

OBD 고장 코드를 이용한 엔진 화재 분석 기법에 관한 연구

김 용 현*

한국폴리텍대학 부산캠퍼스 전기자동차과

A Study on Engine Fire Analysis Method Utilizing OBD Diagnostic Trouble Codes

Young Hyun Kim*

Department of Electric Vehicles Engineering, Korea Polytechnic Colleges, Pusan 46550, Korea

(Received 8 November 2023 / Revised 11 December 2023 / Accepted 31 January 2024)

Abstract : The current automobile market now offers various eco-friendly vehicles, but the increase in electric vehicle fires became an increasingly societal concern. Still, the share of EV fires in the total number of automobile fires remains very low. From 2017 to November 2022, fires involving vehicles equipped with internal combustion engines accounted for 1.492 %, while EV fires were at 0.025 %, indicating that ICE vehicle fires are approximately 59.7 times more common. Despite the rapid adoption of electric vehicles, ICE vehicle fires remain prevalent. Furthermore, recent policies, such as reduced EV subsidies through the IRA in the United States and in Europe, along with other countries adopting automotive industry protection policies, slowed down the pace of EV adoption. As a result, the number of fires originating from ICE vehicles will continue to dominate the overall statistics. Engine-related fires primarily occurred while the engine was running, and were due to various causes. Since these fires occur under different driving conditions, the rapid spread of fires makes it difficult to collect relevant evidence. Consequently, determining the exact cause of these fires remains a challenge. Thus, 12 % of the cases are due to unknown causes, ranking fourth in terms of frequency. In the 1960s, the On-Board Diagnostics system was installed in vehicles. If there are engine issues, an Engine Management System allows the self-diagnosis of input and output systems related to the engine. This system records diagnostic trouble codes in the form of maintenance information. These DTCs become valuable data in fire investigations. If there is a physical malfunction connected to the vehicle's electrical system and is related to an engine-related fire, the OBD system automatically records the cause of the malfunction. Therefore, this paper aims to propose a method to analyze the cause of vehicle fires objectively by using DTCs generated through the OBD system when a fire occurs.

Key words : Diagnosis trouble codes(고장진단코드), On-board diagnostics(차량진단프로그램), Diesel particulate filter(배기가스저감장치), Fires in cars(차량화재), Engine management system(엔진제어시스템)

1. 서론

현재 자동차 시장은 친환경 차량을 포함해 다양한 연료원의 차종들이 존재하고 있다. 이 중 전기자동차 급증에 따라 고전압 배터리 차량 화재에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으나 아직까지 내연기관이 차지하는 비중이 높다. 2017년부터 2022년 11월까지 등록된 내연기관(휘발유, 경유, LPG)을 사용하는 차량 화재는 1.492 %이며, 전기차는 0.025 %로써 내연기관 차량이 약 59.7배

높다.¹⁾ 또한 최근 미국과 유럽의 IRA와 각국 정부의 전기차 보조금 축소 정책, 자국 자동차 산업 보호를 위해 전기차 보급속도가 줄어들고 있다. 이에 따라 향후 내연기관에서 발생하는 화재 건수는 전체 차종에서 압도적인 비율을 유지할 것이다. 2017년부터 2022년까지 발생한 내연기관차 화재의 경우 기계, 전기, 부주의, 원인 미상 순의 빈도로 발생되었다. 이중 기계적인 결함은 엔진 및 이와 연결된 흡배기 장치가 연료를 직접 연소하는 과

*Corresponding author, E-mail: topgun@kopo.ac.kr

¹This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<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.

정에서 발생하게 된다.²⁾ 엔진에서 발화된 화재 특징은 대부분 작동중 발생된 경우로써 외부의 환경 조건(자동차 속도, 외부 온도, 차량 관리등)에 따라 다양한 원인이 수반되며, 주행중 발생된 화재의 경우 화염 전파속도가 매우 높아 감식을 위한 현장 방문시 화재 훼손에 의해 증거 수집이 어려워 발화원을 찾아내는게 매우 어렵다.³⁾ 이에 따라 감식 결과 원인 미상으로 처리되는 건수는 12%로써 전체에서 네 번째로 높다.¹⁾ 또한 관련 증거 부족시 주변인 진술, 주변환경, 소화된 증거물 기반에 감식을 진행하게 되며, 이는 객관적인 분석에 대한 결과를 기대하기 어렵다.

한편 1960년대부터 OBD(On-Board Diagnostics)시스템이 장착되어 엔진 시스템 고장시 EMS(Engine Management System)에 의해 관련 계통에 대한 입출력 진단을 자체적으로 수행하여 고장코드 DTC(Diagnosis Trouble Codes) 형태로 저장하고 엔진 경고등을 점등하여 운전자에게 알림 기능과 더불어 현장 정비사에게 정비 정보를 제공한다.

이는 차량 화재 감식에서 활용 가능한 중요한 데이터이다. 엔진에 의한 화재 발생시 관련 시스템 소화가 물리적 고장으로 연결되면 OBD에 의해 고장원인이 자동 기록 되기 때문이다.⁴⁾ 따라서 본 논문에서는 차량 화재시 OBD를 통해 생성된 고장코드를 이용하여 객관적으로 화재 원인을 분석하는 방법을 제시하고자 한다.

2. OBD 및 센서 모니터링

2.1 OBD

차량 엔진 및 전자장치 작동 명령은 ECU가 제어하며 입력센서 정보를 이용해 내부 로직으로 평가, 출력제어를 시행하게 되는데 OBD 인터페이스에 기반한다. OBD 인터페이스는 국제 규격으로 자동차 제조사는 이를 준용하게 된다. 본 연구에서는 OBD 인터페이스 기능중 자

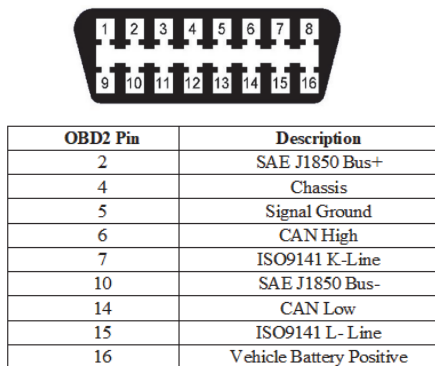


Fig. 1 SAE J1962 standard OBD-2

기진단에 주목한다. Fig. 1은 표준화된 자기진단 커넥터이며 SAE J1962 Standard OBD-2 16PIN Connector를 나타내고 있고 운전석에서 2 inch 내에 위치하게 된다.⁵⁾ 차량 하부에 장착된 본 커넥터로 ECU가 OBD 자기진단을 통해 평가한 시스템 고장 정보를 본 커넥터를 통해 외부의 자기진단기로 전송해주는 역할을 한다. OBD 진단 항목은 Catalyst, Exhaust Gas Recirculation, Positive Crankcase Ventilation, Evaporative System, Fuel System, O₂ Sensor System 등 엔진 및 관련 흡배기 시스템 전체를 통할 한다. 따라서 화재에 의한 소회 발생시 OBD 자기진단 기능으로 엔진 시스템 고장 정보를 이용해 발화, 화재 원인 분석에 객관적인 자료로 활용 가능하다.

2.2 센서 모니터링

Fig. 2의 Sensor curve는 정상적인 센서 출력을 의미한다.⁶⁾ 이때 센서와 연결된 회로 단락, 단선 발생시 관련 회로 전류 및 공급전압이 비례 상승 및 하강하게 되면 그래프 2번, 5번과 같이 OBD 시스템은 ‘Signal Rang Check’와 관련된 고장코드를 출력하게 된다. 이때 시스템 구동의 신뢰성을 보장하기 위해서 ECU는 Fail safe mode로 정형화된 로직을 적용하지만 회복이 불가능 할 경우 한계를 벗어나 관련 기능 수행은 중지되며 그래프 3, 4와 같이 “Out of Rang Check” 고장 코드를 출력하게 된다. 또한 관련 시스템 기능 이상이 발생하면 그래프 6과 같이 센서 모니터링 단계에서 이를 검출하여 “Rationality Check”와 연관된 기능이상 혹은 성능 이상에 대한 고장코드를 출력하게 된다. 즉 화재에 의해 관련 센서 회로가 단선, 단락이 발생하는 경우나 기능상 문제점이 발생될 경우 각각 고장코드가 발생되는데 이때 출력되는 고장코드를 구체적으로 분석 할 경우 차량 화재 원인에 대한 객관적 접근이 가능하게 된다.

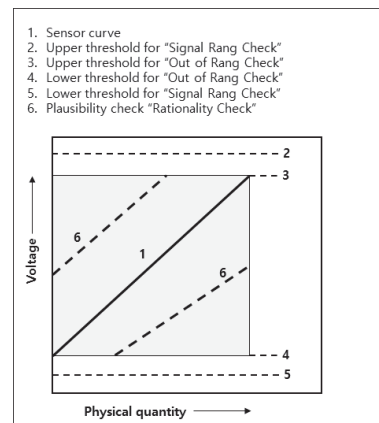


Fig. 2 Sensor monitoring

3. 화재차량 분석

3.1 화재 개요

화재 차량은 J社의 2012년형 XJ모델로 디젤 엔진을 탑재했으며, 감식 당일 기준 주행거리는 231,416 km이다. 운전자 진술에 따르면 운전 중 차체 떨림(엔진부조)이 감지되고, 신호 대기 중 머플러에서 연기가 나오는 것을 확인 후 119 신고하여 소화 작업이 시행되었다. Fig. 3을 통해 차량의 전방보다는 후방 부위의 화재가 집중되어 있었으며, 이는 전술한 운전자 진술(머플러 연기 목도)과 일치 한다.

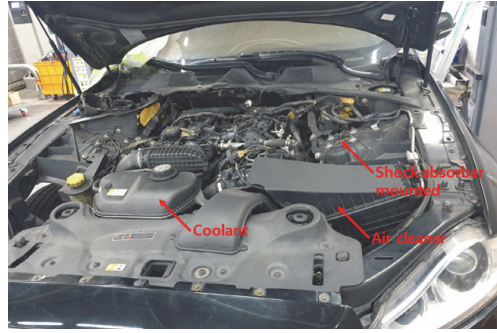
차량의 정비이력상 최근 관련 작업은 없었고 사고발생에 의한 외관 및 내관의 손상은 없었다. 운전자는 주행 중 변속 충격, 승차감 및 이상 소음에 대한 증상은 발견하지 못했다. 또한 자동차 내외부 튜닝 및 기타 임의의 장치를 추가 장착하지 않았다.



Fig. 3 The scene of a fire

3.2 화재차량 상태

Fig. 4(a), (b)와 같이 차량의 전면 및 후면 확인 결과 화재에 의한 소훼 부위는 확인 하지 못했다. 특히 엔진룸 부위에 대한 감식 결과 각종 오일 누유 및 파손 흔적을 찾을 수 없었으며, 엔진룸 정션박스 및 기타 전장 릴레이의 단락에 의한 퓨즈의 끊김 및 용융흔은 찾을 수 없었다. 한편 운전자 진술 중 주행중 엔진 부조 현상이 있었다는 내용에 따라 디젤 엔진의 연료 시스템 및 압축압력 등에 대한 점검 실시 결과 정상이었다. Fig. 4(c)와 같이 차량 실내 확인 결과 운전석은 소훼 흔적이 없었으나 Fig. 4(d)와 같이 조수석 시트 및 암레스트 콘솔 부위에 화재에 의한 소훼 흔적을 찾을 수 있었다. 통상 본 부위의 소훼 발생의 원인으로서는 암레스트 내부의 파워아웃렛 단자에 승객이 임의로 연결 사용한 전장품의 과열 및 단락으로 인한 화재, 조수석 시트 하단 부위에 버려진 가스ライター, 프로판 가스를 봉입한 스프레이캔등의 과열 및 파열로 인한 화재, 시트 열선의 합선으로 인한 화재 등인데 각 사항을 확인 결과 관련된 원인에 의한 화재는 없었다.



(a) Engine room



(b) Rear



(c) Drive site



(d) Passenger site

Fig. 4 State of vehicle engine room and interior

3.3 OBD 진단 및 DPF 시스템

화재 차량 OBD 커넥터에 자기진단기를 장착하여 고장코드 조회 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 전술한 바와 같이 화재 발생 당시 소방청에서 확인한 주행거리는 231,416 km이며, Fig. 5(A)와 같이 고장코드 출력 당시 동일한 주행거리임을 확인하였다. 여기서 주목해야 할 점은 화재 당시 계기판으로 확인한 주행거리와 고장코드에서 기록된 고장 상황에서의 주행거리가 일치한다는 점이다. 즉 화재 발생으로 인해 본 고장코드가 출력되었음을 객관적으로 입증되었다고 볼 수 있다.

한편 출력된 4가지의 고장 코드 중 현재 고장임을 나타내는 ‘관련성’ 부분이다. OBD 시스템은 고장코드 상황을 2가지로 분류하는데 과거 고장이었지만 현재는 회복된 시스템, 현재까지 회복이 되지 못한 시스템으로 나뉘며 Fig. 5(C)와 같이 ‘관련성’이 99%는 현재 고장상황이며 회복 되지 못한 시스템을 의미한다. 따라서 Fig. 5(B)와 같이 이에 부합하는 고장코드 ‘P246300(Diesel Particulate Filter Restriction - Soot Accumulation)’을 분석 대상 코드로 선정한다.⁷⁾ Tables 1, 2는 ‘P246300’에 대한 정보를 정리하였다. P246300는 DPF 파손으로 인한 성능 저하시 출력되는 고장 코드로 DPF 필터 내부 파손, 막힘, 가스켓 누설등에 의해 차압센서의 출력전압이 비정상적으로 고정되는 경우 출력되게 된다. 관련 시스템은 배출가스와 직접적인 영향을 미치기 때문에 엔진 ECU는 1회 진단에 의한 고장 검출시(1 Trip detection logic) 경고등 점등 및 관련 고장코드를 내부 메모리에 기록한다.

고장 예상 원인으로는 커넥터 접촉불량, DPF 차압센서 신호회로 이상, DPF 차압센서 결함, DPF 결함, DPF 진공파이프 막힘, 배기가스 누설, 인젝터 결함이 있다. 이를 정리하면 DPF, 인젝터 결함으로 정리 할 수 있는데 인젝터 불량인 경우 주행중 가속불량 및 배기가스 과다 누출로 연결된다. 이는 감식 당시 정상으로 판정되었고 운전자 진술과 일치 하지 않음으로 감식 대상에서 배제한다면 DPF 시스템이 화재에 의한 소훼 가능성 높음을 합리적으로 추론 할 수 있다. 따라서 DPF 시스템을 중심으로 화재 손상 여부를 감식할 필요가 있다.

한편 Fig. 6은 DPF 시스템을 나타내었다. 장착된 Differential Pressure Sensor은 피에조 압전소자를 이용하여 DPF 전후단의 압력차를 검출하고 0 ~ 5 V의 선형적 전압을 출력한다. ECM은 차압센서 출력신호를 이용하여 DPF 내부에 포집된 분진량을 검출하여 DPF의 재생 여부를 결정한다. 여기에 운전자의 운행조건(중부하 이상의 정속 주행 상태)만족시, 인젝터의 Post 1, Post 2 분사를 통해 배기가스 온도를 550 ~ 650 °C 상승시켜 DPF 재생을 실시한다.



Fig. 5 Overview of OBD code

Table 1 OBD code(P246300)

CODE No.	Detection item	DTC detection condition
P246300	Diesel particulate filter restriction soot accumulation	Mount of PM is the specified value or more (1 Trip detection logic)

Table 2 Diesel particulate filter restriction - soot accumulation

MIL	Trouble area	Memory
Comes on	Blockage in vacuum transmitting pipe for differential pressure sensor	DTC stored
	Blockage in vacuum transmitting hose	
	Exhaust gas leaks	
	Exhaust manifold converter sub-assembly(CCo catalytic converter)	
	No. 2 exhaust manifold converter sub-assembly (DPF catalytic converter)	
	Injector assembly	

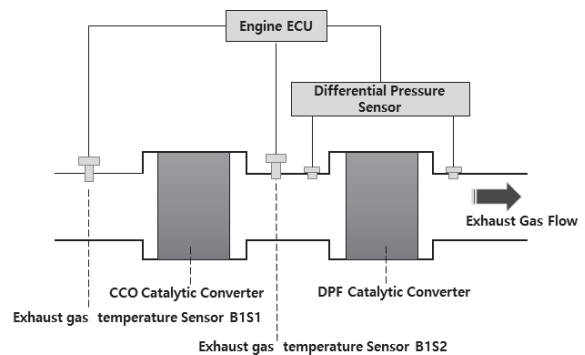
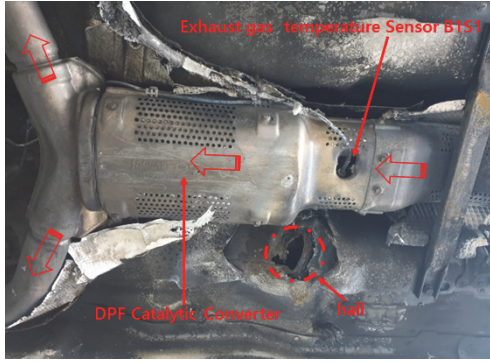


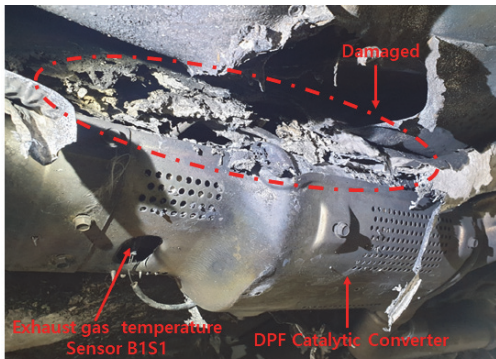
Fig. 6 Overview of DPF system

3.4 발화개소

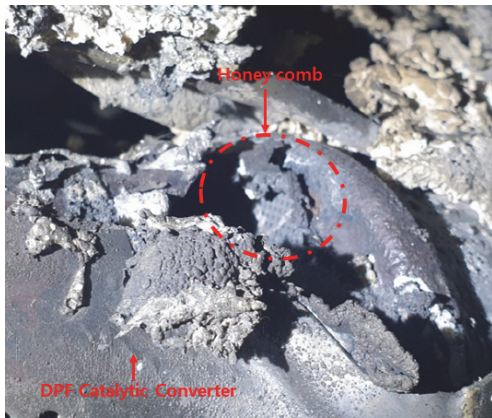
3.3에서 OBD 고장코드에 기반하여 발화 부위에 대한 분석 결과 DPF 시스템을 추론하였으며, Fig. 7은 관련 부위의 소훼를 나타내고 있다. Fig. 7(a)를 통해 차량 언더바



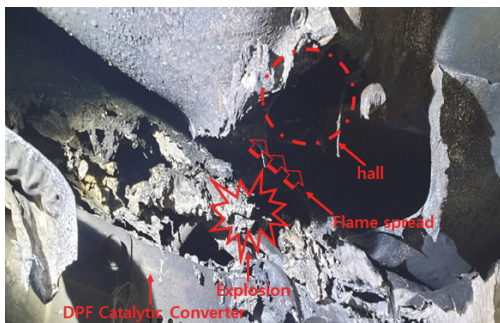
(a) Burned pattern of DPF



(b) Zoom in the DPF



(c) Zoom in the filter



(d) Broken heating DPF and hall location

Fig. 7 State of under body in a fired vehicle

이에 장착된 DPF에 조립된 Exhaust gas temperature Sensor B1S1의 단품 및 와이어링이 소화된 흔적을 확인할 수 있었으나 배선의 단선 단락등은 확인할 수 없었고 언더 커버 및 하체 부위의 소화 흔적이 광범위하게 분포되어있음을 확인하였다. 한편 언더바디 우측에 Hall이 발생되어있었다. Hall 주변부의 도장 벗겨짐과 관련 부위 부식이 동반 되어있었으며 수열 흔적을 확인하였다. 즉 외부의 열원에 의해 지속적인 수열로 도장 표면이 박리되었으며 이때 가해진 열원은 폭발 압력을 동반하여 Hole을 생성시켰음을 판단하였다. Fig. 7(b)는 DPF를 측면 각도에서 확인한 그림이다. 사진에서 확인할 수 있듯 DPF의 커버 부위가 파편 조직으로 형상화 되어있으므로 DPF 내부의 폭발이 일어났음을 확인할 수 있다. Fig. 7(c)는 DPF 내부를 확대한 것으로 필터 역할을 하는 Honey comb부위가 파손되어 외부로 돌출 되어있음을 확인할 수 있었다. 결국 Fig. 7(d)를 통해 DPF 내부 폭발로 인해 발생된 화염이 인접한 언더바디에 폭발 압력 및 수열을 하여 Hall이 생성되었음을 판단하였다. 한편 이 부위와 인접한 차량 실내부위는 프런트 조수석 시트 부위로써 Fig. 7(e)와 일치한다.

3.5 화재원인 판단

본 차량의 DPF는 벌집 형상의 Wall flow type 세라믹 필터를 장착하였다. 내부는 방열판, Sus 재질의 캔, DPF 담체 크랙 방지를 위한 매트, DPF 담체 등으로 구성되어 있다. 여기서 배기가스(PM)가 담체 내부에 퇴적되고 이를 인젝터 후분사를 통한 재생방식을 이용하여 일정 시기마다 약 600 °C 이상의 엔진 배기열로 태워 없앤다. 따라서 DPF는 고온 및 고압의 환경에 지속적으로 노출되어있다. 또한 차량 진동과 노면의 물리적인 충격, 저속의 단거리 주행이 반복될 경우 DPF의 재생이 불완전하여 Ring crack, Thermal crack, DPF melting 등 DPF 파손 비율이 높아진다.⁸⁾ 본 차량의 DPF는 이러한 고온, 고압환경에서 내구성 저하에 기인하여 폭발 압력을 노출, 화제로 연결된 경우이다. DPF 내부 폭발의 원인은 크게 4가지로 정리 할 수 있다.⁹⁾

첫째, 냉각이 불량한 상태에서 과부하 운전 조건에 노출된 경우이다. 과도한 공회전에 따른 운전시 외부 공기에 의한 주행 냉각 불량, 무리한 가속에 의한 순간적인 열냉각능력 저하, 과도한 RPM 유지에 따른 연료 과다 분사로 인한 배기열 폭증으로 DPF 내부를 과열, 폭발로 연결된다. 둘째, DPF 경고등을 무시하고 주행하는 경우이다. DPF 시스템에 문제가 발생되어 필터 내부에 PM이 다량 포집된 상태에서 과부하 운전 조건시 다량의 연소가 급속도로 진행 될 경우 DPF 외부 커버 급속 케이스가

용용된다. 또한 관련 시스템 고장에 따른 적절한 정비가 이뤄지지 않을 경우 성능저하로 인한 화재로 연결 될 수 있다. 셋째, DPF를 모니터링하는 차압센서, 온도센서가 불량시 재생 과정은 정상적으로 이뤄질 수 없으며 이때 PM의 과다 퇴적이 고부하 운전조건과 결합되어 급속 연소로 진행시 DPF 폭발로 연결된다. 넷째, 후분사 연료 주입이 연소실이 아닌 DPF 내부에서 발생된 경우다. 엔진 시스템 불량으로 점화시기 불량, 배기밸브 밀착 불량등이 발생 될 경우 DPF 내부에서 연료가 연소되면 비정상 연소 압력으로 진행되고 폭발로 연결된다.

본 화재의 경우 주행중 엔진 경고등 점등은 이뤄지지 않았으므로 DPF 시스템의 결합으로 볼 수 없다. 이에 따라 각 시스템을 계측하는 센서 및 관련 하드웨어는 정상으로 판단 할 수 있다. 더불어 발화 개소를 분석한 3.4를 통해 관련 센서가 정상임을 감안하면 전술한 2.2의 Fig. 2와 같이 센서 모니터링 시스템은 정상적으로 작동되었다고 판단 할 수 있다.

따라서 DPF 내부 폭발의 원인 중 첫째, 둘째, 셋째는 대상에서 제외된다. 한편 전술한 3.1에서 운전자 진술 중 ‘운전 중 차체 떨림(엔진부조)이 감지되고, 신호 대기 중 머플러에서 연기가 나오는 것을 확인’에서 이는 엔진 내부의 불안전 연소와 과다 연료 분사에 기인하여 화재 초기 발생된 증상으로 연료의 분사가 비정상적으로 이뤄졌음을 합리적으로 추론 할 수 있으며 DPF 내부에서 연료가 다량으로 연소되었음을 시사한다. 따라서 DPF 내부 폭발 원인 중 네 번째에 해당하는 가능성이 높은 것으로 분석된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존 차량 화재 감식 기법을 탈피하여 차량 내부에 장착된 OBD시스템을 이용하여 객관적인 화재 원인 분석을 제안하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 차량 화재감식이 소취 대상의 증거를 기반으로 감식자 의견 진술로 이루어졌다면 본 연구를 통해 OBD데이터를 이용해 객관적 분석이 가능함을 입증하였다.
- 2) 차량 화재에 의한 시스템 결합시 주행거리와 OBD데이터상의 고장코드 기록 주행거리 비교를 통해 데이터의 신뢰성을 확인하는 방법을 제안하였다.
- 3) 센서모니터링 분석을 통해 DPF 폭발에 의한 차량 화재 발생시 객관적인 감식 기법에 대한 사항을 제안하였다.

References

- 1) Korea NFA, National Fire Date System, 2022.
- 2) National Fire Data System, <http://nfd.go.kr/stat/general.do>(2017.~2022.)
- 3) K. D. Yun, H. Lee, I. Nam, Y. Kim and J. Yun, “Case Study of Ignited Vehicle Fire in Exhaust System,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.427-431, 2019.
- 4) C. Yoo and Y. Ko, “Development of the Vehicle Diagnosis Program Using OBD-II,” Transactions of KSAE, Vol.23, No.3, pp.271-278, 2015.
- 5) J. K. Park, “North America OBD-II Laws,” Auto Journal, KSAE, Vol.22, No.4, pp.39-43, 2000.
- 6) K. Reif and K. -H. Dietsche, Bosch Automotive Handbook, 8th Edition, p.528, 2011.
- 7) Hyundai Motors, Technical Information, <https://gsw.hyundai.com/manualV2/cnts/view/DTC>
- 8) G. Kim, K. Lee, K. Lee, K. Oh and S. Kim, “Review of DPF Damage Diagnosis Logic Configuration and Application for Operating Vehicles,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.209-210, 2023.
- 9) E. -P. Lee, “Analysis of a Car Fire Case Caused by the Overheating of a Diesel Particulate Filter,” Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol.31, No.1, pp.89-97, 2017.