

Grooved butterfly valve의 형상 변화에 따른 용량계수 평가에 관한 연구

이정원¹, 신봉철^{1*}, 조용규¹, 조명우², 이강희³

¹인하대학교 기계공학과, ²인하대학교 기계공학부, ³동양미래대학 로봇자동화 공학부

A study on flow coefficient evaluation by shape change of butterfly valve

Jung-Won Lee¹, Bong-Cheol Shin^{1*}, Yong-Kyu Cho¹, Myeong-Woo Cho²
and Kang-Hee Lee³

¹Department of Mechanical Engineering, Inha University

²Division of Mechanical Engineering, Inha University

³Department of Robot Automation Engineering, Dongyang Mirae University

요 약 버터플라이 밸브는 다른 밸브에 비해 작동의 용이성으로 각종 산업에서 유량 조절을 목적으로 많이 활용되고 있다. 버터플라이 밸브를 통과하는 유량을 제어하기 위해서는 디스크 각에 따른 용량계수에 따라 유량을 제어하게 된다. 본 논문에서는 고품질 밸브 제작을 위해 성능 지표 중에 하나인 용량계수를 기존의 제품의 3D 모델을 이용하여 유동 해석 및 분석을 수행하였고 이를 검증하기 위해 용량계수 측정 장비 측정을 통해 해석의 신뢰성을 확인하였다.

Abstract Butterfly valves have been used to control the flow rate of various fluids in many industries because it have unique manageability compare to other valves. The flow rate passing through the butterfly valves can be controlled according to the coefficient of capacity calculated by disk angle change. In this study, flow analysis by 3D modeling was performed to derive the coefficient of capacity to evaluate and improve newly developed butterfly valves. Also, required measurement system was established to verify the performance of the valves, and to compare with the calculated results.

Key Words : Grooved butterfly valve, capacity of coefficient, Disc Open Angle

1. 서론

최근 들어 국내 발전 설비 및 제조 공장의 설비가 증가하고 기존 설비의 유지 보수 또한 증가 하고 있는 추세이다. 이러한 시설에 고온, 고압의 기체 및 유체의 제어를 위해 밸브가 필수적으로 요구되고 있고 용도에 따라 게이트 밸브, 볼 밸브, 글로브 밸브, 버터플라이 밸브 등이 많이 사용되고 있다.[1] 이중 버터플라이 밸브는 기존의 다른 밸브의 비해 크기가 작고 완전 개폐 동작이 빠르다는 장점과 정밀 유체 제어가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 국내 건축 및 플랜트 산업에서는 정밀 유체

제어를 위해 생활 및 공업용수의 급·배수에서 많이 활용을 하고 있다.[2,3] 또한 grooved butterfly valve는 고온, 고압의 환경조건에서도 활용되기 때문에 내구성과 신뢰성과 더불어 정밀 유체 제어가 가능한 고품질 밸브가 필수적으로 요구되고 있다. 외국 제품의 경우에는 설계 단계부터 생산단계의 전 공정이 전문적인 인력 및 측정 장비를 이용해 수행되고 있어 밸브의 성능 평가에서 중요한 용량 계수를 각도에 따라 정확히 명시하고 있다. 국내 밸브의 경우 외국의 인건비 상승으로 인해 국내 OEM 방식으로 생산하고 있으며 이러한 방식을 통해 국외로 수출하는 회사를 제외하고는 영세한 규모의 기업환경 조건에

본 연구는 중소기업청 산학협력실 지원사업에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Bong-Cheol Shin

Tel: +82-32-860-7306 email: kenny77b@empal.com

접수일 12년 07월 19일

수정일 (1차 12년 10월 09일, 2차 12년 10월 31일)

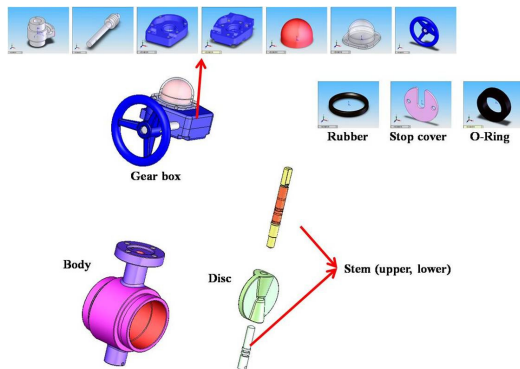
게재확정일 12년 11월 08일

서 생산이 이루어지고 있고 일부 제품을 특화하여 생산하고 있다. 따라서 국내 제품의 경우 또한 외국 제품을 모방하여 제작을 수행하고 있어 기업 자체의 기술력 확보가 부족한 실정이고 제품의 성능 평가가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 밸브의 주요 성능 평가 기준 중에 하나인 용량계수를 분석하기 위해 국내 grooved butterfly valve의 65A에 A 형태, B 형태 모델로 ANSYS CFX를 이용하여 각도 변화에 따른 용량 계수를 이론적 및 수치 해석적 접근을 통해 분석을 수행하였다. 또한 분석결과와 신뢰성을 분석하기 위해 용량계수 측정장비를 개발하여 해석 결과와 실제 분석 결과의 비교를 수행하여 밸브의 성능을 분석하였다.

2. Grooved butterfly valve의 모델

기존의 밸브 업체의 경우는 2D기반의 설계 자료를 이용해 제품 제조를 수행하고 경우에 따라서는 정확한 설계 자료가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유동 해석을 수행하기 위해 기존의 2가지 버터플라이 밸브 제품을 이용하여 설계 및 3D모델링을 수행하였다.



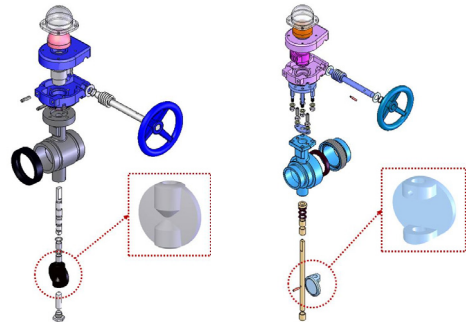
[그림 1] Grooved butterfly valve의 구조
[Fig. 1] Structure of grooved butterfly valve

본 연구에 선정한 grooved butterfly valve는 크기가 65A인 A 형태의 밸브(10k)와 B 형태의 밸브(20k) 2가지 타입으로 나누어진다. 이 2가지 밸브는 밸브에서 가장 중요한 요소인 디스크의 형태와 이를 고정하는 방법에 대하여 차이점을 가진다. A 형태의 밸브는 위아래로 축으로 디스크를 고정하며 B 형태의 밸브는 하나의 축으로 고정 후 개폐가 이루어지게 된다.

위 사항을 고려하여 본 연구에서는 2가지 타입의

grooved butterfly valve에 대해 3차원 설계 프로그램인 Solidworks 2007을 이용하여 grooved butterfly valve에 사용되는 부품을 크게 3개의 파트로 구분지어 설계를 수행하였다. 따라서 그림 1에서와 같이 기어 박스 파트, 바디 파트, 디스크 파트 총 3가지 파트로 나누어 정확한 치수 및 형상 제작을 진행 하였다.

Grooved butterfly valve의 설계 결과 A 형태의 밸브는 총 21개의 부품으로 구성되며 파트별로 구성 부품 수는 기어 박스 파트는 11개, 바디 파트는 5개, 디스크 파트는 5개의 부품으로 구성된다. B 형태의 밸브는 총 26개의 부품으로 구성되며 기어 박스 파트는 11개의 부품, 바디 파트는 9개, 디스크 파트는 6개의 부품으로 구성되었다. 이를 바탕으로 그림 2와 같이 각 부품의 파트 번호 및 재질에 따라 설계 데이터베이스를 구축하고 설계 작업을 수행하였다.



[그림 2] 10k, 20k Grooved butterfly valve의 3차원 모델
[Fig. 2] 3D model of 10k, 20k Grooved butterfly

설계된 밸브의 재료는 유체와 접촉하는 부분이 많은 관제로 사용 유체에 대한 내식성(corrosion - resistance)과 압력에 견딜 수 있는 충분한 강도(strength)를 지녀야하므로 바디와 디스크의 재료로는 GCD450의 덕타일 강(ductile cast iron) 사용하였다. 또한 밸브의 축은 내열성(thermal - resistance), 내마모성(wear- resistance) 등이 우수한 ST304의 스테인리스 강(stainless steel)을 사용하여 밸브의 제작을 수행 하였다.

3. 버터플라이 밸브의 구조 및 유동해석 조건

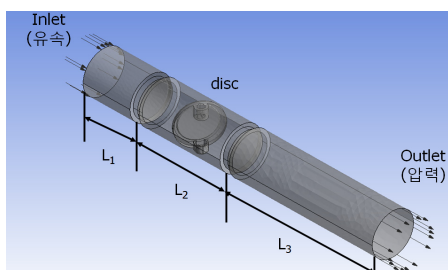
버터플라이 밸브가 개폐와 조절 조정 용도로 적합하며 상대적으로 낮은 압력에서 대량의 액체나 기체의 유동을 제어하기 위한 조작이 신속한 장점이 있어 많이 활용하고 있다. 이러한 버터플라이 밸브를 적용 및 제어하기 위

해서는 디스크 각에 따른 용량계수에 대한 정확한 정보를 알아야 한다. 일반적으로 밸브의 용량을 표시하는 수치로 국제적으로 많이 쓰이는 용량계수 단위로 C_v , K_v , A_v 가 있는데 대표적인 조절 밸브 용량을 표시하는 수치로는 C_v 가 있다. C_v 는 15.6 °C의 맑은 물이 밸브 입구와 출구 압력차가 1 PSI로 흘렀을때 1분당 유량(Gallon/Min)을 US Gallon (3.7853 ℓ)으로 표시하게 된다.

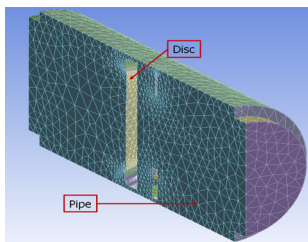
$$C_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (1)$$

여기에서 C_v 는 용량계수, Q 는 체적유량, ρ 는 유체의 밀도 그리고 Δp 는 차압이다. 여기서 얻어진 세 가지 실험값의 산술평균값을 용량계수로 정한다.[4,5]

본 연구에서는 유동해석을 위해 Computational Fluid Dynamics(CFD)를 통해 디스크 각도와 압력비의 변화에 따른 용량계수를 계산하여 65A 10k, 20k 버터플라이 밸브 모델을 이용하여 분석을 수행하였다.



(a) Position of valve



(b) Mash of valve

[그림 3] 유동해석 조건

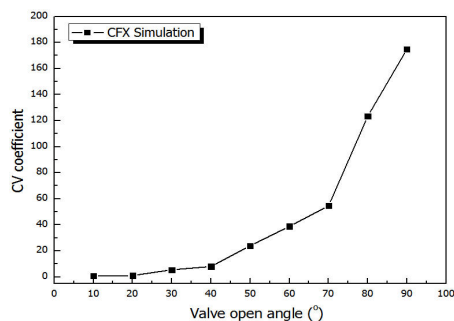
[Fig. 3] Condition of CFD analysis

2가지 디스크의 분석은 ANSYS CFX 11.0을 사용하여 열림 각도 10 ~ 90°까지 10° 간격으로 3차원 시뮬레이션으로 나타내고, 각각의 압력 및 유량 변화에 따른 밸브 내부의 유동변화를 분석하였다. 분석 수행을 위한 밸브는 grooved Butterfly valve로 시뮬레이션에서 실제에 가까운 결과를 얻기 위해서 밸브의 CFD 모델을 내부표면을 1:1 크기로 만들었다. 디스크는 65A A 형태의 밸브

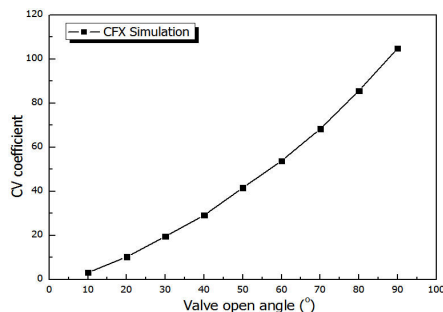
디스크를 설치하였고, 입구의 배관 직경은 65mm 입구 배관길이 L_1 과 디스크 장착구관 L_2 , 출구 배관길이 L_3 을 합한 것이 유동공간이다.(그림 3(a)) 작동유체는 물로 입구조건은 유량이 주어지고 출구조건은 대기압 조건이 주어진다. 해석을 위한 유한요소 모델은 3개의 구간으로 나누어서 각각의 격자를 생성을 하였다. 입구구간에서는 7096개의 요소와 36891개의 절점, 출구구간에서는 3352개의 요소와 16148개의 절점, 디스크가 있는 구간에서는 A 형태의 밸브는 76358개의 요소와 464109개의 절점, B 형태의 밸브는 7161개의 요소와 26384개의 절점을 가지는 격자를 사용하였다.(그림 3(b))

4. 해석결과

그림 4는 두 가지 모델에 대해 다른 디스크의 열림 각도에서 압력과 유속의 형태를 나타낸다. 그 결과 디스크의 열림 각도가 증가함에 따라 디스크 앞부분에 압력이 크고 디스크 뒷부분에 압력이 작음을 알 수 있으며, 열림 각도가 작을 때 난류의 유동이 심하게 발생하였다.



(a) A type



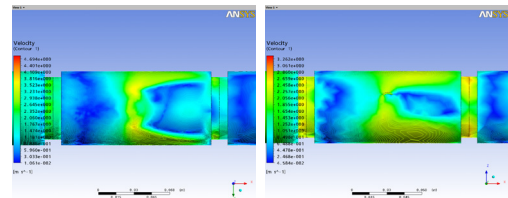
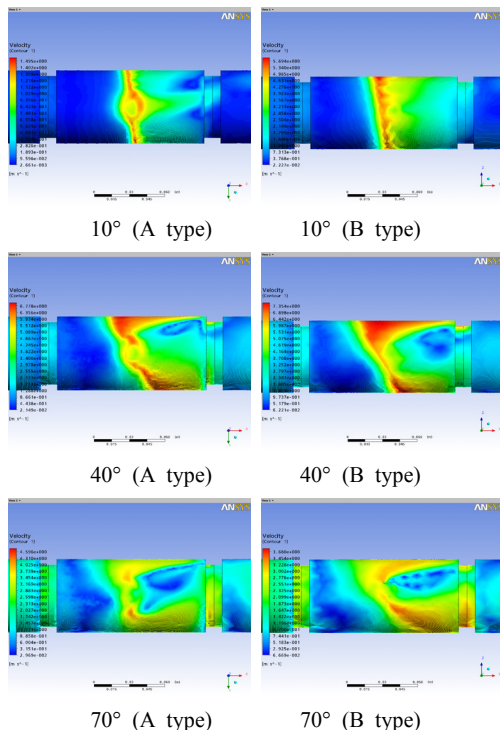
(b) B type

[그림 4] 밸브 형태 및 디스크 각에 따른 유동 해석 결과 그래프

[Fig. 4] Flow coefficient of butterfly valve vs. valve disk angle using CFX

A 형태 밸브의 결과는 디스크의 열림 각도가 증가함에 따라 C_v 의 값은 $0^\circ \sim 40^\circ$ 에서 작은 유로로 인해 작은 값으로 변화하다가 유로에 증가로 $40^\circ \sim 70^\circ$ 구간에서는 이전보다 보다 큰 값으로 증가하였다. 하지만 70° 이후부터는 용량계수가 급격히 증가하여 최대 180까지 변했다. 하지만 B 형태 밸브 결과는 디스크 각도 변화에 따라 C_v 의 값은 A 형태보다 급격히 변화하지 않고 전체적으로 일정한 용량계수의 변화로 비교적 안정적으로 증가하였다. 그러나 최대 용량계수를 나타내는 90° 에서 최대 120의 값을 가졌는데 두 밸브의 용량계수의 차이는 디스크 형상에 대한 차이로 볼 수 있다.

A 형태의 경우에는 특정 각도에서 용량계수가 급변하지만 밸브를 완전히 열었을 경우 유체의 흐름이 대칭형상인 디스크를 타고 흘러가면서 유체의 유동이 원활하게 움직임을 보이고 있다. 하지만 B 형태의 경우에는 급격한 용량계수 변화는 없지만 최대 용량 계수의 값은 비대칭 형상으로 인한 축이 장착되는 디스크 부위에서는 유체의 흐름을 방해하게 되고 이로 인해 디스크를 지나가는 유체는 난류가 발생하여 용량계수가 상대적으로 낮게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 또한 A 형태와 B 형태에서 동일하게 디스크의 개폐각도가 작을수록 밸브 가까운 곳에서는 난류 유동이 심하게 발생하는 경향을 보였다. (그림 5)



[그림 5] 밸브 형태 및 디스크 각에 따른 유동 해석 결과
[Fig. 5] CFD result of butterfly valve vs. valve disk angle

5. 버터플라이 밸브의 용량계수 시험장치 개발 및 평가

위 시뮬레이션에서의 용량계수를 실제 사용 환경에서의 적용 가능한지를 분석하기 위해 용량계수 측정 장비를 제작하여 측정을 수행하였다. 본 실험에서 사용한 측정 장비는 KS규격 KS B 2101(밸브의 용량 계수 시험 방법)을 바탕으로 설계하였다. 측정 장비 구성은 스톱을 밸브, 온도계, 유체의 흐름을 확인할 수 있는 유량계, 압력계로 구성된다.(그림 6)

그림 7의 본 시스템에서 상류쪽 throttle 밸브는 유량 측정의 정밀도를 손상하지 않도록 선정 및 설치하여야 하며 하류 쪽 throttle 밸브는 초크 발생의 가능성이 있을 때, 그 호칭 지름은 측정 밸브의 호칭지름을 보다 큰 것으로 해야 한다.[6] 이러한 조건을 바탕으로 그림 7과 같이 시스템을 제작하였다. 총 시스템의 크기는 $2m \times 2m$ 가 되고 유량센서가 장착이 되어 있는 구간의 길이는 $1.9m$ 이며 실제 용량계수 측정을 위한 길이는 $1,950mm$ 이다. 본 측정이 되는 밸브를 기준으로 입구 L_1 와 출구 L_4 의 길이는 $1,300mm$, $650mm$ 이다. 압력센서가 장착이 되는 L_2 와 L_3 의 구간은 $130mm$, $390mm$ 이다. 본 시스템에 적용된 센서의 사양은 표 1과 같다.

측정하기 위한 조건으로는 유체는 $5 \sim 40$ 의 물로 사용하였다. 여기서 밸브는 전체 열림시 및 중간 열림도의 레이놀드 수를 $4 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ 의 값이 되도록 차압을 설정하였다. 차압의 경우에는 $74kPa$ 로 하고 2회 $20 \sim 25\%$ 의 스텝으로 순차적으로 차압을 빼서 각각에서의 유량을 측정하여 다음 식을 이용하여 용량계수를 산정하였다.

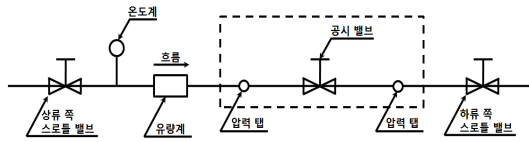
$$Re = \frac{VD}{v} \quad (2)$$

여기에서 V : 배관 내의 평균 유속(m/s)

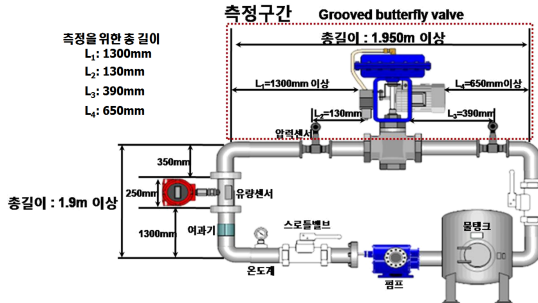
D : 안지름(m)

v : 유체의 동점도(m^2/s)

이다.



[그림 6] 용량 계수 측정 시스템의 센서의 설치
[Fig. 6] Sensor setup for flow coefficient measuring system



[그림 7] 용량 계수 측정 시스템의 개략도
[Fig. 7] An illustration of flow coefficient measurement system

[표 1] 용량 계수 측정 시스템의 센서 사양
[Table 1] Specification of flow coefficient measuring system

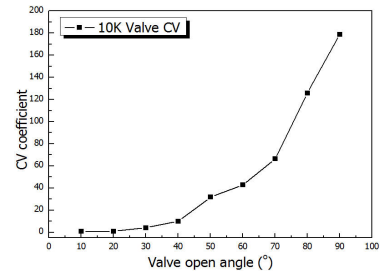
No	Sensor type	Measuring range	Accuracy
1	Pressure sensor	0~20 kgf/cm ²	±0.04%
2	Flow sensor	0.03~10 m/s	±0.25%
3	Thermometer	-20~300°	±1%

6. 시험 결과 비교

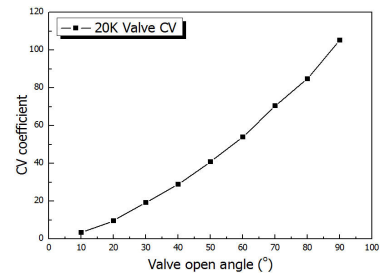
실험 결과 값을 바탕으로 A 형태의 밸브와 B 형태의 밸브의 용량계수 결과를 분석하였다. A 형태의 밸브의 결과는 디스크의 열림 각도가 증가함에 따라 C_v 의 값이 0에서부터 180까지 변했다. 또한 B 형태의 밸브 결과는 0에서부터 120까지 변했다. 이 두 밸브의 용량계수의 차이는 큰 이유는 디스크의 형상에 대한 차이로 볼 수 있다.

그림 8, 9는 용량계수 실험 결과와 해석결과를 비교한 그림이다. 디스크의 개폐각도가 증가함에 따라 동일한 경향을 보이고 있다. 해석결과와 실험결과의 오차가 조금씩 발생하는 모습을 볼 수 있는데, 이는 실험 시 환경 변수에 따른 오차로 판단이 된다. 따라서 본 연구에서 개발된 용량계수 측정 시스템을 통하여 다양한 크기의 밸브의 용량계수 측정이 가능 할 것으로 판단되고 또한 해석 및 측정을 통하여 용량 계수 분석 방법의 효율성 및 신뢰성

을 확인할 수 있었다.



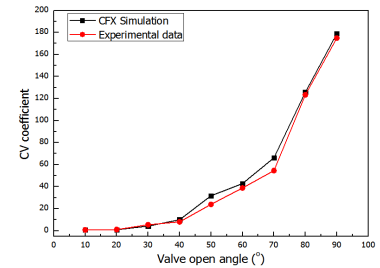
(a) 10k (A type)



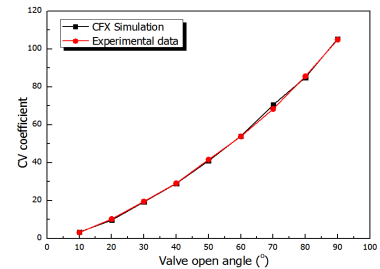
(b) 20k (B type)

[그림 8] 측정 시스템을 이용한 밸브 형태 및 디스크 각도에 따른 용량 계수

[Fig. 8] Flow coefficient of butterfly valve versus valve disk angle using measurement system



(a) 10k (A type)



(b) 20k (B type)

[그림 9] 유동해석 결과 및 측정 결과의 용량 계수 변화 비교

[Fig. 9] Flow coefficient of butterfly valve vs. valve disk angle (CFD vs. measurement system)

7. 결론

본 연구에서는 고품질 밸브 제작을 위해 grooved butterfly valve의 3차원 설계 및 구성품의 재질 선정을 수행하였고, 제품 형상 및 디스크 각도에 따른 grooved butterfly valve의 유동해석을 통한 용량계수 분석과 용량계수 측정 장비 개발 및 성능 평가 방법에 대한 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Grooved butterfly valve의 제품의 정확한 제작에 필요한 3차원 설계와 각 구성품에 대한 재료의 선정으로 제품 제작 시 치수 관리 및 공차 관리가 가능하게 되었다.
2. 기존 밸브 제품의 설계 도면을 이용하여 ANSYS CFX를 이용한 밸브의 성능 지표인 용량 계수를 디스크 각도에 따른 유동해석을 통해 밸브의 유동 특성을 확인하였다.
3. 버터플라이 밸브의 용량계수에 가장 큰 요인은 디스크의 형상으로 확인 되었고, 디스크 각도에 따라 높은 용량계수를 가지는 A 형태의 모델이 B 형태의 모델보다 사용하기에 유용하다는 것을 확인할 수 있었다.
4. KS규격을 바탕으로 제작된 측정 장비를 이용하여 이론적 용량계수와 실험적 용량계수의 비교를 통해 보다 실질적인 용량계수를 산출할 수 있었다.
5. 현재 본 연구에는 56A 크기의 버터플라이 밸브를 이용하여 분석을 수행하였으나 차후 다양한 크기 및 형상변화에 따른 연구가 필요하다.

이러한 용량계수 분석 및 측정 방법을 통해 기존 밸브 제품의 성능 평가의 지표를 마련 할 수 있었고 고품질 밸브 제작을 위한 제품 설계 및 분석 방법을 제시함으로써 품질 개선 및 신제품 개발에 유용할 것으로 판단된다.

References

- [1] Y. C. Park, J. H. Kang, J. M. Lee and J. Kang., "Optimization of Butterfly Valve's Disc Using the DACE Model Based on CAE", KSOE, Vol. 20, No. 3, pp.96-102, 2006.
- [2] D. H. Cho., "Flow Characteristics in the Downstream Region of a Butterfly Valve with Various Disk Opening Angle" KOMES, Vol. 12, No.4, pp267-272, 2006.
- [3] M. S. Shin, J. Y. Yoon, I. W. Park, S. H. Lee, H. Y.

Park and S. H. Jung., "A Study on Structural Stability by Shape of Butterfly Valve Disc", KFMA, pp. 523-528, 2009.

- [4] B. H. Lee, B. H. Jeon and S. M. Kang., "A study on the Flow Characteristics through Industrial Butterfly Valve", KSME, pp. 277-283, 2009.
- [5] X. G. Song, S. H. Oh, J. H. Kang, Y. C. Park., "A Study on prediction of hydrodynamic torque coefficient of Concentric Type Butterfly Valve", KSMPE, Vol. 6, No.2, pp. 41-46, 2007.
- [6] KS B 2101, Test procedures for flow coefficient valve, 2003.

이 정 원(Jung-Won Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 한라대학교 기계공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 대학원 박사과정,

<관심분야>

MR Polishing, 미세측정

신 봉 철(Bong-Cheol Shin)

[정회원]



- 2000년 2월 : 호서대학교 기계공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사 후 연구원

<관심분야>

마이크로 절삭 모니터링, 마이크로 EDM, 미세 측정

조 용 규(Yong-Kyu Cho)

[정회원]



- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 대학원 석사과정

<관심분야>

Maskless Lithography

조 명 우(Myeong-Woo Cho)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 기계설계과 대학원 (공학석사)
- 1985년 ~ 1989년 : 한국생산성본부 자동화 사업부 전문위원
- 1992년 2월 : University of Illinois (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1997년 1월 : 대우전자 시스템 사업부 부장
- 1997년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM/CAI, 마이크로 생산 시스템, 머신 비전

이 강 희(Kang-Hee Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서울대학교 기계설계과 대학원 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 기계설계과 대학원 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1994년 : 삼성전자 A/V 본부 광소프트 사업팀 연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 동양미래대학 로봇자동화 공학부 교수

<관심분야>

CAD/CAM/CAI, 마이크로 생산 시스템