에어컨 화재사례 분석 및 예방대책에 관한 연구

김동욱[†] · 이기연 · 김동우 · 길형준 · 방선배 · 정영식*

전기안전연구원, *인천대학교 전기공학과

A Study on the Fire Case Analysis of Air Conditioner and Preventive Measures

Dong-Ook Kim[†] · Ki-Yeon Lee · Dong-Woo Kim · Hyung-Jun Gil · Sun-Bae Bang · Young-Sik Chung*

Electrical Safety Research Institute (KESCO)

*Inchon University

(Received February 13, 2013; Revised April 5, 2013; Accepted April 5, 2013)

요 약

전기화재는 다양한 원인에 의해 발생하고 있으며 최근에는 복합적인 원인에 의해 발생하기 때문에 전기적, 열적, 기계적, 환경적 영향에 의한 제품의 열화특성과 발열 메커니즘 등 체계적인 연구와 분석을 통한 과학적이고 합리적인 안전설계안 제시를 위한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 재해로 인한 인적·물적 손실은 국가와 기업의 대외 신뢰도 하락을 가져오고 있으며 제품 안전에 대한 수요는 무한 경쟁에 따른 규제완화의 이유로 증가하고 있다. 기업의 이미지를 증진시키고 국제적 경쟁력을 강화시키기 위해 제품에 대한 안전 설계는 반드시 필요하다. 본 논문에서는 사용량이 점차 증가하고 있는 에어컨에서 전기화재가 발생한 사례와 원인 및 재현실험을 통해 안전설계에 대한 제시를 위해 수행하였으며 화재 예방대책 등의 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대한다.

ABSTRACT

In recent years, many electrical fires have occurred due to complex causes. Therefore, products are required to make with scientific design considering electrical, thermal, mechanical and environmental influences. Disasters can cause losses of life and property with fall in confidence of countries and companies. And demands for safe product have been increased by reason of recent deregulation followed by limitless competition. It is necessary to design safe product in order to improve corporate image and strengthen international competitive power. This paper addresses electrical fire case of air conditioner. The use of air conditioner have recently increased as a result of global warming. The aim of this study is to provide safety design and fire prevention measures of air conditioner through cause analysis and reappearance experiments.

Keywords : Air-conditioner, Electrical fire, Fire protection, Tracking prevention, Fire safety

1. 서 론

세계적인 이상 기후 변화에 따라 점차 기온이 상승하고 있으며, 지구촌 곳곳에서 화산 폭발, 지진과 홍수와 폭염 등이 발생하고 있다. 최근 들어 기온의 상승에 따라 여름철 열대야가 지속되는 날이 늘어나고 있으며 생활 수준의 향상과 더불어 편리한 제품들이 보급되고 있으며, 우리나라의 대도시의 주거형태가 아파트를 중심으로 이루어져 있어 개별 냉방수요가 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 또한, 대단위 쇼핑몰 및 주상복합 건물들이 속속 들어섬에 따라 냉난방기기의 수요 및 용량이 커지므로 여름철 냉방

기기에서 화재가 급증하고 있다.

이러한 냉방기기에서의 전기화재는 다양한 원인에 의해 발생하고 있으며 최근에는 복합적인 원인에 의해 발생하기 때문에 전기적, 열적, 기계적, 환경적 영향에 의한 제품의 열화특성과 발열 메커니즘 등 체계적인 연구와 분석을 통한 과학적이고 합리적인 안전설계안 제시를 위한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다⁽¹⁾.

전기화재로 인한 인적·물적 손실은 국가와 기업의 대외 신뢰도 하락을 가져오고 있으며 자율 경쟁제도 도입에 따른 안전과 관련된 규제완화에 대한 보완책으로 민간 자율에 의한 안전인증 등이 진행되고 있으나 생산자, 판매자,

[†] Corresponding Author, E-Mail: dokim@kesco.or.kr
TEL: +82-31-580-3035, FAX: +82-31-580-3045

소비자 모두가 안전을 확보할 수 있는 최적의 안전성 확보가 필요하며, 실증적 실험을 통한 안전설계대안 제시를 통한 산업기술의 발전과 기업의 이미지 제고, 지속적인 생산성 확보로 국가 경쟁력 확보를 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 사용량이 점차 증가하고 있는 에어컨에서 전기화재가 발생한 사례와 원인 및 재현실험을 통해 안전설계에 대한 제시를 위해 수행하였으며 화재 예방대책 등의 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대한다.

2. 본 론

2.1 에어컨의 보급률 및 화재 통계

여름철 폭염과 장기화되는 더위로 에어컨의 수요는 점증 증가하고 있으며 한국전력거래소에서 조사한 “가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사”에 따르면 Table 1과 같이 2011년 주요 가전기기의 전력사용량은 2009년 조사결과 대비 1.3 % 감소한 약 21,473 GWh를 기록하여 주택용 전력사용량의 28 %를 차지한 것으로 분석됐다. 여름철 및 겨울철 최대전력에 직접적인 영향을 미치는 계절적 가전기기의 경우 선풍기를 제외한 대부분 기기들의 보급률이 증가하는 모습을 보이고 있으며 냉방기기 중 에어컨 보급률(0.61대/가구)은 소득 및 생활수준 향상으로 09년 대비 1.67 % 증가한 반면, 에어컨과 대체재 관계가 있는 선풍기(1.61대/가구)의 경우 09년 대비 8.52 % 하락하였다. 향후에도 에어컨의 보급은 완만한 상승세를 이어갈 것으로 보이며, 선풍기는 보급률이 점차 하락할 것으로 전망되었다⁽²⁾.

Table 2는 연도별 에어컨에서 전기화재 발생 통계를 나타낸 것으로 매년 60~70여 건으로 전제 전기화재의 약

0.7 %를 차지하였다⁽³⁾.

2.2 에어컨의 원리

에어컨은 슬림형과 벽걸이형, 천정형의 실내기와 실외기가 포함되어 구성되며 이들은 에어컨의 기본기능인 냉방 기능에 풍향, 풍량 등 기본형과 기능 및 구조가 모두 기본형과 같으나 공기청정기능이 추가된 고급형 등이 있다.

에어컨의 기본원리는 기화열에 의한 냉각이다. 액체가 기체로 기화할 때는 열을 흡수하고 기체가 액체로 응축할 때는 열을 방출한다. 기화할 때 흡수하는 열이 기화열이다. 에어컨은 Figure 1과 같이 압축기로 압력을 크게 변화시켜 기체 상태였던 냉각제를 액체로 응축한 후 압력을 낮춰서 증발기 안에서 액체 상태의 냉각제가 다시 증기로 기화할 때 열을 빼앗아 주위의 온도를 낮춘다. 에어컨과 냉장고의 의한 냉각은 많은 기화열을 효율적으로 얻을 수 있는 간단한 냉각 사이클을 통해 이루어진다. 열은 원래 높은 온도에서 낮은 온도로 이동하지만 에어컨의 냉각 사이클을 통해서 반대 방향인 낮은 온도의 실내에서 높은 온도의 실외로 옮겨간다. 실내기에서는 차가운 바람이 나오고 실외기에서는 더운 바람이 나온다.

2.3 에어컨 실내기의 구조

Figure 2는 실내기의 내부를 나타낸 것으로 공기흡입구

Figure 1. Principle of air-conditioner.

Table 1. A Distribution Rate of Seasonal Appliance

Year	Fan	Air conditioner	Electric heater	Electric pad
2006	1.75	0.48	0.03	0.03
2009	1.76	0.60	0.04	0.03
2011	1.165	0.61	0.05	0.04
Increase rate compared to 2009 (%)	▽8.52	▽1.67	▽25.0	▽33.3

Table 2. A Fire Statistics of Air Conditioner

Year		2009	2010	2011
Total Electrical Fire		9,391	9,442	9,351
Air conditioner	Electrical fire (Number)	68	70	65
	Death (Person)	0	0	0
	Injury (Person)	5	1	0
	Property damage (won)	277,991,000	135,654,000	146,958,000

Figure 2. Structure of indoor unit.

안쪽에 냉각핀(증발기)(①)이 각각 위치한다. 냉각핀 위에는 찬 공기를 송풍하기 위한 송풍기(모터, 팬, 하우징 등)(②)가 있으며 최상부에는 차가워진 공기를 외부로 보내기 위한 송풍구(③)가 위치한다. 또한 송풍기 모터의 부근에는 기동용 콘덴서(④)가 위치한다.

2.4 에어컨 화재사례 및 재현시험

2.4.1 연소패턴 분석

Figure 3은 실내기 상부의 소손 패턴을 비교한 것으로 (a)의 정상품의 경우 중앙에 송풍용 모터와 연결된 송풍용 팬, 팬을 둘러싼 송풍용 하우징과 차가운 공기를 송풍하는 송풍부분과 송풍용 모터의 기동용 커패시터로 구성되어

있다. (b)의 소손품의 경우, 송풍용 팬과 하우징, 송풍부분의 절연물이 심하게 용융, 탄화된 것을 확인할 수 있다. 실내기 상부의 용융, 탄화 패턴으로 볼 때, 열적 영향은 가운데 부분을 중심으로 위 아래로 화염이 확산된 것으로 추정된다.

또한 정상품의 경우 중앙의 모터에 팬이 설치되어 있으며 그 주위에 둥근 모양의 하우징이 설치되어 있다. 하우징 중앙부분은 둥근 구멍이 뚫어져 있으며 이곳으로 차가운 공기가 유입되어 팬의 동작에 의해 상부의 송풍구를 통해 기기 밖으로 배출된다. 송풍부분과 경계는 플라스틱과 스펀지 등으로 막혀있는 구조이다. 송풍 팬과 송풍용 하우징은 열에 의해 심하게 용융되고 변형된 것을 볼 수 있다. 송풍부분은 열에 의해 용융, 탄화되어 형체가 없어짐을 알 수 있고 Figure 1의 ④부분에 기동용 콘덴서가 하부로 소략되었다.

Figure 3은 실내기 하부의 소손 패턴을 비교한 것으로 소손품의 내부는 경년사용에 따라 내부의 냉각핀(열교환기) 주위에 이물질이 부착되어 있는 것을 볼 수 있으며 그 외에 전기적 이상 현상 등 특이사항은 발견되지 않았다.

Figure 4는 정상상태의 커패시터와 소손된 실내기에 설치된 송풍기 기동용 커패시터를 비교 분석한 것이다. 실내기에 설치된 커패시터는 $4\mu\text{F}$, 440 VAC, 50 Hz/0.55 A, 60 Hz/0.66 A이다. 송풍 모터용 커패시터는 (a)와 같이 송풍 하우징의 좌측 상단부에 수평으로 설치되어 있는 것을 볼 수 있으며 (b)와 같이 커패시터의 단자 충전부는 외부에 노출되어 있는 것을 알 수 있다. (c)는 수평으로 놓혀 정상품과 소손품의 외형을 비교한 것으로 소손품의 경우 외부 표면에 검은 그을음이 부착하였으며 커패시터가 팽창하지는 않음을 알 수 있다. (d)는 수직으로 세운 것으로 소손품의 경우 극간의 절연물이 손상된 것을 알 수 있다. (e)는 소손된 커패시터의 극간 저항을 측정한 것으로 극간의 저항이 무한대(∞)를 지시함을 볼 수 있다. (f)는 극간 절연물 사이의 저항을 측정한 것으로 약 50Ω 의 저항이

Figure 3. Upper part of indoor unit.

Figure 4. Lower part of indoor unit.

Figure 5. Carbonized pattern analysis for the damaged capacitor.

측정됨을 볼 수 있다. 이는 커패시터의 극간에 절연파괴가 발생하여 탄화도전로가 형성된 것으로 판단된다.

2.4.2 재현실험

모터에 접속된 기동용 커패시터의 극간은 절연물로 구성되어 있으며, 극간 절연저항은 무한대(∞)이다. 그러나 극간에 먼지, 수분, 염분, 화학약품 등이 부착되어 표면에 전류가 흐르면 미소방전이 발생하고, 이러한 과정을 반복하면 절연이 파괴되어 극간방전에 의한 화재가 발생된다. 이러한 현상을 트래킹이라 하는데, 전기, 전자 부품이나 가전제품 내부에서 발생할 수 있다. Figure 5(f)에 나타난 바와 같이 소손된 커패시터 극간 절연물의 절연저항이 약

50 Ω 이 측정되었으며, 극간 절연물을 중심으로 소손패턴이 형성되었다. 따라서, 이러한 특성을 재현하기 위해서 전원이 투입된 상태에서 커패시터 표면에 염수를 주입하여 극간 방전에 의한 화재 확산 특성을 분석하여, 현장에서 소손된 커패시터와 비교하였다.

트래킹(Tracking)은 충전 전극간의 절연물 표면에 도전성 오염이 있을 경우 오염 표면을 따라 전류가 흐르면서 열이 발생 탄화되고 그 정도가 확대되면서 발화에 이르는 현상이다^(4,5).

Figure 6은 송풍기 모터 기동용 커패시터의 극간에 오염이 되었을 때, 표면방전에 의한 트래킹 진전특성 실험을 위한 실험 개략도이다. 실험에 사용된 커패시터의 용량은

Figure 6. The schematic diagram of the tracking experiment.

4이며, 표면의 절연 파괴 특성 분석이 용이하도록 커패시터의 하부는 절개하여 분리하고 상부 전극 부분만으로 실험하였다. 실험전원으로는 단상 220 V, 60 Hz를 사용하였으며 커패시터 앞단에는 직렬로 저항성 부하인 전구(220 V, 100 W×5 EA)를 연결하였다. 커패시터 양 극간에 NaCl 1%의 염수를 주입하여 극간 방전에 의한 화재 특성을 분석하였다.

Figure 7. The tracking process of capacitor surface.

Figure 8. The resistance measure of damaged capacitor after reappearance experiments.

2.4.3 실험결과

Figure 7은 커패시터 양단의 트래킹 진전과정을 나타낸 사진이다. (a)는 지속적인 염수주입과 진조대 형성으로 극 부적으로 탄화도전로가 생성된 상태를 나타내고 있다. 이때 (b)와 같이 염수가 다시 극간에 주입되면 극간방전이 다시 시작되고 (c)와 같이 강한 화염을 동반한 폭발이 일어나게 된다. 이때 발생한 강한 화염에 의해 극간의 절연 재료는 탄화도전로가 형성이 되고 (d)와 같이 착화에 이르게 된다. 주변에 가연성 물질이 있게 되면 이로 인해 화재가 확산될 수 있다.

Figure 8은 Figure 7의 실험 후 소손된 커패시터의 극간 사이의 절연물에 대한 저항을 측정할 것이다. 극간 절연물 사이의 저항이 약 14 Ω이 측정되어 현장에서 소손된 커패시터의 저항과 비슷한 수치를 나타냈다. 또한 트래킹에 의해 소손된 커패시터는 극간 사이의 절연물을 중심으로 탄화가 진전되어, 일반화염에 의해 소손된 커패시터와는 다른 특성을 나타냈다.

3. 결 론

본 연구에서는 에어컨 실내기에서 발생한 전기화재 원인을 분석하고 재현실험을 통해 위험성을 입증하였다.

화재는 에어컨 실내기 상부의 중앙 부분에서 발화되어 플라스틱 재질의 가연성 물을 태우며 확대된 것으로 판단되었으며 구성품의 소손 특성 분석 결과 송풍용 모터의 기동용 커패시터에서 극간에 절연파괴가 발생하여 탄화도전로가 형성된 것으로 나타났다.

따라서 실내기 하부의 냉각핀(열교환기)에서 발생한 차가운 공기가 대부분 송풍용 하우징 내부로 들어가 송풍용 팬의 동작으로 공기배출구를 통해 실내기 밖으로 나가게 되나 일부 차가워진 공기는 상부 커버와 하우징 사이로 들어와 송풍용 모터의 기동용 커패시터의 표면에 부착된 먼지 등 오염물질과 수분에 의해 전극 간에 미소방전이 발생

하면서 극간 절연과괴로 불꽃이 일면서 화재가 발생한 것으로 판단되었다.

그러므로 실내기 내부의 결로(結露)에 의한 절연과괴 방지를 위하여 노출된 충전부를 절연물로 실드(Shield)하거나 결로가 생기지 않는 곳으로 이설하여 사고를 예방하고, 제품에 의한 화재의 확대와 피해를 최소화하기 위하여 사용되는 부품의 재질은 불연성 또는 난연성으로 교체하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. S. H. Min, "A Study on Combustion Experiments of Multi Type Air-Conditioner Outdoor Units by Large Scale Calorimeter", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 168-177 (2011).
2. Korea Power Exchange, "Consumer Electronic Apparatus Supply Rate and the usage Pattern Investigation of Electricity Power for Home Use", pp. 16-35 (2012).
3. C. K. Park, Electrical Disaster Statistics Analysis, Korea Electrical Safety Corporation, pp. 7-24 (2012).
4. D. O. Kim, K. Y. Lee, H. K. Kim and Y. S. Chung, "A Study on the Electrical Properties of Parallel Arc", Proceedings of 2012 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 452-455 (2012).
5. S. B. Oh, G. J. Ok, S. W. Jee, S. K. Kim and C. H. Lee, "A Study on the Damage by Burning Characteristics of Insulating Materials of ELCB by Degradation Causes", Proceedings of 2012 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 480-483 (2012).
6. B. X. Du, "Discharge Energy and dc Tracking of Organic Insulating Materials", IEEE Trans. DEI, Vol. 8, No. 6, pp. 897-901 (2001).
7. D. W. Kim, "A Study on the Characteristics of Tracking Deterioration between Electrodes on Phenolic Resin used for Low Voltage", ICEE conference (2002).
8. H. Zang and R. Hackam, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in PVC", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 1, pp. 73-83 (1999).