

## CHAPTER 34

### TESTING, ADJUSTING, AND BALANCING

Definitions .....	101	Variable Volume Systems .....	106
General Criteria .....	102	Principles and Procedures	
Air Volumetric Measurement Methods .....	102	for Balancing Hydronic Systems .....	110
Balancing Procedures		Water-Side Balancing .....	112
for Air Distribution Systems .....	104	System Components as Flowmeters .....	117

건물 내에서 환경을 제어하는 시스템은 시간과 사용에 따라 동적으로 변화하는 존재이며, 반드시 그에 따라 재밸런싱 되어야 한다. 설계자는 반드시 커미셔닝을 위한 초기 및 추가되는 테스트 및 밸런싱 조건을 고려하여야 한다. 건물 시스템의 설계 의도와 검사, 조정 그리고 밸런싱하는 방법을 포함한 완전하고 정확한 운전과 유지관리 지침 그리고 매뉴얼은 필수적이다. 최적의 쾌적감, 적절한 프로세스 운전, 그리고 경제적 운전을 위하여 건물을 운전하는 사람은 훈련이 잘된 개인이거나, 자격이 있는 운전 서비스 조직이 고용되어야 한다.

이 장에서는 어느 그룹 또는 개인이 완전한 TAB 절차의 임무 수행하여야 하는지에 대한 부분은 제안하지 않는다. 그러나 TAB 절차는 반드시 설계자의 의도를 충족시키고 건축주의 요구를 정확하게 반영할 수 있는 재현 가능한 결과를 만들어야 한다. 하나의 기관은 반드시 모든 시스템을 TAB하는데 대하여 전체적으로 책임을 지녀야 한다. 이 책임에 대한 부분으로 검사 기관은 승인에 대한 책임을 위해 현장조건 하에서 모든 기기의 성능을 체크하여야 한다.

Testing과 balancing은 시스템을 리노베이션 하거나 변경이 이루어지면 반드시 재수행하여야 한다. 안전 규칙을 맞추기 위한 보일러와 기타 압력용기에 대한 검사는 testing, adjusting 회사의 주요 기능이 아니다.; 이보다는 유량, 온도, 압력 강하, 소음 그리고 진동의 디자인 조건과 관련한 운전 조건을 확인하고 조절하는 것이다. ASHRAE Standard 111에서 이 장에서 다루지 않는 절차에 대하여 자세하게 다루고 있다.

### DEFINITIONS

시스템 TAB는 디자인 목표를 만들기 위한 건물 안의 모든 환경 시스템을 체크하고 조절하는 과정이다. 이 과정은 (1) 공기 및 수관 분배 시스템 밸런싱, (2) 설계량을 공급하기 위한 총 시스템 조절, (3) 전기에 대한 측정, (4) 모든 기기의 양적인 성능 확립, (5) 자동제어 검증 그리고 (6) 소음 및 진동 측정을 포함한다. 이러한 절차는 (1) 설계와 실제 설치가 일치하는지의 검토, (2) 설계 시방에 맞추기 위해 필요한 시스템의 유체량을 측정하고 확립, 그리고 (3) 결과를 기록하고 보고함으로써 이루어진다.

다음의 정의는 이 장에서 사용되는 것이다. 추가되는 정의에 대해서는 ASHRAE Terminology of Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration (1991)을 참고하라.

**Test.** 기기의 양적인 성능을 결정하기 위한 것.

**Balance.** 정해진 설계량에 따라 분배 시스템(submain, 분기, 터미널) 내에서 유량을 균형있게 하는 것. (예, 팬 속도 감소, 댐퍼 조절)

**Adjust.** 터미널 기기에서 정해진 유체 유량비와 공기 패턴을 조절하는 것.

**Procedure.** 반복 가능한 결과를 만들기 위한 일련 작업의 접근과 수행.

**Report forms.** 제출과 검토를 위한 논리적인 순서로 검사 데이터를 수집하여 정리한 검사 데이터 양식

**Terminal.** 조절되는 매체(유체 또는 에너지)가 분배 시스템을 들어가거나 나오는 지점. 공기 시스템에서는 변풍량 또는 정풍량 박스, 레지스터, 그릴, 디퓨저, 루버 그리고 후드이다. 수관 시스템에서는 열전달 코일, 팬코일 유닛, 컨벡터, 또는 핀 부착 튜브 복사기 또는 복사 판넬이다.

## GENERAL CRITERIA

효과적이고 효율적인 TAB는 경험이 많고 자격이 있는 전문가들에 의해 체계적이고 전체적으로 잘 구성된 절차를 필요로 한다. 인원의 구성, 기기 보정 그리고 실제 업무의 실행을 포함한 모든 행위는 반드시 스케줄에 맞추어 진행된다. 계절에 따라 시스템 기능이 다르고 온도 성능이 중요하기 때문에 공기측과 수관측을 조합하는 것이 중요하다. 사전 업무는 스케줄 관리, 모든 절차에 대한 계획, 필요한 데이터의 수집(모든 설계 변경을 포함), 데이터 검토, 작업을 하게 되는 시스템에 대한 연구, 양식의 준비, 그리고 예비 현장 조사 등을 포함한다.

덕트 시스템은 공기 누출을 최소화하고 제어할 수 있도록 설계하고, 제작하고, 설치하여야 한다. 제작하는 동안 모든 덕트 시스템은 공기누출을 대비하여 밀봉하고 검사하여야 한다; 또한 누출에 대하여 물, 증기 그리고 압축공기 배관을 검사해야 한다. 이러한 것들의 누출은 시스템 성능에 영향을 미칠 수 있다.

### Design Consideration

설계와 설치의 필수적인 부분이 되는 조절(adjustment)에 필요한 대부분의 기구와 더불어 TAB는 설계 업무에서부터 시작한다. 적절한 밸런싱을 얻기 위해서는 엔지니어는 충분한 댐퍼, 밸브, 유량 등의 측정 위치 그리고 유량 밸런싱 기구의 수를 확인하고 지정해야 한다; 이들은 정확한 측정을 위하여 배관 또는 덕트에 필요한 길이마다 적절하게 위치하도록 한다. 검사 절차는 시스템의 특성과 레이아웃에 따라 다르다. 개별 터미널 사이의 상호작용은 시스템 압력, 필요 유량 그리고 제어 기구에 따라 변한다.

설계 기술자는 밸런싱 허용한계를 지정해야 한다. 권장 허용한계는 개별 터미널과 상대적으로 덜 중요한 분기지점에서는  $\pm 10\%$  그리고 메인 덕트에서는  $\pm 5\%$ 이다. 차압이 반드시 유지되어야 하는 중요한 지점에서는 다음의 허용한계가 권장된다.

### 양압 존

급기	0에서 +10%
배기와 환기	0에서 -10%

### 음압 존

급기	0에서 -10%
배기와 환기	0에서 +10%

## AIR VOLUMETRIC MEASUREMENT METHODS

### General

피토투브 검사는 덕트 시스템의 기류를 측정하는 일반적으로 인증된 방법이다. 개별 터미널에서 기류를 측정하는 기타 방법은 터미널 제조업체가 제공된다. 주요 목적은 피토투브 검사와 관련하여 반복 가능한 측정 절차를 만드는 것이다.

기기와 공기 분배 터미널 제조업체에서 기술된 실험실 테스트, 데이터, 그리고 기술은 반드시 결과에 대한 정확성, 적용성, 그리고 재현성에 대하여 검토하고 체크하여야 한다. 기기의 실제 현장 성능을 예측하기 위하여 반드시 실험실 결과와 관련하여 현장 데이터 변환 팩터를 만들어야 한다.

### Air Devices

정확성을 위하여 디퓨저 제조업체가 제공하는 K 팩터는 일반적으로 피토투브 검사를 이용하여 측정된 실제 유량과 실제 측정 속도를 비교한 현장 측정으로 체크하여야 한다. 일반적으로 디퓨저 제조업체는 용적 검사 측정에 편향 베인 풍속계를 이용한다. 디퓨저의 풍량을 구하기 위해서는 경험적으로 나타난 디퓨저의 유효 면적과 속도를 곱한다. 정확한 결과는 편향 베인 풍속계의 프루브(probe)로 vena contracta에서 측정하여 얻는다.

트로퍼 타입의 기류를 측정할 경우 사용하는 방법은 디퓨저의 방법과 유사하다. 주로 디퓨저와 슬롯 등의 기구 기류를 측정하는데 캡처 후드가 흔히 사용된다. K 팩터는 유량비와 각도 설정 변화에 따라 후드 측정으로 설정해야 한다. 나오는 공기가 측정 그리드와 맞지 않을 경우 측정값은 보정 팩터가 필요하다 (K 팩터와 유사).

회전 베인 풍속계는 일반적으로 벽측 그릴에 사용되는 기류 측정기구이다. 유효면적 (K 팩터)은 모든 그릴의 페이스 뎀퍼가 완전히 열리고 디플렉터 설정이 일정한 상태에서 설정되어야 한다. 보정 팩터는 개방 덕트 즉, 뎀퍼 개구부와 배연 후드와 같은 곳에서 기류를 측정할 때 필요하다. (Sauer와 Howell 1990)

보정 또는 밀도 팩터를 설정하기 위한 모든 유량 측정 기구는 피토투브 검사를 실행하여 현장에서 검증하여야 한다.

### Duct Flow

공기조화 시스템의 대부분의 TAB 절차는 터미널에서 보다는 덕트 용적을 측정한다. 이러한 측정은 제조업체의 데이터에 근거하여 터미널에서 측정한 것보다 더욱 신뢰성이 있다. 이러한 절차에서는, 터미널 측정은 단지 공간 또는 존 내에서 분포를 비례적으로 밸런싱한다.

많이 이용하는 덕트 체적 유량 측정 방법은 평균 피토투브 검사이다. 검사 지점 전후에서 최대 직선 코스를 얻기 위해서는 주의를 기울여야 한다. 가장 좋은 덕트 속도 특성을 얻기 위해서는 1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals 13장과 ASHRAE Standard 111에서와 같이 측정 지점이 위치하여야 한다. 여기서 공장 제조 풍량 측정 장치가 사용된다. 측정은 피토투브 측정과 비교하여 체크하여야 한다.

팬 드라이버의 동력 입력은 단지 전달되는 매체 (풍량)를 가능하는 지침으로 사용하여야 한다. 이는 현재 있을 수 있는 시스템 효과를 고려한 신뢰할 수 있는 방법 (즉, 시스템 메인의 피토투브 검사)에 의해 결정된 성능을 확인하기 위해 사용된다. 어떤 팬으로부터의 유량비는 팬을 기동하기 위해 필요한 동력과 비례하지 않는다. 전곡형 브레이드 팬과 같은 경우, 두 배 이상의 유량비를 위해서 동일한 동력이 필요하다. 후곡형 브레이드 센트리휴갈 팬은 적합한 특성을 갖는 즉, 입력되는 동력에 직접 변화하는 유량비를 가지는 유일한 타입이다. 덕트 공사의 직관 길이가 적절하지 않거나 피토투브 검사를 할 수 없는 상태로 설치가 되어 있다면, Sauer와 Howell(1990)이 기술한 절차를 따른다. 이 절차에서는 K 팩터를 결정하기 위해 코일의 면을 가로질러 여러 지점에서 공기 속도를 읽는 베인 풍속계를 사용한다.

### Mixture Plenums

입구 상태는 혼합을 형성하는 공기량 (예, 외기와 환기)을 정확하게 결정할 수 없기 때문에 용적 측정으로는 때로는 불리한 면이 있다. 이러한 경우, 혼합 온도는 구성하고 있는 기류사이의 밸런스(비율)로 나타낸다. 공기의 성층화를 설명하기 위하여 온도를 주의 깊게 측정하고, 외기와 환기 온도의 차이는 반드시 10K보다 커야 한다. 혼합 공기의 온도는 다음 식 (1)을 통해 계산할 수 있다.

$$Q_t t_m = Q_o t_o + Q_r t_r \quad (1)$$

여기서

$Q_t$  = 측정된 총 공기량, %

$Q_o$  = 외기량, %

$Q_r$  = 환기량, %

$t_m$  = 외기와 환기의 혼합 온도, °C

$t_o$  = 외기온도, °C

$t_r$  = 환기온도, °C

### Pressure Measurements

측정된 공기 압력은 대기압, 정압, 동압, 총압, 그리고 차압을 포함한다. 공기조화 시스템 성능의 현장 평가를 위한 압력 측정은 ASHRAE Standard 111에서 추천하는 바에 따라 측정하고, 제조업체의 팬 곡선과 AMCA Standard 210의 적용 방법으로부터 예측되는 시스템 효과와 함께 분석하여야 한다. 현장에서 측정할 경우, 적절한 보정이 이루어지지 않으면 압력 값, 공기량, 그리고 입력 동력은 제조업체의 인증 성능 곡선과 일치하지 않는다.

코일, 뎀퍼 또는 필터와 같은 기기를 통한 압력 강하는 기류를 측정하는데 사용되어서는 안 된다 (이 근처에서 측정된 값은 사용하지 않는다). 압력은 기기를 인증하는 제조업체가 필요로 하고 그에 따라 수행되는 곳에서 유량 용적을 정하는 조건에 맞는 방법이다.

### Stratification

표준적인 설계는 시스템 내에서 최소한의 마찰, 저항, 그리고 그에 따른 압력 손실을 일으키는 난류 발생 조건을 최소화해야 한다. 그러나 어떤 특별한 경우에는 난류가 바람직하고 필요한 경우도 있다. 예를 들어, 온도차를 갖는 두

개의 기류는 부드럽고, 유량 조건을 방해하지 않는 상태로 층을 이루어 흐른다. 이러한 상황에서는, 설계시 혼합이 이루어지도록 해야 한다. 공기 조화 유닛의 입구에서 환기와 외기 기류는 입구 플레넘의 넓어지는 부분에서 성층화하는 경향이 있고 케이싱 크기는 공기 속도를 줄여줄게 한다. 두 개의 기류를 혼합하기 위한 세심한 노력(즉, 추운 날씨에서 자연혼합이 이루어지도록 외기입구를 플레넘 위에 놓고 환기를 플레넘의 아래에 놓는다)이 없이는, 성층화는 존재하고 시스템 전체 (예, 필터, 코일, 엘리미네이터, 팬 그리고 덕트)에 전달된다. 성층화는 코일을 열게 하고 튜브를 파열시킴으로서 손상을 줄 수 있다. 이는 또한 플레넘, 공간 또는 양쪽 모두의 온도 제어에 영향을 준다.

성층화는 두 개의 기류를 약하게 하고 혼합하게 하는 베인을 추가하여 감소시킬 수 있다. 성층화 문제에 대한 해결책은 보증할 수 없다. 각 조건은 현장 측정과 실험을 통해 평가하여야 한다.

## BALANCING PROCEDURES FOR AIR DISTRIBUTION SYSTEMS

비록 설정된 절차 하나로 모든 시스템에 적용할 수 없지만 여기서는 Testing과 Balancing을 위한 일반적인 절차를 기술한다. 인용문헌에 추가 정보에 대한 출처를 실어 놓았다.

### Instrumentation for Testing and Balancing

공기 밸런싱을 위한 최소한의 기구는 다음과 같다.

- 1 Pa 영역에서 보정된 기압계
- 경사 및 수직 혼합형 기압계 (0 - 2.5 kPa)
- 필요한 경우, 다양한 길이의 피토 튜브
- 회전 속도계 (direct contact, 자가 기록타입) 또는 스트로보 라이트
- 전압 눈금이 있는 집게 타입 전류계 (rms타입)
- 편향 베인 풍속계
- 회전 베인 풍속계
- 유량 후드 (Flow hood)
- 눈금 온도계 (최소 지름 50 mm 그리고 최소

- 눈금 0.5 K) 그리고 유리봉 온도계 (최소 눈금 0.5 K)
- 옥타브 필터가 있는 사운드 레벨 미터, 보정기, 가속계 그리고 적분계
- 속도와 가속도 변위 측정의 진동 분석 케이블
- 연소 분석기
- 유량계 (0 - 12 kPa와 0 - 100 kPa 범위)
- 혼합 게이지
- 검사 게이지 (700 kPa와 2000 kPa)
- 달대 건-습도계
- 예칭한 증기 온도계 (0 - 50°C, 0.05K씩 증가)
- 습도계
- 디지털 온도계

기구는 현장에서 사용하기 전에 정확도와 재현성을 위해서 반드시 체크하여야 한다.

### Preliminary Procedure for Air Balancing

시스템을 운전하기 전에 반드시 다음의 단계를 수행하여야 한다.

1. 기존의 설계도와 시방서를 구하고, 전체적으로 설계 의도를 파악하라.
2. 모든 성능 곡선을 포함하여, 공기조화 기기, 취출구 (급기 환기, 배기), 그리고 온도조절 다이어그램 등의 허가된 현장 도면 복사본을 구하라. 현장 도면 수용능력과 디자인 필요조건을 비교하라.
3. 설치된 기기와 현장의 상황을 비교하라.
4. 설계와 설치시 변경에 대한 결정을 위하여 공기조화 기기에서부터 단말기까지 시스템을 점검하라.
5. 팬을 시동하기 전에 설치 완료를 위하여 댐퍼(볼륨과 방화 모두)가 올바르게 잠긴 상태인지와 온도조절을 체크하라.
6. 팬과 취출구의 검사서를 준비하라. 제조업체의 취출구 팩터와 인증된 검사 절차를 구하라. 필요 취출 풍량의 합은 필요 팬 풍량과의 크로스 체크를 할 수 있게 한다.
7. 정확한 덕트 검사를 위하여 메인 및 분기 덕트의 가장 적당한 위치를 결정하라.
8. 모든 취출 댐퍼를 완전히 열린 상태로 하라.
9. 보고서 작성시 편의를 위하여 기존 덕트 공사와 배관 레이아웃의 체계적인 다이어그램을 준비하라.
10. 필터의 청결상태와 적절한 위치를 체크하라

(공기가 바이패스하지 않도록). 설명이 필요할 경우, 오염된 필터를 시험할 절차를 세워라.

11. 변풍량 시스템에서는 풍량 변화를 시험할 계획을 만들어라.

### Equipment and System Check

1. 모든 팬 (급기, 환기 그리고 배기)을 작동 상태로 두고, 즉시 다음의 사항을 체크하라.

- a) 과부하 방지를 위한 모터 전류와 전압
- b) 팬 회전
- c) 정압 리미트 스위치의 작동
- d) 적절한 위치를 잡기 위한 자동 댐퍼
- e) 필요한 온도를 보내주기 위한 수·공기 설정 동작
- f) 케이싱의 어두운 부분 인테리어를 관찰함과 동시에 덕트 이음부분의 바깥부분을 따라서 전등을 이용하여 돌아다니면서, 케이싱의 공기 누출 그리고 코일 주변과 필터 프레임의 접합 흠집을 체크해야 한다. 모든 누출 부분은 반드시 코킹한다. 열쇠구멍 가리개 (escutcheon)가 올바른지를 검증하기 위하여 배관이 케이싱에 들어가는 지점을 주목하라. Note points where piping enters the casing to ensure that escutcheons are right. 설치 공사가 뒤늦을 가능성이 있기 때문에 배관 단열로 개구부가 밀봉되어 있는 것을 신뢰하지 말라. 공장 생산 유닛에서는 모든 판넬 조임 부분이 휘파람 소리 같은 소리가 나지 않도록 체크하라.

2. 가능하다면 수시로 메인 급기덕트 공사를 검사하라. 덕트 배치가 허용하는 곳이면 모든 메인 분기는 검사하여야 한다. 검사 지점의 선정과 방법은 다음과 같다.

- a) 가능한 가장 긴 직관 다음에서 각 메인 및 분기를 검사하라.
- b) 검사할 간격은 1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals 13장을 참고하라.
- c) 피토 튜브나 압력계를 사용하여 풍속이 3m/s가 초과하는 곳을 검사하라. 이 풍속 이하는 마이크로 압력계와 피토튜브 또는 최근에 보정된 열선풍속계를 사용하라.
- d) 표준 공기량으로 보정할 필요가 있는지 정하

기 위해 온도와 대기압을 기록하라. 일반적으로 보정은 600m 이하에서는 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 정확한 결과를 요구하는 곳이면, 보정하는 것이 옳다.

- e) 필요한 경우, 전달되는 총 풍량을 설정한 후에 설계 기류를 확보하기 위하여 팬 속도를 조절하라. 모터 동력 또는 임계 팬 속도가 초과하지 않는지 동력과 속도를 체크하라.
- f) 각각의 댐퍼가 적절한 풍량이 나올 때까지 비례적으로 분기 댐퍼를 조절하라.
- g) 시스템의 모든 댐퍼와 레지스터는 열린상태로, 급기, 환기, 그리고 배기 송풍기 개구부는 설계 속도로 하여 최소 외기와 환기 비율을 설정하라. 덕트 검사 위치가 적당하지 않을 경우, 온도계로 환기, 외기 루버, 그리고 필터 부분의 혼합 온도를 측정할 수 있다. 대략적으로 혼합온도는 식 (1)을 통해 계산할 수 있다.

따뜻한 쪽과 차가운 쪽의 온도차가 클수록, 정확한 댐퍼 설정이 용이해진다. 공기의 성층이 생기지 않는지 확인하기 위하여 많은 지점에서 균일한 온도 검사를 시행하라.

적정 비율의 외기 도입을 위한 최소 외기 댐퍼를 설정한 후, 변화가 평균 5% 를 넘을 경우 혼합 온도 검사를 수행하고 배플을 설치하라. 추운 날씨에는 성층 혼합 공기 온도 변화에 환기 온도가 주는 영향은 적은 반면, 외기 온도가 주는 영향은 매우 크다는 것을 염두에 두어라.

3. 다음의 절차를 이용하여 주의를 기울여 시스템 밸런싱을 설정하라.

- a) 최소 외기 도입 위치로 혼합 댐퍼를 설정하여 시스템을 조정하라.
- b) 멀티존 또는 이중덕트 정풍량 시스템을 조절할 경우, 원하는 변화(diversity) 계수를 얻기 위하여 총 팬 풍량에 대하여 냉각코일을 통과하는 설계 풍량 비율을 설정하라. 밸런싱 하는 동안 총 공기량에 대하여 냉각 공기 비율을 유지하라. 그러나 최대 냉방시 이 구성 (냉각 공기와 가열 공기의 비율) 을 유지하여 각 존 또는 분기를 체크하라. 검사를 수행하는 동안, 설계가 냉각 코일을 통과하는 최대 유량을 요구할 경우, 전체 시스템을 냉각 공기

측을 통과하는 최대 유량을 설정해야 한다. 가열 공기 측에서도 같은 절차를 수행하라.

4. 각 제어 존의 터미널 취출구를 비례적으로 밸런싱하라. 터미널을 밸런싱하기 위하여 다음의 단계를 따른다.
  - a) 예비 팬 풍량이 설정되면, 분기의 취출에서부터 팬까지 터미널 취출구 밸런싱의 비율을 맞추어라. 절대적인 양이 아닌 유량을 비율적으로 맞추는데 주의를 기울여라. 팬 설정과 분기 댐퍼를 변경하게 되면, 취출 터미널 양은 비율적으로 된다. 분기 댐퍼는 주요한 조정에 사용하게 되고 터미널 댐퍼는 미세한 조정을 할 경우에 사용하게 된다. 불쾌한 소음을 발생하는 터미널 댐퍼의 사용을 줄이기 위해서는 잔분기(subbranch) 댐퍼 추가 설치가 필요할 수도 있다.
  - b) 적절한 취출 값을 얻기 위해서는 일반적으로 전체 시스템을 여러 번에 걸쳐 검사하는 것이 필요하다.
  - c) 덕트 검사 공기량과 비교되는 총 검사 취출 공기량은 덕트 누출의 척도가 된다.
  - d) 분기와 취출구에서 설정된 총 설계 풍량으로 다음 사항을 수행하라; (1) 팬 모터 전류값을 다시 읽어라, (2) 팬 전체에 걸쳐 정압을 찾아라, (3) 각 요소 (공기 흡입구, 필터, 코일, 그리고 혼합 댐퍼)에 걸쳐 정압을 읽고 기록하라, 그리고 (4) 최종 덕트 검사를 수행하라.

### Dual-Duct Systems

대부분 정풍량 이중덕트 시스템은 냉풍 덕트를 통과하는 총 시스템의 급기와 온풍 덕트를 통과하는 소량의 공기를 다룰 수 있도록 설계된다. 밸런싱은 다음과 같이 수행된다.

1. 온풍 및 냉풍 댐퍼 입구 누출이 설정된 최대 허용 누출보다 크지 않은지를 확인하기 위하여 가장 가까운 터미널을 나가는 공기 온도를 체크하라.
2. 기기와 시스템 점검 (Equipment and System Check) 섹션에 있는 바에 따라 장치와 메인 통로를 체크하라.
3. 시스템 (가장 긴 덕트)말단의 정압이 혼합박스 작동에 필요한 최소 압력 이상인지를 결정하라. 경사 압력계를 사용하여 시스템의 최대

말단에서 시작하고 입구 정압을 체크하라. 입구 정압은 혼합박스 제조업체가 제안하는 최소 정압을 초과해야 한다. 박스의 저압 분배 시스템 하류에는 정압의 추가가 필요하다.

4. 이전 섹션의 저압 시스템에서 설명한 바와 같이, 박스의 저압측에서 디퓨저 또는 그릴을 비례적으로 밸런싱하라.
5. 최대 난방으로 제어 설정을 변경하고 제어와 이중덕트 박스의 기능이 적절하게 되도록 하라. 몇 개의 디퓨저에서 기류를 현장체크 (spot check)하라. 성층화에 대해서도 체크하라.
6. 엔지니어가 메인 장치를 선정하는데 변화 (diversity) 팩터를 고려하여 왔다면, 이전 섹션의 3b 에서에서 설명하는바와 같이 모든 박스에서 동시에 최대 유량을 갖는 것은 불가능하다. Mixing boxes closest to the fan should be set to the opposite hot or cold deck to the more critical season air flow to force the air to the end of the system.

### VARIABLE VOLUME SYSTEMS

에너지를 절약하기 위하여 다양한 타입의 변풍량 시스템이 개발되어왔다. 이러한 변풍량 시스템은 압력 종속 또는 압력 비종속으로 구분할 수 있다.

압력 종속 시스템은 댐퍼 액추에이터를 조절하는 온도신호를 갖는 공기 터미널 박스를 통합하였다. 실온도를 유지하기 위해 터미널 박스에 공급되는 공기 온도는 일정한 반면, 실에 공급되는 공기량은 변화한다. 이 시스템의 밸런싱은 부하가 변화에 따라 지속적으로 변화한다; 따라서 각 시간 시스템을 검사할 때 시스템 부하 변화가 동일 구성의 온도 설정으로 하지 않으면 어떠한 밸런싱 절차라 하더라도 반복적인 데이터를 나타낼 수 없다. 즉, 동일한 터미널 박스는 테스트시 최소와 최대로 고정된다.

압력 비종속 시스템은 댐퍼 액추에이터를 열고 닫는 마스터 제어를 사용하는 온도조절 신호와 실에 공급되는 공기량의 최소 및 최대를 유지하기 위한 서브마스터로 사용되는 속도 조절기를 갖는 공기 터미널 박스를 통합한다. 터미널에 공급되는 공기 온도는 일정한 반면, 실에 전달되는 공기량은 실 온도를 조절하기 위하여 변

한다. 대드 밴드 또는 다른 시스템에 대해 제어의 중복을 막기 위하여 속도 조절기가 응답하기 때문에 댐퍼 액추에이터의 작동 범위를 확인하기 위해서는 주의를 요한다. (예, 이중덕트 VAV, 팬 파워드 박스, 그리고 리트로핏 시스템) 속도 조절기가 제어신호비를 변경하거나 제어신호를 역으로 할 수 있기 때문에, 댐퍼 위치와 관련한 온도 조절기의 동작을 확인하는데 주의를 요한다.

압력 종속 시스템에서 실의 최소 기류 설정은 터미널 박스에 상시 닫힘 댐퍼가 있고 댐퍼 액추에이터 제조업체가 조절 가능한 기계적 정지 장치를 제공하지 않는다면 권장하지 않는다. 압력 비종속 시스템은 속도 조절기가 적절하게 작동하는지를 확인하는 것이 필요하다. 입구 덕트 구성은 속도 조절기 작동에 안 좋은 영향을 줄 수 있다 (Griggs 등 1990). 이 두 시스템의 중요한 차이점은 압력 비종속 시스템은 터미널의 압력 상류가 바깥에 따라 실에 다른 양의 공기를 공급한다는 점이다. 온도조절기가 공간 부하에 맞게 적절하게 보정되어있지 않다면, 여러 존에서 과냉 또는 과열이 발생한다. 존이 과냉 상태이고 필요량보다 많은 급기를 받을 경우 공기량을 줄인다. 이 공기량은 과열되는 존에 보낼 수 있다. 압력 비종속 시스템은 최소 및 최대 기류 한계가 각 존마다 설정되기 때문에 압력 종속 시스템과는 달리 부적절한 온도조절기 보정의 영향을 받지 않는다.

### System Static Control

시스템 정압 제어는 에너지를 절약하고 덕트 시스템에 과도한 압력이 걸리는 것을 방지 하는데 매우 중요하다. 다음의 절차와 기기는 정압을 제어하는데 사용하는 몇 가지 방법들이다.

**No Fan Volumetric Control.** 이는 흔히 "riding the fan curve"라고 일컫는다. 이러한 타입의 시스템은 최대 설계치의 50% 최소 기류와 평평한 전곡형 팬으로 제한하여야 한다. 압력과 소음 문제는 필연적으로 뒤따르고, 이 방식의 제어는 에너지 효율적이지 못하다.

**System Bypass Control.** 터미널 박스가 닫힘으로 인해 시스템 압력이 증가하여, 릴리프 댐퍼가 팬 입구에서 공기를 뒤로 바이패스한다. 이러한 타입의 제어로 인해, 팬 출력 변화에 따른 경제성은 없어지고, 릴리프 댐퍼가 덕트 누출과 소음

의 주요 원인이 된다. 릴리프 댐퍼는 최소 덕트 압력을 유지하도록 조절되어야 한다.

**Discharge Damper.** 이 시스템에서는 시스템 손실과 소음이 고려되어야 한다.

**Vortex Damper.** 입구 공기 상태로 인한 시스템 손실이 문제가 되며, vortex 댐퍼는 완전히 닫혀지지 않는다. 최소 예상 기류를 평가해야 한다.

**Variable Inlet Cones.** 일반적으로 콘이 완전히 닫히지 않기 때문에 시스템 손실이 문제가 될 수 있다. 최소 예상 기류를 평가하여야 한다.

**Varying Fan Speed Mechanically.** 팬의 헛도는 현상, 벨트 소모, 벨트 교체에 따른 비용 그리고 부품의 초기 투자비가 문제가 된다.

**Variable Pitch-in-Motion Fans.** 유지관리와 팬이 정지 상태에서 운전되는 것을 방지하기 위한 방법이 반드시 평가되어야 한다.

**Varying Fan Speed Electrically.** 이 시스템은 일반적으로 가장 효율적이고 팬 모터의 전압 또는 주파수를 변화시켜 작동된다. 어떤 종류의 모터 구동은 전기노이즈를 일으키고 다른 기구에 손상을 준다.

VAV 팬 시스템을 제어하는데 있어, 정압 센서의 위치는 매우 중요하고 운전시를 대표할 수 있는 지점을 현장에서 확인하여야 한다. 정압 제어는 터미널 박스를 할당된 후 부하가 최대 풍량에서 최소 풍량까지 변화함에 따라 팬 방출과 정압 센서에서의 정압 변화를 관찰함으로써 확인할 수 있어야 한다. (즉, 모든 터미널이 최소 기류 설정에 도달할 때까지, 모든 터미널 박스를 밸런싱한 기류 조건으로 설정하고 하나의 터미널 박스를 동시에 최소 기류로 두어 정압에서 어떠한 변화가 일어나는지를 결정하라). 최대에서 최소 풍량 변화가 팬곡선 성능 (속도 또는 총 압력)내에 있는지를 확인하도록 주의를 기울여야 한다.

### Diversity

VAV 시스템 설계시 총 시스템 풍량이 낮아지고 모든 시스템 터미널 박스가 동시에 열리지 않는다는 것을 감안한다면, VAV 시스템에서는 Diversity를 사용한다. 덕트 누출을 피하기 위한 주의가 반드시 필요하다. 모든 터미널 박스 상류 덕트 공사는 저압 또는 중압 시스템에 상관없이 중압 덕트 공사로 간주하여야 한다.

시스템의 총 풍량을 테스트하기 위한 절차는

터미널 박스를 팬에 가깝게 제로 또는 최소 위치에 설정함으로써 수립하여야 한다. 최대 부하 조건 동안, 실에 설계 기류를 확보하기 위한 모든 터미널 박스의 상류에서 적당한 압력이 가능한지를 확인하기 위한 주의를 해야 한다.

### Outside Air Requirements

실을 대기압에 대하여 약간의 정압 또는 중압으로 유지하는 것은 모든 VAV 시스템에서는 어려운 일이다. 대부분의 시스템에서 실의 필요 배기량은 일정하다; 따라서 배기 공기와 균형을 맞추고 건물 규격을 위한 최소 필요 외기 요구량에 부합하는 외기는 반드시 일정해야 한다. 이는 외기 입구의 위치와 압력의 변화 때문에, 일반적으로 어려운 일이다. 외기는 일정한 압력으로 팬에 도입되어야 한다. (즉, 팬 급기량은 환기팬의 양을 제어할 수 있는 비례 정압 제어로 할 수 있다.)

### Return Air Fan

급기 팬과 함께 환기 팬이 필요할 경우, 제어 타입과 팬의 크기가 가장 중요하다. 특히 외기 냉방시 (economizer cycle) 심각한 과압 또는 저압이 발생할 수 있다.

### Types of VAV Systems

**Single-Duct VAV.** 이 시스템은 압력 종속 또는 압력 비종속 터미널을 통합하고 일반적으로 터미널 유닛에 미리 정해진 최소 설정으로 재열 시스템이나, 독립된 가열 시스템을 가진다.

**Bypass System.** 이 시스템은 압력 종속 댐퍼를 통합한다. 이는 난방 요구시 실측의 댐퍼를 닫고 환기 플레넘 측의 댐퍼를 연다.

이 시스템은 때로는 일정 바이패스 기류 또는 실에 공급되는 양과 관련하여 환기 플레넘에 바이패스 되는 감소된 풍량을 통합한다.

### VAV System Using Single-Duct VAV and Fan-Powered, Pressure-Dependent Terminals.

이 시스템은 팬에서 터미널까지 공기의 주 공급원과 열이 추가되기 전에 환기 플레넘으로부터 공기를 잡아당기는 부차적인 팬 동력 공급원을 갖는다. 이 시스템은 터미널 필터, 모터, 그리고 축전지 등의 추가 유지관리가 들어간다. 시스템에서 댐퍼가 완전히 닫히게 될 경우, 특정 팬 동력 박스, 역류 댐퍼는 시스템 덕트 누출의 원인이 된다. 일반적인 적용은 난방 시간에 비하여

난방 시간이 작은 지역을 포함한다.

**Double-Duct VAV.** 이러한 형태의 터미널은 두 개의 단일 덕트 변풍 시스템을 사용한다. 이는 온풍 덕트와 냉풍 덕트 양쪽이 열리거나 닫힐 수 있도록 차례대로 작동되는 속도 조절기에 의해 제어된다. 어떤 제어 덕트는 난방 또는 냉방 모두를 유지할 수 있도록 터미널 유닛 안에 하류 흐름 센서를 갖추고 있다. 온도조절기에 의해 제어되는 기타 흐름센서는 입구에 위치한다. 이 입구 댐퍼가 닫힘에 따라, 하류 제어기는 설정 공기흐름을 유지하도록 다른 댐퍼를 연다. 때로는 온도조절기로 제어되는 데크 내에 낮은 시스템 압력은 원치 않는 공기 혼합을 일으킨다. 이는 과도한 에너지 사용이나 실에서의 불쾌감을 유발한다. 대부분의 DDC (Direct Digital Control) 시스템에서 양쪽 덕트의 입구 제어는 하류 조절기 시스템 대신하여 선호된다.

### Balancing the VAV System

일반적인 VAV 시스템의 밸런싱 절차는 다음과 같다.

1. 급기와 환기팬을 통해 전달되는 필요 혼합 공기량을 결정하라. 부하의 변화(diversity)는 일반적으로 풍량이 총 취출량보다 다소 작다는 것을 의미한다.
2. 이 유닛에 대한 팬 곡선을 확보하고, 팬 제조업체로부터 서지 특성에 대한 정보를 요청하라.
3. 입구 vortex 댐퍼 제어를 사용할 경우, 댐퍼와 함께 사용될 때 팬의 deaeration(공기제거)과 관련한 팬 제조업체의 데이터를 구하라. 속도 제어를 사용할 경우, 프로젝트에 사용될 수 있는 최대 및 최소 속도를 구하라.
4. 제조업체로부터 프로젝트에 사용되는 터미널 또는 VAV 박스의 최소와 최대 작동압력을 구하라.
5. 대략적인 서지 영역을 포함하여, 이론적인 시스템 곡선을 작성하라. 시스템 곡선은 박스의 최소 입구 정압에서 시작하여, 최소 유량에서 시스템 손실을 추가하고, 설계 최대 유량에서 종결한다. 입구 베인 댐퍼를 사용한 작동 범위는 시스템 곡선과 서지 라인의 교차점과 최대 설계 유량 사이에 있다. 가변 속도 제어를 사용할 경우, 작동범위는 (a) 팬의 안정된 범위 내 최소 유량에서 필요한 최소 박스 정압

을 만들어 낼 수 있는 최소 속도와 (b) 최대 설계 유량을 유지하는데 필요한 최대 속도 사이에 있다.

6. 터미널 박스를 총 설치된 터미널 최대 용적에 대해 최대 팬 풍량 비율로 위치하라.
7. 적절한 설계 속도에서 작동되도록 팬을 설정하라. (최대 개방 입구 베인 댐퍼의 약 5%를 증가하라)
8. 대표적 터미널 박스의 수를 확인하라. 정압에서 큰 변화가 생길 경우나 여러 개의 박스에서 기류가 최대 유량에서 최소 이하일 경우, 모든 박스를 점검하라.
9. 피토 튜브로 총 공기 측정을 수행하라.
10. 정압 또는 풍량이 낮을 경우 속도를 증가하라. 풍량은 맞는데 압력이 높을 경우 속도를 감소시켜라. 만일 압력이 높거나 혹은 맞는데 풍량이 낮을 경우, 팬의 시스템 영향을 점검하라. 시스템 영향이 없을 경우, 모든 터미널로 넘어가서 적절한 풍량이 되도록 조절하라.
11. 설계와 피토 튜브측정로 측정된 환기 또는 배기 팬 설정치와 최소 외기 시스템 설정으로 (7)에서 (10)의 단계를 수행하라.
12. 최대 유량 설정에서 VAV 박스로 취출구를 비율적으로 배분하고, 설계 풍량을 확인하라. 최소 유량 설정을 확인하라.
13. 터미널을 최소로 설정하고, 최소 정압과 기류가 나올 때까지, 입구 베인 또는 속도 조절기를 조절하라.
14. 온도를 조절하는 사람, 밸런싱 하는 사람, 그리고 설계 기술자는 정압 조절기 센서의 최종 위치에 대하여 합의를 하여야 한다. 이 센서는 시스템의 최대와 최소 정압 평균을 감지하도록 덕트의 대표적인 위치여야 한다.
15. 적절한 외기량을 보장하기 위해 급기 팬 기류를 탐지 또는 조정하는 환기 팬 속도 또는 입구 베인 댐퍼를 체크하라.
16. 100% 외기로 시스템을 가동하고 (날씨가 허락한다면), 적절한 동력과 정압을 위해 급기와 환기팬을 체트하라.

### Induction Systems

대부분의 유인 유닛 시스템은 고속 공기 분배 방식을 사용한다. 밸런싱은 다음의 절차를 통해 수행한다.

1. 장치와 main trunk 용량에 대하여 모든 시스

템에 일반적으로 적용하는 기본 절차에 따라 단계를 수행하라.

2. 압력계로 유닛 플레넘 압력값을 읽고, 유닛 제조업체가 제공하는 공기량 대 정압 차트에 상태를 찍어 각 터미널 유닛의 주 기류를 결정하라.
3. 적절한 조정을 위해서는 일반적으로 전체 시스템을 따라 약 세 번에 걸친 완전한 점검 (passes)이 필요하다.
4. 조용한 작동을 위해서는, 모든 유닛과 라이저 댐퍼의 최소 개도(minimum throttling)로 모든 유닛에 충분한 노즐 압력을 제공할 수 있는 가장 느린 속도로 팬을 조정하라.
5. 최소 외기로 각 인덕션 시스템을 밸런싱 한 후, 최대 외기로 위치를 바꾸고 동력과 정압 값을 체크하라.

### Report Information

컨설팅 엔지니어와 건물주의 유지관리 대행으로서 가치를 지니기 위해서는 공기조화 보고서는 최소한 다음의 아이টে็ม으로 이루어 져야 한다.

1. 설계
  - a) 전달되는 공기량
  - b) 팬 정압
  - c) 최소 조건에서 외기 도입 비율
  - d) 모터 동력
  - e) 팬 속도
  - f) 설계 정압에서 이 공기량을 얻기 위해 필요한 동력
2. 설치
  - a) 기기 제조업체 (모델 번호와 시리얼 번호)
  - b) 설치될 유닛의 사이즈
  - c) 공기조화 기기의 배치
  - d) 팬 등급
  - e) 설치되는 모터의 정격 동력, 정격 전압, 상, 사이클, 그리고 최대 전류
3. 현장 검사
  - a) 팬 속도
  - b) 동력값 (모터 단말에서 모든 상(phase)의 전압, 전류)
  - c) 유닛 부품 전체에 걸친 총 압력 차
  - d) 팬 흡입과 팬 방출 정압 (팬 총 압력이 같아 지게)

- e) 설치된 팬 작동 점을 나타내기 위한 제조업체의 팬 성능 곡선에 찍은 실제 값
- f) 측정된 기류 비율

필터 부하로 인한 공기량의 변화를 계산 할 수 있도록 공기 처리 기기와 덕트 시스템의 초기 정압을 정확하게 설정하는 것이 중요하다. 이는 디자이너로 하여금 총 팬 양이 최소 필요량보다 적어지지 않도록 하게 한다. 최대 부하의 설계 공기량이 이미 계산되었기 때문에, 코일에서 오염부하의 검토하는데 도움이 된다.

4. 터미널 취출구

- a) 실 지정과 위치에 따른 취출구
- b) 취출구 제조업체와 타입
- c) 취출구 사이즈 (적절한 팩터를 보증하기 위한 제조업체의 지정)
- d) 제조업체의 취출구 팩터 (여기서 팩터를 구할 수 없거나 현장 검사에서 열거된 팩터가 부정확하다고 판정될 경우, 현장에서 검사하여 결정하여야 한다.)
- e) 설계 풍량과 이를 얻기 위한 필요 속도
- f) 검사 속도와 그에 따른 풍량
- g) 각 공기 터미널에서의 조절 패턴

5. 추가 정보

- a) 공기조화 유닛
  - (1) 벨트 수와 사이즈
  - (2) 구동 장치와 구동 바퀴 크기
  - (3) 조절된 구동 바퀴에서 벨트 위치 (바닥, 중간, 그리고 위)
  - (4) 최대 부하 하에서 모터 속도
  - (5) 모터 히터 크기
  - (6) 초기 사용과 최대 부하에서 필터타입과 정압
  - (7) 코일 면 전역에 걸쳐 다양한 지점에서 속도의 변화
  - (8) vortex 또는 방출뎀퍼나 양쪽 모두의 유무
- b) 분배 시스템
  - (1) 일반적이지 않는 배치
  - (2) 이중덕트와 인덕션 시스템에서 분기 덕트 정압 값
  - (3) 플레넘 천장 분배를 사용할 경우, 천장 압력 값; 천장의 기밀성
  - (4) 최소 및 최대 외기에서 외기 압력에 대한 건물의 관계

- (5) 인덕션 유닛 제조업체와 크기 (각 유닛의 필요공기량과 플레넘 압력을 포함) 와 검사 플레넘 압력 그리고 제조업체 곡선으로부터 나온 주 공기 매체 결과.

- c) 눈에 잘 띄고 일기 쉬운 모든 기기의 네임 플레이트 (명판)

많은 독립적인 회사는 자신의 제품 운전과 제거능을 발휘하는 영역에 적합한 상세한 절차를 개발하여 왔다. 이러한 절차는 정보와 평가를 위해 요청을 통하여 이용할 수 있다.

**PRINCIPLE AND PROCEDURES FOR BALANCING HYDRONIC SYSTEMS**

공기측과 수측 밸런싱 기술은 시스템이 최소한의 에너지 사용과 적절한 분배로 경제적인 운영될 수 있도록 충분한 정확성을 가지고 실행되어야 한다. 기본적인 난방 또는 냉방 운송 매체인 공기는 일반적으로 유량 측정이 매우 어렵기 때문에, 공기측 밸런싱은 정확한 유량 측정 기술을 필요로 한다. 설계 용량보다 낮게 기류를 감소하면 열전달은 곧바로 감소한다. 이와는 반대로 수관측의 터미널 열전달율은 물의 유량율에 대하여 선형으로 변화하지 않는다. 따라서, 각 터미널에 설계 조건에 따라 유량율을 적절하게 밸런싱하기 위해 올바른 제어 특성을 가진 적절한 밸런싱 밸브가 필요하다.

**Heat Transfer at Reduced Flow Rate**

대표적인 난방 위주의 수 터미널은 유량이 감소함에 따라 점차적으로 열량이 감소한다 (그림 1). 설계치 50%의 유량 감소는 전체 설계 유량의 90%로 열전달을 감소한다. 50%의 열량을 감소하기 위해서 제어 밸브는 10%로 유량을 감소하여야만 한다. 유량을 변화에 있어 상대적으로 둔감한 이유는 열전달을 지배하는 계수가 공기측 계수이기 때문이다. 유량율과 함께 내부 또는 수측 계수의 변화는 총 열전달 계수에 큰 영향을 주지 못한다. 이는 (1) 수 대 공기 터미널의 열전달은 평균 공기 대 수 온도 차이에 의해 만들어지고, (2) 열전달이 뚜렷하게 변화하며, (3) 평균 수 온도에서의 변화는 수량율에서 더욱

많은 변화가 필요하다는 것을 의미한다.

두 번째 안전 요소 또한 난방 터미널에 적용된다. 냉수와는 다르게, 온수는 넓은 범위의 온도로 공급할 수 있다. 따라서 어떤 경우에는 불충분한 유량으로 인한 부족한 난방 용량은 시스템 공급 수 온도를 높임으로써 극복할 수 있다. ASME 저압 규약의 120°C 온도 한계 이하의 설계가 반드시 고려되어야 한다.

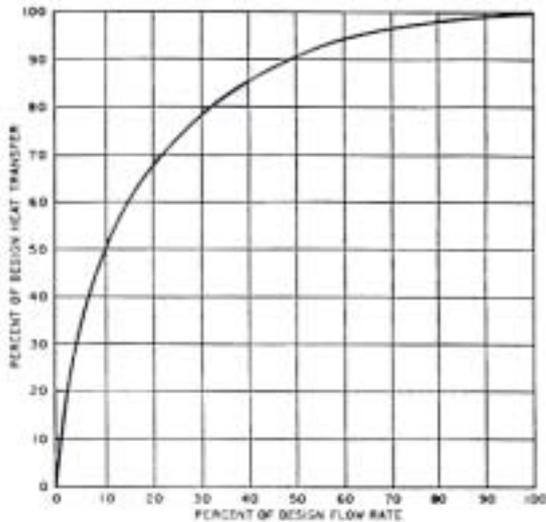


그림 1. 수환수식 터미널에서 열전달의 유량 변화의 효과  
(설계  $\Delta t = 10K$  그리고 공급온도 = 93 °C)

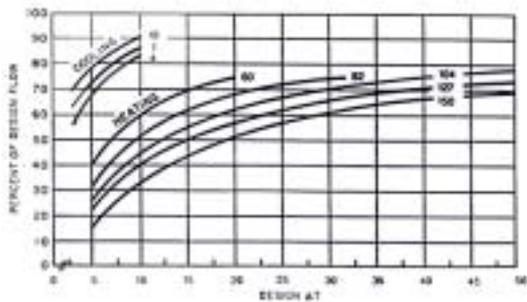


그림 2. 90% 터미널 열전달을 유지하기 위한 설계 유량 대 설계 온도차 ( $\Delta t$ )의 변화

이전의 설명들은 10K 온도 강하 ( $\Delta t$ )와 약 93°C의 온수온도로 공급되는 난방 터미널에 적용된다. 그림 2는 90%의 터미널 용량 조건에 맞는 유량 변화를 보여준다. 난방 시스템 허용한계는 온도와 유량율에 따라 감소하고 냉수 터미널은 온수 터미널보다 유량 변화에 더욱 더 민감하다

감하다는 점에 주목하라.

이중온도 난방/냉방 순환수식 시스템은 가끔 난방 기간에 완결되고 시작된다. 터미널에서의 적당한 난방 능력은 시스템이 밸런싱되고 있다는 것을 암시한다. 그림 2는 터미널을 통하는 설계 유량의 40%로 60°C 온수공급과 5K 온도 강하로 설계 용량의 90%를 제공하는 것을 보여준다. 온수공급온도를 증가하면 40% 설계유량보다 낮은 유량율로 터미널에서 같은 열전달을 할 수 있다.

어떤 경우, 이중 온도 수 시스템은 냉방 기간 동안 냉동기 압력강하로 인한 유량 감소가 나타날 수 있다; 이는 25%의 유량 감소를 일으킨다. 예를 들어, 냉방기간 동안, 원래는 난방을 만족했던 터미널이 설계 유량율의 30%만을 받을 수도 있다.

온도차  $\Delta t = 10K$ 의 감소된 유량율의 예는 단지 열전달에 10%의 영향을 주면서, 이 감소된 열전달은 다음과 같은 부정적인 영향을 주게 된다.

1. 시스템의 목적은 필요한 곳에 열을 전달 (또는 제거)하는 것이다. 설계율보다 유량이 감소되면, 시스템은 실 온도를 유지하기 위하여 반드시 좀더 많은 기간 동안 난방 또는 냉방을 공급하여야 한다.
2. 부하가 설계 조건에 도달할 때, 감소된 유량율은 실 설계 조건을 유지할 수 없다.

낮은 수온 강하의 터미널은 밸런싱 되지 않는 조건을 위한 높은 허용한계를 갖는다. 그러나, 큰 배관, 펌프, 펌핑 비용 등을 필요로 하게 되어, 많은 수량이 필수적이다. 또한 자동밸브 조절이 더욱 어렵다.

시스템 밸런싱은 큰 온도 차를 갖는 터미널에서 더욱 중요해진다. 적은 수량이 필요하며, 이로 인해 배관, 밸브, 펌핑 비용뿐 아니라 펌프의 크기가 감소한다. 방출 곡선이 선형에 가까울수록 더욱 나은 시스템 제어가 가능하다.

### Generalized Chilled Water Terminal-Flow Versus Heat Transfer

공기 덕트 내 대표적인 냉수 코일 대 수량을 열전달 곡선이 그림 3에 나타나 있다. 이 곡선은 ARI 등급을 근거로 한다: 건구온도 26.7°C와 습구온도 19.4°C의 입구 공기온도로 온도상승

5.6K에서 입구 수온 7.2°C.

기본곡선은 지속적인 입구 공기의 습도량을 제공하면서 낮은 건구온도를 위한 목록 등급에 적용된다. (즉, 건구온도 23.9°C와 습구온도 19.4°C). 입구수온, 온도상승, 공기속도, 그리고 건구 및 습구온도의 변화는 터미널 성능이 곡선으로부터 벗어나게 되는 원인이 된다. 그림 3은 단지 순환수식 냉각 코일의 총 열전달 변화 대 유량의 일반적인 예를 보여주며 모든 냉수 터미널에 적용되지 않는다. 그림 1과 그림 3의 비교는 냉방과 난방 터미널의 유량 비교에서 비선형적인 열전달의 유사성을 나타낸다.

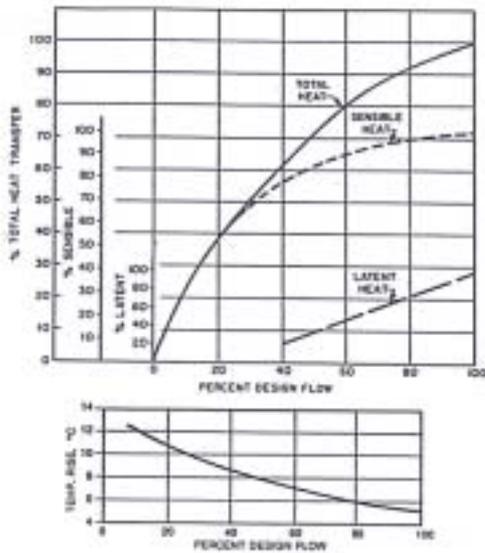


그림 3. 냉수온도 터미널 유량 대 열전달

표 1은 부하에 맞게 코일을 선택하고, 부하의 90%로 유량을 감소할 경우, 다양한 현열과 잠열 조합으로 감소된 부하를 만족시키기 위해서 세 개 유량 변화로 해석할 수 있다는 것을 보여준다.

표 2. 부하 유량 변화

부하 종류	90%부하에서 설계유량 %	기타 부하, % 순서		
		현열	전열	잠열
현열	65	90	84	58
전열	75	95	90	65
잠열	90	98	95	90

### Flow Tolerance and Balance Procedure

설계 절차는 설계 유량율과 허용할 수 있는 유량 허용한계에 따라 다르다. 설계자는 엄격한 유량 허용한계에 따라 밸런싱 비용이 올라간다는 것을 유념하면서, 반드시 터미널의 유량율과 허용할 수 있는 유량 허용한계를 규정해야 한다. 또한 설계자는 과유량은 펌핑 비용의 증가, 그리고 유량의 감소는 설계 조건의 최대 난방 및 냉방을 감소시킨다는 것을 반드시 기억해야 한다.

## WATER-SIDE BALANCING

수축은 반드시 직접 유량 측정으로 밸런싱해야 한다. 이 방법은 온도차이 절차로 인해 나타나는 복합적인 오류를 피할 수 있기 때문에 정확하다. 각 터미널의 유량 측정은 펌프와 실제 시스템 요구량의 비율적인 밸런싱과 궁극적인 조화를 가능하게 한다 (예를 들어, 펌프 임펠러를 가공하거나 펌프 모터 동력을 감소하여). 많은 경우, 펌프 운영비용의 감소를 통해 수축 밸런싱 비용을 지불할 수 있다.

### Equipment

적절한 기기 선택과 예비계획은 수 시스템의 성공적인 밸런싱을 위해 필요하다. 상황에 따라 유량, 온도, 그리고 압력을 측정한다. 설계자는 순환수식 시스템의 시공기간 동안 설비와 밸런싱 기간 동안 검사를 위해 수량 밸런싱 기구를 지정해야 한다. 기구는 다음에 나오는 것들 또는 이들의 조합으로 이루어진다.

- 유량계 (초음파 기기, 터빈, 벤츨리, 오리피스 플레이트, 멀티포트 피토 튜브, 그리고 지시계)
- 압력계, 초음파 디지털 미터, 그리고 차압 게이지 (아날로그 또는 디지털)
- 유량과 압력강하를 측정하기 위한 휴대용 디지털 미터
- 테스트 용기가 제공되지 않을 경우 온도차를 측정하기 위한 휴대용 고온도계
- 검사 압력 탭, 압력 게이지, 온도계, 그리고 용기
- 유량계로 사용하는 시스템 요소 (터미널 코일, 냉동기, 열교환기, 또는 제조업체의 공장 보증 유량 대 강하 곡선을 사용할 경우에는 제어 밸브)

- 유량 제한 또는 조절 기구 (펌프에 부하 변화를 추가하기 위하여)
- 공장 보증 펌프 곡선을 가진 펌프
- 공장 비율 유량을 가진 밸런싱 밸브, 유량 대 핸들 위치 그리고 압력 강하 표, 또는 슬라이드 규칙 유량 계산기

**Record Keeping**

밸런싱은 현장 측정동안 정확한 기록 보관이 필요하다. 실제 날짜와 사인이 된 현장 검사 보고서는 설계자 또는 소비자가 작업을 승인하는 것을 도와주고, 장애에 변경시 건물주에게 귀중한 참고자료가 된다.

**Sizing, Balancing Valves**

밸런싱 밸브는 터미널, 분기, 존, 또는 메인에 수량을 조절하기 위해 시스템에 배치된다. 일반적인 밸브 크기 결정법은 라인의 크기를 선택하는 것이다; 그러나 이는 밸브에 손상을 줄 만큼 너무 많은 압력 강하가 더해지게 되기 때문에 현명하지 못한 방법이다. 많은 밸런싱 밸브와 측정기는 완전히 열린 상태의 밸런싱 밸브로 3kPa의 압력 강하 범위로 ± 5%의 정확성을 가질 수 있다. 어떤 설계자는 밸브가 완전히 열렸을 때 압력강하가 설계 유량에서 총 회로 압력 강하의 5%에서 10% 사이에 오는 것을 선택한다. 너무 큰 밸런싱 밸브 압력강하는 제어 밸브의 성능과 유량 특성에 영향을 준다. 식 (2)는 밸런싱 밸브의 유량 계수  $A_v$ 를 결정하는데 사용할 수 있다. 이 식은 또한 제어 밸브의 크기를 결정하는데 사용할 수 있다.

제어 밸브에 걸린 압력 강하는 1 Pa의 압력 강하에서 완전히 열린 밸브를 통과하는 초당 세제곱미터의 유량을 나타내는 유량 계수  $A_v$ 의 함수이다. 유량 계수는 다음과 같이 정의한다.

$$A_v = Q (\rho/\Delta p)^{0.5} \tag{2}$$

여기서,

$Q$  = 터미널 또는 밸브에서의 설계 풍량, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  = 유체의 밀도, kg/m<sup>3</sup>

$\Delta p$  = 밸브에 걸친 압력 강하, Pa

전통적인 인치-파운드 계수인  $C_v$ 는 다음 팩터를 이용하여 SI 계수  $A_v$ 로 변환할 수 있다.

$$A_v = 24.0 \times 10^{-6} C_v \tag{3}$$

**Hydronic Balancing Methods**

순환수식 시스템을 밸런싱하기 위한 다양한 기술이 사용된다. 온도 차이에 의한 밸런스와 비례법에 의한 수 밸런스가 가장 일반적인 방법이다.

**Balance by Temperature Difference**

주로 이용되는 이 밸런싱 절차는 터미널에서 급수와 환수사이의 수온 차이 측정을 근거로 한다. 설계자는 최대 부하 조건에서 계산된 설계 부하를 위한 냉방 또는 난방 터미널을 선정한다. 운전 시간의 대부분인 최대 풍량보다 낮은 조건인 때의 온도 강하는 비례적으로 낮아진다. 그림 4는 -20°C 외기 설계 온도와 20°C 실 설계 온도의  $\Delta t$  10K 설계에서 난방 시스템을 위한 관계를 설명하고 있다.

설계 온도가 아닌, 특정 외기 온도에서 밸런싱 기술자는 밸런싱을 위해 이와 유사한 차트를 만들고  $\Delta t$ 를 읽어야 한다. 예를 들어, 50% 부하 또는 -1°C 외기온도에서 필요한  $\Delta t$ 는 5K 또는 설계 온도 강하의 50% 이다.

온도 밸런스 기술은 대략적인 추정이고 고도의 정교함이 필요한 곳에는 사용하지 않는다. 이는 냉방 시스템이나 높은 온도 강하 난방 시스템에서는 부정확한 방법이다.

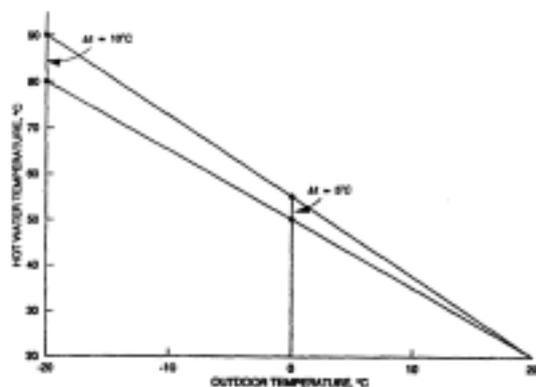


그림 4. 대략적인 온도 차이를 보여주는 수온 대 외기온도

### Water Balance by Proportional Method

수축 밸런스의 비례 방법은 기존 조건을 사용하고 설계 diversity 팩터에 잘 적용된다. 시스템에서의 회로는 회로를 통과하는 실제 유량을 설계 유량율로 나눈 유량 지수에 의해 서로 비례적으로 밸런싱된다.

$$\text{유량 지수} = \frac{\text{실제 유량율}}{\text{설계 유량율}} \quad (4)$$

분기 시스템을 비례적으로 밸런싱하기 위해서는, 첫째 분기의 밸런싱 밸브와 제어 밸브를 열고, 각 터미널에서 실제 유량을 근거로 각 밸런싱 밸브의 지수를 계산한다. 이 값을 검사지에 기록하고 가장 낮은 유량 지수를 갖는 회로를 표시한다.

가장 낮은 지수를 갖는 회로는 가장 큰 압력 손실을 갖는 회로이고 참고가 되는 회로이다. 그 분기에서 모든 밸런싱 밸브를 참고 회로와 비교하여 같은 지수가 나올 때까지 조절한다 (적어도 분기 중 하나의 밸브는 완전히 열려야 한다).

두 번째 밸브를 조절할 때, 참고 회로의 유량 지수 또한 변하고, 유량 지수가 같아지게 만들기 위해서는 계속적인 조절이 필요하다는 점에 주목하라. 이들이 한번 같아지면, 분기에서의 기타 밸브가 조절되거나 압력 또는 유량이 변하는 동안 서로 동일하거나 비례적으로 된다.

모든 밸런싱 밸브가 그 분기의 각각 유량 지수로 조절 될 때, 총 시스템 수량은 하나의 유량 지수로 펌프 방출에서 밸런싱 밸브를 설정함으로써 설계값으로 조절된다.

펌프 방출시 밸런싱 밸브에 걸친 압력 강하는 시스템에 설계 유량율을 제공하는데 펌프에 의해 생산되는 불필요한 압력이다. 이 과도한 압력은 펌프 임펠러를 가공하거나 펌프 속도를 감소하여 제거할 수 있다. 가공한 후, 펌프 방출 밸런싱 밸브는 반드시 설계 유량을 제공하도록 최대 개방으로 다시 열어야 한다.

가변 속도 펌핑과 같이, diversity와 유량 변화는 비례적으로 밸런싱된 시스템에 의해 잘 조절된다. 밸런싱 밸브가 특정 유량 (설계)에서 서로 밸런싱 되기 때문에, 유량에서의 변화는 비례적으로 분배된다.

diversity를 사용하는 시스템에서 수축의 밸런싱은 반드시 최대 유량에서 해야 한다. 시스템 요소는 최대 유량에서의 열전달을 기본으로 하

여 선정되기 때문에, 반드시 이 지점에서 밸런싱하여야 한다. 최대 유량 비례 밸런스를 달성하기 위해서는, 나머지 부분을 밸런싱 하는 동안 시스템의 부분을 닫아라. 한 섹션이 밸런싱 되면, 이를 닫고 시스템의 최대 밸런스를 완성하기 위하여 원래 열려져 있던 부분을 열어라 (밸런싱 시, 건물에 사람이 있거나 최대 부하에 근접한 조건이 존재하는지 적절한 주의를 기울여야 한다).

**가변-속도 펌핑.** 순환수식 밸런싱을 얻기 위해서는, 밸런싱 절차 동안 시스템을 통한 최대 유량이 필요하다. 한번 밸런싱 되면, 시스템은 자동 조절이 가능하고, 펌프 속도를 변경할 수 있다.

최대-유량 조건이 밸런싱 되고 시스템 차동 설정 지점이 수립된 후, 가변-속도 펌프를 제어하기 위해서는, 기타 회로가 동시에 닫힐 때 가장 큰 저항이 되는지 회로의 유량을 관찰하라. 관찰하는 회로의 유량은 이전의 설정 유량과 같거나 더 많아야 한다. 시스템의 열전달 특성을 바꾸는 0.6m/s 이하에서 수량이 총류가 되는지를 주목하라.

### Other Balancing Techniques

#### Flow Balancing by Rated Differential Procedure.

이 절차는 입구 수온  $t_{ew}$  에서 입구 공기 온도  $t_{ea}$ 를 뺀 수온 차이인  $\Delta t_w$ 과 비교하는 검사 코일의 유도 성능 곡선에 따른다. 이는  $(t_{ew} - t_{ea})$ 로 표현되기 때문에 원하는 곡선의 한 지점은 제조업체의 등급으로부터 결정할 수 있다. 두 번째 지점은  $(t_{ew} - t_{ea})$ 이 0 일 때 공기에서 물의 열전달이 0 (결과적으로  $\Delta t_w = 0$ )인 것을 관찰하여 결정된다. 이 두개의 점으로, 대략적인 성능 곡선을 그릴 수 있다 (그림 5를 보라). 이렇게 되면 이 곡선은  $(t_{ew} - t_{ea})$  대신 대략적인  $\Delta t_w$ 를 결정하는데 사용할 수 있다.

예 1. 제조업체의 데이터에서부터

- Capacity = 3kW
- $t_{ew} = 95^{\circ}\text{C}$
- $t_{ea} = 15^{\circ}\text{C}$
- Water flow = 0.1 L/s
- $c_p = 4.18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 1 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
- $\rho = 1.0 \text{ kg}/\text{L}$

해답

1. 등급  $\Delta t_w$ 를 계산하라.

$$\Delta t_w = \frac{3}{4.18 \times 0.1 \times 1} = 7.18 \text{ K}$$

2. 그림 5에 나타난 것과 같은 성능 곡선을 그려라.

3. 검사 데이터로부터

- $t_{ew} = 80^{\circ}\text{C}$
- $t_{ea} = 20^{\circ}\text{C}$
- $t_{ew} - t_{ea} = 60^{\circ}\text{C}$

4. 그림 5로부터  $\Delta t_w=5.4\text{K}$ 를 읽어라, 이는 0.1 L/s에서 수량을 밸런싱하기 위해 필요하다. 수온 차이 또한 다음과 같이 등급 값의 비율에 따라 계산하여야 한다.

$$\frac{(t_{ew} - t_{ea})_{test}}{(t_{ew} - t_{ea})_{rated}} (\Delta t_w)_{read} = (\Delta t_w)_{required}$$

$$\frac{80 - 20}{95 - 15} \times 7.18 = 5.4 \text{ K}$$

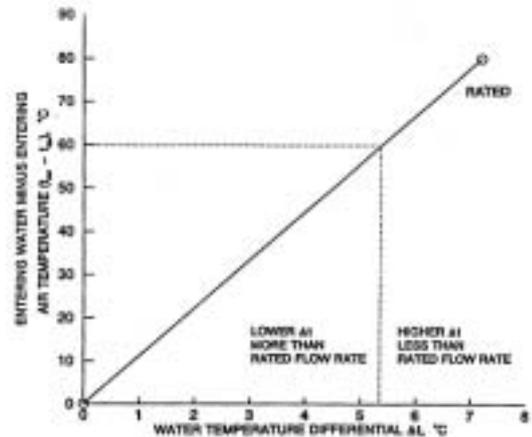


그림 5. 코일 성능 곡선  
(제조업체의 데이터에서 추출)

이 절차는 적절한 유량 측정 기구가 없고 기류 측정을 할 수 없는 핀부착 튜브 컨벡터와 같은 터미널 기구를 밸런싱 하는데 유용하다. 이는 또한 현열 전달을 하는 냉각 코일에 사용할 수 있다 (건코일).

**Flow Balancing by Total Heat Transfer.** 이 절차는 코일 주변에 에너지 밸런스를 흐르게 하여 수량을 결정한다. 코일 상하류의 기류, 건·습구온도, 그리고 들어가고 나가는 수온의 온도차  $\Delta t_w$  등의 현장 측정으로부터, 다음의 식을 통해 결정할 수 있다.

$$Q_w = q/4180 \Delta t_w \tag{5}$$

$$q_{cooling} = 1.20 Q_a (h_1 - h_2) \tag{6}$$

$$q_{heating} = 1.23 Q_a (t_1 - t_2) \tag{7}$$

여기서,

- $Q_w$  = 수량율, L/s
- $q$  = 부하, W
- $q_{cooling}$  = 냉방부하, W
- $q_{heating}$  = 난방부하, W
- $Q_a$  = 기류율, L/s
- $h$  = 엔탈피, kJ/kg
- $t$  = 온도,  $^{\circ}\text{C}$

예 2. 다음의 특성을 갖는 냉방시스템의 수량을 찾아라.

검사 데이터

$$t_{ewb} = \text{입구 습구 온도} = 20.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{hwb} = \text{출구 습구 온도} = 11.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_a = \text{기류율} = 10,000\text{L/s}$$

$$t_{lw} = \text{출구 수온} = 15.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ew} = \text{입구 수온} = 8.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

습공기 선도에서

$$h_1 = 76.52 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 52.01 \text{ kJ/kg}$$

해답 : 식 (5)와 (6)으로부터

$$Q_w = \frac{1.20 \times 10000 (76.52 - 52.01)}{4180 (15.0 - 8.6)} = 11.0\text{L/s}$$

원하는 수량은 연속적인 수조정과 재 계산으로 얻을 수 있다. 이러한 온도는 압축열, 성층화, 바이패스, 그리고 누출에 의해 큰 영향을 받는다는 것을 주목하라.

### General Balance Procedures

수 시스템 밸런싱의 변수를 모두 나열하기는 힘들다. 그러나 일반적인 접근법을 통해 운영비를 최소화 하면서 시스템을 밸런싱 할 수 있다. 과도한 펌프 압력 (과도한 운전 동력)은 펌프 임펠러를 가공하여 제거할 수 있다. 쓰로슬 밸브에 과도한 압력이 흡수되도록 하는 것은 시스템 운전애 생애 운전비용 불이익을 초래한다.

다음은 현장에서 밸런싱 밸브 설정을 기본으로 한 일반적인 절차이다.

1. 설계 도면에 유량 다이어그램이 포함되어 있지 않다면 다이어그램을 만들어라. 모든 밸런싱 도구를 설명하고, 추가로 필요한 도구를 포함시켜라.
2. 지정한 펌프, 주 열교환기, 그리고 터미널 유닛을 비교하고 설계 diversity 팩터를 얻을 수 있는지를 결정하라.
3. 제어 다이어그램을 검토하고 설계 유량 조건을 얻기 위해 필요한 제어 조정을 결정하라.

### Balance Procedures—Primary and Secondary Circuits

1. (a) 시스템 내의 물이 모두 배출되었는지, 청소는 되어 있는지, 그리고 공기는 배출되었는지; (b) 모든 수동 밸브가 열려있고 운전 위치에 놓여 있는지; (c) 모든 자동밸브가 제 위치에 적절하게 있고 작동되는지; 그리고 (d) 팽창 탱크가 적절하게 채워졌는지를 확실히 하기 위해서 시스템을 완벽하게 조사하라.
2. 설계 유량을 위해 제어기를 제 위치에 두어라.
3. 확실하게 짧은 회로의 유량 다이어그램과 배관을 검토하라; 유량을 체크하고 밸런스밸브를 조절하라.
4. 최대 유량 및 유량이 흐르지 않는 상황에서 펌프 흡입, 방출, 그리고 차압값을 읽어라. 큰 용량의 펌프에서는 유량이 없는 조건은 안전하지 않을 수 있다. 어떤 경우라도 밸브는 천천히 닫혀야 한다.
5. 펌프 모터 전류와 전압을 읽고, 적절한 동력을 결정하라.
6. 펌프 곡선을 설정하고, 대략적인 유량율을 결정하라.
7. 총 유량 스테이션이 있을 경우 유량을 결정하고, 펌프 곡선 유량과 이 유량을 비교하라.
8. 가능하다면, 첫 번째로 총 유량 스테이션을 이용하여 총 유량을 약 10% 높게 설정하고 두 번째 펌프 차압을 정한 다음; 밸런스가 진행되는 동안 펌프 쓰로슬 밸브를 조정하여 일정한 값으로 펌핑된 유량을 유지하라.
9. 분기 메인 유량 스테이션이 있다면, 이들은 반드시 검사와 설정을 해야 한다. starting by setting the shortest runs low as balancing proceeds to the longer branch runs.
10. 시스템이 주와 부 펌핑 회로를 통합하였다면, 합리적인 밸런스는 반드시 부 루프를 고려하기 전에 주 루프에서 이루어져야 한다. 부 루프가 분리되지 않는 한, 주 루프가 밸런싱 될 때 부 펌프는 반드시 작동하고 있어야 하고 터미널 유닛은 반드시 유량이 흐르도록 열려 있어야 한다.

## SYSTEM COMPONENTS AS FLOWMETERS

### Flow Measurement Based on Manufacturer's Data

정확하면서, 공장보증 유량/압력 강하 관계를 갖는 어떤 시스템 구성요소 (터미널, 제어밸브, 또는 냉동기)는 유량지시 기구로 사용할 수 있다. 유량과 압력 강하는 식 (3)에서 보는바와 같이 균일한 유량 계수를 확립하는데 사용할 수 있다.

베르누이 방정식에 따르면, 밀도가 일정하다고 가정하면, 압력 강하는 속도 또는 유량율의 제곱에 따라 변한다.

$$Q_1^2/Q_2^2 = \Delta h_1/\Delta h_2 \quad (8)$$

예를 들어, 냉동기는 10L/s에서 80kPa의 보증 압력 강하를 갖는다. 90kPa의 현장 측정 압력으로 계산한 유량은,

$$Q_2 = Q_1 (\Delta h_2/\Delta h_1)^{0.5} = 10 (90/80)^{0.5} = 10.6L/s$$

그러나 이런 방식으로 계산된 유량 결과는 정확성에서 제한이 있다. 유량 지시계로 사용되는 시스템 요소의 정확도는 (1) 유량/압력 강하 관계를 고려한 카탈로그 정보의 정확성 그리고 (2) 차압 눈금의 정확성에 따른다. 일반적으로, 시스템 구성요소가 유량 지시계로 사용되기 위해서는 공장 보증 유량 검사를 받아야 한다.

### Pressure Differential Readout by Gage

게이지 또는 압력계 모두 차압을 읽는데 사용할 수 있다. 게이지는 일반적으로 높은 차압에 사용되고 수은 압력계는 낮은 차압에 사용된다. 정확한 게이지 데이터 송신은 특히, 게이지가 영구히 설치되고 오작동을 일으키는 상황에 처한 것과 같은 두개 게이지를 사용할 때 감소한다.

단일 고품질 게이지는 차압 데이터 송신에 사용된다 (그림 6). 이 게이지는 차압을 만들기 위해 고압에서 저압으로 연결된 부분에 사용된다. 단일 게이지는 정압 높이 보정 (static height correction)이 필요 없고, 게이지 보정에 의한 오류가 제거된다.

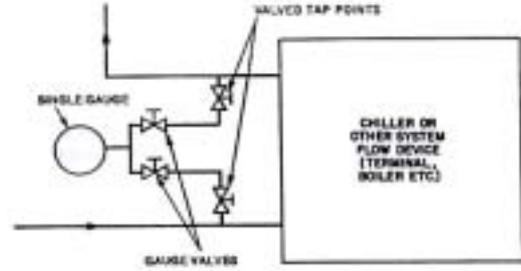


그림 6. 차압을 읽기 위한 단일 게이지

차압은 또한 차압 게이지를 통해 읽을 수 있기 때문에, 차압을 알기 위해 출구압력에서 입구 압력을 빼는 수고가 덜어진다. 차압 게이지는 일반적으로 압력의 차이를 읽기 위해서 기계적으로 연결된 이중 게이지이다.

### Conversion of Differential Pressure to Head

게이지는 전통적으로 유체 회로 내 어느 지점 이상의 물 높이를 지칭하는 유체 헤드의 계량을 위해 눈금을 조정할 수 있다. 헤드는 밀도의 함수이고 다음과 같이 정수학의 법칙에 의해 압력과 관계가 있다.

$$h = p/Pg \quad (9)$$

여기서,

- $h$  = 유체 헤드, m
- $p$  = 압력, kPa
- $F$  = 밀도, kg/m<sup>3</sup>
- $g$  = 표준 중력 = 9.80665 N/kg

그러나 보정은 단지 하나의 밀도에서만(일반적으로 15°C 표준온도에서) 적용되기 때문에, 게이지가 현저히 낮은 압력으로 고온수에 적용될 때에는 헤드 눈금의 수정이 필요하다.

예를 들어, 제조업체는 40°C 수온에서 보일러 제어 밸브를 검사하였다. 120°C의 현장에서 행해진 다른 검사로부터 두 검사의 밀도차를 고려하기 위하여 차압은 식 (8)을 사용하여 제조업체의 데이터로 보정되어야 한다.

헤드 차이가 유량을 가능하게 하는데 사용될 때, 펌프 곡선의 모양 때문에 밀도 보정이 반드시 이루어져야 한다. 예를 들어, 그림 7에서 밀도 900kg/m<sup>3</sup>의 물을 펌핑하는데 수정이 되지 않은 차압 눈금은 25m 이다; 게이지 변환은 밀도

999kg/m<sup>3</sup>의 물로 추정된다. 수정되지 않았거나 잘못된 눈금은 유량 추정에 있어 40% 오류를 나타낸다.

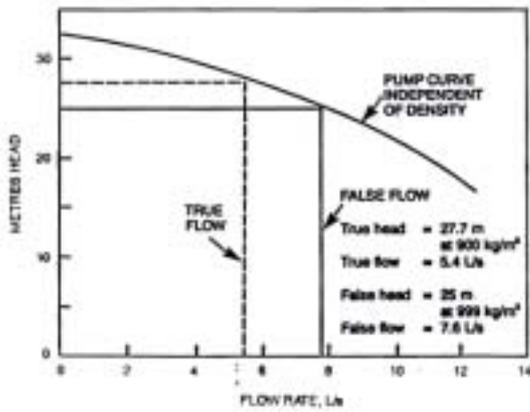


그림 7. 펌프 곡선을 위한 유체밀도 보정

### Differential Head Readout with Mercury Manometers

수은 압력계는 특히, 매우 낮은 차압, 고도의 정밀 또는 이 모두를 요구할 때 차압값에 사용된다. 수은 압력계는 수은이 수 시스템에 분출될 가능성이 있고 구성요소를 급속하게 오염시킬 수 있기 때문에 현장 측정에 사용해서는 안된다. 수은 압력계는 조심스럽게 다루어야 한다. 제안하는 압력계 배치는 그림 8에 나타나 있다.

그림 8을 참조하여 다음의 지침은 수은 분출 위험을 최소화하면서 정확한 압력값을 제공해 준다.

1. 압력계의 양쪽다리가 물로 채워져 있는지 확인하라.
2. 퍼지 바이패스 밸브를 열어라
3. 높은 압력과 낮은 압력 사이에 밸브로 연결된 곳을 열어라
4. 바이패스 벤트 밸브를 천천히 열고 이곳에서 공기를 빼내어라.
5. 압력계 블록 벤트를 열고 각 지점에서 공기를 빼내어라.
6. 니들 밸브를 닫는다. 압력계에 공기가 없다면 수은 기둥은 0이 되어야 한다. 그렇지 않다면, 공기를 다시 빼어라.
7. 수은 기둥을 주시하면서, 니들 밸브를 열고 천천히 퍼지 바이패스 밸브를 조여라. 압력계

의 수은 기둥이 이용 가능한 만큼 적절하다면, 밸브를 닫고 차압값을 얻을 수 있다. 그러나 밸브가 완전히 닫혀지기 전에 수은 기둥이 압력계의 위까지 올라간다면, 이는 압력계 높이가 부적당한 것이며, 더욱 조이게 되면 분출 콜렉터에 수은이 쏟아질 것이다. 더욱 긴 압력계 또는 단일 게이지 방법을 사용하여야 한다.

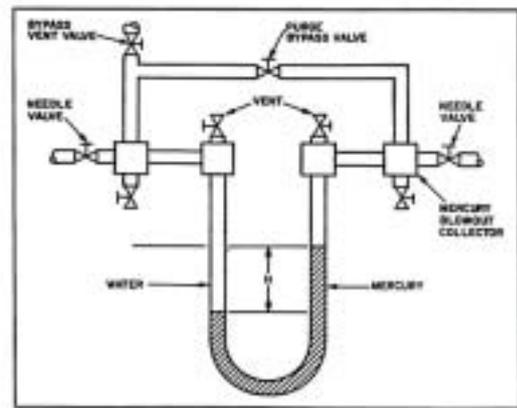


그림 8. 정확한 값과 분출을 막기 위한 수은 압력계 배치

많은 변환 팩터는 공기에 노출되어 있는 수은 기둥을 보정하는데 사용되기 때문에 흔히 수은의 mm 단위를 kPa 단위로 변환할 때 오류가 발생한다. 공기의 변환 팩터는 수은 기둥이 액체의 같은 높이에 의해 서로 균형이 잡히는 것을 고려하지 않는다. 수량 검사에서 압력을 결정하기 위해 수은 압력계가 사용될 때는, 변환 팩터는 약 15°C 수온에서 수은 1mm는 0.123 kPa이다. 변환 팩터는 표 2에서 보는 바와 같이 온도의 함수인 검사 유체의 밀도에 따라 변한다.

### Other Flow Information Devices, Orifice Plates, and Flow Indicators

제조업체는 순환수식 시스템 밸런스에 사용되는 몇가지 기구의 유량 정보를 제공한다. 일반적으로 이 기구는 (1) 오리피스 유량계, (2) 벤츨리 유량계, (3) 속도 충격계 (velocity impact), (4) 피토 튜브 유량계, (5) 바이패스 스프링 충격 유량계, (6) 보정된 밸런스 밸브, (7) 터빈 유량계, 그리고 (8) 초음파 유량계로 분류할 수 있다.

표 2. 변환 표

수온 °C	mmHg를 KPa로 바꾸기 위한 변환 계수
15	0.1232
60	0.1251
90	0.1275
120	0.1304
150	0.1343
170	0.1371

*오리피스 유량계*는 폭넓게 사용되고 매우 정확하다. 이 계량기는 눈금 조정이 가능하고 차압대 유량을 보여준다. 일반적으로 정확성은 계량기에 걸친 압력 차이가 증가할수록 증가한다. 차압값을 나타내는 기계는 압력계, 차압계이지, 또는 단일 게이지 이다 (그림 6).

*벤츨리 유량계*는 신중하게 만들어진 유량 통로가 속도압 회복을 증가시키기 때문에 오리피스 프레이트 계량기보다 압력 손실이 작다. 벤츨리 유량계는 연속적으로 값을 읽을 수 있는 메인 유량 라인에 설치된다.

*속도 충격계*는 정밀한 구성과 보정을 갖는다. 이 계량기는 일반적으로 유량 부표를 관찰할 수 있도록 특별하게 만든 유리 또는 플라스틱으로 만들어진다. 유량이 증가하면, 유량울을 표시하도록 유량 부표가 보정 튜브안에서 올라간다. 속도 충격계는 일반적으로 높은 정확성을 갖는다.

*특별 속도 충격계*는 순환수 시스템에 적용된다. 이는 유체가 조그만 유량계를 통해 흐르도록 하는 배관 측벽과 배관 중심 사이의 속도압 차이에서 작동한다. 정확성은 이론과 실험실 검사 보정에 일치하는 충격 튜브의 위치와 속도 특성에 달려있다. 일반적으로 이 바이패스 유량 충격 또는 차압 속도압 유량계의 정확성은 순환수식 시스템에서 압력 손실을 만들지 않고 작동할 수 있는 유량 통로에 보다 떨어진다.

*피토 튜브 유량계* 또한 배관 유량 측정에 사용된다. 이는 차압이 낮기 때문에 압력계는 일반적으로 속도압 차이를 측정하는데 사용된다.

*바이패스 스프링 충격 유량계*는 서로 관련 있는 바이패스 측면 분기 유량을 일으키기 위한 규정된 배관 압력 강하를 사용한다. 측면 분기 유량

은 증가된 측면 분기 유량으로 길이 안에서 증가된 스프링을 반대로 밀어낸다. 각 개별 유량계는 연장된 스프링 길이 위치를 메인 유량에 연관시키기 위해서 보정한다. 바이패스 스프링 충격 유량계의 주요 장점은 값을 직접 읽을 수 있다는 점이다. 그러나 스프링에 먼지가 쌓이면 정확성이 떨어진다. 바이패스는 값이 나올 때 열린다. 유량값은 언제든지 얻을 수 있다.

*보정 밸런스 밸브*는 조절 가능한 오리피스 유량계이다. 밸런스 밸브는 유량/압력 강하 관계가 각 밸브의 이득 설정을 얻도록 보정할 수 있다. 볼, 회전 플러그, 또는 버터플라이 밸브는 퍼센트 열림 또는 단계 열림으로 설명되는 설정을 갖는다; 글로브 밸브는 퍼센트 열림 또는 돌림 횟수로 설명되는 설정을 갖는다. 보정 밸런스 밸브는 특정한 크기의 각 밸브가 같은 보정 특성을 갖도록 하기 위해서 정확성과 주의를 기울여 제조해야 한다.

*터빈 유량계*는 기계적 방식의 기구이다. 액체의 속도는 계량기의 바퀴를 돌린다. 이는 유량의 단위로 보정되는 4에서 20mA의 출력을 발생한다. 베어링이 낡거나 수질이 오염되면 바퀴를 느리게 돌게 하고 찌꺼기가 바퀴가 도는 것을 방해하거나 멈추게 하기 때문에, 계량기는 잘 유지되어야 한다.

*초음파 유량계*는 유량단위로 보정되는 소리 신호를 감지한다. 초음파 계량 스테이션은 배관의 일부분으로 설치하거나 배관에 묶는다. 양쪽 어떤 경우라도, 계량기는 유지를 위해서 움직이는 부분이 없고 또한 배관으로 들어가지 않으며 압력강하를 일으키지 않는다. 두개의 독특한 종류의 초음파 계량기가 사용가능하다-HVAC 또는 정수 시스템을 위한 횡단 시간 계량기와 오물 또는 많은 양의 특정물질을 다루는 시스템을 위한 도플러 계량기.

위에 언급한 계량기가 유용하다면, 계량기 제조업체와 유량 측정 핸드북에서 추천하는 직관 상류와 하류의 최소 거리가 반드시 고수되어야 한다. 그림 9는 최소 설치를 위한 제안을 나타낸다.

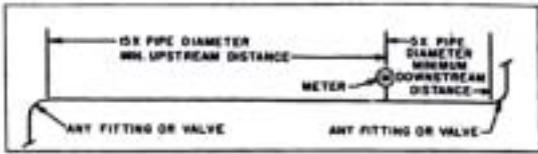


그림 9. 유량계 설치를 위한 최소

**Using a Pump as an Indicator**

펌프는 계량기는 아니지만, 이는 기타 시스템 구성 요소와 함께 유량 지시계로 사용할 수 있다. 펌프에 걸친 차압값은 펌프 유량을 수립하기 위하여 펌프 곡선으로 관계 지을 수 있다. 정확성은 (1) 읽는 값의 정확성, (2) 펌프 곡선 모양, (3) 제시된 곡선과 실제 펌프의 일치, (4) 공동화 없는 펌프 운전, (5) 공기가 들어가지 않는 운전, 그리고 (6) 속도압 보정에 달려 있다.

반드시 차압값을 구해야 할 때, 메니폴드(manifold)를 지닌 단일 게이지는 매우 정밀한 값을 제공한다 (그림 10). 차압을 방출할 펌프 흡입은 펌프 차압과 결과적으로 펌프 유량을 수립하기 위해 사용될 수 있다. 단일 게이지와 메니폴드는 스트레이너에 걸친 압력 차이를 측정함으로써 스트레이너 고장을 체크하는데 사용할 수 있다.

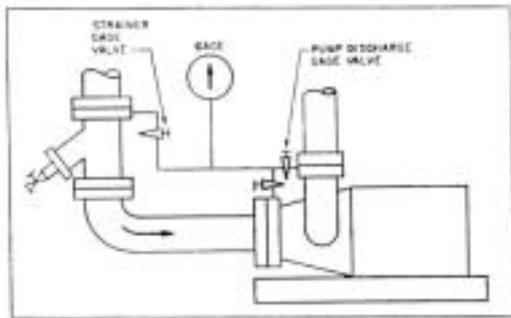


그림 10. 펌프와 스트레이너에 걸친 차압값을 위한 단일 게이지

게이지 값으로부터 얻은 압력 차이는 압력을 유체 밀도로 나눈 헤드로 변환된다. 이때 펌프 차동 헤드는 펌프 유량을 결정하는데 사용할 수 있다 (그림 11). 펌프 곡선을 입력하는데 사용되는 차압 헤드가 펌핑되는 유체의 헤드로 표현 되는 한, 제조업체가 제시하는 펌프 곡선은 설명하는 대로 사용되어야 한다. 펌프 곡선은 30°C 수온으로 검사하여 정의되는 곡선으로 지

정할 수 있다. 이는 동일한 곡선이 15에서 120°C까지 또는 넓은 점성 범위 내의 여러 액체에 변하지 않고 적용되기 때문에 별로 중요하지 않다.

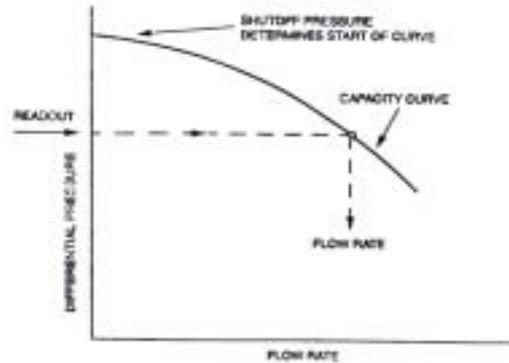


그림 11. 펌프 유량을 결정하기 위해 사용되는 차압

일반적으로 성능 곡선으로 수립된 것과 같이 펌프에서 나온 유량 정보는 다음의 예방책을 지키지 않으면 의심스럽다.

1. 설치된 펌프는 특정한 펌프를 위한 실제 유량-압력 관계를 확립하기 위해서 검사를 통한 공장 보정을 해야 한다. 제작 펌프는 임펠러 지름, 인테리어 케이싱 허용 한계, 그리고 기계 접합 등의 사소한 변화 때문에 카타로그의 곡선과 다를 수 있다.
2. 검사 중인 센트리 휴갈 펌프의 보정 곡선을 사용할 수 없을 때에는, 방출 밸브는 유량이 없는 차단 압력을 확립하기 위하여 간단히 닫혀야 한다. 이는 발행된 곡선과 비교할 수 있다. 만약 차단 압력이 발행된 것과 다를 경우에는, 발행된 곡선과 평행한 새 곡선을 그려라. 정확하지 않더라도 새 곡선은 일반적으로 좀더 정확하게 실제 펌핑 상황과 잘 맞는다. 임펠러와 케이싱 사이의 간격은 유량이 없을 경우의 검사 동안 펌프 손상의 위험을 줄일 수 있지만, 확실하게 하기 위해서는 제조업체에 확인을 하라
3. 차압은 특히 펌프가 평평한 유량 곡선일 때, 가능한 정확하게 결정되어야 한다.
4. 펌프는 운전 중 공기가 없고 공동화 현상이 없어야 한다. 펌프가 공동화되면 곡선에 따라 작동하지 않게 되고, 차압값은 잘못된 결과를

제공한다.

5. 펌프가 최소 정압 흡입 압력 이상으로 운전 되도록 하라.
6. 동력값은 펌프 곡선이 평평할 때 운전 지점의 체크로서 또는 공기로 인하여 펌프가 공동화나 잘못된 값을 제공하는 것이 의심될 때 참고 체크로 사용될 수 있다.
7. 펌프 곡선에 의해 결정된 유량은 유량계로 측정된 유량, 회로를 통한 압력 강하에 의해 측정된 유량, 그리고 열교환기를 통한 압력 강하에 의해 측정된 유량과 비교해야 한다.

동력 draw는 와트 단위로 측정해야 한다. 전류값은 전압과 역률 문제로 인하여 신뢰할 수 없다. 모터 효율을 알고 있다면, 펌프 곡선과 결정된 운전 지점에서 설명한 바와 같이, 와트수 곡선은 펌프 브레이크 동력과 관계 지을 수 있다.

**Central Plant Chilled Water Systems**

기존에 설치된 시설에서 정확하게 열 부하 특성을 수립하는 것은 적절한 주 냉수 공급 온도와 유량을 수립하기 위해 매우 중요하다. 신규 설치 시설에서, 실제 부하 특성은 유효한 운전 데이터를 얻기 위하여 설계 부하 특성과 비교한다.

적절한 검사와 밸런싱을 수행하기 위해서는, 주 및 부 시스템 사이의 상호 연결된 모든 지점이 적당한 데이터가 표시되고 기록될 수 있도록 반드시 충분한 온도, 압력, 그리고 유량 연결로 설계되어야 한다.

**Water Flow Instrumentation**

이전에 언급하였듯이, 적절한 위치와 시스템 기계의 사용은 시스템 밸런스의 정확성에 매우 중요하다. 다양한 지점에서의 온도와 압력을 검사하기 위한 기계가 표 3에 나열되어 있다. 이 표를 사용하여, 쉽고 정확하게 기계를 특정한 설계에 필요에 따라 맞출 수 있다. 유량 지시 기구는 다음과 같이 수 시스템에 배치되어야 한다.

- 각 주 가열코일 뱅크 (0.6 L/s 또는 이상)
- 각 주 냉각코일 뱅크 (0.6 L/s 또는 이상)
- 주-부 시스템에서 각 분기
- 각 주 펌핑 스테이션
- 각 수 냉동기 증발기

- 각 수 냉동기 응축기
- 수 보일러 취출구
- 각 부스터 재열 코일, 팬코일 유닛, 유인 유닛, 천장 판넬, 그리고 복사 판넬의 바닥 출발점
- 각 팬코일 유닛, 유인유닛, 그리고 방열기에 있는 수직 사다리
- 기존 시스템과 관련된 지점

표 3. 수 시스템 모니터링 기구

지점	복합 계이지	단일 계이지	온도 계	검사 용기	압력 마개
펌프-흡입, 방출	x				
스트레이너-입출구					x
냉각기-입출구		x	x		
응축기-입출구		x	x		
농축기-입출구		x	x		
흡수기-입출구		x	x		
타워셀-입출구				x	x
열교환기-입출구	x		x		
코일-입출구				x	x
코일뱅크-입출구		x	x		
부스터코일-입출구					x
냉각판넬-입출구					x
가열판넬-입출구				x	x
유닛히터-입출구					x
유인-입출구					x
팬코일-입출구					x
수보일러-입출구			x		
삼방밸브-모든배출구					x
존 리턴메인			x		
분기-입출구			x		
물 보충기		x			
팽창탱크		x			
스트레이너 펌프					x
스트레이너 메인	x				
존 삼방-모든배출구				x	x