การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

PERFORMANCE AND ECONOMIC ANALYSIS ON ROOFTOP PV SYSTEM

*สุรกิจ ทองสุก** *อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล*

Surakit Thongsuk*, *Atthapol Ngaopitakkul*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

****Corresponding author, E-mail:*** *t_surakit@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนหลังคาของอาคารตัวอย่าง โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกำลังการผลิตจริงจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม PVSYST เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบ รวมถึงมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบดังกล่าว มีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะพิจารณาสองปัจจัยหลักคือ ต้นทุนในการติดตั้งและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบที่มีการติดตั้งจริงนั้นสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณ และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โปรแกรม PVSYST

Abstract

This paper presents performance analysis of rooftop pv system on building study case. Actual data obtained from measurement at installation site will be compared to calculation data from PVSYST software in order to study factors that have an effect on power system efficiency. After that, economic analysis to evaluate the feasibility of investment in the proposed systems is studied. Installation costs and energy generation capacity are employed to calculate discount payback period and internal rate of return. Results indicate that the actual system can provide energy close to the simulation system. The amount of energy generated from the photovoltaic system can improve the total energy consumption of the building.

Keywords: Rooftop PV System, Economic Analysis, PVSYST Software

บทนำ

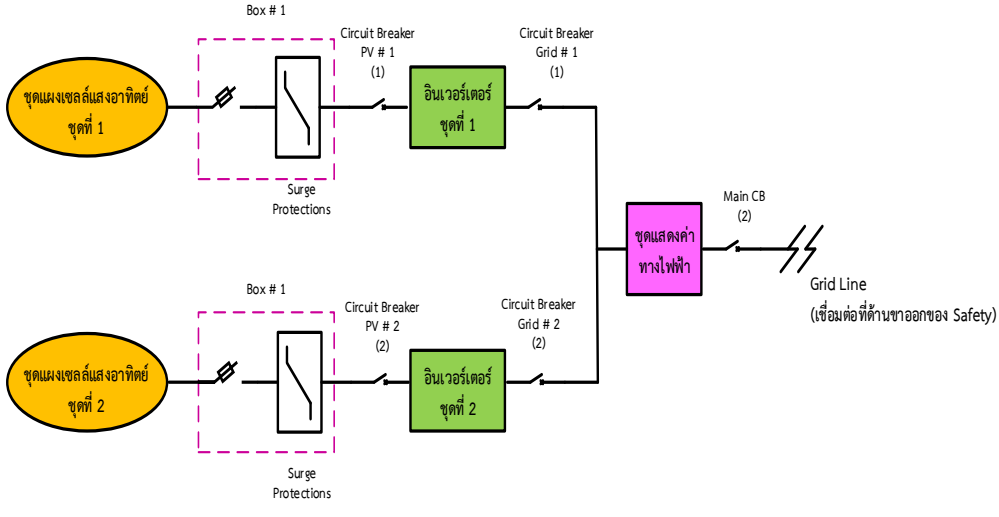
ปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานของโลกมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดผลเสียคือ ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศจากการเผาไหม้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงเหล่านี้ยังเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป จึงทำให้พลังงานหมุนเวียนเช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ [1] เป็นต้น มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดต้นทุนการผลิตลง [2] ในหลายๆ ประเทศได้มีการสนับสนุนให้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้ากันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับในประเทศไทยได้มีการสนับสนุนให้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมี การรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน (Rooftop PV System) ด้วยอัตรารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff: FiT) [3] ซึ่งบทความนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลกำลังการผลิตที่มาจากการใช้โปรแกรมคำนวณกับข้อมูลกำลังการผลิตจากการตรวจวัดของระบบจริงที่มีการติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา รวมถึงมีการนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาดังกล่าวด้วย

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันกำลังเป็นที่สนใจเป็นอย่างมาก และงานวิจัยนี้มีการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จากทั้งในและต่างประเทศ โดยมีการศึกษาในด้านการทดลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งในที่พักอาศัย เริ่มต้นมาตั้งแต่ปี 1994 มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการสร้างอาคารจำลองในห้องที่สามารถจำลองลักษณะของแสงอาทิตย์ได้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ [4] จากนั้นเป็นต้นมางานวิจัยเพื่อติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ในส่วนการศึกษาทางด้านผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการวิจัยกันมาอย่างต่อเนื่อง เช่น งานวิจัยของ Desmond W.H. Cai และคณะ ได้มีการศึกษาผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอัตราค่าไฟฟ้าในเขตแคลิฟอร์เนียใต้ โดยมีการประมาณการว่าการไฟฟ้าจะสูญเสียฐานลูกค้ารายได้สูงไปและทำให้การไฟฟ้าต้องเพิ่มค่าไฟฟ้าเพิ่มชดเชยเงินที่สูญเสียไป [5] ในด้านผลกระทบเชิงคุณภาพไฟฟ้ามีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาในส่วนนี้ เช่น งานวิจัยของประเทศไทยที่ได้มีการศึกษาปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผลการตรวจวัดพบว่าที่ความเข้มแสงต่ำจะเกิดปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้า [6] ส่วนงานวิจัยของ N. Jayasekara ได้มีการพิจารณาคุณภาพไฟฟ้าของระบบเมื่อมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากเชื่อมต่อในพื้นที่อยู่อาศัย [7] และงานวิจัยของ M. Chid และคณะ ซึ่งพบว่าอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบไฟฟ้า [8] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Suresh B. และคณะ ได้มีการพิจารณาผลกระทบ

ที่เกิดจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในอาคารที่พักอาศัย ในแง่ของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) โดยพิจารณาในชุมชนอนุรักษ์พลังงานของเมือง Las Vegas ซึ่งการศึกษาพบว่าในระบบที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในระดับสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจะมีค่าลดลง นอกจากนั้นยังทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในรอบปีนั้นมีค่าลดลง [9] สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบในด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ที่ได้มีการศึกษา เช่น การวิจัยในประเทศมาเลเซียได้มีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนหลังคาที่พักอาศัย เช่น อุณหภูมิ ลักษณะและความสูงในการติดตั้ง เป็นต้น [10] สำหรับงานวิจัยที่มีการประเมินทางด้านความคุ้มค่าในการลงทุนของต่างประเทศที่ได้มีการศึกษา เช่น งานวิจัยของ Bruno Lee และคณะ ที่มีการประเมินผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารที่มีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะในส่วนของการลดความต้องการทางพลังงานไฟฟ้า [11] และงานวิจัยของ Aldo Orioli และคณะ ได้มีการศึกษาตัวแปรและปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนอาคารหลายชั้น [12]

ในประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพภูมิอากาศของไทย โดยมีการศึกษาผลกระทบความเข้มแสงและสเปกตรัมของแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ [13] และยังมีงานวิจัยของ Airlangga Gunawan และคณะ ได้มีการผลของความเข้มแสง อุณหภูมิ และลักษณะของหลังคาที่ใช้ในการติดตั้งซึ่งพบว่าลักษณะหลังคาที่ขาดการระบายความร้อนที่ดีจะให้ประสิทธิภาพของการผลิตที่ต่ำ [14] ในปี 2014 งานวิจัยของ D. Chemisana และคณะ ได้ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการใช้งานร่วมกับหลังคาที่มีการปกคลุมด้วยพืช ในสภาพอากาศที่ร้อนของชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ผลการวิจัยพบว่า สภาพอากาศมีผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก [15]

โดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบเชื่อมต่อกริดที่ใช้ในการศึกษานี้จะมีขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดขนาด 20 กิโลวัตต์ มีไดอะแกรมของระบบดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 1 เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยอินเวอร์เตอร์จะจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้ในช่วงที่มีไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเท่านั้น คือ ถ้าเกิดไฟฟ้าในระบบจำหน่ายดับลง อินเวอร์เตอร์จะระงับการจ่ายไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานของการไฟฟ้าได้ โดยเรียกการป้องกันแบบนี้ว่า “การป้องกันการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Islanding Protection)” ระบบเชื่อมต่อกริดนี้จะจ่ายไฟฟ้าเข้ากับภาระทางไฟฟ้าที่อยู่ในโครงการก่อน แต่เมื่อกำลังผลิตเกินกว่าความต้องการไฟฟ้า ไฟฟ้าส่วนที่เหลือก็จะไหลเข้าสู่ระบบจำหน่ายโดยอัตโนมัติ หรือถ้าความต้องการสูงกว่ากำลังผลิต ไฟฟ้าก็จะถูกดึงจากระบบจำหน่ายเข้ามาเสริมการใช้งานเช่นกัน

ส่วนประกอบหลักของระบบ จากภาพไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าระบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Modules)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแผงชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon) ซึ่งให้กำลังไฟฟ้าไม่น้อยกว่าแผงละ 50 วัตต์ ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (STC: Standard Test Conditions)

ภาพที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์บนหลังคาอาคาร

โดยมีคุณลักษณะทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีรายละเอียดดังนี้

- กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง 50 วัตต์
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง 70.9 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง 0.71 แอมแปร์
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อชุดอนุกรม 283.6 โวลต์
- กำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแผงโซล่าเซลล์รวมทั้งระบบ 20 กิโลวัตต์

2. กล่องรวมสาย (PV Junction Box)

ภายในประกอบด้วย ฟิวส์ 2 แอมแปร์ จำนวน 25 ชุด และเครื่องป้องกันเสิร์จ (Surge Protection) จำนวน 1 ชุด โดย ฟิวส์ 2 แอมแปร์ ใช้สำหรับการตัดต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องป้องกันเสิร์จ (Surge Protection) ใช้สำหรับป้องกันอุปกรณ์เสียหายอันเกิดจากฟ้าผ่า

ภาพที่ 3 กล่องรวมสายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. อินเวอร์เตอร์แบบต่อเชื่อมระบบจำหน่าย (Grid-Connected Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบต่อเชื่อมระบบจำหน่ายจะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มา แล้วเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่เหมาะสมกับการจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็น Grid-connected Inverter เป็น Pure Sine Wave Inverter ที่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกต่อเนื่อง (Continuous Output Power) ได้สูงสุดถึง 12,000 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าด้านขาออก (Output Voltage) จะอยู่ที่ 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ เหมาะสมต่อการป้อนไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยปกติแล้วระดับแรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์จะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายอยู่เล็กน้อย เพื่อให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าระบบจำหน่ายได้สะดวก การใช้งานสะดวกและง่าย เนื่องจากเมื่อต่อระบบเรียบร้อยอินเวอร์เตอร์จะปรับการทำงานด้วยตัวเองอย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องทำการตั้งค่าใดๆ และสามารถดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่ต้องการทราบได้จากหน้าจอแอลซีดีที่ตัวเครื่องได้โดยตรง

4. ตู้ควบคุมและแสดงค่าทางไฟฟ้า (Control Box)

ตู้ควบคุมและแสดงค่าทางไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์ ประกอบไปด้วยมิเตอร์สำหรับแสดงค่าทางไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะบอกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตั้งแต่เริ่มติดตั้งระบบจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมี AC Voltage Meter และ AC Ammeter Meter ซึ่งทำหน้าที่แสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการตัดต่อระบบไฟฟ้า (Circuit Breaker) ภายในตู้ควบคุมและแสดงค่าไฟฟ้าประกอบด้วย

4.1 Circuit Breaker MCCB 2 ขั้ว จำนวน 2 ตัว (PV1, PV2) ทำหน้าที่ในการตัดวงจรที่ค่ากระแสลัดวงจรตั้งแต่ 63 แอมแปร์ขึ้นไป

โดยทำหน้าที่เป็นการตัดวงจรระหว่างชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับชุด Grid-Connected Inverter แต่ละตัวเพื่อป้องกันความเสียหายสำหรับอุปกรณ์ทั้งสองส่วน เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอินเวอร์เตอร์แต่ละตัว

4.2 Circuit Breaker MCCB 3 ขั้ว จำนวน 2 ตัว (Grid1, Grid2) ทำหน้าที่ในการตัดวงจรที่ค่ากระแสลัดวงจรตั้งแต่ 32 แอมแปร์ขึ้นไป โดยทำหน้าที่เป็นการตัดวงจรระหว่างวงจรไฟฟ้า Grid-Connected Inverter กับชุดควบคุมการตัดต่อวงจรไฟฟ้าหลักของระบบ (Main Circuit Breaker) เพื่อป้องกันความเสียหายสำหรับอินเวอร์เตอร์ เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

4.3 Main Circuit Breaker (MCCB) 3 ขั้ว จำนวน 1 ตัว (Main CB) ทำหน้าที่ในการตัดวงจรที่ค่ากระแสลัดวงจรตั้งแต่ 63 แอมแปร์ขึ้นไป โดยทำหน้าที่เป็นตัวตัดต่อวงจรระหว่างชุดอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัวเพื่อป้องกันความเสียหายเมื่อเกิดการลัดวงจร

5. รูปแบบการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

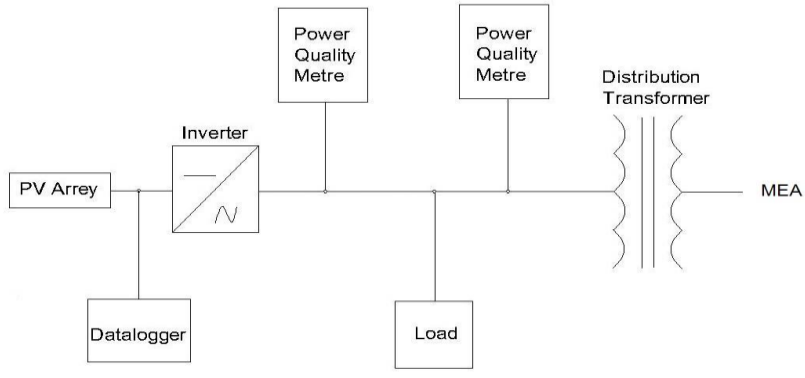
การติดตั้งเพื่อใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และจุดประสงค์ของผู้ที่ทำการติดตั้ง เพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบดังนี้

5.1 ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-Alone System)

ระบบนี้จะเหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉพาะโหลดที่ต่ออยู่กับระบบเท่านั้น หลักการทำงานของระบบติดตั้งแบบอิสระแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน โดยในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้รับแสงแดดจะสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระนี้จึงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน

5.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid Connected System)

สำหรับระบบนี้จะได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน และการลงทุนไม่สูงมากเท่าแบบระบบติดตั้งอิสระแต่ต้องติดตั้งในพื้นที่ที่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอยู่แล้ว ระบบนี้จะไม่มีการเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายเข้าระบบจำหน่ายได้เลย ทำให้ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการดูแลรักษาแบตเตอรี่ โดยรูปแบบการเชื่อมต่อจะแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

6. ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period)

สิ่งสำคัญในการลงทุนติดตั้งระบบที่เราจำต้องพิจารณาก็คือระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งหากระบบมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว จะทำให้ได้กำไรในปริมาณที่มากขึ้นตามอายุการใช้งานสูงสุดของระบบ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้ คือ นำต้นทุนในการติดตั้งทั้งหมดไปหารกำไรที่ได้จากการขายไฟฟ้าคืนสู่การไฟฟ้าต่อปี ซึ่งมาจากการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยทั้งปี (หน่วย/ปี) ที่ได้มาจากการคำนวณด้วยค่า PSH และนำไปคูณกับอัตราการรับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบ (บาท/หน่วย)

$$\text{Payback} = \frac{\text{Total Investment}}{\text{Unit per year} * \text{FiT}}$$

เมื่อ

Payback คือ ระยะเวลาคืนทุน

Total Investment คือ เงินลงทุนทั้งหมดตอนเริ่มโครงการ

Unit per year คือ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี

FiT (Feed-in Tariff) คือ มาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง โดยอัตรา FiT จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าไฟฟ้าฐานและค่า Ft ทำให้มีราคาที่ชัดเจนและเกิดความเป็นธรรม

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นมีต้นทุนในการติดตั้งค่อนข้างสูง และในการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องขึ้นอยู่กับปริมาณแสงอาทิตย์ซึ่งมีความผันผวนสูงตลอดทั้งปี

7. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) หมายถึงอัตราลดค่า (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนลดค่า จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

- กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
- กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
- ระยะเวลาของโครงการโดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

เมื่อ

n = อายุของโครงการ (ปี)

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

8. ต้นทุนในการติดตั้งระบบ

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสิ่งแรกที่จะต้องคำนึงถึงก็คือต้นทุนในการติดตั้ง เพราะเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุน และเนื่องจากที่ว่าต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันนั้นลดลงอย่างมาก โดยในปัจจุบันราคาต้นทุนในการติดตั้งระบบทั้งหมดนั้นอยู่ในช่วงประมาณ 60,000 – 70,000 บาท/กิโลวัตต์ ซึ่งหากต้องการระบบที่มีประสิทธิภาพดีมากเท่าไหร่ต้นทุนในการติดตั้งจะมีราคาที่สูงตามไปด้วย เราสามารถจำแนกต้นทุนในการติดตั้งระบบทั้งหมดเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดอินเวอร์เตอร์ ชุดอุปกรณ์ประกอบระบบ (สายไฟ ชุดอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์โครงสร้างติดตั้งแผงเซลล์) ค่าดำเนินงานติดตั้งระบบ และค่าห่วงโซ่อุปทาน ทำให้แนวโน้มราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนในการติดตั้งระบบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร

2. เพื่อศึกษาความคุ้มทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริงกับผลของการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์

3. เก็บรวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

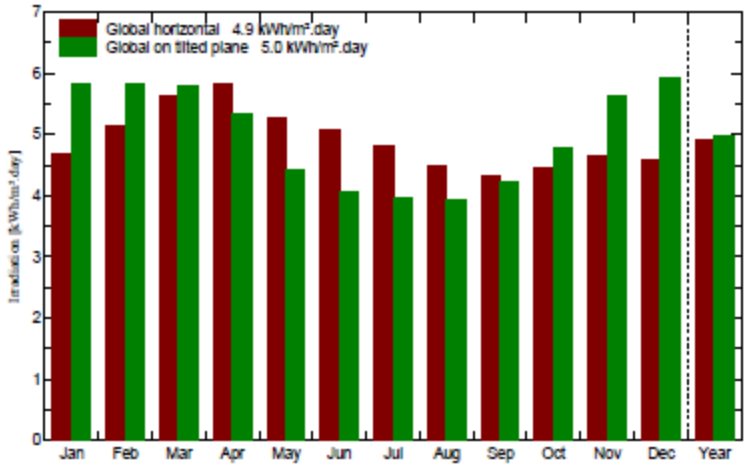
4. ทำการจำลองผลการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

5. วิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับผลที่ได้จากการคำนวณ

6. วิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับผลที่ได้จากการคำนวณ

ผลการวิจัย

ข้อมูลสำคัญที่ได้นำมาเพื่อใช้วิเคราะห์ในการจำลองครั้งนี้ คือ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันของประเทศไทย (ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 – 2553) และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน (ข้อมูลสภาวะอากาศประเทศไทย พ.ศ. 2553)



ภาพที่ 5 ปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อเดือนบนพื้นที่ติดตั้ง

จากภาพที่ 5 แสดงปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยบนพื้นที่ติดตั้งจากโปรแกรมคำนวณ โดยข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายในหนึ่งปีจากโปรแกรม PVSYST สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม

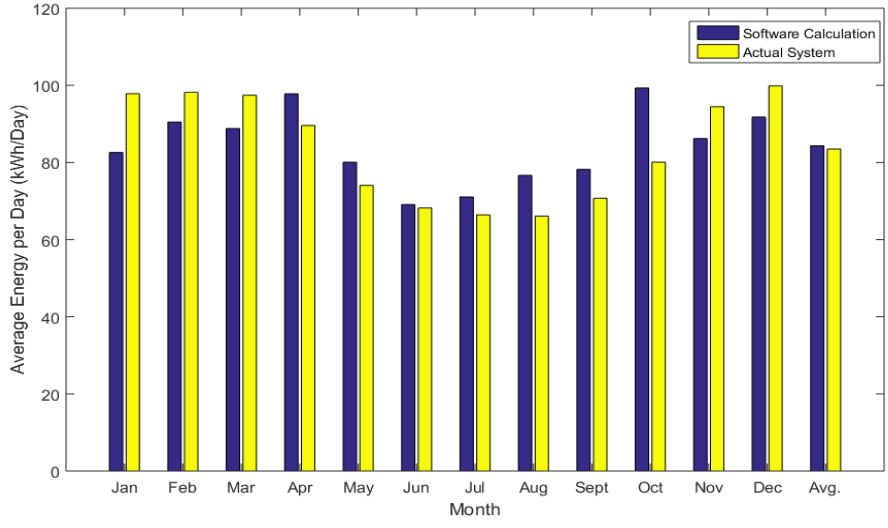
เดือน	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
มกราคม	82.60	2,560.74
กุมภาพันธ์	90.50	2,624.55
มีนาคม	88.80	2,752.94
เมษายน	97.82	2,934.74
พฤษภาคม	80.09	2,482.79
มิถุนายน	69.11	2,073.40
กรกฎาคม	71.08	2,203.52
สิงหาคม	76.67	2,376.94
กันยายน	78.23	2,347.01
ตุลาคม	99.33	3,079.35
พฤศจิกายน	86.22	2,586.89
ธันวาคม	91.80	2,846.06
รวม		**30,868.99**

ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายในหนึ่งปีที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริงบนหลังคาอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการติดตั้ง

เดือน	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
มกราคม	97.84	3,033
กุมภาพันธ์	98.20	2,750
มีนาคม	97.45	3,021
เมษายน	89.61	2,688
พฤษภาคม	74.09	2,297
มิถุนายน	68.21	2,046
กรกฎาคม	66.41	2,059
สิงหาคม	66.11	2,049
กันยายน	70.75	2,122
ตุลาคม	80.09	2,483
พฤศจิกายน	94.47	2,834
ธันวาคม	99.87	3,096
รวม		**30,479**

ข้อมูลเปรียบเทียบกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม และข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบที่มีการติดตั้งจริงบนอาคารที่ใช้ในการศึกษาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 จากภาพจะเห็นได้ว่าข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์และจากการติดตั้งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ โดยกำลังการผลิตเฉลี่ยต่อวันตลอดทั้งปีแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากระบบติดตั้งจริงมีค่าน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งก็ถือได้ว่าโปรแกรมคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง และสามารถนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบก่อนการตัดสินใจลงทุนสร้างโครงการได้



ภาพที่ 6 กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับระบบที่ติดตั้ง

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร โดยจะวิเคราะห์จากการนำต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์ ซึ่งค่าติดตั้งโดยประมาณรวม 1,121,500 บาท โดยประกอบไปด้วย

ตารางที่ 3 ข้อมูลต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์

ลำดับที่	รายการ	ค่าวัสดุและแรงงาน (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิต 20 กิโลวัตต์	400,000
2	โครงสร้างยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	100,000
3	อินเวอร์เตอร์	171,500
4	วางท่อร้อยสาย	150,000
5	ระบบควบคุมและการแสดงผล	150,000
6	ค่าติดตั้งรวมอุปกรณ์	150,000
	รวม	**1,121,500**

เมื่อวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 5 เดือน อัตราผลตอบแทนภายใน 16.32% เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งจริงที่มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 3 เดือน อัตราผลตอบแทนภายใน 17.73% แสดงให้เห็นว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ภายนอก ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดและไม่สามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณ เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ อย่างไรก็ตามค่าที่แตกต่างกันมีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการเลยก็ได้ และสำหรับในปัจจุบันและอนาคตการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีคุณภาพที่สูงขึ้นมาก โดยในแต่ละเซลล์นั้นจะมีขนาดที่เล็กลงแต่ให้กำลังผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ได้กำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นแต่ใช้พื้นที่น้อยลงและที่สำคัญมีต้นทุนในการติดตั้งลดลงทำให้เห็นผลทางด้านเศรษฐศาสตร์หรือจุดคุ้มทุนที่เร็วมากขึ้น

ตารางที่ 4 ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

ปี	ต้นทุน (บาท)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์/ปี)	รายได้ (บาท)	เงินคงเหลือสุทธิ (บาท)
0	1,121,500	0	-1,121,500	-1,121,500
1	-	30,050	210,350	-911,150
2	-	30,366	212,562	-698,588
3	-	29,705	207,935	-490,653
4	-	29,900	209,300	-281,353
5	-	27,855	194,985	-86,368
6	-	27,662	193,634	107,266

ตารางที่ 5 ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการติดตั้ง

ปี	ต้นทุน (บาท)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์/ปี)	รายได้ (บาท)	เงินคงเหลือสุทธิ (บาท)
0	1,121,500	0	-1,121,500	-1,121,500
1	-	30,832	215,824	-905,676
2	-	30,060	210,420	-695,256
3	-	30,005	210,035	-485,221
4	-	29,988	209,916	-275,305
5	-	29,891	209,237	-66,068
6	-	29,806	208,642	142,574

*หมายเหตุ: การคำนวณจุดคุ้มทุนใช้อัตราค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในแต่ละปี และค่ากำลังผลิตที่วัดได้นั้นเป็นการบันทึกค่าตั้งแต่เริ่มติดตั้งจนถึงปัจจุบันประมาณ 6 ปี

สรุปและอภิปรายผล

ในการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์และความคุ้มค่าในการลงทุน ได้ทำการเปรียบเทียบถึงระยะเวลาในการคืนทุนในการติดตั้งการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการคำนวณจะมีระยะเวลาในการคืนทุนใกล้เคียงกัน เพราะผลที่ได้จากการวัดค่าจริงปริมาณการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการผลิต เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และอื่นๆ ผลการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคานั้น มีอัตราการคืนทุนที่เหมาะสมสำหรับการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

[1] A. R. Jha. (2010). *Solar Cell Technology and Applications*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

[2] Joachim, Luther. (2005). Photovoltaics the Basis for Sustainable Energy Systems and Industrial Innovations. In *The 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.

[3] Cross, B.M. (1994, December). Development, testing and first installations of an integrated solar roof system. In *The IEEE First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. 1: 1020-1023.

[4] Desmond W.H. Cai; Sachin Adlakha; Steven H. Low; Paul De Martini; and K. Mani Chandy. (2013, November). Impact of residential PV adoption on Retail Electricity Rates. *Energy Policy*. 62: 830-843.

[5] Chenvidhya, D; Thongpron, J; Sangpanich, U; Wongyao, N; Kirtikara, K; and Jivacate, C. (2003, May). A Thai National Demonstration Project on PV grid-interactive systems: power quality observation. *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy* Conversion. 3: 2152-2154.

[6] Jayasekara, N; and Wolfs, P. (2010, December). Analysis of power quality impact of high penetration PV in residential feeders. In *The 20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. pp. 1-8.

[7] Chidi, M; Ipinnimo, O; Chowdhury, S; and Chowdhury, S.P. (2012, July). Investigation of impact of integrating on-grid home based solar power systems on voltage rise in the utility network. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*. pp. 1-7.

[8] Suresh B. Sadineni; Fady Atallah; and Robert F. Boehm. (2012, April). Impact of roof integrated PV orientation on the residential electricity peak demand. *Applied Energy*. 92: 204-210.

[9] Zakaria, N.Z; Zainuddin, H; Shaari, S; Sulaiman, S.I; and Ismail, R. (2013, November). Critical factors affecting retrofitted roof-mounted photovoltaic arrays: Malaysian case study. In *The 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*. pp. 384-388.

[10] Chattariya Sirisamphanwong; and Nipon Ketjoy. (2012, February). Impact of spectral irradiance distribution on the outdoor performance of photovoltaic system under Thai climatic conditions. *Renewable Energy*. 38(1): 69-74.

[11] Bruno Lee; Marija Trcka; and Jan L.M. Hensen. (2012, December). Rooftop photovoltaic (PV) systems for industrial halls: Achieving economic benefit via lowering energy demand. *Frontiers of Architectural Research*. 1(4): 326-333.

[12] Aldo Orioli; and Alessandra Di Gangi. (2014, January). Review of the energy and economic parameters involved in the effectiveness of grid-connected PV systems installed in multi-storey buildings. *Applied Energy*. 113: 955-969.

[13] Gunawan, A; Hiralal, P; Amaratunga, G.A. J; Tan, K.T; and Elmes, S. (2014, June). The effect of building integration on the temperature and performance of photovoltaic modules. In *The 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. pp. 0776-0781.

[14] D. Chemisana; and Chr. Lamnatou. (2014, April). Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied Energy.* 119: 246-256.

[15] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2556). *การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา*. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2559, จาก http://www.erc.or.th