

## 공기구동밸브의 동특성 모델링 및 시험

조택동(충남대학교), 이호영\*(충남대학교 대학원), 양상민(㈜한빛파워서비스),  
양성빈(충남대학교 대학원), 권봉수(충남대학교 대학원)

### Dynamic Modeling and Test of the Air-Operated Valve

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

#### ABSTRACT

The prediction of AOV(air-operated valve) performance is normally evaluated by the allowable opening thrust margin for the opening and closing stroke. However, it is not easy to carry out the dynamic test measurement for all the valves in the nuclear power plant due to the safety and operating conditions. The analysis of the available and required thrust for the valve is simulated as an alternate method to turn around this obstacle. The required air pressures to the stem displacement are discussed for differential valve pressure obtained by experiment. The result of the simulation is compared with that of the experiment. SIMULINK in MATLAB was used for the simulation and the results show good agreement with the actual test carried out with Fisher globe valve.

**Key Words** : Air-Operated Valve(공기구동밸브), Diaphragm(다이어프램), Globe Valve(글로브밸브), Differential Pressure(DP, 차압), Actuator(구동기)

#### 1. 서론

발전소 전력 생산라인의 복잡한 배관과 유체기기를 유동하는 매체의 압력과 유량 등은 원격 운전이 가능한 제어밸브(control valve)로 제어된다. 특히 안전이 최우선시 되는 원자력 발전소의 경우는 고장상황을 고려하여, 일부 시설을 고립시키거나 압력유체를 급속으로 방출시키기 위한 안전관련 밸브들이 상당히 설치되어 있으며, 이러한 밸브들은 설계기준(design base)의 성능을 항상 유지하는 것이 매우 중요하므로 주기적인 안전진단이 필수적이다. 제어밸브는 일반밸브의 수동조작 부분을 동력구동장치로 대체하고, 밸브의 열고 닫음 상태를 피드백 제어장치로 정교하게 조절하는 고성능 밸브로서, 크게 모터구동밸브(MOV)와 공기구동밸브(AOV)로 분류된다. 국내 원전의 경우, 모터구동 밸브는 이미 법적인 규제대상으로 지정되어 주기적인 안전성 평가를 실시해오고 있으나, 공기구동 밸브에 대하여는 이제 법령이 고시되어 준비단계에 있는 상황이

다[1,2].

본 논문에서는 현재 의무적으로 주기적인 원전 안전성 평가설시가 예정되어 있는 공기구동 밸브류에 대하여 일반적인 운동 특성을 고찰하였다. 대표적인 모델인 공기구동 불균형 글로브 밸브를 수학적으로 모델링한 후 시뮬레이션 결과를 살펴보고 실제 밸브에 대한 시험을 수행하여 시뮬레이션 결과와 비교하여 수학적 모델링의 타당성을 살펴보았다.

#### 2. 수학적 모델링

구동기에 의한 밸브의 개폐동작은 동역학적인 해석에 의해 보다 명확하게 이해된다. 밸브 스트로크 전 과정에 걸쳐 스템의 거동을 분석하기 위해서 다이어프램형 불균형 글로브 밸브에 대한 수학적 모델링을 수행하여, 동력학적 모델링 식을 얻었다.

수학적 모델링은 Fig. 1의 개략도에 나타난 것처럼 다이어프램형 공기구동기와 불균형 글로브 밸

브를 하나로 연결한 상태에서 힘의 평형관계식으로부터 식(1)과 같은 동력학적 수학적 모델식을 얻었다[3].



Fig. 1 Schematic of diaphragm globe valve

$$\begin{aligned}
 m \ddot{x} &= F_p - F_s - F_f + F_{DP} & (1) \\
 F_p &= P \cdot A \\
 F_s &= F_{SP} + kx \\
 F_f &= c\dot{x} + F_k \\
 c &= 2\zeta\sqrt{m \cdot k} \\
 F_k &= P_k \cdot A_k \\
 F_{DP} &= P_{DP} \cdot A_p
 \end{aligned}$$

여기서

- $m$  : stem mass
- $x$  : stem displacement
- $F_p$  : pressure force
- $P$  : air pressure
- $A$  : effective area of diaphragm
- $F_s$  : spring force
- $F_{SP}$  : spring preload
- $k$  : spring rate
- $F_f$  : viscous damping force
- $c$  : damping coefficient
- $\zeta$  : damping ratio
- $F_k$  : packing friction force
- $P_k$  : packing pressure
- $A_k$  : packing area
- $F_{DP}$  : differential pressure (DP) force
- $P_{DP}$  : differential pressure (DP)
- $A_p$  : effective area of the plug

### 3. 시뮬레이션 및 시험

#### 3.1 시뮬레이션

앞에서 얻어진 식(1)의 동력학식을 MATLAB의 SIMULINK로 프로그래밍하여 시뮬레이션을 수행하였다[4]. 파라미터의 값은 밸브사에서 제공되는 도면으로부터 얻었으며, 차압은 밸브 실험을 통하여 측정된 값으로부터 곡선정합을 하여 사용하였다. 다음의 Fig. 2는 MATLAB의 SIMULINK를 이용하여 앞의 동력학식을 프로그래밍한 것이다.

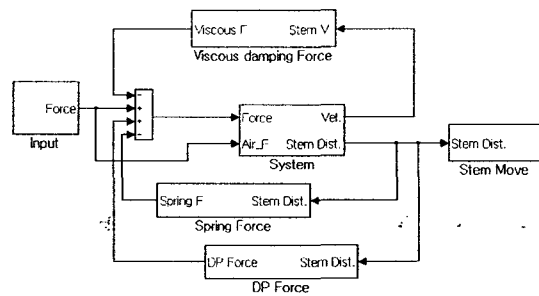
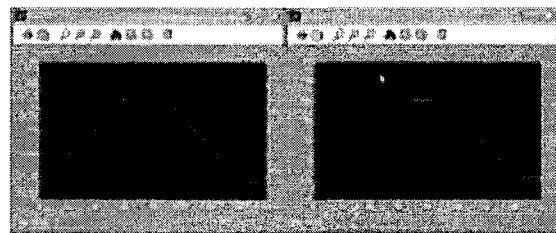


Fig. 2 SIMULINK Program in MATLAB

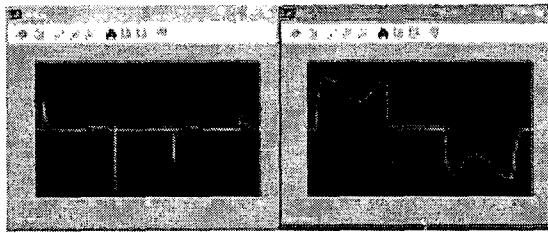
입력전류를 삼각파로 주고 시뮬레이션을 수행하였다. 다음의 Fig. 3은 삼각파 입력전류와 입력전류의 변화에 의해 구동부에 공급되는 공기압력을 그래프로 나타낸 것이다. 공기압력의 그래프에서 입력전류의 그래프와 달리 산의 꼭대기 부분이 평편한 것은 입력전류를 높이더라도 레귤레이터에서 공급되는 압력이상은 공급될 수 없기 때문에 나타나는 현상을 모델링한 것이다.



(a) input current (b) input air pressure

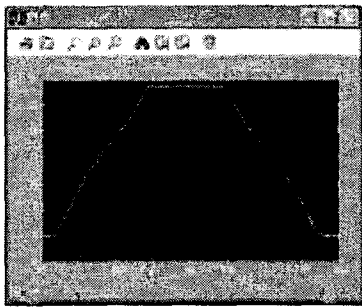
Fig. 3 Triangle input signal

다음의 Fig. 4는 밸브의 가속도와 속도 그리고 스템의 위치를 나타낸 그래프이다. 가속도는 밸브가 닫히거나 열리는 순간에 가속도가 크게 나타나며 차압의 영향으로 개도가 중간부분일 때도 조금이지만 가속도가 나타나는 현상을 보인다. 또한 속도와 스템의 변위도 차압의 영향으로 그래프가 변형되어 나타나는 현상을 볼 수 있다.



(a) acceleration

(b) velocity



(c) displacement

Fig. 4 Simulation results

밸브 스템의 위치에 따른 입력공기압력의 그래프를 그려보면 Fig. 5 와 같이 나타난다. 여기서도 밸브 전후단의 차압에 의하여 곡선이 흰 모습을 볼 수 있으며, 밸브의 차압이 없는 경우에 직선의 형태로 나타난다. 밸브가 열림시와 닫힘시에 공기압의 차이를 보이는 것은 밸브 패킹에 발생하는 패킹 마찰력 때문이다.

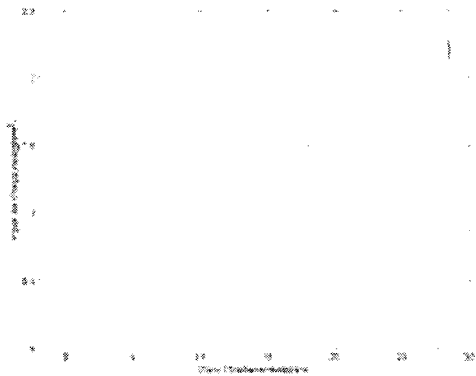


Fig. 5 Stem displacement vs air pressure in simulation

### 3.2 시험

밸브의 동특성을 살펴보기 위해서 실제 밸브에 대하여 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 밸브는 다이어프램형 공기구동기를 사용하는 Fisher 사의 2 인치 불균형 글로브밸브를 사용하였다. 다음의 Fig. 6 은 실제 시험에 사용된 밸브의 사진이다. 사용된

공기구동기는 스프링을 포함하고 있으며 한 쪽으로만 공기압을 공급하는 형태로 공기를 입력하면 스템이 위로 올라가며 밸브가 열리게 된다.

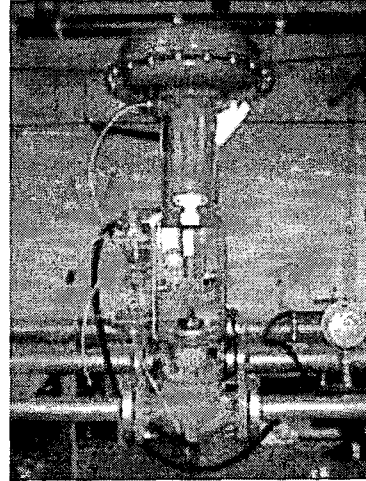


Fig. 6 Photograph of the test valve

밸브 시험 시스템은 Fig. 7 에 개략적으로 나타내었으며, 압력센서로 레귤레이터 전후단의 유체 압력 및 밸브의 구동기에 입력되는 공기 압력을 측정하고 LVDT 를 이용하여 스템의 변위를 측정한다. 또한, 밸브 전후단에서 유체의 압력과 밸브에 흐르는 유량을 측정한다. 이러한 측정 파라미터의 측정 위치가 개략도에 나타나 있다.

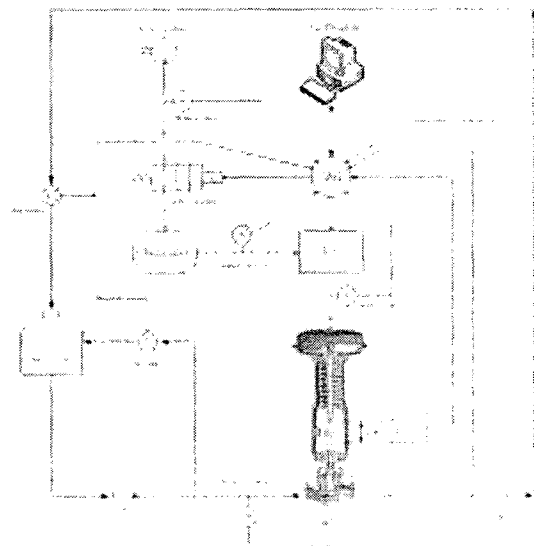


Fig. 7 Schematic of the test system

밸브 스템의 위치에 따른 입력공기압력의 그래프를 그려보면 Fig. 8 과 같이 나타난다. 시뮬레이션

의 결과인 Fig. 6 과 비교하여 보면 거의 유사한 형태로 그래프가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 시뮬레이션의 결과가 실제로 시험한 결과와 동일하게 나타남을 보여주고 있으며, 밸브에 대한 수학적 모델링이 타당하게 수행되었다고 결론지을 수 있다. 시뮬레이션의 결과와 실제 시험의 결과에서 밸브의 열림시와 닫힘시에 나타나는 간격의 차이가 조금 다르게 나타나는 현상은 마찰에 대한 모델링의 값이 실제와 약간 차이가 있어 발생하는 현상이다.

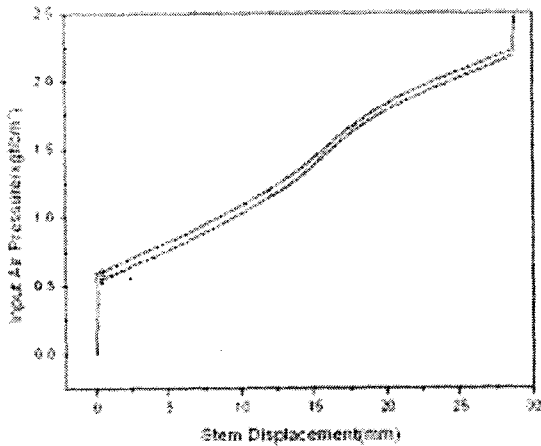


Fig. 8 Stem displacement vs air pressure in test

#### 4. 결론

본 논문에서는 다이어프램형 공기구동기와 볼균형 글로브밸브에 대한 동력학적 모델링을 수행하고 이를 검증하기 위하여 MATLAB 의 SIMULINK 를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 실제 밸브 실험과 비교하였다.

앞에서 설명한 대로 스템의 위치에 따른 공기구동기 입력압력의 경향이 시뮬레이션과 실제 실험의 경우 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 수학적 모델링이 비교적 정확하게 된 것을 의미한다. 밸브 전후에 걸리는 압력의 차이가 일정하지 않기 때문에 스템의 위치에 따라 구동기에 작용하는 공기압의 크기가 달라지게 되는 현상이 관측되었다. 스템이 상하로 운동하는 rising stem 방식의 공기구동기와 글로브 및 게이트 밸브에서는 유사한 방법으로 공기구동밸브에 대한 수학적 모델링이 가능할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 일환으로 진행되고 있으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김월태, 원전동력구동밸브 안전규제동향, 대한기계학회 춘계학술대회, 2004. 04.
2. Les Drishell, Control-Valve Selection and Sizing, Instrument Society of America, 1983.
3. 조택동, 이호영, 양상민, 공기구동밸브 동특성 시험 모델링, 대한기계학회 춘계학술대회, 2004. 04.
4. 황우현, 안성모, "MATLAB 을 이용한 제어시스템 설계, 대광서림, 1995.