

불활성가스 소화약제의 인체 안전성에 대해서

저자 · Yuko Saso

출처 · 일본화재학회지 2004년 10월호

번역 · 유 호 정 · 협회 위험조사부 사원

1. 머리말

2004년 6월에 시행된 일본소방법의 성능규정화를 계기로, 개정된 방화상의 모든 성능에 관한 검토가 행해지고 있다. 이와 같은 검토 중에서 불활성가스 소화약제의 소화기구와 인체 안전성이 정확히 이해되지 않은 상태이다. 그래서 이 글에서는 불활성가스 소화약제의 소화기구와 인체의 안전성에 초점을 맞추어 해설하려 한다.

2. 불활성가스 소화약제의 종류와 소화성능

현재 일본에서 사용하고 있는 불활성가스 소화제는 <표 1>에 나타난 4 종류이다. 이 중 이산화탄소는 가장 예전부터 사용되어 온 소화약제이고, 탄산가스라고도 불린다. 1974년 법령 개정 전에, 이산화탄소 소화설비와 대비하여 「불연성가스 소화설비」라는 법률용어가 사용되었다.

이산화탄소를 제외하고 3 종류는 모두 할론 대체 소화약제로서 1990년대에 개발된 것으로, 'Inert 소화약제' 라고 총칭되어 구 소방법시행령 제32조 적용에 의해 사용되었지만, 2001년의 법령 개정에 의해 「이산화탄소 소화설비에 관한 기준」이 「불활성가스 소화설비에 관한 기준」으로 고쳐진 때에 정식으로 법령에 사용이 인정되었고 동시에 「불활성가스 소화약제」가 법률용어가 되었다.

전역방출방식의 소화설비로 사용되는 불활성가스 소화약제의 소화성능은, 소염(消炎)농도로 평가된다. <표 1>에 컵 버너장치에 의해 측정된 n-heptan에 대한 각 불활성가스 소화약제의 소염농도와, 그에 상당하는 산소농도를 나타내었다. 소화성능이 가장 높은 것은 이산화탄소이고, 뒤를 잇는 것은 질소, IG-541, IG-55의 순서이다.

3. 불활성가스 소화약제에 의한 소화 기구

소방관계 교본 등을 보면 불활성가스 소화약제의 주요 소화효과는 질식작용이라고 적혀있다. '질식

작용'에 의해 불이 꺼지는 것에는 가스 소화약제의 종류와 관계없이 물체가 불타지 않게 되는 '한계산소농도'가 결정된다고 할 수도 있지만, 현실에는 그렇게는 되지 않는다. <표 1>에 나타났던 바와 같이, 불활성가스 소화약제가 n-헵탄 이외의 확산 화염을 소화시키는 때의 산소 농도는 불활성가스 소화약제의 종류에 의해 다르다. 또한, n-헵탄 이외에 가연성 물질의 화염을 소화시키는 산소 농도는 같은 불활성가스 소화약제를 사용해도 <표 1>과는 다른 값을 나타낸다. 이와 같이 불을 끄기 위한 조건은 산소 농도만이 아니라 공존하는 성분과 가연물의 종류에도 의존하기 때문에, 물체가 연소하게 되는 '사물이 불타지 않게 되는 한계산소농도'는 일정하지 않게 된다.

소화현상은 화염 안에 연소반응이 충분한 속도를 유지하기 불가능할 때 일어난다. 이 연소반응 속도는 화염온도에 의존한다. 불활성가스 소화약제는 산소농도를 저하시킴과 동시에 화염으로부터 열을 빼고, 화염온도를 한계 온도 이하로 내리는 작용을 하여 불이 꺼진다. 따라서 화염으로부터 열을 빼는 능력이 큰 가스, 즉 소화성능이 높고 비열이 큰 가스가 소화성능이 높다. 필자는 이 작용을 기상(氣

<표 1> 불활성가스 소화약제의 종류와 소화성능

명 칭	조성(vol %)	소염농도(vol %)	소염시 산소농도(vol %)
이산화탄소	CO ₂ 100%	22.0	16.4
질소	N ₂ 100%	33.6	13.9
IG-55	N ₂ 50%	37.8	13.1
	Ar 50%		
IG-541	N ₂ 50%	35.6	13.5
	Ar 40%		
	CO ₂ 8%		

〈표 2〉 1기압에서의 산소 농도 · 분압과 증상

산소농도(vol %)	산소분압(mmHg)	증상
12~13	91~99	시력, 정적 동작, 근육의 세밀한 움직임에 장애
11	84	판단력 저하, 감각상실, 근육의 움직임에 현저히 장애
10	76	의식상실, 중추신경 장애

相)냉각작용 또는 화염냉각작용이라고 칭하고, 소방 관계 교본 등에서 응축상태의 냉각에 대하여 사용되는 「냉각작용」과 구별한다.

4. 불활성가스 소화약제의 인체 안전성

화재 시에는 여러 가지 연소생성물이 존재하고, 그것들 중에는 독성이 높은 물질도 많이 포함되어 있다. 이들 연소생성물의 생성 거동에 불활성가스 소화약제가 주는 영향을 파악하는 것도 중요하지만, 이 글에서는 연소생성물의 인체 안전성에 관해서는 다루지 않고 불활성가스 소화약제의 오방출을 예상한 경우의 인체 안전성에 한정해 구술하겠다.

불활성가스 소화약제는 이산화탄소, 질소, 아르곤 등의 단일 가스 또는 2이상의 혼합 가스가 있다. 질소와 아르곤의 독성은 보고되고 있지 않지만 이러한 인체 안전성에 관해서는 저산소 농도가 오로지 문제가 되는 한편, 이산화탄소에 관해서는 가스 자체의 독성과 저산소농도 양쪽이 문제가 된다.

가. 저산소 농도가 인체에 미치는 영향

생체기능 유지에 필요한 만큼의 산소를 얻을 수 없는 상태를 저산소증이라고 한다. 저산소증은 여러 가지 원인으로 일어나지만, 헤모글로빈 산소포화도의 저하가 원인으로 일어나는 것을 산소결핍성 저산

소증이라고 하고, 대기 중의 산소분압의 저하에 의해 일어나는 것을 대기성 저산소증이라고 하며, 이 중에서 저산소농도의 공기 흡입에 의한 것을 산소결핍증이라고 한다.

대기성 저산소증의 증상은 산소농도뿐만 아니라 산소의 분압으로도 정해진다. 1기압에 대한 공기 중의 산소농도, 산소분압과 증상과의 관계는 〈표 2〉와 같다.

고도가 높아지면 기압이 낮아지기 때문에 산소분압이 낮아져 인체에 영향을 미친다. 성층권을 나는 여객기 객실은 외부 기압보다 0.585기압 정도 높게 여압되어 있고, 고도 약 1만미터에서는 기내의 산소 분압이 1기압에 17%의 산소 농도에 상당한다. 고도 3,776미터의 후지산의 산소 분압은 1기압에 13.5%의 산소 농도에 상당한다.

한편 무산소 혹은 이에 가까운 저산소농도의 공기를 흡입하면 대개 두 번의 호흡으로 의식을 잃고 쓰러지기 때문에 대단히 위험하다. 질식사고의 원인은 질식성 가스와 산소의 소비, 두 개로 구분된다. 가연성물질의 화재폭발 방지나 식품 등의 산화 방지를 위해 사용되는 질소, 아르곤의 누설이나 LP가스 봄베에 새로 채워넣는 중의 사고는 질식성 가스의 충만으로 일어나는 것이다. 산소의 소비에 기인하는

〈표 3〉 이산화탄소의 농도와 인체에의 영향

이산화탄소의 농도(vol%)	증상 발현까지의 노출시간	인체에의 영향
< 2%		그다지 영향이 없다.
2~3%	5~10분	호흡심도의 증가, 호흡수의 증가
3~4%	10~30분	두통, 현기증, 이성의 저하
4~6%	5~10분	上記증상과 과호흡에 의한 불쾌감
6~8%	10~60분	의식레벨의 저하, 그 후 의식상실의 진행
8~10%	1~10분	上同
10% <	< 수분	의식상실, 그 후 단시간에 생명 위험
30%	8~12호흡	上同

산소부족 사고로 가장 많은 것은 배의 창고나 탱크 내에서 철의 산화에 의한 것이다. 질식 사고의 치사율은 높고, 구하러 간 사람도 2차 재해로 자주 사망한다.

질소 또는 아르곤을 주성분으로 하는 불활성가스 소화약제(Inert계 소화약제)에 대해서 국제연합 환경 계획 및 미국방화협회가 공표한 최대무독성농도(NOAE ; No Observed Adverse Effect Level)는 43%(산소농도 12%), 최소독성농도(LOAEL ; Lowest Observed Affected Effect Level)는 52%(산소농도 10%)이다. 이러한 독성 데이터를 〈표 1〉에 나타난 소화성능 데이터와 비교하면, 인체에 심각한 증상이 나타나는 레벨까지 산소 농도를 내리지 않고도 n-헵탄의 화염을 소화할 수 있는 것을 알 수 있다. 미국의 소화설비 기준에서는 인체에 대한 불필요한 노출을 피하기 위해서 방출 전 경보 등의 대책을 세우도록 하는 한편, 방출시간이 5분을 초과하지 않는 경우는 43%(산소농도 12%)까지, 방출시간이 3분을 초과하지 않는 경우는 52%(산소농도 10%)까지 점유구역에서의 Inert계 소화설비의 사용을 인정하

고 있다. 단, 여기에서의 산소농도는 해발 0m를 기준으로 하고 있고, 고도에 따라서 산소분압의 변화를 고려하여 소화약제량을 결정할 필요가 있다.

나. 이산화탄소의 독성

이산화탄소를 흡입하면 비교적 저농도에서 호흡중추가 자극되고, 고농도에서는 중추신경 전반으로 마취작용이 나타난다. 이산화탄소의 농도와 일정 노출시간에 의해 나타나는 인체에의 영향을 정리하면 〈표 3〉과 같다.

〈표 1〉에 표시한 소화성능 데이터와 〈표 3〉의 독성 데이터를 비교하면, 이산화탄소로 n-헵탄의 화염을 소화시키기 위해서는 치사량에 필적할 정도까지 이산화탄소 농도를 증대시킬 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 이산화탄소 소염농도(22.0%)에 대응하는 산소농도는 16%대 인데, 앞에서 서술한 산소결핍증의 증상이 발현되는 수준보다 산소농도가 높지만 이산화탄소 중독에 의해 생명을 빼앗아 버리는 부작용이 있다. 실제로 전역방출식의 이산화탄소 소화설비의 오방출 사고에 의한 치사율이 높고, 드라이아이

스 적재차량 등과 함께 이산화탄소 중독의 주요한 원인이 되고 있다.

반복되는 사망 사고로 인해 미국에서는 최근 전역 방출방식의 이산화탄소 소화설비의 유인(有人)구획에서의 사용을 재고하는 움직임이 보인다. 일본에서는 이미 소방법 시행 규칙이 개정되어, 유인구획으로 전역 또는 국소방출방식의 불활성가스 소화설비를 설치해서는 안된다고 규정하였다. 그렇지만 오방출 사고에 의한 이산화탄소 중독 대부분은 보수 점검 시에 발생한다는 조사 보고가 있고, 이산화탄소 설비의 설치·유지로 관계되는 특수 면허제도의 도입 등 소프트적인 다른 대책의 필요성도 지적되고 있다.

5. 소화약제의 인체 안전성과 관계 법령

이산화탄소의 독성을 바르게 인식하고 있지 않는 사람들이 대단히 많다. 이 사실을 확실하게 반영하지만 산소결핍증 등의 방지규칙이 나와 있다. 이 규칙에서는 공기 안의 산소농도가 18% 미만인 상태를 산소결핍으로 정의한다. 그리고 산소결핍 위험장소를 내건 노동안전위생법 시행령에서는 이산화탄소를 헬륨, 아르곤, 질소, 할론과 함께 불활성 기체로 하고 있다. 그러나 이산화탄소를 사용해 공기 안의 산소농도를 18%까지 희석한 때의 이산화탄소농도는 13.9%이고, 이는 치사 농도를 상회한다. 한편, 질식성 가스에 대해서 인간은 산소농도 15%까지는 우선 무사하고, 14%에는 맥박이 1분 만에 10회 정도 느는 것 뿐이다. 이산화탄소 중독을 방지하기 위해서는, 이 규칙 안에 이산화탄소의 독성에 대해서 명기하고

산소결핍의 기준을 조정하는 등 법령개정이 필요하다고 지적되고 있다.

소화약제의 인체 안전성을 확보하는 것은 이 규칙의 개정에 의한 이산화탄소 독성의 정확한 지식 보급에 더하여서 소화설비의 기술기준 가운데 소화제의 사용농도가 인체에 안전한 범위를 넘지 않도록 규정하는 것이 필요하다. 할론 대체소화약제 사용의 길을 연 1995년의 소방청 통지는 소화약제의 인체 안전성에 대해서 평가하는 방법을 결정하여, 소화설비에 대한 성능규정의 시작이라고 여겨진다. 또한 2003년도 소방법 개정에 의한 소방용 설비 등의 성능규정화의 시행에 있어서 제29조의 4가 신설되어 필요한 방화안전성능으로서 화재의 확대를 초기에 제어하는 성능, 화재 시에 안전하게 피난하는 것을 지원하는 성능, 소방대에 의한 활동을 지원하는 성능이 명기되어 있다. 이후에는 소화약제의 인체 안전성을 포함하여서, 소화약제 및 소화설비의 요건을 합리적으로 결정하여 소방법령 중에서 규정하는 것이 기대된다.

6. 맺음말

현재 국내에서 사용되는 불활성가스의 소화약제를 소개함과 동시에, 이것의 소화성능과 소화기구 및 인체 안전성에 대해 서술하였다. 또한 소화제의 인체 안전성을 확보하기 위해서 중요한 법령상의 과제도 취급하였다. 본 고가 소화약제의 인체 안전성에 관심을 가진 분들에게 조금이나마 참고가 된다면, 소화설비의 적정한 사용의 추진으로 이어지길 바란다. ☞