

CO2 냉매용 압축기

삼성전자 김철우 수석
 인천대 기계공학부 김현진 교수
 성균관대 기계공학부 이영제 교수

기후 변화 협약 주요 내용

■ 교토 협약 (Kyoto Protocol; 1997) Table: 선진 38개국 CO₂ 의무감축 목표 (90년 대비, 2008-12년 감축 목표)

- 온실가스 감축목표 및 년도설정: 2008 - 2012 (5년간 평균치)
- 감축대상 가스: CO₂, CH₄, NO₂ (1996년 기준)
 대체 냉매 3종 (1995년 기준)
 - HFC, PFC, SF₆
- COP1 - Berlin, March 1995
- COP2 - Geneva, July 1996
- COP3 - Kyoto, December 1997
- COP4 - Buenos Aires, November 1998
- COP5 - Bonn, November 1999
- COP6 - Bonn, July 2001

목표	대상 국가
8% 감축	유럽연합(15개국), 불가리아, 체코, 에스토니아, 라트비아, 리투아니아, 슬로바키아, 모나코, 루마니아, 슬로베니아, 스위스
7% 감축	미국
6% 감축	일본, 캐나다, 공개국, 폴란드
5% 감축	크로아티아
0% 감축	러시아, 뉴질랜드, 우크라이나
1% 감축	노르웨이
8% 증가	호주
10% 증가	아미숀란드

* COP (Conference of the Parties; 당사국총회)

CO₂ 냉매 사용의 필요성

□ 환경적 측면

- 지구 온난화 지수(GWP) : 1 오존층 파괴 지수(ODP) : 0
- 현재 사용 중인 HFC 냉매의 지구 온난화 효과(GWP)가 상당
- 2001년 7월 교도의정서 합의
- 자연냉매의 뛰어난 열적 특성 (성능향상 및 에너지소비 절약)

		ODP	GWP
Natural refrigerant	CO ₂	0	1
	HC	0	~0
	NH ₃	0	~0
HFC	R134a	0	1300
	R410A	0	1900
	R407C	0	1600
HCFC	R22	0.055	1700

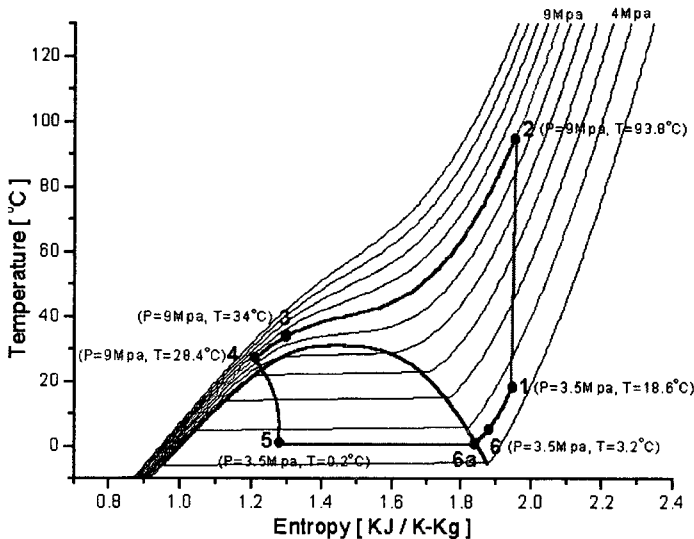
□ 국가 경제적 측면

- CO₂ 배출 규제에 대한 능동적 대처
- 연간 6,000억원 이상의 수입대체 효과
- 에너지 절약에 의한 국가 산업의 합리화
- 국제 무역 경쟁력 향상

□ 무독성(non toxic), 무취(odorless), 비가연성(non flammable), 비폭발성(non explosive), 우수한 전달물성 (열전도도, 점성계수, 비열 등)

□ 환경 친화적 - 냉동용량이 크고, 압축비가 작음 - 장치의 경량화 가능

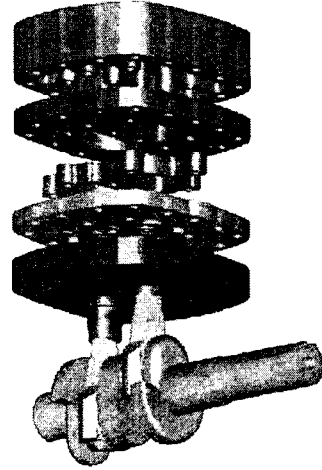
CO₂ 압축기의 운전조건



개발동향 -왕복동 압축기

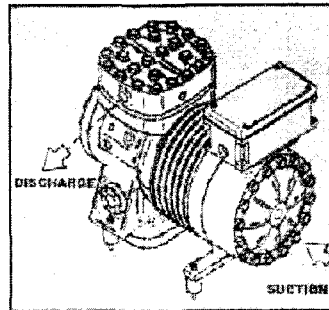
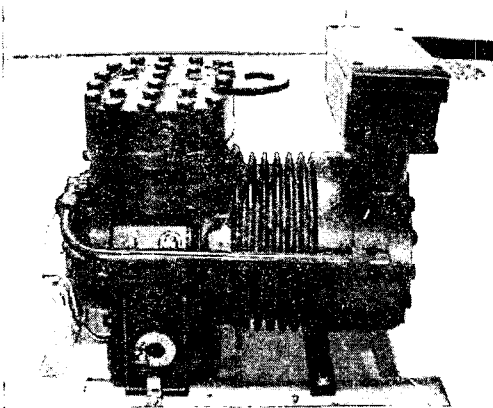
■ 주요문제점

- 토출부 부품의 고압 설계 필요
- 피스톤 핀의 고압에 의한 마모
- 고압에 따른 토크 부하의 변동이 매우 커지므로 진동이 증대
- 부하 변동에 맞는 토크 특성을 갖는 모터 선정 필요
- 밸브의 피로 파괴 현상
- 토출 가스의 압력 맥동을 증대에 의한 토출 머플러의 재설계가 요구됨



개발동향 -왕복동 압축기(Dorin사)

제조사	Model	Cylinder	Bore (mm)	Stroke	배기량 (cc)	Motor (KW)	총길이 (mm)	Weight (Kg)
DORIN	TCS340	2	34	22	40	10.0	507	129



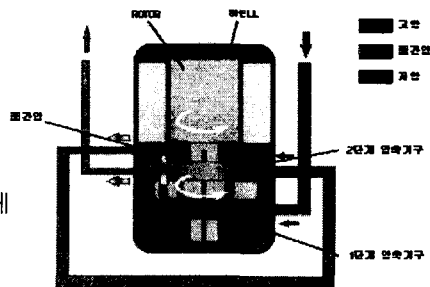
개발동향 -스크롤 압축기

- 주요 장점
 - 가스 흡입에서 토출까지 크랭크 축이 2-3 회전하므로 토크 변동 및 가스 맥동이 작다.
 - 각 압축실 간의 압력차가 작게 된다.
 - 가변속 운전을 통한 용량 제어가 용이하다.
- 적용 사례
 - 일반 공조용
 - 히트 펌프 온수기 [DENSO]
 - 자동차 에어컨용 압축기 [미쯔비시 중공업]



개발동향 -로타리 압축기

- 주요 문제점
 - 베인 양면에 걸리는 압력차가 R410A의 2배 이상
 - 베인과 롤러 접촉면에 작용하는 힘 상승
 - 구조적인 변형이나 마찰 마모
 - 축 등의 변형에 기인한 누설 증대
- 적용 예 [Sanyo]
 - 히트 펌프 온수기용 트윈 로타리 압축기를 개발
 - 2단 압축방식 채용
 - 압축기 각 단의 압력차를 R410A 냉매와 같은 수준으로 억제
 - 트윈 실린더 방식 적용으로 저진동, 저소음 특성

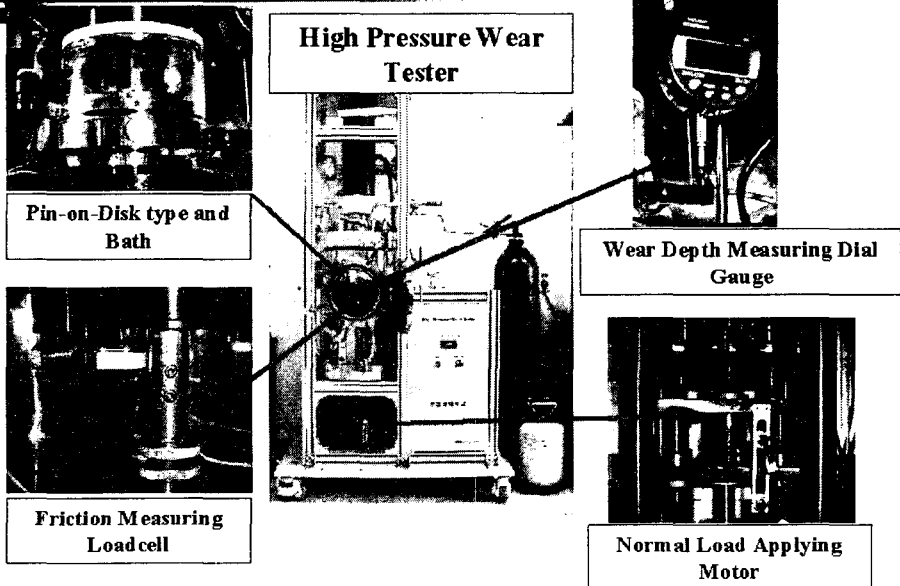


개발동향 -베인 압축기

- 적용 가능성[Fukuta et al]
 - 천이 임계 CO2사이클에서 베인 압축기의 사용 가능성을 연구
 - 베인 압축기 성능에 가장 영향이 큰 인자 : 누설 손실
 - 따라서 원주 방향 밀봉이 효율 향상의 핵심 설계 요소
 - 원주 밀봉선 증가 : 누설 감소, 체적효율 증가
 - 베인 배면압 조절 : 성능 증가
 - 베인 두께 증가 : 기계적 효율 감소

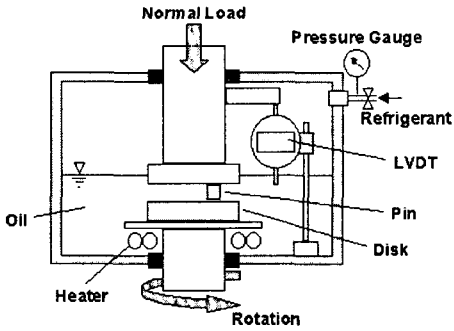
- 2단 베인 압축기나 압축기-팽창기 조합과 같은 개선된 설계 개념을 적용시 베인 압축기의 가능성이 더욱 높아짐.

CO2 냉매용 Oil 비교 -고압 마모시험기

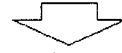


CO2 냉매용 오일 비교 - 실험방법

■ 실험기구 모형도



시편을 초음파 세척



오일 bath 내에 오일 주입



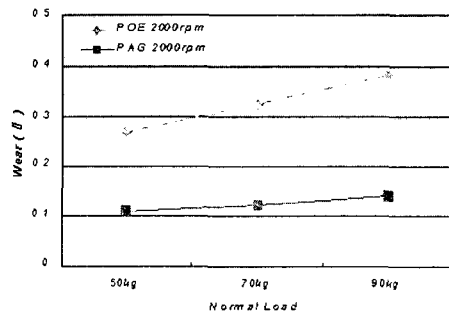
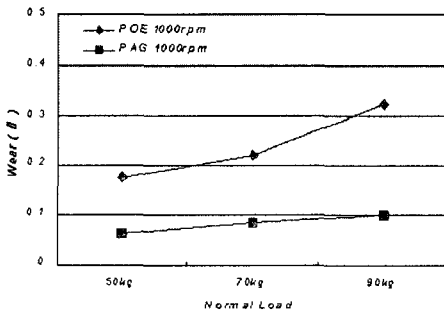
밀폐된 상태에서 냉매 주입



하중, 압력, 점도, 속도 변화

하중	속도	POE VG 100	압력	초기온도
50, 70, 90kg	1000, 2000rpm	PAG VG100	5, 10, 15bar	50℃

CO2 냉매용 오일 비교 - POE & PAG



- 동일한 수직하중, 미끄럼속도에서 PAG 오일을 사용할 경우가 POE 오일을 사용할 경우보다 마멸량이 작게 나타난다.
 - 같은 양의 오일에 용해되는 CO₂의 용해도의 차이 때문에 나타나는 것으로, 동일한 압력에서 CO₂가 PAG 오일보다는 POE 오일에 더 많이 용해되어 오일의 점도가 떨어지기 때문
- PAG 오일을 사용하는 것이 POE 오일을 사용하는 것보다 CO₂ 압축기 구동부의 내마멸성을 향상시킬 수 있다.

설계에

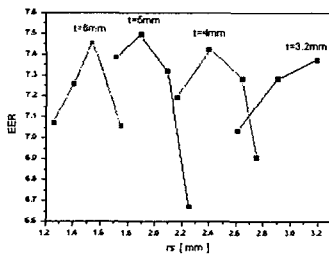
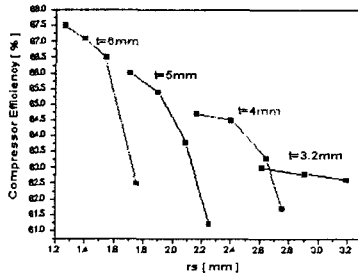
-CO2 냉매용 고효율 압축기 개발

랩 형상 인자 관계식

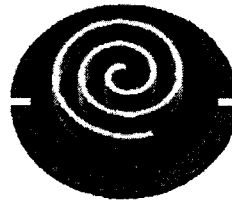
관계식들	미지수들
$r_s = a\pi - t$ $\alpha = \frac{t}{2a}$ $t = c \times t_0 \left(\frac{\Delta P_{CO_2}}{\Delta P_{R22}} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{4}{3}}$ $h = \frac{V_s}{2\pi a r_s (2\phi_e - 3\pi)}$ $V.R = \frac{V_s}{V_d} = \frac{2\phi_e - 3\pi}{2\phi_d + \pi}$	a (Base circle radius) α (Involute Initial angle) t (Wrap thickness) r_s (Orbiting radius) ϕ_e (Involute end angle) h (Wrap height) ϕ_d (Cutter angle)
5 equations	7 unknowns

설계에

-CO2 냉매용 고효율 압축기 개발



Compressor efficiency vs r_s



설계된 scroll 형상

결론

- 현재 냉동 공조용 CO₂ 압축기 개발은 아직 초기 단계로 볼 수 있음
- 압축기 기종별로 해결되어야 할 과제
 - 왕복동식 : 밸브의 신뢰성 향상, 피스톤 핀 베어링 마모 문제, 모터 토크와 토크 부하를 매칭시키는 문제 등
 - 트윈 로타리식 : 2단 압축실 급유 특성 향상, 토출 가스 오일 함유량 조절 문제 등
 - 스크롤식 : 선회부재 배면의 스러스트 마찰 손실 저감
- CO₂ 냉매를 사용 시 POE 오일과 PAG 오일을 비교시 마찰 마모 측면에서 마멸량이 약 2.6배 정도로 차이가 크게 나타나 PAG 오일을 사용하는 것이 내마멸성을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있음
- 고압 냉매인 CO₂를 적용한 스크롤 방식의 압축기를 설계하였다. 기존 냉매를 적용한 압축기 개발에 비해 체적을 적게 할 수 있으나 고압대응 설계가 필요함