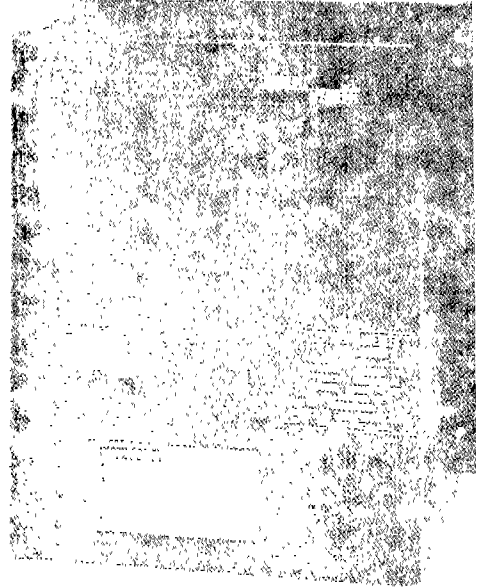


# 空調機의 인버터 制御와 에너지 節約效果



## 1. 머리말

경제성장으로 사회생활 패턴이 풍부해짐에 따라 에어컨디셔닝이 우리 생활에서 불가결의 것으로 되어가고 있다. 가정용 룸에어콘에서 부터 보다 대형의 패키지形 空調機도 점포, 사무실을 중심으로 하여 공장의 생산현장에까지 널리 보급되고 있다.

이와 같은 空調機에는 에너지節約化, 스페이스 축소화 및 快適性 향상이 강력히 요청되고있으며 지금까지는 압축기, 熱交換器의 효율향상이나 冷媒사이클 제어 등의 要素機器의 개선으로 대응해 왔는데 더욱 더 에너지節約을 기하기 위해서는 연관을 통한 효율향상이 필요해졌다. 이에 대한 해결책으로서 압축기의 回轉數를 인버터로 변화시켜 부하에 적합한 용량으로 운전하는 방식이 개발되어 제품화되었다. 즉 인버터에

어콘이다.

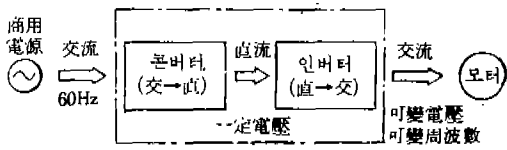
특히 패키지形 空調機는 그 용도면서에 볼 때 연관을 통하여 운전되는 기회가 많으므로 에너지節約效果도 크게 기대할 수 있기 때문에 앞으로 더욱 보급이 활발해질 것으로 전망된다.

## 2. 要素技術

### 가. 인버터

#### (1) 인버터란

그림 1에 인버터의 개념도를 들었다. 일정한 상용 交流電源을 입력하여, 콘버터部에서 직류로 변환하여 상용의 周波數에서 切離시킨다. 이 직류를 인버터部에서 교류로 변환하는데 이 때에 주파수를 변화시킴으로써 모터의 回轉數를 변화시킬 수가 있다.



〈그림 1〉 인버터 概念圖

공조기에 사용되는 모터에는 誘導電動機가 많은데 이 유도전동기의 回轉數  $N(\text{rpm})$ 은 전동기 주파수를  $f(\text{Hz})$ , 極數를  $P$ , 슬립을  $S$ 라 하면 다음과 같은 式으로 표시된다.

$$N = 120f(1 - S) / P \quad (1)$$

式 중의 3變數 중 주파수  $f$ 를 변화시키는 방식이 유도전동기의 回轉數를 폭넓게 또한 효율적으로 변화시킬 수가 있기 때문에 半導體의 발달과 함께 널리 채용되고 있다.

주파수를 바꾸어 電動機를 안전하게 신뢰성도 높게 운전하기 위해서는 전동기의 磁氣飽和를 피함과 동시에 시동전류를 적당한 값으로 억제하고 또한 필요한 토크를 확보하기 위해 인버터出力電壓을 制御해야 된다. 일반적으로 전동기의 1次捲線에 전압  $V(\text{V})$ 를 인가하면 1차 권선에는 誘起電壓  $E_0(\text{V})$ 가 발생하고 磁束을  $\phi_M$ 이라 하면 다음式이 성립된다.  $K$ 는 係數로 한다.

$$E_0 = K\phi_M f \quad (2)$$

이 式에서 주파수를 변화시켜도 磁束을 일정하게 유지하기 위해서는 電壓도 변화시키면 되고  $V \approx E$ 라 하면

$$\phi_M \propto E/f = V/f = \text{일정} \quad (3)$$

이 된다. 이와 같은  $V/f = \text{일정}$ 제어가 電壓形 인버터의 특징으로 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 인버터라고 한다.

### (2) 인버터의 動作原理

그림 2는 인버터의 基本回路圖이다. 콘버터部는 6개의 다이오드, 인버터部는 6개의 트랜지스터로 각각 브리지形으로 구성되어 있다. 인

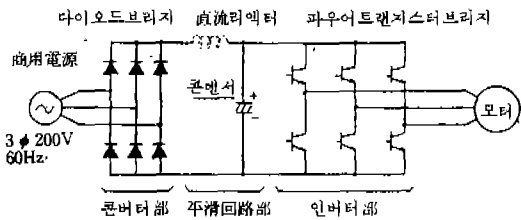
버터部에서 直流를 交流로 변환하는데 이 변환의 이해를 용이하게 하기 위해 트랜지스터를 스위치로 대체한 그림 3의 單相 브리지回路로 동작을 설명한다. 이 경우의 동작 모드는

①  $S_A$ 와  $S_B'$ 가 온이고  $S_B$ 와  $S_A'$ 가 오프

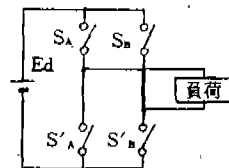
②  $S_B$ 와  $S_A'$ 가 온이고  $S_A$ 와  $S_B'$ 가 오프

의 2개의 모드가 되며 ①과 ②에서 負荷에 印加되는 전압의 극성이 변화하고 전류가 흐르는 방향이 변화하게 된다. 이 ①, ②의 모드를 교대로 반복하면 負荷에 交流가 흐르게 된다. 이 때의 波形은 부하를 抵抗으로 가정하면 그림 4와 같이 된다. 이 전환 모드의 속도를 변화시키므로써 소정의 주파수를 얻을 수 있다.

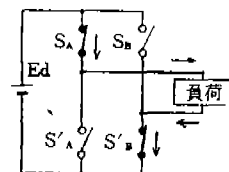
다음에 電壓을 변화시키기 위해서는 그림 4의 1주기 중에서 그림 3의 스위치를 좀더 빠른 周期로 온, 오프시킨다. 그 온, 오프의 比率(듀티比)을 주파수가 낮은 때에는 온을 짧게 (오프를 길게), 周波數가 높아짐에 따라 온의 비율을



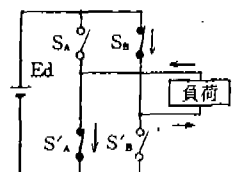
〈그림 2〉 3相 인버터回路圖



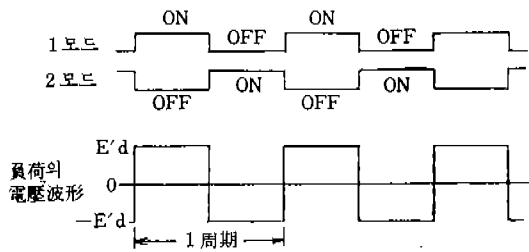
①  $S_A$ 와  $S_B'$ 가 온



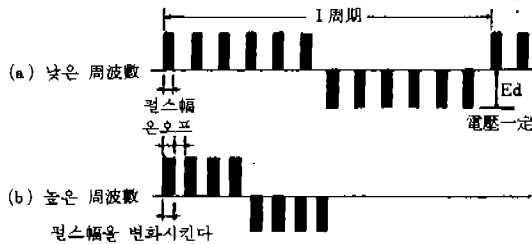
②  $S_B$ 와  $S_A'$ 가 온



〈그림 3〉 인버터 動作說明圖



〈그림 4〉 인버터 電壓波形



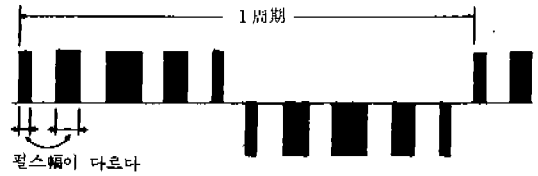
〈그림 5〉 等脈幅 變調方式

높여가면 전동기에의 印加電壓이 높아진다. 그림 5에 그 방식을 들었다. (a)는 주파수가 낮은 경우이고 (b)는 周波數가 높은 경우이다. 그 방식을 PWM (Pulse Width Modulation : 脈幅變調) 制御라고 한다.

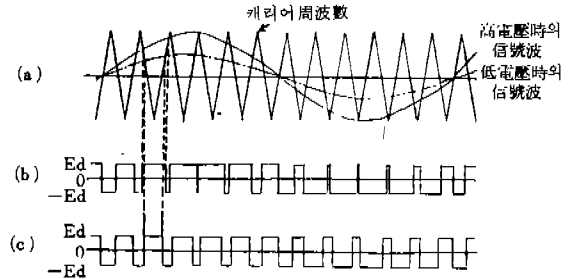
(3) 正弦波 PWM 制御

PWM 制御에서는 전동기에 印加되는 전압파형은 矩形波電壓이 된다. 상용 전원은 正弦波이므로 인버터 구동을 하면 토크脈動이 크고 또한 효율도 저하된다. 따라서 電壓用 초핑脈스를 중앙부가 넓고 양단이 좁은 방식 (不等脈幅 變調方式)으로 하고 電流波形을 정현파에 근사시켜 低次高周波가 적은 평활한 波形을 얻고 있다. 그림 6은 不等脈幅 變調方式의 예이다.

正弦波 PWM 信號의 발생방법의 일례를 그림 7에 들었다. 캐리어周波數라고 하는 三角波의 변조파와 인버터 출력주파수의 정현파 신호를 비교하여 정현파신호의 振幅에 따라 정현파상에 변조된 出力波形을 얻을 수가 있다. 그림 7 (b)는 高電壓時, (c)는 低電壓時를 든 것이다.



〈그림 6〉 不等脈幅 制御方式

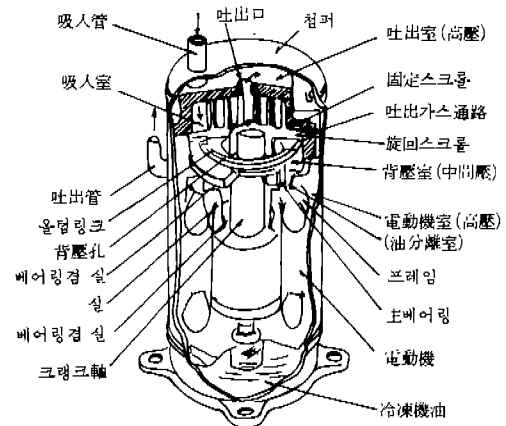


〈그림 7〉 正弦波 PWM 信號

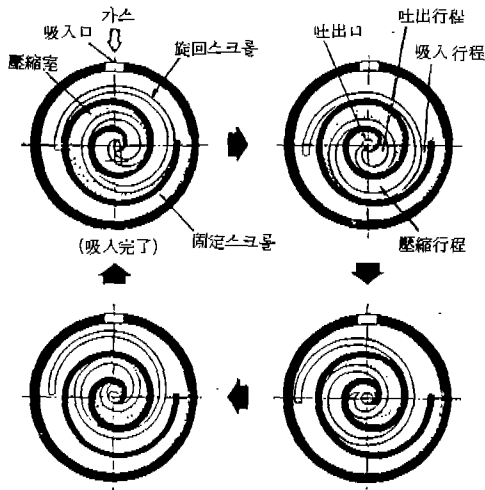
나. 스크롤 壓縮機

패키지形 공조기에 사용되는 압축기에는 스크롤 壓縮機, 로터리 압축기 및 레시프로 압축의 3종류가 있다. 이 중에서 스크롤 압축기가 回轉形이라는 점에서 특히 주목되고 있다.

그림 8에 스크롤 壓縮機의 구조를 들었고 그림 9에 압축원리를 들었다. 固定스크롤, 旋回스크롤의 랩 (渦捲要素)에 의하여 압축실이 형성되



〈그림 8〉 스크롤 壓縮機의 構造



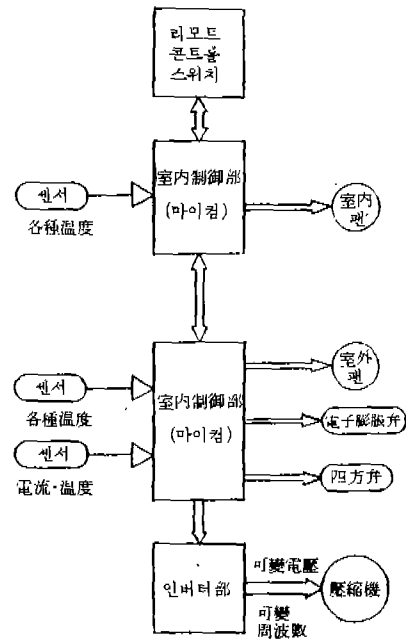
〈그림 9〉 스크롤 壓縮機의 壓縮原理

고 旋回스크롤의 內軌道運動에 의하여 압축기의 용적이 중심부를 향하여 축소되어 冷媒가 압축된다. 이 압축기의 특징은 가스 누설이 적고 흡입, 토출변이 필요 없이 流体 손실이 작고 高効率이라는 것, 부품수가 적어 신뢰성면에서 유리하다는 것, 또한 壓縮工程이 연속적이기 때문에 低振動, 저소음이라는 것 등을 들 수 있다.

### 3. 패키지形 空調機

#### 가. 制御方法

인버터搭載 패키지形 공조기의 제어 블록圖를 그림 10에 들었다. 리모콘, 室內유닛, 室外유닛에는 각각 전용의 마이크로 컴퓨터가 내장되어 있다. 리모콘에서의 起動, 停止나 설정온도의 지령을 리모콘스위치 내장의 마이크로 컴퓨터가 수신하여 室內의 마이크로컴퓨터에 傳送하고 내장하는 프로그램에 따라 센서의 수신이나 室內팬 制御, 기타의 지령을 발한다. 또한 구동주파수나 여러 가지의 情報가 실외의 마이크로컴퓨터에 傳送된다. 室外의 마이크로컴퓨터는 프로그램에 따라 인버터를 구동하여 室外팬이나 電子膨脹弁의 제어를 한다. 보호기능이 작동하면



〈그림 10〉 空調機 制御 블록圖

반대로 그 정보는 室外에서 室內로, 室內에서 리모콘으로 傳送된다.

室內溫度 制御는 다음과 같이 실시된다. 압축기의 구동주파수는 실내온도와 設定值의 차이 및 실내온도의 변화속도를 기초로 演算된다. 또한 驅動周波數의 지령이 최저주파수 30Hz 이하인 경우에는 壓縮機가 정지되고 실내온도와 설정치와의 차이가 소정 이상이 되면 再起動된다.

또한 冷媒循還量의 제어에는 종래의 캐피러리 制御 대신 전자팽창변이 사용되며 冷凍사이클의 운전상태에 따라 開度を 제어하여 항상 적절한 냉매가 흐르도록 하고 있다.

### 4. 容量制御의 效果

#### 가. 快適性의 向上

回轉數 制御는 다음과 같은 점에서 쾌적성을 향상시킨다.

- (1) 濕濕度의 변화폭이 극히 작다.
- (2) 장마시의 除濕運動이 가능하다.

(3) 냉난방의 상승시간이 빨라진다.

그림 11은 냉방운전시의 室内의 온습도의 시간적 변화를 표시하고 破線의 온, 오프制御에 비하여 變幅이 극히 작다는 것을 알 수 있다. 그림 12는 除濕運動의 效果例로서 실내 風량을 가급적 작게 하는 동시에 압축기의 回轉數를 가급적 낮게 운전하도록 한 것이다.

그림 13은 주파수를 높게 하는 것이 난방능력을 높일 수 있다는 것을 나타내는 데이터로서 5,100rpm과 4,250rpm은 전자가 12% 높은 것을 알 수 있다. 인버터에 의하여 冷暖房의 상승시간이 빨라지는 것이다. 또한 周波數를 올려능력을 향상시키면 除霜時에도 실내측에서 냉풍이 아닌 溫風이 나오는 호트가스 바이패스 除霜도 가능하여 보다 더 쾌적성이 향상된다.

#### 나. 에너지 節約效果와 計算例

##### (1) APF 에 의한 評價

空調機의 에너지 效率를 표시하는 데 종래에는 각각의 표준 운전조건에 있어서의 冷(暖)房能力

에 대한 소비전력의 比로 규정하는 EER (Energy Efficiency Ratio)가 사용되어 왔다. 그러나 실제로 空調機가 운전되는 조건은 여러 가지로 變化하므로 연간을 통한 에너지消費效率 APF (Annual Performance Factor)에 의한 效果 평가를 하게 되었다.

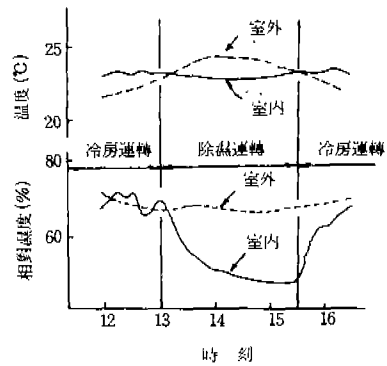
APF는 기본적으로는

$$APF = \frac{\text{冷房, 暖房의 작기간의 合計負荷}}{\text{冷房, 暖房의 작기간의 合計消費電力}} \quad (4)$$

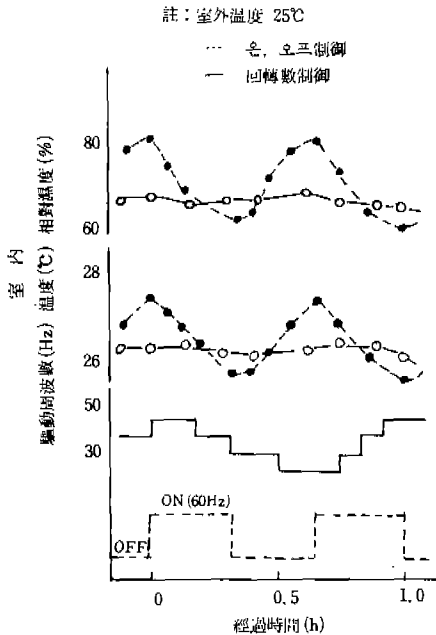
로 표시된다.

이 APF算出의 한가지 방법으로서 미국의 DOE (Department of Energy)가 제안한 방법이

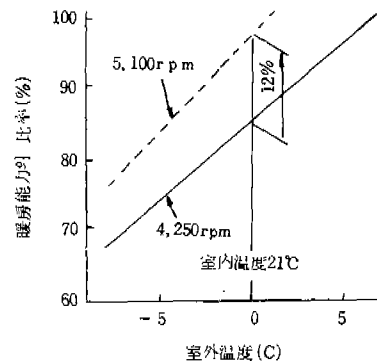
註: 방, 事務室, 床面積30m<sup>2</sup>  
 時期 9月,  
 날씨 흐림



〈그림 12〉 除濕運轉의 效果例



〈그림 11〉 室内溫度制御의 狀況



〈그림 13〉 暖房能力 向上效果

있는데 여기서는 이 방법을 回轉數 제어를 할 경우에도 확장, 적용했다. 이 DOE 제안의 방법에 의한 APF는 냉방만을 예로 하면 다음 식으로 표시된다.

$$APF = \frac{\sum_j \frac{n_j}{N} \cdot BL(T_j)}{\sum_j \frac{n_j}{N} \cdot \frac{X(T_j)}{PLF(X)} \cdot E(T_j)} \quad (5)$$

여기서  $T_j$  : 室外溫度

$BL(T_j)$  : 온도  $T_j$ 에서의 負荷(kW)

$E(T_j)$  : 온도  $T_j$ 에서의 소비전력(kW)

$X(T_j)$  : 운전율

$\frac{n_j}{N}$  : 온도  $T_j$ 의 出現時間比率

$N$  : 냉방을 실시하는 合計時間(h)

$n_j$  : 온도  $T_j$ 가 出現하는 시간의 合計(h)

$PLF(X) = 1 - C_b(1 - X(T_j))$

(Partial Load Factor)

$C_b$  : 압축기의 온, 오프에 따른 손실계수  
= 0.25

즉 어떤 室外溫度마다 부하, 소비전력을 구하고 室外溫度의 出現시간비율에 의하여 負荷의 합계와 소비전력의 합계에서 APF를 구하는 방법이다.

여기서  $C_b$ 의 설명에 있는 온, 오프 損失이란 하나는 압축기가 정지되어 있는 동안의 室内送風機나 소비전력에 기인하고 또한 압축기의 기동 후 冷凍사이클內的 冷媒分配가 정상상태가 되기까지의 효율이 나쁜데 기인하는 것이다. 압축기가 온, 오프하는 상태에서의 평균 EER와 정상상태에서의 EER의 비는  $C_b$ 를 사용하여 다음 식으로 얻을 수 있다.

$$\frac{\text{平均의 EER}}{\text{定常狀態의 EER}} = 1 - C_b(1 - X) \quad (6)$$

## (2) 計算例

회전수 제어에 의한 에너지節約效果를 명백히 하기 위해 레시프로形 압축기를 사용하여 온, 오프제어를 하는 경우와 비교하기로 한다. 온, 오프 제어의 회전수는 상용 주파수 60Hz에서는

3,600rpm이 되는데 슬립을 고려하여 3,470rpm으로 한다.

다음에 APF의 계산에 필요한 냉방부하는 動的 부하계산법을 사용한 슈미레이터에 의하여 계산되었다. 계산대상으로한 방은 床面積 60m<sup>2</sup>의 일반 사무실이며 또한 氣象 데이터는 남부지역의 데이터를 사용하였다.

그림 14에 室外溫度의 出現시간비율과 냉난방 부하를 들었다. 出現時間比率이 가장 높은 室外溫度는 냉방에서는 25℃, 난방에서는 9℃이다. 냉방의 경우의 室外溫度와 능력, EER 및 부하의 관계를 그림 15에 들었다. 능력과 부하와는 실외온도 35℃에서 일치된다. 온, 오프 제어의 경우를 점선으로 표시하고 回轉數 제어의 경우를 실선으로 표시했다. 周波數제어를 할 경우에는 冷房能力은 굵은 실선과 같이 변화한다. 즉 실외온도가 27℃에서 35℃ 사이에서는 負荷에 따라 回轉數가 제어되며 27℃보다 낮으면 압축기 회전수가 일정(1,580rpm)하게 온, 오프된다. EER도 실외온도에 대하여 굵은 실선과 같이 변화한다. 실외온도가 27℃ 이상에서는 압축기가 연속운전되어 정상상태의 EER가 되는데 27℃보다 낮으면 압축기가 온, 오프되기 때문에 回轉數가 1,580rpm보다 낮은 값이 된다.

회전수 제어의 空調機의 EER는 온, 오프제어의 경우와 비교하면 실외온도가 낮은 영역에서 대폭적으로 향상할 수가 있다.

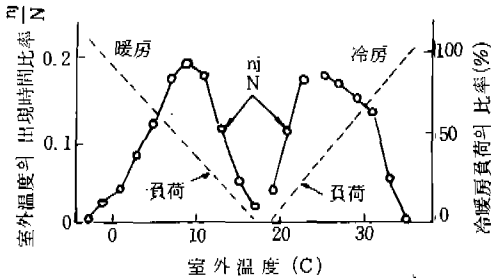
그림 16은 회전수 제어의 경우와 온, 오프 제어인 경우의 空調機의 소비전력을 비교한 것이다. 회전수 제어를 할 경우의 에너지節約效果는 냉방기간에는 실외온도의 出現時間比率이 높은 25℃부터 31℃의 영역에서 현저하며 난방기간 전체에서는 약 23%가 된다. 이상에서 年間을 통한 인버터塔載 패키지形 공조의 에너지節約效果는 온, 오프 제어에 비하여 이 계산예에서는 약 26%, APF는 약 35% 향상된다.

## 다. 기타의 效果

인버터라는 엘렉트로닉스技術의 채용은 快適

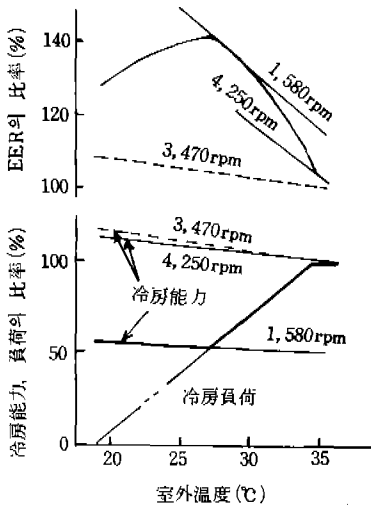
注1. 氣象데이터: 期間 冷房6, 9月, 暖房11~3月  
時刻 8~21時

2. 방 : 床面積60m<sup>2</sup>



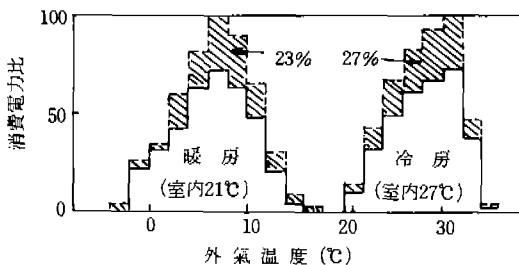
〈그림 14〉 室外温度의 出現時間比率과 負荷

註: — 回轉數制御  
--- 온, 오프制御



〈그림 15〉 室外温度와 能力 EER 의 관계 (冷房)

註: — 回轉數制御  
--- 온, 오프制御



〈그림 16〉 에너지節約效果

성이나 에너지 절약 이외에도 많은 특징이 있는 효과를 초래했다. 표 1에 이들 효과를 들었다.

〈표 1〉 기타의 효과

효과	내용
능력 일정	상용전원을 직류로 변환한 후 교류를 만들기 때문에 주파수와의 관계가 없다
力率의 향상	平滑콘덴서에의 電流波형을 개선하기 위해 直流리액터를 사용
電源속小	V/f=일정제어이기 때문에 始動電流가 작다 (直入시의 시동전류는 定格의 5~10배가 된다)
機械의속小	周波數制御이기 때문에 온, 오프의 빈도가 적다.
暖房能力의 향상	난방시에는 外氣温이 낮은 것을 이용하여 파워트랜지스터의 電流사용률을 올린다.
信賴性的의 향상	여러가지센서를 사용하여 보호제어를 하기 때문에 안전하고 高信賴度運轉

## 5. 맺는 말

히트펌프式 空調機는 1대로 냉난방을 할 수 있고 크린하고 안전한 난방으로 착실하게 신장해 왔다. 여기서 다시 인버터라는 좋은 반려자를 얻게 되어 더욱 파워업이 되었고 따라서 응용범위도 더욱 확대되어 나갈 것으로 예상되고 있다.

인버터 그 자체는 산업용으로 종래로부터 있었는데 5kVA급의 가격도 1000의 空調機보다 훨씬 높았던 것이 수년 전의 일이다. 그러나 마이컴 등으로 대표되는 IC기술의 발달, 파워 트랜지스터의 개발 등 전자기술이 급속히 발달하여 코스트面에서도 적용이 가능해졌다.

이 전자기술은 空調機와 같이 냉방뿐이라든지 난방뿐이라는 비교적 단순한 이더의 제품에 새로운 機能이나 가치를 부가하여 새로운 전개에의 가능성을 보여 주었다. 지금이 이상으로 冷凍空調의 분야에서도 응용이 확대 것이 명백하다.

\*