 ผลการศึกษาการใช้พลังงานของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

จำลองพื้นที่และจำนวนห้องชุดพักอาศัย ในแต่ละชั้นเช่นเดียวกับอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบทุกประการ ต่างกันเพียงจำนวนห้องชุดพักอาศัยหรือความสูงของอาคาร โดยอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง จะมีจำนวนห้องชุดพักอาศัยจำนวน 640 ห้อง มีรูปแบบการจัดแบ่งพื้นที่และอัตราความต้องการใช้พลังงานในส่วนแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.18



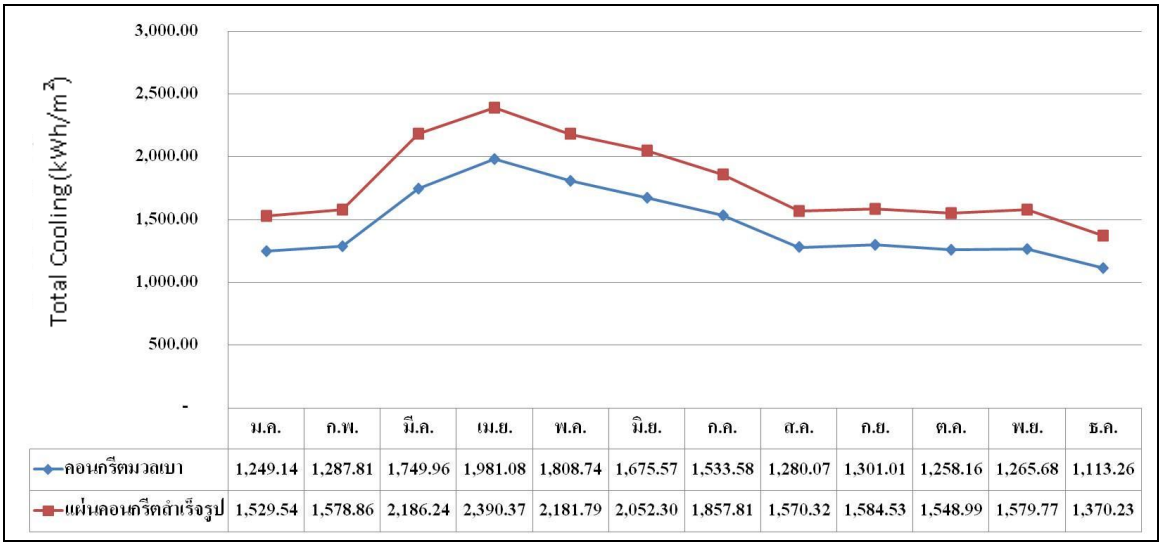
รูปที่ 4.18 การแบ่งพื้นที่ของห้องชุด

ผลการศึกษาการใช้พลังงานของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง ที่มีการใช้วัสดุผนังต่างกัน 2 ชนิดคือ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต โดยกำหนดให้ตารางการใช้งานในทุกๆ แบบจำลองเหมือนกัน เพื่อศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gains) และเป็นผลต่อภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ที่เกินขึ้นกับระบบปรับอากาศภายในห้องชุด โดยจะแสดงค่าออกมาในหน่วย kWh เช่นเดียวกันทุกค่า ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Solar Gains (kWh/m2)	4,121.83	4,028.32	5,321.79	4,609.59	4,285.98	4,080.64	4,112.39	3,677.52	4,065.96	3,902.13	4,176.57	4,071.94
คอนกรีตมวลเบา	4,822.02	4,793.95	6,030.41	6,723.35	6,516.09	6,163.66	5,919.91	5,476.24	5,135.01	5,270.33	5,025.08	4,455.77
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	9,465.53	9,357.34	11,687.32	12,629.52	12,091.92	11,674.08	11,175.14	10,324.93	9,735.32	9,994.55	9,738.38	8,838.14

รูปที่ 4.19 ปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารของวัสดุผนังแต่ละชนิดในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
คอนกรีตมวลเบา	1,249.14	1,287.81	1,749.96	1,981.08	1,808.74	1,675.57	1,533.58	1,280.07	1,301.01	1,258.16	1,265.68	1,113.26
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	1,529.54	1,578.86	2,186.24	2,390.37	2,181.79	2,052.30	1,857.81	1,570.32	1,584.53	1,548.99	1,579.77	1,370.23

รูปที่ 4.20 ภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจำแนกตามวัสดุผนังในแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง

ผลการศึกษาการใช้วัสดุผนังทั้ง 2 ชนิด ในแบบจำลองของอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูง พบว่า คอนกรีตยังคงมีค่าการดูดซับความร้อนมากที่สุดเช่นเดิม เนื่องจากมีความหนาแน่นของมวลมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2,300 kg/m^3 โดยค่าความร้อนเข้ามาในอาคารมีค่ามากที่สุดยังคงเป็นช่วงในช่วงฤดูร้อน คือช่วงเดือน มี.ค-มิ.ย. เช่นเดียวกับอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ

ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่ามวลอุณหภาพของวัสดุผนังในแบบจำลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต ล้วนมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บและถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีมวลอุณหภาพสูงกว่าและมีช่วงเวลาของการกักเก็บและคายความร้อนให้เข้าสู่สภาวะอิ่มตัวที่ช้ากว่าอิฐมอญ และคอนกรีตมวลเบา ดังนั้นการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความหนาแน่นน้อย จะมีผลในการลดภาระการทำงานของระบบการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ซึ่งค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากส่วนแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งการใช้งานเครื่องปรับอากาศในห้องต่างๆ ทั้งหมดจะถูกประมวลผลจากการป้อนข้อมูลในโปรแกรมและแสดงผลในหน่วยของ $kWh/m^2/y$ นอกจากนี้การประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทการใช้งานของอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้วัสดุผนังต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทการใช้งานของแบบจำลอง

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ($kWh/m^2/y$)	ประเภทวัสดุของแบบจำลอง		
	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีต
อุปกรณ์ไฟฟ้า	12.82	12.82	12.82
แสงสว่าง	26.53	26.53	26.53
เครื่องปรับอากาศ	29.33	26.79	36.51
รวม	68.68	66.14	75.86

จากการประเมินการใช้พลังงานจำแนกตามประเภทการของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุผนังต่างชนิดกัน พบว่า ความต้องการการใช้พลังงานในส่วนของเครื่องปรับอากาศมีปริมาณพลังงานสูงที่สุดของทุกแบบจำลอง และอันดับรองลงมาคือ การใช้พลังงานในส่วนแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าตามลำดับ หากพิจารณาการใช้พลังงานของแบบจำลองที่ใช้วัสดุประเภทต่างๆ นั้น พบว่า แบบจำลองที่ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตสำเร็จรูป ยังคงมีการใช้พลังงานในส่วนของเครื่องปรับอากาศมากกว่าแบบจำลองที่ใช้วัสดุผนังเป็นอิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา ซึ่งมีมีผลทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

4.5.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย ที่จำลองโดยโปรแกรม EnergyPlus นั้นเป็นการประเมินในช่วงการพักอาศัยภายในอาคารชุด (Use Phase) ซึ่งมาจากการใช้พลังงานภายในอาคารจากส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง รวมทั้งการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกันโดยตรงกับอาคารชุดพักอาศัยที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ ดังที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 4.5

ตารางที่ 4.17 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบทั้ง 3 ขอบเขต

ขอบเขต	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e / m^2/y$)		
	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีต
วัสดุ	175.50	276.80	297.09
กระบวนการก่อสร้าง	11.49	9.60	12.60
การพักอาศัย (25 ปี)	1,046.25	1,007.50	1,155.50
รวม	1,232.74	1,293.90	1,465.19

จากตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 3 ขอบเขต คือส่วนของวัสดุก่อสร้าง ส่วนของกระบวนการก่อสร้างและการพักอาศัย โดยคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงการใช้งานของบ้านพักอาศัยนาน 25 ปี พบว่า อาคารชุดที่ใช้วัสดุผนังเป็นแผ่นคอนกรีตมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับ 1,465.19 $kgCO_2e / m^2/y$ รองลงมาคือผนังวัสดุที่เป็นคอนกรีตมวลเบาและอิฐมอญมีค่าการปล่อยเท่ากับ 1,293.90 และ 1,232.74 $kgCO_2e / m^2/y$ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาในส่วนของวัสดุนั้นพบว่า คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีมวลอุณหภาพสูงที่มีความสามารถในการกักเก็บและถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่าวัสดุที่มีมวลอุณหภาพต่ำ เช่น อิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา ซึ่งผลการวิจัยนี้เองสามารถนำไปสู่การนำเสนอแนวทางที่มีส่วนช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยลงได้ คือ การเปลี่ยนระบบวัสดุผนังให้มีน้ำหนักเบาและการมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน สามารถลดการนำความร้อนของอากาศภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารได้ เพื่อเป็นแนวทางการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.6 ทางเลือกในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากอาคารชุดพักอาศัย

จากหัวข้อการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนของวัสดุก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) กระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) และช่วงอยู่อาศัย (Use phase) จะพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากส่วนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งการใช้วัสดุผนังที่แตกต่างกันจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณไฟฟ้าในช่วงการอยู่อาศัยที่ส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เป็นผลให้การศึกษาทางเลือกในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นควรพิจารณาถึงแนวทางในการเลือกใช้กระจกที่มีสมบัติในการบังแสงแดดที่สูง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่พักอาศัย ซึ่งจะเน้นถึงผลของการประหยัดพลังงานในส่วนของการใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคารที่พักอาศัยเป็นหลัก โดยได้เสนอแนวทางและทางเลือก ในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกไว้ดังนี้

4.6.1 แนวทางการประหยัดพลังงานจากการเลือกใช้กระจก

กระจกเป็นองค์ประกอบสำคัญหลักของกรอบอาคาร เนื่องจากประเทศไทยมีแดดจัดตลอดทั้งปี แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกเข้ามากลายเป็นพลังงานความร้อนภายในอาคารที่ผ่านกระจก อาจสูงถึง 3-5 เท่า เมื่อเทียบกับความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบ เพื่อลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศของบ้านพักอาศัย การเลือกใช้กระจกจึงที่มีค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เป็นค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจกค่า SHGC จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำ จะทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้านมีค่าต่ำลงด้วยดั้งนั้นการเลือกใช้กระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนร้อนต่ำจึงเป็นการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์บางชนิดของกระจกจากโปรแกรม EnergyPlus

ชนิดกระจก	ความหนา (mm)	ค่า U (W/m^2-K)	ค่า SHGC	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง
กระจกเขียว (Base case)	6	5.78	0.623	0.749
กระจกใส	6	6.121	0.819	0.881
กระจก Low-e	6	5.78	0.42	0.734

ตารางที่ 4.19 ปริมาณการใช้พลังงานของการเปลี่ยนชนิดวัสดุกระจก

กระจก	ค่า SHGC ของกระจก	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/y)	พลังงานไฟฟ้าที่ [ลดลง-เพิ่มขึ้น] (kWh/y)	ก๊าซเรือนกระจกที่ [ลดลง- เพิ่มขึ้น] ($kgCO_2e$ /y)
กระจกเขียว (Base case)	0.623	9,871.58	-	-
กระจกใส	0.819	10,232.48	เพิ่มขึ้น 360.90	เพิ่มขึ้น 219.89
กระจก Low-e	0.42	9,619.98	ลดลง 251.60	ลดลง 153.30

จากตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาการเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ที่ต่ำ สามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ ซึ่งการเลือกใช้กระจกที่มีค่า (SHGC) เท่ากับ 0.42 สามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารต้นแบบ (Base case) ได้เท่ากับ 251.60 kWh/y และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 153.30 $kgCO_2e$ /y แต่เมื่อใช้กระจกที่มีค่า SHGC สูง คือ 0.819 ก็ทำให้การใช้พลังงานในอาคารชุดสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 360.90 kWh/y จากการเปรียบเทียบอาคารต้นแบบ ดังนั้นการเลือกใช้ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนเข้ามาในอาคารลดลง เป็นผลทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารชุดพักอาศัยลดลง

4.6.2 แนวทางการประหยัดพลังงานจากการเปลี่ยนระบบวัสดุผนัง

แนวทางการศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดหรือลดพลังงานของอาคารชุดพักอาศัยที่ได้มีการศึกษาเพื่อเป็นทางเลือกในการลดการใช้พลังงานนี้ในหัวข้อนี้ จะทำการศึกษาการเปลี่ยนประเภทวัสดุผนังของตัวอย่างแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบ โดยทำการปรับเปลี่ยนระบบวัสดุที่ใช้สำหรับผนังภายนอกเพิ่มเติมอีก 3 แบบ เพื่อประเมินหาผลการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่มีต่อพื้นที่การปรับอากาศ โดยมีแนวทางดังนี้

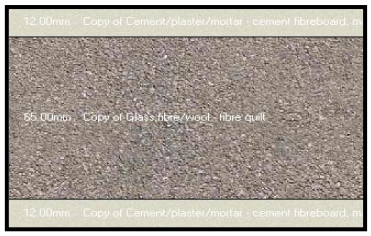
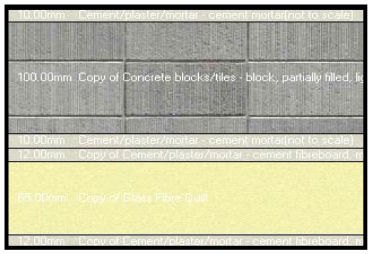
ข้อมูลทั่วไปของการศึกษา

ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองรูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อศึกษาผลของการประหยัดพลังงาน โดยจะใช้รูปแบบอาคารชุดพักอาศัย 7 ชั้น รูปแบบและรายละเอียดของอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้จำลองการใช้พลังงานแสดงดังรูปที่ 4.13 และกำหนดให้มีข้อมูลทั่วไปเป็นดังตารางที่ 4.14 โดยมีพื้นที่ใช้สอยรวม 5,975.2 m^2 พื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 4,233. m^2

จำนวนผู้อาศัย	2	คน
การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ	25	ºC
รูปแบบการพักอาศัย	2	รูปแบบคือ วันจันทร์-ศุกร์ และวันหยุดสุดสัปดาห์

ตารางการใช้งานของห้องต่างๆ ภายในบ้าน แสดงดังตารางที่ 4.13 ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งระบบวัสดุผนังและสมบัติของวัสดุที่ใช้ในตัวอย่างแบบจำลองบ้านที่ทำการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ระบบวัสดุผนังและสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้เป็นแนวทางประหยัดพลังงาน

ภาพตัด	รายละเอียด	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
1 	1. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (1) 2. ฉนวนกันความร้อน หนา 0.065 m 3. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (1)	0.12 0.05 0.12	1,200 48 1,200	1,000 960 1,200
2 	1. ปูนฉาบ หนา 0.01 m 2. คอนกรีตมวลเบา หนา 0.1m 3. ปูนฉาบ หนา 0.01 m 4. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (2) 5. ฉนวนกันความร้อน 6. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (2)	0.72 0.74 0.72 0.084 0.05 0.084	1,650 600 1,650 1,200 48 1,200	920 840 920 1,000 960 1,000
ผนังอาคารต้นแบบ (Base Case)	1. ปูนฉาบ หนา 0.01 m 2. คอนกรีตมวลเบา หนา 0.1 m 3. ปูนฉาบ หนา 0.01 m	0.72 0.74 0.72	1,650 600 1,650	920 840 920

หมายเหตุ: ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (2) มีความหนา เท่ากับ 0.012 m

ตารางที่ 4.21 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทการใช้งานของระบบวัสดุผนังต่างๆ

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ m^2 /y)	ประเภทวัสดุของแบบจำลอง		
	อาคารต้นแบบ	แบบที่ 1	แบบที่ 2
อุปกรณ์ไฟฟ้า	1,838.24	1,838.24	1,838.24
แสงสว่าง	3,802.71	3,802.71	3,802.71
เครื่องปรับอากาศ	4,353.73	3,971.37	4,106.23
รวม	9,994.68	9,612.32	9,747.18

ตารางที่ 4.22 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงของระบบวัสดุผนังต่างๆ

ลำดับ	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (kWh/ m^2 /y)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ($kgCO_2e$ /m^2 /y)
แบบที่ 1	382.36	232.99
แบบที่ 2	247.5	150.81

จากตารางที่ 4.21 และ 4.22 เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผนังทั้ง 2 แบบ พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันมาจากไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเท่านั้น พลังงานไฟฟ้าจากแสงสว่างและจากอุปกรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของระบบผนังทั้ง 2 แบบเทียบกับผนังอาคารต้นแบบ (Base Case) คือผนังที่มีการก่อคอนกรีตมวลเบาและฉาบปูน 2 ด้าน เนื่องจากเป็นระบบวัสดุผนังที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน พบว่า ระบบผนังทั้ง 2 แบบสามารถลดการใช้ปริมาณไฟฟ้าลงได้ทั้งหมด โดยระบบผนังแบบที่ 1 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีได้มากที่สุด สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง 232.99 $kgCO_2e$/ m^2 /y รองลงมา คือ ระบบผนังแบบที่ 2 เท่ากับ150.81 $kgCO_2e$/ m^2 /y ตามลำดับ ดังนั้นการพิจารณาการประหยัดพลังงาน กรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกลางเป็นหลัก ควรเลือกผนังที่มีความต้านทานความร้อนไม่สูงมากรวมกับมวลอุณหภาพต่ำ เพื่อต้านทานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน และจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทยที่มีรูปแบบ พื้นที่ใช้สอย รวมถึงการสร้างด้วยวิธีและวัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ อาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุหลักเป็นอิฐมอญ อาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา และอาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุหลักเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) โดยมีขอบเขตการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3ขอบเขต ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) ด้วยโปรแกรม Sima Pro 7.1 ส่วนของกระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) โดยอ้างอิงข้อมูลการคำนวณจากข้อมูลของประเทศไทย และการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย (Use phase) โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus คำนวณในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อพิจารณาจากส่วนของวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง จากอาคารชุดพักอาศัย พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากส่วนวัสดุและกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ของก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่ามากที่สุด รองลงมา ได้แก่ คอนกรีตมวลเบา และอิฐมอญ มีค่าเท่ากับ 309.69 ± 20.08 $kgCO_2e/m^2$, 286.40 ± 16.09 $kgCO_2e/m^2$ และ 186.49 ± 26.91 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ

2. ผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารชุดพักอาศัย เปรียบเทียบระหว่างประเภทแนวสูงและแนวราบ มีค่าเท่ากับ 307.56 ± 22.01 $kgCO_2e/m^2$ และ 224.70 ± 16.18 $kgCO_2e/m^2$

3. ผลการศึกษาการใช้วัสดุผนังที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 3 ชนิดคือ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีต ในช่วงอยู่อาศัย (Use phase) พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงการใช้งานของบ้านพักอาศัยนาน 25 ปี พบว่า อาคารชุดที่ใช้วัสดุผนังเป็นแผ่นคอนกรีตมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับ 1,465.19 kgCO2e / m2/y รองลงมาคือผนังวัสดุที่เป็นคอนกรีตมวลเบาและอิฐมอญมีค่าการปล่อยเท่ากับ 1,293.90 และ 1,232.74 kgCO2e / m2/y ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการคำนวณในงานวิจัยนี้ ยังมีการอ้างอิงค่าที่มาจากการใช้ฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.1 ซึ่งอ้างอิงมาจากต่างประเทศ ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากฐานข้อมูลค่า Emission factor ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ใช้เป็นค่าตัวแทนของประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอ ดังนั้นควรมีการพัฒนาฐานข้อมูลค่า Emission factor ของประเทศไทยให้ครอบคลุมในทุกวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

2. จำนวนกลุ่มตัวอย่างมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยต่อไปสามารถเพิ่มจำนวนของข้อมูลได้ เพื่อให้ได้ค่าความละเอียดของข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

3. โปรแกรมEnergyPlus เป็นโปรแกรมที่มีรายละเอียดในการป้อนข้อมูลเยอะ ผู้ใช้ต้องเป็นโปรแกรมจึงจำเป็นต้องเป็นผู้ผู้ที่มีความเข้าใจในโปรแกรมเป็นอย่างดี เพื่อป้องกันการป้อนข้อมูลที่ผิดพลาด

4. ผลที่ได้จากการศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัยเป็นค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งผลของข้อมูลขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขที่ผู้ทำการวิจัยกำหนดในการจำลองการใช้พลังงาน เช่น ช่วงเวลาที่ใช้เครื่องปรับอากาศ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าและช่วงเวลาที่ทำการศึกษา หากป้อนตัวแปรที่แตกต่างไป จะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารชุดพักอาศัย อีกทั้งการจำลองอาคารที่มีขนาดใหญ่จะต้องมีการตรวจเช็คการตั้งค่าข้อมูลเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป ดั้งนั้นการนำข้อมูลไปอ้างอิงควรใช้กับอาคารที่มีการใช้งานใกล้เคียงกับงานวิจัย

ภาคผนวก ก
รายละเอียดวัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้าง

ตารางที่ ก.1 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีอิฐมอญเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 1 พื้นที่ใช้สอย 8,500 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	45.09	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	211.26	kg/m^2
ทราย	432.21	kg/m^2
หิน	806.32	kg/m^2
น้ำประปา	102.41	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	0.22	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	1.64	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.71	kg/m^2
อิฐมอญ	21.91	kg/m^2

ตารางที่ ก.2 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีอิฐมอญเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 2 พื้นที่ใช้สอย 8,844 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	41.85	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	171.48	kg/m^2
ทราย	352.61	kg/m^2
หิน	647.32	kg/m^2
น้ำประปา	84.09	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	0.19	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	1.55	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.84	kg/m^2
อิฐมอญ	30.27	kg/m^2

ตารางที่ ก.3 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 3 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	50.33	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	207.91	kg/m^2
ทราย	468.51	kg/m^2
หิน	620.86	kg/m^2
น้ำประปา	124.09	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	1.87	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	13.71	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	7.7	kg/m^2
อิฐมอญ	83.77	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	51.22	kg/m^2

ตารางที่ ก.4 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 4 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	50.01	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	207.11	kg/m^2
ทราย	467.42	kg/m^2
หิน	615.71	kg/m^2
น้ำประปา	123.99	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	1.91	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	13.97	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	7.43	kg/m^2
อิฐมอญ	87.35	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	51.22	kg/m^2

ตารางที่ ก.5 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 5 พื้นที่ใช้สอย 4,850 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	110.93	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	203.40	kg/m^2
ทราย	406.79	kg/m^2
หิน	813.58	kg/m^2
น้ำประปา	93.56	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	6.99	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	24.18	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.33	kg/m^2

ตารางที่ ก.6 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบที่มีแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 6 พื้นที่ใช้สอย 8,600 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	98.59	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	144.30	kg/m^2
ทราย	349.29	kg/m^2
หิน	698.58	kg/m^2
น้ำประปา	80.34	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	7.18	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	23.95	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.49	kg/m^2

ตารางที่ ก.7 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 7 พื้นที่ใช้สอย 64,445 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	72.74	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	202.61	kg/m^2
ทราย	444.98	kg/m^2
หิน	651.33	kg/m^2
น้ำประปา	114.68	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	3.90	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	10.43	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.63	kg/m^2
อิฐมอญ	41.81	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	54.8	kg/m^2

ตารางที่ ก.8 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 8 พื้นที่ใช้สอย 61,400 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	74.47	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	213.46	kg/m^2
ทราย	478.96	kg/m^2
หิน	645.75	kg/m^2
น้ำประปา	126.29	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	0.81	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	7.66	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	3.16	kg/m^2
อิฐมอญ	33.07	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	42.16	kg/m^2

ตารางที่ ก.9 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 9 พื้นที่ใช้สอย 58,680 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	88.84	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	210.57	kg/m^2
ทราย	427.72	kg/m^2
หิน	815.92	kg/m^2
น้ำประปา	100.42	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	4.47	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	13.26	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	2.12	kg/m^2
อิฐมอญ	55.50	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	38.87	kg/m^2

ตารางที่ ก.10 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 10 พื้นที่ใช้สอย 30,600 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	63.02	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	265.56	kg/m^2
ทราย	613.87	kg/m^2
หิน	713.20	kg/m^2
น้ำประปา	166.84	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	3.80	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	9.73	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	5.97	kg/m^2
อิฐมอญ	54.54	kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	31.71	kg/m^2

ตารางที่ ก.11 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 11 พื้นที่ใช้สอย 28,900 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	71.44	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	417.23	kg/m^2
ทราย	857.76	kg/m^2
หิน	1575.74	kg/m^2
น้ำประปา	204.51	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	1.67	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	17.31	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	5.22	kg/m^2
อิฐมอญ	103.36	kg/m^2

ตารางที่ ก.12 วัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูงที่มีแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ข้อมูลที่ 12 พื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2

รายการ	Input	หน่วย
เหล็ก	64.03	kg/m^2
ปูนซีเมนต์	334.49	kg/m^2
ทราย	681.70	kg/m^2
หิน	1287.07	kg/m^2
น้ำประปา	160.74	L/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	1.43	kg/m^2
กระเบื้องเซรามิก	13.48	kg/m^2
กระจกเขียวตัดแสง	4.85	kg/m^2
อิฐมอญ	61.07	kg/m^2

ภาคผนวก ข
รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้าง

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ ข้อมูลที่ 1 พื้นที่ใช้สอย 8,500 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	400	2,400
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	200	800
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	2	150	465
- เครื่องผสมปูน	2,610	3	250	1,958
- สว่าน	450	3	400	540
- เครื่องสกัด	1,500	3	400	1,800
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	400	1,200
- กบไฟฟ้า	450	2	200	180
- เครื่องเป่าลม	600	2	400	480
- เครื่องเซาะ	1,400	3	400	1,680
คอนกรีต	1,300	1	250	325
- เครื่องตัดคอนกรีต	150	2	400	120
- ปั๊มน้ำ				
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,600	9,600
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	1,000	6,000
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	400	1,860
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	1,600	8,352
- สว่าน	450	3	600	810
- เครื่องสกัด	1,500	3	600	2,700
- เครน	32947	7	1,400	46,125.8
- กบไฟฟ้า	450	3	600	540
- เครื่องเป่าลม	600	4	800	96
- เครื่องเซาะ	1,400	5	1,000	2,800
คอนกรีต	1,300	2	400	520
- เครื่องตัดคอนกรีต	150	5	1,000	300
- ปั๊มน้ำ	1,500	4	800	240

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ ข้อมูลที่ 1 พื้นที่ใช้สอย 8,500 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	400	2,400
- สว่าน	450	3	400	540
- เครื่องสกัด	1,500	3	400	1,800
- กบไฟฟ้า	450	2	200	180
- เครน	32,947	1	1,400	46,125.80
- กบไฟฟ้า	450	3	660	594
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	3	400	1,848
- เครื่องดัดเหล็ก	1,300	2	800	2,400
			รวม	131,887.02

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ ข้อมูลที่ 2 พื้นที่ใช้สอย 8,844 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	320	1,920
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	320	1,920
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	320	1,488
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	320	1,670
- สว่าน	450	3	320	432
- เครื่องสกัด	1,500	3	320	1,440
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	200	600
- กบไฟฟ้า	450	2	320	288
- เครื่องเป่าลม	600	1	120	72
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	3	200	840
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	320	416
- ปั๊มน้ำ	150	2	320	96
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,760	10,560
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	1,100	6,600
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	440	2,046
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	1,760	9,187.2
- สว่าน	450	3	660	891
- เครื่องสกัด	1,500	3	660	2,970
- เครน	32947	7	1,540	50,738.38
- เครื่องเป่าลม	600	4	880	1,056
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	5	1,100	3,080
- ปั๊มน้ำ	150	5	1,100	165
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	4	880	2,640

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นอิฐมอญ ข้อมูลที่ 2 พื้นที่ใช้สอย 8,844 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,320	7,920
- เครื่องผสมปูน	2,610	1	1,100	2,871
- สว่าน	450	3	660	891
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	1	440	660
- เครน	32,947	1	660	21,745.02
- กบไฟฟ้า	450	2	660	594
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	2	660	1,848
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	2	440	1,320
			รวม	138,964.6

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 3 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	240	1,440
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	160	960
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	120	558
- เครื่องผสมปูน	2,610	3	320	2,508
- สว่าน	450	2	120	108
- เครื่องสกัด	1,500	3	120	540
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	200	600
- กบไฟฟ้า	450	1	320	10,543
- เครื่องเป่าลม	600	1	120	72
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	3	320	1,344
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	3	200	780
- ปั๊มน้ำ	150	2	102	36
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,200	7,200
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	750	4,500
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	1,200	5,580
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	1,200	6,264
- เครื่องสกัด	1,500	3	1,200	5,400
- เครน	32947	1	1,050	1,050
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	2	1,200	1,200
- ปั๊มน้ำ	150	1	750	750
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	1	600	600

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบวัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 3 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,554	9,392
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	1,554	6,216
- สว่าน	450	4	518	932.40
- เครื่องสกัด	1,560	2	777	2,424.24
- เครน	32,947	1	777	25,599.82
- กบไฟฟ้า	450	2	777	699.3
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	2	518	1,554
			รวม	134,150.13

ตารางที่ ข.4 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 4 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	240	1440
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	160	960
- เครื่องผสมปูน	2,610	3	200	1,568
- เครื่องสกัด	1,500	3	120	540
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	200	600
- เครน	32,947	1	320	10,543
- เครื่องเป่าลม	600	1	120	72
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	3	80	336
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	3	200	780
- ปั๊มน้ำ	150	2	120	36
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,200	7,200
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	750	4,500
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	1,200	5,580
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	1,200	6,264
- เครื่องสกัด	1,500	3	1,200	5,400
- เครน	32,947	1	1,050	34,594.35
- กบไฟฟ้า	150	2	1,200	1,080
- เครื่องเป่าลม	600	2	1,200	1,440
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	1,200	1,560
- ปั๊มน้ำ	150	1	1,200	180
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	1	1,200	3,600

ตารางที่ ข.4 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบวัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 4 พื้นที่ใช้สอย 10,000 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,554	9,324
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	1,554	6,216
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	1,295	6,759.9
- สว่าน	450	4	518	932.4
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	1	518	777
- เครน	32,947	1	777	25,599.82
- กบไฟฟ้า	450	2	777	699.3
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	1	518	777
			รวม	139,966.11

ตารางที่ ข.5 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 5 พื้นที่ใช้สอย 4,850 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	270	1,620
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	180	1,080
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	135	628
- เครื่องผสมปูน	2,613	2	225	1,176
- สว่าน	450	1	135	61
- เครื่องสกัด	1,500	3	135	608
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	225	675
- เครื่องเป่าลม	600	1	135	81
- เครื่องเซาะคอนกรีต	14,000	3	90	3,780
- ปั๊มน้ำ	150	2	135	41
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	930	558
- เครื่องสกัด	1,500	1	558	837
- เครน	32,947	1	930	30,640.71
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	372	483.6

ตารางที่ ข.5 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 5 พื้นที่ใช้สอย 4,850 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	1	1295	3,885
- สว่าน	450	1	777	350
- เครน	32,947	1	1295	42,666
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	2	2072	6,216
			รวม	101,106.03

ตารางที่ ข.6 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบ วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 6 พื้นที่ใช้สอย 8,600 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	400	2,400
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	400	2,400
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	2	400	1,240
- เครื่องผสมปูน	2,613	2	400	1,090
- สว่าน	450	1	250	113
- เครื่องสกัด	1,500	3	360	1,620
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	400	1,200
- เครื่องเป่าลม	600	1	400	240
- เครื่องเซาะคอนกรีต	14,000	2	250	700
- ปั๊มน้ำ	150	2	250	75
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,000	6,000
- เครน	32,947	1	1,600	52,715.20
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	2	800	2,400

ตารางที่ ข.6 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวราบวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 6 พื้นที่ใช้สอย 8,600 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	1,400	8,400
- สว่าน	450	2	1,400	1,260
- เครน	32,947	1	1,400	46,126
- กบไฟฟ้า	450	2	2,240	2,016
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	1	1,400	2,100
			รวม	139,394

ตารางที่ ข.7 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 7 พื้นที่ใช้สอย 64,445 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	5	496	7,440
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	496	2,976
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	5	496	3,844
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	496	2,589.12
- สว่าน	450	7	496	1,562.40
- เครื่องสกัด	1,500	3	496	2,232
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	6	496	4,464
- เครน	32,947	1	496	16,341.71
- เครื่องเป่าลม	600	2	310	272
- เครื่องเซาะ	1,400	2	496	1,388.80
คอนกรีต	1,300	6	496	3,868.80
- เครื่องตัดคอนกรีต	150	2	496	148.80
- ปั๊มน้ำ				
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	4	2,680	32,160
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	2,680	10,720
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	2	2,680	8308
- เครื่องผสมปูน	2,610	3	2,680	20,984.4
- สว่าน	450	5	2,680	6030
- เครื่องสกัด	1,500	5	2,680	20,100
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	4	2,680	16,080
- เครน	32,947	2	2,680	17,595.92
- กบไฟฟ้า	450	3	2,680	3,618
- เครื่องเป่าลม	600	4	2,680	6,432
- เครื่องเซาะ	1,400	5	2,680	18,760
คอนกรีต	1,300	3	2,680	10,452

- เครื่องตัดคอนกรีต	15	2	2,680	804

ตารางที่ ข.7 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 7 พื้นที่ใช้สอย 64,445 m^2

ขั้นตอน	**กำลังไฟฟ้า (W)**	**จำนวน (เครื่อง)**	**เวลาการทำงาน (Hr)**	**พลังงานไฟฟ้า (kWh)**
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	3	2,896	26,064
- สว่าน	450	4	2,896	5,242.80
- เครน	32,947	2	2,896	190,829.02
- กบไฟฟ้า	450	1	2,896	1,303.20
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	2	2,896	8,688
			รวม	605,368.97

ตารางที่ ข.8 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 8 พื้นที่ใช้สอย 61,400 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	640	3,840
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	640	3,840
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	4	640	3,968
- เครื่องผสมปูน	2,610	3	640	5,011
- สว่าน	450	4	640	1,152
- เครื่องสกัด	1,500	5	640	4,800
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	3	640	2,880
- เครน	32,947	1	640	21,086
- กบไฟฟ้า	450	3	640	864
- เครื่องเป่าลม	600	2	640	768
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	2	640	1,664
- ปั๊มน้ำ	150	2	640	192
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	4,320	25,920
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	4,320	17,280
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	1	4,320	6,696
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	4,320	22,550
- สว่าน	450	2	4,320	3,888
- เครื่องสกัด	1,500	1	4,320	6,480
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	1	4,320	6,480
- เครน	32,947	2	4,320	28,4662
- กบไฟฟ้า	450	2	4,320	3,888
- เครื่องเป่าลม	600	1	4,320	2,592
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	4,320	5,616
- ปั๊มน้ำ	150	1	4,320	648

ตารางที่ ข.8 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 8 พื้นที่ใช้สอย 61,400 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	3,600	21,600
- สว่าน	450	3	3,600	4,860
- เครน	32,947	2	3,600	237,218.4
- กบไฟฟ้า	450	3	3,600	4,860
- เครื่องดัดเหล็ก	1,500	2	3,600	10,800
			รวม	716,103.40

ตารางที่ ข.9 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 9 พื้นที่ใช้สอย 58,680 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	520	3,120
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	3	520	3,120
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	5	520	4,030
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	520	2,714.40
- สว่าน	450	6	520	1,404
- เครื่องสกัด	1,500	3	520	2,340
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	520	1,560
- เครน	32,947	1	520	17,132.44
- กบไฟฟ้า	450	4	520	936
- เครื่องเป่าลม	600	2	520	624
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	4	520	2,912
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	3	520	2,028
- ปั๊มน้ำ	150	2	520	156
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	3,016	18,096
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	3,016	12,064
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	4	3,016	18,699.20
- เครื่องผสมปูน	2,610	2	3,016	15,743.52
- สว่าน	450	4	3,016	5,428.80
- เครื่องสกัด	1,500	3	3,016	13,572
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	3,016	9,048
- เครน	32,947	2	3,016	198,736.30
- กบไฟฟ้า	450	4	3,016	5,428.80
- เครื่องเป่าลม	600	1	3,016	1,809.60
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	2	3,016	8,444.80
- ปั๊มน้ำ	150	3	3,016	1,357.20

ตารางที่ ข.9 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา ข้อมูลที่ 9 พื้นที่ใช้สอย 58,680m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	3,120	18,720
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	3,120	12,480
- สว่าน	450	3	3,120	4,212
- เครน	32,947	2	1,950	128,493.30
- กบไฟฟ้า	450	2	3,120	2,808
			รวม	525,059.96

ตารางที่ ข.10 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 10 พื้นที่ใช้สอย 30,600 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	560	3,360
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	560	2,240
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	3	560	2,604
- เครื่องผสมปูน	2,613	3	560	4,384.80
- สว่าน	450	4	560	1,008
- เครื่องสกัด	1,500	3	560	2,520
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	2	560	1,680
- เครน	32,947	1	560	18,450.32
- เครื่องเป่าลม	600	3	560	1,008
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	2	560	1,568
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	560	728
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	2,275	13,650
- เครื่องตัดไฟเบอร์	32,947	2	2,275	9,100
- เครน	1,1ม300	2	3,640	239,854.16
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	1,820	2,366
- ปั๊มน้ำ	150	1	1,820	204.75

ตารางที่ ข.10 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 10
พื้นที่ใช้สอย 30,600 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	3,600	21,600
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	2,250	9,000
- สว่าน	450	4	1,350	2,430
- เครน	32,947	2	1,350	88,956.90
- กบไฟฟ้า	1,500	2	900	810
			รวม	427,522.93

ตารางที่ ข.11 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 11
พื้นที่ใช้สอย 28,900 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	616	3,696
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	616	2,464
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	5	616	4,774
- เครื่องผสมปูน	2,613	2	616	3,215.52
- สว่าน	450	5	616	1,386
- เครื่องสกัด	1,500	2	616	1,848
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	5	616	4,620
- เครน	32,947	1	616	20,295.35
- กบไฟฟ้า	450	4	616	1,108.8
- เครื่องเป่าลม	600	2	616	739.2
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	2	616	1,724.80
- ปั๊มน้ำ	150	1	616	92.4
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	1	3,176	9,528
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	1	3,176	4,764
- เครน	32,947	2	3,176	209,279.34
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	3,176	4,128.80

ตารางที่ ข.11 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 11
พื้นที่ใช้สอย 28,900 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	1	3,600	10,800
- สว่าน	450	2	3,600	3,240
- เครน	32,947	2	1,350	88,956.90
- กบไฟฟ้า	450	1	3,600	1,620
			รวม	378,281.11

ตารางที่ ข.12 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 12
พื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1. งานฐานรากและเสาเข็ม				
- ตู้เชื่อม	3,000	2	616	3,696
- เครื่องตัดไฟเบอร์	2,000	2	616	2,464
- เครื่องจี้คอนกรีต	1,550	5	616	4,774
- เครื่องผสมปูน	2,613	2	616	3,215.52
- สว่าน	450	5	616	1,386
- เครื่องสกัด	1,500	2	616	1,848
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	5	616	4,620
- เครน	32,947	1	616	20,295.35
- กบไฟฟ้า	450	4	616	1,108.8
- เครื่องเป่าลม	600	2	616	739.2
- เครื่องเซาะคอนกรีต	1,400	2	616	1,724.80
- ปั๊มน้ำ	150	1	616	92.4
2. งานโครงสร้างอาคาร				
- ตู้เชื่อม	3,000	1	3,176	9,528
- เครื่องตัดเหล็ก	1,500	1	3,176	4,764
- เครน	32,947	2	3,176	209,279.34
- เครื่องตัดคอนกรีต	1,300	1	3,176	4,128.80

ตารางที่ ข.12 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ประเภทแนวสูง วัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อมูลที่ 12
พื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2 (ต่อ)

ขั้นตอน	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน (เครื่อง)	เวลาการทำงาน (Hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. งานสถาปัตย์				
- ตู้เชื่อม	3,000	1	3,600	10,800
- สว่าน	450	2	3,600	3,240
- เครน	32,947	2	1,350	88,956.90
- กบไฟฟ้า	450	1	3,600	1,620
			รวม	378,281.11

ภาคผนวก ค
รายการค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ ค.1 รายการคำนวณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 m^2 จากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ที่มีวัสดุหลักเป็นอิฐมอญ (จำนวน 2 ข้อมูล)

รายการ	จำนวน	หน่วย	EF	$kgCO_2e / m^2$	ขอบเขต	แหล่งอ้างอิง
เหล็ก	43.55	kg/ m^2	1.7600	76.64	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ปูนซีเมนต์	191.72	kg/ m^2	0.3750	71.89	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ทราย	393.11	kg/ m^2	0.0037	1.45	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
หิน	728.13	kg/ m^2	0.0087	6.55	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
น้ำประปา	93.42	L/ m^2	0.0003	0.03	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ฝ้ายิปซั่ม	0.21	kg/ m^2	0.3460	0.07	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระเบื้องเซรามิก	1.60	kg/ m^2	0.7630	1.22	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระจก	2.78	kg/ m^2	1.1870	3.29	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
อิฐมอญ	59.52	kg/ m^2	0.2414	14.36	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
คอนกรีตมวลเบา	N.A.	kg/ m^2	0.0630	N.A.	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ไฟฟ้า	15.62	kWh/ m^2	0.6093	9.52	Gate-to-Gate	CFP Guideline
น้ำมันดีเซล	6.00	L/ m^2	0.3282	1.97	Gate-to-Gate	CFP Guideline

หมายเหตุ

ขอบเขต Cradle-to-Gate พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิต (Production Process) เพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้น โดยไม่มีการพิจารณากระบวนการขนส่ง

ตารางที่ ค.2 รายการคำนวณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 m^2 จากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ที่มีวัสดุหลักเป็นคอนกรีตมวลเบา (จำนวน 5 ข้อมูล)

รายการ	จำนวน	หน่วย	EF	$kgCO_2e / m^2$	ขอบเขต	แหล่งอ้างอิง
เหล็ก	84.64	kg/ m^2	1.7600	148.96	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ปูนซีเมนต์	227.31	kg/ m^2	0.3750	85.24	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ทราย	500.14	kg/ m^2	0.0037	1.85	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
หิน	727.13	kg/ m^2	0.0087	6.54	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
น้ำประปา	129.15	L/ m^2	0.0003	0.04	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ฝ้ายิปซั่ม	2.66	kg/ m^2	0.3460	0.92	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระเบื้องเซรามิก	12.48	kg/ m^2	0.7630	9.52	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระจก	4.41	kg/ m^2	1.1870	5.22	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
อิฐมอญ	63.21	kg/ m^2	0.2414	15.26	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
คอนกรีตมวลเบา	51.64	kg/ m^2	0.0630	3.25	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ไฟฟ้า	11.86	kWh/ m^2	0.6093	7.23	Gate-to-Gate	CFP Guideline
น้ำมันดีเซล	4.91	L/ m^2	0.3282	2.37	Gate-to-Gate	CFP Guideline

หมายเหตุ

Cradle-to-Gate พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิต (Production Process) เพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้นโดยไม่มีการพิจารณากระบวนการขนส่ง

ตารางที่ ค.3 รายการคำนวณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอย 1 m^2 จากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย ที่มีวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป (จำนวน 5 ข้อมูล)

รายการ	จำนวน	หน่วย	EF	$kgCO_2e / m^2$	ขอบเขต	แหล่งอ้างอิง
เหล็ก	84.20	kg/ m^2	1.7600	148.20	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ปูนซีเมนต์	280.17	kg/ m^2	0.3750	105.06	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ทราย	597.34	kg/ m^2	0.0037	2.21	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
หิน	1,049.89	kg/ m^2	0.0087	9.45	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
น้ำประปา	145.39	L/ m^2	0.0003	0.04	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
ฝ้ายิปซั่ม	2.24	kg/ m^2	0.3460	1.47	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระเบื้องเซรามิก	19.24	kg/ m^2	0.7630	14.68	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
กระจก	4.15	kg/ m^2	1.1870	4.92	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
อิฐมอญ	45.63	kg/ m^2	0.2414	11.02	Cradle-to-Gate	CFP Guideline
คอนกรีตมวลเบา	6.34	kg/ m^2	0.0630	0.40	Cradle-to-Gate	SimaPro 7.1
ไฟฟ้า	15.58	kWh/ m^2	0.6093	9.49	Gate-to-Gate	CFP Guideline
น้ำมันดีเซล	5.37	L/ m^2	0.3282	3.11	Gate-to-Gate	CFP Guideline

หมายเหตุ

Cradle-to-Gate พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิต (Production Process) เพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้น โดยไม่มีการพิจารณากระบวนการขนส่ง

ภาคผนวก ง

รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus ในส่วนปริมาณความร้อนผ่านผนัง (Heat Gain)

ตารางที่ ง.1 ปริมาณความร้อนผ่านผนังห้องจำลอง ขนาด 42.68 m^2

เดือน	ปริมาณความร้อนผ่านผนัง (kWh)		
	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีต
ม.ค.	480.80	447.10	834.01
ก.พ.	474.80	444.80	826.13
มี.ค.	598.96	559.52	1038.61
เม.ย.	665.12	623.81	1126.84
พ.ค.	642.56	604.58	1075.97
มิ.ย.	609.41	571.88	1038.03
ก.ค.	584.90	549.27	990.93
ส.ค.	539.06	508.10	911.27
ก.ย.	504.86	476.44	858.42
ต.ค.	521.43	488.99	882.41
พ.ย.	497.83	466.25	859.12
ธ.ค.	441.08	413.42	774.77

ภาคผนวก จ

รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus ในส่วนภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling Load)

ตารางที่ จ.1 ปริมาณความร้อนผ่านผนังห้องจำลอง ขนาด 42.68 m^2

เดือน	ปริมาณความร้อนผ่านผนัง (kWh)		
	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีต
ม.ค.	-76.80	-75.53	-95.48
ก.พ.	-82.07	-83.61	-100.91
มี.ค.	-118.15	-115.35	-142.69
เม.ย.	-135.73	-131.27	-156.92
พ.ค.	-121.67	-119.45	-143.13
มิ.ย.	-112.16	-110.42	-134.45
ก.ค.	-100.96	-101.21	-121.64
ส.ค.	-83.43	-84.19	-102.83
ก.ย.	-84.41	-85.27	-103.31
ต.ค.	-80.29	-81.67	-99.62
พ.ย.	-79.96	-81.01	-99.75
ธ.ค.	-66.92	-70.41	-84.88

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวรณิดา ปานทอง
วัน เดือน ปีเกิด	27 กรกฎาคม 2531
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีศรีน่าน ปีการศึกษา 2550
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2554
ระดับปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2557
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	งบประมาณอุดหนุนการศึกษาวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ทุนอุดหนุนการวิจัยของนักศึกษา จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ประจำปีงบประมาณ 2555 ทุนอุดหนุนวิจัยโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Ranida Panthong, Pattana Rakkwamsuk and Siriluk Chiarakorn, 2013, “Greenhouse Gas Emission from Condominium Construction in Thailand”, **International Conference on Southeast Asian Weather and Climate 2013**, Le meridien Convention hall, Chiang mai, Thailand, November 27-29, p. 56.