

밸런싱 밸브의 形態別 構造와 適用特性

The Types of Balancing Valves and Its Hydraulic Characteristics

金 永 浩
Y. H. Kim

(株)正友하이텍 代表理事, 技術士



- 1947년생
- Piping System의 제반문제에 관심을 가지고 있음.

1. 序 論

밸브(valve)란 배관계통에 설치되어 유체를 제어하는 기구를 총칭한다. 유체의 제어란 유량 조절, 흐름의 단속(斷續), 방향전환 및 압력조절 등으로 어느 목적에 사용하느냐에 따라 그 종류는 대단히 많다.

일반적으로 건설분야에 종사하는 많은 사람들이 보일러나 냉동기와 같은 고가의 장비류에 대해서는 세심한 주의와 관심을 가지고 있으나, 총공사비중 비중이 적은 품목들에 대해서는 매우 가볍게 다루는 경향이 있다. 밸브류도 바로 그러한 기술자들이 의하며 “모양만 갖추면 되었지 기능이나 성능에 얼마나 차이가 있겠느냐”는 식으로 다루어지고 있는 품목중의 하나이다.

그러나, 아무리 좋은 시스템을 도입하고, 아무리 고가의 장비를 설치했다고 해도 요소요소의 배관부품이나 밸브류에 이상이 있어서는 전체 시스템에 문제가 발생할 수 밖에 없다는 사실을 염두에 두고 값의 고하에 상관없이 시스템을 구성하는 모든 기자재를 중요하게 다루어야 할 것이다.

본고에서는 수많은 밸브의 종류 중에서 특히 流量制御 용도로 사용되는 밸런싱 밸브에 주안

점을 두되, 실무분야에 종사하는 기술자들이 기본적으로 이해하고 있어야 할 부분만을 간추려 보고자 한다.

2. 밸브 一般

2.1 밸브의 種類別 區分

밸브는 유체를 제어하는 부품과 이들을 구조적으로 안전하게 보호해 주는 몸체로 구성되며, 유체 제어요소별 특성, 구조, 조작 방법에 따라 종류가 매우 다양하다.

그러나, 배관기술 분야에서는 표 1과 같이 ① 트림(trim)형상 ②몸체형상 ③스텝(stem) 및 스텝조작 특징 ④재료 ⑤제어특성 ⑥사용조건 ⑦운전특성 등 7개 항목으로 구분되고 있으며 게이트 밸브, 그로브 밸브, 체크 밸브, 버터플라이 밸브, 볼 밸브, 프러 밸브, 다이아프램 밸브 및 핀치 밸브 등 8종의 밸브는 모두 이상의 범주에 속한다.

그러나 본고에서는 “water balancing” 목적에 사용하는 밸브에 국한 하였으므로 주로 그로브 밸브를 대상으로 일반적인 내용을 살펴보기로 한다.

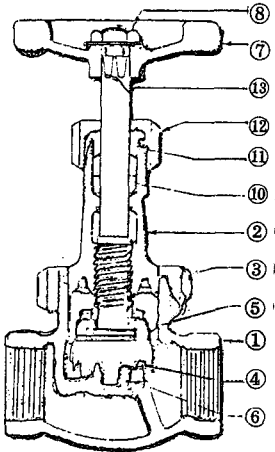
표 1 그로브 밸브의 區分

구분	트림 형상	몸체 형상	스텝조작 특성	재 료	제어특성
종류	(1) Plug Type Disc* ① T Type* ② Y Type* ③ Angle Type* ④ Y-Angle Type (2) Throttling Type Disc* ① Linear Type* ② Equal Percentage Type* ③ Quick Opening Type	좌동	(1) Disc의 상하운동 (2) Disc의 회전운동 (3) Disc의 자력운동	(1) 청동* (2) 주철* (3) 주강 (4) STS	(1) ON-OFF (2) Throttling* ①Equal Percentage* ②Linear* ③Quick Opening

주) *는 유량제어(밸런싱)용으로 주로 사용되는 밸브를 표시함.

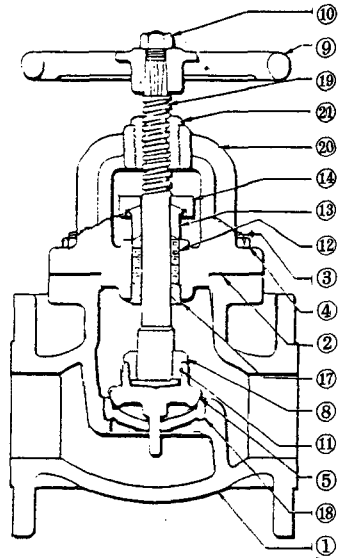
2.2 主要 構成部의 명칭과 각각의 機能

(1) 일반적인 그로브 밸브의 각부 명칭



(a) 청동제

NO.	명 칭
1	BODY
2	BONNET
3	BONNET RING
4	DISC
5	DISC HOLDER
6	DISC NUT
7	HANDWHEEL
8	HANDWHEEL NUT
10	PACKING
11	PKG, GLAND
12	PKG. NUT
13	STEM



(b) 주철제

NO.	명 칭
1	BODY
2	BONNET GASKET
3	BONNET STUD
4	BONNET STUD NUT
5	DISC
8	DISC NUT
9	HANDWHEEL
10	HANDWHEEL NUT
11	LOCKING PIN TRIMS
12	PACKING
13	PKG, GLAND
14	PKG. GLAND FLG
17	BACKSEAT BUSHING
18	SEAT RING
19	STEM
20	YOKE BONNET
21	YOKE BUSHING

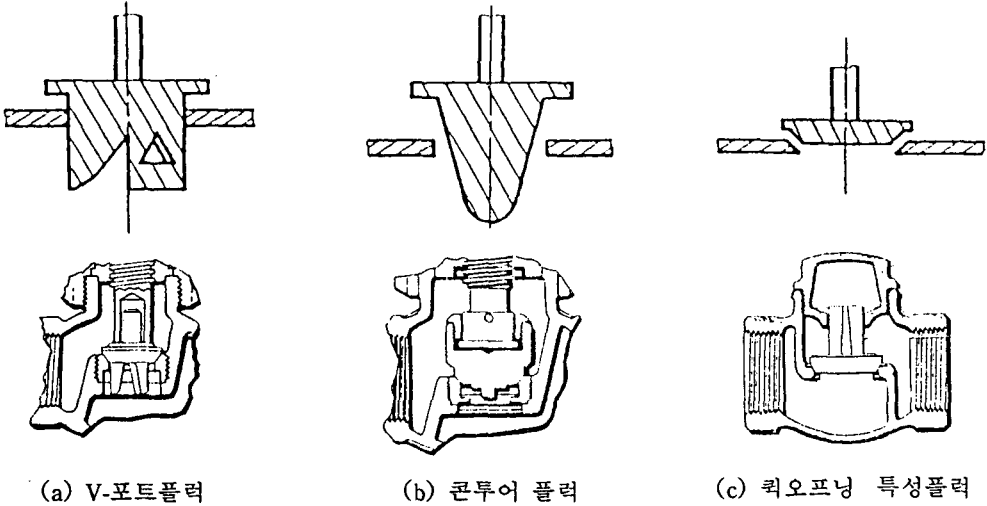
그림 1 그로브 밸브의 각부 명칭

(2) 구성요소별 각각의 기능

a. 플럭(plug), 디스크(disc), 트림(trim)
 플럭이란 밸브가 닫혔을 때 밸브시트와 접촉하는 부분으로 유량을 제어하는 면적을 변화시킨다. 접촉면의 형태 및 기능에 따라 V-포트플럭(V-port plug), 콘투어플럭(contoured plug), 퀵오프닝(quick opening)특성플럭 등이 있다.

플럭의 형태가 같더라도 표 2에서와 같이 국가에 따라서는 그 명칭을 달리하고 있으므로 용어에 혼동이 없도록 주의해야 한다.

디스크는 밸브 시트와 직접 접촉하는 플럭의 부분으로, 유체의 흐름을 억제하는 역할을 수행한다.



(a) V-포트플럭

(b) 콘투어 플럭

(c) 퀵오프닝 특성플럭

그림 2 각종 플럭의 형태

표 2 플럭 형태별 명칭

국가별 명칭	미국	유럽	한국·일본
	V-포트플럭	skirter 플럭 pierced 플럭 (구멍을 낸것)	V-포트플럭
	콘투어 플럭	shaped or formed 플럭	丹錐 플럭
	퀵오프닝 특성 플럭	flat 플럭	平面 플럭

트림이란 밸브 걸부분을 제외하고, 밸브 내부에서 유체와 접촉되는 모든 부분으로 유체의 힘에 의하여 직접적으로 마모되며, 부품으로 교환될 수 있다. 플럭, 시트(seat), 스템(stem), 팩킹링(packing ring) 등은 모두 트림의 구성요소가 된다.

b. 포트(port)

밸브가 완전히 열렸을 때 시트와 디스크사이의 유체가 흐르는 구멍을 말한다. 밸브의 호칭

경이나 관경과는 다르지만 표준밸브에서는 밸브 크기를 포트 크기로 부른다.

2.3 그로브 밸브의 流量特性(Flow Characteristics)

(1) 밸브의 고유 유량 특성(Inherent Valve Characteristics)

배관 계통의 적절한 유량을 안정적으로 제어하기 위하여 밸브의 유량 및 수송 능력을 밸브

트림 운동량과의 관계로 표시한 것이다. 밸브의 고유유량 특성과 설치후 사용 조건하에서의 유량특성으로 구분된다. 밸브의 고유 유량 특성은 일정한 압력 강하에서의 유량 특성이지만 사용 조건하의 유량 특성은 계통의 유량 변화등의 요인으로 압력 강하량이 변화하기 때문에 고유 유량 특성값과는 다소 다르게 된다.

밸브의 고유유량 특성은 주로 다음의 3가지 특성이 적용되고 있지만 프릭의 각도를 조정하여 변형시킨 square root특성 및 hyperbolic특성의 밸브가 특수 목적에 사용되기도 한다. 유량 특성은 배관계통의 제어에 밀접한 관계를 가지고 있으므로, 이 제어 루프의 해석에 따라 적절한 유량 특성을 가진밸브를 선택하여야 한다.

a. 等比率(Equal Percentage) 특성

스텝의 변위량에 따른 유량의 변화가 등비율 관계를 갖는 것으로 밸브 개방 초기부터 완전 개방까지의 밸브 스텝의 변위량 비율과 이에 따른 유량의 변화율이 일정한 관계를 유지한다. 유량 계수를 K_v , 밸브의 개도(lift)를 L 이라 할 때

$$\frac{dK_v}{dL} = KK_v \dots\dots\dots (1)$$

로 표시된다. K 는 상수이다.

b. 線形(Linear) 특성

스텝의 변위량과 유량의 변화량이 비례하는 특성의 밸브로 유량과 스텝 변위량과의 관계는 일정한 압력 강하를 갖는 구배가 된다. 액체 수위의 제어와 같은 일정한 유량제어에 효율적이다.

$$K_v = KL \dots\dots\dots (2)$$

로 표시되며, 각각의 문자는 식(1)에서와 같다.

c. 急開形(Quick Opening) 특성

초기에 밸브 스텝의 적은 변화에서는 거의 선형적인 관계를 가지며 많은 유량을 수송할 수 있는 특성이 있다. 그러나 밸브 개도를 크게 하면 유량의 변화가 매우 완만해지고 밸브를 완전히

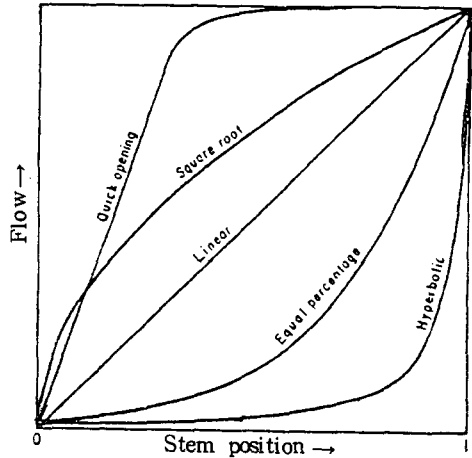


그림 3 유량 특성

열어도 유량의 변화는 거의 없다. 이러한 특성을 가진 제어 밸브는 주로 유량의 신속한 개폐를 필요로 하는 계통에 적절하다. 일반적으로 수동의 그로브 밸브는 대부분 이러한 특성을 가지고 있다. 이상 각 특성 밸브의 유량과 밸브개도(stem position)와의 관계는 그림 3과 같다.

(2) 유량 특성의 선택

배관 계통에 어떤 유량 특성을 갖는 밸브를 선택할 것인가 하는 것은 매우 중요하다. 제어용으로 사용하는 밸브는 반드시 밸브의 유량계수(K_v)와 유량특성을 고려하여 선택하여야 차후 시스템 운전상의 문제가 없다.

다음은 압력강하(차압, pressure drop)범위와 유량제어 방법을 토대로 적정한 유량특성 밸브를 선택하는 기준의 예이다.

이상에서와 같이 밸브 선택의 적정 여부를 정량적으로 판단 하는 것은 쉬운 일이 아니다. 등비율(equal percentage) 특성을 가진 밸브는 밸브를 통하여 배관 계통의 압력 강하를 얻지 못하거나, 밸브의 압력강하가 저유량에서 크고 대유량에서 낮은 경우와 설계자료의 부족으로 밸브를 과대하게 설계할 수 밖에 없을 때 선정하는 것이며, 선형특성 밸브는 유체의 흐름이 변화하여 넓은 범위의 유량이 흐를 수 있고 밸브를 통하여 배관 계통의 압력강하를 알 수 있을 때에 쓰인다.

표 3 압력강하(차압)범위 기준

밸브에서의 압력 강하 범위		적합한 유량특성
차압이 일정하게 유지된다		L
부하가 증가하면 차압이 감소한다	$\Delta P_{max} > 0.2 \Delta P_{min}$	L
	$\Delta P_{max} < 0.2 \Delta P_{min}$	E
부하가 증가하면 차압이 증가한다	$\Delta P_{max} < 2.0 \Delta P_{min}$	L
	$\Delta P_{max} > 2.0 \Delta P_{min}$	Q

주 1) L : Linear, E : Equal percentage Q : Quick opening 특성을 표시함.
 2) ΔP_{max} : 최대 부하시의 차압, ΔP_{min} : 최소부하시의 차압을 표시함.

표 4 유량제어 방법 기준

밸브 설치 위치	적합한 유량특성	
	유량제어 범위가 넓다.	유량제어 범위가 좁다 (부하가 증가하면 차압도 증가한다)
배관에 직접 설치	L	E
By-Pass 배관	L	E

주) L : Linear E : Equal percentage 특성을 표시함.

3. 밸런싱 밸브(Balancing Valves)

3.1 概 要

(1) 국내 현황

한정된 국토의 효율적인 이용을 위해서는 모든 건축물의 고층화 및 대형화가 불가피하다. 상업용 건물로서는 이미 60층을 넘어섰고, 주거용 건물로서의 아파트는 25층이 건설되어 사용되고 있으며 내년이면 30층이상의 아파트가 건설될 전망이다.

이처럼 건축물의 고층화 및 대형화 추세는 배관계통의 설계 및 시공에 많은 문제점을 던져주고 있으며, 기계설비 분야에 종사하고 있는 모든 기술자들은 이를 해결하는 데 앞장서지 않으면 안될 시점에 있다.

밸런싱 밸브는 배관을 복잡하게 구성하지 않더라도 물(온수나 냉수에 상관없이)을 정해진 소비처에 필요한 양만큼 원활하게 공급해 주기 위하여 사용되는 기구의 일종이다. 국내에는 그 형태나 작동원리에 따라서 可變流量式 밸런싱 밸브와 定流量式 밸런싱 밸브로 대별되는 여러 종류의 밸브들이 사용되고 있으나, 정확한 특성

과 기능에 대한 혼동이 많아 이들을 정립할 필요성이 있다.

(2) 유량에 대한 관경과 압력의 함수관계 배관계통에 흐르는 물의 양은 관(管, tube 또는 pipe)이나 기구의 단면적과 유속의 함수로 표시된다.

$$Q = AV \dots\dots\dots (3)$$

식에서 Q : 유량(m³/s), A : 관이나 유사품의 단면적(m²), V : 유속(m/s)이다.

식(3)에서의 유속은 하젠-윌리암(Hagen-Williams)에 의해서 정해진 다음 공식으로 구해진다.

$$V = 0.35464 Cd^{0.63} S^{0.54} \dots\dots\dots (4)$$

식에서 C : 계수, d : 관경(m), s : 저항(mmAq)이다.

식(4)를 식(3)에 대입하면

$$Q = 0.27853 Cd^{2.63} S^{0.54} (m^3/s) \dots\dots\dots (5)$$

표 5 밸브 유량계수(C_v , K_v 값)

(a) 설정기준

구 분	C_v	K_v
밸브 개도	完開(full open)상태	좌동
비례대	2°C	좌동
밸브 전후 차압	1psi	1bar
통과 유체	비중이 1인 60°F의 물	비중이 1인 5~30°C의 물
유량	GPM(US)으로 표시	m ³ /hr으로 표시
사용 국가	영국, 미국	유럽, 한국 등

(b) C_v 와 K_v 의 환산

단 위	K_v		C_v	
	m ³ /hr	LPM	UK	US
m ³ /hr	1	16.67	0.96	1.16
LPM	0.06	1	0.06	0.052
GPM(UK)	1.03	17.2	1	1.19
GPM(US)	0.86	19.27	0.84	1

가 되어 결과적으로 유량은 관경과 압력의 함수로 바뀌어 진다는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 원형단면을 갖는 일반적인 배관에서 이고 밸브에서는 여러가지로 변형된 식이 사용된다.

(3) 주요 용어

a. 유량계수(流量係數, Capacity Index)

밸브의 능력을 표시하는 중요한 값이다. 영국과 미국에서는 C_v 를, 기타 유럽과 우리나라에서는 K_v 를 사용한다.

C_v 는 GPM, K_v 는 m³/hr 단위로 그 밸브에서의 최대 유량을 표시한 것이며, 제조업체별로 시험한 결과를 토대로 정확한 값을 제시하고 있다. 그러나 그 값이 크면 정밀한 제어가 곤란해 지므로 적절한 값이 되어야 한다.

C_v 나 K_v 값을 정한 기준과 상호 관계는 표 5와 같다.

b. 레인지빌리티(Rangeability)

제어가능한 최대 유량과 최소유량의 비를 말한다. 일반적으로 공조용 유량조절 밸브의 레인지빌리티는 30 : 1정도이고, 공업용의 레인지빌리티는 50 : 1정도이다. 따라서 사용하는 유량조

절 밸브의 호칭경은 관경과 꼭 일치하지 않는다. 대개 관경 보다는 밸브 호칭경이 작게 선정된다.

c. 크로스-오프 레이팅(Close-off Rating), 압력강하(Pressure Drop), 임계압력강하(Critical Pressure Drop)

클로스-오프 레이팅이란 밸브 몸체의 정격압력과는 아무런 관계가 없는 독립적인 값으로 밸브가 완전히 닫혔을 때의 최대 허용압력차를 말한다. 이 값은 일반적으로 밸브를 차압에 견디어 완전히 닫혀있게 하는 액츄에이터(actuator)의 힘이나 밸브 스템등의 구조에 영향을 받는다.

압력강하란 밸브 전후의 압력차를 말하며 환경계산에 필요한 압력강하는 최대유량이 통과할 때의 값이어야 한다.

임계압력강하란 압력강하를 크게 했을 때 유량이 증가하는 한계압력강하이다. 그 이상으로 압력을 강하시켜도 유량은 증가하지 않으며, 임계압력강하 이상에서는 소음과 마모가 극심하게 될 뿐이다. 임계압력강하는 밸브전 배관내 절대

압력의 50%이다.

3.2 可變 流量式(교축식, Throttling Type)
밸런싱 밸브

(1) 적용되는 공식

시트와 디스트 사이의 유체 통과 단면적을 교축함으로써 압력이 조절되므로 교축점을 지날 때의 에너지 방정식에서 유도된 다음식이 적용된다.

$$Q = K_r \sqrt{\Delta P} \dots\dots\dots (6)$$

식에서 K_r 는 m^3/hr 로 표시되는 유량계수로 제조업체의 실험결과에 의해 제시되는 값이며 ΔP 는 밸브 전후의 압력차(pressure drop)로 bar단위를 사용한다. Q 는 밸브를 통과할 수 있는 유량(m^3/hr)이다. 정상적인 밸브의 경우 기술자들이 일일이 계산하지 않고서도 밸브 규격을 선정하거나, 밸런싱 할 경우에 사용할 수 있도록 식(6)에 해당하는 차압-유량 선도를 제시하고 있으므로 불편함이 없다.

(2) K_r 와 Zeta값

식(6)에서 $Q = F[\Delta P]$ 로만 표시되어 있다. 따

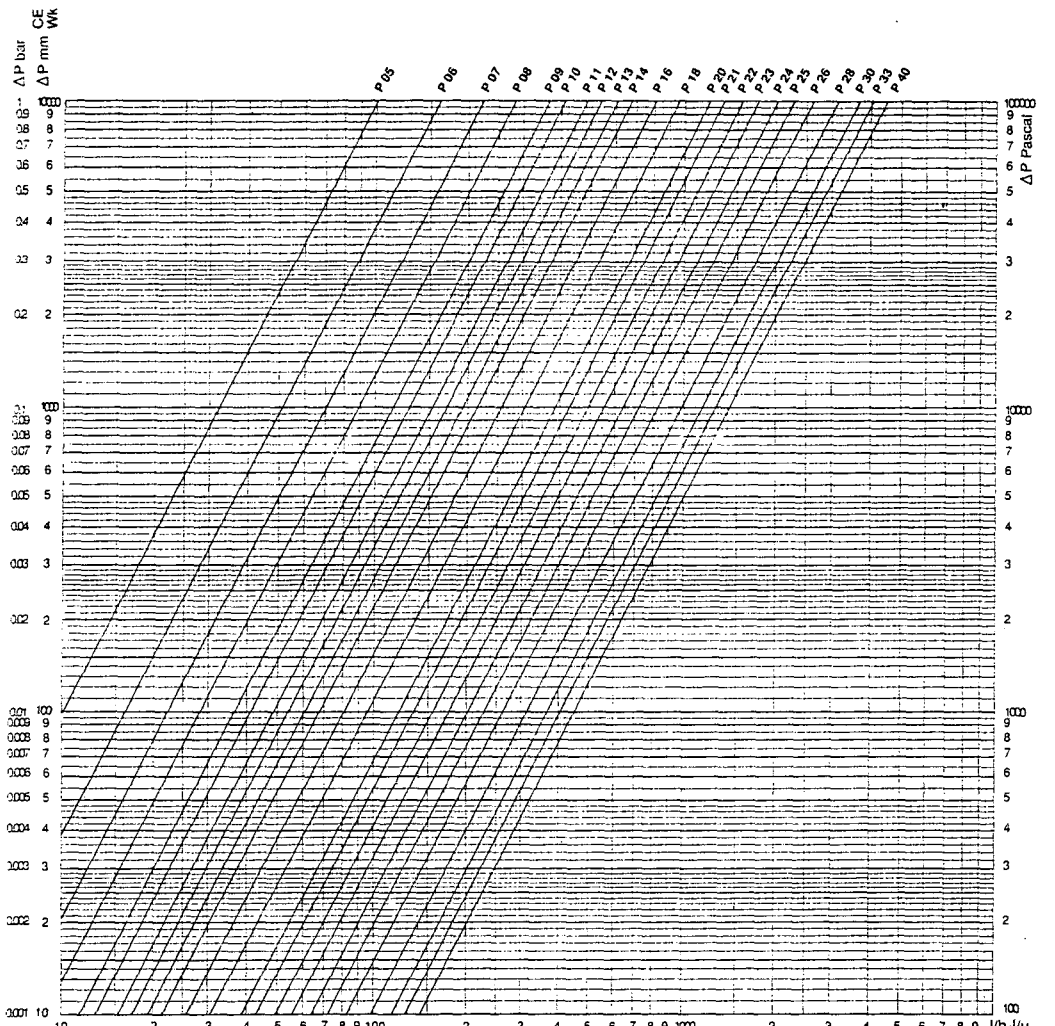


그림 4 차압-유량선도(1/2", A→B)의 예

라서 밸브의 어떤 개도에서의 유속은 알 수가 없다. Zeta값은 각각의 밸브 개도에서의 유속과 밸브자체의 부차적 손실값이 필요로 할 때 사용할 수 있도록 만들어진 공식으로 다음과 같이 표시된다.

$$Zeta = \frac{2g\Delta P}{V^2\gamma} \dots\dots\dots (7)$$

$$V = \sqrt{\frac{2g\Delta P}{Zeta\gamma}} \dots\dots\dots (8)$$

- 식에서 g : 중력가속도(9.8m/s²)
- ΔP : 차압(mmAq=kg/m²)
- V : 유속(m/s)
- γ : 유체의 비중량(1,000kg/m³)이다.

역시 정상적인 밸브라면 K_v 값, 차압-유량선도와 함께 각 설정점에 대한 Zeta값도 제시되어야 한다.

그림 4는 대표적인 가변유량식 밸런싱 밸브의 차압-유량선도를 보여주는 것이다. 선도와 표에서의 P 는 밸브의 각 설정점을 표시한다.

(예제) 필요 유량이 1m³/hr이고, 차압은 0.2 bar가 필요한 배관계에서 호칭경 1/2B인 밸런싱 밸브를 사용하고자 할 때 설정점과 유속을 구하자.

(해) 그림 4의 선도와 표로부터 다음같이 얻어진다.

i. $\Delta P=0.2\text{bar}$ 와 $Q=1\text{m}^3/\text{hr}$ 의 교점으로부터 설정점은 P25가 선정된다.

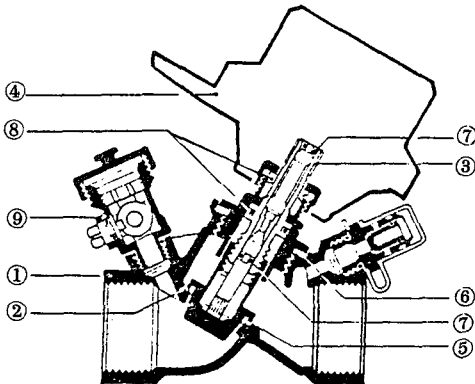
ii. 표로부터 P25에서의 $K_v=2.28\text{m}^3/\text{hr}$, $Zeta=20$ 이 구해지므로 유속 $V = \sqrt{\frac{2g\Delta P}{Zeta\gamma}}$
 $= \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 2,000}{20 \times 1,000}} = 1.4(\text{m/s})$ 가 된다.

(3) 구조

그림 5는 대표적인 형태의 밸런싱 밸브에 대한 구조를 보여주는 것이다.

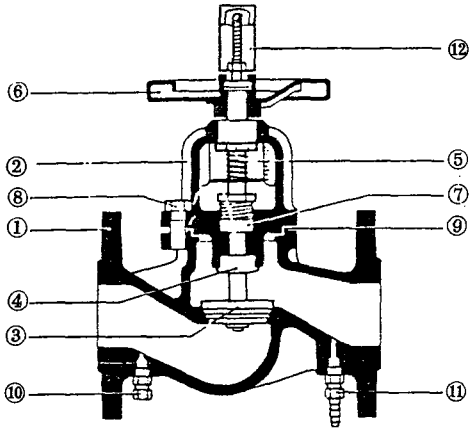
트림의 형상으로 구분할 때 청동제 나사식 밸런싱 밸브는 Y-type으로 유체가 흐를 때의 저항을 최소화 할 수 있는 형태, 주철제 플랜지식 밸런싱 밸브는 T-type의 형태를 취하여 대유량이 흐름에 따른 힘에 견딜 수 있고, 수압 작용하에서도 적은 외력으로 시스템을 움직이기가 용이한 구조와 두 밸브 공히 교축(Throttling)용도에 적합하도록 콘투어 플럭의 형태를 취하고 있다. 예시된 2종의 밸런싱 밸브와 2장의 밸브 일반에서 다른 그로브 밸브를 비교하면 다음과 같은 차이가 있다.

- a. 밸런싱 밸브 테스터를 연결하는 콕 청동제에는 상부에, 주철제에는 하부에 각각 2개의 콕이 붙어 있다. 이 콕의 용도는 밸브 설



NO.	명 칭
1	BRONZE BODY
2	OBLIQUE SEAT
3	CAP AND STEM
4	SETTING WHEEL
5	SEALING VALVE/SEAT
6	SEALING BONNET
7	DOUBLE SEAL FOR MEMORY SETTING
8	O-RING SEAL
9	DRAIN COCK

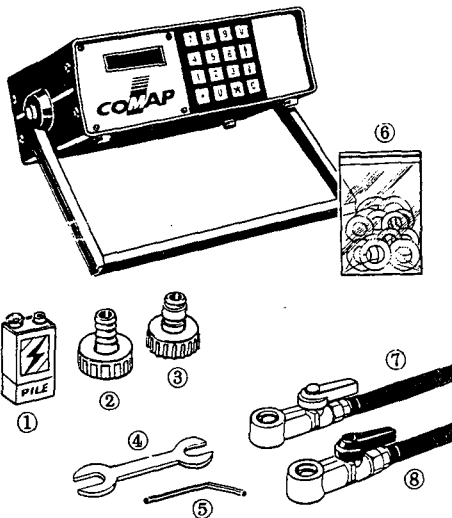
(a) 청동제 나사식(3/8~2")



NO.	명 칭
1	BODY IN GREY CAST IRON FT 25
2	YOKED BONNET
3	PLUG IN STEEL/EPDM
4	GASKET EPDM
5	BURNISHED STEM
6	STEEL HAND WHEEL
7	EDGING OF PACKING BOX
8	HEXAGONAL BOLTS
9	GASKET BODY-BONNET
10	TWO THREADED STOPPERS
11	TWO PRESSURE TAPS
12	LIFT STOP

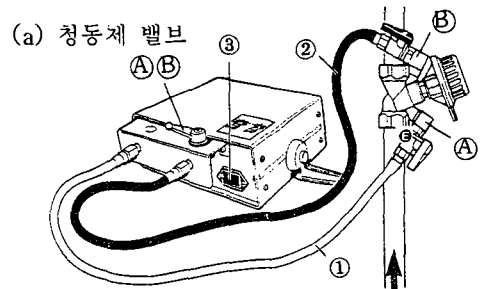
(b) 주철제 플랜지식(2~15")

그림 5 대표적인 형태의 밸런싱 밸브 구조

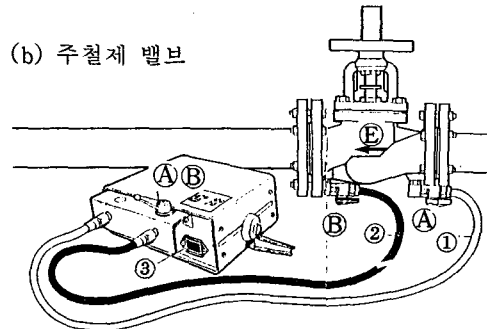


- ① Battery
- ② Drain cock
- ③ Pressure cock to be installed on the drain valve
- ④ 6/7 spanner to adjust the drain valve
- ⑤ 3mm allen key(to adjust the pressure cock on the valve)
- ⑥ Plastic bag of spare O-nngs for pressure cocks on the hoses
- ⑦ 1.5m hose with red lever and bush
- ⑧ 1.5m hose with black lever

그림 6 밸런싱 밸브 테스터(미터)

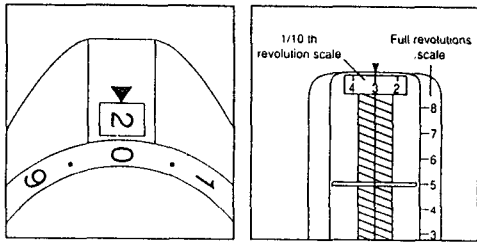


- Ⓟ Balancing valve
- ⒶⒷ Valves(pressure sensors)
- (AB) Meter valve
- ① Hose with red lever and bush
- ② Hose with black lever
- ③ Battery



- Ⓟ Balancing valve
- ⒶⒷ Valves(pressure sensors)
- (AB) Meter valve
- ③ Battery
- ① Hose with red lever and bush
- ② Hose with black lever

그림 7 밸런싱 밸브와 테스터의 연결



(a) 청동제 (b) 주철제
그림 8 밸브 개도 표시 눈금

치후 유량, 차압 및 설정점의 적정 여부를 판단 하거나 재조정이 필요한 경우 그림 6과 같은 전용의 테스터(미터)를 연결하기 위한 것이다. 평소에는 배관계통의 퇴수(drain)나 공기빼기 (air vent)용으로 활용할 수 있다.

그림 7은 전용의 테스터를 밸브에 연결한 상태를 보여주는 것이다.

b. 밸브 개도 표시 눈금

설계결과에 따라 유량과 차압이 결정되면 밸브의 규격과 설정점이 정해진다. 따라서, 설정점을 쉽게 찾거나 맞출 수 있도록 눈금이 표시되어 있다. 그림 8에서와 같이 청동제 밸브에는 setting wheel에 주철제 밸브에서는 yoked bonnet와 stem에 각각 눈금이 있으며 1/10단위로 고정할 수 있다.

c. 설정점 기억 기능

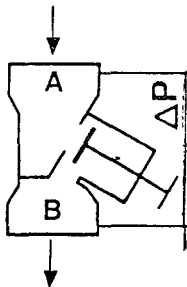
한번 설정점이 정해지면 밸브의 정해진 개도가 기억될 수 있는 고정 장치가 필요하다. 청동제에서는 7번, 주철제에서는 12번이 이에 해당한다. 정해진 설정점에 눈금을 맞춘 후 7번과 12번을 조작하여 너트를 움직이지 않을 때까지 조여 놓으면 정해진 개도 이하(고정점이 최대 개도가 된다)로는 밸브 개도가 변화되지만 정해진 개도 이상으로는 밸브 개도가 변화되지 않는다.

d. 봉인(lock)기능

유량조절이 완전히 이루어져서 더이상 배런싱 밸브의 개도 조정이 필요없을 경우에는 아무나 밸브를 조작할 수 없도록 봉인할 수 있다. 그 방법은 각종 계량기를 봉인하는 방법과 동일하다.

e. 모든 설정점에 대한 차압-유량선도와, K_v 및 Zeta값이 제시된다.

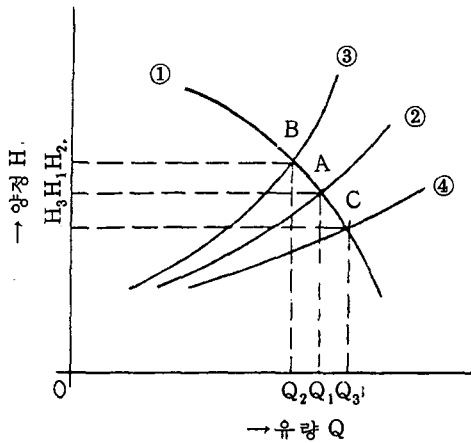
설계자나 시공자 또는 TAB 기술자들에게 조절 밸브류에 대한 차압-유량선도, K_v 와 Zeta값은 필수적인 자료이다. 제조업체로부터 그림 4와 같은 자료들이 제공되지 않고서는 그 제품을 사용할 수가 없게 되므로 밸브이 생명과 같은 것이다. 그림 4에 예시된 1/2" 밸브에 대한 K_v 와 Zeta값은 아래표와 같으며 이러한 자료는 장기



P	K_v m ³ /h	Zeta
05	0.1	10077
06	0.16	4118
07	0.22	2049
08	0.28	1302
09	0.36	807
10	0.41	600
11	0.48	446
12	0.54	356
13	0.6	286
14	0.67	229
15	0.73	191
16	0.8	161
17	0.87	137

P	K_v m ³ /h	Zeta
18	0.95	114
19	1.08	89
20	1.21	70
21	1.35	56
22	1.54	43
23	1.75	34
24	1.99	26
25	2.28	20
26	2.61	15
27	2.91	12
28	3.81	10
29	3.42	9
30	3.63	8

P	K_v m ³ /h	Zeta
31	3.79	7
32	3.9	7
33	4.02	6
34	4.16	6
35	4.28	6
36	4.35	5
37	4.37	5
38	4.41	5
39	4.45	5
40	4.47	5



- ① 시스템 펌프의 유량-양정 곡선
- ② 시스템이 정상가동되는 상태에서의 저항 곡선
- ③ 시스템의 저항이 증가한 경우의 저항 곡선
- ④ 시스템의 저항이 감소한 경우의 저항 곡선

그림 9 온수 난방 시스템의 유량-양정 곡선

표 6 시스템의 저항 증감에 따른 유량-양정 관계

운 전 상 태	운전점	유 량	양 정	비 고
정상적인 운전상태	A	Q_1	H_1	시스템에 적정한 유량 및 양정
시스템의 저항이 증가된 운전상태	B	Q_2	H_2	유량은 $Q_1 - Q_2$ 만큼 부족하고, 양정은 $H_1 - H_2$ 만큼 높아진다.
시스템의 저항이 증가된 운전상태	C	Q_3	H_3	유량은 $Q_3 - Q_1$ 만큼 부족하고, 양정은 $H_1 - H_3$ 만큼 낮아진다.

표 7 Water balancing 후 Zone별 유량 비율(예)

Zone	1	2	3	4	5	6	7	계
설계유량(ℓ/hr)	750	1,125	1,500	1,875	375	750	1,125	7,500
밸런싱 유량)	(10%)	(15%)	(20%)	(25%)	(5%)	(10%)	(15%)	(100%)
5% 유량증가	787	1,181	1,575	1,969	395	787	1,181	7,875
	(10%)	(15%)	(20%)	(25%)	(5%)	(10%)	(15%)	(100%)
5% 유량감소	713	1,068	1,425	1,782	356	713	1,068	7,125
	(10%)	(15%)	(20%)	(25%)	(5%)	(10%)	(15%)	(100%)

간의 시험과 수정보완을 통하여 얻어질 수 있다.

(4) 배관 시스템 특성과 밸런싱 밸브의 적용성

온수나 냉수에 구분없이 배관계통을 통과하는 유량은 어떤 시스템을 적용하였는가에 따라 다르지만 일반적으로 항상 변화한다. 그림 9는 온수 난방 시스템의 유량과 양정 곡선으로 시스템이 운전되는 상태에 따른 유량과 양정의 관계는 표 6과 같이 요약된다.

즉, 일반적인 배관시스템에서의 유량과 양정은 $Q_2 \sim Q_3, H_2 \sim H_3$ 간의 범위내에서 항상 변화한다. 따라서, 이러한 시스템에 적용하고자 하는 밸런싱 밸브는 유량이 정상운전상태보다 증가하거나 감소하더라도 정상운전 상태 기준으로 배분된 비율대로 흐를 수 있어야 한다. 표 7의 예로 다시 살펴보자.

즉, 표 7에서와 같이 시스템의 운전상태 변동으로 유량이 감소되거나 증가되더라도 그때의

유량이 당초에 조정된 비율로 흐를 수 있어야 한다는 것이 밸런싱 밸브 적용상의 요점이 되는 것이다.

따라서 可變 流量式 밸런싱 밸브는 식(6)의 $Q=K_v\sqrt{\Delta P}$ 에서 ΔP 를 조정(교축, throttling)하여 정상운전 상태의 유량을 통과하도록 하며, 시스템의 운전상태 변화로 유량의 변동이 있더라도 이를 흡수해 줄 수 있어야 하는 것이다.

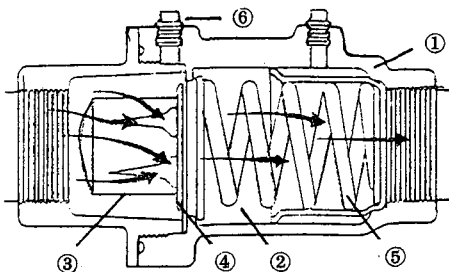
3.3 定流量式 밸런싱 밸브

(1) 적용되는 공식

可變 流量式 밸런싱 밸브 ($Q=K_v\sqrt{\Delta P}$)는 유체가 통과할 수 있는 단면적을 고정하여 정해진 유량을 통과하도록 제어함에 비하여 定 流量式 밸런싱 밸브는 오리피스 단면적을 변화시켜(可變 오리피스) 일정한 유량을 통과하도록 하는 원리로서 다음의 식으로 표시된다.

$$Q=C_d A_1 \sqrt{\frac{\Delta P_1}{\rho[1-(\frac{A_1}{A_2})^2]}} \dots\dots\dots (9)$$

- 식에서 C_d : 오리피스 계수
- A_1 : 물이 통과할 수 있는 포트의 면적(m^2)
- A_2 : 컵의 전체 옆 면적($\pi dl, m^2$)



번호	명 칭
①	Body
②	Cartridge
③	Cup
④	Orifice plate
⑤	Spring
⑥	Tap

그림 10 定 流量式 밸런싱 밸브의 구조

- ρ : 물의 밀도
- ΔP_1 : 차압(kg/cm^2)
- Q : 유량(m^3/hr)이다.

(2) 제품의 구조

可變 流量式 밸런싱 밸브는 밸브 몸통과 트림으로 구성되는데 반하여 定 流量式 밸런싱 밸브는 밸브 몸통과 카트리지(cartridge)로 구성된다.

(3) 포트(Port)의 형태별 유량 특성

a. 이론적인 포트의 형태

이론적으로 어느 범위의 차압에 대하여 일정한 유량이 흐르도록 하기 위한 포트의 형태는 단 한가지이다. 그 형태는 다음과 같은 식으로 찾아낼 수 있다.

그림 11에서 수압의 작용에 대한 스프링의 반력은

$$F=\alpha \Delta P=K(X_0+X) \dots\dots\dots (10)$$

- 식에서 α : Cup의 피스톤 단면적(m^2)
- ΔP : 차압(kg/m^2)
- X_0 : 최초상태의 스프링 길이(m)
- X : 컵의 변위(m)
- K : 스프링의 상수이다.

또한 노출된 포트를 통하는 유량은 다음과 같이 표시된다.

$$Q_0=C A_0 \sqrt{\Delta P_0} \text{ (컵이 움직이기 시작할 때)} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q=C A_r \sqrt{\Delta P_0} \text{ (컵이 조절범위에 있을 때)} \dots\dots\dots (12)$$

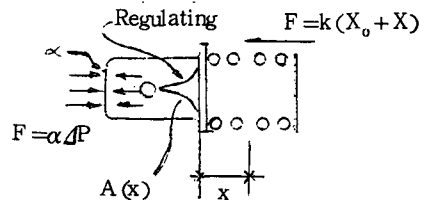


그림 11

- 두 식에서 Q_0 : 요구된 정유량(m^3/hr)
 C : 오리피스 계수
 ΔP_0 : 컵을 움직이는 데 필요한 최소차압(kg/cm^2)
 A_0 : 물이 통과할 수 있는 포트의 전체 면적
 A_x : 물이 통과할 수 있는 포트의 변화된 면적이다.

이상의 식(10), 식(11), 식(12)를 조합하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$A_x = \frac{A_0}{\sqrt{\Delta I + X/X_0}} \dots\dots\dots (13)$$

식(13)을 이용하여 일정 범위의 차압 구간에 대하여 일정한 유량이 흐르도록 하는 포트의 형태가 구해진다. 그림 12은 그 결과에 의한 포트의 형태이다.

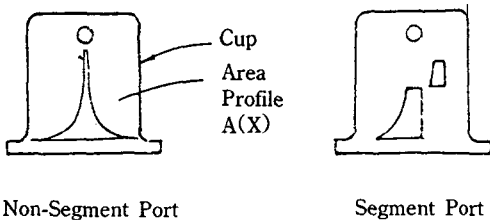


그림 12 정유량 포트의 형태

b. 포트의 형태별 유량 특성
 그러나 실제로는 이론에 부합하는 정확한 형태의 포트를 제작하기 어렵기 때문에 제작이 용이한 여러가지 변형된 포트가 사용되고 있는데 어떠한 포트라도 통과 유량은 식(12)가 적용되며 각각 형태별 유량 특성은 그림 13와 같다.

$$Q = CA_x \sqrt{\Delta P} \dots\dots\dots (12)$$

(4) 적용성

a. 냉난방 시스템과의 관계

항상 일정한 유량만이 통과되도록 특수하게 설계된 시스템에서의 적용성은 높다. 일반적인 냉난방 시스템에서는 온도라는 변수가 추가되므로 결국은 실온에 맞추어 유량이 제어되어야 한다. 이러한 시스템에서 실온과 유량을 일정하게 유지하기 위해서는 물의 온도를 변화시켜야 하나, 사실상 유량을 일정하게 하고, 물의 온도를 변화시킨다는 것은 어렵다.

b. 일정유량 범위를 유지한 차압구간

定流量式 밸런싱 밸브의 특성은 일정한 차압 범위 내에서 일정한 유량을 통과시킨다는 것이다. 따라서 설계자는 정확한 유량과 차압을 제시하여야 한다. 선정이 잘못되어 카트리지를 교체한다는 것은 쉬운 일이 아니기 때문이다. 또한 可變流量式 밸브의 경우는 포트와 프리크간의 틈새 면적을 통하여 유체가 흐르지만, 定流量式 밸런싱 밸브는 카트리지에 뚫려진 여러 개의

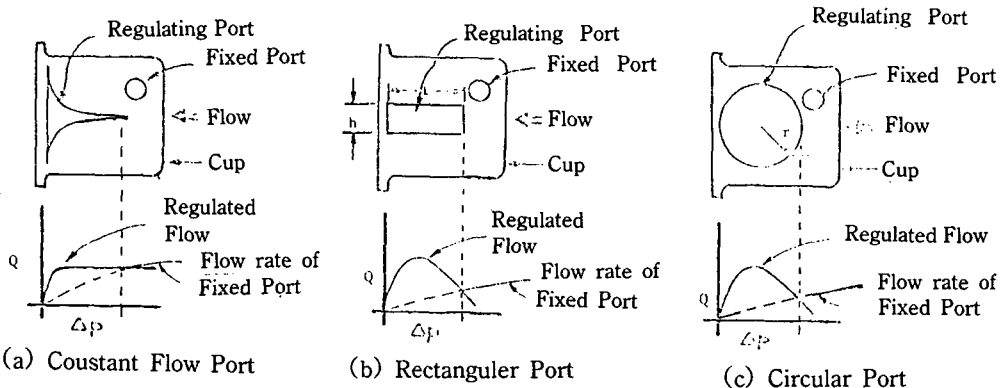


그림 13 포트의 형태별 유량 특성

적은 포트를 통하게 되므로, 시공후 배관내부 세척이 불충분하여 이물질이 들어 있을 경우는 포트가 막힐 수가 있어서 저항의 요소로 작용될 수가 있다.

4. 밸런싱 밸브 設計, 施工 및 管理의 要點

4.1 設計 및 施工의 要點

배관계통의 설계는 일반적으로 ①열량이나 유량 등 부하계산 ②장비 용량 결정 ③관경 결정 ④제어밸브류 규격 결정 등의 과정을 거친다. 일단 밸런싱 밸브를 적용하여 균등한 유량 공급을 계획한 설계와 시공이라면 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

(1) 유량과 차압계산이 정확해야 한다.

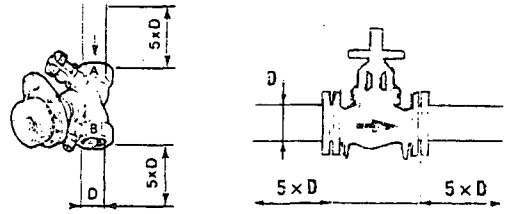
설계자는 항상 사후관리를 고려하여 충분한 안전율을 고려한다. 그러나 용량이 부족한 경우도 문제가 되지만 용량이 과대해도 문제가 된다는 점에 주의할 필요가 있다. 밸런싱 밸브를 사용하는 시스템에서의 유량은 절대로 과대하게 잡을 필요가 없다. 일일이 계산하기가 어려운 경우는 "컴퓨터 프로그램"사용이 권장된다.

(2) 밸브 규격선택이 과대하지 않도록 한다.

밸런싱 밸브를 비롯한 유량제어용 밸브는 반드시 K_v 값이 제시된다. 그러므로 K_v 값을 고려하여 적은쪽의 규격을 선정하는 것이 좋다. 건설 현장에 가면 관경과 동일한 구경의 유량제어 밸브가 명시된 도면을 흔히 볼 수 있는데, 이런 경우 큰 용량의 밸브에서 적은 유량을 제어해야 하므로 ①정밀한 제어가 곤란하고 ②소음이 발생할 우려가 있다. 물론 공사비면에서도 비경제적이다.

(3) 차압범위를 과대하게 잡지 않도록 한다.

밸브 제조 기술 분야에서는 차압계산이 어려운 경우 0.3bar 기준으로서의 규격 선정과, 최대저항이 걸리는 구간(index circuit)에 설치하는 밸브의 개도를 完開(full open)로 하고, 나머지 구



(a) 나사식 밸브

(b) 플랜지식 밸브

그림 14 밸브 전후의 직선배관 기준(권장)

간에서는 밸브의 개도가 70~80% 범위에 오도록 선정할 것을 권장하고 있다. 차압범위를 크게 잡는 경우에는 밸브에서 소음이 발생할 수 있다.

(4) 차후 water balancing을 대비하여 설치 위치를 적정하게 정한다.

너무 높은 위치나, 구구나 장비를 연결하기 어려운 정도의 좁은 공간에 위치되지 않도록 한다. 밸런싱 밸브는 준공시점이나, 차후 시스템의 변경과 같은 일이 발생할 경우 유량, 차압 및 설정점의 재확인이나 재조정 of 필요가 있고 이때 전용의 "밸런싱 밸브 미터"를 사용하게 되므로 안정된 유속과 차압 및 유량을 얻을 수 있도록 밸브 전후의 직관 부분은 최소 밸브관경의 5배 이상이 되도록 설계 및 시공되어야 한다.

(5) 관내부 후러싱(flushing)을 철저히 한다.

배관공사가 완료되면 수압시험과 관내 후러싱 과정을 거친다. 배관공사에 있어서 필수적인 공정이다. 그러나 이 공정이 생략되거나, 형식적으로 이루어지므로써 관내부에 많은 불순물이 남아있어 각종 계기류나 밸브류 및 장비에 영향을 주고 있는 경우가 많다. 장비나, 제어기기의 성능과 성능이 안전하게 발휘되기 위해서는 기본적으로 관내부 후러싱이 철저히 이루어져야 한다.

4.2 管理 要點

(1) 사용된 밸브의 자료확보

설계와 시공과정을 거쳐서 최종적으로 시스템을 점검하고 보완하며 관리하는 과정에 돌입

한다. 막대한 비용이 투자된 건축물의 제반시설을 정확한 성능이 발휘되도록 관리한다는 것은 국가적인 차원에서 대단히 중요하다.

특히 밸런싱 밸브를 사용한 경우에는 시스템을 구성하는 모든 부분에 균등한 유량공급이 이루어지도록 조절된 것이므로 다음과 같은 자료를 확보하여 항상 관리의 기준으로 활용하여야 한다.

a. 밸런싱 밸브에 관한 자료

차압-유량선도, K_v 및 Zeta값이 명시된 표

b. 밸런싱 작업 결과

설치된 밸런싱 밸브의 일련번호별 설정점 기록표(설계자료나 TAB를 행한 경우 보고서에 들어있다.) 이 표에는 각 Zone별 설계유량, 실제유량, 밸브개도 설정점 등이 명시되어 있으므로 이러한 자료를 활용하면 관리의 효율성이 제고된다.

(2) 사용된 밸런싱 밸브 전용의 "밸런싱 밸브 미터" 확보

완벽한 시공과 TAB가 이루어졌다고 해도 사후 관리를 위해서는 밸런싱 밸브 미터(미니 컴퓨터)를 구비해 두는 것이 좋다. 일반적으로 기준이 되는 지점에 연결하여 기준으로 사용하는 것과, 이동해 가며 이상이 있을 것으로 예상되는 부분을 점검하는 용도로 2대 이상을 확보할 필요가 있다.

5. 結 論

건축물의 고층화, 대형화 및 고급화 추세가 급격해 질수록 시스템 엔지니어들의 책임을 가중된다. 유효면적을 극대화 시키려는 건축기술자들의 입장과 배관망이나 설비공간을 적정하게 요구하는 시스템 엔지니어간의 상충된 입장을 부드럽게 풀어나가는 일이야말로 기술을 앞서는 노하우가 될 수도 있다.

꼭 관계 법규의 규정에 억매여서가 아니라 기술자적 입장에서 어떻게 하는 것이 효율적이며, 경제적인 방법인가 하는 것은 항상 염두에 두어야 할 것이다. 적당히 설계하고 적당히 시공해도 특수한 기구나 장치를 사용하게 되면 모든 문제가 다 해결될 것 같은 생각은 착각일 뿐이다.

발전된 기기나 장비를 사용하기 위해서는 설계나 시공이나 관리의 모든 면에서 똑같이 발전이 이루어져야 한다는 점을 잊어서는 안될 것이다.

참 고 문 헌

1. ISA. ISA Handbook of Control Valves, 2nd Edition. 1984.
2. COMAP. Balancing Guide 1990. 12
3. STOCKHAM. Valves & Fittings. 1983.
4. GRISWOLD CONTROLS. Technical Notes
5. ASHRAE Handbook. 1991. Heating Ventilating and Air-Conditioning Applications. Chapter 34. "Water-side Balancing".