Special Thema

전기화재 예방 및 메커니즘 기술 개발 동향

김향곤 책임연구원
(한국전기안전공사 전기안전연구원)
최충석 부원장
(한국전기안전공사 전기안전연구원)

1. 서 론

경제성장과 산업발달의 중추적인 역할을 담당해오고 있는 전기에너지는 우리의 생활을 보다 편리하게 해주고 다양한 해택을 주고 있다. 최근 국내 • 외 사회적 분위기가 안전과 환경에 대한 관심이 점차 높아지고 있으며 이에 따른 다양한 제도와 기술, 프로그램들이 개발되고 있다. 우리나라에서도 2002년 7월부터 제조물 책임법(PL)이 시행되고 있으며 보다 안전한 제품을 설계, 제조, 판매, 관리해야 하는 시대에 접어들었다. 그러나 이러한 설비나 제품의 향상과 더불어 안전을 위한 올바른 사용법과 유지 • 관리에 대한 사용자의 안전의식도 높아져야 하나 그렇지 못한 것이 현실이다. 해마다 전기사용량은 급증하고 있으며 전기로 인한 재해 또한 증가하고 있는 추세에 있다.

정보통신(IT)기술의 발달과 성장으로 이 분야가 새로운 블루오션(Blue Ocean)으로 떠오르고 있으며 IT기술이 접목된 다양한 제품들이 우리의 실생활에 적용되고 있다. 예전에는 불가능하게 여겨졌던 것들이 이제는 현실이 되었으며 전기분야에 있어서도 다양한 센서들을 이용한 데이터 취득과 취득된 데이터를 유무선 통신을 이용하여 송수신하고 이를 감시하고 제어하는 설비나 제품들이 하나 둘 선보이고 있다. 그러나 이러한 기존의 기술과 새로운 기술을 융합한 신기술의 적용으로 기존에 발생하였던 많은 문제들을 해결할 수는 없으며 적극적인 재해예방 대책 마련이 요구된다[1-3].

본 논문에서는 국내 • 외 화재의 발생 현황 및 연구 동향, 전기화재의 발생 메커니즘, 향후의 과제 등에 대하여 기술하였다.

2. 국내 • 외 화재 현황 및 연구 동향

2.1 국내 화재발생 현황 및 연구 동향

급격한 산업화와 경제성장에 따라 대용량 전기설비의 증가와 초고층 오피스텔, 주상복합 건물 등의 등장으로 해마다 전력수요는 큰 폭으로 증가하고 있으며 그에 따른 전기재해에 의한 피해도 해마다 증가하고 있는

실정이다. 화재통계에 의하면 2004년도에 발생한 화재는 총 32,737건으로 이중 차량, 선박, 항공기 등에서 발생한 전기화재를 포함한 총 전기화재는 10,450건으로 전체화재의 31.9 %를 차지하였으며 전기로 인한 화재로 사망 30명, 부상 329명의 인명피해와 39,209백만원의 재산피해를 입었다.

1995년부터 2004년까지 지난 10년간의 전기화재 발생 현황을 살펴보면 발생건수는 1995년의 9,307건에서 2004년에는 10,450건으로 약 1.3배가 증가하였으며 전기화재의 점유율은 1995년도 35.7 %에서 2004년에는 31.9 %로 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

2004년도에 국내에서 발생한 화재를 원인별로 분류하면 표1과 같이 전기에 의한 화재가 10,450건으로 31.9 %를 차지하였으며, 담배에 의한 화재가 3,585건으로 11.0 %, 방화에 의한 화재가 3,291건으로 10.1 %를 차지하였다. 그 다음으로 불티에 의한 화재(2,464건), 불장난에 의한 화재(1,385건), 아궁이(723건), 가스(698건), 유류(354건), 난로(328건), 성냥/양초(307건), 기타(9,152건)의 순으로 집계되었다.

2004년도에 발생한 전기화재를 발생원인별로 살펴보면 총 10,450건 중 합선(단락)에 의한 전기화재가 전체의 67.4 %인 7,048건이었으며, 과부하에 의한 전기화재가 924건으로 8.8 %, 누전에 의한 전기화재가 455건(4.4 %), 접촉부 과열에 의한 전기화재가 432건(4.1 %), 취급부주의 204건(2.0 %), 제품결함이 92건(0.9 %), 정전기가 54건(0.5 %), 기타가 1,241건(11.9 %)으로 나타났다. 사고설비별로 분석한 결과, 전기배선에서 3,096건(36.2 %), 가전기기에서 1,950건(22.8 %), 조명기구에서 1,181건(13.8 %), 전기장치에서 1,019건(11.9 %), 배선기구에서 706건(8.2 %), 수전설비에서 431건(5.0 %) 순으로 나타났다. 전기화재 발생원인 및 사고설비에서 알 수 있듯이 대부분이 단락에 의해 발생하고 있으며 전기배선에서의 화재가 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 전기재해 예방을 위하여 화재발생 메커니즘을 규명하고 이를 통한 예방대책의 수립이 요구된다.

국내 연구 동향을 살펴보면, 전기관련 연구기관과 소방, 경찰 등 화재조사와 감식 등을 담당하는 국가기관을 중심으로 이론과 현장을 접목한 실질적인 연구를 수행하고 있으며 그 밖에 대학, 학회, 협회 등에서는 학술적인 연구가 진행 중에 있으며 지속적이고 체계적인 연구와 지식 정보의 교류 및 축적이 요구된다. 일부 대기업에서는 자사 제품의 안전성과 신뢰성 확보를 위한 안전성 평가에 대한 연구가 진행되고 있다. 이외의 대학, 연구소 등에서는 건축물이나 재료에 있어서의 화재의 성상이나 연기의 거동, 화재진행 시뮬레이션 등에 대한 집중적인 연구가 이루어지고 있어 화재의 가장 높은 점유율을 차지하는 전기화재의 원인 분석과 예방을 위한 연구의 저변확대와 연구 인력의 양성 및 확보, 설비의 확충 등 연구의 활성화가 어느 때보다 절실히 요구된다 하겠다.

표 1. 화재 원인별 발생현황(2003년-2004년 비교).

원인 / 구분	전기	담배	방화	불장난	불티	유류	가스	난로	아궁이	성냥	양초	기타
2004	32,737	10,450	3,585	3,291	1,385	2,464	354	698	328	723	307	9,152
2003	31,372	10,670	3,316	3,219	1,274	2,061	358	981	395	572	266	8,260
증감률(%)	4.4	-2.1	8.1	2.2	8.7	19.6	-1.1	-28.8	-17.0	26.4	15.4	10.8

표 2. 전기화재 원인별 발생분포(2004년도).

원 인	계	합 선	과부하	누 전	접촉부	과 열	정전기	제품결함 부주의	기 타
발생건수	10,450	7,048	924	455	432	54	92	204	1,241
점유율(%)	100	67.4	8.8	4.4	4.1	0.5	0.9	2.0	11.9

2.2 외국의 화재발생 현황 및 연구 동향

일본의 경우, 소방청 자료에 의하면 지난 10년 동안 전기화재에 의한 화재가 전체화재의 10 %대를 차지하고 있으며 2003년도 총 화재 56,333건 중에서 전기화재가 6,790건으로 12.1 %를 나타냈다. 전기화재의 발생설비를 살펴보면 전기배선에서 2,282건(33.6 %)으로 가장 많이 발생하였으며, 이동식 전열기에서 1,318건(19.4 %), 전기기기에서 1,225건(18.0 %), 배선기구에서 1,004건(14.7 %) 순으로 발생하였다. 국내의 전기화재 발생설비와 같이 일본에서도 전기배선에서의 화재가 가장 많음을 알 수 있다.

영국의 경우, ODPM(the Office of the Deputy Prime Minister) 자료에 의하면 2003년도에 621,000건이 발생하였으며 이중 건축물 화재가 105,600건(17.0 %), 기타(야외, 자동차, 굴뚝화재 포함)화재가 515,400건(83.0 %)으로 나타났다. 건축물 화재 가운데 주거용 건물의 화재는 63,800건(60.4 %)이 발생하였으며, 이중 사상자가 발생한 화재는 49,998건으로 나타났다. 사상자가 발생한 주거용 건물의 실화화재 49,998건 중에서 전기설비에서 발생한 화재는 27,955건으로 55.9 %를 점유하였다.

미국의 경우, 2001년도 연방소방청(USFA) 자료에 의하면 주거용 건물의 화재가 396,502건이 발생하였으며 비주거용 건물에서 124,500건이 발생하여 건축물에서의 화재는 총 521,002건이 발생한 것으로 나타났다. 발화원별로 살펴보면 전기설비에서의 화재가 37,886건으로 7.3 %를 점유하였고, OA(사무기기) 및 가전기기에서의 화재가 33,381건으로 6.4 %를 나타내고 있으며 총 화재에서 전기기기에서의 화재가 3.7 %를 점유하고 있다.

대만의 경우, 행정원 주계처의 통계자료에 의하면, 2004년도 전체화재 6,611건 중 전기화재는 1,523건으로 23.0 %를 차지하였으며, 담배에 의한 화재가 895건으로 13.5 %, 방화에 의한 화재가 559건으로 8.5 %, 기계설비의 화재가 364건으로 5.5 %의 순으로 집계되었다.

외국의 화재에 대한 연구 동향을 살펴보면, 국내와 유사하게 전기 및 화재관련 연구기관과 소방, 경찰, 학회, 협회를 중심으로 활발하게 연구가 진행되고 있으며 미국의 경우, NFPA, NIST, FEMA, CPSC, NAFI, IAAI 등을 중심으로 전기화재의 발생 경과 및 화재발생 메커니즘, 화재조사 및 분석기법, 화재 시뮬레이션 등에 대하여 폭 넓은 연구가 진행되고 있다. 특히, NIST의 경우 화재와 관련된 다양한 연구실을 운영하고 있으며 화재모델링과 관련된 시뮬레이션 프로그램을 무료로 배포하여 범세계적인 화재 연구의 활성화에 기여하고 있다.

일본의 경우, 경찰청(NPA), 과학경찰연구소(NRIPS), 소방청(FDMA), 동경소방청의 소방과학연구실, 산업안전연구소(ANKEN), 소방연구소(FRI), 소방과학종합센터 등 정부와 민간이 적극적인 연구활동을 하고 있으며 연구결과들은 학술회의 또는 보고서의 형태로 발간되고 있으며 화재 예방과 원인분석에 직접 적용할 수 있도록 하고 있으며 실험과 분석결과 나타난 문제점들은 바로 현장에 적용되어 연구의 활용도를 높이고 있다.

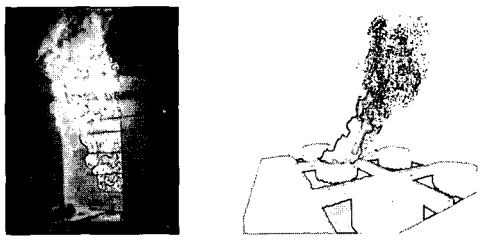


그림 1. NIST(미국)에서 수행하고 있는 화재 연구 및 화재 시뮬레이션.

3. 전기화재 발생 메커니즘 기술 동향

전기는 우리의 일상생활에 있어 없어서는 안 될 중요한 에너지원인 동시에 국가 산업발전의 원동력으로 작용하고 있다. 국가 경제가 성장과 더불어 우리의 일상생활을 편리하게 해주는 다양한 전기제품 및 설비가 보급됨에 따라 해마다 전기사용량은 급증하고 있다. 우리에게 유익한 전기는 사용자의 과실, 설비 불량, 노후, 제품 결함 등 다양한 원인에 의해 감전사고, 화재사고, 설비사고를 일으키는 주요인으로 작용하고 있으며 통계에서도 알 수 있듯이 우리나라의 화재 발생원인중 전기에 의한 화재가 매년 30 %이상을 점유하고 있어 이에 대한 국가의 정책적

인 지원과 국민적 관심이 필요하다 하겠다. 전기화재는 화재분류상 C급화재로 분류되며 전류가 흐르는 동안에는 항상 발열이 일어나며 발열과 방열의 균형이 무너지거나 아크나 스파크 등 전기적 현상에 의해 주위의 가연성 물질이나 가스에 착화하여 화재를 일으키게 된다.

전기화재의 발생경과를 살펴보면 설계 및 구조 불량, 취급 불량, 공사 불량, 경년 열화 등을 들 수 있으며 출화 형태를 살펴보면 전기배선 또는 전기기기로부터의 출화, 누전에 의한 출화, 정전기 불꽃에 의한 출화 등을 들 수 있다. 전기화재의 발생원인을 살펴보면 단락(합선)에 의한 화재, 과부하(과전류)에 의한 화재, 누전에 의한 화재, 반단선에 의한 화재, 절연열화에 의한 화재, 접촉 불량에 의한 아산화동 증식발열 및 이상발열에 의한 화재, 방전에 의한 화재, 정전기 불꽃에 의한 화재, 은 이동에 의한 화재 등으로 분류할 수 있으며 이러한 화재 발생원인별 발화 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다[4-9].

3.1 단락(短絡 : 합선)에 의한 화재발생 메커니즘

전선에서의 단락에 의한 발화 메커니즘을 살펴보면 제품의 결함, 시공 불량에 의한 피복 손상, 외부의 충격에 의한 절연피복의 손상으로 도체가 노출되거나, 나전선이 다른 도체와 접촉하거나, 피복이 외부의 열에 의해 열화되어 내부의 도체가 노출되어 서로 접촉하는 경우 등을 들 수 있으며 이러한 접촉의 경우 저항이 거의 없는 상태에서 단락(합선)이 일어나게 된다. 단락되는 순간의 전류는 전원 측의 임피던스, 배선의 조건에 따라 다르게 나타나며 일반적으로 저압 옥내배선인 경우 보통 수백 ~ 수천A의 단락전류가 발생하고 단락과 동시에 단락 부위에는 높은 열과 스파크에 의해 용융흔이 형성하며 주위에 가연물이나 인화성, 폭발성 가스 등이 존재할 경우 화재로 이어지게 된다. 국내의 화재통계 분석에서도 알 수 있듯이 전기배선에서 가장 많은 화재가 발생하고 있으며 화재 발생원인도 단락에 의한 화재가 주를 이루고 있어 이러한 전기배선, 배선기구, 전기기기, 전기설비 등에서의 단락화재 발생 메커니즘을 규명하여 화재를 예방함으로써 전기화재의 점유율을 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그림2는 정상부하를 사용하고 있을 때 외부의 기계적 충격으로 내부 도체가 서로 접촉하여 단락사고가 발생하는 실험장면을 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있듯이 단락 순간 섬광과 함께 용융 망울들이 비산하는 것을 볼 수 있다. 단락에 의한 화재를 예방하기 위해서는 노출 충전부는 절연 처리하여야 하며, 작업이나 공사시 피복이 손상되지 않도록 주의하여야 한다. 또한, 비전문가의 무분별한 작업은 금해야 한다.

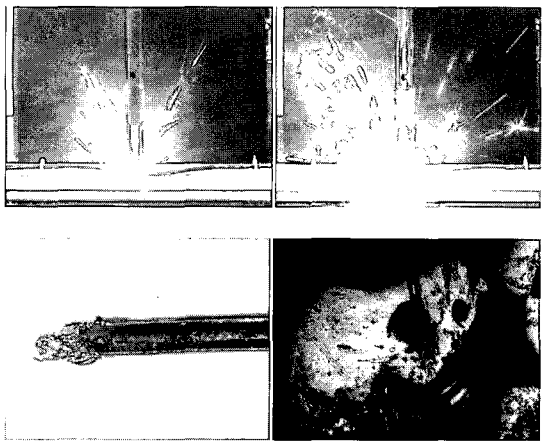


그림 2. 단락에 의한 화재 발생 메커니즘 및 분석.

3.2 과전류에 의한 화재발생 메커니즘

과전류에 의한 발화 메커니즘을 살펴보면, 전선에 전류가 흐르면 줄(Joule)의 법칙에 의하여 줄열이 발생하며, 발생한 열과 방출되는 열의 균형이 깨지면 절연재료의 최고허용온도를 초과하게 되어 절연피복이 급속도로 열화하게 되고 절연 피복이 용융, 탄화하여 도체로부터 분리, 탈락하게 된다. 보다 높은 전류가 흐르게 되면 전선 도체는 적색에서 황색으로 발열하고 좀더 큰 전류가 흐르게 되면 백색으로 발열하면서 용단하게 된다. 과전류에 의해 발열하고 있는 전선이나 전선 용단시 비산되는 용융흔에 의해 주위의 가연성 가스나 가연물에 착화하여 화재로 이어지게 된다. 그림3에서 볼 수 있듯이 전선 피복의 경우 과전류에 의한 줄열로 도체와 맞닿은 피복 내부에서부터 열화가 시작되며 시간이 경과함에 따라 피복 내부에서 외부로 열화가 진행된다. 대부분의 절연전선은 비닐계통의 절연재료를 사용하고

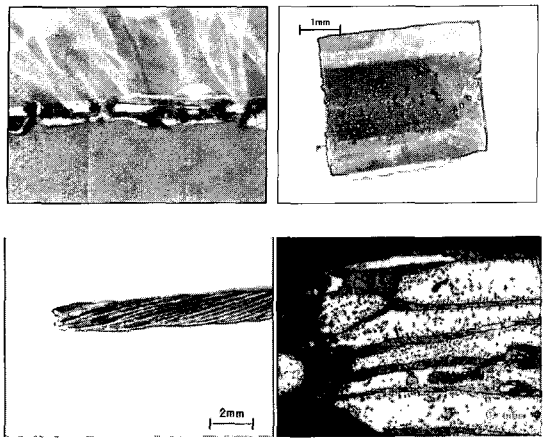
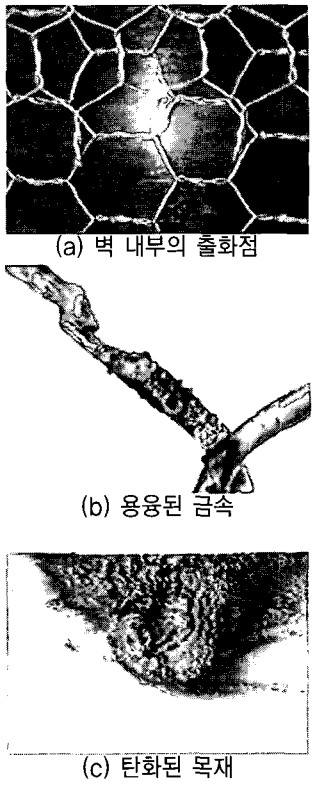


그림 3. 과전류에 의한 화재 발생 메커니즘 및 분석.



(a) 벽 내부의 출화점

(b) 용융된 금속

(c) 탄화된 목재

그림 4. 누전에 의한 화재발생 메커니즘.

있으며 피복이 열화하면서 다량의 유독성 가스를 방출하여 인명피해를 가중시킨다. 도체의 경우 과전류에 의해 용단될 때에는 수지상 조직을 형성하여 전기화재의 판정에 유용한 근거를 제시해 준다. 과전류에 의한 화재를 예방하기 위해서는 적정용량의 전선을 사용하여야 하며, 발생한 열이 쉽게 방열될 수 있도록 하여야 한다.

3.3 누전에 의한 화재발생 메커니즘

누전이란 전류의 통로로 설계된 이외의 곳으로 전류가 흐르는 현상을 말하며, 전류가 통로로 설계된 부분으로부터 흘러나와 건물 및 부대설비 또는 공작물의 일부 중 특정한 부분으로 장시간 흐르게 되면 누전경로를 따라 특정부분의 탄화가 촉진되고 이로 인하여 발생되는 화재를 누전화재라고 한다. 일반적으로 착화에 이르는 누설전류의 최소값을 300~500 mA로 보고 있으며 누전화재의 입증을 위해서는 전류의 유출점(누전점), 발화장소인 발화점, 확실한 접지의 존재 및 접지저항치가 있는 접지점 등 세 가지 요인이 입증되어야 한다. 출화점에 흐르는 전류는 건물 내 누전경로의 각 접촉개소의 접촉저항, 누설전류가 흐르는 각 재질의 고유저항, 그 위에 건물 및 접지선의 접지저항 값에 좌우된다. 누전전류가 집중되는 곳이 출화점이 되지만 이 부분의 줄열이 직접 발화로 이어지는 경우와 근접 목재를 도전화하여 이것을 흐르는 전류에 의해서 발화하는 경우도 있다. 그림4는 누전에 의한 화재발생 메커니즘으로 누전화재가 발생한 벽 내부의 출화형태를 보여주고 있다. (a)는 벽 내부에 삽입된 금속망에 전류가 집중되어 출화된 사진이며, (b)는 금속망이 용융된 사진이며, (c)는 금속망의 불꽃에 의해 탄화된 목재의 탄화 패턴을 나타낸 사진이다.

3.4 반단선에 의한 화재발생 메커니즘

전기에너지의 전송수단으로 주로 전선이 사용된다. 이들 전선의 반단선에 의한 발화 메커니즘을 살펴보면, 연선의 경우 잦은 구부림과 반복적인 기계적 피로에 의해 전선 내부 소선의 일부가 끊어지게 되고 시간이 경과할수록 소선의 단선율은 점차 증가하게 된다. 또한, 단선된 소선들이 서로 접촉을 반복함으로써 아크가 발생하고 이때 발생한 열과 아크에 의해 주위의 정상 소선을 용융시키고 피복을 탄화시

키게 된다. 이러한 전선 도체 내부의 소선이 끊어지는 현상을 반단선이라고 하며 이러한 특징은 모발건조기, 전기청소기, 선풍기 등에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 이렇게 단선된 부분은 스위치와 같은 역할을 하게 되어 국부적인 발열을 일으키게 되며 피복 내부에서 접촉에 의해 발생한 아크가 외부로 분출하여 화재로 이어지게 된다. 그림5는 반복적인 구부림에 의한 화재 발생 메커니즘을 나타낸 것으로 단선된 소선의 접촉시 발생한 높은 열과 아크에 의해 피복이 탄화되어 발화하고 있으며, 전선에는 그림과 같이 소손된 흔적을 발견할 수 있다. 대부분의 전원선에서 반단선이 발생한 경우 어느 정도의 시간이 경과하기 전까지는 육안으로 확인하는 것은 어려우며 X선 투과 분석장비 등을 이용하여 내부 도체의 상태를 분석함으로써 내부 결함을 확인할 수 있다. 전선 도체의 반단선 현상을 확인하는 다른 방법으로는 도통시험을 통하여 확인하는 방법과 전원을 인가한 상태에서 국부적인 발열이 발생하는 지점을 찾는 방법 등이 있다. 반단선에 의한 화재를 예방하기 위해서는 전선에 기계적 충격이나 구부림, 당김과 감기 등 기계적 스트레스가 가해지지 않도록 하는 것이 중요하다.

3.5 절연 열화에 의한 화재발생 메커니즘

절연재료의 절연열화에 의한 발화 메커니즘을 살펴보면, 전압이 인가된 이극 도체사이의 고체 절연재료 표면에 수분을 함유한 먼지 등 전해질, 염분, 전해질을 함유한 액체의 증기 또는 금속가루 등이 부착하면 이극 도체사이의 수분이 증발하면서 건조대(Dry Band)를 형성한다. 이러한 작용을 반복하게 되면 절연물은 점차 열화하여 이극 도체 사이의 절연물에서 미소 발광방전(Scintillation)이 발생하고 절연재료는 점차 절연성능을 잃고 도전성의 통전경로를 형성하게 되는데 이 현상을 트래킹 현상이라 한다. 또한, 목재가 보통 화염을 받아 탄화된 경우에는 무정형탄소가 되어 전기를 통과시키지 않지만 스파크 등에 의한 고열을 받은 경우 또는 산소 결핍상태에서 화염만을 받은 경우에는 도전성을 나타낸다. 이와 같은 현상은 목재 외에 고무 등의 유기 절열물에도 나타나며 이를 흑연화(그래파이트화) 현상이라 한다. 트래킹 현상과 흑연화 현상은 발생의 시작은 다르지만 표면의 방전에 의해 유기 절연물 중의 탄소가 도전성을 갖는 점에서는 같으며 절연물의 절연파괴 여부를 확인하는 방법은 탄화물의 저항을 측정하여 통전의 유무와 저항값으로 확인할 수 있다. 그림6은 염수에 의한 페놀수지 절연재료의 절연파괴 진행과정을 나타낸 것이다. 상부 전극과 하부 전극사이에 염수를 떨어뜨리면 염수가 증발하면서 건조대가 형성되며 이러한 과정을 반복하면서 점차 절

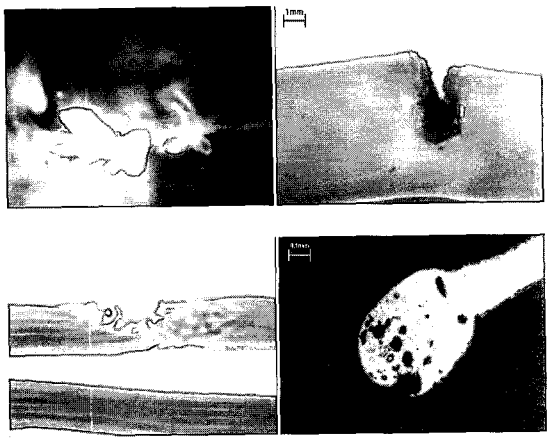


그림 5. 반단선에 의한 화재 발생 메커니즘 및 분석.

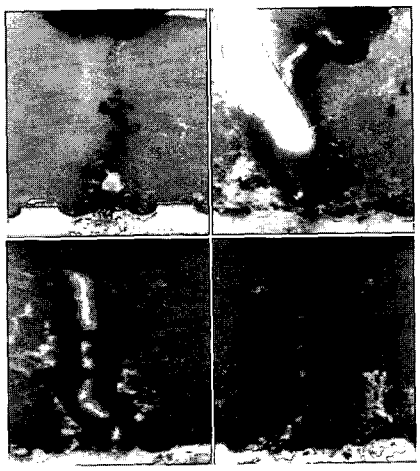


그림 6. 절연재료의 절연파괴에 의한 화재 발생 메커니즘.

연재료의 표면에서 미소 발광방전이 일어나게 되고 절연재료로서의 기능을 상실하여 결국 전류의 통로가 형성되어 극간방전에 의한 화재가 발생하게 된다. 이러한 절연재료의 절연열화에 의한 화재를 예방하기 위해서는 전기기계기구가 설치되는 장소에 따라 이물질이 극간에 부착되지 않는 구조로 하거나 보호 덮개 등을 사용하는 것이 좋다. 또한, 케이블의 경우 케이블 피복 내부의 보이드에 의해서도 트래킹(수트리 등)이 진전되는 경우가 있어 정밀 진단 등을 통해 사전에 미리 사고를 예방할 필요가 있다.

3.6 접속불량에 의한 아산화동증식발열현상 및 화재발생 메커니즘

전선과 전선, 전선과 접속단자 또는 접촉편 등의 도체에서 전기적인 접촉 상태가 불완전할 때 접촉저항에 의한 발열에 의하여 화재가 발생할 수 있다. 이러한 발열은 국부적이만 그 부분은 시간의 경과에 따라 접촉부의 변형으로 접속 부위가 거칠어져 저항이 증가하게 되어 접촉부위에서 발열이 지속된다. 이때 접촉면의 산화는 물론 주변 절연체의 열적 열화를 촉진하게 되고 부하상태에 따라 접속부의 발열이 증가되어 화재로 이어진다. 동(Copper) 또는 동합금(Copper Alloy)의 접속부분에 접촉 불량이 발생할 때 접촉되고 있는 부분의 동이 산화, 발열하여 주위의 동을 산화시켜 가는 현상을 아산화동증식 발열현상이라 한다. 아산화동의 온도-저항특성을 살펴보면, 상온에서는 수십 ㏀의 전기저항을 갖고 있으나 온도가 상승함에 따라 저항이 낮아지는 부온도특성(NTC)을 가지고 있어 동의 용융온도 부근인 1,050 ℃에서 약 3 Ω 정도로 가장 낮은 저항을 갖으며 더욱 온도가 상승하게 되면 저항이 약간 증가하는 특성을 보인다. 아산화동은 전기적으로 P형 반도체의 특성을 갖고 있으며 육안상으로 유리질의 적색 결정을 보인다.

전선 접속부에서의 아산화동 증식에 의한 화재발생 메커니즘을 살펴보면, 접촉면의 진동에 의해 접촉면에서청백색의 불꽃이 발생하며 접촉면에서의 진동이 계속됨에 따라 황색의 불꽃이 나타난다. 진동을 중지하여도 황색의 불꽃은 계속되며 성장하여 산화동의 층인 적열부를 형성한다. 그림7은 동선 접속부에서의 산화물 성장과정과 아산화동이 성장하

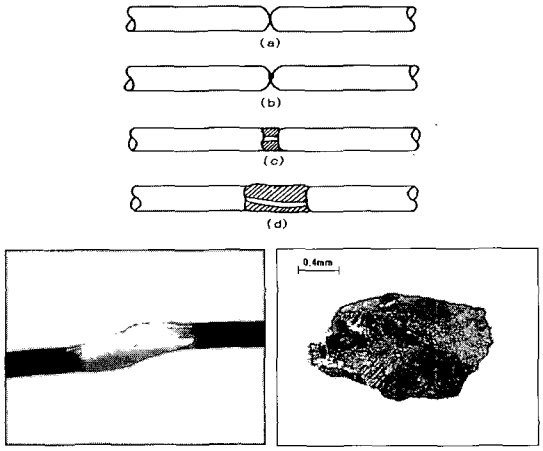


그림 7. 접촉 불량에 의한 아산화동증식현상 및 화재발생 메커니즘.

고 있는 모습, 그리고 성장한 산화동의 단면을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 적열부(Hot Zone)를 형성하면서 성장하고 있음을 알 수 있으며 아산화동의 성장은 도체의 재질, 지름, 통전전류 등과 상관관계가 있는 것으로 밝혀지고 있으며 성장한 산화동의 표면은 CuO(산화제2구리)로 흑색을 띄며, 내부는 Cu_2O(아산화동, 산화제일구리)로 적색의 유리질 결정을 나타낸다. 접촉 불량에 의한 아산화동은 접촉면을 중심으로 좌우로 성장하는 특성을 보인다.

3.7 방전에 의한 화재발생 메커니즘

공기 중의 2개의 전극간에 전압을 인가하면 극간방전이 발생하게 된다. 기체는 보통 절연체이지만 전자와 이온이 존재하며 이것이 전계에 의해서 이동하여 전류가 흐르게 된다. 전압이 낮을 때 이 전류를 암류(Dark Current)라고 하며 전극간의 전압을 올리면 전류도 점점 증가하지만 전압이 어느 값 이상이 되면 전류가 일정하게 되는 영역이 존재하게 된다. 전압을 더 공급하면 다시 전류가 흐르기 시작하며 더욱 높은 전압을 인가하면 전류가 비약적으로 증가하여 격렬한 소리와 함께 방전이 일어난다. 이것을 불꽃방전이라고 하며 불꽃방전의 발생에 필요한 전압을 불꽃전압이라 한다. 송전선과 같은 평행 원통도체에 있어서 기압 및 온도 등의 변화에 의해 방전

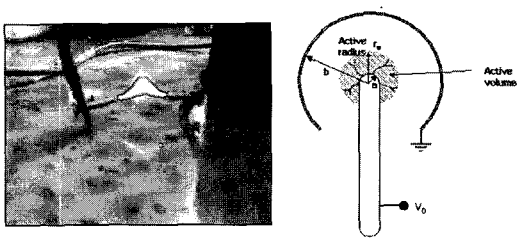


그림 8. 아크에 의한 불꽃 방전 및 코로나 방전의 기본 구조.

조건이 조절되면 코로나를 발생하여 코로나손이 생긴다. 더욱 전압을 올리면 불꽃방전이 되어'아크방전으로 된다. 네온관과 같이 고압배선의 충전부가 노출되어 있는 경우에는 그 부분으로부터 가까운 부근의 접지도체로 이어지는 방전이 발생하기 쉬우며 이때 전류가 흐르는 부분(젖은 목재 등)은 탄화되어 도전로를 형성하게 된다. 그림8은 아크 방전이 진행되는 모습과 코로나 방전의 기본 구조를 나타낸 것이다.

3.8 정전기에 의한 화재발생 메커니즘

정전기 대전의 종별은 발생 형태에 따라 접촉대전, 침강대전, 분출대전, 파쇄대전, 유동대전 등으로 분류되며 정전기 대전은 전하가 발생되는 과정과 발생한 전하가 누설되는 과정의 양자가 합쳐진 경과로 나타난다. 정전기에 의한 화재는 정전기 스파크에 의하여 가연성 가스 및 증기, 먼지 등에 인화되어 발생되고 있으며 다른 전기화재와는 다르게 스파크 흔등 물적 증거를 거의 남기지 않는다. 정전기 화재가 발생하기 위해서는 정전기의 대전, 연소범위농도에 해당하는 가연성 기체, 먼지의 체류 및 이들 가연성 물질의 최소발화에너지 이상의 에너지를 갖는 방전 불꽃의 발생 등 3요소가 갖추어지는 것이 필요하다. 표3은 가연성 증기 • 가스에 따른 최소착화에너지(MIE ; Minimum Ignition Energy)를 나타낸다. 대부분의 물질들이 1 mJ 이하에서 착화됨을 알 수 있다.

3.9 은 이동(Silver Migration)에 의한 화재발생 메커니즘

은 이동(Silver Migration)이란 직류 전압이 인가된 은(도금 포함)의 이극 도체간에 절연물이 있을 때 그 절연물 표면에 수분이 부착하여 은의 양이온이

표 3. 가연성 혼합기체의 최소착화에너지(MIE).

가연성 증기 • 가스명	MIE[mJ]	가연성 증기 • 가스명	MIE[mJ]
메 탄	0.47	메틸 • 에틸 • 케톤	0.68
에 탄	0.286	아세톤	1.15
프로판	0.305	초산메틸	0.40
아세틸렌	0.02	초산에틸	1.42
에틸렌	0.096	초산비닐	0.70
프로필렌	0.282	벤 젠	0.55
메탄올	0.215	산화에틸렌	0.087
아세트 • 알데히드	0.376	이황화탄소	0.015
디메틸에테르	0.33	수 소	0.02
디에틸에테르	0.49	황화수소	0.068
과산화디부틸	0.41	암모니아	1,000

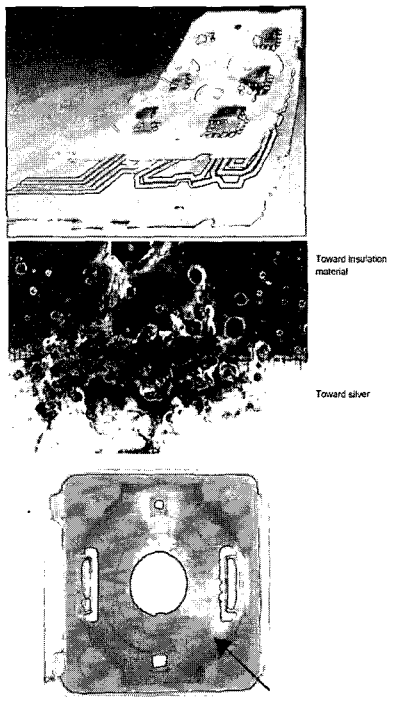


그림 9. Conductive Polymer Thick Film에서의 은 이동(Silver Migration) 현상.

절연물 표면을 통하여 음극측으로 이동하여 그곳에 전류가 흘러 발열하는 현상으로 전극을 포함한 전류경로는 고온으로 되기 때문에 트래킹과 같이 용융되기도 하고 반도체가 파손되기도 하는 것으로 알려져 있다. 그림9는 고분자 필름 등에서의 은 이동사례를 나타낸 것으로 은 이동을 비롯한 금속 이동(Metal Migration)을 방지하기 위한 노력이 진행되고 있다.

이상과 같이 전기화재의 발생원인에 대하여 화재발생 메커니즘에 대하여 간략하게 소개하였다. 과학기술의 발달로 점점 다양하고 복합적인 원인에 의해서 화재가 발생하고 있으며 정확한 화재원인의 규명과 예방을 위하여 체계적이고 지속적인 연구가 필요하다 하겠다.

4. 향후의 과제

과학기술의 발달과 정보통신(IT)기술의 급성장으로 다양한 센싱기술과 유•무선 통신기술을 이용한 데이터 및 제어신호의 전송으로 언제 어디서나 설비나 제품의 상태를 감시, 제어할 수 있는 시대가 머지않아 현실로 다가올 것으로 전망된다. 이를 통하여 인류의 문화는 또 한번의 전성기를 누릴 것으로 예상되며 관련기술의 획기적인 성장과 발전이 기대된다. 우리나라에서도 U-korea, IT839 등을 통하여 국가 전략적으로 미래성장동력산업을 선정하여 적극적인 지원과 육성을 하고 있으며 양적인 성장과 더불어 질적 성장을 통한 지식기반사회 건설이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 전기분야에 있어서도 전력IT분야가 새로운 블루오션으로 부각되고 있으며 새로운 기술과 기존의 기술을 조화롭게 접목하는 기술을 개발하여야 할 것이며, 유비쿼터스 기능을 갖춘 지능형 홈 네트워크 시스템, U-city 등의 구축이나 전력설비와 IT기술을 접목한 고부가가치 제품의 개발과 더불어 한층 더 높은 신뢰성과 안전성을 확보한 전기안전 장치의 개발, 이을 뒷받침 해주는 제도적 장치의 보완 등에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

참고 문헌

[1] 송인회, "전기재해 통계분석", 한국전기안전공사, p.7, 2005.
[2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, p.216, 2004.
[3] John D.Dehaan, "Kirk' s fire investigation", Prentice Hall, p.305, 2001.
[4] Choi Chung-Seog, Kim Hyang-Kon, Kim Dong-Ook, "A Study on the Growing Properties of the Cu2O According to the Change of Load", Journal of the KIIS, Vol.16, No.5, p.46, 2001.
[5] 科學警察研究所, "電氣的接續部における酸化物の生成と發光發熱現象", 科學警察研究所報告法科學編, Vol.49, No.1?2, p.31, 1996.
[6] 科學警察研究所, "銅線の接續部における電氣的赤熱 現象",科學警察研究所報告法科學編, Vol.41, No.3, p.30, 1988.
[7] IEC Publ. 112, "Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd Ed., 1971.
[8] S. Kumagai, N. Yoshimura, "Impact of Thermal Aging and Water Absorption on the Surface Electrical and Chemical Properties of Cycloaliphatic Epoxy Resin", IEEE Trans. DEI Vol.7, No.3, p.424, 2000.
[9] 製品評價技術センター北關東支所' "電線の熔融痕に關する一考察", 日本火災學會論文集, Vol.48 No.1, p.34, 1998.

저|자|약|력

성 명 : 김향곤

◈ 학 력
· 1996년 조선대 전기공학과 공학사
· 2000년 조선대 대학원 전기공학과 공학석사

◈ 경 력
· 1996년 – 2000년 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원
· 2002년 – 2003년 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
· 2004년 – 현 재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원

성 명 : 최충석

◈ 학 력
· 1991년 인하대 전기공학과 공학사
· 1993년 인하대 대학원 전기공학과 공학석사
· 1996년 인하대 대학원 전기공학과 공학박사

◈ 경 력
· 1993년 – 1993년 일본 나고야대학 초청연구원
· 1994년 – 1995년 일본 구마모도대학 객원연구원
· 1996년 – 1997년 인하대 산업과학기술연구소 선임연구원
· 1997년 – 현 재 한국전기안전공사 전기안전연구원 부원장