

# 풍력발전기 너셀 내부 환경특성을 고려한 화재 조기감지방법 연구

## A Study on the Early Fire Detection based on Environmental Characteristics inside the Nacelle of Wind Turbine Generator System

김다희<sup>1</sup>, 임종환<sup>2,✉</sup>  
Da Hee Kim<sup>1</sup> and Jong Hwan Lim<sup>2,✉</sup>

<sup>1</sup> 제주대학교 대학원 풍력공학부 (Faculty of Wind Energy Engineering Graduate School, Jeju National University)

<sup>2</sup> 제주대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics, Jeju National University)

✉ Corresponding author: jhlim@jejunu.ac.kr, Tel: +82-10-4516-3712

Manuscript received: 2014.5.19 / Revised: 2014.7.14 / Accepted: 2014.7.18

*The paper presented a method of early fire detection based on the environmental characteristics inside the nacelle of wind turbine generator system(WTGS). The rising rates of the temperature and smoke density were used as the parameters for early fire detection. By considering the characteristics of temperature and smoke density of a nacelle, this method is very reliable and can minimize the possibility of a malfunction of fire detection. The performance of the method was tested through sets of experiments by using nacelle simulator.*

Key Words: Early Fire Detection (화재 조기감지), WTGS (풍력발전기), Nacelle (너셀), Environmental Characteristics (환경 특성)

### 1. 서론

풍력발전은 신재생 에너지 중에서 실용화에 가장 접근해 있는 것으로서 최근 발전단지가 급속히 확대되고 시스템의 규모도 대형화되고 있다.<sup>1,2</sup> 이에 따라 화재 등 사고발생 가능성도 증가하고 있다. 풍력발전단지에 화재가 발생할 시 소방서와 먼 거리에 위치하고 있고, 화재 발생 가능성이 높은 너셀은 지상에서 높은 위치에 있어 초기 진압이 어려운 특징을 가지고 있다. 또한 너셀에 화재 발생시 블레이드 및 구성장치 등의 추락과 타위가 쓰러지는 등 2차 사고가 발생할 가능성이 있어서

피해 범위가 넓으므로 주위 민가의 인명 피해 및 재산피해가 크다는 특징이 있다.<sup>3</sup>

풍력발전기의 너셀은 거의 밀폐된 공간이며 로터에 의해 얻어진 회전력을 전기에너지로 변환시키기 위하여 발전기, 증속기, 유압시스템, 브레이크 디스크 및 요 시스템 등 다양한 장치들로 구성되어있다. 또한 너셀은 지상에서 대략 40m 이상 공중에 위치하여 운전되고 있으므로 계절에 따른 외부 날씨 조건과 운전 여부에 따라 내부 환경이 일반 환경과는 상이하다.<sup>4,5</sup> 따라서 너셀 화재 초기 집압을 위해서는 이와 같은 너셀의 환경특성을 고려한 화재 조기 감지 방법의 연구가 필요하다.

풍력발전기의 화재 발생 원인으로는 기계 장치의 화재발생, 윤활제에 의한 화재 발생 및 외부 환경에 의한 화재 발생 등이 있다. 기계적 장치에 의한 화재 발생은 장치 결함으로 과전류가 발생하거나, 비상 브레이크 동작 및 발전기의 고장 등으로 전기 스파크가 발생하는 경우, 그리고 너셀 내부 하우징들이 스파크나 과열된 기계장치에 의해 점화되는 경우 등이다. 또한 기계장치 주변은 기계내부에서 누출된 윤활유 및 고압으로 작동하는 유압 시스템에서 분출된 오일 등으로 항상 오염되어 있는 상태이므로 기계장치의 과열이나 전기 스파크 등으로 인해 오염된 오일이 점화되어 화재가 발생할 가능성이 크다. 외부 환경에 의한 화재는 낙뢰가 유입되거나 종단풍속 이상의 풍속으로 풍력발전기가 과속되어 장치들의 고장을 유발시켜 기계들의 과열로 발생한다.<sup>6-8</sup>

풍력 발전 시스템의 화재감지 및 진압 방법은 장치 주변에 소화액이 흐르는 호스를 설치하고 화재 발생시에 열에 의해 호스가 녹게 되면 그 부분에서 소화액이 분사되게 하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 어느 정도 화재가 진행되어 호스를 녹여야 하므로 조기감지 및 진압이 어려우며, 각 장치마다 호스를 설치해야 하는 번거로움이 있다. 또한 넓은 너셀 공간에 CCTV를 설치하여 화재를 확인하고 수동작으로 진압하는 방식이 있는데 이 방법은 야간 및 새벽 시간대에도 상주 근무자가 상시 모니터링을 실시해야 하는 단점이 있다.

Aloys<sup>9</sup>와 Lee<sup>10</sup>은 너셀 내부에 산소농도를 줄이고 불활성 기체의 농도를 높임으로써 화재 방지 및 진압하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 너셀 내부를 완전히 밀폐시켜야 하며, 너셀 내부에 작업을 하기 위해서는 진입 전에 산소농도를 다시 높이기 위하여 환기가 필요하다.

Alejandra<sup>11</sup>는 화재 발생 가능한 지역을 격벽으로 분리하여 화재 범위를 한정시켜 확산을 막는 방식을 제안하였는데 이 방법은 설계 초기부터 격리되어 설계하는 방식으로서 이미 설치된 풍력발전기에 적용은 적합하지 않다.

본 논문에서는 너셀 환경 특성을 분석하고 화재를 조기에 감지하는 방법을 제안한다. 너셀 내부의 조도, 연기농도, 온도에 대하여 분석을 수행하여 분석된 환경 특성을 바탕으로 조기감지 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 너셀 내부의 환경특성을 최대한 고려한 것으로서 화재감지 신뢰성이 높아 조기감지가 가능하고 비화재보의 가능성을

Table 1 Fire type of wind turbines

Fire type	Oil	Spark	Lighting	Unknown
Number of occurrence	9	5	1	2

낮출 수 있다. 또한 무인자동방재가 가능하며 설계단계에서의 구조 변경이 불필요하여 이미 설치되어 있는 풍력발전기에도 적용이 용이한 장점이 있다.

## 2. 너셀 화재 특성 분석

Table 1은 최근 5년간 국내·외에서 발생한 실제 풍력발전기 화재사례를 나타낸다. 풍력발전기 과속이나 기계 결함 등으로 인하여 발전기 혹은 디스크 브레이크 등의 과열로 인하여 너셀 내부 잔존오일에 점화되어 발생한 윤활유화재가 9건으로 가장 많았고, 전기장치 고장, 과전류 및 합선으로 인하여 전기 스파크가 발생하여 발화된 화재가 5건이 발생하였다. 또한 낙뢰에 의해 발전기가 파괴되어 발생한 화재 1건과 정확한 원인이 불명인 화재가 2건 발생하였다. 따라서 너셀 내부 화재는 장치의 과열에 의한 유류화재 및 과전류나 합선에 의한 전기 화재로 분류될 수 있다.

## 3. 너셀 환경 특성 분석

### 3.1 너셀 환경데이터 취득 및 분석 방법

너셀 내부의 환경변수특성을 분석하기 위해 조도와 연기 및 온도센서를 풍력발전기 너셀 내부에 설치하였다. 센서는 실제 화재 발생사례 및 유럽 화재 가이드라인을 참고하여 화재가 발생하기 쉬운 부분인 발전기, 브레이크 디스크, 기어 박스 및 요 부분에 설치하였다.

조도센서는 CDS 센서로 GL5549 모델을 사용하였고 연기센서는 이온화식 센서로 DS-SD-003 모델을, 그리고 온도센서는 삼선식 PT100Ω을 사용하였다. 조도센서는 I2C 통신으로, 연기와 온도센서는 RS485 통신으로 너셀 내부의 로고박스에 저장되고, 매 20분마다 CDMA 통신으로 지상에 설치된 모니터링 서버로 수신되어 저장된다.

### 3.2 너셀 환경데이터 분석 결과

#### 3.2.1 조도 분석 결과

Fig. 1은 여러 위치에서 측정된 조도 값 중 가

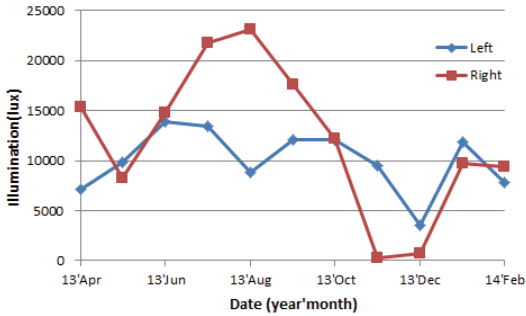


Fig. 1 Maximum illumination

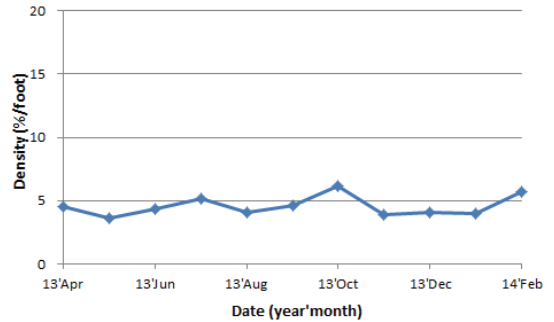


Fig. 3 Maximum smoke density

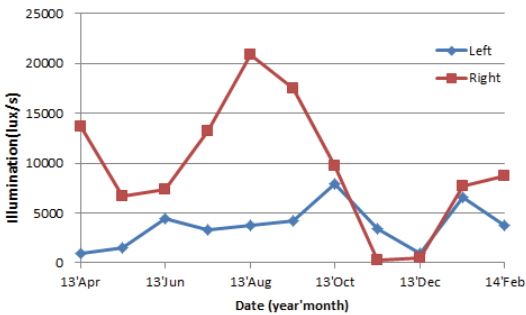


Fig. 2 Maximum rising rate of illumination

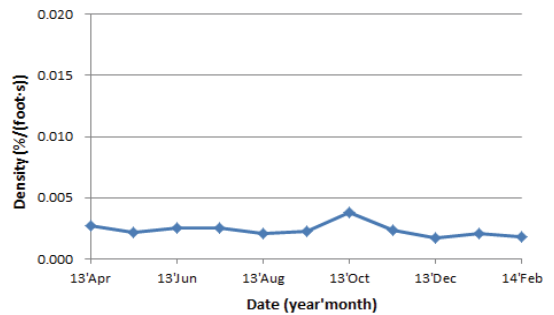


Fig. 4 Maximum rising rate of smoke density

장 높은 값을 나타낸 발전기 좌 우측의 월간 최대 조도 값을 나타낸다. 최대값은 8월에 발전기 오른쪽에서 23153lux가 관측되었다. Fig. 2는 최대상승속도를 나타내는데, 최대값은 8월에 발전기 오른쪽에서 20876lux/s로 분석되었다. 이와 같이 조도의 최고 값이 높은 이유는 너셀은 밀폐된 공간이 아니어서 자연광이 들어오기 때문이다. 또한 태양광이 직접 유입되거나 구름, 블레이드의 그림자 등으로 인하여 조도 변화가 심하여 상승속도의 값도 높은 것으로 분석되었다. 너셀이 왼쪽에 빛이 더 많이 들어오는 구조로 되어있어 조도 값은 왼쪽이 더 크지만 너셀이 바람의 방향에 따라 요 운동을 하므로 너셀 방향에 따른 그림자 혹은 반사 빛으로 인하여 상승속도는 오히려 오른쪽이 더 큰 것으로 분석되었다. 이와 같이 조도는 비화재 시에도 그 절대값과 상승속도가 매우 크기 때문에 화재감지 변수로 이용하기에는 부적합한 것으로 판단된다.

### 3.2.2 연기농도 분석 결과

Fig. 3은 월별 최대 연기농도를 나타내며, Fig. 4는 월별 최대상승속도를 나타낸다. 연기 농도는

변화가 거의 없이 일정하였으며 최고 값은 10월에 6%/foot 로 측정되었다. 10월에 연기 농도 값이 높게 나온 것은 먼지나 안개에 의한 것이며, 이 값은 실제 화재시의 연기농도 보다 훨씬 낮은 값이다. 연기농도상승속도는 거의 0이었으며 최고 값은 0.0038%/((foot·s))으로 분석되었다. 따라서 비화재 시 너셀 내부의 연기 농도 값 및 상승률이 낮으며 그 변화 또한 작으므로 화재감지 변수로 사용이 충분한 것으로 사료된다.

### 3.2.3 온도 분석 결과

Fig. 5는 월별 온도 최고 값을 분석한 결과이다. 최대값은 발전기 부분에서 4월에 47.7℃로 측정되었다. 주로 발전기 부근에서 높은 온도 값이 측정되었는데, 이것은 발전기 부분에서 열이 많이 발생하기 때문이다.

Fig. 6은 월별 최대상승속도 결과인데, 상승속도의 최고 값은 0.97℃/s이었다. 또한 여름철보다 겨울철의 상승률이 높게 나타났는데, 이는 겨울철에는 밤에 기온이 급격히 떨어지고 낮에는 햇빛으로 온도가 급격히 올라가 일교차가 여름보다 크기 때문이다. 또한 너셀 내부의 발전기나 증속기 등에서

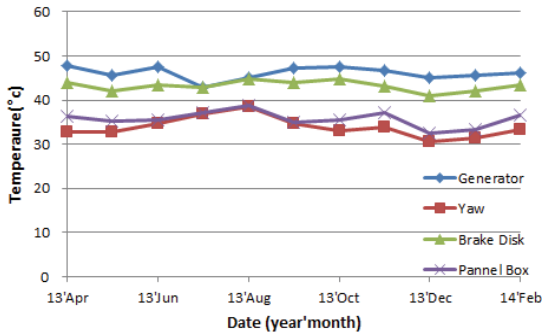


Fig. 5 Maximum temperature

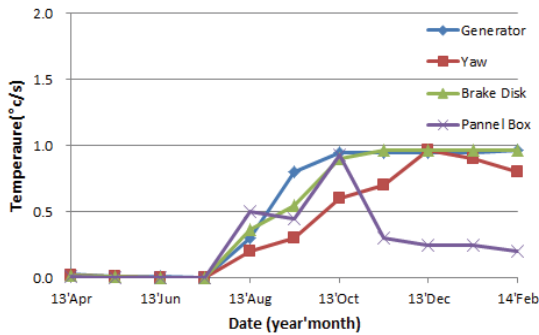


Fig. 6 Maximum temperature rising rate

열이 발생하기 때문에 운전시에는 겨울철에도 너셀 내부는 20도 이상을 유지하는 것으로 분석되었다.

#### 4. 화재감지센서 특성 및 감지알고리즘

너셀 환경 데이터 분석 결과 조도는 비화재 시에도 값이 크고, 변화가 심하여 화재 변수로 이용하기에는 신뢰성이 부족한 것으로 분석되었다. 따라서 조도를 제외한 연기 및 온도를 화재감지 환경변수로 설정하여 센서를 선정하였다.

##### 4.1 센서 특성

화재감지를 위한 연기농도 센서로는 DS-SD-003모델을 사용하였다. 이 연기센서는 이온화식 연기감지기로서 공기에 포함된 연기에 의한 이온 전류 변화를 검출하여 동작하게 된다. Table 2는 연기센서의 특징을 나타내고 Fig. 7은 일정 연기 농도가 유지되는 공간에 연기센서를 투입하여 측정 한 응답 특성을 나타낸다.

화재감지를 위한 온도센서는 Table 3과 같은 Thermocouple K- type을 사용하였다. 이 온도센서의

Table 2 Features of smoke sensor

Voltage	9 V	
Current	15 ± 2 pA	
Output	5.5 ± 0.5 V	
Sensitivity	1.2 ± 0.3 V	
Operation	Temperature	-10~+60℃
	Humidity	Less than95%RH

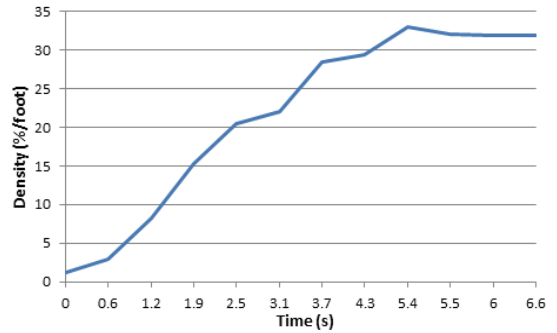


Fig. 7 Response characteristics of smoke sensor

Table 3 Features of temperature sensor

Type	K
Positive	Chromel
Negative	Alumel
Temperature range	-200~+1250℃
Diameter	0.5Φ

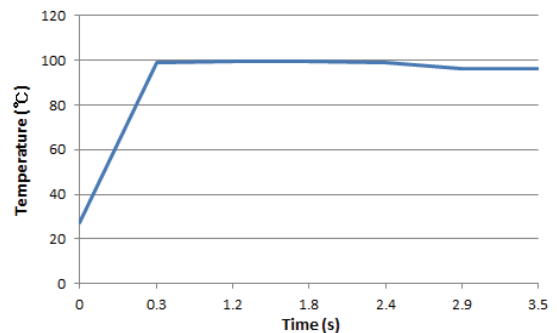


Fig. 8 Response characteristics of temperature sensor

측정범위는 -200~1250℃이다. Fig. 8은 100℃로 끓는 물을 이용한 온도센서의 응답특성을 나타낸다.

##### 4.2 조기감지알고리즘

너셀 환경 분석 결과 연기는 최고농도 6%/foot, 온도는 47.7℃로 나타났다. 그러나 너셀 내부의 연기농도 및 온도는 너셀 주변의 환경, 특히 온도의

Table 4 Early fire detection algorithm

Fire warning	$T_f = ON$ and $S_f = OFF$
	$T_f = OFF$ and $S_f = ON$
Fire	$T_f = ON$ and $S_f = ON$

경우 계절에 따라 차이가 클 뿐만 아니라 풍력발전기 가동 유무에 따라서도 큰 차이를 보인다. 화재 시 특정 온도에 도달하는 시간은 초기온도에 따라 크게 달라지기 때문에 초기 온도가 낮을 때는 반응속도가 너무 느리게 되어 조기감지가 어렵다. 따라서 단순히 연기농도 및 온도의 최대값만으로 화재를 판단 하는 것은 화재 조기감지 및 비화재보 최소화를 달성하기에 적합하지 않으므로 본 연구에서는 연기 및 온도의 절대값보다는 반응이 빠르고 주변환경, 특히 계절별 영향을 받지 않는 연기농도 및 온도 상승률을 기준으로 화재조기감지 알고리즘을 개발하였다.

너셀 환경 분석 결과 최대 연기농도상승률은 0.0038%/(foot·s)이고, 최대 온도상승률은 0.97°C/s인 것으로 분석되었다. 또한 예비 실험 결과 화재시 연기상승속도는 최소 3%/(foot·s), 온도상승속도는 2°C/s정도였다. 비화재보를 최소화하기 위해 화재 발생 기준 연기농도 상승률 및 온도상승률 값을 각각 최소 상승률 보다는 약간 높은 4%/(foot·s) 및 3°C/s로 설정하였다. 이 기준 값은 비화재 시 너셀 내부의 온도 및 연기 농도 상승속도 최대값 보다는 3배 이상 크며 화재 시의 최소 연기 농도 및 온도상승률 보다 큰 값이다.

Table 4는 설정된 화재기준 값을 이용한 화재감지 알고리즘을 나타낸다.  $S_f$  및  $T_f$  는 각각 온도 및 연기농도 상승률이 설정값에 도달했는지를 나타내는 지표로서 초기값은 OFF이고 최초로 설정값에 도달한 후는 ON으로 유지된다. 온도상승속도와 연기상승속도 중 하나의 값이라도 기준값을 넘을 경우를 화재경보로, 이후 나머지 한 값이 기준 값 이상이 되면 화재발생으로 판단한다.

## 5. 실험 결과

### 5.1 실험장치

너셀 화재 시물레이션을 위해 가로 0.85m, 세로 1.4m, 높이 0.9m의 시물레이터를 제작하였다. Fig. 9는 실험에 사용한 시물레이터의 사진이다. 내부에 화재발생장치들을 설치하고 외부에 컨트롤 박스와 연결하였다. 화재 감지용 센서는 빠른 시

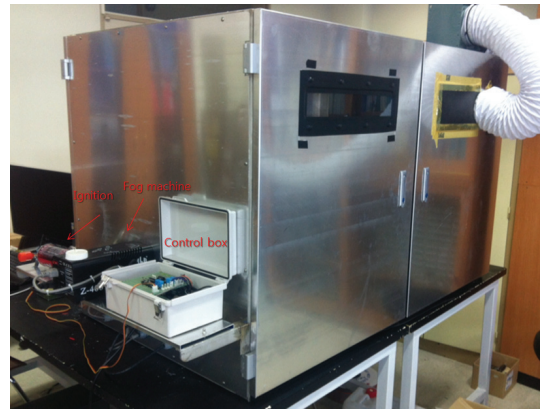


Fig. 9 Fire simulator

간 안에 조기화재감지가 가능해야 하므로 화원과 의 거리가 0.3m 이내인 근거리와 1m 이상되는 원거리로 설정하였다. 컨트롤 박스 및 센서들은 마이크로컨트롤러 ATmega128을 통해 컴퓨터로 연결을 하여 프로그램을 구동하면 화재발생장치들을 제어할 수 있고 각 센서의 데이터를 수신하여 측정하고 저장할 수 있다.

전기화재는 PVC전선 2.5x10<sup>-4</sup>m<sup>3</sup>을 가스버너로 발화시켜 실험하였으며 윤활유 화재는 윤활유를 묻힌 0.04m x 0.04m의 종이를 가스버너로 점화시켜 실험하였다.

## 5.2 실험 결과

### 5.2.1 전기 화재 실험 결과

Table 5는 전기화재 실험을 10회 실시한 결과를 나타낸다. 근거리 감지는 화원과 0.3m 이내의 거리에 센서가 설치된 경우이며 원거리 감지는 화원과 센서 사이의 거리가 1m 이상인 경우이다. 대부분의 경우 온도상승률이 먼저 기준값에 도달하여 경보를 알렸고, 그 이후에 연기농도상승률이 기준값에 도달하여 화재로 판단되었다. 근거리 실험 결과 평균 경보 시간 및 최대경보시간은 3초 정도로 거의 동일하였으며 평균 화재 감지시간은 6초, 최대 감지시간은 8초였다. 원거리의 경우는 평균 경보시간 9초, 최대 경보시간은 13초 이었으며 평균 화재 감지시간은 14초, 최대 감지시간은 18초였다.

Fig. 10과 11은 근거리 화재 감지 실험의 대표적인 결과를 나타낸다. 화재 발생시에 화재 반응속도에 따라 화원의 크기가 수시로 변하고 불안정한 대류현상이 급격하게 발생하기 때문에 온도 및 연기농도 상승이 일정하지 않고 심하게 변동하는

Table 5 Results of electric fire

No.	0.3m				1m			
	Temperature		Smoke		Temperature		Smoke	
	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time
1	5.6	2	4.7	7	3.3	9	5.5	14
2	7.9	3	7.7	7	4.9	9	4.7	15
3	16.9	3	5.5	6	4.3	9	4.7	14
4	8.9	3	4.7	6	3.9	8	4.2	14
5	4.3	3	6.2	8	3.3	13	5.0	13
6	16.6	3	4.6	5	4.6	11	6.5	18
7	21.5	3	4.0	7	4.0	9	7.0	14
8	11.0	3	5.6	7	4.3	5	6.3	17
9	14.2	3	4.0	5	4.3	9	4.4	10
10	14.4	2	4.0	5	4.3	9	4.5	14

(temperature rate: °C/s, smoke rate: %/(foot·s), time: s)

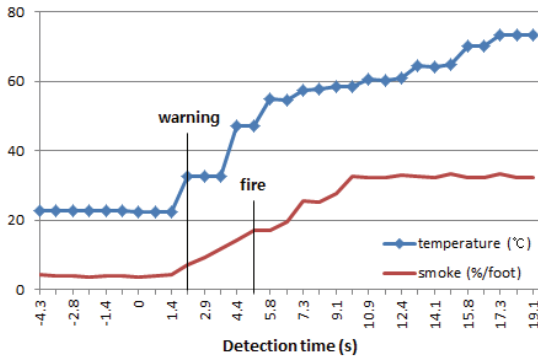


Fig. 10 Result of temperature and smoke density

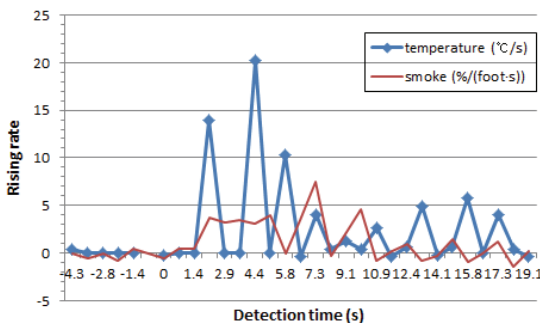


Fig. 11 Results of rising rates

것이 관측되었다. 실험 결과 화재 발생 2초 후에 온도에 의해 경보를 발령하였으며 시뮬레이터 내부 온도가 비화재 시 너셀 최고온도인 47°C 정도 임에도 불구하고 5초 정도에 연기농도 상승률이 기준값에 도달하여 화재를 감지하였음을 나타낸다. 화재 발생 감지시의 온도상승률은 14.4°C/s, 그리고

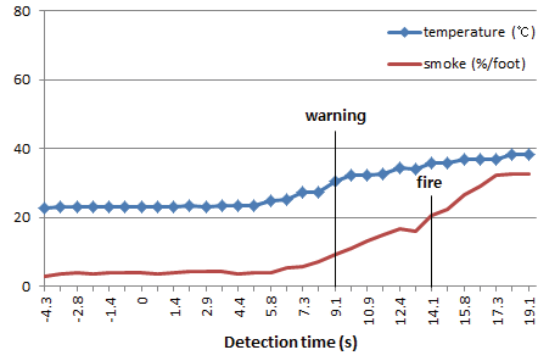


Fig. 12 Results of temperature and smoke density

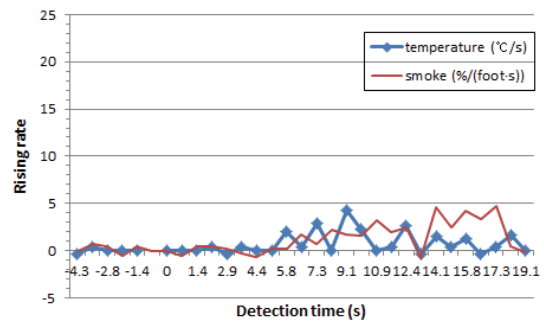


Fig. 13 Rising rates of temperature and smoke density

연기농도 상승률은 4.0%/(foot·s) 정도였다.

Fig. 12와 13은 원거리 화재실험 결과의 대표적인 경우를 나타낸다. 9초 경과 후에 온도상승률이 기준값에 도달하여 경고가 발령되었으며, 14초 정도에서 연기농도 상승률이 기준값에 도달하여 화재를 감지하였다. 화재 발생 감지시의 온도상승률은 4.3°C/s, 그리고 연기농도상승률은 4.5%/(foot·s) 정도였다.

전기화재 경우는 화원과 센서 사이의 거리에 상관없이 거의 대부분 온도상승률이 먼저 화재 설정 값에 도달하였는데 이는 전기피복화재는 열 발생이 연기농도발생보다 크기 때문이다.

### 5.2.2 윤활유 화재 실험 결과

Table 6은 윤활유 화재 실험을 10회 실시한 결과를 나타낸다. 전기 화재 시와는 달리 화재경보는 온도뿐만 아니라 연기농도에 의해서도 발령되었으며 그 비율은 비슷하였다. 근거리 실험 결과 평균 경보 시간은 5초, 최대 경보시간은 7초이었으며, 평균 화재 감지시간은 4초 최대감지시간은 5초 이었다. 원거리의 경우는 평균 경보시간 10초,

Table 6 Results of lubricant fire

No.	0.3m				1m			
	Temperature		Smoke		Temperature		Smoke	
	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time
1	20.2	7	4.5	4	6.6	8	7.0	9
2	6.6	6	5.5	5	7.2	9	5.7	9
3	4.6	3	4.2	2	3.9	9	5.2	11
4	4.6	4	5.6	3	3.6	8	4.1	9
5	7.3	6	4.9	5	4.3	11	9.6	13
6	3.3	3	4.2	3	5.6	13	5.7	11
7	3.6	5	4.6	5	3.6	7	4.7	12
8	4.2	4	5.6	3	3.2	6	4.1	7
9	5.0	4	6.2	4	3.4	11	4.2	8
10	12.2	7	4.2	4	4.2	12	5.6	10

(temperature rate: °C/s, smoke rate: %/(foot·s), time: s)

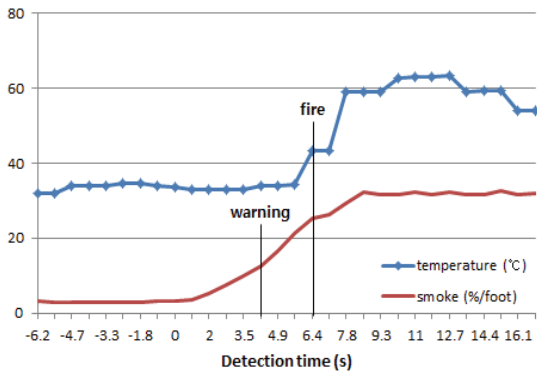


Fig. 14 Results of temperature and smoke density

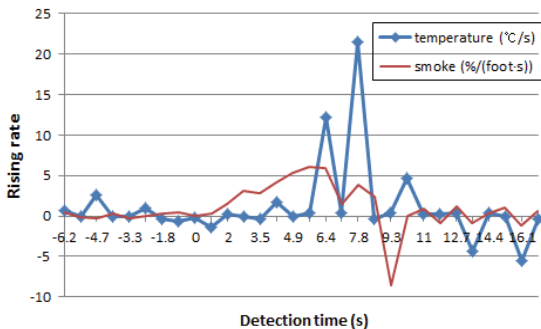


Fig. 15 Rising rates of temperature and smoke density

최대 경보시간은 13초 이었으며 평균 화재 감지 시간은 10초, 최대 감지시간은 11초 이었다.

또한 전기 화재보다 화재 감지시간이 비교적 빠른 결과를 보였다. 이것은 유류화재의 경우 연기농도 상승률이 전기화재시보다 빠르기 때문이다.

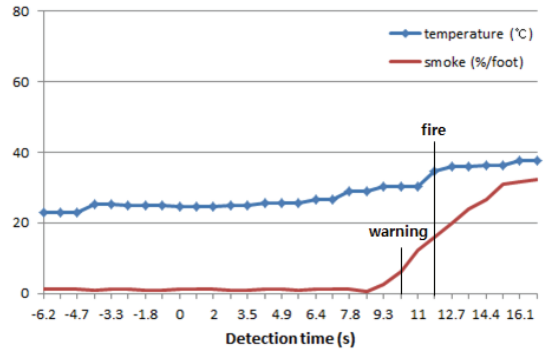


Fig. 16 Results of temperature and smoke density

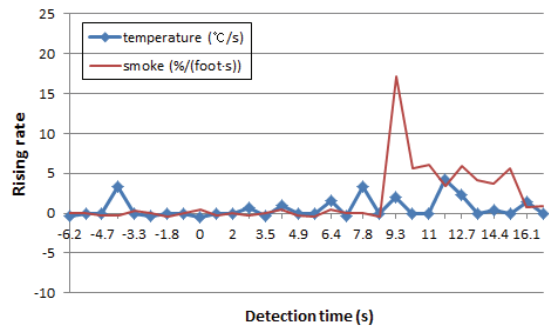


Fig. 17 Rising rates of temperature and smoke density

근거리 화재 감지 실험의 대표적인 결과를 Fig. 14와 15에 나타내었다. 4초 정도에 연기농도 상승률이 기준값에 도달하여 화재경보를, 7초 이내에 온도 상승률이 기준값에 도달하여 화재를 감지한 것을 나타낸다. 화재 발생 감지시의 온도 상승률은 12.2°C/s, 그리고 연기농도상승률은 4.2%/ (foot·s)였다.

Fig. 16과 17은 원거리 화재 감지 결과 중 대표적인 경우로서, 10초 경에 연기농도에 의해 화재경고를, 12초경에 온도상승률에 의해 화재를 감지하였다. 화재 발생 감지시의 온도상승률과 연기농도상승률은 각각 4.2°C/s 및 5.6%/ (foot·s)였다.

윤활유 화재의 경우는 전기화재에 비해 화재감지 시간이 대체적으로 빠르고 연기상승률에 의한 화재경보발령 비율이 높았는데 이것은 윤활유에 화재가 발생할 경우 많은 연기가 발생하기 때문이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 풍력발전시스템 너셀 내부의 환경특성을 기반으로 한 화재조기감지 방법을 제안

하였다. 너셀 내부 환경을 분석한 결과 조도는 값이 클 뿐만 아니라 변화가 심해 화재감지를 위한 변수로는 적합하지 않아 온도와 연기농도 상승률만을 변수로 하는 화재조기감지 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘의 성능을 모형환경에서 실제 실험으로 평가한 결과 화재 초기에 너셀 내부온도가 낮은 상황에서도 조기에 화재감지가 가능함을 확인하였다.

화재유형에 따른 분석 결과 전기 화재의 경우는 온도상승이 연기농도상승보다 우세하며 유류화재 시는 연기농도상승이 지배적인 것으로 나타났다. 또한 전기화재보다 유류화재 시의 감지 속도가 비교적 빠른 것으로 분석되었는데 이는 유류화재 시에는 연기발생률이 크기 때문으로 판단된다.

이 방법은 너셀 내부의 온도 및 연기농도 변화 특징을 최대한 반영한 것이기 때문에 화재감지신뢰성이 높을 뿐만 아니라 비화재보를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 제안된 조기감지방법을 너셀 내부의 화재다발구역에 화재유형별로 적용함으로써 너셀 내부화재를 조기에 감지하여 진압이 가능 할 것으로 기대된다.

제안된 감지방법은 너셀 환경에서는 신뢰성이 있는 감지방법이 될 수 있지만 일반적인 환경에서 보다 신뢰성 있는 화재감지를 위해서는 단정적인 값을 기준으로 화재를 판단하는 것 보다는 온도 및 연기농도에 따른 화재발생 확률을 기준으로 화재를 감지 방법의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

1. Lim, J. H., "Optimal Combination and Sizing of a New and Renewable Hybrid Generation System," *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, Vol. 5, No. 2, pp. 43-59, 2012.
2. Lim, J. H., "Optimal Capacity Design and Economic Evaluation of Hybrid Generation Systems based on Load Characteristics," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 30, No. 10, pp. 1103-1109, 2013.
3. CWIF, "Summary of Wind Turbine Accident Data to 30 June 2014," <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/AccidentStatistics.htm> (Accessed 21 August 2014)
4. Ko, K. N. and Huh, J. C., "Introduction to Wind Engineering," Munundang, 1<sup>st</sup> Ed., pp. 151-178, 2006.
5. Jang, J. H., "Fundamentals of Wind Turbine," *GS Intersivon*, 1<sup>st</sup> Ed., pp. 33-54, 2010.
6. National Fire Protection Association, "Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations," 2010.
7. Vertrauen durch Sicherheit, "Wind Turbines, Fire Protection Guidelines VdS 3523en," 2008.
8. CFPA Europe, "Wind Turbines Fire Protection Guideline," 2012.
9. Aloys, W., "Fire Protection," *KOR Patent*, No. 7010855, 2004.
10. Lee, J. H., "Wind Turbine Generator Having Fire Detection Method," *KOR Patent*, No. 0074401, 2013.
11. Alejandra, E., "Passive Fire Protection System for Wind Turbines," *EP Patent*, No. EP2273110 A2, 2011.