

태양광발전의 태양추적기제어반 및 모니터링시스템 구현에 관한 연구

노태정^{1*}, 박민용¹, 이승현¹
¹동명대학교 메카트로닉스공학과

A Study on an Implementation of Control Panel of Sun Trackers and Monitoring System for Photovoltaic Generation Plants

Tae-Jung Lho^{1*}, Min-Yong Park¹ and Seung-Hyeon Lee¹

¹Dept. of Mechatronics Engineering, Tongmyong University

요 약 제어를 위한 기구부의 위치 정보는 BLDC 모터의 홀센서를 이용하여 정확한 위치 및 속도제어가 가능하도록 알고리즘을 구현하였으며, 실제 기구부의 방위각과 고도각에 대한 제어 정밀도를 측정한 결과 최대 2.02°, 1.01°, 오차범위 1.86° 이내로 비교적 정확하였다. 태양광 발전 모니터링 시스템은 LCU를 중심으로 한 통합 모니터링 제어 시스템으로 모든 장비들은 1:N 방식으로 다중 동시접속이 가능하고, 원격지에서 시스템의 제어 및 현재 상태에 대한 실시간 감시가 가능하도록 개발하였다.

Abstract Hall sensors of BLDC (brushless DC) motor are used to detect a position information for a control mechanism, which implements an algorithm for velocity and position control. Actual azimuth and altitude were measured to evaluate a control precision. The measurement revealed comparatively good accuracy that the measured values were 2.02° and 1.01° respectively, and the maximum error falls within 1.86°. The developed monitoring system of photovoltaic generation plants is a LCU (Local Control Unit) based on an integrated monitoring system which supports 1:N method for multiple simultaneous connections, remote control and real-time system state monitoring.

Key Words : 2-axis sun tracking system; azimuth; Altitude; BLDC motor-cylinder actuator; Hall sensor; azimuth; altitude; monitoring of photovoltaic generation plant, LCU (Local Control Unit)

1. 서론

최근 태양광 발전은 지구의 환경문제, 급격한 유가상승으로 인하여 전 세계적인 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 무한한 청정 에너지원으로서 국내외적으로 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 이는 고청정, 무소음, 무인화, 무한정한 에너지원이지만, 일사시간과 기상조건에 따라 발전량이 좌우되는 한계점도 존재한다.

태양광 발전에 있어서 가장 큰 관심은 발전효율을 높이는 것이며, 발전 효율을 높이기 위해 태양전지셀(solar cell) 자체의 효율을 높이거나 태양광 발전 제어용 전력변환 시스템의 변환효율을 높이는 방법, PV 모듈

(photovoltaic module)을 태양과 항상 법선방향이 되도록 태양을 추적하는 방법 등이 사용되고 있다[1].

특히, 추적식 방법은 태양전지의 일사량에 따른 출력 변화 특성을 고려하여 태양전지표면을 태양의 법선방향으로 항상 수직을 유지함으로써 발전량을 증가시키는 방법으로 센서를 이용하는 방식과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램 방식, 프로그램과 센서를 혼합하는 방식 등 3가지 방법이 있다[2]. 센서방식은 날씨에 의한 일사량과 이물질 여부에 따라 발전량이 크게 좌우되는 단점이 있고, 프로그램방식의 경우 설치시 정확한 방위와 수평 유지가 요구되며, 실제의 태양위치를 피드백 받지 않으므로 장시간 사용시 오차가 누적되어 일정기간마다

*교신저자 : 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 10년 07월 28일

수정일 (1차 10년 09월 04일, 2차 10년 09월 07일)

게재확정일 10년 09월 08일

입력데이터를 보정해 주어야 한다. 최근에는 날씨에 무관하고 오작동이 적고 비교적 설치비가 저렴한 프로그램 방식의 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다[3]. 태양광 추적장치에 대한 지금까지의 연구를 살펴보면 대용량이고 고가이며 장치의 규모가 커서 연구 분야에 주로 적용되고 있다[4].

따라서 본 연구에서는 일반적인 프로그램방식의 단점을 보완하고 생산단가를 낮추면서도 정확한 태양위치 추적이 가능한 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 기계적 원점을 설정하여 가조시간(日照時間)외에는 기계적 원점으로 복귀하여 오차의 누적을 방지하고 알고리즘 개선을 통해 저가의 범용마이크로프로세서를 사용하여 고도각(altitude)과 방위각(azimuth)의 정확한 위치제어를 구현하고자 하였다. 개발된 시스템을 실제 2축 태양광 추적기에 적용하여 실제 고도각과 방위각을 측정하여 이를 검증하였다.

또한 태양광 발전 설비의 체계적이고 효율적인 관리를 위해 일사량 및 발전과 관련된 상황과 시스템의 정상운전 여부를 확인할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하여 유지보수에 따른 시간과 비용을 절감할 수 있도록 하였다.

2. 태양추적기의 제어조작반 개발

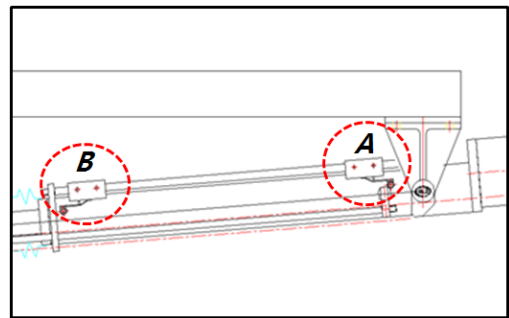
그림 1은 본 연구에서 설계, 제작한 시작품의 외관이다.



[그림 1] 개발한 태양광추적기 시작품 외관

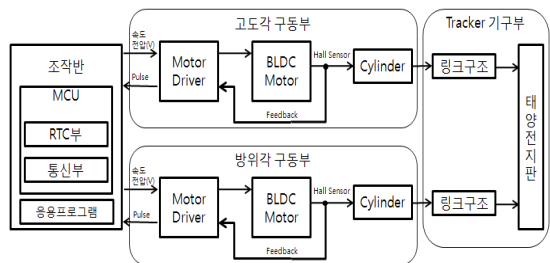
태양위치 계산식에서 태양의 일출, 일몰은 지평선(0°)을 기준으로 하고 있으나 실제 태양광 추적 장치가 설치

되는 위치 및 고도, 주변지형(산, 건물)에 따라 태양의 일사(日射)가 가능한 실제 일출, 일몰 시간은 달라진다. 일사가 없는 상황에서 불필요한 추적제어가 이루어지지 않도록 그림 2와 같이 전동실린더에 리미트스위치를 설치하여 기계적 원점(A)을 설정하였다. 일몰 후 기구부는 안전 모드 위치(B)로 이동하여 야간시 강풍과 같은 외부환경 요인으로 인한 피해를 최소화함으로써 안전성을 확보하고 시스템은 대기모드로 진입하여 전력소모를 최소화 하였다. 원점의 위치는 실제 태양광 발전 장치의 설치위치에서 주변 환경을 고려하여 일출 후 일사가능 시각의 방위 및 고도각을 설정한다.

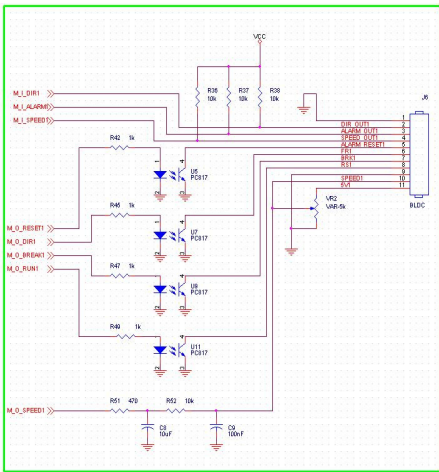


[그림 2] 기계적 원점 설정

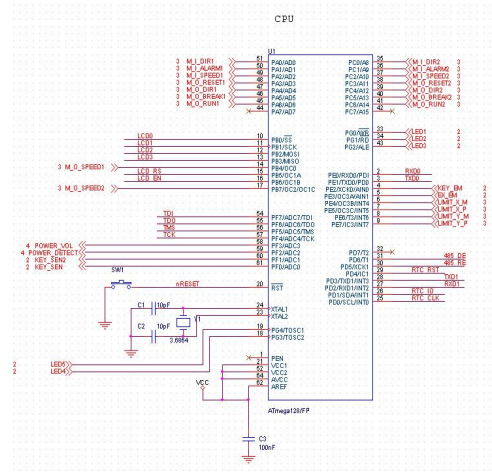
그림 3과 같이 방위각 및 고도각 위치제어루프는 제어조작반, BLDC 모터 드라이버, BLDC 모터-실린더 및 링크 기구부로 구성되어 있다. BLDC 모터는 일반 DC모터의 특성과 동등하고, 브러시를 사용하지 않아서 유지보수 면에서 우수하며, 장착된 홀센서(Hall sensor)를 이용하여 모터의 위치 피드백으로 실린더 스트로크(stroke)의 위치를 정밀하게 제어할 수 있도록 하였다[5]. 그리고 그림 4는 모터 드라이버와 제어조작반과의 결선회로이다.



[그림 3] 방위각, 고도각 구동의 위치제어루프[5]



[그림 4] 제어반-모터드라이버 결선 회로도



[그림 5] ATmega128P CPU 주변 회로도

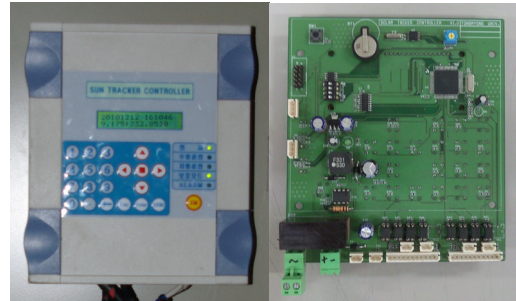
BLDC모터-실린더 액츄에이터(Actuator)는 기어비 12.5:1로서 모터 1회전당 2mm의 실린더 스트로크가 발생한다. 여기서 BLDC모터는 1회전당 홀센서로부터 18펄스(Pulse)가 피드백 되므로 실린더 스트로크 1mm에 대한 홀센서의 피드백 펄스는 112.5가 된다[5].

본 연구에서 개발된 태양광 추적기는 각 축에 설치된 전동실린더의 직선운동이 링크에 의해 회전운동으로 전환되어 PV 모듈이 스윙(swing)운동을 함으로써 방위각과 고도각을 추적하는 방식이고 제어에 필요한 위치정보가 홀센서를 통해 펄스로 피드백 되므로 각도에 대한 실린더 스트로크를 펄스로 환산하였다[5]. 실시간으로 기준 위치와 피드백 위치의 오차를 없애도록 PI 제어를 통하여 PWM(pulse width modulation) 속도전압 출력하여 정확한 위치에 정지될 수 있도록 하였다.

그림 5에서와 같이 제어조작반은 ATmega-128을 기반으로 한 MCU(Micro Control Unit)와 현재 상태(현재 시간, 고도각, 방위각)를 표시하는 16×2 Character LCD부, 외부 입출력 제어를 위한 입출력부, 외부 통신을 위한 통신부, 현재시각을 카운팅하는 RTC(real time clock)부 및 응용프로그램으로 구성된다[5].

전원공급이 차단되더라도 내장된 RTC는 보조 충전전원으로 전원공급을 유지하여 현재 시각을 카운팅하게 된다. 조작반 전면의 키패드와 LCD는 부가적인 외부장비 없이 수동제어 및 장비설정이 가능하며, 통신부는 노트북으로 현장에서 기능추가 및 점검을 수행할 수 있는 RS-232 포트와 원거리에서 발전장치의 모니터링 및 제어를 위한 멀티드롭 방식의 RS-485 포트모 구성되어 있다. 또한 상태표시 LED는 현재 모드, 알람, 전원 공급 상태와 같은 장비의 중요 상태를 간략하게 표시한다.

제어조작반의 응용프로그램은 설정모드, 수동운전모드, 자동운전모드, 보호운전모드의 4가지 모드로 구성된다. 그림 6은 제작한 제어조작반 및 PCB의 외관이다.



[그림 6] 제어조작반 및 PCB 외관

설정 모드는 현재의 년, 월, 일, 시, 분, 초와 설치 지역의 위도, 경도를 입력키를 통하여 조작반에 입력한다. 수동운전 모드는 관리자가 조작반의 방향키를 조작하여 태양광 추적기의 고도각과 방위각을 구동 가능하며 주로 정비시에 사용된다.

자동운전 모드는 프로그램된 태양위치계산식에 의하여 현재 시각과 태양광추적기 설치 위치(위도, 경도)에 대한 태양의 방위각과 고도각을 제어하여 태양궤적의 추적을 시작하고 1분마다 실시간 제어하는 과정을 반복 수행한다. 일출과 일몰시각은 방위각인 동쪽 기준으로부터 25°~155°이며, 원점은 방위 25° 기준으로 적용된다. 전원공급이 차단되더라도 내장된 RTC는 보조 충전전원으로 전원공급을 유지하여 현재 시각을 카운팅한다. 조작반 전면의 키패드와 LCD는 부가적인 외부장비 없이 수동제

어 및 장비설정이 가능하며, 통신부는 노트북으로 현장에서 기능추가 및 점검을 수행할 수 있는 RS-232 포트와 원거리에서 발전장치의 모니터링 및 제어를 위한 멀티드롭 방식의 RS-485 포트로 구성되어 있다. 또한 상태표시 LED는 현재 모드, 알람, 전원 공급 상태와 같은 장비의 중요 상태를 간략하게 표시한다.

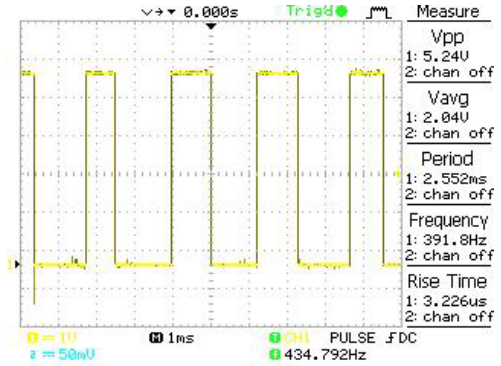
자동운전모드에서 일출시각이 되면 원점으로 설정된 위치로 원점 복귀해야 한다. 그리고 리미트스위치 중 어느 1개의 리미트스위치와 맞닿았다면 일몰시각으로 간주를 하고 일몰부터 익일 일출까지 동안 야간의 갑작스런 강풍을 대비하기 위하여 PV 모듈을 수평(방위각 90°와 고도 각 90°)으로 유지하도록 설계되었으며 PV모듈의 풍속에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 했다.

또한 자동운전 중에 구동 모터의 이상 및 과부하 시 모터를 정지 시키고 경보 발생을 통하여 관리자에게 모터의 이상을 LED로 표시하고 관리자는 모터의 이상 여부를 확인하여 정상으로 조치한 후 컨트롤러의 리셋 버튼을 사용하여 경보를 해제시켜줘야 한다.

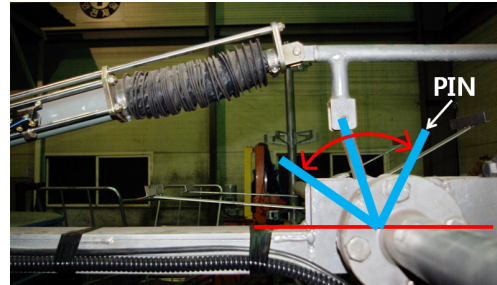
보호운전 모드는 중앙 제어반에서 태풍 등의 비상운전에 대하여 태양광 추적기를 보호하기 위해 PV 모듈을 지면과 평행하게 위치시켜 바람과 PV 모듈이 접촉하는 면적을 줄임으로써 풍압 하중을 감소시켜 안전성을 확보하였다.

또한, 모든 설정 및 운전모드는 통신포트를 통하여 원거리에서도 제어 및 모니터링을 할 수 있도록 하이퍼터미널 방식으로 현재 날짜 및 시간과 고도와 방위각을 표시하고 운전모드를 제어할 수 있다.

측정은 범용마이크로 프로세서인 ATmega128을 이용하여 제작한 별도의 펄스 측정 회로와 오실로스코프를 사용하였으며, 그림 7은 홀센서로부터 피드백 되는 펄스 신호를 오실로스코프로 측정된 결과이다. 측정값은 10회 측정한 값의 평균값이며 최소값 2,545, 최대값 2,549로 매우 적은 편차를 보였다.



[그림 7] 홀센서 피드백 신호 측정



[그림 8] 고도각, 방위각 측정 위치

3. 태양추적기 성능실험 및 고찰

시스템의 위치 제어 및 태양위치 추적 성능 평가를 위해 실험을 실시하였다. 실험은 위치 제어 정밀도를 테스트하기 위한 이동거리의 펄스 측정 테스트와 실제 개발된 추적장치의 고도/방위각 제어 정밀도 테스트를 진행하였다. 표 1은 방위각 원점 115°에서 125°로 10°만큼 이동하였을 때 각 위치의 펄스값과 이동 펄스값, 그리고 실제 측정된 펄스값을 나타내고 있다.

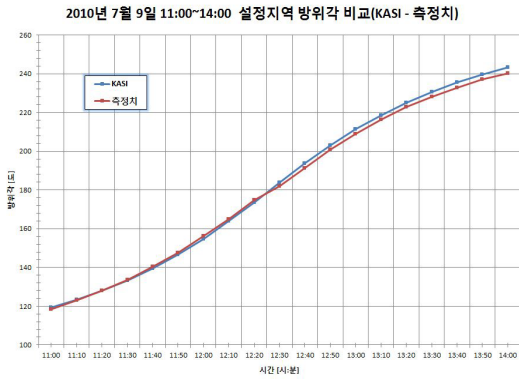
[표 1] 이동각도 10°에 대한 펄스 측정 비교

계산값			측정값
방위각(원점)	목표위치	이동 펄스값	
74295.74 (115°)	76840.86 (125°)	2545.12 (10°)	2547

고도각, 방위각 측정은 위도35° 36' 00" 경도 129° 42' 00" 지역의 2010년 7월 9일 오전 11시~오후2시까지 10분단위로 측정하여 한국천문연구원(KASI) 데이터와 비교하였다. 측정부위는 그림 8과 같이 전동실린더와 연결된 고도각, 방위각 회전링크부의 핀을 측정위치로 하였으며 이는 핀의 회전으로 PV 모듈을 지지하는 고정부가 회전하는 구조이므로 두 회전각도가 같기 때문이다. 측정장치는 정밀도 0.05°의 디지털 수평계/경사계를 핀에 직접 부착하여 각도를 측정하였다.

그림 9는 실제 추적시스템의 방위각과 한국천문연구원의 방위각과의 비교 그래프이다. 방위각 오차는 최대 2.02°, 최소 0.16°, 오차범위 1.86°로 나타났으며 일몰시간에 가까워질수록 오차가 커지는 경향을 보이고 있으며 태양위치 계산식의 최대오차가 1.5° 임을 감안할 때 최대 0.52°의 오차가 추가로 발생하였다. 오차의 발생은 방위

각 링크구조의 문제로 회전링크의 핀과 전동실린더의 연결부위가 직결되지 않고 두 지점의 접속을 위한 추가 연결부위가 존재함으로써 기구부 제작상의 치수 오차에 기인한 것으로 보인다.

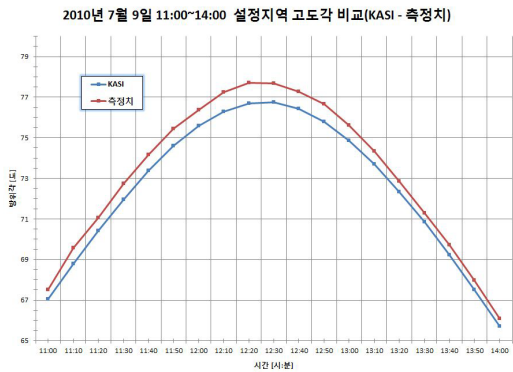


[그림 9] 방위각 비교 그래프

실제로 설계 도면상의 치수와 접속부위와 관련된 실제 치수를 비교한 결과 회전 링크핀과 실린더를 연결하는 링크부분의 용접접합으로 인한 치수손실로 치수오차가 나타났으며 이로 인해 제어 알고리즘 내에서 링크치수가 변수로 포함된 실린더 스트로크 계산 수식에 오차가 발생한 것으로 확인되었다.

이는 실린더 스트로크 계산 수식에 사용된 링크치수와 실제 링크치수의 차이에 의한 오차이므로 향후 기구부 제작시 링크부와 접속부위의 치수정밀도를 향상시킴으로써 해결될 수 있다.

그림 10은 추적시스템의 고도각과 한국천문연구원의 데이터를 비교한 그래프이다.

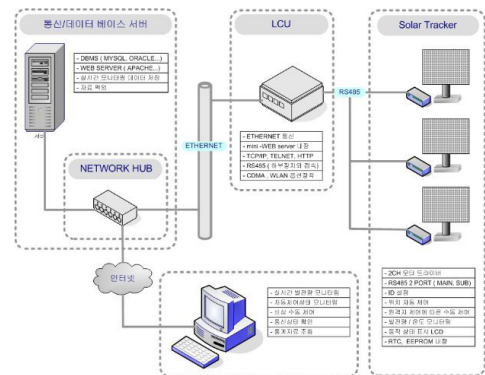


[그림 10] 고도각 비교 그래프

고도각의 경우 최대 오차는 1.01°, 최소 0.39°, 오차범위 0.62°로 비교적 정확한 각도를 보여주고 있다. 고도각의 경우 방위각에 비해 이동범위가 매우 작고 측정대상이 전동실린더와 회전링크의 핀이 직결되는 구조로 제작시 발생할 수 있는 오차 부위가 적기 때문이라 판단된다.

4. 태양광발전 모니터링 시스템 개발

그림 11은 태양광 발전의 모니터링 시스템의 구성도로서, LCU(Local Control Unit)는 다수의 태양광 발전 제어/감시장치와 연결되어 Master통신을 담당하고 원격지에서 각 제어, 감시장치를 제어하거나 모니터링(발전상황, 외부환경에 대한 물리량 등)할 수 있으며 날씨정보와 연계하여 필요시 안전모드로 전환할 수 있도록 자체 제어기능을 가진다.



[그림 11] 태양광발전 모니터링시스템 구성도

태양광 발전과 관련된 모든 장비들이 네트워크로 구성된 통합 모니터링 제어시스템으로 관리자는 원격지에서 인터넷망을 통해 자체 제어용 웹서버로 직접 접속하여 제어 및 모니터링이 가능하다.

관리자는 태양광 발전 상황을 쉽게 파악할 수 있고 효율적이고 안정적인 운용을 위한 시스템의 각종 데이터의 수집, 분석, 관리는 물론 인터넷을 이용하여 원격지에서도 시스템 접근이 가능하여 접근성과 편리성을 확보할 수 있도록 하였다[6].

표 3은 모니터링 시스템에 사용된 LCU의 사양을 나타내며 다수의 제어/감시장치(태양광 추적장치, 계통연계형 인버터, 풍향 풍속계 등)의 상태를 주기적으로 모니터링하여 운영기록을 자체 저장하며 외부 서버와 통신 두절 시에도 독립적으로 상태 모니터링 값을 보존할 수 있다.

[표 3] Local Control Unit 주요 사양

항목	사 양
CPU	ARM9-920T 32bit CPU 400Mhz
RTC	Real Time Clock + Lithium Backup Battery
Flash ROM	256MB, 2년간 데이터 상태 데이터 저장
USB Host	USB Memory로 백업 데이터 전송
사용 조건	-20 ~ +60℃
통신포트	RS-485 , RS232 x 2ch, Ethernet x 1
사용 전원	220VAC or 5~24VDC
T C P / I P Protocol	HTTP, SMTP, TELNET, FTP 지원 및 전용 프로토콜 내장

날씨정보와 연계하여 RS-485포트로 연결된 태양광 추적 장치의 제어를 안전모드로 전환할 수 있도록 자체 제어기능을 개발 하였다. 이 기능을 통해 LCU는 연결된 풍향 풍속계의 측정값 또는 외부의 날씨정보를 활용하여 관리자의 직접적인 제어 없이도 외부환경요인에 유연한 대처가 가능하도록 하였다.

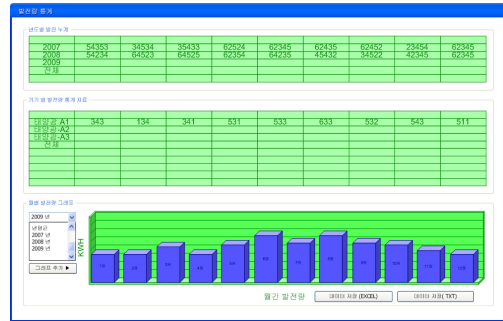
특히 태양광 추적 장치와 연계하여 발전량에 영향을 미칠 수 있는 추적 장치의 제어시간 오차 및 고도각, 방위각의 제어각도 불량을 검출하여 LCU의 Flash ROM에 기록하고 원격지의 관리자에게 통보하는 기능을 가진다. 그림 12는 개발된 제어 및 감시용 소프트웨어를 나타낸다.

각 계통 연계형 인버터로부터 측정되는 현재 발전량의 순시치를 합산한 현재 발전량과 더불어 기준일로부터 현재일 까지 누적발전량을 확인할 수 있다. 다수의 태양광 추적 장치제어가 가능하며 현재 동작상태, 주위환경 정보, 제어모드, 고도각, 방위각등 태양광 발전과 관련된 대부분의 정보를 모니터링할 수 있다[7].



[그림 12] 태양광발전 제어 및 감시용 화면

모든 정보는 원격지의 통신/데이터 서버에 주기적으로 저장되며 본 소프트웨어는 서버에 주기적으로 접속하여 화면을 갱신하게 된다. 그림 13은 발전량(기기별 발전량, 연간 발전량 등)을 통계 자료로 생성하여 관리할 수 있는 통계화면을 나타낸다.



[그림 13] 태양광 발전량 모니터링 화면

5. 결론

본 연구에서 태양광발전의 추적장치 제어조작반 및 모니터링 시스템의 개발 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) BLDC 모터에 부착된 홀센서의 위치 피드백으로 PI제어를 통한 정밀한 위치결정제어를 구현하였다. 또한 기계적 원점을 설정하여 일출시 원점으로 복귀함으로써 하루단위의 누적 오차를 제거하였다.
- (2) ATmega128의 범용 마이크로프로세서를 기반한 프로그램 방식의 태양광 추적장치의 제어조작반을 개발하였고, 방위각과 고도각에 대한 위치결정 정밀도를 측정한 결과 최대 2.02°, 1.01°, 오차범위 1.86°, 0.62° 이내로서 매우 정확하였다.
- (3) LCU기반 통합 모니터링 제어시스템을 구성하고 모든 장비들을 1:1 접속이 아닌 1:N 방식의 클라이언트 프로그램을 개발하여 다중 동시접속이 가능하고 원격지에서 시스템의 제어 및 현재 상태에 대한 실시간 감시가 가능하도록 개발하였다.

참고문헌

- [1] 장미금, 고재섭, 최정식, 백정우, 강성준, 정동화, “센서방식 및 프로그램 방식에 의한 태양광 발전 추적 시스템의 비교 연구”, 대한전기학회 전기기기 및 에

너지 변환시스템부문회 춘계학술대회논문집, pp.22
2-224, 2009.

- [2] 백남춘, 정명웅, 김은일, 김미선, 박완순, “자연에너지의 활용”, 한국에너지기술연구원, pp.49-72 2003.
- [3] 서명환, 김윤식, 이희준, 홍정훈, 김선형, “고효율 태양광 추적장치 개발”, 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, pp.640-644, 2009.
- [4] 이양규, 강신영, 김광현, “소형 태양광 발전시스템 상용화를 위한 프로그램 방식의 태양위치추적기 개발”, 전력전자학회논문지, 제8권 제3호, pp.260-265, 2003.
- [5] 노태정, 이승현, 박민용, “BLDC 모터-실린더 구동, 홀센서 피드백 방식의 2축 태양광 추적장치 개발”, 한국산학기술학회논문지, 제11권 제7호, pp.2334-2340, 2010.
- [6] 김형관, 이양원, 이철우, “태양광발전 에너지 관리를 위한 .NET 기반 실속형 모니터링 시스템 개발”, 대한전자공학회 2007 하계종합학술대회, Vol.30, No.1, pp.617-618, 2007.
- [7] 소정훈, 유병규, 황혜미, 유권중, 최주엽, “50kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능모니터링 결과 및 평가분석”, 한국태양에너지학회논문집, Vol.27, No.2, pp.29-35, 2007.

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월: KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월: KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 19992월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)

- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 제어.자동화, LCD물류반송 자동화, 항만하역설비 자동화, 태양광발전 Module 제조장비 등

박 민 용(Min-Yong Park)

[준회원]



- 2009년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, 유체구조연성해석, 전기전자 등

이 승 현(Seung-Hyeon Lee)

[준회원]



- 2009년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, 구조해석, Robotics 등