

이종 풍력 터빈의 감시 제어를 위한 통신 시스템 구조

論 文

10-1-6

A New Structure of Communication System for Monitoring and Control of Heterogeneous Wind Turbines

김 태 형, 황 태 호, 함 경 선*

Tae-Hyoung Kim, Tae-Ho Hwang, and Kyung-Sun Ham

Abstract

As increasing the importance of renewable energy recently, the scale of a wind power plant is increasing to the number of GW scale and specially, it is trend to move from onshore to offshore to use the higher quantity and quality of wind. Consequently to meet the trend, it is largely considered the importance of communication protocol to control and monitor remotely. But, because the communication protocol between the control center and a wind turbine has been independently developed by each wind turbine vendor, it is absence of the compatibility and extensibility when the heterogeneous wind turbines are installed in the wind farm. The IEC 61400-25 is the specifying standard for these problems in Europe. In this paper, we will show the state of these problems and present a new structure of communication based on the IEC 61400-25 to get the compatibility and extensibility between a control center and wind turbines.

Keywords : Wind Power, Wind Farm, IEC 61400-25, Control System

I. 서 론

최근 기후변화협약 및 화석연료 고갈에 따른 에너지 문제를 해결하기 위해 신재생에너지에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 선진국들은 이산화탄소 감축 및 신성장동력 확보를 위해 신규 에너지원인 풍력, 태양광, 바이오연료 등에 투자를 확대하고 있으며 국내에서도 이러한 추세에 발맞춰 신재생에너지에 대한 설비 및 기술투자를 확대하고 있다. 특히 풍력발전의 경우 신재생에너지 중에서 설비투자 대비 가장 경제성이 높은 에너지원이며, 2030년까지 약 8.1%의 연평균 성장률(CAGR)을 보일 것으로 예상된다[1]. 풍력발

전은 입지제한 및 대형화 추세에 따라 육상풍력(OnShore)에서 해상풍력(OffShore)으로 점차 이동하고 있으며, 덴마크, 네덜란드, 독일 등에서 대규모 해상 풍력 단지를 설립하여 운영 중에 있고, 국내에서도 제주도 및 새만금 등을 중심으로 단지 조성을 계획 중이다[2].

대규모 풍력 단지의 경우 각 풍력터빈이 넓은 지역에 광범위하게 산재되어 있고 사용자와 멀리 떨어져 있다. 단지 내 설치된 각 풍력터빈들은 블레이드 상태, 베어링 마모도, 발전기 온도 등과 같은 내부적인 요소와 낙뢰, 태풍 등과 같은 외부적인 요소에 따라서 오작동 및 출력의 변동이 발생할 가능성이 있다. 그러므로 안정적인 출력을 유지하고 오작동으로부터 풍력터빈을 보호하기 위해 효율적으로 기기를 감시하고 제어하여 기능 장애가 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다[3]. 풍력터빈 제어 및 운영 시스템은 Vestas, Bachmann, Beckhoff, GE, Mita 등과 같은 외국의

접수일자 : 2011년 02월 26일

심사일자 : 2011년 02월 27일

수락일자 : 2011년 03월 20일

*교신저자, E-mail : ksham@keti.re.kr

회사들이 기술 및 시장을 선점하여 전 세계 풍력터빈 시장에 공급하고 있으며, 기술 장벽 및 자사의 제품 판매를 위해 풍력터빈 제어시스템에 독자적인 통신 프로토콜을 사용하였다. 단일 풍력터빈으로 구성된 풍력 단지와는 달리 다양한 풍력터빈 제작사가 참여한 풍력 단지의 경우 새로운 풍력터빈의 추가나 제어시스템의 변경이 발생할 경우 기존의 설비들과 통신 환경을 맞추기 위한 추가적인 작업이 요구된다.

이러한 개별적인 통신 프로토콜에 대한 표준화 요구는 지속적으로 있어 왔으며, 이에 변전소 자동화 시스템의 국제 표준인 IEC 61850을 기반으로 한 IEC61400-25[4]가 제정되었다. IEC 61400-25는 풍력터빈 표준인 IEC 61400의 세부 표준으로써 풍력터빈의 감시제어를 위한 표준 통신 프로토콜에 대해 기술하고 있다. IEC 61400-25를 적용한 풍력터빈 모니터링 시스템에 관한 연구는 최근 들어 다양하게 진행되고 있다. 연구[5]는 풍력터빈 내/외부 통신 시스템을 IEC 61400-25 표준에 맞춰 설계하였고, 연구[6]은 원격 관리 제어를 위한 MMS(Manufacturing Message Specification) 및 웹 서비스를 사용한 IEC 61400-25 인터페이스를 구현하였다. 또한 연구[7]은 풍력 단지에서 각 풍력터빈 제어를 위한 통신 보안을, 연구[8]은 실증시험 중인 풍력터빈에 IEC 61400-25 기반 모니터링 시스템의 적용 사례에 대해 연구하였다. 이러한 기존 연구들은 단순히 단일 풍력터빈의 표준 프로토콜 구현에 따른 서비스 구축 및 적용에 초점을 맞추고 있어 풍력 단지에서 이종 풍력터빈들의 통합 감시제어를 위한 구체적인 통신 시스템 설계가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 풍력 단지에서 이종 풍력터빈들의 원활한 감시제어를 위한 통신 시스템을 설계한다. 이종 터빈들의 각 통신 프로토콜을 Virtual Manager라는 인터페이스 변환 관리자를 통하여 통일되지 않은 터빈 정보를 단일화된 표준 모델로 구성한다. 또한 표준 모델로 변환된 데이터는 IEC 61400-25-4에서 정의하고 있는 MMS, OPC(OLE for Process Control), Web Service (XML)와 같은 다양한 프로토콜을 통해 SCADA 또는 웹 브라우저에서 풍력터빈을 감시 및 제어할 수 있도록 한다. 본 논문에서 제안한 통신 시스템은 터빈 추가 및 프로토콜 변경 시 터빈 프로토콜에 대한 정보와 이를 표준 모델로

변환하기 위한 정의만 추가하면 되므로 확장성이 뛰어나며, 시스템 동작에 영향이 적은 일부분만을 수정하기 때문에 안정성이 향상된다.

II. 풍력터빈 제어시스템 통신 프로토콜

1. 기존 제어시스템 통신 프로토콜

현재 풍력터빈 제어시스템은 소수의 특정 회사들이 시장을 선점하여 공급하고 있으며, 각자 독자적인 통신 프로토콜을 사용하고 있다. 각 통신 프로토콜들은 TCP/IP 또는 UDP 이더넷 기반의 애플리케이션 레이어에서 프로토콜을 정의하고 있다. 표 1은 기존 제어시스템의 통신 프로토콜에 대해 간략히 설명한다.

표 1. 기존 제어시스템의 통신 프로토콜

Table 1. Communication protocol of existing control systems

구분	특징
Bachmann (SVD)[9]	<ul style="list-style-type: none"> SVI 메시지 인터페이스 사용 svi_AddGlobVar / svi_GetVal 등의 함수 정의 svi_MsgHandler를 통한 데이터 접근 제어
Beckhoff (ADS)[10]	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 및 함수를 정의한 ADS 라이브러리 사용 그룹/태그를 통한 데이터 계층화 TwinCAT 시스템을 통한 데이터 접근 제어
GE/Fanuc (EGC)[11]	<ul style="list-style-type: none"> EGD Component 데이터 구조 사용 Consume/Produce 방식의 데이터 교환 PAC 시스템을 통한 데이터 접근 제어
Omron (FINS)[12]	<ul style="list-style-type: none"> Section별 데이터 속성/값 정의 Map Descriptor를 이용한 데이터 교환 FieldServer를 통한 데이터 접근 제어

위와 같이 현재 각 풍력터빈들은 서로 다른 통신 프로토콜을 사용함으로써 풍력 단지에서 새로운 터빈의 추가나 통신 프로토콜 변경이 발생하면 기존의 설비들과 통신 환경을 맞추기 위해서 전반적인 시스템의 수정이 요구된다.

2. IEC 61400-25

표 2. IEC 61400-25의 구성

Table 2. Organization of IEC 61400-25

IEC 61400-25 Part. 1	Overall description of principles & models
IEC 61400-25 Part. 2	Information models
IEC 61400-25 Part. 3	Information exchange models
IEC 61400-25 Part. 4	Mapping to communication profiles
IEC 61400-25 Part. 5	Conformance testing
IEC 61400-25 Part. 6	LN classes and Data classes for Condition Monitoring

IEC 61400-25는 풍력터빈의 감시제어를 위한 표준 통신 프로토콜로써 표 2와 같이 총 6개의

부분으로 구성되어 있다.

IEC 61400-25는 풍력발전단지의 원격 감시 제어를 위한 통신을 정의 및 표준화 하였고, 풍력발전 설비들 간의 시스템 통신을 목표로 한다. 이 표준은 풍력발전단지의 회전자, 터빈과 같은 구성 요소를 묘사하기 위해서 특정화한 정보 모델을 정의하고 있으며, 통신 프로파일(Profile) 및 매핑(Mapping) 방식을 규정하고 있다. 그림 1은 이와 같은 IEC 61400-25의 통신모델 개념도를 보인다.

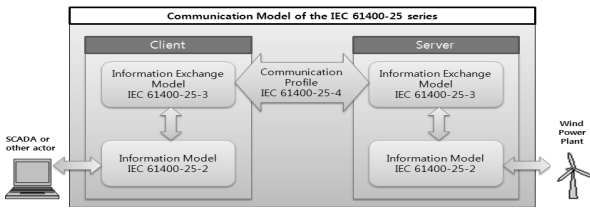


그림 1. IEC 61400-25 통신 모델 개념도
Fig. 1. Conceptual communication model of the IEC 61400-25

IEC 61400-25는 풍력발전 시스템을 위한 모든 기능들을 세분화하여 논리 데이터 및 알람, 리포트, 로그 등의 기능으로 분류하고 있으며, 모든 기능을 객체(Object)로 구성하기 위하여 CDC(Common Data Class)를 이용하여 통신이 가능한 최소의 표준 LN(Logical Node)를 정의하였다. 그림 2는 이러한 풍력발전 시스템의 논리적 구성인 정보모델(Information Model)을 보인다.

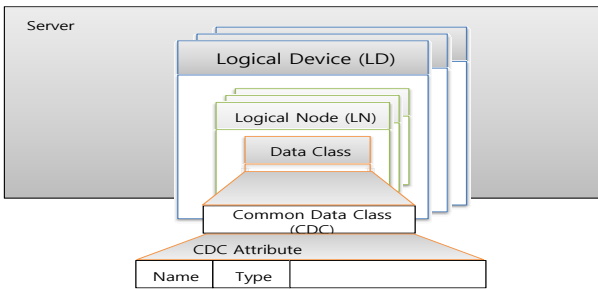


그림 2. IEC 61400-25 정보 모델
Fig. 2. Information model of the IEC 61400-25

정보모델은 LD(Logical Device), LN(Logical Node), Data, CDC(Common Data Class)와 같은 클래스들로 이루어져 있으며 계층적인 구조를 갖는다. LD는 실제 풍력발전 설비에서 하나의 풍력터빈을 의미하고, 서브클래스인 LN은 로터, 발전기 등의 터빈 요소를 나타낸다. Data 클래스는 로터 속도, 발전기 온도 등의 데이터를 표현하며, CDC는 해당 데이터들의 속성을 정의한다. LN은

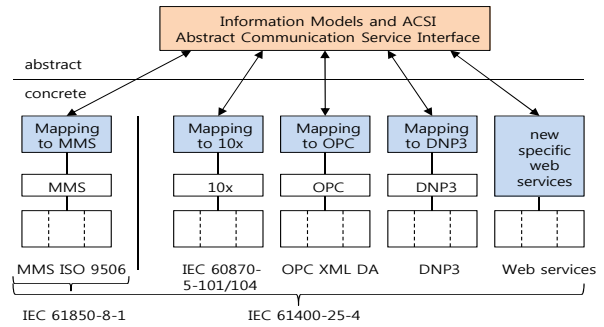


그림 3. IEC 61400-25-4 통신 프로파일 매핑
Fig. 3. Mapping to communication profile of the IEC 61400-25-4

풍력터빈 내 각 요소에 대한 일반적인 정보 뿐 아니라 풍력 단지의 기상정보, 유효전력 등에 관한 정보를 모델링한다.

IEC 61400-25 파트 4는 풍력단지 내 통신망에 있어서 호스트와 접속된 풍력발전 설비 사이의 통신을 유기적으로 연결하기 위한 서비스 및 프로토콜을 규정하고 있다. 그림 3은 IEC 61400-25-4에서 요구하는 다섯 가지 통신 프로파일들과 매핑 방식에 대해 보인다. 이와 같이 IEC 61400-25는 풍력발전 설비들을 여러 클래스들로 모델링하고 특정 프로토콜과 매핑하여 풍력발전을 감시제어 할 수 있는 시스템을 구성하는 방법에 대해 정의하고 있다.

III. 통신 시스템 설계

1. 전체 시스템 구조

본 논문에서는 IEC 61400-25 표준을 바탕으로 각 풍력터빈사가 제공하는 제어시스템의 독자적인 통신 프로토콜을 수용할 수 있는 통신 시스템을 설계하여 풍력단지에서 이종 터빈의 추가 및 터빈 내 제어시스템 변경 시에도 전체 풍력 단지를 감시제어하는 통신 프로토콜의 단일화를 통하여 확장성과 안정성은 확대하고 비용과 위험은 줄였다.

그림 4와 같이 통신 시스템은 1) 풍력터빈 개체 생성 및 관리, 2) 풍력터빈 데이터의 정보모델 변환, 3) 데이터 레포팅 및 로깅, 4) MMS, OPC, 웹 프로토콜 등 매핑, 5) 클라이언트 연결 관리를 하는 총 다섯 개의 매니저를 통하여 전체 시스템을 구성하고 있다.

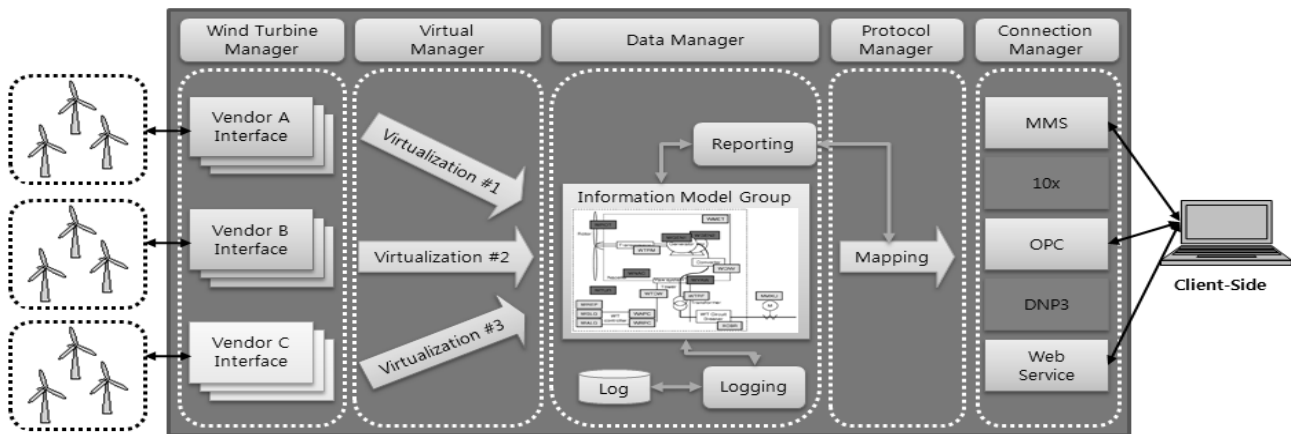


그림 4. 통신 시스템 구조

Fig. 4. Commuination System Architecture

2. 시스템 구성 요소

- Wind Turbine Manager

Wind Turbine Manager는 각 풍력터빈사에서 자사의 제어시스템에 적용하고 있는 프로토콜에 대한 명세를 정의하고 있다. 각각의 터빈은 하나의 개체로 관리되며, 특정 프로토콜을 사용하는 개체끼리 그룹화되어 동일한 인터페이스를 사용한다. 따라서 그림 4와 같이 기존 프로토콜 명세가 정의되어있는 터빈이 추가될 경우엔 단순히 해당 개체를 하나 증가시킴으로써 관리가 가능하며, 이중 터빈이 추가될 경우엔 Wind Turbine Manager에 해당 터빈사의 프로토콜 명세를 정의하면 새로운 그룹으로 관리할 수 있다.

터빈의 개체화 및 그룹화된 인터페이스를 통해 통신 시스템의 데이터 처리/관리와 분리시켜 통신 시스템을 은닉시킴으로써 새로운 터빈의 추가 시 시스템 전체를 수정해야하는 비용을 줄일 수 있다.

- Virtual Manager

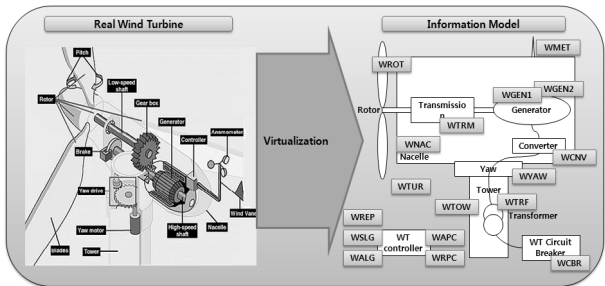


그림 5. 정보 모델 변환

Fig. 5. Virtualization to Information Model

특정 프로토콜의 명세로 정의된 인터페이스는

IEC 61400-25의 표준에 기술된 정보 모델 (Information Model)로 변환되어야 한다. 이를 변환하는 역할을 Virtual Manager가 담당하며 Virtual Manager는 Wind Turbine Manager에서 정의된 그룹 인터페이스와 정보 모델을 매핑하는 과정을 진행한다. 매핑 자동화를 위해서는 그룹 인터페이스와 정보 모델의 LN 클래스, 데이터 클래스, CDC를 매칭하기 위한 정보가 필요하며 이는 최초 풍력 제어 시스템 설계 시 추가해야 한다. 새로운 통신 프로토콜을 사용하는 터빈이 추가될 경우엔 Wind Turbine Manger와 마찬가지로 정보 모델 변환을 위한 정보를 Virtual Manager에 추가해 준다.

- Data Manager

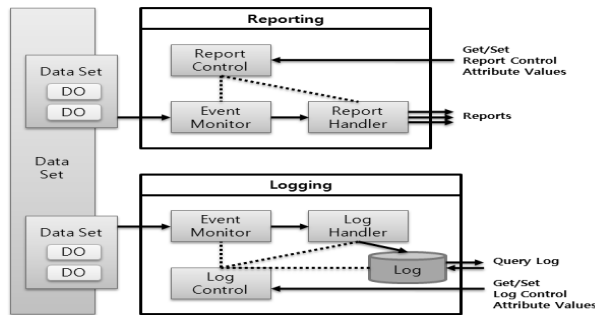


그림 6. 정보 교환 모델

Fig. 6. Information Exchange Model

Data Manager는 정보 모델로 변환된 데이터를 관리하는 역할을 한다. Data Manager는 Reporting과 Logging의 두 요소가 존재하는데, Reporting은 레포트 제어, 이벤트 모니터, 레포트 핸들러 세 블록으로 구성된다. 레포트 제어 블록

은 정보 모델(데이터 집합)을 참조하고 있으며 특정 요청에 따라서 이벤트 모니터 및 레포트 핸들러를 제어하여 레포트 메시지를 얻어온다.

예를 들어 로터의 현재 회전수에 대한 정보를 얻어오라는 이벤트가 발생하였다면, 이벤트 모니터를 통해서 정보 모델에서 로터 정보에 해당하는 WROT LN에서 회전수에 대한 데이터를 얻어오는 이벤트를 발생시키고, 얻어온 데이터를 레포트 핸들러를 통해서 내보낸다.

Logging은 Reporting과 비슷한 구조를 가지는데 차이점은 로그 정보를 저장하기 위한 DB가 존재하는 것이다. 로그 정보 요청이 발생하면 정보 모델(데이터 집합)에서 얻어온 정보들은 Log DB에 저장되며 클라이언트에서 쿼리를 통해 얻어올 수 있다.

- Protocol Manager

정보 모델 데이터는 IEC 61400-25-4에 정의된 다양한 프로토콜로 매핑하여 통신할 수 있다. 본 논문에서는 표준에서 제시하고 있는 프로토콜 중에서 가장 사용 빈도가 높은 MMS, OPC, 웹 서비스 매핑에 대해서만 시스템을 설계하였다.

- Connection Manager

통합 정보 시스템은 SCADA, ERP, 네트워크 어플리케이션, 웹 페이지 등을 통하여 접근할 수 있으며 이를 위해서 Protocol Manager가 다양한 프로토콜로 서비스를 매핑해 준다. Connection Manager는 이러한 프로토콜을 통해 클라이언트의 연결 접속을 관리하는 역할을 수행한다.

IV. 통신 시스템 구현 및 실험

본 논문에서는 제안한 설계 사항에 따라 통신 시스템을 구현하고, 이를 통해 이중 터빈의 감시 및 제어가 원활히 이뤄지는지를 확인하기 위한 동작 실험을 진행하였다. 통신 시스템에서 가장 중요한 부분은 터빈사의 제어시스템에서 사용하는 특정 프로토콜에 대한 명세를 정의하고 이를 표준 프로토콜로 변환하기 위한 매핑 과정이다. 이를 위해 본 실험에서는 Bachmann 및 GE/Fanuc 사의 제어시스템 통신 프로토콜에 대한 명세를 통신 시스템에 포함하고, 풍속, 로터 스피드, 발전기 속도, 발전기 토크, 블레이드 각도,

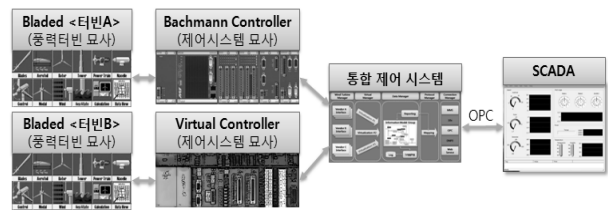


그림 7. 실험 환경 구성

Fig. 7. Configuration of Experimental Environment

블레이드 모멘트 등 터빈의 제어에 필수적인 요소만을 매핑하여 시스템을 구현하였다.

그림 7은 실험 환경 구성을 보인다. 풍력터빈은 G&H사의 Bladed 툴을 이용하여 묘사하였고, 제어 시스템은 Bachmann 컨트롤러와 가상 컨트롤러(GE/Fanuc 시스템 묘사)를 사용하였다. 또한 클라이언트와의 연결은 OPC 프로토콜을 사용하여 실시간으로 감시/제어가 가능한 SCADA 프로그램을 구현하였다.

실험 결과 Bladed는 제어시스템과 연계하여 풍속에 따라 발전기 토크 및 블레이드 각도를 조절하여 정상적으로 운행하였고, SCADA 시스템에서는 각 터빈의 상태를 실시간으로 감시할 수 있었다. 또한 통신 프로토콜이 다른 이중 터빈의 제어가 통신 시스템을 통해 가능한지 확인하기 위하여 그림 8과 같이 SCADA에서 강제적으로 터빈 종료 명령을 내려서 터빈 A와 터빈 B가 각각 중단되는지 확인하였다. 그 결과 Bladed와 연계된 프로그램을 통해 현재 터빈의 발전기 토크 및 블레이드 각도가 SDACA에 내려진 명령에 따라서 점차 0으로 변화하는 것을 볼 수 있었다.



그림 8. 동작 실험 결과

Fig. 8. Experimental Work Result

V. 결 론

본 논문에서는 대규모 풍력 단지에서의 이중 터빈 간 통신 프로토콜의 차이로 인한 효율적인 감시/제어 시스템의 부재를 IEC 61400-25 표준을

적용한 통신 시스템을 구현하여 보완하였다. 통신 시스템은 각 터빈을 개체화 하고 동일 프로토콜을 사용하는 터빈을 묶어 그룹화 하였으며, 특정 프로토콜 명세에 대한 정의를 정보 모델로 변환하는 작업을 통하여 풍력 단지 내 새로운 터빈의 추가가 발생하더라도 시스템의 수정을 최소화 함으로써 호환성과 안정성을 높였다.

이러한 통신 시스템의 동작을 확인하기 위해서 터빈, 제어시스템 그리고 SCADA 프로그램을 연계하여 실시간 모니터링 및 제어가 가능함을 보였다. 또한 실험 결과 통신 프로토콜이 다른 이종 터빈들에 대한 제어가 단일화된 표준 통신 체제로 가능함을 확인하였다.

[참고 문헌]

[1] 하나금융경영연구소, “국내 풍력발전산업의 전망과 경쟁력 분석,” 2009
 [2] 전국경제인연합회, “풍력산업 현황과 개선과제,” 2009.
 [3] 남윤수, “풍력터빈의 제어,” GS인터비전, 2009.
 [4] IEC Standard 61400-25 “Communications for monitor-

ing and control of wind power plants,” Subparts 1 to 5
 [5] G. Giebel, O. Gehrke, M. McGugan, and K. Borum, “Common Access to Wind Turbine Data for Condition Monitoring The IEC 61400-25 Family of Standards,” *Proceedings of the 27th Riso International Symposium on Materials Science*, Riso International Laboratory, Denmark, 2006.
 [6] J. H. Lee, M. J. Seo, G. S. Kim, and H. H. Lee, “IEC 61400-25 Interface Using MMS and Web Service for Remote Supervisory Control at Wind Power Plants,” *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2008.
 [7] Y. Lin, B. Duan, Y. Su, and X. Yu, “Research on the Security of Supervisory Control Communication in Wind Farm,” *International Conference on SUPERGEN*, pp. 1-5, 2009.
 [8] 최영준, 이승재, 최면충, 이덕수, “IEC61400-25 국제 표준프로토콜을 적용한 풍력 발전 모니터링 시스템 개발 사례 연구,” *대한전기학회논문지*, 제59권, 제1호, pp. 16-18, 1. 2010.
 [9] Bachmann M-BASE Manual V3.05R
 [10] http://www.beckhoff.de/default.asp?twincat/twincat_ads.htm
 [11] http://geplc.com/downloads/Labs/GFS-384_M09_EGD.pdf
 [12] http://www.fieldserver.com/docs/pdf/FS-8704-16_OmronFins.pdf

Biography



김 태 형
 2008년 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2011년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
 2009년~현재 전자부품연구원
 <관심분야> Embedded System, Real-time OS, Wind Turbine Control

<e-mail> thkim@keti.re.kr



함 경 선
 2000년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2005년 헬싱키 경제대 MBA
 2000년~현재 전자부품연구원
 <관심분야> Wind Power, Smart Grid, Renewable Energy Control

<e-mail> ksham@keti.re.kr



황 태 호
 2000년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2009년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과(공학박사 수료)
 2000년~현재 전자부품연구원
 <관심분야> Real-time OS, Streaming, WPAN, Wind Turbine Control

<e-mail> taeo@keti.re.kr