



헤어드라이어의 화재위험성 조사

윤성렬 KFPA 화재조사센터 대리

1. 머리말

헤어드라이어(모발건조기)는 머리카락을 말리거나 머리 모양을 만들 때 쓰는 전기기구이다. 한국산업규격(KS C 9311)에서는 헤어드라이어의 적용범위를 ‘송풍장치와 전열장치를 내장한 손잡이형의 전기모발건조기’로 정하고 있다. 헤어드라이어는 가정, 미용실, 목욕탕, 운동시설 등 여러 장소에서 사용되고 있는데, 특히 화장실, 탈의실 등 습기가 많은 곳에서 사용되는 경우가 많아 사용자는 항상 감전, 화재 등의 위험에 주의하여야 한다.

헤어드라이어는 발열장치를 이용하는 제품 특성상 상시 화재위험에 노출되어 있다. 외부 충격에 의해 내부 온도가 파괴되거나 전열선이 이탈하는 경우 축열·착화될 수 있으며, 사용자가 전원을 투입한 상태에서 부주의하게 방치하는 경우에도 화재가 발생할 수 있다. 헤어드라이어는 일반적으로 가정 내의 생활공간에서 많이 사용되는데, 화재하중이 높은 공간특성으로 인해 발화될 경우 빠르게 연소가 확대될 수 있다.

이에 본 화재위험성 조사에서는 헤어드라이어의 구조 및 온도특성을 확인하고, 화재위험성 및 발화 메커니즘을 분석하여 화재예방에 도움을 주고자 한다.

2. 헤어드라이어의 구조 및 발화 메커니즘

가. 구조

헤어드라이어는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 합성수지 재질의 외함, 전열선과 합성운모로 구성되어 있는 발열장치, 팬과 소형모터로 이루어진 송풍장치, 스위치가 장착된 제어장치 및 전원코드를 포함한 전원장치로 구성되어 있다. 발열장치는 니켈-크롬(Ni-Cr) 계열의 전열선을 사용하며, 절연특성이 우수하고 내열성이 좋은 합성운모에 전열선을 코일 형태로 감아 사용한다. 합성운모는 전열선이 이탈되지 않도록 고정시켜주는 역할을 하며, 전열선에서 발생한 열이 외함에 직접적으로 닿지 않도록 하는 역할도 한다. 송풍장치는 팬과 소형모터로 이루어져 있으며, 외함의 공기흡입구를 통해 공기를 빨아들여 발열장치로 공기를 보내주는 역할을 한다. 제어장치는 스위치를 이용하는데 손잡이 부분에 설치된 것이 일반적이며, 스위치의 종류로는 텀블러식, 푸시식, 슬라이드식 등이 있다.



[그림 1] 헤어드라이어의 구조

나. 안전장치

전기기기에 사용되는 안전장치에는 벨로우즈식 서모스탯, 감온 페라이트를 사용한 온도스위치, 서미스터(NTC, PTC, CTR)와 간단한 전자회로를 조합한 자동온도조절장치, 전기장판 등의 위상제어방식에 사용되는 사이리스터 등이 있다.

헤어드라이어는 안전장치로서 바이메탈식 서모스탯을 사용하고 있다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 바이메탈은 열팽창률이 다른 두 개의 금속판을 접착한 것으로서, 온도변화에 따라 굽어지는 작용을 이용하여 온도조절장치로 만든 것이 바이메탈식 서모스탯이다. 정상시에는 접점이 연결되어 있으나 주변 온도가 상승하여 특정 온도에 이르면 바이메탈의 금속이 팽창하여 접점에서 떨어지게 되며, 이에 전열선에 전류가 흐르지 않게 되고, 다시 온도가 내려가면 접점이 붙게 되는 원리이다. 헤어드라이어에 있어서 바이메탈식 서모스탯은 발열장치의 합성운모에 부착된 형태가 많다([그림 4] 참조).

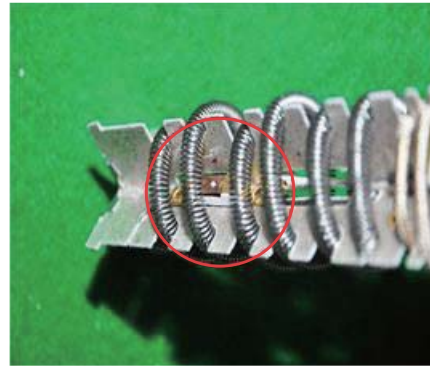
헤어드라이어의 또 다른 안전장치는 온도퓨즈이다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 온도퓨즈는 특정한 온도에서 변형 또는 용융하여 전기회로를 여는 과열방지용 스위치로서, 전기기기의 과열방지를 목적으로 사용되고 있다. 주로 주석, 납 등의 합금으로 만들어진다. 온도퓨즈는 바이메탈식 서모스탯과는 달리 한번 작동(용융)하면 복구가 되지 않기 때문에 작동온도를 바이메탈식 서모스탯의 작동온도보다 높게 설계하는 것이 일반적이며, 제품에 따라서는 온도퓨즈를 설치하지 않은 것도 있다.



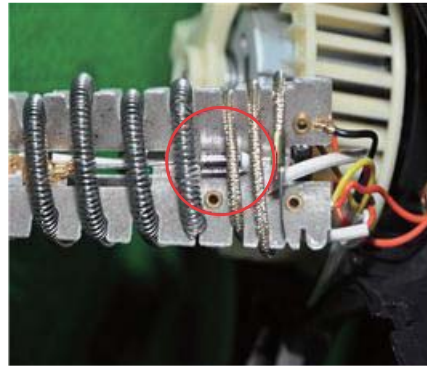
[그림 2] 바이메탈식 서모스탯



[그림 3] 온도퓨즈



[그림 4] 바이메탈식 서모스탯의 위치



[그림 5] 온도퓨즈의 위치

다. 발화 메커니즘

헤어드라이어는 접속불량, 트래킹 등의 전기적인 불안정에 의해 발화될 수 있고 안전장치의 고장 등에 의해서도 발화될 수 있는데, 본 실험에서는 헤어드라이어의 작동 시 공기의 흐름이 정상적이지 않는 상황을 설정하였다. 이러한 상황은 헤어드라이어의 공기흡입구 또는 열풍토출구 부분이 이물질에 의해 막히는 경우, 송풍장치의 모터 또는 팬이 이물질에 의해 구속되는 경우 등이 있다. 발열장치에서 발생된 열은 송풍장치에 의해 열풍토출구로 나가게 된다. 이러한 송풍작용이 원활하지 않으면 발생된 열은 헤어드라이어 내부에 머물게 되고, 열기는 내부에서 상승하게 된다. 헤어드라이어는 일반적으로 놓여있을 때 기울기가 수평하지 않은 경우가 많으며(열풍토출의 효율을 좋게 하기 위해 열풍토출구 부분을 좁게 설계하므로), 이에 따라 열기는 합성운모를 따라 높은 부분으로 이동하게 되고, 내부의 가연물(전선, 외함)에 접촉하여 착화된다.

3. 실험 및 결과

가. 실험 1

(1) 실험방법

본 실험에서는 28±2℃의 대기 중에서 바이메탈식 서모스탯만 설치된 헤어드라이어(이하 “A제품”이라 함)와 바이메탈식 서모스탯과 온도퓨즈 두 가지가 모두 설치된 헤어드라이어(이하 “B제품”이라 함)를 실험하였다. 헤어드라이어를 작동시킨 상태에서 발열장치의 중심부(바이메탈식 서모스탯 설치부분), 열풍토출구 및 발열장치측 외함의 온도를 측정하고 각 부분에서 나타나는 현상을 분석하였다.

(2) 실험결과

(가) 실험1-1 (A제품의 정상작동실험)

정상작동 시 바이메탈식 서모스탯이 5초마다 작동하였다. 발열장치 중심부에서는 최저 62℃에서 최고 70℃의 온도분포를 보였으며, 열풍토출구에서는 최저 93℃에서 최고 173℃의 온도분포를 보였다.

발열장치의 중심부 온도보다 열풍토출구의 온도가 높은 것은 바이메탈식 서모스탯이 다른 제품에 비해 송풍장치측에 가까이 설치되었기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 6] 헤어드라이어의 축열에 의한 화재발생 과정

※ 안전장치의 작동

바이메탈식 서모스탯이나 온도퓨즈는 헤어드라이어의 송풍작용이 정상적일 때에는 정상작동 하지만, 송풍작용이 정상적이지 않을 때에는 작동하지 않을 수 있다. 이때 해당 안전장치의 설치 위치는 중요한 요소로 작용한다. 바이메탈식 서모스탯이나 온도퓨즈는 발열장치의 중앙부분에 설치되는데, 합성운모의 기능 및 구조상(그림 4) 및 (그림 5)에서 보는 바와 같이 합성운모는 전열선을 지지하기 위해 사분면 또는 십자 모양으로 공간을 나누게 되며, 안전장치는 중앙부분에 위치한다(송풍작용이 정상적이지 않을 때, 축적된 열의 온도를 제대로 감지할 수 없는 현상이 발생하게 된다. 따라서 헤어드라이어 가 착화되기 전에 전류를 차단하지 못하는 상황이 발생하게 된다.

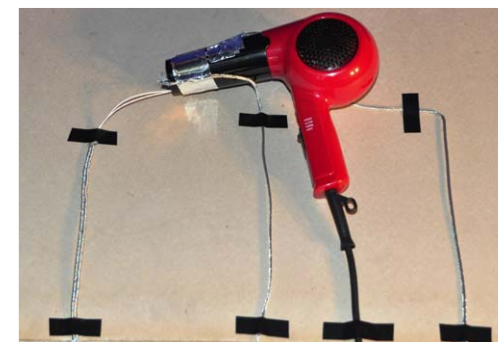
(나) 실험1-2 (B제품의 정상작동실험)

정상작동 시 바이메탈 서모스탯은 작동하지 않았으며, 발열장치의 중심부 온도와 열풍토출구 온도의 차이는 실험1-1의 A제품에 비해 온도차가 거의 없는 결과를 보였다. 이는 바이메탈식 서모스탯이 A제품에 비해 열풍토출구측에 가까이 설치되었기 때문인 것으로 분석된다.

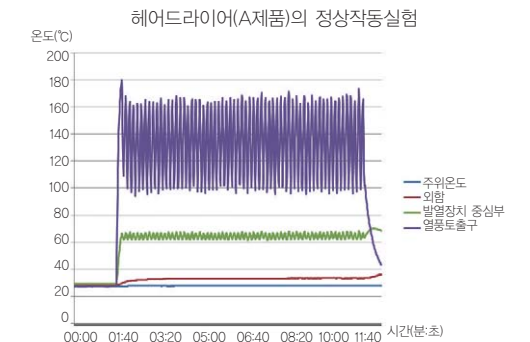
나. 실험 2

(1) 실험방법

본 실험에서는 A제품 및 B제품을 대상으로 수건을 이용하여 헤어드라이어의 공기흡입구 및 열풍토출구를 막아 송풍작용을 방해하였다. 각 헤어드라이어의 스위치 설정은 온풍(강)으로 하였으며, 발열장치의 중심부(바이메탈식 서모스탯 설치부분), 열풍토출구 및 발열장치측 외함의 온도를 측정하고 각 부분에서 나타나는 현상을 분석하였다.



[그림 7] A제품의 작동상황



[그림 8] A제품의 시간-온도 그래프

(2) 실험결과

(가) 실험 2-1(A제품의 송풍작용 방해실험)

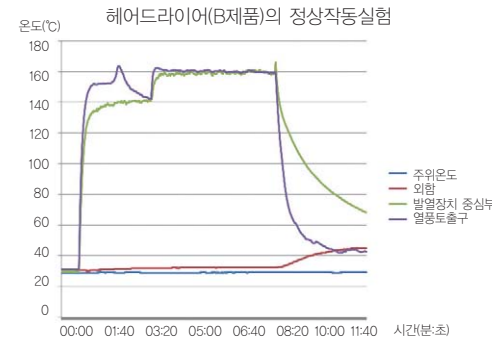
전원을 인가하여 실험을 시작하자마자 열풍토출구의 온도가 실험 최고온도인 213℃까지 상승하였으나 이후 바이메탈식 서모스탯의 작동으로 온도가 안정화되는 경향을 보였다. 이는 공기흡입구 및 열풍토출구를 막는데 있어서 완전히 밀폐가 되지 않아 축열되지 않은 것으로 보인다.

(나) 실험 2-2(B제품의 송풍작용 방해실험)

전원을 인가하고 28초 후 헤어드라이어의 공기흡입구에서 연기가 발생하였으며, 1분 50초 후 헤어드라이어의 내부 전선에서 단락이 발생하여 전원이 차단되었고, 헤어드라이어는 착화되지 않았다. [그림 12]에서 보는 바와 같이 외함의 일부가 열에 의해 변형되었으며, 외함의 내측이 탄화되었다. [그림 13]에서 보는 바와 같이 발열장치와 송풍장치 사이에 위치한 전선의 절연피복이 탄화되고, 끊어진 전선의 끝부분에서 단락흔이 식별되었다. 이는 헤어드라이어 내부에 열기가 축적되면서 전선의 절연피복과 외함을 열분해시킨 것으로 판단된다.



[그림 9] B제품의 작동상황



[그림 10] B제품의 시간-온도 그래프

다. 실험 3(모터 구속실험)

(1) 실험방법

본 실험에서는 A제품 및 B제품의 모터가 이물질에 의해 구속되는 상황을 재현하였다. 각 헤어드라이어의 스위치 설정은 온풍(강)으로 하였으며, 발열장치의 중심부(바이메탈식 서모스탯 설치부분), 열풍토출구 및 발열장치측 외함의 온도를 측정하고 헤어드라이어 내부에서 축열되어 가연물(전선, 외함)에 착화되는 현상을 분석하였다.



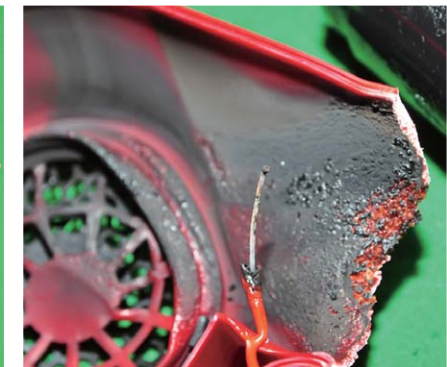
[그림 11] B제품의 작동상황



[그림 12] 외함의 열변형상태



[그림 13] 외함 내측의 탄화상태



[그림 14] 내부 전선의 단락흔

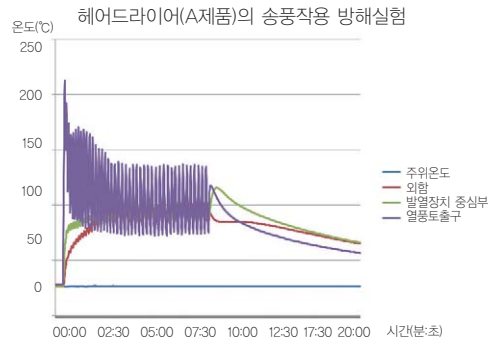
(2) 실험결과

(가) 실험 3-1(A제품의 모터 구속실험)

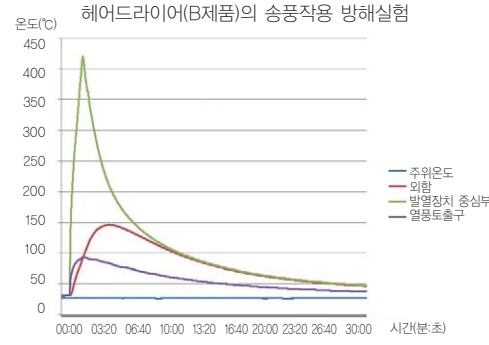
실험시작 15초 후 발열장치와 송풍장치의 사이 부분에서 연기가 발생하였으며, [그림 17]에서 보는 바와 같이 발열장치와 송풍장치의 사이의 전선에서 착화되었고, 단락 발생 후 외함으로 연소가 확대되었다. [그림 18]에서 보는 바와 같이 발열장치측 외함은 상대적으로 연소정도가 덜했는데 이는 발열장치측에 운모가 설치되어 있어 운모가 연소의 확대를 지연시키는 역할을 한 것으로 판단된다.

(나) 실험 3-2(B제품의 모터 구속실험)

실험시작 12초 후 발열장치와 송풍장치의 사이 부분에서 연기가 발생하였으며, 1분 50초 후에 발열장치와 송풍장치 사이의 전선에서 착화되었고, 착화와 열분해가 반복되었다. 이후 분해가스가 생성되다가 실험시작 4분 30초 후 [그림 20]에서 보는 바와 같이 외함에 착화가 되었고, 연소가 확대되었다. [그림 21]에서 보는 바와 같이 발열장치측 외함은 상대적으로 연소의 진행속도가 느렸는데 이는 실험 3-1과 마찬가지로 발열장치측에 운모가 설치되어 있어 운모가 연소의 확대를 지연시키는 역할을 한 것으로 판단된다.



[그림 15] A제품의 시간-온도 그래프



[그림 16] B제품의 시간-온도 그래프



[그림 17] A제품의 모터 구속실험



[그림 18] A제품의 모터 구속실험



[그림 19] A제품의 모터 구속실험



[그림 20] A제품의 시간-온도 그래프



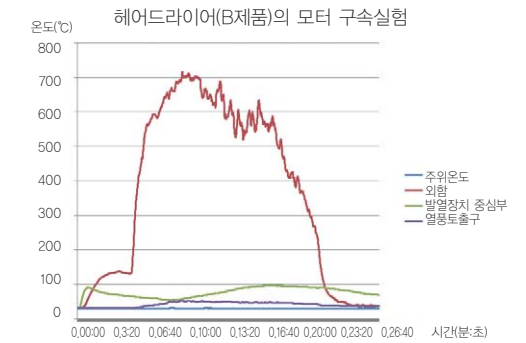
[그림 21] B제품의 모터 구속실험



[그림 22] B제품의 모터 구속실험



[그림 23] B제품의 모터 구속실험



[그림 24] B제품의 시간-온도 그래프

4. 맺음말

헤어드라이어의 송풍작용이 원활하지 않은 상태에서 나타난 발열부의 과열현상을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

가. 헤어드라이어의 송풍작용이 정상적이지 않을 경우 발열장치에서 발생하는 열기는 헤어드라이어의 내부에 머물게 되고, 안전장치는 헤어드라이어의 내부 중앙에 위치한 상태로서 열기를 효율적으로 감지하지 못하는 것으로 나타났으며, 이는 안전장치의 작동이 송풍장치가 정상적으로 작동한다는 가정 하에서만 유용하다는 것을 의미한다.

나. 헤어드라이어의 송풍작용이 정상적이지 않을 경우 발열장치에서 발생하는 열기는 가연물에 접촉할 경우 착화될 가능성이 높는데, 헤어드라이어는 전선, 외함, 팬 등의 부품이 가연물이며, 이는 헤어드라이어 가연물 구성에 포함될 수 있는 물질로 구성되어 있다는 것을 의미한다. ☹