

# 냉난방 시스템의 유량 조절 기술

## Technology of Balancing Hydronic Heating and Cooling System

전 교 진,\* 신 응 철\*\*

### 1. 서 론

근래의 건축물은 그 용도가 다양하여지고 그 목적에 따라 많은 종류로 분류 할 수 있지만 어느 건축물도 냉난방을 도외시 할 수 없고 또한 규모가 커짐에 따라 냉난방에 필요한 냉온수의 공급 관리는 매우 중요하게 되었다.

여기에서 다루고자 하는 것은 냉난방 유량의 완전한 조절을 위한 새로운 방법을 대상으로 하는 것이 아니라 에너지 절약의 관점에 따른 주요 구성기기의 열의 효율적이고 균일한 분배를 위하여 필요한 유량 조절 기술에 주안을 두어 검토하기로 한다.

특히 최근에 대단지로 되고 있는 아파트는 건설후 난방비의 절약을 위해서 각 단지마다 간헐 난방 운전을 실시하고 있다. 외기온도에 따라 필요시에만 보일러를 운전하는 것이다. 따라서 한정된 열량을 각 세대별로 고르게 공급하기 위해서는 정유량의 공급과 통제의 필요성이 매우 크다고 하겠다. 이는 각 세대간의 난방비 부과방식이 분양 면적당 균등화로 부과되고 있는 것과 세대별 자동 제어 계통의 도입과 열량계의 설치에도 불구하고 각 동간 그리고 각 세대간 난방의 불균형이 아직도 해소되지 않고 있는 것과 같은 맥락이라고 하겠다. 이는 각 세대마다 온도조절기의 설정점을

최고치에 설정한다거나 열량계의 정확도가 현실과 먼 거리에 있는 것도 그 원인이 되고 있는 것이다. 이러한 열원의 고른 분배 문제는 비단 아파트 뿐만이 아니라 많은 객실을 운영하는 호텔이나 대규모 사무실 계통의 냉난방에도 모두 적용된다.

### 2. 유량조절

#### 2-1 유량조절의 목적

정유량의 조절이라 함은 배관내를 흐르는 냉난방용 유량을 최초 설계대로 설계치와 일치시키는 것을 말한다. 이는 냉동기, 보일러 또는 열교환기로부터 에너지를 필요로 하는 모든 곳으로 펌프와 주관 또는 분지관을 통하는 모든 부분에 해당된다. 부분적인 정유량의 조절은 전체 시스템으로 볼 때는 완벽한 열바란스는 될 수 없기 때문이다.

설계자가 냉난방 설계시에 부하계산에 반영하는 건축물의 열손실은 일반적으로 다음의 인자에 의해 산출된다.

- ① 외기 온도 조건
- ② 건축물의 냉난방 유효 면적과 건축 자재
- ③ 환기 요구량
- ④ 상주 인원수
- ⑤ 공조 요구 기간

\* 정회원, 국제기계설비

\*\* 정회원, 국제기계설비

따라서 실내의 요구되는 온도의 유지를 위한 열소모량을 결정하고 보상될 수 있는 조명이나 복사기 등으로부터의 열취득도 감안해야 된다. 이 때에 소요 에너지(EC:INPUT)와 취득 에너지(EU:OUTPUT)의 난방 효율은 EU/EC의 비율로 표시한다.

에너지의 생산 운영은 1) 보일러 운전 효율과 연도에 의한 열손실(NP), 2) 펌프의 효율과 수송 배관에 의한 열손실(ND), 3) 냉난방 기기의 효율과 송풍기 등에 의한 열손실(EU) 등 세 가지로 구분되며,

$$EC = \{ (\text{열손실}) - (\text{내부열취득}) \} / ((NP) * (ND) * (NE))$$

로 표시된다.

위와 같은 검토로부터 열절약을 위한 다음과 같은 실무적 검토의 필요성을 갖는다.

가) 특정 공간의 온도 유지를 위한 열손실의 한계

- ① 전체 공간에 대한 연속사용
- ② 일부 공간에 대한 부정기 사용
- ③ 내부 열취득과 여유 에너지에 대한 적정 사용

나) 생산 효율의 증가

- ① 연소 과정의 개선
- ② 보일러 용수의 적정한 유량 조정
- ③ 부하와 생산 용량의 대비
- ④ 보일러 비운전시의 손실 절약
- ⑤ 보일러의 운전 사이클 조절
- ⑥ 보일러의 단계적 운전
- ⑦ 수온의 적정 유지

다) 조절과 계측에 의한 분배 효율의 개선

- ① 쾌적 공조를 위한 과소 유량의 통제
- ② 효율 제고를 위한 과대 유량의 통제
- ③ 쾌적 공조와 열손실 대비 수온의 통제

위와 같은 검토로부터 과열이나 과도한 환기를 막기위한 검토가 필요하며 또한 운영비를 낮추기 위하여 그리고 열에너지의 손실을 방지하기 위하여도 유량 제어에 대한 목적은 성립된다.

2-2 배관지름의 결정

일반적으로 통용되고 있는 배관 지름의 결정은 다음의 과정에 따라 결정한다.

- ① 냉난방 열량 계산
- ② 급수 및 환수 온도결정
- ③ 마찰손실 및 유량결정
- ④ 배관 지름 결정

여기에서 결정된 배관의 관지름은 설계 유량을 통과시킬 수 있는 배관 지름의 설계치보다 큰 규격의 표준 제품을 선정하게 된다. 즉 표 1에서 보는 바와 같이 선정된 표준 규격의 배관에는 설계치보다 많은 유량을 보낼 수 있는 것이다.

표 1. 배관 선정 예

설계유량	마찰손실	선정 배관지름	최대가능유량	비고
100 L/min	50 mm Aq/m	2 B (50 mm)	150 L/min	설계대비 150%

위에서 최대가능유량은 설계 선정 배관지름 2 B(50mm)의 배관 지름내를 마찰손실 50 mm Aq/m의 마찰손실로 흐를 수 있는 최대가능 유량이다. 따라서 설계자의 의도의 1.5 배에 달하는 유량이 흐를 수 있음을 보여주는 것이다.

이것을 다시 시스템에 적용시키면 그림 1과 같이 표시되며 설계 의도와는 다른 운영 상태를 볼 수 있게 된다.

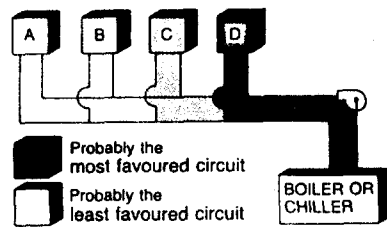


그림 1. 흐름 상태의 예

위와같이 표 1과 그림 1을 합하여 생각할 경우 펌프의 효율과 배관 내의 마찰 저항 등이 감안되면 D에는 설계수량(100 L/min) 보다 더 많은 유량(최대 150 L/min)이 흐르고 C에는 설계 수량보다 조금 많은 유량이 흐르고 B에는 설계 유량보다 적은 유량이 흐르며 A

에는 설계수량 보다 아주 적은 유량만이 흐르게 된다.

따라서 여기에 유량 조절에 대한 필요성과 정확한 계측기기의 활용에 의한 정유량 조절이 필요하고 이 기본 이론은 각방법, 각층별, 각동별로 넓게 검토할 수 있게된다.

### 2-3 정유량의 조절

열에너지의 정분배를 설계치와 일치시키기 위하여 이제까지 많은 연구를 거듭하여 왔고 그 결과로 역환수 계통(reverse return system)과 층별 입상관 분리방식 등 몇가지 대안이 발표되었고 현재 활용중에 있으며 많은 효과가 있었던것이 사실이다. 그러나 이러한 방법들은 과도한 초기투자과 시공시의 공간확보문제를 가지고 있으며 아직도 설계치와 일치하는 유량조절에는 먼거리를 두고 있는 것이다. 이러한 필요성에 따라 개발된것이 유량 조절 밸브이다.

정유량 조절 밸브(TA balancing valve)는 종전에 사용되어 오던 글로브 밸브(Globe valve)로부터 개량되어 왔으며 유량 측정의 기능과 유량 조절의 기능에 그 내용을 읽을수 있고 조절점을 나타낼 수 있으며 드레인이나 에어 벤트 등의 특수기능을 가지고 있으므로 냉난방 배관계통 내의 문제점을 찾을 수 있도록 설계되었기 때문에 냉난방 배관계통에 필요 불가결한 요소가 되고 있다. 여기서 유량과 열에너지 발산의 관계를 검토하기로 한다.

### 2-4 열 효율

일반적으로 열교환기로 불리기도 하는 난방 코일과 유량간의 열효율에 대한 ASHRAE의 검토를 인용하면 양자간의 열효율은 도표상에서 직선을 만들지 못한다는 것이다. 그림 2는 유량(%)과 난방 코일의 열전달율(%)에 대한 실효를 나타낸 것으로 설계계수는 온수 공급 온도 90℃와 온도차 11℃를 기준으로 한 것이다. 여기에서 유량이 100% 흐르면 열발산은 100%가 되지만 유량을 줄일 때의 열발산 효율은 더욱 낮아진다는 것이다. 즉 유량을

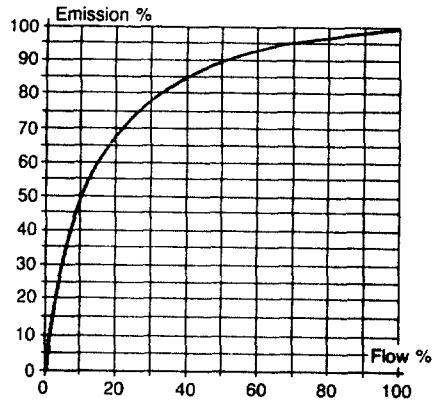


그림 2. 난방 코일과 유량 관계 선도

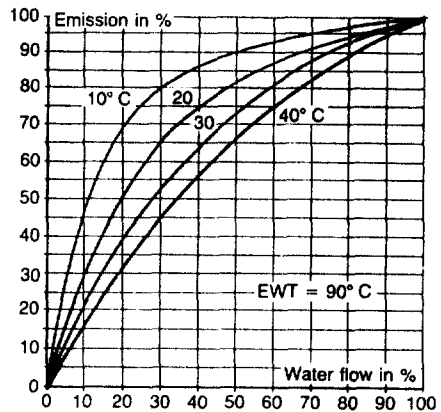


그림 3. 콘벡타와 유량 관계 선도

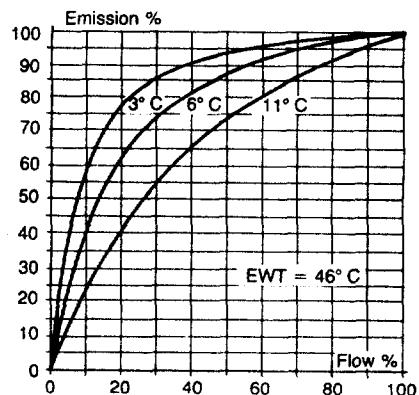


그림 4. 판넬 난방과 유량 관계 선도

50% 줄일 때 코일의 열발산 효율은 10%만 큼만 줄지만 90%를 줄이면 코일의 열발산율은 50%만큼이나 줄어드는 것이다.

그림 3은 10℃, 20℃, 30℃ 및 40℃의

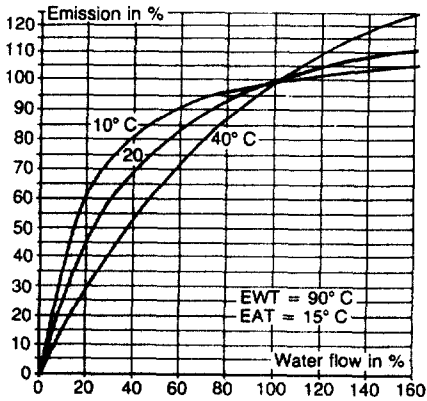


그림 5. 난방 코일과 유량 관계 선도

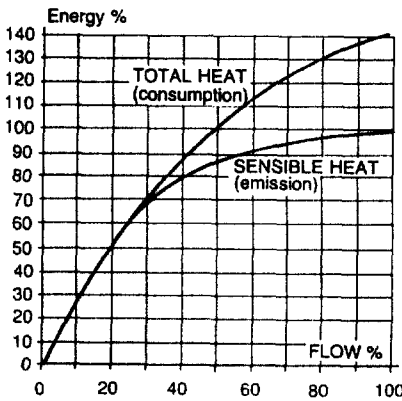


그림 6. 유량과 전열 및 현열 관계 선도

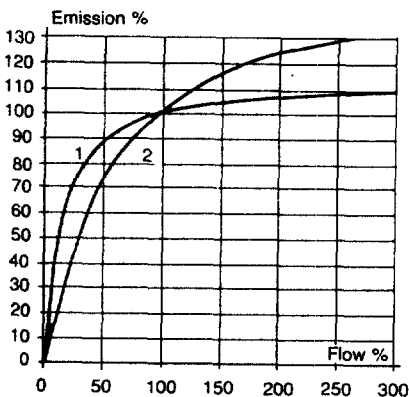


그림 7. 온수의 과유량과 열효율 관계 선도

온도차를 보이는 유량과 난방코일의 열발산 관계를 표시한 것이고 그림 4는 3°C, 6°C, 그리고 11°C의 온도차를 갖는 유량과 난방코일의 열발산 관계를 표시한 것으로서 온도차가 작을수록 유량에 대한 열발산 효율이 둔감

함을 보여주고 있다. 여기에서 우리는 유량을 정격이상을 공급하고 온도차를 10°C, 20°C 그리고 40°C로 하는 그림 5를 검토할 수 있다. 그러나 온도차가 작은 운전에서는 다음과 같은 불리한 점을 감안하게 된다.

가) 유량을 증가시켜야 하기 때문에 관경의 증가와 펌프증가 그리고 펌프운전비 증가가 따른다.

나) 온수량이 설계치에 대하여 불균형일때 유량이 적거나 또는 변동이 생겨 열효율이 불확실하게 된다.

다) 적은 부하시에는 비례제어가 불가능해진다. 왜냐하면 유량의 미세한 증가에도 많은 열발산이 이루어지기 때문이다. 부분부하의 경우 50% 이하의 열이 필요할때에 정상유량의 10% 이하만이 조절될 수 있기 때문이다.

냉방코일의 경우에도 난방코일일 경우와 매우 유사한 검토 결과를 가질 수 있다. 이러한 검토는 현열의 운영에 기준을 두고있다. 그림 7은 냉방코일의 열효율에 관한 검토로 전열 및 현열에 대하여 표시되고 있다. 여기에 사용된 제원은 냉수공급온도 7.2°C, 온도차 5.5°C 그리고 입구공기온도 건구 26.7°C, 습구 19.4°C이다.

많은 경우에서 냉방코일은 난방코일에 비해 유량에 대해 보다 민감한 반응을 보인다. 왜냐하면 냉방용 냉수의 경우 온도차가 적기 때문이다. 따라서 난방 계통 보다는 냉방 계통에서 보다 더 유량 조정의 중요성이 나타나게 된다.

그림 8은 그림 3으로부터 난방 코일의 유량을 2배와 3배까지 증가시킨 것이다.

1번 코일에서는 유량 2배의 경우 8%를 8배의 경우 10%의 열효율만 증가되고 2번 코일의 경우 다른 코일 설계에 따라 3배 유량의 경우 35%의 열효율이 있을 뿐이다.

### 2-5 열발산기기의 자동제어

필요한 에너지의 공급을 코일에 냉온수로서 보내며 유량을 조절하는데에 2방 또는 3방의 자동제어 밸브를 이용한다. 필요열량의 공급은 코일의 특성, 입구의 냉온수 온도, 출구

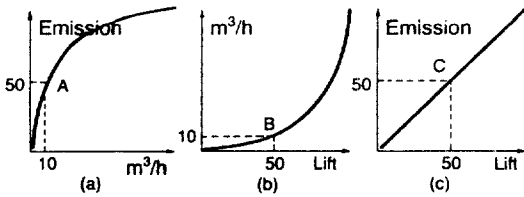


그림 8. 난방 코일과 자동 제어 밸브 특성 선도

의 냉운수 온도, 송풍량과 냉운수 유량에 의한다. 그림 8(a)는 그림 3에서의 유량 관계를 옮겨온 것이다. 즉 낮은부하에는 유량과 제어에 민감하다는 것이다. 따라서 밸브의 특성과 코일의 특성에 따른 선정이 안정된 운영의 조건이 될 것이다. 그림 8(b)는 유량과 밸브의 개도를 표시한 것이다.

이때 밸브에 공급되는 차압은 균일한 것을 기준하였다. 그림 8(a)의 점 A는 유량 10%때 열의 발산은 50%를 나타낸다. 그림 8(b)의 점 B는 밸브의 개도가 50%일 때의 유량이 10%에 한정되게 밸브의 특성이 선정될수 있음을 보여준다. 이 경우에 그림 8(c)에서와 같이 밸브 개도 50%에서 50%의 열분배율을 얻을 수 있다. 그림 8(b)의 특징은 일반 밸브류에서 등백분율(equal percentage)이라고 불리는 특징과 매우 유사하다.

냉난방 코일의 열발산은 다음의 각항을 완벽히 산정하므로 인하여 조절될 수 있다.

- 가. 자동 제어 밸브의 규격
- 나. 자동 제어 밸브의 특성
- 다. 밸런싱 밸브의 규격
- 라. 자동 제어 밸브와 밸런싱 밸브와의 압력강하

우리의 목적하는 바는 자동제어밸브의 작동상태가 코일의 출력과 일치를 이루는 것이다. 따라서 온도 조절기로부터 밸브로 가는 비례 제어 신호의 조절이 비례되어야 하는 것이다. 이러한 조절 계통의 안정성은 부하에만 의거하지는 않는다. 제어밸브의 특징은 입구 수온의 변화에 또한 관련한다. 일차측으로부터의 유량은 이차측의 열소요량에 따르게 되며 유량의 변경과 열발산의 비율이 동일한 경우는 직선형 밸브라고 하고 유량의 변경과 열발산

의 비율이 동일하지 않은 경우를 등백분율형(equal percentage) 밸브라 칭한다.

2-5-1 자동제어밸브의 규격선정

밸브는 선정된 계수의 유량에 한정된 계통 내에서 유체에 대한 저항을 갖는다. 매통과 매체마다 유압의 손실은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta P = R \times G^n \times d$$

여기서 R = 매체내에서의 저항

d = 유체의 비중

G = 유량 m<sup>3</sup>/hr

따라서 유량계수 KV와의 관계는

$$G(\text{m}^3/\text{hr}) = KV * \sqrt{\Delta P/d}$$

d = 1 인 물에 대하여는

$$G = KV \sqrt{\Delta P(\text{BAR})}$$

가 된다.

유량계수 KV는 밸브 작동부에 관련한 밸브의 특성에 따른다. KV 값의 최대치는 밸브의 전개시에 얻어지며 밸브를 통과하는 유량 m<sup>3</sup>/hr의 압력 손실이 1 bar 일 때이다.

자동 제어밸브의 규격은 계산된 KV값에 의하여야 하며 압손실의 환산이 정확해야 한다. 공급과 환수수관의 사이에 위치하게 되는 자동 제어밸브의 가능한 수두의 50%의 압력손실을 추천한다.

2-5-2 자동 제어밸브의 특성

자동 제어밸브의 운전은 열림과 닫힘을 밸브 시이트가 0%에서 100%까지 움직이는 상태에 이른다. 밸브의 조절되는 모양은 밸브의 마개와 밸브의 시이트간의 흐름면적의 움직임에 따른다.

그림 9는 일반적인 자동제어밸브의 특징을 보여준다.

1. 급속 개방(quick opening)
2. 직선 특성(linear)
3. 등백분율 특성(equal percentage)

2-5-3 자동제어밸브의 장점

흐름의 특성은 밸브를 통과하며 일정한 차압을 가지는데 있다. 그러나 설치상 차압이 일정치 못하기 때문에 실제 특성은 같지 않다.

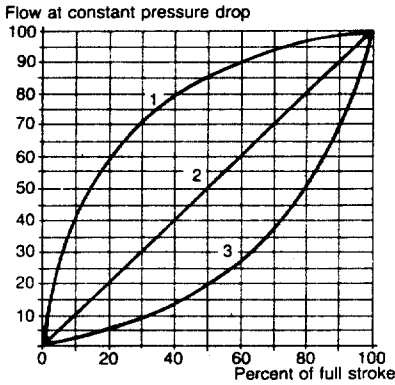


그림 9. 자동 제어밸브의 개폐도와 유량 관계 선도

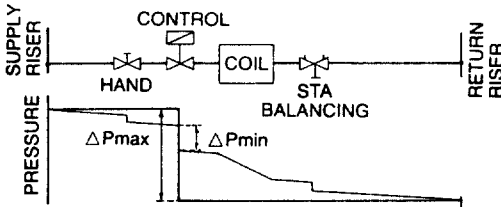


그림 10. 자동 제어밸브 주위의 차압 관련 선도

그림 10은 자동제어밸브와 주위기기의 압력손실을 도표로 그린 것으로 자동제어밸브가 잠겼을 때 차압은 최대로 올라간다. 자동제어밸브가 열릴 때 차압은 감소되고 관련된 기기의 그림 11과 같은 흐름을 이루게 된다. 자동제어밸브의 KV 값은 P가 최소일 때로 선정되며 이때 최대유량이 기대된다. 밸브가 거의 잠긴상태에 이르게 되면 차압이 커지게 되므로 실유량은 계산치에 의한 유량보다 더 커지게 된다.

$$\text{비율 } \beta = \frac{\Delta P_{min}}{\Delta P_{max}}$$

그림 11과 그림 12은  $\beta$ 에 따른 직선특성과 등백분율 특성에 대한 각 밸브의 특성을 나타낸 것이다. 직선 특성의 밸브는 밸브의 개도에 따른 유량의 변화가  $\beta$ 가 적어지며 유량은 크게 작용하고 등백분율 특성의 밸브는 밸브의 개도에 따른 유량의 변화가  $\beta$ 의 증가에 따라 작게 작용한다.

일반적으로 계수는 0.5와 같거나 또는 크게 선정한다. 자동제어밸브의 전개 상태에서의 압력강하는 부하변경에 따른 유량 변경에서의 압

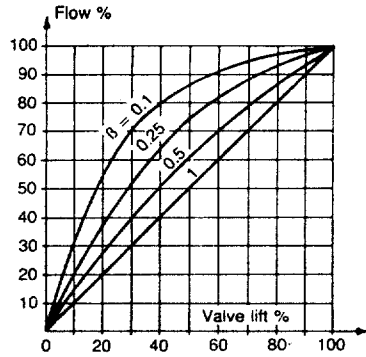


그림 11. Linear 특성의 밸브 운영도

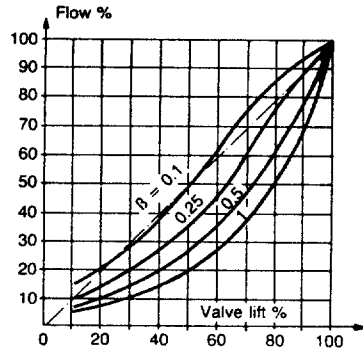


그림 12. Equal Percentage 특성의 밸브 운영도

력강하와 최소로 균형은 이루어지도록 같아야 되기 때문이다. 계통내의 전압력 강하는 자동제어밸브의 압력강하의 두배 이상이 되어서는 안된다. 너무 크게 선정되면 자동제어 밸브의 운전 한계치를 넘어서게 되기 때문이다. 적절한 계수를 도외시한 계통내의 최대 유량제어를 밸런싱밸브로 하는 것은 바람직하지 않다. 저부하에 따른 조절의 가장 좋은 방법은 맞는 밸브 규격으로 바꾸는 것이다. 안될 경우에는 계수를 무시하고 밸런싱 밸브로서 유량을 줄이는 것이다. 이는 계열별로 하여야 한다. 2 위치식 개폐 자동제어밸브에서는 단지 개폐에 그 기능이 한정되었기 때문에 고유계수는 그다지 중요하지 않다.

비례식 자동제어밸브가 크게 결정되었을 때는 코일에 밸런싱 밸브를 직렬로 사용하여 과유량을 보상한다. 그리고 전체유량은 실제 필요한 자동제어밸브의 필요유량까지 공급하면 그 결과 유량의 조절을 이중으로 처리하여 자

동제어밸브의 기본계수를 보정할 수 있는 것이다.

2-5-4 자동제어밸브의 한계계수 (rangeability)

밸브가 잠김의 위치에 가까이 닫히게 되면 유량이 0에 가까워지므로 특성상 제어력을 잃게 된다. 자동제어밸브의 한계계수 RF는 차압이 같은 조건에서 최대유량과 최소유량간에 다음의 비율이 성립된다.

$$RF1 = \frac{\text{최대유량(maximum water flow)}}{\text{최소유량(manimum water flow)}}$$

밸브의 한계계수는 밸브시이트와 플럭사이에서 결정된다. 일반적인 자동제어밸브의 한계계수는 30 정도이며 최소유량의 조절은 3.3%까지로 보고있다. 그러나 앞의 그림 6에서 보면 온도차 10℃에서는 20% 그리고 온도차 40℃에서는 6%까지 조절 가능하다고 표시되어 있다. 그러나 자동제어밸브의 특성상 거의 잠긴 상태에서는 차압이 증가하게 되고 최소 조절 가능 유량도 증가할 수 밖에 없게 된다.

적은 온도차와 유량 평형이 완벽치 못하면 코일의 열발산 효율은 비례적이지 못하게 된다. 훌륭한 조절을 위해 몇가지 다음과 같은 대응책이 필요하다.

1. 자동제어밸브 선정의 최소 한계계수가 0.5로 되도록 한다.
2. 과유량을 없애기 위해 계통 밸런스를 실시한다.
  - 2방변의 KV값을 바르게 선정한다.
  - 한계계수의 수정없이 3방밸브와 밸런싱 밸브를 연동되게 한다.
  - 분지관의 차압을 안정시킨다.
  - 2차측 펌프와의 유체충돌을 방지한다.
3. 코일의 과규격을 피한다.
4. 난방시에 외기온도에 따라 수온을 밸브가 거의 잠긴 상태로 되지 않도록 보정하여 준다.
5. 자동제어밸브의 선정에 밸브 특성의 좋은 점을 택해 작동기와 일체를 이루도록 한다.

3. 불균형 유량계통의 영향

냉난방 설계시 펌프의 규격에 따라 최대의 압력강하와 필요한 유량에 따른 동력을 공급하여야 한다. 펌프의 양정은 보일러나 냉동기, 배관, 밸브류 및 기타 기구 등의 압력 손실을 감안하여 산정한다. 펌프로부터 먼곳에 위치한 계통은 낮은 차압이 그리고 가까운 곳에는 많은 차압이 형성되게 된다. 이 내용은 표 1 및 그림 1의 설명과 같은 것이다.

3-1 순환이 좋은 저압력강하 계통

압력강하가 적은 계통은 과다한 유량의 경우 열발산 곡선상의 과유량이 미치는 것과 같이 아주 작은 영향을 미친다. 온도 조절기는 어떤 과열현상도 제어시킬 것이다. 그러나 이 제어기기가 2 위치식이면 약 2~3도의 실내 온도 오차를 가져올 것이다. 이러한 것은 열 손실로 나타나게 되어 동절기에는 높은 온도를 그리고 환절기에는 낮은 온도를 초래하고 비쾌적 공조로 인한 개폐작동을 계속할 것이다. 이러한 현상은 요구되는 열발산을 위한 적정유량을 비례 제어하는 것보다 못한 것이다. 실내온도가 상승하면 자동제어밸브는 조금씩 잠긴다. 유량의 감소는 코일 열발산에 영향을 미치고 실내온도가 계속 상승하면 자동제어밸브는 잠김의 위치까지 작동한다. 더우기 밸브의 특성은 최대유량의 약 3.3%로부터 개도의 특정점까지 작용한다. 만일 최대치가 정상계수의 3배가 되면 자동제어밸브의 제어는 계산 유량의 최소 10%가 되는것이다. 다시 그림 2를 참조하면 10%의 유량은 최대산정 열발산의 50%를 공급하게 된다. 이러한 조건하에서는 비례식 자동제어밸브는 불만족한 결과를 초래하고 개폐 2 동작에 가깝게 작동한다.

3-1-1 낮은 저항계통

유량 불평형이 있는 경우 저항이 적거나 흐름이 양호한 경우에는 전유량이 증가하여 짧은 순환회로를 구성한다. 파이프내의 압력강하는 유속이나 유량의 제곱에 비례한다.

$$\frac{H2}{H1} = \left(\frac{G2}{G1}\right)^2$$

여기서 H : 유압 또는 양정(m)

G : 유량(m<sup>3</sup>/hr)

예상 차압은 펌프로부터 가장 먼곳의 기기로부터 탐지되는 것은 아니다. 이런 결과로 제일 먼쪽의 계통에는 요청되는 열발산에 도달하지 못하는 것이다.

난방시에는 이 결과로 난방용 온수온도를 올리게 되지만 지역적으로는 과열이 더욱 심화될 것이다.

냉방시에는 온도를 더욱 낮추게 되지는 못하지만 펌프의 양정이나 에너지소모를 증가시켜야 이 문제들을 해소할 수 있다. 그러나 순환이 좋은 계통은 반대로 영향을 미친다.

3-2 부족한 실내온도조절의 에너지비용

불균형한 계통에서는 완벽한 실내온도의 조절은 기대할 수 없으며 이는 실내온도를 1℃ 올리는데 필요한 에너지 가격을 산정하는데도 영향을 미치게 된다.

3-2-1 난방의 경우

실내온도의 설정점을 21℃로 하고 외기온도를 -15℃로 하여, 실내온도가 1℃ 과열되었을때의 열손실 Q는 실내의 온도차에 비례하며 다음과 같이 계산한다.

$$Q = 1 / (TR + TO) = 2.8\%$$

이 경우 실내온도 1℃의 과열은 에너지 투입이 약 2.8%의 손실을 가져오며 연간 약 40%의 평균 투입율로 감안하면 평균증가율은 다음과 같다.

$$\text{평균증가율} = 2.8 \times \frac{100}{40} = 7\% (1^\circ\text{C 과열에 대비})$$

3-2-2 냉방의 경우

같은 계산방법으로 실내온도를 26℃ 그리고 외기온도를 30℃로 감안하면 에너지 과투입은 약 25%에 이른다. 이 때 잠열에 대한것은 감안치 않은 것이다. 이 계산은 ASHRAE BIN 방식에 실사용계수를 응용한 개략적인 계산이다. 그러나 이 계산은 온도조절계통과 밸런싱이 열절약에 얼마나 중요한 것인지를 알려주는 것이다.

3-3 펌프 운전비 산정

펌프의 운영은 설비 전체의 운영과 정유량 확보와 그리고 운영비의 면에서 매우 중요하다. 운영비의 산정을 위하여는 펌프의 양정 Hm, 유량m<sup>3</sup>/hr, 펌프의 효율 β<sub>p</sub> = 0.75, 전동기의 효율 β<sub>m</sub> = 0.85, 생산효율 β<sub>s</sub> = 0.75, 보일러 등 기계실 내의 최대 소요동력 P<sub>m</sub> K<sub>w</sub>, 기계실 내의 평균 소요동력 P(m) K<sub>w</sub>, 평균소요동력 비율 SP(m)/P<sub>m</sub> = 0.4, 평균 운영소요동력 K<sub>w</sub>, 펌프소요동력 비율 P<sub>c</sub>% (= P<sub>c</sub>/P(m) %), 펌프운영비율 CP% C%, 설계 온도차 DTS (WTDS), 전력요금 CW(43원/KWH), 연료가격 Cf 185원/리터, 경유), 냉동기 효율 COP(=3) 등을 감안하여야 한다.

3-3-1 난방시의 펌프 운영비

$$PC = \frac{H \times G}{367 \times \beta P \times \beta m} = \frac{H \times G}{234}$$

$$PC(\text{년간, 원}) = \frac{H \times G}{367 \times \beta P \times \beta m}$$

$$\times \frac{8670 \text{ 시간}}{\text{년 간}} \times \frac{43}{\text{KWH}} = 1593 \times H \times G$$

$$P(m) = \frac{S \times G \times DTS \times 1.16}{\beta S}$$

$$= 0.62 \times G \times DTS$$

$$PC\% = \frac{0.235 \times H \times S}{\beta P \times \beta m \times S \times DTS} = 0.69 \times \frac{H}{DTS}$$

$$CP\% = \frac{0.235 \times H}{\beta P \times \beta m \times S \times DTS} \times \left( \frac{CW}{Cf} \times \beta S \right.$$

$$\left. \times 10 - 0.85 \right) = 1.52 \times \frac{H}{DTS}$$

예를 들면 양정 H = 20 m, DTS = 20℃, G = 100m<sup>3</sup>/hr로 하면

$$PC = H \times G / 234 = 20 \times 100 / 234 = 8.55 \text{ KW}$$

$$PC(\text{년간}) = 1593 H \times G = 1593 \times 20 \times 100 = 3,186,000 \text{ 원} / 365 \text{ 일}$$

$$P(m) / S = 1,556 \times DTS = 1.55 \times 100 \times 20 = 3100 \text{ KW}$$

$$CP\% = 1.52 \times 20 / 20 = 1.52\%$$

가 된다.

3-3-2 냉방시의 펌프 운영비

PC에 관한 공식은 같으며



$$P(m) = \frac{S \times G \times DTS \times 1.16}{COP}$$

$$= 0.15 \times G \times DTS$$

$$PC \% = \frac{0.235 \times H \times COP}{\beta P \times \beta m \times S \times DTS} = 2.76 \frac{H}{DTS}$$

$$CP \% = \frac{0.235 \times H}{\beta P \times \beta m \times S \times DTS} \times (COP \times 0.85)$$

$$= 3.55 \times \frac{H}{DTS}$$

예를 들면  $H = 20m$ ,  $DTS = 5^\circ C$ ,  $G = 100 m^3/hr$ 로 하면

$$PC = H \times G / 234 = 20 \times 100 / 234 = 8.55KW$$

$$PC(\text{년간}) = 1,593 \times 20 \times 100$$

$$= 3,186,000/\text{년간}, \text{원}$$

$$P(m)S = 0.38 G \times DTS = 0.38 \times 100 \times 5$$

$$= 190 KW$$

$$CP \% = 3.55 \times 20 / 5 = 14.2 \%$$

기존 건물에서는 소형 장비들에 과규격의 펌프를 교환하면서 매우 망설이게 된다. 그러나 훌륭한 밸런스는 매 기기마다 정확한 유량을 공급하고 작은 기기들의 임펠러나 펌프의 교환에도 운영비를 절감할 수 있음을 확신한다. 같은 조건에서는 새로운 설계에서도 마찬가지이다. 난방에서 온도차를  $10^\circ C$ 보다 더 크게  $30^\circ C$ 로 상정할 경우 유량과 배관경 그리고 각 기기의 입력강하를 줄인다.

열발산 기기와 펌프의 운전비를 과감히 줄이는 것은 유량변동에 더욱 민감하고 어떤 부하에도 더욱 자동제어의 성능을 향상시킬 것이다. 그러나 열발산 기기는 유량에 민감하기 때문에 유량은 밸런스를 맞추어야 한다.

### 3-4 온도차의 선정

냉방시 냉수온도의 차는  $4^\circ C$ 에서  $7^\circ C$  사이를 채택하고 입구온도는  $5^\circ C$ 에서  $10^\circ C$  사이에서 선정한다. 온도차가 클 경우에는 실내 습도가 증가하게 되므로 조심하여야 한다.  $6^\circ C$ 의 온도차는  $4^\circ C$ 의 온도차에 비해 유량을 30%까지 줄일 수 있고 펌프의 양정과 운영동력비를 줄일 수 있지만 코일은 그에 맞추어

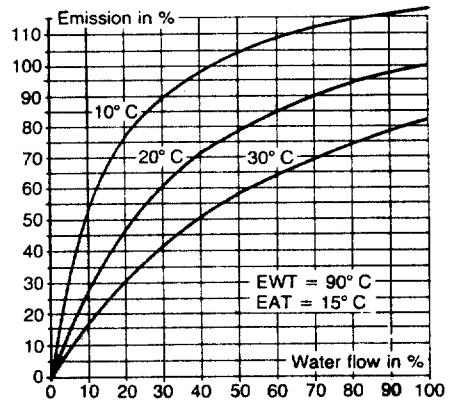


그림 13.  $90^\circ C$  공급 온도와 온도차  $10^\circ C$ ,  $20^\circ C$ ,  $30^\circ C$ 일 때의 유량과 열발산 관계도

다시 선정하여야 한다.

공기조화 냉난방 설비에서 냉방 및 난방용 펌프는 같은 것을 쓰도록 설계하며 일반적으로 냉방용 조건에 따른다. 이것은 난방때보다 유량에 크고 온도차는 작기 때문이다. 이 경우 공급 수온은 낮출 수 있다.

#### 3-4-1 낮은 온도차의 점점

- 가. 기구를 작게 선정할 수 있다. 평균 수온을 높일 수 있고 유속을 높이기 때문이다.
- 나. 기구내의 압차를 높이고 분자관의 차압을 덜 민감하도록 바꿀 수 있다.
- 다. 최대의 열발산에 유량이 미치는 영향이 미세하다.

라. 자동제어밸브의 개방시에 코일의 출구 공기온도가 좀더 기준에 가깝게 된다.

#### 3-4-2 높은 온도차의 장점

- 가. 작은 펌프의 선정과 운전경비의 절약
- 예를 들어 기존 계통에 온도차  $10^\circ C$ 와 입구온도  $88^\circ C$ 로 운전하던 것을 입구온도를  $96^\circ C$ 로 높이고 유량은 50% 감소시키면 양정 28m 유량  $100 m^3/h$ 에 연간 200일간 난방 운전일 경우 운전비는

$$\text{운전비(원)} = 1,593 \times 28 \times 100 \times 200 / 365$$

$$= 2,444,055 \text{ 원/년간}$$

여기서 유량을 50% 펌프의 양정을 7m로 하고 밸런싱밸브로서 정유량을 조정하고 온도

차를 20℃로 하여 펌프를 재설정하면 이 때의 운전비는

$$\begin{aligned} \text{운전비(원)} &= 1.593 \times 8 \times 50 \times (200/365) \\ &= 349.151 \text{ 원/년간} \end{aligned}$$

이 계산은 약산에 의한 것이지만 온도차를 크게 두는 경우 난방비의 절약을 크게 기대할 수 있음을 보여준다.

나. 비례제어식 자동제어밸브의 조정에 유리하다.

다시 앞의 그림 5에서 코일의 규격을 15% 크게 선정하고 자동제어밸브로 요구유량을 감소시키며 최대가능 개도에까지 밸브를 줄이면 자동제어밸브는 작은 범위의 작동을 하게되는데 이는 안정된 작동은 아니다.

저부하의 조절은 최소유량 3.3%까지 조절 가능하다고 검토되어 조절밸브의 조절비율은 30에서 1까지이다. 이 때 밸브계수를 0.5로 보면 최소유량은 4.7%가 된다. 정상온도차를 대입하여 최소 조절가능 부하로 검토하면 다음과 같다.

다시 코일을 15% 크게 선정하고 유량을 50% 증가시키고 유량바란스가 이루어지지 않음

표 2. 상용 온도차와 최대 밸브 허용 개도

상용 온도차	최대 밸브 허용개도
10℃	47% 유량
20℃	64% 유량
40℃	78% 유량

표 3. 상용 온도차와 최소 조절 가능 열발산

상용 온도차	최소 조절 가능 열발산
10℃	27%
20℃	16%
40℃	8%

표 4. 상용 온도차와 최대 유량 및 조절 가능 발산계수

상용 온도차	최대 유량	최소 조절가능 발산계수
10℃	31% 유량	42%(명목상의)
20℃	43% 유량	26%(명목상의)
40℃	52% 유량	14%(명목상의)

면 밸브계수 0.5에서 다음과 같은 결과가 나온다.

최대유량은 최대 발산을 기준한다.

### 3-5 유량 조절기기의 평형

분지관의 유량을 정유량으로 행하려면 매분 지관마다 유량 조절기기의 설치가 요망된다. 이 조절기들은 압력강화와 함께 설계유량을 맞추게 된다. 그러나 2방 자동제어밸브는 각 기기에서 요구되는 실내온도에 따라 작동되므로 밸브가 잠길때 유량은 따라서 줄어들고 유량 조절기기는 압력강화에 따라 유량의 조절을 위해 작용한다. 이 차압의 상승은 기구에 영향을 미치게 된다.

그 결과 유량조절기기는 제어측의 좋지않은 결과를 만들며 지역 조운 조절기에 영향을 미치게 된다.

## 4. 밸런싱 밸브

앞에서 살펴본 바와 같이 기능의 밸런싱 밸브와 그에 상응하는 계측기기 그리고 방법이 있다면 정유량의 결정을 위한 최선의 길이며 계측기구로서 밸런싱 밸브에 의한 유량조정을 완벽하게 할 수 있다고 판단된다.

### 4-1 밸런싱 밸브의 특성

밸런싱 밸브는 정유량의 조정에 그 목적을 부합시킬 수 있으며 그 목적에 따라 몇가지 특징지워지는 기능을 가지고 있어야 한다.

가. 차단 밸브의 구실을 할 수 있어야 한다. 영선 보수의 필요시 차단밸브의 기능을 결합함으로써 차단밸브를 생략하여 설치공간의 확보와 설치 인건비를 절약하고 단순 가격 차이만을 추가로 투입한다.

나. 유량의 정확한 측정이 가능하여야 한다. 유량의 측정은 밸브의 특성에 따른 압력강하 즉 차압에 의해 알 수 있으므로 각 제작사의 특성에 따른 유량 도표를 이용할 수 있으며 전자식 디지털 마이크로 프로세서가 내장된 계측기기를 이용할 수도 있다.

다. 유량의 설정이 용이하여야 한다.

높은 정확성에 따른 정유량의 조정은 필수적이지만 조정내용의 설정이 용이하려면 밸브의 손잡이에 밸브의 조정이 몇 바퀴만큼 이루어졌는지에 대한 결과를 인지할 수 있으면 더욱 좋기 때문이다. 마이크로미터형의 손잡이가 개발된 제품이 유리하다.

라. 잠금장치가 필요하다.

앞의 그림 1에서와 같이 정유량의 조정은 상대적이라고 할 수 있다. 따라서 정유량의 조정이 완료된 후에도 임의로 수정할 수 있어서는 아니되고 임의로 수정할 경우 계통내의 평형은 틀러지게 되므로 정유량의 조정상태는 기록 보존되고 밸런싱 밸브는 잠금장치에 의해 정유량 조정상태가 그대로 유지되도록 하여야 한다. 전체 밸런싱을 다시할 필요가 있을 때에는 허락된 담당자에 의해 잠금장치를 쉽게 풀고 계통내 재조정이 쉽게 이루어지도록 하여야 한다.

마. 배수와 공기빼기 시설이 필요하다.

대형 계통내에는 계통내의 필요요소에 배수관과 공기빼기 시설(drain and air vent)을 한다. 그러나 아파트의 경우 각 세대나 또는 일반건물의 각지역의 경우에는 그 시설을 생략할 수도 있기 때문에 작은 구경의 밸런싱 밸브에는 그 기능이 포함되어 있는것이 매우 유용하다.

#### 4-2 밸런싱 밸브의 설치

일반적인 밸브의 설치와 마찬가지로 밸런싱 밸브도 설치시에 유의하여야 할 위치의 길이가 있다. 이 수치는 최소 단위로서 하향 배관

의 경우 최종 엘보로부터 관경의 5배의 길이가 필요하다. 또한 펌프의 토출구로부터는 배관경의 10배가 필요하며 밸런싱 밸브로부터 다음의 엘보나티까지는 배관경의 2배가 필요하다. 그 내용은 그림 14과 같다.

#### 4-3 밸런싱 밸브의 선정

밸런싱 밸브의 선정은 유량과 유량계수 그리고 차압에 따라 규격을 결정하게 된다. 각 제작사에 따라 특성 곡선에 다소의 차이는 있으나 다음과 같이 정리될 수 있다.

여기에서 계산으로 KV값을 산정하고자 할 때에는 앞의 항목 2-5-1의 식을 이용한다.

표 5. 밸런싱 밸브의 선정

바 라 상 밸브구경 (mm)	전 개방시 KV 값	유량 L/min 압 강 하 300mm cw	유 속 m/sec
10 mm	2.0	5.8	0.82
15 mm	4.0	11.5	0.99
20 mm	5.7	16.4	0.77
25 mm	8.7	25.1	0.73
82 mm	13.9	40.1	0.67
40 mm	20.0	57.7	0.71
50 mm	32.0	92.4	0.74
65 mm	85.0	245.4	1.06
80 mm	120.0	346.4	1.13
100 mm	190.0	548.5	1.06
125 mm	300.0	866.0	1.18
150 mm	420.0	1,212.4	1.14
200 mm	765.0	2,208.4	1.17
250 mm	1,185.0	3,420.8	1.16
300 mm	1,700.0	4,907.5	1.11

#### 4-4 밸런싱 밸브의 설계 적용

그림은 5개의 RISER를 갖는 4층 규모의 건물로서 밸런싱 밸브의 설치는 펌프의 유량을 안정시키고 RISER간의 정유량 확보와 각 층간의 유량 밸런싱 및 각 세대간의 불균형까지 해소할 수 있도록 설치 계획하였다. 보일러 또는 냉동기의 정유량조절을 위하여 STA

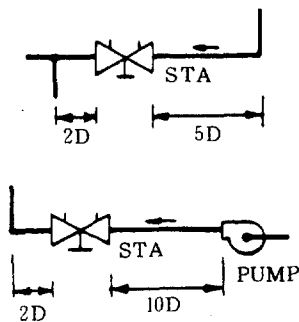


그림 14.

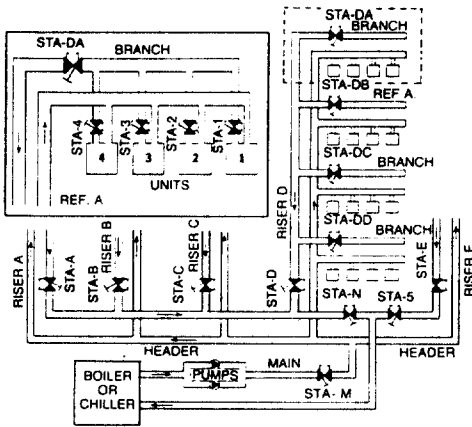


그림 15. 밸런싱 밸브를 반영한 설계 예

-M을 설치하고 각 분지관의 정유량 확보를 위하여 STA-A-STA-E까지를 설치하고 각세대간의 정유량 확보를 위하여 STA-1-STA-4를 설치하였으며 분지관간의 불균형을 없애기 위하여 STA-DA를 설치하였다.

4-5 밸런싱 방법

정유량의 조정을 하기 위하여는 준비작업과 계통에 맞는 밸런싱 방법의 채택이 필요하다.

4-5-1 밸런싱의 준비

1. 설계자의 의도를 완전히 파악하도록 유량을 표시한 도면의 파악이 필요하다. 배관도면상의 헤더, 라이저, 분지관 및 유닛의 소요 열량이 파악되어야 한다.
  2. 배관내의 크리닝과 스트레이너를 청소하여 유량이 전량 흐르도록 확인한다.
  3. 배관내의 자동 및 수동의 모든 밸브류를 개방한다.
  4. 배관내의 공기빼기를 실시하여 흐름의 충격을 제거한다.
  5. 2방밸브 또는 3방밸브의 자동제어밸브의 특성을 검토한다.
  6. 펌프의 운영이 완전한지 검토한다.
  7. 소요 계측기기를 준비한다.
- 전자식 계측기기(DTM-C)와 제작사의 밸브 특성도 그리고 제작사가 추천하는 기록 양식을 준비한다.

4-5-2 밸런싱 방법

1. 온도차 밸런싱 방법  
열량과 온수유량에 관한 일반적인 계산식은 다음과 같다.

$$Q = 1.16 GT$$

여기서  $Q = KW$ ,  $G = m^3/hr$

이 식에서 열량과 유량 그리고 온도차는 비례관계가 있음을 알 수 있다. 예를들어 온수 공급온도 90℃, 온도차 20℃ 그리고 코일의 열량이 1500 KW로 설계되었다 하면

$$1500 KW = m/hr \times 20 \times 1.16 \quad \text{따라서}$$

$$m^3/hr = 64.66$$

이 된다.

2. 프리세트(PRESET)

이 방법은 설계 유량과 예상되는 압력강하에 의거 계산하는 방법이다. 이 방법에 사용되는 식은 다음과 같다.

$$KV = \frac{6}{0.313 \times \sqrt{\Delta Hb}}$$

여기서  $KV =$ 유량계수,  $G = m^3/hr$

$\Delta Hb = \Delta Ho - \Delta Hc$ ,  $\Delta Ho =$ RISER의 차압

$\Delta Hc =$ 코일의 차압

예를 들어  $Ho = 10m CW$ ,  $Hc = 4m CW$ ,  $G = 0.5m^3/hr$ 로 가정하면

$$KV = \frac{0.5}{0.313 \times (\sqrt{10-4})} = 0.65$$

가 된다.

이것을 도시하면 그림16과 같이 된다. 이 방법은 설계치 중심이지만 준공시의 조건과 반드시 일치하지는 않을수도 있다.

3. 비례식 밸런싱 방법

이 방법은 부하가 병렬로 이루어져 있는 상

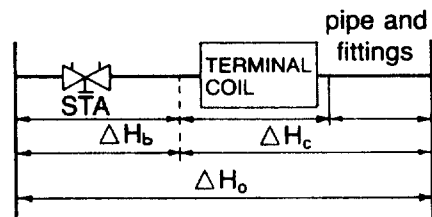


그림 16.

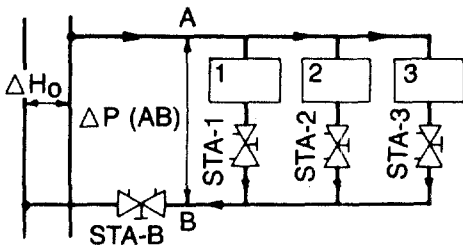


그림 17.

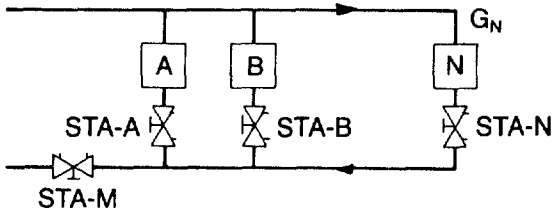


그림 18.

태에서 차압의 변동상태가 비례를 이룰 때에 주로 사용한다. 이 방법에는 정확한 차압계기나 디지털방식 측정기(DTM-C)가 필요하며 매우 정확한 유량까지를 측정하여 밸런싱을 할 수 있다.

그림17에서 STA-B에 흐르는 유량이 결정될 경우 P(AB)도 따라서 비례적으로 결정될 수 있다. 이 비례식 방법은 대형 아파트 단지나 사무실 등에서 활용될 수 있다. DTM-C의 활용방법의 해설은 다음 기회로 미룬다.

4. 보상방식 밸런싱방법

설계수치로부터 여러가지 제원을 알고 있다면 이 방법을 채택하여 밸런싱에 드는 시간을 절약할 수 있을 것이다. 이 방법은 계통 내의 압력 저항이 유사하거나 다를 경우에도 사전 작업을 충실히 할 수 있기 때문에 유리하다. 기본적인 준비는 4-5-1항과 같으며 DTM-C 사용이 필요하다.

그림 18에서 관말 부하 N의 압력강하는 계통 내 최저가 될것이다. STA-M의 유량을 설계치와 같게 조절한후 STA-N의 최저차입 P로부터 조절한다. 이때 하부하측의 밸런싱 밸브는 설계치의 약 50%에 해당하는 개방도를 유지하는 것이 필요하다.

5. 문제점

이미 우리는 아파트나 사무실 그리고 공장 에서 적지않은 사용 실례를 가지고 있으나 아직도 해결하지 못하고 있는 몇가지 문제점을 가지고 있다.

가. 밸런싱 밸브 규격선정 문제(over sizing)

밸런싱 밸브의 활용도로 볼 때 밸브의 개도 75%일 때의 기준으로 선정하는 것이 좋다. 종종 계산에 의하지 않고 배관 규격과 같은 구경의 밸런싱 밸브를 선정하는 경향이 있으나 이 때의 개도는 50% 이하가 되므로 소음 등의 문제가 발생하고 예산상으로도 비합적하지 않다.

나. 밸런싱 밸브의 기능문제

현재까지 개발된 밸런싱 밸브는 국제적으로 몇개 회사가 있으나 앞에 설명된 내용들을 충족시키고 완벽한 밸런싱을 위하여는 설계자로부터 정확히 사양을 확정시켜줄 필요가 있다. 가격적으로만 유리하다고 하여 기능상 하자가 있어서는 안되기 때문이다.

다. 밸런싱 시운전 문제

설비설계가 시작이라 한다면 밸런싱은 설비 준공에 해당한다. 따라서 정유량의 조정은 준공이 설비설계와 같도록 노력하여야 한다. 정밀한 계측기기와 숙련된 조정자의 구실이 요구된다.

라. 밸런싱 밸브 설계의 장점활용

앞에서 검토한 바와같이 설비 설계시로부터 역환수 계통이나 층별별도 입상계통 등의 중복 설비는 과감히 제거될 수 있으나 아직도 중복설계되는 예가 있다.

마. 에너지 절약의 노력이 필요하다.

설계자와 건축주 그리고 시공자 등은 초기 투자 뿐만이 아니라 운전 운영비의 절감으로부터 초기 투자의 회수를 기대할 수 있는 방법의 채택의 일환으로 냉난방 유량조절 계통의 도입을 기대한다.

참 고 문 헌

1. 로버트 피티전 “유량조절기술”, pp.4~27. 1987.

2. 高田俱之, 船橋明, 小笠 源祥五, “空氣調和の自動制御” 제 2 판, pp. 28~34. 1970.
3. ASHRAE HANDBOOK, “SYSTEM” pp. 3~6. 1984.
4. 井上宇市, “건축설비 포켓북” 한글본, pp. 231~235. 1984.