

대응출력 200마력 과급기에 의한 디젤기관의 출력향상 및 배출특성에 관한 연구

이치우[†]

(원고접수일 : 2013년 10월 10일, 원고수정일 : 2013년 11월 26일, 심사완료일 : 2014년 1월 6일)

A study on power improvement emission characteristics of marine diesel engine with response power 200HP turbocharger

Chi-Woo Lee[†]

요약: 최근 높은 출력을 요구하는 각종 산업분야에서 사용되고 있는 디젤엔진의 효율을 높이기 위해 대응출력 200HP 과급기를 장착한 디젤엔진과 자연흡기식 디젤엔진을 동일한 조건에서 동력계와 배출가스 분석기를 통해 동력특성 및 배출가스 특성을 실험한 논문이다. 자연흡기식 디젤엔진과 과급기를 장착한 디젤엔진을 실험한 결과, 저속에서의 출력특성의 차이는 적었으나 고속에서의 동력특성은 과급기를 장착한 엔진의 출력과 효율이 증가한다는 결과를 얻을 수 있다. 이와는 반대로 배출가스 특성에서는 과급기를 장착한 모델에서 NO_x와 O₂ 등의 배출가스가 증가되었으나 CO₂의 저감과 동력 특성 증가의 효율을 볼 때 배출가스의 증가치는 적다고 할 수 있다. 이와 같은 결과를 토대로 과급기가 장착된 디젤엔진이 자연흡기식 엔진 대비 효율성 면에서 경제성이 높을 것이라 예측된다.

주제어: 200마력급 과급기, 출력향상, 선박용 디젤 엔진

Abstract: To improve efficiency of diesel engine which requests high output recently and is used all kinds of industrial areas, this thesis experimented dynamic characteristics and exhaust gas characteristics of diesel engine installed by supercharger of correspondent output 200HP and natural inhalation diesel engine through the dynamometer and exhaust gas analyzer in same condition. As the result of experiment with natural inhalation diesel engine and diesel engine installed by supercharger, there were a few differences of output, but dynamic characteristics at high speed showed increased output and efficiency of the engine installed by supercharger. On the contrary, in exhaust gas characteristics, the model installed by supercharger showed increased exhaust gas such as NO_x, O₂, etc, but added value of exhaust gas is low if considering CO₂ reduction and efficiency of dynamic characteristic's increase. Based on the results, diesel engine installed by supercharger is expected to show higher economic feasibility than natural inhalation diesel than natural inhalation engine from an angle of efficiency.

Keywords: 200hp class Turbocharger, Exhaust Gas, Engine Performance, Marine Diesel Engine

1. 서 론

최근 자동차가 우리생활에서 차지하는 비중이

커지는 만큼 그에 따른 대기오염으로 인해 지구환경문제도 가중되고 있다. 이에 따라 전세계적으로 자국의 환경개선과 에너지 보전을 위해 자동차 배출가스규제가 강화되면서 각종 새로운 기술연구가

[†]Corresponding Author: Automobile Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Chilam-dong, Jinju, 660-758, Korea, E-mail: leecw@gntech.ac.kr, Tel: 055-751-3643

진행되고 있다. 이에 대응방안으로 과급기의 장착이 필수적이며, 아울러 엔진의 연소개선을 위하여 흡기계에 대한 인자와 연료분사계에 대한 인자들이 연소실내에서 잘 조화할 수 있도록 최적화시킬 필요가 있다. 터보과급 디젤엔진은 과급기의 작동에 의하여 흡입공기에 대한 밀도를 높여줌으로써 엔진의 고출력을 얻지만, 연소가스의 고온 및 고압으로 인한 실린더 내에서 여러 장애요인이 발생할 수 있기 때문에 연소과정에서 적절한 용량의 과급기 선정을 통한 흡기계, 분사계 및 연소실의 설계 등을 잘 고려해야 한다[1].

현재 거의 모든 선박용 디젤엔진에는 높은 열효율을 위하여 엔진의 배기가스를 이용하여 흡입공기밀도를 높이는 과급기가 별도로 부착되어 이용되고 있다. 엔진의 회전속도 증가 없이도 출력을 50~100%까지 높일 수 있고 마력당 엔진의 증량과 부피가 작아져서 엔진의 소형화와 경량화를 가능하게 하며 연료소비율과 배기가스 공해물질 측면에서도 유리하다는 장점으로 인하여 중·저속 디젤엔진 기관을 중심으로 널리 보급되고 있다. 향후에도 증가된 노후 선박의 친환경 선박으로의 교체와 중국 등의 조선 산업 수요 증가 등으로 인하여 선박용 기관의 수요는 지속적으로 늘어날 것으로 보인다. 이러한 수요 증가에 따라 디젤기관의 생산은 증대될 것이며, 생산성 증대에 따른 기존기관의 성능 향상과 함께 새로운 기관의 개발이 요구되고 있다[2][3]. 이에 본 연구에서는 자연흡기식(이하 N/A) 디젤엔진과 대응출력 200마력 과급기(이하 T/C)가 장착된 디젤엔진을 비교 실험하며, 기관의 운전 조건으로는 부하와 회전수를 선정하고 이 운전 조건에 따른 동력 성능 및 배출특성을 파악하여 디젤엔진의 고출력화 및 배출가스 저감을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험엔진

Figure 1은 실험에 사용된 엔진으로 현재 상용화되어 있는 디젤엔진으로 제원은 Table 1과 같다.



Figure 1: Test setup for Engine and Dynamometer

Table 1: Specifications of test engine

E/G	5 Cylinder(om662-TDI)
Displacement	2,874cc
Power	120HP/4,000rpm
Torque	25.5kg·m/2,400rpm
Fuel	Diesel Oil

2.1.2 실험과급기

Figure 2는 실험에 사용된 과급기(T/C)로, 사양은 Table 2와 같다.



Figure 2: Test setup for Turbocharger(Response Power 200HP for Diesel Engine)

Table 2: Specifications of the turbocharger tested

Response Power		200 HP	
Compressor		Turbine	
Inducer Wheel Diameter	32.9mm	Whl Diameter	42.2mm
Exducer Wheel Diameter	43.9mm	Trim	58
Trim	56	A/R	0.34
A/R	0.33		

2.1.3 동력계 및 시험장치 구성

실험에 사용된 시험장치는 동력계(700HP급), 동력계 제어 시스템, 조절판 컨트롤 시스템, 청수 온도 제어 시스템, 연료 소모량 측정기로 구성하였고, 동력계의 제원은 Table 3과 같고, Figure 3은 연료 소모량 측정기, Figure 4는 배출가스 분석기(Horiba MEXA-7100DEGR)를 사용하여 배출가스를 측정하였다.

Table 3: Specifications of the dynamometer tested

Absorption power (PS/kW)	(663/490)
Absorption torque (kg.m/N.m)	(75/735)
Maximum speed (RPM)	13,000
Rotor Inertia (kg/m ²)	0.46
Cooling water Volume (l /min)	125
Weight (kg)	900



Figure 3: Test setup for Fuel Consumption Meter



Figure 4: Emission gas analyzer (Horiba MEXA-7100DEGR)

2.2 실험방법

자연흡기식 디젤엔진과 과급기가 장착된 디젤기관에서의 출력향상 및 배출특성을 비교 측정하는 실험이므로 기관 운전 조건인 부하와 회전수를 제어하여 실험을 실시하였다. 실험은 KS R ISO 8178-7 선박용 내연기관 성능 시험 규정에 의거하여 진행하였다[4][5].

엔진의 회전수는 1,000RPM, 1,500RPM, 2,000RPM으로 고정하고, Throttle valve는 부하 운전시험인 점을 고려하여 실주행 조건과 같은 운전 조건을 만들기 위해, 각 RPM에 따라 1,000RPM에서는 0%에서 1분당 5%씩 60%까지 개방한 결과값을 측정하였고, 1,500RPM에서는 70%까지 2,000RPM에서는 80%까지 측정하였다. 조절판 밸브가 5% 열릴 때마다 10초 간격으로 측정하고, 조절판 밸브 안정화를 위하여 10초 이후부터 1분당 5개 측정값을 측정하였다.

모든 실험을 동일한 조건에서 2회씩 실시하였고, 그 평균값을 결과의 값으로 하였다. 실험에서 얻어진 데이터를 기반으로 하여 출력성능 및 배출가스 측정결과는 다음과 같이 나타났다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 출력성능

3.1.1 엔진 회전수

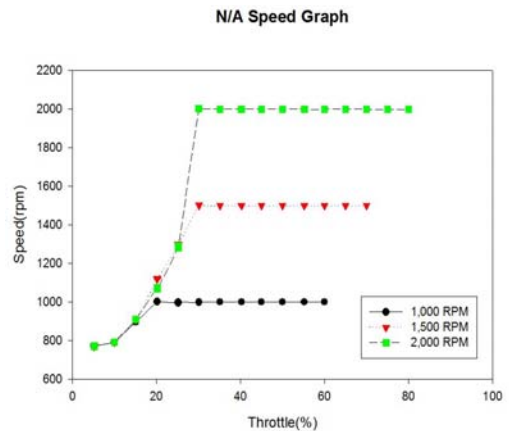


Figure 5: Comparison of N/A engine speed on throttle open scale by engine speed variation

Figure 5는 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진 회전수 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 6**은 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진 회전수 변화를 계측하여 비교한 것이다. N/A 엔진 및 T/C 엔진의 고정 회전수 도달까지 엔진 회전수 변화 값은 거의 유사하게 나타났다. 일반적인 터보기관에서 발생하는 터보랙 구간이 나타나지 않은 것은 엔진배기량에 비해 터빈 용량이 적어 풍부한 풍량이 계속해서 터빈에 공급되었기 때문이라 예측된다.

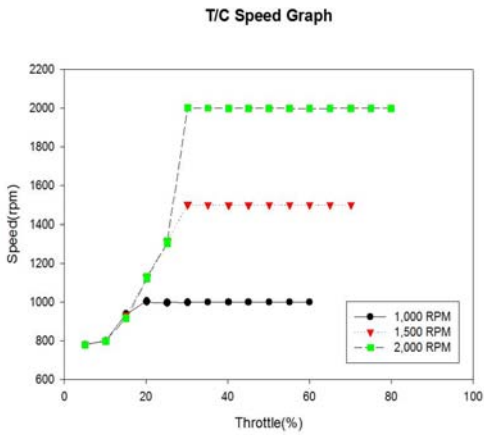


Figure 6: Comparison of T/C engine speed on throttle open scale by engine speed variation

3.1.2 엔진 출력

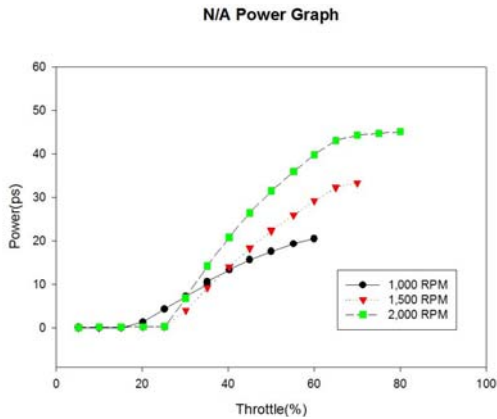


Figure 7: Comparison of N/A engine power and throttle open scale by engine speed variation

Figure 7은 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진 출력 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 8**은 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진 출력 변화를 계측하여 비교한 것이다. 엔진 고정 회전수 1,000rpm, 1,500rpm의 비교적 저속구간에서는 N/A 엔진과 T/C 엔진의 출력은 거의 동등한 수준이었으나, 2,000rpm 고속구간부터는 조절변 개도량에 비례하여 증가하는 결과를 나타냈다. 이는 T/C 엔진의 특성상 고속회전에서의 과급효과의 증대로 인한 것이라 예측된다.

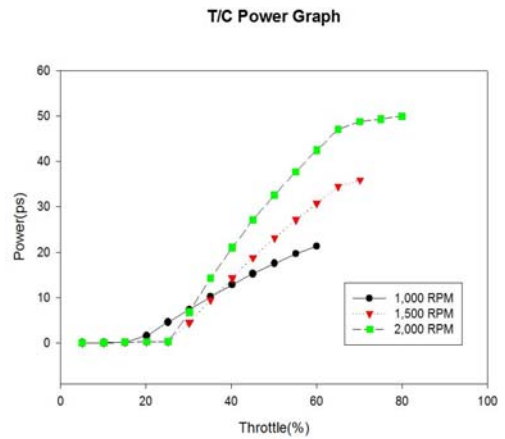


Figure 8: Comparison of T/C engine power on throttle open scale by engine speed variation

3.1.3 축의 토크

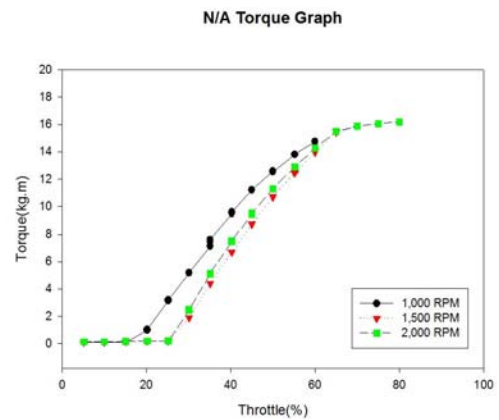


Figure 9: Comparison of N/A shaft torque and throttle open scale by engine speed variation

Figure 9는 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진축의 토크 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 10**은 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 엔진 축의 토크 변화를 계측하여 비교한 것이다. N/A 엔진과 T/C 엔진의 회전력 변화 값은 출력과 회전수와의 관계에 따라 그에 상응하는 값을 나타냈다.

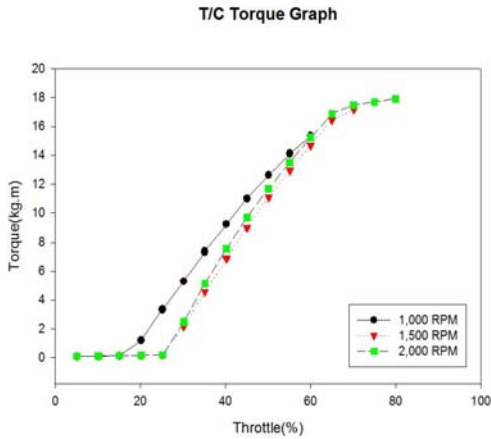


Figure 10: Comparison of T/C shaft torque on throttle open scale by engine speed variation

3.2 배출가스 특성

3.2.1 공기 유량

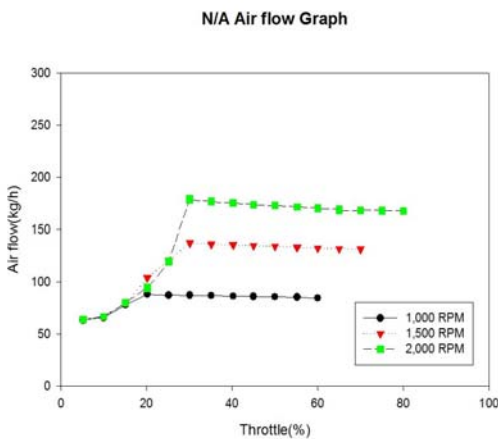


Figure 11: Comparison of N/A engine Air Flow on throttle open scale by engine speed variation

Figure 11은 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 공기유량 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 12**는 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 공기 유량 변화를 계측하여 비교한 것이다. N/A 엔진 대비 T/C 엔진에서 공기 유량은 전체적으로 높게 나타났으며, 2,000rpm 고속 구간에서의 공기 유량은 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다. T/C 엔진의 과급률이 35% 가량 높은 결과로 나타났다. 이는 T/C 엔진의 특성상 고속회전에서의 배기가스 압력에 의해 공기가 가압되었기 때문이라 예측된다.

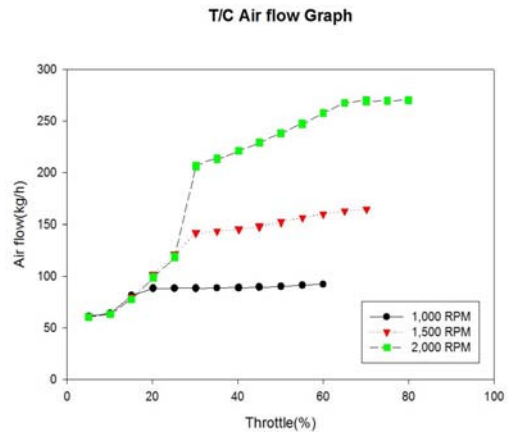


Figure 12: Comparison of T/C engine Air Flow on throttle open scale by engine speed variation

3.2.2 이산화탄소(CO₂)

Figure 13은 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 CO₂ 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 14**는 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 CO₂ 변화를 계측하여 비교한 것이다. N/A 엔진과 T/C 엔진의 CO₂ 배출량은 거의 동등하게 나타났으나 2,000rpm 고속에서의 CO₂ 배출량은 급격히 감소하였다. 이는 Exhaust gas recirculation을 통해 배기가스가 환원되어 CO₂ 배출이 감소된 것으로 예측된다.

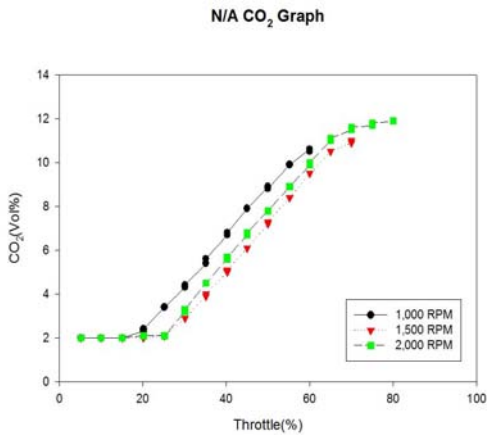


Figure 13: Comparison of N/A engine CO₂ on throttle open scale by engine speed variation

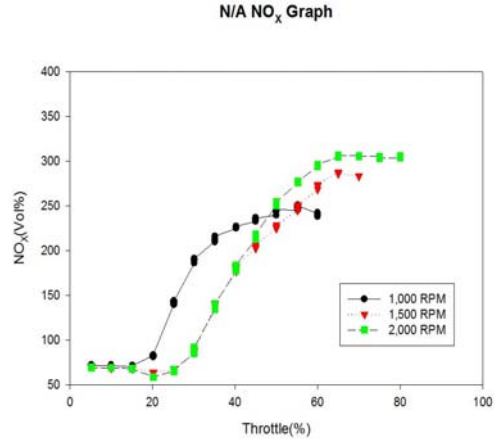


Figure 15: Comparison of N/A engine NO_x on throttle open scale by engine speed variation

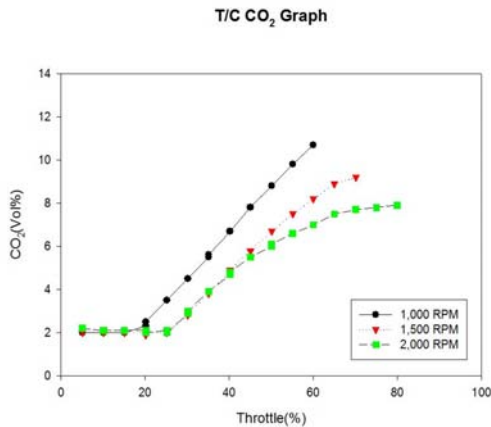


Figure 14: Comparison of T/C engine CO₂ on throttle open scale by engine speed variation

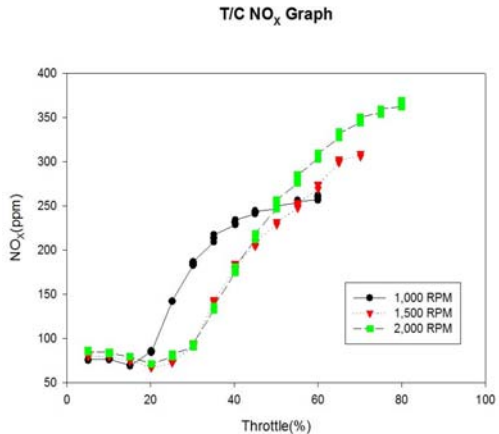


Figure 16: Comparison of T/C engine NO_x on throttle open scale by engine speed variation

3.2.3 질소산화물(NO_x)

Figure 15는 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 NO_x 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 16**은 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 NO_x 변화를 계측하여 비교한 것이다. 엔진 고정 회전수 도달까지 저속에서는 N/A 엔진과 T/C 엔진의 NO_x 배출이 동등한 수준으로 나타났으며, 고속에서는 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 T/C 엔진의 과급에 따른 흡입 공기가 많아졌기 때문이라 예측된다.

3.2.4 연소가스 중 산소배출량(O₂)

Figure 17은 자연흡기식 엔진의 각 고정 회전수까지의 O₂ 변화를 계측하여 비교한 것이다. **Figure 18**은 대응출력 200HP 과급기 장착에 따른 엔진의 각 고정 회전수까지의 O₂ 변화를 계측하여 비교한 것이다. 저속구간에서의 O₂ 배출량은 N/A엔진과 T/C엔진에서 거의 동일하게 나타났으며, 고속구간에서의 O₂ 배출량은 T/C엔진에서 감소량이 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 T/C 엔진에 의해 과급되는 O₂ 양이 연

소되는 O₂의 양보다 많이 과급되기 때문이라 예측된다.

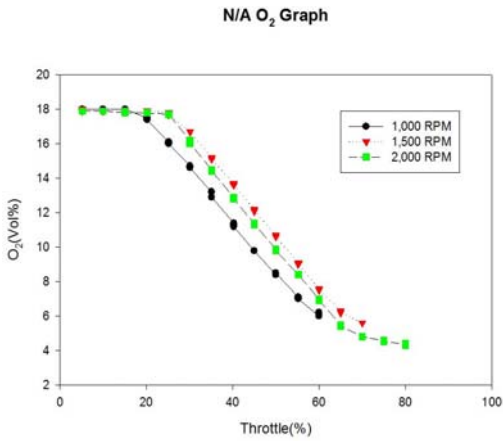


Figure 17: Comparison of N/A engine O₂ on throttle open scale by engine speed variation

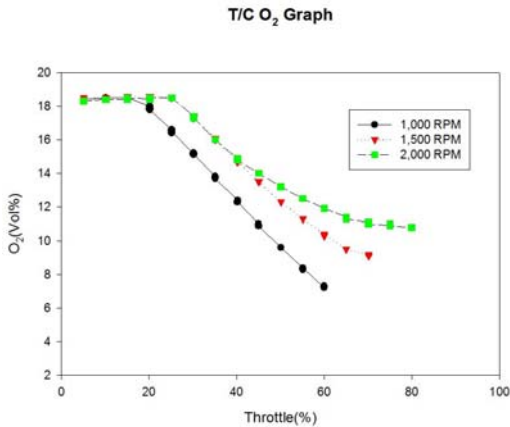


Figure 18: Comparison of T/C engine O₂ on throttle open scale by engine speed variation

4. 결 론

본 연구에서는 자연흡기식 디젤엔진과 대응출력 200HP 과급기가 장착된 디젤엔진을 대상으로 동일한 실험조건을 통해 엔진의 성능과 배출특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) N/A 엔진대비 대응출력 200HP T/C를 장착한 엔진의 출력 성능은 저속구간에서는 적은 차이를 보였으나, 고속구간에서는 T/C 엔진이 15% 가량 높은 출력 성능을 나타내었다.

2) 저속에서 N/A 엔진과 대응출력 200HP T/C 엔진의 CO₂ 배출량은 거의 동등하게 나타났으나 고속에서의 CO₂ 배출량은 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 EGR을 통해 배기가스가 환원되어 CO₂ 배출이 억제된 것으로 예측된다.

3) CO₂의 배출특성과 마찬가지로 저속에서는 N/A 엔진과 T/C 엔진의 NO_x 배출량이 거의 동등한 수준으로 나타났으며, 고속에서는 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 T/C 엔진의 과급에 따른 흡입 공기가 많아졌기 때문이라 예측된다.

4) N/A 엔진대비 대응출력 200HP T/C를 장착한 엔진의 출력특성과 배출특성은 저속에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 고속구간에서는 높은 출력특성을 보였다. 고속에서 CO₂ 배출량은 크게 감소하였고, NO_x 배출량은 소량 증가하였다. 하지만 그 증가량은 미비하였으며, 높은 출력특성을 낼 수 있는 T/C의 효율성은 충분하다고 예측된다.

참고문헌

- [1] J. K. Yoon, "A study on the characteristics of performance and emission in a turbocharged D.I. diesel engine", The Korean Society of Automotive Engineers, no. 1, pp. 315-321, 2008.
- [2] D. H. Seog, "A study on the performance improvement in a V8 type turbocharged intercooler D.I. diesel engine", The Korean Society of Automotive Engineers vol. 13, no. 2, pp. 118-127, 2004.
- [3] Y. C. Han, "A simulation study of diesel engine with turbocharger and intercooler", The Korean Society of Machine Tool Engineers, vol. 9, no. 4, pp. 123-130, 2000.
- [4] N. J. Choi, "A study on the dynamic character-

istics of a turbocharged diesel engine”, The Korean Society of Automotive Engineers, vol. 3, no. 1, pp. 143-154, 1995.

- [5] C. W. Lee, “A study on engine performance and exhaust emission characteristics of response power 150HP turbocharged diesel engine”, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, vol. 11, no. 6 pp. 100-106, 2012.