

# 배전급 케이블 종단부의 결점이 전기적 특성에 미치는 영향

(Influence of Defects on Electrical Characteristics of Distributing Cable Termination)

김상현\* · 최재영 · 최진욱 · 김영석 · 김선구 · 백승명\*\*

(Sang-Hyun Kim · Jae-Hyeong Choi · Jin-Wook Choi · Young-Seok Kim ·  
Sun-Gu Kim · Seung-Myeong Baek)

## 요 약

본 논문은 모의된 시공불량에 따른 결점을 가진 배전급 종단부의 전기적인 사고에 대하여 실험적으로 조사한 것을 나타낸다. 실험에 조립형과 열수축형인 두 개의 종단재를 사용하였다. 우리는 시공불량에 따른 모의 결점을 가진 케이블 종단부를 제작하여 교류 및 임펄스 내전압 시험과 같은 절연 특성을 고찰하였다. 두께 감소나 하우징의 스트레스콘과 반도체층 사이의 틈과 같은 결점의 영향에 대하여 연구하였다. 절연체의 두께 감소 시 교류 절연파괴 강도는 급격히 감소하였고 이 절연체의 절연파괴 흔적은 타원형으로 나타났다. 스트레스콘과 반도체층 사이의 틈은 절연내력에 매우 나쁜 영향을 주었다. 열수축형에서, 교류 절연파괴 전압은 가열 시간이 짧을 때 낮아졌다.

## Abstract

This paper introduces experimental investigates of an electrical accident of the distributing cable termination with simulated a shoddy construction. We prepared two termination kites, one is built-in type, the other is heat contraction type. Also, we manufactured cable termination that have simulated defect by badness construction and investigated their insulation characteristics such as ac (35[kV], 1[min]) and impulse (95[kV],  $1.2 \times 50[\mu s]$ ) withstand test. The influence of defects such as thickness decrease, the gap between stress-con of housing and semiconductor and heating time on insulating properties of the termination have been studied. The thickness decrease of an insulator decreases ac breakdown strength suddenly and the breakdown traces of the insulator that is damaged by knife displayed elliptic shape. The gap of between stress-con and semiconductor deteriorates dielectric strength of insulator seriously. In heat contraction type, the ac breakdown voltage became low when the heating time is short.

Key Words : Distributing Cable Termination, Electrical Accident, Breakdown, Withstand Test

\* 주저자 : 경상대학교 전기공학과 및 공학연구원 교수

\*\* 교신저자 : 창원전문대학 소방방재과 전임강사

Tel : 055-279-5118, Fax : 055-279-5132

E-mail : smbak@cw.ac.kr

접수일자 : 2008년 12월 19일

1차심사 : 2008년 12월 23일

심사완료 : 2009년 1월 5일

## 1. 서 론

최근, 전기에너지를 이용한 다양한 신제품과 설비가 출시되면서 이에 대한 안전 확보의 중요성이 대두되고 있으며, 이런 제품과 설비가 확대됨에 따라

배전설비의 신뢰성 확보가 매우 중요하게 되었다. 배전설비의 한 부분인 지중배전선로의 고장현황을 살펴보면 외상에 의한 사고가 약 40[%], 외상이외의 사고가 약 60[%]를 차지하고 있으며, 외상이외의 사고 60[%]에 대하여 케이블에서 약 30[%], 접속재에서 약 70[%]의 사고가 발생하는 것으로 보고되고 있다[1-4]. 제조물의 결함으로 인하여 발생한 손해에 대한 제조업자 등의 손해배상책임을 규정함으로써 피해자의 보호를 도모하고 국민생활의 안전향상과 국민경제의 건전한 발전에 기여함을 목적으로 하는 PL법을 대비한 원인분석과 처리기준에 대한 데이터베이스가 절실히 필요한 실정이지만 이에 대한 연구가 미진한 실정이다[5].

따라서 본 논문에서는 현재 사용되는 중단접속재 중 가장 많이 사용되는 조립형 중단접속재와 특수한 분야에 사용되는 열수축형 중단접속재 두 종류의 중단접속재를 이용하여 케이블 중단부 사고에 미치는 인자를 포함한 중단부 모델을 제작하여 각 결함이 케이블 중단부의 절연내력에 미치는 영향과 사고 형상에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

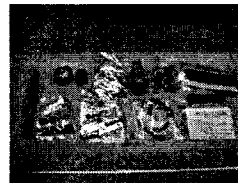
### 2.1 중단접속공정별 결점 분석

중단접속재는 작업하는 방법에 따라서 조립형, 열수축형, 자기수축형으로 구분하고 케이블 양끝의 절연을 보장할뿐 아니라 중단에 집중되어 절연내력을 저하시킬 수 있는 전계 집중을 완화시키는 역할도 한다. 국내에서는 조립형이 대부분 사용되고 특수한 분야에 열수축형이 사용되고 있다. 조립형의 하우징은 날개와 스트레스콘으로 구성이 되어 있고 스트레스콘은 케이블의 외부 반도체층 끝부분에 집중되는 전계를 완화시킨다. 6.6[kV] 케이블 중단접속 시공 공정에서 길이를 잘못 측정하여 박피하면 절연체의 길이가 감소하고 반도체층 박피할 때 주의하지 않으면 절연체의 두께가 감소한다. 절연체 세척 공정에서 불순물이 절연체 표면에 남을 수 있고 세척포가 외부 반도체층에 닿아 외부 반도체층의 일부가 절연체의 표면에 묻을 수 있다. 하우징 끼움 공정에서는

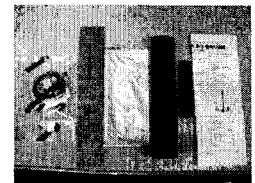
하우징의 스트레스콘과 반도체층과 겹치도록 끼우지 않으면 사이에 틈이 발생하게 된다. 열수축형은 스트레스 제어 마스틱과 스트레스 제어 튜브를 사용하여 전기적 스트레스를 접속 부위에 완화시킨다.

표 1. 결점  
Table 1. Defect

접속재	시공공정	시공불량에 따른 결점
공통	반도체층 박피	절연체 두께 감소
조립형	하우징 끼움	틈
열수축형	스트레스 제어 튜브, 열수축 튜브	열 분사 시간



(a) built-in type



(b) heat contraction type

그림 1. 배전용 케이블 중단접속재  
Fig. 1. Termination kites for distributing cable

열수축형은 스트레스 제어 튜브와 열 수축 튜브를 토치로 가열하여 튜브를 수축시키기 때문에 튜브에 열을 가하는 시간에 따라 전기적 특성의 변화를 가져올 수 있다. 표 1에 시공불량에 따른 전기적 결점을 나타내고 그림 1은 본 연구에 사용한 접속재이다.

### 2.2 시료 제작

케이블은 국내에서 제작된 6/10[kV] 트레이용 가교폴리에틸렌 난연 전력케이블(6/10[kV] TFR-CV 35SQ×1C)로 절연체는 XLPE, 외피는 난연 PVC, 차폐층은 동 테이프, 내부·외부 반도체층으로 구성이 되어 있다. 교류(이하 AC) 전압 시험용은 80[cm], 충격파(이하 IMP) 전압 시험용은 100[cm]로 절단하고 각 공정에 따라 발생할 수 있는 결점을 넣어 조립형 중단재와 열수축형 중단재를 이용하여 시료를 제작하였다. 칼을 이용하여 반도체층이 끝나는 부분에 절연체를 1[mm]와 2[mm] 길이로 절단하였다. 하우

## 배전급 케이블 종단부의 결점이 전기적 특성에 미치는 영향

징과 반도체층 사이의 틈은 5[mm]와 10[mm]로 하였다. 열의 분사 시간에 따른 절연특성을 고찰하기 위해 스트레스 제어 튜브와 열 수축 튜브에 열을 가하는 시간을 다르게 하여 시료를 제작하였다. 그림 2에 토치 열의 분사 시간에 따른 영향을 고찰할 시료의 중요 제작 공정을 나타낸다.

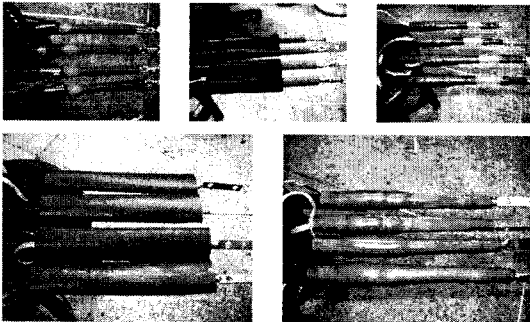


그림 2. 열수축형 종단접속재 중요 시공과정  
Fig. 2. Important construction progress of the heat contraction type termination kit

### 2.3 실험방법

결점이 없는 시료를 IEEE Std 48-1996(R2003)[6]의 기준에 따라 상용주파 건조내전압시험 AC, 1분 35[kVrms]와 충격내전압시험 95[kV]를 인가하여 내전압 시험을 행하였다. 다음으로 결점이 있는 시료를 제작하여 외부 동차폐층을 접지시키고 도체에 AC 전압을 인가하였다. 1[kV/sec]의 속도로 상승시켜 절연파괴가 발생할 때까지 전압을 상승시켰으며 IMP 전압은 28[kV]에서 절연파괴 때까지 4[kV]씩 증가시켰다. 절연파괴가 발생하고 난후 시료를 분해 전·후 관찰하고 절연파괴 홀이 발생한 부분은 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 AC 및 IMP 내전압 시험

조립형의 경우 AC 35[kVrms], 1분 내전압시험에 통과하였으며 절연파괴 시험을 한 결과 터미널 러거와 접지선사이로 종단재의 표면을 따라 연면으로 방

전이 발생하였다. IMP 95[kV] 내전압시험에는 통과하지 못하였으며, 28[kV]에서 4[kV]씩 전압을 상승시켰을 때 84[kV]에서 종단재의 표면을 따라 연면 방전이 발생하였다. 열수축형의 경우 AC와 IMP 내전압시험을 모두 통과하였다.

### 3.2 절연체 두께 감소 영향

그림 3에 두께 감소에 따른 절연파괴 전압을 나타낸다. 조립형의 경우 AC 전압에서 두께가 감소가 1[mm]때 평균 44[kV], 2[mm]때 32[kV]에서 관통에 의해 절연파괴가 발생하였다. 두께 감소가 없을 때 AC 평균 72.5[kV]에서 연면 절연파괴가 발생하는 것을 비교하였을 때 절연파괴 전압의 감소가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 절연체의 두께가 감소된

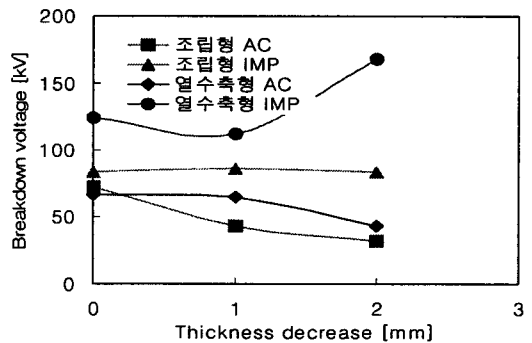


그림 3. 절연체 두께 감소에 따른 절연파괴 전압  
Fig. 3. Breakdown voltage depend on thickness decrease

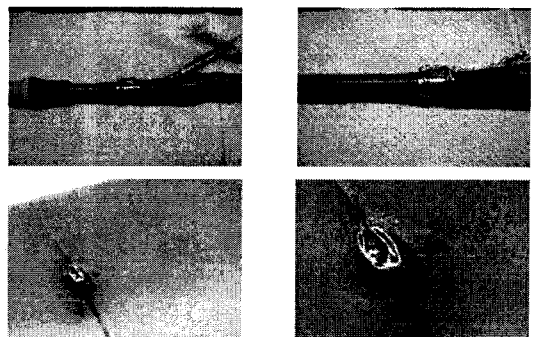
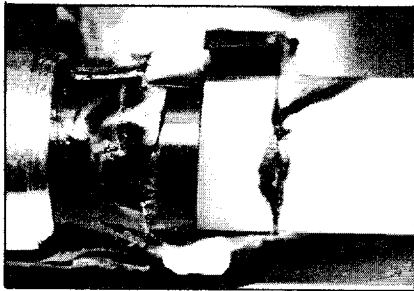
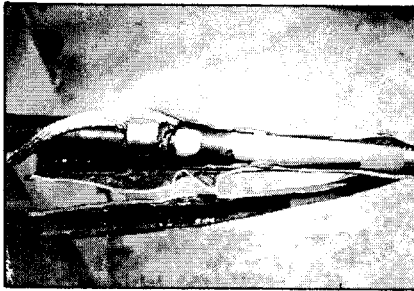


그림 4. 절연파괴 위치 및 흔적(조립형, 두께감소 1[mm])  
Fig. 4. Breakdown hole and traces(built-in type, 1[mm] thickness decrease)

경우 IMP 전압에서는 절연파괴 전압이 거의 일정하였지만 AC에서는 절연파괴 전압이 낮아지는 경향 나타내는데 이것은 XLPE 절연체가 단시간 절연내력은 우수하지만 장시간 절연내력은 급격하게 떨어지는 것으로 사료된다. 그림 4는 조립형에서 절연파괴 후 형상을 나타낸다. 절연파괴 홀은 칼자국을 따라 타원 형태로 발생하였다. 결함이 없을 때 원의 형태를 나타내는 것과 비교했을 때 매우 큰 차이를 나타내는 특징이라 할 수 있다.



(a) under AC



(b) under IMP

그림 5. 절연파괴 위치 및 흔적 (열수축형, 두께감소 2[mm])  
 Fig. 5. Breakdown hole and traces(heat contraction type, 2[mm] thickness decrease)

열수축형의 경우 두께가 1[mm] 감소하여도 그 감소폭은 크게 나타나지 않았는데 이는 스트레스 제어 튜브를 열 수축하는 동안 스트레스 제어 마스틱이 녹아 결점을 보완하는 것으로 사료된다. 하지만 두께가 2[mm] 감소한 경우에는 43[kV]로 절연파괴 전압이 매우 낮게 나타났다. IMP 전압을 인가한 경우 두께 감소의 영향 없이 공기 중 연면방전으로 절연파괴가 발생하였다. AC 전압을 인가한 경우 절연파

괴는 절연체가 감소한 부분에서 발생하였으며 열화에 의한 형태는 거의 변하지 않았다. IMP 전압에 의해 절연파괴가 발생하였을 때는 절연체의 표면을 따라 튜브 내부로 연면방전이 발생하였으며 내부 표면에 심한 열화 흔적이 관찰되었다. 이때 전압은 168[kV]로 매우 높게 나타났다. 하나의 시료만으로 전체적인 절연파괴 전압이 높아진다고 판단하기 어렵고 내부에 전압 분배에 의해 전계집중이 완화되어 파괴 전압이 높게 나타난 것으로 사료된다. 그림 5의 (a)와 (b)는 AC, IMP 전압인가 시 절연파괴 흔적을 각각 나타낸다.

### 3.3 틈의 영향

종단접속 시공 중 하우징의 스트레스콘과 반도체층은 겹치도록 시공하여야 하지만 시공불량에 따라 스트레스콘과 반도체층이 겹치지 않는 경우가 발생한다. 본연구에서는 틈이 발생하였을 때를 모의하여 틈이 5[mm]와 10[mm]인 종단접속을 한 시료를 제작하여 AC와 IMP 전압을 인가하여 절연특성을 고찰하여 그림 6에 AC와 IMP 전압 하에서 절연파괴 전압값을 나타내고 그림 7에 틈 5[mm]와 10[mm]일 때 절연파괴 구멍과 흔적을 나타낸다.

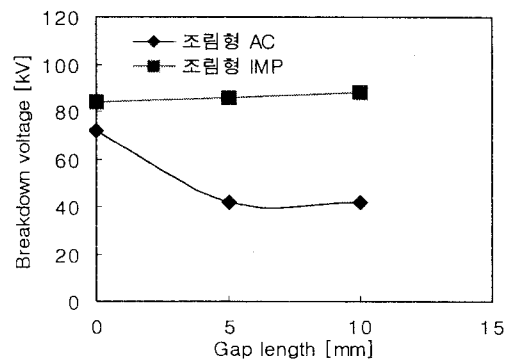
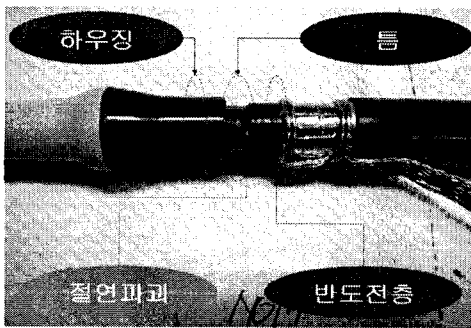


그림 6. 틈 간격에 따른 절연파괴 전압  
 Fig. 6. Breakdown voltage depend on gap length

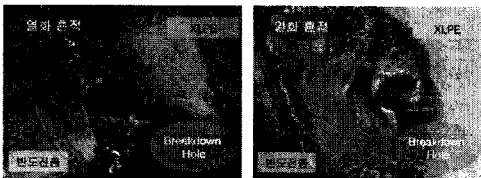
5[mm] 틈을 가진 시료에 교류전압을 인가한 경우에 시료는 틈 부분에서 부분방전이 급격히 발생하였다. 절연파괴는 42[kV] 전압에서 반도체층과 XLPE가 만나는 지점에서 절연파괴가 발생하였다. 10[mm]

## 배전급 케이블 중단부의 결점이 전기적 특성에 미치는 영향

의 틈을 가진 시료도 42[kV] 전압에서 절연파괴가 발생하였으며 절연파괴 구멍은 반도체층에서 약 1.5[mm] 떨어진 지점에서 발생하였다. 따라서 틈이 발생하면 AC 전압을 인가한 경우에 부분방전에 의해 XLPE가 심하게 열화 되어 탄화되고 53%의 낮은 절연내력을 가지게 된다. IMP 전압을 인가하였을 때는 하우징의 표면을 따라 공기 중으로 연면방전이 발생하였으며 절연파괴 전압은 틈이 없는 경우와 오차 범위 안에서 유사하게 나타났다. 그리고 그림 7에서 보듯이 IMP 전압에서는 틈의 영향이 적음을 통해 알 수 있다. 구멍은 둥근 형상이고 열화는 반도체층과 홀 사이에서 심하게 발생하였다.



(a) Breakdown position



(b) 5(mm) gap (c) 10(mm) gap

그림 7. 틈에 의한 절연파괴 흔적  
Fig. 7. Breakdown traces depend on gap

### 3.4 열 분사 시간의 영향

열수축형은 토치 열을 이용하여 튜브를 수축하여 중단 접속하는 방식으로 토치를 이용하여 열 분사하는 시간에 따라 튜브나 다른 재료의 특성이 변할 수가 있다. 따라서 열 분사 시간에 따라 전기적 특성을 고찰하였다. 먼저, 열수축 튜브에 열을 가한 시간과

절연파괴 전압을 측정된 결과 열을 충분히 가하지 않은 60초보다 열을 충분히 가한 300초일 때 절연파괴 전압이 약 11[kV] 높게 나타났다. 그리고 접속재를 완료한 경우에 60초 동안 열을 가한 경우 52[kV]에 관통 절연파괴가 발생하였지만 300초 동안 열을 가한 경우 75[kV] 연면 절연파괴가 발생하였다.

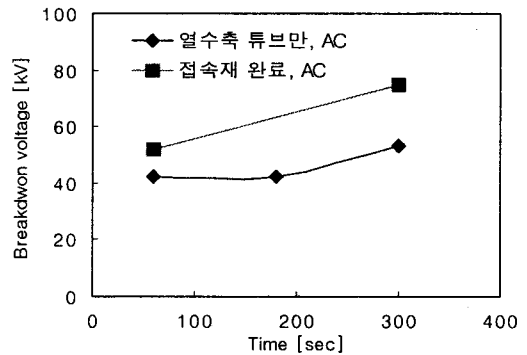
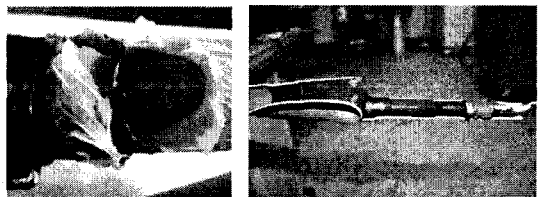


그림 8. 열 분사 시간에 따른 절연파괴 전압  
Fig. 8. Breakdown voltage depend on heating time



(a) under AC (b) under IMP

그림 9. 60초 가열 때 절연파괴 흔적  
Fig. 9. Breakdown traces at 60 sec heating time

열을 충분히 가할 경우 스트레스 제어 마스틱과 튜브 내부 절연물이 충분히 녹아 부분방전이 생기는 공극을 줄여줄 뿐 아니라 중단재의 표면의 습기나 불순물 등을 제거하는 효과가 나타나 절연파괴 전압이 높아지는 것으로 사료된다. 그림 8에 열분사 시간에 따른 AC 절연파괴 전압을 나타내고 그림 9에 절연파괴 흔적을 나타낸다.

## 4. 결 론

조립형과 열수축형 중단접속재를 사용하는 본 연

구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

결합이 없는 조립형과 열수축형을 중단재의 AC, IMP 내전압 시험결과 조립형이 IMP 내전압 시험전압을 견디지 못하였다. 두께 감소 시 열수축형이 감소폭이 작게 나타났다. 이는 스트레스 제어 마스틱과 열수축 튜브내의 절연물이 녹아 틈의 영향을 감소시킨 것으로 판단된다. 절연과피 형태는 타원으로 다른 결점으로 인한 형태와 비교되는 큰 특징이다. 반도전층과 하우징 하단부 사이에 틈이 발생하는 경우 AC 전압에서 부분방전에 의하여 XLPE가 심하게 열화 되었으며 결점이 없는 시료의 약 53%에 해당하는 절연내력을 나타내었다.

열수축형은 열을 충분히 가하지 않을 때 절연과피 전압은 약 20% 정도 낮게 나타났으며 열을 충분히 가했을 때는 절연과피 전압이 약간 증가하는 것으로 나타났는데 이는 열을 충분히 가하면 스트레스 제어 마스틱과 열수축 튜브가 충분히 녹을 뿐 아니라 중단재 표면의 수분이나 불순물 등을 제거해주는 효과가 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 한재홍 외 5인, "배전용 케이블 중단접속재의 경년특성", 대한전기학회, 권호 48(8), pp. 480~486, 1999.
- [2] 김상준 외 6인, "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화 진단 시스템 구축-최종보고서", pp.391~406, 전력연구원, 1997.
- [3] T. Hashizume et al, "The Residual ac Breakdown Voltage of 6.6kV Dry-cured XLPE Power Cable under Wet-accelerated Aging Tests", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 2, pp. 169~173, 1998.
- [4] 김영석 외 2인, "22.9(kV)이하 XLPE 전력케이블의 열충격 시험 및 절연과피 특성", 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비학회논문지 제22권 제4호, pp. 54~60, 2008. 4.
- [5] 한국피엘협회, "제조물책임(PL) 사고 예방을 위한 기술적 지원방안", 보고서, 2006.
- [6] IEEE Standard Test Procedures and Requirements for Alternating-Current Cable Terminations 2.5(kV) Through 765 kV, IEEE Std 48-1996(R2003).

## ◇ 저자소개 ◇

### 김상현 (金相賢)

1950년 2월 7일생. 1974년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 일본 오사카대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986~1989년 한국전기연구원 초전도연구실 실장. 1999~2001년 경상대학교 공과대학 학장. 2000~2002년 한국 초전도저온공학회 회장. 1989년~현재 경상대학교 공과대학 전기공학 및 공학연구원 교수.

### 최재형 (崔在亨)

1979년 6월 3일생. 2005년 경상대학교 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

### 최진옥 (崔眞郁)

1982년 12월 29일생. 2007년 경상대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

### 김영석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 경상대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2004년 야마구치 대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 연구원.

### 김선구 (金善球)

1961년 2월 25일생. 1985년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1991~2002년 한국전기안전공사 재직. 2002년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 그룹장(책임연구원).

### 백승명 (白承明)

1973년 3월 10일생. 1998년 경상대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2005년~현재 창원전문대학 소방방재과 전임강사.