

# 모터구동밸브 진단장비 개발

## Development of a Diagnostic System for Motor-Operated Valves

강성기† · 최현우\* · 박성근\*\* · 강신철\*\*\* · 채장범\*\*\*

Seongki Kang, Hyunwoo Choi, Sungkeun Park, Shinchul Kang, Jangbom Chai

**Key Words** : diagnostic system(진단장비), MOV, motor-operated valve(모터구동밸브), MCC(모터제어반)

### ABSTRACT

The new MOV(motor-operated valve) diagnostic system MOVIDS(MOV intelligent diagnostic system) was developed. Its remote diagnostic methods with high accuracy have improved the applicability. This enables the diagnostic tests and the evaluations of many MOVs not only at the valves but also in remote places like MCCs(motor control centers). The remote diagnostic ability of the new system reduces the cost and the man power for diagnosing MOVs and eliminates the danger of the toxic or radioactive environments to which workers might be exposed.

### 1. 서론

모터구동밸브(MOV : Motor-Operated Valve)는 발전소, 화학 공장, 그리고 대형 배관 시스템에서 유체의 흐름을 제어하는데 사용되는 부품으로, 안전에 관련되는 계통에서 사용되는 모터구동밸브의 작동 실패는 대형 사고의 원인이 될 수 있다. 따라서 안전에 관련된 모터구동밸브의 작동 실패를 미연에 방지하기 위해서 모터구동밸브의 설계 기준 성능을 평가하고 상태를 감시하는 것이 요구되고 있다.

미국은 US NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서 발행한 GL89-10에 따라 1989년부터 모든 원자력 발전소에서 안전 관련 모터구동밸브의 안전성 평가를 수행하였고, 다시 GL96-05를 통해 주기적으로 모터구동밸브의 성능 감시를 수행토록 하고 있다.

국내에서도 1997년 6월 과학기술부에서 운전중 및 건설중 원전의 모든 안전 관련 모터구동밸브에 대하여 설계기준 조건에서의 운전 성능 확인을 요구하는 규제권고사항을 발행하였으며, 이에 따라 1999년부터 전 원전의 안전 관련 모터구동밸브에 대해 설계 기준 성능 평가(밸브의 설계 기

준 운전성 및 구조적 건전성 평가)를 수행하였고, 2005년부터 모터구동밸브에 대한 주기적 성능 확인을 계속 수행하고 있다.

국내와 미국의 경우 모두, 모터구동밸브의 성능 평가를 수행하는 초기에는 모터구동밸브의 진단을 위해서 현장에서 직접 진단 신호를 취득하여 분석하는 방법을 주로 사용하였다. 그러나 원자력 발전소내에서는 작업자가 방사선에 노출되거나 방사능에 오염될 가능성이 있으며, 밸브들이 넓은 지역에 분포되어 있는 것은 물론, 설치 장소에 따라 현장 접근이 어려운 경우도 많아서, 모터구동밸브 진단을 위해 많은 인력과 시간을 필요로 하였다. 이러한 현장 측정 방법의 한계와 단점들을 극복하고 보다 효율적인 진단을 위해서는 원격에서 진단하는 방법이 필요하였다.

모터구동밸브를 원격에서 진단하고자 할 경우에는 현장에서 진단을 수행하는 경우와 달리 측정할 수 있는 신호가 모터에 공급되는 전류와 전압 신호로 한정된다. 이러한 제약 상황 하에서 진단을 수행하기 위한 방법들이 미국의 연구 기관들을 중심으로 연구되기 시작하여 몇몇 방법들이 미국에서 상용화되기도 하였다.(1) 그러나 이들 방법들은 모터의 효율 변화를 고려하지 않거나, 진단에 많은 정보를 필요로하기 때문에 정확성과 적용 범위에 한계를 갖고 있었다.

이에 지능형 모터구동밸브 진단 장비인 MOVIDS(MOV Intelligent Diagnostic System)를 개발하였다. MOVIDS는 밸브가 설치되어 있는 현장 뿐 아니라, MCC(모터제어반)에서 전류와 전압만을 측정하여 모터구동밸브의 진단을 수행할 수 있는 장비이다. MOVIDS에는 MCC에서 측정할

† (주)엠앤디

E-mail : skkang@e-mnd.com

Tel : (031) 303-8661, Fax : (031) 303-8664

\* (주)엠앤디

\*\* 한국전력공사 전력연구원

\*\*\* 아주대학교

전류와 전압 신호를 이용하여 모터의 출력 토크를 검출하는 NEET(non-intrusive evaluation of electric torque) 방법, 스템 쓰러스트 및 스템 토크를 검출하는 NEST(non-intrusive evaluation of stem thrust) 방법과 설계 기준 분석 결과 및 시험 데이터를 바탕으로 모터구동밸브의 운전 여유도를 계산하고 제한값을 판정하는 성능 평가 기능이 포함되어 있다.(2)

## 2. 모터구동밸브의 구조와 작동 원리

### 2.1 구조

모터구동밸브는 크게 모터와 구동부, 그리고 밸브로 구성된다. 모터구동밸브의 개략적인 구조가 그림 1에 나타나 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 구동부는 피니언, 헬리컬, 워름과 워름 기어, 스템과 스템 너트, 드라이브 슬리브(drive sleeve) 그리고 스프링 팩(Spring pack) 등으로 구성되어 있다. 일반적으로 모터구동밸브는 닫힘과 열림시의 거동을 제어하기 위해서 두 종류의 스위치 즉, 리미트 스위치(limit switch)와 토크 스위치(torque switch)를 용도에 맞게 선택하여 사용한다. 일반적으로 안전 관련 밸브는 닫힘시 적정한 스템 힘을 보장하기 위하여 토크 스위치로 제어되고 열림시는 정해진 위치에서 밸브 작동이 멈추도록 리미트 스위치를 사용하여 제어하도록 되어 있다. 또한 스템의 수동 조작을 위한 디클러치 레버(declutch lever)와 핸드휠(handwheel)이 있다.

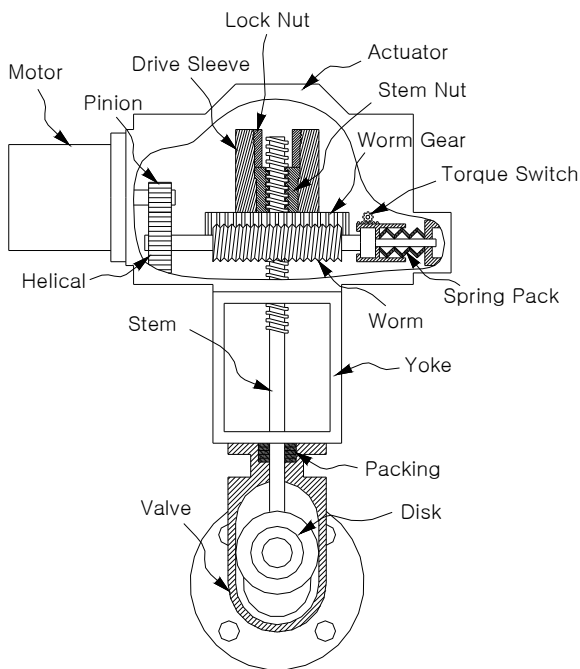


그림 1. 모터구동밸브 구성도

### 2.2 작동 원리

모터구동밸브 동력 전달계의 작동 원리는 다음과 같다. 최초의 동력원인 모터의 회전으로부터 피니언과 헬리컬을 통하여 워름으로 동력이 전달된다. 워름은 워름 기어를 회전시키고 워름 기어에 있는 블럭(block)이 드라이브 슬리브의 블럭과 마주치게 되면(이것을 hammer blow effect라 한다.) 드라이브 슬리브가 스템 너트를 회전시켜 스템을 움직이게 한다. 이때 스템과 스템 너트는 마찰을 하게 되며 마찰 상태에 따라 스템 토크에서 스템 힘으로 전환되는 양이 크게 변하게 된다. 밸브가 완전히 닫히면 워름 기어는 더 이상 회전을 하지 못하게 되지만 모터는 계속적으로 회전하므로 워름이 워름 축(shaft)을 따라 움직이게 되고 스프링 팩을 압축시키게 된다. 스프링 팩이 압축되면 압축 거리에 따라 작동하는 토크 스위치가 모터의 전원을 차단시켜 구동을 멈추게 한다.

## 3. MOVIDS 진단 장비

MOVIDS 진단 장비는 데이터를 취득할 수 있는 데이터 수집 장치 본체, 취득된 데이터의 신호 처리 및 데이터베이스 기반의 정보 관리 그리고 원격 진단 방법을 포함하는 소프트웨어, 소프트웨어를 구동하기 위한 컴퓨터로 구성되어 있다.

MOVIDS 데이터 수집 장치 본체는 컴퓨터와 고속 통신인 ethernet 기반으로 연결되어 고속의 데이터 수집이 가능하다. 또한 본체는 소프트웨어를 통하여 모든 기능을 제어하므로 사용이 간편하다. 본체는 총 17개의 채널을 보유하고 있으며, 기본 측정 신호인 전류, 전압 신호를 각각 3개씩 측정할 수 있고, 동시에 힘, 변위, 압력과 같은 신호들을 측정할 수 있다. 본체의 채널들은 동시에 신호가 측정되도록 하여 채널 사이의 위상차를 제거하는 동시 샘플링(simultaneous sampling) 기능과 A/D 변환에서 발생할 수 있는 신호 왜곡 현상을 제거하기 위한 안티 앨리어싱 필터(anti-aliasing filter) 기능을 내장하고 있다.

MOVIDS 소프트웨어는 모터구동밸브 정보 관리, 신호 수집, 데이터 관리, 진단 변수 검출 및 신호 처리, 성능 분석 등의 기능을 수행한다. MOVIDS 소프트웨어의 특징은 다음과 같다.

- 데이터베이스를 이용하여 모터구동밸브 정보와 밸브의 정비 이력을 관리한다.
- 신호 수집 중 실시간으로 데이터의 유효성을 판단하여 유효한 데이터만을 수집하는 데이터 차단 기능을 포함하고 있어서, 프로그램이 자동적으로 데이터의 취득을 시작하고 종료한다.
- 외부에서 생성된 데이터 파일을 MOVIDS 데이터 파일로 변환하는 기능을 포함하고 있어서, 기존 장비와 상호 운

용이 가능하다.

- 기존 원격 진단 방법들에 비해 정확성과 적용성이 획기적으로 개선된 NEET 및 NEST 알고리즘을 포함하고 있어서, 보다 경제적이고 안전한 방법으로 모터구동밸브 진단을 수행할 수 있다.
- 디지털 필터와 기본 산술 연산 기능을 제공하여 사용자가 원하는 형태로 신호를 변환할 수 있으며, 새로 생성된 데이터와 원본 데이터를 직접 비교해 볼 수 있도록 overlay 기능을 내장하고 있다.
- 데이터를 주파수 영역에서 분석할 수 있도록 FFT 기능과 주파수 분석 결과를 필터링 할 수 있는 기능을 제공한다. 주파수 분석에서는 모터 회전수 등 주파수 특성값을 찾아내 정상적인 값과 비교할 수 있을 뿐 아니라, 기존 시험 데이터들에서 얻은 주파수 특성값과의 비교를 통해 모터구동밸브의 문제점과 성능 저하 정도 등의 정보도 얻을 수 있다.
- 파일들에 포함되어 있는 데이터를 검색하고, 검색된 데이터들을 그래프에 표시하여 비교하는 기능을 제공한다. 이를 통해 특정 데이터의 시간에 따른 변화 정보와 경향을 파악할 수 있다.
- 모터구동밸브의 구동부 효율 상태, 워프 워프 기어의 정렬 상태, 스템 힘 여부, 패킹 부하 관리, 제어 스위치 관리, 기어 상태 관리 등의 상태 진단을 수행할 수 있다.

## 4. MOVIDS를 이용한 모터구동밸브 진단

### 4.1 현장 진단 시험

MOVIDS 장비를 이용한 현장 진단 시험은 모터구동밸브에 센서들을 설치하고 모터구동밸브를 동작시켜서 각 센서들의 출력을 수집하는 신호 수집 단계, 수집된 신호를 분석하고 모터구동밸브 동작 중에 발생하는 각 사건의 위치를 기록하는 신호 분석 및 이벤트 점 설정 단계, 분석된 신호를 이용하여 여유도와 제한값을 판정하는 성능 평가 단계로 수행된다.

#### 가. 신호 수집

신호 수집 단계에서는 먼저 각 신호들을 측정하기 위한 센서들을 모터구동밸브와 제어 회로에 설치한다. 모터구동밸브의 현장 시험에서는 모터에 입력되는 3상의 전압전류, 스템 쓰러스트, 스템 토크, 스프링팩 변위, 제어 스위치 동작 신호 등을 측정한다.

센서 설치가 완료되면, MOVIDS 소프트웨어에서 데이터 수집을 시작한다. MOVIDS 소프트웨어는 데이터 수집을 수행하는 중에 실시간으로 데이터의 유효성을 판단하여 유효한 데이터만을 수집하는 데이터 재단 기능을 포함하고 있어서, 프로그램이 자동적으로 데이터의 취득을 시작하고

중요하다. 그림 2는 MOVIDS 소프트웨어에서 데이터를 수집하고 있는 상황을 나타낸 것이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 MOVIDS 소프트웨어는 각 채널에서 측정되는 데이터를 실시간으로 그래프에 표시해주므로 수집된 데이터의 적절성 여부를 사용자가 빠르게 판단할 수 있다.

#### 나. 신호 분석 및 이벤트 점 설정

신호 수집이 완료되면, 측정된 스템 쓰러스트와 스템 토크 신호의 영점을 조정하고, 신호 측정 중에 포함될 수 있는 노이즈 성분을 제거하는 등의 신호 처리 작업을 수행한다. 또한 모터구동밸브가 동작하는 동안 발생하는 사건들의 위치를 이벤트 점 설정 기능을 이용하여 설정한다. 그림 3은 신호 처리 창에서 영점 조정이 수행된 결과를 나타내고, 그림 4는 이벤트 점 설정이 수행된 결과를 나타낸다.

#### 다. 성능 평가

성능 평가는 모터구동밸브의 설계 기준 정보와 진단 시험에서 얻은 신호값을 사용하여, 모터구동밸브의 운전 여유도를 계산하고, 현재 모터구동밸브의 설정이 적절한지를 판정하는 것이다.

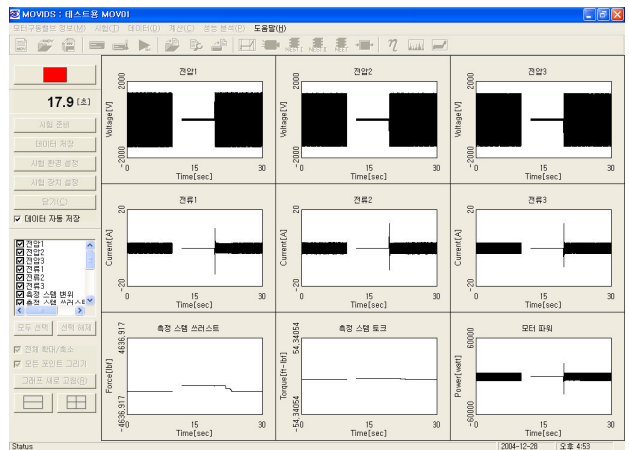


그림 2. 신호 수집

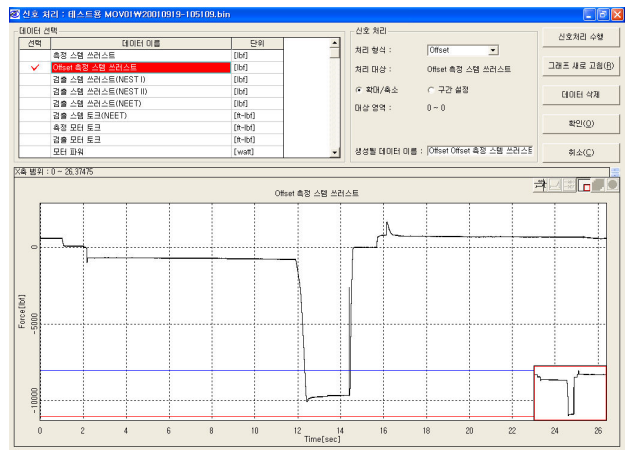


그림 3. 신호 처리

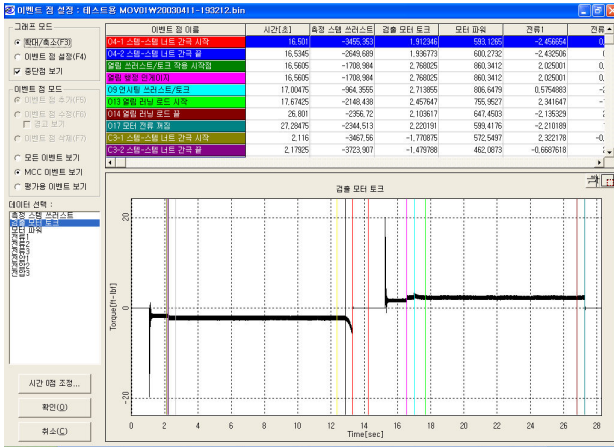


그림 4. 이벤트 점 설정

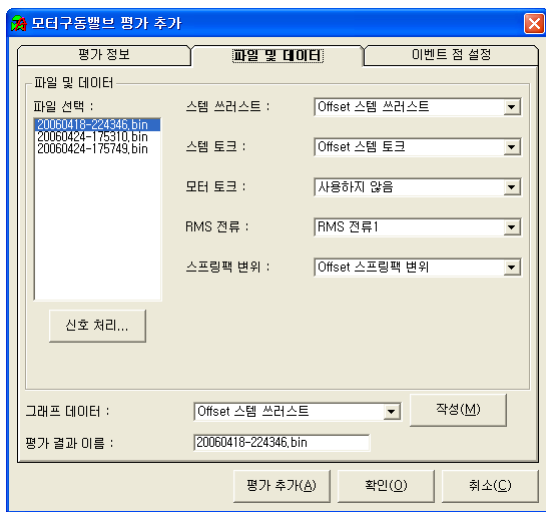


그림 5. 모터구동밸브 성능 평가 입력

항목	값
최대 허용 쓰러스트 제한값[lbf]	165009.2
구동기 정격 쓰러스트 제한값[lbf]	861216.9
전압 강하시 최대 운전 쓰러스트 제한값[lbf]	69362.6
스프링 팩 최대 설정 쓰러스트 제한값[lbf]	54756.6
구동기 정격 토크 제한값[ft-lbf]	846519.2
전압 강하시 최대 운전 토크 제한값[ft-lbf]	1186.3
스프링 팩 최대 설정 토크 제한값[ft-lbf]	936.5
Tech. Spec. 행정 요구 시간[sec]	N/A
출 행정 시간[sec]	19.875
최대 Running 전류[A]	16.9
Peak Inrush 전류[A]	202.4
Locked Rotor 전류[A]	N/A
스프링 팩 길[in]	0.668
운전 여유도[%]	12.6

그림 6. 모터구동밸브 성능 평가 결과

MOVIDS 소프트웨어는 사용자가 보다 쉽게 성능 평가를 수행할 수 있도록 '모터구동밸브 평가 프로그램'을 제공한다. 모터구동밸브 평가 프로그램에서는 이벤트 정보를 이용하여 여유도 계산과 제한값 판정을 자동적으로 수행한다. 그림 5는 모터구동밸브 평가 프로그램에서 정보 확인, 과

일 및 데이터 선택과 이벤트 점 설정을 확인하는 창을 나타내고, 그림 6은 평가 결과 창을 나타낸다.

## 4.2 MCC 진단 시험

MCC에서 수행하는 진단 시험은 현장 진단 시험과 달리 측정할 수 있는 신호가 모터에 입력되는 전압과 전류로 한정된다. 따라서 MCC 진단 시험에서는 측정된 전압과 전류 신호를 이용하여 스템 쓰러스트나 스템 토크를 검출하는 원격 진단 방법을 사용한다.

MOVIDS는 기존 원격 진단 방법들에 비해 정확도가 매우 높고, 적용에 거의 제한이 없는 NEET 방법(모터 토크 검출)과 NEST 방법(스템 쓰러스트 또는 스템 토크 검출)을 제공한다.(4)

MCC에서 전압과 전류 데이터의 수집을 완료하면, 먼저 NEET 방법으로 모터 토크를 검출하고, NEST 방법으로 스템 쓰러스트나 스템 토크를 검출한다. 그림 7은 NEET 방법으로 검출한 모터 토크를 나타내고, 그림 8은 NEST 방법으로 검출한 스템 쓰러스트 신호의 예를 나타낸다. 그림 8에서 빨간색은 센서를 통해 측정된 쓰러스트를 나타내었는데 검출한 쓰러스트인 파란색 선과 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이 후의 성능평가는 앞에서 언급한 바와 같다.

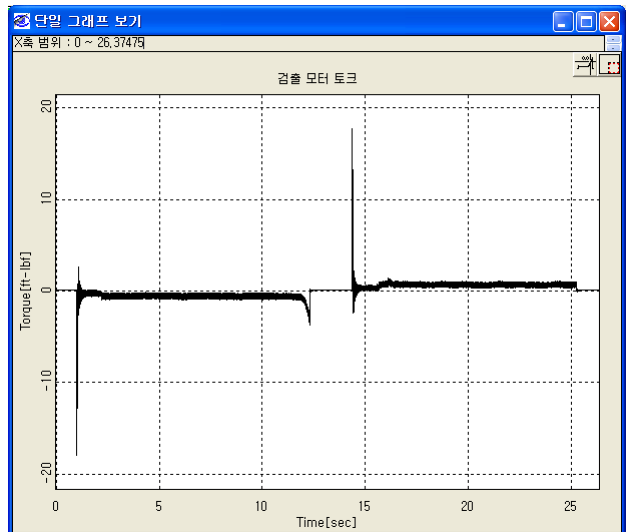


그림 7. 모터 토크 검출 예

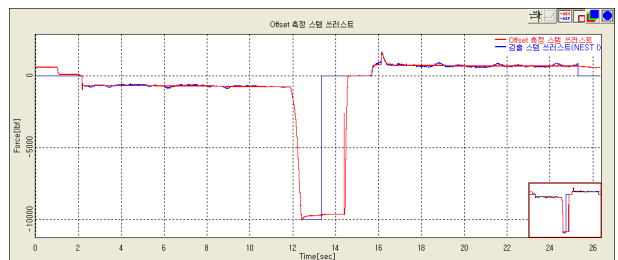


그림 8. 스템 쓰러스트 검출 예

## 5. 결론

원자력 발전소나 화학 공장 등의 운영 효율 제고와 안전을 위해서는, 모터구동밸브의 성능을 평가하고 상태를 감시하는 것이 필요하다. 기존에는 진단 시험시 많은 인력과 시간이 소요되어, 그 필요성을 인지하였음에도 불구하고 진단을 수행하지 못하여온 것이 현실이다.

MOVIDS에 사용된 원격 진단 방법들은 정확도와 적용성이 기존 진단 방법들에 비해 획기적으로 개선되어, 많은 모터구동밸브들을 현장이 아닌 원격에서 시험과 평가를 수행할 수 있도록 하여 줌으로써, 진단시 소요되는 시간과 비용을 획기적으로 절감하였고, 현장에서 발생할 수 있는 작업자의 안전 사고 위험도 줄여주고 있다. 또한 현장 여건을 고려하여 작업 효율을 높일 수 있도록 설계한 사용자 인터페이스의 편리성에 있어서도 높은 평가를 받고 있다.

## 참 고 문 헌

- (1) MOV Users Group, 2000, Guidance on the Use of MCC-Based Technologies for Static MOV Performance Testing and Condition Monitoring
- (2) 채장범 등, 1998. 12, “모터구동밸브의 진단장비 개발연구”, 제1회 신뢰성기술심포지움
- (3) 채장범 등, 1999, “밸브 진단 장비 개발”, 대한기계학회 ‘99 추계학술대회
- (4) 임찬우 등, 2002, “모터구동밸브의 원격 진단 시스템 개발에 대한 연구”, 소음진동공학회 추계학술대회
- (5) (주)엠피엔디, 2006, MOVIDS 사용자 매뉴얼