

다중 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등

이재민^{1*}, 김 용¹, 배철수², 권대식³
¹관동대학교 전자공학과, ²관동대학교 의료공학과, ³토탈테크

Solar Power Emotional LED Lightening Street Lamps with Multiple Control Sun Tracker

Jae-Min Lee^{1*}, Yong-Kim¹, Cheol-Soo Bae² and Dae-Sig Kwon³

¹Dept.of Electronic Eng. Kwandong University

²Dept.of Medical Eng. Kwandong University

³Total Tech Co.

요 약 본 논문에서는 신재생에너지 활용을 위한 다중 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등을 제안한다. 제안하는 가로등 시스템은 다중 추적방식의 태양광 추적기능을 갖추고 있고 감성형 고품위 LED 램프와 제어회로를 사용하여 센서를 통해 입력되는 온도 및 습도를 기반으로 최대의 일조량을 받을 수 있도록 하였다. 신재생에너지 활용의 핵심 요소인 효율적인 축전지 활용을 위해 충방전 컨트롤러를 개발하였고 원격모니터링 기능 및 제어기능도 구현 하였다. 제안하는 가로등 시스템은 기존 기술에 비하여 추적 동작이 우수하고 에너지효율이 향상되었으며 기존에 개발되지 않았던 추적식 태양광 발전 시스템과 감성형 LED를 결합함으로써 차세대 가로등 시스템의 모델로서의 활용될 수 있게 하였다.

Abstract In this paper, a solar power emotional LED lightening street lamps with multi control sun tracker is presented. The proposed system has a multiple control sun tracking function and high quality emotional LED lamps. The system is designed to absorb maximum sun lights by temperature sensor and humidity sensor of control circuits. A battery charge-discharge controller is developed for high efficient usage of battery charger for utilization of new and renewal energy. An interface circuit for remote monitoring and controlling is included in the developed system. The proposed multi tracking solar power emotional LED street lamps is better than conventional systems in aspect of tracking operation and energy efficiency, and expected to be a leading model for next generation solar power street lamp system, because it is a new technology combining sun tracking solar power system and emotional lightening system.

Key Words : Solar Power Generation, Multiple Control Sun Tracker, Emotional Lightening, LED Lamps

1. 서론

이상 기후 현상과 이에 기인한 급격한 지구 환경의 변화는 인간의 생존마저 위협하는 매우 심각한 상황까지 이르게 되었다. 세계 각국은 지구 온난화의 주범인 이산화탄소 배출량을 줄이자는 목소리를 높이고 있으며 화석 에너지를 대체 할 신재생에너지 개발에 박차를 가하고

있다. 특히 무한 친환경에너지로 인식되고 있는 태양광 에너지의 개발을 위해 예산과 인력을 집중 투자하고 있는 실정이다[1,2].

태양광 에너지의 활용 방법 가운데 하나인 태양광 발전은 타 신재생에너지발전에 비해 실용적 구현 가능성이 높고 필요한 장소에 필요한 만큼의 발전을 할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 또한 유지보수가 용이하며 무인화가

본 과제(결과물)는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

*교신저자 : 이재민(leejm@kd.ac.kr)

접수일 10년 01월 18일

접수일 11년 02월 09일

게재확정일 11년 02월 10일

가능하고 상용전력과 계통연계하여 효율적인 전력운용에 적합한 것등 많은 장점을 가지고 있어 국가적 관심과 지원 속에 연구, 개발 및 설비투자가 크게 확대되고 있다 [2].

최근 Inter-solar North America등에서 소개된 세계적인 최근의 기술 동향은 태양이동의 천문학적 정보를 이용하는 방법, 광센서를 이용하는 방법과 이들의 확장 기술이 대부분이다[3-6].

이러한 기존의 추적식 태양광 발전 시스템 기술들은 각각 효율의 한계성 및 다양한 일조조건을 충분히 고려하지 못한다는 단점 그리고 센서의 추적조건에 대한 인식의 복잡성과 한계 때문에 시스템 구현이 어렵다는 문제점을 가지고 있어 이를 개선할 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

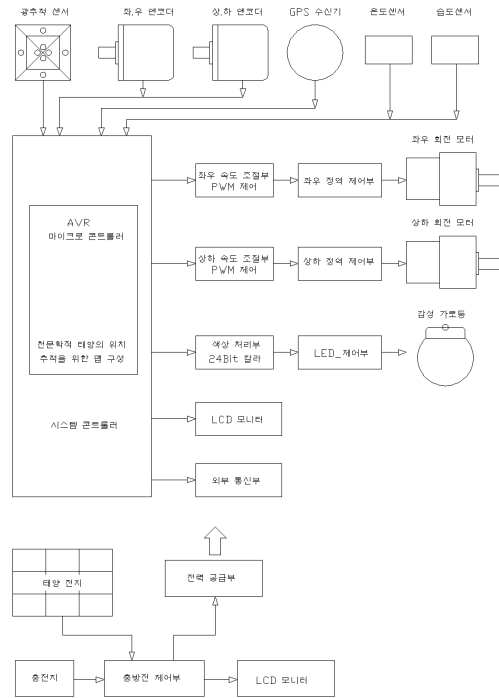
한편 최근 에너지 절감과 고효율의 장점등으로 LED가 기존의 조명 램프를 대체하고 있다[1]. 특히 고품위 LED 조명 구현을 위한 감성형 조명이 주목받고 있으며 [7] 본격적인 개발이 이루어지고 있으며 실용화도 충분히 이루어지고 있지 않고 특히 실제 가로등에 적용한 사례는 거의 발견되고 있지 않아 이에 대한 기술 개발의 필요성이 크게 대두 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 태양광 발전시스템의 효율을 향상시키기 위하여 태양 이동에 대한 천문학적 데이터와 광센서방식의 추적기능을 결합한 새로운 복합 추적 방식의 태양광 발전 시스템을 구현하고 이를 감성형 LED 가로등에 적용한 복합 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등을 설계 구현하고 그 성능을 검증한다.

2. 복합 추적 방식의 태양광 발전 감성형 LED 가로등 시스템

2.1 제안하는 시스템의 구성

그림 1은 제안하는 복합 추적 방식의 태양광 발전 감성형 LED 가로등 시스템의 구성도이다. 전체 시스템은 추적식 태양광 발전장치와 감성형 LED 램프 시스템으로 구성되며 추적식 태양광 시스템 부는 추적장치, 제어부, 센서부등으로 구성되며 감성형 LED 램프부는 감성 제어 회로, 램프 구동회로 및 LED 램프등으로 구성된다.



[그림 1] 복합 태양광 추적 발전방식의 감성형 LED 가로 등 시스템의 구성도

제안하는 시스템에서는 태양광 발전을 하지 않는 저녁 시간에는 마이크로프로세서가 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 제어신호를 생성하지 않는 대신, 다음날 태양의 고도와 방위각에 대한 최적 값을 계산한다. 이와 같은 동작은 실제 발전을 할 때 기존 방식보다 프로세서의 점유율을 낮추어 태양광 발전량이 급격히 변동하는 시점에 최대 전력점 추적 효율을 높이게 된다[6]. 감성형 가로등은 메인 제어부에서 온도와 습도, 계절별(월) 데이터를 수신하고, 그 특성에 맞는 색상을 표현하도록 동작한다. 색상처리부에서는 센서를 통해 입력된 감성 요소들을 판단하여 24비트 컬러 제어를 통하여 LED 램프를 구동한다.

2.2 태양광 복합 추적 방식

태양 추적은 광센서와 천문학적 데이터의 사용등 두가지 방식의 복합 동작으로 이루어진다.

[일출로부터 광추적 동작]

태양이동에 관한 천문학적 좌표를 이용하여 태양전지판을 천문학적 좌표계로 향하도록 제어한다. 동시에 광도를 측정하여, 특정 광량이상이면 +, - 5도 범위 내에서 가장 밝은 위치의 광원을 추적한다. 특정 광량 이하이면 좌

표계에 의한 추적을 실시한다.

[일몰로부터 광추적 동작]

일몰이 되면 좌표계 축적동작을 실시하되 -로 계산된 고도값을 +고도로 환산하여 다시 동쪽으로 향하도록 한다. 태양의 고도각과 방위각은 식 1,2로 구할 수 있다.

태양의 고도각 계산식 :

$$\sinh = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos t \quad (1)$$

여기서, h : 태양고도(°) $0 \leq h \leq 90^\circ$

ϕ : 위도 (°) $-90 \leq \phi \leq 90$

δ : 태양적위(°), 하지:+23.0°,

동지:-23.5°, 춘추분:0°)

t : 시각 (°), (24시간 360°, 1시간

15°, 오전:-, 오후:+, 남중시 정오 :0)

태양의 방위각 계산식 :

$$HA = \text{atan2}(\cos h \sin A, \sin h \cos \phi - \cos h \sin \phi \cos A) \quad (2)$$

여기서, α : 적경(Right ascension)

A : 방위각(Azimuth)

h : 고도(Altitude)

HA : 천체의 시간각(Hour angle)

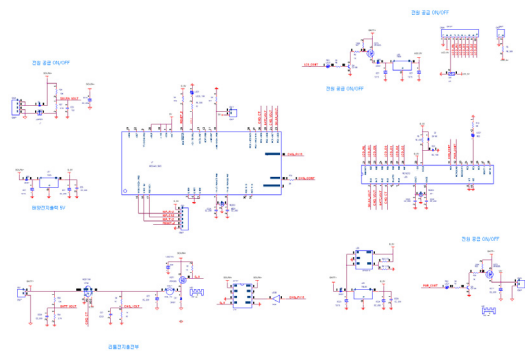
ϕ : 관측지의 측지 위도(Geodetic Latitude)

2.3 감성형 LED 가로등

LED 램프는 밝기, 수명, 광효율등에서 형광등이나 백열전구에 비해 그 성능이 우수하며 환경 친화적이고, 초경량, 긴 수명 및 높은 신뢰성 그리고 간단한 구동회로와 RGB 색상제어의 용이성등 많은 장점을 가지고 있어 차세대 조명 기구로 크게 주목받고 있으며 이미 실용화가 진행 중에 있다. 이러한 장점을 지닌 LED 램프를 그 설치범위가 넓고 전력 사용량이 큰 가로등에 적용하는 것은 꼭 필요한 일이다. 특히 태양광 발전 시스템과 결합하여 활용할 경우 그 효과는 배가 될 것이다. 특히 최근 주목받고 있는 감성 조명을 LED 가로등에 접목하고 에너지원으로서 추적식 태양광 발전을 이용한 새로운 가로등은 매우 주목 받는 신재생에너지 활용의 모델이 될 것이다. 개발하는 시스템은 인간의 감성요소를 고려하여 센서로부터 입력된 값을 판단하고 이를 바탕으로 LED 컬러를 제어한다. 기준색은 백색광이며 봄에는 녹색색, 여름에는 청색색, 가을 갈색색 그리고 겨울에는 적색색이 발광하도록 구동한다.

2.4 축전지 충방전 컨트롤러

태양광 발전 전기를 시간에 구애받지 않고 사용하려면 일조시간에 생성한 전기에너지를 축전지에 충전해야 한다. 축전지 충방전 컨트롤러의 성능은 정확한 충방전 전압제어 및 충방전 전류의 고품위 제어와 편리한 기능성의 구현에 달려있다[8]. 여기서는 최신 산업용 마이크로 프로세서를 사용하여 기존의 충방전 컨트롤러의 성능 개선과 회로 최적화를 통하여 전력소모가 적고 동작의 정확성과 편리성을 향상시킨다. 그림 2는 축전지 충방전 컨트롤러 회로도이다.



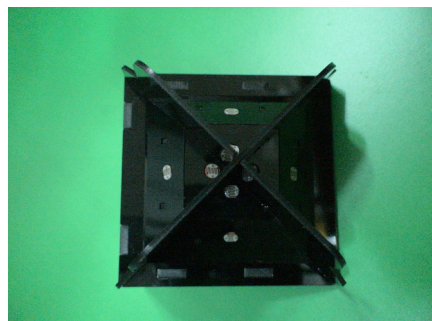
[그림 2] 축전지 충방전 컨트롤러 회로도.

2.5 시스템 구현

2.5.1 태양광 추적장치

태양광 추적장치는 광센서 모듈, GPS 모듈, 2축 구동 모터 모듈, 시스템 오동작 시 안정적 위치 측정을 위한 절대위치 엔코더등으로 구성된다. 그림 3은 제작한 광센서 모듈을 나타낸 것이다. 45도 각도의 경사면에 광센서를 부착하여 230도 광각의 광추적을 실현할 수 있다.

2축 기구장치는 좌·우 회전축과 상하 엇다운 회전축에 워엄기어를 적용하여 백러시를 최소화 하고, 감속비를 고 비율로 할 수 있도록 설계, 제작하였다.

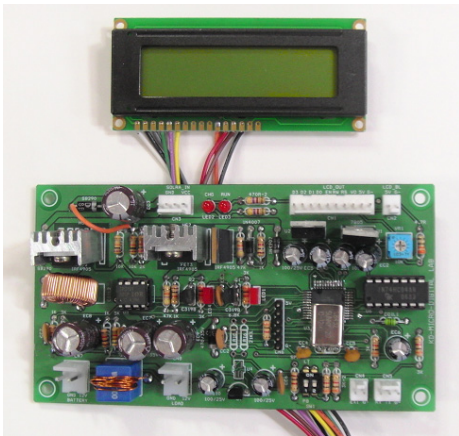


[그림 3] 제작한 광센서 모듈

워임기어는 치형하나가 1의 감속비를 갖는 특징을 가지고 있어 만약 치형이 30개라면 30:1의 감속비를 갖는다.

2.5.2 축전지 충방전 컨트롤러

그림 4는 고성능 마이크로프로세서인 AT-Mega 128을 사용하여 제작한 디지털 축전지 충방전 컨트롤러이다. 태양전지에 발전된 전압을 PWM회로로 정전압을 발생시킨다. 기존의 기술[9]을 개선하여 선택된 전지의 종류에 따라 리튬 전지 및 연축전지 사용이 가능하다. 또한 비접촉 전류센서를 사용하여 충전되는 전류를 감시한다. 전압은 PWM폭을 가변시킴과 동시에 전압을 ADC로 피드백하여 적정 전압이 출력 되는지를 감시하고 그 전압에 따라 자동으로 PWM폭을 가변시킨다. 또한 충방전 표시부는 문자 LCD를 사용하고 전원 자동 on-off 기능을 적용하여 낭비되는 전력소비를 최소화한다.

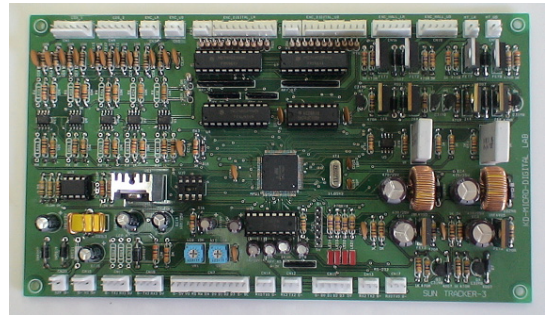


[그림 4] 제작한 축전지 충방전 컨트롤러

2.5.3 메인 컨트롤러 보드

전체 시스템의 핵심 제어부인 메인 컨트롤 보드를 구현하기 위해 ATMega 2560 칩을 사용 하였다. 16개의 ADC를 가지고 있어 여러개의 광센서를 사용하는데 충분하다. 모터드라이버 속도 가변회로는 2축에 각각 적용하여 속도 및 토크의 조절이 쉽게 이루어 지도록 하였다. P채널 FET를 사용하여 + 출력형으로 하고 인덕터를 통하여 평활하여 펄스를 평활된 전압으로 변환하였다.

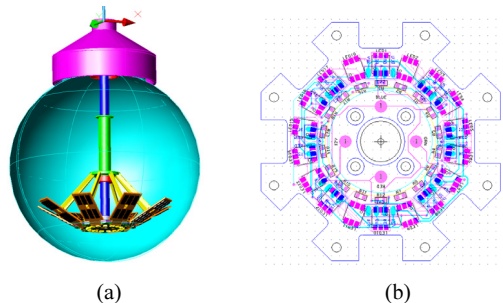
엔코더 입력부 회로는 회전당 분해능이 720이므로 20개의 입력 Port가 필요하다. 최소 감지각은 0.5도(=360도 / 720분할) 각도의 정밀도를 갖는다. 엔코더는 절대위치 엔코더를 사용한다. 그림 5는 설계하여 제작한 주 제어보드이다.



[그림 5] 주 제어 보드

2.5.4 감성형 LED 램프와 구동 회로

가로등의 동작을 원격으로 제어할 수 있도록 ATMega 48을 사용한다. PWM 채널이 6개이므로 LED의 RGB제어에 최적으로 사용할 수 있다. 드라이브단에는 N형 FET를 사용한다. RS-232통신포트를 사용하여 메인 컨트롤 보드로부터 온도와 습도, 계절(월) 데이터를 수신하여 색상 표현을 위한 제어 동작을 한다.마이크로프로세서는 PWM 채널이 6개이므로 LED의 RGB제어에 최적이다. 구동부에는 N 채널 FET를 연결하여 사용한다. RS-232 통신포트를 사용하여 메인 컨트롤 보드로부터 온도와 습도, 계절(월)별 데이터를 수신하고, 그 특성에 맞는 색상 표시를 위한 구동을 한다. 그림 6은 여기서 독창적으로 개발한 우산형 LED 가로등의 램프 기판을 나타낸 것이다.



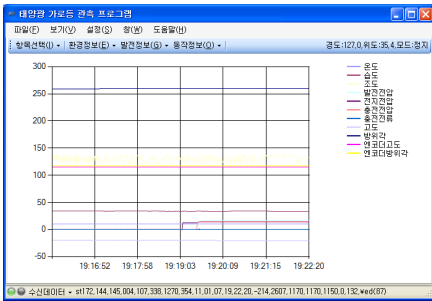
[그림 6] 우산형 LED 가로등의 LED 램프와 PCB 기판
(a) LED 램프 (b) 램프 PCB 기판

2.5.5 원격모니터링 시스템

제안하는 시스템은 그림 7과 같이 태양광 추적장치로부터 각종정보를 수신하여 표시하고, 가로등제어 및 동작을 제어 할 수 있다. 원격 모니터링 주화면에는 GPS 정보(option), 환경정보, 발전 및 충전정, 동작 정보(고도와 방위각 및 추적위치) 및 원격제어 모드가 갖추어져 있다.



(a)

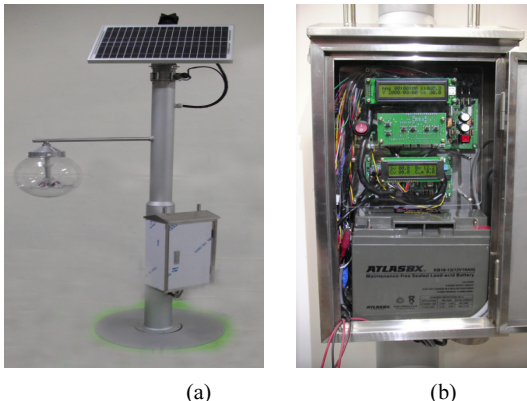


(b)

[그림 7] 모니터링 시스템 주 화면과 표시 예.
(a) 주 화면 (b) 표시 예

2.5.6 전체 시스템 구현

지금까지 설계하여 제작한 모듈들을 조합하여 그림 8과 같은 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등 전체 시스템을 구현하였다.



(a)

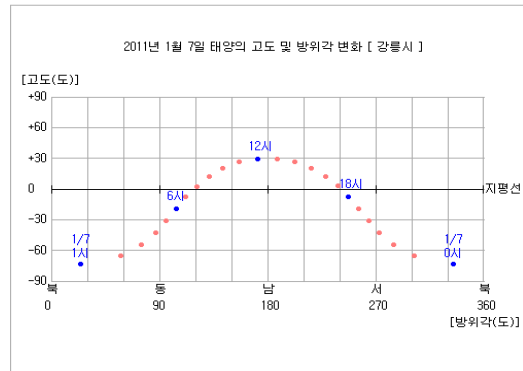
(b)

[그림 8] 구현한 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등 전체 시스템
(a) 외형 (b) 종합 컨트롤 박스

3. 실험 결과 및 적용

3.1 추적 동작의 검증

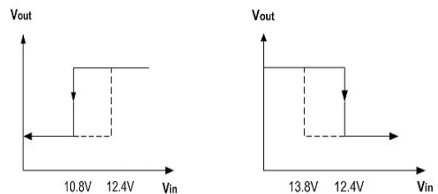
천문우주지식정보 인터넷사이트[10]에 있는 태양의 고도와 방위각을 계산 메뉴를 이용하여 년월일시분 및 위치를 입력하면 시간대별 태양의 고도와 방위각을 구할 수 있다. 여기서 얻은 자료와 본 연구 추적 장치의 결과 값을 비교하여 데이터가 일치함을 확인하였다. 그림 9는 실험에 사용한 천문우주지식정보 사이트에서 제공하는 데이터 그래프이다.



[그림 9] 2011년 1월 7일 태양의 고도 및 방위각 변화(강릉시).

3.2 충방전 동작 실험

충방전 컨트롤러를 제작하여 테스트한 결과 설계 사양과 일치하는 시스템 동작을 확인할 수 있었다. 디지털 제어부의 동작을 검증을 위해 입력 전압을 9V에서 15V까지 증가시키면서 측정했을 때 축전지 충전 동작은 14.4V에서 멈추었고 이때 부하를 통해 축전지를 방전시키면 전압이 하강하다가 13.8V에서 재충전이 이루어진다. 부하에 의해 축전지가 방전될 때 축전지 전압이 10.8V에 이르면 축전지 보호를 위해 부하로 인한 방전이 차단되며 이 때 전력원으로 부터 전류가 다시 공급되면 축전지의 전압이 상승하다가 12.5V에 이르러서야 부하에 의한 재방전이 허용된다. 이전 연구[8]와 같이 충·방전시 그림 10과 같은 히스테리시스 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 10] 충방전 히스테리시스 특성

3.3 제안하는 추적식 태양광 발전 감성형

LED 가로등의 성능 및 특성

표 1은 제안하는 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등의 특징을 비교한 것이다. 비추적식 또는 단일 추적식과 비교할 때 최대 30% 이상의 높은 발전 효율을 보였고 기존 시스템들이 거의 갖추고 있지 않은 감성형 조명 기능과 원격 제어기능들을 통하여 활용도가 크게 향상됨을 알 수 있다. 새롭게 개발한 축전지 충방전 컨트롤러는 정밀 전류제어 기능을 갖는 등 기존 충방전 컨트롤러들에 비하여 향상된 기능을 보였다.

여기서 개발한 시스템은 발전 시스템의 효율면에서 기존의 고정식 태양광 발전 시스템 보다 우수할 뿐만 아니라 고휘도 LED 램프를 사용하므로 형광등이나 수은등과 비교하여 동일한 전력을 사용할 때 월등한 조도를 나타내며 내구성 및 관리의 편리성등의 이유 때문에 최근 조성되고 있는 저탄소녹색도시 및 친환경 에너지 시스템 구축에 활용될 수 있다. 최근 도시가 녹색 개념으로 바뀌어 가고 쾌적성과 편리성이 크게 추구하고 있어 제안한 기술과 시스템은 차세대 감성형 LED 가로등 모델로서 주목 받을 수 있을 것이다.

[표 1] 기존 방식과 제안하는 방식의 비교

추적방식	발전 효율(%)	태양광 추적방식	램프 타입	부가 기능	비고
기존방식	100 (기준량)	비추적식	일반형 LED	원격 모니터링 기능	
	120	단일 추적식			
제안하는 방식	132	다중 추적식	감성형 LED (실시간 온도, 습도에 따른 색상제어 가능)	원격 모니터링 및 제어 기능	자체 개발한 고품위 축전지 충방전 컨트롤러 사용(정밀 전류제어 기능 구현)
* 발전효율(%)은 야외에서 총 100시간(10월 13일 - 11월 10일 사이 주간) 측정 결과임. * 기존방식의 효율은 제안한 시스템을 비추적식 및 단일 추적 모드에서 측정한 결과임. 단일 추적 모드는 프로그램 변경으로 가능.					

4. 결론

본 논문에서는 다중 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등을 제안하였다.

제안한 가로등 시스템에는 기존 시스템들에서 구현하지 않았던 다중 추적방식의 태양광 추적 장치를 설계 구현하여 사용하였으며 아직 가로등에 적용하지 않은 감성형 LED 조명을 위한 구동회로와 기구설계를 통해 실현가능성을 보였다. 또한 신재생에너지 활용을 위해 필수적인 장치인 축전지 충방전 컨트롤러를 전류제어기능을 구현하여 설계함으로써 응용 환경에 따라 다양하게 사용할 수 있도록 하였다.

실험 결과 제안한 다중 추적방식의 태양광 발전 시스템은 추적 동작을 위한 마이크로프로세서의 계산량이 많지 않고 기존 단일 추적 방식에 비해 최대 30%이상 발전량을 증가시킬 수 있다는 장점을 확인할 수 있었다.

제안하는 시스템을 이용하면 일사량이 부족한 때에도 확산광에 의한 발전도 가능하여 발전 효율을 극대화 할

수 있을 것으로 기대된다. 최근 저탄소 녹색 도시 건설이 활성화 되고 있어 제안한 추적식 태양광 발전 감성형 LED 가로등의 활용 대상이 될 것으로 기대된다.

향후 연구로는 센서의 노이즈 허용 범위와 테드엔드 폭을 조절하는 알고리즘과 일사량, 온도, 눈, 태풍, 등의 자연환경 변화를 고려한 자동 추적 시스템의 개발 등이다.

참고문헌

- [1] “2010 LED 조명 및 LED 애플리케이션 산업 총람”, 산업경제리서치, 2010.
- [2] 유춘식, “그린에너지의 이해와 태양광 발전시스템”, 연경문화사, 2009.
- [3] www.intersolar.us 2010.
- [4] 유석주, 이성수, 박알서, “태양광 센서에 의한 태양광 전지의 최대전력추적과 신경회로망 제어알고리즘 적용”, 조명-전기설비학회논문지, 제24권 제2호, pp. 33-38, 2010.

- [5] 박정국, 김지훈, 김대근, 서진연, 김동휘, 조금배, 백형래, “추적식과 고정식의 태양광발전시스템의 운전 효율분석”, 전력전자기술대회논문집, pp.68-70 2005.
- [6] Woo-Cheol Lee, "Maximum Power Tracking Control for a Grid-Tie Photovoltaic Inverter", Journal of Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.5 pp. 72-79, 2009.
- [7] 김형자, “친환경 LED 감성조명으로 빛난다.”, Science Technology, pp. 18-19, 2009.
- [8] Singh et al., "Fuzzy Logic-Based Solar Charge Controller for Micro-batteries," photo-voltaic Specialists Conference, pp. 15-22, 2000.
- [9] 이재민, 신재생에너지 시스템을 위한 축전지 충방전 컨트롤러 설계, 제 8권 제 6호 한국산학기술학회논문지, pp.1363-1368, 2007.
- [10] [http://astro.kasi.re.kr/Life/SolarHeightForm.aspx?MenuID=108.](http://astro.kasi.re.kr/Life/SolarHeightForm.aspx?MenuID=108)

본 과제(결과물)는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양 에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

이 재 민(Jae-Min Lee)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 7월 - 1991년 8월 : 일리노이대학 Beckman 연구소 (과학재단 지원 Post-Doc.)
- 1986년 9월 ~ 현재 : 관동대학교 전자공학과 교수
- 2009년 9월 ~ 현재 : 관동대학교 공학교육혁신센터 센터장
- 2011년 2월 ~ 현재 : 관동대학교 공과대학 학장

<관심분야>

집적회로 설계 및 테스트, SoC 설계, High Speed Computer, 신재생에너지 회로 설계

김 용(Yong Kim)

[준회원]



- 2008년 6월 : 연변과학기술대학교(YUST) 통신전공(공학사)
- 2011년 2월 : 관동대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

<관심분야>

RF 집적회로 설계 및 테스트, 태양광 발전시스템 및 회로 설계

배 철 수(Cheol-Soo Bae)

[정회원]



- 1979년 2월 : 명지대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1981년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과졸업 (공학석사)
- 1988년 8월 : 명지대학교 대학원 전자공학과졸업 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 5월 : 관동대학교 공과대학 학장
- 1981년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 의공학과 교수
- 2008년 1월 ~ 현재 : 한국정보전자통신기술학회 회장

<관심분야>

영상처리, 신호처리시스템, 영상압축

권 대 식(Dae-Sig Kwon)

[정회원]



- 1998년 ~ 현재 : 토탈테크(Total Tech Co) 대표

<관심분야>

디지털 및 아날로그 시스템 설계, 마이크로프로세서 응용 설계, 신재생에너지 시스템 설계