

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building, ZEB)

รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ทิพย์ พุฒิปิโรจน์

WELL AP / ASEAN ARCHITECT

LEED AP (BD+C, O+M, ID+C, Homes, ND)

ที่ปรึกษาด้านสถาปัตยกรรม บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building, ZEB) หรือ อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) ในที่นี้จะหมายถึง อาคารที่สามารถผลิตพลังงานที่ตัวอาคาร หรือ ในบริเวณที่ตั้งอาคารได้เท่ากับ หรือ มากกว่าพลังงานที่ใช้ในรอบหนึ่งปี กล่าวคือ ใช้ปริมาณพลังงานที่ใช้และผลิตในที่ตั้งเป็นตัวชี้วัด (site energy management) ซึ่งเป็นนิยามที่หลายองค์กรใช้ เช่น American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers (ASHARE), American Institute of Architects (AIA), U.S. Green Building Council (USGBC)

อาคาร ZEB จะผลิตพลังงานและใช้เองโดยไม่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้า (Off-grid) หรือ เชื่อมกับระบบสายส่งไฟฟ้า (On-grid) ก็ได้ ในกรณีที่มิได้เชื่อมต่อกับระบบสายส่งก็จะเก็บพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้ในเวลากลางคืน ส่วนอาคารที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่ง เมื่อผลิตไฟฟ้าได้เกินความต้องการใช้ในเวลากลางวัน ก็ขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายนอก และซื้อไฟฟ้าจากระบบมาใช้ในเวลากลางคืน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีหลังนี้ สามารถใช้ตัวเงินเป็นตัววัดความสมดุลระหว่างค่าพลังงานที่ซื้อและขาย เป็น Net Zero Energy Cost Building ซึ่งเป็นการวัดที่คนทั่วไปอาจเข้าใจได้ง่ายวิธีหนึ่ง

แต่เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเกิดสภาวะโลกร้อน กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ระดับโลก ดังนั้น การมองผลกระทบด้านพลังงาน จึงอาจใช้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง เนื่องจากการไม่ใช้ไฟฟ้าจากระบบภายนอกที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานสะอาด เป็นตัวชี้วัด เป็น Net Zero Energy Emission

อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะพิจารณาโดยใช้อะไรเป็นตัวชี้วัด หลักการออกแบบอาคารพลังงานเป็นศูนย์จะเหมือนกัน คือ

- การออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน หรือ ใช้พลังงานน้อยที่สุด
- สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้พอเพียงความต้องการใช้

1. การออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน

ในการออกแบบ ควรพิจารณาการลดการใช้พลังงานใน 3 ส่วนหลัก คือ พลังงานในการปรับอากาศ พลังงานสำหรับแสงสว่าง และพลังงานสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร

1.1 การลดพลังงานในการปรับอากาศ

ในอาคารสำนักงานที่ปรับอากาศ จะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า 50% ของทั้งหมด กับการปรับอากาศ ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญต่อการลดพลังงานในส่วนนี้มากที่สุด โดยใช้วิธีการพิจารณาเป็นลำดับคือ

1) การลดความร้อนซึ่งเป็นต้นเหตุของการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ซึ่งเกี่ยวกับการออกแบบอาคาร

การออกแบบอาคารที่ดี ควรพยายามใช้หลักการพึ่งพาธรรมชาติ (Passive Design) ในลำดับแรก เพื่อให้เกิดสภาวะสบายในอาคารให้ได้มากที่สุด และทำให้ภาระความร้อนที่ต้องใช้ระบบปรับอากาศลดลง วิธีการลดความร้อนจากการออกแบบอาคาร ประกอบด้วยวิธีการที่หลากหลาย ตั้งแต่การให้ความสำคัญกับการออกแบบผังบริเวณให้ลดความร้อน เช่น การลดพื้นที่ถนน ลานจอดรถ การลดพื้นที่ลาดชันขนาดใหญ่ เพิ่มการปลูกต้นไม้เพื่อให้ร่มเงากับพื้นดินและผนังอาคาร เป็นต้น

การออกแบบเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารให้มากที่สุด จะต้องให้ความสำคัญกับ

- การวางทิศทางอาคาร การวางอาคารให้ด้านแคบของอาคารหันไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก สามารถลดพลังงานในการปรับอากาศลงได้มาก
- การลดความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร ได้แก่ ส่วนผนัง หน้าต่างและหลังคา โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง (R-Value) สร้างร่มเงาให้แก่ผนังทึบและหน้าต่าง เช่น การทำกันสาด แผงบังแดด
- การลดพื้นที่ปรับอากาศลง ในพื้นที่บางส่วนของอาคารที่ไม่มีการใช้งานประจำ เช่น โถงบันไดทางเดิน เป็นส่วนที่อาจใช้การระบายอากาศธรรมชาติ
- การลดการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร เพราะอากาศภายนอกมีความชื้นสูง จึงมีความร้อนที่อยู่ในรูปของความร้อนแฝง เป็นภาระความร้อนจำนวนมากแก่เครื่องปรับอากาศ การรั่วซึมเหล่านี้มักเกิดตามขอบประตู หน้าต่าง รอยต่อที่ผนัง จึงควรเลือกใช้ชนิดบานประตู หน้าต่างที่สามารถปิดได้สนิทแน่น อากาศไม่รั่วซึม ใช้วัสดุฉนวนและบานกรอบที่นำความร้อนน้อย

2) การเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสม ไม่ใหญ่เกินไป ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

3) การเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เครื่องปรับอากาศแบบ inverter จะใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ fix speed และให้เกิดความสบายมากกว่า โดยสามารถพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้จากค่า SEER สำหรับเครื่องแบบ inverter และ EER สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ fix speed ค่ายิ่งสูง แสดงว่ายิ่งมีประสิทธิภาพดี

1.2 การลดพลังงานในระบบแสงสว่าง

ควรใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติให้ได้มากที่สุด เพื่อไม่ต้องเปิดไฟฟ้าแสงสว่างในเวลากลางวันเลย ทั้งนี้ต้องมีระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมด้วย ในทางกลับกันหากมีแสงสว่างมากเกินไป อาจส่งผลเสีย ทำให้เกิดแสงจ้าบดบัง จนผู้ใช้อาคารต้องปิดม่านหน้าต่างและเปิดไฟฟ้า สิ้นเปลืองพลังงาน

การลดแสงบดบัง ทำได้โดยการเลือกกระจกที่ตัดลดความสว่างโดยดูจากค่า VT (Visible Light Transmittance) ควบคู่กับค่า LSG (Light to Solar Gain Ratio) ที่มีค่ามากกว่า 1 (ซึ่งแสดงว่ายอมให้แสงส่องผ่านมากกว่าความร้อน) การใช้อุปกรณ์บังแดดภายใน เช่น มู่ลี่ที่ผู้ใช้อาคารสามารถปรับมุมการสะท้อนแสงได้ ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองในการออกแบบอาคาร การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในพื้นที่ซึ่งห่างจากหน้าต่าง สามารถทำได้โดยใช้หิ้งสะท้อนแสง (light shelf) หรือ ท่อนำแสง (light pipe) เข้าช่วย แต่ทั้งนี้ควรพิจารณาเรื่องราคาและผลประหยัดประกอบ

การใช้อุปกรณ์ควบคุมระบบเปิดปิด เช่น sensor เพื่อช่วยควบคุมการเปิดปิดไฟ เพื่อป้องกันการเปิดไฟในตำแหน่ง หรือ เวลาที่ยังไม่จำเป็น สามารถนำมาใช้เพื่อควบคุม การเปิดปิดไฟภายนอกอาคาร หรือ ไฟภายในอาคารบริเวณริมหน้าต่างได้ เช่น ไม่เปิด หรือให้หรี่ลดความสว่าง หากมีแสงสว่างพอเพียง

1.3 การลดพลังงานจากการใช้อุปกรณ์ และเครื่องใช้

เครื่องใช้ในอาคารสำนักงานจะมีส่วนในการใช้พลังงานประมาณ 20-25% ดังนั้นควรเลือกชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง กินไฟน้อย เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงาน หรือ เครื่องหมาย energy star

2. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างมีประสิทธิภาพ

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ส่วนใหญ่มักจะผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ PV (Photovoltaic) เป็นหลัก โดยอาจจะมีการใช้พลังงานอื่นเสริมด้วย เช่น พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ

สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ทิศทางการติดตั้งแผง สำหรับประเทศที่อยู่ในซีกโลกเหนือ เช่น สหรัฐอเมริกา ไทย ควรวางแผงให้ลาดเอียงไปทางทิศใต้ ส่วนประเทศในซีกโลกใต้ เช่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ควรติดตั้งแผงให้ลาดเอียงไปทางทิศเหนือ เพื่อจะได้รับรังสีอาทิตย์เป็นเวลายาวนานและมากกว่าทิศอื่นๆ

นอกจากนี้ หากติดตั้งให้แผงมีมุมลาดเอียง (วัดมุมกระทำกับแนวราบ) เท่ากับตำแหน่งละติจูดที่อาคารนั้นตั้งอยู่ ก็จะทำให้รังสีอาทิตย์ที่ตกบนแผงมีความเข้มข้นมากที่สุด เช่น ที่ตั้งอยู่ที่ละติจูด 15°N ก็ติดตั้งแผงเอียงประมาณ 15° สำหรับประเทศไทยนั้น อยู่ในตำแหน่งละติจูดประมาณ 6°N ถึง 20°N ส่วนกรุงเทพมหานคร จะอยู่ที่ประมาณ 13.5°N แต่ส่วนใหญ่ก็จะติดตั้งไปตามความลาดเอียงของหลังคา ดังนั้น หากหลังคามีมุมเอียงที่เหมาะสม เอื้อต่อการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยจะเป็นการดี แต่อย่างไรก็ตาม หากมีข้อจำกัดเรื่องทิศทางและความลาดเอียงของหลังคา ก็อาจติดตั้งที่ส่วนอื่นของอาคาร เช่น กันสาด หรือ ผนังก็ได้ เพียงแต่ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นและมีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวขึ้น

นอกจากนี้แล้วตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ควรมีเงาของต้นไม้ หรืออาคารอื่นพาดผ่าน เพราะจะมีผลต่อการทำงานของระบบ ในกรณีที่ใช้ inverter ชนิด string ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำ micro inverter มาใช้ติดที่แผง PV แต่ละอัน เพื่อแก้ปัญหาหม้อเงาที่เกิดขึ้นบนบางแผง และหากตัวใดตัวหนึ่งเสียก็เปลี่ยนเฉพาะตัวนั้น

3. ตัวอย่างอาคารพลังงานเป็นศูนย์

การออกแบบอาคาร ZEB อาจฟังเป็นเรื่องไกลตัว แต่หากพิจารณาประเทศเพื่อนบ้าน คือ ประเทศสิงคโปร์ จะพบว่า Building and Construction Authority (BCA) of Singapore ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐบาลด้านการควบคุมดูแลการก่อสร้างอาคาร คล้ายกับ กรมโยธาธิการและผังเมือง ได้นำอาคารเก่ามาปรับปรุงเป็นสำนักงานของ BCA Academy เป็นอาคาร ZEB สำเร็จตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009 เพื่อแสดงให้เห็นว่า อาคาร ZEB นั้น เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในสภาพภูมิอากาศร้อน มีเฉพาะอากาศหนาว ทั้งที่การดัดแปลงออกแบบอาคารเก่าเป็นสิ่งที่ยากกว่าการออกแบบอาคารใหม่ โดยเป็นอาคาร ZEB แห่งแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีพื้นที่อาคารประมาณ 4,400 ตร.ม. ใช้พื้นที่หลังคาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 1,300 ตร.ม. และมีสัดส่วนอื่นๆ ของอาคาร เช่น ผนัง อุปกรณ์บังแดดอีกประมาณ 200 ตร.ม.

อาคาร BCA Academy ออกแบบโดยเน้นการลดความร้อนที่ผ่านกรอบอาคาร และการใช้แสงสว่างธรรมชาติใช้หิ้งสะท้อนแสง (light shelf) เพื่อช่วยสะท้อนแสงจากหน้าต่างด้านข้างขึ้นเพดาน และสะท้อนมายังพื้นที่ทำงานที่อยู่ลึกห่างหน้าต่างได้มากขึ้น การใช้ท่อนำแสง (light pipe) นำแสงสว่างจาก

ภายนอกที่ด้านข้างอาคารเข้ามายังส่วนที่อยู่กลางอาคาร และใช้ท่อนำแสงจากหลังคาด้านบนมายังห้องชั้นล่างๆ ร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติ โดยใช้หลักการลอยตัวของอากาศร้อนที่สูงโดยธรรมชาติในการระบายความร้อน ผ่านปล่องที่หลังคา ส่วนการผลิตไฟฟ้าจาก PV นั้น ก็จะใช้หลายชนิด เพื่อวิจัยประสิทธิภาพของแผง PV แต่ละชนิด เพื่อพัฒนาความรู้ไปขยายผล ในการออกแบบอาคาร ZEB อย่างจริงจัง และได้เปิดให้หน่วยงานที่สนใจเข้าชม เพื่อเรียนรู้และเข้าใจเป้าหมายในการพัฒนาประสิทธิภาพอาคารของรัฐบาลประเทศสิงคโปร์อย่างเป็นรูปธรรม



การใช้ PV แบบ thin film amorphous
ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด



การใช้ PV glass แบบ Mono crystalline (ด้านซ้าย)
และแผงแบบ Polycrystalline (ด้านขวา)



การใช้หิ้งสะท้อนแสง (light shelf) ที่ตอนบนของหน้าต่างและฝ้าเพดานที่มันเงา
เพื่อช่วยสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านในอาคารได้มากขึ้น



การใช้ท่อนำแสงแนวนอนจากด้านข้าง
เข้าสู่พื้นที่กลางอาคาร



หลังคาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ท่อนำแสง (light pipe)
และปล่องระบายความร้อนจากในอาคาร (ส่วนสีแดง)

รูปที่ 1 อาคาร BCA Academy ประเทศสิงคโปร์

(ที่มา: <https://architizer.com/projects/zero-energy-building-at-bca-academy/>)

ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการสร้างบ้าน ZEH หรือ Zero Energy Homes มาหลายปี เช่น บ้านของ Nexus Energy Homes ซึ่งได้รับรางวัล Home Innovation ปี 2013 จาก Department of Energy (DOE) เดิม ZEH เป็นบ้านที่ราคาสูง แต่ต่อมาได้ผลิตรายได้ในราคาที่สูงกว่าบ้านทั่วไป เพียง 7-10% เท่านั้น ทำให้ขายดีกว่าบ้านทั่วไปที่สร้างในพื้นที่เดียวกัน

กลยุทธ์ในการออกแบบบ้าน ZEH ของ Nexus จะเน้นเรื่องการป้องกันการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ เป็นอาคารที่มีลักษณะปิดแน่นกันอากาศรั่ว (air tight) เพราะอากาศหนาวแต่มีการออกแบบให้มีระบบระบายอากาศแบบสมดุล (balance system) โดยใช้ Energy Recovery Ventilation (ERV) มีฉนวนหนาป้องกันการสูญเสียความร้อน ทั้งที่ผนัง หลังคา พื้น เน้นการวางทิศทางอาคารให้ได้รับแสงแดดทางทิศใต้ บ้านทุกหลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการทำความร้อนและความเย็นให้อาคารโดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนและความเย็นจากดิน (geothermal heating and cooling) และมีการติดตั้งระบบ energy management system เพื่อให้เจ้าของบ้านสามารถเห็นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้และที่กำลังใช้อยู่แบบ real time เพื่อช่วยให้เจ้าของบ้านเกิดความใส่ใจในการควบคุมการเปิดปิดไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ต่างๆ เพราะพฤติกรรมการใช้งานของผู้อาศัยก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้แต่ละบ้านมีผลการประหยัดพลังงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2 ลักษณะบ้าน Net Zero Energy Homes ที่สร้างขายของ Nexus Energy Homes

(ที่มา: <http://www.probuilder.com/path-zero-tips-building-net-zero-energy-homes>)

ในประเทศไทยก็มีในตัวอย่างของอาคาร ZEB คือ อาคารสำนักงานกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งใช้อาคารเดิมนำมาปรับปรุงมีพื้นที่ประมาณ 315 ตร.ม. สร้างเสร็จปี 2557



รูปที่ 3 อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น

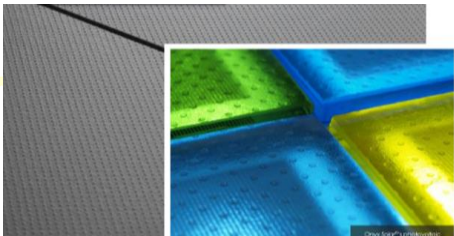
(ที่มา: http://www.iie.or.th/iie2016/energy_detail.php?news_id=1133)



รูปที่ 4 การใช้ Solar air ของอาคารกองสื่อสารองค์กร ให้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยสร้างแรงดันน้ำยาในระบบต่อเนื่องจากคอมเพรสเซอร์ ทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลง
(ที่มา: http://www.priv.nrct.go.th/ebook_print.php?ebook_id=B0018)

4. การพัฒนา PV สำหรับการออกแบบสถาปัตยกรรม

ปัจจุบันได้มีการพัฒนา PV ให้สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาคารได้อย่างกลมกลืน สวยงาม ไม่แตกต่างจากวัสดุอื่นๆ เช่น ใช้ PV glass เป็นผนังกระจกด้านนอกอาคาร สามารถใช้เป็น skylight ที่มีความทึบแสงได้ตามต้องการ สามารถสั่งตัดเป็นรูปร่างต่างๆ เพื่อประกอบเป็นหลังคา แม้แต่ใช้เป็นพื้นภายนอกอาคาร ด้วยความก้าวหน้าของ PV อย่างรวดเร็ว จะยิ่งทำให้การออกแบบอาคาร ZEB ไม่มีข้อจำกัดเรื่องรูปลักษณ์ สามารถทำให้สวยงามได้ไม่แตกต่างจากอาคารทั่วไป

 ผนังด้านนอกอาคารที่เป็นกระจก PV อาคารสำนักงานใหญ่ของ Canary Islands Higher Education Institution ที่ Canary archipelago	 หลังคา PV รูปหกเหลี่ยมซึ่งผลิตตามสั่ง อาคาร Science Pyramid ใน Denver Botanic Garden
 Skylight ที่เป็น PV glass บนกระจกฉนวน ซึ่งลดการถ่ายเทความร้อนและผลิตไฟฟ้า	 พื้นทางเดินกระจก PV

รูปที่ 5 ตัวอย่างการพัฒนา PV ของต่างประเทศ

(ที่มา: <https://www.onyx solar.com/projects>)

5. บทส่งท้าย

อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) สามารถสร้างได้ในภูมิภาคที่หลากหลาย รวมทั้งอาคารร้อนชื้นแบบประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน อาคารขนาดใหญ่ก็สามารถเป็นอาคาร ZEB ได้ ถ้ามีการออกแบบให้ประหยัดพลังงานอย่างเหมาะสมและใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าปัจจุบันจะมีราคาสูงกว่าอาคารทั่วไป แต่ในอนาคตราคาแผง PV มีแนวโน้มต่ำลงพร้อมกับประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เช่นเดียวกับอุปกรณ์ประหยัดพลังงานอื่นๆ ทั้งหลอดไฟ ระบบปรับอากาศ และแนวโน้มค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้น ตลอดจนเทคโนโลยีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความสวยงามกลมกลืนกับวัสดุอาคาร สิ่งเหล่านี้จะเป็นปัจจัยที่ทำให้อาคาร ZEB ได้รับความสนใจในการออกแบบเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนที่ทำให้ผู้ออกแบบ ต้องพิจารณามากขึ้นกว่าเดิม การวิเคราะห์ในหลายเรื่องจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งต้องให้ความสำคัญกับการตรวจสอบติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้ถูกต้อง จึงจะมีประสิทธิภาพพลังงานตามที่คาดหวัง รวมถึงการให้ความรู้แก่ผู้ใช้อาคารในการติดตามผลการผลิตและการใช้พลังงาน เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายด้านประสิทธิภาพพลังงานได้

เอกสารอ้างอิง

- การถ่ายทอดความรู้อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. Available from http://www.thai-explore.net/search_detail/result/494, 8 กันยายน 2559.
- ASHRAE. **ASHRAE Vision 2020 Producing Net Zero Energy Buildings**. January 2008.
- Casey Coates Dansen. **DP architects constructs zero energy building at BCA academy**. Written March 22, 2015. Available from <http://www.globalpossibilities.org/dp-architects-constructs-zero-energy-building-at-bca-academy/>. Accessed September 10, 2016
- ONYX Solar – Photovoltaic (PV) Glass. Available from http://onyxsolardownloads.com/docs/ALL-YOU-NEED/COURSES/AIA_PV_GLASS_EN.pdf Accessed September 12, 2016.
- Path to Zero: Tips for Building Net-Zero Energy Homes**. Available from <http://www.probuilder.com/path-zero-tips-building-net-zero-energy-homes>. Accessed September 9, 2016.
- Singapore's Zero Energy Building Retrofit**. Available from http://www.solaripedia.com/13/388/5451/singapore_zero_energy_building_facade.html. Accessed September 8, 2016.