

태양전지를 이용한 LED 표식장치 설계

이흥주^{1*}

¹상명대학교 컴퓨터시스템공학과

LED sign board design using solar cells

Hoong-Joo Lee^{1*}

¹Department of Computer System Engineering, Sangmyung University

요약 본 논문에서는 태양전지를 기본 전력공급원으로 사용하는 대형건물용 옥외간판 LED 표식장치를 시스템을 구현하였다. 부하·발전·배터리 용량을 산정하고, 상용 예비전력을 도입한 계통연계형 태양광발전시스템을 설계하였다. 표식장치인 LED 부하에 대한 사전 휘도 시뮬레이션 및 균일성 검사를 거친 후, 이를 태양광발전시스템과 함께 설치하였다. 태양전지-LED 표식장치 현장 시험운영을 통하여 시스템의 신뢰성과 성능 및 제반 문제점을 파악하였다.

Abstract This paper presents the design of the LED sign board system installed on the exterior of a building and powered by a photovoltaic system. A grid connected photovoltaic system has been designed with the capacity estimate of the load, battery and power. After the luminance and uniformity of LED load has been checked, the sign board and the solar cell modules have been installed. The performance and problems occurred during the field test for the photovoltaic LED sign board system have been analyzed.

Key Words : Photovoltaic system, LED sign board

1. 서론

태양광을 이용한 발전은 이미 오래 전부터 국내, 외적으로 기존의 화석연료를 사용하는 발전방식을 대체하는 기술의 일환으로 태양광으로 직접 전기에너지를 생산하여 환경 친화적으로 청정한 전기에너지를 얻을 수 있어 미래의 주요 대체 에너지원으로 각광받고 있다. 태양광 발전에 따른 이용은 대표적으로 계통 연계형이 아닌 독립형으로서 기존의 전력선을 배제하고 사용할 수 있는 큰 장점을 가지고 있어 대용량의 전력 공급뿐만 아니라 소규모의 생활용품에 까지 실생활에 밀접하게 활용할 수 있는 특성을 가지고 있다[1]. 통상적인 건물 옥외 조명으로는 일반적으로 백열전구, 수은등, 형광등이 사용되어 오고 있으며, 현재는 네온등이 주류를 이루고 있다. 이러한 것들은 비교적 많은 전력을 소모와 함께 수명의 단기화로 잦은 교체를 수반하기 때문에 형광등이나 네온등보다도 훨씬 적은 전력을 소모하는 LED(Light Emitting Diode) 발광 다이오드의 이용이 점차 확대되고 있다[2-4].

본 연구는 태양전지를 이용하여 전력을 생산하여 중대형 간판 조명시설에 이용될 수 있도록 주간에 태양광에 의해 발전한 전력을 축전지에 충전하였다가 야간에 스스로 점등되어 조명하는 중대형 PV-LED(Photovoltaic Light Emitting Diode) 시스템에 대하여, 설계, 설치 및 운영에 관한 현장 시험을 통해 시스템의 신뢰성과 성능 및 제반 문제점을 확인 분석하고자 하였다.

2. PV-LED 시스템 구성

2.1 태양광발전시스템의 개요

태양광발전시스템의 구성은 일반적으로 시스템의 용도, 부하의 종류, 시스템의 크기, 입지조건 등에 따라 다르지만 그 기본 구성은 다음과 같다. 태양전지 어레이는 태양전지 소자를 직렬이나 병렬로 연결하여 직접 DC 전력을 발생하기 때문에, 직류부하인 경우에는 DC-DC

본 논문은 2006년도 상명대학교 교내연구비지원에 의하여 수행되었음.

*교신저자 : 이흥주(hoongjool@gmail.com)

접수일 09년 5월 8일

수정일 (1차 09년 09월 01일, 2차 09년 09월 10일)

게재확정일 09년 09월 16일

Converter를 이용하여 가장 효율적인 전압으로 출력 측에 축전지를 접속하여 사용하며, 또한 교류부하인 경우 DC-AC Inverter가 필요하고 경우에 따라 일사조건과 부하 사용시간이 다르고 일사량 또한 시간에 따라 다르므로 발전된 전력을 저장할 수 있는 축전지를 갖는다[5-7].

2.2 태양전지 모듈의 용량산정

일반적으로 PV모듈용량은 부하량과 여유전력량을 더한 값이 되도록 결정하여야 한다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} \times K = E_L \times D \times R \quad (1)$$

(Q_A : 태양전지 경사면 일사강도, A : 태양전지 면적, η_{ps} : 태양전지 변환효율, K : 설계종합계수, E_L : 부하 전력량, D : 부하의 태양광발전시스템 의존율, R : 설계 여유계수)

$$\eta_{ps} = \frac{P_{AS}}{H_S \times A} \quad (2)$$

(P_{AS} : 표준상태의 태양전지 출력, H_S : 표준상태 일사강도 ($1kW/m^2$))

$$P_{AS} = \frac{E_L \times D \times R}{Q_A / H_S \times K \times A} \quad (3)$$

식 1은 계통연계형에 사용되는 용량 산정식이며, 식 2는 PV모듈의 광전변환효율을 나타내는 식이다. 식 2를 식 1에 대입하여 정리하면, 식 3과 같이 된다. 독립형의 경우 태양광 발전 의존율 D 값이 1이고 태양전지 변환효율 η_{ps} 는 약 14%, 설계계수 K 는 부하가 일정하므로 1로 가정한다. 그리고 부하전력량은 부하용량과 사용시간의 곱으로 나타낸다. 이러한 독립형 태양광 발전 시스템의 특성을 고려하여 PV모듈용량 산정식을 다시 정리하면 식 4와 같다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = E_L \times R \quad (4)$$

식 4에서 독립형의 경우 경사면 일사량이 계절에 따라 변하므로 연중 평균 발전효율을 고려하여 태양전지 용량을 계산하면 식 5와 같다. 다시 식 4와 식 5를 정리하여 식 6과 같은 독립형에서의 태양전지 용량을 산정할 수 있다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = S_w \times A_f \quad (5)$$

(S_w : 태양전지 용량, A_f : 연중 평균 발전율)

$$S_w = \frac{R \times E_L}{A_f} \quad (6)$$

식 6은 태양전지 용량을 연중 평균치로 계산하였으나, 실제로 태양광발전 변화를 보면 겨울철 발전량이 가장 낮으므로 겨울철에 정상적인 전원공급을 위해 발전효율을 연중 평균치에 겨울철 변동량을 감안하여 계산하면 식 7과 같다.

$$S_w = \frac{R \times L_w}{A_f \times W_{af}} \quad (7)$$

(W_{af} : 겨울철 효율 변동률)

2.3 축전지

축전지의 용량산정에서 가장 중요한 요소는 부하량과 부조일수이다. 국내 기상조건은 장마철의 경우에도 3일 이상 발전이 불가능한 경우는 거의 없기 때문에 일반적으로 부조일수를 4일로 계산하여 용량을 산정하는 것이 바람직하다. 또한 배터리를 100% 방전할 경우 배터리의 손상이 발생하여 수명이 짧아지고 고장의 원인이 되므로 방전 시에는 보통 60~70%정도의 방전심도를 갖도록 설계하여야 한다. 배터리 용량 산정은 부조일수와 배터리 효율, 1일 소비전류량, 방전심도의 곱인 식 8으로 나타낼 수 있다.

$$B_w \times \eta_b \times B_{D_bD} = N_d \times L_a \quad (8)$$

(N_d : 부조일수(4일), η_b : 배터리 효율, L_a : 일일 사용 전류량, B_{D_bD} : 배터리 방전심도(0.6~0.7))

일일 사용 전류량은 점등 용량과 사용시간을 감안하여 전압과 효율로 나눈 식 9와 같다.

$$L_a = \frac{L_w \times H_a}{V_b \times \eta_i} \quad (9)$$

(H_a : 평균사용시간, V_b : 배터리 전압(12V), η_i : 시스템효율, L_w : 부하량)

식 9를 식 8에 대입하여 정리하면 식 10과 같이 배터리 용량을 산정할 수 있다.

$$B_w = \frac{N_d \times L_w \times H_a}{V_b \times \eta_i \times \eta_b \times B_{D_bD}} \quad (10)$$

3. PV-LED 설치

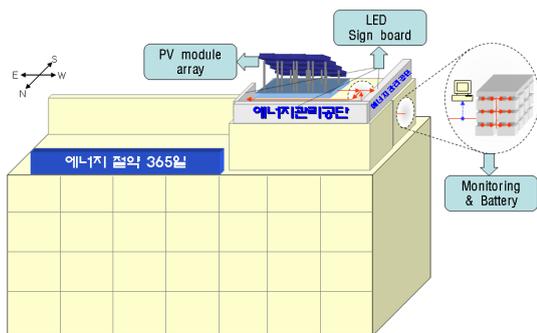
3.1 실증사이트

PV-LED 실증 사이트가 위치할 곳인 용인시 수지읍에 위치한 에너지관리공단 현장답사를 통해 현장의 기존 외 부간판의 구조물과 전력선을 확인하고, 태양광발전시스템, LED 간판 및 모니터링 시스템을 설치할 공간의 주변 환경을 조사하였다.

그림 1은 기존에 옥외간판이 설치된 건물을 촬영한 것이고, 기존 옥외 간판의 사이즈를 측정한 결과 정면의 글자는 글자 하나당 1.8m×1.8m이고 글자의 폭은 약 30cm이다. 좌측부와 우측부에도 옥외 간판이 있는데, 우측 간판의 글자 하나당 사이즈는 1.4m×1.4m이고, 좌측의 영문 로고 간판은 1.5m×1.5m의 사이즈를 갖는다. 기존의 측정 한 사이즈를 기준으로 공단 CI에 맞춰 간판을 재구성 하였다.



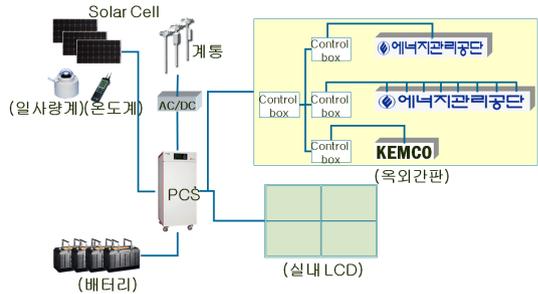
[그림 1] 에너지관리공단 건물의 기존 CI



[그림 2] 태양광발전시스템 설치 모형도

그림 2는 태양광발전시스템을 설치할 건물의 설치 모형도이다. 표시된 부분은 LED 사인보드가 설치될 곳으로 그림 1에서의 기존 간판의 위치와 동일하다.

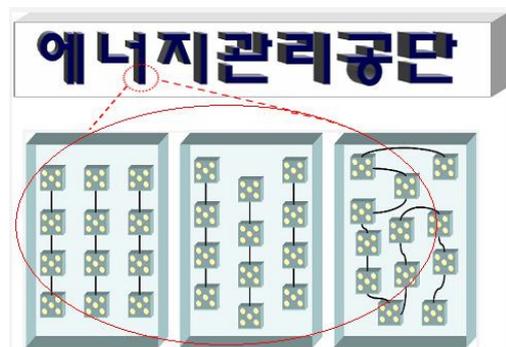
태양전지모듈은 건물 옥상에 설치하고, 그 하단에는 분전반과 모니터링 센서 부착을 위한 컨트롤박스를 위치시켰으며, 모니터링 서버와 배터리, 인버터 등은 건물의 공조실 내부에 설치하였다. 그림 3은 전체 시스템 구성도를 나타낸다.



[그림 3] PV-LED 전체 시스템 구성도

3.2 부하

그림 4는 LED channel sign의 구조를 나타내고 있다. 박스 형태의 각 채널 내부에 channel LED를 배치하고, 그 위에 diffuser를 덮어 빛이 균일하게 분포되도록 한다. 사인보드를 설계하기 위해 고려하여야 할 요인으로 글자 디자인 및 설치되는 위치에 따라 조도, 휘도값과 channel LED의 배치가 결정된다. 간판 글자를 디자인하여 각 채널의 폭, 길이, 깊이 등의 사이즈를 토대로 원하는 조도와 휘도를 가지며 빛이 고르게 분포하도록 광학시뮬레이션을 통해 channel LED의 배치를 결정하였다.



(a) 직선형 (b) 갈지자형 (c) 불규칙형

[그림 4] LED channel sign 구조

그림 4에서 보는 것과 같이 3가지형의 기본배치로 나누어 시뮬레이션을 하였다. 1차 시뮬레이션 결과 직선 형태로 평행하게 3줄로 배열을 했을 때 원하는 조도와 휘도 및 빛의 분포를 보였지만 실제로 설치했을 때 음영이 지

는 곳이 발생할 수 있어, 암실 테스트 및 dummy plan 설치를 통해 실제 설치했을 때의 조도, 휘도, 빛의 분포 등을 측정하여 문제가 발생하는 부분을 약간씩 수정보완하였다.

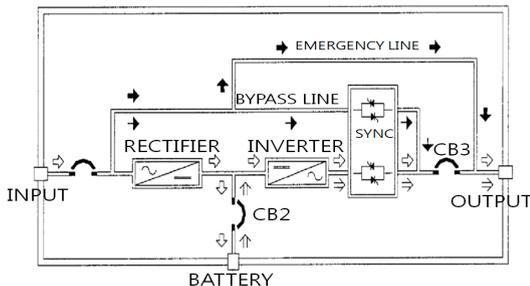
3.3 태양광 모듈, 축전지 및 인버터

태양전지와 축전지 용량 산정 식을 바탕으로 시뮬레이터를 프로그래밍 하여 개발 조건을 시뮬레이션 하였다. 어레이는 일일 부하량 17.28kW에 대하여 태양의존률 80%, 여유 계수 1.1, 시스템효율 0.85로 할 경우 태양 전지 용량은 5.3kWp이므로 103W 태양전지 모듈 50개를 연결한 5kW급으로 설계하였다. 그림 5(a)와 같이 모듈은 건물 옥상위에 설치되었으며, 태양전지 모듈을 경사각 45°를 기준으로 할 때 7m(W) × 7m(L) × 5m(H)의 설치공간을 필요로 하였다. 축전지는 보조일수 3일, 방전심도 0.6, 충방전효율 0.85%로 12V, 200Ah 직렬 16조씩 병렬 2조로 구성되어 전체 용량은 204V, 400Ah로 설계 되었다. 그림 5(b)는 설치된 축전지 뱅크의 외관을 보여준다. 인버터는 IGBT에 의한 순시전압 제어방식으로 입력변압기, 순변환부 및 충전장치, 역변환부, 출력변압기, 동기 절체부, 제어회로부로 구성되어 있으며, 계통연계형 시스템에 대응하도록, 정상상태, 정전상태, 정상복귀, 바이패스 운전, 비상운전 상태 등의 5가지 동작기능이 가능하도록 설계되었다.



(a) 태양광 어레이 (b) 축전지 뱅크

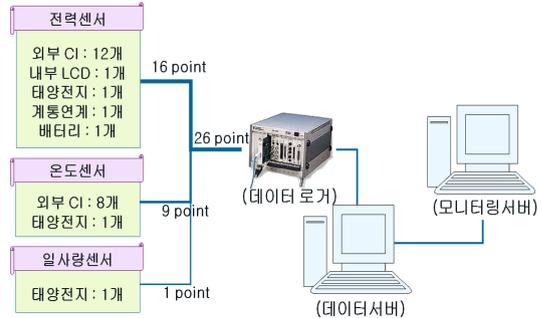
[그림 5] 태양광 어레이 및 축전지 설치



[그림 6] 인버터 동작상태 흐름도

3.4 모니터링 시스템

PV-LED 시스템을 모니터링 하기위해, 그림 7과 같은 시스템을 구성하였다. 모니터링 시스템은 전력센서, 온도센서, 그리고 일사량 센서 등, 총 26개의 센서로 구성된 센서부와, 데이터를 수집하는 데이터 로거, 그리고 데이터를 보관하는 데이터 서버와 데이터를 분석하여 모니터링을 가능하게 해주는 모니터링 서버 등으로 구성되었다.



[그림 7] 모니터링 시스템의 구성 및 모니터링 화면

4. 실증실험 및 결과

본 연구에서는 에너지관리공단 빌딩 8층과 건물옥상에 설치된 태양광발전시스템과 LED 표식장치로부터 수집된 9개월간의 데이터를 바탕으로 월별발전량, 일별발전량, 일사량데이터, 조도측정 데이터 등을 그래프로 나타내어 분석하였다.

그림 8은 월별 발전량을 토대로 발전량 변화의 추이를 관찰하기위해 모니터링 기간 31주 동안의 발전량 데이터를 정리한 것이다. 최대발전량은 5월 1주차에 67.2kWh, 최소발전량은 2월 3주차에 9.39kWh이며, 평균발전량은 36.1kWh가 됨을 알 수 있다. 계절별로 발전량의 차이가 있음을 알 수 있다.

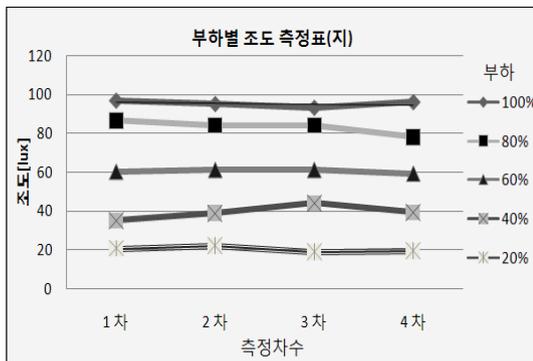


[그림 8] 주간별 발전량 (31주 : 12월 ~ 8월)



[그림 10] 사인보드의 야간 점등 모습

LED 사인보드에서 각 글자별 부하변화에 따른 조도 측정을 6월부터 8월 사이에 4회를 측정하였다. 이 기간을 선정한 이유는 여름철 고온이나 장마의 기후조건에 따른 조도의 변화를 살펴 볼 수 있기 때문이다. 1차 6월의 날씨는 온습도가 적절한 맑은 날씨였으며, 2~3차는 장마로 인한 우천 상황이었다. 4차는 낮 동안에 온도가 높고 열대야가 지속된 상태였다. 그림 9에서 보듯이, LED 사인보드에 조도는 측정 차수에 관계없이 크게 변화하지 않았다. 즉, 외부 기상상황의 변화등에 크게 의존하지 않았으며, 사인보드의 디퓨저와 하우징, 그리고 전력선, 데이터선등의 아웃렛 등을 철저히 방수 처리한 결과라고 볼 수 있다. 또한 야간 점등이므로 여름철이라 하더라도 주변 온도가 그리 높지 않고, LED모듈자체가 저 발열광원이므로 온도의 영향을 거의 받지 않는다고 판단된다. 20~100%까지의 부하량 변화에 따른 조도의 변화량도 그에 비례하는 결과를 나타내었다. 그림 10은 야간에 점등된 LED 사인보드를 보여주고 있다.



[그림 9] 사인보드의 부하량에 따른 조도 변화

5. 결론

태양전지를 이용하여 전력을 생산하고 LED 사인보드 시설에 이용될 수 있는 PV-LED 시스템을 설계하고 설치하여 시험 운전하였다. 태양광 발전시스템 설계를 위해, 부하, 발전 및 배터리 용량을 산정하고, 비상시 부하의 계통전력 사용을 가능하게 하는 계통연계형 태양광발전시스템을 설치하였다. 또한, 사인보드 부하는 LED 채널을 사용하였으며, 휘도 시뮬레이션 및 균일성 검사를 거친 후, 이를 건물 외벽에 설치하였다. 태양전지-LED 시스템에 대한 설계, 설치 및 운영에 관한 현장운전 및 모니터링 시스템을 이용한 데이터 분석을 통해 시스템의 신뢰성과 성능 및 제반 문제점을 확인 하였다. 향후 태양전지를-LED 사인보드 시스템의 실증데이터의 다량 확보 및 이의 분석을 통해, 친환경 전원과 부하인 태양전지와 LED의 융합적 제품개발의 기초자료로 활용할 예정이다.

참고문헌

- [1] Roger A. Messenger Jerry Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering", Second Edition, CRC PRESS, 2003.
- [2] 이성룡, 전칠환, 신영찬, 이강명, "LED 교통 표지판용 독립형 태양광 발전 시스템의 구현", 전력전자학술대회논문집, 2003.
- [3] 이미영, "LED부하용 태양광발전시스템의 매칭특성에 관한 연구", 상명대 정보디스플레이연구소 논문집, 2004.
- [4] 이우희 외 4명, "LED 조명용 DC-DC 컨버터에 관한 연구", 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집 제5권 제2호, 2004.
- [5] 이우희 외 4명, "독립형 태양광발전 응용 시스템설계

에 관한 연구”, 한국산학기술학회 추계학술발표대회, 2005.

[6] 이우희 외 4명, “소규모 독립형 태양광발전시스템 용량산정에 관한 연구”, 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, 2005.

[7] 강신영, 이양규, 김광현, “소규모 독립형 태양광 발전시스템의 특성 개선”, 전력전자학회논문집, 2002.

이 흥 주(Hoong-Joo Lee)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 뉴욕주립대학교 전기전자컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 2000년 12월 ~ 2001년 12월 : (주)포톤반도체에너지 이사
- 1999년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터시스템공학과 교수

<관심분야>

태양광에너지, 반도체공정소자