

## 용기 일체형 가스소화 방식의 오리피스 방사 특성에 관한 실험적 연구

김윤중, 윤명오\*, 김상욱\*\*  
(주)한신공영, \*서울시립대, \*\*화재공학연구원

### An Experimental Study on Discharge Characteristics from the Nozzle Orifice Attached to a Modularized Fire Extinguishing Gas-agent Container Under Horizontal Position

Kim, Yun Zeung, Yoon, Myong O\*, Kim, Sang Wook\*\*  
\*Hanshin Construction Co.,Ltd, University of seoul, \*\*Fire Research Station

#### 1. 서론

본 연구에서 대상으로 한 소화방식은 용기밸브와 방사노즐을 배관형태의 약제 저장용기에 장착하고, 그 용기속에 약제만을 충전하여 이를 방호대상실의 상부(또는 반자속)에 수평으로 설치함으로써, 약제의 증기압만으로 약제가 방사되게 하는 것이다. 이 경우 기존 시스템과는 달리, 별도의 약제 이송 배관이 설치되지 않고, 배관형의 저장용기로부터 약제가 바로 방사되는 것이므로, 법정기준 시간내의 약제 방사가 가능하다면 새로운 소화방식의 제안도 가능할 것으로 판단될 뿐만 아니라, 컴퓨터에 의한 전산화 과정도 생략할 수 있을 것으로 판단되었다. 이에 실험을 통하여 방사노즐 오리피스의 크기와 방사율의 상관성을 온도별로 측정·분석함으로써 현실 적용의 가능성과 문제점에 대해 연구하고자 하였으며, HCFC Blend A를 연구대상 약제로 사용하였다.

#### 2. 실험방법 및 장치

##### 2.1. 약제의 온도별 발생증기압 측정

###### 1) HCFC Blend A의 물질특성

하이드로클로로플루오로카본혼화제(HCFC Blend A)는 다음의 4가지 유기물질이 혼합(混和)되어 있다.

- ① 클로로테트라플루오로에탄 : HCFC-124( $C_2HClF_4$ ) : 9.5%(질량 백분율)
- ② 클로로디플루오로메탄 : HCFC-22( $CHClF_2$ ) : 82%(질량 백분율)
- ③ 디클로로트리플루오로에탄 : HCFC-123( $C_2HCl_2F_3$ ) : 4.75%(질량 백분율)
- ④ 이소프로페닐-1-메틸사이클로헥산 :  $C_{10}H_{16}$  : 3.75% (질량 백분율)

C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>은 Volatility가 매우 낮고, 대기압, 상온에서 액상으로 존재한다. 즉, 액화가스류에 속하지 아니하는 물질로서 상온에서의 포화증기압은 무시할 정도로 미미하다. 그러나, 나머지 세가지 유기물질은 상온에서 액화가스류(liquefied gas)에 속하는 것으로서 대기에 노출되면 강력한 기화성(gasifiability)을 나타낸다.

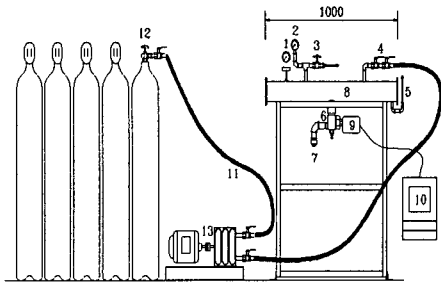
2) 측정방법

- 약제의 발생증기압의 측정에는 실험장치속에 압력계를 사용.
- 10mm 두께의 단열재로 피복한 Water Bath(1,500L×500W×500H×3.2t)속에 실험장치를 물속에 완전히 잠기게 하여 20℃로 1시간 이상 유지하면서 압력계를 관찰한 결과 117psig를 얻었으며 다만, 문헌에 의하면 20℃에서의 포화증기압은 118.05psig이므로 1.05psig의 경미한 오차 발생에 대해서는 그 원인으로

- ① 압력계의 정밀도에 따른 오차 및 지침 육안 확인시의 시각적 오차.
- ② 약제의 원산지(중국)에서 Bulk식 용기(용량 1000kg)에 각 구성성분을 제각기 충전하는 과정에서 발생할 수도 있는 미소한 혼합비율의 차이에서 오는 오차.

2.2. 설정온도별, 오리피스별 방사율 측정

1) 측정장치



번호	명칭
1	온도계
2	오일 압력계
3	가스용볼밸브(공기배출용):규격20mm
4	가스용볼밸브(약제충전용 유입구):규격20mm
5	액면게이지 (투명 우레탄 파이프)
6	유출밸브 (용기밸브) 32 mm
7	노즐 (12mm × 6hole, 60° 각도)
8	배관형용기(KSD3562,#40): 규격(100∅X 1000L)
9	SOLENOID VALVE
10	화재수신기 (P형 1급)
11	약제 이송호스(고압호스)
12	실린더(60 kg/BT, HCFC Blend A)
13	약제이송펌프 (plunger pump), 1595 psi (압력)

Fig. 1. 실험장치 구성도

2) 측정방법

- ① 설정온도 5℃의 경우에는 실험실을 냉방하기 곤란하여 받침대 고정시간을 단축(약 4분). 25℃에서의 액상 약제의 비열이 1,250J/kg.℃임을 감안할때 물보다 큰 열용량을 가진 물질이므로 약제 온도상승은 미미한 것으로 판단함.
- ② 방사율의 측정시 설정온도는 20℃, 15℃, 5℃로 함.
- ③ 방사실험시 약제의 충전량은 11kg으로 함.

- ④ 방사율 측정에는 Stop Watch를 사용하여 방사시간을 측정.
- ⑤ 오리피스의 설정조건은 10, 12, 15, 18, 20, 24mm로 함.
- ⑥ 하나의 용기밸브를 2회에 한하여 방사하도록 결정.

### 2.3. 실험방법

- ① 충전량 11kg, 오리피스 10mm  
설정온도 20℃
- ② 방사개시 약 19sec후

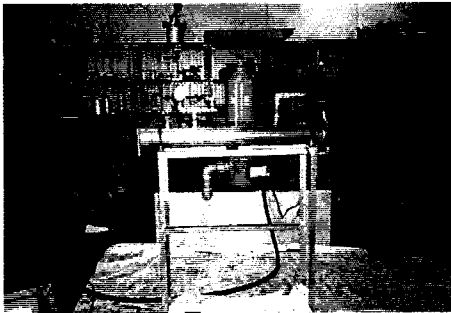


Fig. 2. 방사 시험

## 3. 실험결과

### 3.1. 포화증기압

Table 1. 약제의 온도별 포화증기압

온도(℃)	20	17	15	14	10	7	5	4	0
포화증기압 (psig)	117	106	102	97	89	79	70	69	56

### 3.2. 약제의 방사시간 및 방사율 산정

Table 2. 설정온도 20℃의 경우

구 분	오리피스의 구경(mm)					
	10	12	15	18	20	24
약제 충전량(kg)	11	11	11	11	11	11
주 방사시간(sec)	20.8 (21.8)① (19.3)②	13.1	8.0	7.2	6.4	6.2
잔여 방사시간(sec)	2.65 (2.70)① (2.56)②	2.02	1.75	1.70	1.56	1.50
방사율 (kg/sec) [충전량÷주 방사시간]	0.53 (0.50)① (0.57)②	0.84	1.38	1.53	1.72	1.77

- 비고 : - 주 방사시간은 소화가스가 정상적으로 강한 방사형태를 나타내는 과정의 시간을 뜻함.
- 잔여 방사시간은 주 방사시간 완료와 동시에 이어지는 약화된 방사형태의 경과시간을 뜻함.
  - 괄호안의 수치는 18회에 걸친 본 실험의 완료 후, 사용하지 않고 남아있던 용기 밸브 2개와 잔여 약제보유량을 이용하여 방사실험한 결과의 측정 수치임. 이 중 번호 ①,②의 괄호안 수치는 소형용기 및 중형용기에 각각 8kg의 약제를 충전한 경우임.
  - 동일한 용기밸브를 2회 사용함. 따라서 하나의 용기 밸브를 먼저 사용하게되는 경우는 오리피스구경 10, 15, 20mm인 경우에 해당됨. 이는 다른 설정온도의 실험에서도 마찬가지임.

Table 3. 설정온도 15℃의 경우

구 분	오리피스의 구경(mm)					
	10	12	15	18	20	24
약제 충전량(kg)	11	11	11	11	11	11
주 방사시간(sec)	22.9	15.3	8.5	8.1	6.6	6.8
잔여 방사시간(sec)	2.97	2.67	2.34	2.28	1.97	1.93
방사율 (kg/sec) [충전량÷주 방사시간]	0.48	0.72	1.29	1.36	1.67	1.62

Table 4. 설정온도 5℃의 경우

구 분	오리피스의 구경(mm)					
	10	12	15	18	20	24
약제충전량(kg)	11	11	11	11	11	11
주 방사시간(sec)	27.5	17.7	9.4	8.3	7.3	7.3
잔여 방사시간(sec)	3.60	3.34	3.00	2.75	2.40	2.45
방사율 (kg/sec) [충전량÷주 방사시간]	0.4	0.62	1.17	1.33	1.51	1.51

#### 4. 실험 데이터의 특성분석

##### 1) 약제의 온도와 포화증기압의 상관성

포화증기압의 온도에 따른 변화의 경향을 파악하기 위하여 온도와 포화증기압간의 상응관계를 나타낸 것으로서 이 그래프에서 표시한 직선은 온도에 따른 압력 분포점에 근사적으로 접근해 볼 수 있게 한 것이다.

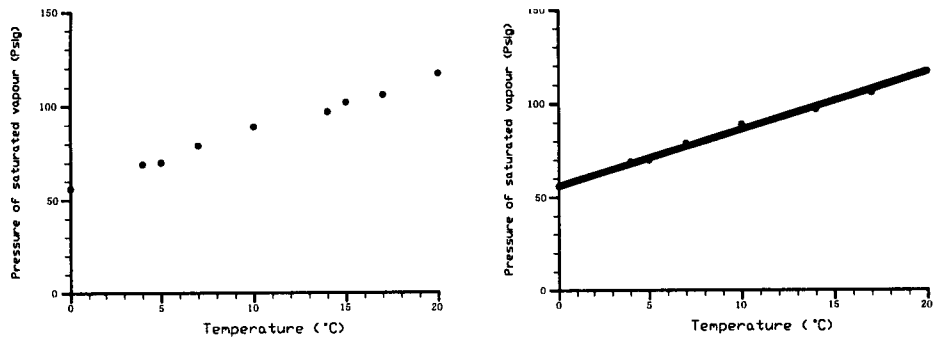


Fig. 3. 약제의 온도-포화증기압 선도

포화증기압과 온도간에는 선형적인 관련성이 있으며, 측정된 데이터를 볼 때 0°C의 포화증기압이 56psig(=3.94 kg/cm<sup>2</sup>)로서 이 압력이면 방사노즐의 오리피스 구경과 용기밸브의 크기를 증가시킬 경우 많은 방사율의 제공이 예측 가능한 것으로 사료된다.

2) 방사율과 오리피스 구경간의 상관성 분석

① 오리피스 구경과 방사율간의 상관성에 대해서 그래프상에 plot해 봄으로서 용이하게 파악할 수 있고, 그 변화의 경향도 알 수 있었다. 따라서, 설정 온도별로 오리피스 구경에 따른 방사율을 plot하면 다음의 그래프로 나타낼 수 있었다.

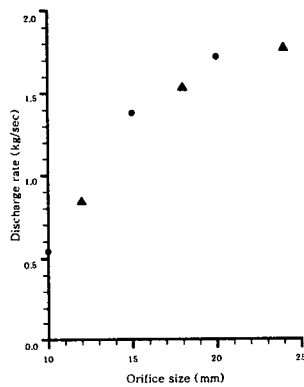


Fig. 4. 설정온도 20°C의 경우

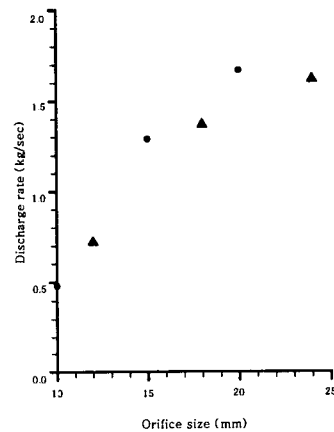


Fig. 5. 설정온도 15°C의 경우

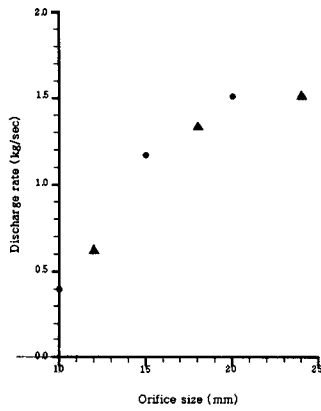


Fig. 6. 설정온도 5°C의 경우

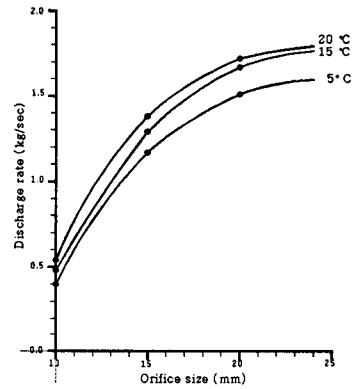


Fig. 7. 오리피스 크기와 방사율 간의 상관성

상기 3개의 측정도상에 나타난 그림을 서로 비교해 보면 뚜렷한 공통성이 발견되며, 원(●)과 삼각형(▲)으로 나타난 측정 data들을 살펴 본 결과, 모두가 지그재그식 패턴을 나타내고 있다. 특히 구경 24mm의 오리피스인 경우 20mm에 비해 방사율이 감소된 결과도 보이며, 오리피스의 구경이 삼각형(▲)으로 표시된 12, 18, 24mm일 때가 동일한 용기밸브를 재사용하여 약제를 방사시킨 결과이며, 용기밸브를 처음 사용하게 된 10, 15, 20mm 오리피스의 경우에 측정된 방사율은 비교적 신뢰할 만한 정확도가 있는 것으로 판단 된다. 따라서, 오리피스 구경 10, 15, 20mm에서의 방사율을 그래프상에서 plot하여 그 변화의 경향을 확인해 볼 필요성이 있다고 사료되어 상기 Fig. 7.에서 보듯이 3지점(오리피스구경 10, 15, 20mm에서의 방사율 point)을 실선으로 연결해 보았다. 그 결과 역시 서로 유사한 점이 있는 것으로 보인다. 위의 Fig. 7.에서 보면 설정온도별 각 곡선의 전체적 흐름이 상호간 많은 유사성을 보여주고 있으며, 오리피스의 구경이 증가됨에도 방사율의 증가가 다소 둔화 되어가는 경향이 있음을 알 수 있다.

② Table 2.는 설정온도 20°C의 경우로 오리피스 구경 10mm를 사용하였을 때의 잔여 방사시간이 2.65, 2.70 및 2.56초로서 상호 근사적인 수치를 보여주고 있다.

③ 설정온도별 측정된 방사율에 따라 필요 소화농도가 각각 8.6%, 9% 및 10%인 방호 대상 공간에 대해 오리피스 구경별로 방호가능한 공간의 크기(체적)를 환산하면 Table 5.와 같다.

Table 5. 필요 소화농도별 방호가능 공간의 크기(단위 : m<sup>3</sup>)

소화농도 설정온도 오리피스구경	8.6 %			9 %			10%		
	20 °C	15 °C	5 °C	20 °C	15 °C	5 °C	20 °C	15 °C	5 °C
10 mm	14.6	12.7	10.4	13.9	12.4	9.9	12.4	11.0	8.8
15 mm	38.0	34.2	30.5	36.1	33.2	29.1	35.7	29.5	25.9
20 mm	47.3	44.3	39.4	45.0	43.0	37.5	40.1	34.6	33.4

**Table 6.** 전역방출방식에서의 HCFC Blend A의 소요량 - METRIC단위  
(대기압 상태에서 계산)

온도 ℃	비체적비 m <sup>3</sup> /kg	WEIGHT/VOLUME(kg/m <sup>3</sup> ) REQUIREMENTS FOR CONCENTRATION							
		8.6%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
0	0.2412	0.3900	0.4100	0.4606	0.5123	0.5652	0.6194	0.6748	0.7315
5	0.2457	0.3830	0.4026	0.4523	0.5031	0.5551	0.6083	0.6627	0.7183
10	0.2501	0.3762	0.3955	0.4443	0.4942	0.5453	0.5975	0.6510	0.7057
15	0.2545	0.3769	0.3886	0.4366	0.4856	0.5358	0.5871	0.6397	0.6934
20	0.2589	0.3634	0.3820	0.4291	0.4774	0.5267	0.5771	0.6288	0.6816

위의 Table 2.에 나타난 수치들을 볼 때, 오리피스 구경 20mm의 경우에는 현실적으로 적용할 수 있는 가능성을 갖고 있는 것으로 판단된다. 예컨대, 8.6%의 소화농도를 필요로 하는 방호대상 공간에 대하여는 20mm의 오리피스를 방사노즐에 내장하는 경우 하나의 방사노즐당 47.3m<sup>3</sup>의 공간을 방호할 수 있게 된다.

만약, 이 공간의 실내높이가 2.5m이라면 47.3/2.5=18.9m<sup>2</sup>의 면적당 하나의 방사노즐 설치로 방호 가능해진다는 것을 의미하게 된다. Table 5.의 소화농도별 수치 산출시 적용한 실험 데이터로는 주 방사시간을 기준하였다. 왜냐하면, 잔여 방사량은 법정기준 방사량인 95%의 양을 제외한 5%이내에 들기 때문이다.

## 5. 결론

(1) 포화증기압과 온도간에는 비교적 선형적인 관련성이 있음을 확인할 수 있었다. 오리피스 구경의 증가에 따라 방사율이 증가하였으나, 온도별로는 오리피스 구경의 증가에 따라 상호간 그 격차가 커짐을 알 수 있다.

(2) 본문의 그래프 및 표에서 수치들을 볼 때, 오리피스 구경 20mm의 경우에는 현실적으로 적용할 수 있는 가능성을 갖고 있는 것으로 판단되며, 보다 더 큰 용적의 공간에 적용하려면 용기밸브 및 방사노즐이 더 커져야 할 것으로 판단된다.

(3) 본 실험은 용기밸브, 방사노즐, 용기밸브 및 방사노즐간의 연결관을 고정규격으로 설정하여 실시한 것으로서, 이들 규격이 달라질 경우에는 이에 합당한 데이터의 구축이 필요한 것으로 판단되며, 다른 종류의 청정 소화약제를 사용하는 경우에도 별도의 데이터 구축이 필요하다.

(4) 기존방식의 직립형 약제 저장용기와는 달리 질소가스에 의한 축압(super-pressurizing) 없이 약제만의 충전으로 원활한 방사가 가능하였다.

(5) 본 연구대상의 소화방식의 경우이든, 기존의 소화방식이든 간에 용기밸브의 사용은 1회에 국한 되어야 할 것으로 판단된다.

(6) 본 실험의 대상이 된 약제방출방식의 현실 적용성이 가능해진다면, 엔지니어드 방식의 기존방식에서 설계시 필수적으로 수반되어야 하는 전용 프로그램에 의한 설계가 불필요하게 되는 큰 이점이 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System 2000. 12. Edition
2. 이수경 외 1인, 1998. 10.,“일반화학과 유기물질론”,도서출판 의제,pp.88,195
3. OLAF A. HOUGEN 외 2인, 1962.,“Chemical Process Principles, Part I”, Published by Wiley & Sons, INC, pp. 78-79
4. 한국소방검정공사, 가스계소화설비 특성, 2001., (<http://www.kofeic.or.kr>)
5. Australian Standard, 1995. : Gaseous fire extinguishing systems Part5 : NAF S-III Total flooding systems(AS4214.5)