

# 그린에너지 자립섬을 위한 계통 독립형 마이크로그리드 모니터링 시스템 설계 및 구현

송화정\* · 박경욱\*\* · 김응곤\*\*\*

## Design and Implementation of Stand-alone Microgrid Monitoring System for Green Energy Independence Island

Hwa-Jung Song\* · Kyoung-Wook Park\*\* · Eung-Kon Kim\*\*\*

### 요약

국내 섬지역의 전력 공급은 계통 연계가 어려워 일반적으로 디젤 발전기에 의존하고 있어 관리 비용이 매우 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 계통 독립형 마이크로그리드 기술에 대한 연구 및 실증이 활발히 진행 중이다. 본 논문은 에너지 자립섬을 위한 계통 독립형 마이크로그리드 통합 모니터링 시스템을 제안한다. 먼저 태양광, 풍력, 디젤 발전설비, 송·배전망의 상태 및 부하, 그리고 에너지 저장 시스템의 모니터링을 위한 소프트웨어 시스템 아키텍처를 설계한 후 관리자가 쉽게 파악할 수 있는 모니터링 소프트웨어를 구현한다. 구현된 모니터링 소프트웨어는 발전설비의 상태 및 오류를 실시간으로 시각화함으로써 관리자의 신속한 의사 결정이 가능하다.

### ABSTRACT

In domestic island regions, the power supply generally depends on diesel generators due to difficulties of grid connection. To solve this issue, recently, the study on the stand-alone microgrid technology and its test are being actively conducted. In this paper, we propose the stand-alone microgrid integration monitoring system for energy independence island. First, we design the software architecture for monitoring of solar, wind, diesel power generation facilities, transmission and distribution of grid network, and energy storage system. Then, we implement the monitoring software that allows administrators to identify and run the monitoring software easily.

### 키워드

Energy Independence Island, Microgrid, Monitoring system, Stand-alone, Renewable Energy  
에너지 자립섬, 마이크로 그리드, 모니터링 시스템, 계통 독립, 신재생 에너지

### 1. 서론

섬은 좁은 국토를 키우는 통로이자 신생자원의 보고로써, 에너지 자원을 찾기 위한 치열한 세계 경쟁이

진행 중이다. 우리나라의 섬은 2010년 1월 공식집계로 제시한 섬 총수는 3,358개이다. 이중 무인도서는 2,876개로 전체 섬의 85.65%를 차지한다. 행정안전부가 전국 지자체를 중심으로 내부적으로 잠정 집계한 개수

\* 순천대학교 컴퓨터학과(surin9830@hanmail.net)

\*\* 전남대학교 문화콘텐츠학부(zergadiss73@chonnam.ac.kr)

\*\*\* 교신저자(corresponding author) : 순천대학교 컴퓨터학과 교수(kek@sunchon.ac.kr)

접수일자 : 2015. 03. 09

심사(수정)일자 : 2015. 04. 13

게재확정일자 : 2015. 04. 23

는 4,201개이다.

이중 전남지역의 경우 총 275개의 유인섬 중 계통 비 연계 섬은 67개로 약 24%를 차지하여 에너지 자급 대책이 절실히 필요한 상황이다. 뿐만 아니라 아프리카, 동남아시아, 땅이 넓은 선진국인 미국, 캐나다 등의 경우에도 계통에서 전력을 공급 받지 못하고 자체적으로 전력을 충당하는 많은 지역이 있다.

전력계통과 멀리 떨어진 지역일수록 계통 연계를 하기 위해서는 약 20~30억원 정도의 많은 비용이 소요되며, 설치 시 해저 전력 케이블에 의한 사고 위험과 환경오염의 문제를 야기 시키고 있다. 유인섬(울릉도)의 경우 기존의 디젤 발전설비를 이용하여 전력공급을 하고 있지만, 2014년 디젤 발전 원가는 1kWh당 500원을 넘어서고 있어, 한국전력은 200억원 적자를 기록하고 있다. 우리나라에서는 도서 지역에 계통 독립형 마이크로그리드를 구축해 나감으로써 이를 해결한다는 계획을 세웠으며, 많은 연구와 마이크로그리드 관련기술이 실증 테스트 중이다

국내 마이크로그리드기술은 AMI, Smart Meter 등 기계적인 측면에서는 선진국과 유사한 기술력을 확보하였다. 그러나 마이크로그리드 분야의 모니터링 소프트웨어는 단순히 발전량에 대한 계측된 데이터를 출력하는 수준이다. 또한 마이크로그리드 계통 독립형 통합 모니터링을 위한 아키텍처와 모니터링 시각화에 대한 연구는 미미한 상태이다. 따라서 다양한 정보를 관리자에게 쉽게 전달하기 위해 마이크로그리드 시스템에 최적화된 모니터링 시스템이 요구되고 있는 실정이다.

본 논문은 최적화된 계통 독립형 마이크로그리드 통합 모니터링 시스템을 제안한다.

## II. 본 론

### 2.1 그린에너지 자립섬

그린에너지 자립섬이란 화석연료를 사용하지 않고 신·재생 에너지(New Renewable Energy)등을 이용하여 디젤 발전을 최소화 시켜 탄소 발생을 줄인다. 태양력, 풍력, 지열, 음식물폐기물 등을 사용해 전기를 자체 생산하는 곳이기도 하다. 다시 말해 마을주민들의 자발적 절약과 필요한 에너지를 자체 생산하여 에너지 자립도가 높은 섬이라고 할 수 있다[1].

국내 섬 지역은 천혜 환경으로 인해 섬 여행자 수가 해마다 늘어나고 있는 추세이다. 2010년 섬으로 떠난 여행자는 1500만 명에 이른다. 여행객들과, 섬 주민의 생활수준의 향상으로 전기사용량은 급격히 늘어나고 있다. 하지만 섬 지역은 계통 연계형 형태의 전력공급은 많은 적자를 가져왔다. 5년이 지난 현 시점에 섬 지역의 에너지 자립은 매우 시급한 문제가 아닐 수 없다. 국내 127개 섬이 디젤 발전기에 전력공급을 의존하고 있다고 한다. 하지만 국내 수입액 중 에너지수입액은 32.6%인 195조원에 달한다. 에너지자급률이 낮아, 수출을 하면 할수록 에너지 수입액은 늘어나고 있는 현상이 발생하고 있는 것이다. 섬지역의 에너지 자급률을 높여 자원 분쟁에도 대비하고, 경제 구조도 바뀌어야 하는 필요성은 국내 뿐 아니라 전세계적으로 마이크로그리드의 연구에 박차를 가하는 원인이기도 하다.

### 2.2 마이크로그리드 시스템

그림 1은 마이크로그리드 시스템이다. 마이크로그리드란 소규모 지역에서 전력을 자급자족 할 수 있는 시스템이다. 즉 소규모 독립형 전력망으로 태양광·풍력 등 신재생 에너지원과 에너지 저장장치(ESS : Energy Storage System)가 융·복합된 차세대 전력 체계이다[2-3].

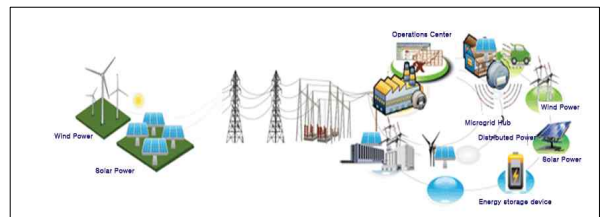


그림 1. 마이크로그리드 시스템  
Fig. 1 Microgrid system

마이크로그리드는 독립형, 계통 연계형 두가지로 나누어진다. 독립형 마이크로그리드는 대규모 그리드의 규모를 축소시킨 것과 같아 많은 기술적인 요소들이 유사하다고 할 수 있다. 하지만 기존의 발전설비뿐만 아니라 신재생 발전설비와 ESS가 전력전자시스템을 매개로 설치된다는 점에서 기존의 그리드와는 차별적이다.

반면 계통 연계형 마이크로그리드는 일반 그리드와 통합 운영되는 방식인데, 이때 마이크로그리드는 일반

그리드 계통에 대해 예측 가능한 부하로 작용 하거나 발전기로 작용할 수 있도록 설계되고 운전 된다.

대규모 전력시스템은 대형 정전사태와 더불어 많은 문제점이 대두되고 있다. 급부상하는 스마트그리드와 마이크로그리드는 전력 공급 면에서 효율성은 증명되었지만 스마트그리드는 사용하지 못한 에너지를 그대로 버려야 하는 단점을 가지고 있다[4]. 기후상황과 기상이변에 따른 부하 상승 및 기계의 에러로 인한 잦은 고장으로 마이크로그리드가 등장하였다. 마이크로그리드는 ESS를 통해 전력을 축적하여 필요시 언제든지 사용할 수 있지만 기상악화와 악천후 또는 기계의 고장 등 전력을 축적할 수 없는 상황이 생겼을 때의 문제점을 해결하지는 못한다.

본 연구와 연결된 시스템은 기존의 마이크로그리드 시스템과 날씨 또는 기계의 오동작으로 인해, 태양열, 풍력발전을 할 수 없는 비상사태 경우까지 고려하여 이미 사용된 디젤 발전기를 활용할 수 있도록 마이크로그리드와 디젤을 혼합하는 방식이다. 마이크로그리드 DB와 연동된 시스템은 사용 중인 마이크로그리드에 원료 공급만 되면 언제든지 축적 될 수 있는 디젤이나 설치되어 있는 시스템에 호환성을 부여하여 부족할 수 있는 ESS 사용을 경제적 효율성면까지 최대한 부각시키는 시스템이다.

### 2.3 상용 마이크로그리드 모니터링 시스템

그림 2는 국내외 모니터링 시각화 소프트웨어를 나 타낸다. 국내 모니터링 프로그램은 여러 화면으로 분리되어 조작의 번거로움과 웹 기반 자바 애플릿을 사용하고 있었으며, 인버터 내재로 인해 속도가 다소 느리다는 단점을 지닌다. 해외 상용 모니터링 프로그램은 많은 양의 데이터로 인해 다수의 화면이 설계되었고, 다수의 화면으로 인해 속도가 현저히 떨어진다.

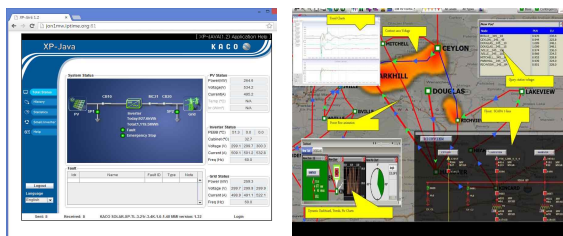


그림 2. 국내외 모니터링 소프트웨어  
Fig. 2 National and international monitoring software

그림 3은 제주 마이크로그리드 실증단지 모니터링 시스템이다. 분리된 형태의 프로그램과 다수의 관리자를 두어 발전설비를 모니터링을 수행한다.



그림 3. 제주 마이크로그리드 실증단지 모니터링 시스템  
Fig. 3 Monitoring system of Jeju microgrid actual proof area

마이크로그리드 규모에 따라 변동사항은 있겠지만 제주 특정지역의 경우 풍력 400kW, 태양광 314kW, 배터리는 3MWh를 사용한다. 인구 수 300명을 기준으로 평균전력 부하량은 100kW 정도이다. 전력 피크 시 혹은 기후의 영향으로 발전량이 적을 때 디젤 발전기를 가동해 전력 수요에 대응 한다고 한다.

본 논문은 자료 파악의 신속함과 조작의 번거로움을 줄이기 위해 화면 설계를 최소화하여 메인화면에 많은 내용을 볼 수 있도록 구성하였다. 섬지역의 특수성과 기상조건으로 인한 부분적 폐쇄성은 마이크로그리드 전문가 다수의 투입을 어렵게 한다. 구현된 모니터링 시스템은 조작이 쉬우면서도 최소한의 인원으로 모니터링 할 수 있고, 심각해지는 환경문제를 고려한 시스템이다.

### III. 계통 독립형 마이크로그리드 모니터링 시스템 설계

본 논문에서 구현 대상으로 하는 마이크로그리드 시스템 운영플랫폼은 그림 4와 같다. 외부 전원공급이 없으므로 태양광 및 풍력 발전 이외에 디젤 발전에 대한 모니터링을 수행하도록 프로그램을 구현하였다.

그림 4와 같이 구성된 마이크로그리드에서 수집된 자료는 그림 5의 마이크로그리드 DB에 저장되며 처리된다. 처리되어 과생된 방대한 비정형 데이터는 효과적인 정보처리를 위해 MySQL을 활용하여 관계형

DB로 구축하였다.

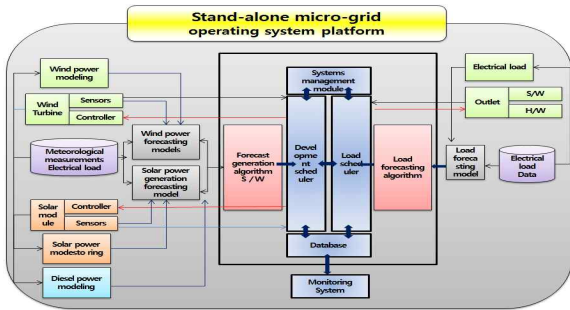


그림 4. 계통 독립형 마이크로그리드 운영 플랫폼  
Fig. 4 Operating platform of stand-alone microgrid

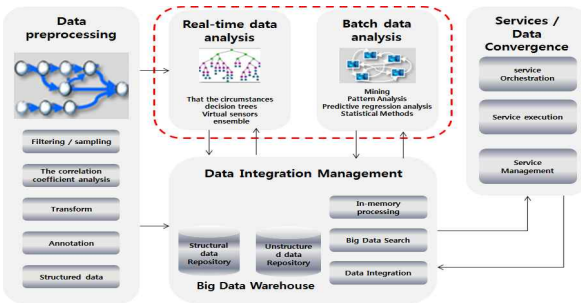


그림 5. 운영 플랫폼 데이터베이스 구조  
Fig. 5 Database structure of operating platform

그림 6의 형태로 구현된 모니터링 프로그램은 발전 설비로부터 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장한다. 저장된 데이터에서 현재 발전량, 누적발전량 및 발전 설비의 로그 데이터를 조회하여 시각화하였다.

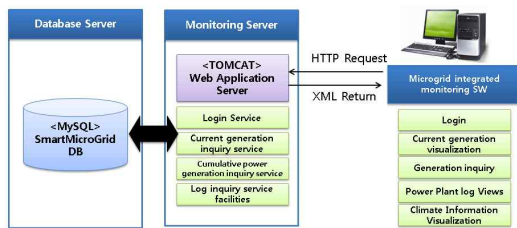


그림 6. 모니터링 시스템 구성도  
Fig. 6 Diagram of monitoring system

효율적인 수행을 위해 모니터링 서버에는 웹 어플리케이션 서버를 두고, 사용자 인증, 현재 발전량 조회 서비스, 누적 발전량 조회서비스, 설비 로그 조회 서비스를 제공하였다. 개발된 모니터링 소프트웨어는 이러한 모니터링 서버에 표준 HTTP를 통해 데이터를 요청하고 서버에서는 요청된 데이터를 XML 형식

의 구조화 된 데이터로 전송한다. 개발된 모니터링 소프트웨어는 XML형식의 데이터를 처리하여 화면에 마이크로그리드의 현재 상태 및 발전량에 대한 정보를 출력한다.

#### IV. 계통 독립형 마이크로그리드 모니터링 시스템 구현

본 논문에서 구현된 모니터링 시스템의 개발환경은 표 1과 같다.

표 1. 시스템 개발환경

Table 1. Environment of system development

기준	사양
OS	Microsoft Windows7 Enterprise Edition(64Bit)
Language	Visual C# 2010
Monitoring Service	Apache Tomcat 7
Test H/W	CPU : 1.9Ghz×4, RAM 8GB
Use S/W	JDK 7. MySQL 5

그림 7은 본 논문에서 제안한 마이크로그리드 모니터링 시스템의 메인화면이다. 메인화면에는 발전설비의 현재 발전량, 일일발전량, 누적발전량 및 절감 비용/CO<sub>2</sub> 량, ESS 상태, 기상데이터 그리고 알림메시지에 대한 정보를 제공한다.

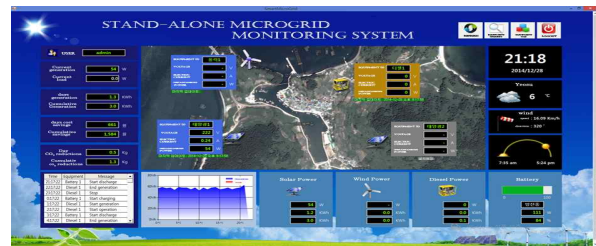


그림 7. 메인화면  
Fig. 7 Screen shot of main form

먼저, 날씨의 영향을 많이 받는 태양발전시스템과 풍력시스템을 위해 Yahoo Weather Open API를 통해 예측된 풍향, 풍속, 현재기온, 일출, 일몰 시간을 전송 받아 시각화 하였다.

메인화면의 주 구성인 독립형 발전설비의 위치를 GPS를 통해 추적하여 표현하고, 지도위에 각 발전 설

비의 발전량과, 부하량, 최대발전량을 Infographic요소를 통해 매핑하였다.

분산된 설비들의 부하량과 사용량을 좀 더 비교분석이 정확한 그래프 형태로 표현하여 태양, 풍력, 디젤 설비들의 활용도를 실시간으로 모니터링 하였으며, microgrid의 핵심이라고 할 수 있는 ESS장치는 저장용량 표현을 동적 그래픽 요소인 Progress Bar 형태로 표현하여, 발전량에 따른 충전량의 증가를 실시간으로 확인해 비상시 어느 발전기를 통해 공급능력을 증가시킬지 신속한 결정을 내릴 수 있도록 하였다.

환경변화로 인한 기상 이변이 발생하면서 탄소배출량 문제는 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 디젤 사용으로 인한 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 감축배출량과 누적배출량을 수치화함으로써 환경문제를 생각해 디젤 발전을 최소 사용을 유도하였다. 이산화탄소 배출원은 크게 직접 배출원과 간접 배출원으로 나눌 수 있는데, 직접 배출원은, 고정연소, 이동연소, 공정배출, 탈루배출에서 발생하는 온실가스를 직접 배출원이라 한다. 직접 배출원의 CO<sub>2</sub> 계산식은 표 2와 같다[5].

표 2. CO<sub>2</sub> 직접 배출원 산정식[5]  
Table 2. Equation of CO<sub>2</sub> direct emission

$$CO_2 Emissions = \sum_{fuels} consumption \times heating\ Value \times conversion\ factor \left( \frac{4,186\ TJ \times 10^{-3}}{1\ kcal} \right) \times carbon\ emission\ factor \left( \frac{tC}{TJ} \right) \times Oxidation \times CO_2\ Conversion\ factor \left( \frac{44}{12} \right)$$

Type fuels consumption	Solid(t) LIiquid(kL) Gas(kNm <sup>3</sup> )
Heating value	Solid(t) LIiquid(kL) Gas(kNm <sup>3</sup> )
conversion factor	1kcal=4.18kJ 1ton=1000jkg 1TJ=106kJ
Co2conversion factor	molar mass of C : 12 molar mass of Co2 : 44

이산화탄소 배출량에 따라 디젤 발전기의 사용을 최소화 할 수 있다. 식 1은 Micro수익률 계산 공식이다. 디젤 발전기의 사용을 줄이고 마이크로그리드를 적극 활용했을 때 절약할 수 있는 금액을 구할 수 있다[6].

$$\Pi_k = R_k - \sum_l^N C_{G,i}(P_{k,i}) - \sum_l^N C_{k,i}^{up/dn} - C_{k,buy} \quad (1)$$

적용된 공식에 따라 수치 처리하여, 단순한 발전량과 부하량 만을 보는 게 아니라, 체감할 수 있는 실질적 요소를 부합하여 디젤 발전기 사용을 최소화 할 수 있는 행동 및 인식의 변화를 요구하기 위함이다.

그림 8은 태양광 발전 및 풍력 발전 시설들에 대한 과거 발전량을 조회하는 화면이다. 발전설비의 발전량을 비교 분석할 수 있도록 연도별, 월별, 일별(시간대) 탭 형식의 조회기능을 넣어 시각적 효과를 추가하였다[7].

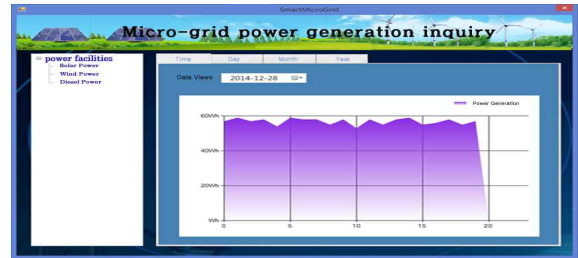


그림 8. 발전량 조회화면

Fig. 8 Screen shot of power generation inquiry

그림 9는 발전시설별로 로그기록을 조회하는 화면으로, 설비의 가동 및 이상상황에 대한 로그 기록을 조회할 수 있도록 시각화하였다.



그림 9. 발전설비 모니터링 화면

Fig. 9 Screen shot of power generation facilities monitoring

발전 설비의 실시간 모니터링을 통한 각 설비의 상태의 로그값과, 전압(모선측), 송전선로, 변압기 전력용량의 한계, 모선간의 위상 차이를 대상으로 EMS에서 설정한 허용 기준 값을 초과 시 알람 메시지를 출력하여 경고 부분을 강조하였다.

V. 결론

본 논문에서는 계통 독립형 마이크로그리드 모니터링을 위한 소프트웨어 아키텍처를 설계하고 송·배전망의 상태 및 부하에 대한 정보를 관리자가 쉽게 파악할 수 있는 모니터링 프로그램을 구현하였다. 메인 화면에는 Infographic의 요소의 사용으로 모니터링의 효율성을 증대시켜 효과적인 마이크로그리드의 상태 파악 뿐 아니라, 탄소 배출을 줄임으로써 얻을 수 있는 경제성 측면까지 손쉽게 파악할 수 있다. 향후 연구로써 적정한 전력의 수급을 위하여 기후에 따른 발전량 예측과 평균 부하량을 조정할 수 있도록 마이크로그리드 설비들을 제어하는 기능을 추가하는 것이다. 이를 통해 계통 독립형 마이크로그리드 시스템에서 발생할 수 있는 전력수급의 위험부담을 최소화하고 안정적인 운용에 도움을 주고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국정보통신산업진흥원과 전라남도, 여수시의 2014년도 지역SW융합제품 상용화지원사업의 연구결과로 수행되었음.

References

[1] F. Chen, N. Duic, L. M. Alves, and M. da Graça Carvalho, "Renewislands - Renewable energy solutions for islands," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 8, 2007, pp. 1888-1902.

[2] R. H. Lasseter and P. Paigi, "Microgrid : a conceptual solution," *Power Electronics Specialists Conf. (PESC) IEEE 35th Annual*, Aachen, Germany, vol. 6, June 2004, pp. 4285-4290.

[3] Y. Ko, "The Development of Collection Solution of the Three-Phase Power Data based on the Personal Computer for Supporting the Smart Grid," *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 6, no. 4, 2011, pp. 553-558.

[4] J.Park, and Y. Bae, "Scientometric Analysis for Pilot Study of Smart Grid", *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 97-105.

[5] Y.. Chog and J. Joung, "A study on the Data Visualization for Real Time Power System Operation," *Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 62, no. 10, 2013, pp. 1361~1367.

[6] H. Lee, W. Cha, I. Song, and Y. Yoon, "Development of Economic based Optimal Operation Program for Microgrid," *J. of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 23 no. 12, 2009, pp. 106-114.

[7] K.Park, S. Song K. Ban, and E. Kim, "Cloud-based Intelligent Management System for Photovoltaic Power Plants," *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 7 no. 3, 2012, pp. 591-596

저자 소개



송화정(Hwa-Jung Song)

2005년 8월 국가평생교육진흥원 컴퓨터공학과 졸업(공학사)  
2015년 현재 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 재학 중

※ 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, HCI, 3D 프린팅



박경욱(Kyoung-Wook Park)

1996년 8월 순천대학교 전자계산학과(이학사)  
1999년 8월 전남대학교 전산통계학과(이학석사)

2004년 8월 전남대학교 전산학과(이학박사)

※ 관심분야 : 병렬 및 분산처리, 알고리즘



김응곤(Eung-Kon Kim)

1980년 2월 조선대학교 전자공학과(공학사)  
1986년 2월 한양대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1992년 2월 조선대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

1993년 3월~현재 순천대학교 컴퓨터과학과 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI