

패키지 에어컨의 용량제어



윤 정 인

· 출처 : Refrigeration, Sep., 1999
 · M. Higashimura, Daikin Industries, Ltd.
 (Japan Society of Refrigeration and Air Conditioning Engineers)

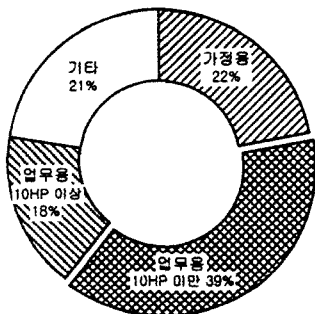
패키지 에어컨의 용량제어 패키지 에어컨의 용량제어기술은 대형(10마력 이상) 빌딩용 멀티시스템으로 꽃을 피우고 있다. 이는 10~25마력 1대의 실외 유닛에 2~20대의 실내 유닛을 접속하여, 그 각각을 개별 용량제어함으로써 열부하 처리에 필요한 냉난방 능력에 맞는 냉매량 만큼을 공급·순환시키는 것이다. 에너지 효율이 뛰어나고, 열부하 변화에 대해서도 용량제어특성이 좋은 이러한 시스템을 VRV(variable refrigerant volume system)라 하며, 1982년 일본에서 개발되어 큰 반응을 불러 일으켰다. 이후, 개발의 배경을 이루는 사회 정세나 법규제의 변화에 대응하여, 수열원, 빙축열 시스템 등 새로운 용도에 적용하여 현재에 이르렀다.

한편, 중소형(10마력 미만)의 용량제어는 한랭지방의 고난방기 등에 한정 사용되어 왔기 때문에 보급기기에 적용하는 비율이 작아 결과적으로 에너지 절약이나 쾌적성에 대한 대응이 늦어 왔다.

<그림 1>에 나타낸 것과 같이 일본 국내에서의 에어컨 용도별 전력 사용량을 볼 때 세대 보급율이 75%를 초과한 가정용 에어컨의 전력 사용량이 대략 20%, 또한, 업무용 10마력 미만도 약 40% 정도를 차지하고 있다. 이 때문에 특히 중소형 패키지 에어컨의 에너지 절약이 중요시 되어왔다.

최근, 룸 에어컨의 에너지 절약은 매입 자석 구조인 PM모터(interior permanent magnet synchronous motor : IPM 모터)로 대표되고, 보다 강력한 자석의 생산 기술과 영구 자석을 사용한 고도의 인버터 제어기술이 크게 공헌하고 있다. 한편 패키지 에어컨은 말단 유도 모터가 주류로서, 이 용량 범위에서 에너지 절약화 기술 개발이 강하게 요구되고 있다. 또, 공조환경에 대한 쾌적성의 요구가 높아지고 있어 너무 차갑다는 것은 곧 불쾌하다는 인식이 일반화 되어 있다.

여기서 소개하는 패키지 에어컨은 업계에 선구적으로 IPM 모터 기술을 적용하여 대폭적인 에너지 절약을 도모함과 더불어 쾌적성 면에서



<그림 1> 에어컨의 용도별 전력사용량

신기술 소개

도 종래의 공조기를 크게 능가하는 성능을 얻은 제품의 그 기술 내용을 소개하고자 한다.

◆ 시스템 개요

5마력 상당의 패키지 에어컨으로 실외기는 천장매입형 카세트형 멀티타입을 기본사양으로 하고 있다. 이 상품의 특징은 표준적 사용 방법일 경우, 연간 총소비 전력량은 표준기(사용전원을 그대로 압축기에 공급하여 구동하는 타입)와 비교하여 약 60% 절감시킬 수 있다. 또, 공조기로는 처음으로 다변수 제어기를 탑재함으로써 공조부하 변동시의 실온안정성을 대폭 높이고, 쾌적성을 향상시킨 점도 들 수 있다. 기본사양을 <표 1>에 나타내었다.

◆ 기기 특성과 에너지 절약

1년간 공조기기가 어느정도의 전력을 소비하는가를 예측하기란 매우 어렵다. 특히 패키지 에어컨의 경우 그 용도에 따라 사용 환경이 다양하고 기기의 기본성능 이외에 외적요인에 의한 전력소비가 크게 변하기 때문이다. 그러나 에너지 절약성을 검토할 때에는 외적요인의 차이는 배제한 모델 케이스를 선정하여 시뮬레이션 하는 것이 일반적이다. 일본에서는 JIS에 제시된 룸에어콘에 대한 연간 소비전력의 설계수법이 대표적이다. 모델 케이스 이외의 시뮬레이션은 매우 어렵지만 계산수법의 확립과 동시에 개략의 설계법으로라도 모든 면에서 에너지 절

약화를 검토하여 실행하는 것이 중요하다. 공조기에 있어서 그 소비전력의 증감에 영향을 미치는 주요 인자는 다음과 같다.

- 기기 특성 : 능력변화시의 COP 변화, 온도 조건 변화에 대한 COP 변화 등
- 유닛 사용방법 : 설정온도, on/off 등
- 건축물 설계사양 : 실내 단열성능, 외기 침입 등
- 기기 선정과 설치 방법 : 공조부하 계산과 능력 선정, 실내 형상과 기기의 배치 등
- 공조부하 : 사람의 출입, 기기의 흡열과 배열, 환기량 등

냉방의 예로 외기온도가 낮아지면 반비례하여 기기의 능력은 향상되고, 소비전력이 저하되어 COP가 향상되지만, 실제로는 공조부하에 대하여 능력이 과대하게 되고 on/off 운행이 빈번하게 조작되어 진다. 이 때 on/off 손실이 발생하기 때문에 연속운전시의 COP와 비교하여 크게 낮아진다. 이것을 피하기 위해서는 공조기의 능력을 저하시킬 필요가 있지만, 이 때의 수단으로서 인버터를 사용한 용량제어는 매우 유효하다.

기기의 특성에 있어서 인버터기의 에너지 절약을 도모하기 위해 영향이 있는 인자들은 다음과 같은 점이 있다.

- 효율 : 특히 최소능력 운전이나 경부하 운전시
- 용량제어 : 능력의 하한을 0에 근접시킨다.
- 기기의 on/off에 의한 손실의 저감
- 제상을 고려하여 난방운전의 성능향상

◆ 에너지 절약 기술의 개요

소비전력량을 최소한으로 하기 위해 압축기, 인버터, 열교환기, 송풍기, 제어 시스템 등을 대폭 개선하였다. 특히 용량제어에 관련된 각 요소기술에 대해 설명하고자 한다.

<표 1> 실외기 기본 사양

| | |
|--------|------------------|
| 전 원 | 3상 200V 50/60 Hz |
| 외형[mm] | H1345×W80×D320 |

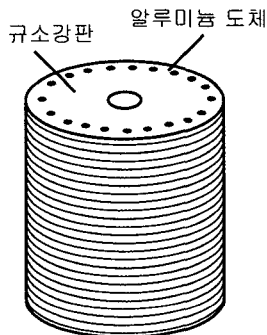
| | 냉방 | 난방 |
|----------|----------|----------|
| 능력제어[kW] | 7.1~14.0 | 6.0~18.0 |
| 정격능력[kW] | 12.5 | 14.0 |
| 소비전력[kW] | 4.23 | 4.61 |
| COP | 2.96 | 3.04 |

압축기(IPM 모터)

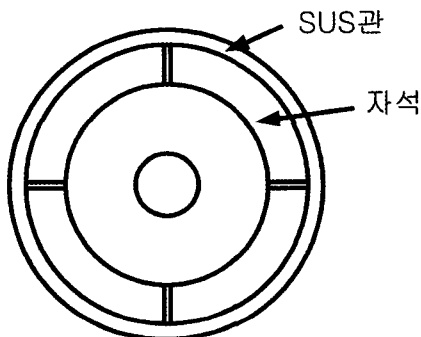
압축기는 공조기의 소비전력을 결정하는 중요한 요소이기 때문에 IPM 모터를 비롯하여 다양한 신기술을 적극 적용하여 효율을 향상시켰다.

적용된 IMP모터는 회전자로 자석을 사용하였다는 점 등 종래의 것과는 크게 다르다. 종래의 인버터 압축기에 적용하고 있는 유도 모터의 구조를 <그림 2>에 나타내었다. 이 경우 회전자가 발생하는 자계에 의해 회전자내의 알루미늄 도체에 유도전류가 발생하고, 이 전류에 의해 회전력이 얻어진다. 그러나 알루미늄 도체부에 에너지 손실이 발생한다.

본 모델에서는 알루미늄 도체를 사용하지 않고 내부에 영구자석을 사용하여 자석의 토크를 이용하는 것으로 에너지의 손실을 막을 수 있



<그림 2> 유도 모터 회전자



<그림 3> SPM 모터 회전자의 단면구조

<표 2> 특징의 비교

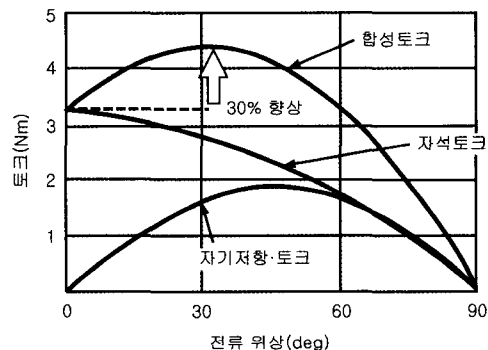
| 모터의 회전자 종류 | SPM | IPM |
|--------------|-----|-----|
| 알루미늄 도체부의 손실 | 무 | 무 |
| SUS부에서의 손실 | 유 | 무 |
| 자기저항·토크 | 무 | 유 |

다. 또, 일반적인 표면자석구조 PM 모터(:SPM 모터)의 회전자 단면구조를 <그림 3>에 나타내었으며 특징은 <표 2>에 나타내었다.

특히 자석에 관해서는 페라이트(ferrite) 자석보다 자기 에너지가 큰 네오디뮴(neodymium)계 자석을 적용하여 에너지 절약화를 도모하였다. 표 2의 자기저항(reluctance)·토크는 회전자와 고정자 사이의 구부러진 자력선이 최단의 경로를 이루기 위해 직선으로 돌아오려는 성질을 이용하는 회전토크이다.

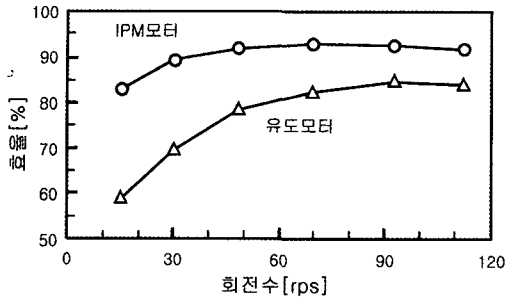
회전자에는 자석의 토크와 자기저항 토크 양측이 작용하게 되지만 전류위상에 의해 그 특성이 달라진다. <그림 4>의 토크 특성에 나타난 것과 같이 자석 토크만으로 사용하는 경우와 비교하여 전류위상을 30deg 정도 나아간 제어를 이용하는 것으로 합성된 전 토크를 최대 30% 이상 크게 할 수 있다.

모터 효율은 종래의 모터와 비교하여 크게 향상되었다. <그림 5>에 나타난 것과 같이 30rps 이상(사용범위 전역)에서 90% 이상의 효율을 보였다. 또한 종래의 유도 모터와 비교하여 고



<그림 4> 합성 토크 특성

신기술 소개



〈그림 5〉 모터 효율 비교

속성 10%, 저속성 20% 이상의 효율 향상을 달성하였다.

인버터(정현파 PWM 인버터)

일반적으로 PM모터의 구동에는 위상 120도 전압형 인버터에 의한 단형파동이 많이 사용된다. 그러나 〈그림 4〉에 보듯이 IPM 모터에서는 자석 토크가 피크로 되는 위상이 0도 정도인데 비해, 자기저항 토크는 피크가 되는 위상이 45도이기 때문에 이 둘을 최대한 활용함으로써 넓은 통전폭을 얻을 수 있다.

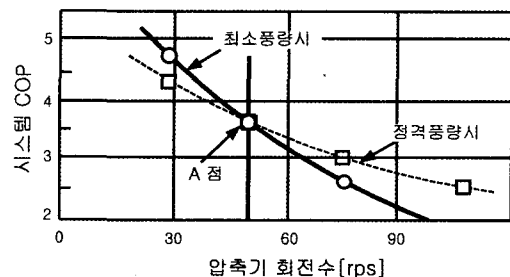
PM모터 구동시 회전자의 위치를 검출하지 않으면 안되며, 특히 정현파 구동을 하기 위해서는 정교한 위치 검출이 필요하다. 압축기용 모터에서는 신뢰성이나 비용 측면에서 정교한 회전위치 센서를 이용할 수 없다. 일반적으로 위치 검출 방법으로 회전자 영구자석의 역기전압 등을 이용한다. 전기각 360도에 6펄스의 저정도 위치검출신호가 이용된다. 이 상품에서는 저정도 센서의 신호를 기초로 정현파 PWM신호를 마이콤 내부에서 연산하는 방식을 이용하여 180도의 정현파 전압형 인버터를 실용화하였다.

제어 시스템

기존의 경우 시스템의 소비전력 중 95% 이상이 압축기에서 소모한다. 그러나, 인버터기의

경우는 최저 회전수로 운전하는 경우에 압축기의 소비전력은 시스템 전체의 50%이하로 낮아진다. 따라서 저속운행시에는 송풍기의 소비전력을 절감하는 것이 에너지 절약과 직결된다. 또 압축기가 저회전수로 운전하는 경우는 상대적으로 열교환기가 그 만큼 크지게 되어 풍량을 줄여도 능력은 미소량 밖에 저하하지 않기 때문에 풍량을 줄여 COP를 향상시킬 수 있다.

COP특성을 〈그림 6〉에 나타내었다. A점보다 고속 영역에서는 종래와 동일한 정격풍량에서의 운전이 COP가 높지만 저속 영역에서는 풍량을 줄이는 것이 COP가 높다는 것을 알 수 있다. 실제로는 압축기 회전수와 증발온도를 이용하여 최적 실외기 풍량을 결정하는 제어 시스템을 적용하고 있다. 저회전수에서 운전하는 시간은 고속에서 운전하는 시간보다 훨씬 길기 때문에 대폭적인 에너지 절약이 기대된다.



〈그림 6〉 COP 특성

◆ 쾌적성 제어기술의 개요

쾌적성에 대한 사용자 요구의 하나인 실온안정성 향상에 대하여 소개하고자 한다. 예를 들어 급격한 공조 부하의 변동이 발생하는 경우, 냉매의 상태와 시스템은 정상상태에서 준정상상태로 변한다. 이와 같은 변화의 추이는 1일의 운전 패턴에서 매우 많이 나타난다.

New

신기술 소개

이것을 제어하기 위해 종래부터 PID제어나 PID제어가 주로 적용되어 왔지만 성능에 한계가 있었다. 이것은 사용자가 설정한 목표 온도에 대하여 실온 컨트롤을 하는 압축기 제어부와 냉매상태를 신뢰성있게 효율적으로 최적 운전 상태로 제어하는 팽창밸브 제어부가 각각 독립하고 있기 때문이다.

새로 개발된 다변수제어기는 많은 정보를 모아 최적 능력과 최적 냉매상태를 연산하여 2개의 출력을 동시에 하는 것이 가능하다. 이렇게 함으로서 상호 간섭을 방지할 수 있어 실온제어 성능을 높일 수 있다. 또 능력연산을 함으로서 실의 피드백 정보에만 의지하지 않기 때문에 실온의 제어성은 더욱 향상된다.

적용된 다변수 제어기는 최대로 8행 8열의 행렬연산을 할 수 있다. 또 내부변수에 부동 소수점을 적용하는 등 연산 오차에 대해서도 고려하고 있다. 8×11m, 높이 2.7m의 실험실환경에서 종래의 제어 방식과 새로운 제어 방식을 비교 실험하였다. 외부에서의 열침입을 가정한 공조부하변동을 주는 실험을 한 결과 실온이

복귀하여 안정되는 데까지의 시간이 60% 정도 단축되었다.

맺음말

전 운전영역의 효율을 개선할 수 있었으며, 에너지 절약은 일정기간에 대한 능력과 소비전력으로 평가할 필요가 있음을 다시 한번 인식할 수 있었다. 특히 냉방부하는 100%의 능력이 필요한 기간은 매우 드물고, 거의가 절반이하의 범위이다. 패키지 에어컨은 이 점에 착안하여 각 요소들을 집대성하여 연간 에너지 절감이 달성될 수 있었다. 룸에어콘 사양에 대해 약 5배의 출력을 얻는 IPM 모터와 최대 효율제어를 갖는 정현파 PWM 인버터를 탑재함으로써 패키지 에어컨의 대폭적인 에너지 절약화를 달성하였다. 또 지구온난화 방지 대책에 대해서도 연간 전력 사용량을 크게 감소시켜 극히 유효한 수단인 것을 알 수 있었다. 끝으로 이러한 기술이 차후 각종 공조기에 대폭 도입되기를 바란다. ●