บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันนี้ การใช้พลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังเป็นปัญหาใหญ่ เนื่องจากน้ำมันมีราคาแพงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว และคาดว่าปริมาณที่จะมีใช้ได้ในโลกนี้ต่อไปอีกไม่กี่สิบปี ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้าเพื่อหาแหล่งพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ มาทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็เป็นแหล่งพลังงานอันหนึ่ง ที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้เปล่าตามธรรมชาติไม่มีวันหมด ข้อดึงดูดใจอีกอย่างหนึ่งของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก็คือ เป็นการใช้งานที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางภายในประเทศขณะนี้ก็คือ การทำน้ำร้อนเพื่อใช้ในโรงพยาบาล โรงแรม และมีแนวโน้มในอนาคตที่จะมีการใช้ในกิจการโรงงานอุตสาหกรรมและอื่น ๆ อีก นอกจากนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำความเย็นในการปรับอากาศภายในอาคาร ก็ได้รับความสนใจอย่างมากในวงการธุรกิจ

โดยเฉลี่ยแล้วแผงรับแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้เพื่อทำความร้อนหรือความเย็นในกิจการโรงแรมหรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็นับเป็น 100 ตารางเมตรขึ้นไป ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการคำนวณอย่างละเอียดถึงความร้อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ๆ จากแผงรับแสงอาทิตย์ เพราะจะต้องใช้จำนวนเงินลงทุนสูง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะต้องลงทุนค่าแผงรับแสงอาทิตย์ประมาณ 50 % หรือมากกว่าของจำนวนเงินลงทุนในการติดตั้งทั้งระบบ ในการนี้ บริษัทผู้ผลิตแผงรับแสงอาทิตย์ภายในประเทศไม่สามารถทำได้ เนื่องจากในขณะนี้ยังไม่สามารถทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ของตัวเองได้เพราะอุปกรณ์ทดสอบราคาแพงและต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบนาน นอกจากนั้น สำหรับบริษัทที่สั่งแผงรับแสงอาทิตย์มาจากต่างประเทศซึ่งส่วนมากจะมี

กราฟแสดงประสิทธิภาพมาด้วย เมื่อนำมาใช้ในสภาวะอากาศของบ้านเราซึ่งไม่เหมือนกัน อาจจะทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันไป นอกเหนือไปจากนี้ผลที่ได้จากการทดลองจะทำให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์ต่างชนิดกัน เพื่อให้ผู้ซื้อสามารถเลือกซื้อได้ตามความต้องการและกำลังทรัพย์ และยังทำให้เกิดการแข่งขันกันในระหว่างผู้ผลิต โดยการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าให้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะได้มาซึ่งประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะภูมิอากาศภายในประเทศที่แผงรับแสงอาทิตย์จะใช้งานจริง ๆ โดยกำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตภายในประเทศผลิตแผงรับแสงอาทิตย์ภายใต้มาตรฐานเดียวกันและตรงกับความต้องการภายในประเทศ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตมรสุม ที่เส้นรุ้ง 5° - 22° น. เส้นแวงที่ 96° - 106° อ. ปริมาณฝนที่ตกค่อนข้างสูง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศโดยทั่ว ๆ ไป จะอยู่ในเกณฑ์สูง ท้องฟ้ามักจะถูกปกคลุมด้วยเมฆไม่มากก็น้อย ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้ จึงไม่สูงมากนัก โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าประมาณ 17 เมกกะจูลย์ต่อตารางเมตรต่อวัน จำนวนวันที่มีสภาวะอากาศท้องฟ้าแจ่มใสตลอดวันในแต่ละปีจึงมีน้อยซึ่งจะมีอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ฉะนั้น วิธีการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ด้วยการใช้แผงรับแสงอาทิตย์จำนวน 4 แผงต่ออนุกรม ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์เพียงแผงเดียวประมาณ 4 เท่า จึงเป็นวิธีการทดสอบแบบเอ้าท์ดอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นมาตรฐานของประเทศไทย

1.2 การสำรวจผลงานในอดีต

ผลงานทางด้านการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์นี้ได้มีผู้ทำการศึกษาและทดลองไว้เป็นจำนวนมากในต่างประเทศ ซึ่งมีหลักการทดสอบอยู่ 2 วิธี คือ

1.2.1 วิธีอินแสตนเทเนียส (instantaneous procedure) [10] เป็นวิธีที่ใช้กัน

อย่างแพร่หลาย การทำงานของของไหลจะใช้ได้ทั้งระบบปิดและระบบเปิด การหาประสิทธิภาพอินแสตนเทเนียส (instantaneous efficiency) จะหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{H}{AQ} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{AQ} \qquad (1-1)$$

โดยที่ η = ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

H = อัตราพลังงานความร้อนจากแผงรังแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ประโยชน์, วัตต์.

A = พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, ม.^{2}

Q = อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกบนระนาบของแผงรับแสงอาทิตย์, วัตต์/ม.^{2}

$\dot{m}$ อัตราการไหลของของไหล, กก./ว.

C_p = ความร้อนจำเพาะของของไหล, จูลย์/(กก.- ^{o}ค.)

T_o = อุณหภูมิขาออกของของไหล, ^{o}ซ.

T_i = อุณหภูมิขาเข้าของของไหล, ^{o}ซ.

1.2.2 <u>วิธีคาลอลี่เมทริค</u> (calorimetric procedure)[10] เป็นวิธีที่มีการทำงานของของไหลเป็นแบบระบบปิด การหาประสิทธิภาพจะหาได้จาก

$$\eta = \frac{H}{AQ} = \frac{\int_o^t m C'_p \, dT}{\int_o^t Q \, dt} \qquad (1-2)$$

โดยที่ m = มวลของตัวกลางในคาลอลีมิเตอร์ (calorimeter) ต่อพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, กก./ม.^{2}

C'_p = ความร้อนจำเพาะของตัวกลางในคาลอลี่มิเตอร์, จูลย์/(กก.- ^{o}ค.)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวกลางในคาลอลี่มิเตอร์, ^{o}ซ.

t = เวลา, ว.

ในการหาประสิทธิภาพของแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ กัน กล่าวคือ วิธีอินแสตนเทเนียสจะต้องวัด อัตราการไหลของของไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของของไหล และอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่วัดได้นี้ จะ

เป็นค่าอินแสตนเทเนียส ของไหลที่ใช้ถ่ายเทความร้อน (transfer fluid) จะใช้ได้ทั้งของเหลวและก๊าซ การหาประสิทธิภาพอินแสตนเทเนียส ด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าการหาประสิทธิภาพด้วยวิธีคาลอลี่เมทริคซึ่งจะต้องวัดอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับแสงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (dT/dt) ในคาลอลี่มีเตอร์ ซึ่งถ้าหากใช้วิธีนี้หาประสิทธิภาพอินแสตนเทเนียสจะมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นมาก เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในคาลอลี่เมทริคมีค่าน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากการสูญเสียความร้อนจากคาลอลี่มีเตอร์สู่บรรยากาศภายนอก แต่ถ้าเป็นการหาประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวัน (average daily efficiency) ด้วยวิธีนี้จะทำได้ง่ายกว่าเพราะในบางกรณีก็ไม่สามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในคาลอลี่เมทริคได้ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็สามารถหาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งวัน ($\int^{day} dT$) และพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งวัน ($\int^{day} Q\ dt$) ได้ นอกจากนั้น วิธีคาลอลี่เมทริคยังมีข้อจำกัดที่ว่าของไหลถ่ายเทความร้อนจะต้องเป็นของเหลว เพราะของเหลวมีความจุความร้อนได้มากกว่าและถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าก๊าซ

ในที่นี้จะกล่าวถึงผลงานที่เกี่ยวกับการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งใช้น้ำเป็นของไหลถ่ายเทความร้อน ฮิลล์และกูซูดะ (Hill and Kusuda)[11] ได้ทำการศึกษาและทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นมาตรฐานของ NBS (National Bureau of Standard) สามารถใช้ทดสอบได้ทั้งแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบรวมแสง แต่ส่วนมากจะใช้กับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ได้ทั้งของเหลวหรือก๊าซเป็นของไหลถ่ายเทความร้อน การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบด้วยวิธีการนี้ จะหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{H}{QA} = F'(\tau\alpha)_e - \frac{F'U_L}{Q}\left(\frac{T_o + T_i}{2} - T_a\right) \qquad (1\text{-}3)$$

เมื่อ F' = ตัวประกอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ (collector efficiency factor)

$(\tau\alpha)_e$ = ค่าประสิทธิผลของผลคูณการยอมให้รังสีผ่านทะลุและการดูดรังสี (effective transmittance-absorptance product)

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน (heat transfer loss coefficient)

T_a = อุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบ (ambient temperature)

T_o = อุณหภูมิขาออกของของไหล

T_i = อุณหภูมิขาเข้าของของไหล

โดยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นอกจากนี้ ยังได้แนะนำอุปกรณ์การวัดและวิธีการวัดสำหรับหาประสิทธิภาพไว้ด้วย ต่อมาฮิลล์และเพื่อน (Hill et al)[10] ได้รวบรวมวิธีการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ของฮิลล์และกูชูดะและของประเทศต่าง ๆ ไว้ ซึ่งประกอบด้วยวิธีของอัฟริกาใต้ วิธีของอิสราเอล โดยโรบินสันและสทอตเตอร์ (Robinson and Stotter)[15] โดรอน (Doron)[7] วิธีของออสเตรเลีย โดย CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) นอกจากนี้ ยังมีการทดสอบที่มหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย (Pennsylvania) และการทดสอบที่ศูนย์วิจัยนาซ่า (NASA Lewis Research Center) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการทดสอบแบบเอ้าท์ดอร์ (outdoor) เว้นแต่การทดสอบที่นาซ่าซึ่งเป็นการทดสอบแบบอินดอร์ (indoor) โดยใช้โซล่าซิมมูเลเตอร์ (solar simulator) เพื่อที่จะควบคุมค่าต่าง ๆ ของตัวแปรได้และจะใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่าแบบเอ้าท์ดอร์ นอกจากนี้เขายังได้รวบรวมเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบ อุณหภูมิของแผ่นดูด ความเร็วลม จำนวนแผ่นใสปิดด้านบนและลักษณะผิวของแผ่นดูด ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ไว้ด้วย อาราโนวิทซ์ (Aranovitch)[1] ได้เปรียบเทียบการหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ระหว่างการทดสอบแบบเอ้าท์ดอร์กับแบบผสมเอ้าท์ดอร์-อินดอร์ ไบด์ สูต้าและวิชช์ยา (Bhide, sootha and Vaishya)[5] ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ค่าตัวแปรทางสภาวะแวดล้อม ค่าตัวแปรทางการออกแบบ ค่าตัวแปรทางฟิสิกส์ และค่าตัวแปรขณะการใช้งาน ต่อมาไซมอนส์และคูเปอร์ (Symons and Cooper)[18] ได้หาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ด้วยสมการที่ต่างไปจากที่กล่าวมาแล้ว คือ วิธีนี้ได้ใช้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม (environmental temperature) แทนอุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบ (ambient temperature) ซึ่งอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมจะต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบประมาณ 3°ซ เนื่องจากอุณหภูมิ

ของท้องฟ้า (Sky temperature) ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสถานที่ที่ใช้ทดสอบด้วย นอกจากนั้น เขายังได้เปรียบเทียบการหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ที่หาได้โดยตรงจากการทดสอบแบบอินดอร์กับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่หาได้จากสมการประสิทธิภาพไว้ด้วย ซานโดและเพื่อน (Sando et al)[16] ได้ศึกษาและทดสอบหาประสิทธิภาพและความร้อนที่สูญเสียของแผงรับแสงอาทิตย์ตามวิธีมาตรฐานของ NBS พร้อมกันนั้น ก็ได้เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่หาได้โดยตรงจากการทดสอบแบบอินดอร์กับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่หาได้จากสมการประสิทธิภาพ เจนคินส์และฮิลล์ (Jenkins and Hill)[13] ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างมาตรฐานการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ของ NBS กับวิธีของ ASHRAE (American Society for Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers)[2] ซึ่งวิธีการทดสอบของ ASHRAE ได้ปรับปรุงมาจากมาตรฐานของ NBS โดยได้เพิ่มการหาเวลาคงที่ (time constant) และค่าแก้ไขมุมตกกระทบ (incident angle modifier) ไว้ด้วย โวส์สเนอร์ (Woessner)[22] ได้ทำการทดสอบแบบผสมเอ้าท์ดอร์-อินดอร์ โดยทำการทดสอบแบบเอ้าท์ดอร์เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อน และทดสอบแบบอินดอร์เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพความร้อนที่สูญเสียไป ซึ่งดิทท์เตสและเกอรร์ริง (Dittes and Goettling)[6] ได้กล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของการทดสอบหาประสิทธิภาพแบบอินดอร์ กล่าวคือ ข้อดีของการทดสอบแบบอินดอร์ ก็คือ ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่แน่นอน เนื่องจากการควบคุมสภาวะอากาศ การคำนวณค่ามุมตกกระทบ ค่าผลคูณของการยอมให้รังสีผ่านทะลุและการดูดรังสี (transmittance-absorptance product) จะไม่คลุมเคลือและใช้ระยะเวลาของการทดสอบน้อย ส่วนข้อเสียก็คือ จะต้องใช้จำนวนเงินลงทุนและการดำเนินงานสูง ค่าต่าง ๆ ที่ตั้งขึ้น (set) เพื่อการทดสอบ เช่น สภาวะอากาศ มุมตกกระทบ อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ จะเป็นค่าประมาณจากของจริง เจนคินส์ (Jenkins)[12] ได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ตามวิธีการของ BSE (German Bundesverband Solarenergie) และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองนี้กับวิธีของ ASHRAE ซึ่งวิธีของ BSE ได้ทำการทดสอบแบบผสมเอ้าท์ดอร์-อินดอร์ โดยทำการทดสอบแบบเอ้าท์ดอร์เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อไม่มีความร้อนสูญเสียและทดสอบแบบอินดอร์เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพความร้อนสูญเสีย ส่วนวิธีของ ASHRAE จะเป็นการทดสอบแบบ

เอ๊าท์ดอร์ ความร้อนที่สูญเสียจะหาได้จากสมการประสิทธิภาพ บีช, ฮักกินส์และโรแลนด์ (Beach, Huggins and Roland)[4] ได้หาประสิทธิภาพทั้งวัน (all-day efficiency) ของแผงรับแสงอาทิตย์และยังได้เปรียบเทียบผลการทดสอบของแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งใช้จำนวนแผ่นใสปิดด้านบนต่างกันและลักษณะผิวของแผ่นดูดต่างกันไว้ด้วย เคร้าส์, ฮาร์นีและชอนท์ (Kraus, Halne and Shons)[14] ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ทดสอบแบบเอ๊าท์ดอร์กับแบบอินดอร์ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพไว้ด้วย สตีเมอร์และอาราโนวิทช์(Steemers and Aranovitch)[17] ได้ทำการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อหาประสิทธิภาพและความร้อนที่สูญเสียในสภาวะอากาศแบบยุโรปโดยหาแบบเอ๊าท์ดอร์ซึ่งจะเหมือนกับวิธีมาตรฐานของ NBS และ ASHRAE และแบบผสมเอ๊าท์ดอร์-อินดอร์ซึ่งก็จะเหมือนกับวิธีของ BSE นอกจากนั้นเขายังให้ข้อแนะนำในการใช้และการติดตั้งอุปกรณ์การวัดในการหาประสิทธิภาพไว้ด้วย ทาเบอร์ (Tabor)[20] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบเอ๊าท์ดอร์ด้วยวิธีการที่ต่างไปจากวิธีที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด คือ แผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบมีจำนวน 4 แผงต่ออนุกรมกันโดยแต่ละแผงต้องมีลักษณะเหมือนกัน (ผลิตจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน) วิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ในวันที่มีสภาวะอากาศท้องฟ้าแจ่มใส (clear day) จะได้ผลการทดลองอย่างเร็วที่สุดภายใน 1 วัน และจะได้ช่วงอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์สูงตามความต้องการได้ เนื่องจากใช้จำนวนแผงรับแสงอาทิตย์มากกว่า

1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้

จะเห็นได้ว่า การผลิตแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบของผู้ผลิตภายในประเทศยังไม่มีมาตรฐานกำหนดให้เป็นที่ยอมรับกันภายในประเทศ และยังไม่มีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบภายใต้สภาวะการใช้งานจริงภายในประเทศไว้เลย ดังนั้นเป้าหมายของงานวิจัยในครั้งนี้ก็เพื่อ

1.3.1 เพื่อศึกษาและค้นคว้าหาวิธีการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบภายใต้สภาวะการใช้งานจริงภายในประเทศ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย

1.3.2 เพื่อศึกษาและทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบแบบเอ๊าท์ดอร์ ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงภายในประเทศ

1.3.3 เพื่อหาสมการที่เหมาะสมระหว่างประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับตัวแปรต่าง ๆ