

전력절감을 위한 부하관리

—공조 운전 스케줄의 개량—

역/김 선 경(협회 연구위원)

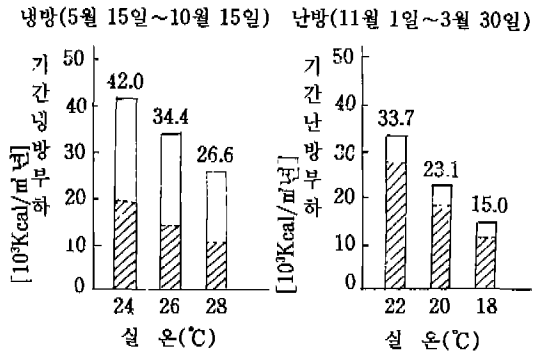
1. 머리말

기존건물의 공조장치에서는 설계할 때와 실제로 사용할 때, 조건에 차이가 있거나 하여 장치용량에 여유가 있어 이를 수정함으로써 에너지소비량의 감소가 가능한 때가 있다. 또 당초의 조건을 다소 완화함으로써 에너지절감이 되는 때도 많다. 이에선 실내온·습도나 외기도입량의 재검토, 실제의 풍량이나 수량의 체크, 냉동기나 공조기의 운전조건의 재검토 등이 필요하다. 다시 시스템 전체의 효율을 점검하여 열회수장치나 제어기기의 추가, 개수 등도 검토하는 것이 바람직하다.

2. 설정 온·습도의 재검토

냉방의 설정온도를 높게 하거나 난방의 설정실온을 낮게 하면 공조의 에너지소비량이 감소하는 것은 잘 알려져 있다. 종전에는 쾌적한 생활을 제1조건으로 하여 실온이 정하여졌고 일반적인 거실의 경우 겨울에는 비교적 얇은 옷차림으로 만족할 수 있도록 22~24℃로 하고 여름에는 와이셔츠에 넥타이를 땀 정도로 24~25℃의 실온을 유지하도록 하였다. 그러나 최근에는 에너지절감 대책으로서 실온을 여름은 28℃, 겨울은 18℃로 견디도록 하는 절약운동이 정부를 중심으로 변경한 경우의 효과는 어느 사무실용 빌딩의 시산예에서는 그림 1과 같이 냉방실온을 26℃에서 28℃로 바꾸었을 때 기간냉방부하는 약 20% 감소하고 난방실온을 22℃에서 18℃로 바꾸

었을 때 기간난방부하는 약50% 감소한다고 되어 있다(단 실내의 상대습도는 모두 50%로 계산하였다).



(주) 모빌빌딩: 사무실용 빌딩(연상면적 10,000㎡), 실내상대습도:50%, 도입외기량 30m³/h. 인 그림의 은 도입외기의 냉난방부하를 표시.

<그림 1> 설정실온의 변경에 의한 냉난방부하(시산예)

이 값은 건물의 구조, 사용상태, 도입외기량(外氣量) 등에 따라 변하고, 특히 그림에 표시하는 바와 같이 도입외기의 부하가 큰 부분을 점유하므로 도입외기량이 이보다 적은 곳에서는 실온변경의 효과는 이보다 적어진다. 또 기실의 설비에서는 일반적으로 부하의 감소에 따라 설비용량을 줄여야 하니까 부하는 줄고 장치는 저부하운전이 되어 효율이 떨어지기 때문에 에너지소비량은 부하가 줄은 만큼은 감소하지 않으나 기기의 운동조건의 조정 등도 같이 하면 상당히 큰 절감이 가능하다. 또 이와 같이 실온을 바

꾸었을 때는 옷도 그에 따라 바꾸어 입어야 한다.

인체의 감온을 온도뿐만이 아니고 습도나 풍속에 따라 변해 감온의 지표로서는 유효온도라는 값이 쓰여진다.

이와 같이 냉방시의 실내조건을 온도만 규제하는 것은 불합리하고 습도까지 더한 유효온도를 고려하는 것이 바람직 하다.

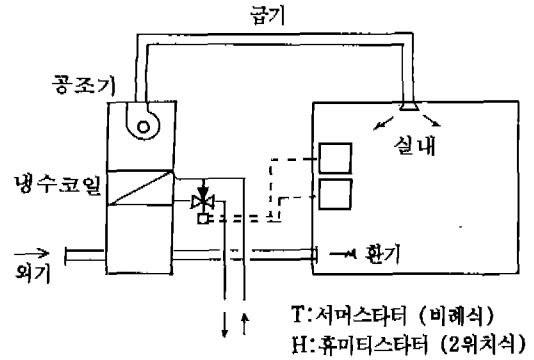
냉방시에 습도제어를 하지 않는 공조장치를 실온을 일정하게 제어하도록 운전하면 냉방부하가 적을 때 상대습도가 높아지는 경우가 많다. 종전과 같이 설정온도를 26℃ 정도로 잡고 있으면 상대습도의 증가로 유효온도가 약간 높아져도 그다지 문제가 안되었으나 설정온도를 28℃로 높이면 이에 따른 불쾌감이 커져 주의하여야 한다. 높은 상대습도로 운전하면 냉방부하는 다시 감소되나 유효온도를 적당한 값으로 제어하지 않으면 공조를 하는 뜻이 없어지게 된다. 이에 대해서는 상대습도가 어느정도 이상일 때에는 자동 또는 수동으로 설정실온을 약간 내리는 것이 유효하다.

미국의 에너지사용합리화 규제에는 냉방실온을 78°F(25~26℃) 이상으로 하고 있으나 노점온도가 65°F(18.3℃) 이상으로 될 때는 실온을 내려도 된다는 방식을 쓰고 있다. 이때의 상대습도는 65%에 해당한다.

종전의 공조장치에서도 이와 같은 운전방식을 이용한 것이 있다. 그림 2는 재열을 사용하지 않는 냉기장치로 상시(常時)는 서머스타터로 실온을 일정하게 제어하나 경부하시는 실내의 상대습도가 오르면 휴미티스타터가 동작하여 서머스타터의 지령의 여하에 불구하고 냉수밸브를 전래한다는 스케줄제어를 하는 것이 있다. 휴미티스타터의 설정치는 65~70%가 쓰여지고 상대온도가 이를 넘을 때가 되면 실온을 내려 쾌감상태를 유지한다.

이 휴미스타터 대신에 노점온도조절기를 이용하여 노점온도가 어느 값을 넘지 않도록 제어하여도 된다.

온·습도제어를 함께 하고 있는 공조장치에서는 항온·항습장치로 쓰여지고 있을 때는 다르나 인간을 대상으로 하는 공조에서는 상대습도의 허용범위는 일반적으로 35~70% 정도이다. 가령 연간에 걸쳐 설정치를 50%로 하고 있는 것은 여름은 65~70%, 겨울은 35~40%로 설정치를 바꾸면 에너지절감이



<그림 2> 습도 상한제어를 가한 공조장치

된다. 이는 주로 도입외기의 제습 또는 가습한 부하의 감소에 의한 것이나 냉방시에 재열제어를 하고 있는 것은 재열손실의 감소도 크다.

또 인체에 닿는 풍속을 크게 하면 서늘하게 느껴진다. 통상적으로 옷을 입은 상태에서는 풍속 0.1m/s, 이하의 무풍상태에 대하여 풍속 0.2m/s에서는 약 1℃, 0.5m/s에서는 약 2℃ 서늘하게 느껴진다. 이때문에 실온을 내릴 수 없을 때는 배출구의 조정이나 선풍기의 병용 등에 의하여 인체에 닿는 풍량을 올리는 것도 유효하다. 다만 장시간 연속적으로 기류가 닿는 것은 불쾌하기도 하고 보건적으로도 바람직하지 않기 때문에 사무실 등에서는 선풍기를 회전식으로 하면 된다. 복도등에서 손님의 통로에 이용할 때는 사람이 이동하니까 기류는 고정시켜도 지장이 없을 때가 많다.

3. 도입외기량의 재검토

그림 1에서도 표시한 바와 같이 도입외기의 냉난방부하는 전체부하의 큰 부분을 점유해 과다한 외기량을 도입하고 있지는 않은가 재검토하는 것이 필요하다.

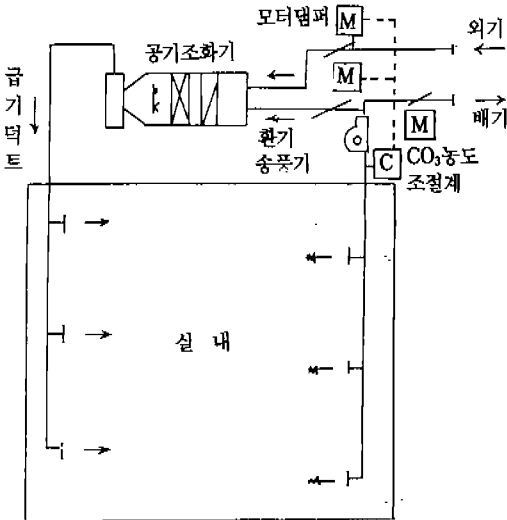
어느 사무실용 빌딩에서 도입외기량 1m³/h·m²을 줄였을 때 부하를 시산(試算)하니 실내조건을 26℃, 50%로 하였을 때, 기간냉방부하는 약 3,600Kcal 감소하고, 냉동기의 전력을 약 1kWh 절감할 수가 있었다. 지금 연면적당 4m³/h·m²의 도입외기를 3m³/h·m²로 줄였다 하면 일반 사무실용 빌딩 냉동기의 기간소비전력은 약 15~25℃ kWh/m²이니까 약 4~7%가 감

소된다. 물론 난방의 열소비도 감소한다.

외기는 실내에서 발생하는 오염가스나 냄새 등의 제거를 위하여 환기용으로 도입하는 것으로 실내환경에서 보면 일반적으로 다량으로 도입하는 것이 좋다. 그러나 다량의 외기도입은 냉난방부하가 커지니까 에너지절감면에서는 보건상 허용되는 최소량으로 하는 것이 바람직하다. 단 중간계절이나 겨울에도 냉방을 필요로 하는 건물에서 외기를 냉방 이용할 때(외기냉방)는 따로 고려한다.

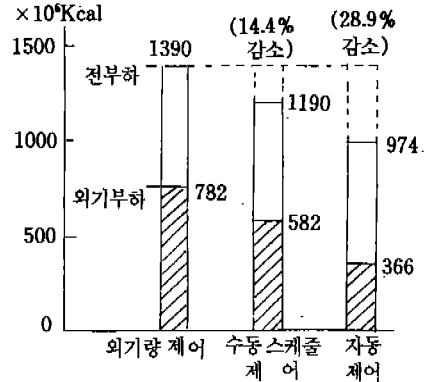
보건상의 최소 외기량에 대해서는 여러가지 의견이 있으나 일반적인 빌딩에서는 실내 CO₂농도를 오염의 지표로 삼고 빌딩관리법에 의한 CO₂농도 0.1%에서 산출되는 값을 최소외기량의 개략치로 하는 경우가 많다. 이에 따르면 사무실용 빌딩에서는 재실인원 1인당 약 30m³/h의 외기량이 된다. 단 통상적인 설계인원은 재실인원보다 많거나 통상 이만한 인원이 실내에 없는 때도 많다. 이 CO₂농도 0.1%는 단시간에 값을 넘어도 평균적으로 이정도 이하이면 일반적으로 지장이 없으니 설계인원 1인당의 외기량은 위의 기술한 값에 동시재실률을 곱한 곳이다.

이와 같이 필요외기량은 인원의 재실률 등에 따라 변동하므로 도입외기를 자동제어하든가 또는 일정한 스케줄을 바꾸면 된다. 자동제어방법으로는 그림 3에 표시하는 바와 같은 농도조절계가 쓰여진다.

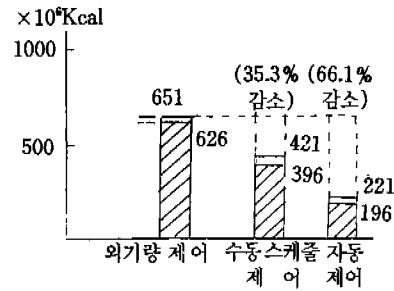


<그림 3> CO₂농도조절계에 의한 외기량제어

그림 4에서는 어느 백화점에 이를 사용한 시산예로 CO₂농도를 0.08~0.1%로 제어하였을 때의 에너지절감효과이나 백화점과 같이 손님수의 변동이 심한 곳에서는 매우 유효하다.



(8월)



(2월)

<그림 4> 도입외기량 제어에 의한 냉난방부하의 변화 (아파트의 시산예)

또 그림 4에서는 자동제어가 아니고 손님이 많은 휴일은 외기량을 설계치대로 도입하고 평일에는 설계치의 1/2로 하도록 하는 스케줄로 하여 수동으로 댐퍼를 조절할 때의 부하의 감소도 표시하고 있다.

수동조절할 때는 자동제어만큼 에너지절감이 안되나 설비의 개조나 추가가 필요없고 기설의 빌딩에서 곧바로 이용할 수 있는 방법이다. 단 수동으로 스케줄을 변경하려면 재실인원의 변동이나 종전의 CO₂농도의 실측치 등을 충분히 조사하여 스케줄을 정하여야 한다. 이와 같은 외기량제어는 백화점, 상점, 집회장 등외에 사무실용 빌딩에서도 영업이나 공사등으로 외출하는 자가 많을 때에 에너지절감효과가 큰 방법이다.

또 일반적인 빌딩에서는 이른아침의 예냉, 예열시에는 실내의 공기는 야간의 틈새바람에 의하여 환기되어 있는 때나 출근시에 출입이 많고 외기의 침입이 많은 것 등을 도입외기의 댐퍼를 차단하여도 된다. 여름, 겨울의 외기부하가 클 때는 이 방법도 에너지절감이 된다. 단 중간계절이나 여름에도 외기온도가 낮을 때는 건물안의 축열이나 이른 아침의 일사의 냉방부하를 제거하기 위하여 예냉시에 외기를 도입하는 것이 좋을 때도 있다.

또 시설빌딩에서는 자동제어를 할 때를 제외하고 실내의 CO₂농도의 오염상태를 실측치나 도입외기량의 실시치에서 필요이상의 외기량을 도입하고 있지 않은가 점검하는 것이 필요하다. 이는 설계인원과 실제의 인원에 차이가 있든가, 외기덕트의 저항이 불충분하여 외기량이 설계치보다 크거나 출입구가 틈새에서 상시 다량의 침입이 있을 때 등이다. 이들의 점검에 주의할 점은 실측치의 변동이 많으니까 장기간의 데이터로 판단하여야 한다. 이와 같이 하여 도입외기를 줄여도 지장이 없으면 외기댐퍼를 조정하면 된다.

4. 송풍기, 펌프의 재검토

공조장치의 전력소비량중 송풍기나 펌프가 점유하는 비율은 크고 건물이나 공조방식에 따라서도 다르나 냉동기보다도 연간전력소비량이 클때가 많다. 이 때문에 최근의 에너지절감설비에서는 변풍량공조방식(DAC)과 변유량운전방식(VWV)이 쓰여지고 있으나 종전의 공조장치에서는 대개 정풍량, 정유량으로 운전되고 있다.

송풍기의 설계풍량이나 펌프의 설계수량은 최대부하의 조건에서 정하여지니까 부하계산이 과대하거나 상기한바와 같이 실온의 변경이나 외기도입량의 감소에 따라 냉난방부하가 감소하면 이들의 유량을 감소하는 것도 가능하다. 또 덕트나 배관의 설계시에 저항계산에 안전도를 과다하게 보든가 송풍기나 펌프를 과대하게 선정하는 일도 적지 않다.

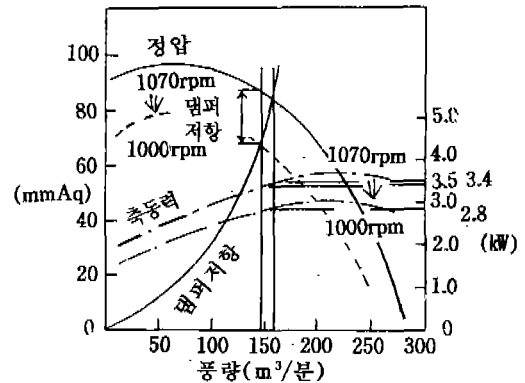
기설의 빌딩에서는 유량이 과다하여도 그대로 운전하고 있든가 댐퍼나 밸브로 유량을 설계치대로 조정하는 경우가 많다.

이런것을 재검토하려면 우선 현상의 유량이 적정한가 점검하여야 한다. 공조용의 송풍기에서는 최대부하시 배출온도차(실온과 실내배출공기의 온도차)

가 설계치를 취하는 풍량이 적정풍량이라 생각되니까 과거의 운전데이터에서 이를 구하면 된다. 환기용의 송풍기에서는 실내의 청정도 등으로 같다고 추정된다. 또 냉각수펌프도 유효온도차가 설계치가 되는 수량을 구하면 된다.

현상의 유량이 과대해지거나 댐퍼나 밸브를 항상 열어 사용하고 있을때는 다음과 같은 방법으로 유량을 변경하면 운전동력을 절감할 수 있다.

벨트구동의 송풍기에서는 푸리의 교환으로 간단히 회전수를 변경할 수 있으니까 이로 인하여 풍량을 조절하면 된다. 그림 5는 회전수의 변경에 의한 축동력을 감소한 예로서 소요풍량 150m³/분에 대하여 160m³/분의 풍량이 흘러 축동력 2.5kW를 소비하고 있을때 댐퍼로 풍량을 조정하였을 때에는 축동력은 3.4kW가 되나 푸리를 바꾸어 회전수에 의하여 풍량을 조정하면 축동력은 2.8kW가 되어 약 20%가 감소된다.



실계풍량 150m³/분, 운전풍량 160m³/분
회전수 변경 1070→1000rpm

<그림 5> 송풍기의 회전수 변경에 의한 동력의 감소

이 예에서는 회전수의 감소율이 적으니까 전동기 입력의 감소율은 축동력과 같이 생각하여도 되나 회전수의 감소율이 커지면 전동기의 부하율이 적어져 전동기효율이나 역률이 떨어지니까 축동력이 감소하는 만큼은 소비전력이 감소하지 않는다.

전동기직결의 송풍기에서는 간단히 회전수를 변경할 수 없으나 대용량의 송풍기로 풍량을 대폭으로 감소될 때는 극수가 다른 전동기로 바꾸든가 적당한 감속장치를 사용하는 등의 개조를 하는 것이 바람직하다. 펌프의 경우도 같으나 임펠러의 선단을 커트

하여 유량을 감소하는 방법도 있다.

또 환기용의 송풍기나 냉각수펌프 등에서는 일정한 시간에 시동 정지를 하여 그 사이는 기능상 필요없어도 운전하고 있는 것이 있다. 이들도 불필요시는 정지시키거나 유량을 감소하는 것이 바람직하다. 예를 들면 주차장의 환기송풍기를 입출구의 상황에 따라 수동으로 운전정지시키거나 CO₂농도계에 의하여 ON·OFF하는 방법도 쓰여지고 있다. 또 냉각수 펌프를 냉동기에 연동시켜 ON·OFF시키는 등 기능이나 안전성을 점검한 후에 실시하면 된다.

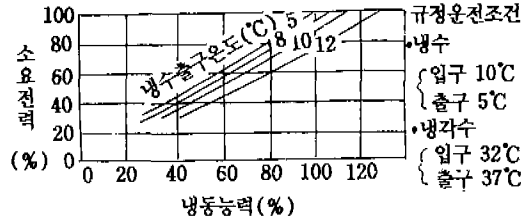
5. 냉동기 운전상태의 재점검

냉동기의 성적계수는 증발온도가 높을수록 응축온도가 낮을수록 커지고 에너지가 절감된다. 터보냉동기나 차령 유닛과 같이 물을 냉각시키고 있는 것에서는 냉수온도에 의하여 증발온도가 변한다. 냉수온도는 냉동기 출구온도를 일정하게 제어하는 것이 많다. 이 설정치는 최대 부하시의 설계치에 의하여 정하여진다.

실제의 건물에서 최대부하가 설계치보다 적으면 냉수입구, 출구의 온도차가 설정치보다 적어진다. 이때 앞에서 말한 바와 같이 냉수펌프의 유량을 바꾸어 펌프동력을 절감하는 것도 고려되나 냉수출구온도의 설정치를 바꾸어서 냉동기동력을 적게 하는 일이 많다. 단 냉수출구온도가 너무 높아지면 공기조화기에서의 제습능력이 떨어지므로 한도가 있어 부하의 상태를 점검하여 결정하여야 한다. 그림 6은 냉수출구온도를 바꾸었을때의 터보냉동기 소요전력 변화의 예를 표시한 것으로 냉동능력의 변화에 대하여 입구벤제어를 하고 있다.

이와 같이 냉수출구온도를 높이면 냉동기의 소요전력이 적어져 예를들면 5℃에서 8℃로 변경하면 전력은 약 9% 감소한다. 냉동기는 소요동력이 크기 때문에 이 효과는 크다. 또 외기의 운습도가 높지 않은 계절에는 공기조화기의 필요제습능력도 감소하기가, 냉수출구습도의 설정치를 최대부하시보다 약간 높게 하여도 된다. 이와 같은 설정치 변경의 스케줄을 사용하는 것도 유효하다.

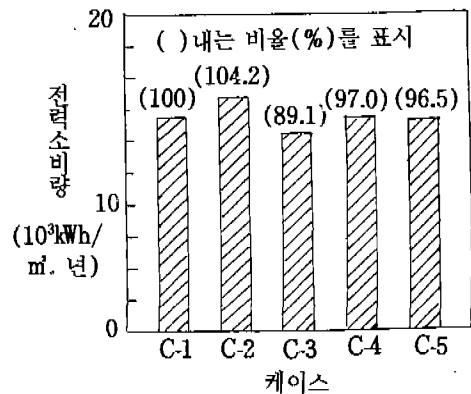
이와 같은 운전을 자동적으로 하는 방법으로서 냉수입구온도를 일정하게 제어할 때가 있다. 이때 냉수입구출구의 온도차가 냉동능력에 역비례하니까 냉동능력이 감소하면 냉수출구온도는 최대부하시의 값



<그림 6> 터보냉동기의 냉수온도와 소요전력

보다 높아진다. 냉동능력의 감소는 반드시 공조기의 소요제습능력의 감소와 일치하지 않으니까 이 제어 방법으로는 제습이 확실해 되는가 문제가 있으나 일반적인 빌딩의 공조에서는 실내의 상대온도의 허용 범위가 큰 것과 최대부하시에 비하여 대폭적인 냉동능력의 감소가 있을 때는 외기의 운습도도 낮아질 때가 많으니까 설정치를 적당히 선정하면 실용상 그다지 문제는 없다.

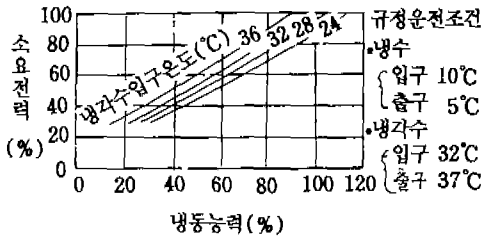
그림 7은 터보냉동기의 냉수온도조건 등을 변경하였을 때의 모델빌딩에 대한 시산예를 표시한다. 이와 같이 냉수출구온도제어에 대하여 냉수입구온도제어에서는 냉동기 소비전력이 7~11% 정도 감소된다.



케이스번호	냉수온도(℃)	냉각수하한 온도(℃)	냉수온도 제어방식
C-1	7~12	25	출구일정
C-2	5~10	25	출구일정
C-3	7~12	25	입구일정
C-4	7~12	20	출구일정
C-5	5~10	25	입구일정

<그림 7> 터보냉동기의 제어방식과 전력소비량(시산예)

또 수냉식의 냉동기에서는 냉각수온도에 따라 응축온도가 변한다. 그림 8은 냉각수 입구온도의 변화에 대한 터보냉동기의 소요전력변화의 일례를 표시한 것이다.



<그림 8> 터보냉동기의 냉각수온도와 소요전력

일반적인 공조장치에서는 냉각탑을 사용하니까 냉각수온도는 외기의 습구온도에 따라 변한다. 중간계절 등에 외기의 습구온도는 내려가나, 냉각탑에서 나오는 냉각수온도가 떨어지니까 냉각탑의 송풍기를 정지하고 송풍동력을 절감하고 있는 것도 있다. 이때에는 냉각탑의 냉각동력이 떨어지니까 냉각수온도는 그다지 떨어지지 않으나 냉각수온도는 최대부하시의 설계치정도로 유지되든가 다소 올라도 냉각동력이 떨어지고 있으니까 기능상 문제는 없다. 그러나 이와 같은 계절에도 냉각탑의 송풍기를 운전하여 냉각수온도를 내려 냉동기의 소요전력을 줄이는 것이 에너지절감효과가 크다. 이는 냉각탑송풍기의 동력이 냉동기동력에 비하여 매우 적기 때문이다. 단, 냉동기에 들어가는 냉각수온도에는 기종에 따라 다르나 최저한도가 있으니까 이 이하가 될때는 냉각탑송풍기를 정지하거나 냉각탑을 바이패스시켜 냉각수를 흘리는 등이 필요할 때도 있다.

이와 같은 안전장치를 고려한 후에 위에 기술한바와 같은 운전을 하면 된다. 또 냉각수의 수질에 따라서는 응축기에 스케일이나 부식이 생겨 전열저항이 커져 냉각수의 출입구온도차가 설계치보다 커질때가 있다. 이에 대하여는 응축기의 청소, 방식 등의 대책이 필요하게 되나 보수관리의 문제이기때문에 여기서는 줄인다.

공냉식의 냉동기에서도 응축온도를 낮게 하면 냉동기동력이 감소된다. 외기 온도가 내렸을때 공냉송풍기의 회전수를 바꾸어 운전하고 있는 것이 있으나 이는 소음의 절감을 위하여 하고 있는 것으로 주

위의 소음문제가 없는 곳에서는 공냉송풍기는 일정한 운전(단 냉동기 정지시는 정지시킨다)으로 하는 편이 에너지절감에도 바람직하다.

또 히트펌프의 경우는 온수온도를 될 수 있는 한 낮게하는 것이 에너지 절감이 된다. 난방부하는 외기온도에는 거의 비례하여 변하니까 난방운전시는 온수온도의 설정치를 외기온도에 의하여 변화시켜 외기온도가 비교적 높을 때는 온수온도를 낮게하도록 하는 스케줄 제어를 하면 된다.

또 2대이상의 냉동기나 히트펌프가 설치되어 있을 때는 부하에 따른 군관리운전을 하고 있으나 각 냉동기의 냉동능력과 보기도 포함한 소요전력의 특성곡선에 의하여 부하변화에 대하여 최소의 동력이 되도록 한 각 냉동기의 부하배분의 스케줄을 만들어 현재 하고 있는 군관리운전의 제어가 적당한가를 재검토하는 것이 바람직하다.

6. 기 타

상기 외에도 외기냉방, 열회수, 축열운전 등에 대해서도 운전스케줄의 재검토가 필요할 때가 있다.

외기냉방은 종전에는 일반적으로 외기 온도가 적당한 설정온도보다 낮을때 실내 서모스타드 제어량의 편차에 따라 외기덤퍼의 개도를 바꾸는 방법이 이용되고 있다.

이와 같은 현열기준의 방식에서는 외기의 가습부하가 문제가 된다. 공조기의 가습이 수분무 가습의 경우는 이래도 좋으나 증기가습의 경우는 외기냉방의 절약열량보다 가습에 요하는 열량편이 커질 때가 있다. 이때에는 외기와 실내공기와의 엔탈피를 비교하여 외기의 엔탈피가 낮을 때만 외기냉방을 하는 제어방식으로 하는 것이 바람직 하다.

또 전열교환기를 사용하고 있는 공조장치에서는 동절은 도입외기가 실내에서의 배기에 의하여 가열가습되나 실내가 난방운전시는 이에 의하여 에너지절감이 되나, 혹시 실내가 외기냉방을 필요로 할때는 역효과가 된다. 이와 같은 경우는 외기의 바이패스회로를 만들어 전열교환기를 바이패스시키든가 회전형의 전열교환기에서는 회전수를 적게하여 열교환의 효율을 저하시키는 것과 같은 제어를 하면 된다.

또 축열운전에서는 필요이상으로 축열하면 축열조에서의 열손실이 증대하므로 축열운전시간이 적당한가 재검토를 하는 것도 필요하다.