

탄소중립 항만 구현을 위한 지능형 제로에너지 건물 관리시스템

이진규¹, 강동재², 정형진², 김인수³

¹고려대학교 건축사회환경공학부, ²고려대학교 전기전자공학부, ³한전 KDN
jlee0070@korea.ac.kr, kedjk11@korea.ac.kr, jiny991022@korea.ac.kr, diun81@daum.net

Implementation of Intelligent Zero-Energy Building Management System For Carbon Neutral Port

Lee-JinKyu¹, Kang-DongJea², Jung-Hyungjin², In-Soo Kim³

¹Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

²Dept. of Electrical Engineering, Korea University

³KEPCO Knowledge Data & Network Co.

요 약

지속적인 지구 평균 기온 상승으로 인해 우리나라를 포함한 전 세계적으로 탄소중립을 위한 혁신이 이루어지고 있다. 본 연구는 해양수산부 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’의 기준에 따라 에너지 자립률을 극대화하고 효율을 최적화시킨 제로에너지 탄소중립 건축물을 제시한다. 태양광 발전 시스템에서, 패널의 태양 일주추적 기능을 통해 에너지 발전률을 극대화하고, 패널 하향정렬 및 딥러닝 모델을 통해 유지 보수를 용이하게 하여 성능 저하를 예방한다. 폐열을 이용한 열 회수/바이패스 환기 시스템을 통해 에너지 효율을 최적화하고, 온/습도에 가중치를 부여하여 모호했던 환기 시스템 결정 기준을 에너지 효율화에 맞게 최적화해 제시한다. 탄소중립 BEMS 기능이 내재된 앱 개발로 위의 건축물 시스템을 제어 관리한다. 본 연구를 통해 제로 에너지 건축물으로서 항만 건물의 가능성을 제고하고, 탄소중립 항만의 구현을 기대한다.

1. 서론

지속적인 지구 평균 기온 상승으로 인해 우리나라를 포함한 전 세계적으로 탄소중립을 위한 혁신이 이루어지고 있다. 해양수산부는 2021년 10월 수립된 국가 2050 탄소중립 시나리오 이행을 위해 해양수산분야 탄소 배출량 -323.7만톤 목표의 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’을 발표하였다.[1]

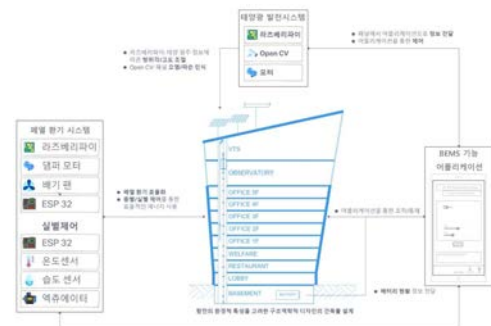
항만의 탄소중립을 위해서 전 세계 최종 에너지 수요의 36%를 차지하는 건설 부문의 제로에너지 건물 시스템 도입은 필수적이다. 제로에너지 건물 시스템은 건물의 에너지 효율화, 자립화, 시스템 관리(Building Energy Management System, BEMS)를 통해 구축된다. 본 연구는 탄소제로 항만 구현을 위해 항만의 건물에 에너지 자립률과 효율을 극대화하고 이를 효과적으로 관리하는 최적 제로에너지 건물 시스템을 제시한다.

본 연구의 최적 시스템은 건물의 태양광 발전 시스템에 패널과 태양광의 입사각이 90°를 유지하게 하는 추적 시스템을 도입해 에너지 자립률을 극대화한다. 위 시스템은 태양광 발전 효율을 기존의 고정형 발전에 비해 30% 증진한다. 또한 패널의 하향 정렬, 딥러닝을 통한 오염/파손 인식 시스템을 도입해 발전 시스템의 수명을 늘리고 관리 및 유지 보수를 용이하게 한다. 위 시스템은 에너지 발전 성능 저하를 예방, 최소화하여 에너지 자립률을 극대화시킨다.[2] 건물 에너지 효율 최적화를 위해 건물 전체에 퍼셉트론 기반 열 회수/바이패스 환기 시스템을 도입한다. 높은 열효율에도 불구하고 전문 관리 인력 부

재로 인해 도입이 어렵던 열교환/바이패스 환기시스템을 건물 내/외부 환경을 학습해 결정된 퍼셉트론을 통해 환기 탬퍼 조정을 자동화하여 도입한다. 그리고 최적화된 건축물 에너지 시스템 관리를 위해 BEMS 기능을 내포한 건물 통합 관리 앱을 개발, 도입한다. 기존 시스템을 보완, 최적화해 구축한 본 연구의 시스템을 통해 탄소제로 항만의 가능성을 보여주고자 한다.

2. 본론

본 연구는 에너지 자립률 극대화를 위한 태양광 패널 일주추적, 하향 정렬, 오염/파손 인식 시스템, 에너지 효율 최적화를 위한 퍼셉트론 기반 환기시스템, 전체 시스템 관리를 위한 BEMS 기능을 내포한 앱을 구현한다. 구현한 최적 시스템의 실물 모형을 구축하고 항만의 시설 중 하나인 VTS에 적용하여 시스템의 구동을 확인한다.



(그림 1) 프로젝트 흐름 구성도.

2.1 태양광 발전시스템

2.1.1 일주추적 태양광 발전시스템

본 연구에서는 에너지 발전의 방법으로 태양광 발전을 채택하였다. 기존의 고정식 태양광 발전 시스템은 발전 효율이 15~20%에 그친다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 태양의 일주를 추적하는 회전형 패널을 도입한다. 기존 연구에 따르면 태양광의 입사각이 0°일 때에 비해, 입사각 75°에서 발전에 유효한 빛에너지가 75%가량 손실된다. 따라서 입사각을 0°로 유지하기 위해 기상청 API를 통해 당일 태양의 방위각과 고도 정보를 받아와 방위각은 수평각도 조절 모터에, 고도는 수직 각도 조절 모터에 할당하여 두 개의 모터로 패널의 각도를 조절한다. 해당 태양광 발전시스템을 통해 발전 효율을 30% 증진한다[3].

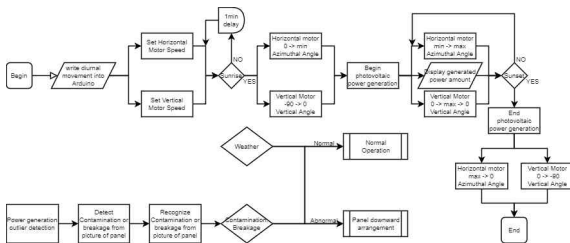
2.1.2 태양광 발전시스템 유지 및 보수

2.1.2.a 태양전지(Solar Cell) 하향 정렬

옥외의 태양광 발전시스템은 해양환경에 직접적인 영향을 받는다. 환경으로 인한 피해를 최소화하고자 패널을 뒤집는 기술을 도입한다. 우박, 태풍 등 물리적 손상이 가해질 경우를 대비해 태양전지가 지면을 바라보게끔 회전시켜 패널을 보호한다. 패널의 후면은 충격에 강한 소재로 감싸 외부 충격으로부터 패널을 보호해 수명을 늘린다.

2.1.2.b 패널 오염/파손 인식

태양광 패널 유지 보수를 위해 일차적으로 태양광 발전량 현황을 확인하지만, 음영 또는 적설 등의 일시적인 문제 판별에는 한계가 있어 모니터링이 필요하다. 모니터링 과정은 객체(오염/파손) 감지 및 인식 두 가지 과정으로 나뉜다. 객체 탐지는, MobileNET 모델을 사용해 패널의 상태(정상/오염/파손)를 판단하고 이상을 감지한다. 객체 인식은, YOLOv3를 학습시켜 진행하며 패널 상의 오염/파손을 인식해 해당 객체에 Bounding-Box를 생성한다. 패널의 정확한 상태 파악 및 전달을 목표로 하며, 관리자는 앱에서 패널에 대한 알림과 사진을 받아 신속한 유지 보수를 진행할 수 있다.



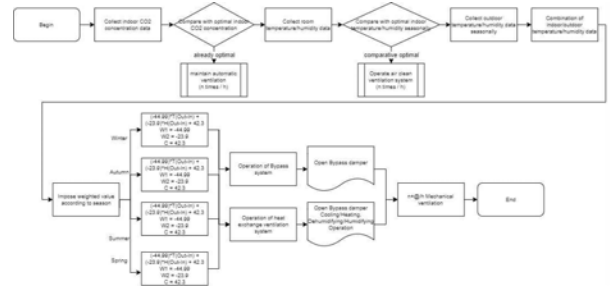
(그림 2) 태양광 발전시스템 흐름 구성도

2.2 폐열 환기시스템

냉난방이 건축물 소모 에너지의 60%를 차지하므로 에너지 효율 최적화를 위한 냉난방 효율화는 필수적이다.

본 연구는 폐열을 고려해 효율적인 환기시스템을 구축한다. 폐열 환기시스템은 열 회수 환기시스템과 바이패스 시스템으로 나뉜다. 비교적 평균 기온이 낮은 밤 또는 겨울철에는 열 회수 환기시스템을 통해, 환기로 낭비되는 폐열을 회수해 난방의 에너지 소비를 줄

인다. 비교적 실내외 온도 차가 적은 환절기와 내부 온습도가 최적 값에 도달한 경우, 열교환기를 통과하지 않고 외부 공기를 공급하는 바이패스 시스템을 도입해 불필요한 추가 냉난방을 막는다[4]



(그림 3) 폐열 환기 시스템 흐름 구성도

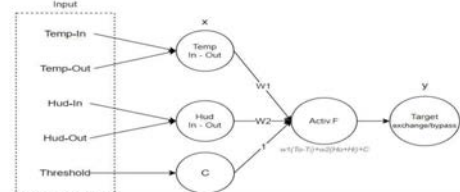
건물 내외부의 온/습도를 바탕으로 가중치를 설정해 바이패스와 열 회수 환기시스템 중 사용할 환기시스템을 결정한다. 이를 통해 각 계절에 맞게 전력 사용을 최소화하며 사용자를 위한 쾌적한 환경을 조성한다.

온/습도 조합식은 온도, 온도 가중치, 습도, 습도 가중치, 보정치로 구성되며, 단층 퍼셉트론을 통해 가중치를 부여한다. 부여된 가중치를 바탕으로 환기 방식을 결정한다.

$$w_{temp}(T_O - T_I) + w_{hum}(H_O - H_I) + C$$

w_{temp} : temperature weight w_{hum} : humidity weight
 T_i : temperature, H_i : humidity, C : threshold

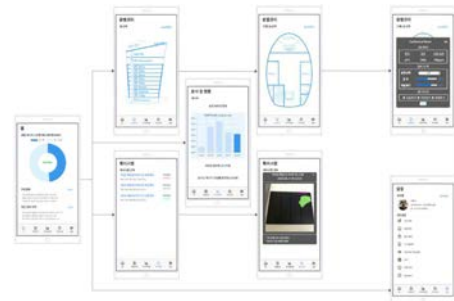
<식 1> 폐열 환기 결정 퍼셉트론 알고리즘



(그림 4) 폐열 환기 단층 퍼셉트론 구조

2.3 앱

건물 에너지 관리를 위한 BEMS 기능을 내포한 앱을 개발 적용한다. 분석 및 현황 메뉴를 통해 데이터 수집·표시, 에너지 소비 분석 등의 정보 확인이 가능하며 제로에너지 건축물 인증 기준에 부합하는지 확인할 수 있다. 이외 홈/층별 관리 메뉴들을 통해 태양광 발전시스템 수동 조작/모니터링, 폐열 환기시스템 수동 조작 등 통합적 건물 관리를 유저 친화적으로 가능하게 한다.



(그림 5) 앱 화면 구성

3. 결과

3.1 태양광 발전 및 관리 시스템

태양광 패널을 이두이노와 모터를 활용해 일주를 추적시켜 태양광패널의 각도를 유지했다. 동시에 기상 상황 및 파손 여부에 따라 태양광 패널을 지면을 향하게 회전시킬 수 있게 수동제어를 가능하게 하여 발전기 유지 및 보수를 더욱 용이하게 하였다.



(그림 6) 태양광 발전시스템

발전량 이상치 발생 시 라즈베리파이 4 PiCamera 에서 패널 캡처 후 Socket 통신을 통해 캡처한 이미지를 전달하는 시스템과 이미지 안의 객체를 탐지·인식하는 알고리즘을 구현하였다.

실제 사용하는 패널에 오염(초록)/파손(빨강)/정상(없음)을 위치시켜 150개의 학습데이터를 구성하고 MobileNET과 YOLOv3에 학습하였다. 탐지·인식 성능은 <표 1>과 같으며 추가적인 데이터 확보를 통해 향상될 것으로 기대된다.

	MobileNET	YOLOv3
Accuracy (%)	90.84	100
Average Loss	0.2129	0.0441

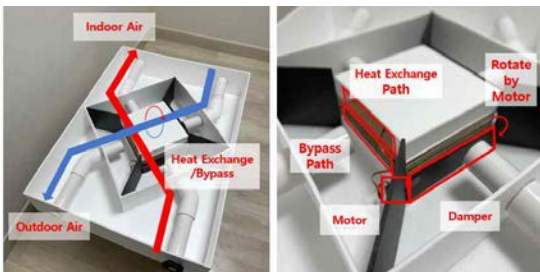
<표 1> 오염 및 파손 탐지·인식 모델 성능



(그림 7) 태양광 패널 오염/파손 인식

3.2 폐열 환기시스템

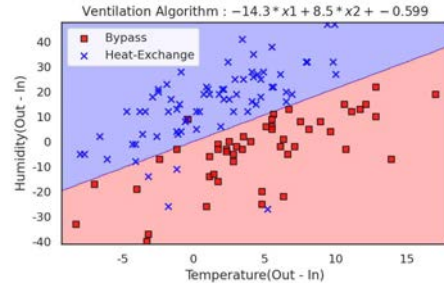
열 교환 환기시스템과 바이패스 시스템을 댐퍼를 통해 조절하는 환기 모형을 구축하였다. 온/습도 가중치를 바탕으로 환기시스템을 결정하고 서보 모터로 댐퍼를 조절하여 유체의 흐름을 설정한다.



(그림 8) 폐열 환기시스템 모형

온/습도 가중치는 특성 설명력을 고려해 단층 퍼셉트론을 통해 결정한다. 울산의 계절별 온/습도 데이터 100개를 추출해 얻은

실외 데이터와 최적 온/습도부터 평균 온습도까지의 범위 내에서 난수 추출해 얻은 실내 데이터를 학습 데이터로 사용한다. 단층 퍼셉트론을 통해 얻은 계절별 가중치와 정확도는 아래 그림 9와 표 1과 같다. 이를 바탕으로 기존의 모호했던 환기시스템 결정 기준을 에너지 효율화에 맞게 최적화해 제시한다.



(그림 9) 퍼셉트론 기반 환기 알고리즘

	봄	여름	가을	겨울
W_1 (온도)	-5.99	10.0	-14.3	-26.87
W_2 (습도)	7.3	4.6	8.5	19.3
C (임계 값)	-7.79	15.001	-0.59	-0.59
정확도	95 %	90 %	96 %	98 %

<표 2> 계절 별 가중치 및 정확도

4. 결론

본 연구에서는 탄소제로 향만 구현을 위해 기존의 제로에너지 건축물 시스템을 보완, 최적화했으며 향만의 VTS에 최적 제로 에너지 건물 시스템을 적용하였다. 또한 적용된 태양광 발전시스템, 패널 환기시스템, BEMS 앱을 실제 모형으로 구현하여 알고리즘에 부합한 구동을 확인하였다. 해당 시스템을 통해 높은 등급 제로에너지 건축물으로서 향만 VTS의 가능성을 제고하고, 향만의 다른 건축물에도 위 시스템을 적용해 향만 전체의 탄소 중립화를 기대한다.

Acknowledgement

본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류 일자리 지원사업을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

[1] 해양수산부, 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵, (2022)
 [2] 오형일 외 2인, BAPV를 이용한 제로 에너지 빌딩 타당성에 관한 연구. 한국정보기술학회 종합학술발표논문집, (2021), 720-725.
 [3] Qan et al. Artificial phototropism for omnidirectional tracking and harvesting of light. Nat. Nanotechnol. 14, 1048-1055 (2019).
 [4] 김철호 외 4인, <열회수형 환기장치의 타입별 Bypass 제어에 따른 에너지 최적 운영 방안에 관한 연구>, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 7(2020), pp309-322