



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2019年

2019年 2月

2月

碩士學位 論文

碩士學位論文

포토다이오드를 이용한 양축형
태양광발전 추적시스템에 관한 연구

포토다이오드를 이용한 양축형 태양광발전 추적시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

李 景 源

李 景 源

포토다이오드를 이용한 양축형
태양광발전 추적시스템에 관한 연구

A Study on the Dual-Axis PV System using Photodiode

2019年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

李 景 源

포토다이오드를 이용한 양축형
태양광발전 추적시스템에 관한 연구

指導教授 崔 然 玉

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함.

2018年 10月

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

李 景 源

李景源의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 조금배 印

委員 朝鮮大學校 教授 김남훈 印

委員 朝鮮大學校 教授 최연옥 印

2018年 11月

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	2
A. 태양광발전시스템의 분류	2
B. 태양위치 추적방식	6
C. 기존의 태양광 추적방식	9
III. 실험	11
A. 태양전지 및 시스템 구성	11
B. 센서 및 제어부	13
1. 센서 및 모터 구동부	13
2. 태양추적기 제작	15
IV. 실험결과 및 고찰	21
V. 결 론	30
참고문헌	

List of Tables

Table 1. Comparison of sensor and program type	7
Table 2. Solar cell parameter value	11
Table 3. Motor drive status according to input signal	14
Table 4. On a clear day outputs of fixed PV system(30W)	22
Table 5. On a cloudy day outputs of fixed PV system(30W)	23
Table 6. On a clear day outputs of dual-axis tracking PV system(30W)	24
Table 7. On a cloudy day outputs of dual-axis tracking PV system(30W)	25

List of Figures

Fig. 1. Block diagram of stand-alone PV system	3
Fig. 2. Block diagram of grid-connected PV system	3
Fig. 3. Fixed array	4
Fig. 4. Semi-fixed array	4
Fig. 5. Tracking array	5
Fig. 6. Single-axis tracker	5
Fig. 7. Dual-axis tracker	5
Fig. 8. Single-axis of solar tracker	9
Fig. 9. Dual-axis of solar tracker	10
Fig. 10. Diagram of fixed PV system	12
Fig. 11. Diagram of tracking PV system	12
Fig. 12. Diagram of L298 driver circuit	14
Fig. 13. Diagram of Motor drive circuit	15
Fig. 14. Schematic of an analog tracking PV system	16
Fig. 15. Optical sensor using photodiode and tracking PV system driving part ..	17
Fig. 16. PV Tracker Algorithm	17
Fig. 17. CAD drawing for PV tracker altitude angular structure (part1)	18
Fig. 18. CAD drawing for PV tracker altitude angular structure (part2)	18
Fig. 19. CAD drawing for PV tracker azimuth structure (part1)	19
Fig. 20. CAD drawing for PV tracker azimuth structure (part2)	19
Fig. 21. Solar tracker structure	20
Fig. 22. On a clear day fixed/tracking PV system measurement	21
Fig. 23. On a cloudy day fixed/tracking PV system measurement	21
Fig. 24. On a clear day outputs of fixed PV System(30W)	27
Fig. 25. On a clear day outputs of dual-axis tracking PV System(30W)	27
Fig. 26. On a cloudy day outputs of fixed PV System(30W)	28
Fig. 27. On a cloudy outputs of dual-axis tracking PV System(30W)	28
Fig. 28. Difference in output power of fixed/tracking PV system(clear day) ·	29
Fig. 29. Difference in output power of fixed/tracking PV system(cloudy day) ·	29

ABSTRACT

A Study on the Dual-Axis PV System using Photodiode

Lee, Kyoung Won

Advisor : Prof. Choi, Youn-Ok, Ph. D.

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Chosun University

Various types of solar tracker have recently been developed and efforts have been made to maximize the efficiency of a solar power generation system using the same. The photovoltaic power generation industry is a new growth engine of the future regardless of the country, and it is continuously rising compared to other industries. This solar power generation system is required to develop a solar tracking system that can track up, down, left, and right so that the solar radiation amount is maximized due to the geographical characteristics of Korea.

Conventional photovoltaic tracking systems use CPU, resulting in durability and cost problems. In addition, it is difficult to expect high power generation efficiency because existing solar tracker system is influenced by installation site and environment. In this paper, we propose a method to guarantee the system life as passive elements by using high efficiency operation and analog devices by tracking optimal sunlight by using interconnection circuit of photodiode tracking sensor and motor without using CPU. To verify the efficiency of the proposed tracker system, a 30W tracker photovoltaic power generation system was produced. In addition, the power generation performance compared to the conventional fixed solar power generation system is presented as an experimental result and its validity is verified.

1. 서 론

태양광발전은 무한정의 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 기본원리는 반도체 PN접합으로 구성된 태양전지(solar cell)에 태양광이 조사되면, 광에너지에 의한 전자, 정공 쌍이 생겨나고, 생성된 전자와 정공은 각각 n층과 p층으로 이동하여 전류가 흐르게 되는 광기전력효과에 의해 기전력이 발생하여 외부에 접속된 부하에 전류가 흐르게 된다.[1] 이러한 태양전지를 필요한 단위 용량에 맞게 직렬 혹은 병렬연결하고 기후에 견딜 수 있도록 단단한 재료와 구조로 만들어 태양전지 모듈(solar cell module)로 상품화 한다.

태양광을 전기로 직접 변환시키는 발전 방식인 태양광발전시스템의 구성요소는 태양전지, 태양전지에서 발전된 직류를 교류로 변환하는 전력변환장치인 PCS(power conditioning system), 부하로 구성되며 부가적으로 발전전력을 저장하는 축전지, 모니터링 시스템을 갖출 수 있다. 태양광발전시스템은 범세계적으로 화석연료의 고갈과 기후변화 협약에 대응하여 미래의 에너지원으로 각광 받고 있으며 특히 우리나라는 신재생에너지 3020 프로젝트를 추진 중에 있으며 태양광발전 부분이 60% 이상을 공급하고자 한다.[2]

하지만 이러한 태양광발전시스템은 일사량과 온도 변화에 따라 발전량이 급변하므로 태양광 추적 시스템을 적용하여 시스템 효율의 극대화를 위한 필요성에 의해 많은 연구가 진행되고 있다. 태양광 추적기 시스템은 CPU를 사용한 프로그램 방식에 의한 설치 장소에 따른 프로그램 수정으로 인한 내구성과 비용의 문제 때문에 높은 발전효율을 기대하기 힘들다.

본 논문에서는 CPU를 사용하지 않고 포토다이오드 추적센서와 모터의 연동회로를 이용하여 최적의 태양광을 추적하여 높은 효율 운전과 아날로그 소자들로 구성하여 수동 소자만큼의 시스템 수명을 보장하는 방식을 제안하였다. 제안한 태양광 추적기 시스템의 효율 검증을 위해 30W급 소형 태양광발전시스템을 제작하여 기존의 고정형 태양광발전시스템 대비 발전성능을 실험 결과로 제시하여 그 타당성을 검증하였다.

II. 이론적 고찰

A. 태양광발전시스템의 분류

1. 계통연계의 유무에 따른 분류

태양광발전은 태양광을 전기로 직접 변환시키는 발전 방식으로 태양전지에 빛에너지가 조사되면 태양전지에서 부하로 전자가 흐르면서 전기가 생산되어 발전이 이루어지게 된다. 태양광발전은 기계 가동 부분이 없으므로 진동과 소음이 없는 청정에너지원으로서 수명이 길고 시스템 유지가 용이하여 이용가능 분야가 많은 기술이나 단점으로 기상 조건에 따른 발전량의 의존도가 높고 효율이 낮아 발전 설치 면적이 넓다는 점이다. 하지만, 2016년 전 세계 태양광 시장은 78GW에 달하며 2017년도에는 98GW로 성장할 전망이다이며 이러한 시장 성장의 지속과 더불어 가격 하락세로 향후 그리드 패리티(grid parity)가 초래할 것으로 예상된다. 또한, 태양광발전시스템의 효율을 높이기 위한 태양전지의 다양한 종류의 연구와 개발이 진행되고 있으므로 태양광발전 분야의 산업과 보급이 확대될 전망으로 예상된다.[1]

태양광발전시스템은 직류전력을 일사량에 의존하여 발전하는 태양전지, 발전된 직류전력을 교류전력으로 변환시키는 인버터, 기타 부속설비와 부하로 구성되며 계통연계 유무에 따른 분류로 두가지인 독립형 태양광발전시스템과 계통연계형 태양광발전시스템으로 나누어진다.[2]

독립형 태양광발전시스템은 전력 이용이 어려운 등대, 도서 및 산간지방, 무인종계소 등의 계통으로부터 전력을 공급받기 어려운 곳에서 인버터나 축전지를 이용하여 DC, AC 부하에 전력을 공급해주는 시스템을 말한다.

그림 1은 독립형 태양광발전시스템 블록 다이어그램이다. 독립형 태양광발전시스템은 태양광발전이 시간적인 제한을 받으므로 낮 시간동안 발전 전력을 배터리에 충전하였다가 발전되기 어려운 시간대인 밤에 사용할 수 있도록 설계하여, 태양전지와 축전지를 직류 및 교류 부하용 시스템으로서 효율적인 시스템이다. 대체로 신재생에너지원으로서 전원설비를 독립적으로 구성하면, 경제적인 시스템 운영과 안정된 전력의 이용이 가능하다.[3]

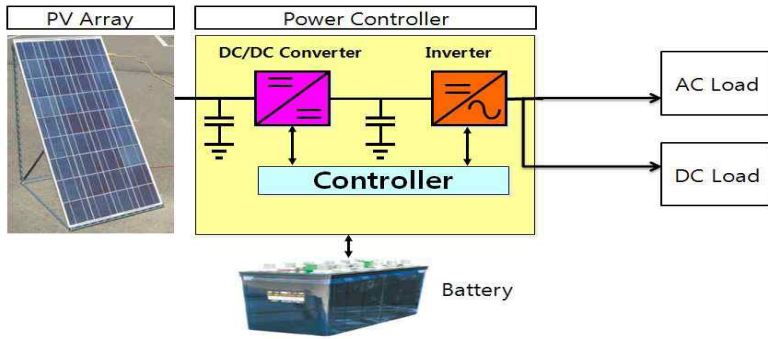


Fig. 1. Block diagram of stand-alone PV system

계통연계형 시스템은 PV 어레이와 인버터를 직접 연결함으로써 PV 어레이로부터 발전되는 직류전력을 인버터를 통하여 교류전력으로 변환하여 계통과 연계하여 균형있게 전력을 AC 부하에 공급하는 시스템이다. 독립형 태양광발전시스템과는 다른 점으로 전력 저장용 축전지를 사용하지 않고, 계통과 전력을 상호 교류 할 수 있도록 구성되어 있다.

그림 2은 계통연계형 태양광발전시스템의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 단방향 계통선 연결방식은 주택용 전원, 공장용 전원 등으로 이용되는 시스템으로서 단방향 계통선 연계형 인버터를 사용하여 부하측에 전력을 공급하며 운전한다.[3]

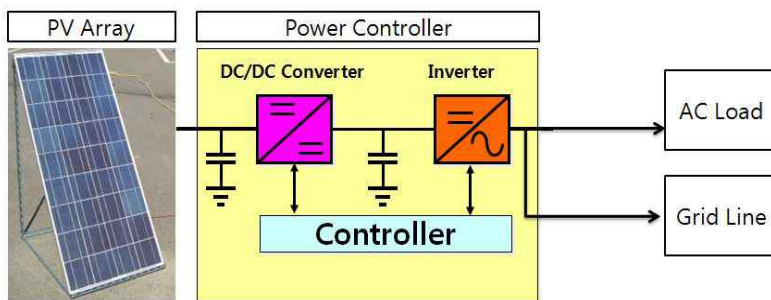


Fig. 2. Block diagram of grid-connected PV system

2. 어레이 설치 형태에 따른 태양광발전시스템

건설비용, 효율 다양한 환경적 요건 등과 같이 다양한 상황을 판단한 후 태양전지 어레이 설치 방식을 결정한다. 어레이 설치형태에 따른 방식은 고정식, 반고정식, 추적식으로 구분되며 아래와 같다.

고정식 태양광발전시스템의 경우, 태양의 궤적을 바라보게 설치하는 것을 기본으로 하고 일출 시 부터 일몰 시 까지 태양의 위치와 관계없이 항상 같은 지점의 경사각을 유지하는 시스템이다. 그리고 어레이의 종류 중에서 고정식 태양광발전시스템은 경제적이고 안정된 구조로 설치 면적의 제약이 적은 곳에 널리 설치되고 있다. 하지만 고정식 태양광발전시스템의 경우 계절과 상관없이 경사각이 고정되어 있어서 계절의 고도에 관계없이 항상 같은 경사각 때문에 다른 방식과 비교 시 발전효율이 현저히 낮다는 단점이 있다.[4]

반고정식 태양광발전시스템은 계절별 또는 월별에 태양의 고도변화에 따라서 태양전지 어레이의 경사각을 상하로 위치를 변화시킬 수 있는 방식으로 일반적으로 태양의 위도에 따라서 계절별로 한 번씩 어레이의 경사각을 수동으로 변화시킨다. 이때 어레이 경사각은 어레이에 최대 일사량이 조사될 수 있도록 조정한다. 고정식 어레이에 비교하여 반고정식 발전량은 평균 10%정도 발전량이 크다.[3]

그림 3과 그림 4는 고정식과 반고정식 태양광발전시스템을 나타내고 있다.



Fig. 3. Fixed array



Fig. 4. Semi-fixed array

그림 5는 태양광 추적식 태양광발전시스템을 나타내고 있다. 태양광발전시스템의 발전효율을 높이기 위해서는 태양전지에 직각으로 태양의 직사광이 입사되도록 하는 것이 유리하다. 따라서 추적식은 태양전지의 출력 특성으로 태양빛이 태양전지 평면에 조사될 때 일사량에 따라 태양전지의 출력전류와 출력전압은 변화하며 일사량이 높을수록 태양전지의 출력이 커지며 작을수록 출력이 작아진다. 이러한 태양전지의 일사량에 따른 출력전압 출력전류 특성을 고려할 때 발전량을 증가시키기 위해서는 최대한 많은 일사량이 태양전지 표면에 조사되도록 추적한다.[15]



Fig. 5. Tracking array

추적식 태양광발전시스템은 경사각과 고도각을 둘중 하나만 추적하느냐 모두 추적하느냐에 따라 단축형 추적식과 양축식 추적식으로 구분할 수 있으며 그림 6과 그림 7은 단축형 추적식 및 양축식 태양광발전시스템의 예를 나타내고 있다.



Fig. 6. Single-axis tracker



Fig. 7. Dual-axis tracker

B. 태양위치 추적방식

태양광발전시스템의 태양전지 출력특성은 태양빛이 태양전지에 조사될 때 일사량에 따라 태양전지의 출력전류가 변화하며 일사량이 클수록 태양전지의 출력이 커지고, 일사량이 작을수록 출력이 작아진다. 이러한 태양광발전시스템의 발전량을 증가시키기 위해서는 태양전지에 최대한 많은 일사량이 조사되도록 해야 하고, 그러기 위해서는 태양전지 표면에 PV 어레이를 태양빛이 항상 수직을 유지하도록 설치하여야 한다. 태양전지를 태양의 빛과 수직방향으로 항상 유지하기 위한 태양 추적방법으로는 센서 방식에 의한 위치 추적방식, 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램 방식에 의한 위치 추적방식, 센서와 프로그램을 병행하여 이용하는 하이브리드 방식에 의한 위치 추적방식으로 3가지 방식이 있다.[5]-[6]

1. 센서 방식에 의한 위치 추적방식

센서 방식에 의한 위치 추적방식은 광센서 4개를 이용하여 입사되는 빛의 양을 비교하여 태양의 위치를 추적하는 방식이다. 센서의 구조로는 4개의 광센서로 구성되며, 태양빛과 센서가 법선에서 벗어난 경우, 음영을 만들어 광센서 일부의 센서에 출력값을 다르게 하고 출력을 같게 만들기 위하여 추적기의 모터제어로 위치조정을 하여 광센서가 법선 방향으로 위치하게 되는 방법이다. 태양의 추적방식이 센서를 이용하여 최대 빛의 양을 추적하는 방식으로 센서부의 형태와 종류에 따라서 약간의 오차가 발생하기도 한다. 특히 음영이 부분으로 발생할 경우나 태양빛이 구름에 가릴 경우, 센서의 태양궤도 추적이 정확하지 못하다는 단점이 있다. 하지만 특별한 연산이 필요없고 구성이 간단하여 이용이 편의하다는 장점이 있다.[7]-[8]

2. 프로그램 방식에 의한 위치 추적방식

태양의 위치 계산은 태양전지가 설치된 지점을 중심으로 태양빛의 방위각과 고도각을 시간 간격을 주고 계산하는 방법이다. 추적 시스템의 입력신호로 사용되는 태양의 위치는 지구의 운동 관계식을 이용하여 계산해 낼 수 있다. 하지만 태양위치 계산을 위한 지구의 운동 관계식은 소수점 7번째 자리까지 있는 복잡한 계산이 필요하여 완벽한 정확성을 검증해야 할 필요성이 있고, 설치할 때 그 지역의 위치를 정확히 입력하지 않으면 태양광 발전량이 저해되는 상황이 발생할 수 있으며, 유지 및 보수를 위한 관리자가 필요하며 높은 기술력이 요구되는 방식이다.[9]

프로그램 방식에 의한 위치 추적방식은 시스템을 효율적으로 관리하고 태양빛을 정확하게 추적하기 위해 마이크로프로세서를 사용한다. 이 방식은 프로세서를 이용하여 태양위치를 계산한 후, 계산된 값을 이용하여 태양을 추적하는 방식으로 일출 및 일몰 시각도 계산하여 태양의 위치를 추적하다가 일몰시간이 되면 자동으로 정오지점으로 추적장치를 위치 해놓고 전원을 차단한 후, 다음날 일출 시간이 되면 자동으로 전체시스템을 작동시킨다.[10]

표 1는 위치 추적방식인 센서 방식과 프로그램 방식을 비교하였다.

Table 1. Comparison of sensor and program type

구 분	센서 방식	프로그램 방식
구성회로	간 단	복 잡
초기비용	저 가	고 가
정확성	정 확	비교적 정확
오차보정	쉽게 보정	입력장치 요구
작동방식	단축과 양축방식	단축방식
유지보수	없 음	일정기간마다 교정
적용시스템	소규모	대규모

3. 하이브리드 방식에 의한 위치 추적방식

하이브리드방식은 센서 추적방식과 프로그램 추적방식을 병행하여 사용하고 각각의 장점을 살려 단점을 보완시킨 방식이다. 센서 방식의 경우 태양빛이 구름에 가리거나 일정 각도가 틀어질 경우 태양추적이 되지 않는다는 점을 보완하기 위해 프로그램의 추적방식으로 시간에 따른 태양의 위치를 대략 결정하고 센서로 태양의 위치를 정확하게 추적하는 방법을 병행하여 사용할 수 있다. 프로그램에 의해 태양의 위치를 먼저 추적하여 장시간동안 태양이 구름에 가릴 경우에도 태양추적이 가능하며 외부환경의 변화에 의한 오동작을 일정범위 안에서 제한할 수 있다. 이 방식은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 그러나 태양의 대략적인 위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 외부환경의 변화에 의한 오동작을 완전히 해결하지 못하고 센서 방식에 의한 위치 추적방식에 비해 회로가 복잡한 단점이 있다.[10]

C. 기존의 태양광 추적방식

기존의 고정형 태양광 추적기의 경우, 지지대의 고정으로 인해 하루 중에 태양 빛을 받을 수 있는 시간이 한정되어 있다. 또한 태양의 위치변화에 즉각 반응하지 못하기 때문에 태양광 추적기가 태양빛을 수직으로 받는 시간이 적어 비효율적이고, 계절의 변화에 따른 태양의 법선 변화에도 대처가 어렵다. 반면에 발전 효율을 증대시킬 수 있는 추적형 태양광 트랙커는 CPU를 내장한 GPS 방식을 주로 사용한다. 기존의 추적형 태양광 추적기는 설치 위치마다 경도와 위도 값을 입력 해야 하고 한정된 범위 안에서 태양의 빛을 추적하는 방식을 사용한다. 따라서 한정된 공간에서 좀 더 높은 발전효율을 얻기 위해서는 고정형 태양광 추적기보다는 추적식 태양광 추적기를 사용하는 것이 유리하다. 그림 8와 그림 9는 태양광 트랙커의 구조에 따른 분류이다. 크게 기구적인 구조에 따라 단축형과 양축형으로 분류한다.[11]~[13] 그림 8와 같은 단축형 추적식 태양광 추적기는 양축 추적식 태양광 추적기보다는 낮은 비용으로 설치가 가능하지만 태양 경사각의 추적이 가능하지 않으므로 효율이 좋지 못하다는 단점을 가지고 있다.

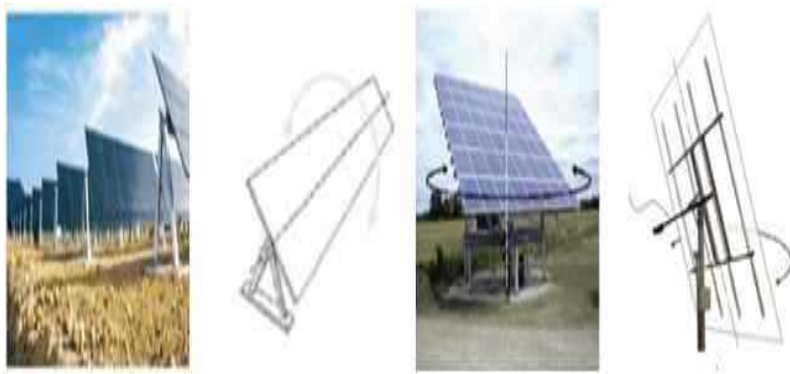


Fig. 8. Single-axis of solar tracker

그림 9는 양축형 추적식 태양광 추적기이다. 단축 추적식 태양광 추적기에 비해 고도각의 추적 범위가 넓어 효율적이다. 하지만 CPU를 사용하여 프로그램 오류로 인한 오작동이 발생하기 쉽고 설치 이후에 유지 및 보수 비용이 많이 발생하며 환경의 영향을 많이 받는다.[14]

현재 국내 태양광 시장의 90% 정도가 이와 같은 태양광 추적형 방식의 단점으
 로 인해 양축형 추적식 태양광 추적기를 이용하는 것이 높은 효율을 이룰 수 있는
 것을 알고 있으나, 양축형 추적식 방식의 신뢰성 문제로 인해 고정형 방식을 채택
 하여 태양광발전을 하고 있다. 따라서 추적형 태양광 트랙커의 신뢰성 확보를 위한
 기술개발이 요구된다.[14]

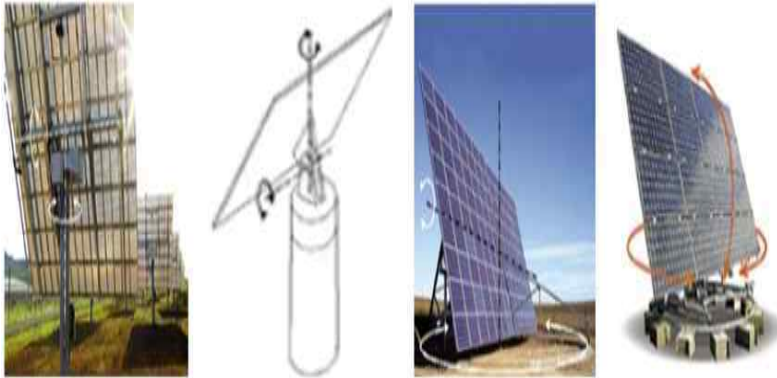


Fig. 9. Dual-axis of solar tracker

III. 실험

A. 태양전지 및 시스템 구성

본 논문에서는 표 2과 같이 파라미터 값을 갖는 30W 태양전지 모듈로 구성된 고정식 태양광발전시스템과 30W 태양전지 모듈에 포토다이오드를 이용한 센서를 양축형 추적식 태양광발전시스템에 부착하여 고정식과 추적식의 발전량을 비교하고자 한다.[3]

그림 10는 기존 방식의 30W 고정식 태양광발전시스템을 나타내고 있으며 그림 11은 30W 추적식 태양광발전시스템을 나타내고 있다. 전체적인 시스템 구성으로는 30W 태양광 모듈 2개, 충·방전장치 2개, 포토다이오드를 이용한 광센서 및 부하로는 DC모터 2개로 구성 하였다. 또한 모듈 1개와 태양광 포토다이오드 추적 센서에 연결된 모터드라이브의 제어를 통하여 고도각 실린더모터와 방위각 DC모터를 컨트롤 하며 이를 통해 얻은 출력량을 모니터링 시스템을 통해 1분 단위로 실시간으로 확인 가능하며, 데이터를 파일로 저장시킬 수 있도록 설계된 30W 양축형 추적식 태양광발전시스템의 구성하였다.

Table 2. Solar cell parameter value

Photovoltaic Module	ESM-30W	
Maximum Power Voltage	17.5	V
Maximum Power Current	1.7	A
Nominal_Peak Power	30	W
Open-Circuit Voltage	21	V
Short-Circuit Current	2	A
STC : 1000W/m ² , AM 1.5, 25°C Cell Temperature		
Dimension(W*L*T):477mm*536mm*25mm		

포토다이오드를 이용한 추적센서는 광에너지를 전기에너지로 변환하는 광센서의 일종으로 포토다이오드는 조사된 빛에 의하여 조절되는 가변 저항으로 사용될 수 있으며, 빛에 대한 반응속도도 빠른 광센서이다. 4개의 포토다이오드를 광센서로 사용하였다. 방위각과 고도각은 포토다이오드를 이용한 추적센서를 사용하여 방위각과 고도각을 모두 제어하는 2축 제어방식을 채택하였다. 이것은 방위각을 제어하는데 모터 1조를 사용하고 경사각을 제어하는데 다른 모터 1조를 사용함으로써 2조의 모터를 이용하여 태양의 방위각과 고도각을 각각 제어하도록 설계하였다.



Fig. 10. Diagram of fixed PV system



Fig. 11. Diagram of tracking PV system

B. 센서 및 제어부

본 태양광 추적시스템의 태양위치 추적은 포토다이오드를 이용한 센서방식으로 태양의 시간대별 경사각과 고도각에 따른 빛의 양을 비교하여 다를 경우 모터가 구동하고 같을 경우 모터가 정지하도록 설계하였다.

추적기에 사용된 포토다이오드를 적용한 센서로 양축형 태양광 추적센서(dual axis solar tracking sensor)를 사용하였고, 센서는 가장 밝은 최적의 태양빛을 추적하며, 햇빛이 구름에 가리면 대기하였다가 햇빛이 비치면 즉시 추적하는 기능을 가지고 있도록 설계 되었다. 센서 구동을 위한 드라이브는 전압 비교 회로를 응용한 입력회로와 2개의 반도체 H-브릿지형 출력 드라이브로 간단히 구성하였다. 별도의 프로그램 제어 없이 포토다이오드, 트랜지스터, 저항 및 DC 모터만으로 구성된 간단한 구조로 효율적인 추적이 가능하고, 전지판의 용량을 줄여 휴대성을 극대화 하였다. 고도각의 범위는 $10^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 이며, 방위각의 범위는 $\pm 160^{\circ}$ 를 기준으로 설계 되었다. 프로그램 제어 없이 간단한 구조로 효율적인 추적이 가능하여 발전효율이 개선되고 구성되는 전지판의 용량을 줄여 크기가 커지지 않도록 휴대성을 높였다. 포토다이오드, 트랜지스터, 저항 및 DC 모터만으로 제작하여 구조가 간단하고 설치비용이 저렴하여 제품의 제조단가 인하를 가능하게 하였다. 태양광에 의해 발전된 전력을 축전지에 저장했다가 전원 필요시에 축전지에 저장된 전력을 이용하여 사용가능 하기 때문에 전력운용 효율이 높고 축전지로부터 전력을 사용하기 때문에 안전성이나 전력품질이 높아 부하에 전기적 부담이 감소된다.

1. 센서 및 모터 구동부

태양광 추적시스템에 태양위치를 추적하는 방식은 포토다이오드를 이용한 센서방식으로 태양의 시간대와 고도에 따라 각각 수평과 수직으로 포토다이오드의 값을 비교하여 항상 각각의 값이 같은 값이 되도록 태양을 추적하도록 설계하였다.

모터 구동부의 원리는 입력이 A,B 두 개가 있다고 할 때, 전압이 $A > B$ 이면 전류는 A에서 B로 흐르게 되면서 모터가 시계방향으로 회전하고, 전압이 $A < B$ 이면 전류는 B에서 A로 흐르면서 모터는 반시계방향으로 회전하고 전압이 $A = B$ 이면 전류가 흐르지 않아 모터는 정지하게 된다. 즉, 모터를 한방향으로 돌리는 것은 쉬우나

방향을 바꾸는 것은 쉽지 않다. 하지만, 이러한 해결책으로는 L298 드라이버로 해결이 가능하며 L298 드라이버 하나로 2개의 모터를 제어할 수 있도록 설계하였다. 그림 12는 L298 드라이버의 회로도이다. L298의 블록 다이어그램으로 2개의 모터를 제어할 수 있으므로 반쪽만 고려하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 중심에 트랜지스터 4개가 AND 게이트와 연결되어 있으며 이와 같은 트랜지스터 회로의 형태를 H-브릿지라 하며 왼쪽에 In1, In2의 입력으로 Out1, Out2에 출력에 의해 연결된 모터를 제어하게 되며 입력에 다른 출력의 동작 상태는 다음 표 3 입력신호에 따른 모터드라이브 상태와 같이 동작하도록 설계하였다.

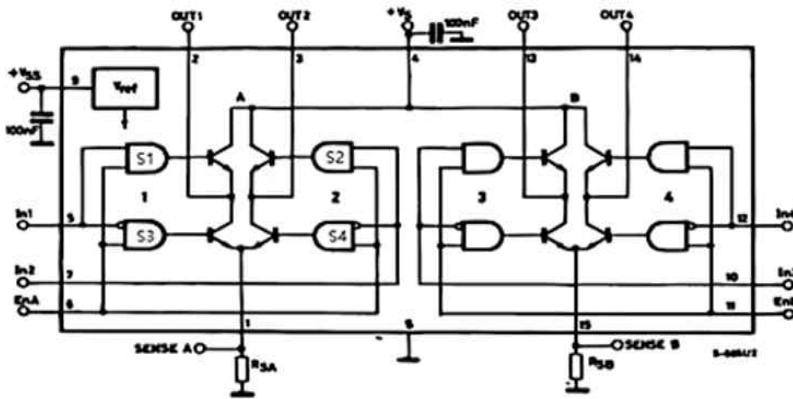


Fig. 12. Diagram of L298 driver circuit

Table 3. Motor drive status according to input signal

	In1	In2	동작
상태 1	Low	Low	모터 정지
상태 2	Low	High	전류가 S3에서 S2로 흘러 역회전
상태 3	High	Low	전류가 S1에서 S4로 흘러 정회전
상태 4	High	High	전류가 S1에서 S2로 흘러 브레이크

그림 13은 실제 모터 구동시 발생하는 역기전력으로부터 L298을 보호하기 위해 다이오드를 부착한 회로도를 나타내고 있으며 In1이 High이고 In2가 Low이면 전류는 Out1으로 나와 Out2로 흐르므로 2번과 3번 단자에 모터를 연결하면 모터는 정회전을 하게 된다.

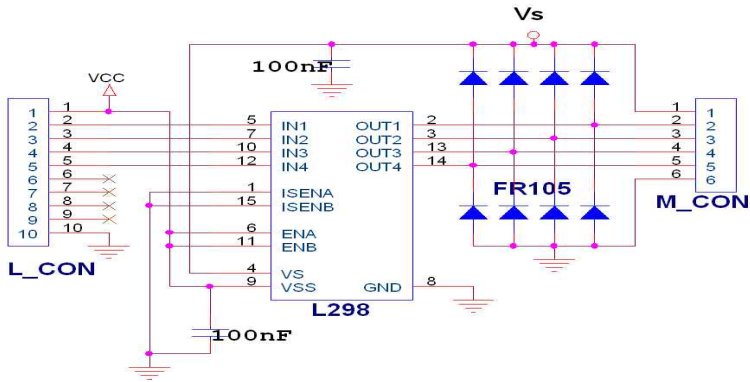


Fig. 13. Diagram of Motor drive circuit

2. 태양추적기 제작

태양 추적기의 동작원리는 두개의 광센서를 통하여 입력된 센서로부터 밝기를 비교하여 센서의 밝기가 같아 질 때까지 모터가 구동되도록 아날로그적으로 설계하여 구현하였다. 고도각의 예를 들면, 해가 남쪽에 있다고 가정할 경우 Photo-1 센서(남쪽)와 Photo-2센서(북쪽)의 값을 비교하면 Photo-1의 밝기가 Photo-2의 밝기보다 밝으므로 즉, 태양전지 모듈은 태양광과 수직이 아닌 상태에 이른다. 이 때 LM2901 비교기는 의해 설정값 이상의 오차가 발생하므로 모터 드라이브(L298)의 In1은 High, In2는 Low이 입력되어 모터는 정회전을 하게 되고 Photo-1의 밝기와 Photo-2의 밝기가 같아지게 되면 즉, 태양전지 모듈과 수직이 되면 In1과 In2는 Low가 되어 모터는 정지하게 된다. 반대로 In1이 Low이고, In2가 High로 입력되면 모터는 역회전을 하게 되고 Photo-1과 Photo-2의 밝기가 같아지게 되면 모터는 정지하는 원리이다. 이와 동일한 방식으로 방위각은 동-서의 Photo-3, Photo-4의 센서를 입력 받아 방위각을 제어하는 모터를 구동하는 방식으로 태양광을 추적하게 된다.

그림 14은 제작한 아날로그 방식의 태양추적 시스템의 제어부 회로도를 나타내고 있다. 제어부에는 광센서의 감도를 조절 할 수 있도록 가변저항기를 설계하였으며 또한, 방위각과 고도각의 제한을 걸어 동작범위에서 구동하며 태양광의 감도 및 모터의 과전류를 설정하도록 구성하였다. 그림 15는 포토다이오드를 이용한 광센서와 태양추적시스템의 구동부를 나타내고 있다. 그림 16은 태양광 추적기의 동작 알고리즘을 나타내고 있다. 그림 17에서 그림 20는 태양광을 추적하기 위한 소형 구조물에 관한 설계 도면을 나타내고 있다. 그림 17과 그림 18는 고도각을 90도까지 추적하기 위해 제안한 CAD 도면을 나타내고 있으며, 그림 19과 그림 20는 방위각을 320도까지 구현하도록 하기 위해 벨트 방식을 제안한 CAD 도면을 나타내고 있다. 그림 21는 CAD 도면을 기본으로 하여 제작한 태양 추적기의 구조물을 나타내고 있다.

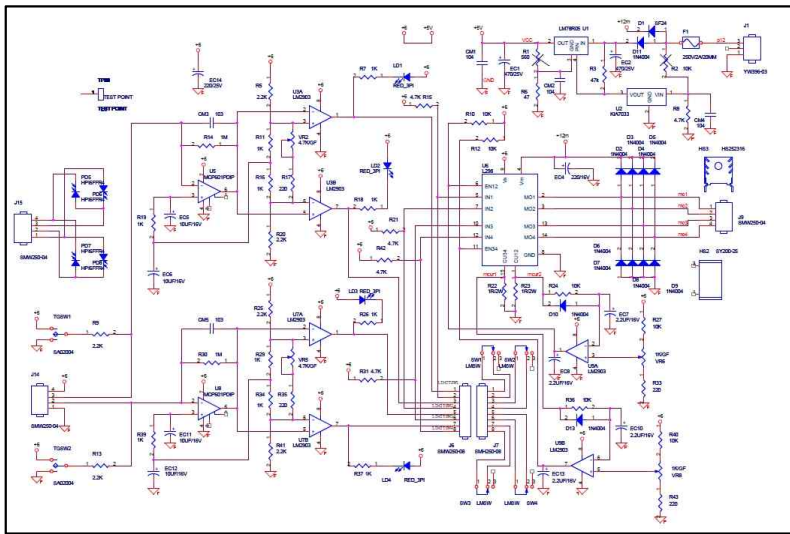


Fig. 14. Schematic of an analog tracking PV system

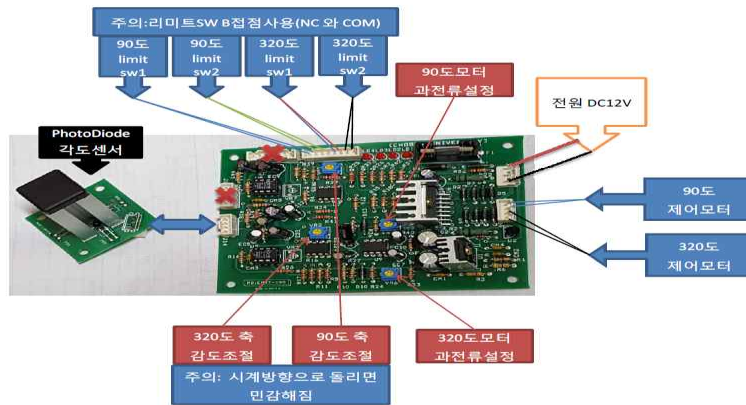


Fig. 15. Optical sensor using photodiode and tracking PV system driving part

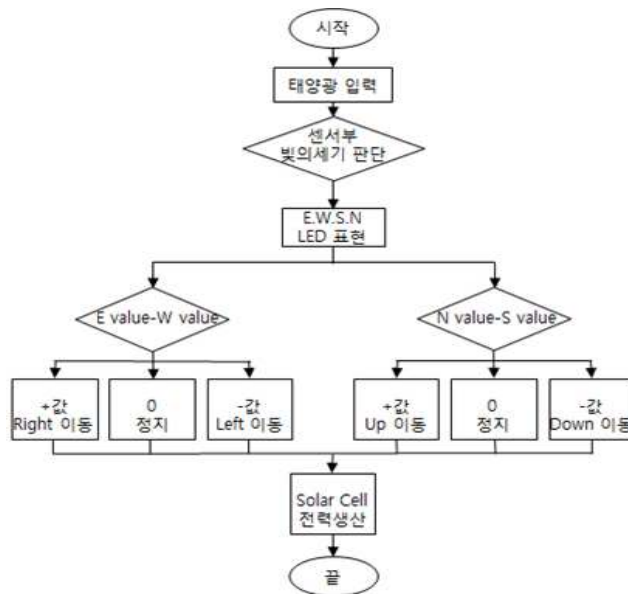


Fig. 16. PV Tracker Algorithm

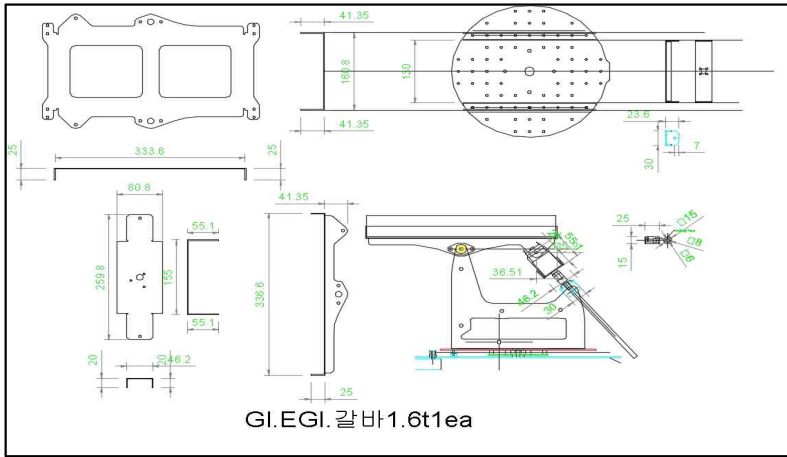


Fig. 17. CAD drawing for PV tracker altitude angular structure (part1)

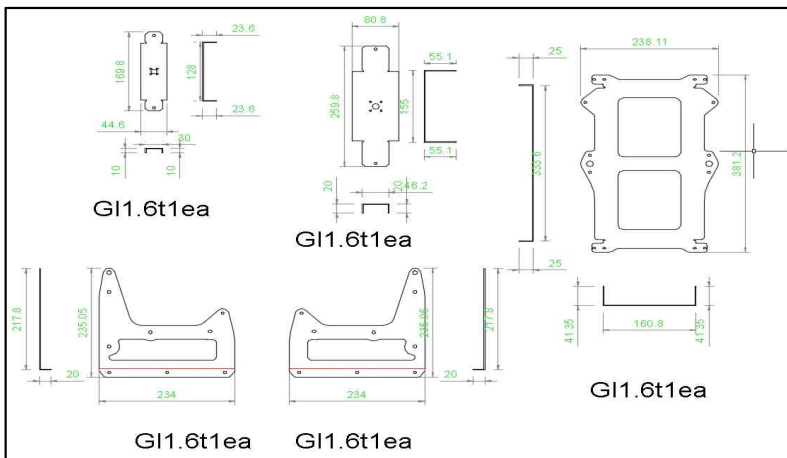


Fig. 18. CAD drawing for PV tracker altitude angular structure (part2)

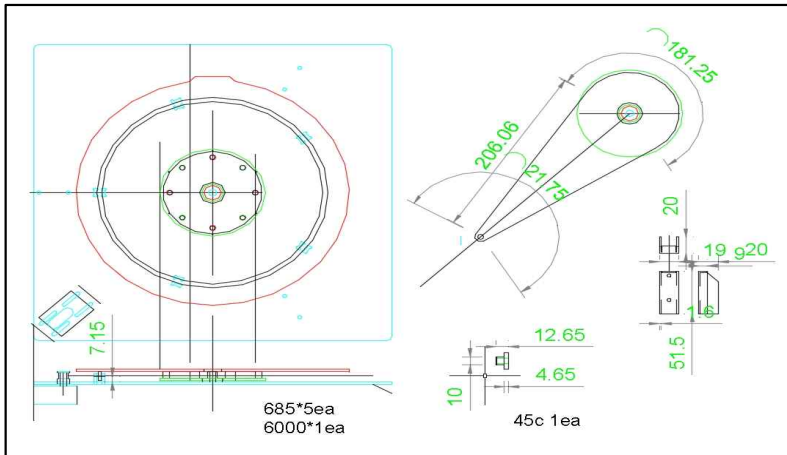


Fig. 19. CAD drawing PV tracker azimuth structure (part1)

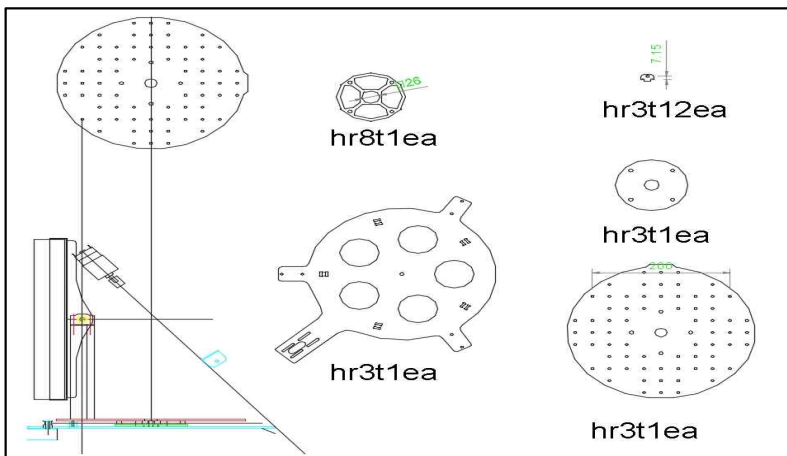


Fig. 20. CAD drawing for PV tracker azimuth structure (part2)

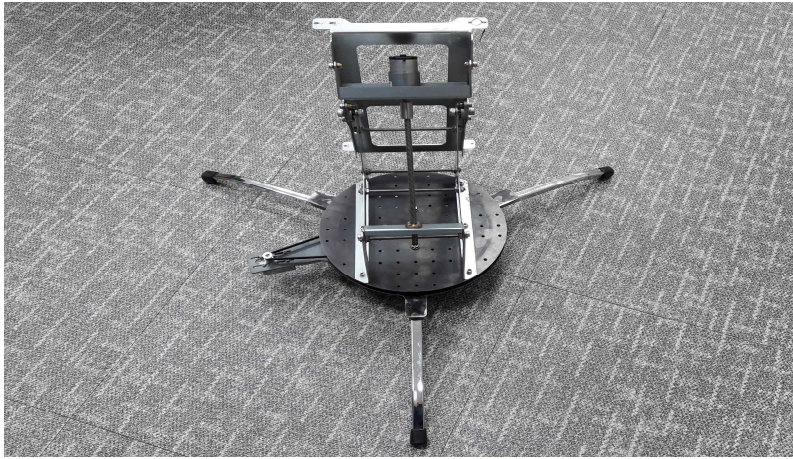


Fig. 21. Solar tracker structure

IV. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 30도 경사각으로 고정된 30W 고정식 태양광발전시스템 및 이와 비교하기 위해 같은 사양으로 포토다이오드를 적용한 30W 추적식 태양광발전시스템의 출력량을 맑은날과 흐린날로 비교 분석해 보았다.

아래 그림 22과 그림 23은 맑은날과 흐린날 고정식/추적식 태양광발전시스템의 실험사진을 나타내고 있다. 표 4와 표 5는 고정식 태양광발전시스템의 하루 데이터를 나타내고 있고 표 6과 표 7은 추적식 태양광발전시스템의 하루 데이터를 나타내고 있다.



Fig. 22. On a clear day fixed/tracking PV system measurement



Fig. 23. On a cloudy day fixed/tracking PV system measurement

Table 4. On a clear day outputs of fixed PV system(30W)

시간	출력전압	출력전류	출력전력	시간	출력전압	출력전류	출력전력
8:00	7.5	0.09	0.725	12:40	14.81	1.51	22.47
8:10	8.4	0.19	1.611	12:50	14.9	1.54	22.96
8:20	9.2	0.24	2.295	13:00	15.2	1.52	23.122
8:30	10.2	0.31	3.201	13:10	15.1	1.55	23.413
8:40	11.3	0.35	4.033	13:20	15.6	1.53	23.87
8:50	11.1	0.45	5.04	13:30	15.6	1.52	23.86
9:00	11.3	0.54	6.206	13:40	16.12	1.5	24.266
9:10	12.8	0.57	7.406	13:50	16.1	1.5	24.209
9:20	13.2	0.65	8.64	14:00	16.21	1.51	24.538
9:30	13.1	0.76	9.973	14:10	16.2	1.5	24.315
9:40	13.12	0.85	11.171	14:20	16.2	1.5	24.27
9:50	13.33	0.92	12.368	14:30	16.1	1.5	24.14
10:00	13.5	0.92	12.448	14:40	16	1.49	23.92
10:10	13.37	0.97	13.102	14:50	15.9	1.49	23.76
10:20	13.8	1.02	14.144	15:00	15.89	1.45	23.15
10:30	13.67	1.09	14.99	15:10	15.5	1.47	22.86
10:40	13.88	1.16	16.21	15:20	15.3	1.44	22.1
10:50	13.7	1.19	16.41	15:30	15.1	1.41	21.32
11:00	13.8	1.23	17.09	15:40	14.9	1.36	20.377
11:10	14.21	1.28	18.26	15:50	14.32	1.34	19.28
11:20	14.1	1.32	18.64	16:00	13.91	1.25	17.49
11:30	14.3	1.37	19.695	16:20	13.42	1.02	13.75
11:40	14.2	1.44	20.534	16:30	13.1	0.78	10.3
11:50	14.12	1.47	20.861	16:40	12.7	0.57	7.32
12:00	14.8	1.43	21.15	16:50	10.9	0.46	5.1
12:10	14.7	1.46	21.46	17:00	9.8	0.34	3.332
12:20	14.8	1.48	21.95	17:10	8.6	0.12	1.11
12:30	14.9	1.48	22.142				

Table 5. On a cloudy day outputs of fixed PV system(30W)

시간	출력전압	출력전류	출력전력	시간	출력전압	출력전류	출력전력
8:00	3.4	0.1	0.34	12:40	11.9	0.83	9.87
8:10	3.56	0.24	0.88	12:50	11.87	0.84	9.96
8:20	4.68	0.21	0.94	13:00	11.86	0.85	10.1
8:30	5.71	0.27	1.56	13:10	11.91	0.85	10.21
8:40	6.26	0.28	1.78	13:20	11.89	0.85	10.16
8:50	7.97	0.28	2.24	13:30	11.67	0.89	10.42
9:00	8.94	0.33	2.96	13:40	11.51	0.91	10.54
9:10	9.2	0.37	3.41	13:50	12.2	0.87	10.64
9:20	9.91	0.39	3.94	14:00	12.41	0.85	10.49
9:30	10.52	0.54	5.76	14:10	12.16	0.85	10.36
9:40	10.91	0.56	6.21	14:20	12.1	0.84	10.17
9:50	11.24	0.61	6.93	14:30	12.05	0.85	10.22
10:00	11.51	0.68	7.84	14:40	11.96	0.84	10.1
10:10	11.78	0.51	6.12	14:50	11.94	0.83	9.98
10:20	11.63	0.45	5.31	15:00	11.9	0.81	9.65
10:30	11.4	0.37	4.33	15:10	11.36	0.81	9.26
10:40	11.4	0.61	6.97	15:20	11.2	0.81	9.1
10:50	11.32	0.65	7.46	15:30	11.26	0.79	8.91
11:00	11.3	0.54	6.12	15:40	11.13	0.77	8.62
11:10	11.61	0.73	8.51	15:50	11.01	0.73	8.11
11:20	11.58	0.78	9.12	16:00	11.26	0.65	7.36
11:30	11.72	0.81	9.45	16:20	11.1	0.56	6.26
11:40	11.7	0.82	9.62	16:30	10.91	0.49	5.37
11:50	11.66	0.82	9.58	16:40	10.63	0.43	4.65
12:00	11.78	0.82	9.76	16:50	9.91	0.39	3.92
12:10	11.8	0.83	9.8	17:00	7.28	0.3	2.21
12:20	11.81	0.83	9.81	17:10	3.3	0.21	0.71
12:30	11.96	0.82	9.92				

Table 6. On a clear day outputs of dual-axis tracking PV system(30W)

시간	출력전압	출력전류	출력전력	시간	출력전압	출력전류	출력전력
8:00	5.2	0.115	0.603	12:40	15.31	1.63	25.048
8:10	6.3	0.21	1.375	12:50	15.2	1.66	25.244
8:20	7.23	0.24	1.937	13:00	15.34	1.66	25.472
8:30	9.3	0.28	2.667	13:10	15.4	1.64	25.329
8:40	9.8	0.41	4.051	13:20	15.32	1.66	25.425
8:50	10.3	0.53	5.527	13:30	15.51	1.65	25.709
9:00	10.6	0.69	7.413	13:40	15.4	1.63	25.235
9:10	10.7	0.81	8.668	13:50	15.3	1.66	25.407
9:20	10.91	1.05	11.5	14:00	15.41	1.68	26.002
9:30	11.23	1.27	14.343	14:10	15.3	1.66	25.456
9:40	11.3	1.51	17.16	14:20	15.23	1.66	25.665
9:50	12.3	1.56	19.294	14:30	15.3	1.66	25.472
10:00	12.35	1.56	19.334	14:40	15.41	1.65	25.51
10:10	12.8	1.58	20.256	14:50	15.31	1.65	25.375
10:20	13.12	1.61	21.311	15:00	15.3	1.65	25.344
10:30	13.3	1.62	21.546	15:10	14.9	1.63	24.56
10:40	13.62	1.63	22.3	15:20	14.93	1.65	24.67
10:50	13.4	1.64	22.07	15:30	14.53	1.66	24.25
11:00	13.7	1.65	22.66	15:40	14.11	1.66	23.442
11:10	14.1	1.65	23.513	15:50	14.1	1.64	23.21
11:20	14.31	1.66	23.83	16:00	13.91	1.61	22.517
11:30	14.6	1.64	23.95	16:20	12.8	1.52	19.58
11:40	14.53	1.66	24.11	16:30	11.8	1.36	16.16
11:50	14.58	1.66	24.21	16:40	10.81	1.07	11.57
12:00	14.73	1.65	24.3	16:50	10.3	0.62	6.448
12:10	14.93	1.65	24.661	17:00	9.5	0.39	3.762
12:20	15.41	1.65	25.45	17:10	2.31	0.15	0.806
12:30	15.3	1.65	25.39				

Table 7. On a cloudy day outputs of dual-axis tracking PV system(30W)

시간	출력전압	출력전류	출력전력	시간	출력전압	출력전류	출력전력
8:00	2.93	0.08	0.23	12:40	11.34	0.96	10.93
8:10	3.61	0.23	0.83	12:50	11.48	0.96	11.12
8:20	4.89	0.26	1.27	13:00	11.5	0.97	11.23
8:30	5.1	0.33	1.68	13:10	11.2	1.01	11.36
8:40	6.4	0.34	2.23	13:20	11.11	1.02	11.3
8:50	8.71	0.43	3.82	13:30	11.45	1.01	11.57
9:00	8.8	0.48	4.23	13:40	11.37	1.02	11.6
9:10	9.32	0.51	4.81	13:50	11.37	1.03	11.72
9:20	9.8	0.57	5.68	14:00	10.56	1.08	11.41
9:30	10.24	0.6	6.23	14:10	10.73	1.05	11.27
9:40	10.83	0.68	7.42	14:20	10.59	1.05	11.12
9:50	11.2	0.8	8.98	14:30	10.83	1.03	11.16
10:00	11.74	0.87	10.22	14:40	10.83	1.02	11.05
10:10	10.82	0.91	9.85	14:50	10.76	1.02	10.98
10:20	10.13	0.91	9.21	15:00	10.72	1	10.72
10:30	8.2	0.92	7.55	15:10	10.41	0.99	10.31
10:40	9.12	0.96	8.76	15:20	10.12	1	10.12
10:50	10.32	0.98	10.12	15:30	9.75	0.97	9.92
11:00	9.87	0.98	9.67	15:40	9.75	0.98	9.56
11:10	10.9	0.98	10.36	15:50	9.32	0.98	9.14
11:20	11.28	0.94	10.61	16:00	8.96	0.96	8.61
11:30	11.18	0.97	10.85	16:20	8.89	0.87	7.74
11:40	11.3	0.97	11.04	16:30	8.03	0.76	6.11
11:50	11.11	0.98	10.9	16:40	7.85	0.67	5.26
12:00	11.2	0.97	10.96	16:50	7.84	0.53	4.16
12:10	11.42	0.97	11.1	17:00	8.87	0.35	3.12
12:20	11.26	0.96	10.84	17:10	3.61	0.27	0.97
12:30	11.61	0.95	11.08				

본 논문에서 사양이 같은 30W 고정식 태양광발전시스템과 제안한 30W 추적형 태양광발전시스템의 출력량을 비교해 보았다. 그림 24 및 그림 26과 같이 맑은날과 흐린날에 나타낸 고정식 출력량 그래프와 그림 25 및 그림 27과 같이 맑은날과 흐린날에 나타낸 추적형 시스템의 출력량을 나타내었다. 같은 조건에서 그림 28와 그림 29과 같이 맑은날과 흐린날에도 고정식/추적식 출력량이 맑은날 15.66[%], 흐린날 15.1[%]이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

30W 고정식 태양광발전시스템의 맑은날 총 생산전력량은 98[Wh], 흐린날 총 생산전력량은 43.77[Wh]이었다. 30W 추적식 태양광발전시스템의 맑은날 총 생산전력량은 116.2[Wh], 흐린날 총 생산전력량은 51.56[Wh]의 발전량을 나타내었다. 따라서 포도다 이오드를 적용한 추적식 태양광발전시스템의 경우 고정식 태양광발전시스템보다 맑은날에는 15.66[%], 흐린날에는 15.1[%]이상 높은 누적 전력량을 생산하였음을 확인할 수 있었다.

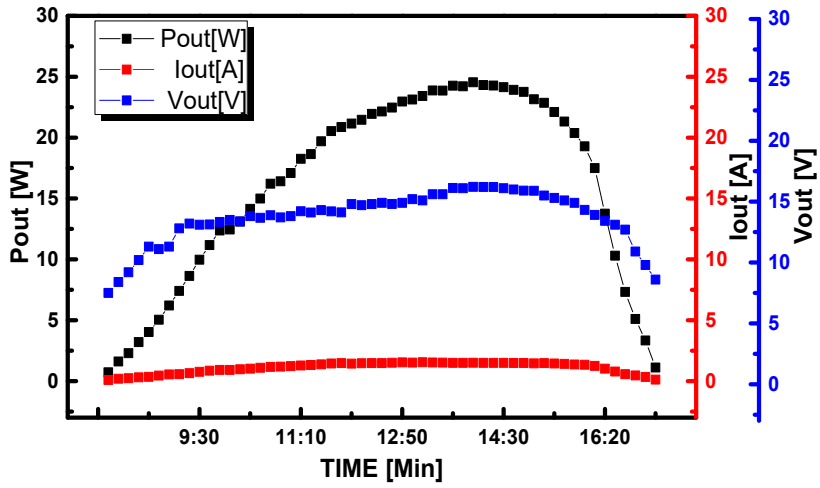


Fig. 24. On a clear day outputs of fixed PV System(30W)

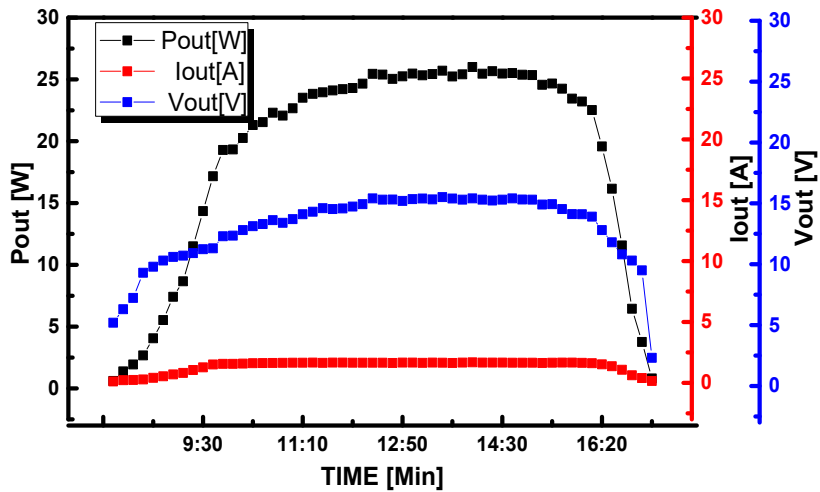


Fig. 25. On a clear day outputs of dual-axis tracking PV System(30W)

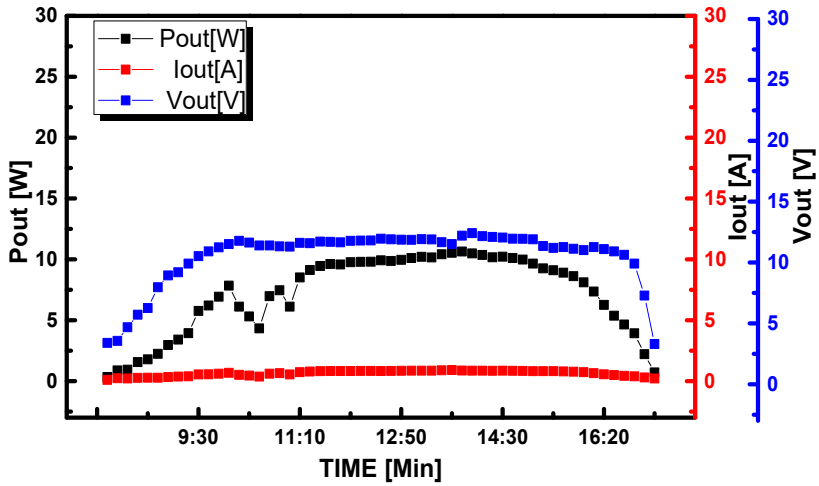


Fig. 26. On a cloudy day outputs of fixed PV System(30W)

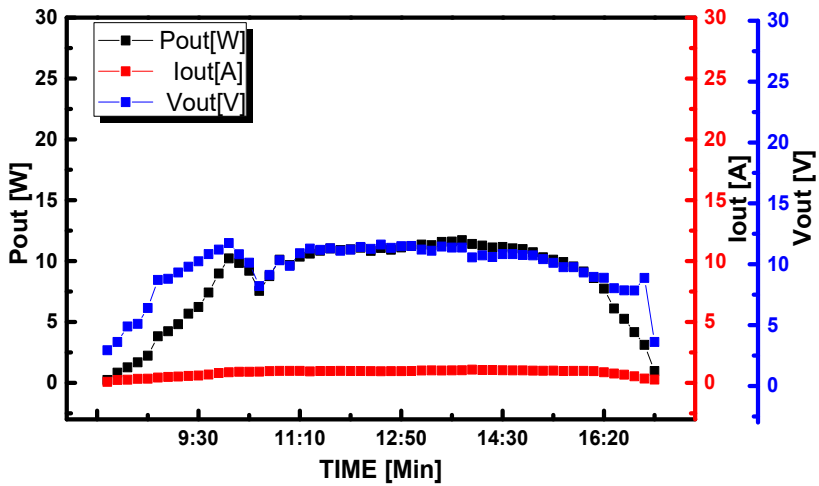


Fig. 27. On a cloudy outputs of dual-axis tracking PV System(30W)

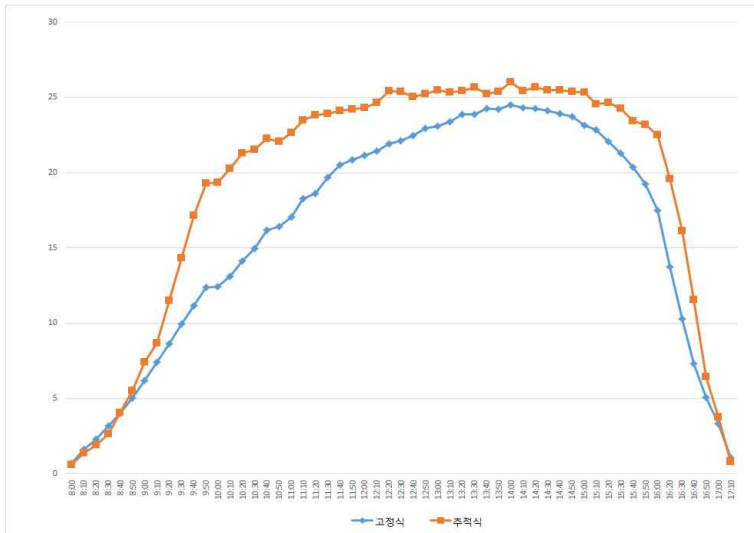


Fig. 28. Difference in output power of fixed/tracking PV system(clear day)

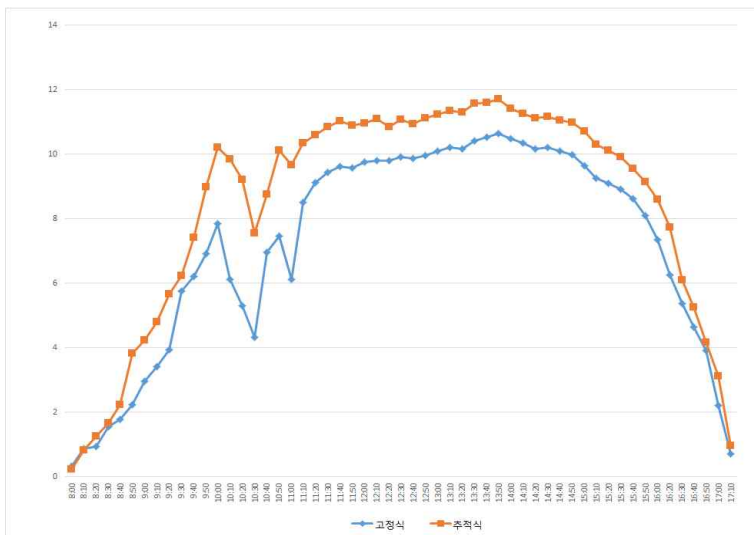


Fig. 29. Difference in output power of fixed/tracking PV system(cloudy day)

V. 결 론

본 논문에서는 포토다이오드 추적기를 적용한 휴대용 태양광 추적장치를 개발함에 있어서 태양광발전시스템 분야에서 다음과 같은 기술개발의 결과를 확보하였다.

본 논문에서의 태양추적시스템은 광도전효과를 이용한 반도체 포토다이오드센서를 이용하여 최적의 태양 위치 확인을 위한 센서부를 구성하였다. 태양의 2축 제어를 위한 벨트구조물을 제안하였으며 아날로그 방식을 통한 태양을 추적하기 위한 구동부 제어신호를 발생시켰다. 태양추적시스템의 성능분석을 위한 태양발전장치(30W)를 제작하였으며, 실험을 통하여 연구에서 설계 및 제작된 태양추적장치의 성능을 평가하였다.

본 논문에서는 기존의 태양광 추적 시스템은 CPU를 사용하기 때문에 비용과 내구성의 문제가 발생한다. 또한, 기존의 태양광 트랙커 시스템은 설치 장소 및 환경의 영향으로 인하여 높은 발전효율을 기대하기 어렵다. 제안된 태양광 추적 시스템은 포토다이오드 추적센서와 모터의 연동회로를 사용하여 최적의 태양광을 추적하기 때문에 높은 효율 운전이 가능하고, 아날로그 소자들로 구성되어 있기 때문에 수동소자만큼의 시스템 수명이 보장된다. 또한, CPU를 사용하지 않는 장점으로 프로그램 오류로 인한 오작동이 없으며, 설치 이후에 보수 및 유지가 간단하다. 제안된 태양광 추적 시스템의 타당성을 검증하기 위해 태양전지 30W를 고정형과 추적형 시스템을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

맑은 날 기준으로 고정형보다 평균 15.66% 정도의 추적형 발전량이 증가함을 확인하였다. 또한, 흐린 날 기준 고정형보다 평균 15.1%정도 추적형 발전량이 증가함을 확인함으로써 추적형 시스템의 타당성을 검증하였다. 포토 다이오드를 이용한 CPU 없이 4개의 OP앰프를 이용하여 태양광 추적효율을 확인하였고 고도각은 $10^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 으로 넓은 고도각 범위를 갖으며 방위각은 320° 로 넓은 방위각 범위를 갖는 추적형 시스템을 개발하였다.

본 논문의 결과를 통해 태양광추적시스템의 설계의 단순화와 비용절감의 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 향후 군사용의 배터리 충전용 또는 야외 활동시 전원용으로 활용할 것으로 기대되며 다양한 기술융합제품 개발에 유용할 것으로 기대된다.

Reference

- [1] 데이코 산업 연구소, “태양광 사업 기술 시장의 실태와 전망”, 산업교육연구소, pp.34-45, 2009.
- [2] Roger Messenger Jerry Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering", CRC, pp.283, 2004.
- [3] 이권, “1kw급 양축형 추적식 태양광발전시스템에 관한 연구”, 조선대학교 석사학위 논문, pp.3-9, 2013.
- [4] 김기범, “태양전지 어레이의 입사각에 따른 발전효율에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위 논문, pp.17~22, 2002.
- [5] Kotsopoulos A., Duarte J. L., Hendrix M. A. M., Heskes P. J. M., “Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes”, Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power electronics Specialists Conference, Vol.3 (2002), pp.1506-1511
- [6] P. L. Swart, J. D. Van Wyk, “Source tracking and power flow control of terrestrial photovoltaic panels for concentrated sunlight”, 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol.1 (1998), pp.700-705
- [7] Z. G. Piao, J. M. Park, J. H. Kim, G. B. Cho, H. L. Baek, "A Study on the Tracking Photovoltaic System by Program Type", Electrical Machines and Systems, ICEMS, Vol.2, pp.971-973, 2005.
- [8] Salas.V, Grases.M, Debora.P, Espadas.C, Olias.E, "Comparison between two 1 kW PV grid-connect system (one with a new tracker and one fixed)", PVSC, 2010 35th IEEE
- [9] 유석주, 이성수, 박왈서, “태양광 센서에 의한 태양광 전지의 최대전력추적과 신경회로망 제어알고리즘 적용”, 조명전기설비학회 논문지, Vol.24 No.2, pp33~38, 2010.
- [10] 민병국, “One sensor 방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구”, 조선대학교 석사학위 논문, pp.10~16, 2009.
- [11] L. Barker, M. Neber, and H. Lee, “Design of a low-profile two-axis solar tracker,” Solar Energy, Vol. 85, No. 11, pp.569-576, 2013.

[12] F. J. Gomes Gil, M. S. Martin, J. P. Vara, and J. R. Calvo, “A reivew of solar tracker patents in Spain,” in Proc. 3rd WSEAS Int.conf. Renewable Energy Sources, Canary Islands, Spain, 2009, pp. 292–297

[13] M. Neber, H. Lee, L. Barker, C. G. Olaes, D. Marumoto, and J. Valdez, “Two-axis solar tracker design for low cost deployment and profile for reduced loading moments,” U.S.Patent 20 130 276 846, Oct. 24, 2013.

[14] 이재진, 최우진, 김석민, 박준영, 이교범, “CPU 없는 자가 동력 태양광 트랙커 시스템”, 전기전자학회 논문지, Vol.21, No.3, pp-211–218, 2017.9

[15] 김용진, “최적 발전성능 도출을 위한 태양광모듈 추적방법에 관한 연구”, 경희대학교 건축공학과 박사학위논문, pp14~18, 2012.

감사의 글

많은 추억을 가져다준 2년간의 석사과정 대학원 생활이 마무리 되어가고 있습니다. 그동안 감사했던 모든 여러분들에게 감사의 인사를 드리고자 합니다.

본 학위논문과 심사에 걸쳐 많은 조언과 부족한 저를 다독이시며, 많은 가르침과 용기로 자신감을 주신 조근배 교수님과 김남훈 교수님과 최연옥 교수님께 감사의 말씀을 올립니다. 또한 항상 지켜봐 주시고 격려해 주신 전기공학과 모든 교수님들께도 감사의 말씀드립니다.

학위과정 동안 옆에서 항상 격려해주시고 도움을 주신 김청담, 전지은, 최혜원, 정인성, 정판검, 김용휘, 박상용, 박노아, 황선호 선배님, 그리고 Cupel 선배님들께도 감사의 말씀 드립니다. 그리고 다 같이 수고한 전기공학과 대학원 송용진, 이동진, 김찬승, 구희석 선배들에게도 수고했다와 고맙다라는 말 전하고 싶습니다.

오랜 우정을 쌓아오며 학위 과정 동안 힘이 되어준 기수현, 김태관, 강달성, 강경훈, 김대승, 김표재, 김지웅, 남주하, 노이환, 명새움, 박찬중, 방종춘, 배원철, 손성환, 임효섭, 윤준, 오동규, 이병용, 정덕기, 정주현, 조영욱, 최재성 친구들에게 오랜 벗으로써 아끼지 않는 응원과 격려에 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

끝으로 장남으로서 늘 저를 믿고 아낌없이 투자해주시는 든든한 버팀목인 존경하는 아버지, 어머니, 그리고 예쁘고 자랑스러운 누나, 많이 부족하지만 꼭 성공하여 우리 가족에게 평생동안 보답하며 살며 항상 마음 깊이 감사드리고 사랑을 전합니다.

많은 분들의 격려와 응원, 가르침으로 무사히 졸업할 수 있게 되었습니다. 많은 분들의 마음을 소중히 간직하며 실망시켜드리지 않을 열심히 사는 모습을 보여드리겠습니다. 저와 인연이 닿은 모든 이들의 행복과 앞으로의 성공을 기원하며 2018년 한해를 마무리 하겠습니다. 감사합니다. 그리고 사랑합니다.