

스마트폰 기반의 지능형 태양광 전력적산 모니터링 시스템에 관한 연구

김관형*

The intelligent solar power monitoring system based on Smart Phone

Gwan-Hyung Kim*

Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

요 약

스마트 그리드(smart grid) 기술은 전력 공급자와 소비자 사이를 실시간으로 전력정보를 교환함으로써 전력의 효율성을 높이는 전력망 관리 기술이다. 최근에는 유지보수 및 설치가 용이한 태양광 발전시스템에 대한 적용이 늘고 있다. 그러나 태양광 발전 시스템은 고장진단이 어려우며, PV(PhotoVoltaics) 어레이 및 인버터(inverter) 등의 결함과 기타 잠재적인 출력저하 요소로 인하여 발전량이 감소하기도 한다. 이처럼 태양광 발전 시스템을 통하여 안정적인 에너지 포집과 관리 및 조속한 고장 검출이 필수 요구사항이라 할 수 있다. 본 논문에서는 태양광 발전 시스템을 대상으로 전력 생산량 및 이상 동작 현상을 모니터링하고 외부 환경을 계측하는 계측모듈을 개발하고, 계측된 정보 데이터를 전송할 수 있는 통신모듈을 통하여 원격지에서 태양광 발전 시스템의 동작 상태를 모니터링 하도록 설계하였다. 또한 스마트폰을 기반으로 구축된 태양광 발전 시스템을 실시간으로 관리하고 모니터링 할 수 있는 모바일 관리 시스템을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Smart grid technology can be called grid techniques to improve the efficiency of the electric power by exchanging bidirectional information of electric power with real-time between electric power suppliers and consumers. Recently, the solar power generation system is being applied actively. However the solar power system has several problems leading to reduce overall electricity generation, because the difficult of the diagnosis and the solar power system failure such as PV(PhotoVoltaics) and inverter. In order to build an efficient smart grid, a stable electric power energy requirements capture and management and early fault detection is essentially required in solar power generation system. In this paper, it is designed to monitor the operating status of the solar power monitoring system from a remote location through a RS-485 or TCP/IP communication module to monitoring the output of solar power energy and abnormal phenomenon, to developing the measurement module and to transfer measured data.

키워드 : 모니터링, 스마트 그리드, 스마트폰, 태양광 발전시스템, 태양광 패널

Key word : Monitoring, Smart grid, Smart Phones, Solar power system, PV(PhotoVoltaics)

Received 11 September 2016, Revised 19 September 2016, Accepted 26 September 2016

* Corresponding Author Gwan-Hyung Kim(E-mail:taichiboy1@gmail.com, Tel:+82-51-629-1182)

Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.10.1949>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

현재 국내외적으로 지구온난화 및 자원고갈로 인하여 친환경 대체에너지에 대한 관심이 증가하고 있는 한편, 노후화된 전력망에 따른 송·배전 과정에서의 전력 손실 및 품질 하향으로 전력 생산과 소비 간의 불균형이 심화되면서 에너지 효율성이 낮아지는 원인을 제공하고 있다. 이로 인해 최근 신재생에너지 산업 분야에서는 ICT(Information & Communication Technology) 기술력을 접목하여 전력 공급자와 소비자 간에 양방향 실시간으로 지능형 전력정보를 교환함으로써 전력망의 효율성을 높이는 스마트 그리드 산업이 확산되고 있다.

우리나라의 경우에는 에너지 고소비 산업의 비중이 높고 화석연료에 대한 의존율이 높지만 석탄·석유는 대부분 해외에서 수입하고 있는 형국이기 때문에 화석에너지 고갈에 따른 대체 에너지원 확보와 소비절감을 위해 스마트 그리드를 도입하고 있으며 그 중 태양광 발전시스템은 환경오염에 대한 우려가 적고 유지보수 및 설치의 용이성으로 인해 스마트 그리드의 적용이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 태양광 발전 시스템의 특성상 고장에 대한 진단이 어려우며 PV 어레이(PhotoVoltaics array) 및 인버터(inverter) 등의 시스템 결합과 조류의 분비물이나 먼지, 젖은 낙엽과 같은 오염물질이 쌓이거나 순간적인 구름 가림 현상, 기타 잠재적인 출력저하 요소 등으로 인한 고장 및 출력저하로 전체적인 발전량이 약 18% 감소된다. 이처럼 태양광이나 풍력과 같은 재생에너지는 자연 상태에 따라 발전량 변동이 크기 때문에 효율적인 스마트 그리드를 구축하기 위해서는 안정적인 에너지 포집 및 관리뿐만 아니라 조속한 고장 검출이 필수적으로 요구된다[1-3].

본 논문에서는 태양광 발전 시스템을 통해 발생하는 전력을 계측하여 생산된 전력을 실시간으로 관리 및 모니터링하고 전력 적산을 통한 전력 생산량 예측 및 오

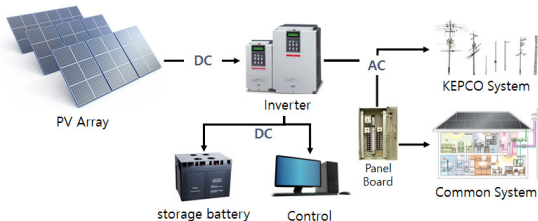


Fig. 1 The general configuration of solar power system

류 검출을 위한 전력적산 관리시스템을 구현하고자 하며 이를 통한 지능형 스마트 그리드 서비스 모델을 제안하고자 한다.

II. 본 론

2.1. 연구배경

태양광 발전시스템은 태양광을 이용하여 전력을 생산하는 발전시스템으로 PN 접합 구조를 가진 태양전지에 빛 에너지가 투입되어 전자의 이동으로 인해 전류가 흐르게 되어 빛을 전기에너지로 바꾸는 발전방식이다.

태양광 발전시스템은 그림 1과 같이 기본 소자인 PV 셀을 직·병렬로 조합하여 전압 및 전력을 공급하도록 하여 태양광 발전 시스템을 구성한다. 이러한 일반적인 태양광 발전 시스템은 그림 1과 같이 PV 어레이, 인버터, 분전반 등으로 구성되며, PV 어레이를 통해 입사된 빛 에너지로부터 직류 전력을 생성하고 인버터를 통해 생성된 직류전력을 교류전력으로 변환하여 사용한다. 또한 생성된 전력은 분전반을 통해 각각의 전기 소모품에 제공하거나 잉여 전력을 축전지를 통하여 저장하여 사용할 수 있으며, 혹은 남는 잉여전력을 다시 전력 계통으로 역송전하여 전력을 제공할 수도 있다[4].

2.2. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 태양광 발전 시스템은 기존 태양광 발전 시스템을 기반으로 하며 PV 어레이에 각종 센서 및 전력을 계측하는 스마트 계측 모듈과 인버터를 통해 변환된 전력 및 측정된 센서 정보를 서버에 전송하는 통신 브릿지 모듈로 구성된다. 계측된 전력 및 센

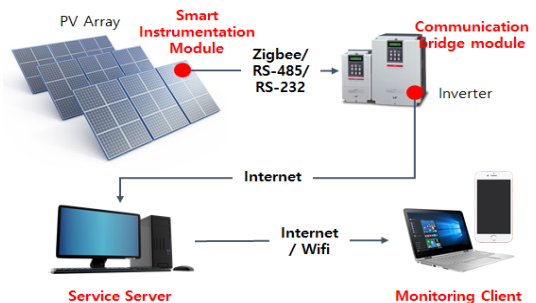


Fig. 2 The configuration of Intelligent output solar power monitoring system and remote monitoring system

서 정보를 관리/모니터링 하는 서비스 서버, 원격지에서 관리자 또는 사용자에게 태양광 발전 시스템의 실시간 정보나 고장/오류 정보를 제공하는 모니터링 클라이언트로 구성된다[5].

그림 2는 본 논문에서 제안하고 있는 지능형 태양광 전력적산 모니터링 시스템의 전체 구성도이다.

2.3. 스마트 계측 모듈

스마트 계측 모듈은 센서 계측보드로 SMPS (switching mode power supply)를 보드에 포함하여 상용전원 AC 220[V]를 사용하여 센서에 전원을 공급하였다. PV 모듈의 구성은 직렬 6개와 병렬 2개를 연결하여 PV 셀을 통해 생성되는 전력을 1개의 전류센서를 통하여 PV에 의해 발생하는 전력에 대한 전류값을 계측하였다. 센서의 구성은 일사량 센서, 온도 센서를 통하여 외부 환경을 계측하도록 하였다. 계측 데이터의 전송은 무선 통신용 Zigbee 모듈과 유선 통신용 RS-485 모듈과 모듈 디버깅용 RS-232를 지원하도록 모듈을 구성하였다. 통신모듈의 구성은 태양광 발전시스템이 설치된 환경에 따라 무선/유선을 선택하여 적용할 수 있도록 스마트 계측 모듈을 설계하였다.

2.4. 통신 브릿지 모듈

통신 브릿지 모듈은 스마트 계측 모듈을 통해 측정된 전류, 일사량, 온도 등의 계측 정보와 인버터를 통한 PV 어레이의 정보를 취합하여 TCP/IP 통신을 통해 원격지 서비스 서버로 전송하는 모듈을 설계하였다. 이러한 통신 브릿지 모듈의 구성도는 그림 3과 같다.

2.5. 서비스 서버

서비스 서버는 계측된 전력 및 환경 정보를 관리/모니터링하고 PV 어레이의 오류 및 고장 정보를 검출하는 역할로 서비스 서버의 소프트웨어 모듈의 구성도는

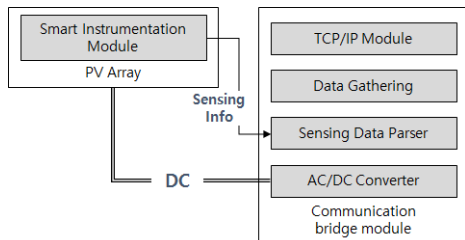


Fig. 3 The configuration of communication bridge module

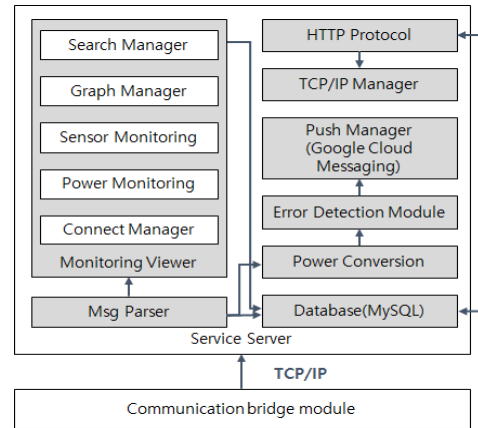


Fig. 4 The configuration of service server S/W Module

그림 4와 같다. TCP/IP를 통해 전송된 정보를 수신하면 해당 메시지를 파싱하여 센싱/전력 정보를 추출하고 데이터베이스에 저장함과 동시에 모니터링 뷰어를 통해 출력한다. 모니터링 뷰어에서는 정보의 타입에 따라 센서/인버터 등의 연결 상태와 측정된 전력량, 설치된 PV 어레이의 외부환경 정보(온도, 일사량 등)를 그래프 및 수치를 통한 모니터링하고 조회를 통해 적산 및 측정된 전력 정보를 년/월/일 단위로 제공한다. 또한 센싱/전력 정보를 기반으로 오류/고장 검출 모듈을 통해 전력 생산량을 환산하여 태양광 시스템의 이상여부를 확인하며 이상 발생 시 GCM(Google Cloud Messaging)을 통해 관리자 또는 사용자에게 해당 정보를 푸시 메시지로 전송한다.

2.6 모니터링 클라이언트

모니터링 클라이언트는 스마트폰 기반의 응용 애플리케이션으로 TCP/IP를 통해 서비스 서버로 모니터링

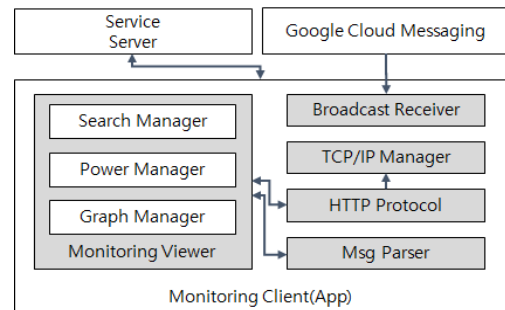


Fig. 5 The configuration of monitoring client S/W Module

및 조회 정보를 요청하고 해당 요청에 대한 센싱/전력 정보를 그래프 또는 텍스트로 출력한다. 또한 오류/고장 정보의 경우 브로드캐스트를 통해 GCM 서버로부터 메시지를 받아 출력한다. 모니터링 클라이언트의 소프트웨어 모듈 구성은 그림 5와 같다.

III. 시스템 구현 및 테스트

3.1. 시스템 모니터링 구현

본 논문에서 제안하는 지능형 태양광 전력적산 모니터링 시스템은 PV 어레이에서 계측된 정보와 인버터를 통하여 계측된 데이터를 원격에서 데이터를 관리하도록 시스템을 구성한다.

그림 6의 (a)와 같이 직렬 6개와 병렬 2개로 연결된 PV 어레이를 제시하였다. 전류 센서를 포함하는 PV 모듈 2개를 병렬로 연결하여 PV 어레이를 구성하였으며 일사량/온도 센스를 포함하는 스마트 계측 보드를 연동하였다.

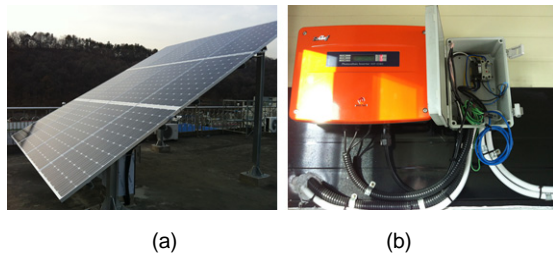


Fig. 6 PV array and inverter

그림 6의 (b)는 PV 어레이로부터 생성된 직류 전력을 교류 전력으로 변환하기 위한 Dasstech사의 인버터에 서비스 서버에 계측정보를 전송하기 위한 통신 브릿지 모듈을 연동한 것으로 10분 간격으로 유선통신 기반의 RS-485를 통해 계측 모듈로부터 정보를 수신하도록 개발하였다. 태양광 발전시스템의 전체적인 계측 데이터를 전송하기 위하여 정의한 통신 프로토콜에 따라 메시지를 생성하여 TCP/IP를 통해 서버로 전송하도록 구현하였다.

서비스 서버는 Windows 8.1 기반의 .Net을 사용하여 구현하였다. 그림 7은 통신 브릿지 모듈로부터 수신한 계측정보를 서비스 서버에서 모니터링하는 화면

을 제시하였다. 서비스 서버 시스템의 고유 ID를 통해 해당 PV 어레이의 모니터링을 시작하며 실시간으로 스마트 계측 모듈과 통신 브릿지 모듈의 연결 상태 및 현재 생성된 전력량, 현재 전력 적산량, 전체 전력 적산량을 수치 및 그래프를 통해 관리 할 수 있도록 개발하였다.

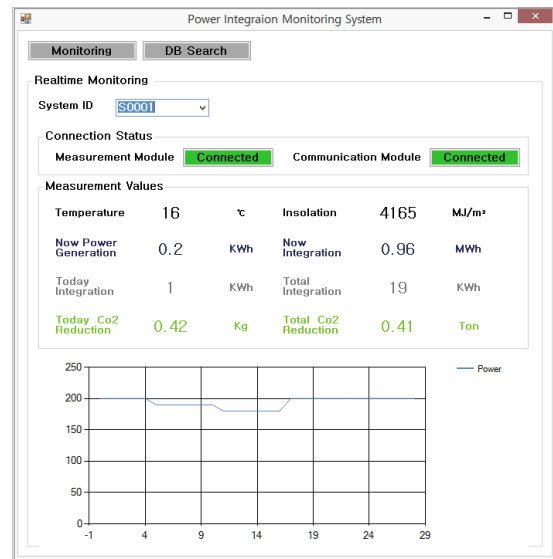


Fig. 7 PV system monitoring in service server environments

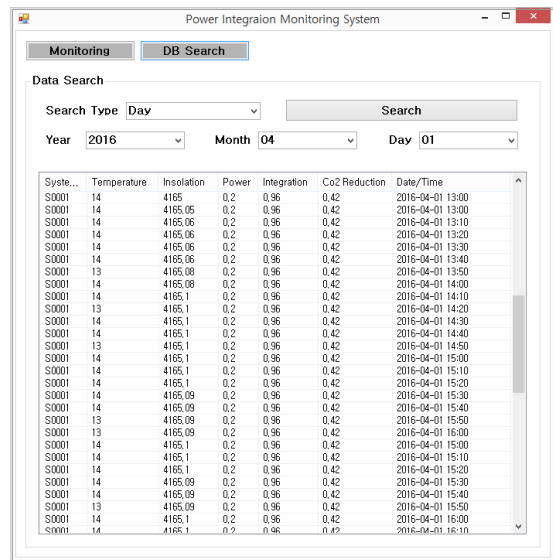


Fig. 8 Power Data Query

그림 8은 서비스 서버의 저장된 데이터를 조회한 화면으로 조회 타입(년, 월, 일)에 따라 데이터베이스를 조회하여 고유 ID, 온도, 일사량, 생산 전력, 적산량 등의 정보를 리스트로 출력하도록 구현하였다. 조회된 결과를 그림 8에 제시하였다.

그림 9는 모니터링 클라이언트 화면으로 안드로이드 기반의 응용 애플리케이션으로 구현하였다. 구성 및 기능은 서비스 서버와 동일하며 앱(App.)을 시작하면 TCP/IP를 통해 서버에 접속한다. 서버와 스마트폰 상의 앱과의 통신은 설계된 프로토콜을 통해 서버로 필요한 정보를 요청한다. 서버는 요청한 정보에 대하여 응답하도록 구현하였다. 이러한 기능을 그림 9에 제시하였다.

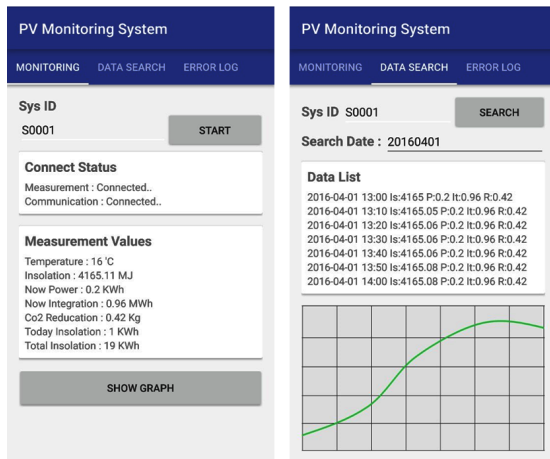


Fig. 9 The monitoring screen of client service program

3.2. 오류 및 고장 검출 구현

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 오류 및 고장으로 인한 출력저하를 방지하고 조속한 처리를 위해 일사량 센서로부터 측정된 데이터를 기반으로 오류/고장 검출 기능을 구현하였다.

$$1MJ/m^2 = 10^3/3600KWh/m^2 \quad (1)$$

일사량은 단위면적이 단위시간에 받는 일사에너지의 양으로 식 (1)과 같이 일사량 단위 환산을 통해 생성되는 전력을 확인할 수 있다. 서비스 서버에서는 태양광 모니터링 시 PV 어레이에 부착된 일사량 센서를 통해 실시간으로 대략적인 생산 전력을 추정하게 되고 일

사량에 따른 추정 전력과 전력 센서로 부터 계측된 전력을 비교하여 PV 어레이의 오류 및 고장을 검출하도록 하였으며 오류/고장 발생 시 오류 다이얼로그를 출력하고 오류가 발생한 PV 어레이, 발생한 위치, 발생원인 등을 추정하여 정보를 제공하도록 구현하였다.

본 논문에서는 오류 및 고장 검출 기능의 테스트를 위해 임의로 설치된 PV 어레이의 하나의 셀에 가림막을 부착하여 실험을 진행하였다.

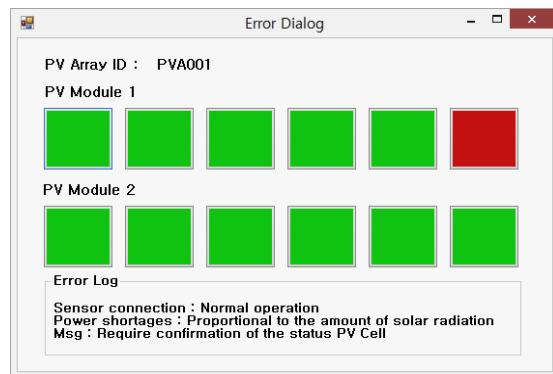


Fig. 10 Error and fault detection test

그림 10은 구현된 오류 및 고장 검출 기능의 구동 화면으로 테스트 결과, 가림막으로 인해 일사량에 비해 수신된 전력량이 낮아짐에 따라 오류가 발생하였고 센서 연결 확인 및 원인 분석을 통해 추정된 오류 및 고장에 대한 정보를 출력하는 것을 확인할 수 있다.

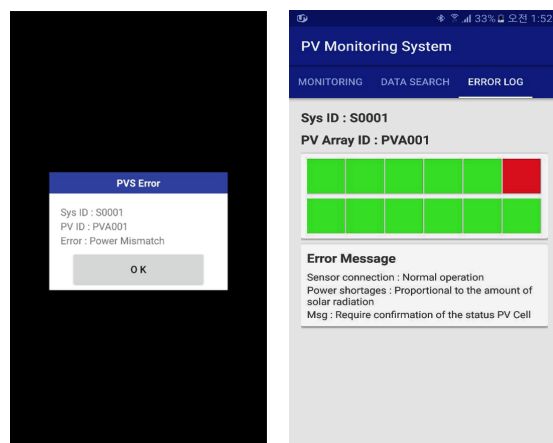


Fig. 11 The output of error message on the smart phones

서비스 서버에서는 오류 발생 시 등록된 관리자 또는 사용자에게 푸시 메시지를 통해 즉각적으로 오류 정보를 전송하도록 구현하였다.

그림 11은 모니터링 클라이언트가 받은 푸시 메시지 및 전송받은 오류 정보를 출력한 화면이다.

ACKNOWLEDGMENTS

“This Research was supported by the Tongmyong University Research Grants (2014A004)”

IV. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전 시스템을 대상으로 효율적인 스마트 그리드를 위하여 스마트폰 앱을 기반으로 지능형 태양광 전력적산 모니터링 시스템을 구현하였다. 본 관리시스템은 스마트 계측 모듈을 통해 PV 어레이에서 생산된 전력 및 외부 환경 계측 정보를 브릿지 모듈을 통해 서버로 전송하고 원격에서 모니터링 함에 따라 실시간으로 관리자 또는 사용자에게 발전량과 태양광 발전시스템의 상태를 제공하도록 구현하였다.

본 논문에서 구현한 태양광 관리시스템은 태양광 발전시스템의 오류 및 고장 검출 기능을 통하여 태양광 발전시스템의 결함 해결 방안을 통하여 보다 안정적인 에너지 포집 및 관리 서비스를 제공할 수 있으므로 유지보수 및 기타 관련 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

REFERENCES

- [1] K. H. Kim and J. Y. Kim, “The Optimal Design and Economic Evaluation of a Stand-Alone RES Energy System for Residential, Agricultural and Commercial Sectors,” *Korean Chemical Engineering Research*, vol. 54, no. 4, pp.470-478, Aug. 2016.
- [2] K. S. Lee, “A Study on the Photovoltaic System Inverter Sizing,” *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 5, pp.804-810, Apr. 2016.
- [3] G. B. Lee, “A Study on the Economic Evaluation of Photovoltaic System,” *Journal of Industrial science researches*, vol. 28, no. 1, pp.147-152, Aug. 2010.
- [4] S. K. Firth, K. J. Lomas, and S. J. Rees, “A simple model of PV system performance and its use in fault detection,” *Solar Energy*, vol. 84, no. 4, pp.624-635, Jun. 2010.
- [5] G. H. Kim, “Designed of Intelligent Solar Tracking System using Fuzzy State-Space Partitioning Method,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 15, no. 10, pp.2072-2078, Oct. 2011.



김관형(Gwan-Hyung Kim)

2001년 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사
2000년~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 전임강사
※관심분야 : 최적제어, 인공지능, 신호처리