밸브의 종류 및 선정

3) 제어밸브

(3) 제어밸브 선정 자료의 검토 (계속)

글/민경화 〈한국전력기술(주) 원자력사업단 배관기술부〉

② 제어밸브 형식 및 선정기준

다음은 실제 제어밸브의 선정에 있어 구체적으로 이해하고 있어야 할 사항들이다. 이들 사항들은 밸브의 발주자는 물론 제작사간에 올바른 이해와 합의하에 밸브발주시 구매계약의 기술시방에 포함되어야 한다.

[운전조건]

A. 유체조건(Internal)
  1. 유체압력 : 최대시/정상시/최소시(유량 조건과 함께)
  2. 밸브간 차압 : 최대시/정상시/최소시(유량 조건과 함께)
  3. 유량 : 최대시/정상시/최소시
  4. 온도 : 최고/최저/정상운전시
  * 만약 운전시 온도변화의 싸이클이 있을 경우 1일/1월당 몇 회의 Thermocycle을 표시

B. 환경조건(External)
  1. 온도 : 최고/최저/일반 운전시의 대기온도/주야간의 온도차
  2. 주변환경 : 알카리도/산도/습도/건도/각종 오염정도*
  * 각종 환경오염 정도는 정량/정성적으로 계량화

[유체의 성질]

A. 화학적 성질-화학물질 포함 및 혼합정도를 표시
B. 환경조건 고려
  1. 환경청 구분관계
  2. 인체 유해성 : 독성/화상정도/기타
C. 유체의 물리화학적 성질-가스/액체/가스-액체 혼합정도/유체의 속도
D. 유체의 제반특성-용융점/동결점/후라싱 점/점성/밀도/고형물 함유정도/고형물 입자의 크기/고형물 입자의 성질-마모성, 경도 등
E. 유체의 화학적 반응여부

[밸브형식 및 기준]

A. 밸브형식 : 볼/체크/다이아후람/게이트/그로브/프러그/고성능 버터후라이/기타
B. 적용규격 : KS/JIS/ANSI/API/DIN/MSS/BS/AWA/ISA
C. 패킹 또는 스템 씰 : 벨로우즈-벨로우즈 형식 및 재질/패킹-패킹의 형식, SINGLE or DOUBLE, 패킹 스타일, 패킹재질/레턴링/LEAK-OFF 형식
D. 밸브 몸체의 재질 : 재질/재질의 적용규격/엘라스토머등의 재질/열처리 관계
E. 밸브 몸체의 온도-압력 기준
F. 밸브의 접속단 형식 : 프랜지형-RF형, FF형, LAP 죠인트형, SLIP ON형, ORIFICE 프랜지/용접형-맞대기 용접, 소켓 용접, 납땜/나사형/유니온 죠인트/크램프 죠인트형/프랜지 가공정밀도

과거의 다이아후람식 구동장치에 비해 최근의 고도화된 프로세스 프랜트에서는 보다 큰 추력과 빠른 응답속도, 온라인의 정밀한 제어가 가능한 디지탈 제어회로를 가진 구동장치가 요구돼

G. 볼트·너트의 재질 : 밸브 내부용/외부용
H. 배관 가스켓 데이타 : 가스켓 형식/재질/두께/스파이얼 와인트-FILLER 재질/INNER RING 필요 유무
I. 밸브 구동자의 형식 : 수동식/공압식/전기전자식/기타
   1. 수동식-렌치형/기어형/레바형/기타
   2. 자동식-공압식/전기식/DOUBLE 작동형/스프링 리턴형/슬레노이드/기타 특수형
J. 밸브의 도장 : 페인트 제작사 및 제품번호/색상/특수시방요건
K. 밸브 보온 여부 : 보온재 형식/밸브 정지시 온도/밸브 운전시 온도/소음정도/보온두께/보온의 범위 등
L. 밸브의 크기 및 기타 제원 : 밸브 접속단간(FACE TO FACE) 길이/높이/보수공간을 고려한 밸브 설치 크기/밸브의 무게/밸브(구동장치를 포함)의 무게 중심
M. 밸브 저장의 고려 : 예상 수송 크기/프랜지 보호판 유무/방청유의 사용유무, 사용부분, 방청유 사양, 유효 저장 기간/저장장소-실내, 실외
N. 사용시 특수 세척요건
O. 기타

4) 제어밸브의 구동장치(ACTUATOR)

제어밸브의 형식 및 설계조건에 따라 다양한 밸브의 구동장치가 사용된다. 이 구동장치는 제어밸브를 프랜트의 공정상 유량, 압력, 온도, 수위 등과 같은 계통 제어 요소를 계통 운전 목적에 부응하도록 연속적으로 제어시키는 것이기 때문에 수동으로는 불가능하고 전기 또는 유체압을 동력으로 하고 있다.

이들 구동장치를 동력원으로 구분하면 ①기어식 전동모타, ②기어식 에어모타, ③공압식 실린다형, ④공압식 피스톤형, ⑤공압식 다이아후람형, ⑥공압식 베인형, ⑦유압 실린다형, ⑧전자식 솔렌노이드형 등이 있다. 이들 밸브의 구동장치들은 밸브 조작의 빈도, 조작력, 밸브 개폐(또는 조절)의 속도, 조작의 크기 및 범위, 예방 보수의 빈도, 예상 신뢰도, 계통의 불안전 또는 손상시의 밸브 동작 형태 및 기능 유지등의 제반요소와 구동장치의 설치환경등에 따라 선정하게 된다. 그런데 과거에는 제어 밸브의 대부분 구동장치가 스프링힘에 의하여 복원되는 다이아후람식이 대부분이었으나 최근의 고도화된 프로세스 프랜트에서는 제어유체를 보다 신속하고 정확하게 제어하여야 함으로 보다 큰 추력과 빠른 응답속도 그리고 온라인의 정밀한 제어가 가능한 디지탈 제어회로를 가진 구동장치가 요구되고 있다.

(1) 구동장치 크기 결정을 위한 밸브 개폐력의 계산

밸브 구동장치의 개폐에 필요한 힘을 계산하기 위하여는 다음의 4가지 질문에 대한 답이 있어야 한다.

- 구동장치가 밸브간 차압을 조정할 것인가?
- 구동장치를 최대차압하에서 개폐할 것인가?
- 구동장치의 스프링은 밸브를 적정위치로 복원시켜야 하는가?
- 주어진 공기압(또는 스프링힘)으로 밸브의 엄격한 시팅(Tight Shutoff)을 유지할 충분한 추력이 있는가?

위의 4가지 사항에 따라 다음과 같이 밸브 개폐력 즉, 구동장치의 추력을 구하는데 본 항에서는 공기압식의 다이아후람형 구동장치를 대상으로 하여 위의 4가지 경우를 포함하여 포괄적으로 구동장치의 최대 허용 조절차압(Max. Allowable Throttling Pressure Drop) $\triangle P_a$의 결정하는 방법을 예시한다.

- 계통이 정지되어 있고, 밸브가 닫혀 있을 경우
  계통이 가압되어 밸브 스템에 발생하는 힘만큼 구동장치의 스프링은 힘을 가지고 있어야 하며 이것은 밸브 프러그가 비정상적으로 열리는 것을 방지한다. 이때의 스프링힘 F_{sp}는

  $$F_{sp} = (P_1-P_2)A_u + F_p + F_c$$

  F_{sp}=스프링에 미리 가해진 힘($F_{sp}=kl$)
  P_1=밸브 입구 압력
  P_2=밸브 출구 압력
  A_u=밸브 트림의 Unbalance 면적
  F_p=패킹의 마찰력으로 생기는 힘
  F_c=밸브 트림-시트와 프러그간 밀착을 위한 접촉력
  k=스프링 상수
  l=스프링의 변위(밸브 스템의 운동량)

따라서 밸브가 열리는데 필요한 구동장치의 압력 P_{act}는

$$P_{act} = F_{sp}/A_a$$

P_{act}=구동장치내의 압력
A_a=구동장치 다이아후람의 면적

- 계통이 가압(운전)되어 있고, 밸브가 닫혀 있을 경우
  계통이 운전중(가압되어 있을 경우) 밸브의 개폐 또는 조절에 필요한 힘은 밸브 트림에서의 Unbalance 힘(Unbalance 면적에 의함)이 밸브의 동작을 도와줌으로 구동장치의 압력 P_{act}는

  $$P_{act} = [F_{sp}-(P_1-P_2)A_u]/A_a$$

- 계통이 정지되어 있고, 밸브가 열려 있을 경우

  $$P_{act} = (F_{sp}+kl)/A_a$$

- 계통이 운전하고 있으며, 밸브가 열려 있을 경우

  $$P_{act} = [F_{sp}+kl-(P_2-P_1)A_s]/A_a$$

  A_s=스템의 단면적

따라서 구동장치의 허용 조절 차압 $\triangle P_a$는 밸브의 운전 조건에 따라

$$\triangle P_a = \alpha \frac{A_a \cdot P_{act}}{A_{seat}}$$ 가 된다.

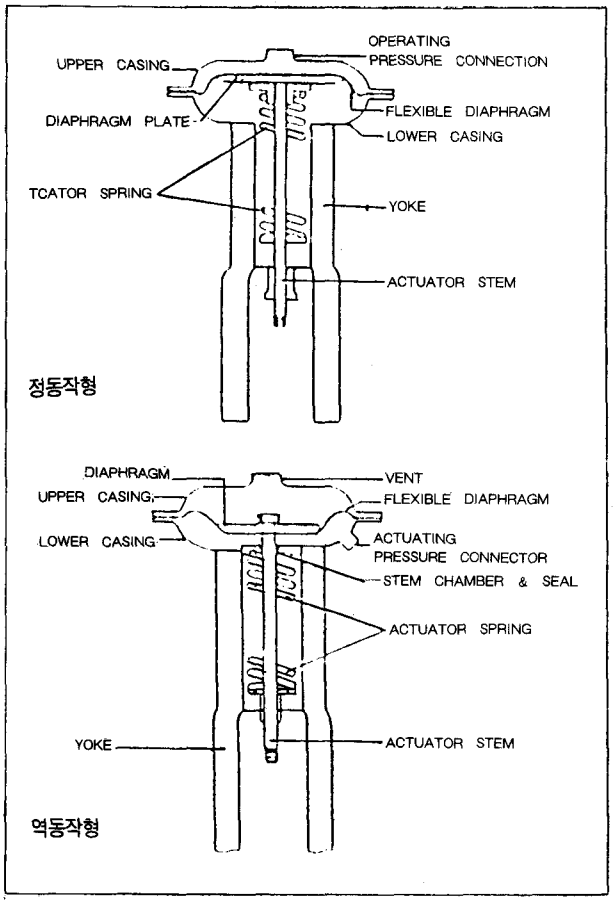
따라서 α는 선정계수로서 0.5~0.7이고, A_{seat}는 밸브 트림에서의 유로흐름의 단면적이다. 또한 트림에서의 Unbalance 면적은 밸브 제작사별, 트림의 형상 및 크기, 밸브의 압력기준에 큰 차이가 나기 때문에 제작회사의 설계값을 사용하여야 할 것이다.

(2) 스프링-다이아후람형 밸브구동장치

이 구동장치는 가격이 저렴하고 기계적인 스프링의 힘을 이용하기 때문에 낮은 구동력으로 상대적으로 높은 추력을 얻을 수 있는 장점등으로 제어밸브의 구동장치로 가장 널리 사용된다. 일반형의 스프링-다이아후람형 구동장치는 두개의 강철제 원형 케이스 사이에 고무재질의 다이아후람의 여러개의 볼트로 결합되어 있다. 이 다이아후람의 한쪽은 밀봉되어 공압(제어공기)계통에 연결되어 있다. 반대쪽은 외부로 배기되도록 되어 있으며 헤리칼 타입의 스프링으로 지지되어 있다. 이 챔버내에 공기압이 증가하면 다이아후람은 스프링을 누루고 공기압이 감소하면 스프링에 의하여 원위치로 회복한다.

스프링-다이아후람 구동장치는 구동형식에 따라 〈그림 39〉와 같이 정동작형(Directing Acting)과 역

동작형(Reverse Acting)이 있다. 정동작형은 그림에서와 같이 챔버의 다이아후람 상부에 공기압이 가압되도록 되어 있고 그 하단에 스프링으로 지지되어 있다. 따라서 공기압이 증가되면 밸브 스템축은 아래방향으로 내려가는 구조인 반면 역동작형은 다이아후람의 하부로 공기압이 공급되도록 되어 있어 공기압이 증가하면 스프링은 늘어나면서 밸브 스템축을 상부로 운동시키고 공기압이 감소하면 다시 닫히도록 되어 있는 구조이다.



〈그림 39〉 스프링-다이아후람 구동장치

이러한 다이아후람형 밸브 구동장치는 그 동력원으로서 20~60 psig(1.5~4㎏f/㎠)의 제어용 공기가 사용되고 구동장치의 행정에 따른 구동속도는 대략 〈표 11〉과 같다. 또한 동력원 튜빙라인에 전자밸브(Solenoid Velve) 또는 공기압식 스위칭 밸브를 적절히 사용하면 다이아후람 용기내에 유지된 압력만으로도 제어밸브의 최종위치를 유지할 수 있다. 〈표 11〉에서 보는 바와 같이 소구경 밸브 즉, 구동장치의 크기가 작은 경우에는 구동속도가 비교적 빠르고 커질수록 관성등의 문제와 요크의 강성도 설계문제 등으로 구동속도는 느리게 된다.

〈표 11〉 공기압식 구동장치의 구동 속도(예)

구동장치크기 (다이아후람크기)	밸브의 행정	작동시간	구동속도(″/sec)
9″	1/2″	~2.5sec	~0.2
	3/4″	~4.0sec	~0.19
11″	3/4″	~5.5sec	~0.14
	1″	~7.0sec	~0.14
13″	1″	~11.0sec	~0.09
	1.5″	~13.0sec	~0.11
15″	1.5″	~17.0sec	~0.09
	2″	~20.0sec	~0.1
18″	2.5″	~30.0sec	~0.08
	3.5″	~34.0sec	~0.1
24″	4″	~50sec	~0.08

스프링-다이아후람 구동장치가 채용된 밸브의 동작 특징으로는

- 공기압 자체가 압축성이 있으므로 밸브 트림 양단의 차압변화에 따라 밸브의 스템축에 드리프트(Drift) 혹은 플로트(Float) 현상이 생길 수 있으나 대부분 스템 운동량의 ±2% 내외로 만족된다.

스프링-다이아후람형 밸브구동장치는 가격이 저렴하고 기계적인 스프링의 힘을 이용하기 때문에 낮은 구동력으로 상대적으로 높은 추력을 얻을 수 있는 장점으로 인해 제어밸브의 구동장치로 가장 널리 사용

- 구동장치 자체의 강성도(강도, Stiffness)가 비교적 낮아 맥동류 또는 유체천이가 예상되는 배관계통에의 적용에는 밸브 용접안에서 적어도 호칭배관직경의 두배($2\times D_o$) 이내에 앵커를 설치하여 구조적 강도를 유지하고 구동장치가 큰 경우에는 별도로 제작자와 협의하여 구동장치에 지지대를 설치할 필요가 있다.
- 후라싱 또는 케비테이션의 발생 가능한 곳에는 밸브의 프라그 양단에서의 유체압력이 급격히 변할 수 있으므로 구동장치가 불안정할 수 있음으로 이러한 계통에 적용되는 구동장치는 고강성(High Stiffness)의 스프링이 필요하다. 고강성 스프링으로도 문제가 해결되지 않을 때는 유압식 또는 전기식 구동장치를 사용하여야 한다.

(3) 피스톤형 구동장치

이 구동장치의 동작원리는 스프링-다이아후람형과 비슷하지만 구조적으로 안정되고, 따라서 큰 힘을 낼 수 있으며 소형차가 가능하나 공기압식 피스톤형 구동장치는 밸브의 행정(Stroke)을 피스톤의 행정범위내에서 0.5"~20"까지도 가능함으로 대형의 밸브 혹은 큰 구동력이 필요로 하는 밸브에 적합하다. 제어용 공기의 압력은 50~150 psig(3.5~10kgf/cm^2) 정도로 스프링-다이아후람형보다 높은 공기압을 사용한다.

(4) 전기식 솔렌노이드 밸브

솔렌노이드 밸브는 일명 전자밸브라고도 하며 사용에 매우 편리하기 때문에 소형밸브의 ON-OFF용으로 많이 사용한다. 그러나 구조 및 작동원리상 큰 힘을 낼 수 없기 때문에 대부분 2"이하의 밸브에 적용된다. 유량조절용으로 사용되는 솔렌노이드 밸브는 밸브 프러그의 위치를 LVDT(Linear Voltage Differential Transformer)라는 장치를 이동코어(Movable Core, Plunger)의 상부에 설치하여 조절함으로써 유량을 조절하도록 되어 있다. 그러나 솔렌노이드 코일과 이동코어에서 생기는 전자력은 코일에 가압되는 전압에 의하여 변하고, 그 전자력은 비교적 작으며, 또한 밸브 전후의 차압의 크기 즉, 밸브 스템의 추력 변화에 따라 제한 받기 때문에 공기조화 계통(HVAC)과 같은 저압계통에 사용된다. 유량조절의 가능한 솔렌노이드 밸브의 크기는 상용으로 4"까지 가능하다.

(5) 유압식 구동장치

유압식 구동장치는 유압을 사용함으로써 보다 큰 추력과 높은 응답을 기대할 수 있으며 유압상실시 헤리칼 스프링을 포함하고 있기 때문에 사고시의 안전기능도 갖고 있다. 일반적으로 유압식 구동장치는 유압실린더, 펌프, 위치 확인 기구(Position Feedback) 및 평형 빔으로 구성되어 있다. 공기식 구동장치와 비교하면 유압식은 부피가 크고 무거움으로 설치 및 보수가 어렵다. 그러나 비압축성의 유체를 사용함으로 큰 구동장치를 얻을 수 있어 고에너지의 유체를 조절하는 대형밸브 및 후라싱 또는 케비테이션의 발생이 가능한 가혹한 서비스에 사용되는 밸브를 안전하게 제어할 수 있다.

아울러 입력신호에 대한 응답성이 빠르므로 밸브 스템의 구동 속도를 0.125~0.25 inch/sec로 유지할 수 있어 밸브 개폐 혹은 조절에 빠른 속도가 요구되는 곳에 사용된다. 다음의 〈표 12〉는 구동장치별 장단점을 비교한 것이다.

〈표 12〉 각종 구동장치의 장단점 비교*

종	류	장 점	단 점	사 용 처	가 격
공기식	스프링 다이어프람	- 저 가 - 기계적인 안전 동작 - 적당한 추력 - 소 형 - 구조가 간단 - 제어성이 우수함	- 저 속 - Stiffness 결여 - 불안정성	- 선행밸브 1/2-8인치	- 저-중
	선형 피스톤	- 저 가 - 적당한 추력 - 소 형 - 구조가 간단 - 제어성이 우수함 (포지셔너 사용시)	- 기계적인 안정장치가 없음 - 저 속 - Stiffness 결여 - 불안정	- 선행밸브 1/2-16인치	- 저-중
	회전스프링형 다이어프람	- 저 가 - 기계적인 안전 동작 - 소 형 - 쉽게 역동작 시킬 수 있음. - 제어성이 우수함 (포지셔너 사용시)	- 낮은 추력 - 저 속 - 불안정	- 회전형 밸브 1-6인치	- 저-중
	회전형 피스톤	- 저 가 - 적당한 추력 - 소형 - 대형 - 포지셔너 사용시 제어성이 우수함 - 기계적인 안전 동작 (Option)	- 저 속 - 큰 스프링 압축	- 회전형 밸브 1-24인치	- 저-중
전기식	솔레노이드	- 고 속 - 전원으로 구동 - 기계적인 안전장치	- 소 형 - 낮은 추력	- 1/2-4인치	- 저
	전동식	- 높은 Stiffness - 전원으로 구동	- 구조가 복잡 - 기계적인 안전장치가 없음 - 대형, 무게가 무거움	- 밸브 2-36인치	- 고
유 압 식		- 높은 추력 - 높은 Stiffness - 고 속 - 공기원 없이 전원으로 구동	- 구조가 복잡 - 대형, 무게가 무거움 - 유압 온도에 민감	- 선형 혹은 회전형 밸브 2인치 이상	- 중-고