

공기구동 밸브 진단을 위한 동적특성의 실험적 고찰

양상민*, 홍성대, 송동섭, 박종근, 신성기(한빛파워서비스)
이호영, 양성빈(충남대대학원)

A Experimental Study to Diagnose of Air Operated Valve

S. M. Yang, S. D. Hong, D. S. Song, J. K. Park, S. K. Shin(HANVIT),
H. Y. Lee, S. B. Yang(Mech. Design Eng. Dept., CNU)

ABSTRACT

Air-operated valve(AOV) is one of principal valves that are using to control fluid flow in nuclear power plants. AOV is suffered from damage and malfunction by the abrasion, corrosion and vibration of valve parts under the long time operation. This mechanical trouble and malfunction of valve is critical for the safety of power plant. So a periodic diagnosis for safety of power plants is inevitable to guarantee the safety of the power plant. But depending on the type of the actuator and valve body, various types of AOV exist. In this study, It is developed the diagnostic system that users of power plants are easy to handle in this paper.

Key Words : Air Operated Valve(공기구동 밸브), Diagnosis(진단), Dynamic characteristics(동적특성)

1. 서론

공기구동형 제어밸브는 유체의 유량 및 압력을 제어하는 배관요소로 밸브를 구성하는 각 요소에서 성능을 저하시킬 수 있는 요인을 포함하고 있다. 따라서 원자력 발전소 및 대형 플랜트의 안전성을 확보하기 위해서는 밸브의 고장 및 성능 저하를 사전에 예방하는 것은 중요한 문제로 대두되고 있으며 최근 원자력 발전소에서는 주기점검 기간동안 밸브의 성능평가를 수행하기 위한 절차를 개발 중에 있다. 밸브의 성능평가는 밸브의 설계기준분석, 취약부분분석, 구동부분분석등과 진단시험으로부터 얻은 밸브의 최소 요구쓰러스트/토크와 최대 허용쓰러스트/토크의 관계를 이용하여 밸브의 운전여유도를 구한다. 밸브의 진단시험은 정적시험과 동적시험으로 분류하며 진단시험을 통해 얻은 신호의 상관관계를 이용하여 밸브의 고장 및 성능을 평가할 수 있다. 그동안 동적시험을 수행할 수 없는 밸브의 경우, 설계기준분석을 통해 밸브의 전, 후단 차압을 계산하여 그 결과를 적용하여 왔다. 그러나 공기구동형 제어밸브는 밸브의 개도 제어를 수행하는 경우가 많아 밸브의 개도에 따라 운전 여유도를 검토하는 것이 필요하다. 동적시험을 수행할 수 없는 환경에 설치되어

있는 공기구동형 밸브에 대한 성능평가를 정적시험과 설계기준분석만으로 대체하는 경우 실제 밸브의 동적특성과 차이가 발생할 수 있음을 예측할 수 있다. 즉, 정적시험에서 고려되지 못한 밸브의 전, 후단 차압이 밸브의 동적특성을 변화시킬 수 있음을 동적시험을 통해 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 밸브의 성능평가를 수행하기 위해서 밸브를 통과하는 유체의 차압에 의한 힘의 영향에 대한 정확한 분석이 필요하다는 것을 동적시험을 통해 검증하였다.

2. 공기구동형 제어밸브의 진단 및 힘 평형

공기구동형 제어밸브는 기계요소(요크, 스템, 디스크, 스프링, 패킹 등)와 계측요소(구동부, I/P, 포지셔너, 리미트스위치, 솔레노이드밸브 등)로 구성되어 있어 밸브의 성능을 저하시킬 수 있는 많은 요인을 포함하고 있다.

공기구동형 밸브를 진단하기 위한 진단신호를 선정하고 센서로부터 얻은 측정신호의 상관관계 또는 측정신호의 분석결과를 밸브 제작사에서 제공한 밸브 설계자료와 비교함으로써 밸브의 상태를 진단할 수 있다. 밸브의 진

단시험에서 동적시험을 수행하지 못하는 경우 밸브의 정적시험과 설계기준분석을 통해 얻은 밸브의 전, 후단 차압을 이용하여 밸브의 운전특성을 분석함으로써 밸브의 운전여유도를 도출하여야 한다. 그러나 일반적으로 설계기준분석을 통해 얻은 밸브의 전, 후단 차압은 밸브의 개도에 따라 변화하는 차압이 아닌 최대차압을 제공함으로써 열림 또는 닫힘 시의 운전여유도만을 계산하였다. 공기구동형 제어밸브의 경우 중요한 계통에서 유체의 유량 또는 압력을 제어하는 기능을 수행하는 것이 많으므로 밸브의 개도에 따른 운전특성을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 정적시험과 동적시험을 통해 밸브의 개도변화에 따른 구동부의 공기압력에 의한 힘과 밸브에 작용하는 외부의 힘의 관계를 비교하였다.

밸브의 열림(open)과 닫힘(close)시의 구동부의 공기압력에 의한 힘은 식(1)과 식(2)와 같다.

$$\text{Actuator Force(open)} = \text{Open Air pressure} * \text{Area of Actuator} \quad (1)$$

$$\text{Actuator Force(close)} = \text{Close Air pressure} * \text{Area of Actuator} \quad (2)$$

밸브에 작용하는 외부의 힘은 식(3)과 같다.

$$\text{Sum of Force} = \text{Spring preload} + \text{Spring rate} * \text{valve travel} \pm \text{Friction Force} - \text{DP} * \text{Area of Seat} \quad (3)$$

Friction은 밸브의 열림(open)과 닫힘(close)을 1회 수행했을 때 밸브 열림과 닫힘 시 구동부의 공기압력의 차이와 구동부의 유효면적과의 곱으로 구한다. Spring preload는 밸브의 초기위치에서 구동부에 장착된 스프링의 초기변위에 따른 힘으로 구동부의 공기압력과 유효면적의 곱으로 구한다. Spring rate는 밸브의 열림과 닫힘 시에 측정된 밸브 개도량과 구동부의 공기압력의 관계로부터 얻은 직선의 기울기와 구동부의 유효면적의 곱으로 구한다. DP는 밸브의 전, 후단 유체압력의 차이이다.

3. 밸브 시험장치 및 시험결과

Fig. 1은 밸브의 시험을 위한 동특성 시험설비로 유량은 100m³/Hr, 양정은 150m이고 배관은 1", 2", 3", 4"로 구성되어 있어 다양한 크기의 밸브에 대한 동적시험을 수행할 수 있다. 또한 시험밸브로 유입되는 유량 및 유압의 조건을 시험자의 의도에 따라 다양하게 변화시킬 수 있도록 제작하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 진단시스템을 이용하여 밸브를 진단하는 것으로 센서, 신호 취득장치(DAQ) 그리

고 제어기와 같은 하드웨어와 신호처리 및 분석을 위한 소프트웨어로 구성되어 있다. 본 진단시스템의 개발에 사용된 S/W는 C언어를 기반으로 하는 Lab-windows를 이용하였다.

밸브진단에 적용되는 신호의 입, 출력은 제어부에서 생성된 제어 입력신호를 밸브에 장착된 I/P(전류압력 변환기)로 전송하면 I/P에서는 입력된 신호에 비례한 공기압력을 밸브의 구동부로 가해준다. 따라서 구동부에 유입된 공기압력에 비례하여 밸브의 스템이 이동함으로써 밸브 개도량을 제어할 수 있다. 밸브의 개도는 요크에 장착된 변위센서(LVDT 또는 wire type 변위센서)를 이용하여 측정하고 구동부에 유입되는 공기압력 및 공급압력은 압력센서로 측정하며, 측정된 센서신호는 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터로 전송되어 제어 입력과 센서 출력 신호의 상관관계를 분석함으로써 밸브의 상태를 진단하는 장치이다.

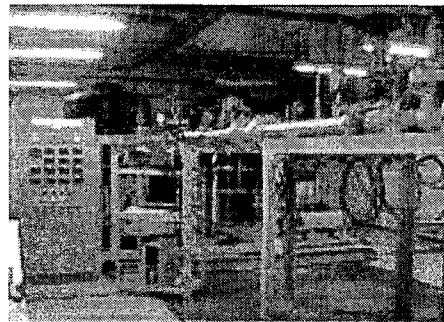


Fig. 1 Test Equipment for diagnosis of air operated valve

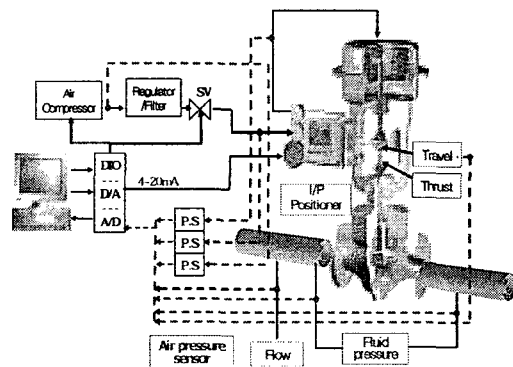


Fig. 2 Schematic diagram of diagnostic system

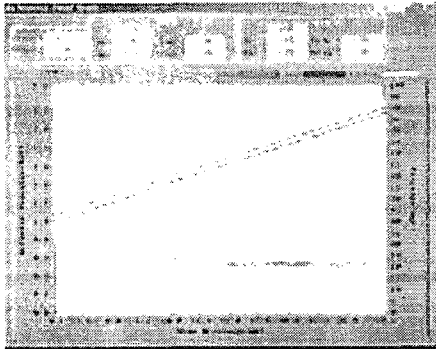


Fig. 3 Analysis result of test valve

밸브 진단시험은 2 in, Diaphragm Operated Globe Valve에 대해 정적시험과 동적시험을 수행하였다. 정적 시험은 배관에 유체를 유입하지 않은 경우이고 동적시험은 배관에 유체를 유입한 경우로 밸브의 유량을 변화시키므로써 밸브 전, 후단 차압의 크기에 의한 밸브의 힘 평형 관계를 분석하였다.

Fig. 3은 밸브의 정적시험을 수행한 결과로 밸브 개도에 따른 구동부의 공기압력의 변화를 보여주고 있다. 정적시험의 분석결과를 이용하여 spring preload, spring rate를 구하고 이 값들을 동적시험에서 밸브의 힘평형 관계를 분석하는데 이용한다. Fig. 4는 시험밸브의 개도변화에 따른 유량변화 조건을 보여주고 있다. 시험밸브에 유입되는 유량은 bypass 배관에 설치된 밸브의 개도를 조정하여 유량조건을 변화하였다. Fig. 5는 시험밸브에 유입되는 유량변화에 따른 밸브의 전, 후단 차압의 변화를 보여주고 있다. 유량조건에 따라 밸브의 전, 후단에서의 최대차압은 0kgf에서 16.6kgf까지의 변화를 증명한다.

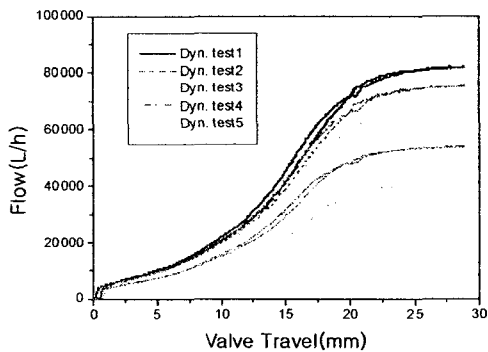


Fig. 4 Flow of test valve

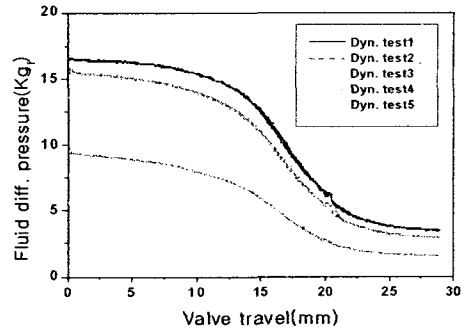


Fig. 5 Differential pressure of test valve

Fig. 6은 시험밸브 전, 후단 차압에 따른 밸브의 힘 평형관계를 보여주고 있다. 밸브의 전, 후단 차압이 발생하지 않은 정적시험의 경우, 밸브의 힘 평형 관계는 선형적이고 밸브의 외부 힘은 밸브의 열림과 닫힘 시에 생성되는 구동부의 힘의 중간값을 가진다. 그러나 밸브의 전, 후단 차압을 고려하는 경우, 밸브의 외부 힘이 구동부 힘의 중간값을 가지지 못한다. 이것은 실제 밸브의 플러그의 상단과 하단에 미치는 유체압력에 의한 힘이 측정된 밸브의 전, 후단 차압과는 다르기 때문으로 판단된다.

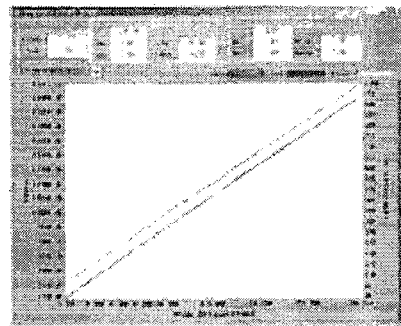


Fig. 6(a) Force balance of test valve(DP = 0kgf)

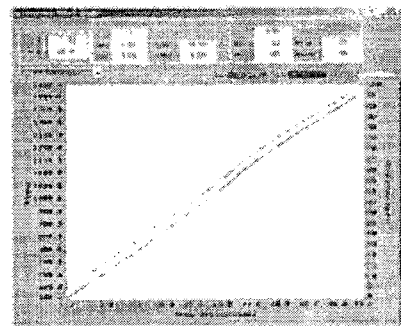


Fig. 6(b) Force balance of test valve(DP = 5.7kgf)

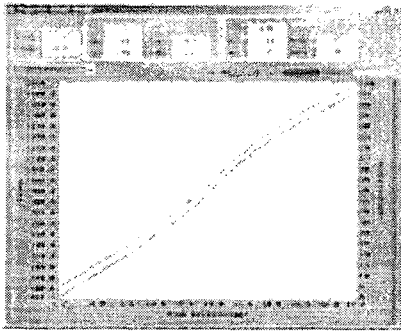


Fig. 6(c) Force balance of test valve(DP = 13.5kgf)

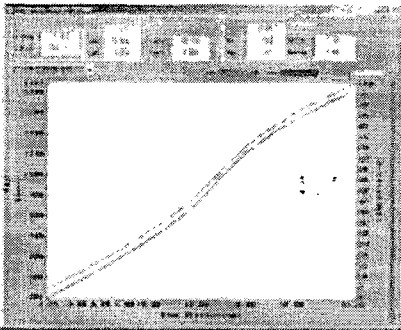


Fig. 6(d) Force balance of test valve(DP = 16.6kgf)

4. 결론

공기구동형 제어밸브는 유체의 유량 및 압력을 제어하는 기능을 수행하는 배관요소로 밸브의 성능평가에서 밸브의 개도에 따라 운전여유도를 평가하는 것이 필요하다. 이것은 밸브에 유입되는 유체의 압력에 대한 변화를 밸브의 개도에 따라 고려해야 함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 정적시험과 동적시험을 통해 밸브의 전, 후단 차압에 의한 밸브의 힘 평형관계에 대한 연구를 수행하였다.

밸브의 전, 후단 차압이 발생하지 않은 정적시험의 경우, 밸브의 힘 평형 관계는 선형적이고 밸브의 외부 힘은 밸브의 열림과 닫힘 시에 생성되는 구동부 힘의 중간값을 가진다. 그러나 밸브의 전, 후단 차압을 고려하는 경우, 밸브의 외부 힘이 구동부의 힘의 중간값을 가지지 못하는 것을 시험을 통해 알 수 있었다. 이것은 플러그의 상단과 하단에 미치는 유체압력에 의한 실질적인 힘과 측정된 밸브의 전, 후단 압력과의 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 밸브의 힘 평형을 고려할 때 유체 압력에 따른 밸브 전, 후단 차압은 실제 플러그에 미치는 압력으로 고려해야 함을 알 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의

일환으로 진행되고 있으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chuck Linden and Bill Fitzgerald, "Upgrading to Digital Positioners on Feedwater Regulating Valves," NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, Vol. 5, pp. 2B:35-46, 2004.
2. Heiko Ebert and Georg Zanner, "Engineering Based Valve Testing and Evaluation," NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, Vol. 5, pp. 1B:41-49, 2004.
3. 홍성대, 양상민, 신성기, "공기구동밸브의 성능 평가 프로그램 개발동향," 대한기계학회 춘계학술대회, pp. 87, 2004
4. 양상민, 송동섭, 허태영, 김봉호, 신성기, 김찬용, 조택동, "공기구동밸브의 진단시스템 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 179, 2003