

패키지 에어컨디셔너의 에너지 절약기술

요즘은 업무용에 사용되는 패키지 에어컨디셔너에 대해서도 지구환경문제인 오존층보호와 에너지 절약의 대응이 절박한 상태로서, 여러 가지 제안이 이루어지고 있다. 여기서는 각종규제가 패키지 에어컨디셔너 업계에 미치는 영향에 대한 소개와 열교환기, 압축기 등의 패키지 에어컨디셔너 구성기기의 효율향상에 의한 에너지 절약기술에 대해서 기술하였다.

* 키워드 : 에너지절약(Energy Conservation), 패키지 에어컨디셔너(Package Air-Conditioner)



홍 희 기

서론

지구 온난화 방지 대응의 에너지절약법 개정

1997년 10월에 개최된 지구 온난화방지 교토회의의 의논을 배경으로, 이산화탄소의 약 9할의 발생원인인 에너지소비의 억제가 요청되고, 그 대응책으로 “에너지 사용의 합리화에 관한 법률(이하, “에너지절약법”으로 칭한다)”이 개정되었다. 그 요지는 현재 상품화되어 있는 것 중에서, 가장 에너지 소비효율이 우수한 기기를 상회하는 효율을 목표로 하는 Top runner방식이 도입된 것이다. 이 결과 에너지 절약법에 근거하는 기준치는, 종전보다 훨씬 높은 효율향상의 목표로 설정된 상태로 1999년 4월에 제정되었다.

패키지 에어컨디셔너의 에너지소비효율의 지표로서, 능력(냉방능력 또는 난방능력)을 소비전력(냉방전력 또는 난방전력)으로 나눈 COP(Coefficient of Performance)를 사용하고 있다. <표 1>에 냉난방겸용의 것의 냉방평균 COP의 목표기준을 보인다.

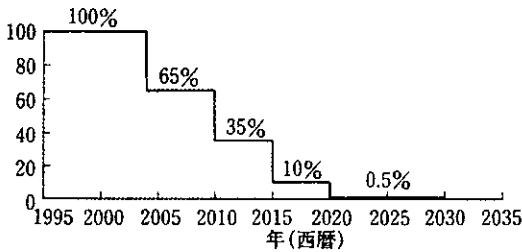
본 목표기준치의 달성에 의하면, 1997년동년도의 실측치와 비교하여, 냉난방겸용의 것에서 약 50%, 냉방전용의 것에서 약 14%의 큰 에너지소비효율이 개선된 것으로 평가되고 있다. 이번 에너지절약법의 개정점은 냉방능력범위가 28kW까지 확대된 것, 공조기의 형태에 따라 달성가능한 목표기준을 분할한 것이 있다.

더욱이, 목표년도는 용량 4kW 이하의 벽걸이형의 제품에 대해서는 2003년 10월부터 2004년동년도이고, 그 이외에는 2006년 10월부터 2007년동년도이다.

〈표 1〉 에어컨디셔너의 COP 기준치 예

공조기의 형태		용량(정격냉방능력)[kW]				
		~2.5	~3.2	~4.0	~7.1	~28
직접 분출	창운형·벽형	2.85				
	벽걸이형	5.27	4.9	3.65	3.17	3.1
	가타	3.96	3.96	3.2	3.12	3.06
덕트접속형		3.02				
멀티타입		4.12		3.23 3.07		

주) 1) 냉난방겸용형
2) COP는 냉난방의 평균치를 기본으로 한 출하대수 가중평균

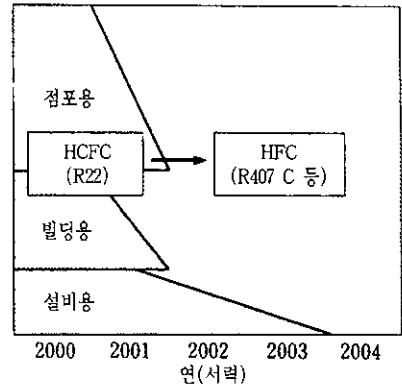


〈그림 1〉 HCFC 냉매 규제(몬트리올)의 정서 제약국 회의 HCFO 삭감 스케줄

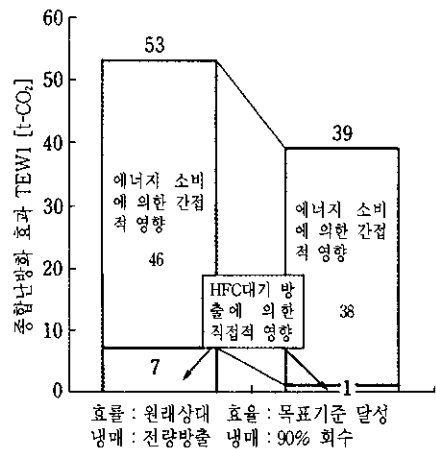
오존층보호에 대응하는 탈HCFC 냉매화의 촉진
공조기에서 널리 사용되어온 HCFC계 냉매가 오존층을 파괴한다는 사실로부터, 몬트리올체약국회의에서 규제의 대상이 되어, 대체냉매화의 추진이 불가피해졌다. 〈그림 1〉은 몬트리올체약국회의의 HCFC 삭감스케줄을 보인다. 본 규제에 따르면, 2003년에 삭감이 시작되고, 2020년에는 보충용을 제외하고 실제적인 HCFC의 전폐가 예정되어 있다.

그러나 〈그림 2〉에 표시한 것과 같이 패키지 업계로서는 HCFC계 냉매인 R22를 많이 사용하는 분야이므로, 2004년부터의 35% 삭감규제에 앞서고, 개략적인 범주를 설정하여, 2003년말까지 R22를 전폐하여 대부분의 기종에 신냉매화한다는 대응을 세웠다. 이것에는 위의 에너지 절약법 목표기준치를 목표년도까지 달성하는 준비도 포함되어 있다. 또한 사용냉매로서는 HFC계에서 주로 냉매 R407C를 채용한다.

한편, HFC계 냉매는 지구온난화가스로 지적되고 있으며, 온난화 방지의 관점으로부터 검토가



〈그림 2〉 패키지 에어컨디셔너의 HFC계 냉매화 전환촉진



〈그림 3〉 패키지 에어컨디셔너 14kW급의 난방화 효과 (14kW급을 13년간 사용)

필요하다. 이산화탄소 발생원의 대부분은 에너지의 소비에 의한 것이며, 지구온난화종합영향도 (TWEI : Total Equivalent Warming Impact)에 의해 평가하면 공조기의 온난화 영향은 냉매의 대기방출에 의한 “직접적 온난화 영향”과 기기 사용시의 에너지 소비로부터 발생하는 이산화탄소(CO₂)배출에 의한 “간접적 온난화 영향”으로 대별된다. 14kW급의 패키지 에어컨디셔너를 대표예로서 〈그림 3〉에 평가결과를 표시한다. 직접적 온난화 효과면에서는, HFC냉매의 회수추진 등에 의한 배출억제가 필요하고, 간접적 온난화

〈표 2〉 패키지 에어컨디셔너의 기종수

공조기의 형태	용량(정격냉방능력)[kW]			합계
	~4.0	~7.1	~28	
직접 분출				
창운형·벽형	2	0	0	2
벽걸이형	137	278	166	581
기타	172	849	1 383	2 404
덕트접속형	37	110	259	406
멀티타입	0	89	187	276
합 계	348	1 326	1 995	3 669

효과면에서는 에너지소비의 삭감이 필요하다. 더구나, 직접적 영향보다 간접적 영향의 정도가 상당히 크며, 에너지의 소비효율 향상의 중요성을 이해할 수 있다. 따라서, HFC계 냉매로의 교체와 에너지절약법의 대응은 표리일체를 이루는 것이다. 또한 패키지형 에어컨디셔너의 기종수는 〈표 2〉에 보이는 바와 같이, 약 3,600 기종을 넘을 정도로 방대하며, 냉매 교체의 2003냉동년도 완료와 에너지 절약법 대응의 2007냉동년도에는 일단 유예가 있는 듯 보이나, 실질적으로는 이들의 기종수에 대하여 양 목표를 달성하는 촉박한 상황에 있다.

이상과 같이, 패키지형 에어컨디셔너에서의 지구온난화 대응은 에너지 절약화와 HFC계 냉매인 R407C로의 전환을 급속도로 실현하는 것이 가장 중요한 과제이다.

패키지 에어컨디셔너의 에너지 절약화 동향

에너지 절약기술은, 기본적으로는 유닛을 구성하는 열교환기, 송풍기, 압축기의 각 구성기기의 기술개발이며, 지금까지 재료의 대체, 형태의 개량, 구동방식의 변경 등 각종개량을 해왔다. 그러나, 이러한 기술은 룸 에어컨디셔너에서는 고 COP화에 맞추어졌으나, 패키지 에어컨디셔너에서는 쾌적성 향상을 위한 저소음화, 설치성, 공사성을 추구하는 컴팩트화에 중점적으로 적용되어 왔다. 그러나, 에너지절약법의 개정으로부터 전력절약화의 분위기가 높아져, 다양하게 제안되고

있다. 이번 보고에서는, 패키지 에어컨디셔너의 대표적 구성기기의 에너지절약화기술에 관하여 언급한다.

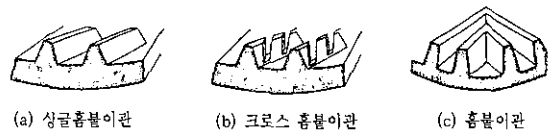
구성기기의 성능향상

(1) 열교환기

a. 냉매측의 전열성능

냉매측 전열성능 향상을 위하여, 전열관 내면의 형상에 연구를 한 몇 가지의 전열관에 대하여 검토하였다.

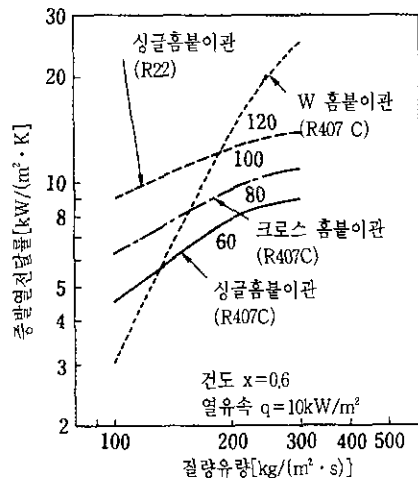
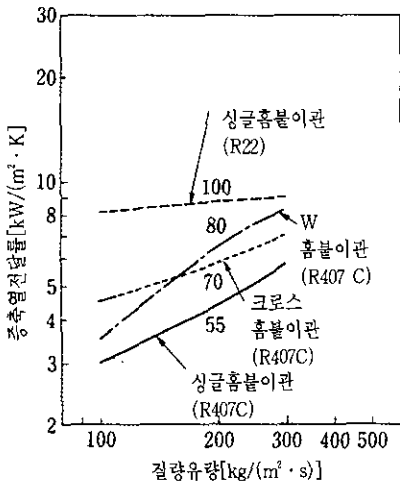
〈그림 4〉에 전열관의 형상을 보이고, 〈그림 5〉에 전열특성을 나타낸다. 그림-5의 가로축은 전열관내 단면적당의 냉매질량유량을 가리키며, 대상인 냉동사이클의 정격운전 상태에서 질량유량은 200~220 kg/(m²·s)에 상당한다. 현상의 싱글홈붙이관의 경우, R407C에서는 응축열전달률은 55%, 증발열전달률은 60%로 저하하나, 크로스홈붙이관을 사용하는 경우, 응축열전달률은 70%, 증발열전달률은 80% 정도까지 회복한다. W홈붙이관에서는 응축열전달률은 80%, 증발열전달률은 약 100%까지 회복한다. 이러한 복잡한 형상에 의한 전열특성 향상의 이유는, 혼합된 냉매의 농도분포가 해소되기 때문이라고 생각할 수 있다.



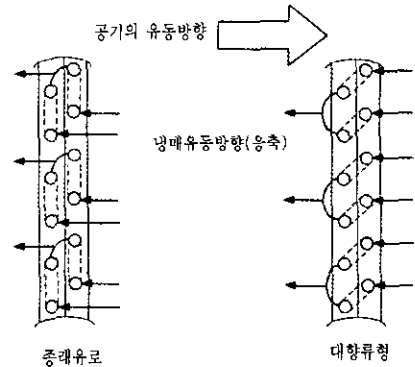
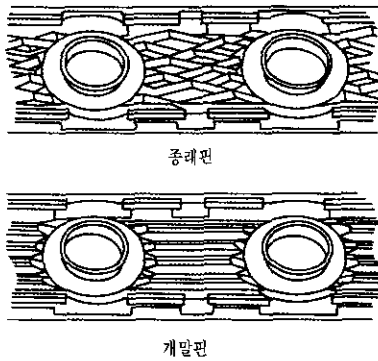
〈그림 4〉 전열관의 형상

b. 공기측의 전열성능향상책

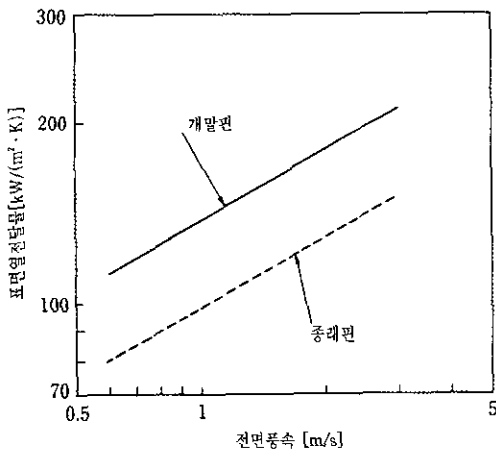
공기측 전열성능 향상을 위해, 실내측 열교환기의 핀 형상을 연구하였다. 〈그림 6〉은 당사의 종래 핀과 개발 핀의 핀 형상과 표면 열전달률을 표시한다. 개발 핀에서는 핀에 시도한 슬릿형상과 배치의 적정화에 의해, 종래 핀에 비하여 표면열전달률이 약 40% 향상한다.



〈그림 5〉 전열관의 전열특성



〈그림 7〉 열교환기의 냉매유로(실내열교환기)



〈그림 6〉 핀의 열전달률

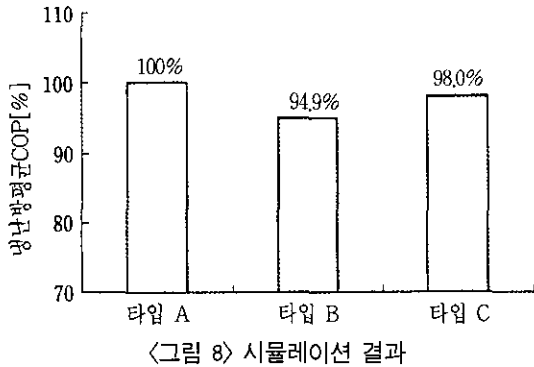
또한 열교환기를 응축기로 사용할 때에는, 〈그림 7〉에 보이는 바와 같이 냉매의 흐름과 공기의 흐름을 유사하게 대향류화한 것으로 COP향상에 효과가 있다. 이는 대향류로 함으로써, 열교환의 온도효율이 향상하고, 낮은 응축압력에서 필요한 열교환량을 얻을 수 있으며, 압축기 입력을 저감할 수 있기 때문이다.

c. 전열성능 향상의 효과

위에 보인 열교환기 성능향상의 효과를 시뮬레이션 계산으로 검토하였다. 계산에 사용한 패

〈표 3〉 패키지 에어컨디셔너의 제원

타입	A	B	C	
냉매	R 22	R 407 C	R 407 C	
실외기	냉방정격능력	14kW	14kW	14kW
	열교환기 크기	400×883×43.3	1400×883×43.3	1400×883×43.3
	전열관	흠불이관	흠불이관	흠불이관
	냉매유동	종래	종래	응축대항류
실내기	냉방정격능력	7.1kW×2대	7.1kW×2대	7.1kW×2대
	열교환기 크기	200×1775×34.6	200×1775×34.6	200×1775×34.6
	전열관	흠불이관	흠불이관	크로스흠
	핀	종래	종래	개발
냉매유동	종래	종래	응축대항류	



키지 에어컨디셔너의 제원을 〈표 3〉에 표시하고 결과를 〈그림 7〉에 보인다.

〈그림 8〉의 결과는, 냉난방평균 COP이며, 타입A(R22)의 COP를 100%로서 나타내었다. 냉매만을 단순히 R407C로 변경한 타입B는 COP가 6.8% 저하, 열교환기에 대해 연구를 시도한 타입C는 98%까지 회복한다.

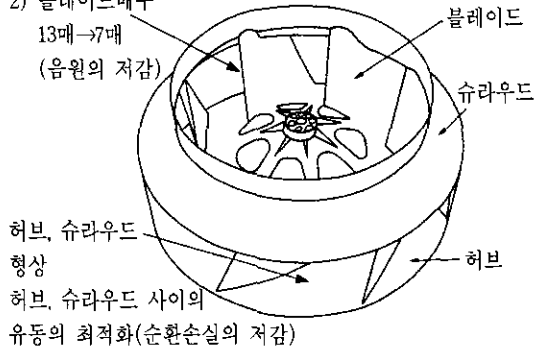
이와 같이, R407C에 의한 COP 저하는 열교환기의 개량에 의해서 개선된다. 압축기의 효율향상이나 냉동사이클 구성의 연구에 의해 COP는 더욱 향상될 수 있다고 생각한다.

(2) 송풍기 성능

실내유닛에 사용되는 송풍기의 대표적인 것은, 천장매입 카세트형에서 원심팬이며 수직성형이

1) 블레이드 형상
2차원 평판→3차원 날개형
(충돌손실, 박리억제, 마찰손실의 저감)

2) 블레이드매수
13매→7매
(음원의 저감)



〈그림 9〉 원심팬의 교호올화 기술

다. 종래, 이 팬의 날개는 성형기술이나 설계기술의 제약으로 2차원 형상이었다. 그러나, 최근에는 구상단계에서의 검토에서 3차원 CAE 해석기술, 설계도구로서의 3차원화 CAE, 성능평가용 시제품제작에 대한 광조형기술 등의 3차원 데이터 활용, 양산용 형제작의 3차원CAM 등이 비약적으로 향상하였다. 이로써 요소로부터 양산까지의 3차원 데이터 활용 환경이 정비되어, 복잡하고 또한 표현이 곤란하던 자유곡면으로 구성하는 3차원의 날개형상을 최적화하고 구현할 수 있는 실용화가 진행되고 있다.

그래서, 본 원심팬에 대해서도 본 기술을 살려, 고성능화에 기여하는 인자를 단시간에 제품에 전개하도록 하였다.

구체적으로는 〈그림 9〉에 보이는 바와 같이, 날개형상을 자유곡면으로 구성하는 3차원 날개형상을 도모하고 있다.

우선, 날개 입구부에서의 유입공기의 충돌손실, 날개로부터의 박리억제, 마찰손실억제 등에 최적인 형상제안이 있다.

또한, 팬 내의 유로손실을 저감하고, 효율향상

을 하는 허브와 슈라우드 사이의 면적변화의 최적화를 추구하고 있다.

더욱이 출구부에서는 유출부에서의 확대손실 저감을 위해, 출구각도의 최적화를 도모하고 있다. 이러한 개선에 의해 당사의 종래 원심팬의 효율이 45%에서 60%로 효율 향상이 가능하게 되었다.

또한, 실외송풍기에 대해서도 동일한 수법으로 날개형상의 개선이 이루어져, 공기유입구에 대해서는 박리현상방지의 제안이 시도되었다.

유닛 내의 공기흐름을 원활하게 하기 위하여, 기내 구성부품의 배치, 외곽 등을 기류해석 CAE 분석을 행하고 있다. 이것과 병행하게, 유닛 내에서의 정압제어인자의 감도와 이적효과를 로버스트(robust)설계수법에 의해 적정화함으로써, 기내 저항을 극력 억제하는 설계를 행하였다.

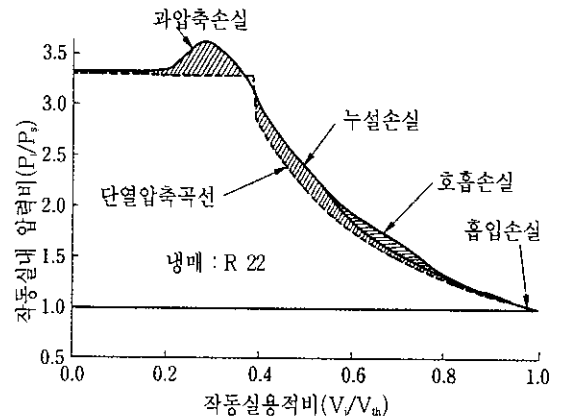
단, 현재의 상황까지 이 목적은 유닛의 정음화 기술 개발에 이용되어 왔지만, 금후는 에너지절약을 주제로 하고 정음화를 반영한 기술로 방향을 잡을 것이라고 생각된다.

(3) 압축기 및 압축기 회전수 제어

압축기는 패키지 에어컨디셔너의 원심부에 있으며, 특히 압축기구부는 고정도의 가공기술이 요구되는 중심부분이다. 기구로서의 대표는, 옛날부터 쓰이고 있는 왕복동식 압축기로부터, 소용량 기종으로는 로터리식, 중용량 기종으로 스크롤식, 대용량기종으로는 스크류식으로 고효율의 성능을 얻기 위하여 어느 것이나 회전식화되어 있으며, 고정도의 가공기술에 의해 성립하는 것이다.

패키지 에어컨디셔너의 주류로 자리잡은 스크롤 압축기의 효율향상에 대해서는, 더욱 효율을 향상시키기 위하여 압축기 기구부의 손실저감과 기구부를 구동하는 모터의 효율향상으로 대별하여 기술개발이 이루어졌다.

압축기 기구부에 대해서는, <그림 10>에 스크롤 압축기의 지압선도를 보인다. 압축과정에서의 이상적인 단열압축에 대하여 부풀어오른 부분이

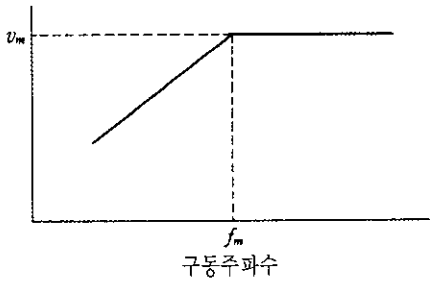


<그림 10> 스크롤 압축기의 지압선도

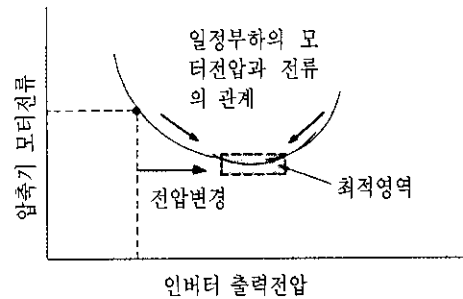
손실이나, 이것을 각 요소별 손실로 분류하고 있다. 이것에는 과압축손실, 누설손실, 호흡손실, 흡입손실로 나누어진다.

이 손실을 저감하는 것이 효율향상으로 직결되며, 기술개발한 예로서 호흡손실을 저감한 기구개량, 누설손실을 저감하는 스크롤 치형의 개량을 들 수 있다. 또한 그 외에도, 기계손실을 저감하는 가공 정도의 향상과 베어링 구조의 개량도 하고 있다. 이러한 기술적응에 의하여 종래보다 10% 이상의 성능향상을 도모하였다.

또한 모터와 관련해서는, 패키지 에어컨디셔너 시장에서도 전력사용량의 경감이 중시되어, 압축기 회전수를 제어하고, 에너지절약을 도모하는 인버터기가 주류가 되고 있다. 인버터 압축기를 구동하는 인버터는 PWM(Pulse Width Modulation) 제어방식으로 압축기 모터의 구동주파수를 제어하고 있다. <그림 11>은 인버터 구동주파수와 인버터 출력전압의 관계를 보인 것이 있다. 구동주파수가 높을 때는 주파수가 변화해도 인버터 출력전압은 일정하지만, 주파수가 낮을 때는 주파수에 비례하여 인버터 출력전압은 변화한다. 인버터 출력전압과 압축기 모터 전류의 관계는 <그림 12>에 보이는 바와 같이 부하가 일정한 경우, 전류값이 최소로 되는 극값을 갖는다. 이 극값은 압축기의 구동주파수와 부하에 의



<그림 11> 인버터 주파수와 출력전압



<그림 12> 전류최소화 제어

하여 변화한다. 이번에 개발한 전류 최소화 제어는 이 전류가 최소로 되는 극값을 출력전압을 변화시키면서 탐색하고, 가장 효율이 좋은 출력전압의 압축기모터를 제어하는 것이다.

더욱이, 종래에는 회전수의 저하에 따라 효율이 저하하는 3상교류모터를 사용하였다. 그러나 구동방식을 개선한 DC브러시리스모터(brushless motor)를 이용함으로써 저회전수에서의 효율 향상을 추구함과 더불어, 정격점에서도 고효율화를 도모하고 있다. 또한 패키지형 에어컨디셔너 이용이라는 비교적 출력이 큰 모터에 알맞고, 더욱 효율을 향상시킬 수 있는 네오지움을 사용한 로터도 개발되었다.

결론

여기서는, 냉매 R407C을 사용한 패키지 에어컨디셔너를 전제로 하여, 각 구성부품의 에너지 절약기술을 중심으로 소개하였다. 현재, 에너지 절약법의 목표기준은 정격점에서의 평가가 되고 있지만, 한층더 에너지절약화를 도모하기 위해서 보다 실태에 가까운, 연간을 통한 에너지 절약평

가지표의 도입도 필요하고, 규격정비와 범규의 도입이 요망된다.

에너지절약화는 앞으로 더욱 추진될 것으로 생각되며, 각 요소기기의 효율향상과 이들을 조합시켰을 때 최적의 제어기술개발을 계속해서 추진해 간다.

<참 고 문 헌>

1. 遠藤はか：平成 7年度日本冷凍協會學術講演會講演論文集(1995), pp. 13~16
2. 内田はか：平成 8年度日本冷凍協會學術講演會講演論文集(1995), pp. 97~100
3. 内田藤はか：平成 10年度日本冷凍協會學術講演會講演論文集(1995), pp. 81~84
4. 松〇はか：平成 7年度日本冷凍協會學術講演會講演論文集(1995), pp. 1~4
5. 野中はか：日本機械學會 論文集(B編), 65-629(1999-1), pp. 307~314
6. 南方はか：第25回 空氣調和・冷凍聯合講演會講演論文集(1991), pp. 113~116
7. 小國はか：日立評論, 67-7(1985-7), pp. 73~78
8. 加藤はか：日立評論, 77-3(1995-3), pp. 43~46