

모터구동밸브의 스템마찰계수 평가

A Study on the Stem Coefficient of Friction of Motor Operated Valve

정래혁, 박성근, 이도환, 김양석

한전 전력연구원

대전시 유성구 문지동 103-16

요 약

모터구동 게이트/글로브 밸브의 스템과 스템너트 사이의 스템마찰계수는 밸브/구동기의 성능을 결정짓는 중요한 인자중의 하나이다. 스템마찰계수는 사용된 윤활유의 종류 및 상태, 밸브주변의 환경조건, 스템과 스템너트사이의 표면상태, 윤활 주입후 밸브 행정횟수 등에 따라 큰 영향을 받는데 본 논문에서는 국내 원전에 설치되어 있는 일부 안전관련 모터구동 게이트/글로브 밸브의 스템마찰계수 측정결과를 제시하고 사용된 윤활유별로 스템마찰계수를 비교함으로써 윤활유의 성능을 평가하였다. 평가결과, 게이트밸브의 토크스위치 트립지점의 마찰계수와 언웨징지점의 마찰계수가 비슷한 분포를 보여주었으며 스템마찰계수 측면에서의 윤활성능은 윤활유별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

Abstract

Stem-stem nut coefficient of friction(COF) in motor-operated gate/globe valves is one of the important factors which determine the performance of the valve/actuators. The COF is affected greatly by the type and condition of the stem-stem nut lubricants, environmental parameters, surface condition of the stem-stem nuts, and the number of strokes after lubrication. In this paper, the measurement data of the COFs at stem threads of some safety-related motor-operated gate/globe valves in domestic nuclear power plants are presented. In addition, the performance of the lubricants used is evaluated by comparing the COFs between those valves. The results show that the COFs at torque switch trip and at unwedging are distributed in the similar range. It is also shown that the lubricating performance based on the measured COFs varies with the lubricants.

1. 서론

모터구동 게이트/글로브밸브는 현대 산업구조가 발전하면 할수록 일반 산업계시설에서 뿐만 아니라 발전소와 같은 대형시설물들에서 단순하게는 유량개폐용으로 사용되거나 또는 전체 시스템의 안전성에 중대한 영향을 미치는 보호장치 역할을 담당하며 필요불가결한 구성품이 되었다. 이러한 모터구동밸브의 작동안전성을 평가하기 위해서는 밸브양단에 걸리는 설계기준 차압에 따라서 설계기준 분석, 정적진단시험, 동적진단시험 단계를 수행하고 있다. 설계기준 분석은 진단시험을 수행하기 이전에 모든 밸브들에 대해서 요구쓰러스트와 토크, 취약부 분석, 구동기성능분석, 설계차압과 같은 분석을 통해서 작동의 안전성을 미리 예측하는 단계로서 안전성평가가 스템이 받는 쓰러스트 관점에서 이루어진다는 사실로 볼때 구동기의 출력토크와 밸브의 고유의 특성을

나타내는 스템팩터를 가지고 스템이 받는 쓰러스트를 예측하는 일은 매우 중요한 일이 아닐 수 없다. 그러므로 무엇보다도 정확한 스템팩터의 결정이 중요하게 작용할 것이다. 스템팩터는 스템마찰계수와 스템의 기하학적 형상에 의해서 결정되는 함수이기 때문에 결과적으로는 스템마찰계수에 의해서 결정된다는 결론을 얻을 수 있다. 현재는 설계기준 분석 시 미국 EPRI에서 충분히 보수성이 고려되었다고 추천한 0.15을 적용하고, 밸브구조 또는 제어스위치 메커니즘상 스템팩터의 측정이 불가능한 밸브에 대해서는 미국 구동기 제작사인 Limitorque사가 제시한 값중 가장 보수적인 0.2를 적용하고 있다. 그러므로 본 논문에서는 밸브유형별로 스템과 스템너트 접촉면에서 가지는 마찰계수의 분포를 통해서 스템팩터 측정이 불가능한 밸브에 적용하고 있는 마찰계수 0.2의 타당성 확인과 윤활유 종류에 따라서 나타나는 마찰계수분포를 통한 윤활성능의 차이를 알아보고자 한다.

2. 대상밸브선정 및 평가윤활유

2-1. 평가대상밸브 선정

본 논문에서는 모터구동밸브에 대한 진단시험이 완료된 게이트/글로브밸브들에 대해서 열림시 리밋스위치이고 닫힘시 토크스위치로 제어되는 밸브들을 대상으로 평가되었다. 열림행정과 닫힘행정 모두가 리밋스위치로 제어되는 밸브들에 대해서는 열림행정 경우에만 평가를 수행하였다. 이러한 밸브선정 기준을 적용하여 총 442대의 밸브를 평가하였다.

2-2. 평가대상 윤활유

윤활유는 스템과 스템너트사이에 마찰력을 완화시키는 기능을 가지고 있으며 크게 Base Oil과 Gelling Agent, Additive로 구성되어있다. Base Oil은 일반적인 광유이고 Gelling Agent는 윤활유의 기본적인 성질(점도, 내열성, 내수성등)을 결정하는 것으로 Calcium, Lithum, Calcium Complex가 있다. Additive는 밸브주변의 환경적인 요인(부하정도, 열적환경, 마찰마모정도, 열분해, 산화분해등)에 따라서 사용하는 첨가제이다. 본 논문에서 사용된 윤활유는 다음과 같다.

Lubricant	Manufacture
ALVANIA	Shell Oil Corp.
EXXON NEBULA EP0	EXXON Oil Corp.
EXXON NEBULA EP1	
MOBILUX EP0	MOBIL Oil Corp.
MULTIFAK EP0	Texaco Corp.
MULTIFAK EP2	
UNIREX-2	ESSO Oil Corp.

표. 1 윤활유 종류

3. 평가방법

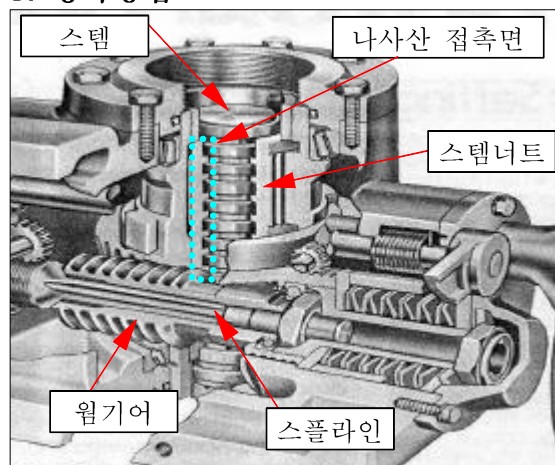


Fig. 1 모터구동밸브 단면도

3-1. 스템마찰계수 정의

스스템마찰계수는 스템과 스템너트 사이의 나사산이 서로 접촉하는 영역 즉 모터동작으로 발생한 토크가 웜기어와 스템너트를 통해 스템의 쓰러스트로 전환하기 위해서 접촉하는 영역에서 가지는 마찰저항특성을 나타내는 것으로서 스템과 스템너트 사이의 기하학적 형상, 윤활상태와 함께 구동기토크의 스템쓰러스트 전환효율을 결정하는 스템팩터의 중요한 변수로서 작용한다.

3-2. 스템마찰계수 지배인자

스템과 스템너트 사이 나사산영역에서 윤활유의 정상적인 윤활작용에 영향을 미치는 인자로는 아래와 같이 크게 5가지가 있다.

- i) 윤활유의 종류 및 상태 (윤활유의 기밀유지상태, 보관기간)
- ii) 밸브 주변의 환경적 요인(온도, 습도, 그리고 방사능등)
- iii) 스템 과 스템너트 사이의 표면상태(가공 거칠기 및 스템과 스템너트 나사산 사이의 마모상태)
- iv) 스템과 스템너트 사이의 접촉단면
- v) 윤활 주입 후 재윤활 기간동안의 밸브의 행정횟수

윤활유의 윤활성능저하 및 고화현상, 스템과 스템너트 사이 접촉면의 마모등에 의해 운전 중 구동기의 출력토크가 제대로 스템의 쓰러스트로 전달되지 못하면 작동성능의 감소를 야기 시킨다. 그러면 큰 쓰러스트가 요구되는 계통에 설치되어 있는 밸브들의 밸브구동에 열림행정 실패나 닫힘시 유체의 누설을 가져오게 된다.

3-3. 스템마찰계수 평가

Fig. 2는 밸브 전.후단 차압이 거의 없고 유동이 없는 상태에서 작동시킬 때(정적시험) 게이트 밸브는 열림 및 닫힘행정시 스템이 받는 일반적인 쓰러스트 변화를 나타낸 것으로서 열림행정의 경우 행정시작 직후 디스크가 밸브바디 시트로부터 빠져 나오는 언웨징지점에서 행정 중 가장 큰 쓰러스트가 요구되고, 닫힘 행정의 경우에는 유체 유동시 디스크와 시트 사이에 누설이 발생하지 않도록 디스크가 시트에 안착된 후 토크스위치 작동에 의해 모터전류 공급이 중단되는 토크스위치 트립지점의 쓰러스트가 중요하다. 그러므로 본 논문에서는 게이트밸브 열림시 언웨징지점, 닫힘시 토크스위치 트립지점 과 글로브밸브 닫힘시 토크스위치 트립지점에 대해서 마찰계수평가를 수행하였다. 글로브밸브 열림행정에 대해서는 디스크가 시트에 안착되는 시팅특성상 큰 쓰러스트를 요구하지 않기 때문에 본 평가에서는 제외하였다.

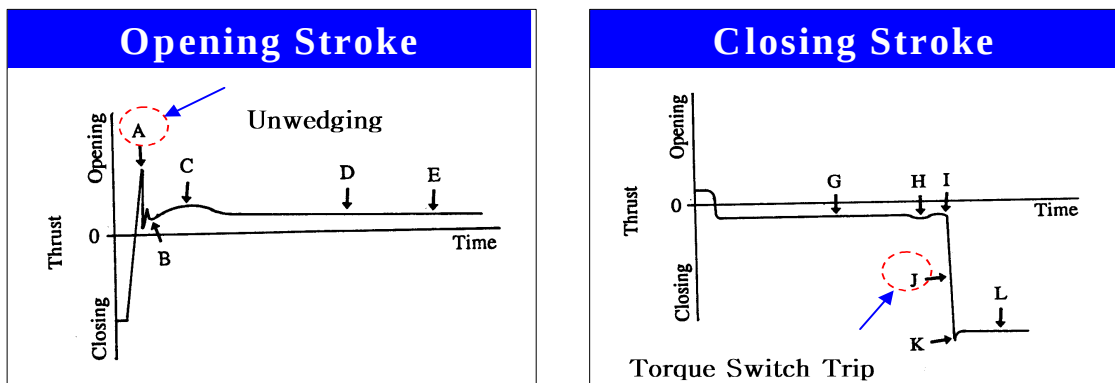


Fig. 2 데이터 취득 지점(열림시: 언웨징지점, 닫힘시: 토크스위치 트립지점)

스템마찰계수에 대한 정량화 방법으로는 1)식을 사용하였고, 또한 스템 나사산영역 즉 스템과 스템너트 사이의 접촉면에서 받는 힘에 따른 분포 및 경향을 나타내고자 식2)의 Nominal Thread Pressure 식을 사용하였다.

여기서 스템팩터는 밸브 작동시험에서 추정한 밸브 스템의 쓰러스트와 토크로부터 구할수 있다.

$$\text{Stem Coefficient of Friction} = \frac{0.96815 \times (24 \times \text{SF} - d_{\text{PTCH}} \times \tan(\alpha))}{24 \times \text{SF} \times \tan(\alpha) + d_{\text{PTCH}}} \dots\dots\dots 1)$$

여기서 SF = 스템토크(ft-lbf) / 스템쓰러스트(lbf)

$$d_{\text{PITCH}} = D_s - \frac{P_{\text{stem}}}{2} \quad (\text{inch})$$

D_s = 스템 지름 (inch)

P_{stem} = 스템 피치 (inch)

l_{stem} = 스템 리드 (inch)

$$\tan(\alpha) = \frac{l_{\text{stem}}}{\pi \times d_{\text{PITCH}}}$$

$$\text{Nominal Thread Pressure [psi]} = \frac{\text{Stem Thrust}}{\pi \times (\text{Stem O.D.} - \frac{P_{\text{stem}}}{2}) \times \frac{P_{\text{stem}}}{2}} \dots\dots\dots 2)$$

여기서 Stem Thrust : 열림시 언웨징쓰러스트
 닫힘시토크스위치 트립쓰러스트
 Stem O.D. : 스템 외경 (inch)

각 밸브에 대해서 정적시험 스템마찰계수는 제어스위치를 설정한 후 수행한 최종 2회차의 진단시험결과 중 구동기 토크가 스템쓰러스트로의 전환효율이 낮은 값 즉 스템팩터값이 큰값을 사용하였다. 즉 열림시 언웨징지점에서의 최종 2회차 중 스템팩터가 큰값, 닫힘시 토크트립지점에서 2회차 중 스템팩터가 큰값을 사용하여 각각의 행정에 대한 스템마찰계수를 평가하였다.

4. 평가결과

3장에서 설명한 평가방법을 이용하여 평가된 결과들에 대해서는 EPRI에서 사용한 Grubbs' Method를 그대로 적용하여 평가하였다. Grubb's Method는 데이터표본 집단에서 통계적인 처리를 하고자 할때 사용하는 방법으로 다른 통계처리 방법에 비해서 유용한 데이터의 손실이 매우적다는 장점을 가지고 있다. Grubb's Method는 표본집단에서 가지는 평균값을 기준으로 하고 그 경계값(평균값± 표준편차×3)의 범위를 벗어나는 데이터를 설명되지 않는 이상데이터로 간주하여 평가에서 제외하고 나머지 데이터를 이용하여 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 평균값에 2×표준편차량을 더한값을 상한 95% Confidence value로 정의하였고, 평균값에 2×표준편차량을 빼준값을 하한 95%Confidence value로 정의하여 평가한다.

4-1. 밸브유형별 마찰계수 분포

앞서 설명한 방법들을 이용하여 게이트밸브는 디스크유형이 플렉시블웨지타입(Flexible Wedge Disk) 게이트밸브와 언밸런스타입(Unbalance Type) 글로브밸브들에 대해서 평가를 수행한 결과 다음과 같은 사실들을 알수 있었다.

4-1.1 게이트밸브

Fig 3는 플렉시블 웨지 디스크를 가진 게이트밸브 열림시 언웨징 지점에서 나타나는 Thread Pressure(psi)에 따른 마찰계수 분포를 나타낸 그래프로써 평가대상밸브 90%이상의 밸브들이 모터구동밸브 평가시 설계기준분석 스템팩터를 계산하기 위해 사용하고 있는 스템마찰계수값 0.15보다 작은값을 보이고 있다. 즉 0.15의 마찰계수 사용은 90%의 신뢰도가 있음을 의미한다. 또한 스템과 스템너트 나사산영역에서 받는 Thread Pressure[psi]가 10000psi이하의 영역에서 많은 마찰

계수값들이 집중되고 넓은 범위의 분포를 보이거나 Thread Pressure가 커질수록 분포영역이 작아지는 것을 알수있다. 이러한 사실은 EPRI[3]에서 웨지형 게이트밸브를 대상으로 수행한 평가결과와 매우 일치하고 있음을 보인다. 그러나 보수성을 고려한 상한 95% Confidence를 넘는 마찰계수들에 대해서는 실제 윤활유에 의해서 나타나는 마찰특성 이외에 스템과 스템너트 마모 또는 고화된 윤활유등으로 인한 비정상적인 윤활에 의한 어떤 요인들과 복합적으로 작용하여 마찰저항을 증가시키기 때문에 나타나는 것으로 사료된다.

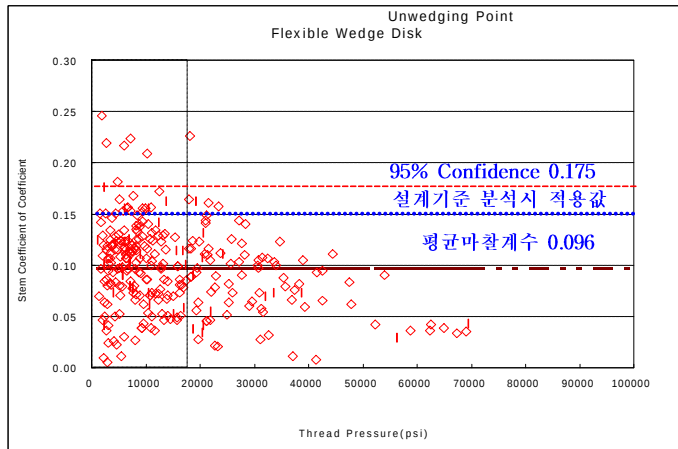


Fig. 3 게이트밸브 언웨징지점의 마찰계수 분포

0.01에서부터 최대 0.22까지 이르는 정규분포함수곡선을 그리며 분포하는 것을 알 수가 있다. Fig. 5는 마찰계수 분포에 대해서 누적함수(Cumulative Function)을 이용하여 확률적 분포를 나타낸 그래프이다. 측정데이터가 가우시안 분포를 보인다는 사실로부터 측정데이터의 양이 충분하며 통계분석결과 신뢰성이 충분하다고 판단된다.

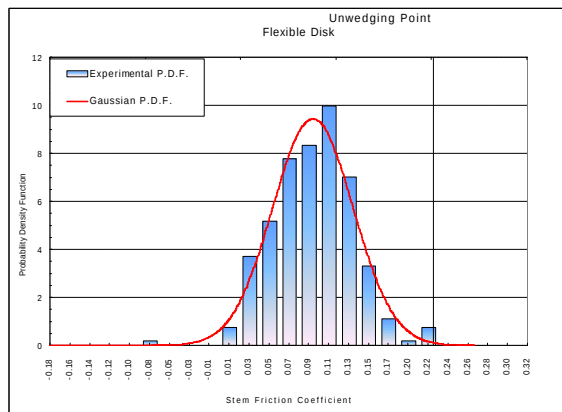


Fig. 4 게이트밸브 언웨징지점의 마찰계수 확률밀도함수 분포

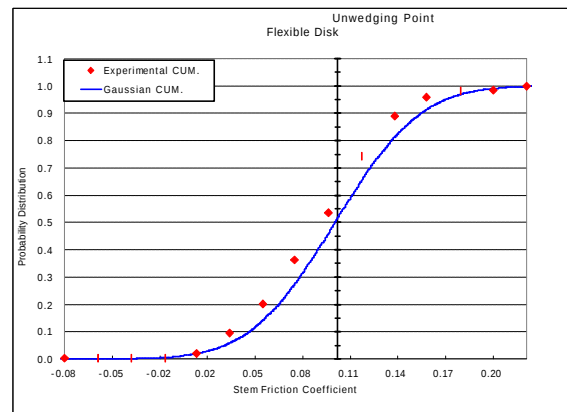


Fig. 5 게이트밸브 언웨징지점의 마찰계수 누적 분포

Fig. 6은 토크스위치 트립지점에서 Thread Pressure[psi]에 따른 마찰계수 분포를 나타낸 그래프로써 마찰계수 0.15이상 밸브가 평가대상밸브의 약 15%정도로 나타났다. 이것은 스템마찰계수 0.15 사용이 85%의 신뢰성이 있음을 의미한다. 분포가 10000psi이하보다는 약 10000~45000[psi]에서 집중적으로 나타났는데 이것은 이전행정 닫힘시 디스크가 시트에 완전히 웨징된 후 다시 열림 행정 초기에 언웨징(시트에서 디스크가 빠져나오는것) 될 때 스템에 작용하는 쓰러스트보다는 닫힘 행정시 토크스위치 트립지점에서 스템이 받는 쓰러스트가 크기 때문에 나타나는 것으로 사료된다. Thread Pressure 증가에 따른 마찰계수의 분포범위를 보면 낮은 영역에서는 넓은 범위의 마찰계수를 갖고, 점차 증가함에 따라서 범위가 작아지는 언웨징지점에서 보여진 결과와 비슷한 경향을 보이고 있음을 알수있다.

Fig. 7과 8은 토크스위치 트립지점의 마찰계수에 대한 확률밀도함수분포와 축적함수분포를 나타

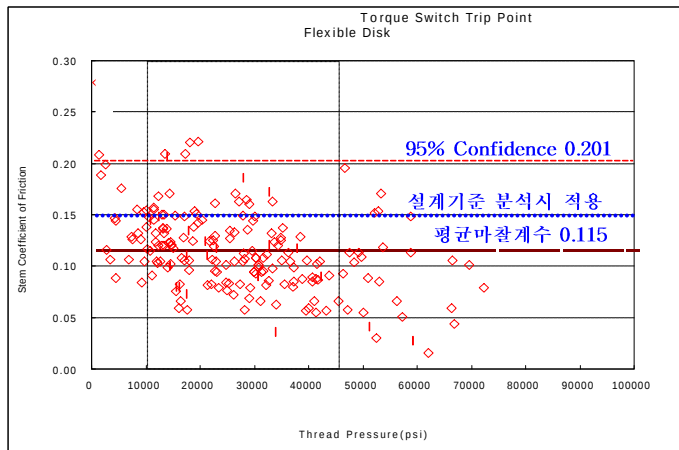


Fig. 6 게이트밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수분포의 차이가 발생하는 것으로 사료된다.

낸 그래프로서 마찰계수 분포범위는 언웨징시 마찰계수 분포와 매우 유사함을 알 수 있다. 평균값에서는 약 0.019 정도의 차이를 보이고 있으며 최대 확률밀도함수분포(Maximum Probability Density Function)에서도 또한 마찰계수는 언웨징시 0.112, 토크스위치 트립시 0.115에서 나타났다.

이것은 스템마찰계수 지배인자 중 쓰러스트(토크스위치 트립쓰러스트가 언웨징쓰러스트보다 크게 작용)차이로 Thread Pressure가 커질수록 Thread의 접촉 면적이 넓어지기 때문에 마찰계수

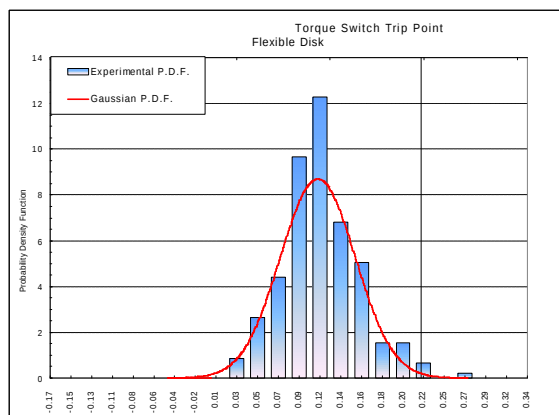


Fig. 7 게이트밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수 확률밀도함수분포

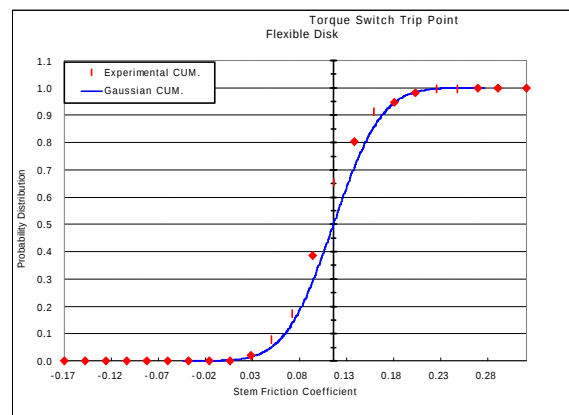


Fig. 8 게이트밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수 누적분포

4-1.2 글로브밸브

Fig. 9는 글로브밸브 토크스위치 트립지점에서 가지는 마찰계수 분포를 나타낸 그래프로서 총 119대의 평가대상밸브 중에 9대 즉 전체의 약 7.5%정도로 게이트밸브 언웨징 보다는 2.5%, 토크스위치 트립지점보다는 7.5%정도 0.15적용에 대한 신뢰성이 좋은 것으로 나타났다.

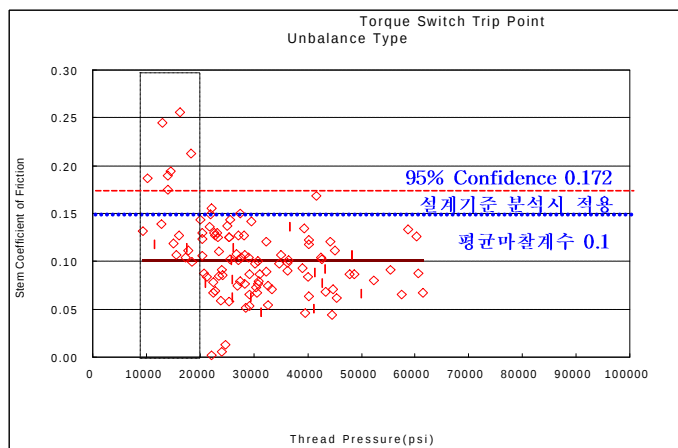


Fig. 9 글로브밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수분포

다. Thread Pressure[psi] 10000~20000psi의 영역에서 95% Confidence 0.172를 넘고, 평균마찰계수의 2배이상 최고 0.25를 갖는 높은 마찰계수를 가진 밸브들이 있는데 이것은 윤활유에 의한 특성보다는 밸브의 행정간 접촉이 발생하는 부위의 구조적인 문제에 의해서 나타나는 것이라 사료된다.

게이트밸브의 토크스위치 트립지점의 마찰계수 분포와 비교 시 마찰계수의 범

위가 0.0에서 약 0.23으로 매우 유사하나 확률밀도함수분포의 최대값이 0.095로 게이트밸브 0.115보다 0.02정도 작음을 알수 있다. 이것은 토크스위치 트립지점에서 게이트밸브 트립쓰러스트보다 글로브밸브 트립쓰러스트가 작기 때문에 나타나는 것으로 사료된다.

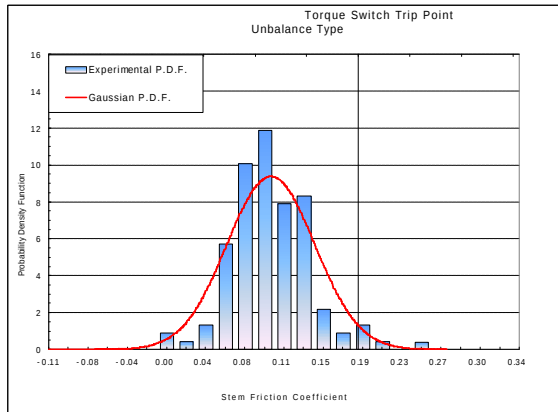


Fig. 10 글로브밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수 확률밀도함수분포함수

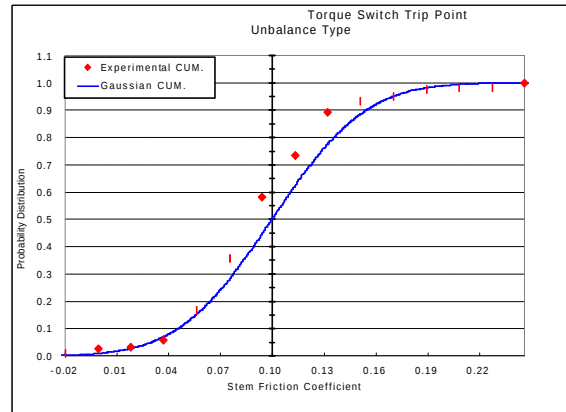
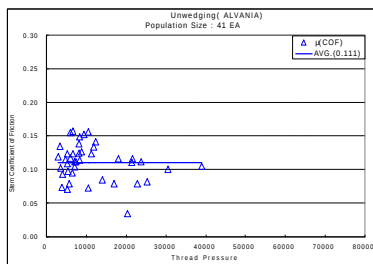


Fig. 11 글로브밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수 누적분포

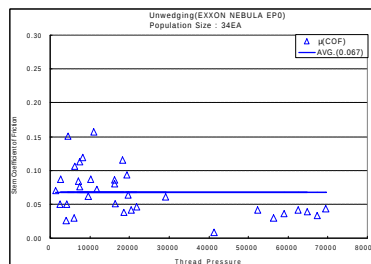
4-2. 밸브유형별 윤활유에 따른 마찰계수 분포

앞서 설명한 밸브유형별 마찰계수 분포에 대해서 각각의 윤활유별 제조사(Manufacturer)에 따른 성분(Component)의 차이로 인해 나타나는 마찰계수 분포현상을 알아본 결과 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

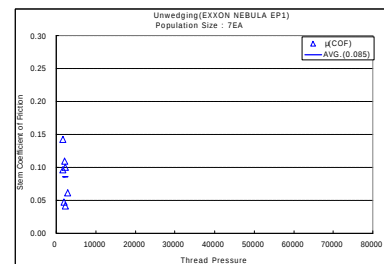
4-2.1 게이트밸브 윤활유별 마찰계수 분포



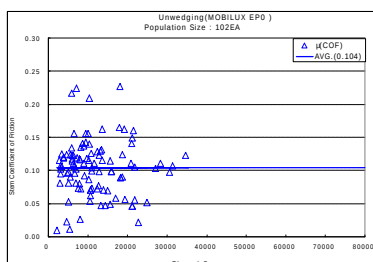
a) ALVANIA



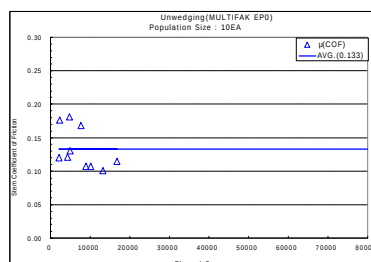
b) EXXON NEBULA EP0



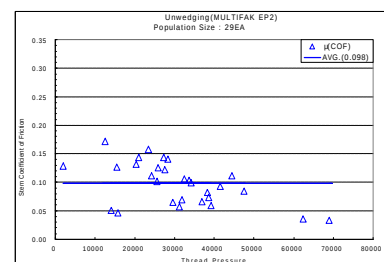
c) EXXON NEBULA EP1



d) MOBILUX EP0



e) MULTIFAK EP0



f) MULTIFAK EP2

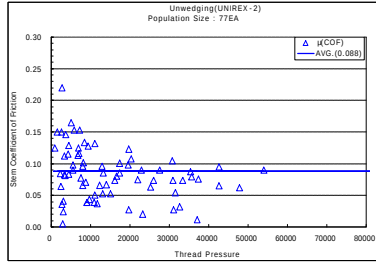
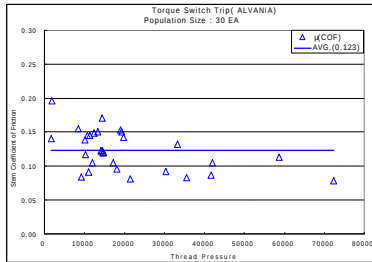


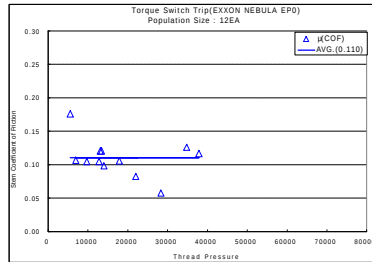
Fig. 12 게이트밸브 언웨징지점의 윤활유별
마찰계수 분포

g) UNIREX-2

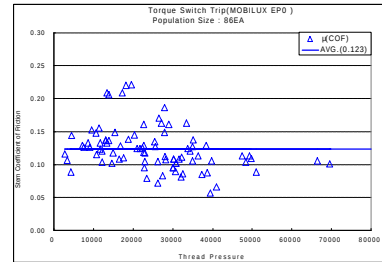
Fig. 12는 게이트밸브에 대해서 윤활유에 따른 스템마찰계수를 나타낸 그래프로서 모든 윤활유들이 가지는 스템마찰계수값들이 전체적으로 0.15보다 작은 마찰계수 분포들을 보이고 있으며 그 중에서 EXXON NEBULA EP0 윤활유는 스템마찰계수 평균값이 0.067로 윤활성능이 우수하여 마찰저항이 매우 작게 나타나는 것으로 평가되었다. 이외에도 EXXON NEBULA EP0, UNIREX-2, MULTIFAK EP2 윤활유들은 0.1이하의 작은 평균마찰계수들이 나타났다. MULTIFAK EP0는 비교적 평가대상밸브수가 적기 때문에 명확한 결론을 짓기는 어렵지만 높은 마찰계수들을 보이고 있음을 알수있다.



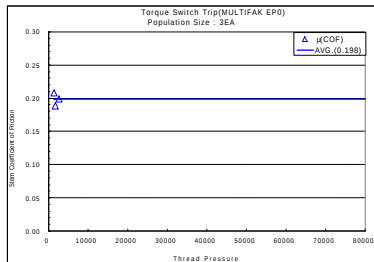
a) ALVANIA



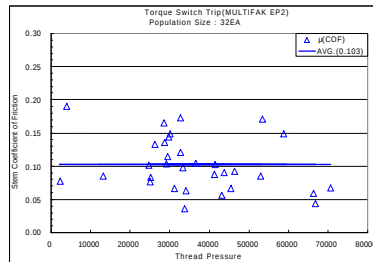
b) EXXON NEBULA EP0



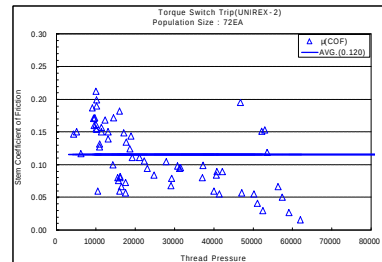
c) MOBILUX EP0



d) MULTIFAK EP0



e) MULTIFAK EP2



f) UNIREX-2

Fig. 13 게이트밸브 토크스위치 트립지점의 윤활유별 마찰계수 분포

Fig. 13은 게이트밸브 토크스위치 트립지점의 마찰계수 분포에 대해 윤활유별로 나타낸 그래프로서 열림시 언웨징지점에서 나타난 결과들보다는 평균적인 마찰계수값이 약간씩 큰 값을 보였고, MULTIFAK EP2의 경우 언웨징 지점에서 나타난 마찰계수분포와는 달리 토크스위치 트립지점에 대해서는 평균마찰계수가 매우 작게 나타났다. 또한 EXXON NEBULA EP0, MOBILUX EP0, ALVANIA 순으로 평균마찰계수가 크게 나타났다는 사실과 윤활유별 Thread Pressure에 따른 마찰계수의 분포형상이 열림시 언웨징 지점의 스템마찰계수분포와 유사하다는 사실로부터 윤활유특성에 의한 마찰저항이 토크스위치 트립지점에서도 매우 유사하게 작용하는 것으로 사료된다.

4-2.2 글로브밸브 윤활유별 마찰계수 분포

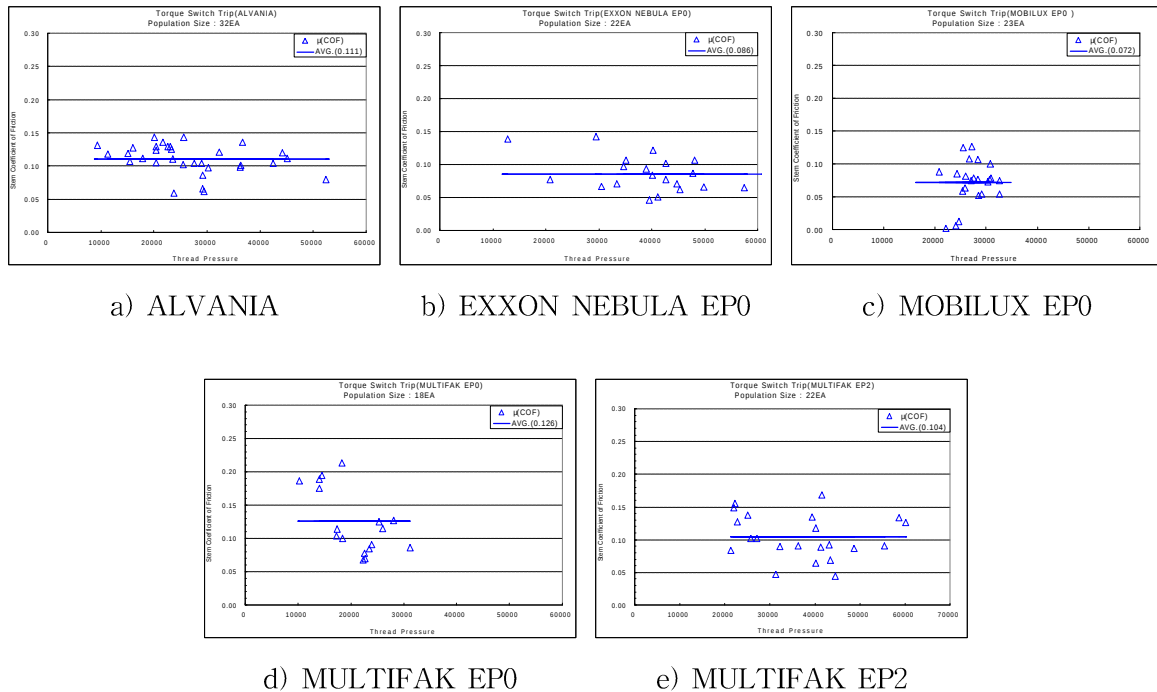


Fig. 14 글로브밸브 토크스위치 트립지점의 윤활유별 마찰계수 분포

Fig. 14는 글로브밸브 토크스위치 트립지점의 윤활유별 나타나는 마찰계수를 나타낸 그래프로써 게이트밸브 보다는 비교적 작은 마찰계수 분포들을 보이고 있다. EXXON NEBULA 윤활유의 경우에는 게이트밸브에서 나타난 것처럼 글로브밸브에 대해서도 평균마찰계수 0.086으로 작게 작용하는 것으로 평가되었고, MULTIFAK EP0가 제일 낮은 것으로 나타났다. MOBILUX EP0의 경우에는 게이트밸브 언웨징/토크스위치 트립지점에서 나타나는 윤활성과 달리 글로브밸브에 대한 평가대상 윤활유 중 제일 우수한 것으로 나타났다.

5. 결 론

게이트밸브와 글로브밸브에 대해서 열림시 언웨징지점(게이트밸브), 닫힘시 토크스위치 트립지점(게이트/글로브밸브)에 대한 스템과 스템너트 사이의 접촉면에서 작용하는 스템마찰계수를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 게이트/글로브밸브 열림시 언웨징 지점과 닫힘시 토크스위치 트립지점의 마찰계수를 종합하여 평가하면 95%Confidence를 갖는 스템마찰계수값이 0.188로 나타났다. 이 값은 스템팩터 측정이 불가능한 밸브들에 대해서 사용하는 스템마찰계수 0.2보다 작기 때문에 안전진단 평가시 스템마찰계수 0.2의 적용은 보수적이라 판단된다.

2) 게이트밸브 닫힘행정시 토크스위치 트립지점의 스템마찰계수 평균값이 열림행정시 언웨징지점의 스템마찰계수 평균값보다 0.019 정도 크게 나타났고, 언웨징지점의 스템마찰계수와 토크스위치 트립지점의 스템마찰계수 분포영역이 최저 0.01에서 최고 0.23정도의 유사한 범위에서 분포하므로 토크스위치 트립지점의 마찰계수값을 언웨징지점에 적용하는 것이 가능하다고 판단된다.

3) 평가 대상 밸브 수가 일부 윤활유에 대해서는 충분치 않으나 정적시험에 대한 윤활유별 스텝 마찰계수 평균값을 기준으로 윤활성능을 평가한 결과 게이트밸브의 경우 EXXON NEBULA의 윤활유의 성능이 우수한 것으로 평가되었고, MULTIFAK EP0의 성능이 제일 낮은 것으로 평가되었다. 그리고 글로브밸브의 경우에는 MOBILUX EP0의 윤활성능이 가장 우수하고, 게이트밸브와 동일하게 MULTIFAK EP0가 제일 낮은 것으로 평가되었다. 또한 EXXON NEBULA는 게이트/글로브밸브 모두에 대해서 우수한 윤활성능을 가진 것으로 평가되었다.

6. 참고문헌

- (1) Commonwealth Edison Company, "As-Left Stem/Stem Nut Coefficient of Friction", 1995. 12, White Paper MOV-WP-101
- (2) EPRI, "ACEL Qualification of Grease for Motor-Operated Valve Stem/Stem Nut Lubrication", 1998. 10, EPRI TR-106825
- (3) EPRI, "Addendum 4 to TR-103237-R2 : Use of Static Closure Data for Determining the Stem-to-Stem Nut Coefficient of Friction at Unwedging, 1999. 12, EPRI TR-113989
- (4) Crane, "NRC GL 89-10 Pilot Implementation Program-Motor Operated Valve Program Documents and Related MOV Information", 1994
- (5) EPRI, "Application Guide for Motor-Operated Valves in Nuclear Power Plants" 1999. 9, EPRI TR-106563
- (6) Commonwealth Edison Company, "Rate-of-Loading", 1997. 7, White Paper MOV-WP-124