

ความเป็นไปได้ของบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกในประเทศไทย

วีรยา ปิยะตระกูล

หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาสถาปัตยกรรม)

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พันธดา พุฒิไพบูลย์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

สาเหตุของปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ส่วนหนึ่งเกิดจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในภาคอาคาร ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นหากสามารถออกแบบบ้านให้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เพียงพอสำหรับใช้ในอาคาร และยังมีเหลือพอสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วย ก็จะช่วยให้เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาศักยภาพของบ้านเดี่ยวในปัจจุบันในการพัฒนาให้เป็น “บ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก” ที่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอสำหรับกิจกรรมต่างๆ ภายในบ้านและการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1 คัน โดยเป็นการพิจารณาความต้องการใช้และผลิตพลังงานในรอบระยะเวลาหนึ่งปี การดำเนินงานเริ่มจากการทบทวนความหมาย การศึกษาขั้นตอนและวิธีการออกแบบ จากนั้นเลือกบ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานที่เป็นบ้านต้นแบบจำนวน 2 หลัง ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 200 ตร.ม. ที่มีแนวคิดในการออกแบบแตกต่างกัน ได้แก่ บ้านดีสิริรักษ์ฟ้า 2 ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งออกแบบเน้นการพึ่งพาธรรมชาติ และบ้านเสนา Oxy Smart ซึ่งเป็นบ้านจัดสรรที่สร้างด้วยระบบคอนกรีตสำเร็จรูป เน้นการอยู่อาศัยแบบปรับอากาศ สร้างชายพร้อมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาของหมู่บ้านเสนา พาร์ค วิลล์ นำมาจำลองหาพลังงานที่ใช้ภายในบ้านด้วยโปรแกรม Revit version 2020 และนำค่าที่ได้มารวมกับพลังงานในการชาร์จรถ EV ได้เป็นค่าพลังงานรวมเป้าหมายที่ต้องผลิตจากแผง PV บนหลังคาบ้าน ในการประเมินพลังงานที่ผลิตได้จากแผง PV ได้ใช้โปรแกรม PV Watts Calculator ผลการศึกษาพบว่า บ้านทั้ง 2 หลัง สามารถเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงแบบ 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 นอกจากนี้ได้สังเกตว่า บ้านเสนาสามารถติดตั้ง PV สูงสุดเต็มพื้นที่หลังคาได้น้อยกว่าบ้านดีสิริรักษ์ฟ้า ซึ่งมีค่าการติดตั้งสูงสุดที่ 15.58 kW_p และ 21.66 kW_p ตามลำดับ ทั้งที่ทั้งบ้านทั้งสองหลังมีขนาดพื้นที่ใช้สอยใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้ทดลองออกแบบเปลี่ยนจากหลังคาปั้นหย่าเป็นหลังคาทรงจั่ว ลาดเอียง 30° ไปทางทิศเหนือ-ใต้ พบว่าสามารถเพิ่มให้มีการติดตั้ง PV สูงสุดจาก 15.58 kW_p เป็น 25.08 kW_p แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบรูปร่างหลังคาเพื่อให้ได้ค่าการผลิตพลังงานสูงสุดโดยพลังงานส่วนเกินนี้อาจนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการจำหน่ายในอนาคต

คำสำคัญ: บ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก, การออกแบบบ้านโซลาร์, การกำหนดเป้าหมายพลังงานเป็นบวก

Possibility of Net Positive Energy House in Thailand

Weeraya Piyatrakul

Master of Architecture

Faculty of Architecture, Silpakorn University

Pantuda Puthipiroj

Faculty of Architecture, Silpakorn University

Abstract

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 m². 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 the whole-building energy target was simulated by Revit version 2020, and the energy generation was estimated by PV Watts Calculator. 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 PVs installation cost by using LED lamps instead of fluorescent lamps, reducing total PV installation to 8.36-9.5 kW_p. It was noticed that the roof configuration of Sena house can be installed less PV than that of Dede house with 15.58 kW_p and 21.66 kW_p in order, although both had about the same total floor area. Then the gable roof 30° (aligned Northern to Southern) was designed instead of the hip roof. The result indicated the PV installation can increase from 15.58 kW_p to 25.08 kW_p. This implies the importance of roof design to achieve the maximum production. The surplus energy can be sold to other buildings through smart grid systems in the future.

Keywords: Net Positive Energy House, Solar House Design, Positive Energy Target

1. บทนำ

สาเหตุของปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันส่วนหนึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยพบว่า ภาคอาคารและที่อยู่อาศัยมีส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงเป็นอันดับ 3 ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตขึ้น (Ministry of Energy, 2011) ดังนั้นหากสามารถลดการใช้พลังงานในภาคอาคารและที่อยู่อาศัยลงได้ ก็จะมีส่วนช่วยในการลดปัญหาภาวะโลกร้อน และหากมีการใช้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานลมร่วมด้วย ก็จะทำให้เกิดผลดีมากยิ่งขึ้น

การใช้พลังงานในภาคคมนาคมและขนส่งก็เป็นอีกสาเหตุที่สำคัญอันหนึ่ง ที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศจำนวนมาก ดังนั้นในอนาคตอันใกล้ประเทศต่างๆ ในโลกรวมทั้งประเทศไทยจะเปลี่ยนจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันและแก๊สมาเป็นรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) เพื่อแก้ปัญหามลพิษ โดยในปัจจุบันได้เริ่มมีโครงการบ้านจัดสรรหลายแห่งในประเทศไทย ที่ได้ออกแบบให้มีที่ชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในบ้านแล้ว

การศึกษานี้จึงต้องการค้นหาว่า การออกแบบบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน มีศักยภาพที่จะเป็นบ้านที่มีพลังงานสุทธิเป็นบวกได้หรือไม่ โดยมีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากการใช้สอยในชีวิตประจำวันมากพอสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าให้แก่รถยนต์อย่างน้อย 1 คัน รวมทั้งศักยภาพในการติดตั้งแผง PV และผลิตพลังงานให้ได้สูงสุด ซึ่งอาจมีผลต่อการวางแผนพัฒนาสำหรับการจัดหาไฟฟ้าในระดับเมือง ผ่านระบบสมารถที่คิดจะเกิดขึ้นในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของบทความ

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการออกแบบบ้านให้มีพลังงานสุทธิเป็นบวก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองพลังงาน
2. เพื่อตรวจสอบศักยภาพของบ้านประหยัดพลังงานในปัจจุบันว่า สามารถออกแบบให้เป็นบ้านที่มีพลังงานสุทธิเป็นบวกได้หรือไม่ ด้วยการใช้แผง PV โดยที่มีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและใช้เพื่อการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1 คัน รวมทั้งศักยภาพที่จะสามารถติดตั้งแผง PV เพื่อผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด
3. เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกให้สูงขึ้น

3. วิธีการศึกษา

1. ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ได้แก่
 - 1.1 ความหมายของอาคารพลังงานสุทธิเป็นบวก (Net Positive Energy Building)
 - 1.2 ศึกษาขั้นตอนและวิธีดำเนินงานออกแบบ การหาค่าความเข้มข้นทางพลังงาน (Energy Use Intensity, EUI) และการประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแผง PV
 - 1.3 กรณีศึกษาบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกในต่างประเทศ

2. เลือกบ้านต้นแบบ 2 หลัง ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่มีแนวคิดในการออกแบบต่างกันเพื่อเปรียบเทียบความเป็นได้ด้านศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก
3. ประเมินพลังงานที่ต้องการใช้สำหรับบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง โดยการจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Revit version 2020 ด้วยไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร
4. หาพลังงานที่ต้องการสำหรับการอัดประจุรถยนต์ EV ในรอบหนึ่งปี โดยการคำนวณ
5. หาผลรวมของพลังงานที่ต้องการใช้ทั้งหมดในรอบหนึ่งปีของบ้านเมื่อรวมการชาร์จรถยนต์ EV
6. ประเมินความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) โดยหาจำนวนแผง PV ที่สามารถติดตั้งได้บนพื้นที่หลังคาในทิศต่างๆ จากแบบบ้าน และจำนวนกิโวลต์ที่สามารถติดตั้งได้สูงสุด
7. ประเมินค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปีจากจำนวนกิโวลต์ที่ติดตั้งของแผง PV บนหลังคาที่มีความลาดเอียงในแต่ละทิศตามแบบ ด้วยโปรแกรม PV Watts Calculator (PV Watts)
8. สรุปผลความเป็นไปได้ของบ้านต้นแบบทั้ง 2 หลัง ในการเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก
9. ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกให้สูงขึ้น ทั้งในด้านการลดการใช้พลังงานและการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงาน
 - ในด้านการลดการใช้พลังงานเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเปลี่ยนหลอดไฟจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED กับเพิ่มการติดฉนวนกันความร้อนที่ผนังเพื่อลดค่า U-value
 - ส่วนการเพิ่มกำลังการผลิตเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้รูปทรงหลังคาเดิมที่เป็นทรงปั้นหยาแต่ต่อขยายชายคา กับการเปลี่ยนเป็นหลังคาทรงจั่วและการปรับยื่นชายคาเพิ่มเติม
10. สรุปผลการศึกษา และอภิปรายผล

4. ผลการศึกษา

1. ผลการทบทวนเอกสาร

1.1 ความหมายของอาคารพลังงานสุทธิเป็นบวก

ผลการทบทวนเอกสารพบว่า อาคารพลังงานสุทธิเป็นบวก (Net Positive Energy Building) หมายถึง อาคารที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกได้มากกว่าที่ต้องการใช้ ในรอบระยะเวลาหนึ่งปี ซึ่งไม่ได้มีการระบุชัดเจนถึงร้อยละหรือปริมาณพลังงานที่ต้องสามารถผลิตให้ได้มากกว่าที่อาคารนั้นใช้ อย่างไรก็ตามได้พบว่า มีเกณฑ์ HERS score ของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของบ้านพักอาศัย ได้กำหนดว่าจะต้องสามารถผลิตพลังงานให้ได้เกินอย่างน้อยร้อยละ 10 จึงจะได้รับการรับรองเป็นบ้านที่มีพลังงานเป็นบวก ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ DGNB Climate Positive ของประเทศเยอรมนี ที่ให้การรับรองการเป็นอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นบวกเมื่อสามารถผลิตพลังงานได้เกินกว่าที่มีการใช้ อย่างน้อยร้อยละ 10 ในรอบเวลา 1 ปี (Residential Energy Service Network, 2018 & German Sustainable Building Council, 2018) เช่นเดียวกัน

1.2 ขั้นตอนการออกแบบบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก

การออกแบบบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกจะมีหลักการเหมือนกับ การออกแบบบ้านที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy House) คือ จะต้องให้ความสำคัญกับการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ (Passive Design) เป็นอันดับแรก เช่น การใช้ลมธรรมชาติเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายของการอยู่อาศัย การใช้แสงบังแดด การใช้แสงธรรมชาติ จาก

นั้นการออกแบบในส่วนที่ต้องใช้พลังงาน คือ ระบบปรับอากาศ การใช้หลอดไฟ จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ค่าพลังงานทั้งหมดที่ต้องการใช้ หรือค่าพลังงานรวมมีค่าต่ำ เพื่อที่จะทำให้พลังงานที่ต้องการผลิตจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ต่ำไปด้วย พลังงานหมุนเวียนอาจจะใช้ได้หลายประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด ในประเทศไทย คือ การติดตั้งแผง PV บนหลังคา

ในด้านวิธีการออกแบบพบว่า จะต้องใช้วิธีการจำลองพลังงานเพื่อหาพลังงานรวมที่บ้านใช้ และพลังงานที่สามารถผลิตได้จากแผง PV ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของบ้านแต่ละหลัง ซึ่งอาจจะมีขนาดไม่เท่ากัน สามารถทำได้โดยการใช้ค่าความเข้มข้นทางพลังงาน (Energy Use Intensity, EUI) ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ($\text{kW}_p/\text{m}^2/\text{yr}$)

1.3 กรณีศึกษาบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกในต่างประเทศ

เนื่องจากในประเทศไทยไม่มีตัวอย่างและข้อมูลการใช้งานจริงของบ้านพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ และบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกมากนัก จึงได้ศึกษาตัวอย่างบ้าน Zero Energy Certified ที่มีการรวบรวมข้อมูลการใช้งานจริงและได้รับการรับรองจาก International Living Future Institute ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่า EUI ในช่วง $37.5 - 49.5 \text{ kW}_p/\text{m}^2/\text{yr}$ (ไม่รวมพลังงานสำหรับรถยนต์ EV) โดยมีการผลิตพลังงานได้เกินกว่าที่ใช้ตั้งแต่ร้อยละ 10-176 มีขนาดการติดตั้ง PV ตั้งแต่ $8.1-19.6 \text{ kW}_p$ ซึ่งแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1: กรณีศึกษาบ้าน Zero Energy Certified ที่รับรองโดย International Living Institute

โครงการ	PVs (kWp)	พื้นที่ (m^2)	EUI ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{yr}$)	% 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: รวบรวมโดยผู้วิจัย

2. การเลือกบ้านเดี่ยวต้นแบบเพื่อประเมินการใช้พลังงาน

ในการศึกษานี้ได้ทดลองนำบ้านที่มีแนวคิดในการออกแบบให้เป็นบ้านประหยัดพลังงานจำนวน 2 แบบ มาทดสอบความเป็นไปได้ที่จะเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวก ตามลักษณะการออกแบบเดิม ได้แก่ บ้านดีสิริรักษ์ฟ้า 2 ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งได้รับการเผยแพร่ให้เป็นบ้านประหยัดพลังงานต้นแบบ และบ้านสนา Oxy smart ซึ่งเป็นบ้านจัดสรร โดยบ้านทั้ง 2 หลัง เป็นบ้าน 2 ชั้น 3 ห้องนอน มีขนาดพื้นที่ใช้สอยใกล้เคียงกัน โดยบ้านดีสิริรักษ์

ฟ้ามีขนาดพื้นที่ 215 ตร.ม. เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 43 ตร.ม. และไม่ปรับอากาศ 172 ตร.ม. ส่วนบ้านเสนามีพื้นที่ 198 ตร.ม. เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 42 ตร.ม. และไม่ปรับอากาศ 156 ตร.ม.

ความแตกต่างของบ้านทั้ง 2 หลังคือ บ้านของกระทรวงพลังงาน จะเน้นการออกแบบที่มีการพึ่งพาธรรมชาติมากกว่า คือ พยายามออกแบบให้รับลมธรรมชาติ มีการใช้ชายคายื่นยาวเพื่อบังแดด มีการวิเคราะห์เรื่องการระบายอากาศ มีการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยออกแบบให้มีพื้นที่ชาน หรือระเบียงขนาดใหญ่กันไว้ด้านหน้าของพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อมิให้ผนังของห้องปรับอากาศสัมผัสแดดโดยตรง ผังพื้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วนประมาณ 1 : 1.5 ผนังโดยรอบอาคารเป็นคอนกรีตมวลเบา และกระจกเขียว หันหน้าบ้านทางทิศตะวันตกใช้หลังคาทรงจั่วลาดเอียงทางทิศเหนือ-ใต้ ตามแบบระบุว่าสามารถรองรับการติดตั้ง PV ได้มากถึง 19 kW_p (Department of Energy, 2017) สามารถดูสัดส่วนและลักษณะได้ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1: แผนและลักษณะของบ้านต้นแบบตึกรักษ์ฟ้า ของกระทรวงพลังงาน

ส่วนบ้านเสนา Oxy smart เป็นบ้านที่ก่อสร้างด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) และกระจกเขียว โดยมีสัดส่วนผังพื้นเกือบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือ 1 : 1 หันหน้าบ้านในแนวทิศเหนือหรือใต้ และใช้หลังคาทรงปั้นหยา โดยทางโครงการระบุว่าสามารถรองรับการติดตั้ง PV ได้สูงสุด 2-5 kW_p (Sena Development, 2019) แสดงสัดส่วนและลักษณะตามภาพที่ 2 3. การจำลองการใช้พลังงานภายในบ้าน (Whole-Building Energy Simulation)



ภาพที่ 2: แผนและลักษณะของบ้านต้นแบบเสนา Oxy Smart โครงการจัดสรรเสนา พาร์ค วิลล์

ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการจำลองพลังงานที่ใช้สำหรับตัวบ้านด้วยโปรแกรม Revit version 2020 ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling, BIM) สามารถสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยใช้ข้อมูลจากไฟล์สถิติภูมิอากาศ (Weather Data) ของกรุงเทพมหานคร โดยการนำเข้าข้อมูลนั้นต้องระบุช่วงเวลาการใช้งาน (Schedule) พื้นที่ใช้สอยย่อย (Space Type) อัตราการระบายอากาศ (Air Change Per Hour) โหลดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Power Load) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) จำนวนผู้ใช้งาน ประเภทและประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ รวมถึงรายละเอียดของวัสดุประกอบอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ช่องเปิดโปร่งแสง (กระจก) และฝ้าเพดาน

ผลการจำลองพบว่าบ้านดีสิริรักษ์พามีค่าการใช้พลังงานรวมที่ 5,645 kW_p/yr หรือ EUI = 27 kW_p/m²/yr ส่วนบ้านเสนามีค่าการใช้พลังงานรวมที่ 6,068 kW_p/yr หรือ EUI = 31 kW_p/m²/yr มีการแสดงรายละเอียดเปรียบเทียบระหว่างบ้านทั้ง 2 หลัง ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2: เปรียบเทียบมาตรฐานการตั้งค่าจำลองพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบ

ข้อมูล	DEDE	SENA
ค่าพลังงานรวมที่ใช้ (kWh/yr)	5,645	6,068
ค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน (kWh/m ² /yr)	27	31
พื้นที่ใช้สอยรวม (ตร.ม.)	215	198
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	43	42
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	172	156
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)	217	145
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (W/m ²)	2.90	3.52
อัตราการรั่วซึมอากาศ (ACH)	5	
SEER (Seasonal energy efficiency ratio)	17	
ประเภทผนัง	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตสำเร็จรูป
ค่า U ผนังภายนอก W/(m ² ·K)	0.635	5.98
ประเภทกระจก	เขียวตัดแสง	
ค่า SHCG กระจก	0.5	
ค่า U กระจก W/(m ² ·K)	5.32	
ค่า U ฝ้าเพดาน W/(m ² ·K) รวมโครงเคร่า และฉนวน (ระบุความหนาฉนวนในวงเล็บ)	0.117 (ฉนวนหนา 6")	0.519 (ฉนวนหนา 3")
ค่า U หลังคาลาดชัน W/(m ² ·K)	0.104	0.178

4. การประเมินพลังงานที่ต้องใช้สำหรับการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในรอบหนึ่งปี

จากรายงานการศึกษา การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ในโครงการศึกษาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งได้ทำการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้รถยนต์ Nissan Leaf ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาด 24 kW_p ทดสอบภาคสนาม 7 เส้นทาง จำนวน 29 ครั้ง ในสภาพการขับขี่แบบมีการเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25°C ขณะขับในกรุงเทพมหานคร และพบว่ามียอดการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 180.3 Wh/km หรือ $0.18 \text{ kW}_p/\text{km}$ สามารถวิ่งได้สูงสุดต่อการอัดประจุเต็ม 146.3 กม. ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลของผู้ผลิตซึ่งระบุว่ามียอดการใช้พลังงานที่ 150 Wh/km และวิ่งได้สูงสุด 199 กม. (King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2017) เนื่องจากข้อมูลของผู้ผลิตเป็นการวิ่งโดยไม่มีการปรับอากาศ ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกที่จะนำข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามที่มีการปรับอากาศ ซึ่งใกล้เคียงการใช้งานจริงมาใช้ในการหาความต้องการพลังงาน

ในการศึกษาเดียวกัน ได้ระบุผลสำรวจระยะเดินทางเฉลี่ยต่อวันของของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถตู้สูงสุดที่ 93 กม./วัน ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณกับระยะทางที่วิ่งได้ใน 1 ปี จะมีค่าพลังงานที่ต้องการใช้เท่ากับ $6,110 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ($0.18 \text{ kW}_p \times 93 \text{ km.} \times 365 \text{ วัน}$)

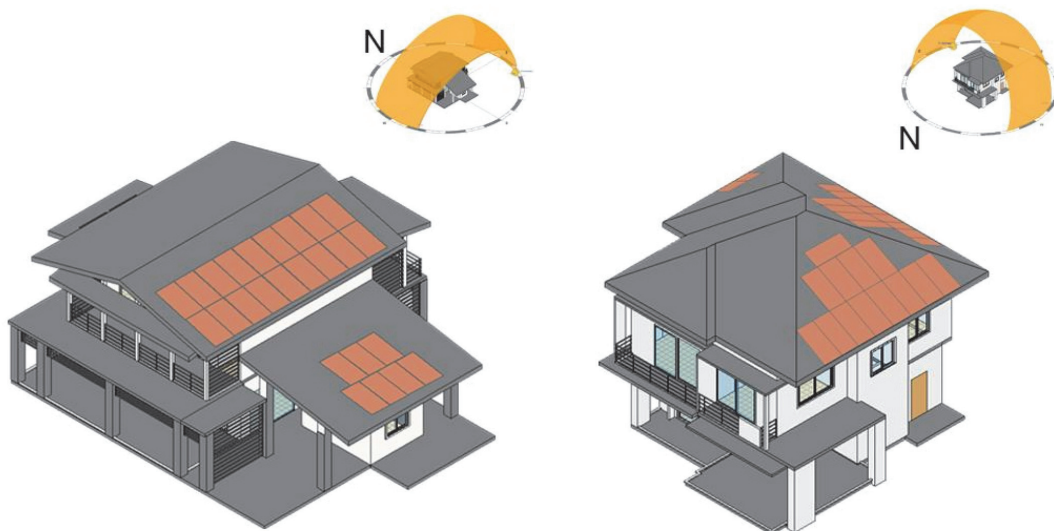
5. การหาความต้องการพลังงานทั้งหมด

ได้นำพลังงานที่ใช้สำหรับบ้านที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม Revit version 2020 มาบวกรวมกับพลังงานที่ต้องการสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า พบว่าบ้านดีสิริรักษ์ฟ้าต้องการพลังงานทั้งหมด $11,755 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ($5,645 + 6,110 \text{ kW}_p/\text{yr}$) ส่วนบ้านเสนาต้องการพลังงานทั้งหมด $12,178 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ($6,068 + 6,110 \text{ kW}_p/\text{yr}$)

6. การประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า

ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ต่อปี จากแผง PV ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านได้ใช้การประเมินด้วยโปรแกรม PV Watts ที่พัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) โดยต้องระบุตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จำนวนกิโลวัตต์ที่ติดตั้ง ข้อมูลชนิดของแผง (Module Type) ประสิทธิภาพ ลักษณะของการติดตั้ง (หมายถึง แผงปรับหันตามดวงอาทิตย์หรืออยู่กับที่) มุมเอียง และทิศทางการติดตั้งของแผง และประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

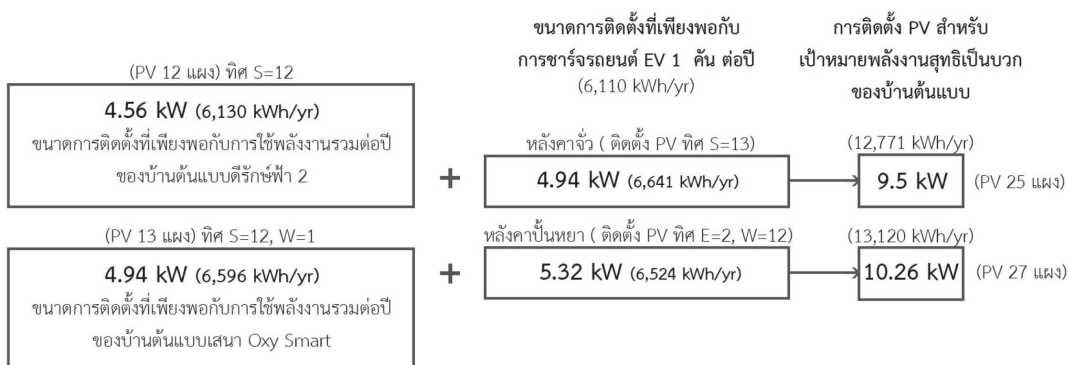
ผลการประเมินจากการใช้แผง PV ขนาด 380 W ประสิทธิภาพ 19% (ขนาดแผง $1 \times 2 \text{ ม.}$) ติดตั้งแบบอยู่กับที่ และประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์เป็น 95% พบว่า บ้านดีสิริรักษ์ฟ้าสามารถติดตั้งจำนวน 25 แผง ที่หลังคาทางทิศใต้ได้ทั้งหมด คิดเป็น 9.5 kW_p ผลิตไฟฟ้าได้ $12,771 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ($>11,755 \text{ kW}_p/\text{yr}$) ส่วนบ้านเสนา Oxy smart จะต้องใช้แผง PV จำนวน 27 แผง แบ่งเป็นการติดตั้งที่หลังคาทางทิศใต้ 12 แผง ทิศตะวันออก 2 แผง และทิศตะวันตก 13 แผง รวมเป็นขนาดติดตั้ง 10.26 kW_p สามารถผลิตไฟฟ้าได้ $13,120 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ($>12,178 \text{ kW}_p/\text{yr}$) แสดงลักษณะการติดตั้งที่เพียงพอกับความต้องการพลังงานทั้งหมดที่รวมการอัดประจุไฟฟ้ารถยนต์ EV แล้ว ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3: ลักษณะการติดตั้งแผง PV ให้มีพลังงานสุทธิเป็นบวกเพียงพอสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คันในรอบปี ของบ้านดีดีรักษ์ฟ้า (ซ้าย) และบ้านเสนา Oxy Smart (ขวา)

7. การสรุปผลความเป็นได้ของบ้านต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นบวก

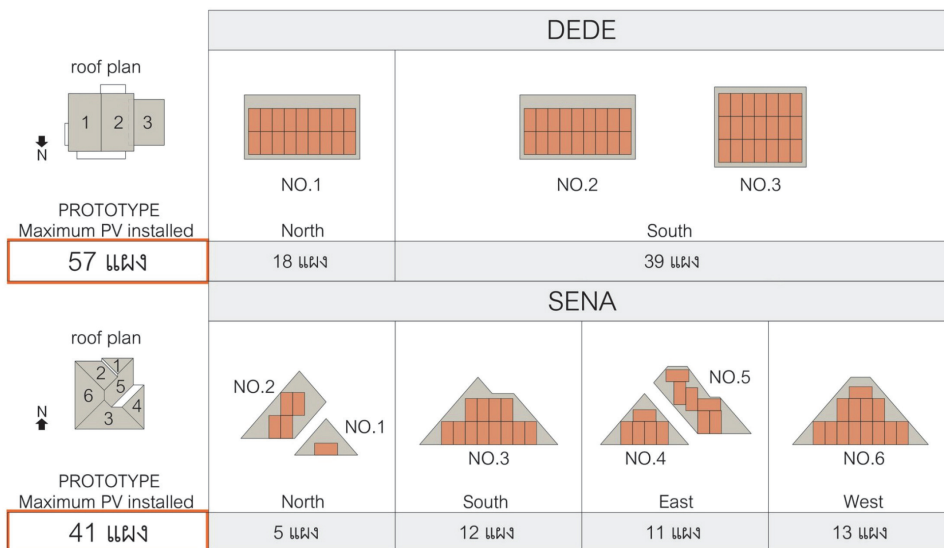
จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า บ้านทั้งสองหลังสามารถเป็นบ้านที่มีพลังงานสุทธิเป็นบวกที่ผลิตพลังงานได้เพียงพอสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ EV จำนวน 1 คัน ใน 1 รอบปี



ภาพที่ 4: แนวทางการติดตั้งแผง PV ของบ้านต้นแบบให้มีพลังงานสุทธิเป็นบวก

จากข้อมูลภาพที่ 4 สามารถพิจารณาได้ว่า ต้องเตรียมพลังงานสำหรับการชาร์จรถยนต์ EV ประมาณ 6,110 kWh ต่อรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน ในเวลา 1 ปี ซึ่งต้องติดตั้งประมาณ 4.94-5.32 kW_p เป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจากพลังงานรวมที่ต้องการใช้ภายในบ้านประมาณ 7.69-8.33% [คือ บ้านดีดี((4.94 - 4.56) × 100) / 4.56 = 8.33 และบ้านเสนา ((5.32 - 4.94) × 100) / 4.94 = 7.69]

แต่มีข้อสังเกตว่า แม้ว่าบ้านทั้งสองแบบจะมีพื้นที่อาคารใกล้เคียงกัน แต่บ้านดีสิริรักษ์ฟ้ามีพื้นที่หลังคา มากกว่าบ้านเสนาคือ 217 ตร.ม. และ 145 ตร.ม. ตามลำดับ อีกทั้งรูปทรงหลังคาจั่วของบ้านดีสิริเอื้อต่อการจัดวางแผง ในขณะที่หลังคาทรงปั้นหยาของบ้านเสนาจะมีความซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถจัดวางแผงได้อย่างมีประสิทธิภาพและสวยงาม และหากต้องการติดตั้งแผงเพิ่มเติมให้ได้มากที่สุด บ้านดีสิริรักษ์ฟ้าจะสามารถติดตั้งได้สูงสุด 21.66 kW_p (PV 57 แผง) ผลิตไฟฟ้าได้ $27,408 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ส่วนบ้านเสนาติดตั้งได้ 15.58 kW_p (PV x 41 แผง) ผลิตไฟฟ้าได้ $19,469 \text{ kW}_p/\text{yr}$ ซึ่งแสดงลักษณะการวางแผง PV สำหรับการติดตั้งสูงสุดได้ตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5: การวางแผง PV ที่การติดตั้งสูงสุดของบ้านดีสิริรักษ์ฟ้า (แถวบน) และบ้านเสนา Oxy Smart (แถวล่าง)

8. การเพิ่มประสิทธิภาพของบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกให้สูงขึ้น

แนวทางที่ 1 การศึกษาการลดการใช้พลังงานรวม เพื่อลดขนาดการติดตั้ง PV ของบ้านดีสิริรักษ์ฟ้าและบ้านเสนา ซึ่งเสนอเป็น 2 ทางเลือก ได้แก่

- ทางเลือก 1.1: การปรับเปลี่ยนหลอดไฟ จากการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็น LED
- ทางเลือก 1.2: เพิ่มการติดฉนวนที่ผนัง เพื่อลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หรือ U-value โดยการติดฉนวนโฟม PE หนา 5 มม. ($R = 0.172 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) เพิ่มเติม จะช่วยลดค่า U-value จาก $0.635 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ เป็น $0.561 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

ตารางที่ 3: เปรียบเทียบข้อมูลการใช้และผลิตพลังงานของบ้านต้นแบบจากการปรับปรุงทางเลือก 1.1 และ 1.2

ข้อมูล	เป้าหมายบ้านดีศรีรักษ์ฟ้า 2			เป้าหมายบ้านเสนา Oxy Smart		
	ก่อนปรับปรุง	ทางเลือก 1.1	ทางเลือก 1.2	ก่อนปรับปรุง	ทางเลือก 1.1	ทางเลือก 1.2
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/yr)	5,645	4,113	5,345	6,068	5,409	5,896
เป้าหมายรวมการชาร์จรถ EV (kWh/yr)	11,755 (5,645+6,110)	10,223 (4,113+6,110)	11,455 (5,345+6,110)	12,178 (6,068+6,110)	11,519 (5,409+6,110)	12,006 (5,896+6,110)
อัตราการผลิตไฟฟ้าต่อปี (kWh/yr)	12,771	11,239	11,750	13,120	12,182	12,651
กิโลวัตต์การติดตั้ง PV (kW _p)	9.5	8.36	8.74	10.26	9.5	9.88
จำนวนแผง	25	22	23	27	25	26
พื้นที่หลังคาติดตั้ง PV (m ²)	50	44	46	54	50	52

พบว่าวิธีการเปลี่ยนหลอดไฟ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็น LED ได้ผลดีกว่า สำหรับบ้าน ดีศรีรักษ์ฟ้า เดิม มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) 2.90 W/m² ซึ่งหากเปลี่ยนเป็นหลอด LED จะลดเหลือ LPD = 1.45 W/m² ทำให้การใช้พลังงานลดลง 1,532 kW_p/yr (5,645 - 4,113 = 1,532) หรือลดลง 27% ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart สามารถลดค่า LPD จาก 3.52 W/m² เป็น 1.76 W/m² การใช้พลังงานของบ้านลดลง 659 kW_p/yr (6,068 - 5,409 = 659) หรือลดลง 10% เป็นผลให้ขนาดติดตั้ง PV ลดลงจากช่วง 9.5-10.26 kW_p (PV 25-27 แผง) เหลือ 8.36-9.5 kW_p (PV 22-25 แผง)

แนวทางที่ 2 เป็นการทดลองปรับเปลี่ยนการออกแบบหลังคาของบ้านเสนา Oxy Smart ให้ผลิตพลังงานสูงสุดได้มากยิ่งขึ้น โดยเปรียบเทียบ 2 แนวทางในการปรับปรุง ได้แก่

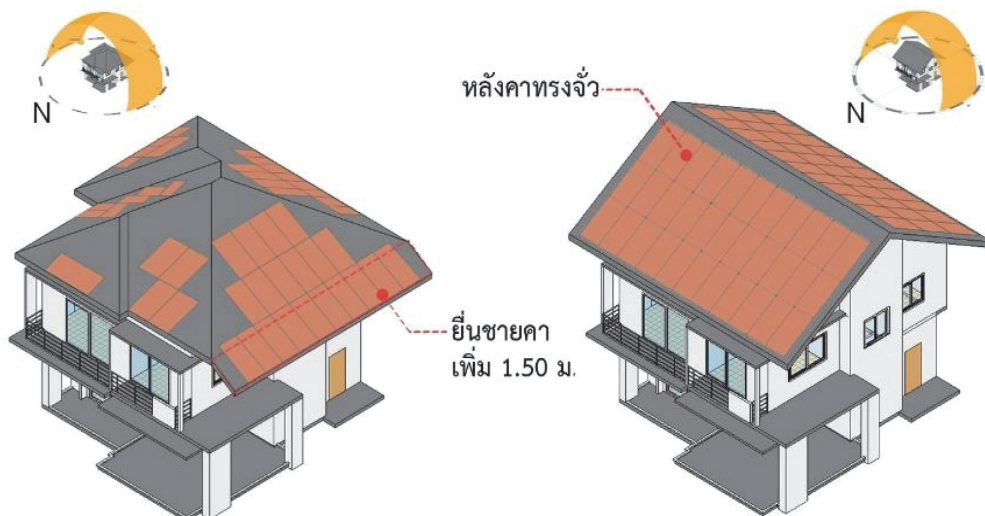
- ทางเลือก 2.1: การพยายามรักษารูปทรงหลังคาเดิม แต่ขยายพื้นที่โดยการยื่นชายคาเฉพาะด้านทิศตะวันตกจากเดิม 1.00 ม. เป็น 2.50 ม. สำหรับติดตั้งแผง PV ให้มากขึ้น

- ทางเลือก 2.2: การเปลี่ยนจากหลังคาทรงปั้นหยาเป็นทรงจั่ว มีแนวลาดเอียงไปตามทิศเหนือ-ใต้ และเพิ่มชายคาจาก 1.00 ม. เป็น 1.50 ม. สำหรับติดตั้งแผง PV ให้มากขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการปรับความลาดเอียงหลังคาไปทางทิศที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผง PV อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4: การปรับปรุงเพิ่มพื้นที่หลังคาและขนาดการติดตั้ง PV ของบ้านเสนา Oxy Smart

ข้อมูล	ก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงทางเลือก 2.1	ปรับปรุงทางเลือก 2.2
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/yr)	6,068	6,064	6,023
อัตราการผลิตต่อปี (kWh/yr)	19,469	23,270	30,906
รูปทรงหลังคา	ปั้นหยา 30°	ปั้นหยา 30°	หน้าจั่ว 30°
ระยะยื่นชายคาเดิม (m)	1.00		
ระยะยื่นชายคาใหม่ (m) และทิศทาง	-	2.50 (W)	1.50 (N,S)
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (m ²)	145	164	151
ขนาดการติดตั้ง (kW _p)	15.58	18.24	25.08
จำนวนแผง	41	48	66
พื้นที่ติดตั้งแผง (m ²)	82	96	132
%การติดตั้งต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด	55%	57%	85%

ผลการปรับปรุงพื้นที่หลังคาของบ้านเสนา พบว่า ทางเลือก 2.1 คือ การคงรูปทรงหลังคา เดิมไว้ และขยายชายคาทางทิศตะวันตก สามารถมีพื้นที่เพิ่มอีก 3% ติดตั้งเพิ่มเติมได้อีก 2.66 kW_p รวมเป็นการติดตั้งสูงสุดที่ 18.24 kW_p ส่วนทางเลือก 2.2 คือ การใช้รูปทรงหลังคาจั่ว 30° และหันด้านลาดเอียงไปทางทิศเหนือ-ใต้ และการขยายชายคา ทำให้พื้นที่หลังคาทั้งหมดเพิ่มขึ้น 7% สามารถติดตั้ง PV ได้เพิ่มเติม 9.5 kW_p รวมเป็นการติดตั้งสูงสุดที่ 25.08 kW_p



ภาพที่ 6: ลักษณะหลังคาบ้านเสนา Oxy Smart ตามการปรับปรุงทางเลือก 2.1 (ซ้าย) และตามการปรับปรุงทางเลือก 2.2 (ขวา)

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งบ้านดีสิริรักษ์ฟ้าและบ้านเสนา Oxy Smart สามารถเป็นบ้านพลังงานสุทธิเป็นบวกได้ตามแบบเดิมโดยไม่ต้องปรับปรุง คิดเป็นพลังงานที่ต้องการ 11,755-12,178 kW_p/yr (ที่รวมความต้องการพลังงานสำหรับอัดประจุรถยนต์ EV 1 คัน ที่ 6,110 kW_p/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 kW_p/yr โดยบ้านดีสิริรักษ์ฟ้าสามารถติดตั้งแผง PV ที่หลังคาทางทิศใต้ได้ทั้งหมด ส่วนบ้านเสนา Oxy Smart ต้องติดตั้งทางทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

ในส่วนของการผลิตพลังงานสูงสุด เมื่อนำแผง PV ชนิด Crystalline Silicon ขนาด 380 W ประสิทธิภาพ 19% ขนาด 1 x 2 m. มาจัดเรียงบนหลังคาบ้านต้นแบบให้มากที่สุด พบว่า บ้านดีสิริรักษ์ฟ้าสามารถจัดวางแผง PV สูงสุดได้ 57 แผง ประกอบด้วย 18 แผง ทางทิศเหนือ และ 39 แผง ทางทิศใต้ รวมเป็น 21.66 kW_p คิดเป็นอัตราการผลิตพลังงานสูงสุดที่ 27,408 kW_p/yr แต่ในเบื้องต้นข้อมูลจากการทรวพลังงานระบุไว้ว่าการติดตั้งสูงสุดขนาด 19 kW_p ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า จะมีการใช้ประสิทธิภาพแผง PV ในการประเมินค่าการผลิตพลังงานที่แตกต่างกัน และสำหรับบ้านเสนา สามารถติดตั้งสูงสุดได้ 41 แผง ประกอบด้วย 5 แผง ทางทิศเหนือ, 12 แผง ทางทิศใต้, 11 แผง ทางทิศตะวันออก และ 13 แผง ทางทิศตะวันตก รวมเป็น 15.58 kW_p คิดเป็นอัตราการผลิตพลังงานสูงสุดที่ 19,469 kW_p/yr

ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานให้กับบ้าน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED กับการเพิ่มฉนวนที่ผนังภายนอก พบว่า การเปลี่ยนหลอดไฟจะสามารถลดพลังงานได้มากกว่า และสามารถลดการติดตั้งแผง PV จาก 9.5-10.26 kW_p เหลือ 8.36-9.5 kW_p

สำหรับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มการผลิตพลังงานสูงสุดของบ้านเสนา จากข้อจำกัดเรื่องรูปแบบหลังคาที่มีผลต่อการติดตั้งและประสิทธิภาพการผลิตของแผง PV พบว่า สามารถปรับปรุงเพิ่มอัตราการผลิตพลังงานสูงสุดจาก 15.58 kW_p เป็น 25.08 kW_p ได้โดยการออกแบบหลังคาใหม่จากทรงปั้นหยาที่มีความซับซ้อน และมีหลังคาชันน้อยขนาดเล็กน้อยที่ไม่เอื้อต่อการติดตั้งแผง PV เป็นหลังคาทรงจั่วลาดเอียง 30° และหันด้านลาดเอียงไปทางทิศเหนือและทิศใต้ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่หลังคาและปรับเปลี่ยนทิศทางลาดเอียงให้เอื้อต่อประสิทธิภาพการผลิตของแผง PV ที่ดีขึ้นด้วย โดยประโยชน์ของการทำบ้านที่มีพลังงานสุทธิเป็นบวก นอกจากใช้เพื่อการชาร์จรถยนต์แล้ว ก็อาจจะขายคืนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งในอนาคตจะเปลี่ยนเป็นระบบสมาร์ทกริด เพื่อช่วยบรรเทาความต้องการในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าใหม่เพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองในระบบบริหารจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะ (smart city) ในอนาคต

6. อภิปรายผลการศึกษา

ผลการจำลองพลังงานที่ใช้ของตัวบ้าน จะขึ้นกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน โดยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุดในบ้านส่วนใหญ่ คือ เครื่องปรับอากาศ สำหรับการจำลองข้อมูลในการศึกษานี้ กำหนดค่าประสิทธิภาพตามฤดูกาล (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER) เท่ากับ 17 บีทียู/ชม./วัตต์ ตาม Template ที่มีในโปรแกรม Revit version 2020 แต่ในการใช้งานจริงเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีค่า SEER ที่หลากหลายขึ้นกับยี่ห้อ ขนาดและประเภทของเครื่อง ตั้งแต่ SEER 12.40 บีทียู/ชม./วัตต์ (Electricity Generating Authority of Thailand, 2020) จนถึงประสิทธิภาพสูง SEER 22.60 บีทียู/ชม./วัตต์ ของแบรนด์ Mitsubishi KYW รุ่น 3D move

eye human sensor (Mitsubishi Electronics, 2021) เป็นต้น ซึ่งทำให้ผลของค่าพลังงานรวมที่ใช้ในส่วนที่บ้านแตกต่างกันไป

แต่หากพิจารณาค่าความเข้มข้นในการใช้พลังงาน หรือ ค่า EUI ของบ้านต้นแบบทั้งสองที่ได้จากการจำลองพลังงานที่มีค่าในช่วง 27-31 kW_p/m²/yr จะเห็นว่ามีความต่ำกว่าบ้านกรณีศึกษาของต่างประเทศ ที่มีค่า EUI = 37.5-49.5 kW_p/m²/yr เพราะสภาพอากาศแตกต่างกัน โดยในต่างประเทศมีการใช้พลังงานเพื่อการทำความร้อนให้แก่อาคารด้วย สำหรับการติดตั้ง PV ของบ้านต้นแบบทั้งสองที่ 9.5-10.26 kW_p ก็สอดคล้องอยู่ในช่วงที่มีการติดตั้ง PV ที่พบในกรณีศึกษาในต่างประเทศคือ 8-19.6 kW_p

ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในรถยนต์ ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานหลายอย่าง เช่น สภาพตามอายุการใช้งานของรถยนต์ ความเร็วในการขับขี่หรือสภาพการจราจร อุณหภูมิในการปรับอากาศ น้ำหนักบรรทุก ระยะทางวิ่งต่อวัน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาของโครงการเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าระบุว่า ถ้าวิ่งด้วยความเร็วต่ำ <20 กม./ชม. จะใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงกับสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร และรถที่ใช้ในการทดสอบเป็นรถสภาพใหม่ วิ่งตามระยะทางทดสอบที่มีความหลากหลายทางสภาพการจราจร ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องตามสภาพการใช้งานจริงอาจแตกต่างไปจากสถานะทดสอบ มีผลทำให้ค่าการใช้พลังงานแตกต่างกันไป

ส่วนการประเมินพลังงานที่ผลิตได้จากแผง PV นั้นเป็นการประเมินโดยไม่ได้ออกถึงสภาพเสื่อม หรือการปนเปื้อนความสกปรกต่างๆ ที่จะทำให้แผงมีประสิทธิภาพด้อยลง เมื่อเวลาใช้งานผ่านไป

บรรณานุกรม

- Electricity Generating Authority of Thailand. (2020). **Kor Gum Nod Klong Karn Cha Lak PraYad Fai Bur Ha Kleung Prab Ar Kard.** (In Thai) [Requirement of Air Conditioner 5 Label Saving]. Retrieved January 21, 2021, from <https://bit.ly/3vQelCy>
- German Sustainable Building Council. (2018). **DGNB System Criteria Set New Construction Building Version 2018.** Stuttgart: n.p.
- King Mongkut's University of Technology Thonburi. (2017). **Rai Ngan Cha Bab Somboon Karn Seuk Sa Karn Chai Pha Lang Ngan Nai Rod Yon Fai Fah Prom Kor Moon Pued Ti Gum Karn Chai Rod Yon Fai Fah Klong Karn Karn Suek Sa Tek No Lo Yee Yarn Yon Fai Fah.** (In Thai) [Completely Report for Energy Consumption of Electric Vehicle, Behavior and Technology Study Project]. Retrieved April 11, 2021, from <https://bit.ly/3vUGPuX>
- Ministry of Energy. (2011). **Pan A Nu Rak Pa Lang Ngan 20 Pee (2554 – 2573 B.E.).** (In Thai) [Energy Efficiency Plan; EEP 2011]. Bangkok: n.p.
- Ministry of energy. (2017). **Ku mue Peuy Prae DEDE Rak Pha Rang Ngan.** (In Thai) [DEDE Energy Conservation House User Manual]. Retrieved November 30, 2020, from <https://bit.ly/3xXPlv3>
- Mitsubishi Electronics. (2021). **3D Move Eye Human Sensor (MSZ-LN13VF (R/B/V)).** Retrieved February 15, 2021, from <https://bit.ly/3vYQKQ9>
- Residential Energy Service Network. (2018). **Home Energy Rating System (HERS) Explained.** Retrieved January 10, 2021, from <https://bit.ly/33A4x3n>
- Sena Development. (2019). **Sena Solar House Oxy Smart Type.** Retrieved October 15, 2019, from <https://bit.ly/3hiRGeb>