

# 技師會員을 爲한 理論과 實務

## 현장의 전기사용 절약방법

### 공 조 기 (3)



공조기의 전기사용합리화의 포인트는 열부하의 경감과 열매개(공기 물)의 효율 좋은 제어에 있다. 후자는 결국 송풍기, 펌프의 절전방법을 적용하는 것이며, 이미 본란에서 기술하여 왔던 것이므로 상세한 것은 이것들을 참조하기 바란다.

#### 1. 공조기내에서의 상태변화

여기서는 공조조건의 변화와, 절전에 관계되는 세량(諸量)의 관계에 대하여 기술한다.

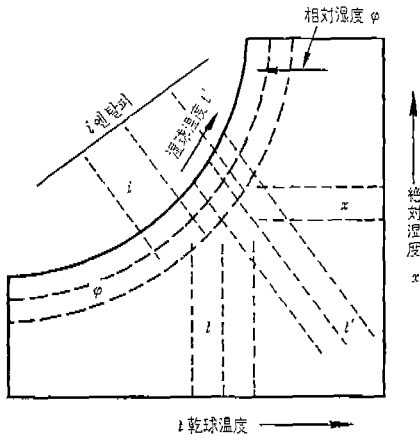
##### (1) 공기선도(空氣線圖)

습(濕)한 공기는 전압(全壓)  $H$ 를 일정이라고 하면 건구온도(乾球溫度) ( $t$ ), 습구온도(濕球溫度) ( $t'$ ), 절대습도( $x$ ), 상대습도( $\phi$ ), 노점온도(露點

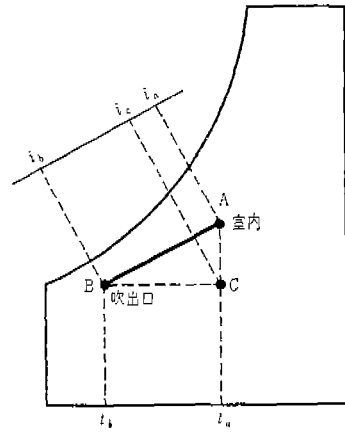
溫度)( $t'$ ), 엔탈피( $i$ )의 중에서 두개의 값이 정해지면 다른 값은 정하여진다. 하나의 그림으로 이와같은 것을 모두 알 수 있게 그린 것을 공기선도(空氣線圖)라 하며 개략도를 그림-1에 표시한다.

##### (2) 상태변화

가열, 냉각, 가습 등에서의 상태변화를 표시하



〈그림-1〉 空 氣 線 圖



〈그림-3〉 냉방사이클

면 그림-2와 같이 된다. 공조기에서 조절된(調質)된 공기가 배출되어진 경우에 이 공기가 실내에서 발생한 열, 실외에서 침입한 열을 흡수하는 것에 의하여 실내온도가 일정하게 유지되는 것이다. 발생열은 현열(S·H)와 잠열(L·H)의 두가지 상태가 있으며, 그림-3에서는 A점을 실내상태, B점을 배출구의 상태라고 하면  $\overline{BC}$ 의 변화에 의하여 현열(顯熱)을,  $\overline{CA}$ 의 변화에 의하여 잠열을 흡수한다. 실제의 상태변화가  $\overline{BA}$ 가 된다.  $\overline{BA}$ 의 경사는 현열비 즉, 현열비(S.H.F) =  $\frac{\text{전열열량}}{\text{전열량}}$  (1)

로 정해진다.

(3) 급기송풍기(給氣送風機)의 용량

실내의 현열부하를  $q_s$ (kcal/h)라 하면, 급기량은

$$Q = \frac{q_s}{\text{공기의 비중량 } \text{kg/m}^3 \times \text{공기의 비열 } \text{kcal/kg} \cdot \text{°C} \times (t_1 - t_2)}$$

$$= \frac{q_s}{1.2 \times 0.24 (t_1 - t_2)}$$

$$= 3.47 \frac{q_s}{t_1 - t_2} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2)$$

단,  $t_1$ (°C) : 실내진구온도,  $t_2$ (°C) : 배출구진구온도.

(4) 냉방능력

냉방능력  $q$ (kcal/h)는

$$q = \text{공기의 비중량} \times Q \times (i_1 - i_2) = 1.2Q(i_1 - i_2) \quad (\text{kcal/h}) \quad (3)$$

단,  $i_1$ (kcal/kg) : 공조기입구 공기엔탈피,

$i_2$ (kcal/kg) : 공조기출구 공기엔탈피

(5) 냉동기의 능력

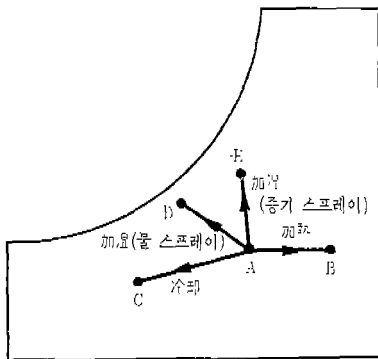
냉방능력  $q$ 를 달성하기 위하여는 공조기에 냉동기로 부터 냉수를 보내서 열을 빼앗는 경우의 냉각수유량  $Q_1$ (m<sup>3</sup>/h)는 공조기 열효율을  $\eta$ 라고 하면

$$Q_1 = \frac{q \times 10^{-3}}{\eta_1 (t_{w1} - t_{w2})} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4)$$

냉동기의 성적계수는

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{q_1}{q_2 - q_1} = \frac{q_1}{860 \eta_2 P} \quad (5)$$

단,  $T_1$ (°K) : 증발기온도,  $T_2$ (°K) : 응축기온도 (凝縮器溫度),  $q_1$ (kcal/h) : 증발기에서 빼앗는 열



〈그림-2〉 상태 변화

량,  $q_2$ (kcal/h) : 응축기에 방출하는 열량,  $P$ (kW)  
: 압축기동력,  $\eta_2$  : 압축기효율

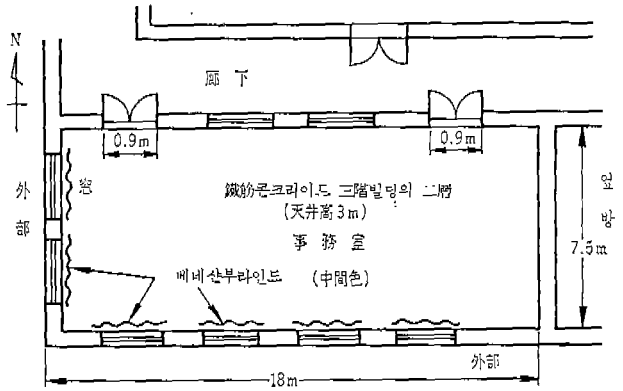
이 경우에  $q_1 = q$  이기 때문에 압축기동력은,

$$P = \frac{q}{860 \eta_2 \varepsilon} \text{ [kW]} \quad (6)$$

응축기의 냉각수량  $Q_3$ (m<sup>3</sup>/h)은, 응축기의 열효율을  $\eta_3$ 이라 하면

$$Q_3 = \frac{q_2 \times 10^{-3}}{\eta_3 (t_{a1} - t_{a2})} = \frac{q_1 (1/\varepsilon + 1) \times 10^{-3}}{\eta_3 (t_{a1} - t_{a2})} \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (7)$$

단,  $t_{a1}$ (°C) : 응축기입구냉각수온도,  $t_{a2}$ (°C) : 응축기 출구 냉각수 온도



<그림-6> 사무실의 예

장치부하	10%
인간에의한 부하	15%
열전도에의한 부하	15%
일사에의한 부하	15%
조명 부하	15%
외기 부하	30%

(a) 냉방시

장치부하	15%
외기부하	40%
열전도에의한 부하	45%

(b) 난방시

<그림-4> 사무실 빌딩에서의 평균부하의 비율

물구조는 그림-6과 같이 되어지고 있다. 이 경우의 냉방부하로서는 열전도에 의한 것이 가장 크며 다음이 외기, 조명일사, 사람의 순이 된다. 절전의 수준(手順)으로서는 큰부하에서 경감하는 방법을 생각하여야 한다.

### 3. 절전의 방법

#### (1) 외기부하의 경감

여기에는 틈사이 바람에 의한 부하  $q_i$ 와 신선공기 부하  $q_0$ 가 있다. 전자는 자연환기에 의한 것으로서, 창, 문의 틈사이와 개폐(開閉)에 의하여 외부의 고온공기에 의한 열이 침입하는 것이다. 이 부하는

$$q_i = \text{현열부하} + \text{잠열부하} = 0.29NV(t_1 - t_2) + 720NV(x_1 - x_2) \text{ [kcal/h]} \quad (8)$$

단,  $N$ (회/h) : 자연환기회수,  $V$ (m<sup>3</sup>) : 방용적  
 $t_1, t_2$ (°C) : 옥외·옥내온도,  $x_1, x_2$ (kg/kg) : 옥외·옥내의 절대습도.

틈사이 부하를 경감하기 위하여는 창, 문의 밀폐, 출입구는 극력 개폐회수를 적게 할 수 밖에 없다. 그러나 야간에 옥외의 기온이 실내온도 보다 내려간 경우에는  $t_1 - t_2$ 는 부(負)가 된다. 이것은 냉방부하경감을 의미하며 이와같은 경우는 창과 문을 열고 외기를 도입하는 편이 냉방효과를 좋게 한다. 난방시에도 같다고 말할 수 있다.

신선한 공기 부하(新鮮한 空氣負荷)는 강제환기에 의한 것으로 끌어들이는 외기량(外氣量)을  $Q$ (m<sup>3</sup>/h)라 하면  $q_0$ 는 (1)식에서  $NV$ 를  $Q$ 로 바꾸어 놓은 것으로 구할 수 있다. 환기량  $Q$ 는 주로 사람의

인간에의한 부하	15%
일사에의한 부하	15%
조명 부하	15%
외기 부하	16%
열전도에의한 부하	43%

합계 17,045kcal/h

(a) 냉방시

외기에의한 부하	19%
열전도에의한 부하	81%

합계 81,840kcal/h

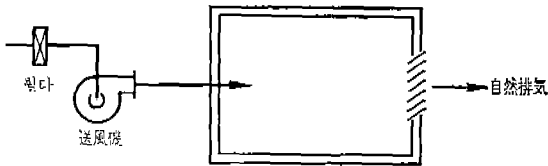
(b) 난방시

<그림-5> 공장사무실의 공조부하의 예

## 2. 부하비율(負荷比率)

그림-4는 사무실 빌딩에서의 냉방시 및 난방시의 평균적 부하비율을 표시한 것이다. 냉방시에는 외기부하가 가장 크고 다음이 열전도, 일사(日射), 조명, 사람에 의한 부하의 순서가 된다. 난방시는 열전도에 의한 부하가 가장 크며, 다음으로 외기 부하가 되고 이 두가지 부하가 이 전부를 차지한다.

그림-5는 공장사무실의 공조부하의 예로서 건



〈그림-7〉 환기계통의 예

안전, 위생상 규정되어 있는 것이다. 이것은 전월호에 기술하였다. 이 근거는 실내에 있어서 탄산가스 농도의 허용치를 0.1%로 하고 있는데 있다. 탄산가스 농도 0.1%로 계산하면, 재실인원(在室人員) 1인당의 필요외기량은 약 30m<sup>3</sup>/h가 된다. 탄산가스 농도를 측정하고 0.1%이하의 경우에는 환기량을 줄이는 것이 좋다.

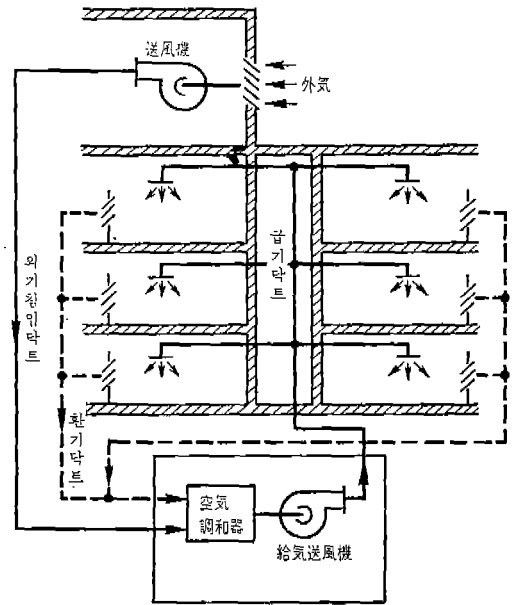
방법으로서는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 작은 사무실에서 환기용 팬을 사용하고 있는 경우에는 환기팬(換氣 FAN)을 정지시키거나 복수의 경우에는 운전대수를 줄인다. 단, 탄산가스 농도를 측정하여 0.1%의 허용치를 넘지 않도록 하는 것이 필요하다. 이를 위하여는 탄산가스 농도계의 신호에 의하여 환기팬을 키거나 끄는 운전을 하는 것이 바람직하다.

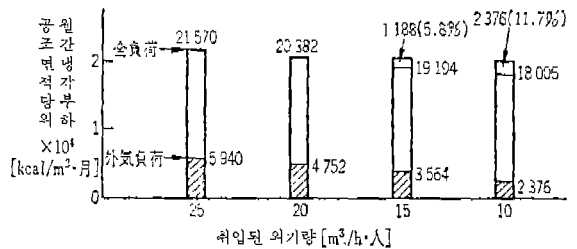
(2) 그림-7과 같은 송풍기 또는 배풍기를 사용하는 환기계통에서는 덤파의 열리는 정도를 적정하게 설정하여 전동덤파(電動 Damper)의 경우에는 탄산가스 농도가 허용치를 넘지 않도록 개도 제어(開度制御)를 하는 것이 좋다. 대용량송풍기, 배풍기에서 가변속제어(可變速制御)를 하는 것이 풍량(風量)을 주리고 또한 송풍기 용전력(풍량의 3승에 비례)을 대폭적으로 줄일 수 있다.

이상은 단순한 환기계(換氣系)이나 환기(還氣)가 있는 경우에는 다소 복잡하게 된다.

(3) 그림-8과 같이 환기계(還氣系)가 있는 경우에는 되도록 환기계(還氣系)의 재순환(再循環)을 재서 외기도입을 적게 한다. 구체적으로 환기계(還氣系)의 덤파개도(Damper 開度)를 크게 하고 환기량(還氣量)을 크게 할과 아울러 외기취입계(外氣取入系)의 덤파개도를 적게하여 외기취입량을 적게 한다. 이때 주의하여야 할 것은 전술한 탄산가스 농도와 실내압(室內壓)이다. 환기량을 많이 하면 실내가 옥외에 대하여 부압(負壓)이 되어 먼지가 들어오기 때문에 실내압은 옥외에 대하여



〈그림-8〉 외기, 환기가 있는 경우의 공조 시스템



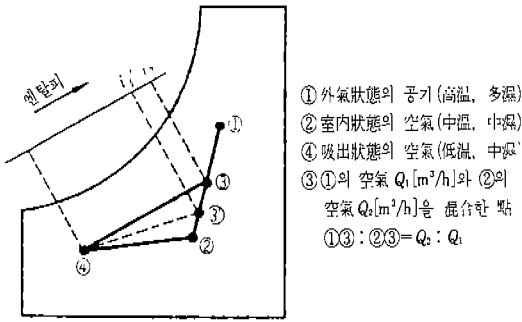
〈그림-9〉 취입외기량을 변화시킨 경우의 월간냉방부하의 변화

0.1mmAg~1mmAg 정도 정압(正壓)으로 하는 것이 바람직하다. 그림-9의 외기취입량을 변화시킨 경우의 부하변화의 시산예(試算例)를 표시한다. 외기량의 경감은 냉방부하의 경감과 같이 송풍기동력을 감소시키는 것은 말할 나위도 없다.

공조제와 환기계(換氣系)가 독립하고 있지 않은 경우에는 공조기에서 신선한 공기와 환기(還氣)를 혼합하여 각방(各房)에 급기(給氣)하여 공조와 환기(換氣)를 동시에 하는 것이 된다. 이 때 공기선도(空氣線圖)는 그림-10과 같이 되며 신선공기를 적게 할수록 혼합점은 ③-③'가 되며, 엔탈피가 감소하여 냉방능력이 내려간다. 이 때의  $i_3 - i_4$ 는 (3)식의  $i_1 - i_2$ 에 상당한다.

## (2) 실내설정온도의 완화

냉방의 경우에 설정 온도를 올리는 것에 의하여,



〈그림-10〉 공기의 혼합

냉방부하가 경감된다. 그림-5의 경우, 설정온도는 26°C이나 이를 27°C로 하면 냉방부하는 17045[kcal/h]에서 15945[kcal/h]로 약 6.5%이 감소된다.

(2)식에서  $q_s$ 값,  $t_1$ 증이 되니까,  $t_2$ 를 일정으로 하면 급기량을 줄이는 것이 되어 송풍기의 축동력감(軸動力減)이 된다.

냉방부하의 경감에 의하여 (3)~(7)식에서 압축기 출력(壓縮機出力), 냉각수온도의 경감이 가능하게 된다.

구체적 제어방법으로서는

(1) 콤팩트형 에어컨에서는 온도설정기(溫度設定器)에 의하여 압축기나 송풍기의 ON·OFF 운전을 한다. 이때 냉각수도 전자변(電磁弁)으로 ON·OFF하면 좋다. 이 경우 에어컨을 정지하는 온도는 운전하는 온도보다도 내려서 두지 않으면 헌팅(Hunting)하게 된다.

(2) 대규모공조시스템에서는 (2)식에서 배출구 전구온도를 제어하던가 급기량제어든가 어느 것이 되지만 급기량제어 쪽이 송풍기 축동력의 경감이 커져서 훨씬 큰 성능에너지가 된다.

### (3) 실내기구발열량의 감소

필요불가결의 경우를 제외하고는 발열을 수반하는 기구(器具)는 공조실내 두지 않는 것이 바람직하다. 그렇게 할 수 없는 것이 조명기구이다. 조명에 의한 냉방부하는 그림-4, 그림-5에서 알 수 있듯이 전부하의 15%를 점하고 있어 꽤 크다. 이 대책으로서는 창가의 소등(消燈), 기구의 감소, 필요시에만 점등, 조도의 재고 등 말하자면 조명의 전력절감대책을 하여야 한다.

사무기기, 생산기, 히터 등 발열량이 큰 것으로서는 발생열을 실내에 확산되지 않도록 국부배기

를 하는 대책이 있다. 그러나 배기량을 많게 하면 실내가 부압이 된다. 이것을 방지하기 위하여 외기량을 증가할 필요가 있어 도리어 공조부하를 증가시키는 원인이 되기도 하기 때문에 주위가 필요하다.

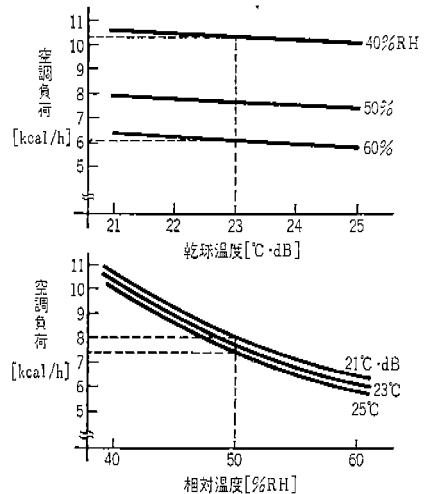
### (4) 습도의 재고

가습(加濕), 제습(除濕) 능력이 있는 공조기에서는 습도조건을 완화하는 것이 유효한 결전이 된다. 어떤 시산에에서는 습도를 변화시킨 경우와 온도를 변화시킨 경우의 공조부하의 변화는 그림-11<sup>(1)</sup>과 같다. 이에 따르면 온도를 23°C로 하고 습도를 40%RH에서 60%로 완화하면 약4.2kcal/h의 부하경감이 되지만, 상대습도 50%RH에서 온도를 21°C로부터 25°C로 완화한 경우에는 약 0.7kcal/h의 부하경감이 되어 습도완화쪽이 에너지절감으로서는 약 6배가 크다. 그러나 너무 습도를 높게 하면 사람에게 불쾌감을 주기 때문에 상대습도는 70%RH를 한도로 하는 편이 좋다.

### (5) 제어방법의 개선

#### (1) 변류량방식(變流量方式)

(2)식, (4)식에 표시된 바와 같이 냉각매체(冷却媒体)가 운반하는 열부하는 유량과 온도차에 비례한다. 열부하는 제어하는 경우에 유량을 변화시키는 방법과, 유량일정이고 온도차(실체는 실내에의 송풍온도제어나 냉각수온도제어 등)을 변화시키는 방법이 있으나, 전자의 쪽이 송풍기나 펌프동력의 경감이 크며 보다 나은 에너지절감이 된다. 대형사



〈그림-11〉 온도변화와 습도변화에 소요되는 에너지(어떤조건에서의 試算)

무실이나 빌딩에서는 송풍기나 펌프의 총용량은 수백kW~천수백kW가 되기 때문에 아주 유효한 것이다.

(2) 유량의 제어방법

유량의 제어방법으로서는 댐퍼제어나 벤(Van) 제어, 각종 가변속제어 등이 있다. 같은 유량이라도 소비전력(전동기입력)이 달라서 배출댐퍼>입구벤 제어>가변속제어의 순서가 된다. 따라서 허용범위내에서 극력 효율이 좋은 방식을 선정하여야 한다. 특히 VVVF에 의한 가변속제어는 기설의 전동기에 인버터(Inverter)장치를 붙이면 되며 기설개조에는 유효하다.

설비 : 급기환-4000m<sup>3</sup>/min, 40mmAg, 175kW  
1000rpm

개선전 : 풍량 3200m<sup>3</sup>/min, 전동기 입력 170kW  
배출댐퍼개도 80%

개선후 : 풍량 2400m<sup>3</sup>/min

이 풍량을 배출댐퍼에 의하여 조정하는 경우는 전동기 입력 158kW, VVVF제에 의한 가변속제어를 하는 경우는 회전수 600rpm, 전동기 압력 44kW.

즉, 이 예에서는 같은 급기량에서도 VVVF에 의한 가변속제어가 배출댐퍼제어보다 약 114kW절전이 된다.

(3) 냉각수 출입구 온도차의 증대

수-공기 열교환기 예컨대 냉동기의 응축기에서는 냉각수가 빼앗는 열은 (7)식에 표시하는바와 같이 유량과 출입구온도차에 비례한다. 따라서 온도차를 증대하여 냉각수량을 감소시켜 펌프동력을

〈표-1〉 냉각수 출입구 온도차와 냉각수량의 관계예

冷却水 出口温度 [°C]	温度差 [°C]	冷却水量 [l/min]
35	5	81
	7	58
	9	45
	11	37
	13	31
	15	27

(註) 水冷式 에어컨, 冷房能力 25,530[kcal/h]의 경우

절감할 수 있다. 표-1은 팍페이지형 에어컨의 예이다.

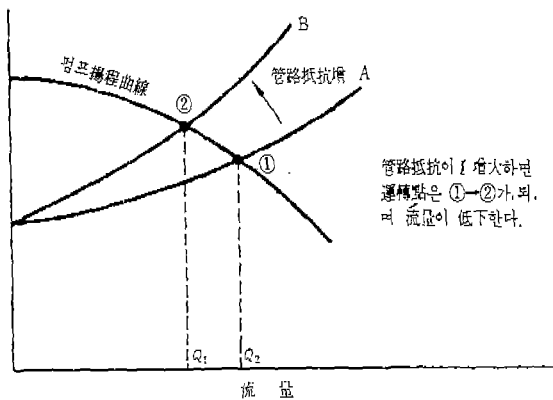
(6) 정기적 보수관리

(1) 냉각수배관

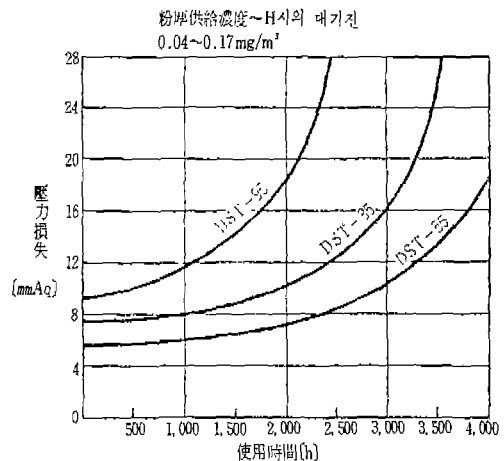
배관의 스케일(Scale), 슬라지(Sludge)의 부착은 저항증대를 가져와서 같은 유량을 보내는데 펌프출력의 증가를 가져온다. 이것을 표시한 것이 그림-12이다. 수질이 나쁜 경우는 스케일 슬라지(Sludge)의 부착이 심하다. 따라서 수질의 관리가 필요하다. 관리기준치를 표-2에 표시하였다. 수질의 유지가 되지 않는 경우는 냉각탑(Cooling Tower)이 사용되지만, 냉각탑의 설치장소가 사진(砂塵)이나 분진(粉塵)이 많은 장소에서는 배관에 침적(沈積)하는 경우가 있으므로 주의가 필요하다.

(2) 열교환기

증발기나 응축기에서는 냉각수에 의한 스켈이나 슬라지, 미생물이 발생하여 이것들이 부착체적하



〈그림-12〉 펌프특성곡선



〈그림-13〉 필터 사용시간과 압력손실

〈44p로 계속〉

濟性이 있는 地域에서만이 可能하다. 氣候나 暖房方式에 대해서는 약간 不利한 點으로 作用되지만 아파트團地 및 新都市의 建設時에 CHP를 利用함은 큰 效果를 豫상할 수 있다.

때문에 과다한 初期投資費의 지원과 最適의 運營을 위한 制度設定 等の 國家的에 너지節約이라는 次元에서 적절한 計劃樹立이 要求된다.

參 考 文 獻

1. ———, Guidelines for Developing State Cogeneration Policies, Resource Planning Associates Inc., 1979.
2. ———, District Heating Combined with Electricity Ge-

- neration in the United Kingdom, District Heating Working party of the Combined Heat and Power Generation Group, 1977.
3. ———, A Technical Overview of Cogeneration, Resource Planning Associates, Inc., 1977.
4. M. A. Karnitz, A. M. Rubine, Large City District Heating Studies for the Minneapolis St. Paul Area, Oak Ridge National Laboratory, 1978.
5. ———, World Energy Conference : CHP, The adhoc Committee on Combined Heat and Power Production and District Heating, 1978.
6. C. Mackenzie-Kennedy, District Heating : Thermal Generation and Distribution, Pergamon Press, 1979.
7. 熱併合發電 및 地域暖房 長期開發計劃 : 韓國熱管理試驗研究所, 1979.
8. 김효경, 이택식, 노승탁, 토탕에너지 시스템에 의한 열에너지의 효율적 이용, 서울대학교, 1978.
9. 열병합 발전에 의한 지역난방 가능성에 관한 연구, 한국과학기술연구소, 1979.

<80p에서 계속>

<표-2> 냉각수의 수질기준

	項 目	補給水基準値	冷 却 水 基 準 値*1	傾 向*3	
				腐 食	스케일
基準項目	PH (25°C)	6.0~8.0	60~8.0	○	○
	導 電 率 (μv/m)	200 以下	500 以下 (1000 以下)	○	
	塩 素 이 온 Cl (ppm)	50 以下	200 以下	○	
	硫 酸 이 온 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	50 以下	200 以下	○	
	全 鐵 Fe (ppm)	0.3 以下	1.0 以下*2	○	○
	M알카리度 CaCO <sub>3</sub> (ppm)	50 以下	100 以下		○
參考項目	全 硬 度 CaCO <sub>3</sub> (ppm)	50 以下	200 以下		○
	이오우이온 S <sub>2</sub> (ppm)	檢出하지 않는것	檢出하지 않는것	○	
	아치모니이온 NH <sub>4</sub> (ppm)	檢出하지 않는것	檢出하지 않는것	○	
	시 리 아 SiO <sub>2</sub> (ppm)	3 以下 30	50 以下		○

\*1 冷却水는 一過式·循環式과 凝縮器를 通過하는 물을 말한다.  
 \*2 프라스틱配管의 경우 基準値는 0.5 [ppm] 以下로 한다.  
 \*3 傾向欄內의 ○印은 腐食 또는 스케일 傾向의 어느 쪽에 관한 因子를 가르킨다.

여 열교환효율이 저하되어지는 것과 아울러 응축기에서는 필요유량을 얻을 수가 없어 응축기의 고압이 걸여서 냉방불능이 된다. 또 열교환효율의 저하는 냉동 톤당의 소비전력을 증대시킨다. 따라서 정기적으로 세정(洗淨)이 필요하다.

(3) 송풍덕트

공기정화때문에 휠타를 사용하고 있는 경우는 정기적 세정이 필요하다. 특히 환경조건이 좋지

않은 장소의 에어콘은 더러워지는 진행도가 빨라 일주간에 1 회의 청정(淸淨)이 필요한 경우가 있다.

말할 나위도 없지만, 휠타의 순이 막히는 것은 압력손실이 증대하여 풍량이 감소하여 냉각능력이 저하한다. 그림-13<sup>9)</sup>은 휠타 사용시간과 압력손실 증가와의 관계이다.