

광대역 전력선통신 기반 풍력발전기 너셀 내부 화재예방시스템

김현식* · 주우진* · 강석근**

A Fire Prevention System of the Nacelle of Wind Turbine Generator System Based on Broadband Powerline Communication

Hyun-Sik Kim* · Woo-Jin Ju* · Seog Geun Kang**

요약

본 논문에서는 풍력발전기 너셀 내부에서 발생 가능한 화재를 예방하거나 신속하게 대응하기 위하여 광대역 전력선통신시스템 기반 화재 예방시스템을 구현하고 실증실험을 수행한 결과를 제시한다. 이를 위하여 고속 전력선통신용 주파수 대역에서 우수한 손실 특성을 가지는 유도성 통신 연결장치도 제작하였다. 구현된 시스템은 터빈 너셀에 설치된 온도, 불꽃, 연기센서 등 다양한 센서 정보와 열화상 이미지를 전력선통신시스템을 통하여 지상관제소에 고속 전송함으로써 너셀 내부의 환경변화를 실시간으로 감시할 수 있음을 확인하였다. 따라서 구현된 시스템은 이미 설치된 기존 안전시스템과 연동하여 풍력발전기 화재감시 및 예방체계의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this paper, a fire prevention system based on a broadband powerline communication (PLC) system is implemented and a demonstration experiment is carried out to prevent from or promptly dealing with possible fires within the nacelle of a wind turbine generator system (WTGS). For this purpose, an inductive coupler having satisfactory attenuation characteristic in the frequency region for high-speed PLC is also manufactured. It is confirmed that the implemented system can monitor the environmental change inside the nacelle in real time by transmitting various information obtained by the sensors such as temperature, flame, and smoke sensor installed in the nacelle and thermal image recorded by a thermal camera to the ground control center through the PLC system. Therefore, it is, considered that the implemented system will significantly improve the reliability of the fire monitoring and prevention system of the WTGS in conjunction with the existing safety system.

키워드

Powerline Communication, Inductive Coupler, Wind Turbine Generator System (WTGS), Nacelle
전력선 통신, 유도성 통신 연결 장치, 풍력 발전기, 너셀

* ㈜매트론 대표이사(wju@matron.kr)

** ㈜매트론 연구원(hskim@matron.kr)

** 교신저자 : 경상대학교 반도체공학과

• 접수일 : 2018. 07. 25

• 수정완료일 : 2018. 10. 04

• 게재확정일 : 2018. 12. 15

• Received : Jul. 25, 2018, Revised : Oct. 04, 2018, Accepted : Dec. 15, 2018

• Corresponding Author : Seog-Geun Kang

Dept. of Semiconductor Engineering, Gyeongsang National University,

Email : sgkang@gnu.ac.kr

1. 서론

최근 탈원전 중심 에너지 전환정책이 추진되면서 화력 및 원자력에너지에 대한 의존도가 점차 감소되고 있다. 정부는 ‘안전하고 깨끗한 에너지로의 전환’이라는 목표 아래 태양광, 풍력 등 신재생에너지의 비중을 2030년 약 20%까지 증대시키는 방침을 정하고 관련 정책과 사업을 추진하고 있다. 특히, 풍력발전은 여러 가지 신재생에너지 발전방식 가운데 비교적 경쟁력이 높은 방식으로 2017년 9월 제주도 한경면에 30 MW급 해상풍력단지가 상업용 운전을 개시한 것을 비롯 전국 각지에 발전단지가 설립되는 등 실용화가 활발히 진행되고 있다. 하지만 풍력발전을 위해서는 연중 안정적으로 바람이 부는 비교적 광활한 대지가 필요하고, 하나의 길이가 80 m에 이르는 대형 로터(rotor) 또는 로터 블레이드(rotor blade)가 회전하면서 발생하는 소음으로 인하여 대부분의 풍력발전단지는 해상이나 산간 등 접근성이 떨어지는 곳에 주로 위치한다. 따라서 낙뢰나 태풍 등 자연재해가 발생하는 경우 신속히 대처하기 힘든 단점도 있다.

한편, 풍력발전기(wind turbine generator system, WTGS) 너셀은 그림 1에 나타난 것처럼 바람에 의하여 로터가 회전하면서 발생된 운동에너지를 전기에너지로 변환시키기 위한 다수의 기계장치와 발전을 위한 전기장치, 전자제어를 위한 복합장치들로 매우 복잡하게 구성되어 있다. 이와 같은 터빈 너셀은 낙뢰, 산불 등과 같은 자연재해뿐만 아니라 팬임펠러(fan impeller), 스위치기어(switch gear) 등의 기계장치에 있는 가연성 물질에 불꽃이 튀거나, 부품 결함에 의한 과전류, 로터 과속으로 인한 과열 등으로 인한 화재가 발생할 수 있다[1]. 특히, 접근성이 떨어지는 지역의 고공에 설치된 특성으로 인하여 풍력발전기 너셀에서 발생하는 화재의 경우 초기 진압이 거의 불가능하므로 엄청난 재산상의 손실뿐만 아니라 전력공급의 중단으로 인한 추가 손실과 비용이 막대하다.

풍력발전기에서 발생하는 화재사고를 방지하기 위하여 너셀 내부에 격벽을 설치하는 방법, 불활성 기체를 주입하는 방법 등이 제안되었다[2-3]. 또한, 너셀 환경특성을 분석하여 다양한 센서들을 설치함으로써 화재 조기감지시스템을 운영하는 방법도 최근에 제시된 바 있다[4]. 그리고 유럽에서는 풍력발전기 화재사

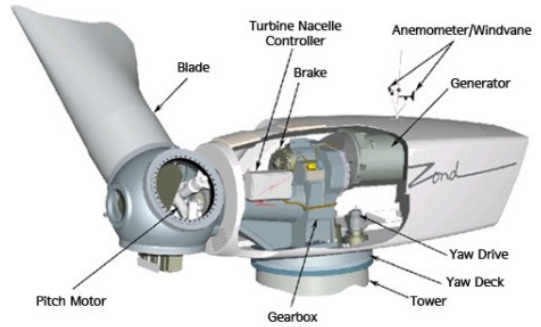


그림 1. 풍력발전기 터빈 너셀의 구조
Fig. 1 The structure of nacelle of the WTGS

고를 방지하거나 사고발생시 신속히 대응하기 위한 풍력터빈 화재방지 가이드라인도 발표한 바 있다[1].

본 논문에서는 풍력발전기 자체 전원 기반 광대역 전력선통신(powerline communication, PLC)을 이용한 발전기 너셀 내부 화재 예방시스템을 구현하고 실증 실험 수행 결과를 제시한다. 이를 위하여 광대역 전력선통신용 주파수 대역에서 우수한 전송특성을 가지는 유도성 연결장치(inductive coupler)도 제작하였다. 실증실험을 위하여 본 논문에서는 너셀 내부에 설치된 다양한 센서들이 감지한 신호와 열화상 카메라의 이미지를 실시간 전송할 수 있도록 너셀과 지상관제소 사이에 전력선통신망을 설치하여 너셀 내부 환경변화를 실시간 감시하는 화재 예방시스템을 구축한다.

II. 전력선통신의 원리와 응용

전력선통신은 그림 2에 나타난 것처럼 전력 공급용 전력선을 전송채널로 사용하여 60 Hz 전력신호에 수 kbps부터 수십 Mbps 속도의 데이터 신호를 더하여

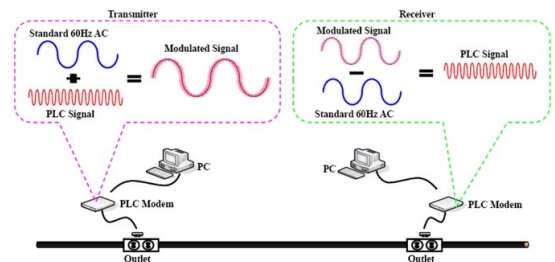


그림 2. 전력선통신의 원리
Fig. 2 The principle of powerline communication

전송하는 기술이다[5]. 이는 스마트 그리드 응용을 위한 500 kHz 이하의 저주파 협대역 전력선통신용 표준으로 IEEE Std. 1901.2과[6] 100 MHz 주파수를 이용하여 최대 500 Mbps급의 고속 데이터통신을 위한 IEEE Std. 1901-2012로[7] 표준화되어 있다. 다양한 종류의 센서들이 획득한 정보와 고성능 폐쇄회로텔레비전(closed-circuit television, CCTV) 영상정보 등 대용량 데이터를 고속 전송하기에는 광대역 전력선통신 기술이 적합하다. 하지만 표 1에 비교하여 나타낸 바와 같이 광대역 전력선통신은 통신거리에 대한 제약이 상대적으로 큰 편이므로 장거리 송전계통에의 적용을 위해서는 고성능 통신부품 등 핵심소자의 개발이 선행되어야 한다.

표 1. 협대역 전력선통신과 광대역 전력선통신의 비교
Table 1. Comparison of the narrowband and the wideband PLC system

	Narrowband PLC	Wideband PLC
Bandwidth	9 ~ 450 kHz	1 ~ 40 MHz
Transmission rate	Tens kbps	more than 2 Mbps
Coverage	Several km	Hundreds m
Modulation	FSK ¹	OFDM ²

1. FSK: frequency shift keying
2. OFDM: orthogonal frequency division multiplexing

이와 같은 전력선통신은 원격검침용 전력량계 모니터링시스템과[8] 전관방송시스템 등에 응용된다[9]. 특히, 전력 보급률이 거의 100%에 이르는 우리나라에서는 2009년부터 스마트 그리드 프로젝트를 수행하면서 기존 전력망에 전력IT와 데이터통신 및 네트워크 기술을 더하여 지능형 전력망 실증단지를 구축하면서 전력선통신시스템을 운영하고 있다. 또한, 4차 산업혁명 분야의 솔루션 가운데 하나로 전력선통신과 사물인터넷(internet-of-thing, IoT)을 연계하여 접근이 어려운 전력설비를 실시간 감시하는 전력 설비 예방진단 서비스 사업도 진행되고 있다.

III. 광대역 전력선통신 기반 화재예방시스템 구현

3.1 유도성 연결장치 설계

전력선으로부터 신호를 추출하기 위해서는 통신 연

결장치가 필요하다. 현재 전력선통신을 위한 통신 연결장치로는 전도성 연결장치(conductive coupler)와 유도성 연결장치가 있다. 전자의 경우 전력선에 직접 체결되는 접촉식 커넥터로 유도성 연결장치에 비하여 우수한 통신특성을 가지는 것으로 알려져 있다[10]. 하지만 전력선으로의 전력 역류를 차단하기 위한 전력차단회로와 과도전압억제를 위한 보호회로를 추가로 구성해야 하는 단점이 있다. 이에 비하여 유도성 연결장치는 전력선에 직접 접촉하지 않고 전자기 유도현상을 이용하여 비접촉식으로 신호를 송수신한다. 특히, 사용 중이거나 건조가 완료되어 형상의 변경이 불가능한 구조물의 내부에 이미 구축된 기존 전력선에 비접촉식으로 간편하게 체결할 수 있는 유도성 연결장치는 스마트그리드 구축의 융통성을 제고시키면서도 전력선통신시스템을 달성할 수 있는 핵심 부품으로 사용되고 있다.

표 2. 유도성 연결장치의 자심재료 조성비(단위: wt%)
Table 2. The ratio of magnetic core materials for the inductive coupler (unit: wt%)

시료	NiO	ZnO	Fe ₂ O ₃	CuO
A	10.1	20.9	69.0	-
B	8.3	22.8	64.6	4.2

유도성 연결장치에 사용되는 자심재료는 투자율(permeability) 및 자속밀도(magnetic flux density)가 높고, 공진주파수가 수십 MHz 대역에 존재하며, 고주파 대역에서 낮은 전력손실 특성을 유지하여야 한다. 본 연구에서는 광대역 전력선통신용 유도성 연결장치의 제작을 위하여 표 2와 같이 NiO, ZnO, CuO, Fe₂O₃를 주성분으로 2가지 페라이트를 고상법(solid state reaction)으로 제작하였다. 자체시험 결과를 바탕으로 B시료를 사용하여 내경×외경×두께가 40×62×



그림 3. 제작된 유도성 연결장치의 구조
Fig. 3 The structure of the inductive coupler

12.7 mm인 유도성 연결장치를 제작하였다. 그림 3에 제작된 유도성 연결장치의 실물을 나타내었다.

3.2 전력선통신시스템 구현

너셀 내부에 설치된 다양한 센서들이 감지한 신호는 클라이언트 PC에 저장되고, 이를 관제센터에 설치된 서버용 PC에 전력선통신을 이용하여 전송한다. 전력선통신시스템에서 통신매체는 일반적인 전력선을 이용하고, 유도성 연결장치를 관통하여 전력선을 삽입함으로써 형성된 자기장을 통하여 연결장치가 신호를 수집한다. PC와 통신 연결장치는 복합 인터페이스 장치를 이용하여 연결한다. 이와 같은 전력선통신시스템의 구성도를 그림 4에 나타내었다.

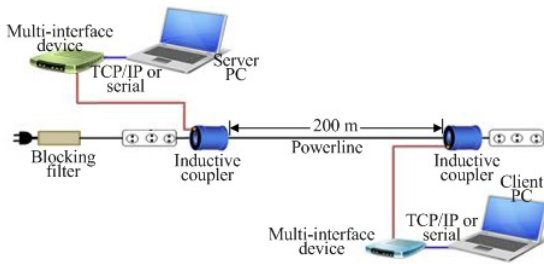


그림 4. 전력선통신시스템의 구성도

Fig. 4 The configuration of powerline communication system

클라이언트 PC는 너셀 내부에 설치되며, 테스트 베드에 연결되어 온도, 불꽃, 연기센서의 감지신호와 전류 및 전압을 초당 1표본 획득하여 실시간 모니터링 데이터를 전송함으로써 전력선통신 기반 화재 예방시스템을 구성한다.

IV. 실증시험 및 분석

구현된 풍력발전기 너셀 내부 화재 예방시스템의 동작을 확인하기 위한 모니터링 시스템의 개념도를 그림 5에 나타내었다.

풍력발전기 너셀 내부에 설치된 온도, 불꽃, 연기, 전압, 전류센서들이 감지한 신호는 테스트 베드의 마이크로프로세서를 통하여 클라이언트 PC에 전달된다. 이는 전력선통신 모듈(PLC modem)과 유도성 통신

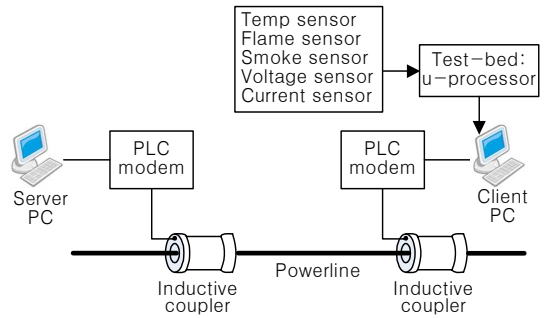


그림 5. 전력선통신 기반 화재 예방 모니터링 시스템의 개념도

Fig. 5 The conceptual diagram of fire prevention system based on powerline communication

연결장치를 통하여 통신매체인 전력선에 인가된다. 유도성 연결장치가 획득한 자기장은 전력선통신 모듈에서 데이터 신호로 변경되고 관제시스템에 해당되는 서버용 PC는 수신된 신호를 해석하여 너셀 내부에서 일어나는 환경변화를 감지한다.

제작된 유도성 통신 연결장치가 광대역 전력선통신 기준을 충족하는지 확인하기 위하여 권선수에 따라 삽입손실을 측정하여 그림 6에 나타내었다. 그 결과, 권선수가 2회인 경우가 1회인 경우보다 0.5 dB 가량 우수한 삽입손실을 나타내었다. 또한, 전자의 경우 약 1.5 MHz부터 5.0 MHz 대역에서 비교적 평탄한 감쇄 특성을 가지므로 광대역 전력선통신에서 요구되는 통신주파수 대역 조건을 충분히 만족시키는 것으로 판

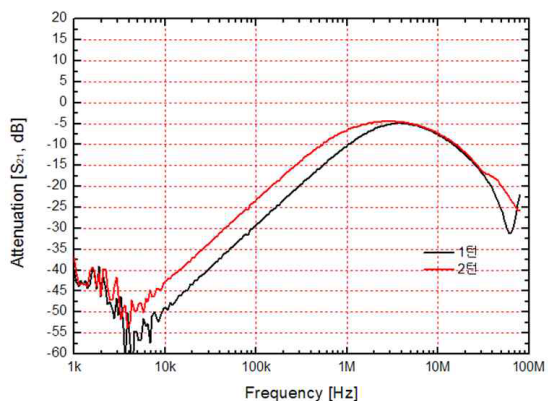
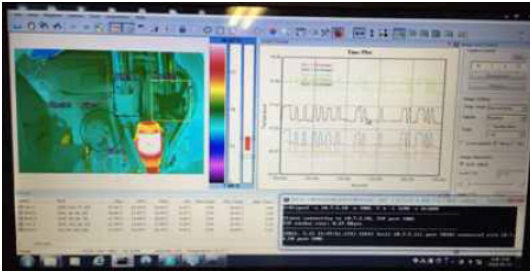


그림 6. 권선수에 따른 제작된 유도성 연결장치의 삽입손실

Fig. 6 Attenuation of the inductive coupler according to the number of turns



(a)



(b)

그림 7. 화재감지시스템 시험 (a) 너셀부 시험장치 설치 (b) 지상관제부 열화상 이미지 재현
Fig. 7 Test of fire detection system (a) setting-up devices in the nacelle (b) thermal camera image displayed at the ground control center

단된다. 따라서 여기서는 권선수 2회로 제작된 유도성 연결장치를 전력선통신시스템에 적용하였다.

구현된 화재 예방시스템의 동작을 실험하기 위하여 통신기능을 갖춘 열화상 카메라, 온도, 불꽃, 연기감지 등을 그림 7(a)와 같이 설치하고 클라이언트 환경인 너셀부와 지상관제부 서버 사이의 전력선통신망을 이용하여 열화상 이미지와 센싱 데이터를 전송하는 실험을 수행하였다. 그 결과, 너셀 내부에 설치된 센서들이 감지한 정보와 열화상 카메라가 촬영한 이미지가 복합통신모뎀과 전력선통신시스템을 통하여 지상관제부에 약 10 Mbps의 전송속도로 수신되는 것을 확인하였다. 또한, 그림 7(b)에 나타난 것처럼 지상관제부의 화상 이미지 모니터링 장치를 통하여 너셀 내부 온도 변화에 따른 열화상 이미지가 정확하게 재현되는 것도 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 풍력발전기 너셀 내부에서 발생 가능한 화재를 예방하거나 신속히 대응하기 위하여 광

대역 전력선통신시스템 기반 화재 예방시스템을 구현하고 실증실험을 수행한 결과를 제시하였다. 여기서는 광대역 전력선통신용 주파수 대역에서 우수한 손실 특성을 가지는 유도성 연결장치도 제작하였다. 실증 실험 결과, 터빈 너셀에 설치된 다양한 센서와 열화상 이미지를 전력선통신시스템을 통하여 지상관제소에 고속 전송함으로써 너셀 내부의 환경변화를 실시간으로 모니터링할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 구현된 시스템은 기존의 안전시스템과 연동하여 풍력발전기 화재감시 및 예방체계의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 교육부의 재원으로 수행된 사회맞춤형 산학협력선도대학(LINC+) 육성사업과 2018년 교육부 및 한국연구재단의 이공학개인지초연구지원사업(No. 2015R1D1A1A01060057)의 지원에 의하여 이루어졌음.

References

- [1] The Confederation of Fire Protection Associations in Europe, *Wind Turbines Fire Protection Guideline*, CFPA-E Guideline No. 22:2012F, Copenhagen, Sept. 2012.
- [2] E. Alejandra, "Passive fire protection system for wind turbines," *EP Patent*, no. EP2273110, Jan. 12, 2011.
- [3] J. Him, "Windpower generator with the fire detection method," *Korea Patent*, no. 10-1297424, Aug. 09, 2013.
- [4] M. Kim and J. Lim, "A study on the early fire detection based on environmental characteristics inside the nacelle of wind turbine generator system," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, vol. 31, no. 9, Sept. 2014, pp. 847-854.
- [5] H. Ferreria, L. Lampe, J. Newbury, and T. Swart, *Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines*. Singapore: Wiley, 2010.

- [6] IEEE Std. 1901.2a-2015, *IEEE Standard for Low-Frequency (less than 500 kHz) Narrowband Power Line Communications for Smart Grid Applications*. IEEE, Piscataway, N.J., 2015.
- [7] IEEE Std. 1901-2010, *IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*. IEEE, Piscataway, N.J., 2011.
- [8] K. S. Park, "Implement of a watt-hour meter monitoring system using powerline communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, Aug. 2013, pp. 1143-1148.
- [9] S. Kim and D. Kim, "Power line communication based public address system," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, Dec. 2017, pp. 1035-1042.
- [10] H. Kim and S. Kang, "A powerline-based legacy-line communication system for implementation of a communication networks in ship," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, Aug. 2015, pp. 1831-1838.

저자 소개



김현식(Hyun-Sik Kim)

1993년 경남대학교 무기재료공학과 졸업(공학사)
1995년 경남대학교 대학원 재료공학과 졸업(공학석사)

1998년 경남대학교 대학원 재료공학과 졸업(공학박사)

1995년 ~ 2000년 한국전기연구원 선임연구원

2000년 ~ 현재 ㈜매트론 대표이사

※ 관심분야 : 광대역 전력선통신, 나노자성재료



주우진(Woo-Jin Ju)

2016년 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

2016년 ~ 현재 ㈜매트론 연구원

※ 관심분야 : 정보통신시스템, 전력선통신



강석근(Seog-Geun Kang)

1988년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년 ~ 1994 국방과학연구소 연구원

2000년 ~ 2003 싱가포르국립대학교 전기및컴퓨터공학과 Research Fellow

2003년 ~ 현재 경상대학교 반도체공학과 교수

2003년 ~ 현재 경상대학교 공학연구원 책임연구원

※ 관심분야 : 디지털통신시스템, 통신신호처리, OFDM, 전력선통신시스템