

내부제어밸브를 가진 가변 사판식 압축기의 소음개선에 관한 연구

한규석* · 노경덕** · 공문성***

A Study of Noise Improvement of variable displacement swash plate type compressor with internal control valve

Han Gyu Suk*, Rho, Gyoung Deok**, Kong, Moon Seong***

Keywords : Variable Displacement Swash Plate Type Compressor, Noise, Internal Control Valve

Abstract

Due to the distinct advantages of comfort, drive ability and fuel economy standard, the variable displacement swash plate type compressor which can control the compressor displacement by increasing of reducing the swash plate angle has developed for automotive air-conditioning system. That can be obtained constant temperature of car room on the variation cooling capacities of engine speeds. In this paper we investigated the improvement of internally controlled variable displacement swash plate compressor on noise.

1. 서 론

차량용 에어컨 압축기는 에어컨 시스템을 구성하는 핵심 부품으로서 엔진에서 동력을 전달받아 회전하면서 증발기의 저온 저압 냉매를 고온 고압으로 압축하여 응축기로 보내는 역할을 수행한다. 이와 같은 차량용 에어컨압축기는 엔진의 회전수에 의해 운전속도가 결정되며, 차량으로부터의 진동이 차체를 통하여 직접적으로 전달받게 됨으로 높은 내구력, 신뢰성 및 에너지절감을 위한 고효율이 요구된다.¹⁾

그동안 차량용 에어컨 압축기의 소음개선을 위한 많은 수치해석과 실험적 고찰이 행해졌다. Ebbing등²⁾은 가변 사판식 압축기의 조종 안정성과 NVH성능 개선연구를 수행하였으며 Tian등³⁾은 가변 사판식 압축기를 사용하는 차량용 에어컨 시스템의 불안정성의 논문에서 가변 사판식 압축기의 성능과 소음에 관하여 수치적 시험적인 연구를 수행하였다. 그리고 Miyagawa등⁴⁾은 사판식 가변용량 압축기의 개발에서 압축기 사양에 대한 소음 개선을 수행하였다.

차량용 에어컨 압축기의 소음개선은 각 단품에 대한 시행착오적 방법으로 이루어지고 있기 때문에 전체적으로 균형잡힌 시스템을 구성하기까지 수많은 평가와 개선이 필요하다. 그러나 시스템 구성 요소 및 전체 시스템의 완벽한 이론적 해석은 각 구성요소의 상호작용을 고려하여야 하기 때문에 매우 복잡하다.

본 연구에서는 단품과 실차를 이용한 낮은 외기온에서 발생하는 압축기 밸브 작동음 개선을 통해 압축기 구동 시 저운황조건에 의한 소음을 실험적으로 분석하여 개선함으로써 설계초기단계에 적절한 요소선택과 문제점 개선에 도움을 주고자 한다.

2. 내부제어식 가변 사판식 압축기

2.1 가변 사판식 압축기 개발배경

차량의 연비향상 및 운전성 향상을 위해 냉매 토출량 최적 제어가 가능한 압축기를 만드는 컨셉에서 시작하였다.

이로 인하여 유저모드에서의 에어컨 성능개선을 통해 쾌적한 실내공간을 창출할 수 있게 되었으며 고정식 압축기 대비 10~15%정도 연비향상을 통해 유저들의 불만사항 개선 및 EM 성능이 향상되었다. 마지막으로 압축기 클러치 탈착음 개선을 통해 에어컨의 소음을 대폭 개선하였다.

2.2 고정/가변 사판식 압축기 이론

2.2.1 고정 사판식 압축기

고정 사판식 압축기는 증발기 또는 압축기 입구에서의 압력에 따라 클러치를 흡 / 탈착하면서 압축기의 구동을 정지시키므로 Fig.1(a)에서와 같이 구조가 간단하다. 냉방부하를 맞추기 위하여 클러치가 계속적으로 흡/탈착됨으로, 이로 인한 압축기의 급격한 토크 변동은 차량엔진에 좋지 않은 영향을 미칠 뿐만 아니라 차량의 승차감을 저하시키는 단점이 있다.

작동원리는 엔진동력이 폴리에 전달되고 에어컨 작동시 컴프레서 클러치가 On되면 폴리의 동력은 샤프트를 통해 사판의 회전운동을 발생한다. 사판의 회전 운동은 사판각에 의해 피스톤의 왕복 운동으로 전환되어 냉매를 압축하는 방식이다.

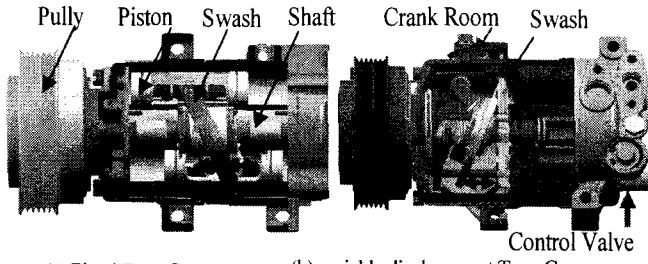
2.2.1 가변 사판식 압축기 (내부가변식)

내부 가변 사판식 압축기는 증발기 또는 압축기 입구에서의 압력에 따라 제어 밸브가 사판실의 압력을 증감시킴으로 사판의 경사각을 조절하므로 Fig.1(b)에서와 같이 고정 사판식 압축기에 비해 복잡한 구조를 갖는다. 반면 사판의 경사각이 연속적으로 변화하기 때문에 압축기의 토크 변동이 적고 차량 실내의 쾌적성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

* 기아자동차 기능시험3팀, gshan@kia.co.kr

** 기아자동차 기능시험3팀, 2760037@kia.co.kr

*** 기아자동차 기능시험3팀, mskong@kia.co.kr



(a) Fixed Type Compressor (b) variable displacement Type Compressor
Fig.1 Overall structure of swash plate type

작동원리는 열 부하에 따라 사판의 각도가 변경되는데 열 부하가 작은 경우 흡입실 압력강하로 흡입압력이 용량밸브 설정압보다 낮아지면 용량 제어밸브가 개방되어 고압이 사판실로 유입된다. 크랭크실 압력이 상승하게 되면 사판각이 작아지게 된다. 따라서 피스톤의 스트로크도 작아지게 되므로 냉매의 유량이 감소한다. 즉 열부하에 따라서 냉매유량이 바뀌게 된다.⁹⁾

2.3 가변 사판식 압축기 내부 제어 밸브

Fig.2는 가변 사판식 압축기에 사용되어지고 있는 압력제어 밸브의 단면도를 보여 주고 있다. 제어밸브의 흡입압 설정은 벨로우즈의 스프링 및 볼 지지 스프링에 의해 결정되며, 토출압의 영향을 받는다.

차량 내부의 냉방부하가 줄어들 경우 압축기의 흡입압(Ps)은 설정압보다 낮아지게 된다. 이와 같은 운전조건의 변화에 의해 압축기의 흡입압이 감소할 경우에 있어 흡입실과 연통되어있는 벨로우즈는 팽창한다. 벨로우즈가 팽창함으로 로드와 볼은 왼쪽으로 이동하게 되고 토출실과 사판실의 연결통로는 개도된다. 그 통로를 따라 토출실의 고압가스(Pd)가 사판실로 유입되고, 압력증가는 사판의 경사각을 작게하여 냉매 순환량을 감소시킨다. 따라서 과도한 냉방에 따른 흡입압의 저하를 방지할 수 있다.

2.4 내부 제어식 가변 사판식 압축기

Fig.3은 증발기 출구 온도 제어 특성을 보여주고 있다. 내부 제어식 가변 압축기의 경우 혼합공기 온도가 설정이 높거나 낮을 경우에도 증발기 출구 온도는 2-4℃ 범위로 유지된다. 따라서 압축기의 일량은 고정이기 때문에 설정된 혼합공기 온도제어를 위해 압축기 가변량을 변화시켜 용량을 변화하여 증발기 출구온도를 유지한다. 이는 고정식 압축기가 100%용량으로 클러치 On/Off로 온도를 제어하는 방식 대비 10~15%정도 연비향상을 가져오게 된다. 압축기의 일로 인해 증발기의 온도는 낮아지게 되고 증발기를 통과한 낮은 공기온은 히터코어의 냉각수열로 인해 재 가열을 시키게 되며 사용자가 설정한 쾌적한 실내공간을 가능케 해준다.

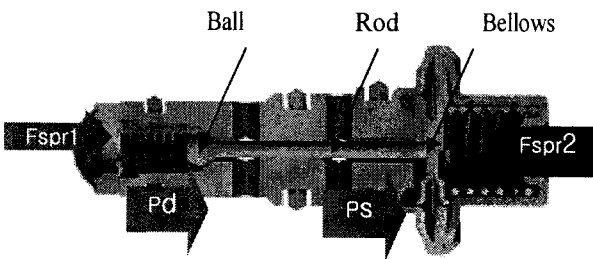


Fig.2 Internal Control Valve

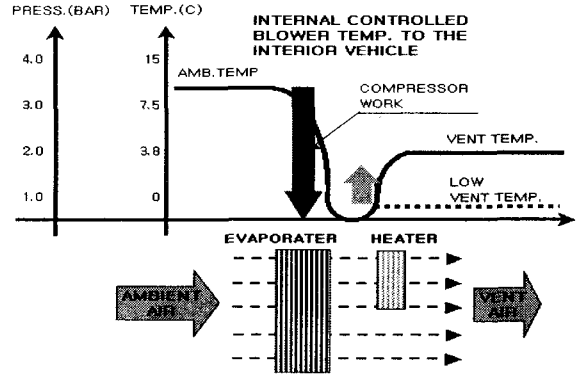


Fig.3 A/Con System Control

3. 시험장비 및 방법

3.1 시험장비

시험차량은 A차량과 B차량을 이용하였으며 시험장소 및 장비는 A사의 에어컨 벤치 소음 시험실과 실차 무향실을 사용하여 벤치평가와 실차 평가 등 두 가지 방법을 병행하였다. Fig.4, 5를 보면 에어컨 벤치 소음 시험실의 경우 완전 무향실로서 에어컨 단품 소음 측정을 목적으로 사용되며 실차 무향실의 경우 반무향실로서 실제 도로조건에 유사한 상황에서 소음을 측정을 목적으로 사용된다. 무향실의 상세사양은 Table.1,2에 기술되어 있다.

본 연구에서 사용한 평가장비는 Table.3과 같으며 마이크로폰의 경우 보정 후 사용하고 있다. 그리고 A사의 압축기를 사용하였으며 사양은 Table.4 에 자세히 명기하였다.

Table.1 A/C Bench Noise Test Lab

Anechoic Room (HCC)	
Volume	5×3.2×2.5(m)
Background Noise	30dBA ↓
Temp. control	5~50℃
A/C Control Room (HCC)	
Volume	2.5×3.2×2(m)
Temp. Control	5~50℃
Comp. rpm Control	500~700rpm
Comp. Temp Control	Normal temp.~90℃

Table.2 Vehicle Anechoic Room

Volume	10.2×9.6×3.3(m)
Background Noise	27dBA ↓
Temp. Control	15~35℃

Table.3 Test Equipment

Microphone	Bruel & Kjaer Type 4190
Measurement	Disk 16
Analyzer	Artemis V7.0

Table.4 Compressor Specification

Disp.(cc/rev)	Max. 180 cc/rev
Weight/Diameter	6.7 kg/Φ124
Comp Control	Suc./Disp. Press Control

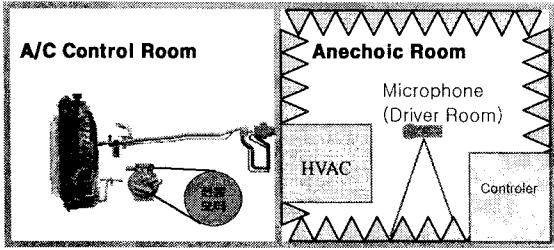


Fig.4 A/C Bench Noise Test Lab

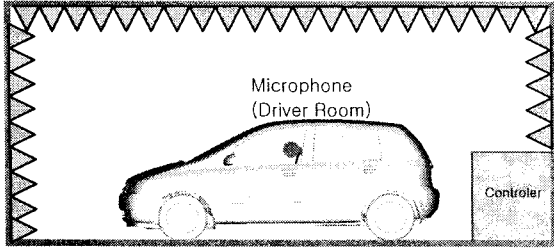


Fig.5 Vehicle Anechoic Room

흡입머플러체적 증대 (40cc→50cc)

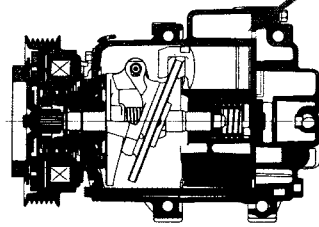


Fig.10 Increase Inlet Muffler Volume

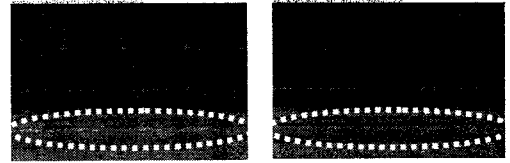


Fig.11 FFT Data (Increase Inlet Muffler Vol.)
(a) Inlet Muffler 40cc (b) Inlet Muffler 50cc

3.2 시험방법

본 연구에서는 낮은 외기온 (15°C) 상태에서 압축기 구동시 저 윤회조건에 따른 작동 소음을 재현하기 위해 에어컨 벤치 소음 시험실과 실차 무향실을 사용하여 Idle시 차량의 압축기 소음을 측정하였다. 에어컨 벤치 소음 시험실에서는 압축기 단품에 따른 밸브 작동음의 원인과 개선방안을 도출하였으며 단품 벤치에서 재현하기 어려운 문제에 대해서는 실차 무향실에서 작동소음을 재현하였으며 소음의 원인을 추정하고 개선하였다.

4. 결 과

4.1 소음 발생 현상과 원인

낮은 외기온 상태에서 압축기 작동 중간에 2~3초간 밸브 작동음이 주기적으로 반복되는 현상이 발생하였다. 원인은 저냉방 부하 조건에서, 에어컨 작동시 냉매 유량 저하로 인한 무 윤회 상태로 압축기가 구동되면서 밸브 타격으로 인해 노이즈가 생성됨을 알 수 있다. 더 자세히 보면 Fan Speed 증가로 인해 크랭크실 압력보다 토출 압력이 낮아지게 되어 (Pc>Pd) 사판의 경사각도는 감소하게 된다. 이에 따라 유량이 감소하게 되어 소음이 생성되는 것이다. Fig.6에서 보는 것 같이 유량 증감 싸이클에 따라 소음이 주기적으로 발생한다.

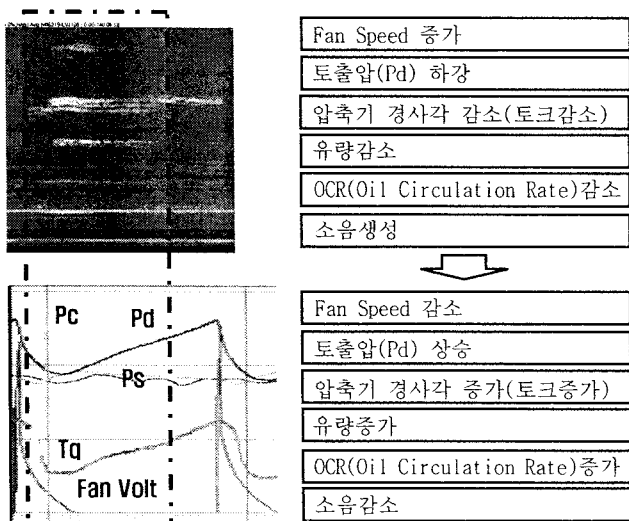


Fig.6 Noise Mechanism

4.2 흡입 머플러 체적증대를 통한 소음저감

B차량에서 낮은 외기온 상태에서 압축기 작동시 발생하는 밸브작동음을 줄이기 위해 압축기 흡입 머플러 체적을 증대하는(Fig.7) 개선을 적용하였다.

단순 확장관의 경우 체적에 따라 소음저감효과는 변한다. 대체적으로 체적이 늘어나게 되면 소음 저감효과는 더 커지는 경향이 있다. 하지만 압축기의 흡입부의 레이아웃의 한계로 인해 체적증대는 제한적이다.

Fig.8은 흡입 머플러 체적이 40cc일 때 PWM방식의 Fan작동에 따라 압축기의 작동소음이 발생함을 볼 수 있는데 특히 Fan Speed가 급격히 떨어질 때 250Hz대역에서 높은 음압의 소음이 발생함을 알 수 있다. 흡입 머플러의 체적을 50cc로 증대 하는 개선 작업 후 소음 전달의 감쇄효과를 소음 측정 데이터를 통해 확인할 수 있다. *주) 수치는 보안규정으로 다를 수 있음

4.3 TXV 설정치 증대를 통한 소음저감

A차량에서 외기온 15°C일 때 Idle시 냉매량 500g 그리고 토출압(Pd)은 4.5~8.5kg/cm²일 때 TXV 설정치에 따른 소음특성을 살펴보았다.

Fig.9은 TXV 설정치에 따른 압력 그래프를 보여주고 있다. 굵은 곡선은 냉매 R-134a의 포화곡선을 나타내고 있으며 얇은 곡선은 2.3k/0.7s의 특성 나타내고 있다. 그리고 기호들은 팽창변 상·하향 조정에 따른 압력 분포를 보여주고 있다.

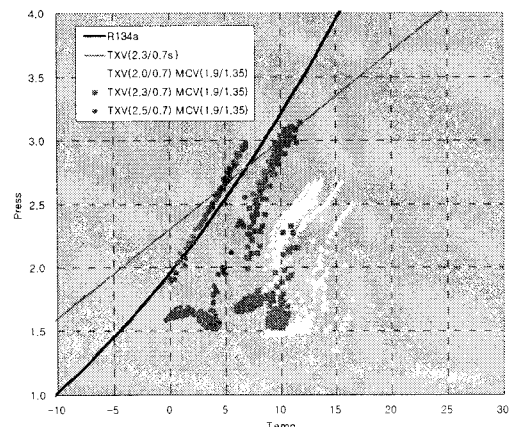


Fig.9 Temp, Pressure Graph(Increase TXV Set Point)

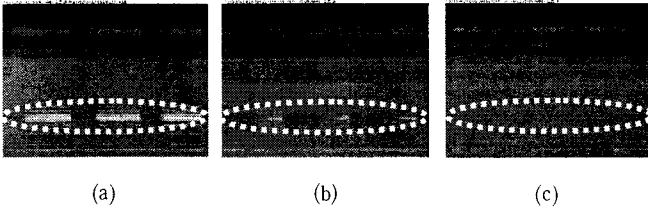


Fig.10 FFT Data (Increase TXV Set Point)

(a) TXV(2.0k/0.7s) (b) TXV(2.3k/0.7s) (c) TXV(2.5k/0.7s)

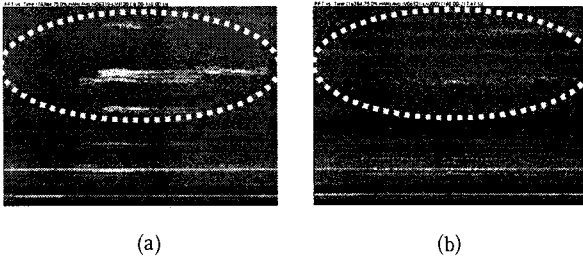


Fig.11 FFT Data (Decrease Suc. Pipe Diameter)

(a) Suc. Pipe Φ19 (b) Suc. Pipe Φ16

그리고 Fig.10를 살펴보면 2.5k/0.7s일 때 200~300Hz대역의 높은 음압에 대한 소음 저감효과가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이는 팽창변 상향 조정으로 인한 냉매 유량 증대 때문이다. 하지만 TXV 설정치에 따른 실차 에어컨 성능은 소음의 개선 경향과 다른 경향을 보이는 경우가 많으므로 추가로 에어컨 성능평가를 병행해야한다. *주) 수치는 보안규정으로 다를 수 있음

4.4 Suction Pipe지름 축소를 통한 소음저감

B차량에서 외기온 15℃일 때 Idle시 냉매량 500g 그리고 토출압(Pd)은 4.5~8.5kg/cm2일 때 Suc. Pipe지름에 따른 소음특성을 살펴보았다.

Fig.11는 TXV설정치가 2.2k/0.7s로 동일한 조건에서 흡입관 지름이 Φ16, 19일때의 소음 측정 데이터이다. 흡입관을 축소함으로써 저 유회조건에서 나타난 낮은 토출압력을 개선함으로써 저 유량에 따른 150~ 400Hz대역까지의 높은 음압의 소음을 개선하였다. *주) 수치는 보안규정으로 다를 수 있음

본 연구에서는 실제 차량 개발시 A사에서는 단품 평가를 통해 성능, 소음부분을 개발 육성하고 있지만 실제로 차를 개발하다가 보면 실차에서 추가적인 문제점이 많이 발생한다. 따라서 단품 평가와 실차 평가를 병행하여 수행하여야 하므로 밸브의 형상변경과 흡입 머플러 용량 증대에 따른 소음평가 등 단품 평가를 실시했으며 TXV설정치 변화와 Suction Pipe경 변화 등 소음 개선을 위한 실차 평가를 실시하였다. 후자의 경우 에어컨 벤치 소음 시험실의 특성상 재현하기 힘든 부분이 있었기 때문에 실차 무향실에서 소음을 재현하여 소음을 개선하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 에어컨 시스템 단품 평가와 실차 평가를 통해서 이용하여 낮은 외기온에서 발생하는 압축기 밸브 작동음의 현상 및 원인을 실험적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 낮은 외기온 상태에서 압축기 작동중간에 2-3초간 주기

적으로 발생하는 소음원인은 저 냉방 부하 조건에서 에어컨 작동시 냉매 유량저하로 인한 밸브 타격음이다.

2. 벤치 평가를 통해 흡입 머플러 체적을 증대하여 특정부분의 소음을 개선하였다.

3. 실차 평가를 통해 팽창변 상향조정으로 인한 냉매 유량 증대와 Suc. Pipe경을 축소함으로써 저 유회조건에서 나타난 낮은 토출 압력을 개선함으로써 특정부분의 소음을 개선하였다.

4. 차량 개발시 단품 평가에서 성능, 소음부분을 개발 육성하여도 실차에서는 추가적인 문제가 많이 발생하기 때문에 실차평가를 필수적으로 수행하여야 한다.

참고문헌

- [1] Hiroyasu Nadamoto, "Power saving with the use of variable displacement compressors", Society of Automotive Engineers, Inc., 1999-01-0875
- [2] David M. Ebbing, "Control stability and NVH improvements of the variable displacement swashplate compressor", Society of Automotive Engineers, Inc., 2001-01-3837
- [3] Changqing Tian, Chunpeng Dou, Xinjiang Yang, Xianting Li, "Instability of automotive air conditioning system with a variable displacement compressor Part1. Experimental investigation", International Journal of Refrigeration 28 (2005) 1102-1110
- [4] Kazuhito Miyagawa, Hiroaki Kayukawa, "Development of the Swash Plate Type Continuously Variable Displacement Compressor", Society of Automotive Engineers, Inc., 980209
- [5] Changqing Tian, Yunfei Liao, Xianting Li, "A mathematical model of variable displacement swash platecompressor for automotive air conditioning system", International Journal of Refrigeration 29 (2006) 270-280