การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงและผลกระทบที่มีต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

Changes in Spectral Irradiance and Their Effects on PV Module Performance

อมรรัตน์ ลิ้มมณี* กมลพรรณ ชุมพลรัตน์
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ ถ.พหลโยธิน ต. คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0-2564-7000 ต่อ2711 โทรสาร 0-2564-7059 E-mail: amornrat@nstda.or.th

Amornrat Limmanee* Kamonpan Chumpolrat
Institute of Solar Energy Technology Development, National Science and Technology Development Agency, 111 Thailand Science Park Phahonyothin Road, Klong1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand Tel: 0-2564-7000 ext. 2711 Fax: 0-2564-7059
E-mail: amornrat@nstda.or.th

บทคัดย่อ

ความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากปัจจัยสองตัวนี้แล้ว การกระจายตัวของสเปกตรัมแสงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเซลล์ฯ เซลล์ฯที่สร้างจากวัสดุที่ต่างกันตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงมีอิทธิพลต่อเซลล์ฯแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จากข้อมูลสเปกตรัมแสงและการทำงานของเซลล์ฯในโครงการมาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้น ที่ได้รับการสนับสนุนจากNEDO ประเทศญี่ปุ่น พบว่าสเปกตรัมแสงของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงเดือนธันวาคม~กุมภาพันธ์ จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงมากกว่าเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอน การลดลงของประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนสัมพันธ์กับการลดลงของสเปกตรัมแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น (แสงสีฟ้า) ในขณะที่ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดผลึกจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแผงเป็นหลัก

Abstract

Besides solar irradiance and temperature, spectral irradiance distribution is one of important factor that significantly affects performance of solar cells. Solar cells fabricated from different materials response at different wavelength region, so their dependence on the variation of spectral irradiance distribution is not the same. According to experimental results from the project of the standardization of solar cell characterization technology in low latitude region supported by NEDO of Japan, it was found that the change in spectral irradiance between December and February in Thailand was remarkable. The results of data analysis revealed that thin film silicon solar cell is more sensitive to the change in spectral irradiance than crystalline silicon solar cell. Reduction in performance ratio (PR) of the thin film silicon solar cell directly related to a decrease of the spectral irradiance in the short wavelength region (blue light), while the performance of the crystalline silicon solar cell mostly depended on the module temperature.

1. บทนำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดถูกวัดประเมินประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขวัดมาตรฐาน STC (Standard Test Condition: AM1.5, 1000 W/m^2, 25°C) แต่เมื่อนำไปติดตั้งใช้งานจริงปัจจัยแวดล้อมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์ฯเปลี่ยนแปลง การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเซลล์ฯชนิดต่างๆในสภาวะใช้งานจริงจึงมีความสำคัญมากต่อการเลือกใช้แผงเซลล์ฯและการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ได้จริงจากระบบเซลล์ฯที่ถูกติดตั้งที่สถานที่นั้นๆ คณะวิจัยในต่างประเทศพบว่า ความเข้มแสงและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1-3] เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์ฯสูงขึ้น ค่าopen circuit voltage (V_{oc}) ของเซลล์ฯจะตกลงส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง อัตราการลดลงของประสิทธิภาพในเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนจะสูงกว่าเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอน [1, 3]

อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ การกระจายตัวของสเปกตรัมแสง เนื่องจาก เซลล์ฯที่สร้างจากวัสดุที่ต่างกันตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงมีอิทธิพลต่อเซลล์ฯแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ในต่างประเทศได้มีการเริ่มศึกษาอิทธิพลของสเปกตรัมแสงที่มีต่อการทำงานของเซลล์ฯชนิดต่างๆ [4-5] การกระจายตัวของสเปกตรัมแสงที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงตลอดปีของประเทศไทย ที่มีต่อการทำงานของเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยจะเน้นความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสง(weighted average wavelength of solar spectral irradiance: λ_{WA}) กับ ประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Ratio:PR)ของแผงเซลล์ฯ

2. รายละเอียดการทดลอง

2.1 การเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการทำงานของเซลล์ฯ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลสเปกตรัมแสงจากโครงการมาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้น ที่ได้รับการสนับสนุนจากNew Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) ประเทศญี่ปุ่น โดยมีการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ หลายชนิด จากหลายบริษัททั้งของต่างประเทศและที่ผลิตในประเทศ โดยในบทความนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลของเซลล์ฯชนิดผลึกรวมซิลิคอนและชนิดฟิล์มบางซิลิคอนมาใช้เนื่องจากเป็นเซลล์ฯสองชนิดที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์การใช้งานจริง ข้อมูลที่ใช้มาจากแผงเซลล์ฯของสองบริษัท ระบบวัดเซลล์ฯของโครงการติดตั้งที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) สถาบันพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง กรุงเทพฯ มีการเก็บผลคุณสมบัติ I-V และอุณหภูมิของแผงเซลล์ฯทุก10นาที เก็บข้อมูลสเปกตรัมแสงในช่วงความยาวคลื่น350-1050 nm ทุก1นาที โดยใช้spectroradiometer EKO MS-700 บทความนี้วิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บในช่วงเดือนเมษายน ปี2008 ถึงเดือนเมษายน ปี2009 จำนวนข้อมูลวัดI-Vประมาณ1,005,000 จุด

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลบทความนี้ใช้ 3 factorsหลักคือ 1) ค่าPR 2) ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผง T_{WA} และ3) ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสง λ_{WA} ซึ่งแสดงได้ในรูปสมการดังต่อไปนี้ [6]

$$PR = Y_m / Y_r \quad (1)$$

$$Y_m = E / P_{STC} \quad (2)$$

$$Y_r = H / G \quad (3)$$

*ค่า reference yield: Y_r เป็นค่า total in-plane irradiance: H หารด้วยค่า reference irradiance: G (1 kW/m^2)

*ค่า module yield: Y_m เป็นค่า total energy outputของแผง: E หารด้วยnominal maximum power: P_{STC} ที่วัดที่STC

$$T_{WA} = \frac{\sum G_i \cdot T}{\sum G_i} \quad (4)$$

* T_{WA} เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผงด้วยค่า in-plane irradiance G_i

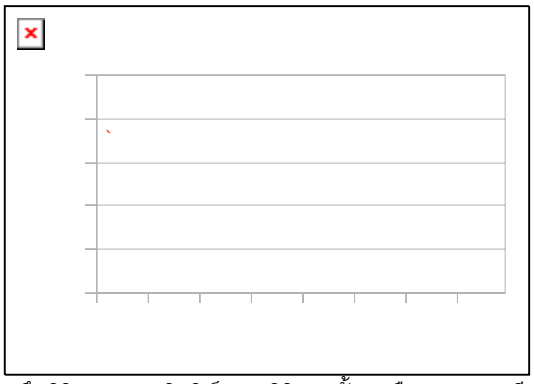
$$\lambda_{WA} = \frac{\int E(\lambda)\lambda d\lambda}{\int E(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

*ค่า λ_{WA} เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสงที่แสดงแนวโน้มการกระจายตัวของสเปกตรัมแสง โดยบทความนี้ใช้ช่วงความยาวคลื่นแสง350 ถึง1050 nmในการคำนวณหาค่า λ_{WA} ในการคัดกรองและวิเคราะห์ข้อมูลผู้เขียนใช้โปรแกรม R [7-8]

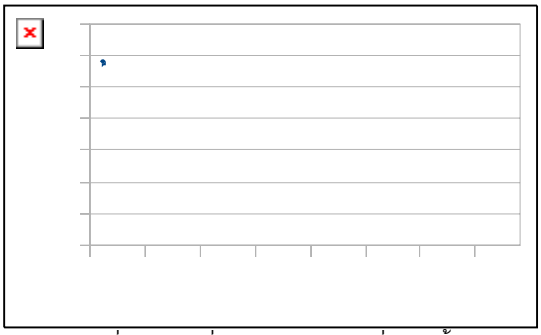
3. ผลการทดลอง

3.1 การเปลี่ยนแปลงของPRแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

รูปที่1แสดงค่าPRของเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนและชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอนตั้งแต่เดือนเมษายน ปี2008ถึงเดือนเมษายน ปี 2009จะเห็นได้ว่าค่าPRของเซลล์ฯชนิดผลึกอยู่ที่ประมาณ0.90~0.95ในขณะที่ค่าPR ของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางจะอยู่ในช่วง1.05~1.15 เมื่อพิจารณาประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผงเซลล์ฯ ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่าPRของเซลล์ฯชนิดผลึกเปลี่ยนแปลงตามค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผงเซลล์ฯ กล่าวคือ เดือนที่ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผงเซลล์ฯสูง PRของเซลล์ชนิดผลึกจะลดลง



รูปที่ 1 ค่าPR ของเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนและชนิดฟิล์มบางซิลิคอนตั้งแต่เดือนเมษายน ปี2008 ถึงเดือนเมษายน ปี2009

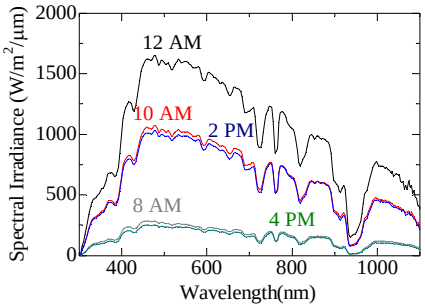


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักอุณหภูมิแผงเซลล์ฯตั้งแต่เดือนเมษายน ปี2008 ถึงเดือนเมษายน ปี2009

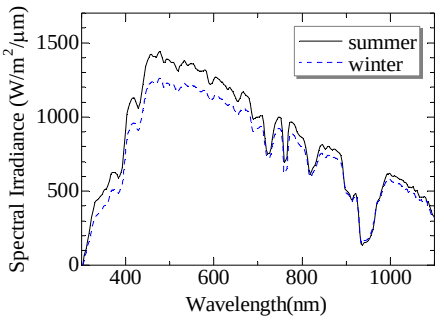
จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแผงเซลล์ภายใต้สภาวะใช้งานจริงจะอยู่ที่ประมาณ50~60°C ซึ่งแตกต่างจากเงื่อนไขอุณหภูมิวัดมาตรฐานมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์ฯชนิดผลึกที่มีค่าสัมประสิทธ์ของประสิทธิภาพต่ออุณหภูมิ(Temperature coefficient) เป็นลบและมีค่าดังกล่าวสูงกว่าเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางได้รับผลกระทบมาก ในสภาวะใช้งานจริงค่าPR ของเซลล์ฯชนิดผลึกจึงไม่ถึง1 ค่าPR ของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนปี2008 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ปี2009 ซึ่งปัจจัยอุณหภูมิอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ จำเป็นต้องนำปัจจัยแวดล้อมอื่นมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลวิเคราะห์นี้จะแสดงในหัวข้อย่อย3.2

3.2 การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงและอิทธิพลที่มีต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สเปกตรัมแสงในแต่ละวันหรือในแต่ละฤดูกาลเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสตลอดทั้งวัน สเปกตรัมแสงจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 3 รูปแบบของสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นแสง350-1050 nmไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ขนาดรูปทรงจะมีอัตราขยายขึ้นตามความเข้มแสง สเปกตรัมแสงตอน 8โมงเช้าใกล้เคียงกับตอน 4โมงเย็น สเปกตรัมแสงตอน 10โมงเช้าใกล้เคียงกับตอนบ่าย2โมง และตอนเที่ยงวันสเปกตรัมแสงทั้งช่วงความยาวคลื่นจะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด



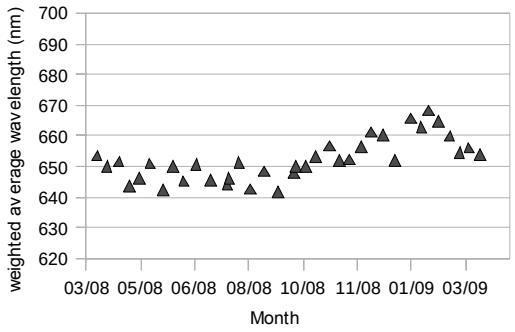
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงใน1วัน (วันที่ท้องฟ้าแจ่มใส)



รูปที่ 4 ความแตกต่างของสเปกตรัมแสงในฤดูร้อน (เดือนเมษายน) กับ ฤดูหนาว (เดือนธันวาคม)

สเปกตรัมแสงในฤดูร้อนกับฤดูหนาวมีแนวโน้มแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4 ในฤดูหนาวสเปกตรัมแสงโดยรวมจะต่ำกว่าของฤดูร้อน โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นแสงสั้น (ช่วง350-700 nm) เซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสง400-1200 nm ในขณะที่เซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนตอบสนองในช่วงที่สั้นกว่าคือช่วง350-800 nm การที่สเปกตรัมแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสั้นลดลงในฤดูหนาวจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอน

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสงตลอดทั้งปี โดยแบ่งคำนวณเดือนละ 3จุดคือ ต้นเดือน กลางเดือน และปลายเดือน จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสง λ_{WA} ของประเทศไทย (กรุงเทพฯ) จะอยู่ระหว่าง640~650 nm และค่าดังกล่าวจะสูงขึ้นถึง660-670 nmในช่วงเดือนพฤศจิกายน ปี2008 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี2009 การที่ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสงเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มแสงความยาวคลื่นสั้น(แสงสีฟ้า)ลด และแสงความยาวคลื่นยาว(แสงสีแดง)เพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนที่ตอบสนองได้ในช่วงความยาวคลื่นสั้นจึงตกลง การลดลงของค่าPRเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางในช่วงเดือนพฤศจิกายน ปี2008 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี2009 สอดคล้องเป็นอย่างดีกับการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสง ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอน จำเป็นต้องนำข้อมูลสเปกตรัมแสงอย่าง ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสงมาใช้ด้วย จึงจะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าPRได้



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสงตั้งแต่เดือนเมษายน ปี2008 ถึงเดือนเมษายน ปี2009

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงและอิทธิพลที่มีต่อการทำงานของเซลล์ฯชนิดผลึกซิลิคอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าPRเซลล์ฯชนิดผลึกได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิเป็นหลัก ในขณะที่เซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสง ค่าPRตลอดทั้งปีของเซลล์ฯชนิดผลึกอยู่ที่ประมาณ0.90~0.95ในขณะที่ค่าPR ของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางจะอยู่ในช่วง1.05~1.15 ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน ปี2008 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี2009ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ฯชนิดฟิล์มบางซิลิคอนลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของแสงความยาวคลื่นสั้นในช่วงเวลานั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงตามฤดูกาลมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ประเทศไทยควรมีการเก็บข้อมูลสเปกตรัมแสงในระยะยาวเพื่อการวิเคราะห์ในเชิงลึกต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) ประเทศญี่ปุ่น และ Dr. Kenji Otani, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) ที่สนับสนุนข้อมูลการวัด และเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. M. Kobayashi and T. Tani, “The Characteristics of PV Modules Output Considered the Environmental Factors,” J. Japan. Solar Energy Soc., Vol.19, pp. 39-46, 1993.
2. Y.Hishikawa and S. Okamoto, “Dependence of the I-V Characteristics of Amorphous Silicon Solar Cells on Illumination Intensity and Temperature,” Solar Energy Mate. and Solar Cells, Vol. 33, pp. 157-168, 1994.
3. K. Akhmad, A. Kitamura, F. Tamamoto, H. Okamoto, H. Takakura and Y. Hamakawa, “Outdoor Performance of Amorphous Silicon and Polycrystalline Silicon PV Modules,” Solar Energy Mate. and Solar Cells, Vol. 46, pp. 209-218, 1997.
4. T. Minemoto, Y. Nakada, H. Takahashi and H. Takakura, “Uniqueness Verification of Solar Spectrum Index of Average Photon Energy for Evaluating Outdoor Performance of Photovoltaic Modules,” Solar Energy, Vol. 83, pp. 1294-1299, 2009.
5. K. Ichida, S. Fukushige, A. Nakajima, T. Minemoto and H. Takakura, ”Impact of Environment Factors on Solar Cell Parameters of a-Si/μc-Si Photovoltaic Modules,” Solar Energy Mate. and Solar Cells, Vol. 93, pp. 879-883, 2009.
6. K. Otani, Y. Hishikawa, P. Sichanugrist, P. Supanich and E. Hattha, “Energy Rating of Various PV Module Technologies Based on Ourdoor Measurements in Low Latitude Region, Thailand,” Proceeding of the Renewable Energy International Conference, Pusan, South Korea, O-PV-044, 2008.
7. W. N. Venables, D. M. Smith and the R Development Core Team, “An Introduction to R”, 2010.
8. W.J. Owen, “The R Guide”, Department of Mathematics and Computer Science, University of Richmond, 2007.