

## 저온송풍 공조시스템의 열원 제어

정석권\*, 김동규\*, 김종수\*, 박종일\*\*

\*부경대학교 기계공학부, \*\*동의대 건축설비공학과

### Control Strategy for Cold Air Distribution System

Seok-Kwon Jeong<sup>†</sup>, Dong-Gyu Kim<sup>\*</sup>, Jong-Soo Kum<sup>\*</sup>, Jong-Il Park<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Building System Engineering, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

**ABSTRACT:** The cold-air distribution system is expected as an efficient method to reduce energy consumption in the air-conditioning system. We introduced some control strategies for the system by summarizing some references in the view point of energy saving. Direct digital control is specially emphasized as an important control technique for the system. Some drawbacks which have been conventionally mentioned to apply the cold-air distribution to real fields can be solved by using the technique. The control strategy which is introduced in here will be available to build control system for the air-conditioning based on the cold-air distribution for energy saving.

**Key words:** Cold air distribution system(저온송풍시스템), DDC(Direct Digital Control; 직접 디지털제어), Control strategy(제어전략), Energy saving(에너지 절약)

#### 1. 서언

최근 OA화 및 채실 공간의 쾌적성 향상 요구 증대로 건물의 냉방부하가 지속적으로 증가하는 추세이다. 이에 따라 냉수 및 냉풍 반송용 동력 소비가 증가하고 있으며 건물 전체 소비 동력의 약 30~50%에 달하고 있다. 따라서 이 반송 동력의 최소화를 통해 에너지 절약을 꾀하는 저온송풍공조시스템(Cold Air Distribution System)이 주목받고 있다.<sup>(1~10)</sup> 이 시스템의 장점으로는 ①초기 설비비 절감 ②건물 층고 감소 ③낮은 상대습도로 인한 쾌적성 향상 ④팬 동력 감소에 의한 운전비 절감 ⑤냉방부하 증가시 유연성 제공 등을 들 수 있다. 한편, 단점으로는 ①급기량

감소로 인한 실내 공기질 ②덕트와 취출구에서의 결로 ③Cold Draft ④실내기류 분포 문제 ⑤펌프, 송풍기의 회전수 제어 문제 등이 거론되어지고 있다.<sup>6)</sup> 이들 장, 단점에 대한 상세한 내용은 참고 문헌들에 이미 기술되어 있으며, 경제성에 관한 검토도 특정 열원방식에 한정된 것이기는 하지만 일부 검토되어 있다.<sup>10)</sup> 특히 거론된 단점들 가운데 일부는 그 해결책이 이미 제시되어 있으며 국내에서도 리모델링 건물을 대상으로 한 실제 적용 사례가 보고되어 있다.<sup>8)</sup>

향후 에너지 고유가 시대를 맞아 이 시스템의 적용 시도는 더욱 늘어날 것으로 생각되며 관련 실용화 연구 또한 활성화 될 것으로 기대된다. 그러나 아쉽게도 앞서 언급한 단점들 가운데 최종 거론된 제어 문제에 관련한 관련 자료가 거의 전무한 실정이어서 이 분야의 연구자들이 실제 시스템을 구현하거나 연구 방향을 설정함에 있어 적잖은 걸림돌이 되고 있는 것으로 생각된다. 따라서 본 자료에서는 문헌 (1), (2)를 중심으로 제

† Corresponding author

Tel.: +82-51-629-6181; fax: +82-51-629-6181

E-mail address: skjeong@pknu.ac.kr

어 관련 내용을 소개하는 데 그 초점을 맞추고자 한다. 특히 이 분야의 제어방식으로 널리 이용되고 있는 DDC 사용을 전제로 내용을 기술하기로 한다.

## 2. 저온송풍공조 시스템의 제어 개요

### 2.1 제어시스템에서의 고려 사항 및 DDC

저온송풍공조시스템의 축열시스템은 다음과 같은 몇 가지 특징을 갖고 있으므로 고도의 제어시스템 구성이 바람직하다.

- 최적 저빙량 제어에 비교적 복잡한 제어로직이 필요하다. 가장 경제적이고 효율 좋은 제빙장치 운전을 위해서는 축·방열 속도를 매일 대상 건물의 부하에 대응시킬 필요가 있다.

- 기동제어 시퀀스, 리셋 스케줄 및 설정점은 운전 경험 후 시스템 성능 최적화를 위해 수정할 필요가 있다.

- 시스템의 오동작 검출과 해석 및 제어 시퀀스의 최적화를 위해 시스템 성능을 연속적으로 감시할 필요가 있다.

중앙연산계산기에서 제어로직 전체를 처리하는 DDC제어는 위에서 언급한 요구사항을 충족시킬 수 있다. 특히 이 시스템은 종래 시스템과 가격 경쟁이 가능하고 더 강력한 유연성을 갖고 있다. 뿐만 아니라 DDC시스템은 전화 회선 등을 이용해 원격통신도 가능하다. 제어 시퀀스와 설정점을 조정할 수도 있고 감시 데이터의 수집도 가능하며 또한 정보 전달도 가능하다.

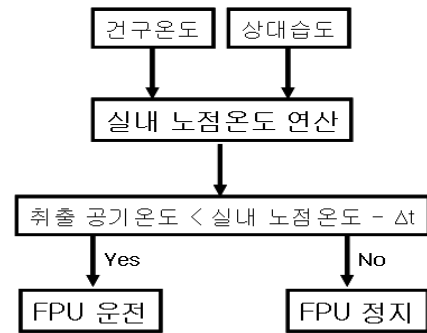
### 2.2 제어시퀀스와 실내 노점온도

저온송풍공조시스템에서는 급기의 절대습도 레벨이 저하하므로 종래의 급기 방식에 비해 실내의 절대습도는 낮아진다. 건강을 고려하면 일반적으로 습도는 상대습도 30~60% 사이로 제어함이 바람직하다. 건구온도의 설정점은 실내 노점이 낮아짐에 따라 상승하게 된다. 따라서 실내온도의 변화에 따른 쾌적감을 일정하게 유지하기 위해서는 DDC제어기를 이용해서 실내의 노점온도에 따라 실내 서모스탯의 설정점을 리셋할 필요가 있다.

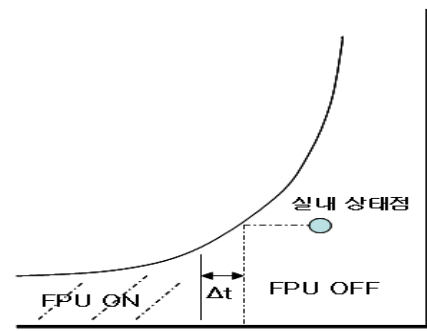
표 1은 문헌 (1)에 제시된 실내 노점 설정온도의 리셋 스케줄의 한 예로서 ASHRAE 규격 55-1981에 근거한 것이다.

표 1 ASHRAE에 의한 온도 리셋 스케줄

건구온도 [°F(°C)]	노점온도 [°F(°C)]	상대습도 (%)
76(24.4)	60(15.6)	57
76.5(24.7)	50(10.0)	39
77(25.0)	40(4.4)	27



(a) FPU 자동제어 로직 예



(b) FPU 자동운전 범위

그림 1. FPU에 의한 결로대책 예

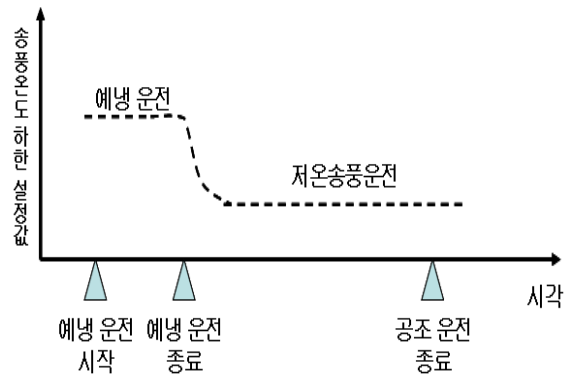


그림 2. 송풍온도 설정 변경 예(냉방)

### 2.3 팬 파워 유닛과 제어방법

취출구 결로를 방지하기 위하여 팬파워 유닛(Fan Power Unit; FPU)을 사용하는 경우에는 건축에서 기밀화를 도모하는 것이 기본적인 사항이다. 그러나 결로 방지 대책이 공조설비측에서 필요하다고 판단되어 FPU를 채용하는 경우의 제어방법은 다음과 같다.

그림 1과 같이 실내 노점온도를 비교하여 FPU의 송풍기를 기동 또는 정지한다. 일반적으로 실내에는 노점온도 센서가 부착된 취출구 및 표면온도센서는 설치되지 않기 때문에 실내온도(환기)와 상대습도로부터 공조컨트롤(DDC) 혹은 중앙감시에서 노점온도를 연산하여 제어에 사용한다. 취출구의 표면온도는 취출온도보다 높기 때문에 수동 절환스위치를 설치하여 결로 상태를 확인하거나 운전자의 판단에 따라 운전을 하는 것도 에너지 절약면에서 중요하다. 또한 일반적인 사무실에서는 거의 문제가 되지 않지만, 공조 운전 개시시에 취출구 부분에 결로 발생의 위험성이 있는 경우에는 그림 2와 같이 송풍온도 시간을 변경하여 결로 방지를 확실하게 하는 것이 바람직하다.

### 2.4 아침/주말 예냉 제어

오피스 건물에서는 재실자가 없는 시간대는 냉방장치의 운전을 정지한다. 그 결과, 실내 습도보다도 외기 습도가 높은 경우에는 극간풍과 외벽을 통한 투습에 의해 건물 내 습도가 상승한다.

이런 아침 또는 주말 예냉 시퀀스를 효과적으로 작동하기 위해서 제어시스템은 실내 습도 레벨을 검출할 수 있어야 하고, 보통 환기의 절대습도(노점)를 검출한다. 급기온도는 실내 취출구에서 결로를 막을 수 있도록 환기 노점에 근거하여 제어한다. 취출구에 직접 저온공기를 공급하는 경우, 최저 허용급기온도는 다음 식으로 된다.

$$t_s + \Delta t_f + \Delta t_d > t_{dpr} \quad (1)$$

$$t_s > t_{dpr} - \Delta t_{dpr} - \Delta t_f - \Delta t_d \quad (2)$$

여기서,

$t_s$  : 냉각코일 출구 급기온도

$\Delta t_f$  : 송풍기에 의한 온도 상승

$\Delta t_d$  : 덕트에 의한 온도 상승

$t_{dpr}$  : 환기 노점 온도

### 2.5 냉수 코일 제어

냉수코일의 냉각능력은 냉수량을 조절해서 제어하는 것이 바람직하다. 이것은 코일의 제어밸브를 2방밸브로 채용함으로써 가능하다. 저온송풍공조시스템에서는 8~12열의 코일을 이용하기 때문에 저 부하시에는 수·배관계를 나누어 코일의 반을 바이패스 시키도록 2대의 전자밸브를 사용하는 것이 바람직하다. 현재 공조용으로 이용할 수 있는 냉각코일의 범위는 냉수온도의 상승을 13.3℃로 하는 것이 가장 많이 채용되고 있다.

냉수모드로 운전 가능한 시스템에서는 환수온도는 냉동기를 효율 좋게 운전하거나 또는 빙축열시스템의 전열을 최적화하기 위해 일정 레벨로 유지해야 한다. 환수는 공조기의 냉각 코일에 공급하는 냉수 공급온도를 제어함으로써 일정 온도로 유지할 수 있다.

건물의 전 냉방부하가 그 설계 최대값으로부터 줄고, 환수온도가 저하하기 시작하면 환수의 일부는 냉각장치를 바이패스시켜 공급냉수와 혼합시킨다. 그 결과 공급온도가 상승하여 환수온도도 상승하게 된다. 최대 냉수공급온도는 일정값으로 설정하거나 최대 냉각부하에서 코일로부터 피드백함으로써 설정할 수 있다.

## 3. 열원시스템 제어시 유의사항

저온송풍공조시스템용의 열원으로서의 축열조에서 4℃의 냉수가 안정적으로 취출되는 빙축열시스템과 조합하는 것이 일반적이다. 빙축열시스템 이외에는 7℃의 냉수를 안정적으로 공급 가능한 지역냉난방에서 12℃의 송풍이 가능하지만, 수축열 및 축열이 없는 시스템에서는 저온송풍에 대한 대응이 어렵다. 따라서 저온송풍공조시스템의 열원제어에서 특히 요구되는 것은 저온냉수를 안정적으로 공급할 수 있도록 하는 것이다.

### 3.1 축열제어

저온송풍공조시스템용의 빙축열시스템 제어와 일반적인 빙축열시스템의 제어 차이는 저온송풍을 공급하기 위해 5℃ 정도의 냉수를 안정적으로 공급하는가 하는 점이다. 이것은 방냉시 운전조건 설정으로 가능하고, 제어상 유의점은 아래와 같다.

축열조는 야간 할인요금을 적용받는 시간대에

가능한 운전하여 최대 축열량을 확보하도록 운전 제어를 한다. 열원기기의 운전시점은 공조시간대의 피크컷 도중 또는 피크컷 종료에 두어 부하측에 저온냉수를 공급 가능한 축열량을 유지하도록 미리 목표값을 정해 둔 운전 또는 부하 예측에 따라 열원기기의 운전을 제어한다.

축열제어시 고려할 사항은 대상 건물의 부하 특성, 빙축열시스템 및 축열 가능량에 대한 종합적인 검토이다. 또 축열시스템이 설계 의도대로 효과를 발휘하기 위해서는 적절한 운용관리가 필요하다. 설계자는 운용관리자에게 건물에서의 축열제어 고려 사항에 대하여 주지시킬 필요가 있다. 또한 축열제어에 있어 열부하 예측제어의 채용은 건설비에 주는 영향이 크므로 설계자는 비용대비 효과를 고려하여 채용을 결정하는 것이 바람직하다.

한편, 축열량을 파악하는 방법으로는 다음과 같은 4가지를 들 수 있다.

① 빙 두께 방식

빙 자체의 두께를 빙 두께센서로서 직접 계측하여 축빙량을 파악하는 방식

② 수위 방식

빙의 체적 팽창에 따른 수위 상승에 따라 차압 발신기 등으로 수위를 검출하여 축열량을 파악하는 방식

③ 투입열량/취출열량

축열조의 유입열량/취출열량을 계측하여 축열량을 파악하는 방식

④ 브라인 농도 방식

제빙에 따라서 브라인 농도가 진하게 되므로 이것을 측정하는 방식

**4. 결론**

본 자료에서는 저온송풍공조시스템의 제어에 관한 일반 항목에 대해 요약 기술하였다. 실제 제어시스템 구현시 중요한 부분은 제어대상, 컨트롤러(제어로직과 장치 포함), 검출센서이다. 이들은 제어하고자 하는 제어변수(control variable)의 정밀도, 물리량의 종류, 외란의 특성 등에 따라 동특성 분석 방법, 제어로직 작성법, 페루프의 구성 필요성 유, 무 등이 각각 달라지게 된다. 또한 냉동공조시스템이 긴 관으로 각 요소들을 결합하는 관계로 상호 간섭과 부동시간(dead time)

의 영향이 매우 커서 정밀한 제어를 어렵게 한다. 하지만 본 자료에서는 이 내용들은 지나치게 전문적이어서 삭제하였다. DDC에 관해서는 다음 기회에 팬 구동장치인 인버터와 범용 컨트롤러인 PLC에 초점을 맞추어 보다 구체적인 사용상의 유의점들을 기술하는 기회를 갖고자 한다. 현장 전문 기술자들에게는 본 자료의 내용이 이미 알려져 있는 진부한 내용이지만, 저온송풍공조시스템에 관해 모처럼 관심을 갖고 접근하려는 관련자들에게는 일말의 도움이 되었으면 한다.

**참고문헌**

1. 千葉孝男譯, 1988, 低溫送風システムの設計指針(Japanese).
2. 社団法人 空氣調和・衛生工學會, 2003, 低溫送風空調システムの計劃と設計(Japanese).
3. EPRI, 1995, Cold Air Distribution Design Guide.
4. Allan T. Kirkpatrick and James S. Elleson, 1996, Cold Air Distribution System Design Guide, ASHRAE.
5. 윤정인, 2000, 빙축열식 대온도차 공조시스템, 설비저널, Vol. 29, No. 3, pp. 24~28.
6. 금종수, 김동규, 박종일, 2007, 대온도차 공조시스템 현황과 전망, 대한설비공학회 하계학술대회, pp. 217~222.
7. 박성규, 2007, 대온도차 공조시스템 계획과 설계, 대한설비공학회 하계학술대회, pp. 223~228.
8. 김복래, 2007, SK-T타워 대온도차 공조방식 적용사례, 대한설비공학회 하계학술대회, pp. 229~232.
9. 박종인, 2007, 대온도차 공조시스템의 기술과 발전방향, 설비/공조·냉동·위생, No. 9, pp. 34~38.
10. 김효상, 2007, 흡수식 냉온수기를 이용한 대온도차 공조시스템, 설비/공조·냉동·위생, No. 9, pp. 39~44.
11. 정석권, 금종수, 김동규, 유삼상(공역), 2006, 냉동·공조시스템의 자동제어, 인터비전.