

고체에어로졸 소화장치의 B, C급 소공간 화재 소화성능 연구

박용환, 김범규, 이성미*

* 호서대학교 소방방재학과

Fire Extinguishing Performance of Condensed Aerosol Extinguisher on the B,C Class Fire in a Small Cabinet

Park, Yong-Hwan · Kim, Bum-Kyu · Lee, Sung-Me*

* Dept. of Fire Protection Eng., Hoseo University

요 약

현재 배전반, 소규모 유류저장고 등은 법적 의무 대상 공간이 아니어서 화재시 초기소화 실패로 인해 큰 재산상의 피해를 겪고 있으며, 이러한 소공간 화재에 대응할 수 있는 적합한 소화장치의 제도적 뒷받침이 시급한 실정이다. 현재 소공간용 소화장치에 대한 KFI 인정기준은 제정되어 있는 상태지만 다양한 새로운 기술에 부합하지 못하고 있어 소공간 소화장치에 대한 세분화된 법적기준 마련이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내외적으로 큰 관심을 받고 있을 뿐만 아니라 현재 KFI 인정기준으로도 제정되어 있는 고체에어로졸 소화장치가 B,C급 배전반, 분전반 등의 소공간 화재에 미칠 수 있는 소화성능을 실험적으로 분석하고 고체에어로졸 소화장치의 소공간화재 적합성 여부를 고찰해보고자 한다.

1. 서 론

오늘날 급속한 산업사회의 발전과 생활수준의 향상으로 전기에너지 사용의 증가와 함께 전기기기의 대형화가 지속적으로 진행되고 있는 추세이다. 이 중, 배전반, 분전반 등의 소공간은 중·대형 전기기기의 기동장치 및 보호장치의 집합체로서 건축물 내 전원공급을 체계적으로 구성하고 있는 편리한 전기설비이다. 그러나 이러한 소공간 내에 화재가 발생하게 되면 이로 인해 생기는 피해는 소공간 화재로 국한되는 것이 아니라 2차, 3차적인 피해로 이어진다. 즉 소공간 화재가 발생하게 되면 소공간에 연결된 많은 주요기기들이 멈추게 되고, 최악의 경우 공장의 생산라인이 울 스톱되어 막대한 피해를 가져올 수가 있다. 실 예로, 2007년 8월 3일 삼성전자 기흥공장에서 발생한 소공간 화재는 최후 피해액이 400억 원에 이르렀고 이로 인해 주식의 폭락과 기업 이미지 훼손 등 회사에 큰 피해를 가져왔다. 이 화재는 소공간의 소실로 인한 일차적 피해와 변전소 내 소공간 화재로 인한 생산설비의 전력중단 등의 이차적 피해를 가져왔다. 이렇듯 소공간 화재는 1차적 피해보다는 2차적 피해가 큰 경향을 가지고 있다. 그러나 현재 소방분야에서는 소공간 화재에 대한 위험 인지도가 크게 부각되고 있지 않는 실정이기 때문에 화재예방이나 소화활동에 관해서 많은 관심을 받지 못하고 있다. 또한, 소공간에 적합한 소화장치에 대한 KFI 인정기준은 제정

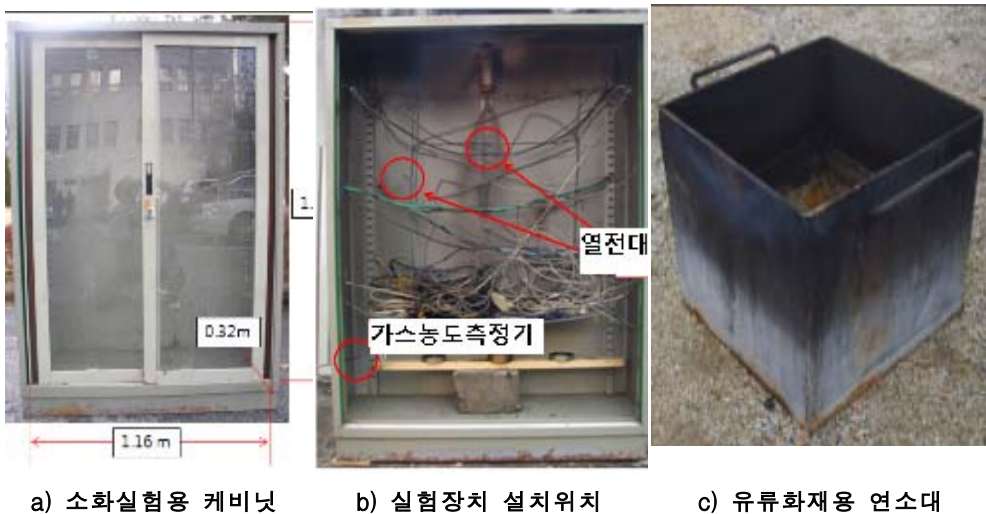
되어 있는 상태지만 명확한 소화장치 명을 제시하고 있지 않아 다양한 소공간 소화장치에 대한 세분화된 법적기준 마련이 필요한 실정이다. 소공간 화재 소화 시의 가장 큰 문제점은 밀폐공간의 내부에서 화재가 발생하기 때문에 밀폐공간의 문이 불연재로 되어 있을 경우 소화약제를 방사해도 소공간 내부로 약제가 침투하기 힘들어 소화가 곤란하다는 점이다.

현재, 해외 여러 국가에서는 A급화재 뿐만 아니라 B,C급 화재에서 더욱 높은 소화성능 및 친환경성을 인정받은 고체에어로졸 소화장치가 여러 고층 건축물 및 선박, 자동차 등에 설치되고 있는 실정이다. 국내에서는 최근 2개 업체가 고체에어로졸 소화장치를 개발 생산 중에 있고, 일부 소공간 (배전반, 소규모 유류저장고 등), 전산실, 통제실 등에 고체에어로졸 소화장치가 시범 설치되고 있어 앞으로 그 설치규모가 점차 확대될 전망이다. 뿐만 아니라 2007년에는 동 제품에 대한 KFI 인정기준이 제정되어 향후 관련법에서도 법제화 될 가능성이 높은 소화장치라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 고체에어로졸 소화장치를 소공간에 적용시켜 고체에어로졸 소화장치의 B,C급 화재에 대한 소화성능 및 효용성을 실험적으로 고찰해 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 측정장비

2.1 실험장치

B급(유류화재), C급(전기화재)의 소화실험에 공통적으로 사용된 소공간은 Figure 1-a)와 같은 1.16m(가로) * 0.32m(세로) * 1.5m(높이)이며 체적이 0.57m³ 인 철제 케비닛으로 하였으며, 소화진행과정을 관찰하기위해 전면이 유리로 된 두 개의 여닫이문이 있는 것으로 하였다.





d) 전기화재 점화용 연소대 e) 고체에어로졸 소화장치(유류) f) 고체에어로졸 소화장치(전기)
 그림 1. 소화 실험장치 및 에어로졸 소화장치

가스농도 및 온도 측정위치는 그림 1-b)와 같은 위치에서 측정하였으며, 산소 및 가스 농도는 가스농도측정기를, 온도는 K-타입의 열전대를 사용하였다. B급화재 소화실험에 사용된 연소대는 KFIS 026에 따라 그림 1-c)와 같이 0.25 m²의 정사각형, 높이 100 mm, 두께 6 mm의 유류화재용 연소대를 사용하였다. C급 소화실험 시에는 위험성이 존재하므로 전기가 통전된 상태에서 실험을 수행하는 것이 불가피하여 그림 1-b)와 같이 전선을 이용하여 전기화재를 모사하도록 하였다. 이 때, 전선의 점화는 그림 1-e)에 나타나는 바와 같이 지름 10cm, 높이 2cm 크기의 소형 연소대 3개를 캐비닛 최 하단부에 설치하여 동시 점화가 가능하도록 하였다. 두 실험에 사용된 고체에어로졸 소화약제는 그림 1-f)와 같이 F사의 감지선형(도화선형)을 사용하였으며 캐비닛 상부에서 0.3m 만큼 이격시켜 설치하였다. 단, 감지선은 길이 2m, 점화온도는 172℃, 감지속도는 1m 당 0.1sec의 사양을 갖춘 것으로 소화장치에 직접 부착되어 있다. 소화장치는 캐비닛 상부에서 0.3m 만큼 이격시켜 설치하였다. 각 실험에 사용된 소화약제의 기본사양은 표 1과 같다.

표 1. 각 소화시험별 고체에어로졸 소화장치의 사양

사양 \ 시험종류	시	유류화재 소화시험 (FP-80)	전기화재 소화시험 (FP-20)
약제량 / 전체 무게 (g)		80/800	20 / 100
약제 방출 시간 (sec)		4 - 8	3 - 6
방호 규격 (w * h * d)		1 * 2 * 0.57	0.5 * 1 * 0.58
방호 체적 (m ³)		1.14	0.29
방출 길이 (m)		2	0.3
크기 (mm)		180 * 50	128 * 30

2.2 측정장비 및 실험방법

실험에 사용된 측정장비는 그림 2에서 보는 바와 같이 산소 및 가스농도의 측정을 위해서는 가스농도측정기(Madur Portable gas analyser GA-21plus)를, 캐비닛 내부의 온도변화 측정을 위해서는 K-타입 열전대와 데이터 수집장치(Agilent Technologies 23970a)를 컴퓨터에 연결하여 측정하였다. 실험은 표 2에 나타난 KFIS 026의 시험방법에 의거하여 수행 후 평가분석 하였으며, 실험방법 및 절차는 다음과 같다.

우선, 실험 전 소화약제의 중량을 측정한다. 다음으로 내부온도, 외기온도, 소화장치 주위 온도(소화장치로부터 0.2m이격)를 측정할 열전대와 가스농도측정기를 설치한 후 캐비닛 내부바닥으로부터 1.3 m 높이에 소화장치를 설치한다. 유류 화재 실험의 경우, 연소대에 물 12.5L와 n-헵탄 1.5L를 넣어 캐비닛 중앙 하단부에 위치시키고, 전기화재 실험 시에는 전기선 점화용 소형연소대 3개를 하단부에 각각 설치한다. 연소대에 점화하고 약 30초간 예비연소 후 캐비닛을 밀폐시켜 놓고 캐비닛 내를 관찰하며 데이터 수집을 기록한다. 재발화 여부는 KFIS 026(고체에어로졸 자동 소화장치) 인정기준에 따라 완전소화 후 약 30 sec 후에 살펴본다. 마지막으로 실험 후 소화약제의 잔류 중량을 측정한다.



a) 가스농도 측정계



b) 데이터 수집장치

그림 2. 측정장비 사진

3. 실험결과

각 실험결과 대부분이 KFIS 026의 인증기준에 적합한 결과를 나타냈으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 발화 후 소화장치 반응시간은 전기화재의 경우 전선에 화염이 점화되는데 걸리는 지연시간을 포함하여 약 160초, 유류화재는 빠른 화염확산으로 인해 약 5초를 나타냈으며, 소화시간은 전기화재가 약 4초, 유류화재가 약 6초가 소요되었다. 소화 후 잔여물 및 재발화는 두 경우 모두 나타나지 않았다.

표 2. KFIS 026 (고체에어로졸 자동 소화장치) 인정기준

시험종류	인정기준
감지부시험	공칭작동온도의 $\pm 10\%$ 이내 작동 (본 시험장치는 5분 이내 작동해야함)
방사시험	· 작동장치가 작동후 즉시 에어로졸을 유효하게 방사되어야 하며 방사시 방출구로부터 화염이 나오지 않아야 함. 또한, 방사시간은 60초를 초과하지 아니하여야 하며 설계값의 $\pm 30\%$ 이내이어야 하고 방출된 고체에어로졸화합물의 질량은 설계값의 $\pm 5\%$ 이내이어야 하고 방사 시 이격거리(0.2m)에서의 온도는 400°C 이하이어야 함.
유류화재의 소화성능시험	소화시험은 0.25 m^3 의 정사각형, 높이 100 mm, 두께 6 mm의 철제모형에 12.5 L의 물과 1.5 L의 n-헵탄을 넣고 소화시험실 바닥에서 600 mm 높이로 소화시험실 중앙에 설치하고, 소화모형의 n-헵탄에 점화하여 30초간 예비연소 후 개구부를 닫고 즉시 소화약제를 방출시켜 기준에 적합 여부를 확인한 뒤 방출 종료 후 30초 이내에 소화되어 재연소하지 아니 해야함.

전기화재의 소화성능시험	기준 없음.
산소농도 시험	기준 없음.

3.1 산소농도 측정실험

그림 3에 나타나는 바와 같이 a)전기화재의 경우 5 sec에 n-헵탄에 점화를 한 후 전선으로 화재가 확대되는데 약 13 sec가 소요됐다. 전선연소에 의한 산소소모 및 일산화탄소의 증가로 인해 산소 농도가 급격히 낮아 졌으나 약 105sec에 열에 의한 캐비닛 유리의 미세한 파손으로 약간의 산소 유입이 되면서 약 16 %의 농도를 유지하였다. 또한, 약 165sec에 약제가 방사되어 방사가 종료되는 약 170 sec정도에는 화재가 완전 진압되면서 산소의 농도가 다시 증가되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 캐비닛 내부에 소화약제가 남아 있어도 산소농도가 점차 회복되는 것으로 보아 질식효과는 크게 발휘하지 않는 것을 확인할 수 있었다. b)유류화재의 경우 10sec에 점화되었고 5sec 뒤인 약 15sec에 화재를 감지하여 약제가 방사된 것을 볼 수 있었다. 이는 유류화재의 경우 전기화재에 비해 소화장치의 감지선에 도달하는 화염전파속도가 더 빠르게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 이로 말미암아 화염이 신속히 초기 진화되어 산소농도에는 큰 변화를 보이지 않았다. 고체 에어로졸 소화약제가 화재에 대한 응답속도뿐 아니라 화재진압속도도 빠르다는 것을 나타낸다. 본 산소농도 측정실험 결과 감지부 시험 및 방사시험에 있어 FIS 026 인정기준에 적합하게 나타남을 알 수 있었다.

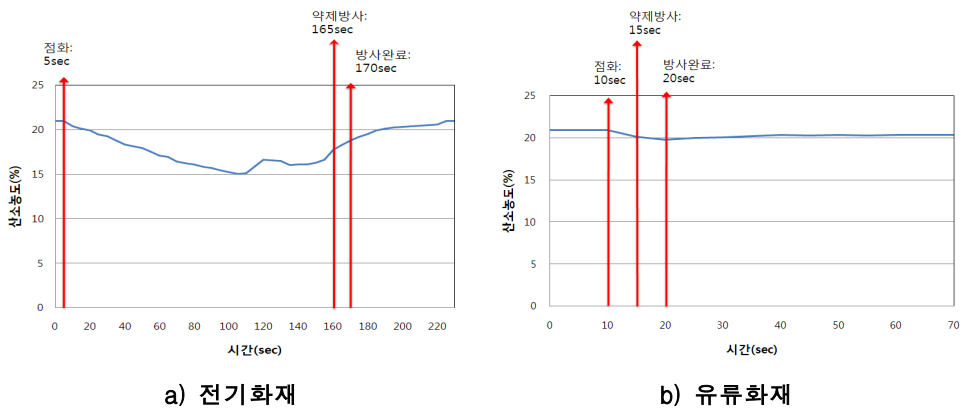


그림 3. 시간에 따른 산소농도 변화율

3.2 온도 측정실험

그림 4의 a)전기화재에서 볼 수 있듯이 약 5sec에 점화 된 후 실내온도는 서서히 상승하다가 약 165sec 에 에어로졸 소화약제가 방사됨으로 인해 소화장치와 0.2m 이격된 부근에서 203℃에서 319℃로 온도가 급격히 상승한 것을 볼 수 있다. 약 117℃ 상승한 것으

로 볼 때 KFIS 026기준에 적합하였다. 또한 방사가 완료되는 동시에 소화되어 이격거리 온도 및 실내 온도가 하강되는 것을 알 수 있다. 또한 약 140sec부터 160sec까지 온도가 하강 했다가 다시 상승하는 패턴을 보인다. 이는 좁은 공간에서 화재가 지속적으로 일어나고 그에 따라 가연성 혼합기를 형성하는 산소의 양이 감소하여 화염이 작아져 온도가 하강하고, 틈새로 인해 산소가 캐비닛 내부에 유입되면서 다시 가연성 혼합기를 형성하여 연소하면서 다시 화염이 커지기 때문에 온도가 상승하기 때문인 것으로 판단된다. b)유류화재의 경우 11sec에 점화하고 소화장치와 0.2m 떨어진 위치의 온도와 실내 온도는 급격히 상승하는 것을 볼 수 있으며, 방사가 완료되고 난 후에는 이격거리 온도는 다시 하강하고 4 sec 뒤에는 캐비닛 내부온도도 하강하는 것을 알 수 있다. 또한, 약제가 방사된 16 sec부터 방사완료 시간인 22 sec까지의 온도가 약 178 °C 차이를 나타냄으로써 기준에 적합함을 보였다.

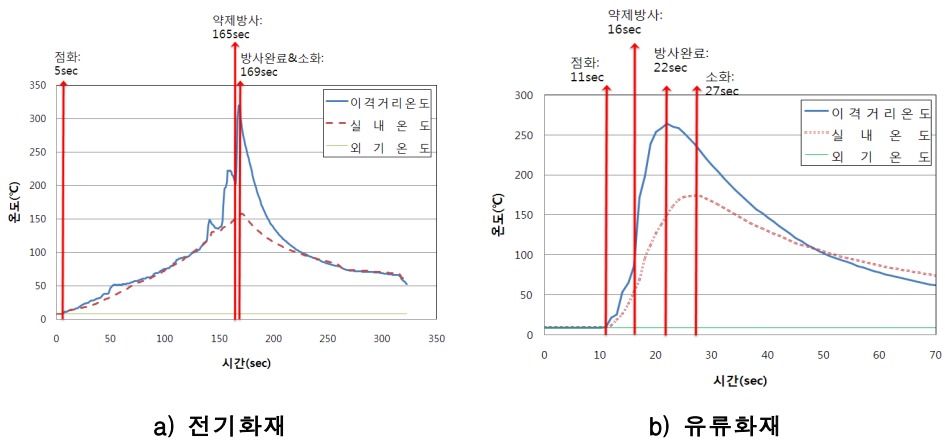


그림 4. 시간에 따른 온도변화

3.3 방사효율 측정

방사효율 측정실험은 KFIS 023(소공간 자동소화장치)에 의거하여 식 (1)에 의해 구하고, 이 값을 KFIS 023 인정기준에 따라 방사효율의 적합성을 평가한다.

$$\text{방사효율(\%)} = \frac{W - W_1}{W} \times 100 \quad (1)$$

단, W =충전약제 등의 중량, W_1 =약제잔량의 중량이다.

전기화재 소화실험에 대한 방사효율은 전기화재 소화실험의 경우 소화장치 총 중량이 867.1g, 방사 후 소화장치 총 중량이 792.5g, 방사 전 소화장치 총중량 - 방사 후 소화장치 총 중량은 74.6g, 충전약제의 중량은 회사의 기본 사양에 따라 80.0g으로 본다. 약제잔량

의 중량은 5.4g이므로, 약제의 방사효율은 $((80-5.4)/80) \times 100 = 93.25\%$ 의 높은 방사효율을 나타냈으며 설계값 $100 \pm 5\%$ 의 범위에 거의 근접하는 높은 방사효율을 나타냈다. 유류화재 소화실험의 경우에는 방사 전 소화장치 총 중량이 867.1 g, 방사 후 소화장치 총 중량이 788.3 g이며, 방사 전 소화장치 총 중량 - 방사 후 소화장치 총 중량이 78.8g으로 나타났다. 또한, 충전약제의 중량은 회사의 기본 사양에 따라 80.0g으로 본다. 약제잔량의 중량이 1.2g이므로 $((80-1.2)/80) \times 100 = 98.5\%$ 로 거의 100%에 가까운 높은 방사효율을 나타냈다.

3.4 재발화 여부 및 오손 상태 확인

소화가 완료된 후 30초 이후 재발화 여부를 확인할 결과 유류화재 및 전기화재 실험 모두 재발화가 일어나지 않을 것을 확인 할 수 있었다. 그림 3은 소화실험 후 캐비닛 내의 모습을 나타낸 사진으로서 전선의 오손정도가 심하지 않은 것을 볼 수 있다. 소화 후 잔류물도 거의 나타나지 않아 캐비닛 내부가 비교적 청결한 모습을 보였다. 또한, 그을음도 거의 발생되지 않았다. 이는 소화장치의 빠른 소화반응속도로 인해 장시간 발화를 방지했기 때문인 것으로 분석된다.



a) 전기화재 소화 완료후

b) 유류화재 소화 완료후

그림 5. 소화 후 캐비닛 내부사진

4. 결 론

본 연구를 통해 고체에어로졸 소화장치의 소공간 B,C급 화재의 소화성능을 평가하여 그 적합성을 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 산소농도 측정을 통해 고체에어로졸 소화약제가 다른 소화약제에 비해 밀폐공간 내 B,C급 화재반응속도 및 소화속도도 빠르다는 것을 알 수 있었으며, 그 결과 감지부 시험 및 방사시험에 있어 FIS 026 인정기준에 적합하게 나타남을 알 수 있었다. 둘째, 온도측정 실험 결과 고체에어로졸 소화장치가 소공간 내 B,C급 화재에 높은 냉각효과를 발휘하는 것으로 나타났다. 또한, 화재약제가 방사된 시점부터 방사완료 시간까지의 온도가 약 $117 \sim 178 \text{ }^\circ\text{C}$ 차이를 나타냄으로써 인정기준에 적합함을 보였다. 셋째, 방사효율 계산결과 90%가 넘는 방사효율을 나타내었으며, 이로 인해 화재 발생 시 높은 초기소화효과를 줄 수 있을 것이라고 사료된다. 넷째, 소화 완료 후 30초가 지나도 재발화가 일어나지 않았으며, 소화 후 오손의 정도가 매우 미미하게 나타남을 알 수 있었으며, 그을음도 거의 나타나지 않았다. 잔여물 또한 발생되지 않았으며 소량

의 소화약제 흡입 결과 인체에 무해하다는 장점이 있는 것을 확인할 수 있었다. 다섯째, 소화약제가 방사 시 높은 방출압력으로 인한 소음발생 및 약제로 인한 시야 확보의 어려움도 볼 수 있었다.

현재, 국내에는 소공간에 적합한 소화약제가 제 성능을 발휘하지 못해 배전반 등의 소공간 내 초기소화에 실패하는 사례가 잦게 나타나고 있다. 본 연구 결과 고체에어로졸 소화장치는 밀폐된 소규모 공간 내에서 높은 소화성능 및 효용성을 보이는 것으로 분석되었으며 이에, 소공간 내 고체에어로졸 소화장치의 설치 및 시험기준의 법제화 방안에 대한 검토가 필요하다고 사료된다. 또한, 고체에어로졸 소화장치의 성능평가 및 개발에 대한 전문적 연구가 더욱 많이 수행되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

1. “소공간자동소화장치의인정기준(KFIS-023)”, 소방검정공사
2. “2007 소화기구의 화재안전기준(NFSC101)”, 소방검정공사
3. 최병오 외 :“고체에어로졸 자동소화장치 특성”, pp277~282, (사)한국화재소방학회 2008년도 추계학술논문발표회 논문집, 2008. 11. 13
4. “고체에어로졸 자동소화장치 fire WALL”, 고려화공(주), Catalogue
5. “고체에어로졸 자동소화장치 Fire Pro Korea”, Catalogue
6. “고체에어로졸자동소화장치인정기준(KFIS-026)”, 소방검정공사