

냉난방 시스템용 CO2압축기의 개발동향

조 성 옥*

1. 서 론

지구 환경 문제로의 관심이 높아지면서 오존층 파괴 및 지구 온난화에 대한 대응으로 냉동 공조기에 관해서 냉매 대체화가 진행되고 있고, 오존층을 파괴하지 않는 HFC로의 전환이 시도되고 있는 한편 지구 온난화 계수가 작은 자연 냉매로의 관심이 높아지고 있다. 이와 같은 상황에 이산화탄소(이하 CO2)는 독성, 가연성에 문제가 없고 환경에 영향을 덜 미치는 자연 냉매로서 주목 받고 있다. CO2는 탄화수소(HC)와 암모니아와 같은 독성, 가연성에 문제가 없이 각종 화학 합성 부산물로서 생성되기 때문에 경제적이고 뛰어난 전열특성을 가지고 기구의 콤팩트화를 가능하게 하기 때문에 뛰어난 작동유체라고 생각할 수 있다.

그런데 CO2를 냉매로 사용하고자 할 경우 이 냉매가 갖는 고압 특성으로 인해 냉동 사이클 전반에 고압 설계가 요구되며, 특히 CO2 압축기 개발에 있어서는 각 부품의 고압화뿐만 아니라 압축 기구부의 재설계도 요구된다. 일반적으로 CO2를 적용한 냉동이나 공조용 압축기의 토출압은 70~130 기압, 흡입압은 30~40기압 정도이다.

이산화탄소를 작동 매체로 한 냉동 사이클용 압축기가 종래의 프론트 냉매를 이용한 냉동·공조용 압축기와 크게 다른 점은, 다음과 같다.

- 1) 운전 압력이 몹시 높다 (토출압 15Mpa)
- 2) 차압이 크다 (5~10Mpa)
- 3) 단위 냉동 능력 당 밀어 제치는 양이 현저하게 작다.
- 4) 압축비가 비교적 작다

이 때문에 밀폐형·반밀폐형 압축기의 밀폐 용기나 개방형 압축기의 축실에는 충분한 내압 설계가 필요할 것, 접동부의 하중(면압)이 과도하게 커지는 것을 억제하는 구조 설계가 필요할 것, 빈틈 용적이거나 빈틈 면적이 상대적으로 커지므로, 이들에 대한 대응이 필요할 것, 절연재나 냉동기유 등의 재료 선정, 신뢰성·안전성의 확인이 필요할 것 등, 이산화탄소용 압축기의 실용화에는 많은 과제가 있다. 이산화탄소가 냉매로서 주목을 받게 된 이래, 왕복동식, 로터리식, 스크롤식, 스크류식 등 각종 압축기에 대해 검토가 이루어져 왔는데, 근년 카 에어컨이나 가정용 히트 펌프 등으로의 실용화를 향해(일부 실용화가 시작되었다), 지금까지 이상으로 정력적인 대처가 이루어지고 있다.

Table 1은 히트펌프시스템의 증발기 입구 냉매 온도 10℃, 증발기 출구 냉매 온도 0℃, 냉매 가열도 0℃를 기준 했을 때, 각 냉매별 압축기 운전 압력을 보여준다. Table 1에서 알 수 있듯이 고압 냉매로 갈수록 토출압과 흡입압의 차이는 커지고, 압력비는 작아진다. 고압 특성으로 인해 CO2는 통상 사용되고 있는 냉매에 비해 5~10배 정도의 단위 체적당 냉동 능력을 보유하므로 행정체적 감소하며, 토출압과 흡입압과의 큰 압력 차이로 인해 누설에 대한 주의가 필요로 하며, 작은 압력비는 가스 압축에 유리한 점으로 작용한다.

CO2의 고압 고밀도 특성으로 배관에서의 압력 손실이 상대적으로 중요해 지지 않으므로 배관 경을 가늘게 하는 것이 가능하다.

Table 1 냉매별 압축기 운전압력

	R22	R410a	CO2
흡입압력[Mpa]	0.498	0.789	3.481
토출압력[Mpa]	3.42	4.75	12.4
압력비	6.87	6.02	3.56
압력차[Mpa]	2.922	3.961	8.919

* 삼성전자

E-mail : so.cho@samsung.com

Table 2 압축기 형식에 따른 특징

형식	특징
왕복동	• 누설이 적은 구조인데, 부품 접수가 많고, 진동 레벨도 높다.
스크롤	• seal 길이가 길기 때문에 작은실린더 용적으로는 누설에 대해 불리하다.
로터리	• 누설은 적은 구조이지만, 베인 선단의 접동 조건은 고차압으로 심하다.

압축기 윤활에서 가장 중요한 것은 적정한 점도, 또한 토출 압력이 150기압 이상이 되므로 경계 윤활 영역에서의 윤활성도 요구된다. 아울러 오일에 냉매가 용해된 상태에서의 점도도 적절해야 한다. PAG 는 CO2의 용해가 적고 용해 점도는 높으며, 윤활성이 양호하다. CO2 냉매 환경에서 O 링을 사용할 때 O 링의 팽윤에 따른 파손도 중요하게 고려해야 한다.

이산화탄소는 밀도가 높고, 단위 체적 당 냉동 능력이 크기 때문에, HFC 냉매와 비교하면 누설 효과가 크고, 또한 차압이 크고 윤활이 심하다고 하는 특징이 있다.

Table 2에 나타나듯이, 왕복동 방식은, 피스톤링으로 seal되는 구조이므로 누설이 적지만, 부품 접수가 많으므로 코스트가 드는 형식이고, 또한 진동도 커지는 구조이다. 그 때문에, 냉장고용 또는 업무용 공조기의 일부로 채용되고는 있지만, 가정용 공조에서 채용되는 케이스는 적은 것이 실정이다.

또한, 스크롤 방식은 다수의 압축실에서 연속 압축되는 구조이므로, 누설되는 부분이 많고, 또한 소용돌이 가공이므로 그 누설 통로 면적의 저감이 어렵고, 이산화탄소와 같이, 실린더 용적이 HFC와 상대적으로 작아지는 냉매로 불리하고, 또한 고압이 100 kg/cm² 이상이 되므로 트러스트 하중도 꽤 커져, 그 대책도 필요하게 된다.

로터리 방식은, 누설을 저감할 수 있는 구조로, 성능면에서는 고효율을 기대할 수 있다고 생각되지만, 베인의 윤활이 고차압 하에서는 무척 어렵고, 신뢰성 면에서는 문제가 크다고 생각된다.

이와 각 압축기 종류별 특성 및 개발 동향을 자세히 살펴보고자 한다.

2. 왕복동 압축기

CO2가 고압이므로 가장 먼저 접근된 압축 방식은

일반적으로 고압 가스 압축에 널리 사용되고 있는 왕복동형이다^{(1)~(3)}. CO2 적용에 따라 압축기 쉘의 고압화, 실린더 헤드, 머플러, 토출관 등의 토출부 부품이 고압에 견디도록 고압 설계가 필요하다. 특히 제일 높은 압력이 걸리는 피스톤과 실린더 헤드 주위의 밀봉은 매우 중요하다.

피스톤에 걸리는 압력은 R22에 비해 5~10 배 높으나, 행정 체적이 작으므로 피스톤 직경에 제한이 있어서 연결봉에 걸리는 힘에 한계가 있고 운동 부재에 걸리는 단위하중 증가하므로 피스톤 핀 베어링에 걸리는 마모를 피하는 것이 쉽지 않다. 또한 고압에 따라 토크 부하의 변동이 매우 커지므로 진동이 증대하고 이러한 부하 변동에 맞는 토크 특성을 갖는 모터를 선정하는 것도 효율 감소를 방지하는데 매우 중요하다.

토출 밸브에서 가스의 밀도가 상대적으로 크기 때문에 밸브에 작용하는 충돌 속도에 기인한 밸브의 파괴 현상으로 밸브의 신뢰도가 문제가 될 수 있다. 이를 위해서는 밸브 속도를 감소시키는 설계를 채택하거나, 기존의 리드 밸브대신 판형 밸브 등의 다른 구조의 밸브를 적용하는 것이 필요하다. 또한 CO2의 높은 밀도는 토출 가스의 압력 맥동을 증대 시키므로 토출 머플러 체적을 키우는 등의 재설계가 요구된다. 흡입 가스 냉각 방식을 적용하는 경우, 오일이 압축기 쉘로 넘쳐 들어오는 (oil carry-over) 문제도 우려 된다.

Yanagisawa et al⁽²⁾은 CO2 왕복동 압축기에 대한 성능 실험을 통해 피스톤 링이 없는 경우 실린더와 피스톤 사이의 누설이 매우 심각한 수준이며, 또한 밸브를 통해서 역류하는 누설이 상대적으로 행정 체적이 작은 CO2 압축기의 성능에 영향을 미침을 보였다. 누설 제어를 위해 흡입 가스에 의도적으로 약간의 오일을 주입하였을 경우, 5% 오일 혼합 조건에서 체적 효율과 단열 압축 효율이 각각 5% 및 3% 씩증가 하였다. 지나치게 많은 오일은 흡입손실을 가져오지만 적정량의 오일은 밸브 누설을 방지하고 간극체적을 줄여 주는 효과가 있다.

Neksa et al⁽³⁾는 두 개의 실린더를 직렬 연결한 2단 압축 방식의 왕복동 압축기 구성하였다. 이러한 2단 압축 구조는 시스템 설계에 다양성을 제공하는데, 예를 들면 중간압부로의 냉매 유량을 조절함으로써 용량 조절이 가능하다. 하지만 이러한 방식의 용량 조절은 효율 저감을 수반한다. 1단과 2 단의 체적비의 최적치는 이론적으로 구할 수 있지만, 실제에서는 냉동 사이클의 시스템 설계가 바뀌면 운전 조건들이 바뀌르

Table 3 도린사 CO2 압축기 주요개발 모델

구분	시리즈	모델	행정체적(cc) (1단/2단)	모터동력 (Kw)
1단	300 (2 pole)	TCS329	29.1	5.9
		TCS340	39.9	8.0
		TCS351	50.8	10.0
		TCS362	61.7	12.0
2단	300 (2 pole)	TCDH334	34 /14.5	5.9
		TCDH347	46.7/20	8.0
		TCDH359	59.5/25.4	10.0
		TCDH372	72.2/30.9	12.0

로 최적의 체적비 또한 바뀌게 된다.

주요 압축기 제조회사로는 이태리 도린사가 차량 및 선박 공조용으로 왕복동식을 개발하여 현재 몇 가지 모델을 상용화 하였다. Table 3은 도린사의 CO2 압축기 개발 모델 현황이다.

이산화탄소로 작동하는 압축기의 기본적인 운전 특성을 조사하는 목적에서, Fig. 1에 나타나는 왕복동식 요소 시험기를 제작해, 이 압축기를 이용한 시험 결과를 이론 계산 결과와 비교한 결과를 나타내고 있다. 고압에서 운전되므로 seal 때문에 피스톤 링이 필수로, 잘 기능하는 것이 요구된다. 흡입 가스에 적량의 기름을 혼합함으로써 누설을 막고, 성능 향상에 기여하는 것, 간극체적이나 밸브의 누설을 신중하게 선정할 필요가 있는데, 종래 이용되어 왔던 압축기의 성능 평가 수법은, CO2용 압축기의 성능 평가에도 적용할 수 있다고 하고 있다.

2.1 개방형 왕복동 압축기

압축비는 비교적 작지만 압력차는 크다고 하는 이

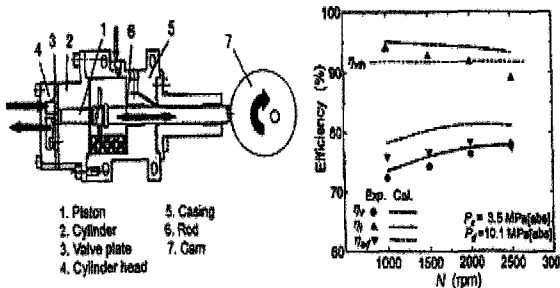


Fig. 1 왕복동 압축기의 성능

산화탄소의 특성을 고려해, 높은 체적 효율과 압축 효율을 얻기 위해, 흡입, 토출변, 실린더와 가스와의 열전달, 구동 기구와 축 받침 등의 최적화에 대한 검토 결과가 보고⁽¹¹⁾되고 있다. 또한 버스 공조용으로 검토가 진행되고, 실주 시험에 도움이 되는 2기통 압축기(Fig. 2)에 대해서도 같은 검토가 이루어지고 있다. 지압선도에 의한 해석 결과, 고속 운전에서는 밸브 기구의 개량에 의해 성능 향상 여지가 남아 있으며, 압력비가 높은 조건에서는, 재팽창과 실린더 헤드로부터의 열전달에 의해 성능 저하가 보여지는 것 등이 명확해지고 있다.

2.2 반밀폐형 왕복동 압축기

Dorin사에서, 1996년부터 이산화탄소용 압축기의 개발에 들어가, 4극 모터 구동의 단기통, 2기통으로 이루어진 2.0 kW-11 kW의 시리즈를 연구 시험용으로 공급해 왔다.

SINTEFF(노르웨이)에서는 1단 압축과 2단 압축에 대한 성능 평가를 해(Fig. 3), 압력비가 높은 ~35 °C의 증발 조건에 있어 2단 압축의 채용에 의해 20% 이상의 효율 향상을 기대할 수 있다. 그 외, 시스템 적용 검토 결과로서, 가정용 히트 펌프용으로 검토한 압축기(3.0 kW, 유량 2.7 m³/h at 1,450 rpm)의 성능에 대해서 환경 제어 유니트용 압축기의 성능에 대한 결과⁽¹²⁾가 있다.

Dorin에서는 한층 더 2단 압축기를 포함하는 0.75~12 kW의 새로운 시리즈를 개발 중이다. 2극 모터 구동으로, 흡입 가스와 외부 열교환기에 의해 차가워진 윤활유에 의한 모터 냉각이 채용되어, 토출 가스 온도의 과도 상승을 억제하므로, 실린더 헤드와 모터를 수냉할 수 있는 구조가 되어 있다.

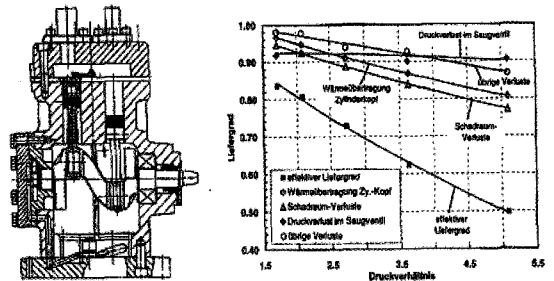


Fig. 2 개방형 왕복동식 압축기의 구조와 성능

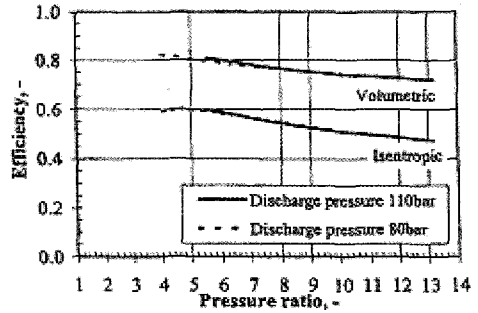
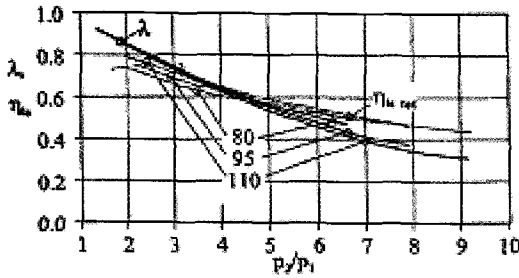


Fig. 3 반밀폐형 왕복동식 압축기의 성능

3. 스크롤 압축기

스크롤 압축기는 다른 기종의 압축기에 비해 가스 흡입에서 토출까지 크랭크 축이 2~3 회전하는 시간에 걸쳐 이루어지므로 토크 변동 및 가스 맥동이 작고, 각 압축실 간의 압력차가 작게 되는 등의 장점이 있다. 또한 가변속 운전을 통한 용량 제어가 용이하다. 따라서 CO₂를 스크롤 압축기에 적용하는 사례는 일반 공조용⁽⁴⁾, 히트 펌프 온수기⁽⁵⁾, 그리고 자동차 에어컨용 압축기^{(6),(7)} 등이 있다.

Melco⁽⁴⁾에서는 R410a용 중간 용량의 스크롤 압축기 구조를 개조하여 운전속도 30~60 Hz에서 2.5 kW~5.0 KW의 냉력을 발생하도록 행정체적 7.23 cc인 일반 공조용 CO₂ 스크롤 압축기 시제품을 제작하였다. 고압 적용을 위해 스크롤 랩의 높이를 감소시켜 랩 높이와 두께가 동일하게 되었고, 낮은 압축비에 맞도록 랩 인볼루트 각도를 조절하여 설계 체적비가 1.75가 되도록 하였다. 압축기 다른 부분들은 고압 조건에 맞도록 재설계하였다. 표준 냉방 조건에서 성능 측정된 결과 흡입압 3.93 Mpa, 토출압 9.49 Mpa, 운전속도 48.2 Hz에서 체적 효율은 86.4%, 압축기 효율은 47.1%, COP 1.77을 얻었다. 그들은 체적효율이 R410a 스크롤 압축기에 비해 현저히 낮을 것으로 예상하였으나 실제 측정 결과는 거의 대등하게 나타났다.

냉매의 고압화에 따라 스러스트 베어링 손실은 전체 손실의 40%를 차지하는 것으로 분석이 되어, 스러스트 베어링 손실의 감소가 이러한 스크롤 압축기 효율 향상에 매우 중요한 것으로 나타났다.

DENSO⁽⁵⁾에서는 동경전력회사와 함께 주거용 히트 펌프 온수기에 CO₂ 스크롤 압축기를 장착하여 시운전을 하였다. 사용된 압축기는 2마력급이고, 연평균

3.0의 C.O.P를 얻었다. 압축기 쉘 내부 압은 저압 방식을 채용하여 쉘 설계를 용이하도록 하였다. 그리고, 선회 스크롤의 배면에는 동일 방향으로 배열한 롤러베어링의 coupling을 2쌍으로 조합하여 사용해, 서로 직교하도록 상하에 배치한 신기구의 thrust 축 받침을 채용해, 면압을 약 1/5로 억제해 기계 손실의 저감과 내구성을 확보할 수 있었다.

미쓰비시 중공업에서는 CO₂를 적용한 자동차 에어컨용 압축기로 스크롤 압축기를 개발하였다⁽⁶⁾. CO₂의 단위체적당 냉동능력이 R134a의 8배 정도이므로 행정체적은 R134a에 비해 1/8로 감소시킨 13cc이다. 통상 자동차 에어컨용 R134a 스크롤 압축기에 사용하는 텃실 구조 대신 누설 저감을 위해 고정부재를 고정부재 경판 후면에 배압을 가하여 눌러주는 순응구조 적용하였다. 또한 스러스트 베어링면 배후에서 오일을 공급하므로 선회부재 경판 후면에 유압을 부과시켜 스러스트 베어링 면압을 감소시키는 정압 어시스트(static pressure assist) 축수 구조를 적용하였다. 이는 기계적 마찰 손실을 감소시켜 고효율화를 달성할 수 있었고, 베어링 신뢰성을 향상할 수 있었다. 경계유효 영역에서 신뢰성의 지표가 되는 접동부 면압(P), 접동속도(V)가 정압 어시스트 축수 구조의 적용에 의해 고속 영역에서부터 완화되었다.

차량 에어컨용 CO₂ 스크롤 압축기는 앞으로도 성능 향상 등에 관한 많은 개선의 여지를 남겨 놓고 있는 상태이다⁽⁷⁾.

4. 로터리 압축기

CO₂를 로터리 압축기에 적용함에 있어 통상적인 1단 압축으로는 많은 문제들이 발생한다. 베인 양면에 걸리는 압력차가 R410a의 경우 보다 2배 이상 되고,

베인과 롤러 접촉면에 작용하는 힘도 급증하므로 구조적인 변형이나 마찰 마모, 그리고 축 등의 변형에 기인한 누설 증대 등의 문제들을 2단 압축 방식을 적용하여 상당부분 완화시킨다. 압축 효율 향상을 위한 간극 체적의 최적치를 얻는 문제는 고압 냉매인 CO₂에서는 더욱 중요해진다. 간극 체적을 작게 하면 재팽창에 의한 손실도 적어지지만 냉매의 유로 저항이 커지므로 지시동력이 증가한다. 토출 포트의 직경도 같은 맥락에서 최적치를 얻는 것이 필요하다.

산요에서는 히트 펌프 온수기용의 CO₂ 트윈 로터리 압축기를 개발하여 제품을 시장에 내놓았다. 개발된 CO₂압축기는 2단 압축방식을 통해 압축기 각 단의 압력차를 R410a냉매와 같은 수준으로 억제했고, 트윈 실린더 방식으로 저진동, 저소음 특성을 얻었다⁽⁸⁾. Fig. 4에서와 같이 1단계 압축기구를 통해 냉매가스를 셸 내부로 토출하여 압축기 셸 내부 압력을 중간압으로 설정하고 2단계 압축기구에서 압축된 가스는 셸 외부로 직접 토출되는 구조를 갖는다. 운전 정지시 중간압이 평균압 이하로 유지되도록 하여 설계압을 낮게 억제할 수 있었다. 이는 1단 압축부와 2단 압축부의 체적비를 조정하는 것에 가능하다.

압력차에 의한 축 변형을 최소한으로 낮추기 위해 상하 편심부 간 형상을 단면2차 모멘트가 커지는 형상으로 개선하고 이로 인해 변형에 기인한 누설 간극 증대를 최소화하는 것이 필요하다. 그리고 압축기 셸 내부 압력을 중간압으로 설정함으로써 발생하는 2단 압축부에서의 오일 공급 부족을 1단 토출을 셸 케이스 내 토출과 2단 흡입부로의 직접 토출로 분류하는 것에 의해 해결한다.

CO₂ 압축기에 대한 내구성 시험에서 축 표면에 금속 접촉은 발생하지 않고 유막이 정상으로 형성되며 베인의 마모 상태도 양호하며, 또 베인 선단에 스크래치의 부착도 인지되지 않았다. 또 이들 접동 부품은 현재 생산되고 있는 롬 에어컨용 R140a 로터리 압축기의 접동 부품과 비교했을 때, 부품의 손상상태는 거의 동등했고, 실용상 문제는 없다고 보고되었다. 또한 최신 모델에서는 행정 용적의 재점검과 BLDC 모터 구동의 채용에 의해 한층 소형화 되었다. 압축 공간과 용기 내측 사이의 가스 누설을 최소로 막기 위해, 용기 내측의 압력은 이 중간 압력으로 유지되며, 1단계 토출 가스 모터의 냉각을 하고 있다. 이 결과, 높은 효율과 신뢰성이 달성되어, 향후 히트 펌프 급탕기를 시작으로 여러 가지 냉동기나 에어컨으로의 적용을

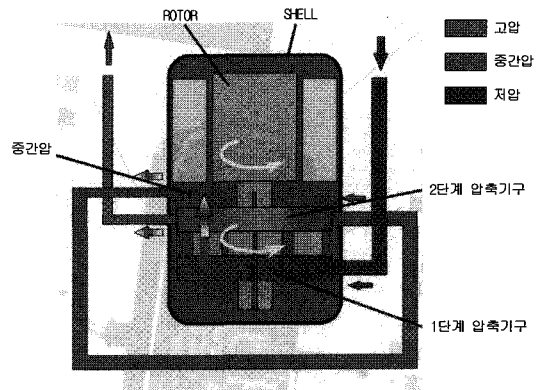


Fig. 4 산요 CO₂압축기 구조와 동작원리

검토한다고 하고 있다.

5. 베인 압축기

차량 공조에 사용되는 R134a용 베인 압축기는 동일한 행정 체적을 갖는 다른 기종의 압축기에 비해 밀봉 길이가 상대적으로 길므로 CO₂ 응용을 위해서는 별로 고려되지 않았으나 Fukuta et al⁽⁹⁾는 천이 임계 CO₂사이클에서 베인 압축기의 사용 가능성을 연구하였다. 베인 압축기에서는 누설 손실이 베인 압축기의 성능에 가장 영향이 큰 인자이고 따라서 간극이 가장 중요한 설계 변수이므로 원주 방향 밀봉이 효율을 향상 시키는데 있어 핵심 설계 요소이다. 원주 밀봉선을 증가 시키면 누설은 감소하고 체적효율은 증가하고, 베인 배면압을 조절하면 성능이 증가한다. 체적효율의 증가를 위해 베인 두께를 증가시키면 기계적 효율이 감소한다.

한편 CO₂ 적용시 흡입 및 토출 포트에서 유속이 작고 유체 저항이 작기 때문에 도시 효율은 크다. 간극을 2/3로 줄일 수 있다면 R134a와 동일한 성능을 얻을 수 있다. 2단 베인 압축기나 압축기-팽창기 조합과 같은 개선된 설계 개념의 적용은 베인 압축기의 가능성을 더욱 높여준다.

또한, 2단 압축, 압축기와 팽창기를 조합함으로써, 종래의 빈틈에서도 고효율을 실현할 수 있다. 이산화탄소 벤형 압축기에서는, 효율 향상 방법으로서, 누설과 베인의 배압 억제가 유효하다.

이상 각 압축기 종류별 특성 및 개발 동향을 살펴보았으며, 향후 친환경 자연냉매인 CO₂용 압축기 응용 분야는 Fig. 5와 같이 점차 확산될 것으로 예상된다.

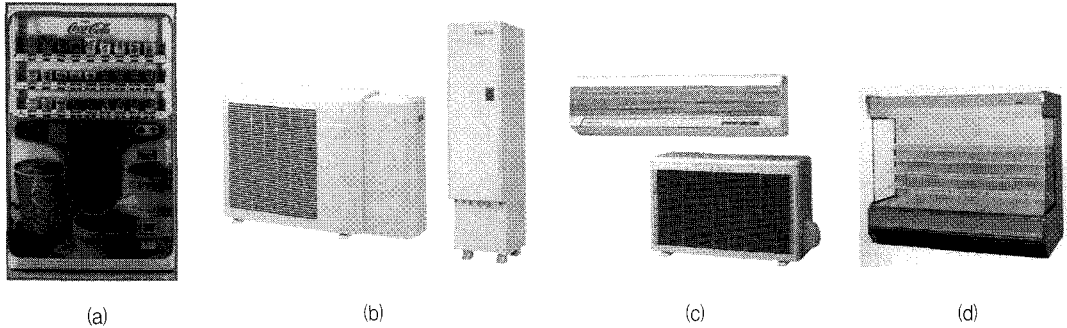


Fig. 5 CO2용 압축기의 응용분야 : (a) 자판기, (b) 열펌프 급탕기, (c) 열펌프 및 (d) 쇼케이스

6. 결론

현재 냉동 공조용 CO2 압축기 개발은 아직 초기 단계로 볼 수 있으며 시장에 출현한 압축기로는 일반 냉동용 및 공조용으로의 왕복동식 압축기와 히트펌프 온수용 트윈 로타리식 등이다. 스크롤식은 현재로는 주로 자동차 에어컨용으로 관심이 모아지고 있다. 앞으로 해결되어야 할 주요 과제들은 당연히 효율 향상과 신뢰성 확보로 요약 할 수 있다.

압축기 기종별로 해결되어야 할 과제들은 왕복동식에서는 밸브의 신뢰성 향상과 피스톤 핀 베어링 마모 문제, 모터 토크와 토크 부하를 매칭시키는 문제 등을 들 수 있으며, 트윈 로타리식에서는 2단 압축실 급유 특성 향상, 토출 가스 오일 함유량 조절 문제 등이고, 스크롤식에서는 무엇보다도 선회부재 배면의 슬러스트 마찰 손실 저감이라고 할 수 있다.

CO2 냉매를 적용하더라도 각 압축기 기종별 압축 특성은 그대로 변함이 없지만 각 압축기가 상대적으로 더 효율적이 되는 냉동 능력에 관한 영역에는 변화가 예상된다. CO2에서는 아직까지는 운전 영역별 경계에 대한 확정적인 결과가 발표된 적은 없으나 CO2의 고압 특성으로 인해 로타리가 우수한 영역이 더욱 확장될 수 있다고 예상할 수 있다. 즉, 기구적 효율성이 행정 체적의 크기에 기준하여 비교된다면, 고압 냉매 일수록 동일한 행정 체적에서 더 큰 냉동 능력을 낼 수 있기 때문에 냉매가 고압으로 될수록 로타리방식이 스크롤방식에 비해 우수한 냉동 능력의 영역은 더 넓어질 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Dorin Compressor Bulletin

- (2) Yanagisawa, T., Fukuta, M., Sakai T., Kato, H., 2000, "Basic Operating Characteristics of Reciprocating Compressor for CO2 Cycle," Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 331~338,
- (3) Neksa, P., Dorin, F., Rekstad, H., Brendesen, A., 2000, "Development of two-stage semi-hermetic CO2-compressors," Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 355~362
- (4) Hasegawa, H., Ikoma, M., Nishiwaki, F., Shintaku, H., Yakumaru, Y., 2000, "Experimental and Theoretical Study of Hermetic CO2 Scroll Compressor," Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 347~353
- (5) Saikawa, M. et al, 2000, "Development of Prototype of CO2 Heat Pump Water Heater for Residential Use," Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 51~57
- (6) Hagita, T. et al, 2000, "The Development of CO2 Scroll Compressor for Automotive Air-conditioning Systems," Proceedings of International Symposium on HCFC Alternative Refrigerants and Environmental Technology 2000,

- pp. 48~51, Kobe, Japan
- (7) Komatsu, S., Tsunoda, M., Yamamoto, S., 2000, "Development of Automotive Air Conditioning System using CO₂," "Proceedings of International Symposium on HCFC Alternative Refrigerants and Environmental Technology 2000," pp. 80~83, Kobe, Japan
- (8) Tadano, M., et al, 2000, "Development of the CO₂ Hermetic Compressor," 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 323~330
- (9) Fukuta, M., Radermacher R., Lindsay D., Yanagisawa, T. 2000, "Performance of vane compressor for CO₂ cycle," Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 339~346
- (10) K. Sato, K. Matsumoto, H. Yamasaki, 2002, "The development of carbon dioxide hermetic compressor for heat pump water heater systems" Refrigeration, Vol.77, No.893, pp. 193~197.
- (11) S. Horestering et, 2000, "Experimental investigations of a carbon dioxide compressor", Luft und Keartetechnik Vol.36, No.3.
- (12) B. Culter et al, 2000, "Development of a Trans-critical Carbon Dioxide Environmental Control Unit" Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue.