

## 가스계 소화설비용 선택밸브의 등가관장 평가방법에 관한 연구

김동석, 안병호, 김동일  
방재시험연구원

A study on evaluation method of equivalent length of selection valve for gaseous fire extinguishing system

**Dong-suk Kim, Byung-ho Ahn, Dong-il Kim**  
*Fire Insurers Laboratories of Korea*

### 1. 서론

스프링클러 등의 물 소화설비와 할론 등의 가스계 소화설비는 모두 소화약제를 방호구역에 방출시키기 위한 가압원과 배관을 필요로 한다. 배관에 설치되는 각종 관 부속품의 정확한 압력손실의 영향을 설계에 반영하는 것은 가압원의 설계에 중요 요소이며 이 압력손실을 설계에 반영할 수 있는 정량화된 값은 등가관장으로 표현된다. 가스계 소화설비에 사용하는 선택밸브는 하나의 소방대상물에 2개 이상의 방호구역이 있는 경우 각 방호구역별 소화약제 소요량 중 최대의 소요량을 한곳에 저장하여 두고, 화재시 해당 방호구역으로 소화약제 소요량을 방출시킬 목적으로 사용되는 가스계 소화설비의 부품이다. 본 연구는 이산화탄소와 FM-200에 사용되는 선택밸브 8종에 대해 압력손실을 배관 길이로 환산하여 동 설비의 설계에 적용할 수 있는 등가관장 값을 구하는 실험연구를 통해 소화설비의 배관설계에 사용될 수 있는 등가관장을 구하는 시험방법을 정립하고자 하였다.

### 2. 이론적 배경

#### 2.1 관내 난류유동<sup>1)</sup>

유동하고 있는 유체의 전 에너지는 운동에너지, 위치에너지 등의 총합으로 유동방향의 각 위치에서 계산한 전 에너지는 일정하다. 그러나 Bernoulli가 유도한 이 에너지 방정식은 유체가 유동 중에 에너지 손실이 전혀 없는 것으로 가정하여 유도한 식으로서 실제에서는 적용하기 어렵다. 실제 유동하는 모든 유체는 특별한 경우를 제외하고는 대부분이 난류유동에 의한 상호충돌과 점성에 의한 마찰의 영향으로 에너지 손실이 크게 발생한다. 실제의 원형 관로유동에서 압력손실수두(마찰손실수두)를 계산하는 식은 Darcy-Weisbach

식으로 ①과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{①}$$

여기서  $h$ 는 마찰손실 값,  $\lambda$ 는 관 마찰계수,  $\ell$ 은 관 길이,  $d$ 는 관경,  $v$ 는 유속,  $g$ 는 중력 가속도를 의미한다. 위 식에서 알 수 있듯이 압력손실은 관경에 반비례하며, 관마찰계수와 관의 길이, 그리고 속도의 제곱에 비례한다.

## 2.2 Colebrook의 식

배관의 압력손실은 배관내부의 표면조도(roughness)에 크게 영향을 받는다. 관마찰계수  $\lambda$ 는 관내유동이 층류인 경우 Hagen-Poiseuille공식을 ①식에 대입하여 식②와 같이 레이놀드수(Re)의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{②}$$

그러나 대부분의 관내 유동이 난류인 경우 관마찰계수는 간단한 수식으로 표현하기 어렵다. 많은 학자들에 의해 관마찰계수를 구하는 실험적 연구가 이루어 졌으며 Dupuit 식, Darcy 실험식, Blasius식, Nikuradse 식 등 여러 가지 실험식이 제시되었다. 이러한 관마찰계수를 구하는 방법 중 실험을 위한 인공 조도관과 상업용 상품관에 대한 조도곡선의 형상이 다르므로 매끈한 관과 완전 난류역 사이의 영역에서 상업용 상품관에 대한 경험적 遷移函數로서 ③식과 같이 Colebrook의 식이 제안되었다.<sup>2)</sup>

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -0.869 \ln \left( \frac{\epsilon}{3.71D} + \frac{2.523}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad \text{③}$$

미국의 엔지니어인 Lewis F. Moodys는 이 Colebrook의 식을 기본으로 관마찰계수와 레이놀드수, 그리고 상대조도와의 관계를 나타내는 실용적인 “Moody 線圖”를 제시 하였다.

## 2.3 등가관장을 구하는 식

등가관장이란 밸브류, 티이, 엘보우 등의 관부속품과 等價의 압력손실을 갖는 배관길이를 의미하며 ①의 Darcy-Weisbach 식을 다음의 ④식과 같이 정리할 수 있으며 이식에서  $\ell$  대신 등가관장  $L$ 을 대입하고 실험적으로 구할 수 있는 유량(Q)와 차압( $\Delta P$ )에 의해 ④식을 정리하면 등가관장  $L$ 을 산정할 수 있는 ⑤식을 구할 수 있다. 이와 같이 레이놀드수와 ③식에 의해 관마찰계수를 구하면 ⑤식에 대입 등가관장을 산정할 수 있다.

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{④}$$

$$L = \frac{\pi^2 \cdot g \cdot D^5 \cdot \Delta P}{8 \cdot \lambda \cdot Q^2 \cdot \gamma} \quad \text{⑤}$$

여기서 각 기호는 다음을 의미한다.

$\mu$  : 물의 점도(kgf · s/m<sup>2</sup>)    Re : 레이놀드수    Q : 실험유량(m<sup>3</sup>/s)  
 $\pi$  : 정수(3.1416)    D : 환산관의 내경(m)     $\lambda$  : 관마찰계수  
 $\varepsilon$  : 관내조도(15×10<sup>-6</sup> m)     $\gamma$  : 물의 비중량(kgf/m<sup>3</sup>)    g : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta P$  : 차압(mmH<sub>2</sub>O)    L : 등가관장(m)

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

실험장치는 유량에 따른 실험체 전·후의 압력차 등 등가관장 값의 산정에 필요한 변수를 구할 수 있도록 구성하였으며 주요 치수는 일본 소방설비안전센터의 등가관장시험 장치를 준용하였다.<sup>3)</sup> 실험장치의 개요도는 Fig. 1과 같다.

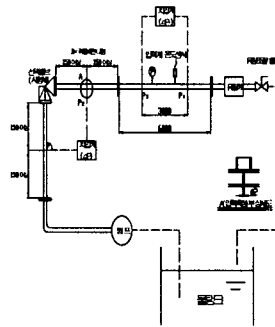


Fig. 1. 등가관장실험장치 개요도

실험체(선택밸브)를 Fig. 1의 등가관장실험장치에 수평으로 설치하고 선택밸브 1차측과 2차측에 선택밸브의 호칭경과 동일한 호칭경의 스케줄 40의 배관을 수평으로 설치하였다. 또한 실험체의 1차측 배관에 Fig. 1과 같이 실험체로부터 배관내경의 15 배 이상 거리에 1차측 압력측정부 P<sub>1</sub>을 설치하고 2차측에도 실험체로부터 같은 거리에 2차측 압력측정부 P<sub>2</sub>를 설치하였다. 그리고 실험시 기준배관의 압력손실과 조도를 구하기 위하여 실험체 2차측에 선택밸브와 동일한 호칭경의 6 m 배관을 Fig. 1과 같이 수평으로 설치하였다. 이 6 m 배관에는 3 m 간격을 두고 차압을 측정하기 위한 압력측정부 P<sub>3</sub>와 P<sub>4</sub>를 설치하였으며, 실험 중 배관내의 압력을 측정하기 위한 압력측정부(P)와 실험 중 물의 온도를 측정할 수 있는 온도센서를 설치한다. 그리고 6 m 배관 이후에 유량계 및 유량조절 밸브를 설치하였다.

### 3.2 실험체

실험체는 Fig. 2와 같이 앵글밸브 형태의 이산화탄소와 FM-200 소화설비용 선택밸브를 사용했으며 호칭구경은 최소 25A에서 최대 150A까지로 총 8종으로 실험을 실시하였다.

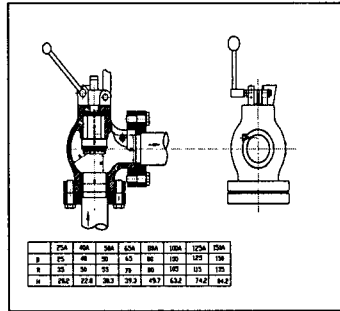


Fig. 2. 실험체

### 3.3 실험방법

압력측정부(P)의 압력을 0.588 MPa(6kgf/cm<sup>2</sup>) 이상으로 유지한 상태에서 실험체의 호칭구경에 따른 일정량의 실험유량(Q)을 방사하면서 실험체의 1차측(P<sub>1</sub>)과 2차측(P<sub>2</sub>)의 차압(ΔP) 그리고 6 m의 기준배관에 3 m 간격으로 설치된 1차측(P<sub>3</sub>)과 2차측(P<sub>4</sub>)의 차압(ΔP<sub>1</sub>)을 1분 이상 동안 측정하였으며 이때 물의 온도(T)도 함께 측정하였다. 실험은 실험체별로 3개의 실험유량에서 압력변동을 3회 가하면서 관련 데이터를 구하였다.

### 3.4 등가관장의 산정방법

각 실험유량, 기준배관의 차압(ΔP<sub>1</sub>), 물의 온도 그리고 배관 내경을 등가관장식에 대입하여 각 호칭구경에 대한 배관 3 m의 길이에 적용되는 배관의 조도(e)를 구한다. 이 결과를 차압(ΔP)와 함께 등가관장식에 대입하여 합계 등가관장(ΣL)을 산정한 후, 이 값에서 실험체의 1차측과 2차측에 설치된 배관 압력측정부사이의 순 배관길이(L<sub>0</sub>)를 減하여 선택밸브의 등가관장(L)으로 산정한다.

## 4. 실험결과 및 토론

### 4.1 실험결과

실험체에 대한 호칭구경 별 등가관장실험결과 각 실험체별로 6 bars 이상의 실험압력에서 실험유량을 3회 변경시키면서 차압을 측정하여 등가관장을 산출한 결과 큰 차이가 없었다. 다음 Table 1은 호칭구경이 가장 작은 25A 선택밸브에 대한 등가관장실험 데이터로서 실험 유량별로 거의 같은 등가관장 값을 보였다.

**Table 1.** 25A 선택밸브 등가관장실험 데이터

항 목	기 호	1회	2회	3회
실험유량( $\ell / \text{min}$ )	Q	49	40	45
차 압( $\text{mmH}_2\text{O}$ )	$\Delta P$	630	433	538
적용배관 내경(mm)	D	27.2		
물의 온도( $^{\circ}\text{C}$ )	T	14	15	14
적용 물 비중( $\text{kgf}/\text{m}^3$ )	$\gamma$	999	999	999
레이놀드 수	Re	32,501	27,242	29,848
관 마찰계수	$\lambda$	0.02745	0.02812	0.02777
적용조도(m)	$\varepsilon$	0.00005( $5 \times 10^{-5}$ m)		
합계 등가관장(m)	$\Sigma L$	6.20	6.24	6.21
배관길이(m)	$L_0$	4.40		
등가관장(m)	L	1.80	1.84	1.81
평균 등가관장(m)		1.82		

각 Table 1과 같이 각 호칭구경별로 평균등가관장을 구하여 정리한 결과는 Table 2와 같다.

**Table 2.** 호칭구경별 등가관장

호칭구경(A)	25	40	50	65	80	100	125	150
등가관장(m)	1.9	4.1	4.5	5.2	5.9	7.5	11.5	11.9

#### 4.2 토 론

Table 2에서와 같이 25A에서 150A의 실험체는 호칭구경에 따라 1.9~11.9m의 등가관장 값을 보이는 것으로 나타났으며 호칭구경이 클수록 등가관장 값이 커지는 경향을 보였다. 일본 소방청 고시에는 볼밸브 이외에 가스계 소화설비용 밸브는 호칭구경이 50A이하는 50m 이하이고, 호칭구경이 65A이상은 100m이하 이어야 한다고 규정되어 있어, 본 연구를 통해 구해진 선택밸브의 등가관장은 매우 낮은 것으로 나타났다. 본 연구는 일본 소방안전센터의 인정시험기준을 준용하여 수행하였으며 그 실험조건은 레이놀드수가  $1 \times 10^4$  이상에서 압력손실값을 측정하도록 되어 있다. 미국 UL(Underwriters Laboratories)의 경우 3.0 m/s를 초과하는 4개 이상의 유속에서 압력손실값을 측정하고 C=130의 Hazen-Williams 계

수를 사용 상당길이를 구하도록 되어있어<sup>4)</sup> 등가관장 성능평가방법이 일본 건재시험센터와 약간의 차이가 있었다.

## 5. 결론

가스계 선택배관 등 소화설비배관에 사용하는 관 부속품의 등가관장은 배관의 상대조도에 많은 영향을 받는다. 본 연구를 통해 각 시험체의 유량별 등가관장값이 거의 같은 값을 보임으로서 Colebrook식의 유용성을 확인할 수 있었다. 현재 국내의 경우 주로 선진국에서 작성된 일반적인 등가관장 표를 기준으로 설계에 활용하고 있으나 배관재의 품질에 의한 배관내의 조도변화가 큼에 따라 관 부속품 제조 및 설계·시공자에게 실제 등가관장을 구하는 실험이 경제성을 가질 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 노병준, 박중호, 유체역학, 동명사, pp. 310-327(1997).
2. 조강래 외 2, 유체역학, 개문사, pp. 225-232(1992).
3. 이산화탄소소화설비 등의 안전변의 시험기준, 일본 소방설비안전센터(1995).
- 4 UL 1058, "Standard for Halogenated Agent Extinguishing Systems Units", Underwriters Laboratories Inc.(1995).