

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.127>

JIIBC 2013-3-17

운전 중인 상태에 있는 22kV 전송선로 케이블의 열화 과정해석에 대한 연구

A Study on the Deterioration Process of 22kV Power Cables in Operation

이관우*, 엄기홍**

Kwan-Woo Lee, Kee-Hong Um

요 약 산업사회의 발전에 필수적인 요소 중의 하나로서, 전력 에너지의 수요는 과학 기술의 발전에 따라 꾸준히 증가해오고 있다. 전력의 수요에 부응하기 위해, 고전압과 대용량을 감당할 전력설비기 필요하다. 튼튼한 바탕 위에서 전력을 생산 공급하기 위해서는 전기 시설은 신뢰성 있게 운전해야 한다. 전력 설비가 사고를 일으킬 경우 막대한 국가적 손실을 초래하게 된다. 국가 기간 산업 시설의 중추적인 기능을 하고 있는 전력 설비는 가능한 안정된 상태를 유지하면서 오랜 기간 동안 운전할 수 있어야 하며, 사고를 미리 예방할 수 있어야 한다. 전력을 전달하기 위한 수단으로서 사용되고 있는 케이블 설계 시 수명을 약 30년으로 간주하지만, 많은 경우의 실제 현장에서는 8~12년 정도에서 파괴 현상이 발생하여 재산상의 큰 피해를 초래한다. 본 논문은 운전 중 22kV 케이블 시스템의 열화 과정에 대한 연구를 통하여 열화의 원인을 파악하였으며, 와이블 분포만 따르는 것이 아니라 열열화 후 와이블 열화를 거쳐 부분 방전에 의하여 케이블이 파괴되는 것을 확인 할 수 있었다.

Abstract As an essential part of current industrial society, electric power energy is contantly increasing in pace with the development of science and technology. In order to meet the demand of electric power, power facilities which take care of the higher voltage and bigger capacity is required. To produce and supply electric power on a sound basis the electric facilities should operate with reliability. To prevent disasters in advance, the high quality facilities should be manufactured, and a constant management should be done. When the power facilities cause accidents, the result is huge national deficits. Since the power facilities play a pivotal role in the key industry of national infrastructures of they should operate for a long time in maintaining a stable state, and the accidents can be prevented in advance. The lifetime of a power cable is considered to be 30 years at the time of manufacture, but in real fields, accidents of cable occur 8-12 years from the start of operation, resulting in a heavy loss of properties. In this paper, we will show that we have found out the cause and process of the deterioration of 22kV cable systems in operation. The result is that the process of deterioration does not follow the Weibull distribution only ; but rather, after the heat deterioration the Weibull distributed deterioration comes, then the cable is destroyed due to the partial discharge resulting from the Weibull distributed deterioration.

Key words : Lifetime, Heat deterioration, Voltage deterioration, Cable system, Activated diagnosis

* 정희원, 오성메가과워, R&D 소장

** 정희원, 한세대학교 IT학부 (교신저자)

접수일자 2013년 5월 2일, 수정완료 2013년 6월 2일

게재확정일자 2013년 6월14일

Received: 2 May 2013 / Revised: 2 June 2013 /

Accepted: 14 June 2013

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

Dept. of Information Technology, Hansei University, Korea

I. 서 론

현대 산업사회에서 우리들이 일상생활을 영위하기 위해서 필요한 수단 중에 하나로서 전기는 하루도 없어서는 안될 필수불가결한 수단이다. 발전소에서 고전압의 전기를 생산하여 소비자에게 공급하기 위한 수단으로서 전력 케이블(power cable) 시스템을 사용한다. 케이블은 전기를 안전한 상태에서 신뢰성을 바탕으로 공급되어야만 한다. 케이블의 품질을 보증하기 위해 제조기술, 재료가 우수해야 하며 설치 후 유지, 보수, 관리도 철저하게 이루어져야 한다. (주)한국전력에서 규정하고 있는 케이블의 수명은 30년, 따라서 제조 회사에서 설계 시 수명을 약 30년으로 간주하여 설계하지만, 이는 정상상태를 기준한 값이며, 운전을 시작한 후 주변의 상황에 따라 수명의 변화가 필연적으로 발생하게 된다.

고압 선로 케이블의 일종으로서의 가교 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블(XLPE, cross linking-polyethylene)은 초고압에 사용되는 전력케이블로서 폴리에틸렌(polyethylene: PE)에 유기 가황제를 혼합하여 가교설비로 PE를 가교시켜 폴리에틸렌 구조를 망상상태로 변환시키는 화학적 변성의 과정을 거침으로 폴리에틸렌에 열경화성의 점탄성 성질을 부여한 재료이다. 탁월한 물리 전기적인 절연 특성을 나타내므로, 변전소에서 전기 공급 시 가정 공급 전까지에 사용되는 고전압 전선의 절연용 재료로 사용된다. 고성능의 동작 특성을 나타낸다는 장점이 있으나, 사고 전에 진단을 하는 것은 매우 어렵다. 전력케이블의 수명 및 고장의 진단 방법은 수십년 동안 여러 가지로 추구하고 있으나, 아직까지 수명을 판단 할 수 있는 방법은 없다. 본 연구는 수명을 예측하고 진단할 수 있는 방법을 찾아 이에 따른 연구를 진행하였다^[1].

II. 케이블 진단 방법

전송선로 케이블은 전압에 따라 구별했을 때, 저압(50/60Hz, 110~220V) 케이블과 고압(50/60Hz, 3.3~22kV) 케이블로 구분한다^[2]. 이 논문에서 우리가 연구한 케이블은 22kV 전력을 송전하는데 설치되어 있는 운전 상태의 초고압 지중송전선로(CV케이블)이다. CV 케이블은 포설 및 보수 관리가 비교적 쉽다, 또한 전기적 특성이 탁월하다, 내구성을 가지고 있다는 등의 장점이 있어서 최

근 들어 설비량은 비약적으로 증가하고 있다. 기타 어느 장비와 마찬가지로 설치 후 동작을 하게 되면 어느 기간을 지나서 수명을 다하여 사고를 일으키게 된다. 많은 경우, 설치한 후로부터 약 8~12년 정도 지난 시점에서 수트리가 발생하면, 정상적인 동작을 못하여 사고가 발생하게 된다. 불의의 사고가 발생했을 경우, 케이블이 파괴되고 주변 시설물들은 화재로 인한 소실이 발생하게 된다.

지중 케이블은 사고 발생시 원상 복구비가 많이 들고, 시간이 많이 소요된다. 지금까지 케이블 사고는 자주 보고되고 있으며 사고를 사전 방지하기 위하여 여러 가지 방법이 연구되어 왔다^{[3][4]}. 더불어 한 회선 사고가 발생하면, 케이블 시스템은 화재로 이어져, 대부분 주변 케이블도 모두 손상되어진다. 그러므로 사고가 일어나기 전 사전 방지가 최선이다. 케이블의 유도 특성에 따라 전력이 이동하고 케이블을 구성하고 있는 도체와 절연체는 사용시간이 증가함에 따라 동작특성이 약화되고, 누설전류가 증가하게 되고 이 현상이 누적되면 케이블이 파괴되어 사고가 발생한다. 고전압 전력 설비를 유지 보수하기 위한 방법은 당초 예방 차원의 유지 보수의 개념이었으나, 진단기술이 발달함에 따라 예측 차원의 유지보수의 개념으로 기술응용을 하고 있다.

지금까지 케이블 시스템의 사고를 방지하기 위한 진단 방법은 사선 상태에서(즉, 전원을 OFF 한 상태에서) 진단하는 방법과 활선 상태에서(즉, 전원을 ON 한 상태에서) 진단하는 방법이 있다^{[5][6]}.

사선 상태에서의 케이블 진단을 하기 위해서는, 동작 중인 상태의 케이블을, 동작을 중지시킨 상태에서 사용해야 한다는 필수 전제조건이 있기 때문에 이 방법을 사용하기가 매우 제한적이다. 그러나 아직까지 뚜렷하고 정확한 진단법이 없기 때문에 (주)한국 전력에서는 이 방법을 주로 사용하고 있는 실정이다. 활선 상태의 케이블 진단은 크게 두 가지로 나누어 진단^[7].

부분 방전(partial discharge, PD)법 과 절연 저항(insulation resistance, IR)법이 있는데, 부분 방전은 케이블의 사고가 발생하기 약 1-3년 전에 주로 발생한다. 그러므로 케이블 선로 수가 많은 경우, 이를 측정하여 사고 예방하기란 용이하지가 않다. PD는 고전압을 외부에서 인가했을 때, 절연 파괴(dielectric breakdown)되는 현상으로서 고체 절연체 내부에서 발생할 경우, 육안으로 확인 할 수가 없다. 부분 방전이 지속되면 절연 특성이 약화되어 절연체를 파괴하게 된다. 부분 방전 시는 높은 주

파수의 전자파가 발생하는 데, 이 전자파의 측정에 의하여 이상 여부를 판별한다. 고전압 전력 케이블의 수명을 예측하기 위한 예측차원의 기술 중의 하나인 절연 저항법이 사용된다. 절연되어 있는 두 물체 사이에 전압을 가했을 때, 절연체 표면과 시스 사이에 소량의 누설 전류가 흐르게 되는데, 전압과 전류비를 절연 저항(insulation resistance, 단위: kΩ, MΩ, GΩ)이라고 한다. 즉 지중 케이블에 전류가 흐를 때, 절연체와 시스가 나타내는 전기 저항으로서, 대부분의 경우 지중케이블과 접지사이에 존재하는 전기 저항을 말한다. IR test는 동작중인 지중 전력 케이블의 중성점에 직류 전압을 가하여, 시스(sheath)를 통하여 나오는 누설 전류를 측정하여, 이를 절연 저항으로 환산한다. IR 테스트는 DC 전압을 인가하여 절연 저항을 측정하는 방법이다^[8].

측정된 IR은 두 도체 사이에 존재하는 절연(insulation 또는 dielectric)의 상태를 의미하며, 값이 클수록 절연상태가 양호하다는 의미이다. 이상적인 경우라면 IR의 값이 무한대이지만, 실제 완전한 절연체란 존재 불가능하여, 유전체를 통과하여 흐르는 누설전류(leakage current)를 측정함으로써 유한크기의 저항값을 얻어낼 수가 있다.

IR 테스트의 장점 중의 하나는, 시료(DUT)를 비파괴 상태에 두고 실시가능 하다는 것이다. 절연체를 손상시키지 않은 상태에서 DC 전압을 적용할 수 있고, 인가 전압의 크기는 유전체의 절연 파괴 전압미만 값을 가지므로, 절연 상태를 유지할 수가 있다^[9].

이 방법은 25년 전부터 사용되어져 왔으나, 사용 장소는 다소 제한적이었다. 이유는 대한민국의 접지 시스템은 다중접지 시스템으로서 설치 시에 제한을 받았기 때문이다. 그러므로 (주)한국 전력에서는 절연 저항법이 사용되지 않았다. 단지 민수 일부에서 절연 저항법이 사용되어져 왔다. 절연 저항은 정상 상태부터 케이블시스템이 파괴될 때까지, 지속적으로 감소하는 특성을 나타낸다. 그 후 절연 저항이 일정기준 이하로 감소되면, 부분방전이 발생하여 케이블시스템이 파괴되게 된다.

본 논문은 활선 22kV 전력 케이블을 정하여 이를 분석하였다. 이를 바탕으로 케이블 시스템의 열화 과정을 분석할 수 있었다. 그 결과 활선 상태에서의 케이블 열화는 열열화, 전압열화, 부분방전 열화의 순서를 따르는 것을 확인할 수 있었다^{[10][11][12]}.

III. 케이블 구조 및 고장률 함수

1. CV 케이블의 구조

전력케이블은 용도 및 재질에 따라 여러 가지 종류가 있으나, 일반적인 형태를 보이면 그림과 같다^[13].

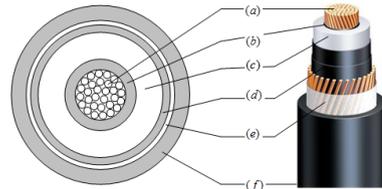


그림 1. CV 케이블의 구조: (a) 내부도체 (b) 내부반도전층, (c) 절연체 (d) 외부반도전층 (e) 차폐층 (f) 방식층
Fig. 1. Structure of CV cable: (a) inner conductor (b) inner conductor screen (c) insulator (d) outer insulator screen (e) wire shield (f) jacket

2. 고장률 함수

그림 2와 같이 한 순간에서의 고장률을 나타내는 함수, $R(t)$ 를 신뢰도 함수, $f(t)$ 를 수명(고장시간)분포의 확률밀도함수라고 한다면 고장률함수는 $\lambda(t) = f(t)/R(t)$ 이다. 이 함수는 신뢰성 욱조커브 (reliability bathtub curve)라고 고도 하며, 전력케이블의 시간에 따른 고장률의 변화를 나타낸다. 이 곡선은 초기(burn-in period), 중기(useful life period), 및 말기(wearout period)로 구별되며, 동작 특성 측면에서는 감소형 고장률(DFR, decreasing failure rate), 일정형 고장률(CFR, constant failure rate), 증가형 고장률(IFR, increasing failure rate)로 칭한다^[14].

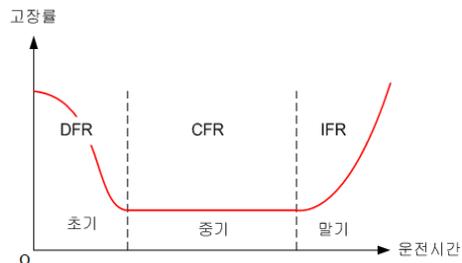


그림 2. 고장률 함수
Fig. 2. Function of failure rate curve

DFR 시기는 초기 고장률이 매우 높다. 이유는 설계상의 결함, 부품의 하자, 제조과정사의 오류 등에 기인한다.

이러한 고장률을 줄이기 위해서는 고온 검사(통전 테스트, burn-in test)를 거쳐야 한다. 즉 완성품 전력 케이블의 일부 또는 전량을 주위 온도를 높혀 스트레스를 가한 상태에서 장시간 동작시켜 제품의 성능과 내구성을 검사하고 불량품을 조기에 발견하여 제거하는 과정이다.

CFR 시기는 동작을 일정하게 하므로 우발적 고장(chance failures)이 발생하지 않는 한 고장률이 일정한 시기이다. 그러나 전력케이블은 수명을 30년 정도로 설계하여 제조되나, 5-10년 정도에 사고가 발생하기도 하는데, 이는 수트리의 영향이다. 수트리는 XLPE케이블에 물이 침투하면 발생되는데, 나무와 같은 형상을 따른다.

정상적 운전 기간에 우발적으로 발생하는 고장을 예측하는 연구가 중요시된다. 언제 우발 사고가 발생할지를 예측할 수가 없지만, 축적된 데이터를 분석하여 가능성(likelihood) 또는 확률(probability)적으로 예측할 수가 있다.

IFR 시기는 마모(wearout)되는 시기이다. 자연 노화 현상이나 사용으로 인한 열화의 결과 고장률이 증가하는 시기이다. 아무리 완전하게 제조되었다고 하더라도 모든 케이블은 궁극적으로는 고장이 날 것이며, 고장 시기를 가능한 늦추기 위해서는 유지보수를 철저히 해야 한다. 마모에 의한 고장을 방지하기 유일한 방법은 사전에 수리하거나 교체해야 한다.

우리는 고장률 함수에 의한 정상 운전 시기에 놓인 전력 케이블의 수명을 예측하는 연구를 하였고 이 논문에서 소개한다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 장치 시스템의 동작 원리

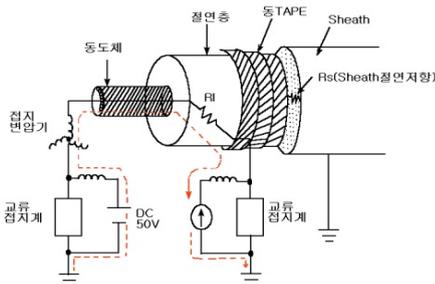


그림 3. 직류 전압 중첩법의 측정 회로도
Fig. 3. Circuit for measuring IR of cable with voltage superposed

그림 3은 케이블의 절연 저항을 측정하기 위하여 구성된 회로 시스템으로서 고정형 절연 저항 측정 장치이다. 고압 교류 전압이 인가된 상태에서 직류 전압을 중첩점에 직류 50V 전압을 중첩하여 가하여, 케이블의 쉬스 부분에서 누설되어 나오는 전류를 측정하여, 이를 바탕으로 절연 저항을 측정하였다.

2. 측정 시스템의 외관

그림 4는 그림 3의 회로를 포함하고 있는 IR 측정 장치의 외부 형태를 나타내고 있다.



그림 4. 절연 저항을 측정하기 위한 장치
Fig. 4. Equipment to measure IR

그림 5는 그림 3의 측정 장치를 사용하여 약 13년 동안 측정하여 얻은 IR(단위; MΩ)의 데이터를 그래프로 표시한 것이다. 이는 해마다 주기적으로 변하는 특성을 갖고 있다. 이 자료는 측정 장치를 사용하여 얻어낸 원시 데이터로서 시간(단위; day)에 따르는 절연저항이 감소하는 추세를 파악할 수가 있다.

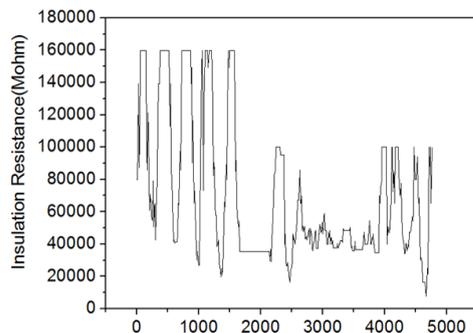


그림 5. 절연 저항 측정 데이터
Fig. 5. Measured data of insulation resistance measured by IR meter

그림 6은 그림 5에서 얻은 데이터를 필터링^{[15][16]}하여 나타낸 그림이다. 필터링하는 목적에는 여러 가지가 있는데, 여기서는 케이블 수명 곡선을 구하기 위하여 필터링하였다. 필터링 한 후 케이블 수명 곡선을 평가하였다.

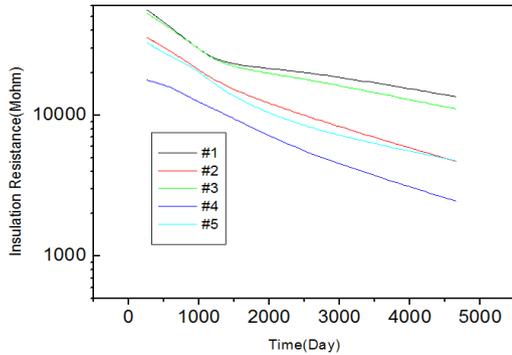


그림 6. 필터링 후의 절연저항 변화
Fig. 6. Change of IR after filtering process

여기서는 시간의 경과에 따라 Log 함수에 선형적인 감소를 얻을 수 있었다. 이는 열화 과정이 와이블 분포^[17]를 따를 뿐만 아니라, 열적 열화 과정을 거치기 때문이다. 열열화는 아레니우스(Arrhenius)열화라고도 하는데, 이는 확산의 법칙과 유사하다.

아레니우스(Arrhenius)열화는 화학반응의 속도가 온도에 따라서 어떤 형태로 증가하는지를 정의하고 있다^[18]. 여기서는 온도 영향을 받고 있는 전력케이블의 열화 상태를 나타낸다^[14].

$$k = A \cdot \text{Exp}(-E_a/k_B \cdot T) \quad (1)$$

방정식 (1)에서 k 는 절대온도 T (단위 : Kelvin)에서의 화학반응속도를 나타내고, A 는 비율상수, k_B 는 볼츠만 상수이다. 그래서 지수 함수적 감소를 나타낸다.

케이블 절연 저항의 감소는 수명판정 결과 지수함수적인 감소를 나타내는데, 이는 케이블의 수명이 열 열화와 같은 무질서도에 따른 결과로 예상된다. 즉 아레니우스 식과 같이 전자이온의 무질서도에 의한 열화와 같다.

케이블의 송전 용량에서 부하전류를 선정하기 위한 기준은 아래 식으로 주어 지는 허용전류 표현식을 사용한다. 부하전류와 온도 및 습도에 의하여 아래와 같은 식으로 결정된다^[19].

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_d}{r \cdot R_{th}}} \quad (2)$$

식(2)에서 기호는 각각 다음을 나타낸다.

- T_1 [단위 : °C] : 도체의 연속허용 최고 온도
- T_2 [단위 : °C] : 도체 주위의 온도
- T_d [단위 : °C] : 유전 손실에 의한 온도 상승
- r [단위 : Ω/cm] : 허용 최고 온도에서의 교류저항
- R_{th} [단위 : °C·cm/W] : 포설 주위 매질의 전열저항

즉 온도, 습도, 부하전류를 동시에 측정하였으면, 식 (2)에 의하여 부하전류와 온도와의 상관관계를 밝힐 수 있다. 그러면 전력 시스템발전에 더 많은 기여를 할 수 있었을 것으로 기대된다.

교체시기에 도달된 케이블은 절연 저항으로 바로 사고가 발생하는 것이 아니라 열화된 상태에서 스위칭 시 지 및 뇌서지 등의 과전압 및 기계적 스트레스에 의하여 사고가 발생할 것으로 예상할 수 있다. 절연저항의 측정은 케이블이 열화 상태에 이른 것을 판정함과 동시에 정상상태에서의 열화 수명을 추정할 수 있는 것이다. 지금까지는 케이블 잔여 수명 평가의 부재로 케이블 송전 시스템의 수명을 몰랐으나, 이 방법은 예측이 가능하다. 그러므로 언제 사고가 날지 몰라 마음 졸이는 일 없이, 장기적인 관점에서 케이블 시스템 운용이 가능하다. 더불어 급격히 나빠지는 운전 중 고전압 케이블 시스템의 원인 파악으로 장기적으로 전력공급의 안정화에 기여할 것으로 예상된다. 이 수명판정방법은 현재 대규모 공장에서는 3.3~22[kV]의 저항접지계통 및 비접지계통(Δ결선)에서 적용할 수 있으며, 발전소에서의 전력케이블 시스템에 적용이 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 활선 상태에서 12년 지난 22kV 케이블 시스템을 13년 동안 분석하여 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 케이블의 열화 과정은 와이블 분포만 따르는 것이 아니라 열열화, 와이블 열화, 부분방전의 단계를 따

- 라 진행되는 열화에 의하여 케이블이 파괴된다.
2. 환선 상태에서 케이블 시스템의 열화는 초기에는 열열화 과정을 거친다.

Remarks : This work is an interim experimental result modified, extended, and advanced from the conference presentation at IWIT 2012 (The Korean Federation of Science and Technology Societies, Korea).

References

- [1] http://www.dsecable.co.kr/cgi/view.php?&bbs_id=bd03&page=&doc_num=4
- [2] D. H. Na, D. H. Ryu, "Developing of Time Information Broadcasting System Using Power Line Communication", Journal of the The Institute of Internet, Broadcasting and Communicatuin, vol. 12, no. 1, pp. 217-223, Feb 2012
- [3] G. Hoff and H. G. Kranz, "Condition Base Maintenance of PE/XLPE-Insulated Mediy m Voltage Cable Network-Verification of the IRC-Analysis to Determine the Cable Age", Conference Record of the IEEE Intrenational Symp. on Electrical Insulation, pp. 53-56, 2002
- [4] K. W. Lee, B. K. Kim, Y. S. Mok, K. H. Um, K. J. Lee, D. H. Park, "A Study on the Deterioration Process of 22 kV High-voltage Cables and Evaluating the Remaining Life of Cables in Operation", Fall Conference, KIEE, 2012
- [5] H. Danaka, "Techniques of Equipment Diagnosis", Electricity Publishing Co. Japan, pp.197- 218, 1985.
- [6] S. Yamaguchi, S. Soda, N. Takada, "Development of a new type insulation diagnostic method for hot-line XLPE cables", IEEE Trans. on Power Delivery, pp. 1513-1520, 1989
- [7] J. B. Lee , D. H.Park, C. B. Park , S. G. Park , S, J. Kim, "Investigation on Diagnosis of Insulation Deterioration in Live-Line Distribution Power Cable in KOREA", Proc. of the 1992 Korea-Japan Joint Conference on Electrical and Electronic Materials (Cheongju, Korea), May 28-29, KIEEME, 1992
- [8] P. Cichecki, E. Gulski, J. J. Smit, F. Vries, "Measurements of dielectric losses on paper-oil insulation samples of service aged HV Power cables", Proc. of the 16th Int. Sympo. on high Voltage Engineering, Paper A-34, (Cape Town, South Africa), Aug. 24-28, 2009
- [9] http://www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=Insulation_Resistance_Test
- [10] K. W. Lee, Y. S. Mok, B. K. Kim, J. B. Lee, and D. H. Park, "A Study on Remain life with Aging in 22kV CV Cable", Conference on Physical Properties and Applications in Electricity, KIEE, pp.19-21, 2003
- [11] K. W. Lee, K. H. Um, D. H. Park, "A Study on Evaluating the Life Exponent in Voltage Deterioration of 22 kV High-voltage Cables in Operation". 2012 Summer Conference, KIEE (Jeongsun, Korea)
- [12] http://grouper.ieee.org/groups/transformers/subcommittees/standardsc/WG_C57.152/S10-6.2.6%20Insulation%20Resistance%2020100501_Varghes.pdf
- [13] http://m.lscns.com/catalogs/Railway_Railway_EN_091111.pdf
- [14] Levine, R.D.Molecular Reaction Dynamics, Cambridge University Press (2005)
- [15] J. S. Kim, "An Energy Saving Method using Hierarchical Filtering in Sensor Networks," Journal of the The Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 8, no. 4, pp. 768-774, Aug 2007
- [16] S. G. Kim, "Detection of the Retinal Optic Disk Using Automatic Inpainting Processing and Active Contour Model," Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 5, issue 3, pp. 68-75, Sep 2007
- [17] S. H. Lee, H. J. Chung, "A Study on Life Time Estimation of TFT-LCD Module", Conference Proceeding of the Korean Institute of Information Technology, pp 46-50, July 2007
- [18] J. H. Kim, D. G. Park, H, K. Han, "A Study on

Selection of Distribution Function for Reliability Prediction Using Accelerated Life Test Data," Journal of the The Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 7, no. 3, pp. 393-397, Mar 2006

[19] Clifton A. Ericson II, "Concise Encyclopedia of System Safety: Definition of Terms and Concepts", John Wiley & Sonc Inc., 2011 ISBN= 978-0-470-92975-9

※ This work was supported by Hansei university.

저자 소개

이 관 우(정회원)



- 1986년 : 한양대학교 전기공학과 졸업
- 1987년 ~ 1994년 : LG 전선 연구소 근무
- 1995년 ~ 1998년 : 일진 전선 연구소 근무
- 2002년 : 원광대학교 전자재료 석사 졸업
- 2006년 : 원광대학교 전자재료 박사 졸업
- 2003년 ~ 2007년 : 호원대학교 전기

전자재료공학부 겸임교수 재직

- 2011년 : 원광대학교 외래 교수
 - 2012년 ~ 현재 : (주)오성메가과워 연구소장
- <주관심분야 : 전기전자재료>

엄 기 흥(정회원)



- 1981년 : 한양대학교 전자공학과(BS)
- 1991년 : (미)Polytechnic University, Dept. of Electrical & Computer Engineering (MS)
- 2003년 : (미)New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Electrical & Computer Engineering (Ph.D)

• 1998년 ~ 2003년 : TA, RA Lecturer (NJIT)

- 2003년 ~ 2004년 : NJIT 겸임교수(Adjunct)
 - 2004년 ~ 2007년 : 강남대, 상명대, 한양대 강사
 - 2007년 ~ 현재 : 한세대학교 IT 학부 조교수
- <주관심분야 : 안테나, 마이크로파, 전기전자재료>