

태양광 패널 최적기의 유선 및 무선 통신 시스템 설계에 관한 연구

양오^{*†}

^{**}청주대학교 반도체공학과

A Study on the Design of Wired and Wireless Communication System for Solar Panel Optimizer

Oh Yang^{*†}

^{*†}Semiconductor Engineering of Cheongju University

ABSTRACT

In this paper, we have designed a solar photovoltaic system to attach solar photovoltaic modules to each module and develop the best efficiency in each module. The efficiency of the designed solar panel optimizer was more than 99.27% and MPPT efficiency of 99.66%. In addition, the monitoring of power generation and abnormal operation phenomenon in each optimum period and tracking for failure location of specific photovoltaic module have improved the utilization rate of photovoltaic power generation. Wired and wireless communication methods has been proposed to monitor the power generation and operation status of the solar panel optimizer. For this purpose, the RS485 communication was used for wire communication and Zigbee communication was used for wireless communication to monitor the status of each module in real time. It is shown that communication redundancy can be achieved through the proposed method, and the possibility of commercialization is suggested.

Key Words : Solar Panel, Optimizer, RS485, Zigbee, MPPT, Photovoltaic System

1. 서 론

최근 들어 많은 국가에서 극심한 대기오염과 환경에 대한 심각한 문제로 인해 탈원전 정책을 수립하여 청정 에너지원(Clean energy source)을 찾고자 다각도로 노력하고 있으며 이에 대한 대안으로 풍력발전이나 수력발전, 조력발전, 태양광발전 등을 연구하고 있다. 이러한 대체 에너지 중 태양광 발전의 단점은 일사량이 없는 심야에 발전할 수 없는 단점이 있다. 이것을 보완하기 위한 에너지 저장 시스템(Energy storage system)을 연구하고 있어 태양광 발전에 대한 관심이 증가하고 있다[1~4]. 그동안 꾸준히 제기되었던 태양광발전에 대한 낮은 효율과 높은 설치

운영비의 문제가 점점 해결되고있어 태양광발전에 대한 관심은 한층 높아지고 있다. 태양광 발전 시스템은 하나의 태양광 모듈의 발전전력이 크지 않기 때문에 다양한 상황에 따라 여러 개의 모듈을 직렬 또는 병렬로 연결하여 가정용 및 산업용과 같은 특정한 개별 수요에 적절한 전압과 전류 레벨을 얻는 구조가 필수적이게 된다[5]. 이러한 구조는 환경적 요인인 주변 건물이나 먼지 등으로 인한 부분적 차광이 몇몇 단일 모듈에 발생할 경우 한 스트링 내의 직렬연결로 연결되어 전체 전류의 감소로 이어지고 이는 전체 태양광 발전 시스템의 효율 저하로 나타난다[6]. 이러한 문제를 해결하기 위해 태양광 패널 최적기를 각각의 태양광 모듈에 부착함으로써 전체 시스템의 효율 극대화가 가능하다.

또한 4차 산업혁명에 따른 사물간 통신이 활발히 연구

[†]E-mail: ohyang@cju.ac.kr

되고 있고 계통 연계형 태양광 발전 시스템에도 다양한 통신 방식을 연구하고 있다[7]. 이러한 스마트 그리드(Smart grid) 기술은 전력 공급자와 소비자 사이를 실시간으로 전력정보를 교환함으로써 전력의 효율성을 높이는 전력망 관리 기술이다[8]. 최근에는 유지보수 및 설치가 용이한 태양광 발전시스템에 대한 적용이 늘고 있다. 그러나 태양광 발전 시스템은 고장 진단이 어려우며, PV(Photovoltaics) 어레이 및 인버터(Inverter) 등의 결함과 기타 잠재적인 출력 저하 요소로 인하여 발전량이 감소하기도 한다[9]. 이처럼 태양광 발전 시스템을 통하여 안정적인 에너지 관리 및 조속한 고장 검출이 필수 요구사항이라 할 수 있다. 본 논문에서는 태양광 발전 시스템을 대상으로 각각의 모듈에 태양광 최적기를 부착하고 각 모듈에서 최고의 효율로 발전하도록 태양광 최적기를 설계하였으며 각각의 최적기에 전력 생산량 및 이상 동작 현상을 모니터링하고 특정 태양광 모듈의 고장 위치를 추적하여 태양광 발전이용률을 향상시키고자 한다. 이를 위해 유무선 통신 방식을 제안하고자 한다. 이것을 구현하기 위해 유선 통신으로는 RS485통신을 사용하고 무선 통신으로는 지그비(Zigbee)통신을 통해 각각의 모듈의 상태를 실시간적으로 모니터링하고자 한다. 유무선의 장점을 이용할 수 있으며 아울러 통신 이중화를 꾀할 수 있는 장점을 제안 하고자 한다.

2. 태양광 패널 최적기(solar panel optimizer)

기존의 태양광 발전 시스템은 Fig 1과 같이 다수의 태양전지 패널이 직렬 또는 병렬로 연결되어 인버터에 입력되고 인버터 내부에 있는 최대전력 추종기로 에너지를 변환하여 전력계통에 에너지를 공급한다. 즉, 하나의 인버터에서 최대전력 추종(MPPT) 방식으로 태양 전지 패널에서 에너지를 공급받는다. 만약 하나의 패널이 고장 나거나 심한 그림자가 발생한 경우에는 전체적인 에너지 변환 효율이 떨어지는 단점을 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig 2와 같이 각각의 태양전지 패널에 최적기(Optimizer)를 부착하여 각각 패널에서 개별 MPPT 제어를 통해 에너지 변환 효율 및 MPPT 효율을 극대화하여 전체적인 에너지 변환 효율을 높이고자 한다.

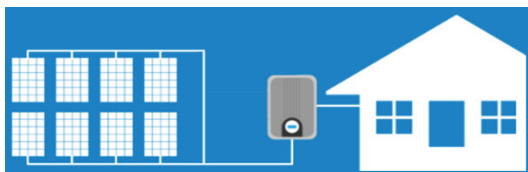


Fig. 1. Conventional solar inverter system.

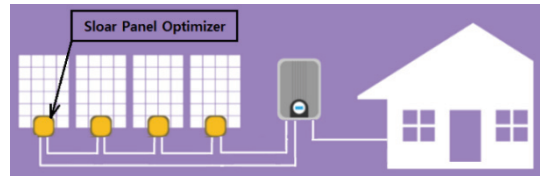


Fig. 2. Solar inverter system using solar optimizer.

Fig 2와 같은 제안된 태양광 패널 최적기를 구성하기 위하여 Fig 3과 같이 에너지 변환 회로를 구성하였다.

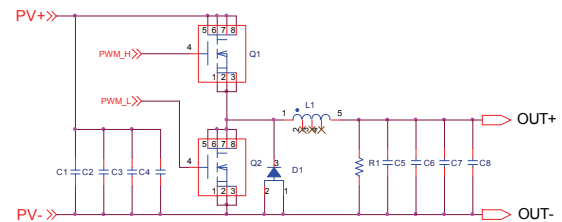


Fig. 3. Schematic diagram for solar panel optimizer.

Fig 3에서 주요 스위칭(Pulse width modulation) 소자인 Q1과 Q 2는 인피니온사의 MOSFET으로서 정격 60V/19A를 사용하였으며, 인덕터 L1은 5.3uH, 다이오드 D1은 60V/4A의 듀얼 다이오드를 사용하였다. 무부하시 전압 안정화를 위해 R1은 15KΩ을 사용하였고 C1~C8는 고신뢰성 10uF/50V 세라믹 커패시터를 사용하였다. 에너지 변환을 위한 마이크로 프로세서로는 32비트 RISC 프로세서(48MHz)를 적용하였으며 시리얼 통신을 위한 USART가 2채널 내장되어 있고 12비트 ADC가 내장되어 있다. 이러한 ADC를 통해 솔라패널의 전압과 전류를 측정하여 승압회로 및 강압회로를 구성 하게 된다. Fig. 4는 최적기에 흐르는 전류계측 회로를 나타내고 있으며 DC 15A에서 DC 5V가 출력되고 이 전압이 ADC에 입력되어 최대 전력 추종기(MPPT)의 전력계측 알고리즘에 이용된다. 태양광 패널의 최대 전력 발생을 위한 태양광 패널 최적기의 최대 출력전력은 350W이고 MPPT 동작 범위는 DC 10V~48V로 설계되었다.

3. 태양광 패널 최적기의 유선 및 무선 통신

태양광 패널의 유선 통신시스템을 구성하기 위하여 Fig 4와 같이 RS485회로를 구성하였다.

산업현장에서 널리 사용되고 있는 RS485 통신방식은 멀티 드롭(Multi-drop) 통신방식을 취하고 있으며 송신 32대, 수신 32대로 반 이중 통신 방식을 사용하고 있으며 차동회로를 구성하고 있기 때문에 높은 신뢰성을 확보하고 있으며 1.2KM까지 원거리 통신이 가능하다[10]. 본 논문

에서는 Fig. 4와 같이 TTL신호를 RS485신호로 변환해주는 DS75176BM을 사용하여 통신회로를 구성하였고 R32, R34는 RS485_EN신호가 Low일 때 각각 폴업과 폴다운을 통해 안정적인 신호를 확보 하였다. 이제 무선 통신 시스템 구성을 위해 Fig. 5와 같은 지그비 스택을 갖는 무선통신 시스템을 구축하였다. Zigbee는 먼저 중계기(Coordinator)가 통신을 시작해야 한다. 이때 중계기는 자신이 사용할 채널이 다른 디바이스들이 사용하고 있는지, 혹은 무선랜이 존재하는지를 검색한다. 만약 다른 Zigbee 디바이스들이나 무선랜 등이 존재하여 충돌이 예상된다면 가장 좋은 채널을 선택하여 통신을 시작하게 된다[11].

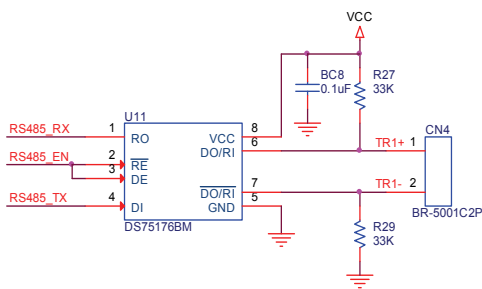


Fig. 4. Schematic diagram for RS485.

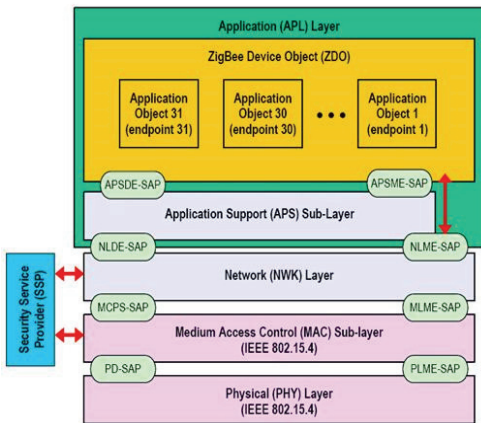


Fig. 5. Zigbee stack architecture.

지그비(Zigbee)는 IEEE 802.15.4 표준의 PHY 층과 MAC 층을 기반으로 상위 프로토콜과 응용을 규격화한 기술로 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서 네트워크의 대표적 기술이다. 근거리에서 속도가 크게 빠르지 않고 네트워크 사용 빈도가 드문 시스템의 구축에 가장 적합한 시스템이다. 본 논문에서 사용한 XBEE_PRO 무선 모듈에 대한 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of Zigbee module

항 목	사 양
입력전압	DC 3.3 ~ 5V
소비전류	500mA max.
통신거리	약 20~30m
동작 주파수	ISM 2.4GHz
전송파워출력	10mW이내(10dBm)
내부 RTC전원	CR2032(DC3V)

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 태양광 패널의 최적기 설계와 이에 대한 유선 및 무선 통신 시스템에 대한 전체적인 실험 구성도는 Fig 6과 같다.

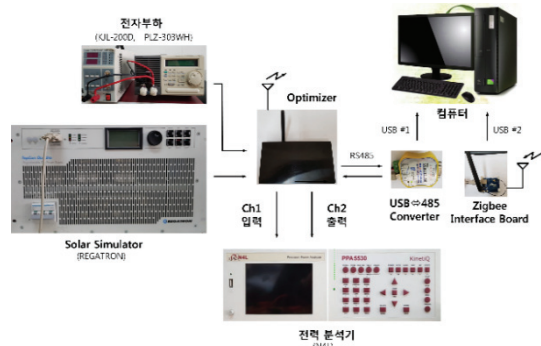


Fig. 6. Configuration diagram for the experiment.

Fig.6에서 Optimizer에 대한 프로토타입은 Fig.7과 같다.

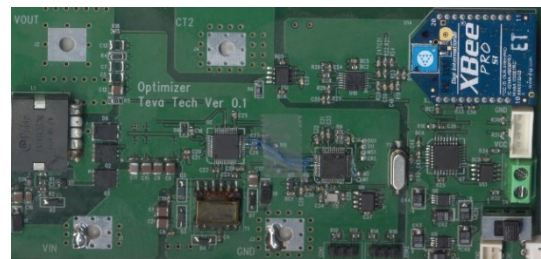


Fig. 7. Proto type of solar panel optimize.

태양전지 어레이는 비선형적 출력 특성을 가지고 있으며, 온도와 일사량 등 주위 환경에 따라 출력량이 변하고 특정 전압에서의 최대 전력 추종 제어라고 한다[9]. 따라서 태양광 인버터는 높은 변환효율을 얻기 위해 항상 MPP점에서 발전할 수 있도록 최대 출력 점 추종 제어(MPPT)를 하게 되며 이에 대한 실험결과는 Fig. 8과 같다.

Fig 8을 보면 MPPT전압이 40.5V이고 MPP 전력은 224W, MPP 효율은 99.66%를 보여주고 있다.

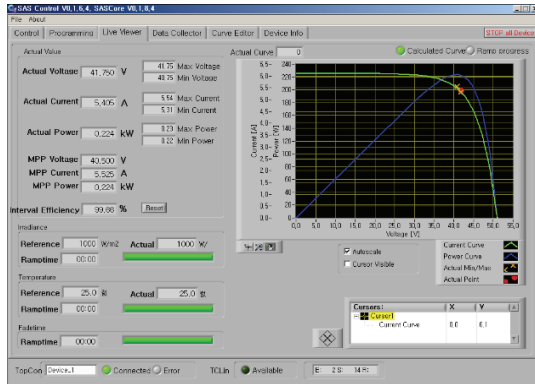


Fig. 8. Experimental result of MPPT.

태양전지 패널과 유사한 특성을 갖는 레가트론(Regatron)사의 태양광 시뮬레이터 TopCon Quadro과 태양광 시뮬레이터 프로그램 SAS Control을 이용하여 일사량을 변동하여 입력전압을 주고 Kikusui사의 최대 300W 출력의 전자 부하 PLZ303WH를 사용하여 태양광 패널 최적기의 부하로 사용하였으며 Newtons4th Ltd(N4L)사의 전력 분석기 PPA5500를 이용하여 효율을 측정하였다. 이에 대한 실험결과를 Fig.9와 같다.

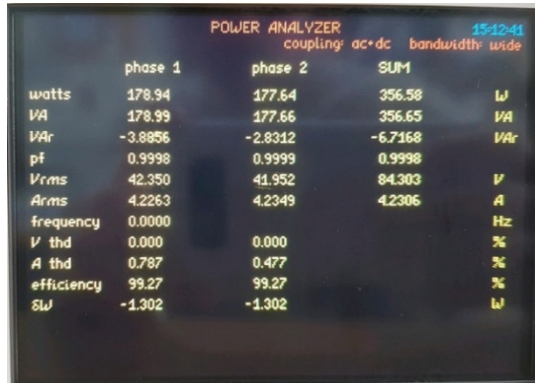


Fig. 9. Experimental result of power analysis.

Fig 9에서 알 수 있듯이 태양전지 패널 최적기(Optimizer)의 에너지 변환 효율이 99.27%로 높은 에너지 변환 효율 특성을 보여주고 있다. 이제 유선통신 방식을 구현하기 위해 RS485 통신시스템을 구성하였다. 통신 속도는 38400 bps로 하였고 데이터 8비트 1 스톱 비트(Stop bit) 패리티 없음(No parity)으로 각각 설정하였다. 이에 대한 실험결과 파형은 Fig 10과 같다.

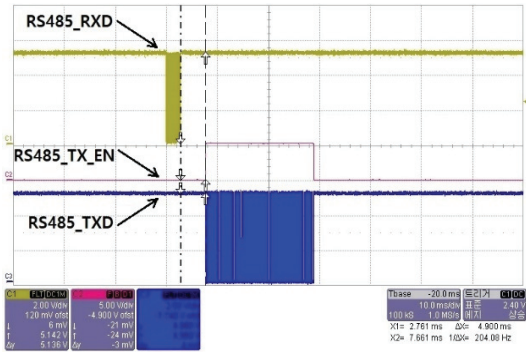


Fig. 10. Transmit and receive waveforms for RS485.

Fig 10을 통해 알 수 있듯이 상단에 있는 Ch1은 마스터 (Master)에서 보낸 데이터를 수신하고 약 4.9msec 이후에 슬레이브(Slave)가 Ch2의 송신 허가가 High인 구간에서 송신 데이터를 전송하고 있음을 알 수 있다. 이때 송수신 통신 주기는 100msec이고 수신된 데이터는 Fig 11과 같다.

COM CLOSE	SCREEN CLEAR	RECEIVE VIEW	OPTION	EXIT				
1	2	3	4	5	6	7	8	Transmit Data View
[3]	Vin = 42.35[V],	Vout = 41.95 [V],	Iin = 04.26 [A],	Iout = 04.23 [A]				
[3]	Vin = 42.34[V],	Vout = 41.94 [V],	Iin = 04.25 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.33[V],	Vout = 41.93 [V],	Iin = 04.24 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.32[V],	Vout = 41.92 [V],	Iin = 04.23 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.31[V],	Vout = 41.91 [V],	Iin = 04.22 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.30[V],	Vout = 41.90 [V],	Iin = 04.21 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.29[V],	Vout = 41.89 [V],	Iin = 04.20 [A],	Iout = 04.22 [A]				
[3]	Vin = 42.28[V],	Vout = 41.88 [V],	Iin = 04.19 [A],	Iout = 04.21 [A]				
[3]	Vin = 42.27[V],	Vout = 41.87 [V],	Iin = 04.18 [A],	Iout = 04.21 [A]				
[3]	Vin = 42.26[V],	Vout = 41.86 [V],	Iin = 04.17 [A],	Iout = 04.21 [A]				

Fig. 11. Received data for RS485.

Fig 11에서 왼쪽에 표시된 [3]은 최적기의 국번(Station)을 나타내고 Vin과 Vout은 각각 최적기의 입력과 출력전압을 나타내며 Iin과 Iout은 입력과 출력 전류를 각각 나타내고 있다.

마지막으로 태양광 패널의 최적에 구현된 무선통신 방식 가운데 산업용으로 널리 사용되고 있는 지그비 통신에 대한 송수신 실험결과 파형은 Fig 12와 같다. 지그비 통신 속도는 9600bps이고 데이터 8비트 스톱 비트 1비트, 그리고 패리티 없음을 각각 설정하여 실험한 결과이다. 지그비 통신은 1:1 통신 방식을 사용하므로 멀티 드롭을 위한 송신 허가(TX_EN)는 없다.

Fig 12를 보면 마스터에서 데이터를 요청하고 최적기가 데이터를 보내는 데까지 송신 시간이 약 99.7msec임을 알 수 있다. 이러한 응답시간을 줄이는 방법은 통신 속도를 높이면 가능하나 무선 통신의 신뢰성을 높이기 위해서는 9600bps가 적합함을 실험을 통해 확인하였다. 지그비 무선 통신을 통해 최적기로부터 수신된 데이터는 Fig 13과 같다.

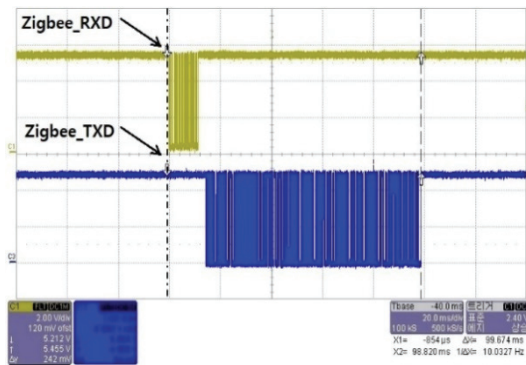


Fig. 12. Transmit and receive waveforms for Zigbee.

COM CLOSE	SCREEN CLEAR	RECEIVE VIEW	OPTION	EXIT	
1	2	3	4	5	6
Transmit Data View					
[3]	Vin = 42.35 [V]	Vout = 41.95 [V]	Iin = 04.23 [A]	Iout = 04.22 [A]	
[3]	Vin = 42.30 [V]	Vout = 41.90 [V]	Iin = 04.21 [A]	Iout = 04.20 [A]	
[3]	Vin = 42.25 [V]	Vout = 41.85 [V]	Iin = 04.19 [A]	Iout = 04.18 [A]	
[3]	Vin = 42.20 [V]	Vout = 41.80 [V]	Iin = 04.17 [A]	Iout = 04.16 [A]	
[3]	Vin = 42.15 [V]	Vout = 41.75 [V]	Iin = 04.15 [A]	Iout = 04.14 [A]	
[3]	Vin = 42.10 [V]	Vout = 41.70 [V]	Iin = 04.13 [A]	Iout = 04.12 [A]	
[3]	Vin = 42.05 [V]	Vout = 41.65 [V]	Iin = 04.11 [A]	Iout = 04.10 [A]	
[3]	Vin = 42.00 [V]	Vout = 41.60 [V]	Iin = 04.09 [A]	Iout = 04.08 [A]	
[3]	Vin = 41.95 [V]	Vout = 41.55 [V]	Iin = 04.07 [A]	Iout = 04.06 [A]	
[3]	Vin = 41.90 [V]	Vout = 41.50 [V]	Iin = 04.05 [A]	Iout = 04.04 [A]	

PORT : COM3, 9600, 8, 1, NONE Display Format : ASC New Line Char : OFF Echo : OFF

Fig. 13. Received data of Zigbee.

Fig 13에서 수신된 데이터는 100msec마다 마스터로부터 요청한 수신 데이터이며 송수신 에러없이 정상적으로 데이터가 무선으로 송신과 수신됨을 실험을 통해 확인 하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전 시스템을 대상으로 각각의 태양광 패널에 태양광 최적기를 부착하고 각각의 패널에서 최고의 효율로 발전하도록 태양광 최적기를 설계하였으며 최적기의 전압, 전류, 전력 생산량 및 이상 동작 현상을 유선과 무선 통신을 이용해 모니터링하고 특정 태양광 모듈의 고장 위치를 추적하여 태양광 발전시스템의 이용률을 향상 시키는 방법을 제안하였다. 이를 위해 각각의 태양광 패널에 승압(Boost)과 강압(Buck)의 기능을 가지면서 최대 전력을 공급할 수 있는 MPPT 최적기(Optimizer)를 구현하여 최고 에너지 변환 효율이 99.27%임을 실험을 통해 확인하였다. 또한 MPPT효율이 99.66%로 우수한 태양광 패널의 최적기가 설계되었음을 확인하였다. 아울러 4차 산업혁명에 이슈화되고 있는 태양광 발전 시스템에 유선과 무선 통신 방식을 구현하였다. 유선 통신은 산업현장에 널리 사용되는 있는 RS485통신을 구현하였고 또한 무선 통신으로는 Zigbee 통신으로 태양광 최

적기의 네트워크 시스템을 구현하였다. 그동안 문제시 되었던 태양광 패널의 고장 유무 판단과 유지보수에 편리성을 제시 하였고 사물간 통신시스템의 유연성을 한층 높였고 통신 이중화의 가능성도 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 (2018-2019)학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음

참고문헌

1. J. P. Lyons, V. Vlatkovic, "Power electronics and alternative energy generation," Proceedings of PESC 04, pp. 16-21, 2004.
2. Jung Man Hong, "A Study on the New and Renewable Energy Evaluation Items of Private Enterprise Applying AHP Technique," Energy Economics Research, Vol. 10, No. 1, pp 115-116, 2011.
3. Seung Kyu Ock, Oh Yang, "A Study on the New MPPT Control Method for Grid-connected PV Generation System," Korea Information Technology Society, Vol. 10, No. 2, pp. 28-35, 2012.
4. Jung-Min Kwon, Kwang-Hee Nam, Bong-Hwan Kwon, "Photovoltaic Power Conditioning System With Line Connection," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 4, pp. 1048-1054, 2006.
5. Jeong Gyu Kim, Oh Yang, "Design of DC PTIMIZER for Maximum Power Generation System of Solar Panel", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 17, No. 3, pp. 40-44, 2018.
6. Hiren Patel, Vivek Agarwal, "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 4, pp. 1689-1698, 2008.
7. W. S. Han, H. S. Kim, B. S. Choi, D. K. Oh, "Trends of the Next-Generation Solar Cell Technology," Electronics and telecommunications trends, Vol. 22, No. 107, pp. 86-94, 2007.
8. Gwan-Hyung Kim, "The intelligent solar power monitoring system based on Smart Phone," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 1949-1954, 2016.
9. Hyun Cheol Cho, Kwang Yeal Sim, "A Development of Smart Monitoring Technique for Photovoltaic Power Systems," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 64P, No. 2, pp. 50-56, 2015.

-
10. Min-wook Kim, Hun-seok Lee, Jin-seok Oh, "Development of a Monitoring System for a Pipe Cleaning Robot with RS-485," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 20, No. 5, pp. 923-930, 2016. Korean Institute of Information Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 94-99, 2012.
-
11. Hyun-Woo Je, Oh Yang, "Remote Monitoring System of Photovoltaic Inverter using Zigbee communication," 접수일: 2019년 6월 7일, 심사일: 2019년 6월 15일, 게재확정일: 2019년 6월 18일