

모터구동 Flexible Wedge형 게이트밸브의 밸브 성능인자 Bounding Value에 대한 연구

김대웅* · 유성연** · 박성근* · 이도환*

A Study on the Bounding Value of Valve Performance Parameters for Motor Operated Flexible Wedge Gate Valve

Dae-Woong Kim*, Seong-Yeon Yoo**, Sung Keun Park*, Do Hwan Lee*

Key Words : Motor Operated Valve(모터구동밸브), Flexible Wedge Gate(플렉시블웨지형 게이트), Stem Friction Coefficient(스텨마찰계수), Rate of Loading(부하율), Valve Factor(밸브팩터)

ABSTRACT

Stem friction coefficient and valve factor are very important parameters for the evaluation of valve performance. In this study, the characteristics of stem friction coefficient and valve factor are analyzed, and their bounding value is determined. The hydraulic testing is performed for many flexible wedge gate valves in the plant and statistical method is applied to the determination of bounding value. According to the results of this study, stem friction coefficient does not change much with differential pressure, and the bounding value of closing stroke is higher than that of opening stroke. The valve factor of valves with high differential pressure is higher than that of valves with medium differential pressure. It means valve factor is more sensitive to the differential pressure than the stem friction coefficient. Valve factor of the closing stroke is higher than that of opening stroke due to piston effect.

1. 서론

모터구동밸브(MOV: Motor Operated Valve)는 밸브의 동작 구동원이 전기모터인 밸브로서 발전소 및 화학플랜트 등에 설치되어 유체의 흐름을 차단 또는 조절하는 역할을 수행한다. 모터구동밸브에 대한 연구는 미

국 TMI (Three Mile Island) 원전 사고의 원인 중 하나가 모터구동밸브의 오동작에 의한 것으로 밝혀졌고 이에 따라 미국 원자력 위원회에서 원전에 설치되어 있는 모든 모터구동밸브의 안전성평가 수행 지침⁽¹⁾을 발행함에 따라 미국을 중심으로 1980년대 이후 활발한 연구가 진행되었다. 국외에서는 미국의 INEEL에서 152 mm 게이트밸브 시험을 통하여 기존 산업계의 밸브 성능평가 방법에 문제가 있음을 밝혔으며, EPRI (Electric Power Research Institute)⁽²⁾에서는 모터구동밸브 성능평가에

* 한전 전력연구원

** 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단

E-mail : kimdw@kepri.re.kr

대한 방법론 개발이 활발히 수행되었다. M.S. Kalsi⁽³⁾ 등은 버터플라이밸브와 볼밸브 등 회전형 밸브에 대한 실험적 연구를 수행하고 동수력 토크계수를 도출하였다. 국내에서도 과학기술부에서 국내 전 원자력발전소의 안전관련 모터구동밸브의 설계기준 성능평가를 수행하도록 하는 규제 요건을 발행함으로써⁽⁴⁾ 관련 연구들이 활발하게 수행되었다. 전력연구원에서는 국내 원자력발전소에 설치된 대표적인 모터구동밸브 형태에 대해 다양한 압력 조건에서 실험을 수행하고 그 결과를 바탕으로 성능평가 방법을 개발하여 국내 원자력발전소에 적용하였다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 최근에는 국내외적으로 성능평가에 적용된 주요 성능변수들에 대한 심도 있는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 그 외 윤활유 성능⁽⁷⁾, 패키징 부하, 대기온도 및 습도 상태 등 기타 외적 환경이 밸브의 운전 성능에 미치는 영향을 분석하는 연구도 수행되고 있다.

본 연구에서는 모터구동 플렉시블 웨지형 게이트 밸브의 성능에 가장 큰 영향을 주는 밸브 성능인자인 스템 마찰계수와 밸브팩터의 특성 분석과 Bounding value를 결정하는 연구를 수행하였다. 연구방법은 각각 다른 유체 차압조건에서 플렉시블 웨지형 게이트밸브의 열림 및 닫힘 동작시험을 수행하고 그 결과 분석을 통하여 각 성능인자들을 도출한후 통계적 분석을 수행하여 bounding value를 결정하였다.

2. 모터구동밸브의 밸브 성능인자

밸브 성능인자는 밸브 성능평가 시 적용되는 중요한 인자로서 스템마찰계수, 밸브팩터 및 부하율 등이 있다. 이들 밸브성능 인자들은 밸브 성능평가를 위해 개발된 해석적인 방법론에 밸브 동작 시험을 통하여 측정된 값을 적용하여 구할 수 있다. 밸브 운전성능의 정확한 평가를 위해서는 각 평가 대상 밸브마다 밸브 운전시 발생하는 유체 차압 조건에서 시험을 수행하고 시험 데이터를 추출하여 밸브성능 인자를 구해야 하나, 밸브의 크기 및 설치되는 발전소의 유체 차압 조건이 다양하여 모든 차압 범위에 대한 시험을 수행하기 어렵고 또한 밸브 제작사에서 이러한 시험 설비를 구축하기에는 막대한 비용이 필요하여 대부분의 밸브 제작사들은 경험과 소수의 시험 수행 결과값을 이용하여 이러한 성능인자 값을 결정하고 설계와 제작에 적용하고 있다. 밸브 성능인자가 적절한 값이 적용되지 못하면 밸브가 너무 보수적으로 설계되거나, 또는 너무 과소하게 설계되어 실제 운전 조건에서 동작이 원활하게 되지 않을 수 있다.

2.1 스템마찰계수 (Coefficient of Friction, COF)

스템팩터란 토크가 스러스트로 변환되는 과정에 스템과 스템너트 나사산간에 발생하는 마찰 손실을 고려한 계수이다. 스템팩터는 스템마찰계수 (COF : Coefficient of Friction)에 의해 결정되는데, 스템마찰계수는 밸브 스템과 구동기의 스템너트가 맞물려 있을때 상호 나사산이 서로 접촉하는 영역에서 나타나는 마찰 저항특성을 나타낸 계수로서, 스템과 스템너트 사이의 기하학적 형상, 윤활상태에 의해 큰 영향을 받는다. Fig. 1은 스템너트 부분을 확대한 그림으로 모터에서 발생한 토크가 worm 및 worm 기어를 통하여 스템너트를 회전시키고 스템너트와 맞물린 스템에서 스러스트로 변환되는데 이때 스템너트와 스템의 맞물린 나사산간의 마찰에 의해 힘의 손실이 발생하게 되고 이러한 손실을 고려한 계수가 스템팩터이다. 스템마찰계수와 스템팩터에 대해서는 식 (1)과 (2)에서 정의되어져 있다.⁽²⁾⁽⁹⁾ 산업계의 일반적인 경험에 의하면 스템마찰계수는 0.08~0.2의 범위 안에 있으며, 보통 0.15가 널리 추천되어 진다.

$$SF = \frac{d [\cos\theta \times \tan\alpha + \mu]}{24 [\cos\theta - (\mu \times \tan\alpha)]} \quad (1)$$

$$\text{Thrust} = \frac{\text{Torque}}{SF} \quad (\text{N}) \quad (2)$$

여기서 d는 스템직경, α와 θ는 스템 나사산 (thread lead) 및 반나사산 (half thread)의 각도를 나타내며, μ는 스템마찰계수를 나타낸다⁽²⁾.

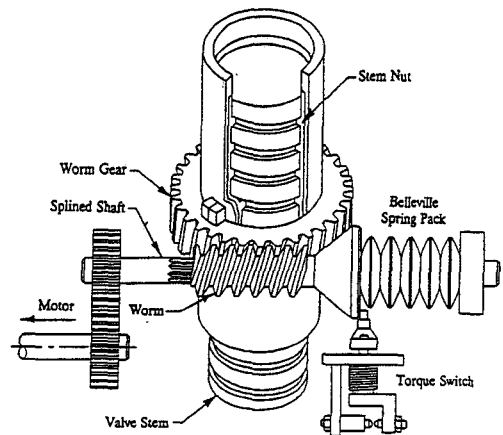


Fig. 1 MOV driving components (stem nut & stem)

2.2 밸브팩터(valve factor, VF)

밸브팩터는 배관내에 유체 차압이 작용할 때 밸브 디스크 이동에 요구되는 스러스트와 밸브 시트 평균 단면적에 작용하는 차압에 의한 힘과 밸브 주요 접촉 부위들의 마찰 상관관계를 의미한다. 게이트 밸브의 경우에는 디스크와 시트 사이의 표면접촉 경사각 (contact surface angle, θ)과 접촉 표면 재질들에 의한 마찰계수 (μ)에 의해서 결정되는 팩터로써 아래의 식 (3) 및 (4)과 같이 정의된다.⁽²⁾

$$F_{DP} = \mu \Delta P A_o \frac{1}{\cos \theta \pm \mu \sin \theta} \quad (3)$$

$$\frac{F_{DP}}{\Delta P A_o} = \frac{\mu}{\cos \theta \pm \mu \sin \theta} = VF \quad (4)$$

여기서, F_{DP} 는 차압에 의한 스러스트, A_o 는 디스크 오리피스 단면적, ΔP 는 유체 차압을 나타낸다. 밸브 팩터 결정에 지배적인 변수인 디스크와 시트 사이 마찰 계수는 접촉 표면의 재질들, 접촉 응력, 표면 가공 마무리, 유체의 온도 등에 의해서 다르게 나타난다.

3. Bounding Value 결정 방법

3.1 Bounding value 결정의 목적

위에서 제시한 스템마찰계수와 밸브팩터는 유체의 차압에 가장 큰 영향을 받지만 이외에도 밸브 스템과 스템너트의 나사산 재질 및 가공 상태, 밸브 디스크와 시트의 재질 및 가공 상태, 운전회수에 따른 재질의 마모 상태 및 운전 중 유동의 변화 등에 의해서도 적지 않은 영향을 받게 된다. 따라서 동일한 차압 조건에서도 여러 가지 복잡한 변수에 의해 밸브 성능인자들은 시험시 마다 조금씩 다르게 나타나게 된다.

최근의 연구 추세는 이러한 밸브성능 인자들의 대표적인 값을 결정하는 연구를 중요시 다루고 있는 경향이 있다. 밸브의 성능을 결정짓는 가장 중요한 변수들인 밸브 성능 인자들의 값을 결정할 수 있다면 밸브 성능을 파악하기 위해 밸브들이 운전되는 유체 차압 조건에서 실험을 수행하지 않아도 될 것이다. 이것은 시험을 위해 유체 차압조건을 만드는데 수반되는 비용과 인력 투입을 절감할 수 있을뿐 아니라, 시험을 수행함으로써 수반되는 발전소 관련 기기들 (펌프, 탱크, 배관 등)의 건전성

과 시험 도중 발생될지도 모르는 기기의 고장에 의한 발전소 안전성을 저해하는 요소를 제거하는 매우 중요한 효과가 있는 것이다. 따라서 최근에는 발전소 밸브 시험 수행시 수반되는 위의 여러 가지 문제점들을 사전에 방지하고자 시험을 수행하지 않고 밸브의 성능을 평가할 수 있는 방법론 개발에 연구의 중점을 두고 있으며, 밸브성능 인자들을 결정하는 방법론과 그 값의 신뢰성 평가에 대한 연구가 수행되고 있는 추세이다.

3.2 시험장치 및 시험 방법

Bounding value 결정을 위하여 각 밸브성능 인자별로 최대 90대에서 최소 70대의 밸브에 대해 시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 밸브성능 인자의 bounding value는 밸브의 크기와 차압 조건에 상관없이 flexible wedge형 밸브에 범용적으로 적용될 수 있는 대표값을 결정하는 것이므로 다양한 차압 조건에서 실험한 값들이 필요하다. 시험 대상 밸브의 크기는 3inch에서 18 inch까지 포함되며, 유체 압력은 최소 100 psi와 최대 3,000 psi에 이르는 다양한 차압 조건에서 시험되었다.

Figure 2는 실험 장치의 개략도를 나타내고 있다. 밸브의 성능평가를 위해서는 밸브 동작시 주요 행정위치에서 밸브에 발생하는 토크, 스러스트, 전류, 전압 등의 신호를 취득하고 분석해야 하는데, 본 연구에서는 미국 CRANE Inc.에서 개발한 모터구동밸브 전용 진단 시험 장비인 UDS (Universal Diagnostic System)를 사용하여 주요 시험 데이터들을 취득하였다. UDS는 모터구동밸브, 체크밸브, 공기구동밸브등 밸브 진단시험 전용 장비로써 센서와 연결되어 진단 신호를 수집하는 Data

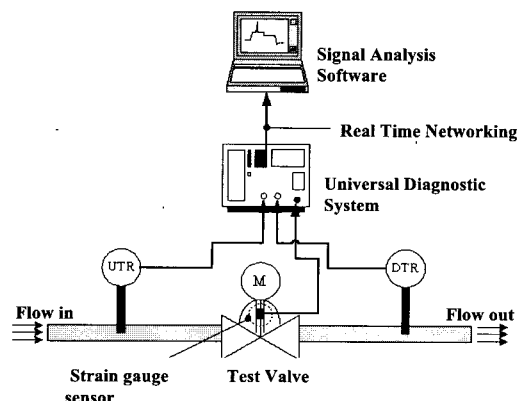


Fig. 2 Schematic diagram of MOV test facility

Acquisition Module (DAM), 진단신호 수집에 사용되는 센서와 시험 장치를 제어하여 시험 데이터를 수집하고 분석하는 UDS 프로그램⁽⁸⁾으로 구성되어 있다. 진단 신호는 각종 센서들로부터 실시간으로 취득되며, 각 전용 채널을 통하여 신호가 수집되는데, 스템 스러스트, 구동기 출력 토크, 스프링팩 움직임, 모터 파워, 모터 전류, 콘트롤 스위치 작동시간, 스템 위치, 유체 압력 등을 측정할 수 있다.

3.3 통계적 해석 방법

실험결과에 대한 통계적 처리는 Grubbs' Technique과 Gaussian Method를 적용하였다. Grubbs' Technique은 데이터표본 집단에서 통계적인 처리를 하고자 할때 사용하는 방법중 하나로 다른 통계처리 방법에 비해서 유용한 데이터의 손실이 매우 적은 장점이 있다.⁽¹⁰⁾ Grubbs' Technique은 표본 집단에서 가지는 평균값을 기준으로 하고 그 경계값 (평균값 ± 표준편차 × 3)의 범위를 벗어나는 데이터를 설명되지 않는 이상 데이터로 간주하여 평가에서 제외하고 나머지 데이터를 이용하여 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 평균값에 2 × 표준편차를 더한 값을 상한 95% Confidence value로 정의하였고, 평균값에 2 × 표준편차를 빼준 값을 하한 95% Confidence value로 정의하여 평가하였다. 또한 Gaussian Method을 이용한 확률밀도 함수 (Probability Density Function)와 비교하여 평균값을 기준으로 데이터가 얼마나 넓게 분포되어있으며,⁽¹⁰⁾ 유용한 데이터의 범위는 어디까지인지 쉽게 판단하도록 하여 bounding value 선정의 근거를 높여 주었다.

4. 실험결과 분석 및 Bounding Value 결정

4.1 스템마찰계수 Bounding value 평가

4.1.1 열림 행정

Figure 3은 분석 대상밸브들의 차압에 따른 열림 행정시의 스템마찰계수 분포를 나타낸 그래프로서 97% 이상의 밸브들이 모터구동밸브 평가시 현재 산업계에서 적용하고 있는 스템마찰계수값 0.15보다 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 특이한 것은 차압 300 psi 이하인 저차압 밸브의 경우 스템마찰계수의 분포가 0.0200~0.1400에 이르는 고른 분포로, 중차압 및 고차압 밸브의 스템

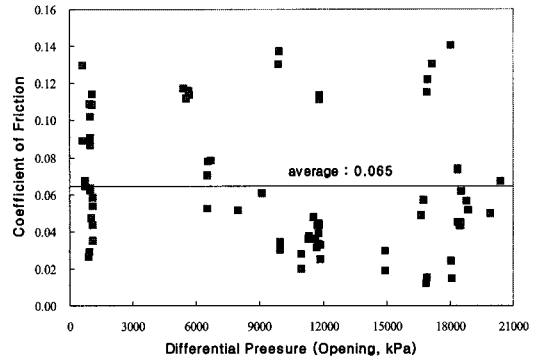


Fig. 3 Distribution of COF in opening stroke

마찰계수 분포와 별 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 닫힘 행정의 경우에도 이러한 현상이 나타났는데, 이것으로 저차압 밸브의 경우 고차압 밸브보다 유체 차압에 의한 영향보다는 다른 변수들 (나사산의 재질, 가공상태, 윤활 상태 등)의 영향이 더 크게 영향을 주어 이런 변수들의 영향에 따라 스템마찰계수가 다양하게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 또한 중차압과 고차압 밸브의 경우 열림시 유체 압력이 디스크의 동작을 도와주는 피스톤 효과에 의해 스템마찰계수가 상당히 완화되는 것을 시험 결과로부터 알 수 있다. 따라서 저차압 밸브는 중차압 밸브나 고차압 밸브보다 유체 차압에 의한 영향을 받지 않으며, 유체 차압외의 다른 변수들에 의해 스템마찰계수가 일정한 경향이 없이 분포하므로 bounding value의 신뢰성이 상대적으로 낮아 질수 있음을 예상할 수 있다. 스템마찰계수는 중차압 밸브 (차압 300~1,500 psi)와 고차압 밸브 (차압 1,500 psi 이상)의 분포가 유사하게 나타남을 알 수 있으며, bounding value가 차압에 관계없이 적용될 수 있음을 알 수 있다.

Figure 4는 Fig. 3에서 보여준 스템마찰계수 분포들에 대해 스템마찰계수를 0.030간격으로 확률밀도함수 (Probability Density Function) 분포를 나타낸 것으로 Gaussian Method을 이용한 확률밀도 함수와 비교하였다. 평균 스템마찰계수값은 평균값인 0.0650를 중심으로 최저 약 -0.0800에서부터 최대 0.1760까지 이르는 정규 분포함수곡선을 그리며 분포하는 것을 알 수 있다. 데이터의 표준편차값은 0.03817로 나타났으며, 2σ (95% Confidence value)를 적용할 경우 bounding value는 0.1417로 나타났다. 이것은 flexible wedge형 게이트 밸브의 성능평가시 열림 행정의 스템마찰계수값은 0.1417를 적용할 수 있음을 의미한다.

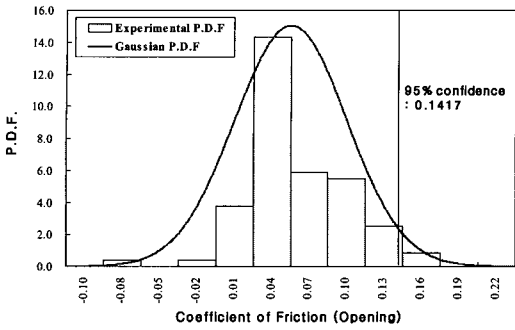


Fig. 4 Probability density function of COF in opening stroke

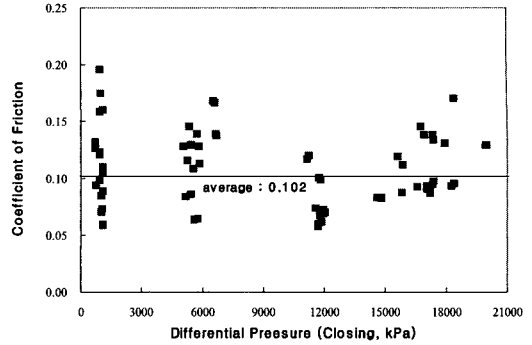


Fig. 6 Distribution of COF in closing stroke

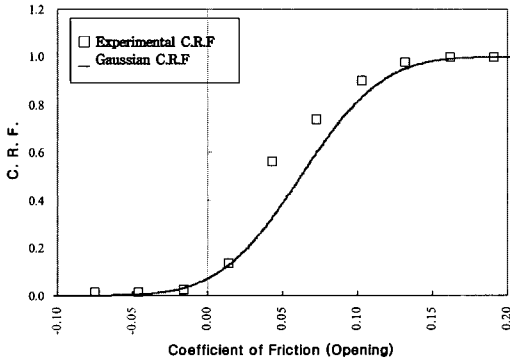


Fig. 5 Cumulative relative frequency of COF in opening stroke

Figure 5는 스템마찰계수 분포에 대해서 누적함수 (Cumulative Function)를 이용하여 확률적 분포를 나타낸 그래프로 측정 데이터가 Gaussian 분포를 보인다는 사실로부터 측정 데이터의 양이 충분하며, 통계분석결과 신뢰성이 충분하다고 판단할 수 있다.

4.1.2 닫힘 행정

Figure 6은 닫힘 행정시의 스템마찰계수 분포를 나타낸 그래프로서 92% 이상의 밸브들이 모터구동밸브 평가시 현재 산업계에서 적용하고 있는 스템마찰계수값 0.15보다 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 대체적으로 열림 행정보다 닫힘 행정의 스템마찰계수값이 높게 나타나는 경향을 알 수 있으며, 중차압 밸브와 고차압 밸브의 분포가 유사하게 나타나 bounding value가 차압에 관계없이 적용될 수 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 Fig. 6

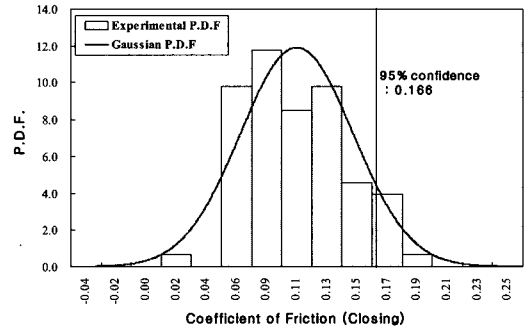


Fig. 7 Probability density function of COF in closing stroke

에서 보여준 스템마찰계수 분포들에 대해 스템마찰계수를 0.02간격으로 확률밀도함수 분포를 나타낸 것으로 Gaussian Method을 이용한 확률밀도 함수와 비교하였다. 평균 스템마찰계수값은 평균값인 0.1020를 중심으로 최저 0.0200에서부터 최대 0.1900에 이르는 정규분포함수 곡선을 그리며 분포하는 것을 알 수 있다. 데이터의 표준편차값은 0.03197로 나타났으며, 2σ 를 적용할 경우 bounding value는 0.1660로 나타났다.

4.2 밸브팩터 Bounding value 평가

4.2.1 열림 행정

Figure 8은 차압에 따른 열림 행정시의 밸브팩터 분포를 나타낸 그래프이다. 밸브팩터는 차압이 높을수록 조금씩 증가하는 것을 알 수 있으며, 중차압 밸브의 경우 0.126~0.582 사이의 값을 나타내고 있으며 고차압 밸브의 경우 0.260~0.629 사이의 분포를 보이고 있다.

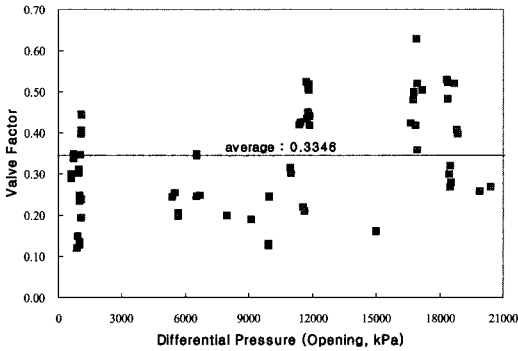


Fig. 8 Distribution of valve factor in opening stroke

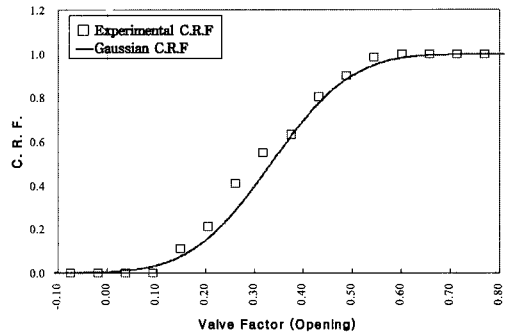


Fig. 10 Cumulative relative frequency of valve factor in opening stroke

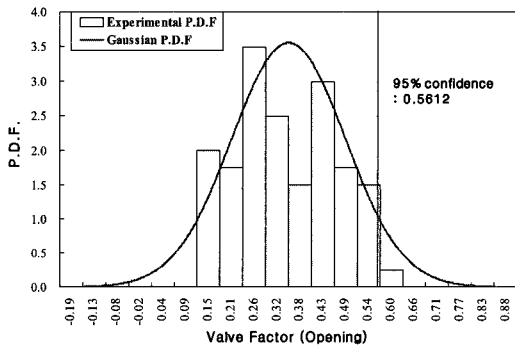


Fig. 9 Probability density function of valve factor in opening stroke

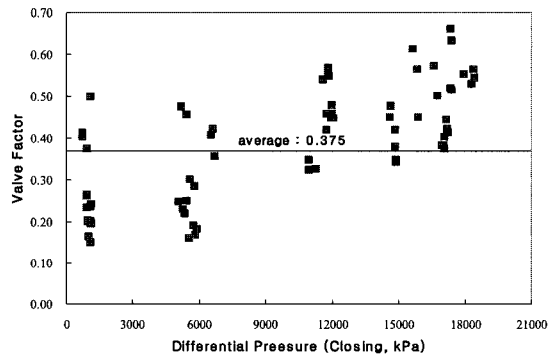


Fig. 11 Distribution of valve factor in closing stroke

차압 300 psi 이하인 저차압 밸브의 경우 스템마찰계수 분포와 유사하게 밸브팩터가 넓게 분포하는 현상을 보여주고 있는데, 밸브팩터도 스템마찰계수와 마찬가지로 저차압 영역에서는 고차압 밸브보다 유체 차압에 의한 영향보다는 다른 변수들 (디스크와 시트의 재질, 가공 상태 등)의 영향이 더 크게 영향을 주고 있음을 추측할 수 있다. 고차압 밸브의 밸브팩터가 중차압 밸브에 비해 대체적으로 좀 더 높게 나타나는 경향을 보이고 있으나, 그 차이가 뚜렷하게 큰 차이를 보이고 있지 않기 때문에 열림 행정의 밸브 팩터 bounding value는 차압에 관계 없이 적용이 가능함을 알 수 있다. Fig. 9는 밸브팩터를 0.06간격으로 확률밀도함수 분포로 나타낸 것으로 평균 밸브팩터값인 0.3346을 중심으로 0.1200~0.6300까지 이르는 정규분포함수곡선을 그리며 분포하는 것을 알 수 있다. 데이터의 표준편차값은 0.1283으로 나타났으며, 2σ를 적용할 경우 bounding value는 0.5612로 나타났다. 이 값은 flexible wedge형 게이트 밸브의 성능평가지 열

림 행정의 밸브팩터값은 0.5612를 적용할 수 있음을 의미한다. Fig. 10는 밸브팩터 분포에 대해서 누적함수를 이용하여 확률적 분포를 나타낸 그래프로 측정 데이터가 Gaussian 분포를 보인다는 사실로부터 측정 데이터의 양이 충분하며, 통계분석결과의 신뢰성이 충분하다고 판단할 수 있다.

4.2.2 닫힘 행정

Figure 11은 차압에 따른 닫힘 행정시의 밸브팩터 분포를 나타낸 그래프이다. 밸브팩터는 차압이 높을수록 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 고차압 밸브의 밸브팩터 최저값이 0.3 이상인 것을 알 수 있다. 열림 행정과 비교할 때 대체적으로 밸브팩터값이 높게 나타나고 있으며, 중차압과 고차압의 차이도 뚜렷함을 알 수 있다. 열림행정 보다 닫힘행정에서 밸브팩터값이 더 크게 나오는 이유는 피스톤 효과 (Piston Effect)가 주요 원인일 것으로 판단된다. 열림행정시 피스톤 효과에 의해 유체

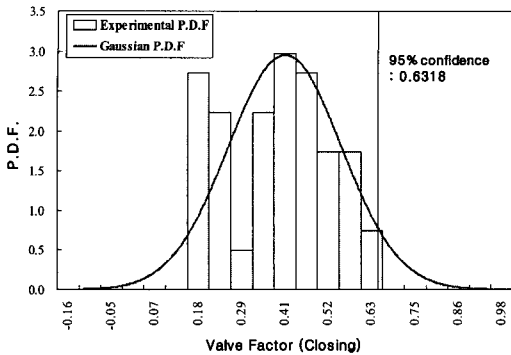


Fig.

Fig. 12 Probability density function of valve factor in closing stroke

압력이 밸브 디스크를 밀어주는 역할을 하며, 이것은 밸브 동작시 발생하는 유체 차압에 의한 힘을 완화시켜주는 역할을 하게 된다. 중차압 밸브의 경우 0.1650~0.4990 사이의 값을 나타내고 있으며 고차압 밸브의 경우 0.3230~0.6620 사이의 분포를 보이고 있다. 저차압 밸브의 경우 0.16~0.50 사이의 넓은 분포를 보여주고 있으며, 중차압과 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 닫힘 행정에서는 고차압 밸브와 중차압밸브의 밸브팩터 분포의 차이가 적지 않게 발생되기 때문에 밸브 팩터 bounding value 값을 동일하게 적용할 경우 중차압 밸브는 상당히 보수적인 평가 결과를 나타낼 것으로 예측된다. Fig. 12는 밸브팩터를 0.06간격으로 확률밀도함수 분포로 나타낸 것으로 평균 밸브팩터값인 0.3750을 중심으로 최저 약 0.180에서부터 최대 0.630까지 이르는 정규분포함수 곡선을 그리는 것을 알 수 있다. 데이터의 표준편차값은 0.1384로 나타났으며, 2σ를 적용할 경우 bounding value는 0.6318로 나타났다.

5. 결 론

스텝마찰계수는 차압 크기에 따라 그 값의 분포가 크게 차이가 나지 않았다. Bounding value의 경우는 열림 행정보다 닫힘 행정에서 더 높은 값이 나타났는데, 이것은 유체의 피스톤 효과에 의한 것으로 열림시 유체의 흐름 방향이 밸브 디스크의 이동을 도와주는 역할을 하여 스텝과 스텝너트의 마찰이 닫힘시에 비해 완화되는 현상 때문인 것으로 판단된다. 밸브팩터의 경우는 중차압보다 고차압에서 밸브팩터 값이 높게 분포되는 것을 볼

수 있었으며, 밸브팩터가 스텝마찰계수에 비해 차압에 민감하게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. Bounding value의 경우에도 닫힘시의 값이 열림시 보다 높게 나타났다. 그 이유는 피스톤 효과에 의한 것으로 판단된다. 위의 연구결과로 제시된 스텝마찰계수와 밸브팩터 bounding value는 밸브 설계시 또는 성능평가지 적용할 경우 충분히 보수성과 신뢰성을 가지고 있다고 판단된다.

참고문헌

- (1) U.S Nuclear Regulatory Commission., 1989, "Generic Letter 89-10 Safety-Related Motor Operated Valve Testing and Surveillance,".
- (2) EPRI, 1990, "Application Guide for Motor Operated Valves in Nuclear Power Plants," EPRI-NP-6660D, pp. 1-1~11.
- (3) Kalsi, M. S., Alvarez, P. D., Wang, J.K., Somogyi, D., 1996, "An Improved Gate Valve for Critical Applications in Nuclear Power Plants," Fourth NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, pp. 1B-55~56.
- (4) KINS, 2004, "Development of Regulatory Techniques for Operational Performance Evaluation of Nuclear Power Plants," pp. 157~180.
- (5) Chai, J. B., Kang, S. C., Park, S. G., 2004, "Condition Monitoring of a Motor-Operated Valve Using Estimated Motor Torque," JSME International Journal, pp. 305~313.
- (6) Kim, D. W., Yoo, S. Y., 2007, "Effects of Differential Pressure on the Performance of Motor Operated Flexible Wedge Gate Valve," KSME Journal B, pp. 151~158, 2007.
- (7) Guerout, F. M., Pitard-Bouet, J.M., Christophe Jouve, 2000, "Selection of Greases for Motor-Operated Valve Stem/Stem Nut Lubrication," Sixth NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, pp. 2B-52~53.
- (8) CRANE Inc., 1998, "Universal Diagnostic System MOV Data Acquisition Software User's Manual," pp. 1-3~10.
- (9) Garza, Ivo A., 1996, "Evaluation of Existing

모터구동 Flexible Wedge형 게이트밸브의 밸브 성능인자 Bounding Value에 대한 연구

EPRI and INEEL Test Data to Determine the Worm-to-Worn Gear Coefficient of Friction in Limitorque Actuators," Fourth NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, pp.

1B-36~39.

(10) Ronald H. D., 1992, "Measurement Uncertainty Methods and Applications," Instrument Society of America.