

YOLOv8 기반 실시간 태양광 패널 오염물질 인식 및 자동 청소 로봇 연구

송상진, 민석주, 최광미, 김남호*

*호남대학교 컴퓨터공학과

ssj30099@naver.com, cherry99goo@gmail.com, {cgmi66,*nhkim}@honam.ac.kr

A study on real-time solar panel pollutant recognition and automatic cleaning robot based on YOLOv8

Sangjin Song, Seokju Min, Gwangmi Choi, Namho Kim*

*Dept. of Computer Engineering, Honam Univ.

요약

본 연구는 약 4000장의 먼지 데이터 이미지를 활용하여, YOLOv8 모델을 기반으로 태양광 패널 위의 오염물질을 실시간으로 탐지하여 청소하는 시스템을 설계하였다. 이 시스템은 태양광 패널의 성능 저하를 초래하는 다양한 오염물질을 효과적으로 인식할 수 있는 능력을 갖추고 있다. YOLOv8 모델의 뛰어난 정확도와 실시간 처리 능력을 활용하여, 태양광 패널의 유지 보수 및 성능 향상을 위한 중요한 데이터를 제공할 수 있다. 본 연구는 효율적인 태양광 패널 관리 전략을 개발하는 데 중요한 통찰력을 제공하며, 태양광 발전 시스템의 지속 가능한 운영을 지원할 것으로 기대된다.

I. 서론

태양광 발전은 지속 가능한 에너지원으로서 전 세계적으로 그 중요성이 점점 더 커지고 있습니다. 태양광 패널의 효율성은 태양광 발전소의 경제적, 환경적 이점에 직접적인 영향을 미치며, 특히 먼지와 같은 오염물질의 축적은 태양광 패널의 광 흡수를 방해하여 전기 생산량을 감소시킨다[1]. 이로 인해, 태양광 패널의 정기적인 유지보수와 청소는 발전 효율을 유지하기 위해 필수적이다. 또한 수동 청소는 노동 집약적이며, 정기적인 유지보수가 어렵고 높은 위치에 설치된 패널의 경우 안전 문제를 야기하며, 청소 과정에서 패널을 손상시킬 위험이 있다[2]. 이러한 문제점을 극복하고자 최근 연구는 태양광 패널 위의 먼지와 오염물질을 실시간으로 감지하여 인식해 자동화 청소 시스템 개발에 초점을 맞추고 있다. 이 시스템은 딥러닝 기반의 객체 인식 모델인 YOLOv8을 활용하여 태양광 패널 위의 오염물질 인식하여 패널의 상태를 정확하고 신속하게 평가할 수 있다. 이는 태양광 패널의 유지보수를 보다 쉽고 효율적으로 만들어 전반적인 효율성과 수익성을 향상시킬 수 있는 기반이 된다. 이 연구는 태양광 패널 성능 저하에 영향을 끼치는 요인들을 해결하고 지속 가능한 에너지원으로서 태양광 발전의 이점을 극대화하는 중요한 단계를 나타낸다. 실시간 오염물질 감지 시스템 청소 로봇은 유지보수 비용을 줄이고 발전 효율을 극대화하는 데 있어 중요한 역할을 한다.

II. 관련연구

2-1 이미지 딥러닝 기법을 이용한 태양광 패널의 먼지 오염도 측정

기존 연구들은 태양광 모듈의 먼지 오염도를 측정하기 위해 드론으로 패널의 모듈 상태를 촬영하여 이미지를 취득하고, 이를 전처리한 후 딥러닝 기법을 활용하여 오염도를 측정하는 방법을 제안하였다[3]. 이러한 연구들은 오랜 기간에 걸쳐 태양광 발전의 성능 저하와 관련된 먼지 오염을 분석하고, 측정하는 데에 주로 집중하였다. 그러나 이러한 방법은 주로 정적인 이미지를 기반으로 하여 먼지의 쌓임 정도를 평가하고 오염도를 측정하는 데에 중점을 둔다. 본 연구에서는 이러한 기존의 접근 방식과는 다르게, 실시간으로 태양광 패널 표면에서의 먼지 및 오염물질(Soiling)을

인식하는 시스템을 개발하는 데에 초점을 맞추고 있다. 이를 통해 태양광 패널의 먼지 오염을 실시간으로 감지하고 즉각적으로 대응함으로써 발전 효율을 최적화할 수 있는 기술을 연구하고 있다. 기존의 연구들이 주로 정적인 이미지를 사용하여 먼지의 쌓임 정도를 분석하는 데에 반해, 본 연구에서는 YOLOv8와 같은 객체 탐지 기술을 활용하여 실시간으로 태양광 패널의 표면을 스캔하고 오염물질을 감지한다. 이러한 방식을 통해 먼지의 쌓임 정도를 측정하는 것이 아니라, 오염물질의 실시간 유무를 확인함으로써 발전 효율을 높이는 것을 목표로 하고 있다.

2-2 Yolov8

YOLOv8는 2023년 1월에 발표된 가장 최근에 출시된 YOLO 버전이다. YOLOv8는 YOLOv5와 마찬가지로 YOLOv8n, YOLOv8x, YOLOv8m 등 다양한 버전으로 제공되었으며 표 1과 같이 YOLOv8m은 COCO에서 mAP가 50.2를 달성하였으며 YOLOv5보다 작업별 도메인에서 높은 성능을 보이고 있다. 또한, anchor box의 offset이 아닌 객체의 중심을 직접 예측하는 anchor free model이다[4]. 이에 따라서 NMS(Non-Maximum Suppression)의 속도가 더욱 빨라졌다. 따라서 본 논문에서는 객체탐지 모델인 YOLOv8s 모델을 사용하여 실시간 오염물질 감지시스템을 구현한다.

Model	size (pixels)	mAP(val) 50-95	Speed CPU ONNX (ms)	Speed A100 TensorRT (ms)	params (m)	FLOPs (B)
YOLOv8n	640	37.3	80.4	0.99	3.2	8.7
YOLOv8s	640	44.9	128.4	1.20	11.2	28.6
YOLOv8m	640	50.2	234.7	1.83	25.9	78.9
YOLOv8l	640	52.9	375.2	2.39	43.7	165.2
YOLOv8x	640	53.9	479.1	3.53	68.2	257.8

표 1 YOLOv8 모델별 성능 [5]

III. 실시간 오염물질 감지 시스템 설계 및 구현

본 연구에서는 실시간으로 태양광 패널 위의 오염물질을 감지하고 이를

통해 청소 로봇을 작동시키는 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 본 시스템에서 사용된 데이터는 패널의 광흡수를 방해하는 대표적인 오염물질인 흙먼지(Sand soil), 눈먼지(Snow soil)을 한 개의 클래스(soil)로 구분한다. 데이터 세트는 총 4452장의 패널의 먼지(soiling) 이미지 데이터셋을 준비하여 RobotFlow를 사용해 그림1과 같이 이미지에 대한 라벨링 작업을 수행하였고 이미지 크기는 640 * 640 으로 통일한다.

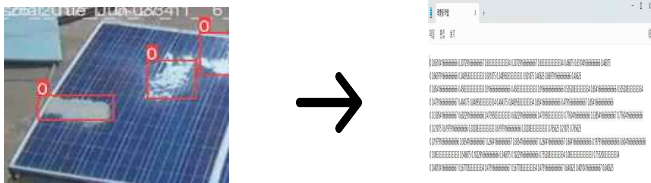


그림 1 데이터 라벨링 작업

데이터셋의 분할에 있어서, 모델의 일반화 능력을 향상시키고 과적합을 방지하기 위해 데이터 비율은 train, valid, test를 7 : 2 : 1 로 설정하였다. 그림 2와 같이 구글코랩을 이용하여 YOLOv8모델을 이용하여 epochs=100, patience=100, batch=16, imgsz=640 로 학습을 진행하였다.

Epoch	train_loss	valid_loss	train_box_loss	valid_box_loss	train_metrics	valid_metrics
0	0.45	0.45	0.45	0.45	0.6	0.6
50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.7	0.7
100	0.15	0.15	0.15	0.15	0.8	0.8

그림 2 YOLOv8 모델 학습

학습을 완료한 모델의 실험 결과를 통해 개발한 시스템의 성능을 평가하였다. 먼저, 모델의 학습 과정에서 Loss(손실)과 Metrics(성능 지표)를 측정하였다. 아래의 그림 3과 4는 100회의 epoch(학습)을 거친 결과를 나타낸다.

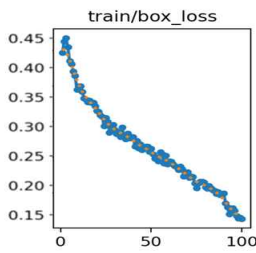


그림 3 손실률

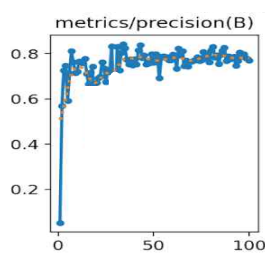


그림 4 정확도

실험 결과를 통해 개발한 시스템의 성능을 평가하였다. 먼저, 모델의 학습 과정에서 Loss(손실)과 Metrics(성능 지표)를 측정하였다. 아래의 그림 3과 4는 100회의 epoch(학습)을 거친 결과를 나타낸다. 학습 과정에서 Loss 값은 초기에는 높았으나, 점차 감소하여 100회의 학습을 마칠때에는 0.5에서 0에 가까이 수렴하고 있으며, 10회 이후부터 점진적으로 감소하며, 100회의 학습이 가까워질수록 안정화되고 있다. Metrics 지표는 초기에는 상승하는 경향을 보이다가, 10회 정도에서 0.6까지 올라갔다가 다시 하향하는 경향을 보인다. Loss 그래프의 수렴과 Metrics 그래프의 안정성은 모델이 데이터를 잘 학습하고 예측하는 데에 성공했음을 보여주며, 이는 오버피팅이 일어나지 않게 적당한 학습이 요구됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 모델이 훈련 데이터에 과도하게 적합되지 않고, 일반화 성능이 높은 것을 시사한다. 그림과 같이 완료한 모델은 카메라를 탑재한 자동

화 청소 로봇이 설정한 경로로 이동하면서 실시간으로 먼지를 인식하여 청소를 수행한다. 실시간 이물질 감지 모델의 성능을 평가하기 위해 그림 2와 같이 실제 태양광 패널의 오염물질 사진을 테스트하며 실제 태양광 패널에서 오염물질 인식이 잘 되는지 확인하였다.



그림 5 실제 태양광 패널 오염물질 인식 테스트

IV. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 YOLOv8 알고리즘을 기반으로 실시간 이물질 감지 모델을 구현하였으며, 실제 태양광 모듈의 오염물질을 인식하는 테스트를 통해 모델의 성능을 평가하였다. 실험 결과, 모델은 과적합 없이 안정적인 성능을 보여주었으며, 실시간으로 오염물질을 식별하고 제거함으로써 태양광 모듈의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 보여준다. 이러한 연구 결과는 태양광 발전소 및 태양광 모듈 관리에 큰 잠재적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 먼지 오염은 태양광 모듈의 발전 효율을 저하시키는 주요 요인 중 하나이며, 본 연구에서 제시한 실시간 이물질 감지 모델은 이를 신속하게 감지하고 처리하는 데에 유용할 것으로 기대된다. 또한 향후 오염물질의 데이터셋을 늘려서 오염물질 감지의 정확도를 높일 것이며, 경로 설정 후 이동이 아닌 자동화 로봇인 자율주행 기능을 넣어 자율주행을 통한 실시간 오염물질 감지를 실현할 것이다. 본연구는 태양광 발전소의 운영 및 유지에 있어서 중요한 도구로 활용될 수 있으며, 태양광 발전 기술의 발전과 에너지 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2024-00156287, 100%)의 연구결과로 수행되었음”.

참 고 문 헌

- [1] Bergin, M.H., Ghoroi, C., Dixit, D., Schauer, J.J., and Shindell, D.T., 2017, “Large reductions in solar energy production due to dust and particulate air pollution”, Environ. Sci. Technol. Lett., 4(8), 339-344
- [2] Bakhiyi B, Labrèche F, Zayed J. The photovoltaic industry on the path to a sustainable future—environmental and occupational health issues. Environment International. 2014 Dec;73:224 - 234.
- [3] 한호상 and 서장원. (2024). 드론 촬영 이미지와 딥러닝 기법을 이용한 태양광 패널의 먼지오염 탐지. 한국자원공학회지, 61(1), 23-32.
- [4] 장영훈, 박동준, 정석찬, 김민영. (2023.06). YOLOv8 기반 시각장애인용 도로 횡단 보행 보조를 위한 안드로이드 애플리케이션 구현에 대한 연구. Proceedings of KIIT Conference, 한국정보기술학회..
- [5] <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.