

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.187>

IIBC 2018-6-25

## 화력 발전소 고전압 케이블 접속재의 On-Line 직류 누설 전류 시스템 개발과 진단 Factor에 관한 연구

### A Study on Development and Diagnosis Factors of On-Line DC Leakage Current System for Junctions of High-Voltage Cables in Operation at Thermoelectric Power Station

박성희\*, 엄기홍\*\*

Sung-Hee Park\*, Kee-Hong Um\*\*

**요약** 국내에서의 전력에 대한 수요는 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 수요에 대응하기 위한 발전소는 기능이 다양해지고 효율이 점차 커져야 한다. 발전소 내의 전력 기기에서 사고가 발생하면 막대한 경제적 손실 및 장애를 초래하게 된다. 사고 발생의 원인 중의 하나로서 절연 성능이 저하된 케이블이 있다. 케이블 사고를 미연에 방지하기 위하여 절연의 상태를 감시하고 확인하여야 한다. 케이블 사고는 연결 부위인 접속에서 발생하는 사고가 대부분을 차지한다. 본 연구와 관련하여 우리는 접속부 상태를 판별하기 위한 장비를 개발하였고, 한국서부발전(주)의 현장에 설치하여 운용 중이다. 본 논문에서는 현장에서 설치 운용 중인 장비에 대한 설명과 더불어 설치 운용된 결과를 통해 케이블의 수명을 예측할 수 있는 고전압 케이블 접속재의 안정적 사용을 위한 온라인 감시진단기법 중에서 사고가 가장 빈번하게 발생하는 접속부에 대해 안정적인 사용을 위한 진단의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위한 연구를 하였다. 이 논문에서 하드웨어 구성을 위주로 우리가 개발한 장비를 소개한다.

**Abstract** There has been a gradual increase in the demand for the electric power in Korea. In order to meet the demand, power station should have technical functions with increased effectiveness. When accident happens in electric machinery at power stations, huge amount of economic losses and malfunction of equipments occur. One of the accidents is a deteriorated cables operating power stations. In order to prevent cable accident in advance, we should monitor the insulation status of the cable. Cable accidents are resulting from the junctions. We have developed and installed a device in order to identify the status of junction part of power cable at Korea Western Power Co., Ltd. . We performed an accurate diagnosis for the stable utilization of junctions where the accidents occurs most frequently, and to increase the reliability. In this paper, we present the concepts of our device and the method of monitoring diagnosis for the stable use of junctions at cables predicting the life time of cables by analyzing the data obtained by the device. We also present the hardware aspect of the device we have developed.

**Key Words** : XLPE Cable, Leakage current, Insulation resistance, Diagnosis, Monitoring System

\*정회원, 원광대학교 ICT 융합 그린에너지 연구원(주저자)

\*\*정회원, 한세대학교 IT학부(교신저자)

접수일자: 2018년 9월 24일, 수정완료: 2018년 11월 4일

게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 24 September, 2018 / Revised: 4 November, 2018 /

Accepted: 7 December, 2018

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

Dept. of Information Technology, Hansei University, Korea

## I. 서 론

최근 우리나라의 1년간 평균 전력 소모량은 8,092 kWh로서 1980년의 전력 소모량에 비교하여 9배 만큼 증가하였다. 전력 수요의 증가로 인하여 수급을 위한 전력 생산 설비나 시설은 지속적으로 건설이 되어가고 있는 추세이다.<sup>[1,2]</sup> 케이블 사고 중에서 주요한 것 연결 부위인 접속에서 발생하는 사고가 부문을 차지한다. 본 연구와 관련하여 우리는 접속부 상태를 판별하기 위한 장비를 개발하였고, 충청 남도 태안 소재 화력 발전소인 한국서부발전(주)의 현장에 설치하여 운용 중이다. 화력 발전은 석탄을 주원료로 하여 증기를 발생시켜 터빈을 돌려 발전을 하는 방식이다. 화력 발전은 단시간 내 최대 출력을 낼 수 있어서 급격한 전기수요의 증가에 효과적으로 대응할 수 있는 장점이 있으나, 화석 연료를 사용하여 다량의 질소산화물, 황산화물, CO<sub>2</sub>를 대기 중으로 배출하기 때문에 지구 온난화와 환경오염의 원인이 된다. 이러한 점을 개선하기 위하여 한국전력 산하 발전 공공기관인 서부발전(주)는 수년에 걸쳐 꾸준한 기술 발전을 시도한 결과, 연내 가동 예정인 석탄가스화 복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)을 시작할 계획이다.<sup>[3]</sup> 이 기술은 석탄을 수소와 일산화탄소가 주성분으로 구성된 합성가스로 변환하고, 합성가스에 포함되는 먼지(dust)와 황산화물 등의 유해물질들을 제거하여 천연가스 수준으로 정제하여 복합 발전을 하는 기술이다. 석탄화력발전에 비해 높은 발전 효율을 가지며, 직접적인 연소 발전에 비교하면, 황산화물 90% 이상, 질소산화물 75% 이상, 이산화탄소 25%까지 줄일 수 있는 환경친화적 기술이기 때문에 세계 여러 나라에서 이 기술을 개발하기 위하여 노력하고 점차 확대되고 있는 추세이다.<sup>[4,5]</sup> 발전소 내의 전력 생산 설비의 지속적인 증가로 인해 케이블의 설치도 꾸준히 증가를 하고 있다. 따라서 대량으로 설치되어 있는 케이블에 대해 유지 및 관리를 하고자 하는 것은 자산을 관리한다는 면에서 중요한 의미로 인식되어지고 있다. 하지만 고전압 케이블은 제조 상에서 발견되지 못한 결함과 숙련되지 않은 설치 인력으로 인해 운전 중 사고가 발생할 가능성이 높다.

고전압 케이블에서 사고가 발생하는 원인은 여러 가지이다. 대부분의 사고는 케이블 접속부에서 발생하며, 케이블 제조 시 이물의 혼입에 의한 결함, 시공 오류로 인한 결함, 시공 후 물의 유입 등 다양한 형태가 사고의 원인이 된다. 이런 원인이 절연물의 절연상태를 악화시

켜, 사고로 이어지게 된다. 열화진단은 케이블의 절연상태가 악화된 시점에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 발견하고 불량을 판별하고, 명확한 원인의 분석과 신뢰성 높은 해결방안을 제시하여야 한다. 또한, 사선상태에서 진단보다는 활선상태에서의 진단이 유지/보수 및 전력 계통의 신뢰성의 확보 측면에서 보다 우선적으로 선택되고 있다. 활선상태 진단시스템의 구축을 위해서는 주기적인 데이터의 취득에 의한 정확한 판별과 적절한 데이터 처리 및 즉각적인 위험도 판정을 할 수 있어야 한다. 또한, 진단에 대한 연구는 예전부터 지속적으로 수행되어 왔고 앞으로도 진행이 되겠지만, 아직까지 케이블의 사용 현장 적용성의 한계점으로 인해 완전하게 활용되지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이런 기본적인 연구 결과를 토대로 실제 적용 현장에서 사용되고 있는 케이블을 대상으로 보다 더 효과적인 데이터를 확보하고, 의미 있는 데이터에 대해서 어떤 형태로 구분을 할 것인지에 대한 논리적인 접근에 대해 집중하였다. 따라서, 활선 상태 진단에서 효과적인 진단 인자(diagnostic factors)인 누설전류와 절연저항을 측정하여, 신뢰성이 높은 데이터를 추출하기 위하여 개발된 발전소에 국내 최초로 설치하여 운용 중인 장비 즉, 활선 케이블 감시시스템을 제시한다.

## II. On-Line 직류누설진단시스템 구성

### 1. 고전압 케이블

활선케이블 감시시스템의 측정대상이 되는 고전압 케이블을 간단히 언급한다. 그림 1은 전력을 공급하기 위해 사용되는 케이블(cable)로서 동도체, 절연층, 외피(시스, sheath)를 나타내며, 전력설비들 사이를 연결하여 전력을 공급해준다. 케이블과 전력설비들의 연결은 접속재를 사용하게 되는데, 접속재는 크게 시단, 중간, 말단 접속재로 구분할 수 있다. 다수의 사고는 연결되는 접속재의 불량과 시공의 오류로 인해 발생이 되며, 몇몇의 경우에는 케이블 주절연체인 XLPE의 절연 상태가 불량해져서 사고가 발생하기도 한다. 발전소를 포함한 도시지역에서는 지중에 관을 묻고 그 안에 케이블을 설치하고 운용하는 경우가 많은데, 이런 경우 사고의 발생은 매우 치명적이다. 화재를 발생시키고 전력설비의 가동을 중단시키게 되어 피해가 커지게 된다.<sup>[6]</sup>

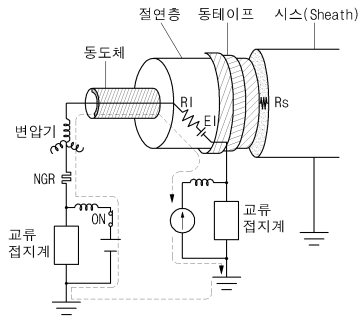


그림 1. 6.6k V 케이블의 절연저항 측정장치 회로  
 Fig. 1. Circuit to measure insulation resistance of 6.6 kV cable

지중 케이블은 눈으로 보이지 않은 곳에 매설되어 관리되므로 사고가 발생하게 될 경우

사고 지점의 정확한 위치를 파악함으로써 사고 원인을 신속히 제거하는 것이 매우 어렵다. 따라서, 절연 저항의 이상 유무를 감지하고 위험성을 판단함으로써 대형 사고를 방지하기 위한 신뢰성을 확보할 수 있는 시스템을 연구하고 그에 대한 효과를 검증하는 것이 중요하다.<sup>[7,8,9]</sup>

### 2. 고전압 XLPE 케이블의 등가 구조

그림2에서 XLPE 케이블과 그 등가회로를 나타내었다. 중심 도체와 쉴드 접지선 사이에 존재하는 저항을 절연층 절연저항( $R_i$ ), 절연층이 열화할 때에 발생하는 기전력을 절연층 국부기전력( $E_i$ )이라고 했을 때, 이 두 가지 등가 소자로 나타낼 수 있다. 쉴드와 대지접지 사이에

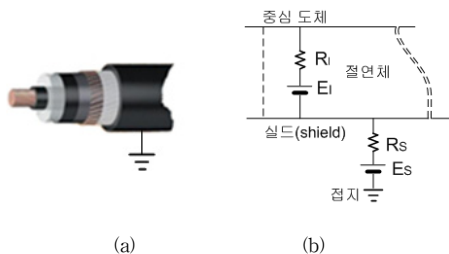


그림 2. 절연저항 측정을 위한 XLPE 전력 케이블  
 (a) 외부에서 본 형태 (b) 등가 회로  
 Fig. 2. XLPE power cable for measuring insulation resistance;  
 (a) Appearance of XLPE cable, and (b) Equivalent circuit

존재하는 저항을 방식층 절연저항( $R_s$ ), 방식층의 열화시에 발생하는 방식층 국부기전력  $E_s$  이라고 했을 때, 이 두 가지 등가 소자로 나타낼 수 있다. 절연체의 절연층 국부기전력  $E_i$ 와 외피방식층의 방식층 국부기전력  $E_s$ 의 극성과 크기는 케이블의 주변 환경, 주변 물질의 종류, 또는 열화 상태에 따라 다르다.<sup>[10]</sup>

일반적으로 배전 선로 케이블은 케이블을 운전시키는 입력단 전압의 크기에 따라 저압(50/60 Hz, 110~220 V, 1kV 이하) 케이블과 고압(50/60 Hz, 3.3~22 kV) 케이블로 구분한다. 우리는 충남 태안에 소재한 (주)“한국서부발전”에서 발전기에서 생산된 전력을 공급하기 위해 운전 중인 6.6 kV 고압 배전선로 (CV cable)를 대상으로 선택하여 진단하였다. 케이블을 구성하고 있는 도체의 전기적 분리를 제공하기 위하여 절연체를 삽입하고, 삽입된 절연체의 전기적인 저항(electric resistance)을 절연저항 (insulation resistance, 단위 MΩ) 이라 한다. 저항값이 충분히 커서 절연 상태가 완벽하게 유지되는 형상이 이상적인 경우이다. 절연 상태가 유지되는 지를 확인하기 위한 장비가 메가(절연 저항계, megger)이다. 케이블에서, 도선과 실드(shields)사이의 절연 저항을 측정하여 결함(열화)의 형태를 판단한다. 저항값이 적으면 (이론상 0 Mohm)상태란 두 도체가 절연 상태를 유지 하지 못하고 도전(conducting) 상태라는 의미이다.<sup>[11,12]</sup>

### 3. 장치 구성

그림 3은 활선 상태에서 고압 전력 케이블의 절연 상태를 감시하기 위하여 우리가 개발하여 발전소 현장에



그림 3. 활선 케이블 감시장치의 외관  
 Fig. 3. Appearance of on-line cable monitoring system

설치하여 운영 중인 장치 활선 케이블 감시시스템의 외관이다.<sup>[13]</sup> 활선케이블 감시시스템을 대별한 주요 구성은 누설전류(leakage current)를 측정하기 위한 센서, 데이터 취득 및 통계적 처리를 위한 프로그래밍 장치, 디스플레이(display) 장치로 구성되어 있다. 이 시스템을 사용하여 케이블의 운용 중 발생하는 케이블과 접속재를 포함한 결함을 판별할 수 있다.

그림 4는 장치 구성을 요약하여 나타낸 블록 다이어그램이다. 장치의 구성은 크게 하드웨어와 소프트웨어로 구분되어 진다. 하드웨어는 케이블에서 발생하는 누설전류 신호를 측정하기 위한 센서와 일정 신호의 검출을 위한 필터, 디스플레이 장치로 구성되어 있다. 측정된 신호를 처리하기 위한 연산과 통계적 처리가 주요 프로세스 중 하나로 구성되어 있다.

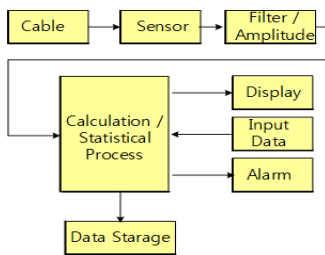


그림 4. 활선케이블 감시시스템의 블록다이어그램  
Fig. 4. Block diagram for on-line cable monitoring system

그림 5는 활선 케이블 감시 시스템이 전력 계통과 연결되어 있는 회로도이다. 활선 케이블 감시 시스템은 활선 상태에서 도체와 접지간 구성되어 있는 절연체에 흐르는 미소 누설 전류를 측정하는 시스템을 나타낸다.

그림 6은 그림 5에서 접속점 (1), (2), (3), 및 (4)에서 연결되어 동작하는 시스템의 블록 다이어그램이다.

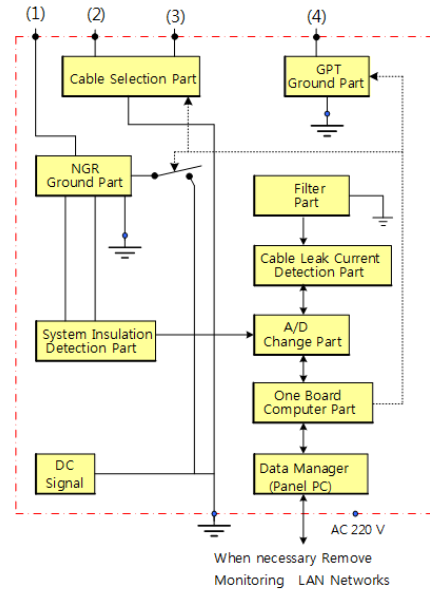


그림 6. 전력계통과 연결된 측정장치에 대한 블록 다이어그램  
Fig. 6. Block diagram for on-line cable monitoring system connected to power system

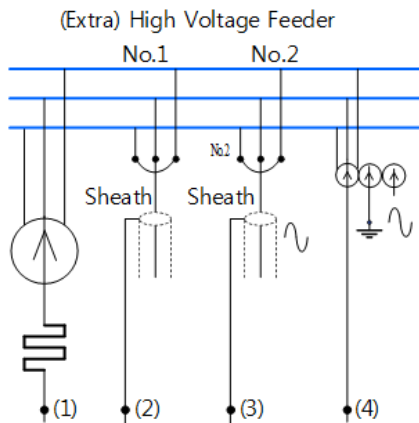


그림 5. 고전압 피드에 연결된 측정장치의 회로 시스템  
Fig. 5. On-line cable monitoring system connected to high voltage feed lines

### III. 활선케이블 감시시스템의 측정 원리

활선 케이블 감시 시스템의 측정 원리는 활선 상태의 케이블(live cables)에서 절연 저항을 측정하는 원리와 같다.

활선 상태에 있는 고전력 케이블의 절연 저항의 변화 상태를 특정하기 위해서는 측정하고자 하는 특정 케이블을 선정하여 선정된 케이블의 내부 도체의 입력단에 연결되어 있는 ac 전원에 dc 신호 전압을 중첩인가한다. 중첩인가의 결과로서 케이블 도체와 차폐(shield) 사이의 절연체에서 발생하는 dc 누설전류 성분을 측정하게 된다.

저항 접지 계통에 있어서 변압기의 중성점에 연결된 NGR과 대지 접지 간에 dc 신호 전압을 인가하면 전원 전압과 중첩 인가되고 이때 절연층에서 발생하는 미소

직류 누설 전류(DC leakage current)를 측정한다. 보편적으로는 이 직류 누설 전류의 크기로 절연 상태를 평가한다. 하지만 크기만을 이용하는 진단은 노이즈(noise)로 인한 판단의 왜곡 및 위험도, 결함의 위치를 판단하는 것이 불가능하며, 단순히 절연의 이상 정도만 파악이 가능하다. 따라서 일정 크기 이상이 되면 교체 또는 지속 사용에 대한 간단한 유 지보수 결정만이 가능하다. 따라서, 진단의 신뢰성을 확보하기 위해서는 고차원적인 진단 factor와 그로부터의 통계적 처리로 얻어지는 데이터를 활용하여 진단을 수행할 필요가 있다. 활선 케이블 감시 시스템에서 측정의 대상이 되는 절연체는 도체와 접지(즉, copper tape)간에 인가되는 전압에 의해 발생하는 누설 전류를 측정하게 된다. 활선 케이블 감시 시스템이 설치되는 위치는 고압 배전반에서 케이블로 연결되는 전원 측 접속부이며, 이런 이유로 상대적으로 말단 접속부의 경우 결함으로 인한 부분 방전 발생 시 신호가 케이블의 용량(capacitance) 성분과 긴 검출 거리로 인해 신호가 감쇄 되어 검출이 매우 어렵다는 단점이 있다.<sup>[11]</sup>

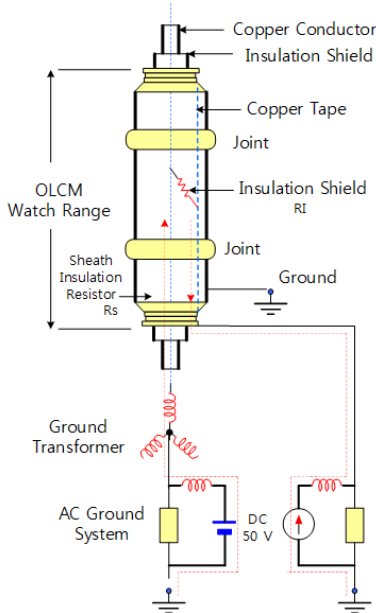


그림 7. 활선케이블 감시시스템의 측정의 개념  
 Fig. 7. Measurement concept of on-line cable monitoring system

#### IV. 활선 케이블 감시 시스템 측정 개념

그림 7은 활선 케이블 감시 시스템의 측정개념을 나타

낸다. 활선케이블 감시시스템의 시스템의 진단 가능 범위는 도체와 차폐 사이의 절연체에 유기되는 미소 직류 누설전류를 검출할 수 있는 구간이다.

표 1. 측정 순서

Table 1. Sequence of measurement

Sequence	A (Leakage Current)	B (Applied Voltage)
Measuring dc Current #1	80-time detection of the dc leakage current flowing in the grounding cable in a state where the dc signal voltage is not overlapped	Detection of basic dc leakage current components in an on-line state (no separate dc signal voltage)
Measuring dc Current #2	80-time detection of the dc leakage current flowing in the grounding cable after overlapping the dc signal voltage	Detection of dc leakage current components flowing when the dc signal voltage is overlapped
Measuring dc Current #3	80-time detection of the dc leakage current flowing in the grounding cable in a state where the dc signal voltage has been turned off	Detection of basic dc leakage current components in an on-line state (no separate dc signal voltage)

표 1은 측정 순서와 측정 목적에 대해서 정리한 것이다.

직류 누설전류를 측정하는 방식은 기존의 진단방법에서 많이 적용되었다. 하지만, 실제적으로 측정된 누설전류 데이터에는 유의미한 데이터 이외에 노이즈 성분이 함유될 수 있어 진단 결과를 왜곡 시킬 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 본 논문에서 적용한 활선 케이블 감시 장비의 방식은 dc 성분을 검출하는 시험을 첫 번째와 세 번째로 측정하고 두 번째 누설 전류치를 dc 50V를 인가하여 두 번째 직류 누설 전류치를 측정하여 케이블 절연체의 절연저항(insulation resistance, IR)을 다음식과 같이 계산하여 구한다.

$$RI = \frac{dc \text{ signal voltage, } 50V}{I_{50 \text{ avr}} - \frac{1}{2}(I_{01 \text{ avr}} + I_{02 \text{ avr}})} \quad [\text{Mohm}] \quad (1)$$

식 (1)에서,

$I_{50\ avr}$  : 표 1의 sequence #2에서

$I_{01\ avr}$  : 표 1의 sequence #1에서

$I_{02\ avr}$  : 표 1의 sequence #2에서

얻어지는 평균 전류를 각각 나타낸다. 원리는 dc 50V를 인가하지 않은 상태에서 데이터를 측정하여 케이블 활선상태에서 발생하는 무의미한 노이즈를 제외시킨다. 또한, 절연저항 측정의 정확도를 향상시키기 위하여 dc 50V 전원을 중첩시켜 측정하게 된다. IEC 규격에 따라 전압의 기준에서 케이블 전원 및 절연체에 나쁜 영향을 미치지 않고 충분히 데이터를 취득할 수 있는 신호전원으로서 dc 50V를 선정하였다. 이렇게 측정된 절연저항도 진단을 위한 하나의 기준값이 되지만 케이블 접속재의 경우 그 기준값에 대한 모호성으로 절연저항만으로 진단을 하는 것은 불가능하다. 따라서, 추가적인 검토 방안으로 결합에 의해 발생하는 부분 방전에 의한 누설전류 신호를 검출하여 적용하였다. 활선 케이블 감시시스템은 이 중 이미 측정된 직류 누설전류 성분의 평균을 이용한 표준편차와 신호의 형태에 따른 침도를 이용하였다.

## V. 결론

고전압 케이블의 사고의 원인은 다양하다. 우리는 케이블의 사고를 감시하여 불의의 화재 사고를 예방할 수 있는 장비를 국내 최초로 개발하였다. 이 장비를 한국서부발전 주식회사(Korea Western Power Co., Ltd.)에 설치하여 활선 케이블을 진단함으로써 안전하고 신뢰성 있는 환경에서 운전할 수 있도록 일조하였다. 본 연구와 관련하여 우리는 접속부 상태를 판별하기 위한 장비를 개발하였다. 본 논문에서는 현장에서 설치 운용 중인 장비에 대한 설명과 더불어 설치 운용된 결과를 통해 케이블의 수명을 예측할 수 있는 고전압 케이블 접속재의 안정적 사용을 위한 감시진단기법 중 사고가 가장 빈번하게 발생하는 접속부에 대해 진단의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위한 연구를 하였다. 절연저항 측정 장치를 사용하여 직류 누설 전류를 획득하여 케이블 시스템의 열화 과정을 확인 할 수 있었다.

## Acknowledgement

The authors wish to express their thanks to President Bo-Kyeong Kim (Osung Mega Power Co., Ltd.). Without his help and guidance, this work would have been impossible to complete.

## References

- [1] 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.
- [2] The Ministry of Knowledge Economy, "The 5th Basic Plan of Long-Term Electricity Supply", pp.11-20, 2010.
- [3] The Korea West Power Symposium, "The 2<sup>nd</sup> Korea Symposium on IGCC and Coal Gasification," Sep. 14-19, Seoul. Korea.
- [4] 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.
- [5] [http://news.mk.co.kr/newsRead.php?no=281938 & year=2016](http://news.mk.co.kr/newsRead.php?no=281938&year=2016)
- [6] K. H. Um, K. W. Lee, "Development of Equipment to Measure Insulation Resistance and Evaluate the Lifetime of High-voltage Cable in Operation", Journal of IIBC, vol. 14, no. 5, pp. 237-242, Oct., 204.  
DOI : <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.5.237>
- [7] K. W. Lee, K. H. Um, "A Study on the Deterioration Process of 22kV Power Cables in Operation" Journal of IIBC, vol. 13, no. 3, pp. 127-133, June 2013.
- [8] J. D. Glover, M. S. Sarma, T. J. Overbye, "Power System Analysis and Design (Fifth ed.)", Cengage Learning. Stamford, CT, USA, 2012.
- [9] B. H. Wayne, F. D. Donald, "Standard Handbook

for Electrical Engineers (15th Edition)", McGraw-Hill, ISBN 978-0-07-144146-9, 2007.

- [10] K. H. Um, B. K. Kim, "Development of Equipment Measuring Insulation Resistance of High-Power Cables in Operation at Power Station", Journal of IIBC, vol. 16, no. 4, pp. 159-164, Aug. 31., 2016.

DOI : <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.159>

- [11] <http://www.pat-testing-course.com/blog/faqs/insulation-resistance-test/>

- [12] IEEE-Std-43-2000, "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery", IEEE Power & Energy Society, p. 18, Mar, 2000.

- [13] K. H. Um, K. W. Lee, "Developing Equipment to Detect the Deterioration Status of 6.6 kV Power Cables in Operation at Power Station", Journal of IIBC, vol. 14, no. 5, pp. 237-242, Oct., 2014.

DOI : <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.4.197>

## 엄 기 홍(정회원)



### 학력

- BS: 한양대학교 전자공학과
- MS: Dept. of Electrical & Computer Engineering, Polytechnic Institute of Engineering, NYU (New York University), New York, USA
- Ph.D: Dept. of Electrical & Computer

Engineering,  
New Jersey Institute of Technology (NJIT),  
New Jersey, USA

### 경력

- TA, RA, and Lecturer at NJIT (New Jersey, USA)
  - Researcher at RS Microwave Company Inc. (New Jersey, USA)
  - Researcher at Physics Department, Princeton University (New Jersey, USA)
  - Adjunct Professor at NJIT (New Jersey, USA)
  - 강남대, 상명대, 한양대 강사
  - 현재 한세대학교 IT 학부 정교수
- <주관심분야 : 안테나, 마이크로파, 전기전자재료>

## 저자 소개

### 박 성 희(정회원)



### 학력

- BS: 충북대학교 전기공학과
- MS: 충북대학교 전기공학과
- Ph.D: 충북대학교 전기공학과

### 경력

- LS 전선
  - 원광대학교 ICT 융합 그린에너지 연구원
- <주관심분야 : 고전압 전기설비, 진단, 전기전자재료>