

MDA를 이용한 엔진 가속 불량 진단에 관한 연구

황성완*, 차석수*.#

*한국폴리텍대학 부산 캠퍼스 자동차과, **현대자동차(주)사상서비스센터

Case Study on Engine Trouble analysis and Diagnosis Using MDA

Sung-Wan Hwang*, Suk-Soo Cha**.#

*Department of Automotive Engineering, Busan Campus of Korea Polytechnics,

**Sasang Service Center Hi-tech, Hyundai Motor Company

(Received 31 July 2022; received in revised form 01 August 2022; accepted 10 August 2022)

ABSTRACT

In this study, the cause of the acceleration failure of Hyundai Motor's 2.0-liter CRDi engine was analyzed. We tried to find problems through MDA (Measuring Data Analyzer) based on data such as vehicle speed, air intake, and air-fuel ratio obtained during the actual driving process. As a result, it was analyzed that the failure of the EGR valve exceeded the NO_x emission standard and caused a decrease in engine output. Through this study, it is possible to reduce the time and cost of unnecessary maintenance and repair, and it is expected that a rapid cause analysis will be possible in the case of new failure diagnosis in the future.

Keywords : EGR(배기가스 재순환장치), D-logger(차량데이터 로깅장치), MDA(측정데이터 분석기), Engine Control Module(엔진컴퓨터), Vehicle Communication Interface Module(차량통신중계장치)

1. 서 론

현재 자동차 세계 시장의 가장 큰 이슈는 탄소중립과 내연기관의 퇴출이다. 특히 디젤 엔진에 대한 논란의 중심인 폭스바겐-아우디의 배출가스 프로그램 조작 사건과 더불어 대기 환경 오염에 대한 대중의 관심이 높아지고 친환경 자동차에 대한 요구가 더욱 거세지고 있다.^[1] 한편 EURO - 5 기준 디젤 엔진에서 배출되는 NO_x를 줄이기 위해서는 EGR(Exhaust Gas Recirculation) 밸브가 이용된다. EGR 밸브는 배기가스 일부를 흡기 계통으로 되돌려 신선한 공기와 함께

한 번 더 연소실에 넣는 장치이다.^[2] EGR 밸브가 열리면 불활성인 배기가스 일부가 연소실로 재순환되고 연소실 내부는 산소 비율이 감소하게 되어 실제로 연소하는 연료량이 적어져 실린더의 최고온도가 낮아지므로 NO_x의 발생이 줄어들게 된다. 그러나 산소의 농도가 낮아져 엔진의 출력 저하는 필연적으로 발생하게 된다.

EURO - 5의 규제에 의한 NO_x의 배출 기준을 만족하면서 엔진 출력 저하를 최소화하기 위해서는 세 가지 조건이 만족하여야 한다. 첫째, 재순환되는 배기가스의 양을 적절히 조절해야 한다. 둘째, 목표로 하는 EGR 밸브의 위치에 빠르게 도달해야 하므로 관련 시스템의 높은 응답성을 가져야 한다. 셋째, 이를 제어하기 위해서는 신뢰성이 확보된 차량 네

Corresponding Author : h0514716@naver.com

Tel: +82-51-309-1360, Fax: +82-51-309-1493

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

트위크 시스템과 정밀한 컴퓨터 제어가 필요하다. 이러한 조건에 따라 관련 부품 증가와 복잡화가 수반되고 고장률(주행 중 시동 꺼짐, 출력 부족, 엔진 부조, 엔진 경고등 점등 등)의 증가는 피할 수 없게 되었다. 한편 EGR 시스템의 고장은 엔진 작동 중 일정한 주행 조건에서만 발생하므로 소비자가 정비 현장 방문 시 증상이 재현되지 않아 정확한 수리에 어려움을 느끼게 된다. 이는 초기 진단 시 오류를 범하게 되어 수리 시간과 수리 비용의 증가로 이어지고 과다 청구 등 사회적인 분쟁의 소지를 만들게 되었다.³⁾ 따라서 본 논문에서는 EGR 밸브 시스템 고장이 발생된 차량에 디로거(D-logger)장비를 설치하고 실제 주행 상황에서 확보된 고장 상황 발생 데이터를 MDA(Measuring Data Analyzer) 프로그램으로 분석하여 정밀도를 높이면서 신속하고 정확한 진단이 이뤄질 수 있도록 하고자 한다.

2. 실험 대상 및 방법

2.1 실험 대상

실험 대상 차량은 H 자동차의 DM 싼타페 차량으로 2013년 9월에 생산되었으며 주행거리는 86,750km이며 CRDi가 적용되었으며 엔진은 2,200CC R-Engine이 적용되었다. 제원은 Table 1과 같으며 R-Engine이 적용된 차량은 EURO - 5를 만족하며 DC 모터 방식의 피드백 제어가 가능한 EGR 시스템이 장착되었다. Fig. 1은 시험에 사용된 엔진 실물 사진이며 EGR 밸브의 장착 위치를 표시하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification	
Type	Serial, DOHC	
Cylinder	4	
Bore	91mm	
Stroke	96mm	
Displacement	2,200cc	
Compression Ratio	16.4:1	
Ignition order	1-3-4-2	
Intake Valve	Open	(BTDC) 8°
	Close	(ABDC) 38°
Exhaust Valve	Open	(BBDC) 52°
	Close	(ATDC) 8°

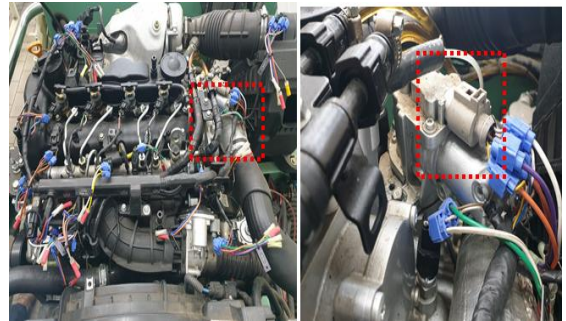


Fig. 1 The EGR valve and mounting position

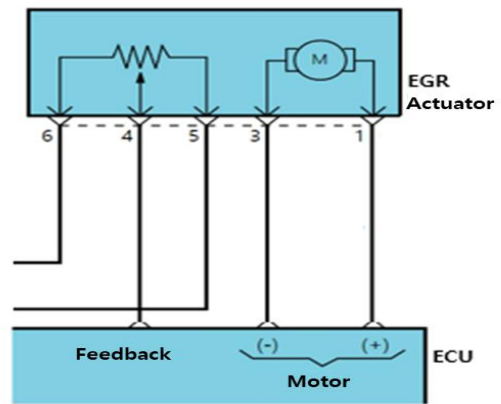


Fig. 2 Circuit of EGR Motor

2.2 시스템 분석

DC 모터 시스템을 이용한 전자식 EGR 액추에이터는 엔진 ECU(Electronic Control Unit)제어와 CAN(Controller Area Network)시스템을 이용한 네트워크 제어로 내부 밸브를 구동한다.(Fig. 1, 2) 한편 내부에는 위치 센서가 내장되어 밸브 작동에 따른 고착 및 오작동을 감지한다. 엔진 ECU는 EGR 액추에이터 구동을 통해 연소실로 재순환하는 배기가스량을 결정한다. 또한 이에 대한 적절한 작동 성능을 확인하기 위해 AFS(Air Flow Sensor) 신호를 이용해 피드백한다.⁴⁾

EGR 밸브의 작동으로 산소 대신 유입되는 EGR 가스에 비례해 부족해진 공기를 AFS 신호 출력값을 연산하여 현재 EGR 듀티량과 비교해 재순환되는 가스량을 간접 모니터링하는 것이다.

엔진 ECU는 내부 로직에서 계산된 흡입공기량 정보를 통해 EGR 시스템을 피드백 제어한다. 단, 본 실

험 대상인 디젤 엔진에서 사용되는 AFS 기능과 가솔린 엔진의 AFS 기능은 다르다.

2.3 실험방법

본 고장 진단 사례연구는 실제 주행 차량을 대상으로 하였으며 간헐적으로 발생하는 주행 중 가속 불량 의 원인을 정확하게 진단하여 문제가 되는 원인을 분석하고 규명하는 방법을 제시하고자 한다. 간헐적으로 발생하는 가속 불량 현상의 원인을 분석하고 규명하기 위해서 G사의 디로거(D-logger) 장비를 사용하였다.⁵⁾ 먼저 고장 원인을 진단해 내기 위해서는 Fig. 3와 같이 디로거 장비를 차량에 설치한 후 주행 중 고장이 발생할 때 트리거 버튼(trigger button)을 눌러서 차량 ECU의 변수 데이터가 CVCI(Compact Vehicle Communication Interface)에 기록되게 한 후 이를 MDA(Measuring Data Analyzer) 프로그램에 저장한다. Fig. 4는 MDA(Measuring Data Analyzer)에 저장된 ECU의 변수 데이터를 분석하기 위한 디로거 장비 시스템 구성이다.

2.4 실험데이터 분석

Fig. 5는 주행 중 가속 불량 현상이 발생하였을 때 CVCI에 기록된 약 200개의 변수 데이터를 MDA로 분석한 것이다. 데이터 기록시간은 약 30sec이며 고장 발생을 느끼는 순간 트리거 버튼을 누른(트리거 지점, 약 14~15sec) 지점에서 기록하였다.

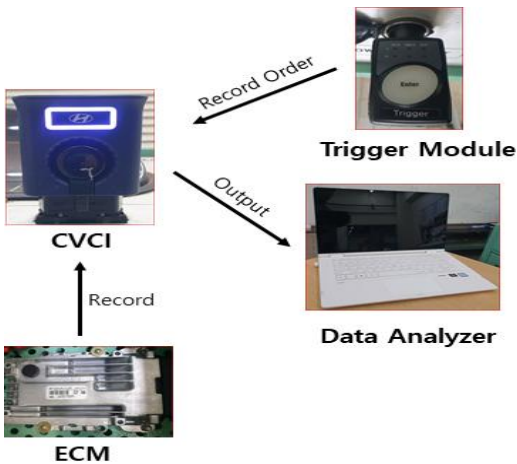


Fig. 3 Installation of D-logger equipment

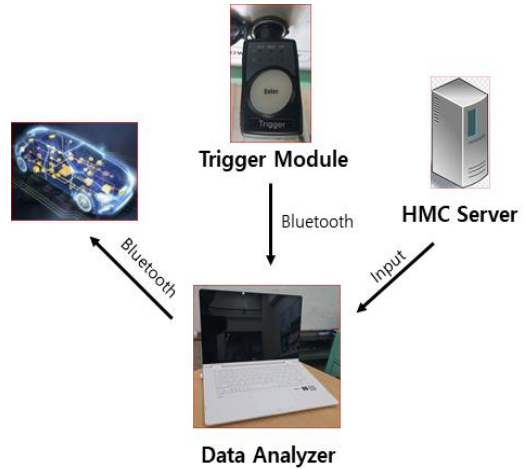


Fig. 4 D-logger equipment for fault diagnosis and analysis

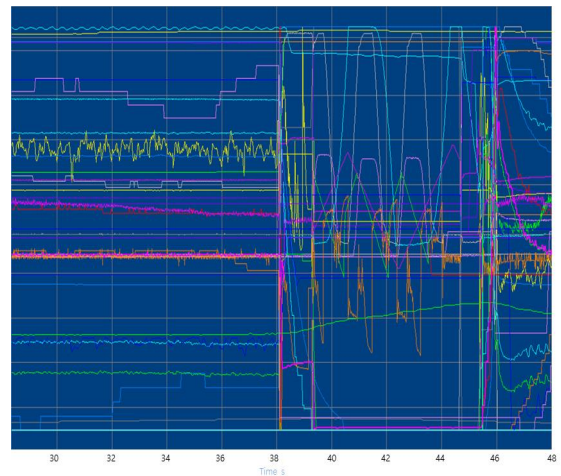


Fig. 5 Full data graph at the time of failure

CVCI에 저장된 변수 데이터를 바탕으로 고장 현상이 발생 한 시간에 같이 기록된 각종 센서 데이터와 차량 데이터를 분석하였다.

Fig. 6은 Fig. 5의 데이터 중 EGR 시스템 분석과 관련된 데이터를 추출한 것이다. 그래프에서 트리거 마크(P1)의 1 cursor~2 cursor 변수 데이터 변화를 살펴보면 Table 2에 나타난 것과 같다. Table 2의 데이터를 통해 현재 차속(VSS)의 변화량은 0~3.53km로써, 정차 후 출발상태의 저속구간임을 알 수 있다.

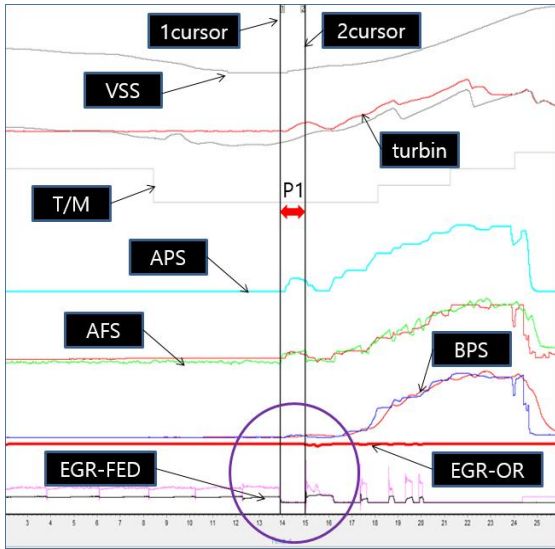


Fig. 6 Main data graph in case of failure

Table 2 Analysis data when acceleration is poor

Item	Units	VALUE	
		1 cursor	2 cursor
APS	%	0	10.022
VSS	km/h	0	3.53
T/M	stage	1	1
Turbine	rpm	810	1203
BPS	hPa	1020	1064
AFS	mg/Hub	393	472
EGR-or	%	99.499	99.499
EGR-fed	%	-11.04	-11.04

이때 엑셀 포지션(APS)은 0~10.022%로써 미세한 가속을 한 것이며, 이에 따라 부스터 압력(BPS)이 상승(1,020hPa~1,064hPa)하는 것을 볼 수 있다. 이는 터보차저 시스템이 정상적으로 작동되고 있음을 알 수 있다. 또한 공기량(AFS)이 비례하여 상승(393mg/Hub~472mg/Hub)하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 흡입공기량 계측 시스템이 정상적으로 작동되고 있음을 알 수 있다. 한편 Turbine이 상승(810rpm~1,203rpm)하는 것으로 보아 파워트레인 출력도 정상적으로 작동되고 있음을 알 수 있다. 한편

트리거 시점(P1)에서의 EGR-or는 99.499%를 지속해서 유지하고 있다. 이는 엔진 ECU에서 EGR 모터로 작동 명령을 지속해서 보내고 있다는 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

트리거 구간(P1)을 포함한 전 구간에서 엔진 ECU에서 EGR 모터로 (EGR-or)구동 명령(99.499%)을 보내고 있다. 변수 데이터(EGR-fed)는 엔진 ECU로부터 구동 명령을 전달받은 EGR 모터의 작동 여부를 모니터링하는 역할을 한다. EGR 밸브의 정상적인 작동상태를 확인하는 방법은 구동 명령(EGR-or)과 작동 여부(EGR-fed)가 일치하는 것이 중요하며 트리거 시점(P1)을 분석해 보면 구동 명령은 지속해서 EGR 모터로 전달되지만 트리거 시점에서 EGR 밸브가 작동하지 않는 구간이 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 주행 중 EGR 밸브의 피드백 신호가 엔진 ECU로 전달되지 않는 경우는 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 피드백 선의 단선, 단락 둘째는 해당 커넥터의 핀텐션 저하로 접촉 저항 과대, 셋째는 EGR 밸브 단품의 내구성 불량으로 인한 기능 저하이다. 첫째 Fig. 2를 통해 EGR 피드백 신호선 저항 측정 시 0.01Ω, ECU 출력 전압 측정 시 4.8V가 측정되어 단선, 단락은 일어나지 않았음을 알 수 있다. 둘째 Fig. 7을 통해 해당 커넥터의 핀텐션 점검 결과 정상이었음을 알 수 있다. 셋째 EGR 밸브 단품을 신품으로 교환 후 주행 결과 정상적으로 가속이 이루어짐을 확인하였다. 따라서 EGR 밸브 단품이 고장의 원인임이 규명되었다.

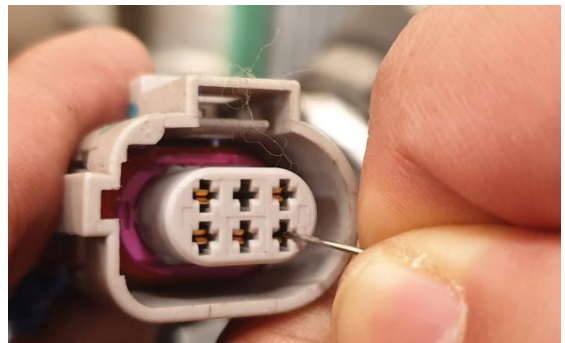


Fig. 7 Check the pin tension

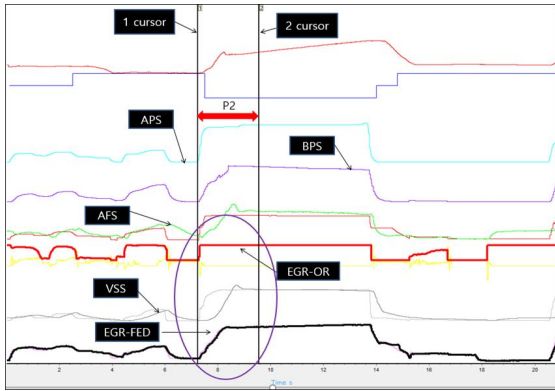


Fig. 8 Graph of EGR valve normal data

최종적으로 Fig. 8를 통해 분석해 보면 가속 신호는 액셀 포지션 센서(APS)의 작동량에 비례하여 엔진 ECU에서 EGR 밸브 구동 명령(EGR-or)을 출력하며 EGR 밸브 피드백(EGR-fed)도 동일한 출력이 표출되는 것으로 보아 EGR 밸브는 정상적으로 작동이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 H사의 디젤 2.0차량의 엔진에서 EGR 밸브 불량으로 인해 주행 중 간헐적으로 가속 불량이 발생하는 난해한 고장 현상의 원인을 D-logger 장비를 사용하여 정확하고, 효과적인 고장 원인 분석과 규명에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EGR 밸브 불량에 의한 엔진의 가속 불량 현상은 저속 주행 구간에서 액셀 페달을 밟을 때 잘 나타나는 것을 MDA를 이용한 진단을 통해 알 수 있었다.
2. 가속 불량 원인은 EGR 밸브 내부의 피드백 신호의 문제(EGR 밸브의 고장)로 흡입공기량 제어가 불량하여 가속 제어가 되지 않았음을 Fig. 6, Table 2를 통해 확인할 수 있었다.
3. EGR 밸브의 피드백 배선 점검을 위해 해당 커넥터 핀 텐션을 검사 지그를 사용하여 점검한 결과 정상임을 Fig. 7을 통해 알 수 있었다.
4. EGR 밸브의 자체 불량에 의한 오류를 점검하기 위해 단품을 신제품으로 교환한 후 동일 주행 테스트

결과 가속 불량 현상이 발생 되지 않았다. 따라서 간헐적으로 발생하는 엔진 가속 불량의 원인은 EGR 밸브의 내부 불량에 의한 것임을 MDA 이용한 진단을 통해 규명하였다.

5. EGR 밸브의 경우 엔진 작동과 더불어 주행 환경에서 발생하는 고장임으로 이를 점검하기 위해서는 MDA를 활용한 진단 수리가 오정비를 예방할 수 있고 경제적이고 효과적인 수리 방향을 설정할 수 있다.
6. EGR 밸브의 비작동 조건인 급가속, 냉간(엔진 온도 80°C 이하) 등에서는 정확한 실험이 이루어지지 않았음을 확인하였다. 이를 통해 차후 동일한 실험 시 올바른 엔진 환경을 조성하는 자료로 활용할 수 있다.

REFERENCES

1. Kim, S. J., "Volkswagen Exhaust Gas Manipulation Case and Tort Liability," The Korean Journal of Law, Vol. 37, No. 4, pp. 361-394, 2020.
2. Kim, K. J., Jin, D. Y., Myeong, C. R., Park, S. S., "A study on the characteristics of regulated/unregulated emission gas and engine control when driving on high-temperature real roads of Euro-5 passenger diesel vehicles", Korea Society of Automobile Engineers Fall Conference and Exhibition, pp. 224-227, 2015.
3. Korea Consumer Agency, Investigation results of Traze XG diesel vehicle with heavy smoke and EGR valve noise. Safety report. pp. 1-6, 2001.
4. Hyundai Motors. Hi-DS Manual Version 1. Korea, 2003.
5. Cho, H. D., "[Technical Paper] A study on the diagnosis and main cause analysis of intermittent engine malfunction during driving due to EGR system failure of diesel vehicles", The Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 26, No. 1, pp. 11-19, 2018.
6. Hwang, S. W., "Prior research for fault diagnosis of EGR valve system of diesel vehicle," Proceedings of the KSMPE Conference, pp. 319-319, 2022.