

에어컨의 기술개발 동향 및 전망

김경화, 윤명중

(한국과학기술원 전자 및 전산학과 교수)

1. 서론

최근 쾌적 공간에 대한 소비자들의 욕구 증대로 인해 에어컨에 대한 관심 및 수요가 크게 늘어나고 있다. 특히 5kW 이하의 소형 가정용 에어컨은 기존의 벽걸이형이나 창문형 위주에서 탈피하여 점차 고용량화 및 시스템화 되고 있으며 아직도 연평균 성장률 4% 정도의 지속적인 성장이 계속 되어 금년에 2,600 만대, 2003년에 3,000만대 수준에 이를 것으로 전망되고 있다.^[1] 전 세계의 소형 에어컨 시장은 북미 지역이 30% 수요와 더불어 아시아 지역이 50% 이상을 차지해 이 두 지역이 전체의 80%를 점유하는 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 아시아 시장의 경우 향후 중국의 가파른 상승이 예상되나 현재로는 일본의 비중이 가장 크다. 97년의 경우 일본 내의 룸에어컨 수요는 700만대를 넘어서고 있으며 히트 펌프의 비율이 93%이며 세대 보급율은 80% 정도이다. 표 1은

표 1 전 세계 시장에서의 전체 에어컨 수요

	1995년	1996년	1997년	1998년
세계	31,178	34,027	31,647	32,822
일본	8,552	8,827	7,668	8,028
아시아	8,973	10,224	9,981	9,977
중동	1,400	1,404	1,428	1,453
구주	1,423	1,488	1,445	1,570
북미	9,212	10,315	9,295	9,835
중남미	959	1,070	1,085	1,171
아프리카	407	420	440	456
대양주	252	279	305	332

(단위:천대)

일본 냉동 공조 공업회가 조사한 전 세계 시장에서의 전체 에어컨 수요이다.

2. 냉동 사이클의 기본 원리

냉동기 혹은 히트 펌프에서는 열을 저온열원으로부터 고온 열원으로 운반한다. 이 경우 동작유체를 순환시켜서 연속적으로 냉동작용 혹은 냉난방을 실시하는 것이 냉동사이클이다. 냉동사이클은 그림 1과 같이, 저온부에서 열 Q_1 을 취해서, 고온부에 열 Q_2 를 버린다. 이때, 냉동의 목적으로는 소비하는 일정한 일에 대한 저온부에서의 흡열량 Q_1 의 비율이 클수록 좋으며 이 사이클의 평가를 위해서는 성적계수(COP) 혹은 동작계수라는 것을 사용한다. 그림 1과 같은 냉동기를 생각할 때 COP는 다음과 같이 구해진다.

$$\epsilon_c = \frac{Q_1}{L} \quad (1)$$

여기서 L 은 소비 동력이다. 이 냉동사이클에서 고온부의 가열작용에 대해 주목하면, 주위를 따뜻하게 하는 목적으로도

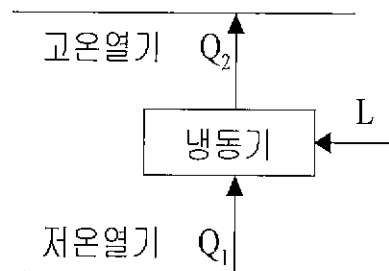


그림 1 냉동기의 작용

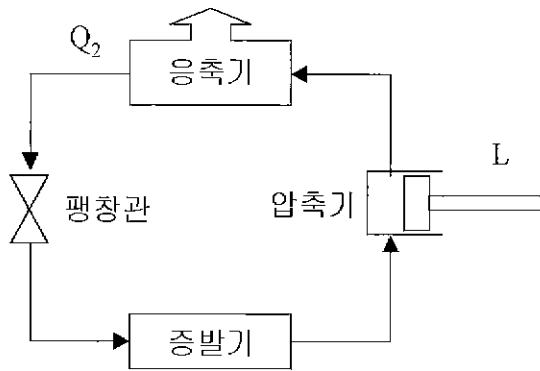


그림 2 증기 냉각 사이클의 구조

이용할 수 있고, 일반적으로 난방으로 이용된다. 이 목적에 냉동기를 사용하는 경우에는 특히 히트펌프라 한다. 냉동능력의 단위로서는 J/h 혹은 0℃의 물 1ton을 24시간에 0℃의 얼음으로 변환하는 능력인 1 냉동톤을 사용하며 1 냉동톤은 13,900kJ/h 에 상당한다. 실제로 물건을 냉각시키려면 그것보다 저온의 포화액에 접촉시켜, 액체의 증발로서 열을 빼앗는 증기냉동사이클방식이 효과적이며 일반적으로 이 방법이 사용된다. 그림 2는 일반적인 냉동기의 구성이고, 증발기 내에서 포화액이 증발(등압하)하면서, 증발기 외측의 저온부에서 열 Q_1 을 빼앗아 냉각한다. 그래서, 발생하는 포화 증기는 압축기에서 단열 압축되어, 그 결과 온도가 상승해서 냉동기의 외부 환경에 의해 고온의 과열 증기가 된다. 이 증기는 다음의 응축기에서 외부 환경에 열을 방출할 수 있게 되고, 동시에 증기 자체는 냉각응축(등압하)되어 포화액으로 된다. 이 포화액은 순차적으로 팽창밸프를 통해서 압력을 저하시키고, 그 때문에 액의 포화온도가 저하되어 증발기에 되돌아가서 다시 냉각작용을 한다.

3. 에어컨의 핵심 부품 및 기술 개발 동향

에어컨은 압축기와 증발기, 응축기에 부착 되어 있는 팬과 열교환기가 핵심 부품이며 소비 전력의 대부분은 이들 압축기와 팬을 구동하는데 소모되게 된다. 따라서 기기의 효율을 향상시키기 위해서는 압축기와 팬의 소모 전력을 최소화하고 열교환기의 성능을 최대화하는 것이 필수적이다.^[2]

에어컨 기술 분야에서 가장 앞서 있는 일본의 경우 세대 보급률이 이미 80%를 넘고 있으나 대체 수요가 매년 8% 수준을 유지하고 중복 수요가 15% 정도를 차지하고 있는 등 매우 성숙된 시장 구조를 보이고 있다. 따라서 일본의 기술 동향 파악이 현재의 기술 동향 파악을 위해서 뿐만 아니라 향후의 기술을 예측하기 위해서도 상당히 중요하다.^[1] 최근의 일본의

기술 동향을 크게 요약하면 저속 운전의 확대를 통한 연간 에너지 소비 효율(Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER)의 향상 및 고효율 제어 알고리즘을 통한 절전 향상, 신소재 마그네틱의 사용 및 압축 효율 향상을 통한 BLDC 압축기의 성능 개선, 저온에서의 난방 능력 향상, 효과적 제습 및 광각을 실현하기 위한 기류 제어 적용 등을 들 수 있다. 이 외에도 최근에는 퍼지 이론 등을 이용한 쾌적 공조 구현, 제습 성능 향상, 그리고 난방 능력 향상을 위한 고효율 압축기 개발, 고효율 팬의 개발 및 실외 열교환기의 성능 향상에 중점을 두고 있다.

이와 같은 기본적인 에어컨의 성능 향상 문제 외에도 최근에는 환경 문제의 급속한 대두로 인하여 Recycle 성이 뛰어난 친환경적인 부품을 채용한 제품 개발 및 대체 냉매 개발, 및 저소음 제품 구현, 역률 개선 등과 같은 기술에도 많은 관심을 기울이고 있으며 이러한 기술을 제품에 적극적으로 적용하는 추세이다.

또한 최근의 인터넷 및 홈 네트워크 분야의 급속한 관심과 더불어 진행되고 있는 가전 기기의 홈 네트워크화에 대비하기 위해 에어컨에 네트워킹 개념을 부가하여 원격 제어 등이 가능한 제품의 개발에도 관심을 두고 있다. 특히 일본의 경우 주요 가전 업체들이 참가하여 백색 가전 제품의 홈 네트워크화 추진을 위한 Echonet Consortium을 진행하고 있는 중이다.^[3] 이 밖에 실내기와 실외기의 1:1 결합이 아닌 실외기에 다수의 실내기를 결합하는 멀티형 시스템 공조 분야에도 많은 관심을 기울이고 개발을 진행하는 실정이다.

4. 전력전자 관련 부품 및 기술개발 동향

그림 2와 같은 냉각 사이클의 구조에 있어서 가장 핵심이 되는 부품은 압축기이며 압축기의 구동을 위해서는 모터가 필요하다. 종래의 경우 압축기 구동용 모터로 단상 유도 전동기를 채용하여 온도 요구 조건에 따라 on-off 방식의 제어를 수행하였다. 하지만 최근에는 외기 부하에 적절히 대응하기 위한 능력 기변 및 소비 효율 증가가 요구되고 또한 최근의 전력전자 및 인버터 기술의 급속한 발달에 힘입어 유도 전동기의 V/f 제어 및 브러시리스 직류 전동기(Brushless DC Motor)의 센서리스 제어 기법을 이용한 압축기 적용이 상당히 활발하다. 일본의 경우 거의 대부분의 제품이 인버터를 사용한 압축기의 속도 제어를 수행하고 있으며 그 중 보다 높은 효율을 갖는 BLDC 모터가 주류를 이룬다. 국내의 경우도 에어컨용 BLDC 모터를 채용한 로타리 압축기 개발이 이미 어느 정도 완료된 상태이다.^[4] BLDC 모터는 잘 알려진 바와 같이 회전자 측의 영구자석과 고정자 측의 3상 권선으로 이루어지며 전동기 구조와 구동 원리에 의해 구형파 구동형과 정현파 구동형으로 구분된다.

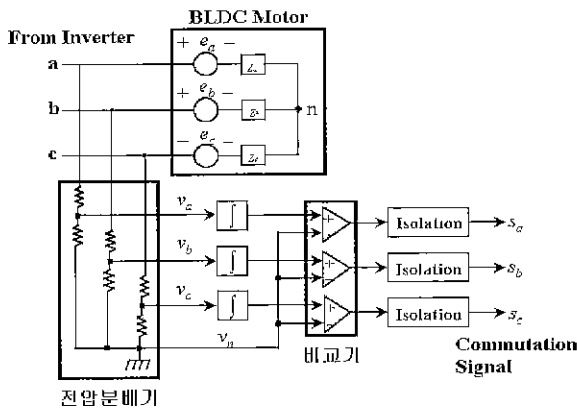


그림 3 회전자 위치 감지 회로

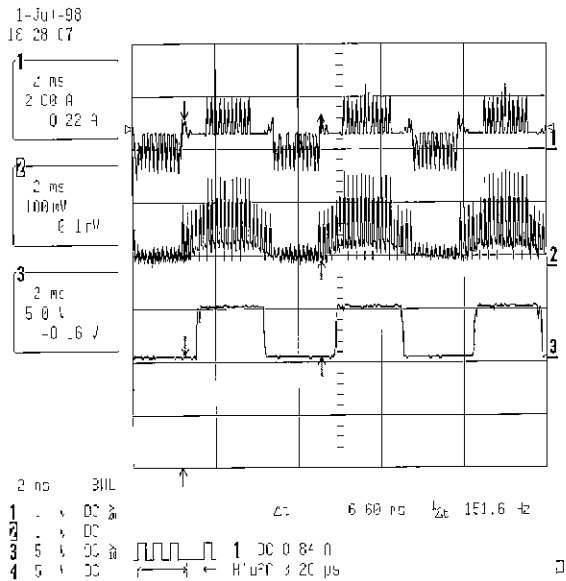


그림 4 BLDC 모터 센서리스 제어 파형

구형과 구동형 BLDC 모터는 영구자석의 착자가 균일하고, 고정자 권선도 집중권이기에 때문에 가격 경쟁력에 앞서 여러 가전 분야에 폭넓게 적용되고 있는 추세이다. 구형과 구동형 BLDC 모터의 역기전력은 사다리 파형으로 상전류에 비례하는 일정 토크를 얻기 위해 일반적으로 120° 통전 방식의 3상 2여자 방식으로 구동한다.¹⁶ 일반적으로 에어컨 압축기의 경우 압축기 내부의 고온, 고압 조건으로 인해 위치 센서의 장착이 어려워지며 이 때, 3상 2여자 방식으로 모터를 구동함으로써 개발된 상의 단자 전압을 이용하여 쉽게 회전자 위치를 감지할 수 있다.

그림 3은 120° 통전 방식의 3상 2여자 방식으로 모터를 구동하는 경우의 BLDC 모터의 센서리스 운전을 위한 위치 감

지 회로이며 그림 4는 이 경우의 전형적인 상전류, 단자 전압, 및 Commutation 신호 파형을 나타낸다.

에어컨의 소비 효율을 극대화하기 위해서는 BLDC 모터의 구동 효율을 개선할 필요가 있으며 현재는 이를 위해 센서리스 제어 시 위치 감지 정확도를 향상시키는 기법 등의 제어 알고리즘 개발도 활발히 추진 중이다 또한 많은 일본의 선진 업체들이 BLDC 모터의 속도 제어를 위해 PWM 기법 이외에 인버터 DC 링크 전압의 크기를 제어하는 PAM (Pulse Amplitude Modulation) 기법을 혼용하여 사용함으로써 효율 및 압축기의 속도 제어 영역을 확장하고 있다

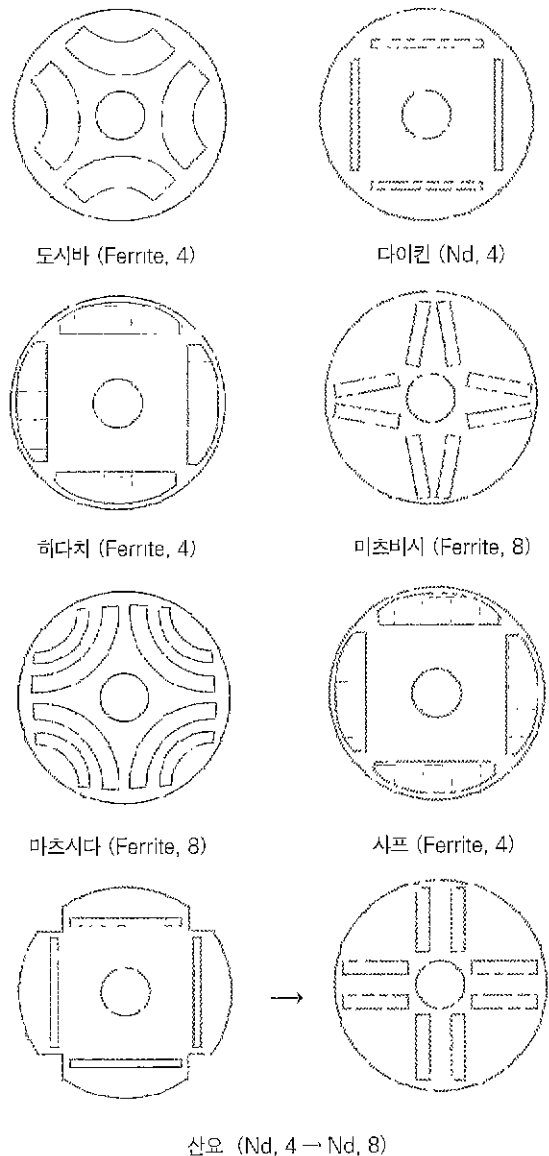


그림 5 업체별 BLDC 모터 회전자 구조

그림 5는 일본의 주요 선진 업체들이 사용하는 BLDC 모터의 회전자 구조이다.

에어컨의 주요 기술 중 또 하나의 전력전자 관련 기술은 역을 개선 회로 부분이다. 근래에 고조파에 관한 IEC 규격에 대응하기 위해 에어컨에 Active Filter라 불리는 고역률 컨버터를 적용하는 기법이 연구되어 왔다.

그림 6은 종래의 역을 개선 회로 및 최근의 Active Filter 방식에 의한 역을 개선 회로이다.⁽⁶⁾ 일반적으로 직류 전압을 만들기 위한 정류 회로에는 커패시터의 충전 시의 전류로 인해 전류 파형이 왜곡되고 고조파 성분이 증가하여 역률이 낮아진다

Passive Filter 기법은 정류 회로에 인덕터와 커패시터의 조합으로 역률을 개선하는 방법이다. 운전능력이 광범위하게 변하는 에어컨에는 Passive Filter 기법은 효과적으로 고조파를 억제할 수 없으며 능동적으로 전류 및 전압을 제어하는

표 2 각 역을 개선 회로의 특징

구분	Passive Filter 방식	Active Filter 방식		
		완전스위칭	부분스위칭	간이스위칭
역률	△	○ (99%)	○ (95%)	○ (95%)
고조파특성	×	○	○	△
효율	○	△	○	○
출력전압 제어	× (불가능)	○ (가능)	△ (어느 정도 가능)	△ (어느 정도 가능)
고조파 노이즈	○	△	○	○
비용	○	△ (고가)	△ (고가)	△ (비교적 고가)

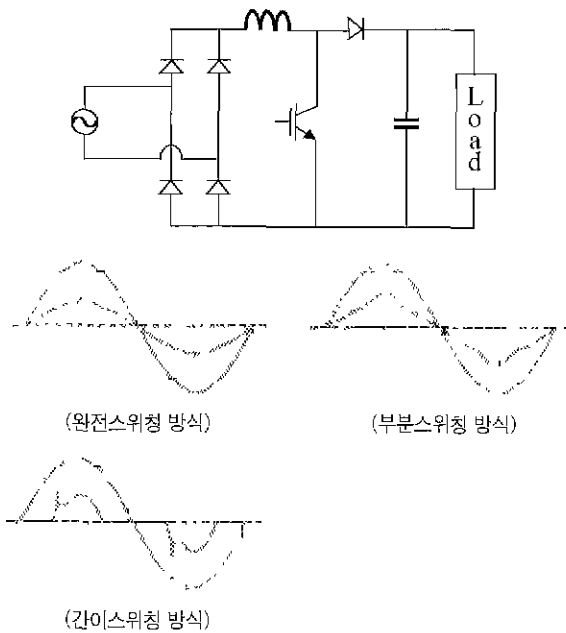
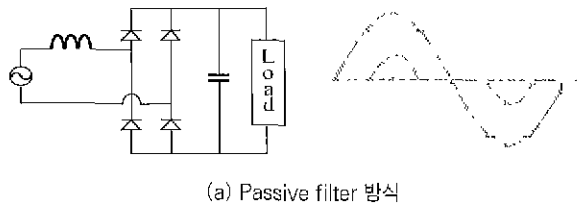


그림 6 역을 개선 회로

Active Filter 방식이 사용되어야 한다. 현재 에어컨에 적용 가능한 Active Filter 방식에는 3가지 방식이 있으며 3가지 기법의 차이는 완전 스위칭 방식은 전원 전류를 정현파로 제어하고 출력 직류 전압도 완전히 승압 제어하는 방식이다. 부분 스위칭 방식은 전원 전류를 부분적으로 제어, 보정하고 거의 정현파에 가까운 형태로 하며 출력 직류 전압은 승압 제어하지 않는 방식이다. 간이스위칭 방식은 전원 전류 및 직류 전압을 제어하지 않고 IEC 규격을 만족하는 정도로 전류를 변형시키는 방식으로 제어부의 간소화를 도모하고 저비용을 목적으로 하는 방식이다. 표 2는 각 역을 개선 회로의 특징을 나타낸다.

5. 결 론

이상으로 에어컨 분야의 최근 기술 개발 동향 및 전망에 대해 기술하였다. 최근 쾌적 공간에 대한 소비자들의 욕구 증대로 인해 에어컨에 대한 관심 및 수요가 크게 늘어나고 있는 중이다. 에어컨 제품의 출시 경향은 기존의 소형 창문형 위주에서 탈피하여 점차 고용량화 및 시스템화 되고 있으며 평균 4% 정도의 지속적인 성장률을 이어가고 있다.

에어컨은 압축기, 증발기, 응축기 등의 핵심 부품으로 구성되었으며 최근의 기술 동향은 에너지 소비 효율 향상을 위한 고효율 제어 알고리즘 구현, 압축 효율 향상을 위한 BLDC 압축기의 성능 개선, 쾌적 공조 구현, 친환경성 등의 분야에 집중되고 있는 상태이다. 이를 위해서는 전력전자 분야의 핵심 기술인 고효율 모터 제어, 인버터 제어, 컨버터 회로 기술 및 모터 설계 기술이 필수적으로 요구되어 진다. 향후 전력 전자 기술의 발전 및 기술의 효과적인 적용을 통해 보다 높은 에너지 효율의 쾌적 공조 구현이 가능하리라 기대된다. ■

참고 문헌

- [1] 황윤제, "소형 히트펌프의 기술개발 동향과 전망" 공기조화 냉동공학회지 제27권 제2호, pp. 165~175, 1998.
- [2] 윤점열, 이관수, "차세대를 위한 신형상 열교환기 연구개발 동향" 공기조화 냉동공학회지 제27권 제3호, pp. 253~263, 1998.
- [3] Echonet Specifications ver 0.9.
- [4] 소순갑, 김선교, 이승갑, 박윤서, "BLDC 모터를 채용한 로타리 압축기" 공기조화 냉동공학회 98하계학술발표회 논문집 pp. 1114~1119, 1998.
- [5] 여형기, 유지윤, "브러쉬리스 직류 전동기용 드라이브 개발 동향" 전력전자학회지 제3권 제4호 pp. 27~32, 1998
- [6] T. Motoki, "요소 기술 동향-인버터(DC 압축기와 PAM 전압제어)" 일본 냉동학회지 제74권 제863호, pp. 18~22, 1999.

〈저자 소개〉



김경화(金庚和)

1969년 3월생 1991년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1998년 2월 동 대학원 졸업(박사). 1998년~2000년 삼성전자 냉공조(사) 선임연구원 현재 한국과학기술원 전자

및 전산학과 BK21 연구교수.



윤명중(尹明重)

1946년 11월생. 1970년 서울대학교 졸업. 1974년 University of Missouri-Columbia 졸업(석사). 1978년 동 대학원 졸업(박사) 1978년부터 General Electric Columbia에서 Individual Contributor on Aerospace

Electrical Engineering으로 제직 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과의 교수. 1999년 당 학회 회장 역임.