



การศึกษาศักยภาพการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและ
เชื่อมต่อสายส่งสำหรับมหาวิทยาลัยในประเทศไทย

Study of Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System and Its
Installation Potential for Universities in Thailand

ณัชชิสร์ ศรีสุขพรชัย*

Natchais Srisukpornchai

วัชรระ วงศ์ปัญญาญญ**

Watchara Wongpanyo

บุญวัฒน์ วิจารย์พล**

Bunyawat Vichanpol

วัฒนพงษ์ รักชีวีเชียร***

Wattanapong Rakwichien

Received : September 18, 2019

Revised : February 3, 2020

Accepted : February 23, 2020

บทคัดย่อ

บทความทางวิชาการฉบับนี้ได้นำเสนอเหตุผลและความจำเป็นที่มหาวิทยาลัยต่างๆ ภายในประเทศไทย ควรติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อสายส่ง หรือ Solar Rooftop ทั้งผลความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย ผลความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมที่จะช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลความคุ้มค่าเชิงสังคมในการเป็นศูนย์เรียนรู้เพื่อก่อให้เกิดความตระหนักแก่บุคคลทุกภาคส่วนต่อวิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานทดแทน รวมถึงเพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานรองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่และการพัฒนาเมืองอัจฉริยะต่อไป

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา / มหาวิทยาลัย / สภาวะโลกร้อน / การอนุรักษ์พลังงาน / ศูนย์การเรียนรู้

*นักศึกษาลัทธิสุตรปรัชญาดุสิตบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีสมาร์ตกริด คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Doctor of Philosophy Program in Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and Environment, University of Phayao

**อาจารย์ประจำสาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Lecturer in Renewable Energy, School of Energy and Environment, University of Phayao

***อาจารย์ประจำวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

Lecturer at School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University

ABSTRACT

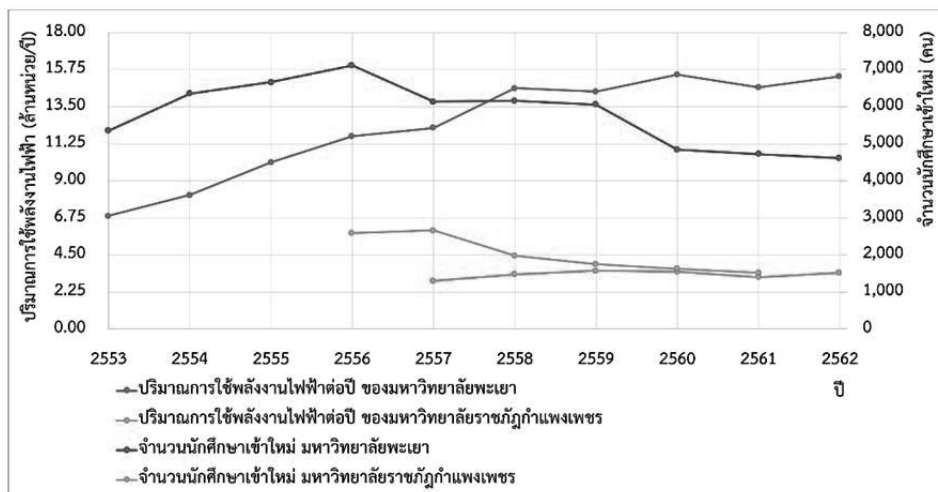
This academic article present reasons and necessities of why Thailand's universities should install and use grid-connected solar PV rooftop. The results demonstrated economic results in reducing electricity expenses, environmental results for reducing greenhouse gas emissions, and social results as being a learning center to raise awareness of energy and environmental crisis. Finally, installing solar PV rooftop could be the infrastructure to support modern technologies and the development of smart cities.

Keywords : Solar PV rooftop / University / Global Warming / Energy Conservation / Learning Center

บทนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ตามข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟน.) พบว่าหน่วยซื้อไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.91, 5.13, 1.80 และ 1.31 ในปี พ.ศ. 2558, 2559, 2560 และ 2561 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561) กอปรกับค่าไฟฟ้าฐานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 3.2045 บาทต่อหน่วย ในปี พ.ศ. 2555 เป็น 3.7556 บาทต่อหน่วย ในปี พ.ศ. 2558 (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2560) ทำให้ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และประชาชน ต้องเร่งหาแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากส่วนกลาง เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและลดการนำเข้าเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าของประเทศ

สำหรับมหาวิทยาลัยภายในประเทศไทย แม้จำนวนนักศึกษาเข้าใหม่กำลังลดน้อยลงตามอัตราการเกิดใหม่ของประชากรที่ลดลง (สำนักงานสภาพัฒนาการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สทวท.), 2562) แต่พบว่ามหาวิทยาลัยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี (แสดงดังภาพที่ 1) เนื่องจากการก่อสร้างอาคารเรียนเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับและใช้งานอุปกรณ์สนับสนุนการเรียนการสอนที่หลากหลาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยีเครือข่าย และคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ที่ใช้ในการสนับสนุนระบบออนไลน์ต่างๆ ของมหาวิทยาลัย การเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ต คลังข้อมูล ฯลฯ ซึ่งกำลังสวนทางกับเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยที่ลดลงตามจำนวนนักศึกษา รวมถึงการปรับเปลี่ยนสภาพสังคมไปสู่การใช้งานยานพาหนะไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยจะต้องพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับความต้องการและสนับสนุนการใช้งานยานพาหนะไฟฟ้าที่จะส่งผลให้มหาวิทยาลัยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นในอนาคต ดังนั้น มหาวิทยาลัยจะต้องลดความต้องการไฟฟ้าโดยใช้มาตรการประหยัดพลังงาน (Energy efficiency) หรือติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแบบใช้เองภายในมหาวิทยาลัย (Self-consumption) โดยหนึ่งในเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการติดตั้งบนอาคารและใช้งานร่วมกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ คือระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อสายส่ง (ระบบฯ) หรือ Solar Rooftop ที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวันซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาทำการของมหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเปรียบเทียบกับจำนวนนักศึกษาเข้าใหม่
หมายเหตุ : ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ.2562 เป็นค่าประมาณการจากข้อมูล 7 เดือนแรกของปี
ที่มา: สำนักงานส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
 และศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

สถานการณ์พลังงานโลก

การเติบโตด้านการผลิตพลังงานทั่วโลกเพิ่มขึ้นคงที่เฉลี่ยปีละ 1.2% (BP p.l.c., 2019) อันเนื่องมาจากจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น และเป็นค่าการเติบโตอีก 20 ปี จนถึงปี พ.ศ. 2583 ทำให้ทั่วโลกต้องผลิตพลังงานมากขึ้นและต้องเป็นพลังงานที่มีคาร์บอนลดลง สำหรับประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นต้นเพิ่มขึ้น 0.8% ในปี พ.ศ. 2561 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2560 โดยเป็นการใช้น้ำมันในภาคการขนส่งและคมนาคมเพิ่มขึ้น 1.8% การใช้ถ่านหินเพิ่มขึ้น 3.5% การใช้ LPG โพรเพนและบิวเทนเพิ่มขึ้น 4.9% และการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 17.6% (กระทรวงพลังงาน, 2561) สำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2562 มีการคาดการณ์ว่าความต้องการพลังงานขั้นต้นจะเพิ่มขึ้น 2.4% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2561 ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าหรือผลิตพลังงานเพิ่มขึ้น

ความเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 10% ในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2583) (BP p.l.c., 2019) ตามการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปรากฏการณ์สภาวะโลกร้อนยังคงดำเนินต่อไปและมีความรุนแรงยิ่งขึ้น ได้แก่

1. อุณหภูมิภาคพื้นสมุทรและแผ่นดินเพิ่มขึ้น -จากปรากฏการณ์สภาวะโลกร้อนทำให้ในปี พ.ศ. 2562 อุณหภูมิโลกเฉลี่ยรวมทั้งภาคพื้นแผ่นดินและสมุทรโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น +0.97 องศาเซลเซียส (NASA, 2019) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก 100 ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2444-2543

2. ภัยธรรมชาติเกิดถี่และรุนแรงขึ้น -จากปรากฏการณ์สภาวะโลกร้อนที่ได้ทำให้ภาคพื้นสมุทรมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้พายุมีโอกาสมากขึ้น และลมพายุรุนแรงขึ้น (Union of Concerned Scientists, 2019) ซึ่งเป็นไปตามข้อมูลจำนวนพายุโซนร้อนและเฮอริเคนที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแอตแลนติกในแต่ละปี พบว่าแนวโน้มอัตราการเกิดพายุในแต่ละปีเพิ่มขึ้นจากแนวโน้มเฉลี่ยปีละ 16 ลูก ในปี พ.ศ. 2463 เป็นแนวโน้มเฉลี่ย

ลักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

ปีละ 29 ลูก ในปี พ.ศ. 2561 (Christopher, et al., 2003) (Chris, 2017) (NOAA, 2019) (Blake, et al., 2009)

บทบาทของมหาวิทยาลัยต่อวิกฤตที่เกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยมีบทบาทเป็นอย่างมากในการประชาสัมพันธ์เผยแพร่ประเด็นปัญหา/องค์ความรู้ สร้างความตระหนัก เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ ฝึกอบรม ทั้งแก่ประชาชนภายในประเทศและประชาชนโลก ทั้งด้านวิกฤตพลังงานและวิกฤตสภาพแวดล้อมที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ ได้ดังนี้

1. เป็นพื้นที่ส่งเสริมการเรียนรู้ด้านพลังงาน -มหาวิทยาลัยมีพื้นที่และเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเรียนรู้ด้านพลังงาน ทั้งการสนับสนุนให้เกิดความตระหนักในหมู่นักศึกษาเป็นจุดเริ่มต้นโดยการใช้รูปแบบวิชาบังคับ และการบริหารจัดการฝึกอบรมแก่เจ้าหน้าที่รัฐ หรือพนักงานเอกชน หรือประชาชนที่ให้ความสนใจได้

2. ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน -มหาวิทยาลัยสามารถเป็นต้นแบบและนำเสนอข้อมูลด้านการอนุรักษ์พลังงานให้แก่ประชาชน โดยการประยุกต์ใช้รูปแบบการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ จริงภายในมหาวิทยาลัย ดังเช่น ระบบการบริหารจัดการพลังงาน การติดฟิล์มกระจก การทาสีกันความร้อน การติดฉนวนกันความร้อน การใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดประหยัดพลังงาน การใช้งานเครื่องจักรพิเศษต่างๆ เป็นต้น และนำเสนอผลเปรียบเทียบก่อน/หลังใช้ การลงทุน การคืนทุน และผลที่ได้รับ ให้ประชาชนได้รับทราบ รวมถึงการเป็นที่ปรึกษาแก่ผู้ให้ความสนใจ

3. ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน -มหาวิทยาลัยสามารถเป็นต้นแบบและนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานทดแทนให้แก่ประชาชน โดยการประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนภายในมหาวิทยาลัย ดังเช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตความร้อน/ความเย็นจากพลังงานทดแทน เป็นต้น และนำเสนอผลเปรียบเทียบก่อน/หลังใช้ การลงทุน การคืนทุน และผลที่ได้รับ ให้ประชาชนได้รับทราบ จัดพหขมงานและสถานที่ จัดฝึกอบรม รวมถึงการเป็นที่ปรึกษาแก่ผู้ให้ความสนใจ



ภาพที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการพาผู้สนใจเข้าชมระบบฯ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย

4. ส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV car) -มหาวิทยาลัยสามารถส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยเริ่มจากบุคลากรและนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย และขยายผลออกสู่ชุมชนรอบข้างและระดับประเทศได้ โดยการริเริ่มติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย โดยเน้นไปที่การใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

ดังตัวอย่างของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่มีการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าภายในอาคารจอดรถ (เชียงใหม่นิวส์, 2561) ซึ่งเป็นการสร้างความตระหนัก สนับสนุน ส่งเสริมให้บุคลากรและนักศึกษาหันมาใช้ยานพาหนะไฟฟ้า และมหาวิทยาลัยยังสามารถหารายได้จากการเก็บค่าบริการจากการใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ มหาวิทยาลัยสามารถส่งเสริมการใช้ระบบคมนาคมขนส่ง โดยเป็นต้นแบบในการใช้รถบัสไฟฟ้าหรือรถรับส่งไฟฟ้า ดังตัวอย่างของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ณัฐกาญจน์, 2560) (campus-star.com, 2562) ที่จะช่วยประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดมลภาวะทางอากาศและทางเสียง

5. ต้นแบบเมืองสีเขียว (Green city) ในรูปแบบมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green campus) -จากการจัดอันดับสถาบันการศึกษาสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมระดับโลก (UI Green Metric World University Ranking) ประจำปี พ.ศ.2561 ได้มีมหาวิทยาลัยของไทยติด 100 อันดับแรก คือ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (UI GreenMetric, 2018) โดยมีหลักเกณฑ์และตัวชี้วัดรวม 6 ด้าน ที่สามารถนำมาปรับใช้กับการพัฒนาเมืองสีเขียวได้ ดังนี้

5.1 ที่ตั้งและโครงสร้างพื้นฐาน (Setting & Infrastructure) -มีนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมสีเขียว ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวและรวมถึงการพัฒนาด้านพลังงานที่ยั่งยืน

5.2 การจัดการพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Energy and Climate Change) -สนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและให้ความสนใจต่อธรรมชาติและแหล่งพลังงาน ดำเนินการการปรับเปลี่ยนเครื่องมือเครื่องใช้เป็นแบบประหยัดพลังงาน มีการประยุกต์ใช้ระบบอาคารอัจฉริยะ การใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน การประยุกต์ใช้หลักอาคารสีเขียว และมีโครงการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

5.3 การจัดการของเสีย (Waste management) -มีการรีไซเคิลขยะ ลดการใช้กระดาษและพลาสติก การบำบัดขยะอินทรีย์และอนินทรีย์ จัดการขยะมีพิษ และจัดการน้ำเสีย เป็นต้น

5.4 การจัดการน้ำ (Water usage) -มีเป้าหมายเพื่อลดการใช้น้ำ อนุรักษ์น้ำ ปกป้องแหล่งน้ำ รีไซเคิลน้ำ และมีการใช้เครื่องมือเครื่องใช้ที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ดีขึ้น

5.5 การคมนาคมขนส่ง (Transportation) -ลดการปลดปล่อยคาร์บอนและมลพิษ มีนโยบายลดปริมาณการใช้น้ำมันและส่งเสริมการใช้รถบัสและจักรยาน ที่จะช่วยส่งเสริมให้เกิดสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อสุขภาพ ได้แก่ มีบริการรถรับส่ง มีนโยบายใช้งานยานพาหนะที่มีการปลดปล่อยเป็นศูนย์ (Zero Emission Vehicles) จำกัดหรือลดจำนวนที่จอดรถ และมีนโยบายเส้นทางคนเดิน

5.6 การศึกษาและวิจัย (Education and Research) -มหาวิทยาลัยควรหลักสูตรหรือวิชาบังคับ/เลือกด้านความยั่งยืน สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อความยั่งยืน เผยแพร่สิ่งพิมพ์ทางวิชาการและจัดกิจกรรมทางวิชาการเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

ทั้งนี้ การพัฒนามหาวิทยาลัยตามหลักเกณฑ์มหาวิทยาลัยสีเขียวดังกล่าว สามารถเป็นต้นแบบให้แก่โครงการพัฒนาเมืองสีเขียวได้ ดังตัวอย่างของมหาวิทยาลัยศิลปากร (มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562) ที่มีการเพิ่มพื้นที่สีเขียว ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอนุรักษ์พลังงาน ติดตั้งเตาเผาขยะไร้มลพิษ จัดทำฐานข้อมูลการใช้น้ำ และเพิ่มเส้นทางรถบัสไฟฟ้า

6. ต้นแบบเมืองอัจฉริยะ (Smart city) ในรูปแบบมหาวิทยาลัยอัจฉริยะ (Smart campus) -ด้วยประเทศไทยมีเป้าหมายการพัฒนาเมืองอัจฉริยะของประเทศไทยที่จะครอบคลุมทั้ง 76 จังหวัด และกรุงเทพมหานคร ภายในปี พ.ศ. 2565 นี้ จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่มหาวิทยาลัยจะต้องพัฒนาตนเองเป็นต้นแบบหรือเมืองนำร่องการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ เนื่องจากมหาวิทยาลัยเปรียบเสมือนกับเมืองขนาดย่อมอยู่แล้ว ที่มีทั้งที่พัก

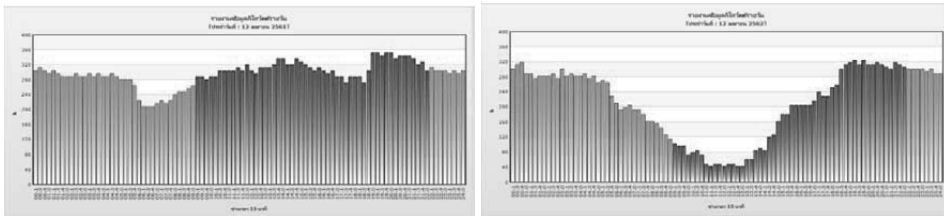
ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

อาศัย ออฟฟิส ร้านค้า สนามกีฬา และพื้นที่ใช้ชีวิตต่างๆ จึงสามารถใช้เป็นพื้นที่ทดลองและทดสอบระบบเมืองอัจฉริยะก่อนพัฒนาสู่ระดับจังหวัดได้ ดังตัวอย่าง มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่เป็นพื้นที่ทดสอบระบบขนส่งมวลชนอัจฉริยะ (Smart transportation) เสาอัจฉริยะ (Smart pole) และสัญญาณเครือข่าย 5G ที่กำลังนำไปสู่การพัฒนาเมืองของจังหวัดขอนแก่นในด้านต่างๆ มากมาย

ความสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อมหาวิทยาลัย

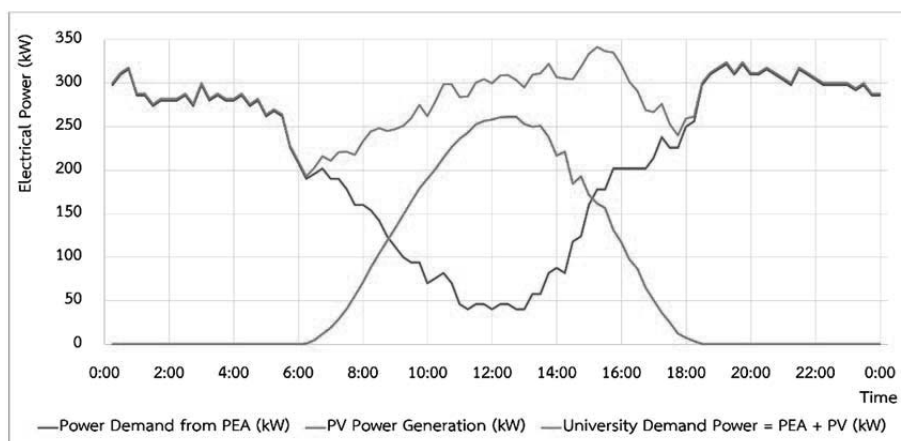
การติดตั้งระบบฯ ภายในมหาวิทยาลัย ไม่เพียงแต่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าให้แก่มหาวิทยาลัย แต่ยังส่งผลต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1. ผลได้ทางเศรษฐศาสตร์ -การติดตั้งระบบฯ ภายในมหาวิทยาลัย สามารถก่อให้เกิดผลประโยชน์ค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้าได้ ทั้งการลดค่าใช้จ่ายจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตใช้เองจากระบบฯ และลดค่าใช้จ่ายจากการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) ลง ดังเช่นตัวอย่างการติดตั้งและใช้งานระบบฯ จริง ขนาด 500 กิโลวัตต์ติดตั้ง ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่ทางภาคเหนือของไทย ที่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของ กฟภ. ได้เฉลี่ยเดือนละ 57,905 หน่วย คิดเป็นผลประโยชน์ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าถึงปีละ 2,987,900 บาท (เมื่อคำนวณด้วยค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.3 บาท) ด้วยงบประมาณในการติดตั้งระบบฯ 30 ล้านบาท (60 บาทต่อวัตต์) จะสามารถคืนทุนได้ใน 10 ปี แต่หากติดตั้งระบบฯ ดังกล่าวด้วยงบประมาณ 22.5 ล้านบาท (45 บาทต่อวัตต์) ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนติดตั้งระบบฯ ในปัจจุบัน จะสามารถคืนทุนได้ในเวลาเพียง 7.5 ปี



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบความต้องการกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) จากระบบจำหน่ายของ กฟภ. ก่อน-หลัง ติดตั้งระบบฯ ขนาด 500 กิโลวัตต์ติดตั้ง ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งทางภาคเหนือของประเทศไทย (ซ้าย) ก่อนติดตั้งระบบฯ พ.ศ. 2561 (ขวา) หลังติดตั้งและใช้งานระบบฯ วันที่เดียวกันในปี พ.ศ. 2562

2. เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม -การใช้งานระบบฯ ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) ตลอดอายุการใช้งานในช่วง 15.8 จนถึง 34.8 กรัมเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบฯ 1 หน่วย (g CO₂-eq/kWh) (Wild-Scholten, 2019) โดยขึ้นอยู่กับชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผงฯ) ที่เลือกใช้กับระบบฯ ดังเช่น หากเลือกใช้แผงฯ ชนิดซิลิกอนผลึกผสม (Monocrystalline silicon) กับระบบฯ จะเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 27.2 g CO₂-eq/kWh ในขณะที่คาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Emission factor) สำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยรวมในประเทศไทยเท่ากับ 561 g CO₂/kWh (ไพรัช, 2557) แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบฯ ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 4.9% ของระบบผลิตไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ ทำให้การติดตั้งและใช้งานระบบฯ สามารถลดอัตราการเกิดสภาวะโลกร้อนได้อย่างยอดเยี่ยม



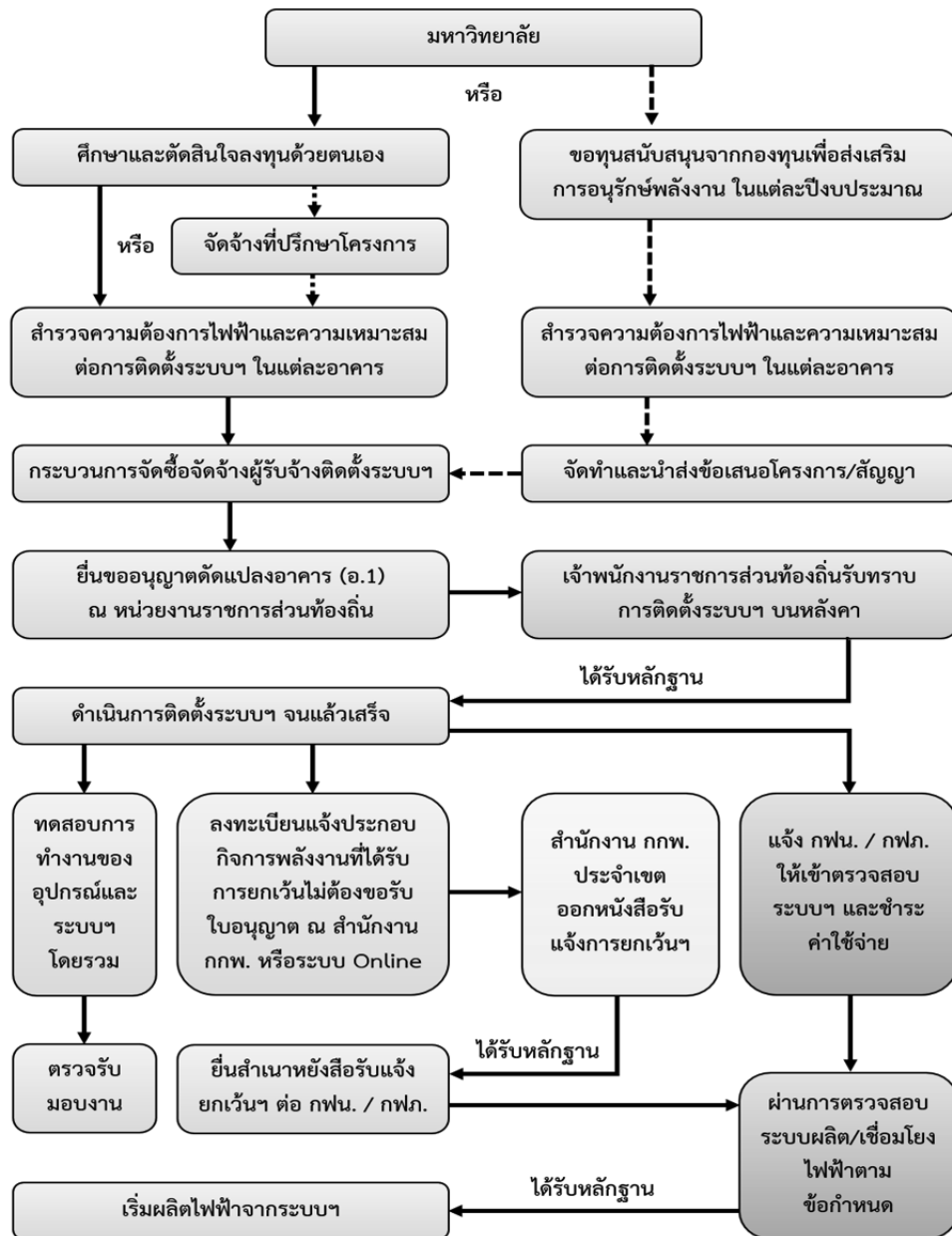
ภาพที่ 4 เปรียบเทียบความต้องการกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) จากระบบจำหน่ายของ กฟภ. / กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบฯ ขนาด 500 กิโลวัตต์ติดตั้ง ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งทางภาคเหนือของประเทศไทย (จากข้อมูลภาพที่ 3 รูปขวา ร่วมกับข้อมูลกำลังผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์)

3. สร้างความตระหนักถึงการใช้พลังงานทดแทนและเป็นแหล่งเรียนรู้สำหรับบุคลากร นักศึกษา และประชาชน – การติดตั้งและใช้งานระบบฯ ภายในมหาวิทยาลัย สามารถสร้างความตระหนักถึงการใช้พลังงานให้แก่บุคลากรและนักศึกษภายในมหาวิทยาลัยได้เป็นอย่างดี ทั้งในช่วงขณะดำเนินการติดตั้งระบบฯ ที่สามารถให้นักศึกษาที่มีความสนใจเข้าเรียนรู้และศึกษาขั้นตอนการติดตั้งนำไปสู่การสร้างอาชีพใหม่ให้แก่นักศึกษา และเมื่อเริ่มใช้งานระบบฯ มหาวิทยาลัยก็สามารถใช้เป็นแหล่งหรือสื่อประชาสัมพันธ์ให้บุคลากรและนักศึกษา รวมถึงชุมชนรอบมหาวิทยาลัย ให้ตระหนักถึงการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานทดแทน/หมุนเวียน และการลดปัญหาสภาวะโลกร้อน และสุดท้ายสามารถใช้เป็นแหล่งศึกษาดูงานให้แก่กลุ่ม/องค์กรทั้งเอกชนและภาครัฐ และประชาชนที่ให้ความสนใจ เพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี (ดังตัวอย่างภาพที่ 2)

4. ส่งเสริมการใช้งานเครื่องจักร กิจกรรม หรือนโยบายอื่นๆ ให้เด่นขึ้น - ดังเช่น การใช้รถรับส่งภายในมหาวิทยาลัยชนิดไฟฟ้า ร่วมกับการประจูดไฟฟ้าด้วยไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ หรือนโยบายมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green campus) ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นต้น

ขั้นตอนและกระบวนการในการจัดเตรียมและเข้าสู่การติดตั้งระบบฯ ของมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยที่สนใจและต้องการติดตั้งระบบฯ สามารถดำเนินการตามขั้นตอนที่แสดงดังภาพที่ 5

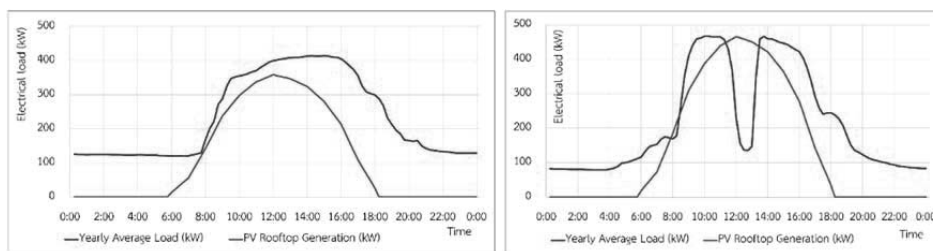


ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงขั้นตอนและกระบวนการในการจัดเตรียมการติดตั้งระบบฯ ของมหาวิทยาลัย

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาเพื่อการติดตั้งระบบฯ สำหรับมหาวิทยาลัย

1. พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า - โดยตรวจสอบจากข้อมูลของมิเตอร์ออนไลน์ของการไฟฟ้าที่รู้จักกันในชื่อ PEA AMR โดยเลือกรายงานข้อมูลเป็น กิโลวัตต์ (kW) ราย 15 นาที และหาผลเฉลี่ยที่เวลาเดียวกันด้วยข้อมูลนาน 1 ปี (Yearly average load) แล้ววิเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟกำลังไฟฟ้าที่ระบบฯ จะสามารถผลิตได้ เพื่อหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งที่เหมาะสมของการติดตั้งระบบฯ โดยไม่ให้มีไฟฟ้าผลิตเกินความต้องการ สำหรับตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 6 แสดงให้เห็นความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่เหมาะกับการติดตั้งระบบฯ ขนาด

450 กิโลวัตต์ หากแต่อาคารบางแห่งอาจมีการพักเที่ยงและใช้มาตรการปิดไฟและเครื่องใช้ไฟฟ้า ในกรณีนี้ต้องคำนวณการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ถูกใช้งาน ร่วมกับการคำนวณความคุ้มทุนเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้งระบบฯ ต่อไป นอกจากนี้ ควรพิจารณาถึงแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยว่ามากขึ้นหรือน้อยลง ดังแสดงตามภาพที่ 1 เพื่อคาดคะเนถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าและปรับขนาดกำลังการผลิตของระบบฯ ให้เหมาะสม



ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบฯ (ซ้าย) ความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารที่มีความเหมาะสมต่อการติดตั้งระบบฯ (ขวา) ความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารที่มีมาตรการประหยัดพลังงานช่วงพักเที่ยง

2. ทิศทางและความลาดเอียงของหลังคา -ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรหันหน้าแผงฯ ไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ได้ทั้งวันและสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพ หลังคาที่เหมาะสมกับการติดตั้งแผงฯ ควรหันไปทางทิศใต้และไม่ควรมีความชันเกินกว่า 60 องศา เนื่องจากการติดตั้งแผงฯ บนหลังคาที่มีความชันมากกว่า 60 องศา จะทำให้แผงฯ ได้รับความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงมากกว่า 20% (ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst) รวมถึงการสำรวจรูปแบบและความเหมาะสมของหลังคาของอาคารทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัยเพื่อประเมินพื้นที่ที่สามารถติดตั้งระบบฯ ได้ และการสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงเงาจากต้นไม้หรือเงาจากอาคารอื่นที่จะตกทอดบนแผงฯ ร่วมกับการประเมินพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ภาพตัวอย่างหลังคาของอาคารภายในมหาวิทยาลัยแสดงดังภาพที่ 7

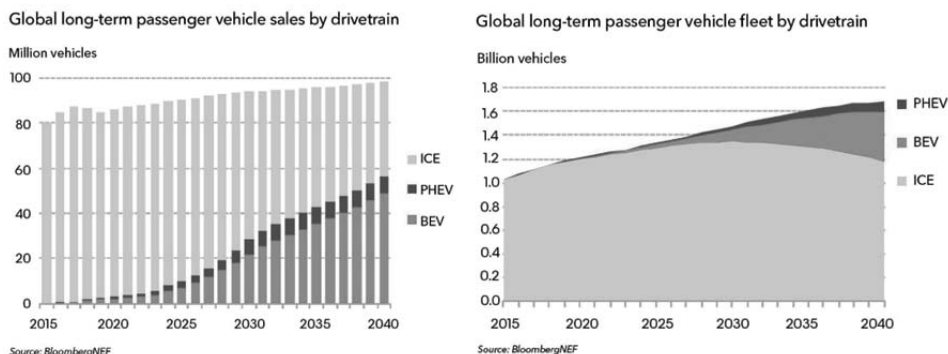


ภาพที่ 7 แสดงลักษณะหลังคาที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบฯ ของอาคารภายในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีอนาคตและความเปลี่ยนแปลงที่มหาวิทยาลัยจะต้องเตรียมรับมือ

1. รถยนต์ไฟฟ้า (EV car) -ถึงแม้ตลาดรถยนต์ภายในประเทศไทยโดยรวมในปี พ.ศ. 2562 คาดการณ์ว่าขยายตัวเพียง 1.8% หากแต่ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าอาจขยายตัวได้สูงถึง 61% ด้วยยอดขายรวม 32,000-37,000

คัน (ศูนย์วิจัยกลไกไทย, 2561) (กรุงเทพฯธุรกิจ, 2562) แสดงให้เห็นถึงการเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สังคมรถยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย สำหรับตลาดรถยนต์โลกมีการคาดการณ์ว่าในอีก 20 ปีข้างหน้า หรือในปี พ.ศ. 2583 รถยนต์ไฟฟ้าจะมีส่วนแบ่งยอดขายกว่า 50% ของรถยนต์ทั้งหมด และจะมีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกใช้งานสะสมทั่วโลกอยู่ในช่วง 150-500 ล้านคัน (Colin, 2019) โดยการเปลี่ยนแปลงจะเป็นไปอย่างช้าๆ ใน 10 ปีแรก หลังจากนั้นจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว (ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 8) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการที่มหาวิทยาลัยภายในประเทศไทยจะต้องปรับตัว พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และเห็นถึงความสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะมารองรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าให้แก่รถยนต์ไฟฟ้าที่จำนวนการใช้งานจะเพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้

2. เทคโนโลยี Blockchain -Blockchain เป็นเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยของข้อมูลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนหรือทำธุรกรรม (Transaction) ให้เกิดความโปร่งใส มีความปลอดภัยสูง จึงสามารถนำมาใช้งานด้านการแลกเปลี่ยนพลังงาน (Energy transfer) และการคิดมูลค่าพลังงานที่แลกเปลี่ยนโดยผู้ใช้งานไม่ต้องกังวลว่าจะถูกเอาเปรียบ (Caroline, et al., 2018) เนื่องจากข้อมูลที่ถูกจัดเก็บโดย Blockchain จะถูกจัดเก็บไว้ทั้งที่ผู้ซื้อ ผู้ขาย และผู้วิเคราะห์รายการ ทำให้ไม่สามารถถูกแก้ไขได้ง่าย โดยมหาวิทยาลัยสามารถใช้ Blockchain ในการจัดการด้านการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และการคิดมูลค่า ระหว่างมหาวิทยาลัยกับอาคารคณะต่างๆ หอพัก ร้านค้า ผู้ใช้งาน EV Charger และ/หรือชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัย



ภาพที่ 8 แสดง (ซ้าย) คาดการณ์ยอดขายรถยนต์ทั่วโลกตามประเภท (ขวา) คาดการณ์จำนวนรถยนต์สะสมทั่วโลกแบ่งตามชนิด (ข้อมูลจาก : Colin, 2019)

เมื่อ : ICE คือ รถยนต์ชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine)

PHEV คือ รถยนต์ไฟฟ้าชนิดผสมผสาน 2 เชื้อเพลิง (Plug-in hybrid electric vehicle)

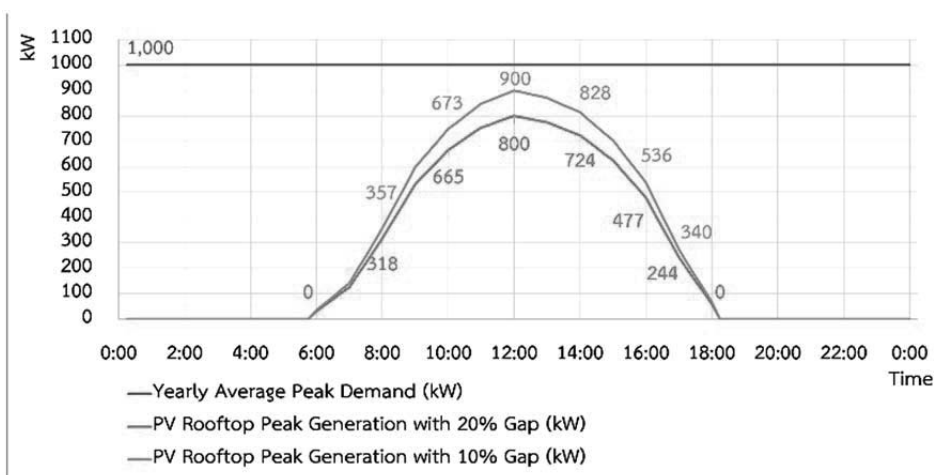
BEV คือ รถยนต์ไฟฟ้าล้วนที่ใช้แบตเตอรี่ (Battery electric vehicle)

สรุปเหตุผลสนับสนุนและศักยภาพที่มหาวิทยาลัยควรติดตั้งระบบฯ

UI GreenMetric ได้กำหนดให้ด้านพลังงานและการเปลี่ยนแปลงสถานะแวดล้อมเป็นประเด็นหลักในการให้คะแนนการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยให้คะแนนถ่วงน้ำหนักถึง 21% สูงที่สุดจากทั้ง 6 ด้าน และได้ให้คำแนะนำและจะได้รับคะแนนเต็มหากมหาวิทยาลัยมีการใช้สัดส่วนพลังงานทดแทนมากกว่า 25% ของพลังงานที่มหาวิทยาลัยใช้ทั้งหมด (University of Indonesia, 2019) ซึ่งการติดตั้งระบบฯ ด้วยกำลังการผลิตติดตั้งรวมที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเป็น 80% และ 90% ของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนคิดเป็น 25.4% และ 28.6% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด หากมีความต้องการไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งวัน (แสดงดังรูปที่ 9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลักการของ UI GreenMetric มีความ

สอดคล้องและสนับสนุนการติดตั้งระบบฯ ด้วยกำลังการผลิตติดตั้งที่ใกล้เคียงกับความต้องการไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยที่จะทำให้มหาวิทยาลัยมีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ได้ไม่ต่ำกว่า 25% ทั้งนี้ ในความเป็นจริงแล้วมหาวิทยาลัยไม่ได้มีความต้องการไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งวัน แต่ความต้องการไฟฟ้าจะลดลงในช่วงกลางคืนที่ไม่มีการเรียนการสอน (ใกล้เคียงที่แสดงในภาพที่ 6 ซ้าย) และส่งผลให้แท้จริงแล้วมหาวิทยาลัยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ได้สูงถึง 40%

ดังที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ล้วนเป็นเหตุผลสนับสนุนให้มหาวิทยาลัยทุกแห่งควรพิจารณาถึงการติดตั้งผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ที่จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่าย ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ส่งเสริมการดำเนินงานตามหลักเกณฑ์มหาวิทยาลัยสีเขียว และนำไปสู่การพัฒนาสู่เมืองอัจฉริยะและเมืองสีเขียวของประเทศไทยได้



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบฯ เมื่อติดตั้งด้วยกำลังการผลิตติดตั้งที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าความต้องการไฟฟ้า 10% และ 20%

สรุป

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อสายส่ง (ระบบฯ) หรือ Solar rooftop เป็นโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) สำคัญสำหรับมหาวิทยาลัยในประเทศไทยที่ควรพิจารณาและจัดสรรงบประมาณหรือขอทุนงบประมาณเพื่อติดตั้ง ที่นอกจากจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในระยะยาวแล้ว ยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติในการช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ส่งผลทางสังคมโดยช่วยสร้างความตระหนักต่อวิกฤตพลังงาน วิกฤตสิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงานทดแทน สามารถเป็นพื้นที่เรียนรู้และฝึกอบรมด้านพลังงาน และเป็นโครงสร้างพื้นฐานรองรับต่อเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังพัฒนาและได้รับความนิยมทั้งยานยนต์ไฟฟ้า อาคารสีเขียว เมืองอัจฉริยะ และการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างบ้านพักอาศัย ธุรกิจ และหน่วยงาน ทั้งนี้ การติดตั้งระบบฯ มีปัจจัยที่จะต้องสำรวจและพิจารณาก่อนเริ่มกระบวนการยื่นข้อเสนอหรือการจัดซื้อจัดจ้าง ดังที่ได้กล่าวทั้งสิ้นแล้ว

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2561). รายงานสถานการณ์ การจำหน่ายไฟฟ้า ประจำเดือน พฤษภาคม 2561. กรุงเทพฯ : กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- กรุงเทพมหานคร. (2562). มาแน่! ศูนย์วิจัยกสิกรไทย คาดยอดขายรถอีวีในไทย ปีนี้พุ่งแตะ 3.2 หมื่นคัน โต 61% สวนทางยอดขายรถยนต์รวม ราคาถูกลงและค่าใช้จ่ายถูกกว่า. [Online]. Available : [https:// www.bangkokbiznews.com/news/detail/ 843195](https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/843195) [2019, August 14].
- คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2560). เอกสารประชาสัมพันธ์ค่าไฟฟ้าและค่า Ft พฤษภาคม-สิงหาคม 2560. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน.
- เชียงใหม่นิวส์. (2561). มข.เปิด “สถานีชาร์จประจวบรถไฟฟ้า” จากโซลาร์เซลล์ ก้าวสู่ CMU Smart City-Clean Energy มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ พลังงานสะอาด. [Online]. Available : <https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/769211> [2019, August 14].
- อนุรักษ์พันธุ์. (2560, พฤษภาคม-มิถุนายน). มธ. เปิดตัว“Solar Bus” รถบัสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รองรับผู้โดยสารได้มากกว่า 1.8 ล้านคน. จุลสารธรรมศาสตร์[Online Serial], 50(4). Available : [http://www. pr.tu.ac.th/pr.tu/journal/month/0460.pdf](http://www.pr.tu.ac.th/pr.tu/journal/month/0460.pdf) [2019, August 14].
- พลังงาน, กระทรวง. (2562). สถานการณ์พลังงานปี 2561 และแนวโน้มปี 2562. กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- ไพรัช อุสุภรัตน์ และหาญพล พิงค์ศรี. (2557, มกราคม-มีนาคม). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 22(1), 1-12.
- วิจัยกสิกรไทย, ศูนย์. (2561). ปี 62 รถยนต์ใช้พลังงานไฟฟ้าเติบโตทะลุ 37,000 คัน ทว่าตลาดรถยนต์ในประเทศคาดหดตัวร้อยละ 2 ถึง 5. [Online]. Available : [https://www.kasikornresearch.com/ th/analysis/k-econ/business/Pages/z2945.aspx](https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-econ/business/Pages/z2945.aspx) [2019, August 14].
- ศิลปากร, มหาวิทยาลัย. (2019). UI GREEN METRIC ITEMS. [Online]. Available : <http://www.sugreen campus.su.ac.th/Th-UIGreenMetricPage.html> [2019, August 14].
- สถานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ, สำนักงาน. (2562). จำนวนนักศึกษาใหม่ ปีการศึกษา 2558-2561 จำแนกตามระดับการศึกษา และสายวิชา. กรุงเทพฯ : ศูนย์ข้อมูล วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและวัฒนธรรม สำนักงานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรมแห่งชาติ.
- Blake, E.S., et al. (2009). Tropical Cyclones of the Eastern North Pacific Basin, 1949-2006. [Online]. Available : [https://www.nhc.noaa.gov/pdf/TC_Book_Epac_ 1949-2006_hires.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/pdf/TC_Book_Epac_1949-2006_hires.pdf) [2019, August 14].
- BP, P.L.C. (2019). BP Energy Outlook : 2019 edition. Wale : BP p.l.c.
- Caroline Plaza, Julien Gil, François de Chezelles, and Karl Axel Strang. (2018). Distributed Solar Self-Consumption and Blockchain Solar Energy Exchanges on the Public Grid Within an Energy Community. [Online]. Available : [https://ieeexplore.ieee.org/ document/8494534](https://ieeexplore.ieee.org/document/8494534) [2019, August 14].
- Change and Climate Variations. (2003, February). [Online]. Available : [https://ams.confex.com /ams/pdfpapers/56249.pdf](https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/56249.pdf) [2019, August 14].

- Chris Landsea. (2017). **The total and average number of tropical storms, and those which became hurricanes, by month, for the period 1851-2018.** [Online]. Available : <https://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E17.html> [2019, August 14].
- Christopher, W.L., et al. (2003). **The Atlantic hurricane database re-analysis project : Results for the first 60 years-1851 to 1910.** Long Beach : the 14th Symposium on Global.
- Colin McKerracher. (2019). **Electric Vehicle Outlook 2019.** [Online]. Available : <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook> [2019, August 14].
- M.J.(Mariska) de Wild-Scholten. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. **Solar Energy Materials and Solar Cells, 119,** 296-305.
- NASA. (2019). **GISS Surface Temperature Analysis (updated: 12 July 2019).** [Online]. Available : https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/customize.html [2019, August 14].
- NOAA. (2019). **Hurricane Data: 2019 Hurricane Season, Updated : July 9, 2019.** [Online]. Available : https://www.aoml.noaa.gov/hrd/data_sub/hurr.html [2019, August 14].
- TuTy. (2562). **ม.เกษตร ปรับโฉมรถสวัสดิการเป็นระบบไฟฟ้า KU Go Green ลดมลภาวะ.** [Online]. Available : <https://campus.campus-star.com/variety/95218.html> [2019, August 14].
- Union of Concerned Scientists. (2019). **Hurricanes and Climate Change: Increasingly destructive hurricanes are putting a growing number of people and structures at risk.** [Online]. Available : [https:// www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/impacts/hurricanes-and-climate-change.html](https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/impacts/hurricanes-and-climate-change.html) [2019, August 14].
- University of Indonesia. (2019). **UI GreenMetric World University Overall Rankings 2018 and Criteria & Indicators.** [Online]. Available : <http://greenmetric.ui.ac.id/> [2019, August 14].
- _____. (2019). **Guideline : UI GreenMetric World University Rankings 2019.** [Online]. Available : <http://greenmetric.ui.ac.id/> [2019, August 14].