การศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Effect of Dust on Performance of a Solar Panel

นาวิน พุดน้อย และ **อัครินทร์ อินทนิเวศน์***

Navin Pudnoi and **Akarin Intaniwet***

หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Smart Energy and Environmental Research Unit, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

Received: 10 October 2020, Revised: 29 May 2021, Accepted: 30 June 2021, Published online: 23 August 2021

Abstract

The accumulation of dust on solar panel affects the ability of the panel to collect sunlight and hence lowering the efficiency of the solar cells. In this work, the investigation of dust accumulation on the solar panel installed on typical Chiang Mai environment is presented. The spectrophotometer was used to study the light transmission spectrum from the glass and the electrical properties were examined through the I-V curve. It was found that the efficiency of the solar panel reduced by 7.30% upon the accumulation of dust after the period of 60 days. The result from the spectrophotometer confirmed that accumulation of dust lowered the transmitted solar radiation.

Keywords: Dust, Conversion efficiency, Light transmission

บทคัดย่อ

การสะสมของฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลทำให้การรับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลทำให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะจริง รวมถึงการตรวจวัดการส่องผ่านด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแสงและศึกษาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงระยะเวลาที่ฝุ่นตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง 7.30% ภายในระยะเวลา 60 วัน โดยฝุ่นละอองบดบังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนตัวเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการส่องผ่านของกระจกตัวอย่างที่มีฝุ่นละอองเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน ทำให้การรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง จึงส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นละอองตกสะสมอยู่ลดลงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาด

คำสำคัญ: ฝุ่นละออง ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การส่องผ่านของแสง

*Corresponding author: Tel.: 088 268 7904. E-mail address: a.intaniwet@hotmail.co.th

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง ซึ่งพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง [1] แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนการผลิตไฟฟ้าที่มาจากฟอสซิล แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่จำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์จะทำมาจากซิลิกอน โดยการผลิตไฟฟ้าของระบบจะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าระหว่าง 15-20% ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบของระบบนั้นๆ

ฝุ่นละอองที่ตกลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าลดลง โดย Ketjoy N. และ Konyu M [2] ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่นและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด คือ แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 75 W ผลึกรวมซิลิกอนขนาด 125 W และแบบอะมอร์ฟัสซิลิกอนขนาด 40 W ซึ่งผู้วิจัยได้เปรียบเทียบกันระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดและแผงที่มีฝุ่นละอองตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวัดปริมาณฝุ่นละอองที่ตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ 7, 30 และ 60 วัน พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นอยู่ที่ 55, 260 และ 425 mg/m^2·d ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับรังสีอาทิตย์ลดลงเฉลี่ย 3.71% และ 11.15% Yingya C. และคณะ [3] พบว่าฝุ่นละอองตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งที่ความหนาแน่นฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 10 g/m^2 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงสูงสุด 34%

ฝุ่นละอองทำให้เกิดการบดบังแสงอาทิตย์ ซึ่งแสงอาทิตย์จะส่องลงมาตกกระทบแผง จะส่งมาในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสัดส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 nm มีสัดส่วนสูงที่สุด Julius T. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษารูปแบบของฝุ่นละอองที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานที่ 2 แห่งโดยศึกษาลักษณะฝุ่นละอองของแต่ละแห่ง และศึกษาเกี่ยวกับการส่องผ่านของแสงอาทิตย์เมื่อเจอกับฝุ่นละอองที่ตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าฝุ่นแต่ละชนิดมีผลต่อค่าการส่องผ่านต่างกัน ในขณะเดียวกันฝุ่นละอองของทั้ง 2 แห่ง ทำให้ค่าการส่องผ่านลดลงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 nm และพบว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงเช่นกัน Mustapha D. และคณะ [5] ได้ศึกษาอิทธิพลของฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะอากาศแบบทะเลทราย ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 30 MW พบว่าฝุ่นละอองที่ตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ลดลง 5.71% เมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ และลดลง 8.41% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาด และในกรณีที่เกิดพายุทะเลทราย ทำให้การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าลดลงมากถึง 32%

วิธีการวิจัย

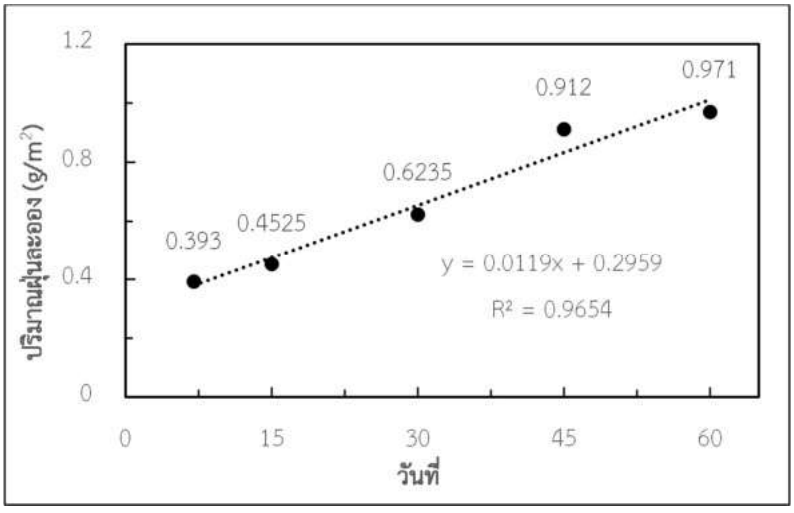
ในการศึกษานี้จะพิจารณาเกี่ยวกับผลกระทบของฝุ่นละอองที่ตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีวิธีการศึกษาคือใช้กระจกนิรภัยเทมเปอร์ขนาด 10 x 10 cm^2 หนา 3 mm เพื่อจำลองกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะใช้กระจกนี้เพื่อให้ฝุ่นตกสะสมลงบนกระจกจำลองนี้ในสภาวะจริงที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ละติจูดที่ 18°55'30.8"N, ลองจิจูดที่ 99°01'28.7"E) เป็นระยะเวลา 60 วัน เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณของฝุ่นละออง ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยวิธีการวัดปริมาณฝุ่นละอองจะทำการชั่งน้ำหนักกระจกก่อนและหลัง เพื่อให้ได้ปริมาณฝุ่นละอองที่ตกสะสมเมื่อเวลาผ่านไป โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง

ภาพที่ 1 การเก็บข้อมูลฝุ่นละอองที่สะสมบนกระจกในสภาวะจริง

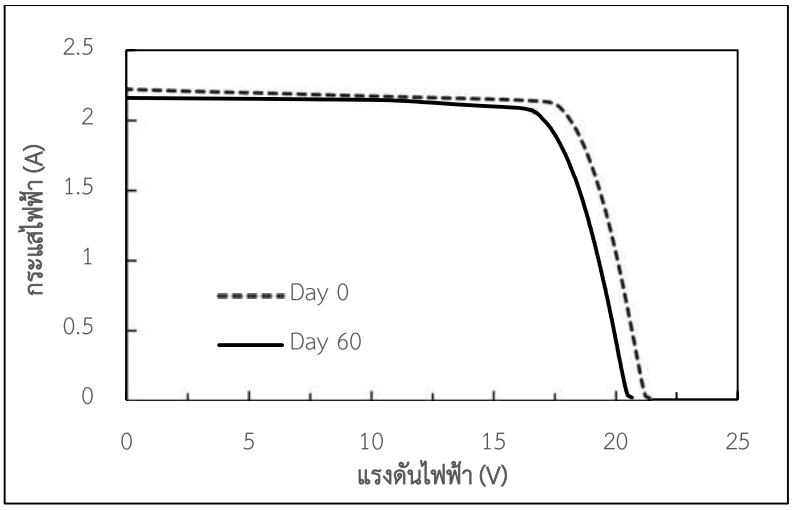
นอกจากนี้แล้วยังได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่มีฝุ่นละอองตกสะสมบนกระจก ซึ่งศึกษาโดยใช้กระจกนิรภัยเทมเปอร์ขนาด 26.5 x 33.5 cm^2 หนา 3 mm และใช้เครื่องวัดสเปกตรัม (Model: UPtrek รุ่น pg100n) ซึ่งวัดช่วงคลื่นแสงในช่วง 400 – 700 nm เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคลื่นที่ตกกระทบลงบนกระจกเมื่อมีฝุ่นละอองโดยใช้แสงจากหลอดจำลองแสงอาทิตย์ (Solar Simulator) ดังแสดงในภาพที่ 1 ในการทดสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แสงอาทิตย์จำลองในการทดสอบ โดยความเข้มแสงอาทิตย์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 800 W/m^2 แผงที่ใช้เป็นแบบผลึกรวมซิลิกอนมีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 55 W มีพื้นที่รับแสงเท่ากับ 0.335 m^2 และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองตกสะสมบนกระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการศึกษาโดยการให้ฝุ่นละอองตกใส่กระจกตัวอย่างตั้งไว้ในสภาวะจริงเพื่อเป็นการจำลองลักษณะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยจะวัดปริมาณฝุ่นในวันที่ 7 15 30 45 และ 60 จากการทดสอบพบว่าปริมาณฝุ่นจะแปรผันตรงกับจำนวนวันที่ตั้งแผงทิ้งไว้ดังแสดงได้ในภาพที่ 2 โดยพบว่าในแต่ละวันมีปริมาณฝุ่นต่อพื้นที่เท่ากับ 0.393 0.453 0.624 0.912 และ 0.971 g/m^2 ทั้งนี้ปริมาณฝุ่นที่ทำการเก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ตั้งชุดทดสอบ สภาพภูมิอากาศ ความเร็วลม ณ จุดที่ทำการทดสอบ

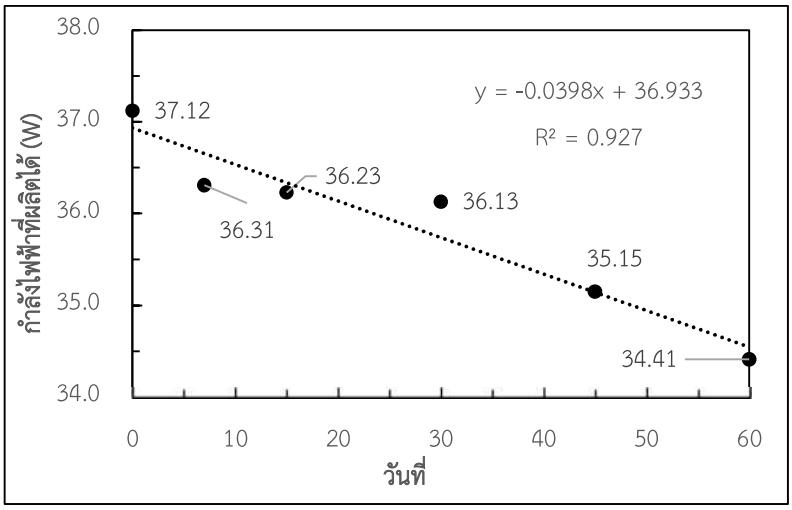


ภาพที่ 2 ปริมาณฝุ่นละอองต่อพื้นที่ในระยะเวลา 60 วัน



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงที่สะอาดเทียบกับแผงที่มีฝุ่นตกสะสมในระยะเวลา 60 วัน

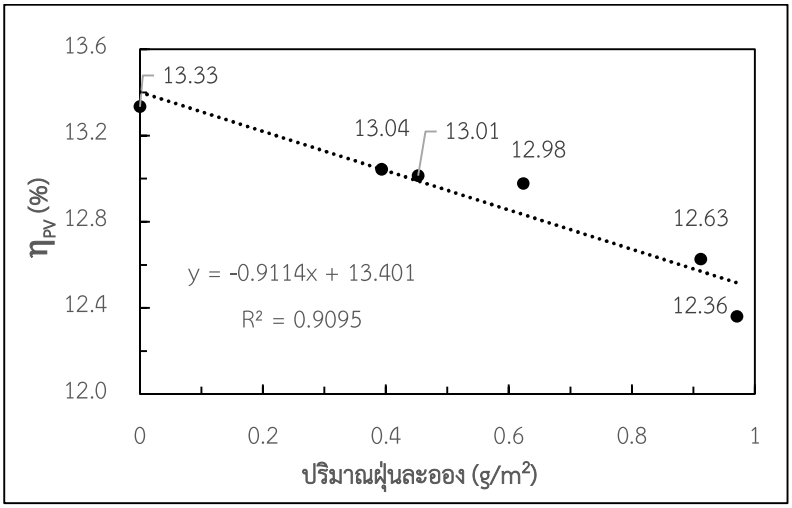
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์วันที่ 0 และ วันที่ 60 โดยการทดสอบวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าโดยใช้แสงเทียมที่ความเข้มแสงเท่ากันที่ 800 W/m^2 จากภาพพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพในการผลิตฟ้าลดลงเนื่องจากฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น จากภาพจะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองมีผลทำให้กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ออกมานั้นลดลง โดยพบว่า กระแสสูงสุด (I_{max}) ลดลง 2.66% และแรงดันสูงสุด (V_{max}) ลดลง 4.77% ซึ่งจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย



ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อปล่อยให้ฝุ่นละอองตกสะสมเป็นระยะเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อปล่อยให้ฝุ่นละอองตกสะสมเป็นระยะเวลาต่างๆ จากภาพพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลงเมื่อตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทิ้งไว้ โดยจะลดลงมากที่สุด 7.30% เมื่อตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทิ้งไว้ 60 วัน เทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีฝุ่นละอองตกสะสม (วันที่ 0) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อฝุ่นละอองตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น

ลดลงตาม ซึ่งวิธีการที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นคือ การล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุด

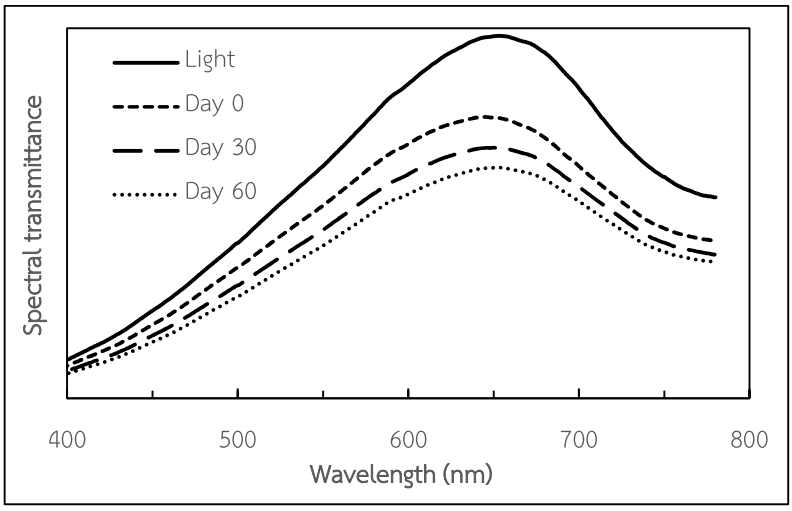


ภาพที่ 5 ปริมาณฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ตอนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 13.33% เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ประสิทธิภาพลดลดเหลือ 12.98% หรือลดลงคิดเป็น 2.67% และเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน ลดลงเหลือ 12.36% คิดเป็นร้อยละ 7.30% เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ 0 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองเหมือนกัน ซึ่งฝุ่นมีผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	สภาพภูมิอากาศ	ระยะเวลา (วัน)	กำลังไฟฟ้าลดลงสูงสุด (%)
Shaharin A. S. และคณะ [10]	ในเมือง	90	2.54
Ketjoy N. และ Konyu M [2]	ชนบท	60	7.28
Mustapha D. และคณะ [5]	ทะเลทราย	60	8.41
Pudnoi N. และ Intaniwet A.	ชนบท	60	7.30
Rachid K. และ Hamid E.H. [7]	ทะเลทราย	120	10.40
Motasem S. และคณะ [8]	ในเมือง	30	14.26
Miqdam T. C. และคณะ [9]	ทะเลทราย	60	45.06



ภาพที่ 6 ลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแสงที่ส่องผ่านกระจกครอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 6 แสดงถึงลักษณะของสเปกตรัมของคลื่นแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่องผ่านกระจกครอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นละอองตกลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแบบซิลิกอนผลึกรวม ซึ่งช่วงคลื่นในการดูดซับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 1,100 nm [6] ซึ่งในการทดสอบนี้จะทดสอบการส่องผ่านของแสงในช่วง 380 – 780 nm ซึ่งในช่วงสเปกตรัมของแสงที่ทำการทดสอบนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถดูดซับโฟตอนซึ่งจะถูกใช้กระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลภายในชั้นสารกึ่งตัวนำ จากนั้นความต่างศักย์ภายในเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการแยกคู่อิเล็กตรอนและโฮลให้เป็นอิสระจากกัน และเมื่อต่อเข้ากับโหลดทางไฟฟ้า จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุอิสระและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแสงมีผลต่อความต่างศักย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งในการทดสอบผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งฝุ่นเป็นอนุภาคขนาดเล็ก จากการทดสอบพบว่าเมื่อฝุ่นตกสะสมบนกระจกครอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่อย่างที่ควรจะเป็น ซึ่งทำให้การส่องผ่านของแสงทีเข้าสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง เป็นผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้ลดลง เป็นผลทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในลดลง แรงดันไฟฟ้าลดลงดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 และมีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป

สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ลดลงมีหลายปัจจัยเช่น อุณหภูมิ เงาที่บดบัง ฝุ่นละออง ซึ่งฝุ่นละอองที่ตกสะสมลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง ในบทความนี้ได้ศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวเนื่องจากฝุ่นละออง จากการศึกษาผลกระทบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีฝุ่นละอองตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระยะเวลา 60 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ 7.30 ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาในขั้นต้นเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นคือการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตศึกษาทางด้านพลังงานทดแทนในประเทศกลุ่มอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Jacobson, M.Z., Delucchi, M.A., (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power. Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. **Energy Policy**, 39, 1154–1169.

[2] Ketjoy N. and Konyu M. (2014). Study of dust effect on photovoltaic module for photovoltaic power plant. **Energy Procedia**, 52. 431-437.

[3] Yingya C., et al. (2019). Experiment study on effect of dust deposition on photovoltaic panels. **Energy Procedia**, 158. 483-489.

[4] Julius T., et al. (2019). The effect of dust with different morphologies on the performance degradation of photovoltaic modules. **Sustainable energy technologies and assessments**, 31. 347-354.

[5] Mustapha D., et al. (2020). Output power loss of crystalline silicon photovoltaic modules due to dust accumulation in Saharan environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 124. 109787.

[6] William S. and Hans J. Q. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. **Journal of Applied Physics**, 32(3). 510-519.

[7] Rachid K. and Hamid E. H. (2017). Solar cell performance reduction under the effect of dust in Jazan region. **Journal of Fundamentals of renewable energy and applications**, 7. 1000228.

[8] Motasem S., et al. (2016). Experimental study on effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. **Renewable energy**, 92. 499-505.

[9] Miqdam T. C., et al. (2020). The effect of dust components and contaminants on the performance of photovoltaic for the four regions in Iraq: a practical study. **Renewable energy and environmental sustainability**, 5(3). 2019009.

[10] Shaharin A. S., et al. (2015). Real-time study on the effect of dust accumulation on performance of solar PV panels in Malaysia. **International conference on electrical and information technologies (ICEIT)**. 269-274.