

긴급차단용 안전밸브의 성능해석

송희용*, 박경암**, 고성호***

Performance Analysis of Emergency Shut-Off Safety Valve

H. Y. Song*, K. A. Park**, S. Ko***

Key Words: Safety valve(안전밸브), Overflow(과류), Differential pressure(차압), Flow rate(유량)

ABSTRACT

Emergency shut-off valve was developed to shut off natural gas at the front of a gas meter in the house. The shut-off flow rate and differential pressure of this valve was controlled by adjusting the distance between the spool and magnet. Also the spool shape was an important factor in the performance of this valve. The experimental and computational results will be useful for the design having better performance.

1. 서 론

현대 사회를 유지하고 발전시켜 나가는 가장 중요한 힘은 단연코 에너지라 할 수 있다. 사회가 발전함에 따라 점점 더 많은 에너지의 공급을 필요로 하게 된다. 그 중에서도 유체로 된 에너지의 수송을 담당하고 있는 배관 망은 지하 및 건물에 복잡한 형태로 얽혀 있으나 일반화된 지하 매설 지도가 제대로 확보되어 있지 못하다. 그로 인해 각종 지하굴착 공사 시에 배관이 파열되는 사고가 빈번히 일어나고 있으며 때로는 대형 사고로 이어져 많은 인명 피해를 가져오기도 한다. 정확한 매설 지도가 확보된다 하더라도 사람들이 생활하고 있는 곳이면 어디든지 이어져 있는 에너지 공급 망을 일일이 관리하기란 결코 쉬운 일이 아니다. 또한, 배관을 사용하는 공급 망은 지진이라는 자연재해에 노출되어 있으며 결국 대형 사고로 이어질 위험을 항상 안고 있는 것이다. 따라서, 배관의 파열 사고 시에 자동으로 작동하여 대량 유출을 조기에 방지하고 해당 유체의 손실을 방지하는 것은 물론 대형사고로 이어지는 것을 막을 수 있는 긴급차단용 안전밸브의

개발이 절실히 요구된다.

긴급차단용 안전밸브는 국내에서는 사용되고 있지 않으며 선진국에서 사용되고 있는 차단밸브 또한 전기적인 동력에 의한 작동 방식으로 전원 공급이 차단되는 경우 그 기능을 제대로 발휘할 수 없는 단점이 있다. 그래서 전원 공급이 없이 작동할 수 있는 차단밸브의 개발에 대한 연구가 선진국에서 진행되고 있으며 실제로 몇 가지의 모델이 개발되어 상용화되고 있다. 하지만 국내에서는 구체적인 연구가 전무한 실정이다.

최근 (주)청정엔지니어링에서는 배관 파열이나 지진 발생 시 자동으로 차단되어 대형사고를 방지할 수 있는 긴급차단용 안전밸브를 개발하게 되었다.

본 연구의 궁극적인 목적은 (주)청정엔지니어링에서 개발중인 긴급차단용 자동 안전밸브의 성능에 대한 실험 데이터와 수치해석 자료를 제공함으로써 개발에 유용한 정보를 제공함에 있다.

2. 실험

2.1. 긴급차단용 안전밸브의 구조

안전밸브는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 밸브 몸체 상부에 설치된 감진추(vibration sensing unit)의 하단

* 충남대 대학원
** 한국표준과학원
*** 충남대

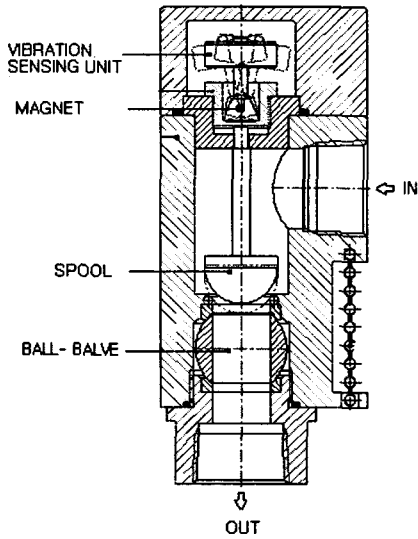


Fig. 1 Schematic of the Safety Valve

부착된 영구자석에 스푼이 밸브의 유로 상에 구비된 밸브시트면(O-RING)과 일정한 간격을 유지하며 매달려 있고, 그 하단에 복구기능 및 밸브의 수동 개폐기능을 하는 볼밸브로 구성되어 있다.

유체의 유동이 시작되면 감진추 하부의 영구자석에 매달린 스푼에 유체의 유동에 의한 압력이 작용하며 설정 유량 이상으로 유체가 흐르게 되면 스푼에 작용하는 압력이 감진추에 장착된 영구자석의 자력보다 커지게 되므로 스푼이 밸브시트면(O-RING)으로 낙하하여 유로를 차단하게 된다.

2.2. 실험장치 및 방법

압축기에서 토출된 압축공기는 제습기를 거쳐 저장조에 저장된다(Fig. 2). 이 압축공기는 압력조절밸브를 통하여 가정용 도시가스 배관망의 압력과 같은 280 mmHgO로 조절되어 교정된 정밀급 면적식 유량계(Rotameter)를 거쳐 긴급차단밸브로 공급된다. 긴급차단밸브의 전후 압력은 마노메타로 읽었으며 긴급차단밸브의 후단에 가정에서 사용하는 가스기기를 모사할 수 있는 3개의 밸브를 연결하였다.

긴급차단용 안전밸브의 설정 유량까지 점진적으로

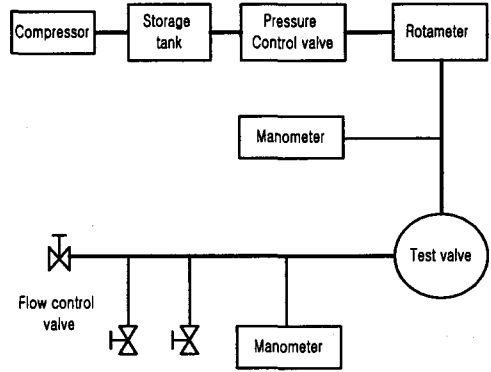


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus

유량을 증가시킬 때 이 밸브는 작동하지 않아야 한다. 유량을 설정 유량의 115% 까지 증가시키면 이 밸브는 닫히도록 설계되어 있다. 밸브가 닫히는 유량을 측정하고 그때의 차압을 읽어서 밸브의 성능을 평가한다.

3. 수치해석

스플을 포함하는 밸브의 복잡한 형상에 의해 박리(separation)와 이차유동(secondary flow)을 포함하는 복잡한 난류유동이 밸브내에 형성된다. 본 연구에서는 전산유체해석 상용프로그램 CFX5를 사용하여 Navier-Stokes 방정식의 해를 구함으로써 수치해석을 수행하였다.

긴급차단 자동 안전밸브 내의 가스유동은 압축성의 효과를 무시할 수 있는 비압축성 유동이므로 유동의 지배방정식은 다음과 같은 Navier-Stokes 방정식이다.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 가스의 밀도, \vec{V} 는 속도 벡터, g 는 중력가속도, p 는 압력, μ 는 가스의 점도이다. CFX5의 Solver를 통해 연속 방정식과 식(1)의 지배방정식을 동시에 만족시키는 해를 구하게 된다.

다음의 Fig. 3은 CAD 설계도면으로부터 얻은 표면 형상으로부터 구성한 계산영역을 보여주고 있다.

계산영역은 최종적으로 약 27,000개의 절점(node)과 140,000개의 비정렬 체적요소(unstructured volume elements)로 구성되었다.

해석에는 Windows NT machine을 사용하였으며

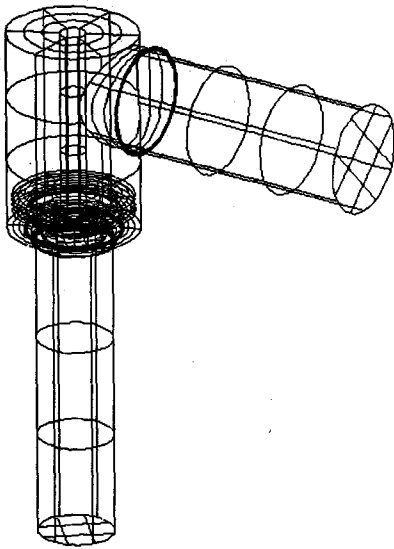


Fig. 3 Computational domain

의 조건에 대해 약 3시간 정도의 계산시간(run time)이 소요되었다.

4. 결과 및 고찰

실험 및 수치해석에는 Fig. 4에 보이는 네 가지의 다른 형상의 스푼에 대한 성능평가와 유동장을 모사하였다. 본 연구에서는 이들을 구분하기 위해 각각 Type1, Type2, Type3, Type4라고 이름지었다. 스푼 주위에는 복잡한 유동이 형성되고 스푼 아래면을 따라 유체가 가속이 되면서 스푼 아래면에는 낮은 압력이 형성된다. 스푼의 윗면과 아래면에 작용하는 압력의 차에 의해 밸브가 작동된다는 점을 고려하면 적절한 스푼 형상을 도출하는 것은 매우 중요한 일이라 하겠다. 또, 스푼과 밸브시트와의 간격변화에 따른 영향을 살펴보았다. 기준 설계치수에서 변경된 밸브시트의 높이를 Fig. 5에서와 같이 Δd 로 표시하였으며 Δd 는 결국 밸브 내에서 유체가 통과하는 최소 면적을 조절하게 된다. Δd 가 증가하면 밸브 내 유체가 통과하는 최소 면적은 감소하게 된다.

4.1. 실험결과

Fig 4의 스푼 형상중에서 대표적인 Type2의 과

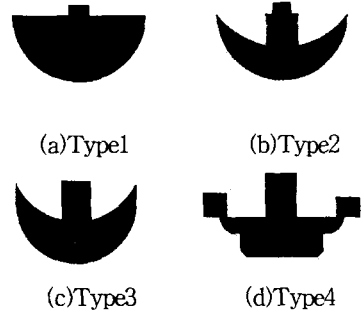


Fig. 4 Four different types of spools simulated

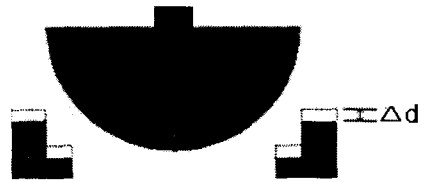


Fig. 5 Lifting Distance Δd

류 성능 실험결과와 Fig. 6, 차압 실험결과와 Fig. 7과 같다. 이 밸브의 상류 압력은 280 mm H₂O로 고정시키고 11개의 시제품 밸브에 대한 실험을 수행하였다.

Fig. 6의 유동율은 안전밸브가 닫히기 바로 직전의 유동율이며 X축 거리는 스푼과 자석사이의 거리이다. 스푼을 지지하는 자석의 힘은 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 거리가 유동율에 미치는 영향이 매우 크다는 것은 알 수 있다. 거리를 0.4 mm 정도 변화시키면 안전밸브가 닫히는 유동율은 약 1/3 정도까지 감소한다. 따라서 거리를 조정하는 원하는 유동율을 설정할 수 있으며 성능평가를 할 때 거리 조절이 간편하도록 설계되어야 한다. 거리를 버니어 캘리퍼스로 측정하였으며 거리측정의 오차, 자석의 세기 차이 등에 기인하여 시제품 사이의 성능곡선에 차이가 있는 것으로 사료된다.

가정용 도시가스에 공급되는 압력이 250 - 300 mm H₂O 정도이며 가스기에 공급되어야 하는 압력이 있어 안전밸브에서 발생하는 압력손실 - 차압이 작아야 한다. 차압의 크기는 거리에 영향을 많이 받으며 0.4 mm 변화에 차압은 약 1/5 정도까지 변한다. 여기서 발생하는 최대값인 20 - 30 mm 정도는 허용될 수 있는 압력손실이다. 유동율 결과와 같이 경향은 같으나 데이터가 다른 것은 거리측정의 오차에 기인한 것 같다.

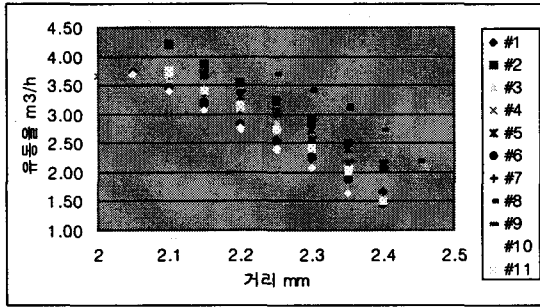


Fig. 6 Overflow test results for Type2

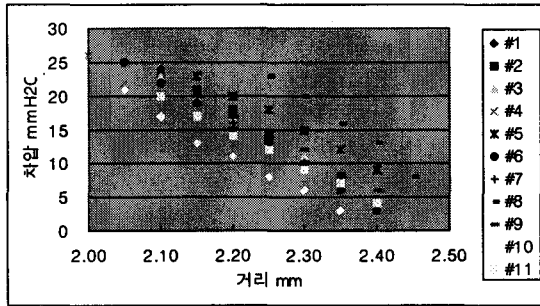


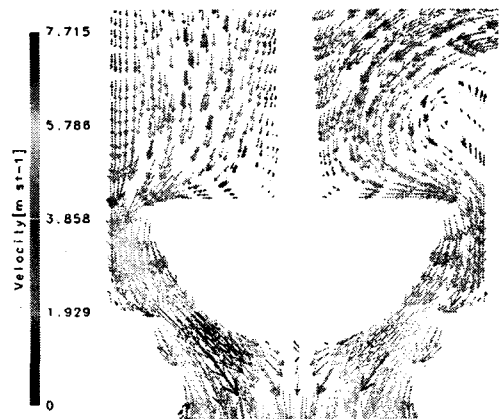
Fig. 7 Overflow test results for Type2

4.2. 수치해석 결과

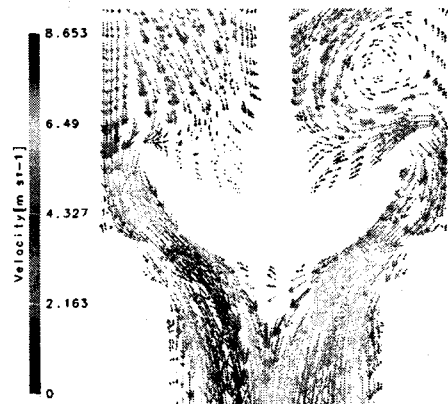
Fig. 8은 스플 주위에 가스의 흐름을 상세하게 보여주고 있다. 스플의 위 부분의 형상이 오목한 형태를 띠고 있는 Type2, Type3, Type4는 입구 쪽에서 가스의 흐름이 맴도는 현상이 뚜렷이 나타나 압력을 크게 떨어뜨리는 역할을 하고 있다. 스플의 위 부분 형상이 입구 측에서 가스의 흐름이 맴도는 현상의 크기를 조절할 수 있음을 Fig. 8에서 쉽게 유추할 수 있다. 또, 가스가 스플을 통과하고 난 후의 흐름은 스플의 아래 부분 형상에 영향을 받고 있다. 스플의 아래 부분이 유선형을 띠고 있는 Type1, Type2, Type3은 비교적 원만한 흐름을 보여주고 있지만 그 형상이 급격히 변하는 Type4의 경우 스플을 통과한 가스가 와류를 이루어 복잡한 유동을 형성하고 압력을 급격히 떨어뜨리는 역할을 할 것이라는 것을 쉽게 이해할 수 있다. 스플 주위의 가스 흐름에 영향을 주는 또 다른 요소는 가스가 통과하는 유로의 최소 면적이다. Fig. 8의 (c)와 (d)에서 알 수 있듯이 스플과 벽면이

이루는 유로가 비교적 작은 Type3, Type4에서 Type1, Type2에 비해 속도가 급격히 증가하게 됨을 볼 수 있다. 이처럼 스플의 형상은 가스의 흐름에 지배적인 영향을 주고 있으며 스플에 의해 영향을 받은 가스의 흐름은 압력을 변화시키고 스플에 다양한 형태의 힘을 가하게 된다.

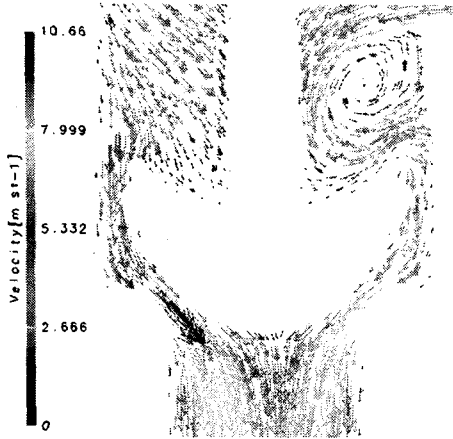
Fig. 8의 (b), (c)에서 보듯이 Type2와 Type3에서의 가스 흐름이 유사하여 Type3에 대한 유량 변화에 따른 힘 및 압력강하의 변화는 생략하였으며 Type1, Type2, Type3이 출구 측과 만나는 부분의 형상이 유



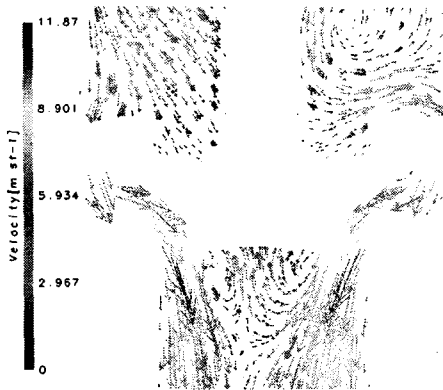
(a) Type1



(b) Type2



(c)Type3



(d)Type4

Fig. 8 Velocity vectors around the spools

사하여 Δd 의 변화에 따른 힘 및 압력강하의 변화는 Type3, Type4에 대해서만 수행하였다.

Fig. 9는 유량변화에 따른 스톨에 작용하는 힘의 변화를 보여주고 있다. 일정량 이상의 유량이 흐르면 스톨에 큰 힘이 걸리게 되고 자력이 지탱할 수 있는 힘을 넘어설 경우 밸브가 작동되도록 하는 원리를 이용하기 때문에 유량에 따른 힘의 변화는 긴급차단용 안전밸브의 성능 평가의 가장 중요한 요소이다. Type4는 Type1과 Type2에 비해 비하여 복잡하고 좁은 유로가 형성되어 유량에 민감한 힘의 변화를 보여주고 있지만 좁은 유로와 각이 진 모서리 때문에 급격한 압력강하를 유발하여 자칫 에너지의 손실이라는 배관

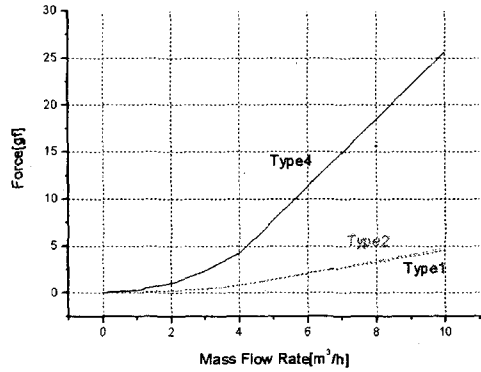


Fig. 9 Variation of down force acting on the spool

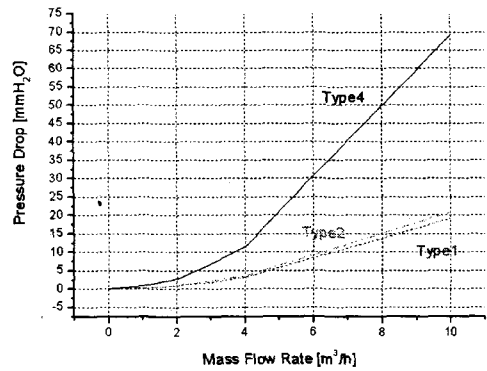


Fig. 10 Pressure drop across the valve

본연의 임무에 비효율적일 수 있다. 이에 유량에 따른 압력강하의 비교 또한 밸브의 개발에 중요한 요소가 된다.

Fig. 10은 유량변화에 따른 압력강하를 보여주고 있다. Fig. 9에서의 힘의 변화와 유사한 경향을 보여주고 있다.

다음의 Fig. 11은 각각 스톨에 작용하는 힘과 밸브 내에서의 압력강하의 Δd 에 따른 변화를 보여주고 있다. Type3과 Type4에 대하여 정리하였으며 보는 바와 같이 유량의 영향과 유사한 경향을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구는 긴급차단용 안전밸브의 성능을 실험적

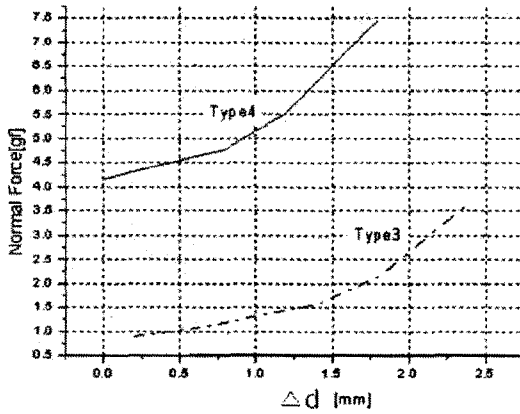


Fig. 11 Down force acting on the spool according to the variation of Δd

으로 그리고 수치적으로 해석으로 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 안정밸브의 성능평가 결과 스펴의 형상, 특히 스펴과 자석사이의 거리가 밸브가 닫히는 유동율과 압력손실에 미치는 영향이 매우 크다.
2. 밸브가 닫히는 유동율은 가스 산업체에서 원하는

값으로 조절이 가능하다.

3. 이 결과는 용량이 큰 산업용 안전밸브의 기어한 설계 자료로 활용될 것이다.

후 기

본 연구는 2001년도 중소기업기술혁신개발사업 지원을 받아 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 편자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Hutchison, J.W., ISA Handbook of control valves, 2nd edition, ISA, 1976
2. Lyons, J.L. and Askland, C.L., Lyons' encyclopedia of valves, Van Norstrand Reinhold Company, 1975
3. Miller, R.W., Flow measurement engineering handbook, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1996
4. ASCE 25-97, "Earthquake-actuated automatic gas shutoff devices", American Society of Civil Engineering, 1997