

# 고차압에서 운전되는 모터구동 게이트밸브의 부하율 향상 방안

김대웅\* · 유성연\*\*

## A Method of ROL Improvement for the Motor Operated Gate Valve Operated in the High Differential Pressure Condition

D.W. Kim\* and S.Y. Yoo\*\*

*Key Words: Motor operated valve (모터구동밸브), Differential pressure (차압), Rate of loading (부하율), Stem factor (스텝팩터), Static test (정적시험), Dynamic test (동적시험)*

### ABSTRACT

This paper presents the method of ROL(Rate Of Loading) improvement for the Motor Operated Gate Valve operated in high differential pressure condition. ROL is one of the most important evaluation parameters for the valve ability. It is close to correlation in stem factor(SF) and appears different value by the differential pressure of fluid. ROL and SF are analyzed by the static test and dynamic test. The obtained result show that the modification of stem factor is very important factor for the ROL improvement. In order to obtain the same value of SF between static and dynamic test, stem and stem nut should be combined appropriately by the repetition test.

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

밸브는 발전소와 화학플랜트 등의 배관계에 설치되어 유체의 흐름을 차단 또는 조절하는 역할을 수행하는 기기로 밸브의 형태와 사용처에 따라 매우 다양하게 분류되어진다. 또한 밸브를 동작시키는 동력원에 따라 모터구동밸브, 공기구동밸브, 유압구동밸브 등으로 분류되어지며, 밸브의 형태에 따라 게이트 밸브, 글로브 밸브, 버터플라이 밸브, 볼 밸브 등 매우 다양하게 분류되고 있다. 원자력발전소에 사용되어지는 모

터구동밸브는 밸브의 기능수행이 발전소의 안전 운전과 직접적으로 관계되어 있어 밸브의 설계와 제작이 공인된 규정에 의해 엄격히 관리되고 있으며, 성능개선을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다.

모터구동밸브의 운전 성능은 모터와 구동기 및 밸브 주요 부품들의 성능에 의해 결정되어지는데, 주요 성능 인자들로써는 밸브팩터(VF : Valve Factor), 부하율(ROL : Rate Of Loading), 스텝팩터(SF : Stem Factor) 등이 있으며<sup>(1)</sup>, 국내외에서 이들 인자들의 특성 분석과 개선을 위한 연구들이 수행되어지고 있다.

본 연구에서는 고차압(high differential pressure) 유체흐름에서 운전되는 모터구동게이트밸브의 동작시 부하율과 스텝팩터가 밸브의 성능에 미치는 영향을 분석하고, 운전여유도가 부족한 밸브에 대해 부하율을 개선함으로써 운전여유도를 개선할 수 있는 방

\* 한전 전력연구원

\*\* 충남대학교 기계설계공학과

책임저자 E-mail : kimdw@kepri.re.kr

안을 제시하고 시험을 수행하여 제시한 방안의 타당성을 알아보았다.

## 1.2 국내외 연구동향

미국에서는 모터구동밸브의 고장에서 시작하여 대형사고로 발전된 TMI(Three Mile Island) 원자력 발전소 사고를 계기로 국내 모든 원자력발전소의 안전관련 모터구동밸브에 대한 성능 및 안전성을 재평가 작업이 지난 10여년 동안 수행되었다. 미국 전력 연구소 (EPRI : Electric Power Research Institute)와 미국내 주요 Utility들을 중심으로 Westinghouse사, MPR사등 대부분의 원자력발전소 관련 산업체가 참가하여 원자력발전소에 설치된 모든 안전관련 모터구동밸브의 성능 재평가를 수행하였으며, 이 기간동안 밸브의 운동 메커니즘에 대한 분석과 해석 방법론이 개발되고, 각 부품에 대한 재평가를 통하여 부품을 개선하고, 밸브 성능 진단 센서 및 장비 개발을 지속 추진하였다. 진단시험을 통하여 밸브팩터와 스템팩터등 밸브 성능인자들이 재평가 되었으며, 재평가된 성능인자를 적용하여 밸브의 여유도 (margin)를 결정하였다. 현재는 평가를 통하여 결정된 여유도를 기준으로 밸브의 범주를 분류하고 범주별로 주기적 재평가를 수행하기 위한 방법론과 평가 주기 결정 연구를 수행하고 있다.

국내에서도 모터구동밸브의 안전성 평가에 대한 과학기술부의 규제요건 발행으로 지난 1998년부터 현재까지 국내 모든 원자력발전소에 설치된 모터구동밸브의 성능 및 안전성 평가를 수행하고 있으며, 이를 계기로 모터구동밸브의 성능 평가를 위한 방법론과 시험방법, 진단방법 및 진단장비 등 최신 기술들이 개발되어지고 있다. 평가 방법론은 미국에서 수행된 방법론을 국내 실정에 맞게 재개발하였으며, 특히 진단장비의 경우 밸브와 떨어진 MCC(Motor Control Center)에서 모터에 가해지는 전류와 전압을 측정하여 밸브의 상태를 파악할 수 있는 방법론이 개발되고 있다.

## 2. 모터구동밸브의 운전성능 평가

### 2.1 운전성능 평가 방법

모터구동밸브는 모터, 구동기, 밸브로 구성되어 있

으며, 이 3가지 기기들의 상호 운전 메커니즘에 의해 밸브가 동작되어진다. 모터에서 발생된 회전력은 구동기를 통하여 밸브 스템에 상하 운동으로 전달되어지며, 밸브 스템의 상하 운동에 의해 디스크가 상하로 움직이면서 배관내 유체를 차단 또는 개방하는 역할을 수행하게 된다. 모터에서 발생한 동력이 밸브 디스크까지 전달되는 과정에서 기어 및 부품간의 마찰력 손실, 스프링팩과 같은 부품자체의 동작특성과 설계 용량 등에 의해 밸브는 다양한 운전 특성을 나타내게 된다.

모터구동밸브의 운전성은 운전 여유도 평가 공식에 의해 표현될 수 있는데, 이 공식은 밸브의 행정 방향(열림 또는 닫힘) 및 제어스위치의 형태(토크스위치 제어 또는 리미트스위치 제어)에 의해 약간 달라질 수 있다. 아래에 제시한 공식들은 토크스위치 제어방식인 닫힘 행정인 밸브에 적용되는 운전 여유도 평가 공식이다<sup>(1)</sup>.

$$\text{Margin}_{F, \text{close}} = \frac{F_{A, \text{max}, \text{close}} - |F_{R, \text{min}, \text{close}}|}{|F_{R, \text{min}, \text{close}}|} \times 100 \quad (1)$$

$$F_{A, \text{max}, \text{close}} = \frac{F_{A, \text{close}}}{1 + AF_{F, \text{max}, \text{close}}} \quad (2)$$

$$F_{R, \text{min}, \text{close}} = F_{R, \text{DB}, \text{close}} \times (1 + AF_{F, \text{min}, \text{close}}) \quad (3)$$

$$AF_{F, \text{max}, \text{close}} = \sqrt{TE_{\text{total}, F}^2 + \text{TSR}^2} \quad (4)$$

$$AF_{F, \text{min}, \text{close}} = \frac{B_{\text{ROL}} + \text{SPR} + \text{SLD} +}{\sqrt{TE_{\text{total}, F}^2 + \text{TSR}^2 + U_{\text{ROL}}^2}} \quad (5)$$

$$F_{R, \text{DB}, \text{close}} = F_{\text{pack}} + F_{P, \text{DB}, \text{clo}} + F_{\text{DP}, \text{DB}, \text{clo}}, \quad (6)$$

[N]

$$F_{P, \text{DB}, \text{clo}} = P_{\text{up}, \text{DB}, \text{clo}} \times A_S : \text{Piston Thrust}, \quad (7)$$

[N]

$$F_{\text{pack}} = 1000 \times D_S : \text{Packing Thrust}, \quad (8)$$

[N]

$$F_{DP, DB, close} = VF \times \Delta P_{DB, close} \times A_o : \quad (9)$$

DP Thrust, [N]

- 여기서,  $F_{Amax}$  : 구동기 발생 최대 스러스트, [N]
- $F_{Rmin}$  : 최소요구스러스트, [N]
- $AF_{Fmax}$  : 구동기에 적용되는 불확실성
- $AF_{Fmin}$  : 최소요구스러스트에 적용되는 불확실성
- $TE_{total.F}$  : 진단장비와 스러스트 센서의 불확실성
- $F_{R, DB, close}$  : 차압에서의 최소요구 스러스트 [N]
- TSR : Torque Switch Repeatability
- ROL : Rate of Loading,
- SPR : Spring Pack Relaxation
- SLD : Stem Lubricant Degradation
- $P_{up, DB, clo}$  : 밸브 디스크 상부 압력
- $A_s$  : 디스크 단면적
- $D_s$  : 스템 직경
- VF : Valve Factor
- $\Delta P_{DB, close}$  : 설계기준 차압(psid)
- $A_o$  : 오리피스 단면적

위의 공식들에 의해 평가된 밸브의 운전여유도 (margin)가 0보다 큰 밸브의 경우 밸브 운전시 요구되는 힘보다 구동기에서 발생하는 힘이 더 크기 때문에 밸브의 동작에 아무런 문제가 없는 것으로 평가할 수 있으며, 만약 운전여유도가 0보다 작은 경우에는 구동기에서 발생하는 힘보다 밸브 동작시 요구되는 힘이 더 커서 밸브가 제대로 동작하지 않을 수 있는 것으로 평가할 수 있다. 따라서 설치된 밸브가 원활한 동작을 하기 위해서는 항상 운전여유도가 0보다 큰 상태를 유지해야 하며, 이를 위해서는 위에서 열거한 밸브 성능 변수들 (TSR, ROL, SPR, SLD)이 최적의 상태를 유지하도록 관리되어야 한다.

## 2.2 스템팩터와 부하율 (Rate of Loading)

구동기 내부 부품은 Fig. 1에 잘 나타나 있다. 스템너트는 원통형 모양의 기어로서 스템과 연결되어 구동기에서 발생하는 토크를 스템의 스러스트로 전환시키는 역할을 하고 있다. 토크와 스러스트는 스템팩터라는 변수에 의해 정의될 수 있다. 스템 팩터(SF :

Stem Factor)란 토크가 스러스트로 변환되는 과정에 스템의 크기와 나사산의 마찰력에 의한 영향을 고려한 변수이다. 스템팩터에 대해서는 식 (10)과 (11)에서 정의되어져 있다. 스템팩터를 결정하는 가장 중요한 변수중 하나인 쓰레드 마찰계수(thread friction coefficient)는 일반적인 산업계의 경험에

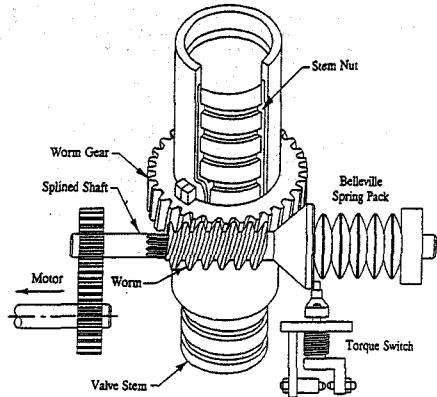


Fig. 1 MOV driving components

의하면 0.08~0.2의 범위안에 있으며, 보통 0.15이 가 널리 추천되어 진다. 쓰레드 마찰계수는 쓰레드의 표면처리와 사용되는 윤활유의 종류에 적지 않은 영향을 받는 것으로 알려져 있다<sup>(1),(4)</sup>.

$$SF = \frac{d \times [ (0.96815 \times \tan \alpha) + \mu ]}{24 \times [ 0.96815 - (\mu \times \tan \alpha) ]} \quad (10)$$

d=Pitch

Diameter=Stem Dia.-0.5×Stem Pitch

$\tan \alpha$  = Stem Lead / ( $\pi \times d$ )

$\mu$ =thread friction coefficient

$$Th = \frac{Tq}{SF_{15}} \quad (\text{lbf}) \quad (11)$$

Th : 스러스트,

Tq : 토크,

SF<sub>15</sub> : 스템팩터 ( $\mu=0.15$ )

부하율은 밸브 디스크에 미치는 유체 힘의 변화에 따라 밸브 스템과 스템 너트 사이의 마찰이 변해서 동일

한 구동기 토크에 대해 스러스트값이 변하는 현상으로 정의 할 수 있다<sup>(2)</sup>.

이상적 (ideal)으로는 유체 차압의 크기에 상관없이 구동기의 토크스위치가 트립 (trip) 되는 시점 (TST : Torque Switch Trip)에서 스러스트는 동일하게 발생되어야 한다. 하지만 유체 차압의 크기에 따라 스템 너트와 스템간의 마찰이 달라지게 되어 동일한 구동기 토크에 대해 유체 차압이 다르면 스러스트값도 다르게

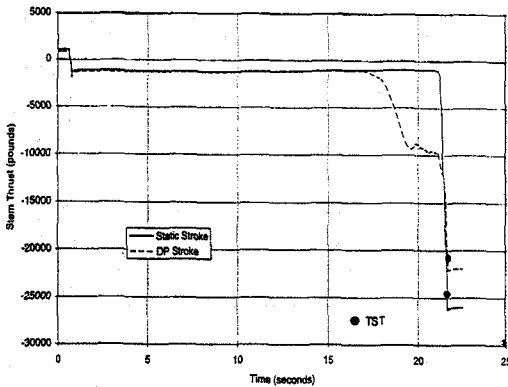


Fig. 2 Example of rate of loading effect

나타난다<sup>(2)</sup> (Fig. 2 참조).

유체의 압력이 존재하지 않는 정적시험 (static test)에서는 밸브 디스크에 미치는 유체의 힘이 거의 없으므로 스템너트와 스템의 마찰력이 작게 발생되어 구동기에서 발생된 토크가 스러스트로 변환되는 과정에 스러스트의 손실이 크지 않다. 하지만 유체의 압력이 존재하는 동적시험 (dynamic test)의 경우 밸브 디스크 전후단에 작용하는 차압이 클수록 디스크 동작시 스템너트와 스템의 마찰력이 크게 발생되어 구동기에서 발생된 토크가 스러스트로 변환되는데 손실이 커지게 된다. 이러한 현상에 의해서 부하율이 발생하게 되며, 일반적으로 동일한 토크값에 대해 차압이 낮은 조건일수록 스러스트로 변환되는 비율이 크게 나타난다<sup>(2)</sup>. 따라서 밸브의 성능을 향상시키기 위해서는 부하율을 최소화하여 가능한 정적시험과 동적시험에서 TST(Torque Switch Trip) 스러스트값이 동일하게 발생하도록 하는 것이 중요하며, 이렇게 되면 구동기의 효율을 높일 수 있고, 밸브가 원활한 동작을 수행할 수 있게된다. 특히 고차압 상태에서 운전되는 밸브의 경우 스템 마찰 손실 증가로 인해 부하율이 커지는 경향이 있으며, 이에 따라 구동기 용량 부족으로

밸브의 운전여유도가 부족한 경우가 발생되어 구동기의 교체를 고려해야 하는 경우가 발생하기도 한다. 구동기 교체는 상당한 비용을 수반할뿐만 아니라 구동기 교체에 따른 배관 및 밸브 하중해석, 지진해석, 구동기 용량 산정등 많은 부수적 해석 업무를 유발시키게 된다. 따라서 밸브에 발생하는 부하율의 특성을 분석하고, 부하율을 향상시킬 수 있다면 구동기의 교체없이도 밸브 성능을 향상시킬 수 있어 상당한 인력과 비용을 절감할 수 있을것이다.

### 3. 고차압밸브의 부하율 향상 방안

고차압밸브의 부하율 향상 방안을 연구하기 위하여 발전소에 설치된 고차압 밸브 (이하 “MOV-1”으로 지칭)를 1대 선정하여 시험을 수행하였다. MOV-1은 운전시 차압이 17.8 MPa까지 형성되며, 운전시 발생하는 부하 (차압 등)에 비해 구동기 용량이 충분히 커지 않아 부하율이 크게 나타날 가능성이 높은 밸브로서 주요 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Design parameter of the MOV-1

밸브제작사	Velan Rateau	모터제작사	Leroy-Somer
밸브유형	게이트	모터 회전속도	1750 rpm
디스크형태	flexible wedge	모터전압	AC-460V
밸브크기	7.62 cm	구동기 제작사	Joucomatic
행정시간	10 sec	구동기 모델	DR 40.72
운전차압	17.8 MPa	운전유량	227 m <sup>3</sup> /h

#### 3.1 부하율 개선전 밸브 시험 및 결과

현재 운전되고 있는 밸브의 성능을 평가하기 위해 정적 (static test) 및 동적시험 (dynamic test)을 수행하였다. 정적시험은 밸브가 설치되어 있는 배관내 모든 유체를 배수하여 밸브 운전시 유체의 차압이 전혀 존재하지 않는 상태에서 수행하는 시험이며, 동적 시험은 펌프나 가압된 탱크를 이용하여 밸브의 운전시 요구되는 유체의 차압을 형성시켜서 수행하는 시험을 말한다<sup>(3)</sup>. 밸브의 성능평가를 위해서는 밸브 동작시 주요 행정위치에서 밸브에 발생하는 토크, 스러스트, 전류, 전압등의 신호를 취득하고 분석해야 하는데, 본 연구에서는 모터구동밸브 전용 진단 장비인 UDS (Universal Diagnostic System)를 사용하여 주요

시험 데이터들을 취득하였다. 진단은 구동기 또는 밸브 부품에 센서를 부착하여 센서에서 발생하는 신호를 진단장비로 취득하는 방법으로 수행된다. 주요 취득 데이터는 모터전류 및 전압, 밸브스텝 슬러스트, 구동기출력 토크, 스프링팩 움직임, 리미트스위치 작동시간, 스텝위치, 유체 압력 등을 측정할 수 있으며, 이러한 데이터들은 각종 센서들을 사용하여 취득된다. 취득된 데이터는 진단신호 분석을 통하여 모터, 구동기 및 밸브의 운전 상태와 부품의 이상상태를 점검하고 밸브의 운전 성능 평가에 활용된다.

Figs. 3과 4는 MOV-1의 정적시험 및 동적시

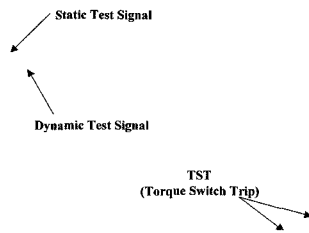


Fig. 3 Thrust signal (static and dynamic overlay)

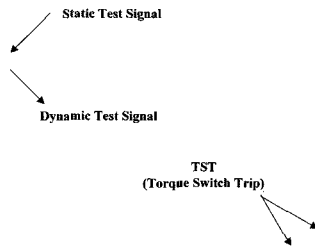


Fig. 4 Torque signal (static and dynamic overlay)

Table 2 Static test data

동작점	슬러스트 (N)		토크 (N · m)		스텝팩터(mm)	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차
Running	5,946	6,106	18.0	18.0	-	-
At Initial Wedging	5,802	5,963	14.9	14.6	-	-
TST	70,961	91,670	161.2	164.5	1.86	1.79
모터정지	105,087	108,541	192.7	195.1	-	-

Table 3 Dynamic test data

동작점	슬러스트 (N)		토크 (N · m)		차압 (MPa)	스텝팩터 (mm)	
	1차	2차	1차	2차	1차	1차	2차
Running	8,567	8,616	26.5	26.7	0.351	-	-
At Flow Isolation	53,311	52,871	151.0	147.1	17.3	-	-
At Initial Wedging	53,809	53,253	149.4	146.1	17.67	-	-
TST	61,064	62,203	166.9	167.4	17.8	2.71	2.68
모터정지	67,461	69,369	177.7	179.3	17.8	-	-

험시 진단장비에서 취득된 신호를 나타내고 있으며, Tables 2와 3은 각 시험에서 취득한 주요 동작 지점의 결과값들을 나타내고 있다. 그림과 테이블의 결과값을 분석해 보면 부하율 효과로 인하여 토크스위치 트립시(TST) 정적시험과 동적시험의 슬러스트값이 서로 차이가 나는 것을 알 수 있다. 동적시험에는 밸브 디스크 전후단에 압력계를 설치하여 차압을 측정하였으며, 차압은 밸브의 완전열림 상태에서 0.351 MPa (1차) 및 0.33 MPa (2차)로 나타났으며, 밸브의 닫힘 동작이 시작되어 닫힘이 진행되는 동안 차압이 점점 증가하여 밸브의 완전 닫힘시 최대 17.89 MPa (1차) 및 17.85 MPa (2차)까지 상승하였다 (Figs. 5와 6 참조).

정적시험 및 동적시험 수행을 통하여 취득된 슬러스트, 토크 및 압력값등을 위의 운전여유도 공식 (1) ~ (9)를 이용하여 MOV-1의 운전여유도를 계산하여 그 결과를 Table 4에 나타내었다. MOV-1의 현재



Fig. 5 Upstream pressure (psi)

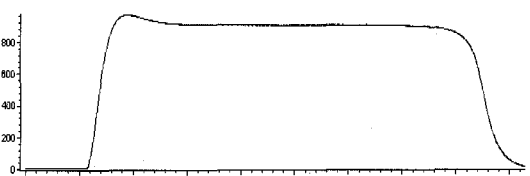


Fig. 6 Downstream pressure (psi)

Table 4 The result of margine analysis

시험 밸브팩터(VF)	0.618(1차), 0.611(2차)
시험 부하율(ROL)	0.464(1차), 0.437(2차)
$F_{DP}(N)$	38,363
$F_R(N)$	57,061
$AF_{F,max}$	0.35
$AF_{F,min}$	0.71
$F_{R,min}(N)$	97,573
TST Thrust(N)	89,411
Margine(%)	-8.4

운전여유도는 -8.4%로 운전여유도가 부족하며, 최대 운전 차압상태에서 제 기능을 발휘하지 못할 가능성이 있는 것으로 판단할 수 있다. 이 경우 역여유도가 발생한 원인을 파악하여 밸브의 여유도를 개선시켜야만 밸브가 제 기능을 할 수 있음을 보장받을 수 있다. MOV-1의 경우 정적시험에서 취득한 진단신호 분석을 통하여 밸브 및 구동기에 기계적 혹은 전기적으로 이상이 없는 것으로 이미 확인하였으므로, 밸브 자체의 결함은 없는 것으로 판단할 수 있다. 역여유도 발생 원인을 보다 정밀하게 분석을 해 보면 Table 4에서 볼수 있듯이 시험시 부하율의 경우 0.464 (1차) 및 0.437 (2차)로 나타났으며, 이 값은 일반적으로 많이 알려진 부하율 적용값 0.1을 상당히 초과하는 값으로 부하율이 MOV-1의 역여유도 발생에 가장 큰 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있었다.

### 3.2 부하율 개선 시험 결과

차압 상태에서 운전되는 밸브는 구동기의 힘이 충분하지 않으면 밸브가 닫히는 과정에서 스템팩터가 최대치로 상승하게 된다. 즉 구동기에서 누르는 토크힘이 스템너트를 통하여 전달되어지며 이 힘은 스템너트와 연결된 스템에 전달되는데, 스템은 유체의 차압에 의해 강한 저항력을 가지게 되므로 스템너트와 스템의 나사산들은 최대한 밀착이 되어 마찰력이 급격히 증가하게 되고 이 과정에서 구동기 토크가 스트레스로 변환되는 과정에 스템너트와 스템의 마찰에 의해 상당한 힘이 손실되어져 버린다(Fig. 7 참조).

모터구동밸브는 그 특성상 정적시험을 통하여 동적 시험 TST값을 설정하게 된다<sup>(3)</sup>. 이 과정에서 동적 시험시 발생하는 부하율을 고려하여 통상 10% 정도 더 높게 토크를 설정하고 있다. 하지만 고차압 밸브의

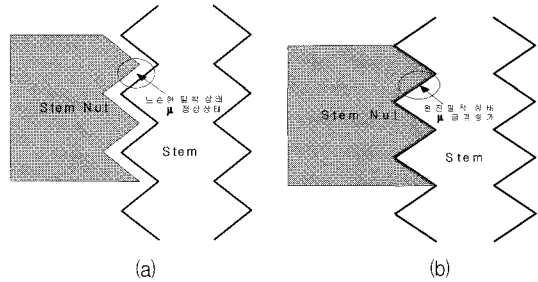


Fig. 7 The Mechanism between the stem nut and stem threads for the pressure condition : (a) low pressure condition and (b) high pressure condition

경우 부하율이 10% 이상을 초과하여 나타나는 경우가 적지 않아 부하율을 최소화 하는 것이 밸브의 운전 여유도를 확보하는데 매우 중요하다. 부하율은 스템팩터와 매우 밀접한 관계를 가지고 있어(식(12), (13) 참조) 스템팩터의 특성을 잘 분석하여 해당 밸브의 특성에 맞게 조정할 수 있으면 부하율을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

$$ROL_{close} = \frac{F_{trip,close,S} - F_{trip,close,DP}}{F_{trip,close,DP}} \quad (12)$$

$$ROL_{close} = \frac{SF_{trip,close,DP} - SF_{trip,close,S}}{SF_{trip,close,S}} \quad (13)$$

본 연구에서는 정적시험 수행만으로도 동적시험시 발생할 MOV-1의 부하율을 예측하는 방법으로 공식(13)을 이용하였으며, 예측한 결과를 동적시험을 수행하여 확인하였다. 즉, 공식(13)에서  $SF_{trip,close,DP}$ 는 최초 수행한 동적시험(Table 3 참조)에서 취득한 값인 2.71을 사용하고  $SF_{trip,close,S}$ 는 정적시험을 수행하여 구하였다. 정적시험은 두가지 방법으로 수행되었는데, 첫 번째 시험(1~4차)은 기존의 스템너트와 스템을 그대로 사용하고 구동기의 토크만 높여서 시험을 수행하였고, 두 번째 방법(5, 6차)은 토크를 높은 상태에서 스템너트와 스템을 교체해 가면서 시험을 수행하였다. 스템너트와 스템을 교체하는 이유는 스템팩터를 동적시험때 나타난 스템팩터인 2.71로 맞추기 위한 조치로서 스템너트와 스템의 나사산을 보다 거친 것으로 교체하여 쓰레드 마찰계수를 크게 하기 위함이다. 정적시험 수행후 동적시험을 수행하여 정적시험시

예측한 부하율과 실제 시험시 발생한 부하율을 비교 분석 하였다.

Table 5의 시험결과를 분석해 보면 먼저 밸브의 운전여유도를 향상시키기 위해 토크만을 향상 시킨 1~4차 시험의 경우는 SF의 변화가 별로 없고 부하율이 크게 개선되지 않는 것을 알 수 있다. 5차 및 6차 시험에서는 SF가 동적시험시 예상되는 SF만큼 크게 변화하였으며, 부하율 또한 크게 개선되는 것으로 예측되어 지는 것을 알 수 있다. 동적시험 7차 및 8차와 정적시험 5차 및 6차 시험결과가 매우 유사하게 나타나 정적시험시 부하율을 예측하는 본 연구 방안이 매우 타당성이 있음을 알 수 있다.

Table 5 Results of static test for ROL prediction

Test	TST TQ (N · m)	TST TH (N)	SF (mm)	ROL	Margin (%)
1차	208.7	105,093	1.981	0.38	-3.8
2차	199.3	107,059	1.859	0.47	-4.1
3차	204.7	110,008	1.859	0.47	-7.0
4차	203.3	113,153	1.767	0.53	-6.5
5차	208.7	75,058	2.773	-0.01	1.6
6차	208.7	72,825	2.865	-0.04	1.1
7차 (DP)	206.0	73,671	2.804	0.037	7.0 (실제여유도)
8차 (DP)	212.8	74,787	2.865	0.056	8.0 (실제여유도)

#### 4. 결 론

지금까지 고차압 상태에서 운전되는 모터구동계가

트밸브의 부하율 개선 방안에 대해 알아 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 부하율과 스템팩터는 밸브 동작 메커니즘상 매우 밀접한 연관성을 가지고 있어, 부하율을 개선시키기 위해서는 스템팩터를 개선시키는 것이 효과적이며, 정적시험 스템팩터가 동적시험 스템팩터에 근접할 수록 부하율 개선 효과가 크다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 동적시험시 발생하는 스템팩터를 정적시험에서 얻기 위해서는 동적시험시 발생하는 쓰레드 마찰계수와 유사한 값이 나오도록 스템너트와 스템을 적절하게 교체해야 하며, 이 작업은 수차례의 반복 시행을 요구하게 된다.

본 연구를 통하여 고차압 밸브의 부하율 향상 방안과 그 방안의 타당성을 검증할 수 있었으며, 동일한 조건에 설치된 다른 밸브들에도 위의 방법론을 적용할 경우 동적시험 전에 부하율을 향상시킬 수 있어 동적시험 회수를 줄이고, 비용과 시간을 절감하는 효과가 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- (1) MPR Associates Inc., 1990, Application Guide Motor-Operated Valves in Nuclear Power Plants, NP-6660-D
- (2) EPRI Report TR-103226, 1994, Address Rate-of-Loading in Torque Switch Controlled MOVs,
- (3) EPRI Report TR-103220, 1994, EPRI MOV Performance Prediction Program, Phase 1 in Situ Test Report
- (4) EPRI, Report TR-102135, 1993, Stem/Stem Nut Lubrication Test Report