

가변 용량형 사판식 압축기의 연구동향

이 건 호*

1. 서 론

냉장고용 압축기 및 거주형 에어컨용 압축기가 전기적인 모타에 의해 일정한 회전수로 구동되는 것과는 달리 자동차 에어컨용 압축기는 자동차 엔진의 불규칙적인 회전수에 의해 구동됨으로 넓은 회전수 영역에서 운전이 가능하고 운전가능한 회전수 영역에서 높은 효율을 가져야 한다. 또한 자동차용 압축기는 주어진 기후, 온도 및 도로특성 등에 의한 다양한 운전 특성에 적합하도록 높은 내구성을 지녀야 한다.

이러한 요구조건 인하여 경사진 사판의 거동에 의해 피스톤이 왕복운동을 행하는 사판식 압축기는 타 압축기에 비해 운전범위가 넓고 내구성이 우수하다는 특징으로 1955년 이후 자동차 에어컨용 압축기로 가장 많이 사용되어지고 있으며, 현재에는 10기통 압축기가 가장 보편적이다.

종래에는 냉동부하의 변동에 따른 압축기의 제어방식이 동력을 전달하는 클러치의 on/off 방식으로 이는 엔진에 순간적인 토크를 증가시키면서 연료소비를 증대 시키고 동시에 자동차의 승차감이 나쁘고 정밀한 차 실내온도를 제어하기가 어려웠다. 따라서 최근에는 자동차의 연료소비 절감 및 자동화 추세에 맞추어 에어컨의 냉방부하 변동에 따른 압축기 소비동력을 제어할 수 있는 가변용량형 압축기의 개발이 활발히 진행되고 있다.

본 지에서는 가변용량형 사판식압축기의 원리 및 특징을 서술하고 자동차 에어컨용 압축기 제조회사에서 개발 중인 압축기를 소개하고자 한다.

2. 가변용량형 사판식 압축기

2.1 구조

가변용량형 사판식 압축기는 일본의 덴소사에 의하

여 1995년경에 처음으로 유럽차에 상용화가 시작된 이후, 생산이 급격히 증대되고 있으며, 타 압축기 제조회사에서도 고정사판식 압축기에서 가변사판식압축기로의 변화를 꾀하고 있다. 그림 1은 덴소사에서 개발된 가변용량형 사판식 압축기의 단면도를 보여주고 있다. 가변용량형 사판식 압축기는 동력을 전달하는 동력전달부, 사판의 경사를 제어하는 가변메카니즘부와 가스를 압축하는 압축부 등으로 나눌 수 있다.

동력전달부는 풀리, 클러치, 축, 리그플레이트, 사판, 슈, 피스톤 등으로 구성되어 있다. 풀리는 자동차 엔진에 벨트로 연결되어 있으며, 엔진이 작동되면 압축기 풀리는 항상 회전하게 되어있다. 클러치는 풀리와 축을

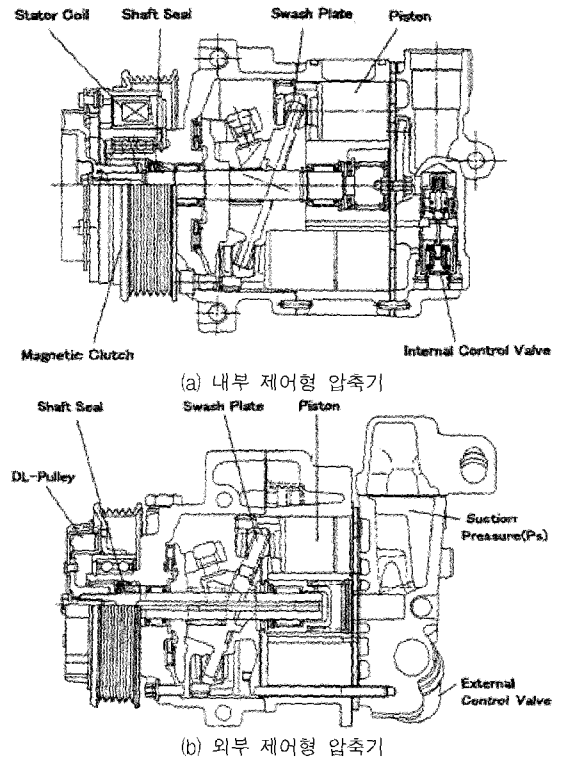


그림 1 가변용량형 사판식압축기의 단면도

* 두원공과대학 냉동공조과
E-mail : ghllee@doowon.ac.kr

연결하거나 분리시키는 역할을 행하며, 클러치가 on 되면 풀리와 축이 연결되어 엔진동력이 축에 전달되고, 축이 회전하면 축에 압입된 리그플레이트도 회전한다. 이때 사판의 일부는 리그플레이트와 연결되어 있으므로 사판 또한 축과 함께 회전하게 된다. 7개의 피스톤은 사판의 원주 바깥에 일정한 각도로 배치되어 있고 피스톤과 사판사이에는 반구모양의 슈가 사판의 양면에 각각 설치되어 있다. 사판이 회전하면 슈는 사판의 표면에서 미끄럼운동을 하고 피스톤은 슈에 의해 왕복운동을 행하게 된다. 따라서 엔진동력은 벨트, 축, 사판, 슈 등을 거쳐 피스톤을 왕복운동 시킨다.

가변메카니즘부는 그림 2에서 보여주는 바와 같이 축, 리그플레이트, 사판 및 피스톤으로 구성되어 있으며, 리그플레이트에는 한쌍의 힌지홀이 형성되고 사판에는 한쌍의 힌지핀이 형성되어 힌지핀이 힌지홀 내에서 제한된 거동을 행함으로써 사판에 미치는 힘이 변화되면 사판은 경사지게 된다. 이때 사판의 일시적인 회전중심은 그림 2에서 보여지는 바와 같이 사판의 축방향 거동에 수직인 선과 힌지핀 중심의 거동에 수직인 선과의 접점(A점)으로 사판이 경사지면 회전중심점은 이동하게 되며 이는 경사각 변화에 따른 간극체적(top clearance volume)의 변화를 야기시킨다. 또한 압축기가 운전되면서 사판에 미치는 모멘트는 크랭크실 가스압력과 압축실 내부 가스압력과의 차압 때문에 발생하는 가스압에 의한 모멘트 (M_g), 피스톤의 왕복운동에 의해 발생하는 관성모멘트 (M_p) 그리고 사판의 회전에 의한 원심모멘트 (M_s)로 3가지가 존재한다. 이때 가스압에 의한 모멘트와 사판의 원심모멘트는 사판각을 감소시키고 반면에 피스톤의 관성모멘트는 사

판각을 증가시킨다. 따라서 사판에 작용하는 모멘트는 아래와 같은 평형식을 만족하여야 한다.

$$M_g + M_s - M_p = 0 \quad (1)$$

여기에서 가스압에 의한 모멘트는 사판실 내의 가스압력과 압축실내의 가스압력으로 아래와 같이 구할 수 있다.

$$M_g = \Sigma S_p (P_i - P_c) l_i / \cos \beta \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 조합하여 아래와 같이 사판실 내의 가스압력을 구할 수 있다.

$$P_c = \Sigma (P_i - l_i) + (M_s - M_p) \cos \beta / S_p / \Sigma l_i \quad (3)$$

식 (3)에서 보여지는 바와 같이 사판실 압력은 관성모멘트와 원심모멘트에 의해 결정되며, 특히 높은 회전수 영역에서 큰 영향을 받을 것으로 사료된다. 그러므로 회전수 변화에 대한 크랭크실내 가스압력을 일정하게 유지하기 위해서는 원심모멘트와 관성모멘트의 차이를 줄이는 것이 필요하며, 이를 위하여 사판은 중량을 늘이기 위해 재질을 알루미늄에서 철로 대체하고, 피스톤은 무게를 줄이기 위하여 피스톤 내부를 중공으로 사용하기도 한다.

압축부는 피스톤, 실린더, 흡입밸브, 토출밸브, 흡입머플러, 토출머플러, 사판실 및 압력조절밸브 등으로 구성되어 있으며, 흡입관을 통하여 들어온 냉매가스는 흡입머플러를 지나 흡입밸브를 통하여 압축실로 들어가고 압축된 냉매가스는 토출밸브를 통하여 토출머플러를 지나 토출관으로 토출된다.

이때 압력조절밸브는 토출머플러와 사판실과의 연결통로를 가지고 있으며, 흡입압력이 정해진 압력이자 되면 연결통로가 열리게되고 토출냉매 가스의 일부가 사판실로 들어와 사판실 압력을 상승하게한다. 이는 사판의 경사각을 변화시키는 주된 요인이다.

2.2 가변용량형 압축기의 원리

가변용량형 사판식 압축기는 사판의 경사각이 변화되면 피스톤의 행정거리가 변해서 압축기의 토출량을 제어되는 방식이다. 이 압축기는 사용되는 압력조절밸브에 따라 내부제어형과 외부제어형으로 나누어진다.

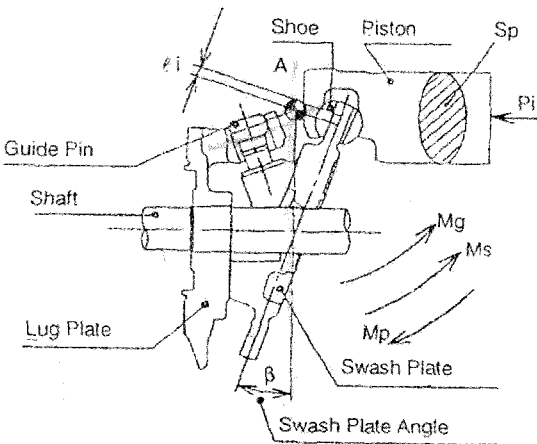


그림 2 가변 메카니즘의 동적모델링

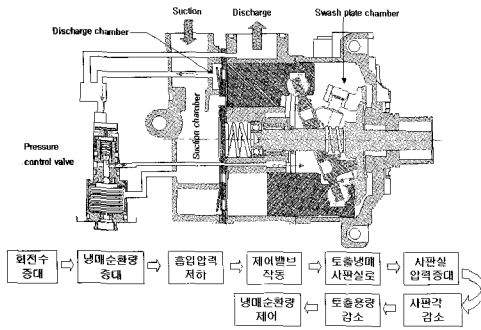


그림 3 내부제어형 가변사판식 압축기의 제어방법

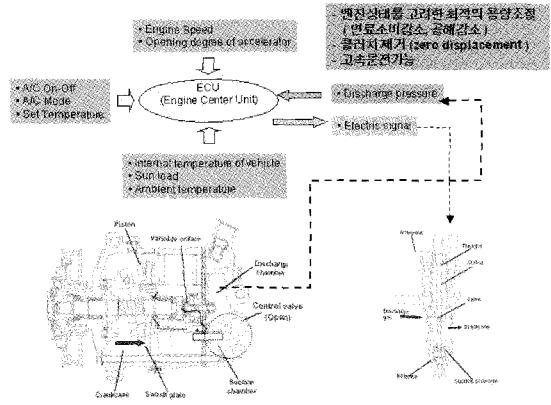


그림 4 외부제어형 가변사판식 압축기 제어방법

2.2.1 내부제어형 가변 사판식 압축기

그림 3은 내부제어형 가변 사판식 압축기의 작동원리를 보여주고 있으며, 그림에서 보여지는 바와 같이 압력조절밸브는 압축기 내부압력에 의해 작동되는 기계식으로 일반적으로 내부에 벨로우즈가 장착되어 있다. 차량실내의 냉방부하가 감소되면, 압축기의 흡입압력이 낮아지고 흡입압력이 낮아지면 압력제어밸브내에 있는 벨로우즈가 팽창하여 사판실과 도출실과의 연결통로를 증대시키고 이로 인해 도출실내의 고압가스가 사판실로 들어가 사판실내의 가스압력이 상승하게 된다. 사판실내의 가스압력이 높아지면 사판실내의 가스가 사판을 미는 힘이 증대되고 이는 사판을 세우게 됨으로 사판의 경사각도가 줄어든다. 사판의 경사각도가 작아지면 피스톤의 행정거리가 적어짐으로 냉매 토출량이 적어지고 변화된 냉동부하에 적합한 사판의 경사각도를 유지하게 된다. 또한 차량실내의 냉동부하가 증대되면 반대로 압축기의 흡입압력이 높아지고 벨로우즈가 수축되어 도출실과 사판실과의 연결통로가 차단됨으로서 사판실의 압력이 낮아져 사판은 경사지게 되며 이로 인해 피스톤의 행정거리가 증대되고 냉매 토출량이 증대되어 변화된 냉동부하에 적합한 사판의 각도를 유지하게 된다. 일반적으로 사판의 각도는 2°에서 20° 부근으로 제어된다.

2.2.1 외부제어형 가변 사판식 압축기

그림 4는 외부제어형 가변 사판식 압축기의 작동원리를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 설정압력에 대한 제어는 솔레노이드 밸브에 의하여 이루어지며, 솔레노이드 밸브는 외부의 여러 가지 요인

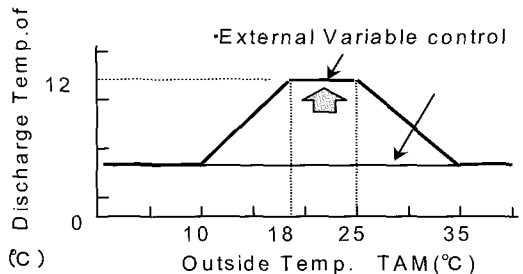


그림 5 외부제어형의 주위온도 변화에 대한 증발기 출구 공기 온도 변화

들을 고려하여 ECU(Engine Center Unit)에서 동작여부를 결정한다. 이때 사용되는 요인들로는 자동차 엔진 상태 (엔진속도, 가속정도 등), 에어컨의 운전조건 (에어컨 스위치 on/off, 에어컨 동작모드, 설정온도 등), 자동차 주위조건 (차 실내 온도, 태양열 부하, 대기온도 등)과 함께 압축기 토출압력 등이며, 이들을 조합하여 가장 적절한 전기적인 신호 즉 전류세기를 솔레노이드 밸브에 가함으로서 압력제어밸브가 작동하는 압축기 흡입압력을 결정하게 된다. 이와 같이 외부제어형 가변압축기는 흡입압력을 적절한 임의의 압력으로 제어함으로써 증발온도가 조절됨으로 증발기 출구 공기온도를 그림 5와 같이 차량외부 온도의 변화에 따라 적절한 값으로 변화시킬 수 있다. 따라서 외부제어형 가변사판식 압축기는 증발기 출구온도를 높이기 위해 제열에 소비되는 열량이 필요하지 아니함으로 연료소비량이 내부제어형에 비해 매우 적다. 또한 외부제어용 가변사판식 압축기는 압축기 토출용량을 0%까지 제어가 가능하여 클러치의 on/off 작동이 필요 없으며, 클러치가 제거되면 압축기의 무게가 적어져 자동차의 연료절감을 이룰 수 있다. 덴소사는 내부제어형 가변

사판식 압축기가 1년 동안에 사용되는 연료소비량이 80 liter 인 경우 외부제어형 가변사판식은 약 35 liter 정도를 소비한다는 해석결과를 발표하였다.

3. 각 사 용량가변형 압축기의 비교

그림 6은 용량가변형 사판식 압축기의 여러 가지 가변 메커니즘을 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 덴소사는 힌지 구조를 채택한 swash plate type, 비스테온사 및 산덴사는 고리구조 방식인 pivot plate type, 그리고 오스트리아의 Obrist사는 ring 구조 방식인 swash ring type을 채택하고 있다. 현재 상용화 되고 있는 용량가변형 사판식압축기의 구조 및 특징을 살펴보면 다음과 같다.

덴소사는 세계에서 처음으로 자동차 에어컨용 외부 가변형 사판식압축기를 개발하였다. 이 압축기는 내부 가변형 압축기를 기초로 만들어졌고, 외부의 전기적인

신호를 받음으로서 용량을 제어할 수 있는 압력조절밸브를 가지고 있다. 그림 7은 덴소사에서 개발한 외부 가변형 사판식압축기의 절개된 실물을 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 에어컨의 작동이 필요 없을 경우에는, 흡입구에 설치된 spool valve에 의해 냉매흐름이 막혀지기 때문에 클러치가 없는 풀리를 사용할 수 있어 압축기 무게를 절감시켰다. 또한 이는 엔진 동력이 계속적으로 압축기 축에 전달되어 축이 연속적인 회전을 행하게 됨으로 축실링에 대한 보완 및 사판의 특수 coating이 필요시 된다. 개발된 사판은 철(Fe)위에 Copper spraying layer을 만들고 그 위에 Molybdenum Disulfide (MoS2) coating을 행함으로써 슈와 사판간의 마찰을 최소화하였다.

그림 8은 일본 덴소사의 외부가변형 사판식 압축기의 절개된 실물을 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 피스톤링이 설치되어 있으며, 고리모양의 가변구조를 지니고 있다.

그림 9는 일본 칼소닉의 가변형 사판식 압축기의 구조를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 일본 산덴사와 유사한 고리모양의 가변메커니즘과 피스톤 링을 채택하고 있다. 특이한 점은 피스톤의 모양으로 내부가 파여진 형상으로 이는 무게를 절감시키기 위함으로 생각된다.

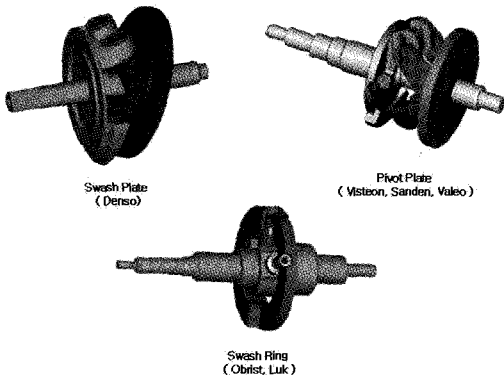


그림 6 여러가지 가변 메커니즘

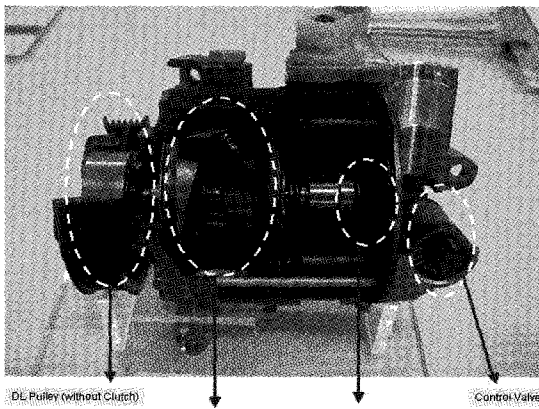


그림 7 덴소사 외부가변형 사판식 압축기

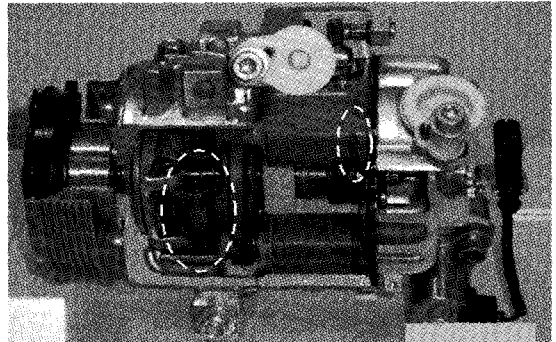


그림 8 산덴사 외부가변형 사판식 압축기

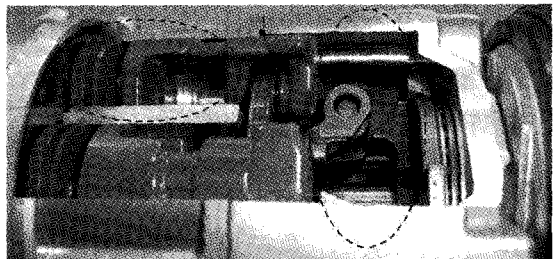


그림 9 칼소닉사 가변형 사판식 압축기

4. 결 론

가변용량형 사판식 압축기는 압축기 소비동력을 절감시키기 위한 방안으로 개발되었으며, 이는 자동차의 연료소비를 절감 시킬 뿐 아니라 승차감을 향상 시킴으로 급격한 수요증가를 이루고 있다. 국내에서는 내년에 두원중공업, 한라공조 등에서 내부가변형 사판식 압축기가 양산되어 시판될 예정이며, 외부가변형 압축기의 개발도 진행되고 있다.

참고문헌

- (1) Miyagawa, K. and Kayukaya, H., 1998, "Development of the swash plate type continuously variable displacement compressor", SAE paper 980290.
- (2) Kishibuchi, A. and Nosaka, M., 1999, "Development of continuous running, externally controlled variable displacement compressor", SAE paper 1999-01-0876.