

CO2용 사판식 압축기 성능 해석

박익서[†], 이건호^{**}

두원공과대학 기술연구소, 두원공과대학 냉동 공조과

Performance Analysis of the Swash Plate Type Compressor using CO2 Refrigerant

Ik-Seo Park[†], Geon Ho Lee^{**}(ghlee@doowon.ac.kr)

[†]Technical research center, Doowon Technical college, Kyonggi-do 456-718, Korea

^{**}Department of Refrigeration & Air Conditioning, Doowon Technical college, Kyonggi-do 456-718, Korea

ABSTRACT: Recently, from the viewpoint of global warming, natural gas CO2 is considered as a main refrigerant for hot water system. The characteristics of CO2 is not toxic, not flammable, high pressure, and high refrigerating capacity. Also it is widely available as a byproduct of industrial processes.

This paper describes the performance analysis program of the swash plate type compressor using CO2 refrigerant. Estimates of the refrigerant flow rate, compression work, discharge temperature and volumetric, compressor efficiencies of the CO2 swash plate type compressor are obtained from the various design parameter such as the inclination angle of the swash plate, discharge hole area and suction hole area.

Key words: Swash plate(사판), Compressor(압축기), Inclination angle (경사각), Volumetric Efficiency (체적효율), Compressor Efficiency (압축기 효율)

기 호 설 명

그리스 문자

- D_p : 피스톤 직경 [m]
- n : 폴리트로픽 지수 [mm]
- P_s : 흡입 압력 [kg/cm^2 gage]
- P_d : 토출 압력 [kg/cm^2 gage]
- R : 축중심과 피스톤 중심의 거리 [m]
- T_s : 흡입 온도 [$^{\circ}C$]
- T_d : 토출 온도 [$^{\circ}C$]
- V_c : 간극 체적 [cc]

- α : 사판의 경사각 [$^{\circ}$]
- θ : 축의 회전각 [$^{\circ}$]

1. 서론

현재 지구 온난화 및 오존층 파괴와 같은 지구 환경에 대한 문제가 대두되면서 냉매로써 가장 많이 사용한 듀폰사의 밋즐리가 개발한 프레온 가스가 오존층을 파괴하는 대표적인 물질로 알려져 국제 환경 협약(몬트리올 의정서)에 따라 CFC, HCFC계열의 냉매가 사용 규제 물질로 지정되어 이에 따른 대응 조치의 필요성이 제기 되었다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-670-7074; fax: +82-31-670-7058

E-mail address: iksea@incheon.ac.kr

또한 제 3차 국제 환경 협약(도쿄 의정서)이 러시아의 비준으로 공식 발효되게 되면서 온실 가스 배출 감축 의무 이행 39개국은 오는 2008년부터 2012년 기간에 온실 가스 배출량을 지난 1990년 수준으로 평균 5.2% 줄여야 한다.

이에 따라 냉동 공조용으로 오존층 파괴 및 지구 온난화에 미치는 영향이 미미한 자연 냉매가 각광을 받고 있는데 대표적인 물질로는 이산화 탄소 (CO₂, R744), 암모니아(NH₃,R717) 그리고 탄소 계열의 프로판(C₃H₈,R290), 이소 부탄(i-C₄H₁₀, R600a)에 대한 연구 및 활용성에 대한 관심이 높아 지고 있다. 이 중에서 암모니아와 탄화 수소 계열의 냉매는 가연성 및 독성으로 인하여 사용이 제한됨으로써 이산화탄소(이하 CO₂)가 자연 냉매 중 가장 주목을 받고 있다.

본 연구는 자동차용 CO₂ 가변 사판식 압축기의 성능해석 프로그램을 개발하고 이를 통하여 사판 경사각 변화 및 흡, 토출구의 크기 변화에 따른 성능 분석을 통해 최적 설계의 기초자료를 얻고자 한다.

2. 사판식 압축기의 성능 해석

2.1 성능 해석용 사판식 압축기

성능 해석 대상 차량용 압축기를 Fig.1에 나타내었다. 모터로 구동되는 압축기와 달리 차량용 압축기는 차량의 엔진을 통해 구동력을 풀리로 전달 받아 축과 연결된 클러치에 의해 압축기를 구동 하게 된다. 축의 회전 운동을 왕복운동으로 바꾸어 주는 사판과 슈에 의해 사판식 압축기는 냉매를 압축 시킨다. 실린더 상단에 위치한 흡입 토출 밸브를 통해 흡입 과정과 토출 과정시 냉매를 유입, 토출 한다. 7개의 피스톤은 슈에 의해 설치되어 있으며 사판 1회전시 각 피스톤은 51.5도의 위상차를 가지며 왕복 운동을 한다.

성능 해석을 위한 압축기 사양 및 운전 조건을 Table 1에 나타내었다. 압축기 내부의 간극 및 흡/토출 밸브의 고유 진동수 및 감쇠 계수는 일정한 값으로 고정 하였다.

2.2 성능 해석

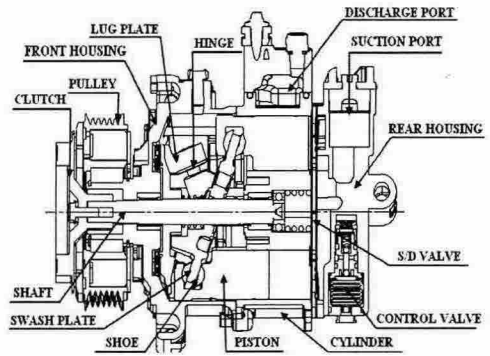


Fig.1 The swash plate type compressor for automotive air condition system.

Table 1 Operation Condition for Simulation

Parameter	Dimension	Unit
Suction Temperature	5	°C
Suction Pressure	30	bar
Discharge Pressure	100	bar
Cylinder number	7	
Top Clearances	50	μm
Piston, Cylinder Gap	11	μm

축의 회전각에 따른 실린더 내의 체적변화는 식 (1)과 같다.

$$V(\theta) = \frac{\pi D_p^2}{4} R \tan \alpha \cos \theta + V_c \quad (1)$$

여기서 R은 축 중심에서 피스톤 중심까지의 거리 값이고 α 는 사판의 경사각이다. 회전각 θ 와 간극 체적인 V_c 에 의해서 정의된다. 간극 체적은 Fig.2의 피스톤과 실린더간의 간극(11μm)과 토출 밸브 플레이트에 의한 체적이다.

Fig.2의 압축실내의 피스톤과 실린더간의 간극에 의한 냉매의 누설은 식(2)와 같이 노즐 유동을 사용하여 구하였다. 압축실 내의 냉매의 밀도, 압력, 온도는 Refprop 6.0을 사용하여 구하였으며 유량은 식(3)사용하여 리얼 가스 방정식(4)으로 성능 해석을 하였다.

압축기의 기계적 마찰 및 동적 거동은 참고 문헌⁽⁴⁾에 제시된 방법으로 구하였다.

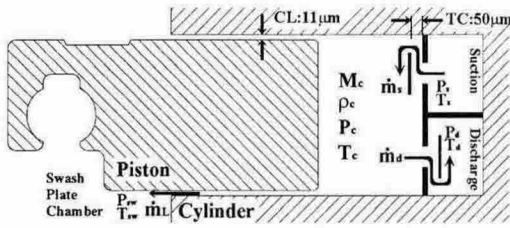


Fig.2 The modeling of mass flow rates in compression chamber

$$\dot{m} = C_v P_u A_c \sqrt{\frac{2n}{n-1} RT_u} \sqrt{\left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{2/n} - \left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{n+1/n}} \quad (2)$$

$$M_c(t) = M_c(0) - \int_0^t (\dot{m}_{out} - \dot{m}_{in}) dt \quad (3)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\frac{\delta Q}{dt} - \frac{\delta W_t}{dt} + \sum (h_i - h_j) \left(\frac{dG}{dt} \right)_i - \left(\frac{dV}{dt} - \nu \frac{dG}{dt} \right) \left(\frac{\sigma h}{\sigma v} \right)_r - \left(\frac{\sigma P}{\sigma v} \right)_r \nu}{\alpha \left(\frac{\sigma h}{\sigma T} \right)_v - \left(\frac{\sigma P}{\sigma T} \right)_v} \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 경사각 변화에 따른 성능 해석

사판 경사각을 10, 15, 20으로 기울여 회전수에 따른 성능 해석한 하였고 그중 경사각이 20도인 경우의 해석 결과 값을 Table 2에 나타내었다.

회전수가 증가 할수록 토출 온도는 감소하는 경향을 나타내고 있으며 이는 토출 밸브에서의 냉매가 압축실 내부로의 역류의 빈도가 줄어들어 토출 온도의 감소를 가져 왔다. 경사각에 따른 행정 체적이 동일하여 회전수가 증가할 때 냉매 유량도 동일한 경향을 보이고 증가 하는 것을 볼 수 있다.

회전수 2000을 기준으로 체적 효율은 크게 증가 하는 반면 그 이상에서는 변화 폭이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 압축기 효율은 회전수 2000이상에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 회전수 증가에 따른 압축기 소요 동력의 증가에 의한 영향이 크다.

경사각 변화에 따른 냉매 흐름 변화량을 Fig.3에 나타내었다. 회전수 및 경사각이 증가되어도 피스톤과 실린더의 간극과 행정 체적이 동일하기 때문에 냉매 유량의 변화 폭은 크게 변하지 않았다. 냉매 증가에 의해 압축일의 증가를 Fig.4에

Table 2 Performance analysis for Inclined angle

	800	1000	2000	3000	4000
Refrigerant Flow	84.0	111.6	249.5	388.4	519.4
Compression work	1.7	2.2	4.5	7.2	10.2
Volumetric Efficiency	69.7	74.2	82.8	85.9	86.3
Compressor Efficiency	72.7	76.6	82.2	80.1	75.8

an inclination of 20 degree

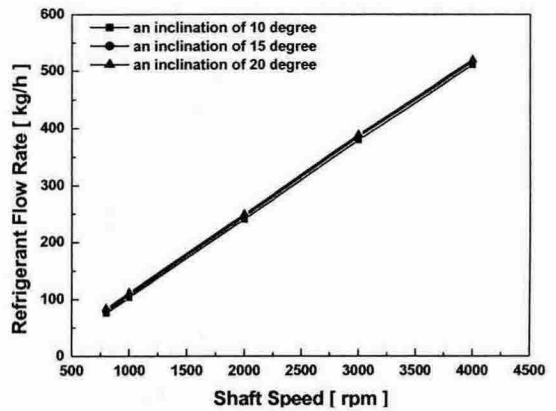


Fig.3 Effect of shaft speed on refrigerant flow rate

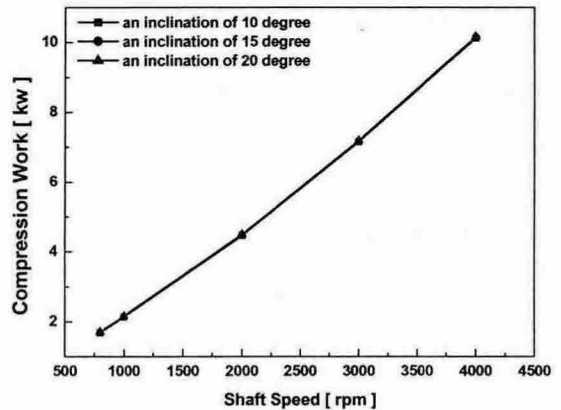


Fig.4 Effect of shaft speed on compressor work

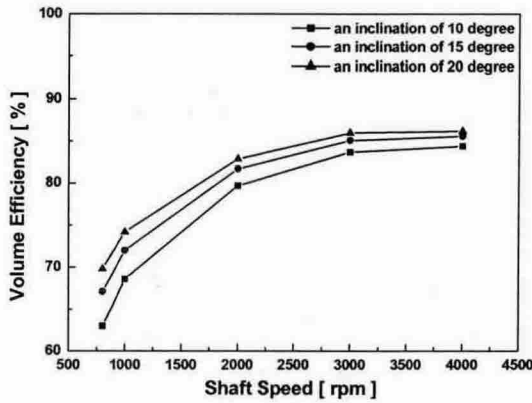


Fig.5 Effect of shaft speed on volume efficiency

나타내었다. 3가지 경우의 사판각을 변화 시켰을 경우 압축일의 증가도 유사하게 증가 되는데 엔진 구동 방식의 사판식 압축기 사판각이 한 경사각으로 고정된 경우 압축일 증가는 엔진의 무리를 줄 수 있는 요인으로 작용한다.

경사각의 변화에 따른 압축기 체적 효율의 변화를 Fig.5에 나타내었다. 경사각이 15도인 경우와 경사각이 20도인 경우 체적 효율에서 약 4%의 차이를 보이고 있으나 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 2000rpm까지의 회전수 증가시 체적 효율이 크게 증가 하는 반면 2000rpm 이후에서는 큰 증가 없이 거의 유사한 체적 효율을 가진다.

Fig.6에 회전수 변화에 따른 압축기 효율을 나타내었다. 체적 효율이 경사각이 다른 경우에 회전수 변화에 따라 크게 변동하는 반면 압축기 효율은 회전수 2000 이상에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 고회전수로 갈수록 마찰에 의한 소요 동력의 증가로 인해 압축기 효율은 감소한다.

3.2 토출구/흡입구 홀 변화에 따른 성능 해석

토출/흡입 밸브의 감성계수는 동일 값을 주어 성능 해석을 하였고 성능 해석 결과 토출 온도는 밸브 홀의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다.

사판의 경사각 15도로 고정된 상태에서 회전수 2000rpm인 경우 흡입 홀의 직경을 $\phi 6\text{mm}$ 로 고정된 상태에서 토출 포트의 홀 면적의 변화에 따

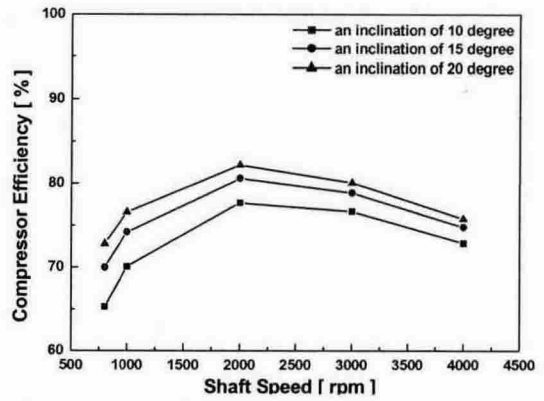


Fig.6 Effect of shaft speed on compressor efficiency

Table 3 Performance analysis for Discharge hole

Hole area	30	35	40	45	50
Refrigerant Flow	245.9	246.2	246.3	246.2	246.2
Compression work	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Volumetric Efficiency	81.6	81.7	81.7	81.7	81.7
Compressor Efficiency	80.3	80.6	80.8	80.9	81.0

at 2000rpm, suction hole Diameter : 6mm

Table 4 Performance analysis for Suction hole

Hole diameter	6	7	8
Refrigerant Flow	246.2	246.7	247.5
Compression work	4.5	4.5	4.4
Volumetric Efficiency	81.7	81.8	82.1
Compressor Efficiency	80.6	81.3	81.7

at 2000rpm, Discharge hole area : 35mm²

른 성능분석 결과 값을 Table 3에 나타내었고 Table 4는 토출 포트 홀의 면적을 35mm²로 고정된 상태에서의 흡입 포트의 면적을 6, 7, 8로 변경하여 성능 분석을 하였다. 냉매 유량과 압축기

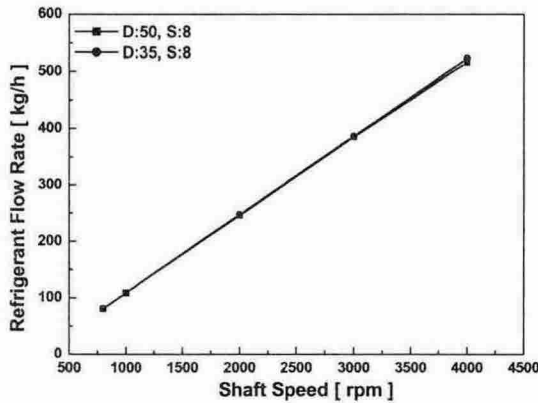


Fig.7 Effect of valve area on refrigerant flow rate

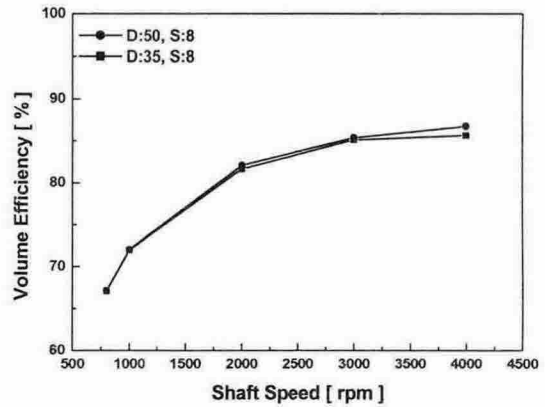


Fig.8 Effect of valve area on volume efficiency

일은 토출/흡입 포트 홀을 변경 시켜도 거의 유사한 값을 가진다. CO2 냉매는 토출/흡입 포트 홀의 크기에 거의 영향을 받지 않는 것으로 사료된다. 토출/흡입 포트 홀의 변경에 따른 회전수를 변화시키며 성능 분석을 하였다. 토출/흡입 포트 면적에 따른 회전수 변화를 Fig.7에 나타내었다. 토출 포트가 큰 경우 조금 차이를 보이나 거의 유량에서는 일정한 것을 볼 수 있다. 포트의 변경에 따른 유량의 변화는 크지 않음을 알 수 있다. 체적효율의 변화를 Fig.8에 나타내었다. 저속에서는 포트 홀의 면적에 거의 영향을 받지 않고 있으나 고속으로 갈수록 토출 포트가 큰 경우에는 다소 효율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 흡입 면적이 고정된 상태에서 토출 면적이 클수록 냉매의 역류가 발생되어 냉매 토출량이 줄어든 것으로 보인다. 반면 흡입 밸브의 면적 증가로 인한 압축실 내부로 유입되는 냉매의 양이 증가하여 냉매 흐름량이 증가된 것으로 보여진다. Fig. 9 압축기 회전수가 증가 될 때 압축기 효율은 흡입 포트의 면적이 큰 경우가 더 좋은 것으로 나타난다. 저속의 경우 큰 차이를 보이고 있지 않지만 고속으로 갈수록 서로간의 차이는 크게 벌어지고 회전수 2000을 기점으로 압축기 효율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 회전수 증가에 의한 소요 동력의 증가가 원인으로 사료된다.

4. 결론

본 연구를 통하여 자동차용 CO2 가변 사판식

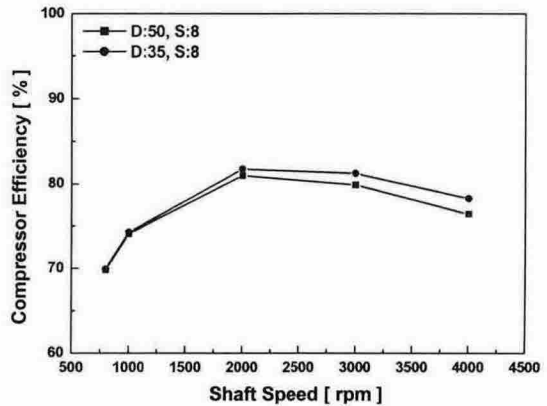


Fig.9 Effect of valve area on compressor efficiency

압축기의 성능해석 프로그램을 개발하였으며, 설계변수를 통한 성능분석으로 다음과 같은 결과를 얻었다

(1) 피스톤과 실린더간의 간극이 일정하고 행정 체적이 동일한 경우에서 사판 경사각을 10도, 15도, 20도로 변경시킨 경우 상태에서 회전수 변화에 대해 회전수 저속 영역에서는 경사각 변화가 체적에 큰 영향을 미치나 고속영역에서는 큰 변화가 없다. 또한 전 영역에서 경사각이 커질수록 체적효율이 높아짐을 알 수 있다.

(2) 회전수 전 영역에서 경사각이 커질수록 압축기 효율이 증가됨을 알 수 있었으나 경사각이 무한정한 증가는 기계적 마찰 손실을 증가시키므로 체적의 경사각도가 나타날 것으로 사료된다.

(3) 경사각 변경에 따라 체적 효율은 증가하는 경향을 보이고 있으나 압축기 효율은 회전수 2000을 기점으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

(4) 토출/ 흡입 포트 홀의 크기가 변경 되어도 압축기 성능에는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. Bjorn Fagerli, 2002, A theoretical comparison of the mechanical control behaviour of a R744 and A R134a Automotive A/C compressor, Purdue, C18-2
2. Lee Geon Ho, 2002, Performance analysis of Swash plate type compressor on the inclined angle of swash plate, Korea fluid machinery association, P215-220
3. Tadashi Yanagisawa, Mitsuhiro Fukuta, Takeshi Sakai and Hiroyasu Kato, 2000, Basic operating characteristic of reciprocating compressor for CO2 cycle, Purdue, P331-338
4. 이 태진, 이 진호, R744용 압축기의 성능 해석에 관한 연구, 2003, 대한 설비 공학회, 2003-S-108