

디젤차량의 주행거리에 따른 DPF 윤활유의 특성분석에 관한 실험적 연구

김청균*

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

Experimental Study on the DPF Engine Oil Characteristics Depending on a Mileage of Diesel Automotive

Chung Kyun Kim[†]

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology Center, Hongik University

(Received May 20, 2009; Revised June 12, 2009; Accepted June 19, 2009)

Abstracts – The oil characteristics and wear particles of Diesel engines with a DPF have been investigated as a function of a driving distance. The engine oil of SAE 5W30 with ACEA C3 is used for an oil film lubrication of the engine, which is equipped with Diesel particulate filter. Depending on the oil test results, the kinematic viscosity of used engine oils at 40 is degraded up to 5.1% compared with that of unused engine oils, SAE 5W30. And the kinematic viscosity of used engine oils at 100 is more degraded up to 8.1% compared with that of unused engine oils. The oil characteristic as a function of a mileage is not changed depending on the driving distance because of high quality of engine oils. But the aluminum and copper compounds, which are used as base materials of the engine bearing and a pin bush, are much worn and contaminated for the increased mileage of the car. The oil properties of used engine oils are relatively good except phosphorus and calcium additives, which are heavily engaged in the performance of the oils.

Key Words – mileage(주행거리), engine oils(엔진오일), diesel particulate filter(디젤용 미세입자 필터), kinematic viscosity(동점도), odometer(주행기록계)

1. 서 론

차량의 엔진(engine)은 주행에 필요한 구동력을 생산하고, 변속기(transmission)는 엔진의 동력을 바퀴에 전달하는 단속기능을 보유하여 자동차의 전진과 후진을 담당한다. 반면에 브레이크(brake)는 자동차를 일정한 위치에 정지하거나 또는 주행속도를 안전하게 제어한다.

자동차의 핵심장치는 동력원을 생산하는 엔진이지만, 엔진의 원활한 작동성과 내구성, 완전연소를 지원하면서 동력손실을 최소로 줄이기 위해 미끄럼마찰 운동표면에 공급하는 엔진오일은 더 중요하다. 자동차에서 주

행거리에 따른 트라이볼로지 요소부품의 고장사례에 대한 연구[1]는 있었으나, 엔진오일의 특성과 마멸입자에 대한 연구는 찾아보기 어려웠다.

오일은 엔진의 모든 운동부품에 공급되어 두 물체표면 사이에서 형성되는 원활한 작동성과 내구성을 보장하고, 금속간의 직접 접촉을 최대한 차단하여 마멸발생으로 인한 정밀치수의 변화와 동력손실을 줄여주는 요소로 엔진 트라이볼로지의 핵심기술로 평가되고 있다[2].

본 연구는 DPF(Diesel Particulate Filter)를 장착한 승용디젤엔진에 ACEA(유럽자동차제조사협회) C3의 SAE 5W30 윤활유를 공급하여 일정거리를 운행한 차량에서 사용유를 수거한 다음 윤활유에 대한 물리적 특성과 마멸입자 성분분석을 통해 주행거리에 따른 윤

*주저자·책임저자 : chungkyunkim@hongik.ac.kr

유허유 특성을 고찰하고자 한다. 이때 디젤엔진에 사용된 오일의 특성치 변화는 신유를 기준으로 주행거리에 따라 비교하면서 분석하였다.

2. 엔진오일 교환

2-1. 적정 교환시기

사용중인 엔진오일이 오염되거나 성능저하가 발생하면 특히 운동부품의 손상이나, 동력손실이 발생하기 때문에 사전에 오일을 교환하는 것이 바람직한 교환시기라 할 수 있다. 문제는 비전문가인 운전자가 엔진오일의 오염수준을 판단하여 오일을 스스로 교환하는 것은 불가능하다. 따라서 자동차 회사나 오일 메이커는 차량을 일정거리 주행하거나 또는 오일을 교환한 시점을 기준으로 일정기간 지나면 신유로 교환할 것을 강권한다.

보통 오일의 교환시기는 주행거리와 사용기간 이외에도 운전자의 운행패턴, 주행조건, 주변환경 등도 중요한 교환변수로 작용하기 때문에 자동차 메이커나 오일 제조사에 따라 다르게 추천할 수 있다. 특히, 유허유 및 차량의 성능과 품질수준에 따라 많이 달라지기 때문에 교환시기를 일률적으로 정하기는 어렵다.

따라서 자동차의 출력과 내구성, 연비를 최상의 상태로 유지하기 위해서는 가능한 오일의 교환주기를 짧게 할수록 좋다는 것 이외는 적절한 표현이 없다. 이러한 권장은 과도한 오일소비로 연결될 가능성이 높기 때문에 환경을 중시하는 현대의 차량관리법과는 맞지 않는다. 결국 자동차 회사는 차량의 운전조건에 비해 우수한 품질을 갖는 최적의 유허유 사용을 권장하고, 유허유 메이커는 우수한 품질의 엔진개발을 요구받고 있다. 이러한 문제를 운전자가 해결할 수 있는 사항이 아니므로 자동차 메이커는 엔진과 오일의 작동상태를 기반으로 최적의 엔진오일 교환시기를 결정하는 신기술을 적용하기도 하지만 아직은 고가이다.

오일에 대한 교환시기가 차량 취급설명서에 명시적으로 기술되어 있다면, 유허유에 의한 엔진의 고장발생, 교환시기에 관련된 사고발생은 모두 자동차 제작사가 책임져야하는 문제가 발생할 수도 있다. 따라서 자동차 메이커는 취급설명서에 이상적인 운전조건과 가혹한 운전조건에 따라 엔진오일 교환시기를 정성적으로 기술하고 있다[3-5]. 이상적인 운전조건은 먼지가 발생하지 않는 포장도로를 비교적 빠른 속도로 운행하는 것을 의미하고, 취급설명서에 기재된 최대한의 엔진오일 교환주기를 말한다.

또한 차량에서 가혹한 운전조건은 보통 출발과 정지가 잦은 운행, 60 km 이내의 단거리 운행, 먼지와 모래가 많은 곳에서의 운행, 엔진이 충분하게 워밍업되지 않은 과냉상태에서의 운전, 과도한 공회전, 트레일러의 견인, 가파른 언덕이나 굴곡이 많은 도로주행, 기타 엔진의 부하가 많이 걸리는 운전 등이 여기에 해당한다. 따라서 가혹한 운전조건에서 운행되는 차량은 최소한의 교환시기를 적용해야 안전하다.

오일을 교환할 때 오일필터를 함께 교환하면 유허유에 혼입된 마멸입자나 필터의 성능저하로 인한 오일공급의 부족, 오염속도 완화 등의 측면에서 유리하다. 따라서 운전자는 메이커에서 추천하는 오일 교환시기에 자신의 운전습관 등을 고려한 오일교환 적정시기를 선정하는 것이 중요하다.

2-2. 적정 교환주기

엔진오일은 마찰접촉 운동표면에 유허유막을 형성하여 운동부품의 원활한 작동성을 보장함으로써 저마찰과 내마멸 특성에 의한 연비향상과 고장억제, 그리고 유막에 의한 하중지지 용량의 증가, 녹발생 억제, 엔진의 연소실을 중심으로 발생한 마찰열을 냉각시키는 등 다양한 기능을 담당하고 있다.

오일은 엔진의 연소실에서 발생한 연소가스와 고열원에 직접 노출되기 때문에 유허유의 초기성능을 지속적으로 보장할 수는 없고, 일부는 연료와 함께 연소되거나 배기가스를 외부로 방출할 때 같이 빠져나가기 때문에 오일은 일정량 소모되어 항상 부족해지고 열화가 발생되므로 엔진오일을 적절한 시기에 교환해야 한다.

최적의 오일 교환주기를 결정하는 것은 대단히 어려운 유지보수 기술로 자동차에 대한 유허유설계, 차량 운전자의 운전습관, 도로조건, 연료 및 유허유 성능 등 다양한 요소가 복합적으로 연계되어 있다. 따라서 오일 교환주기에 대한 의견이 다르게 나타나고 있지만, 최근 유허유의 품질성능이 크게 개선되었고, 자동차 엔진설계 기술이 고도화되면서 교환주기는 지속적으로 늘어나는 추세에 있다. 유허유의 성능 측면에서 교환주기를 보면, 기유선정도 중요하지만, 특히 첨가제의 선정과 혼합기술이 중요함을 알 수 있다.

디젤엔진은 탄화물질과 같은 부산물에 의해 열화가 많이 진행되므로 청정분산제를 사용하여 슬러지 발생을 억제하고, 녹이나 부식을 방지하기 위해 첨가제를 혼합하고, 완전연소를 위해 충분한 공기를 공급하기 때문에 메탈부에서 녹은 항상 발생하기 마련이다. 유허

유에 다양한 기능성을 확보하기 위해 첨가제를 공급하지만 연소실의 열원과 연소 이물질, 트라이볼로지 작동조건 등은 차량의 주행거리에 따라 첨가제 기능을 많이 약화시키는 요소로 작용한다. 엔진오일에 공급된 첨가제의 기능이 약화되고, 오일의 점도가 달라지면, 이때가 엔진오일의 적절한 교환주기라 할 수 있다.

오일을 교환한 이후로 주행거리가 늘어나면서 오일의 오염수준은 지속적으로 상승하게 된다. 특히 연소 생성물이 장기간에 걸쳐 오일에 혼입되면 오일은 마찰 운동 표면에서 유막을 형성하기가 어려워져 엔진의 하중지나 마찰손실을 낮추기가 어렵다.

엔진오일은 일정기간 경과하면, 첨가제 감소와 기능 저하가 일정수준에 도달하면서 오일은 안정된 기능을 더 이상 보장할 수 없게 되므로 신유로 교환해야 엔진의 출력과 연비, 마모억제, 하중지지, 수명연장과 같은 윤활유의 역할을 보장할 수 있게 된다.

오일에서 첨가제 소모율과 오염원 발생률은 여러 가지의 복합조건에 의해 결정되지만, 일반적으로 엔진의 운전조건, 운전습관, 주행환경 등에 의해 영향을 받는다. 여기에 엔진의 점화시기의 정확성, 인젝터의 분사 성능과 분사시기, 에어클리너의 오염상태, 오일필터의 성능, 엔진의 마찰접촉 운동부품의 가공정도, 특히 엔진의 블로바이 현상에 의해 유입되는 연소가스나 연료 공기 혼합물질 등이 엔진오일의 교환주기를 결정하는 주요인자이다.

3. 시료유

배기가스 후처리 장치인 DPF를 장착한 디젤엔진은 산화 슬러지 발생을 억제하는 것은 물론 저온 시동성과 저마찰 연비향상을 위해 SAE 5W30의 ACEA C3 엔진오일 사용을 권장한다. 따라서 본 실험에서는 DPF 장착 승용차량용 SAE 5W30, ACEA C3 엔진오일을 사용하였다.

ACEA C3 엔진오일은 DPF 장착 고성능 디젤엔진에 공급하여 배기가스 후처리 장치의 안전한 작동과 저온 시동 안정성을 보장하고, 저점도와 저마찰의 고성능 작동조건과 연료절감에 의한 연비향상, 디젤엔진의 총체적인 수명연장, 에너지 절감에 기여하는 친환경 오일이라 할 수 있다. C3 오일은 우수한 윤활성능으로 인해 시동초기에 마모발생 가능성이 적고, 특히 순간 가속성이 우수하고, 엔진내부의 슬러지 생성을 억제하고, 청정분산 성능이 우수하며, 매연을 감소시키고,

산화안전성이 우수한 친환경 엔진오일로 알려져 있다.

국내 메이커에서 생산하는 SAE 5W30, ACEA C3 디젤오일의 동점도는 40°C를 기준으로 65~67.9 mm²/s 이고, 100°C를 기준으로 10.5~11.8 mm²/s의 제품을 출시하는 것으로 조사되었다.

4. 시험결과 및 토의

4-1. 오일성능과 운전습관

60 km/h 이하의 속도로 신호등이 많은 시내에서 출발과 정지를 반복적으로 경험하는 경우, 특히 급출발과 급제동을 많이 하는 경우는 차량이 갖고 있는 출력의 일부만을 사용하고, 마찰운동 표면에 대한 유막형성을 어렵게 만드는 작동조건을 유지하므로 하중지지 및 부하변동을 담당하기가 어렵다. 유막이 손상된 상태에서 작동하게 되면, 마찰손실과 마멸발생 가능성이 크게 높아지고, 윤활유의 유동성을 확보할 수 없어 엔진에 대한 냉각능성이 많이 떨어지고, 오일의 작동온도는 지속적으로 상승하여 윤활유에 의한 트라이볼로지 거동특성을 떨어뜨려 엔진고장이라는 최악의 상태에 도달하게 된다.

엔진오일의 원활한 작동성과 유동성을 보장하지 못하면 우수한 연소효율도 보장할 수 없어 분사된 연료는 불완전 연소를 하게 된다. 그 결과로 슬러지나 바나쉬상과 같은 퇴적물의 형성은 피스톤의 오일링이나 오일필터의 정상적인 순환과 오일의 공급루트를 방해하고, 밸브 및 리프터의 작동을 하지 못하도록 고착시키는 원인으로 작용한다.

또한, 단거리 주행에서 급출발과 급정거를 습관적으로 하는 운전자의 경우는 마찰접촉 운동부에서 유막형성이 어렵게 되므로 특히 피스톤링과 실린더 사이의 밀봉간극, 피스톤 스커츠, 캠, 시일부품 등에서 정상적인 마멸발생보다 더 많은 마멸이 진행되어 원활한 작동성을 보장할 수 없고, 동력손실에 의한 연비가 나빠지는 문제점이 나타나게 된다.

불완전 연소 생성물로 인한 수증기가 실린더의 벽면에 응축되었다가 크랭크 케이스로 흘러들어 가면서 산성가스와 결합된 수증기는 밸브 리프터에 녹을 발생시키거나 고착시키는 원인으로 작용하고, 수분은 피스톤 핀, 로커암 축, 밸브스텝에 부식성 퇴적물을 발생시킨다. 불완전 연소에 따른 액체연료는 피스톤 링을 거쳐 크랭크 케이스에 저장된 엔진오일에 혼입되면서 오일의 점도를 떨어뜨리고, 산화와 부식, 윤활성능을 저하시킨다.

또한, 제한속도 이상으로 장거리를 운행할 경우는 오일이 적정온도로 가열되면서 연소실로 공급되는 연료의 원활한 연소조건을 충족시켜 불완전 연소물질이 거의 발생되지 않고, 고열원 상태의 연소가스는 배기밸브를 통해 모두 외부로 방출되므로 불완전 연소에 의한 퇴적물이나 녹, 부식 등이 진행될 가능성이 크게 줄어든다.

따라서 자동차/윤활유 메이커는 운전자의 운전패턴에 구애를 받지 않고 항상 최고의 출력을 유지하면서 연비를 높일 수 있는 저점도의 고회중의 작동조건에도 잘 견딜 수 있는 고품질의 엔진오일 개발 및 윤활설계에 많은 기술개발을 지속하고 있다. 결국 윤활유 제조사는 운전습관에 무관하게 작동온도, 속도조건, 출발과 정지, 장거리와 단거리, 주행환경 등을 고려한 고품질의 엔진오일을 개발해야 가혹한 조건에서 운행하는 자동차의 출력과 연비를 보장할 수 있게 된다.

4-2. 주행거리에 따른 엔진오일 성능

본 연구에서 DPF를 장착한 승용디젤차에 SAE 5W30의 저점도 오일을 공급하여 주행거리를 측정하면서 윤활유의 성능평가와 트라이볼로지 특성에 따른 엔진의 마찰접촉 운동부품에서 발생하는 마멸입자를 측정하여 주행거리에 따른 윤활특성을 고찰하였다.

승용디젤에 공급하여 실험에 사용한 윤활유는 SAE 5W30, ACEA C3, DPF 엔진오일로 동점도는 40°C를 기준으로 65 mm²/s, 100°C를 기준으로 11.5 mm²/s, 점도지수는 160, 유동점은 -35~40°C, 인화점은 230~240°C로 Table 1에 측정결과를 나타내었다.

디젤엔진 자동차의 길들이기 과정을 확보하기 위해 SAE 5W30, ACEA C3 DPF용 엔진오일을 공급하여



Fig. 1. Odometer of Diesel engine.



Fig. 2. Oil sampling from the test car.

7,182 km를 1차로 주행한 다음 엔진오일을 교환하였다. 신유로 교환한 자동차를 8,425 km 더 주행한 주행거리는 Fig. 1의 주행기록계에서 15,607 km를 보여주고 있으며, 이때 오일을 2차로 교환하였다. Fig. 2는 엔진오일을 채유하는 모습을 보여주고 있다. 또한 제3차 엔진오일 교환은 8,493 km를 더 주행한 총주행거리 24,100 km에서 다시 교환하였다.

Table 1에서 주행거리에 따른 물리적 특성변화에서 오일의 유동성을 나타내는 동점도를 보면, 40°C를 기준으로 신유의 동점도는 65 mm²/s이다. 반면에 8,425 km를 주행한 시험오일 A의 동점도는 64.95 mm²/s로 차이가 거의 없고, 8,493 km를 주행한 시험오일 B의 경우는 61.82 mm²/s로 5.1%나 크게 줄어들고 있다. 40°C의 기준온도에 대한 데이터를 비교하면, 신유 동점도를 기준으로 실차의 주행거리 15,607 km에서 측정된 동점도는 0.077%로 거의 변화가 없지만, 주행거리가 24,100 km로 주행거리가 두 배 늘어난 동점도는 61.82 mm²/s로 많이 떨어진다. 이들 2가지 시험오일에서 실제의 주행거리는 같지만 엔진 운동부품의 마찰접촉 표면상태는 윤활유 고착과 마멸작용 등에 의해 달

Table 1. Test results of SAE 5W30 for Diesel engine with a DPF

SAE 5W30 ACEA C3	Used Oil A	Used Oil B	New Oil
전산가(mgKOH/g)	3.9	3.6	-
동점도 (mm ² /s @40°C)	64.95	61.82	65
동점도 (mm ² /s @100°C)	10.78	10.57	11.5
점도지수	-	-	160
유동점(°C)	-	-	-35~40
인화점(°C)	-	-	230~240

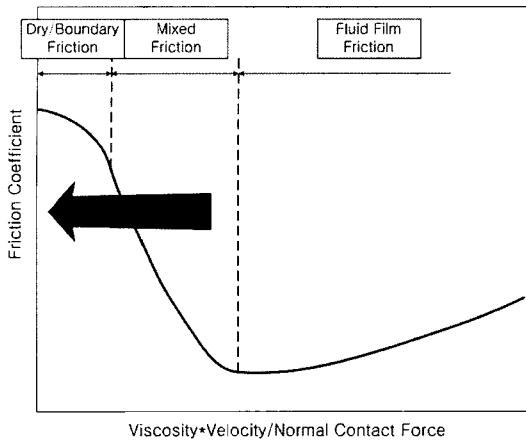


Fig. 3. Schematic representation of stribeck curve from the mixed friction to the dry/boundary friction region.

라졌기 때문에 점도의 변화가 예상된다.

오일의 고온 유동성을 나타내는 100°C 를 기준으로 보면, 신유의 동점도는 $11.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 이지만, 8,425 km를 주행한 시험오일 A의 동점도는 $10.78 \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 6.3% 줄어들었고, 8,493 km를 주행한 시험오일 B의 경우는 $10.57 \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 8.1%나 더 많이 줄어든 것으로 나타났다. 실차의 주행거리가 거의 같은 시험오일 A와 B의 동점도는 오일을 교환할 당시에 모두 10% 이하로 나타났기 때문에 오일 교환시에도 우수한 점도특성을 유지하고 있었다. 이것은 저점도 엔진오일인 SAE 5W30의 윤회특성은 대단히 안정되었다 할 수 있다.

동점도가 떨어진다는 것은 엔진오일에 연료가 혼입되면서 점도변화가 발생한 것으로 판단된다. 주요 마찰접촉 운동부에 공급되는 엔진오일의 유동성은 엔진의 출력과 동력손실, 유막형성에 의한 하중지지 등의 측면에서 중요한 시험평가 항목이다.

4-3. 주행거리에 따른 금속성분 분석

DPF 장착 승용디젤 자동차에 SAE 5W30 엔진오일을 공급하고, 일정거리를 주행한 다음 시료유를 수거하여 오일에 함유된 금속성분을 분석하였다. 엔진의 마찰접촉 운동부에는 피스톤과 피스톤 링, 핀부시와 피스톤 핀, 엔진베어링, 캠과 밸브헤드 등 다양한 부품이 있다. 엔진의 각 윤회개소에 공급된 오일의 부족이나 부적절한 윤회유의 선정, 미끄럼 마찰접촉부에 적절한 유막 형성이 안 되었을 경우는 Fig. 3에서 보여준 혼합마찰 및 고체마찰 작동구간을 유지하면서 마멸입자는 발생하게 된다[6].

Table 2. Metallic debris results of used engine oils, SAE 5W30

Metal debris (mg/kg)	Test Oil A (Odometer 8,425 km)	Test Oil B (Odometer 8,493 km)
Cr	<1	<1
Mn	1	<1
Fe	34	33
Ni	5	5
Zn	609	629
Al	4	7
Cd	<1	<1
Cu	266	95
V	<1	<1
P	504	540
Ca	1159	1172
Mg	17	17
Pb	1	<1

운동부품에서 마멸입자의 발생은 치수정밀도를 떨어뜨려 유막형성을 어렵게 하고, 그 결과로 피스톤 실린더의 밀봉간극에서는 블로바이 현상에 의한 출력저하와 크랭크 케이스에 저장된 엔진오일을 직접적으로 오염시켜 점도저하와 산화/부식성 증가하고, 미끄럼 마찰접촉 운동면에서는 유막파손에 의한 하중지지 어려워져 트라이볼로지 요소부품의 기능저하와 소음진동의 유발, 마지막으로 부품파손에 이은 엔진의 작동중단이라는 심각한 현상이 발생한다.

본 실험은 엔진에서 발생될 수 있는 마멸입자를 분석하기 위해 채유된 시험오일 A와 B에 대한 오일평가를 실시한 것으로 Table 2에서 제시하였다. 엔진의 주요부품에 관련된 금속성분을 보면, 내마멸 특성에 관련된 성분을 나타내는 Cr, Fe, Ni, Cd, V, Mn, Pb 등은 오일의 교환주기인 차량의 실제 주행거리 8,425 km의 시험오일 A나 8,493 km를 주행한 시험오일 B의 경우 모두에서 거의 같은 정도의 마멸입자가 검출되었다. 여기서 시험오일 A의 실제 주행거리는 8,425 km이지만 누적 주행거리는 15,607 km이고, 시험오일 B의 실제 주행거리는 8,493 km이지만 누적된 주행거리는 24,100 km로 누적 주행거리에서 많은 차이가 있다. 즉, 엔진오일의 실제 주행거리는 거의 같지만, 마찰접촉 운동부의 누적 주행거리는 2배나 다르기 때문에 트라이볼로지 마찰접촉 유막특성은 다를 것으로

예상된다. 그러나, 마멸입자 분석결과에 의하면 마멸입자 발생량은 99.9% 이상 같았다. 따라서 유탄유에 의한 유막형성 및 유탄작용은 우수하게 유지되었고, 또한 엔진의 하드웨어적 유탄설계가 우수하였다는 것을 유추할 수 있다.

반면에 피스톤, 엔진베어링에 많이 함유된 대표적인 비철금속인 Al의 데이터를 보면, 시험오일 A에서 Al은 4 mg/kg, 시험오일 B에서 Al은 7 mg/kg로 각각 검출되어 1.75배나 차이가 난다. 결국 엔진의 주행거리가 많아지면서 알루미늄으로 제작된 피스톤이나 엔진베어링에서 발생한 마멸량은 크게 증가하였다는 것을 의미한다. 또한, 핀부시 베어링의 주성분으로 구성된 Cu의 경우는 시험오일 A에서 266 mg/kg, 시험오일 B에서 95 mg/kg가 검출되어 2.8배의 차이를 나타내고 있다. 이것은 핀부시나 엔진베어링의 트라이볼로지적 마찰·마멸특성은 차량의 누적 주행거리에 따라서 핀부시 베어링의 길들이기가 안정적으로 진행되어 마멸발생량이 크게 줄었다는 것을 의미한다. 결국 핀부시 베어링의 미끄럼 마찰표면에는 유막형성이 잘 진행되어 하중지지를 효과적으로 감당하고 있으며, 마멸에 의한 트라이볼로지적 문제점은 더 이상 없을 것으로 예상된다.

또한 엔진오일의 첨가제로 많이 사용되는 Ca, Mg 등은 주행거리에 따른 차이는 거의 없었으나, 시험오일 A에서 P는 504 mg/kg, Zn은 609 mg/kg 정도이고, 시험오일 B에서 P는 540 mg/kg, Zn은 629 mg/kg 정도로 각각 검출되어 어느 정도의 변화, 즉 주행거리가 누적되면서 유탄유의 첨가제 기능이 약화되는 특성변화가 발생하였음을 알 수 있다. 여기서 제시한 P와

Zn 마멸입자 발생량의 변화는 엔진오일의 유동성과 유막형성에 영향을 미치고 있다는 실증데이터이다.

5. 결 론

본 연구는 DPF를 장착한 승용디젤에 SAE 5W30의 엔진오일을 공급하여 일정한 주행거리에 따라 달라지는 유탄특성과 마멸입자에 대한 상대적인 비교 데이터를 제시하였다.

실험결과에 의하면, 8,500 km의 주행거리를 갖는 엔진오일의 경우는 동점도 변화가 40°C 기준에서 최대 5.1%, 100°C 기준에서 최대 8.1%로 대단히 양호한 점도변화를 나타내고 있다. 또한 마멸입자에 대한 성분분석을 보면, 주행거리에 따른 유탄특성은 거의 없으나, 베어링이나 피스톤의 미끄럼마찰 접촉면에 형성되는 유막의 양부에 따라 1.75~2.8배까지 변동되는 것으로 나타났다. 결국 유탄유의 안전성은 비교적 높으나 유탄유와 엔진설계를 합친 종합적인 트라이볼로지 거동특성은 그렇게 우수하다할 수 없다.

참고문헌

1. 김청균, 이일권, “전륜구동 수동변속기에 대한 트라이볼로지적 고장사례 연구”, 한국유탄학회, Vol. 24, No. 6, pp. 285-290, 2008.
2. 김청균, 자동차엔진공학, 복두출판사, 2004.
3. Maintenance manual of Hyundai Motors, 2005.
4. Maintenance manual of Kia Motors, 2008.
5. Maintenance manual of GM Daewoo, 2008.
6. 김청균, “트라이볼로지”, 형설출판사, 2006.