



# 부주의로 방치된 모발건조기 화재의 원인 판정

가정에서 사용되는 가전기기 중에서도 특히 소비전력이 높은 모발건조기는 물리적 충격에 약하고, 물기 등에 노출되는 경우 순식간에 고열이 발생해 화재로 이어질 가능성이 큰 것으로 나타났다. 모발건조기의 부주의한 방치로 인한 화재의 확산 패턴 및 과학적 조사 기법을 통해 쉽게 노출되는 전기안전 사고의 방지에 경각심을 일깨워야 할 때이다.

## 1. 머리말

2004년도의 화재통계를 살펴보면 총 화재발생 건수는 32,737건으로 146,634백만 원의 재산피해를 냈으며 이중 전기화재는 10,450건으로 31.9%를 차지하였다. 미국, 일본 등과 같은 선진국의 전기화재 점유율이 10~20% 정도인 것과 비교하면 아직도 높은 점유율을 보이고 있다.

이와 같은 높은 점유율은 전기설비의 보완 요소도 있지만 화재조사 및 수사기법, 통계분류 방법 등의 문제점이 있음을 부인하기 어렵다.

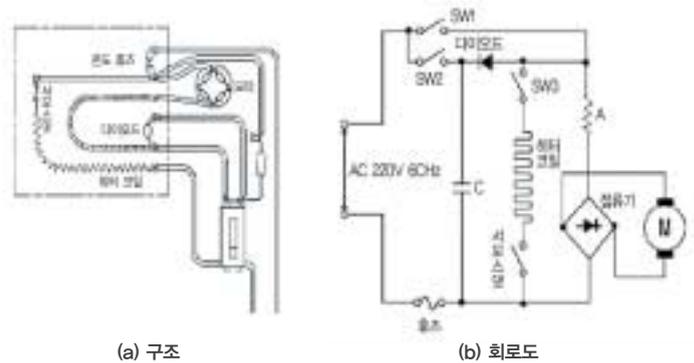
한편, 전기화재의 발생원인은 전기용품 부품재료가 취약하여 발생하는 화재와, 전기용품의 안전 인증을 받지 않았거나 인증을 받은 전기용품을 임의로 변경하거나 설치하여 발생하는 화재, 사용자의 전기에 대한 상식부족 및 취급 부주의로 인한 화재 등으로 나눌 수 있다. 특히, 가정에서 사용되는 가전기기의 집적화 및 사용 환경이 다양해짐에 따라 위험인자도 과거 10년 전에 비해 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 그중에서도 일반 가정에서 사용되는 모발건조기는 코일형 히터에 강제로 공기를 흘러 보내 온풍을 발생시키는 구조로, 부적절하게 사용하는 경우 감전 및 화재사고의 위험에 쉽게 노출되므로 전압, 용량 등에 대해 대부분의 나라에서 엄격하게 규정하고 있고 우리나라도 한국산업규격에 구조와 기능에 대해서 명확히 정의하고 있다.

이에, 본 논고에서는 일반 가정에서 일반적으로 사용되고 있는 모발건조기를 부주의로 방치하여 발생한 화재의 확산패턴 및 조사기법, 모발건조기의 구조 및 작동원리 등을 과학적으로 제시하여 화재조사기법의 과학화에 기여하고 동종(유사) 사고 예방을 위한 자료를 제공하고자 한다.

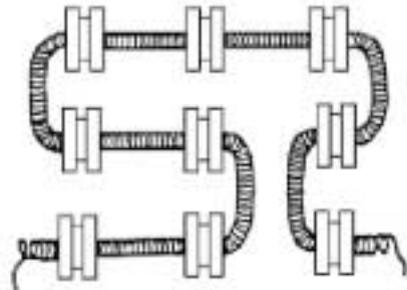
## 2. 모발건조기의 구조와 기능

한국산업규격(KS C 9311)에 기술된 전기모발건조기(hand-hold hair dryer)의 적용범위는 전동 송풍기와 전열장치를 내장한 손잡이 모양의 것으로 규정하고 있다. 전기모발건조기는 합성수지로 된 손잡이와 운모를 감싼 구조로 되어 있는 발열선, 송풍전동기, 110/220V 절환 스위치가 내장되어 있는 구조로 되어 있다. 일반적으로 발열선의 용량은 600~1,000W, 팬 전동기(fan motor)는 6~20W이며 손잡이 부분에 위치한 스위치를 조작하여 송풍전동기의 전압을 변화시킴으로써 풍량과 발열선의 동작을 조절하는 구조로 되어 있다. [그림 1]의 (a)는 전기모발건조기의 구조, (b)는 회로도를 나타낸다.

모발건조기에 사용되는 열선(heater)은 전열선이 노출된 상태에서 사용할 수 있는 코일형(coil type)으로 [그림 2]와 같다. 코일형은 보빈형, 차폐형, 석영관형 등에 비해 열방사가 우수하고 가격이 저렴하여 전기난로, 온풍기 등에 주로 사용된다. 그러나 물리적인 충격에 취약하고 물기, 금속 파편, 기름때, 먼지 등에 노출되는 경우 감전 또는 화재 사고의 위험성이 있다. 코일형 히터는 발열체를 코일 모양으로 감아 설계 용량에 맞도록 길이와 두께를 조절하여 사용한다. 즉 발열체가 직접 대기와 접촉하도록 되어 있어서 코일의 간격을 균일하게 유지해야 일정한 발열이 이루어지고 제품의 안전성도 확보할 수 있다. 특히 지지물의 간격이 부적절한 경우 발열체가 휘어지거나 뒤틀어지면 수명의 단축은 물론 사고의 위험이 상대적으로 높다.



■ 그림 1. 모발건조기의 구조 및 회로도



■ 그림 2. 모발건조기의 코일형 열선

## 3. 현장조사 및 원인분석

### 가. 화재조사자의 임무

화재조사는 경찰기관이 방화, 실화의 범죄 여부를 조사하는 것과 소방기관이 화재예방 업무를 효율적으로 추진하기 위한 자료 수집을 목적으로 화재예방의 시책과 조치의 성과를 검토하여 시정 개선을 도모하기 위한 것이다. 또한 화재보험회사나 화재연구기관 등에서 방화 또는 실화 여부에 따른 보

험금 지급 및 과학적인 화재원인 규명과 그에 대한 예방대책을 수립하기 위해 자료를 수집하는 경우가 있다. 화재조사 활동은 그 성질상 당사자의 이익 등에 중대한 영향을 미치게 된다. 그것은 경제적 면에만 그치지 않고 지위, 명예, 신체의 자유 등 많은 부분에 대해 영향을 준다. 그러므로 조사 활동에 종사하는 사람은 직무상 공인으로서 책임을 자각함과 함께 화재현장의 모든 현상에 대하여 하나 하나의 개체에서 입체적으로 살펴서 과학적으로 분석하고 체계화하여 객관적인 타당성을 이끌어 내는 것이 요구된다.

**나. 화재현장의 패턴 분석**

화재조사에 있어서 화재원인에 대한 결론은 여러 가지 현장의 연소형태 조사와 발화 의심 제품에 대한 감정, 주변수사 및 목격자 진술 등 복합적으로 도출해야 한다. 화재 발생 현장에서 최초의 발화 지점을 찾는 것은 사고 발생의 원인을 과학적으로 규명하는데 중요한 인자가 된다. 발화점을 찾는 방법에는 목재, 플라스틱 등의 탄화 및 변형 방향이나 금속의 열화 등을 거시적(macroscopic)이고 미시적(microscopic)으로 중첩하여 해석하는 것이 오류를 최소화 할 수 있다.



■ 그림 3. 화재현장의 평면도 및 화염의 확산패턴

화재가 발생한 주택은 42평으로 침실 4개와 욕실 2개로 구성되어 있는 아파트이며 [그림 3]과 같은 구조로 되어 있다. 화재 현장의 화염확산 패턴을 거시적으로 분석한 결과 욕실 1이 가장 심하게 소훼되고 탄화심도가 형성되었음을 알 수 있었다. 열류의 확산 패턴, 목재 및 플라스틱의 탄화 정도, 금속의 열화 방향 등을 입체적으로 해석한 결과 화염은 도면 위에 표시된 ①, ②, ③, ④ 방향으로 진행된 것으로 판단하였다.

[그림 4]는 최초의 출화지점으로 판단되는 욕실 1 입구의 화염확산 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 브이패턴(V-pattern)을 형성하는 구조를 나타내고 있다. 하단부는 그늘음에 의해 소손되었을 뿐 직접적인 화염에 의해 탄화된 흔적은 없으나 벽면은 강한 화염에 의해 소손될 때 나타나는 백화현상을 보이고 있다. 상부의 소훼된 탄화물 입자크기가 하단의 소손된 입자에 비해 상대적으로 큰 특징을 보이고 있는데 이와 같은 현상은 연소속도가 빠른 경우에 나타나는 현상이다.



■ 그림 4. 욕실 1 입구 정면의 화염확산 패턴

[그림 5]는 침실 2를 거쳐 유입된 화염에 의해 소훼된 발코니의 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 화염은([그림 3]의 평면도) 좌측에서 우측으로 확

산된 패턴과 하부에서 상부로 전이된 현상을 보이고 있다. 화염의 강도는 비교적 적은 것으로 판단되며 소훼의 흔적은 거의 없고 심한 그을음과 탄화의 흔적을 보이고 있다.

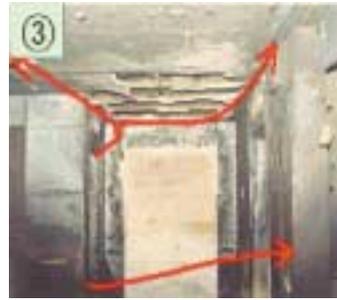
[그림 6]은 침실 2 통로의 화염확산 패턴을 나타낸 것이다. 화염은 상부를 중심으로 심

하게 형성된 것으로 판단되며 연소 속도 역시 비교적 빠르게 진행되었음을 알 수 있다. 천정의 중심부가 가장 심하게 연소되었으며 열류는 침실 1과 거실 방향으로 진행되었다.

[그림 7]은 침실 2의 우측과 거실의 화염확산 패턴을 나타낸 것이다. 소훼 및 탄화의 흔적은 거실 천정 전면에 걸쳐 보이고 있으며 연소 속도 역시 비교적 빠르게 진행되었음을 알 수 있다. 벽면의 상부를 제외하고 대부분 벽이 심하게 그을린 정도이며 직접적인 강한 화염 또는 유기용제와 같은 연소 매개물은 없었던 것으로 판단된다.



■ 그림 5. 발코니의 화염확산 패턴



■ 그림 6. 침실 2 통로의 화염확산 패턴



■ 그림 7. 침실 2의 우측과 거실의 화염확산 패턴

#### 다. 수거품의 분석

[그림 8]은 아파트에 설치된 분전반을 나타낸 것으로 덮개를 제거한 것이다. 내부는 비교적 깨끗하며 테두리는 연기에 그을린 정도이다. 즉 화염에 직접 노출되지 않았으며, 화재 당시의 분전반 주위의 온도는 250℃를 넘지 않았던 것으로 판단된다.

[그림 9]는 분전반 내부에 설치된 누전차단기(RCD) 1개와 배선용차단기(MCCB) 4개를 나타낸 것이다. 배선용차단기의 용량은 30A, 220V이며, 누전차단기는 고감도형으로 동작전류 30mA, 동작시

간 0.03sec이다. 각각의 차단기가 ON(켜짐) 또는 OFF(꺼짐) 상태에 있었는데 사고 조사 당시에 출입자가 있었던 관계로 작동 여부는 신뢰할 수 없었으나 작동시험에서는 모두 정상으로 작동하였다.

[그림 10]은 욕실 1 천장에 설치된 등기구를 나타낸 것이다. 강한 화염에 의해 전



■ 그림 8. 현장에서 수거한 분전반



■ 그림 9. 분전반에 설치된 차단기

선의 피복은 심하게 탄화되어 거의 존재하지 않으며 금속 금구류도 열화가 심한 특징을 보인다. 소손된 전선이 전기적인 요인에 의한 것인지 일반 화염에 의한 것인지 판정하기 위해 금속조직을 분석하여 나타낸 것이 [그림 11]이다. 전선은 플라스틱 절연재를 사용한 1.25mm<sup>2</sup>(7/0.45)이었으며 탄화되어 절연재는 소실되었다. 전선의 금속조직 분석은 절단→성형→연마→부식(에칭)→촬영 등의 절차를 통해서 확인할 수 있다. 그림에서 보이는 구조는 비정질 구조 및 입자의 확대된 특성을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 전선에 전기가 통전되지 않은 상태에서 단순히 열에 의해서 소손



■ 그림 10. 수거한 등기구의 실체사진



■ 그림 11. [그림 10]전선의 금속현미경 사진

되었을 때 나타난다.

[그림 12]는 욕실 1에 설치된 콘센트 내부의 전선을 나타낸 실체사진이다. 전선은 1.6mm 연동선이며 피복은 플라스틱(PVC)으로 절연한 것으로 저압용 비닐절연전선(600V IV)이다. 콘센트 박스는 전면이 고르게 탄화되었으며 변형된 흔적은 없는 것으로 보아 물리적인 스트레스를 받지 않았으며, 콘센트 박스에 연결된 전선관은 플라스틱 가요전선관으로 확인되었다. [그림 13]은 [그림 12]의 금속현미경 사진을 나타낸 것으로 구리 전선 고유의 비정질 구조가 확대된 형태를 보이고 있다.

[그림 14]는 [그림 12]의 콘센트에 내장되어 사용되던 매입형 콘센트를 나타낸 것이다. 외형은 심하게 탄화되어 형태를 식별하기가 어려우나 인출된 전선의 일부는 절연 피복의 손상도 없이 깨끗한 형태를 보이고 있다. 소손이 없는 전선은 벽체 안쪽에서 인출한 것으로 벽체 내부에는 열적 스트레스



■ 그림 12. 욕실 1에 설치된 콘센트의 내부 배선



■ 그림 13. 전선의 금속현미경 사진

또는 전기적 과부하 및 합선이 없었음을 알 수 있다. [그림 15]는 [그림 14] 전선의 금속현미경 사진을 나타낸 것으로 단순히 열에 의해 소손될 때 나타나는 비정질 구조 및 입자의 확대된 특성을 보이고 있다.



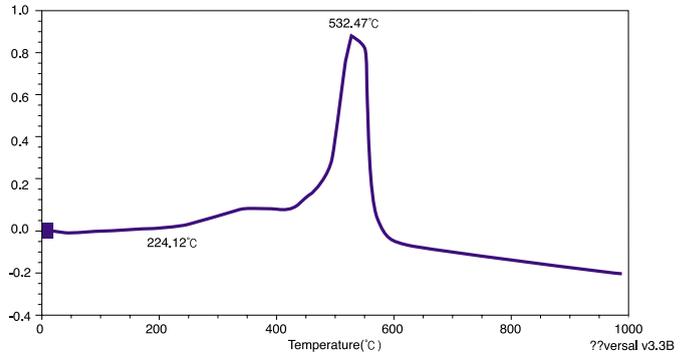
■ 그림 14. 욕실 1에서 수거한 콘센트의 탄화물



■ 그림 15. [그림 14]의 금속현미경 사진

내부의 금속 조형재의 소손 정도를 해석하기 위해 엑스레이(X-Ray)를 이용하여 촬영한 결과 정상 제품으로 확인되었다. 탄화된 절연물에 트래킹 또는 그라파이트 현상 등이 있었는가를 확인하기 위해 저항값을 측정하고 결과 메거 오옴(MΩ)을 나타냈으며, [그림 16]과 같은 시차열분석 곡선에서도 특이 사항은 확인되지 않았다. 일반

적으로 플라스틱이 트래킹에 의해 절연파괴가 발생하면 660℃ 부근에서 발열피크를 보이나 소회된 콘센트의 경우 532℃에서 발열피크가 나타나는 것으로 보아 절연파괴(트래킹)는 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.



■ 그림 16. [그림 14] 탄화물의 시차열 분석 곡선

**라. 수거된 모발건조기의 분석**

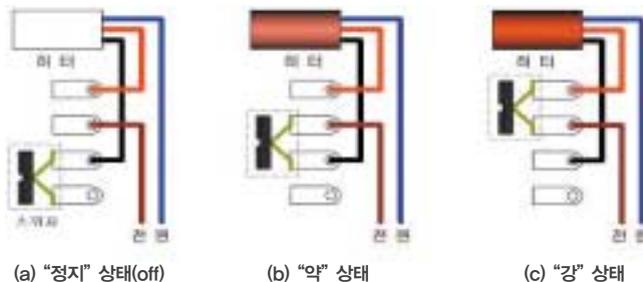
[그림 17(a)]는 욕실 1에서 수거된 모발건조기로 소회상태가 심하며, 화염에 직접 노출된 형태를 보였다. [그림 17(b)]의 히터와 연결된 전선에서 용융 흔적이 관찰되었다. 수거된 모발 건조기의 전기적인 원인(단락, 과부하, 접촉 불량, 누전 등)을 확인하기 위해 금속조직 분석과 테스트를 이용한 통전검사를 수행하였다. [그림 17(c)]의 용융 흔적을 100배 확대한 금속단면 조직으로 외부화염에 의해 피복이 소실된 후 합선될 때 생성되는 여러 형태의 구멍(void)과 주상조직(columnar structure)이 나타났다. 특히 주상조직은 전기가 통전 중 합선될 때 높은 열에 의해 발생하는 조직으로 화재 당시 모발건조기는 통전중임을 알 수 있다. 이를 입증하기 위해 테스트를 이용한 스위치의 조작상태를 분석하였다.



(a) 수거된 모발건조기의 부품 (b) 용융 흔적의 실제사진 (c) 금속현미경 사진

■ 그림 17. 수거된 모발건조기의 실제 및 금속조직 분석

[그림 18]은 사고현장에서 수거된 모발건조기 조작스위치의 회로도를 나타낸 것으로 스위치의 위치에 따라 열선(히터)에 전원투입 및 강·약 상태를 조절할 수 있다. 냉풍의 경우는 열선을 차단한 상태에서 작동손잡이가 “강”의 위치이고 전동기 팬이 회전하게 된다. 모발건조기는 사용



(a) “정지” 상태(off) (b) “약” 상태 (c) “강” 상태

■ 그림 18. 수거된 모발건조기의 스위치 조작에 따른 회로상태

중 감전의 위험성이 상존하므로 기밀구조로 제작하며 온풍이 도출되는 부분도 매쉬 모양(mesh type)의 망을 설치하여 사용한다.



(a) 소손된 모발건조기의 조작스위치 (b) 소손된 모발건조기의 통전상태

■ 그림 19. 소손된 모발건조기 조작스위치 및 전기적 특성 해석

[그림 19(a)]는 수거된 조작스위치로 플라스틱 부분은 소화된 상태이지만 접점부는 완전히 소화된 것이 없었다. 정상 모발건조기의 스위치 상태를 분석한 결과 접점과의 저항은  $0.4\Omega$  으로 나타났으며, [그림 19(b)]와 같이 소화된 조작스위치의 저항도  $0.4\Omega$  으로 화재 당시에 조작 스위치는 “약” 위치에 있었음을 판정할 수 있었다.



(a) 외함의 착화 시험 (b) 프로펠러의 착화시험

■ 그림 20. 사고현장에 수거한 제품과 동일한 모발건조기의 착화시험

#### 마. 모발건조기의 난연성 시험

[그림 20(a)]는 정상 모발건조기의 외함에 라이터 화염으로 약 4초간 점화시킨 것으로 화염이 확대 진행되는 것을 볼 수 있었으며, [그림 20(b)]는 정상 모발건조기의 모터에 의해 회전하는 프로펠러에 라이터 화염을 약 3초간 인가한 것으로 화염이 급속하게 진

행되는 것을 볼 수 있었다. 즉 일반적인 화염에 의해 착화된 외함이 화원을 제거하여도 불꽃이 없어지지 않고 계속 연소되는 것으로 보아 비난연성 재료임을 알 수 있다. 이와 같이 비난연성 재료는 사용 중 외부 또는 자체 화염이 발생하면 연소반응은 급격히 활성화되어 화재를 확산시킬 가능성이 높다.

## 4. 맺음말

일반 가정에서 사용되고 있는 모발건조기에 대한 구조 및 기능에 대해서 알아보고 부주의로 방치되어 발생한 화재의 확산 패턴, 전기적 특성, 재현실험 등을 통하여 소손원인을 과학적으로 규명하여 다음과 같은 결론은 얻었다.

가. 한국산업규격에 규정된 모발건조기의 적용범위는 전동송풍기와 전열장치를 내장한 손잡이 모양의 것으로 하고 있다. 모발건조기는 보통 손으로 제품을 직접 잡고 머리에 가까이 대면서 사용하게 된다. 이렇게 인체와 접촉하여 사용하는 전기제품이므로 화상, 화재, 감전 및 전자파로부터 안전한 구조로 되어 있어야 한다.

**나.** 모발건조기에 사용되는 열선(heater)은 전열선이 노출된 상태에서 사용할 수 있는 코일형(coil type)으로 보빈형, 차폐형, 석영관형 등에 비해 열방사가 우수하나 물기, 금속 파편, 먼지 등에 노출되는 경우 감전 또는 화재 사고의 위험성이 있으므로 사용에 주의가 요망된다.

**다.** 화재조사는 그 성질상 당사자의 이익 등에 중대한 영향을 미치게 된다. 그것은 경제적인 면에만 그치지 않고 지위, 명예, 신체의 자유 등 많은 부분에 대해 영향을 준다. 그러므로 조사 활동에 종사하는 사람은 직무상 공인으로서 책임을 자각함과 함께 화재 현장의 모든 현상에 대하여 하나 하나의 개체에서 입체적으로 살펴서 과학적으로 분석하고 체계화하여 객관적인 타당성을 이끌어 내는 것이 요구된다.

**라.** 화재가 발생한 아파트의 화염 확산 패턴을 입체적으로 분석한 결과 최초의 출화지점은 욕실 1로 판단되며 하단부는 그을음에 의해 소손되었을 뿐 직접적인 화염에 의해 탄화된 흔적은 없으나 벽면은 강한 화염에 의해 소손될 때 나타나는 백화현상을 보이고 있다.

**마.** 사고 현장에서 수거한 분전반은 직접적인 화염에 노출되지 않았으며, 화재 당시의 분전반 주위의 온도는 250℃를 넘지 않았던 것으로 판단된다. 그러나 사고현장 보존이 객관적으로 유지되지 못해서 차단기가 사고 당시에 ON(켜짐) 또는 OFF(꺼짐) 상태인지 신뢰할 수 없었다.

**바.** 욕실 1에 설치된 콘센트 내부의 배선은 1.6mm 연동선이며 피복은 플라스틱(PVC)으로 절연한 것으로 저압용 비닐절연전선(600V IV)이다. 콘센트 박스는 전면이 고르게 탄화되었으며 변형된 흔적은 없는 것으로 보아 물리적인 스트레스를 받지 않았으며, 콘센트 박스에 연결된 전선관은 플라스틱 가요전선관으로 확인되었다. 탄화된 콘센트의 시차열분석에서 절연파괴(트래킹)의 현상은 없었으며, 전선의 금속조직 단면분석에서도 전기적인 합선 또는 과부하의 흔적은 없었다.

**사.** 수거된 모발건조기는 심하게 소손되었으며 내부배선의 금속조직분석 결과 외부화염에 의해 피복이 소실된 후 합선될 때 생성되는 여러 형태의 구멍(void)과 주상조직(columnar structure)이 나타났다. 특히 주상조직은 전기가 통전 중 합선될 때 높은 열에 의해 발생하는 조직으로 화재 당시 모발건조기는 통전중임을 알 수 있다.

**아.** 수거된 모발건조기 조작스위치의 전기저항을 측정하여 정상 제품과 비교한 결과 저항은 0.4Ω 으로 화재 당시에 조작스위치는 “약” 위치에 있었음을 판정할 수 있었다. 그리고 외부 화염인가 시험에서 외함 및 프로펠러는 비난연성 재료로 판정되었다.

이상의 분석 내용을 종합하면 화재는 욕실 1에서 사용하던 모발건조기로 판단된다. 즉 모발 건조기를 사용 후 전원을 꺼짐 상태(OFF)로 절체하지 않고 조작스위치를 “약”의 위치로 한 채 장시간 방치하여 축열과 방사의 균형이 무너지고 축열에 의한 과열로 출화된 것으로 판정되었다. Ⓜ

