

## 자동차 에어컨용 CO2압축기의 개발동향

이 건 호\*

### 1. 서 론

최근에 지구 온난화를 유발시키는 기체 중의 하나가 프레온 가스임이 밝혀지면서 자동차 에어컨용 냉매인 R134a의 대체냉매에 관한 연구가 활발히 일어나고 있다. 대체냉매로는 탄화수소계(부탄, 메탄등), 암모니아 및 천연가스가 연구되고 있으며, 그 중에서도 이산화탄소가 독성 및 가연성이 없으므로 가장 유력시되고 있다. 특히 이산화탄소를 냉매로 사용하는 에어컨의 개발이 유럽을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, 유럽연합은 2011년부터 R134a용 에어컨을 사용하는 자동차의 생산 및 수입을 단계적으로 규제하면서 2017년부터는 모든 차량의 에어컨용 냉매는 지구 온난화 지수가 150이하여야 한다는 법안을 유럽의회에 제출한 상태이다. 이 법안이 통과되면 국내 자동차 업체에서도 유럽에 자동차를 수출할 경우, 2011년부터 수출차량의 일부는 이산화탄소를 냉매로 사용하는 에어컨을 설치하여야 한다. 또한 유럽 뿐 아니라 전 세계적으로 지구온난화에 대한 관심이 증가되고 CO2가스의 배출에 대한 규제가 강화 될수록 이산화탄소를 냉매로 하는 차량용 에어컨의 수요가 급증 할 것으로 사료된다.

이산화탄소는 각종 화학 성분의 부산물로서 생성되기 때문에 생산가격이 저렴하여 경제적이며, 뛰어난 전열 특성으로 에어컨의 고효율화를 가능하게 할 수 있다. 특히, 이산화탄소를 냉매로 사용하는 압축기는 흡입냉매의 높은 밀도와 큰 잠열로 인하여 동일한 냉방 능력을 가지는 R134a용 압축기에 비해 약 1/8의 용량만 필요함으로 자동차 에어컨용 압축기의 소형화 및 저중량화를 이룰 수 있는 장점이 있다.

반면에 이산화탄소용 압축기는 냉매가 갖는 고압특성으로 인하여 기존의 R134a용 압축기에서 각 부품

의 재질 변경 및 윤활 시스템의 보완과 더불어 압축기구부의 재 설계가 요구된다. 현재 자동차 에어컨용 이산화탄소용 압축기는 오스트리아의 Obrist사, 독일의 Luk사 및 일본의 Denso사와 Sanden사 등이 적극적인 개발을 하고 있으며, 일본의 Zexel-Valeo사, Calsonic사 및 미국의 Visteon사 등도 개발이 진행 중이다.

본지에서는 CO2 압축기를 설계함에 있어 중요시 하여야하는 요소들과 현재 개발 중인 자동차 에어컨용 CO2압축기의 종류 및 개발동향에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. CO2 압축기의 설계방향

차량용 CO2 냉매압축기의 설계 방향은 크게 두 가지로 나누어지며, 첫 번째는 CO2에어컨 시스템이 요구하는 사항이고, 두 번째는 자동차가 요구하는 사항들이다. 우선 CO2 에어컨 시스템을 최적화하기 위해서 CO2 압축기에 요구하는 조건은 다음과 같다.

- 고압 측에서 최대압력은 135기압 이상 일 것
- 흡입압력은 큰 변화폭을 가지며, 평균적으로 40기압 부근 일 것
- CO2 냉매와 오일은 잘 조화를 이룰 것
- CO2는 분자가 매우 작기 때문에 특별한 누설방지 기술을 가질 것

또한, CO2 에어컨 시스템을 부착한 자동차에서는 R134a용 에어컨 시스템을 부착한 경우와 마찬가지로 다음과 같은 것들을 냉매압축기에 요구한다.

- 좁은 설치 공간
- 적은 무게
- 저소음 및 저진동
- 낮은 제조비용
- 고성능 및 고효율화

\* 두원공과대학 건축설비과  
E-mail : ghlee@doowon.ac.kr

자동차용 CO2 압축기는 R134a 압축기보다 고압 영역에서 운전됨으로 각 구성품들의 내구성 및 안정성이 요구된다. 따라서 CO2 압축기를 개발함에 있어 CO2 냉매특성상 윤활성과 누설방지에 관한 기술이 중요하므로 하우징의 설계, 축실링 설계 및 윤활성에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2.1 압축기 하우징

아래의 조건들은 압축기 하우징의 재질 및 형상설계를 행할 때 고려되어야 할 사항들이다.

- 여러 가지 고압 운전조건하에서의 압력저항
- 35기압 이상의 하우징 내 압력에서 180 °C 이상의 하우징 온도
- 에어컨 시스템 정지 시, 50 기압에서 70 기압 사이의 연속적인 압력변화
- 하우징 설계 시, 외부로의 누설방지를 위한 실링 기술

이에 대하여 LUK 사는 CO2 압축기의 하우징 개발에 있어 처음에는 안정성을 고려하여 철 재질을 사용하였으며, 파파에 대한 안정성은 철 재질의 특성으로 향상되었지만 대량생산을 고려하면 하우징의 설계는 재설계 되어져야 했다. 우선 하우징의 재질로는 현재 R134a에서 사용되고 있는 다이캐스팅 알루미늄하우징 과 단조 주철하우징이 고려되어졌으며, 하우징의 역할 및 제조비용등을 심도 깊게 분석 한 후, 단조 주철하우징을 사용하였다. 주철하우징은 알루미늄 하우징과 비교하면 압력저항과 온도저항에 대하여 매우 좋은 장점을 가지고 있지만 무거운 무게와 고가의 제조가공비용 측면에서는 좋지 아니하였다. 그래서 주철하우징 설계에서는 단점을 장점으로 바꾸고자 하는 노력이 행해졌으며, 현재 사용되고 있는 주철하우징은 알루미늄으로 설계된 하우징 보다 더 가벼우며, 하우징 설계기법을 최대한 사용하여 단조 된 하우징을 최종적인 윤곽에 매우 근접하도록 설계함으로써 가공비용을 줄일 수 있었다.

## 2.2 축 실링

현재 R134a용 압축기의 축실링으로 사용되고 있는 탄성중합체 실링재는 60기압 이상의 고압에서는

내구를 견디지 못하기 때문에 CO2 압축기에는 플루우트 실링이 사용된다. 플루우트 실링은 언뜻 보기에 매우 단순한 듯 보이지만 실제 설계 시에는 매우 많은 어려움이 있다. 축실에 의한 누설은 축실의 고정부위와 축의 회전부 사이에 존재하는 고리모양의 표면으로, 이곳은 오일이 가득 채워진 모세관 형태이다. 만약 고정부위와 회전부 사이의 틈새가 크면, 이곳을 통하여 외부로 오일의 누설이 발생하게 된다. 만약 틈새가 너무 적으면, 실링재 표면에서 마찰이 증가되어 실링재가 파손을 입게 된다. 이에 대하여 LUK사는 더 적은 윤활틈새를 얻기 위하여 실링재로 새로운 세라믹 재질을 사용하고 있다.

## 2.3 오일분리기

CO2 냉매와 함께 사용되는 오일은 CO2 냉매의 뛰어난 용해성, 큰 밀도변화 및 높은 운전압력 등이 고려되어야 한다. 뛰어난 용해성이란 고압측에서 오일이 냉매에 용해될 수 있다는 것을 의미하며, 용해된 오일은 냉매와 함께 에어컨 시스템의 다른 부분을 지난 후 다시 압축기로 흡입된다. 오일은 에어컨 시스템의 저압측과 고압측과의 과도한 압력차이로 인하여 저압측에서 냉매로 부터 분리되어 쌓이게 된다. 이러한 오일손실을 막기 위하여 흡입 측에 한 개의 오일분리기와 토출 측에 한 개의 오일분리기를 각각 설치하고 토출 측 오일분리기에서 분리된 오일은 미세통로를 통하여 다시 압축기로 되돌리는 방법이 사용되어지고 있다.

## 3. 자동차 에어컨용 CO2압축기의 개발동향

자동차용 CO2압축기는 종래의 엔진식 자동차의 에어컨용으로 엔진에 의해 구동되는 엔진구동식 압축기와 하이브리드식 또는 연료전지식 자동차의 에어컨용에 사용되는 모터구동식 압축기로 나뉘어진다.

모터구동식 압축기는 압축기 내에 모터가 내장된 것으로 엔진에 연결되어 클러치에 의해 작동되는 종래의 자동차용 압축기와는 상이하고, 주거용 에어컨용 압축기의 구동방식과 유사함으로서 주거용 에어컨용 압축기 제조회사들이 자동차용 모터구동식 압축기개발에 참여하고 있다. Fig. 1은 CO2용 모터구동식 압축기를 개발하는 업체와 이를 공급받는 에어컨 시스템 제조회사 및 자동차 메이커들과의 연관관계를 보여주고 있다. 실선은 샘플 등을 공급하고 있는 단계이며

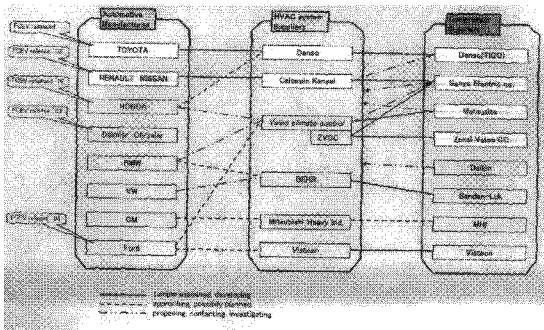


Fig. 1 모터구동식 CO2 압축기 제조회사의 현황

접선은 계획 중인 단계이고 이점실선은 접촉중인 단계를 나타내고 있다. 그림에서 보여주는 바와 같이 주거용 에어컨 압축기를 생산하는 산요, 마쯔시다, 미쯔비시 중공업, 다이킨 등은 자동차 공조시스템과 연계를 짓기 위하여 많은 노력을 행하고 있다.

덴소는 2001년에 급탕기용으로 스크롤 압축기를 개발하여 상용화에 성공한 이후, 2002년에는 연료전지 자동차용으로 전기구동식 CO2 압축기를 선보였다. Fig. 2는 이때 발표된 전기구동식 CO2 압축기로서 스크롤형이며 용량은 4.6 cc로서 도요다의 연료전지 자동차인 FCHV-4에 장착되어 실차테스트를 받은 CO2 에어컨시스템의 시작품이다. Fig. 2의 우측 하단에는 압축기 구동에 사용된 인버터를 보여주고 있다. 산요는 2001년에 2단압축 롤링피스톤 압축기를 급탕기용 및 저온냉동용으로 개발에 성공한 이후, نيسان의 연료전지 자동차 및 혼다의 연료전지자동차 등에 부착하기 위하여 칼소닉 및 켄셀-발레오 등의 에어컨 시스템 제조회사에 샘플을 공급하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 마쯔시다는 고압챔버용으로 스크롤형 CO2 압축기를 개발중이며, 다이킨은 급탕기용으로 스윙로타리 CO2 압축기를 개발하여 이를 바탕으로 차량용 CO2 압축기 개발을 추진하고 있다.

한편 엔진구동식 CO2 압축기는 R134a용 엔진구동식 압축기를 생산하고 있는 회사들을 주축으로 외부가변식 사판식 압축기로서의 개발이 주를 이루고 있다. 현재 많은 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 상용화에 대한 계획은 아직 발표되고 있지 아니하며, 다만 올해 초에 독일의 LUK사 만이 오스트리아의 Obrist사와 공동으로 개발한 사판링(Swash ring)식 CO2 압축기를 2008년부터 양산할 계획이라고 발표한 바 있다. 2000년 경에 들어 CO2 압축기에 대하여 많은 형태의 압축기들이 개발되어지고 시험되어졌다. Neksa

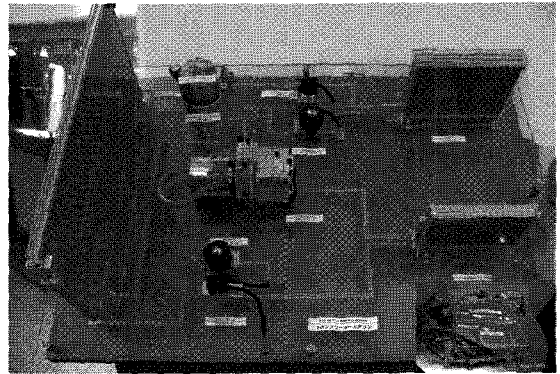


Fig. 2 도요다의 연료전지 자동차용 CO2 히터펌프 시스템 시작품

(2000)<sup>(1)</sup>는 왕복동 압축기에 대해, Tadano (2000)<sup>(2)</sup>는 롤링피스톤형 압축기에 대해, Hasegawa (2000)<sup>(3)</sup>는 스크롤압축기에 대해, Parsch (2002)<sup>(4)</sup>는 와블형과 사판식 압축기에 대해 각각 CO2 시스템의 최적화를 위한 압축기 개발에 대한 논문을 발표하였다.

특히 Forsterling (2002)<sup>(5)</sup> 등은 3가지의 서로 다른 자동차용 CO2 압축기 형태에 대한 실험적, 이론적 해석을 행함으로써 각각의 성능을 비교 분석하였다. 이 연구에서 사용된 첫 번째 압축기(Type A) 형태는 오스트리아의 Obrist사에서 개발된 시작품으로서 압력조절밸브가 내장된 사판식 압축기이다. 7개의 실린더로 구성되어있으며, 고정 및 가변을 동시에 행할 수 있는 압축기이고 최대 가변용량은 45 cc이며, 실험은 33.5 cc의 고정식으로 행해졌다. 두 번째 압축기(Type B)는 경로가 조절되는 사판식 압축기로서 유사한 형태의 펌프를 개선한 시작품이다. Fig. 3은 경로가 조절되는 사판식 압축기의 구조를 보여주고 있으며, 피스톤과 함께 회전하는 9개의 실린더로 구성되어있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 흡입밸브 및 토출밸브는 없으며, 다만 밸브플레이트에 홀이 형성

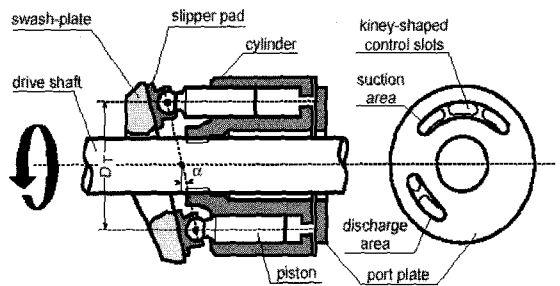


Fig. 3 경로가 조절되는 사판식 압축기

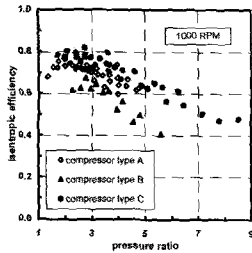


Fig. 4 압력비와 성능효율

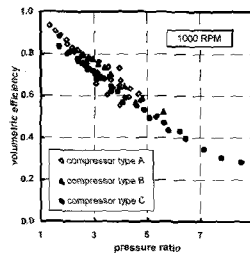


Fig. 5 압력비와 체적효율

되어 흡입구와 토출구의 역할을 행하게 되므로 높은 효율을 얻기 위해서는 흡입구와 토출구 포트의 설계가 매우 중요하다. 사판은 축과 실린더의 회전에 대해 고정되어 있으며, 사판각을 조정함으로써 압축기의 용량을 변화시킬 수 있다. 시험에 사용된 압축기의 용량은 최대 105 cc이고 고정식으로 시험하였다. 세 번째 압축기(Type C)는 1999년 Kaiser에 의하여 여러 번 자동차용 CO2에어컨 시스템에 사용되어 개선되어진 오일 유회되는 왕복동 압축기로서 두개의 실린더로 구성되어있고 압력제어밸브를 가지고 있다. 이 압축기는 처음에 R134a용으로 사용되기 위하여 116cc였지만 CO2 압축기로 개선되면서 용량은 30cc가 되었으며 피스톤 행정거리와 직경과의 비는 1.71이다. Fig. 4는 압축기 회전수 1000rpm에서 얻은 3가지 형태의 압축기에 대한 성능효율과 압력비에 대한 실험적인 결과를 보여주고 있다. 압력제어밸브가 내장된 압축기(Type A와 Type C)는 경로에 의해 제어되는 압축기(Type B)보다 전 압축비 영역에서 약 10 내지 20 %의 높은 성능효율을 가지고 있었고, 두개 실린더를 가지는 왕복동 압축기(Type C)가 7개의 실린더를 가지는 사판식 압축기 (Type B)보다 약 5% 정도 성능이 우수한 결과를 얻었다. 그러나 압축기 회전수가 증가되어도 경로에 의해 제어되는 압축기 (Type B)의 성능효율은 저하되지 아니하였고 압축기 회전수 2500 rpm영역에서는 다른 압축기와 거의 비슷한 성능효율을 얻었다. Fig. 5는 압축기 회전수 1000 rpm에서 3가지 압축기 형태에 대한 체적효율과 압력비와의 관계를 실험을 통해 얻은 결과이다. 그림에서 보여지는 바와 같이 3가지 형태의 압축기 모두가 거의 비슷한 체적효율 변화를 보여주고 있다. 다만 두개의 실린더를 가지는 왕복동압축기(C Type)가 상대적으로 압축기의 간극체적이 크기 때문에 다른 압축기(Type A, Type B)에 비하여 약 5%정도 체적효율이 적었으며, 압력비가 증가될수록 체적효율

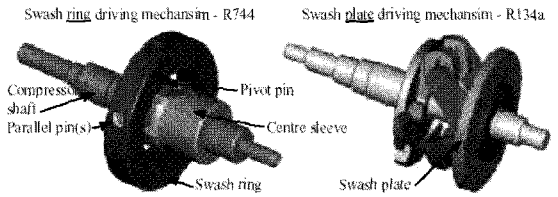


Fig. 6 CO2 압축기용 사판링 메카니즘과 R134a용 사판식 메카니즘

의 감소도 매우 크게 나타남을 알 수 있다.

또한 Fagerli (2002)<sup>(6)</sup> 등은 압력제어밸브가 내장된 가변사판식 압축기에 있어서 CO2냉매인 경우 가변에 필요한 사판실 내 압력과 압축기 흡입압력과의 차이가 R134a의 경우보다 10배 정도 크기 때문에 가변시 과도한 힘이 사판에 작용할 수 있으므로 사판의 회전 중심점과 사판에 작용하는 힘의 중심점이 동일한 축선상에 위치하도록 설계되어진 사판링의 가변 방식이 기존의 사판방식보다 가변특성이 우수하다고 발표하였다. Fig. 6은 이 연구에서 제시한 CO2용 사판링 압축기의 가변 메카니즘과 R134a용 사판압축기의 가변메카니즘 구조를 보여주고 있다.

현재까지 각 압축기 제조회사에서 발표된 엔진구동식 CO2 압축기를 소개하면 다음과 같다.

### 3.1 Obrist 사

오스트리아의 엔지니어링 회사인 Obrist사는 90년대 말 사판링 형태의 압축기를 개발하여 CO2압축기에 적용한 이후, 현재 이 압축기가 사용된 CO2 에어컨 시스템이 유럽의 각 차량에 부착되어 시험되고 있다. Fig. 7은 Obrist 사가 1999년에 제작한 시작품으로 압축기의 용량은 42.5 cc이며, 실린더 수는 7개이고 최대 가능한 압축기 토출유량은 400 kg/h (흡입압력 40기압, 흡입온도 30°C, 토출압력 120 기압

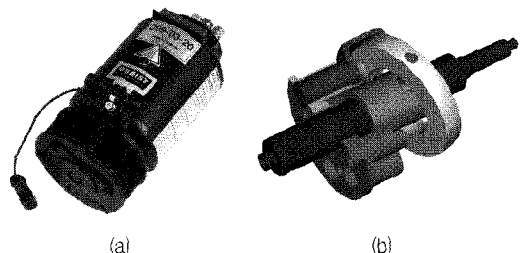


Fig. 7 Obrist 사의 엔진구동식 CO2 압축기 : (a) 압축기 외형과 (b) 가변 메카니즘

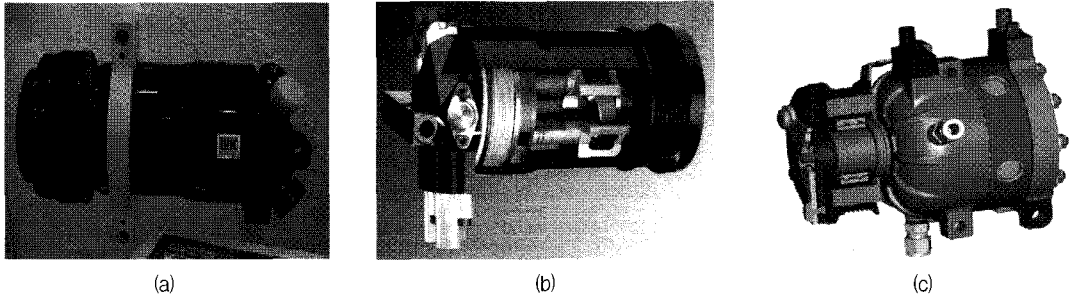


Fig. 8 LUK사 CO2 압축기 : (a) 2000년 CO2 가변압축기, (b) 2005년 CO2 가변압축기 및 (c) 2005년 CO2 고정압축기

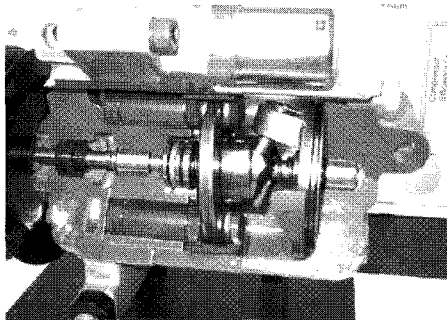


Fig. 9 덴소사의 엔진구동식

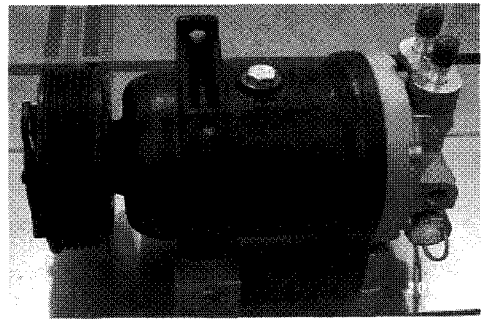


Fig. 10 칼소닉사의 엔진구동 CO2 압축기 식 CO2 압축기

에서)이고, 클러치를 포함한 총 무게는 13.5 kg이며, 가능한 압축기 회전수 범위가 600 rpm에서 8,000 rpm이고 3,000 rpm에서 냉방능력은 17 kW급인 가변식 사판링 압축기이다. 최근에 국내에 몇 대가 구입되어 CO2 에어컨 시스템에 사용되고 있다.

### 3.2 LUK 사

독일의 LUK사는 오스트리아의 Obrist사와 1996년부터 공동으로 CO2 압축기를 개발하여 왔으며, 초기에는 와블형 및 사판식 등에 대하여 시작품을 만들어 시험하면서 2002년 에는 사판링 압축기의 상용화에 성공하였고 2008년부터 대량양산을 준비하고 있다. Fig. 8 (a)는 2002년에 상용화에 성공한 압축기로 실린더 수는 5개이고 최대용량은 31 cc이며, 최대 냉매유량은 350 kg/h이고, 허용 가능한 압축기 회전수 운전범위는 600 rpm에서 11,200 rpm이고 무게는 5.5 kg이다. Fig. 8 (b)는 최근에 양산에 성공한 것으로 최대 용량이 25 cc와 31cc 의 두 가지 모델이 있다. 또한 Fig. 8 (c)는 최근에 개발한 고정식 CO2 압축기로서 반경방향 피스톤식이며, 압축기 용량은 15 cc와 23 cc급의 두 가지 모델로 15 cc급

은 총 무게가 3.29 kg으로 매우 적다.

### 3.3 기타

Obrist 사와 LUK사를 제외한 대부분의 자동차용 압축기 제조회사에서는 CO2 압축기에 대한 연구가 매우 활발히 진행 중이지만 대외적인 발표는 거의 하고 있지 않다. Fig. 9는 덴소사에서 초기에 개발한 CO2 압축기의 시작품으로 R134a용 가변식 압축기와 거의 구조가 비슷하며 다만 하우징이 외부로의 누설을 막기 위하여 일체화 되어 있다. 이 압축기는 실린더 수가 5개이고 압축기 용량은 대략 30cc 이다. 또한 Fig. 10은 2003년 도쿄 모터쇼에서 칼소닉사가 공개한 CO2 에어컨 시스템에 사용된 압축기로서 사판식으로 추정된다.

### 4. 요약

지금까지 자동차 에어컨용에 사용되어지는 CO2 압축기의 개발 시 필요한 압축기 설계개념과 여러 가지 관련논문 및 각 제조회사의 연구동향에 대하여 서술하였다. 지구온난화 및 자동차의 연료소비 절감등으로

CO2 배출의 규제가 날로 증가되는 있는 시점이므로 조만간에 모든 자동차에는 R134a용 대신에 CO2를 냉매로 사용하는 에어컨 시스템이 유럽을 중심으로 전 세계적으로 확산 될 예정이다. CO2 냉매의 고압특성으로 인하여 CO2압축기는 R134a용 압축기와 많은 차이가 있으므로 장기적인 계획으로 연구가 진행되어야 한다. 따라서 일본 및 유럽에서는 90년대 말부터 이에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있음에도 불구하고 국내에서의 연구는 아직 미비한 실정이므로 이에 대한 대비가 필요시 된다.

### 참고문헌

- (1) Neksa, P., Dorin, F., Rekstad, H., Bredeesen, A., 2000, "Development of two-stage semi-hermetic CO2 compressors", Proceeding of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 355~362
- (2) Tadano, M. et al, 2000, "Development of the CO2 hermetic compressor", Proceeding of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 323~330
- (3) Hasegawa, H. et al., 2000, " Experimental and theoretical study of hermetic CO2 scroll compressor", Proceeding of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue, pp. 347~353
- (4) Parsch, W., 2002, "Status of compressor development for R744 systems", VDA Alternate Refrigerant Winter Meeting at Austria.
- (5) Forsterling, S., Tegethoff, W., Kohler, J., 2002, " Theoretical and experimental investigations on carbon dioxide compressors for mobile air conditioning systems and transport refrigeration", Proceeding of Ninth International Refrigeration & Air Conditioning Conference at Purdue, R11-9
- (6) Fagerli, B., 2002, " A Theoretical comparison of the mechanical control behaviour of a R744 and a R134a automotive AC compressor", Proceeding of Sixteenth International Compressor Engineering Conference at Purdue, C18-2