

노래방용 스피커의 화재원인 해석(下)

글 | 최충석 전기안전연구원 전기재해연구 수석연구원, 공학박사



(지난 호에 이어)

3. 화재현장 분석결과

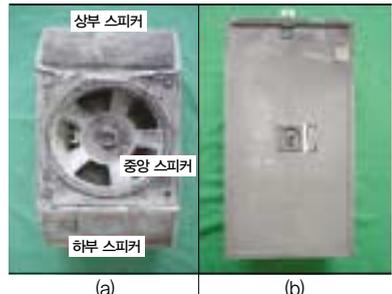
가. 외형 및 탄화 패턴 해석

(1) 전체 외형

[그림 2]는 화재 현장에서 수거한 스피커의 외형을 나타낸 것으로 상·하에 임피던스 4Ω의 작은 스피커(지름 약 98mm)가 위치하고 있으며, 중간에 임피던스 8Ω의 스피커(지름 약 255mm)가 위치하고 있다. 스피커 후면에 표시된 사양을 보면 제조국은 중국이며 제조사는 ○○이다. 스피커 임피던스는 8Ω, Input Power는 350W(max), 빈도 범위는 60~22,000Hz이다. 또한, 음압 레벨은 98dB/W/M이다.

[그림 2]의 (a)는 스피커의 전면 사진이며 탄화 패턴은 중앙에서부터 상방향으로 진행되었음을 알 수 있다. 가운데 위치한 스피커의 손상이 크며, 외부 덮개는 떨어져 나갔다. 그리고 상부 스피커 커버에는 그을음이 묻어 있다. [그림 2]의 (b)는 스피커의 후면 사진이며 전체적으로 그을음이 묻어 있으며 그 외의 특이 사항은 발견되지 않았다.

■ 그림 2. 화재현장에서 수거한 스피커의 외형(좌-전면, 우-후면)



[그림 3]은 화재 현장에서 수거한 스피커의 측면을 촬영한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 윗면, 아랫면, 좌측면, 우측면 모두에 그을음이 부착된 것을 볼 수 있으며, 그을음을 제외한 별다른 특이사항은 발견되지 않았다. 이처럼 그을음이 고르게 분포되어 있는 것은 연소 시간이 길고 화염의 세기가 미약했음을 의미하며, 연소 당시 기류의 변동은 매우 적었던 것으로 추측된다.

■ 그림 3. 스피커 측면의 탄화 패턴 비교



(2) 스피커 상부

[그림 4]는 [그림 2]에서 상부에 위치한 소형 스피커 부분을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 스피커의 진동판은 열에 의해 탄화되었으며 일부가 스피커에 남아 있다(a, b). 소형 스피커의 측면과 후면을 볼 때 피복이 열에 의해 탄화되었음을 볼 수 있으며 전기적 흔적은 발견되지 않았다. 열에 의해 손상된 보이스 코일 부분을 분해한 결과 특이 사항은 발견되지 않았다. 탄화된 미소 분진의 형태는 고르게 분포되어 있었으며 열 확산 시간은 상대적으로 길었던 것으로 판단된다. 또한 외부 화염의 유입은 없었던 것으로 추측되며 보이스 코일 주변이 많이 탄화되었다.

■ 그림 4. 상부에 위치한 소형 스피커의 소손 상태



(3) 중앙 스피커

[그림 5]는 [그림 2]의 중앙에 위치한 대형 스피커(지름 약 255mm)를 나타낸 것으로, 스피커의 진동판은 열에 의해 탄화되어 완전 소실되었으며 내부의 보이스 코일을 지지하는 스파이더도 약간 손상되었다.

스피커의 측면과 후면을 살펴본 결과 특이 사항은 발견되지 않았다. [그림 5]의 (d)와 (e)는 스피커 와이어에 형성된 용융흔을 확대한 것으로 2가닥의 전선(각각 0.3mm) 중 한 가닥의 양 끝부분(O부분)에 용융흔이 형성되어 있으며 그 외의 특이 사항은 발견되지 않았다.

[그림 5]의 (f)는 보이스 코일을 나타낸 것으로 코일에 코팅된 절연물이 탄화되어 전체적으로 검게 변했음을 알 수 있다.

■ 그림 5. 중앙 스피커의 소손 상태



(4) 하부 스피커

[그림 6]은 [그림 2]의 하부에 위치한 소형 스피커 부분을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적으로 그을음이 묻어 있으며 스피커에서는 특이 사항이 발견되지 않았다. 스피커는 2개의 소형 스피커(지름 약 58mm)와 1개의 대형 스피커(지름 약 255mm)로 구성되어 있다. 상부에 위치한 소형 스피커는 열에 의해 소손되었으며, 별다른 특이 사항은 발견되지 않았다. 가운데 위치한 중앙 스피커는 열에 의해 소손되었으며 2가닥의 스피커 와이어 중 1가닥에 용융흔이 형성되어 있었으며, 하부에 위치한 소형 스피커는 정상 상태와 비교하여 별다른 차이점이 없음을 확인할 수 있었다.

■ 그림 6. 하부 스피커의 외형 및 내부 모습



[그림 7]은 스피커 내부에 삽입된 스펀지의 손상 패턴을 나타낸 것으로, 스피커의 상부측이 약간 검게 탄화된 것을 볼 수 있으며 하부는 특별한 변화가 없음을 알 수 있다. 스펀지의 열 변형 온도가 약 250℃이므로 탄화 면적을 고려하면 화염은 매우 적은 형태를 유지했으며, 외부 화염의 유입은 없었던 것으로 판단된다.

■ 그림 7. 스피커 내부 스펀지의 손상 패턴



[그림 8]은 앰프에서 스피커로 연결되는 단자 부분을 나타낸 것이다. 흑색선은 상부 스피커로, 청색선은 중앙 스피커로, 적색선은 하부 스피커로 연결된다.

스피커 입력 단자의 내부와 외부를 분석한 결과 특이사항은 발견되지 않았다. 스피커의 내부 스펀지 및 입력 단자를 분석한 결과 스피커 내부의 스펀지는 상부측이 약간 검게 탄화되었으며 그 외 특이사항은 없었다.

스피커 입력 단자의 내부와 외부 역시 별다른 특이사항이 발견되지 않았다.

■ 그림 8. 스피커 입력 단자의 외형



[그림 9]는 중앙 스피커 와이어(지름 0.3mm)에 형성된 용융흔의 외형 및 금속 단면 조직을 분석한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 와이어의 양쪽 끝에 용융흔이 형성되어 있다. 와이어가 어떤 원인에 의해 용융되었는가를 밝히기 위해 용융 부분을 다이아몬드 절단기로 절단하였다.

절단된 와이어는 성형기를 이용하여 고정시킨 후 연마기를 이용하여 연마하였다. 연마된 와이어는 크로머지로 에칭한 후 금속 조직의 형태를 보고 판정하였다. 그림 (a)와 (b)는 단자 측의 외형 및 금속 단면 조직으로 전기적인 원인에 의한 특징을 발견할 수 없다.

그림 (c)와 (d)는 스피커 측에 형성된 용융흔의 외형 및 금속 단면 조직

으로 과전류에 의해 용단될 때 나타나는 단면 조직이 관측되었다.

■ 그림 9. 와이어 끝 부분에 형성된 용융흔의 외형 및 금속 단면 조직 분석



4. 맺음말

노래방에서 사용되고 있던 스피커의 화재 원인을 밝히기 위해 외형 및 탄화 패턴, 와이어의 실체 및 금속 조직 분석을 과학적으로 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 스피커의 외형 및 탄화 패턴 분석 결과

- (1) 본 스피커는 2개의 소형 스피커(지름 약 58mm)와 1개의 대형 스피커(지름 약 255mm)로 구성되어 있음.
- (2) 상부에 위치한 소형 스피커는 열에 의해 소손되었으며, 별다른 특이 사항은 없음.
- (3) 가운데 위치한 중앙 스피커는 열에 의해 소손되었으며, 2가



닥의 스피커 와이어 중 1가닥에 용융흔이 형성되어 있으며 보이스 코일은 전체적으로 탄화되었음.

- (4) 하부에 위치한 소형 스피커는 정상 상태와 비교하여 별다른 차이점이 없음.

나. 스피커의 내부 스펀지 및 입력 단자 분석 결과

- (1) 스피커 내부의 스펀지는 상부측이 약간 검게 탄화되었으며 그 외 특이사항은 없음.
- (2) 스피커 입력 단자의 내부와 외부 분석에서 별다른 특이사항이 발견되지 않음.



다. 와이어 끝 부분에 생성된 용융흔의 외형 및 금속 단면 조직 분석 결과

- (1) 와이어 끝부분에 생성된 용융흔의 분석에서 과전류에 의해 용단될 때 나타나는 단면 조직이 관측됨.

이상과 같은 분석에서 스피커의 화재 원인을 종합하면 화재는 중앙 스피커 부분을 중심으로 상부로 진행되었으며, 중앙 스피커의 와이어에는 용융흔이 형성되어 있다. 또한 상부에 위치한 소형 스피커는 열에 의해 손상되었으며 하부 스피커는 열 영향이 적은 것을 알 수 있었다. 스피커 내부의 스펀지의 탄화 패턴을 볼 때 상부측만이 약간 탄화됨을 볼 수 있었다. 중앙 스피커에 형성된 용융흔을 분석한 결과 코일의 과전류에 의해 화재가 발생한 것으로 판단된다. (㉔)