



空調機用 인버터의 高效率化·高性能化 技術

지구온난화 방지 등 환경보전을 목적으로 전기기기 및 설비의 전력소비를 저감시키기 위한 省에너지관련법이 일부에서 시행되어 각 방면에서 그에 대한 대책이 이루어지고 있다. 전기기기 중에서도 공조기는 일반가정의 소비전력에서 차지하고 있는 비율이 24%로 상당히 큰 편이다. 최근 공조기는 소비전력을 저감시키기 위해 기간부품의 효율 개선을 도모하여 왔으나, 이 효율 개선에는 전력소비가 큰 압축기(타재)모터와 이것을 구동하는 인버터의 손실 저감도 반드시 필요하다. 또 효율개선 외에 공조기 운전시의 쾌적성 향상의 관점에서 저진동화 및 저소음화를 도모할 필요가 있어 구조명과 함께 인버터 제어면에서의 대책을 시행하여 왔다.

압축기 중에서도 성능개선이 두드러진 룸에어컨은 압축기에 고효율의 브러시리스 DC모터를 탑재하여 정현파 구동방식을 이용한 인버터에 의해 고효율화를 실현하였다. 이 정현파구동방식은 독자적인 과(過)변조 PWM (Pulse-Width Modulation) 방식을 적용하여 효율 개선에 크게 기여하고 있다. 또 인버터는 압축기 특유의 맥동(脈動)부하에 기인하는 진동을 제어·억제하여 저진동화를 실현하였다. 또한 패키지어컨에서는 인버터 캐리어주파수에 기인하는 캐리어음(音)을 인버터제어로 억제하여 저소음화를 실현하였다.

본고에서는 공조기를 대상으로 특히 에너지 소비가 큰 압축기용 모터와 이것을 구동하는 인버터의 효율개선 기술과 저진동화 및 저소음화를 도모하기 위한 인버터 응용기술에 관하여 기술한다.

1. 머리말

최근 공조기(타재)모터는 유도전동기에서 고효율 브러시리스 DC모터에의 이행이 진행되어 이것을 구동하는 인버터 제어방법 개선과 아울러 공조기의 소비전력 저감을 도모하여 왔다. 특히 소비전력이 큰 압축기(타재)모터와 이것을 구동하는 인버터에 있어서는 모터의 권선방법과 구조 변경, 인버터의 정현파구동방식 적용 등에 의하여 고효율화를 도모하여 공조기의 소비전력을 다시 저감하였다. 또, 공조기에는 저진동 및 저소음 요구도 강해 인버터 제어로 압축기의 진동 및 소음 저감을 실현하였다.

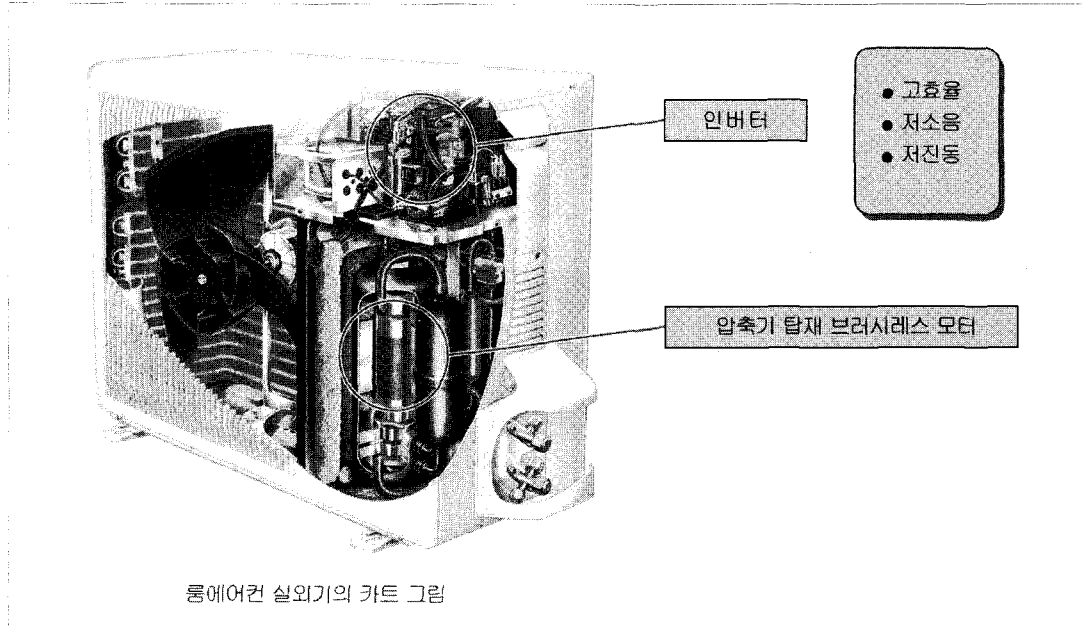
본고에서는 압축기용 모터와 이것을 구동하는 효율개선 기술과 저진동화 및 저소음화를 도모하기 위한 인버터 응용기술에 관하여 기술한다.

2. 空調機에 있어서 可變速시스템의 構成

공조기의 한 예로서 룸에어컨의 일반적인 구성을 그림 1에 표시하였다. 최근에는 소비전력 저감 등을 목적으로 인버터 탑재 기종이 주류가 되고 있으며, 실내기 및 실외기에 탑재하는 송풍용 팬모터와 실외기에 탑재하는 압축기용 모터는 인버터로 구동하고 있다. 그 중에서도 압축기모터와 이것을 구동하는 인버터는 취급하는 전력이 크으므로 소비전력도 크기 때문에 이 부문을 목표로 성능개선을 도모하고 있다.

3. 高效率化 技術

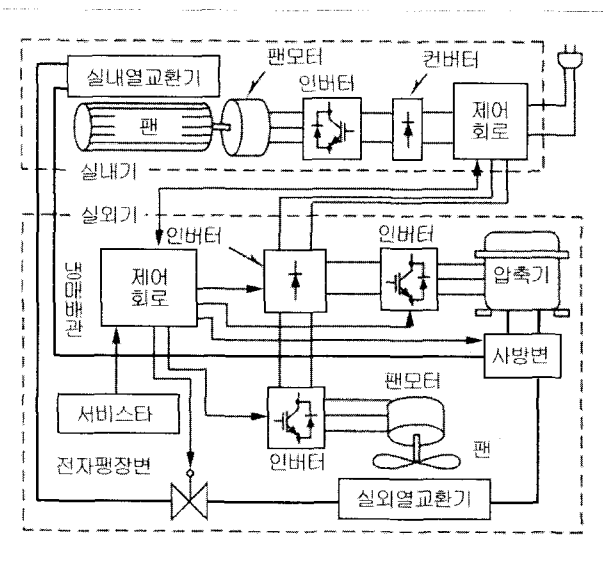
여기서는 공조기용 압축기모터와 이것을 구동하는 인버



룸에어컨 실외기의 카트 그림

〈압축기탑재 브러시리스 DC모터 및 인버터〉

위 그림은 미쓰비시電機 룸에어컨 실외기의 카트그림으로 압축기에 탑재하는 브러시리스 DC모터와 이 브러시리스 DC모터를 구동하는 인버터를 표시함. 인버터 제어기술에 의해 모터와 인버터를 조합한 종합효율의 개선, 압축기 운전시의 진동 및 소음 억제를 도모함. 룸에어컨을 위시하여 공조기의 省에너지화, 고성능화에 공헌하게 됨.



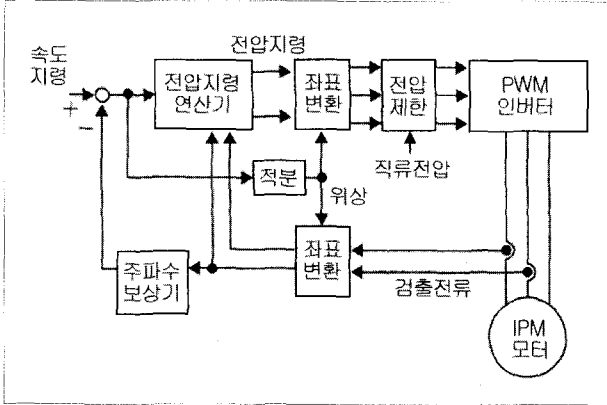
〈그림 1〉 룸에어컨의 구성

터에 있어서 고효율화를 위한 각종 방법에 대하여 기술한다.

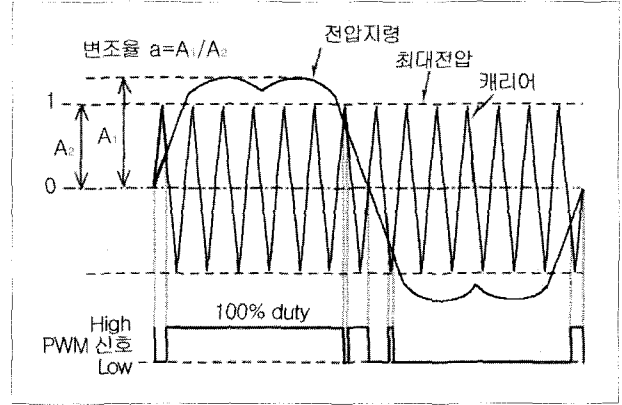
가. 인버터의 高效率化

룸에어컨용 압축기의 대부분은 유도전동기에 비해 고효율의 브러시리스 DC모터를 탑재하고 있다. 이 브러시리스 DC모터는 로터위치에 따라 통전타이밍이 결정되어야 하기 때문에 모터위치를 파악할 필요가 있다. 그러나 이 모터는 고온·고압·냉매가스 분위기라고 하는 특수 환경 하에서 동작(가동)이 되어 로터자극위치센서의 배치가 곤란해지기 때문에 위치센서레스 구동방식이 불가결해진다.

구동방식으로서 이제까지는 제어의 용이성 때문에 전기각도 180° 구간 중에서 120° 구간을 통전하는 120° 통



〈그림 2〉 센서리스 정현파구동의 제어블럭 구성



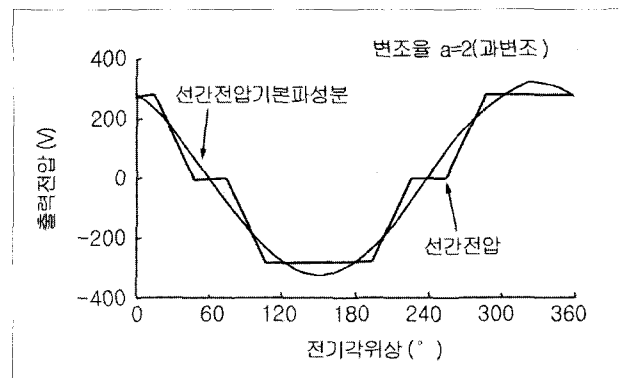
〈그림 3〉 과변조 PWM

전방식이 채용되어, 구동중의 모터권선에 유기되는 전압으로부터 로터위치를 파악하여 통전타이밍을 결정하는 방법이 채택되어 왔다. 그러나 120° 통전방식에서는 모터 전류에 많은 고조파성분이 포함되기 때문에 모터철선과 토크리플이 커져 문제가 되어 왔다. 이 문제를 해결한 유효한 수단으로서 전류파형을 정현파 모양으로 제어하는 정현파 구동방식을 들 수 있다. 최근에는 마이크로컴퓨터의 저가격·고성능화에 따라 종래 산업용에 이용되고 있던 벡터제어에 의한 정현파구동방식이 공조기에도 탑재되고 있다.

룸에어컨에 탑재한 브러시리스 DC모터의 센서리스 정현파구동의 제어블럭 구성을 그림 2에 표시하였다. 이 구동방식은 모터전류를 영구자석의 토크에 비례하는 토크전류성분과 자속량에 비례하는 여자전류성분으로 분리해서 취급하는 벡터제어로 실현하고 있다. 이 구동방식은 연산부하 경감을 위한 로터의 자극위치추정기 설치 대신에 주파수보상기를 설치함과 아울러 모터의 부하토크 변동시 속도안정화를 실현하고 있다. 또한 이 구동방식의 특징으로서 정현파구동에 과변조 PWM방식을 적용하고 있다. 이렇게 함으로써 전압이용률을 향상시킬 수 있게 되었으며, 이는 모터전류 저감으로 이어져 효율 개선이

가능하게 된다.

여기서 과변조 PWM방식의 설명을 그림 3에 선간전압 파형을 그림 4에 표시한다. 과변조 PWM방식은 인버터의 전압지령치가 직류전압 Vdc에 의해 결정되는 최대전압기보다도 높게 설정하여 PWM 신호를 부분적으로 100% Duty를 하는 것으로 실효출력전압의 상승에 의한 모터의 철손 저감, 인버터회로의 스위칭소자 도통손 및 스위칭손을 저감하여 모터와 회로 전체의 효율 개선에도 모하는 방식이다. 인버터구동파형은 일반적으로 변조율이 1 이하에서 생성되지만 변조율 1 이상의 과변조, 다시

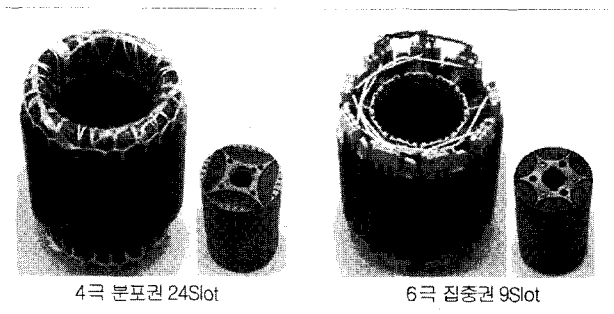


〈그림 4〉 과변조 PWM시의 선간전압파형

말하면 PWM를 부분적으로 100% Duty로 함으로써 실효출력전압을 상승시킬 수 있게 된다. 변조율 $a=2$ 의 경우 출력전압은 최대변조율 $a=1$ 의 제어에 비하여 최대 약 10%의 증가가 가능하게 되었다.

나. 모터의 高效率化

공조기용 압축기모터는 상용전원 또는 인버터구동에도 불구하고 유도전동기가 많이 사용되어 왔으나, 기기의 성(省)에너지화에 따라 고효율의 브러시리스 DC모터로 급속하게 이행되고 있다. 최근 효율 개선을 더욱 향상시키기 위해 모터 손실의 대반 이상을 차지하고 있는 동손과 철손의 저감을 도모하고 있다. 브러시리스 DC모터의 스테이터와 로터의 외관을 그림 5에 표시하였다. 모터의 동손은 모터전류에 의하여 권선저항에 발생하는 열손실이다. 권선저항의 저감은 권선의 둘레길이 삭감과 선경(線徑)을 높일 필요가 있으며, 권선방법을 분포권(分布卷)에서 집중권(集中卷)화하는 방법과 점적률(占積率) 향상을 위하여 좁은 슬롯 내 코일 삽입을 가능케 하는 분할코어방식의 채용이라고 하는 제조방법의 개선에 의해 실현하였다. 또 모터전류의 저감은 쇠교(鎖交) 자석의 증가가 필요하게 되며, 여기서는 자력을 높이기 위해 영구자석의 두께를 높임으로써 실현하였다.

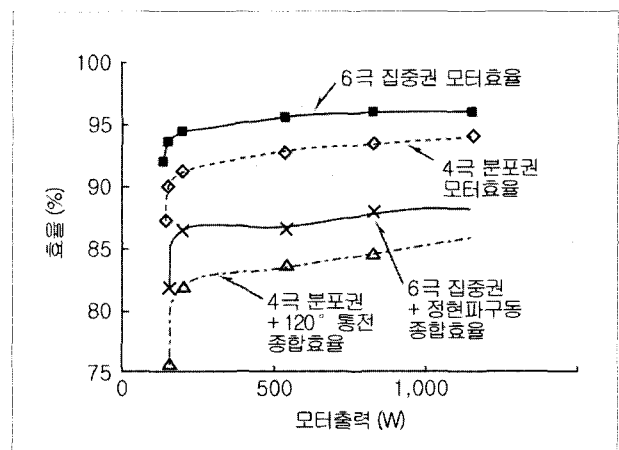


〈그림 5〉 Stator와 Rotor의 외관

모터의 철손은 자속의 변화에 의해 전자강판 내에 발생하는 손실이다. 철손의 저감은 자계해석에 의한 고정자형상의 최적화 4극에서 6극으로의 다극화에 의한 자속밀도의 저감 및 균일화, 전자강판이 갖는 특성을 충분히 살리어 실현할 수 있었다. 또 앞서 기술한 과변조 PWM 등에 의한 높은 듀티(Duty)제어 등 제어면에서도 개선하였다.

다. 效率特性 比較

그림 6에 모터출력에 대한 모터효율, 모터와 인버터를 조합한 종합효율의 비교를 나타내었다. 그림 중의 효율 곡선은 4극분포권모터를 120° 통전방식으로 운전했을 경우와 6극집중권모터를 정현파구동방식으로 운전했을 경우에 대해서 표시하고 있다. 또 모터출력은 압축기의 부하포인트에 설정하여 모터출력이 적은 방면에서부터 난방경부하, 난방정격, 냉방정격, 난방정격, 난방저외기(低外氣)의 조건이 된다. 여기에서 각 조건에 있어서 회전수와 부하토크는 동시에 변화하고 있다. 인버터의 제어방식, 모터의 사양 및 구조변경 등에 의하여 각 운



〈그림 6〉 효율비교

전조건 하에서의 효율측정시험에서는 모터 2%에서 최대 5%, 인버터는 1%에서 최대 5%, 모터와 인버터를 조합한 종합효율은 3%에서 최대 6%의 개선효과를 얻을 수 있었다.

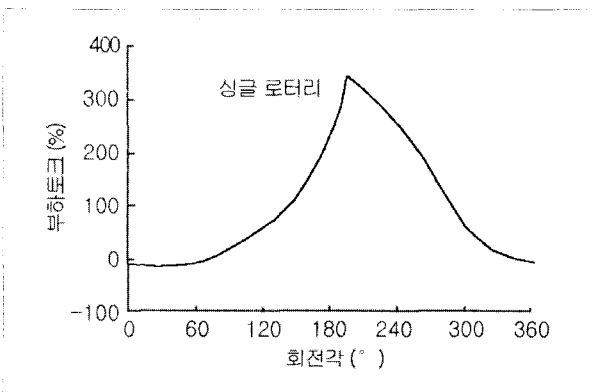
4. 應用展開

공조기에는 고효율 외에 저진동 및 저소음의 요구도 매우 강하다. 이에 답하기 위해 인버터에 의한 모터제어 기술로 각종 방법을 채택하고 있다.

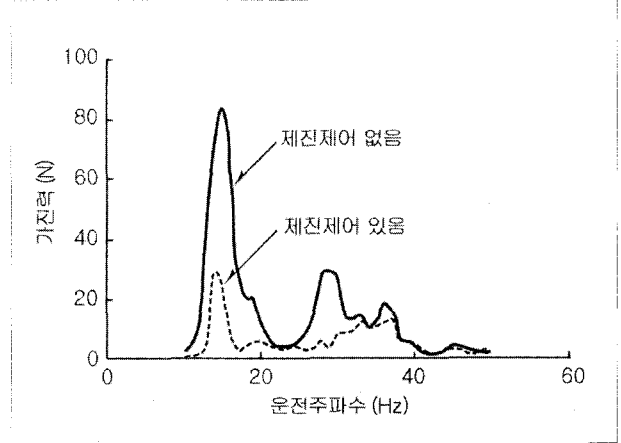
가. 低振動化 技術

동사의 룸에어컨용 압축기는 로터리방식을 채용하여 특히 공조용량이 적은 기종에는 싱글 로터리 압축기를 탑재하고 있다. 최근 공조능력이 낮은 영역에서의 운전 요구에 의하여 모터의 저속회전화가 필요해지고 있다. 그러나 저속회전영역에서는 구조상 모터 1회전 중의 압축·토출·흡입에 기인하는 큰 토크맥동(脈動)이 발생하고 싱글 로터리 압축기 특유의 큰 진동이 발생한다.

싱글 로터리 압축기의 회전토크 변동을 그림 7에 표시



〈그림 7〉 압축기의 회전토크 변동



〈그림 8〉 진동억제효과

하였다. 이 진동은 모터의 저속역(域)에서 특히 현저하며, 냉매배관과 실외기를 설치하는 바닥면의 전달에 의한 소음으로 이어지게 된다.

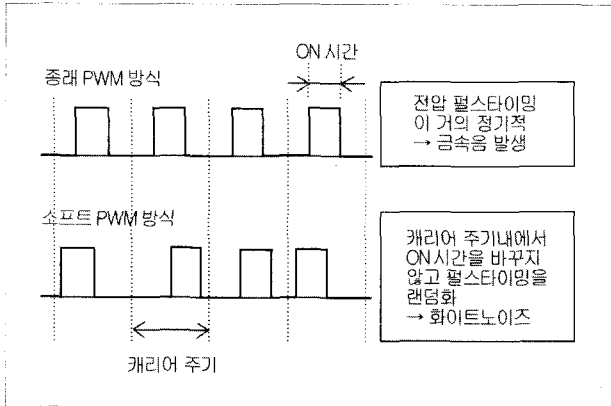
이 때문에 특별한 방진구조를 채용하지 않고도 값싸게 압축기의 진동을 제어하는 방법이 요구되고 있었다.

이 해결책으로서 압축기의 부하토크맥동에 응하여 인버터출력전압을 변화시켜 모터출력토크를 가변(可變)시키는 방법에 의하여 인버터에 의한 진동제어를 실현하였다.

진동제어에 의한 진동제어효과를 그림 8에 표시하였다. 그림은 운전주파수에 대한 실외유닛 바닥면의 진동을 나타내고 있으며 운전영역에서는 약 30Hz의 운전주파수에 있어서 큰 진동제어 효과가 나타났으며 고속역의 약 50Hz 이상에서는 진동이 적어 진동제어가 불필요하였다. 인버터에 의한 진동제어에서 로터리 압축기의 운저하한 주파수를 약 45Hz에서 약 20Hz로 하는 것이 가능해져 운전영역 확대를 실현하였다.

나. 低騒音化 技術

모터를 인버터로 구동하게 되면 인버터의 캐리어주파

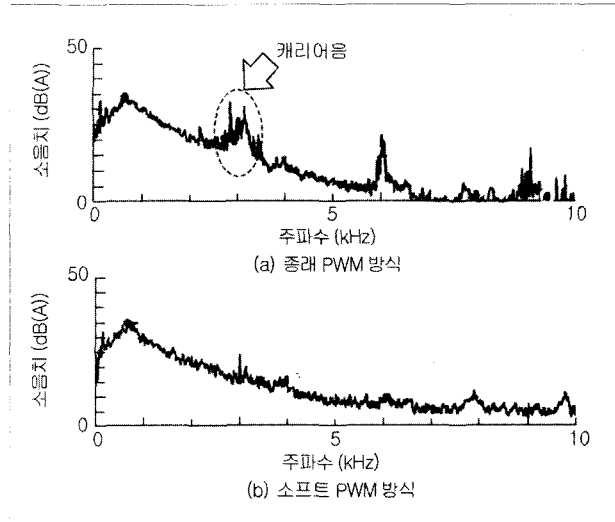


〈그림 9〉 소프트 PWM의 원리

수에 기인하는 캐리어음(音)이 모터에서 발생한다. 이 소리는 보통 익숙해지기 어려운 불쾌한 금속음이다. 이 캐리어 소리를 저감시키는 방법으로서 일반적으로 캐리어주파수를 고주파수화하여 인간의 가청범위 밖으로 설정하는 방법이 채용되지만 인버터를 구성하는 트랜지스터는 주파수에 비례하여 손실이 증가하는 결점을 갖고 있어 효율 개선이 심히 요구되는 공조기에의 적용은 곤란하다.

여기서 효율을 악화시키는 일 없이 캐리어 소리를 저감시키는 방법이 요구되고 있다. 이 해결책으로서 인버터에서 출력되는 펄스전압의 발생타이밍을 캐리어 주기 내에서 변화하도록 하여 음(音)스펙트럼을 분산시켜 캐리어음을 화이트노이즈(Whit Noise)화 시키는 소프트 PWM 방식에 의하여 실현하고 있다. 소프트 PWM의 원리를 그림 9에 표시한다.

그림 10은 종래의 PWM 및 소프트 PWM 방식에 의한 인버터로 압축기용 모터를 구동시켰을 때의 패키지에 어컨 실외기에서 발생하는 소음측정의 비교 결과를 나타내고 있으며, 소프트 PWM 방식으로 캐리어음을 크게 저감시켜 귀에 장애를 주는 금속음의 저감을 실현시킬 수 있었다.



〈그림 10〉 소음저감효과

5. 맺음말

최근의 주(住)환경기기에 있어서의 성(省)에너지화의 요구는 강하여 특히 효율 등 성능 개선이 현저한 룸에어컨을 예로 모터와 인버터의 성에너지 기술과 룸에어컨 및 패키지에어컨을 예로 인버터용 기술에 관하여 기술하였다. 성에너지화의 요구는 매우 강하여 앞으로도 보다 더한 고효율화와 고성능화를 실현하기 위한 기술개발을 지속적으로 추진해 나갈 계획이다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.