

# การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์

## Energy Efficiency Metrics for Zero Energy Building

**รศ.ดร.พันธุ์ตา ภูมิไพโรจน์\***

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building, ZEB) ในเกือบทุกภูมิภาคทั่วโลก แต่การพิจารณาว่าอาคารใดเป็นอาคาร ZEB มีได้มีนิยามและเกณฑ์ที่เหมือนกันทีเดียว ซึ่งมีผลต่อการกำหนดค่ามาตรฐานที่ใช้วัดประสิทธิภาพของอาคาร การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานออกแบบอาคารสาธิตที่ใช้เกณฑ์ ZEB ของกระทรวงพลังงาน ในขั้นตอนของงานออกแบบอาคาร จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายประสิทธิภาพพลังงาน (energy target) ของอาคาร เพื่อนำมาหาปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผง PV และค่าก่อสร้างอาคาร กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดประสิทธิภาพของอาคาร ZEB ใน 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบค่าประสิทธิภาพรวมของทั้งอาคาร โดยใช้ค่า EUI และในรูปแบบค่าประสิทธิภาพรายระบบ ประกอบด้วย 1) ระบบปรับอากาศ ใช้ค่า OTTV และ RTTV 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้ค่า LPD 3) ระบบปรับอากาศ ใช้ค่า COP วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ จึงต้องการเปรียบเทียบค่า EUI ของอาคาร ZEB ระหว่างของประเทศไทยกับมาตรฐานและอาคารกรณีศึกษาในต่างประเทศ ความเป็นไปได้ในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์รายระบบ คือ ผ่านค่า OTTV, RTTV, LPD และ COP ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน

วิธีการศึกษา ใช้การค้นคว้าจากเอกสารและการจำลองพลังงานของอาคารที่มีพื้นที่ประมาณ 2,000 ตร.ม. ในกรุงเทพมหานคร ด้วยรูปทรงกล่องเรียบง่าย (simple box) คำนวณหาค่า OTTV, RTTV, ค่า EUI และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV ด้วยโปรแกรม BEC หาข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟฟ้าจากผู้จำหน่าย

ผลการศึกษา พบว่า ค่า EUI เป้าหมายของประเทศไทยค่อนข้างต่ำ หรือ กำหนดความเข้มข้นไว้ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานและกรณีศึกษาในต่างประเทศ ส่วนเกณฑ์ประสิทธิภาพในรายระบบ โดยใช้ค่า OTTV, RTTV, LPD และ COP นั้น พบว่า ค่า LPD และ COP ยังไม่สามารถผ่านเกณฑ์อาคาร ZEB ได้ในปัจจุบัน แต่ทุกค่าสามารถผ่านเกณฑ์อาคารระดับ ECON (Economic Building) ได้ ซึ่งเร็วกว่าเป้าหมายในแผนอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้ยังพบว่าการจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV ของโปรแกรม BEC มีความใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรม PVWatts อย่างไรก็ดี การจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 209-2018 จะต้องทำซ้ำหลายรอบ ตั้งแต่แบบร่างขั้นต้น จนถึงขั้นแบบก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมขั้นสูงในขั้นตอนต่อไป เพื่อให้ได้ค่า EUI ที่ต่ำ และเป็นไปได้ในการใช้อาคารจริง

**คำสำคัญ:** อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์, การจำลองค่าพลังงาน, Zero Energy Building, Energy Simulation

### บทนำ

เป็นที่ตระหนักดีว่า ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญระดับโลกในขณะนี้ มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีแหล่งปลดปล่อยใหญ่มาจากภาคพลังงาน โดยส่วนหนึ่งของการผลิตพลังงาน คือ เพื่อรองรับความต้องการของอาคาร ดังนั้น ประเทศต่างๆ ในโลกจึงเห็นว่าการสร้างอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ จะเป็นหนทางสำคัญในการแก้ปัญหาที่ควรได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วน อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building, ZEB) คือ อาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง หรือ ใช้พลังงานน้อยมาก และสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนได้เท่ากับหรือมากกว่าความต้องการใช้งาน ในปัจจุบันได้มีการสร้างอาคาร ZEB เกิดขึ้นจำนวนมากในเกือบทุกภูมิภาคทั่วโลก แม้แต่ในประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นใกล้เคียงกับประเทศไทย คือ ประเทศสิงคโปร์ ก็ได้มีการนำอาคารเดิมขนาด 4,500 ตร.ม. มาปรับปรุงให้เป็นอาคาร ZEB ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009 [1]

\* Corresponding author: Tel.: 081-4216414. E-mail address: drpantuda@gmail.com

สำหรับในประเทศไทย กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดเกณฑ์ของอาคาร ZEB และเป้าหมายเวลาไว้ในแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573) โดยแบ่งประสิทธิภาพพลังงานของอาคารเป็น 4 ระดับ คือ 1) BEC (Building Energy Code) คือ เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำในอาคาร 2) HEPS (High Energy Performance Standard) คือ เกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่สามารถบรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน 3) Econ (Economic Building) คือ เกณฑ์เป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่มีความคุ้มค่าในการลงทุน 4) ZEB (Zero Energy Building) คือ เกณฑ์เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้เคียงศูนย์ เนื่องจากมีความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมาก และยังมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน [2]

การกำหนดประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในระดับต่างๆ ข้างต้น ใช้เกณฑ์ 2 แบบ คือ เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร ซึ่งแสดงด้วยค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity, EUI) มีหน่วยวัด (metric) เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m<sup>2</sup>-y) ดังตารางที่ 1 [1] และเกณฑ์ประสิทธิภาพในรายละเอียดของผลต่อการใช้พลังงาน คือ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ซึ่งการศึกษานี้จำกัดขอบเขตเฉพาะประเภทอาคารสำนักงานเท่านั้น จึงแสดงข้อมูลอาคารเพียงประเภทเดียว โดยในแผนฯ ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า ค่า EUI เหล่านี้เกิดจากปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ ประสิทธิภาพอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ต่อมาแผนฯ ดังกล่าว ได้มีการปรับปรุงเป็นแผนอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2558-2579 แต่ได้มีการเปลี่ยนแปลงค่า EUI

การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานรายระบบ คือ 1) ระบบปรับอากาศ จะวัดจากค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) 3) ระบบปรับอากาศ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) (ดูตารางที่ 1) [3] ตัวชี้วัดเหล่านี้เหมือนกับในกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [4] ซึ่งต้องคำนวณการผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย โดยใช้โปรแกรม BEC ของกระทรวงพลังงาน

ตารางที่ 1 เป้าหมายด้านเวลาและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

| เป้าหมาย (ปี พ.ศ.)                                     | 2562   | 2567   | 2573   | 2579   |
|--------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| ระดับอาคาร                                             | BEC    | HEPS   | ECON   | ZEB    |
| การใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร (kWh/m <sup>2</sup> -y)      | 171    | 141    | 82     | 57     |
| OTTV (W/m <sup>2</sup> )                               | ≤ 50   | ≤ 40   | ≤ 30   | ≤ 20   |
| RTTV (W/m <sup>2</sup> )                               | ≤ 15   | ≤ 15   | ≤ 12   | ≤ 12   |
| ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) (W/m <sup>2</sup> ) | ≤ 14   | ≤ 10   | ≤ 6    | ≤ 2    |
| ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ (COP)                         | ≥ 3.22 | ≥ 3.64 | ≥ 4.42 | ≥ 5.45 |

วัตถุประสงค์ของการศึกษา ประกอบด้วย 1) การเปรียบเทียบเกณฑ์ค่าประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ZEB ของประเทศไทยกับมาตรฐานอื่นๆ และกรณีศึกษาของต่างประเทศ 2) การหาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์ ZEB โดยใช้เกณฑ์ค่าประสิทธิภาพพลังงานอาคารในรายระบบ 3) การเปรียบเทียบความสอดคล้องกันระหว่างค่า EUI ที่กำหนดในรูปประสิทธิภาพรวม กับค่า EUI ที่คำนวณได้จากโปรแกรม BEC เมื่อใช้เกณฑ์รายระบบ 4) การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผง PV ในเวลาหนึ่งปี จากโปรแกรม BEC และ

โปรแกรม PVWatts ของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากสมการคำนวณในโปรแกรม BEC ใช้ชั่วโมงการผลิตไฟฟ้าถึง 9 ชั่วโมงต่อวัน ในขณะที่การคำนวณโดยทั่วไปจะคิดเวลาเพียง 4-5 ชั่วโมงต่อวัน

### วิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานศึกษานี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาเพื่อออกแบบอาคารสาธิตที่เป็นอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ในช่วงการทำแบบร่างขั้นต้น ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาทบทวนจากเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การนิยามความหมายของอาคาร ZEB และขอบเขตพลังงานที่นับรวมใน EUI มาตรฐานการออกแบบอาคาร ZEB มาตรฐานการจำลองพลังงาน กลยุทธ์ที่ใช้ในการออกแบบ ข้อมูลผลิตภัณฑ์หลอดไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ วัสดุกรอบอาคาร

2. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์รายระบบ โดยระบบกรอบอาคาร ใช้การจำลองพลังงานอาคารด้วยโปรแกรม BEC สมมติให้อาคารมีขนาด 2,025 ตร.ม. (15 ม. x 45 ม.) สูง 3 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่ตามกฎหมายควบคุมอาคาร ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร แล้วทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุผนัง หน้าต่าง ขนาดสัดส่วนหน้าต่าง (Window to Wall Ratio, WWR) และปรับวัสดุหลังคาเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ( $\leq 20 \text{ W/m}^2$ ) และค่า RTTV ( $\leq 12 \text{ W/m}^2$ ) ส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้โปรแกรม Dialux ในการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ โดยใช้หลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูง ให้ความสว่าง 300 ลักซ์ ตามกฎหมายควบคุมอาคาร แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) ส่วนระบบปรับอากาศในอาคาร เลือกใช้ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมกับอาคารขนาด 2,000 ตร.ม. ซึ่งมีขนาดต้นความเย็นที่ต้องการในช่วง 50-60 ตัน โดยใช้การสำรวจค่า COP จากผู้ผลิตหลายราย และนำข้อมูลทุกระบบมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์

3. ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อหาค่า EUI เมื่อมีลักษณะรายระบบทุกค่าเท่ากับเกณฑ์ ผลการจำลองด้วยโปรแกรม BEC จะได้ค่าการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคารต่อปี และนำมาหารด้วยพื้นที่อาคารเป็นค่า EUI

4. ทำการหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV ด้วยโปรแกรม BEC โดยสมมติให้ติดตั้งบนพื้นที่ 472 ตร.ม. หรือ 70% ของพื้นที่หลังคา (675 ตร.ม.) (พื้นที่หลังคาคิดจากรูปทรงอาคารที่จะออกแบบในขั้นต้น คือ สูง 3 ชั้นๆ ละ 675 ตร.ม.) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบ 15.6% (โดยคิดจากประสิทธิภาพแผง 19% System loss 14.08% ประสิทธิภาพ Inverter 96%) ซึ่งเป็นการกำหนดตามค่า default ในโปรแกรม PVWatts ซึ่งจะนำผลวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับ สำหรับในโปรแกรม PVWatts [5] ใช้จำนวนติดตั้ง 77.8 KW (236 แผง x 330 W) (ขนาดแผง 1 ม. x 2 ม.) และใช้ค่า default คือ System loss 14.08% ประสิทธิภาพแผงระดับ Premium 19% ประสิทธิภาพ Inverter 96% หลังคากำหนดให้ทำมุม 15° ลาดเอียงไปทิศใต้เท่ากันทั้ง 2 โปรแกรม

5. สรุปผลจากการวิเคราะห์ เพื่อนำข้อมูล EUI รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ จากการค้นคว้า มาใช้ประกอบการพิจารณา กำหนดเป้าหมายพลังงาน สำหรับการออกแบบในขั้นต่อไป

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ผลจากการทบทวนเอกสาร พบว่า มีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดประสิทธิภาพพลังงาน และการออกแบบ ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อ ได้แก่

**นิยามความหมายของอาคาร ZEB** – พบว่า มิได้มีความหมายเดียวกันในแต่ละประเทศหรือองค์กร สำหรับในประเทศไทย เป็นที่เข้าใจกันว่าอาคาร ZEB คือ อาคารที่ใช้พลังงานน้อยมาก และสามารถผลิตพลังงานได้อย่างพอเพียงต่อการใช้ โดยคิดในรอบเวลา 1 ปี ซึ่งเป็นการพิจารณาพลังงานที่ผลิตในที่ตั้ง (**site energy**) โดยใช้หน่วยวัด (metric) คือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/y) อาคารสามารถเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าได้ แต่นิยามของ Department of Energy (DOE) ประเทศสหรัฐอเมริกา [6] ใช้การพิจารณาจากพลังงานที่ต้องการคิดที่แหล่งผลิต (**source energy**) โดยการใช้เปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่นำเข้า (delivered energy) และพลังงานที่ส่งออก (exported energy) ผ่านขอบเขตที่ตั้งโครงการ (site boundary) การแปลงค่าจาก site energy ให้เป็น source energy ใช้การคูณด้วย National Average Source Energy Conversion Factor ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่างๆ เช่น ไฟฟ้าที่นำเข้ามาใช้ conversion factor = 3.15 ไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนและส่งออก = 3.15 การนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ = 1.09

การนำน้ำเย็นจากระบบ district cooling มาใช้ = 1.04 เป็นต้น DOE เห็นว่าการใช้ source energy สามารถวัดผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานได้ดีกว่า site energy โดยเฉพาะถ้าอาคารนั้นมีการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงหลายประเภทจะสามารถแปลงค่าพลังงานต่างๆ มาอยู่บนฐานเดียวกันและหาเป็นผลรวมพลังงานที่ใช้ได้

**กลยุทธ์ที่ใช้ในการออกแบบ** - ต้องลดความต้องการพลังงานให้ได้มากที่สุด โดยออกแบบให้สามารถใช้การพึ่งพาธรรมชาติ (passive design) เช่น การใช้ลมธรรมชาติ การบังแดดให้ตัวอาคาร การใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาและผนัง การลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านสะพานความร้อน ได้แก่ วงกบโลหะโดยใช้วงกบที่มีวัสดุฉนวนกันกลาง (thermal break) ความร้อนที่ผ่านโครงค้ำหลังคาและส่วนยื่นของอาคาร เช่น กันสาด หรือ ระเบียง การลดการรั่วซึมของอากาศผ่านวงกบและบานกรอบ โดยใช้หน้าต่างที่ปิดได้แน่น (airtight) การนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ (daylight harvesting) การควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟเมื่อไม่จำเป็นโดยใช้เซ็นเซอร์แสง (daylight sensor) ในบริเวณใกล้เคียงหน้าต่าง การเลือกใช้หลอดไฟที่มีค่า lumen/W สูง ส่วนการออกแบบระบบปรับอากาศ จะต้องเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับโหลด และมีค่า COP สูง การออกแบบระบบระบายอากาศ อาจใช้ CO<sub>2</sub> sensor เพื่อวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่มีคนอยู่มาก โดยเมื่อ CO<sub>2</sub> สูงเกินมาตรฐาน จะส่งสัญญาณให้หน้าต่างเปิดรับอากาศเข้ามาเติมในห้อง ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เพื่อช่วยลดพลังงานในการปรับอากาศ

**ประเภทพลังงานที่ต้องคิดรวม** - DOE กำหนดให้พลังงานที่นำเข้าสู่ทุกชนิดต้องนำมานับรวมกัน ทั้งไฟฟ้า ไอน้ำ น้ำร้อน น้ำเย็น ชีวมวล ก๊าซธรรมชาติ และอื่นๆ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยต้องรวมพลังงานในการทำความร้อน ความเย็น การระบายอากาศ การทำน้ำร้อน ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งภายนอกและภายในอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ปลั๊ก และพลังงานในการผลิต (process load) พลังงานในการขนส่งในอาคาร ส่วนการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อใช้รถภายนอกอาคาร ถือเป็น การส่งออกพลังงานอย่างหนึ่ง เช่นเดียวกับการส่งออกไฟฟ้าที่ผลิตได้ จึงไม่นับรวมในค่า EUI ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของพลังงานที่ต้องนำมารวมอย่างชัดเจน

**ประเภทของพลังงานที่อาคาร ZEB ไม่อาจใช้ได้** - ในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา จะมีองค์กรที่ให้การรับรอง (certification) อาคาร ZEB เหมือนกับการรับรองอาคารเขียว คือ International Living Future Institute ซึ่งจะให้การรับรองอาคาร ZEB ที่ใช้งานจริงมีหลักฐานการใช้และการผลิตพลังงาน โดยจะไม่ให้การรับรองถ้าอาคารนั้นผลิตพลังงานโดยมีการเผาไหม้ (combustion) เพราะเห็นว่าการทำอาคาร ZEB มีได้เพื่อต้องการประหยัดพลังงาน แต่เพื่อต้องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุโลกร้อนที่เกิดจากอาคาร และต้องการผลักดันสู่เป้าหมายที่ต้องการ คือ ให้อาคารต่างๆ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์

**มาตรฐานและกฎหมายในการออกแบบอาคาร ZEB** - พบว่า องค์กร Architecture 2030 ที่มีเป้าหมายในการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เกิดจากอาคารจนถึงระดับเป็นศูนย์ (Zero-Net-Carbon, ZNC) ภายในปี ค.ศ. 2030 ได้จัดทำมาตรฐานค่า EUI ของอาคาร ZEB เรียกว่า Zero Code [7] ซึ่งสามารถใช้ได้ทั่วโลก ใช้ได้ทั้งอาคารสาธารณะและอาคารพักอาศัยที่สูงมากกว่า 3 ชั้น โดยนำเอาเกณฑ์ของ ASHRAE Standard 90.1-2016 ร่วมกับเกณฑ์ ASHRAE Standard 189.1-2017 และ 2018 International Green Construction Code (IgCC) มากำหนดในมาตรฐานนี้ และปัจจุบัน IECC (International Energy Conservation Code) มีแผนการที่จะรับเอา Zero Code มาบรรจุใน IECC ฉบับปี ค.ศ. 2021 ด้วยการใช้ Zero Code จะมีโปรแกรม Energy Calculator เพื่อใช้ประเมินหาค่า EUI ของอาคารที่สร้างในประเทศต่างๆ จากขนาดพื้นที่อาคาร พื้นที่หลังคา และประเภทอาคาร รวมทั้งประเมินไฟฟ้าที่อาคารต้องการผลิตจาก PV บนพื้นที่หลังคาที่มี และปริมาณไฟฟ้าที่ต้องนำเข้าจากภายนอกที่ตั้งถ้าผลิตได้ไม่เพียงพอ ซึ่งสังเกตได้ว่าตามมาตรฐานนี้ อาคาร ZEB สามารถนำเข้าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนภายนอกที่ตั้งได้ ซึ่งทำให้โครงการที่อยู่ในพื้นที่แออัดก็สามารถเป็นอาคาร ZEB หรือ ZNC ได้

จากการทดลองคำนวณโดยใช้โปรแกรม Energy Calculator โดยให้อาคารที่ต้องการออกแบบมีขนาด 2,025 ตร.ม. (15 ม. x 45 ม. สูง 3 ชั้น) ในกรุงเทพมหานคร พบว่า จะมีค่า EUI 96.9 kWh/m<sup>2</sup>-y ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 196.2 MWh/y ถ้าติดตั้งแผง PV บนหลังคา 472 ตร.ม. (70% ของพื้นที่หลังคา 675 ตร.ม.) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งปี 125.9 MWh/y ซึ่งต้องจัดหาไฟฟ้าจากภายนอกโครงการอีก 70.3 MWh/yr จำนวนแผงที่ติดตั้งทั้งหมดมี Rate capacity 90 kW

**คู่มือการออกแบบอาคาร ZEB** - องค์กร ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ได้ร่วมกับ AIA (The American Institute of Architects) IES (Illuminating Engineering Society), U.S. Green Building Council และ U.S. Department of Energy จัดทำคู่มือการออกแบบอาคารสำนักงาน ZEB ชื่อ **Achieving Zero Energy: Advanced Energy Design Guide for Small and Medium Office Building** เผยแพร่ในปี ค.ศ. 2019 ASHRAE ได้จำลอง ค่า EUI มาตรฐานของอาคารสำนักงาน ZEB ในเขตภูมิอากาศต่างๆ 19 เขต ตั้งแต่อากาศร้อนสุดขีด (extremely hot) จนถึงหนาวจัดอาร์คติก (arctic) พบว่า สำหรับกรุงเทพมหานครซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเทศอากาศร้อนสุดขีด (extremely hot) จะมีค่า EUI = 23.2 kBtu/ft<sup>2</sup>-y (**73.2 kWh/m<sup>2</sup>-y**) ถ้าคิดเป็นพลังงานที่ต้องการในที่ตั้งโครงการ (site energy) และ 73.1 kBtu/ft<sup>2</sup>-y (230.6 kWh/m<sup>2</sup>-y) ถ้าคิดเป็นพลังงานที่ต้องการที่แหล่งผลิต (source energy) [8]

**มาตรฐานในการจำลองพลังงานสำหรับอาคาร** - การจำลองพลังงานจัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากของการทำอาคาร ZEB ซึ่งพบมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐาน ASHRAE 209-2018 การจำลองพลังงานเพื่อช่วยในการออกแบบอาคาร ยกเว้นอาคารพักอาศัยที่ไม่ใช่อาคารสูง (ASHRAE Standard 209-2018: Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานของการจำลองพลังงานในขั้นตอนต่างๆ ของการพัฒนาอาคาร เป็น 11 รอบ (cycles) [9] โดยมี 7 รอบ สำหรับช่วงการออกแบบ 3 รอบ สำหรับช่วงการก่อสร้าง และ 1 รอบ สำหรับช่วงหลังเข้าใช้งานอาคาร การจำลอง**รอบที่ 1** คือ การใช้อาคารรูปกล่องเรียบง่าย (simple box) เพื่อหาอิทธิพลของรูปทรง ทิศทางการวางอาคาร สัดส่วนหน้าต่าง คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุรอบอาคารที่มีผลต่อภาระในการปรับอากาศ และค่า EUI และ**รอบที่ 2** คือ การจำลองพลังงานขั้นแนวคิดในการออกแบบตัวอาคาร **รอบที่ 3** เป็นการจำลองเพื่อหาทางเลือกพลังงาน โดยมีการใส่รายละเอียดของอาคารเพิ่มขึ้น เช่น การปรับความหนาแน่น การเพิ่มแผงบังแดด ปรับลดค่าพลังงานของอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น **รอบที่ 4** คือ การจำลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ **รอบที่ 5** เป็นการจำลองพลังงานที่ใส่รายละเอียดของระบบต่างๆ มากขึ้น ทั้งระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบรอบอาคาร ระบบน้ำร้อน อุปกรณ์ที่ใช้ปลั๊ก **รอบที่ 6** เพื่อหาวิธีบูรณาการ ระบบต่างๆ เข้าด้วยกันให้ได้ประโยชน์สูงสุด (optimization) **รอบที่ 7** เป็นงานที่จะทำเฉพาะในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบเงินลงทุนระหว่างทางเลือกต่างๆ ในการออกแบบ โดยใช้หลักวิศวกรรมคุณค่า (value engineering) **รอบที่ 8** เป็นการจำลองพลังงานโดยใช้ค่านำเข้า (inputs) ตามแบบก่อสร้างที่ทำเสร็จแล้ว เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานเป้าหมาย **รอบที่ 9** เป็นการจำลองเมื่อมีการปรับแก้แบบก่อสร้าง เพื่อดูผลกระทบต่อค่าพลังงาน **รอบที่ 10** เป็นการจำลองพลังงานเมื่ออาคารสร้างเสร็จแล้ว โดยใช้ข้อมูลต่างๆ ตามที่ผู้รับเหมาทำจริง **รอบที่ 11** เป็นการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลพลังงานจากแบบตามที่ได้ก่อสร้างจริง (as-built) กับค่าพลังงานที่วัดได้จริง และสภาพอากาศในช่วงที่ใช้งานอาคารในรอบ 12 เดือน เพื่อใช้พยากรณ์การใช้พลังงานที่จะเกิดในอนาคต และใช้หาแนวทางในการบริหารจัดการอาคารให้ประหยัดพลังงานยิ่งขึ้น สำหรับการศึกษาค่า EUI และการจำลองพลังงานในบทความนี้ยังอยู่ใน**รอบที่ 1**

**ความแตกต่างของค่า EUI** - จากการทบทวนเอกสารจะเห็นว่า ค่า EUI ของกระทรวงพลังงานนั้นค่อนข้างต่ำ คือ 57 kWh/m<sup>2</sup>-y เปรียบเทียบกับค่า EUI จากผลการศึกษาโดยการจำลองพลังงาน ASHARE ซึ่งประมาณ 73 kWh/m<sup>2</sup>-y ค่าจากโปรแกรม Zero Code ที่ 96.9 kWh/m<sup>2</sup>-y และจากการรวบรวมข้อมูลอาคาร ZEB โดย New Building Institute ซึ่งวัดค่า EUI จริงของอาคารสำนักงาน Hawaii Gateway Energy Center ได้ 87.4 kWh/m<sup>2</sup>-y และจากอาคารสำนักงาน NREL Research Support Facility ค่า EUI 110 kWh/m<sup>2</sup>-y แต่เป็นค่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [10]

**2. ผลจากการจำลองหาลักษณะอาคาร ZEB** พบว่า ปัจจุบันสามารถออกแบบอาคารให้ผ่านเกณฑ์ซึ่งมีค่า OTTV ≤ 20 W/m<sup>2</sup> ได้โดยอาคารต้องมีหน้าต่างไม่เกิน 20% ของพื้นที่ผนัง ใช้กระจก 2 ชั้น low-e (U<sub>f</sub> = 1.6 W/m<sup>2</sup>°C SHGC = 0.35) ส่วนผนังที่บิสามารถใช้วัสดุได้หลายแบบ เช่น ผนังอะลูมิเนียมคอมโพสิตที่ใส่นวนโฟมโพลีสไตรีน หนา 0.10 ม. ภายในโครงคร่าว (U<sub>w</sub> = 0.35 W/m<sup>2</sup>°C) ซึ่งจะได้ค่า OTTV ที่ 21.46 W/m<sup>2</sup> หรือ ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาหนาประมาณ 0.075 ม. ร่วมกับฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนาประมาณ 0.05 ม. จะได้ค่า OTTV 22.64 W/m<sup>2</sup> โดยผนังทั้ง 2 แบบ

หากติดตั้งแผงบังแดดภายนอกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) ประมาณ 0.8 ก็จะทำให้ได้ค่า OTTV  $\leq 20 \text{ W/m}^2$  ส่วนค่า RTTV นั้น สามารถใช้ฉนวนใยแก้วประสิทธิภาพสูงเบอร์ 5 ( $R \geq 1.25 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ) ร่วมกับช่องว่างอากาศในฝ้าเพดาน ขนาด 0.50 ม. และทาสีเซรามิกสะท้อนความร้อนที่ผิวภายนอกเพื่อให้ได้ค่า RTTV  $< 3 \text{ W/m}^2$  ส่วนค่า LPD ได้  $3.0 \text{ m}^2/\text{W}$  ไม่ผ่านเกณฑ์ (เกณฑ์  $\leq 2.0 \text{ W/m}^2$ ) ซึ่งจำลองโดยโปรแกรม Dialux ใช้หลอด LED ขนาด 2,500 lumen กินไฟ 16 วัตต์ หรือ  $156 \text{ lumen/W}$  (ของ Philips และ L&E) และระบบปรับอากาศแบบ VRF ที่จำหน่าย 4 ยี่ห้อ (Mitsubishi, LG, Daikin, Panasonic) มีค่า COP อยู่ในช่วง 4.81-5.30 ไม่ผ่านเกณฑ์ (เกณฑ์  $\geq 5.45$ )

**3. ผลการหาค่า EUI โดยใช้เกณฑ์ประสิทธิภาพรายระบบ** เมื่ออาคารมีค่าต่างๆ เท่ากับเกณฑ์ ZEB พอดี คือ OTTV =  $20 \text{ W/m}^2$  RTTV =  $12 \text{ W/m}^2$  LPD =  $2 \text{ W/m}^2$  และ COP = 5.45 พบว่า จะมีค่า EUI =  $19.8 \text{ kWh/m}^2\text{-y}$  เมื่อไม่รวมอุปกรณ์ไฟฟ้า และ  $46.8 \text{ kWh/m}^2\text{-y}$  เมื่อรวมอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ และต่ำกว่าค่า EUI ในแผนฯ ( $57 \text{ kWh/m}^2\text{-y}$ )

**4. ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้จาก PV** พบว่า ค่าจากโปรแกรม BEC ไม่ได้สูงกว่าโปรแกรม PVWatts แม้ว่าจะใช้ชั่วโมงการผลิตมากกว่า ทั้งนี้ เพราะใช้ค่ารังสีอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยรายปีจากชั่วโมงการใช้งาน คือ  $441 \text{ W/m}^2$  คำนวณการผลิตไฟฟ้าได้  $104,463 \text{ kWh/y}$  ส่วนโปรแกรม PVWatts ผลิตได้  $109,282 \text{ kWh/y}$

อย่างไรก็ตามจากผลข้างต้นเป็นการนำอาคารเพียงแบบเดียวมาศึกษา ซึ่งค่า EUI สามารถแตกต่างกันได้ตามขนาด รูปร่างอาคาร และทิศทางการวางอาคาร และขอบเขตของการใช้พลังงานที่นำมาคิดรวม การนำข้อมูลไปใช้ในโครงการอื่น จึงควรพิจารณาความแตกต่างของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้

### สรุปผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ค่า EUI สำหรับสำนักงานที่กำหนดในแผนอนุรักษ์พลังงานเป็นค่าที่มีความเข้มข้นสูงมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์ในต่างประเทศ เทคโนโลยีปัจจุบันสามารถออกแบบอาคาร ZEB ให้ผ่านเกณฑ์ระบบกรอบอาคารได้ แต่ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประสิทธิภาพของหลอดไฟ LED ยังไม่สามารถทำได้ถึงระดับเกณฑ์ที่กำหนด แต่หากปรับวิธีการออกแบบโดยไม่ต้องทำให้สว่างได้มาตรฐานเท่ากันทั่วทั้งห้อง แต่สว่างได้มาตรฐานเฉพาะจุดที่คนนั่งทำงานโดยการใช้โคมเสริมความสว่างที่โต๊ะก็อาจเป็นไปได้ ส่วนระบบปรับอากาศแบบ VRF ยังไม่สามารถมีค่า COP สูงถึงเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศปัจจุบันก็มีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ระดับ ZEB ซึ่งน่าจะผ่านเกณฑ์ได้ไม่ยากในอนาคตอันใกล้ แต่สำหรับประสิทธิภาพอาคารระดับ ECON ทุกระบบสามารถผ่านได้ ซึ่งเร็วกว่าเป้าหมายในแผนฯ การหาค่า EUI จากโปรแกรม BEC จะได้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมอื่นเพิ่มเติมในขั้นตอนต่อไปของการออกแบบ การจำลองประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการออกแบบอาคาร ZEB และไฟฟ้าที่ต้องผลิตจะต้องทำซ้ำหลายรอบ ตั้งแต่งานแบบร่างจนถึงขั้นออกแบบรายละเอียด และแบบก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร และงบประมาณลงทุนที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะก่อสร้างมากที่สุด

### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาและสาธิตการยกระดับเกณฑ์อาคาร ECON สู่เกณฑ์อาคาร Zero Energy Building ของกระทรวงพลังงาน

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Wittkopf, Stephen. (2015). **Tropical Net Zero**. Available from <http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/12186/15S-Zero-Energy-Building-BCA-Academy-Singapore.pdf>. Access September 2, 2019.
- [2] กระทรวงพลังงาน. (2554). **แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573)** สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2562 จาก [http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP\\_Thai.pdf](http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP_Thai.pdf)
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558). **เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมการปฏิรูปพลังงาน**. สโมสรทหารบก.

- [4] กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.
- [5] NREL. PVWatts Calculator. Available from <https://pwwatts.nrel.gov/pwwatts.php>
- [6] The National Institute of Building Science. (2015). **A Common Definition for Zero Energy Building**. Prepared for the U.S. Department of Energy. Available from <https://www.energy.gov>
- [7] Architecture 2030. **Zero Code**. Available from <https://zero-code.org>
- [8] ASHRAE. (2018). **Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Achieving Zero Energy**. Atlanta, GA.
- [9] ASHRAE. (2018). **ANSI/ASHRAE Standard 209-2018: Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, GA.
- [10] Hootman, Tom. (2013). **Net Zero Energy Design - A Guide for Commercial Architecture**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.