

플러그 밸브 유량 조절 특성 향상을 위한 실험적 연구

김태안 · 김운제* · 박권종** · 신학섭**

성균관대학교 대학원, *성균관대학교 기계공학부,

**경기중소기업청 기술지원과

An experimental study on the improvement of flow control characteristics of the plug valve

T.-A. Kim, Youn J. Kim*, G.-J. Park**, H.-S. Shin**

Graduated student, School of Mechanical Engineering

Sungkyunkwan Univ., Korea

**School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ., Korea*

***Regional Office of Gyeonggi, Small & Medium Business Administration, Technology Assistance Division, Korea*

1. 서 론

플러그(plug) 밸브는 원추형 플러그를 밸브 몸체 속으로 위에서 아래로 삽입하여 플러그를 수평면상에서 회전 작동시킴으로써 유로를 개폐할 수 있는 구조이며, 윤활 구조 또는 밸브 시트(seat) 사이의 마찰을 기계적으로 감소시킬 수 있는 구조를 가진 콕(cock)의 일종이다. 사용 유체가 부식성, 유독성이 있어서 누출되어서는 안 되는 공정라인 즉, 석유 화학, 발전소 등의 액체 및 화학약품 배관의 유로 개폐를 위하여 사용되는 밸브이기 때문에 제품의 불량으로 인하여 유발되는 피해는 매우 크다고 할 수 있다.

플러그 밸브의 종류는 기밀 유지 방식에 따라 비윤활식 플러그 밸브(라인드, 슬리브형)와 윤활식 플러그 밸브로 구분된다. 비윤활식 플러그 밸브는 밀봉요소로서 금속 시트, 합성수지 또는 탄성체 슬리브, 전체 또는 부분적인 라이닝이나 코팅 등을 사용하므로 윤활유가 필요하지 않기 때문에 유체오염이 발생하지 않는다. 또한, 밸브를 사용하는 동안 슬리브가 이탈이나 단락되는 것을 방지하기 위하여 기계적으로 구속되는 메카니즘을 구비하고 있다. 몸체의 경우도 이탈을 방지할 수 있도록 라이닝 또는 피복시 접합하거나 기계적으로 구속시키는 방법을 채택한다[1].

밸브의 유량 조절 기능을 고찰하기 위해서는 개도를 변화시켜 가면서 유량 변화를 측정하고 밸브 내부의 유동 특성을 파악하여야 한다. 또한 유량 조절 기능에 따르는 성능을

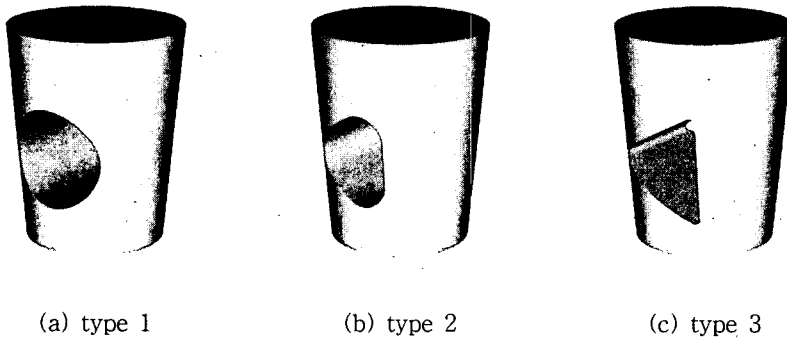


Fig. 1 Configuration of each port

가지기 위해서는 밸브의 유량계수 (C_v), 저항계수 (K) 압력강하에 따른 제반 관계식을 구하는 해석이 수반되어야 하고, 이를 통해 포트 형상 및 밸브 개도 등의 변화에 따른 유동 특성을 예측하는 것이 필요하다.

플러그 밸브 개발에 있어서 한가지 설계변수의 변경은 예측치 못한 여러 부분에 영향을 미치기 때문에, 유체역학적인 지식기반이 없는 상태에서의 밸브개발은 실험에 의한 시행착오를 거쳐 이루어질 수밖에 없다. 밸브 내부유동에 대한 종합적인 이해 및 각각의 설계인자들 사이의 상호 연관성을 규명하는 것은 매우 중요한 연구과제라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 플러그 밸브 포트 형상과 개도 변화가 유량 조절 특성에 미치는 영향을 실험을 통해 고찰하여 적절한 유량 조절 능력과 최적의 성능을 가질 수 있는 포트 형상을 확립하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 유체공급을 위한 펌프(MP-130A)와 유량을 측정하기 위한 유량계(0~90 l/min), 그리고 유체의 지속적인 순환을 위해 폐회로 형태의 관로를 제작하여 측정에 사용된 유체가 다시 탱크로 들어갈 수 있도록 장치를 구성하였다.

측정에 사용한 유체로는 일반적인 상온의 물을 사용하였다. 펌프 토출구와 연결되어 있는 밸브를 이용하여 유량을 조절하고 일정하게 흘러갈 수 있도록 하였다. 파이프 단면 지름은 30mm로 일정하게 제작하였다. 완전히 발달된 난류를 얻기 위해 플러그 밸브로 유체가 유입되기 전까지 파이프 길이를 파이프 지름의 30배 이상인 1m로 제작하였다. 포트 양단에는 파이프 높이와 폭에 따른 압력차

를 고려하여 압력탭(pressure taps)을 4군데 설치하였다.

플러그밸브 포트는 3가지로 제작하였다. Fig. 1에 도시한 바와 같이 가장 기본형인 type 1은 내경이 30mm로 파이프의 직경과 동일하다. Type 2는 파이프에 내접하는 정삼각형으로 각 꼭지점에 라운드를 파이프 직경의 1/4로 주었다. Type 3은 삼각형 모양으로 파이프에 외접하는 형태를 지니지만 삼각형의 한 꼭지점이 관에 내접하며 대변이 관에 외접하는 이등변 삼각형이며 각 꼭지점의 라운드는 직경의 1/20로 하였다.

일반적으로 밸브용량 및 밸브 유량 특성은 작동유체가 밸브를 통하여 압력강하를 야기할 때 유량계수 C_v 를 이용하여 표기한다. Darcy 공식에 적절한 등가 단위를 대치함으로써 다음과 같이 표기할 수 있다[2].

$$C_v = \frac{D^2}{\sqrt{K}} \quad (1)$$

또한, 밸브를 통하여 흐르는 저 점성계수의 유량은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

여기서 K 는 밸브로 인한 속도수두 손실을 나타낸다.

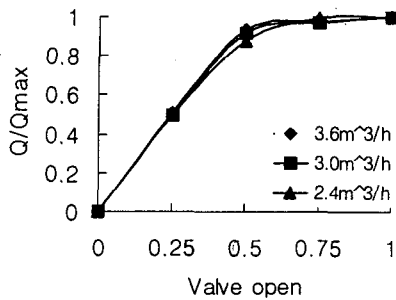
완전개방시 유량을 40, 50, 60 l/min이 되도록 일정하게 유지시키고 밸브를 full open, 3/4, 2/4, 1/4로 개도를 변화시켜가면서 실험을 수행하였다.

각 포트에 대해 4가지 개도에 따른 유량 및 밸브 양단의 압력차를 측정하여 완전 개방시 유량으로 표준화한 값을 구하여 밸브 유량 조절 기능을 고찰하였다. 또한 식 (1)과 (2)를 통하여 밸브 용량 및 유동특성을 파악할 수 있는 유량계수, 저항계수를 구하여 비교 고찰하였다.

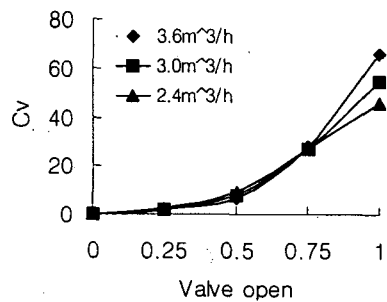
3. 실험결과 및 고찰

전술한 바와 같이 플러그 밸브의 주요한 기능 중에 하나는 유량 조절 기능으로 사용될 수 있는 것이다. 밸브를 완전개방, 1/4개방, 1/2개방, 3/4개방 시켜가면서 측정한 각 포트에 대한 결과들을 가지고 유량 조절 기능을 고찰하였다.

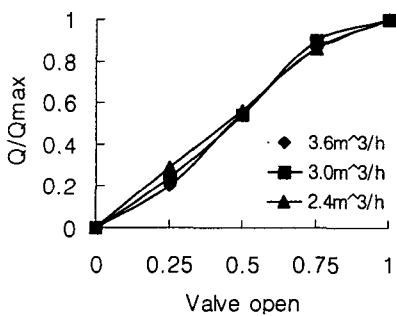
Fig. 2는 각 포트에 대해 완전 개방시 입구 유량이 2.4, 3.0, 3.6m³/h 일 때의 개도별 유량을 최대값으로 무차원화하여 표현한 것이다. 여기서 x축은 밸브개도를, y축은 유량을 최대값으로 무차원화시킨 값(Q/Q_{max})이다. Type 1을 살펴보면



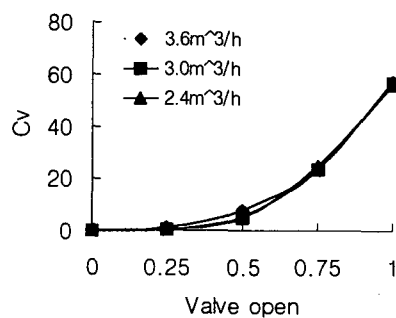
(a) type 1



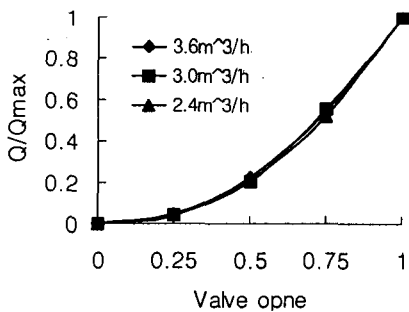
(a) type 1



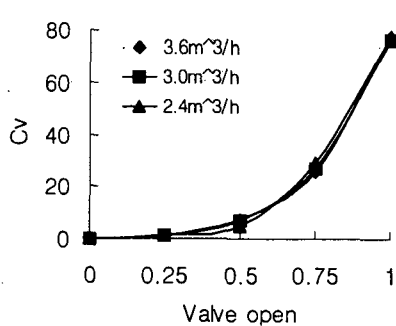
(b) type 2



(b) type 2



(c) type 3



(c) type 3

Fig. 2 Normalized flow rate with various ports & valve open

Fig. 3 Discharge coefficient with various valve open

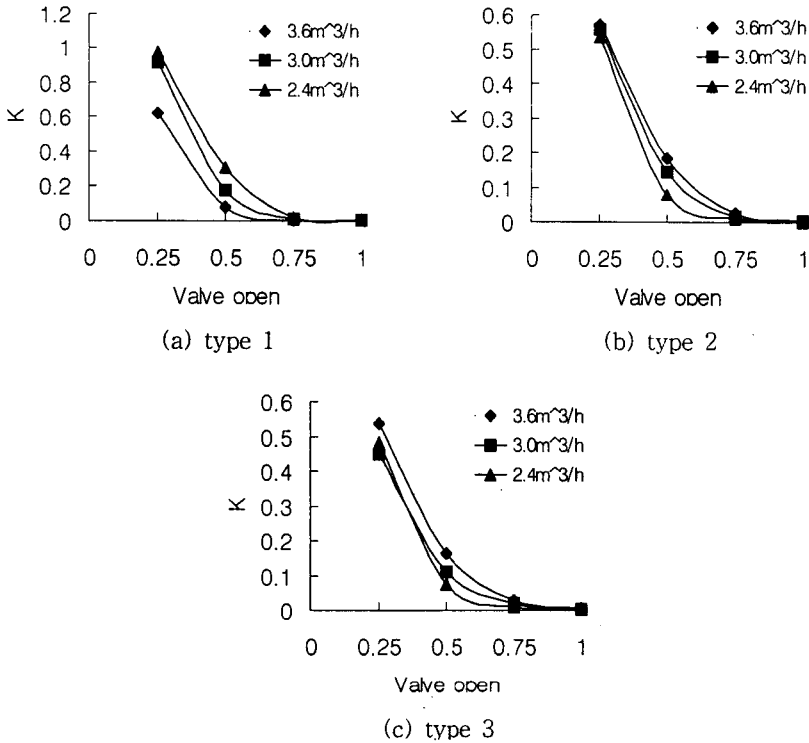


Fig. 4 Resistance coefficient with various valve open

면 1/2 개방시 최대유량의 85~90%가 흐르는 것을 볼 수 있다. 또한 밸브가 1/2 개방이 될 때까지 급속하게 유량이 증가하는 것을 보여준다. 각 개도에 따른 유량특성이 거의 일치함을 알 수 있으며, 이러한 일치성으로부터 실험의 재연성이 보장됨을 알 수 있다.

Type 2를 살펴보면 3/4 개방시 최대유량에 75~80%가 흐르는 것을 볼 수 있다. 또한 개도가 1/2가 될 때까지의 경향을 살펴보면 각 개도 변화에 따른 유량 변화가 type 1과는 다르게 단면 포트 형상이 내접 정삼각형인 경우 유량조절 특성이 선형적(linear open)임을 알 수 있다. Type 3을 살펴보면 1/2개방시 최대유량에 25~30%가 흐르는 것을 볼 수 있다. 또한 개도가 1/2이 될 때까지 경향을 살펴보면 각 개도에 따른 type 1과 type 2와는 다르게 급속한 증가나 직선형태를 가지는 것이 아니라 포물선 형태를 보여준다. 일반적인 control 밸브의 경우 linear open형태가 유량 조절에서 가장 우수한 것으로 알려져 있다[3,4]. 따라서 type 2가 유량 조절 능력에서 가장 우수한 것으로 판단된다.

실험을 통해 얻은 결과를 이용하여 저항계수(K)와 밸브의 성능을 나타내는 유

량계수(C_v)를 구하였으며, 이를 Figs. 3 & 4에 도시하였다.

Type 1의 결과를 살펴보면 유량이 증가함에 따라 유량계수가 증가하는 것을 볼 수 있다(Fig. 3 참조). 이것은 작동유체가 포트를 통과할 때 저항이 줄어드는 것을 의미한다. 결과로 유량계수가 커질수록 포트 양단의 압력차와 저항계수 값이 줄어드는 것을 알 수 있다. Type 1의 경우 완전 개방시 유량에 따라 유량계수 값이 45~65 사이로 비교적 크게 변하는 것을 볼 수 있다. Type 2를 살펴보면 type 1과 마찬가지로 유량이 증가함에 따라 유량계수가 증가하는 반면 밸브 양단의 저항계수는 감소하는 것을 볼 수 있는데(Figs. 3 & 4 참조), 유량계수 값은 55~57 사이로 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 또한, Type 3의 경우도 위의 두 포트와 같이 유량 증가에 따른 유량계수 값과 저항계수는 동일한 경향을 보여주고 있으며, 유량계수 값은 76~77 사이의 값을 나타내고 있다.

Fig. 4의 결과를 보면 밸브 개도 변화에 따른 저항계수 값은 개도가 증가할수록 3가지 형상 모두가 저항계수 값이 감소함을 알 수 있으며 특히 1/4~1/2사이의 개도에서 저항계수가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 개도 변화에 따른 유량 변화와 밀접한 관계가 있으며 급격한 저항 계수의 감소는 각각의 다른 형상들 사이에서 급격한 유량 증가의 원인이 됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 실험을 통하여 산업 현장에서 사용되고 있는 비윤활식 플러그 밸브의 유량 조절 특성 향상을 위한 연구를 실험적으로 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험을 수행한 세 가지 포트 형상 중에서 type 2의 경우가 직선(linear open)형태로 가장 우수한 유량 조절 특성을 나타내었다.
- (2) 밸브의 유동특성을 알 수 있는 유량계수를 각 포트에 대해 계산해 본 결과 type 3의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] API STANDARD 599, "Steel and Ductile Iron Plug Valves."
- [2] "밸브 및 배관을 통한 유체흐름", 도서출판 신기술, 서울(1990).
- [3] "Control Valve Handbook," Fisher Controls, Iowa(1994).
- [4] 최영호, "Water Balancing의 理論的 解析" 공기조화냉동공학학회지, 제22권 제3호, pp. 164~171(1993).