

# 저압 지중케이블 고장 위치 검출 실증 시험장 설계 및 구축

오훈<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 전기공학과

## Design and Construction of Test Field for Low Voltage Under Cable Fault Location Detection

Hun Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Wonkwang University.

**요약** 전력 케이블의 고장에 대한 위치를 검출하기 위한 다양한 반사파 계측법들이 연구되고 있다. 하지만 대부분 관련 연구들이 시뮬레이션과 실험실에서의 성능 검증이 이루어지고 있고, 실제 현장과 비슷한 조건에서의 연구는 실증 시험장의 부재로 인해 이루어지지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 케이블 고장 검출 장치의 표준화된 성능 시험과, 장비 운영 교육을 위한 실증 시험장을 설계 및 구축하였다. 구축된 실증시험장에서는 100m, 200m 거리에서 단선, 합선, 반단선, 접촉 불량 고장을 발생시켰고 최대 거리 측정 시험을 위해 1km 케이블을 설치하였다. 이러한 실증시험장은 향후 케이블 고장 검출 기술의 개발과 표준화, 그리고 장비 성능 검증 및 인증 시험 등을 위해 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** Various reflectometry methods to locate power cable fault have been studied. But, most related studies has been verifying by simulation and laboratory test and study in conditions similar with real cable fault filed was not performed due to the absence of cable fault test field. Therefore, this paper design and construct test field for the standardized performance test and the operating education of cable fault location equipments. In the constructed test, open, short, half open and poor contact fault at 100m, 200m location of cable was produced and 1km cable role was installed for maximum distance measurement test. The test field will be used in the development and standardization of cable fault location technology, and te performance evaluation and certificate test of the related equipments.

**Keywords :** Cable fault, Location, Detection, Performance test, Test field

### 1. 서론

케이블은 부적절한 설치, 사용 환경(기계적, 화학적 및 전기적 문제-열, 수분, 진동, 스트레스 등), 사용 시간에 따라 절연열화, 접촉/접속 불량, 반단선, 합선 등의 결함 현상이 발생하고 이로 인해 설비의 동작불능, 고장, 화재사고로 이어지게 된다.

한국전기안전공사 전기재해 통계에 따르면 2014년도 전기설비사고와 전기화재의 20% 이상이 케이블과 관련 되어 있는 것으로 나타났다[1].

따라서 케이블의 고장 발생 초기에 그 위치를 정확히 검출하고 신속한 복구를 통해 전기안전사고와 그로 인한 파급사고를 예방하는 것이 중요하다. 또한 케이블 고장 위치의 정확한 측정을 통해 고장 복구 시간의 단축 및 비용의 절감도 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

일반적으로 케이블 배선 시스템의 고장 위치를 검출하는 방법으로 머레이 루프(Murray's loop) 방식, 썬치 코일(Search coid) 방식, 정전용량 측정 방식, 반사파 계측법 등이 사용되고 있다[2-4]. 이 중에서 반사파 계측법은 지락, 단락, 단선 사고의 어느 것에도 적용이 가능하

본 논문은 2013학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행되었음.

\*Corresponding Author : Hun Oh(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6732 email: ohhun@wonkwang.ac.kr

Received July 20, 2015

Revised August 3, 2015

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

며 병행 건전상이 필요 없어 3상 동시 사고점 측정에도 적합하고 케이블 전장의 길이가 불분명하여도 측정이 가능하여 가장 많이 실제 현장에서 사용되고 있다[4].

반사파 계측법은 레이더에서 비행기 추적을 위해 하늘에 전파를 발사해 비행기로부터 반사되는 전파를 감지하여 반사파 도달시간을 측정하여 비행기의 거리를 측정하는 것과 마찬가지로 특정 신호를 케이블의 한 쪽 끝단에서 인가한 후 고장 위치(균일한 임피던스로 되어 있는 케이블 도체에 고장이 발생하면 케이블 도체의 저항에 변화가 생기게 된다.)에서 반사되어 나오는 반사파를 검출함으로써 고장 위치까지의 거리를 계산하는 방법이다[5].

케이블 고장 위치 검출의 성능의 향상을 위해 TFDR(Time-Frequency Domain Reflectometry), STDR(Sequence Time Domain Reflectometry), SSTDR(Spread Spectrum Time Domain Reflectometry) 등 다양한 반사파 계측법에 대한 연구들이 진행되고 있다[6-8][11-22]. 하지만 대부분의 연구들은 실험실에서 연구되는 실정이며 실제 현장과 유사한 환경의 실증 시험장이 마련되지 않아 실제 현장에서는 적용하는데 많은 어려움이 따른다. 또한 현재 사용되고 있는 장비들의 신뢰성 시험, 교정 그리고 운영능력 배양 등을 위해 표준적인 저압 케이블 고장 위치 검출 실증 시험장이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 반사파 기반의 저압 케이블 고장 검출 기술들에 대한 성능을 실제 환경과 유사하게 시험하고, 관련 장비 운영 훈련 그리고 기술 개발의 표준화를 위해 케이블 고장 검출 실증 시험장을 설계 및 구축하였다. 설계 및 구축된 시험장에는 CV 계열의 케이블을 매설하였고 단선, 합선, 반단선, 접촉 불량 고장을 100m, 200m 거리에서 발생시켰으며 최대 거리 측정 시험을 위해 1km 케이블을 설치하였다.

이번 연구에서 설계 및 구축된 실증 시험장은 향후 다양한 연구결과물의 적용과 더불어 장비 사용자의 훈련 목적에도 충분히 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 반사파 계측법들의 표준화에도 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

## 2. 반사파 계측 기반 케이블 고장 검출

반사파 계측법 관련으로 다양한 연구들이 진행되어 왔지만, 대부분 기존의 계측기로 시스템을 구성하여 주

입신호를 개발하고 이를 실험을 통해 입증하는 정도였다 [6-9].

이러한 반사파 계측법은 fig. 1에서와 같이 주입신호를 펄스를 사용하고 반사되는 신호를 시간 영역에 분석하는 TDR(Time Domain Reflectometry)기법과, 주입신호를 주파수 신호를 사용하고 반사되는 신호를 주파수 영역에서 분석하는 FDR(Frequency Domain Reflectometry)로 나눌 수 있으며, 주입신호를 칩(Chirp) 신호를 사용하여 시간영역과 주파수 영역 모두에서 분석하는 TFDR기법으로 분류할 수 있다. 또한 주입되는 신호가 수열을 사용하는 STDR 및 SSTDR기법과 혼합신호를 사용하는 MSR과 반사되는 신호들의 중첩부에 의해 만들어지는 정상파를 측정하는 SWR(Standing wave ration) 방식 등 다양한 종류들이 있다[10].

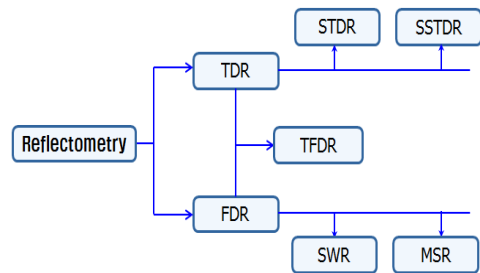


Fig. 1. Classification of reflectometry method

## 3. 케이블 고장 검출 내용과 방법

### 3.1 시험 주요 내용

케이블 고장 종류와 위치 검출장치의 주요 시험 요소는 케이블 상태(정전, 무정전), 고장 종류, 고장 위치, 최대 고장 검출 거리, 위치 측정 정확도, 분해능 등으로 분류할 수 있다.

세계적으로 판매되고 있는 반사파 기반 계측 장비의 경우, 사용자가 측정결과를 분석하여 고장종류를 판단하며, 사양은 최대 측정거리, 고장 위치의 확도, 분해능 등이 일반적이다.

고장 종류는 고장 위치의 임피던스 값 차이에 의한 단선, 합선과 시간함수가 포함된 접촉 불량 등으로 구분 가능하며, 대상 케이블의 상태는 정전과 무정전 상태 등으로 규정할 수 있다. 특히, 무정전의 경우 인가전압의 크기와 주파수, 부하의 유·무 등으로 세분화 할 수 있으며,

탐지 거리는 실제 케이블 고장이 발생된 위치의 최대 거리로 규정할 수 있다. 위치 측정 정확도는 케이블 고장 위치 판별의 정확도로 정의된다. 분해능의 경우, 기존 상용 장비는 송신파의 최소 폭으로 규정하고 있으나, 케이블 고장 종류와 위치를 판별하는 사용자는 2개의 인접 고장을 판별할 수 있는 인접 고장점의 간격 등으로 규정할 수 있다.

### 3.2 시험 방법

케이블 고장 검출 장치의 시험을 위해서 케이블 고장 종류별로 케이블의 상태(정전, 활선), 부하연결 유무 등을 고려하여 시료와 전원, 부하 등의 연결 상태를 구분하였다.

Fig. 2 및 fig. 3은 단선 고장의 경우 시험 구성도로서, 케이블의 상태는 정전, 활선 상태로 구분되며, 부하가 연결된 단선 선로가 1개의 경우, 부하가 연결되지 않는 2선 단선의 경우로 구분하여 시험할 수 있다.

Fig. 4 와 fig. 5는 합선 고장의 경우 시험 구성도로서, 케이블의 상태는 정전으로 국한되며, 무부하 상태 합선과 부하가 연결된 합선의 경우로 구분하여 시험할 수 있다.

Fig. 6과 fig. 7은 반단선(Half open), 접촉불량(Poor contact) 고장의 경우 시험 구성도로서, 케이블의 상태는 활선으로 국한되며, 선로 1개에서 고장이 발생된 경우, 선로 2개 모두 고장이 발생된 경우 등으로 구분하여 시험할 수 있다.

Fig. 8은 케이블 고장 검출 장치를 실제 실증 시험장에 설치하여 성능 시험의 실시 방법을 나타내었으며, PC와 오실로스코프(Oscilloscope : OSC)는 케이블 고장 검출 장치의 형태에 따라 사용 여부가 결정되어 진다.

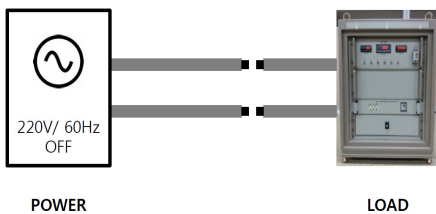


Fig. 2. Test configuration 1 for open fault

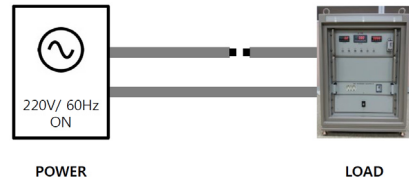


Fig. 3. Test configuration 2 for open fault

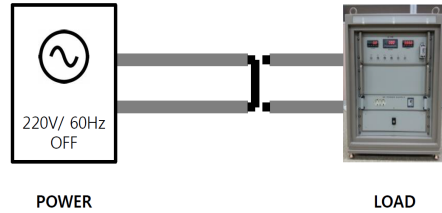


Fig. 4. Test configuration 1 for short fault

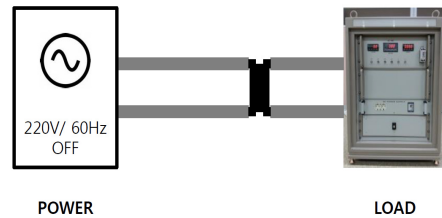


Fig. 5. Test configuration 2 for short fault

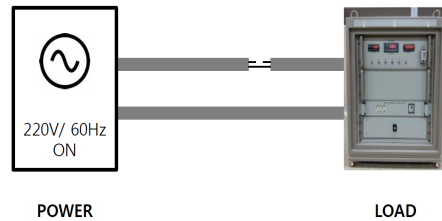


Fig. 6. Test configuration for half open fault

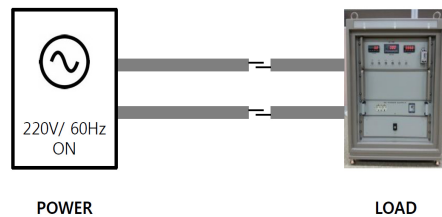


Fig. 7. Test configuration for poor contact fault

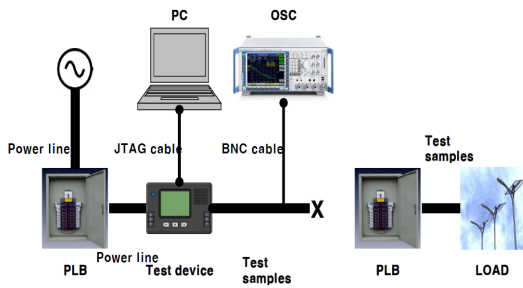


Fig. 8. Test methods

## 4. 실증 시험장 설계 및 구축

### 4.1 실증 시험장 설계

저압 케이블 고장 위치 검출 실증 시험장은 fig. 9에 서와 같이 28m×25m 규모로 설계되었다. 먼저, 장비 등 을 설치하여 실험할 수 있는 건축물과 케이블 고장점을 만들어 매설할 수 있는 외부 공간으로 구분하여 설계하 였다. 외부로 매설되는 케이블은 2개 공간으로 분리하였다.

실증 시험장 건축물의 경우는 fig. 10에서와 같이 배 선용 및 누전 차단기를 포함한 분전반을 설치하고 외부 매설된 케이블에 연결되도록 설계하였다. 건축물 내부공 간은 약 15m×6m 정도로 다양한 장비들을 이용하여 시 험할 수 있는 공간으로 설계되었다.

실증 시험장의 외부 공간은 크게 4개의 블록으로 나 누나. 첫 번째, 두 번째 블록은 케이블이 매설된 블록이 고 세 번째, 네 번째 블록은 예비공간으로 향후 매설 방 식의 변경 등 보완시 사용할 예정이다. 먼저 첫 번째 블

록에서는 CV2C6SQ, CV2C10SQ 케이블을 이용하여 8 회로를 구성하였고 정상, 단선, 합선, 반단선 고장을 100m, 200m 지점에 발생시켜 매설하도록 설계하였다. 두 번째 블록에서는 맨홀을 두 개 설치하여 중간 지점에 서 고장 케이블을 임의로 발생시켜 교체할 수 있는 형태 로 구분하여 설계하였다.

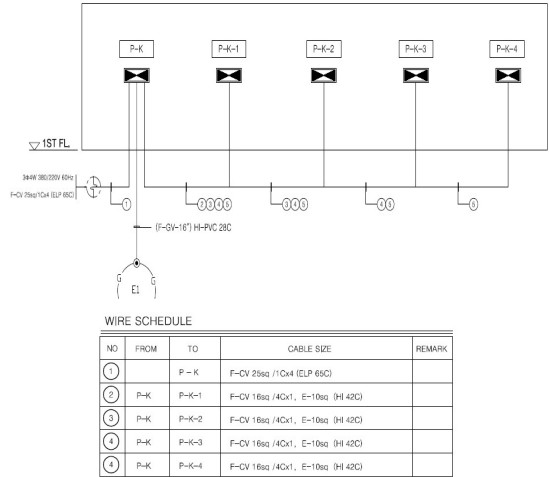


Fig. 10. Layout and wire schedule of inside distribution board in the cable test building

### 4.2 실증 시험장 구축

Fig. 11은 장비 등을 보관 및 설치를 위해 구축된 건 축물과 외부 공간에 케이블을 매설하는 장면이다. 지중 에 매설된 케이블은 CV2C6SQ, CV2C10SQ 케이블로 100m, 200m 단선, 합선 그리고 반단선 고장을 발생시켰다.

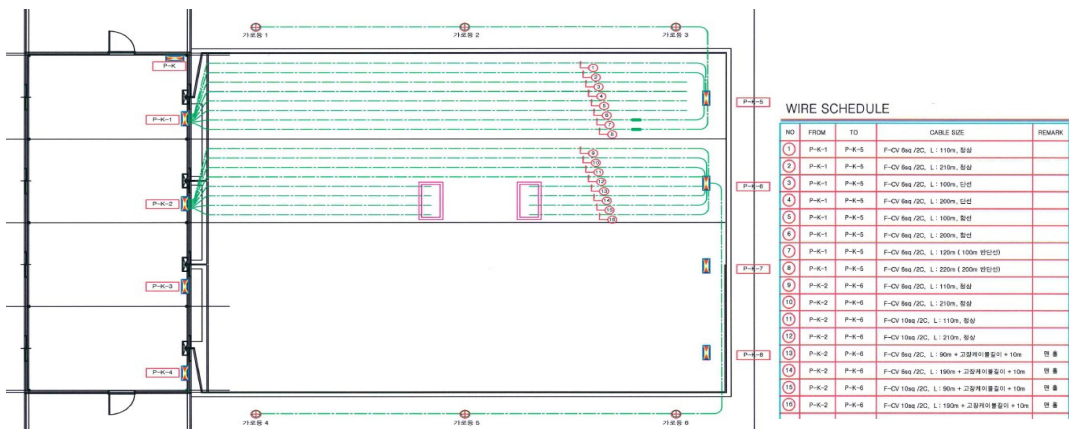


Fig. 9. Layout test field and wire schedule



Fig. 12는 케이블 고장 중 반단선(소선 중 일부가 절단된 고장)을 모의하여 매설하는 장면이다.



Fig. 11. The scene of cable burying



Fig. 12. Half open fault of cable

Fig. 13은 케이블 고장 위치 검출 장비가 설치되어 케이블을 실험할 수 있는 내부 공간으로써 분전반을 설치하여 외부 케이블과 연결될 수 있도록 하였다. 이러한 분전반에서 외부와 연결된 케이블과 케이블 고장 검출 장치를 연결하여 시험을 실시할 수 있다. 또한 기존의 상용 제품 이외에 다양한 케이블 고장 검출 장치 개발 과정에서 시작품의 크기가 커질 수 있기 때문에 분전반의 폭과 넓이에 많은 여유를 두고 제작하여 설치하였다.

Fig. 14는 매설된 케이블과 연결되어 활선 상태에서 케이블 고장 검출 실험을 실시할 수 있도록 부하용으로 가로등 6개를 설치하였고 개별 등주별로 전원을 ON 및 OFF가 가능하여 부하 전류를 제한할 수 있다. 또한 외부 분전반을 이용하여 다양한 부하의 연결도 가능하다.

반사파 계측법의 경우 거리가 멀어질 경우, 신호 감쇠로 인해 정확한 고장의 검출과 위치 추적이 어렵게 된다.

따라서 fig. 15와 같이 케이블 고장 위치 검출에 있어 최대 거리 측정을 위해 1 km 연장 케이블을 2 Roll을 설치하였다. 향후 필요시 추가적으로 장거리 케이블을 설치하여 최대거리 측정 시험 등을 실시할 예정이다.



Fig. 13. Inside distribution board for installation of cable fault locator in the cable test building



Fig. 14. Installation of streetlight as load



Fig. 15. Outside distribution board and cable for distance extension

## 5. 결론

본 연구에서는 저압 케이블 고장점 검출 기술 개발을 위한 실증 시험장을 설계 및 구축하였다. 현재까지 케이블 고장 위치 검출을 위해 다양한 방법들이 연구되고 있지만, 시뮬레이션 또는 실험실 수준에서 실시되고 있어 현장의 다양한 조건에 대응되지 못하는 경우가 많았다. 또한 외국에서 수입되고 있는 다양한 장비들에 대한 성능 검증, 교정 등을 위한 표준 시설이 없었다. 이에 본 논문에서는 저압 케이블의 고장 검출 실증 시험장의 설계 및 구축 내용에 대해 서술하였다.

현재 설계 및 구축된 저압 케이블 고장 위치 검출 실증 시험장은 케이블 고장 위치 검출 기술의 개발과 적용 그리고 성능 검증 시험 그리고 관련 장비의 교정 및 성능 시험에 있어 표준적인 시험장으로 활용될 수 있을 것이다. 또한 장비 운영 능력 향상에 있어 교육 시설로도 활용할 수 있을 것이다.

## References

- [1] Korea Electrical Safety Corporation, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident" 2014.
- [2] Ing. Tobias Neier, "Cable Fault Location in LV, MV and HV Underground Cable Networks-Practical Experience" Version 1, 2009, BAUR Technical Report
- [3] Hung-sok Park, "A Development and Application of Fault Location Algorithm of HVDC Submarine Cable Using Wavelet", Ph. D. Dissertation, Chungnam University, 2011.
- [4] OHM, "Cable fault location searching method ([http://www.ohmpower.co.kr/kor/data/data\\_seek/dseek\\_1.htm](http://www.ohmpower.co.kr/kor/data/data_seek/dseek_1.htm))"
- [5] Michael O. Kolawole, "Radar Systems, Peak Detection and Tracking", Newnes, 2002.
- [6] Yong-june Shin, "Theory and Application of Time-Frequency Analysis to Transient Phenomena in Electric Power and Other Physical Systems" Ph. D. Dissertation, University of Texas at Austin, August 2004.
- [7] Chirag R. Sharma, Cynthia Furse and Reid R. Harrison, "Low-Power STDR CMOS Sensor for Location Faults in Aging Aircraft Wiring," IEEE Sensors Journal, Vol. 7, No. 1, pp. 43-50, Jan. 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2006.886866>
- [8] Paul Smith, Cynthia Furse and Jacob Gunther, "Analysis of Spread Spectrum Time Domain Reflectometry for Wire Fault Location," IEEE Sensors Journal, vol. 5, no. 6, pp. 1469-1478, Dec. 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2005.858964>
- [9] Yong-june Shin et al., "Application of Time -Frequency Domain Reflectometry for Detection and Localization of a Fault on a Coaxial Cable," IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 54, No. 6, pp. 2493-2500, Dec. 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2005.858115>
- [10] Cynthia Furse, "A Critical comparison of reflectometry methods for location fo wiring faults," Smart Structure and Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 25-46, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/sss.2006.2.1.025>
- [11] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "A Study on Load Current and Temperature to Expect Lifetime of High-Power Cables," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 15, No. 4, pp.199-203, Aug. 31, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.199>
- [12] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "A study on the Effects of Load Current for Lifetime of Cable Systems," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 15, No. 4, pp.205-209, Aug. 31, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.205>
- [13] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "A Linear Change of Leakage Current and Insulation Resistance of 22 kV Cables," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 15, No. 3, pp.169-173, Jun. 30, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.3.169>
- [14] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "A study on Lifetime Evaluation of High-power Cables Based on Temperature Changes," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 15, No. 2, pp.273-278, Apr. 30, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.273>
- [15] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "A Study on Cable Lifetime Evaluation Based on Characteristic Analysis of Insulation Resistance by Acceleration Factor of the Arrhenius Equation," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 14, No. 5, pp.231-236, Oct. 31, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.231>
- [16] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "Development of Equipment to Measure Insulation Resistance and Evaluate the Lifetime of High-voltage Cable in Operation," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 14, No. 5, pp.237-242, Oct. 31, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.237>
- [17] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "Developing Equipment to Detect the Deterioration Status of 6.6kV Power Cables in Operation at Power Station" *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 14, No. 4, pp.197-203, Aug. 31, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.4.197>
- [18] Kwan-Woo Lee, Kee-Hong Um, "A Study on the Deterioration Process of 22kV Power Cables in Operation," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, VOL. 14 No. 4, pp. 127-133, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2013.13.3.127>
- [19] Kee-Hong Um, Kwan-Woo Lee, "Analysis of Deterioration Characteristics by Filtering Processes at

6.6kV Power Cable Systems in Operation,” *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 14, No. 4, pp. 205-211, Aug. 31, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.4.205>

- [20] Kwan-Woo Lee, Kee-Hong Um, “A Study on the Deterioration Process of 22kV Power Cables in Operation,” *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, VOL. 13 No. 3, pp. 127-133, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2013.13.3.127>
- [21] Sang-Won Kang, Gwang-Je Choe, Jung Hur, “Analysis of Electromagnetic Wave for Spark Plug Cable in Distributorless Spark Ignition System,” *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, VOL. 13 No. 2, pp. 121-125, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2013.13.2.121>
- [22] Won-Hui Lee, Wee-Sang Park, “Near-end Cross-talk Analysis of Unshielded Twisted Pair Cable using the Transmission Line Model,” *The Journal of The Institute of Webcasting, Internet Television and Telecommunication*, VOL. 9 No. 2, pp. 59-63, 2009.

---

오 훈(Hun Oh)

[정회원]



- 1993년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 조교수

<관심분야>

재생에너지, 전기안전, 계측기 개발