한국기계가공학회지, 제10권, 제2호, pp. 46-51 (2011. 4)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10 No. 2, pp. 46-51 (2011. 4)

개폐 각도에 따른 볼 밸브에서의 유동 해석에 관한 연구

조재웅*, 한문식#

A Study on Flow Analysis at Ball Valve according to Opening and Shutting Angle

Jae-Ung Cho*, Moon-Sik Han#

(Received 2 November 2010; received in revised form 24 March 2011; accepted 28 March 2011)

ABSTRACT

This study result is obtained by flow analysis according to opening and shutting angle of ball valve. As opening and shutting angle becomes larger, vortex flow becomes smaller and flow rate becomes increased. And the pressure drop is shown to be smaller at the inlet and outlet of ball. As this angle becomes larger, mass flow rate becomes increased. Its rate becomes increased abruptly in case of opening and shutting angle at more than 60○. This analysis result can be applied usefully with no leak at pipe system field by the optimum control of mass flow rate according to opening and shutting of ball valve.

Key Words : Ball Valve(볼밸브), Flow Rate(유량), Pressure Drop(압력강하)

1. 서 론

최근 들어 급격히 이루어진 산업발전의 시대에 그 산업의 전반에 사용된다고 해도 과언이 아닌 것이 바로 배관시스템이다. 배관시스템은 매우 다양한 유체를 취급하게 됨으로 수송 유체의 물리적, 화학적 성질에 따라 다양한 재질의 밸브가 사용된다[1,2]. 사용되는 밸브의 한 종류로서의 볼 밸브는 90° 회전밸브로서 매우 양호한 기밀유지 특성을 갖고 있으며, 이는 범용의 밸브 중에서 특히 저압의 상온 유체를 차단하고 제어하는 특성에 강하다는 특징을 지니고 있다[3-5]. 같은 호칭을 가진 타 종류의 밸브보다도 간단한 구조 및 보수의 용이성, 제작성의 편리성 등 경제적인 측면이 많은 반면 시트구조의 치밀성 및 배관 계통의 설치 시 주의해야 할 단점도 있다. 결국 사용상의 제약은 볼을 잡아주고, 볼과 밸브 몸체의 기밀을 유지하는 실(seal) 구조에 달려 있다. 따라서 본 논문에서는 기밀 유지를 위한 볼 밸브의 개폐 각도에 따른 유동에 관한 해석을 함에 있어 기밀 유지를 할 수 있는 볼 밸브의 역할로서의 그 특성을 개폐 각도에 따라 작동 유체의 영향을 보았고 그 개폐 각도에 따라서의 유동에 관한 해석을 하였다.

* 공주대학교 기계자동차공학부
# 교신저자 : 계명대학교 기계자동차공학과
E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

2. 유동 해석

2.1 모델 생성

본 연구는 볼 밸브 개폐 각도에 따른 유동 특성에 관한 해석으로서 유체는 물을 사용하고 밸브의 재질은 구조강을 사용하였고, 모델의 형상은 다음의 Fig. 1과 같다. 또한 Fig. 2와 같이 입구 출구 완전 열림 상태에서의 밸브의 유동 면적이 같게 설정하였다. Fig. 3과 같이 본 연구 모델의 점점의 수와 요수의 수는 각각 1025개와 4206개로 되었다. 개폐 각도에 따른 압력 분포 및 속도 흐름 즉 유동 장을 해석한 것이다.

본 연구에서의 볼 밸브에서의 유동은 내부의 모델링은 CATIA V5 R18을 이용하여 설계하였으며, ANSYS 11.0[6,7]을 이용하여 유동해석(CFX)을 하였다.

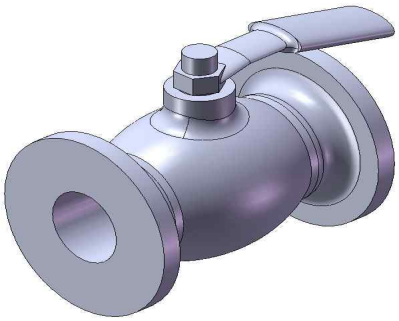


Fig. 1 Shape of model

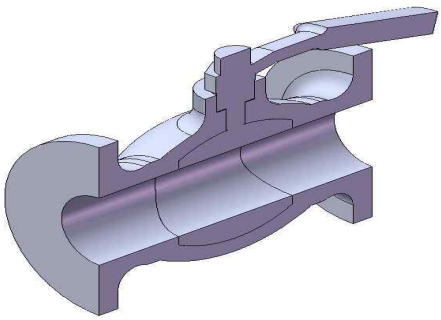
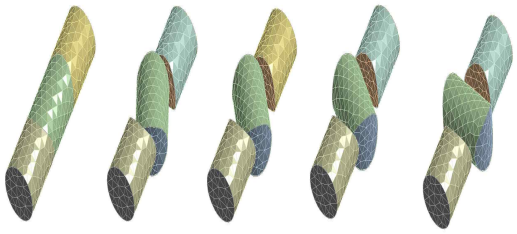


Fig. 2 Inside model



(a) 0° (b) 30° (c) 45° (d) 60° (e) 90°

Fig. 3 Mesh of model according to opening degree

2.2 구속 조건

볼 밸브의 재질은 구조용 강으로 되어 있으며, 본 연구에서의 맥동현상으로 인한 영향을 최소화하기 위해 밸브의 외부 배관을 포함하여 유동해석을 하였다. 또한 볼 밸브의 해석을 위하여 Fig. 3과 같이 개폐 각도는 완전 닫힘인 0°부터 30°, 45°, 60°, 완전 열림인 90°까지 총 5가지의 조건으로 유동 장을 생성하였다.

Fig. 4는 개폐 각도가 5조건 모두 같은 구속조건으로서 150000Pa의 압력을 주었고 Fig. 5는 출구에서의 구속조건을 준 것으로서 대기압기준으로 101325Pa을 주어 해석하였다. 온도는 상온 기준 22℃를 주었다. 작동유체는 비점성, 비압축성인 물을 사용하여 해석하였다. 그 물성 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Material property of fluid

Intents	Value
Molar mass	18.02kg/kmol
Density	997kg/m^3
Specific heat capacity	4181.7J/kg·°K^{-1}
Reference temperature	22℃
Reference pressure	1atm

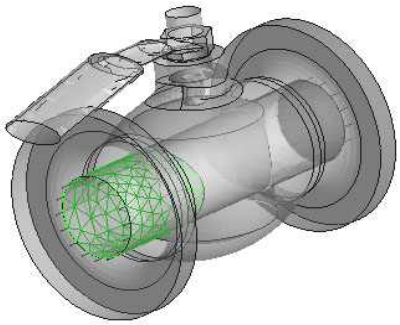


Fig. 4 Constraint condition of intake in ball valve

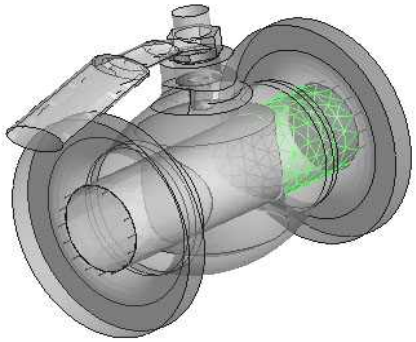


Fig. 5 Constraint condition of outtake in ball valve

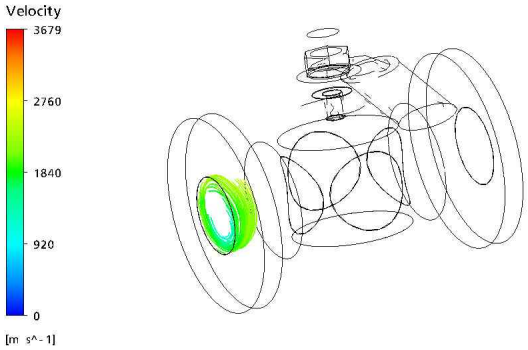


Fig. 6 Velocity of steam line in ball valve at opening degree of 0°

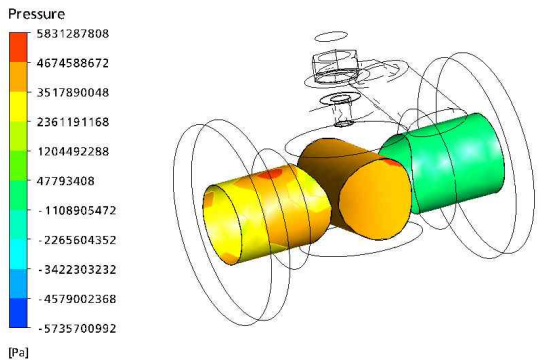


Fig. 7 Distribution of pressure in ball valve at opening degree of 0°

2.3 해석 결과

본 연구에서는 밸브와 배관 내에서의 이루어지는 유동을 분석하였다.

2.3.1 개폐 각도 0°(완전 닫힘) 해석

Fig. 6과 Fig. 7은 개폐 각도가 0° 즉 완전 닫힘에서의 속도흐름과 압력 분포를 해석한 것이다. 완전 닫힘에서의 해석이기에 입구에서 볼까지의 속도 흐름만이 존재함을 알 수 있다. 압력 분포 역시 입구에서 볼까지만 높은 압력이 나오고 출구에서는 대기압의 압력만이 존재하는 것으로 해석되었다. 밸브가 완전히 닫혀 있는데 유체가 흘러감으로서 유체가 고체 밸브와 닿는 표면에서 그 압력이 급격히 상승함을 보이고 있다. 이는 닫혀진 밸브로 인하여 기밀이 유지된 상태로 볼 수 있다.

2.3.2 개폐 각도 30° 해석

Fig. 8과 Fig. 9는 개폐 각도가 30°가 열렸을 때의 해석이다. Fig. 8은 속도흐름에 대한 해석으로서 입구에서 볼까지는 모든 각도에서 일정 속도로 흐르다가 볼 입구 부분에서는 각도가 적기에 큰 와류가 형성하여 속도가 빨라졌다. 그리고 출구 부분에서는 한두 가닥의 속도 흐름만이 존재하여 유동이 작아짐을 알 수 있다. Fig. 9는 압력 분포에 대한 해석으로서 압력 분포 또한 볼 출구에서 유동 흐름이 없어 압력강하가 있음을 알 수 있다. Fig. 8을 보면 그 출구 쪽에 유선이 거의 안 보이는데 이는 유동의 흐름이 거의 없어서 압력의 강하가 심하게 일어나는 것을 알 수 있다. 이는 유동을 일

으키는 그 원동력이 될 수 있는 유체의 압력이 강하가 됨으로서 유속이 저하가 되었다고 볼 수 있다. Fig. 9에서도 볼 수 있는 바와 같이 출구 가까이에서 유체의 유동이 정체가 되어 그 부분에서 입구 부분에서보다 그 압력이 현저하게 떨어짐을 볼 수 있었다.

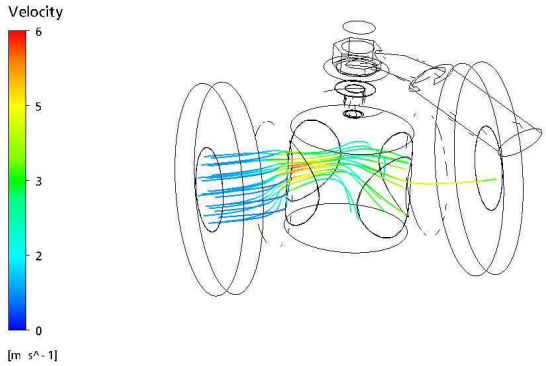


Fig. 8 Velocity of steam line in ball valve at opening degree of 30°

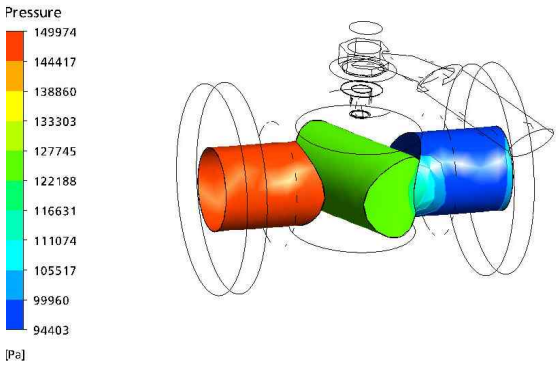


Fig. 9 Distribution of pressure in ball valve at opening degree of 30°

2.3.3 개폐 각도 45°해석

Fig. 10과 Fig. 11은 개패 각도가 45°가 열렸을 때의 해석이다. Fig. 10은 속도흐름에 대한 해석으로서 볼 입구 출구 부분에서는 각도가 적기에 큰 와류가 형성하여 속도가 빨라졌다. 볼에서 출구까지는 와류로 인하여 속도가 더 빨라졌음을 알 수 있다.

Fig. 11은 압력 분포에 대한 해석으로서 압력 분포 또한 볼 입구의 출구에서 큰 압력강하가 나타남을 알 수 있다.

여기서 각도가 30°에서 45°로 커지면서 유동속도가 빨라지고 와류는 적어지고 압력강하는 적어짐을 알 수 있다.

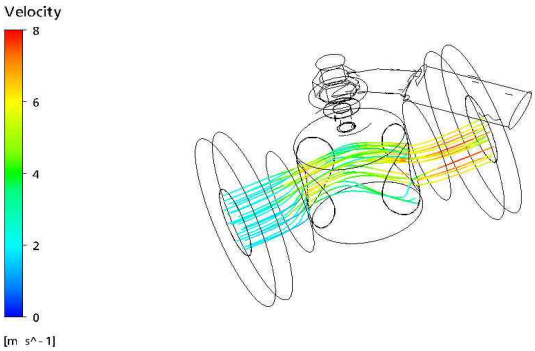


Fig. 10 Velocity of steam line in ball valve at opening degree of 45°

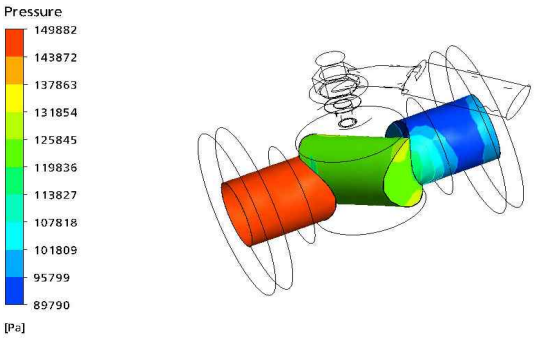


Fig. 11 Distribution of pressure in ball valve at opening degree of 45°

2.3.4 개폐 각도 60°해석

Fig. 12와 Fig. 13은 개폐 각도가 60°가 열렸을 때의 해석이다.

Fig. 12는 속도흐름에 대한 해석으로서 개폐 각도 45°의 경우와 유사한 해석이 나왔지만 볼 입구 출구 부분에서의 각도는 적기에 와류는 작게 형성되어 속도는 더욱 빨라졌다.

Fig. 13은 압력 분포에 대한 해석으로서 압력 분포 또한 볼 입구 출구에서 약간의 압력강하가 존재함을 알 수 있다.

여기서 각도가 커지면서 유동속도는 빨라지고 와류는 적어지고 압력강하도 적어짐을 알 수 있다.

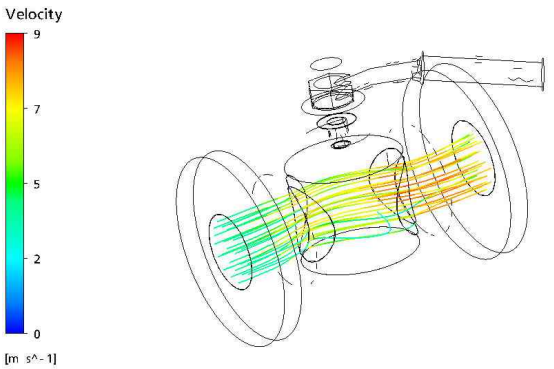


Fig. 12 Velocity of steam line in ball valve at opening degree of 60°

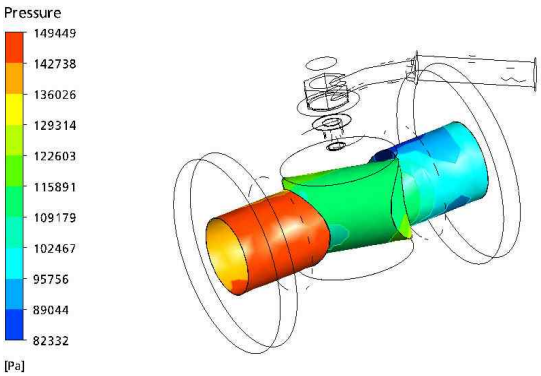


Fig. 13 Distribution of pressure in ball valve at opening degree of 60°

2.3.5 개폐 각도 90°(완전 열림) 해석

Fig. 14와 Fig. 15는 개패 각도가 90°로 완전히 열렸을 때의 해석이다.

Fig. 14는 속도흐름에 대한 해석으로서 유동이 입구에서 출구로 바로 통과하기 때문에 속도 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 15는 압력 분포에 대한 해석으로서 압력 분포 또한 입구와 출구에서의 압력강하에 의하여 일정한 압력 분포가 됨을 알 수 있다.

여기서 각도가 커지면서 완전히 열린 상태에서는 속도 변화 및 압력 강하 손실이 제일 적음을 알 수 있었다.

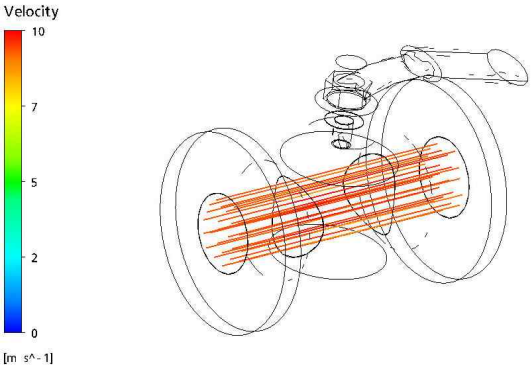


Fig. 14 Velocity of steam line in ball valve at opening degree of 90°

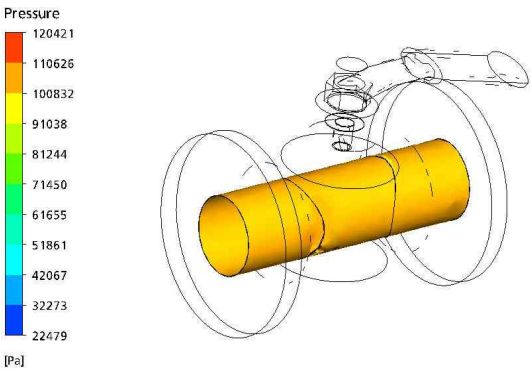


Fig. 15 Distribution of pressure in ball valve at opening degree of 90°

Table 2는 밸브의 개폐 각도가 0°(완전닫힘), 30°, 45°, 60°, 90°(완전 열림) 상태에서의 해석 결과들을 개폐 각도에 따른 속도 및 압력의 변화를 정리하였다. 개폐 각도가 커질수록 볼 입구와 출구에서는 와류가 점점 적어지면서 속도는 증가함을 알 수 있었다. 그리고 개폐 각도가 커지면서 볼 입구 출구에서는 압력강하가 적어짐을 알 수 있었으며 개폐 각도가 커지면서 유체의 속도는 증가가 되었다.

Table 2 Analysis results according to opening and shutting angle

Opening degree	Velocity(m/s)		Pressure(Pa)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
0°	0	3679	-5735700992	5831287808
30°	0	6	94403	149974
45°	0	8	89790	149882
60°	0	9	82332	149449
90°	0	10	22479	120421

2.3.6 질량유량 해석

Fig. 16은 유체인 물의 속도변화와 단면적 변화를 총 종합하여 볼 밸브의 개폐 각도에 따른 질량유량을 그래프화한 결과 선형적으로 증가한다는 결과가 나타났다. 볼 밸브의 개폐 각도가 60° 이상에서는 질량유량이 급격히 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 16 Mass flow rate according to opening and shutting angle

3. 결 론

본 연구를 통하여 기밀 유지에 사용되는 볼 밸브의 개폐 각도에 따른 유동해석을 하여 다음과 같은 결과가 나타남을 알 수 있었다.

1. 개폐 각도가 커질수록 볼 입구와 출구에서는 와류가 점점 적어지면서 속도는 증가함을 알 수 있었다. 볼 밸브의 속도는 볼의 입구 및 출구의 와류의 영향이 큼을 알 수 있었다.
2. 개폐 각도가 커지면서 볼 입구 출구에서는 압력강하가 적어짐을 알 수 있었다.
3. 개폐 각도가 커지면서 질량유량은 증가가 되었다. 개폐 각도가 60° 이상에서는 질량유량이 급격히 증가됨을 알 수 있다.
4. 이러한 해석 연구 결과를 통하여 볼 밸브의 개폐에 따른 최적화된 질량유량의 조절을 하여 기밀 유지를 볼 밸브를 사용하는 현장에 유용하게 적용할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Ryu, C. U., Park, J. H., Park, H. W., Lim, J. I. and Kim, J. R., "The Evaluation on Structural Safety of Ball Valve use in Cryogenic Environment," 2008 spring conference Proceeding of the KSME, pp. 414-419, 2008.
2. Ryu, C. U., Park, J. H., Bae, K. H. and Kim, J. R., "A Study on Structural Analysis of Ball Valve for Liquefied Natural Gas Control," 2007 conference Proceeding of the KFMA. pp. 299-305, Kwater, 2007.
3. Kim, S. W., Choi, Y. D., Kim, B. S. and Lee, Y. H., "Flow Characteristics of Cryogenic Butterfly Valve for LNG Carrier," Journal of Fluid Machinery, Vol. 11, No. 2 (WN 47), pp. 20-28, 2008.
4. Kim, K. Y. and Kim, J. B., "Waterhammer in Transmission Pumping Station with Ball Valve," Proceeding of the KSME 2004 Joint Symposium, pp. 1697-1702, 2004.
5. An, T. W., Han, G. J., Han, D. S. and Lee, S. W., "A Study on the Characteristics of Flow in the Metal Touch Ball Valve according to the Opening degree," Proceeding of the KSME 2007 Joint Symposium, pp. 593-596, 2007.
6. Choi, C. K., "Finite element method for CAE Engineers," Cheongmoongak, 2004.
7. ANSYS CFX User's Manual, ANSYS INC., 2009.