

난방시스템의 밸런싱 설계와 운전

Balancing Heating Systems

— Design and Operation —

Gérard Pollet
Director of COMAP. FRANCE



• HVAC 분야의 컨설팅 업무를 다루고 있으며 특히 System Balancing 분야의 전문가임.

1. 서 론

난방 및 공조 시스템에 대한 열·수력학적 밸런싱은 배관설비 분야 규정에서 필수 요구조건 중의 하나이다.

1.1 밸런싱이란 무엇인가?

난방에 있어서의 밸런싱이란 주어진 시스템에 의해 난방되는 다수의 공간내 온도 분포를 올바르게 유지시킴을 의미한다.

각 공간이 필요로하는 온도로써 열적균형을 이룬다는 것은 공간내 열량과 열 혹은 에너지의 손실량이 같아지는 것을 뜻한다. 열손실은 난방 시스템이나 열 방출기에 의해서 이루어지는 것이 아니라 각 공간의 구조 및 환기 특성에 관련된다. 열손실에 대하여 공급열량을 조절해야 하는 근본적 이유는

— 열방출기를 적정한 온도와 유량조건에 맞추기 위함.

— 각각의 열방출기를 소음이 없고, 진동이 없어야 하는 등의 요구 조건에 맞는 상태로 유량을 통과할 수 있는 시스템이 되도록 함이다.

이러한 목적을 달성하기 위한 첫째 조건은 시스템의 열적 밸런싱이며 둘째는 열적 밸런싱

과 수력학적 밸런싱을 연계하는 것이다.

1.2 왜 시스템 밸런싱이 필요한가?

시스템의 밸런스는 과도한 온도의 변화, 심한 소음 및 제어점에서의 오동작이 없는 신뢰성있는 운전을 위한 근본적인 조건이기 때문이다. 이러한 이유들은 시스템의 규모가 커짐에 따라 더욱 절실한 것이다.

시스템을 올바르게 밸런싱 하면

- 에너지 소비가 최소화 된다.
- 관리유지의 필요성이 감소된다.
- 관리비용이 절감된다.

1.3 열·수력학적인 불균형이 가져오는 결과

예 1) 열적 불균형

그림 1은 밸런싱 밸브가 모두 완개(完開)(전체적으로 조정이 없음)된 상태에서 시스템의 열적인 상태를 보여주는 것이다.

수력학적 불균형의 결과는 열방출기에서의 심각한 열의 불균형을 일으키며 이것은 공간온도의 매우 폭 넓은 변화를 초래한다. 더구나 이 문제는 제어와 조정장비의 오동작과 순환계통 소음발생의 근본적인 이유가 될 수 있다.

예 2) 셋팅 자체가 불균형인 경우

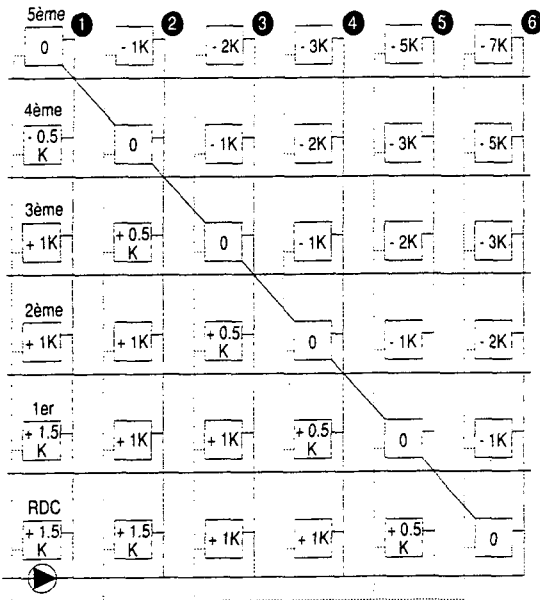


그림 1 불균형 시스템

그림 2에서 3방 밸브의 1차측을 100% 열었을 경우

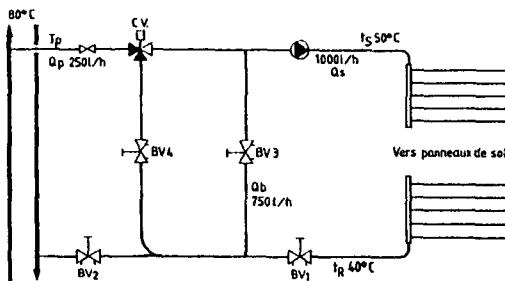


그림 2 바닥 난방 시스템의 조절(밸런싱 또는 조절밸브 사용)

$$Q_s \times 50 = Q_b \times 40 + Q_p \times 80$$

$$Q_s \times 50 = Q_b \times 40 + Q_p \times 80 - Q_b \times 80$$

$$Q_b(80 - 40) = Q_s \times (80 - 50)$$

$$\therefore Q_b = Q_s \times \frac{30}{40} \text{ 이 된다.}$$

따라서, Q_s 가 1,000ℓ/h인 경우

$$Q_b = 750 \ell/h \quad Q_p = 250 \ell/h \text{가 된다.}$$

그림 2는 저온수 바닥 난방시스템의 조정방식으로 자주 채택되는 시스템이다 밸브 BV_1 을 통하여 바닥 난방시스템에서 필요한 전체 유량이 얻어질 수 있도록 펌프 운전점의 정확한 위치를 맞출 수 있다.

밸브 BV_3 은 3방 밸브의 1차측이 완전히 열렸을 경우 바이패스 유량을 제어하여, 환수와 공급수를 혼합함으로써 패널에 공급하는 적절한 온수를 얻도록 해준다. 이러한 시스템을 취하면, 첫째로, 1차측 유량이 현저하게 줄어들 수 있으며 그 결과로 시스템의 크기(관경)도 동일하게 줄어든다. 둘째로, 3방밸브를 전개(全開)상태로 사용할 수 있다.

이러한 시스템은 펌프가 정지된 상태에서도 난방 바닥용으로 많은 양의 높은 온도의 온수가 흐르는 것을 방지시켜 준다.

밸브 BV_4 는 개도에 관계없이 3방밸브의 Authority를 동일하게 유지시켜 주는 기능을 갖는다.

이상 4개의 제어 밸브에 의해서 회로의 최적 운전이 유지된다. 만약, 밸브 BV_3 와 BV_4 가 제 역할을 하지 않을 경우에는 공급온도(t_s)가 정확하게 조정되지 않으므로 1차측온도가 낮아져야 하며 그에 따라 유량은 증가되어야 한다.

2. 열방출기의 적정설계(Limit Design)와 계산

여기에서는 열방출기로부터 시작하여 난방시스템을 분석해 보기로 한다.

2.1 열방출기의 열적운전

난방용 열방출기의 깊이있는 연구를 위하여 관련된 기본법칙을 요약해 보면 다음과 같다.

2.1.1 방열기

열방출식은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$P = n \times A (Dtm)^a \dots \dots \dots (1)$$

식에서

- n : 방열기 element수(쪽수)
- A, α : 방열기쪽당면적 및 고유상수
- Dtm : 방열기 평균온도와 실온의 차(°C)
- P : 방열기에서의 열방출량(w/h)이다.

또한, Dtm ; $\frac{te-ts}{2} - ta$ 이다.

여기서

- te : 방열기의 입구 온수온도(°C)
- ts : 방열기의 출구 온수온도(°C)
- ta : 실내 온도(°C)이다.

식 (1)에서의 P 가 식 (2)와 같은 등식이 성립하면 열적평형이 얻어지는 것이다.

$$P=B(\text{실내온도 } ta \text{에 대해서}) \dots\dots\dots (2)$$

식에서 B 는실내에서 필요로 하는 열량(열손실량에서 열취득량을 제한 값)이다.

실제로 방열기가 정확히 계산된 경우라도 완전한 밸런스가 이루어지지 않는다. 그 이유는 다음과 같다.

- 실제 상태가 계산된 상태와 거의 동일하지 않다.

- 외부에서 들어오는 열이 열관련 방정식을 교란시킨다.(예를 들면 난방배관, 인접공간이나 아파트 세대간의 온도설정의 차이등에 의함)

- 열손실 때문에 인입 난방수 온도가 시스템의 배관길이에 따라 조금씩 낮아진다.

- 방열기의 설계유량은 실제유량이 아니다.

즉, 이상의 이유들은 Dtm 에 의존하는 P 의 변화, ta 나 $Tm = \frac{te-ts}{2}$ 의 변화없이 $P=B$ 라는 등식이 얻어질 수 없다는 것을 증명한다. te 는 방열기 입구측의 시스템온도이나 te 가 변화하면 모든 방출기 성능의 전면적인 변동이 초래된다. 그러므로 방열기의 성능에 영향을 주는 각각의 인자에 대하여 살펴볼 필요가 있다. 즉, tm 을 변화시키려 하면 ts (온수출구온도)를 변화시키면 된다.

그러나 ts 는 온수유량 Q 에 따라 변화한다.

$$P=1.16 \times Q \times (te-ts) \dots\dots\dots (3)$$

- 식에서 P : 열량(w/h)
- Q : 유량(ℓ/h)이다.

식(1)과 (3)은 주어진 온도 te 와 ta 에서의 열방출량(P)와 공급유량(Q)의 관계를 나타내며, 그림으로 표시하면 아래와 같다.

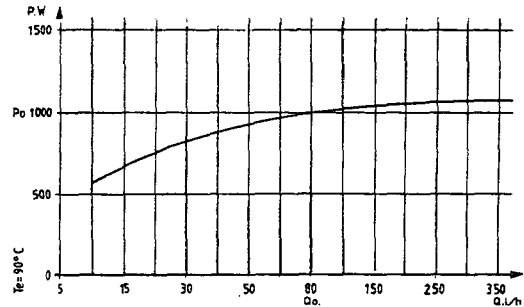


그림 3 판넬 방열기에서의 유량-열방출량 선도

그림 3에서 유량이 80 ℓ/h 인 점을 공칭유량이라고 하고, 이점을 기준으로 하면 공칭유량보다 유량을 줄이는 변화가 공칭 유량보다 유량을 증가시키는 변화에 비하여 효율적임을 증명한다.

$Q_0/5$	$Q_0/2$	$Q_0=100$	$1.5Q_0$	$3Q_0$
-25%	-10%	$P_0=100$	+5%	+10%

대부분의 경우 많은 문제점들은 유량을 증가시키므로 발생된다. 즉, 유량의 증가는

- 빠른 유속과 소음레벨의 증가
- 마찰손실 수두의 급격한 증가(펌프와 밸브류의 과대 설계)를 가져온다.

열방출량은 증가시키는 것 보다 감소시키는 것이 더욱 쉽다는 것을 알기 때문에 방열기를 크게 사이징하는 경향이 있다.

2.1.2 바닥 패널

바닥 패널의 열방출 법칙은 아래와 같은 여러개의 인자들 때문에 방열기의 법칙보다 더욱 복잡하다.

- 패널에 매설된 난방 배관의 환경, 구성 및

위치

- 난방 배관의 간격(Pitch)
- 바닥 또는 천정 패널의 재질 및 구성

더구나 일반적으로 바닥 표면온도는 낮은 온도 수준으로 제한된다. 마지막으로, 만약에 슬라브의 아랫면을 단열시키지 않았다면 상하층 양쪽의 공간이 독립된 난방이 된다고 볼 수 없다.

각각의 난방바닥은 바닥 슬라브와 그 구성물 안에 있는 난방배관의 위치에 비례하여 동시에 위쪽과 아랫쪽으로 열을 방출하기 때문이다. 그림 4는 바닥 패널 배관계에서 유량변화 효과를 보여준다.

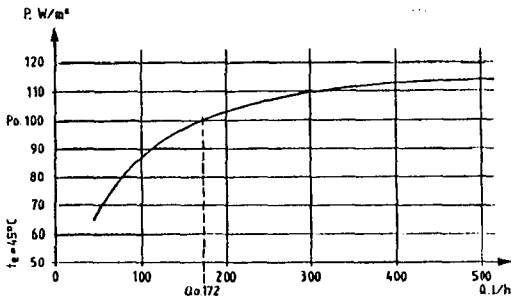


그림 4 바닥 패널에서의 유량-열방출량 선도

곡선의 일반형태는 방열기의 곡선과 같다. 즉, 표에서와 같이 바닥 패널 난방의 과대 설계결과도 방열기의 과대 선정결과와 거의 유사하다.

$Q_0/5$	$Q_0/2$	$Q_0=100$	$1.5Q_0$	$3Q_0$
-40%	-15%	$P_0=100$	+8%	+17%

2.2 열적으로 열방출기를 조정하는 방법 (열적 평형을 유지하는 방법)

2.2.1 시스템내로 흐르는 유량이 일정할 때

그림3과 그림 4로부터 아래 사항을 확인할 수 있다.

- 유량의 변화에 따른 방출열량의 변화가능한 범위는 설계치의 -30%에서 +15%이다.
- 일반적인 난방공급수 온도를 기준으로 할 때 상태가 가장 나쁜 방열기에서의 방열량 부

족은 10% 정도이다. 이 부족한 열량을 보완하기 위해서는 설계유량을 2배나 3배로 증가시켜야 한다.

- 공급유량을 줄어줌으로써 과대한 방출열량은 감소하게 된다.

실제적으로 상태가 가장 나쁜 방열기(펌프에서 가장 먼곳에 위치)는 다른 것과 비교해서 5% 정도 용량이 큰 것으로 선정되는 것이 바람직하다.

최소량의 난방온수가 공급되는 방열기에는 현저히 증가된 유량을 필요로 하며, 이것은 배관계에서 최대 손실수두가 발생하는 구간이 된다. 이 구간이 펌프의 양정과 밸런싱 장치에 의한 보상용 수두를 결정하는 구간이 된다.

예 3) 어느 구간의 관말에 설치된 방열기가 있다. 배관 길이가 10m이고, 관마찰 손실이 15 mmAq/m이다.

- 전체 손실수두는 $10 \times 2 \times 15 = 300$ (mmAq)이다.

- 방열기가 15% 정도 용량이 부족하다면 설계치와의 차이를 보상하기 위해서 설계유량의 2.45를 공급해야 하고 손실 수두는 $(2.45)^2 = 6$ 배가 되어야 한다.

즉 고려된 부분에서의 손실수두는 $300 \times 6 = 1,800$ mmAq가 되며

마지막 방열기가 15% 정도 용량이 부족하게 선정되었다면

- 펌프의 양정이 1.5m 높아져야 하고
- 1.5m의 추가 손실 수두는 모든 제어 기구에 의해 보상되어야 한다.

2.2.2 시스템내에 흐르는 유량이 변화할 때

열방출기로 부터의 발열량 조절은 난방온도 조절밸브를 사용하는 방식과 같이 연속적으로 유량조정을 행함으로써 이루어진다. 즉, 방열기의 열적평형은 열매체의 유량제어에 의해 이루어진다. 그러나 이방법이 효율적이라 해도 그외 여러 조건들이 필요하다.

- * 온도 감지부는 주위 상태를 가장 잘 확인할 수 있는 곳에 올바르게 설치되어야 한다.
- 공간내(벽장안 등)설치금지

- 난방 혹은 냉방열원이 될 수 있는 곳의 주변이 아닌 곳(태양열, 전기오븐, 냉장고 등)

- 통풍구 주변이 아닌 곳.

* 규격이 적정해야 한다.

- 부족한 것은 "전부 아니면 전무"라는 현상을 일으킨다.

- 과도한 것은 열취득에 의한 회복을 더디게 한다.

* 난방온도 조절 밸브는 소음, 휘파람 소리, 펌프의 잡소리 등이 발생하지 않도록 그 특성에 맞도록 선정된 유량조건 아래에서 작동되어야 한다. 그리고, 아래에서와 같이 유량 제어 작용이 올바르게 수행되는 난방온도 조절밸브를 사용한다고 해서 시스템의 수력학적 밸런싱이 필요 없다는 것을 의미하는 것은 아니다.

2.3 열방출기류의 선택 절차

2.3.1 설계 과정

1) 공간내의 열손실량 계산 : 외기 온도와 바닥, 주위 온도를 기준으로 한다.

- 벽과 연결부위를 통한 열 손실

- 환기 열손실

2) 아래사항을 고려한 부가 계수를 정한다.

- 안전율

- 간헐운전을 대비한 동력 여유(낮은 온도에서 정상온도에 도달할 때 까지)

- 최악 조건에 설치되는 열방출기의 안전율. 일반적인 여유동력 상수 : 1.20(모든 방열기) 1.25(상태가 좋지 않은 방열기)

3) 열방출기로부터 방열되어야 할 열량 계산

용량 = 열손실 × 여유용량 상수

2.3.2 열방출기 선정

1) 방열기의 경우

공급온수온도와 방열기에서의 온도강하치를 선택한다. 즉, 방열기의 평균온도를 선택한다. 선택된 방열기 부분의 구체적인 방열량과 필요한 방열기 쪽수를 정한다.

2) 바닥 패널의 경우

- 하나의 패널에서 얻어지는 평균방열량을 결정한다.(유효패널 표면적당 방열량. W/m²로 표시)

- 이값이 바람직한 바닥온도에 부합되는지를 검토한다.

- 여러가지 단계와 패널재료를 고려하여 온수의 적절한 평균온도를 결정한다.

- 공급 온수 온도 조건을 선택한다.

위의 사항으로 부터 공급온수 온도, 온도 강하, 패널 난방을 위한 유량이 결정된다.

- 얻어진 값들이 적절한지를 검토한다.

예 4) 방열기 규격 구하기

공간의 열손실 : 2,000W(주변온도 20°C) 안전율 : 1.2

소요열량 : 2,000 × 1.2 = 2,400(W)

난방온수 : 90°C, 설계온도 강하 : 20°C

$t_m = 80^\circ\text{C}$, $Dt_m = 60^\circ\text{C}$

방열기쪽당 방열량 : 62.25w

필요한 방열기 쪽수 : 2,400/62.25 = 38.6

방열기 쪽수를 39로 하면

이에 따른 방열량은, 2,427W/h가 되며

이에 따른 이론 유량은 $\frac{2,427}{1.16 \times 20} = 104.61(\ell/h)$ 이 된다.

방열기의 밸런싱 밸브의 유량을 조절하여 방열량이 2,427W에서 2,400W로 1.11% 줄이면 이에 따라 쪽수당 방열량은 $\frac{2,400}{39} = 61.54\text{W}$ 가 된다.

방열기는 $Dt_m = 59.5^\circ\text{C}$, $t_m = 79.5^\circ\text{C}$

온도강하 : $(90 - 79.5) \times 2 = 21^\circ\text{C}$ 이고

유량 = $\frac{2,400}{1.16 \times 21} = 98.5\ell/h$ 이고

이 유량값은 이론 유량값보다 5.8% 낮다.

예 5) 배덕 패널

주변온도 : 20°C

열 손 실 : 가장 나쁜 지역 1,000W/h

안 전 율 : 1.25

필요열량 : 1,000 × 1.25 = 1,250W/h

판날의 면적 : 15m²라고 하자.

단위 면적당 평균 방열량 : $\frac{1,250}{15} = 83.3\text{W/m}^2$

바닥 온도를 28℃라 할 때
표에서 평균 온도를 읽으면

배관 간격(Cm)		10	20	30	40
온수온도 45℃까지	<i>Dtm</i>	14	16	20	22
	<i>tm</i>	34	36	40	42

개략 길이와 수두 손실은 30cm의 배관간격이
마찰 손실과 배관길이를 고려할 때 가장 좋다.

2.4 중요 사항

1) 난방공급수 온도선택의 영향

방열기의 선택은 방열기의 평균온도를 결정하는 것이라는 것을 확실하게 이해해야 한다. 여유용량계수는 열방출기의 크기(방열기에서는 쪽수, 바닥패널에서는 길이)에 영향을 준다. 열방출기의 평균온도는 가능한한 동일한 것이어야 한다. 그것들은 방열의 정격조건에서 열방출기에 대한 설계조건을 만족시켜야 한다.

예 6) • 바닥 판넬 *tm*(평균온수 온도)=50℃

• 방열기 *tm*=70℃~80℃

난방온수 온도는 적절한 온도 강하를 얻도록 선택되어야 한다.

• 바닥 판넬 =10℃~15℃

• 방열기 =15℃~25℃

열 방출기가 정확한 크기로 선정되었을 경우는 온수 공급 온도를 당초 정해진 온도이하로 낮춘다 해도 아무런 잇점이 없다. 이것은 주어진 *tm*(평균온도)에 대해 *ts*가 올라가고 온도강하는 줄어드는 것을 의미한다. 따라서 유량은 비례적으로 증가하고 손실수두는 유량의 제곱비율로 증가한다. 난방공급수 온도를 결정하는 것은 펌프를 선택하는데 가장 중요한 요소가 된다.

예 7) • 방열기에서 유량은 100ℓ/h, 온수온도 90/70℃ *tm*=80℃이다.

만약 온수온도가 85℃로 변화하면 출구 온도는 같은 발열량을 얻기 위해 75℃가 되어야 하고 유량은 2를 곱해 200ℓ/h가 되고 손실 수두는 4배가 된다.

• 바닥 패널에서의 유량은 200ℓ/h, 온수온도 55/45℃ *tm*=50℃이다.

만약 온수온도가 52℃로 변화하면, 출구 온도는 같은 발열량을 얻기위해 48℃가 되어야 하고, 유량은 2.5를 곱해서 500ℓ/h가 되고 손실수두는 6.25를 곱해 얻어진다.

3. 밸런싱 유니트의 계산과 설계

3.1 분배 시스템 계산의 기본 원리

필연적으로 분배 시스템의 올바른 수력학적 계산은 아래와 같은 단계를 거친다.

- 1) 앞에서 설명된 대로 열방출기에 필요한 실제유량의 계산
- 2) 시스템의 각 구간에 대한 유량계산
- 3) 이러한 유량에 적합한 관경과 유량에 적합한 제어기구의 결정
- 4) 각 구간에서의 압력손실 계산
- 5) 가장 불리한 회로의 탐색
- 6) 시스템 펌프의 선정과 적성설계
- 7) 각 분기회로 말단의 보상을 위한 여유압력 계산
- 8) 밸런싱 기구의 적정 설계와 초과 압력을 흡수하기 위해 필요한 설정점의 결정.

3.2 관경 선정

계산용 프로그램이나 도표를 사용한다. 관경 결정은 각 구간으로 흘러야 하는 유량을 기본으로 한다. 관경의 선정은 주어진 배관의 재질(강관, 동관 등...)별, 관경별 허용유량의 범위 내에서 결정된다.

- 최대 유속을 기준으로 하는 선정
- 단위길이당 최대 손실수두를 기준하는 선정

그림 5는 동관관경을 결정할 수 있는 선도의 예를 보여준다. 즉, 선도는 관경, 유량, 유속 및 저항 값들의 상관관계를 나타내고 있다.

3.3 압력 손실의 계산

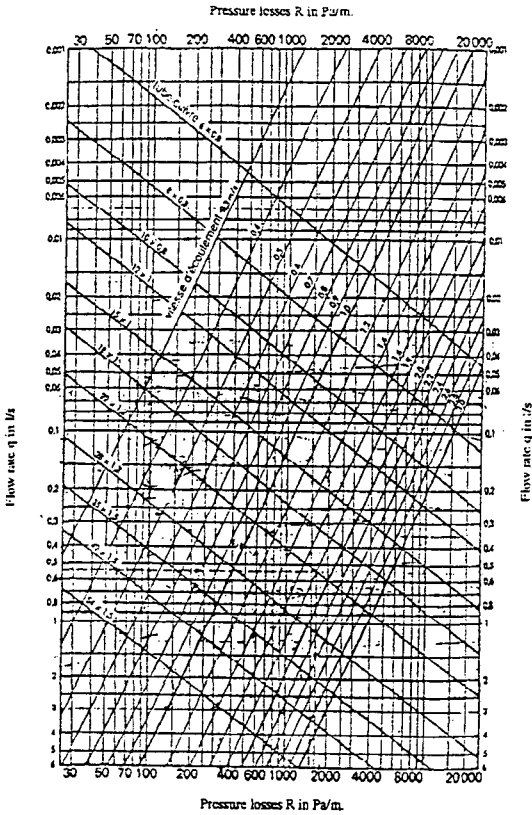


그림 5 동관의 손실 수두표

압력 손실은 아래와 같다.

단위 길이당 압력 손실

$$dpi = j \times \text{배관길이(공급관 + 환수관)} \dots\dots (4)$$

부차적 압력손실은 시스템의 특징(관경 변화, 티나 엘보 등의 사용 등)에 의해 발생한다. 부차적 손실의 계산은 지루하고 부정확한 작업이기 때문에 실무적으로는 각 이음쇠나 밸브류를 상당장으로 환산하여 사용한다. 즉 부차적 압력 손실

$$dPs = j \times L_{eq} \dots\dots (5)$$

3.4 펌프의 선정

각 부분에 대한 압력 손실의 계산은 가장 불

리한 구간이 가장 많은 압력 손실 합계를 갖고 있는 구간이라는 것을 명확하게 하여준다. 대부분은 가장 긴 배관구간이다. 가장 불리한 구간을 기준으로 펌프의 용량이 결정된다. 그 압력손실은 위에서 계산한 대로 고유시스템의 압력손실과 같으며 제어와 조정기구에 의한 압력손실에 의해 증가된다.

$$dP_{total} = dP_{system} + dP_{BV} + dP_{CV} \dots\dots (6)$$

식에서 BV=조정 밸브

CV=제어밸브를 표시한다.

평균 수두 손실값이 각각의 제어 기구 선정에 사용된다. 원칙적으로 이 값은 가장 불리한 배관회로에서의 값보다는 적다. 통상수치는 콘트롤 밸브 1개당 300mmAq정도이다. 제어 기구에 대한 압력손실은 제어 기구자체의 Authority이하가 되도록 계산되어야 한다. 일반적으로 제어 기구의 Authority는 다음과 같을 때 적당하다고 간주된다.

$$dP_{cv} = 0.25 \times dP_{total} \dots\dots (7)$$

또는

$$dP_{cv} = 0.33 dP_{BV} + dP_{system} \dots\dots (8)$$

가장 불리한 구간 전체 수두 손실 dP_{tot} 가 확인되면 필요 유량에 대해 전체 압력손실에 상응하는 유효압력 수두를 제공할 수 있는 펌프 양정 선정이 가능하다. 펌프특성 곡선과 시스템 특성곡선이 교차되는 지점이 시스템의 실제 운전점이 된다. 펌프의 특성곡선은 펌프 생산업자에 의해 제공된다. 분배 시스템의 특성곡선은 아래와 같이 단순하게 만들어질 수 있다.

$$\text{즉, 시스템의 상수 } Z = \frac{\Delta P}{Q^2} \dots\dots (9)$$

식에서 ΔP ; 압력손실(mAq) Q ; 유량(m^3/h)이다.

이와같이 시스템의 압력 손실은 아래의 방정식에 의해 여러개의 유량에 대해 연속적으로 계산될 수 있다.

$$\Delta P = Z \times Q^2 \dots\dots\dots (10)$$

예 8) 1.2m³/h의 전체토출량에 대해 3.4m 수두 압력 손실을 갖고 있는 시스템을 가정한다.

$$\text{상수 } Z = \frac{3.40}{(1.2)^2} = 2.361$$

유량에 대한 수두 손실표

Q	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00
P	0	0.148	0.590	1.328	2.361	3.689	5.312	9.444

펌프의 선택 :

- 대부분의 펌프들은 여러개의 운전점을 갖고 있기 때문에 펌프는 특성곡선의 중간지점에서 선정된다.

- 운전점을 결정하기 위한 분배시스템의 특성곡선은 펌프 이후 배관(보일러, 제어밸브 등)에서 발생하는 압력손실에 대한 여유치를 고려하여 결정되어야 한다.

3.5 밸런싱 기구의 적정 설계법

3.5.1 입상관용 밸런싱 밸브 설치의 필요성

수직배관 하단에 보완적인 밸런싱 기구가 없는 경우에, 펌프에서 가장 가까운 열방출기의 밸런싱 기구는 가장 불리한 곳에 설치된 열방출기의 열적평형을 이루는데 필요한 압력차보다 큰 압력차를 흡수해야 한다.

일반적인 방법으로는 펌프로부터 가장 먼 곳의 열방출기용 밸런싱 기구의 개도를 완전히 열어 놓는다.

밸런싱 기구에 의해 발생된 추가 압력 손실은 가장 불리한 열 방출기와 펌프에 가장 가까운 열 방출기 사이 배관계통에서의 압력 손실과

같아야 한다. 실제로 열 방출기에 사용되는 밸런싱 기구의 전체 압력 손실은 대규모 시스템에서는 정상적인 배관계통 약 100m당 2~3 mAq를 초과해서는 안된다. 펌프로 부터 가까이 있는 열 방출기는 압력 손실을 높이고, 유량은 줄이는 식으로 밸런싱을 용이하게 하기 위해 공칭온도 강하가 채택될 수 있다.

예 9) 가장 불리한 열방출기의 유량이 100ℓ/h (15°C의 온도강하에서)이며 열방출기에는 밸런싱 밸브가 설치되어 있고 밸브의 개도가 완전히 열려있는 상태에서 20mmAq에 상당하는 압력손실이 발생한다고 가정하여 보자.

만약에 펌프에서 가장 가까운 열방출기의 유량이 동일하다면, 동일한 밸런싱 밸브는 3,000 mmAq(1/2 회전 정도로 열린 경우)에 상당한 최대 압력손실이 발생할 수 있다.

만약 그때 열방출기가 설계된 온도강하보다 낮은데서(예를 들면 7.5°C)운전되어야 한다면, 설계유량은 2배로 증가되어야 하고 밸런싱 밸브는 1번 회전시켜 열릴 때마다 4,000mmAq에 상당한 압력손실이 발생할 수 있다.

원리적으로 밸런싱 기구의 수력학적 특성을 자유롭게 선정하여 열방출기를 밸런스 시키는 것이 가능하다. 그러나, 이것은 항상 유량이 변동되는 시스템을 전체로 하므로 각각의 열방출기에서의 *tm*이 서로 다르다. 따라서 밸런싱 기구를 현장에서 임의로 조절하는 것은 Comissioning문제와 오히려 잘못될 위험성 때문에 바람직스럽지 못하다.

바닥 패널 형태를 일정하게 취하고 있는 경우, 유량이 동일한 것이 입상관에 밸런싱 기구를 설치해야 할 이유이다. 입상관에서 밸런싱 기구를 설치하면, 설치하지 않은 경우에 비하여, 각 열방출기용으로 설치된 밸런싱 기구(그것이 최대로 개방된 배런싱 기구 일지라도)가 흡수해야 하는 압력 손실량이 적어진다. 더구나, 입상관의 둘째열에 설치된 밸런싱 기구는 일반적으로 주택내의 열방출기에 설치된 첫째열의 밸런싱 기구보다 훨씬 조절이 쉽다.

3.5.2 온도 조절밸브에 대한 중요성

1) 유량계수(Kv)의 선택

수동형 혹은 자동온도조절밸브의 어느쪽을 적용하거나 Kv 값의 선택은 밸브의 Authority와 제어 효율상의 중요한 부분이기 때문에 매우 근본적인 것이다. Kv 값이 낮을수록 그 밸브의 Authority는 커지며 시스템의 성능을 더욱 좋게 해준다. 그러나 Kv 값이 작을수록 압력 손실은 커지고 아래와 같은 이유로 제한이 따른다.

첫째로 밸브에서의 최대 압력손실이 일반적으로 $4mAq$ 를 넘으면 순환소음 발생의 위험성이 있다.

둘째로 시스템의 수력학적 계산으로 부터 얻어진 가용압력차에 의해 Kv 값이 너무 클 경우에는 온도조절밸브의 작동이 불안정해지며 시스템이 한계에 도달되어 작동이 중지될 수도 있다. 수동밸브의 경우는 유량을 중간값으로 조절하는 것이 실제적으로 불가능하다.

2) 실제유량과 설계유량 차이에 의한 문제점

수동밸브의 경우 난방공간이 과열 난방되거나 난방이 부족한 경우를 빼고는 문제가 없다. 자동온도조절밸브의 경우에는 다음과 같은 문제점들에 부딪히게 된다. 만약, 실제 유량이 설계 유량보다 큰 경우, 공간의 과열난방은 밸브를 거의 닫히게 하며 이때 온도조절밸브는 유량조절기의 기능으로 전락한다. 이 경우 열취득에 의해서 실온을 회복하는 밸브의 효율이 저하된다.(이것은 온도조절밸브의 제어 범위가 줄어든다는 것을 뜻한다)만약, 설계유량보다 실제유량이 작을 경우 내부의 안정된 온도는 얻을 수 없고 이 밸브는 수력학적 불균형을 보상하지 못하고 정해진 개도점을 초과하여 열려있게 한다.

3) 주의 사항

만약 모든 열방출기에 온도조절밸브가 부착되었을 경우 순환펌프 바로 밑이나 수직배관 하부에 차압밸브를 설치하여야 하며 그 이유는 아래와 같다.

- 펌프의 운전점을 유지하기 위함.
- 상당수의 밸브가 동시에 닫힘 상태로 될 경우 시스템을 조절하기 위함.

차압밸브의 크기 결정은 전체적으로 시스템을 크거나 작게 조절할 수 있는 밸브의 능력을 기

준으로 한다. 만약에 설계유량과 펌프나 입상관 하단이후의 시스템의 압력 손실을 알 수 있다면, 그에 상응하는 상수 Z 를 계산할 수 있다.

$$Z_{inst} = \frac{4P(\text{펌프 이후 압력 손실})}{Q^2}$$

완전개방된 상태인 경우 차압밸브의 Z 상수는 아래와 같은 값을 가져야 한다.

$$Z_{\text{차압밸브}} = Z_{inst} + \frac{BP_1}{Q^2}$$

BP_1 는 밸브의 비례대이다.(즉, 닫혀진 위치에 서 완전히 열린 위치로 가기 위해 필요한 압력의 증가분이다.)

4) 차압밸브 설치시 시스템 운전 특성 곡선

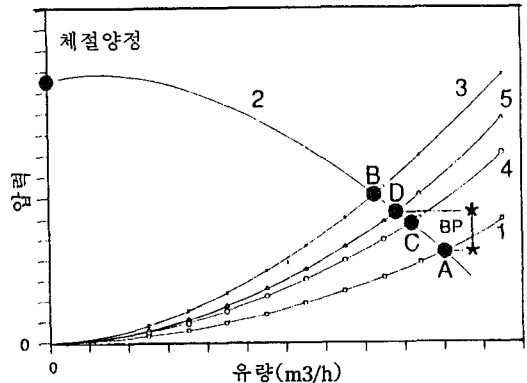


그림 6 차압밸브 설치 경우 시스템 특성 곡선

그림 6의 각점은 다음과 같다.

- ① 설계유량에 대한 시스템의 저항곡선
- ② 순환 펌프의 특성 곡선
- ③ 많은 밸브가 동시에 닫힐 경우 시스템의 저항곡선(펌프의 운전점은 A에서 B로 넘어간다.)
- ④ 차압밸브가 설치된 시스템의 특성곡선(운전점 C는 설계유량에 대한 운전점과 A와 가깝다.)

- ⑤ 차압밸브가 설치된 시스템의 한계특성 곡선(모든 밸브가 닫혀진 경우, A와 D지점은 밸브의 비례지역을 나타낸다.)
- 5) 차압밸브 설치

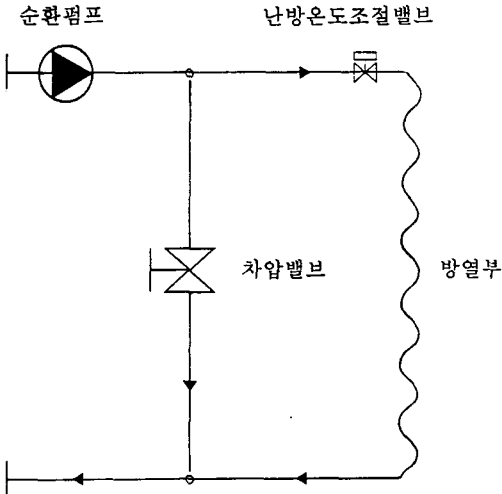


그림 7 차압밸브 설치 시스템 계통도

실제로 온도조절밸브의 상류쪽 배관에 차압밸브를 설치하는 것이 펌프 다음에 설치된 밸브를 통해 흐르는 것 보다 더욱 독립적으로 유량을 순환시킬 수 있으므로 바람직하다.

3.5.3 밸런싱 기구의 개도 결정

아래 사항들은 밸런싱 기구의 구경과 조정을 위해 필요한 사항이다.

- 해당 부분을 통과하는 유량(난방기기의 열역학적 계산으로 얻는다)
- 필요한 압력손실(배관계통에 의한 계산으로 부터 얻는다)
- 제어기구의 특성곡선들
- 유량과 밸런싱 밸브에 의해 생긴 압력 손실을 알고 있으므로, 밸브의 사이징이 가능하다.

밸브 구경은 과도하게 닫히지 않는 것이어야 한다. 여러가지 구경중에서 선택할 경우 밸브를 열때 가장 많은 회전수를 갖고 있는 즉, 가장 작은 구경의 밸브를 선택하는 것이 좋다. 과대하게 선정된 밸런싱 밸브는 가격이 비쌀 뿐만 아니라 조정된 밸브가 거의 닫힌 상태이기 때문에 부

정확하고 운전중 소음이 발생한다. 정상적인 운전의 밸브의 개도는 35~80% 범위안에 있어야 하고 어떠한 경우에는 반회전 정도의 개도보다 적은 상태에서 고정되어서는 안된다.

3.6 밸런싱 기구의 선정

밸런싱 기구는 밸브 전용의 컴퓨터 프로그램을 활용함으로써 용이하게 선정할 수 있으며, 프로그램을 사용하면 각 밸런싱 기구에 대하여 다음과 같은 값들이 얻어진다.

- 1) 구간 번호
- 2) 유량(l/h)
- 3) 요구되는 차압(bar, mmAq)
- 4) 사용하고자 하는 밸런싱기구의 모델 및 규격
- 5) 설정점

3.7 관마찰 저항의 계산과 밸런싱 밸브 선정

그림 8의 배관계를 기준으로 각구간의 관마찰 저항과 밸런싱 밸브 선정결과는 그림 9 및 표 1과 같다.

4. 효과적인 조정

효과적인 조정을 위한 방법중 매우 선호되는 것은 전장에서 설정된 사전고정(Pre-Setting)이 가능한 밸브에 의한 조정절차에 따라 개도 고정에 대한 사전계산법이다. 그럼에도 불구하고 사전고정은 검사와 마지막 조정이 요구된다. 압력손실 계산은 특히 현장에서의 특이한 압력손실과 특별한 실제작업조건 때문에 실제와 많은 차이가 발생하는 경우가 있다. 유량계가 밸런싱 기구에 포함 설치될 경우에는 필요한 유량이 흐르는지를 확실하게 현장에서 검증할 수 있다. 이 조정작업은 각각의 밸브에 대해 처음에는 입상관 하단(2째열)에 설치된 밸브, 두번째는 난방기기에 설치된 밸브(첫째열), 마지막으로 일반밸브들(3째열)순으로 수행된다.

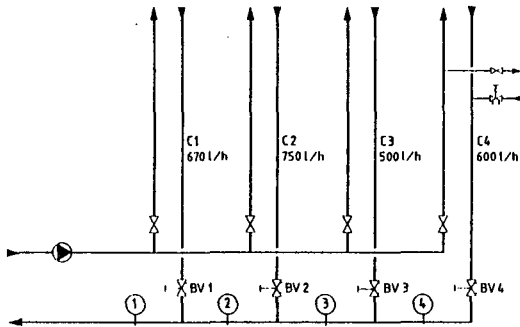


그림 8 배관 계통도

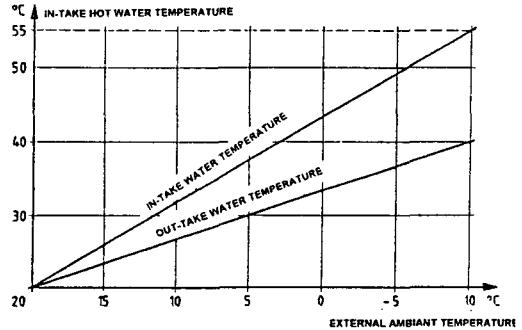


그림 9 Regulation Rule for Water Intake Temperature According to External Ambient Temperature. for Floor Panels

표 1 구간별 관마찰 저항과 밸브 선정 결과

구간 번호	DN Copper	Flow.rate l/h	j mm/ml	V m/s	L m	ksi	Leq	L total	4p mmAq	4p cumul	BV				
											밸브	Flow.rate	4p	DN	SeLting
1	42	2 520	10	0,6	25 * 2	3,5 * 2	12	62	620	3 382	BV1	670	3 062	1/2"	19
2	35	1 850	15	0,65	20 * 2	3,5 * 2	10,5	50,5	758	2 762	BV2	750	2 304	1/2"	22
3	28	1 100	15	0,55	25 * 2	4,5 * 2	9	59	885	2 004	BV3	500	1 419	1/2"	21
4	22	600	17	0,5	30 * 2	4 * 2	5,8	65,8	1 119	1 119	BV4	600	300	3/4"	28

4.1 설계유량으로의 직접 고정(이중 측정 방법)하는 방법

이 방법은 정확한 계산에 근거한 조정범위에 따른 순서에 의해서 점진적으로 모든 밸브를 조정하는 것이다. 각 입상관을 조정할 때 실제 유량이 처음으로 측정된다. 만약에 측정된 실제 유량이 예상된 유량보다 10% 이상 차이가 나는 경우에는 아래 방법에 따라 조정되어야 한다.

- 조정밸브의 개도를 정한다.
- 측정장치에 이 자료를 입력시키면 통과유량이 m³/h의 단위로 나타난다.
- 밸브의 개도를 변경시키고, 측정장치에 새로운 자료를 입력시킨다. 이때, 새로운 통과유량값을 읽을 수 있다.
- 만약에 주어진 유량이 얻어지면 이 값은 측정장치에 입력되어야 하며 이때, 유량에 상응하는 개도가 나타난다.

주) 이 방법의 정확도를 개선시키기 위해

개도들 사이에 충분한 차이가 있는 것이 바람직하다.

이 방법의 장점은 단지 한명의 작업자가 필요하다라는 것이다.

단점은 정확하게 계산된 사전고정(Pre-Setting)이 필요하다는 것이다.

4.2 기준 배관측정 방법

정확한 사전고정(Pre-Setting)이 가능하지 않을 경우에, 만족할 만한 수력학적 밸런스를 얻을 수 있다는 보장이 없는 연속적인 수정작업에 과도한 시간을 낭비하는 일이 없도록 대체조정 방법이 채택되어야 한다. 따라서 연속해서 측정된 유량에 일정하게 고정된 입상관을 선정한다. 이 방법이 referenced adjustment이다. 이 조정 방법의 진행은 3명의 작업자에 의해 수행되며 각각의 작업자들은 하나의 측정기기를 가지고 있어야 한다. 2명의 작업자 중 한명은 선정된 입상관의 유량을 계속해서 측정하여 2번째 작

업자에게 무전기로 측정된 변화유량을 알려준다. 2번째 작업자는 시스템의 메인 밸브를 선정된 입상관의 유량이 일정하게 흐르도록 조정한다. 반면에 세번째 작업자는 한 입상관에서 다른 입상관으로 계속적으로 이동하면서 이중 작업에 일치하도록 조정작업을 수행한다.

장점-사전조정(Pre-Setting)이 없는 곳에는 이 방법이 유리하다. 이 방법은 안전하며 좋은 결과가 나타난다.

단점-3명의 작업자가 계속적으로 필요하나, 3명중 한명만이 이중조정 작업을 수행하고 나머지 2명은 운전중에 결정적이긴 하나 매우 간헐적으로 작업에 참여한다. 한개의 메인 밸런싱 밸브가 시스템의 펌프 토출측에 필요하며 대규모 시스템에서는 어떠한 경우에도 필수적인 것이다.

4.3 중심구간 측정 방법

이 방법은 7,500개의 COMAP 750밸브가 설치된 동부 유럽의 현장에서 적용되었다. 이 방법의 수행에는 아래와 같은 사항이 꼭 필요하다.

- 각 입상관 하단에서의 유량이 이미 계산되어 있어야 한다.

- 유량계와 함께 밸런싱 밸브가 설치되어야 한다.

- 시스템의 개략적인 사전 조정이 수행되어야 한다.(가장 최악의 경우에 모든 밸브가 1/2 정도 열려 있어야 함)

4.3.1 방법론

1) 원리 : 한구간과 다른구간의 밸런싱은 항상 관계가 있다는 것을 고려하고, 전체유량에 비하여 특이한 결과가 나타나는 밸브를 찾아낸다.

2) 예비 단계 : 측정장치 없이 개략적인 사전 조정(Pre-Setting)을 수행하라(모든 것을 50% 정도 열어 놓는다)

3) 1단계 : 유량 진단
대표적인 몇개 밸브의 유량을 측정한다.

• 측정 밸브 수량 : 최소 5개 이상이며 약 20% 정도

• 상황 : 이 밸브들은 접근이 용이한 일반적인 지역에서 선정한다.

시스템의 끝부분, 중간과 시작 부분등이 전형적인 밸브선정 지역이다.

4) 2단계 : 분석

• 측정된 밸브 유량의 합계(Q_1)

• 계산된 밸브 유량의 합계(Q_2)

• 시스템의 수정상수(Corrective Coefficient)을 얻기 위해 Q_1 과 Q_2 와의 비율을 계산하라.

예 10) 1개의 기계실이 3동의 건물을 담당한다. 시스템수정 상수(18.3/15)가 1.22이면 밸런싱된 밸브당 유량은 계산된 유량의 1.22배가 된다.

註) 만약 여러개의 작업조가 매우 대규모 시스템에 대해 작업하게 되면 유량진단은 모든 작업조에게 공통되는 일이다.

5) 3단계 조정

- 전형적인 상황에 비하여 특히 유량이 많은 제어밸브를 선택하라.

- 모든 밸브를 새로 계산된 유량에 맞춘다. 즉, 실제 유량은 시스템상수(System Coefficient)를 곱한 값으로 구해진다.

- 측정기의 이중측정방법을 사용한다.

측정기에 의해 계산된 조정치가 나타난다.

- 펌프에서 가장 가까이에 설치된 밸브로부터 시작해서 가장 멀리 설치된 밸브에서 마감한다.

6) 4단계 : 결과의 검토

메인 제어 밸브의 유량은 작업이 종료됐을 때 검토한다. 2개의 측정치 사이의 차이가 10%를 넘어서면 안된다. 만약, 조정결과가 메인 제어 밸브 유량의 10%를 넘게되면 펌프로부터 조정작업을 다시 시작하고 계산된 수치보다 10% 이상 유량이 초과되는 밸브를 수정한다.

7) 3단계 : 전체 토출량의 조정

시스템의 Head에 설치된 일반 밸브의 전체 토출량을 필요 유량으로 조정한다.

4.3.2 방법의 정당성

시스템의 전체 토출량에 의존치 않는 조정방법을 추구하는데 있어서 이 방법의 정당성은 밸브를 조정할 때 펌프의 유량을 설계된 이론 토출량과 조화시켜야 하는 문제를 피할 수 있다. 전체 시스템의 토출량을 연속적으로 조정하여도 토출량의 변화가 조정된 밸런스를 심하게 혼란

시키지는 않는다. 이방법은 약 10% 범위내의 좋은 결과치를 갖는다. 제어 밸브에서의 유량에 10% 정도 변동차를 허용하는 것은 열방출기에

서의 열적 불균형의 영향이 없기 때문이다. 왜냐하면 2.1에서 나타난대로 대부분의 경우처럼 설계유량이 초과되더라도 유량의 변동에 따른 열적 변화가 비교적 작기 때문이다.

4.4 조정 방법의 비교표

	설계 유량으로 직접 고정	기준 배관측정 방법	중심구간 측정 방법
최소 필요 장비	측정기 1대	측정기 2대	측정기 1대
최소 필요 작업자	1	3	2
예비 작업	유량 계산 및 Pre-Setting	감소된 유량계산	감소된 유량계산
Pre-Setting	필수적이고 정확해야 함.	꼭 필요치 않음	측정없이 개략적인 Pre-Setting필요.
작업의 복잡성	단순	매우 복잡	보통
결과의 신뢰성	만족	이론적으로 높음	만족
작업 기간	짧다	길다	보통
적용시스템의 규모	모든 규모	중·소 규모	모든 규모
Head밸브의 조정	필요치 않음	필요함	바람직함

5. 결 론

이 자료에서 최적의 시스템 운전이 얻어지는데 필요한 밸런싱 기술의 효과적인 적용을 위해 준수될 기본적인 규정을 소개하기를 원했다.

- 첫째, 열방출기, 배관 시스템, 시스템 펌프의 유량 등은 서로 밀접하게 관계되어야 한다.

- 둘째, 여러개의 밸런싱 밸브를 설치하는 것이며, 최소한 세대용, 입상관용 및 전체 토출 유량 조절용 등으로 각각 하나씩 설치되어야 한다.

- 셋째, 밸런싱 기구의 적절한 설계이다.

- 끝으로 필요한 유량과 조정치(Setting)들을 사용하기 위해서는 밸런싱 밸브에 의해 가능토록 만들어진 유량·차압 측정기를 사용하는 것이다.

마지막으로 평가 단계가 있으며 이 단계에서는 검침기와 주변온도표를 사용하는 검토, 이상 상태에 대한 분석, 열적평형(Thermal balance)이라는 목표를 달성하기 위한 수정작업등으로 구성되어 있다.

부록 1.

밸브의 선택을 위한 수두손실의 개략 계산

- * 밸런싱 밸브 No.1으로 부터 일반 배관 Line을 추적한다.
- * 밸런싱 밸브 No.1으로 부터 가장 멀리 설치된 밸브까지 거리를 구하라. 이 경로를 따라가면서 각 밸런싱 밸브(No.2, No.3, No.4 등)사이의 거리에 주목하라.
- * 손실수두를 결정하기 위해 배관(공급 및 환수관)m 당 15mm Aq를 고려하라. 이 값은 배관내 부차적 손실을 포함한다.
- * 각 밸브에서 마지막 밸브(No.8)사이의 배관 길이에서 발생하는 손실수두를 각 밸브에 적용하라.

이 방법에서 각 입상배관에 대한 등분배 압력(Equal Distribution Pressures)들이 구해진다.

적용되는 수두 손실은

$$\text{밸브 No.1} : 4+4+4+4+4+4+4+4=28 \times 30=840\text{mmAq}$$

밸브 No.2 : $4+4+4+4+4+4=24 \times 30=720$
mmAq

註) 배관의 관경은 m당 10mm Aq로 계산한다. 특정부위(곡관등) 등에서 발생하는 손실수두는 직선배관손실수두의 50%로 추정한다. 2-Pipe 시스템에서 두밸브가 1m가 떨어진 경우, 배관에 의해 발생된 손실수두는 m당 30mm Aq에 달한다.

$$H_L = 10\text{mm Aq(공급관)} + 10\text{mm Aq(환수관)} \\ = 20\text{mm Aq}$$

$$H_S = 20\text{mm Aq} \times 0.5 = 10\text{mm Aq}$$

$$H_L + H_S = 30\text{mm Aq}$$

부록 2. 밸런싱 밸브의 설치

정확한 유량 측정값을 얻기 위해서, 일반적으로 최소한 배관구경의 5배에 해당하는 직선거리가 밸브의 상단에, 2배에 해당하는 직선거리가 밸브의 하단에 필요하다. 측정 밸브는 난류를 일으키는 장치들로부터 충분한 거리를 확보해야 한다. 밸런싱 밸브는 순환수가 밸브를 열게 하는 방향으로 설치하는 것이 항상 좋다. 이런 설치조건하에 유량 측정치가 더욱 정확하고 순환 소음 수준이 낮다.

