

풍력발전기 증속기 상태를 감시하기 위한 SaaS 클라우드 인프라 개발

이광세, 최정철, 강승진, 박사일, 이진재*
한국에너지기술연구원 풍력연구소

Development of SaaS cloud infrastructure to monitor conditions of wind turbine gearbox

Gwang-Se Lee, Jungchul Choi, Seung-Jin Kang, Sail Park, Jin-jae Lee*
Wind Energy Laboratory, Korea Institute of Energy Research

요약 본 논문에서, 풍력발전기 운영관리 및 유지보수 비용을 저감하기 위해, 분산되는 전산자원을 통합하고 인적 자원을 효율적으로 운영 할 목적으로 SaaS 클라우드 방식의 상태 감시 인프라를 설계 및 개발하였다. 개발한 인프라에서 관련 업무 및 서비스에 따라 각 데이터들을 계층화 하였다. 인프라 상에서 상태 감시를 수행 할 경우에 필요한 기본적인 SW를 개발 하였다. 측정 시스템에 대응하는 데이터베이스 설계 SW, 현장 측정 SW, 데이터 전송 SW, 모니터링 SW로 구성되어 있다. 기존의 SCADA 데이터 뿐 아니라 추가적인 센서를 설치하여 풍력발전기의 상태 관측이 가능하다. 상태감시 알고리즘 내 단계 별 지연 시간을 모델링하여, 현장 측정에서 최종 모니터링 단계 까지 소요되는 총 지연 시간을 정의 하였다. 진동 데이터는 고해상도 측정에 의해 취득되기 때문에, 지연 시간은 불가피하고 유지보수에 관한 프로그램 운영 시 지연시간 분석은 필수적이다. 모니터링 대상은 MW 용량의 풍력발전기의 증속기이며, 해당 풍력발전기는 운전 한 지 10년이 넘는 모델로서, 이는 앞으로 해당 풍력발전기의 효율적인 유지보수를 위해 정확한 상태 감시가 필수적임을 뜻한다. 본 인프라는 연간 50 TB 용량의 고해상도 풍력발전기 증속기 상태를 처리 할 수 있도록 운영 중이다.

Abstract In this paper, to integrate distributed IT resources and manage human resource efficiently as purpose of cost reduction, infrastructure of wind turbine monitoring system have been designed and developed on the basis of SaaS cloud. This infrastructure hierarchize data according to related task and services. Softwares to monitor conditions via the infrastructure are also developed. Softwares are made up of DB design, field measurement, data transmission and monitoring programs. The infrastructure is able to monitor conditions from SCADA data and additional sensors. Total time delay from field measurement to monitoring is defined by modeling of step-wise time delay in condition monitoring algorithms. Since vibration data are acquired by measurements of high resolution, the delay is unavoidable and it is essential information for application of O&M program. Monitoring target is gearbox in wind turbine of MW-class and it is operating for 10 years, which means that accurate monitoring is essential for its efficient O&M in the future. The infrastructure is in operation to deal with the gearbox conditions with high resolution of 50 TB data capacity, annually.

Keywords : wind turbine, gearbox, condition monitoring system, vibration, SaaS, big data

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20163010024790).

*Corresponding Author : Jinjae Lee(Korea Institute of Energy Research)

Tel: +82-64-800-2233 email: ljjang2729@kier.re.kr

Received July 11, 2018

Revised (1st August 06, 2018, 2nd August 20, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서론

풍력발전기 운영관리 및 유지보수를 최적화하면 발전기 운전 효율을 높여 경제적 이득을 최대화 할 수 있다. 이러한 최적화를 위해, 풍력발전기 상태 감시 기반의 사전 고장 진단 기술은 풍력발전기 관련 주요 연구 분야이다. 예를 들어, GE 및 SIEMENS 등의 풍력발전기 제작사는 경쟁적으로 빅데이터 기반의 상태 감시 인프라를 개발하고 있다[1]. Fraunhofer 및 NREL 등 국외 풍력에너지 연구기관들은 상태분석 시스템과 연계 할 새로운 빅데이터 처리, 신호 분석 및 의사결정지원 알고리즘을 연구하고 있다[1,2].

의미 있는 상태 분석을 위해선, 풍력 발전기에서 발생하는 상태 정보들을 높은 해상도로 장기간 누적해야한다. 현재는 풍황, 발전량, 전력품질, 계통 상태 등의 가공되지 않은 1차 측정치를 관측하는 상태 감시 시스템이 주를 이루며, 최근 증속기 진동을 계측하여 그 것을 기반으로 상태 분석을 수행하는 시스템들이 개발되고 있는 실정이다 [2].

GE는 predix라는 PaaS 클라우드 기반 범용 산업인터넷플랫폼을 개발하였고, 이는 풍력발전단지 설계, 운전 또는 유지보수를 효율화하기 위한 목적으로 이용 가능하다

다. 그 예로 GE는 ‘디지털 윈드 팜’이라는 솔루션을 제공한다[3]. ‘디지털 윈드 팜’은 PaaS 클라우드 시스템과 풍력발전기 CMS를 연계한 형태의 솔루션으로서, 이를 이용하면 고장 진단 뿐 아니라 다양한 수요에 대응하여 빅데이터 기반 풍력발전시스템 설계/운영/연구를 수행할 수 있다.

또한, SaaS 클라우드 방식의 CMS 인프라는 풍력에너지의 총괄적인 연구 및 비즈니스 모델을 시험 할 수 있는 기반이 될 수 있다. 이러한 CMS를 개발하기 위해선, 클라우드 인프라 구축 기술, 데이터 취득/통신 기술, 신호처리 기술, 빅데이터 처리 기술 및 풍력발전 시스템 설계/운전/유지보수에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 특히, 수 년간 풍력발전기를 운영 관리한 능력과 이 후 지속적으로 유지보수 이력을 관리할 수 방안이 필요하다. 운영 관리 능력과 유지보수 이력 추적 기술은 클라우드 기반 CMS의 활용성 및 의사결정지원 정확성 증대에 필수적이다.

다양한 풍력발전기 구성요소 중 증속기는 가장 빈번히 풍력발전기 고장이 일어나는 구성요소이며, 진동은 가장 긴 예방 시간 (preventing time)를 가지는 고장 신호이다[4]. 그러므로 증속기의 상태를 진동 데이터로부터 보다 정확하게 분석하여 사전 고장 진단을 수행 한다

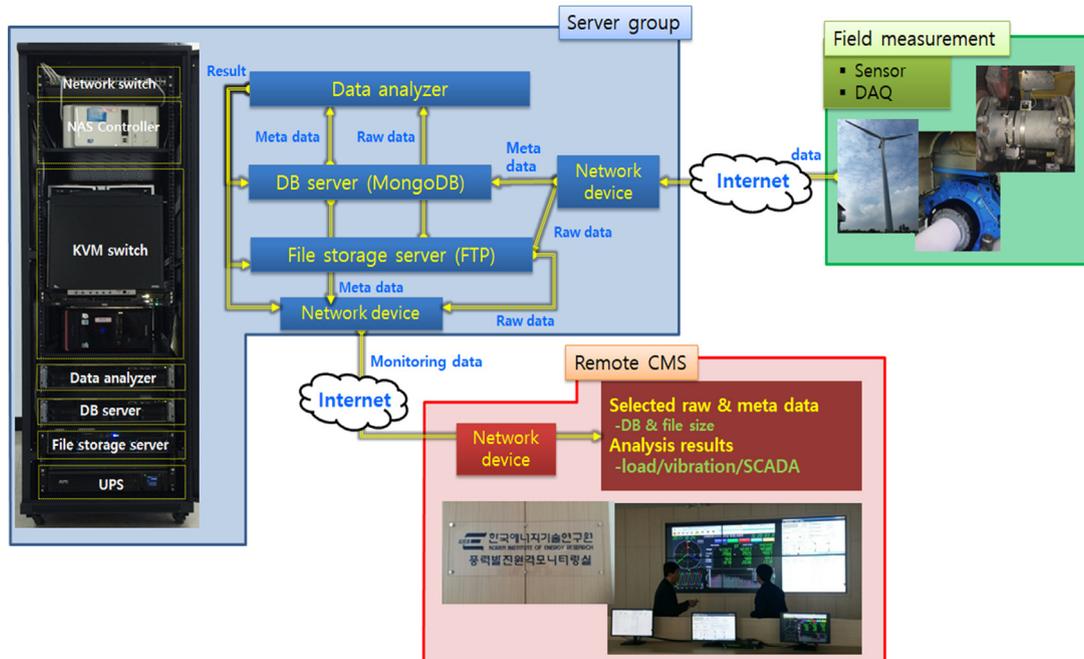


Fig. 1. Schematic description for CMS based on SaaS cloud

면, 하나의 예방형 보수 시스템으로서 CMS는 발전기 운영의 유연성 및 이용률을 전반적으로 증대시킬 수 있다.

본 논문에서, 사전 고장 진단 기술 개발 및 다양한 비즈니스 모델 시험 기반으로서, SaaS 방식 CMS 인프라 개발하였고, 감시 대상은 MW 급 풍력발전기의 증속기이다.

2. SaaS CMS 인프라 구성

2.1 전체 인프라 구성

SaaS 방식의 CMS 인프라는 소프트웨어 (SW) 그룹과 하드웨어(HW) 그룹으로 나누어 구성 하였다. HW 그룹은 각 서버그룹, 통신 인프라, 현장 측정 시스템, 모니터링 시스템으로 구성하였으며, SW 그룹은 측정 DB 설계 SW, 현장 측정 SW, DB 업데이트 및 데이터 업로드 SW, 모니터링 SW로 나누어 개발 하였다.

2.2 HW 그룹 구성

HW 그룹 상 정보의 흐름은 Fig. 1과 같이 도시할 수 있다. 메타데이터(meta data) 및 서비스 데이터에 대한 미들웨어(middleware)로서 MongoDB를 운영하고, 원 데이터(raw data) 파일은 FTP 서비스가 관리하였다. 메타데이터 및 각종 로그들이 지속적으로 DB에 저장되며, 측정된 풍력발전기 상태에 대한 원 데이터는 헥사바이너리(hex-binary) 타입으로 구성된다. 원 데이터와 메타데이터로부터 유지보수 또는 운영에 대한 의사결정지원을 하기 위한 신호처리와 의사결정은 데이터 분석기(DA, data analyzer)로 명명한 서버 시스템에서 수행한다.

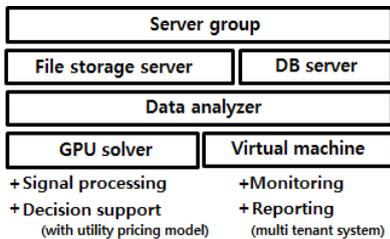


Fig. 2. Working structure of Server group

DA 는 파일저장소(file storage)와 데이터베이스 서버로부터 전송된 데이터를 해석한다. 신호처리와 의사결정

지원을 담당하는 GPU(graphic processing unit) 연산 목적의 리눅스 시스템과 웹-앱(web-app)을 구동하여 상태 감시 및 보고를 수행하는 Windows 서버 시스템으로 구성된다. 이 때, GPU 연산에는 실제 연산량에 따라 요금을 과금하는 가입형 종량제(utility pricing model)를 적용하여 비즈니스 모델을 정의 할 수 있다. 다음으로 상태 감시와 보고는 멀티테넌트(multi tenant) 시스템으로 구성할 수 있어, 다수 조직에 대한 서비스의 상호 독립성을 유지 한다. Fig. 2는 이와 같은 작업 구조를 개략적으로 표현한다.

현장 측정 시스템(FMS, field measurement system)은 데이터 취득부(DS, DAQ system)와 측정데이터 전송을 위한 시스템(CS, communication system)으로 구성할 수 있으며, Fig. 3에 요약하였다. DS는 시험을 위한 사전 테스트 및 현장 교정을 위한 SW (calibration SW)와 장기간 데이터 취득을 위한 SW (DAQ SW)로 구성한다. 고해상도 측정데이터를 모두 전송하기 위한 자원을 저감하기 위해, CS의 데이터 전송 기준을 연동 SW에 설정하여 운영 할 수 있다. 하지만, 데이터 전송 시 상대적으로 크기가 적은 메타데이터는 항상 SaaS 인프라로 저장된다. DS HW는 센서류, 케이블류 그리고 각 DAQ 장치가 해당하며, CS HW는 DAQ 장치와 연결된 데이터 로거, 산업용 PC, 허브, 스위치 등을 뜻한다.

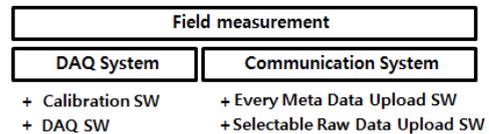


Fig. 3. Working structure of Field measurement

원격지 마다 상이한 서비스 항목을 제공하는 CMS 시스템(remote CMS)을 구성할 수 있으며, Fig. 4와 같이 해당 서비스는 크게 상태보고(condition report)와 의사결정지원(decision support)으로 나뉠 수 있다. 각 서비스는 가입형 종량제로서 SaaS 서비스 사업자에게 요청할 수 있으며, 원격 CMS는 웹 또는 앱 형태로 PC에서 실행 가능하다. 또는 모바일 환경을 고려하여, 웹-앱 형태로 개발할 수 있다. 그러므로, CMS 서비스를 위한 HW는 TCP/IP 인터넷 통신의 되는 PC, 스마트 폰 등이 된다.

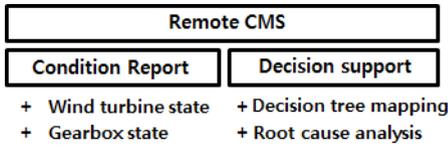


Fig. 4. Working structure of Remote CMS

2.3 DB 설계

SaaS CMS 서비스를 고려한 HW 구성 후, 데이터 관리/분석/보고를 위한 DB 구조를 개발해야한다. DB 구조는 Fig. 5와 같이 요약 할 수 있다. DB 구조는 풍력발전기 제작사, 발전사업자, 운영관리자를 고려한 멀티테넌시 구현을 위해 다중 레이어 시스템으로 구성한다. 각 레이어의 데이터를 확보하고 연산하여 최종적인 결과를 도출하기 위해, DB에 연계 된 작업흐름(task flow)은 실험실 구성 및 현장 측정 시스템 설치(Lab. setting & local installation), 현장 데이터 송수신(local transmission & central reception), 멀티테넌시에 대응하는 결과 보고를 위한 연산 코드(serial/parallel code), 사용자 응답형 자동 보고(user responsive auto. presentation) 순서로 구성되었다.

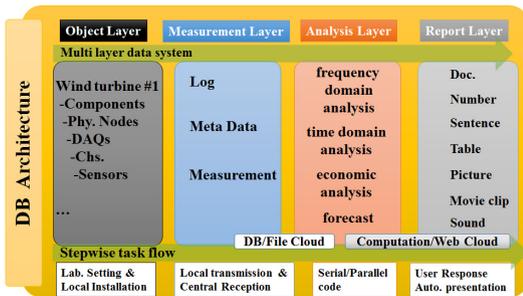


Fig. 5. DB Architecture of multi layer system with stepwise task flow

개체 계층(OL, object layer)에서는 실제 데이터를 발생하는 개체들인 풍력발전기들과 설치 된 센서 및 DAQ 류 등을 정의하는 데이터 계층이다. 측정 계층(ML, measurement layer)은 단일 풍력발전기에 대한 측정 결과 인 측정 일지, 메타데이터, 원 데이터를 관리한다. 분석 계층(AL, analysis layer)은 멀티테넌시 구현을 위해, 각 종량제 요금 지불 결과에 따른 분석 데이터를 관리한다. 즉, 각 요금 지불에 따라 해당 데이터가 계산되고, 고객에게 제공 가능하다. 시간/주파수 영역 분석, 경제성

분석 및 풍황, 소음 등의 예측 결과들이 AL에서 관리된다. 다음으로 자동 보고 시스템의 결과를 관리하는 보고 계층(RL, report layer)로 DB를 구성하였다. RL의 데이터는 서비스 요청 기업 뿐 만 아니라 사용자 별 접근 권한을 상이하게 할 수 있도록 설계하였다.

DB 구조 설계 후 용량 산정은 데이터 형식에 따른 기본 용량과 관심 주파수에 따른 데이터 해상도 그리고 채널 수에 따라 기본적으로 산정하고, Hadoop 파일 시스템 및 RAID 구성에 따라 최종 데이터 용량이 결정 된다. 본 연구에서는 4 bytes 크기의 부동소수점 형식을 기본 데이터 형식으로 하고, 진동 데이터는 10 kHz, 그 이외의 측정치는 100 Hz의 해상도로 취득한다. 파일 시스템은 RAID 5로 구성하여, 디스크장치 장애 또는 손상에서 데이터를 보호하였다.

2.4 측정 시스템 모델 설계

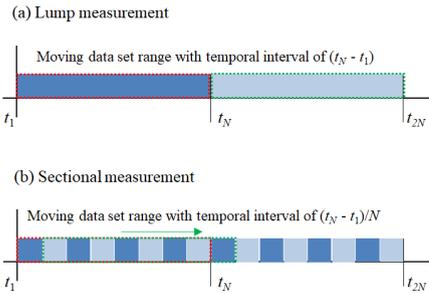


Fig. 6. Two measurement approaches to monitor data set with target minimum frequency

측정 데이터를 원격에서 감시하기 위해서는 측정이 시작되는 순간부터 최종 감시까지의 소요시간인 지연 시간의 최소화가 중요하다. 본 논문에서, 최종 지연 시간 τ_t 은 다음과 같이 모델링하였다.

$$\tau_t = \tau_f + \tau_w + \tau_u + \tau_c + \tau_m \quad (1)$$

τ_f 는 주파수 해상도에 대응하는 데이터 측정 주기, τ_w 는 데이터를 보호하기 위해 현장 시스템에 데이터가 저장되는 시간이고, τ_u 는 네트워크로 통해 클라우드 시스템으로 데이터가 전달되는 시간, τ_c 는 데이터 분석 시 수행되는 일련의 모든 데이터 연산 시간, 그리고 τ_m

는 다시 서비스로 분석 결과등이 전달되어 감시가 진행되는 시간을 뜻한다.

데이터 처리 시 해당 정보를 일괄 측정(lump measurement) 또는 분할 측정(sectional measurement) 함에 따라 τ_f 는 최적화 가능하다. Fig. 6을 참고 하면, 측정 간격 τ_f 는 다음과 같다.

$$\tau_f = \begin{cases} t_N - t_1 & , \text{Lump approach} \\ (t_N - t_1) / N & , \text{Sectional approach} \end{cases} \quad (2)$$

단, 상태감시에서 요구하는 주파수 해상도 또는 최저 관심 주파수는

$$df = 1 / (t_N - t_1) \quad (3)$$

이다. 이에, 식 (3)의 해상도를 가지는 측정 결과를 확보한다는 가정 하에, 일괄 측정(lump approach)의 τ_f 는 분할 측정(sectional approach)의 τ_f 보다 N 배 더 길다. 다만, 현장에서 데이터를 취득하는 DAQ 시스템의 사양 및 측정 해상도 범위에 따라 측정 간격 설정은 제한된다. 이는 DAQ 시스템의 연산 및 메모리 사양, 그리고 SW 또는 HW적으로 가용한 버퍼 크기 및 샘플링 속도가 데이터 해상도와 측정 간격 간의 관계에 영향을 미치기 때문이다. 이에 시스템 사양에 따라, 분할 측정 횟수 N의 설정이 달라질 수 있다. 그러므로, 식 (1)의 대부분 지연 시간들이 HW 시스템 사양에 크게 영향 받고, τ_f 는 HW 시스템 성능을 고려한 측정 방법론 선정과 측정 SW 설정을 통해 최적화 가능하다.

본 논문에서는 분할 측정 방법을 이용하였다. 그 결과 구성한 DAQ 모델에 따른 지연시간은 증속기 진동 데이터 기준 총 약 20 초이다. 또한, 클라우드에서 해당 데이터를 분석 할 때, 주파수 해상도, 스펙트럼 평균 횟수와 오버랩 비율을 설정값으로 하여 FFT를 수행 할 수 있도록 서비스를 개발 하였다.

2.5 CMS 운영 알고리즘 설계

개발한 SaaS 기반 CMS는 Fig. 7과 같은 운전 알고리즘을 가진다. CMS가 시작 되면, 통신 및 현장 데이터 취득 시스템에 대한 점검을 수행한다. 점검 시 확인 된 오류는 보고되며, 그 결과는 ML의 일지(로그)에 저장된다.

이 후 센서의 동기화가 마무리 되면, 실제 측정이 수행된다. 측정/분석/보고 단계에서는 식 (1)에서 정의한 지연 시간이 발생한다. 운전 알고리즘 내 측정은 독립 쓰레드로서 실행되고, 이 때 실시간 측정값은 DAQ 시스템 내부 버퍼에 누적된다. 내부 버퍼에서 주파수 해상도에 대응하는 시간만큼의 데이터가 쌓이면, 해당 데이터는 현장 로거나 산업용 PC에 기록된다. 기록 된 데이터로부터 신호의 최대/최소값, RMS, 중앙값 등이 계산되고, 신호 자체 정보를 포함한 계산 값들이 MongoDB로 된 데이터는 FTP 클라우드로 전송한다. 이 후, 의사결정지원 또는 상세 분석을 DA에서 수행하고 그 결과를 모니터링 한다.

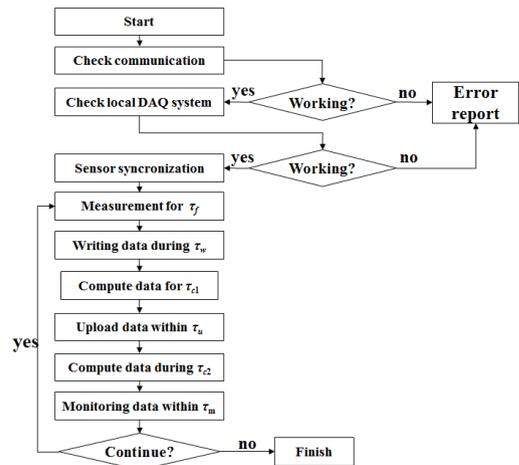


Fig. 7. Working algorithm & step-wise delay-time

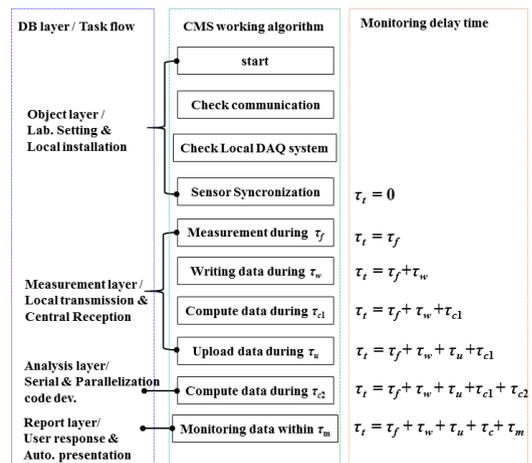


Fig. 8. DB layer, Task flow and delay-time corresponding to CMS working algorithm

각 운전 알고리즘 단계 마다 연계되는 데이터베이스 계층 및 작업흐름 및 지연시간은 Fig. 8과 같다. 서비스 단계에서 사용자 별 멀티테넌시를 구현 할 수 있지만, Fig. 8에 따라, 각 운전 알고리즘에 대응하는 CMS를 설치/운영하는작업 그룹 간의 데이터 접근 권한을 차등적으로 관리할 수 있으므로 업종 별 멀티테넌시를 구현 할 수 있다. 즉, 서비스 이용자 그룹 뿐만 아니라, CMS 설치를 위한 다양한 컨소시엄 기업 사이에도 멀티테넌시를 구현 할 수 있는 것이다.

모니터링 지연 시간은 최소화 할수록 신속한 풍력발전기 상태를 감지 할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라, 각 운전 알고리즘 단계에 대응하는 지연 시간을 정의하여, 상세 지연시간 설계가 가능하게 시스템을 구성하였다.

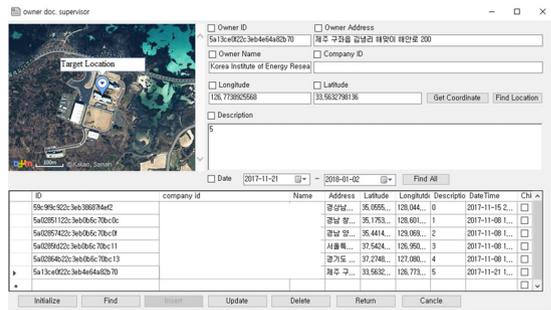
2.6 CMS 운영 SW 개발

GPU를 이용한 신호처리 및 의사결정지원 해석을 위한 코드를 제외하면, 해당 CMS를 운영하기 위한 SW는 DB 관리, 측정, 데이터 업로드 및 DB 업데이트, 모니터링 SW로 구성한다. Fig. 9 (a)는 CMS를 통해 감시 하는 풍력발전기에 대한 DB 관리를 위한 SW를 나타낸다. 해당 풍력발전기 정보를 포함하여, 소유자, 관리자, 측정 대상 부품 대분류, 부품, 물리적 측정 지점, 계측기, 센서 정보를 해당 SW가 관리하며, 이들 각 정보는 OL에 저장된다. Fig. 9 (b)는 DB 관리 SW를 통해 풍력발전기 소유자에 대한 정보를 검색/저장/수정/삭제하는 GUI를 나타내고 있다.

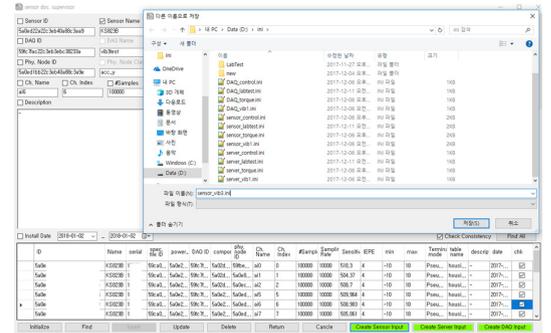
관심 있는 센서 정보에 연계 된 전체 OL 데이터들을 추출 할 수 있어, 센서 정보 관리 GUI로부터 현장 측정 SW 설정 할 수 있는 입력파일을 만들 수 있다. Fig. 9 (c)와 같이 해당 풍력발전기에서 측정할 센서 정보를 모두 구성하고 그 것으로부터 DAQ 설정을 위한 입력파일을 확보하는 과정은 작업흐름 중 Lab. setting에 해당한다.

Registration			
Sensor Information			
Owner ID	Owner Name	Address	Summary
<input type="text"/>	KIER	제주 구좌읍 갈매리 해맞이 제1안로 20	<input type="button" value="Get Owner"/>
Manager ID			
Manager ID	Manager Name	Address	<input type="button" value="Get Manager"/>
<input type="text"/>	Wind Energy Lab.	제주 구좌읍 갈매리 해맞이 제1안로 20	
Power System ID			
Power System ID	Power System Name	Address	<input type="button" value="Get Power system"/>
<input type="text"/>	HU1500	제주특별자치도 제주시 구좌읍 칠성리	
Component Class ID			
Component Class ID	Comp. Class Name	Component Class Description	<input type="button" value="Get Comp. Class"/>
<input type="text"/>	Gearbox	HU1500 Gearbox	
Component ID			
Component ID	Component Name	Component Description	<input type="button" value="Get Component"/>
<input type="text"/>	high speed shaft	test based on V013834	
Phys. Node ID			
Phys. Node ID	Phys. Node Name	Phys. Node Attribution	Direction
<input type="text"/>	acceleration		x
DAQ ID			
DAQ ID	DAQ Name	Serial	<input type="button" value="Get DAQ"/>
<input type="text"/>	N14472		
Sensor ID			
Sensor ID	Sensor Name	Sensor Serial	Channel Name
<input type="text"/>	KS3836		ai0
<input type="button" value="Get Sensor"/>			

(a)



(b)



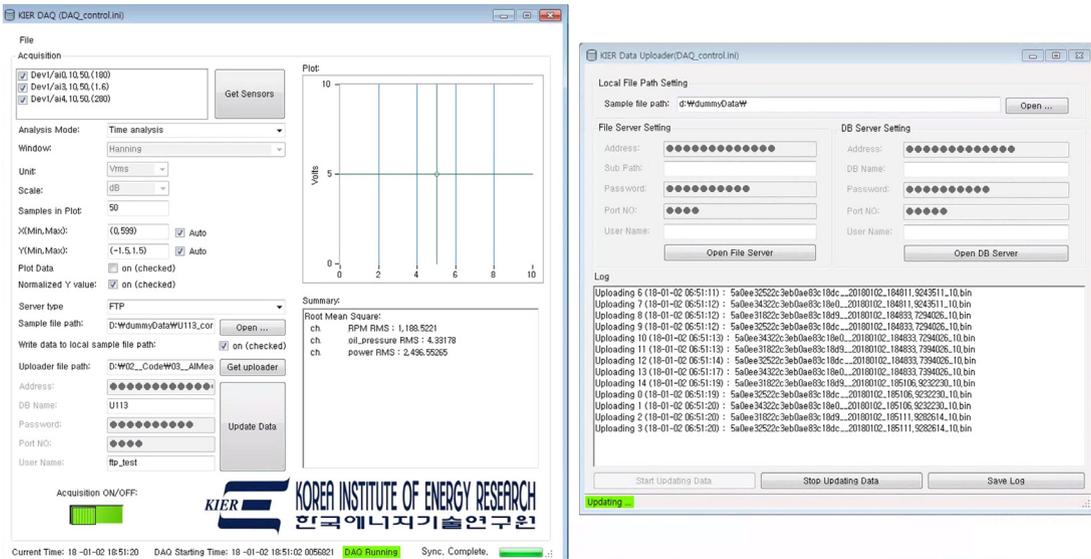
(c)

Fig. 9. Examples for usage of DB manager SW: (a), main DB manager SW GUI (b), owner document editor; (c) sensor document & DAQ input data editor

다음으로, 현장에서 DAQ 시스템을 모두 설치 한 후, 데이터 취득 및 업로드를 수행 할 측정 SW는 Fig. 10와 같다. Fig. 10 (a)의 현장 데이터 취득 SW의 구성을 설명한다. 취득 데이터에 대응하는 센서 목록 및 관련 DB 및 FTP 계정 설정 그리고 취득 중인 데이터의 그래프를 확인 할 수 있다.

Figure 10 (b)는 현장에 저장한 파일을 클라우드로 전송하는 SW를 나타낸다. 이 SW는 DB 계층 중 측정 계층에 대한 정보의 취득 및 송수신을 담당한다. 즉, 측정 계층의 데이터들을 취급한다.

Figure 11 는 클라우드로부터 현장에서 계측한 데이터들을 수집하여 직접적으로 모니터링하거나, 클라우드에서 해석한 데이터들을 바탕으로 상태를 감시하는 SW를 나타낸다. 타 단지의 풍력발전기들을 동시에 감시할 수 있으며, 감시 할 물리량은 각각 설정 가능하다. 단순 모니터링 이외의 스펙트럼 및 스펙트로그램을 기본적으로 계산 할 수 있다. 이외 의사결정지원 및 각종 예보들은 가입형 종량제에 따른 서비스로 제공할 수 있다.



(a) Local DAQ SW,

(b) DB update & data upload SW

Fig. 10. Measurement software composition at local system

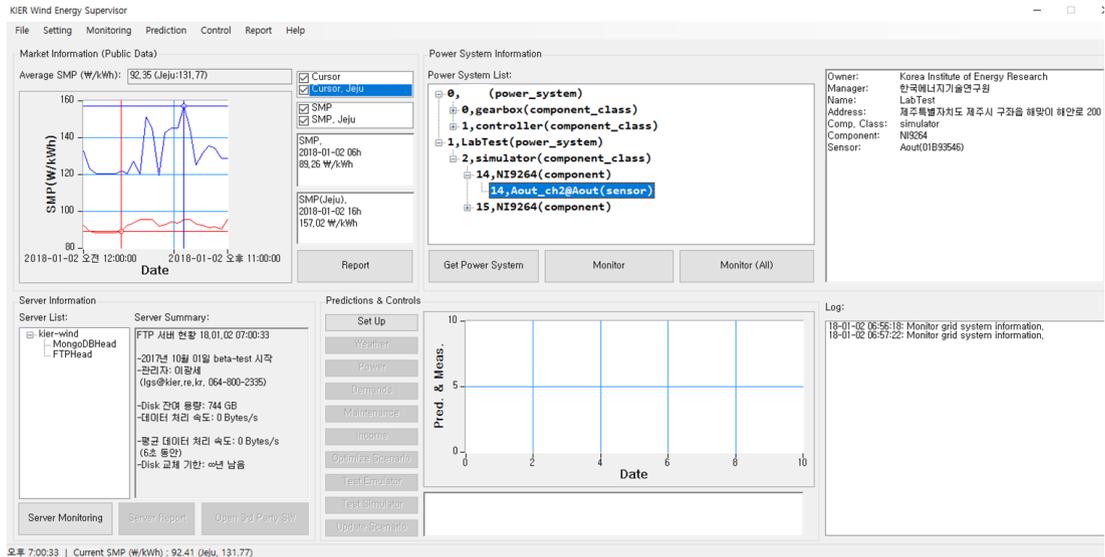


Fig. 11. Monitoring software composition at remote system

2.7 센서 구성

모니터링 대상 풍력발전기는 MW 급 풍력발전기로서, 증속기는 2단 헬리컬 기어와 1단 유성기어로 구성되어 있다. 진동 측정 시 센서는 총 6곳에 설치 되었으며, 증속기 저속 및 고속 축 베어링 상단의 증속기 하우징에 3축 진동 센서를 설치하여 총 10 채널의 진동을 동시 측

정한다. 다음으로 풀 브릿지 게이지를 고속 축에 부착하고 측정된 변형률로부터 토크를 측정하기 위해 텔레메트리 시스템을 구성하였다. 측정 채널 구성은 표 1과 같다.

Figure 13은 Tab. 1로 구성된 측정시스템에서 취득한 데이터들의 RMS를 나타낸다. 기어박스 중앙에서 진동이 수평 및 수직 방향에 따라 큰 차이를 보이며, 토크암

의 경우는 유사한 진동 특성을 보인다. 발전기 그리고 회전자 쪽 3축 진동의 RMS는 유사하게 확인된다. 중앙 수직 위치의 경우, 윤활유 웅덩이가 형성되는 배수조에 아래에 설치되어 진동 에너지 흡수 정도가 상이하고, 나셀 입구 인근으로 유지 보수 작업 시 충격에 민감하여 타 진동 신호에 비해 그 양상이 차이가 나는 것으로 가정하였다. 진동 측정 결과는 향후 측정 센서의 감축 및 측정 위치 조정을 위한 참고 자료로 이용 할 것으로 기대한다.

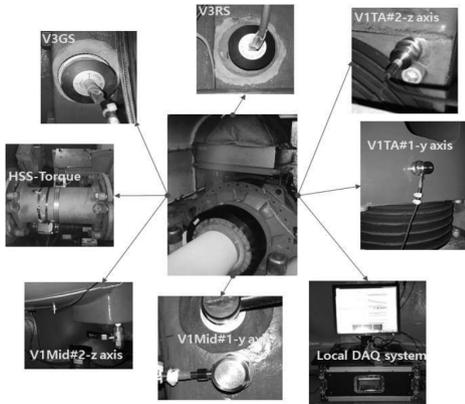
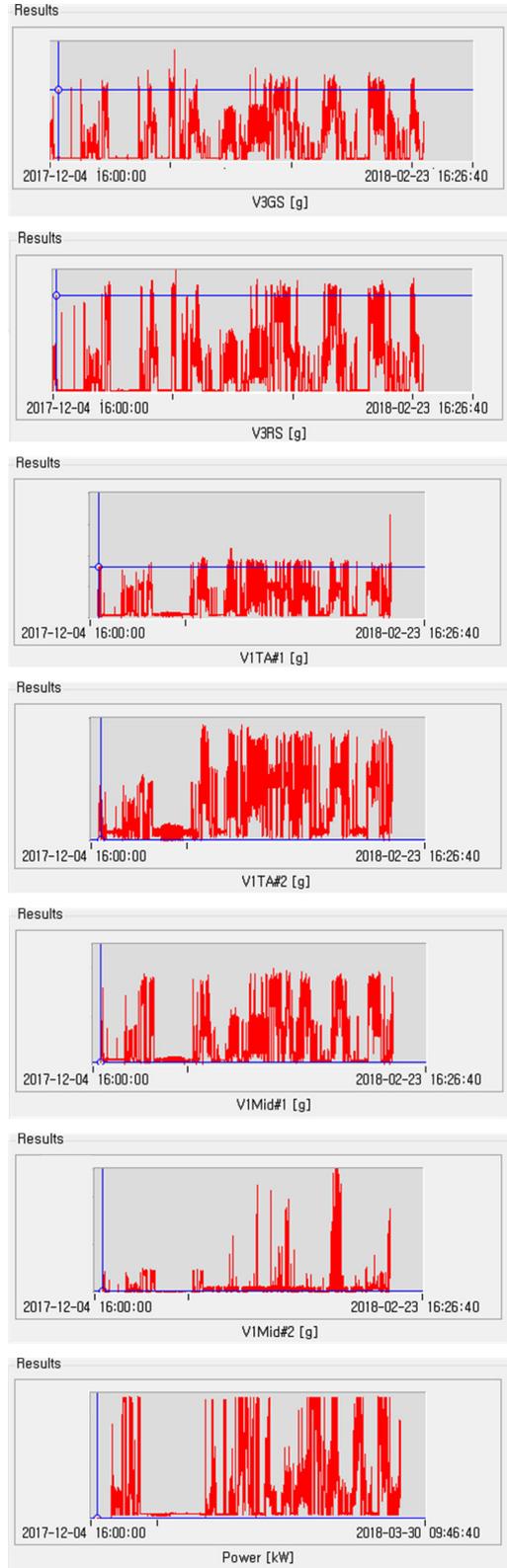


Fig. 12. Schematic description of local sensor installation

Table 1. List of sensing node

no	name	description
1	V3GS	gear-side 3 axial vibration on the gear box house
2	V3RS	rotor-side 3 axial vibration on the gearbox house
3	V1TA#1	lateral directional vibration on the torque arm
4	V1TA#2	negative normal directional vibration on the torque arm
5	V1Mid#1	lateral directional vibration on the middle of gearbox housing
6	V1Mid#2	negative normal directional vibration on the middle of gearbox housing
7	Torque	high speed shaft torque
8	Power	power from SCADA
9	Oil pressure	oil pressure from SCADA
10	RPM	high speed shaft RPM from SCADA



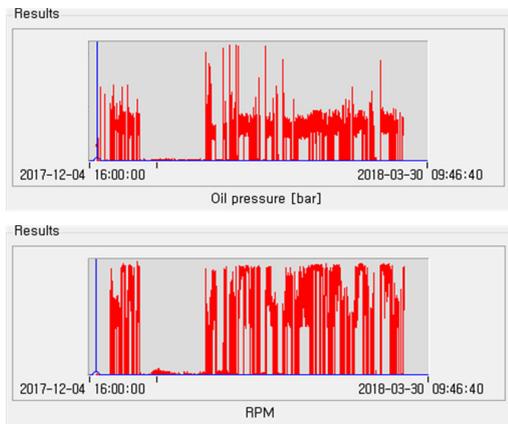


Fig. 13. RMS of measured data

3. 결론

본 논문에서, SaaS 기반 CMS를 통해 풍력발전기의 상태를 감시 할 수 있는 인프라를 구축하였다. 측정 DB 내 테이블 설계, 현장 측정, DB 및 FTP 업데이트 목적의 프로그램 군이 해당 인프라를 위해 개발되었다. 해당 프로그램 군을 이용하면, 서비스 형태로 풍력발전기 증속기 진동 특성을 원격의 저장소에 관리/분석 할 수 있어, CMS가 필요한 사업자는 데이터 관리 및 분석을 위한 인력과 시설 없이 단순 측정 시스템 설치만으로 CMS 서비스를 이용할 수 있다.

이에, 해당 인프라를 활용할 수 있는 웹-앱 기반의 솔루션을 개발 할 예정이며, 측정/관리/분석/모니터링을 하나의 클라우드 서비스화 시킬 수 있다.

References

- [1] D. Coronado, and K. Fischer, Condition monitoring of wind turbines state of the art, user experience and recommendations, Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology IWES Northwest, Bremerhaven, Germany, 2015.
- [2] S. Sheng, Wind turbine gearbox reliability database, condition monitoring, and O&M research update. National Laboratory of the US Department of Energy (NREL), 2015
- [3] T. Kellner, Wind in the Cloud? How the Digital Wind Farm Will Make Wind Power 20 Percent More Efficient. General Electric, General Electric, 2015 <http://www.gereports.com/post/119300678660/wind-in-the-cloud-how-the-digital-wind-farm-will/> (accessed June, 10, 2018)

- [4] P. Tchakoua, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, F. Slaoui-Hasnaoui, T. A. Tameghe, G. Ekemb, "Wind Turbine Condition Monitoring: State-of-the-Art Review, New Trends, and Future Challenges", *Energies*, Vol.7, No.4, pp.2595-2630, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/en7042595>

이 광 세(Gwang-Se Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 공과대학 원 기계공학부(석사)
- 2015년 8월 : 부산대학교 공과대학 원 기계공학부(박사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실

<관심분야>

풍력, 유동소음, 구조진동, 증속기, O&M

최 정 철(Jungchul Choi)

[정회원]



- 2002년 8월 : 연세대학교 기계공학(학사)
- 2008년 4월 : Stuttgart University, Mechanical Engineering (석사)
- 2014년 3월 : Kassel University Electrical Engineering (박사)
- 2008년 5월 ~ 2014년 2월: Fraunhofer Institute (IWES)

- 2014년 2월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원

<관심분야>

풍력발전, 데이터 분석

강 승 진(Seung-Jin Kang)

[정회원]



- 2014년 8월 : 제주대학교 대학원 전기공학과(석사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원

<관심분야>

풍력발전, 데이터 분석

박 사 일(Sail Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 제주대학교 대학원
풍력대학원 (석사)
- 2015년 5월 ~ 2017년 7월 : 두산
중공업
- 2017년 7월 ~ 현재 : 한국에너지
기술연구원

<관심분야>

풍력발전, 데이터 분석, 풍력터빈 O&M

이 진 재(Jin-Jae Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 제주대학교 대학원
전기공학과 (석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국에너지
기술연구원

<관심분야>

풍력발전, 데이터 분석