

냉장고용 냉매 압축기

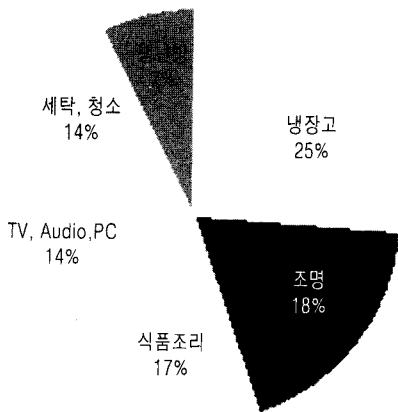
가정용 냉장고에 사용되는 냉장고용 냉매압축기의 기술개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

이 형 국

LG전자(주) Digital Appliance 연구소(hkkl@lge.com)

냉장고

냉장고는 가정 소비전력의 약 25 %를 차지하는 가전제품으로, 음식의 신선한 보관을 위해 각 가정에서 필수적으로 사용되고 있다(그림 1). 기술적인 환경 변화의 측면에서 보면 세계적인 환경보호의 가속화에 따라 냉장고에도 사용 냉매 및 단열재, 재활용성(Recycle), 에너지 소비량 등에 대해 규제가 가속화되고 있다. 또 시장 환경변화의 측면에서 보면 소비자 기호의 변화에 따라 수년 전부터 한국에도 양문여단이형(Side-by-Side) 냉장고가 도입되었고, 김치 냉장고, 화장품 냉장고, 반찬 냉장고 등 냉장고의 기능도 특화되고 있다. 따라서 냉장고 업체들은 각종 규제 및 시장변화에 대응하기 위해, 냉장고 소비전력의 개선, 냉매의 변경, 단열재의 변경, 신 기능냉장고의 개발 등 많은 변화를 겪고 있다.



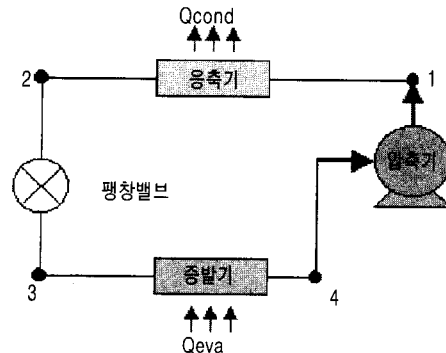
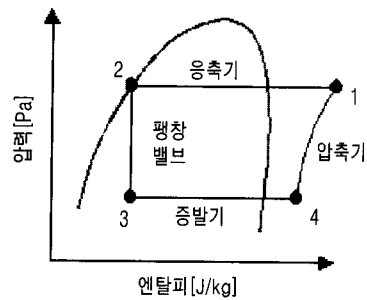
(*) 99년 기준 산자부 조사 / 발표자료

[그림 1] 가정 소비전력 구성비

냉장고용 압축기 동향

압축기는 냉장고 냉동사이클에 일부로 구성되어 증발기의 저온저압의 냉매를 고온고압으로 압축하여 응축기로 공급하여 냉장고의 증발기를 냉각하는 장치이다(그림 2).

가정용 냉장고에는 통상 입력 500W 이하의 밀폐형 압축기가 사용되고 있으며, 전 세계의 연간 수요량은 약 7,000만대로 생산능력은 이보다 많은 약 1억대 정도로 추정된다. 냉장고용 압축기로는 미국의



[그림 2] 냉장고 냉동 사이클

Tecumseh사에서 최초 개발한 소형 밀폐형 왕복동식 압축기(Reciprocating Compressor)가 주로 사용되고 있으나, 일본의 일부 업체는 회전식 압축기(Rotary Compressor)를 사용하고 있다. 최근에는 냉장고의 소비전력 개선을 목적으로 인버터(Inverter) 제어기를 통해 모터의 회전수를 제어하여 압축기의 용량을 가변 하는 용량가변형 왕복동식 압축기를 사용하는 업체도 있다.

냉장고 업체가 압축기를 선정하는 주요 기능으로서 냉장고용 압축기가 가져야 할 기본 특성으로는 고효율, 저소음, 10년 이상을 보장하는 신뢰성 및 가격 경쟁력이며, 그 외에 크기, 무게 등도 중요한 선택 기준이다.

1996년 이전에는 대부분의 냉장고용 압축기는 냉매로 CFC 계열의 R12를 사용하였으나, 환경규제에 의해 유럽시장에서는 자연냉매 계열인 R600a(isobutane)를, 미국 및 일본, 한국 등의 시장에서는 HFC 계열의 R134a를 사용하고 있다. R600a는 폭발성이 있고, 냉매의 밀도가 낮아 R600a 냉매를 압축기에 적용하기 위해서는 압축기의 행정체적을 R12 냉매 적용시 보다 2배 정도로 크게 해야 하는 문제가 있어 대형 냉장고의 적용에 어렵다. R134a 냉매는 R12 냉매보다 압축비가 증가하는 문제가 있어 압축기의 효율이 감소하고, 압축비 증가에 의한 마모가 발생하는 문제가 있다.

대부분의 압축기 업체는 냉매 전환에 대응한 신냉매 압축기 개발은 완료하였으나, 냉장고의 소비전력

규제 강화에 대응하기 위해 냉장고 전력 소비량의 약 80%를 점유하는 압축기의 고효율화를 위해 현 구조 압축기의 고효율화 및 고효율 신방식 압축기 개발에 노력하고 있다(그림 3).

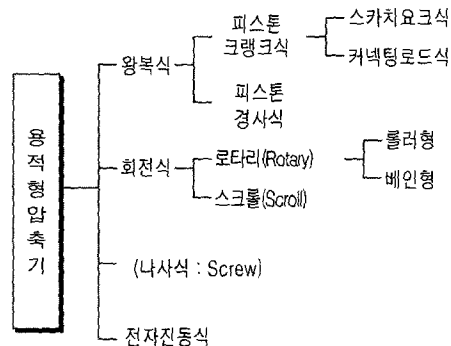
냉장고용 압축기 종류

압축기는 압축을 하는 방식에 따라 용적형 압축기(Positive Displacement Compressor)와 비용적형 압축기로 나눌 수 있다. 용적형 압축기는 압축실의 체적을 감소시킴에 따라 냉매를 압력을 증가시키는 압축방식이고, 비용적형 압축기(Turbo Compressor)는 냉매가스의 운동에너지를 압력으로 변환시켜 압축을 행한다. 일반적으로 냉장고에는 압축비가 비교적 높고 적은 용량범위에 사용하는 용적형 압축기가 사용된다.

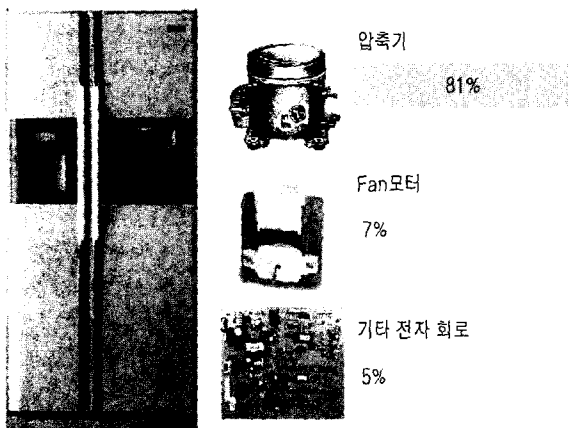
냉장고용 왕복동식 압축기

개요

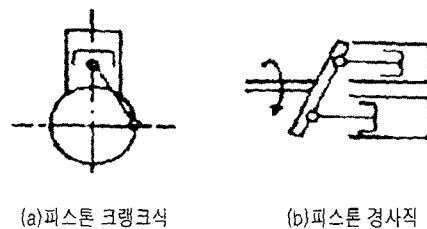
왕복동식 압축기는 신뢰성이 높고 효율이 양호한



[그림 4] 압축기의 분류



[그림 3] 냉장고 소비전력의 구성비



(a)피스톤 크랭크식

(b)피스톤 경사식

[그림 5] 왕복동식 압축기



편으로 냉장고용으로 많이 사용되고 있다. 설계상의 중요한 점은 다음과 같다.

- a) 효율적인 측면 : 모터의 고효율화, 흡입 및 토출 밸브의 고효율 설계
- b) 신뢰성 측면 : 크랭크 기구 및 피스톤 마모방지, 밸브의 파손방지
- c) 소음 측면 : 밀폐용기(Shell) 및 밸브의 저소음 설계, 소음기 설계

왕복동식 압축기는 역사가 오래된 만큼 설계의 완성도도 높아 현재는 거의 효율이 한계에 도달했으며 각 압축기 업체는 소음의 감소, 제조원가의 절감 및 새로운 고효율 방식의 탐색에 노력하고 있다(그림 6).

구조 및 작동원리

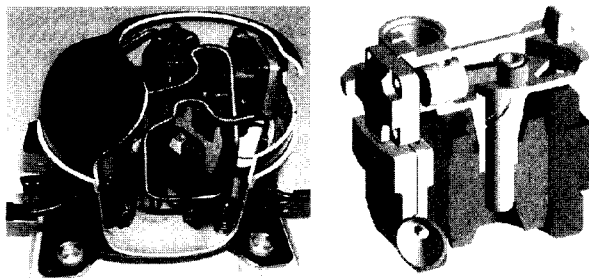
냉장고에 사용되는 밀폐형 왕복동식 압축기는 압축기와 모터가 일체로 구성되어 밀폐용기(Shell) 내부에서 작동되는 방식으로 다른 방식에 비해 효율이 높고 소음이 낮은 특징을 가지고 있다. 모터는 고정자 및 회전자로 구성된 유도전동기(Induction Motor)가 사용되며, 회전자 축에는 회전자 축에 편심되어 압축기 축이 연결되어 있다. 모터의 회전력을 피스톤의 왕복운동으로 전환하기 위해 압축기 축과 피스톤을 커넥팅로드가 연결한다. 밀폐용기에 흡입된 냉매가스는 흡입밸브를 통과하여 실린더 내부로 흡입된다. 실린더 내부로 흡입된 냉매가스는 피스톤의 왕복운동에 의해 압축되어 토출밸브를 통하여 고온 고압의 가스로 응축기로 토출된다. 압축기 축의 베어링, 피스톤, 커넥팅로드의 윤활을 위하여 압축기의 하부에는 윤활유가 있으며, 윤활유는 압축기 축에 형성된 윤활펌프를 통하여 압축기의 상부로 공급된다(그림 7).

압축기의 냉매 흡입시 소음저감을 위하여 흡입밸브 앞 부분에 소음기(Muffler)가 있으며, 냉매 토출시 소음저감을 위하여 토출측에도 소음기를 부착하는 경우가 있다.

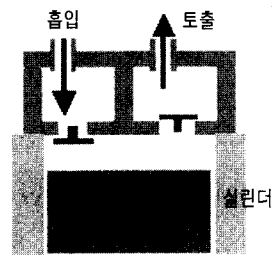
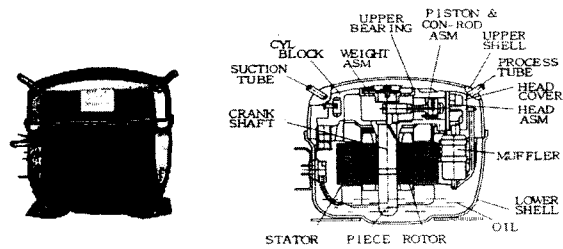
향후 전망

왕복동식 압축기는 아직도 꾸준한 부품개선에 의해 효율향상이 이루어 지고 있으나 기술적인 검토로 볼 때 현재 효율의 대폭적인 개선은 어려울 것으로 전망된다. 왕복동식 압축기의 효율에 영향을 미치는 주요 인자로는 모터손실, 압축시의 누설 및 열전달 손실, 흡입 및 토출 밸브의 유로 손실, 재팽창 손실 등이 있으며 효율 개선의 방법으로는 피스톤 상부와 밸브사이의 간극 체적 감소를 통한 재팽창 손실 저감, 흡입 및 토출 밸브 설계 개선을 통한 유동저항 저감, 윤활 및 크랭크 설계 변경을 통한 마찰손실 저감 등의 방법이 있다.

유도모터를 이용한 왕복동식 압축기의 기술전개로서 수년 전부터 일본 및 한국 업체 중심으로 왕복동식 압축기에 인버터제어기 및 BLDC(Brushless DC) 모터를 사용하여 압축기의 냉동능력을 냉장고의 부하조건에 따라 가변 시켜 냉장고의 소비전력 저감시키는 용량가변형 압축기가 적용되고 있으며, 이 기술



[그림 6] 왕복동식 왕축기의 예

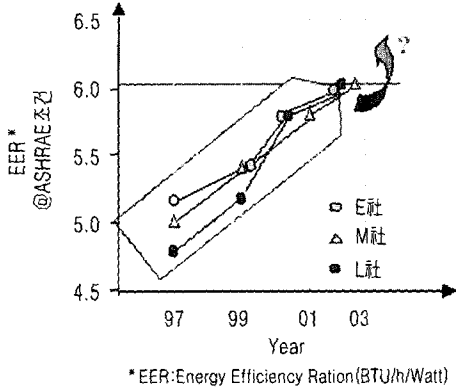


[그림 7] 밀폐형 왕복동식 압축기 및 밸브 구조

의 적용에 의해 냉장고의 전력소비량을 10% 이상 개선할 수 있으나 모터 및 제어기의 가격상승이 기존 정속형 왕복동식 압축기 대비 50% 이상 증가하여

급속한 시장확대는 어려울 것으로 판단된다. 최근에는 유도동기기 모터를 사용한 왕복동식 압축기도 출시되고 있다(그림 8).

냉장고용 냉동사이클의 왕복동식 압축기의 대안으로 리니어 압축기, 열음향냉동 압축기, 열전모듈 등이 검토되고 있다.



[그림 8] 왕복동식 압축기의 효율 개선 추이

냉장고용 리니어 압축기

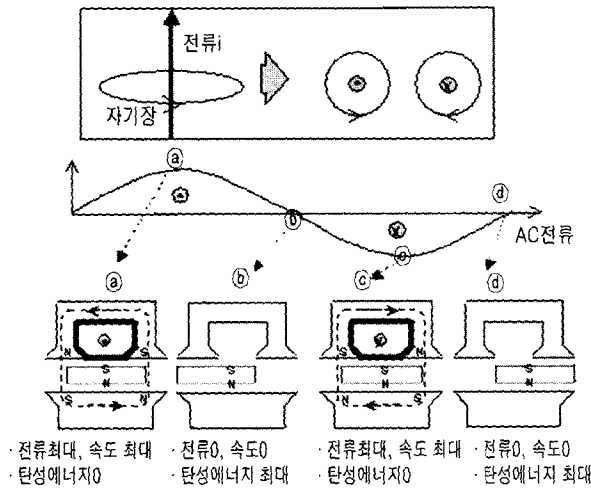
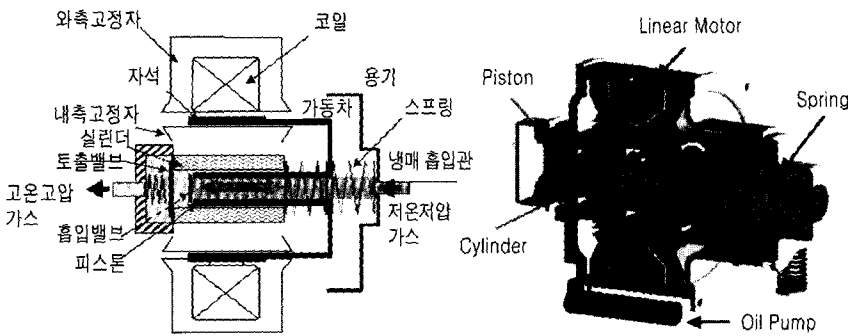
개요

일반 가정의 냉장고에는 유도전동기를 이용한 왕복동식 압축기가 적용되고 있으나 효율의 한계로, 새로운 고효율 방식의 압축기의 필요성이 증가하고 있으며, 한 종류로 리니어 압축기에 대한 연구개발이 일부 업체에서 진행되고 있다.

리니어 압축기는 20세기초에 발명되었으나, 그동안 생산기술, 가격 및 압축 냉매가스의 비선형 현상

등의 문제로 상품화가 되지 못하였다. 리니어 압축기를 효율을 극대화하고, 크기를 상용화 수준으로 줄이기 위해서는 고가의 자석을 사용해야 하는 데, 현재까지 자석의 생산기술(자석의 신뢰성, 품질편차 및 가격)이 문제였다. 최근에 자석의 특성을 크게 개선한 희토류자석의 생산기술의 발전과 가격의 개선 및 자석 사용량을 줄이는 모터의 설계 기술 발전으로 리니어 압축기의 실용화가 가능한 토대를 만들었다.

리니어 압축기는 1901년 Lean J. Le Pontois가 처음 발명하였고, 1953년 Heinrich Doelz가 리니어 모터와 공진스프링을 이용한 압축기를 개발한 바 있다. 그 후 일본의 사와후지(사)에서 소형 냉장고용 리니어 압축기를 상용화하였고, LG 전자에서 2001년에 가정 냉장고용 리니어 압축기를 출시하였다.



[그림 9] 리니어 압축기의 구조 및 작동원리

구조 및 작동원리

리니어 압축기는 제어부, 리니어 모터부, 피스톤부, 흡토출부, 스프



	Recipro. 예상	Linear 현 수준	Linear 예상
Motor Loss (%)	10	8	6
Friction Loss (%)	16	10	6
Valve & Other Loss (%)	14	12	9
Compressor Efficiency (%)	66	73	80
EEER	6.2	6.9	7.5

* R134a Refrigerant, ASHRAE Condition, without Drive Loss

[그림 10] 리니어 압축기의 효율

링부, 오일펌핑부 등으로 구성된다. 동작원리는 제어부를 통해 리니어 모터부에 교류전원이 인가되면 전류의 방향이 교번되면서 고정자에 흐르는 자속의 방향이 교번 된다. 이때 자석이 장착된 모터의 가동자와 고정자 사이의 자력에 의해 모터에 공급된 전원의 주파수로 가동자가 진동하여 왕복운동을 하게 된다. 압축기의 피스톤이 모터의 가동자에 직접 연결되어 있어 모터 가동자의 좌우 왕복운동이 압축기 피스톤에 전달되어 냉매가스가 압축된다(그림 9).

성능

리니어 압축기는 다음 이유에 의해 기존의 왕복동식 압축기에 비해 고효율이다.

- 고자력 자석을 모터에 사용하고, 코일의 권선이 원주방향으로 형성되므로 권선끝부(End Coil부)가 없어 모터의 동손(Copper Loss) 및 철손(Iron Loss)이 감소하여 효율이 높다.
- 모터의 왕복운동을 피스톤에 직접 전달하므로 왕복동식 압축기에서 필요한 크랭크 구조가 필요 없어 구조가 간단하고 마찰손실이 및 마모발생이 적다.
- 압축기의 흡입 및 토출밸브가 한 방향으로 정열

되어있어 유동저항이 적고, 토출밸브가 스프링에 의해 지지되므로 피스톤이 토출밸브와 충돌하여도 신뢰성에 문제가 없어 간극체적을 줄일 수 있어 체적효율이 높다.

리니어 압축기를 제작하고 시험을 한 결과 냉장고가 주 운전되는 조건에서 기존의 왕복동식 압축기에 비해 약 25%의 효율상승이 있고, 이러한 압축기를 냉장고에 적용하여 시험한 결과 약 20%의 냉장고 소비전력 개선이 있었다.

리니어 압축기의 소음은 정상운전시에는 기존의 왕복동식 압축기와 유사하나, 제어기에 의해 모터에 인가되는 전압을 조절하여 피스톤의 스트로크를 제어할 수 있으므로, 왕복동식 압축기의 경우 운전/정지시에 발생하는 피크소음(Peak Noise)이 없다.

또한 피스톤 스트로크를 제어할 수 있으므로 스트로크의 증감에 의해 압축기의 냉동능력을 조절할 수 있어 용량가변이 가능하다(그림 10).

향후 전망

냉장고 소비전력의 개선을 위한 방법으로는 크게 압축기의 고효율화, 냉장고 벽체의 단열성능의 향상, 냉동사이클의 개선으로 나눌 수 있다. 리니어 압축기는 압축기의 교체로 약 20%의 냉장고 소비전력 개선효과를 얻을 수 있으므로 다른 방법에 비해 가격 경쟁력(cost effective)이 있으므로 향후 환경규제가 강화됨에 따라 시장 규모를 점차 늘릴 수 있을 것으로 전망된다.

현 수준의 리니어 압축기는 기존의 왕복동식 압축기에 비해 고효율이나, 제어기가 필요하고 고가의 자석을 사용하여야 하므로 고가이다. 경쟁력 강화를 위해서는 가격의 지속적인 개선이 필요하며, 가격을 줄이기 위한 제조기술 및 설계기술의 개선이 필요하다.

고효율, 저마찰의 특징을 이용한 리니어 압축기 기술은 향후 공조용 압축기 및 무윤활 압축기 등으로 기술영역을 확대할 수 있을 것으로 전망된다. ●