

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงาน Using Photovoltaic System on The Faculty of Architecture's Building Rooftop in Khon Kaen University for Energy Conservation

พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา*

Pornsawat Piriyasatta

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP200E บนหลังคาทางด้านทิศใต้ พบว่าสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 793.50 ตารางเมตร ผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้เท่ากับ 158,938.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือมีปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน คือ ช่วงเวลา 9:30- 14:30 น. เท่ากับ 90.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมงและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าสำหรับวันธรรมดา (วันจันทร์-ศุกร์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 4.77 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง และร้อยละ 9.22 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-อาทิตย์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 33.24 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง และร้อยละ 112.11 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง โดยได้เลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid System) ชนิดหักลบหน่วย (Net Metering) ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะหลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม โดยวางเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 16 องศากับแนวพื้นดิน ใช้โครงสร้างและอุปกรณ์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอลูมิเนียมและสแตนเลสชนิดที่สามารถติดตั้งบนวัสดุหลังคาทุกชนิด

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการจะได้ค่า NPV ติดลบ ค่า B/C Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 และค่า IRR มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 8 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน มีระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 11.76 ปี อย่างไรก็ตามหากมีการเปลี่ยนแปลงตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ เช่น

* อาจารย์ประจำ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Email: ppornsawat@kku.ac.th

เมื่อต้นทุนทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ของเงินลงทุนทั้งหมด หรือราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 บาทต่อวัตต์ หรืออัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 4 หรือสามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลา 25 ปี และมีราคาจำหน่ายพลังงานไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 6 บาทต่อหน่วย เป็นต้น ค่า NPV จะเป็นบวก ค่า B/C Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 และค่า IRR จะมีค่ามากกว่า ร้อยละ 8 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐในการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสถานศึกษา ประกอบกับการเป็นอาคารกรณีศึกษาที่ส่งเสริมภาพลักษณ์ให้กับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในด้านอาคารประหยัดพลังงาน นับว่าเป็นผลตอบแทนที่คุ้มค่าในระยะยาวทั้งต่อคณะ มหาวิทยาลัย และประเทศไทยต่อไป

ABSTRACT

This research aims to study a way to use photovoltaic system (PV system) on a building rooftop of faculty of Architecture of Khon Kaen University for energy conservation. The study of physical characteristics of the roof on the southern side to install the PV system model SP200E found that the PV system can be installed in 793.50 square meters, and produce 158,938.05 kilowatt-hours of electricity per year. In addition, the amount of PV system can produce electricity 90.70 kilowatt-hours in 5 hours per day (9:30 AM to 14:30 PM). The study to compare the amount of electricity that PV system can produce in 5 hours period and the amount of electricity consumption from the electrical devices of the faculty of Architecture of Khon Kaen University found that within weekdays (Monday – Friday), PV system can produce electricity at 4.77% of electricity consumption from the electrical devices in 24 hours; and in 5 hours, PV system can produce electricity at 9.22% of electricity consumption from the electrical devices. For weekends (Saturday – Sunday), PV system can produce electricity at 33.24% of electricity consumption from the electrical devices in 24 hours; and PV system can produce electricity at 112.11% of electricity consumption from the electrical devices in 5 hours. To produce the aforementioned electricity, the PV system was connected with on-grid system and net metering, and located on the southern side of the roof where there always had no shade from environment; and put a 16 degree angle with the horizontal line. All the structures and equipment used are made of aluminum and stainless steel which can be installed on all types of roofing materials.

The result of cost-benefit analysis of this PV system installing project showed that Net Present Value or NPV is negative: the B/C Ratio is less than one, and the IRR is less than 8. This signifies that the investment return of this project has no worthiness: the payback period is 11.76 years. However, the project will be worth investing in if changes are made based on the sensitivity analysis of the project: when the percentage of total cost changes to less than or equal to 80% out of the cost of investment, or the price of PV system changes to less than or equal to 15 baht per watt, or interest rate changes to less than or equal to 4%, or the distribution of PV system

electricity can last for 25 years and the price of electricity is more than or equal to 6 baht per unit. So thus, the NPV will be positive, the B/C Ratio will be more than 1; and the IRR will be more than 8%. Furthermore, if the project is supported by the government, the building can be a case study and a good image of the faculty of Architecture of Khon Kaen University in terms of energy conservation building. This long-term return will definitely be worthwhile for the faculty, the university; and even the country.

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้า

Keywords: Photovoltaic: PV, Net Present Value: NPV, Benefit Cost Ratio: B/C Ratio, Internal Rate of Return: IRR, Cost of Electricity: COE

บทนำ

จากวิกฤติการณ์ด้านพลังงานของโลก ทำให้ทั่วโลกเริ่มตระหนักให้ใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลือง (Nonrenewable Energy) โดยพลังงานหมุนเวียนที่ทั่วโลกนิยมใช้กันมากชนิดหนึ่งคือ พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่มีวันหมดไปรวมทั้งสามารถใช้ได้เกือบทุกพื้นที่บนโลก ในปัจจุบันการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic หรือ Solar Cell) มีปริมาณการใช้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2556 มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์รวมทั่วโลกประมาณ 139 กิกะวัตต์ (GW) (REN 21, 2014)

สำหรับประเทศไทยมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2554 มีจำนวนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 100,691.17 กิโลวัตต์ (kW) มากกว่าในปี พ.ศ. 2553 ประมาณ 2 เท่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2556 คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ได้ออกประกาศและระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2556 (ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2556) โดยได้แบ่งกลุ่มตามประเภทอาคารและขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวมในแต่ละประเภท รวมทั้งได้กระจายการรับซื้อไฟฟ้าไปยังส่วนภูมิภาคต่างๆ เพื่อร่วมรณรงค์ให้ประเทศไทยมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มากขึ้นในทุกภาคส่วน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นคณะที่มีการเรียนการสอนเกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน หากมีการปรับปรุงอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานโดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ประกอบกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อให้มีระยะเวลาในการคืนทุนที่เหมาะสม จะเป็นอาคารกรณีศึกษาที่ให้ความรู้กับนักศึกษาและบุคคลทั่วไป รวมทั้งยังเป็นการสนองตอบกับโครงการประหยัดพลังงานของมหาวิทยาลัย เพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยขอนแก่นให้เป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. เพื่อศึกษาแนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะรูปแบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. ศึกษาตามลักษณะทางกายภาพในปัจจุบันของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. ศึกษาโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก (Multicrystalline หรือ Polycrystalline) รุ่น SP200E มีขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 210 วัตต์ต่อแผง หรือเท่ากับ 300.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีต่อแผง โดยมีราคารวมค่าติดตั้งประมาณ 65 บาทต่อวัตต์และมีอายุการใช้งาน 25 ปี (Solartron, 2008)
4. ศึกษาโดยวางเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางด้านทิศใต้และทำมุม 16 องศากับแนวพื้นดิน (บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), 2555)
5. ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) และต้นทุนต่อหน่วยพลังงาน (COE)
6. ศึกษาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid System) ชนิดหักลบหน่วย (Net Metering) (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยสถาบันสถาปนิกสยาม, 2558)

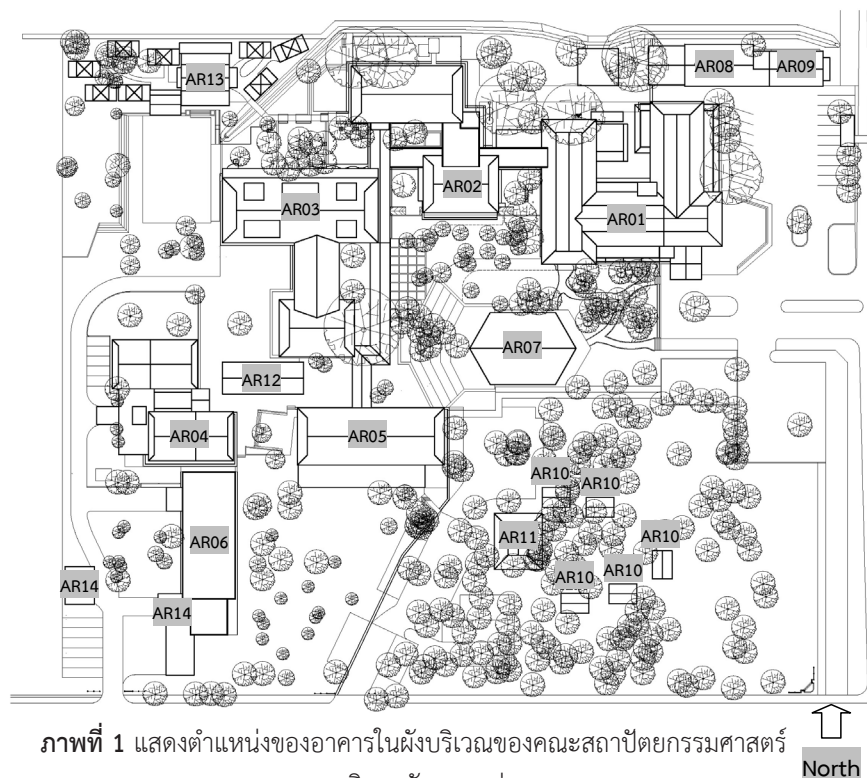
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. สืบค้นและรวบรวมข้อมูลของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อกำหนดอาคารที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยดูจากลักษณะทางกายภาพในปัจจุบันของหลังคาอาคาร เช่น ร่มเงาจากสภาพแวดล้อม ทิศทางของหลังคาอาคาร เป็นต้น
3. จำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม Google SketchUp 8 เพื่อให้ทราบพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อมในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. (Solargis, 2013) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน
4. สรุปพื้นที่และจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

5. ศึกษาแนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) และต้นทุนต่อหน่วยพลังงาน (COE)
7. วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ลักษณะทางกายภาพของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งอยู่บนพื้นที่ประมาณ 11 ไร่ ตำแหน่งละติจูดเหนือที่ 16.47 ลองจิจูดตะวันออกที่ 102.82 ในปัจจุบันมีอาคารจำนวน 14 อาคาร ได้แก่ อาคารสำนักงานคนบดี (AR01) อาคารเรียนบรรยาย (AR02) อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03) อาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04) อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR05) อาคารศูนย์วัสดุและเทคนิคการก่อสร้าง (AR06) อาคารอเนกประสงค์ (AR07) อาคารภูมิสถาปัตย์ (AR08) อาคารโรงจอดรถยนต์คณะ (AR09) อาคารลิ้มเล็ก 1 (AR10) อาคารลิ้มเล็ก 2 (AR11) อาคารปฏิบัติการพิมพ์ (AR12) อาคารโรงอาหาร (AR13) และอาคารโรงจอดรถยนต์ทั่วไป (AR14) โดยมีตำแหน่งของอาคารในผังบริเวณ ดังแสดงในภาพที่ 1



ลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

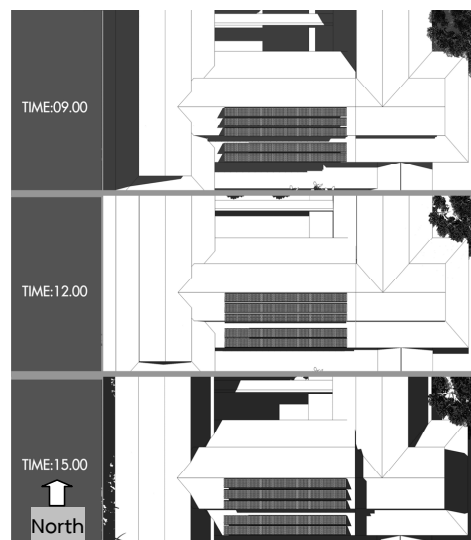
จากการสำรวจหลังคาอาคารที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม และทำการจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม Google SketchUp 8 เพื่อแสดงพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี สรุปได้ว่าอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ได้เท่ากับ 529 แผง หรือมีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 793.50 ตารางเมตร โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้

อาคาร	จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ ทางด้านทิศใต้ (แผง)	พื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ ทางด้านทิศใต้ (ตารางเมตร)
อาคารสำนักงานคนบดี (AR01)	50	75
อาคารเรียนบรรยาย (AR02)	126	189
อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03)	129	193.50
อาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04)	70	105
อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR05)	126	189
อาคารโรงจอดรถยนต์คณะ (AR09)	28	42
รวม	529	793.50

1. อาคารสำนักงานคนบดี (AR01)

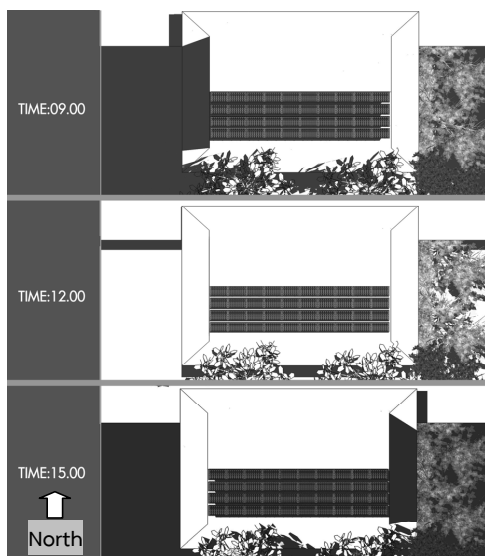
การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารสำนักงานคนบดี (AR01) จะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 50 แผง หรือประมาณ 75 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2



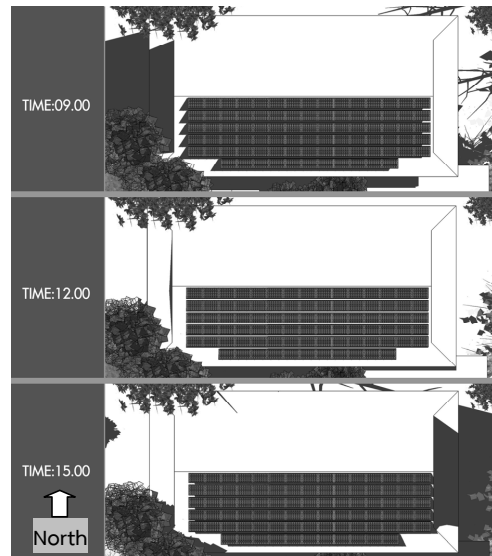
ภาพที่ 2 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารสำนักงานคนบดี (AR01)

2. อาคารเรียนบรรยาย (AR02)

การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารเรียนบรรยาย (AR02) ส่วนหน้าและส่วนหลังจะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 126 แผง หรือประมาณ 189 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4



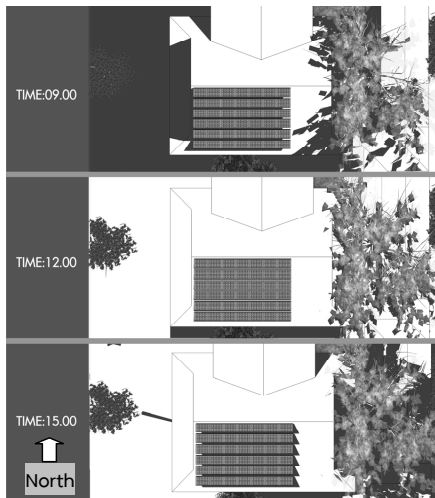
ภาพที่ 3 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารเรียนบรรยาย (AR02) ส่วนหน้า



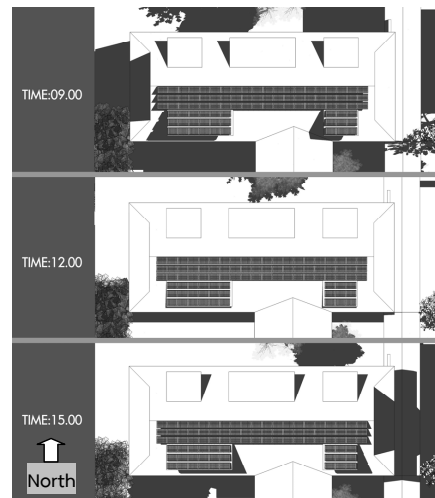
ภาพที่ 4 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารเรียนบรรยาย (AR02) ส่วนหลัง

3. อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03)

การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03) ส่วนหน้าและส่วนหลังจะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 129 แผงหรือประมาณ 193.50 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6



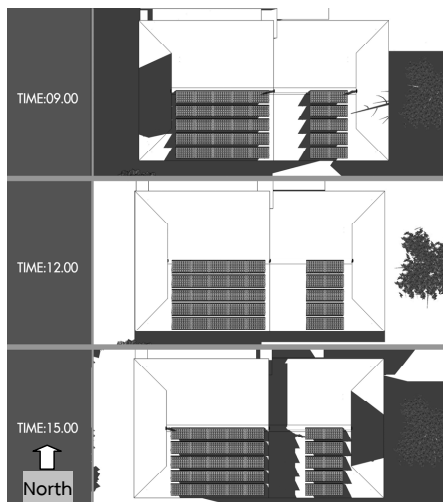
ภาพที่ 5 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03) ส่วนหน้า



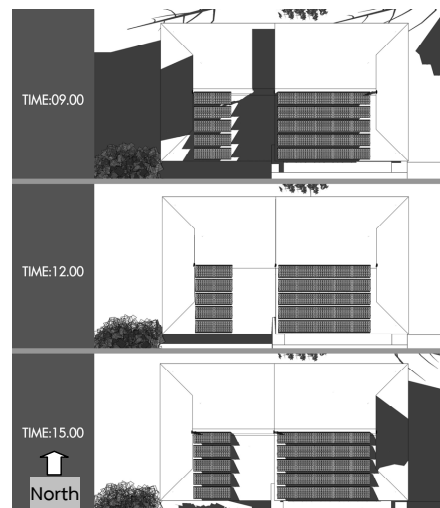
ภาพที่ 6 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR03) ส่วนหลัง

4. อาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04)

การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04) ส่วนหน้าและส่วนหลังจะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 70 แผง หรือประมาณ 105 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04) ส่วนหน้า



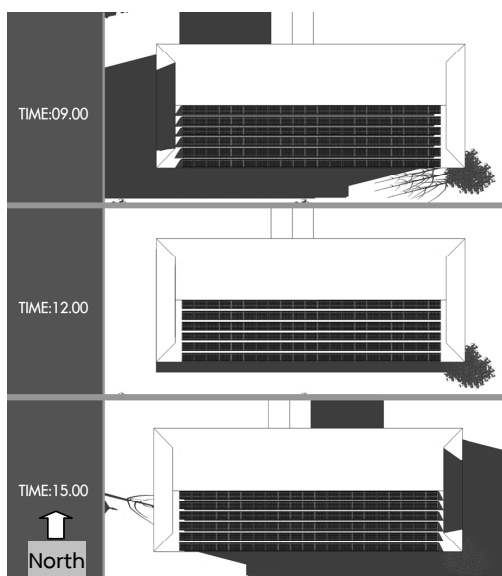
ภาพที่ 8 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารปฏิบัติการออกแบบอุตสาหกรรม (AR04) ส่วนหลัง

5. อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR05)

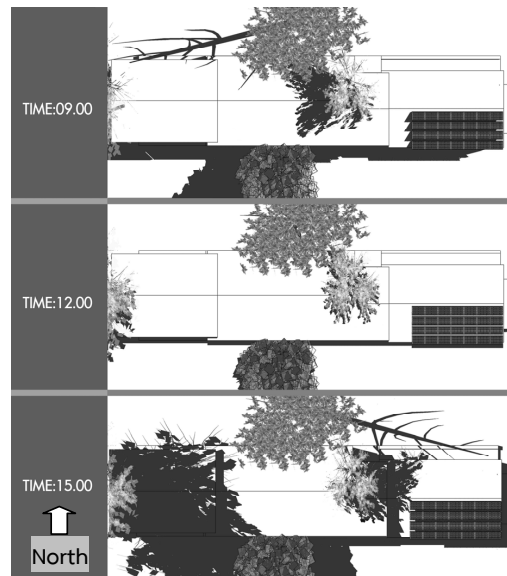
การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR05) จะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 126 แผง หรือประมาณ 189 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9

6. อาคารโรงจอดรถยนต์คณะ (AR09)

การสำรวจและจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคา แสดงให้เห็นพื้นที่หลังคาทางด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. ของวันที่มีสภาพร่มเงาบนหลังคาอยู่ใกล้เซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดของปี ในกรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากับ 1.52×0.995 เมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1.50 ตารางเมตรต่อแผง อาคารโรงจอดรถยนต์คณะ (AR09) จะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 28 แผง หรือประมาณ 42 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารปฏิบัติการเขียนแบบ (AR05)



ภาพที่ 10 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารโรงจอดรถยนต์คณะ (AR09)

แนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลือกใช้โครงสร้างและอุปกรณ์ในการติดตั้งที่ทำจากอลูมิเนียมและสแตนเลส รวมทั้งเลือกรุ่นที่สามารถติดตั้งบนวัสดุหลังคาทุกชนิดจึงมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งโครงสร้างและอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 11

ขั้นตอนที่ 1

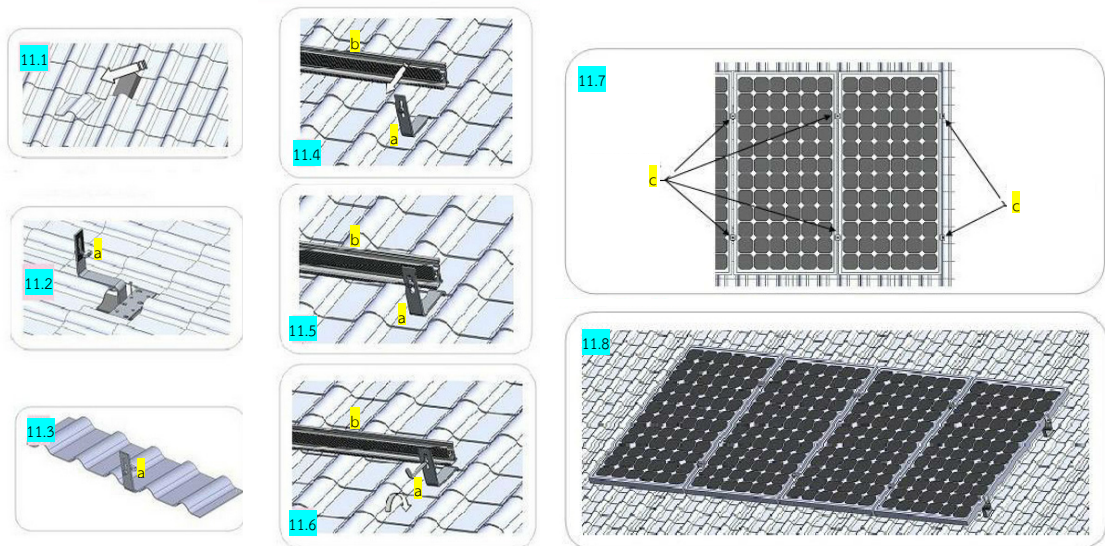
ติดตั้งอุปกรณ์ Tile Bracket (a) โดยยึดติดกับจันทันของโครงสร้างหลังคาเพื่อความแข็งแรง อุปกรณ์ Tile Bracket (a) มีความสูงหลายขนาดเพื่อให้สามารถปรับความลาดเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามต้องการ (ภาพที่ 11.1 ถึง 11.3)

ขั้นตอนที่ 2

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ Tile Bracket (a) ครบตามตำแหน่งที่ต้องการแล้ว หลังจากนั้นจะนำอุปกรณ์ Aluminum Rail และ Splice (b) มาต่อกัน เพื่อเป็นรางรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยรางนี้จะยึดติดกับอุปกรณ์ Tile Bracket (a) (ภาพที่ 11.4 ถึง 11.6)

ขั้นตอนที่ 3

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ Aluminum Rail และ Splice (b) ครบตามจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว หลังจากนั้นจะติดตั้งอุปกรณ์ End Clamp (c) เพื่อยึดด้านข้างของรางรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (ภาพที่ 11.7 และ 11.8)



ภาพที่ 11 แสดงขั้นตอนในการติดตั้งโครงสร้างและอุปกรณ์

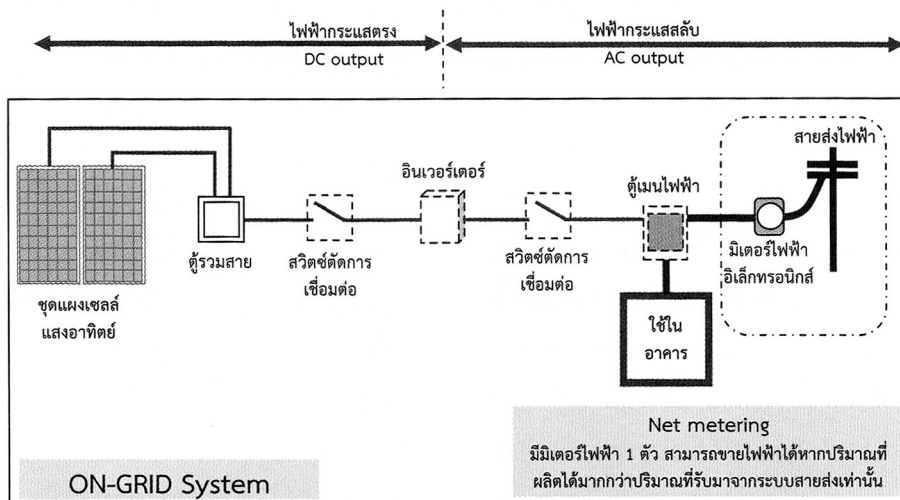
ที่มา: Tripsolar, 2014

หลังจากทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแล้ว จะมีทัศนียภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงทัศนียภาพของหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โดยมีไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid System) ชนิดหักลบหน่วย (Net Metering) ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งชนิดหักลบหน่วย
ที่มา: สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยสถาบันสถาปนิกสยาม, 2558

การศึกษานี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐศาสตร์และการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ โดยมีค่าจำกัดความหรือความหมายของตัวชี้วัดและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)

เป็นการหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB) และมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายของโครงการ (PVC) เพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ ถ้า NPV มีค่ามากกว่า 0 เป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้า NPV มีค่าน้อยกว่า 0 หรือเป็นลบ แสดงว่าโครงการลงทุนนั้นไม่คุ้มค่า สำหรับอัตราดอกเบี้ยคิดลด (i) ที่จะนำมาใช้ในการคิดลดนั้นอาจจะใช้อัตราผลตอบแทนที่ต้องการจะได้จากโครงการ เช่น ต้องการผลตอบแทนจากโครงการร้อยละ 8 เป็นต้น โดยปกติจะกำหนดให้ใกล้เคียงกับอัตราดอกเบี้ย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (ชูชีพ, 2542)

$$NPV = PVB - PVC$$

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

B_n = ผลตอบแทนในปีที่ n (พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ x ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า)

C_n = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการของระบบ)

i = อัตราดอกเบี้ยคิดลด (%)

n = ระยะเวลาของโครงการ คือ ปีที่ 0, 1, 2, ... , n

N = อายุของโครงการ

TIC = เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio หรือ B/C Ratio)

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB) กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ (PVC) ถ้า B/C Ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มค่ากับการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 (ชูชีพ, 2542)

$$B/C \text{ Ratio} = PVB / PVC \quad \text{สมการที่ 2}$$

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ IRR)

เป็นอัตราผลตอบแทนการลงทุนหรืออัตราดอกเบี้ยคิดลด (i) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด หรือเป็นอัตราดอกเบี้ยคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ได้จากค่าตอบแทนการลงทุนมีค่าเท่ากับ 0 โดยหลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุน ถ้า IRR มากกว่า i ถือว่าเหมาะสมที่จะลงทุน แต่ถ้า IRR น้อยกว่า i ถือว่าไม่เหมาะสมที่จะลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 (ชูชีพ, 2542)

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad \text{สมการที่ 3}$$

ต้นทุนต่อหน่วยพลังงาน (Cost of Electricity หรือ COE)

ต้นทุนต่อหน่วยพลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 (ชูชีพ, 2542)

$$C_E = \frac{LCC}{E_e} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ C_E = ต้นทุนการผลิตพลังงานตลอดอายุการใช้งาน

LCC = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน หรือผลรวมของ PVC ตลอดอายุการใช้งาน

E_e = ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าโครงการยังมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ โดยกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการและทำการวิเคราะห์ตัวแปรดังกล่าวทีละตัวแปร เพื่อเปรียบเทียบค่า NPV, B/C Ratio, IRR และ COE (มงคล, 2553)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

เป็นระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุนของโครงการ คำนวณได้จากสมการที่ 5 (อนัน, 2551)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad \text{สมการที่ 5}$$

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์และการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. งานวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบูรณาการเซลล์สุริยะกับอาคารสำหรับอาคารในกรุงเทพมหานคร (ชนิกัทร, 2549) พบว่าทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 7 องศา ในขณะที่ทางด้านทิศใต้ซึ่งมุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 12 องศา เมื่อนำปริมาณรังสีที่มุมเอียงเหมาะสมที่สุดมาเปรียบเทียบกับกันแล้ว ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีได้เท่ากับ 1,795 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรซึ่งน้อยกว่ากรณีที่อาคารหันหน้าไปยังทิศใต้เท่ากับร้อยละ 14.95 นอกจากนี้ได้ทำการจำลองระบบหลายๆระบบขึ้นโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 21 รุ่นและอินเวอร์เตอร์จำนวน 3 รุ่น ทำให้ได้ระบบจำลองขึ้นมาทั้งหมด 63 ระบบเพื่อที่จะหาระบบที่มีประสิทธิภาพต่อราคาที่สูงที่สุด ซึ่งพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท Kyocera รุ่น KC85T-1 ที่มีประสิทธิภาพของโมดูลเท่ากับร้อยละ 13.30 จำนวน 1,045 แผง มาต่อกับอินเวอร์เตอร์ KACO รุ่น Powador 30000xi ที่มีประสิทธิภาพการแปลงกระแสไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 95.50 จำนวน 3 ตัวนั้นมีประสิทธิภาพที่สูงที่สุด คือมีต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ 20.61 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยที่ระบบนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 105,226 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และมีต้นทุนตลอดวัฏจักร (Life Cycle Cost) ของระบบเท่ากับ 20,297,908 บาท

2. งานวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนดาดฟ้าของอาคาร : กรณีศึกษา อาคารธุรกิจ (มงคล, 2553) ได้ทำการสำรวจพื้นที่ดาดฟ้าของอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารธุรกิจ โดยวัดพื้นที่ดาดฟ้าได้เท่ากับ 84 ตารางเมตร เป็นขนาดพื้นที่สูงสุดที่สามารถวางเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ และใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอน BS400 รองรับรังสีอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนสามารถผลิตได้รายปีในประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,552 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์สูงสุดต่อปี ทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบได้เท่ากับ 27.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ต่อวัน ซึ่งจะนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทั้งหมดจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้านครหลวง จากนั้นทำการคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้ดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นตัวประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนดำเนินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าของอาคารกรณีศึกษา ผลการวิเคราะห์พบว่า ณ อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6.75 โครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 133,407.61 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนเท่ากับ 0.88 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 3.98 และโครงการมีค่าต้นทุนต่อหน่วยพลังงานเท่ากับ 4.53 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการลงทุน มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Solartron, 2008) และ (เกร็นโซน, 2557)

รายการ	รายละเอียด	ราคา (บาท)
1	เซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 529 แผง (เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 210 วัตต์ โดย 1 วัตต์ ราคาไม่รวมค่าติดตั้งเท่ากับ 30 บาท ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ราคาเท่ากับ 6,300 บาท)	3,332,700
2	อุปกรณ์ประกอบหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ Grid Tie Inverter DC Box AC Box และ Electric Meter (กำหนดเป็น 15 บาทต่อวัตต์ มีวัตต์รวมตามรายการที่ 1 เท่ากับ 111,090 วัตต์)	1,666,350
3	อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น ชุดสายไฟ ท่อร้อยสายไฟ ตู้ไฟฟ้า เป็นต้น (กำหนดเป็นร้อยละ 10 ของผลรวมของรายการที่ 1 และ 2)	499,905
4	ค่าดำเนินการ ค่าเชื่อมต่อระบบ และค่าติดตั้ง (กำหนดเป็นร้อยละ 20 ของผลรวมของรายการที่ 1 2 และ 3)	1,099,791
5	โครงสร้างและอุปกรณ์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 529 ชุด (1 ชุดเท่ากับ 850 บาท)	449,650
	รวม	7,048,396

2. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ ได้กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดีสูงสุด ณ เดือนกรกฎาคม 2557 เท่ากับร้อยละ 8.20 (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2557)

- อายุโครงการเท่ากับ 25 ปี (Solartron, 2008)

- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยของคณะในปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 เท่ากับ 3.77 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

- เซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP200E สามารถติดตั้งบนหลังคาด้านทิศใต้ได้เท่ากับ 793.50 ตารางเมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตารางเมตรละ 200.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้งหมดจึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้เท่ากับ 158,938.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

- ต้นทุนรายปี ได้แก่ (เกร็นโซน, 2557)

- ค่า Operation & Maintenance (O&M) กำหนดเป็นร้อยละ 1 ของค่าอุปกรณ์ทั้งหมด (ผลรวมของรายการที่ 1 2 และ 3 ในตารางที่ 2) หรือเท่ากับ 54,989.60 บาท เป็นเวลา 25 ปี

- ค่าซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (กำหนดเป็นร้อยละ 70 ของรายการที่ 2 ในตารางที่ 2) ในปีที่ 10 และ 20 เท่ากับ 1,166,445 บาท

3. ระยะเวลาคืนทุน

ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุน รวมกับค่า O&M และค่าซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบหลัก

4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการใน 4 กรณี ดังต่อไปนี้

- ในกรณีที่ 1 เมื่อต้นทุนทั้งหมดเปลี่ยนแปลง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าของเงินลงทุน ตั้งแต่ ร้อยละ 70-130 ของเงินลงทุนทั้งหมด
- ในกรณีที่ 2 เมื่อราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลง โดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ราคา 50 ถึงราคา 15 บาทต่อวัตต์
- ในกรณีที่ 3 เมื่ออัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลง โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราดอกเบี้ย ตั้งแต่ ร้อยละ 3-9
- ในกรณีที่ 4 เมื่อสามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลา 25 ปี โดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 ถึง 10 บาทต่อหน่วย

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. หลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SP200E บนหลังคาด้านทิศใต้ได้เท่ากับ 529 แผง หรือ 793.50 ตารางเมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตารางเมตรละ 200.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้งหมดจึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้เท่ากับ 158,938.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือเท่ากับ 599,196.45 บาทต่อปี
2. จากการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า
 - สำหรับวันธรรมดา (วันจันทร์-วันศุกร์) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 1,903.29 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 - สำหรับวันธรรมดา (วันจันทร์-วันศุกร์) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 983.38 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 - สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-วันอาทิตย์) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 272.98 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 - สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-วันอาทิตย์) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 80.85 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยหากเปรียบเทียบระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 90.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า

- สำหรับวันธรรมดา (วันจันทร์-วันศุกร์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 4.77 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง
 - สำหรับวันธรรมดา (วันจันทร์-วันศุกร์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 9.22 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้
 - สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-วันอาทิตย์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 33.24 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง
 - สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-วันอาทิตย์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 112.11 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลา 5 ชั่วโมง ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้
3. อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อสายส่ง ชนิดทึบหลังคา ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะหลังคาด้านทิศใต้ที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม โดยวางเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 16 องศากับแนวพื้นดิน ใช้โครงสร้างและอุปกรณ์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอลูมิเนียมและสแตนเลสรุ่นที่สามารถติดตั้งบนวัสดุหลังคาทุกชนิด
4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการได้ค่า NPV เท่ากับ -2,108,550.59 บาท ค่า B/C Ratio เท่ากับ 0.75 และค่า IRR เท่ากับร้อยละ 4.19 โดยมีค่า COE เท่ากับ 2.11 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งในกรณีที่ค่า NPV ติดลบ ค่า B/C Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 และค่า IRR มีค่าน้อยกว่าค่า i ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 8 ต่อปี แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน
5. ในกรณีที่คิดค่าใช้จ่ายในการลงทุน รวมกับค่า O&M และค่าซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบหลัก จะมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 11.76 ปี มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเท่ากับ 63.45 บาทต่อวัตต์ หรือมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเท่ากับ 8,882.67 บาทต่อตารางเมตร
6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ
- ในกรณีที่ 1 เมื่อต้นทุนทั้งหมดเปลี่ยนแปลงเป็นร้อยละ 80 ของเงินลงทุนทั้งหมด ค่า NPV จะมีค่าเป็นบวก คือเท่ากับ 42,654.61 บาท ค่า B/C Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 คือเท่ากับ 1.01 และค่า IRR จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 8 คือเท่ากับร้อยละ 8.31 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน
- ในกรณีที่ 2 เมื่อราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเป็น 15 บาทต่อวัตต์ ค่า NPV จะมีค่าเป็นบวก คือเท่ากับ 91,031.41 บาท ค่า B/C Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.01 และค่า IRR จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 8 คือเท่ากับร้อยละ 8.44 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน
- ในกรณีที่ 3 เมื่ออัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลงเป็นร้อยละ 4 ค่า NPV จะมีค่าเป็นบวกคือเท่ากับ 132,888.20 บาท และ ค่า B/C Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 คือเท่ากับ 1.01 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน
- ในกรณีที่ 4 เมื่อสามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลา 25 ปี และมีราคาจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็น 6 บาทต่อหน่วย ค่า NPV จะมีค่าเป็นบวกคือเท่ากับ 1,611,177.61 บาท ค่า B/C Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 คือเท่ากับ 1.19 และค่า IRR จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 8 คือเท่ากับร้อยละ 10.93 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน
7. การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการยังไม่มีมีความคุ้มค่าในการลงทุน

มากนัก แต่ในอนาคตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐในการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสถานศึกษา ประกอบกับการเป็นอาคารกรณีศึกษาที่ส่งเสริมภาพลักษณ์ให้กับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในด้านอาคารประหยัดพลังงาน นับว่าเป็นผลตอบแทนที่คุ้มค่าในระยะยาวทั้งต่อคณะ มหาวิทยาลัย และประเทศไทยต่อไป

ข้อเสนอแนะเพื่อต่อยอดงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ในรุ่นที่กำหนดเท่านั้น หากมีการศึกษาเปรียบเทียบกับรุ่นอื่นๆ จะทำให้สามารถเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมกับโครงการแต่ละโครงการได้
2. เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งโครงสร้างและอุปกรณ์ในการติดตั้งมีน้ำหนักประมาณ 22 กิโลกรัมต่อแผง จึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างหลังคาเดิม โดยการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาเดิมควบคู่กันไป รวมทั้งควรจัดเตรียมทางเดินบนหลังคา (Roof Walkway) หรือบันไดพาตบนหลังคา (Roof Ladder) เพื่อให้สามารถขึ้นไปตรวจสอบและทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์ได้
3. งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเฉพาะใน 4 กรณีหลักที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ ยังมีกรณีอื่นๆ อีกที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการได้ เช่น การวิเคราะห์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี เป็นต้น
4. นโยบายของภาครัฐต่อการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสถานศึกษา ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาในการจำหน่ายและราคาในการจำหน่าย มีผลต่อความคุ้มค่าของโครงการโดยตรง
5. งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น จึงใช้วิธีการคำนวณแบบง่ายที่มีค่าตัวแปรต่างๆ ไม่ซับซ้อนมากนัก อย่างไรก็ตามในการที่จะวิเคราะห์การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นสูงจำเป็นต้องใช้ software เข้ามาช่วย รวมทั้งต้องนำข้อมูลในเรื่องความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคาร (Building's Electrical Demand Load) และความต้องการกำลังไฟฟ้ายาววัน (Daily Watt-hour Load) มาร่วมในการวิเคราะห์
6. การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณเบื้องต้น ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับรายละเอียดของตารางการใช้ห้องแต่ละห้อง จำนวนชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละอุปกรณ์ และจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าจากภายนอกที่นำเข้ามาใช้ในอาคาร เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริการวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **สถานการณ์ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ.2554**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. เกร็นโซน. 2557. **ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์**. ม.ป.ท.: บริษัท เกร็นโซน (ประเทศไทย) จำกัด. ชูชีพ พิพัฒน์ศิลป์. 2542. **คู่มือการวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการ: กรณีศึกษาการลงทุนเอกชนและโครงการอสังหาริมทรัพย์**. ปทุมธานี: พี พรินตติ้ง กรุ๊ป.

ชนิกัทร ยวนานนท์, 2549. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบูรณาการเซลล์สุริยะกับอาคารสำหรับอาคาร
ในกรุงเทพฯ”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการ
พลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บางจากปิโตรเลียม. 2555. **โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อำเภอบางปะอิน จังหวัด
พระนครศรีอยุธยา**. กรุงเทพฯ: บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน).

มงคล พามา. 2553. **การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้า
ของอาคาร : กรณีศึกษา อาคารธุรกิจ**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง
บนหลังคา. 2556. **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 130 ตอนพิเศษ 111 ง.

สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยสถาบันสถาปนิกสยาม. 2558. **คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ การออกแบบ
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยาม
ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อนัน สุวรรณชัยสกุล. 2551. **ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์
แสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนและหมู่บ้าน**. งานวิจัยเฉพาะเรื่องเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์
ธุรกิจ) คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

REN 21. 2014. **Renewables 2014 Global Status Report**. Paris: REN 21 Steering Committee.

ฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2557. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ถูกค้ำรายย่อยขึ้นดี : สูงสุด. [ออนไลน์][อ้างเมื่อ 20 พฤษภาคม
2557]. เข้าถึงได้จาก: <http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=223&language=th>

Solargis. 2013. World Map of Global Horizontal Irradiation. [Online] [Cited 16 July 2014] Available
from: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png

Solartron. 2008. Multi-Crystalline Silicon Solar Module 210 Watt SP200E. [Online] [Cited January
28, 2014]. Available from: <http://www.solartron.co.th/Catalog/2008-Catalog-Module-PDF/SP200E.pdf>

Tripsolar. 2014. PV Solar energy Mounting Roman Tile Roof Hook. [Online] [Cited August 10, 2014].
Available from: http://tripsolar.en.alibaba.com/product/1617019828-214109335/PV_Solar_energy_Mounting_Roman_Tile_Roof_Hook.html