การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนแบบผสมผสานพลังงานลมและแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโครงการอัยสวรรย์ อ.บางนางบวช จ.สุพรรณบุรี

The Economic Analysis of a Case Study of Hybrid System Wind-Solar Energy of Issawan Resort Project at Suphanburi Province

วิรชัย โรยนรินทร์[1*] วงศกร วิเศษสัจจา[2] นฤมล แสนเสนา[2] สุเทพ สีมาลา[2] และอำพล อาภาธนากร[3]

Wirachai Roynarin[1*] Wongsakorn Wisatesajja[2] Narumol Sansena[2] Suthep Simala[2] and Amphol Aphathanakorn[3]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

[2] สาขาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

[3] สำนักงานวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) 73/2 ถนนพระรามที่ 6 แขวงท่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

[1]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Thecnology Thanyaburi, 39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani 12110

[2]Energy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Thecnology Thanyaburi, 39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani 12110

[3]National Innovation Agency (Public Organization) 73/2 Rama VI Road, Rajadhevee, Bangkok 10400

Received: 25 September 2020, Revised: 27 April 2021, Accepted: 28 May 2021, Published online: 23 August 2021

ABSTARCT

This paper shows the result of the study of the analysis system in hybrid renewable energy to concern the economies result at the resort and building integration pilot project. The project is to use wind and solar energy to the ISSAWAN project located at Bangnangbuach district Suphanburi province. The results of this study using the site analysis of wind and solar energy potential of average wind velocity and solar energy density analysis technique. The result of energy density calculation of wind and solar, takes to calculate the installation of hybrid capacity for return investment target. From the study shown that the system of using PV 100 KW that consist of solar roof top, solar float and solar car pot with low wind speed wind machine of 10 KW. The total hybrid system will produce 185,430 units of the electricity to the grid and will be the cost of electricity about 932,985 Bath per year. Consequently, to the project return investment of about 7.34 years. In additionally, this project also will reduce CO_2 emission about 100 Ton annually to the atmosphere. The result of this study shown that, this project has high potential and valuable to initiate at Supanburi province for the learning centers of renewable energy.

Keywords: hybrid renewable energy**,** wind energy, solar energy

[*]Corresponding author: Tel.: 089 771 4294. E-mail: wirachai.r@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการสำรวจออกแบบระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อทำการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำการติดตั้งให้กับโครงการอัยสวรรย์ อำเภอบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการนำข้อมูลการสำรวจจากพื้นที่จริงมาทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานในพื้นที่ ทั้งความเข้มของแสงแดดและศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ที่จะติดตั้งเพื่อให้สามารถมองเห็นว่าหากต้องการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าแล้วสมควรจะติดตั้งระบบที่มีการผลิตเท่าใดที่จะเหมาะสมต่อการลงทุนเพื่อประกอบการตัดสินใจ จากการสำรวจพื้นที่และข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางด้านพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงการ พบว่า มีความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในโครงการที่พัก อัยสวรรย์ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี และพื้นที่นั้นควรมีการใช้ความเหมาะสมของเทคโนโลยีพลังงานทดแทน 2 รูปแบบ คือ โซล่าร์เซลล์และกังหันลมความเร็วลมต่ำ โดยผลการวิเคราะห์ ควรจะดำเนินการติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์ ขนาด 100 กิโลวัตต์ บนหลังคาโครงการ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำ ขนาด 5 กิโลวัตต์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์หลังคาที่จอดรถ ขนาด 5 กิโลวัตต์และกังหันลมความเร็วลมต่ำ ขนาด 10 กิโลวัตต์ ซึ่งจะสามารถลดพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งรวมกันได้ถึง 185,430 หน่วยไฟฟ้าต่อปี คิดเป็นเงินโดยประมาณ 932,985 บาทต่อปี โดยจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7.34 ปี ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้ประมาณ 100 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี สามารถตอบสนองการใช้พลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศอีกทั้งเป็นสถานที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ทางพลังงานทดแทนที่เป็นเชิงสัญลักษณ์ในการใช้เป็นต้นแบบการพัฒนาที่ยั่งยืนของจังหวัดสุพรรณบุรีได้ต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน ระบบพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์

บทนำ

แนวคิดในการดำเนินโครงการต้นแบบการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในธุรกิจโรงแรมที่พักและสถานที่ท่องเที่ยว โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำพลังงานทดแทนแบบสะอาด ที่มีศักยภาพในพื้นที่มาใช้ประโยชน์ แก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน เพื่อสนองนโยบายของภาครัฐบาล เป็นศูนย์การเรียนรู้ โรงแรมที่พัก และสถานที่ท่องเที่ยว ในพื้นที่อำเภอเดิมบางนางบวช โดยมีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ในพื้นที่แบบเนินเขาเตี้ยๆ และเขาโดดกระจายตัวอยู่และมีศักยภาพในการนำทรัพยากรทางพลังงานในพื้นที่มาผลิตไฟฟ้าและใช้ประโยชน์ภายในองค์กร รายงานการศึกษา สำรวจวิจัยนี้ มุ่งเน้นการใช้พลังงานทดแทนที่สะอาด คือ พลังงานลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานผสมผสานกันโดยใช้ศักยภาพพลังงานที่มีอยู่ในพื้นที่ และสามารถเป็นจุดเด่น (Land mark) ซึ่งประกอบด้วยการสำรวจความเร็วลม การสำรวจความเข้มแสงอาทิตย์ รูปแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแทดแทนแบบผสมผสานพร้อมด้วยระบบกักเก็บพลังงาน รวมถึงการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมและผลศึกษาการลงทุนเบื้องต้นให้กับพื้นที่เดิมหรือเป็นแหล่งเรียนรู้การใช้พลังงานทดแทนได้ ซึ่งพื้นที่ศึกษาบริเวณโครงการอัยสวรรย์ ตำบลเขาพระ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี นั้น มีศักยภาพของพื้นที่ในด้านลมและความเข้มแสงอาทิตย์ที่ดีแห่งหนึ่งของประเทศ โดยจะเป็นที่พักและสถานที่ท่องเที่ยวแห่งแรกของจังหวัดสุพรรณบุรี ที่นำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้โครงการเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้โครงการดังกล่าว

หลักการและเหตุผล

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงค์ชีวิตของมนุษย์ เราใช้พลังงานเพื่อการผลิตไฟฟ้าให้กับภาคคมนาคมขนส่ง การบริการ การผลิตทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตส.ากรรม และเพื่อการอยู่อาศัยเป็นต้น โดยแหล่งวัตถุดิบที่เป็นต้นกำเนิดของพลังงานไฟฟ้านั้นจะใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน มาป้อนให้ภาคการผลิตคือโรงงานไฟฟ้า ซึ่งล้วนแต่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โครงการอัยสวรรย์ เป็นองค์กรที่เน้นการให้บริการต่อประชาชน นักท่องเที่ยว จึงได้มองเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว พร้อมได้หาแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนถาวร มุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบต่อภาคการผลิตไฟฟ้าเดิม และการใช้ทรัพยากรพลังงานที่เหมาะสมในพื้นที่ด้วยพลังงานทดแทนที่สะอาดและสามารถเป็นจุดเด่น (Land mark) เพิ่มเติมให้กับพื้นที่เดิมหรือเป็นแหล่งเรียนรู้การใช้พลังงานทดแทนได้ ซึ่งพื้นที่ตั้งโครงการอัยสวรรย์ มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมความเร็วลมต่ำและโซล่าร์เซลล์ ตลอดถึงสามารถเป็นสถานที่ต้นแบบของแห่งท่องเที่ยวและที่พักอาศัยสำหรับการศึกษาดูงานทางพลังงานทดแทน ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านพลังงานลมและแสงอาทิตย์ จึงได้เข้ามาศึกษาวิจัยถึงความเป็นไปได้ในสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน

ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย

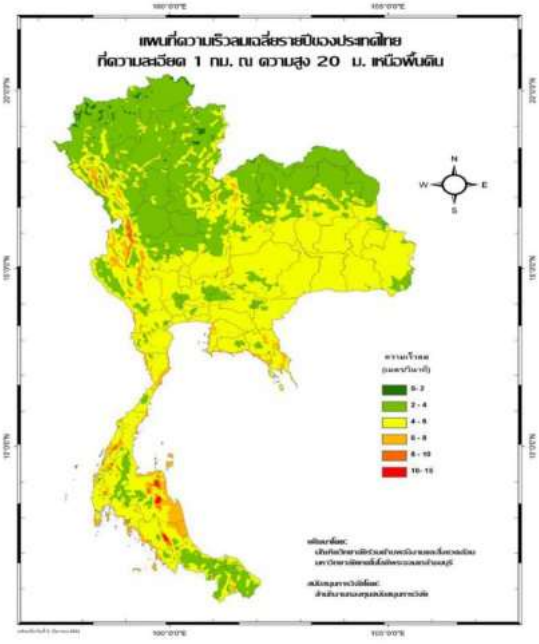
สำหรับศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทยจากรายงานการศึกษาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า แหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีของประเทศไทย มีศักยภาพกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ประมาณระดับ 1-5 (Wind Power Classes 1-5) ซึ่งเท่ากับค่าความเร็วลมประมาณ เฉลี่ยประมาณ 6.4 เมตร/วินาที โดยบริเวณที่พบค่าความเร็วสูงสุดโดยมากอยู่บริเวณภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกและเห็นได้ว่าพื้นที่โดยทั่วไปแล้วประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 4-5 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังมีการสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพของพลังงานลมเพียงพอ เช่น บริเวณยอดเขาหรือเทือกเขาต่างๆ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 1 [1]

จากรายงานการวิจัยการศึกษาศักยภาพลมเพื่อผลิตไฟฟ้าของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ได้อ้างอิงถึงรายงานการสำรวจความเร็วลมของธนาคารโลก เมื่อปี พ.ศ. 2544 ได้มีรายงานผลการศึกษาแผนที่แหล่งพลังงานลมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Wind Energy Resource Atlas of South East Asia) รายงานนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ พลังงานลมในภาพแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย ในรายงานนี้ที่กล่าวในส่วนของประเทศไทย พบว่า พื้นที่บริเวณภาคกลางของประเทศไทยจะมีลมปานกลางที่ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 4.4 เมตรต่อวินาที ต่อมาในปี พ.ศ. 2548 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สังเกตพบว่าบริเวณภาคกลางโดยเฉพาะตอนล่างและบริเวณข้างเคียงมีศักยภาพพลังงานลมเพียงพอทำให้มีความเป็นไปได้สูงถึงความเหมาะสมต่อการติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า [2]

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแผนที่ลม ศึกษาโดยบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี พ.ศ.2550-2552 [3] มีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษารายงานของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) แนวโน้มเชิงปริมาณของข้อมูลความเร็วลมสอดคล้องตรงกัน โดยแสดงให้เห็นว่าศักยภาพทางพลังงานลมในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยนั้นจะมีความเร็วลมค่อนข้างดีโดยทั่วไป จะมีความเร็วลมที่สูงอยู่ในแถบจังหวัดทางด้านตะวันตกของภาคกลาง เช่น จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดราชบุรี จังหวัดตาก จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดนครปฐม และในจังหวัดแถบขอบตะวันออกของภาคกลางในบางจังหวัด เช่น จังหวัดสระบุรี จังหวัดลพบุรี และจังหวัดเพชรบูรณ์

โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้กังหันลมขนาด 10kW และใบกังหันลมที่ผลิตในประเทศที่ใช้รูปร่างหยดน้ำ R1235 มาสร้างใบกังหันลมเพื่อใช้กับความเร็วลมเฉลี่ย 4-5 เมตรต่อวินาที ที่อยู่ในแผนข้อเสนอเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนั้นถือได้ว่าเป็นกังหันที่อยู่ในกังหันลมขนาดเล็ก ที่พบกันในส่วนใหญ่ในต่างประเทศนั้นเป็นกังหันลมขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้กำลังลมสูงในการผลิตไฟฟ้า และยังมีการดึงไฟฟ้าจากสายส่งเข้ามาในระบบเพื่อเริ่มทำการหมุนตลอดเวลา ทำให้ในบางครั้งอาจพบได้ว่ากังหันลมนั้นจะมีการใช้ไฟฟ้ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าในช่วงของความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำกว่า 3 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีอยู่ในบางช่วงเวลาในการทำงานของระบบ [4]

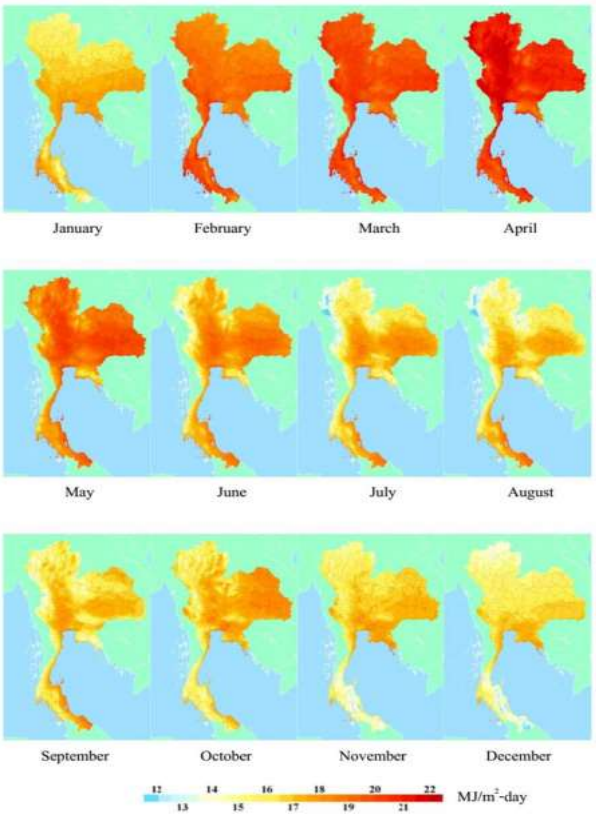
สำหรับกังหันลมที่ทางศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานนำเสนอนั้นเป็นกังหันความเร็วลมต่ำขนาด 10 kW จำนวน 1 ชุด โดยการทำงานนั้นจะไม่มีการดึงกระแสไฟฟ้าจากสายส่งมาเพื่อเริ่มต้นการหมุน เนื่องจากระบบกังหันจะเริ่มต้นหมุนด้วยตัวเองที่ความเร็วลมเริ่มต้น 2.5 เมตรต่อวินาที เป็นกังหันลมที่พัฒนาออกแบบและผลิตขึ้นโดยนักวิจัยไทย เพื่อให้เกิดเป็นเทคโนโลยีและนวัตกรรมของคนไทยที่มีการจัดสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าความเร็วลมต่ำขนาด 10kW โดยจะทำการออกแบบของกังหันลม ประกอบด้วย ใบกังหัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบควบคุมการทำงานของกังหันเพื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่สายส่ง และควบคุมการทำงานของระบบในช่วงความเร็วลมต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงานสูงสุด ทนต่อกระแสลมที่ผันผวน รุนแรงในบางช่วงความเร็วลมต่างๆ และหยุดหมุนในช่วงลมกระโชกและมีพายุอย่างรุนแรง เกินกว่าความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที ให้กลับมาเริ่มต้นการทำงานใหม่ได้โดยอัตโนมัติ และวัสดุต่างๆ ที่นำมาผลิตใบพัดกังหันซึ่งเป็นหัวใจหลักของชุดกังหันลมนั้นต้องมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศ เป็นต้น เนื่องจากประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในแถบบริเวณเส้นศูนย์สูตร จึงมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ต้องการกังหันลมมีประสิทธิภาพที่ดีในการทำงาน และเหมาะสมกับลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในประเทศไทย ประกอบกับการผลิตไฟฟ้าแบบฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่ ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งเป็นจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงจากขนาดที่โตมากเกินไปและไม่เหมาะสมกับบริบทวิถีทางสังคมเกษตรในประเทศไทย [5-6]



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 20 เมตรขึ้นไป

ศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมและให้ความสนใจจากหน่วยงาน องค์กรและภาคประชาชน จากข้อมูลพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ปีพ.ศ.2560 ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทยซึ่งจัดทำโดยมหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แบบจำลอง ดังกล่าวคำนึงถึงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน ไอน้ำ และการลดทอนของฝุ่นละออง ข้อมูล ดาวเทียมที่ใช้เป็นข้อมูลจากดาวเทียม GMS5 GOES9 และ MTSAT1R รวมระยะเวลา 15 ปี (ค.ศ. 2001-2015) โดยได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศ และนำผลที่ได้ไปจัดแสดงในภาพแผนที่รายเดือน และรายปี จากแผนที่รายเดือน พบว่า การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการ กระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (18-20MJ/m^2day) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ดังภาพที่ 2 โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m2-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และ บริเวณใกล้เคียง เมื่อพิจารณาความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน สำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีค่าสูงเหมาะแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก



ภาพที่ 2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆในประเทศไทย

วิธีการวิจัย

ขอบเขตของงานในการดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์และในการดำเนินโครงการนี้ที่ได้กำหนดไว้ในข้อกำหนดรายละเอียดประกอบด้วย

1. งานศึกษาและจัดหาข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลประกอบ โดยอาศัยกระบวนการตามหลักวิชาการที่เชื่อถือได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม และความเข้มแสงอาทิตย์

2. งานสำรวจพื้นที่และการตรวจวัด ทำการสำรวจพื้นที่ที่คัดเลือกไว้เพื่อตรวจวัด ดูทิศทางที่ตั้ง ความเร็วลม ความเหมาะสมระยะห่างของกังหันลมและสำรวจความเข้มแสง ขนาดและพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์

3. งานวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม จากแหล่งจากข้อมูล นำข้อมูลลมจากฐานข้อมูลลมจากระบบประมวลผลความเร็วลม มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลมโดยศึกษาและจัดทำรายงานความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมแต่ละช่วงเวลา ภายในรอบวัน เดือน

4. งานวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งได้รับการรับรองจาก World bank ซึ่งสามารถแสดงความเข้มแสงอาทิตย์ ปริมาณรังสีตกกระทบ และความสามารถในการผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์ในพื้นที่ศึกษาได้การสำรวจผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นภายในพื้นที่โครงการ

5. การคัดเลือกเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ศึกษาและผลศึกษาการลงทุนเบื้องต้น พร้อมจัดทำแผนที่ลมเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่สามารถผลิตได้จากกังหันความเร็วลมต่ำขนาด ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว

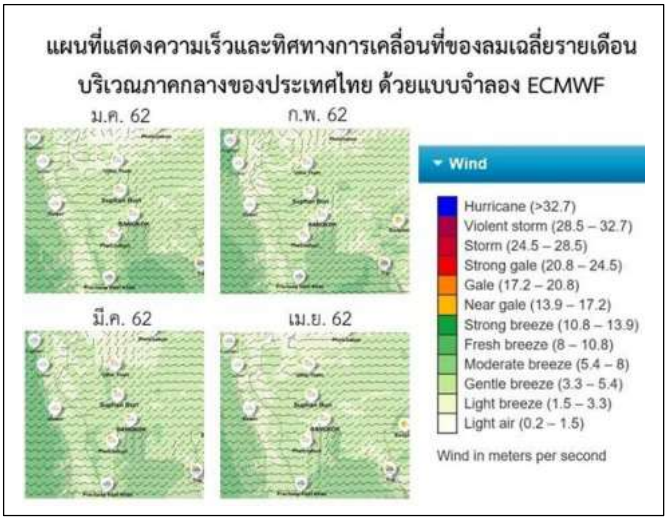
ในกรณีที่ตรวจสอบและวิเคราะห์แล้วว่าพื้นที่ดังกล่าวมีศักยภาพและเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วลมต่ำ ขนาด 10 kW และโซล่าร์เซลล์ ทางศูนย์วิจัยฯ ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์ และกังหันลมความเร็วลมต่ำ คำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน รวมทั้งประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นจากการติดตั้งกังหันลม และแผงโซล่าร์เซลล์

1. การตรวจวัดพลังงานลม

จากการวิเคราะห์ความเร็วลมบริเวณที่ตั้งโครงการอัยสวรรย์ ตำบลเขาพระ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี โดยศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สามารถแสดงได้ดังภาพความเร็วลมเฉลี่ยซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม Windy ที่ความเร็วเฉลี่ยของลมในพื้นที่บริเวณที่ตั้งโครงการอัยสวรรย์ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี อยู่ที่ประมาณ 5 m/s ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 10 เมตร ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 แผนภูมิความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ตั้งโครงการ

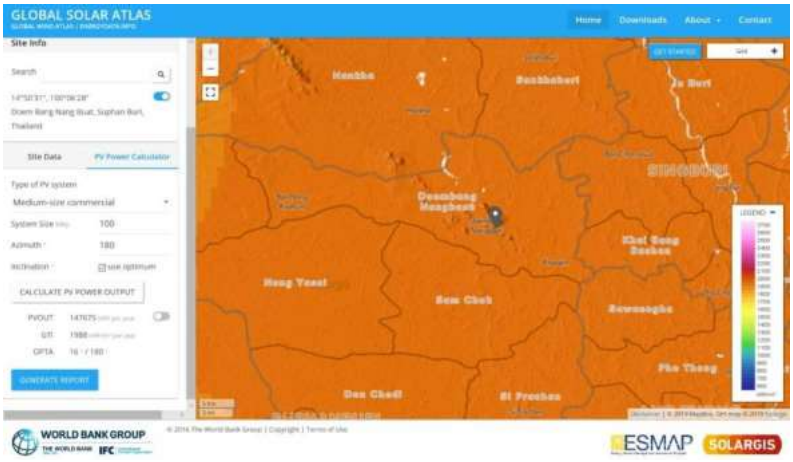
การวิเคราะห์ความเร็วลม พบว่า บริเวณที่ตั้งโครงการอัยสวรรย์นั้นสามารถติดตั้งกังหันลมเพื่อทำการผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำขนาด 5 กิโลวัตต์ และ 10 กิโลวัตต์ได้ เนื่องจากว่าความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่นั้น อยู่ที่ประมาณ 4 เมตรต่อวินาทีที่ความสูง 10 เมตร แต่ตัวกังหันลมความเร็วลมต่ำนั้น เริ่มทำการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที และตัวของเสากังหันก็มีความสูงถึง 18 เมตร จากข้อมูลที่ได้ คณะผู้ศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบผลความเร็วลมที่จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Windy กับแบบจำลองความเร็วลม ของ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) พบว่า แบบจำลอง ECMWF ได้ทำการวิเคราะห์ความเร็วลมบริเวณพื้นที่ตั้งโครงการที่อยู่ในจังหวัดสุพรรณบุรีนั้นมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ที่ 3.3 – 5.4 เมตรต่อวินาที และจะมีบางช่วงเวลาที่มีความเร็วลมถึง 5.4–8 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 4 ซึ่งความเร็วลมทั้งสองช่วงจะอยู่ในพิกัดการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมความเร็วลมต่ำ ที่สามารถเริ่มผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที



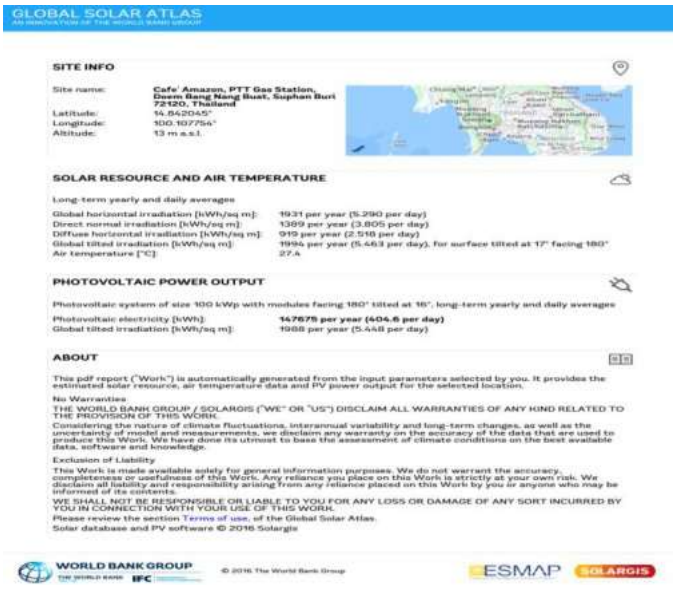
ภาพที่ 4 แผนที่แสดงความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเฉลี่ยรายเดือนบริเวณภาคกลางของประเทศไทย

2. การตรวจวัดพลังงานแสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี และการคาดการพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากแผงโซล่าร์เซลล์โดยโปรแกรม Global Solar Atlas ที่พัฒนาขึ้นโดยธนาคารโลก พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณพื้นที่ตั้งโครงการอัยสวรรย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1931 kWh/m^2 และคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าจากแผงโซล่าร์เซลล์ได้ 404.6 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน หรือประมาณ 147,675 หน่วยไฟฟ้าต่อปี ดังภาพที่ 5 และ 6 จากโปรแกรมการวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 5 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์ ณ บริเวณโครงการอัยสวรรย์



ภาพที่ 6 รายงานการคาดการณ์ความเข้มแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งโซล่าเซลล์ขนาดกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์

3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การออกแบบระบบไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสานสำหรับโครงการอัยสวรรค์ โดยมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับหลังคาโครงการ พลังงานแสงอาทิตย์แบบทุ่นลอยน้ำสำหรับการหมุนเวียนของน้ำและไฟฟ้าฉุกเฉิน พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับหลังคาที่จอดรถ พลังงานลมสำหรับใช้ไฟฟ้าภายในโครงการ รวมทั้งมีระบบกักเก็บพลังงานไว้ใช้สำรอง ในกรณีที่สายส่งไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขัดข้อง เพื่อเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการติดตั้งและพัฒนาการใช้พลังงานในโครงการฯ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สำหรับระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนี้จะใช้วัตถุประสงค์ของการลงทุนเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์อัตราการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน (Greenhouse Gas Emission Removals)

เกณฑ์การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานคือระยะเวลาที่โครงการติดตั้งจะผลิตไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้งานกับโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าของอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกอาคาร หาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานได้ภายในระยะเวลากี่ปี หาค่า Payback Period, PB มีค่าน้อย หมายถึงระยะเวลาของระบบฯ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อมาชดเชยราคาต้นทุนการติดตั้งได้เร็วขึ้น และสามารถใช้เวลาที่เหลือของอายุการใช้งานของอุปกรณ์ระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานโดยไม่มีต้นทุนได้นานขึ้น

การคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน เพื่อประเมินผลประโยชน์ที่ได้จากการใช้ไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ โดยใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยปี พ.ศ.2555 เท่ากับ 43.33 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคิดเป็น 0.54 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยไฟฟ้า

โดยผลการศึกษาอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้ แสดงถึงปริมาณอัตราลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ระยะเวลา 1 ปี ซึ่งอายุการใช้งานของทั้งเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมความเร็วลมต่ำจะอยู่ที่ประมาณ 25 ปี ดังนั้น แสดงให้เห็นว่า ถ้ากำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานทนแทนแบบผสมผสานมีปริมาณมากเท่าใดก็จะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามไปด้วย

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนกรณีฐาน

เป็นการคำนวณผลจากระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในภาพของกระแสเงินสด โดยมิได้คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาที่เกี่ยวข้อง การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจึงมองที่กระแสเงินสดเท่านั้น ไม่ใช่ตัวกำไรหรือขาดทุนของกิจการ โดย ณ จุดที่ได้ผลสะสมของกระแสเงินสดรับเท่ากับเงินลงทุนในครั้งแรกก็จะได้ระยะเวลาคืนทุนเท่านั้นเอง ทำให้การวิเคราะห์ระยะเวลาการคืนทุนจึงเหมาะสมกับการวิเคราะห์โครงการลงทุนที่มีระยะค่อนข้างนาน ดังตารางที่1 ประมาณการค่าการลงทุนในโครงการ

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

รายการที่	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน	ขนาดกำลังการผลิต (กิโลวัตต์)	ราคาติดตั้งพร้อมอุปกรณ์ (บาท/วัตต์)	ราคาประมาณการ (บาท)
1	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์บนหลังคาอาคาร	100	40	4,000,000
2	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำ	5	60	300,000
3	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ	5	40	200,000
4	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมความเร็วลมต่ำ	10	200	2,000,000
5	ระบบกักเก็บพลังงานพร้อมอุปกรณ์	10	25	250,000
6	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LED) บนท้องถนน 10 ชุดๆ ละ 10,000 บาท			100,000
รวมค่าใช้จ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน				**6,850,000**

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คิดที่ได้รับแสง 5 ชั่วโมงต่อวัน จากประมวลผลของระบบคาดการณ์ทางพลังงานแสงทิตย์ Global Solar Atlas ขนาด 100 กิโลวัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 147,675 หน่วยไฟฟ้าต่อปี หรือเท่ากับ 404.6 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน คิดที่ค่าไฟ 5 บาทต่อหน่วยตลอดโครงการ ดังนั้น จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้เท่ากับ 738,375 บาทต่อปี ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คิดที่ได้รับแสง 5 ชั่วโมงต่อวัน จากประมวลผลของระบบคาดการณ์ทางพลังงานแสงทิตย์ Global Solar Atlas ขนาดระบบ 5 กิโลวัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 7,192 หน่วยไฟฟ้าต่อปี หรือเท่ากับ 19.7 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน คิดที่ค่าไฟ 5 บาทต่อหน่วยตลอดโครงการ ดังนั้น จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้เท่ากับ 35,960 บาทต่อปี สำหรับโครงการอัยสวรรย์ ทางคณะผู้ศึกษาได้วางระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากโซล่าร์เซลล์ขนาด 5 กิโลวัตต์ 2 ระบบคือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำและระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 14,384 หน่วยไฟฟ้าและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้เท่ากับ 71,920 บาทต่อปี

จากผลของแบบจำลองกังหันลมความเร็วลมต่ำ พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยกังหันลมความเร็วลมต่ำขนาด 10 กิโลวัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 23,241.98 หน่วยไฟฟ้าต่อปี คิดที่ค่าไฟ 5 บาทต่อหน่วยตลอดโครงการ ดังนั้น จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้เท่ากับ 116,210 บาทต่อปี สำหรับการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าแสงสว่างขนาด 30 วัตต์ต่อ 1 ชุด ในกรณีที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 10 ชั่วโมงต่อวันนั้น จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้ ชุดโคมไฟ LED ขนาด 30 วัตต์ สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ (30 วัตต์ x 12 ชั่วโมง x 30 วัน) / 1,000 = 10.8 หน่วยต่อเดือน (129.6 หน่วยไฟฟ้าต่อปี) คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 54 บาทต่อเดือน (648 บาทต่อปี) ดังนั้น ระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนจำนวน 10 ชุด จะประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 6,480 บาทต่อปี

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าการทำงานของระบบผลิตพลังงานแบบผสมผสานสามารถทำงานได้จริงโดยเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่ หากติดตั้งโครงการสรุปคิดเป็นมูลค่าเงินจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี เท่ากับ 932,985 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน = 6,850,000/932,985 = 7.34 ปี (คิดรวมค่าติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเรียบร้อยแล้ว) การคำนวณระยะเวลาคืนทุนกรณีที่การวิเคราะห์มีการบำรุงรักษาระบบเพิ่มเติม หรือสถานะทางพลังงานทดแทนเปลี่ยนไป

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแตกต่างไปจากการคาดการณ์ 5% (ในกรณีที่ไม่มีแดดหรือลมในบางช่วงเวลาปกติ) หรือตลอดจนในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของราคาอุปกรณ์สูงขึ้น 5% เปรียบเทียบกับกรณีฐาน โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การคำนวณระยะเวลาคืนทุนกรณีที่การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้

กรณีศึกษา	ต้นทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
กรณีฐาน	6,850,000	932,985	7.34
กรณีที่การลงทุนมีต้นทุนเพิ่มขึ้น 5%	7,192,500	932,985	7.70
กรณีการผลิตพลังงานต่ำกว่าที่คาดไว้ 5%	6,850,000	886,335.75	7.72

จากตารางการคำนวณระยะเวลาคืนทุนกรณีที่การวิเคราะห์คลาดเคลื่อน จะเห็นได้ว่าในการศึกษาความเป็นไปได้นี้ แม้ว่าจะมีการวิเคราะห์ในการลงทุน หรือคาดการณ์พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์หรือลมลดลงไป 5% จากกรณีฐาน ก็จะยังทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนอยู่ภายในระยะเวลาไม่เกิน 8 ปี ซึ่งทำให้มีความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในโครงการ สำหรับผลจากศึกษาความเป็นไปได้โครงการอัยสวรรย์ นอกจากจะลดค่า Peak สูงสุดของกำลังไฟฟ้าและช่วยในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดของอาคารแล้ว ยังส่งผลที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย โดยโครงการดังกล่าวจะสามารถช่วยลดอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าต่างๆ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตลงได้ดังนี้

$CO_{2\ Emission}$ = 185,430.58 หน่วยไฟฟ้าต่อปี x 0.54 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยไฟฟ้า

= 100,132.513 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยและข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์พลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยร่วมพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงการ พบว่า มีความเป็นไปได้สูงในการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานโครงการอัยสวรรย์ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี และพื้นที่นั้นมีควรการใช้ความเหมาะสมของเทคโนโลยีพลังงานทดแทน 2 รูปแบบ คือ โซล่าร์เซลล์และกังหันลมความเร็วลมต่ำ โดยจะดำเนินการติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์ ขนาด 100 กิโลวัตต์ บนหลังคาโครงการอัยสวรรย์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำ ขนาด 5 กิโลวัตต์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ ขนาด 5 กิโลวัตต์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมความเร็วลมต่ำ ขนาด 10 กิโลวัตต์ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 185,430.58 หน่วยไฟฟ้าต่อปี คิดเป็นเงินเท่ากับ 932,985 บาทต่อปี โดยจะมีระยะเวลาคืนทุน 7.34 ปี ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าสูง เนื่องจากอยู่ในระยะเวลาอายุการใช้งานของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนทั้งสองระบบและยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้ถึง 100.13 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี สามารถตอบสนองการใช้พลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพของรัฐบาลที่ได้มีแนวทางส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศและสามารถเป็นสถานที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ทางพลังงานทดแทนที่มีประสพผลสำเร็จและยังเป็นจุดสังเกต (Landmark) ของจังหวัดสุพรรณบุรี อีกทั้งเป็นต้นแบบการใช้พลังงานสะอาดอย่างยั่งยืนของโครงการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและทีมงานโครงการอัยสวรรย์ทุกๆท่าน ที่ให้การสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพื้นที่โครงการฯและสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการนี้ ขอบคุณกรรมการศูนย์วิจัยพลังงานฯและนักศึกษา ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมพลังงาน ทุกๆท่านที่ได้ดำเนินโครงการด้วยดี ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พลังงานลม, กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนโรงไฟฟ้า, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[2] กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนโรงไฟฟ้า, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (https://www.dede.go.th/main.php?filename=index)

[3] เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์. (2552), "การศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทยด้วยเทคนิค mesomapping", **ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศคู่ด้านศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย**, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] วิรชัย โรยนรินทร์, อภิชาต ไชยขันธ์ และ ภาณุ ประทุมนพรัตน์. (2556). "การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์เข้าสู่สายส่ง (Design of 10 kW Wind Machine fir Grid Connected System)", ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9**, วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก.

[5] วิรชัย โรยนรินทร์, สว่าง ชาติทอง และ ศิลปชัย เพิ่มพูล. (2558). "กังหันลมชนิดผลิตไฟฟ้าชนิด 2 ชุดโรเตอร์บนเสาเดี่ยว ขนาด 2 กิโลวัตต์ (2kW Wind Generator of Two Rotors on a Single-Tower)", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี.

[6] สว่าง ชาติทอง, วิรชัย โรยนรินทร์. (2553). "การออกแบบระบบทางกลสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์, Mechanical Design Systems of 20 kW Wind Machine", ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6**, วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.