



디젤엔진 자동차의 EGR 및 공기 제어와 CPF 장치에 관련된 고장사례 고찰

†이일권 · 국창호 · 함성훈 · 이영숙 · 염광욱* · 유창배**
김성모*** · 임하영**** · 안호철***** · 이정호*****

†대림대학교 자동차공학과, 동주대학교 자동차과*, 신성대학교 자동차계열**, 충청대학교
항공자동차기계학부*** · 경진기업 연구소****, 성균관대학교정보통신대학원*****,
인하대학교대학원 기계공학과*****
(2018년 2월 12일 접수, 2018년 4월 12일 수정, 2018년 4월 13일 채택)

A Study for Failure Examples of Emission Gas Recirculation and Air Control and Catalyzed Particulate Filter System in Diesel Engine Vehicle

†IL Kwon Lee · Chang Ho Kook · Sung Hoon Ham · Young Suk Lee
Kwang Wook Youm* · Chang Bae You** · Sung Mo Kim***
Ha Young Lim**** · Ho Cheol Ahn***** · Jeong Ho Lee*****

Dept. of Automotive Engineering, Daelim University College,

**Dept. of Automotive Engineering, Dongju University,*

***Dept. of Automotive Engineering, Shin Sung University,*

****Faculty of Aviation, Automobile & Mechanical Engineering, Chungcheong University,*

*****Kyeongjin Co., Ltd,*

****** Graduate School of Information and Communication, Sungkyunkwan University,*

****** Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University*

(Received February 12, 2018; Revised April 12, 2018; Accepted April 13, 2018)

요약

이 논문은 디젤엔진 자동차의 EGR 및 공기 제어와 CPF 장치에 관련된 고장사례 연구이다. 첫 번째 사례는 엔진진공펌프 손상으로 인해 엔진오일이 EGR 밸브 내부 다이어프램 손상으로 인해 오일이 흡기로 유입되어 연소실로 들어가 불완전 연소함으로써 배기할 때 매연이 발생된 것으로 확인되었다. 두 번째 사례의 원인은 공기 제어 장치인 스로틀 플랩(throttle flap)을 점검하였을 때 스로틀 플랩이 고착되어 흡입공기량 부족에 의해 매연이 발생된 것을 확인하였다. 세 번째 사례는, 배기가스 온도센서의 불량으로 인해 온도를 감지하지 못해 재생기능이 되지 않아 매연이 발생된 것으로 확인되었다. 따라서, 배기가스발생으로 인한 환경오염 문제가 발생하지 않도록 최적의 상태를 유지하도록 관리하여야 한다.

Abstract - The purpose of this paper is to study for failure examples of emission gas recirculation and air control and catalyzed particulate filter system in diesel engine vehicle. The first example, the researcher found the fact that the much engine oil came into the intake manifold causing diaphragm damage of EGR valve. The engine oil entered into combustion chamber of engine so that a car emit the polluted exhaust gas when driving. The second example, the researcher certified the sticking phenomenon of carbon and foreign substance with the throttle flap so that the exhaust fumes discharged exhaust port. The third example, the regeneration function

†Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

don't activated to not detect the temperature of exhaust gas because of damage in the sensor. Thus, the researcher must meticulously manage his car not in order to take place the problem of environmental pollution.

Key words : Diesel engine emission gas, EGR valve, throttle flap sticking, gas temperature sensor

I. 서론

가솔린 엔진은 공기와 연료를 연소실에 흡입하여 압축하고 그 압축된 혼합기를 점화 플러그에 의해 불꽃을 발생시켜 그 불꽃에 의해 폭발 연소시키는 강제 연소방식이다. 이에 반하여 디젤엔진에서 디젤엔진의 연료인 경유는 가솔린에 비해 인화점이 높아 다루기에 안전하며, 공기만을 압축하여 500~600℃ 정도의 고압의 압축공기를 형성시킨 다음 압축 행정 말기에 고압의 연료를 분사함으로써 공기 압축열에 의해 연료가 자기 착화(self ignition)하게 되는 자연연소 방식이다.

엔진 출력 방식을 보면 가솔린 엔진은 가속페달(acceleration pedal)을 밟으면 스로틀 밸브를 열어 흡입 공기량을 제어하는 반면에 디젤 엔진의 경우는 스로틀 밸브를 여는 것이 아니라 인젝션 펌프에서 연료의 양을 증가시켜 엔진의 출력변화를 주어 제어한다[1].

디젤 엔진의 최대 출력의 한계는 배출되는 매연의 농도에 따라 제한되는데 완전 연소될 수 있는 혼합비 이상의 연료가 과잉 공급되면 어느 정도의 엔진 출력을 증대시킨다. 그러나 산소부족에 의해 불완전 연소된 연료는 고온에서 열 분해되어 거의 대부분이 탄소입자로 형성된 매연으로 배출된다.

디젤엔진의 효율을 높이고, 최적의 배기가스제어를 위해, 자동차 제작사에서는 기계식 디젤 엔진에서 적용되던 분사펌프(injection pump) 방식이 아닌 전자제어 방식인 커먼레일(common rail)을 적용한 엔진을 개발하게 되었다. 이러한 엔진은 기존 디젤 엔진과 비교하여 출력 및 연비 향상을 하는데 기여하였고, 기존 기계식 디젤엔진의 배기가스를 최소화할 수 있었다. 디젤엔진에서 NOx를 줄이기 위해 EGR 시스템에 대한 연구[2,3,4]논문이 발표되었다. 또한, 미세먼지를 발생하는 디젤엔진에 대한 배출가스 제어기술전망에 대한 연구도 활발하게 진행되었다[5]. 유럽에서의 디젤배출가스 제어에 대한 Euro IV와 V에 대한 배출가스 제어장치의 전반에 대한 연구논문도 발표되었다[6]. 또한 디젤엔진 배출가스 후처리(aftertreatment) 시스템에 대한 논문도 발표되었다[7].

이 논문은 디젤 엔진의 배출가스 제어장치 및 배기가스 후처리장치의 하나인 DPF(diesel particulate filter)와 관련된 배기가스 관련부의 고장사례를 조사하고 이를 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 배출가스의 성분

디젤 엔진은 공기만을 실린더에 흡입하여 압축 행정 말기에 고온과 고압으로 압축된 상태에 분사노즐이나 인젝터에 의해 연료가 분사된다. 그 때 공기의 온도가 연료의 자기 착화 온도보다 높으면 분사된 연료는 압축된 고온의 공기 중에서 작은 입자가 흩어져 무화되거나 증발되어 자기 착화가 가능한 최적의 혼합비가 연소실 내에 형성되어 연소가 시작된다. 이러한 방식으로 연소된 디젤 엔진은 배기가스로 배출될 때 배출가스의 성분은 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 입자상물질(particulate matters ; PM)등이 있다[8].

2.2 배출가스의 대책

최근 자동차의 급격한 보급으로 인해 대기오염 문제는 심각한 상황을 초래하고 있다[9]. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 유해배출 가스에 대한 규제를 단계적으로 강화하고 있다. 우리나라의 경우 2009년 9월부터 배출가스 기준을 Euro V가 적용되었다. 유로 III와 비교하여 보면 일산화탄소는 2.1g에서 1.5g, 탄화수소는 0.66g에서 0.46g으로 강화되었다. 또한, 질소산화물은 5g에서 2g으로 입자상물질의 규제값은 0.1g에서 0.02g으로 매우 강화되었다. Fig.1은 Euro III와 V의 배출가스 규제값에 대한 비교 차트를 보여주는 것이다. 현재 디젤엔진의 유해 배출 가스를 줄이기 위한 방법으로 다양한 신기술 장치가 개발되어 사용되고 있고, 개선 연구되고 있다[8,10].

2.2.1 공기제어(air control) 밸브

공기제어 밸브는 디젤 기관에서 가동을 정지할 때

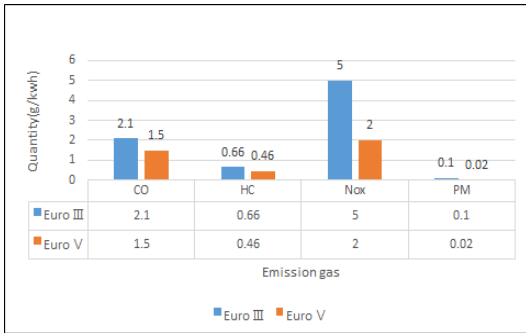


Fig. 1. Comparing examples of Euro III, V emission gas regulation value

실린더로 유입되는 공기를 차단하여 디젤링 현상을 방지하기 위한 스로틀 플랩(flap)기능과 정확한 배기가스 재순환 제어를 위한 것으로 배기가스가 재순환될 때 공기제어 밸브를 작동시켜 흡입공기량을 제어한다.

2.2.2 배기가스 재순환 제어(exhaust gas re-circulation control)

배기가스 재순환 제어를 기존의 방식과는 다르게 공기유량 센서에 의한 피드백 제어뿐만 아니라 공기 조절 밸브와 광역 산소센서를 사용하여 연료 분사량 제어를 통한 정밀한 제어를 실행한다. 또한, 정확한 배기가스 재순환을 제어하기 위해 전자제어 배기가스 재순환 밸브와 수냉식 배기가스 재순환 밸브 냉각기를 사용하여 기관의 출력 및 배기가스 감소효과를 극대화하였다.

2.2.3 배기가스 후처리장치(Exhaust gas after-treatment system)

배기가스 후처리 장치란 디젤기관 배기가스 중 입자상물질(particulate matters)을 여과기를 이용하여 물리적으로 포집하고, 일정거리 주행후 입자상물질의 발효온도인 550℃ 이상으로 배기가스 온도를 높여 연소시키는 장치이다.

입자상물질을 제거하기 위한 배기가스 후처리 장치는 디젤미립자형 여과기(diesel particulate filter ; DPF), 디젤 미립자 촉매 여과기(catalyzed diesel particulate filter ; CDPF), 미립자형 촉매 여과기(catalyzed particulate filter ; CPF) 등으로 부르는데 디젤 배기가스 후처리장치라는 의미로 모두 DPF로 부른다. DPF는 디젤기관에서 입자상물질을 여과기로 포집한 다음 이것을 연소, 즉 재생과 여과기에 쌓여 있는 입자상 물질을 높은 온도의 배기가

스를 이용하는 태우고, 다시 포집하기를 반복하는 장치이며 입자상물질을 약 70% 이상 감소시킬 수 있다.

배기가스 후처리장치의 구성부품은 차압센서와 배기온도 센서가 있다. 차압센서는 배기가스 후처리 장치의 재생 시기 판단을 위한 입자상 물질의 포집량을 예측하기 위해 필터전후방 압력차를 검출하는기능을 한다. 배기온도 센서는 배기가스 온도 센서는 배기 매니폴드와 배기가스 후처리장치에 각각 한 개씩 장착되어 있다.

III. 디젤자동차 배출가스 제어장치에 관련된 고장사례

3.1 EGR 밸브로의 엔진오일 유입으로 인한 매연 발생사례

3.1.1 현상

운전자가 자동차를 운행하기 위하여 시동을 걸었을 때 엔진부조화 현상 및 백색과 청색의 매연이 발생하였다.

3.1.2 분석

이 자동차는 27,000km 정도 주행한 자동차로 시운전 결과 냉간상태에서 시동을 걸었을 때 엔진의 부조화 현상 및 백색과 청색 매연이 발생하는 것을 확인하였다. 또한, 급가속시 청색의 매연이 다량 발생하였다. 확인한 결과, EGR 밸브 쪽에서 엔진오일이 다량으로 누유되는 것을 확인하였다. 엔진오일은 엔진오일이 누설될 수 있는 엔진의 블로바이가스(blow-by gas)를 흡기쪽으로 공급하는 PCV(positive crankcase ventilation) 밸브, 배출가스를 다시 한번 흡기쪽으로 보내 연소시키는 EGR 밸브, 밸브 스템 실(stem seal)의 내구성 약화로 인한 실린더 헤드의 연소실 내부로의 오일누설과 피스톤에 의한 제어 불량에 의한 연소실로의 오일 유입 등으로 인해 오일이 과다 누설될 수 있다[11]. EGR 시스템은 질소산화물의 생성을 감소시키기 위해 배기가스 재순환 장치를 장착하여 배기가스의 일부분이 엔진의 흡기 포트에 유입되어 연소를 방해하기도 하지만, 어느 정도까지는 잔여의 배기가스 내용물의 증가한 부분이 에너지 전환과 배기가스에 좋은 영향을 미치게 된다. EGR 가스량을 계산하기 위해 엔진의 컴퓨터는 엔진에 유입되는 신선한 공기의 질량을 공기량센서를 이용해 계산한다. 이렇게 측정된 값은 EGR 가스를 얼마나 보낼 것인지 계산하여 EGR 솔레노이드 밸브를 제어하게 된다. 따라서, EGR 밸브를 점검한 결과 엔진진공펌프 손상으로



Fig. 2. Oil leakage example of EGR Valve assembling parts.

엔진오일이 EGR 밸브로 유입되어 내부 다이어프램 손상으로 인해 오일이 흡기로 유입되었다. 이것이 연소실로 들어가 불완전 연소함으로써 배기할 때 매연이 발생된 것으로 확인되었다. 실린더 헤드를 분해하고 오일 팬의 엔진 오일을 확인하였을 때, 엔진오일의 초기 주입량이 5.4 liter인데 배출하여 양을 측정한 결과 3.8liter 정도로 확인하였다. Fig.2는 엔진의 EGR 밸브 조립부에서의 오일 누설사례를 보여주는 것이다.

3.1.3 고찰

EGR 밸브는 연소실에서 연소된 배기가스의 산소량을 확인하여 배기가스 일부를 실린더 헤드로 보내는 배기가스 재순환 장치이다. 이 시스템에서 엔진오일이 밸브 쪽으로 역류할 수 있는 가능성은 터보차저 내부에서의 엔진 오일 유입[12], 엔진 진공펌프부 손상으로 EGR 밸브로 유입되어 흡기로 오일이 유입, 인젝터 조립부에서의 누설에 의한 오일 유입 등으로 확인할 수 있다.

따라서, 이러한 엔진 오일 역류에 대하여 꼼꼼하게 확인 후 시스템의 고장진단 방법을 찾으려 해야 한다.

3.2 스로틀 플랩(Flap)의 고착으로 인한 매연 발생사례

3.2.1 현상

운전자가 자동차를 운전 중에 매연과다 배출되며 출력이 떨어지는 현상이 발생하였다.

3.2.2 분석

이 자동차는 시운전 한 결과 운전중에 간헐적으로 흑색 매연이 발생하고 출력이 떨어지는 현상을



Fig. 3. Producing example of exhaust gas testing the vehicle.



Fig. 4. Sticking example of throttle flap inflow the air.

확인하였다. 상기 현상은 정비이력을 확인한 결과, 엔진 컴퓨터, 공기흐름센서(air flow sensor), EGR 솔레노이드 밸브, 엔진의 배선을 교체하였으며, 매연이 과다 발생하는 동일한 현상이 발생하는 것을 확인하였다. Fig. 3은 시운전할 때 매연이 발생하는 사례를 보여주는 것이다.

자기진단기(self diagnosis tester)를 이용하여 점검하였을 때 공기흐름센서의 신호값이 낮게 출력되었으며, 센서의 값이 0V에서 3.8V범위까지는 매연이 발생되지 않았다. 그리고 매연이 발생하는 현상에서는 공회전(idle revolution)상태에서 가속이 되지 않는 것을 확인하였다. 배출가스 제어장치인 EGR 밸브를 확인하기 위하여, EGR 밸브를 강제구동하여 매연의 발생을 점검하였으나, 매연이 발생되지 않고 정상으로 확인되었다. Fig.4는 스로틀 플랩의 고착된 사례를 보여주는 것이다.

일반적으로 스로틀 플랩의 열림은 측면에 부착

되어 있는 플랩 로드 스프링의 힘으로 열리나 시동을 꺾을 때는 진공 탱크에 저장되어 있는 진공이 솔레노이드 밸브를 통해 스로틀 플랩의 스프링 힘을 이기고 플랩이 닫히게 된다. 이후 3~5초 닫힘상태가 유지된 다음 진공이 제거된 후 스로틀 플랩 스프링의 힘으로 다시 열리게 된다. 이 때 스로틀 플랩에 카본(carbon), 이물질로 인해 플랩의 고착이나 걸림현상이 발생되어 열리지 않게 되면 외부에서 유입되는 공기량 부족으로 다량의 매연이 발생될 수 있다. 따라서, 이 사례는 엔진에 공기를 제어해 주는 공기제어 장치인 스로틀 플랩(throttle flap)을 점검하였을 때 스로틀 플랩이 카본과 이물질에 의해 밸브가 고착되어 흡입 공기의 유입불량으로 인해 혼합기가 농후하여 매연이 발생된 것으로 확인하였다.

3.2.3 고찰

엔진의 시동이 걸렸을 때 적절한 공연비를 제어하는 것은 엔진의 최적제어를 하는 데 있어 대단히 중요하다. 따라서, 공기제어 장치의 철저한 점검과 관리를 통해 스로틀 플랩의 내부 고착에 의한 고장현상이 발생하지 않도록 철저한 관리를 하도록 한다.

3.3 배기가스 온도센서 불량으로 인한 매연발생 사례

3.3.1 현상

자동차를 운전중 CPF 재생불가라는 경고등 점등하며 매연과다 발생하였다.

3.3.2 분석

이 자동차는 95,000km를 주행한 자동차로 확인되었다. 자기 진단기를 이용하여 고장진단을 하였을 때 “ P1405 CPF 영구재생 이상” 고장현상이 확인되었다. 배기가스 후처리 장치와 같은 의미로 미립자형 촉매 필터(catalyzed particulate filter ; CPF)는 디젤엔진에서 배출되는 입자상물질(particulate matters ; PM)을 필터를 이용하여 물리적으로 포집하고, 일정거리를 주행한 다음 PM의 발화 온도인 550℃ 이상으로 배기가스 온도를 상승시켜 연소시키는 장치를 말한다.

과급기(turbocharger)는 엔진의 출력과 토크를 높이기 위해 흡기구에 공기를 강제적으로 압축해 넣는 강제 흡기 충전장치이다[12]. 이 자동차는 자기진단을 하였을 때 “영구재생이상”이라는 고장현상이 발생하였는데 재생이라는 것은 포집된 입자상물질을 가능하면 빠른 시간 내에 태워 필터가 다시 입자상물질을 포집할 수 있도록 하는 재생과정을

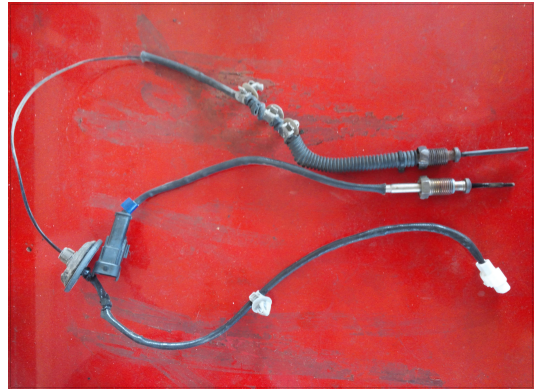


Fig. 5. Exchanging example of two temperature sensor.

말한다. 재생조건은 입자상물질의 포집량이 많아 재생모드에 진입하게 될 때 엔진컴퓨터(electronic control unit)에서는 해당자동차의 규정에 맞는 주행거리, 엔진회전수, 엔진부하 차량속도와 냉각수 온에 만족하여야 재생을 하게 된다. 재생방법은 입자상물질을 그을음 점화 온도인 550~600℃까지 가열하며 태우는 것인데 이를 위해 엔진 관련 인자들을 제어하여 재생온도에 도달하도록 한다. 재생과정은 촉매활성화 온도, 공급되는 산소농도, 산소유량, 입자상물질의 포집량에 따라 적절하게 조절되어야 한다. 따라서, 이 자동차의 사례와 같이 영구 재생 이상이라는 고장현상이 발생한 것은 재생조건이 맞지 않아 재생을 하지 못하는 것으로 판단되었다. 일반적으로 배기가스 후처리 장치의 온도를 감지하기 위해 VGT 입구와 CPF 필터측에 재생에 필요한 온도를 모니터링 하기 위해 배기가스 온도센서를 설치한다. 배기 매니폴드에 장착된 온도센서는 VGT를 보호하기 위한 것으로 VGT 내부 온도가 850℃ 이상 상승하게 되면 내구에 문제가 되기 때문에 이를 제한하기 위해 장착된다. 따라서 1차로 VGT 입구에 있는 센서와 CPF 필터측의 진단 배기가스 온도 센서를 교환하였다. 또한, 배기가스 후처리 장치의 막힘상태를 확인하였다. 진단기를 이용하여 엔진컴퓨터의 배기가스 후처리 장치는 초기화 후에도 재생이 되지 않았다. 가열단계에 진단에서는 아예 진단이 되지 않았다[13,14,15].

스캐너를 이용하여 강제재생시 CPF의 최고온도는 340℃를 초과하지 않았다. 조치내용은 CPF 탈부착하여, 이물질 막힘을 확인하였다. CPF는 정상으로 판단하고 다시 스캐너로 강제재생 중 유심히 스캐너를 보던 중 VGT 진단 온도와 CPF 진단 온도

가 차이가 많이 나는 걸 확인하고 두 개의 센서를 교환후 강제재생을 하니 성공하였다. 재생시 VGT 전단 온도센서가 먼저 상승하며 CPF 전단 온도센서도 따라서 상승하기 시작 CPF 온도가 650~700℃까지 상승하였다. 이 사례의 고장원인은 배기가스 온도센서의 내부불량으로 인해 온도를 감지하지 못해 재생기능을 하지 못한 것으로 확인되었다. Fig.5는 배기가스 온도 센서 두 개를 교환한 사례를 보여주는 것이다.

3.3.3. 고찰

배기가스 후처리 장치는 자동차가 시동이 걸린 상태에서 배출되는 배기가스에서 입자상 물질을 물리적으로 포집하여 일정한 거리를 주행한 다음 포집된 미연소 물질을 550℃이상으로 배기의 온도를 상승시켜 연소하는 것이다. 따라서, 배기가스 후처리 장치는 관리에 철저를 기하여 한다.

IV. 결론

디젤엔진의 배출가스 시스템에 관련된 고장 사례 현상을 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 첫번째 사례는 엔진진공펌프 손상으로 엔진오일이 다이어프램 손상으로 인해 EGR 밸브를 통해 연소실로 들어가 불완전 연소함으로써 매연이 발생된 것을 확인되었다.
- 2) 두 번째는 공기제어 장치인 스로틀 플랩(throttle flap)을 점검하였을 때 스로틀 플랩이 고착되어 흡입공기량 부족에 의해 매연이 발생된 것을 확인하였다.
- 3) 세 번째 사례는 배기가스 온도센서의 내부불량으로 인해 온도를 감지하지 못해 CPF 재생기능을 하지 못한 것을 확인하였다

REFERENCES

[1] Hyundai Motor Company, "Service Training Manual", 2002
 [2] Gerhard Stumpp, Werner Banzhaf, "An Exhaust Gas Recirculation System for Diesel Engines", SAE paper 780222
 [3] Howard J. Ring, " Diesel Electronic Engine Emission Control", SAE paper 840545

[4] Seiichi Shiga, Hideharu Ehara, Takao Karasawa, Toshio Kurabayashi, " The Control of Diesel Combustion by Means of Exhaust Gas Recirculation", SAE paper 851544
 [5] Timothy V. Johnson, " Diesel Emission Control Technology 2003 in Review", SAE paper 2004-01-0070
 [6] Kevin Hallstrom, Jefferson M. Schiavon, " Euro IV and V Diesel Emission Control System Review, SAE paper 2007-01-2617
 [7] Paul C. Spurk, Marcus Pfeifer, Frank-walter Schutze, Thomas Kreuzer, " Challengers for the Futher Diesel Engines Exhaust Gas Aftertreatment System, SAE paper 2007-01-0040
 [8] IL Kwon Lee, " Automotive Engine", 2012
 [9] IL Kwon Lee, Jeong Ho Lee, Young Suk Lee, kwang Wook Youm, Jae Oh Han, Ha Young Lim, " Study of Failure for Emission Gas Control System in Gasoline Engine", KIGAS Vol. 20(6), 37-42, (2016)
 [10] <http://www.sahgyongcha.co.kr/news/articleView.html?idxno=2732> [69]
 [11] IL Kwon Lee, Chung Kyun Kim, "Experimental Study on the Oil Leakage Characteristics of Valve Stem System", Journal of the KSTLE Vol. 20(4), 204-208, (2004)
 [12] IL Kwon Lee, Jeong Ho Lee, " Study of Failure Examples involved in Turbocharger System of the Diesel Engine a Vehicle", KIGAS Vol. 21(2), 26-31, (2017)
 [13] Il Kwon Lee, Young Kyu Kim and Chang Ho Kook, " Study for Failure Cases on Engine Electronic Control Computer in Liquid Petroleum Gas Vehicle", KIGAS Vol.15(6), 27-33, 2011
 [14] Chung Kyun Kim and Il Kwon Lee, "Failure Case Studies of Sensors for Electronic Controlled Engine in LPG system", KIGAS Vol. 14(4), 56-61, (2010)
 [15] Chung Kyun Kim, Il Kwon Lee and Seung Hyun Cho, " Study for Failure Examples of Solenoid Valve, Relay and Idle Speed Actuator in Liquid Petroleum Gas Vehicle Engine", KIGAS Vol. 15(3), 47-52, (2011)