

터보차저 NVH 시험장치

The Turbocharger Cold Test Bench for NVH test

김형진† · 최상보* · 김재현* · 강구태*
Hyung-Jin Kim, Sangbo Choi, Jae-Heon Kim, Koo-Tae Kang

Key Words: Compressors(압축기), Turbines(터빈), NVH(소음진동), Turbocharging(터보차징), Tests(시험)

ABSTRACT

The turbocharger for a vehicle is consisting of a centrifugal compressor and turbine. These compressor and turbine are vibrating and emitting noises through the T/C body, exhaust system (Catalyst, Bellows, Pipe, etc) and Intake system (Hoses, Intercooler pipes, Intercooler) as rotating. A turbocharger cold test bench is constructed to reduce these noises, especially for the purpose of realizing transient operating environment and oil temperature control to simulate the vehicle operating characteristics with intake system and exhaust system. This research laid the groundwork to develop a lower noise level T/C through understanding the mechanism of the noise source of T/C.

1. 서론

최근 엔진성능 향상을 위해 터보차저를 적용하는 자동차가 늘고 있다. 터보차저(이하 T/C)는 원심형 컴프레서(Comp)와 터빈(Turbine)이 동일한 축(Shaft)에 연결되어 있는 형상을 가지고 있는데 배기가스를 이용하여 터빈을 구동시키고 터빈과 연결된 컴프레서가 공기를 흡입하여 압력을 높인 공기를 엔진에 공급한다. T/C 를 사용함으로써 엔진의 토크, 출력을 높일 수 있다.

그러나 컴프레서와 터빈의 회전에 의한 진동 및 유동이 T/C 단품 및 배기계(Catalyst, Bellows, Pipe, etc)와 흡기계(Hose 류, Intercooler Pipe 및 intercooler)에서 소음을 발생시켜 차량 음색을 나쁘게 하여 운전자의 불만을 발생 시킨다. 이러한 T/C 에서 발생하는 소음을 줄이고 그 원인을 알아내는 것이 필요하다.

T/C 장착차량의 주요발생 소음은 T/C 진동에 의한 소음으로 Whine 소음과 Howling 소음이 있으며 T/C 에서 흡입된 공기유동에 의한 소음으로 BPF, 광대역 기류음등이 있다. (Fig. 1 참조)

T/C 에서 발생하는 다양한 소음을 개선하기 위한 기존 시험방법은 차량실내소음을 측정하고 문제소음을 개선하기 위해 공급된 T/C 를 차량에서

탈 장착하여 개선여부를 가리는 시험이 주를 이루었으나 차량에서 T/C 교환을 하므로 시간이 많이 소요되며 T/C 소음, 진동 특성뿐만 아니라 엔진 연소음을 포함한 엔진부품 이음과 차량에 의한 소음 등이 포함되어 정확한 T/C 이음을 평가할 수 없다

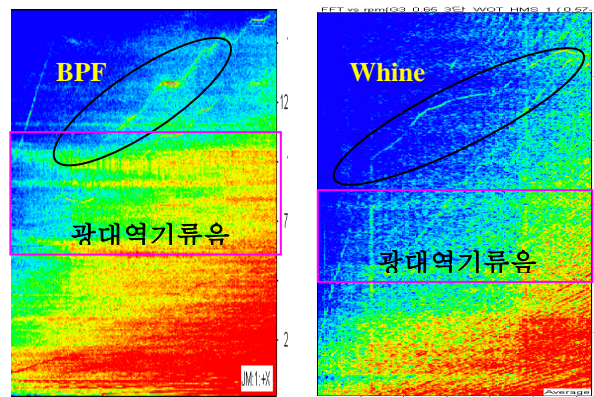


Fig. 1 고주파영역(3k [Hz]이상)과 저주파 영역(3k [Hz]이하)

따라서 T/C 단품에 대한 시험이 필요하고 현재 국내 T/C 공급 업체의 단품 시험 장치의 경우 T/C 의 컴프레서와 터빈 하우징을 제거하여 시험이 이루어지므로 T/C 단품의 특성이 제대로 반영되지 않으며 운전조건에 대한 제어가 어려워 차량 특성이 정확히 반영되지 않는 등 소음평가에 있어 여러 오차를 안고 있다.

보다 근본적인 T/C 소음의 개선을 위해서는 T/C 의 소음발생 메커니즘을 이해하고 차량에서의 T/C 작동 조건과 유사한 환경을 조성할 수 있

† 교신저자; 현대기아자동차 연구개발본부

E-mail : kmhj@hyundai-motor.com

Tel : (031) 368-2028, Fax : (031) 368-4942

* 현대기아자동차 연구개발본부

는 T/C 시험장치가 필요하다.

이에 대한 연구가 외국의 경우 대학이나 T/C 개발업체를 통해 이루어졌으나⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 국내의 경우 아직 이루어진 바 없다.

본 연구는 이러한 국내외의 기술 격차를 좁히며 T/C 에서 발생하는 소음원인에 대한 메커니즘을 이해하고 초기 T/C 설계 시 소음이 발생할 수 있는 근본적인 원인을 제거하여 소음이 발생하지 않는 T/C 를 개발하고자 하는 목적으로 시험장치를 구현하였고 시험을 수행하였다.

2. 시험장치

2.1 시험장치의 주요 고려사항

본 시험장치에서는 T/C 단품 특성을 충분히 반영되고 차량에서 T/C transient 한 운전상태를 고려하여 있도록 시험장치를 구성하였다.

첫째, T/C 의 컴프레서의 출구압의 제어가 가능하게 하여 T/C 를 Comp map 상의 다양한 운전점에서 운전이 가능하게 하였다.

둘째, 터빈으로 들어오는 유량의 제어를 통해 저속, 중속, 고속의 다양한 T/C 의 운전 rpm 구현 가능하게 하였다.

셋째, VGT 의 경우 Vane 의 개도량 제어를 가능하게 하여 하였다.

또 T/C 의 오일온도를 제어하여 냉간, 온간 상태의 특성을 파악할 수 있도록 하였으며 흡기계와 배기계를 장착하여 시험할 수 있도록 장치를 구현하였다.

2.2 시험장치의 구성

시험장치 구성은 다음과 같다.

1) 운전 장치: 공기(유량)공급장치, Drier, Cooler, 유량 및 압력제어밸브, 냉온 오일순환장치.

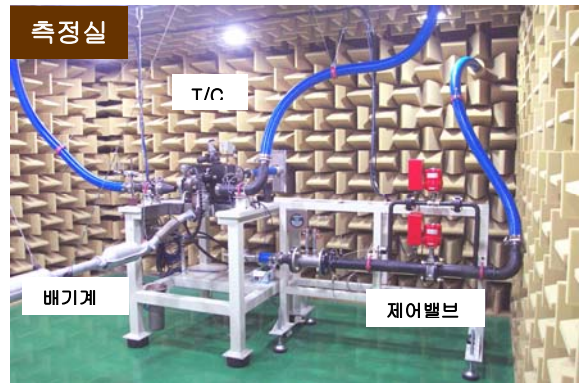
2) 제어 장치: VGT 제어밸브, EGR 제어밸브.

3) 측정 장치: 유량계, 압력, 온도센서, T/C 회전수 센서.

4) 운전 PGM: 운전 Mode PGM(가,감속 및 정속), VGT/ EGR 제어 PGM, T/C 컴프레서 성능맵 측정 PGM.

5) 계측 장치: T/C 발생하는 소음, 진동 계측.

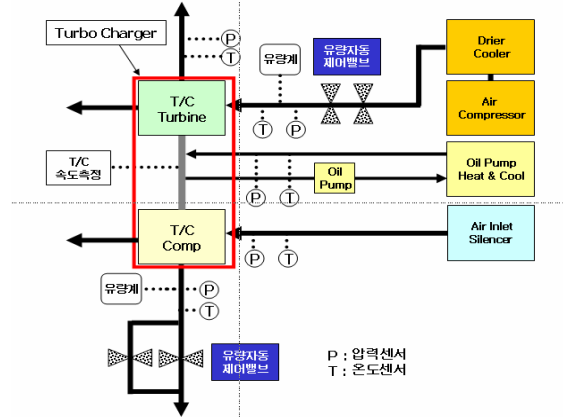
T/C 소음을 측정하기 위한 T/C 의 구성도와 실제 구성장치의 사진은 Fig. 2 와 같다.



(a) 측정실 시험장치 사진



(b) 기계실 시험장치 사진

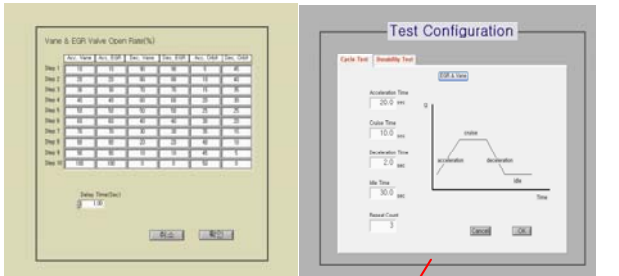


(c) 시험장치 구성도

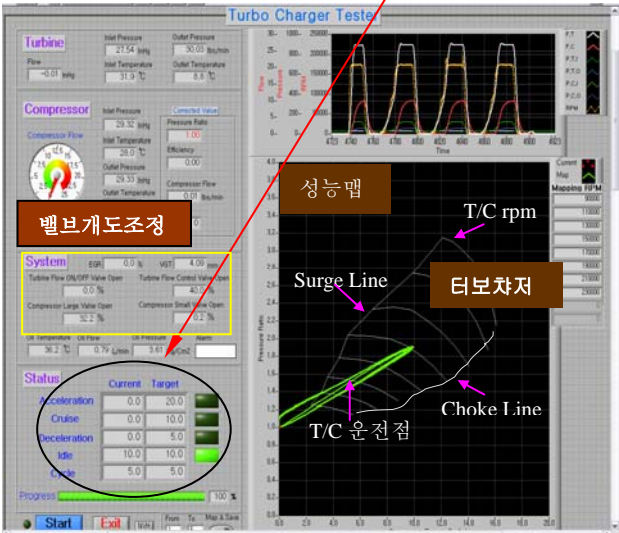
Fig. 2 시험장치 구성도 및 실제 장비사진

구축된 시험장치는 T/C 의 터빈에 공기를 공급하여 T/C 가 회전할 수 있으며 T/C 의 오일을 원하는 오일온도에 맞춰 공급하며 순환시키는 오일 순환장치를 포함한 운전장치, T/C 의 회전속도를 급 가속 및 급 감속할 수 있도록 하는 VGT 제어밸브와 EGR 제어밸브로 구성되는 제어장치, T/C 의 회전속도(rpm) 및 T/C 의 입, 출구온도, 압력, 유량을 측정하는 장비로 이루어진 측정장치, 차량에서의 T/C 의 운전상태와 유사하게 시험될 수 있도록 운전 Mode PGM (Fig. 3 (a),(b))과 T/C

의 운전점을 표시할 수 있으며 T/C 컴프레서 성능맵을 측정하는 PGM (Fig. 3 (c))으로 이루어진 운전 PGM 마지막으로 T/C의 소음 및 진동을 측정하는 계측장치로 구성된다.



(a)EGR/VGT 제어 PGM (b)운전 Mode(가,감속)PGM



(c)T/C 성능맵 및 운전점 측정 PGM

Fig. 3 T/C 리그 운전 PGM

2.3 시험장치 제어와 운전순서

T/C의 소음, 진동을 측정하기 위한 운전순서도는 Fig. 4와 같다.



Fig. 4 T/C 시험장치 운전순서도

T/C를 시험하기 위해서는 먼저 시험에 필요한 부품(T/C, 흡, 배기계)을 장착하고 운전장치를 구동한다. 여기서 T/C는 공기압축기를 이용하여 압축된 공기로 T/C의 터빈을 회전시켜서 운전된다. 차량상태와 유사한 운전모드로 T/C를 작동시키기 위해서 Fig. 3(b)의 운동 Mode(가,감속) PGM에서 원하는 가속시간, 정속시간, 감속시간을 입

력하여 T/C 속도 및 T/C가,감속 모양을 차량 상태의 T/C와 유사하게 결정한다.

Fig. 3(c)의 T/C 성능맵 및 운전점 측정 PGM에서 원하는 T/C rpm이 되도록 유량제어밸브의 개도량을 결정하고 Turbine 측에 있는 유량제어밸브의 ON, OFF를 통해 공기압축기의 유량을 조절하여 앞서 결정된 가,감속 및 정속 시간에 따라 밸브가 열리며 원하는 T/C rpm으로 회전하게 된다. EGR/VGT 제어 PGM(Fig. 3(a))에서 EGR & VGT 개도량을 조절하여 T/C의 가속성을 제어할 수 있다.

T/C를 운전시키면 T/C의 운전점을 성능맵(Compressor Map)에서 확인할 수 있다. 성능맵은 가로축이 T/C Compressor의 흡기유량, 세로축이 T/C Compressor의 출구압으로 표현되는데 운전점은 각각의 장비에서 계측되어 Fig. 3(c)과 같이 연두색라인으로 실시간으로 표시된다.

이러한 특징은 성능맵의 운전점이 소음, 진동 측면에서 중요함을 염두하며 시험장치를 구성했음을 보여주며 이와 더불어 오일온도 및 T/C VGT 제어 또한 그 중요성을 고려하여서 구성하였다. 그 이유는 다음과 같다. (3. 시험장치결과 참조)

1. 성능맵의 운전점(T/C rpm, Surge line 및 Choke line)의 위치에 따라 소음, 진동특성 변화됨.
2. 오일온도에 따라 소음, 진동특성 변화됨.
3. T/C VGT Vane 개도에 따라 소음, 진동특성이 변화됨.

위의 조건을 차량에서의 T/C 운전조건과 유사하게 하여 T/C의 소음진동을 계측하게 된다.

3. 시험장치 시험결과

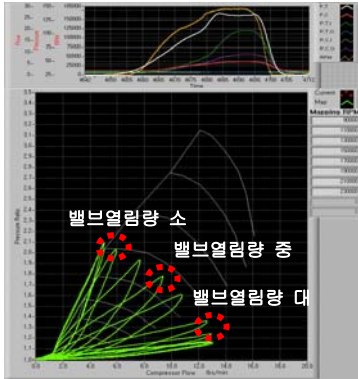
3.1 성능맵 운전점에 따른 시험장치 시험결과

성능맵의 운전점의 위치에 따른 T/C의 소음, 진동 결과는 다음과 같다.

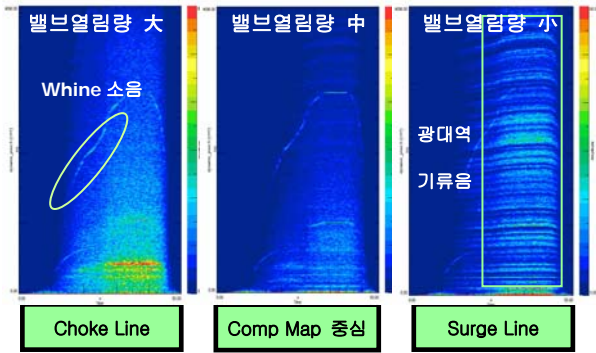
아래 Fig. 5(a)는 성능맵에서 T/C의 운전 위치를 표현하는 그림이며 Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)의 운전점에 대한 각각의 운전점에서 동일한 T/C에 대한 방사소음을 측정된 결과이다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 T/C 성능맵의 위치에 따라 T/C 소음특성이 바뀌며, 따라서 시험장치의 제어를 통해 차량 특성과 유사하게 T/C가 운전 되도록 하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다 특히 성능맵 Surge 라인에서 운전시킬 때 (유량제어밸브 소) 광대역 기류음이 다른 경우에 비해 심하게

발생하며 T/C Whine 소음도 달라짐을 알 수 있다. 실제 차량에서는 T/C 운전점이 Surge Line 에 위치하게 되므로 시험장치를 제어하여 Surge Line 에서 위치하여 운전된다.



(a) 성능맵에서 T/C 위치점



(b) T/C 운전점에 대한 소음특성

Fig. 5 성능맵의 T/C 위치에 따른 T/C 소음특성 변화

본 시험장치에서는 이를 고려할 수 있도록 T/C 의 compressor 출구에 유량제어밸브를 설치하고 제어한다.

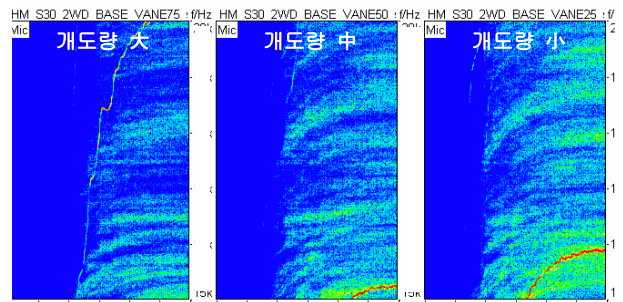
3.2 Vane 제어에 따른 시험장치 시험결과

VGT(Variable Geometry Turbocharger)는 T/C 의 터빈에 있는 Vane 개도량(열림량)을 변경하여 T/C 의 rpm 을 조정한다. Vane 이 있는 T/C 의 경우 터빈으로 흡입되는 공기가 터빈과 Vane 사이로 흐르면서 공기의 유동이 변화하여 T/C 이음을 발생시킨다.

T/C 의 터빈과 Vane 그림은 Fig. 6(a)와 같으며 그림에서 Vane 개도량에 따라서 소음이 변화(Fig. 6(b))함을 알 수 있다. 따라서 Vane 를 제어하는 장치를 만들어 Vane 개도량(열림량)에 따른 실험을 하는 것이 중요함을 알 수 있다.



(a) T/C 터빈 및 Vane



(b) Vane 개도량에 따른 시험결과

Fig. 6 T/C 터빈 및 Vane 과 Vane 개도량에 따른 소음시험 결과

3.3 오일온도에 따른 시험장치 시험결과

T/C 의 공급되는 오일온도 또한 T/C Whine 소음 변화에 중요한 역할을 한다. 오일온도에 따른 소음측정 결과는 Fig. 7 과 같다.

Fig. 7 에서 보듯이 오일온도에 따라 T/C Whine 소음과 진동이 달라짐을 알 수 있다. 오일온도에 따라 진동 특성이 달라지며 따라서 오일온도를 제어하여 시험하는 장치를 만드는 것이 중요하다.

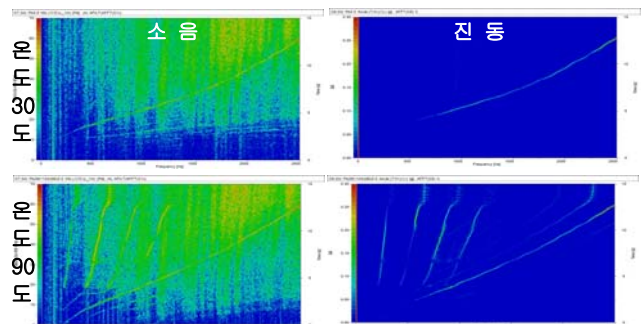


Fig. 7 오일온도에 따른 소음변화

4. 결 론

이 논문에서는 차량에서 발생하는 T/C 의 소음을 효과적으로 모사할 수 있는 T/C 의 가, 감속 등 transient 운전조건 및 T/C 성능맵의 운전점을 반영할 수 있는 시험장치를 제안하였다.

이러한 시험장치를 통해 수행된 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) T/C 성능맵의 위치에 따라 T/C 소음특성이 바뀌며, 따라서 시험장치의 제어를 통해 차량 특성과 유사하게 T/C 가 운전되도록 하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다. 특히 성능맵의 T/C 의 운전점에 따라 T/C 에서 발생하는 기류음 특성이 달라진다.

2) T/C Vane 개도에 따라 소음이 변화(Fig. 6(b))하므로 Vane 제어가 중요함을 알 수 있었고 Vane 개도량 조정이 가능한 시험장치를 만들어 관련 실험을 수행하였다.

3) T/C 에서 공급되는 오일온도에 따라 T/C Whine 소음과 진동이 달라지므로 오일온도를 제어하는 시험장치를 만들어 관련 실험을 수행하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 시험장치가 T/C 의 운전조건을 정확히 반영하며 이를 통해 T/C 소음 발생 근본 메커니즘을 파악하고 T/C 의 저소음화에 기여할 수 있는 토대를 만들었으며 차량 시험에서 T/C 교환에 따른 T/C NVH 개발시간을 줄임으로써 T/C 소음, 진동개발 시간의 단축에도 많은 기여를 할 것이다.

참고문헌

(1) J. M. Luján, V. Bermúdez, J. R. Serrano and C. Cervelló, 2002, "Test Bench for Turbocharger Groups Characterization", SAE Paper 2002-01-0163.

(2) D. Naundorf, H. Bolz, M. Mandel, 2001, "Design and Implementation of a New Generation of Turbo Charger Test Benches Using Hot Gas Technology", SAE Paper 2001-01-0279.

(3) E. Stemler, P. Lawless, 1997, "The Design and Operation of a Turbocharger Test Facility Designed for Transient Simulation", SAE Paper 970344.