

모터구동밸브 운전에 따른 밸브 스템과 스템너트의 윤활 저하 평가

Lubrication degradation analysis of MOV Actuator's stem and stem nut with operation period and stroke numbers

김 인환, 김 대웅, 이도환, 박 성근
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

모터구동밸브가 동작되기 위하여는 모터에서 발생하는 힘이 구동기를 거쳐 밸브의 스템으로 전달되어야 하며 이 과정에서 기어의 마찰력등에 의하여 힘의 손실이 발생한다. 이러한 마찰력에 의한 힘의 손실을 최소화하기 위하여 윤활유를 주입하고 있는 데 윤활유의 성능은 밸브의 성능에 많은 영향을 미친다.

본 연구는 구동기의 힘이 밸브 스템으로 전달되는 정도를 일정한 시간 간격을 두고 평가함으로써 윤활유의 윤활 저하 현상을 검토하였으며, 마찰계수의 평가를 위하여 정적시험을 수행한 결과에서 단힘시에 토크 스위치가 트립되는 시점의 토크 및 쓰러스트를 분석하였다.

발전소에 설치된 밸브의 특성상 운전기간과 운전횟수의 영향을 분리해서 평가하기가 어려워서 운전기간과 운전횟수가 복합된 형태로서 증가할 경우에 대해서 밸브 구동기의 스템과 스템 너트의 마찰계수를 분석을 통해 윤활저하 현상을 평가하였다.

Abstract

The torque generated in motor should be transferred to valve stem thrust for valve operation of Motor Operated Valve(MOV), and there occurs friction loss in the gears of actuator and so on. The grease is injected to minimize friction loss and the performance of grease influences the performance of the valve.

This paper presents the analysis result of friction coefficient between the MOV actuator's stem and stem nut, which transfers the motor torque to the valve stem thrust, with the valve operation periods and stroke numbers in power plant. The purpose of this study is to see the degradation of the grease in the stem and stem nut. The data of torque and thrust at the torque switch trip point used in this study are obtained from the static test. It is difficult to separate the effects of operation period and stroke times, so the combined effects of lubrication degradation is considered to evaluate friction coefficient of MOV actuator's stem and stem nut.

1. 서 론

유체계통내에 설치되어 있는 모터구동밸브는 유체의 흐름을 차단하거나 제어하는 기능을 가지고 있다. 따라서 구동기는 배관내를 흐르는 유체의 압력과 차압을 극복할 수 있는 힘을 제공할 수 있는 충분한 용량을 가지고 있고, 구조적인 건전성을 유지할 수 있어야 한다. 이러한 기능이 가능한지 확인하는 과정에는 설계기준검토를 통한 해석적 안전성 평가와 진단시험을 통한 안전성 확인하는 작업으로 구성된다.

해석적인 평가에서는 계통설계요건, 안전성 분석보고서, 계통운전 절차서, 비상 및 비정상시의 운전 절차서, 밸브 구매 사양서, 밸브 도면, 배관 설치도면, 계통내에 설치된 펌프의 성능 곡선 및 시험자료, 관련 탱크의 설계자료 및 운전 자료등의 광범위한 자료를 분석하고 밸브가 운전되는 모든 조건을 검토하여, 이중 가장 제한적인 운전 조건을 결정한다.

진단시험을 통한 평가는 밸브의 운전성을 직접 시험을 통해 평가하는 방법으로서 해석적으로 평가한 결과가 만족하는 지 입증하는 과정이다.

밸브 구동기내에는 원활한 운전을 위해 윤활유로 채워져 있으며, 구동기의 회전운동을 밸브 디스크의 상하 운동으로 변화하는 스템과 스템 너트 사이에도 윤활유로 윤활작용을 하고 있다.

본 연구에서는 일정기간을 두고 수행된 시험결과를 사용하여 밸브 스템과 스템 너트사이의 윤활유의 윤활 저하 현상에 대해 검토하였다.

2. 모터 구동기 및 설비 개요

2.1 스템/스스템너트 윤활 개요

밸브의 열림 혹은 닫힘 동작시 동력의 전달 경로는 모터에서부터 시작한 토크가 구동기를 통하면서 쓰러스트로 변환되고 그 힘은 밸브 스템을 통하여 밸브 디스크에 전달된다. 이때 모터에서 발생된 토크는 각종 기어의 동작에 의해 구동기로 전달되며 전달되는 과정에서 기어의 마찰력에 의해 일부의 힘 손실이 발생된다. 이러한 현상은 구동기에서 밸브 스템으로 힘이 전달되는 과정에서도 마찬가지이다. 구동기 스템 너트는 밸브 스템과 기어로 맞물려 있으며, 스템너트의 회전력은 밸브 스템의 상하운동으로 전환된다. 이때 스템너트와 스템 사이의 마찰력에 의해 일부의 힘 손실이 발생하게 된다. 또한 스템은 상하 운동 과정에서 스템과 패킹사이의 마찰력에 의해 일정한 힘이 손실된다. 이러한 기어간의 마찰력에 의한 힘의 손실을 최소화하고, 움직임을 원활하게 하기 위해서 구동기 혹은 스템에 윤활유를 주입하고 있으며, 윤활유의 성능에 의해 마찰력은 많은 영향을 받을 수 있다.

스스템 너트는 원통형 모양의 기어로서 스템과 연결되어 구동기에서 발생하는 토크를 스템의 쓰러스트(이하 쓰러스트로 명칭)로 전환시키는 역할을 하고 있다[그림 1]. 토크와 쓰러스트는 스템팩터라는 변수에 의해 정의될수 있다. 스템 팩터(SF : Stem Factor)란 토크가 쓰러스트로 변환되는 과정에 스템의 크기와 나사의 마찰력에 의한 영향을 고려한 변수이다. 스템팩터는 공식 [식 1]과 [식 2]에서 정의 되어진다. 스템팩터를 결정하는 가장 중요한 변수중 하나인 쓰레드 마찰계수(thread friction coefficient)는 일반적인 산업계의 경험에 의하면 0.08 ~ 0.2의 범위안에 있으며, 보통 0.15가 적용된다.

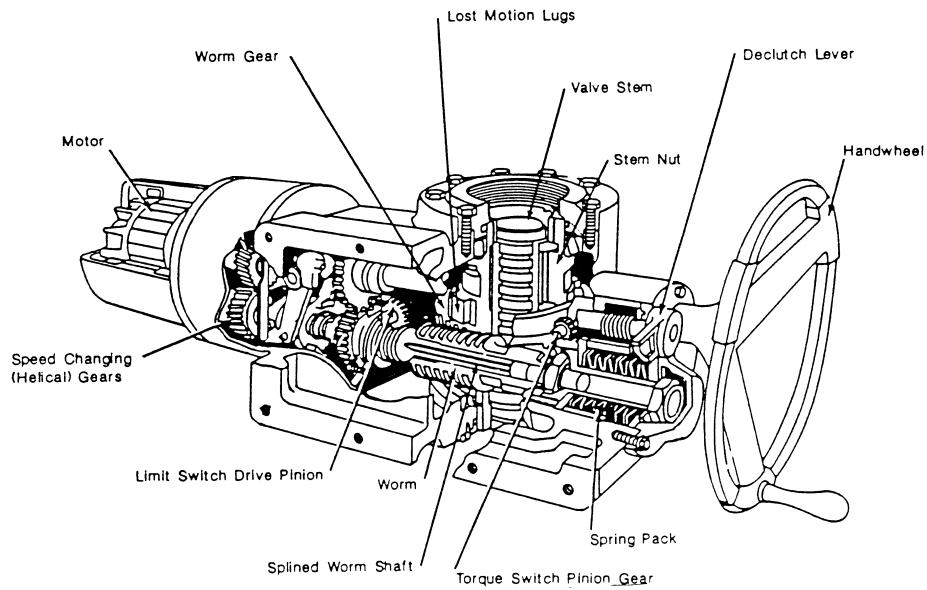


그림 1. Limitorque

[그림 2]는 쓰레드 마찰 계수에 따른 구동기의 출력 쓰러스트 변화를 나타낸 그림으로 쓰레드 마찰 계수가 0.15일 때 구동기의 출력 쓰러스트 1.0을 기준으로하여 쓰레드 마찰 계수가 작아질수록 구동기 출력 쓰러스트가 커지는 것을 보여주고 있다. 즉 쓰레드 마찰 계수를 작게 하는 것이 구동기의 출력 성능을 높일 수 있는 중요한 방안인 것을 알 수 있으며, 쓰레드 마찰 계수는 쓰레드의 표면처리와 사용되는 윤활유의 종류에 적지 않은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

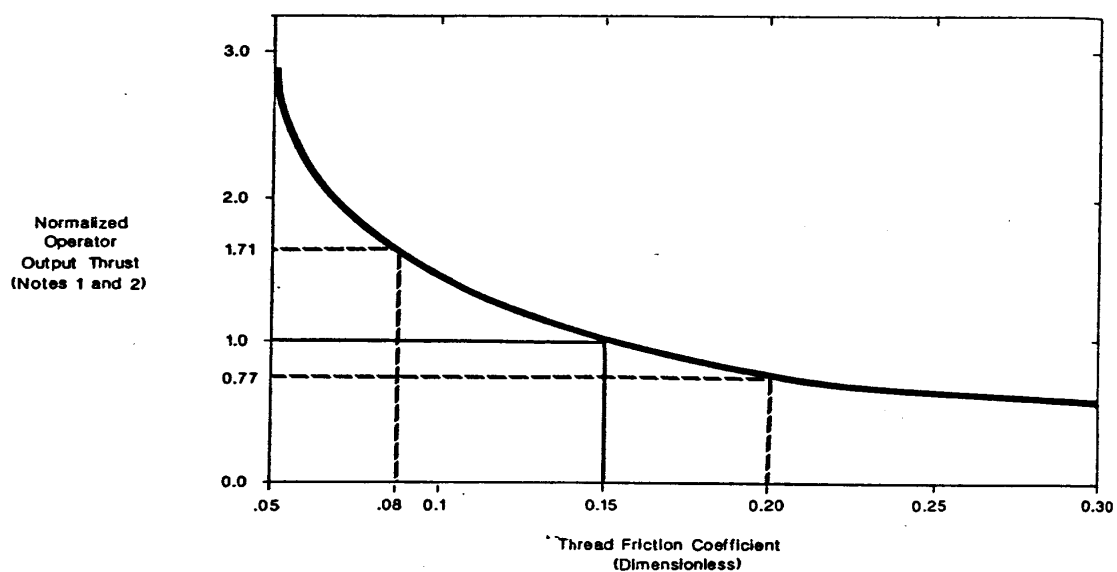


그림 2 마찰계수에 따른 구동기 출력

$$SF(\text{Stem Factor}) = \frac{d \times [(0.96815 \times \tan \alpha) + \mu]}{24 \times [0.96815 - (\mu \times \tan \alpha)]} \quad [\text{식 1}]$$

d = Pitch Diameter = Stem Dia. - $0.5 \times \text{Stem Pitch}$
(For General ACME Pitch)

= Stem Dia. - $0.3 \times \text{Stem Pitch}$ (For Stub ACME Pitch)

α = Thread Lead Angle (degree) = Stem Lead / ($\pi \times d$)

μ = thread friction coefficient(dimensionless)

$$Th = \frac{Tq}{SF_{15}} \text{ (lbf)} \quad [\text{식 2}]$$

Th : 쓰러스트, Tq : 토크

SF₁₅ : 스템 팩터 ($\mu=0.15$)

2.2 스템 윤활 효과 평가

윤활유의 사용은 밸브의 운전성능을 향상시키는 역할을 하지만, 만약 운전조건이나 환경조건에 적절하지 못한 윤활유를 사용하거나, 오랫동안 교체하지 않아 고화된 윤활유 상태로 운전을 계속하면 오히려 성능이 저하된 윤활유에 의해 마찰력이 증가하여 운전 성능이 저하되며, 심한 경우 윤활유에 의한 구동기 스프링팩의 동작 방해(hydraulic locking) 현상이 발생된다. 이와같이 밸브 운전성능에 윤활유가 미치는 영향이 작지 않으나, 발전소에서는 구동기 혹은 밸브제작사에서 제시하는 윤활유를 사용하고 있으며, 사용되는 윤활유의 성능이나, 구체적인 교체시기등은 알려져 있지 않은 실정이다. 최근 미국에서는 General Letter 89-10에 의해 원전 모터구동밸브의 설계기준 성능평가를 수행하면서 윤활유 역할의 중요성이 인식되었고, 이와 관련하여 윤활유에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 그중 EPRI (Electric Power Research Institute)에서 수행된 연구에서는 윤활유의 사용으로 스템팩터가 상당히 개선되어 스템 쓰러스트가 증가한다는 것과 밸브의 운전 환경에 따라 적합한 윤활유의 사용이 밸브 성능 향상에 중요하다는 연구 결과를 보여주고 있다.

윤활유는 일반적으로 기유(base oil)와 어느 정도의 점도와 고형성을 가지게 하는 증주제(gelling agent)와 각종 첨가제로 구성되어 있다. 이 중에서 base oil이 약 80 - 95%를 차지하고 있다. 윤활유의 분류는 점도를 기준으로 ASTM 시험 기준에 의해 분류하고 있는데, 가장 부드러운 등급인 000에서 가장 단단한 등급인 6까지 구분되어 있으며, 스템/스스템너트에는 통상 0 - 2 등급이 사용되어진다. 최적의 스템/스스템너트 윤활유는 내마모성과 흘러내림이 없어야 하며, 넓은 범위의 온도 및 습도 변화에 적용이 가능해야 하며, 추가로 대기 환경의 변화와 지속적인 운전후에도 낮은 마찰계수를 제공해야 한다.

윤활유는 온도와 습도등에 민감한 영향을 받는데, 정상운전 또는 사고시 매우 높은 온도와 습도에서 운전이 되는 밸브의 경우 윤활유의 선택시 보다 신중하게 선택할 필요가 있다. 즉 일반적으로 윤활유는 고온에서 빨리 고화되며, 윤활성능이 빠르게 저하된다. 따라서 고온에서도 윤활성능이 유지될 수 있는 적절한 윤활유를 선택하여 사용하는 것이 밸브 성능향상에 중요한 요건이 될 수 있다. 각 운전환경에 따른 윤활유의 성능 저하 경향과 현상에 대해서는 많은 연구의 필요성이 나타나고 있다. 특히 국내에서 사용중인 윤활유에 대해 그 성능과 특성을 파악하고, 나아가서는 각 밸브들의 운전 조건과 환경조건에 가장 적합한 윤활유가 어떤 것인지 연구할 필요성이 있다.

2.3 스템/스스템너트 윤활 시험 분석

2.3.1 해외 연구 결과

2.3.1.1 Electric Power Research Institute(EPRI)에서의 시험 보고서 분석

(1) 시험 개요

본 윤활시험은 미국 EPRI에서 모터구동밸브의 성능에 영향을 주는 변수들에 대한 연구 프로그램중의 하나로 수행된 것으로 모터구동밸브의 스템/스스템너트 윤활유의 마찰과 마모 특성을 평가한 것이다.

본 연구에서는 밸브 정상 운전상태의 대기 온도 조건에서 총 22종(사용중 윤활유 14종, 새로운 윤활유 2종, 고체 윤활 6종)의 스템/스스템너트 윤활유에 대한 마찰 및 마모 특성을 평가하는 것과 밸브 운전을 열림 및 닫힘에 대해 각 250회 수행했을 때 스템/스스템너트 마찰계수와 마모 상태의 변화를 평가하였다.

(2) 시험 결과 분석

① 행정회수에 따른 마찰계수

최초 행정시험에서 최대 마찰계수는 0.108(NEBULA EP)에서 0.221(RF Graphite)로 나타났으며, 대부분의 시험 대상 윤활유가 행정 회수가 많아질수록 마찰계수값은 작아졌으나, 2개의 윤활유 종류(SRI, MOLY 101)는 행정회수가 많아질수록 마찰계수가 증가하였다. 또한 최초 행정과 500회 행정후 마찰계수값의 변화율은 최소 1%, 최대 -58%로 나타났다.

② 스템-너트 마모

MOBILUX EP, MULTIFAK EP, LUBRILATE 930AA, MULTIMOTIVE, DARINA EP PLUS ADDITIVES, POLYUREA PLUS ADDITIVES는 마모가 작게 나타나는 윤활유로 평가되었고. SRI, NEVER-SEEZ 165, 160, RF GRAPHITE는 마모가 크게 나타나는 윤활유로 평가되었다.

③ 쓰러스트에 따른 마찰계수 변화

쓰러스트 2000lbs 이상에서는 대체적으로 쓰러스트 증가시 마찰계수도 증가하는 것으로 나타났고, 쓰러스트 2000lbs 이하에서는 대체적으로 쓰러스트 증가시 마찰계수는 감소하는 것으로 나타났다.

④ Graphite 함유시 마찰계수 변화

graphite를 함유한 윤활유의 경우 초기 행정에서 마찰계수값이 높게 나타났으며, 행정 회수에 따른 마찰계수 변화도 크게 나타났고, 스템너트의 마모도 graphite가 함유되지 않은 윤활유 보다 크게 나타났다.

⑤ 윤활유의 물리적 변화

500회 행정 시험후 윤활유의 물리적 상태 변화를 분석한 결과 bronze particles이 함유된 것 외에 특별히 물리적으로 변화된 것이 없으며, 심각할 정도의 색깔 및 화학적 변화 혹은 연소된 흔적이 없는 것으로 나타났다.

2.3.1.2 Atomic Energy of Canada Limited(AECL)에서의 시험 보고서 분석

(1) 시험 개요

1995년 캐나다 발전소의 요청으로 MOV에 사용되는 최적의 윤활유를 선정하기 위한 연구가 AECL의 Chalk River Lab.에서 시작되었는데, 이 시험은 캐나다 원전에서 사용되고 있는 가장 대표적인 윤활유 6종(Nebula EP-1, Mobilux EP-1, Mobilux EP-2, Unirex EP-1, Unirex EP-2, Cor-tek MOV+)에 대해 발전소 운전 환경(thermal aging, dust, radiation, moisture 등)을 고려하여 성능 평가 시험을 수행하였다.

표 3-1 시험대상 윤활유의 특성

Grease	Manufacturer	Base Oil Type : viscosity (at 40°C)	EP Additives	NLGI Grade (Unaged Grease)	NLGI Grade (Grease Aged 5 Years)	Estimated Life (Years.)
Mobilux EP-1	Mobil Oil	Mineral:170	Zn, P, Cl	1*, 1.5**	000	2
Mobilux EP-2	Mobil Oil	Mineral:170	Zn, P, Cl	2*, 3**	0	4
Nebula EP-1	Exxon	Mineral:96	none	1*, 1.5**	5.5	1.4
Unirex EP-1	Esso	Mineral:220	Zn, P	1	0	5
Unirex EP-2	Esso	Mineral:220	Zn, P	2	1.5	5
Cor-tek MOV+	Witco	Mineral:182	Zn, P	2	3	5

* Manufacturer specifications

** Test values on lots received

(2) 시험 결과 분석 및 윤활유 성능 평가

① 노화되지 않은(Unaged) 윤활유의 시험결과

㉠ Mobilux EP-1 시험결과

밸브 시팅시의 평균 마찰계수는 0.141(test #1), 0.14(test #2)이고, 언시팅시 마찰계수는 0.126, 0.133이며, 동적조건에서 시팅시 평균 마찰계수는 0.141, 0.137이다.

㉡ Mobilux EP-2 시험결과

Mobilux EP-1의 결과와 유사하게 나타남

② 5년 노화된(Aged) 윤활유의 시험 결과

8주동안 120°C의 oven에서 보관되고 10Mrad의 방사능에 조사된 윤활유를 선정 (이 윤활유는 40-60°C 상태에서 5년동안 운전한 윤활유와 동일한 상태로 평가됨)한 윤활유를 사용하였으며, Aged 윤활유가 unaged 윤활유보다 행정수에 따른 마찰계수의 변동율이 작은 것으로 나타났다.

표 3-2 노화되지 않은(Unaged) 윤활유의 시험결과

	Mobilux EP-1	Mobilux EP-2	Nebula EP-1	Unirex EP-1	Unirex EP-2	Cor-tek MOV
Average μ (seating) over 250 closures	0.141 0.140	0.139	0.140	0.143 0.143	0.145	0.129 0.140
Average μ (ΔP) over 250 closures	0.141 0.137	0.134	0.146	0.138 0.137	0.142	0.134 0.141
Average μ (unseat.) over 250 openings	0.126 0.133	0.138	0.120	0.140 0.119	0.133	0.080 0.105
$\Delta\mu$ due to loading and valve cycling	0.018 0.022	0.027	0.043	0.029 0.030	0.023	0.023 0.027
$\Delta\mu$ at unseating over 250 openings	0.034 0.025	0.018	0.050	0.018 0.012	0.030	0.045 0.017
Δ Thrust at reference. torque of 180Nm over 250 closures	5.5% 6.3%	6.6%	19%	4.8% 2.9%	6.6%	4.9% 3.8%

표 3-3 5년 노화된(Aged) 윤활유의 시험 결과

	Mobilux EP-1	Mobilux EP-2	Nebula EP-1	Unirex EP-1	Unirex EP-2	Cor-tek MOV
Average μ (seating) over 50 closures	0.143 0.130	0.136 0.129	0.156	0.148 0.153	0.155 0.159	0.149 0.151
Average μ (ΔP) over 50 closures	0.138 0.128	0.140 0.136	0.159	0.151 0.153	0.156 0.160	0.148 0.145
Average μ (unseat.) over 50 openings	0.139 0.123	0.136 0.137	0.083	0.142 0.147	0.144 0.144	0.125 0.133
$\Delta\mu$ due to loading and valve cycling	0.020 0.015	0.014 0.012	0.040	0.013 0.020	0.015 0.024	0.027 0.030
$\Delta\mu$ at unseating over 50 openings	0.009 0.005	0.011 0.006	0.020	0.009 0.017	0.014 0.005	0.028 0.016
Δ Thrust at reference. torque of 180Nm over 50 closures	3% 2.4%	3.9% 3.1%	6.3%	2.1% 5%	3.5% 4%	6.2% 8.4%

③ 시험후 윤활유 샘플 분석

시험 완료후 스템/스템너트 부분의 윤활유를 3곳(하부, 중앙, 상부) 정도 샘플 채취(1g 정도)하여 아래의 분석을 수행하였다.

㉔ Dynamic mechanical analysis

500회 운전 시험후 채취된 시료 분석 결과 unaged Nebula EP-1, aged Nebula EP-1, aged Cor-tek MOV는 윤활유가 굳어지는 hardening 상태가 되었으며, 나머지 윤

활유들은 softening 상태가 되었다.

㉞ Deleterious particle test (ASTM D1404)

밸브 시험후 채취한 윤활유 시료에 대해 스템 및 스템너트로부터 묻어나온 particle을 분석한 결과, 모든 시험 대상 윤활유에서 심각할 정도의 큰 particle은 발견되지 않았으며, 스템/스스템너트에 심한 마모가 발생되지 않는 것으로 나타났다.

㉟ Microscopic evaluation of wear debris

시료 입자에 대한 분석을 원자방출 분광기(atomic emission spectroscopy)를 사용하여 분석한 결과 모든 시험 대상 윤활유에서 zinc, copper, aluminium, iron이 발견되었으며, 이것은 C86300bronze로 제작된 스템너트의 마모에 의한 것으로 추정된다.

3. 발전소 진단시험 결과

3.1 진단 개요

본 연구는 밸브의 진단시험자료를 분석하여 모터구동밸브의 스템/스스템너트 윤활유의 마찰과 마모 특성을 평가한 것이다.

본 연구에서는 7대의 밸브에 대해서 정상상태의 밸브 운전상태인 대기 온도 조건에서 일정기간 운전후 재평가한 결과를 가지고 스템/스스템너트 윤활유의 윤활 저하 특성을 평가하는데 있다.

분석에 사용된 밸브의 윤활유는 MOBILUX EP0로서 시험전에 구동기 및 스템과 스템너트를 깨끗이 청소하고 as left test를 수행하였다.

본 밸브가 위치한 지역의 대기온도는 34 ~ 44℃(93 - 112°F)이고, 밸브에 따라 대략 2회에서 많게는 14회 정도 운전한 상태이며, 밸브나 구동기에 대해서 어떠한 보수작업도 수행하지 않은 상태에서 2번째 as found test를 수행한 결과와 비교분석하였다.

3.2 시험 결과 분석

3.2.1 시험 결과

3.2.1.1 밸브 제원 및 운전조건

분석에 사용된 밸브의 제원과 정상운전 상태에서 밸브주변의 운전조건은 아래의 표(표 3-4)와 같으며 구동기는 모두 Limitorque사의 SMB구동기를 사용하였다. 분석에 사용된 밸브에 대한 분석을 위해서 비슷한 환경조건끼리 그룹을 지어서 검토해 보았다.

3.2.1.2 진단시험 결과

시험결과를 분석한 결과 같은 그룹내에서 행정 회수가 많아질수록 마찰계수값은 작아지는 것을 알 수 있다. 즉 A 및 B 그룹에서는 조작 횟수가 많고 운전기간이 긴 A2, B2가 마찰계수의 감소가 큰 것을 알 수 있다.

격납용기 외부에 위치한 밸브의 스템 팩터와 마찰계수는 운전회수와 기간의 증가에 따라 감소하지만 격납용기 내부에 위치하여 다른 밸브에 비하여 방사선 조사량이 높은 C그룹의 밸브는 스템 팩터와 마찰계수가 증가하는 현상으로 나타났다.

표 3-4 밸브 및 운전조건

밸브명	밸브 제작사	구동기	밸브 직경 (in)	스텝 직경 (in)	밸브 위치 (격납용기)	주변 온도 (℃)	방사선 선량율 (R/hr)	조작수*	운전기간 (개월)**
A1	Westinghouse	SMB00	12	1.25	외부	34	0.026	7	14
A2	Westinghouse	SMB1	10	2.00	외부	34	0.026	14	31
B1	Westinghouse	SMB00	8	1.25	외부	36	0.017	2	16
B2	AnchorDaring	SMB00	10	1.375	외부	36	0.0002	14	31
C1	Westinghouse	SMB000	3	1.125	내부 차폐벽내	42	0.13	5	31
C2	AnchorDaring	SMB0	4	1.25	내부 차폐벽외	42	0.13	5	31
D	Westinghouse	SMB000	3	1.125	외부	44	0.0006	2	16

* 1차 시험시의 as left 시험후 2차 시험시의 as found 시험까지 조작 횟수

** 1차 시험시의 as left 시험과 2차 시험시의 as found 시험까지의 발전소 운전기간을 의미하며 2주기 이상 운전시에는 모든정비 기간을 포함한 기간을 의미

3.2.2 결과 분석

EPRI의 연구에서는 정상상태의 밸브 운전상태의 대기 온도 조건(60-80°F)에서 대부분의 시험 대상 윤활유가 행정 회수가 많아질수록 마찰계수값은 작아지는 것으로 나타났으며, AECL에서 연구한 결과 또한 행정수가 증가함에 따라 밸브 스텝과 스텝 너트의 마찰계수값이 감소하는 것으로 나타났다. AECL에서는 unaged 윤활유와 aged 윤활유에 대한 연구를 수행하였으나, 특성상 unaged 윤활유와 aged 윤활유의 직접적인 비교 연구는 이루어지지 않았다.

표 3-5 진단시험 결과

밸브명	1차 시험			2차 시험			마찰계수		
	토크	쓰러스트	스텝팩터	토크	쓰러스트	스텝팩터	1차	2차	증감
A1	110.13	7068.0	0.0156	103.0	6715.0	0.0153	0.142	0.136	-0.005
A2	295.00	16113.0	0.0183	184.3	12242.6	0.0151	0.144	0.104	-0.040
B1	38.20	2489.0	0.0153	38.0	2489.0	0.0153	0.137	0.135	-0.002
B2	112.32	6463.0	0.0174	111.2	11429.3	0.0097	0.261	0.119	-0.142
C1	60.20	4562.0	0.0132	60.1	4144.4	0.0145	0.151	0.181	0.030
C2	111.30	11998.0	0.0093	109.3	9620.3	0.0114	0.134	0.176	0.042
D	77.56	6751.0	0.0115	71.0	7266.0	0.0098	0.111	0.071	-0.040

발전소에 설치된 밸브의 경우 설비의 특성상 동일 조건에서 많은 횟수의 진단시험이 불가능하여 위의 결과와 같은 시험 결과를 도출하기는 어려운 상황이며, 운전기간과 운전 횟수가 복합된 형태의 결과만 도출이 가능한 형편이다. 특히 AECL에서 aged 윤활유의 영향을 평가하기 위하여 aged된 윤활유 자체의 성능을 평가하였으며, unaged에서 aged되어가는 윤활유의 성능은 평가하지 않아, 진단시험결과를 EPRI의 연구 또는 AECL의 연구 결과와 직접적인 비교는 어렵다.

그러나 위의 시험 결과에서 알 수 있듯이 격납용기 외부에 설치되고 정상적인 대기온도 및 저방사선 조건에 있는 밸브의 경우, 운전기간 증가 및 행정 회수가 많아질수록 마찰계수값이 작아지는 것으로 나타났고, 격납용기 내부에 정상적인 대기온도 및 방사선 준위가 높은 조건에 있는 밸브의 경우, 운전기간 증가 및 행정 회수가 많아질수록 마찰계수값이 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 구동기의 힘이 밸브 스템으로 전달되는 정도를 일정한 시간 간격을 두고 평가함으로써 윤활유의 윤활 저하 현상을 검토하였으나, 2번 이상의 성능 평가가 이루어진 밸브 수가 적음으로 인한 제한적인 자료를 근거로 도출된 것이며 향후 계속적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

연구결과에서 나타나듯이 일반적인 경우 사용기간과 조작횟수의 복합적인 증가 상황에서 밸브의 마찰계수는 작아지는 것으로 나타나 윤활 효과가 증가되는 것으로 판단되며, 비교적 높은 방사선에 노출된 밸브의 경우에는 마찰계수가 증가하는 것으로 나타나 스템과 스템 너트의 윤활이 저하된 것으로 판단된다. 그러나 마찰계수가 일반적으로 산업계에서 사용하는 0.08 ~ 0.2 범위내에 존재하고 있으며, 2주기 즉 31개월의 기간을 두고 평가한 결과, 마찰계수 증가에 따른 성능에는 문제가 없는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 윤활유의 성능변화가 일어나는 초기 단계로 판단되며 윤활 성능이 안정되고 저하되는 부분에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

따라서 향후 모터구동밸브의 안전성 확인을 위한 주기점검시에 격납용기내에 위치하여 비교적 높은 방사선에 노출된 밸브들의 경우에는 마찰계수의 변화를 주의 깊게 관찰하고, 많은 수의 밸브들에서 동일한 경향을 나타낼 경우에는 밸브의 운전 성능을 확보하기 위해서 스템과 스템 너트의 윤활유를 보충하는 방식 또는 교체 방식에 대해서 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

5. 참고 문헌

- [1] AECL Qualification of Greases for Motor-Operated Valve Stem/Stem Nut Lubrication(EPRI TR-106825), 1998, EPRI
- [2] Motor-Operated Valve Performance Prediction Program-Stem/Stem Nut Lubrication Test Report(EPRI TR-102135), 1993, EPRI
- [3] Application Guide for Motor-Operated Valve In Nuclear Power Plants Performance(NP-6660D), 1990, EPRI
- [4] EPRI MOV Performance Prediction Program-Gate Valve Design Effects Testing Results(TR-103255), 1994, EPRI