บ้านต้นแบบที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก

โดย
นางสาววีรยา ปิยะตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

บ้านต้นแบบที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก

โดย
นางสาววีรยา ปิยะตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE PROTOTYPE OF POSITIVE ENERGY HOUSE

By

MISS Weeraya PIYATRAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Architecture (Architecture)

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2020

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	บ้านต้นแบบที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก
โดย	วีรยา ปิยะตระกูล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (ออกแบบสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

---------- ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมลศิริ ประจงสาร)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

---------- ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ)

60054206 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : บ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก, การออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก, แนวทางปรับปรุงบ้านพลังงานเป็นบวก

นางสาว วีรยา ปิยะตระกูล: บ้านต้นแบบที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

สาเหตุของปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ส่วนหนึ่งเกิดจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในภาคอาคาร ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นหากสามารถออกแบบบ้านให้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เพียงพอสำหรับใช้ในอาคาร และยังมีเหลือพอสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) ด้วย ก็จะช่วยให้เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาศักยภาพของบ้านเดี่ยวในปัจจุบันในการพัฒนาให้เป็น “บ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก” (Net Positive Energy House) ที่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอสำหรับกิจกรรมต่างๆ ภายในบ้านและการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1 คัน โดยเป็นการพิจารณาความต้องการใช้และผลิตพลังงานในรอบระยะเวลาหนึ่งปี การดำเนินงานเริ่มจากการทบทวนความหมาย การศึกษาขั้นตอนและวิธีการออกแบบ จากนั้นเลือกบ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานที่เป็นบ้านต้นแบบจำนวน 2 หลัง ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยใกล้เคียงกัน คือประมาณ 200 ตร.ม. ที่มีแนวคิดในการออกแบบแตกต่างกัน ได้แก่ บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งออกแบบเน้นการพึ่งพาธรรมชาติ และบ้านเสนา Oxy Smart ซึ่งเป็นบ้านจัดสรรที่สร้างด้วยระบบคอนกรีตสำเร็จรูป เน้นการอยู่อาศัยแบบปรับอากาศ สร้างขายพร้อมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) บนหลังคาของหมู่บ้านเสนา พาร์ค วิลล์ นำมาจำลองหาพลังงานที่ใช้ภายในบ้านโดยใช้หลายวิธีวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน และนำค่าที่ได้มารวมกับพลังงานในการชาร์จรถยนต์ EV ได้เป็นค่าพลังงานรวมเป้าหมายที่ต้องผลิตจากแผง PV บนหลังคาบ้าน ในการประเมินพลังงานที่ผลิตได้จากแผง PV ได้ใช้โปรแกรม PV Watts Calculator ผลการศึกษาพบว่า บ้านทั้ง 2 หลัง สามารถเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกได้ โดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงแบบ เพราะมีพื้นที่หลังคาเพียงพอต่อการติดตั้ง PV ตามขนาดที่ต้องการ อยู่ในช่วง 9.50-10.26 kW_p ซึ่งรวมพลังงานการชาร์จรถยนต์ EV 1 คัน จำนวน 6,110 kWh/yr ไว้แล้ว และเมื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงแนวทางการลดเงินลงทุนในการติดตั้ง PV โดยการเปลี่ยนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตามแบบเป็นหลอดไฟ LED พบว่า สามารถลดขนาดติดตั้ง PV เหลือ 8.36-9.5 kW_p สำหรับค่าการผลิตพลังงานสูงสุดจากแผง PV บนหลังคาอยู่ที่ 15.58 kW_p และ 21.66 kW_p ตามลำดับ จึงได้ทดลองออกแบบหลังคาของบ้านเสนาจากทรงปั้นหยาเป็นทรงเพิงหมาแหงน ลาดเอียง 30° ไปทางทิศใต้ พบว่าสามารถเพิ่มให้มีการติดตั้ง PV สูงสุดได้ เป็น 29.26 kW_p นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปรับปรุงบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานบวก ที่สามารถลดการใช้พลังงานได้ 23-35% ทำให้มีค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน หรือ EUI อยู่ที่ 23 $kWh/m^2/yr$ ซึ่งเพียงพอที่การติดตั้ง PVs 380 W ประสิทธิภาพ 19% ประมาณ 3.42 kW_p ครอบคลุมอัตราการใช้งานทั้งหมดใน 1 ปี และเมื่อรวมพลังงานที่ต้องการสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน ในรอบปี จะต้องติดตั้ง PVs เพิ่มอีก 4.94 kW_p รวมที่ประมาณ 8.36 kW_p และมีศักยภาพในผลิตไฟฟ้ารองรับประโยชน์จากการขายไฟฟ้าในอนาคตสูงสุดที่ 23.56-25.08 kW_p จากเดิม 15.58-21.66 kW_p โดยทำการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารให้มีค่า U-value ช่วงประมาณ 0.561-0.959 $W/m^2 \cdot K$ ใช้กระจกอินฉนวน 2 ชั้น ค่า U-value ไม่เกิน 0.63 $W/m^2 \cdot K$, SHGC = 0.44 ลด WWR ทางทิศตะวันออก-ตะวันตก ใช้หลังคาปั้นหยาระยะชายคาระหว่าง 1.2-1.5 ม. ที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้ฝ้าเพดานหนา 15 ซม. ค่า R = 2.27 $m^2 \cdot K/W$ และการใช้แสงธรรมชาติในบ้าน 60-75% ของจำนวนห้องทั้งหมดในบ้าน

60054206 : Major (Architecture)

Keyword : Net Positive Energy House, Positive Energy House Design Strategies, Development toward Net Positive Energy House

MISS WEERAYA PIYATRAKUL : THE PROTOTYPE OF POSITIVE ENERGY HOUSE THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR DOCTOR OF PHILOSOPHY PANTUDA PUTHIPIROJ

Climate change stems from carbon dioxide released from electricity generation, transportation, and industrial sectors. If buildings can produce electricity from renewable sources such as solar energy in the amount that can cover household usage and electric vehicle (EV) charging, it will contribute to decreasing fossil fuel usage, and consequently would alleviate the problem of global warming. This research aims to investigate the possibility of the present house design to be developed as "Net Positive Energy Houses", producing more energy than they consume, and can support one EV charging within one year. The study started from literature review of the definitions, key design factors, analysis of energy consumption and generation. Two prototype houses with different design concepts were selected. Both have similar floor area around 200 m^2. The first one was the DEDE Rak Fah 2, an energy conservation house developed by the Ministry of Energy, designed based on a passive design concept. The second one was the SENA Oxy smart with prefabricated construction systems, equipped with air conditioners and PVs on the roof, located in SENA Park Ville. The estimation of energy consumption were compared among different methods. The results showed that it required the PV installation of both houses 9.50-10.26 kW_p for the whole-building energy and one EV charging. The energy for one EV was 6,110 kWh/yr. The study also further investigated the reduction of PV installation cost by using LED lamps instead of fluorescent lamps, reducing total PV installation to 8.36-9.5 kW_p. The maximum potential of PV installation, Sena house can be installed less PV than that of Dede house with 15.58 kW_p and 21.66 kW_p consecutively. Then the lean-to roof slope 15^o (toward Southern) was designed instead of the hip roof, the result indicated the PV installation can increase to 29.26 kW_p. In addition, the study also improved the prototype houses toward net positive house for new construction that is 23-35% energy saving with EUI 23 $kWh/m^2/yr$. All energy consumption include 3.42 kW_p PVs installed while including 1 EV charge around year is plus 4.94 kW_p PVs installed to be 8.36 kW_p for positive energy target. The maximum potential of PVs installation, which could be benefit from selling electricity through grid in the future. It was found that the PV installed capacity can increase 15.58-21.66 kW_p to 23.56-25.08 kW_p. By improving building envelope that is U-value around 0.561-0.959 $W/m^2 \cdot K$, insulating glass U-value not exceed 0.63 $W/m^2 \cdot K$, SHGC = 0.44, reducing southern and western WWR, hip roof with overhang eaves 1.2-1.5 m., ceiling insulation (15 cm.) R = 2.27 $m^2 \cdot K/W$ and using natural daylighting 60-75% of the total room.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ. ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิมลสิริ ประจงสาร ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์และ รศ. รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้ความร่วมมือที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอบคุณ คุณแม่ชญาภัทร กี่อาริโย ที่ช่วยเหลือสถานที่ทำงาน ที่พักอาศัย อย่างอบอุ่น ตลอดระยะเวลาการทำงานและสนับสนุนอุปกรณ์การศึกษา

ขอบคุณ นายณธร สุทธิมิตร อำนวยความสะดวกเรื่องอาหาร การเดินทาง เป็นที่ปรึกษาตลอดการการทำวิทยานิพนธ์และการทำงาน

ขอบคุณ ครอบครัวบุญโกศล ที่เคยให้ที่พักพิงและสนับสนุนตั้งแต่มาทำงานจนศึกษาต่อที่กรุงเทพมหานคร

ขอบคุณบริษัทที่เคยจ้างงาน และร่วมงาน โดยตอบแทนเป็นรายได้สนันสนุนช่วยเหลือในการดำรงชีวิตขณะศึกษาต่อ

ขอบคุณ นายยูณสิทธิ์ พุฒิพิริยะ รุ่นพี่สาขาวิชาอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำชี้แนะข้อมูลที่เป็นประโยชน์และเป็นที่ปรึกษามาโดยตลอด

ขอบคุณ นายรัฐภัทร์ อุปละ และเพื่อนร่วมรุ่นสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาอนุรักษ์พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัยศิลปากรทุกคน ที่ร่วมศึกษาและช่วยเหลือเรื่อยมา

ขอบคุณอุปสรรคที่เป็นแรงผลักดันให้เข้มแข็ง และต่อสู้มาจนสำเร็จ

และสุดท้ายนี้ขอบพระคุณพ่อยุทธนา คุณแม่เจียมจิตต์ และครอบครัวปิยะตระกูลทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ เข้าใจ และสนับสนุนมาโดยตลอดตั้งแต่การศึกษา การใช้ชีวิต การทำงาน กระทั่งจบการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตในครั้งนี้

วีรยา ปิยะตระกูล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 18

1.1 ความเป็นมาและปัญหา 18

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา 19

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 19

1.4 ขอบเขตการศึกษา 19

1.5 วิธีดำเนินการศึกษา 20

1.6 กรอบแนวคิดการออกแบบ 21

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ 22

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 22

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานออกแบบวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

2.1 นิยามของอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกและอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 23

2.2 แนวทางการออกแบบอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เพื่อพัฒนาสู่อาคารที่มีพลังงานเป็นบวก 26

2.3 วิธีการประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคาร 33

2.4 วิธีการกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงาน (Energy Generation Target) 42

2.5 กรณีศึกษาอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกในประเทศและต่างประเทศ 43
บทที่ 3 วิธีการออกแบบ 53
3.1 แนวทางการออกแบบ 53
3.2 เครื่องมือการวิเคราะห์ผลงานออกแบบ 53
3.3 การรวบรวมข้อมูล 54
3.4 ตัวแปรในการศึกษา 55
3.5 ขั้นตอนการศึกษา.....55
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล 76
4.1 ผลการปรับปรุงลดค่าการใช้พลังงานของบ้านทั่วไป 76
4.2 ผลการการติดตั้ง PVs ของบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก 80
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่.....82
4.4 ผลลัพธ์ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก 101
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา 104
5.1 สรุปวิธีการตรวจสอบค่าพลังงาน.....104
5.2 สรุปผลการตรวจสอบค่าพลังงานของบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปที่นำมาเป็นบ้านต้นแบบ ในการศึกษาและปรับปรุงให้มีพลังงานเป็นบวก 107
5.3 สรุปวิธีการลดการใช้พลังงาน 108
5.4 108
5.5 สรุปผลการศึกษาแนวทางออกแบบบ้านสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก ที่พัฒนาจากบ้าน ประหยัดพลังงานต้นแบบ 109
5.6 ผลงานการออกแบบ บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก 112
รายการอ้างอิง 125
ภาคผนวก 128
ประวัติผู้เขียน 133

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงระยะยื่นที่เหมาะสมของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนในแต่ละทิศ (ปารวี, 2556) 31

ตารางที่ 2 เกณฑ์การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยในปีต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560).....32

ตารางที่ 3 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-factors) ในขณะที่อาคารมีการใช้พลังงานในพื้นที่ตั้ง (SI units) (ASHRAE, 2018).....37

ตารางที่ 4 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-factors) ในแต่ละองค์ประกอบของเปลือกอาคาร (SI units) (ASHRAE, 2018).....37

ตารางที่ 5 ค่าสูงสุดของความต้านทานความร้อน (R-Value) และความหนาของฉนวนกันความร้อนสำหรับพื้น ค.ส.ล.โครงสร้าง ในขณะที่อาคารมีการใช้พลังงานในพื้นที่ตั้ง (ASHRAE, 2018).....38

ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบต่างๆ (ASHRAE, 2018) 38

ตารางที่ 7 ดัชนีสูงสุดของอัตราการใช้พลังงาน (Maximum ERI) (ASHRAE, 2018).....38

ตารางที่ 8 ตารางการตั้งค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของบ้านต้นแบบอ้างอิง (ASHRAE/IES, 2010) 39

ตารางที่ 9 ข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2560) 42

ตารางที่ 10 ข้อมูลด้านพลังงานของบ้านผีเสื้อ (บ้านผีเสื้อ, 2559).....43

ตารางที่ 11 ข้อมูลกำลังการติดตั้ง PV และพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้จากการศึกษาบ้านโครงการ Zero Energy Certified จาก International Living Future Institute 48

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบข้อมูลบ้านต้นแบบ 2 หลัง.....63

ตารางที่ 13 องค์ประกอบพื้นที่ใช้งานบ้านเสนา Oxy Smart.....63

ตารางที่ 14 องค์ประกอบพื้นที่ใช้งานบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2.....64

ตารางที่ 15 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในการตั้งค่าสำหรับอาคารต้นแบบ (ASHRAE/IES, 2010) 65
ตารางที่ 16 การตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในจำลองพลังงานสูงสุดใน 1 วัน 66
ตารางที่ 17 การตั้งค่าตารางการใช้งานในพื้นที่ (Schedule) และไฟฟ้าอุปกรณ์ (Loads) ใน 1 วัน ...67
ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่า EUI จากวิธีการต่างๆ 69
ตารางที่ 19 ข้อมูลการตั้งค่าผนังกรอบอาคารเพื่อการจำลองพลังงาน 73
ตารางที่ 20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจาก PVs ของบ้านต้นแบบ 76
ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ของบ้านต้นแบบตามเป้าหมายต่างๆ.79
ตารางที่ 22 การปรับปรุงเพิ่มพื้นที่หลังคาและขนาดการติดตั้งสูงสุดของบ้านเสนา Oxy Smart.....80
ตารางที่ 23 การวางแนวอาคารที่สัมพันธ์กับสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวเพื่อลดการใช้พลังงาน....82
ตารางที่ 24 รูปทรงหลังคาที่สัมพันธ์กับสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวเพื่อลดการใช้พลังงาน 85
ตารางที่ 25 การปรับปรุงระยะยื่นชายคาเพื่อลดการใช้พลังงาน.....86
ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2.....87
ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานรวมของบ้านเสนา.....89
ตารางที่ 28 เปรียบเทียบปัจจัยของกรอบอาคารก่อนและหลังการปรับปรุงของบ้านต้นแบบ 2 หลัง 92
ตารางที่ 29 แสดงรายละเอียดประเภทวัสดุผนังที่ใช้ในการออกแบบ 93
ตารางที่ 30 การวิเคราะห์ค่าแสงธรรมชาติ Daylight Autonomy (sDA Preview) บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2.95
ตารางที่ 31 การวิเคราะห์ค่าแสงธรรมชาติ Daylight Autonomy (sDA Preview) บ้านเสนา.....97
ตารางที่ 32 เปรียบเทียบการปรับปรุงการใช้แสงธรรมชาติสำหรับบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และบ้านเสนา99
ตารางที่ 33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพบ้านพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่กับเกณฑ์อื่นๆ 100
ตารางที่ 34 แนวทางการผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์บนหลังคาบ้านพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่.101
ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบข้อมูลการหาค่าพลังงานรวมสำหรับอาคารต้นแบบก่อนปรับปรุง.....127

ตารางที่ 36 องค์ประกอบในการคิดค่า U-value วัสดุกรอบอาคารของบ้านดีดีรักษ์ฟ้าก่อนปรับปรุง 128

ตารางที่ 37 องค์ประกอบในการคิดค่า U-value วัสดุกรอบอาคารของบ้านเสนาก่อนปรับปรุง 129

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนภาพกรอบแนวคิดการออกแบบ.....20

ภาพที่ 2 พีระมิดการออกแบบอาคารอย่างประสิทธิภาพ (Federal Ministry for the Environment, 2016) 23

ภาพที่ 3 แนวคิดการพัฒนาสู่อาคารผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก (กมล, 2561).....23

ภาพที่ 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานในอาคาร (ASHRAE, 2019).....25

ภาพที่ 5 ความเข้มข้นการใช้พลังงานเป้าหมาย (EUI) (ASHRAE, 2019) 26

ภาพที่ 6 รูปทรงอาคารที่เหมาะสมในการออกแบบสำหรับภูมิอากาศแบบอบอุ่น และร้อนชื้น 27

ภาพที่ 7 การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่สอดคล้องกับแต่ละ Climate Zone (ASHRAE, 2019).....28

ภาพที่ 8 การเลือกประเภทของฉนวนกันความร้อนให้สัมพันธ์กับวัสดุเปลือกอาคาร(ASHRAE, 2019) 28

ภาพที่ 9 ค่าการสะท้อนที่พื้นผิววัสดุขั้นต่ำ (ASHRAE, 2019).....28

ภาพที่ 10 ลักษณะและทิศทางการวางแผง PV สำหรับหลังคาแบน (ASHRAE, 2019) 29

ภาพที่ 11 สมการคำนวณการใช้พลังงานของบ้านเดี่ยวโดยกระทรวงพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2560) 33

ภาพที่ 12 การแบ่งกลุ่มกำลังเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยประเภทต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560) 34

ภาพที่ 13 พฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยประเภทต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560) 34

ภาพที่ 14 สรุปการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเดือนของบ้านมาตรฐานกระทรวงพลังงาน.....36

ภาพที่ 15 บ้าน Oxy Smart โครงการจัดสรรเสนา พาร์ค วิลล์ (Sena, 2562) 44

ภาพที่ 16 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 บ้านต้นแบบประหยัดพลังงานเผยแพร่โดยกระทรวงพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560).....45

ภาพที่ 17 แนวคิดการประหยัดพลังงาน และใช้ประโยชน์จากธรรมชาติของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2.....46

ภาพที่ 18 HERS Rating for Homes (BPC, 2021).....50

ภาพที่ 19 แปลนชั้น 1 (บน) แปลนชั้น 2 (ล่าง) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560).....55

ภาพที่ 20 รูปตัดตามขวาง บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) 56

ภาพที่ 21 รูปตัดตามยาว บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) 56

ภาพที่ 22 รูปด้าน 1 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)....57

ภาพที่ 23 รูปด้าน 2 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)...57

ภาพที่ 24 รูปด้าน 3 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)...58

ภาพที่ 25 รูปด้าน 4 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)...58

ภาพที่ 26 แปลนชั้น 1 (บน) แปลนชั้น 2 (ล่าง) ของบ้านเสนา Oxy Smart (Sena, 2562).....59

ภาพที่ 27 รูปตัดตามขวาง บ้านเสนา Oxy Smart 60

ภาพที่ 28 รูปตัดตามยาว บ้านเสนา Oxy Smart.....60

ภาพที่ 29 รูปด้าน 1 บ้านเสนา Oxy Smart 61

ภาพที่ 30 รูปด้าน 2 บ้านเสนา Oxy Smart 61

ภาพที่ 31 รูปด้าน 3 บ้านเสนา Oxy Smart 62

ภาพที่ 32 รูปด้าน 4 บ้านเสนา Oxy Smart 62

ภาพที่ 33 การกรอกข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ในการจำลองพลังงาน.....66

ภาพที่ 34 แสดงการนำเข้าข้อมูล (Input Data) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง 4 วิธี.....71

ภาพที่ 35 แสดง WWR กับสัดส่วนอาคารที่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ต่อปี.....73

ภาพที่ 36 แบบจำลองลักษณะการยื่นชายคา โดยการปรับปรุงวิธีที่ 1 (ซ้าย).....74

ภาพที่ 37 ข้อมูลการใช้และผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า 2 ก่อนและหลังปรับปรุง.....76
ภาพที่ 38 ข้อมูลการใช้และผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบเสนา Oxy Smart ก่อนและหลังปรับปรุง 77
ภาพที่ 39 เปรียบเทียบขนาดการติดตั้ง PV สูงสุดของบ้านเสนาที่ปรับปรุงตามวิธีที่ 4.3.1 (ซ้าย),...81
ภาพที่ 40 โมเดลอาคาร 5 แบบที่สร้างจาก 3 แบบและมีการวางทิศทางที่แตกต่างกัน 82
ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบอิทธิพลของสัดส่วนด้านกว้าง : ยาว 83
ภาพที่ 42 ขนาดสัดส่วนและการวางแนวอาคาร ที่พิจารณาร่วมกับการออกแบบหลังคา.....84
ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบอิทธิพลของสัดส่วนอาคาร ทิศทางการวาง.....85
ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบการลดค่าพลังงานจากการออกแบบชายคาระยะต่างๆ.....86
ภาพที่ 45 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 88
ภาพที่ 46 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมของบ้านเสนา Oxy Smart 89
ภาพที่ 47 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของบ้านต้นแบบ 2 หลัง ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงปัจจัยต่างๆ 90
ภาพที่ 48 ผังชั้น 1 และ 2 (บน) ก่อนปรับปรุง และชั้น 1 และ 2 (ล่าง).....95
ภาพที่ 49 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 1 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 96
ภาพที่ 50 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 2 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 96
ภาพที่ 51 ผังชั้น 1 และ 2 (บน) ก่อนปรับปรุง และชั้น 1 และ 2 (ล่าง) หลังปรับปรุง Daylight บ้านเสนา 97
ภาพที่ 52 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 1 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านเสนา Oxy Smart.....98
ภาพที่ 53 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 2 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านเสนา Oxy Smart.....98
ภาพที่ 54 เปรียบเทียบค่า EUI การออกแบบช่วงต่างๆ.....100
ภาพที่ 55 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก 101
ภาพที่ 56 ลักษณะของการติดตั้งแผง PV แบบเต็มพื้นที่หลังคาสูงสุด 105
ภาพที่ 57 แผนภาพแนวทางการติดตั้ง PVs ให้บ้านมีพลังงานเป็นบวกสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 106

ภาพที่ 58 เปรียบเทียบขนาดการติดตั้ง PVs สูงสุดบนหลังคา (kW) 107
ภาพที่ 59 การปรับปรุงสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวร่วมกับการวางทิศทางของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า....108
ภาพที่ 60 การปรับปรุงสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวร่วมกับการวางทิศทางของบ้านเสนา Oxy Smart 108
ภาพที่ 61 ภาพบ้านต้นบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลังปรับปรุง (ขวา) 109
ภาพที่ 62 ภาพบ้านต้นบ้านเสนา Oxy Smart 2 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลังปรับปรุง (ขวา) 109
ภาพที่ 63 ลักษณะการติดตั้งแผง PVs เต็มพื้นที่หลังคาสูงสุด 111
ภาพที่ 64 ผังพื้นชั้น 1 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 112
ภาพที่ 65 ผังพื้นชั้น 2 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 112
ภาพที่ 66 ผังหลังคา บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 113
ภาพที่ 67 รูปด้านทิศเหนือ (หน้าบ้าน) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 113
ภาพที่ 68 รูปด้านทิศตะวันออก ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 114
ภาพที่ 69 รูปด้านทิศใต้ (หลังบ้าน) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 114
ภาพที่ 70 รูปด้านทิศตะวันตก ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 115
ภาพที่ 71 รูปตัด 1 ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 115
ภาพที่ 72 รูปตัด 2 ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 116
ภาพที่ 73 ทัศนียภาพทางทิศเหนือและทิศตะวันตกของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 116
ภาพที่ 74 ทัศนียภาพทางทิศใต้และทิศตะวันออกของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 117
ภาพที่ 75 ผังพื้นชั้น 1 บ้านเสนา Oxy Smart 118
ภาพที่ 76 ผังพื้นชั้น 2 บ้านเสนา Oxy Smart 118
ภาพที่ 77 ผังหลังคาบ้านเสนา Oxy Smart 119
ภาพที่ 78 รูปด้านทิศเหนือ (หน้าบ้าน) ของบ้านเสนา Oxy Smart 119
ภาพที่ 79 รูปด้านทิศตะวันออก ของบ้านเสนา Oxy Smart 120
ภาพที่ 80 รูปด้านทิศใต้ ของบ้านเสนา Oxy Smart 120

ภาพที่ 81 รูปด้านทิศตะวันตก ของบ้านเสนา Oxy Smart 121
ภาพที่ 82 รูปตัด 1 ของบ้านเสนา Oxy Smart.....121
ภาพที่ 83 รูปตัด 2 ของบ้านเสนา Oxy Smart.....122
ภาพที่ 84 ทัศนียภาพทางทิศเหนือและทิศตะวันตกของบ้านเสนา Oxy Smart 122
ภาพที่ 85 ทัศนียภาพทางทิศใต้และทิศตะวันออกของบ้านเสนา Oxy Smart.....123
ภาพที่ 86 เปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งแผง PV สูงสุดบนหลังคาของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า....131
ภาพที่ 87 เปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งแผง PV สูงสุดบนหลังคาของบ้านต้นแบบเสนา 131

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ส่วนหนึ่งของปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และมลพิษทางอากาศ มาจากการขนส่งและภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้ากว่าร้อยละ 39 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559) ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นผลกระทบจากการผลิตในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ดังเช่น โรงงานไฟฟ้า และอุตสาหกรรมหนักที่ใช้เชื้อเพลิงขับเคลื่อนกระบวนการผลิต ทำให้ทุกภาคส่วนหันมาตระหนักถึงการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด และลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง จากสถิติจำนวนรถที่จดทะเบียนสะสมโดยกรมขนส่งทางบก (พ.ศ.2562) พบว่ากรุงเทพมหานครมียานพาหนะมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงในการสันดาปมลพิษ ยานยนต์พลังงานไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจอีกทั้งเทคโนโลยีในการผลิตยานยนต์สำหรับอนาคต เอื้อไปทางการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ และจำเป็นต้องมีการอัดประจุไฟฟ้าจากหน่วยที่อยู่อาศัย การสนับสนุนให้บ้านสามารถผลิตไฟฟ้าพลังงานสะอาดได้ จึงตอบโจทย์ต่อกระแสการออกแบบสถาปัตยกรรมเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางคือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีความเข้มข้นของรังสีสูงเหมาะสมแก่การใช้ประโยชน์ในประเทศไทย ทำให้เกิดการศึกษาถึงลักษณะบ้านเดี่ยวในปัจจุบันด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการผลิตพลังงานเพื่อรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้แนวคิด “บ้านพลังงานเป็นบวก” (Positive Energy House)

โดยในปัจจุบันได้เริ่มมีโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรหลายแห่งในประเทศไทย ที่ได้ออกแบบให้มีที่ชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในบ้านแล้ว ดังเช่น โครงการจัดสรรโซล่าร์ครบวงจร เสนา พาร์ค วิลล์ และบ้านเดี่ยวต้นแบบประหยัดพลังงานตามแนวคิดการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ ที่คำนึงถึงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต เผยแพร่โดยกระทรวงพลังงาน ซึ่งการศึกษานี้ได้นำมาเป็นต้นแบบอ้างอิงเพื่อค้นหาว่า ศักยภาพของการออกแบบบ้านพักอาศัยในปัจจุบันมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก โดยที่มีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากการใช้สอยในชีวิตประจำวันมากพอสำหรับชาร์จประจุไฟฟ้าให้แก่รถยนต์อย่างน้อย 1 คัน และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงลดพลังงานของบ้าน เพื่อการลดขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaics, PV) อันเป็นต้นทุนในการก่อสร้าง รวมถึงการศึกษาแนวทางการออกแบบบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่ ที่พัฒนาจากบ้านต้นแบบดังกล่าวให้ดีขึ้นตามมาตรฐานกระทรวงพลังงาน และมาตรฐานสากล ASHRAE 90.2-2018 และหากผลลัพธ์การผลิต ได้พลังงาน

ส่วนเกินมากพอ ก็จะได้ประโยชน์จากการขายคืนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ทกริดในอนาคต เพื่อรองรับการป้อนให้กับการขยายตัวของเมือง ในระบบบริหารจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะ (Smart City) และต่อยอดการพัฒนาบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกประเภทอื่นต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อตรวจสอบสถานะภาพรวม และศักยภาพของบ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานในปัจจุบัน เพื่อพัฒนาเป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวคิด แนวทาง และปัจจัยสำคัญในการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก

1.2.3 เพื่อปรับปรุงแบบบ้านประหยัดพลังงานที่มีศักยภาพ ให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

1.2.4 เพื่อสรุปแนวทางและข้อเสนอแนะในการออกแบบปรับปรุงบ้านเดี่ยวให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

บ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานในปัจจุบันสามารถเป็นบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ขอบเขตด้านการออกแบบ

จำกัดเนื้อหาเฉพาะบ้านเดี่ยวที่พบทั่วไปขนาด 2 ชั้น 3 ห้องนอน พื้นที่ประมาณ 200 ตร.ม. ซึ่งเป็นตัวแทนของบ้านระดับกลาง โดยมีรูปแบบมาตรฐานและแนวคิดการประหยัดพลังงาน เช่น บ้านในโครงการจัดสรร บ้านต้นแบบที่ใช้เผยแพร่ ประกอบไปด้วยข้อมูลด้านพลังงานเบื้องต้น และข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อการตรวจสอบในภายหลัง

1.4.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

จำกัดขอบเขตที่ตั้งของงานออกแบบโดยใช้สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

1.5 วิธีดำเนินการศึกษา

1.5.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ได้แก่

- ความหมาย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นบวก (Net Positive Energy Building)
- ขั้นตอนการวิเคราะห์และประเมินอาคารพลังงานเป็นบวก
- แนวทางและตัวอย่างอาคารพลังงานเป็นบวก ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

1.5.2 การเลือกบ้านต้นแบบประหยัดพลังงานที่มีศักยภาพจะนำมาปรับปรุงให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

1.5.3 การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของบ้าน

1.5.4 การกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงานของบ้านเพื่อให้มีพลังงานเป็นบวก

1.5.5 การปรับปรุงบ้านกรณีศึกษาเพื่อให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

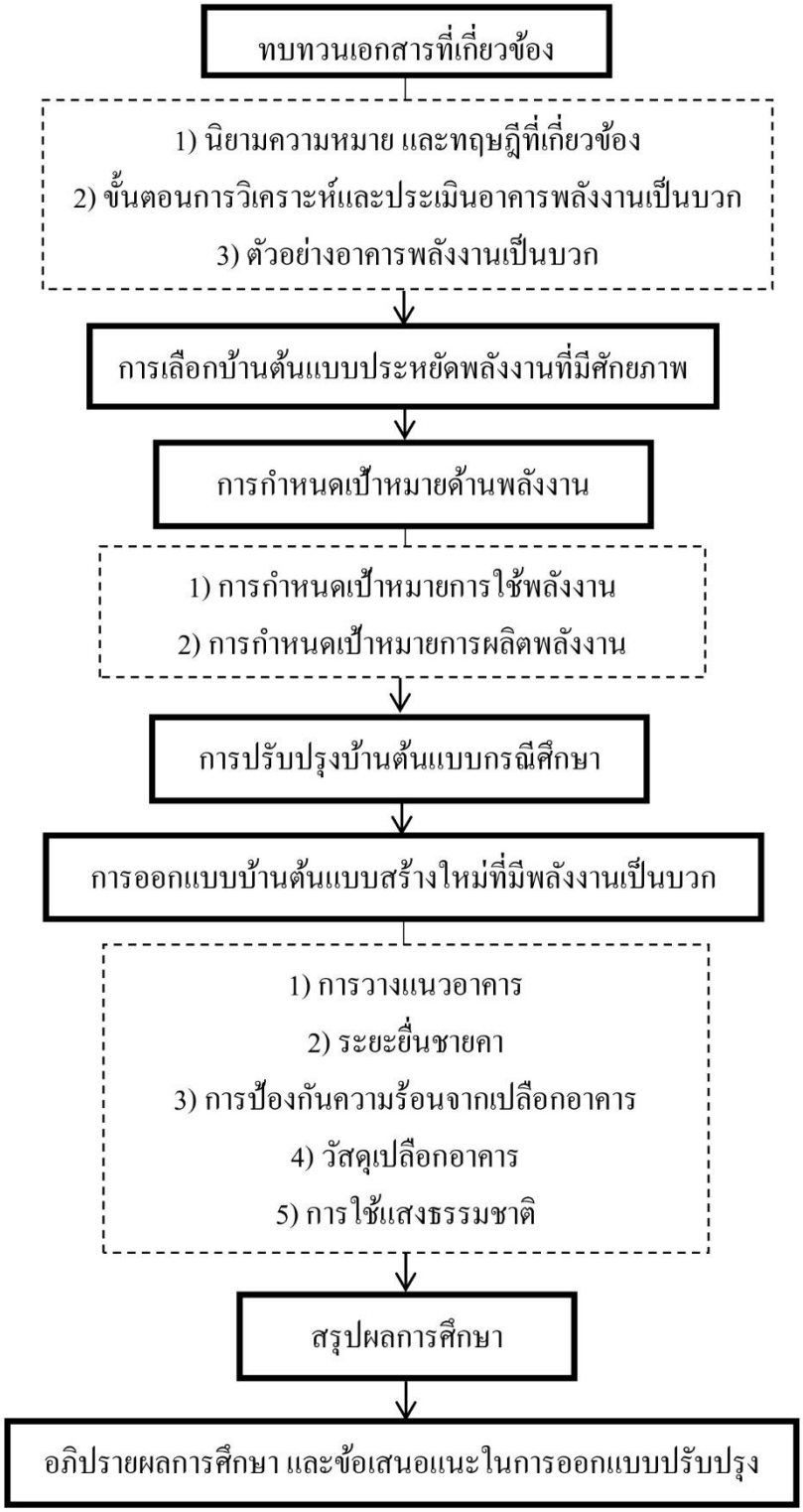
1.5.6 การออกแบบบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก

1.5.7 สรุปผลการศึกษา

1.5.8 อภิปรายผลการศึกษา และข้อเสนอแนะในการออกแบบปรับปรุงบ้านพักอาศัยเพื่อให้เป็นอาคารพลังงานเป็นบวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.6 กรอบแนวคิดการออกแบบ



ภาพที่ 1 แผนภาพกรอบแนวคิดการออกแบบ

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy House) หมายถึง อาคารที่มีอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในที่ตั้งโครงการ เท่ากับค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่อาคารใช้ไปในรอบ 1 ปี

1.7.2 บ้านที่มีพลังงานเป็นบวก (Positive Energy House) หมายถึง บ้านที่มีอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof) ภายในที่ตั้งโครงการ มากกว่าค่าพลังงานงานรวมทั้งหมดที่อาคารใช้ไปใน 1 ปี และพลังงานส่วนเกินที่ผลิตนั้นนำมาใช้ประโยชน์ภายในที่ตั้ง หรือเพื่อการจำหน่าย ตามการกำหนดเป้าหมายของการผลิต

1.7.3 บ้านต้นแบบ หมายถึง บ้านที่ใช้เป็นตัวแทนของบ้านเดี่ยวขนาดกลางทั่วไป ที่มีประโยชน์ใช้สอยตามมาตรฐาน และมีแนวคิดการออกแบบด้านการประหยัดพลังงานเป็นพื้นฐาน

1.7.4 บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก หมายถึง บ้านสร้างใหม่ที่ออกแบบตามแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาจากบ้านต้นแบบอ้างอิง โดยมีอัตราการผลิตพลังงานภายในที่ตั้งโครงการ มากกว่าพลังงานงานรวมที่อาคารใช้ไปใน 1 ปี

1.7.5 ค่าพลังงานรวม (Whole Building Energy) คือ มาตรฐานค่าพลังงานทั้งหมดที่บ้าน 1 หลังต้องการใช้ภายใน 1 ปี ประกอบด้วย ผลรวมพลังงานจากการอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบทำความร้อน ระบบทำความเย็น ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ทั้งหมดภายในอาคาร

1.7.6 EUI ย่อมาจาก Energy Use Intensity หมายถึง ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานรวมทุกระบบของอาคารต่อตารางเมตร ในระยะเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น $kWh/m^2/yr$

1.7.7 อัตราการผลิตพลังงาน (Energy Generation) หมายถึง พลังงานที่อาคารผลิตได้บนพื้นที่หลังคาในระยะเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น kWh/yr

1.7.8 พลังงานส่วนเกิน (Surplus) หมายถึง พลังงานที่อาคารผลิตได้มากกว่าที่ต้องการจนเหลือใช้

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 สามารถพัฒนาบ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานในปัจจุบันให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก

1.8.2 การให้ความสำคัญในการกำหนดเป้าหมายความเข้มข้นการใช้พลังงาน (EUI Target) ของบ้านตามขั้นตอนการดำเนินงานออกแบบบ้านที่ใช้พลังงานเป็นบวก

1.8.3 สามารถนำเสนอวิธีการปรับปรุงที่มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของบ้าน และวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของบ้านตามเป้าหมายพลังงานเป็นบวกได้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานออกแบบวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ นอกจากอาคารสำนักงานและอาคารสาธารณะทั่วไปแล้ว ยังมีบ้านพักอาศัยโดยเฉพาะในต่างประเทศที่มีให้เห็นอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระทั่งการออกแบบบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก (Positive Energy House) ก็มีมากขึ้นตามลำดับ สำหรับประเทศไทยบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกยังคงเป็นเรื่องใหม่ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการออกแบบเพื่อเป็นแนวทาง ดังต่อไปนี้

2.1 นิยามของอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกและอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.2 การออกแบบอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เพื่อพัฒนาสู่อาคารที่มีพลังงานเป็นบวก

2.3 วิธีการประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคาร

2.4 วิธีการกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงาน (Energy Generation Target)

2.5 กรณีศึกษาอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกในประเทศและต่างประเทศ

2.1 นิยามของอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกและอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

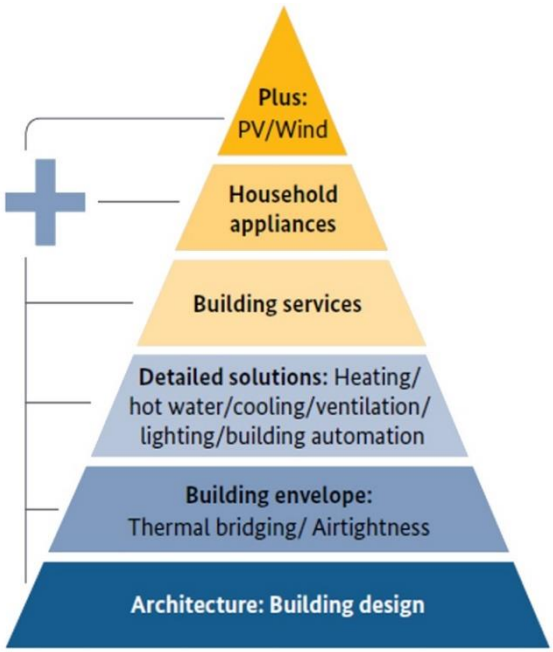
สำหรับการออกแบบอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงนิยามและความหมายเพื่อการบรรลุวัตถุประสงค์ได้ มีดังต่อไปนี้

2.1.1 อาคารที่มีพลังงานเป็นบวก (Positive Energy Building)

อาคารพลังงานเป็นบวก โดยทั่วไปให้คำจำกัดความว่า เป็นบ้านที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกได้มากเกินกว่าความต้องการในการใช้พลังงาน เน้นเรื่องความสมดุลระหว่างการออกแบบโดยใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ (Passive Design) และการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก (Renewable Energy) เพื่อสร้างภาวะน่าสบายของการอยู่อาศัย โดยพลังงานทางเลือกทุกประเภทที่อาคารใช้นำมาผลิตกระแสไฟฟ้าไม่ใช่แต่เพียงพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมเท่านั้น แต่ยังรวมถึงพลังงานชีวมวล ก๊าซธรรมชาติ พลังงานความร้อนใต้พิภพที่นำมาใช้ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย

หัวใจสำคัญของการออกแบบบ้านให้มีอัตราการใช้พลังงานต่ำ (Super Low Energy Building) ที่จะนำไปสู่เป้าหมายพลังงานบวกได้ คือการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ ลดพื้นที่ปรับอากาศ มีการออกแบบเปลือกอาคาร รวมถึงระบบประกอบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดการใช้พลังงานที่ผลิตทำให้เหลือใช้ ได้พลังงานส่วนเกินมากกว่าที่ต้องการซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และจำหน่ายแก่รัฐ ตลอดจนหน่วยงานที่รับซื้อหรือผลลัพธ์ที่

มากกว่าคือ สร้างระบบผลิตพลังงานแบบกลุ่มอาคาร หรือ Positive Energy District เป็นแหล่งผลิตพลังงานสนับสนุนระดับเมือง ที่จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก



ภาพที่ 2 พีระมิดการออกแบบอาคารอย่างประสิทธิภาพ (Federal Ministry for the Environment, 2016)

การออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพนั้น ต้องอยู่บนพื้นฐานหลักการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน การออกแบบเปลือกอาคาร ใช้ทางเลือกระบบประกอบอาคารพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพ การวางระบบส่วนบริการอาคารที่ดี ตลอดจนการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง และการใช้พลังงานทางเลือก พลังงานหมุนเวียนในโครงการ

ภาพที่ 3 แนวคิดการพัฒนาสู่อาคารผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก (กมล, 2561)

จากการศึกษาแนวคิดการพัฒนาอาคารที่มีพลังงานเป็นบวก พบว่าเป็นอาคารที่พัฒนามาจากอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งนิยามของ “พลังงานเป็นบวก” เกี่ยวกับสัดส่วนของอัตราการใช้และการผลิตพลังงานนั้น ขึ้นอยู่กับการตั้งเป้าหมายพลังงานส่วนเกินตามความต้องการของแต่ละโครงการ หรือแต่ละเกณฑ์ที่นำมาชี้วัด ซึ่งนิยามจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้พลังงานโดยการศึกษานี้ ได้สรุปเป็นหลักการตั้งเป้าหมาย 2 แบบ คือ เป้าหมายพลังงานส่วนเกินสำหรับ

การอัดประจุให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) ในที่ตั้ง และเป้าหมายการผลิตพลังงานส่วนเกินสูงสุดบนหลังคาบ้านเพื่อการจำหน่ายส่งออกแก่หน่วยงานที่รับซื้อ

2.1.2 อาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)

อาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) หรือ NZEB คืออาคารที่ใช้พลังงานและสามารถผลิตพลังงานใช้หมุนเวียนในที่ตั้งได้เพียงพอกับความต้องการในการใช้พลังงานรวม กระทั่งมีค่าการใช้พลังงานเท่ากับพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ หรือมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในรอบ 1 ปี โดยอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ สามารถแบ่งได้ตามวิธีการผลิตพลังงานหมุนเวียนและการใช้ประโยชน์ออกเป็น 4 ประเภท (National Renewable Energy Laboratory, 2006) ได้แก่

1) การใช้พลังงานสุทธิที่อาคารเป็นศูนย์ (Net zero site energy) หรือ site ZEB คือ การใช้พลังงานภายในอาคารเท่ากับพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ในที่ตั้งโครงการ ซึ่งใช้กันแพร่หลายมาก เนื่องจากไม่ซับซ้อนและตรวจสอบการใช้พลังงานได้ง่ายจากมิเตอร์ในที่ตั้งโครงการ

2) การใช้พลังงานสุทธิ ณ สถานที่ผลิตพลังงานเป็นศูนย์ (Net zero source energy) หรือ source ZEB คือ การใช้พลังงานเท่ากับพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ในรอบ 1 ปี เมื่อคำนวณที่แหล่งผลิตพลังงาน อาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์แบบ source ZEB จึงมีประสิทธิภาพการประหยัดและการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมากกว่าแบบ site ZEB เพราะต้องรวมประสิทธิภาพจากเชื้อเพลิง วิธีผลิต และพลังงานที่สูญเสียไประหว่างการขนส่งจากโรงไฟฟ้าด้วย โดยใช้การคำนวณที่มาของพลังงานกว้างเกินไป แต่จะเป็นประโยชน์กับการวางแผนการใช้พลังงานในระดับประเทศ

3) การมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero energy costs) หรือ cost ZEB คือการที่อาคารสามารถขายพลังงานมาเป็นรายรับเท่ากับรายจ่ายการใช้พลังงานในรอบ 1 ปี เป็นการใช้มาตรการด้านการเงินมาเป็นกลไกการพิจารณาการส่งออกพลังงานให้สมดุลกับค่าใช้จ่ายที่เรียกเก็บจากสาธารณูปโภคในโครงการ และบรรลุเป้าหมายพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ด้านต้นทุนได้ภายในปีนั้นๆ

4) การปล่อยมลพิษจากการผลิตพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero energy emissions) หรือ emission ZEB คือ การปล่อยมลพิษจากการผลิตพลังงานได้เท่ากับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงในโครงการ เป้าหมายของ emission ZEB เป็นการสนับสนุนให้ใช้พลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีมลพิษ เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศให้มากที่สุด ซึ่งเป็นนิยามต้นแบบของอาคารพลังงานสีเขียวนั่นเอง

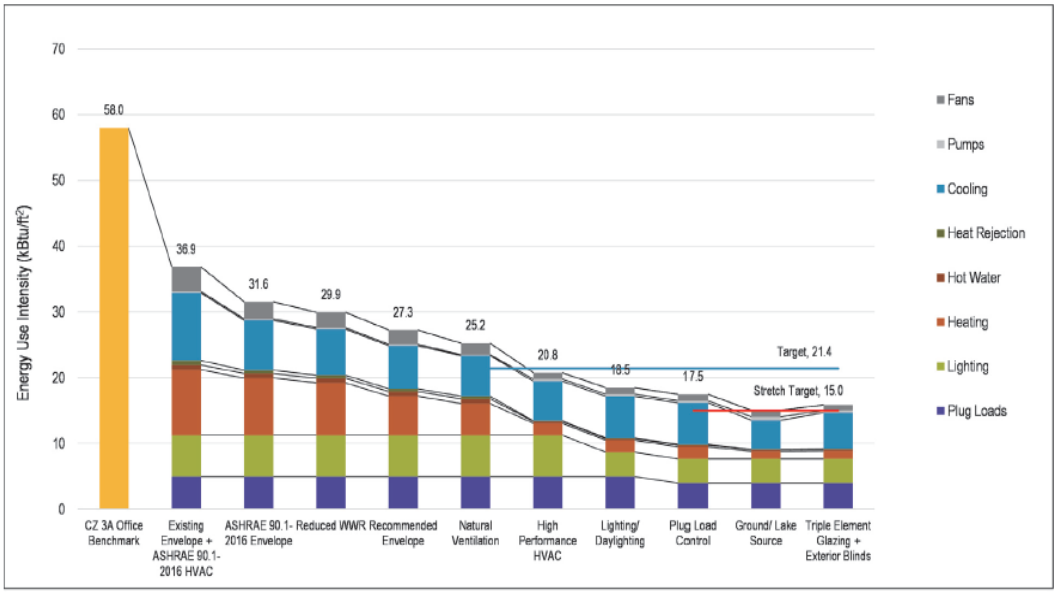
2.2 แนวทางการออกแบบอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เพื่อพัฒนาสู่อาคารที่มีพลังงานเป็นบวก

เนื่องจากอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกคือ การพัฒนาจากอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ดังนั้นการศึกษาแนวทางการออกแบบดังกล่าวจึงมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ตามการศึกษาดังต่อไปนี้

2.2.1 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากการศึกษาคู่มือการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (Achieving Zero Energy Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings, AEDGZE) ที่จัดทำโดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASHRAE), สถาบันสถาปนิกอเมริกัน (AIA), สมาคมวิศวกรรมส่องสว่าง (IESNA), สภาอาคารเขียวแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (USGBC) และหน่วยงานด้านพลังงานแห่งสหรัฐประเทศอเมริกา (Department of Energy, DOE) สามารถสรุปเป็นแนวทางการออกแบบ โดยการวิเคราะห์จากการสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพ เพื่อดูปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงาน โดยแนวโน้มการออกแบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิผลในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารประเภทสำนักงานทั่วไปได้แก่

- ความสามารถในการระบายความร้อนตามธรรมชาติบนที่ตั้งโครงการ
- ความสามารถและความสำคัญในการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำความร้อน
- การประหยัดพลังงานโดยใช้แสงธรรมชาติ
- แผงบังแดดสำหรับตัวอาคาร
- ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
- รูปแบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในพื้นที่ตั้ง



ภาพที่ 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานในอาคาร (ASHRAE, 2019)

สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดค่าการใช้พลังงานของ ASHRAE มาจากการทำความร้อนและความเย็นในระบบปรับอากาศ (HVAC) มากที่สุด รองลงมาคือไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ (Plug Loads) และอุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ (เช่น พัดลม และปั๊มน้ำ) ตามลำดับ

จากภาพที่ 4 เห็นได้ว่าแนวทางการลดส่วนของการทำความร้อนและความเย็นในระบบปรับอากาศ คือการเลือกใช้ระบบ HVAC ประสิทธิภาพสูงร่วมกับการออกแบบกรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ การลดอัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (Window to Wall Ratio, WWR) และการเลือกวัสดุก่อสร้างที่แนะนำจะช่วยลดค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน หรือ EUI มากที่สุด ส่วนการลดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting) ต้องตั้งค่าระบบควบคุมการใช้งานอัจฉริยะและการใช้แสงธรรมชาติ (Plug Load Control and Day lighting) รวมถึงการเลือกใช้กระจก และอุปกรณ์กรองแสงจากภายนอก ในส่วนของการลดการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ (Plug Loads) และการลดพลังงานในส่วนระบบทำน้ำร้อน (Hot Water) ระบบ HVAC และปั๊ม ต้องอ้างอิงประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 หมวด HVAC

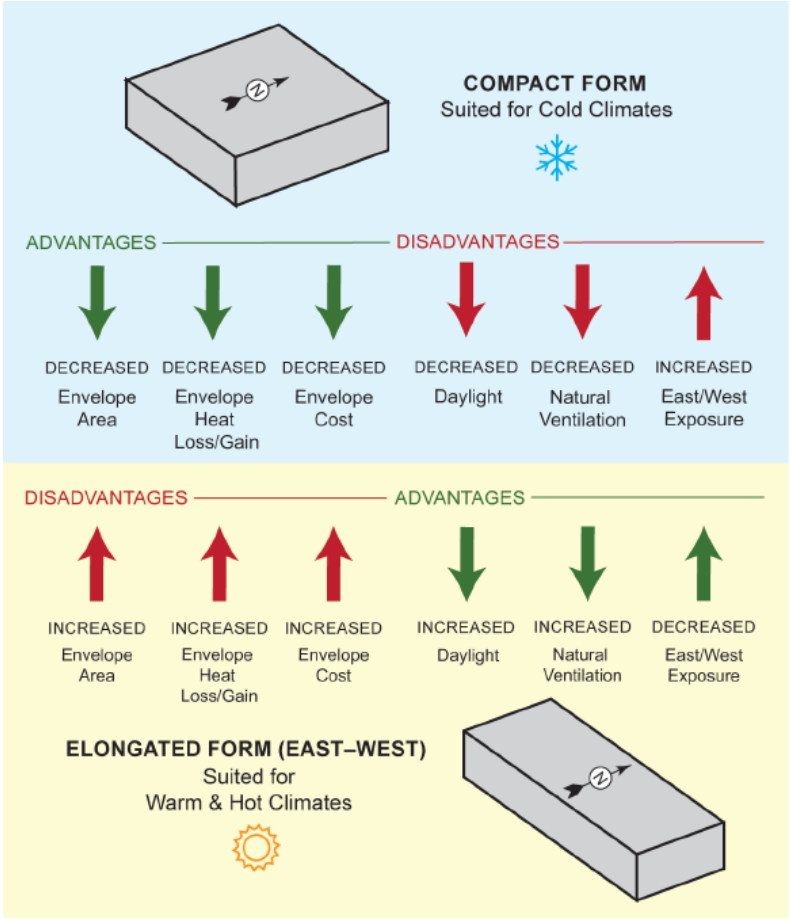
Climate Zone	Site Energy, kBtu/ft^2/yr	Source Energy, kBtu/ft^2/yr
0A	23.2	73.1
0B	27.6	86.9
1A	23.4	73.9
1B	25.7	81.1
2A	22.2	69.9
2B	22.8	71.8
3A	21.4	67.3
3B	21.1	66.6
3C	16.0	50.3
4A	21.7	68.5
4B	20.6	64.9
4C	17.3	54.4
5A	23.2	73.0
5B	22.9	72.0
5C	17.5	55.2
6A	27.7	87.3
6B	24.7	77.8
7	30.3	95.5
8	36.0	113.5

ภาพที่ 5 ความเข้มข้นการใช้พลังงานเป้าหมาย (EUI) (ASHRAE, 2019)

จากตารางข้างต้นกรุงเทพมหานครอยู่ใน Climate Zone ที่ 0A (ASHRAE, 2018) ดังนั้นค่าพลังงาน EUI ที่ใช้บนพื้นที่ตั้ง ไม่ควรเกิน 23.2 kBtu/ft^2/yr หรือ 73.2 kWh/m^2/yr โดยอาคารพักอาศัยจำเป็นต้องออกแบบให้มีค่าพลังงาน EUI ต่ำกว่าค่าดังกล่าวด้วย

2.2.2 การวางแนวอาคาร วัสดุกรอบอาคาร และหลังคาที่มีประสิทธิภาพ

การวางบ้านให้สัมพันธ์กับทิศทางจะช่วยลดความร้อนสะสมผ่านเปลือกอาคารเข้าสู่ตัวบ้านและช่วยเรื่องการระบายอากาศ เพื่อลดภาระการทำความเย็นได้ส่วนหนึ่ง



ภาพที่ 6 รูปทรงอาคารที่เหมาะสมในการออกแบบสำหรับภูมิอากาศแบบอบอุ่น และร้อนชื้น (ASHRAE, 2019)

หลักการออกแบบบ้านให้เหมาะสมสำหรับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นในประเทศไทย คือ ออกแบบอาคารเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่วางด้านสกัดหรือด้านแคบตามแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก เพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาผ่านพื้นที่ผิวกรอบอาคาร นอกจากนี้แปลนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายังเอื้อต่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ รวมถึงการระบายอากาศมากกว่า แต่พื้นที่กรอบอาคารและการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคาร จะมีมากกว่าการออกแบบอาคารที่

เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดกะทัดรัดมีพื้นที่ผิวกรอบอาคารน้อย ซึ่งเหมาะสมกับบ้านในเขตภูมิอากาศหนาวที่ต้องการความอบอุ่น เนื่องจากช่วยลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกได้มากกว่า

สำหรับแนวทางการเลือกใช้วัสดุตามคุณสมบัติที่เหมาะสมกับ Climate Zone 0A ดังเช่น กรุงเทพมหานคร สามารถอ้างอิงการเลือกใช้ได้ตามตารางในภาพที่ 7-9

Component	Insulation Material	Roofs	Walls, Mass	Walls, Framed	Walls, Below Grade	Floors, Mass	Floors, Framed	Slab-on-Grade
Rigid boards	Extruded polystyrene	X	X	X		X		
	Expanded polystyrene	X	X	X	X	X		X
	Polyisocyanurate	X	X	X		X		
	Cellular foam glass	X	X	X	X	X		X
Semi-rigid boards	Mineral wool	X	X	X		X		
	Fiberglass	X			X	X		
Spray-in-place	Polyurethane	X	X	X				
Loose fill	Fiberglass			X				
Batts	Fiberglass			X			X	
	Mineral wool			X		X	X	

ภาพที่ 7 การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่สอดคล้องกับแต่ละ Climate Zone (ASHRAE, 2019)

	Recommendations by Climate Zone								
Component	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Roof U-factor	0.039	0.048	0.039	0.039	0.030	0.030	0.030	0.027	0.027
Frame walls above grade U-factor	0.124	0.077	0.077	0.064	0.061	0.052	0.047	0.047	0.035
Mass walls above grade U-factor	0.171	0.107	0.098	0.075	0.069	0.058	0.052	0.052	0.039
Slab F-factor	0.730	0.730	0.730	0.730	0.494	0.494	0.485	0.400	0.400

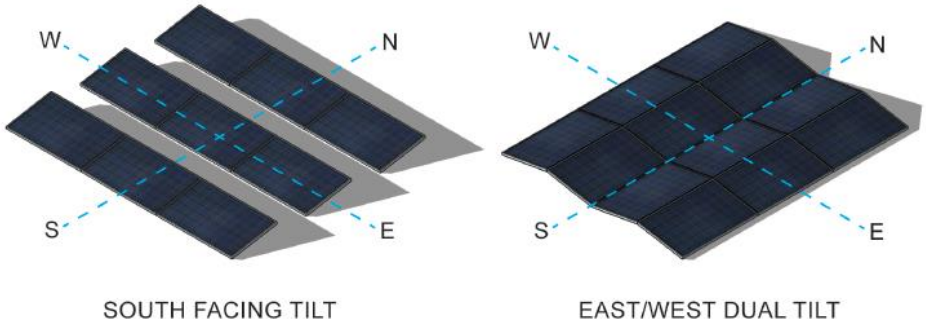
Units for U-Factor are Btu/h·ft^2·°F.

ภาพที่ 8 การเลือกประเภทของฉนวนกันความร้อนให้สัมพันธ์กับวัสดุเปลือกอาคาร(ASHRAE, 2019)

Location	Minimum Reflectance
Wall segment above 7 ft	70%
Ceiling	70% (preferably 80% to 90%)
Light well or window well	80% to 90%
Floor	20%
Furniture	50%
Walls segment below 7 ft	50%

ภาพที่ 9 ค่าการสะท้อนที่พื้นผิววัสดุขั้นต่ำ (ASHRAE, 2019)

ในส่วนของการออกแบบหลังคาติดตั้ง PV ได้เต็มประสิทธิภาพจากคู่มือนี้คือ เป็นได้ทั้งรูปทรงหลังคาแบนและหลังคาลาดชัน แนวการติดตั้งแผงควรอยู่ภายใน 30° ทางทิศใต้ โดยลดลงจากละติจูดที่ติดตั้งไม่เกิน 30° หรือเพิ่มขึ้นจากละติจูดที่ติดตั้งไม่เกิน 10° หันหน้าแผงไปทางทิศใต้หรือเรียงสลับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ตามรูปที่ 10 ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีและประสิทธิภาพของแผงสูงขึ้นในขณะที่ราคาแผงถูกลง ประเด็นเรื่องทิศทางและองศาการติดตั้งจึงไม่ใช้ตัวแปรสำคัญในการออกแบบเท่าใดนัก (ASHRAE, 2019)



ภาพที่ 10 ลักษณะและทิศทางการวางแผง PV สำหรับหลังคาแบน (ASHRAE, 2019)

2.2.3 วิธีการประเมินเบื้องต้นสำหรับพื้นที่ติดตั้ง PV บนหลังคา

ก่อนการออกแบบสามารถประเมินพื้นที่ติดตั้ง PV บนหลังคาเพื่อดูทิศทางความเป็นไปได้จากคู่มือการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (AEDGZE) พบว่าหลักการออกแบบจัดเตรียมพื้นที่หลังคาเพียงพอต่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตามข้อมูลที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการพลังงานหมุนเวียนสหรัฐหรือ NREL (National Renewable Energy Laboratory) สามารถคำนวณได้ตามการแบ่งเขตสภาพภูมิอากาศ (Climate Zone) โดยกรุงเทพมหานคร (Climate Zone 0A) มีค่าพลังงาน EUI เป้าหมายอยู่ที่ 73.2 kWh/m^2/yr และมีพื้นที่สำหรับ PVs ตามสัดส่วนของพื้นที่อาคาร (PVs area % Floor area) 31.4% จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำมาคำนวณหาพื้นที่ติดตั้ง PV บนหลังคาได้จากผลคูณ ระหว่างพื้นที่อาคารทั้งหมด คูณด้วยเปอร์เซ็นต์พื้นที่ PV ต่อชั้น 31.4% และคูณปัจจัยเผื่อพื้นที่ หรือ Upgrade Factor (พื้นที่ทางเดิน พื้นที่ว่าง ช่องว่าง ฯลฯ) เท่ากับ 1.25 ซึ่งสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์พื้นที่หลังคาที่ต้องการ ได้จากสัดส่วนของพื้นที่ติดตั้ง PV บนหลังคา ได้ตามสูตรการคำนวณพื้นที่หลังคาสำหรับติดตั้ง PV ดังนี้

พื้นที่หลังคาที่ต้องการสำหรับติดตั้ง PV = 0.314 x พื้นที่อาคารทั้งหมด x 1.25

$$\text{เปอร์เซ็นต์พื้นที่หลังคาที่ต้องการ} = \frac{\textit{พื้นที่หลังคาที่ต้องการสำหรับติดตั้ง PV}}{\text{พื้นที่อาคารทั้งหมด}}$$

<u>สรุปหลักการตามคู่มือการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของ AEDGZE</u>

สำหรับการออกแบบบ้านเดี่ยวในกรุงเทพมหานครให้มีค่าพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ตามแนวทางที่อ้างอิงจากคู่มือการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (AEDGZE) ประเด็นการวางตัวอาคาร ให้วางด้านแคบของอาคารตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ส่วนการออกแบบกรอบอาคาร ควรเลือกใช้ U-factors ของวัสดุมุงหลังคาที่มีที่มีค่าไม่เกิน 0.039 Btu/h·ft^{2}·^{o}F (0.22 W/m^{2}·K) , U-factors ของโครงสร้างผนังเหนือดิน ไม่เกิน 0.124 Btu/h·ft^{2}·^{o}F (0.70 W/m^{2}·K) , U-factors ของผนังเหนือดิน ไม่เกิน 0.171 Btu/h·ft^{2}·^{o}F (0.97 W/m^{2}·K) และ U-factors ของโครงสร้าง ค.ส.ล. ไม่เกิน 0.730 Btu/h·ft^{2}·^{o}F (4.14 W/m^{2}·K) ประกอบกับการพิจารณาเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน และค่าการสะท้อนของพื้นผิวขั้นต่ำ ตามภาพที่ 8 และ 9 เป็นแนวทางในเบื้องต้น ส่วนประเด็นการติดตั้ง PVs แนวการติดตั้งแผงควรอยู่ภายใน 30^{o} ทางทิศใต้ โดยลดลงจากละติจูดที่ติดตั้งไม่เกิน 30^{o} หรือเพิ่มขึ้นจากละติจูดที่ติดตั้งไม่เกิน 10^{o} จะส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผง PV บนหลังคาดีที่สุด และสุดท้ายความเข้มข้นการใช้พลังงาน หรือ EUI สำหรับอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่ออกแบบก็ไม่ควรเกิน 73.2 kWh/m^{2}/yr

2.2.4 แนวทางการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปเป็นแนวทางการออกแบบอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ พัฒนาสู่อาคารที่มีพลังงานเป็นบวก ได้ดังนี้

2.2.4.1 ออกแบบตามหลักสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน

- การจัดวางพื้นที่ใช้สอยอย่างคุ้มค่า กะทัดรัด ไม่เพิ่มพื้นที่เปลือกอาคารและปริมาตรอาคารให้มากจนเกินไป อันจะมีผลต่อการส่งผ่านของรังสีอาทิตย์ผ่านกรอบอาคาร
- การจัดวางทิศทางของอาคารให้หลีกเลี่ยงการนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้โดยตรง
- การแบ่งพื้นที่ใช้งานแยกส่วนปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศโดยหลีกเลี่ยงการจัดพื้นที่ส่วนปรับอากาศที่กรอบอาคาร หรือออกแบบให้มีพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ ล้อมรอบห้องที่ปรับอากาศเพื่อเป็นการลดภาระการทำความเย็น
- การออกแบบแผงบังแดดทางทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับอาคารในเขตร้อนชื้นควรเป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Horizontal Overhang) ที่ยื่นยาวออกจากตัวอาคารตามระยะที่เหมาะสมตามแนวทางดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงระยะยื่นที่เหมาะสมของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนในแต่ละทิศ (ปารวี, 2556)

ทิศทางของช่องเปิด	ความยาวอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่เหมาะสม (เมตร)	
	กรณีขอบส่วนบังแดดชิดขอบช่องเปิดกระจก	กรณีขอบส่วนบังแดดห่างขอบช่องเปิดกระจก > 30 ซม.
N	0.00-0.30	0.00-0.30
NE	0.30-1.00	0.30-1.00
E	0.30-1.00	0.30-1.00
SE	0.30-1.00	0.30-1.50
S	0.30-1.00	0.30-1.50
SW	0.30-1.00	0.30-1.50
W	0.30-1.00	0.30-1.50
NW	0.00-0.30	0.00-1.00

2.2.4.2 การออกแบบเปลือกอาคาร ลดสะพานความร้อน (Thermal Bridge) ที่นำความร้อนเข้าสู่อาคารรวมไปถึงควบคุมการรั่วซึมอากาศบริเวณกรอบอาคาร และช่องเปิด

2.2.4.3 ระบบประกอบอาคารพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ ระบบทำความร้อน ระบบทำความเย็นระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบควบคุมอัตโนมัติของอาคาร

2.2.4.4 การวางระบบส่วนบริการอาคาร ในส่วนของการเตรียมพื้นที่สำหรับงานระบบที่ส่งเสริมกับการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอาคาร เช่น ระยะวางท่อน้ำร้อนไปยังแหล่งจ่ายสั้นที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนระหว่างเส้นท่อ

2.2.4.5 อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร มีเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน ที่ประเมินเกี่ยวกับประสิทธิภาพพลังงานขั้นสูง โดยติดฉลากแสดงค่าประสิทธิภาพพลังงานในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่งเสริมการติดฉลากในส่วนของวัสดุ

2.2.4.6 การพิจารณาใช้พลังงานทางเลือก โดยมีเกณฑ์ที่ส่งเสริมนั่นคือ ZEB (Zero Energy Building) โดยมีเป้าหมายในระยะยาว เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมาก อีกทั้งยังสามารถผลิตพลังงานใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย ทำให้อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์

2.3 วิธีการประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคาร

จากการศึกษาถึงขั้นตอนการออกแบบบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการหาค่าพลังงานรวมที่ใช้ภายในบ้าน เพื่อนำไปกำหนดเป้าหมายของการผลิตพลังงานในขั้นต่อไป ทำให้เกิดการศึกษาถึงวิธีการประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารตามมาตรฐานต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบตามความเหมาะสมและเป็นทางเลือกในการใช้ประเมิน ดังนี้

2.3.1 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานบ้านพักอาศัยในประเทศไทย ที่ทำการศึกษาโดยกระทรวงพลังงาน

สำหรับในประเทศไทยทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยกระทรวงพลังงานได้จัดให้มีการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน ผ่านการประเมิน 2 ทางเลือก ได้แก่ ทางเลือก 1 เกณฑ์การกำหนดค่ามาตรฐานค่าเดียว (Standard Option) ได้จากการคำนวณหรือจำลองพลังงานจากวัสดุและอุปกรณ์อาคารที่ใช้เป็นฐาน (Base Case) ให้ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ($kWh/m^2/yr$) ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ และทางเลือก 2 ซึ่งซับซ้อนน้อยกว่าคือ การกำหนดวัสดุในการออกแบบก่อสร้าง (Material Option) จากทำเนียบวัสดุที่แนะนำ ซึ่งอาจจะต้องมีเปลี่ยนแปลงการเทียบเท่าวัสดุที่ต่างจากข้อกำหนด ซึ่งทางกระทรวงพลังงานได้กำหนดเป็นแผนนโยบายลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัยปี พ.ศ. 2579 ไม่ว่าจะเป็นมาตรการเปลี่ยนอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงให้บ้านเก่า บ้านใหม่ และควบคุมให้มีการสร้างบ้านประหยัดพลังงานขึ้นในปี พ.ศ. 2561-2579 จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจพบว่า ค่ากลาง (Mode) ของบ้านพักอาศัยเดี่ยวอยู่ที่ 36 $kWh/m^2/yr$ (กระทรวงพลังงาน, 2560) เมื่อนำค่ากลางที่ได้จากสมการทำนายมาหาอัตราส่วนการปรับลดการใช้พลังงาน สามารถคาดการเกณฑ์การใช้พลังงานของบ้านได้ดังนี้

ตารางที่ 2 เกณฑ์การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยในปีต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560)

เกณฑ์การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยในปีต่างๆ ($kWh/m^2/yr$)				
	อัตราส่วนในการปรับลดเกณฑ์บ้านใหม่		บ้านเดี่ยว	
	ปรับอากาศ	ไม่ปรับอากาศ	ปรับอากาศ	ไม่ปรับอากาศ
2558	100	100	37.62	25.98
2559-2564	70.7	75.0	26.62	19.49
2565-2569	63.7	67.5	23.95	17.54
2570-2574	57.3	60.8	21.56	15.78
2575-2579	51.6	54.7	19.40	14.21

สรุปข้อมูลจากตารางที่ 2 ช่วงปี พ.ศ. 2559-2564 นั่นคือ ค่าพลังงานของบ้านพักอาศัยเดี่ยวมาตรฐานอยู่ที่ 26.6 kWh/m^2/yr ซึ่งต่อมาในปี พ.ศ. 2562 กระทรวงพลังงานมอบหมายให้คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำเสนอผลการศึกษาสำหรับร่างเกณฑ์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าบ้านเดี่ยว พบว่าค่ากลาง (mode) การใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2562 - 2464 ลดลงเหลือ 25 kWh/m^2/yr (Home_Buyers, 2562) จึงได้ยึดเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ทำการเปรียบเทียบต่อไป

จากการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยจากบ้านเดี่ยวพักอาศัยทั่วประเทศ ทางกระทรวงพลังงานได้มีการสรุปเป็นสมการคำนวณ เพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานรวมเบื้องต้น ซึ่งได้ถือเป็นอีกหนึ่งวิธีในการประเมินหาค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานในอาคาร ดังนี้

$$\textit{ค่าไฟฟ้าต่อเดือน} = (57.816 \times \text{จำนวนสมาชิกในบ้าน}) + (4.956 \times \text{พื้นที่ปรับอากาศ}) + (0.321 \times \text{พื้นที่ไม่ปรับอากาศ})$$

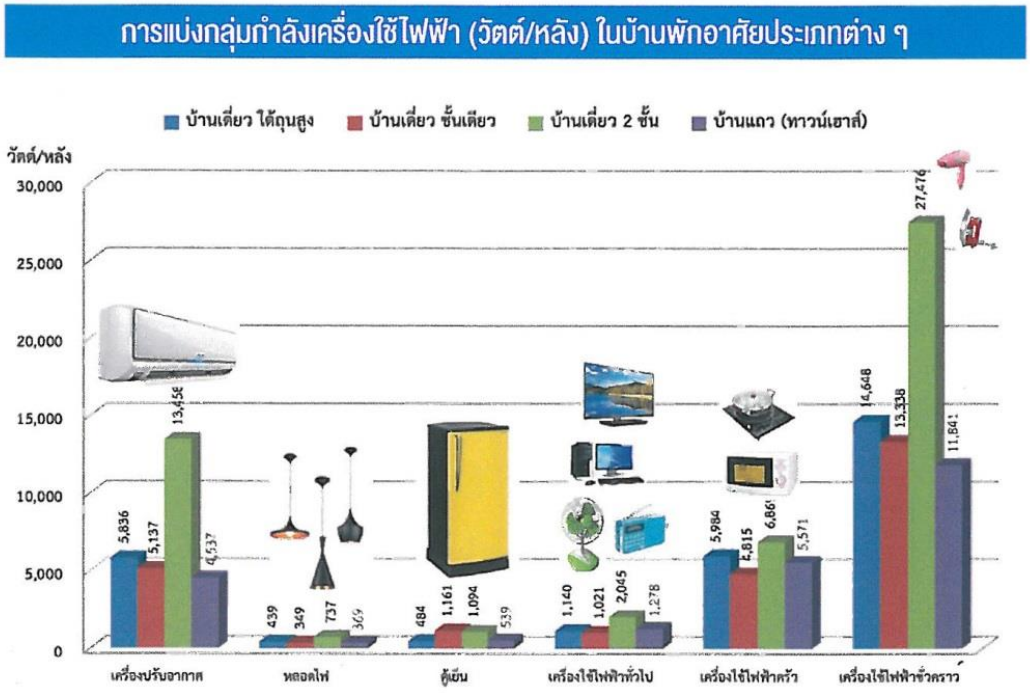
$$\text{ค่าการใช้พลังงาน} = \frac{\textit{ค่าไฟฟ้าต่อเดือน}}{\text{พื้นที่ใช้สอยของบ้าน}(m^2)} \times 12$$

ภาพที่ 11 สมการคำนวณการใช้พลังงานของบ้านเดี่ยวโดยกระทรวงพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2560)

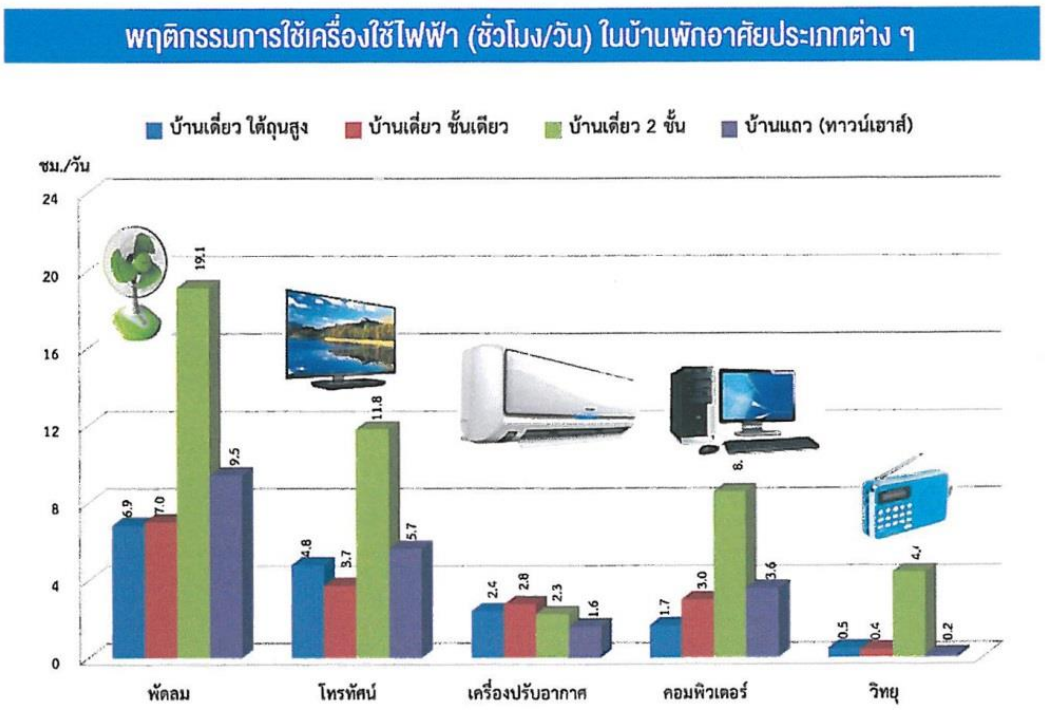
<u>ลักษณะทางกายภาพ และการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย</u>

จากการที่ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 6-19 องศาเหนือ เป็นผลให้แสงอาทิตย์มีผลกระทบโดยตรงกับส่วนของ “หลังคา” มากกว่าผนังอาคาร ดังนั้นการออกแบบชายคาเพื่อบังแดดให้อาคารจึงต้องคลอบคลุมช่วงเวลาที่มุมยก (Altitude Angle) ของแสงอาทิตย์กระทำกับตำแหน่งช่องเปิดต่ำที่สุด (ดวงอาทิตย์อ้อมใต้) และมีความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 9.00-15.00 น. จึงควรใช้มุมลาดเอียงหลังคาที่ประมาณ 30^o (กระทรวงพลังงาน, 2560)

ในส่วนของข้อมูลการสำรวจลักษณะบ้านพักอาศัยในประเทศไทยปี พ.ศ. 2560 โดยกระทรวงพลังงานทั้งหมด 1,800 หลัง พบว่าเป็นบ้านเดี่ยวมากที่สุด 85% โดยลักษณะทั่วไปของบ้านเดี่ยวจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีสัดส่วนช่องเปิด ต่อผนังทึบ WWR = 20 มีความสูงผนังที่ 2.70-3.00 ม. หลังคามีมุมเอียงประมาณ 30^o และมีอัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศของบ้านเดี่ยว 2 ชั้น 29.3% มีการสำรวจข้อมูลลักษณะของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม ตามประเภทและกำลังการใช้งาน เพื่อง่ายต่อการการคำนวณเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในบ้านพักอาศัย



ภาพที่ 12 การแบ่งกลุ่มกำลังเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยประเภทต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560)



ภาพที่ 13 พฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยประเภทต่างๆ (กระทรวงพลังงาน, 2560)

ข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบถึงโหลดของการใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ บ้านเดี่ยวมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานมากที่สุด โดยอัตราการใช้พลังงานสูงสุดอยู่ที่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าชั่วคราวที่ใช้กำลังไฟสูง เช่น ไดร์เป่าผม เตารีด โดยมากเป็นอุปกรณ์ทำความร้อนต่างๆ รองลงมาเป็นเครื่องปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัว เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านทั่วไปที่มีกำลังวัตต์ต่ำ เช่น ตู้เย็น และอุปกรณ์ส่องสว่าง ดังเช่นหลอดไฟ ตามลำดับ

ในส่วนของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านเดี่ยวนั้น โดยเฉลี่ยจำนวนชั่วโมงต่อวันมากที่สุดเป็น พัดลม โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ วิทยุ และเครื่องปรับอากาศ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งสองภาพของกราฟข้อมูลแสดงให้ว่า แม้จำนวนชั่วโมงการใช้เครื่องปรับอากาศต่อวันโดยเฉลี่ยที่ 2.3 ชม./วัน จะไม่มาก แต่ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้านั้นสูงเป็นอันดับที่ 2 ในขณะที่โหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในบ้านโดยเฉลี่ยใช้งานจำนวนชั่วโมงสูงกว่าแต่ปริมาณโหลดอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่ามาก ทำให้เกิดแนวคิดการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานในส่วนของเครื่องปรับอากาศ และภาระการทำความเย็นในบ้าน เป็นอีกตัวแปรในการศึกษาต่อไป

ตามข้อมูลการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัย แผนภูมิภาพที่ 12 และ 13 ผู้ออกแบบได้ทำการวิเคราะห์และสร้างตารางการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเดือนของบ้านต้นแบบขึ้นมา ซึ่งอ้างอิงให้เป็นไปตามแนวทางของกระทรวงพลังงาน ในการตั้งค่าโหลดการใช้งานไฟฟ้าอุปกรณ์ของทั้งการศึกษา ดังแสดงข้อมูลสรุปการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเดือนของบ้านมาตรฐานกระทรวงพลังงาน ตามภาพที่ 14

มหาวิทยาลัยศิลปากร

พื้นที่ใช้งาน	เครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า/หน่วย (Watt)	จำนวน (หน่วย)	ใช้งาน/วัน (ชั่วโมง)	วันใช้งาน/เดือน (วัน)	รวม (W/h/Day)	รวม/เดือน (W/h/Month)
ห้องรับแขก	โทรทัศน์ 29"	180	1	8	30	1440	43200
	เครื่องวีดีโอ	50	1	2	10	100	1000
	พัดลมตั้งพื้น 16"	55	1	5	30	275	8250
ทานอาหาร	พัดลมตั้งพื้น 16"	55	1	3	30	165	4950
ห้องทำงาน	คอมพิวเตอร์ 17"	120	1	2	25	240	6000
	พัดลมเพดาน 16"	53	1	2	25	106	2650
ห้องครัว	ตู้เย็น 10 คิว	145	1	24	30	3480	104400
	พัดลมเพดาน 56"	75	1	3	30	225	6750
	กระติกน้ำร้อน 2.5 L	650	1	1	30	650	19500
	หม้อหุงข้าว 2.5 L	1,050	1	2	25	2100	52500
	เครื่องบดเล็ก	100	1	10 นาที	15	20	300
	เครื่องปั่น 2.0 L	400	1	10 นาที	10	70	700
	กระทะไฟฟ้า	1,000	1	40 นาที	20	670	13400
	ไมโครเวฟ 25 L	1,200	1	15 นาที	30	300	9000
ลานซักล้าง	เครื่องซักผ้า 7 kg.	340	1	1	10	340	3400
ห้องนั่งเล่น	โทรทัศน์ 21"	112	1	2	30	224	6720
ห้องนอน 1	เตารีด	1,000	1	20 นาที	30	330	9900
	โทรทัศน์ 21"	112	1	2	25	224	5600
	เครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU	1,200	1	7 h. 24 m.	25	8880	222000
						0	0
ห้องแต่งตัว	เครื่องเป่าผม	1,500	1	20 นาที	30	380	11400
ห้องนอน 2	โทรทัศน์ 15"	70	1	3	30	210	6300
	เครื่องปรับอากาศ 9,000 BTU	880	1	7 h. 42 m.	25	6776	169400
						0	0
ห้องนอน 3	คอมพิวเตอร์ 14"	90	1	3	10	270	2700
	พัดลมตั้งพื้น 16"	55	1	5	30	275	8250
	เครื่องทำน้ำอุ่น	6,000	1	30 นาที	30	3000	90000
	เครื่องทำน้ำอุ่น	6,000	1	30 นาที	30	3000	90000
							898270
							898.27

ภาพที่ 14 สรุปการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเดือนของบ้านมาตรฐานกระทรวงพลังงาน

2.3.2 เกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 สำหรับบ้านพักอาศัย (ASHRAE 90.2 Standard Energy-Efficient Design of Low Rise Residential Building) มาตรฐานสากล

ปัจจุบันหนึ่งในเกณฑ์การออกแบบที่เป็นมาตรฐานการรับรองประสิทธิภาพของอาคารในระดับสากลที่ใช้กันแพร่หลายคือ เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบโดยสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ซึ่งในการจำลองพลังงานเพื่อหาค่าการใช้พลังงานรวมของบ้าน หนึ่งในวิธีการศึกษานี้ จะอ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 (ASHRAE 90.2 Standard for Energy-Efficient Design of Low Rise Residential Building) ประเภทอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 8 ชั้น เป็นมาตรฐานของอาคารอ้างอิง (Baseline Building) โดยการสร้างแบบจำลองที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนบ้านต้นแบบตามจริงทุกประการ ทั้งตารางการใช้งาน (Schedule) ที่สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) และข้อมูลสภาพอากาศจำเพาะของกรุงเทพมหานคร (Weather Data) ยกเว้น การป้อนข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุประกอบอาคาร ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ อัตราการระบายอากาศ (Air Change per hour) การใช้ไฟฟ้ากำลังของอุปกรณ์ (Plug Load) ความเข้มข้นการส่องสว่างต่อพื้นที่ (Lighting Power Density, LPD) จะตั้งตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ชี้วัด สามารถสรุปตามหมวดหมู่ได้ดังนี้

<u>หมวด A</u> เขตภูมิอากาศ (Climate Zone) – กรุงเทพมหานคร อยู่ในเขต Climate Zone 0

<u>หมวด B</u> องค์ประกอบเปลือกอาคาร (Envelope Component)

ตารางที่ 3 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-factors) ในขณะที่อาคารมีการใช้พลังงานในพื้นที่ตั้ง (SI units) (ASHRAE, 2018)

Climate Zone	Maximum SHGC		Maximum U-factors							
	Glazed Fenestration	Skylights	Fenestration	Skylights	Ceilings	Frame Walls	Mass Walls	Floors	Basement Wall	Crawlspace Walls
0	0.25	0.30	2.84	4.26	0.20	0.48	1.12	0.36	2.04	2.71

ตารางที่ 4 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-factors) ในแต่ละองค์ประกอบของเปลือกอาคาร (SI units) (ASHRAE, 2018)

Climate Zone	Maximum SHGC	Maximum U-factors							
	Glazed Fenestration	Fenestration	Skylights	Ceilings	Frame Walls	Mass Walls	Floors	Basement Wall	Crawlspace Walls
0	0.30	6.82	4.26	0.20	0.47	1.12	0.36	2.04	2.71

ตารางที่ 5 ค่าสูงสุดของความต้านทานความร้อน (R-Value) และความหนาของฉนวนกันความร้อน สำหรับพื้น ค.ส.ล.โครงสร้าง ในขณะที่อาคารมีการใช้พลังงานในพื้นที่ตั้ง (ASHRAE, 2018)

Climate Zone 0	**R-Value** (SI units)	**Depth**
Unheated Slab	0	R-5 (1.5 inch)
Heated Slab	0.88	R-5 (1.5 inch)
Heated Slab Edges	0.88	R-5 (1.5 inch)

หมวด C ระบบปรับอากาศส่วนกลาง (Central Air Conditioner Specification)

ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบต่างๆ (ASHRAE, 2018)

Equipment Type	**SEER**	**EER**	**HSPF**	**COP_H**	**SCOP**	**COP_C**
Central Air Condition						
Split	16	13			3.81	
Packaged	16	12			3.52	

SEER = Seasonal Energy Efficiency Ratio

EER = Energy Efficiency Ratio

HSPF = Heating Seasonal Performance Factor

COP_H = Coefficient of Performance of Heat Pump

SCOP = System COP

COP_C = Coefficient of Performance of refrigeration

หมวด D ดัชนีสูงสุดของอัตราการใช้พลังงาน (Energy Rating Index, ERI) ของกรุงเทพมหานคร ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018

ตารางที่ 7 ดัชนีสูงสุดของอัตราการใช้พลังงาน (Maximum ERI) (ASHRAE, 2018)

Climate Zone	**ERI**
0	43

หมวด E อัตราการรั่วซึมของอากาศบริเวณเปลือกอาคาร (Building Envelop Air Leakage)

อัตราการรั่วซึมของอากาศบริเวณเปลือกอาคารไม่เกิน 5 ACH_{50} (ASHRAE, 2018)

หมวด F การตั้งค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 ระบุไว้ว่าให้อ้างอิงจากข้อมูลตารางที่ 9.6.1 ของมาตรฐาน ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 8 ตารางการตั้งค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของบ้านต้นแบบอ้างอิง (ASHRAE/IES, 2010)

การใช้งาน	LPD (W/m^2)	การใช้งาน	LPD (W/m^2)
ห้องรับแขก	7.85	ลานซักล้าง	7.10
ทานอาหาร	9.57	โรงจอดรถ	2.69
ห้องทำงาน	11.94	ห้องนั่งเล่น	7.85
ห้องครัว	10.65	ห้องนอน	3.23
ห้องน้ำ	10.54	ห้องแต่งตัว	3.23
ระเบียง	7.10	โถงบันได	7.42

การสร้างโมเดลจำลองอ้างอิงคุณสมบัติวัสดุเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศ อัตราการรั่วซึมของอากาศ และการตั้งค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดตาม ASHRAE 90.2-2018 ก็เพื่อสร้างอาคารอ้างอิง (Baseline Building) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานจากมาตรฐานสากล เป็นการวัดว่า อาคารที่ออกแบบนั้นมีค่าพลังงานรวมสูงหรือต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดนั่นเอง ดังนั้นการตั้งค่าจำลองของอาคารอ้างอิงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการศึกษานี้

นอกจากนี้มีการศึกษาในส่วนของมาตรฐานการออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัยสำหรับประเทศไทยนั้น ปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) *มาตรการบังคับตามกฎหมาย* พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน มีกำหนดการใช้พลังงานในอาคาร (Building Energy Code, BEC) เพื่อบังคับใช้กับอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร 9 ประเภท ได้แก่ อาคารสถานศึกษา สำนักงาน มหรสพ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน สถานพยาบาล โรงแรม สถานบริการ และอาคารชุด โดยการประเมินยังไม่มีกฎหมายบังคับใช้สำหรับอาคารประเภทบ้านพักอาศัย นอกเหนือจากนี้ยังมีเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่สูงกว่า BEC แต่ไม่ใช่มาตรการบังคับตามกฎหมาย ได้แก่ HEPS ECON และ ZEB แต่ก็ยังไม่ใช่มาตรฐานสำหรับบ้านพักอาศัย

2) *เกณฑ์มาตรฐานชี้วัดประสิทธิภาพในการออกแบบ* ภายใต้ความร่วมมือระหว่างกระทรวงพลังงาน และหน่วยงานของรัฐ เพื่อสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยเป็นไปตามมาตรฐานสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล โดยส่วนใหญ่มาจากการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติผ่านงานวิจัยขึ้นเป็นเกณฑ์การออกแบบเผยแพร่แก่ประชาชน ได้แก่

- มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์และระบบประกอบอาคาร มีการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างบริเวณกรอบอาคาร และประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ระบบน้ำร้อนที่ใช้กับอาคารนั้น ที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบ โดยประเทศไทยมีการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ 1) มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นสูง (High Energy Performance Standard, HEPS) และ 2) มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance Standard, MEPS)

- เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร จะมีทั้งเกณฑ์บังคับผ่านและเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถใช้การลดค่าพลังงานรวมมาชดเชยได้ แต่ต้องเทียบกับอาคารอ้างอิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับอาคารควบคุมที่ออกแบบจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

- เกณฑ์ประเมินการใช้พลังงานของอาคารเมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนทดแทนเชิงพาณิชย์ ในเรื่องของการใช้แสงธรรมชาติ, การควบคุมระบบเปิด-ปิดไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณพื้นที่ที่ติดกับกรอบอาคาร, สัมประสิทธิ์การบังแดด, อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผนังทึบต่อพื้นที่ช่องเปิดโปร่งแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร และการผลิตพลังงานโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ZEB (Zero Energy Building) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

2.3.3 วิธีการประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารที่ใช้ในการศึกษา

ประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร สามารถวัดได้จากค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (EUI) ดังนั้นก่อนการปรับปรุงจำเป็นต้องมีการประเมินหาค่าการใช้พลังงานรวมในอาคาร สำหรับการศึกษานี้ใช้ 3 วิธีการให้ได้มาซึ่งค่าพลังงานรวมเป้าหมาย ดังนี้

<u>วิธีที่ 1</u> ใช้ค่า EUI มาตรฐานของบ้านเดี่ยวที่ได้มีการศึกษาไว้โดยกระทรวงพลังงาน เป็นวิธีการประเมินเบื้องต้นอย่างง่าย โดยค่ามาตรฐานเป็นค่ากลางที่ได้การประมวลผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะมีการทำข้อมูลสำรวจฐานข้อมูลบ้านพักอาศัยโดยกระทรวงพลังงาน ทำให้ค่ากลางมีการปรับเปลี่ยนอยู่เสมอตามปีนั้นๆ

<u>วิธีที่ 2</u> การประมาณโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงาน มีการแทนค่าข้อมูลต่างๆ ตามสูตร ดังจะกล่าวรายละเอียดของวิธีการคำนวณในบทต่อไป

<u>วิธีที่ 3</u> การจำลองพลังงานโดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง Autodesk Revit 2020 มีการพัฒนาโปรแกรมจำลองพลังงานเรื่อยมาตั้งแต่ VisualDOE, eQUEST, Ecotect, EnergyPlus และอื่นๆ จนกระทั่งโปรแกรม Revit ได้พัฒนาให้ครอบคลุมการใช้งานที่สามารถอ้างอิงได้จากแบบทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ ช่วยให้การจำลองสมจริงมากขึ้น และยังประมวลผล

ประสิทธิภาพแสงสว่างและการใช้แสงธรรมชาติได้ในโปรแกรมเดียว การศึกษานี้จึงเลือกใช้โปรแกรมดังกล่าวร่วมด้วย ดังจะชี้แจงรายละเอียดแต่ละส่วนในบทต่อไป

การศึกษานี้ใช้การประเมินค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารทั้ง 3 วิธี เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ ความคลาดเคลื่อน และความเหมาะสมในการใช้งานอันเป็นทางเลือกในการศึกษา

2.4 วิธีการกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงาน (Energy Generation Target)

เมื่อทราบถึงค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารแล้ว เป้าหมายต่อไปในการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวกคือ การผลิตพลังงาน ทำให้เกิดการศึกษาวิธีการหาเป้าหมายการผลิตพลังงานเพื่อผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก ซึ่งมีแนวทางการกำหนดดังต่อไปนี้

2.4.1 วิธีการกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงานจากพลังงานที่ใช้ในอาคาร

ค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารจะเป็นตัวกำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงานเบื้องต้นที่น้อยที่สุดที่ควรผลิตให้เพียงพอกับการใช้งานในรอบ 1 ปีของบ้าน

2.4.2 วิธีการกำหนดเป้าหมายบ้านพลังงานเป็นบวกเพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้า

จากปัญหามลพิศทางอากาศ ที่มาจากการยานพาหนะในการคมนาคมขนส่ง ทำให้เกิดการพัฒนายานยนต์ขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้า ที่เริ่มใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย เพื่อเป็นการรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต การออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวกสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 1 คันให้เพียงพอในรอบปี จึงเป็นอีกหนึ่งเป้าหมาย จึงได้มีการศึกษาถึงการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมข้อมูลพฤติกรรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางกำหนดเป้าหมาย

จากโครงการศึกษาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งได้ทำการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าจากการทดสอบภาคสนามนั้น[1] พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 180.3 Wh/km หรือ 0.18 kWh/km สามารถวิ่งได้สูงสุดต่อการอัดประจุเต็ม 146.3 กม. ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลของผู้ผลิตซึ่งระบุว่ามีอัตราการใช้พลังงานที่ 150 Wh/km และวิ่งได้สูงสุด 199 กม. และมีระยะเดินทางเฉลี่ยต่อวันของของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถตู้สูงสุดที่ 93 ก.ม./วัน (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2560) สรุปเป็นข้อมูลของรถไฟฟ้าที่ใช้ในการอ้างอิงการคำนวณสำหรับการศึกษานี้ ได้ตามตารางที่ 9

[1] ข้อมูลทดสอบจากยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (battery electric vehicle, BEV) รุ่น Nissan Leaf ด้วย 7 เส้นทางการทดสอบที่แตกต่างกัน จำนวน 29 ครั้ง โดยมีการปรับอากาศขณะขับขี่ในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 9 ข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2560)

ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา	รายละเอียด
Nissan	รุ่น Nissan Leaf
อัตราการการใช้พลังงานเฉลี่ย (Wh/km)	180.3
ระยะทางจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อการชาร์จ 1 ครั้ง (ก.ม.)	199
ระยะทางที่วิ่งได้จริงจากการทดสอบต่อการชาร์จ 1 ครั้ง (ก.ม.)	146.3
สถานที่ทดสอบภาคสนาม	กรุงเทพมหานคร
ลักษณะการขับขี่	โหมดปกติ (comfort)
ระยะเดินทางเฉลี่ยสูงสุดต่อวันของของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถตู้ (ก.ม./วัน)	93

(เรียบเรียงข้อมูลใหม่โดยผู้ออกแบบ)

ในการศึกษานี้จึงเลือกที่จะนำข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามที่มีการปรับอากาศซึ่งใกล้เคียงการใช้งานจริงมาใช้ในการหาความต้องการพลังงานในบทต่อไป

2.4.3 วิธีการกำหนดเป้าหมายบ้านพลังงานเป็นบวกสูงสุด จากพื้นที่หลังคา

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวกในที่ตั้ง ซึ่งความต้องการใช้พลังงานรวมทั้งหมดมาจากอาคาร ดังนั้นการผลิตพลังงานจึงคิดเฉพาะการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาบ้าน ทำให้เป้าหมายการผลิตสูงสุดมาจากการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคานั่นเอง

2.5 กรณีศึกษาอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกในประเทศและต่างประเทศ

เพื่อการอ้างอิงผลลัพธ์การใช้และการผลิตพลังงานที่ดีนั้น จำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับด้านพลังงานและวิธีการออกแบบ เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้บ้านสามารถมีพลังงานเป็นบวกบรรลุได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ ตามการศึกษาดังนี้

2.5.1 กรณีศึกษาในประเทศ

2.5.5.1 ออกแบบที่พักอาศัยแบบกลุ่ม “บ้านผีเสื้อ” อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ที่นำร่องในการใช้ระบบพลังงานสะอาดและยั่งยืน เพื่อพัฒนาที่อยู่อาศัย แบบพึ่งพาตนเองโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และน้ำฝนที่มีในพื้นที่ ครอบคลุมความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตอนกลางวันและไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบก๊าซไฮโดรเจน นำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงใช้ในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ต่อเนื่องกว่า 30 ชม. ได้กระแสไฟฟ้ากว่า 4 kW_p และมีระบบแบตเตอรี่ช่วยสนับสนุนการจ่ายกระแสไฟฟ้าในส่วนที่เกินอีกด้วย นอกจากนี้โครงการยังคำนึงถึงการออกแบบที่ยั่งยืนในการสร้างสมดุลในระบบนิเวศน์ผ่านบ่อน้ำขนาดใหญ่ในโครงการเพื่อการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติ ก่อนผ่านระบบบำบัดรวมและนำไปใช้หมุนเวียนสำหรับการชลประทานในโครงการ

ตารางที่ 10 ข้อมูลด้านพลังงานของบ้านผีเสื้อ (บ้านผีเสื้อ, 2559)

ข้อมูล	Energy Building	House A	House B	Main House	Pump Waterfall	Swimming Pool Pump
กำลังการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ (kW_p)	24.75	20.16	20.16	21	6	9
จำนวนแผงโซล่าเซลล์ (แผง)	75	64	64	84	36	36
ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด PSH (ชม.)	3.8					
กำลังการผลิตไฟฟ้าต่อวัน (kWh)	384.2					
กำลังการผลิตไฟฟ้ารายปี (kWh/yr)	140,233					
พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่ถูกกักเก็บรูปแบบไฮโดรเจนต่อวัน	7.5 kg of Hydrogen หรือ 130 kWh					
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh)	254.2					
%พลังงานส่วนเกินเหลือใช้ต่อปี	66%					

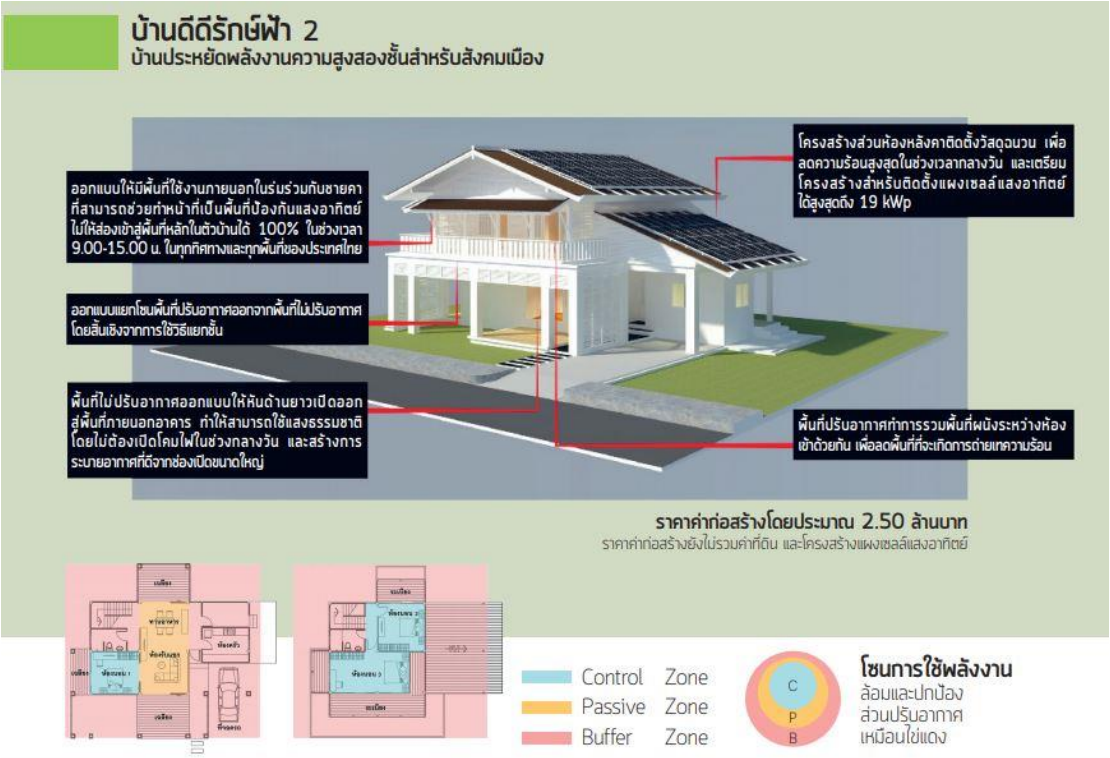
จากกรณีศึกษาบ้านผีเสื้อทำให้ทราบว่า การผลิตไฟฟ้าที่ใช้หมุนเวียนในโครงการนั้นจากข้อจำกัดของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถใช้ได้เฉพาะช่วงเวลากลางวัน ยังต้องมีการเสาะหาวิธีการจัดเก็บพลังงานในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจน เพื่อให้สามารถนำมาแปรสภาพและใช้งานในช่วงเวลากลางคืนได้ ทำให้ทั้งโครงการของบ้านผีเสื้อ สามารถพึ่งพาตนเองได้โดยไม่ต้องอาศัยการสนันสนุนไฟฟ้าจากระบบสายส่งของรัฐแม้แต่น้อย

2.5.5.2 โครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรเสนา พาร์ค วิลล์ สร้างจุดขายสร้างชุมชนรักษ์โลกโดยใช้พลังงานสะอาด ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นขนาด 2 kW_P พร้อมแท่นชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ให้ลูกบ้านในโครงการ โดยสามารถติดตั้งเพิ่มได้สูงสุดถึง 5 kW_P สำหรับบ้าน Oxy Smart มีขนาดพื้นที่มากที่สุดประมาณ 198 ตร.ม. ใช้หลักการออกแบบโดยเอื้อประโยชน์จากธรรมชาติโดยวางผังให้หน้าบ้านหันไปด้านทิศเหนือหรือใต้ สัดส่วนของผังพื้นเป็นจตุรัส ออกแบบให้มีช่องระบายความร้อนใต้หลังคา ติดตั้งฉนวนกันความร้อน เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และการออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดการใช้พลังงานในบ้านลง (Sena, 2562)

ภาพที่ 15 บ้าน Oxy Smart โครงการจัดสรรเสนา พาร์ค วิลล์ (Sena, 2562)

2.5.5.3 บ้านประหยัดพลังงานต้นแบบเผยแพร่ดีดีรักษ์พลังงาน โดยกระทรวงพลังงาน ประเภทบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 เป็นบ้านประหยัดพลังงานที่มีสัดส่วนของผังพื้นคือ 1:1.5 ความสูง 2 ชั้น พื้นที่ประมาณ 215 ตร.ม. ที่ออกแบบให้มีชายคาและพื้นที่ภายนอกในร่มชายคาสามารถป้องกันแสงอาทิตย์เข้าสู่พื้นที่ใช้งานได้ในช่วงเวลา 9.00-15.00 น. ได้ 100% และสามารถรองรับการติดตั้งโซล่าร์เซลล์ได้ถึง 19 kW_P การออกแบบผ่านการวิเคราะห์เรื่องการระบายอากาศและการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และหลีกเลี่ยงการออกแบบพื้นที่ปรับอากาศให้อยู่ชิดกรอบอาคารโดยตรง ผ่านหลักการล้อมและปกป้องส่วนปรับอากาศเหมือนไข่แดง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

ภาพที่ 16 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 บ้านต้นแบบประหยัดพลังงานเผยแพร่โดยกระทรวงพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



ภาพที่ 17 แนวคิดการประหยัดพลังงาน และใช้ประโยชน์จากธรรมชาติของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

ทั้งนี้บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ยังมีค่าการใช้พลังงานรวมที่ 25 kWh/m^2/yr หรือเท่ากับมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 5,375 kWh/yr ซึ่งหากติดตั้งโซล่าร์เซลล์สูงสุด 19 kW_P จะมีพลังงานส่วนเกินกว่า 29,300 kWh/yr

สำหรับกรณีศึกษาบ้านจากโครงการจัดสรรโซล่าร์รูฟ เสนา พาร์ค วิลล์ และบ้านต้นแบบประหยัดพลังงานดีดีรักษ์ฟ้า ที่เผยแพร่โดยกระทรวงพลังงาน ทำให้ทราบถึงแนวทางการวางผังและหลักการจัดวางพื้นที่ใช้งานปรับอากาศ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางผนังหลังคา วัสดุพื้นฐานในการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน และส่วนใหญ่จะใช้การผลิตไฟฟ้าบนหลังคาบ้าน เพื่อให้ได้ใช้ประโยชน์จากหลังคาบ้านมากที่สุด จากข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงให้งานออกแบบมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

2.5.2 กรณีศึกษาอาคารตัวอย่างและเกณฑ์อาคารที่มีพลังงานเป็นบวกในต่างประเทศ

2.5.2.1 กรณีศึกษาอาคารตัวอย่างเรื่องแนวคิดการออกแบบ

1) Taft School Faculty Home, Watertown, Connecticut, USA. เป็นบ้านพักอาศัยสูง 2 ชั้น ที่เปิดเป็นส่วนนิทรรศการให้ความรู้เรื่องบ้านพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ความน่าสนใจคือ บ้านออกแบบตามหลักการพึ่งพาธรรมชาติ ในการนำความร้อนเข้ามาใช้ให้ความอบอุ่นโดยการเปิดช่องแสงทางทิศใต้ ตะวันออกและตะวันตก โดยใช้กระจกค่า U-value ต่ำ ที่ประมาณ 0.11 $W/m^2 \cdot K$ ใช้หลอดไฟ LED 92% และมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง (Heat Recovery Ventilation, HRV) 93.3% และแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพระดับ MERV 7 เพื่อถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมลดการสูญเสียความร้อนในช่วงฤดูหนาวและความร้อนที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อน

2) Stylish and Net Zero, New Canaan, CT, USA. เป็นบ้านพักอาศัยขนาด 4 ห้องนอน และอพาร์ทเม้นท์ 2 ห้อง ที่ได้มาตรฐาน Net Zero Energy Ready Home และมี HERS score = -10 ที่มีการติดตั้ง PV บนหลังคาสูงถึง 19.6 kW_P ใกล้เคียงกับบ้านดีดีรักษ์ฟ้า ของกระทรวงพลังงาน

3) Ballard Emerald Star Zero Energy Home, Seattle, WA, USA. เป็นบ้าน 3 ชั้น ออกแบบให้มีการใช้แสงธรรมชาติที่บริเวณพื้นที่เปิดโล่ง 2 ชั้น ใช้กระจกบานใหญ่ทางทิศใต้ และตะวันตก ค่า U value = 0.16 $W/m^2 \cdot K$, SHGC = 0.49

4) OHM Sweet OHM Roseville, MN, USA เป็นบ้านชั้นเดียวที่มีห้องใต้หลังคา ใช้หลักการออกแบบพึ่งพาธรรมชาติให้ความสำคัญกับการออกแบบช่องแสงและชายคาทางทิศใต้ เพื่อประโยชน์ในการทำความร้อนในฤดูหนาวและป้องกันความร้อนสูงเกินไปในฤดูร้อน

5) The Cork Haus, Seattle, WA, USA. เป็นบ้านที่เน้นการออกแบบใช้แสงธรรมชาติ และใช้ไฟ LED 100% ใช้กระจก Low-E ขนาดใหญ่ทางทิศใต้ และทิศตะวันตก ค่า U value = 0.13 $W/m^2 \cdot K$, SHGC = 0.50 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบเกร็ดปรับมุม เพื่อกรองแสงในพื้นที่ ให้เหมาะสมกับการใช้งานแสงธรรมชาติ

จากการศึกษาตัวอย่างอาคารในต่างประเทศ ด้านแนวคิดการออกแบบ ข้อมูลการผลิตพลังงานส่วนเกิน และขนาดการติดตั้ง PV เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบ ได้ผลตามตารางนี้

ตารางที่ 11 ข้อมูลกำลังการติดตั้ง PV และพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้จากการศึกษาบ้านโครงการ Zero Energy Certified จาก International Living Future Institute

โครงการ	PV installed (kW_P)	พื้นที่ (m^2)	EUI ($kWh/m^2/yr$)	%Surplus
Taft School Faculty Home, Watertown, Connecticut	13.1	334	47.5	17
Stylish and Net Zero, New Canaan, CT	19.6	585	49.5	10
Ballard Emerald Star Zero Energy Home, Seattle, WA	8.0	206	37.5	51
OHM Sweet OHM Roseville, MN, USA	18.91	226	44.2	176
The Cork Haus, Seattle, WA, USA	8.1	158	41	82

(ที่มา: รวบรวมด้วยผู้ออกแบบ)

จากกรณีศึกษาบ้านพลังงานบวกในต่างประเทศ จะวัดกันที่ผลลัพธ์การผลิตพลังงานส่วนเกิน มากกว่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (EUI) ข้อมูลการใช้พลังงานรวมบ้านพลังงานบวกในต่างประเทศพบว่า บ้านแถบภูมิอากาศหนาว พลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้มาจาก PV มีการหมุนเวียนพลังงานจากระบบทำน้ำร้อนของเครื่องปรับอากาศในลักษณะของ Heater ลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกโดยการเพิ่มประสิทธิภาพของฉนวนที่กรอบอาคารรอบทิศทาง การออกแบบช่องแสงเพื่อรับแสงทางทิศใต้ และตะวันตก เพื่อประโยชน์จากการได้รับความอบอุ่นในฤดูหนาว จึงลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศลง รวมทั้งสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันกับประเทศไทย ส่งผลให้ค่าพลังงานต่อตารางเมตรของบ้านเมืองหนาวจากกรณีศึกษาที่ช่วง EUI = 41 - 49.5 $kWh/m^2/yr$ อาจจะสูงกว่าบ้านในเขตร้อนชื้น ที่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติให้เกิดภาวะน่าสบาย เพื่อลดการใช้เครื่องปรับอากาศ และระบายความร้อนด้วยการไหลเวียนตามธรรมชาติ สำหรับพลังงานส่วนเกินจะอยู่ที่ช่วง 10-176% และขนาดการติดตั้ง PV ที่ประมาณ 8-19.6 kW_P อันเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการอ้างอิงกับผลการศึกษาต่อไป

2.5.2.2 เกณฑ์ชี้วัดอาคารที่มีพลังงานเป็นบวกสากล

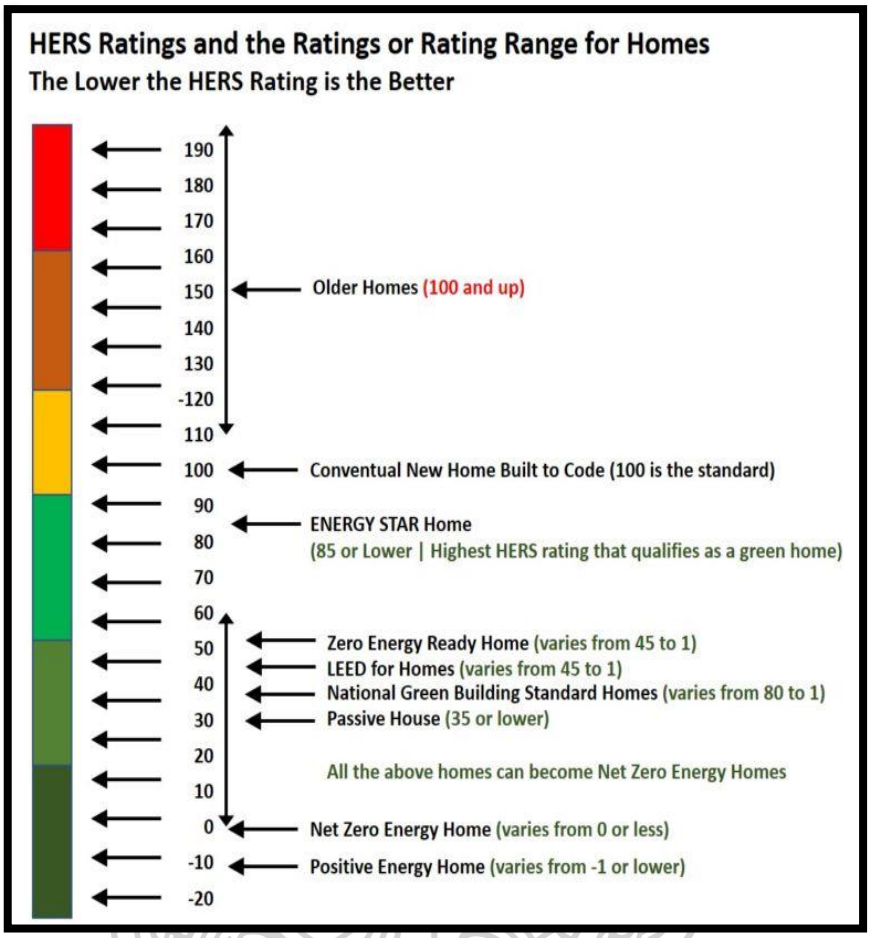
ปัจจุบันองค์กรด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในต่างประเทศ ได้จัดทำเกณฑ์ชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานไว้ ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล สำหรับมาตรฐานที่สนใจศึกษา ได้แก่

1) Home Energy Rating System (HERS) โดย Residential Energy Services Network (RESNET) เป็นการคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบ้าน ซึ่งเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมในการตัดสินประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก โดยจะแบ่งประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบ้านเทียบกับบ้านมาตรฐานตามกฎหมายของบ้านสร้างใหม่ที่ HERS score = 100 เป็นพื้นฐาน หลักการชี้วัดคะแนนคือ สูงกว่า 100 หมายถึงประสิทธิภาพการประหยัดต่ำกว่ามาตรฐาน คะแนนต่ำกว่า 100 หมายถึง สูงกว่ามาตรฐาน กรณีคะแนน HERS score = 0 หมายถึงมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ และคะแนนติดลบ เช่น HERS score = -10 หมายถึงมีประสิทธิภาพพลังงานเป็นบวก โดยพลังงานส่วนเกินมีมากกว่าที่ต้องการใช้ถึง 10% ซึ่งโครงการที่เข้าร่วมการวัดประสิทธิภาพพลังงาน จะมีการประเมินโดยผู้รับรองของ RESNET ในประเด็นดังนี้

- การรั่วไหลของอากาศที่เปลือกอาคาร
- อัตราการรั่วไหลของระบบท่อความร้อน ระบบระบายอากาศ และปรับอากาศ
- ความเสี่ยงจากการเผาไหม้ หรือการสันดาปเครื่องยนต์ เครื่องจักรที่ใช้ในอาคาร
- อัตราการแทรกซึมของอากาศภายนอกสู่อาคาร

เหล่านี้คือปัจจัยในการสูญเสียความร้อนของบ้านเมืองหนาว ที่มีผลต่อภาระการทำงานของเครื่องทำความร้อน (Heater) ในบ้าน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ต้องทำการตรวจสอบอีกในส่วนของฉนวนกันความร้อนที่ผนังและฝ้าเพดาน ระบบทำน้ำร้อน อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermostats) ฐานราก ห้องใต้หลังคาและใต้ถุน

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพจะทำการเทียบกับบ้านอ้างอิงมาตรฐาน เป็นบ้านที่ทำการจำลองเพื่อเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ เกี่ยวกับลักษณะขนาดรูปร่าง สภาพภูมิอากาศ ที่เหมือนกับบ้านต้นแบบ แต่ประสิทธิภาพของกรอบอาคาร และระบบประกอบอาคารอื่นๆ เป็นไปตามกฎหมายและเกณฑ์ขั้นต่ำ



ภาพที่ 18 HERS Rating for Homes (BPC, 2021)

จากระดับเกณฑ์ของ HERS ภาพที่ 18 พบว่าอาคารพลังงานเป็นบวกตามเกณฑ์อยู่ที่ HERS score = -10 นั่นคือพลังงานส่วนเกินที่ผลิตเกินกว่า 10% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมดถือว่าอาคารนั้นมีประสิทธิภาพการผลิตในระดับอาคารพลังงานเป็นบวก

2) DGNB Climate Positive คือ รางวัลเพื่อรับรองความเป็นกลางของคาร์บอนตามข้อมูลการบริโภคของอาคาร เพื่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและพลังงาน ในโครงการ Climate Positive Award โดยสภาอาคารยั่งยืนประเทศเยอรมัน (DGNB = German Sustainable Building Council) ในฐานะองค์กรไม่แสวงผลกำไร มุ่งเน้นการมอบรางวัลให้กับอาคารที่ผ่านการรับรองตามระบบ DGNB Building in Use มาแล้วอย่างน้อย 1 ปี สำหรับอาคารเกี่ยวกับการประเมินทั้ง 6 หมวด ได้แก่

- คุณภาพของสิ่งแวดล้อม
- คุณภาพทางเศรษฐกิจ
- คุณภาพทางสังคมวัฒนธรรม และการใช้งาน
- คุณภาพทางเทคนิค
- คุณภาพการดำเนินการ
- คุณภาพที่ตั้งโครงการ

โดยประเด็นที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพพลังงานที่น่าสนใจคือหมวดที่ 4 คุณภาพทางเทคนิคที่กล่าวถึงการใช้และการบูรณาการทางเทคโนโลยีทางอาคาร (TEC1.4 – Use and integration of building technology) การทำคะแนนในประเด็นการใช้พลังงานทางเลือกและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานแบบบูรณาการหัวข้อ 4.4 – Integration of the Energy infrastructure into the district / the immediate surroundings ระบุว่า พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในระบบจะต้องมีมากกว่าประมาณ 10% ของพลังงานที่อาคารต้องการใช้ (DGNB, 2020) นั่นหมายถึงพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้ต้องไม่น้อยกว่า 10% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมดในอาคารนั่นเอง

จากการศึกษาประเด็นการชี้วัดระดับพลังงานเป็นบวกของ 2 เกณฑ์ข้างต้นพบว่าสอดคล้องกัน โดยการผลิตพลังงานส่วนเกินให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตอย่างน้อย 10% ของการใช้พลังงานในอาคารภายในระยะเวลา 1 ปี ถือว่าอาคารนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานเป็นบวก (Positive Energy) นั่นเอง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
วิธีการออกแบบ

3.1 แนวทางการออกแบบ

แนวทางการดำเนินการออกแบบเริ่มจากศึกษาทฤษฎี แนวทางการออกแบบ และลักษณะของบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก จากนั้นทำการเลือกบ้านเดี่ยวต้นแบบจากกรณีศึกษาในประเทศมา 2 รูปแบบ ที่มีลักษณะเป็นบ้านประหยัดพลังงานที่เน้นการออกแบบที่มีการพึ่งพาธรรมชาติ และบ้านจัดสรรระบบสำเร็จรูปตามแนวคิดประหยัดพลังงาน ในโครงการที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมขาย แล้วทำการหาค่าพลังงานรวมเป้าหมายความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity, EUI) ตามหลักการและวิธีที่อ้างอิงจากการศึกษาก่อนทำการปรับปรุง ต้องทำการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานรวมก่อน จากนั้นเข้าสู่กระบวนการปรับปรุง โดยทำการลดความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (EUI) และเพิ่มพื้นที่หลังคาสำหรับติดตั้ง PV ให้ได้ตามเป้าหมายการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และเป้าหมายการติดตั้งสูงสุดบนหลังคา แล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการปรับปรุงวิธีต่างๆ เพื่อสรุปเป็นแนวทางการออกแบบบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกต้นแบบ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จากการศึกษาต่อไป

3.2 เครื่องมือการวิเคราะห์ผลงานออกแบบ

เพื่อหาค่าความต้องการการใช้พลังงานของการศึกษานี้ ใช้วิธีการจำลองพลังงานตามการออกแบบจริง โดยใช้โปรแกรม Revit version 2020 ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling, BIM) ที่สถาปนิกจำนวนมากใช้ในการออกแบบและเขียนแบบ โดยวิธีนี้จะต้องสร้างแบบจำลองลักษณะของบ้านตามที่ออกแบบ ต้องใช้ไฟล์สถิติสภาพอากาศ (weather data) ของกรุงเทพมหานคร ต้องระบุช่วงเวลาการใช้งาน (schedule) พื้นที่ใช้สอยย่อย (space type) อัตราการระบายอากาศ (air change per hour) โหลดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (power load) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (lighting power density, LPD) จำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ และชนิดระบบปรับอากาศ รวมถึงรายละเอียดของวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ช่องเปิดโปร่งแสง (กระจก) และฝ้าเพดาน ซึ่งผลการจำลองนี้จะสามารถใช้อ้างอิงการออกแบบได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานของอาคารในปัจจุบัน ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานอาคารอ้างอิงตาม ASHRAE 90.2-2018 ได้ตามการตั้งค่าและใช้ชุดข้อมูลบางส่วนร่วมกัน

โปรแกรม Revit version 2020 จะทำการประมวลผลด้านการใช้พลังงานบนแถบเครื่องมือ Analyze ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานบนระบบฐานข้อมูลกลางอินเตอร์เน็ต (Cloud Server) และแสดงผล (Output) ผ่าน Autodesk Insight และ Autodesk Green Building Studio ซึ่งจะแสดงรายละเอียดด้านพลังงานทั้งหมดของอาคาร จากการสร้างแบบจำลองพลังงานในโหมด Use Building Element จึงมีความเที่ยงตรงในการประมวลผล และได้ผลการจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด นอกจากนี้ในการหาค่าพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าของแผง PV บนหลังคาจะใช้โปรแกรม PV Watts Calculator พัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) ที่จะแสดงค่าการผลิตพลังงาน (kWh/yr) แยกตามทิศทางการติดตั้งแผง PV จากนั้นจึงนำมารวมกัน ได้เป็นค่าการผลิตพลังงานรวมของอาคารทั้งหมดใน 1 ปี

3.3 การรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารทางวิชาการ งานวิจัย และมาตรฐานการออกแบบจากองค์กรในประเทศและต่างประเทศ รวมไปถึงกรณีศึกษาตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบ ได้แก่

3.3.1 นิยามและความหมายของบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก

3.3.2 มาตรฐานการใช้พลังงานบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยกระทรวงพลังงาน

3.3.3 การจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 สำหรับบ้านพักอาศัย (ASHRAE 90.2 Standard Energy-Efficient Design of Low Rise Residential Building)

3.3.4 คู่มือการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (Achieving Zero Energy Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings หรือ AEDGZE)

3.3.5 เกณฑ์สำหรับชี้วัดอาคารพลังงานเป็นบวก Home Energy Rating System (HERS)

3.3.6 Climate Positive Award รางวัลเพื่อรับรองความเป็นกลางของคาร์บอนส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและพลังงานของโครงการ

3.3.7 วิธีการออกแบบบ้านที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

3.3.8 กรณีศึกษาอาคารในประเทศไทย และต่างประเทศ

3.4 ตัวแปรในการศึกษา

3.4.1 ตัวแปรต้น

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ของกรอบอาคาร

2) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ส่องสว่าง

3) สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (Window to Wall Ratio, WWR) และแผงบังแดด

4) รูปทรงหลังคา ทิศทางการวางด้านลาดชัน และพื้นที่หลังคา

3.4.2 ตัวแปรตาม

1) ความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity หรือ EUI) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ($kWh/m^2/yr$)

2) ค่าพลังงานที่อาคารผลิตได้จากระบบหลังคาโซล่าเซลล์ (Energy Production) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/yr)

3.4.3 ตัวแปรควบคุม

1) ลักษณะการใช้งานขนาดพื้นที่ สำหรับการศึกษานี้จะคงรูปแบบการใช้งานหลัก ได้แก่ ห้องนอน 3 ห้อง ห้องน้ำ 2 ห้อง ครัวไทย พื้นที่รับแขกทานอาหาร และโรงจอดรถไว้ โดยพื้นที่ปรับปรุงจะไม่เกิน 200 ตร.ม.

2) เขตสภาพภูมิอากาศและที่ตั้งที่ใช้ในการจำลอง (Location Weather and Site) ใช้เป็น Bangkok, Thailand ละติจูด 13.7533 ลองติจูด 100.5048

3) การใช้งานของไฟฟ้าอุปกรณ์ หมายถึงชนิดของอุปกรณ์และจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานในบ้าน จะยึดตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของกระทรวงพลังงานปี พ.ศ. 2560 เป็นหลัก

3.5 ขั้นตอนการศึกษา

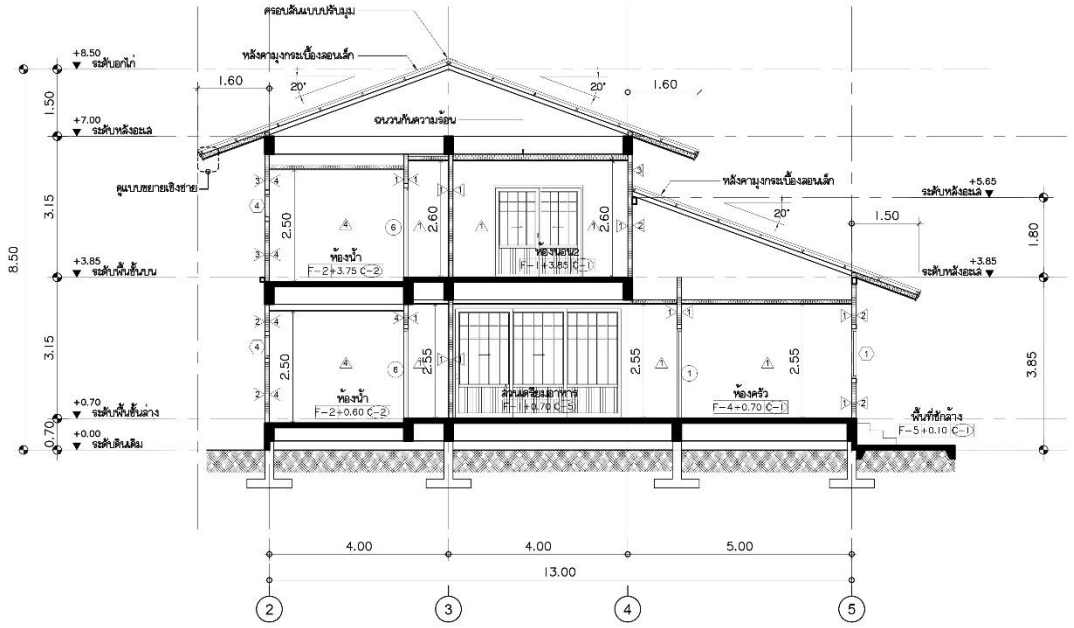
3.5.1 การเลือกบ้านต้นแบบเพื่อเป็นตัวแทนของบ้านทั่วไป

บ้านต้นแบบที่เลือกใช้ในการศึกษา มีขนาดพื้นที่ประมาณ 200 ตร.ม. 3 ห้องนอน ที่แตกต่างกันด้วยแนวคิดการออกแบบ ได้แก่

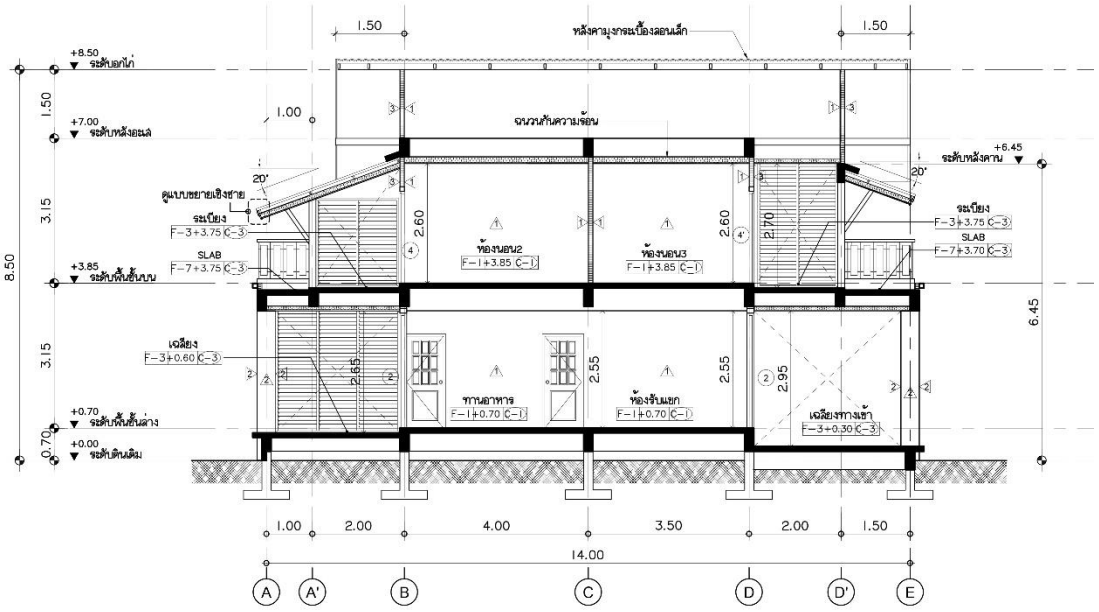
<u>แบบที่ 1</u> เป็นบ้านเดี่ยวที่ส่งเสริมแนวคิดการประหยัดพลังงาน และใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ (Passive Design) โดยจะทำการเลือกจากบ้านเดี่ยวในประเทศไทยที่มาจากบ้านต้นแบบที่ใช้เผยแพร่แก่บุคคลทั่วไป ซึ่งพบว่ามีหน่วยงานที่จัดทำบ้านต้นแบบเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานอยู่นั่นคือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ภายใต้การดูแลของกระทรวงพลังงานที่ได้จัดทำบ้านดีดีรักษ์พลังงาน 12 แบบขึ้น โดยประกอบด้วยบ้านเดี่ยว ค.ส.ล.

ชั้นเดียว 3 แบบ, บ้านเดี่ยว ค.ส.ล. ชั้นเดียวยกใต้ถุนสูง 3 แบบ, บ้านเดี่ยว ค.ส.ล. 2 ชั้น 4 แบบ และบ้านแถวอีก 2 แบบ ซึ่งรูปแบบที่สนใจมีขนาดพื้นที่ และการใช้งานตรงกับที่ต้องการคือ บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ซึ่งเป็นบ้านเดี่ยว ค.ส.ล. 2 ชั้น ตามข้อมูลการออกแบบระบุว่ามีการใช้แสงธรรมชาติ การระบายอากาศ การออกแบบชายคารวมถึงศักยภาพในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รองรับการผลิตพลังงานสูงสุดไว้ที่ 19 kW_P อีกด้วย

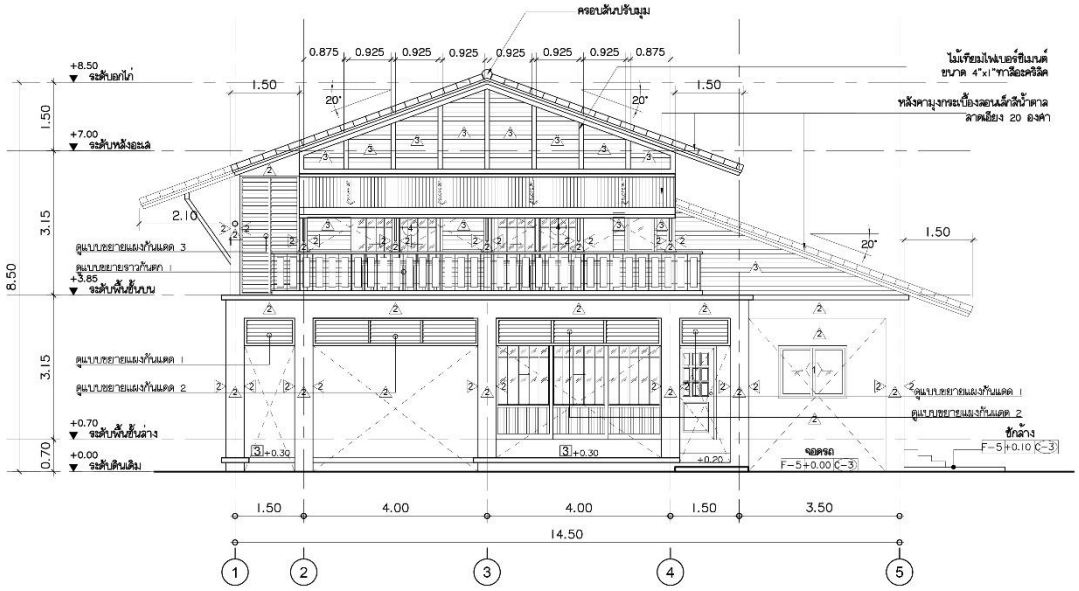
ภาพที่ 19 แปลนชั้น 1 (บน) แปลนชั้น 2 (ล่าง) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



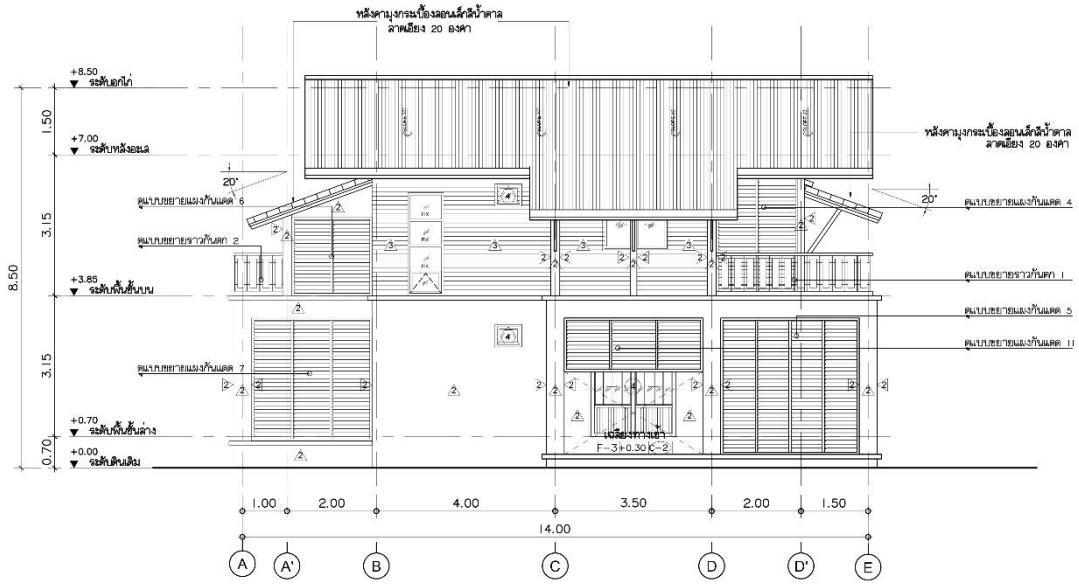
ภาพที่ 20 รูปตัดตามขวาง บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



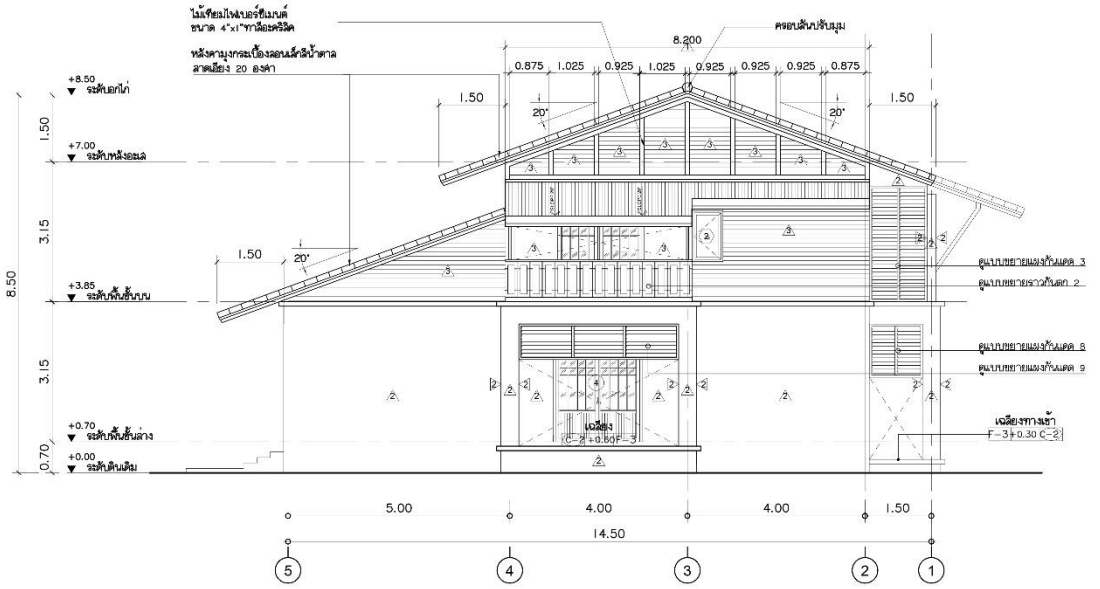
ภาพที่ 21 รูปตัดตามยาว บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



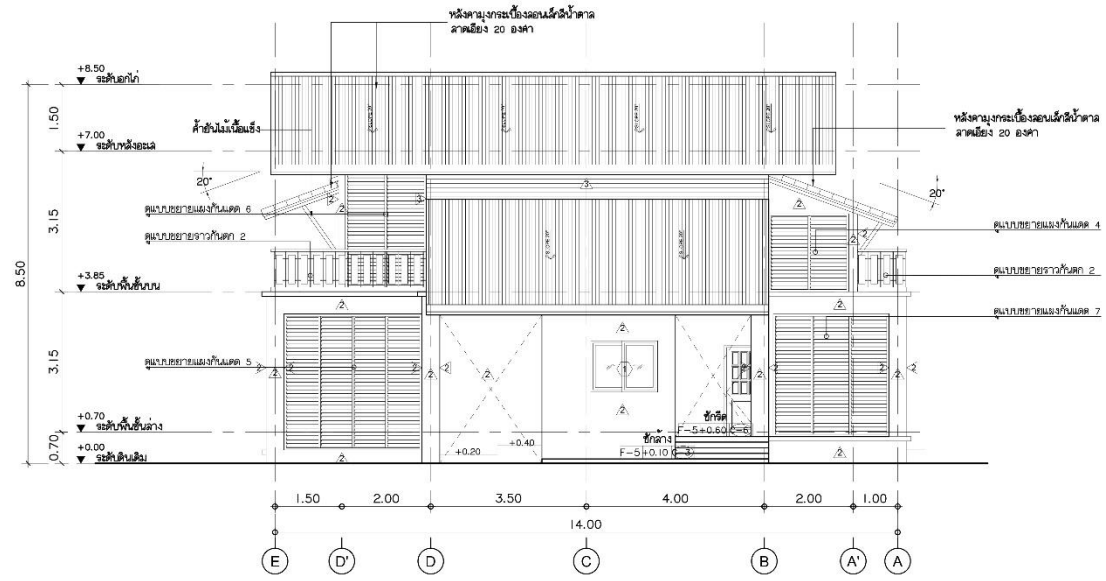
ภาพที่ 22 รูปด้าน 1 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



ภาพที่ 23 รูปด้าน 2 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

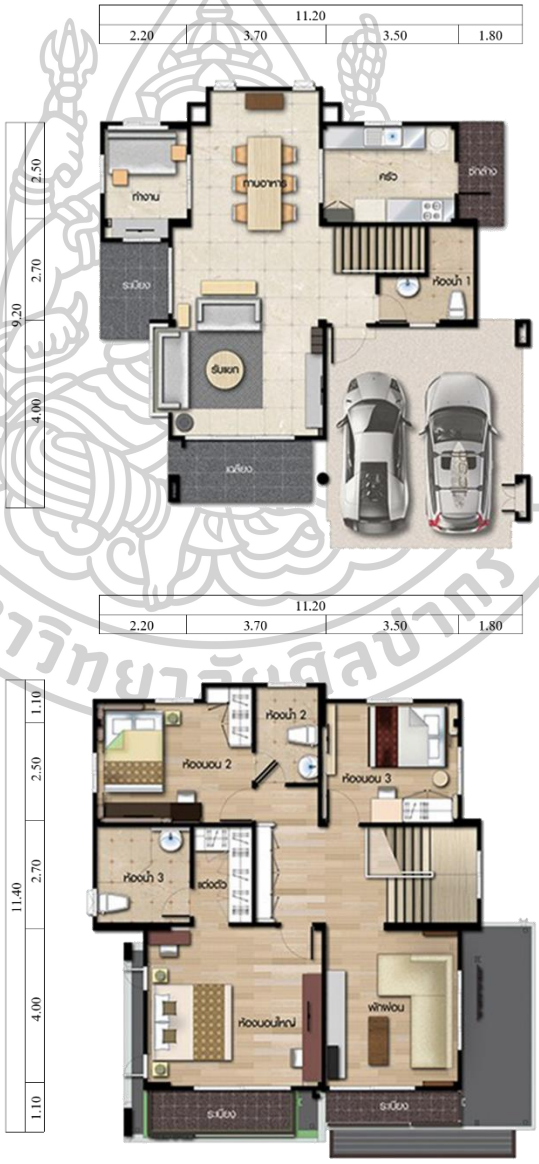


ภาพที่ 24 รูปด้าน 3 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



ภาพที่ 25 รูปด้าน 4 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

<u>แบบที่ 2</u> เป็นบ้านเดี่ยวในโครงการจัดสรร ที่ส่งเสริมแนวคิดการประหยัดพลังงาน และใช้เป็นจุดขายของโครงการ โดยที่โดดเด่นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องคือบริษัท อสังหาริมทรัพย์ เสนา ดีเวลลอปเม้นท์ ที่มีหลากหลายทางเลือกให้ลูกค้าที่ซื้อโครงการ ได้แก่ การสร้างบ้านพร้อมติดโซล่ารูฟพร้อมจำหน่าย การขายเฉพาะระบบโซล่ารูฟให้กับลูกค้าเดิมที่ต้องการติดตั้ง และการขอเช่าพื้นที่หลังคาของบ้านลูกค้าเพื่อติดตั้งระบบโซล่ารูฟ ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายคืนในระบบ โดยเริ่มดำเนินการในโมเดลแรกคือ การสร้างบ้านพร้อมติดโซล่ารูฟพร้อมจำหน่าย พบว่ามีหลากหลายโครงการ แต่ที่ตรงกับความต้องการด้านขนาดพื้นที่ และการใช้ประโยชน์ คือ บ้านเสนา Oxy Smart ในโครงการจัดสรรเสนา พาร์ค วิลล์ ที่เลือกมาเป็นต้นแบบ



ภาพที่ 26 แปลนชั้น 1 (บน) แปลนชั้น 2 (ล่าง) ของบ้านเสนา Oxy Smart (Sena, 2562)

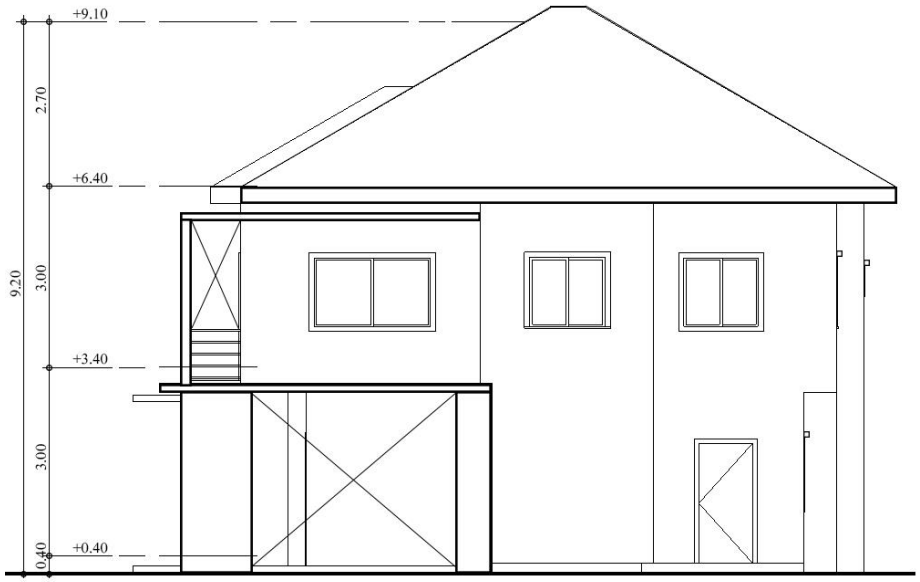
ภาพที่ 27 รูปตัดตามขวาง บ้านเสนา Oxy Smart

ภาพที่ 28 รูปตัดตามยาว บ้านเสนา Oxy Smart

ภาพที่ 29 รูปด้าน 1 บ้านเสนา Oxy Smart

ภาพที่ 30 รูปด้าน 2 บ้านเสนา Oxy Smart

ภาพที่ 31 รูปด้าน 3 บ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 32 รูปด้าน 4 บ้านเสนา Oxy Smart

เมื่อได้บ้านต้นแบบที่เป็นตัวแทนของบ้านทั่วไปแล้ว จึงบันทึกข้อมูลของบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง เกี่ยวกับพื้นที่ใช้สอย พื้นที่หลังคาทั้งหมดและพื้นที่ติดตั้ง PV บันทึกเป็นข้อมูลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบข้อมูลบ้านต้นแบบ 2 หลัง

โครงการ	**ผู้ออกแบบ**	**พื้นที่ใช้สอยรวม (m^2)**	**พื้นที่ภายใน (m^2)**	**PVs (kW_P)**	**ปรับอากาศ (m^2)**	**หลังคา (m^2)**
บ้านโซล่าร์เสนา (Oxy Smart)	โครงการเสนา พาร์ค วิลล์	198	153	2-5	42	145
บ้านดีดีรักษ์พลังงาน (บ้านรักษ์ฟ้า 2)	บ้านต้นแบบเผยแพร่โดยกระทรวงพลังงาน	215	132	19	43	174

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่และการกำหนดพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศของบ้านต้นแบบที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษา แสดงดังตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 องค์ประกอบพื้นที่ใช้งานบ้านเสนา Oxy Smart

บ้านเสนา Origin					
การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	การปรับอากาศ		ตำแหน่งในบ้าน	ผู้ใช้งาน (คน)
		ปรับอากาศ	ไม่ปรับอากาศ		
ห้องรับแขก	23.5			N	4-5
ทานอาหาร	12			S	4
ห้องทำงาน	6.1			E	2
ห้องครัว	8.7			W	2
ห้องสุขา	4.8			W	1
เฉลียง	6.8			N	varies
ระเบียงชั้น 1	4.4			E	varies
ลานซักล้าง	3.4			S	2
โรงจอดรถ	32			W	varies
ห้องนั่งเล่น	13.2			N	4-5
ห้องนอน 1	13			N	2
ห้องแต่งตัว	3.8			N	1
ห้องนอน 2	10.7			S	1
ห้องนอน 3	12.7			S	1
ห้องน้ำ 1	6			E	1
ห้องน้ำ 2	4.3			S	1
ระเบียงชั้น 2	7.2			N	1
โถงบันได	16.6			N	varies

ตารางที่ 14 องค์ประกอบพื้นที่ใช้งานบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2					
การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	การปรับอากาศ		ตำแหน่งในบ้าน	ผู้ใช้งาน (คน)
		ปรับอากาศ	ไม่ปรับอากาศ		
ห้องรับแขก	19.7			E	4-5
ทานอาหาร	14			S	4
ห้องครัว	10.8			W	2
ห้องสุขา	5.2			W	1
เฉลียง	14.43			N,E	varies
ระเบียงชั้น 1	30.5			N	varies
ลานซักล้าง	8			S	2
โรงจอดรถ	21			W	varies
ห้องนอน 1	13.6			N	1
ห้องนอน 2	23.7			N	2
ห้องนอน 3	15.6			W	1
ห้องน้ำ 1	5.2			S	1
ระเบียงชั้น 2	19.67			N,S	varies
โถงบันได	13.6			S	varies

3.5.2 กำหนดค่าเป้าหมายของการใช้พลังงานรวมของบ้าน

การออกแบบจะวัดผลที่ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานรวมของบ้านที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายการใช้พลังงานรวม (Energy Target) ซึ่งหาได้จากการใช้พลังงานรวมของบ้านหารด้วยพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด ซึ่งมีการใช้เครื่องมือหลากหลายในการประเมินค่าการใช้พลังงาน แต่สำหรับการศึกษานี้จะใช้การประเมินจาก 4 วิธีเพื่อเปรียบเทียบกัน ได้แก่

3.5.2.1 ใช้ค่า EUI มาตรฐานของบ้านเดี่ยวที่ได้มีการศึกษาไว้โดยกระทรวงพลังงาน ซึ่งกำหนดให้มีค่ากลาง (mode) ที่ 25 kWh/m^2/yr (Home_Buyers, 2562)

3.5.2.2 การประมาณโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงาน ตามสมการ (1) และ (2) (กระทรวงพลังงาน, 2560)

ค่าไฟฟ้าต่อเดือน = (57.816 x จำนวนสมาชิกในบ้าน) + (4.956 x พื้นที่ปรับอากาศ)
+ (0.321 x พื้นที่ไม่ปรับอากาศ) _____ (1)

ค่าการใช้พลังงาน = (*ค่าไฟฟ้าต่อเดือน* x 12) / พื้นที่ใช้สอยของบ้าน_____ (2)

3.5.2.3 การจำลองพลังงานตามการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Revit version 2020 ในการสร้างแบบจำลองด้านลักษณะทางกายภาพ และรายละเอียดระบบประกอบอาคารที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) สร้างแบบจำลองโดยเลือก Mode Building Elements

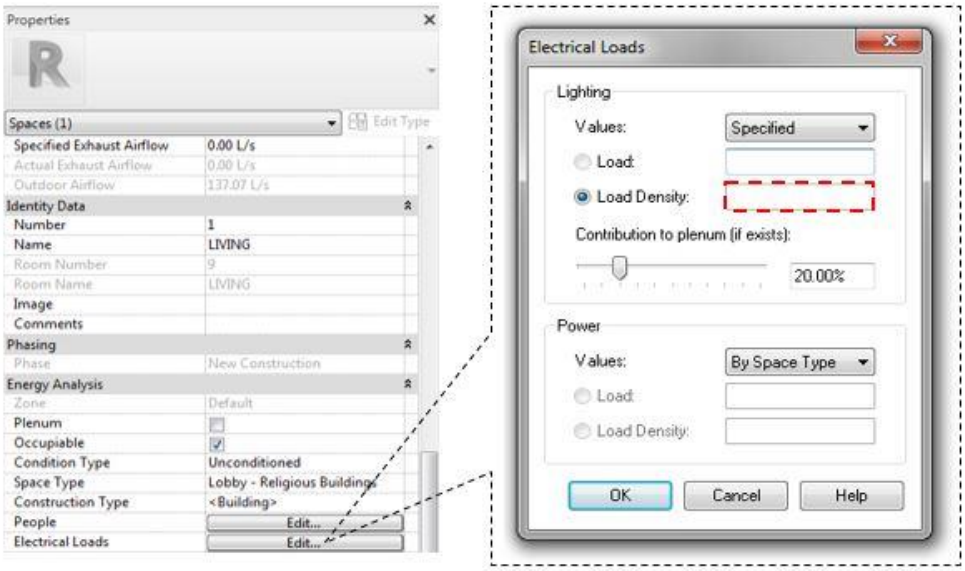
2) ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและที่ตั้งที่ใช้ในการจำลอง (Location Weather & Site) ใช้เป็น Bangkok, Thailand ละติจูด 13.7533 ลองติจูด 100.5048

3) ข้อมูลไฟฟ้าแสงสว่างอ้างอิงจากแบบจริง โดยค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) หาจากการนำผังไฟฟ้าแสงสว่างของบ้านต้นแบบมาคำนวณกำลังการส่องสว่างที่ใช้ (วัตต์) โดยนำผลคูณของจำนวนหลอดไฟกับกำลังการกินไฟต่อหลอด (วัตต์) หารพื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.) ของห้องนั้น ได้เป็นค่า Lighting Power Density, LPD (W/m^2) ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในการตั้งค่าสำหรับอาคารต้นแบบ (ASHRAE/IES, 2010)

พื้นที่การใช้งาน	**ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด LPD (W/m^2)**		
	บ้านดีดีรักษ์ฟ้า	**บ้านเสนา**	**บ้านอ้างอิง**
ห้องรับแขก	2.90	3.23	7.85
ทานอาหาร	2.90	3.23	9.57
ห้องทำงาน	3.23	3.23	11.94
ห้องครัว	1.66	5.63	10.65
ห้องน้ำ	4.98	4.21	10.54
ระเบียง	3.42	3.48	7.10
ลานซักล้าง	3.23	4.76	7.10
โรงจอดรถ	3.42	2.87	2.69
ห้องนั่งเล่น	3.23	3.23	7.85
ห้องนอน	1.91	3.25	3.23
ห้องแต่งตัว	3.23	3.23	3.23
โถงบันได	5.57	5.20	7.42

จากตารางที่ 15 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) ของบ้านที่ออกแบบจริงเทียบกับมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 พบว่า ค่า LPD ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และบ้านเสนา Oxy Smartมีค่าใกล้เคียงกัน แต่บ้านดีดีรักษ์ฟ้าจะต่ำกว่า ได้แก่ ห้องรับแขก ทานอาหาร ห้องครัว ระเบียง ลานซักล้าง โรงจอดรถ และห้องนอน ส่วนมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 พื้นฐานเป็นการอ้างอิงจาก ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Lighting Power Densities Using the Space-bySpace Method ของอาคารสำนักงาน จึงมีค่า LPD ที่อาจจะสูงกว่าของบ้านพักอาศัยนั่นเอง



ภาพที่ 33 การกรอกข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ในการจำลองพลังงาน

เมื่อได้ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด หรือ LPD (W/m^2) ตามตารางที่ 15 จึงนำมากรอกในข้อมูล Electrical Loads ช่อง Load Density (ภาพที่ 33) ในพื้นที่ (Loads) เป็นการเสร็จสิ้นในส่วนของการตั้งค่าแสงสว่างในพื้นที่ของแบบจำลองพลังงาน

4) ข้อมูลองค์ประกอบอาคาร มีความสำคัญสำหรับการจำลองพลังงานของอาคารนั้นๆ เนื่องจากเป็นการระบุตัวแปรที่มีผลต่อการประมวลผลตามกระบวนการวิเคราะห์ด้านพลังงาน (Energy Analysis) ในโปรแกรม Revit version 2020 ประกอบด้วยวิธีการตั้งค่าต่อไปนี้

<u>การทำตารางช่วงเวลาและความถี่การใช้งาน (Schedule)</u>

ข้อมูลที่สำคัญต่อการระบุความถี่ในการใช้งานของพื้นที่ใช้สอยย่อย (Space type) คือตารางการใช้งานซึ่งเราจะเรียกว่า Schedule เป็นชุดข้อมูลในการจำลองพลังงาน ตั้งค่าตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 16 การตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในจำลองพลังงานสูงสุดใน 1 วัน

การใช้งาน (Space Type)	Schedule1				Schedule2			
	ช่วงเวลา (Time)		%ใช้งาน (Factor)	จำนวนชั่วโมง	ช่วงเวลา (Time)		%ใช้งาน (Factor)	จำนวนชั่วโมง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด			เริ่มต้น	สิ้นสุด		
ห้องนอน 1 (Dormitory Bedroom)	20.00	7.00	100%	12	20.00	22.00	50%	2
					22.00	5.00	100%	10
ห้องนอน 2 (Dormitory Bedroom)	20.00	7.00	100%	12	20.00	22.00	50%	2
					22.00	5.00	100%	10

ตารางที่ 17 การตั้งค่าตารางการใช้งานในพื้นที่ (Schedule) และไฟฟ้าอุปกรณ์ (Loads) ใน 1 วัน

การใช้งาน (Space Type)	Schedule1 (สำหรับบ้านต้นแบบ)				Schedule2 (สำหรับบ้านที่ปรับปรุงใหม่)			
	ช่วงเวลา (Time)		%ใช้งาน (Factor)	จำนวนชั่วโมง	ช่วงเวลา (Time)		%ใช้งาน (Factor)	จำนวนชั่วโมง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด			เริ่มต้น	สิ้นสุด		
ห้องรับแขก (Living Quarters)	8.00	10.00	20%	2	8.00	11.00	20%	3
	11.00	13.00	50%	2	12.00	14.00	50%	2
	14.00	16.00	100%	2	15.00	18.00	50%	3
	18.00	19.00	80%	1				
	19.00	20.00	100%	1				
	20.00	21.00	80%	1				
	21.00	22.00	50%	1				
ห้องทำงาน (Office open plan)	12.00	14.00	50%	2	12.00	15.00	50%	3
	14.00	15.00	80%	1				
ห้องครัว (Food preparation)	5.00	6.00	50%	1	5.00	6.00	50%	1
	6.00	7.00	80%	1	6.00	7.00	50%	1
	7.00	8.00	50%	1	7.00	8.00	80%	1
	8.00	10.00	20%	2	8.00	10.00	20%	2
	10.00	11.00	100%	1	10.00	11.00	5%	1
	11.00	12.00	20%	1	11.00	12.00	100%	1
	12.00	13.00	50%	1	12.00	13.00	20%	1
	17.00	19.00	50%	2	17.00	19.00	100%	2
	19.00	20.00	80%	1	19.00	20.00	20%	1
	20.00	4.00	5%	9	20.00	4.00	5%	9
ห้องน้ำ (Restroom)	6.00	22.00	10%	16	6.00	19.00	5%	13
					19.00	22.00	20%	3
ระเบียง (Corridor transition)	18.00	24.00	100%	6	18.00	24.00	80%	6
ลานซักล้าง (Laundry/Washing)	10.00	12.00	100%	2	10.00	12.00	80%	2
	18.00	20.00	100%	2	18.00	20.00	100%	2
โรงจอดรถ (Garage Area)	18.00	5.00	100%	12	18.00	5.00	100%	12
ห้องนั่งเล่น (Multifamily)	8.00	16.00	50%	8	8.00	12.00	20%	4
	17.00	19.00	80%	2	13.00	18.00	30%	5
	19.00	20.00	100%	1	18.00	20.00	100%	2
ห้องนอน (Dormitory Bedroom)	20.00	7.00	100%	12	20.00	22.00	50%	2
					22.00	5.00	100%	10
ห้องแต่งตัว (Dressing)	6.00	7.00	50%	1	6.00	7.00	50%	1
	20.00	22.00	100%	2	20.00	22.00	100%	2
โถงบันได (Stair way)	17.00	22.00	100%	5	17.00	22.00	80%	5

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีการแยก Schedule เป็น 2 แบบคือ Schedule1 คือตามการใช้งานที่อ้างอิงการตั้งความถี่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัยปี พ.ศ. 2560 โดยกระทรวงพลังงาน แต่ Schedule2 จะเป็นการปรับปรุงภายหลังจากการวิเคราะห์การออกแบบใช้แสงธรรมชาติ และการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระจก ซึ่งได้นำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของพลังงานรวมที่ใช้ในบ้าน ในหัวข้อผลการปรับปรุงลดการใช้พลังงานในบทต่อไป

วิธีการตั้งค่าวัสดุก่อสร้าง

ในโปรแกรมสามารถเลือกและแก้ไขคุณสมบัติวัสดุก่อสร้างได้ โดยเลือกจากทำเนียบวัสดุในโปรแกรม Revit version 2020 (Revit Family) และปรับตั้งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (k-value) ความหนา ความหนาแน่น และคุณสมบัติจำเพาะอื่นๆ ได้ตามวัสดุที่ออกแบบ

วิธีการตั้งค่าพื้นที่ใช้สอยในแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analysis)

การสร้างแบบจำลองจะสมบูรณ์ได้ต้องมีการตั้งค่าและกำหนดขอบเขตพื้นที่ห้อง (Space) ประเภทพื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) ประเภทการปรับอากาศ (Condition Type) จำนวนผู้ใช้งาน (People) ปริมาณการใช้งานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electric Load)

ในการจำลองต้องมีการกำหนด Space Type ในแต่ละห้องในบ้าน เพื่อดึงข้อมูลมาตรฐานมาใช้ในการจำลองพลังงาน ซึ่งจะต้องมีการระบุรายละเอียด ได้แก่ จำนวนผู้ใช้งาน ค่าส่งผ่านความร้อนที่รู้สึกได้ (Sensible Heat Gain) ค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (Power Load Density) และที่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นค่าการใช้งานจริงได้ ได้แก่ ระยะเวลาการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting Schedule) ตามตารางที่ 15 รวมถึงระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า (Power Schedule) ตามมาตรฐานกระทรวงพลังงานตามภาพที่ 14 และการใช้งานในพื้นที่ (Occupancy Schedule) ตามข้อมูลตารางที่ 16-17

3.5.2.4 การจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 โดยใช้โปรแกรม Revit version 2020 คือใช้แบบจำลองของข้อ 3.5.2.3 แล้วทำการปรับเปลี่ยนเฉพาะคุณสมบัติกรอบอาคาร ผนัง กระจก หลังคา ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด รวมไปถึงชนิดและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศให้เป็นไปตาม ASHRAE 90.2-2018 โดยสามารถดูรายละเอียดในภาคผนวก (ตารางที่ 35)

จากการหาค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือ EUI ของบ้านทั้ง 4 วิธี พบว่ามีความแตกต่างกันดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่า EUI จากวิธีการต่างๆ

วิธีการหาค่า EUI ($kWh/m^2/yr$)	บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2	บ้านเสนา Oxy Smart
วิธีที่ 1 ค่ามาตรฐาน	25	25
วิธีที่ 2 สมการคำนวณ	27.8	29.6
วิธีที่ 3 จำลองพลังงานตามค่าจริงบ้านต้นแบบ	*27*	*31*
วิธีที่ 4 จำลองพลังงานตาม ASHRAE 90.2	40	35

เมื่อวิเคราะห์วิธีประมาณการหาค่าพลังงานทั้ง 4 แบบ จะเห็นว่าแต่ละวิธีมีตัวเลขที่คลาดเคลื่อนกันตามตัวแปรหรือข้อมูลนำเข้า (Input) ซึ่งอาจสรุปความเหมาะสมในการเลือกใช้ดังนี้

<u>วิธีที่ 1</u> ใช้ค่า EUI มาตรฐานของบ้านเดี่ยวที่ได้มีการศึกษาไว้โดยกระทรวงพลังงาน ซึ่งกำหนดให้มีค่ากลาง (Mode) ที่ 36 $kWh/m^2/yr$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสถิติของบ้านพักอาศัยทั่วประเทศไทยมากกว่า 1,800 หลังคาเรือน (กระทรวงพลังงาน, 2560) ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาและสำรวจเพิ่มเติมอีกในปี พ.ศ. 2562 และพบว่าค่ากลาง (Mode) ลดลงเหลือ 25 $kWh/m^2/yr$ (Home_Buyers, 2562) ซึ่งอาจจะแสดงว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างได้พัฒนาให้ดีขึ้นตามเทคโนโลยีที่ส่งเสริมการประหยัดพลังงาน การประเมินค่าพลังงานรวมที่ต้องการใช้ต่อปีจาก EUI โดยวิธีนี้จะง่ายที่สุด เพราะไม่ต้องการข้อมูลของบ้าน เช่น แบบแปลน หรือพื้นที่ใช้งาน เป็นต้น

<u>วิธีที่ 2</u> การประมาณโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงาน ซึ่งใช้ในการประเมินการใช้พลังงานสำหรับบ้านในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ต้องทราบจำนวนสมาชิกในบ้านและขนาดพื้นที่ใช้สอย แล้วแทนค่าตามสมการ (กระทรวงพลังงาน, 2560)

ค่าไฟฟ้าต่อเดือน = (57.816 x จำนวนสมาชิกในบ้าน) + (4.956 x พื้นที่ปรับอากาศ)
+ (0.321 x พื้นที่ไม่ปรับอากาศ)

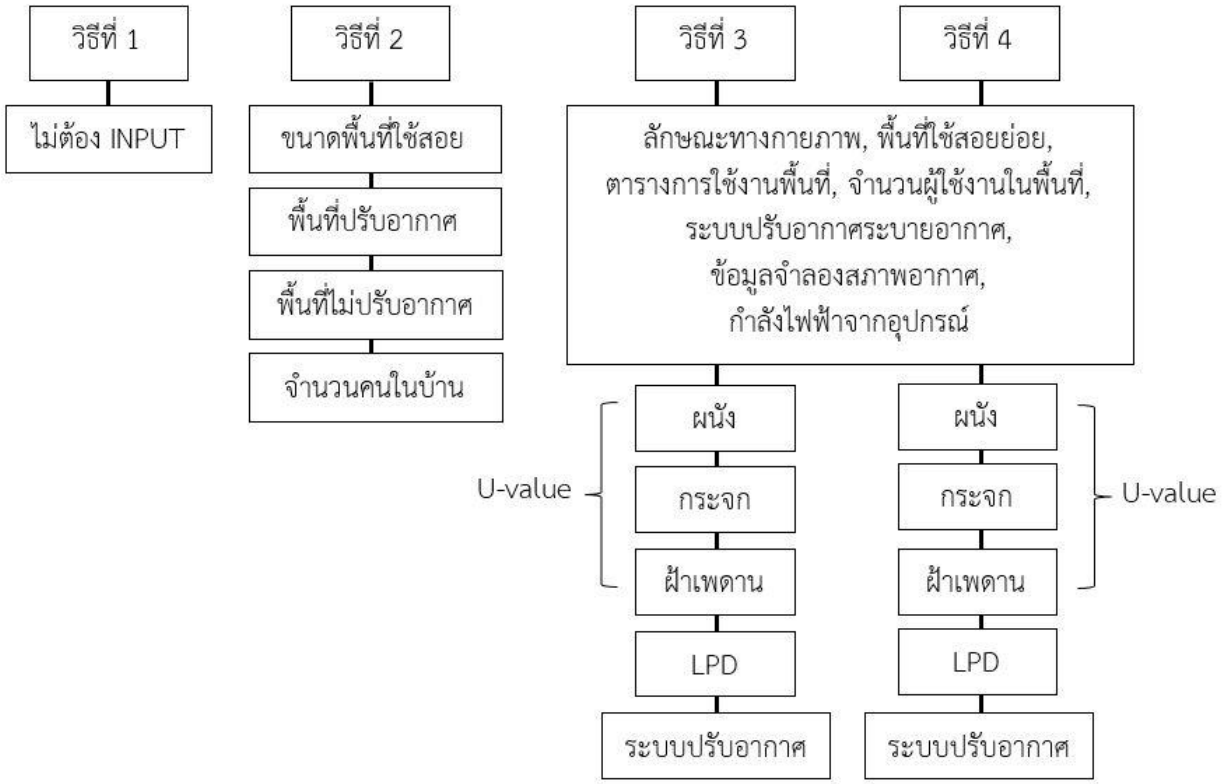
ค่าการใช้พลังงาน = (*ค่าไฟฟ้าต่อเดือน* x 12) / พื้นที่ใช้สอยของบ้าน

จากสมการข้างต้น เมื่อคำนวณตามพื้นที่ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้าและบ้านเสนา ซึ่งมีพื้นที่ปรับอากาศเท่ากันที่ 43 ตร.ม. โดยบ้านดีดีรักษ์ฟ้ามีพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 187 ตร.ม. (พื้นที่รวมทั้งหมด 215 ตร.ม.) และบ้านเสนามีพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 156 ตร.ม. (พื้นที่รวมทั้งหมด 198 ตร.ม.) ใช้จำนวนสมาชิกในบ้านทั้ง 2 แบบ เท่ากันคือ 4 คน ผลคำนวณพบว่าบ้านดีดีรักษ์ฟ้ามีค่า EUI = 27.8 $kWh/m^2/yr$ ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart มีค่า EUI = 29.6 $kWh/m^2/yr$

จะเห็นว่าการที่บ้านดีดีรักษ์ฟ้ามีค่า EUI น้อยว่าเพราะพื้นที่ใช้สอยรวมซึ่งเป็นตัวหารนั้นมีค่ามากกว่า แต่ค่า EUI ของบ้านทั้งสองหลังจะสูงกว่า การใช้ค่ามาตรฐานของบ้านเดี่ยวที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงาน ตามวิธีแรก วิธีนี้จึงเหมาะในการประเมินค่าพลังงานเมื่อทราบขนาดพื้นที่ใช้สอยทั้งพื้นที่ปรับอากาศ ไม่ปรับอากาศและจำนวนผู้ใช้งานในเบื้องต้น เพื่อการประเมินก่อนออกแบบ

<u>วิธีที่ 3</u> การจำลองพลังงานโดยใช้โปรแกรม Revit version 2020 ซึ่งพบว่าบ้านดีดีรักษ์ฟ้าจะมีค่า EUI = 27 kWh/m^2/yr ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart มีค่า EUI = 31 kWh/m^2/yr การจำลองพลังงานโดยวิธีนี้ จะต้องใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดกว่ามากสองวิธีแรก คือ ต้องสร้างแบบจำลองลักษณะของบ้านตามที่ออกแบบ ต้องใช้ไฟล์สถิติสภาพอากาศ (Weather Data) ของกรุงเทพมหานคร ต้องระบุช่วงเวลาการใช้งาน (Schedule) พื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) อัตราการระบายอากาศ (Air Change per hour) โหลดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Power Load) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) จำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ และชนิดระบบปรับอากาศ รวมถึงรายละเอียดของวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ช่องเปิดโปร่งแสง (กระจก) และฝ้าเพดาน ซึ่งผลการจำลองนี้จะสามารถอ้างอิงในการออกแบบได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

<u>วิธีที่ 4</u> เป็นการหาค่า EUI ด้วยโปรแกรม Revit version 2020 เหมือนวิธีที่สาม แต่ปรับเปลี่ยนการตั้งค่ารายละเอียดของวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ช่องเปิดโปร่งแสง (กระจก) ฝ้าเพดาน ค่า LPD และระบบปรับอากาศ โดยอ้างอิงตาม ASHRAE Standard 90.2-2018 (Energy Standard for Low-Rise Residential) ซึ่งเป็นมาตรฐานการประหยัดพลังงานของบ้านในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีการกำหนดมาตรฐานการออกแบบบ้านต่างกันตามโซนนภูมิอากาศ สำหรับกรุงเทพมหานครเทียบได้กับเขตสภาพภูมิอากาศโซน 0A (ASHRAE, 2018) ผลการจำลองพบว่า บ้านดีดีรักษ์ฟ้ามีค่า EUI = 40 kWh/m^2/yr ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart มีค่า EUI = 35 kWh/m^2/yr สูงกว่าวิธีที่สามเนื่องจากค่า LPD ค่อนข้างสูง ประกอบกับพื้นที่ใช้สอยของบ้านดีดีรักษ์ฟ้าสูงกว่าบ้านเสนา Oxy Smart ประมาณ 17 ตร.ม. จึงสรุปได้ว่าวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับใช้พิจารณาเปรียบเทียบว่าผลการออกแบบบ้านนั้นๆ สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐาน ASHRAE 90.2 นั่นเอง



ภาพที่ 34 แสดงการนำเข้าข้อมูล (Input Data) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง 4 วิธี

สรุปเป็นผลการเปรียบเทียบค่า EUI พบว่า บ้านต้นแบบทั้งสองสูงกว่าค่ากลาง (Mode) ของกระทรวงพลังงาน แต่ค่า EUI ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ต่ำกว่าค่าที่ประเมินจากสมการกระทรวงพลังงานและอาคารอ้างอิงของ ASHRAE 90.2-2018 ส่วนของค่า EUI ของบ้านเสนา Oxy Smart สูงกว่าค่าที่ประเมินจากสมการกระทรวงพลังงาน แต่ต่ำกว่าอาคารอ้างอิงของ ASHRAE 90.2-2018

3.5.3 กำหนดเป้าหมายการผลิตพลังงาน

3.5.3.1 หาค่าพลังงานรวมของบ้าน เพื่อใช้เป็นเป้าหมายการผลิตพลังงานขั้นต่ำในเบื้องต้นก่อนตามวิธีต่างๆ การข้อ 3.5.2

3.5.3.2 หาเป้าหมายพลังงานส่วนเกินที่บ้านผลิตได้จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaics, PV) ที่ติดตั้งบนหลังคา การศึกษานี้เลือกกำหนดเป้าหมายพลังงานเป็นบวกที่เพียงพอกับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คันในรอบปี โดยคำนวณจากอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ EV (Wh/km) และระยะเดินทางเฉลี่ยต่อวันของของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถตู้สูงสุด (กม.) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิ่งทดสอบ 7 เส้นทางที่มีความหลากหลายทางสภาพการจราจร ทั้งหมด 29 ครั้ง ในกรุงเทพมหานคร (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2017)

ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณกับระยะทางที่วิ่งได้ใน 1 ปี จะมีค่าพลังงานที่ต้องการใช้เท่ากับผลคูณของพลังงานเฉลี่ยในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ EV (Wh/km) กับระยะเดินทางเฉลี่ยของของรถยนต์ส่วนบุคคล (กม.) ในระยะเวลา 365 วัน (1 ปี) นั่นเอง

3.5.3.3 ตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของบ้าน จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจากการศึกษานี้ ใช้การประเมินด้วยโปรแกรม PV Watts Calculator ที่พัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) โดยการระบุข้อมูลชนิดของแผง (module type) ประสิทธิภาพ ลักษณะของการติดตั้ง องศาในการติดตั้ง การระบุทิศของการติดตั้ง ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ และอัตราการคิดตามประเภทการใช้งาน (rate type)

3.5.4 การปรับปรุงบ้านเดี่ยวทั่วไปให้เป็นบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก

จากนิยามของการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก มุ่งเน้นที่การออกแบบให้มีค่าการใช้พลังงานต่ำ และการผลิตพลังงานได้มากกว่าที่ใช้ จึงนำเสนอแนวทางการปรับปรุง 2 วิธี ดังนี้

3.5.4.1 การปรับปรุงเพื่อลดค่าการใช้พลังงาน

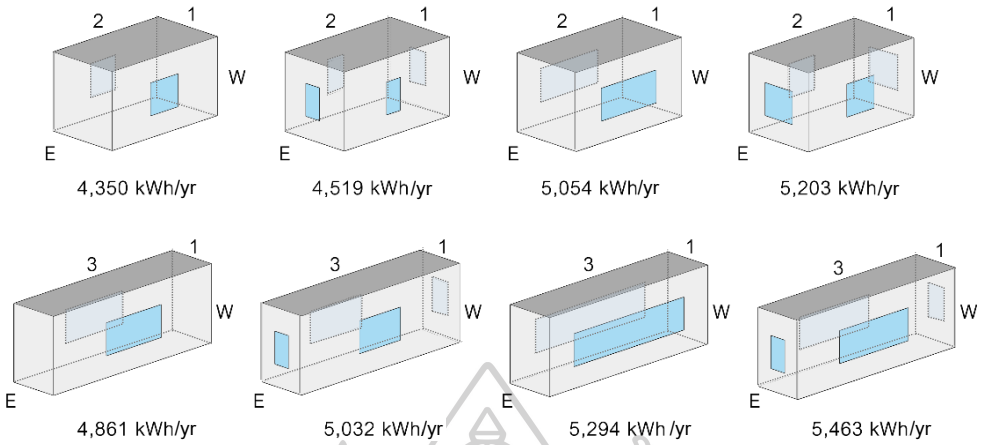
เมื่อตรวจสอบความเข้มข้นการใช้พลังงานของบ้านต้นแบบ และเป้าหมายการผลิตพลังงานแล้ว ทำการปรับปรุงตัวแปรที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานในเบื้องต้น เพื่อลดขนาดการติดตั้ง PVs ของบ้านพลังงานเป็นบวก พบว่าแนวโน้มก่อนการปรับปรุงค่าพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่าง จึงนำเสนอ 3 แนวทางการปรับปรุงดังนี้

1) การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟเป็น LED ทั้งหมด

วิธีการคือ ระบุค่า LPD (W/m^2) ในแต่ละพื้นที่ใช้สอยย่อยที่เปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาเป็นหลอดไฟ LED ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และเสนา Oxy Smart ตามตำแหน่งดวงโคมทั้งหมดที่ออกแบบ

2) การออกแบบช่องเปิดให้สัมพันธ์กับการบังแดด

เพื่อทดสอบว่าการออกแบบช่องเปิดในทิศทางที่ถูกต้อง โดยการเฉลี่ยการเปิดช่องหน้าต่างในด้านที่ไม่จำเป็น ไปยังด้านที่ต้องการเปิดช่องหน้าต่างมากกว่า เพื่อลดค่า WWR ในด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ ไปยังทิศตะวันออกและทิศเหนือแทน และการออกแบบแผงบังแดดจะมีผลต่อการค่าพลังงานอย่างไร โดยการสร้างแบบจำลองอาคาร 2 แบบที่มีขนาดพื้นที่อาคารเท่ากันแต่สัดส่วนรูปทรงอาคารต่างกัน และทำการกำหนดค่า WWR=40 ออกเป็น 2 แบบ คือ มีช่องเปิดที่ผนัง 2 ด้าน กับมีช่องเปิดที่ผนัง 4 ด้าน เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานที่ใช้



ภาพที่ 35 แสดง WWR กับสัดส่วนอาคารที่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ต่อปี

จากการศึกษาพบว่าที่ WWR=40 เท่ากัน การออกแบบช่องเปิดรอบด้านย่อมมีค่าพลังงานสูงกว่าการเจาะช่องเปิดบางด้านที่จำเป็น ทำให้เกิดแนวคิดการเฉลี่ยช่องเปิดในการออกแบบ กล่าวคือ เมื่อเราต้องการได้รับแสงสว่างทุกห้อง ทั้ง 4 ด้าน ไม่จำเป็นต้องเปิดช่องแสงให้มากที่สุดในทุกด้าน เพราะจะเป็นการเพิ่ม WWR ทำให้พลังงานที่ใช้จะยิ่งสูงขึ้น ควรหลีกเลี่ยงการเปิดช่องแสงทางทิศที่ความร้อนเข้าสู่อาคารมากที่สุด นั่นคือทิศตะวันตกและทิศใต้ ซึ่งการศึกษานี้เสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบ โดยพยายามเฉลี่ยให้มีช่องเปิดในด้านทิศเหนือ-ใต้ มากกว่าทิศตะวันออก-ตะวันตก เพื่อให้ WWR เฉลี่ยทั้ง 4 ด้านนั้นไม่สูงจากเดิมมากจนเกินไป แต่หากต้องออกแบบเพื่อให้เอื้อต่อการใช้แสงธรรมชาติแล้วค่า WWR สูงขึ้น อาจจะใช้การออกแบบแผงบังแดดร่วมด้วย

3) การติดฉนวนเพื่อลดค่า U-value ที่ผนัง

การทดลองติดฉนวนที่ผนังเดิมซึ่งหนา 10 ซม. โดยการเพิ่มโครงเคร่ากัลวาไนซ์ซีไลน์ 12.5 มม. ติดฉนวนโฟม PE หนา 5 มม. (R = 0.172 m²·K /W) และกรุทับด้วยสมาร์ทบอร์ดหนา 8 มม. พบการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่ลดลงดังตารางที่ 19

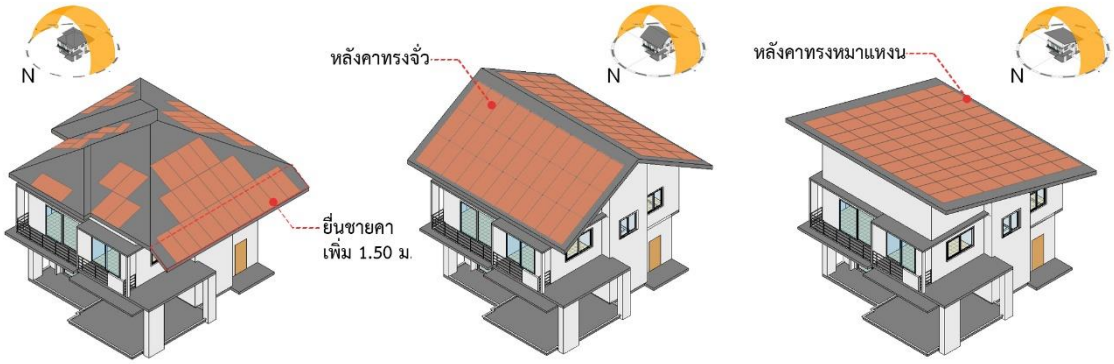
ตารางที่ 19 ข้อมูลการตั้งค่าผนังกรอบอาคารเพื่อการจำลองพลังงาน

ข้อมูล	บ้านดีดีรักษ์ฟ้า	บ้านเสนา Oxy Smart
วัสดุผนัง	คอนกรีตมวลเบา Q-Con	คอนกรีตสำเร็จรูป Precast
ค่า U-value (ผนังเดิม) หนา 10 ซม. W/(m²·K)	0.635	5.98
ค่า U-value ผนังหนา 12.55 ซม. W/(m²·K)	0.561	1.37

3.5.4.2 การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของบ้าน

การศึกษานี้เป็นการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก ที่พิจารณาการผลิตไฟฟ้าจากแผง PV บนหลังคาบ้าน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนการออกแบบหลังคา เพื่อหาอัตราการผลิตไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้สูงสุดมีแนวทางการออกแบบ 3 วิธี ดังนี้

1) การเพิ่มพื้นที่หลังคาสำหรับติดตั้ง PV โดยการยื่นชายคาด้านทิศตะวันตกของบ้าน จากเดิม 1.00 ม. เป็น 2.50 ม.
2) การเปลี่ยนรูปทรงหลังคา เพื่อเปลี่ยนทิศทางความลาดชัน ที่เอื้อต่อศักยภาพการผลิตของ PV จากทรงปั้นหยาเป็นทรงจั่วที่วางแนวลาดชันตามทิศเหนือ-ใต้ จะทำให้ทิศทางการหันของแผงหันรับรังสีอาทิตย์มากขึ้นกว่าเดิม
3) การเปลี่ยนรูปทรงหลังคาเป็นเพิงหมาแหงนที่วางแนวลาดเอียงมาทางด้านทิศใต้ เนื่องจากรูปทรงดังกล่าวสามารถติดตั้งแผง PV ได้เต็มผืนหลังคา เพราะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ย่อมติดตั้งได้มากกว่าชิ้นหลังคาทรงสามเหลี่ยม



วิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3

ภาพที่ 36 แบบจำลองลักษณะการยื่นชายคา โดยการปรับปรุงวิธีที่ 1 (ซ้าย) แบบจำลองหลังคาทรงจั่ว ลาดชันทางทิศเหนือ-ใต้ โดยการปรับปรุงวิธีที่ 2 (กลาง) และแบบจำลองหลังคาทรงเพิงหมาแหงน ลาดชันทางทิศใต้ โดยการปรับปรุงวิธีที่ 3

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ตามวิธีการดำเนินงานที่ผ่านมาเพื่อตอบรับกับวัตถุประสงค์ ทำให้เกิดผลการศึกษาที่ได้มาจาก 2 ส่วนได้แก่ การปรับปรุงบ้านกรณีศึกษาเพื่อให้เป็นบ้านพลังงานเป็นบวก และการออกแบบบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก ปรากฏผลการศึกษาและบทวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการปรับปรุงลดค่าการใช้พลังงานของบ้านทั่วไป

4.2 ผลการติดตั้ง PV สำหรับบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่

4.4 ผลลัพธ์ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานของบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่

4.1 ผลการปรับปรุงลดค่าการใช้พลังงานของบ้านทั่วไป

จากความต้องการใช้พลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 5,645 kWh/yr จะต้องติดตั้ง 4.56 kW_P หรือ 12 แผง ทางทิศใต้ทั้งหมด จะต้องเพิ่มอีก 4.94 kW_P หรือ 13 แผง ทางทิศใต้ รวมเป็นการติดตั้งที่ 9.5 kW_P (25 แผง) สำหรับเป้าหมายพลังงานสุทธิเป็นบวกในการชาร์จรถยนต์ EV 1 คันในรอบปี

สำหรับความต้องการใช้พลังงานรวมของบ้านเสนา 6,068 kWh/yr จะต้องติดตั้ง 4.94 kW_P ทางทิศใต้ 12 แผง และทิศตะวันตก 1 แผง จะต้องเพิ่มอีก 5.32 kW_P หรือ 14 แผง ทางทิศตะวันตก 12 แผง และทิศตะวันออก 2 แผง รวมเป็นการติดตั้งที่ 10.26 kW_P (27 แผง) สำหรับเป้าหมายพลังงานสุทธิเป็นบวกในการชาร์จรถยนต์ EV 1 คันในรอบปี

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดค่าพลังงานให้มากยิ่งขึ้น จะช่วยลดขนาดการติดตั้งและงบประมาณการติดตั้ง PV ได้อีกประมาณ 50,000-100,000 บาทต่อกิโลวัตต์[2] (SCG, 2564) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบและแผง PV จึงนำเสนอแนวทางการปรับปรุงเป็น 3 ทางเลือก ได้แก่

4.1.1 การปรับเปลี่ยนหลอดไฟ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED ทั้งหมด

4.1.2 การปรับเปลี่ยนขนาดช่องเปิดเพื่อลดความร้อน

4.1.3 การใส่ฉนวนลดค่า U-value ของผนังภายนอก

เมื่อนำค่าพลังงานรวมต่อปี (kWh/yr) ที่หาได้จากการจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Revit ไปรวมค่าการใช้พลังงานสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในรอบปีแล้ว จะได้พลังงานรวมทั้งหมดที่ต้องการใช้ ซึ่งเป็นค่าอัตราการผลิตพลังงานต่อปี (kWh/yr) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 20

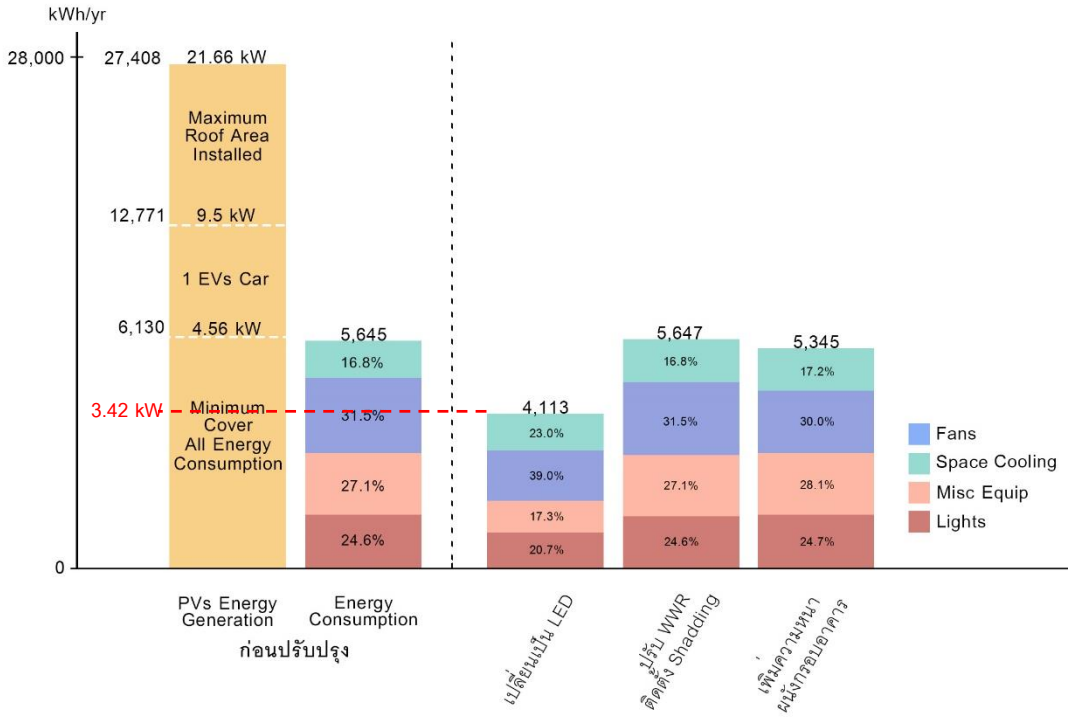
[2] ข้อมูลราคาเฉลี่ยจากแพ็คเกจ SCG Solar Roof Solutions

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจาก PVs ของบ้านต้นแบบ

ข้อมูล	เป้าหมายบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2				เป้าหมายบ้านเสนา Oxy Smart			
	1EV Car				1EV Car			
	ก่อนปรับปรุง	4.1.1	4.1.2	4.1.3	ก่อนปรับปรุง	4.1.1	4.1.2	4.1.3
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/yr)	5,645	4,113	5,647	5,345	6,068	5,409	6,275	5,896
เป้าหมายการผลิต (kWh/yr)	11,755 (5,645+6,110)	10,223 (4,113+6,110)	11,757 (5,647+6,110)	11,455 (5,345+6,110)	12,178 (6,068+6,110)	11,519 (5,409+6,110)	12,385 (6,275+6,110)	12,006 (5,896+6,110)
อัตราการผลิตต่อปี (kWh/yr)	12,771	11,239	12,260	11,750	13,120	12,182	13,120	12,651
กิโลวัตต์การติดตั้ง PVs (kW)	9.5	8.36	9.12	8.74	10.26	9.5	10.26	9.88
จำนวนแผง	25	22	24	23	27	25	27	26
พื้นที่หลังคาติดตั้ง PVs (m^2)	50	44	48	46	54	50	54	52

** แผงที่เลือกใช้จากการศึกษาตามโปรแกรม PV Watts เป็นชนิด Crystalline Sillicon ขนาด 380 W ประสิทธิภาพ 19% ขนาดแผง PV 1 x 2 m. และใช้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ 95%

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 20 มาเขียนเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานและขนาดการติดตั้งก่อนและหลังปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงาน 3 ทางเลือก ที่รวมกับเป้าหมายพลังงานส่วนเกินสำหรับการชาร์จไฟฟ้าของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า ได้ดังนี้



ภาพที่ 37 ข้อมูลการใช้และผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า 2 ก่อนและหลังปรับปรุง

<u>บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2</u>

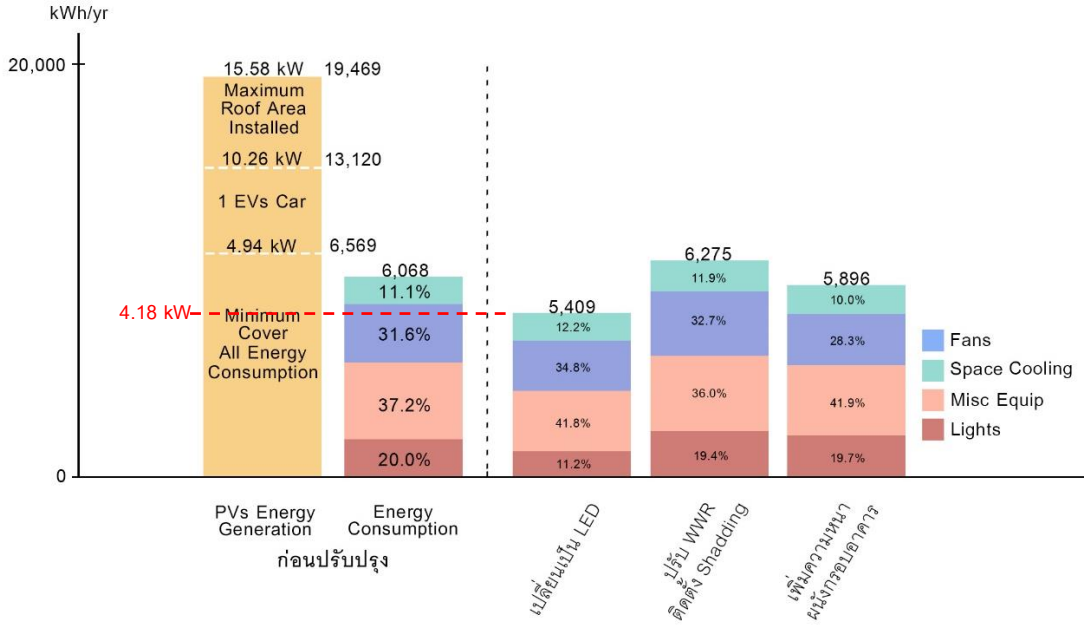
แนวโน้มก่อนการปรับปรุงค่าพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่างเกิน 30% การปรับปรุงจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ส่องสว่างทั้งหมดเป็น LED ทำให้ค่า Lighting Power Density (LPD) จากการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 2.90 W/m^2 ลดลงเหลือ 1.45 W/m^2 ส่งผลให้ค่าพลังงานลดลง 1,532 kWh/yr หรือลดลง 27%

กรณีที่ใช้การปรับเปลี่ยนช่องเปิดหน้าต่าง จะทำให้สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (Window to Wall Ratio, WWR) WWR = 26% คงเดิม แต่ปรับตำแหน่งและลดช่องเปิดทางทิศใต้ เพื่อไปเพิ่มในทางทิศเหนือ และตะวันออก ร่วมกับการใช้แผงบังแดด จึงไม่มีผลต่อการลดค่าพลังงาน

ส่วนวิธีการปรับลดค่า U-value ของผนังโดยการติดฉนวนโฟม PE หนา 5 มม. (R = 0.172 $m^2 \cdot K/W$) เพิ่มเติม ช่วยลดค่า U-value จาก 0.635 $W/m^2 \cdot K$ เป็น 0.561 $W/m^2 \cdot K$ จะทำให้พลังงานลดลง 300 kWh/yr หรือเพียง 5% เท่านั้น

สรุปผลคือ เลือกใช้วิธีการปรับปรุงในส่วนของไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้หลอด LED ทำให้สามารถลดขนาดการติดตั้ง PVs ตามเป้าหมายการชาร์จรถยนต์ EV จาก 9.5 kW_P ให้เหลือ 8.36 kW_P ก็ครอบคลุมการใช้พลังงานรวมทั้งหมดตามเป้าหมาย

และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 20 มาเขียนเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานและขนาดการติดตั้งก่อนและหลังปรับปรุงลดการใช้พลังงาน 3 ทางเลือก ที่รวมกับเป้าหมาย พลังงานส่วนเกินสำหรับการชาร์จไฟฟ้าของบ้านเสนา Oxy Smart ได้ดังนี้



ภาพที่ 38 ข้อมูลการใช้และผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบเสนา Oxy Smart ก่อนและหลังปรับปรุง

<u>บ้านเสนา Oxy Smart</u>

ผลการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ส่องสว่างทั้งหมดเป็น LED ทำให้ค่า Lighting Power Density (LPD) จากการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 3.52 W/m^2 ลดลงเหลือ 1.76 W/m^2 ส่งผลให้ค่าพลังงานลดลง 659 kWh/yr หรือลดลง 10%

เมื่อทำการปรับขนาดและตำแหน่งช่องเปิด โดยการลดช่องเปิดทางทิศใต้ เพื่อไปเพิ่มทางทิศเหนือ และตะวันออก ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแทน พบว่าไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า WWR (WWR = 26 เท่าเดิม) จึงไม่มีผลต่อการลดค่าพลังงาน และยังทำให้ค่าพลังงานเพิ่มขึ้นอีก 207 kWh/yr หรือ 3%

ส่วนวิธีการปรับลดค่า U-value ของผนังโดยการเพิ่มโครงเคร่ากัลวาไนซ์ซีไลน์ 12.5 มม. ติดฉนวนโฟม PE หนา 5 มม. ($R = 0.208\ m^2 \cdot K/W$) และสมาร์ทบอร์ดหนา 8 มม. เพื่อลดค่า U-value จาก 5.98 $W/m^2 \cdot K$ เป็น 1.37 $W/m^2 \cdot K$ ผลการจำลองพลังงานลดลง 172 kWh/yr หรือเพียง 3% เท่านั้น

สรุปผลคือ เลือกใช้วิธีการปรับปรุงในส่วนของไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้หลอด LED ทำให้สามารถลดขนาดการติดตั้ง PVs ตามเป้าหมายการชาร์จรถยนต์ EV จาก 10.26 kW_P ให้เหลือ 9.5 kW_P ก็ครอบคลุมการใช้พลังงานรวมทั้งหมดตามเป้าหมาย

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านทั้ง 2 พบว่า เพียงการเพิ่มประสิทธิภาพหลอดไฟโดยเปลี่ยนเป็น LED มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านลงได้มากที่สุด รองลงมาคือ การเพิ่มฉนวนที่ผนังกรอบอาคารเพื่อลดค่า U-value และสุดท้ายการติดตั้งแผงบังแดดช่วยลดสัดส่วนการใช้พลังงานในการปรับอากาศลง แต่ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานรวมที่ใช้ในบ้านได้

ข้อสังเกตระหว่างการใช้และผลิตพลังงานของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า และบ้านเสนาพบว่า แม้ขนาดพื้นที่ใช้สอยของบ้านดีดีรักษ์ฟ้าจะมากกว่าบ้านเสนาประมาณ 8% แต่การใช้พลังงานของบ้านต่ำกว่า ทำให้มีความต้องการติดตั้ง PV น้อยกว่าบ้านเสนา และยังศักยภาพในการติดตั้ง PV สูงสุดที่ 21.66 kW_P ในขณะที่บ้านเสนาติดตั้งสูงสุดได้เพียง 15.58 kW_P ซึ่งเป็นไปได้ว่า บ้านที่ออกแบบโดยใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ (Passive Design) และมีรูปทรงหลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผง PV จะมีข้อได้เปรียบในการออกแบบบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก ด้านการใช้พลังงานรวมที่ต่ำกว่า และผลิตพลังงานด้วยศักยภาพของหลังคาที่ดีกว่านั่นเอง

4.2 ผลการการติดตั้ง PVs ของบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก

จากรายงานการศึกษาการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมข้อมูลพฤติกรรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ในโครงการศึกษาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งได้ทำการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้รถยนต์ Nissan Leaf ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาด 24 kWh ทดสอบภาคสนาม 7 เส้นทาง จำนวน 29 ครั้ง ในสภาพการขับขี่แบบมีการเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 ^{o}C ขณะขับในกรุงเทพมหานคร และพบว่ามีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 180.3 Wh/km หรือ 0.18 kWh/ km สามารถวิ่งได้สูงสุดต่อการอัดประจุเต็ม 146.3 กม. ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลของผู้ผลิตซึ่งระบุว่ามีอัตราการใช้พลังงาน 150 Wh/km และวิ่งได้สูงสุด 199 กม. (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2560) เนื่องจากข้อมูลของผู้ผลิตเป็นการวิ่งโดยไม่มีการปรับอากาศ ในการศึกษานี้จึงเลือกที่จะนำข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามที่มีการปรับอากาศ ซึ่งใกล้เคียงการใช้งานจริง มาใช้ในการหาความต้องการพลังงาน

ในการศึกษาเดียวกันได้ระบุผลสำรวจระยะเดินทางเฉลี่ยต่อวันของของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถตู้สูงสุดที่ 93 ก.ม./วัน ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณกับระยะทางที่วิ่งได้ใน 1 ปี จะมีค่าพลังงานที่ต้องการใช้เท่ากับ 6,110 kWh/yr (0.18 kWh x 93 km x 365 วัน) และสามารถสรุปเป็นเป้าหมายการผลิตพลังงาน ได้ตามข้อมูลตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ของบ้านต้นแบบตามเป้าหมายต่างๆ

ข้อมูล	เป้าหมายบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2			เป้าหมายบ้านเสนา Oxy Smart		
	Net Zero	Net Positive		Net Zero	Net Positive	
	ก่อนปรับปรุง	1EV Car	Maximum	ก่อนปรับปรุง	1EV Car	Maximum
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (m^2)	217			145		
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/yr)	5,645 (A)			6,068 (B)		
เป้าหมายการผลิต (kWh/yr)	5,645	11,755 (A+6,110)	Maximum	6,068	12,178 (B+6,110)	Maximum
อัตราการผลิตไฟฟ้าต่อปี (kWh/yr)	6,130	12,771	*27,408*	6,569	13,120	*19,469*
กิโลวัตต์การติดตั้ง PVs (kW)	4.56	9.5	*21.66*	4.94	10.26	*15.58*
จำนวนแผง	12	25	*57*	13	27	*41*
พื้นที่หลังคาติดตั้ง PVs (m^2)	24	50	*114*	26	54	*82*

(Maximum = การติดตั้งแผง PV สูงสุด แบบเต็มพื้นที่หลังคา)

จากตารางที่ 21 การผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า และเสนา Oxy Smart พบว่ากำลังการผลิตสูงสุดของบ้านเสนาอยู่ที่ขนาดติดตั้งเพียง 15.58 kW_P หรือ 41 แผง ประกอบด้วย 5 แผง ทางทิศเหนือ, 12 แผง ทางทิศใต้, 11 แผง ทางทิศตะวันออก และ 13 แผง ทางทิศตะวันตก ในขณะที่บ้านดีดีรักษ์ฟ้ามีขนาดติดตั้งสูงสุดถึง 21.66 kW_P หรือ 57 แผง ประกอบด้วย 18 แผง ทางทิศเหนือ และ 39 แผง ทางทิศใต้เป็นข้อสังเกตได้ว่าขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมของบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง แม้จะใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่หลังคาของบ้านดีดีรักษ์ฟ้ามากกว่าถึง 72 ตร.ม. แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของหลังคาที่ดีกว่า จึงเกิดการศึกษาถึงแนวทางการเพิ่มพื้นที่หลังคาของบ้านเสนา Oxy Smart เป็น 3 วิธี ได้แก่

4.3.1 การคงรูปทรงหลังคาเดิมไว้ และใช้วิธีการเพิ่มพื้นที่โดยการต่อชายคา 1.50 เมตร ทางทิศตะวันตก

4.3.2 การเปลี่ยนหลังคาปั้นหยาเป็นทรงจั่วและหันด้านลาดเอียงไปทางทิศใต้

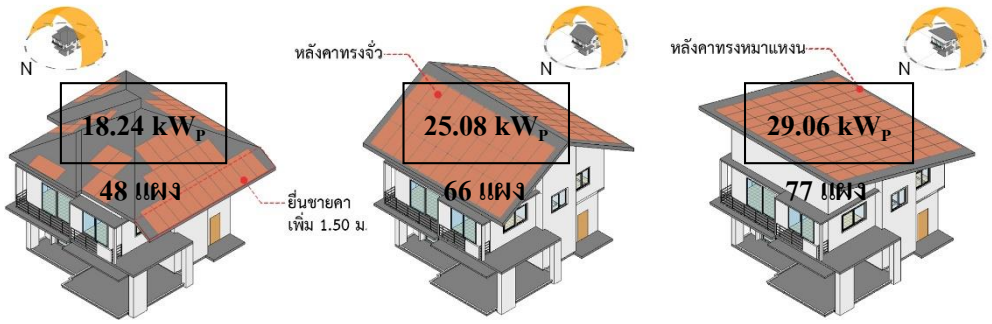
4.3.3 การเปลี่ยนเป็นรูปทรงหลังคาเพิงหมาแหงน

เมื่อทำการจำลองการติดตั้งสูงสุดบนหลังคาแต่ละแบบ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 22 การปรับปรุงเพิ่มพื้นที่หลังคาและขนาดการติดตั้งสูงสุดของบ้านเสนา Oxy Smart

ข้อมูล	**ก่อนปรับปรุง**	**ปรับปรุง 4.3.1**	**ปรับปรุง 4.3.2**	**ปรับปรุง 4.3.3**
รูปทรงหลังคา (ชายคา 1.00 m.)	ปั้นหยา 30^o	ปั้นหยา 30^o	หน้าจั่ว 30^o	หมาแหงน 15^o
ระยะยื่นชายคาเดิม (m)	1.00			
ระยะยื่นชายคาใหม่ (m) และทิศทาง	1.00	2.50 (W)	1.50 (All)	1.50 (All)
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (m^2)	145	164	151	155
ขนาดการติดตั้ง (kW_P)	15.58 (C)	*18.24* (D)	*25.08* (E)	*29.26* (F)
จำนวนแผง	41	48	66	77
พื้นที่ติดตั้งแผง (m^2)	82	96	132	154
%การติดตั้งต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด	57%	59%	88%	98%
อัตราการผลิตไฟฟ้าต่อปี (kWh/yr) (A)	19,469	*23,270*	*30,906*	*39,335*
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/yr) (B)	6,068	*6,064*	*6,023*	*6,030*
พลังงานส่วนเกิน (kWh/yr) (A) - (B)	13,401 (10.64 kW_P)	17,206 (13.3 kW_P)	24,883 (20.14 kW_P)	33,305 (24.32 kW_P)
การติดตั้งเพิ่มเติมจากก่อนปรับปรุง (kW_P)		*2.66* (D-C)	*9.5* (E-C)	*13.68* (F-C)

วิธีการปรับปรุงหลังคาที่เพิ่มศักยภาพในการติดตั้ง PV ได้สูงสุดและบรรลุเป้าหมายพลังงานเป็นบวกได้ คือ การเปลี่ยนเป็นรูปทรงหลังคาเพิงหมาแหงนทำให้สามารถติดตั้ง PV ได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุดบนพื้นที่ 154 ตร.ม. (99% ของพื้นที่หลังคา) สามารถรองรับการติดตั้ง PV เพิ่มเติมได้อีก 13.68 kW_P หรือมีการติดตั้งสูงสุดถึง 29.26 kW_P และรูปทรงหลังคานี้ยังทำให้ใช้พลังงานรวมของบ้านลดลง 38 kWh/yr ส่วนการคงรูปทรงหลังคาเดิมไว้ และเพิ่มพื้นที่อีก 3% โดยการต่อชาย 1.50 เมตร ทางทิศตะวันตก สามารถรองรับการติดตั้งเพิ่มเติมได้อีก 2.66 kW_P และสำหรับการเปลี่ยนหลังคาปั้นหยาเป็นทรงจั่วและหันด้านลาดเอียงไปทางทิศใต้ แม้จะได้พื้นที่เพิ่มมา 7% รองรับการติดตั้งเพิ่มเติมได้ 9.5 kW_P แต่ก็ยังเพิ่มได้ไม่มากเท่ากับการใช้รูปทรงหลังคาเพิงหมาแหงน



ภาพที่ 39 เปรียบเทียบขนาดการติดตั้ง PV สูงสุดของบ้านเสนาที่ปรับปรุงตามวิธีที่ 4.3.1 (ซ้าย), วิธีที่ 4.3.2 (กลาง) และวิธีที่ 4.3.3 (ขวา)

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่

จากการศึกษาถึงค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน (EUI) พบว่าบ้านทั่วไปมีค่า EUI ที่ได้จากการจำลองพลังงานในช่วง 27-31 kWh/m^2/yr ซึ่งสูงกว่าค่ากลางของกระทรวงพลังงานที่ 25 kWh/ m^2/yr จึงศึกษาต่อถึงความเป็นไปได้ในการลดค่าพลังงานของบ้าน นอกจากการปรับปรุงตัวแปรด้านกรอบอาคาร แสงสว่าง และแผงบังแดดในเบื้องต้นซึ่งพบว่า ยังขาดอีกหลายตัวแปรที่ยังควรศึกษาเพิ่มเติมโดยละเอียด ถึงอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงาน ได้แก่

1) แนวทางการปรับปรุงการวางแนวอาคาร

2) แนวทางการปรับปรุงระยะยื่นชายคา

3) แนวทางการปรับปรุงอิทธิพลระหว่างตัวแปรด้านกรอบอาคาร และการป้องกันความร้อน ที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมของบ้าน

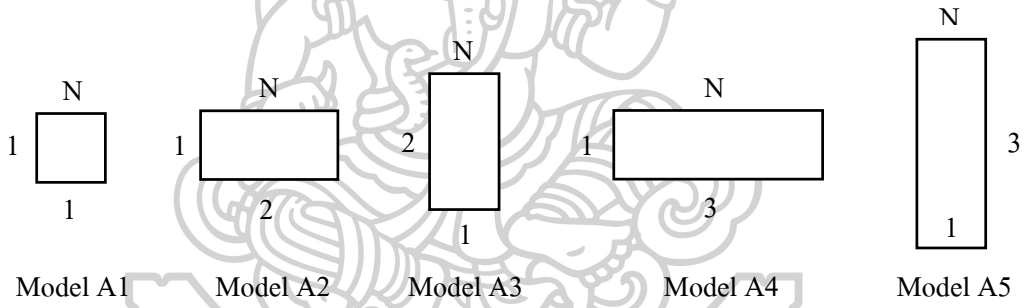
4) การปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารของบ้านต้นแบบ

5) การปรับปรุงการใช้แสงธรรมชาติสำหรับบ้านต้นแบบ

ซึ่งจากการศึกษาอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมทั้ง 5 หัวข้อ สามารถสรุปผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวกประเภทสร้างใหม่ ได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงการวางแนวอาคาร (Building Orientation)

ในหัวข้อนี้ต้องการหาสัดส่วนกว้างยาวกับการวางแนวอาคาร รวมถึงการป้องกันความร้อนเข้าสู่บ้าน เพื่อทำให้ค่าการใช้พลังงานของบ้านลดลงมากที่สุด จึงทำการสร้างแบบจำลองอย่างง่าย โดยใช้ Mode Use Conceptual Mass ในโปรแกรม Revit version 2020 ซึ่งมีการตั้งค่าเพียงข้อมูลสภาพอากาศ กรอบอาคาร พื้น ผนัง หลังคา การปรับอากาศ ตามค่า Default ของโปรแกรมและสัดส่วนช่องเปิดทุกด้านของอาคารตั้งอ้างอิงที่ WWR 40% เหมือนกันทั้งหมด และกำหนดสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวที่ทำการศึกษาเป็น 3 แบบ คือ 1:1, 1:2 และ 1:3 ซึ่งมีใกล้เคียงกับรูปแบบบ้านจัดสรรมาตรฐาน และกำหนดให้ทิศเหนือ (N) อยู่ที่ 0^{o} ทำการบิดแนวอาคารทีละ 90 องศา จนครบ 4 ครั้ง ได้แก่ ทิศเหนือ (0^{o}) ทิศตะวันออก (90^{o}) ทิศใต้ (180^{o}) และทิศตะวันตก (270^{o}) ทำให้ได้แบบจำลองที่ทำการศึกษาต่างกัน จำนวน 5 Model ตามภาพที่ 40

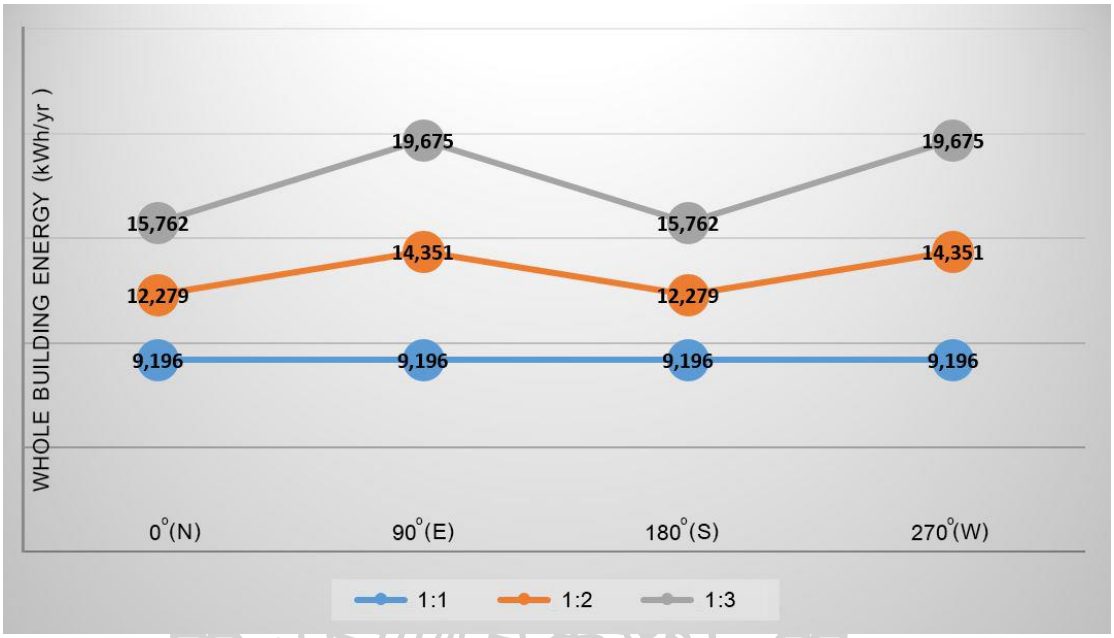


ภาพที่ 40 โมเดลอาคาร 5 แบบที่สร้างจาก 3 แบบและมีการวางทิศทางที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 23 การวางแนวอาคารที่สัมพันธ์กับสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวเพื่อลดการใช้พลังงาน

Energy Model	**สัดส่วนอาคาร**		**ค่าพลังงานรวมของแบบจำลอง (kWh/yr)**			
			Building Orientation			
	ด้านแคบ	**ด้านยาว**	**0^{o}**	**90^{o}**	**180^{o}**	**270^{o}**
Model A1	1	1	*9,196*			
Model A2	1	2	12,279	-	12,279	-
Model A3	1	2	-	14,351	-	14,351
Model A4	1	3	15,762	-	15,762	-
Model A5	1	3	-	19,675	-	19,675

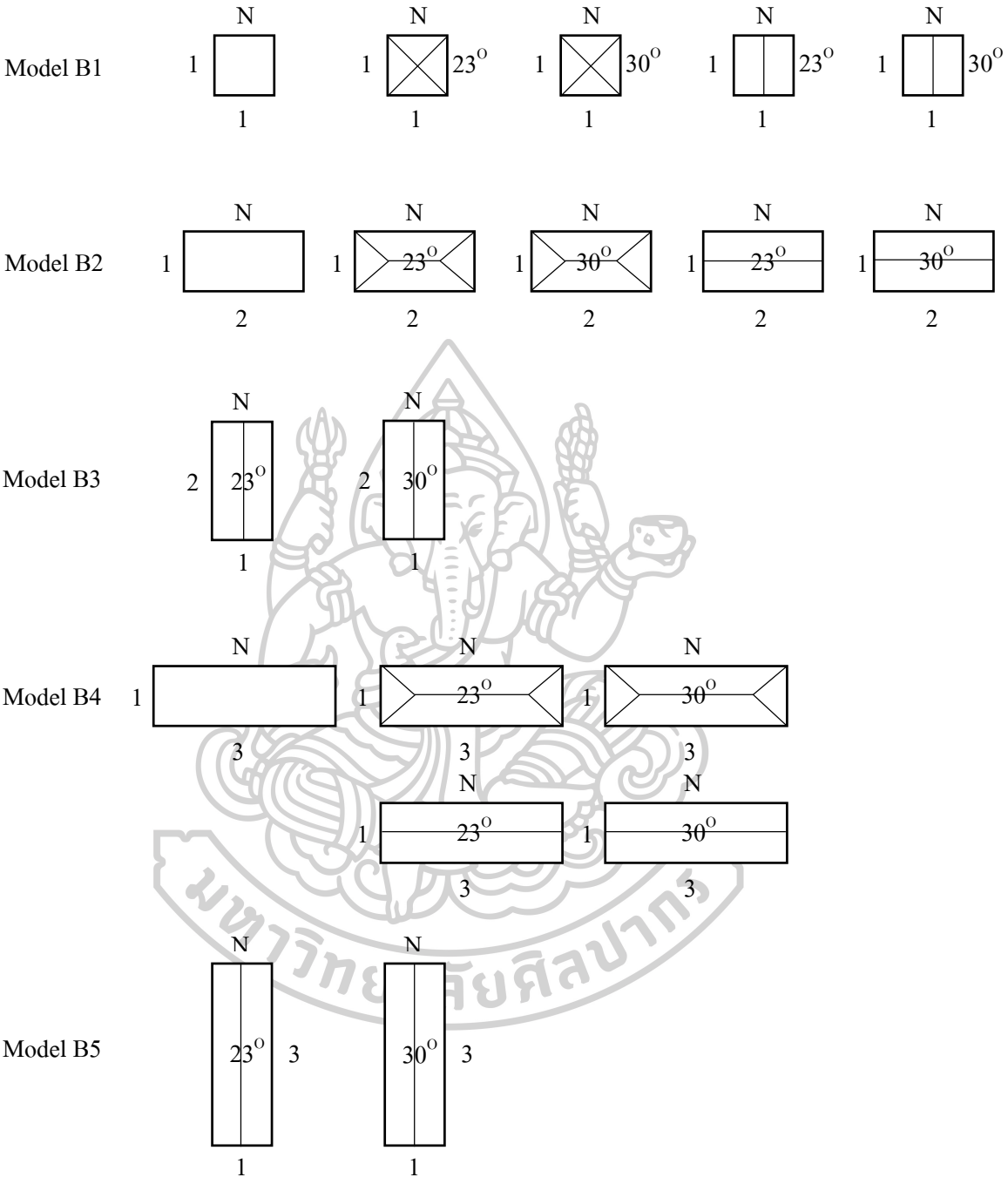
พบว่าลักษณะสัดส่วนของอาคารที่มีด้านแคบต่อด้านยาว 1:1 จะมีการใช้พลังงานของอาคารต่ำที่สุด และได้ทำการทดลองสัดส่วนอื่นพบว่า ที่สัดส่วนใดๆ ก็ตามที่หลีกเลี่ยงการหันด้านยาวของอาคารไปทางทิศตะวันออก-ตะวันตก ที่สัดส่วน 1:2 จะช่วยลดพลังงานได้ 16% และสัดส่วน 1:3 ลดพลังงานได้ 24% หมายความว่า ทิศทางการวางแนวอาคาร (Building Orientation) สามารถมีผลต่อค่าพลังงานรวมของอาคารมาก เมื่อสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวมากขึ้นโดยพื้นที่อาคารยังคงเท่าเดิม ตามกราฟของภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบอิทธิพลของสัดส่วนด้านกว้าง : ยาว
และทิศทางการวางแนวอาคารต่อค่าพลังงานรวม

จากภาพที่ 41 สรุปได้ว่า การออกแบบสัดส่วนอาคารให้เข้าใกล้ 1:1 ร่วมกับหลีกเลี่ยงการวางด้านยาวของอาคารตามแนวตะวันออก-ตะวันตก จะช่วยลดพลังงานลงได้อย่างชัดเจน

จากนั้นนำแบบจำลองเดิมมาพิจารณาร่วมกับการออกแบบหลังคา ตามรูปทรงหลังคาและองศาลาดชันที่ต่างกัน ได้ผลลัพธ์เป็น Model B1-B5 ที่มีการออกแบบหลังคาที่แตกต่างกัน 5 ลักษณะ เกิดโมเดลที่แตกต่างกันเพื่อการพิจารณา 19 แบบ ดังนี้



ภาพที่ 42 ขนาดสัดส่วนและการวางแนวอาคาร ที่พิจารณาร่วมกับการออกแบบหลังคา

ตารางที่ 24 รูปทรงหลังคาที่สัมพันธ์กับสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวเพื่อลดการใช้พลังงาน

Energy Model	ค่าพลังงานรวมของแบบจำลอง (kWh/yr)				
	Slab	Hip Roof		Gable Roof	
		23°	30°	23°	30°
Model B1	159	171	163	170	173
Model B2	158	162	162	169	171
Model B3	-	-	-	168	170
Model B4	156	160	162	161	162
Model B5	-	-	-	162	163

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 24 มาแสดงเป็นกราฟสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนี้

ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบอิทธิพลของสัดส่วนอาคาร ทิศทางการวาง และรูปทรงหลังคาที่มีต่อค่าพลังงานรวม

ทิศทางการวางอาคารมีผลต่อการออกแบบรูปทรงหลังคาและความลาดชัน พบว่าการออกแบบหลังคาแบน ที่กว้าง : ยาว สัดส่วน 1:3 วางหันด้านแคบไปทางทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารจะต่ำที่สุด สำหรับการออกแบบหลังคาลาดชัน ทรงปั้นหยา 23° (Hip roof) ที่กว้าง : ยาว สัดส่วน 1:3 วางหันด้านแคบไปทางทิศตะวันออก - ตะวันตก ค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารจะต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่ดีตามทฤษฎีของ Olgyay ที่ 1:1.7 ถึง 1:3 (ปารวี, 2556)

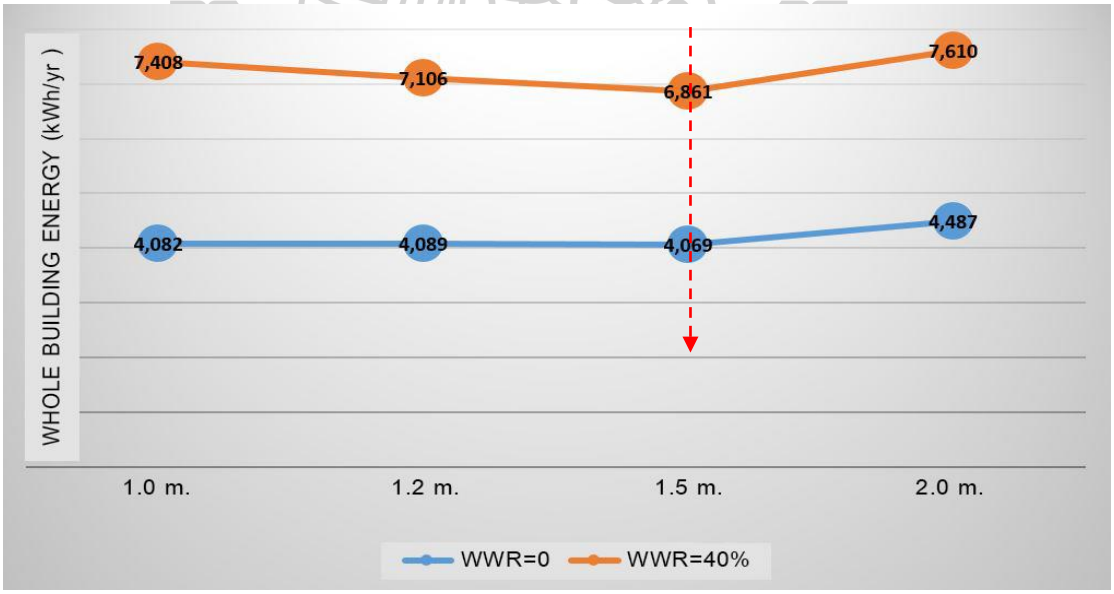
4.3.2 ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงระยะยื่นชายคา

เมื่อนำแบบจำลอง Model A1 ที่มีสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาว 1:1 เป็นตัวแปรควบคุมเรื่องการวางแนวอาคาร และพื้นที่ผิวกรอบอาคารเท่ากันทั้ง 4 ทิศทาง มาจำลองอย่างง่ายโดยใช้ Mode Use Conceptual Mass จากนั้นทำการเปลี่ยนระยะชายคา 4 ระยะ ได้แก่ 1.00, 1.20, 1.50 และ 2.00 ม. เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานในอาคารร่วมกับการออกแบบช่องเปิดที่มี WWR ด้านละ 40% ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 25 การปรับปรุงระยะยื่นชายคาเพื่อลดการใช้พลังงาน

Energy	**ระยะยื่นชายคากับค่าพลังงานรวม EUI (kWh/yr)**			
Model	**1 เมตร**	**1.2 เมตร**	**1.5 เมตร**	**2 เมตร**
Model A1 (WWR 0%)	4,082	4,089	4,069	4,487
Model A1 (WWR 40%)	7,408	7,106	6,861	7,610

จากผลการศึกษา เมื่อควบคุมให้มี WWR เท่ากันในทุกด้านพบว่า การลดค่าพลังงานรวมในอาคารขึ้นอยู่กับระยะชายคา โดยระยะยื่นชายคาที่ 1.5 เมตร ค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารจะต่ำที่สุด ส่วนการยื่นชายคามากกว่า 2 เมตร จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ส่วนโพรงหลังคาที่อยู่ภายใต้โครงสร้าง ซึ่งในการจำลองพลังงานนั้นจะนับรวมเป็นพื้นที่ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารด้วย ส่งผลให้พลังงานรวมในอาคารสูงขึ้น



ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบการลดค่าพลังงานจากการออกแบบชายคาระยะต่างๆ

สรุปได้ว่า ระยะยื่นชายคามีผลต่อการป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดและระยะยื่นชายคาจะแปรผันตรงกับการป้องกันความร้อนจนกระทั่งถึงระยะที่เกินกว่า 1.5 ม.จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ส่วนโพรงหลังคาที่อยู่ภายใต้โครงสร้างเกิดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ทำให้พลังงานรวมในอาคารสูงขึ้น

4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลระหว่างตัวแปรด้านกรอบอาคาร และการป้องกันความร้อนที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมของบ้าน

การศึกษานี้ต้องการทราบตัวแปรที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านต้นแบบเพื่อวิเคราะห์และนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงโดยละเอียดในขั้นต่อไป ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

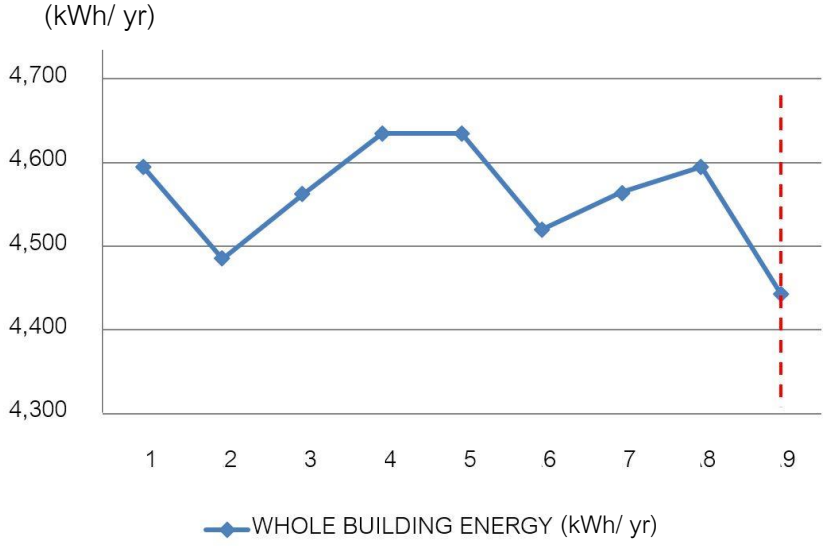
1) อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลระหว่างตัวแปรของกรอบอาคาร และการป้องกันความร้อนที่มีการออกแบบร่วมกันแล้วมีผลต่อการลดค่าการใช้พลังงานมากที่สุด โดยการสร้างแบบจำลองของบ้านต้นแบบทั้งสอง และทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆของเปลือกอาคาร 7 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (WWR) การใช้แสงธรรมชาติ (Daylighting) การวางแนวอาคาร (Building Orientation) การวางแนวทิศทางหลังคา (Roof orientation) อุปกรณ์บังแดด (Shading Device) การระบายอากาศใต้หลังคา (Roof Ventilation) และการออกแบบรูปทรงหลังคา (Roof Shape) ปรากฏผลการเปลี่ยนแปลงต่อค่าการใช้พลังงานรวมของบ้าน ดังนี้

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

Optional	Solution							Whole Building (kWh/yr)
	WWR	Daylight	Building Orientation	Roof Orientation	Shading Device	Roof Ventilation	Roof Shape	
1	●	●	●					4,595
2	●	●	●		●			4,485
3	●	●		●	●			4,526
4	●	●		●				4,635
5	●	●						4,635
6			●	●				4,520
7	●	●	●	●	●			4,564
8	●	●	●	●	●	●		4,595
9	●	●	●		●		●	*4,443*

จากตารางที่ 26 นำมาเขียนเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ชัดยิ่งขึ้น ตามกราฟภาพที่ 45 ดังนี้



ภาพที่ 45 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

พบว่าอิทธิพลระหว่างตัวแปรของกรอบอาคาร และการป้องกันความร้อนที่มีการออกแบบร่วมกันตามทางเลือกที่ 9 ได้แก่ การปรับเปลี่ยน WWR, Daylighting, Building Orientation, Shading และ Roof Shape ร่วมกัน ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการลดค่าพลังงานรวมของบ้านมากที่สุด การศึกษาในส่วนนี้ ได้ทดลองปรับเปลี่ยนหน้าบ้านให้อยู่ด้านทิศเหนือทำให้ด้านสกัดของบ้านอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก จากนั้นได้ปรับลดช่องเปิดทางทิศใต้ และตะวันตก และเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดไปทางทิศตะวันออก และทิศเหนือ เป็นผลให้สัดส่วนช่องเปิดลดลงจาก WWR 26% เป็น 23% ร่วมกับการเลือกใช้แสงธรรมชาติทางทิศเหนือและทิศตะวันออก รวมถึงการออกแบบแผงบังแดด และใช้รูปทรงหลังคาปั้นหยาร่วมด้วย ทำให้ค่าพลังงานของบ้านลดลงดังนั้นการปรับเปลี่ยนตามแนวทางข้างต้นร่วมกัน จึงเป็นแนวทางในการลดค่าพลังงานรวมที่ได้ผลกับบ้านดีดีรักษ์ฟ้า

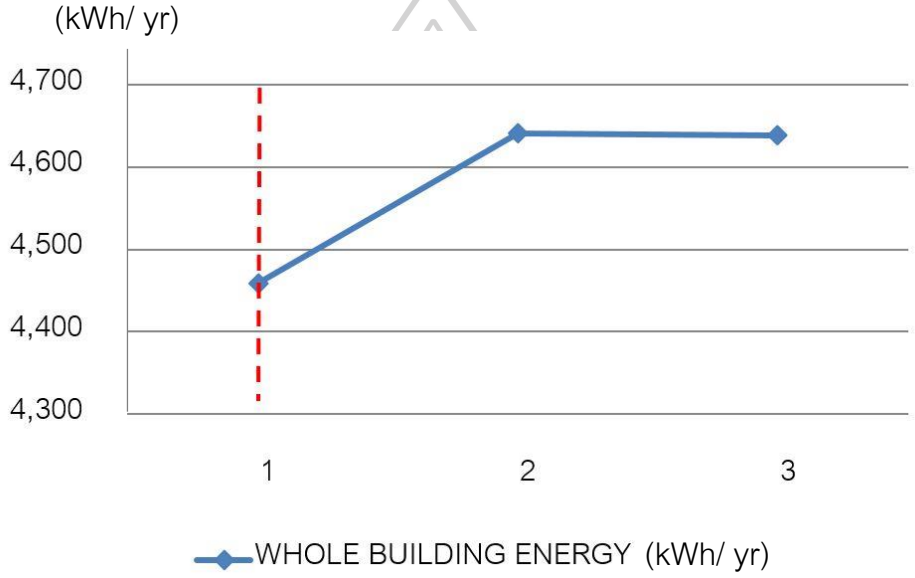
2) ตัวแปรที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านต้นแบบเสนา Oxy Smart

สร้างแบบจำลองของบ้านเสนา Oxy Smart และทำการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลระหว่างตัวแปรของกรอบอาคารและการป้องกันความร้อน 6 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (WWR) การใช้แสงธรรมชาติ (Daylighting) การวางแนวอาคาร (Building Orientation) การวางแนวทิศทางหลังคา (Roof orientation) อุปกรณ์บังแดด (Shading Device) และการระบายอากาศใต้หลังคา (Roof Ventilation) ปรากฏผลการเปลี่ยนแปลงต่อค่าการใช้พลังงานรวมของบ้าน ดังนี้

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานรวมของบ้านเสนา

Optional	Solution						Whole Building (kWh/yr)
	WWR	Daylight	Building Orientation	Roof Shape	Shading	Roof Ventilation	
1	●	●	●		●		*4,458*
2	●	●	●	●			4,641
3	●	●	●	●	●	●	4,639

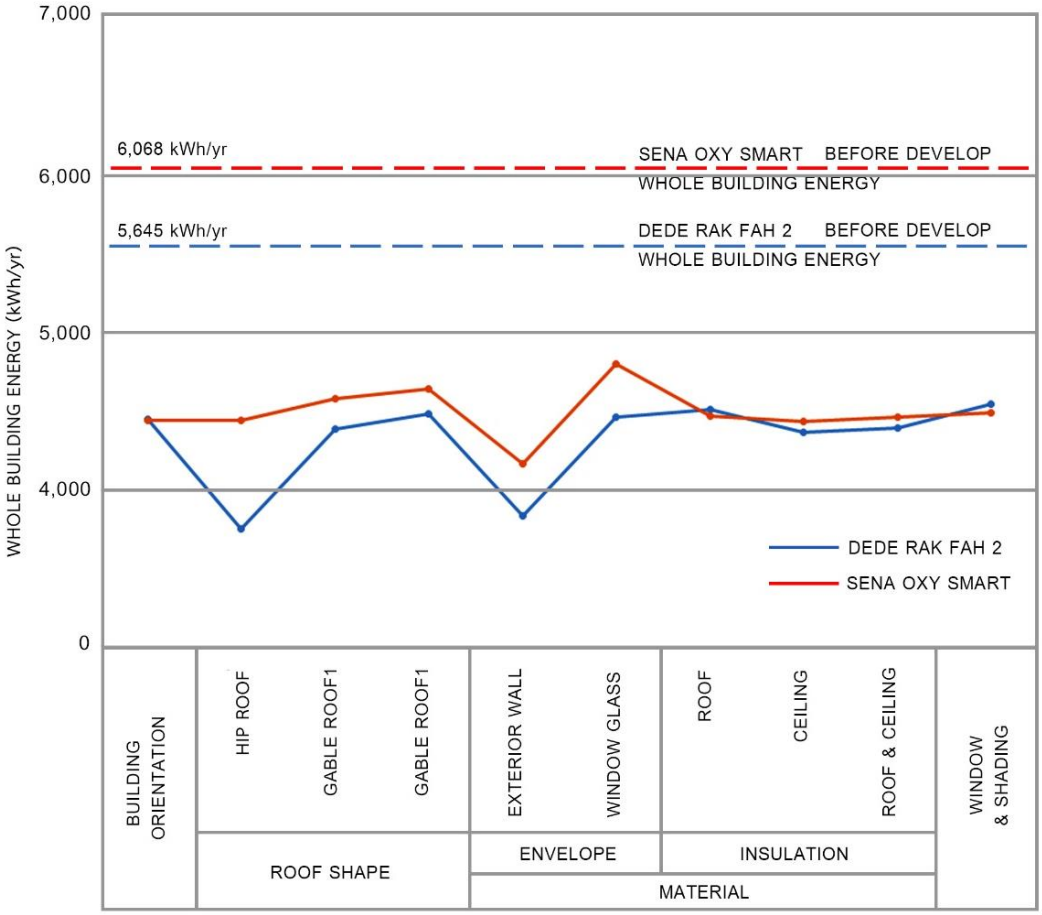
เมื่อนำผลจากตารางที่ 27 มาเขียนเป็นกราฟเพื่อการวิเคราะห์จะได้ดังนี้



ภาพที่ 46 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรวมของบ้านเสนา Oxy Smart

พบว่าอิทธิพลระหว่างตัวแปรของกรอบอาคาร และการป้องกันความร้อนที่มีการออกแบบร่วมกันตามทางเลือกที่ 1 ได้แก่ การปรับเปลี่ยน WWR, Daylighting, Building Orientation และ Shading ร่วมกัน ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการลดค่าพลังงานรวมของบ้านมากที่สุด การศึกษาในส่วนนี้ ได้ทดลองปรับเปลี่ยนหน้าบ้านให้อยู่ด้านทิศเหนือทำให้ด้านสกัดของบ้านอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก จากนั้นได้ปรับลดช่องเปิดทางทิศใต้ และตะวันตก และเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดไปทางทิศตะวันออก และทิศเหนือ เป็นผลให้สัดส่วนช่องเปิดลดลงจาก WWR 26% เป็น 23% ร่วมกับการเลือกใช้แสงธรรมชาติทางทิศเหนือและทิศตะวันออก รวมถึงการออกแบบแผงบังแดด ทำให้ค่าพลังงานของบ้านลดลงดังนั้นการปรับเปลี่ยนตามแนวทางข้างต้นร่วมกัน จึงเป็นแนวทางในการลดค่าพลังงานรวมที่ได้ผลกับบ้านเสนา Oxy Smart

จากนั้นนำแนวทางจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานรวมของบ้านข้างต้น มาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบ ว่าเมื่อใช้วิธีการปรับปรุงทีละปัจจัย โดยควบคุมตัวแปรอื่นให้เหมือนกัน ด้วยการจำลองในโหมด Building Elements ตัวแปรใดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลดค่าพลังงานรวมของบ้านมากที่สุด ซึ่งแสดงผลเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 47 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของบ้านต้นแบบ 2 หลัง ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงปัจจัยต่างๆ

เมื่อพิจารณาจากกราฟสัดส่วนของการลดค่าพลังงานของบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง พบว่าหลังจากปรับปรุงตามแนวทางแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการลดค่าพลังงานของบ้านต้นแบบมากที่สุดคือ เปลือกอาคาร รูปทรงหลังคา และฉนวนกันความร้อน ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1) ทำการลดค่า U-value ของผนังโดยการติดฉนวน PE ระหว่างโครงเคร่าจะช่วยลดค่า U-value จากช่วง 0.639-5.98 W/m²·K เหลือที่ 0.561 W/m²·K ทำให้ค่าพลังงานของบ้านลดลง

2) รูปทรงหลังคาที่มีผลให้ค่าพลังงานลดลงมากที่สุด คือ ทรงปั้นหยา จึงมีการปรับปรุงหลังคาบ้านดีดีรักษ์ฟ้าจากทรงจั่วมาเป็นทรงปั้นหยา และบ้านเสนายังคงหลังคาทรงปั้นหยาเดิมไว้

3) ฉนวนกันความร้อนใช้ที่ค่าความต้านทาน R = 2.27 m²·K/W หนา 6” (15 ซม.) ติดตั้งที่เหนือฝ้าเพดานของห้องชั้น 2 และที่เหนือฝ้าชายคาภายนอก

ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีผลต่อการลดค่าพลังงานไม่มากเท่ากับการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคาร รูปทรงหลังคา และฉนวนกันความร้อน แต่หากทำการปรับปรุงร่วมกันก็อาจจะเป็นผลดีต่อการลดค่าพลังงานของบ้านลงอีก ซึ่งจะได้นำไปเป็นแนวทางในการออกแบบขั้นต่อไป

4.3.4 การปรับปรุงเปลือกอาคาร

จากแนวทางการปรับปรุงลดค่าพลังงานรวมของบ้านต้นแบบ ตามหัวข้อ 4.3.3 ต่อไปเป็นการสร้างแบบจำลองพลังงานโดยละเอียด ซึ่งจะมีการป้อนค่าคุณสมบัติวัสดุของบ้านทั้งหมด การตั้งค่าห้องปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ส่วนการตั้งค่าตารางช่วงเวลาการใช้งานในพื้นที่ (Schedule) รวมถึงประเภทพื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) โดยจะทำการปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ร่วมกัน มีมาตรการในการปรับปรุงดังนี้

1) การปรับปรุงลดขนาดพื้นที่ใช้สอย

2) การลดพื้นที่ผิวของกรอบอาคาร

3) การลดสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (Window to Wall Ratio, WWR)

4) การปรับเปลี่ยนทิศทางการวางแนวอาคาร

5) การเปลี่ยนรูปทรงหลังคา

6) การเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของผนัง

7) การเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของหลังคา

8) การเพิ่มประสิทธิภาพของกระจก

9) การลดความสูงฝ้าเพดาน

10) การเพิ่มความต้านทานและความหนาของฉนวนกันความร้อน

11) การใช้แสงธรรมชาติในอาคาร

12) การป้องกันความร้อน และการระบายความร้อนของหลังคา

13) การออกแบบแผงบังแดด

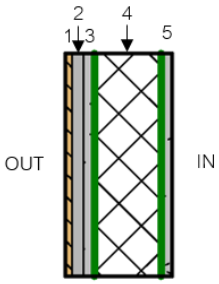
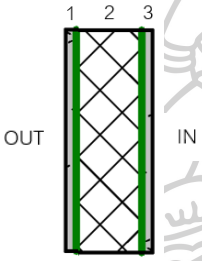
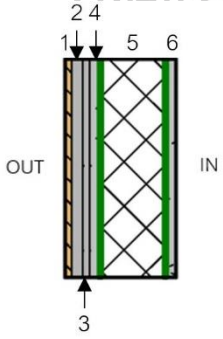
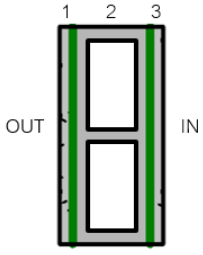
14) ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

สามารถแสดงผลการปรับปรุงปัจจัยข้างต้น ได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบปัจจัยของกรอบอาคารก่อนและหลังการปรับปรุงของบ้านต้นแบบ 2 หลัง

มาตรการ		รายการปรับปรุง	Existing		Develop1		Develop2	
			DEDE	SENA	DEDE	SENA	DEDE	SENA
		EUI (kWh/m^2/yr)	27	31	25	26	23	23
1		Building Area (m^2)	215	198	188	186	188	186
2		Wall Exterior (m^2)	187	173	178	172	175	167
3		Window to Wall Ratio						
	3.1	Southern	26	15	25	15	24	11
	3.2	Northern	30	40	47	40	38	33
	3.3	Western	40	28	9	21	11	20
	3.4	Eastern	14	25	25	30	31	30
4		Building Orientation	0^o		270^o	90^o	270^o	90^o
5	5.1	Roof Shape	ทรงจั่ว 30^o	ปั้นหยา 30^o	ทรงจั่ว 30^o		ปั้นหยา 30^o	
	5.2	Roof Orientation	0^o					
	5.3	พื้นที่หลังคาลาดชัน (m^2)	217	145	149	158	161	158
	5.4	พื้นที่หลังคา ค.ส.ล. (m^2)	36	35	29	33	29	33
6		วัสดุเปลือกอาคาร						
		ผนังภายนอก	แบบที่ 1	แบบที่ 4	แบบที่ 3	แบบที่ 2	แบบที่ 3	
		ค่า U-value W/(m^2·K)	0.635	5.98	0.561	0.959	0.561	
		Absorptance	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	
7		หลังคา						
		ชนิด	หลังคาคอนกรีตสีอ่อน+โครงสร้างเหล็ก					
		ค่า U-value W/(m^2·K)	0.104	0.178	0.095			
8		กระจก						
		ประเภทกระจก	เขียวตัดแสง		Reflective	Solartag	Insulating	
		ค่า VT	0.73	0.73	0.34	0.14	0.63	0.63
		ค่า SHGC	0.5	0.5	0.29	0.25	0.44	0.44
		ค่า U-value W/(m^2·K)	5.32	5.32	6.55	5.91	3.42	3.42
		ค่า LSG ของกระจก	1.46	1.46	1.17	0.56	1.43	1.43
9		ฝ้าเพดาน สูง 2.40 เมตร	2.60		2.40			
		ค่า U-value W/(m^2·K)	0.117	0.519	0.117	0.413	0.117	0.413
10		R ฉนวน (m^2·K /W), ตำแหน่ง	2.27, ฝ้า	2.27, ฝ้า	1.42, หลังคา	2.27, ฝ้า	2.27, ฝ้า	2.27, ฝ้า
		ความหนาฉนวน	6”	3”	1”	3”	6”	
11		%Passing Daylight Autonomy	57%	58%	68%	59%	74%	68%
12		ระยะยื่นชายคา,ทิศทาง	1.5 (N,S)	1.0 (N,S,E,W)	1.5 (N,S)	1.2 (N,S,E,W)	1.5 (N,S,E,W)	1.2 (N,S,E,W)
		เกร็ดระบายอากาศใต้หลังคา	ไม่มี		E,W	ไม่มี		
13		แผงบังแดดแนวตั้ง	N,S,E,W	ไม่มี	S,W	ไม่มี	S,W	S,E,W
14		HVAC	17 SEER					

ตารางที่ 29 แสดงรายละเอียดประเภทวัสดุผนังที่ใช้ในการออกแบบ

ประเภทผนัง	รูปตัดผนัง	รายละเอียดผนัง	คุณสมบัติ	
			ความหนา (m)	ค่า U-value $W/(m^2 \cdot K)$
แบบที่ 1		1= SCG สมาร์ทบอร์ด 8 มม. 2= โครงเคร่าซีไลน์ 12.5 มม. 3= ปูนฉาบ 1.25 ซม. 4= อิฐมวลเบา 7.5 ซม. 5= ปูนฉาบ 1.25 ซม.	0.125	0.635
แบบที่ 2		1= ปูนฉาบ 1.25 ซม. 2= อิฐมวลเบา 7.5 ซม. 3= ปูนฉาบ 1.25 ซม.	0.10	0.959
แบบที่ 3		1= SCG สมาร์ทบอร์ด 8 มม. 2= โครงเคร่าซีไลน์ 12.5 มม. 3= ฉนวน PE Foam 0.5 ซม. 4= ปูนฉาบ 1.25 ซม. 5= อิฐมวลเบา 7.5 ซม. 6= ปูนฉาบ 1.25 ซม.	0.1255	0.561
แบบที่ 4		1= ปูนฉาบ 1.25 ซม. 2= SCG Precast 7.5 ซม. และโพรงอากาศภายในผนัง 3= ปูนฉาบ 1.25 ซม.	0.20	5.98

จากตารางที่ 28 สามารถอธิบายสรุปเป็นแนวทางการปรับปรุงบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และเสนา Oxy Smart ในส่วนของการปรับปรุงกรอบอาคาร ได้ดังนี้

1) ทำการลดค่า U- value ของผนังทึบบ้านทั้งต้นแบบ 2 หลังโดยเพิ่มฉนวน PE Foam (R = 0.172 m^2·K/W) ในระหว่างโครงเคร่าที่ผนังภายนอกเป็นสมาร์ทบอร์ดหนา 8 มม. โดยบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 จะสามารถลดค่า U- value จาก 0.635 W/m^2·K เหลือ 0.561 W/m^2·K และบ้านเสนา Oxy Smart ลดจาก 5.98 W/m^2·K เหลือ 0.561 W/m^2·K และเลือกใช้ผนังสีผนังสีอ่อนให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผิววัสดุต่ำ ที่ค่า Absorptance = 0.5

2) การใช้กระจกประหยัดพลังงานเบอร์ 5 ที่มีค่า SHGC ≤ 0.55 และ LSG ≥ 1.2 ซึ่งใช้ได้ตั้งแต่กระจกเขียวตัดแสง กระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass) เช่น Solartag และกระจกที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดี ในขณะที่มีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาในพื้นที่ใช้งานมากที่สุดคือกระจกฉนวนสีขียวตัดแสง (Insulating Ocean Green Glass (6-12-6)) ซึ่งเป็นกระจก 2 ชั้น ความหนากระจก 6 มม. และช่องว่างอากาศ (Air Gap) 12 มม. ซึ่งมีค่า U- value 3.42 W/m^2·K, ค่า VT = 0.63 และ LSG = 1.43 เอื้อต่อการใช้แสงธรรมชาติในเวลากลางวัน เพิ่มการใช้แสงธรรมชาติในบ้านได้ 17% จาก Baseline และปรับตารางการใช้งานเป็น Schedule2 (ตารางที่ 16-17) ทำให้การใช้พลังงานรวมของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ลดลง 20% และบ้านเสนาลดลง 50%

3) การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนของบ้านทั้ง 2 หลัง โดยเลือกที่มีค่า R=2.27 m^2·K/W หนา 6” (15 ซม.) ที่เหนือฝ้าเพดานสามารถลดค่าพลังงานจากก่อนการปรับปรุงได้ 22% เพราะความร้อนที่อยู่ในโพรงหลังคาจะไม่สามารถถ่ายเทเข้ามายังพื้นที่ใช้งานในห้องได้หากติดตั้งเหนือฝ้าเพดานของห้อง ซึ่งดีกว่าการติดตั้งที่ใต้แปโครงสร้างหลังคา และทำการปรับระดับความสูงฝ้าเพดานในห้องให้ลดลงจาก 2.60 ม. เป็น 2.40 ม. จะช่วยลดปริมาตรของห้องที่มีการปรับอากาศ ทำให้ค่าพลังงานลดลงได้อีกด้วย

4.3.5 การปรับปรุงเรื่องใช้แสงธรรมชาติสำหรับบ้านต้นแบบ

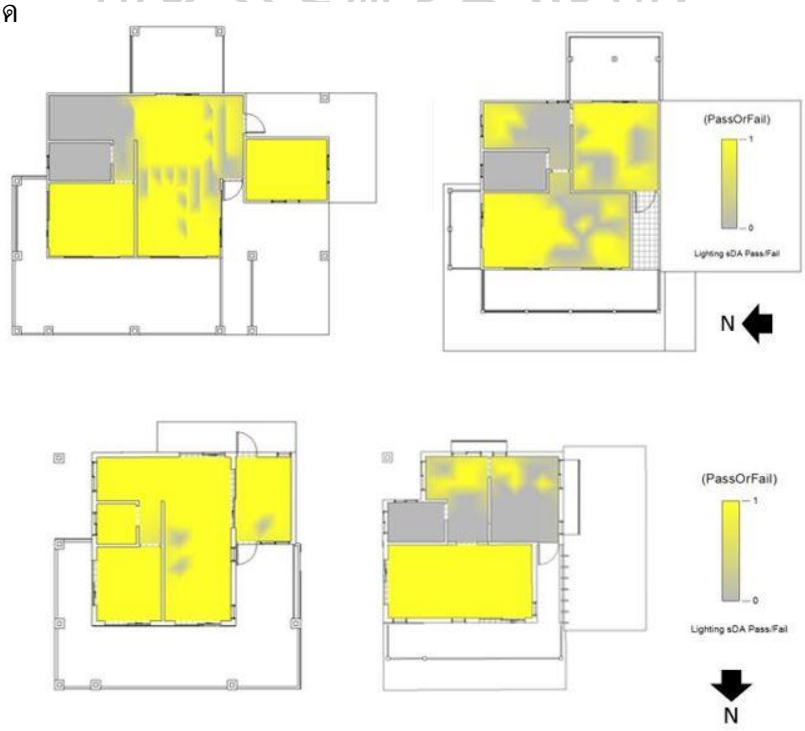
การปรับปรุงช่องแสงที่เหมาะสมแก่การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในพื้นที่ โดยการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ (Daylight) จะใช้เครื่องมือ Lighting โปรแกรม Revit 2020 เพื่อจำลองแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่ใช้งานเพื่อดูค่า Spatial Daylight Autonomy หรือ sDA 300/50 ที่บอกถึงพื้นที่ใช้งานที่รับแสงธรรมชาติอย่างเพียงพอนั้น อย่างน้อย 50% ของพื้นที่ใช้งานประจำ จะต้องสามารถรับปริมาณแสงได้อย่างน้อย 300 ลักซ์ โดยไม่ต่ำกว่า 50% ของชั่วโมงการใช้งานต่อปี และมีค่า Annual Sun Exposure หรือ ASE 1000,250 ที่บอกปริมาณแสงที่มากเกินไป หรือแสงแยงตา ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำที่รับปริมาณแสงได้เกิน 1,000 ลักซ์ ไม่

เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี (อวิรุทธ์, 2562) จึงจะถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานจริงตามเกณฑ์การวิเคราะห์การใช้แสงธรรมชาติในอาคาร ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

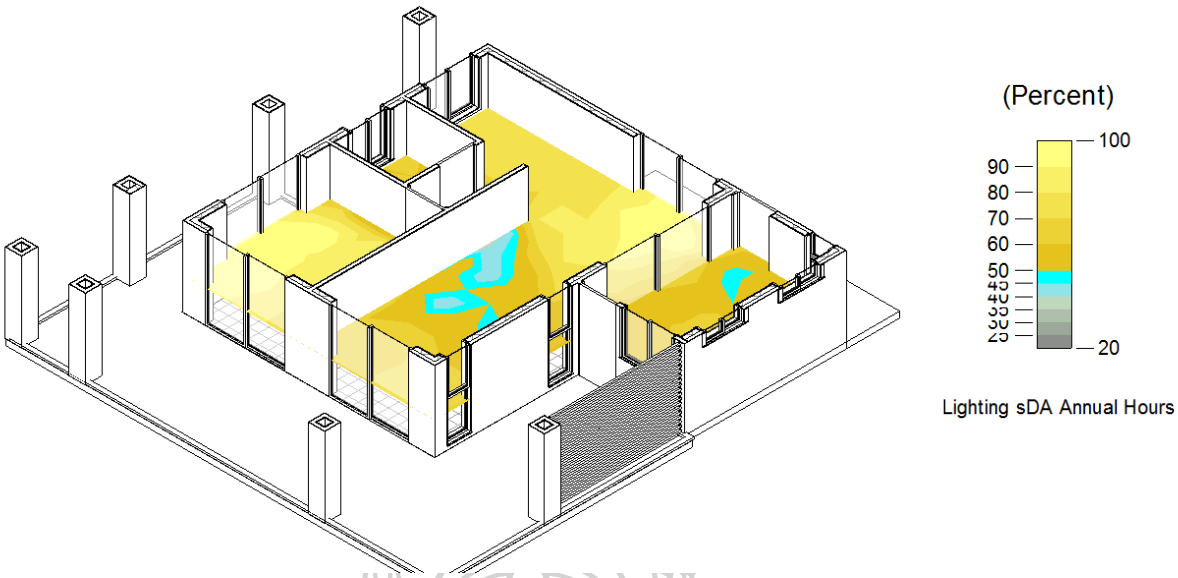
ตารางที่ 30 การวิเคราะห์ค่าแสงธรรมชาติ Daylight Autonomy (sDA Preview) บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

Room	sDA 300/50				ASE1000,250				sDA/ ASE Daylight	
	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	%	pass	%	pass	%	pass	%	pass		
ห้องรับแขก	68	pass	96	pass	0	pass	7	pass	pass	pass
ห้องครัว	100	pass	86	pass	35	no	5	pass	no	pass
ห้องน้ำ 1	0	no	100	pass	0	pass	18	pass	no	pass
ห้องน้ำ 2	0	no	20	no	0	pass	0	pass	no	no
ห้องนอน 1	100	pass	100	pass	0	pass	17	pass	pass	pass
ห้องนอน 2	70	pass	100	pass	3	pass	0	pass	pass	pass
ห้องนอน 3	64	pass	20	no	0	pass	3	pass	pass	no
โถงบันได	30	no	42	pass	0	pass	0	pass	no	pass

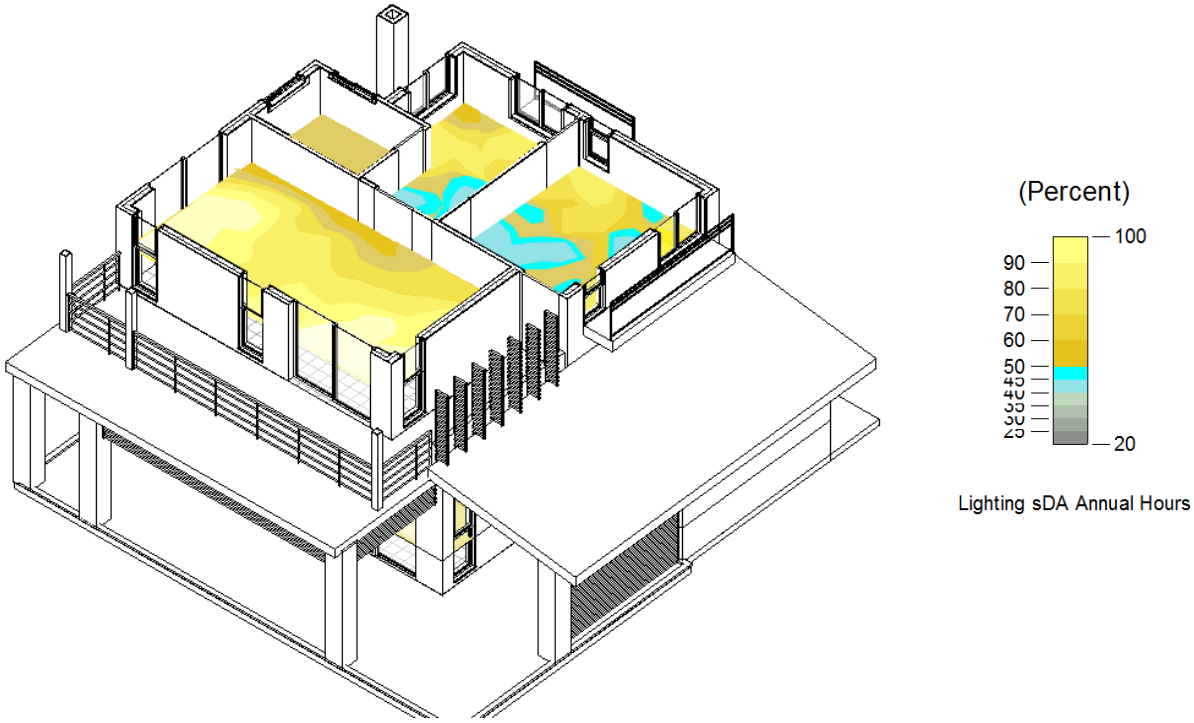
จากตารางที่ 30 ก่อนปรับปรุงช่องเปิดมี WWR=26% หลังปรับปรุงเหลือ WWR=23% และมีห้องที่ผ่านเกณฑ์การใช้แสงธรรมชาติ ได้แก่ ห้องรับแขก, ห้องครัว, ห้องน้ำ1,ห้องนอนใหญ่, ห้องนอน 2 และโถงบันได รวมเป็น 6 ห้อง จาก 8 ห้องที่ผ่านเกณฑ์ หรือคิดเป็น 75% ของจำนวนห้องทั้งหมด



ภาพที่ 48 ผังชั้น 1 และ 2 (บน) ก่อนปรับปรุง และชั้น 1 และ 2 (ล่าง) หลังปรับปรุง Daylight ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



ภาพที่ 49 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 1 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



ภาพที่ 50 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 2 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

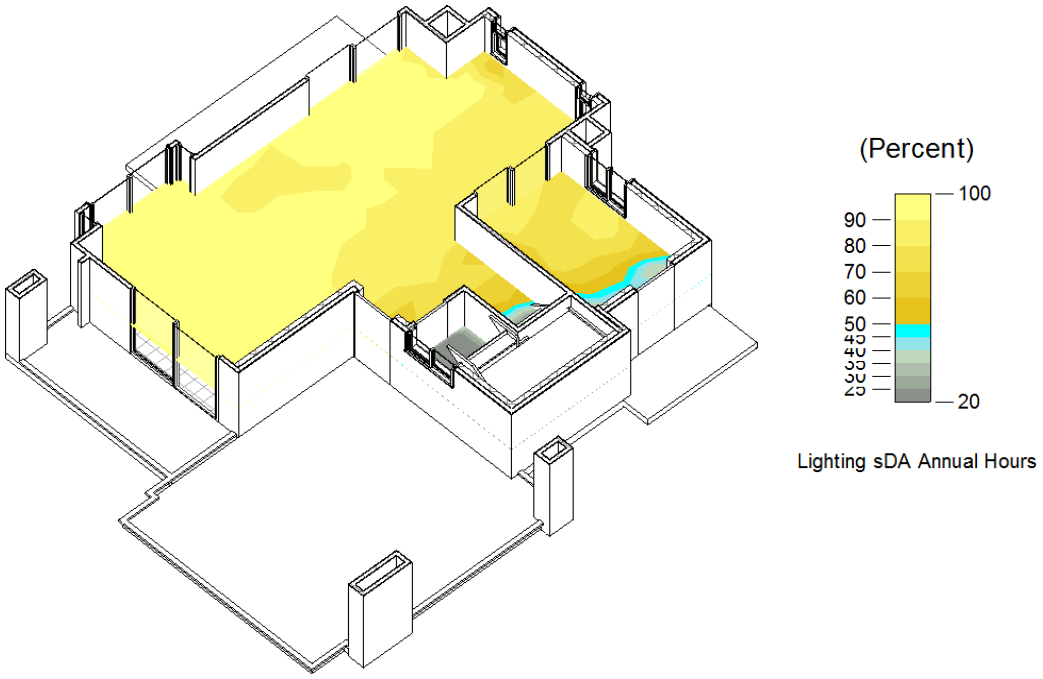
นอกจากนี้โปรแกรม Revit ยังสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ไล่ตามเฉดสี โดยสีเหลืองอ่อนหมายถึง พื้นที่ $sDA_{300/50}$ 100% ไล่ระดับความเข้มไปจนถึงสีฟ้า $sDA_{300/50}$ 40% คือขั้นต่ำที่ผ่านเกณฑ์การใช้แสงธรรมชาติ หลังจากนั้นไปจนถึงสีเทาเข้มที่ $sDA_{300/50}$ 20% ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การใช้แสงธรรมชาติ

ตารางที่ 31 การวิเคราะห์ค่าแสงธรรมชาติ Daylight Autonomy (sDA Preview) บ้านเสนา

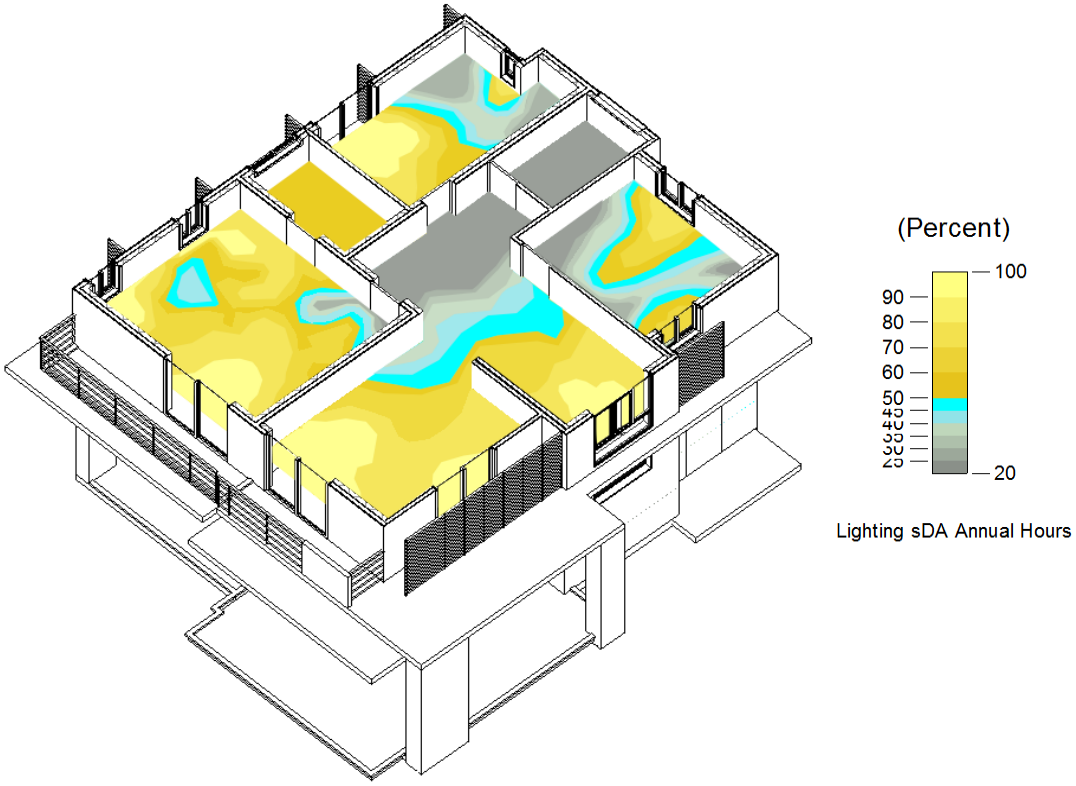
Room	sDA 300/50				ASE1000/250				sDA/ ASE Daylight	
	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	%	pass	%	pass	%	pass	%	pass		
ห้องรับแขก	100	pass	100	pass	11	pass	14	pass	pass	pass
ห้องทำงาน	100	pass	ยกเลิก		43	no	ยกเลิก		no	ยกเลิก
ห้องครัว	100	pass	75	pass	17	pass	0	pass	pass	pass
ห้องน้ำ 1	0	no	65	pass	0	pass	0	pass	no	pass
ห้องน้ำ 2	0	no	0	no	0	pass	0	pass	no	no
ห้องนั่งเล่น	100	pass	68	pass	60	no	0	pass	no	pass
ห้องนอน 1	100	pass	100	pass	0	pass	17	pass	pass	pass
ห้องนอน 2	95	pass	100	pass	11	pass	0	pass	pass	pass
ห้องนอน 3	93	pass	33	no	40	no	0	pass	pass	no
ห้องแต่งตัว	0	no	0	no	0	pass	0	pass	no	no
โถงบันได	0	no	7	no	0	pass	0	pass	no	no

จากตารางที่ 31 ก่อนปรับปรุงช่องเปิดมี WWR=26% หลังปรับปรุงเหลือ WWR=23% และมีห้องที่ผ่านเกณฑ์การใช้แสงธรรมชาติ ได้แก่ ห้องรับแขก, ห้องครัว, ห้องน้ำ1,ห้องนั่งเล่น, ห้องนอนใหญ่, และห้องนอน 2 รวมเป็น 6 ห้อง จาก 10 ห้องที่ผ่านเกณฑ์ หรือคิดเป็น 60% ของจำนวนห้องทั้งหมด

ภาพที่ 51 ผังชั้น 1 และ 2 (บน) ก่อนปรับปรุง และชั้น 1 และ 2 (ล่าง) หลังปรับปรุง Daylight บ้านเสนา



ภาพที่ 52 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 1 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 53 ทิศทางแสงธรรมชาติ ผังชั้น 2 หลังการปรับปรุง Daylight บ้านเสนา Oxy Smart

จากนั้นนำรายละเอียดการปรับปรุงการใช้แสงธรรมชาติของบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง ที่ได้จากการวิเคราะห์ Daylight Autonomy (sDA Preview) มาเปรียบเทียบกัน ได้ผลตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบการปรับปรุงการใช้แสงธรรมชาติสำหรับบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และบ้านเสนา

ค่าจากการวิเคราะห์	บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2		เสนา Oxy Smart	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
% sDA+ASE	57%	74%	58%	68%
% sDA	66%	77%	78%	68%
% ASE	8%	3%	20%	0%
WWR Northern	30%	38%	40%	33%
WWR Southern	26%	24%	15%	11%
WWR Eastern	14%	31%	25%	30%
WWR Western	40%	11%	28%	20%

จากข้อมูลตารางที่ 32 ก่อนการปรับปรุงเรื่องการใช้แสงธรรมชาติของบ้านทั้ง 2 รูปแบบพบว่ามีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในสัดส่วนใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ค่าแสงธรรมชาติของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ทำให้มุ่งเน้นไปที่การลดแสงจ้าให้กับห้องทางทิศตะวักตก ได้แก่ ห้องครัว โดยลด WWR ทางทิศตะวันตกจาก 40% เหลือ 11% ร่วมกับการออกแบบแผงบังแดดแนวนอน และออกแบบช่องเปิดทางทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเป็นการเพิ่ม WWR ทางทิศเหนือแทน เพื่อลดปริมาณแสงที่มากเกินความจำเป็น ซึ่งมาพร้อมกับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ทางทิศตะวันตก ในส่วนของการปรับปรุงเรื่องการนำแสงธรรมชาติ มีการเพิ่มช่องเปิดให้กับห้องน้ำและโถงบันไดทางทิศเหนือ โดยมี WWR เพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 38% และทิศตะวันออก WWR เพิ่มขึ้นจาก 14% เป็น 31% โดยเพิ่มระยะยื่นชายคาจาก 1.0 เมตร เป็น 1.2 เมตร สำหรับการปรับปรุงแสงธรรมชาติของบ้านเสนา Oxy Smart เป็นไปตามหลักการเดียวกัน แต่จะมุ่งให้ความสำคัญกับการออกแบบช่องเปิดทางทิศเหนือเนื่องจากมี WWR สูงที่สุดคือ 40% ปรับปรุงโดยการลด WWR ลงเหลือ 33% เพื่อลดความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดด้วย แต่ยังมีสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบมากกว่าทิศอื่นอยู่ จากข้อมูลตารางที่ 35 มีการลดปริมาณแสงที่มากเกินความจำเป็นให้กับห้องรับแขก ทางทิศเหนือลด WWR และลดรังสีอาทิตย์โดยการออกแบบแผงบังแดดแนวนอนทางทิศตะวันตก และแผงบังแดดแนวตั้งทางทิศตะวันออก ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ดีกว่าบ้านเสนา Oxy Smart เนื่องจากสัดส่วนอาคารด้านยาวที่วางแนวเหนือใต้มีมากกว่า จึงเอื้อประโยชน์ต่อการใช้แสงธรรมชาติทางทิศเหนือมากที่สุด

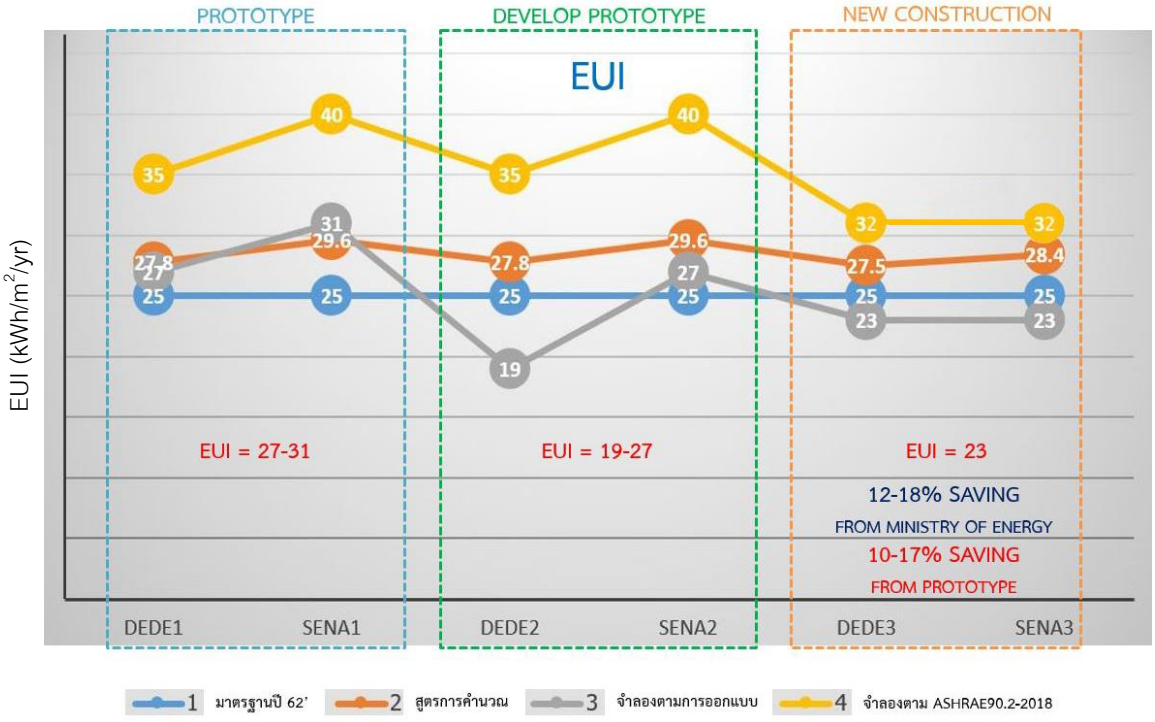
4.4 ผลลัพธ์ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก

เมื่อทำการปรับปรุงครบทุกหมวดตามแนวทางข้างต้นแล้ว ก็ทำการประมวลผลการจำลองพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานกับวิธีการประเมินอื่น ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพบ้านพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่กับเกณฑ์อื่นๆ

ค่าประสิทธิภาพบ้านพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่ EUI (kWh/m^2/yr)		
วิธีการหาค่า EUI	**บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2**	**บ้านเสนา Oxy Smart**
วิธีที่ 1 ค่ามาตรฐาน	25	25
วิธีที่ 2 สมการคำนวณ	27.5	28.4
วิธีที่ 3 จำลองพลังงานตามค่าที่ปรับปรุงใหม่	*23*	*23*
วิธีที่ 4 จำลองพลังงานตาม ASHRAE 90.2-2018	32	32

ผลการประเมินภายหลังการปรับปรุงบ้านต้นแบบพบว่า บ้านสร้างใหม่จากการปรับปรุงบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และบ้านเสนา Oxy Smart สามารถออกแบบให้มีค่า EUI ต่ำกว่าเกณฑ์ตามวิธีที่ 1 และ 2 ได้ทั้งหมด ตามการปรับปรุงทุกหมวด ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 33 แล้วข้างต้น และเมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบกับช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงจะได้ดังนี้



ภาพที่ 54 เปรียบเทียบค่า EUI การออกแบบช่วงต่างๆ
เทียบกับมาตรฐานกระทรวงพลังงานและ ASHRAE 90.2-2018

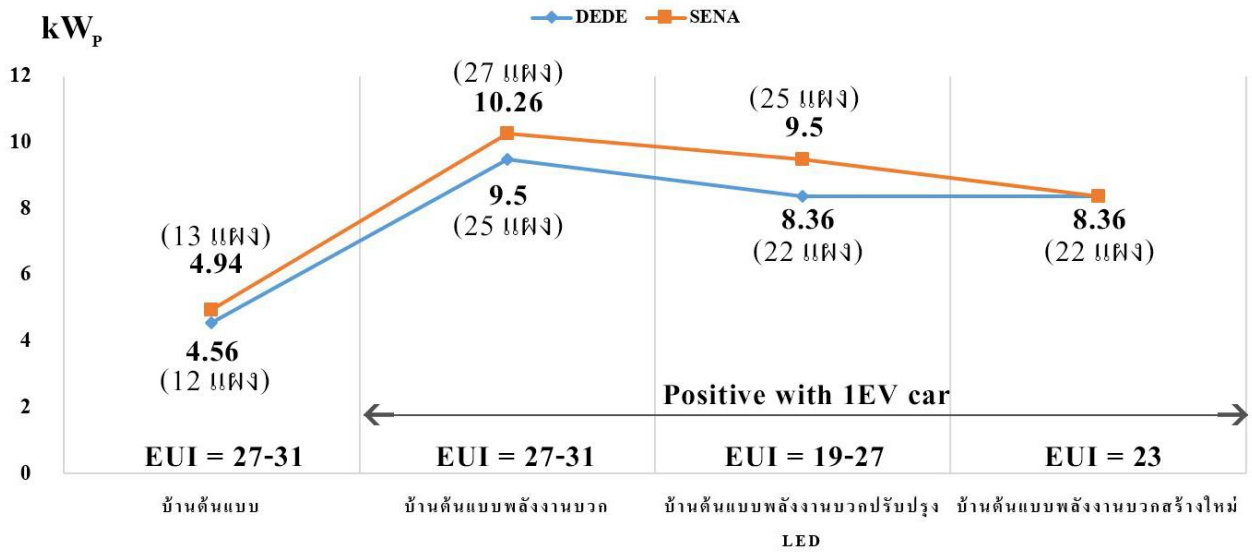
สรุปผลการออกแบบบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่ มีค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานที่ EUI = 23 kWh/m^2/yr ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานสูงกว่ามาตรฐานกระทรวงพลังงานอยู่ที่ 12-18% และประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานดีกว่าบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปประมาณ 10-17%

ในส่วนของการผลิตพลังงานตามเป้าหมายพลังงานเป็นบวกแสดงผลการเปรียบเทียบศักยภาพก่อนและหลังปรับปรุงได้ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 แนวทางการผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์บนหลังคาบ้านพลังงานเป็นบวกสร้างใหม่

	บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2				บ้านเสนา Oxy Smart			
PVs Production Target	**Net Zero Target**		**Net Positive Target**		**Net Zero Target**		**Net Positive Target**	
	ต้นแบบ	**ปรับปรุง**	**1 EV Car**	**Maximum**	**ต้นแบบ**	**ปรับปรุง**	**1 EV Car**	**Maximum**
พลังงานใช้ต่อปี kWh/yr	5,645		4,409		6,068		4,323	
อัตราการผลิต kWh/yr	6,130	4,598	10,740	28,960	6,596	4,598	10,876	30,802
กิโลวัตต์การติดตั้ง PV (kW)	4.56	3.42	8.36	23.56	4.94	3.42	8.36	25.08
พื้นที่ติดตั้ง	24	18	44	124	26	18	44	132
จำนวนแผง	12	8	22	62	13	8	22	66

สรุปเป็นกราฟเปรียบเทียบการปรับปรุงความเข้มข้นการใช้พลังงานและการติดตั้ง PV เพื่อบรรลุเป้าหมายพลังงานเป็นบวกได้ดังนี้



ภาพที่ 55 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการออกแบบบ้านพลังงานเป็นบวก

การปรับปรุงบ้านต้นแบบให้มีพลังงานเป็นบวกสำหรับชาร์จรถ EV 1 คันต่อปี โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของบ้านพลังงานเป็นบวกนั้น ทำได้โดยลดความเข้มข้นการใช้พลังงานลง เพื่อให้เกิดส่วนต่างของพลังงานเหลือใช้มากที่สุดตามนิยามของอาคารที่มีพลังงานเป็นบวก แยกเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

4.4.1 การติดตั้ง PVs สำหรับบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปให้มีพลังงานเป็นบวก

1) บ้านต้นแบบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานขั้นต่ำ ควรติดตั้ง PV ขนาด 4.56-4.94 kW_P หรือ 12-13 แผง

2) ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานในรอบ 1 ปี รองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน ควรติดตั้ง PV ขนาด 9.5-10.26 kW_P หรือ 25-27 แผง

4.4.2 การติดตั้ง PVs สำหรับบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปหลังการปรับปรุงเปลี่ยนหลอดไฟ LED เพื่อลดขนาดการติดตั้ง ตามเป้าหมายการผลิตพลังงานส่วนเกินเพื่อรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คันต่อปี อยู่ที่การติดตั้ง PVs ขนาด 8.36-9.5 kW_P หรือ 22-25 แผง

4.4.3 การติดตั้ง PVs สำหรับบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก เพื่อลดขนาดการติดตั้งตามเป้าหมายการผลิตพลังงานส่วนเกินเพื่อรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คันต่อปี อยู่ที่การติดตั้ง PVs ขนาด 8.36 kW_P หรือ 22 แผง

สรุปผลการศึกษาคือ สามารถปรับปรุงและลดขนาดการติดตั้ง PV ของบ้านต้นแบบพลังงานเป็นบวกได้ จากการลดค่าการใช้พลังงาน และเป็นผลให้ค่า EUI ของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวกนั้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงพลังงาน นอกจากนี้ยังทำให้บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่ปรับปรุงจากบ้านเสนา Oxy Smart สามารถมีพลังงานเป็นบวกได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่ออกแบบนั้น มีการออกแบบหลังคาให้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับบ้านต้นแบบเสนา Oxy Smart ก่อนการปรังปรุงอีกด้วย

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปรับปรุงบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า 2 และเสนา Oxy Smart ให้เป็นบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก เพื่อวัดผลลัพธ์การศึกษาตามวัตถุประสงค์ จึงได้สรุปเป็นรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 สรุปวิธีการตรวจสอบค่าพลังงาน

5.2 สรุปผลการตรวจสอบค่าพลังงานของบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปที่นำมาเป็นบ้านต้นแบบในการศึกษาและปรับปรุงให้มีพลังงานเป็นบวก

5.3 สรุปวิธีการลดการใช้พลังงาน

5.4 สรุปวิธีการเพิ่มการผลิตพลังงาน

5.5 สรุปผลการศึกษาแนวทางออกแบบบ้านสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก ที่พัฒนาจากบ้านประหยัดพลังงานต้นแบบ

5.6 ผลงานการออกแบบ บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก

5.1 สรุปวิธีการตรวจสอบค่าพลังงาน

5.1.1 ค่าการใช้พลังงาน

บ้านต้นแบบที่มีพลังงานเป็นบวกจากการศึกษา สามารถวัดผลด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือค่า EUI ซึ่งหาจากวิธีการจำลองพลังงานตามการออกแบบด้วยโปรแกรม Revit version 2020 โดยการศึกษานี้ได้ทำการเทียบผลลัพธ์การออกแบบกับอีก 3 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานกระทรวงพลังงานสำหรับบ้านพักอาศัยปี พ.ศ. 2562 ค่าการใช้พลังงานจากการคำนวณเบื้องต้นโดยกระทรวงพลังงาน และค่าการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิง จากการจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018

สรุปค่าพลังงานของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวกมีค่า EUI = 23 kWh/m^2/yr ประสิทธิภาพดีกว่ามาตรฐานกระทรวงพลังงานสำหรับบ้านพักอาศัยปี พ.ศ. 2562 ที่ EUI = 25 kWh/m^2/yr และค่าการใช้พลังงานจากการคำนวณเบื้องต้นโดยกระทรวงพลังงานที่ EUI = 27.5-28.4 kWh/m^2/yr และยังดีกว่าค่าการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงจากการจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.2-2018 ที่มีค่า EUI = 32 kWh/m^2/yr แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงตามแนวทางการออกแบบที่ศึกษา สามารถบรรลุตามผลลัพธ์พลังงานเป็นบวกและมีค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน (EUI) ดีกว่ามาตรฐานที่ตั้งไว้นั่นเอง

สำหรับการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารสำหรับการศึกษานี้ เป็นไปได้ว่าจะมีค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการตั้งค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม Revit ในโหมดการจำลองพลังงานซึ่งจะตั้งค่าเฉพาะในโหมดสถาปัตยกรรม ไม่ได้ระบุข้อมูลรายละเอียดการจำลองทางด้านเทคนิควิศวกรรมงานระบบปรับอากาศ ใช้เพียงการตั้งค่าตามชุดข้อมูลพื้นฐาน (Template) ที่โปรแกรมมีโดยจะมีการตั้งค่าในส่วนอัตราประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ SEER 17 บีทียู/ชม./วัตต์ ซึ่งในความเป็นจริงเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ทั่วไปตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพขั้นต่ำสุดตั้งแต่ SEER 12.40 บีทียู/ชม./วัตต์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2563) ไปจนถึงประสิทธิภาพสูงที่ SEER 22.60 บีทียู/ชม./วัตต์ (Electronics, 2021) ของแบรนด์ Mitsubishi KYW รุ่น 3D Move Eye Human Sensor ทำให้ค่าการใช้พลังงานที่ได้จากการจำลองตามการศึกษาอาจจะสูงหรือต่ำกว่าค่าความจริงจากการเลือกใช้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ หรือแม้กระทั่งเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

นอกจากนี้ยังมีประเด็นเรื่องของพฤติกรรมการเปิด-ปิดหน้าต่างของผู้ใช้งานในบ้าน ที่ไม่สามารถกำหนดได้จากการจำลองพลังงานจากโปรแกรม Revit ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมและการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานไม่ได้รวมในการศึกษานี้ จึงทำให้อาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงาน เมื่อใช้งานจริงภายหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ

อีกหนึ่งปัจจัยคือการประเมินค่าการใช้แสงธรรมชาติโดยวิธี Daylight Autonomy (sDA Preview) ของโปรแกรม Revit version 2020 จะอ้างอิงความเข้มข้นการส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทสำนักงานเป็นชุดข้อมูลพื้นฐานในการประเมินคือ 300 lux ซึ่งในความเป็นจริงบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจะมีความต้องการความเข้มข้นการส่องสว่างในพื้นที่การใช้งานต่ำกว่าและอาจส่งผลต่อลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับการใช้งานจริงในบ้านพักอาศัย มีส่วนทำให้ค่าการใช้พลังงานจริงเปลี่ยนแปลงไปได้

5.1.2 <u>ค่าการผลิตพลังงาน</u>

จากการเลือกวิธีสำหรับประเมินอัตราการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากแผง PVs บนหลังคาของการศึกษานี้ ด้วยโปรแกรม PV Watts Calculator[3] มีการตั้งค่าพื้นฐานในการคำนวณโดยระบุตำแหน่ง (Location) ให้เป็น Bangkok, Thailand และเลือกชนิดของแผง (Module Type) แบบ Premium คือเป็น Crystalline Silicon ซึ่งมีประสิทธิภาพแผงที่ 19% มีสารเคลือบหน้าแผง (Module Cover) เป็นกระจกชนิด Anti-reflective coating และมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณภูมิเปลี่ยน (Temperature Coefficient of Power) ที่ -0.35 %/°C ลักษณะการติดตั้งเป็นแบบติดตั้งถาวรไปตามความลาดชันหลังคา (Fixed Roof Mount) ไม่สามารถปรับมุมได้ และมีค่าความสูญเสีย

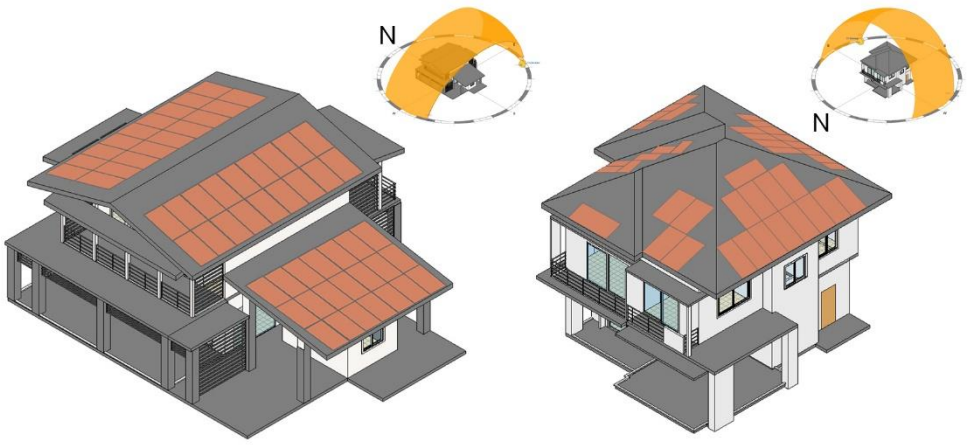
[3] โปรแกรมคำนวณที่พัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL)

ที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของระบบ (System Losses) ที่ 14.08% นอกจากนี้การคำนวณประสิทธิภาพจากอัตราการผลิตตามประเภทอาคาร (Rate Type) กรณีเป็นบ้านพักอาศัยจะเลือกเป็น Residential และในส่วนข้อมูลทางเทคนิคด้านอัตราส่วนขนาด DC ต่อ AC ซึ่งเป็นอัตราส่วนของขนาดพิกัดกระแสตรงของอาร์เรย์กับขนาดพิกัดกระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ ในโปรแกรมใช้ค่าเริ่มต้นที่ 1.2 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (Inverter Efficiency) ใช้เป็น 95% และอัตราส่วนการครอบคลุมพื้นดิน (GCR) เท่ากับ 0.4

จากข้อมูลเบื้องต้นโปรแกรม PV Watts จะนำมาประมวลผลร่วมกับทิศการติดตั้งแผง PV ทำให้การประเมินค่าการผลิตนั้น จำเป็นต้องคิดแยกตามทิศการติดตั้งบนหลังคาแต่ละชิ้น แล้วจึงนำค่าการผลิตในแต่ละทิศมาบวกรวมกันเป็นค่าการผลิตพลังงานรวมทั้งหมดต่อปี ซึ่งให้ผลออกมาเป็นประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดไปต่ำที่สุด ได้แก่ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศเหนือตามลำดับ

ดังนั้น แม้ว่าการคำนวณระหว่างบ้านที่มีรูปแบบหลังคาแตกต่างกันไปจะมีขนาดการติดตั้ง PV ที่เท่ากัน แต่เมื่อติดตั้งในทิศทางที่ประสิทธิภาพการผลิตต่ำที่สุด ก็เป็นผลให้ค่าการผลิตออกมาได้ไม่เทียบเท่ากับการติดตั้งในทิศอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพการผลิตดีกว่า และมีค่าการผลิตพลังงานจากการคำนวณในรอบปี ออกมาแตกต่างกันนั่นเอง

นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการติดตั้ง PV ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านเทคโนโลยีของแผง PV ซึ่งก้าวหน้าไปมาก ทำให้ทิศทางและองศาการติดตั้งไม่ได้เป็นข้อจำกัดมากเท่าใดนัก ซึ่งการศึกษานี้ไม่ได้ทดสอบกับ PV รูปแบบอื่นที่อาจจะติดตั้งบนผนังอาคาร และกระเบื้องโซล่าร์ที่เป็นทั้งฉนวนกันความร้อนและผลิตไฟฟ้าได้แล้วในปัจจุบัน

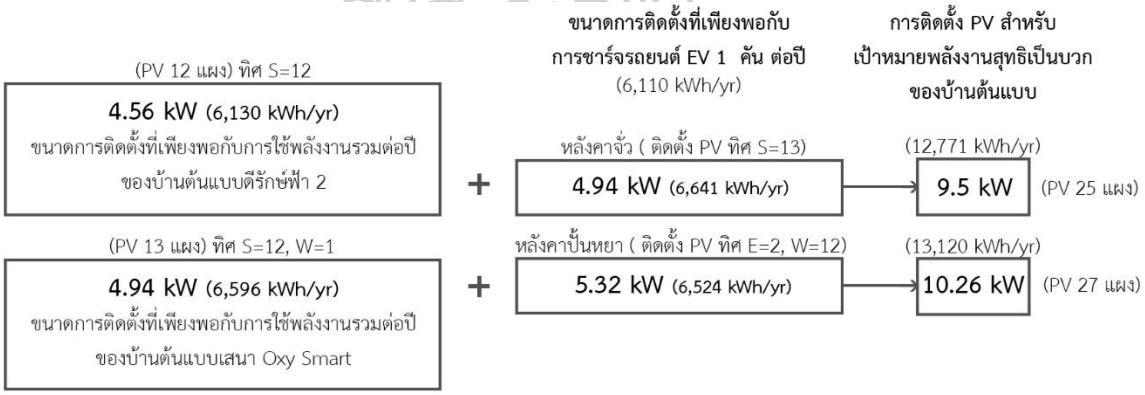


ภาพที่ 56 ลักษณะของการติดตั้งแผง PV แบบเต็มพื้นที่หลังคาสูงสุด
ของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า (ซ้าย) และบ้านต้นแบบเสนา (ขวา)

5.2 สรุปผลการตรวจสอบค่าพลังงานของบ้านประหยัดพลังงานทั่วไปที่นำมาเป็นบ้านต้นแบบในการศึกษาและปรับปรุงให้มีพลังงานเป็นบวก

5.2.1 ประสิทธิภาพของบ้านประหยัดพลังงานทั่วไป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งบ้านดีดีรักษ์ฟ้าและบ้านเสนา Oxy Smart สามารถเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกได้ตามแบบเดิมโดยที่ไม่ต้องปรับปรุง คิดเป็นพลังงานที่ต้องการ 11,755-12,178 kWh/yr (ที่รวมความต้องการพลังงานสำหรับอัดประจุรถยนต์ EV 1 คัน ที่ 6,110 kWh/yr ไว้แล้ว) โดยต้องติดตั้งแผง PV ชนิด Crystalline Silicon ขนาด 380 W ประสิทธิภาพ 19% (ขนาดแผง 1.0 x 2.0 ม.) จำนวน 9.5-10.26 kW_P (PV 25-27 แผง) ผลิตพลังงานได้ 12,771-13,120 kWh/yr โดยบ้านดีดีรักษ์ฟ้าสามารถติดตั้งแผง PV ที่หลังคาทางทิศใต้ได้ทั้งหมด ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart ต้องติดตั้งทางทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก



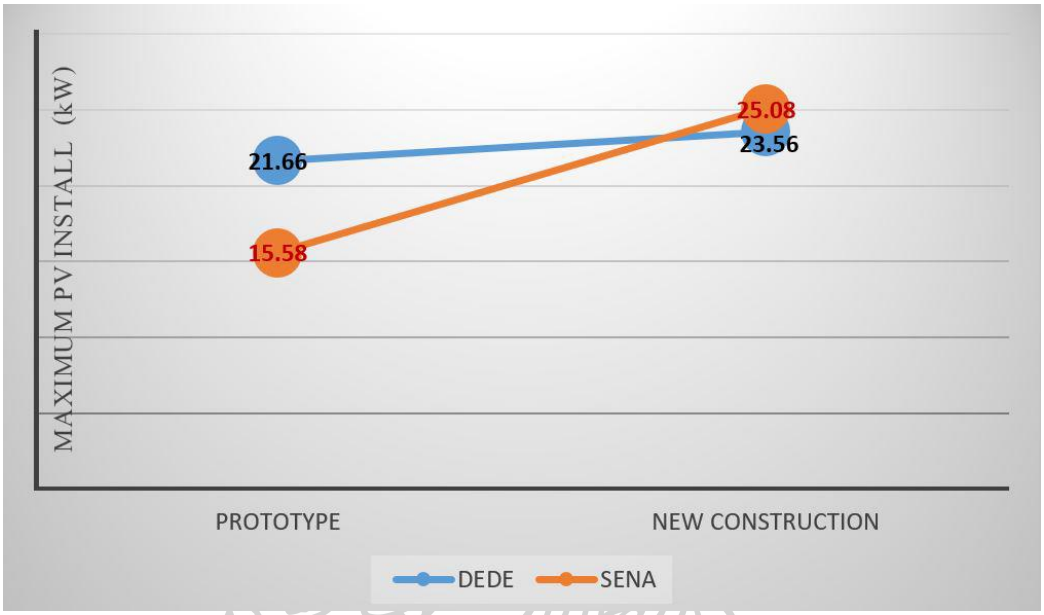
ภาพที่ 57 แผนภาพแนวทางการติดตั้ง PVs ให้บ้านมีพลังงานเป็นบวกสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในรอบ 1 ปี ของบ้านทั่วไป

จากข้อมูลภาพที่ 57 สามารถพิจารณาได้ว่าต้องเตรียมพลังงานสำหรับการชาร์จรถยนต์ EV ประมาณ 6,110 kWh ต่อรถยนต์ไฟฟ้า 1 คันในเวลา 1 ปี ซึ่งต้องติดตั้งประมาณ 4.94-5.32 kW_P เป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจากพลังงานรวมที่ต้องการใช้ภายในบ้านประมาณ 7.69-8.33% [คือ บ้านดีดี ((4.94 - 4.56) x 100) / 4.56 = 8.33 และบ้านเสนา ((5.32 - 4.94) x 100) / 4.94 = 7.69]

5.2.2 ประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดบนพื้นที่หลังคา ของบ้านต้นแบบสร้างใหม่

ในส่วนของค่าการผลิตพลังงานสูงสุด พบว่า บ้านสร้างใหม่ที่พัฒนาจากบ้านดีดีรักษ์ฟ้าสามารถจัดวางแผง PV สูงสุดได้ 62 แผง ประกอบด้วย ทางทิศเหนือและทิศใต้ อย่างละ 11 แผง, 13 แผง ทางทิศตะวันออก และ 27 แผง ทางทิศตะวันตก รวมเป็น 23.56 kW_P คิดเป็นอัตราการผลิตพลังงานสูงสุดที่ 28,960 kWh/yr แต่ในเบื้องต้นข้อมูลจากการะทรวงพลังงานระบุไว้ที่การติดตั้งสูงสุดขนาด 19 kW_P ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า จะมีการใช้ประสิทธิภาพแผง PV ในการประเมินค่าการ

ผลิตพลังงานที่แตกต่างกัน และสำหรับบ้านสร้างใหม่เสนา สามารถติดได้สูงสุดได้ 66 แผง ประกอบด้วย ทางทิศเหนือกับทิศใต้ อย่างละ 14 แผง และทางทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก อย่างละ 19 แผง รวมเป็น 25.08 kW_P คิดเป็นอัตราการผลิตพลังงานสูงสุดที่ 30,802 kWh/yr โดยบ้านสร้างใหม่ทั้งสองสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด ดีขึ้นจากบ้านต้นแบบ



ภาพที่ 58 เปรียบเทียบขนาดการติดตั้ง PVs สูงสุดบนหลังคา (kW)
ของบ้านพลังงานเป็นบวกก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5.3 สรุปวิธีการลดการใช้พลังงาน

สรุปแนวทางการปรับปรุงลดเพื่อค่าการใช้พลังงานรวมของบ้านประหยัดพลังงานทั่วไป สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนหลอดไฟจากฟลูออเรสเซนต์เป็น LED สามารถลดพลังงานได้มากที่สุด และสามารถลดการติดตั้งแผง PV จาก 9.5-10.26 kW_P เหลือ 8.36-9.5 kW_P

5.4 สรุปวิธีการเพิ่มการผลิตพลังงาน

จากการศึกษาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดให้กับบ้านทั่วไป สรุปได้ 3 วิธี คือ

1) การต่อเติมโดยการยื่นชายคาเพิ่มอีกไม่เกิน 1.50 ม. เพื่อคงรูปแบบแบบทรงหลังคาเดิมของบ้านเอาไว้ สามารถเพิ่มการผลิตพลังงานได้อีก 2.66 kW_P
2) การเปลี่ยนรูปทรงหลังคาให้รับกับทิศทางการติดตั้ง PV ทางทิศใต้สามารถเพิ่มการผลิตพลังงานได้อีก 9.5 kW_P
3) การเปลี่ยนรูปทรงหลังคาเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการติดตั้งแผงโดยใช้หลังคาเพิงหมาแหงนจะสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานได้อีก 13.68 kW_P

สำหรับวิธีเปลี่ยนรูปทรงหลังคาเป็นหลังคาเพิงหมาแหงน 15° จะช่วยเพิ่มการขนาดการติดตั้ง PV บนหลังคาได้มากที่สุด คือ 29.26 kW_P เนื่องจากมีพื้นที่หลังคาที่ติดตั้ง PV เพิ่มขึ้น 72 ตร.ม. หรือเพิ่มขึ้นอีก 88% ของพื้นที่หลังคาติดตั้ง PV ก่อนการปรับปรุง

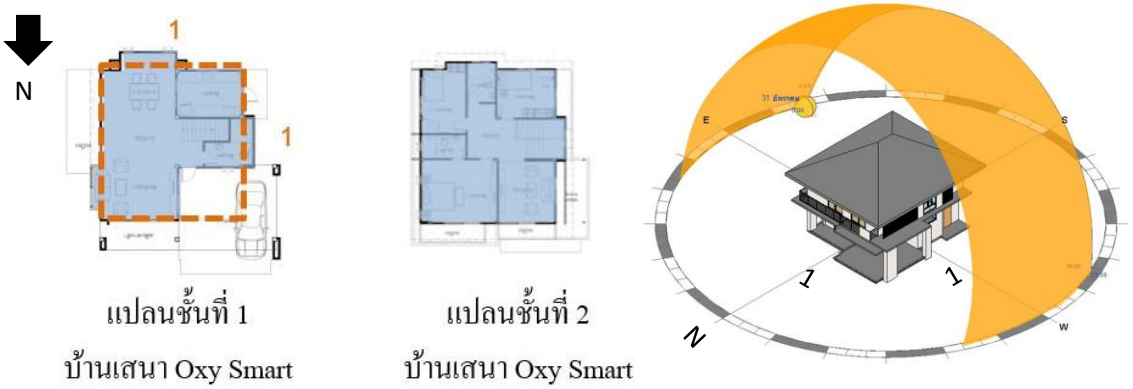
5.5 สรุปผลการศึกษาแนวทางออกแบบบ้านสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก ที่พัฒนาจากบ้านประหยัดพลังงานต้นแบบ

จากการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่จะช่วยลดค่าใช้พลังงานรวมของบ้านต้นแบบ สามารถสรุปเป็นแนวทางการออกแบบบ้านสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก ได้ดังต่อไปนี้

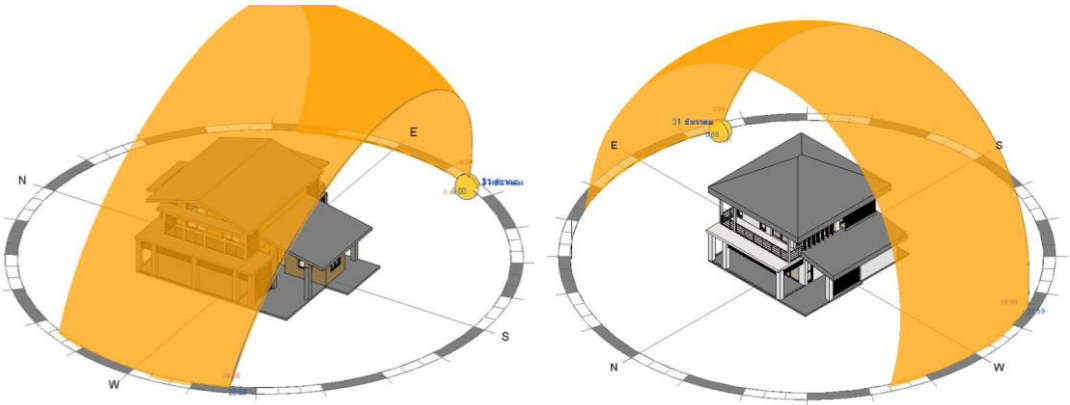
5.5.1 <u>การวางแนวอาคาร</u>

บ้านดีดีรักษ์ฟ้าได้ทำการปรับสัดส่วน กว้าง: ยาว จาก 1:1.5 เหลือ 1:1.37 เพื่อให้รูปทรงกระชับและเรียบง่าย ทำให้พื้นที่กรอบอาคารลง 26% ส่งผลให้พื้นที่ใช้สอยลงลง 12% อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการปรับการวางแนวอาคารใหม่ จากเดิมที่หันหน้าบ้านไปทางทิศตะวันตก เปลี่ยนให้หน้าบ้านซึ่งเป็นด้านยาวหันไปทางทิศเหนือแทน และเลือกใช้หลังคาทรงปั้นหยาลาดเอียง 30° ทำให้ค่าพลังงานรวมของบ้านลดลง ส่วนบ้านเสนา ไม่มีการปรับเปลี่ยนการวางแนวอาคารและสัดส่วนอาคาร แต่มีการปรับลดพื้นที่ใช้สอยให้กระชับขึ้นโดยพื้นที่ลดลง 6%

ภาพที่ 59 การปรับปรุงสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวร่วมกับการวางทิศทางของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า

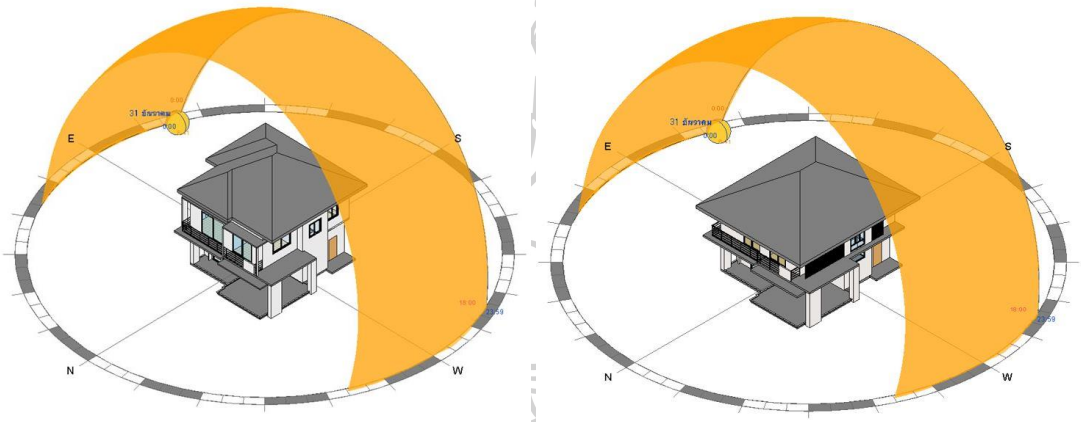


ภาพที่ 60 การปรับปรุงสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวร่วมกับการวางทิศทางของบ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 61 ภาพบ้านต้นบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลังปรับปรุง (ขวา)

จากภาพที่ 61 ทิศทางการวางแนวอาคารของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 ถูกเปลี่ยนการวางด้านสกัดไปตามแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และใช้หลังคาทรงปั้นหยาลาดเอียง 30^{O} แทนทรงจั่วเดิม



ภาพที่ 62 ภาพบ้านต้นบ้านเสนา Oxy Smart 2 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลังปรับปรุง (ขวา)

จากภาพที่ 62 บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่ปรับปรุงจากบ้านเสนา Oxy Smart มีการเปลี่ยนมาใช้หลังคาทรงปั้นหยาลาดเอียง 30^{O} ที่เรียบง่ายมากกว่าเดิม และการเพิ่มแผงบังแดด

5.2.2 <u>ระยะยื่นชายคา</u>

สรุประยะยื่นชายคาสำหรับบ้านต้นแบบสร้างใหม่ช่วง 1.2-1.5 ม. มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการออกแบบป้องกันความร้อนเข้าสู่บ้าน

5.2.3 <u>การป้องกันความร้อนผ่านเปลือกอาคาร</u>

สรุปแนวทางการออกแบบเพื่อป้องกันความร้อนสู่เปลือกอาคารของบ้านต้นแบบสร้างใหม่คือ การวางแนวอาคารด้านสกัดอยู่ทางทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ออกแบบช่องเปิดต่อผนังทึบโดยลด WWR รวม 4 ด้านจาก 26% เป็น 23% และปรับปรุงให้มีการเปิดช่องแสงทางทิศเหนือในช่วง WWR = 33-38% และทิศตะวันออกในช่วง WWR = 30-31% เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงธรรมชาติ ส่วนการเปิดช่องแสงทางทิศใต้จะควบคุมให้อยู่ในช่วง WWR = 11-24% และทิศตะวันตกในช่วง WWR = 11-20% ร่วมกับการเลือกใช้หลังคาปั้นหยาลาดเอียง 30^{O} และมีแผงบังแดดแนวตั้งทางทิศตะวันออก ทิศเหนือและตะวันตก ส่วนแผงบังแดดแบบผสมใช้กับทิศใต้ เพื่อป้องกันความร้อนจากเปลือกอาคารอันได้แก่ ผนังและหลังคา เข้าสู่ภายในบ้าน

5.2.4 <u>วัสดุเปลือกอาคาร</u>

สรุปการออกแบบเปลือกอาคารของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก แยกเป็นรายละเอียดตามวัสดุดังนี้

1) ใช้ผนังภายนอกเป็นคอนกรีตมวลเบา ที่ทำการกรุแผ่นสมาร์ทบอร์ดที่มีค่า R=2.27 $m^2 \cdot K/W$ บนโครงเคร่าซีไลน์ และติดตั้งฉนวนโฟม PE ค่า R = 0.172 $m^2 \cdot K/W$ ซึ่งจะมีค่า U-value ในช่วง 0.561-1.37 $W/m^2 \cdot K$
2) ใช้กระจกประหยัดพลังงานเบอร์ 5 ประเภทกระจกฉนวน 2 ชั้น (6-12-6) มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) = 3.42 $W/m^2 \cdot K$ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) = 0.44 ค่าสัดส่วนที่ยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้มากโดยที่ความร้อนเข้ามาได้น้อย (LSG) = 1.43 และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (VT) =0.63
3) ใช้หลังคากระเบื้องคอนกรีตสีอ่อน (ค่า Absorptance = 0.5) มีค่า U-value = 3.42 $W/m^2 \cdot K$
4) ใช้ฉนวนกันความร้อนใช้เป็นฉนวนใยแก้ว (Fiberglass) หนา 15 ซม. ติดตั้งที่เหนือฝ้าเพดานสูง 2.40 ม. มีค่า R = 2.27 $m^2 \cdot K/W$

5.2.5 <u>การใช้แสงธรรมชาติ</u>

สรุปการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในการออกแบบที่ประมาณ 60-75% ของจำนวนห้องทั้งหมด ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานรวมลงได้ 10-27% เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในช่วงเวลากลางวัน

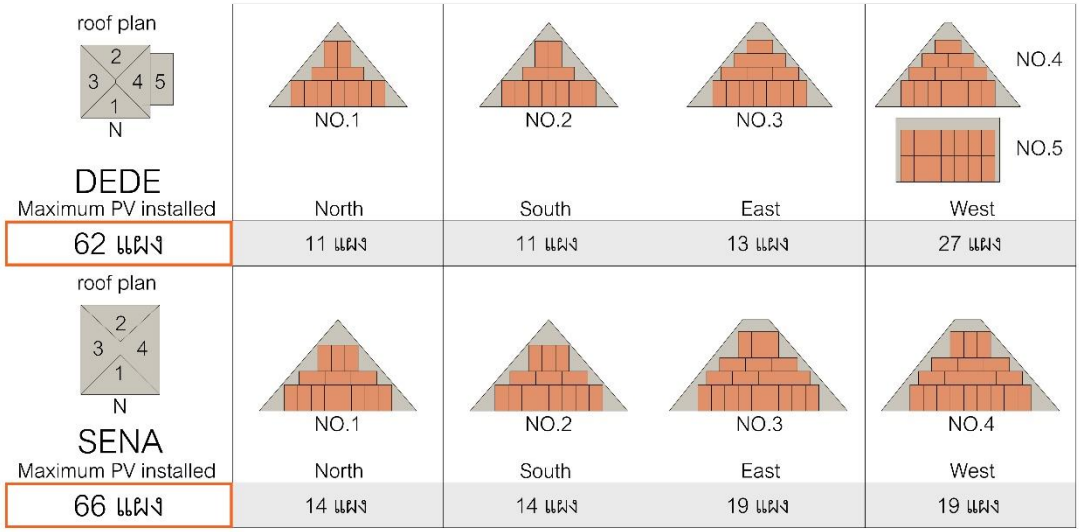
5.6 ผลงานการออกแบบ บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก

5.6.1 ผลลัพธ์ด้านพลังงานของบ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่มีพลังงานเป็นบวก

บ้านต้นแบบสร้างใหม่ที่พัฒนาจากบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 และบ้านเสนา Oxy Smart มีค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน หรือ EUI จากการออกแบบใหม่อยู่ที่ 23 $kWh/m^2/yr$ ซึ่งเพียงพอสำหรับขนาดการติดตั้ง PV 380 W ประสิทธิภาพ 19% ที่ประมาณ 3.42 kW_P หรือ 8 แผง เพื่อให้ครอบคลุมอัตราการใช้งานทั้งหมดใน 1 ปี และเมื่อรวมพลังงานที่ต้องการสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน ในรอบปี ตามเป้าหมายพลังงานเป็นบวกจะต้องติดตั้ง PV เพิ่มอีก 4.94 kW_P หรือ 14 แผง สรุปเป็นการติดตั้งรวมที่ประมาณ 8.36 kW_P

ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในรถยนต์ ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานหลายอย่าง เช่น สภาพตามอายุการใช้งานของรถยนต์ ความเร็วในการขับขี่หรือสภาพการจราจร อุณหภูมิในการปรับอากาศ น้ำหนักบรรทุก ระยะทางวิ่งต่อวัน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาของโครงการเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าระบุว่า ถ้ารถวิ่งด้วยความเร็วต่ำ <20 กม./ชม. จะใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงกับสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร และรถที่ใช้ในการทดสอบเป็นรถสภาพใหม่ วิ่งตามระยะทางทดสอบที่มีความหลากหลายทางสภาพการจราจร ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องตามสภาพการใช้งานจริงอาจแตกต่างไปจากสภาวะทดสอบ มีผลทำให้ค่าการใช้พลังงานแตกต่างไปได้

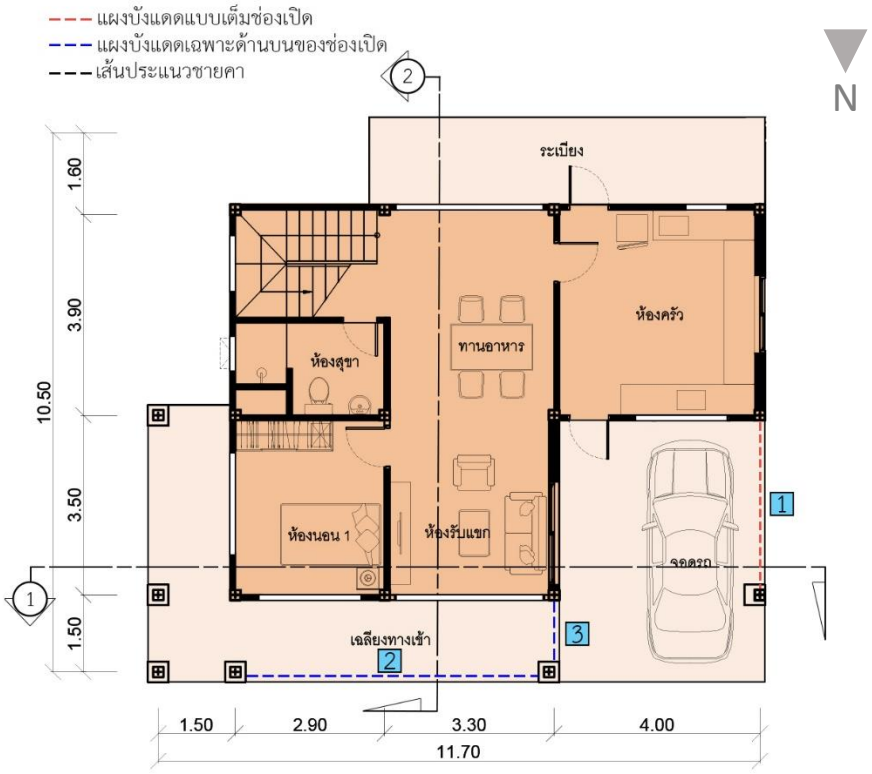
อย่างไรก็ตามศักยภาพของการผลิตพลังงานสูงสุดอยู่จะที่ช่วง 23.56-25.08 kW_P โดยมีพื้นที่หลังคาติดตั้ง PV ประมาณ 77-84% ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด ตามลักษณะการติดตั้งภาพที่ 63



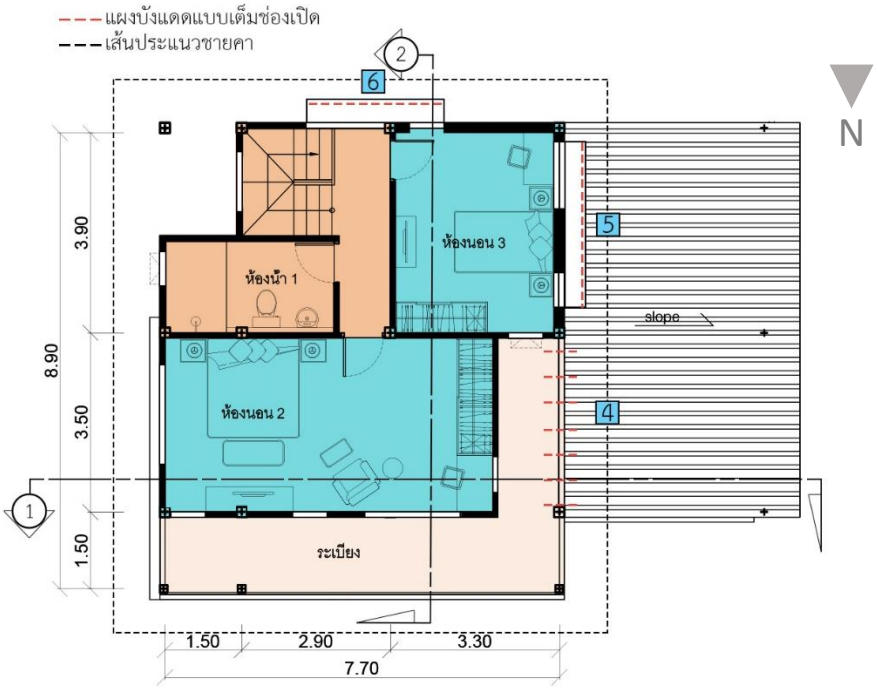
ภาพที่ 63 ลักษณะการติดตั้งแผง PVs เต็มพื้นที่หลังคาสูงสุด
ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2 (แถวบน) และบ้านเสนา Oxy Smart (แถวล่าง)

5.6.2 <u>ผลลัพธ์ด้านการออกแบบ</u>

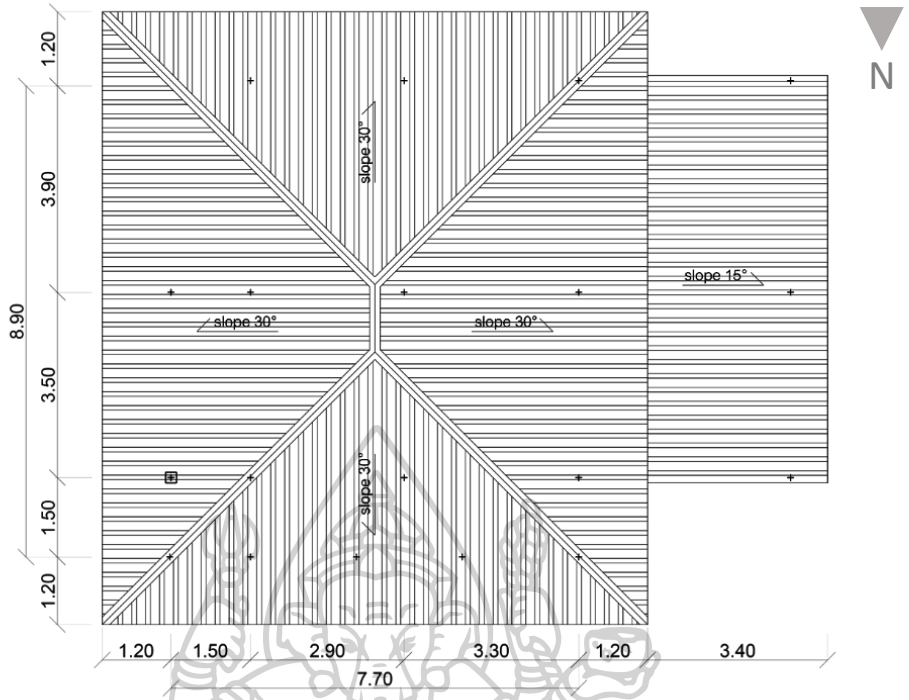
1) บ้านต้นแบบสร้างใหม่พลังงานเป็นบวกที่พัฒนามาจากบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



ภาพที่ 64 ผังพื้นชั้น 1 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

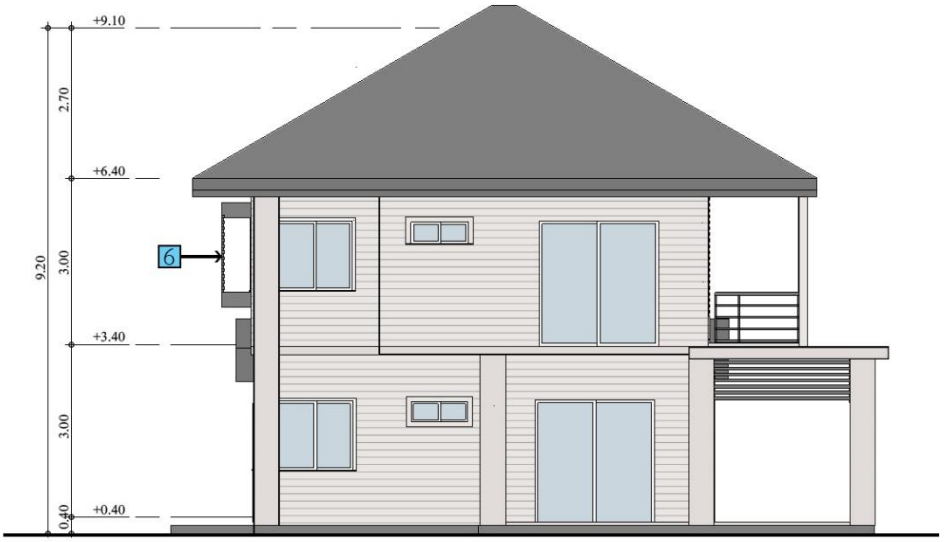


ภาพที่ 65 ผังพื้นชั้น 2 บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

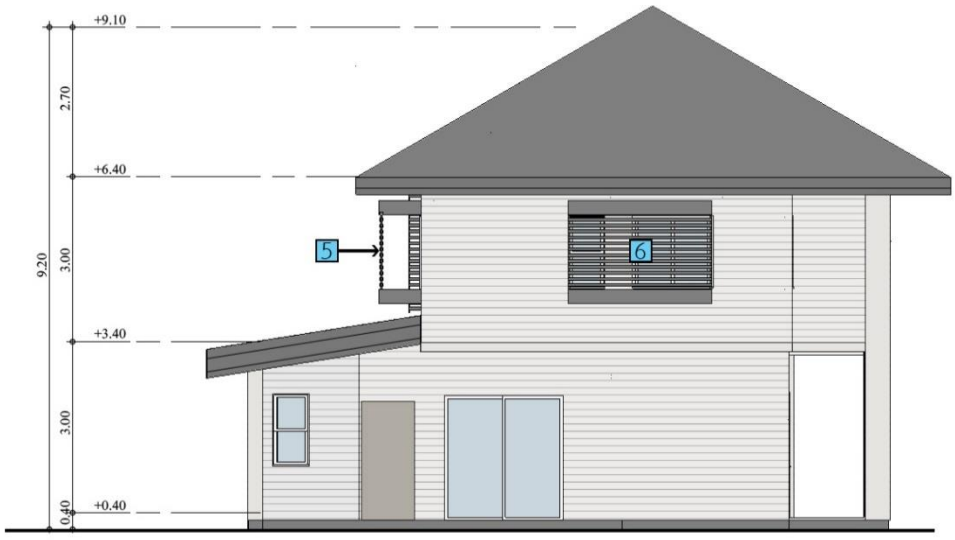


ภาพที่ 66 ผังหลังคา บ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

ภาพที่ 67 รูปด้านทิศเหนือ (หน้าบ้าน) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

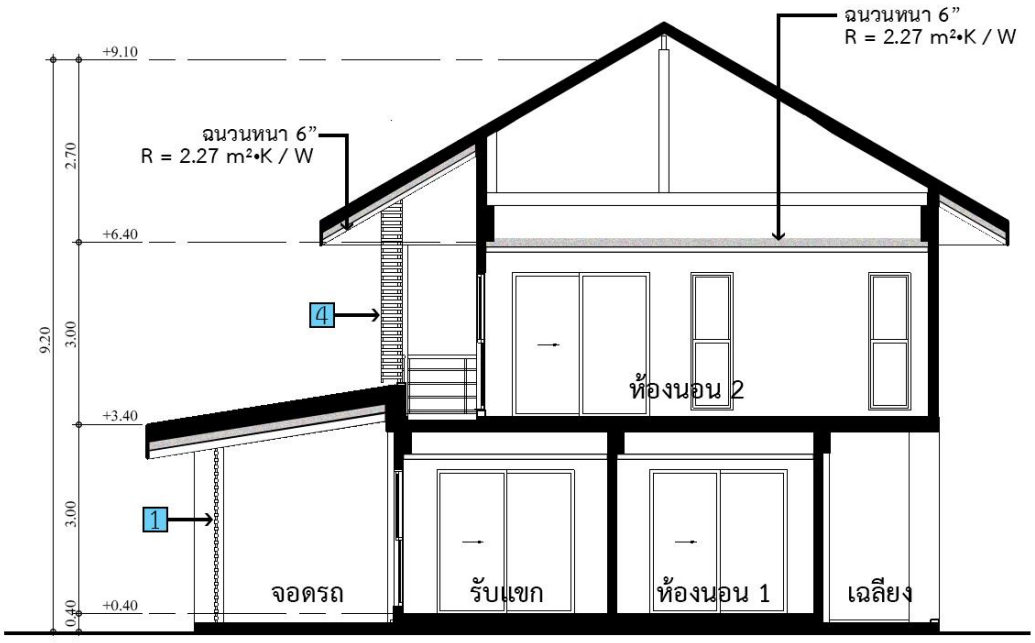


ภาพที่ 68 รูปด้านทิศตะวันออก ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

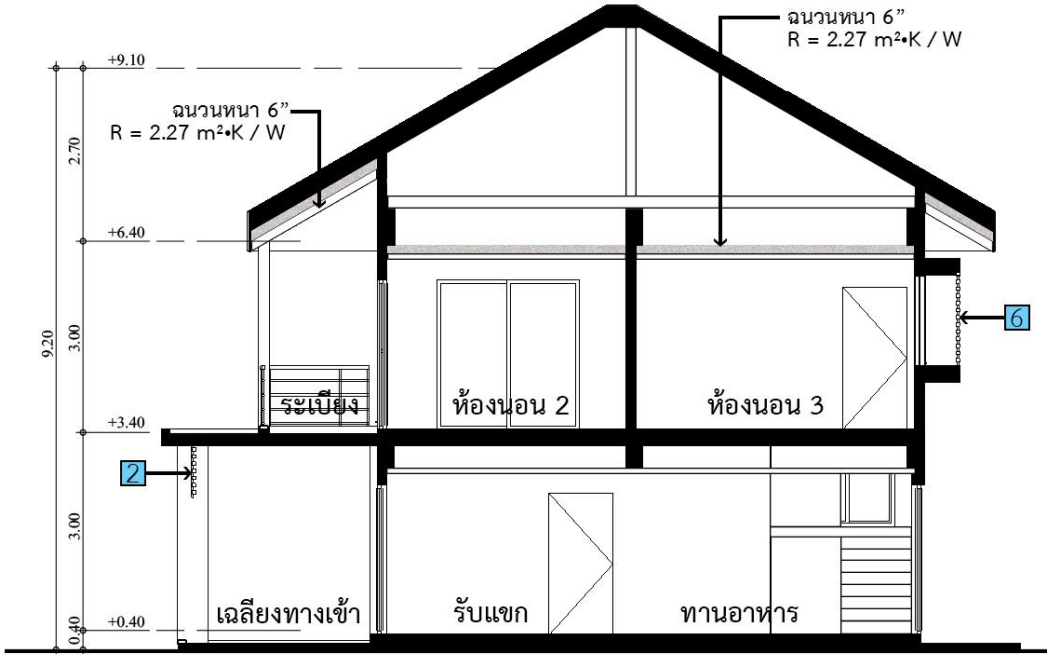


ภาพที่ 69 รูปด้านทิศใต้ (หลังบ้าน) ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

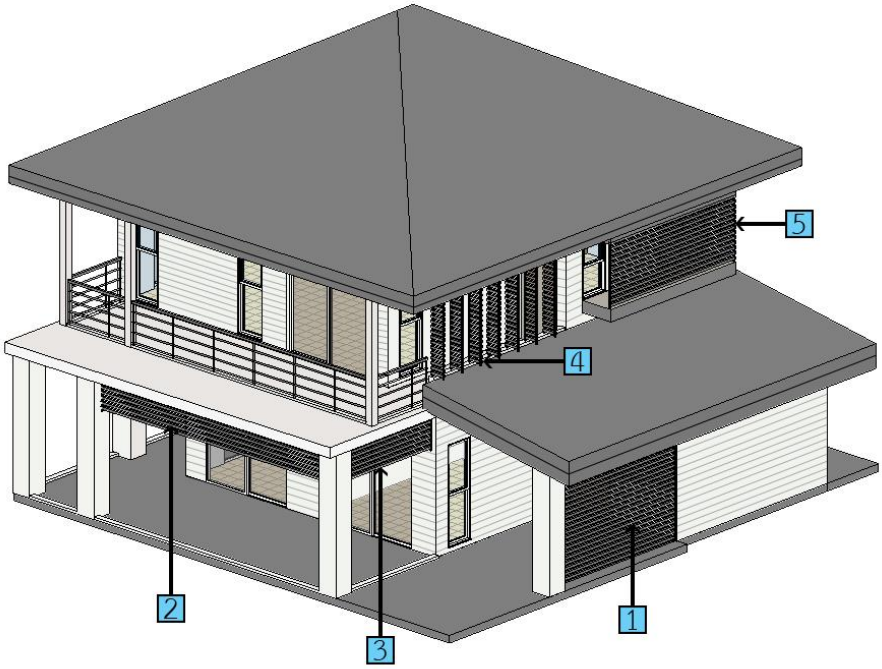
ภาพที่ 70 รูปด้านทิศตะวันตก ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



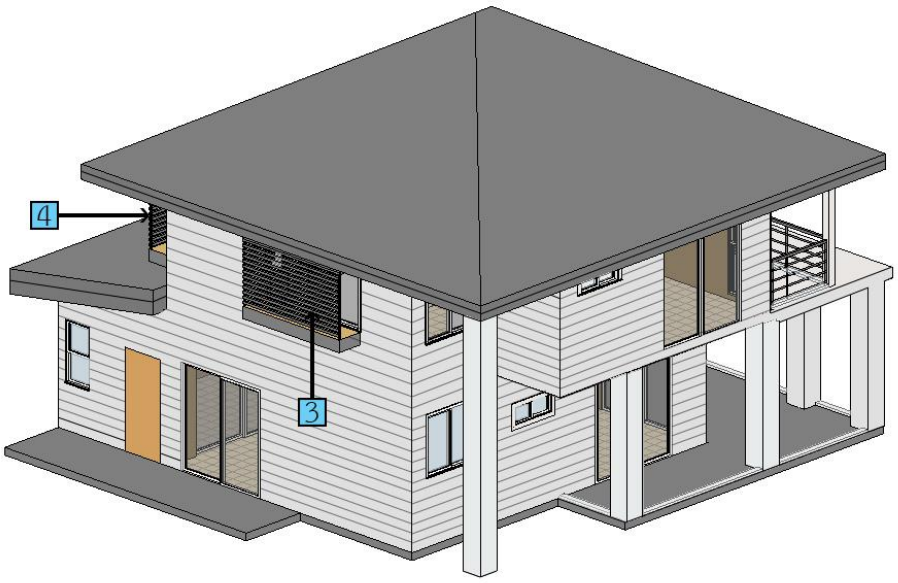
ภาพที่ 71 รูปตัด 1 ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



ภาพที่ 72 รูปตัด 2 ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



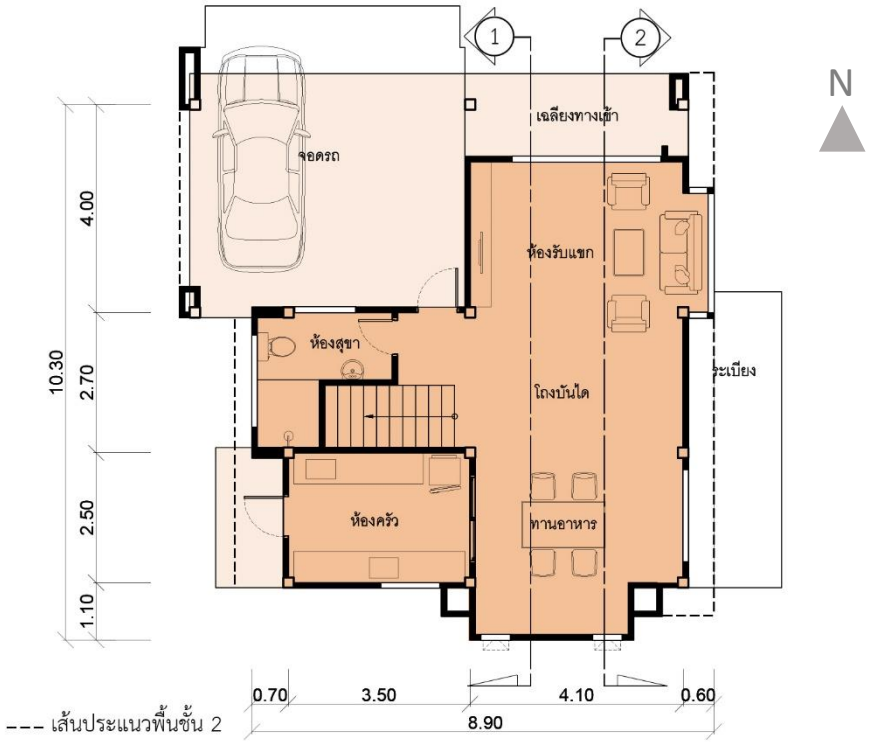
ภาพที่ 73 ทัศนียภาพทางทิศเหนือและทิศตะวันตกของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2



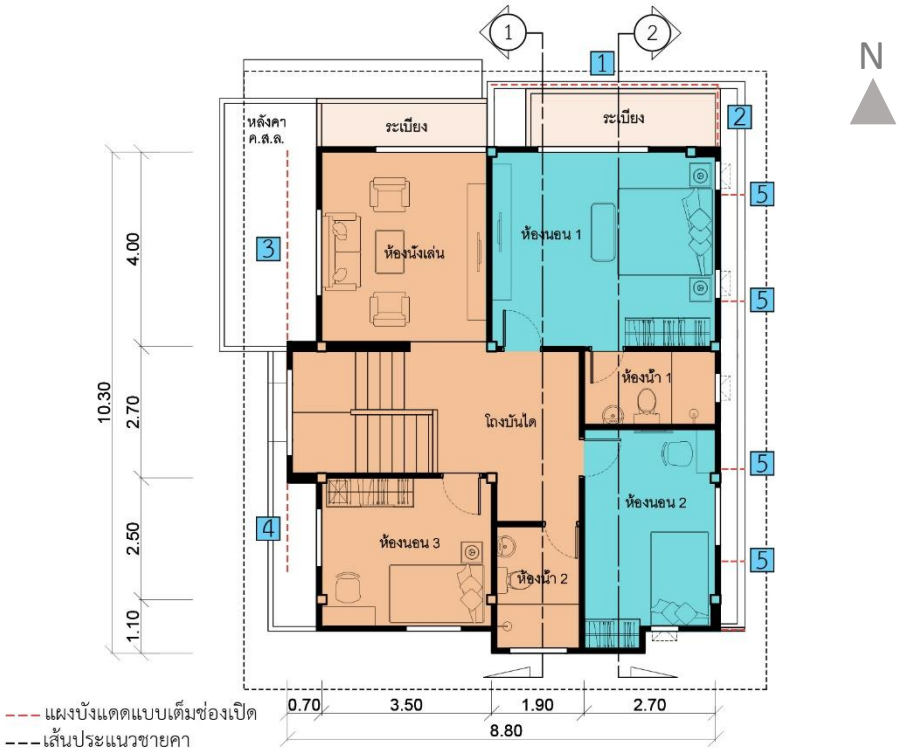
ภาพที่ 74 ทัศนียภาพทางทิศใต้และทิศตะวันออกของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า 2

มหาวิทยาลัยศิลปากร

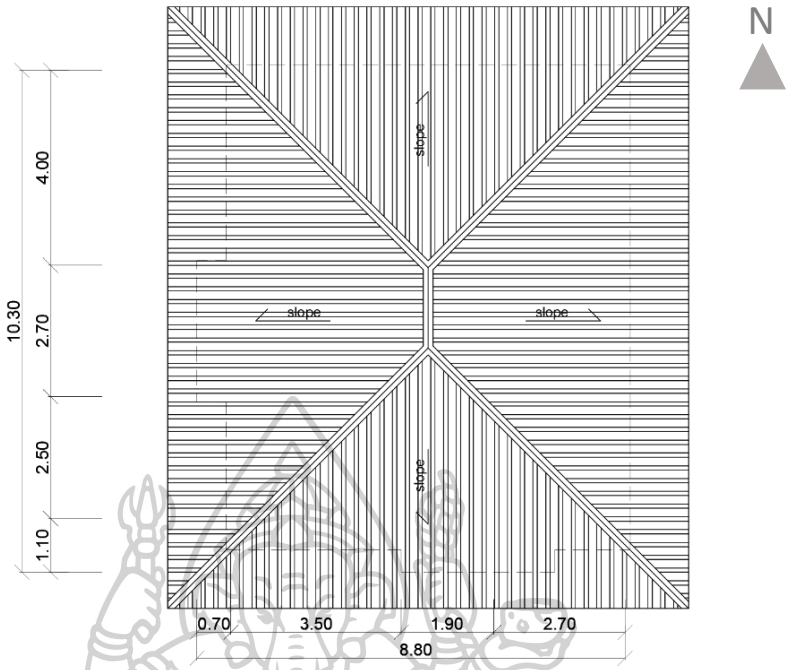
2) บ้านต้นแบบสร้างใหม่พลังงานเป็นบวกที่พัฒนามาจากบ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 75 ผังพื้นชั้น 1 บ้านเสนา Oxy Smart



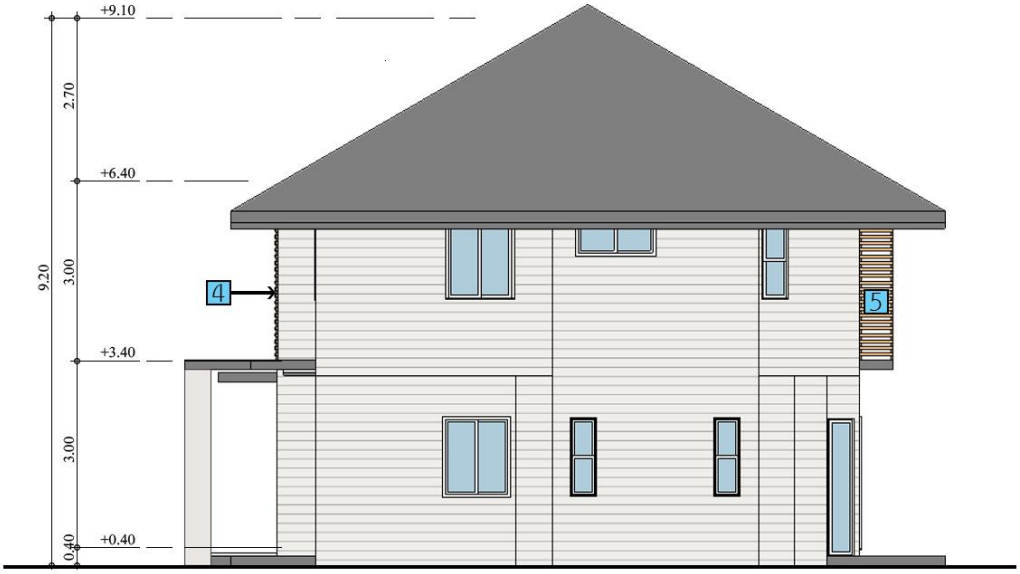
ภาพที่ 76 ผังพื้นชั้น 2 บ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 77 ผังหลังคาบ้านเสนา Oxy Smart

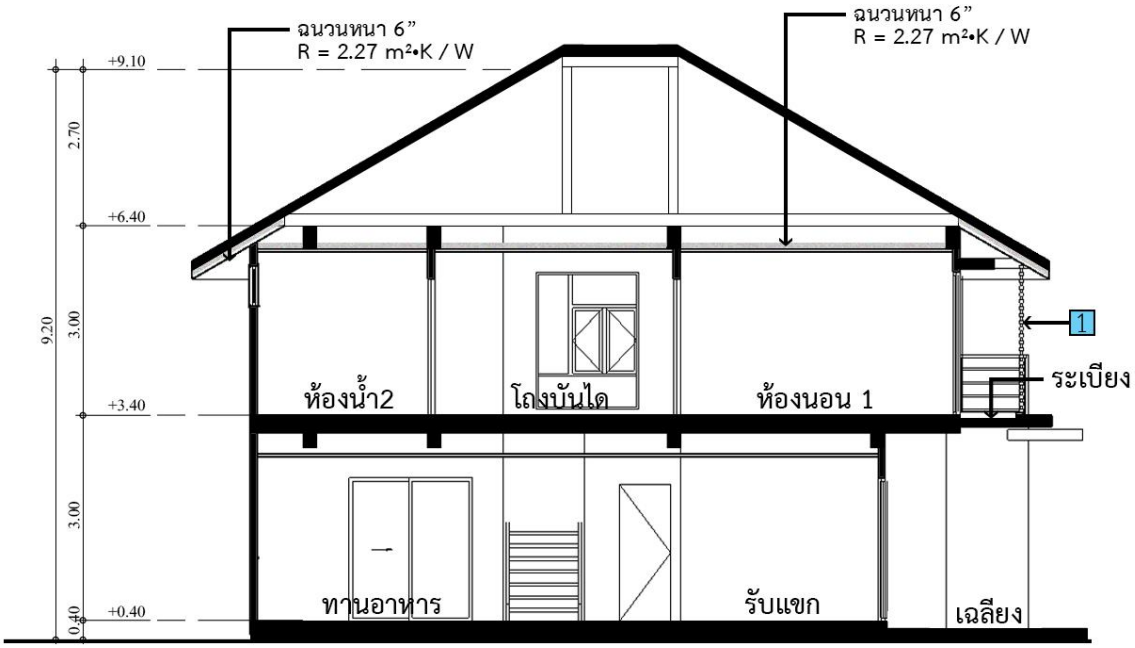
ภาพที่ 78 รูปด้านทิศเหนือ (หน้าบ้าน) ของบ้านเสนา Oxy Smart

ภาพที่ 79 รูปด้านทิศตะวันออก ของบ้านเสนา Oxy Smart

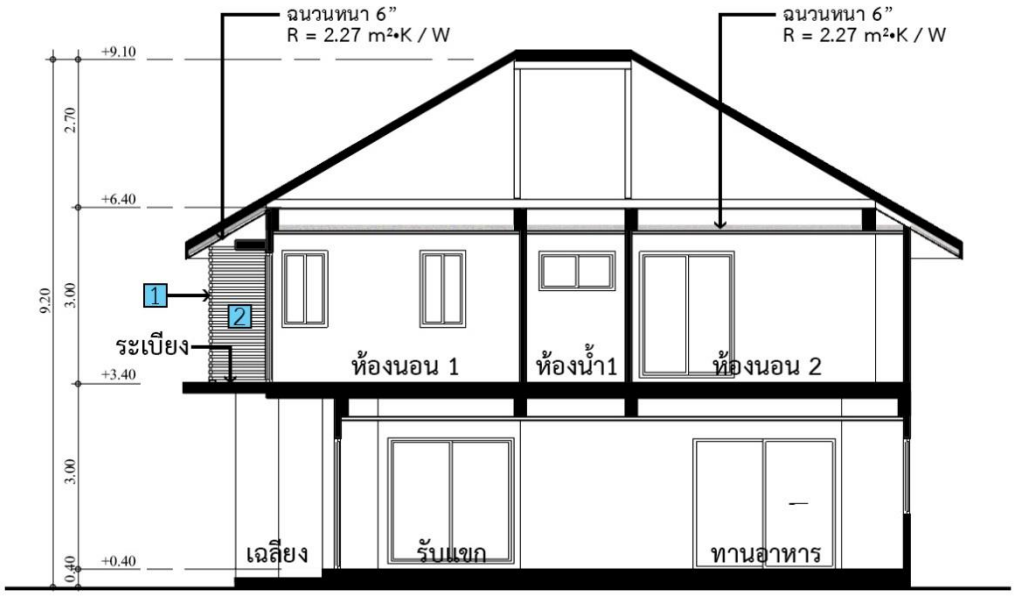


ภาพที่ 80 รูปด้านทิศใต้ ของบ้านเสนา Oxy Smart

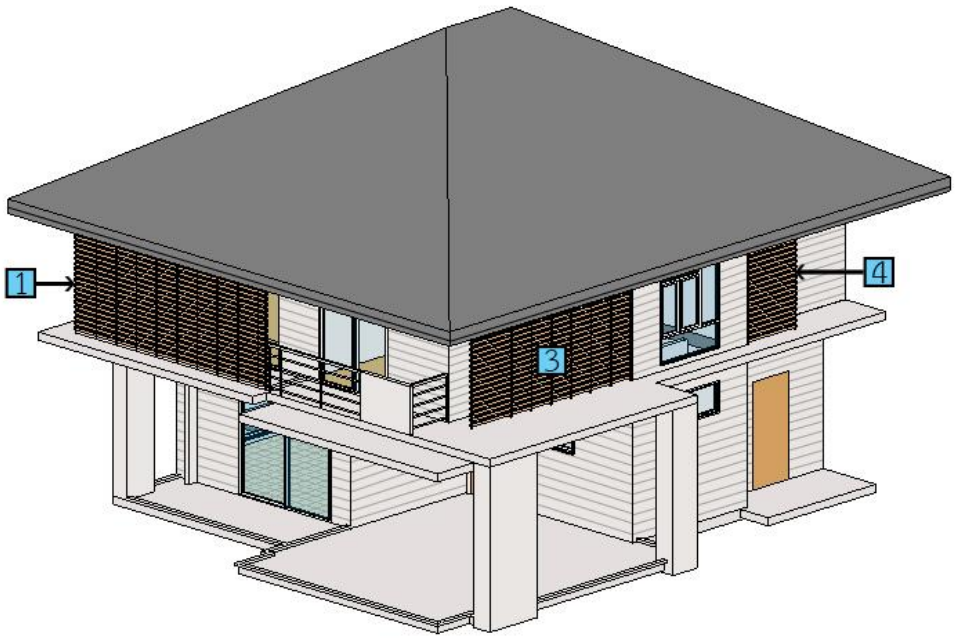
ภาพที่ 81 รูปด้านทิศตะวันตก ของบ้านเสนา Oxy Smart



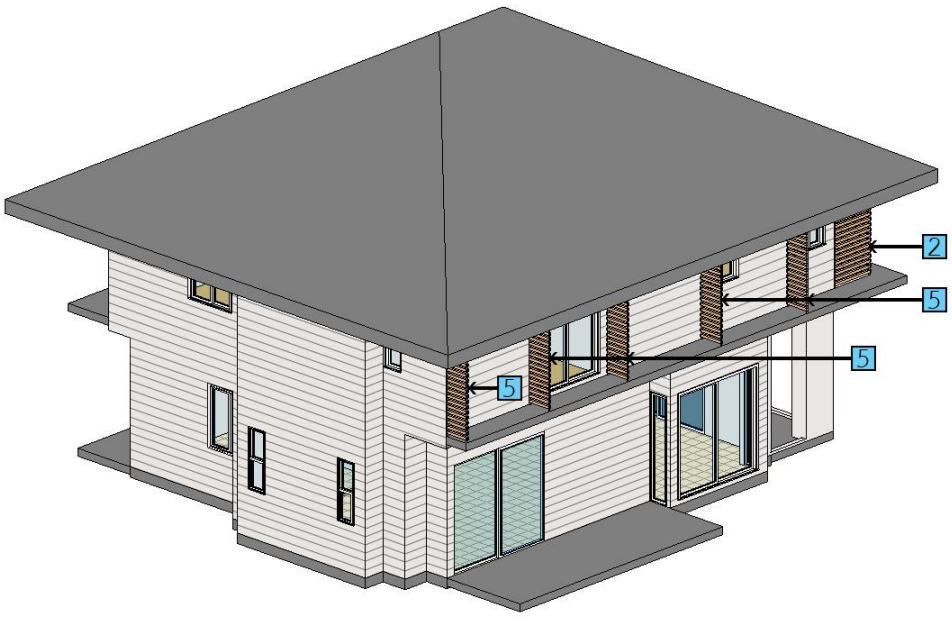
ภาพที่ 82 รูปตัด 1 ของบ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 83 รูปตัด 2 ของบ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 84 ทัศนียภาพทางทิศเหนือและทิศตะวันตกของบ้านเสนา Oxy Smart



ภาพที่ 85 ทัศนียภาพทางทิศใต้และทิศตะวันออกของบ้านเสนา Oxy Smart

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

ASHRAE. (2018). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.2-2018. In Table Annex 6-3 International Stations and Climate Zones. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. (2019). Achieving Zero Energy Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE/IES. (2010). ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Lighting Power Densities Using the Space-bySpace Method. In Table 9.6.1 (pp. 2): ASHRAE.

BPC, G. B. (2021). Home Energy Rating System (HERS) Explained. Retrieved from https://bit.ly/3bo8uwk

DGNB, G. S. B. C. (2020). DGNB System – Buildings In Use criteria set version 2020. In TEC1.4 Use and integration of building technology (pp. 516). Stuttgart: DGNB.

Electronics, M. (2021). 3D Move Eye Human Sensor (MSZ-LN13VF (R/B/V). Air Condition Product Retrieved from https://bit.ly/3hka9qE

Federal Ministry for the Environment, N. C., Building and Nuclear Safety (BMUB). (2016). Strategies for Efficiency House Plus. Berlin: Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG.

Home_Buyers, T. (Producer). (2562, 2 กุมภาพันธ์ 2563). พพ. เปิดเกณฑ์มาตรฐานการใช้ไฟในครัวเรือน ปี 62 ครั้งแรกของประเทศ พร้อมชูโปรแกรมคำนวณการใช้ไฟด้วยตนเอง ตั้งเป้าประหยัดพลังงานภาคครัวเรือน. Retrieved from https://www.ryt9.com/s/prg/2943811

King Mongkut's University of Technology Thonburi, K. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาการใช้รถยนต์ไฟฟ้าโครงการศึกษาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า. Retrieved from ม.ป.พ.: https://bit.ly/3vUGPuX

National Renewable Energy Laboratory, N. (2006). Zero Energy Building : A Critical Look at the Defination. Paper presented at the NREL/CP-550-39833, Califonia. https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf

SCG. (2564). SCG Solar Roof Solutionsมี 2 Package ให้เลือกติดได้ตามการใช้งานของบ้านคุณ. เปรียบเทียบราคาแต่ละ Package. Retrieved from https://bit.ly/33D18AL

Sena, D. (2562). Sena Solar House Oxy Smart Type. บ้านเดี่ยว. Retrieved from https://www.sena.co.th/th/singlehouse/sena-parkville-ramindra

กมล, ต. (Producer). (2561, 30 มีนาคม 2561). เอกสารประกอบการสัมมนา Promoting of Energy Efficiency in Commercial Buildings, PEECB. [การสัมมนาวิชาการ] Retrieved from https://bit.ly/33ETEgL

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). คู่มือเผยแพร่แบบบ้านดีดีรักษ์พลังงาน. In. ม.ป.พ.: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2560). องค์ความรู้เรื่องเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย. In. ม.ป.พ.: กระทรวงพลังงาน.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559, 14 ธันวาคม 2559). บทบาทของประเทศไทยกับการลดก๊าซเรือนกระจก. Retrieved from https://bit.ly/3eGYBvO

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2563). ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5. In. ม.ป.พ.: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

ชนิกานต์, ย. (2559). บทความปริทรรศน์ อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์. บทความปริทรรศน์.

บ้านผีเสื้อ. (2559). เกี่ยวกับเทคโนโลยี. Retrieved from https://www.phisueahouse.com/th_technology.php

ปารวี, ต. (2556). การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยวเพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิทยานิพนธ์ออกแบบ), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. (บทที่ 2)

อวิรุทธ์, ศ. (2562). แนวทางและการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดแสงธรรมชาติสำหรับอาคารในประเทศไทย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รายการอ้างอิงเพิ่มเติม

Bugulma-lada. B. (2020, 3 December 2020). ระยะทางเฉลี่ยรถยนต์ต่อปี. Retrieved from https://bugulma-lada.ru/th/kpp/srednestatisticheskii-probeg-avtomobilya-za-god-v-mire-srednii-probeg.html

Building and Construction Authority. (2018, 21 January 2020). BCA's Super Low Energy (SLE) Building Technology Roadmap. Retrieved from https://bit.ly/3w0x7Hm

Global Buildings Performance Network. (2020, 26 December 2021). Defining Positive Energy-A Spectrum Approach. Retrieved from https://bit.ly/3hnSoqz

International Living Future Institute. (2021). Case Study. Retrieved from https://living-future.org/zero-energy/

MoO Cnoe. (2021, 1 May 2021). ยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้า EV 100% ในไทย ปี 2020 รวม 1,056 คัน คิดเป็น 0.13% ของรถใหม่ทั้งประเทศ. Retrieved from https://www.headlightmag.com/volume-electric-vehicle-ev-thailand-2020/

Net Zero Energy Project. (2019). Zero Energy Home Case Study. Retrieved from https://zeroenergyproject.org/buy/case-studies/

Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2015, 9 October 2019). A Common Definition for Zero Energy Buildings. Retrieved from https://bit.ly/3fhoT6R

Public Welfare. (2019, 9 April 2021). ไมล์สะสมรถยนต์เฉลี่ยต่อปี: ประเภทของรถยนต์ข้อมูลเฉลี่ยและกฎการคำนวณ). Retrieved from https://bit.ly/3hdzEK6

มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2562, 13 มีนาคม 2564). รายชื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองฉลากเขียว. Retrieved from http://www.tei.or.th/greenlabel/labs-construction.html

สถาบันยานยนต์. (2564, 7 เมษายน 2564). ความรู้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น. Retrieved from https://www.thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/ev-Intro.pdf

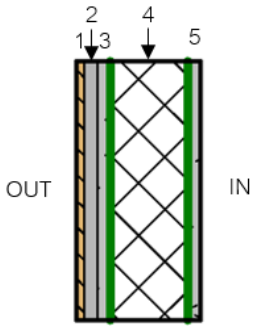
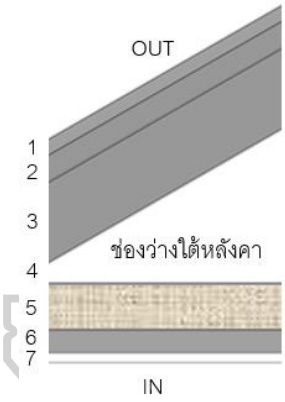
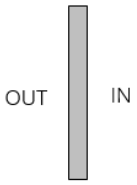
ภาคผนวก

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรในการหาค่าพลังงานรวมของบ้านต้นแบบจาก 4 วิธี ได้มีการแจกแจงข้อมูลที่ต้องระบุ (Input) ตามรายละเอียดที่แตกต่างกันไป สามารถดูได้จากตารางที่ 35

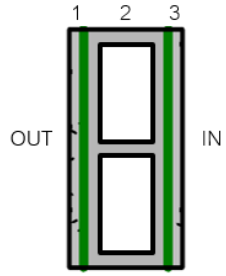
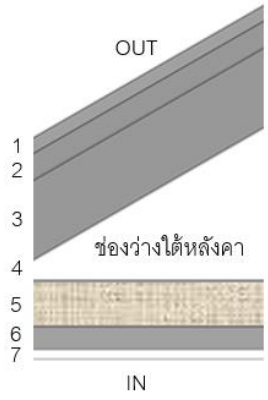
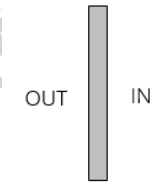
ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบข้อมูลการหาค่าพลังงานรวมสำหรับอาคารต้นแบบก่อนปรับปรุง

ตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน	วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3		วิธีที่ 4	
	กระทรวงพลังงาน				การจำลองพลังงานด้วย REVIT			
	ค่ามาตรฐาน		สมการ		ค่าใช้งานจริง		ASHRAE 90.2	
	DEDE	SENA	DEDE	SENA	DEDE	SENA	DEDE	SENA
ค่าพลังงานรวมที่ใช้ (kWh/m^2/yr)	25	25	27.8	29.6	27	31	40	35
พื้นที่ใช้สอยรวม (ตร.ม.)			215	198	215	198	215	198
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)			43	42	43	42	43	42
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)			172	156	172	156	172	156
จำนวนสมาชิกในบ้าน (คน)			4	4	4	4	4	4
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)					217	145	217	145
พื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้ง PVs					117	71	117	71
ความเข้มข้นแสงสว่างต่อพื้นที่					ดูรายละเอียดตามตารางที่ 2			
ค่า SEER ระบบปรับอากาศ					SEER 17			
อัตราการรั่วซึมอากาศ (ACH)					5			
ตารางใช้งานพื้นที่ (Schedule)					อิงมาตรฐาน			
ประเภทผนัง					คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตสำเร็จรูป	ไม่ระบุ	
ค่า U ผนังภายนอก W/(m^2·K)					0.635	5.98	1.12	
ประเภทกระจก					เขียวตัดแสง		ไม่ระบุ	
ค่า SHCG กระจก					0.5		0.25	
ค่า U กระจก W/(m^2·K)					5.32		2.84	
ค่า U ฝ้าเพดาน W/(m^2·K) (รวมโครงเคร่าและฉนวน)					0.117 (ฉนวน6")	0.519 (ฉนวน3")	0.20 (ฉนวน6")	
ค่า U หลังคาลาดชัน W/(m^2·K)					0.104	0.178	0.095	

ตารางที่ 36 องค์ประกอบในการคิดค่า U-value วัสดุกรอบอาคารของบ้านดีดีรักษ์ฟ้าก่อนปรับปรุง

ประเภท	รูปตัด	หลักการคิดค่า U-value ในชั้นวัสดุ	
		โปรแกรม **BEC**	โปรแกรม **Revit**
ผนัง		*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= SCG สมาร์ทบอร์ด หนา 8 มม. Layer2= ช่องว่างอากาศ 1.25 ซม. Layer3= ปูนฉาบ 1.25 ซม. Layer4= อิฐมวลเบา 7.5 ซม. Layer5= ปูนฉาบ 1.25 ซม. *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= SCG สมาร์ทบอร์ด Layer2= โครงเคร่าซีไลน์สลับกับช่องว่างอากาศระหว่างโครงเคร่า Layer3= ปูนฉาบ Layer4= อิฐมวลเบา 7.5 ซม. Layer5= ปูนฉาบ *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	0.938	0.635
หลังคา		*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= หลังคาคอนกรีต Layer2= ช่องว่างอากาศ Layer3= ฉนวนใยแก้ว 15 ซม. Layer7= ฝ้ายิปซั่ม *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= กระเบื้องคอนกรีต Layer2= แป Layer3= จันทัน Layer4= ช่องว่างอากาศ Layer5= ฉนวนใยแก้ว 15 ซม. Layer6= ซีไลน์ Layer7= ฝ้ายิปซั่ม *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	0.104	ไม่แสดงข้อมูล
กระจก		*ฟิล์มอากาศภายนอก* กระจกเขียวตัดแสง 8 mm. SHGC = 0.5 *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* กระจกฉนวน 2 ชั้น หนา 6 mm. (6-12-6), SHGC = 0.44 *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	พิจารณาร่วมกับแผงบังแดด และแยกคิดเป็นแต่ละด้าน	ไม่แสดงข้อมูล

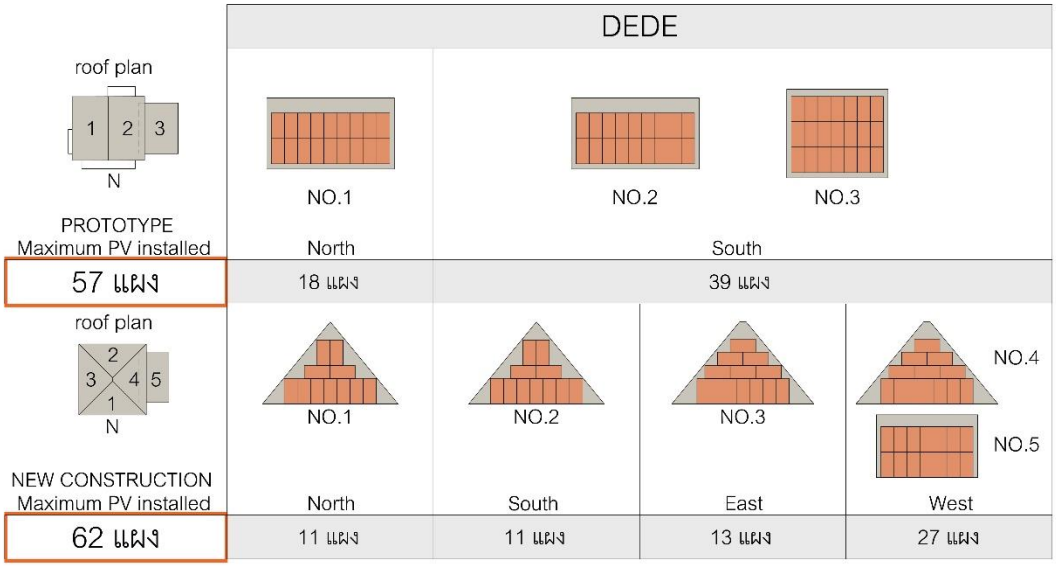
ตารางที่ 37 องค์ประกอบในการคิดค่า U-value วัสดุกรอบอาคารของบ้านเสนาก่อนปรับปรุง

ประเภท	รูปตัด	หลักการคิดค่า U-value ในชั้นวัสดุ	
		โปรแกรม **BEC**	โปรแกรม **Revit**
ผนัง		*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= ปูนฉาบ 1.25 ซม. Layer2= SCG Precast 7.5 ซม. Layer3= ปูนฉาบ 1.25 ซม. *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= ปูนฉาบ Layer2= SCG Precast 7.5 ซม. และโพรงอากาศภายในผนัง Layer3= ปูนฉาบ *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	3.02	5.98
หลังคา		*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= หลังคาคอนกรีต Layer2= ช่องว่างอากาศ Layer3= ฉนวนใยแก้ว 7.5 ซม. Layer4= ฝ้ายิปซั่ม *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* Layer1= หลังคาคอนกรีต Layer2= แป Layer3= จันทัน Layer4= ช่องว่างอากาศ Layer5= ฉนวนใยแก้ว 7.5 ซม. Layer6= ซีไลน์ Layer7= ฝ้ายิปซั่ม *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	0.178	ไม่แสดงข้อมูล
กระจก		*ฟิล์มอากาศภายนอก* กระจกเขียวตัดแสง 8 mm. SHGC = 0.5 *ฟิล์มอากาศภายใน*	*ฟิล์มอากาศภายนอก* กระจกฉนวน 2 ชั้น หนา 6 mm. (6-12-6), SHGC = 0.44 *ฟิล์มอากาศภายใน*
	U-value W/(m²·K)	พิจารณาร่วมกับแผงบังแดดและแยกคิดเป็นแต่ละด้าน	ไม่แสดงข้อมูล

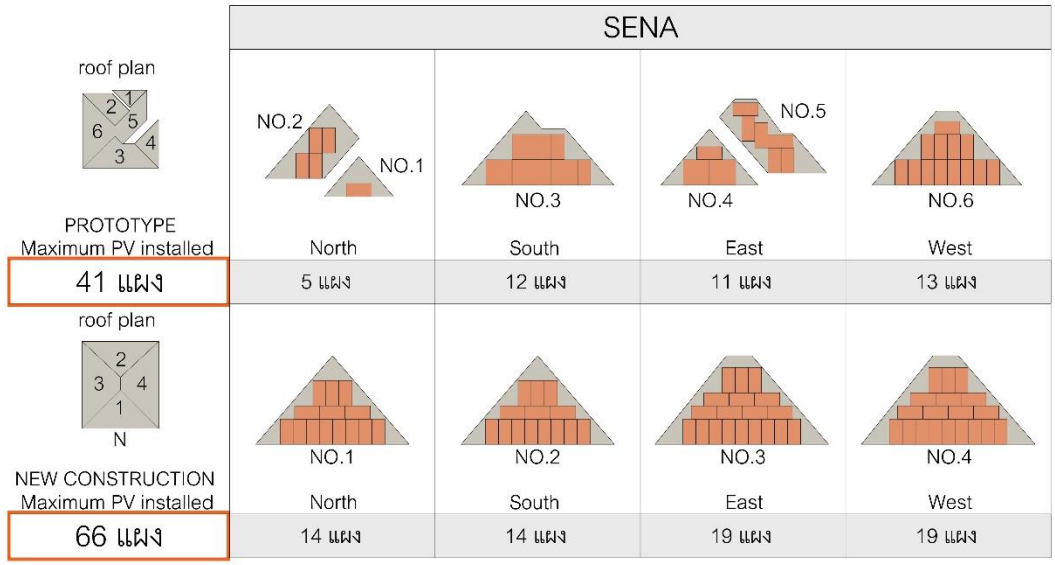
จากตารางที่ 36 – 37 จะเห็นได้ว่าปัจจัยเรื่องวิธีการคิดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หรือค่า U-value ในชั้นวัสดุจากการจำลองด้วยโปรแกรม มีความซับซ้อนกว่าการคำนวณปกติตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (BEC) เรื่องค่าความต้านทานอากาศ (R) ระหว่างวัสดุโครงสร้างประเภทโครงเคร่า โดยพื้นฐานของโปรแกรม Revit version 2020 จะคิดค่าความต้านทานอากาศระหว่างโครงเคร่าเฉลี่ยกับความต้านทานของวัสดุโครงเคร่าด้วย ได้แก่ แป จันทัน โครงซีไลน์ ทำให้ค่าจากการการจำลองผ่านโปรแกรม Revit version 2020 มีความละเอียดสมจริงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามโปรแกรม BEC

ส่วนหลักการคิดค่า U-value ของหลังคาตาม Building Energy Code หรือ BEC จะคิดเป็นรูปตัดหลังคาผ่านฝ้าเพดานที่ติดกับห้องที่มีการคิดพื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) แต่ในโปรแกรม Revit version 2020 จะไม่มีแสดงค่า U-value ดังกล่าว เนื่องจากพื้นฐานของโปรแกรมคิดค่า U-value แยกเป็นส่วนแต่ละองค์ประกอบ (Component) เช่น U-value ของหลังคา จะคิดเฉพาะกระเบื้องหลังคา โครงสร้าง และฉนวน ก่อนเท่านั้น จะไม่แสดง U-value รวมชิ้นหลังคากับฝ้าเพดานดังเช่นหลักการของโปรแกรม BEC เป็นทำให้ไม่สามารถระบุค่าที่แท้จริงจากการจำลองผ่านโปรแกรม หากต้องการทราบ สามารถหาค่าโดยการคำนวณตามโปรแกรม BEC ด้วยหลักการคำนวณแยกชั้นวัสดุ (Layer) และนำมารวมกันเท่านั้น ดังนั้นค่า U-value ส่วนของหลังคาที่ระบุในการศึกษานี้จึงเป็นค่าจากการคำนวณ แต่ค่า U-value ของผนัง กระจก และฝ้าเพดาน จะเป็นค่านำมาจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Revit version 2020

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 86 เปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งแผง PV สูงสุดบนหลังคาของบ้านต้นแบบดีดีรักษ์ฟ้า (แถวบน) และบ้านต้นสร้างใหม่ที่ปรับปรุงจากบ้านดีดีรักษ์ฟ้า (แถวล่าง)



ภาพที่ 87 เปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งแผง PV สูงสุดบนหลังคาของบ้านต้นแบบเสนา (แถวบน) และบ้านต้นสร้างใหม่ที่ปรับปรุงจากบ้านเสนา (แถวล่าง)

สำหรับวิธีการออกแบบหลังคาให้มีชิ้นส่วนขนาดใหญ่ที่ไม่ซับซ้อน สามารถลดหลังคาชิ้นย่อยลงนั้น ทำให้หลังคามีความเหมาะสมในการติดตั้งแผง PV ได้ปริมาณที่ลงตัว และใช้พื้นที่หลังคาได้เต็มศักยภาพมากที่สุด ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการออกแบบบ้านที่มีพลังงานเป็นบวกที่ต้องการใช้ประโยชน์ในการติดตั้งแผง PV บนหลังคาบ้าน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วีรยา ปิยะตระกูล
วัน เดือน ปี เกิด	17 มีนาคม 2531
สถานที่เกิด	ลำปาง
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2560 ศึกษาต่อสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	157 หมู่ 4 บ้านสันติ ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100

มหาวิทยาลัยศิลปากร