

# 공기구동밸브 성능 진단 장비 개발

## Development of the Diagnostic System for the Performance of Air-Operated Valves

김윤철† · 강성기\* · 박성근\*\* · 김대웅\*\* · 채장범\*\*\*

Yunchul Kim, Seongki Kang, Sungkeun Park, Daewoong Kim and Jangbom Chai

**Key Words** : Air-operated valve(공기구동밸브), Diagnostic system(진단 장비), Performance(성능)

### ABSTRACT

In order to ensure the safety, the performance evaluation of the safety-related components in a nuclear power plant such as air-operated valves. In this paper, the diagnostic system(MOVIDS A<sup>+</sup>) for the performance of air-operated valves was developed. For this purpose, the characteristics of their operation and the methods of the diagnostic tests were reviewed. The setup and diagnostic functions of the system were mentioned. Its applicability was validated through the diagnostic tests of air-operated valves in nuclear power plants. This diagnostic system is now applied in nuclear power plants for performance tests.

### 1. 서론

화석 에너지원의 고갈 등으로 인한 에너지 부족에 대한 대안으로 원자력 발전이 주목을 받고 있음에도 불구하고, 안전성에 대한 논란이 국내외에서 제기되어 왔다. 특히 원자력발전소의 불시 정지는 산업계에 미치는 영향이 매우 크며, 이는 자칫 대형 사고로 이어질 수 있으므로 원자력발전소의 안전성과 운전성 확보는 매우 중요한 사안으로서 이를 위해 많은 노력들이 있어 왔다. 이러한 노력 중 하나로서 과학기술부고시 제 2004-14호(안전관련 펌프 및 밸브의 가동중 시험에 관한 규정)에는 원자력발전소에 설치되어 있는 안전관련 펌프와 밸브에 대하여 성능을 확인하고 시간 경과에 따른 취약화 정도를 감시 평가하기 위한 가동중 시험에 필요한 사항을 정하였다. 공기구동밸브는 원전 주요 기기로서 각종 설비에서 계통을 제어하거나 차단하는 기능을 수행하는데 사용되는 밸브로, 이에 대한 성능 평가가 이루어지고 있다. 이 성능 평가를 수행하기 위해서는 외산 장비를 적용하여 시험을 수행하여야 했으나 국내 실정에 맞지 않아 적용하기 어려운 면이 있었다. 따라서 국내 실정에 맞는 공기구동밸브 진단 장비가 요구되었으며, 이를 위해서 본 연구에서는 공기구동밸브를 진단하기 위해

필요한 기능을 모두 갖춘 공기구동밸브 진단 장비인 MOVIDS A<sup>+</sup>를 개발하였다.

### 2. 공기구동밸브 진단

#### 2.1 공기구동밸브 구성 및 작동 원리

공기구동밸브는 구동기 형식에 따라 다이어프램 구동기, 실린더형 구동기, 스카치요크 구동기 그리고 랙&피니언 구동기 등으로 나누어진다. 그리고 공기구동밸브는 다른 밸브와 달리 구동을 위해서 I/P(E/P) transducer, positioner 등의 부속품이 요구된다. 이를 나타낸 것이 그림 1의 direct형 다이어프램 구동기의 개략도이다. 그림에서 알 수 있듯이 공압 장치에서 발생된 공기는 필터/레귤레이터에서 수분이나 기름등의 이물질을 여과하여, 구동기에서 요구되는 공급 압력으로 조정한다. 이는 I/P(E/P) transducer와 positioner로 공급되고 I/P(E/P) transducer에서 발생하는 제어 압력에 따라 구동기인 다이어프램으로 공급되게 된다. I/P(E/P) transducer에서 발생하는 제어 압력은 I/P(E/P) transducer에 들어오는 제어 신호에 따라 발생되어 밸브를 제어하게 된다. Positioner는 제어 압력에 따라 밸브를 작동하기 위해 필요한 구동기 압력을 제공하는데, 이를 보정하기 위해 스템에 행정의 피드백을 받을 수 있는 링크를 연결하여 실제 행정에 따라 구동기 압력을 제어하게 된다.

† 아주대학교

E-mail : yckim@ajou.ac.kr

Tel : (031) 216-3933, Fax : (031) 216-3934

\* (주)엠앤디

\*\* 한국전력공사 전력연구원

\*\*\* 아주대학교

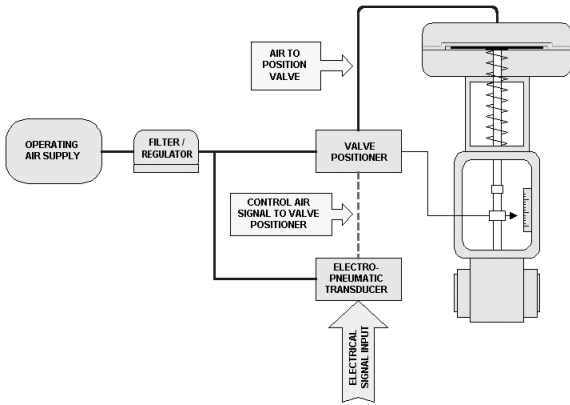


그림 1. 공기구동밸브 개략도

공기구동밸브는 그림 1에 제시한 제어 기능 외에도 계통내의 유체의 흐름을 형성하거나 차단하는 on-off 기능 수행을 목적으로 하는 경우도 있다. 이는 그림 1의 제어 밸브에서 사용되는 I/P(E/P) transducer와 positioner를 대신하여 솔레노이드밸브를 설치하여 제어 신호에 따라 밸브를 열림과 닫힘을 수행하게 된다.

## 2.2 공기구동밸브 성능 진단

공기구동밸브의 성능 진단은 벤치셋 시험, 정적 진단 시험, 동적 진단 시험으로 나누어진다. 이 시험들에 대해 살펴보면 다음과 같다.

### (1) 벤치셋 시험

벤치셋 시험은 공기구동밸브의 정비 또는 수리 후 수행되는 시험으로 구동기가 양방향으로 정해진 행정거리까지 움직이며 정해진 쓰러스트/토크 범위에 맞도록 구동기가 설정되었는지를 확인하는 시험이다.

### (2) 정적 진단 시험

정적 진단 시험은 대상밸브 전-후단 사이에 압력이 없거나 차압이 적은 조건에서 밸브를 개폐하면서 진단 장비를 이용하여 밸브상태를 확인하고 구동기의 설정치를 설정하는 시험이다. 여기에는 baseline 시험과 live 시험이 있다. Baseline 시험은 밸브 및 구동기에 정적 진단 시험용 센서를 모두 설치한 상태에서, 밸브 및 구동기의 특성을 시험하기 위해 장비 자체에서 전류 또는 전압신호를 인가하되 시험자가 진단 시험용 장비 및 소프트웨어를 이용하여 일정한 신호 상승 시간과 하강 시간을 가지고 밸브 및 구동기를 동작시키는 시험이다. Live 시험은 밸브 및 구동기에 정적 진단 시험용 센서를 모두 설치한 상태에서 배전반으로부터 밸브 동작 신호를 인가하여 열림 및 닫힘 신호를 취득하는 시험을 말한다.

### (3) 동적 진단 시험

동적 진단 시험은 대상밸브 전-후단 사이에 설계 기준 조건에 가까운 차압을 형성시킨 후 밸브를 개폐하면서 진단

장비를 이용하여 밸브의 운전성을 확인하는 시험이다.

공기구동밸브를 성능을 진단하기 위해서는 밸브가 행정하기 위해 요구되는 쓰러스트/토크인 최소 요구 쓰러스트/토크와 구동기에서 낼 수 있는 최대 유용 쓰러스트를 평가하여 이를 비교함으로써 밸브가 작동할 수 있는 운전 여유도를 계산하게 된다. 이는 식 (1)과 같이 정리된다.

$$\text{운전여유도} = \frac{\text{유용쓰러스트/토크} - \text{요구쓰러스트/토크}}{\text{요구쓰러스트/토크}} \times 100[\%] \quad (1)$$

원자력발전소에서 현재 수행되고 있는 공기구동밸브 설계 기준 성능 평가는 밸브가 설치되어 있는 계통 조건 및 밸브 정보와 진단 시험 결과를 이용하여 밸브에서의 최소 요구 쓰러스트/토크를 계산하고, 구동기 정보와 진단 시험 결과를 이용하여 최대 유용 쓰러스트/토크를 결정하게 된다. 그리고 이 결과를 이용하여 운전 여유도를 계산하게 된다.

이상으로 공기구동밸브의 성능 진단 시험에 대해 살펴보았다. 이러한 시험들은 공기구동밸브 진단 장비에서 수행이 가능해야 하는 시험으로, 개발된 진단 장비에는 이를 모두 시험할 수 있도록 개발하였다.

## 3. 공기구동밸브 진단 장비

### 3.1 공기구동밸브 진단 시험

#### (1) 벤치셋 시험

벤치셋 시험은 구동기의 설정이 적절한 지를 판단하기 위한 것으로 가장 기본이 되는 신호인 구동기 압력과 스텝 변위를 이용하여 평가하게 된다. 그림 2는 벤치셋 시험 결과이고 이를 분석한 결과가 그림 3의 결과로, 작업자가 공기구동기의 설정 값을 손쉽게 점검할 수 있게 프로그램 되어 있다.

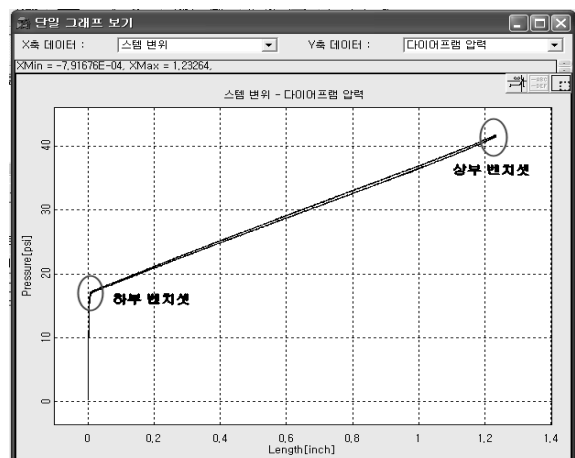


그림 2 벤치셋 시험 결과

평가 결과 보기	
평가 입력	분석 결과
리닝 쓰러스트 [lbf]	0.000
연쇄링 쓰러스트 [lbf]	0.000
전체 행정 길이 [in]	1.233
벤치셋 1(상부) [psi]	41,575
벤치셋 1(하부) [psi]	6,427
벤치셋 2(상부) [psi]	41,235
벤치셋 2(하부) [psi]	17,279
벤치셋 3(상부) [psi]	41,224
벤치셋 3(하부) [psi]	17,265
벤치셋 4(상부) [psi]	41,246
벤치셋 4(하부) [psi]	17,074
구동기 스프링 상수 [lbf/in]	0.000
행정 시간(열림) [sec]	34,520
행정 시간(닫힘) [sec]	27,560

그림 3 벤치셋 시험 분석 결과

### (2) 정적 진단 시험

정적 진단 시험의 Baseline 시험은 공기구동밸브의 성능을 가장 잘 파악할 수 있는 ramp 신호를 이용한다. 그림 4는 원자력발전소 현장에 설치되어 있는 실린더형 구동기와 글로브밸브로 구성된 밸브를 대상으로 baseline 시험을 수행한 결과이다. 그림에서 제어 신호가 서서히 증가하여 최대값까지 도달하여 유지하다가 다시 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 제어 신호의 증감에 따라 구동기 압력도 유사한 형태로 변화하는 것을 알 수 있다. 스템 쓰러스트 신호는 처음에는 시팅되어 스템이 압축되어 있다가 밸브 작동에 따라 쓰러스트 값이 감소하여, 밸브가 행정하는 구간에서는 런닝 쓰러스트 값을 가지는 것을 알 수 있다.

공기구동밸브의 성능을 평가하기 위해서는 정적 진단 시험 결과에서 스프링 상수, 스프링 프리로드 등과 같은 분석에 요구되는 파라미터의 검출이 필요하다. 이를 정적 진단 신호를 이용하여 작업자가 계산하는 것은 실질적으로는 가능할지 모르나, 원자력발전소와 같이 방사능 피폭 등이 있는 열악한 작업 조건에서는 용이하지 않다. 따라서 작업자가 정적 진단 시험을 수행하고 간단한 신호 분석만을 통해 정적 진단에 요구되는 파라미터를 도출할 수 있도록 프로그램 개발하여 진단 장비에 포함시켰다. 그림 5가 이 프로그램 화면이다.

정적 진단 시험 중 Live 시험은 on-off 기능을 담당하는 공기구동밸브가 정상적으로 작동되는 지와 계통에서 요구하는 행정 시간 안에 작동하는지를 파악하는데 사용된다. 따라서 이를 평가하기 위해서는 배전반에서 전달되는 제어 신호, 스템 변위 그리고 공급 압력 및 구동기 압력 그리고 스템 쓰러스트를 측정하여 이를 평가한다.

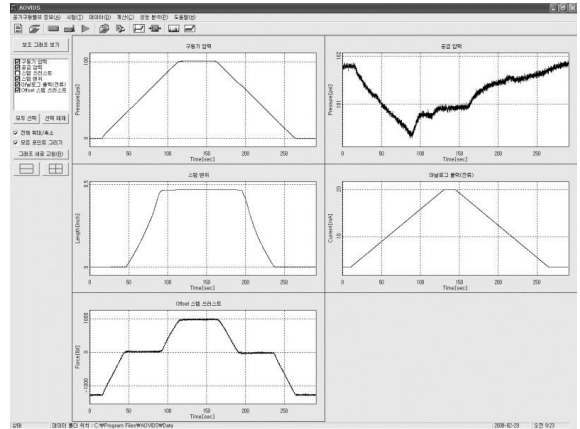


그림 4 정적 진단 시험 결과

평가 결과 보기	
평가 입력	분석 결과
리닝 쓰러스트 [lbf]	17,723
연쇄링 쓰러스트 [lbf]	N/A
전체 행정 길이 [in]	0.468
벤치셋 1(상부) [psi]	85,070
벤치셋 1(하부) [psi]	12,910
벤치셋 2(상부) [psi]	76,742
벤치셋 2(하부) [psi]	34,786
벤치셋 3(상부) [psi]	76,133
벤치셋 3(하부) [psi]	34,299
벤치셋 4(상부) [psi]	72,521
벤치셋 4(하부) [psi]	30,919
구동기 스프링 상수 [lbf/in]	4463,046
행정 시간(열림) [sec]	99,750
행정 시간(닫힘) [sec]	106,300

그림 5 정적 진단 시험 분석 결과

### (3) 동적 진단 시험

동적 진단 시험은 밸브 전후단에 차압이 발생하도록 하여 시험을 수행한다. 동적 진단 시험을 위해서는 정적 진단 시험에서 측정되었던 신호는 물론이고 밸브에 작용하는 계통 압력을 측정하여야 한다. 그림 6은 다이어프램 구동기와 1인치 글로브밸브로 구성된 공기구동밸브의 동적 진단 시험 결과이다.

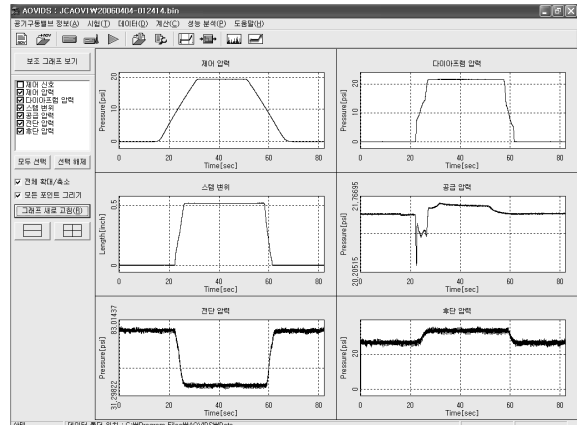


그림 6 정적 진단 시험 결과

### 3.2 진단 장비의 구성 및 기타 기능

개발된 공기구동밸브의 진단 장비인 MOVIDS A<sup>+</sup>는 공기구동밸브를 제어하기 위해 사용자가 설정이 가능한 전류 출력과 전압 출력을 가지고 있다. 구동원인 공기 압력을 측정하기 위한 채널을 가지고 있는데, 이는 압력 신호는 물론 일반 전압 신호의 취득이 가능하여, 동적 시험과 같이 부수적인 센서 신호 취득이 요구되는 경우에 사용이 가능하다. 코일 전류 신호 측정 채널은 live 시험시 솔레노이드밸브에 작용하는 제어 신호 취득용 전류 센서를 연결하여, 전원 인가 여부를 확인할 수 있다. 스트레인게이지 채널은 스템에 작용하는 스템 쓰러스트/토크 센서의 신호를 취득하기 위해 사용되며, 다른 스트레인게이지 센서 신호 취득에도 적용이 가능하다. 엔코더 채널은 위상차를 가지는 2개의 펄스 신호를 위한 카운터로, 위상차를 이용하여 진행방향을 파악하게 된다. 이 엔코더 채널은 공기구동밸브 진단에서는 스템 변위의 측정에 사용된다. 마지막으로 전원 소스는 압력계와 같이 외부 전원이 요구되는 센서에 적용할 수 있도록 하였다.

다음으로 MOVIDS A<sup>+</sup>의 공기구동밸브 진단 프로그램인 AOVIDS에 대해 살펴본다. AOVIDS는 자료 입력, 신호 취득 그리고 결과 분석의 3부분으로 나누어진다. 먼저 자료 입력 부분에는 구동기와 밸브 정보와 설계 기준 정보를 입력하게 된다. 신호 취득 부분에는 장치 설정, 환경 설정, 시험 모드 그리고 교정 모드가 있는데, 여기서는 시험 조건과 시험 종류 그리고 신호 취득을 위한 센서 설정 및 제어 신호 설정 등이 있으며, 이를 이용한 신호 취득과 구동기 및 부속품의 설정을 위한 교정 모드가 있다. 마지막으로 결과 분석에는 신호 처리 기능, 주파수 분석 기능, 경향 분석 기능 그리고 성능 평가를 위한 분석 기능이 있어서, 취득된 신호를 비교 분석하기 위해 요구되는 기능들이 있으며, 주파수 특성을 분석할 수 있는 기능과 기존의 시험 결과와 비교를 통한 성능 변화 추이를 살펴 볼 수 있으며, 구동기와 부속품의 상태를 분석하고 성능을 평가하는데 사용되는 파라미터를 분석할 수 있는 분석 기능이 포함되어 있다. 특히 공기구동밸브 분석 기능은 기존의 외산 장비에서 검출되지 않는 결과들도 제공하므로 사용자가 공기구동밸브 성능 평가를 위해 현장에서 사용하기에 용이하게 되어 있다.

### 3.3 공기구동밸브 진단 장비 적용

개발된 MOVIDS A<sup>+</sup>의 적용성을 검증하기 위해, 원자력 발전소 현장에 설치되어 있는 공기구동밸브를 대상으로 시험을 수행하였다. 시험 대상 밸브는 실린더형 구동기와 글로브밸브로 구성되어 있으며 구동기 기능 상실시 닫힘 위치에 있는 0.75인치 밸브이다. 앞에서 제시된 그림 4와 그림 5가 대상 밸브에 대한 시험 결과이다. 이 시험 결과는 정적 진단 시험 중 baseline 시험으로, 대상 밸브에 대한

시험을 성공적으로 수행하였으며, 현장에서 진단 장비에 내장된 프로그램을 이용하여 그림 5와 같이 진단에 필요한 파라미터들을 계산하였고, 공기구동밸브 설계 기준 성능 평가 절차서에 따라 분석하여 운전여유도를 확인하였다. 이를 통해 개발된 공기구동밸브 진단 장비의 현장 적용성을 검증하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 원자력발전소의 주요 기기 중 하나인 공기구동밸브에 대한 성능 진단 장비를 개발하였다. 이를 위하여 공기구동밸브의 구성과 작동 원리, 성능 진단 시험을 위한 진단 시험 방법을 살펴보고, 이를 개발된 진단 장비에 적용하여 벤치셋 시험, 정적 진단 시험 그리고 동적 진단 시험을 수행한 결과를 살펴보고, 개발된 진단 장비의 구성과 시험 및 분석을 위한 기능을 살펴보았다. 마지막으로 실제 원자력발전소 현장에 설치되어 있는 공기구동밸브를 대상으로 개발된 진단 장비로 시험을 수행하여 현장 적용성을 검증하였다. 현재 개발된 진단 장비는 원자력발전소에서 수행 중에 있는 공기구동밸브 설계 기준 성능 평가에 적용되어 원자력발전소 안전성과 운전성 확보에 이바지 하고 있다.

## 참 고 문 헌

- (1) 한국수력원자력(주), 2006, 공기구동밸브 설계기준 성능 평가 절차서
- (2) 과학기술부 고시 2004-14호, 2004, 안전관련 펌프 및 밸브의 가동중 시험에 관한 규정
- (3) (주)엠앤디, 2006, MOVIDS A<sup>+</sup> 사용자 매뉴얼