

A-09

스프링클러설비용 신축배관의 마찰손실에 관한 연구

남준석, 문재주*, 백창선*, 사공성호*, 김형수**, 한상락**
 한국소방검정공사*, (주)용원 E&C**

A study of friction loss in flexible pipe for sprinkler system

Joon-Seok Nahm, Jae-Ju Moon*, Sung-Ho Sakong*, Chang-Sun Baek*,
 Hyung-Soo Kim**, Sang-Rak Han**
 Korea Fire Equipment Inspection Corporation

1. 머리말

관내에 유체가 흐를 경우, 관내부에 생기는 관마찰저항에 관한 연구는 19세기 프랑스의 공학자 Henry Darcy와 동시대 독일의 공학자이자 과학자인 Julius Weisbach의 원통형 직관에 대한 연구로 시작되었으며, 평활관과 관 내면이 매끈한관을 이용하여 많은 연구가 이루어졌다.

“스프링클러설비신축배관¹⁾”이라 함은 스프링클러설비의 배관중 가지배관과 헤드를 연결하는 구부림이 용이하도록 유연성을 가진 배관을 말하며 작업의 편리성과 배관자체의 신축성으로 수요가 증가하고 있으나, 신축배관의 관마찰저항에 대한 실험이나 신뢰성 있는 공식이 없는 상태이다.

본 논문에서는 스프링클러설비에 사용되는 각종 신축배관의 관마찰저항에 대한 이론을 통해 공식을 도출한 후 시험을 통해 결과를 비교하였다.

2. 이론적 배경

관내에서의 유체 이동은 유체입자와 관벽과의 마찰에 의하여 유동방향으로의 압력손실(압력강하)이 발생하며, 이때 원형 직관 내에서의 마찰손실수두(m)는 Darcy-Weisbach의 방정식²⁾으로 나타낼 수 있다(온도 및 점성의 영향 고려)

$$\Delta p = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

(h_L : 마찰손실수두(m), v : 관내 유속(m/s), f : 관마찰계수(상수), d : 관의내경(m), g : 중력가속도(9.8 m/s²), l : 관의길이(m))

일본의 경우³⁾ (1)식에 있어서, 평균속도 v 를 Q 와 d 로 변환하고, $\frac{8\lambda}{\pi^2 g d^5} L = C(L, d)$ 일

때

$$\Delta p = C(L, d) \times Q^N \quad (2)$$

여기서 $C(L, d)$ 를 「외관상의 마찰계수」라고 부르며 (2)식을 이용하여 관전역에 걸쳐 콜게이트가 있는 신축배관의 관로저항은

$$\Delta p = 0.36 \times 10^{-4} \times (1/x) L Q^{2.1} \quad (3)$$

으로 나타내며, 부분적으로 콜게이트가 있는 관(corrugated pipe)의 관로저항은

$$\Delta p = 0.28 \times 10^{-4} \times (1/x) L Q^{1.9} \quad (4)$$

(Δh : 길이 $L(m)$ 플렉시블관의 관로저항 (kgf/cm^2), L : 플렉시블관의 길이 (m), Q : 유량 (ℓ/min), x : 관경 $d(mm)$ 으로 하면, $x=(d/22)$ 로 나타내어지는 관내경보정계수)으로 나타내었다.

스프링클러설비에 소화약제로 사용하는 물은 비압축성 유체로서 온도 및 점성의 영향이 적기 때문에 물을 이용하는 분야에서는 Darcy-Weisbach 공식보다는 Hazen-Williams 공식을 이용하여 배관내 압력손실을 예측한다

(1)식에 $v^2 = (\frac{Q}{A})^2 = (\frac{4Q}{\pi d^2})^2$ 를 적용하고 지수형식으로 변환하면 Hazen-Williams 공식⁴⁾은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta p = 6.174 \times 10^5 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \times l \quad (5)$$

(Δp : 압력손실(kgf/cm^2), Q : 유량(ℓ/min) C : Hazen-Williams 파이프 마찰계수(상수),
 d : 관의 내경(mm), l : 관길이(m))

3. 실험장치 및 실험방법

밸브 등의 마찰손실 및 유량측정 시험방법은 국내의 경우 KS B 2101⁵⁾(밸브의 용량계수 시험 방법)로 규격화되어 있으며, 이에 대응하는 해외규격(flow capacity, test procedures)으로는 BSI 5793-2-2.3⁶⁾, IEC 534-2-3, EN 60534-2-3 등이 있다. 본 실험은 KS B 2101에 따랐으며 시험장치는 그림 1과 같이 정류통, 유량계, 차압계, 유량조정밸브 등으로 구성하고 유체의 유동은 펌프기동방식으로 구성되어 있으며 측정되는 차압과 유량은 데이터기록장치를 이용하여 기록하였다. 각 규격별 측정구간의 치수를 표 1에 나타냈으며 L_{in} 과 L_{out} 은 압력계 탭의 위치이다.

표 1 각 규격별 측정구간 치수

구분 규격	B	L_{in}	L_{out}	D
KS B 2101	20 D	2 D	6 D	10 D
BSI 5793-2-2.3	20 D	2 D	6 D	7 D
IEC 534-2-3	"	"	"	"
EN 60534-2-3	"	"	"	"

주) 1. D : 관의 호칭지름, L_1, L_4 : 상류 및 하류측의 직관길이

시험에 사용된 신축배관은 그림 2와 같으며 길이는 5m, 내경은 28mm이고, 콜게이트 부분이 1개, 2개, 3개, 4개, 5개일 경우와 전체가 콜게이트로 이루어진 경우에 대해서 각기 실험을 실시하였다. 양끝에는 너트로 연결하였으며 신축배관의 재질은 stainless이다.

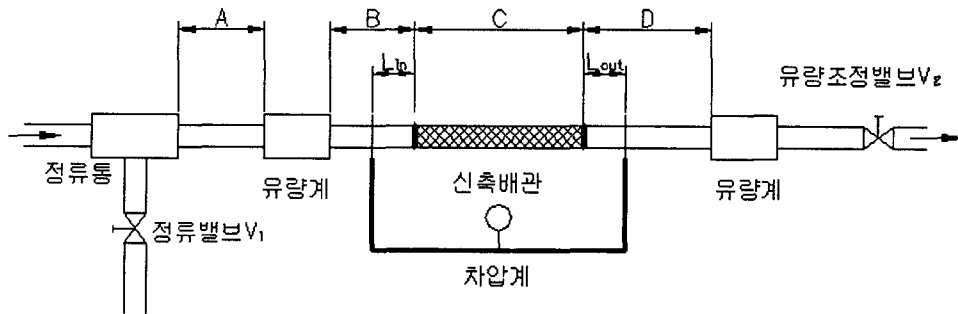


그림 1 신축배관의 시험장치

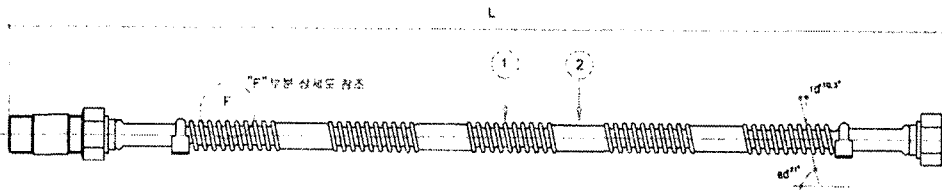


그림 2 스프링롤러설비용 신축배관

신축배관의 마찰손실 측정을 위해 $L_{in}+L_{out}$ 부분의 차압을 측정한 후 $L_{in}+L_{out}$ 에 해당되는 유량과 압력손실을 감하여 측정하였으며 그림 3의 데이터기록장치를 이용하여 기록하였다. 스프링롤러설비용 신축배관의 마찰손실시험을 그림 4에 나타내었다.

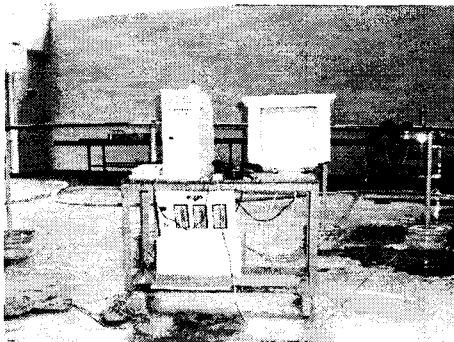


그림 3 데이터기록장치



그림 4 스프링롤러설비용 신축배관의 마찰손실시험

4. 시험결과 및 고찰

일본의 경우 콜게이트가 관 전역에 걸쳐 있는 경우의 마찰손실에 대한 식은 $\Delta h = 0.36 \times 10^{-4} \times (1/x) LQ^{2.1}$ 과 같으며, 부분적으로 콜게이트가 있는 경우의 마찰손실에 대한 식은 $\Delta h = 0.28 \times 10^{-4} \times (1/x) LQ^{1.9}$ 와 같다. 위의 식들에 본 실험에서 사용한 시료의 크기를 입력하여 계산해 보면 그림 5 및 그림 6과 같다.

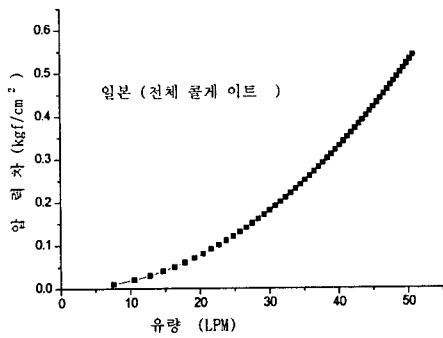


그림 5 일본의 전체 콜게이트

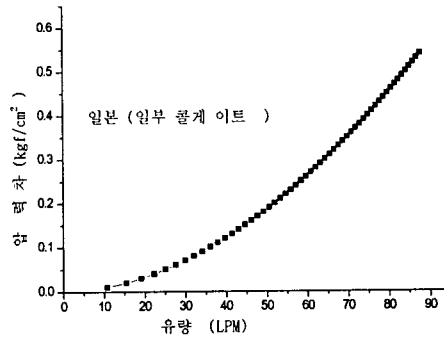


그림 6 일본의 일부 콜게이트

Hazen-Williams 공식인 (5)식에 C 값(7)을 15년이 경과한 부식이 심한 주철관에 해당하는 60과 흑관 혹은 신품주철관에 해당하는 120을 넣고 계산해 보면 그림 7 및 그림 8과 같다.

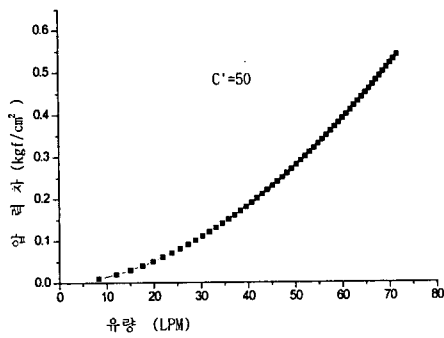


그림 7 하젠식의 $C=60$ 일 경우

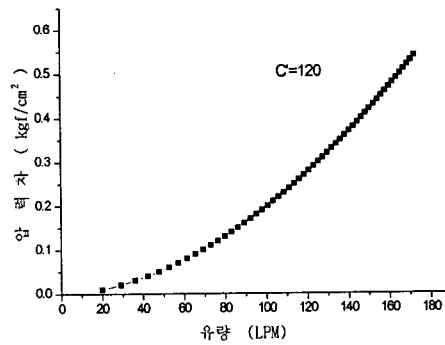


그림 8 하젠식의 $C=120$ 일 경우

스프링클러설비용 신축배관에 콜게이트가 1개, 2개, 3개 4개 5개인 경우와 콜게이트가 관 전역에 걸쳐 있는 경우의 마찰손실은 다음의 그림 9, 10, 11, 12, 13, 14와 같다.

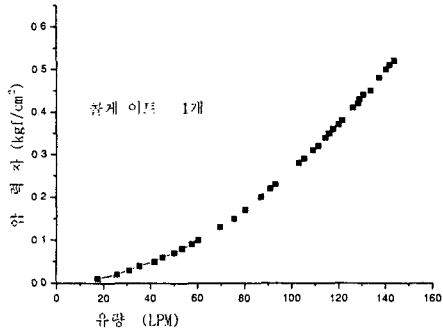


그림 6 콜게이트 1개일 경우의 마찰손실

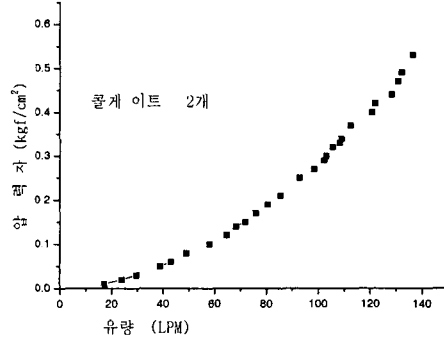


그림 7 콜게이트 2개일 경우의 마찰손실

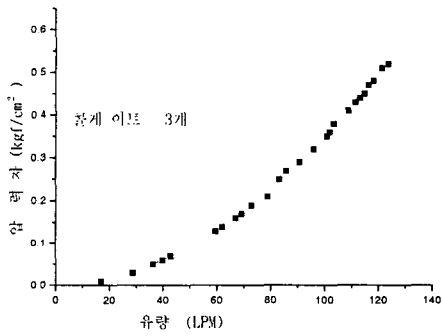


그림 8 콜게이트 3개일 경우의 마찰손실

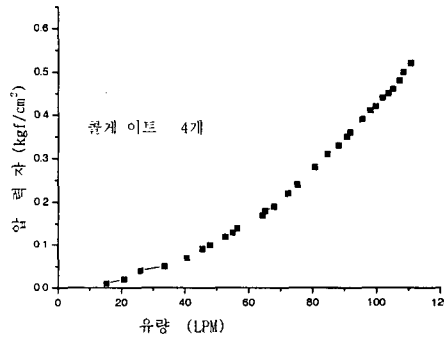


그림 9 콜게이트 4개일 경우의 마찰손실

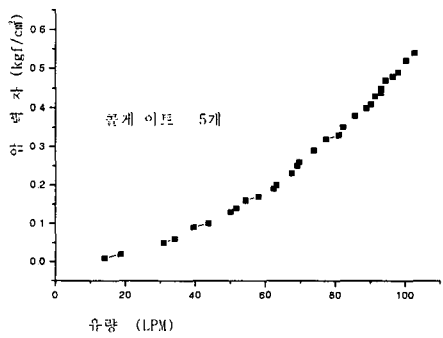


그림 10 콜게이트 5개일 경우의 마찰손실

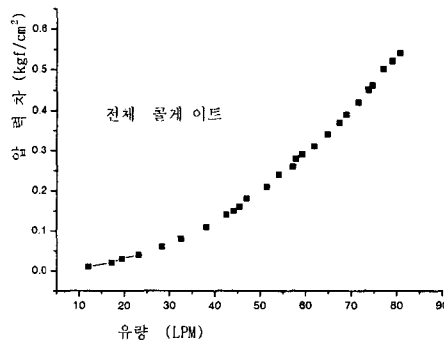


그림 11 전체 콜게이트일 경우의 마찰손실

콜게이트의 수가 증가할수록 마찰손실도 증가함을 할 수 있으며 신축배관 전체에 걸쳐 콜게이트가 있는 경우 일본의 시험결과보다 유량이 증가하였으며, Hazen-Williams 공식의 C 값이 60~120 사이의 값과 유사함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 스프링클러설비용 신축배관의 콜게이트 수가 증가할수록 마찰손실도 증가함을 알 수 있었으며, 일본의 실험결과와 다소 차이를 보이는 것은 외관상의 마찰계수를 신축배관의 길이와 직경으로 제한하였기 때문으로 생각된다.

사용한 스프링클러설비용 신축배관의 마찰손실시험에서 다음과 같이 콜게이트가 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 및 전체적으로 콜게이트가 있는 경우, 마찰손실은 다음의 Hazen-Williams 공식을 이용한다.

$$\Delta p = 6.174 \times 10^5 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \times l$$

이 경우 각 변수의 차원은 다음과 같으며 C 값이 60~120사이에 있음을 알 수 있었다. (Δp : 압력손실(kg/cm^2), Q : 유량(l/min) C : Hazen-Williams 파이프 마찰계수(상수), d : 관의 내경(mm), l : 관길이(m))

6. 감사의 글

본 논문은 한국소방검정공사에서 중기청 산·학·연 공동기술개발 전국컨소시엄의 일환으로 진행중인 '공동주택스프링클러설비용 신축배관 제품 개발 및 성능평가 개발'의 일부입니다. 과제수행에 많은 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국소방검정공사, 스프링클러설비의신축배관의성능시험기술기준, p1, 1998
2. BRUCE R. MUNSON, FUNDAMENTALS OF FLUID MECHANICS, p481, 1990
3. 平賀俊哉, 소방연구소보고, 소방설비배관용 플렉시블관의 관로저항, p54, 1997
4. 허만성, 소방유체역학, p262, 동일출판사(2000)
5. KS B 2101(밸브의 용량계수 시험 방법), 1999.11
6. FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES FITTINGS AND PIPE, CRANE, 1990
7. FMRC, LOSS PREVENTION DATA 2-89(Pipe Friction Loss Table), 1973