한국화재소방학회 논문지, 제19권 제2호, 2005년
[논 문]

T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 19, No. 2, 2005

불활성 가스계 청정 소화약제의 방출 및 소화
Discharge and Fire Extinguishing Test of Inert Gas Clean Agent

송은석 · 김재덕† · 박양원

Eun-Seok Song · Jae-Duck Kim† · Yang-Won Park

한국과학기술연구원 청정기술연구센터, (주)진화이앤씨
(2005. 3. 7. 접수/2005. 6. 2. 채택)

요 약

지구의 오존층 보호를 위한 몬트리얼의정서에 의해 생산과 사용이 규제되는 할론을 대체할 소화약제로 질소 92%와 이산화탄소 8%의 조성을 갖는 소화약제를 개발하여 방출 및 소화시험을 수행하였다. 방출 및 소화시험은 부피가 27 m^3와 190 m^3인 모형을 제작하고 저장용기로부터 모형 내에 약제를 이송시키는 배관을 설치하여 수행하였다. 방출시험은 오리피스 직경, 배관길이 등을 변수로 법에서 규정된 시간인 60초 이내에 약제량의 95% 이상 방출되는지 여부를 확인하였다. 소화시험은 *n*-헵탄을 연료로 하는 유류 화재와 목재를 사용한 심부 화재에 대하여 수행되었으며 방호구역의 크기나 배관의 길이에 상관없이 모두 우수한 소화 성능을 나타내었다.

ABSTRACT

We carried out discharge and fire extinguishing tests of new inert gas clean agent, which consists of 92% nitrogen and 8% carbon dioxide, as an alternative of Halon that is banned by Montreal Protocol to protect the ozone layer of the earth. Discharge and fire extinguishing tests were performed in 27 m^3 and 190 m^3 rooms with piping which allows gaseous agent to transport from storage to test rooms. We confirmed that it took less than regulation time, 60 seconds for the discharge of over 95% initial charged amounts. Discharge test variables were piping length and orifice size. Fire extinguishing tests verified that this new inert gas clean agent is suitable for both n-Heptane fire and deep seated fire of wood crib.

Keywords : Inert gas, Clean agent, Fire extinguishing, Halon, Halon alternative

1. 서 론

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 메인 컴퓨터실, 방송실, 박물관 등 고가장비가 많은 곳에서 사용되어 왔다. 그러나 할론이 오존층 파괴물질로 판명됨에 따라 오존층 파괴물질에 대한 몬트리올 의정서[1]에 의해 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 1994년부터 생산을 중단하였으며, 우리나라와 같이 개발도상국 조항으로 가입한 국가들은 2010년부터 생산을 중단할 예정이다.[2]

이에 따라 할론을 대체하는 새로운 가스계 소화약제가 개발되어 사용되고 있지만 모두 외국에서 개발된 것이고 국내의 경우 아직 개발된 제품이 없는 실정이다. 소화약제의 형식이나 성능 기준을 다루고 있는 미국의 NFPA code 2001[3]과 국내의 KOFEIS 0102[4]에 따르면 할론 대체소화약제는 불소, 염소, 브롬, 요오드 등이 함유된 할로카본(halocarbon)계 소화약제와 아르곤, 질소, 이산화탄소를 포함하는 불활성가스계(inert gas) 소화약제로 나누어지는데 현재 불활성가스계 소화약제로는 IG-541, IG-55, IG-01과 같은 제품들이 개발되어 판매되고 있다. 이들 약제들은 화재가 발생한 영역의 산소농도를 연소반응이 유지될 수 있는 농도 이하로 감소시켜 화재를 진압하는 역할을 수행한다.

† E-mail: jdkim@kist.re.kr

불활성 가스계 소화약제는 구성성분이 대기 중에 존재하는 물질로 자체 독성이나 지구 환경에 미치는 피해가 전혀 없으며 소화 이후 HF, HCl 등 독성이 높은 물질을 생성하지 않는 장점을 가진다. 국내의 경우 김 등[5,6]이 가스계 소화약제 및 시스템 개발의 일환으로 할론 대체 불활성 가스계 소화약제의 소화농도를 측정하였다. 이 연구에서 개발된 소화약제는 질소와 이산화탄소의 조성이 각각 92±1%, 8±1%로써 IG-901이라 명명된다.

각국의 소화성능에 대한 평가기준은 시험실의 크기만 조금씩 다를 뿐 대부분 유사한 내용으로 구성되어 있다.[7-10] 가장 큰 차이점이라 할 수 있는 것은 심부화재인 A급 화재로서 ISO 14520[8]이나 국내의 FIS 002[9]에서는 목재만을 대상으로 하는 반면에 미국의 UL 2127[7]과 영국의 LPS 1230[10]의 경우에는 고분자 물질이 포함되어 있다는 것이다. 국내의 FIS 002의 경우에는 대부분의 항목이 ISO 14520과 유사하게 설정되어 있으며 심부 화재의 경우 소나무 등 국내산 목재에 대하여, B급 화재의 경우에는 캔모형과 팬모형을 이용, *n*-헵탄을 연료로 사용한 경우에 대한 소화 성능을 평가한다.

본 연구에서는 IG-901을 소화약제로 사용하여 최악의 시나리오를 가정하여 구성된 소화시스템에서 방출시험 및 소화시험을 수행함으로써 개발된 소화약제의 방출 및 소화 성능을 검증하였다.

2. 방출시험 장치

미국 NFPA의 할론 대체 가스계 청정소화약제에 관한 규격인 NFPA Code 2001[3]이나 국내의 행자부고시, 가스계 소화약제에 대하여 새로 제정되고 있는 국제규격인 ISO 14520[8]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 모든 소화약제가 방출되어 방호구역내의 산소 농도를 감소시키고 약제 농도를 소화 농도 이상으로 증가시키는 것이 중요하다. 국내의 경우에는 FIS 002 기준에 소요약제량의 95% 이상이 방출되어 방호구역 각 부분이 설계농도 이상이 되는 시간으로 정의되는 방출시간이 제시되어 있는데 할로카본계 소화약제는 화염과의 반응으로부터 발생할 수 있는 이온 또는 산성 물질로 인한 인체에 대한 유해성으로 인하여 방사시간을 10초로 제한하며 불활성 가스계는 질식 소화가 주요 소화 메커니즘이므로 60초로 다소 긴 방출시간을 갖도록 규정되어 있다.

Fig. 1에는 방출 및 소화시험에 사용되는 가스계 소화시스템을 나타내었으며 시험실은 소형의 1모형(3 m×3 m×3 m)과 실물 크기의 제3모형(9.1 m×5.5 m×3.8 m)의 두 가지로 각각 27 m^3, 190 m^3의 부피로 제작되었다. 방출시험에 사용된 소화약제 실린더는 본 연

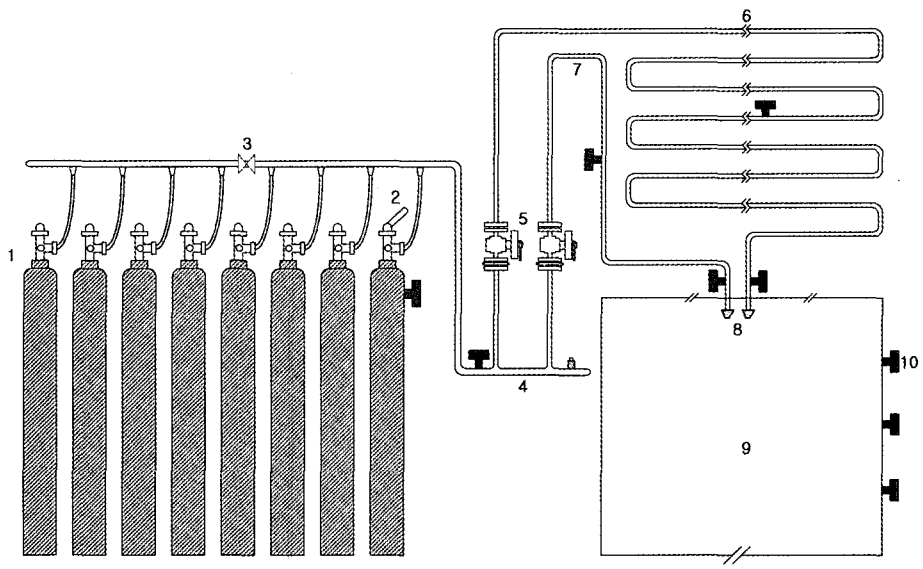

Fig. 1. Gaseous fire extinguishing system (1: agent cylinder, 2: cylinder valve, 3: check valve, 4: manifold, 5: selection valve, 6: long pipeline, 7: short pipeline, 8: nozzle, 9: test enclosure, 10: pressure transducer or thermocouple).

구에서 개발된 소화약제의 소화농도를 기준으로 가능한 시험 당일 온도 조건에 맞추어 153 kg/cm^{2}의 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. 소화 시험장치

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(FIS 002)9)"에 준하여 수행되었으며 기준에 따르면 설비의 소화시험장소는 가능한 20 ±3℃로 유지되어야 하며 소화시험에 사용하는 소화약제의 농도를 설계농도의 83%로 규정하고 있다. 소화시험에 사용하는 설비는 Fig. 1에 나타낸 가스계 소화시스템을 사용하였으며, 소화성능은 소화약제가 모두 방출된 후 B급은 30초 이내에 소화하여야 하고 A급은 600초 이내에 소화되어 재연하지 아니하여야 한다고 규정되어 있다.

3.1 A급 소화시험

A급 소화시험은 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 파고들어간 화재로서 잘 진화되지 않으며 불꽃을 내며 연소하지 않고 훈소(smoldering combustion)에 의하여 진

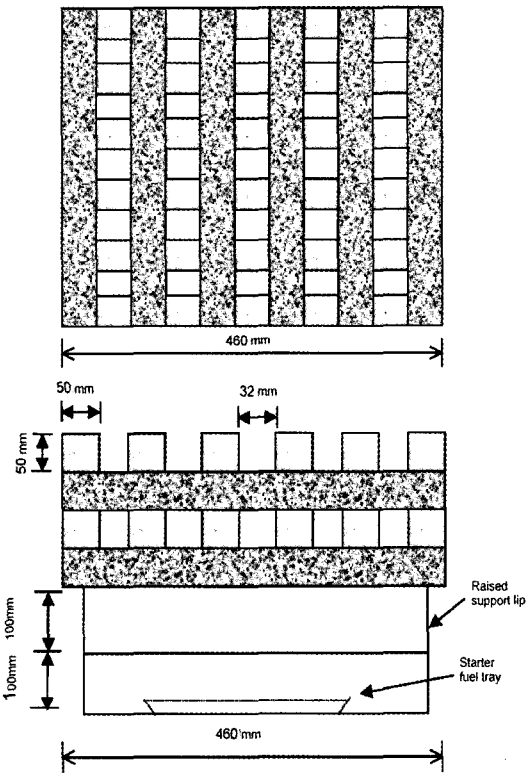

Fig. 2. Class A fire test fuel configuration.

행되기 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 600초를 기준으로 정하고 있다.[7-10] Fig. 2에 A급 소화시험에 사용되는 목재 연료의 형상에 대하여 나타내었으며 목재의 아래에 있는 starter tray는 950 m*l*의 n-헵탄을 부어 5분간 예비연소를 시키기 위한 목적으로 설치되어 있다.

3.2 B급 소화시험

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*-헵탄을 연료로 사용하여 수행한다. B급 소화시험은 두 단계에 걸쳐 실시하는데 직육면체로 지어진 시험실 내부의 각각 8군데 모서리에 설치된

원형 캔 소화시험과 정방형 팬 모형을 사용하는 2차 시험을 수행하였다. 캔 모형의 경우에는 직경 7.7 cm의 원형 캔에 바닥에 물을 5 cm 높이로 채운 후 그 위에 연료인 *n*-헵탄을 다시 5 cm 높이로 채우며, 팬 모형의 경우에는 가로, 세로 48.3 cm 정방형 팬에 같은 방법으로 연료를 채운 후 1분간 연소시킨 후 소화약제를 방출시킨다.

4. 시험 결과

4.1 압력 변화

Fig. 3에는 제 1 모형 최소 길이 배관에서의 압력 변화를 측정한 결과를 나타내었다. 실선으로 표시된 것이 소화약제 실린더 내부 압력을 측정한 것으로 약 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 오리피스로 인하여 나타나는 현상으로 선택밸브 이전에 위치한 실린더와 집합관의 압력이 1차 압력으로, 배관 및 노즐 직전의 압력이 2차 압력으로 비슷한 값을 나타낸다. 집합관의 최대 압력은 100 bar, 배관 또는 노즐의 경우에는 50 bar 부근에서 나타나며 각각 선택밸브와 노즐에 설치된 오리피스의 직경에 큰 영향을 받는다.

Fig. 4는 제 1 모형 최대 길이 배관에서의 압력 변화를 나타낸 그림으로 Fig. 3에 나타낸 최소 길이 배관과는 다른 경향을 나타낸다. 우선, 동일한 크기의 오리피스를 사용하였을 경우에 집합관의 최대 압력이 90 bar 정도로 작게 나타나며 배관의 길이가 증가함으로 인하여 배관과 노즐에서의 최대 압력의 크기가 감소하는 동시에 최대 압력을 보이는 시간이 길어짐을 알 수 있다. 동시에 방출 시간의 기준으로 고려할 수 있는 실린더 내부 압력이 7.5 bar 이하로 떨어지는 시점이 59초로 최소 길이 배관에 비하여 20% 이상 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5에는 제 3 모형, 최소 길이 배관에서의 압력 변화를 나타내었으며 시험실의 부피가 증가함에 따라 1모형에 비하여 8배 많은 양의 소화 약제를 사용하였을 때의 결과이다. 배관의 직경이 25 mm에서 50 mm로 증가하기는 하였으나 소화약제의 증가량에 비하여 그 증가폭이 작기 때문에 선택밸브와 노즐에 직경이 큰 오리피스를 사용하였음에도 불구하고 집합관에서

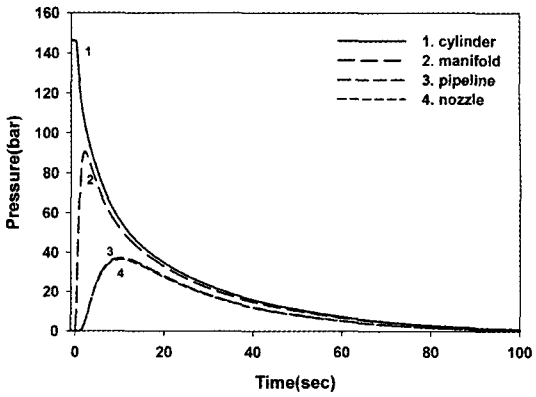

Fig. 4. Pressure changes during discharge(enclosure-1, long pipeline).

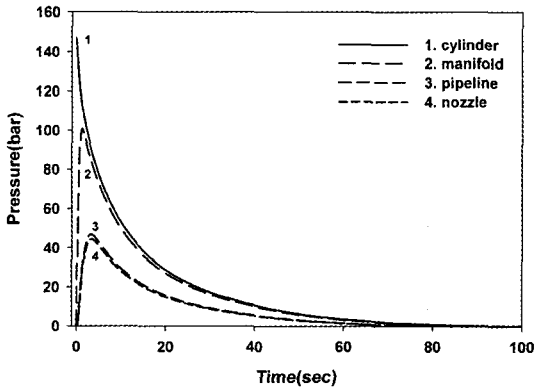

Fig. 3. Pressure changes during discharge(enclosure-1, short pipeline).

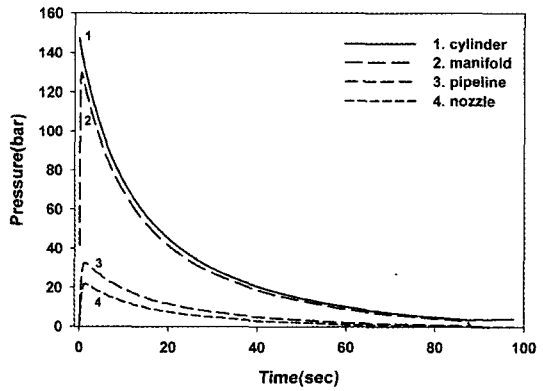

Fig. 5. Pressure changes during discharge(enclosure-3, short pipeline).

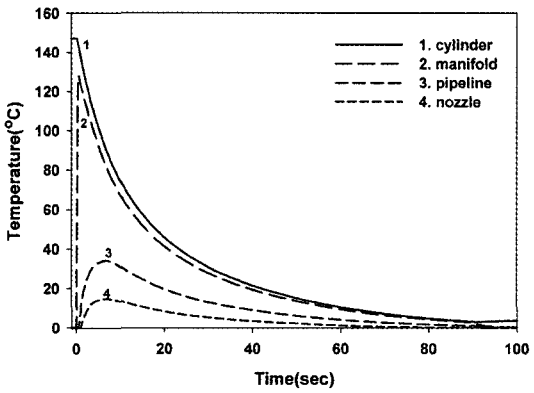

Fig. 6. Pressure changes during discharge(enclosure-3, long pipeline).

측정된 최대 압력이 130 bar 정도로 제1모형에 비하여 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 반면에 배관이나 노즐의 최대 압력은 35 bar 이하로 노즐의 오리피스 크기를 1모형에 비하여 크게 증가시킴에 따라 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며 노즐과 배관에서의 압력 간의 차이가 증가한 것을 볼 수 있다. Fig. 3과 마찬가지로 최소 길이 배관이므로 배관이나 노즐에서의 최대 압력이 나타나는 시점이 집합관과 별다른 차이를 나타내지 않는 것 또한 알 수 있다.

Fig. 6에는 제3모형, 최대 길이 배관에서의 압력 변화를 나타낸 것으로 제1모형의 경우와 마찬가지로 집합관과 배관, 노즐에서의 최대 압력이 나타나는 시점이 다른 것과 배관과 노즐의 압력차가 증가하는 현상이 관찰되었다.

4.2 온도 변화

Fig. 7에는 제1모형, 최소 길이 배관에서의 온도 변화를 나타낸 그림으로 압력과는 다른 경향을 나타낸다. 우선 각 K-type 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 적은 양이나마 상승한다는 것이다. 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.

Fig. 8에 제1모형, 최대 길이 배관에서의 온도 변화를 나타내었다. Fig. 7에 나타낸 최소 길이 배관과의 가장 큰 차이점은 집합관의 온도가 감소하는 폭이 증가한 것과 배관이나 노즐의 온도 변화가 거의 보이지 않는 것을 들 수 있다. 이는 배관 길이의 증가로 인하여 감소된 집합관에서의 소화약제가 배관을 통과하면서 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.

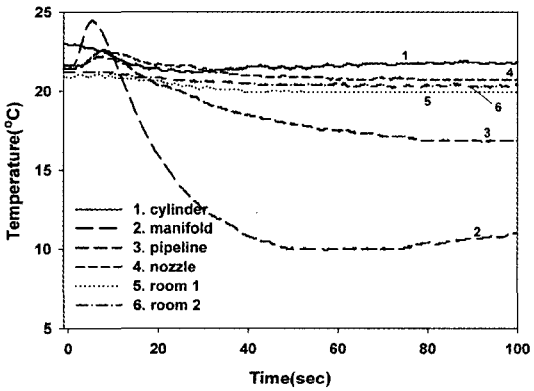

Fig. 7. Temperature changes during discharge(enclosure-1, short pipeline).

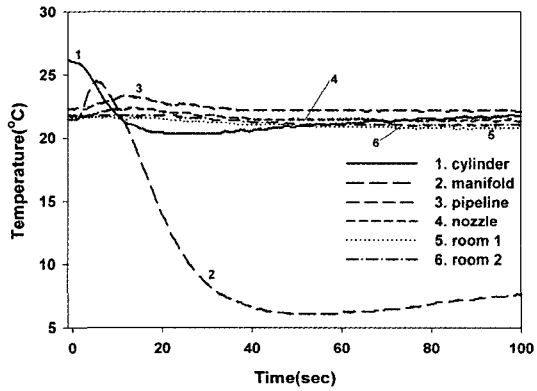

Fig. 8. Temperature changes during discharge(enclosure-1, long pipeline).

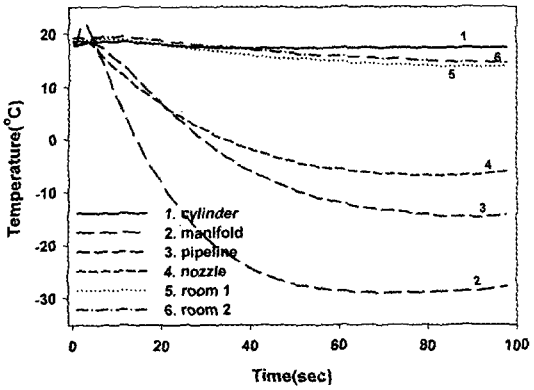

Fig. 9. Temperature changes during discharge(enclosure-3, short pipeline).

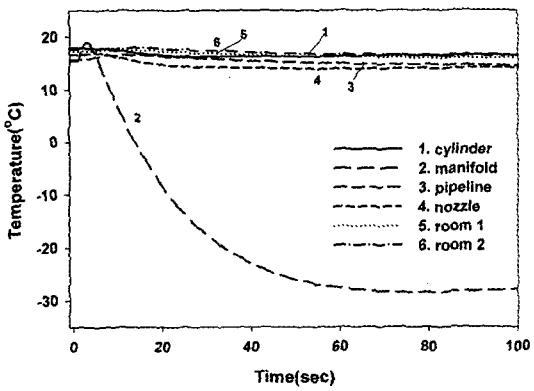

Fig. 10. Temperature changes during discharge(enclosure-3, long pipeline).

Fig. 9에는 제3모형, 최소 길이 배관에서의 온도 변화를 나타낸 것으로 온도의 감소폭이 크게 증가하였음을 쉽게 알 수 있다. 소화약제의 양이 증가함에 따라 집합관에서의 온도가 -30℃ 부근까지 크게 감소하였으며 제1모형과는 달리 배관이나 노즐에서의 온도 또한 상당 수준 감소하고 있는 결과를 보이고 있다. 시험실 내부 또한 4℃ 정도의 온도 감소를 보일 정도로 소화 약제 사용량의 증가에 따른 영향이 증가하였다. 이러한 결과는 소화약제의 사용량이 8배로 증가하는데 비하여 집합관의 크기가 일정하기 때문에 일어나는 현상으로 압력차가 증가함에 따라 팽창 과정에 소모되는 열량과 더불어 약제 사용량 증가에 따른 열용량 또한 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 10에는 제3모형, 최대 길이 배관에서의 온도 변화를 각각 나타내었으며 최소 길이 배관과 비교하여 감소폭이 증가하였을 뿐 배관이나 노즐의 온도 변화가 거의 관찰되지 않는 것은 제1모형과 유사한 경향을 나타내고 있다.

Table 1. Discharge time of gaseous fire extinguishing agent (*: Manifold-basis)

Test enclosure	Pipeline length	Orifice size (inch)		Discharge time (sec)	
		Selection valve	nozzle	90%	95%
1st, 27 m^3	short	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
"	long	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*
3rd, 190 m^3	short	0.585	0.362	90.4*	120.8*
"	"	0.629	0.700	49.0	64.8
"	long	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

4.3 방출 시간

소화약제의 방출시험을 위하여 설치된 배관이나 시험실의 크기가 고정되어 있기 때문에 조절할 수 있는 변수는 오리피스의 크기뿐이며 약제의 양을 조절하는 것은 계산된 소화농도의 변화를 의미하기 때문에 고려의 대상이 될 수 없다. 따라서 Table 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 1.5초, 실물 모형의 경우 3초 내외의 차이를 나타내는 것으로 관찰되었다.

4.4 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 제1, 2차 시험을 각 1회씩 실시하였으며 소형 모형에 대해서는 B급 화재 시험을 2회 실시하였다. B급 화재의 팬 소화시험의 경우 소형 및 실물 모형 모두 소화약제 방출 이후 40초도 채 경과하기 이전에 완전히 소화되는 것을 관찰할 수 있었다. 한편, 캔 모형의 경우에는 연료인 *n*-헵탄의 양이 적고 화염의 크기가 작아 상대적으로 소형 화재이므로 좀더 빠른 시간에 쉽게 소화되는 경향을 나타내었다.

A급 화재 시험의 경우에는 실물모형에서 수행되었으며 잘 건조된 목재를 50 mm×50 mm×460 mm로 절단한 후 지그재그로 4단 높이로 쌓아 심부화재 소화성능을 시험하였다. 심부화재 소화성능을 알아보기 위한 것이므로 시험실 내로 옮기기 전에 외부에서 n-헵탄을 목재 하단에 부어 예비 연소를 5분간 진행하였으며 Fig. 11에 예비 연소 중인 목재모형을 나타내었다. 초기에는 화염이 크나 5분 정도 진행된 이후에는 불꽃이 잦아들기 시작하여 숯의 연소와 유사한 상태를 보인다. 이 때 연소 중인 모형을 실 물 모형 시험실 내부로 이동시킨 후 소화약제를 방출하고 10분이 경과한 이후 화재의 완전 진압 여부와 외부의 공기와 접할 때 재연소 여부를 판단한다. Fig. 12에는 목재 모형을 외부로 꺼내어 손으로 열기를 감지하고 입김을 불어 재

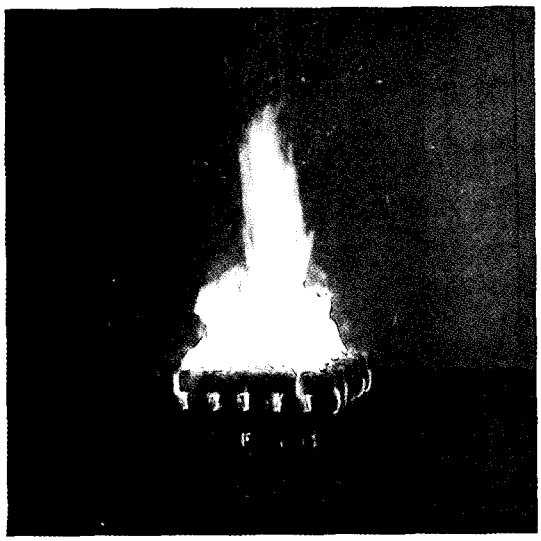

Fig. 11. Preliminary combustion of wood crib for Class A fire test.

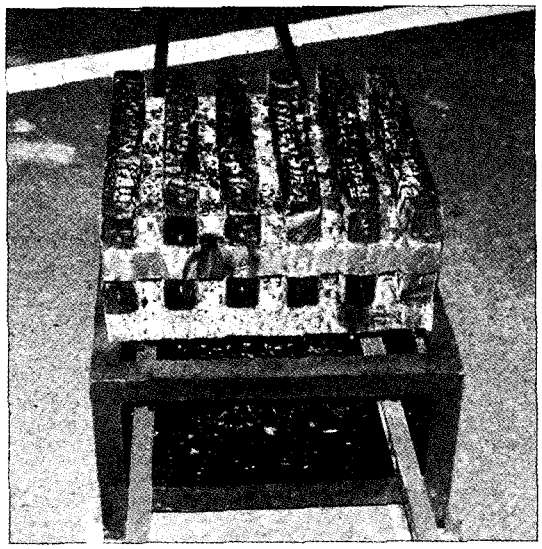

Fig. 12. Verification of no combustion or re-ignition of the burned wood crib after 10 minutes of soaking period.

발화 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.

5. 결 론

개발된 소화 약제의 성능을 검증하기 위하여 방출시험과 소화시험을 각각 수행하였으며 법에서 규정된 시간인 60초 내에 약제량의 95% 이상 방출되는지 여부를 확인하였다. 방출 시간을 지배하는 주요 매개변수인 오리피스의 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 소화성능이 유사하거나 좀더 우수한 수준인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. United Nation Environmental Program(UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the

Ozone Layer"(1987).
2. 김재덕, "할론대체물질의 개발동향" 한국화재소방학회 "청정소화약제 및 시설기준" 1-30(1995).
3. NFPA, "Clean Agent Fire Extinguishing Systems", NFPA Standard Code 2001(2004).
4. 한국소방검정공사, "소화약제의 형식 승인 및 검정기술 기준(KOFEIS 0102)"(2000).
5. 김재덕, 임종성, 이윤우, 이윤용, "가스계 혼합소화약제의 불꽃소화농도", 한국화재소방학회논문지, 15(2), 34(2001).
6. 김재덕, 김영래, 홍승태, 이성철, "불활성가스계 혼합소화약제의 n-Heptane 불꽃소화농도 및 배가스 조성", 한국화재소방학회논문지, 16(3), 77-83(2002).
7. Underwriters Laboratories Inc., "Standard for Inert Gas Clean Agent Extinguishing System Units", UL 2127(1999).
8. ISO, "Gaseous Fire-Extinguishing Systems - Physical Properties and System Design", Final Draft of ISO/FDIS 14520-1(2004).
9. 한국소방검정공사, "가스계소화설비의 성능에 관한 인정기준(FIS 002)" (2000).
10. BRE Certification, "Requirements for Fire Testing of Fixed Gaseous Fire Extinguishing systems", Loss Prevention Standard 1230-1(2002).