

## B-18

## 강화액 소화성능평가에 관한 연구

### A Study on the Fire Extinguishing Ability Rating of Load Streams

권성필\*, 김형권\*, 윤헌주\*, 사공성호\*

Kwon, Seong Pil · Kim, Hyeong Gweon · Yoon, Hun Ju · Sakong, Seong Ho

#### Abstract

A standard fire extinguishing tester, with which we could conduct the fire extinguishing ability rating of a water-based fire extinguishing agent such as water and loaded stream, has been developed in this work. It could help us enhancing the efficiency and reliability of the fire extinguishing test of loaded streams, and at last increasing the productivity of fire protection related firms. Furthermore, our country could take the lead in making a new standard for the fire extinguishing test of loaded streams. As a result, it is expected that loaded streams could be improved by using it. In addition the standard fire extinguishing tester could be made moderately in our industry, and supplied at home and worldwide.

**key words:** loaded stream, standard fire extinguishing tester, fire extinguishing ability rating

#### 1. 서 론

물에 알칼리 금속염을 첨가한 강화액은 환경친화성과 유류화제에 대한 소화성능을 겸비하고 있기 때문에, 자동식소화기, 수동식소화기, 간이형소화용구 등에 널리 사용되고 있으며, 그 사용량도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 하지만 지금까지 세계적으로 액체계소화약제의 소화성능을 객관적으로 평가할 수 있는 방법이 마련되어 있지 않기 때문에 새로운 액체계소화약제의 개발이나 기존 제품의 품질을 향상시키는데 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 현재까지 세계적으로 액체계 소화약제에 관한 소화성능을 측정할 수 있는 표준화된 소화시험방법은 없다. 그래서 우리나라에서는 현재 강화액의 소화성능을 평가하기 위하여 소화약제 제조업체에서 직접 제작한 표본소화기를 사용하고 있지만, 표본소화기에 들어있는 소화약제의 양이나 소화방식을 규정하고 있지 않기 때문에 소화약제의 소화성능을 객관적으로 수치화하지 못하고 있다. 결국, 이러한 방법으로는 강화액의 소화성능을 객관적으로 평가할 수 없기 때문에, 하루 빨리 표준소화시험장치가 개발되어야 한다.

#### 2. 강화액의 소화성능 시험방법

강화액을 사용하는 자동식소화기와 수동식소화기의 형식승인을 받기 위해서는 관련 규정에 따라 완제품의 소화성능을 인정받아야 한다. 즉, 수동식소화기의 소화성능은 “수동식소화기의형식승인및검정기술기준(KOFEIS 0101)” 제4조(A급화제용소화기의 소화능력시험) 및 제5조(B급화제용소화기의 소화능력시험)와 “수동식소화기의형식승인및검정시험세칙(KOFEIS 0101 관련)” 제1장 1절에 명시된 시험방법에 따라서 평가하며, 이때 사용되는 시험항목 및 시료수는 “수동식소화기의형식승인및검정시험세칙(KOFEIS 0101 관련)” 제2장 1절에 정해진 바에 따른다. 한편, 자동식소화기의 소화성능은 “자동식소화기의형식승인및검정기술기준(KOFEIS 0101-1)” 제27조와 “자동식소화기의형식승인및검정시험세칙(KOFEIS 0101-1 관련)” 제1장 21절에서 규정하고 있는 시험방법을 이용하여 평가하며, 이때 사용되는 시험항목 및 시료수는 “자동식소화기의형식승인및검정시험세칙(KOFEIS 0101-1 관련)” 제2장 1절에 정해진 바에 따른다.

\* 정회원·한국소방검정공사 소방기술연구소·E-mail: berlinkwon@hanmail.net

### 3. 실험장치

강화액의 소화성능평가를 위한 표준소화시험장치를 개발하기 위하여, 간단한 실험장치가 그림 1과 같이 만들어졌다. 이 예비실험장치는 저장탱크, 배관, 가압장치, 방사노즐 등으로 구성되어 있으며, 저장탱크에 들어있는 소화약제를 공기압으로 배관을 통해 이송하여, 배관의 말단에 달려 있는 노즐을 통해 일정한 크기의 원형 살수구역 안에 균일하게 방사할 수 있도록 설계되어 있다.

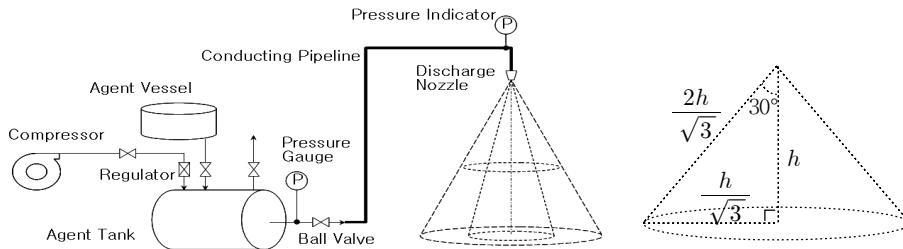


그림 1. 소화실험장치의 구성도 및 약제의 방사형태

우선 가압장치는 약 7 kgf/cm<sup>2</sup>까지 일정한 운전압력을 유지할 수 있는 성능을 가지고 있으며, 자동 압력 조절장치가 장착되어 있어서 공기압을 자동으로 일정하게 유지할 수 있다. 또한 소화에 필요한 강화액을 저장할 저장탱크는 재질이 Stainless(STS 304)이며, 두께는 3 mm 이고, 용량은 10 ℓ 이다. 유도배관은 재질이 Stainless(STS 301), 두께는 27 mm, 직경은 25.4 mm 이다. 전체 살수면적에 대해 분사상(Spraying Phase)이나 적상(Dropping Phase)으로 균일하게 분사되도록 만들어진 노즐은 청동으로 제작되었으며, Orifice의 구경은 약 4 mm 이다(그림 1 참조). 본 실험장치를 사용하여 방사압력 변화에 따른 방사량의 변화를 측정하였고, 적절한 살수분포와 분사방식을 나타내는 방사압력 하에서 소화수와 소화약제(강화액 2종)를 사용하여 A급 1단위, B급 2단위의 소화모형에 대한 소화시험을 수행하였다.

### 4. 방사압력과 방사량의 관계

추진장치에 의해 생성되는 소화수의 방사압력과 그 압력에서 일정시간 동안에 방사되는 유량간의 관계를 정량화하기 위하여, 우선 Bernoulli식으로부터 출발한다.

$$\frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta Z + \frac{h_f}{g} = 0 \quad (1)$$

여기서 공기압력  $P$ , 비중량  $\gamma$ , 중력가속도  $g$ , 높이  $Z$ , 부피유속  $v$ , 마찰열  $h_f$  등이 사용되었다. 노즐에서의 위치차이로 인한 영향은 무시할 수 있을 만큼 매우 작기 때문에, 식(1) 왼편 세 번째 항을 생략할 수 있다. 더욱이 노즐 말단의 압력은 대기압과 같고,  $P_2$ 는 생략할 수 있으며,  $P_1$ 이 일정한 값  $P$ 라고 가정할 때, 단위질량당 부피유속은 단위면적당 유량이기 때문에, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{2g}{\gamma} P = Q^2 \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) + 2h_f \quad (2)$$

여기서 단위면적당 유량  $Q$ , Pipeline의 단면적  $A_1$ , Nozzle Orifice의 단면적  $A_2$  등이 사용된다. 식(2)에서 중력가속도, 비중량, 단면적, 마찰손실을 상수로 볼 때, 유량과 압력 간에는 결국 다음과 같은 단순한 관계식이 성립함을 알 수 있다.

$$Q^2 = C_1 P + C_2 \quad (3)$$

여기서  $C_1 = \frac{2g}{\gamma} \left( \frac{A_1^2 A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} \right)$ ,  $C_2 = -2h_f \left( \frac{A_1^2 A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} \right)$  이다.

결국, 식(3)로부터 유량의 제곱  $Q^2$ 과 방수압력  $P$ 는  $C_2$ 를  $y$ 축 절편으로 하고, 비례상수  $C_1$ 의 기울기를 갖는 유사비례관계에 있음을 알 수 있고, 마찰손실을 무시할 경우 그림 2와 같은 결과가 얻어진다.

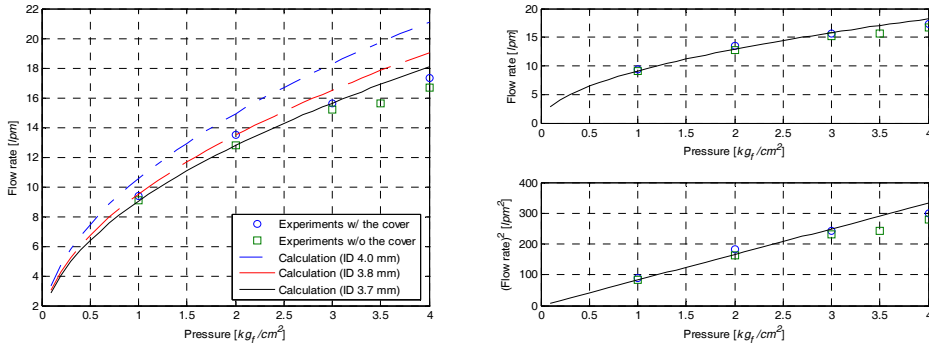


그림 2. 방수압력과 방수량 사이의 관계

만일  $C_2$ 에 포함된 기계적 마찰손실이 임의의 상수 0.025라고 가정할 경우, 식(3)를 이용하여 계산된 값이 실험값에 근사한다는 것을 다음 그림을 통해 알 수 있다. 또한, 식(3)에서 기계적 마찰손실과 관련된 오른쪽 두 번째 항을 무시하면, 유량  $Q$ 는 방수압력  $P$ 에 대해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} P \left( \frac{A_1^2 A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} \right)} \quad (4)$$

물론, 식(4)를 이용한 계산 결과는 실험값에 비해 다음 그림에서와 같이 약간의 차이가 나타나며, 그 차이는 유체흐름과정에서 생기는 기계적 마찰 손실일 것으로 추산된다.

### 5. 시험조건에 따른 소화성능

어떠한 소화약제의 소화성능을 그 방사시간만으로 판정하기 위해서는 소화모형과 더불어 실험장치를 구성하고 있는 다양한 요소들, 즉 방수압력, 유도배관, 방사노즐, 기하학적 인자 등과 같은 것들이 가능한 한 일 반적으로 설정되어야 한다. 약 2 kg/cm<sup>2</sup>의 방수압력을 유지할 때, 소화에 가장 적당한 적상의 소화약제가 균 일하게 분사된다는 사실을 경험적으로 알 수 있었으며, 이 때 소화약제는 약 60°의 각도로 방사되는 것이 관 측되었다. 위 그림으로부터 살수면적의 반지름  $r$  은 노즐말단으로부터의 거리  $h$  와 단순한 비례관계에 있기 때문에, 방사노즐의 높이에 따라 다음과 같이 살수면적  $A_w$  가 결정된다.

$$A_w = \left( \frac{h}{\sqrt{3}} \right)^2 \times \pi \quad (5)$$

소화모형으로부터 얻어지는 화원을 충분히 덮을 수 있는 살수면적  $A_w$  를 만들어주기 위한 높이  $h$  는 식 (5)를 전환하여 간단히 얻을 수 있다. 더욱이 방사면적  $A_w$  내에서는 균일한 방사밀도를 나타내며, 소화모형 의 단면적  $A_m$  이 방사면적  $A_w$  에 완전히 포함될 경우, 방사면적  $A_w$ 에 대한 소화모형의 단면적  $A_m$ 의 비를 나타내는 방사효율  $\epsilon_w$  은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\epsilon_w = \frac{3 \times A_m}{\pi \times h^2} \times 100\% \quad (6)$$

예를 들어 B급 1단위 소화모형을 이용하여 유류화재에 대한 강화액의 소화성능을 알아보았다. 바닥으로부터의 높이가 1.9 m에 설치된 방사노즐로부터 소화모형의 단면적  $A_m$ 이 0.2 m<sup>2</sup> 인 B급 1단위 소화모형에 소화 약제가 방사될 경우, 소화모형의 높이가 약 30 cm 이므로 방사효율  $\epsilon_w$  은 식(6)에 의해 7.46 %가 된다. 또한 동일한 소화모형에 대해 높이가 1.5 m인 위치에 설치된 방사노즐에 대해서는 방사효율  $\epsilon_w$  은 17.37% 이다. “A 社”에서 생산된 강화액을 1.9 m 높이에서 B급 1단위 소화모형에 대해 점화한지 1분 후에 방사해서 화재

를 진압하는 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서는 화재를 소화하는데 19초가 걸렸고, 두 번째 실험에서는 소화에 28초가 걸렸으며, 세 번째 실험에서는 그 보다 훨씬 긴 2분 30초가 걸렸다. 결국 이렇게 일정하지 않은 실험결과로 인해 소화약제의 성능에 대해 신뢰할 수 있는 아무런 결론도 내리지 못 했다. 하지만, 강화액에 거품이 많이 포함되어 있었으며 소화약제 저장용기의 크기가 100 ℓ 정도에 불과했기 때문에, 소화약제가 줄어들수록 방사되는 소화약제에는 보다 많은 거품이 포함되어 있을 것이다. 따라서 저장용기에 소화약제량이 감소할수록 소화성능이 현저히 떨어지는 현상은 거품에 의한 효과로 보인다. 결국, 소화약제의 소화성능을 객관적으로 검증하기 위해서는 저장용기에 충분한 양의 소화약제가 들어 있는 상태에서 소화시험을 수행해야 함을 알 수 있다. 또한, 동일한 실험조건하에서 상대적으로 거품의 함량이 적은 “B社”에서 생산된 강화액을 이용하여 소화시험을 실시해 보았더니, 첫 번째 실험에서는 화재를 소화하는데 10.5초가 소요되었고, 두 번째 실험에서는 16초가 소요되었다. 결국 “B社” 제품은 “A社” 제품의 60% 미만의 양으로 동일한 소화성능을 얻을 수 있었으며, 이는 다시 말해 “A社”의 제품이 “B社”의 제품에 비해 유류화재에 대한 소화성능이 훨씬 더 우수하다는 것을 의미한다. 하지만 이러한 결과에는 상당한 시험오차가 포함하고 있으리라는 사실을 감안할 때, 보다 객관적이고 정량화된 소화성능을 알아보기 위해서는 실험을 반복하여 실험결과를 통계적으로 나타내야 할 것이다. 목재화재에 대한 소화실험은 우선 A급 1단위 소화모형을 이용하여 실시하였다. 바닥으로부터의 높이가 1.9 m 인 위치에 설치된 방사노즐로부터 A급 1단위 소화모형에 소화약제가 방사될 경우, 소화모형의 높이가 약 1.1 m 이므로 소화모형 상단까지의 거리는 0.8 m 이며, 목재의 길이가 730 mm 이므로 단면적  $A_m$  은 목재 길이의 제곱인 약 0.5329  $m^2$  이다. 결국 A급 1단위 소화모형에 대한 방사효율  $\varepsilon_w$  은 식(9)에 의해 79.55%가 된다. 또한 동일한 소화모형에 대해 높이가 1.5 m 인 위치에 설치된 방사노즐에 대해서는 방사면적  $A_w$  는 0.167이다. 계산된 바와 같이  $A_w < A_m$  이므로 소화약제가 화원을 전체적으로 덮을 수 없다. 결국 방사노즐의 높이가 너무 낮아서 소화시험에 적합하지 않은 구조임을 알 수 있다. 방사노즐의 위치가 바닥으로부터 1.9 m 인 경우, 소화모형의 상부에 있던 불꽃은 몇 초 만에 약제가 도달함에 따라 진화되었지만, 4 분 이상의 시간이 경과해도 소화약제가 소화모형의 하부에까지는 도달하지 못 했다. 결국 A급 1단위 소화시험 모형으로부터 얻어지는 화재는 이러한 소화설비에 너무 크다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결과 및 고찰

지금까지 우리는 강화액의 소화성능을 객관적으로 평가할 수 있는 표준소화장치를 개발하는데 필요한 중요한 사항들을 살펴보았다. 예를 들어 방수압력과 방수량 간의 관계를 알아내기 위하여 실험과 계산을 병행하여 수행하였고, 화원에 직접적으로 작용하는 소화약제의 양을 계산해내기 위하여 방사노즐의 방사높이에 따른 방사면적의 변화 및 그와 관련된 방사효율이 논의되었으며, 예비실험장치의 운전조건을 다양하게 바꿔가면서 실험을 수행한 결과 화원의 소화특성에 따라 소화약제가 방사되는 방식을 달리하는 것이 바람직하다는 사실을 알 수 있었다. 지금까지 다루어진 논의의 결과를 바탕으로 실용적이고 자동화된 표준소화장치가 설계 및 제작하였다. 강화액의 소화성능을 객관적으로 평가할 수 있는 표준소화장치가 개발됨에 따라 국내에서 주도적으로 소화성능시험방법의 표준화가 이루어질 수 있을 것으로 보이며, 시험업무의 효율성 및 신뢰성이 높아져서 관련업체의 생산성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 표준소화장치를 이용하여 액체소화약제의 소화성능을 객관적으로 평가할 수 있게 됨으로써 궁극적으로 강화액의 소화성능향상을 가져올 것으로 기대되어진다.

### 참고문헌

1. 수동식소화기의 형식승인 및 검정기술기준·시험세칙, 한국소방검정공사, 2005. 12. 30
2. 자동식소화기의 형식승인 및 검정기술기준·시험세칙, 한국소방검정공사, 2005. 12. 30
3. NFPA 10, Portable Fire Extinguishers 2006 Edition