

수평면 전일사량 측정데이터 보정에 관한 실험적 연구

송수원*

*한국전력연구원 녹색성장연구소(swsong@kepri.re.kr)

An Experimental Study on the Scale Correction of Measured Horizontal Global Solar Radiation

Song, Su-won*

*Green Growth Laboratory, KEPCO Research Institute(swsong@kepri.re.kr)

Abstract

A Precision Spectral Pyranometer (PSP) is mainly used as a reference to calibrate other pyranometers due to its high accuracy and sensitivity in response to the spectrum wavelength range of 0.285μ to 2.8μ , while the sensitivity of photovoltaic-type Li-Cor pyranometer is limited within a certain spectral range from 0.4μ to 1.1μ .

In this study, two Eppley PSPs (PSP₁ and PSP₂) were first compared to the calibrated Eppley PSPs from National Renewable Energy Laboratory (NREL), resulting in two linear correction factors based on the comparison between the logger output (V) from the test PSP and the solar radiation (W/m²) from the NREL PSP. The Li-Cor pyranometer used in this study was then corrected based on the comparison of measured solar radiation (W/m²) from the corrected PSP₁ and the Li-Cor pyranometer. In addition, instrument scale corrections were also performed for the PSPs and the Li-Cor from the transmitter to the data logger. From the comparisons, a linear correction factor (1.0214) with R=0.9998 was developed for the scale correction between PSP₁ and PSP₂, while the Li-Cor pyranometer has a scale(1.0597) and offset (32.046) with R=0.9998 against PSP₁. As a result, it was identified that there were good agreements within $\pm 10 \text{ W/m}^2$ between Eppley PSP₁ vs. PSP₂ solar radiation and within $\pm 20 \text{ W/m}^2$ between PSP₁ vs Li-Cor solar radiation after the empirical scale corrections developed in this study.

Keywords : 수평면 전일사량(Horizontal global solar radiation), 일사량계(Pyranometer), 일사파장범위(Spectrum wavelength range), 보정계수(Correction factor)

1. 서론

1.1 배경 및 목적

태양에너지의 효과적인 활용을 위해서는

보다 정확하고 신뢰성 있는 일사량 데이터를 확보하는 것이 중요하다. 이를 위해서는, 일사의 성분을 고려한 적절한 일사량계의 선정뿐만 아니라 일사량 측정 센서의 감도 특성을

투고일자 : 2010년 6월 7일, 심사일자 : 2010년 6월 18일, 게재확정일자 : 2010년 10월 8일
교신저자 : 송수원 (swsong@kepri.re.kr)

파악하고 측정된 일사량에 대한 보정 또는 검증이 필요하다.

일사량계는 측정하고자 하는 일사의 성분 및 센서의 유형에 따라 다양하지만, 일반적으로 수평면 전일사량계는 일사 감지기(detector)의 종류에 따라서 Thermopile 형태의 Eppley PSP (Precision Spectral Pyranometer)와 Silicon photovoltaic 형태의 Li-Cor 일사량계가 국내외적으로 주로 사용되고 있다. 표 1은 본 연구에서 사용한 Eppley PSP와 Li-Cor 일사량계의 주요 특성 및 감도정수(Scale Factors)를 보여주고 있다. PSP는 대기를 통하여 지표면에 도달하는 대부분의 일사 스펙트럼을 범위 (0.3 μm to 3 μm)를 감지하고 센서의 정확성 및 신뢰성이 좋으나 고가이다. 반면에, Li-Cor 일사량계는 PSP에 비하여 상대적으로 정확성이 떨어지나 가격이 저렴하여 일반적으로 널리 사용되고 있다.

표 1. Eppley PSP와 Li-Cor 일사량계의 주요 특성

Items	Eppley PSP	Li-Cor (Li-200SA)	Remarks
Detector Type	Thermopile	Silicon Photovoltaic	Manufacturer's Scale Factors -PSP1: 7.96 ($\mu\text{V}/\text{Wm}^2$) -PSP2: 9.07 ($\mu\text{V}/\text{Wm}^2$) -Li-Cor: -11.03($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{A}$)
Temperature dependence	$\pm 1\%$ (-20°C to 40°C)	0.15% per °C	
Spectral response	0.285 μm to 2.8 μm	0.4 μm to 1.1 μm	
Sensitivity	Approx. 9 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$	Approx. 90 $\mu\text{A}/1000\text{W}/\text{m}^2$	
Linearity	$\pm 0.5\%$ (0 W/m^2 to 2800 W/m^2)	1% up to 3000 W/m^2	

한편, 일사량계는 일반적으로 시간이 경과하면 노후화됨으로써 감도가 저하된다¹⁾. 따라서 신뢰성 있는 일사량 데이터를 확보하기 위해서는 공인된 기관 및 일사량계 제조사의 정기적인 교/검정이 필요하며, 측정된 일사량에 대해서도 검증 또는 보정이 수반되어야 한다. 하지만, 국내의 경우 한번 구입하여 설치한 일사량계를 주기적으로 교정하는 작업이 잘 이루어지지 않고 있으며, 측정된 일사량에 대한 보정도 미흡한 실정이다¹⁾²⁾.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 미국 Teaxs A&M 대학의 건축과 건물 옥상의 기상관측소(Lat. 30.61°, Lon. 96.35°)에 설치된 Eppley PSP와 Li-Cor 수평면 전일사량계를 대상으로 15분 간격으로 일사량을 측정하고, 이를 보정하는 실험적 연구를 수행하였다. 측정된 일사량 보정 방법은 PSP의 경우, 청명한 기상조건에서 측정된 기준일사량계의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP의 전기적인 출력(V)과의 선형적인 상관관계(Scale Correction)를 바탕으로 보정하였으며, Li-Cor 일사량(W/m^2)의 보정은 보정된 PSP의 일사량(W/m^2)과의 상관관계(Scale Correction)를 바탕으로 수행하였다. 이와 관련하여, 본 연구에서는 Synergistic Datalogger 및 Campbell Transmitter를 사용하여 측정데이터를 전송하고 기록하였으며, 이러한 측정시스템의 전기적인 신호의 변환과정을 통해서 발생할 수 있는 오차도 보정하였다. 본 연구에서 수행한 일사량 보정 결과에 대한 타당성은 보정 전과 후의 일사량 데이터를 비교함으로써 검증하였다.

2. 기준 PSP 일사량 보정

PSP는 센서가 일사를 감지하면 전압을 발생시키며 측정된 일사량과 선형적인 비례관계를 나타내는 특성이 있다³⁾. 이와 관련하여 본 연구에서는 Texas A&M의 Riverside Campus의 기상관측소 (Solar Test Bench)에 설치된 NREL (National Renewable Energy Laboratory)의 기준일사량계 (Standard Eppley PSP)의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP1과 PSP2의 전기적인 출력(V)과의 선형적인 상관관계식(Scale Correction)을 그림 1과 그림 2와 같이 도출하고, 대상 PSP1과 PSP2에 각각 적용하여 측정된 일사량을 보정하였다.

그림 3은 청명한 날씨에 측정된 보정 전의 PSP1과 PSP2의 일사량과 기준일사량계 (NREL

PSP)의 일사량의 차이를 보여주고 있으며, 대상 PSP1과 PSP2는 일사량이 800W/m^2 이상의 조건에서 기준일사량계(NREL PSP)에 비해서 감도가 저하되는 경향을 나타내고 있다. 본 연구에서는 이러한 감도 저하에 기인한 대상 PSP의 일사량 편차를 별도의 기계적인 보정 없이 기준일사량계(Standard Eppley PSP)의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP 전기적인 출력(V)과의 상관관계식(Scale Correction)을 이용하여 측정된 일사량을 그림 4에서와 같이 보정하였으며, 결과적으로 본 연구에서 제시한 PSP의 일사량 보정방법은 유효한 것으로 나타났다.

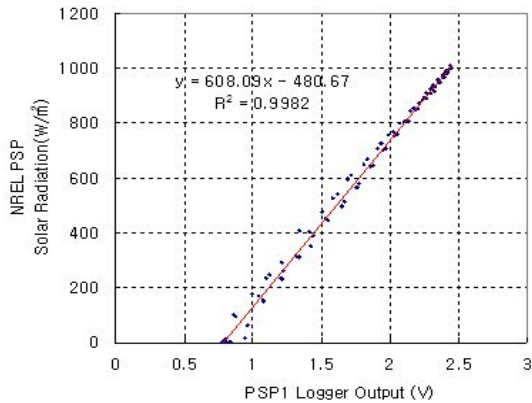


그림 1. NREL PSP의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP1의 출력전압(V)의 상관관계

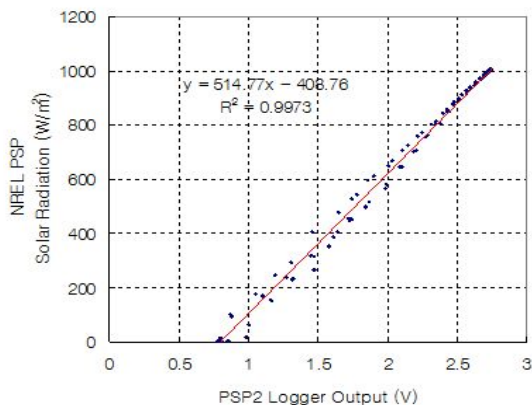


그림 2. NREL PSP의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP2의 출력전압(V)의 상관관계

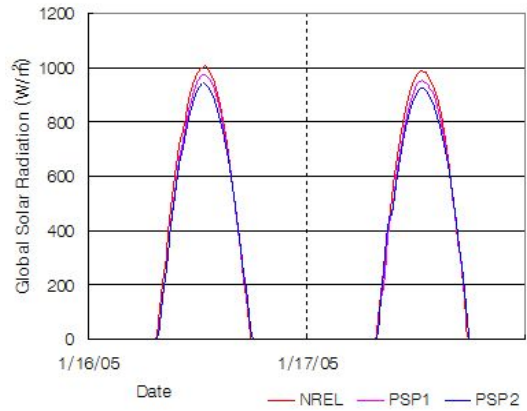


그림 3. 보정 전 PSP1과 PSP2 일사량(W/m^2)

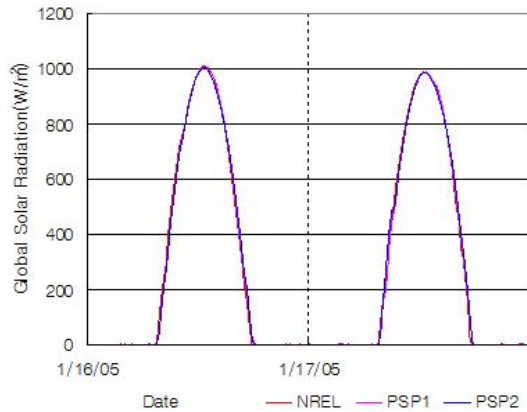


그림 4. 보정 후 PSP1과 PSP2 일사량(W/m^2)

3. 측정시스템의 오차 보정

일사량의 오차는 센서의 정확도뿐만 아니라 측정시스템의 전기신호의 입출력 변환과정을 통해서도 발생할 수 있다. 그림 5는 본 연구에서 사용한 Synergistic Datalogger 및 Campbell Transmitter의 입출력 전기신호의 상관관계를 보여주고 있다. Eppley PSP는 감지하는 일사량에 따라 $0\text{mV} \sim 15\text{mV}$ 의 전압을 발생시키며 Transmitter를 통하여 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 의 전류로 전환되고, Data logger를 거치면서 다시 $0.8\text{V} \sim 4\text{V}$ 의 전압을 생성한다. Li-Cor의 경우에는 센서와 Transmitter에 사

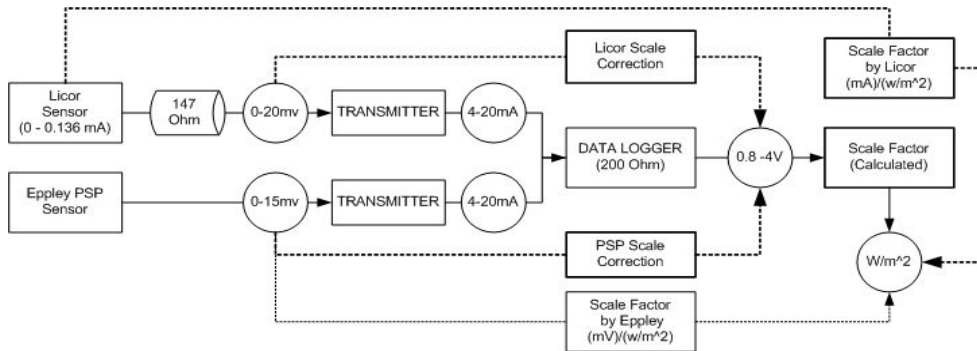


그림 5. Eppley PSP 및 Li-Cor 일사량 측정시스템 입출력 신호의 상관관계

이에 Adaptor가 일정한 고유한 저항(147 Ohm)을 가지고 있어⁴⁾ 센서에서 출력된 0mA~0.136mA 미량의 전류를 0mV~20mV 전압으로 전환하고 있다.

표 2. Transmitter 입력전압(mV) 및 Data logger 출력전압(V)

Sensors	Instrument	Manufacturer	Measured Values		
			Input (mV)	Output (V)	Difference (V)
PSP1	0	0.8	0.784	0.016	0.8
	15	4.0	3.977	0.023	4.0
PSP2	0	0.8	0.773	0.027	0.8
	15	4.0	3.974	0.026	4.0
Li-Cor	0	0.8	0.797	0.003	0.8
	20	4.0	3.987	0.013	4.0

본 연구에서는 측정시스템의 전기신호의 변환 과정에서 발생하는 오차를 보정하기 위하여, 별도의 보정기기(Instrument)를 이용하여 대상 PSP와 Li-Cor의 Transmitter에 임의로 15mV와 20mV의 전압(mV)을 각각 발생시키고, 이에 상응하는 Data logger의 출력전압(V)을 측정하였다.

표 2는 Transmitter 입력전압(mV)에 대한 Data logger 출력전압(V)과 제조사 기준전압(V)과의 차이를 나타내고 있다. 그림 6은 PSP와 Li-Cor의 출력전압(mV)과 Data logger의 출력전압(V)의 상관관계를 나타내고 있다. 또한, 그림 7에서 그림 9는 보정 전 후 PSP와 Li-Cor의 출력전압(V)에 대한 제조사 기준전압과 측정 전압의 편차를 나타내고 있으며, 데이터 보정 후

에 측정전압과 제조사 기준전압이 일치하였다.

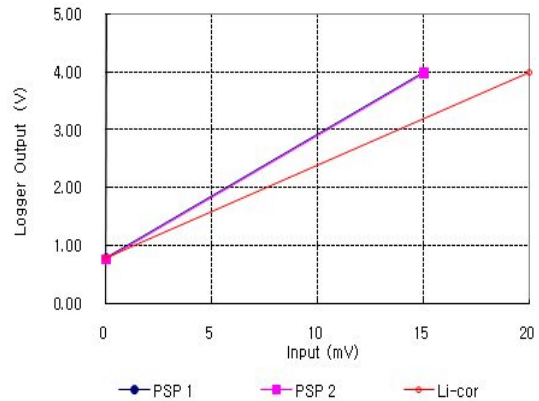


그림 6. PSP1, PSP2, 그리고 Li-Cor의 입력전압(mV)과 출력전압(V)의 상관관계

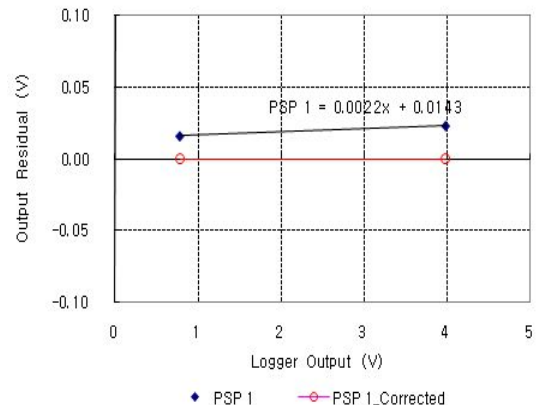


그림 7. 보정 전 후 PSP1 출력전압(V)에 대한 기준값과 출력전압의 편차

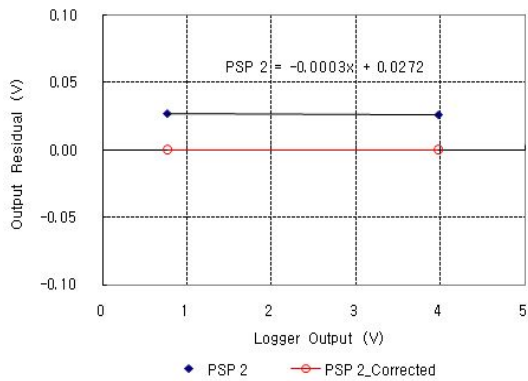


그림 8. 보정 전 후 PSP2 출력전압(V)에 대한 기준값과 출력전압의 편차

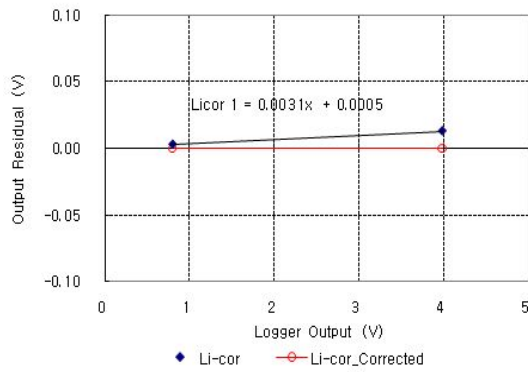


그림 9. 보정 전 후 Li-Cor 출력전압(V)에 따른 기준값과 출력전압의 편차

4. PSP1 vs. PSP2 및 PS1 vs. Li-Cor 일사량 보정

본 연구에서는 1월의 청명한 기상조건에서 기준일사량계(NREL PSP)를 바탕으로 1차 보정된 PSP1과 PSP2의 일사량을 8월에 다시 측정하고, 보정된 PSP1을 기준으로 PSP2와 Li-Cor 일사량의 상관관계를 비교/분석하였다. 그림 10은 비교적 맑은 기상조건에서 측정된 PSP1과 PSP2의 일사량 상관관계를 보여주고 있으며, 그림 11은 보정 전 후 PSP1 일사량에 대한 PSP1과 PSP2의 일사량 편차를 나타내고 있다. 또한, 그림 12은 PSP1과 Li-Cor의 일사량 상관관계를 보여주고 있으

며, 그림 13은 보정 전 후 PSP1 일사량에 대한 PSP1과 Li-Cor의 일사량 편차를 나타내고 있다. PSP1와 PSP2의 일사량은 거의 선형적인 나타내고 있으며 일사량이 커질수록

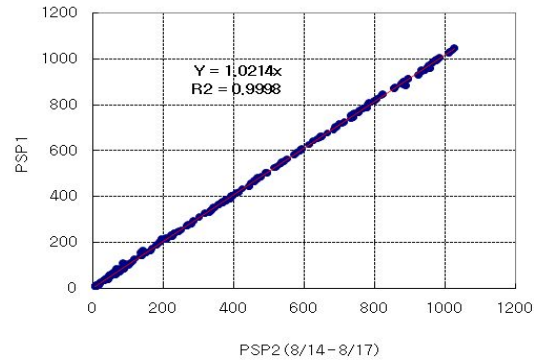


그림 10. PSP1과 PSP2의 일사량 상관관계

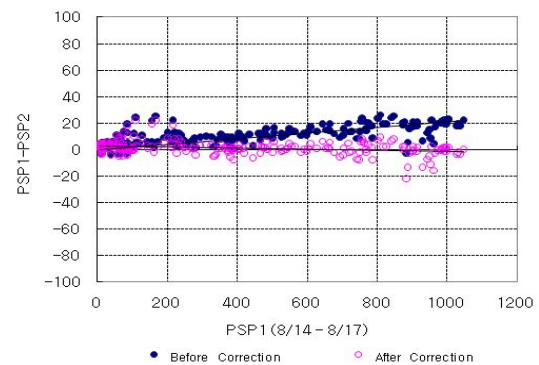


그림 11. 보정전 후 PSP1 일사량에 대한 PSP1과 PSP2의 일사량 편차

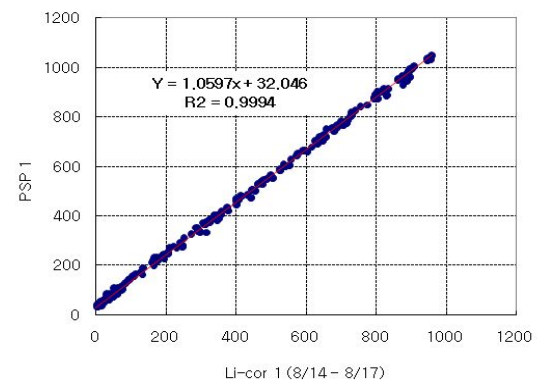


그림 12. PSP1과 Li-Cor의 일사량 상관관계

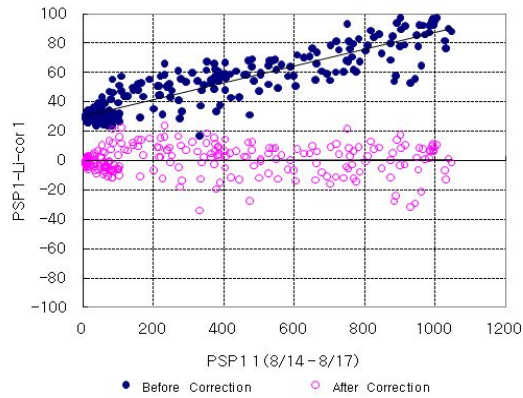


그림 13. 보정전 후 PSP1 일사량에 대한 PSP1과 Li-Cor의 일사량 편차

편차가 선형적으로 증가하여 최대 $\pm 20 \text{ W/m}^2$ 의 편차를 나타내고 있다. 반면에 Li-Cor의 일사량은 초기에 PSP1과 32 W/m^2 의 편차를 보이고 있으며 일사량이 커질수록 편차가 증가하여 최대 $\pm 100 \text{ W/m}^2$ 의 편차를 나타내고 있다. 하지만 본 연구에서 도출한 상관관계식(Scale correction)을 적용한 결과, PSP의 경우 측정된 대부분의 수평면 전일사량이 $\pm 10 \text{ W/m}^2$ 오차범위 내에서 보정되었으며, Li-Cor

의 경우 $\pm 20 \text{ W/m}^2$ 범위 내에서 보정되었다. 그림 14는 보정 전의 일사량을 보여 주고 있으며 그림 15는 보정 후에 일사량을 보여주고 있다. 결과적으로 본 연구에서 도출한 상관관계식(Scale Correction)은 Eppley PSP와 Li-Cor 일사량계 모두, 일정한 오차범위 내에서 유효한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 기준일사량계(NREL PSP)의 일사량(W/m^2)과 대상 PSPs의 출력전압(V)의 보정관계식을 바탕으로 PSP1과 PSP2의 일사량을 1차 보정하였으며, Li-Cor 일사량(W/m^2)은 보정된 PSP1의 일사량(W/m^2)과의 상관관계(Scale Correction)를 바탕으로 보정하고 다음과 같은 결과 및 결론을 도출하였다.

(1) 청명한 날씨에 측정된 기준일사량계의 일사량(W/m^2)과 대상 PSP1과 PSP2의 측정 전압(V)은 선형적인 비례관계를 나타내었으며, 이를 바탕으로 본 연구에서 도

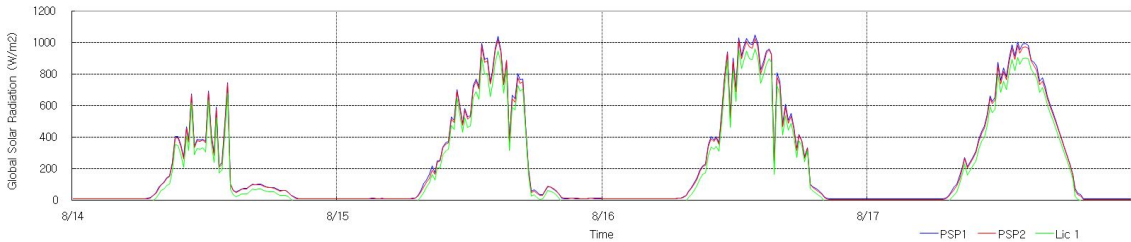


그림 14 보정 전 PSP1, PSP2, 그리고 Li-Cor의 일사량

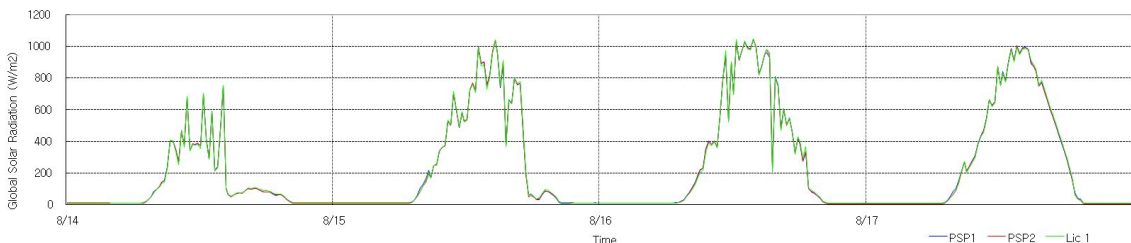


그림 15 보정 후 PSP1, PSP2, 그리고 Li-Cor의 일사량

- 출한 상관관계식(Scale Correction)을 대상 PSP1과 PSP2의 보정에 사용하였다.
- (2) PSP1 vs. PSP2의 일사량 역시, 선형적인 상관관계를 나타내었으나 일사량이 커질수록 편차가 증가하여 최대 $\pm 20 \text{ W/m}^2$ 의 편차를 나타내었다. 하지만 본 연구에서 도출한 상관관계식(PSP Scale Correction)을 적용한 후에 측정된 대부분의 일사량이 $\pm 10 \text{ W/m}^2$ 의 범위 내에서 보정되었다.
- (3) PSP1 vs. Li-Cor의 일사량은 초기에 32 W/m^2 의 편차를 보였으며 일사량이 증가할수록 편차가 증가하여 최대 $\pm 100 \text{ W/m}^2$ 의 편차를 나타내었으나, 본 연구에서 도출한 상관관계식(Li-Cor Scale Correction)을 적용한 후에 측정된 대부분의 일사량이 $\pm 20 \text{ W/m}^2$ 의 범위 내에서 보정되었다.

결론적으로, 본 연구에서 수행한 보정관계식(Scale Correction)을 이용한 수평면 전일사량 보정방법은 Eppley PSP와 Li-Cor 일사량계 모두, 일정한 오차범위 내에서 유효한 것으로 나타났다. 하지만 보다 정확한 일사량을 확보하기 위해서는 측정된 일사량에 대한 보정뿐만 아니라 정기적인 일사량계의 기계적인 검/교정이 수반되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 저자가 미국 Texas A&M의 Energy Systems laboratory(ESL)에서 학위 논문을 위하여 수행한 연구내용의 일부를 수정하여 요약한 것임.

참 고 문 헌

1. 조덕기 외, "일사량계 교정을 위한 불확실성 분석에 관한 연구", 태양에너지학회 논문집 Vol. 21, No. 3, 2001, pp25~32.
2. 조덕기, 강용혁, "국내 태양에너지 측정데

- 이터의 신뢰성 평가 및 보정에 관한 연구, 태양에너지학회 논문집 Vol. 25, No. 3, 2005, pp 11~18.
3. Campbell Scientific, Inc., Eppley Precision spectral pyranometer Instruction Manual, 1992.
 4. Li-Cor, Inc., Li-Cor Terrestrial Radiation Sensors Instruction Manual, 2005
 5. Song, S. Development of new methodologies for evaluating the energy performance of new commercial buildings. Ph.D. dissertation, TexasA&M University, CollegeStation, Texas, 2006.