

## 옥내용 비닐코드 및 고무코드의 화재확산특성 분석

(The Analysis of Fire Dispersion Characteristics of Vinyl and Rubber Cords Used Indoors)

최충석\* · 송길목 · 김동욱 · 김동우 · 김영석

(Chung-Seog Choi · Kil-Mok Shong · Dong-Ook Kim · Dong-Woo Kim · Young-Seok Kim)

### 요 약

일체형 코드에서는 접촉 불량, 기계적 충격 등의 부주의한 사용에 의해 전기화재가 자주발생하고 있다. 본 논문에서는 비닐코드 및 고무코드 등의 일체형 코드의 화재확산 패턴을 조사하기 위해 벽면모델을 모의하였다. 화재진행과 확산패턴은 고속카메라를 이용하여 측정하였다. 실험결과로부터, 일체형 코드의 화재패턴은 섬광, 비산 그리고 완전이탈 순으로 진행하였다. 외부화염에 의해 비닐코드가 고무코드보다 단락이 쉽게 발생하였다. 일체형 코드가 완전 이탈이 된 경우, 비닐코드는 착화에너지가 감소함에 따라 더 이상의 화재 진전은 이루어지지 않았지만, 고무코드는 연속적으로 화재가 진행되는 것을 알 수 있었다.

### Abstract

The electrical fire frequently happens through careless use such as poor contact, mechanical stress on power cord sets. In this paper, we simulated a wall-model in order to investigate the patterns of fire dispersion on power cord sets which consists of vinyl cord and rubber cord, etc. The fire progress and dispersive patterns were measured by a high speed imaging system(HG-100K, REDLAKE, USA). From the results, the fire pattern of power cord sets was progressed in order of flashover, scattering and disconnection. The short-circuit of the vinyl cords happened easier than the rubber cords by the external flame. In case vinyl cord is disconnected, the fire progress is not observed because the ignition energy decreases. Whereas, the fire progressed continuously in case of the rubber cord.

Key Words : Short-Circuit, External Flame, Vinyl Cord, Rubber Cord

### 1. 서 론

인간 활동의 편의성과 국민 생활수준의 향상으로

\* 주저자 : 전기안전연구원 전기재해연구그룹 그룹장  
Tel : 031-580-3033, Fax : 031-580-3045

E-mail : enetek@naver.com  
접수일자 : 2004년 10월 7일  
1차심사 : 2004년 10월 11일  
심사완료 : 2004년 10월 28일

다양한 전기기계기구의 보급으로 전기화재의 발생이 빈번해지고 있다. 2003년도 전기재해 통계자료에 따르면, 전기화재가 차지하고 있는 비율은 약 34[%] 정도였으며, 그 중에서 단락(합선)에 의한 것이 78[%] 를 차지하는 것으로 나타났다[1-3].

단락은 절연피복의 파손과 접촉 불량 등의 열 발생에 의한 1차적 요인과 외부 열에 의한 2차적 요인으로 구별할 수 있다. 흔히 가정에서 주로 사용하고

있는 일체형 코드는 부주의한 사용, 즉 콘센트와 코드의 접촉 불량, 인장 및 구부림, 외부화염 노출, 기계적 충격 등에 의해 단락되어 전기화재가 발생한다. 따라서 전기화재의 원인 분석을 위해서는 단락 원인 또는 화재에 의해서 2차적으로 발생한 것인지를 판단하는 것은 출화원인의 입증을 위한 중요한 요점이 되며, 원인분석과 예방대책이 필요한 실정이다[4-7].

일체형 코드는 300[V] 이하의 소형 전기기구에 사용되는 것으로 비닐코드(vinyl cord)와 고무코드(rubber cord)가 많이 사용되고 있다. 비닐코드는 성형성, 내수성, 내약품성 등이 우수하고 고무코드는 충격, 마찰, 굴곡 등의 기계적 내성이 높고 내수, 내열, 내산 등의 화학적 내성이 우수하여 널리 이용되고 있다. 이들 코드의 전기화재 모의실험은 벽면에 설치된 콘센트를 중심으로 재현하며, 모델을 통한 재현실험은 다양한 형태의 실험을 할 수 있어 화재 원인에 따른 결과를 축적함으로써 전기화재를 근본적으로 예방하는데 기여할 수 있다[8].

따라서 본 실험은 저압기기용 비닐코드 및 고무코드의 화재 원인분석을 위해 벽면 모델을 설정하고, 인위적으로 외부화염을 인가하여 전기화재로 이어지는 과정을 관찰하였다. 외부화염에 의한 일체형 코드의 단락 시, 화재 확산 패턴은 고속카메라 이미지 시스템을 이용하여 측정하였으며, 소손된 코드는 정밀기기를 이용하여 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 비닐코드 및 고무 코드는 220[V] 비접지형 0.75[mm]×2C, 1.25[mm]×2C, 2.0[mm]×2C 등 3종류의 비닐코드와 0.75[mm]×2C, 1.25[mm]×2C의 고무코드를 사용하였으며, 표 1에 재질의 특성을 나타낸다.

그림 1에서는 실험에 사용된 벽면 모델의 개략도를 나타낸 것이다. 벽면의 구성은 가로, 세로 각각 1800[mm], 1500[mm]의 크기로, 가로 600[mm], 세로 300[mm]의 베이크라이트를 각각 부착하여 구성하였다. 콘센트는 바닥면에서 30[cm] 높은 위치에 부착하였다. 제어부에서는 저압용 보호장치인 배선용차단기(MCCB) 및 누전차단기(RCD)와 커버나이프스위치

(CKS)를 순차적으로 설치하였으며, 화재 진전 및 단락현상은 고속카메라이미지(HG-100K, REDLAKE, USA)로 취득하였다.

벽면의 콘센트에 일체형 코드를 부착하고 단상 220[V], 60[Hz]의 전원을 인가하였으며, 토치로 일체형 코드에 인위적으로 화염을 가하였다. 화염을 가한 위치는 일체형 코드의 길이를 고려하여 콘센트에서 약 80[cm] 떨어진 부분에 화염을 가하였으며, 화염과 일체형 코드의 간격은 5[cm]로 하였다.

표 1. 비닐코드 및 고무코드 재질 특성  
Table 1. The material properties of vinyl and rubber cords

재료	비중	인장강도 ([kg/mm <sup>2</sup> ])	화학구조
비닐 코드	1.35- 1.45	3.6-6.5	$CH_2=CHC I$
고무 코드	1.4- 1.6	1.2-1.6	$CH_2=C \cdot CH_3-CH=CH_2$

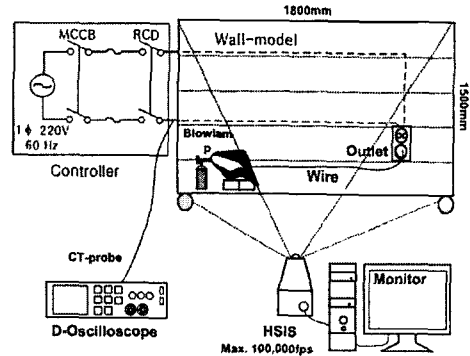


그림 1. 벽면 모델 구성  
Fig. 1. Wall-model set-up

이때 주위환경은 온도 15[°C], 습도 50[%]로 유지하였으며, 무부하 상태에서 실험하였다. 또한 일체형 코드의 분석은 실험현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany), 금속현미경(Epiphot Nikon, Japan), FT-IR(Spectrum GX, Perkin-Elmer, USA) 등을 이용하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

그림 2는 비닐코드(0.75[mm])가 외부화염에 의해

옥내용 비닐코드 및 고무코드의 화재확산특성 분석

단락되어 나타나는 화염패턴을 순차적으로 배열한 것이다.

그림 2(a)에서 비닐 코드에 화염을 가하게 되면, 비닐코드의 피복은 착화되며, 그림 2(b)와 같이 평균 20초 후에 단락에 의한 섬광이 발생하였다. 이후 그림 2(c)에서 연속적인 단락과 함께 코드 주변으로 비산되고 용단되는 과정으로 이어졌다. 비산방향은 토치방향과 로렌츠 힘에 의한 부하 축 방향으로 많이 비산되었다. 그림 2(d)와 같이 용단 된 후에는 전원 축 전원은 계속 공급되어 2~3차례 더 단락이 발생하지만, 난연성재료에 의해 화재진전은 이루어지지 않고 자연 소화되었다. 부하축은 피복소손과 도체의 용단으로 전원공급이 차단되고 난연성피복 재료에 의해 자연 소화되었다. 따라서 화재진전의 가능성은 단락 후 섬광이 나타난 시점에서 비산되는 용융망울에 의해 주변가연물로 확산될 때로 추정할 수 있다. 섬광의 크기는 일정하지 않았으나 직경이 약 500[mm]에서 600[mm]였으며, 비산된 용융망울은 단락되는 지점을 중심으로 반경 200[mm] 주변으로 흩어졌다.

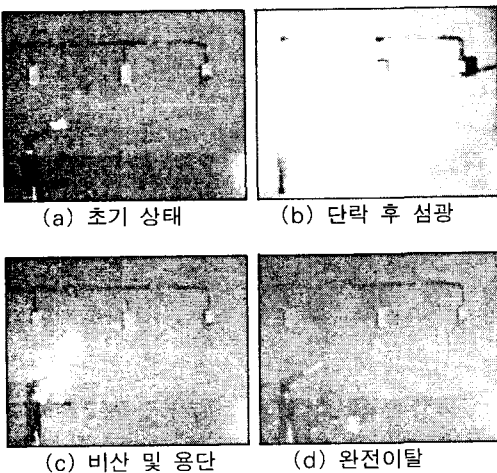


그림 2. 비닐코드(0.75[mm])의 화염패턴  
Fig. 2. The flame pattern of vinyl cord (0.75[mm])

그림 3은 고무코드(0.75[mm])의 화염패턴을 나타낸다. 고무코드의 경우도 그림 2의 비닐 코드와 동일하게 단락이 발생한 후, 섬광과 비산 그리고 용단되는 과정으로 진행하였다. 하지만, 그림 3(d)에서와 같이 용단 된 후에 불꽃은 자연 소화되지 않고 계속

진행되는 형태를 나타내었다. 이는 비닐 코드의 경우와 다른 것으로 고무코드의 경우는 단락 후 용단이 되었으나 화재가 계속 진전함에 따라 실제 아크에 의한 피해를 감소할 수 있는 조건은 충족시키지 못, 화재가 이미 발생한 곳에서는 화재를 지속적으로 유지하는 것을 알 수 있다.

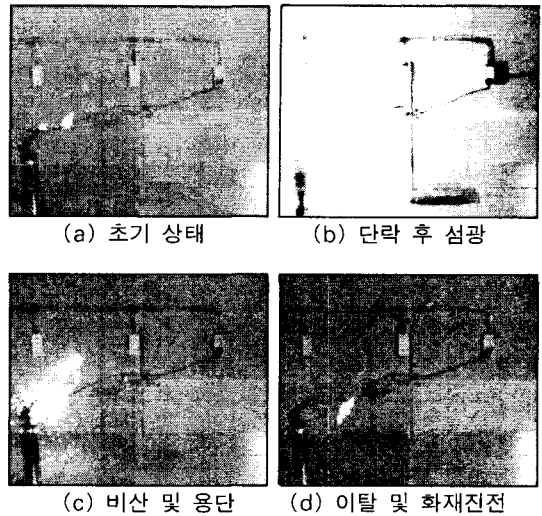


그림 3. 고무코드(0.75[mm])의 화염패턴  
Fig. 3. The flame pattern of rubber cord(0.75[mm])

그림 4는 다양한 굵기의 비닐코드 및 고무코드에 외부화염을 인가하여 단락이 발생할 때까지의 시간을 나타낸다. 여기서 직선은 코드 굵기에 대한 시간을 나타내고 점선은 각 코드의 직경에 대한 시간 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 착화 후 단락까지의 시간이 고무코드의 경우가 비닐코드 보다 많이 소요되는 것을 알 수 있다. 또한 비닐코드 및 고무코드 모두 코드가 굵어짐에 따라 시간은 늘어나는 것을 알 수 있다. 비닐코드 0.75[mm]의 경우 착화에서 단락까지 이어지는 시간은 약 20초 전후로 나타났으며, 1.25[mm]의 경우는 30초 전후, 2.0[mm]의 경우는 40초 전후에서 단락이 발생하였다. 고무코드 0.75[mm]는 착화에서 단락까지 이어지는 시간은 약 70초 전후로 나타났으며, 1.25[mm]의 경우는 110초 전후에서 단락이 발생하였다. 또한 코드 굵기에 따라 코드의 직경은 증가하기 때문에 단락까지의 시간이 증가하는 것을 알 수 있다.

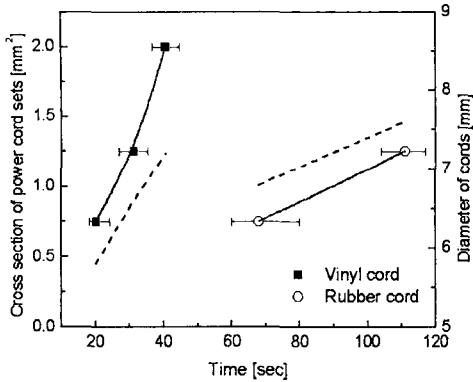


그림 4. 외부화염에 의한 일체형 코드의 굵기에 따른 단락 시간  
 Fig. 4. The short-circuit time of power cord sets by external flame according to the size of wire

고무코드와 비닐코드의 단락시간이 다른 것은 그림 5와 6에 나타난 외부화염의 인가시간에 따른 비닐코드 및 고무코드의 탄화사진을 비교해 보면 알 수 있다. 그림 5(a)는 10[sec] 동안 외부화염을 가하였을 때, 비닐 코드의 피복이 탄화된 것으로 표면에 탄화된 흔적이 나타나고 있지만, 그림 5(b)의 내부를 살펴보면, 내부 두 전선은 화염에 의한 영향이 전혀 보이지 않는 것을 알 수 있다. 그림 5(c)에 30[sec] 동안 외부화염을 가하였을 때는 탄화된 비닐코드의 직경은 줄어들고 그림 5(d)와 같이 내부의 두 전선은 거의 접촉하게 된다. 비닐 코드는 표 1의 화학구조에서 염화비닐의 부가중합체로서, 일반적으로 결정성이 낮고 C-Cl의 극성기를 함유하기 때문에 분자간 인력이 비교적 강하다. 따라서 외부화염을 가하게 되면 비닐코드는 녹게 되고 직경이 감소하여 내부의 두 전선이 서로 접촉하게 되어 단락으로 진행되는 것을 알 수 있다.

그림 6(a)은 20초 동안 외부화염을 가하였을 때, 고무코드의 피복이 탄화된 것으로 탄화된 표면에 크랙(crack)이 많은 것을 알 수 있으며, 그림 6(b)의 내부전선은 화염에 대한 영향이 거의 나타나지 않은 것을 알 수 있다. 그림 6(c)에 70초 동안 외부화염을 가하면 표면은 거의 탄화되어 떨어져 나가고 그림 6(d)와 같이 내부의 두 전선은 약간 부풀어 있는 것을 알 수 있다. 고무 코드의 화학구조를 보면, 이소프

렌의 중합체로서 분자간 인력이 약하고 결정성이 낮으며 분자간의 가교반응이 용이하다는 특징이 있다. 따라서 외부화염을 가하게 되면 고무 코드 표면은 탄화되지만 코드 속의 무기질 충전제에 의해 내부 전선으로의 열전달이 쉽지 않아 많은 시간이 소요되었으며, 중력에 따른 하중으로 단락이 발생하는 것으로 생각된다.

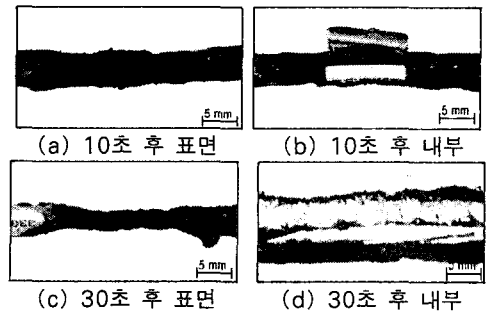


그림 5. 시간에 따른 비닐코드(0.75[mm])의 손상  
 Fig. 5. The damage of vinyl cords according to time

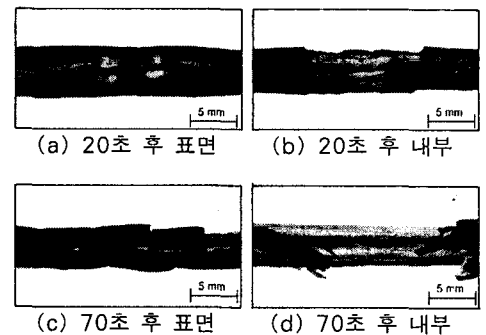


그림 6. 시간에 따른 고무코드(0.75[mm])의 손상  
 Fig. 6. The damage of rubber cords according to time

그림 7은 외부화염에 의해 단락 된 비닐 코드 (0.75[mm])를 실제 현미경으로 확대하여 분석한 것이다. 그림 7(a)는 전원 측으로 외부화염에 의해 수차례 단락이 발생하여 용융 망울은 두 전선에 각각 형성되었으며, 두전선 사이의 절연물은 완전히 탄화되고 V자 형의 틈이 생겼다. 이는 전원이 공급되고 있는 상태에 의한 것으로 단락 현상이 여러 번 발생했다는 것을 확인 할 수 있다. 반면에 그림 7(b)의 부하

## 육내용 비닐코드 및 고무코드의 외계확산특성 분석

측에서는 로렌츠 힘에 의한 비산에 의해 용융 망울은 크고 두 전선 사이의 절연물은 완전히 탄화되지 않은 형태를 나타내었다. 이는 용단 된 후, 부하 측의 전원공급은 차단되어 에너지의 공급은 더 이상 이루어지지 않기 때문에 두 전선 사이의 탄화물이 남아 있는 것으로 판단된다.

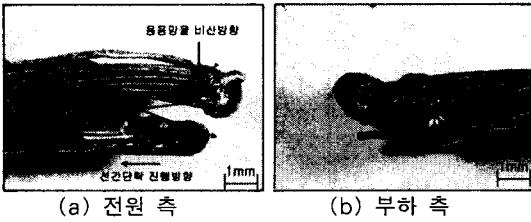


그림 7. 비닐코드 0.75[mm]의 실체현미경 사진  
Fig. 7. The stereoscopic picture of vinyl cord(0.75[mm])

그림 8은 용단된 비닐 코드의 금속 단면 사진을 나타낸다. 그림 8(a)와 (b)는 각각 전원 측 및 부하 측의 단면조직으로 외부화염에 의해 피복이 소실되고 단락 될 때 생성되는 여러 형태의 구멍(void)과 주상조직이 나타났다. 또한 외부화염에 의한 단락은 주위의 온도가 높아 냉각 속도가 느리기 때문에 구멍이 전체적으로 나타나 있다.

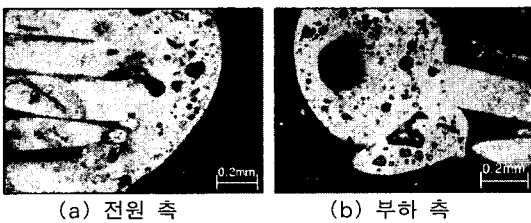


그림 8. 비닐코드(0.75[mm])의 금속단면 사진  
Fig. 8. The metallurgical picture of vinyl cord(0.75[mm])

그림 9는 적외선 분광기(FT-IR)로 분석한 비닐코드의 흡광피크를 나타낸다. 그림 9(a)는 정상상태를, (b)는 탄화된 흡광피크를 나타낸다. 정상상태에서의 흡광피크는 1720.3[cm<sup>-1</sup>], 1425.0[cm<sup>-1</sup>], 1273.2[cm<sup>-1</sup>], 874.9[cm<sup>-1</sup>]에서 흡광피크가 나타나는 것을 확인하였다. 그림 9(b)은 외부 화염에 의해 소손된 것으로

3367.9[cm<sup>-1</sup>]에서 나타난 흡광피크는 정상상태의 (a)에서는 나타나지 않았던 것으로 이는 유기질이 탄화되어 내부의 탄소가 공기 중에 있는 수분과 결합한 일반적인 흡광피크이다. 따라서 열에 의해 절연피복이 소손되었음을 확인할 수 있고, 그림 9(a)에서는 1720.3[cm<sup>-1</sup>]의 흡광피크가 나타나지만, 그림 9(b)에서는 그 흡광피크가 없는 것을 확인할 수 있다. 그러나 탄화물이 산소와 재결합한 것으로 추정되는 1637.8[cm<sup>-1</sup>]에서 흡광피크가 나타나는 것을 확인하였다. 이외에 1273.2[cm<sup>-1</sup>]에서의 흡광피크도 (b)에서는 나타나지 않았다.

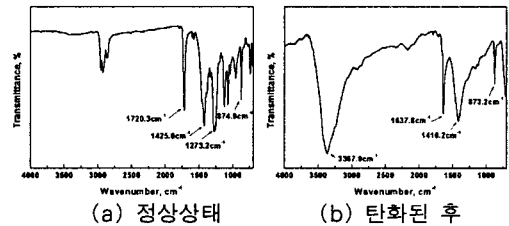


그림 9. 비닐 코드의 흡광피크  
Fig. 9. The absorption peak of vinyl cord

그림 10은 고무 코드의 흡광피크를 나타낸다. 고무코드에서는 정상상태와 탄화된 상태의 흡광피크 차이가 크게 나타나지 않았다. 정상상태에서는 벤젠 고리에서의 탄소와 탄소의 이중결합을 가진 흡광피크(1595.4[cm<sup>-1</sup>])가 나타나지만, 탄화 된 후에는 이 부분의 피크가 나타나지 않았다.

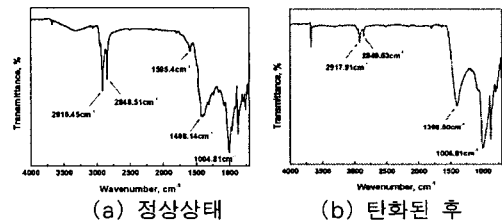


그림 10. 고무 코드의 흡광피크  
Fig. 10. The absorption peak of rubber cord

## 4. 결론

비닐코드 및 고무코드에서 외부화염에 의한 단락

이 발생했을 때의 화재특성을 분석하였다. 비닐코드 및 고무코드의 화염패턴은 단락, 섬락, 용융망울 비산, 그리고 용단의 순서로 진행되었다. 단락에 따른 용융망울은 로렌츠 힘에 의해 부하측으로 많이 비산되고 비산된 용융망울은 단락되는 지점을 중심으로 반경 200[mm] 주변으로 흩어졌다. 용단에 의한 완전 이탈이 되면, 비닐코드는 절연피복의 난연성으로 인해 자연소화 되었지만, 고무코드의 경우는 자연소화 되지 않고 화재가 계속 진전되는 것을 알 수 있었다.

외부화염에 의한 비닐코드 및 고무코드의 단락되는 시간은 전선의 굵기에 따라 선형관계가 있음을 확인하였으며, 고무코드는 무기질 충전제 및 화학적 구조에 의해 내부 전선으로의 열전달이 쉽지 않아 단락까지의 시간이 많이 소요됨을 알 수 있었다.

단락된 코드의 외형에서 전원측은 수 차례 단락에 의해 두 전선 사이의 절연물은 완전히 탄화되고 V자형의 틈이 생겼으며, 부하측은 로렌츠 힘에 의한 비산에 의해 용융 망울은 크게 형성되었다. 금속단면 조직에서는 2차 용흔의 형태인 여러 형태의 구멍과 주상조직이 나타났다. 이상의 결과는 전기화재의 원인분석 및 예방에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

### References

[1] 최충석, "전기화재공학", 동화기술, 2004.  
 [2] 한국전기안전공사, "전기재해 통계분석", pp.10~50, 2003.  
 [3] 東京消防庁豫防部調査課, "火災調査技術教本 第3巻 電氣火災" 東京消防指導協會, 1987.  
 [4] V. Babrauskas, "Fires due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing", Fire and Materials, pp.189-201, 2003.  
 [5] C. S. Choi et al, "The Scattering Patterns Analysis of Particles by Varying Short-Circuit Angles between Electric Wires", Fire Science and Technology, Proceeding of the sixth Asia-Oceania Symp., pp. 717-722, 2004.  
 [6] 최충석, 김항곤, 송길목, 김동욱, 김동우, "기계적 피로에 의한 전선 코드의 화재위험성", 한국산업안전학회 춘계 학술발표회 논문집, 366-371, 2003.  
 [7] Sheera knecht et al, "Fusing Current of Short Aluminum

Bond Wire", 1996 Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp.329-333, 1996.  
 [8] 송길목, 김항곤, 김동욱, 김동우, 김영석, 최충석, "벽면 모델링을 이용한 저압용 일체형 코드의 화재확산패턴", 한국조명·전기설비학회 2004춘계기술대회 논문집, pp. 330-332, 2004.

### ◆ 저자소개 ◆

#### 최충석 (崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 1997년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 그룹장.  
 Tel. (031) 580-3033  
 Fax. (031) 580-3045  
 e-mail : enetek@naver.com / ccseog@kesco.or.kr

#### 송길목 (宋信穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 과장.  
 Tel. (031) 580-3039  
 Fax. (031) 580-3045  
 e-mail : natasder@yahoo.co.kr / natasder@kesco.or.kr

#### 김동욱 (金桐郁)

1971년 1월 6일생. 1998년 2월 인천대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 대리.  
 Tel. (031) 580-3049  
 Fax. (031) 580-3045  
 e-mail : dokim@kesco.or.kr

#### 김동우 (金東佑)

1972년 3월 20일생. 1996년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 연구원.  
 Tel. 580-3036  
 Fax. (031) 580-3045  
 e-mail : kdwtk98@naver.com

#### 김영석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 연구원.  
 Tel. 580-3042  
 Fax. (031) 580-3045  
 e-mail : athens9@kesco.or.kr