

< 논문 >

차압이 모터구동 Flexible Wedge형 게이트밸브의 성능에 미치는 영향

김대웅* · 유성연*

(2006년 8월 17일 접수, 2006년 12월 6일 심사완료)

Effects of Differential Pressure on the Performance of Motor Operated Flexible Wedge Gate Valve

Dae-Woong Kim and Seong-Yeon Yoo

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

Abstract

The mechanism of power transmission from motor torque to stem thrust and the operation characteristic of each stroke position are analyzed using the diagnostic signal, and effects of differential pressure on the performance of motor operated flexible wedge gate valve are investigated. Test facility consists of 76 mm motor operated valve(flexible wedge type), pump and pipe system. Static and dynamic test are performed separately, and two differential pressure conditions are applied in the dynamic test. To evaluate the performance of valve, test signals for the torque, thrust, current, voltage and stroke length are acquired by using UDS which is diagnosis device for motor operated valve, and each diagnostic signal is analyzed and compared. The characteristic of valve performance factors such as stem factor, rate of loading, valve factor, are evaluated, and these factors are found to be severely influenced by the fluid differential pressure.

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 미국 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 수행지침⁽¹⁾을 발행함에 따라 미국을 중심으로 1980년대 이후 활발한 연

구가 진행되었다. INEEL에서는 152 mm 게이트밸브 시험을 통하여 기존 산업계의 밸브 성능평가 방법에 문제가 있음을 밝혔으며 이후 미국 EPRI⁽²⁾를 중심으로 지금까지 알려지지 않았던 모터구동밸브의 운전 메커니즘에 대한 체계적 분석과 특성 파악 연구가 수행되었다. M.S. Kalsi⁽³⁾ 등은 회전형 밸브에 대한 실험적 연구를 가장 활발히 수행하였으며, MPR Associates Inc.⁽⁴⁾에서는 밸브의 스트레스/토크를 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 모터구동밸브의 운전특성을 파악하기 위해서는 열림 및 닫힘 행정시 각 단계별로 밸브 및 구동기의 운전 메커니즘을 파악하고 각 부품들의 상호 작용에 대한 특성을 밝히는 것이 필요한데, 1980년대 후반부터 개발된 모터구동밸브 전용 진단장비⁽⁵⁾를 사용한 진단 신호분석은 이러한 연구를 더욱 촉진시키는 계기가 되었다.

† 책임저자, 회원, 한국전력공사 전력연구원 원자력발전연구소

E-mail : kimdw@kepri.re.kr

TEL : (042)865-5538 FAX : (042)865-5604

* 회원, 충남대학교 기계설계공학과

밸브 동작시 가장 많은 부하(load)를 발생시키는 유체 압력과 유동에 대한 연구⁽⁶⁾도 최근에 활발하게 진행되고 있으며, 그 외 윤활유 성능,⁽⁷⁾ 패킹 부하,⁽⁸⁾ 대기온도 및 습도 상태 등 기타 외적 환경이 밸브의 운전 성능에 미치는 영향을 분석하는 연구도 수행되고 있다.

본 연구에서는 국내 발전소에 설치된 모터구동 밸브중 가장 많은 설치 대수를 차지하는 플렉시블 웨지형 게이트 밸브의 운전 특성과 운전에 영향을 주는 주요 성능인자들에 대한 특성 분석을 수행하였다. 연구는 각각 다른 유체 차압조건에서 플렉시블 웨지형 게이트밸브의 열림 및 닫힘 동작시험을 수행하여 진단신호를 분석하고 주요 성능인자들을 도출하여 차압별로 비교 분석을 하는 방법으로 수행되었다.

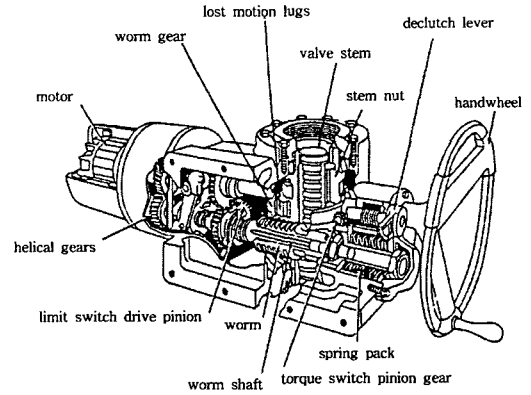


Fig. 1 Limitorque actuator

2. 모터구동밸브의 운전 특성

2.1 모터구동밸브의 운전 메커니즘

모터구동밸브는 모터, 구동기, 밸브로 구성되어 있으며, 위 3가지 기기들의 상호 운전 메커니즘에 의해 밸브가 동작되어 진다. Fig. 1은 모터와 구동기의 내부 구조그림을 보여주고 있다. 모터에서 발생한 회전력은 구동기를 통하여 밸브 스템에 상하 운동으로 전달되어지며, 밸브 스템의 상하 운동에 의해 디스크가 움직이면서 배관내 유체를 차단 또는 개방하는 역할을 수행하게 된다. 모터에서 발생한 동력이 밸브 디스크까지 전달되는 과정에서 helical gear, worm gear 등 각종 기어의 연결에 의해 모터에서 발생한 토크가 최종적으로 밸브 스템에서는 스러스트로 변환되며, 이와 같은 동력전달 과정에서 각 기어간의 상호 마찰력에 의해 동력 손실이 발생되게 된다.

Fig. 2와 3은 닫힘 및 열림 행정시간별 밸브 스템에 발생하는 스러스트 변화를 나타낸 그림이다. 닫힘 행정의 경우 닫힘 신호 발생과 동시에 최초로 모터가 동작하게 되고 helical gear와 worm 및 worm gear가 회전을 하게 된다. 이때 worm gear rugs가 stem nut drive sleeve를 때리게 되는 hammer blow현상이 발생되며, hammer blow 이후 바로 스템 너트가 움직이기 시작하고 이 때 서로 밀접하게 맞물려있던 스템 너트의 기어와 스템의 기어는 상호 이완되며, 인장력이 풀어지게 된다. 이 순간을 무부하(zero load, stem-to-stem

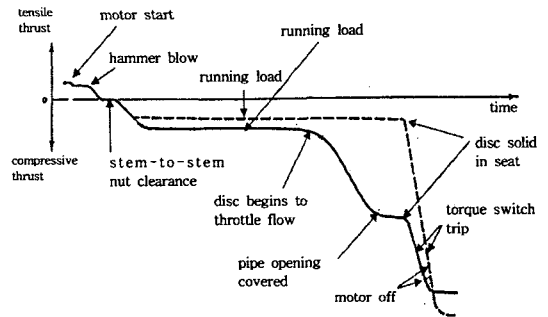


Fig. 2 Typical MOV closing sequence (stem thrust versus time)

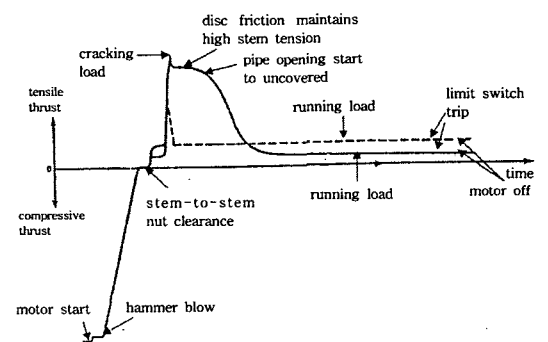


Fig. 3 Typical MOV opening sequence (stem thrust versus time)

nut thread clearance) 상태라고 하며 무부하상태 이후로는 인장력이 압축력으로 변화하게 되고 스템 너트의 회전에 의해 밸브 스템이 움직이기 시작한다. 밸브 디스크가 시트에 접촉하기 전까지는

밸브 패킹과 유체의 피스톤 효과만 작용하게 되며 이 구간을 **running load**라고 한다. 밸브가 닫힘 위치에 근접할수록 유체의 차압이 증가하여 스템의 동작시 차압에 의한 부하가 더욱 증가하게 되고 밸브가 유체를 완전히 차단하는 순간 디스크 양단에 발생하는 유체의 차압은 최대가 되며 밸브 동작시 요구되는 힘도 가장 커지게 된다. 유체가 차단된 이후에도 밸브는 완전 닫힘을 위해 밸브 시트에 디스크를 완전히 밀착시키는 동작이 이어지며 최종적으로는 토크스위치가 동작하게 되어 모터의 전원을 차단함으로써 밸브 동작이 정지하게 된다.

열림 행정의 경우는 닫힘 행정과 마찬가지로 **hammer blow**현상이 발생되고, 스템 너트가 움직이기 시작하며, 스템 너트의 기어와 스템의 기어는 상호 이완되면서, 닫힘시에 발생되었던 압축력이 풀어지게 된다. 이 순간을 무부하 상태라고 하며 무부하상태 이후로는 압축력이 인장력으로 변화하게 되고, 스템 너트의 회전으로 밸브 스템이 움직이기 시작한다. 밸브 스템의 동작으로 밸브 시트에 밀착되어있던 디스크는 시트와 디스크 사이의 마찰력을 극복하고 최초로 디스크가 뿔혀져 올라오는 순간을 **cracking**이라고 하며 열림 행정에서는 가장 큰 힘이 요구되어지는 순간이다. **cracking** 이후에는 **running load** 구간을 거쳐서 완전 열림 상태로 진행되며 최종적으로는 리미트스위치가 동작하게 되어 모터의 전원을 차단함으로써 밸브 동작이 정지하게 된다.⁽²⁾

2.2 모터구동밸브의 운전성능 인자

2.2.1 스템 팩터(stem factor, SF)

스템 팩터란 토크가 스러스트로 변환되는 과정에 스템과 스템너트 나사산간에 발생하는 마찰손실을 고려한 계수이다. Fig. 4는 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 스템 팩터이다. 스템 팩터에 대해서는 식 (1)과 (2)에서 정의되어져 있다.⁽²⁾ 스템 팩터는 스템너트와 스템 나사산의 가공상태 및 정확도, 윤활상태 등에 의해 결정되어지며, 나사산간의 마찰을 쓰레드 마찰계수(μ_s : **thread friction coefficient**)로 표현한다. 일반적인 산업계의 경험에 의하면 쓰레드 마찰계수는 0.08

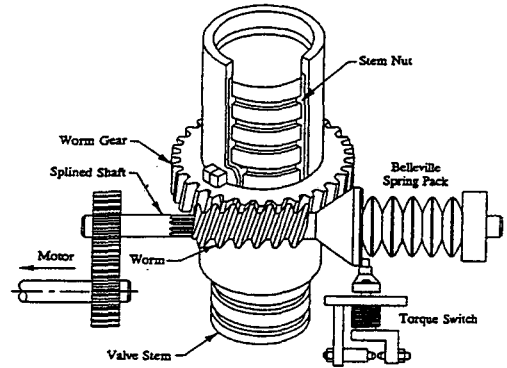


Fig. 4 MOV driving components (stem nut & stem)

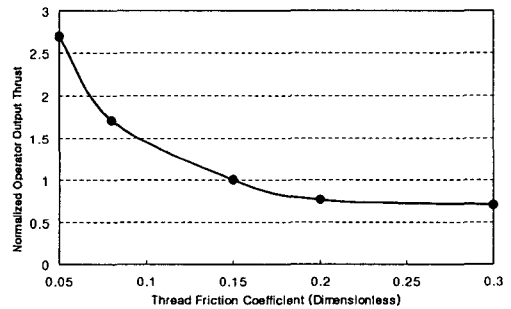


Fig. 5 Sensitivity of operator output to stem thread friction coefficient

~ 0.2의 범위 안에 있으며, 보통 0.15가 널리 추천되어 진다. Fig. 5는 쓰레드 마찰계수 변화에 따라 스템에서 발생하는 스러스트의 크기를 나타낸 것으로 쓰레드 마찰계수가 클수록 스러스트 값이 작아지며, 쓰레드 마찰에 의해 토크가 스러스트로 변환되는 과정에서 손실이 커지는 것을 의미한다.⁽⁷⁾

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

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

여기서 α 와 θ 는 스템 나사산(thread lead) 및 반나사산(half thread)의 각도를 나타내며, μ 와 μ_s 는 디스크 마찰계수(disc friction coefficient)와 스템 나사산 마찰계수를 나타낸다.⁽²⁾

2.2.2 부하율(rate of loading, ROL)

부하율은 구동기에서 발생한 동일한 토크가 유

체 차압의 크기에 따라 각각 다른 크기의 스투스트로 변환되는 현상으로 대체로 유체 차압이 큰 조건에서 토크가 스투스트로 변환되는 값이 적게 나타나는데 이것은 유체 차압이 클수록 쓰레드 마찰계수가 증가하여 스투스트로 변환시 마찰 손실이 발생하는 현상과 밀접한 관계가 있다. 부하율의 원인은 스템과 스템너트 사이에 발생하는 쓰레드 마찰계수(μ_s)의 변화가 주원인이며, 마찰계수는 스템과 스템너트 사이의 윤활막에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

구동기의 부하율에 대한 민감도를 분석하는 방법에는 두 가지 방안이 있다. 첫 번째는 식 (3)에 나타난바와 같이 유체차압이 있는 동적상태(dynamic state)의 토크스위치 트립시점(TST : torque switch trip)에서 발생한 스투스트와 유체 차압이 없는 정적상태(static state)의 토크스위치 트립시점에서 발생한 스투스트를 이용하는 방법으로 이때 부하율이 1.0 이상이면 정적상태에서 스투스트가 동적상태일때보다 크게 발생한 것을 의미한다.⁽⁶⁾

$$ROL_{TST}^{TH} = Th_S^{TST} / Th_{DP}^{TST} \quad (3)$$

두 번째 분석방법은 식 (4)로 표현되는데, 동적상태의 스템팩터와 정적상태의 스템팩터를 이용하는 것으로 이때 부하율이 1.0 이상이면 동적상태일 때가 정적 상태일 때보다 스템의 마찰효율이 커지는 것을 의미한다.⁽⁶⁾

$$ROL_{TST}^{SF} = SF_{DP}^{TST} / SF_S^{TST} \quad (4)$$

유체의 차압이 없는 정적상태에서는 밸브 디스크에 미치는 유체의 힘이 거의 없으므로 스템너트와 스템의 마찰력이 작게 발생되어 구동기에서 발생한 토크가 스투스트로 변환되는 과정에 스투스트의 손실이 크지 않다. 하지만 유체의 압력이 존재하는 동적상태의 경우 밸브 디스크 전후단에 작용하는 차압이 클수록 디스크 동작시 스템너트와 스템의 마찰력이 크게 발생되어 구동기에서 발생한 토크가 스투스트로 변환되는데 손실이 커지게 된다. 이러한 현상에 의해서 부하율은 증가하게 되며, 일반적으로 동일한 토크값에 대해 차압이 낮은 조건일수록 스투스트로 변환되는 비율이 크게 나타난다. 따라서 밸브의 성능을 향상시키기 위해서는 부하율을 최소화하여 가능한 정적상태와 동적상태에서 스투스트 값이 동일하게 발

생하도록 하는 것이 중요하며, 이렇게 되면 구동기의 효율이 높아, 밸브가 원활한 동작을 수행할 수 있게 된다.

2.2.3 밸브팩터(valve factor, VF)

밸브팩터는 배관내 유체에 의한 차압이 작용할 때 밸브 디스크 이동에 요구되는 스투스트와 시트 평균 단면적에 작용하는 차압 힘에 의한 주요 접촉 부위들의 마찰 상관관계를 의미한다. 게이트 밸브의 경우에는 디스크와 시트 사이의 표면 접촉 경사각(contact surface angle, θ)과 접촉 표면 재질들에 의한 마찰계수(μ)에 의해서 결정되는 팩터로써 아래의 식 (5) 및 (6)과 같이 정의된다.⁽²⁾

$$F_{DP} = \mu \Delta P A_o \frac{1}{\cos \theta \pm \mu \sin \theta} \quad (5)$$

$$\frac{F_{DP}}{\Delta P A_o} = \frac{\mu}{\cos \theta \pm \mu \sin \theta} = VF \quad (6)$$

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

3. 시험장치 및 시험 방법

시험 대상 밸브는 76 mm 플렉시블 웨지형 게이트밸브로서 3가지 차압조건(무차압, 중차압, 고차압) 수행하였다. 유동장치는 다양한 압력을 형성하기 위해 발전소 현장의 펌프 및 배관설비를 이용하였으며, 시험 대상 밸브 및 구동기의 상세 사양은 Table 1과 같다.

Fig. 6은 실험 장치의 개략도를 나타내고 있다. 밸브의 성능평가를 위해서는 밸브 동작시 주요 행정위치에서 밸브에 발생하는 토크, 스투스트, 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 진단 신호를 수집하는 Data Acquisition

Table 1 Design data of valve and actuator

Valve		Motor/Actuator	
valve	Westinghouse	motor type	Reliance
valve type	gate	voltage/current	460V/3.2A
disc type	flexible wed.	motor rpm	3400 rpm
size	76 mm	actuator type	Limiterorque
orifice dia.	68 mm	model/size	SB-00
stroke time	6.24 sec	gear ratio	34.1
stem thread	General ACME	control switch	open-limit, close-torque
stem dia.	28.5 mm		

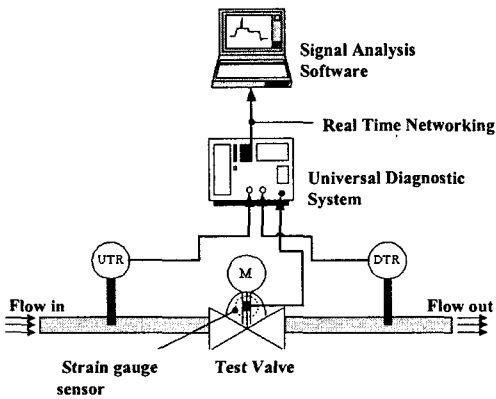


Fig. 6 Schematic diagram of MOV test facility

Module(DAM), 진단신호 수집에 사용되는 센서와 시험 장치를 제어하여 시험 데이터를 수집하고 분석하는 UDS 프로그램⁽⁵⁾으로 구성되어 있다. 진단 신호는 각종 센서들로부터 실시간으로 취득되며, 각 전용채널을 통하여 신호가 수집되는데, 스템 슬러스트, 구동기 출력 토크, 스프링팩 움직임, 모터 파워, 모터 전류, 콘트롤 스위치 작동시간, 스템 위치, 유체 압력 등을 측정할 수 있다.

시험은 정적시험과 동적시험으로 나누어 수행되었다. 정적시험은 배관에 유체가 존재하지 않는 상태의 시험으로 정적시험을 통하여 밸브, 구동기 및 주요 부품들의 건전성 여부를 분석하고 반복동작 시험을 수행하여 토크스위치, 스템 등 주요 부품들의 운전 특성을 파악하였다. 동적시험은 유체의 차압이 존재하는 상태에서 수행하는 시험으로 유체의 차압은 중차압(108.3kgf/cm²), 고차압(168.7kgf/cm²)으로 나누어 반복시험을 수행하였다. 동적시험을 통하여 유체의 차압이 없는 정적시험결과 및 각 동적시험 차압하에서의 밸브 운전 특성 및 성능 인자들의 특성을 상호 비교 분석하였다.

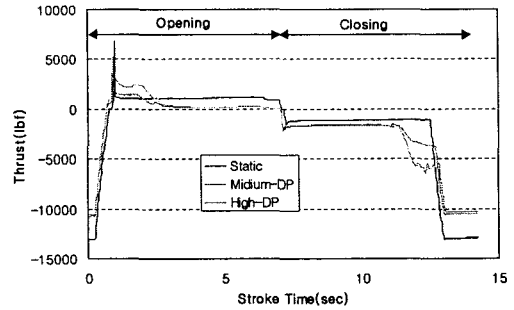


Fig. 7 Thrust signals for the change of differential pressure

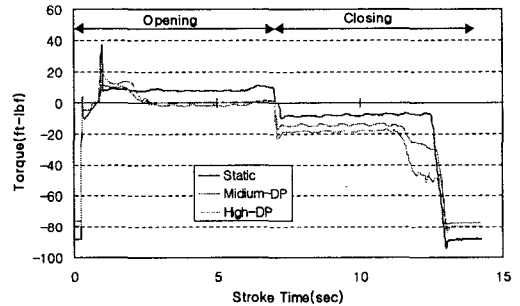


Fig. 8 Torque signals for the change of differential pressure

4. 시험결과 및 분석

4.1 유체 차압에 따른 밸브의 성능변화

밸브의 성능은 밸브 운전시 요구되는 힘과 구동기에서 발생하는 힘의 상관관계에서 결정되어진다. 밸브 운전시 요구되는 힘은 유체의 차압, 스템 패킹 마찰력, 시트 마찰, 피스톤 효과, 디스크와 스템의 무게 등이 있으며, 구동기에서 이러한 요구 힘들은 극복할 수 있는 힘이 발생되어야 한다. 이러한 상호 힘들의 상관관계에서 밸브 운전 성능 인자인 슬러스트, 토크, 스템 팩터, 부하율, 밸브 팩터 등이 결정되어 지며, 이들 운전 성능 인자들은 유체의 차압 크기에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다. Fig. 7과 8은 시험밸브를 무차압, 중차압, 고차압 상태에서 각각 시험을 수행하고 취득한 슬러스트 및 토크 값을 비교 분석한 것이다. 시험신호 비교에서 볼 수 있듯이 각 차압 조건에 따라 슬러스트 및 토크 값이 다르게 나타나며, 특히 밸브 디스크에 차압의 영향이 크

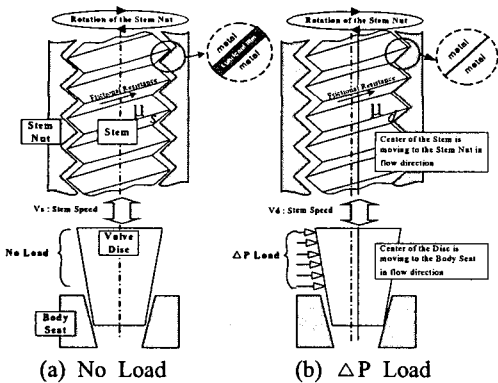


Fig. 9 Friction characteristics at contact are between stem and stem nut

게 나타나는 열림 직전 및 닫힘 직전에는 그 영향이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 기본적으로 동적 상태는 밸브 디스크 양단에 유체 차압이 추가적인 부하(load)로 발생하기 때문에 열림 및 닫힘시 밸브 스템에 정적 상태보다 더 큰 힘이 요구되는 것을 볼 수 있으며, 중차압보다는 고차압에서 더 큰 토크와 스러스트가 요구되는 것을 알 수 있다.

4.2 유체 차압에 따른 스템팩터 변화

유체 차압은 밸브 스템과 스템너트를 상호 밀착시키는 작용을 하며, 스템과 스템너트는 밀착이 될수록 마찰력이 증가하게 된다. 마찰력이 증가할수록 구동기에서 발생된 토크가 밸브 스템의 스러스트로 변환시 힘의 손실이 커지게 된다. 차압이 증가할수록 스템과 스템너트 사이의 마찰계수(TFC : thread friction coefficient) 증가하는 이유는 Fig. 9와 같이 설명할 수 있다. 즉 스템과 스템너트에는 윤활유가 주입되어 윤활막을 형성하게 되는데, 부하가 일정하거나 천천히 증가하는 경우에는 일정한 경계 윤활층이 유지되며, 저차압 조건에서는 이러한 윤활층이 잘 유지되고 TFC값도 양호하게 나타난다. 하지만 고차압 조건에서는 유체의 차압에 의해 밸브 디스크가 한쪽으로 밀착하게 되며 동시에 디스크 상부에 연결된 스템은 스템너트에 밀착하게 된다. 이 과정에서 스템과 스템너트 사이에 형성된 윤활유가 모두 빠져나가 버리고 두 나사산간의 마찰력은 증가하게 되어 TFC값이 증가하고 토크의 손실이 커지게 되는 것이다.⁽¹¹⁾ Fig. 10은 시험 결과로 나

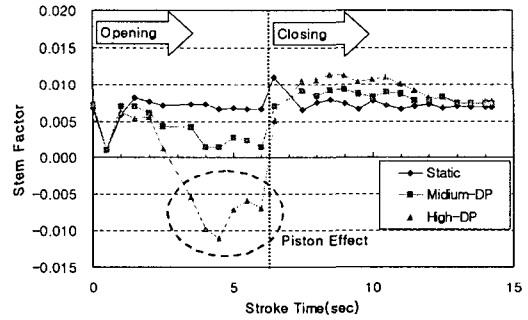


Fig. 10 Stem factors for the change of differential pressure

타난 각 차압 조건에서의 밸브 운전 구간별 스템의 밸브 운전 구간별 스템팩터값을 분석한 것이다. 스템 팩터는 고차압 조건에서 가장 높게 나타나고 있으며, 다음으로 저차압, 무차압순으로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 밸브 운전 구간별로 분석할 경우 running load 구간에서 스템 팩터값이 가장 낮게 나타나며, 밸브의 열림 및 닫힘 직전에서 가장 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 열림행정 고차압조건에서 스템 팩터값이 급격히 감소하는 부분이 나타나는데, 이것은 피스톤 효과(piston effect)에 의한 것으로 차압이 높을수록 피스톤 효과가 크게 나타나며, 이 구간에서는 밸브의 열림시 스템과 스템너트의 마찰이 거의 발생하지 않는다고 볼 수 있다.

4.3 유체 차압에 따른 부하율 민감도

유체 차압에 따른 부하율 민감도 분석을 위하여 밸브의 차압별 시험 결과에서 토크스위치 트립시의 스러스트, 토크, 스프링팩 변위, 스템 팩터, 스템 마찰계수 등을 분석 비교하였다. Fig. 11은 스템 팩터 변화에 대한 스러스트의 변화를 나타낸 것으로 동일한 스러스트값에서 차압이 큰 조건일수록 스템 팩터가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 스템 팩터가 클수록 토크가 스러스트로 변환될 때 마찰 손실이 커지며, 동일한 스러스트를 발생시키기 위해서는 보다 큰 토크가 발생되어야함을 의미하는 것이다. Fig. 12는 스프링팩의 변이에 대한 토크값의 변화를 나타낸 것으로 각 차압조건에서 그래프 선도들의 격차가 크지 않고, 동일한 스프링팩값에 대해 토크 값이 상호 크게 변하지 않는 경향을 볼 수 있다. 반면에 스프링팩 변화시 스러스트 값의 변화를 나타

넨 Fig. 13은 Fig. 12에 비해 각 차압조건에서 그래프 선도들의 격차가 크고, 동일한 스프링팩값에 대해 스러스트 값들이 크게 변하는 경향을 볼 수 있다. 위의 비교를 통하여 각각 다른 차압 조건에서 부하율이 커지면 토크의 변화는 크지 않지만 스러스트는 크게 변하여 부하율에 대한 민감도가 매우 높은 것을 알 수 있으며, 데이터를 분석해 보면 스프링팩 변위 0.12에서 토크 값은 정적상태 대비 동적상태가 6% 정도 변한 것에

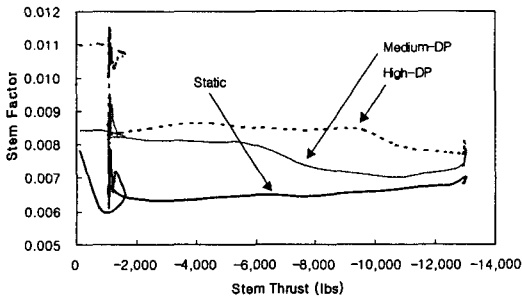


Fig. 11 Stem factor change trend at closing stroke

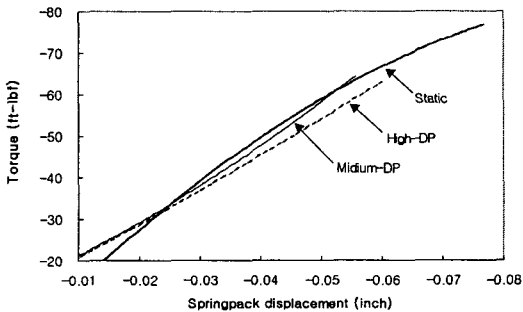


Fig. 12 Torque change trend with spring pack displacement

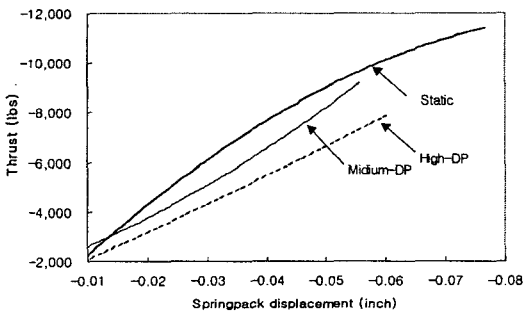


Fig. 13 Thrust change trend with spring pack displacement

비해 스러스트 값은 정적상태 대비 동적상태가 25% 정도 변화한 것을 알 수 있다.

4.4 유체 차압에 따른 밸브팩터 변화

시험 밸브의 열림 및 닫힘 행정 주요 구간별 밸브팩터를 추출하여 Fig. 14와 Fig. 15에서 비교 분석하였다. 닫힘 행정의 경우 running 구간 이후 유체의 차압이 급격히 증가하기 시작하는 initial wedging 구간에서부터 디스크가 유체를 완전히 차단하는 seating 구간까지 7개 지점에 대해 밸브팩터를 구하였다. 분석결과 열림 행정과 마찬가지로 닫힘 행정에서도 고차압의 경우가 중차압의 경우보다 밸브 팩터값이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 최대 밸브 팩터값이 고차압의 경우는 0.449, 중차압의 경우는 0.447로 나타났다.

열림 행정의 경우 밸브가 최초로 열리기 시작하는 cracking 구간에서부터 유체차압의 영향이 거의 없는 running 구간 진입전까지 4개 지점에 대해 밸브 팩터를 구하였다. 분석결과 고차압의 경우가 중차압의 경우보다 밸브 팩터값이 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 최대 밸브 팩터

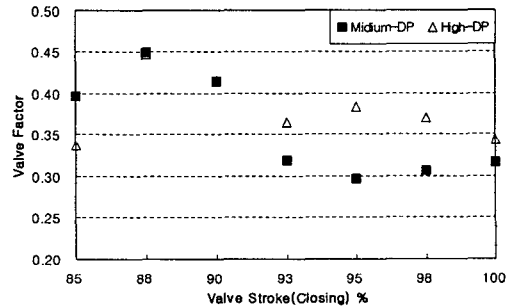


Fig. 14 Valve factor distribution for opening stroke

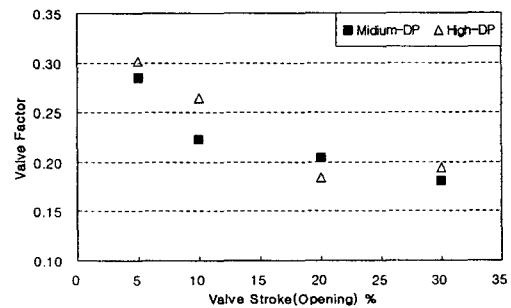


Fig. 15 Valve factor distribution for closing stroke

값이 고차압의 경우는 0.3016, 중차압의 경우는 0.2849로 나타났다.

위의 유체 차압에 따른 밸브 팩터의 평가 결과 고차압 조건이 중차압 조건보다 밸브 팩터값이 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 열림 행정 보다는 닫힘 행정에서 그 값이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 밸브 팩터값이 상승한다는 것은 밸브 동작시 더 많은 힘이 요구됨을 의미하는 것으로 유체 차압이 높은 조건에서 더 많은 힘이 요구됨을 시험 평가 결과로 알 수 있었다.

5. 결론

모터구동 플렉시블 웨지형 게이트밸브의 열림 및 닫힘 동작시 모터에서 전달되는 토크가 구동기를 통하여 밸브 스템에서 스러스트로 변환되는 과정까지의 동력전달 메커니즘을 분석하고 진단 신호 분석을 통하여 주요 동작 시점의 운전 특성을 파악하였다. 시험결과 밸브 운전 성능인자인 스템팩터, 부하율, 밸브팩터등의 특성이 파악되었으며, 특히 유체 차압에 의해 이들 인자들이 매우 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 스템팩터의 경우 유체의 차압이 증가할수록 스템과 스템너트의 마찰계수가 증가하여 구동기에서 발생하는 토크가 스템의 스러스트로 변환되는 과정에서 힘의 손실이 커지는 것을 알 수 있었다. 부하율의 경우 대체적으로 유체 차압이 커질수록 부하율도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 부하율 증가의 주원인이 스템 마찰의 증가에 있는 것을 부하율 민감도 분석을 통하여 파악할 수 있었다. 밸브팩터의 경우도 유체 차압이 증가할수록 그 값이 커지는 것을 알 수 있었으며, 열림행정 보다는 닫힘행정에서 그 값이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

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. and 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) EPRI, 1998, "Performance Prediction Methodology Implementation Guide," TR-103244, pp. 1-1~7.

(5) CRANE Inc., 1998, "Universal Diagnostic System MOV Data Acquisition Software User's Manual," pp. 1-3~10.

(6) EPRI, Palo Alto, CA, 1994, "Methods to Address Rate-of-Loading in Torque Switch-Controlled MOVs," TR-103226, pp. 1-1~2-49.

(7) Guerout, F. M., Pitard-Bouet, J.M. and 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) EPRI, 1988, "Valve Stem Packing Improvements," EPRI-NP-5697, pp. 3-1~28.

(9) Garza, Ivo A., 1996, "Evaluation of Existing EPRI and INEEL Test Data to Determine the Worm-to-Worm Gear Coefficient of Friction in Limitorque Actuators," *Fourth NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing*, pp. 1B-36~39.

(10) Wang, J.K., Sharma, V. and Kalsi, M.S., "Stem Thrust Prediction Model for Westinghouse Wedge Gate Valves with Linkage Type Stem-to-Disk Connection," *Fourth NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing*, pp. 1B-77~81.

(11) Kim, D.W. and Yoo, S.Y., 2005, "A Method of ROL Improvement for the Motor Operated Gate Valve Operated in the High Differential Pressure Condition," *J. of KFMA*, Vol. 8, No. 1, pp. 16~22.