

경유가 혼입된 엔진오일의 특성에 관한 실험적 연구

김한구¹, 박태식¹(쌍용자동차 기술연구소), 김청균²(홍익대학교 트라이블로지 연구센터)

Experimental Study of Diluted Engine Oil Characteristics by Diesel Fuel

¹Han Goo Kim, ¹Tae Sik Park(Ssangyong Motor Company Research Center) hgkim19@smotor.com

²Chung Kyun Kim(Tribology Research Center, Hongik University) ckkim@wow.hongik.ac.kr

ABSTRACT

An experimental study was conducted to evaluate characteristic variation of diluted engine oil by diesel fuel and its effects on engine components. Especially, engine oil was made to have 15% fuel content. To predict existing diesel fuel content in engine oil after test was used the viscosity calibration curve. About 54% percent of diesel fuel in diluted engine oil was distilled by various paths related to reciprocating motion of piston and the rest diesel fuel plays an important role for decreasing engine oil viscosity. Test results show that lowered engine oil viscosity by diesel fuel dilution become a reason of increasing engine elements wear. Therefore, this caused the quantity of blow-by gas to increase and main gallery pressure to decrease.

Keywords : PM(Particulate Matter), CDPF(Catalyzed Diesel Particulate Filter), Blow-by gas

1. 서론

최근 에너지 절약이 주요 관심사로 대두되면서 수송분야에서는 연비가 좋은 경유 자동차에 대한 관심이 높아지고 이에 따라 기술개발이 가속화되고 있다.

경유 자동차는 휘발유 자동차에 비해 열효율이 우수하고, 지구온난화 현상의 주원인인 CO₂ 배출량도 적다. 그리고 최근에는 전자제어 고압 연료분사장치인 커먼레일 시스템이 개발되어 경유 자동차의 단점 중 하나인 진동과 소음 문제가 대폭 개선되고 있으며 이에 따라 최근 경유자동차 시장이 빠른 속도로 확장되고 있다. 그러나 경유 자동차는 휘발유 자동차에 비해 입자상물질(PM:Particulate Matter)과 질소 산화물(NOx)이 많이 배출되며 이는 대도시 공기 오염의 주원인이 되고 있다. 특히, PM의 인체 유해성에 대한 논란이 가중되고 있으며, 전세계적으로 PM의 저감요구가 높아지고 있다.[1]

경유 자동차에서 배출되는 PM의 저감대책으로 현재까지는 디젤매연여과장치(DPF:Diesel Particulate Filter)가 가장 효율적인 것으로 알려져 있다. 현재 사용되고 있는 DPF중 하나인 촉매기반 디젤매연여과장치(CDPF:Catalyzed Diesel Particulate Filter)는 DPF표면의 촉매(백금 또는 백금/로듐)처리

를 이용 PM의 재생온도를 400℃이하로 낮춤으로써 DPF의 재생을 원활하게 하기 위하여 설계되었다. 일반적으로 디젤기관에서 배출되는 PM을 산소를 이용하여 재생할 경우 500℃ 이상의 온도가 확보되어야 하지만 CDPF를 이용 재생온도를 300℃에서 400℃까지 낮출 수 있다. 특히, CDPF는 후분사된 연료의 산화를 통해 배기가스 온도를 증가시켜 재생을 하게 된다. 이때 연소실에 후분사된 연료의 일부분이 실린더 벽에 흡착되어 연료가 엔진오일에 혼입되는 현상을 발생하게 된다.[2,3,4] 연료가 엔진오일에 혼입되는 현상은 직분식 가솔린 엔진에서 발생하는 문제점으로 여겨져 왔으나 후분사를 사용하는 CDPF 장착차량의 개발에서도 중요한 문제점 중 하나로 대두되고 있다.

후분사된 연료가 엔진오일에 혼입되는 과정은 다음과 같다. 피스톤이 하사점 부근에 도달했을 때 분사된 연료는 산화를 통해 배기가스 온도를 상승시키는 역할을 하고 이로 인해 CDPF 시스템은 재생을 위한 적정 온도조건을 만족하게 된다. 그러나 연료가 후분사됨으로써 대부분의 연료는 피스톤 보울을 벗어나며 이중 상당량이 실린더 벽에 흡착된다. 그 과정을 좀 더 자세하게 설명하면 다음과 같다. 각 실린더 벽에는 오일에 의해 일정두께의 유막을 형성하고 있

다. 이 유막의 상층부에서 피스톤의 왕복운동에 의한 재순환 현상이 발생하며 후분사된 연료/공기 혼합기에 포함된 연료는 혼합기의 유동특성에 따라 유막에 흡착되어 엔진오일에 혼입된다. 여기서 피스톤 왕복운동은 오일팬의 새 엔진오일을 실린더 벽으로 공급함과 동시에 연료성분을 포함하고 있는 기존 유막을 긁어 내려 오일팬으로 되돌린다. 또한, 미연가스(blow-by gas)가 피스톤의 링팩(ring pack)을 통해 오일팬으로 전달되는 과정에서 경유가 엔진오일에 혼입되는 현상이 발생한다.

본 연구는 위와 같은 과정을 통해 혼입되는 연료양에 따른 엔진오일의 특성을 평가하고 이러한 현상이 엔진 요소에 미치는 영향을 파악하여 CDPF 개발에 기초적인 자료로 사용하고자 한다.

2. 실험조건 및 방법

실험에 사용된 엔진은 5기통 2700cc 직분식 디젤엔진을 사용하였으며 Table 1에 엔진사양에 대하여 나타내었다. 또한, Table 2와 3에는 시험에 사용된 경유와 엔진오일의 물성치를 나타내었다.

Table 1. Engine specification

Engine type	4-stroke, 5-cylinder
Bore	86.2 mm
Stroke	92.4 mm
Valve arrangement	DOHC
Compression ratio	18:1
Number of injectors	5

Table 2. Diesel fuel specification

Density (at 15 °C, g/cm ³)	0.8334
Cetane number	58.6
Ignition point(°C)	82.0
Kinematic viscosity(at 40 °C, cst)	3.245

Table 3. Engine oil specification

Viscosity grade		10W40
Density (at 15 °C, g/cm ³)		0.8651
Flash point(°C)		227
Viscosity	40 °C, cSt	100.70
	100 °C, cSt	15.19
Viscosity index		159

후분사를 사용하는 CDPF 시스템은 연료가 엔진오일에 혼입되는 현상을 수반하므로 이러한 현상이 엔진 요소에 영향을 미치지 않는 연료 혼입량에 대한 한계치를 정의해야 한다.

일반적으로 세계적인 자동차 생산업체 및 연구개발 용역업체들은 실험을 통해 엔진오일의 6~10%정도를 연료 혼입량의 한계치로 제시하고 있다.

본 시험을 위해 엔진오일에 15%의 연료를 추가하여 통상적인 연료 혼입량 한계치보다 가혹한 조건으로 엔진오일성분을 구성하였고 이렇게 제작된 혼합유를 이용하여 엔진시험을 진행하였다.

엔진오일에 혼입된 연료 혼입량을 측정하는 가장 정확한 방법은 1) GC(Gas Chromatography)를 이용한 화학적 분석방법이지만 측정절차가 복잡하고 장비의 가격이 비싸며 많은 측정시간을 요구한다는 단점이 있다. 이에 반해 2) 엔진오일의 점도측정으로 연료 혼입량을 예측하는 방법은 화학적 분석방법에 근사한 정량적 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 시험시간과 경비에 상당한 이점이 있다. 그러나 이 방법 또한 측정된 점도 값에서 오일 속에 포함된 수트(soot) 및 다른 미세 성분에 대한 영향은 고려할 수 없다는 단점이 있다.

본 실험에서는 엔진오일에 혼입된 연료량을 예측하기 위해서 엔진오일에 연료를 2%씩 추가 하면서 점도를 측정하여 연료 혼입량에 따른 점도 보정곡선을 작성하였다. 이 보정곡선을 이용하여 운전조건에 따른 오일점도변화 특성을 관찰하였고 연료 혼입량을 예측하였다. 또한, 점도변화가 엔진 요소에 미치는 영향성을 평가하였다. Fig. 1은 실험에 의해서 구해진 보정곡선을 도시한 것이다.

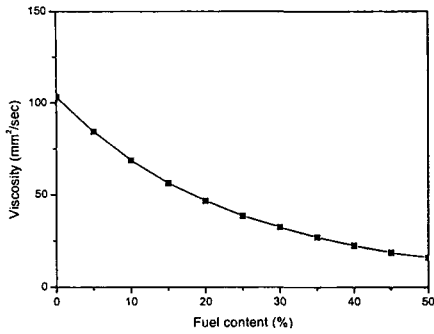


Fig. 1 Calibration curve for predicting oil dilution level with use of oil viscosity.

3. 실험결과

Fig 2는 초기 연료 혼입량이 각각 10%, 15%, 20%인 경우 운전시간에 따른 엔진오일의 점도변화를 이용하여 연료 혼입량 변화를 나타낸 것이며 점도측정을 위한 시료 추출 주기는 10사이클로 하였다.

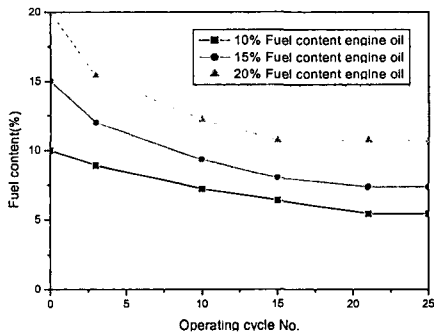


Fig. 2 Fuel content variation curve of test oil diluted by 10%, 15% and 20% fuel.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 연료가 혼입된 엔진오일은 운전시간이 약 20사이클 이상이 되면 각각의 경우 엔진오일에 혼입된 연료량이 19.7%, 7.33%, 5.4%로 감소하는 것을 알 수 있었다. 실험결과 20사이클 이후 연료 혼입량이 더 이상의 감소를 보이지 않는 것은 연료의 증발온도 영향으로 생각되어진다. 운전중인 엔진에서 연료증발이 발생할 수 있는 부분은 실린더 벽과 피스톤 링팩과 같이 연소에 직접노출 되는 곳으로 제한된다. 실험에 사용된 경유가 완전히 증발하기 위해서는 약 380°C의 상당히 높은

온도조건을 요구하게 된다. 연소실 및 엔진 시스템의 온도는 냉각 시스템에 의해 제한되어지므로 혼입된 연료의 전량을 운전 중에 증발하는 데는 한계가 있다.

Table 4는 10%, 15%, 20%의 연료가 혼입된 엔진오일의 운전시간에 따른 연료 혼입량 변화를 요약한 것이다. 각각의 경우 21, 20, 15 사이클 후 연료 혼입량의 감소폭이 약 54%로 일정해짐을 알 수 있다. 이것은 엔진오일에 혼입된 연료량이 아무리 과다해진다 하여도 본 실험에 사용된 운전조건에서는 결국 54%정도만 운전 중에 증발되고 나머지는 엔진오일에 그대로 용해되어 점도를 저하시키는 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Fuel distillation rate of engine oil used

Initial fuel content (%)	Operated cycle	Fuel distillation rate (%)
10	21	54.0
15	20	54.3
20	15	53.5

보통 엔진오일에는 점도지수 향상제 (Viscosity Index Improver)가 첨가되어 있는데 운전 중에 윤활부에서 발생하는 전단력에 의해 화학적 결합고리가 끊어져 점도저하의 원인이 되며 일정기간 운전 후에는 열화현상에 의해 다시 화학구조가 회복되어 점도가 향상되는 것이 엔진오일의 특성이다. 그러나, 연료가 엔진오일에 혼입되면 엔진오일의 화학적 성분변화와 더불어 심각한 점도 저하를 유발하여 엔진 요소에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

엔진에서 윤활을 요구하는 부분은 고속 운동부와 하중 전달부로 크게 구분할 수 있다. 이러한 엔진 윤활부에 연료가 혼입된 엔진오일이 미치는 영향성을 평가하기 위하여 실험종료 후 터보차저, 링팩, 베어링류의 검토를 실시 하였다. 터보차저의 경우 연료가 혼입된 엔진오일의 사용으로 인하여 발생하는 문제점은 없었다. 일반 엔진오일을 사용한 실험결과와 비교했을 때 링팩과 베어링류의 경우 점도저하로 인하여 마모량이 증가한 것을 알 수 있었다. 특히, 연소압력에 의한 하중이 전달되는 커넥팅로드 대단부 베어링의 마모가 가장 심각하게 나타났다.

Fig. 3, 4는 엔진 운전시간에 대하여 연료

가 혼합된 엔진오일을 사용하였을 때 발생하는 미연가스량과 메인 갤러리 압력을 정상적인 엔진오일을 사용하였을 때와 비교하여 나타낸 것이다. 비교결과 Fig. 3에서는 400과 500사이클일 때 미연가스량이 가장 많이 증가하는 것을 알 수 있었으며 Fig. 4에서는 400사이클일 때 메인 갤러리 압력이 가장 많이 감소 하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 링팩부의 마모량 증가는 미연가스량 증가의 원인이 되었고 오일점도 저하로 인한 전 엔진 시스템의 마모는 메인 갤러리 압력을 저하시키는 원인이 되었다.

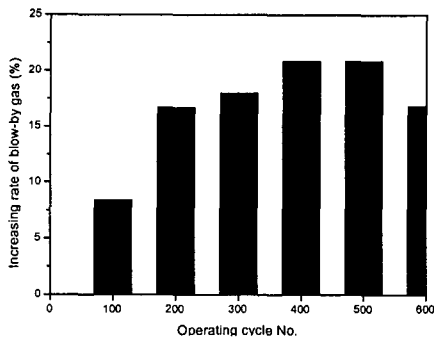


Fig. 3 Increasing rate of blow-by gas in comparison with test result using pure engine oil.

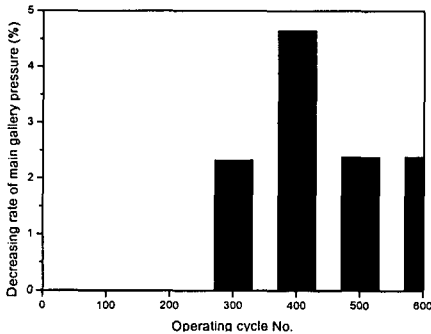


Fig. 4 Decreasing rate of blow-by gas in comparison with test result using pure engine oil.

4. 결론

본 연구에서는 연료 혼합량에 따른 엔진 오일의 점도변화를 이용하여 엔진오일에 혼합된 연료량을 예측하였고 연료가 혼합된 엔진오일이 각각의 엔진부품에 미치는 영향을 평가하였다.

우선 실험을 위하여 10%, 15%, 20%의 연료를 혼합하여 별도로 제작한 엔진오일은 운전 중에 혼합된 연료량의 약 54%를 증발시키며 나머지는 그대로 남아 엔진오일점도를 감소시키는 원인이 된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 연료가 혼합되어 점도가 낮아진 엔진오일은 엔진 시스템의 고속회전부 및 운전하중 작용부의 유막형성에 영향을 미치며 이로 인해 피스톤 링팩 및 베어링의 마모를 심화시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 미연가스 배출량이 증가하였으며 이것이 엔진 전체 오일압력 시스템의 손실로 작용하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김홍석외 6명, "Peugeot 607 경유 승용차의 매연여과장치 특성 분석," Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 3, pp.66-74, 2004.
2. P. J. Shayler, L. D. Winborn and A. Scarisbrick, "The Build-Up of Oil Dilution by Gasoline and the Influence of Vehicle Usage Pattern," SAE2000-01-2838, 2000.
3. Terrence Alger, Yiqum Huang, Matthew hall and Ronald D. Matthews, "Liquid Film Evaporation Off the Piston of a Direct Injection Gasoline Engine," SAE2001-01-1024, 2004.
4. Takumaru Sagawa, Hiroya Fujimoto and Kiyotaka Nakamura, "Study of Fuel Dilution in Direct-Injection and Multipoint Injection Gasoline Engines," SAE2002-01-1647, 2002.