

공기구동기 성능평가 시스템 개발

조택동(충남대학교 기계설계공학과), 양성빈* (충남대학교 기계설계공학과), 이호영(충남대학교 기계설계공학과), 양상민(한빛파워서비스), 권봉수(충남대학교 기계설계공학과)

The Development of Performance Evaluation System for Air-Operated Actuator

T. D. Cho(Mech. Design Eng. Dep. CNU), S. B. Yang(Mech. Design Eng. Dep. CNU), H. Y. Lee(Mech. Design Eng. Dep. CNU), S. M. Yang(HANVIT Power Service, Inc.), B. S. Kwon(Mech. Design Eng. Dep. CNU)

ABSTRACT

The performance evaluation of AOV(air-operated valve) requires the processes to confirm the actuator system capability. It is necessary to evaluate the thrust of the air actuator for the margin evaluation. In this paper, to evaluate and analysis the air actuator, the performance test system and operating program are developed. This system is composed of several sensors such as pressure sensor, LVDT, and LoadCell which are used to get the data for evaluation. The LabVIEW was used for developing the operating program. The test system and operating program are proved through the actual test of the diaphragm actuator.

Key Words : AOV (Air-Operated Valve: 공기구동밸브), performance evaluation(성능평가), DAS(Data Acquisition System), Air-Actuator(공기구동기)

1. 서론

원자력 발전소의 안전과 기능을 보장하며 유지하는 것은 매우 중요한 과제이며, 이것은 발전소를 구성하는 각 기기의 안전성을 확보함으로써 가능하다. 이러한 구성 기기 중의 하나로 원자력 발전소의 배관에 설치되어 유체의 유량 및 압력을 조절하는 기능을 수행하는 공기구동 밸브(AOV: Air-Operated Valve)가 있다. 이는 공압용 실린더(cylinder) 또는 다이어프램(diaphragm) 사용하여 밸브를 여닫는데 필요한 추력이나 토크를 얻는다. 전력이나 공기압 공급 등이 차단되는 위급상황에서는 밸브를 완전 폐쇄 혹은 완전 개방과 같은 시스템 안전모드로의 자동전환이 가능하도록 스프링이 장착 되어 있다. 공기구동밸브는 완전 개폐서비스 경우나 밸브의 일부분만을 열고 닫음으로써 유로 조절을 통한 유량제어와 유체에너지량의 조절(throttling) 기능이 필요한 경우에 주로 사용된다. 공기구동밸브는 공기압으로 구동되지만 공기압을 조절하고 밸브의 행정을 감지하여 필요한 동작을 정밀하게 수행하도록 하는 제어장치를 위해 전기공

급도 필요하다. 따라서 원자력 발전소의 안전을 확보하기 위해서는 공기구동 밸브의 성능평가를 통해 안전성을 유지하는 것이 중요하다.

이렇게 유체의 흐름을 제어하는 공기구동 밸브의 성능평가는 구동 명령에 대한 개도율, 구동부의 공기압력, 스템(stem)의 힘 등을 측정하여 이들의 상관관계를 분석하여 밸브의 상태를 평가한다. 공기구동밸브의 유형은 크게 구동기(actuator)와 밸브 몸체(body)의 형태에 따라 다양하게 분류된다. 각 유형에 따라 공기구동밸브에 대한 분석을 위해서는 밸브에 적용되는 힘과 구동기의 힘의 관계를 먼저 분석해야 한다. 따라서 본 연구에는 구동기의 상태와 힘의 성능을 평가 할 수 있는 시스템을 개발 하였으며 시험을 통하여 분석결과를 검증하였다.

2. 성능평가

동력구동 밸브의 성능평가 결과는 Fig. 1 과 같은 과정을 통하여 구한 운전여유도(margin) 값으로 나타낸다. 운전 여유도는 비상시에 구동기가 확실하게 기능을 발휘 할 수 있는지를 보여주는 수치로

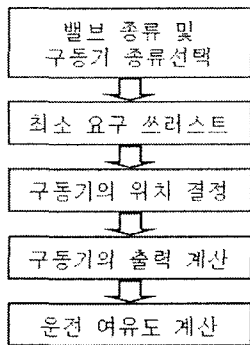


Fig. 1 Flowchart of Actuator capability margin calculation.

서 밸브가 위치한 계통의 압력 상태 하에서 닫혔다가 열릴 때, 또는 열렸다가 닫히려 할 때 확실하게 열리고 닫힐 수 있을 뿐만 아니라, 닫힌 상태에서는 충분한 밀봉력을 유지할 수 있도록 필요한 힘을 구동기가 공급 할 수 있는지 여부를 나타내는 구동기 성능여유도(Actuator Capability Margin)이다. 밸브 작동에 필요한 최대 요구 값에 대한 구동기의 공급 가능한 최소 출력값의 잉여치 비율을 백분율로 나타낸 값으로 다음과 같은 식으로 산출한다.

$$\text{Actuator Margin} = \frac{\text{Actuator ability} - \text{Required Thrust}}{\text{Required Thrust}}$$

안정성을 평가하는데 반영된 요구 추력/토크 및 구동기 출력은 설계 자료를 근거로 하여 계산하며, 여기에 부품의 사용조건 및 사용연한에 따른 열화 정도를 감안하여 산출하므로 설계기준 여유도라고 한다.

2.1 구동기의 출력 쓰러스트/토크

일반 밸브는 보통 수동으로 핸드휠을 돌려서 열고 닫지만 동력 구동 밸브는 제어가 용이한 전기나 압축공기를 이용한다.

이중 압축공기를 동력원으로 하는 AOV의 경우 많은 제조회사에서 제품을 생산하고 있으므로 종류가 다양하지만 크게 2 가지 방식인 실린더 방식과 다이어프램 방식으로 구분할 수 있다. 실린더 방식은 실린더와 피스톤 구조로 압축공기 출입구의 숫자와 스프링의 장착 유무 및 위치에 따라서 다양하게 나누어진다. 다이어프램 방식은 다이어프램과 스프링 구조를 기본으로 하고 스프링의 장착위치에 따라서 기능이 구분된다.

공기압 시스템은 제어가 용이하고 힘의 증폭이 쉬우며 일정한 힘과 토크를 얻을 수 있어 단순성과 안전성 그리고 경제성에서 매우 유리한 조건을 갖고 있다. 무엇보다 압축공기를 얻기 쉽게 누설이 생겨도 오염되지 않으므로 친환경적이기도 하다.

또한 비상 상황 하에서 시스템에 문제가 생겨 밸브를 긴급히 개폐하는 경우 전원만 차단되면 압축공기의 압력은 소멸되고 구동기의 스프링에 의해 밸브를 신속하게 안전한 위치(fail safe position)로 이동시킬 수 있도록 되어 있다. 이러한 특성을 발휘할 수 있도록 AOV의 밸브 동작 방향은 항상 안전 위치의 반대방향이 되도록 설치한다. 예로서 정상상태에서는 열려 있다가 비상시 밸브를 잠가야 할 경우는 Reverse Acting(push-down-to-open) 구동기를 설치하고 반대의 경우는 Directing Acting(push-down-to-close) 구동기를 설치하는 식이다. Fig. 2은 Directing Acting 구동기와 Reverse Acting 구동기를 보여주고 있다.

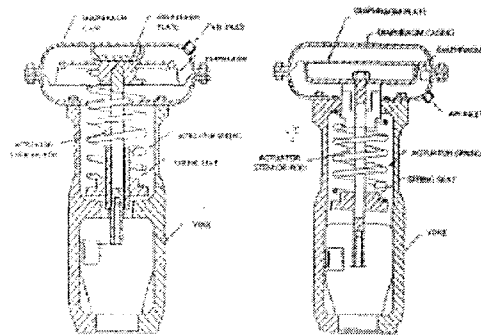


Fig. 2 Directing Acting Actuator and Reverse Acting Actuator

AOV 구동기의 성능평가는 제품의 형태별로 분류 되어 출력 성능이 산출되므로 공급원에 따라서 다양한 설계제조 정보 취득이 선행되어야 하고 제어신호(control signal), 공기압력(air pressure) 및 밸브 개도(valve travel)에 대한 측정신호의 상관관계를 분석하여 수행한다.

3. 성능평가 시스템 및 실험

3.1 공기구동기 성능평가 시스템

기존의 공기구동밸브에서 구동부만을 분리하여 별도로 시험 및 평가를 할 수 있도록 공기구동기 성능평가 시스템을 설계 및 제작하였다. 이렇게 구축된 시스템은 Fig. 3 과 같으며, 공기 공급부, 신호 측정부, 성능평가부로 구성 되어있다. 공기 공급부는 제어용 공기를 공급하기 위해 공기 압축기, 레귤레이터, 솔레노이드 밸브 그리고 제어밸브로 구성되어 있고, 신호 측정부는 구동기의 거동과 압력을 측정할 수 있는 공기압력 센서, 스템의 위치를 측정하는 변위센서(LVDT), 스템에 미치는 힘을 측정하기 위한 로드셀(LoadCell)과 이를 제어하기 위한 Z 축 스테이지로 구성되어 있다. 또한, 성능 평

가부는 신호의 입/출력을 위한 DAS(Data Acquisition System)와 이를 처리 하는 컴퓨터 및 프로그램으로 구성 되어 있다.

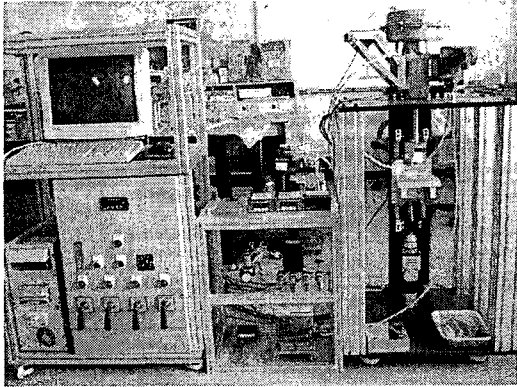


Fig. 3 Performance evaluation system of air actuator

구성된 시스템의 개략도는 Fig. 4 와 같다. 공기 압축기에서 압축된 공기는 레귤레이터와 솔레노이드 밸브를 통하여 일정하게 I/P(current to pressure)에 공급된다. 컴퓨터에서 내보내는 전압신호(1~5V)를 V/I(voltage to current) 변환기에서 전류신호(4~20mA)로 변환하여 주고, 이를 다시 I/P 에서 공기압력(0.8~2.4 kgf/cm²)으로 변환하여 공기구동기에 공급함으로써 공기구동기는 움직이게 된다. 공기압력센서는 레귤레이터의 전단과 I/P 의 전후단 모두 3 곳에 설치하여 측정하였으며, 공기구동기 스템의 위치변화를 변위센서를 이용하여 측정하였고, 구동기 스템에 발생하는 힘을 스템의 끝에 로드셀을 장착하여 측정하였다.

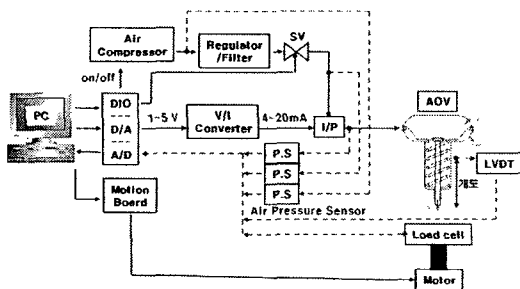


Fig. 4 Schematic of performance evaluation system

3.2 성능평가 프로그램

일반적으로 AOV 안전성 진단을 하기 위해서는 정적시험과 동적시험을 수행하지만 본 연구에서 개발한 시스템은 공기구동밸브에서 공기구동기를 분

리하여 공기구동기의 성능을 평가하기 위한 시스템이므로, 정적시험으로 공기구동기의 성능분석을 수행할 수 있는 프로그램을 Fig. 5 에 예시된 것처럼 LabVIEW 로 구현하였다. 구현된 프로그램은 공기구동기를 구동하기 위한 입력전압 파형을 생성시키는 부분, 각종 신호를 측정하기 위한 부분과 각 센서를 점검 및 교정할 수 있는 부분으로 구성되어 있다. 또한, 정적시험을 통하여 각 센서로부터 얻어진 공급공기압, 스템의 변위, 입력 전류 및 스템 쓰러스트에 대한 측정 신호를 보여주며, 이러한 정보를 이용하여 구동기의 성능을 분석할 수 있는 모듈로 구성되어 있다.

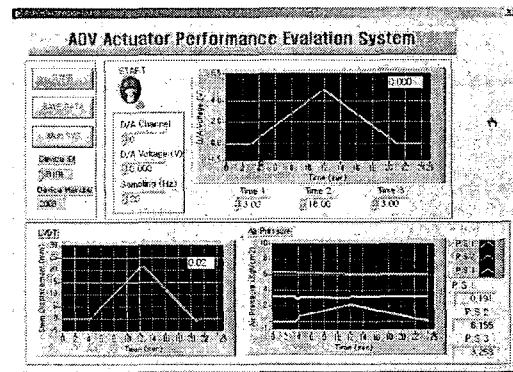


Fig. 5 Program for air actuator performance evaluation

3.3 실험

공기구동기에 의한 밸브의 개폐동작은 공기구동기에서 발생하는 쓰러스트(thrust)에 의하여 이루어진다. 이러한 밸브의 쓰러스트는 입력공기압에 의한 힘과 스프링에 의한 힘의 차이에 의해서 나타나게 된다. Fig. 6은 다이아프램형 공기구동기의 힘 평형관계를 나타낸 그림이다.

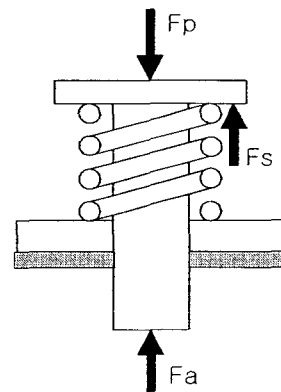


Fig. 6 Schematic of air actuator force

공기구동기의 발생하는 힘(F_a)은 구동기에 공

급된 공기압에서 발생하는 힘(F_p)와 스프링의 압축 또는 인장에 의하여 발생하는 탄성력(F_s)으로 힘 평형 관계가 다음의 식과 같이 구성된다.

$$F_a = F_p + F_s$$

이때 스프링에 발생하는 탄성력을 구하기 위해서는 스프링 계수(spring rate)와 스프링 preload의 값이 필요하다. 이는 구동기 스템의 위치변위와 구동기에 입력되는 공기압의 관계로부터 계산한다. 스프링 계수는 Fig. 7에 나타난 것과 같이 스템 변위와 입력공기압의 관계에 의하여 계산된 기울기에 구동기의 유효단면적을 곱하여 계산한다.

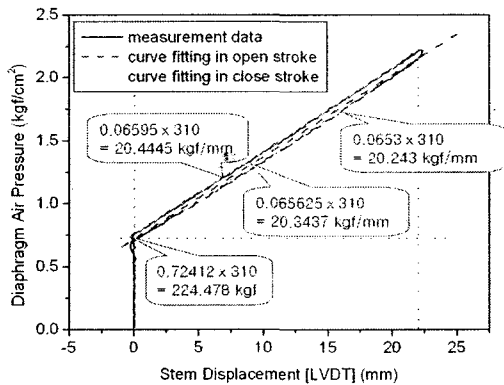


Fig. 7 Curve of actuator pressure vs. stem travel

정적시험을 통하여 Fig. 7과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 이때의 스프링 계수는 20.3437 kgf/mm로 제조사에 제공된 값 19.84 kgf/mm보다 약간 크며 2.54%의 오차를 발생하였다. 또한 스프링 preload는 224.478 kgf로 제조사에 제공된 값 248.0 kgf보다 다소 작게 나타났다. 실제 실험에 의한 값과 제조사에서 제공한 값이 거의 유사하게 나타나는 것으로 보아 측정실험 및 분석이 타당하게 되었다고 결론지을 수 있다.

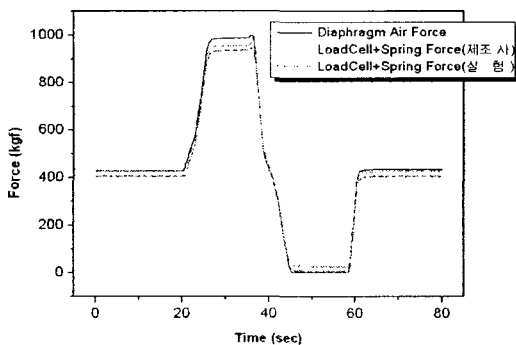


Fig. 8 Curve of air actuator force

공기구동기의 스템에 설치된 로드셀을 이용하여 구동기에 발생하는 힘을 측정하여 힘평형 관계식에 따라 계산하여 비교하여 본 결과 Fig. 8과 같이 공기압에 의해 발생한 힘과 스프링에 의한 힘과 로드셀에 측정된 힘의 합이 거의 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 힘 평형관계식이 타당하며, 로드셀을 이용하여 공기구동기의 쓰러스트를 측정할 수 있음을 시험을 통하여 확인하였다.

4. 결론

유체의 흐름을 제어하는 AOV의 성능평가는 구동 명령에 대한 개도율, 구동부의 공기압력, 스템의 힘 등을 측정하여 이들의 상관관계를 분석하여 밸브의 상태를 평가한다.

본 논문에서는 공기구동기의 성능을 분석을 위해서 구동기에 발생하는 힘의 관계를 분석하고 시험 평가를 수행할 수 있는 시험장치와 프로그램을 구현하였으며, 정적시험을 통하여 공기구동기에 대한 힘 평형관계와 시험 분석 방법이 타당함을 증명하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 일환으로 진행되고 있으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chosei Kaseda, Akira Ohtsuka, Fumio Nagasaka, "Online Control Valve Diagnostics," Yamatake Corporation, Japan.
2. 김호현, "전류 및 전력신호 분석을 통한 전동밸브의 성능진단 기술연구," 충남대학교 산업 대학원 석사학위 논문, 1999.
3. Jae-Cheon Jung and Poong-Hyun Seong, "Error Analysis in Improved Motor Control Center Method for Stem Thrust Estimation of Motor-Operated Valves in Nuclear Power Plants," IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 50, No. 3, June, 2003.
4. Guy Borden, Jr., "Control Valves," Instrument Society of America, 1998.
5. UltraCheck Diagnostic Group, "Benefits of AOV and MOV Diagnostic Systems," KINS 4th MOV/AOV Workshop, pp. 253-262, 2002.