

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.5.179>

IIBC 2016-5-27

# 운전 중인 고전력 XLPE 케이블의 절연저항과 습도의 측정 시스템 설계 및 방식층 절연저항과 습도의 상관관계

## Design of Measuring System for Insulation Resistance and Humidity in High-Power XLPE Cables in Operation and the Relationship Between Insulation Resistance and Humidity in the Oversheath

엄기홍\*

Kee-Hong Um\*

**요약** 발전소가 생산한 고전압 전력을 전달하기 위해 사용하는 케이블은 주로 6.6 kV XLPE 케이블(또는 CV케이블)이다. 제작 기술, 설치환경 및 사용조건에 다르겠지만, 케이블은 설치하여 동작함과 동시에 열화과정이 진행된다. 접속재의 경우, 제조 결함이나 공사 결함이 있는 경우 대체로 동작 후 약 3 년 내에 고장을 일으키며, 그렇지 않는 경우 수명이 20-30 년을 지속하는 경우가 많다. 케이블 시스템(케이블 자체 및 접속재)의 상태가 나빠지는 경우, 절연 파괴 현상으로 인한 사고가 발생한다. 우리는 케이블의 열화 상태를 감시하기 위한 장비를 개발하여 충남 태안의 한국서부발전주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에 설치하였다. 이 논문에서, 운영 중에 있는 장비의 하드웨어적인 설계를 소개한다. 그 장비를 사용하여 고전력 케이블의 방식층 절연저항과 습도를 측정하였으며, 습도가 방식층의 절연저항에 미치는 영향을 분석한 결과를 제시한다.

**Abstract** The usual way used by electric power stations to deliver high levels of generated power is via 6.6kV XLPE (or CV) cables. Depending on the manufacturing technique, installation environment, and usage conditions, the deterioration processes of the power cables start from the instant of operation. Cable junctions may break down in three years from the start of operation due to the manufacturing or construction defects. Otherwise they should be in good working order for 20-30 years. When the cable system (the cable itself and cable junctions combined) deteriorates, fire accidents happen due to the dielectric breakdowns. We have invented a device to monitor the deteriorating status of cables at Korean Western Power Co. Ltd. located in Taeon, Chungcheongnam-do province. In this paper, we introduce the device hardware. Using the device, we have measured the insulation resistance and humidity in the sheath of the cables. We present, in analysed results, the effect of humidity on insulation resistance in cable sheaths.

**Key Words** : XLPE(CV) cable, Megger, Insulation resistance, Neutral ground reactor, entral monitoring system

### 1. 서 론

국내의 석탄화력 발전소는 현재 모두 53기 인데, 정부는 2027년까지 20기를 증설할 계획을 발표하였다. 화력

발전은 아직도 큰 비중을 차지하고 있으므로 거의 모든 전력을 화력발전에 의존하고 있다. 환경을 오염시킨다는 단점에도 불구하고 저비용으로 안정적인 전력수급에 기여한다는 장점이 있기 때문에 화력발전에 의존할 수 밖

\*정회원, 한세대학교 IT학부(교신저자, 주저자)

접수일자 : 2016년 9월 17일, 수정완료 : 2016년 10월 5일

게재확정일자 : 2016년 10월 7일

Received: 17 September, 2016 / Revised: 5 October, 2016 /

Accepted: 7 October, 2016

\*Corresponding Author: um@hansei.ac.kr

Dept. of Information Technology, Hansei University, Korea

에 없으며, 대안이 없는 실정이다. 원자력 발전은 방사능 등의 위험성이 항상 존재한다. 신재생 에너지를 이용한 발전은 여러 가지 비현실적인 부분을 내포하고 있음을 고려한다면, 정부가 해야 할 최선의 조치는 화력발전을 지속적으로 이용하되 그 대신 뒤따르는 부작용을 최소화 하는 방향의 정책을 수립해야할 것이다<sup>[1,2]</sup>. 최근 우리나라의 1년간 평균 전력소모량은 8,092 kWh로서 1980년의 전력소모량에 비교하여 9배 만큼 증가한 바와 같이 전력 수요의 증가로 인하여 전력을 공급하기 위한 여건이 계속 악화되고 있는 추세이다<sup>[3,4]</sup>. 고전력(high-power)을 생산 및 공급하기 위하여 발전소에서 필수적으로 사용되는 장비 중의 하나로서 고전력 6.6 kV 케이블이다. 고압 케이블은 전기적, 열적 특성이 우수한 가교 폴리에틸렌을 절연체로 하는 가교 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블(XLPE 케이블 또는 CV케이블)이 주류를 이루고 있다. CV케이블은 도체, 내부 반도체층, 가교 폴리에틸렌 절연체, 외부 반도체층, 차폐 동테이프 및 비닐 시스로 구성되어 있다. 발전소의 케이블 등의 발전설비에서 불의의 사고가 발생하여 전기의 생산이 중단된다면, 막대한 사회 경제적 피해를 초래 하게 된다<sup>[5]</sup>. 케이블은 절연체를 사이에 두고 전기적으로 분리되어 있는 두 도체를 따라 전류가 흐르는 구조를 갖고 있다. 절연체가 전기적으로 얼마나 두 도체를 절연하고 있는가를 나타내는 척도가 되는 물리량 즉, 절연체가 나타내는 전기적 저항을 절연저항(단위는 MΩ)이라 한다. 절연저항 테스트는 절연체의 저항값이 충분히 커서 절연 상태가 유지되는 지를 확인하는 테스트이다. 케이블의 중심 도선과 실드사이의 절연 저항을 측정하여 결함(열화)의 형태를 판단한다. 저항값이 적으면(이론상 0 Ohm)상태란 두 도체가 절연 상태를 유지 하지 못하고 도전(conducting) 상태라는 의미이다<sup>[6,7,8]</sup>. 우리는 이 논문에서 한국서부발전 주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에서 운전 중에 있는 고전력 케이블의 동작 상태를 감시하기 위하여 우리가 국내 최초로 개발하여 설치한 장비를 소개한다. 이 장비를 사용하여 측정한 결과 즉, 케이블의 열화 과정을 나타내는 결과를 제시한다. 일반적으로 고압전력 케이블의 절연상태를 파악하기 위해 측정 대상이 되는 고압전력 케이블에 인가되는 입력전기를 차단한 사선(휴전)상태에서 케이블의 도체와 대지 간에 직류전압을 인가하여, 케이블의 절연체를 통하여 대지로 흐르는 누설전류를 이용하여 절연저항을 측정하기 위한 장비로서 메거(megger)

를 사용하고 있다. 절연체 저항 측정은 1,000V 메거를 사용하고, 각 도체와 차폐 동테이프(대지)간 절연저항을 심선별로 측정한다. 비닐 시스 절연저항 측정은 차폐 동테이프와 대지간 절연저항을 500V 메거로 측정한다. 좋은 절연은 저항값이 크고, 나쁜 절연은 저항값이 적다. 6.6 kV CV 케이블의 경우, 절연체 절연저항 100 Mohm, 비닐 시스 절연저항이 1 Mohm 이하로 되면 요주의 상태라고 간주한다.

그러나, 실제의 절연저항은 온도 또는 절연체의 종류에 따라 큰 값을 나타내거나 적은 값을 나타낸다. 온도가 높아지거나 습기가 있으면 절연저항은 감소한다<sup>[9,10]</sup>. 메가를 사용하여 절연저항을 측정하기 위해서는 케이블의 가동을 반드시 중지시켜야 하기 때문에 경제적 손실이 발생한다. 고압전력 케이블의 가동을 중지해야만 한다는 문제점을 해결하기 위하여, 우리는 이 논문에서 케이블의 운전상태를 그대로 유지하는 상태에서 즉, 활선상태에서 케이블의 동작상태를 감시하였다. 케이블의 외피(방식층, oversheath)는 절연층을 화학적 또는 기계적으로 보호해 주는 기능을 한다. 최근 FR-CNCO-W(동심중심선 수밀형 무독성 난연 전력케이블)처럼 외피에 PVC 대신에 폴리올레핀을 사용하여 화재시 유독성 가스가 적게 나오도록 하고 또한 수분이 외피로부터 절연체로 침입하지 못하도록 제작한다. 우리는 이 논문에서 케이블 방식층의 습도가 절연저항(insulation resistance) 특성에 미치는 영향, 케이블의 동작에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과를 제시한다.

## II. 시스템 구조 및 성능

### 1. 활선 6.6kV Cable 절연저항 측정장치

#### 가. 케이블 절연 측정부

케이블 절연 측정장치는 피감시 케이블의 절연본체, 방식층 및 고압모선계통의 절연저항을 154/6.6kV 변압기의 2차측 중성점에 연결된 중성점접지저항기(Neutral Grounding Resistor, NGR)과 감시케이블의 차폐 접지회로를 선택하여 계통 또는 케이블 차폐에 직류전압을 인가하는 부분이다. 자동 또는 수동으로 측정된 케이블의 절연상태 값을 CRT 및 현장측정장치에 내장된 데이터매니저용 12인치 크기의 모니터에 표시할 수 있는 장치로서 다음 표 1과 같은 측정범위를 갖는다.

**표 1. 측정범위**  
**Table 1. Range of measurement**

측정 대상	측정 범위
본체 절연층	10 ~ 10,000 Mohm
외피 방식층	1 ~ 4,000 kohm

**나. 케이블 접지선택부**

이 부분은 피감시 케이블 단말부의 금속차폐접지선과 접지모선사이에 연결되어 있으며, 측정장치 전면의 panel PC(데이터매니저)를 조작하여 필요한 케이블을 선택한다. 상시에는 금속 차폐접지선의 접지회로를 직접접지하고, 절연저항 측정시에는 교류접지기를 통하여 접지를 선택할 수 있는 부분이다.

**다. NGR접지반 선택제어부**

이 부분은 154/6.6kV 변압기의 2차측 중성점에 연결된 NGR과 접지모선간에 설치된 NGR접지반을 측정하는 장치의 전면에 내장설치 되어 있다. 데이터매니저에서의 조작에 따라 154/6.6kV 변압기의 2 차 측 중성점에 연결된 NGR과 접지모선간의 접지회로를 상시에는 직접접지, 절연저항 측정 시에는 저항을 통한 접지로 선택할 수 있는 장치이다.

**라. 데이터매니저**

이 장치는 6.6kV케이블 모니터링 시스템의 표준 설비 중 중앙감시장치에 해당되는 장치로서, 측정장치의 전면에 부착되어 자동측정 및 선택측정 동작에 의하여 data, 저장 및 송수신한다. LAN 네트워크를 통하여 측정장치 옆에 부수적으로설치되는 중앙감시시스템(central monitoring system, CMS)에서 측정 data를 관리가 가능토록 구성되며, 인쇄기능을 가지지 않는다.

- 기종 : IIE사 산업용Panel PC (AFL-12A-D525)
- CPU : Intel Atom D525 1.8GHz
- HDD : 160GB
- Monitor : 12.1 VGA TFT
- Port : USB, COM, 유선LAN외

**2. NGR 접지반**

이 장치는 154/6.6kV 변압기(TR)의 2차측 중성점에 연결된 NGR과 접지모선 과의 사이에 접속하여, 측정장치에 의하여 제어된다. 상시에는 Y결선의 중성점의 NGR하단이 대지접지로 직접 연결되고, 측정 시에는 Y

결선의 중성점에 연결 된 NGR하단과 접지간에 0.4 Ω 저항이 삽입되어 신호전압 DC 10V가 TR의 Y결선의 중성점에 연결된 NGR을 통하여 각 케이블의 도체에 중첩인 가할 수 있는 장치이다. AC 통전능력은 1,000A 30sec에 견딜 수 있다. 이 장치에는 옥외의 습도를 측정할 수 있는 습도센서가 부착되어, 측정된 습도측정신호를 측정장치로 송신하는 기능도 구비되어 있다.

**3. Central Monitoring System(CMS)**

데이터 매니저(panel PC)는 전기실 옥내에 설치되어 활선 6.6kV케이블의 절연저항을 측정하여 저장한다. CMS는 데이터 매니저에 저장된 절연측정 data를 감시실에서 LAN네트워크를 통하여 monitoring하는 장치로서 인쇄할 수 기능이 있도록 구성하였다. 표 2에 CMS 구성품 및 사양을 나타내었다.

**표 2. CMS 구성품 및 사양**  
**Table 2. Components and specifications of CMS**

H/W	컴퓨터 본체	기종 : ADVANTECH 산업용 PC Model: ACP-4000MB-40ZE CPU : Intel Core i5-2500(3.3GHz) HDD : 5000GB 이상 RAM : 2GB
	Monitor	기종 : ADVANTECH 산업용 19 in. SXGA TFT LCD Model : FPM-5191G 해상도: 1280 x 1024
	Printer	기종 : 삼성전자 A4 흑백레이저 Model: SL-M3825D
S/W		사용언어 : VISUAL BASIC 용도 : 측정장치 data관리용

**III. 시스템 상세 사양**

**1. 정 격**

**가. 전 원**

- ① 활선 6.6kV케이블 절연저항측정장치 :  
60Hz 220V단상, 전원용량 2kVA
- ② NGR 접지반 : 60Hz 220V 단상, 전원용량 2kVA
- ③ Central Monitoring System(CMS) :  
60Hz 220V 단상, 전원용량 1kVA

**나. 기 능**

- ① 자동측정 기능  
측정장치에 내장된 판넬PC 데이터매니저로부터의 측

정 명령에 의해 계통절연, 케이블 본체 절연, 방식절연을 자동적으로 측정하여 측정 data를 데이터매니저에 전송하여 기록한다. 단, 감시용 data는 자동측정기능에서만 측정된다.

② 선택측정 기능

측정장치에 내장된 데이터 매니저에서 임의로 선택한 계통 절연, 케이블 본체절연, 방식절연을 측정하여 전면 에 설치되어 있는 모니터로 표시한다.

2. 절연저항 측정장치의 성능

절연저항 측정장치의 성능은 표 3에 제시하였다.

표 3. 절연저항 측정장치의 성능

Table 3. Performance of device measuring insulation resistance

No.	항 목	기 능
1	사용전압범위	6.6kV
2	적용 케이블	CV Cable
3	계통접지방식	저항접시계통방식 1,000A 30sec
4	절연측 방식	Feeder별 선택 및 전체자동측정
5	감시방식	고정식 판넬감시(PC,12.1모니터)

2. 구 성

가. 활성 6.6kV케이블 절연저항 측정 장치

표 4. 케이블 절연저항 측정장치 구성품 및 수량

Table 4. Components and numbers device for measuring insulation resistance

장치명	설치장소	내장부품	수 량
			6.6kV
활선6.6kV 케이블 절연저항 측정장치	6.6kV SWGR Room 옥내	Cable 선택부	11개 (모의저항 1개, 기준단자 1개 포함)
		NGR접지반제어선택부	1개
		데이터매니저	1개

활선 6.6kV 케이블의 절연저항을 측정하기 위한 1set 장비의 구성 및 수량을 표 4 에 나타내었다. 이 장치는 서부발전(주) SWGR Room 옥내에 설치하였으며, 현재까지 정상적으로 동작하고 있다.

나. NGR접지반

발전소 3호기 6.6kV NGR 판넬 근처 옥외에 설치한 1 set 의 NGR 접지반의 구성과 수량은 표 5와 같다.

표 5. NGR접지반 구성 및 수량

Table 5. Components and numbers of NGR panels

장치명	설치장소	내장부품	수 량
			6.6kV
NGR 접지반	3호기 6.6kV NGR판넬 근처 옥외	NGR 중성점접지부	1개

IV. 절연저항 및 습도 측정시스템의 구성

1. 구 성

그림 1은 서부발전(주)에서 동작하고 있는 6.6 kV 케이블의 절연저항 및 습도를 측정하기 위하여 우리가 제작하여 설치 가동 중인 시스템의 구성을 나타낸다.

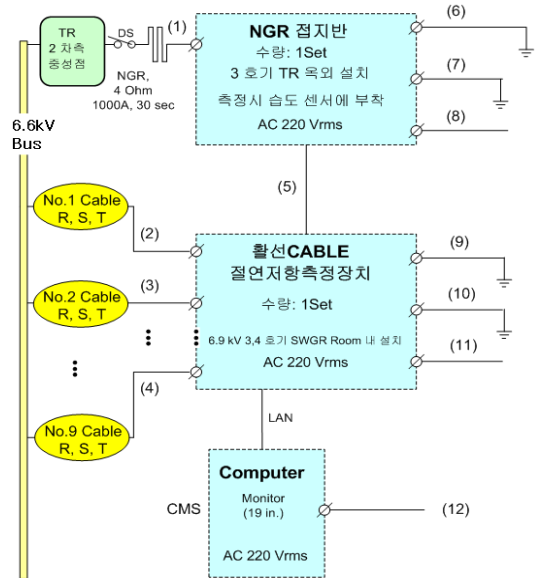


그림 1. 케이블 절연저항 및 습도 측정시스템의 구성

Fig. 1. Configuration of systems for measuring insulation resistance and humidity

변압기(TR) 의 2 차 측 중성점은 단로기(DS)에 의하여 중성점 접지저항기(NGR)와 연결되고, 또 3 상 3 선의 모선(bus)에 연결된 고압전력설비에 연결측으로 연결되는 각각 케이블 (1)-(12)에 대한 사양은 다음과 같다.

- (1) TFRCV 600 V 150 sq 1C, Color Black
- (2) TFRCV 600 V 25 sq 1C, Color Black
- (3) TFRCV 600 V 25 sq 1C, Color Black
- (4) TFRCV 600 V 25 sq 1C, Color Black
- (5) TFRCVVS 600V 2.5sq 4C  
 TFRCVVS 600V 2.5 sq 10C  
 TFRCVVS 600V 2.5sq 6C
- (6) TFRCV 600 V 150 sq 1C, Main GND, Green
- (7) TFRCV 600 V 16 sq 1C, Case GND, Green
- (8) TFRCV 600 V 6 sq 2C, 단상, 2kVA
- (9) TFRCV 600 V 150sq 1C, Main GND, Green
- (10) TFRCV 600 V 16sq 1C, Case GND, Green
- (11) TFRCV 600 V 6sq 2C, 단상, 2 kVA
- (12) TFRCV 600 V 6sq 2C, 단상, 1 kVA

## V. 방식층 절연저항과 습도data간의 상관관계 검토

우리는 서부발전주식회사에서 동작하고 있는 케이블 중에서 9 개의 케이블을 선택하여 습도 요인에 의한 절연 저항이 감소함으로써 성능이 악화되는 추세를 관찰하였고, 측정 일별 케이블 방식층의 절연저항과 습도 data 그래프를 구하였다. 대표적인 두 개의 케이블 (No.1 & No.2) 에 대한 분석 결과를 나타내기로 한다.

### 1. No.1 Feeder Cable

그림 2와 그림 3은 2015.02.06. 부터 2015.09.06. 까지 약 7 개월 동안 No.1 Feeder Cable에 대한 습도를 측정 한 결과이다. 그림 2에서는 동절기인 2월초부터 하절기인

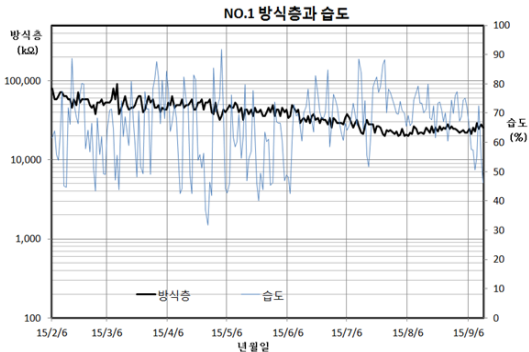


그림 2. No.1 Feeder : 방식층과 습도의 시간에 따른 변화추세  
 Fig. 2. No.1 Feeder: Changing trends of sheath and humidity depending on time

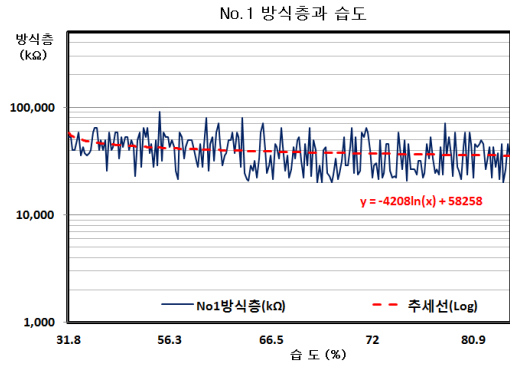


그림 3. No.1 Feeder: 습도의 변화에 따른 방식층 변화추세  
 Fig. 3. No.1 Feeder: Changing trends of feeder sheath and depending on humidity

9월초까지의 측정결과이기 때문에 우측으로 갈수록 습도가 증가하는 경향이므로 케이블의 방식층절연저항은 시간의 함수로서 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 이 케이블은 외피에 외상이 거의 없는, 즉 방식층 절연상태가 양호한 것이다. 그리고, 그림3에서 습도 변화에 따른 방식층 절연상태의 추세선의 평균 감소기울기는 -4,208 /percent 이다.

### 2. No.2 Feeder Cable

그림 4와 그림 5는 2015.02.06. 부터 2015.09.06. 까지 약 7 개월 동안 No.2 Feeder Cable 에 대한 습도를 측정 한 결과이다. 그림 4에서는 동절기인 2월초부터 하절기인 9월초까지의 측정결과이기 때문에 우측으로 갈수록 습도가 증가하는 경향이므로 케이블의 방식층 절연저항은 시간의 함수로서 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 이 케이블은 외피에 외상이 거의 없는 즉 방식층 절연상

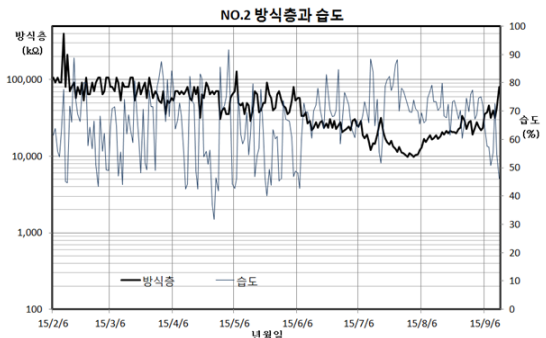


그림 4. No. 2 Feeder : 방식층과 습도의 시간에 따른 변화추세  
 Fig. 4. No. 2 Feeder: Changing trends of sheath humidity depending on time

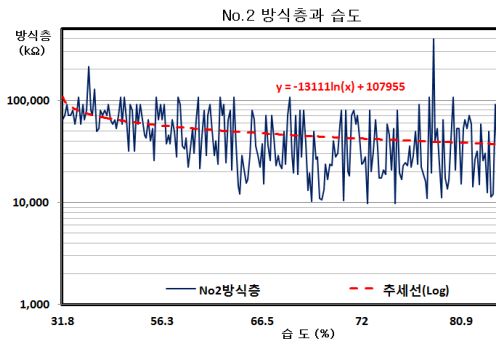


그림 5. No.2 Feeder: 습도의 변화에 따른 방식층 변화추세  
 Fig. 5. No.2 Feeder: Changing trends of sheath depending on humidity

태가 양호한 것이다. 그리고, 그림 5에서 습도 변화에 따른 방식층 절연상태의 추세선의 평균 감소기울기는 -13,111 /percent 이다.

## VI. 결론

고전력 CV 케이블 시스템의 상태가 나빠지는 경우, 절연 파괴현상으로 인한 사고가 발생한다. 우리는 이 논문에서, 케이블의 열화상태를 감지하기 위하여 개발하여 충남 태안의 한국서부발전주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에 설치운영 중에 있는 장비의 하드웨어적인 설계를 소개하였다. 이 장비를 사용하여 고전력 케이블의 방식층 절연저항과 습도를 측정하였으며, 습도가 방식층의 절연저항에 미치는 영향을 분석한 결과를 제시하였고, 케이블 방식층의 습도가 절연저항(insulation resistance) 특성에 미치는 영향 및 케이블의 동작에 미치는 영향을 연구하였다. 2015.02.06. 부터 2015.09.06. 까지 약 7 개월 동안 6.6kV CV cable의 방식층 절연상태에 대한 습도를 측정된 결과, 케이블의 방식층의 절연저항은 습도의 함수로서 감소하는 추세를 나타내고 있으나, 방식층 절연상태가 양호한 케이블에 있어서는 습도에 대한 방식층 절연상태의 변화추세가 미미하여 무시할 수 있는 정도라고 판단하였다.

## References

- [1] <http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2016070594441>
- [2] <http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2016070467591>
- [3] J. S. Kim, K. H. Kim, J. S. Lee, "The Study on the Variable Orifice Spray of the Steam Power Plant Desuperheater," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society(JKAIS), Vol. 14, No. 1, pp. 63-68, 2013.
- [4] [http://ocean.kisti.re.kr/IS\\_mvpopo001P.do?method=multMain&poid=kivt](http://ocean.kisti.re.kr/IS_mvpopo001P.do?method=multMain&poid=kivt)
- [5] K. H. Um, B. K. Kim, "Development of System and Measured Results for Measuring Temperature of High-Power Cables in Operation", Journal of the The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol.1 6, no. 4, pp. 165-170, Aug. 2016.
- [6] <http://www.pat-testing-course.com/blog/faqs/insulation-resistance-test/>
- [7] IEEE-Std-43-2000, "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery", IEEE Power & Energy Society, p. 18, Mar, 2000.
- [8] <http://ecmweb.com/ops-amp-maintenance/basics-insulation-resistance-testing>
- [9] [http://www.davis.com/Assets/manual\\_pdfs/20022-38-45.pdf](http://www.davis.com/Assets/manual_pdfs/20022-38-45.pdf)
- [10] <http://electrical-engineering-portal.com/megger-insulation-resistance-test>

## 저자 소개

### 엄기홍(정회원)



· 제 16권 제 4호 참조

※ 이 논문은 2016년 학술연구활동에 대한 한세대학교의 지원을 받았음