

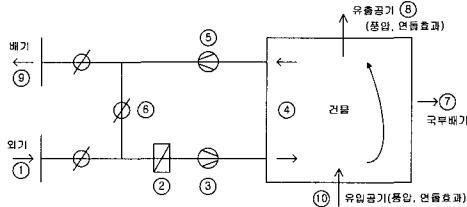
# 변풍량 공조 시스템의 제어



주영덕

1970년대부터 사용된 변풍량 공조 시스템 (Variable Air Volume System)은 실내 부하 변동에 따라 급기 온도를 일정하게 유지시키고 실별, 존별 송풍량을 변화시켜 실온을 제어하는 방식으로, 에너지 절약, 개별 제어 등의 장점 때문에 적용이 확대되었고 특히 단일덕트 변풍량 공조 시스템은 이러한 이유 때문에 많은 건물에 적용되고 있다. 그러나 현 제어시스템의 풍량 측정의 문제점과 공조기내에서 풍량변화 및 급/배기 댐퍼의 개도 변경으로 인한 환기 댐퍼의 비선형 특성을 고려하지 않고 제어하기 때문에 외기량 확보를 정확히 유지 못하는 실정이다. 따라서 단일덕트 변풍량 시스템의 환기댐퍼 및 급기, 환기 팬의 제어 방식의 종류와 특성 및 문제점에 대하여 설명하고자 한다.

공간 및 창문 틈새 등으로 인한 실내외 압력차 발생시 공기가 유출되는 경우의 공기의 흐름이다. 과정 ① → ③ → ④ → ⑦은 국부 배기에 의한 공기 유출 현상 발생시 흐름을 나타내며 과정 ⑩은 연돌 효과, 풍압 등에 의해 실내외 압력차가 발생되었을 때의 공기의 흐름이다.



<그림 1> 건물내의 공기 흐름

## ■ 건물내 공기흐름 밸런스

건물내 공기 흐름은 그림 1과 같으며 각 경우에 대한 공기 흐름은 다음과 같다.

과정 ② → ③ → ④ → ⑤ → ⑥은 변풍량 공조 시스템의 기본 기능으로서 변풍량 유닛에 의한 실내온도 제어시 공기 흐름을 나타낸다. 과정 ① → ③ → ④ → ⑤ → ⑨는 기본 환기 사이클로서 외기 도입후 배기구를 통한 환기시 공기 흐름이며 과정 ① → ③ → ④ → ⑧은 승강기, 문 등의 열린

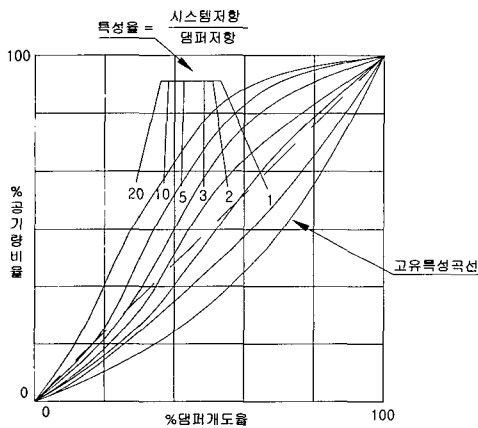
## ■ 공조기 댐퍼 특성

공조 시스템에서 댐퍼제어는 댐퍼 개도 변화와 공기량 변화를 선형적으로 조절하는 것을 목적으로 한다. 또한 제어의 선형성은 모든 조절 범위에 대하여 유지되어야 하나 그림 2, 3에서와 같이 실제 댐퍼의 특성 곡선은 특성율에 따라 변동하는 곡선을 보인다. 이 때문에 공조기내에서의 외기, 배기, 환기량 변화와 댐퍼들의 개도 변화가 상호 비례하지 않기 때문에 필요시 정확한 외기량을 확보하기가 어렵다.

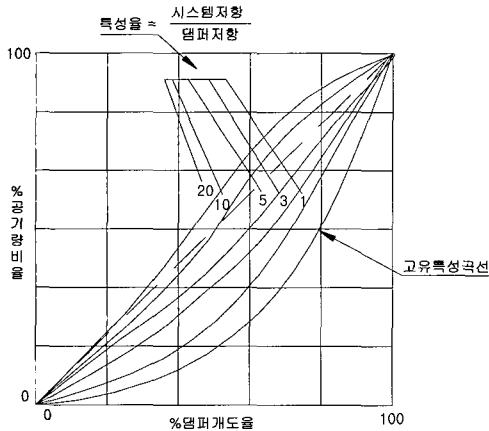
## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

$$\text{특성율} = \frac{\text{시스템 저항}}{\text{댐퍼 저항}}$$

- 댐퍼의 고유 특성  
댐퍼의 고유특성(Inherent characteristics)은 댐퍼의 전후단의 압력차를 일정하게 유지하면서 댐퍼의 개도를 변화시킬때 댐퍼의 개도 변화율과 공기량의 변화율 비를 나타낸다



〈그림 2〉 Opposed Blade 댐퍼 성능 특성 곡선



〈그림 3〉 Parallel Blade 댐퍼 성능 특성 곡선

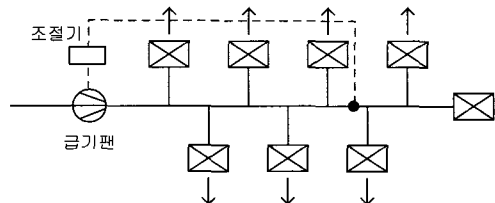
- 댐퍼의 실제 운전중 특성  
실제운전 중에는 댐퍼의 개도 변화에 따라 덕트의 저항, 코일, 루버 등의 압력 강하도 변화하게 되어 댐퍼의 고유특성이 특성율에 따라 그림2, 3과 같이 변화된다.

### 급기 팬 제어

급기 팬은 모든 변풍량 유닛의 공조구역에서 요구되는 풍량을 공급하는 장비로서 급기 팬 제어의 목적은 변풍량 유닛에 적절한 정압을 제공하는 것으로 급기 덕트에 설치된 정압감지기의 정압을 측정하고 미리 설정된 설정 값과 비교함으로써 팬을 제어한다. 정압감지기의 설치 위치를 선정하는 것이 제어의 중요 요소이며 설치 위치는 그림 4~7과 같다.

#### Case 1

하나의 주 덕트로 구성되며 ATU(air terminal unit)가 주 덕트에서 짧게 분기된 경우로 이때의 정압감지기는 팬에서 가장 먼 ATU의 3~4개 ATU 앞에 설치하는 것이 안정적이고 균일한 정압 측정이 가능하다.

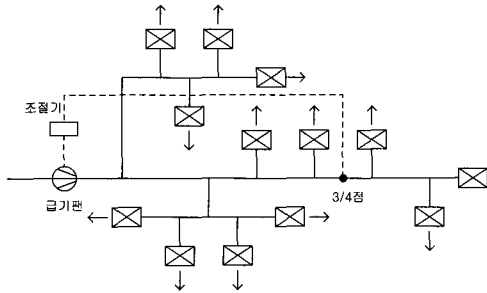


〈그림 4〉 정압 감지기의 설치 위치 - Case 1

#### Case 2

덕트의 구성이 주 덕트에서 여러개의 가지 덕트를 갖게 되는 복잡한 경우에는 팬과

## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

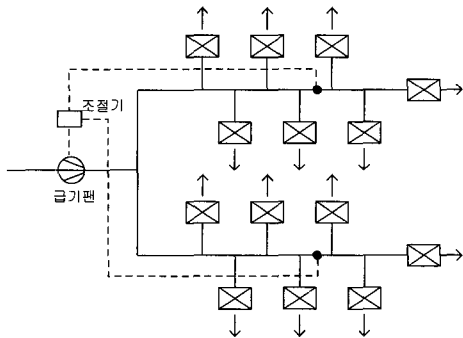


〈그림 5〉 정압 감지기의 설치 위치 - Case 2

가장 먼 ATU 사이 거리의 75% 지점에 센서를 설치한다.

### Case 3

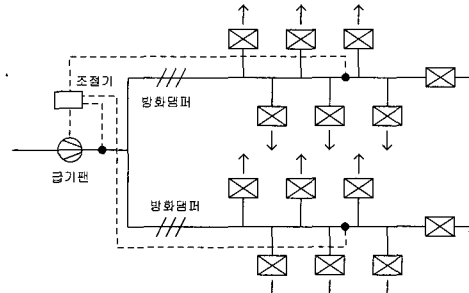
팬 가까이에서 주 덕트가 분기 될 때는 정압 감지기를 각 분기된 주 덕트에서 75% 거리의 말단에 각각 설치하고 각 센서는 각각의 설정값을 가지며 팬은 설정값과 실측값의 편차가 큰 센서의 제어량에 의해서 제어된다.



〈그림 6〉 정압 감지기의 설치 위치 - Case 3

### Case 4

덕트 시스템에 방화 댐퍼 등이 설치될 경우 덕트가 막히게 될 경우가 발생된다. 이때는 급기팬과 분기 덕트 사이에 정압감지기



〈그림 7〉 정압 감지기의 설치 위치 - Case 4

를 설치하여 덕트 내의 이상 정압 상승을 막아 시스템을 보호한다. 화재 발생시 방화 댐퍼가 닫히면 말단에 설치된 정압 센서는 풍량이 없을 때의 신호를 보내게 되어 급기 팬은 최대 출력으로 작동되어 덕트내의 압력을 상승시킨다.

## 환기 팬 제어

환기 팬은 실내 압력과 실내 공기환경 유지 및 외기 냉방, 실내 온도 제어를 위한 장비이며 환기 팬 제어방식은 종속 환기 팬 제어(slave return fan control), 실내 정압에 의한 환기 팬 제어(direct building static control), 측정 풍량에 의한 환기 팬 제어(airflow monitor tracking control), plenum 일정 압력에 의한 환기 팬 제어(fixed-pressure method) 등으로 구분되어 진다.

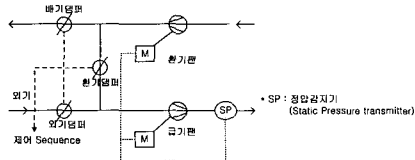
### 종속 환기 팬 제어

#### 1) 개요

환기 측에서의 어떤 제어신호를 받지 않고 급기 팬과 환기팬 사이에 일정한 풍량 비율을 설정하여 급기 팬의 제어량에 비례하여 환기팬을 제어하는 방식

## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

### 2) 제어 구성도



〈그림 8〉 증속 환기팬 제어

### 3) 특성

- ① 환기 팬이 급기 팬에 증속되어 동작하므로 두 팬의 성능 특성이 유사하여야 한다.
- ② 최대, 최소 운전점에서 적절한 조정을 위해서는 정확한 밸런싱(balancing)이 요구된다.
- ③ 최소 외기량 확보나 실내 압력유지의 필요성이 크지 않은 소형 시스템에 적용이 가능하다.
- ④ Turndown %가 50 % 이내에서 적용하여야 한다.

$$\text{Turndown \%} = \frac{\text{최대풍량} - \text{최소풍량}}{\text{최대풍량}} \times 100$$

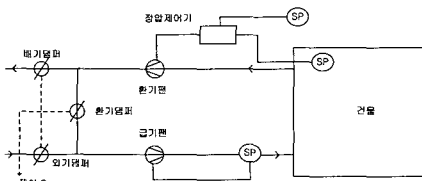
- ⑤ 환기측의 댐퍼 제어나 국소 배기량의 변화시 최소 외기량 확보, 실내 압력 유지가 어렵다.

### 실내 정압에 의한 환기팬 제어

#### 1) 개요

실내외의 정압 압력차에 의해서 직접 환기 팬을 제어하는 방식

#### 2) 제어구성도



〈그림 9〉 실내 정압에 의한 환기팬 제어

### 3) 특성

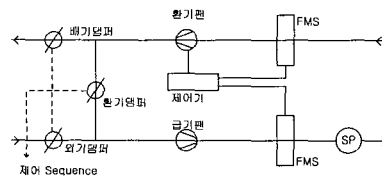
- ① 실내 정압 감지기 설치 위치는 문, 개구부, 엘리베이터 로비에서 가급적 멀리 설치하여야 한다. 통상 upper floor의 복도에 설치한다.
- ② 외기 정압 감지기는 바람에 영향을 받지 않는 위치에 설치한다. (건물 위 5m 지점)
- ③ 아트리움 등의 개방 공간이 있는 고층 건물에는 연돌 효과로 설치가 곤란하다.
- ④ 실내정압 측정 범위(1.5~3mmAq)가 너무 낮아 기기 확보가 어렵고, 정확도가 떨어진다.
- ⑤ 공조구역이 일반적으로 개방 공간이기 때문에 일정 압력 유지가 어렵고 출입이 빈번할 때는 실내 압력 변동폭이 크다.
- ⑥ 국소 배기량의 변화나 외기 공기의 유입 또는 실내 공기의 유출시에도 실내 정압은 일정하게 유지된다.
- ⑦ 적용되는 제어는 비례대(proportional band)가 넓은 PI 제어를 한다.

### 측정 풍량에 의한 환기 팬 제어

#### 1) 개요

급기 덕트와 환기 덕트에 설치된 풍량 측정장치(flow measuring station : FMS)에 의하여 환기 팬을 제어하는 방식으로 현재 보편적으로 적용되고 있는 시스템이다.

#### 2) 제어구성도



〈그림 10〉 측정 풍량에 의한 환기팬 제어

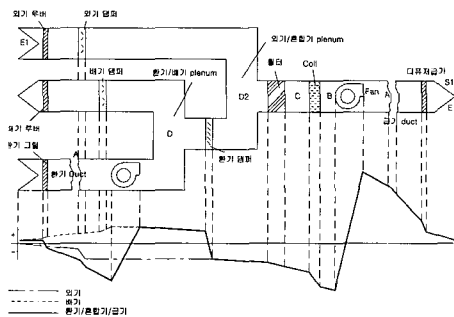
## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

### 3) 환기 팬 제어 순서

- ① 급기 덕트에 설치된 풍량측정장치에서 동압을 측정한다.(차압감지기)
- ② 동압과 풍량측정장치의 면적에 의해 급기풍량을 산정 한다. (DDC의 연산프로그램)
- ③ 미리 설정된 급기량과 환기량의 비율에 의해 환기량을 재설정한다. (DDC 연산프로그램)
- ④ 환기덕트에 설치된 풍량측정장치에서 동압을 측정한다. (차압감지기)
- ⑤ 환기덕트의 동압과 풍량측정장치의 면적에 의해 환기량을 산정한다. (DDC의 연산프로그램)
- ⑥ 급기 풍량에 따른 환기 풍량의 재설정값과 실제 환기풍량과의 편차에 의해 환기팬을 제어 한다. (DDC 연산프로그램)

### 4) 문제점

#### ① 공조기 덕트 내의 압력 변화



〈그림 11〉 공조기내의 압력 분포

#### ② 풍량측정 장치에 의한 오차 발생

- 현장에 풍량측정 장치 설치시 설치 공간의 부족으로 층류 형성이 되지 않아 측정시 오차가 발생한다.
- 급기, 환기량 계산시 적용되는 공기 비중량을 표준공기의 비중량

으로 계산하나 급기 온습도와 환기 온습도 차이가 클때는 실제 풍량과 계산 풍량 사이에는 편차가 발생한다.

- 차압 트랜스미터의 측정 오차 발생. 단위 환산에 의한 오차 발생 이상과 같이 오차들이 누적 되어 실제 풍량과 계산 풍량 사이에는 최대 20%이상의 오차가 발생한다.
- ③ 외기/혼합기 plenum(D2)과 배기/환기 plenum(D)의 압력 제어가 고려되지 않아 각각의 plenum에서 압력 불균형으로 외기량과 배기량의 비율이 맞지 않아 외기량의 확보 및 실내압력유지가 어렵다.
- 배기/환기 plenum의 압력이 너무 낮을 때 배기량이 부족하고 실내의 압력이 상승한다.
  - 배기/환기 plenum의 압력이 너무 높을 때 배기량이 증가하고 실내 압력이 낮아져 외부로부터 공기가 유입된다.
  - 외기/혼합기 plenum의 압력이 너무 낮으면 외기량이 증가하고 실내가 가압 된다.
  - 외기/혼합기 plenum의 압력이 너무 높으면 필요량만큼의 외기가 도입되지 않는다.
- ④ 풍량 변화에 따른 공조기 내에서의 압력 변화에 대한 제어가 고려되지 않는다.
- 외기, 배기, 환기 댐퍼가 하나의 제어신호에 의해 동시에 제어되므로 풍량 변화에 따른 최소 외기량 확보를 위한 환기 댐퍼의 제어를 할 수 없다.
  - 환기 댐퍼 크기는 설계시 최대 by-pass 풍량에 의해 선정되므로

## 집중 기획

### 제어기술을 통한 에너지 절약

풍량 변동시 시스템의 압력 변화 및 댐퍼에서의 압력 저항 변화로 인해 댐퍼 특성이 비선형으로 되어 환기 댐퍼 개도를 변화시켜도 요구되는 배기량과 외기량의 정확한 비율을 얻을 수 없다.

- 외기/혼합기 plenum의 압력이 너무 높으면 필요량만큼의 외기가 도입되지 않는다.

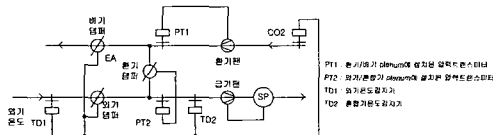
⑤ 투자비가 고가이다.

#### Plenum 일정 압력에 의한 환기팬 제어

##### 1) 개요

외기/혼합기 plenum과 환기/배기 plenum에 압력감지기를 아래 구성도와 같이 각각 설치하고 설정된 압력에 의해 환기팬과 환기 댐퍼를 각각 제어하고 외기 댐퍼와 배기 댐퍼는 외기 온도 (외기 냉방 제어), CO<sub>2</sub> 농도 (공기 환경 제어), 혼합기 온도 (혼합기 온도 제어) 신호에 의해 제어하는 방식

##### 2) 제어구성도



<그림 12> Plenum 일정압력에 의한 환기팬 제어

##### 3) 제어방법

- ① 급기 덕트의 정압감지기에 의해서 급기팬을 제어한다.
- ② 환기/배기 plenum의 설정압력은 최대 배기량일 때의 압력으로 설정한다.
- ③ 환기/배기 plenum의 압력이 일정하게 유지되도록 환기팬을 PID제어한다.
- ④ 이 설정압력은 공기 밸런싱(air

balancing) 시험기간 중 선정된다.

- ⑤ 외기/혼합기 plenum의 설정압력은 외기 댐퍼가 100% open시 요구되는 최대 외기량이 도입될 때의 압력으로 설정한다.
- ⑥ 외기/혼합기 plenum의 압력이 일정하게 유지되도록 환기 댐퍼를 PID 제어한다.
- ⑦ 외기 댐퍼, 배기 댐퍼의 개도(25%, 50%, 75%, 100%)에 따른 plenum의 압력과 풍량에 대한 특성 곡선을 공기 밸런싱 기간 중에 작성한다.
- ⑧ 외기 댐퍼와 배기 댐퍼는 외기냉방 제어(economizer cycle control), CO<sub>2</sub> 제어, 혼합기 온도 제어(mixed air temperature control)와 같은 제어 sequence 신호에 의해서 제어한다.

##### 4) 특성

- ① 부하변동에 따른 풍량변화시에도 외기량 확보가 가능하다.
- ② 실내압력 유지, 실내공기환경을 유지할 수 있다.
- ③ 제어성 및 응답성이 우수하다.
- ④ 덕트, 댐퍼의 과다/과소 설계, 외란에 영향을 받지 않는다.
- ⑤ 측정 풍량에 의한 환기 팬 제어 방식 보다 경제적이며 정확한 제어가 가능하다.
- ⑥ 정확한 공기 밸런싱 자료가 요구된다.

##### 5) 적용 예 : 실내 공조부하 감소시

- ① 실내 공조부하의 감소로 변풍량 유닛의 댐퍼 개도가 닫혀지면 덕트 내의 정압이 상승한다.
- ② 이때 급기 덕트의 설정 정압과의 차이 만큼 송풍기의 회전수를 줄여 풍량을 감소 시킨다.
- ③ 송풍기의 회전수 감소로 외기/혼합

**집중기획**  
**제어기술을 통한 에너지 절약**

기 plenum의 압력이 필요 외기량 확보에 요구되는 압력보다 상승하게 된다.

- ④ 상승된 압력이 설정 압력과 같아질 때 까지 환기 댐퍼를 닫는다.
- ⑤ 환기 댐퍼의 닫힘으로 환기/배기 plenum의 압력이 상승되고 상승된 압력을 설정압력과 맞추기 위하여 환기팬의 회전수를 제어하여 압력 및 풍량 균형을 유지한다.

현재 급기/환기 팬 제어는 다양한 방식이 도입되고 있으나 아직도 최적의 제어방식은

개발, 적용되지 못하고 있는 형편이며 적용되고 있는 시스템도 제어 효율 측면에서 검증되지 못하고 있는 실정이다.

본 고에서는 변풍량 공조시스템의 여러가지 제어 항목중 특히 공조기의 댐퍼 및 팬의 제어를 현장중심으로, 현재 적용되는 기술의 개요, 제어 계통도, 제어 방법, 장단점 등에 대하여 고찰하였고 아직 적용되고 있지 않은 제어 기술에 간략히 소개하였다. 이러한 기술과 관련된 다양한 제어 방법이 일반화되면 경제적이며 안정적이고 효율적인 변풍량 공조시스템의 적용에 많은 기여를 할 수 있을 것이다. ☺