

# 내환경시험을 위한 MOV actuator 진단기술개발

정경열, 김병덕, 이 후락

## 1. 서 언

원전기기의 내환경시험을 할 때는 대부분 시험 전·후 및 중간에 기기의 성능시험을 실시하고 비교함으로써 기기의 내후성 여부를 판단하게된다. 따라서, 모터밸브구동기(Motor-operated valve actuator)의 내환경시험을 위해서는 MOV actuator에 대해서 시험 전·후 및 중간에 성능시험을 실시하는 것이 필요하다.

우리 기계연구원에서는 MOV actuator의 내환경 시험을 위한 일환으로 현재 MOV actuator 성능시험장비를 확충해가고 있으므로, 그 장비의 성능을 소개하는 기회를 갖고자 한다.

## 2. 진단시스템

MOV(Motor Operated Valve)는 원전설비에서 안전을 담당하는 역할을 수행하는 만큼 기본성능 테스트 및 주기시험이 엄격하게 이루어져 왔다. 또한, 그 성능의 검증과 주기시험을 정확하게 하기 위해 여러 종류의 진단 기술들이 연구되고 있다. 그 가운데 현재 대부분의 진단 기술들은 MOV의 동작 특성을 신호로 수집하여 분석하는 기법이 이용되고 있다. 이는 MOV와 관련된 엔지니어링 지식을 기반으로 하여 MOV가 동작할 때 생성되는 각종 신호들의 정확한 특성을 파악하고 문제발생을 진단하는데 목적을 둔다.

### 2.1 시스템 구성

본 시스템은 크게 세 부분으로 구성된다. 우선, 모터구동밸브에 장착하여 신호를 검출하는 센서 및 케이블과 센서에서 입력된 신호를 센서 출력과 관련된 low impedance, high level voltage 신호 또는 디지털 신호로 변환하는 DAM(Data Acquisition Module), 그리고 다양한 밸브 데이터의 획득, 저장 분석, 처리가 가능하며, 신호를 검사하고, 밸브 시험에 대한 의견을 만들고, 결과를 출력할 수 있는 SAM(Signature Analysis Module)로 구성된다.

전반적인 구성은 그림1과 같으며, 실제 부하변동을 측정하기 위해서는 load simulator를 장착하여 성능진단을 수행한다.

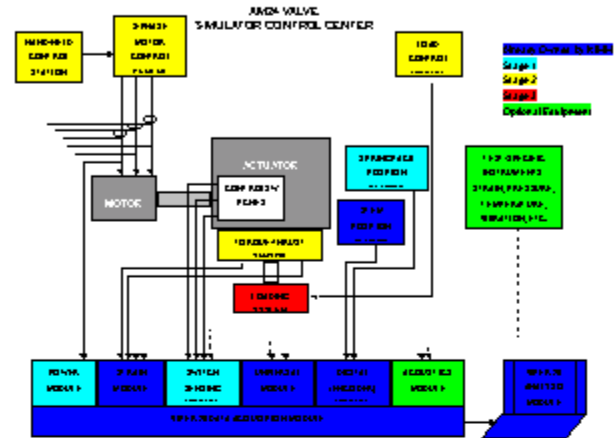


그림 1 MOV diagnostic system block diagram

### 2.2 센서의 종류 및 특징

2.2.1 DMT(Displacement Measurement Transducer)  
DMT는 스프링 팩의 이송량을 측정한다. actuator의 스프링 팩 모듈의 덮개를 열고, DMT의 stylus를 스프링 팩의 끝단에 밀착시키고, DMT를 actuator의 본체에 고정시킨다. 모터의 구동에 따라서 스프링 팩이 좌우로 이송될 때 DMT의 stylus가 선형적으로 움직이며, 이 기계적인 신호는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)에 의하여 전기적인 신호로 변환되어 DAM의 입력단으로 들어간다.



그림 2 Optical DMT

그림2는 Optical DMT로 LVDT 부분이 optical로 이루어져 있다. 그림3에 나타난 센서들은 easy torque & thrust(ETT)와 standard DMT이다. ETT는 TTC에 비해 정밀도가 높지만 한번 장착하면 다른 stem에는 사용할 수 없고, standard

DMT는 optical에 비해 정밀도가 높지만 장착하기가 약간 까다롭다는 점이 있다.



그림 3 Easy torque & thrust와 standard DMT

2.2.2 TST(Torque Switch Transducer)

Actuator의 스프링 팩의 이송량을 직접 측정하지 못하는 경우 즉, 스프링 팩 모듈의 덮개가 actuator와 일체형으로 되어 있을 때 DMT의 설치가 어렵다. 이 경우에 설치를 하기 위해선 스프링 팩 덮개부분을 절개 또는 구멍을 내어 설치해야 하는데, MOV의 구조변경을 하면 변경사유 및 영향평가 등의 문서를 세밀히 작성하여 보고하여야 하므로 대부분이 TST를 대신하여 설치한다. TST의 회전량은 스프링 팩의 축방향 이송량과 일치하기 때문이다. 그림4에 상세한 구조를 나타내었다.

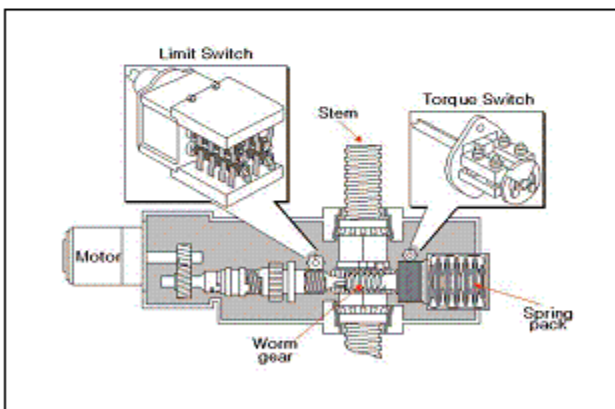


그림 4 Actuator 동작부의 내부구조

아래의 그림5와 그림6에 나타내었듯이 stem이 close phase로 갈 때 seat에 닿으면 부하가 증가하며 웜기어와 웜사프트 부분이 분리되며 스프링 팩

을 누르며 밀려나가서 축방향으로의 이동이 발생한다. 이때 이동되는 양을 DMT 또는 TST로 측정할 수 있으며, 측정되는 양은 동일한 것이다. 트랜스듀서의 사진을 그림7에 나타내었다.

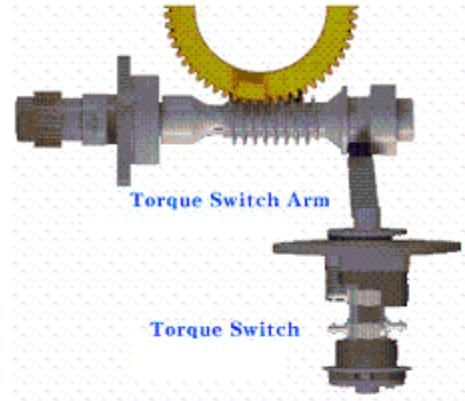


그림 5 웜 기어 이동 전

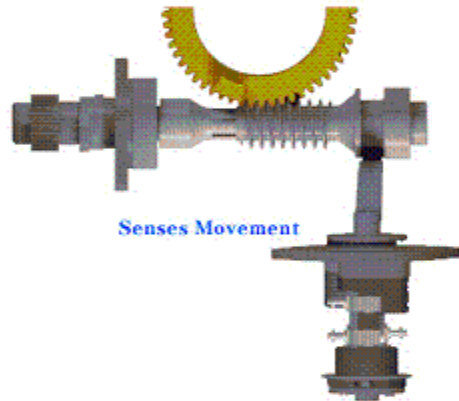


그림 6 웜 기어 이동 후

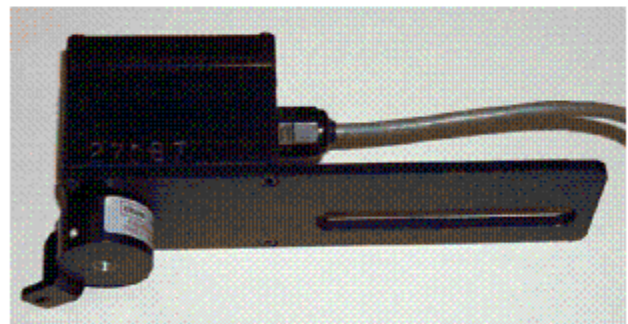


그림 7 TST(Torque Switch Transducer)

2.2.3 SST(Stem Strain Transducer)/SSR(Stem Strain Ring)

Actuator의 thrust 측정을 위해 설치·사용이 용이한 형태를 선택하여 사용한다. 구조적으로 SST(Stem Strain Transducer)가 본질적으로 upper limit 제약이 없어, 트러스트를 측정하는데

별도의 고려를 하지 않아도 된다.

SST는 상/하의 gripper로 구성된 platform 조립품에 장착되기 때문에 두 개의 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 이용한다. 반면, SSR은 스템의 나사산이 없는 매끈한 부분에 장착할 수 있다.

SST는 Hooke's Law를 기반으로 한 원리이다. 이는 힘과 변형사이의 선형적인 관계를 정의하는 것으로 밸브 stem에 적용하기에 아주 적합하다. 관계된 계산식은 다음에 나타낸 것과 같으나 실질적인 계산은 DAM에서 처리하여 thrust 값으로 전송한다.

SSR 또한 Hooke's Law를 기반으로 한 원리로 SST와 같은 성질의 계산식을 가지며, SST와 마찬가지로 DAM에서 처리한다.

#### 2.2.4 TTC(Torque Thrust Cell)

TTC는 그림8과 같은 형태로 되어있으며 내부 홈에 각 센서가 부착되어 있어 torque와 thrust를 동시에 측정할 수 있어 매우 편리하며 정밀도도 좋은 편에 속하는 트랜스듀서이다. 다만, actuator의 크기에 맞는 사이즈를 장착해야 하며, 설치가 어려운 제약이 따르므로, 대부분 Strain gage를 사용하여 측정을 수행한다. 장착할 수 있는 사이즈는 SMB-000~SMB-3와 SB-00~SB-3이다.

장착되는 위치는 actuator와 밸브 요크 사이에 장착되며, actuator를 조금 들어서 TTC를 장착한다. 이는 Strain Gage의 장착이 불가능할 경우에 스템의 Torque와 Thrust를 측정하기 위하여 주로 사용된다. 장착되는 세부 위치를 그림9에 나타내었다.

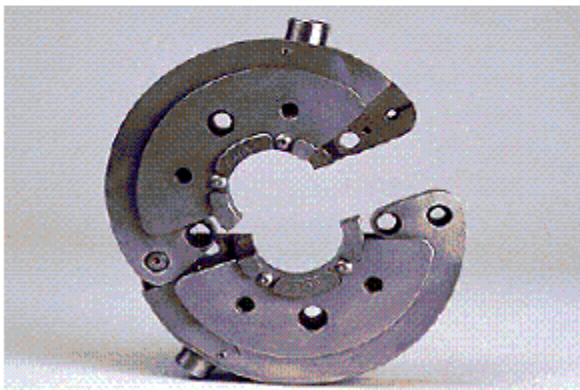


그림 8 TTC(Torque Thrust Cell)

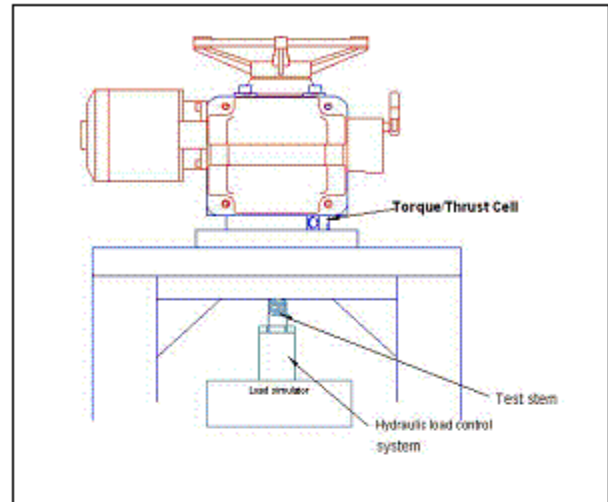


그림 9 MOV actuator에서의 TTC 장착 위치

#### 2.2.5 BARTS(Butterfly Analysis and Review Test System)

BARTS 유닛을 이용할 때 교정 데이터는 Open/Close 스트로크에서 데이터를 받아들인다. BARTS 유닛을 이용할 때 사용자가 Torque에 대한 로드 셀의 값 변환하는 방법은 로드셀에서 측정된 값과 모멘트 팔의 길이의 곱으로 변환한다.

#### 2.2.6 Current probe

전류 프로브에는 AEMC 185와 Fluke Y8100을 주로 사용하며, AEMC 185는 AC모터에서 측정 가능하며, Fluke Y8100은 AC/DC 모터에서 측정 가능하다. 그림 10, 11은 AC 모터에서 측정 가능한 프로브들을 나타낸 것이다. 각각 모터에 공급되는 3상 전류 및 open과 close control 전류를 측정하기 위한 프로브들이다. 이를 이용하여 FFT 및 frequency domain analysis를 수행한다.

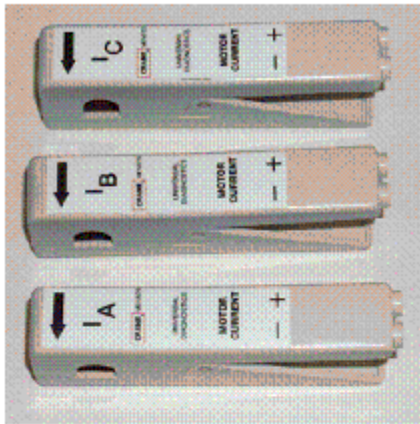


그림 10 모터 coil current 측정



그림 11 Open-Close coil current 측정

제어 스위치의 거동을 모니터링 하기 위해 사용되는 두가지 방식 중에 또 다른 하나는 Voltage 프로브를 이용하여 모터에 공급되는 전압의 변화량을 측정한다.

2.2.7 Switch monitoring device

전기적 제어신호가 일어나는 시간을 정확히 측정하기 위해 사용되는 디바이스로 악어클립 형태로 되어있으며 각 클립에서 측정되는 신호변화를 전압변화로 나타내주는 역할을 수행하여 open-close 상태의 신호 변환점을 정확히 알아낼 수 있다. 각각의 쌍으로 되어있는 클립의 배선 색상에 따라 표1에 나타낸 의미로 사용된다.

표 1 SW monitoring cable signal

Cable color	Electrical signal	Voltage transition
Red switch cable	Open torque switch	2.5V
Green switch cable	Open bypass	5V
Black switch cable	Open limit/light	10V
Orange switch cable	Close torque switch	2.5V
Blue switch cable	Close bypass	5V
White switch cable	Close limit/light	10V

3. Base line test 기술

3.1 Transducer의 사용과 데이터 분석

Spring pack을 측정하기 위한 tool로 standard DMT와 optical DMT가 있는데, 정확하게 측정하기 위해선 standard를 사용하지만, 사용이 간편한 optical type을 현장에서는 더욱 선호한다. 또한, MOV에서는 optical DMT의 accuracy정도면 신호 분석에 지장이 없다. base line test를 위해 MOV에 각 센서를 장착한 모습을 그림12에 나타내었다. 여기서는 standard DMT를 장착하여 테스트를 진행하였다.

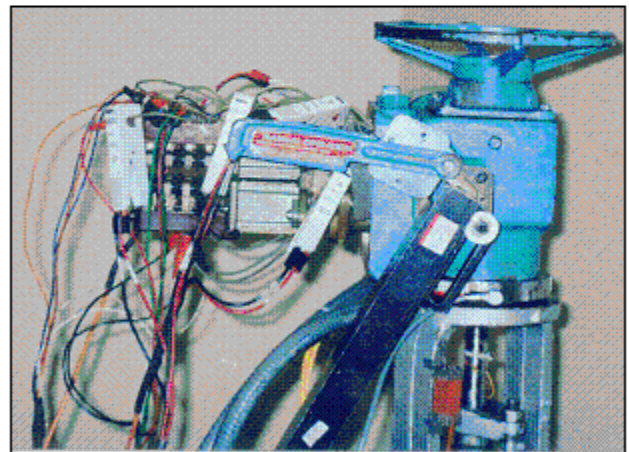


그림 12 MOV에 각종 transducer를 장착한 모습

3.1.1 DMT 측정값의 이용

DMT의 gap을 측정하기 위해 그림 13과 같이 zero point를 설정하고 open이후 스프링 팩의 원위치 상태의 평균값을 그림14와 같이 가늠하여 gap이 0.01 inch 보다 작을 것을 확인한다. gap의 값이 허용치를 넘으면 스프링 팩의 덮개부분을 조여서 gap을 최대한 줄인다. 또한, 덮개를 조여도 측정값

이 문제가 있을 경우 스프링 팩의 이상 유무를 점검하여야 한다.

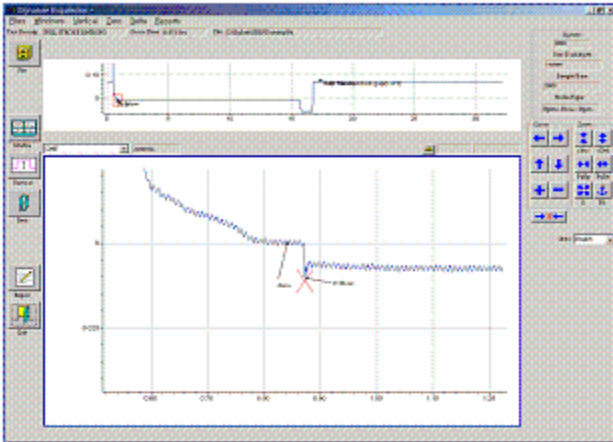


그림 13 DMT zero point

DMT의 gap은 그림14와 같이 측정하여 스프링 팩의 gap을 조절한다. 변위의 영점 설정은 hammer blow가 생기기 이전의 일반적인 데이터 값이 일정하게 나오는 중앙값으로 설정한다. gap의 측정이 후 총 변위량은 영점부터 스프링팩이 최대로 압축된 시점, 다시 말해 그림15와 같이 모터가 완전히 정지된 상태에서 측정된 값의 중앙값과 차이를 말한다.

이를 기반으로 스프링팩에 grease이상이나 이물질 등이 영향을 미치는 가를 확인할 수 있다.

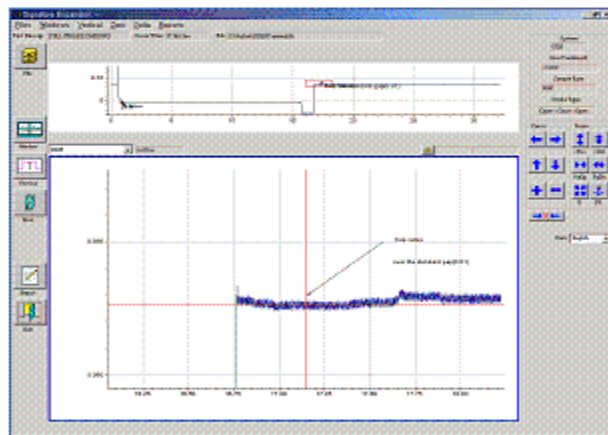


그림 14 DMT gap measurement

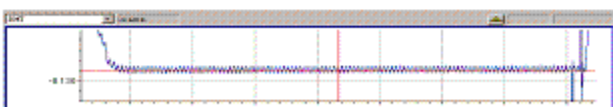


그림 15 Total displacement

### 3.1.2 Control switch trip 값의 이용

Control switch trip의 기본원리는 limit switch의 메카니즘에 근거하므로 각 제조업체의 컨트롤상자를 참조하여 분석해야 한다.

각 switch의 trip 포인트는 다음의 그림16, 17과 같이 각 switch가 의미하는 전압의 drop으로 일어난다. 총 17.5V level에서 표1에서 나타낸 각 전압에 해당하는 drop이 일어나면 그에 해당하는 switch의 trip이 일어난 것이다. 각 변이 시점을 기준으로 액츄에이터의 전기적인 상태를 확인할 수 있다.

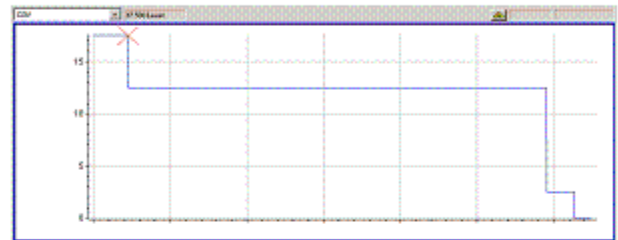


그림 16 Close phase control switch trip

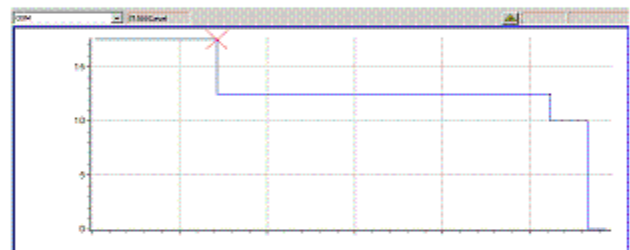


그림 17 Open phase control switch trip

### 3.1.3 Coil current 값의 이용

Coil current probe 종류에는 open coil current와 close coil current probe가 있으며, 모터의 current를 측정하기 위한 3상 측정용 current probe가 있다. 각각 open switch, close switch, motor 전원부 쪽의 배선에 설치하여 측정한다.

그림18의 처음 발생하는 신호인 first SW신호는 Close로 진행되는 상태에서 bypass SW가 open되기 이전에 모터로 전송되는 close current의 시발점이다.

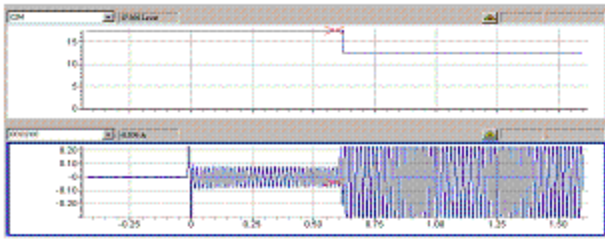


그림 18 First SW

그림19에 나타낸 그래프는 Open으로 진행되는 상태에서 bypass SW가 open 되기 이전에 모터로 전송되고 open limit까지 진행되는 open current의 전체 신호를 나타낸다. 이와 같은 신호는 control SW trip신호와 함께 컨트롤상자에서 모터에 공급되는 전류를 모니터링하는데 사용된다.

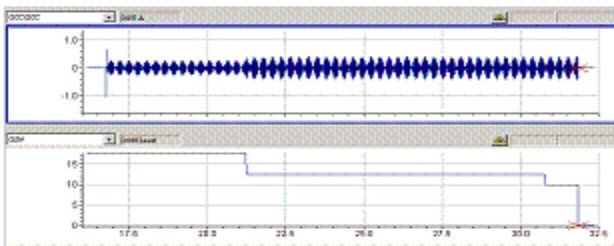


그림 19 OCC & OSW 그래프

3.1.4 TTC(Torque Thrust Cell) 설치 및 test

Torque와 thrust를 동시에 측정할 수 있는 TTC를 사용하기 위해서는 역추에이터와 yoke 사이에 TTC를 설치해야한다.

설치 전에 모터를 동작시켜 full open 상태로 만들고 전원을 내린 후 limit switch를 베벨기어와 분리하기 위해 limit SW의 로터 사이에 있는 클러치를 시계방향으로 완전히 돌린다. 그림 20~23까지 베벨기어와 연결되는 메카니즘을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 수동조작을 하더라도 limit switch가 변경되지 않도록 하기 위함이다.

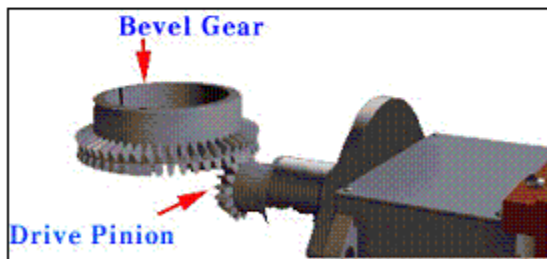


그림 20 Bevel gear & drive pinion

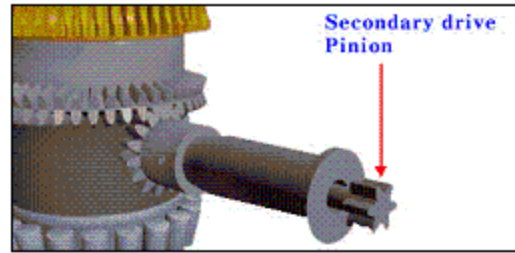


그림 21 2nd drive pinion

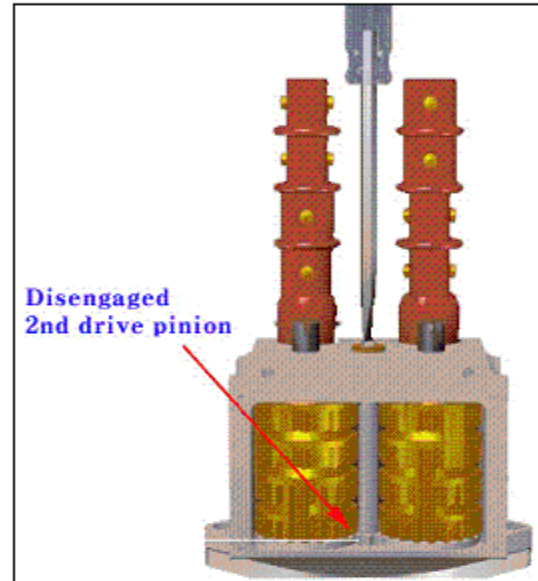


그림 22 Limit switch disengage

MOV에 있는 actuator 레버를 당겨 클러치를 넣으면, 그림23에서처럼 수동조작 모드가 되므로 Full-Open 상태까지 수동핸들을 돌린다.

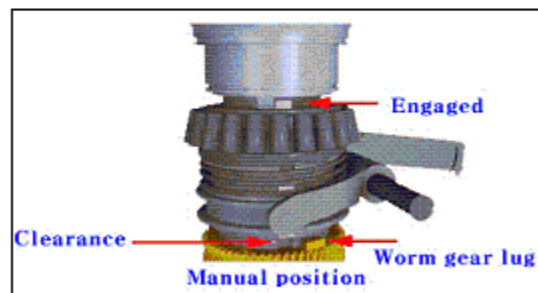


그림 23 De-clutch mechanism

Full Open 상태에서 패킹이 스템을 단단히 고정하고 있다면, 따로 들어올리는 과정이 필요 없이 actuator와 valve의 yoke사이의 볼트를 제거하고, TTC를 actuator에 고정한다.

그 후 TTC를 장착하고 actuator와 밸브를 다시 연결하는 과정은 위의 역순으로 진행한다. 그림24에 yoke와 TTC를 고정하기 이전의 모습을 나타내



었다.



그림 24 TTC 장치를 완료하여 yoke와 actuator를 연결하기 전 모습

Full Stroke TTC 시험수행은 torque SW의 Open/Close 조절 나사를 그림25에서처럼 1.0, 1.5, 2.0으로 변경시키면서 3번의 Full Stroke (Open-Close-Open)을 수행한다.

모든 시험준비가 완료된 다음 밸브 Close 버튼을 눌러 Torque SW가 작동하여 모터가 정지할 때까지 모니터링하고, 그 후 Open 버튼을 눌러 Full Open 이 되어 Open Torque SW가 동작할 때까지 수행한다.

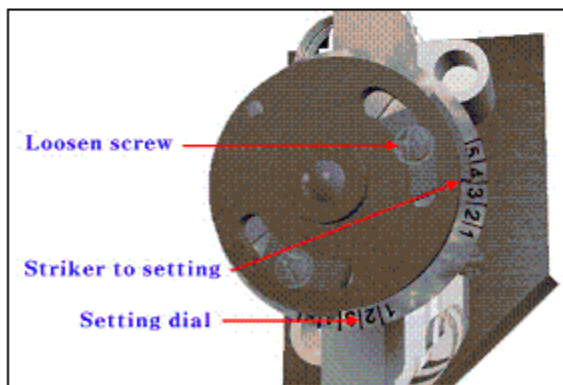


그림 25 Torque switch setting 포인트

그림26과 그림27에 torque SW의 Open/Close 조절 나사를 1.0, 1.5, 2.0으로 변경시키면서 측정값을 나타내었다. 그러나, 본 데이터는 노후된 actuator 내부 기어에 문제가 생겨 정확한 비율이

나타나지 않았다.

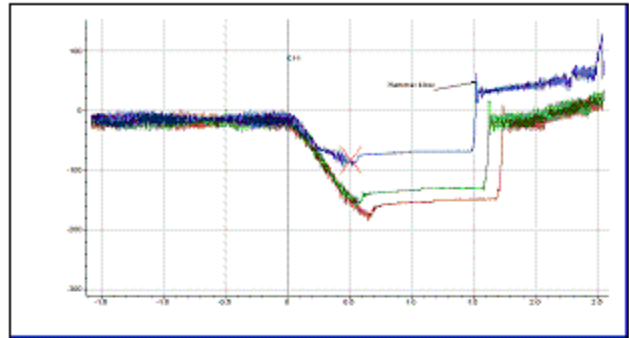


그림 26 1.0, 1.5, 2.0 torque switch 변경 torque 측정값

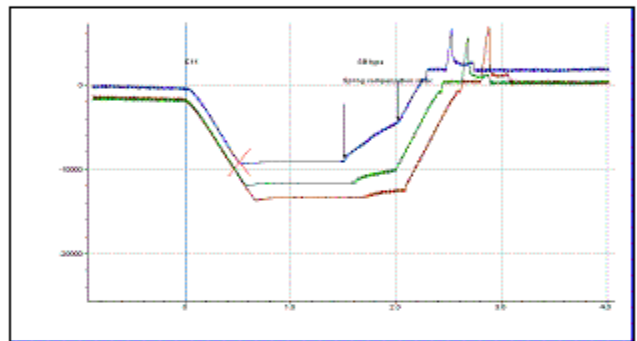


그림 27 1.0, 1.5, 2.0 torque switch 변경 thrust 측정값

### 3.1.5. Overlay를 이용한 데이터 비교 · 분석

Overlay 기능을 이용하여 같은 종류의 값이나 각 상태에서 그래프를 비교하기 위하여 유용하게 사용할 수 있다.

그림28과 그림29에서 볼 수 있듯이 label을 이용하여 동기화를 시키고자 하는 포인트를 설정하여 야만 정확한 그래프의 비교를 수행할 수 있다.

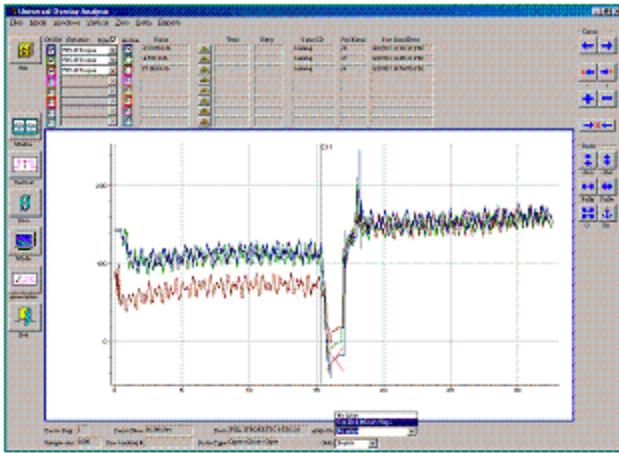


그림 28 Before compare point setting

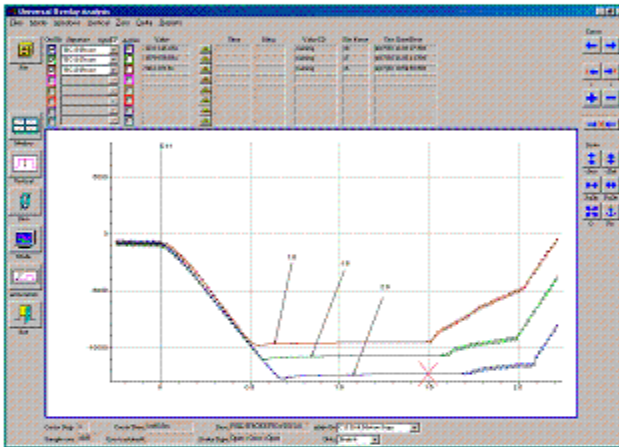


그림 29 Compare with C11 point

동기포인트를 설정한 그래프인 그림29에서 각 torque SW변경 값에 해당하는 thrust값의 차이를 확인하였다.

### 3.2 Report 생성/출력

Report를 출력하기 위해 분석대상의 각 포인트를 label로 표시해 놓고 그림30과 같이 설정을 한다. 각 분석포인트는 분석자의 경험을 토대로 분석하기 용이하고 중요한 지점을 선택하여 보고서에 정확히 반영될 수 있도록 하였다.

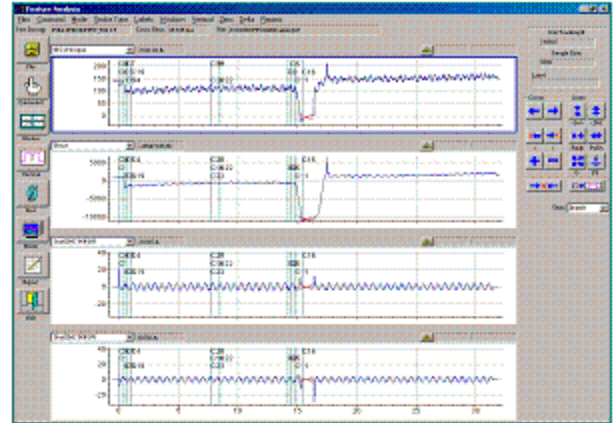


그림 30 Report target signature

출력하고자하는 signature 파일을 열고 보고서의 형식을 선택 또는 작성하고 그에 따른 보고서를 그림31과 같이 출력한다.

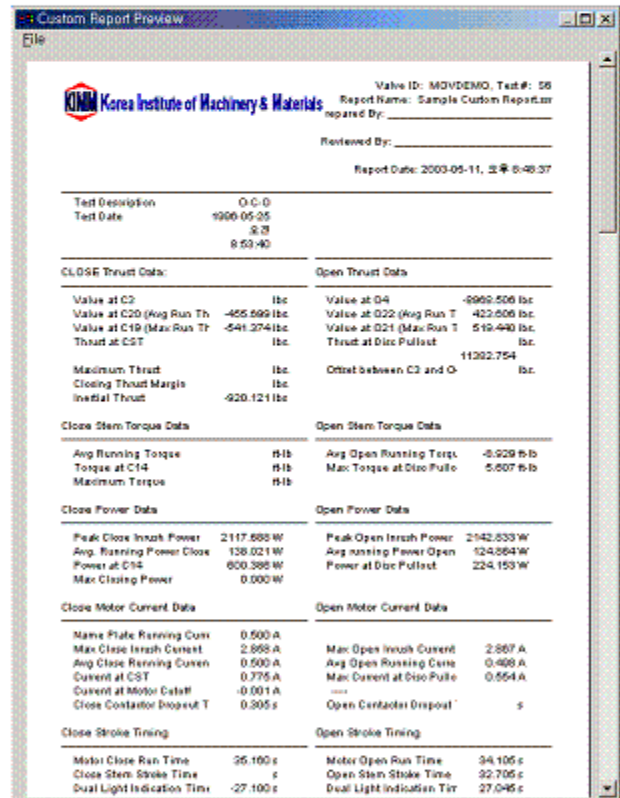


그림 31 Custom report form

## 4 MCC(Motor Control Center) test analysis 기술개발

MCC test analysis기술의 목적은 Baseline test 이후에 직접 현장에 설치된 밸브까지 들어가지 않아도 주기시험을 수행할 수 있도록 하기 위함이다. 직접 밸브가 설치된 곳까지 들어가서 test를 수행



하는 것은 피폭문제 등의 여러 가지 악조건이 존재하여 안전에 심각한 영향을 미치기 때문이다.

MCC test analysis는 baseline test를 통해 얻어진 데이터를 근거로 필요한 factor를 추출하고 그 값을 이용하여 밸브의 상태변화 등의 경향파악을 하는데 사용되는 기술이다. 이는 실제로 레이캠 때문에 모터에서 직접 측정이 불가하여 배선저항까지 고려한 계산 값으로 측정을 수행하여 추출된 값으로 limit switch 등의 setting 변경 여부를 확인할 수 있다. 또한 모터와 관련된 파라미터 등을 전류 및 전압 값의 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 각 주파수를 추출함으로써 내부부품의 고유주파수에 대한 분석이 가능하고 이를 이용하여 각 부품의 노화상태 또는 문제를 예측할 수 있다.

**4.1 SAM(Signature Analysis Module)설정**

MCC측정시험을 위해 SAM을 제대로 설정을 해야만 정확한 결과를 얻을 수 있다. 그림32에서 motor 커브는 calibration 데이터베이스이다. 여기에는 해당되는 모터별 데이터 베이스가 존재하여 선택 후 사용하고, 알맞은 데이터베이스가 없을 경우에는 매뉴얼로 입력 할 수 있도록 되어있다.

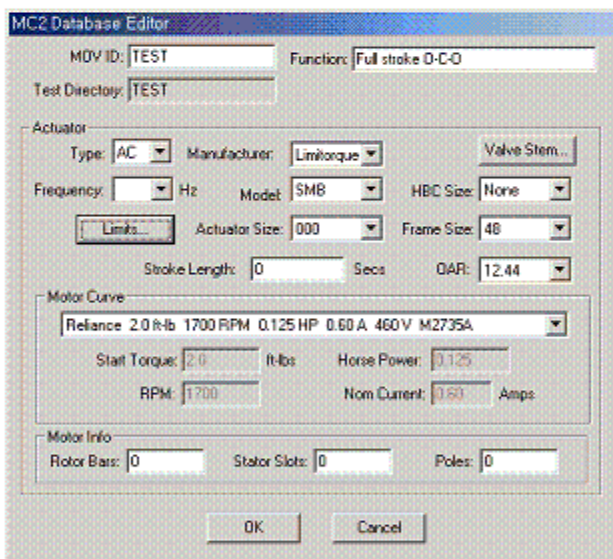


그림 32 MOV 관련 정보 설정 창

Motor info 부분에는 FFT를 위한 데이터 입력 창으로 아래의 식에 맞추어 엔지니어링 데이터를 참조하여 입력한다. 아래의 값은 일반적으로 사용되는 값이므로 대상의 모터가 이와 다를 시에는 모터제조업체에서 제공하는 정확한 정보를 파악하여 입력해야 한다.

표 3 Motor info 참조 값

RPM	Rotor bar	Stator bars	Pole
1800	44	36	4
3600	34	24	2

**4.2 MCC 분석**

MCC를 이용하여 MOV 동작을 평가하는 방법으로는 다음의 두가지를 사용할 수 있다.

- Quantitative : motor torque model을 이용하여 감소되는 출력 또는 증가되는 torque 요구 사항을 평가
  - Qualitative : motor current FFT를 이용하여 경향과 마모되어 성능이 떨어지는 것을 분석
- 상기한 방법모두 base line test를 기반으로 MCC에서 측정된 값을 분석하여 이용할 수 있다.

**4.2.1 Motor torque method**

Quantitative를 이용한 방법으로 먼저 Motor torque method는 다음과 같은 방법으로 값을 도출한다.

$$\text{Actuator Torque} = \text{Motor torque (ft-lbs)} \times \text{OAR(Over-all Actuator Ratio)} \times \text{Efficiency (MOV data)} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Stem Thrust} = \text{Actuator Output Torque} / \text{Stem Factor} \dots\dots\dots(2)$$

또한, 전압과 전류를 측정하여 모터 power를 계산하고 상기 식을 이용하여 모터 torque 계산하여 Estimated motor torque signature를 생성한다. 그 후에 Stem factor를 생성하고 마찰률과 능률 signature 생성한다.

Actuator를 구동하기 위한 최소(가용) thrust 값인 lower limit를 산출하고 Reduced voltage limit을 산출하기 위해 같은 라인의 장치들에서 갑자기 소모되어 모터로 공급되는 전력이 떨어지는 최소 값을 계산하기 위해 Control SW trip point에서 다음 식을 이용한다.

$$\text{RV stall limit(Degraded voltage torque)} = \text{start torque} \times (\text{reduced voltage}\% \div 100)^2 \dots\dots\dots(3)$$

비 측정값인 upper limit는 total value, contact drop out time(torque, limit SW 의 접촉불량 등으로 인한 지연을 측정)과 stem factor가 변하지 않

으면 상관없는 인자이나 그렇지 않으면 계산하여 값을 입력해야한다.

#### 4.2.2 Correlation method

Correlation method 또한 quantitative를 이용한 방법으로 estimated motor method 와 TTC thrust signature 또는 TTC torque signature와 비교 연산하여 계산할 수 있다.

다만, 이 방법을 통하여 정확한 값은 알 수 없으나 값의 변화 경향을 파악하는데 적합한 분석 방법으로 간단히 상태를 파악하는데 유용하며, non validated motor 값의 추이를 확인할 때 주로 사용된다. 이 외에는 데이터베이스에 모터커브가 있기 때문에 이 방법을 사용할 필요가 없다.

#### 4.2.3 Data acquisition

본 기술의 제한적인 사항으로는 3상과 단상모터에 가능하며, 최대 600V 까지 측정 가능하다.

시험을 수행하기 위해 모터에 입력되는 각phase의 저항을 multi meter로 측정하여 SAM을 설정할 때 입력하며, 배선의 저항도 고려해야 할 것으로 판단된다.

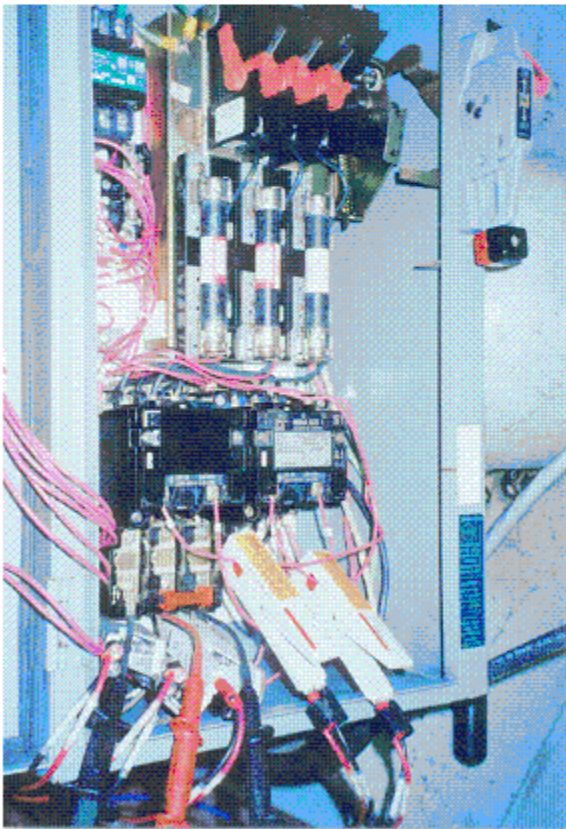


그림 33 MCC(Motor Control Center)에서의 모터 파워측정 프로브 설치

그림33에 본 시험에서 측정하고자 하는 MCC에 각 측정 probe를 연결한 장면을 나타내었다. Probe의 연결은 배선도를 참조하여 상이 바뀌지 않게 연결을 해야만 정확한 시험결과를 얻을 수 있었다.

그림34는 MCC analysis를 이용하여 측정된 값을 나타낸 그래프이다. 이를 이용하여 필요한 값을 추출하고 MOV의 내부상태를 분석할 수 있다.

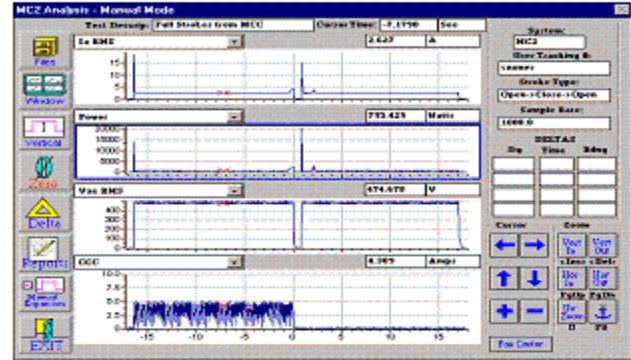


그림 34 MCC analysis graph

#### 4.2.4 Analysis result

우선 측정된 값에서 그림35처럼 모터에 파워가 공급된 상태에서 Hammer blow 이전에 순수하게 기어가 맞물려 걸리는 부하를 Hotel load라하고 이를 분석하여 참조 point를 결정한다. 이는 Hammer blow, peak in-rush 등을 분석하기 위한 0점이 아닌 순수 모터의 start zero point부터 계산한 값이다.

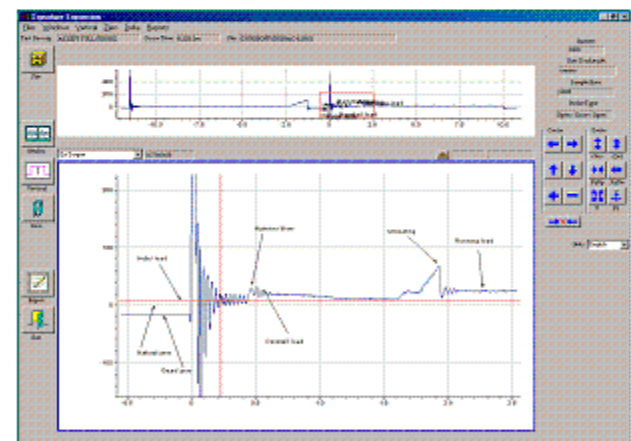


그림 35 Hotel load

다음으로 그림36에서와 같이 control switch trip point에서의 각 thrust, torque 및 actuator efficiency를 측정하여 기록한다.



그림 36 MCC power를 이용하여 CST에서 각 값을 측정

그림37과 같이 Acceptance 모드에서의 limit 계산 및 보정을 수행하고 MAX & MIN 값과 Deg. V. 값을 확인한다.

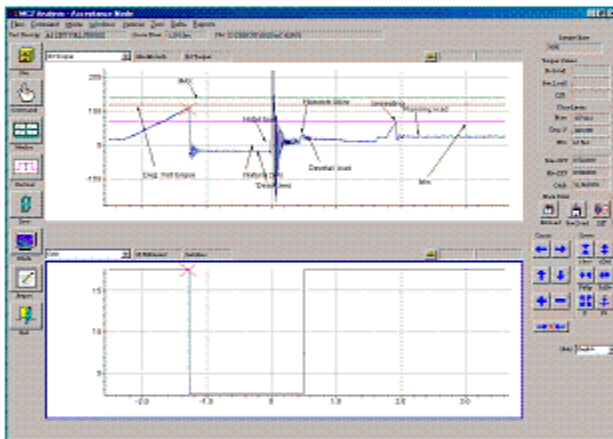


그림 37 Motor method limits calculation

### 4.3 Frequency domain analysis

주파수영역분석은 MCC에서 측정한 값을 이용하여 FFT(Fast Fourier Transform)를 통해 MOV 출력에 작용하는 부하의 변화 및 내부부품의 퇴화를 파악하기 위한 것으로 그림38에 나타낸 각 부품의 고유주파수를 분석함으로써 각 주파수 파형 및 이동 등을 관찰하여 상태를 간접적으로 파악하기 위한 기술이다.

근본적으로는 Fast Fourier Transform이론을 적용하여 모터에 공급되는 전원의 주파수를 분석하는 것으로 FFT가 사용되기 이전에는 Vibration analysis를 이용하여 분석하였으나 최근에 Motor Current Signature Analysis(MCSA)기술을 개발하여 본 분석기술로 사용하게 되었다.

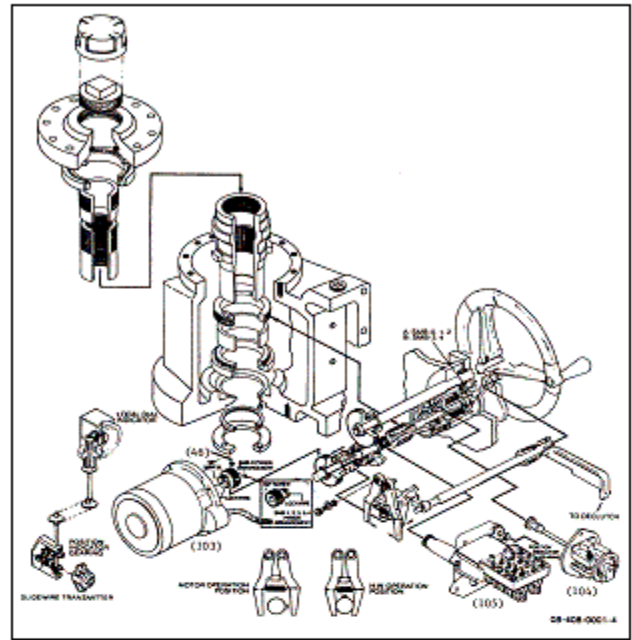


그림 38 모터 부속품 조립도

먼저 각 부품의 주파수를 계산하는데 Actuator gear box 주파수에서 H.B가 없는 디자인도 존재하므로 그에 따른 값을 대입하여 계산해야 한다.

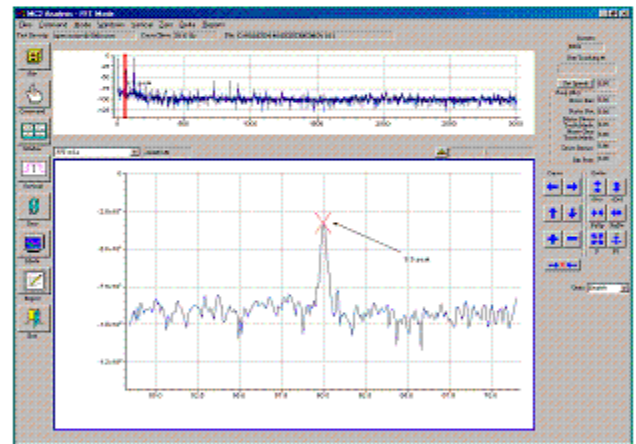


그림 39 Set motor speed

그림39에 나타내었듯이 FFT 모드에서 demodulation을 수행하고 모터의 S.S를 측정한 값에서 Set speed를 찾아서 설정하면 다른 부품의 주파수가 계산되어 표시된다.

예전의 기술로 측정할 때에는 Sample rate가 분석하고자 하는 주파수 범위에 미치지 못하는 경우가 많아서 aliasing 현상이 발생(고속으로 회전하는 바퀴를 보면 마치 반대로 천천히 회전하는 모양으로 보이는 현상)하였다. 현재는 분석하고자 하는 주파수 범위가 2,500Hz를 넘지 않으나 분석할 수

있는 범위는 3000Hz까지 확인할 수 있으므로 고려하지 않아도 된다.

추가로 발생할 수 있는 문제는 높은 데시벨의 특정 주파수가  $\times 2$  정도의 주파수 위치에 양방향으로 메아리 치듯이 데시벨이 감소되어 나타나는 현상이 발생하는데 그림40과 같이 WGTM(Worm Gear Tooth Mesh)값이 나타난다. 이 값이 초기(baseline)측정 때보다 db값이 커지면 내부에 문제가 발생한 것으로 간주할 수 있다.

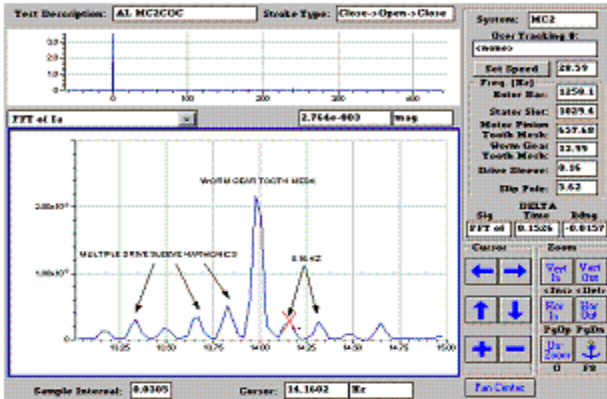


그림 40 WGTM drive sleeve harmonics

측정한 각 부품의 주파수와 db 값을 MS Access 파일로 작성된 데이터 베이스에 기본 MOV engineering data를 입력하고 그에 따라 계산되어 나타나는 DB form에 각 측정값을 입력하여 저장한 후, 추후 FFT를 이용하여 측정된 값과 비교 분석하여 고장진단 및 경향 파악에 이용한다.

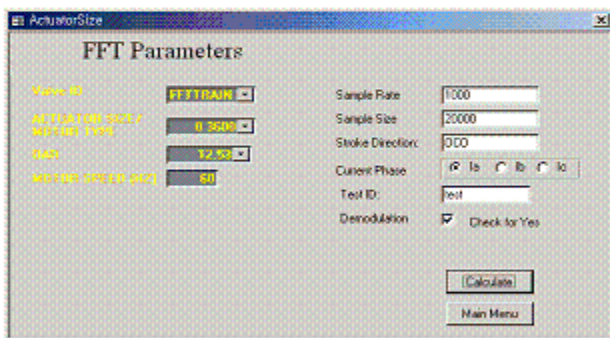


그림 41 Data base의 actuator size 입력 화면

그림41과 같이 기본정보를 입력하거나 기존의 데이터베이스를 선택하여 최초측정 값이나 변이 값을 입력한다. 그림42에 생성한 데이터베이스 시트를 나타내었다.

Motor Frequencies		Harmonics(Hz)				
	Calculated Hz	Measured Hz	Measured Db	1	2	3
Motor Speed		29.57	-43.00	59.14	88.71	118.28
Sip	1.72	1.03	-46.00	3.44	5.16	6.88
Stator Slot	1,064.52	1,065.32	-68.00	2,129.04	3,193.56	4,258.08
Rotor Bar	1,301.08	1,305.88	-79.00	2,602.16	3,903.24	5,204.32
Ball Pass Inner	146.08	145.81	-95.00	292.15	438.23	584.30
Ball Pass Outer	90.18	90.49	-74.00	180.38	270.57	360.75
Fundamental Train	11.24	11.94	-67.00	22.47	33.71	44.95
Ball Spin	59.14	59.07	-64.00	118.28	177.42	236.56

Actuator Frequencies		Worm Shaft Bearing Frequencies				
	Calculated Hz	Measured Hz	Measured Db	Calculated Hz	Measured Hz	
Motor Pinion Tooth Mesh	945.24	945.94	-48.00	1,892.48	2,838.72	3,784.96
Worm Gear Tooth Mesh	23.66	23.63	-62.00	47.31	70.97	94.62
Drive Sleeve	0.64	0.63	-44.00	1.28	1.92	2.56
Limit Switch Tooth Mesh	1.48	0.00	0.00	2.96	4.44	5.91

그림 42 Data base 시트

## 5. 결 론

우리 기계연구원에서는 원전기기 내환경시험 설비를 구축해가고 있으며, 본 MOV actuator진단장비도 그 일환으로 준비되고있다. 본 장비가 널리 활용되어 MOV actuator 기술발전에 기여하기를 바란다.

## 참고문헌

- [1] IEEE 382-1996, "IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants"
- [2] IEEE 323-1974/1983, "IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations"
- [3] IEEE 344-1987, "IEEE Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Station"
- [4] ANSI B16.41-1983, "Functional Qualification Requirements for Power Operated Active Valve Assemblies for Nuclear Power Plants"
- [5] ASME QME-1-1994(Section QV),

- "Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Power Plants -Revision and Redesignation of ANSI B16.41-1983"
- [6] KINS/PR-016 Vol.2, "제4회 MOV/AOV 설계기준 성능 평가기술 Workshop"
- [7] C98NT03, "Optimization of Environmental Qualification Resources for Nuclear Equipment"
- [8] CENPD-255-A Rev 3, "Qualification of Class 1E Electrical Equipment"
- [9] 시범원전(영광 1), "모타구동밸브 설계기준 시험과 분석 보고서(MOVATS-3500 결과를 중심으로)", 1999, 11., 한국원자력안전기술원
- [10] "모타구동밸브 및 동력구동 게이트밸브 안전성 0확인방안 검토 용역(최종보고서)", 1997, 12, 한국전력공사
- [11] IEEE Guide for Motor Operated Valve(MOV) Application Protection, Control, and Testing in Nuclear Power Generating Stations
- [12] Environmental Qualification Assessment of Limitorque SMB series Valve Actuator
- [13] IEEE, "IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants", 21 Mar, 1996, IEEE Standards Board
- [14] "A study of MOV Diagnostic Testing Method(Engineering Implementation Trending/Periodic Verification)", 1996, 12, 31, 한전기공주식회사(KPS)
- [15] "Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Power Plants", ASME QME-1-1997
- [16] "Design Standard: Generic Letter 89-10 Motor-Operated Valve Program(Doc No: MS-123-125 Rev. 2)", Southern California Edison San Onofre Nuclear Generating Stations Units 2 & 3
- [17] "Application Guide for Motor-Operated Valve in Nuclear Power Plants(Vol. 1, Rev. 1: Gate and Globe Valves)", Sept, 1999, EPRI Project Manager V. Varma
- [18] "원자력 발전소 기자재 기기검증", 1997, 6, 한국전력공사