


다변환경 양면 솔라 패널의 출력 안정화 AI 알고리즘

김종만¹ , 문병학², 정창용³, 박성진⁴

¹ 전남도립대학교 신재생에너지전기과

² (주)예승 연구소

³ (주)카라멜라 연구소

⁴ (주)로그인서광 연구소

AI Algorithm for Stabilizing Output of Multi-Environment Double-Sided Solar Panels

Jongman Kim¹, Byonghak Moon², Changyong Jung³, and Sungjin Park⁴

¹ Department of Electricity and New & Renewable Energy, Jeonnam State University, Damyang 57337, Korea

² Research Institute, Yaeseung Inc., Gwangyang 57757, Korea

³ Research Institute, Caramella Inc., Gwangju 61740, Korea

⁴ Research Institute, Login Seogwang Inc., Gwangju 61955, Korea

(Received November 20, 2024; Revised November 27, 2024; Accepted November 28, 2024)

Abstract: We propose a real-time information propagation arithmetic neural network (PANN) that minimizes the loss of power generation output of the system in the event of sudden changes in the module due to strong external typhoons or earthquakes at the solar power generation facility site. In addition, we propose a new double-sided module reflector that can reduce the local loss of power generation efficiency of the single-sided module reflector that is currently widely distributed, as well as the environmental pollution and inconvenience of maintenance work of the existing double-sided module. We present a computational network that can detect the faulty solar panel in real-time by checking the fault status of the installed solar panel and using a real-time computation method through a node-to-node diffusion method. In particular, this method recognizes the power loss part due to sudden changes in the module in real time and can take emergency measures for various nonlinear field facilities through a neural structure that finds the optimal distance up, down, left, and right. To confirm the characteristics of the loss reduction control of the field facility, we confirmed that the system was configured as a 7-degree-of-freedom control model using the PANN neural network learning structure method and improved the power generation output. PANN (Propagation Arithmetic Neural Networks) and various module systems are proposed for the real-time recovery of faulty solar panels and improving module system efficiency.

Keywords: PANN (propagation arithmetic neural networks), 7-degree-of-freedom control mode, Double-sided module with reflective structure, Sudden change shock module

✉ Jongman Kim; jmk@dorip.ac.kr

Copyright ©2025 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

솔라 발전 시스템의 현장 설치 발전 시스템에서 일사강
도, 온도, 습도 등의 설치 조건과 환경적 변화, 구성 요소의

기기 및 솔라 발전 시스템의 설계 시공 방법 등은 발전 출력 향상을 위하여 중요한 효율 평가의 척도가 된다.

태양전지 모듈 구조는 여러 셀들로 이루어져 있는데 여러 주위 환경 요인에 의해 발전 손실이 발생하게 된다. 외부의 강풍 등으로 인한 모듈의 급변 충격 상황이 발생하거나 비, 구름 등의 영향 및 새 배설물 등이 발생하면, 일부 태양전지 셀의 발전 출력량은 저항이 크게 되어 많은 출력 손실이 발생하게 된다 [1]. 이러한 환경 요인들로 인하여 셀이 파손에 이르게 되는 경우를 방지하기 위하여 솔라 발전소는 최소 발전 모듈마다 손실 방지 소자의 분리된 스트링 회로로 구성하여 사용하고 있다 [2-4]. 또한 모듈의 여러 요인으로 인한 전력 손실을 극소화하기 위하여 하드웨어적 기법 및 프로그램 첨가 기법 등의 다양한 기술 응용을 시도하고 있다 [5,6]. 이 또한 안정성 및 신뢰성이 높지 않은 것이 종종 발생하게 되어 이와 같은 상황에 적절한 발전 효율 향상 조치가 절실하다.

본 연구에서는 먼저 솔라 모듈의 효율 향상을 위하여 양면형 모듈을 구성하여 단면형 모듈에 비해 효율을 극대화시키는 방법을 제안하며, 모듈의 급변 충격 요인으로 인한 전력 손실을 극소화하기 위하여 실시간으로 환경을 인식하며 최적 제어 처리하는 신경 구조를 가지며 여러 비선형 현장 설비에 실시간 조치가 가능한 정보 전파 산술 신경망(PANN) 프로그래밍 구조를 구현하고자 한다. 또한 외부 강풍 등의 급변 충격 요인으로 하여 솔라 발전 시스템의 출력부에 전력 손실 발생 시에, 제시한 알고리즘을 통해 실시간으로 인식하고 상하좌우 편차 출력 거리값을 최적으로 계산하여 제어 처리하는 신경 구조 특성을 보임을 제시하였다. 편차 자기 회귀형 신경망 학습 방법을 통해 모듈 데이터의 불안정 위치를 최적의 데이터로 7자 유도 제어 모델로 발전 출력을 향상시키는 안정적인 검출 가능성을 보이 고자 한다.

2. 비선형 환경 발전 설비의 출력 향상용 실시간 솔라 시스템

2.1 발전 설비의 출력 향상 슬라이드 반사 모듈

발전 설비의 출력 향상을 위하여 비선형·적응형 양면 반사판 모듈 구조를 설계하였다.

이 모듈 구조는 형태에 따라 다르지만, 기능 면에서 기본적으로 효율 향상이 가능하고 악천후 등의 현장 조건에 따라 설치 규모를 확대가 가능하며, 이에 따라 국내는 물론 해외에서도 여러 가지 재생 에너지 등 수요가 급증하는 추세에 있다.

본 연구에서 제시하는 양면형 발전 모듈의 주요 특징은 출력 효율에 있어 발전소의 기후 환경 및 모델 종류에 따라 큰 발전량의 차이를 보이는데, 그중에서도 솔라 발전을 위한 양면형 반사판을 이용하였을 때 발전량 증가율이 다른 모듈 종류에 비해 높은 것으로 특징을 보인다. 이의 특성에 따라 바닥 장착용 구조가 아닌 구조물 사이에 거치하는 형태의 구조이며, 간편하게 개폐되는 슬라이드 형태의 반사판 구조를 제안하여 장기적으로 견고한 수익 창출과 안정성을 가지는 형태의 양면형 모듈 반사판을 개발하였다. 본 연구에서 반사판 모듈의 제안 방식을 기존 방식과 비교하면, 기존 방식이 양면 모듈 후면 반사판을 지상에 부착하는 방식이며, 전기 패널 강판에 일반 전기성 재료를 합성하여 사용하는 방식으로서, 이 방식을 이용 시에 주위 환경 오염 및 유지보수 작업의 불편 등의 단점이 존재한다. 이와 달리, 본 연구의 제안하고자 하는 방식은 발전 출력용 이격거리를 최적화하여 발전 출력을 향상시키는 시스템으로 그림 1과 같이 구성하여 보았다.

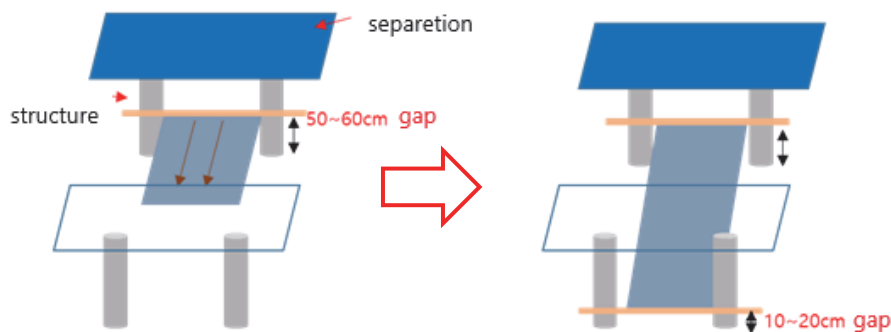


Fig. 1. Double-sided module reflector with maximum improvement of power generation output.

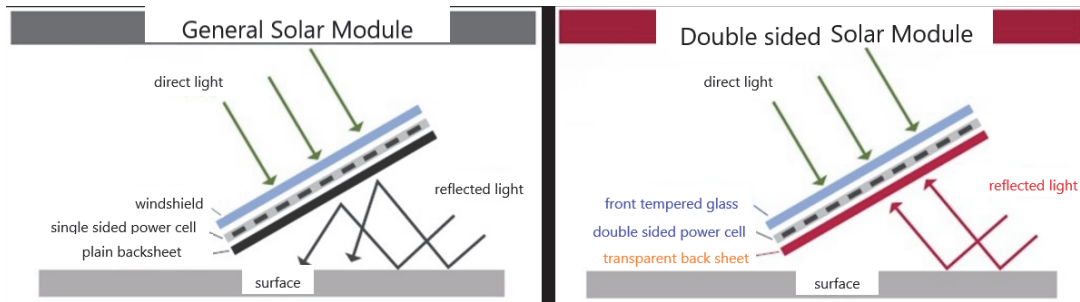


Fig. 2. Solar bifacial slide module for improving the efficiency of power generation facilities.

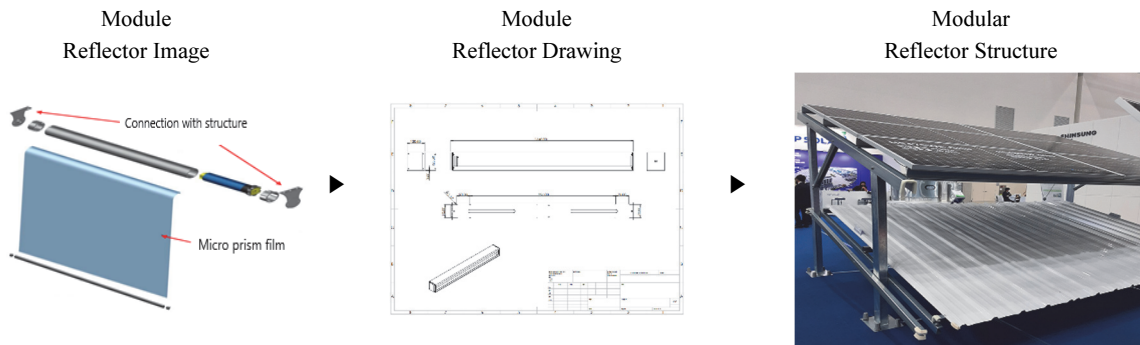


Fig. 3. Bifacial modular slide reflector finished structure.

또한 그림 2는 기존의 양면 필름 구조를 갖는 시스템의 반사판과 본 연구의 슬라이드형 반사판 구조를 가진 반사 효율 향상형 반사판 구조의 모습을 비교해서 보이고 있다. 여기에서 제안하는 방식은 그림에서 보이는 바와 같이 빛 반사 기능과 재귀반사 기능을 가지고 있으며 이 빛들이 합성하여 솔라 발전 출력이 보다 높아지는 특성을 가지게 된다.

다음 그림 3은 본 연구에서 제시하는 양면형 반사판 방식의 슬라이드형 구조 적용형 반사판 시스템을 보여주고 있다. 모듈 반사판의 출력물 이미지와 모듈 제작용 도면, 그리고 모듈 반사판의 구조물을 보이고 있다.

2.2 솔라 발전 출력 향상용 정보 전파 산술 신경망(PANN)

솔라 발전 시스템의 모듈 부분에 낙엽이나 새 배설물 및 자연 피해요소 등으로 인하여 파괴되는 경우가 발생할 때 불평형 전압으로 인해 발전 출력의 손실이 발생하게 된다. 이러한 현상으로 인한 출력 손실 전력을 최소화하기 위하여 실시간 비선형 데이터를 검출하는 알고리즘을 통해 안정화 출력이 가능하다. 이 방법은 솔라 셀의 불안정한 특징

점 정보들에 대하여 화상 센서에 의한 일치점 화상 데이터를 구하여 전체 거리에 대한 주위 정보값을 회복할 수 있다. 이렇게 정보 전파 알고리즘은 태풍, 지진 등의 불안정한 주위 충격 환경 요인들을 감지하여 계산한 후 정상 모듈 동작 신호로 송신하여 안정한 동작을 수행한다. 이렇게 지능적 산술계산된 데이터는 다른 고장 모듈의 값을 실시간으로 감지하는 실시간 학습 기능인 propagation arithmetic neural networks를 수행한다.

본 연구에서 비선형 데이터 모듈의 전체 실거리 전파 알고리즘을 통한 데이터를 복구하기 위하여 본 연구의 실시간 보간 신경망 기법에 동적 계획법이 사용된다. 또한 구해진 비선형 데이터 모듈들이 트래킹 솔라 모듈 발전 설비 시스템에서 악천후 등으로 인하여 출력 저하를 일으키게 된다. 이러한 환경에 실시간으로 좌우상하 모듈이 불안정하여 발전 출력에 손상을 가져오게 되는데 이때 신경망 양단의 자기 편차 신호 알고리즘을 이용하여 최적의 모듈 높이를 회복해 나가는 방법인 PANN (propagation arithmetic neural networks) 시스템을 제시한다.

아래 그림 4에 본 연구의 목표로 하는 PANN은 아래와 같은 학습 구조를 이루고 있다.

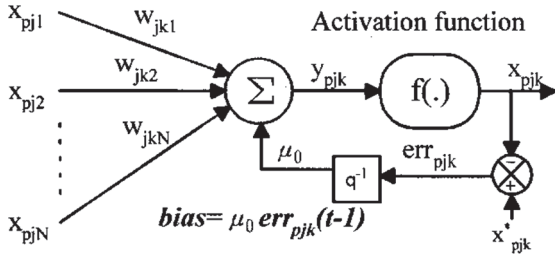


Fig. 4. PANN neural model magnetic deviation network.

이와 같이 출력 손실 전력을 최소화하기 위하여 실시간 비선형 데이터를 검출하는 학습 평가 모델로 제시된다. 솔라 모듈 시스템의 비선형 환경에서 발생하는 발전 출력의 편차를 보정하기 하여, 위 제시한 신경망 구조는 피드백 망을 통해 이전의 추정 편차 값을 자기 회귀시키도록 하는 알고리즘이다. 본 시스템은 발전 출력 데이터의 추정 편차 합 출력을 계산하는데 있어 과거 편차를 의미 있는 정보로 활용함으로써 발생한 편차 성분을 회귀시킬 뿐 아니라, PANN의 출력이 기준 목표치에 빠르게 도달하게 하는 특성을 가져온다. 이때 계산 방법은 정상 모듈의 데이터에 비해 다른 고장 모듈의 값을 실시간으로 감지하는 실시간 학습 기능인 PANN (propagation arithmetic neural networks) 방법을 사용한다.

솔라 발전 시설의 악천후 및 강풍 등의 모듈 발전 설비 시스템에서 등의 발전 출력 저하를 최소화시키는 학습 실험을 위하여 아래와 같이 조금 더 실제적인 7자 유도 충격식 모델을 선정하였다. 7자 유도 충격식 모델은 심한 충격 환경 입력 시에 실시간으로 비선형성 데이터를 빠르게 감지하여 고출력을 산출하는 시스템의 특성을 지니고 있다.

7자 유도 충격식 모델은 그림 5에 보인 바와 같이 충격 격 모듈의 전후 방향 각각 2개씩의 4자 유도와 충격 모듈

의 상하 동작(heave motion), 경사 동작(pitch motion) 그리고 회전 동작(roll motion) 등 전체 7자 유도를 갖는 시스템 구조를 취하고 있다.

3. 실험 및 결과

본 연구에서는 먼저 솔라 발전의 효율 향상을 위하여 모듈판의 슬라이드식 양면형 반사판 구조를 사용하여 모듈 어레이를 구현하였다.

본 연구의 양면형 솔라 슬라이드형 반사판 모듈 구조 시스템은 솔라 기후 환경이 양호한 상태에서 20~30%까지 추가로 발전량 증대가 가능하다.

솔라 발전 현장에서 비정상 모듈 발생 시에 실시간으로 계측하여 정보를 전송 가능한 실거리 계측 신경망을 제안하였다. 이 시스템은 연이은 솔라 모듈 현장 등의 비선형 모듈 계측 응용을 위해서도 빈번히 실시간 유지 보수를 위해서 수월한 연산법으로 계측이 가능하다. 제안한 실거리 계측 신경망의 하드웨어를 각 블록별 반도체에 의해 설계하고 프로그램 해석에 의한 형태로 구현하였다.

제안하는 정보 전파 산술 신경망과 학습 정도를 평가하기 위하여 솔라 플랜트의 출력과 제어 입력을 시간 지연 회귀시켜 신경망 입력으로 회귀시켜 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

신경 회로망의 입력으로는 출력(상하, 경사, 회전급변)의 1차, 2차 지연 순환 정보(6개)와 제어 입력의 1차 지연 순환 정보(4개), 악천후 환경(w_1 , Road disturbance)의 1차 지연 순환 정보(4개) 이와 더불어 각 출력의 지연 순환 정보 편차값 3를 합하면 17개의 학습 정보가 되며, 단층 구조의 학습 신경망을 적용하였다.

시뮬레이션의 최적 결과 산출을 위하여 시뮬레이션의 초기 연결 강도는 0~0.5, 바이어스 입력은 최적화하여 제어 플랜트를 구성하여 출력값을 도출하였다.

강한 악천후 등의 비선형 트래킹 모듈 시스템에 입력하였을 때의 모듈 어레이 패널이 상하, 경사, 회전 급변상태를 실시간 추정하고, 예측 적용 제어기를 적용하였을 때의 모듈 정보 인식의 예측 결과를 그림 6~8에 나타내었다. 점선은 솔라 시스템의 편차 수정용 제어기가 없는 수동현가 시스템의 경우이며, 실선은 AI 최적 제어 알고리즘을 적용한 본 연구의 특성 결과이다. 학습이 진행함에 따라 악천후 등의 기후를 지나갈 때의 학습 횟수 700 step 적용하여 실험하였다. 외부의 상하 급변 이동 실험 결과, 안정단계 출력 결과는 기존 알고리즘 A인 경우 오차 0.9655 (700 step 후 안정)이며, B 알고리즘의 경우 오차 0.0017 (150 step

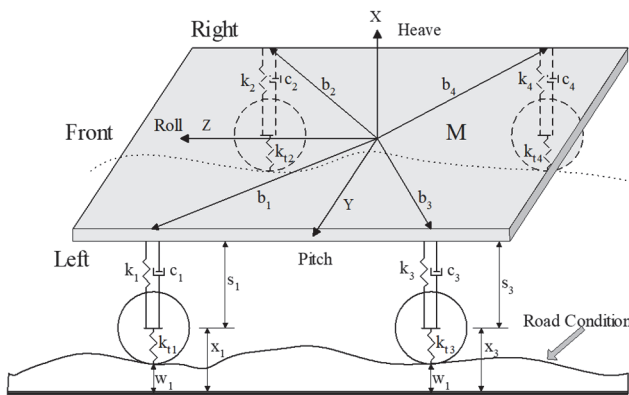


Fig. 5. The seventh degree of freedom impact model.

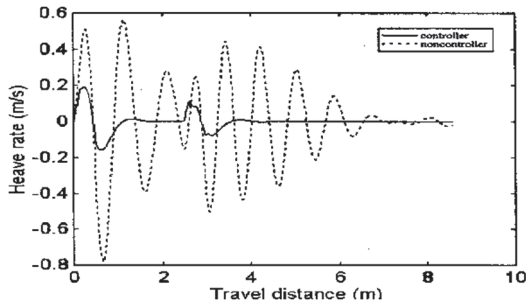


Fig. 6. Result of module information recognition at the time of up-and-down change.

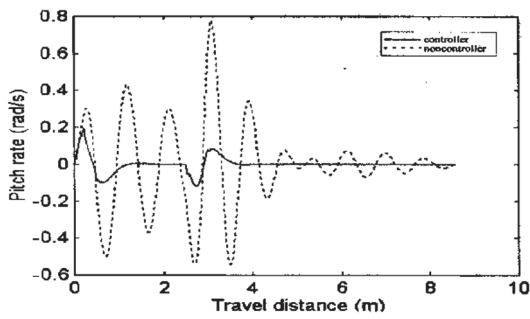


Fig. 7. Result of module information recognition at the time of sudden slope change.

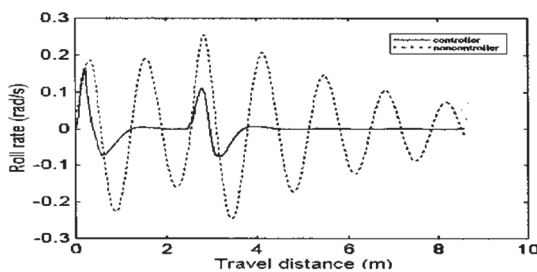


Fig. 8. Module information recognition result at the time of rapid rotation change.

후 안정)이며, 제안한 PANN 알고리즘의 경우 오차 0.0012 (50 step 후 안정)로서 현저히 오차가 저감되어 최적의 안정한 결과를 가져옴을 확인하였다.

4. 결론

결론적으로 솔라 전력 시스템의 모듈 시스템에 주위 환경 등으로 인하여 파괴되는 경우가 발생하는 불평형 전압

의 발전 출력 손실 성분을 실시간으로 검출할 수 있는 PANN 신경망 알고리즘을 구현하였으며, 이때 검출된 전원 상의 비정상 검출 시에 실시간으로 비정상 동작 전원부를 감지하여 모니터링하는 특성도 갖게 된다.

또한 태양전지 모듈 시스템의 효율 향상을 위하여 양면형 솔라 어레이 반사판 구조를 제안하였다. 반사 필름 선정 및 적용한 솔라 구조물과 연계가 가능한 슬라이드형 구조 적용형 반사판 시스템으로 구현하였다. 이는 솔라 어레이의 빛 반사와 재귀반사 등의 발전효율을 높일 수 있는 특성을 보이고 있으며, 양면형 솔라 슬라이드형 반사판 모듈 구조시스템은 솔라 기후 환경이 양호한 상태에서 20~30%의 발전량 증대가 가능함을 확인하였다.

솔라 모듈의 급변 충격 요인으로부터 일어나는 전력 손실을 극소화하기 위하여 실시간으로 환경을 인식하며 최적 제어 처리하여 비선형 모듈 설비 시스템 현장에 실시간 조치가 가능한 정보 전파 산술 신경망(PANN) 프로그래밍 구조를 구현하여 주위 비선형 환경 요인에 의한 솔라 발전 시스템의 안정 출력이 가능함을 확인하였다. 이 정보 전파 산술 신경망 학습 방법을 통해 태풍, 지진 등의 불안정 기후 환경 시스템인 7자 유도 제어 모델에 적용 시 제안한 AI 최적 적응 알고리즘이 최적의 발전 출력을 내면서 기존의 알고리즘에 비해 현저히 안정화된 검출로의 출력이 가능함을 확인하였다.

ORCID

Jongman Kim

<https://orcid.org/0009-0005-2986-3787>

감사의 글

본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역 혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-002).

REFERENCES

- [1] J. Antonanzas, N. Osorio, R. Escobar, R. Urraca, F. J. Martinez-de-Pison, and F. Antonanzas-Torres, *Sol. Energy*, **136**, 78 (2016).
doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.069>
- [2] S. Mehrnami and S. Farhangi, *J. Powder Electron.*, **10**, 528 (2010).
doi: <https://doi.org/10.6113/jpe.2010.10.5.528>

- [3] S. T. Kim, C. H. Park, G. H. Kang, W.C.K. Lawrence, H. K. Ahn, G. J. Yu, and D. Y. Han, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **21**, 12 (2008).
doi: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2008.21.1.012>
- [4] E. A. Essah, *Proc. West Africa Built Environment Research (WABER) Conference* (Ghana, 2010) p. 203.
- [5] I Bekkerman and J. Tabrikian, *IEEE Trans. Signal Process.*, **54**, 3873 (2006).
doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2006.879267>
- [6] G. Li, W. Li, W. Tian, and Y. Che, *Smart Grid*, **7**, 274 (2017).
doi: <https://doi.org/10.12677/sg.2017.74031>