

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.219>

IIBC 2017-2-31

## 풍력 발전 효율성 분석에 관한 연구

### A Study on Efficiency Analysis of Wind Power Generator

박상준\*, 홍유식\*\*, 강정진\*\*\*, 양재수\*\*\*\*

SangJun Park\*, Yousik Hong\*\*, Jeong Jin Kang\*\*\*, JaeSoo Yang\*\*\*\*

**요약** 요즘, 신재생 에너지 기반 풍력 발전 기술이 개발되고 있다. 풍력발전은 소음이 적고, 환경 훼손도 비교적 적은 편이라, 선진국에서는 풍력 발전이 많이 건설되고 있다. 우리나라는, 풍속이 4계절 유지되는 지역이 적어서, 발전 효율이 낮고, 최근에는 산림훼손과 저소음 피해, 자연환경 파괴 민원이 자주 발생하고 있다. 본 논문에서는 FUZZY 규칙 및 군집분석 기반에서, 바람, 방향 그리고, 온도를 실시간으로 분석해서, 피치제어를 효율적으로 관리하는 모의실험을 하였다. 모의실험 결과로 제안하는 새로운 알고리즘을 이용하면, 피치 제어 분석기법을 이용해서, 바람 조건, 방향조건에 적합한 풍력 발전 피치제어 효율성을 검증할 수 있었다. 더 나아가, 시각화 표현을 해서, 발전기 성능에 대한 조 기 정보나 효율성을 자동으로 분석 할 수 있음을 입증하였다.

**Abstract** These days, it is developed renewable energy-based wind power technology. Wind power generation is relatively quiet, and environmental damage is relatively low. In developed countries, a lot of wind power generation is being built. In Korea, the generation efficiency is low because there are few areas where the wind speed is maintained for four seasons. In recent years, forest damage, low noise, and environmental degradation complaints are frequent. In this paper, we performed an experiment to manage pitch control effectively by analyzing wind, direction, and temperature in real time based on FUZZY rule and cluster analysis. Using the new algorithm proposed by the simulation results, we could verify the efficiency of wind power generation pitch control for wind condition and direction condition by using the pitch control analysis technique. Furthermore, visualization representations have proven to automatically analyze early warning and efficiency of generator performance.

**Key Words** : Wind power generator, Fuzzy rules, Pitch, Data ming

## 1. 서론

요즘, 신재생 에너지 기반 풍력 발전 기술이 개발되고 있다. 풍력발전은 소음이 적고, 환경 훼손도 비교적 적은 편이라, 선진국에서는 풍력 발전이 많이 건설되고 있다. 우리나라는, 풍속이 4계절 유지되는 지역이 적어서, 발전 효율 이 낮고, 최근에는 산림훼손과 저소음 피해, 자

연환경 파괴 민원이 자주 발생하고 있다<sup>[1-3]</sup>. 본 논문에서는 FUZZY 규칙 및 군집분석 기반에서, 풍력 속도 및 방향을 실시간으로 분석하고, 실시간으로 그래프로 표시 해주고, 피치제어를 효율적으로 관리하는 모의실험을 하였다<sup>[4-7]</sup>. 뿐만 아니라, 군집분석 기반에서, 바람, 방향, 온도 등을 실시간으로 분석해서, 피치제어를 효율적으로 관리하는 알고리즘을 제안 하였다<sup>[8-15]</sup>. 본 논문에서는

\*정회원, 유니슨(주)

\*\*중신회원, 상지대학교 정보통신학과

\*\*\*중신회원, 동서울대학교 정보통신과

\*\*\*\*정회원 단국대학교 전자전기공학부

접수일자: 2017년 4월 6일, 수정완료: 2017년 4월 11일

게재확정일자: 2017년 4월 11일

Received: 14 February, 2017 / Revised: 1 April, 2017

Accepted: 7 April, 2017

\*\*\*\*Corresponding Author: jsyang@dankook.ac.kr

Dept. of Electronic & Electrical Eng., Dankook University, Korea

풍력 발전기에서 매 초 단위로 발생하는 SCADA 데이터를 효율적인 분석 및 빅데이터 기반에서, 풍력발전기의 SCADA 시스템에서 데이터를 모델링한 후 빅데이터 플랫폼에서 실시간으로 시각화 하는 방안을 제시하였다.

뿐만 아니라, 오픈 소스인 하둡과 D3의 활용으로 이 시스템을 설계하고 구현함으로써 SCADA에서의 데이터 조회, 다운로드, 엑셀 변환, 그래프 변환에서 분석과 같은 일련의 작업을 효율적으로 다양하게 비교할 수 있는 모의실험을 제안 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 풍력 발전의 기본 개념을 알아본다. 2장에서는 빅데이터 기반 SCADA에서의 데이터를 효율적으로 다양하게 비교할 수 있는 모의실험을 제안 하였다 3장에서는 군집분석을 이용한 피치제어 효율성 제안 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 풍력 발전 효율성 검증을 하기 위해서 피치추론 모의 실험결과를 설명하고 5장에서는 풍력발전 실시간 분석 및 예측에 관해서 토론 한다.

## II. 빅데이터 시각화

본 논문에서는 IEC 61400-25-2에서 규정하고 있는 데이터 규정을 한정하여 빅데이터 시스템을 구축하고 SCADA에서 축적하고 있는 데이터를 이전하여 빅데이터 시스템 상에서 분석한 결과를 바탕으로 오픈소스 라이브러리인 D3.js를 이용하여 시각화 과정을 모의 실험하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다음과 같다.

첫째, 시스템 구축의 비용과 시간을 고려하여 우선 실험 연구의 목적으로 가상 머신에서의 운영 테스트를 실행하고 실행한 결과를 도출하여 지속적인 연구 분석에 도움이 되도록 실제 머신에 이전할 수 있도록 하였다.

둘째, IEC 61400-25-2에서 규정하고 있는 SCADA의 일부 데이터를 한정하고, 빅데이터 시스템으로 이전하고 관련된 논문 및 문헌 탐구를 통해 사용자의 편의성을 높이는 개선 항목들을 파악한다. SCADA 데이터에서 빅데이터 플랫폼으로의 데이터 이전 방법 등을 고려 하였다.

셋째, 플랫폼에서 추출된 데이터를 바탕으로 빅 데이터의 시각화 기법을 파악하고 오픈 소스 시각화 도구인 D3.js를 이용한 개발을 통해 문제점 및 필요한 부분을 찾아 구현 하였다.

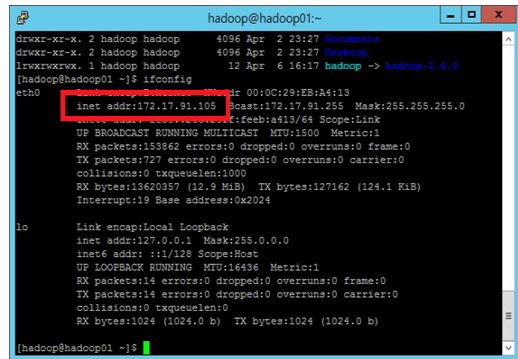


그림 1 마스터 노드 IP 설정  
Fig. 1. Master node IP settings

그림 1 은 VMWare에 host명으로 hadoop01을 부여하고 IP를 172.17.91.105로 설정한 후 확인한 화면으로 마스터 노드가 되면서 가상 환경 1번이 되는 과정을 설명하고 있다. Hadoop 2.6의 경우 하둡 환경 설정 파일의 경로는 하둡 홈 디렉터리의 하위 디렉토리etc/hadoop에 저장돼 있다.

표 1에서는 빅데이터 시각화를 위해서, 하둡 환경설정 파일과 같이 여러 파일들을 설정과정을 설명하고 있다. 본 논문에서는 사용자의 Request에 대해 웹 어플리케이션 서버에서 JSON의 형태로 가공을 한 후 사용자의 요청에 Response된 정보를 바탕으로 D3와 NVD3 라이브러리를 이용한 결과 화면은 그림 2로 표시 될 수 있다. 시각화 결과를 보면 한눈에 문제의 원인을 파악하기 쉽다. 그림 2에서는 전원 차단에 의한 Cooling 장치로의 전압이 단락되면서 발생한 현상으로 일정한 온도를 유지하던 Cooling장치에 문제가 발생했다는 사실을 파악할 수 있다.

표 1. 하둡 환경 설정 파일  
Table 1. Hadoop Configuration File

파일명	용도
hadoop-env.sh	하둡을 실행하는 셸 스크립트 파일에서 필요한 환경 변수를 설정한다.
masters	보조 네임노드를 실행할 서버를 설정한다.
slaves	데이터노드를 실행할 서버를 설정한다.
core-site.xml	HDFS와 맵리듀스에서 공통적으로 사용할 환경 정보를 설정한다.
hdfs-site.xml	HDFS에서 사용할 환경 정보를 설정한다.
mapred-site.xml	맵리듀스에서 사용할 환경 정보를 설정한다.
yarn-site.xml	ResourceManager와 NodeManager의 환경 정보를 설정한다.

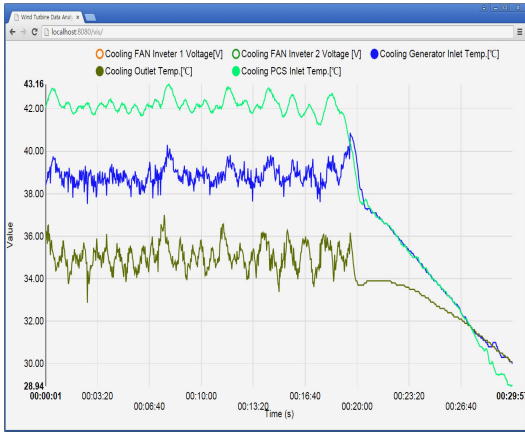


그림 2. 시각화 결과 화면  
 Fig. 2. Visualization Result Screen

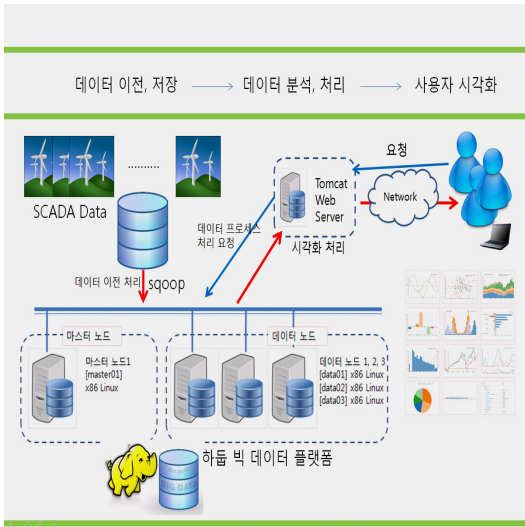


그림 3. SCADA 시스템 구조  
 Fig. 3. SCADA system architecture

그림 3에서는 본 논문에서 최적의 풍력발전 피치 제어를 하기위해서 빅데이터 하둡 기반 시각화 시스템 구조를 설명하고 있다. SCADA에서 데이터를 수집하여 데이터를 저장하고 저장된 데이터를 이전하고 분석, 시각화 처리를 하는 부분으로 구성된다.

그림 3에서 보여주는 바와 같이,, SCADA 영역과 빅데이터를 저장, 처리하고 통계, 분석 처리된 결과를 시각화하는 웹 시스템으로 구성되어진다. 뿐만 아니라, SCADA에 축적된 데이터를 수집하여서, 최적의 풍력 피치제어를 할 수 있도록 한다.

### III. 데이터 마이닝 기법을 이용한 피치제어

풍력발전설비를 안전하게 운영하고 양질의 전기를 가능한 안정적으로 생산하기 위한 각종 제어장치들이 필요하다. 양질의 전기를 만들기 위해서는 무엇보다도 풍력발전기의 회전수를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 수시로 변하는 풍향과 풍속에 대응하여 회전자의 회전속도를 가능한 일정 하게 제어하고 태풍 등 강풍에 의해 회전자가 손상을 입지 않도록 안전하게 정지시켜야 한다<sup>[6]</sup>.

풍력발전기와 같이 각종 센서와 기계적인 데이터를 신속하게 분석하는 기술을 지속적으로 연구하여 여러 상황에 대한 다양한 패턴들의 경험 데이터를 분석하면, 풍력 발전기 수명, 성능을 개선 및 발전 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 표 2 에서는, 풍력 발전 SCADA 실제 데이터를 설명하고 있다. 본 논문에서는 풍력 발전 SCADA 실제 빅데이터로 2015년 1월에서 12월 사이에 발생하는 데이터를 보여주고 있다.

1일 데이터 발생량은 19800 개이다. 표 2에서 풍력 발전에 큰 영향을 주는 바람 세기,바람 방향, 밀도, 온도 등을 고려해서, 피치제어 각도데이터를 보여주고 있다.

그림 4에서는, 풍력발전 피치제어에서 가장 중요한 요소인 바람속도, 바람방향, 밀도,온도 등을 고려해서 WEKA 데이터 마이닝 군집 분석기법을 이용해서 피치제어 블라인드 각도가 6 미만인 적은그룹과, 블라인드각도가 6이상인 큰 그룹을 자동으로 분석 하는 과정을 설명하고 있다.

표 2. 풍력 발전 SCADA 데이터

Table 2. SCADA data of wind power generation

Grid Active Power [kW]	Nacelle Air Density [kg/m³]	Nacelle Outdoor Temp [°C]	Nacelle Wind Direction [deg]	Nacelle Wind Speed [m/s]	Rotor Pitch 1 Angle [deg]
1.952.0	1.205	16.859	53.588	13.769	6.33
1.954.0	1.205	16.864	52.638	12.979	6.67
1.957.0	1.205	16.871	54.875	13.385	7.36
1.958.0	1.205	16.875	52.949	13.445	7.17
1.937.0	1.205	16.869	57.639	13.655	6.2
1.934.0	1.205	16.868	52.852	13.175	5.58
1.936.0	1.205	16.865	55.075	12.445	5.55
1.935.0	1.205	16.866	51.813	13.3	4.77
1.932.0	1.205	16.861	56.648	13.584	4.13
1.933.0	1.205	16.862	54.775	12.447	3.66
1.936.0	1.205	16.868	56.762	12.074	3.56
1.939.0	1.205	16.871	56.042	11.798	3.34
1.942.0	1.205	16.867	62.48	11.233	3.46
1.945.0	1.205	16.875	53.133	11.436	3.43
1.949.0	1.205	16.879	55.817	12.729	3.88
1.948.0	1.205	16.889	52.904	13.026	3.51
1.940.0	1.205	16.895	56.397	12.372	3.19
1.949.0	1.205	16.904	53.618	12.146	3.75

#### IV. 모의 실험

풍력발전기가 최대의 효율을 발휘하기 위해서는 날개의 회전면과 바람이 직각이 되도록 하여야 한다. 이를 위해서는 바람의 강약 및 방향에 따라서 날개의 각도를 제어하는 기술이 필요하다. 요즘 이용 되고 있는 풍력 발전 피치제어는 바람의 강약에 따라서, 풍력발전 블레이드(날개각도)를 조정 하는 방식이 상용화 되고 있다.

그러나, 바람의 속도 와 바람의 방향도 중요한 변수이기 때문에, 풍력발전을 최적화 하려면, 반드시 바람의 방향을 고려해야 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기위해서 바람의 속도 및 방향에 따라서 날개의 각도를 최적 제어하는 모의실험을 수행하였다.

그림 6 에서는 FUZZY 제어 입력변수로 바람의 속도와 바람의 방향 2가지를 제한 하였다.

출력조건으로는 풍력발전 피치 최적제어를 제안 하였으며, 그림 5에서는 .피치 추론 입력 및 출력 멤버십 함수 결과를 설명하고 있다.

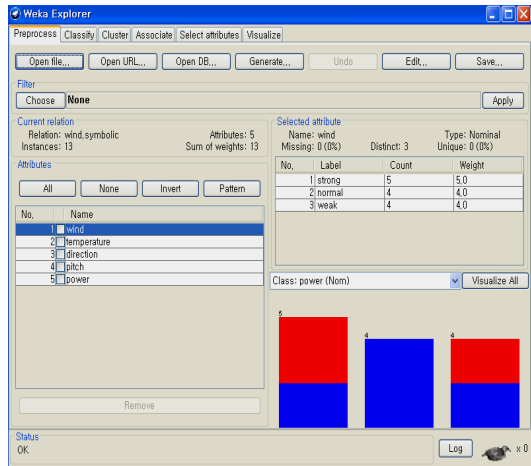


그림 4. 풍력 발전 데이터 마이닝 모의실험  
Fig. 4. Wind Power Data Mining Simulation

이러한 모의 실험을 수행하고 분석하면, 풍력발전기를 설치 할때에, 수시로 변화하는 기상조건에 최적의 풍력 발전 날개길이 및 날개 각도를 분석하고 설계 하는데에 필요한 효율성 분석에 좋은 연구 결과를 창출 할 것으로 사료된다. 그림 5는 풍력 발전 의사 결정 결과의 화면을 나타낸다.

1: Instance number	2: active_power	3: air_density	4: temperature	5: wind_direction	6: wind_speed	7: pitch_angle	8: Cluster
Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Nominal
37.0	1.0	676.0	1.273	1.375	281.030	12.705	cluster1
38.0	1.0	668.0	1.273	1.371	274.346	12.356	cluster1
39.0	1.0	664.0	1.273	1.37	273.503	12.684	cluster1
40.0	1.0	669.0	1.273	1.363	271.782	12.246	cluster1
41.0	1.0	672.0	1.273	1.342	274.629	12.623	cluster1
42.0	1.0	665.0	1.273	1.333	278.955	12.928	cluster1
43.0	1.0	663.0	1.273	1.339	281.8	11.634	cluster1
44.0	1.0	669.0	1.273	1.341	281.418	12.405	cluster1
45.0	1.0	662.0	1.273	1.318	278.326	12.23	cluster1
46.0	1.0	664.0	1.273	1.308	280.491	12.743	cluster1
47.0	1.0	677.0	1.274	1.301	273.018	13.216	cluster1
48.0	1.0	952.0	1.205	16.859	53.588	13.789	cluster0
49.0	1.0	954.0	1.205	16.854	52.638	12.978	cluster0
50.0	1.0	957.0	1.205	16.871	54.875	13.385	cluster0
51.0	1.0	958.0	1.205	16.875	52.948	13.445	cluster0
52.0	1.0	937.0	1.205	16.869	57.639	13.655	cluster0
53.0	1.0	934.0	1.205	16.868	52.852	13.176	cluster0
54.0	1.0	936.0	1.205	16.865	55.075	12.445	cluster0
55.0	1.0	935.0	1.205	16.866	51.813	13.3	cluster0
56.0	1.0	932.0	1.205	16.861	56.648	13.584	cluster0
57.0	1.0	933.0	1.205	16.862	54.775	12.447	cluster0
58.0	1.0	936.0	1.205	16.868	56.762	12.074	cluster0
59.0	1.0	939.0	1.205	16.871	56.042	11.799	cluster0
60.0	1.0	942.0	1.205	16.867	62.48	11.233	cluster0

그림 5. 풍력 발전 의사 결정 결과 화면  
Fig. 5. Wind Power Decision Result Screen

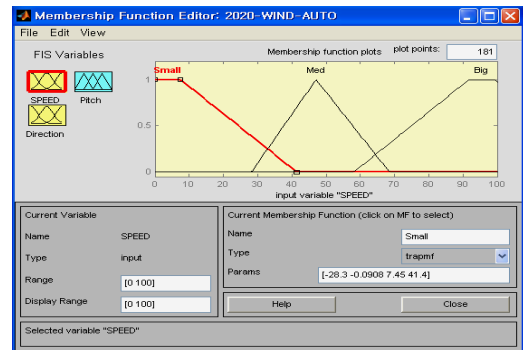


그림 6. 퍼지 추론 멤버십 함수  
Fig. 6. Fuzzy inference membership function

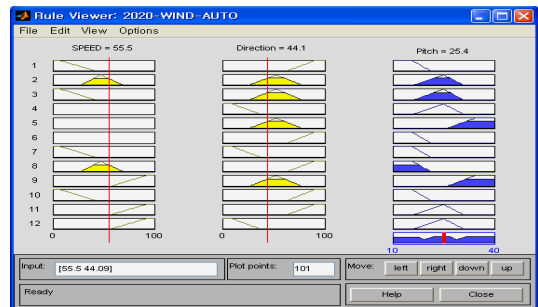


그림 7. 퍼지 규칙  
Fig. 7. Fuzzy rules

그림 7에서는 바람의 속도와 바람의 방향 2가지 조건을 입력하면, 출력조건으로 풍력발전 피치 최적제어값을 자동으로 표현하는, 자동으로 피치제어 값을 산출하는 피치 제어 과정을 설명하고 있다.

본 논문에서 사용한 MATLAB 퍼지 추론 알고리즘은 다음 표 3으로 요약된다. 입력은 풍력 속도와 풍력 방향 2개이며, 출력은 최적 피치제어 결과값이다.

표 3. MATLAB 퍼지 추론 알고리즘  
 Table 3. MATLAB Fuzzy inference algorithm

```
[System]
Name='2020-OK-22-WIND-AUTO'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=12
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
[Input1]
Name='SPEED'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='Small':'trapmf',[-28.3 -0.0908 7.45 41.4021164021164]
MF2='Med':'trimf',[28.2 47.1 68.5]
MF3='Big':'trapmf',[58.0687830687831 91.7 99.4 122]
[Input2]
Name='Direction'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='SIDE':'trapmf',[-0.7932 -0.7932 9.242 36.37]
MF2='BACK':'trapmf',[63.9 90 100 100]
MF3='FRONT':'trimf',[26.88 52.38 77.12] [Output1]
Name='Pitch'
Range=[10 40]
NumMFs=3
MF1='Small':'trapmf',[8.281 9.301 15.76 21.04]
MF2='Average':'trimf',[16.47 25 30.7]
MF3='BIG':'trapmf',[26.15 34.39 41.66 55.11]
● S ( SPEED Situation )
SPDs: small ( 0.3).
SPDm: Medium ( 0.6).
SPSb: large ( 0.9).
● D ( Direction Situation )
Gs: small ( 0.3).
Gm: Medium ( 0.6).
Gb: large ( 0.9).
● Pitch Control Decision
Ms: small ( 0.3).. . Small
Mm: Medium ( 0.6). Medium
Mb:large ( 0.9). Big
```

## V. 결론

본 논문에서는, 풍력발전 피치제어에서 가장 중요한 요소인 바람속도, 바람방향, 밀도, 온도 등을 고려해서 WEKA 데이터 마이닝 군집 분석기법을 이용해서 피치 제어 블라인드 각도 자동 제어를 수행 하였다.

그러나, 피치제어는 바람의 속도에 따라서, 풍력발전 블라인드 가도를 제어 하는 연구는 많이 활성화 되어있지만, 바람의 방향에 실시간으로 회전각을 최적 제어하는 연구는 부족한 편이다. 우리나라와 같이 풍력발전을 하는데에 바람의 속도가 강하지 않은 지역은 반드시, 바람의 방향을 검출하고 바람의 방향이 바뀌게 되면 실시간으로 바람이 부는 방향으로 풍력 발전 날개의 회전면이 바람 방향과 최적의 각도로 유지하는 최적제어기술이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 풍력발전기를 설치 할 때에, 수시로 변화하는 기상 조건에 최적의 풍력 발전 날개길이 및 날개 각도를 분석하기 위해서 퍼지규칙을 이용해서, 최적의 풍력발전 알고리즘을 개발하고 모의실험 하였다. 모의실험 결과 본 논문에서 제안하는 새로운 알고리즘을 이용하면, 바람 조건, 방향조건에 적합한 풍력 발전량 증가 및, 풍력 발전기 24시간 시각화 자동화 표시로 풍력 발전기 원격 진단 및 조기 경보나 풍력 발전 효율성을 자동으로 분석 할 수 있는 알고리즘을 제안하고 모의실험 하였다.

## References

- [1] James Manyika & Michael Chui, "Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity." McKinsey Global Institute, 2011
- [2] Park, Sang Jun, Visualization Technology of SCADA Data Analysis of Wind Turbine Generator Using Big Data Platform, Dankook University Master Thesis, 2015
- [3] Bae, Dong - Min, Park, Hyun - Soo, Oh, Hwan. "Big Data Trends and Policy Implications", Information and Communication Policy Institute, Vol.25 No.10, No.1555, 2014
- [4] Drinking tea, sake, "Change Big Data Management. Samsung Economic Research Center.", 2012

- [5] Oh, Hyun-Sik, "Data visualization using Big Data as a key factor", Network Times - Market Issue Data Visualization, 2014
- [6] <http://m.blog.naver.com/sun8899s/220114008159>
- [7] Lee Eun Kyung. Big Data Analysis Using R: Multidimensional Processing and Visualization of Data. Master Thesis, Ewha Womans University .2013
- [8] Get started! Hadoop programming: everything from Hadoop to basic to practical. Wikisource., 2013
- [9] Kim, Sang-Rak, Jang, Sang-Sang, Choe-Woon. A Case Study on Design and Implementation of Hadoop - based Integrated Facilities Monitoring System. Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 2014
- [10] Joo Sung Yeon, Ji Sung Sung, and Ryu Kwan Hee. Big Data Technology Trend Big Data Visualization and Public Data Visualization Case, Korea Smart Media Journal, 2013
- [11] Kim, Jin-Kuk. Development of Web 3D Visualization Tool of Big Data Analysis Results, Master Thesis, Chungbuk National University, 2015
- [12] Dong H. Shin, Seol B. Bae, Woon K. "Way-Point Tracking of AUV using Fuzzy PD Controller", Korea Institute of Information Technology Vol.11, Issue 5, 2013.05
- [13] Hong, You-Sik, "Smart Tongue Electronic Chart System", Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol.12, No.2, 2012, pp.243-249
- [14] Hong, Y.s., "Implementation of Intelligence Pulse Wave Detection System", The journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication , v.13 no.2 , pp.245 - 254 , 2013

**저자 소개**

**박 상 준(정회원)**



- 2015년 : 단국대학교 정보통신학과 (석사)
- 2006년 ~ 2008년 : 교보정보시스템 (주) 일본근무
- 2008년 ~ 2011년 : 테라인터네셔널(주)
- 2011 ~ 현재 : 유니슨(주) 풍력 연구소 선임연구원

<주관심분야 : 빅데이터, 시각화, 데이터 분석, 풍력 발전 SCADA>

**홍 유 식(중신회원)**



- 1989년 뉴욕공과대학교 전산학과 (석사)
  - 1997년 경희대학교 전자공학과 (박사)
  - 1991년 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터공학부 교수
- <주관심분야 : 퍼지 시스템, 전문가시스템, 신경망>

**강 정 진(중신회원)**



- 1991년 3월~현재 : 동서울대학교 정보통신과 교수
- 2007년 2월~2010년 2월 : 미시간주립대학교 전기컴퓨터공학과 교환교수
- 1991년 8월~2005년 8월 : 건국대학교 전자정보통신공학과 외래교수(대학원/학부, 강의 및 논문지도)

• 2011년~현재 : Marquis Who's Who in the world 인명록 등재

<주관심분야 : Smart & Cloud Convergence, RFID/USN, Smart device, Mobile Communication & Computing, Antenna & Electromagnetic Wave, Smart Security & Intelligent Control>

**양 재 수(정회원)**



- 1993년 : 미 NJIT 전기 및 컴퓨터공학 박사졸업.
  - 1991년 : 서울대학교 MBA 수료
  - 2006년 ~ 2011년 : 광운대 교수
  - 2011년 ~ 현재 : 단국대 교수
- <주관심분야 : IT융합기술, 보안융합, RFID/IP-USN, 정보통신 산업정책, 그린 에너지, u-City>

※ 이 연구는 미래부/IITP 지원 2015년~2017년도 고용계약형 SW석사과정 지원사업에 의한 결과로 수행하였습니다.