

# Design of SCADA System for a Large-Scale Offshore Wind Farm

Kim Dong Wook<sup>†</sup> · Song Jae Ju<sup>\*\*</sup> · Jung Nam Joon<sup>\*\*</sup> · Choi Hyo Yul<sup>†</sup>

## ABSTRACT

In recent years, many researchers and developers have been interested in renewable energy all over the world. Particularly, the development of wind power is being processed actively due to its high economic efficiency. A few years ago, Korean government has started the research for building a large-scale offshore wind farm in domestic west-southern area. Current domestic SCADA technology level for operating wind farm is very low compared with foreign SCADA technology level. In this paper, we found IT issues and solutions for developing SCADA system. Based on these solutions, we designed SCADA system for a large-scale offshore wind farm.

**Keywords :** Wind, Offshore, SCADA, Wind Power Farm

## 대규모 해상풍력발전단지 운영을 위한 SCADA 시스템 설계

김 동 욱<sup>†</sup> · 송 재 주<sup>\*\*</sup> · 정 남 준<sup>\*\*</sup> · 최 효 열<sup>†</sup>

## 요 약

전 세계적으로 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 풍력은 높은 경제성으로 인하여 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 서남해 지역에 대규모 해상 풍력발전단지 연구개발을 진행중에 있다. 현재 풍력발전단지 운영을 위한 SCADA 시스템의 국내 기술 수준은 매우 낮은 수준으로 대규모 발전단지에 적용이 가능한 SCADA 시스템 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 대규모 해상풍력발전단지 SCADA 시스템 개발을 위해서 필요한 고려 사항과 이를 바탕으로 SCADA 시스템 설계 내용을 기술하였다.

**키워드 :** 풍력, 해상, 원격감시시스템, 풍력발전단지

## 1. 서 론

전 세계적으로 석유와 석탄과 같은 화석 연료 고갈에 대비한 에너지원의 다변화와 유엔 기후변화협약등 국제적인 환경 규제에 대응하기 위하여 각 국가별로 신재생에너지 개발과 보급에 주력하고 있다. 특히, 작년 일본 원전사고의 영향으로 더욱 더 신재생에너지에 대한 중요성이 증대되고 있는 상황이다. 이 신재생에너지는 태양광, 태양열, 풍력, 소수력, 조력, 연료전지, 지열 등이 포함되어 있으며, 이 중 풍력은 CO<sub>2</sub> 배출과 방사능 누출 위험이 없는 무공해 천연 에너지면서 신재생에너지들 중 경제성이 가장 높기 때문에 최근 활발하게 사업이 진행되고 있다[1].

이러한 장점 때문에, 풍력발전 시스템은 미래에 가장 유력한 대체 에너지원으로 인정을 받고 있으며, 기술 진보, 대량 생산 그리고, 국가적 지원에 의해 경제성이 지속적으로

Table 1. Cost Comparative table of renewable energy(EU)

	해상 풍력	육상 풍력	원자력	석탄 화력	가스 복합
발전비용 (€/MWh)	87	60.1	50	56.3	68.5

높아지고 있는 상황이다.

기술적 제한 문제로 인해서 아직까지는 풍력발전단지 구축은 대부분 육상 풍력발전단지 형태로 진행되고 있다. 그러나, 육상 풍력발전의 경우 설치 부지 확보의 어려움 및 소음과 경관 등의 문제로 민원 발생과 대규모 개발이 어렵다. 따라서 현재 유럽에서는 풍력발전터빈을 해안 앞바다에 설치하는 해상풍력발전이 주목하기 시작하고 연구개발을 진행중에 있다.

해상풍력발전이 주목받는 이유는 풍부한 풍력자원과 대형 발전단지 부지 확보가 가능하다는 점이다. 해상은 육지에 비해 평균 풍속이 높고 바람의 난류와 높이나 방향에 따른 풍속 변화가 적은 것이 특징이다. 해상풍력발전기의 풍차에 대해서는 소음이 육상만큼 문제가 되지 않기 때문에 날개

<sup>†</sup> 정 회 원: 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

<sup>\*\*</sup> 정 회 원: 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

논문접수: 2012년 11월 2일

심사완료: 2012년 11월 15일

\* Corresponding Author: Kim Dong Wook(dongwook@kepeco.co.kr)



Fig. 1. Offshore Wind Power Farm

끝속도(Tip Speed)를 60m/s 정도로 제한하고 있는 것을 100m/s를 초과하는 수준까지 고속화가 가능해진다.

영국은 해상풍력발전의 선도국가로써, 현재 1.7GW급 출력의 538개 터빈으로 이루어진 해상풍력발전설비를 보유하고 있다. 이는 전세계 다른 지역의 해상풍력발전설비들을 모두 합친 것보다 크다. 더 나아가 2010년 시작된 Round 3 프로젝트를 통해 영국은 인근 근해 9개 지역에 총 45GW의 해상풍력 단지를 개발할 업체를 선정하였다[2]. 영국의 Round 3 프로젝트 시행으로 해상풍력에 대한 관심이 고조되었고, 2010년 1GW에 불과했던 해상풍력시장은 2020년에 7GW로 7배가량 커질 전망이다.

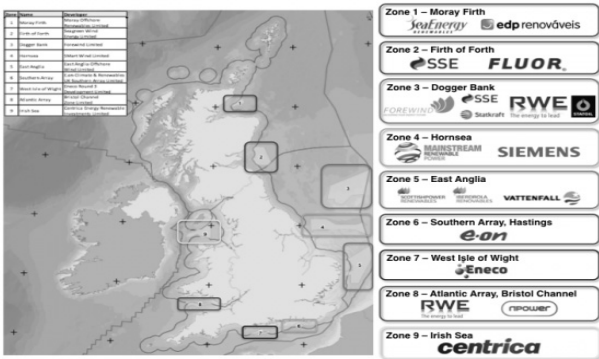


Fig. 2. Round 3 consortia for developing UK offshore wind power farm

대규모 해상풍력발전단지 구축 연구가 진행됨에 따라서 이를 운영하는 SCADA 시스템의 대형화 연구가 같이 진행되어야 한다. 본 논문에서는 해상 풍력 발전단지의 대규모화에 따른 SCADA 시스템 구축 방안에 대해서 논의하고자 한다.

## 2. 풍력발전 SCADA 시스템 현황

풍력발전 SCADA 시스템은 각 풍력발전기별로 내부 컴포넌트들의 상태 감시 데이터 및 주위 환경(예, 기상) 정보들을 측정 및 수집하여 전체 풍력발전단지 실시간 모니터링 및 비상 제어할 수 있는 기능을 제공한다.

해상 풍력발전단지는 육상 풍력발전단지에 비해 접근이 어렵기 때문에 풍력발전기 사고 발생 시 정상 복구까지 장

기간의 시간이 소요되는 문제를 갖고 있다. 따라서 해상 풍력발전단지의 운영을 지원하는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템은 육상 풍력발전 SCADA에 비해서 고기능 및 고가용성이 요구된다.

현재 지원되는 풍력발전 SCADA 시스템 제품들 중에서 외국계 회사인 Vestas[3], Bachmann[4], Beckhoff[5], 그리고 GE[6]의 제품들이 이러한 고기능 및 고가용성 요구를 충족시키고 있다. 그러나, 이 SCADA 시스템들은 자사 풍력발전기에 특화되었기 때문에 사용상에 제한이 크다. 예로써, 미국계 회사인 GE Energy의 WindSCADA[6]와 덴마크 회사인 Vestas의 Vestas SCADA는 오직 자사의 풍력발전기 모델에만 최적화된 기능 및 성능을 지원하고 있다. 따라서 외국계 회사들의 SCADA 시스템을 선정할 경우, 특정 회사에 대해 기술적 종속 및 향후 유지 보수시 고비용을 초래하는 문제가 있다.

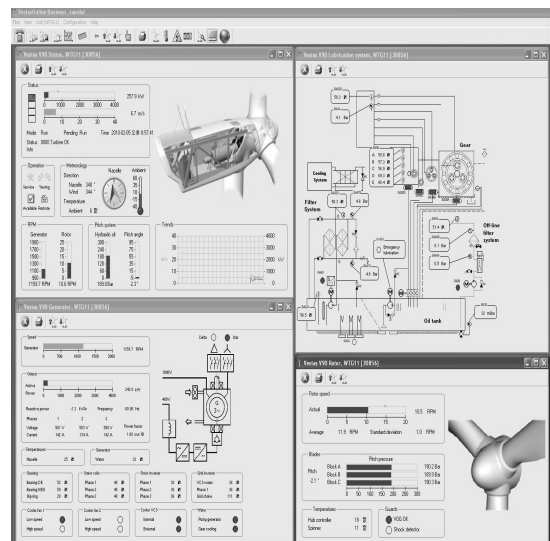
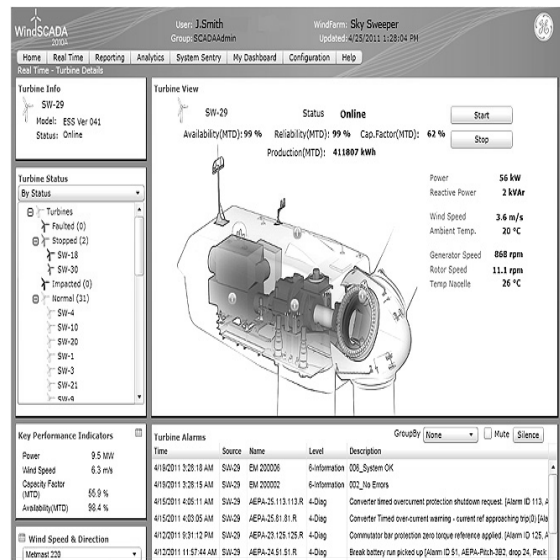


Fig. 3. Screenshot of GE WindSCADA(left)과 Vestas SCADA(right)

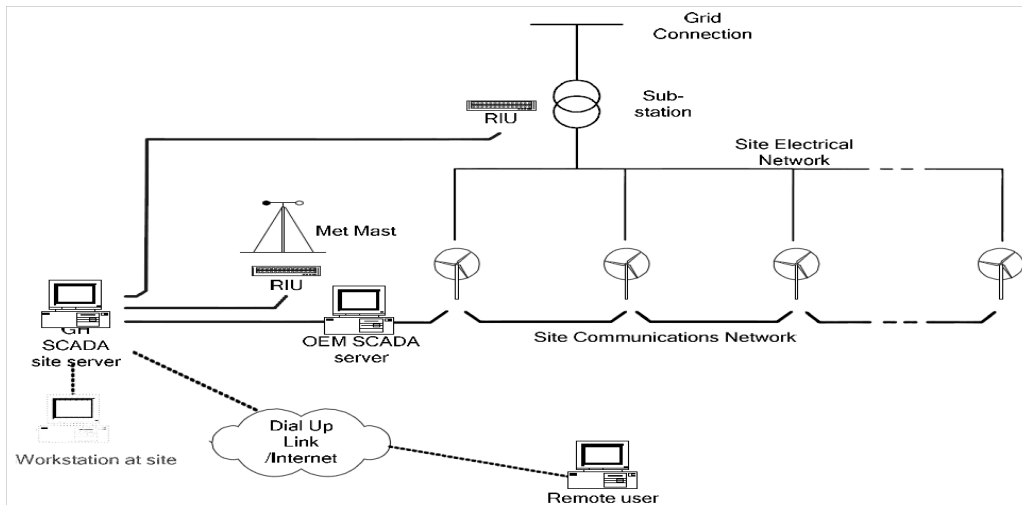


Fig. 4. GH SCADA's system architecture

이와 같은 기술적 종속성 및 발전단지 유지시 고비용을 해결하기 위해서 영국 DTI (Department of Trade and Industry, 통상산업부)는 Sustainable Energy Program을 통해서 최초 이중 터빈용 SCADA 시스템인 GH SCADA[7] 시스템을 개발하였다. 이 SCADA 시스템은 이기종 풍력발전기와 호환성을 지원하기 위해서 RIU(Remote Interface Unit)라는 별도의 장치를 각 풍력발전터빈, 기상탑, 그리고 변전소(substation)에 각각 설치하는 특징을 갖고 있다. 아래 그림은 RIU를 이용하여 이기종 풍력발전기들을 통합한 GH SCADA 시스템의 구성을 보여준다.

현재 국내 풍력 SCADA 시스템은 앞서 언급한 외국계 SCADA 제품을 기반으로 구축 후, 현장에서 요구하는 기능을 추가 개발하고 있는 상황이다. 한국남부발전 국제풍력센터의 경우 Vestas 제품을 기반으로 풍력발전단지 구축하고, 풍력발전단지 전용 모니터링 시스템을 개발하여서 운영 중에 있다. 결론적으로 아직까지 국내 SCADA 시스템의 핵심 솔루션은 선진 기술에 의존하고, 부가적인 기능 개발이 이루어지고 있는 실정이다.



Fig. 6. IEC 61400-25 based Wind Power Monitoring system of Hyosung

효성은 강원도에 위치한 750kW/2MW급 풍력 발전기 실증시험장에 두 대의 풍력발전기(750kW와 2MW)를 대상으로 IEC61400-25기반 풍력발전기 모니터링 시스템을 개발하여 시험 운영 중이다. 현재까지 대규모 풍력발전단지를 대상으로 하는 IEC61400-25 표준 SCADA 시스템 개발이 보고되지 않고 있다[8].

결론적으로 대부분의 선진 기업들은 자사 풍력발전기에 대한 최적의 운영 및 제어 기술을 확보하여 운영 중에 있으며, 기술 보호를 위하여 타사 제품과의 상호 운영을 지원하지 않은 상태이다. 현재 국내 기술은 제어기술과 개발 경험 부족으로 풍력발전단지 모니터링 시스템 수준에 머물러 있다.

### 3. 대규모 SCADA 시스템 개발을 위한 고려사항

소규모 육상 풍력발전단지와 비교하여 대규모 해상풍력발전단지 운영을 위한 SCADA 시스템 개발시 기술적으로 고려할 사항이 많다. 대규모 단지 운영 SCADA 개발시 가능한 중요 이슈들을 기술하였다.



Fig. 5. KOSPO International Wind Power Control Center

IEC61400-25기반 SCADA 시스템 국내 개발 사례로써 효성중공업의 풍력발전단지 모니터링 시스템 시험버전이 존재한다.

3.1 풍력발전기의 이질성

해상 풍력발전기 구축 공사는 설치공사 비용 및 생산된 전력을 육지로 전송해야 하는 문제로 구축비용이 육상 풍력 발전기에 비해 1.5배 정도 높기 때문에 대규모 해상풍력발전단지 개발을 시간과 비용 측면에서 어려움이 많다. 따라서 비용 또는 정책적인 고려를 반영하여 대규모 해상 풍력 발전 단지 구축은 장기적인 구축 계획에 따라서 진행될 가능성이 높다.

이점은 대규모 해상 풍력발전단지 구축 시 도입되는 풍력 발전기들 사이에 기능적 또는 물리적 특성 측면에서 이질적 요소가 포함될 가능성을 높게 한다. 즉, 대규모 해상 풍력발전 단지를 위한 풍력발전기의 대규모 구매가 동일 제품 모델로 결정될 가능성이 매우 낮고, 구축 기간이 길기 때문에 동일한 제조사의 제품도 지속적인 개발로 인해 이전에 도입된 풍력발전기 제품과 비교하여 신제품들은 이질적인 요소들을 포함할 수 있다. 따라서 동일 발전단지내의 풍력발전기들간에 존재하는 이질성을 해소하는 것이 중요한 문제들 중 하나이다.

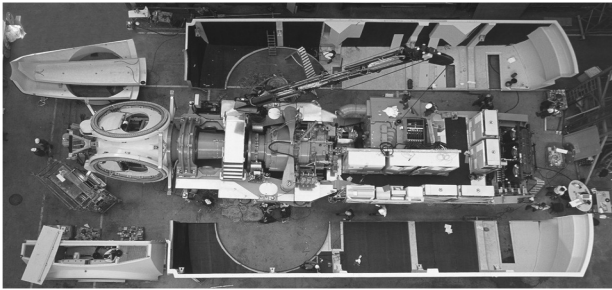


Fig. 7. Components inside of real wind power turbine

3.2 대규모 풍력발전기 관리

풍력발전 단지내에 대규모의 신규 풍력발전기 도입 및 운영을 지원할 수 있도록 SCADA 시스템의 확장성이 SW설계시 반영되어야 한다. 일반적으로 시스템 확장성은 지원 대상 멤버의 변화를 반영하여 구성 환경 관리, 데이터 송수신, 제어에 관련된 기능이 변경 이전과 차이 없이 정상적으로 이루어지는 것을 의미한다. 예를 들어, 신규 풍력발전기의 도입 시 발전단지내 구성정보에 반영되어야 하고, 신규 도입에 따른 데이터 추가 발생을 시스템에서 처리할 수 있도록 데이터 처리용 서버 추가를 통한 성능 및 기능 향상여부가 중요하다. 이때 이 모든 작업은 가용성 측면에서 SCADA 시스템의 무정지 상태에서 이루어져야 한다.

3.3 풍력발전기의 대용량 데이터 생성

해상 풍력발전단지는 지역적으로 접근이 어려운 문제를 갖고 있기 때문에 실시간으로 풍력발전기 모니터링 및 제어 기술이 요구되어진다. 모니터링을 위해서 풍력발전기 내부 컴포넌트들과 주위 환경에 대한 세부 정보들이 데이터화 되어 중앙 SCADA 시스템으로 전송되어야 하며, SCADA 시스템은 수집된 데이터들을 Database와 같은 기술을 이용하

여 Repository 시스템을 구축 후, 지속적으로 수집되는 데이터들을 Repository에 축적해야 한다. 축적된 데이터들은 가공되어 통계 정보, 이력 조회, 예측 등과 같은 서비스 형태로 사용자에게 제공될 수 있다. SCADA 시스템의 풍력 터빈 모니터링 기능은 풍력 터빈에서 생성된 데이터들을 수신하고, 이를 가공 처리하는 과정을 포함하고 있다. 이때 대규모 풍력발전 단지에 이를 적용할 때 예상되는 문제점은 방대한 데이터들이 SCADA 시스템으로 집중되어 SCADA 시스템의 처리 한계를 넘어서는 문제에 직면할 수 있다. 이러한 데이터 생성부터 가공까지 흐름은 대규모 풍력발전 단지에 적용할 경우 실시간 처리에서 문제가 발생한다. 풍력발전단지로부터 수신한 데이터를 처리해서 Database에 저장하는 작업에 오버로드가 걸리기 때문에 실시간 처리가 어렵게 된다. 또한, 시스템 장애 발생시 풍력 발전단지로부터 수신되는 데이터들을 전부 손실할 수 있는 상황이 발생할 수 있다. 복구 후에도, 손실된 데이터들을 복구할 수 없는 상황에 놓이게 되므로 안정적인 SCADA 시스템 운영을 위해서는 이중화 같은 Fault-tolerant 기법등이 적용되어야 한다.

4. SCADA 시스템 구축 방안

앞서 제기한 대규모 해상 풍력발전단지 구축 시 발생 가능한 이슈들에 대한 대책들을 아래와 같이 기술하였다.

4.1 풍력발전 표준화(IEC 61400-25)

해상 풍력발전단지 구축은 여러 제조사들의 풍력발전기들을 조합으로 이루어진다. 이를 위해서는 제조사별 풍력발전기간에 존재하는 이질성 문제를 극복하기 위한 방법이 필수적으로 요구된다. 이와 관련되어 국제 표준 IEC 61400-25가 2006년 제정되었다. 이 표준은 2003년 제정된 변전소 자동화를 위한 표준 시스템 프로토콜인 IEC61850을 기반으로 확장하여 풍력발전기들의 이질성 문제 해결을 목적으로 하고 있다. 이 표준은 풍력발전기를 위한 모든 객체들을 통신 가능한 표준 LN(Logical Node) 형태로 정의하였다. 이러한 풍

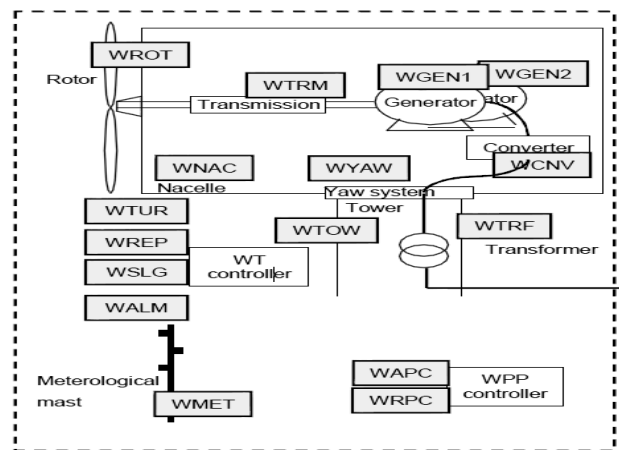


Fig. 8. Logical Nodes of IEC 61400-25



력발전기의 논리적 구성을 Information Model이라하며, Service Model인 ACSI (Abstract Communication Service Interface)를 정의하여 데이터 처리를 수행하는 알람, 리포트, 로그 등의 기능할 수 있다. IEC 61400-25에서 풍력 발전 시스템 및 ACSI 서비스를 위해 정의하고 있는 LN은 2개이며, Wind Power Plant 용 LN는 5개, Wind Turbine 용 LN은 13개이며, 풍력발전 시스템의 모니터링 항목은 다음 그림과 같다.

IEC 61400-25에서 풍력 발전 시스템 및 ACSI 서비스를 위해 정의하고 있는 LN은 2개이며(Table 1 참조), Wind Power Plant 용 LN는 5개(Table 2 참조), Wind Turbine 용 LN은 13개(Table 3 참조)이며, 풍력발전 시스템의 모니터링 항목은 다음 그림과 같다.

Table 2. System specific logical nodes

LN Classes	Description	M/O
LLNO	Logical Node Zero	M
LPHD	Physical Device Information	M

Table 3. Wind power plant specific logical nodes

LN Classes	Description	M/O
WTUR	Wind turbine general information	M
WALM	Wind power plant alarm information	O
WMET	Wind power plant meteorological information	O
WAPC	Wind power plant active power control information	O
WRPC	Wind power plant reactive power control information	O

Table 4. Wind turbine specific logical nodes

LN Classes	Description	M/O
WTUR	Wind turbine general information	M
WROT	Wind turbine rotor information	M
WTRM	Wind turbine transmission information	O
WGEN	Wind turbine generator information	M
WCNV	Wind turbine converter information	O
WTRF	Wind turbine transformer information	O
WNAC	Wind turbine nacelle information	M
WYAW	Wind turbine yawing information	M
WTOW	Wind turbine tower information	O
WALM	Wind power plant alarm information	M
WSLG	Wind turbine state log information	O
WALG	Wind turbine analogue log information	O
WREP	Wind turbine report information	O

4.2 실시간 데이터 수집 및 처리

단지 내 개별 풍력발전기들은 끊임없이 상태 및 운영에 관련된 수많은 데이터를 생산한다. SCADA 시스템은 이 데이터들을 중앙 서버로 수집하여 실시간으로 처리가 필요한 데이터는 그 즉시 단지 운영자에게 서비스 형태로 제공하고, 수집된 데이터들을 Repository에 저장하는 작업을 동시에 수행한다. 이 작업에서 풍력발전기에서 생산한 데이터를 네트워크상에서 송수신하는 작업과 Repository에 이 데이터들을 저장하는 작업들이 I/O 바운드 작업으로 분류되기 때문에 가장 큰 오버헤드가 발생시킨다. 따라서 대규모 풍력발전단지를 대상으로 SCADA 시스템 구축 시, 아래 그림과 같이 이 I/O 바운드 작업을 실시간 처리가 필요한 작업과 별도로 분리하여야만 대규모 데이터 처리가 가능하고, 전체 시스템의 안정성도 향상 가능하다.

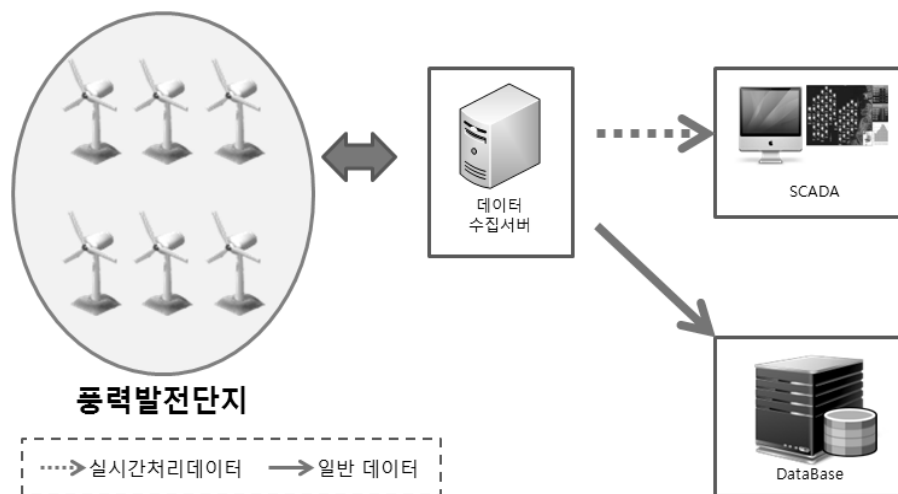


Fig. 9. Concept for processing data from wind power turbine

4.3 시스템 이중화

서버 장애 발생은 풍력발전기로부터 전송되는 데이터 분실을 야기할 수 있으며, 서비스 제공 실패로 사용자 불편을 야기할 수 있다. 따라서 전체 SCADA 시스템 안정화를 위하여 서버 장애 대비를 위한 서버 이중화를 고려해야 한다. 그러나, 서버 이중화는 고비용을 초래하는 문제를 갖고 있기 때문에 내부 시스템들의 중요성을 고려하여 이중화 설계가 이루어져야 한다. 예를 들어, 풍력발전기로부터 데이터 수집 역할이 중요하기 때문에 데이터 수집 서버를 L4 스위치와 Recovery 서버를 이용하여 이중화 설계를 수행할 수 있다.

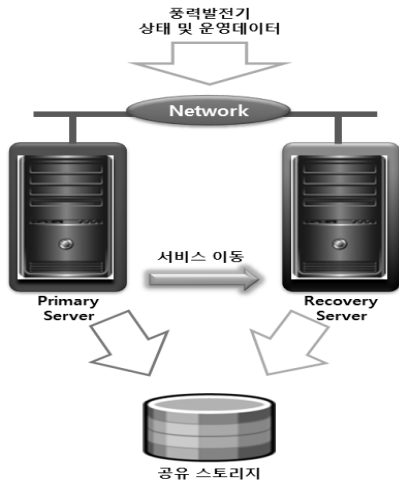


Fig. 10. Concept of server replication

4.4 풍력 IEC 61400-25 Gateway

오랫동안 풍력발전기 제작사들은 자사의 풍력발전기를 중심으로 원격 감시 및 제어를 위해 독자적인 통신 프로토콜을 정의하고, SCADA와 같은 관련 솔루션을 제공해왔기 때문에 제작사별로 통신 프로토콜이 상이하다. 이로 인해 최근 풍력발전단지 규모의 대형화 추세에 따라서 여러 제작사들에 의해서 개발된 풍력발전기들 사이에서 통신 프로토콜과 데이터의 이질성 문제가 부각되고 있다. 이질성 문제는 현재 개발되고 있는 대부분의 풍력발전기들이 풍력발전단지 관리를 수행하는 SCADA 시스템과 통신을 위하여 OPC(OLE for Process Control) 또는 Modbus 통신 프로토콜에 기반으로 상이한 데이터 정보를 사용하는데 원인이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 제정된 표준 IEC 61400-25는 풍력발전기내의 모든 객체들을 통신 가능한 표준 LN(Logical Node) 형태로 정의하고, 표준 서비스인 ACS(Abstract Communication Service Interface)를 제공하고 있다. 그러나 표준 IEC 61400-25의 지원 범위에는 기존에 구축된 비 표준 풍력발전기들에 대한 지원은 누락되었기 때문에 풍력발전단지 확장을 위하여 신규 풍력발전기 도입 시 기존 풍력발전기와 통합이 어려운 문제점은 여전히 존재한다. 따라서 기존에 구축된 OPC와 Modbus 통신 프로토콜 기반의 풍력발전기들을 표준 IEC 61400-25 기반으로 통합하기 위해서는 비 표준 풍력발전기들의 데이터를 표준 데이

터로 변경하여 표준 서비스를 통해 제공하는 Gateway 기술이 요구되어진다.

5. 대규모 해상풍력발전단지 SCADA 시스템 디자인

5.1 SCADA 시스템 아키텍처

대규모 해상풍력발전단지를 지원하는 SCADA 시스템은 기존 풍력발전 SCADA 시스템의 기본 기능을 지원해야 하며, 대형화에 초점을 맞추어 데이터의 신속한 처리, 시스템 안정성, 그리고, 풍력발전단지의 확장을 고려되어 진행되어야 한다. 이를 위해서 설계된 대규모 풍력발전단지 SCADA는 각 풍력발전기별로 내부 컴포넌트들의 상태 감시 데이터 및 주위 환경(예, 기상) 정보들을 측정 및 수집하여 전체 풍력발전단지 실시간 모니터링 및 비상 제어할 수 있는 기본 기능을 제공한다.

본 SCADA 시스템은 대규모 해상풍력발전단지 운영 지원을 목적으로 IEC 61400-25기반으로 이기종 풍력발전기들의 통합을 지원하고, 풍력발전기들에서 발생하는 대량의 데이터를 실시간 처리 및 확장성을 지원하기 위해서 풍력발전기의 그룹 개념을 적용한 Group Manager를 구축하였다.

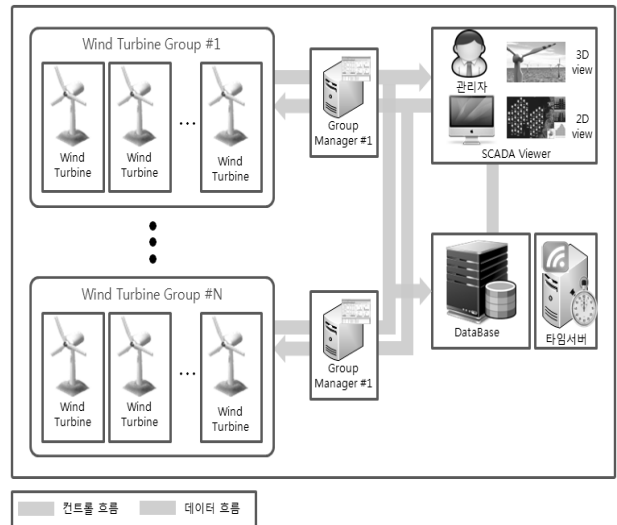


Fig. 11. SCADA system structure for large-scale offshore wind power farm

Table 5. Internal systems of SCADA system

모듈명	지원 역할
SCADA Viewer	풍력발전단지 실시간 모니터링 및 제어 풍력발전단지 구성 및 풍력발전기 운영 조건 설정 풍력발전기의 예러, 알람 Notification 서비스 구성시스템들의 IT자원 모니터링
Group Manager	풍력발전기들의 데이터 수신 및 배부 그룹내 풍력발전기들로부터 데이터 수신 및 제어 비 표준(OPC, Modbus) 풍력발전기의 표준 접근
Storage	풍력발전기의 IEC 61400-25 데이터 저장 풍력발전기별 축적된 Data기반 통계 데이터 생성

### 5.2 SCADA Viewer

전체 풍력발전단지 실시간 모니터링, 각 풍력발전기별 내부 컴포넌트들의 상태 감시, 그리고, 주위 환경 모니터링과 같은 기본적인 SCADA 시스템의 기능을 SCADA Viewer에서 수행한다.

Table 6. User Functions provided by SCADA Viewer

제공 기능 분류	설 명
GUI 기반 전체모니터링환경	3D 및 SLD기반 풍력발전단지 모니터링 환경 제공
대표값 조회	풍력발전그룹 및 풍력발전기별 대표값 출력
상세 데이터	풍력발전기의 실시간 모니터링을 위한 상세데이터출력
과거 이력데이터	과거 특정기간의 풍력발전기 및 기상환경의 데이터 조회
그룹환경구성정보	풍력발전단지의 환경 구성정보 출력
알람메시지	풍력발전기, 시스템, 사용자관련 알람메시지 출력 및 관리
시스템 자원	운영H/W 시스템 자원 활용율 모니터링
제어/설정	풍력발전단지 구성 설정 및 풍력발전기 출력제어
레포팅	풍력발전단지, 풍력발전기, 주변환경 레포트 제공
시스템 관리	사용자 및 시스템 관리

또한, 지리적 접근이 어려운 해상풍력발전단지의 특성을 고려하여 원격지에서도 관리자가 현장 상황을 직관적으로 파악할 수 있도록 3D 기반 모니터링 환경(3D SCADA Viewer)를 제공한다. 문제 발생시 해결까지 장시간의 시간이 소요되는 해상풍력발전의 특성 때문에 이 기능의 중요성은 매우 높다.

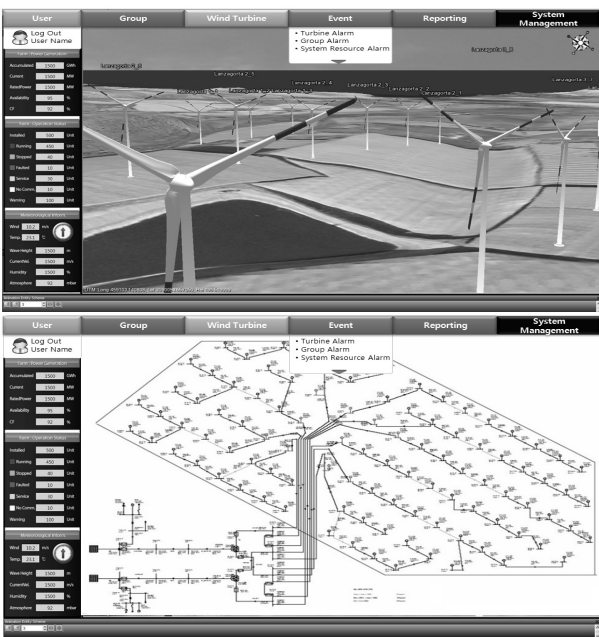


Fig. 12. GUI Design of 3D & SLD based Viewer

풍력발전단지내의 전력계통 관리 지원을 위하여 SLD(Single Line Diagram)기반 모니터링 환경(SLD Viewer)도 지원한다. 이 SLD Viewer는 6개의 구성 아이템 (해상풍력발전기, 해상풍력발전기 연결 케이블, 해상 변전소, 해안 송전 케이블, 해안 변전소, 전력계통 연결 케이블)을 이용하여 모니터링 화면이 구성되어진다.

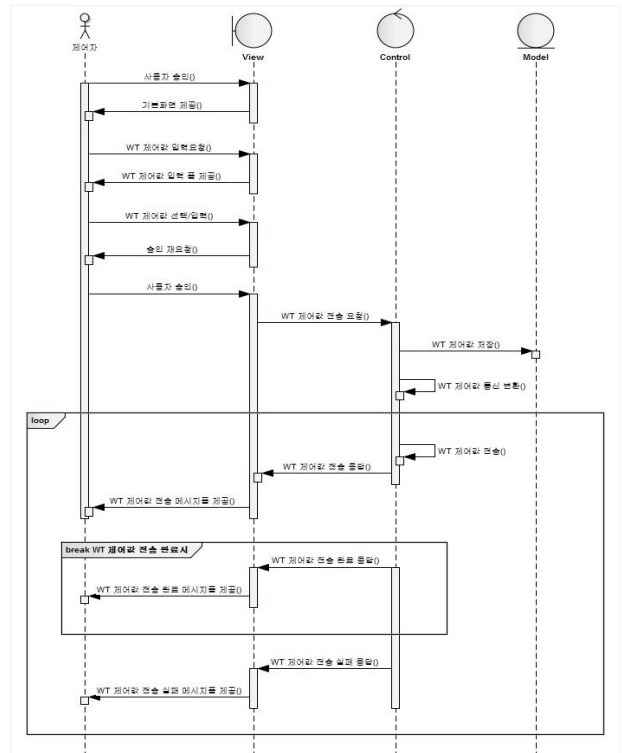


Fig. 13. Sequence diagram of control for Wind turbine

### 5.3 Group Manager

본 SCADA 시스템은 대규모 해상풍력발전단지 운영 지원을 목적으로 IEC 61400-25기반으로 이기종 풍력발전기들의 통합을 지원하고, 풍력발전기들에서 발생하는 대량의 데이터를 실시간 처리 및 확장성을 지원하기 위해서 풍력발전기의 그룹 개념을 적용한 Group Manager를 구축하였다. Group Manager는 특정 그룹에 소속된 풍력발전기들과 표준 기반 통신으로 데이터를 수신하여 SCADA viewer와 Storage에 전송하는 역할을 수행한다.

Table 7. User Functions provided by Group Manager

제공 기능	설 명
그룹 모니터링환경	풍력발전그룹 모니터링 환경 제공
시스템자원	그룹내 운영H/W 시스템 자원활용율 모니터링
알람메시지	그룹내 풍력발전기,시스템,사용자관련 알람메시지 출력 및 관리
상세데이터	그룹내 풍력발전기 상세데이터 출력

신규 풍력발전기 추가는 구축된 SCADA 시스템에서 지원하는 컴퓨팅 용량내에서 만 가능한 일이다. 따라서 대규모 해상풍력발전단지 지원 SCADA 시스템은 무정지 상태에서 컴퓨팅 용량 확장이 필수적으로 요구된다. 따라서 본 시스템에서는 풍력발전단지내 그룹 개념을 도입하여 단지내의 풍력발전기들을 몇 개의 그룹으로 묶고, 이 그룹을 담당하는 Group Manager 시스템을 설계하였다. 만일 기존에 구축된 Group Manager 시스템의 컴퓨팅 용량이 최대치에 도달한 경우, 신규 Group Manager 시스템을 도입하여 풍력발전단지내 전체 시스템의 컴퓨팅 용량을 증설할 수 있는 것이다.

이처럼 Group Manager는 그룹내 풍력발전기들로부터 수신한 데이터들을 SCADA Viewer와 Storage에 데이터를 전송하는 역할을 수행하기 때문에 이 Group Manager의 안정화가 전체 시스템의 측면에서 가장 중요하다. 따라서 이 Group Manager 설계에 이중화 개념을 도입하여, 각 풍력발전기별로 Primary/Backup Group Manager에 소속되도록 설계하였다. SCADA 시스템 운영시 특정 Primary Group Manager 시스템에 오류 발생으로 정상 운용이 불가능해지면, Backup Group Manager가 지속적으로 Primary Group Manager를 감시하다가 오류를 인지하고, Primary Group Manager에서 담당하는 풍력발전기들을 Backup Group Manager에서 담당하게 된다.

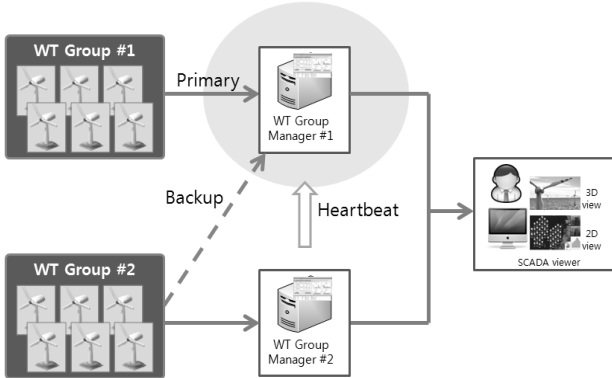


Fig. 14. Concept structure of replication for Group Manager

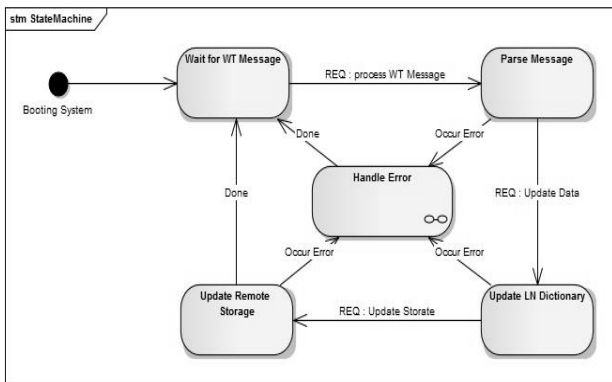


Fig. 15. State machine for updating WT data into Storage system

5.4 표준 게이트웨이(IEC 61400-25 Gateway)

앞서 설명한 것처럼 기존 풍력발전기들은 OPC 또는 Modbus 통신 프로토콜을 이용하여 SCADA 시스템과 데이터 송수신을 수행한다. 기본적으로 통신 프로토콜의 이질성 문제로 인하여 기존에 구축된 풍력발전기들을 통합하기 어려운 문제를 갖고 있다.

이를 위해서 IEC 61400-25 Gateway는 해쉬 테이블 기반으로 Data Mapping table을 구성하여 OPC 또는 Modbus와 IEC 61400-25 사이에 데이터 타입 변환 및 누락 데이터 처리 작업을 신속히 수행하고, Message Queue를 이용하여 OPC 또는 Modbus와 IEC 61400-25의 통신 프로토콜 상호간에 메시지 교환을 지원하도록 한다.

통신 프로토콜별로 독립적인 데이터 저장 공간을 구축하여 외부 시스템의 모든 서비스(예: 데이터 읽기, 자동 데이터 전송) 요청 시 자체 데이터 로컬 저장 공간만을 활용하여 처리하여 서비스 응답을 신속히 처리할 수 있는 특징을 갖고 있다. 또한, 복수 풍력발전기들로부터 대량의 데이터 수신시 병목 현상 제거를 위하여 로컬 Queue와 중앙 Queue를 도입하여 데이터 손실 방지 및 메시지의 순차적인 처리를 보장하였다.

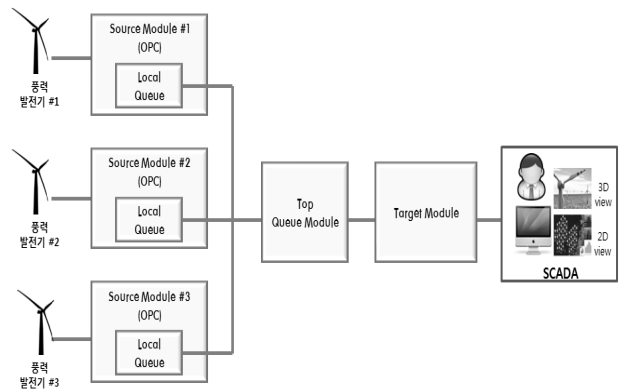


Fig. 16. System Structure of IEC 61400-25 Gateway

Source Module은 비표준 풍력발전기로 부터 OPC 또는 Modbus 통신 프로토콜을 이용하여 데이터 송수신을 담당한다. 이를 위해서 OPC Client 와 Modbus Master 역할을 수행하는 통신 Adapter를 갖고 있다. 또한 풍력발전기로부터 수신한 데이터들의 안정적인 처리를 위하여 Local Queue를 내장하고 있다.

Target Module은 Source Module에서 수신한 데이터를 IEC 61400-25 Logical Node 데이터로 변경하여 SCADA와 같은 IEC 61400-25 Client에 데이터 제공 및 제어 수신 서비스를 제공하는 역할을 수행한다. 이 모듈은 Source Module로부터 수신된 데이터의 데이터 타입을 변환하여 내부 Logical Node Dictionary에 저장하고, 61400-25 Server를 통해서 외부 SCADA와 같은 IEC 61400-25 Client를 대상으로 표준 통신 서비스를 제공하는 역할을 수행한다.

Top Queue Module은 Source Module과 Target Module



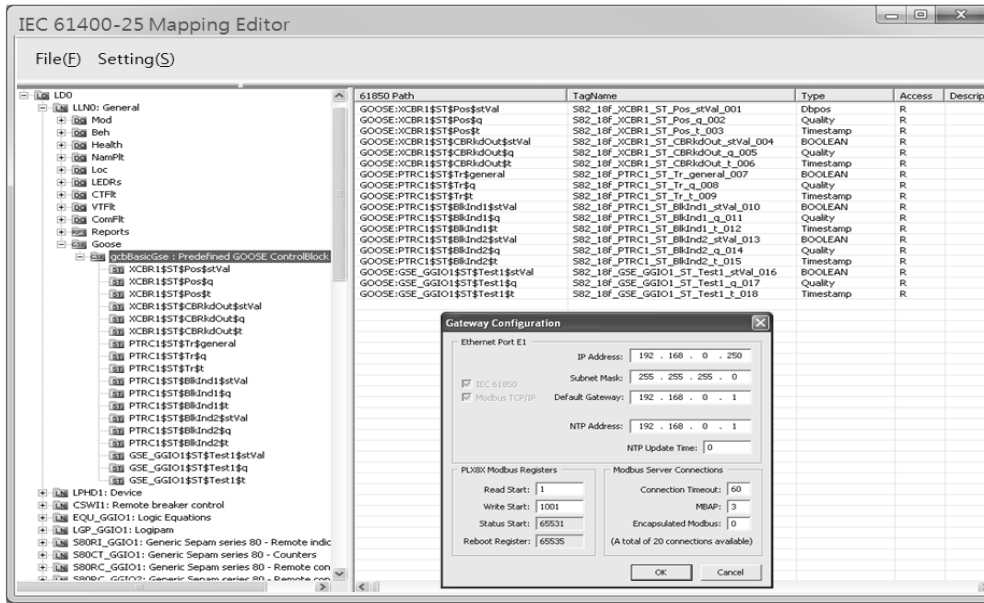


Fig. 17. GUI Design of mapping data relation between Modbus and IEC61400-25

사이의 메시지 교환 작업을 지원한다. 이 Top Queue Module은 Receive와 Transmitter Queue로 구성되어 있다. Receive Queue는 Source Module에서 수신한 풍력발전기 데이터를 Target Module로 전달하기 위한 Queue이며, Transmitter Queue는 Target Module를 통해서 수신한 SCADA의 풍력발전기 제어 신호를 Source Module로 전달하기 위한 Queue이다.

### 6. 결론

현재까지 국내의 풍력 개발에 관련된 연구는 주로 육상 발전 중심으로 단지가 소규모이기 때문에 기존 전력계통 연계와 풍력발전기 구조물에 대해서 이루어졌으며, IT관점에서 SCADA 시스템 개발에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 기존에 개발된 SCADA 제품들이 활용 되어왔다. 국외 경우 이미 메이저급 풍력터빈 제조사들이 이미 상용화된 SCADA 제품을 보유하고 있어 높은 기술력을 갖고 있다. 그러나 국외 SCADA에 대한 연구는 학계 보다는 업계 중심으로 폐쇄적으로 이루어지고 있기 때문에 기술 장벽이 높은 현실이다.

현재 국내에서도 서남해 지역을 대상으로 대규모 풍력발전단지 구축이 진행되고 있기 때문에 효율적이고 안정적인 SCADA 시스템이 개발이 요구되지만, 기술 수준의 낙후로 해의 기술에 종속될 가능성이 높아 SCADA 시스템 분야의 기술 개발이 시급한 실정이다.

이에 본 논문에서는 IT 기술 관점에서 SCADA 시스템 개발 시 필요한 고려사항을 분석하고, 이 내용을 기반으로 현장적용 가능한 대규모 풍력발전단지용 SCADA 시스템 설계 작업 수행 내용을 기술하였다. 향후 SCADA 시스템 개

발을 수행하여 현장 적용한 후, 운전자 교육을 목적으로 실제 풍력발전단지와 유사한 환경을 개발할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] Hill. S. et all, "Global Wind Sector", Macquarie Equities Research. 2011.7.6
- [2] Crown Estate, "http://www.thecrownestate.co.uk/r3-developers"
- [3] Vestas Inc., "Vestas Online™ Business Operator's Manual," 2009.
- [4] Bachmann Electronic, "http://www.bachmann.info/"
- [5] Beckhoff, "http://beckhoff.com/"
- [6] GE Enegry WindScada, "http://www.ge-energy.com/products\_and\_services/services/wind\_services/windscada.jsp"
- [7] GH SCADA, "http://www.gl-garradhassan.com/en/software/scada.php"
- [8] Young-jun Choi, eung-Jae Lee, yeon-Song Choi, uck-Su Lee, "Wind Generation Monitoring System based on International Standard IEC61400-25", Journam of the korean institute of electrical engineers, Vol.59, Issue 3, January, pp.16-18.



김 동 욱

e-mail : dongwook@kepcoco.kr

1999년 안양대학교 컴퓨터공학과(학사)

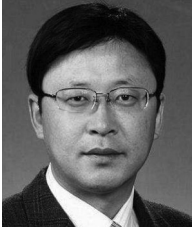
2001년 건국대학교 정보통신학과(석사)

2001년 건국대학교 정보통신학과(박사)

2010년~현 재 한국전력공사 전력연구원

선임연구원

관심분야 : 전력표준화, 풍력발전, SW공학, 운영체제



**송재주**

e-mail : jjsong@kepco.co.kr  
1991년 충북대학교 전자통계학과(학사)  
2001년 충북대학교 전자통계학과(석사)  
1991년~현 재 한국전력공사 전력연구원  
책임연구원  
관심분야: 스마트그리드, 분산전원, SW공학



**최효열**

e-mail : hychoi@kepco.co.kr  
1991년 한남대학교 전자계산공학과(학사)  
1993년 한남대학교 전자계산공학과(석사)  
1993년~현 재 한국전력공사 전력연구원  
선임연구원  
관심분야: PLC, 네트워크보안 및 관리



**정남준**

e-mail : njjung@kepco.co.kr  
1989년 조선대학교 컴퓨터공학과(학사)  
2005년 충북대학교 전자계산학과(석사)  
1991년~현 재 한국전력공사 전력연구원  
책임연구원  
관심분야: 스마트그리드, AMI, 소프트웨어  
품질관리