

불활성 가스계 청정 소화약제의 방출 및 소화

김재덕, 송은석, 강정원*, 박양원**

한국과학기술연구원 청정기술연구센터, 고려대학교 화학공학과*, (주)진화이앤씨**

Discharge and Fire Suppression of Inert Gas Clean Agent

Jae-Duck Kim, Eun-Seok Song, Jeong-Won Kang*, Yang-Won Park**

Clean Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology,

Department of Chemical Engineering, Korea University*,

Jimwha Engineering & Construction Co., Ltd.**

1. 서론

할론 소화약제는 인체에 미치는 독성이 적고 소화 후에 잔사를 남기지 않으며 침투성이 우수한 가스계 청정소화약제로 유류 화재인 B급 화재나 전기 화재인 C급 화재에 뛰어난 소화 능력을 갖고 있어 여러 시설에 사용되어 왔다. 그러나 오존층 파괴물질에 대한 몬트리올 의정서¹⁾에 의하여 전세계적으로 생산 및 사용이 규제되고 있고 국내의 경우 2010년부터 생산이 중단될 예정으로 있다. 따라서 할론을 대체하기 위한 새로운 가스계 소화약제나 소화시스템이 개발되어 사용되고 있지만 국내의 경우 아직 개발된 제품이 없어 전면 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 국내실정에 맞는 가스계 소화약제 및 시스템 개발의 일환으로 김재덕 등²⁾은 할론 대체 불활성 가스계 소화약제를 개발한 바 있다. 본 연구에서는 이전의 연구로부터 개발된 소화약제를 사용하는 소화시스템 개발 연구로서 설치되었을 경우 방출 및 소화 성능에 대하여 검증하고자 하였다.

2. 소화약제 방출시험

미국 NFPA의 할론 대체 가스계 청정소화약제에 관한 규격인 NFPA Code 2001³⁾이나 국내의 행자부고시, 가스계 소화약제에 대하여 새로 제정되고 있는 국제규격인 ISO/FDIS14520⁴⁾에 의해서도 소화약제 방출시간이 정해져 있다. 이는 가스계 소화시스템이 주로 초기 화재 진압을 목적으로 하고 독성 소화분해물의 발생을 줄이기 위하여 정해져 있는 것으로 이 시간 내에 방출되는 것이 중요하다. 국내의 경우에는 소방검정공사에서 가스계 소화설비 특성에 관한 기준에 그 방출시간이 제시되어 있다. 즉, 방출시간은 소요 약제량의 95% 이상이 방사되어 방호구역 각 부분이 설계농도 이상이 되는 시간을 의미

한다. 방사시간의 측정은 헤드로부터 약제가 방출되기 시작한 때부터 측정하며 Halocarbon계 소화약제는 인체에 대한 유해성으로 인하여 방사시간을 10초로 제한하며 불활성가스계는 질식 소화가 주요 소화 메커니즘이므로 60초로 다소 긴 방출시간을 갖도록 규정되어 있다.

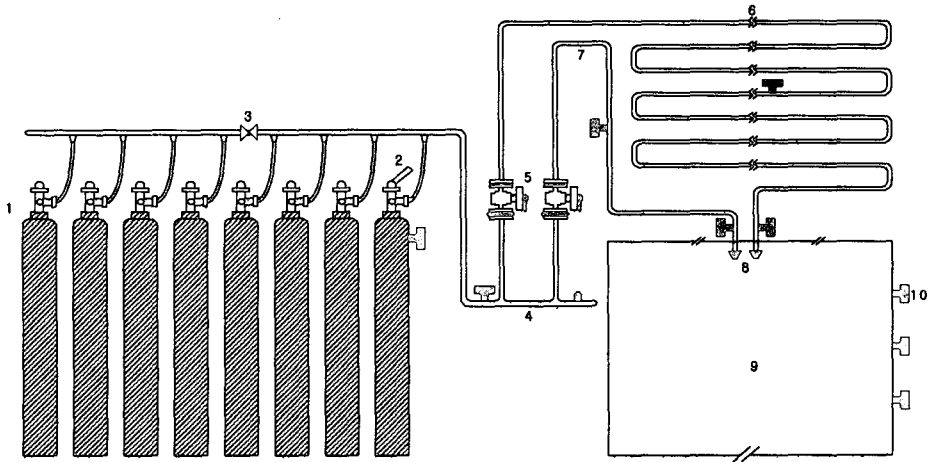


그림 1. 가스계 소화약제 방출시험 장치

(1: 소화약제 실린더, 2: 실린더밸브, 3: 체크밸브, 4: 집합관, 5: 선택밸브, 6: 최장배관, 7: 최단배관, 8: 방출헤드, 9: 시험실, 10: 압력 및 온도센서)

그림 1에는 방출시험에 사용되는 가스계 소화 시스템을 나타내었으며 시험실은 소형 모형과 실물 모형의 두 가지가 있으며 각각 27 m³, 120 m³의 부피로 제작되었다. 방출시험에 사용된 실린더는 본 연구에서 개발된 소화약제의 소화농도를 기준으로 가능한 시험당일 온도 조건에 맞추어 153 kg/cm²의 압력이 되도록 충전하였다. 소화약제 실린더와 집합관은 flexible hose로 연결하였으며, 집합관에는 실린더를 4개 단위로 묶어 체크밸브를 설치함으로써 소형 모형 또는 임의의 모형에서의 시험 시 사용하지 않는 영역을 최소화하여 시험 결과의 오차를 줄이고자 하였다. 집합관을 거친 소화약제는 소형 모형과 실물 모형 그리고 최대길이(약 128 m)와 최소길이(약 28 m)의 배관을 선택할 수 있도록 설치되어 있는 4개 중 하나의 선택밸브를 통과하여 각각의 배관을 통과하여 시험실 천장에 설치된 방출헤드에 도달하여 시험실 내부로 방출된다. 방출시험 장치에는 소화약제 실린더, 집합관에 압력 및 온도 센서를 설치하였으며 배관에는 선택밸브와 노즐 사이의 중간 위치와 노즐 직전 두 곳에 센서를 설치하여 주었다.

3. 방출시험 결과

그림 2에는 소형 모형(최소배관)에서의 압력 변화를 측정한 결과를 나타내었다. 먼저

압력을 살펴보면 실선으로 표시된 것이 소화약제 실린더 내부 압력을 측정한 것으로 약

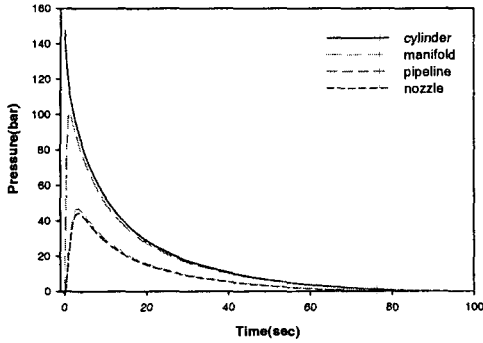


그림 2. 소형 모형(최소배관)의 압력 변화

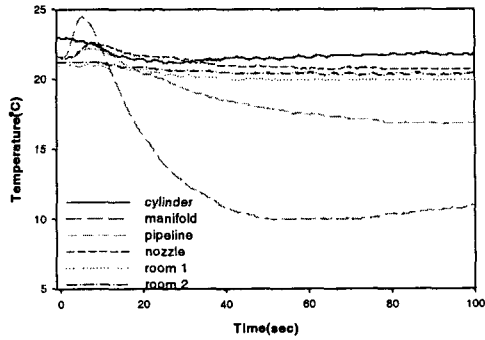


그림 3. 소형 모형(최소배관)의 온도 변화

80초가 경과한 후 모든 소화약제가 방출되었음을 알 수 있다. 실린더 내부 압력을 기준으로 95% 방출에 해당하는 7.5 bar 이하로 압력이 떨어지는 시간은 약 46.9초로 95%의 약제 방출시간 60초 기준에 잘 부합하고 있다. 소화약제가 방출됨에 따라 수 초 내의 짧은 시간 내에 실린더 내부의 압력과 집합관의 압력이 거의 같아지며 배관과 노즐 직전의 압력 역시 거의 같아지는 경향을 보인다. 이러한 것은 각각 선택밸브와 노즐에 설치된 오리피스에 의해 나타나는 현상으로 선택밸브 이전에 위치한 실린더와 집합관의 압력이 1차 압력으로서 비슷하게, 배관 및 노즐 직전의 압력이 2차 압력으로서 비슷한 값을 나타낸다. 집합관의 최대 압력은 100 bar 내외, 배관 또는 노즐의 경우에는 50 bar 부근에서 나타나며 각각 선택밸브와 노즐에 설치된 오리피스의 직경에 큰 영향을 받는다.

그림 3에는 소형 모형(최소배관)에서의 온도 변화를 나타낸 그림으로 압력과는 다른 경향을 나타낸다. 우선 각 열전대 간의 오차를 무시하고 결과를 살펴보면 집합관과 배관의 온도가 눈에 띄게 감소할 뿐 실린더 내부나 소화실 내부의 온도 변화는 크게 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 물론 실린더 내부의 경우 온도 강하의 원인인 소화약제의 팽창이 실린더 밸브 이후의 집합관에서 주로 일어나기 때문에 거의 영향이 없으며 노즐이나 소화실 내부의 온도 또한 팽창과정이 없이 주로 집합관에서 온도가 낮아진 소화약제가 배관을 거치면서 주위 대기로부터 열을 흡수하여 거의 상온에 가깝게 온도가 다시 상승하였기 때문인 것으로 사료된다. 흥미로운 것은 방출 초기에 나타나는 집합관, 배관, 노즐에서의 온도가 약간 상승하는데 이러한 현상은 초기에 대기압으로 채워진 배관이 순간적으로 방출되는 소화약제에 의하여 압축되기 때문에 발생하는 압축열로 인한 것으로 집합관의 압력이 실린더 내부의 압력과 거의 같아진 후 다시 감소함에 따라 팽창열에 의한 영향으로 온도가 감소하게 된다.

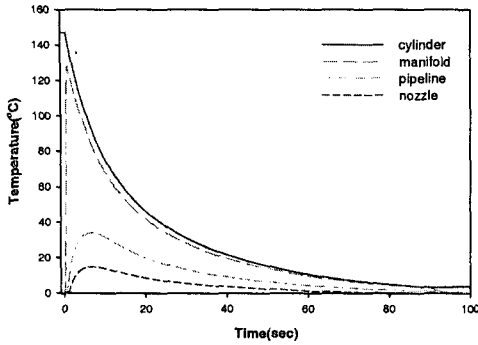


그림 4. 실물 모형(최대배관)의 압력 변화

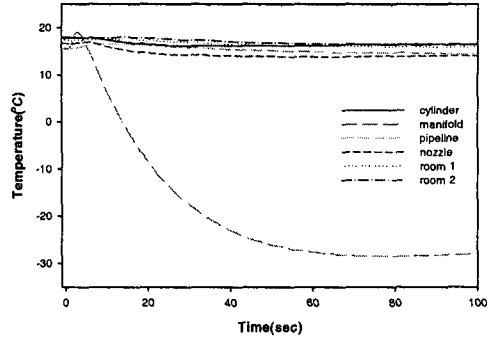


그림 5. 실물 모형(최대배관)의 온도 변화

그림 4와 5에는 각각 실물 모형(최대배관)에서의 압력 및 온도 변화를 나타내었다. 시험실의 부피가 증가함에 따라 소형 모형에 비하여 8배 많은 양의 소화 약제를 사용하였으며 배관의 직경이 증가하기는 하였으나 소화약제의 증가량에 비하여 그 증가폭이 작기 때문에 집합관의 최대 압력이 130 bar 정도로 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 반면에 배관이나 노즐의 최대 압력은 35 bar 이하로 배관의 길이가 크게 증가함에 따라 센서의 위치가 멀어지고 압력 강하가 커지기 때문에 최대값이 나타나는 시간이 증가하고 노즐과 배관에서의 압력 간의 차이가 커진 것을 볼 수 있다. 온도의 경우에는 배관이나 노즐의 온도 변화가 거의 보이지 않는데 이는 배관이 길어지면서 대기 중의 열을 흡수, 센서가 설치된 위치에서는 거의 대기 온도와 비슷해지는 것으로 사료된다. 반면에 집합관에서의 온도는 오리피스 이후의 배관에 걸리는 압력이 감소함에 따라 팽창 효과가 증가하고 그에 따라 빼앗기는 열 또한 증가하므로 최소 길이 배관에 비하여 큰 폭으로 온도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

소화약제의 방출시험을 위하여 설치된 배관이나 시험실의 크기가 고정되어 있기 때문에 조절할 수 있는 변수는 오리피스의 크기 뿐이며 약제의 양을 조절하는 것은 계산된 소화농도의 변화를 의미하기 때문에 고려의 대상이 될 수 없다. 따라서 표 1에 오리피스 크기 변화에 따라 약제의 방출 시간을 나타내었으며 각각 90 %와 95 % 방출이 일어난다고 생각되는 15 bar와 7.5 bar를 기준으로 하였으며 실린더 내부의 압력이 측정되지 못한 경우에는 집합관의 압력을 기준으로 방출 시간을 제시하였다. 집합관의 경우 실린더 내 압력과 1~2 bar 정도의 차이를 나타내며 방출 시간에 있어서는 소형 모형의 경우 1.5 초, 실물 모형의 경우 3초 내외의 차이를 나타내는 것으로 관찰되었다.

표 1. 소화약제 방출시험 결과(*: 집합관 기준)

시험실	배관 길이	오리피스 크기(inch)		방출시간(sec)	
		선택밸브	노즐	90% 방출	95% 방출
소형 모형	최소	0.243	0.278	53.1*	72.8*
"	"	"	"	50.3*	70.6*
"	"	"	"	50.5*	70.9*
"	"	"	"	50.3*	70.8*
"	"	0.252	0.328	37.3	52.6
"	"	"	"	39.7*	55.9*
"	"	"	0.350	33.1	46.9
"	"	"	0.300	36.1	50.8
"	최대	0.243	0.278	53.6*	76.0*
"	"	"	"	52.8*	74.9*
"	"	"	"	43.6*	61.9*
"	"	0.252	0.328	41.3	59.0
"	"	"	"	39.6*	56.9*
실물 모형	최소	0.585	0.362	90.4*	120.8*
"	"	0.629	0.700	49.0	64.8
"	최대	0.585	0.362	88.9	65.4
"	"	0.629	0.700	50.2	68.9
"	"	0.629	0.630	47.5	64
"	"	0.629	0.630	50	68
"	"	0.629	0.500	51.8	71.7
"	"	0.629	0.450	53.7	74.6

4. 소화 시험

소화시험은 나무를 사용하여 심부화재를 소화하는 성능을 평가하는 A급 소화시험과 *n*-헵탄을 사용하여 수행하는 B급 소화시험이 있으며 본 연구에서는 실물 모형에서 A급 및 B급 소화시험을, 소형 모형에서 B급 소화시험을 수행하여 본 연구에서 개발된 소화약제의 소화성능을 검증하고자 하였다. 이에 해당하는 모든 과정은 한국소방검정공사에서 국내에 판매되는 모든 소화약제의 형식을 승인, 검증하는 “소화약제의 형식 승인 및 검정기술 기준(KOFEIS 0102)5)”에 준하여 수행되었으며 “11. 소화성능” 기준에 따르면 설비의 소화시험장소는 가능한 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 유지되어야 하며 소화시험에 사용하는 소화약제의 농도를 설계농도의 83%로 규정하고 있다. 소화시험에 사용하는 설비는 방출시험에 사용되는 설비와 동일한 것을 사용하였으며, 소화성능은 소화약제가 모두 방출된 후 B급은 30초 이내에 소화하여야 하고 A급은 600초 이내에 소화되어 재연하지 아니하여야 한다고 규정되어 있다.

A급 소화시험은 목재의 심부화재 소화성능을 평가하기 위함으로 예비연소를 통하여 목재를 숯과 비슷한 상태로 만들어 잘 진화되지 않는 화재를 소화하는 성능을 평가하기 위하여 수행하는 시험이다. 심부화재라 함은 짚더미, 곡물창고, 가구 등의 가연물 속으로 깊숙이 파고 들어간 화재를 일컫는 말로써 잘 진화되지 않으며 불꽃을 내며 연소하지 않고

훈소(smoldering combustion)에 의하여 진행되기 때문에 표면의 물이나 폼 등의 주입으로는 심부까지의 침투가 어려워 소화가 어려운 특성을 갖는다. 따라서 일정기간 동안 산소의 진입을 막는 soaking period를 필요로 하며 규정된 바와 같이 재발화를 막기 위하여 약 10분 정도를 기준으로 정하고 있다.

B급 소화시험은 인화성 액체나 가연성 액체의 표면을 따라 순간적으로 확산되는 분출성 화재의 진화 성능을 알아보기 위한 목적으로 수행한다. 가연성 물질의 표면에서 화염을 발생하며 연소하는 화재를 대상으로 하며 복잡한 경로의 열분해에 의하여 생성되는 분해연소가 아닌 직접 증발한 증기가 연소하는 증발연소의 특성을 갖는 n -헥탄을 연료로 사용하여 수행한다. B급 소화시험은 두 단계에 걸쳐 실시하는데 각각 8군데 모서리에 설치된 원형 캔 소화시험과 정방형 팬 모형을 사용하는 2차 시험을 수행하였다.

5. 소화 시험 결과

소화시험은 방출시험에서 사용된 바 있는 소형 및 실물 모형에서 수행되었으며 방출시험에 사용된 것과 동일한 조건의 소화약제를 사용하였다. 실물 모형에 대해서는 앞서 설명한 A급 화재에 대하여 2회, B급 화재의 제 1, 2차 시험을 각 1회씩 실시하였으며 소형 모형에 대해서는 B급 화재 시험을 2회 실시하였다. 그림 6에 나타난 것은 실물 모형 내부에 설치된 정방형 팬 모형에 물과 n -헥탄을 부어 점화한 직후 예비 연소 중인 모습을 나타낸 사진이다. 소형 및 실물 모형 모두 소화약제 방출 이후 40초도 채 경과하기 이전에 완전히 소화되는 것을 관찰할 수 있었다. 한편, 캔 모형의 경우에는 연료인 n -헥탄의 양이 적고 화염의 크기가 작아 상대적으로 소형 화재이므로 좀더 빠른 시간에 쉽게 소화되는 경향을 나타내었다.

A급 화재 시험의 경우에는 실물모형에서 수행되었으며, “소화약제의 형식 승인 및 검정기술 기준”에 나타난 것처럼 잘 건조된 목재를 50mm×50mm×460mm로 절단한 후 지그재그로 4단 높이로 쌓아 심부화재 소화 성능을 시험하였다. 심부화재 소화성능을 알아보기 위한 것이므로 시험실 내로 옮기기 전에 외부에서 n -헥탄을 목재 하단에 부어 예비 연소를 5분간 진행하였으며 초기에는 화염이 크나 5분 정도 진행된 이후에는 불꽃이 잦아들기 시작하여 숲의 연소와 유사한 상태를 보인다. 이 때 연소 중인 모형을 실물 모형 시험실 내부로 이동시킨 후 소화약제를 방출하고 10분이 경과한 이후 화재의 완전 진압 여부를 판단한다. 이 때 외부의 공기와 접하여 재연소가 되는지 여부를 판단한다. 그림 7에는 목재 모형을 외부로 꺼내어 손으로 열기를 감지하고 입김을 불어 재발화 여부와 완전히 연소되었는지 여부를 확인해 보는 과정을 나타내었다. 총 2회의 시험 모두 완전히 연소되었음을 확인하였으며 본 연구에서 개발된 소화약제가 목재의 심부화재를 진압하는데도 뛰어난 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다.

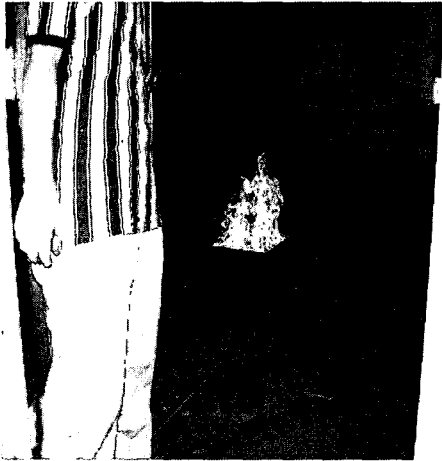


그림 6. 팬 소화모형 점화 직후

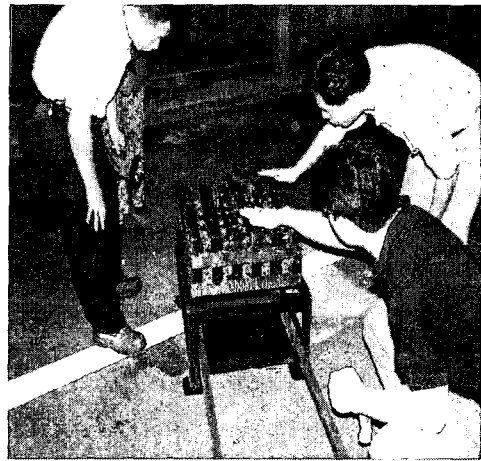


그림 7. A급 화재 소화 이후

6. 결론

개발된 소화 약제의 성능을 검증하기 위하여 방출시험과 소화시험을 각각 수행하였으며 법에서 규정된 시간 내에 약제량의 95% 이상 방출되는지 여부를 확인하였다. 방출 시간을 지배하는 주요 매개변수인 오리피스 직경을 바꾸면서 각 모형별, 배관 길이별로 방출시간을 측정하였으며 이 결과는 소화시스템 설계 프로그램 개발에 주요한 입력 자료로 활용되었다. *n*-헵탄을 이용하는 유류 화재와 목재를 사용한 심부 화재에 대한 소화 성능 또한 소화시험을 통하여 방호구역의 크기나 배관의 길이에 상관없이 모두 우수하게 나타났으며 외국에서 수입되는 제품과 비교하여 본 연구에서 개발된 불활성 가스계 청정 소화약제의 소화 성능이 유사 또는 우수한 수준인 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) United Nation Environmental Program(UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer" (1987)
- 2) 김재덕 등, "불활성가스계 혼합소화약제의 *n*-Heptane 불꽃소화농도 및 배가스 조성", 한국화재소방학회논문지, 16(3), 77-83 (2002)
- 3) NFPA, "Clean Fire Extinguishing Systems", NFPA Standard Code 2001, 65 (1996)
- 4) ISO, "Gaseous Fire-Extinguishing Systems - Physical Properties and System Design", Final Draft of ISO/FDIS 14520 (2000)
- 5) 소방검정공사, "소화약제의 형식 승인 및 검정기술 기준(KOFEIS 0102)" (2000)