

실험실용 자가제작 제어밸브의 성능

Performance of a Home Made Control Valve for Lab Use

함 태 원, 김 영 한
(Tae Won Ham and Young Han Kim)

Abstract : A lab-use home made control valve was made of easily obtainable materials and its performance was examined through a fluid flow experiment. By modifying the hole of a commercial valve a linearly adjustable valve for the flow control is made. The detail of valve assembling and modification is explained for the researchers who intend to employ a similar control valve.

Keywords : control valve, mini valve, motor drive valve

I. 서론

실험실에서의 제어실험 뿐 만 아니라 분리공정, 반응공정, 생물공정, 열역학실험 등의 여러 가지 실험에서 유체의 흐름 조절용으로 제어밸브를 사용하여야 할 일이 많이 있으나 실험실용의 소형밸브를 구하기가 쉽지 않다. 기존의 공기압식 다이어프램 밸브가 있으나 값이 비싸고 쉽게 구할 수가 없으며 구조적으로 문제가 있어 유체에 소량의 고체찌꺼기가 혼입된 경우에는 밸브의 유체통로가 쉽게 막혀 전혀 예측치 않은 문제를 종종 경험할 수가 있다. 이것은 원형의 구멍을 가진 밸브시트에 플러그가 구멍을 적절히 막아서 유량을 조절하는 형태이기 때문이다. 게이트밸브를 사용하면 이러한 문제를 해결할 수 있는 데 게이트밸브에 모터를 연결하여 압력조절에 사용한 연구[1]가 발표된 바 있다. 또 최근에는 다이어프램 밸브의 성능을 개선하기 위하여 플러그의 위치를 측정하는 포지셔너에 위치 측정장치를 따로 부착하여 밸브의 동적 움직임을 관리하는 지능형 포지셔너 부착 제어밸브[2][3]가 소개된 바 있다.

그러나 새로 개발된 밸브 역시 대형밸브 뿐이기 때문에 실험실에서 필요한 소형이면서 앞에서 지적한 고체찌꺼기에 의한 밸브막힘이 없는 밸브는 아직 소개된 바 없다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 1/4인치 볼밸브를 이용하여 실험실에서 간편하게 사용할 수 있는 제어밸브를 제작하고 유량실험을 통하여 그 성능을 검증함으로써 여러 가지 용도의 유체흐름 조절용 밸브로 사용가능함을 제시하고 자 한다. 아울러 제작에 필요한 여러 가지 구체적인 사항을 소개하여 차후의 제작 사용자가 큰 어려움 없이 사용할 수 있도록 자세히 설명하였다.

II. 제어밸브의 크기 계산

제어밸브의 크기는 필요한 유량을 기준으로 계산[4][5]하는 데 보통 공정의 설계치 즉 정상상태에서의 설계유량의 4배[6]를 최대유량으로 하고 다음 식에서 밸브흐름계수를

를 계산하고 여기에 상응하는 밸브의 크기로 결정한다.

$$q = 3.46 F_P F_R C_V \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}} \tag{1}$$

여기서 q 는 유량이고 F_P 는 파이프의 모양에 따른 계수인데 밸브의 입구와 출구에 연결된 파이프의 구경에 변화가 없으면 그 계수가 1 이 된다. F_R은 유체의 흐름에 관계되는 계수로서 난류흐름에서는 1 이 된다. C_V 는 밸브흐름계수로서 밸브의 크기에 따라 정해지며 대표적인 값은 Mahoney [4] 에서 얻을 수 있으며 소형밸브에 적당한 값 [7]을 표 1에 나열하였다. P₁ 은 밸브입구에서의 압력이고 P₂ 는 출구에서의 압력이며 G_f 는 유체의 비중이다.

표 1. 밸브크기에 따른 밸브흐름계수

Table 1. Valve hole size and valve flow coefficient.

hole size (inch)	Cv
1/4	0.015
3/8	0.06
1/2	0.1
3/4	0.15
1	0.23

III. 밸브의 구조 및 제작

실험에 사용한 밸브는 시중품의 1/4 인치 스텐레스스틸 볼밸브이고 여기에 정역회전이 가능한 분당 6 회전의 기어드 모터를 연결하였다. 모터는 100 v 용 3 w 용량의 유도식이고 기어박스가 연결된 것으로 시중에서 쉽게 구할 수 있는 제품이다.

그림 1에 밸브와 모터가 연결된 전체구조의 그림이 나타나 있다. 밸브의 축과 모터의 축이 커플링으로 연결되어 있고 밸브와 모터는 철판으로 제작된 구조물에 고정되어 배관에 밸브가 설치되었을 때 따로 모터를 고정할 필요가 없다. 볼밸브는 작동범위가 90 도이므로 그 범위 밖으로 움직이면 모터에 공급되는 전기가 끊어지도록 두 개의 푸쉬버튼 스위치가 리미트스위치로 부착되어 있다.

볼밸브는 열리는 구멍이 하나로 되어 있어 통과하는 유체에 고체입자가 섞여 있어도 쉽게 흘러갈 수 있는 장점이

접수일자 : 2000. 2. 2., 수정완료 : 2000. 5. 19.

함태원 : 화인테크놀로지 기술연구소

김영한 : 동아대학교 화공과

※ 본 연구는 동아대학교 2000학년도 교비 특정목적 연구지원에 의한 것입니다.

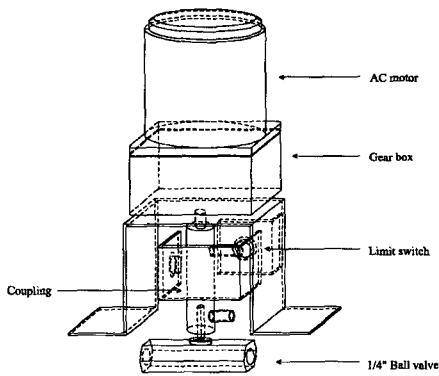


그림 1. 자가제작밸브의 도면.
Fig. 1. Schematic diagram of a home-made valve.

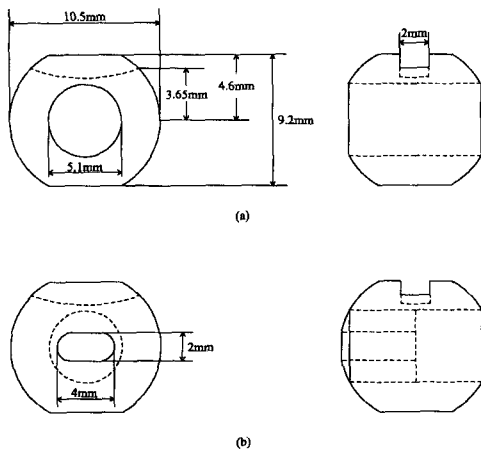


그림 2. 밸브볼의 구멍그림. (a) 원래모양, (b) 수정된 모양.
Fig. 2. Illustration of hole in valve ball. (a) Original, (b) Modified.

있다. 그러나 회전하는 각도와 구멍 단면적의 증가량 사이에 비선형적인 관계가 있어 유량조절에 문제를 일으킬 수 있다. 즉 처음 열릴 때와 마지막 열릴 때는 밸브의 같은 회전량에 대해 흐름단면적이 적게 증가하는 데 반해 중심부근에서는 많이 증가하는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위하여 그림 2(b)에서와 같이 밸브의 구멍을 황동봉을 잘라서 매우고 대신 옆으로 길게 구멍을 다시 파서 구멍의 양쪽 갭부분과 가운데 부분이 일정한 회전각도에 대해 흐름구멍 단면적이 유사하도록 하였다. 보통 제어용으로 사용하는 밸브는 원형의 구멍을 가진 밸브시트(seat)에 원추형 플러그를 사용하기 때문에 유체가 지나는 공간은 도너츠형이며 소형의 제어밸브인 경우 도너츠형 유로의 두께가 대단히 얇아 쉽게 찌꺼기가 끼는 문제가 있는데 불밸브를 사용함으로써 이러한 문제를 해결하였다. 그러나 불밸브의 구멍이 원형이어서 밸브의 회전각도에 비례하여 통로의 단면적이 커지지 않으므로 유량의 선형적 조절이 어려워 이를 개선하기 위하여 직사각형에 가까운 홈을 제작하였다. 개량한 구멍의 모양은 그림 2의 (b)에서 나타낸 바와 같이 한번이 2 mm인 정사각형의 양 옆에 직경 2 mm의 반

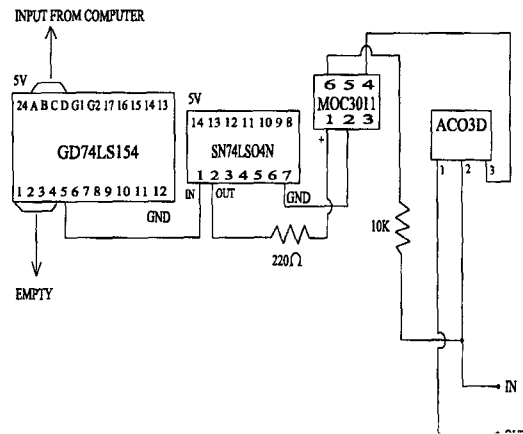


그림 3. 기어모터 제어용 회로도.
Fig. 3. Electric circuit for the control of a geared motor.

원이 더해진 형태이다.

모터의 회전속도는 6 rpm 으로 밸브가 완전히 닫힌 상태에서 완전히 열릴 때까지 2.5초가 소요되나 실제 사용할 때는 미량의 조절이 되어야 하므로 모터회전의 시간은 밀리초 단위로 조절이 가능하여야 한다. 그림 3은 PC에서 계산된 시간 만큼의 디지털신호에 의해 모터에 공급되는 전기를 변화하는 회로도이다. PC에서 계속 신호가 나와도 밸브에 부착된 리미트 스위치가 작동하면 밸브의 동작범위 밖으로는 더 열리거나 닫히지 않기 때문에 PC에서는 이를 고려할 필요가 없다.

모터의 움직임을 보다 정밀하게 조정하기 위하여 펄스당 1.8 도의 회전을 하는 스텝핑 모터에 1/60 감속의 기어를 부착하여 유량조절 시험을 하였으나 스텝핑모터에 적은 회수의 펄스가 가해질 때 펄스 수에 비례하는 회전이 얻어지지 않아 모터의 회전을 원하는 대로 얻을 수 없는 문제점이 발생하였다. 결국 이러한 방법으로 유량조절을 하는 것이 여기서 제안하는 방법에 비해 훨씬 나쁜 결과를 얻었다.

IV. 실험

그림 4에 유량실험을 하는 전체장치의 장치도가 나타나 있다. 수조에 있는 물을 펌프로 공급하여 압력계를 보면서 필요한 압력이 되게 밸브를 조절하여 나머지는 수조로 순환시킨다. 펌프에서의 물은 오리피스를 거쳐 제어밸브를 지나고 마지막 조절밸브를 거쳐 수조로 들어가게 되어 있다. 불밸브의 압력강하가 적기 때문에 소량의 유량변화를 제어하기가 곤란하여 그림 4에서 보는 바와 같이 제어밸브의 후면에 추가의 불밸브를 설치하여 제어밸브의 설계유량에 맞게 조절함으로써 제어밸브의 제어성 저하에 대비하도록 설계하였다.

그림 5에 오리피스의 구조가 표시되어 있다. 오리피스판을 설치하기 위하여 3/8 인치 1/4 인치 황동 래듀서의 양쪽에 1/4 인치 유니언이 연결 가능하도록 뿔을 사용하여 나사를 내고 직경 11 mm, 두께 3 mm의 오리피스판의 한

가운데 2 mm의 구멍을 낸 다음 양쪽에 두께 1 mm의 실리콘 고무판을 잘라 가스켓으로 사용하였다. 이렇게 하면 오리피스의 설치가 쉽고 언제든지 교체가 가능하며 간단히 자체제작을 할 수가 있다

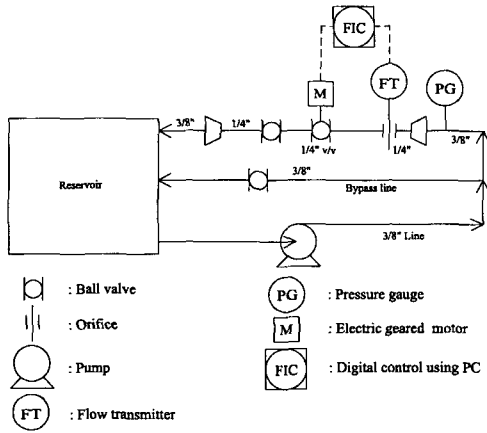


그림 4. 실험장치.
Fig. 4. Experimental setup.

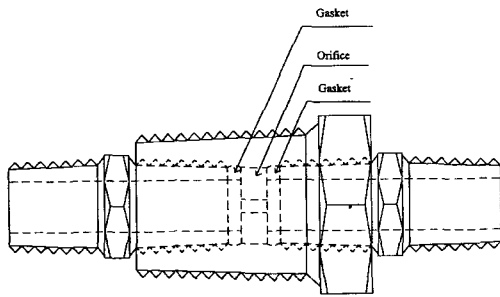


그림 5. 오리피스의 도면.
Fig. 5. Schematic diagram of an orifice.

오리피스의 양단에서 압력탭을 내어 차압전송기(Konics사, 모델 LD301)에 연결하였다. 차압전송기의 전류신호(4-20 mA)는 100 옴의 저항을 사용하여 전압신호로 변환하고 이를 A/D 카드가 내장된 PC로 보내어 측정치가 PC에 입력되도록 하였다.

V. 결과 및 고찰

양의 보정을 위하여 0.044, 0.052, 0.061 MPa의 3가지 압력에서 오리피스 양단 간의 압력과 유량과의 관계를 그림으로 표시한 것이 그림 6과 같다.

유량은 1분간 직접 받아서 측정한 값이다. 그림의 원표시는 0.44 MPa, 십자표시는 0.52 MPa, 곱하기표시는 0.61 MPa의 압력에서 측정된 값으로 압력에 무관하게 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$\Delta p = 4.96 \times 10^{-4} q^{1.92} \quad (2)$$

여기서 Δp 는 kPa 단위의 압력차이고 q 는 L/s 단위의 유량을 나타낸다. 그림에서의 실선은 이식으로 얻은 값을 나타낸 것으로 실험자료에 잘 맞고 있다.

밸브의 위치에 따른 유량의 변화를 그림 7에 표시하였

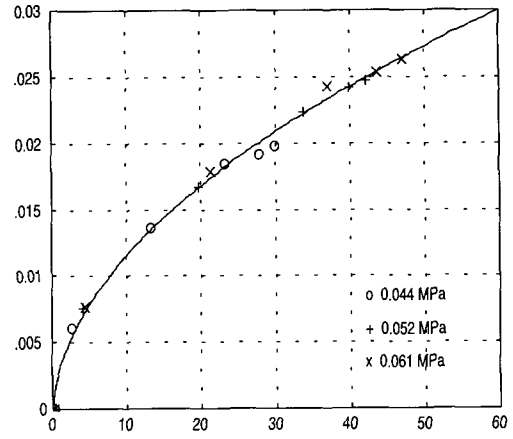


그림 6. 압력차와 유량의 관계.
Fig. 6. Relationship between pressure difference and flow rate.

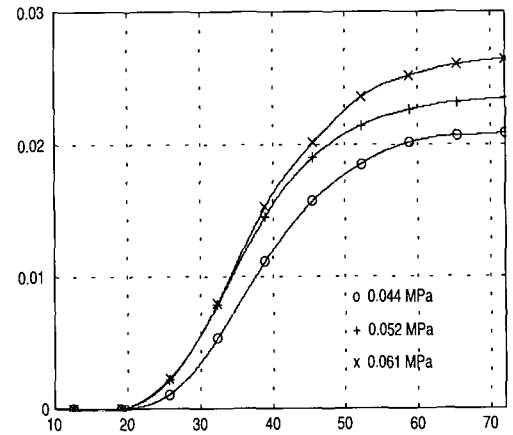


그림 7. 원래 밸브의 회전위치에 따른 유량의 변화.
Fig. 7. Variation of flow rate at different position of valve with a round hole.

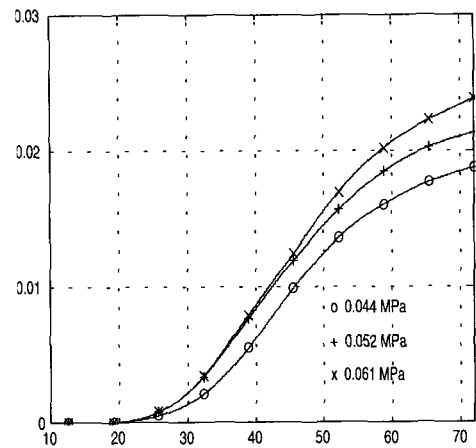


그림 8. 수정된 밸브의 회전위치에 따른 유량의 변화.
Fig. 8. Variation of flow rate at different position of valve with a modified hole.

다. 밸브의 위치는 상대적인 값으로 완전히 닫혔을 때를 20 완전히 열렸을 때를 100으로 표시한 것이다. 그림 7의

밸브는 시중에서 구한 밸브를 그대로 사용하였을 때이고 밸브의 구멍을 가로로 다시 파서 제작한 밸브로 실험한 결과는 그림 8과 같다. 두 그림에서 알 수 있는 바와 같이 밸브위치 40에서 80사이의 유량변화를 보면 그림 7의 경우에는 직선적인 관계가 없으나 그림 8의 경우에는 거의 직선적인 관계가 있음을 알 수 있다. 그러므로 밸브의 움직임에 따라 유량을 직선적으로 변화시킬 필요가 있는 경우에는 그림 2(b)에서와 같이 밸브의 구멍을 다시 파서 사용하면 직선적인 유량변화를 얻을 수 있어 유량조절이 훨씬 쉬워진다. 그림 7과 8에 표시된 압력은 그림 4의 장치그림 중에 있는 압력계로 측정된 압력이며 실제 제어밸브에서 생긴 압력강하는 밸브가 최대로 열렸을 때 시중품의 경우 9.2 kPa이고 제작된 밸브는 13.7 kPa 이다. 그러므로 제작된 밸브의 유량이 구멍 단면적에 비해 더 큰 값을 가진다.

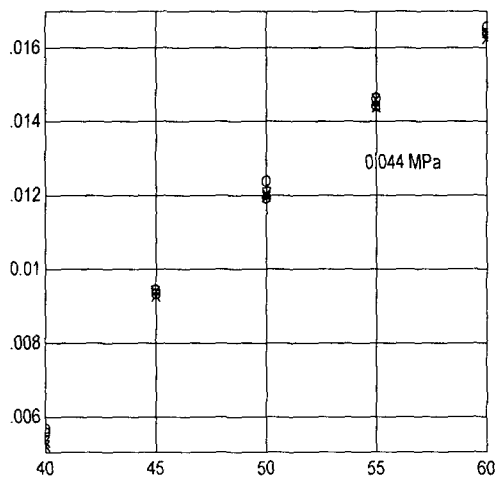


그림 9. 반복실험에서의 유량변화.
Fig. 9. Variation of flow rate in different runs.

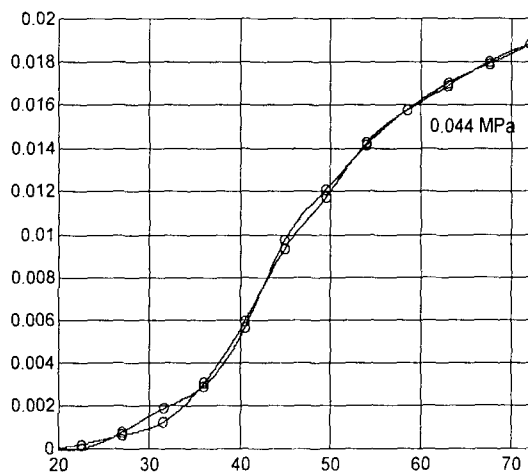


그림 10. 밸브를 열때와 닫을 때의 히스테리시스.
Fig. 10. Hysteresis in valve opening and closing.

조절정밀도를 측정한 결과 밸브의 최소 회전각도가 0.7도이고 압력이 0.044 MPa인 경우 최소 유량변화량이 0.5 mL/s 이다. 재현성을 조사하기 위하여 동일 조건에서 3회 실험한 결과를 그림 9에 나타내었고 그림에서와 같이 재현성이 양호하다. 또 hysteresis를 측정하기 위하여 동일압력에서 밸브를 열 때와 닫을 때의 유량 변화를 그림 10에 나타내었는데 큰 hysteresis는 보이지 않았다.

VI. 결론

실험실에서 사용할 수 있는 소형의 유량조절용 제어밸브에 관하여 여러 가지 고려사항을 제시하고 실제 밸브를 제작하여 유량조절의 성능을 시험해 본 결과를 설명하였다.

시중에서 간단히 구할 수 있는 재료들로서 제작하였기 때문에 실험실적 사용에 용이하고 밸브의 구멍을 원형에서 일자형 홈으로 바꿈으로서 유량의 변화와 밸브의 움직임 사이에 직선적인 관계가 있는 밸브를 만들 수 있었다. 실제 제작에 필요한 사항을 가능한 한 자세히 설명하여 차후에 밸브를 자가제작할려는 연구자들에게 도움이 되도록 하였다.

참고문헌

- [1] H. C. Barshilia, B. Kalmar, N. R. Winsor, and G. Kershmann, "Automated gate valve operation for pressure control," *Rev. Sci. Instr.*, vol. 69. no. 2, pp. 496-498, Feb., 1998.
- [2] A. Reeve, *C & I*, 1, 27 1995.
- [3] S. Omidbakhsh and B. O. Paul, "New positioner technology simplifies control schemes," *Chem. Proc.*, vol. 59. no. 11, pp. 24-28, 1996.
- [4] J. Mahoney, "Selecting a control valve," *Chem. Proc.*, Fluid Flow Ann., pp. 24-30, 1996.
- [5] ISA, "How to size liquid control valves," *Chem. Proc.*, vol. 61. no. 11, pp. 31-36, Nov., 1998.
- [6] Kim, Y. H. and Luyben, W. L.: *Chem. Eng. Commun.*, 128, 65, 1995.
- [7] Fisher Controls Co.: *Control Valve Handbook*, 2nd ed., Fisher Controls Co., 1977.

사용기호

- C_v : valve flow coefficient
- F_p : piping geometry factor
- F_R : Reynolds number factor
- G_f : specific gravity
- P_1 : upstream pressure [kPa]
- P_2 : downstream pressure [kPa]
- p : pressure [kPa]
- q : volumetric flow rate [L/s]

**함 태 원**

1988년 동아대 화공과 졸업. 동대학원 석사(1990), 동대학 박사(1997~). 대한유화공업(주) 기술연구소 선임연구원(1990~1998), 1998~현재 화인테크놀로지 기술연구소 책임연구원.

**김 영 한**

1976년 동아대학교 화학공학과 학사. 1980년 한국과학기술원 화학공학과 석사. 1984년 미국 Lamar Univ. 화학공학과 박사. 관심분야 : 화학공정설계, 화학공정제어, 화학공정센서.