

압력손실을 줄이기 위한 준비작동식 유수검지장치 본체 구조 개선

홍승태 · 정재한 · 남준석 · 권영규* · 한철수* · 유승준**†

한국소방산업기술원 미래소방기술연구소
446-909 경기도 용인시 기흥구 지삼로 331
*(주)우당기술산업
449-855 경기도 용인시 처인구 모현면 일산리 483-1
**서남대학교 환경화학공학과
336-922 충청남도 아산시 송악면 평촌리 산36-1
(2014년 11월 1일 접수, 2014년 11월 24일 수정본 접수, 2014년 11월 27일 채택)

Structure Improvement of Preaction Valve to Reduce the Pressure Drop

Seung-Tae Hong, Jae-Han Jeong, Jun-Seok Nam, Young-Kyu Kwon*, Chul-Su Han* and Seung-Joon Yoo**†

R&D Laboratory, Korea Fire Institute, 331 Jisam-ro, Gihyung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-909 Korea
*Woodang Technical Industry Co. Ltd., 483-1, Ilsan-ri, Mohyeon-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 449-855, Korea
**Department of Environmental and Chemical Engineering, Seonam University,
San 36-1, Pyungchon-ri, Songak-myeon, Asan-si, Chungcheongnam-do 336-922, Korea
(Received 1 November 2014; Received in revised form 24 November 2014; accepted 27 November 2014)

요 약

다이아프램 방식 준비작동식 유수검지장치의 압력손실을 줄이기 위하여 본체 구조를 개선하였다. 개정된 유수제어 밸브의 압력손실시험 기술기준을 통과하기 위해서는 압력손실이 20.7 kPa를 초과하여서는 안된다. 압력손실시험은 한국소방산업기술원 유수제어밸브 기술기준에 따라서 실시하였다. 준비작동식 유수검지장치는 습식 유수검지장치에 비해 압력손실이 크게 발생하였는데, 그 원인을 유체의 유동현상과 관련하여 분석하였다. 준비작동식 유수검지장치의 본체 내부 구조는 유로의 단면 크기와 방향 변화로 인해 압력손실 요인이 많았다. 이러한 압력손실 요소를 제거하기 위해 습식 유수검지장치와 비슷한 클래퍼 타입으로 구조를 변경하였다. 구조 변경 후 압력손실 값은 호칭 80A인 경우 80.9 kPa에서 14.4 kPa로 감소하였으며, 호칭 100A인 경우 171.0 kPa에서 14.2 kPa로 감소하여 기술기준에 적합한 압력손실 값을 얻을 수 있었다.

Abstract – The body structure of diaphragm type preaction valve was improved in order to reduce the pressure drop. The pressure drop must be kept within 20.7 kPa to pass the revised (2012. 2. 9) standard for alarm valve and preaction valve. The pressure drop test was carried out by KFI (Korea Fire Institute) standard. The pressure drop of a preaction valve was higher than that of an alarm valve. Causes for increasing the pressure drop were investigated with the fluid flow in the valve. The preaction valve had more pressure drop factors (changes in velocity and direction) compared with the alarm valve. Inner structure of the preaction valve was changed to the clapper type to remove the pressure drop factors. In 80A and 100A size of preaction valves, the pressure drop was reduced from 80.9 and 171.0 kPa to 14.4 and 14.2 kPa respectively, after the change of the structure.

Key words: Preaction Valve, Alarm Valve, Pressure Drop, Standard

1. 서 론

스프링클러설비는 화재 발생시 초기 진화를 목적으로 하는 소방 시설로서, 화재에 의해 막대한 경제적 손실과 인명피해가 우려되는

† To whom correspondence should be addressed.

E-mail: sjyoo001@hanmail.net

‡ 이 논문은 공주대학교 박균영 교수의 정년을 기념하여 투고되었습니다. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

공공건물, 복지시설, 공장 등에서 사용되고 있다. 스프링클러설비를 구성하는 장치들 중 하나인 유수검지장치는 화재 발생시 폐쇄형 스프링클러헤드가 개방되었을 때, 물을 공급하면서 경보를 발하는 장치이다. 스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103)에 의하면 유수검지장치란 습식 유수검지장치(폐쇄형을 포함한다), 건식 유수검지장치, 준비작동식 유수검지장치를 말하며 본체 내의 유수 현상을 자동적으로 검지하여 신호 또는 경보를 발하는 장치를 말한다[1]. 유수검지장치는 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 시행령 제37조에서 정하는 소방용품중 하나로 한국소방산업

기술원으로부터 형식승인을 취득한 다음 제품검사를 받은 후 판매 및 사용이 가능하다.

「유수제어밸브의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」이 2012년 2월 9일 개정되었다(소방방재청 고시 제2012-69호). 유수제어밸브란 유수검지장치와 일체개방밸브를 말한다. 변경된 기술기준에 의해 기존에 승인받은 유수검지장치들은 2년간의 유예기간이 종료된 2014년 2월부터 형식이 모두 취소되었다. 제조업체들은 개정된 기술기준에 적합한 유수검지장치를 개발하여 새로 형식승인을 취득하거나 형식승인의 변경을 받아야 한다[2].

변경 전·후의 압력손실시험 항목을 비교하면 다음과 같다.

《변경전》

유수검지장치의 압력손실 값(kPa)은 호칭크기의 압력배관용탄소강관 (KS D 3562[3], 스케줄 40)에서 4.5 m/s의 유속으로 방출하는 경우 신청값의 ±5% 범위 이내이어야 한다.

《변경후》

유수제어밸브의 압력손실 값(kPa)은 호칭크기의 압력배관용탄소강관 (KS D 3562[3], 스케줄 40)에서 4.5 m/s의 유속으로 방출하는 경우 20.7 kPa을 초과하지 아니하여야 한다.

변경 전에는 압력손실 값을 제조업체에서 제시하면 되었지만, 변경 후에는 압력손실 값이 20.7 kPa을 초과하면 안된다[2]. 이는 마찰이 클수록 기계적 에너지가 더 많이 손실되므로 마찰에 의한 압력손실을 고려하여 물의 흐름이 보다 원활하게 유지되는 유수검지장치를 목적으로 한 것이다. 그러나 기존에 승인받은 유수검지장치들은 대부분 압력손실 값이 새로운 기준의 조건을 만족시키지 못하고 있다. 따라서 압력손실을 줄이기 위해서 유수검지장치 본체 구조에 대해 재검토해볼 필요가 있다. 이번 연구에서는 유체의 유동현상에 대한 이해를 바탕으로 밸브 개방시 압력손실이 적고 충분한 유량을 확보할 수 있는 유수검지장치 본체 구조를 설계하고자 하였다.

2. 실험

Fig. 1에 압력손실시험 장치도를 나타내었다. 실험조건은 유수제어밸브의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에서 정한 방법에 따랐다[2]. 물을 공급하기 위한 펌프(Hyosung: 양정 450 m³/h, 150 HP,

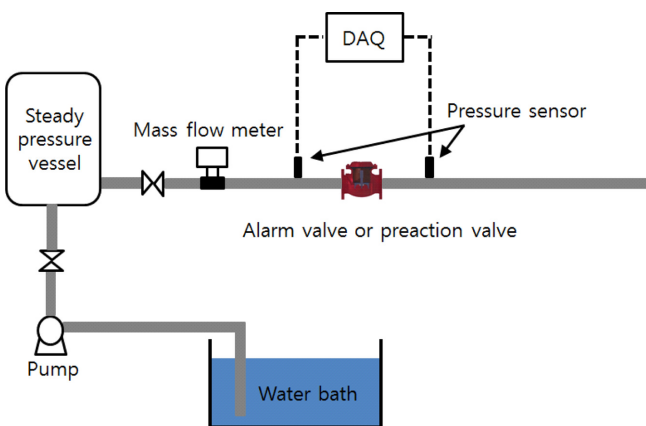


Fig. 1. Experimental apparatus for pressure drop test.

1.6 MPa)를 유수검지장치 입구 쪽 배관에 설치하였다. 흐르는 물의 양을 측정하기 위해 유량계(EUROMAG: MUT 1100, 최대 측정범위 600 m³/h, 분해능 0.01 m³/h, 최대값의 ±0.15% 정확도)를 유수검지장치 입구 쪽에 설치하였다. 압력변화를 측정하기 위해 유수검지장치 입구와 출구에 각각 압력계(Sensys: PSH, 측정범위 0-0.5 MPa, 최대값의 0.15% 정확도)를 설치하였다. 호칭별로 유수검지장치를 연결하고 나서 물을 4.5 m/s의 유속으로 흐르게 하여 압력손실을 측정하였다. 압력은 DAQ(PCI 1711, 샘플속도 100 kHz, 분해능 12bit)에 의하여 측정하였다.

3. 이 론

3-1. 표면마찰(Skin friction), 형태마찰(Form friction)

갑작스러운 유체 흐름의 방향 변화, 흐름 단면적의 확장이나 축소, 유체가 흐르는 방향에 장애물이 있거나 할 때, 맴돌이(vortex)가 형성되면 이 영역을 후류(wake)라 한다. 후류가 생성되면 기계적 에너지 손실이 커서 유체의 압력손실이 증가하게 된다. 일반적으로 유체 흐름 단면의 급격한 변화를 피하거나 유체가 흐르게 되는 물체를 유선형으로 만듦으로써, 이러한 압력손실을 최소화 할 수 있다.

유체가 고체 벽을 흐를 때 마찰은 벽에 인접한 경계층(boundary layer) 안에서 일어난다. 경계층에서 발생하는 마찰을 표면마찰이라 한다. 경계층이 분리되어 후류가 형성되면 이 후류 안에서 에너지 감소가 더 많이 일어나게 되는데 이러한 마찰은 고체의 위치와 모양의 함수가 되므로 형태마찰이라 한다. 표면마찰과 형태마찰을 Fig. 2에 나타내었다[4].

3-2. 베르누이 방정식(Bernoulli's Equation)

유체에 가해지는 일(work)이 없는 이상유체(ideal fluid)가 유선(stream line)을 그리며 흐를 때, 두 지점의 위치에너지, 압력, 유속의 관계를 역학적 에너지가 보존됨을 바탕으로 수식으로 나타낸 식을 베르누이 방정식이라 한다.

정상상태(steady state) 퍼텐셜 흐름 유체에 대해 베르누이 방정식은 식 (1)과 같다[4,5].

$$\frac{p_1}{\rho_1} + z_1g + \frac{V_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + z_2g + \frac{V_2^2}{2} \tag{1}$$

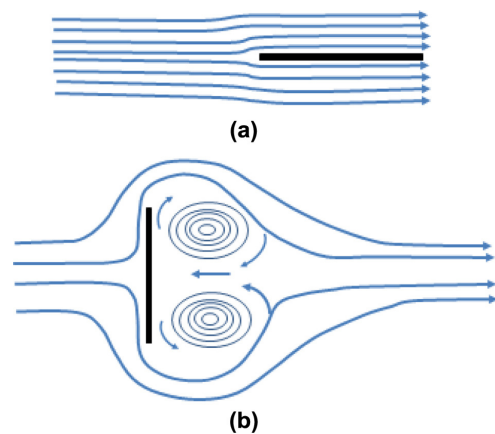


Fig. 2. Flow past flat plate: (a) Skin friction (flow parallel with plate) (b) Form friction (flow perpendicular to plate).

여기서, p_1, p_2 = 지점 1, 2에서의 압력
 ρ_1, ρ_2 = 지점 1, 2에서 유체의 밀도
 z_1, z_2 = 기준면에 대해 지점 1, 2에서의 높이
 g = 중력가속도
 \bar{V}_1, \bar{V}_2 = 지점 1, 2에서의 유체의 평균유속

마찰(friction)이 있는 실제 유체 흐름에서는 운동에너지 보정인자와 기계적 에너지 손실까지 고려하여야 한다. 유체 마찰에 대하여 베르누이 방정식을 수정하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 마찰손실 h_L 은 표면마찰과 형태마찰을 모두 포함한다[4].

$$\frac{p_1}{\rho_1} + z_1g + \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + z_2g + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} + h_L \quad (2)$$

여기서, α_1, α_2 = 지점 1, 2에서 운동에너지 보정인자
 h_L = 지점 1과 2 사이에서의 마찰손실(frictional head loss)

3-3. 마찰계수(Friction factor)

관의 표면마찰과 관련된 Fanning 마찰계수(f)는 마찰손실(h_L)과 다음의 관계를 가진다[6].

$$h_L = 2f \frac{L}{D} \bar{V}^2 \quad (3)$$

여기서 h_L = 마찰손실
 f_f = Fanning 마찰계수
 L = 관 길이
 D = 관 직경
 \bar{V} = 평균 유속
 g = 중력가속도

식 (3)의 마찰손실 H_L 은 도관에서의 유체 흐름에 대한 총마찰손실을 나타낸다. 그 외에 유체 흐름의 방향이나 단면적의 변화를 유발하는 밸브, 엘보 등의 이음쇠(fitting)에 의한 마찰손실도 존재한다. 이음쇠에 의한 마찰손실은 이음쇠의 구조, 레이놀즈수(N_{Re} , Reynolds number), 관의 거칠기 등과 관련 있을 수 있으나, 경험에 의해 N_{Re} 와 상관없이 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다[4-6].

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (4)$$

여기서 K = 이음쇠로 인한 손실계수
 유체의 흐름이 층류에서 난류로 바뀌기 시작하는 임계속도는 관의 지름, 유체의 점도, 밀도 및 평균선속도 등 4개의 양에 의해 좌우되는데, 이 네 가지 양을 하나의 군으로 조합한 것이 레이놀즈수이며 식 (5)와 같이 정의한다[4].

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (5)$$

여기서 μ = 유체의 점도
 ρ = 유체의 밀도

3-4. Hazen-Williams식

Hazen-Williams식은 수로 단면의 평균유속을 구하는 식으로서 실험에 근거하여 수립되었으며, 유체 흐름의 에너지 손실관계를 포함

하고 있다[7].

$$v = 0.013CD^{0.63}S^{0.54} \quad (6)$$

여기서 v = 평균유속(ft/s)
 S = 배관 단위길이당 에너지 손실
 D = 배관 내경(in)
 C = 마찰계수(배관벽의 조도를 나타내는 상수)
 Hazen-Williams식은 다음과 같이 표현되기도 한다[7].

$$Q = 0.285CD^{2.63}S^{0.54} \quad (7)$$

여기서 Q = 부피유량(gpm)
 스프링클러설비의 경우 배관의 단위길이당 압력강하를 해석하기 위해 Hazen-Williams식이 다음과 같은 식으로 사용된다[7].

$$\Delta P = 6.06 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}} \times 10^7 \quad (8)$$

여기서 ΔP = 단위길이당 압력강하(kPa/m)
 Q = 부피유량(L/min)
 D = 배관 내경(mm)
 C = 마찰계수(배관벽의 조도를 나타내는 상수)
 Hazen-Williams식은 유체의 물성치 관련 항목을 포함하지 않기 때문에 약 15.5 °C 부근의 물에 대해서만 적용할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 기존 제품의 호칭별 입력손실 값

(주)우당기술산업에서 생산된 기존 방식의 습식 유수검지장치(alarm check valve)에 대해 호칭별로 압력손실시험을 수행하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 습식 유수검지장치의 압력손실 값은 호칭에 따라 7~35 kPa 범위에서 나타났으며, 호칭 100A 이하에서는 기술기준을 만족하였지만 125A 이상에서는 20.7 kPa을 초과하였다. Fig. 4는 클래퍼 타입 습식 유수검지장치의 본체 구조를 보여준다. 습식 유수검지장치는 클래퍼가 개방되면서 물이 흐르는데, 유로 단면의 크기 변화가 적을 뿐 아니라 유로 방향의 변화도 없기 때문에

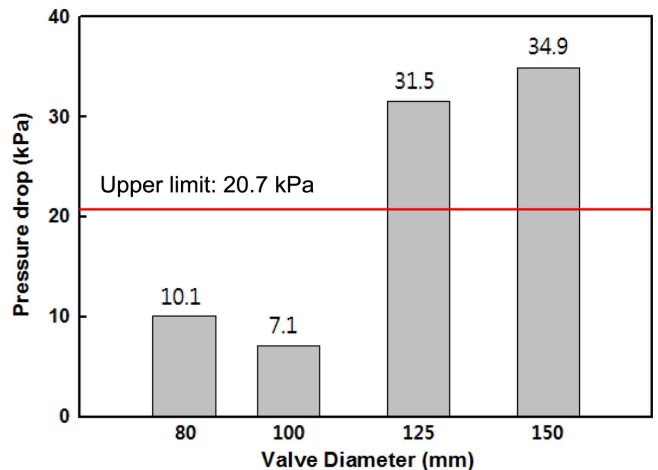


Fig. 3. Pressure drop of the alarm valve in order of size.

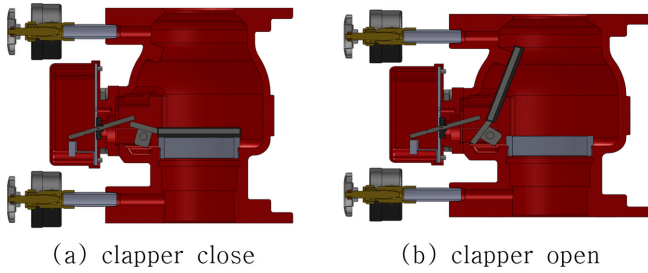


Fig. 4. Body structure of alarm valves.

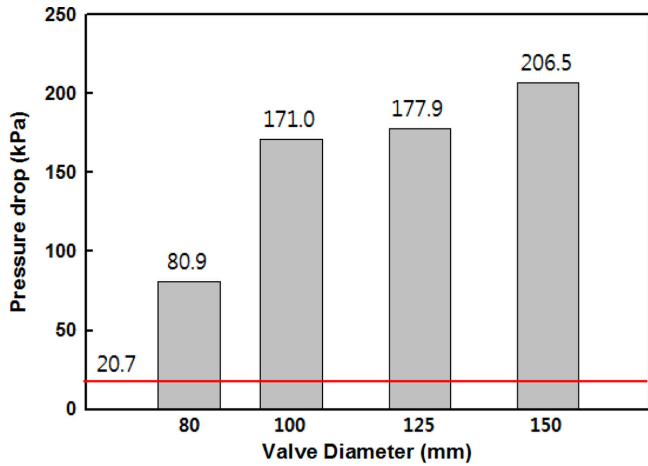


Fig. 5. Pressure drop of the preaction valve in order of size.

마찰손실 요인이 작다. 그러나 호칭이 125A 이상일 때는 압력손실이 기술기준을 초과하는 높은 값이 나왔다. 그 이유는 습식 유수검지장치의 클래퍼가 완전히 열렸을 때의 각도가 닫혔을 때를 기준으로 했을 때 약 50°이기 때문이다. 클래퍼가 완전히 열리는 각도를 더 증가시킨다면 압력손실을 더 줄일 수 있을 것이다.

(주)우당기술산업에서 생산된 기존 방식의 준비작동식 유수검지장치(preaction valve)에 대해 호칭별로 압력손실시험을 수행하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 준비작동식 유수검지장치의 압력손실 값은 호칭에 따라 80~206 kPa 범위에서 나타났다. 준비작동식 유수검지장치는 모든 호칭에서 압력손실 값이 기준을 초과하여 기술기준에 부적합하였다. 기술기준을 만족하기 위해서는 압력손실을 줄일 수 있도록 본체 구조를 변경하여야 한다.

물이 유수검지장치와 같은 밸브를 지날 때는 흐름이 교란되어 마찰이 생긴다. 밸브로 인한 마찰손실 h_f 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 인자 K_f 는 실험으로 구하는데 접속 형태에 따라 값이 달라질 수 있다[4,5].

$$h_f = K_f \frac{\bar{V}_1^2}{2g} \quad (8)$$

여기서 K_f = 밸브로 인한 손실계수

\bar{V}_1 = 밸브 상류 관에서의 평균 유속

습식에 비해 준비작동식 유수검지장치의 압력손실이 상대적으로 크게 나오는 이유는 유체가 흐르는 본체 내부 구조의 차이 때문이다. Fig. 6에 준비작동식 유수검지장치의 본체 구조를 나타내었다. 준비작동식 유수검지장치에서의 유체 흐름을 세부적으로 나누면 ①단면

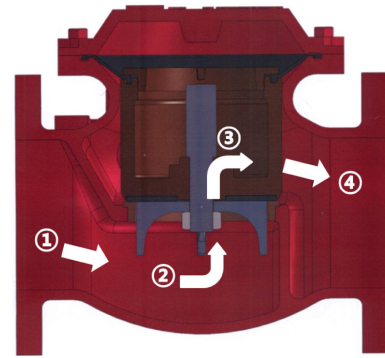


Fig. 6. Body structure of preaction valve.

축소, ②방향 변화, ③방향 변화, ④단면 확대의 4가지 단계를 거친다. 그 외 기타 영향을 K_5 라고 한면 밸브 손실계수 K_f 는 이 5가지에 의한 손실계수의 영향이 반영되어 나타난다고 볼 수 있다.

$$\text{밸브의 손실계수 } K_f = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5$$

준비작동식 유수검지장치는 유로의 단면 변화와 방향 변화가 존재하여 압력손실에 영향을 주는 요소가 많기 때문에 습식 유수검지장치에 비해서 압력손실 값이 높게 나타난 것이다.

관의 방향이나 단면적 크기가 달라져서 유체의 유속이 변하면 곧은 관에서 흐를 때의 표면마찰 이외의 마찰이 생긴다. 이러한 마찰에서는 정상 유선이 교란되고 경계층의 분리가 일어날 때 발생하는 소용돌이로 인한 형태마찰이 발생한다. 일반적으로 이러한 영향은 정확히 계산할 수 없으며 실험자료에 의존하는 수밖에 없다[4].

단면이 급격히 축소될 때의 유체 흐름을 Fig. 7에 나타내었다. 관의 단면이 갑자기 줄어들면 유체가 모서리를 따라 흐르지 못하므로 흐름과 관 벽과의 접촉이 깨진다. 이 때 제트가 형성되어 작은 단면의 정체 유체 층으로 흘러들어가게 된다. 이 제트는 처음에 축소되었다

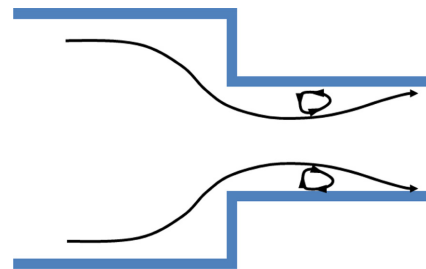


Fig. 7. Flow at sudden contraction of cross section.

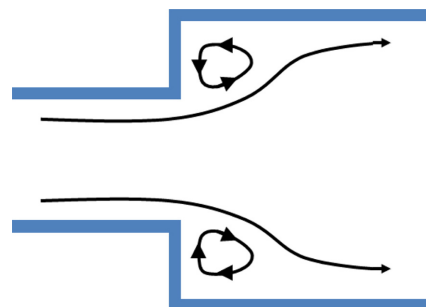


Fig. 8. Flow at sudden enlargement of cross section.

가 팽창되어 작은 단면을 채우게 된다. 축소점 하류에서는 정상적 속도구배가 다시 이루어진다[4,6].

단면이 급격이 확대될 때의 유체 흐름을 Fig. 8에 나타내었다. 관의 단면이 갑자기 커지면 유체 흐름이 벽에서 분리되어 제트(Jet)로서 확대 단면에 분출된다. 그리고 나서 이 제트는 팽창하여 큰 도관 전체 단면에 팍 차게 된다. 팽창 제트와 관 벽 사이에는 경계층 분리의 특성인 소용돌이 운동을 하는 유체로 팍 차게 되므로, 이 공간에서는 상당한 마찰이 발생하게 된다[4,6].

4.2. 압력손실 감소를 위한 준비작동식 유수검지장치의 본체 구조 변경

유수검지장치 본체의 유입구에서 시트까지의 부분을 1차측이라 하고 시트에서부터 본체의 유출구까지를 2차측이라 한다. 습식 유수검지장치는 설치시 1차측과 2차측이 모두 가압수 등으로 채워진다. 스프링클러설비의 폐쇄형 스프링클러헤드가 열에 의해 열리면 2차측의 압력 저하에 의해 시트가 열리어 가압수 등이 2차측으로 유출된다. 준비작동식 유수검지장치는 1차측에 가압수 등을 채우고 2차측에 공기를 가득 채운 상태에서 화재 감지설비의 감지기, 화재 감지용 헤드 등의 작동에 의해 시트가 열리어 가압수 등이 2차측으로 유출되는 장치이다. 이러한 작동방식의 차이 때문에 준비작동식 유수검지장치는 수직과 수평으로 설치가 가능하고 순간적인 압력변동에 대한 오동작 가능성이 작은 다이어프램(diaphragm) 타입이 주로 사용되어져 왔다. 그러나 준비작동식 유수검지장치의 압력손실 값이 20.7 kPa보다 작게 나오게 하려면 다이어프램 구조내 유로 단면의 크기를 확장하여야 한다.

Fig. 9는 유로 단면을 확장한 외국제품(Viking사, deluge valve)의 경우인데 4 in의 입·출구 사이즈에 비해 본체의 크기가 상당히 커졌음을 알 수 있다. 이러한 경우 제조원가가 올라가고 설치에 있어서 새로운 문제가 발생하게 된다. 따라서 본체 구조를 습식과 같이 클래퍼 형태로 변경하고자 하였다.

준비작동식 유수검지장치의 본체 구조를 클래퍼 타입으로 변경하여



Fig. 9. Deluge valve (Viking, 4 in).

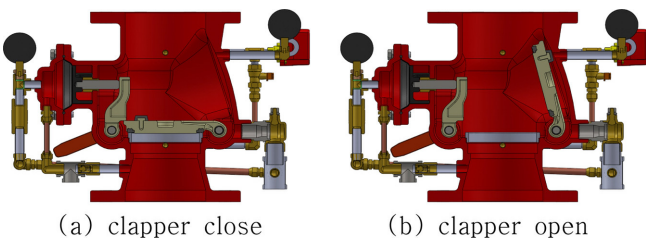


Fig. 10. Body structure of clapper type preaction valves.

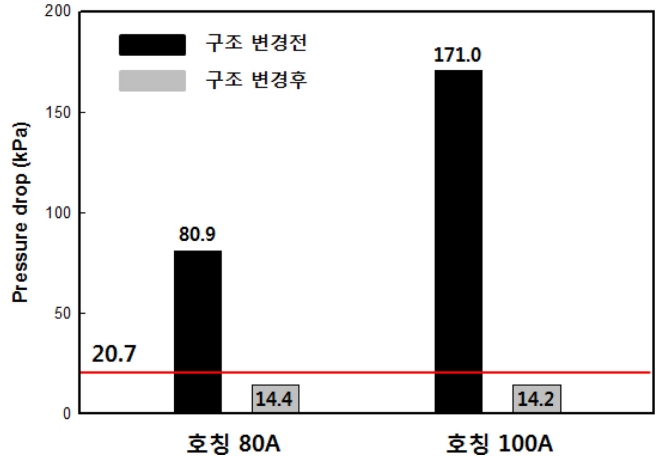


Fig. 11. Pressure drop of the preaction valve before and after the change of the structure.

유로의 방향변화가 없도록 설계한 것을 Fig. 10에 나타내었다. 구조 변경 전후의 준비작동식 유수검지장치에 대해 압력손실시험을 수행하여 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 호칭 80A의 경우는 압력손실 값이 80.9에서 14.4로 줄었으며 호칭 100A의 경우 171.0에서 14.2로 줄어들어서 기술기준에 적합한 결과가 나왔다.

3. 결 론

개정된 유수제어밸브의 압력손실시험 기술기준에 적합한 준비작동식 유수검지장치를 생산하기 위하여 다이어프램 타입의 본체 구조를 변경하고자 하였다. 습식과 준비작동식 유수검지장치의 본체 구조를 유체의 유동현상과 관련하여 검토한 결과, 기존의 다이어프램 타입의 준비작동식 유수검지장치 구조를 습식과 비슷한 클래퍼 타입으로 변경하여 기술기준에 적합한 압력손실 값을 얻을 수 있었다.

유수검지장치의 압력손실에 가장 크게 영향을 주는 요인은 본체 내 유로의 단면 크기 변화와 방향 변화이다. 따라서 개정된 압력손실시험 기준에 적합한 유수검지장치 본체를 설계하기 위해서는 유로 단면의 크기와 방향 변화를 최소화하는 것이 중요하다. 부득이하게 유로의 방향 변화가 생긴다면 유수의 진행 경로가 유선형이 되도록 설계하여 맴돌이가 생기는 후류의 영향을 최대한으로 없애야 한다.

감 사

본 연구는 한국소방산업기술원 ‘1사 1기술원 지원 프로그램’ 및 경기도 ‘기술닥터사업’의 지원으로 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다. 또한, 존경하는 공주대학교 화학공학과 박균영 교수님의 명예로운 정년퇴임을 진심으로 축하드립니다.

References

1. National Fire Safety Code 103, National Emergency Management Agency, Notification No 2012-89.
2. Standard for Alarm Valve and Preaction Valve, National Emergency Management Agency, Notification No 2012-69.
3. Carbon Steel Pipes for Pressure Service (KS D 3562:2009), Korean Agency for Technology and Standards(<http://www.kats.go.kr>).

4. McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P., Unit Operations of Chemical Engineering, 4th ed., McGraw-Hill, Singapore(1985).
5. Denn, M. M., Process Fluid Mechanics, Prentice-Hall, New Jersey(1980).
6. Welty, J. R., Wilson, R. E. and Wicks, C. E., Fundamentals of Momentum Heat and Mass Transfer, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York(1984).
7. Lee, C. W., Fluid Mechanics for Fire Fighting, Sidaegosi, Seoul (2010).