

볼 베어링 터보차저를 적용시 디젤엔진 성능 특성에 관한 연구

엄명도¹⁾ · 김문석²⁾ · 백두성^{*3)}

국립환경과학원¹⁾ · KDS²⁾ · 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과³⁾

A Study on Performance Characteristics in Diesel Engine When Applied Ball Bearing Type Turbocharger

Myung Do Eom¹⁾ · Moon Suck Kim²⁾ · Doo Sung Baik^{*3)}

¹⁾National Institute of Environmental Research, Environment Research Complex, Kyeongseo-dong, Incheon 470-170, Korea

²⁾Korea Diesel Service, #952 Dapsimri-dong Dongdaemun-gu, Seoul 130-705, Korea

³⁾Department of Computer-aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea

(Received 1 September 2009/ Accepted 7 December 2009)

Abstract : Turbocharger in the application to a diesel engine was widely used in automobile industries for the improvement of engine performance. To comply with stringent emission standards, ball bearing turbocharger has been developed by applying new emission reduction technology. Up to date turbocharger has been proved as an essential part of diesel engines by demonstrating its improved engine performance, fuel efficiency and reduced emission as well. In this research, the performance of the ball bearing turbocharger was compared by the conventional journal bearing type turbocharger. The results shows that ball bearing turbocharger was proved to be 10~13% higher fuel efficiency and 30% less average emission than journal bearing turbocharger.

Key words : Ball bearing turbocharger(볼베어링 터보 차저), Journal bearing turbocharger(저널베어링 터보 차저), Diesel engine(디젤엔진), Fuel injection pump(연료분사펌프), Turbo lag(터보랙)

1. 서론

우리나라에서 최초로 들여온 자동차는 1903년 미국산 캐딜락이 왕실용으로 최초로 도입되었다. 이때부터 지난 1985년에 100만대를 돌파하였고 이로부터 1995년에 800만대를 넘어섰고 지난해인 2007년 말 1642만대를 넘어 놀라운 증가율을 보이고 있다. 이처럼 자동차대수의 급격한 증가로 오염물질 또한 꾸준히 증가하고 있으며 그동안 정부에서도 제작차 배출허용기준의 단계적 강화, 자동차용 연료의 품질 개선 등 각종 공해저감 대책을 추진하고 있음에도 불구하고 자동차 배출가스로 인한 대기오

염이 지속적으로 증가, 서울지역의 경우 대기오염 물질의 76% 이상을 차지하고 있으며, 최근의 도시 대기오염은 질소산화물과 미세먼지가 뚜렷하게 증가하고 있는 것이 특징이라 하겠다.

이에 따라 그동안 제작사에서는 가솔린엔진과 디젤엔진 모두 동급 배기량에 성능을 향상시키기 위하여 오래 전 부터 터보를 장착하여 출시하고 있는데 대부분의 터보 회전기구에는 저널베어링으로 되어 있다. 그러나 최근에는 레이싱카에 엔진의 출력을 높이고 초기 가속성능을 올리기 위하여 볼베어링을 일부 탑재하고 있고 이에 대한 연비 및 배출가스 특성에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.¹⁻⁴⁾ 볼 베어링 터보를 개발한 배경에는 다양한 이유가 있겠지

*Corresponding author, E-mail: dsbaik@daejin.ac.kr

만 그 중에서 가장 중요한 부분이 초기 가속성능이라 볼 수 있다.⁵⁾ 기존의 저널베어링 터보는 최대회전수가 130,000~150,000 rpm에 비하여 볼베어링 터보는 170,000~200,000 rpm에 이른다. 그만큼 엔진의 체적효율은 동급 배기량이라 하더라도 향상될 수밖에 없다. 본 연구에서는 일반적인 자동차에 많이 보급되어 있는 엔진의 저널베어링 터보차저와 주로 레이싱카에 적용되고 있는 볼베어링 터보에 대하여 동일 엔진으로 터보차저를 교체해 가면서 배출가스 및 에너지소비 효율을 측정 비교하였고 실제 도로에서 가속특성을 비교하였다.

2. 시험장치 및 실험방법

2.1 시험장치

Fig. 1과 2는 볼 터보차저의 개략도를 나타냈으며, 실험은 정밀검사 장비에서 입력된 FTP-75모드(Fig. 3)에서 터보장치의 매연특성을 비교 시험한 후 CVS-75 배출가스 시험장비에서 배출가스 변화와 연비를 분석하였다. 터보차저 전용시험기를 사용하여 기본 터보성능 시험을 수행하였다. Table 1은 시험 차량의 제원을 나타냈다.

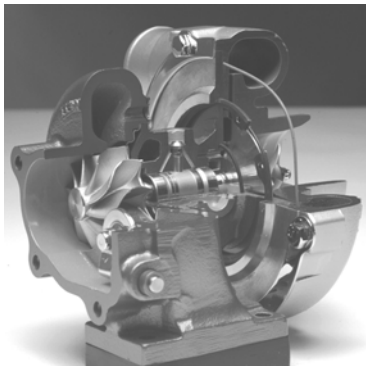


Fig. 1 Whole structure of ball turbocharger

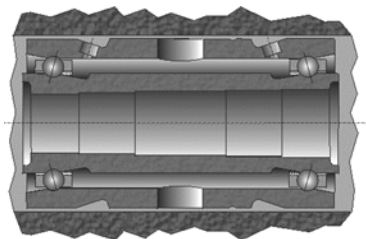


Fig. 2 Detailed structure of ball turbocharger

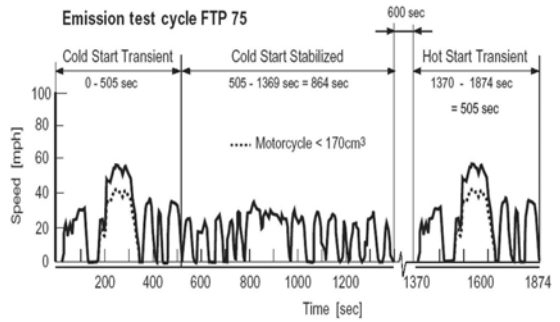


Fig. 3 Driving mode (FTP-75)

Table 1 Specification of a test vehicle

Mileage (km)	78,673
Horspower (ps/rpm)	120/4000
Injection system	Mechanical fuel injection pump
Displacement (cm ³)	2895
Transmission type	5-speed automatic

3. 결과 및 고찰

3.1 터보성능시험

터보 성능시험은 볼베어링과 기존의 저널베어링을 대상으로 이루어졌다.

Fig. 4는 오일 공급 압력 변화에 대한 오일량의 변화를 나타냈다. 볼베어링에 공급되는 오일 공급량이 저널베어링에 공급되는 오일량보다 약 50% 정도 이면 되기 때문에 오일 공급에 소모되는 동력의 손실을 줄일 수 있었다.

Fig. 5는 축 방향 속도에 대한 동력 손실을 비교해 보았다. 여기서 축방향속도가 증가함에 따라서 총 동력손실은 더욱더 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 시간에 따른 압력의 변화를 나타내는데 볼 베어링의 경우가 저널베어링에 비해서 매니폴드 압력이 증가함을 확인할 수 있었고 1.2 sec에서는 압력의 차이가 0.03 MPa 정도가 되었다. Fig. 7에서 터보 속도를 비교해 보면 볼베어링이 저널베어링에 비해서 빨리 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 8은 볼베어링 터보와 저널베어링 터보의 제동평균압력의 비교를 나타내는데 볼베어링의 경우가 저널베어링에 비해서 높게 형성됨을 알 수 있었다.

Fig. 9는 터빈 압력비에 따른 터빈 효율을 나타내는데 볼베어링의 경우에서 터빈 효율이 높게 형성됨을 알 수 있었다.

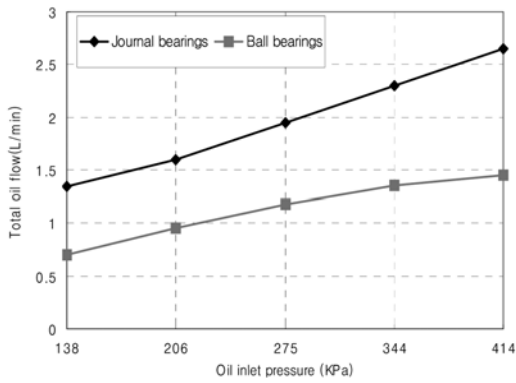


Fig. 4 Comparison of total oil consumption

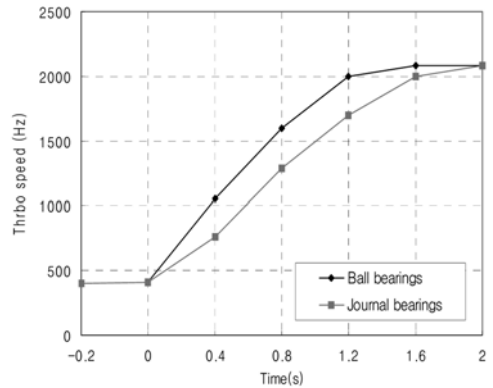


Fig. 7 Comparison of turbo speeds

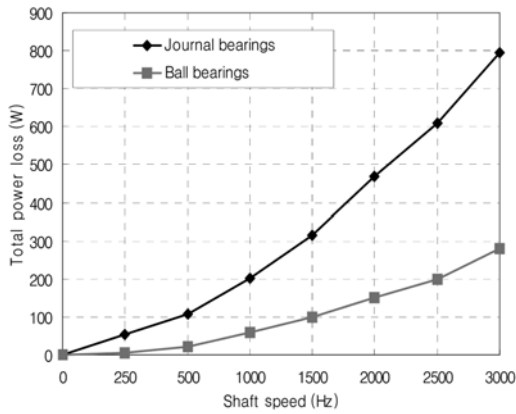


Fig. 5 Comparison of total power loss

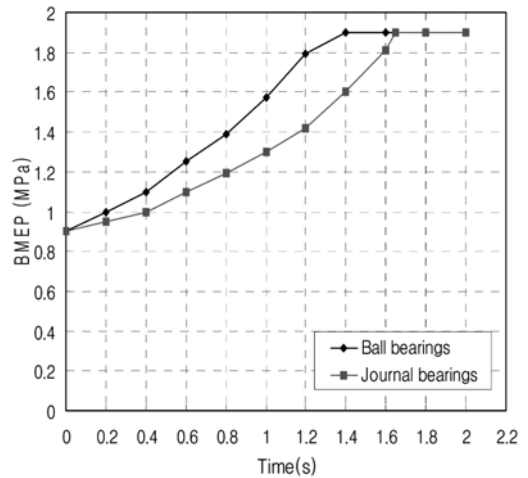


Fig. 8 Comparison of break mean effective pressures

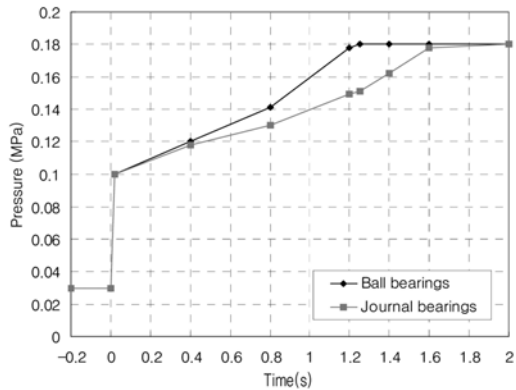


Fig. 6 Comparison of manifold pressures

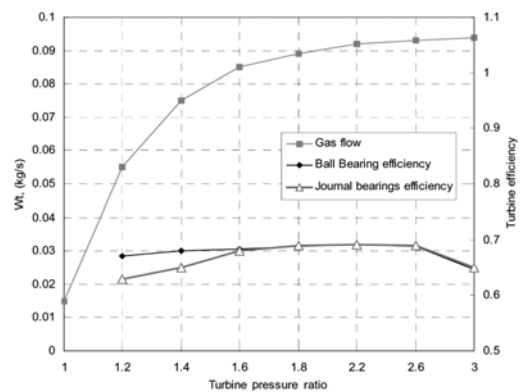


Fig. 9 Comparison of turbine efficiency

따라서 볼베어링 터보차저의 경우 소량의 오일 공급만이 필요하며 회전수 증가에 따라 손실 동력의 감소가 현저히 증가하여 결국 연비향상에 기여했다. 특히 가속시 터보차저의 성능인 터보랙 현상

은 터보차저 회전체의 관성 모멘트와 베어링의 회전저항이 영향을 미치는데 볼베어링의 구름저항이 저널베어링의 유체마찰 저항보다 현저하게 적어 회

전 가속이 우수했고 터보차저의 급속한 회전수 상승을 동반하여 터보차저 토출압력에 따른 조속한 흡기압력의 상승을 가능케 했다.

3.2 매연농도 시험

3.2.1 실시간 주행모드 매연농도

Fig. 10(a), (b)는 FTP-75 주행 모드에 따른 볼베어링 터보와 종래의 저널베어링 터보를 적용 시 매연 농도를 전 시간에 걸쳐 실시간으로 측정된 연속 데이터를 나타냈으며 이를 통해서 볼베어링 적용 시 저널베어링에 비해서 매연농도가 전반적으로 적게 배출되었다.

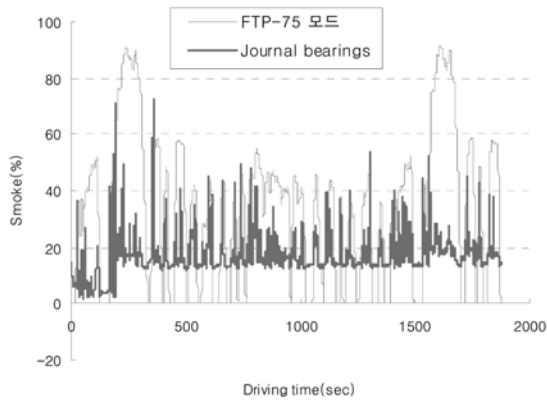


Fig. 10(a) Smoke test (Journal bearing)

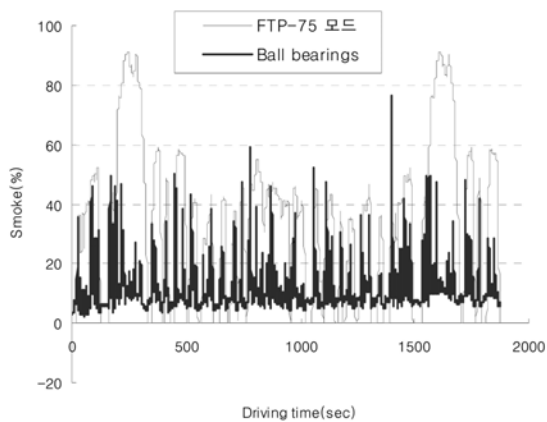


Fig. 10(b) Smoke test (Ball bearing)

3.2.2 실시간 가속 시 매연 농도

Fig. 11은 FTP 주행모드에 따라 가속시 매연농도

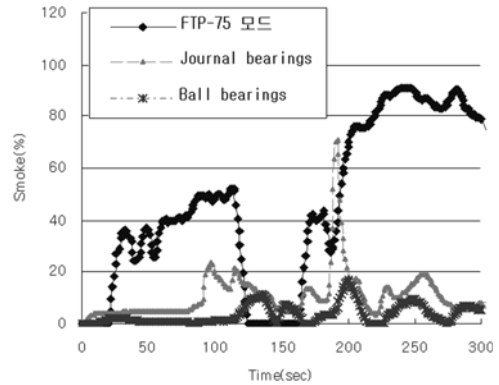


Fig. 11 Acceleration test (300sec duration)

를 실시간으로 측정된 데이터를 나타낸다. FTP 모드 중 전반 부분의 냉간 모드 영역 운전으로 운전 시작부터 가속 후 100초간의 실 측정 데이터로서, 가속 직후 볼 베어링 터보의 경우 종래의 저널 베어링 터보에 비하여 매연 발생 증가율이 완만함을 볼 수 있으며 그 후 매연 발생량도 적게 나타남을 볼 수 있다. 특히 가속 직후 주행모드 상에서 정점에 이르렀을 때의 매연 피크 값은 주행패턴과 같은 양상으로 나타나며 정점에서의 농도가 항상 낮음을 볼 수 있다. 특히 3번째 가속시인 약 55Km/hr에서의 매연 감소율은 약 3배 정도의 낮은 수준으로 나타내고 있다.

3.2.3 렉다운 3모드시험

Fig. 12는 운행차 매연 정기검사 시 사용하는 렉다운 3모드 시험결과 매연이 32%에서 10%로 대폭 개선되었으며, 이는 최대출력 부근의 충분한 공기 과잉율이 개선되어 나타난 결과로 사료된다.

3.3 배출가스 및 연비시험 (CVS-75 모드)

Fig. 13, 14는 저널베어링과 볼베어링을 시험차량에 장착하여 배출되는 배출가스와 연비를 측정된 시험결과로 저널베어링과 비교할 때 1차에서 6차까지 볼베어링을 적용시 배기가스(CO, HC, NOx, PM) 저감에 월등함을 보였고 연비에 있어서도 볼베어링의 우수성이 파악되었다.

4. 결론

저널베어링 터보차저와 볼베어링 터보차저를 디젤엔진에 장착하여 비교 실험한 결과 성능 혹은 배

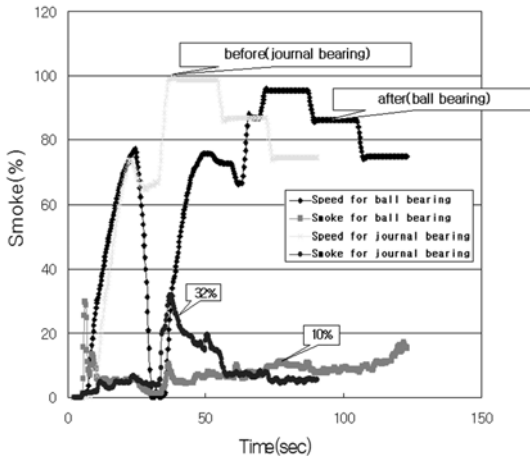


Fig. 12 Smoke test (Rug down)

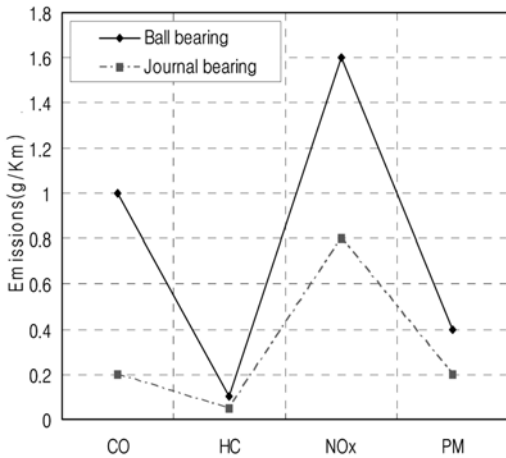


Fig. 13 Resulting emissions (FTP-75)

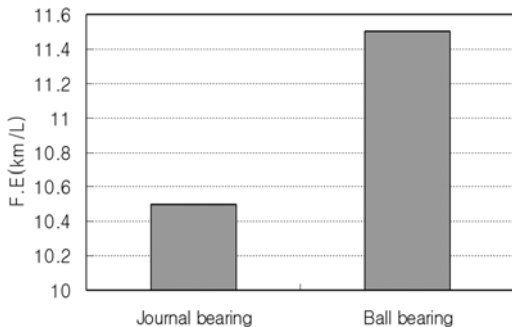


Fig. 14 Fuel economy (FTP-75)

출가스 측면에서 기존의 저널베어링에 비해서 볼베

어링이 월등했으며 구체적인 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 터보차저의 터보랙 감소에 따른 엔진 동력성능 및 배출가스가 전체적으로 개선됨을 정성적으로 확인할 수 있었다.
- 2) 가속시 동일 부스트 압력에 있어서 볼베어링이 저널 베어링보다 빨리 도달하여 그에 따른 엔진 가속력이 향상되었다.
- 3) 렉다운 3모드 결과 매연이 약 69% 감소하였고, 연비도 10% 정도 향상됨을 알 수 있었다.
- 4) FTP-75 주행 모드시험 시 연속기록 결과 매연이 12% 정도 감소함을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 2010학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

References

- 1) M. Aida, T. Umaoka, T. Mitsui and Y. Ushijima, "Development of a Ball Bearing Turbocharger," SAE 900125, 1990.
- 2) J. E. T. Blake, "The Application of Ball Bearings to Automotive Turbochargers," SAE 904170, 1990.
- 3) M. Aida, T. Gotoh and K. Kawanishi, "Lubrication and Damping of a High Performance Ball Bearing Turbocharger," JSAE 912250, 1991.
- 4) K. Miyashita, M. Kurasawa, H. Matsuoka, N. Ikeya and F. Nakamura, "Development of High Efficiency Ball Bearing Turbocharger," SAE 870354, 1987.
- 5) C. H. Hyun, K. H. Jung, C. S. Jung, B. M. Doo and Y. G. Koo, "Comparison of WGT and VGT Turbocharger for EGR System of Heavy-Duty Diesel Engine for Meeting EURO-V," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.269-274, 2008.