매연저감장치 손상에 기인한 차량화재 사고사례 분석

송재용[†] · 사승훈 · 남정우 · 조영진 · 김진표 · 박남규

국립과학수사연구원

Analysis on Vehicle Fires Caused by Damage of Diesel Particulate Filter (DPF)

Jae-Yong Song[†] · Seung-Hun Sa · Jung-Woo Nam ·
Young-Jin Cho · Jin-Pyo Kim · Nam-Kyu Park

National Forensic Service

(Received June 26, 2012; Revised August 10, 2012; Accepted August 13, 2012)

요 약

본 논문에서는 디젤 승용차량에서 매연저감장치 손상에 기인한 차량화재에 대하여 기술하였다. 디젤 차량에서는 배출 가스에 포함되는 입자상 물질을 저감하기 위하여 매연저감장치를 배기계통에 설치하고 있다. 매연저감장치는 입자상 물질의 과다 포집, 재생과정에서의 오류 및 흡기계통 불량 등에 의해 재생과정에서 파손에 이르게 되며, 매연저감장치가 파손되는 경우, 고온의 배출가스가 분출되고, 차량 하부 배기계통의 주변 가연물을 통해 화재로 진전된다. 매연저감장치 손상에 의해 화재가 발생하는 경우, 배기계통 배관 및 머플러 부분에 규산염계 무기화합물이 부착되는 특징을 나타내며, 이 규산염계 무기화합물은 매연저감장치 내부 필터 재료인 세라믹 부분이 손상되는 과정에서 발생된다. 따라서 화재가 발생된 디젤 차량의 경우, 머플러 주변에서 규산염계 무기화합물이 식별되는 경우, 매연저감장치 손상에 기인한 화재로 추정할 수 있다.

ABSTRACT

This paper deal with vehicle fire caused by damage of diesel particulate filter (DPF) on diesel passenger vehicles. In order to reduce particulate matters included exhaust gases, a DPF in the exhaust system were installed diesel vehicles. A DPF was broken by excessively trapped particulate matters, regeneration error with a malfunction of ECU and defect of suction system such as swirl valve. If the DPF was broken, hot exhaust gases was released to the bottom of vehicle and released hot exhaust gases lead to occur the fire through combustible materials around the exhaust system. When a fire happened in the diesel vehicle caused by damage of DPF, silicate inorganic compounds were attached to the exhaust ventilation pipe and muffler. The silicate inorganic compounds were created by DPF combustion consisting of raw material ceramics. If the silicate inorganic compounds attached to the tail pipe in the diesel passenger vehicles, its fire cause will be assumed damage of DPF.

Keywords : Vehicle fire, Diesel particulate filter (DPF), Particulate matters, Silicate inorganic compounds

1. 서 론

국내 통계청 자료에 따르면 국내에서 등록되어 있는 차량 등록대수는 2011년 기준 1,843만여대에 이르고 있으며, 이는 전체인구 2.75명 당 1대 꼴로 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다⁽¹⁾. 차량 등록대수의 증가에 따라 차량 관련 사건 사고 또한 지속적으로 증가하는 추세이며, 이중, 차량 화재 사고의 경우, 2011년을 기준으로 전체 43,875건의 화재사고 중, 5,595건이 발생하여 전체 화재에서 12.75 %

의 비율로 시설물 관련 화재를 제외하면 가장 큰 비중을 차지하고 있다⁽²⁾. 이러한 차량 화재 사고는 꾸준히 증가하는 추세이며, 화재 발생 원인에 대해서는 방화 및 미상으로 처리되는 1,100여건을 제외하고, 대부분 발화원인이 규명되고 있다.

그러나 국내에서 운행되고 있는 차량의 다양한 연료 방식 및 엔진 형태에 따라 정확한 화재원인에 대한 조사가 이루어지지 못해 발화원인이 제대로 규명되지 못하는 것 또한 사실이다. 특히, 차량의 경우, 성능개선이나 새로운

[†] Corresponding Author, E-Mail: hvlab@korea.kr
TEL: +82-55-380-4153, FAX: +82-55-380-4160

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.4.070>

시스템의 개발 등에 연구 분야가 치중되어 있으며, 사고 후, 발생하는 현상에 대해서는 구성부품의 손상 및 원활한 사고접수가 되지 않는 등의 문제로 충분한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 일부에서 차량 전기계통이나 엔진계통 및 배기계통 과열에 의한 화재에 대해서는 사고 사례 분석 및 실험적 연구가 진행되어 있으며, 이를 기반으로 차량화재 조사에 적용되고 있다⁽³⁻⁵⁾.

특히 환경 문제와 관련하여 차량에 대한 여러 가지 규제들이 마련되고 있는 실정으로 이러한 규제조건을 충족시키기 위한 부가 설비 및 장치들이 적용되고 있다. 이와 더불어 최근에는 온실가스 저감, 연비향상 및 출력과 내구성이 우수한 디젤엔진에 대한 수요가 급증하고 있으며, 디젤 엔진에서 배출되는 입자상의 물질과 질소 산화물에 대한 규제가 강화되고 있다. 이러한 규제를 충족시키기 위하여 매연저감장치(DPF; Diesel Particulate Filter)를 포함한 배출가스 후처리 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽⁶⁻¹¹⁾. 이러한 부가설비가 증가함에 따라 이들 관련 차량에서 화재사고 또한 증가하는 추세이며, 기존에 알려져 있는 배기계통에서의 화재와는 다른 형태의 특이점이 나타나는 형태를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 디젤 승용차량에서 매연저감장치의 손상에 의해 발생하는 화재 사고사례 분석을 수행하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 기존의 배기계통 과열에 의한 화재와 유사한 점이 있으나, 이와는 구분되는 독특한 특징이 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 차량화재 사고원인에 대한 조사 과정에서 기초적인 자료로 활용 가능할 것으로 기대한다.

2. 매연저감장치

2.1 DPF(매연저감장치) 개요

디젤엔진을 사용하는 차량의 경우, 배기가스에 포함된 공해물질에 대한 규제가 심해지고 있는 추세로 디젤 엔진의 배출가스 저감 연구는 엔진연소 시 배기가스를 감소시키는 기술과 이미 배출된 배기가스를 후처리하는 기술이 개발되고 있으며, 점차 강화되는 규제를 만족시키기 위해서는 후처리 기술이 필수적이다⁽³⁻⁵⁾. 디젤엔진의 후처리 장치는 탄화수소, 일산화탄소, 황화합물을 저감하는 디젤산화촉매(DOC; Diesel Oxidation Catalyst), 입자상 물질을 걸러서 태우는 매연저감장치(DPF; Diesel Particulate Filter), 질소 산화물 저감을 위한 선택적 환원촉매(SCR; Selective Catalytic Reduction)로 구분된다. DPF는 단위 부피당 표면적이 크고, 포집효율이 높은 Wall-Flow 형태의 세라믹 벌집구조 필터가 주로 사용된다.

Figure 1에는 디젤엔진 배기계통의 개략도를 나타낸 것으로 배기매니폴드 후단에 DOC와 DPF가 일체형으로 설치되는 것이 일반적이며, 필터 전후단에는 각각 압력센서를 설치하여 DPF 내부의 입자상 물질 포집량을 추정한다.

Figure 1. Schematic diagram of an exhaust system for diesel engine.

Figure 2. Compositions of particulate matter.

DPF에서 포집되는 입자상 물질은 미국 CARB에 따르면 51.7 °C 이하의 공기로 회석되어 필터에 포집된 자동차 배출성분 중, 응축성분을 제외한 모든 배출성분으로 규정하고 있으며, 필터에 포집된 중량을 측정하여 규제하도록 하고 있다⁽⁵⁻⁹⁾. 입자상 물질의 발생량은 연료량의 0.2~0.3 % (중량기준)이며, 대부분의 입자상 물질은 연료 탄화수소계의 불완전 연소에 기인하고, 일부는 엔진 윤활유에서 발생한다. Figure 2에 입자상 물질의 구성도를 나타내었다.

매연저감장치는 입자상 물질을 포집하여 연소시키는 재생 과정을 거치는데 재생 과정은 일반적으로 강제재생방식, 자연재생방식 및 양자 혼합 형태의 복합재생방식으로 구분되며, 현재 가장 널리 사용되는 방식은 자연재생방식이다^(10,11).

일반적으로 탄소입자는 산소 또는 공기 분위기에서 550 °C 이상에서 연소되지만 이산화질소(NO₂)는 250 °C에서도 탄소입자가 산화할 수 있는 작용을 한다. 따라서 배출가스의 산화질소(NO)를 백금산화촉매를 이용하여 이산화질소(NO₂)로 변환시키고 외부의 열원 없이 배출가스 온도만으로 입자상 물질을 태우는 방식을 자연재생방식이라고 한다.

자연재생방식 DPF는 Johnson Matthey사의 CRT(Continues Regeneration Trap)와 Engelhard사의 DPF가 가장 앞서 있

Figure 3. CRT of Johnson Matthey corporation.

는 기술로 평가받고 있다. Johnson Matthey사의 CRT는 Figure 3에 나타난 바와 같이 캐니스터 내부에 2개의 필터가 설치되어 있으며, 전단의 백금산화촉매에서 산화반응으로 산화질소를 이산화질소로 변환시켜 일산화탄소와 탄화수소를 저감시킨다.

CRT의 성능은 입자상 물질과 일산화탄소, 탄화수소를 90 % 수준으로 저감시키며, 질소산화물은 3~8 % 정도 감소시킨다. 그러나 촉매의 입자상 물질 재생능력에는 한계가 있기 때문에 엔진에서 배출되는 입자상 물질(PM)과 질소산화물(NO_x)의 비율(PM/NO_x)이 8 이상이고, 배출가스 온도가 275 °C 이상이어야 안정적으로 작동이 이루어진다. 또한 촉매의 정상적인 작동을 위해서는 연료의 황 성분이 10 ppm 이하인 초저황유를 요구된다.

2.2 DPF 동작 및 고장 유형

엔진에서 배출되는 배출가스에는 탄화수소, 일산화탄소, 황화합물 및 질소산화물이 포함된다. 이러한 배출가스는 DPF 전단인 산화촉매장치를 통해 걸러지게 되며, 산화촉매장치를 통과한 배출가스에는 입자상 물질이 다수 포함된다. 입자상 물질은 공해 물질로 일정 부분 이상 제거되어야 하는데 입자상 물질은 벌집 구조의 DPF를 지나면서 필터 구조에 포집된다. Figure 4에는 입자상 물질의 포집 원리를 나타내었다.

포집 과정에서 포집된 입자상 물질은 Figure 5(b)에 나타난 바와 같이 DPF 표면에 달라붙게 되며, 포집량이 일

Figure 4. Trapping principle of DPF.

Figure 5. Before an after trapped particulate matter in diesel particulate filter.

정 수준에 이르거나, 재생조건이 되었을 때 입자상 물질을 태워버리게 된다.

DPF 내부에 포집된 입자상 물질은 일정조건이 만족되는 경우, ECU(Engine Control Unit)에서 재생명령을 주어 입자상 물질을 태워 없애는 재생동작이 이루어진다. 일반적으로 재생동작의 조건은 차압신호와 주행거리, 시뮬레이션에 의해 결정된다. 차압신호에 의한 재생조건은 DPF 전단과 후단에 각각 압력센서를 설치하고, DPF 내부에 입자상 물질의 포집량에 따라 전단과 후단의 압력차가 크게 발생하는 경우, 재생동작을 수행하여 DPF 내부의 입자상 물질을 제거한다. 주행거리에 따른 재생동작은 대략 1,000 km를 주행한 후, 자동적으로 재생동작이 이루어지도록 설정하여 일정 주행거리에 따라 입자상 물질을 제거한다. 시뮬레이션에 의한 것은 초기 시험과정 등에서 얻어진 입자상 물질 발생 정도를 미리 계산하여 ECU에 저장하고, 실제 주행거리, 주행조건 등을 고려하여 기존에 시뮬레이션 조건과 실시간 비교하는 과정에서 재생동작이 이루어진다.

DPF의 기본적인 동작은 엔진에서 배출되는 입자상 물질을 포집한 후, 일정 조건 이상이 되면 재생 과정을 통해 DPF 내부에 포집된 입자상 물질을 제거한다. 특히 재생 과정에서 오류나 흡기계통의 불량 또는 저질 연료 사용에 따른 입자상 물질의 다량 발생 등에 의해 재생동작이 원활히 이루어지지 못하는 경우, Figure 6에 나타난 바와 같이 DPF가 파손되기에 이른다. 또한 정상적인 재생과정을 거치더라도 입자상 물질을 태워 없애는 과정에서 재(Ash)가 남게 되고, 이러한 것이 DPF 내부에 장기간 축적되는 경우, 입자상 물질이 소량 포집되더라도 필터구조가 막히게 되고, 짧은 주기의 재생 동작이 반복적으로 이루어질 수

Figure 6. Example of broken DPF.

있으며, 이 과정에서 DPF는 최종적으로 수명을 다하고 파손에 이르게 된다.

3. 화재사례 분석

3.1 B사 2,000 cc 디젤 승용차량

화재가 발생한 차량은 Figure 7과 같이 외관 상, 엔진룸을 포함하여 전좌륜 및 전우륜 부위 일부만이 연소된 상태이며, 상대적으로 심하게 연소된 전좌륜에 인접한 부분에 배기매니폴드와 접속된 DPF(촉매컨버터와 일체형 구조)

(a) Combustion pattern of external

(b) Combustion pattern of substructure

(c) Rear end of DPF

Figure 7. Damage and combustion patterns of B corporation's vehicle.

Figure 8. Dismantlement broken DPF.

가 설치되어 있는 상태이다.

차량의 연소형상은 엔진룸의 배기매니폴드에서 DPF로 연결되는 엔진룸 하단 부분을 중심으로 연소 확대된 형상을 나타내며, DPF 후단 부분에서 국부적인 발열 흔적과 용융 천공된 형상이 식별된다.

이러한 현상은 DPF 재생과정에서 발생한 높은 온도의 배출가스에 의해 DPF 내부 필터 및 금속 외함이 파손되고, 금속 외함의 천공된 부위를 통해 고온의 배출가스가 분출되는 과정에서 DPF에 인접 설치된 가연물을 매개로 발화 및 연소 확대된 것으로 볼 수 있다.

Figure 8에는 손상이 발생한 DPF를 분해한 모습을 나타낸 것으로 B사의 디젤 승용차량의 경우에는 촉매컨버터 역할의 DOC와 배기가스 후처리를 위한 DPF가 일체형으로 제작 설치되어 있는 구조이다.

DPF의 파손형상은 머플러로 연결되는 후단 부분의 필터가 일부 파손 및 천공된 형상이고, 이에 대응되는 금속 외함이 국부적인 발열에 의해 용융 천공된 상태이다. 배기매니폴드에서 연결되는 인입단의 DOC는 원형의 상태를 유지하고 있으나, 앞뒤가 그을음에 의해 오염된 상태이고, 인입단 금속 외함의 내측 부분에는 불완전 연소 발생 시, 나타나는 그을음이 다수 부착되어 있다. 불완전 연소는 점화불량, 연료의 과다공급이나 산소량의 부족, 연료의 오염, 윤활유 혼입에 의한 연소 및 공회전 상태에서의 over-run이 발생되면서 일어날 수 있다. 이러한 경우 배출가스가 촉매컨버터 및 DPF 부분에서 재연소 작용이 이루어지는 동안 촉매컨버터 및 DPF 부분이 과열될 수 있으며, 최종적으로 금속 외함의 과열 및 용융 천공으로 이어져 배기계통 과열에 의한 화재로 이어진다.

또한 앞서 설명한 바와 같이 DPF에서 포집된 입자상 물질을 연소시키는 재생 과정에서 발생하는 오류 및 흡기계통의 불량 등에 의해 DPF가 단독으로 과열되면서 화재가 발생할 수 있다. 그러나 화재발생 이후에는 DPF 주변 및 DPF 제어에 의한 ECU 및 흡기계통의 스웰밸브 등이 연소 확대 과정에서 소훼되는 양상을 나타내므로 직접적인

(a) Exhaust ventilation pipe

(b) Tail pipe

Figure 9. Silicate inorganic compounds attached exhaust system of diesel passenger vehicle.

DPF 손상 원인을 규명하는 데에는 한계가 있으며, 일부 연료 오염 등에 의해 DPF 손상이 발생되는 경우에 한정적으로 DPF 파손 원인을 추정할 수 있다.

DPF 내부 필터의 재료로 가장 널리 사용되는 것은 내열성이 우수한 세라믹 재료이며, 세라믹 재료를 벌집구조로 구성하여 입자상 물질을 포집하게 된다. DPF 손상에 의해 화재가 발생하는 경우에는 DPF 내부 벌집구조의 필터가 일부 연소되고, 파괴되는 양상으로 나타내는데 이러한 원인에 의해 DPF 후단에 접속되는 배기계통 및 머플러 주변에 흰색 계열의 이물질이 부착되는 독특한 특징을 보인다. 이러한 예를 Figure 9에 나타내었다.

DPF에서 후단 배기계통으로 연결되는 배관 내부 및 배기가스 배출구인 머플러 배관 내측에 흰색 계열의 이물질이 식별되는데 적외선 분광광도법에 의한 시험결과, 규소 및 산소가 검출되고, 적외선 흡수 스펙트럼을 고려할 경우, 규산염계 무기화합물로 판단된다. 후단 배기계통으로 연결되는 배관 및 머플러 배관 내측에서 검출되는 규산염계 무기화합물은 DPF 내부에 벌집구조로 설치된 세라믹 재료와 동일한 것으로 나타났다. 이러한 특징을 고려할 경우, 화재가 발생된 디젤 승용차량의 DPF 후단 배기계통에서 규산염계 무기화합물 재료의 흰색 이물질이 관찰되는 경

우, DPF 손상에 의한 화재로 판단할 수 있으며, 디젤 승용차량의 화재 조사에서는 반드시 이러한 부분을 확인하여야 할 것이다.

3.2 J사 2,700 cc 디젤 승용차량

J사 차량의 경우, Figure 10에 나타난 바와 같이 엔진룸이 설치된 전면이나 차량 후면은 상대적으로 연소가 심하지 않은 상태이며, 차량 내부가 가장 심하게 연소된 형상이다.

일반적인 연소형상에 기초하여 화재원인을 추정하는 경우, 발화개소는 차량 내부로 한정 가능하고, 차량 내부의

(a) Combustion pattern of external

(b) Combustion pattern of substructure

(c) Internal engine room

Figure 10. Damage and combustion patterns of J corporation's vehicle.

문제 또는 방화를 의심할 수 있는 연소형상이나, 사건 개요 상, 차량은 주행 중, 신호대기 상태에서 화재를 인지한 상황이었으므로 차량 실내에서의 결함이나 방화에 의한 발화 가능성은 배제 가능하다. 차량 실내가 가장 심하게 연소된 상태이고, 차량 하부에 대한 검사 시, 실내 주 연소 부위에 대응되는 중앙 부분이 국부적으로 연소된 형상을 나타낸다.

사고 당시 운전 중인 상태이었으며, 신호대기 중 차량 하부에서 화재가 발생된 사실을 인지한 정황으로 볼 때 차량 내부에서 발화되었을 가능성은 배제되므로 차량 하부

(a) DPF

(b) Rear end of DPF

(c) Tail pipe

Figure 11. Broken pattern of DPF and Silicate inorganic compounds attached exhaust system.

의 국부적인 연소 부위를 중심으로 최초 발화된 것으로 볼 수 있으며, 차량 실내의 연소 확대 과정에서 차량 외부에 비해 상대적으로 타기 쉬운 가연물이 집중적으로 존재하는데 기인한 것으로 판단된다.

차량 하부에 대한 정밀검사 결과, 차량 하부의 국부적인 연소 부위에는 Figure 11에 나타난 바와 같이 DPF가 설치되어 있는 상태이며, 머플러로 연결되는 DPF 후단 금속 외함이 용융 천공된 흔적이 식별된다. 이러한 점을 고려할 경우, DPF 손상으로 고온의 배출가스가 차량 하부로 배출되면서 주변 가연물에 착화된 것으로 볼 수 있다.

2개사의 서로 다른 디젤 승용차량에서 발생한 화재사고에서 공통된 특징은 정상적인 주행 도중 신호대기 또는 잠시 정차한 상태에서 화재 발생이 인지되었다는 것으로 이러한 점은 일반적으로 배기계통 과열에 의한 화재가 정지 상태의 공회전 도중 발생하는 것과는 확연히 구분된다.

또한 화재가 발생된 발화개소가 DPF 설치 부분을 중심으로 연소 확대된 형상을 나타내며, 2개사 차량 모두 공통적으로 DPF가 용융 천공된 특징을 보였다. DPF는 배출가스 후처리를 위하여 디젤 차량에는 반드시 설치되는 필수 요소이며, 배기매니폴드와 후단 머플러 사이의 배기계통에 설치되는 구조적 특성을 고려할 경우, 디젤 차량에서 화재 발생 시, 반드시 검사 및 확인이 이루어져야 할 것이다.

DPF 내부는 배출가스에 포함된 입자상 물질을 포집하여 재생 과정에서 태워 없애는 기능을 담당하는 부분으로 입자상 물질 포집을 위해 세라믹 재료의 벌집구조 필터를 내장하고 있다. 이러한 구조적 특성으로 DPF 손상에 의해 화재가 발생하는 경우, DPF 후단에 연결된 배기계통 배관 및 최종적으로 배기가스가 배출되는 머플러 내측에 흰색 계열의 규산염계 무기화합물이 부착되는 독특한 특징을 갖는다. 따라서 디젤 차량에서 화재가 발생한 경우에는 육안으로 확인 가능한 머플러 내측에 대한 검사가 필수적이며, 머플러 내측에 흰색 계열의 이물질이 식별된다면 DPF 손상에 의한 화재 발생 가능성에 대하여 검토할 필요성이 있다.

DPF에서 손상이 발생하는 경우에는 앞서 언급한 바와 같이 재생 과정에서 오류나 흡기계통의 불량 또는 저질 연료 사용에 따른 입자상 물질의 다량 발생 등에 의해 재생 과정이 원활히 이루어지지 못하는 경우 발생할 수 있다. 그러나 화재가 발생된 이후에는 재생과정의 오류를 판단할 만한 ECU의 손상, 연소 과정에서 흡기계통의 소훼 등으로 이들 계통상의 결함에 기인한 DPF 파손 원인을 규명하는 데에는 한계가 있다. 다만 저질 연료에 대한 부분은 화재 발생 이후에도 화학적 방법을 통해 일정 부분 분석이 가능하지만 저질연료 사용이 필연적으로 DPF의 손상을 유발하는 것은 아니므로 이러한 점은 주의하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 디젤 승용차량에서 DPF 손상에 의한 화

재사례 분석을 통하여 정확한 사고원인 조사 방법에 대한 연구를 수행하였다.

디젤엔진을 사용하는 차량의 경우, 배출가스에 포함되는 입자상 물질을 제거하기 위하여 배기계통에 DPF를 사용하며, DPF의 재생 동작 수행 과정에서 발생하는 오류 및 흡기계통의 결함 등에 의해 최종적으로 DPF가 파손되고 화재에 이르게 된다.

DPF 손상에 의한 차량화재 발생 시에는 DPF 설치 개소 주변을 중심으로 연소 확대되는 형상이 식별되고, DPF 내부의 세라믹 필터가 파손되는 경향을 보이며, 금속 외함 후단이 국부적인 발열에 의해 일부 용융되거나 최종적으로 천공되는 특징을 나타내었다. 또한 DPF 후단의 배기계통 배관 및 최종적으로 배기가스가 배출되는 머플러 내측에 DPF 내부의 세라믹 필터 재료로 추정되는 흰색 계열의 규산염계 무기화합물이 부착되는 특징을 나타내었다.

따라서 디젤 차량에 대한 화재원인 조사에 있어서는 반드시 DPF 부분에 대한 검사가 이루어져야 할 것이며, DPF 파손이나 DPF 후단 배기계통 배관 및 머플러에서 흰색 계열의 이물질 부착 흔적이 식별되는 경우, DPF 손상에 의해 화재로 추정 가능하다.

본 연구의 결과는 디젤 차량의 화재원인 조사에 기본적인 자료로 활용 가능할 것으로 판단되며, 향후 DPF의 직접적인 파손원인에 대한 사례 중심의 연구를 진행하고자 한다.

참고문헌

1. Statistics Korea, Automobile ownership data, <http://www.index.go.kr> (2011).
2. National fire data system Korea, 2011 fire statistics (2011).
3. S. H. Lee, C. S. Baem Y. P. Lee and T. S. Han, "Effects of Engine Operating Conditions on Catalytic Converter Temperature in an SI Engine", SAE 2002-01-1677 (2002).
4. S. K. Oh and B. C. Moon, "A Study on Prediction of Flow Characteristics and Performance of a Heavy-Duty Diesel Engine with Continuously Regeneration Method PM Reduction", KSAE, Vol. 12, No. 2 (2005).
5. Michael Walsh, "Global Trends in Diesel Particulate Control-A 1995 Update", SAE 950149 (1995).
6. K. H. Kim, G. J. Ahn, S. W. Lee, D. S. Eom and T. Y. Lee, "A Study of Unregulated Emission Reduction Characteristics by Diesel Oxidation Catalyst for Light-Duty Diesel Engine", KSAE, Vol. 14, No. 2 (2006).
7. H. Klein, S. Lopp and E. Lox, "Hydrocarbon DeNOx Catalysis-System Development for Diesel Passenger Cars and Trucks", SAE 1999-01-0109 (1999).
8. Matsuei Ueda, Yoshihiko Itoh, "A Concept of Plasma Assisted Catalyst System Using a DeNOx Catalyst for an Automobile Diesel Engine", SAE 2001-01-1834 (2004).
9. C. H. Lee, K. C. Oh, D. I. Lee, S. H. Kim, H. S. Han, J. H. Bae and E. S. Kim, "An Experimental Study of Nano OM Emission Characteristics of Commercial Diesel Engine with SCR System to Meet EURO-IV", SAE Technical Paper (2006).
10. Y. J. Lee, G. C. Kim, Y. D. Pyo and Y. I. Jeong, "Analysis of DPF Regeneration Characteristics of Peugeot 607 HDI Diesel Passenger Car", Spring Conference of KSAE, Vol. 1 (2003).
11. N. Jeuland, B. Dementhon, G. Plassat, P. Coroller, J. C. Momique and G. Belot, "Performances and Durability of DPF Tested on a First and Second Test Phases Results", SAE 2002-01-2790 (2002).