

태양광원에 대한 수평방향 추적식 항로표지용 태양전지 시스템의 도입 타당성에 관한 연구

전중성¹⁾, 김정훈, 이용한

A Study on Verifying the Validity of a Solar Cell System Following Sunlight in the Horizontal Direction for Aid to Navigation

JEON JOONG SUNG+, KIM JUNG HUN, LEE YONG HAN

요약 : 본 연구는 방위각에 따른 태양전지의 전압실험으로서 태양광원을 수평방향으로 추적하는 시스템의 도입 타당성에 대한 연구이다. 고도각을 30°로 고정하여 방위각이 다른 3개의 태양전지를 설치하고, 일조시간 동안에 각 전압을 측정하여 방위각별 전압의 차이여부를 통계적으로 검정하였다. 실험결과, 어느 한 방위의 태양전지에서 발생한 전압이 다른 방위 태양전지의 전압에 비해 우세한 시간대에서 그 평균 전압은 높았다. 또한 이에 대한 상대효율을 비교하면 1.6~11.5%의 높은 효율을 보였다. 따라서 항로표지용 태양광 발전에서 고정식 태양전지 시스템보다 수평방향의 추적식 태양전지의 시스템을 도입하는 것이 효율적임을 확인하였다.

핵심용어 : 태양광 추적, 방위각, 태양전지, 일원분산분석

Abstract : In this paper, a solar power tracking method using the solar cells is proposed, which has 3 solar cell located at an interval of 60° in azimuth so that the sunlight may almost be perpendicular to the solar cells without excessive mechanical operation. Compared with the solar cell voltages in each azimuth, there is the highest voltage in time interval. As a results, this solar cell system achieve higher relative efficiency of 1.6 ~ 11.5 % than fixed solar cell system. Therefore, it is verifying that this solar cell tracking system obtain more relative efficiency than fixed solar cell system for aid to navigation.

Key words : Solar Power Tracking, Azimuth, Solar Cell, One-way ANOVA

1. 서론

외부의 별다른 조건이나 환경에 관계없이 효율적이고 집약적으로 태양광을 이용하기 위해서는 스스로 태양의 위치를 추적하는 태양광 추적 시스템이 필요하다. 태양광을 추적하는 방식에는 추적 선로의 생성 방식에 따라 크게 설치 장소의 위도 및 경도와 시간정보에 의해 컴퓨터로 태양광의 위치를 계산하는 프로그램 방식, 광센서에 의한 센서 방식, 프로그램/센서 혼합방식으로 분류된다.

프로그램 방식은 날짜와 시간에 따른 태양광의 방위각, 고도각을 미리 기억시켜 놓거나, 컴퓨터로 계

산된 값에 의해 일방적으로 방위각, 고도각을 조절하는 개루프(Open loop) 방식이다. 이는 구름이나 기상조건의 급격한 변화에도 오동작 없이 비교적 높은 추적 정확도를 가진다는 장점을 가진 반면, 정기적으로 데이터를 조정해 주어야 하며 해상표지물, 선박 및 자동차와 같은 이동물체에는 사용할 수 없다는 단점을 갖고 있다.

센서 방식은 태양광 추적 시스템 각축의 양단에 한 쌍의 광센서를 설치하여 두 개의 센서 값을 비교함으로써 구동축을 제어하는 방식으로, 프로그램 방식에 비해 오차가 적고, 설치 시에도 별 문제가 없다는 장점을 지니고 있으나, 구름에 의해 빛이 산란 될 때나

1) 전중성, E-mail: jsjeon@ansetech.co.kr, Tel: 02)6220-6195

태양광이 센서의 감지 각도 밖에 있을 때는 오동작을 일으킬 수 있다는 단점을 가지고 있다^{[1]-[6]}.

따라서 본 연구에서는 태양전지의 방위각에 따른 발생 전압을 측정·분석을 통하여 태양광원을 수평방향으로 추적하는 시스템의 도입에 대한 타당성을 검토하였다. 고도각은 30°로 고정하고, 방위각이 60°간격으로 태양전지를 설치하고, 일조시간 동안에 각 전압을 측정하여 방위각별 전압의 차이여부를 통계적으로 검정하였다.

2. 실험 및 연구방법

2.1 실험방법

태양광원을 수평방향으로 추적하는 태양전지 시스템의 도입에 대한 타당성을 분석하기 위한 실험을 수행하였다. 이 실험에 사용된 태양전지는 1.2 V, 100 mA로 2개를 직렬 연결하였으며, 태양광 발전과 관련된 연구의 일환이기에 일조시간대에 관측조사를 하였다. 본 실험은 Fig. 1과 같이 관측 및 통계분석의 절차로 수행되었다.

먼저 태양전지의 성능이 서로 동일하여야 실험결과가 유효하기 때문에 태양전지의 발생 전압에 대한 성능의 동일성을 확인하였다. 이 실험은 2008년 12월 22일 하루 동안에 수행되었다. 관측된 태양전지의 각 평균 전압은 일원분산분석으로 그 차이여부가 검정되었다.

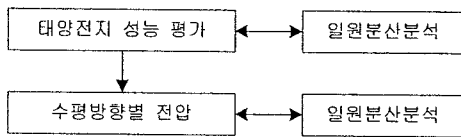


Fig. 1 Process for experiments

이 후 2008년 12월 31일부터 2009년 1월 9일의 기간 중에서 총 7일 동안 태양전지의 방위각에 따른 발생 전압을 실험하였다. 태양전지를 서로 상이한 방위각으로 각각 배치한 후에 각 태양전지로 부터 발생하는 전압을 측정하였다. 이로부터 산출된 측정 자료를 사용하여 평균 전압의 차이여부를 일원분산분석으로

검정하였다.

2.2 연구방법

본 연구에서는 태양전지의 발생 전압의 동일성과 방위각별 및 시간대별 평균 전압의 차이여부를 검정하기 위하여 일원분산분석을 수행하였다. 일원분산분석(One-way ANOVA)은 하나의 독립변수에 따라 두 개 이상의 종속변수의 평균에 차이가 있는지를 결정하는 검정 기법이다. 먼저 Levene 검정을 이용하여 각 그룹마다 분산의 크기가 일정한지를 확인하였다. 등분산의 가정을 충족한 경우에는 분산분석의 F 검정으로 평균의 차이여부를 유의수준 5%에서 확인하였다. 만일 등분산성이 위반되는 경우에는 Welch 및 Brown-Forsythe의 검정통계량을 F-검정 대신에 사용하였다^[7].

3. 수평방향 추적시스템

3.1 태양전지 성능 평가

본 실험에 사용되는 3개의 태양전지가 동일한 성능을 보이는 지를 확인하기 위하여 통계적으로 검정하였다. 3개의 모든 태양전지(A, B, C)를 지표면과 동일한 각도 즉, 고도각 0°로 설치하였다. 태양광이 유효한 일조시간대 중에서 오전 8:50부터 오후 16:40까지 6~25분 간격으로 각 태양전지의 전압값을 수집하였다.

실험에서 태양전지의 평균 전압은 Table 1과 같이 2.055~2.087 V를 보였고, 평균 전압의 표준편차는 0.139~0.162 V의 값을 나타냈다. 태양전지로 부터 측정된 최대 전압은 2.2 V이었으며, 최소 전압은 1.71 V이었다.

Table 1 Descriptives of sola cells for identity test

구분	A	B	C
측정횟수	31	31	31
평균 전압	2.055	2.070	2.087
표준편차	0.139	0.148	0.162

3개의 태양전지에서 관측된 전압의 각 평균에 차이가 있는지를 확인하기 위해 일원분산분석을 수행하였다. 먼저 각 태양전지의 전압값에 대한 등분산성을 검정한 결과, Table 2와 같이 Levene 통계량 0.146로 유의확률이 0.865를 보였다. 이로써 각 태양전지의 전압에 대한 분산의 크기가 일정하다고 할 수 있었다.

Table 2 Test of homogeneity of variances

Levene 통계량	자유도1	자유도2	유의확률
0.146	2	90	0.865

Table 3은 각 태양전지의 전압에 대한 분산분석표로서 집단간 및 집단내 통계량을 보여준다. 분산분석의 유의확률이 0.704이므로 유의수준 5%에서 3개의 태양전지로 관측된 전압의 평균에 유의한 차이가 있다고 할 수 없었다. 즉, 3개의 태양전지가 전압에 대해 모두 동일한 성능을 보인다고 할 수 있었다.

Table 3 ANOVA for identity test

변동 요인	제곱합	자유도	평균 제곱	F 통계량	유의 확률
집단간	0.016	2	0.008	0.353	0.704
집단내	2.023	90	0.022		
합계	2.039	92			

3.2 수평방향별 전압

태양전지를 3가지 방위각으로 설치하고, 일조시간 중 발생한 각 전압을 측정하여 방위각별 전압의 차이 여부를 검정하였다. Fig. 2와 같이 태양전지의 방위각은 정남방과 이를 기준으로 좌우 각각 60°로 설정하였다. 우측의 태양전지는 오전 중 태양광에 적정한 태양전지의 방위각을 대표하며, 좌측의 태양전지는 늦은 오후를 대표하는 것으로 설정하였다. 또한 정남방의 태양전지는 이들 사이의 시간대에 태양전지의 적정한 방위각을 대표한다. 여기에서 태양전지의 고도각은 일사량 관점에서 부산의 최적 경사도를^[8] 참조하여 30°로 설정하였다.

태양전지의 전압에 대한 관측은 일조시간대 중에서 오전 8:40부터 오후 17:00까지 20분 간격으로 하였

다. 실제 분석에 사용된 자료는 각 태양전지에서 관측된 전압값이 불규칙적으로 교차되는 자료를 제외한 Fig. 3에서와 같이 총 4일의 자료이었다. 제외된 관측 자료는 불규칙한 기상상태로 인해 발생된 것으로 사료된다.

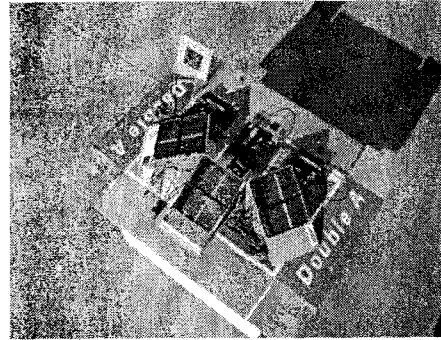
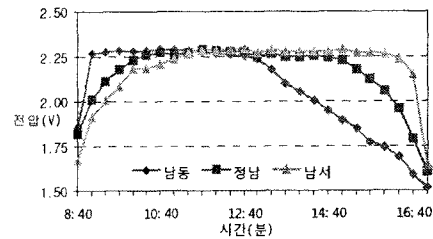
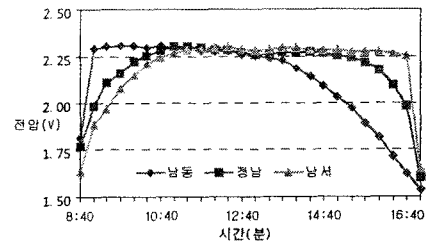


Fig. 2 Set up of solar cells

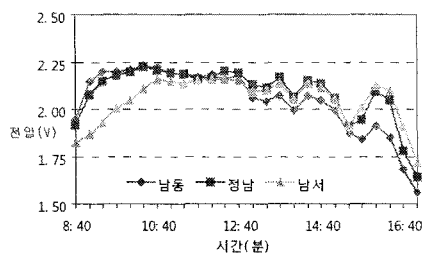
실험에서 관측된 태양전지의 방위각별 평균 전압은 Table 4와 같이 2.085~2.145 V를 보였고, 평균전압의 표준편차는 0.172~0.217 V의 값을 나타냈다.



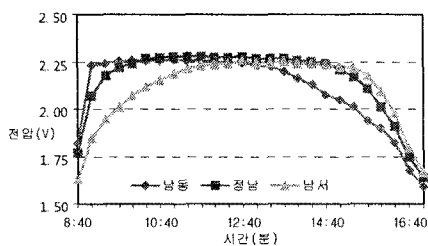
(a) 2008. 12. 31



(b) 2009. 1. 1



(c) 2009. 1. 8



(d) 2009. 1. 9

Fig. 3 Voltage distribution by days

Table 4 Descriptives of voltages for 4 days observation period

방위	케이스	평균	표준편차
남동	104	2.085	0.217
정남	104	2.145	0.172
남서	104	2.131	0.179

3가지 방위각의 태양전지에서 관측된 각 전압에 대한 평균에 차이가 있는지를 확인하기 위해 일원분산 분석을 수행하였다. 먼저 분산분석의 등분산성을 검정한 결과에서는 Table 5와 같이 Levene 통계량 6.11에 대한 유의확률이 0.002를 보였다. 즉, 방위각별 태양전지의 전압에 대한 분산의 크기는 일정하다고 할 수 없었다.

Table 5 Test of homogeneity of variances

Levene 통계량	자유도1	자유도2	유의확률
6.110	2	309	0.002

분산분석에서 등분산성이 위반되는 경우에는 F-검정의 결과가 상대적으로 빈약하기 때문에 이를 위반시 적용할 수 있는 Welch 및 Brown-Forsythe의 절차

를 수행하였다^[9]. Welch의 통계량은 Table 6에서와 같이 2.519로서 유의확률이 0.083를 보였다. Brown-Forsythe의 통계량 2.835에 대한 유의확률은 0.060으로 나타났다. 그러므로 유의수준 5%에서 3가지 방위각의 태양전지가 서로 다른 평균 전압을 보인다고 할 수 없었다. 즉, 전체 관측시간에 대해 정남방위과의 좌우 60° 방향 사이에서는 태양전지의 평균 전압에 차이가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 만일 고정식 태양전지를 설치할 경우, 발생하는 평균 전압의 크기가 설치된 방위각에 따라 민감하지 않을 것으로 판단하였다.

Table 6 Robust tests of equality of means

구분	통계량*	자유도1	자유도2	유의확률
Welch	2.519	2	204.184	0.083
Brown-Forsythe	2.835	2	295.512	0.060

* Asymptotically F distributed.

4. 결론

본 연구에서는 방위각에 따른 태양전지 전압의 측정 실험을 통하여 태양광원을 수평방향으로 추적하는 시스템의 도입에 대한 분석을 수행하였다. 고도각을 30°로 고정하여 방위각이 다른 3개의 태양전지를 설치하고, 일조시간 동안에 각 전압을 측정하여 방위각별 전압의 차이여부를 통계적으로 검정하였다.

어느 한 방위의 태양전지에서 발생한 전압이 다른 방위 태양전지의 전압과 비교하여 우세한 시간대의 평균 전압은 높았다. 또한 이에 대한 상대효율을 비교하면 1.6~11.5%의 높은 효율을 보였다. 따라서 태양광 발전에서 고정식 태양전지 시스템보다 수평방향의 추적식 태양전지의 시스템을 도입하는 것이 효율적임을 확인하였다.

본 연구는 12월, 1월인 겨울에 수행되었기 때문에 다른 계절에서의 추가적인 실험이 필요하다. 또한 보다 정밀한 실험장비를 이용한 확증적 분석이 요구된다. 향후 연구과제로서 태양광원에 대해 수평방향의 추적식 태양전지 시스템에 관한 추적 알고리즘을 분석하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] Dr. F. Lansnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988.
- [2] Ruther, R., de Silva, A.J.G., Montenegro, A.A., Salamon, I.T., Araujo, R.G., "The petrobras 45.5 Kwp, Grid-connected pv system: a comparative study of six thin-film module types operating in brazil", Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1440-1443, 2002. 5.
- [3] W. A. Lynch, M. Salameh, "Simple electro-optically controlled dual axis sun tracker", Solar Energy, Vol. 45, pp. 65-69, 1990.
- [4] E. A. Barber, H. A. Ingley, C. A. Morrison, "A solar powered tracking device for driving concentrating collectors", Alternative Energy Source, Vol. 1, pp. 527-539, 1977.
- [5] Soteris, A. K., " Design and Construction of a One-Axis Sun-Tracking System," Solar Energy, Vol. 57, No. 6, pp. 465-469, 1996.
- [6] A. J. N. Khalifa, S. S. Almutawalli, "Effect of Two-Axis Sun Tracking on the Performance of Compound Parabolic Concentrators," Energy Conversion & Management, Vol. 39, No. 10, pp. 1073-1079, 1998.
- [7] 켈러의 경영경제 통계학(7판), Gerald Keller, THOMSON, 2006.
- [8] 에너지관리공단, "태양광 전문가 교육교재", 2006.
- [9] 이영준, "분산분석의 이해", 석정, 2000.