



디젤 엔진 자동차의 터보차저 시스템과 관련된 고장사례 연구

[†]이일권 · 이정호

대림대학교 자동차공학과

(2016년 3월 9일 접수, 2017년 4월 24일 수정, 2017년 4월 25일 채택)

Study of Failure Examples Involved in Turbocharger System of the Diesel Engine a Vehicle

[†]IL Kwon Lee · Jeong Ho Lee

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

(Received March 9, 2016; Revised April 24, 2017; Accepted April 25, 2017)

요약

이 논문은 디젤 자동차의 터보차저 시스템에 관련된 고장사례를 연구하기 위한 것이 목적이다. 첫 번째 사례는 터보차저를 분해하여 확인한 결과 터보 휠의 파손으로 터빈이 손상되어 작동되지 않음으로 배기관 구멍이 막혀 가속이 되지 않는 것을 확인하였다. 터보차저 장착차량의 경우 높은 회전수에서는 엔진을 바로 정지시키게 되면 고온에 의한 터보의 고착현상이 발생될 수 있으므로 공회전 상태를 충분히 유지한 다음 시동을 끄도록 한다. 두 번째 사례는 터보차저를 작동시키는 VGT 액츄에이터의 로드가 고착되어 가속불량 현상이 발생된 것으로 확인되었다. 세 번째 사례는 알터네이터(Alternator) 저항과 인터쿨러 팬 릴레이 커넥터 오조립으로 인해 주행 중 출력부족 현상이 발생된 것을 확인하였다. 따라서, 터보차저 시스템의 철저한 관리를 통해 고장이 발생하지 않도록 하여야 한다.

Abstract - The purpose of this paper is to study for turbocharger system in a vehicle of diesel engine. The first example, it certified the fact that a car engine is not to accelerate by clogged the exhaust tube as the turbine was damaged because of turbine wheel broken. The a vehicle with turbocharger must to stop engine operation after maintaining the appropriate idle revolution as it can be the sticking phenomenon if the operator immediately stop the engine being high revolution. The second example, it knew the phenomenon of acceleration faulty that the rod of VGT actuator that operating the turbocharger adhered with the bracket of VGT. The third example, it confirmed the power insufficiency phenomenon when driving by of alternator resistor and fan inter-cooler fan relay connector mistaken assembly. Therefore, the operator have to scrutinize manage no the failure of turbocharger system.

Key words : Turbocharger , Fracture, VGT actuator rod, Intercooler fan relay

1. 서 론

디젤자동차의 효율을 더 높이고 특정구간에서의 출력을 향상시키기 위해 배기가스를 이용하거나[1] 흡입측에 더 많은 공기를 공급하여 디젤엔진의 출력

을 높인 시스템이 터보차저 시스템이다

세계적으로 저속 디젤엔진에 터보차저가 오랫동안 사용되었고, 1960년에는 고속디젤엔진에 적용되었다[2]. 터보차저는 가솔린, 디젤차량 엔진의 출력을 증가시키는 방법으로 적용되었다. 터보차저의 적용은 엔진과 차량시스템에 있어 만든 변수(Factors)를 고려해야만 하였다[3]. 터보차저(Turbocharger)의 변천과정은 초기에는 단순히 흡기측에 자연흡기

[†]Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

방식(Naturally aspirated ; NA)을 이용하였다. 이후 배기가스에 혼합기를 추가로 공급하는 방식 과급기(Turbocharger ; TC) 방식이 개발되어 사용되었다. 그리고 터보차저에서 나오는 더운 공기를 인터쿨러(Intercooler)를 통해 흡입공기의 온도를 낮춰 효율을 향상시킨 시스템으로 개발된 것이 과급기와 인터쿨러(Turbocharger intercooler ; TCI)를 혼합한 방식이었다.

최근에는 흡입공기량의 변화가 가능한 시스템인 가변용량형 과급기(Variable geometry turbocharger ; VGT)의 형식으로 발전하였다. VGT의 신뢰성(Reliability)을 높이기 위해 여러 가지 시험데이터와 가치 있는 현장 데이터를 바탕으로 개발되었다[4]. 가변적 터빈 베인(Vane)각을 가진 터보차저 모델도 개발되었다. 초기 연구에서 개발된 모델인 하나의 고정된 베인 각을 바탕으로 한 모델이 컴퓨터에서 모델링하고 설계하게 되었다[5]. 엔진의 크기(Size) 증가없이 HSDI(High speed direct injection)의 디젤 엔진에 대한 출력향상 기술은 연료분사시스템과 터보차저의 혁신 측면에서 개발되었다[6]. 디젤엔진은 세계적으로 확산되는 배출가스 규제에 대한 문제에 직면하고 있다. 즉, 연료절약과 NOx 배출과 NOx와 미립자 배출사이의 균형이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 해결책으로 디젤엔진 성능, 연료절감, 토크(Torque), 배출가스, 제동성능에 대한 진보된 VGT의 개발연구가 진행되었다[7]. 최근의 과제는 터보차저가 구동할 때 오일소모 문제에 대한 연구와 관련하여 오일 소모 현상은 심각한 문제이며 이에 대한 연구도 진행되었다[8]. 도요타(Toyota) 자동차에서는 GD 디젤 엔진에 대한 새로운 D-Series 터보차저를 개발했다. 이 시스템은 터빈의 유동량을 30% 감소하여 응답성과 연료절감효과를 높인 새로운 터보차저 기능을 가진 시스템으로 평가되었다[9].

디젤 엔진에서 터보차저를 적용한 시스템은 운전 중 터보 차저의 손상으로 인해 터보 차저가 작동이 중단되는 현상과 이에 관련된 현상 등에 의해 내구성 떨어지면 터보의 성능이 떨어질 수 있다.

따라서, 이 논문은 디젤 엔진 자동차의 터보차저 장치의 고장사례를 조사하고 이를 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 과급기의 메커니즘(Mechanism)

과급기란 대기압 상태의 공기 또는 혼합기의 전부 또는 일부를 실린더 밖에서 미리 압축시켜 밀도가 높은 상태로 변화시킨 다음 실린더에 공급하는

것을 말한다[10]. 즉, 실린더 내에 많은 양의 공기와 연료를 보내면 그만큼 많은 출력을 발생시킬 수 있다. 과급에는 흡입 장치에서 발생하는 흡입 공기의 관성력과 맥동, 공명을 이용하는 방법이 있다. 흡입 공기는 피스톤의 하강에 의하여 실린더가 빨아들일 때 관성력이 붙는다. 이 압력의 맥동과 공명을 이용해도 과급은 이루어지나. 이 과급은 흡입 장치의 길이와 형상, 엔진의 회전속도에 영향을 받아 특정한 회전속도로만 유효한 결과를 얻을 수 있다[11]. Fig. 1은 터보차저의 메커니즘을 보여주는 것이다.

2.1.1 터보차저(Turbocharger)

디젤기관은 배기가스를 이용하는 것으로 배기가스가 터빈을 구동시키면 터빈은 다시 압축기를 구동시키는 방법으로 압축기가 공기를 압축한 다음 실린더에 공급한다. 과급기에 의해 압축된 공기는 온도

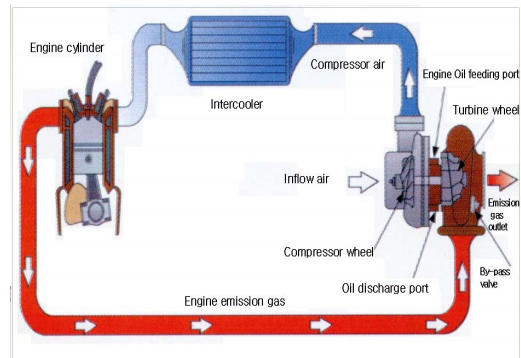


Fig. 1. Mechanism example of turbo charger.

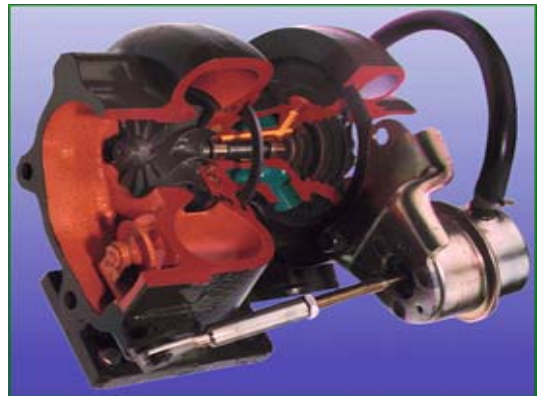


Fig. 2. Construction example of waste gate turbo-charger.

가 상당히 높기 때문에 실린더에 공급하기 전에 냉각수나 외부공기로 냉각시킨 다음에 실린더에 공급한다. 이렇게 하면 증진 효율은 더욱 개선된다.

터보차저의 구조는 동일축상의 터빈과 컴프레서, 센터하우징 및 웨스트게이트 컨트롤 액츄에이터로 구성되어 있다. 터빈과 컴프레서는 휠과 하우징으로 구성되며 휠은 축의 끝단에 설치되어 있다. 센터 하우징은 축을 보호하거나 지지하며 컴프레서의 하우징도 지지한다. 하우징의 내부는 베어링과 축의 윤활 및 냉각을 위한 오일 통로와 냉각수 통로로 구성되어 있다. 160,000rpm 까지 회전하며 오일의 단속적인 공급 및 오염은 베어링을 손상시켜 터보차저 전체에 손상을 가져온다. Fig.2는 웨스트 게이트 터보차저(Waste gate turbocharger)의 구조사례를 보여주는 것이다.

2.1.2 가변용량제어 터보차저(variable geometry turbocharger ; VGT)

VGT는 커먼레일직접분사(Common rail direct injection)엔진의 기계식 웨이트 게이트 터보차저(Waste gate turbocharger)의 액츄에이터를 개선 대체하여 배기가스의 유로를 효율적으로 정밀 제어할 수 있는 전자제어 방식의 가변용량 터보차저로 저속 및 고속 전 구간에서 최적의 동력성능을 발휘하는 터보차저이다. VGT는 엔진이 저속구간에서는 배기가스의 통로를 좁혀 유속을 증가시키므로 터빈의 회전속도를 빠르게 하고, 고속구간에서는 통로를 넓혀 배기가스가 지닌 에너지를 이용하여 터빈을 구동하므로 흡입공기량을 증가시킨다. 즉, VGT는 엔진 운전의 전구간에 걸쳐 성능 향상을 가져오도록 하는 장치이다. Fig.3은 VGT의 구조를 보여주는 것이다.

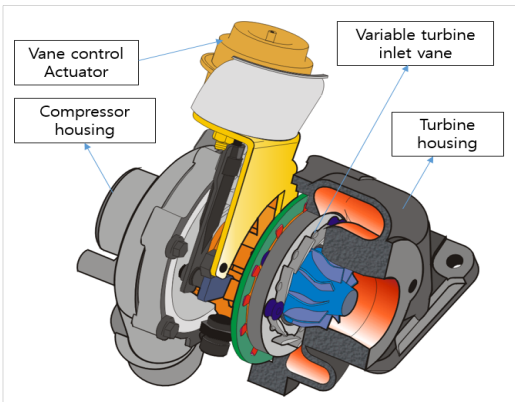


Fig. 3. Construction example of the VGT.

2.2 과급기 장착 차량의 관리

과급기 장착 차량의 관리와 운전요령은 엔진의 급가속사항, 엔진오일 및 필터의 관리, 시동에 대한 사항으로 관리할 수 있다. 또한, 인터쿨러에 대한 관리사항을 적당하게 제어하여 관리할 수 있다.

III. 디젤 자동차 과급기 장치에 관련된 고장사례

3.1 터보차저 파손으로 가속불량 현상 사례

1) 현상

운전자가 운전중 가속이 잘 되지 않고 백색매연이 발생하였다.

2) 분석

이 자동차는 2,125km를 운행한 자동차로 운행중 가속이 되지 않고 백색매연이 발생된 것을 확인하였다. 일반적으로 터보시스템은 엔진내부로 유입되는 공기의 양을 증가시켜 엔진의 폭발압력을 높여 출력을 향상시키는 시스템이다. 이러한 터보시스템은 100,000~160,000rpm의 고속으로 회전하므로 윤활 작용으로 고열을 냉각시키는 기능을 한다. 따라서 이러한 베어링의 관리는 매우 중요한 요소이다. 터보차저의 베어링의 윤활은 엔진오일을 순환시켜 윤활을 하는데 터보차저 베어링의 유로를 통하여 순환시키고, 터보차저는 배기가스의 압력으로 터빈을 회전시켜 그 회전력으로 공기를 압축하여 흡기측으로 보내게 된다. 터보차저에는 2개의 저널베어링(Journal bearing)이 장착되어 있다. 배기가스에 의해 터보차저의 고속 회전이 되며 900℃의 고온의 상태이다. 이 때 터빈과 베어링부의 온도도 고온에 의해 엔진오일의 공급이 원활하지 못하게 되면 터빈의 샤프트와 베어링 부위에 슬러지(Sludge)가 생겨 베어링 접촉부가 마멸이 발생되고, 축의 진동에 의한 소음

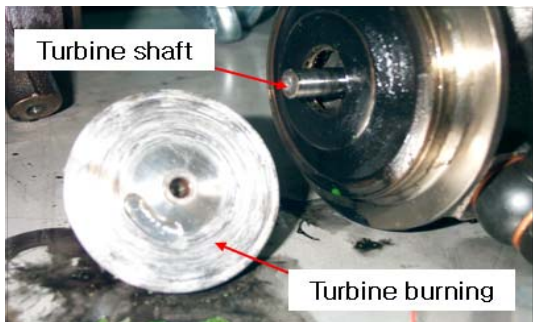


Fig. 4. Burning of turbine by fracture of turbocharger.



Fig. 5. Turbocharger example by fracture.

이 증가하거나 악화되면 베어링부의 고착으로 연결되어 터보의 회전이 되지 않아 작동이 중단되게 된다. 터보차저를 분해하여 확인한 결과 터보차저 파손으로 터빈이 소착되어 터빈이 작동되지 않은 것을 확인하였다. 또한 이 현상으로 인해 배기관 구멍이 막혀 가속이 되지 않는 것을 확인하였다. Fig.4는 터보차저 파손으로 인해 터빈이 소착된 사례를 보여주는 것이다. Fig.5는 손상된 터보의 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

터보차저 엔진은 시동 후 엔진오일이 터보 베어링부로 충분히 올라가도록 하기 위해 3~4초 동안 엔진 회전수를 급격하게 상승시키지 않도록 하여야 한다. 그리고 높은 회전수에서는 작동중인 엔진을 바로 정지시키게 되면 고온에 의한 터보의 고착현상이 발생할 수 있으므로 반드시 공회전 상태를 충분히 유지한 다음 시동을 끄도록 한다. 또한, 엔진 오일이나 오일 필터를 교환한 다음 혹은 차량정리 후 엔진시동을 다시 걸 때 최소 1분 이상의 공회전 상태를 유지한 다음 운행하도록 한다. 터보차저 엔진이 장착된 자동차의 경우에는 각 제작사의 차량관리사항을 준수하여 시스템이 파손되지 않도록 철저한 관리를 하도록 한다.

3.2 VGT 로드 고착으로 인한 가속불량 고장사례

1) 현상

자동차가 언덕길을 오를 때 가속불량 현상이 발생된 것을 확인하였다.

2) 분석

이 자동차는 3,640km 정도 주행한 자동차로 시운전한 결과 평지를 운행할 때는 가속불량현상을 잘 느낄 수 없었으나, 언덕길을 오를 때는 가속불량 현



Fig. 6. Sticking example of VGT rod.

상을 확연히 느낄 수 있었다. 즉, 언덕길을 1회 주행한 후에는 VGT 액츄에이터 이상 코드가 출력(display) 되는 것을 확인하였다.

자기진단기를 이용하여 이 자동차를 점검한 결과 P1112 VGT 액츄에이터 이상 코드가 출력되었다. 기억을 소거하였을 때 정상으로 기억이 소거되었으나, 언덕길을 주행한 다음에는 다시 출력되었다. 진공호스의 오장착 유무를 점검하였으나 이상이 없었다. VGT 솔레노이드(solenoid) 밸브를 교환하였으나, 동일할 현상이 나타났다. 엔진 회전수 1,800rpm 이하에서 스톨테스트(stall test)를 실시하였다. 차량을 들어올려(lifting) VGT 로드(rod)의 움직임을 점검하였을 때 가속을 하여도 움직임이 없음을 확인하였다. 이 사례의 고장 원인은 터보차저를 작동시키는 VGT 액츄에이터의 로드가 고착되어 가속불량 현상이 발생된 것으로 확인되었다 Fig.6은 VGT 로드의 고착사례를 보여주는 것이다.

Fig.7의 사례는 고장현상 발생시 자기진단 측정결과를 보여주는 것이다.

Fig.8은 수리후 자기진단 측정결과를 보여주는 것이다.

Fig.7의 경우 APS(Acceleration position sensor) 값이 100%임에도 불구하고 엔진회전수가 상승되지 않았고, 부스트 압력값에 오차발생으로 VGT 제어는 VGT 액츄에이터 값을 볼 때 31.4%로 고정어동됨에 따라 언덕길에서 가속불량 현상이 발생된 것으로 확인되었다. 즉, 이 사례의 경우는 VGT 로드가 고착되어 부스트압력의 변화를 ECU(Electronic control unit)가 감지함으로써 P1112 VGT 액츄에이터 이상 코드가 출력되었으며, VGT 솔레노이드 밸브를 31.4%로 고정 제어함으로 언덕길을 올라갈 때 가속불량 현상이 발생한 것으로 판단되었다. P1112 VGT 액츄에이터 이상 코드 출력조건을 보면 엔진의 회전수가 1,500rpm 이상이고 연료분사량이 40cc

이상인 조건에서 실제 부스트 압력센서의 목표 부스트 압력센서 값의 차이가 $\pm 500\text{hpa}$ 이상일 때 고장을 감지하도록 설계되어 있다. 이것은 진공으로 계산하면 3.75mmHg 정도의 부스트 압력 차이가 생기게 되면 P1112 코드가 출력되는 것을 볼 수 있다.

3) 고찰

VGT의 작동이 잘 될 수 있도록 로드 에 이물질이 유입되어 고착된다거나, 고정볼트의 풀림으로 인한 로드의 느슨함 등을 세심하게 확인하여 VGT 작동이 작동불량 현상이 발생하지 않도록 관리를 철저히 하여야 한다.



Fig. 7. Measuring data for troubleshooting producing failure.



Fig. 8. Measuring datas for troubleshooting after repair.

3.3 인터쿨러 팬 작동불량으로 가속불량 현상 사례

1) 현상

운전자가 자동차를 운전 중 자동차의 출력이 떨어지는 현상이 발생하였다.

2) 분석

이 자동차는 59,050km를 주행한 자동차로 시운전한 결과 주행하는 동안 출력이 떨어지는 현상을 확인하였다. 자동차의 정비이력을 확인한 결과 엔진 컴퓨터와 인터쿨러 팬 릴레이 교환한 것이 확인되었다. 자기 진단기를 이용하여 확인한 결과 인터쿨러 팬 이상으로 확인되었다. 기역을 소거한 다음 시동을 걸었을 때도 동일코드가 출력되었다. 인터쿨러는 터보에서 압축된 공기를 받아 흡기의 온도를 낮추는 시스템이다. 일반적으로 터보차저의 터빈을 통해 압축된 공기가 바로 엔진으로 유입되는 것이 아니고 인터쿨러를 통해 냉각되어 유입된다. 공기의 특성은 온도가 낮을수록 부피가 감소한다. 즉, 흡기 온도가 낮게 되면 더 많은 공기가 실린더로 유입된다. 결국 인터쿨러는 터보차저의 효율을 높이는 것이라 할 수 있다. 따라서 인터쿨러는 냉각효율을 향상시키기 위해 터보차저에는 필수적으로 장착이 된다. 이러한 인터쿨러에는 인터쿨러를 제어하는 인터쿨러 팬 릴레이가 장착되어 있다. 이 사례의 경우에는 인터쿨러 팬 릴레이 저항을 측정하였을 때 저항이 무한대로 측정되었다. 팬 릴레이 제어부를 테스트 램프를 이용하여 점검한 결과 전구가 밝게 점등되었다. 관련회로분석 및 회로를 점검한 결과 발전기(Alternator) 저항 릴레이 오장착여부를 확인하였다. 즉, 원인은 발전기(Alternator) 저항과 팬 릴레이 커넥터 오조립으로 인해 인터쿨러 팬 릴레이 이상

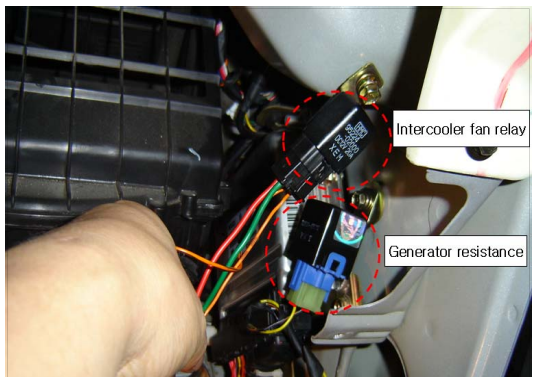


Fig. 9. Assembling example of inter-cooler fan relay and generator resistor.

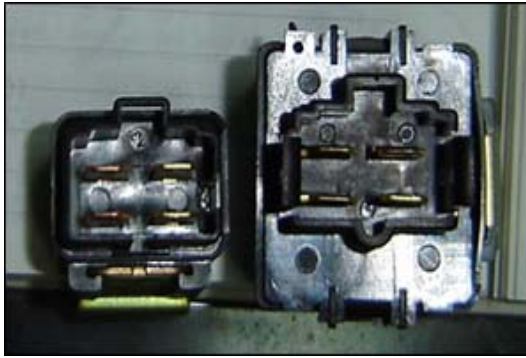


Fig. 10. Parts example of relay and generator resistor.

으로 출력되었으며 주행중 출력부족 현상이 발생한 것으로 확인되었다.

Fig.9는 인터쿨러 팬 릴레이와 발전기 저항의 장착사례를 보여주는 것이다. 인터쿨러 팬 릴레이의 작동은 인터쿨러 팬의 작동을 제어하여 최적의 작동 상태로 제어하는 역할을 한다. 발전기 저항은 발전기에서 나오는 전압을 맞추는 역할을 한다. Fig.10은 릴레이와 발전기 저항 부품의 손상된 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

인터쿨러의 에어 인렛 호스의 조립상태를 확인하여 손상된 부위가 없는지 확인한다. 인터쿨러의 공기구 한쪽은 막고 다른 한쪽은 호스를 조립하여 수조에 넣고 규정 공기력을 가하여 에어의 누설여부를 확인하여 에어가 누설될 때는 교환하도록 한다.

IV. 결론

디젤 엔진을 장착한 자동차의 터보 차저 시스템에 관련된 고장 사례 현상을 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 첫 번째 사례의 원인은 터보차저를 분해하여 확인한 결과 터보차저 과손으로 터빈이 소착되어 터빈이 작동되지 않아 배기관 구멍이 막혀 가속이 되지 않는 것을 확인하였다.

2) 두 번째 사례의 원인은 터보 차저를 작동시키는 VGT 액츄에이터의 로드가 고착되어 가속불량 현상이 발생된 것으로 확인되었다.

3) 세 번째 사례의 원인은 알터네이터(Alternator) 저항과 팬 릴레이 커넥터 오조립으로 인해 인터 쿨

러 팬 릴레이 이상으로 출력되었으며 주행중 출력부족 현상이 발생한 것을 확인되었다.

REFERENCES

- [1] Il,Kwon Lee, Jong Ho Lee, " Study of Failure Examples for Emission Gas Control System in Gasoline Engine", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 20, NO. 6, pp37-42, (2016)
- [2] Hans Egli, " Basic Design of Turbocharger for Diesel Engines", SAE paper 600007
- [3] David L. Alfano, "Turbocharger Applications", SAE paper 862051
- [4] Hiromu Furukawa, Hiroshi Yamaguchi, Kinshi Takagi, Akihiro Okita, "Raliability on Variable Geometry Turbine Turbocharger", SAE paper 930194
- [5] S. H Nasser, B. B Playfoot, "A Turbocharger Selection Computer Model", SAE paper 1999-01-0559
- [6] Jaehoon Cheong, Sungwhan Cho, Changho Kim, "Effect of Variable Geometry Turbocharger on HSDI Diesel Engine", SAE paper 2000-05-0124
- [7] Steve Arnold, Mark Groskreutz, S. M. Shahed, Kevin Slupski, "Advanced Variable Geometry Turbocharger for Diesel Engine Applications", SAE paper 2002-01-0161
- [8] M. Manni, M. Carriero, A. Roselli, "A Study of Oil Consumption on a Diesel Engine with Independently Lubricated Turbocharger", SAE paper 2002-01-2730
- [9] Takashi Tsukjyama, Koichi Yonezawa, Hiromu Iwata, "Development of New Toyota D-Series Turbocharger for GD Diesel Engine", SAE paper 2015-01-1969
- [10] Hyundai Motor Company, "Electronic Control in Diesel", 2002
- [11] Ilkwon Lee and Jongho Lee, "Diesel Engine in Automotive", 2015