

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 1, 2007

PV모듈의 발전성능시험을 위한 Solar Simulator의 측정불확도 요인 분석

강기환*, 김경수*, 박지홍**, 유권종*, 안형근**, 한득영**

*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr, kskim@kier.re.kr, y-gj@kier.re.kr),

**건국대학교(rock12@konkuk.ac.kr, hkahn@konkuk.ac.kr, dyhan@konkuk.ac.kr),

Analysis of Solar Simulator's Uncertainty Factor for Maximum Output Power Test of Photovoltaic Module

Kang, Gi-Hwan*, Kim, Kyung-Soo*, Park, Chi-Hong**,
Yu, Gwon-Jong*, Ahn, HyungKeun**, Han, Deuk-Young**

*Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr, kskim@kier.re.kr, y-gj@kier.re.k),

**Dept. of Electrical Eng. Konkuk University(rock12@konkuk.ac.kr, hkahn@konkuk.ac.kr, dyhan@konkuk.ac.kr)

Abstract

In this paper, we analyzed the elements of measurement uncertainty on electrical performance test which are the most important things in photovoltaic module performance test. Repeating the performance test by 6 men, the measurement uncertainty could be calculated. In this experiment, Solar Simulator (A-Class pulse type) used for domestic certificate test of PV module is Pasan IIIb (Balval, Switzerland). The possible elements of the measurement uncertain that could effect electrical performance test of PV module are reference cell, spectrum correction, error from measurement repetition, test condition, stability and uniformity of artificial solar simulator. To find the measurement uncertainty, 6 men repeated the test by 10 times. And the results were that numerical average value was 124.44W and measurement uncertainty was $124.44W \pm 0.36W$ with 95% confidence level for 125W PV module(KD-6125).

Keywords : 태양광모듈(Photovoltaic module), 표준시험조건에서의 성능(Performance at STC), 발전성능시험장치(Solar Simulator), 측정불확도(Uncertainty)

기 호 설 명

- n : 시험횟수
- \bar{x} : 산술적 평균 값
- s : A-type 실험표준편차
- u_{ia} : A-type 표준불확도
- $u_{ib1,2}$: B-type 표준불확도
- u_c : 합성표준불확도
- v_{ia} : A-type 표준불확도에 대한 자유도
- a_1 : B-type Reference cell 보정계수
- a_2 : B-type 계측기의 정확도
- v_{eff} : 유효자유도
- U : 확장불확도
- k : 포함인자(Coverage Factor)

1. 서론

최근 지구환경문제와 화석에너지 고갈 문제로 인하여 환경친화형 에너지원 및 미래에너지원의 다원화 등 신재생에너지에 대한 기술개발이 국제적인 이슈로 등장하고 있다. 이로 인해 국내에서도 기후변화협약 대응방안으로 2012년 신재생에너지 보급 5% 달성을 위하여 노력하고 있다.

특히, 신재생에너지중 가장 각광을 받고 있는 태양광 발전은 2012년 태양광 주택 10만호 보급사업 및 공공건물 의무화사업 등 보급사업의 성공적 수행을 위하여 정부 주도하에 적극 추진되고 있다.

따라서, 태양광모듈 및 PCS 등 주요기자재에 대한 인증제도 도입 및 시험기준이 작성되어 수요자가 신뢰할 수 있는 제품을 사용할 수 있도록 권장하고 있다.

그러나, 국제적인 인증기준 및 성능평가 장비를 사용하여 인증시험을 수행하더라도 시험장치, 시험환경 및 시험자의 숙련도에 따라서 그 결과는 다르게 나타날 수 있어 시험결과에 대한 불확도는 매우 중요하다 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 사전에 분석하고 제품의 성능에 대한 결과를 정확하게 판

정할 수 있도록 하기 위하여 태양광모듈의 인증시험에서 가장 중요한 발전성능시험에 대하여 측정불확도 요인을 분석하고, 수학적 모델식을 작성한 후 실제 시험자의 측정 결과 값에 대하여 측정 불확도를 산출하였다.

2. 측정 불확도 모델링

측정이란 어떤 물체 즉 태양광모듈의 발전성능이 얼마나 되는지에 대한 사물의 특정 성질을 알려주게 되며, 측정의 결과는 수와 측정단위 두 부분으로 표현하게 된다.

측정불확도란 충분히 타당성 있는 이유에 의해 측정량에 영향을 미칠 수 있는 값들의 분포를 특성화한 파라미터로써 도식적으로 표현하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는바와 같이 허용공차는 불확도보다 크지만, 측정결과의 의심을 수치로 나타낸 것을 측정불확도라 한다.

측정불확도에 영향을 미칠수 있는 요인으로써는 표준시료, 시편 및 측정횟수, 측정장비, 측정방법, 환경, 시험자 및 기타 불확도 인자들이 요인으로써 작용될 수 있다.

측정의 과정은 그림 2에서 보는바와 같이 수학적 모델로서 표현될 수 있다. 이는 다양한 입력량들인 x 와 구하고자 하는 출력량 y 간의 함수관계로 주어진다.

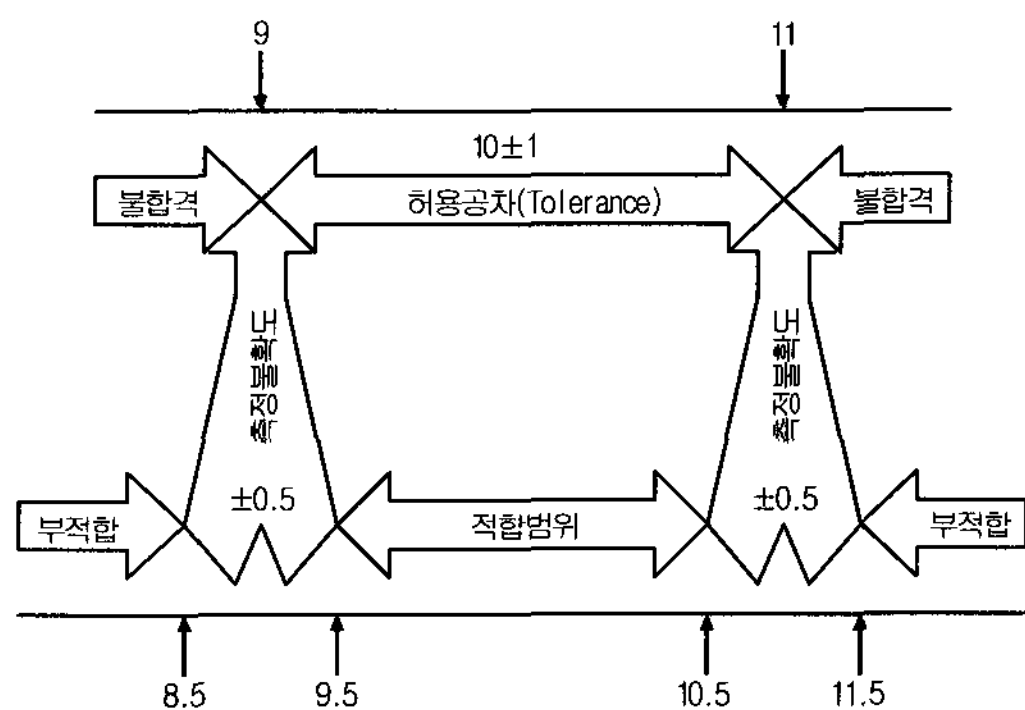


그림 1. 측정 불확도의 도식적 표현

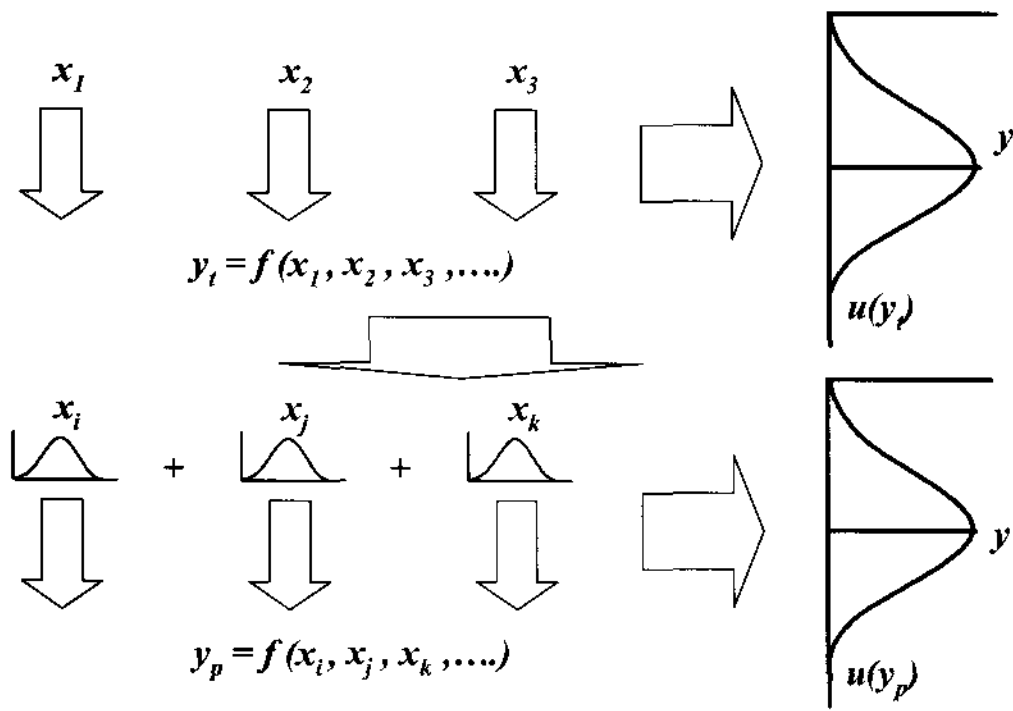


그림 2. 측정 불확도의 수학적 모델

동일조건하에서 측정을 반복하였을 때 측정값의 가장 좋은 추정치는 개별 측정값의 산술평균을 구하는 것이다. 따라서 평균값은 그림 3에서 보는바와 같이 참값의 추정 값을 가리키게 될 것이다.

측정 불확도를 구하기 위해서는 그림 3에서 표현한 바와 같이 반복 측정에 의해 얻어진 측정값은 식(1)을 이용하여 산술적 평균값 \bar{x} 를 얻게 되며, 식(2)를 이용하여 실험표준편차 s 를 구하게 된다. 실험표준편차는 식(3)에 따라 A-type 표준 불확도 u_{ia} 를 산출하게 되며, 표준 불확도에 대한 자유도 v_{ia} 를 식(4)에 의해 구할 수 있다.

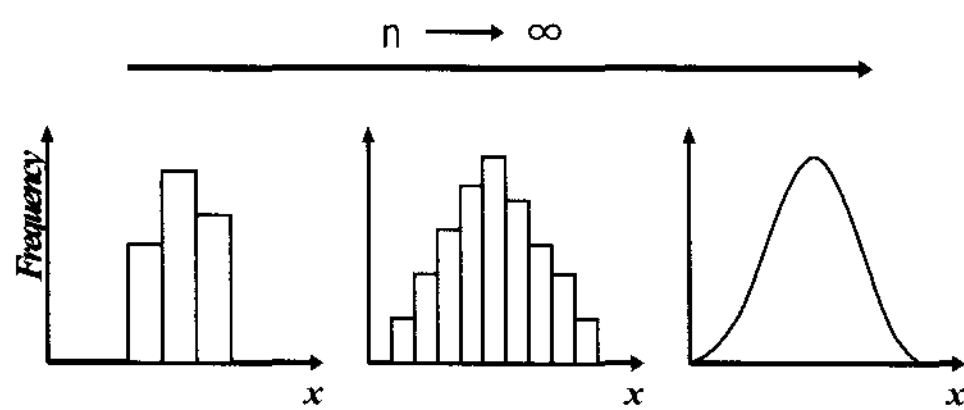


그림 3. 반복측정에 의한 Random Effect

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$u_{ia} = s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$v_{ia} = n - 1 \quad (4)$$

식(1)~식(4)는 시험자의 반복측정 값에 의해 산출 할 수 있는 A-type 표준불확도를 나타내고 있으며, 측정 값 외에 계측 편차를 나타낼 수 있는 시험장비에 대해서는 B-type 표준불확도에 의해서 산출될 수 있다.

B-type 표준불확도 산출에 있어서 Solar simulator의 교정성적서에 의한 표준불확도 u_{ib1} 은 식(5)에 의해 구할 수 있으며, Solar Simulator의 계측 정확도에 의한 표준불확도 u_{ib2} 는 식(6)에 의해 구할 수 있다.

이를 식(7)에 의해 합성표준불확도 $u_c(y)$ 를 계산하고, 식(8)에 의해 유효자유도 v_{eff} 를 계산하여 t 분포 표에 의해 식(9)의 확장불확도 U 의 포함인자(Coverage Factor) k 값을 산출 할 수 있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

$$u_{ib1} = \frac{a_1}{k} \quad (5)$$

$$u_{ib2} = \frac{a_2}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

$$u_c(y) = \sqrt{u_{ia}^2 + u_{ib1}^2 + u_{ib2}^2} \quad (7)$$

$$v_{eff} = \frac{u_c(y)^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i(y)^4}{v_i}} \quad (8)$$

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (9)$$

그림 4는 태양광모듈의 발전성능시험 결과에 대해 측정불확도를 산출하기 위한 추정 흐름도를 보여주고 있다.

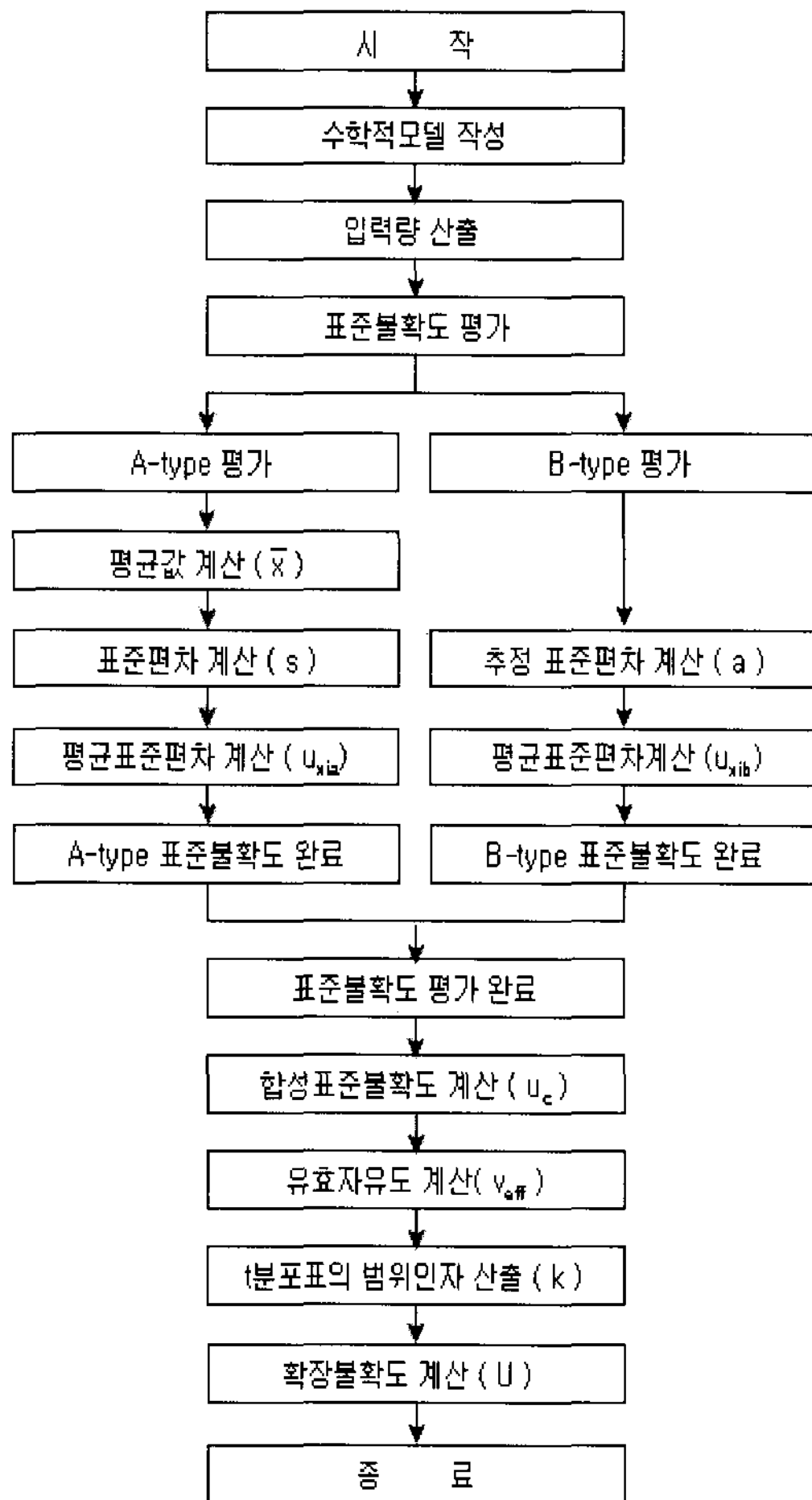


그림 4. 측정불확도 추정 흐름도

3. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 PasanIIIb Sun simulator (Baval S.A)를 사용하여 동일한 시험시료(KD-9125) 1매를 샘플링 한 뒤 표 1에서 보는바와 같이 시험자 6명이 교대로 10회씩 태양광모듈의 발전성능을 반복 시험하였다.

본 실험에 사용된 Solar Simulator는 식(10)과 식(11)에서 보는바와 같이 광원의 균일도 $\pm 0.58\%$, 광원의 안정도 $\pm 0.30\%$ 로 매우 우수한 발전성능시험 장치이다.⁶⁾

표 1. PV모듈의 발전성능 반복 측정 결과

Oper. Time	n1	n2	n3	n4	n5	n6
T1	124.41	123.92	124.43	124.39	124.82	124.77
T2	124.22	124.00	124.41	124.41	124.90	124.86
T3	124.30	123.98	124.41	124.39	124.90	124.86
T4	124.22	123.92	124.32	124.39	124.82	124.86
T5	124.30	124.01	124.32	124.39	124.80	124.75
T6	124.23	124.11	124.32	124.30	124.82	124.86
T7	124.32	124.03	124.41	124.39	124.82	124.75
T8	124.32	124.01	124.39	124.39	124.79	124.86
T9	124.32	124.01	124.32	124.39	124.73	124.77
T10	124.26	124.03	124.31	124.30	124.79	124.77
Ave.	124.29	124.00	124.37	124.37	124.82	124.81

$$Uniformity(\%) = \pm \frac{(\max Value - \min Value)}{(\max Value + \min Value)} \times 100$$

$$= \pm \frac{(111.8 - 110.5)}{(111.8 + 110.5)} \times 100$$

$$= \pm 0.58(\%) \tag{10}$$

$$Stability(\%) = \pm \frac{(\max Value - \min Value)}{(\max Value + \min Value)} \times 100$$

$$= \pm \frac{(1 - 0.994)}{(1 + 0.994)} \times 100$$

$$= \pm 0.30(\%) \tag{11}$$

식(10)에서의 max Value는 광원의 균일도 시험에 사용된 Reference Cell의 단락전류(Isc)로써, Solar simulator의 test area 2mx2m에서 가장 높게 측정된 단락전류의 값을 말하며, min Value는 가장 낮게 측정된 단락전류 값을 말한다. 또한, 식(11)에서의 max Value는 I-V curve 측정시 100point에서 측정된 광원의 세기(Light Intensity)로써, IEC61215 시험기준인 1kW/m²을 말하며, min Value는 가장 낮게 측정된 광원의 세기를 말한다.

따라서, IEC61215에서 요구하는 태양광모듈의

발전성능시험 기준은 온도 25°C, 광원 1kW/m²의 시험조건에서 시험을 수행하게 되며, 광원의 균일도와 광원의 안정도가 우수할수록 측정결과에 대한 신뢰도는 높아지게 된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 측정불확도 요인

IEC61215에서 요구하는 태양광모듈의 발전성능시험 조건은 1kW/m², 25°C의 광원의 세기 및 온도환경에서 시험을 실시하게 된다.

시험 장치로 사용되는 Solar simulator는 측정의 정확성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들이 잠재하고 있는데, 본 연구에서는 태양광모듈의 발전성능시험에 있어서의 측정 불확도에 미칠 수 있는 요인을 분석하였다. 태양광모듈의 발전성능시험을 위한 Solar simulator의 측정불확도 요인으로 그림 5에서 보는바와 같이 크게 Reference cell 및 광원의 Spectrum, 그리고 시험환경과 시험자의 숙련도로 나눌 수 있다.⁷⁾

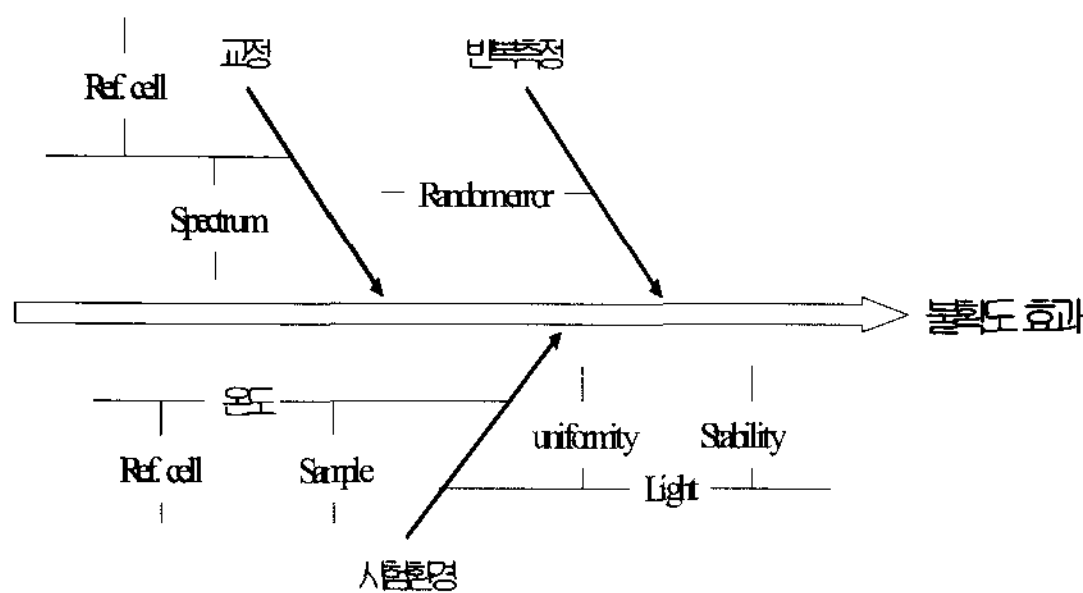


그림 5. Solar simulator의 측정 불확도 요인

동일한 Reference cell 및 광원을 사용하고, 광원의 세기가 1kW/m², 시험온도가 25°C로 동일한 조건에서 시험을 수행하더라도 시험자마다 또는 측정할 때마다 그 결과 값에 대한 계측 편차가 존재할 수 있는데, 그러한 결과 값에서 어떤 값이 참 값인지는 정확하게 알아내기 쉽지 않다.

따라서, 시험의 판정을 요구하게 될 때는 시험자에 따라 수회 또는 수십회 반복측정을 수행하고, 반복측정 값의 산술적 평균 값에 의해 측정 불확도를 산출하여 측정 결과에 대한 신뢰도를 제시하게 된다.

4.2 측정불확도 결과

표 1에서 보는바와 같이 샘플링한 1개의 동일한 시험시료를 사용하여 시험자 6명이 태양광모듈의 발전성능시험을 10회씩 반복시험 하였으며, 그 결과를 토대로 식(1)에 의해 산술적 평균값을 구해보았다.

그 결과 그림 6에서 보는바와 같이 시험자 6명에 의해 측정된 계측 값이 123.92W~124.90W 까지 분포되어 산술적 평균 값은 124.44W를 나타내었다. 그것을 식(2)에 의해 측정값의 실험표준편차를 구했더니, 그림 7에서 보는바와 같이 산술적 평균 값을 기준으로 ±0.31W의 실험표준편차를 나타내었다.

따라서, 시험자의 반복 측정 결과에 따라서 산출되는 A-type 표준불확도를 식(3)에 의해 구했더니, 그림 8에서 보는바와 같이 124.44±0.13W의 A-type 표준불확도를 나타내었다.

또한, 시험자의 측정 결과 외에 시험장비 자체의 B-type 표준불확도는 교정성적서에서 제시하는 확장불확도와 계측기에서 표기하는 정확도로 나눌 수 있는데, 여기서 식(5)에서 나타낸 a_1 은 교정성적서에 제시하는 확장불확도로서 0.038을 나타내었고, k 는 포함인자로서, 95%의 신뢰수준에서 $k=2$ 를 나타내었다.

따라서, 표준시료의 교정성적서에 의한 표준불확도 u_{ib1} 은 식(5)에 의해 0.019W를 얻을 수 있었다. 또한, 식(6)에서 나타내고 있는 a_2 는 계측기에서 제시하는 정확도로서, ±0.5 %를 나타내고 있으며, 직사각형 분포에서 적용되는 식(6)에 의해 0.0029W의 계측기의 표준불확도 u_{ib2} 를 얻을 수 있었다.

A-type 표준불확도와 B-type 표준불확도에 의해

합성표준불확도 및 유효자유도를 산출하게 되는데, 합성표준불확도는 식(7)에 의해 0.13W 를 얻었다.

또한 유효자유도 v_{eff} 계산에 있어서, Solar simulator의 교정 성적서에서 제시된 B-type 표준불확도 u_{ib1} 에 대한 자유도는 95% 신뢰수준에서 ∞ 이며, 계측기의 정확도에서 제시된 B-type 표준불확도 u_{ib2} 에 대한 자유도는 95% 신뢰수준에서 ∞ 를 나타내었다. 그 결과 식(8)에서 유효자유도는 5.91을 나타내어 t분포 표에 의해 포함인자(Coverage Factor) 값은 2.45를 나타내었다. 그 결과 확장불확도를 식(9)에 의해 산출한 결과 $\pm 0.32W$ 를 얻을 수 있었으며, Solar simulator의 교정성적서에서 제시한 확장불확도 0.038W를 대입하여 95%의 신뢰구간에서 $124.44 \pm 0.36W$ 의 측정불확도 결과를 얻을 수 있었다(그림 9).

또한, 본 연구에서 산출된 측정불확도 결과에 대해서 신뢰도를 확인하기 위하여 동일 시료를 대상으로 50회 반복시험을 수행한 결과 그림 10에서 보는바와 같이 평균 124.78W의 결과를 얻음으로써, 95% 신뢰구간에서 $124.44 \pm 0.36W$ 의 범위에 있음을 확인 할 수 있어 본 연구에서 제시하고자 했던 태양광모듈의 발전성능시험에 사용된 Solar simulator의 정확도와 시험환경, 시험자의 숙련도가 우수함을 알 수 있었다.

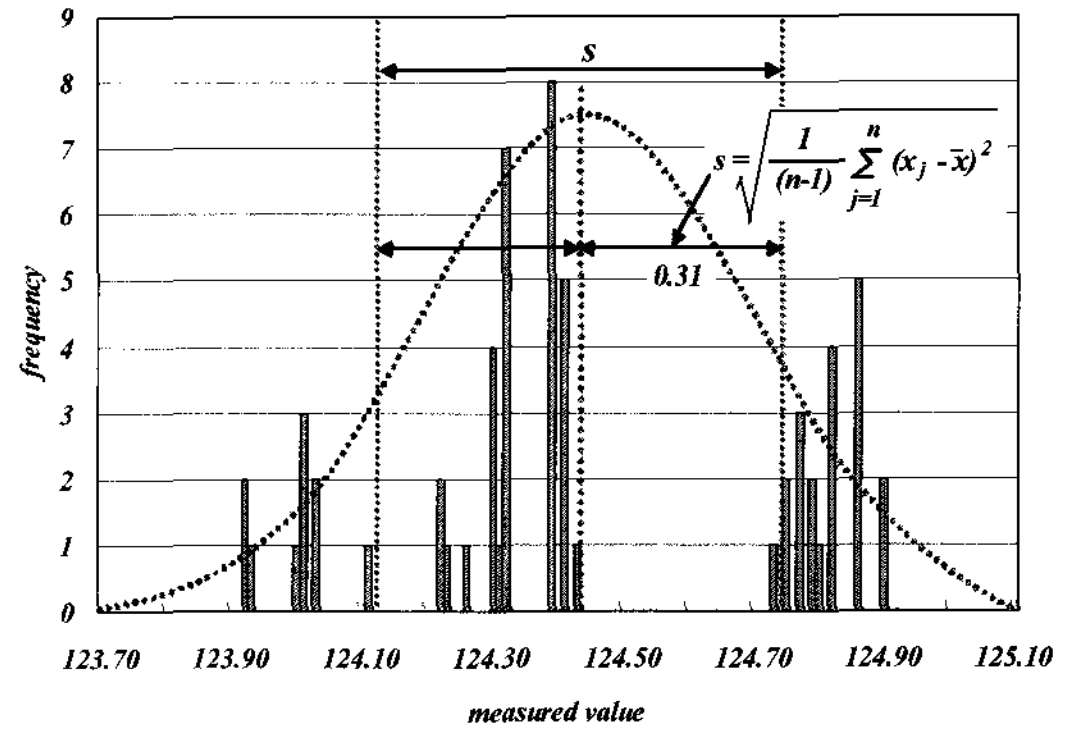


그림 7. PV모듈의 발전성능에 대한 측정 표준편차

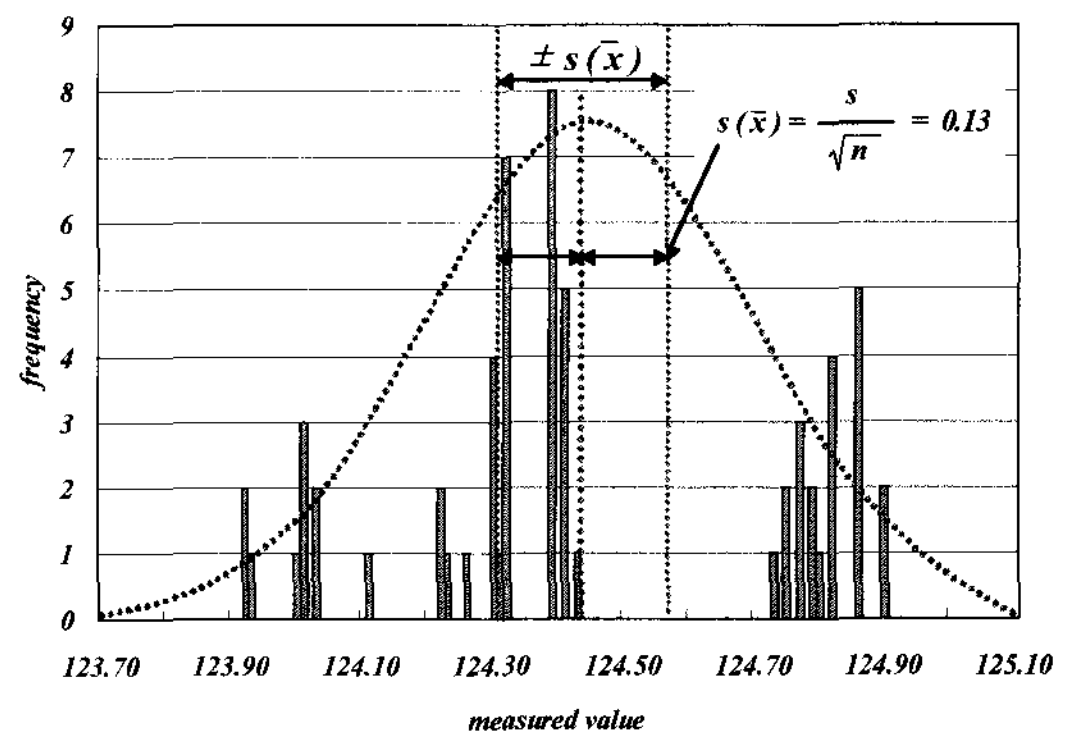


그림 8. PV 모듈의 발전성능에 대한 표준 불확도

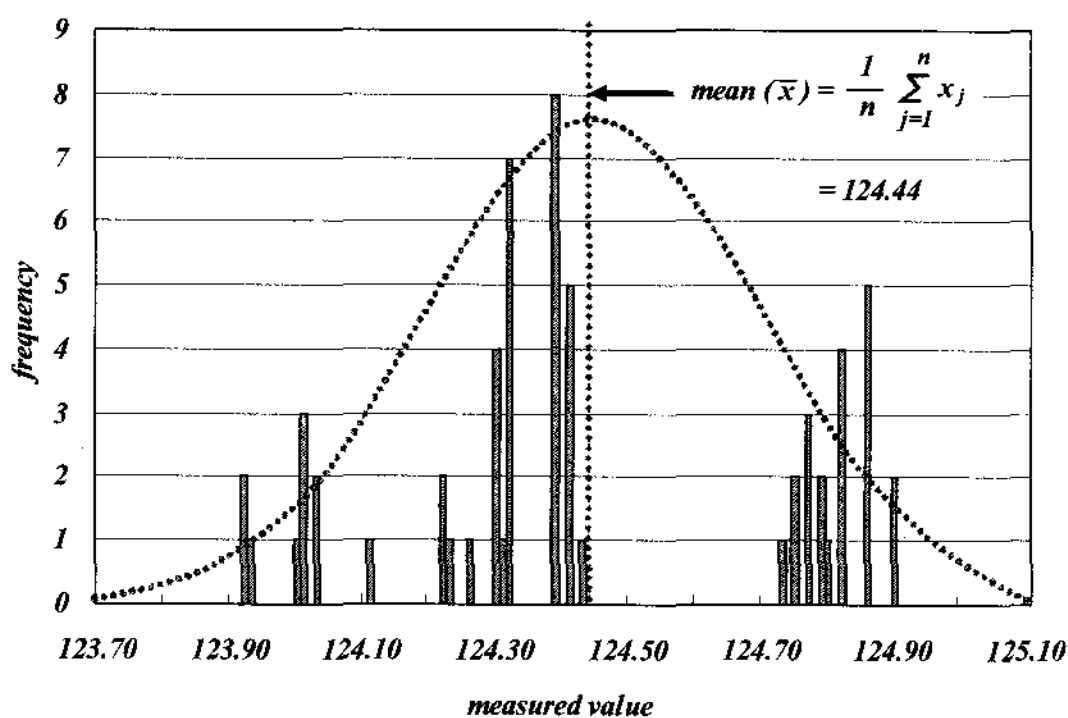


그림 6. 반복측정 결과 값에 따른 산술적 평균

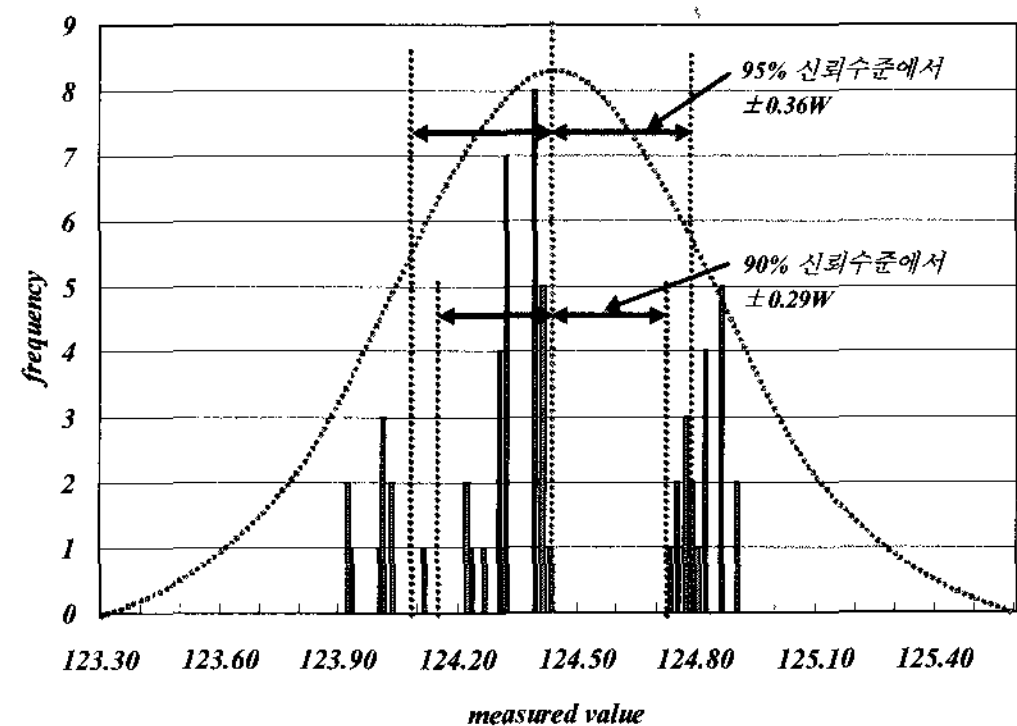


그림 9. PV모듈의 발전성능시험에 대한 확장 불확도

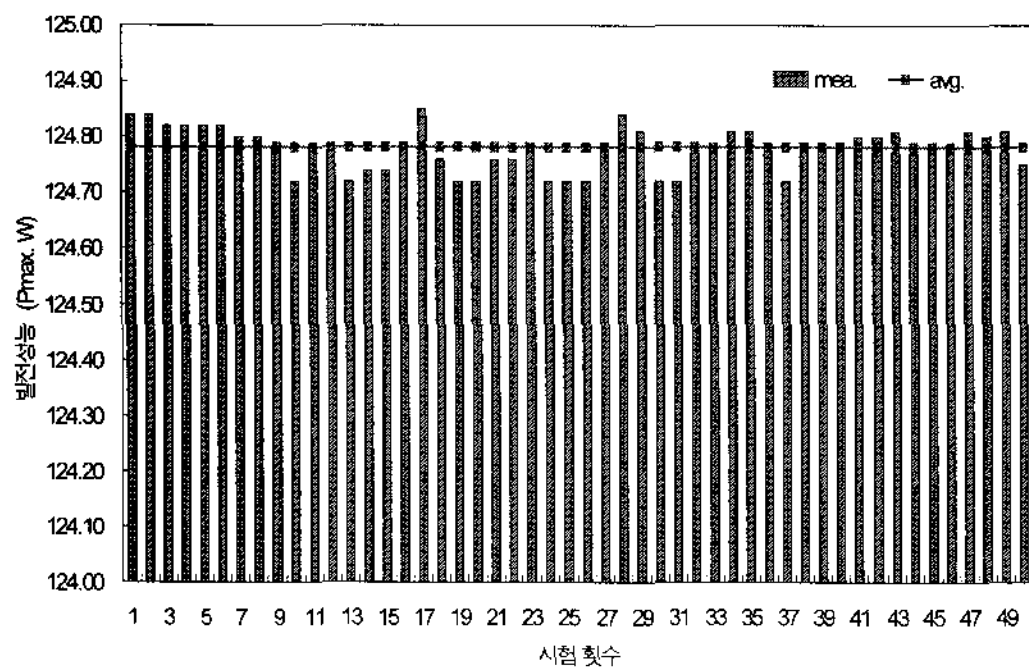


그림 10. 발전성능 반복시험 결과

5. 결론

본 논문에서는 태양광모듈의 성능시험에서 가장 중요한 발전성능시험 결과에 대한 신뢰도를 평가하기 위하여 시험장비 및 시험환경, 시험자의 숙련도를 포함한 측정불확도 요인을 분석하고, 수학적 모델식을 작성한 후 125W급 태양광모듈(KD-6125) 1매를 샘플링하여 시험자 6명이 반복시험을 수행한 후 그 결과 값에 대해서 측정 불확도를 산출하였다.

그 결과 태양광모듈의 발전성능시험에서 측정 불확도에 영향을 줄 수 있는 요인은 크게 Reference cell 및 Spectrum의 교정 값과 반복측정에 의한 편차 그리고 시험환경 및 시험자의 숙련도로 추정할 수 있었다.

본 실험에서 발전성능시험에 사용된 Solar simulator는 국내 태양광모듈 인증시험을 수행하기 위하여 구축된 A class Solar simulator로써, 광원의 안정도는 $\pm 0.30\%$, 광원의 균일도는 $\pm 0.58\%$ 로 매우 우수하였다.

그 결과로 부터 시험자 6명의 반복시험 결과에 의해 산술적 평균 값은 124.44W를 나타내었으며, 측정 값에 대한 A-type 표준 불확도는 ± 0.13 , 시험장치에 대한 B-type 표준 불확도는 ± 0.019 와 ± 0.0029 를 얻을 수 있었다.

따라서, 본 연구에서는 95% 신뢰구간에서 $124.44 \text{ W} \pm 0.36 \text{ W}$ 의 측정 불확도 결과를 얻을 수 있었으며, 산출된 측정불확도 결과에 대해서 신뢰도를 확인하기 위하여 동일 시료를 대상으로 50회 반복시험을 수행한 결과 평균 124.78W의 결과를 얻음으로써, 본 연구에서 제시하고자 했던 태양광모듈의 발전성능시험에 사용된 Solar simulator의 정확도와 시험환경, 시험자의 숙련도가 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. ISO, "Guide to the expression of uncertainty in measurement", 1993.
2. KOTRIC, "Uncertainty in measurement", 2006.
3. EURACHEM/CITAC Guide, Second edition, "Quantifying uncertainty in analytical measurement", 2000.
4. UKAS, "The expression of uncertainty and confidence in measurement", 1997.
5. KRISS, "Guide to the expression of uncertainty in measurement", 1999.
6. G.H.Kang, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "Electrical Properties of Photovoltaic Modules with test condition of Solar Simulator", Proceeding of the 36th the KIEE annual summer conference(in Korean), 2005.
7. G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "Analysis of Solar Simulator's Uncertainty Factor for Photovoltaic Module's I-V curve test", Proceeding of the KIEEME annual summer conference(in Korean), vol.7, 2006.