

부산 실내사격장 화재의 연소 확대 경로 및 발화원인 분석에 관한 연구

송재용, 남정우, 김동환, 김진표
국립과학수사연구원

A Study on Propagation of Deflagration and Fire Cause in the Busan In door Shooting Range

Song, Jae Yong · Nam Jung Woo · Kim Dong Hwan · Kim Jin Pyo
National Forensic Service

요 약

본 논문은 부산 실내사격장 화재와 관련하여 급격한 연소 확대 경로 및 발화원인에 대하여 분석하였다. 연소 확대 경로 분석을 위하여 실내사격장에 광범위하게 사용되는 스펠지형 흡음재의 연소실험을 수행하였다. 흡음재 연소 실험은 일반형과 낭연 처리된 흡음재를 대상으로 실시하였으며, 화약잔사 흡착 시, 연소 특성을 평가하였다.

발화원인에 대한 분석을 위하여 총기 사용 과정에서 발생하는 유탄된 탄환의 비산거리 및 크기를 실측하고, 유탄된 탄환에 대한 운동에너지 계산을 통하여 화약잔사와 충격하는 경우, 충분한 발화 가능성이 있음을 확인하였다.

1. 서 론

부산 실내사격장에서 발생한 화재사고는 15명이 사망하는 참사를 낳았음에도 불구하고, 정확한 연소 확대 경로 분석 및 구체적인 발화원인에 대한 결과가 나오지 않았다. 현재 부산 실내사격장과 관련한 논문이 다수 발표되고 있으나, 여전히 정확한 화재원인 및 연소 확대 경로에 대한 평가는 이루어지지 못하고 있다. 급속한 연소 확대 원인으로서는 화약잔사의 분포에 의한 폭연의 가능성 및 스펠지형 흡음재의 연소특성을 바탕으로 단순 추정하고 있는 상태이며, 일부에서는 낭연성 흡음재 사용을 근거로 흡음재에 의한 급속한 연소 확대 자체를 부정하고 있기도 하다.

따라서 본 연구에서는 실내사격장에서 사용되는 흡음재(일반형 및 낭연 처리 제품)에 대한 연소실험을 수행하였다. 또한 화약잔사와의 상호작용에 대한 평가를 위하여 스펠지형 흡음재에 화약잔사를 분포시키고 착화시키는 경우, 흡음재 연소특성을 분석하였으며, 실험결과로부터 스펠지형 흡음재 및 화약잔사에 의해 급속히 연소 확대될 수 있음을 확인하였다. 발화원인으로 언급된 총기 유탄에 대한 운동에너지 계산을 통하여 총기 유탄이 화약잔사를 매개로 충분히 발화될 수 있음을 확인하였다.

2. 흡음재의 연소 특성 평가

부산 실내사격장에서는 방음을 목적으로 바닥 및 표적지 부분의 벽체를 제외한 좌우측 벽체, 천장 및 사대 부분에 스펀지형 흡음재를 다량 사용하는 구조로 흡음재의 연소 특성에 의해 사격장 내부 연소 확대 경로가 결정될 수 있다. 또한 총기 사용에 따라 다량의 화약잔사가 발생 분포할 수 있는 조건이므로 흡음재 및 화약잔사를 고려한 간이 연소 실험을 수행하였다.

흡음재의 연소실험은 일반형 흡음재, 난연 처리된 흡음재 및 화약잔사를 분포시킨 흡음재로 구분하여 진행하였으며, 실험과정에서의 사고 방지를 위하여 너비 1m, 높이 2m 및 폭 0.3m의 실험틀을 이용하였다.

먼저 일반 흡음재의 경우, 그림 1에 나타난 바와 같이 착화와 동시에 급격히 연소되는 특성을 나타내는데 실험틀 최고 높이인 2m까지 화염이 진행되는 시간은 불과 5 초에 지나지 않았다. 또한 일반형 흡음재 표면에 화약잔사를 분포시킨 경우에는 화약잔사가 없는 때와 비교할 때 그림 2에 나타난 바와 같이 약 3배 정도의 연소 확대 특성을 나타내었다.



(a) 착화 (b) 2초경과 (c) 6초경과

그림 1. 일반 스펀지형 흡음재의 연소 특성



(a) 착화 (b) 1초경과 (c) 2초경과

그림 2. 일반 스펀지형 흡음재에 화약잔사를 분포시킨 경우의 연소 특성

난연 처리된 스펀지형 흡음재는 자체소화가 가능하도록 난연 처리된 것으로 실제 연소 실험에서도 착화 후, 그림 3과 같이 즉시 소화되며 연소되지 않는 특성을 나타내었다. 그러나 그림 4에 나타난 바와 같이 화약잔사를 흡음재 표면에 부착시킨 후, 진행된 연소 실험에서는 난연 성능과 무관하게 급속히 연소되는 경향을 나타내었다.

부산 실내사격장 내부는 길이 15m, 너비 7m, 높이 2.3m로 실험에 사용한 흡음재를 기준(1m×2m)으로 하는 경우, 대략 80배 이상의 흡음재가 사용된다. 또한 흡음재 표면에 화약잔사가 일부 부착되어 있다고 가정할 때, 흡음재에 대한 연소실험결과에 근거하여 사격장 내부는 약 2초 전후로 전체공간이 화염으로 휩싸일 수 있으며, 사격장 내부의 흡음재가 일시에 연소되는 경우, 폭연과 같은 폭발적인 연소가 이루어질 수 있을 것이다.



그림 3. 나연 스펀지형 흡음재의 연소 특성



그림 4. 나연 스펀지형 흡음재에 화약잔사를 분포시킨 경우의 연소 특성

3. 발화원인에 대한 검토

실내사격장의 내부에 분포할 수 있는 화약잔사와 벽체 및 천장에 사용된 흡음재를 고려할 경우, 작은 점화원에 의해서도 발화될 수 있는 특성을 갖는다. 또한 사격장 내부에서 점화원을 제공할 수 있는 가능성은 ① 인적 요소에 의한 가능성, ② 담배불에 의한 가능성(현장조사 과정에서 길이 60mm의 담배꽂초 발견), ③ 전기적 발열 및 불꽃에 의한 가능성 및 ④ 총기 사용 과정에서 발생하는 유탄에 의한 가능성이 있다.

실내사격장에 설치된 CCTV의 복원 영상의 검토 결과, 화재 발생 이전 인적 요소에 의한 방화 행위나 흡연 행위에 대한 기록은 촬영되지 않은 상태로 인적 요소에 의한 가능성과 흡연 후, 담배꽂초에 의한 발화 가능성에 대한 배제가 가능하다.

발화지점으로 축소 가능한 1번사로 전방 약 3.87m 떨어진 부분에는 전기배선 및 콘센트 등의 전기설비가 설치되어 있지 않은 점과 화재현장에서 식별되는 전기적 특이점이 사격장 내부 출입구 및 외부와 연결되는 주 출입구 상단 비상등 부분에 한정되는 점을 고려할 경우, 전기적 결함에 의한 발화 가능성은 배제할 수 있다.

총기 사용 과정에서 발생하는 유탄은 표적지 후면의 탄자받이와 충격한 후, 사대와 약 1m 떨어진 지점까지 발생된다. 총기 사용 과정에서 발생하는 유탄은 구경 0.38인치 권총을 사용하는 경우, 그림 5에 나타난 바와 같이 다양한 형상으로 발생되며, 유탄의 무게는 최대 3.4g에서 최소 0.1g으로 검출되었다. 구경 0.38인치 권총의 탄환 무게는 8.42g이고, 권총탄의 탄속은 약 290 m/s(총탄제조업체 제공자료)로 사대에서 탄자받이까지 거리 15m 이내에는 탄속의 변화가 없다고 가정할 때, 탄환이 탄자받이와 충격하면서 발생하는 운동에너지는 약 353 J이 된다. 또한 유탄된 탄환의 운동에너지는 탄환의 무게와 탄속에 따라

달라지는데, 일반적으로 사거리 30 m 이내에서 유탄된 탄환의 탄속은 60 % 이상 감소한다고 알려져 있다. 이 점을 고려한 유탄된 탄환의 운동에너지는 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 총기 사용에 의해 발생하는 화약잔사의 충격감도는 5 kg 추를 0.2 m 위치에서 낙하시킬 때, 1/6 폭점(6번 시험 시, 1번 이상 기폭되는 점)을 나타내는 것으로 실내사격장에서 수거된 화약잔사의 충격감도는 표 2에 나타낸 바와 같이 약 9.8 J의 에너지에서 기폭되는 특성을 갖는다.



그림 5. 유탄된 탄환의 형태

표 1. 유탄된 탄환의 운동에너지

탄속(m/s) \ 무게(g)	8.42 g	5.83 g	2.59 g	1.46 g	0.10 g
116 (약 60% 감속)	56.5 J	39.2 J	17.5 J	9.8 J	0.7 J
87 (약 70% 감속)	31.8 J	22.1 J	9.8 J	5.5 J	0.4 J
58 (약 80% 감속)	14.1 J	9.8 J	4.4 J	2.5 J	0.2 J
48.3(약 83.3% 감속)	9.8 J	6.8 J	3.0 J	1.7 J	0.1 J
29 m/s(90% 감속)	3.5 J	2.5 J	1.1 J	0.6 J	-

표 2. 화약잔사와 ball powder의 충격 감도

시료 구분	충격 감도	추의 위치에너지
화약잔사	20 cm	9.8 Joule
ball powder	10 cm	4.9 Joule

이론적으로 충격에 의해 화약잔사가 착화될 수 있는 최소 운동에너지를 갖는 유탄의 무게는 탄속이 60 % 감소되는 경우 1.46 g이고, 70 % 감소될 때 2.59 g, 80 % 감소되는 경우에는 5.83 g으로 계산된다. 따라서 총기 사용 과정에서 발생하는 유탄의 크기를 고려할 경우, 유탄된 탄환은 화약잔사를 착화시키는데 충분한 에너지를 갖는 것으로 판단된다.