

케이블화재의 원인분석 및
제도개선에 관한 연구

연세대학교 공학대학원
전기공학 전공
오 수 언

케이블화재의 원인분석 및
제도개선에 관한 연구

지도교수 황 금 찬

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2004년 6월 일

연세대학교 공학대학원

전기공학 전공

오 수 언

오수언의 석사학위 논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 공학대학원

2004년 6월 일

감사의 글

지금까지 오랜 시간동안 많은 가르침과 사랑으로 저를 지도해 주신 지도 교수님이신 황금찬 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 또한 부족한 제 논문에 많은 관심을 갖고 심사해 주신 박상희 교수님과 박창엽 교수님께 진심으로 감사드리며, 아울러 지금까지 저에게 많은 가르침을 주신 전기과 교수님들에게 깊은 감사를 드립니다.

끝없는 사랑과 보살핌으로 저를 지금까지 길러주신 부모님, 항상 격려를 아끼지 않은 형님들에게도 감사드리며, 또한 출산을 앞두고 무거운 몸으로 제가 공부하는 데 많은 격려를 아끼지 않았던 아내에게 고마움을 전하고 이 작은 기쁨을 함께 하고자 합니다.

차 례

표 차 례	iii
사진차 례	iv
국문요약	v
제1장 서론	1
제2장 케이블화재의 유형 및 특성	3
2.1 케이블화재의 분류	3
2.2 케이블의 연소특성	7
2.3 케이블의 배선상태와 연소성	10
2.4 케이블 연소시 발생가스	11
2.5. 케이블 화재로 인한 재해발생 요인	12
제3장 케이블화재의 원인 분석	13
3.1 단락(합선)에 의한 발화	13
3.2 누전에 의한 발화	18
3.3 과전류에 의한 발화	22
3.4 기타의 원인에 의한 발화	26
제4장 케이블화재의 사례 분석	32
4.1 케이블의 설치현황	32
4.2 케이블화재에 의한 사회적 영향	34

4.3 국내·외 케이블화재의 사례	36
제5장 케이블화재의 방재 대책	44
5.1 케이블의 난연화	46
5.2 관련법규의 준수 및 관리 대책	48
5.3 소방법규의 개선점	56
제6장 결 론	59
참 고 문 헌	61
ABSTRACT	63

표 차 례

표 2.1 국내외 소방법상 화재 분류	3
표 2.2 원인별 화재 분류표	7
표 2.3 케이블 재료별 특성	8
표 2.4 케이블의 종류와 연소성	9
표 2.5 케이블의 절연·피복재료의 연소 특성	10
표 2.6 케이블의 배선상태와 연소성	10
표 2.7 케이블 연소시 발생가스	11
표 2.8. 케이블 화재로 인한 재해발생 요인	12
표 3.1. 단락과 외부 화염에 의한 단락의 비교	15
표 3.2 누전검출방식에 의한 누전차단기의 비교	21
표 3.3 누전차단기 트립기구 동작방법에 의한 비교	22
표 3.4 절연물의 최고허용온도가 60도의 캡타이어 케이블 허용전류	24
표 3.5 전류감소계수	25
표 3.6 절연전선과 과전류 비교	25
표 3.7 탄화현상의 정의	30
표 5.1 케이블의 방재 대책	44
표 5.2 케이블 화재 확대 방지대책의 세부적인 사항	45
표 5.3 방화차단재의 종류와 비교표	53

사진 차례

사진 3.1 코드에 나타나 있는 단락흔(합선흔)	16
사진 3.2 코드 연결부분에서의 불완전 접촉으로 발열된 흔적	16
사진 3.3 단락흔의 여러형태	17
사진 3.4 천장의 배선박스와 전선간에 발생된 누전으로 형성된 단락흔	21
사진 3.5 과전류에 의하여 용단된 형상	26
사진 3.6 콘센트단자부분 불완전 접촉 발열흔	28
사진 3.7 냉장고 제상타이머의 점점에 형성된 불완전 접촉 발열흔	28
사진 4.1 분전함과 인입선의 접촉부분	40

국문 요약

케이블화재의 원인분석 및 제도개선에 관한 연구

연세대학교 공학대학원

전 기 공 학 전 공

오 수 언

현재 우리나라의 산업구조는 점점 선진국 형으로 변하고 있으며 국민생활 수준향상에 따른 전력수요도 계속하여 증가추세에 있다.

그러나 전력수요의 증가와 함께 전기로 인한 화재발생도 꾸준히 증가하고 있는게 현실이다.

그중 전기로 인한 화재 가운데 먼저 케이블의 연소특성과 연소시 발생가스에 대해서 관련 연구기관의 자료를 참고하여 케이블화재의 유형 및 특성을 조사하였고 화재분류상 케이블화재가 속한 전기화재의 특성을 분석하였다.

다음으로는 이러한 케이블화재를 원인별로 분석하였는데, 그중에서도 가장 많은 부분을 차지하는 단락(합선)에 의한 발화원인으로는 절연피복 파손이나 접촉발열의 외부열에 의한 절연과괴 등이 있음을 여러 기관의 발표 자료를 조사하여 알아보았다.

그 밖의 발화원인으로는 누전에 의한 발화, 과전류에 의한 발화, 정전기에 의한 발화, 접촉부과열에 의한 발화 등에 대해서도 분석하였다.

그리고 이러한 원인들에 의해 발생한 케이블화재들을 국내·외 사례를 들어 분석하였으며 각 사례별로 발생원인 및 사회적으로 미치는 영향을 조사하였다.

이러한 케이블화재의 특성 및 발생원인, 사례분석을 통하여 조사된 결과를 바탕으로 관련기관의 자료를 참고하여 방재대책을 제시하였는데 기존의 케이블 난연화 조치나 관련법규의 준수와 같은 방재대책에 더하여 현재 소방 법규상 개선하여야할 점들을 일선에서 느끼고 연구한 바를 토대로 조문을 예로 들어가며 제시하였다.

그리고 무엇보다 케이블에서 화재발생시 연소 확대가 되지 않도록 조기에 화원을 진압하는 것이 중요한데 이러한 점을 해결 할 수 있도록 물분무헤드 등이 현장의 규격에 따라 설치되고 설계되도록 법규를 개선하여야 한다.

이 논문은 앞서 제기된 개선된 관련 법규들을 관련기관 및 관계자등 일선 실무자들로부터의 의견을 조사하여 제시하였고 케이블 관련시설에 설치되는 소방시설물의 적정성을 높이는 방안도 함께 제시하였기에 보다 현실성이 있으리라 생각한다.

제1장 서론

최근의 우리나라 산업구조는 공업화와 정보화의 급격한 구조로 변화되어 현재 선진국 형으로 변모하고 있으며 또한 국민생활 수준 향상으로 전력수요는 꾸준히 증가추세에 있다.

전기에너지의 소모는 그 나라 국민경제의 척도라 할 만큼 전기에너지는 현대 산업의 발전과 인간생활의 수준향상에 기여하는 바가 매우 크다.

전기가 가지고 있는 가장 큰 특징으로는 신속하고 공해를 유발치 않는다는 점을 지적할 수 있다. 그렇기 때문에 자연에 존재하는 모든 에너지 즉 태양에너지, 화력, 수력, 풍력, 지열, 조력 및 원자력 등을 전기에너지로 일단 변환시킨 다음 이를 기계, 음, 광 및 열에너지로 다시 바꾸어 사용하는 것이다.

이중 전기에너지를 열에너지로 바꾸어 사용하는 전열은 다른 형태의 열원에 비하여 열효율이 높고, 매우 높은 온도를 얻을 수 있고, 내부가열이 가능하며 노기제어 용이 및 온도제어와 조작이 간단한 점 등 매우 많은 특징을 가지고 있기 때문에 기계, 화학, 야금공업 및 농업분야에 이르기까지 모든 산업분야에 이용되고 있다.

이와 같이 전열을 가장 적절하고 편리하게 사용함으로써 생산의 합리화 및 효율화를 기할 수 있는 중요한 요소이다. 이러한 전열작용이 전기화재를 일으켜서 산업재해와 국민생활을 위협하고 막대한 재산피해와 인명피해를 내는 요인이 된다.

화재발생 평균 증가율은 8.9%의 비율이며, 화재발생원인으로 통계상으로 전기로 인한 것이 전체 원인 중 으뜸을 차지하여 모두 30%를 크게 상회하고 있으며 전기화재 종별로는 건물화재가 전체의 80% 이상이다.

이와 같이 전기로 인한 화재 발생 빈도가 매년 증가되고 있는 통계를 접할 때마다 관련분야에 종사하는 사람으로서 놀라지 않을 수 없다.

산업사회의 발달과 각종 건축물의 대형 고층화 및 밀집화, 건물의 기능과 용도의 다양화로 인하여 전기설비가 복잡화되고 그리고 국민소득증가로 국민생활수준의 향상으로 전기기구 및 각종 가전제품의 사용이 증가되고 있는 것이 전기화재의 잠재적 발생원인이 되고 있는 것 같다.

전기자체가 화재발생의 직접적 원인이 될 수 없고 전기에너지의 이용, 각종 기계류의 설계 부적합, 구조적인 결함과 시설의 취급소홀, 사용자의 사용 부주의는 물론 근본적인 법규의 미비점으로 인한 전기설비에 대한 안전대책 미흡으로 전기화재가 발생될 소지를 안고 있다.

이와 관련하여 현재 소방법 중 전기설비와 연관된 법규 및 기타 관련법규들을 분석하였고, 관련기관(소방본부, 전기안전공사, 화재보험협회 등) 및 일선(소방관, 소방기술사 등)에서 제기된 논의들을 조사하였다.

이러한 점을 감안하여 전기화재 발화요인의 가능성이 있는 몇 가지 사항 중 전기화재의 가장 큰 부분을 차지하는 케이블과 관련된 화재를 채택하여 기본적 이론을 토대로 하여 분석하고 이로부터 현재 관련법규 특히 소방관련 법규 중에서의 개선점등을 제시하고자 한다.

제2장 케이블화재의 유형 및 특성

2.1 케이블화재의 분류

먼저 Cable화재는 전기화재중의 하나로 발생원인, 연소대상, 점화원의 형태 등 다양하게 진행되기 때문에 단순히 전기화재로 단정하여 분류한다는 것이 쉬운 문제는 아니다.

전기화재는 화재법규상 C급 화재로서 정류가 흐를때 전류는 발열, 방전등의 현상을 수반하기 때문에 전기회로중에 발열, 방전을 수반하는 장소에 가연물 또는 가연성 가스가 존재하게 되면 화재가 발생한다. 따라서 전기화재는 전기가 유인되어 발화한다는 의미가 아니고 전기 기기가 설치되어 있는 장소에서의 화재를 말한다.

발생요인으로는 줄(Joul)열과 불꽃방전을 들 수 있다. 그러므로 전기화재란 전기에 의한 발열체가 발화원이 되는 화재의 총칭이다.

표 2.1 국내외 소방법상 화재분류

구분	한국	미국	일본	독일
A(일반)	목재,종이, 석유류 등의 일반 가연물	좌동	좌동	목재,종이,석유류 등의 작열할 수 있는 가연물
B(유류)	유류(가연성 액체포함)	좌동	좌동	좌동
C(전기)	전기	전기	전기(액화, 용해,압축)	가스
D(금속)	금속	금속	금속	금속
E(가스)	-	가스(액화용해, 압축)	좌동	전기

여기서는 표 2.1과 같이 국내·외 소방대상물에 의한 화재 분류에 따라 분류하고 케이블화재를 포함한 전기화재와 다른 화재의 일반적인 사항을 비교하였다.

2.1.1 일반화재

A급화재는 일반적으로 다량의 물 또는 수용액으로 화재를 소화 할 때 냉각효과가 가장 큰 소화역할을 할 수 있는 것으로서 연소 후 재를 남기는 화재를 일반화재라 한다.

일반가연물 화재를 백색화재라고도 하며 면화류, 목모 및 대패밥, 닳마 및 종이, 벗짚, 고무, 석탄, 목탄, 목재 가공품등의 가연물 또는 폴리에스테르, 폴리아크릴, 폴리아미드계 합성섬유, 페놀, 멜라민, 규소, 폴리에틸렌 등의 합성수지에 의한 화재를 말하며 발생하는 모든 종류의 화재 중 발생빈도 및 피해액이 가장 많은 화재이다.

2.1.2 유류화재

연소후 재를 남기지 않는 화재로서 유류(가연성 액체 포함)화재를 B급화재라고도 하며 소방법 시행령상 특수인화물류, 제1석유류, 제2석유류, 제3석유류, 제4석유류, 에스테르류, 케톤류, 알코올류, 동식물류등의 제4류 위험물, 제1종인화물, 제2종인화물 등에 의한 화재가 여기에 속한다.

또한 유류화재는 액체 가연물의 취급 부주의로 발생하고 일반화재보다는 화재의 위험성이 크고 연소성이 좋기 때문에 매우 위험하여 대부분 가연성 액체로 대기압하에서 상온이하의 인화점을 가지므로 증기를 발생시키고 이

가연성 증기는 공기와 적당히 혼합된 상태인 연소범위에 들어가게 되면 여기에 발화원이 접촉되면 쉽게 인화하여 화재를 발생시킨다.

2.1.3 전기화재

전기화재는 화재분류상 C급화재로서 전류가 흐를 때 전류는 발열현상, 전극간 방전, 자계에 의한 유도전류, 전하 축적 등의 현상을 수반하기 때문에 이 전기가 사용되는 장소에 가연물 또는 가연성 가스가 존재하면 화재가 발생하게 된다.

그러므로 전기화재란 전기로 인하여 발화원이 되어 발생하는 화재를 총칭한다.

2.1.4 금속화재

금속화재는 D급화재로서 소방법 시행령별표 3의 철분·마그네슘·금속분류 등의 가연성 고체, 칼륨·나트륨·알킬 알루미늄·알킬리튬, 알칼리 금속류,알킬 알루미늄 및 알킬 리튬을 제외한 유기 금속 화합물류, 금속수소화합물류, 금속인 화합물류 등을 말한다.

대부분의 금속은 연소시 많은 열을 발생하며 나트륨, 칼륨, 알루미늄 등은 발화점이 낮아 화재를 발생시킬 위험성이 다른 금속에 비하여 높으므로 이들을 이용한 가공·연마·세공 작업시 열의 축적 및 분진의 발생방지에 유의가 필요하다.

금속화재의 예방대책으로는 금속분의 발생을 억제하고, 금속의 가공시 가공기계나 공구에 의해서 발생하는 열의 축적을 방지하여야 하며, 금속분들

이 부유하지 않도록 환풍이 잘 되도록 해야 한다.

또한 금속을 가공하는 기계실, 공작실에 는 건조한 상태가 되지 않도록 적절한 습도를 유지하여야 한다.

2.1.5 가스화재

가스화재는 국내의 경우 특별한 분류없이 B급 유류화재에 포함시키고 있으나 선진국에서는 E급 화재로 분류되고 있다.

가스화재를 일으키는 가연성 가스는 압축·액화·용해가스로 존재하며 가연성가스가 배관이나 기타 설비에서 누설되었을 경우 착화하여 연소되는 화재이다.

가스화재로 인한 인명·재산상의 손실은 일반화재, 유류화재 및 전기화재와 더불어 급격하게 증가되고 있으며, 폭발과 함께 폭굉을 동반하기 때문에 많은 사상자가 발생하고 있다.

2003년도 국내에서 발생한 화재를 원인별로 분류하면 전기화재의 점유율이 35%로 가장 높았고, 다음으로 담뱃불로 인한 화재가 17.8%, 방화에 의한 화재가 12.8%의 점유한 것으로 나타났다.

표 2.2 원인별 화재 분류표

구분	계	전기		담배	방화	가스	불티	불장난	유류	성냥	난로	아궁이	화공약품	기타
		일반	기타											
2003년	5,503	1924	297	978	703	313	249	202	154	58	35	3	3	584
비율(%)	100	35	5.4	17.8	12.8	5.7	4.5	3.7	2.8	1.1	0.6	0.1	0.1	10.6
2002년	6,017	2194	364	1125	697	450	303	173	201	60	34	7	0	409
비율(%)	100	36.5	6	18.7	11.6	7.5	5	2.9	3.3	1	0.6	0.1	0	6.8
2001년	7,379	2,746	489	1,388	719	584	370	262	249	62	57	7	0	446
비율(%)	100	37.2	6.6	18.8	9.7	7.9	5	3.6	3.4	0.8	0.8	0.1	0	6

최근 10년간의 전기화재 발화원인을 살펴보면 합선에 의한 화재가 매년 수위를 차지하고 있고, 기타 원인에 의한 전기화재는 감소하고 있다.

합선에 의한 전기화재가 많은 이유는 실제로 합선으로 발화한 경우가 대부분 일 것으로 생각되어 지나, 다른 측면에서는 다른 측면에서는 전문분야에 대한 화재조사 전문가가 부족하여 과학적인 화재조사가 어려우며, 화재 진압 후 대상물이 소실된 상태에서 전기적 화인을 밝혀낸다는 것도 매우 어려운 일이다.

2.2 케이블의 연소특성

행정자치부 화재통계 연보에 의하면 우리나라 전체화재 건수중 전기화재가 30%이상을 차지하고 있으며, 또한 전기화재 중 70%이상이 케이블 등 배선에 의한 화재이다. 우리나라뿐 만 아니라 미국, 일본 등 선진국가에서도 케이블에서 화재가 발생되어 인명과 재산손실이 발생되고 있다.

전기케이블은 일반적으로 자체 난연성능을 가지고 있는 것으로 인식되고 있으나 대부분의 케이블은 일단 불이 붙으면 쉽게 연소하고 장기간에 걸쳐 연소한다. 그래서 케이블에 화재가 발생되면 케이블 자체에 의한 연소구역

은 작을지라도 발생가스와 정전 등에 의한 2차 재해가 예상보다 크다는 점이 특징이다. 케이블 화재는 목재 등과 비교해서 연소에너지가 대단히 크고, 유독가스를 많이 발생하므로 소화하기 어렵고 인명 피해가 발생하기 쉽다.

시설된 케이블에서 과열로 화재가 발생하는 경우와 외부의 요인으로 케이블이 인화될때 이로 인해 화재가 확대되는 경우가 많다.

케이블도 고전압화, 대사이즈화, 다양화가 되어 가고 있으며, 이러한 케이블이 발화원이 될 잠재성은 더욱 커지고 있는데, 이러한 것에 의해 일단 화재가 발생하면 케이블이 도화선이 되어 피해가 확대될 위험성도 증가하고 있다.

또 케이블의 재료로는 기계특성, 내후성, 내약품성 등의 특성이 요구되는 우수한 비닐, 클로로프렌이 주로 사용되고 있지만 이것이 연소하면 염산가스가 발생한다. 이 염산가스는 기기, 전기 접점등의 금속에 대해 내식성이 있을 뿐 아니라 인체에도 유해하기 때문에 발생량이 적을수록 좋지만 이 재료를 사용하는 한 전부 없앨 수는 없다.

그럼 여기에서 현재 사용하고 있는 케이블의 주된 재료의 연소특성을 알아보면 다음과 같다.

표 2.3 케이블 재료별 특성

재	료	비중(g/cm ³)	발화온도(℃)	발열량(Kcal)	산소지수
	Polyethylene	0.9~1.0	350	11,100	17~19
	염화비닐	1.3~1.4	450	5,000~7,000	24~27
	EPR	0.9~1.0		5,600~7,800	19
	Chloroprene	1.4~1.6		5,600~7,800	26~30
참 고	양모		200	5,000	
	목재	0.2~0.5	260	5,000	
	석탄	1.2~1.4	325~400	5,000	

케이블의 연소성은 위의 구성재료 뿐만 아니라 케이블의 포설회선수, 케이블의 배열, 포설형태(덕트내, 관로내, 전력구내)등에 의하여 크게 달라진다.

특히, 여러 선의 케이블에 인접하여 있는 다회선을 포설화 할 경우 방재상 위험하게 된다. 단선일 경우 타기는 하지만 연소가 어려운 반면에 Group화되어 있는 경우는 타기 쉽고 연소한다.

2.2.1 케이블의 종류와 연소성

표 2.4 케이블의 종류와 연소성

케이블의 종류	연소성(燃焼性)	연소성(挺焼性)
폴리에틸렌 외장	쉽게 탄다	연소한다
염화비닐 외장	비교적 타기 어렵다	연소의 가능성이 있다
난연 외장	타기 어렵다	연소하지 않는다
불연 외장	탈 수 없다	연소하지 않는다

2.2.2 케이블의 절연·피복재료의 연소특성

케이블의 연소성은 케이블의 구조, 구성재료, 두께에 따라 다른데 특히 케이블의 외장 재질이 큰 요소로 작용한다.

표 2.5 케이블의 절연·피복재료의 연소특성

재료	비중	인화·발화점(℃)	발열량(kcal/kg)	산소지수
가교 폴리에틸렌	0.9~1.0	341~350	약 11,000	17~19
PVC	1.3~1.4	391~454	약7,000	24~26
참고	목재	0.2~0.5	260	약4,500
	석탄	1.2~1.4	325~400	약5,000

(※ 산소지수(Oxygen Index)는 재료의 난연성을 표시하는 지표로서, 재료가 연소를 계속하는데 필요한 최저 산소농도이며, 산소지수가 클수록 난연성이 높다.)

2.3 케이블의 배선상태와 연소성

케이블의 연소성은 배선상태에 따라서도 크게 변한다. 지중에 직접 매설하거나 지중관로 내부에서는 연소할 우려가 거의 없지만 화재가 발생하면 축열효과가 발생하는 통로 내부, 전기실 내부, 밀폐덕트 내부, 연돌효과가 발생하는 수직덕트 내부, 케이블 샤프트 내부 등은 특히 케이블 화재의 위험한 장소가 된다.

배선상태에 관해서는 한조만으로 배선되어 있는 경우(단선배선)와 다조케이블이 밀접하게 배선되어 있는 경우(다조배선, 그룹케이블)연소성에 큰 차이가 있다.

표 2.6 케이블의 배선상태와 연소성

배선 외장	폴리에틸렌 외장	염화비닐외장	난연외장	불연외장
단조배선	타기 쉽고 연소한다	타지만 연소하기 어렵다	타지만 연소하기 어렵다	타지 않고 연소하지 않는다
다조배선	타기 쉽고 연소한다	타기 쉽고 연소한다	타지만 연소하기 어렵다	타지 않고 연소하지 않는다

(※ 같은 양의 케이블이라도 수평, 경사, 수직의 배선상태에 따라 연소성(속도)은 크게 달라진다. 일반적으로 수평배선의 연소에 비해서 수직배선이 연소하기 쉽고 경사배선은 그 중간이라고 할 수 있다.)

2.4 케이블 연소시 발생가스

케이블 피복재료 연소시에는 각종 가스가 다량으로 발생한다.

그리고 이 가스(연기)의 진행속도(확산)는 불꽃의 전파에 비해 지극히 빠르다.

유독가스가 발생하지 않는다고 하는 폴리에틸렌외장 케이블의 경우도 다량의 일산화탄소, 이산화탄소 등을 발생시켜 산소결핍 상태가 되어 피난이나 소화활동에 큰 영향을 준다.

표 2.7 케이블 연소시 발생가스

가스 \ 케이블	폴리에틸렌	염화비닐	클로로프렌
이산화탄소	○	○	○
일산화탄소	○	○	○
염화수소	-	○	○
염소	-	○	-
메탄	-	-	○
에틸렌	○	○	○

2.5 케이블 화재로 인한 재해발생 요인

케이블 화재로 인한 재해는 직접 화재로 인한 1 차 재해와 연소가스로 인한 2 차 재해로 나눌 수 있으며, 화재시 발생하는 심한 유독 가스나 검은 연기는 인명의 피난활동을 제한시켜 사상케 함은 물론 전기설비 등 건축물 자체에 많은 피해를 끼치게 되고, 정보화 사회의 전체 기능을 마비시키는 결과를 초래하게 된다.

표 2.8 케이블 화재로 인한 재해발생 요인

구 분	재해지표	재해내용
화재(1차재해)	연소성(flammability)	인명살상, 재산피해
화재(2차재해)	독성(toxicity)	인명살상
	부식성(corrosion)	고급기기부식
	연기(smoke)	대피, 소화 및 복구의지연

제3장 케이블화재의 원인분석

케이블에서 화재가 발생할 수 있는 요인은 케이블 자체에서 발화되거나 외부 화재로부터 인화되어 일어나는 경우로 나눌 수 있다.

케이블 자체의 발화에 의한 경우는 지락, 단락 고장시 대전류 Arc 에 의한 발열 발화, 다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족으로 온도상승 발화, 시공 불량 등에 의한 온도상승으로 부분 발열 발화, 외상, 약품, 절연체의 열화 등으로 절연과괴에 의한 발화로 구분하고 외부로부터 초래된 발화에 의한 경우는 공사 중 용접 불꽃 등에 의한 발화, 케이블 주변에서 기름 등의 가연물이나 건축물의 연소에 의한 발화, 전력 케이블이 접속되어 있는 기기류의 과열에 의한 발화, 타구역에 발생한 화재가 케이블로 인화 착화, 기름이 고여있는 Pit나 Duct등에 담배불로 인한 착화로 구분된다.

3.1 단락(합선)에 의한 발화

단락에 의한 발화는 전기화재중 가장 많은 비중을 차지하고 있는데, 단락이란 두개의 전선에 어떠한 원인에 의해 접촉하는 현상이며 이 경우 대부분 전압이 그 접촉부에 걸리게 되고 접촉구의 낮은 저항차에 의해 매우 큰 전류가 흐르게 된다.

이러한 전류는 대단히 많은 열을 발생하여 단락순간 폭음과 함께 단락지점이 떨어지게 되며 이렇게 단락사고 발생시 화재는 다음과 같은 유형에 의해 발화가 진행된다.

가. 적열된 전선이 주위에 있는 인화성 물질 또는 가연성 물질에 접촉되어 발화

나. 단락점에서 발생한 스파크로 주위의 인화성 가스 또는 물질을 발화
다. 단락 지점이외의 전선피복이 연소하여 발화하는 경우

위와 같은 유형의 단락사고는 순간적 발생하는 것이므로 퓨우즈나 전기 차단기가 작동하지 아니하는 경우도 있으며 전기설비, 장치 등을 사용하지 않는 경우에도 전선에 전압이 걸려있으면 전류가 흐르게 되므로 발생할 수 있다.

또한 단락 회로가 구성되어 있는 상태에서 전원이 투입되는 경우에는 보통 회로증의 가장 약한 부분에서 발열과 용융단절이 일어나게 된다.

단락은 전선이 매우 낮은 저항치로 접촉되는 현상을 말하는 것이며 약간의 저항을 갖는 등의 불안정한 단락에 대해서는 혼촉이란 말을 사용하는데 이러한 혼촉현상은 간헐적인 스파크를 발생하고 이내 단락내지 단선으로 진전될 가능성이 많다.

또한, 단락의 발생요인을 전선 절연피복의 손상원인으로 분류하면

첫째, 전선에 외력이 가해져 절연피복이 파손되어 단락이 되는 경우와

둘째, 접촉불량 등 국부발열에 의해 절연열화가 진행하여 단락이 되는 경우가 있으며,

셋째, 화재열 등 외부 열에 의해 절연파괴되어 단락되는 경우로 분류해 볼 수 있다.

이중 첫 번째와 두 번째에 의해서 생긴 용흔(또는 용융흔)을 1차 용흔이라고 하며, 세 번째의 경우를 2차 용융흔이라고 분류한다.

화재현장의 배선 및 코드류에 용흔이 남아 있는 것이 많지만 이것들의 어느 것이 출화 원인이 된 것인가 또는 화재에 의해서 2차적으로 발생한 것인가를 판단하는 것은 출화원인의 입증을 위한 중요한 요점의 한가지다.

단락흔 및 외부화염에 의한 단락흔 판별에 있어서 각각의 용흔의 특징을 정리하면 표 3.1과 같다.

표 3.1 단락과 외부 화염에 의한 단락의 비교

구분	표면형태	탄화물 (XMA분석)	금속조직 (금속현미경)	Void분포 (금속현미경)	EDX분석
단락	형상이 구형이고, 광택이 있음	일반적으로 탄소는 검출되지 않음	용흔 전체가 미세한 동과 산화제1동의 공유결합조직으로 점유하고 있고, 동의 초기 결정 성장은 없음	큰 구형 보이드가 용흔의 중앙에 생기는 경우가 많음	OK, CuL line이 용융된 부분에서 검출되지 않으나, 정상 부분에서는 검출
외부 화염에 의한 단락	형상이 구형이 아닌 단가, 광택이 없는 경우가 많음	탄소가 검출되는 경우가 많음	동의 초기 결정 성장이 보이지만, 동의 초기 결정 이외의 금속 결정으로 변형됨	일반적으로 미세한 보이드 많이 생김	CuL line이 용융된 부분에서 검출되지만, 정상 부분에서는 소량 검출

- 주1) 표면구조만에 의한 판별의 정확함은 약 60%로 낮으므로 다른 정보와 종합적으로 검증할 필요가 있다.
- 주2) 탄화물의 오염은 육안으로도 분명히 관찰할 수 있는 경우가 있다.
- 주3) 금속조직의 차이는 단락흔의 냉각속도의 차에 의한 것이므로 한번 발생한 공유결합결정은 화재열(800~1,000℃)로 재가열 되더라도 금속조직에는 변화를 초래하지 않는다.
- 주4) 보이드(void) 발생의 메커니즘은 대기중의 산소가 용융한 동에 흡수되어 냉각시에 가스로 되어 다시 분리하기 위해서 발생한다. 외부 화염에 의한 단락은 주위의 온도가 높아 냉각 속도가 느리기 때문에 적은 보이드가 고르게 퍼져서 용융된 부분 전체에 존재하는 경우가 많다.
- 주5) XMA(X-ray Microanalyzer)는 전자빔을 이용한 여기원으로서 시료에서 발생하는 원소를 정성분석할 수 있는 것으로 물질의 조성을 알아내는데 유용하다.
- 주6) EDX(Energy Dispersive X-ray Analysis)는 에너지분산 X선분석기는 단일성분을 갖는 원소의 화학성분변화를 알 수 있는 분석기로서 물질의 스펙트라(ex : CuL, CuK, OL, and OK line)를 알 수 있다.

화재열에 의해서도 용융흔이 생기는 것도 가능하지만(열흔), 단락에 의한 것이 아니기 때문에 광택이 없는 것은 물론 용단개소가 둥그스름함이 적고,

용융범위가 넓으며, 용적이 아래로 흐른 것이 현저하다. 그 때문에 동선의 일부가 가늘게 되어있는 것이 많다.

사진 3.1 - 3.3은 단락의 여러 형태를 나타낸 것들이다.



사진 3.1 코드에 나타나 있는 단락흔(합선흔)



사진 3.2 코드 연결부분에서의 불완전 접촉으로 발열된 흔적
(미세한 단락흔)



사진 3.3 단락혼의 여러형태

3.2 누전에 의한 발화

누전이란 전기의 통로 즉 전선로 이외의 곳으로 전류가 흐르는 현상이라고 정의할 수 있다. 엄밀한 의미로는 전기가 존재하면 완전한 절연체가 없으므로 반드시 누전이 된다고 할 수 있으나, 특히 한정된 종류의 물질, 실험 등의 허용치(저압전류의 경우 최대 공급전류의 1/2,000)이하의 누전은 문제가 되지 않는다. 통상적으로 누설전류 500mA이상일 때 누전에 의한 화재 위험이 있다.

누전화재에는 수백V 이하의 저전압에서 발생하는 저압누전화재(低壓漏電火災)와 수천V이상의 고전압에서 발생하는 고압누전화재(高壓漏電火災)가 있다.

3.2.1 저압누전화재

저압누전화재란 낮은 전압에 의하여 전기회로로서 설계된 부분으로부터 전류가 누출되고, 건물의 금속부분을 통해 대지에 도달하는 누전경로의途中에서 발열이 일어나 발생하는 화재를 말한다. 보통의 배전선로에서는 고압과 저압선의 혼촉에 의하여 저압선으로 고전압이 침투하여 기기의 소손 방지와 감전사고를 방지하기 위하여, 주상변압기의 저압 측의 한 선을 접지한다. 그렇기 때문에 저압 측에는 대지와 등전위인 접지선(-선)과 대지전위를 가지는 전압선(+선)이 있다. 누전회로의 구성은 전압선이 빗물받이 통에 접촉되고 빗물받이 고정 못과 철근-->수도관-->대지를 통해 변압기의 접지선에 도달하는 것과 같은 경로로 누전회로가 구성되며, 빗물받이통 고정용 못이나 철근과 같은 누전경로중의 전기저항의 큰 부분에서 국부적으로

큰 발열이 일어나게 되면 목재 등 가연물에 착화 발화하는 것을 누전화재라 한다. 저압누전화재에 있어서는 전류의 누설경로에 따라 누전점, 발열점, 접지점의 3점이 존재하게 된다. 따라서 누전화재의 입증은 이러한 3점에 발생하는 전기적인 용융흔적을 찾아내어 누전회로의 존재를 입증하고 발화원인을 판정한다. 누전점이란 전류가 누설된 부분을 말한다. 보통 대부분의 누전점은 건물로 들어가는 전선의 입출력측에서 발견된다. 발열점이란 화재가 발생한 부분으로, 못 등에서 발열되는 경우, 못과 함석의 접촉부분 등에서 용융흔적이 발견된다. 함석판이 連結된 건물에서는 못으로 고정시킨 함석판의 이음부분의 못과 함석판 양쪽에서 발열흔적이 발견되는 일도 있다. 접지점이란 금속조영재로부터 대지로 전류가 흐른 부분이다. 보통 접지점은 벽속의 조영재와 대지에 매설된 수도관 등 금속과의 접촉부분에서 발견되며, 불완전 접촉상태라면 미세한 단락흔이 나타나게 되나, 완전 접촉된 상황이라면 식별이 되지 않는다. 저압누전화재에 있어서의 탄화형상은 발화전의 집중적인 고온발생에 의해 발열점 주변 벽체의 목재 기둥 등에 국부적으로 도려낸 듯한 모양으로 탄화된 상황이 발견되는 일이 있지만, 이와 같은 탄화현상은 가스의 누출부분, 인화성 물질의 존재 등 다른 원인에 의해서도 발생할 수 있으므로 판정시 주의가 필요하다. 또한 대부분의 수용가에서는 누전차단기가 설치되어 있으므로, 누전차단기 이후 부하측에서 누전이 일어나는 경우, 누전차단기의 작동전류, 작동유무 등에 대해서 확인하여야 한다. 대부분의 화재에서는 누전차단기는 화재에 의하거나 소화작업 등에 의하여 작동하게 되므로 누전차단기가 작동하였다하여 누전화재로 판단하는 것은 잘못된 것이며, 정상 작동한 경우라면 부하 측에서의 누전화재는 아닐 가능성이 높다.

3.2.2 고압누전화재

고압누전화재란 높은 전압에 있어서, 전류로서 설계된 부분으로부터 전류가 누설되어 누전회로를 형성하고, 그 누전회로에서 현저한 발열이 일어나 발생하는 화재이다. 이의 발생기구는 보통 저전압이 가해진 상태에서는 충분한 절연성을 가지는 절연물에서도, 고전압이 가해지면 절연파괴가 일어나 절연능력이 저하되고, 전류가 누출되게 되며, 또 절연파괴가 일어나지 않았는데도 절연물의 표면에 먼지나 수분 등의 부착에 의해 절연물의 표면을 통해 전류가 누설되게 되는데, 이러한 누설전류에 의해서 발열이 일어나고, 절연물 자신이 발화 연소하게되어 화재가 발생하는 것이다. 이와 같이 고압누전화재의 발생기구는 저압누전화재의 발생기구와 큰 차이가 있다. 감식할 때에는 누전회로를 확인하고, 목재 등의 유기절연물의 통전부에 생기는 고전압 특유의 수지상 탄화구(電紋)를 찾아 누전회로의 존재를 증명하고, 출화원인을 판정한다. 배전선로에서 발생하는 고압누전의 경우에는 변전소에 설치되어 있는 배전선로 보호용 접지계전기가 작동하는 일이 있으므로, 이의 작동여부 및 작동전류를 확인하며, 목재 등 유기절연물이 약간 습하다거나 안개비 등에서 젖게 되면 누전회로를 형성해서 고압누전화재를 발생시키기 쉬우므로 당일의 기상조건에 대해서 조사한다.

누전화재가 발생하는 장소에는 접지물과 누전점이 주로 되며, 고압이상의 전로에는 일반적으로 대지전류 발생시 전로를 차단하는 보안장치가 부설된 감지전류 이하로 누전될 때는 차단불능으로 지락지점에 인화물질이 있으면 화재가 발생된다.



사진 3.4 천장의 배선박스과 전선간에 발생된 누전으로 형성된 단락흔

표 3.2는 누전차단기의 누전검출방식에 의한 비교와 트립기구 동작방법에 의한 비교를 나타낸 것이다.

표 3.2 누전검출방식에 의한 누전차단기의 비교

구분 \ 종류	전압동작형	전류동작형
구성	누전발생시 기기의 프p임에 발생하는 대지전압을 검출하여 차단	누전발생시 지락전류를 영상변류기고 검출하여 차단
보호범위	검출 코일이 접속된 기기의 감전보호뿐이므로 전로의 지락보호기능은 없음	차단기의 부하측 전로 및 기기의 지락, 감전 등
접지공사	제3종 또는 특별제3종 접지와 검출용 접지가 필요	제3종 또는 특별제3종 접지만으로 가능
사용장소	접지저항값의 변화가 적은 작소로 한정	고정 및 가변설비에서 사용가능

표 3.3 누전차단기 트립기구 동작방법에 의한 비교

구분 \ 종류	전기형	전자형
구성	영상변류기의 출력을 직접 트립기구에 보내 회로를 차단하는 방식	영상변류기의 출력을 증폭기에 보내 증폭시킨후 트립코일을 작동하여 차단하는 방식
장점	-극간 절연 저항의 측정 가능 -결상시에도 지락전류가 흐르면 동작함 -제어전원이 불필요 -서지에 의한 오동작, 고장이 없음 -온도의 영향이 거의 없음	-고감도, 대용량의 제작이 가능 -소형화, 시연형, 반한시형으로 제작가능 -감도전류의 안전성이 우수 -동작시간의 설정이 용이 -반도체 부품의 몰드화에 의해 성능이 안정
단점	-고감도 릴레이의 환경영향이 많음 -고감도,대용량의 제작이 어려움 -동작시간의 설정이 어려움 -영구자석의 흡착력으로 가동철현을 흡착하고 있으므로, 이물질이 부착되면 안정성이 저하됨	-전원이 필요없어 개폐시나 뇌 발생시의 서지전압 등의 영향을 많이 받음 -제어전원이 필요함 -결상시(무전압, 저전압)에서는 지락이 발생해도 동작하지 않음 -온도의 영향을 많이 받음

3.3 과전류에 의한 발화

전선에도 약간의 전기저항이 있기 때문에, 전류가 흐르는 경우 흐르는 전류의 공급에 비례하는 주울열이 전선 내에서 발생한다. 흐르는 전류량이 점점 커지게 되면 결국 전선의 절연피복이 과열되어 발화하게 된다. 이러한 위험방지를 목적으로 전선의 종류, 굵기, 피복 및 설치상태 등에 따라 절연 피복 파괴염려가 없는 허용전류를 전기설비에 관한 시설기준으로 정하여 사

용하고 있으며, 이는 절연피복의 허용온도를 고무 및 비닐에서는 60°C, 내열 비닐 및 합성고무인 경우 75°C가 될 때 흐르는 전류량을 기준으로 한 값이다. 비닐절연전선의 경우 200%~300%의 과전류에서 피복이 변질, 변형되고 500%~600% 정도에서 붉게 열이 난 후 용융되었다.

이러한 허용전류보다 많은 전류가 흐르는 경우를 과전류라 하며, 전류가 그 값을 초과하여 흘렀다고 하여 즉시 피복이 과열되어 연소하게 되는 것은 아니다. 전선의 허용전류 이상의 부하를 접속해서 사용하면 온도상승에 따라 저항값이 점점 커지고, 발열량이 증대되어 절연피복이 발화하는 경우가 있으며, 또한 발화되지 않았지만, 절연피복이 열화되어 단락을 일으키는 원인이 되는 경우가 있으나, 옥내배선의 경우에는 통상 회로중에 보호장치로서 차단기나 퓨즈 등을 사용하기 때문에, 발화 할 위험성은 적다. 과전류에 의한 발화의 경우, 동일회로 상의 동일전선에는 동일전류가 흐르게 되므로, 부하측 부분의 수열현상이 심하며, 최초 발화되는 부분은 방열(냉각)이 잘 안 되는 부분에서 합선현상이 일어나게 되며, 동 합선부위에서는 사전 단락이나, 트래킹, 반단선 및 국부적 발열 등에 의한 흔적이 나타나지 않게 되고, 연소되지 않은 부분의 절연피복을 절개해 보면, 절연피복의 열변형 형태가 외측보다 내측이 심하게 나타나게 된다. 그러나 이러한 현상은 화재로 인한 절연피복의 소실에 의하여 합선이 일어나는 경우, 순간적인 과전류현상이 나타나게 되므로 판단시 주의를 요한다.

전선에는 허용 전류치가 정해져 있는데 실험에 의하면 온도, 장소(개방, 밀폐 등) 등에 따라 차이가 있으나 일반적으로 화재발생의 가능성은 비닐절연전선이 고무절연전선보다 더 많다. 비닐절연전선의 경우 200%~300%의 과전류에서 피복이 변질, 변형되고 500%~600% 정도에서 붉게 열이 난 후 용융되었다.

표 3.4 절연물의 최고허용온도가 60도의 캡타이어케이블 허용전류

도체공칭단면적 (mm ²)	허용전류 (A)			
	단심	2심	3심	4~5심
0.75	14	12	10	9
1.25	19	16	14	13
2	25	22	19	17
3.5	37	32	28	25
5.5	49	41	36	32
8	62	51	44	39
14	88	71	62	55
22	115	95	83	74
30	140	110	98	89
38	165	130	110	100
50	195	150	125	115
60	225	170	150	135
80	270	—	—	—
100	315	—	—	—

- 주1) 이표는 캡타이어케이블을 통상의 배선으로 사용하는 경우로서 드럼감기 등으로 사용하는 경우는 제조업자 등이 지정하는 전류감소계수를 사용 할 필요가 있다.
- 주2) 이표에서 중성선, 접지선 및 제어회로용의 전선은 심선수에 산입하지 아니한다. 즉, 단상 3선식에 사용하는 3심 캡타이어케이블은 1심이 중성선이므로 2심에 대한 허용전류를 적용하여 3상 3선식 전동기에 접속하는 4심의 캡타이어케이블중1심을 그 전동기의 접지선으로서 사용하는 경우는 3심에 대한 허용전류를 적용한다.

표 3.5 전류감소계수

주위온도[℃]	전류감소계수
30 ~ 35	0.91
35 ~ 40	0.82
40 ~ 45	0.71
45 ~ 50	0.58

주1) 비닐절연전선(IV)의 주위온도에 대한 전류감소계수임

표 3.6 절연전선과 과전류 비교

과전류 단계	인화 단계	착화 단계	발 화 단 계		순간 용단단계
			발화 후 용단	용단과 동시발화	
전선전류 밀도 [A/mm ²]	40~43	43~60	60~70	75~120	120

전선에도 약간의 전기저항이 있기 때문에, 전류가 흐르는 경우 흐르는 전류의 공급에 비례하는 주열이 전선 내에서 발생한다. 흐르는 전류량이 점점 커지게 되면 결국 전선의 절연피복이 과열되어 발화하게 된다. 이러한 위험방지를 목적으로 전선의 종류, 굵기, 피복 및 설치상태 등에 따라 절연피복 파괴염려가 없는 허용전류를 전기설비에 관한 시설기준으로 정하여 사용하고 있으며, 이는 절연피복의 허용온도를 고무 및 비닐에서는 60℃, 내열 비닐 및 합성고무인 경우 75℃가 될 때 흐르는 전류량을 기준으로 한 값이다. 이러한 허용전류보다 많은 전류가 흐르는 경우를 과전류라 한다.

과전류에 의한 발화의 경우, 동일회로 상의 동일전선에는 동일전류가 흐

르게 되므로, 부하측 부분의 수열현상이 심하며, 최초 발화되는 부분은 放熱(냉각)이 잘 안 되는 부분에서 합선현상이 일어나게 된다.



사진 3.5 과전류에 의하여 용단된 형상

3.4 기타의 원인에 의한 발화

3.4.1 정전기에 의한 발화

정전기는 물질의 마찰에 의하여 발생하는 것으로서 대전서열의 차가 클수록 정전기 발생이 일어날 확률이 크다.

정전기에 의하여 화재로 진전되는 것은 정전 스파크에 의하여 가연성·가스 및 증기에 인화되는 경우로 다음 조건이 만족되어야 한다.

- ① 가연성 가스 및 증기가 폭발한계 내에 있을 것
- ② 정전 스파크의 에너지가 가연성 가스 및 증기의 최소 착화 에너지 이상일 것
- ③ 방전하기에 충분한 전위가 나타나 있을 것

정전 스파크에 의한 흔적은 남지 않는다. 그러므로 이의 발생여부는 위의 3가지 조건에서 추정할 수밖에 없다. 아래 그림은 정전기가 발생하는 과정을 나타낸 것이다.

3.4.2 접속부의 과열에 의한 방화

전선과 전선, 전선과 단자. 또는 접속 핀 등의 도체에 있어서 접촉상태가 불완전하면 특별한 접촉저항(이산화동 현상, 접촉저항 등)을 나타내어 발열하게 된다. 이 발열은 국부적이며 그 부분에 산화, 열팽창, 수축 등의 현상이 나타나 접촉면이 거칠어져 접촉저항이 증대하여 결국엔 적열(赤熱)상태가 되어 주위의 가열물을 발화시킨다. 이러한 현상이 지속되면 이산화동으로 인해 발열현상이 일어난다.

이산화동 증식에 의한 발열현상이란 동선과 단자의 접속부분에 접속불량이 발생할 때 접촉되고 있는 부분의 동이 산화 및 발열하여 주위의 동을 용해시켜 들어가면서 이산화동이 증식하는 현상을 말한다. 아래 이산화동의 저항온도 특성을 보면 상온부근에서는 수십 k Ω 의 전기저항을 갖고 있으나 온도상승과 함께 급격히 저하되어 1,050℃부근에서 약 3 Ω 으로 가장 적게 되는데 더욱 온도를 올리면 전기저항이 약간 증가하게 된다. 이와 같은 온도특성을 갖고 있으므로 이산화동에 일단 고온부가 생기면 타부분보다 저항치가 낮은 고온부에 전류가 집중적으로 흘러 전류에 의한 고온상태가 유지된다.

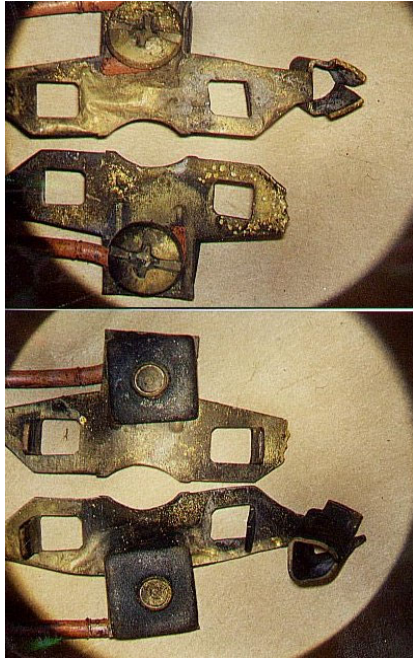


사진 3.6 콘센트단자부분
불완전 접촉 발열흔



사진 3.7 냉장고 제상타이머의 접점에
형성된 불완전 접촉 발열흔

3.4.3 열적 경과에 대한 발화

전등, 전열기 등을 가연물 주위에서 사용하거나 열의 발산이 잘 안되는 상태에서 사용하면 열축적이 있어 가연물을 발화시킨다.

예로서 60W 이상의 백열전구에 신문지를 싸서 10시간 정도 지나면 발화의 가능성이 높다. 백열전구의 온도는 40W는 70~90℃, 60~100W는 80~110℃, 100W 이상은 100~130℃ 정도로 온도가 올라간다.

또한, 시장에서 정전이 되어 전등 스위치를 끄지 않고 점포를 닫았을 경우, 전등에 피복물 등이 쌓여진 상태에서 통전이 되어 수시간이 지나면 발화의 위험성은 높다.

3.4.4 스파크에 의한 발화

스위치로 전기회로를 끊거나 닫을 경우, 또는 전기회로가 단락될 경우 등에는 스파크가 발생하며(이 스파크는 회로가 끊을 때가 더욱 심하다), 이때 스파크 가까이에 가연성 가스 등이 있을 경우에 인화, 또는 착화가 일어난다. 특히 고압 차단기 중 진공차단기는 차단시 스파크가 일어나 변압기의 전력기기에 소손이 우려되므로 Surge Absorb을 부착한다.

예로서 제면공장에서 모터의 스위치를 끊을 때 발생한 스파크가 부근에 부착된 티끌에 착화하는 경우와 가솔린 증기가 있는 장소에 스파크로 인한 발화의 경우가 있다.

3.4.5 절연열화에 의한 발화

옥내 배선 및 배선기구의 절연체는 그 대부분이 유기질로 되어 있어 오랜 기간이 지나면 절연성이 노화한다. 그 외에도 유기질 절연체는 고온에서 공기유통이 나쁜 곳에서 가열되면 탄화과정을 겪어 도전성을 띄게 된다.

이러한 장소에 전압이 걸리면 미소전류에 의한 국부발열로 탄화현상이 누적적으로 촉진되어 전류가 점점 증가하고 결과적으로 탄화부분에 발열과 누전으로 화재의 원인이 되고 있다. 이 현상은 단락, 스파크, 접촉과열 등의 현상이 발생하는 과정에서 발생하는 때도 있다. 이 때 잔존되어 있는 탄화물의 저항치는 수(數) $[\Omega]$ 에서 수백 $[\Omega]$ 정도로서 도전성을 띄고 있다. 특히 전기에 의한 탄화는 다른 조건에 의한 탄화보다 절연성이 적다. 이러한 탄화현상에 종류는 트래킹현상과 가네하라 현상으로 나누어 볼 수 있다. 아래 표는 두가지 현상의 정의를 비교한 것이다.

표 3.7 탄화현상의 정의

탄화현상(Graphite 현상)	
트래킹 현상	가네하라 현상
전기제품 등에서 충전전극 간의 절연물 표면에 어떤 원인으로 탄화전로가 생성되어 결국은 지락, 단락으로 발전, 발화하는 현상	누전회로에 발생하는 스파크 등에 의하여 목재 등은 탄화도전로가 생성되어 도전로가 증식, 확대되어 발열량이 증대·발화하는 현상

다시말해 트래킹현상이란, 전압이 인가된 이극 도체간의 고체절연물 표면에 수분을 많이 함유한 먼지 등 전해질의 미소물질, 전해질을 함유하는 액체의 증기 또는 금속가루 등의 도체가 부착하면 그 절연물 표면의 부착물간에 소규모 방전이 발생한다. 이것이 반복되면 절연물의 표면에 점차로 도전성의 통로(track)가 형성되는데 이 현상을 트래킹현상(tracking)이라고 한다.

또한, 목재가 보통 화염을 받아 탄화한 경우는 무정형탄소로 되어 전기를 통과시키지 않지만, 스파크 등에 의해 고열을 받은 경우 또는 화염만으로 산소결핍을 받은 경우에 무정형탄소는 점차로 흑연화(graphite)되어 도전성을 가진다.

이와 같은 현상이 목재 이외의 고무 등의 유기절연물에도 생기는데 이러한 흑연화현상(graphite phenomenon)이란, 유기절연물이 전기불꽃(누전회로중에 발생하는 스파크, 전기회로의 스위치, 릴레이 등의 접점개폐시에 발생하는 불꽃 등)에 장시간 노출되면 절연체 표면에 적은 탄화도전로가 생성되어 그 부분을 통해서 전류를 통과시키게 된다. 이것이 다음에서 다음으로 이어져 서서히 입체적으로 확대되어 전류가 증가하여 결국은 넓은 범위로 발열 발화하는 현상을 말한다.

3.4.6 유기질 절연물의 탄화에 의한 발화현상

탄화는 두전국간의 절연물 중의 일부분에서 시작되는데, 탄화로 인하여 이 부분의 고유저항이 감소되면 그 부분의 전류밀도가 증가하여 국부가열 현상이 일어난다. 이 발생열이 주위의 열보다 많으면 열이 누적되어 온도 상승과 동시에 국부적인 탄화현상이 가속된다. 이러한 과정이 진전되면 탄화 영역이 확대되고 전위경도가 강한 곳이 생겨 계단적으로 절연파괴 현상이 일어난다.

유기질 옥내 접속기의 경우 절연물의 탄화로 인한 절연저항의 감소로 누설전류가 흐르나, 그 값이 미소하므로 이로 인한 온도상승은 아주 작다.

그러나 탄화정도가 어느 정도로 진전되면 절연저항치가 특정치(약 1600~2000[Ω])에 도달하면 온도가 급격히 상승하여 드디어 발화하게 된다.

이러한 발화현상이 일어나기 위한 임계저항치를 가지며 유기질의 발화현상이 열파괴론에 입각한 절연파괴와 연관성이 있다.

제4장 케이블화재의 현황

4.1 케이블의 설치현황

컴퓨터의 사용이 점차 증가함으로써 건물의 은폐공간에 설치되는 가연성 케이블의 양도 증가하게 되었다. 최근 연구결과에서, 일부 공용케이블은 화재와 연기를 급속도로 전파시키며 화재에 의해 건물에 구조적 손상을 입히기도 함을 밝히고 있다.

4.1.1 은폐공간에 설치되는 케이블의 문제점

많은 상업용 건물과 사무용 건물에서 근거리통신망(LAN)의 확산과 케이블설비 사용의 증가는 천장과 바닥 은폐공간의 통신케이블 집중화 현상을 초래하였다. 이러한 추세는 시간이 흐를수록 더욱 가속화될 것이다.

은폐공간에 설치되는 케이블로 인한 화재안전상의 문제점들은 아래와 같다.

- 동일공간에 함께 설치된 여러 내화등급의 케이블
- 시험을 거친 케이블도 실제 화재시에 급격히 연소할 수 있다.
- 냉난방설비에 사용되는 급기류가 화재에 공급될 수 있다. 공조설비가 있는 경우 화재와 연기가 건물내 다른 부분으로 전파 될 수 있다.
- 설치조건이 좋지 않은 은폐공간의 방화 차단재는 새로운 케이블의 추가 설치시에 손상을 입는다.
- 화재감지기 또는 소화설비가 거의 설치되지 않는다.
- 은폐공간에서의 발화는 신속하게 감지되지 않을 수 있다.
- 천장 또는 바닥 은폐공간에서의 화재는 소방대가 진화하기가 어렵다.

- 건물의 화재하중의 증가
- 전세계적으로 케이블에 대한 시험 및 법적 요구사항이 매우 다양하다.
- 연료 지배형(산소 부족) 연소조건으로 화염의 생성, 소멸이 반복되어 폭발의 위험이 있다.
- 사용되지 않는 불필요한 케이블의 제거가 용이하지 않다.
- 최근의 건축법규는 높임바닥에 대한 방화차단재의 설치를 요구하지 않는다.

이러한 문제들에 대한 연구를 위하여 케이블이 있는 천장 아래의 전형적인 사무실 화재에 준하는 실제 화재시나리오로 케이블을 시험한 연구결과는 기존의 케이블 화재시험이 실제규모 화재시험에서 나타난 화재의 전파위험을 나타내지 못할 가능성이 있음을 보여준다.

실제규모 시험시설에서 시험된 케이블은 광범위한 연소특성을 보였으며, 이는 연소특성에 대한 시험규격을 개선할 필요성이 있음을 말해준다.

기존의 건물에서, 컴퓨터의 추가설치가 필요한 경우 바닥 또는 천장 은폐 공간에 새로운 케이블이 설치된다. 이 때 방화차단재는 제거되어 원상복구되지 않는 경우가 허다하다.

어떤 경우는 수평 은폐 공간이 수직 은폐공간에 연결되어 있으므로 해서 여러 층이 화재와 연기에 노출되는 위험이 있으며, 냉난방제어를 위한 강제 급기류가 있는 경우 이 문제는 더욱 심각해진다.

4.1.2 케이블 설치

케이블은 대체로 천장, 높임바닥 은폐공간, 지하 공동구 또는 수직 샤프트에 설치된다.

천장의 경우, 천장재는 내화성능이 없을 수 있음에 주목해야 한다. 설사 내화성능을 갖는다고 하여도 조명기구 또는 천장타일의 탈락 등으로 자체의 내화성능이 효과가 없을 수 있다. 천장 은폐공간내에 설치된 케이블은 특히 천장 아래의 화재에 의해 쉽게 영향을 받는다.

높임바닥은 보통 건물에서 아래층의 화재를 방호할 수 있는 콘크리트 바닥부재 위에 설치된다.

케이블의 과열에 의한 발화, 우연적 또는 고의적 발화가 가능하며, 다량의 케이블이 존재할 수 있으므로 심각한 화재전파위험이 있다. 대형 통신 장비실에서 높임바닥은 컴퓨터시설에 접근을 용이하게 하고 바닥아래 개방된 공간이 케이블의 설치에 적합하므로 일반적으로 사용되고 있다.

수직샤프트 및 지하공동구 또한 통신케이블이 많이 설치되며, 케이블이 설치된 샤프트가 내화성능을 갖지 않거나 방화차단재가 설치되지 않았다면 화재 및 연기에 의한 피해가 발생할 수 있다.

4.2 케이블화재에 의한 사회적 영향

최근 전력수요의 확산과 통신망의 확장 등으로 케이블의 증설이 급속히 진행되고 있다.

케이블화재는 케이블의 소실로 인한 1차적 피해보다 그에 따른 사회간접시설의 중단에 따른 2차적 피해가 엄청난 중대재해의 원인이 되고 있다.

일례로, 1994년 3월 10일 서울 종로 일대의 모든 공공 통신이 두절되는 사고가 발생하였다. 지하 5m에 있는 1호선 통신구내 케이블은 190m가 전소되었는데 이곳에서 23m 아래 위치한 4호선 통신구로 통하는 계단식 수직통로(총 9층)의 3층에 설치된 자동분전반이 발화지점으로 조사 되었다.

이 화재로 해화-을지전화국에 가입된 2만 6천 5백 78회선 중에는 금융기관 온라인망, 경찰서 등 공공기관회선, 주요가입자용이 포함 된다. 이 사고로 인해 8개 은행 13개 지점의 모든 은행업무가 마비되었고 10여 개 증권회사의 컴퓨터통신이 마비되었다. 또한 서울시내 교통 자동신호체계의 50%가 정지하였으며, 002국제전화선중 11개국과의 통신이 두절되었다.

이밖에도 2000년2월18일 여의도 증권지역 지하공동구 화재로 인한 전력, 금융기관, 증권업무, 전화, 교통자동신호 체계가 마비되었고 부상4명과 재산 피해액은 약 16억원에 달하였다.

이러한 케이블화재사고로 인한 직접피해도 막대하지만 간접손해는 직접피해의 수십배에 달할 것으로 추정되는데 예기치 못한 피해보상 등 그 후유증이 장기간 지속될 것으로 보이며, 이를 계기로 앞으로 이와 같은 사고를 막기 위해 케이블다발 화재의 원인과 대책을 구체적으로 알아본다.

전화·전력케이블 및 통신 케이블은 절연 및 외장 재료로는 폴리에틸렌, 폴리염화비닐(PVC)이나 합성고무등을 많이 사용하고 있어 연소시 고열과 농연 및 유독성 가스가 발생하고, 특히 지하철 및 지하상가 등의 경우 연기 및 열의 방출이 적고, 환기구가 한정되어 있기 때문에 2차적인 피해에 의한 혼란과 피해는 더욱 커진다.

이러한 지하구내 케이블화재는 시설물의 자체피해 외에 직접적으로는 전화·통신회선의 두절에 따라 119 전화회선의 불통에 의한 소방활동 공백지역의 발생을 일으키고 금융기관 등의 컴퓨터 온라인의 정지에 의한 데이터

통신망의 혼란등 케이블화재는 life line의 두절이라는 사회적, 경제적으로 국민에게 큰 불을 가져준다.

비록 화재손상범위가 자동식 소화설비에 의해 제한적으로 발생하더라도 업무중단의 영향은 대단히 심각하다. 또한 부분적인 화재손상으로 인하여 케이블설비 전체를 교체해야 할 경우도 있다.

4.3 국내 · 외 케이블화재의 사례

최근 컴퓨터 시스템의 확산과 통신망의 확장 등으로 그룹케이블의 증설이 급속히 진행되고 있다. 지하구의 경우 케이블화재는 중대재해의 원인이 되고 있다.

지하공동구 화재시에는 지하공동구에 내재된 전력용 · 통신용 전선의 소실 피해는 작지만 사회간접적인 피해는 수백배에 달하여 사회기간산업의 유지는 물론 국가보안 유지상에도 커다란 문제를 던져준 바 있다.

우리나라의 경우도 공간이용의 활용성이 점차 커지고 있음에 따라 고층화의 진전과 더불어 지하공간의 활용이 대규모화하고 복잡 · 다양화 되어 심층화 하는 경향이 있다.

여기에서는 이러한 이유로 케이블화재중 지하구의 화재를 중심으로 화재 사례를 알아보겠다.

4.3.1 국내 케이블 화재사례

<동대문 지하구 화재>

가. 개 관

- 일 시 : 1994. 3. 10(목) 16:10경
- 장 소 : 서울시 종로구 종로5가 동대문역부근 지하공동구
- 원 인 : 배수펌프의 작동을 조절하는 자동분전반이 타면서 불이 주위의 통신선에 옮겨 붙으면서 발화함.

나. 피해상황

- 수도권 통신두절 : 혜화전화국, 가입전화, 국제전화 002, 디지털전용회선, 국제디지털 전용회선, 천안·의정부·안산지역 데이콤 및 천리안 서비스가 3시간동안 두절
- 이동통신 전화불통 : 15만 5천여세대 불통
- 무선호출기 불통 : 60여만명
- 언론사 방송송출 중단 : KBS, CBS, MBC 라디오의 30분~1시간
- 전화불통 : 서울에서 부산, 대구, 광주, 대전, 청주간 일부 전화불통
- 은행전산망 마비 : 혜화우체국 관내의 금융기관이 취급하는 예금인출 및 송금업무 마비

<남대구 전신전화국 지하통신구 화재>

가. 개 관

- 일 시 : 1994. 11. 18(금) 09:02경
- 장 소 : 대구시 남구 대명9동 남대구전신전화국 지하통신구
- 원 인 : 통신구내에서 전일 전기공사 후 화재가 발생한 바 있으며,

발생시점이 케이블공사등 전기공사 실시('94. 10. 4~11. 20
기간중 통신구내 전원시설 난연화공사로서 공사진도는 65%
진척됨) 지점인 점을 고려해 볼 때 전기합선으로 추정하고 있음.

나. 피해상황

- 시내구간 광케이블 : 4조 소손
- 시외케이블 : 15조 20m 소손
- 집단 전화 SC 케이블 : 1조
- 피해 회선수 : 44,684회선

<여의도 지하공동구화재>

가. 개 관

- 일 시 : 2000. 2. 18(금) 20:36경
- 장 소 : 영등포구 여의도동 35번지 소재 지하공동구
- 원 인 : 전기 단락추정 - 설치된지 20년이 경과한 노후된 154KV
송전선의 접속함 내부에서 케이블 열화 등에 의해 단락이
발생하고 유출된 절연유에 착화되어 인접한 배전선로를
따라 연소 확대된 것으로 추정됨.

나. 피해상황

- 15억 97,472천원에 달하는 재산파해
- 전화 8만 회선중 3만3천회선이 불통

<관악구 신림중앙시장>

가. 개 관

- 일 시 : 2000. 8. 2(수) 19:02경

- 장 소 : 관악구 신림 8동 541번지
- 원 인 : 승압 트랜스에서 선풍기 쪽으로 연결된 전선부분과 장판 밑에서 올라온 전선부분이 합선 등에 의한 발화가능성 추정.

나. 피해상황

- 1억 8,300만원의 재산피해 발생

<강남구 경기고등학교>

가. 개 관

- 일 시 : 2000. 10. 21(토) 23:32경
- 장 소 : 강남구 삼성1동 74 경기고등학교
- 원 인 : 절전형 전구(오슬람등) 연결부분에 탄화흔적이 발견된점, 오슬람등의 한쪽만이 남아 있고 한쪽만 떨어져 나간 점, 오슬람등이 소파 위에 설치된 점, 누전차단기가 내려진 점등으로 보아 오슬람등 연결부분의 접점부분이 불완전하게 설치되어 내부 흑연화에 의한 도전로가 형성되어 발열 발화된 것으로 추정됨.

나. 피해상황

- 1천 112만원의 재산피해 발생

<성동구 금형 공장>

가. 개 관

- 일 시 : 1999. 12.
- 장 소 : 성동구 00금형 공장
- 원 인 : 화재 현장에서 용융된 전선을 수거하여 분석한 결과 용융

된 1개소의 금속 조직에서 여러 형태의 구멍(void)과 경계면(boundary surface)을 중심으로 주상조직(columnar structure)이 관측되었는데 이것은 단락(합선)의 특징이다. 그러나 나머지 18개소의 금속 조직에서는 외부 화염에 의해서 피복이 소실된 후 단락(합선)될 때 발생하는 여러 형태의 구멍과 주상조직이 관측되었다. 즉 분전반의 날카로운 모서리와 전선이 직접 접촉됨에 따라 절연피복이 손상되어 단락(합선)된 전기화재로 판단된다.

나. 피해상황 : 재산 피해는 약 2억 원으로 추정되며 인접한 건물의 일부가 소손된 상태이다.



사진 4.1 분전함과 인입선의 접촉부분

<대구지하철 화재>

가. 개 관

- 일 시 : 2004. 4.
- 장 소 : 대구지하철 1호선 방촌역
- 원 인 : 역사 변전실 특고압을 저압으로 낮춰주는 기능을 하는 변성기의 절연물질 불량으로 변성기에 불이 났을 가능성

4.3.2 외국의 케이블 화재사례

가. 일본 일비곡 대로 지하공동구 화재(1974. 2. 14)

지하구내 상단 전압케이블의 고정이 불량한 상태에서 하단 송전케이블 공사시의 진동으로 상단케이블의 접속부가 늘어졌고, 이 접속부가 과열되어 케이블 피복부에 착화하였다.

나. 미국 뉴욕전화국 지하통신구 화재(1975. 2. 27)

통신구에서 발화그룹 케이블을 타고 전화국 청사로 확대 전소시켰고 소방관 230명이 유독성가스에 중독되었으며 복구하는데에 6개월이 소요되었다.

다. 미국 World Trade Center 화재 (1975년 2월 13일)

뉴욕의 110층 쌍둥이 빌딩 1동 11층에서 화재가 발생, 부근의 전화교환실에 옮겨 붙어 화염이 케이블 샤프트로 옮겨져 전화선을 연소매체로 하여 9층~10층의 전선을 모두 불태워 빌딩내 회사의 업무기능을 마비시키는 등 미화 100만달러 이상의 재산피해를 냈다.

라. 일본 동경 전신전화공사 지하구화재(1984. 11. 16)

통신구내 케이블화재로 약 10만 회선이 소손되어 소방서, 경찰서, 은행, 우체국, 증권회사, 운송회사, 경비회사 On Line이 정지되어 사회적으로 통신 공황을 초래하였다. 화재로 인한 소실피해는 적지만 간접피해가 엄청나다는 교훈을 준 실례였다.

마. 벨기에 TV·라디오센타 화재 (1979년 1월 7일)

벨기에의 브르셀이 있는 TV·라디오센타 지하층에서 다량의 전선케이블이 설치된 곳에 누군가가 방화를 하여 순식간에 검은 연기가스가 온 방송국을 뒤덮어 소방대의 진화활동시에 화점을 확인할 수 없을 정도였다.

진화가 된 뒤에도 전선에 피복된 PVC에서 발생한 염화수소가스에 의해 방송기자재가 부식되어 완전 복구하는데 1년 정도가 소요되는 대피해를 입혔다.

바. 일본 신문회관 화재 (1979년 11월 18일)

일본 고오베 신문회관 EPS내 전선그룹에서 화재가 발생하여 순식간에 전 빌딩이 정전이 되고 방화설비용 비상전원도 정전이 되는 대혼란이 야기되었다. 일본 나고야 지하철 화재 (1983년 8월 16일)

이 화재로 순식간에 검은 독가스가 전 건물에 번져 소방대의 화점 발견도 불가능할 뿐 아니라 소화활동에 많은 어려움이 있었다.

사. 일본 나고야 지하철 화재 (1983년 8월 16일)

일본 나고야시 지하철 변전실에서 화재가 발생하여 이 화재가 전선그룹의 피복물질에 옮겨 붙어 대량의 검은 독가스가 발생하였다.

이로 인해 지하철에 있던 승객들이 일시에 피난하느라고 대혼잡이 야기되었으며 화재진압 전문요원 2명이 사망하였다.

아. 일본 동경 지하철신케이블 화재(1984년 11월 16일)

일본 동경도 세부의 세전곡시 전화국 부근 지하철신케이블에서 화재가 발생하여 이 전화국의 모든 기능이 순식간에 마비되었다.

화재원인은 보수작업도중 케이블에 토오치버너 불뚝이 붙으면서 화재가 발생되었다.

제5장 케이블화재의 방재 대책

최근 전선 및 케이블은 전력·정보의 전달경로로서 그 중요도를 더해가고 있으며, 만일 이러한 케이블이 어떠한 원인으로 착화, 연소하는 경우 절연재, 피복재는 발열량이 많을 뿐 아니라 진한 연기와 유독가스가 발생하고, 피난·유도·소화활동 등이 곤란해지며, 많은 인명이나 중요한 기기에 큰 손해를 초래하게 된다. 또한 화재가 발생하면 축열효과가 생기는 수직 Duct, 샤프트 등이 특히 케이블 화재 발생시 위험한 장소가 된다.

케이블에서 과열로 화재가 발생하였거나 외부의 요인으로 케이블이 인화되었을 때 케이블을 매개로 화재가 확대되는 경우가 많기 때문에 효과적인 방재 대책을 수립하지 않으면 그룹 케이블 화재의 위험성도 증가하게 될 것이다.

케이블의 방재대책으로는 아래 표와 같이 화재가 발생하지 않도록 예방하는 출화방지 대책과 화재가 발생한 경우의 연소방지 대책으로 대별할 수 있으며, 이에 따라 난연성 케이블 사용, 관통부 방재 및 기설 케이블의 철저한 관리 등이 화재 예방 및 확대방지를 위해 중요하다는 것을 알 수 있다.

표 5.1 케이블의 방재대책

구 분	방재대책
출화방지	1) 케이블 선로, 전기기기의 적정화
	2) 점검, 보수 등 유지관리 철저
	3) 케이블의 난연화, 불연화
연소방지	4) 화재의 조기발견, 초기소화
	5) 케이블 관통부 방화조치
	6) 케이블 난연화, 불연화

위에 제시된 방재대책을 세부적으로 나타내면 표 5.2와 같이 세분할 수 있다.

표 5.2 케이블 화재 확대 방지대책의 세부적인 사항

요구조건	세부적인 사항
1) 케이블 선로, 전기기기의 적정화	① 보호계통의 검토 ② 접지계통의 검토 ③ 케이블 종류, 규격의 검토 ④ 배선방법의 검토 ⑤ 지진, 수해대책
2) 점검, 보수등 유지관리	① 정기점검 ② 절연진단 ③ 유압온도감시 ④ 공사 중의 부주의 방지(용접, 불꽃, 외상 등)
3) 케이블의 난연화, 불연화	① 불연 케이블의 채용 ② 난연 케이블의 채용 ③ 케이블의 보호 : 방화도료, 방화테이프, 방화시트
4) 케이블 관통부의 방화조치	① 구획 관통부의 방화조치 ② 동도, Duct내의 격벽 ③ 반자 밑 등의 방화
5) 조기발견	① 케이블의 이상, 온도 감지 ② 화재경보설비 : 감지가, 화재경보 ③ 자동소화설비 : 스트링클러, CO ₂ , 할론
6) 기타	① 동물의 침입방지 : 침입로 폐쇄 ② 방화대책

5.1 케이블의 난연화

5.1.1 케이블의 난연화 · 불연화

케이블의 절연재나 피복재는 고분자 화합물을 사용하므로 열에 의해 재료가 용융되고 분해되며, 그때 발생한 분해 가스가 공기 중의 산소와 혼합되어 인화 또는 발화에 의해 연소하게 된다.

따라서 연소를 방지하기 위해 난연성 재료를 사용하여야 하는데, 난연성 재료로 할로젠을 포함하는 물질을 사용하면 피복재료가 연소시 가스화되어 독성·부식성 연기에 의해 2 차재해를 유발할 위험이 있으므로 할로젠을 포함하지 않는 난연성 케이블을 사용하여야 한다.

기존 가연성 케이블의 단계적인 난연화, 불연화 조치와 새로 시공하는 신설 케이블의 경우는 난연 또는 불연 케이블을 사용하며 케이블보호를 위하여 난연성 방화도료, 방화테이프, 방화시트를 사용한다.

난연성 케이블을 의무적으로 사용하는 강제규정은 1999년 전기설비기술기준에서 명시하였으므로 2000년 이전에 설치한 케이블은 거의 난연성케이블이 사용되지 않은 관계로 난연도료나 난연테이프 등으로 케이블 방재대책을 수립하여야 한다.

5.1.2 기존 케이블의 난연화 방법

가. 방화도료 : 기존 케이블의 표면에 도포하여 난연성 피복을 형성, 선로의 연소확대를 방지한다. 보통 물로 희석시킨 도료를 스프레이, 솔 또는 롤러로 바른다.

이 방법은 어떤 형태의 케이블도 용이하게 바를 수 있는 장점이 있으나, 건조 후에는 굳어져 벗기기 어렵기 때문에 케이블의 증·개설이 빈번한 선로에는 주의해야 한다.

이 방법은 자동식 소화설비나 방화테이프가 비현실적, 비경제적인 장소에서 가장 적절한 연소방지 대책이다.

나. 방화테이프 : 주로 단선으로 배선된 케이블의 표면에 감는 난연성 피복으로서 선로의 연소를 방지한다.

보통 고난연 재료의 두께 0.7 ~ 1.4mm인 테이프로서 신축성이 있으므로 케이블의 열 이동에 따라서 CV 케이블, 특고압 CV 케이블 등 대용량 케이블에 적용된다.

다. 방화시트(Sheet) : 불연재인 유리섬유를 이중으로 해서 재단 봉재한 시트로서 길이 및 폭은 케이블의 크기에 맞춘 치수로 함으로써 연속해서 케이블 선로 전체 감쌀수가 있다.

전체를 불연성 시트로 감싸므로써 선로가 난연화되고, 연소방지 효과가 증대된다. 또 이중의 유리섬유 사이에 불연 단열재인 세라믹을 끼운 것은 연소방지 효과뿐 아니라 케이블의 내화보호 효과도 있다.

방화시트는 주로 통전에 따른 발열이 없는 통신, 신호 케이블에 적용되지만 연소방지 및 작업성이 좋아 최근에는 전력 케이블에도 적용되고 있다.

5.1.3 발화원의 억제

케이블 및 선로 및 전기기의 안전을 위해 보호계통 및 접지계통의 안전검토와 배선방법의 안전성을 검토하여 발화원의 근원을 없애는 구조로 개선하

고 용접공사중 부주의로 화재가 난 경우가 많았으므로 용접등 불꽃을 발생시키는 공사시에는 사전 안전점검과 필요시 소방서에 신고토록 협조한다.

5.1.4 소방용 전선 사용 의무화

최근 들어 각종 빌딩 및 상가 등이 대형화, 인텔리젠트화됨에 따라 화재 사고시 재산 및 인명피해가 심각해지고, 소화장비를 비롯한 경보 장치의 미동작으로 재해가 막대하기 때문에 행정자치부에서는 소방법시행규칙을 개정하여 소방용 전선 사용을 의무화 하고있다.

소방용 전선으로 사용되는 내화, 내열 전선은 연소되어도 규정시간 동안 단락되지 않고 전력이나 신호를 계속 보내는 목적으로 사용하는 케이블이다.

내화전선은 840±84℃의 온도로 30분 동안가열하였을 때, 내열전선은 380±38℃의 온도로 15분 동안 가열하였을 때 인가 교류전압에 단락되지 않아야 한다

5.2 관련법규의 준수 및 관리대책

5.2.1 소방기술기준의 준수등

- 1) 소방법 시행령 제28조 : 연면적 33㎡ 이상인 경우 수동식소화기 또는 간이소화용구를 설치한다.
- 2) 소방법 시행규칙 제28조 제1항 및 소방기술기준에 관한 규칙 제 85조 제5항 자동화재탐지설비를 설치해야할 지하구는 길이가 500m이상 (전력 또는 통신사업용 외의 경우로서 동일 구역내에 설치된 각 특수장소간을 연결

하는 것을 50m이상)인 것.

3) 소방법 시행령 제32조 제6항 및 소방기술기준에 관한 규칙 제142조의3 내지 제146조의 6지하구에 설치하는 연소방지설비의 송수구, 배관, 방수헤드 및 연소방지도료의 도포에 관한 기술수준을 준수

4) 개선사항

가. 배전반등 화재발생 취약장소에 자동식소화기 설치

나. 출입구, 환기구, 작업구등 취약장소에 소화기 비치

다. 출입구, 환기구, 작업구등 취약부분(좌우20m이상)을 난연재료로 도포

라. 환기, 조명, 배수등 설비의 방화구조로 개량 보완

마. 화재로 인한 전력 차단에 대비 환기 및 조명시설의 전용선로 구성

바. 연소확대 방지를 위해 적정장소에의 방화구획 연기의 확산 방지를 위해 제연구획

사. 화재발생 우려지역 또는 중요시설 배치지역에 자동소화설비 설치

아. 케이블 관통부에서의 방화조치 및 닥트내의 격벽 설치

5.2.2 시공상의 방화대책

1) 신축 건물

건물화재방호에 대한 설계지침의 기본 원리는 화재에 영향을 줄 수 있는 재료를 사용하지 않는 것이며 규정된 사항에 따라 케이블을 시험하고 받아야 한다.

천장 은폐공간의 경우, 승인된 케이블을 설치하는 것의 대체방안으로 천장의 내화성능이 1시간이 되도록 하고 단열재를 설치하는 것이 권장된다.

조명기구 등에 의해 내화성능이 떨어질 수 있으므로 승인 케이블이 더 나은 방안으로 고려되어야 한다.

2) 개축 건물

건물을 개축하는 경우 승인된 케이블로 교체할 것을 권장한다. 기존의 케이블을 제거하지 않은 경우에는 예상치 못한 화재위험이 존재할 가능성이 있으므로 화재방호 수단을 강구하여야 한다.

자동식 가스계 소화설비(자동화재 탐지설비에 연동) 또는 자동식 스프링클러설비가 가장 이상적이라고 할 수 있다.

이러한 소화설비를 설치할 수 없는 경우 중앙감시실에 연결된 화재탐지설비를 통신케이블이 있는 모든 은폐공간에 설치하여야 한다. 이러한 설비는 화재발생 장소를 정확히 알 수 있다.

3) 기존 건물

기존 건물에 대해서도 설계지침에 포함된 내용을 따를 것을 권장하며 다음과 같이 조치하여야 한다.

- 통신케이블의 양과 설치범위를 확인한다.
- 방화차단재의 조건, 간격, 위치를 파악하고, 방화차단재의 설치가 양호한지 확인한다.
- 적절한 감지설비를 설치할 것을 조언한다.

4) 케이블의 곡률반경 확인

곡률반경이라 함은 활모양으로 굽은 만곡부(彎曲部)에서 원의 중심점까지의 길이를 말하며 케이블을 포설하거나 접속하기 위하여 구부리는(Bending)

경우 케이블에 손상을 가하면 화재발생의 원인이 되기 때문에 굴곡부에서 전기적·기계적 특성을 저하시키지 않도록 시설하는 것이 필요하다. 22.9kV 케이블의 경우 단심은 외경의 10배, 3심케이블은 외경의 7배이상 되어야 하며, 저압케이블의 경우 단심은 외경의 8배, 3심케이블은 외경의 6배이상 시설되었는지 확인한다.

5) 통신선 등 약전류 전선과 이격거리 확인

케이블이 약전류전선 또는 지중 광케이블 등과 접근 또는 교차하는 경우에 상호간 이격거리가 저압이나 고압케이블은 30cm이상, 특별고압 케이블과는 60cm이상 이격하여야 하며 이격거리가 미달시에는 케이블과 통신선 사이에 견고한 내화격벽을 설치하거나 통신선을 견고한 불연성 또는 난연성 관에 넣어 시공이 되었는지 확인한다. 전기관련 설비 중에는 많은 전기설비가 있지만 본고에서는 화재 발생시 인적 물적 피해가 가장 크며 사고의 파급이 가장많은 케이블을 중심으로 방재요령에 대하여 살펴 보았다.

6) 케이블 관통부에 방화조치

만일 건물 내에서 화재가 발생하면 케이블에 따서 연소하여 다른 층이나 인접 건물에 화재가 확대된다. 따라서 이와 같은 케이블 관통부에 대해서는 관통하고 있는 벽이나 바닥에 내화, 방화 구조의 방화조치 및 닥트내에 격벽설치가 필요하다.

현재 국내에서는 건축법시행령에서 화재시 연소 및 연기의 확산을 방지하기 위하여 급수관, 전선관등의 방화구획을 관통하는 부분은 불연재료로 충진하도록 의무화하고 있다

7) 화재감지기 설치

정온식 감지선형 감지기는 특히 화재발생의 개연성이 있는 대상물인 케이블 트레이 등에 직접 근접설치가 가능하여 그 효율이 배가 될 수 있어 자동 화재탐지 감지기로는 더욱 적합한 감지기이다.

그리고 정온식 감지선형 감지기의 설치위치는 비록 포설, 철거시 불편하다고 할지라도 천장보다는 반드시 케이블 트레이 상부에 설치하여야 할 것이다. 그래야만 본 감지기의 성능을 십분 발휘하게 된다.

8) 방화차단재

설계지침과 건축법규 모두 공간의 소방구획에 방화 차단재를 권장한다. 그러나 방화 차단재를 전선, 배관 등의 지원설비가 관통함으로 해서 효과가 감소하는 경우가 종종 있다.

특히, 기존 건물에 지원설비를 재설치할 경우 방화차단재의 효과가 감소하는 경우가 많다.

방화차단재는 지원설비의 설치가 가능하며 새로운 지원설비를 재설치 할 수 있는 구조이어야 이상적이고, 항상 양호한 조건으로 유지 관리하여야 한다. 화재시에 화염과 연기를 차단할 수 있어야 함은 물론이다.

표 5.3 방화차단재의 종류와 비교표

건물용 방화차단재		
재료	설치방법	연기차단성
실리타 시멘트계 보드	실란트	양호
비강화 석고보드	실란트	양호
강화성보드	케이블 도관등 설치	양호
암면솜	세부설계요구	호일막 설치하면 양호
반고체 암면슬래브	실란트	양호
강판 덧댄 섬유강화시멘트보드	실란트	양호
질석 뽀칠망	세부설계요구, 소형은 실란트로 밀폐	양호
유리섬유계 커튼	설치전문가가 설치	코팅되어야 양호

방화차단재의 종류와 사용에 대해서는 앞의 표와 같다.

공조덕트 등 공기의 유동이 필요하여 대체방호수단이 고려되는 공간에는 방화 차단재를 설치할 수 없다. 이러한 경우 화재 및 연기의 전파위험은 매우 높은 것으로 간주된다.

5.2.3 관리적 측면개선

1) 전기화재징후 및 전기화재 예측시스템

퓨즈나 과전류 계전기를 사용하여 전기적 과부하 상태를 방지할 수 있기는 하지만, 이러한 장치들은 아크로 인한 전기화재를 예방함에 있어서는 일반적으로 효과를 발휘하지 못하는데, 이는 퓨즈가 절단되거나 과전류 계전기가 절환되는 전류레벨보다 낮은 레벨에서 아크가 발생하고 지속되기 때문

이다. 한편, 일반적으로 분전반에 적용되는 누전차단기는 누전정격 30mA/0.03sec(국내의 경우)하의 누전현상에서 동작하며, 누전차단기의 주 용도는 전기화재의 예방이 아니라 누전으로 인한 인체의 감전사고 대비한 조치이다.

이에 따라, 전기 배선 내에서 발생하는 아크에 의해 야기되는 화재징후를 검출하기 위하여 다양한 장치들이 고안된 바 있다.

그렇지만 이런 장치들은 전기적 아크로 인한 화재 위험을 감지할 뿐이며 과부하에 의한 전선의 과열은 감지하지 못한다는 단점이 있다.

최근 들어서 미국에서는 아크로 인한 전기화재 및 사고를 대비하기 위한 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)라는 차단기 형태의 아크차단 장치가 소규모 수용가의 저전류 분기회로에 적용되고 있다. 이러한 전기화재의 징후인 아크와 스파크가 발생하는 조건은 주변 환경과 설비의 노후 및 절연내력의 약화, 외부적인 충격이나 물리적 요인을 비롯한 다양한 요인으로 인하여 발생되며, 사고가 발생하는 전기적 회로 유형도 다양하다. 이처럼 다양한 전기화재 사고 중에서 주요 사고 사례 중의 하나가 선로 혹은 전선의 절열 파괴로 일어나는 직렬아크, 스파크(series arc, spark) 현상(누전차단기 혹은 과전류차단기가 동작하지 않는 범위의 아크사고 모의)이다.

전기화재예측시스템은 현장 분전반 혹은 전력 분기회로에 시설하여 현장의 전압과 전류신호를 계측하여 실시간 신호 처리후 전기화재징후의 특성 데이터를 분석함으로써, 현장선로에서 발생하는 전기화재의 징후인 아크와 스파크를 검출하여 이를 경보하는 장치이다.

상기 언급한 바와 같이 국외에서는 이미 전기화재의 직접적인 사고로 아크와 스파크를 규정하여 그 현상을 모의하고 원인을 규명하는 작업들이 이루어지고 있으며, 기술기준과 관련분야의 논문발표가 활발히 이루어지고 있다. 아울러 AFCI와 같은 차단기형태의 보호 장치들이 실제 활용되고 있다.

이러한 외국의 사례와 비교하여 국내에서는 전기화재의 원인분석에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 전기사고 특히 전기화재를 사전에 예방하고 검출, 보호하는 장치의 개발이나 관련분야의 연구 활동이 비교적 미흡하다. 따라서 국내에서도 전기재해 중 치명적 손실과 피해를 가져오는 전기화재에 대한 기술기준의 마련과 관련분야 연구가 보다 활발히 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2) 관련기관과의 공조체제 유지

가. 공조체제의 구축 : 소방관서와 관련유관기관(시·도, 한국통신, 상·하수도, 토목, 건축, 전기안전, 한전 등)과의 주기적 합동점검, 비상연락망 유지 및 업무협조를 강화한다.

나. 24시간 관리체제 확립 : 시설의 중앙집중 안전관리 도모와 24시간 관리체제를 확립하여 평상시 순회안전점검과 순찰근무 경계를 강화한다. 또한 지상과 지하내부와의 비상연락 등 긴급통신망을 설치한다.

다. 전기시설물 보안강화 : 불순분자 또는 상습 방화범 등 불특정인이 통제되도록 전기시설물 출입 등에 대한 보안장치를 강구한다.

라. 감시 및 경보장치 관리 : 화재, 폭발 등 사고발생시 경보장치의 정상화 유지 및 관계자 등의 출입여부, 감시장치(CCTV)의 자동화가 유지되도록 한다.

마. 신설 케이블에 대한 정보교환 : 앞으로 신설되는 케이블 공사 등은 사전 소방관서에 확정된 계획을 통보하여 정보를 교환하고 화재예방 의견안을 의무화하도록 한다.

5.3 소방법규의 개선점

5.3.1 현행제도

- 가. 소방법 시행령 제28조 → 연면적 33㎡이상인 경우 수동식 소화기 또는 간이소화용구 설치
- 나. 소방법 시행규칙 제28조 제1항 및 소방기술 기준규칙 제85조 제5항 → 자동화재 탐지설비를 설치해야 할 지하구는 길이가 500m이상 (전력 또는 통신사업용 외의 것으로 동일 구역내에 설치된 각 특수장소를 연결하는 것이 50m이상)인 것.
- 다. 소방법 시행령 제32조 제6항 및 소방기술 기준규칙 제142조의3 내지 제146조의6 → 지하구에 설치하는 연소방지설비의 송수구배관, 방수헤드 및 연소방지 도료의 도포에 관한 기술기준을 준수.
- 라. 소방법 시행령 제 28조 4항 → 물분무등 소화설비를 설치하여야 하는 소방대상물은 전기실·발전기실·변전실·축전지실·통신기기실 및 전산실로서 바닥면적이 300㎡이상인 것.

5.3.2 개선사항

- 가. 지하구에 대한 자동식 소화기 설치강화 → 지하구 전구간 보행거리 20m마다 자동식 소화기 1대이상 설치(단, 할로젠화합물·이산화탄소·분말소화설비가 설치된 부분제외)
- 나. 피난구 유도등 설치 의무화 → 출입구, 환기구, 작업구 등 지상 피난가능장소 필히 설치.
- 다. 자동화재 탐지설비 설치규정 강화 → 현 길이가 500m이상 지하

- 구를 길이가 250m이상 지하구로 개정 및 감지기 설치규정 강화.
- 라. 일정구간별 갑종 방화문 또는 자동폐쇄장치 설치 의무화 → 신설 지하구에 대한 법적 의무화.
- 마. 물분무 등 소화설비 설치규정강화 → 현, 전기실·발전기실·변전실·축전지실·통신기기실 및 전산실로서 바닥면적이 300㎡이상인 대상물을 그 이하의 바닥면적인 대상물에도 설치토록 규정 강화.

5.3.3 전기관련시설에 대한 개선사항

- 가. 지하구 및 배전반 등 화재취약 장소에 자동식 소화기 설치.
- 나. 전기관련시설 취약 장소에 소화기 추가 설치.
- 다. 케이블 관통부 등 취약부분 좌·우 20m이상 난연, 방염재료로 도포.
- 라. 환기, 조명, 배수 등 설비의 방화구조로 개량 보완.
- 마. 화재로 인한 전력차단에 대비 환기 및 조명시설의 전용선로 구성.
- 바. 지하시설물에 대한 불순 동기자 또는 상습 방화범등 불특정이 통제되도록 지하구 출입시설 및 환기구 등에 대한 보안장치 강화.

5.3.4 자동식 가스계 소화설비(자동화재 탐지설비에 연동) 또는 스프링클러설비 설치

통신장비실의 경우, 바닥 구조재에 의해 직접 지지되는 높임바닥의 아래에 통신케이블을 설치하는 것이 일반적이다. 이는 케이블을 은폐시킬 수 있으며, 높임바닥 패널을 통하여 쉽게 케이블에 접근할 수도 있다. 여기에는 다음 사항들 중 하나가 권장된다.

- 자동식 가스계 소화설비(자동화재 탐지설비에 연동)
- 자동식 스프링클러설비

제 6 장 결 론

현대사회에 있어서 전기 및 통신기능이 두절되면 모든 분야에 심각한 영향을 준다. 따라서 전기 및 통신의 전달매체인 케이블의 화재위험에 대한 관심이 높아지고 있다. 화재가 발생하면 직접피해는 물론 2차적인 재해나 사회적으로 끼치는 영향은 매우 크다.

우리나라의 도시 밀집화 현상은 건물의 고층화 진전과 더불어 케이블의 활용이 대규모화되고 복잡 다양화해져 보다 심층화 하는 경향이 있음을 보여준다. 이러한 현상은 케이블화재의 특수성에 비추어 볼 때 화재예방은 물론이고 방화대책에 아주 취약하다고 볼 수 있다.

케이블의 신뢰성 있는 운용을 위한 기존의 안전대책으로는 현재 관련법규의 기술기준에 의해 시공, 설계, 감리가 이루어지도록 케이블 관련시설을 설치하여 재해 등의 피해를 최소화 하도록 하는 것이며, 또한 근원적인 케이블의 난연화, 불연화와 그의 유지관리의 적정화를 기하는 작업이 필요하다.

이러한 케이블의 신뢰성 있는 운용을 위한 기존의 안전대책으로 케이블의 난연화, 불연화, 발화원 억제, 관련 기술기준 준수 등을 들 수 있으며 더불어 케이블화재에 대비한 개선하여야할 효율적인 방화대책으로는 소방시설의 설치규정을 현재보다 강화하여 한다.

소방시설의 사각지역에 설치된 케이블시설의 화재안전을 위하여 케이블화재의 특이성을 감안한 자동화재 탐지설비 및 연소방지설비를 적용하도록 하며, 장기적인 대책으로써 일정기준이상의 시설에만 적용되는 소방설비 설치규정을 그 이하의 광범위한 대상에 물분무 등 소화설비를 설치토록 제도적으로 소방법규를 개선 보안하고 개정이 이루어지도록 하여야 할 것이다.

케이블화재는 일반화재에 비해 인명구조, 피난, 소화, 연소 확대방지 등

소방 활동이 곤란한 점이 많기 때문에 화재이후 보다는 화재이전의 예방대책 강구가 필히 선행되어야 하고 화재발생시 조기발견 및 초기진화에 중점을 두어야 할 것이다. 이러한 노력과 효율화가 병행되어야 만이 피해를 최소화 하는데 큰 효과가 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 제주도 소방방재본부 “전기통신 및 전기시설 화재예방 대책” 2000
2. 인천광역시 소방본부 “지하가 및 지하공동구 화재예방 대책” 2000
3. 임양수 외 5명 “전기화재공학” 동화기술 2000
4. 현성호 외 2명 “방화방폭공학” 신광문화사 2003
5. 김병호 “전선 및 케이블 공동구 방화대책” 소방안전협회 소방기술자료집 제2집 1995
6. 소방안전협회 “케이블 관통부 방화대책” 소방안전협회 소방기술자료집 제2집 1995
7. 이덕출 “전기로 인한 화재원인 및 분석대책” 소방안전협회 소방기술자료집 제2집 1995
8. LG화재 기술기준 “케이블 방재대책” LG화재 2001
9. 서울소방방재본부 “2002, 2003년 서울특별시 화재통계연보” 서울소방방재본부 2004
10. 부산광역시 소방본부 “지하층 및 무창층 화재예방 대책” 부산광역시 소방본부 2000
11. LG전선 “허용전류 관련자료” LG전선 2000
12. 우유진 “케이블 화재안전대책” Fire Prevention 2001
13. 행정자치부 “소방국 화재통계연보” 행정자치부 2004

ABSTRACT

Analysis of the Causes for Cable Fire and Improvement of the Systems

Major in Electrical Engineering

The Graduate School of Engineering

Yonsei University

Supervised by Prof.

Since the information & communication industry develops more and more with increasing demands for power in our modern society, it is expected that more cables will continue to be constructed to meet the demands. Cables are essential elements of the information society, while being parts of the infrastructure for such important industrial bases as communication and power facilities.

For cable constructions, it is required by domestic codes to compart the cables with sensors, fire walls, etc. However, the systems and mechanisms sensing any fire promptly to extinguish or control it need to be improved.

A cable fire may blow a huge damage to properties, disrupt the communication systems and other national and urban functions seriously, and furthermore, may stop the production systems only to incapacitate nation's economy. In short, the damages resulting from a single cable

fire may be very extensive and serious.

In order to prevent such damages, it is essential to prevent any cable fire, but if a cable fire breaks out, it is necessary to minimize its damages by insulating the power cables and installing the fire-proof walls, floors and ducts.

On the other hand, it is also necessary to monitor the cable facilities appropriately, and to this end, it is deemed required to apply not only separate photoelectric sensors but also optical fiber sensors to effectively monitor the cables covering long distances.

In addition, in order to prevent any cable fire from spreading, it is important to fight the fire at its initial stage. Therefore, it is necessary to design and install sprinklers or similar equipments depending on spot conditions.

Nevertheless, since the current fire fighting codes and their technical references do not specify fire monitoring systems and fire extinguishers for cable facilities, such systems and equipments are specified by designers, constructors, clients or fire-fighting officials independently.

Under such circumstances, this study is aimed at analyzing the causes for cable fires and thereupon, discussing based on working officials' opinions the ways to enhance the performance of fire-fighting facilities for cable fires and thereby, suggesting the directions for rewriting the relevant fire-fighting codes.