

단축식 태양광 추적장치의 설계와 발전량 증대기술

이재진¹, 이교범², 정규원^{3*}

¹성창주식회사, ²아주대학교 전자공학과, ³충북대학교 기계공학부

Technology of single-axis solar tracking system and power generation increase

Jae-Jin LEE¹, Kyo-Beum Lee², Kyu-Won Jeong^{3*}

¹Seongchang Co., ²School of Electronic Engineering, Ajou University,

³School of Mech. Engineering, Chungbuk National University

요약 태양광 발전 시스템은 태양광 패널을 통해 발전된 전력을 계통연계를 통해 전송하는 종합 시스템이다. 발전량을 증대시키는 기술로써 태양광 입사각을 변화시켜 발전량을 증대시키는 추적식 태양광 발전장치 기술이 있다. 본 논문은 입사각을 변화시켜 발전량을 증대시키는 단축 추적식 태양광 발전장치의 구조물과 제어에 관한 연구이다. 핵심 내용은 태양광 구조물이 남북축을 중심으로 동서 방향으로 축회전하도록 구성된 단축 제어장치 및 기술이다. 일출로부터 일몰까지 동서방향으로 태양을 추종하는 태양광 구조물은 구조적 안정성과 태양광 추종 제어 성능 확보가 필요하다. 단축 추적 발전장치는 최대 25% 이상의 발전량 증대를 기대할 수 있다.

Abstract The PV power generation system is a comprehensive system that transmits the power generated through a PV panel to a grid connection and is composed of a solar panel, a structure, and an inverter grid connection system. One technology to increase the amount of power generated involves changing the incident angle of sunlight. This study examined the structure and control of a single-axis tracking PV system that increases the amount of power generated by changing the incident angle. The core content is a single-axis control system and technology configured to rotate the solar structure in the east-west direction around the north-south axis. A solar structure that follows the sun from sunrise to sunset in the east-west direction needs to secure structural stability and solar tracking control performance. A single-axis tracking system can generate up to 25% more power.

Keywords : Photo Voltaic, Sun Light, Power Increase, Single Axis, PV System

1. 서론

1.1 추적식 태양광 발전 시스템 필요성

전 지구적 문제로써 화석에너지의 고갈 가능성은 인류가 함께 고민하고 해결하여야할 문제이다. 석유 및 석탄 등 화석에너지의 고갈 우려와 함께 환경오염의 문제를 해결하기 위해서는, 화석에너지의 에너지로써의 역할을 최소화 하고 대체 에너지개발에 힘써야한다.

우리나라 태양광 산업은 정부의 적극적인 지원에 힘입어 지속해서 성장하고 있다. 국내에서는 신재생에너지 공급 의무 제도가 시행되면서 본격적으로 신재생에너지가 활성화되고 있다. 2017년 태양광 발전시설 설치 규모는 1,184MW로 2016년 대비 37% 성장하였다[1]. 정부는 2030년 태양광 에너지 발전 목표량을 36.6GW로 설정하여 지속적인 태양광 산업 확대를 계획하고 있다 [1]-[3].

*Corresponding Author : Kyu-Won Jeong(Chungbuk National University)

email: jeong@chungbuk.ac.kr

Received May 6, 2020

Accepted July 3, 2020

Revised July 2, 2020

Published July 31, 2020

1.2 추적식 제어시스템의 필요성과 특징

태양광 발전장치를 구조 및 형상을 기준으로 구분해 보면 크게 고정식, 고정가변식, 추적식 으로 구분할 수 있다. 이중 추적식 발전장치는 다시 양축 추적식, 단축 추적식으로 구분할 수 있으며, 단축 추적식은 다시 수직축 고정 방식과 수평축 고정 방식으로 구분할 수 있다[4].

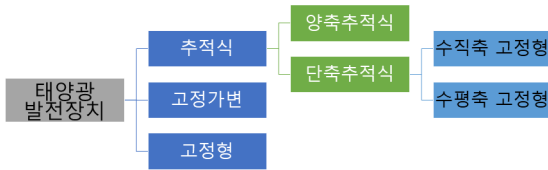


Fig. 1. Technology classification

본 논문에서는 수평축 고정방식의 단축 추적식 태양광 발전장치 및 시스템에 대해 설명하고자 하는 바, 남북방향으로 고정된 축의 단축 트래커 장치로써 동서 방향으로 태양을 추종하는 제어장치를 포함한 발전장치를 설계하고 발전량을 비교 한다.

2. 본론

2.1 단축 추적식 태양광 발전장치의 설계

2.1.1 구조물의 설계 및 해석 조건

본 논문에서는 ‘건축구조기준’(국토교통부고시 제 2015-769호, 2015.10.30.)을 기준으로 설계하중을 계산하였다[5].

$$V_z = V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (1)$$

여기서 V_z 는 설계 풍속을 말하며, V_0 는 기본 풍속으로 단위는 m/s이다. 기본 풍속은 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 1>에 의해 청주지역의 기본 풍속인 30 m/s로 하였다.

K_{zr} 는 풍속 고도 분포 계수를 말한다. 풍속 고도 분포 계수를 정하기 위해서는 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 2>의 지표면 조도 구분에 따라 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 3> 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 4>에 따라 정한다. 지표면 조도 구분은 주변지역의 지표면 상태에 따라 장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5 m 이하인 지역으로 설정하여 D로 지정하다. 그에 따라 대기 경계층의 시작 높이 및 기준 경도풍 높이는 각각 5 m, 250

m이다. 풍속 고도 분포 계수는 구조물의 지표면에서의 높이가 5 m이하이기 때문에 1.13으로 정하다. K_{zt} 는 지형계수를 나타내고 참고문헌 4의 식(0305.5.3.)에 의해 1.23이 된다. I_w 는 건축물의 중요도 계수를 나타내고 발전소용 건축물로 가정하여 중요도를 “특”으로 설정하여 그 값은 1.00이다. 따라서 설계풍속은 41.697 m/s로 계산된다.

PTC사에서 제공하는 상용코드인 Pro-Engineer을 사용하여 모델링 하였다. 간결한 해석을 위하여 모듈사이의 간격을 고정으로 하였고 경사각 또한 최대각도인 60°를 기준으로 해석하였다.

태양광 패널에 작용하는 바람에 의한 풍압을 상용 CFD 코드인 CFX v.17을 사용하여 수치해를 구하였다. 태양광 모듈은 실외에 설치하는 구조로 난류유동이 적용된다. 본 논문에서는 박리 모델이 잘 표현되는 $\kappa-\epsilon$ 난류 모델과 $\kappa-\omega$ 난류 모델이 결합된 전단응력이송 (shear-stress transport(SST)) 모델을 사용하였다. 이 모델은 벽 근처에서는 난류-주파수 기반 모델을 사용하고, 벌크유동에는 $\kappa-\epsilon$ 난류 모델을 사용 한다[6,7].

본 논문의 해석에서 격자의 정확성을 측정하기 위해 skewness의 값을 사용하는데, 최대값을 0.9이하로 하였다. 그리고 태양 패널 전체를 미끄럼이 없는 벽(no-slip wall)으로 설정하였다. 물질은 1기압, 섭씨 25도, 등온열 전달의 공기이며, 초기조건은 자동으로 선택하고, 난류정도는 보통으로 선택하였다[8].

구조 해석 3.2.1 수치해석과 지배 방정식 추식 태양 발기의 구조물을 상용 코드인 Ansys Workbench v.17을 사용하여 구조해석 하였다[8]. 상세한 해석 조건과 상수는 ‘건축구조기준’의 일반 수준으로 반영하였다[5].

2.1.2 1차 설계 및 실험



Fig. 2. 1st prototype

Fig. 2는 첫 제작품의 형상이다. 지지부인 기둥과 Baseplate를 제외한 나머지 상단프레임의 구조물 총중량은 638.35Kg이다. 위를 바탕으로 한 3D모델링을

ANSYS workbench를 사용하여 구조해석 시뮬레이션을 실행하였다.

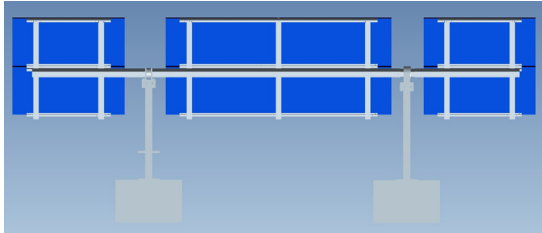


Fig. 3. Rear view at 60 degree

Fig. 3은 60도 경사각일 때 후면도 및 자중해석을 위한 도면이다. 8장의 패널을 축과 수평으로 배열하였다.

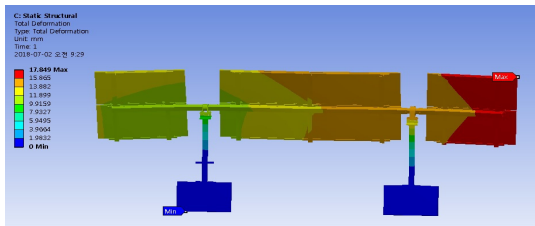


Fig. 4. Pressure contour of structure

Fig. 2의 구조물을 풍하중 해석한 결과, 구동부측 날개부분(Fig. 4의 오른쪽)에서 약17.85mm 변형이 발생하였다.

2.1.3 2차 설계 및 실험



Fig. 5. Product testbed

Fig. 5는 1차 설계 실패의 경험을 반영하고 시공 상 편의의견을 반영하여 설계한 2차 제작품이다.

Fig. 6의 설계도는 1차 모터 및 베어링 구조물의 양단에서 패널을 지탱하는 구조로 설계하였다. 1열, 총 24장의 패널이 구동되도록 하였다.

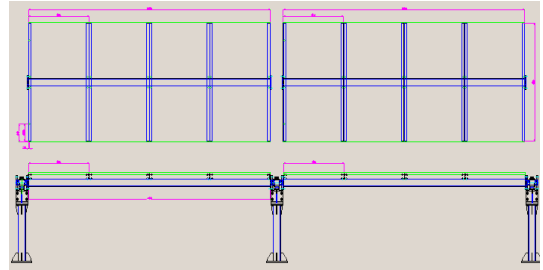


Fig. 6. Working drawing

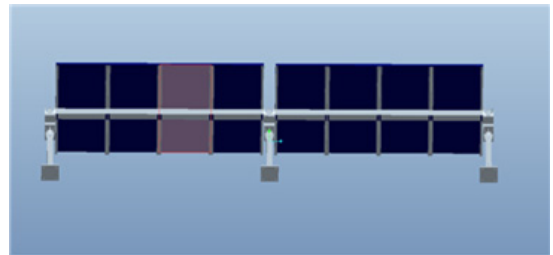


Fig. 7. View at 60 degrees

Fig. 7과 같이 경사각을 60도로 놓고 유동, 자중, 풍하중 해석을 실시하였다.

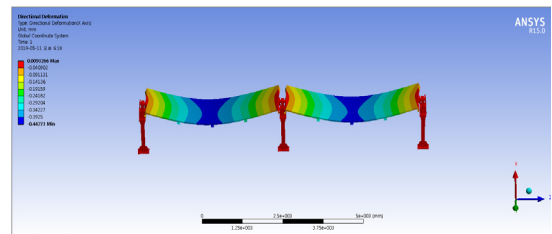


Fig. 8. Pressure contour of structures

이와 같은 구조물에서 Fig. 8와 같이 풍하중 및 해석 결과를 얻었다. 최대 압력 : 8.77×10^2 [Pa]의 압력이 주어지며, 최대 처짐 0.44273mm가 발생한다. 실제 제작 설치 시 동, 서 방향 각각 지면대비 60°의 목표 각도로 작동됨을 확인할 수 있다.

2.1 단축 추적식 태양광 발전장치의 제어

2.2.1 제어기의 설계와 알고리즘

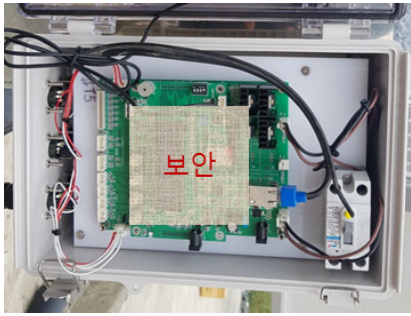


Fig. 9. Main controller

Fig. 9 단축 추적 제어장치는 추적 구조물의 모터를 위치제어하고 원격통신하기 위한 장치로써, 외부통신 모듈은 원격인터넷 연결을 위한 WiFi 및 이더넷 모듈을 갖추며, 근거리 통신을 위한 485, GPIO통신 모듈을 포함하고 있다.

광량 비교를 위한 Photo센서와 절대시간 및 위치 검출을 위한 GPS모듈을 포함한다.

광센서 추종방식과 절대 시간 좌표에 따른 각도 산출 방식 사용이 모두 사용 가능하나, 본 논문에서는 절대시간에 의한 각도제어 방식으로 제어하였다.

한국천문연구원에 따르면 춘분의 충청북도 청주시의 남중시각(정오)은 12시39분경이며, 시간별 방위각은 다음표 Table 1과 같다[9].

Table 1. Azimuth table over hours

시간	방위각	시간	방위각
6	83	13	188
7	92	14	211
8	102	15	229
9	112	16	243
10	125	17	254
11	142	18	264
12	164	19	273

지구자전축에 의한 세차운동으로 하지, 동지등 계절에 따른 약간의 방위각차가 발생하나 다른 오차들에 비하면 미소한 차이로써 춘분의 방위각을 기준으로 시간변화에 따라 분단위로 방위각에 추종하도록 패널면의 방향을 제어하였다. 실제 기계적인 제어오차 및 경사센서 등의 오차를 감안하면 최대 ±5도의 오차를 예상할 수 있다.

2.2.2 발전량 증대의 분석

구축된 세열의 단축 추적식 태양광 발전장치를 대상으

로 발전량 증대를 Fig. 10과 같이 실험하였다. 가장 동쪽의 1단축, 2단축을 태양의 방위각을 추종하여 제어 하였으며, 3고정은 수평상태로 지속 관찰하여 각각의 발전량을 비교 하였다.

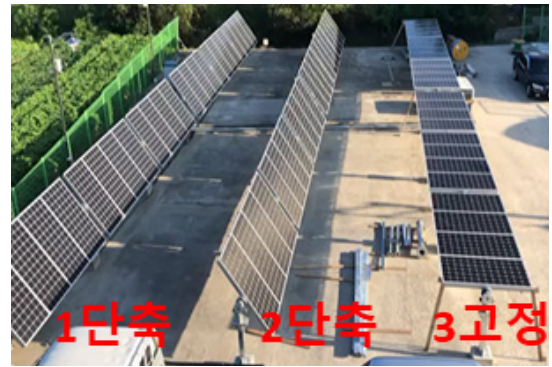


Fig. 10. Test appearance



Fig. 11. SungChang Co. Monitoring program

2019. 8. 1부터 10.17까지 78일간 성창주식회사에서 개발한 모니터링 프로그램(Fig 11)을 통해 매일 발전량을 계측하였으며, 그 누적 합계와 3고정 대비 발전량 증대 결과는 다음 Table. 2와 같다.

Table 2. Rate of power increase

	1단축	2단축	단축평균	3고정
발전량합계 (kWh)	1063.2	1169	1116.1	959.2
증대비율	111%	122%	116%	100%

실험기간 중 일기가 불순한 날이 많아 일평균 발전시간(일발전량/모듈용량)은 1단축(4.25시간), 2단축(4.6시간), 3고정(3.8시간) 정도였으며, 맑은 날만 표본으로 하면 최대 25% 증대의 큰 차이를 확인할 수 있었다. 오전 중 동쪽 펜스에 의해 그림자가 발생하고 오후 늦은 시간 60°이상의 각도로 제어되는 시간 2단축에 의해 그림자가 발생하는 1단축은 2단축에 비해 발전량 증대량이 적음을

확인할 수 있다.

78일간의 실험결과 수평발전량 대비 평균 16%의 발전량 증대를 확인할 수 있었다.

3. 결론

단축 추적식 태양광 발전장치를 설계하기 위하여 구조물 유한해석 방법으로 계산하였으며, 동서 방향으로 각각 최대 60°까지 기동하며, 시간별 제어 테이블에 의한 절대위치 제어방식의 제어를 채택하였다.

2019. 8. 1부터 10.17까지 78일간 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 풍압해석의 결과 기동 및 지지부에 최대의 부하가 걸리며 기동간 지지형태로 구조하는 것이 설계상 유리한 결과 얻을 수 있다.
- (2) 단축추적식 태양광 발전장치의 발전량 증대에 작용하는 최대변수는 정확한 태양추종 각도와 그림자 여부이며, 그 증대 정도는 맑은 날일수록 증대되고 1일 기준으로 수평면대비 최대 25%까지 증대될 수 있다.
- (3) 추적식 발전량 증대 기술은 발상은 단순하지만 실제 운용 시 내구성과 기술의 복잡도, 지속가능성 등의 어려움으로 현장 적용 시 반드시 모니터링 시스템 등 상시 관리 시스템과 함께 구축되어야 한다.
- (4) 단축 추적식 태양광 발전장치는 구조물, 모터, 제어기, 센서, 모니터링 시스템 등 다양하고 복잡한 기술의 집합체 이다. 기술별 오차 및 오동작 등의 요소가 품질과 효율증대에 큰 영향을 미친다. 발전량 증대를 위하여 각각의 기술을 구분하여 개발하고 개선할 필요가 있다.

References

[1] B. Kim, J. Y. Kang, S. N. Park, J. M. Jang, J. H. Hong, "Study of Unit Cost Estimation for the Appropriate Treatment of End-of-Life Photovoltaic (PV) Modules," *New & Renewable Energy*, vol. 15, no. 1, pp36-46, Mar. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7849/ksnre.2019.3.15.1.036>

[2] Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE), *3rd Basic Energy Plan*,
<https://www.motie.go.kr/common/download.do?fid=b>

[bs&bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=161753&file_seq_n=1](https://doi.org/10.1109/tie.2017.2686366) (accessed May, 2020)

[3] T. K. S. Freddy, J. H. Lee, H. C. Moon, K. B. Lee, and N. A. Rahim, "Modulation Technique for Single-Phase Transformerless Photovoltaic Inverters with Reactive Power Capability," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 9, pp. 6989-6999, Sep. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2686366>

[4] Y. E. Kim, K. W. Jeong, J. J. Lee, "Wind Load Analysis for Designing a Tracking Solar Generator," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 2, pp. 672-680, 2017
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.2.672>

[5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), *Korea Building Code 2016*,
<https://www.codil.or.kr/filebank/construction/DC/CIG/CDC190010/CIGCDC190010.pdf?stream=T> (accessed May, 2020).

[6] Florian R. Menter, "Review of the Shear-Stress Transport Turbulence Model Experience from an Industrial Perspective," *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, vol. 23, no. 4, pp.305-316, April-May 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1080/10618560902773387>

[7] J. H. Lee, K. J. Jung, "Aerodynamic Analysis of a Three-dimensional Wing using Transition SST Turbulence Model.," *Korea Society for Computational Fluids Engineering*, pp. 45-48, Nov. 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2016.06.002>

[8] Ansys, Inc. ANSYS CFX-Solver Modeling Guide, Release 15.0, Nov. 2013.

[9] Korea Astronomical Research Institute Information on Astronomy and Space,
https://astro.kasi.re.kr/life/pageView/10?useElevation=1&lat=37.54980&lng=126.9671&elevation=0&output_range=1&date=2020-03-21&hour=&minute=&second=&address=%EC%B6%A9%EC%B2%AD%EB%B6%81%EB%8F%84+%EC%B2%AD%EC%A3%BC%EC%8B%9C+%ED%9D%A5%EB%8D%95%EA%B5%AC+%EB%8F%99%EC%B4%8C%EB%A1%9C+149 (accessed May, 2020)

이 재 진(Jae-Jin Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 아주대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 아주대학교 대학원 우주전자공학과 (공학박사 과정)
- 2002년 6월~현재 : 성창(주) 대표 이사
- 2019년 9월~현재 : 한국 폴리텍4 대학 정보통신과 강사

<관심분야>
전력전자, 정보통신

이 교 범(Kyo-Beum Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 아주대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 ~ 2006년 : 울보대학교 (덴마크) 에너지연구소 책임연구원

- 2006년 ~ 2007년 : 전북대학교 조교수
- 2007년 ~ 현재 : 아주대학교 전자공학과 정교수

〈관심분야〉
전력전자공학

정 규 원(Kyu-Won Jeong)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학박사)
- 1989년 3월 ~ 1995년 9월 : (재) 산업과학기술연구소 책임연구원
- 1995년 10월 ~ 현재 : 충북대학교 기계공학부 교수

〈관심분야〉
로봇공학, 메카트로닉스