

BLDC 모터-실린더 구동, 홀센서 피드백 방식의 2축 태양광 추적장치 개발

노태정^{1*}, 이승현¹, 박민용¹
¹동명대학교 메카트로닉스공학과

Development of 2-Axis Solar Tracker with BLDC Motor-Cylinder Actuator and Hall Sensor Feedback

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

¹Dept. of Mechatronics Engineering, Tongmyong University

요 약 Michalsky의 방위각, 고도각, 일출/일몰시간에 대한 태양위치 계산은 국립천문대의 태양위치 정보와 비교했을 때, 최대 각각 1.5°, 0.88°, 2분 이내의 오차로서 비교적 정확하였다. 현재 시간과 설치위치(경도, 위도)에 대하여 BLDC 모터-실린더를 구동하여 홀센서 위치 피드백으로 Michalsky의 계산식의 태양의 고도각과 방위각을 제어하는 양축 태양광 추적장치를 개발하였다. BLDC 모터의 사용으로 유지보수가 우수하며, 홀센서로 위치피드백으로 모터의 정밀한 위치결정제어가 가능하며, 또한 원점복귀기능으로 누적 오차를 최소화한다.

Abstract Sun position computed by Michalsky shows maximum 1.5°, 0.88° and 2 minutes differences in azimuth, altitude, and sunrise and sunset times respectively compared with Korean Almanac. The 2-axis solar tracking system, which consist control panel with ATmega128 CPU, BLDC motor-cylinder actuator and 2-axis link mechanism, was developed. Computed azimuth and altitude of sun for a current time, and latitude and longitude of tracker position built are controlled in real time by BLDC motor-cylinder actuators comparing with the position feed-backed by Hall sensor. The use of BLDC motor is free in maintenance. Implementation of a home-return function by Hall sensor is to minimize the cumulative error.

Key Words : 2-axis solar tracking system, Sun position computed by Michalsky, BLDC motor-cylinder actuator, Hall sensor, Azimuth, altitude

1. 서론

최근 각종 산업분야에 따른 환경오염이 심각해지면서 미래의 대체에너지로 신재생 에너지인 태양광에너지에 대한 관심이 급증하고 있다. 태양광에너지는 환경오염 및 소음에 대한 제약이 없고, 하루의 태양광 에너지는 전 세계에서 1년간 사용하는 에너지에 해당하는 무한에너지를 보유하고 있어 태양광에너지에 대한 연구개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.[1]

태양광 발전 시스템은 한 번의 설비 투자로 반영구적

인 발전이 가능하다는 장점이 있지만 연구개발 및 기술적인 측면에서 많은 보완점이 요구되고 있다. 태양광발전 시스템은 태양전지를 이용하여 태양에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 발전방식이며, 비교적 발전량이 낮아 PV(Photo-Voltaic) 모듈의 큰 설치 면적이 필요하며 날씨의 영향으로 일사량에 따른 발전량의 편차가 심하여 태양광에너지의 발전효율을 최대한 높이고자 PV모듈을 태양과 항상 법선방향이 되도록 태양을 추적 제어하여 발전효율을 효과적으로 개선할 수 있는 시스템이 필요하다.[2]

본 논문은 부산테크노파크의 산학공동기술혁신개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

*교신저자 : 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 10년 04월 13일

수정일 (1차 10년 06월 09일, 2차 10년 06월 15일)

게재확정일 10년 07월 06일

기존의 전기 설비에 비해 발전단가가 높아 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지 재료의 성능향상, 주변장치의 효율 증대 및 관련분야 기술에 대한 많은 연구가 필요한 실정이며, 태양전지의 변환 효율이 제품의 경우 약 14% 정도로 낮고, 1W당 가격이 약 4 US\$ 내외로서 초기 시설 투자비가 많이 소요되고 있다. 이러한 태양광 발전 설비는 계절에 따라 달라지는 태양의 고도각(altitude)와 방위각(azimuth)에 많은 영향을 미친다.

태양광발전에 있어서 가장 큰 관심은 발전효율을 높이는 것이며, 발전효율을 높이기 위한 한 가지 방법인 태양광추적기(solar tracker)이다. 방위각과 고도각을 추적할 수 있는 2축 구동 트래커는 고정형 트래커에 비하여 초기 투자비는 약간 상승하나 약 50%의 발전효율을 상승시킬 수 있으므로 이에 대한 적용이 활발하다.[3]

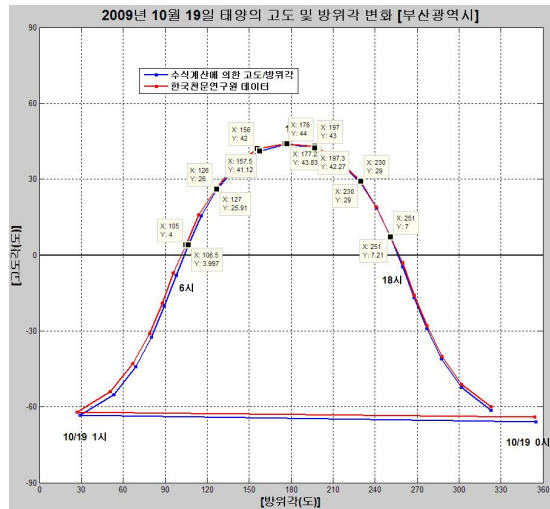
따라서 본 논문에서는 현재 시각과 트래커의 설치위치(경도, 위도)에서 태양위치 계산식에 의하여 방위각과 고도각을 구하여 실시간으로 태양을 추적할 수 있는 2축 구동 트래커를 개발하며, 특히 태풍이나 강풍에 대하여 추적기를 보호하기 위하여 PV모듈을 수평으로 유지하도록 시스템을 개발한다.

2. 태양위치 및 위치오차의 계산

현재 시각과 트래커의 설치위치(경도, 위도)에 대하여 태양위치 계산식에 의하여 방위각과 고도각을 구하여 1분마다 실시간으로 태양을 추적하고자 한다.

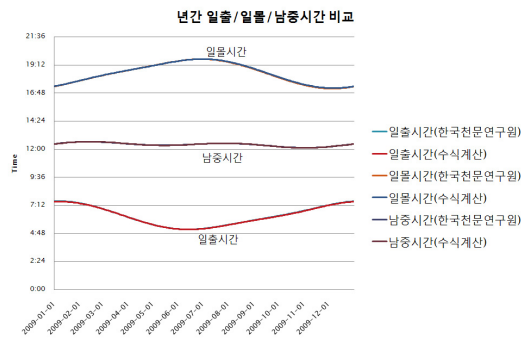
태양위치의 계산식은 국립천문대(Korean Almanac) 기록과 비교하여 그 정확성이 검증되며, 본 연구에서는 대표적인 Michalsky, Walraven, JeanMeeus 태양위치 계산식 중에서 가장 정확도가 높은 Michalsky 계산식을 사용하였다.[4, 5, 6]

부산광역시의 위치는 동경 129도 1분 58초이며, 북위 35도 5분 5초이며, 그림 1은 2009년 10월 19일 부산광역시에서 태양 고도각 및 방위각을 국립천문대 기록과 Michalsky 계산식을 비교분석한 결과이며, 여기서 일출부터 일몰까지 방위각의 최고오차는 1.5°이며, 고도각의 최고오차는 0.88°임을 확인하였다.



[그림 1] 국립천문대 기록과 Michalsky 계산식의 비교

그림 2는 2009년도 1년 동안의 일출, 일몰 및 남중시간을 국립천문대 자료와 Michalsky 계산식을 비교한 결과이며, 여기서 일출, 일몰 및 남중시간의 오차 범위는 최대 2분 이내이었다.



[그림 2] 일출, 일몰, 남중시간 비교

3. 태양광 추적장치 개발

태양광추적 장치의 전반적인 구성은 크게 고도각과 방위각을 구동하는 구동부와 구동에 따라 링크부의 연결로 인한 PV모듈의 고도 및 방위각을 구현하는 기구부와 구동부를 제어하는 제어조작반으로 구성된다.

3.1 기구부 해석 및 설계

기구부는 구동부의 전동실린더로 인해 고도각과 방위

각의 2축 전·후진 구동에 따라 링크에 의한 회전운동으로 전환되어 PV모듈이 스윙운동을 하는 구조로 되어있으며, 그림 3은 *Catia*에 의하여 개념설계로서 3D 모델링한 결과이다. PV모듈은 일반적으로 200W 용량으로 총 4개를 설치하여 총 800W의 발전량을 가지며 방위각과 고도각을 추적할 수 있도록 구성되어 있다.



[그림 3] *Catia*를 이용한 기구부 개념설계

실제 구조물에서 풍압에 의한 최대 하중은 전체 구조를 지지하는 메인 프레임에 비해 내하중이 작은 메인링크와 서브링크가 연동된 부위에서 발생되므로 메인 프레임은 해석에서 제외하고 메인링크 고정부를 지지점으로 설정하였다. 또한 풍압에 의한 구조물의 변형이 유체의 경로를 바꿀 만큼 크지 않다고 가정하여 단방향 연성 해석을 수행하였다.

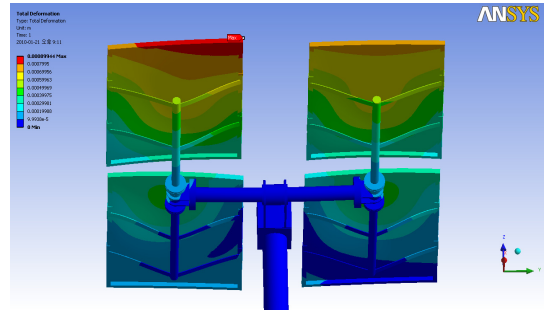
풍압하중에 의해 태양광 모듈의 표면에 작용하는 압력 분포를 알아보기 위해 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 통해 얻어진 태양광 모듈의 압력분포는 구조해석에서 하중조건으로 사용되어 전체 구조물에 발생하는 응력분포를 해석하는데 사용된다.

유동해석을 위해 각 해석 모델은 반경 19.431m의 원통형 유동장 중심에 위치시키고 일정 풍속에 대한 풍향의 각도를 변수로 설정하여 적용하기 위해 유동장의 0°~90°범위를 10°간격으로 분할함으로써 조건변화에 따른 유동 격자망 생성작업의 반복을 피할 수 있도록 하였다.[7]

풍속은 지난 약 100년간 국내에서 관측된 태풍 내습시 최대 순간풍속인 60m/s로 설정하였으며, 유동격자의 생성은 *ANSYS CFX-MESH*를 이용하였다. 유동해석의 격자수는 약 23만개, 요소수는 96만개이고, 구조해석의 격자수는 약 25만개, 요소수는 10만개로 생성하였다. 특히, 유동해석에 있어서 솔리드와 유체가 접하는 부분에는 해석의 정밀도를 위하여 레이어 격자를 5층 이상 삽입하였다.

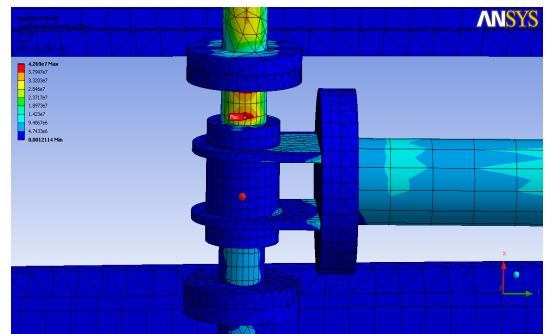
그림 4는 변형에 대한 구조해석을 한 결과로서 PV모듈 지지대 끝 부위에서 최대 변형이 0.899mm 발생하였

으며 무시할 정도이다.

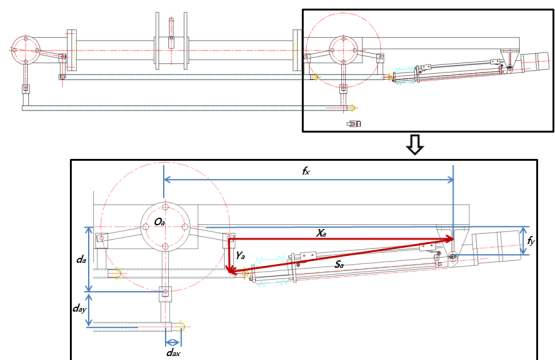


[그림 4] 변형에 대한 구조해석 결과

그림 5는 응력해석을 한 결과로서 메인 링크부에 최대 응력 42.69mPa 이 발생하므로 설계에 고려되어야 한다.



[그림 5] 링크부의 응력해석 결과



[그림 6] 방위각 실린더와 링크 구조

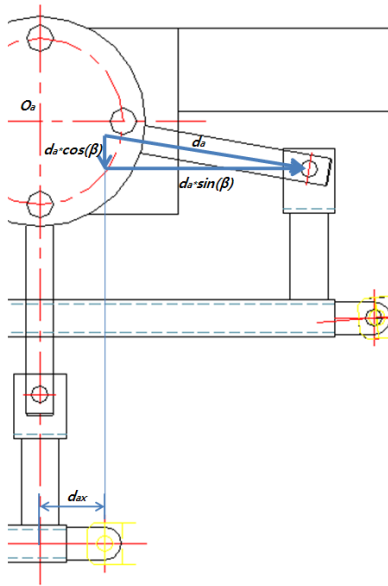
그림 6에서와 같이 방위각 링크 구조는 2개의 링크가 있으며 우측면에 전동실린더를 설치하고 링크구조를 이용하여 좌측링크에 동력이 전달되는 방식이다.

여기서, d_a = 방위각 링크의 핀 길이, A 는 방위각 링크

의 핀 홀, d_{ax} = 방위각 링크핀(d_a) x축 방향 길이, d_{ay} = 방위각 링크핀(d_a)의 y축 방향 길이, f_x = 링크축 중심에서 실린더 축까지의 x축 방향 길이, f_y = 링크축 중심에서 실린더 축까지의 y축 방향 길이, O_a 는 방위각 링크 축 기준점, β 는 방위각이다.

그림 7에서 방위각 실린더의 스트로크 S_a 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_a &= \sqrt{X_a^2 + Y_a^2} \\
 X_a &= f_x - d_{ax} - d_a \sin \beta \\
 Y_a &= d_{ay} - f_y - d_a \cos \beta
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

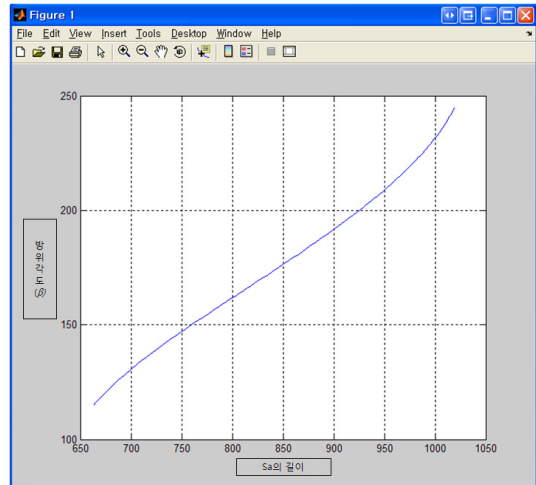


[그림 7] 방위각 링크 핀의 구조

여기서, X_a , Y_a 는 핀 홀 위치의 각각 x, y 방향의 성분이다. 식(1)은 방위각 실린더의 스트로크에 대한 방위각의 관계식이며, 표 1의 설계치수를 기준으로 *Matlab*을 활용하여 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다.

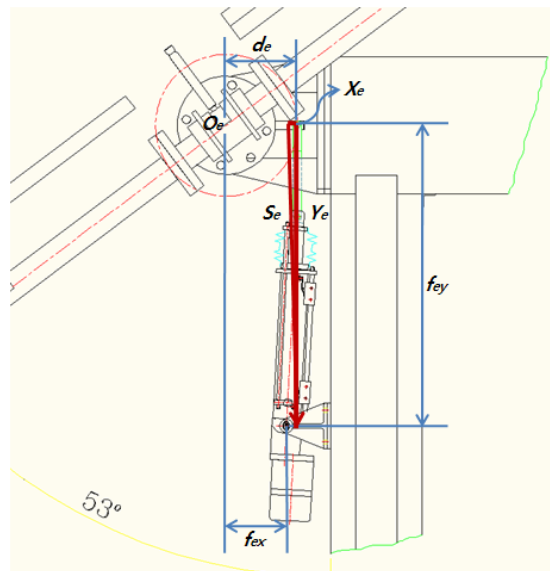
[표 1] 방위각 링크에 대한 설계치수

변수	d_a	d_{ax}	d_{ay}	f_x	f_y
mm	198	47	108	882	90.5



[그림 8] 방위각실린더 스트로크에 대한 방위각 변화

방위각 실린더의 스트로크는 태양의 방위각을 추적할 수 있는데, 방위각 실린더의 스트로크가 663.3mm일 때 방위각은 115°이며 이때가 일출시각이며, 스트로크가 1,019mm일 때 방위각이 245°이고 일몰시각이다. 여기서 스트로크 변화에 대하여 방위각은 거의 선형적으로 변화함을 알 수 있다.

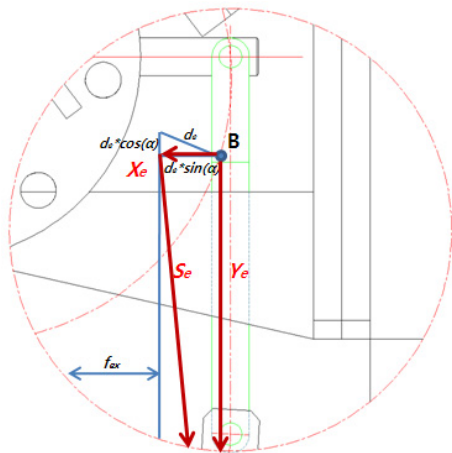


[그림 9] 고도각 실린더-링크 구조

그림 9에서와 같이 고도각 실린더가 링크에 직접 연결되어 고도각 실린더 축과 O_e 를 기준으로 링크 핀은 회전하며 고도각은 실린더의 위치에만 영향을 받는다. 우리

나라의 평균 위도(37°)를 결정하고자 기구부는 53°를 기준으로 설계하였다.

여기서, d_e = 고도각 링크의 핀 길이, B 는 고도각링크의 핀 홀, f_{ex} = 링크 축 중심에서 실린더 축까지 y축방향 길이, f_{ey} = 링크 축 중심에서 실린더 축까지 x축 방향 길이, C 는 고도각 링크의 핀 회전 축, $X_e = 0$ 에서 핀 고리까지의 거리, Y_e = 실린더 축에서 0까지의 수직거리, α 는 C 를 기준으로 한 회전각도, S_e = 방위각 실린더의 스트로크의 변화이다.



[그림 10] 고도각 링크 핀의 구조

그림 10에서 고도각 실린더의 스트로크 S_e 는 다음과 같다.

$$S_e = \sqrt{X_e^2 + Y_e^2}$$

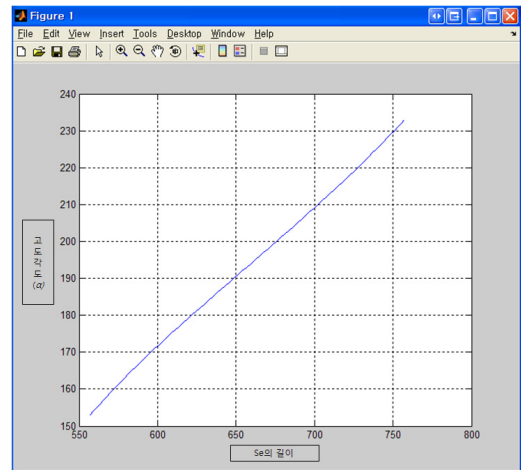
$$X_e = f_{ex} - d_e \sin(\alpha + 53) \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_e = -f_{ey} - d_e \cos(\alpha + 53)$$

여기서, X_e , Y_e 는 핀 홀 위치의 각각 x, y 방향의 성분이다. 표 2의 설계치수를 기준으로 *Matlab*을 활용하여 시뮬레이션 결과를 그림 11에 나타내었다.

[표 2] 고도각 링크에 대한 설계치수

변수	d_{ex}	d_{ey}	f_{ey}
mm	132	155.8	660



[그림 11] 고도각 실린더 스트로크에 대한 고도각 변화

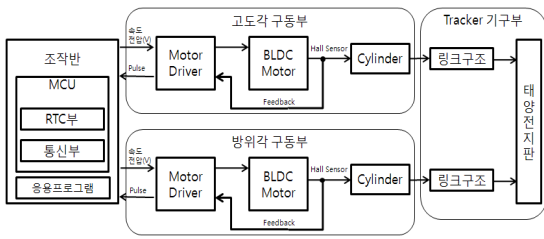
그림 12는 본 연구에서 설계, 제작한 시작품의 외관이다.



[그림 12] 개발한 시작품 외관

3.2 구동부 및 제어조작반 개발

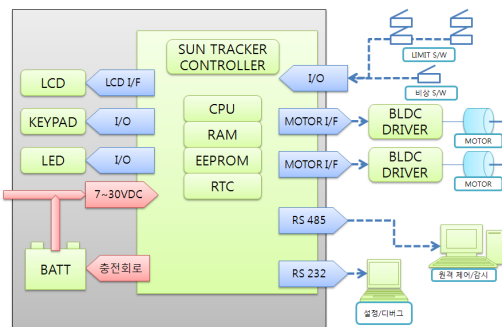
그림 13과 같이 방위각 및 고도각 위치제어루프는 조작반, BLDC 드라이버, BLDC 모터-실린더 및 링크 기구부로 구성되어 있다. BLDC 모터는 일반 DC모터의 특성과 동등하고, 브러시를 사용하지 않아서 유지보수 면에서 우수하며, 모터에 장착된 홀센서(Hall sensor)를 이용하여 모터의 속도 및 위치 피드백으로 실린더 스트로크의 이동속도 및 위치를 정밀하게 제어할 수 있도록 하였다.



[그림 13] 방위각, 고도각 구동의 위치제어루프

조작반에서 현재 시각에 대한 방위각과 고도각에 해당하는 실린더 스트로크를 구동하기 위하여 PWM 방식으로 속도전압을 모터 드라이버로 출력하고 모터가 주어진 속도로 구동되어 홀센서로부터 모터의 속도 및 회전위치가 피드백되어 모터드라이버에 전달되고, 이 때 모터 드라이버는 조작반으로 모터 1회전당 18펄스(즉, 1펄스당 20° 회전각도)를 피드백 한다. 이 때 조작반에서는 입력 펄스를 카운팅하여 링크 기구부의 방위각과 고도각의 위치를 파악하여 모터의 위치를 제어한다. 고도각 실린더는 250mm의 스트로크(stroke)를 가지며 방위각 실린더는 최대 400mm의 스트로크로 왕복운동하게 된다.

그림 14에서와 같이, 제어조작반은 ATmega-128을 기반으로 한 MCU와 현재 상태(현재 시간, 고도각, 방위각)를 표시하는 LCD부, 외부 입출력 제어를 위한 입출력부, 외부 통신을 위한 통신부, 현재시각을 카운팅하는 RTC부 및 응용프로그램으로 구성된다.



[그림 14] 제어조작반 구성도

제어조작반의 운전은 설정모드, 수동운전모드, 자동운전모드, 보호모드로서 응용프로그램을 구성하였고, 조작하기 편리하고, RTC를 이용하여 현재 시각을 기반으로 실시간으로 태양추적기를 자동으로 구동하며, 또한 외부에서 통신이 가능하도록 RS485 통신포트 기능을 개발하였다.

4. 결론

본 논문에서 태양위치 계산 방식의 BLDC-실린더 구동, 홀센서 위치 피드백 루프의 2축 태양광 추적장치의 개발결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 방위각, 고도각, 일출, 일몰시각에 대하여 Michalsky 태양위치 계산법을 적용하여 국립천문대의 태양위치 정보와 비교했을 때, 각각 최대 1.5°, 0.88°, 2분 이내의 오차로서 매우 정확하였다.
- (2) 풍속 60m/s의 강풍에 대하여 태양광 추적기의 유동-구조해석을 한 결과, 0.899mm 최대 변형량과 42.69mPa 최대 응력이 발생하여 설계에 반영하였다.
- (3) BLDC 모터의 사용으로 유지보수가 우수하며, 홀센서로 위치피드백으로 모터의 정밀한 위치결정제어가 가능하며, 또한 원점복귀기능으로 누적 오차를 최소화하였다.
- (4) 제어조작반은 설정모드, 수동운전모드, 자동운전모드, 보호모드로서 응용프로그램을 구성하였고, 조작하기 편리하고, RTC를 이용하여 현재 시각을 기반으로 실시간으로 태양추적기를 구동하며, 또한 외부에서 통신이 가능하도록 RS485 통신포트 기능을 개발하였다.
- (5) 강풍 및 태풍이 발생시 PV모듈을 수평으로 유지하는 보호하는 기능을 부여하였고, BLDC 모터 과부하시 모터 정지 및 알람신호 발생으로 모터를 보호하는 기능을 개발하였다.

참고문헌

- [1] 이재민, “신재생 에너지 시스템을 위한 축전지 충방전 컨트롤러 설계”, 한국산학기술학회논문지, Vol.8, No.6, pp.1363-1368, 2007.
- [2] 이상현, 정태욱, “하중 분산형 새로운 태양광 추적장치에 관한 연구”, 전력전자학회논문지, Vol.11, No.6, pp.508-519, 2006.
- [3] 김평호, 백형래, 조금배, “지능형 제어기법을 이용한 태양추적시스템에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.25, No.1, pp.1-10, 2005.
- [4] 박영철, 김기용 “태양추적시스템을 위한 태양위치계산”, 서울산업대학교논문집, Vol.47, pp.265-273, 1998.
- [5] 박영철, 강용혁, “집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치계산”, 태양에너지, Vol.18, No.4, pp.87-94, 1998.
- [6] 박영철, “태양광선 궤적추적기법을 이용한 Heliostat

구동축 기구오차에서 기인하는 태양추적오차의 분석”, 한국태양에너지학회논문집, Vol.29, No.2, pp. 39-46, 2009.

- [7] 이성욱, 안태원, 이수홍, 한동섭, 김태형, 한근조, “FSI기법을 이용한 50ton급 컨테이너크레인의 내풍구조 안정성 평가”, Proc. of KSPE2007 Spring Conference, pp.409-410, 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 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)

- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

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

이 승 현(Seung-Hyeon Lee)

[준회원]



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

<관심분야>

Mechatronics, 구조해석, Robotics 등

박 민 용(Min-Yong Park)

[준회원]



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

<관심분야>

Mechatronics, 유체구조연성해석, 전기전자 등