Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 7, pp.48-56 (2014)

Copyright © 2014 KSAE / 133-07
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2014.22.7.048

대형 디젤엔진 내구 시험에 의한 다른 종류 엔진오일의 물성 및 성능 특성에 관한 연구

이 민 호* · 김 정 환 · 송 호 영 · 김 기 호 · 하 종 한

한국석유관리원 석유기술연구소

A Study on the Property and Performance Characteristics of Different Kind Engine Oil by Endurance Test of Heavy-duty Diesel Engine

Minho Lee* • Jeonghwan Kim • Hoyoung Song • Giho Kim • Jonghan Ha

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea

(Received 21 February 2014 / Revised 27 April 2014 / Accepted 10 June 2014)

Abstract : Engine oil is an oil used for lubrication of various internal combustion engines. The main function is to reduce wear on moving parts; it also cleans, inhibits corrosion, improves sealing, and cools the engine by carrying heat away from moving parts. In engines, there are parts which move against each other. Otherwise, the friction wastes the useful power by converting the kinetic energy to heat. Those parts were worn away, which could lead to lower efficiency and degradation of the engine. It increases fuel consumption, decreases power output, and can induce the engine failure. This study was conducted to evaluate the relation between engine oil property changes and engine performance for the diesel engine. This test was performed by using 12L, 6 cylinder, heavy duty engines. Low SAPS 10W30 engine oil (two type engine oils) was used. Test procedure and method was in accordance with the modified CEC L-57-T97 (OM441LA) method. In this study, TAN, TBN, KV and metal components, engine power, blowby gas, A_F were presented to evaluate the relation with engine oil property changes and engine performance. TAN, TBN, KV and metal We found that the components were generally increased but engine performance did not change. This results mean that property changes did not affect on engine performance because those were not enough to affect engine performance.

Key words : TAN, TBN(전산가), KV(Kinematic Viscosity, 동점도), Low SAPS(Low Sulfated Ash, Phosphorous and Sulfur, 황산회분, 황, 인), Blowby gas(블로바이가스), A_F Ratio(공연비)

1. 서 론

전 세계적으로 연비(온실가스) 및 배출가스 규제가 강화되면서 연비를 개선하고 CO_2 및 배출가스를 줄이고자 하는 연구가 지속적으로 이어져 왔다. 이러한 연구는 대부분이 엔진 연소효율화와 차체 경량화에 초점이 맞추어져 진행하여 왔다. 하지만, 차량에서 연료 사용에 따른 에너지 분포를 살펴보면 15% 정도가 주로 기계적 마찰손실로 소비되며 연료의 유효에너지 중 12% 만이 자동차를 운행하는데 사용된다고 한다. 또한 연료소비 데이터에 의하면 기계적 손실을 10% 감소하면 연료소비를 1.5% 개선할 수 있다고 연구내용이 발표되었다.[1)]

이러한 기계적 마찰 손실을 줄일 수 있는 연구의

*Corresponding author, E-mail: lice92@kpetro.or.kr

일환으로 자동차용 엔진 오일의 종류 및 물성 변화에 따른 자동차 연비 및 배출가스, 엔진 성능에 미치는 영향에 대한 연구[2,3]가 진행되었으며, 또한 엔진 오일의 소모량 감소에 대한 연구[4]도 꾸준히 이루어지고 있다.

자동차용 엔진 오일은 엔진의 원활한 작동을 유지하기 위하여 윤활작용, 냉각작용, 기밀작용 등의 기능을 수행하게끔 윤활기유와 그 물성을 보완하기 위한 첨가제로 구성된다. 자동차용 엔진 오일은 고온 및 고속·고부하의 열악한 사용조건에서 그 기능을 유지해야하나 사용시간이 경과함에 따라 물리·화학적 변화를 일으키며 그 기능이 저하된다.[5-7] 그러므로 엔진 성능의 저하를 방지하고 엔진의 기대수명을 연장하기 위해 적절한 시기에 엔진 오일을 교환해 주어야 한다.

엔진 오일을 장기간 사용하면 물리·화학적 특성 변화가 일어나고 이는 엔진 오일의 고유 기능을 떨어트린다. 또한 피스톤 링의 마모로 인해 엔진 오일이 연소실로 흡입, 연소되어 배출가스 및 오일 소모량에 영향을 준다.[8,9] 특히 엔진에 흡입된 엔진 오일은 배출가스를 처리할 수 있는 후처리 장치의 고장을 내는 문제점으로 지적되고 있어, 후처리 장치에 사용되는 촉매와 필터 성능 저하에 영향이 적은 엔진 오일의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 자동차 연비 및 배출가스에 영향을 줄 수 있는 엔진 오일의 물성과 성능 특성을 살펴보기 위하여 대형 디젤 엔진에 다른 종류의 엔진 오일을 적용하여 내구시험을 진행하였다. 대형 디젤 엔진 내구시험은 전체 400 시간 동안 두 가지 운전모드를 반복하여 수행한다. 내구시험 중간에 윤활유의 열화정도, 금속분의 함유(분출) 정도를 살펴보기 위하여 50 시간마다 엔진 오일을 채취하여 물성 특성을 측정하였으며, 소모된 오일 양만큼 신유를 보충하였다. 시험결과는 엔진 오일 내구에 따른 수명 및 엔진 성능 변화를 평가하였다. 시험에 사용된 엔진 오일은 기존 엔진에서 사용하고 있는 엔진 오일과 오일 기유 종류, 함량 및 첨가제 배합율을 새롭게 적용하여 적용 대상인 신형식 대형디젤 엔진에 적합하게 제조한 엔진 오일을 사용하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험 대상 엔진

시험대상 엔진은 12L급 대형 디젤엔진이며 440 kW AC 엔진동력계에서 시험을 하였다. 시험대상 대형 디젤 엔진의 기본적인 세부사양은 Table 1과 같다.

본 내구시험 전에 시험대상 엔진의 오일 소모량을 먼저 검사하도록 하였다. 이러한 이유는 시험대상 엔진의 오일 소모량이 많을 경우 시험을 진행하는 과정에서 오일 보충량이 늘어나 시험의 정확도에 영향을 주기 때문이다. 대부분의 연구에서 오일 소모량이 100 ml/hr 이하의 조건을 만족시키도록 시험대상 엔진을 선정하고 있어 본 연구에서도 이 부분을 만족하는지에 대한 확인 시험을 진행하였다.

내구시험 전에 엔진 오일의 소모량을 측정하기 위한 조건은 최고출력 조건인 1800 rpm, 전부하에서 10 시간 동안 시험을 진행하였으며 그 결과가 30 ml/hr를 나타내고 있어 시험에 적합한 엔진으로 판단하고 본 시험을 진행하였다.

Table 1 Specifications of heavy-duty diesel engine

Intake type	Turbocharger intercooler
Maximum power (ps / rpm)	440 / 1800
Bore / Stroke (mm)	130 / 155
Maximum torque (kgfm / rpm)	214 / 1200
Injection type	CRDI
Idling speed (rpm)	500
Injection sequence	1-5-3-6-2-4

2.2 시험 절차 및 방법 (모드)

엔진 오일에 대한 연구 및 관련 논문을 살펴보면 측정하고자 하는 목적에 따라 다양한 형태의 시험방법 및 절차를 구성하여 진행하고 있다. 이에 반해, 국내에서는 엔진 오일에 대한 규정화된 시험 방법 및 절차가 마련되어 있지 않은 실정이다. 이러한 이유로 본 연구에서의 기본적인 시험방법 및 절차는 유럽에서 사용하고 있는 시험방법(CEC L-57- T97, OM441 LA)을 준용하여 국내 시험대상 엔진에 적합하도록 모드를 수정·설정하여 시험을 진행하였다.

이러한 시험방법은 먼저 새 오일 필터의 무게를 측정, 기록한 후 교환하여 시험엔진에 장착하게 된

Table 2 Test program (mode) & durability running time

Durability running time (hour)	Type of program
0 ~ 50, 100 ~ 150, 200 ~ 250, 300 ~ 350	Mode-1 (Stage 1 ~ 4 / 20 times)
50 ~ 100, 150 ~ 200, 250 ~ 300, 350 ~ 400	Mode-2 (1800rpm, Full load)

Table 3 Engine operation characteristics of test mode-1

Set values	Unit	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Speed	rpm	1800	1300	1100	2420
Time	min	60	30	30	30
Inj. Rate	mg/inj	203	237	227	rep.
Power	kw	327	285	238	no load
T-Exh	°C	rep.	rep.	<600	rep.
T-Cwout	°C	106±1	106±1	106±1	rep.
Coolant △T	°C	5±2	rep.	rep.	rep.
T_Oil Pan	°C	>123	rep.	rep.	rep.
T-Boost After	°C	40±2	40±2	40±2	rep.
T-Boost Before	°C	rep.	rep.	rep.	rep.
T_Fuel	°C	40±1	40±1	40±1	40±1
T_InAir	°C	15-35	15-35	15-35	15-35
P_Boost	mmHg		rep.	rep.	rep.
P_Exh	mmHg	90	rep.	rep.	rep.
Blow-by	L/min	<170	n/a	n/a	n/a

다. 시험대상 엔진 오일은 20,000 g을 엔진에 정확히 채우고, 공회전 상태로 엔진을 운전하며 오일 및 냉각수가 새는지 확인하게 된다. 이후 본 시험 모드는 Table 2, 3과 같은 모드로 시험을 하게 된다. 총 시험시간은 400 시간이며 50 시간 단위로 운전 모드(Mode-1, Mode-2 반복 시험)를 바꾸어 총 8 회를 진행하게 된다. 여기서, Mode-1은 Table 3과 같이 4개의 다른 단계(Stage)로 구성되어 있고, Mode-2는 엔진회전수 1800 rpm, 전부하의 단일 단계(Stage)로 되어있다.

시험 준비가 완료되면 바로 첫 번째 Mode-1 시험을 시작하여 자료 수집은 각 단계의 마지막 2 분 동안 자동으로 시험 데이터를 수집하도록 하였으며 실시간 기록의 평균값을 취하였다. 매 50 시간 모드가 끝나면 공회전 상태로 2 분간 운전한 후 엔진을 멈추고, 엔진 오일의 온도가 50 ± 2°C 이하가 되면 오일팬 하단의 시료채취관을 통해 150 g의 시료를 2회 분리하여 채취하였다. 채취한 2번째 시료를 분석용으로 사용하였으며 신유를 포함해서 총 9개의 시료의 물성을 분석하였다. 시료 채취 후 소모된 오일량 만큼 신유를 주입하여 초기 주입량(오일량 측정을 통해 초기 주입량 위치 확인)까지 오일을 보충하고, 보충된 오일의 무게를 측정하였다. 시료 채취량과 엔진 자체의 오일 소모량을 포함하여 엔진에 보충된 오일의 양은 엔진 오일 종류마다 약간 차이가 나지만, 전체 400 시간 내구 동안에 9,500 g 정도의 양을 보였고, 이 보충된 엔진 오일량은 초기 엔진 오일 공급량 대비 47.5% 정도 공급되었다. 이러한 보충된 오일량에 의해 엔진에 남아있는 엔진 오일은 일정부분 희석되었을 것으로 판단된다. 이에 따라 측정된 금속분 등의 결과는 400시간을 지속적으로 내구시험을 하여 측정된 결과보다는 적게 측정되었을 것으로 생각된다.

2.3 엔진 오일 물성 측정 방법

2.3.1 동점도 분석

동점도는 Cannon Instrument Company 사의 CAV 2000 series의 Cannon 1257 유리형태의 모세관식 관을 이용하여 40°C, 100°C에서 KS M ISO 201410) (ASTM D 445) 방법에 따라 측정하였다. 이러한 모세관식 관에는 3개의 전구(bulb)가 있으며, 전구 사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 ml를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 중력에 의해 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다.

2.3.2 전산가 분석

전산가는 Metrohm사의 805 Dosimat을 이용하였으며, KS M ISO 661911) 방법에 의거해 분석하였다. 시료 1 ~ 2 g의 시료를 유리컵에 취한 뒤, 50 ml의 용매(Tol : IPA : Water = 50 : 49.5 : 0.5)로 시료를 녹인 후, 0.1 N KOH를 이용하여 적정하여 전류 값의 변화 지점을 당량점으로 인식하여, 시료중의 산값을 분석하였다.

2.3.3 금속성분 분석

윤활유 중의 금속 성분들은 PerkinElmer사의 Optima 2100DV 유도결합플라즈마 분광기를 이용하여 ASTM D 5185 시험방법에 따라 분석하였다. 분석 시료는 등유(kerosene) 1/10 질량비로 희석하여 플라즈마(아르곤) 유속 15 L/min, 보조가스(아르곤) 유속 1

L/min, 분무가스(아르곤) 유속 0.5 L/min으로 측정항목에 대해 일정한 분석 파장에서 분석하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 엔진 오일의 금속분 변화 결과

자동차 엔진의 재료로 사용하는 금속은 대부분 Fe가 주재료이며 경량성, 내마모성, 내부식성 등의 특성을 강화하기 위해 Al, Cr 등이 합금 원소로 추가되고 있다. 특히, 실린더 라이너, 피스톤, 피스톤링, 각종 축은 Fe 합금으로 이루어지며 베어링은 Cu가 주원소이고, Sn, Pb 등의 열전도도 내부식성 및 내마모성이 높은 합금 원소를 첨가해 Cu의 부족한 특성을 보강하고 있다. Table 4는 다른 종류의 엔진 오일 중 엔진 오일 B에 대하여 엔진내구 시험을 실시한 후의 금속성분의 변화 특성을 나타낸 것이다.

Table 4 Metal components in engine oil B (Unit : mg/kg)

Metal	Hour		Metal	Hour	
	0	400		0	400
Cr	2.36	5.69	Ca	2449.04	2864.59
Fe	4.01	51.43	Mg	89.47	98.12
Ni	2.88	3.03	Sn	2.46	7.38
Zn	853.13	946.66	Si	12.49	14.86
Al	7.85	18.44	Pb	2.91	20.34
Cu	3.11	36.98			

3.1.1 마모 금속분 시험 결과

Figs. 1, 2는 위의 시험결과에서 엔진마모로 인한 금속성분의 변화특성을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 Fe, Al, Cr 등은 시간이 증가함에 따라 증가가 뚜렷하게 보이고 있고, 베어링 및 베어링 합금의 주 원소인 Cu, Pb, Sn 등도 뚜렷한 증가 경향을 보인다. 마모 금속성분의 증가율 결과처럼 6 가지 금속성분은 400 시간 내구시험 이후 신유 대비 100% 이상의 증가율을 보였다. 특히 엔진 및 베어링의 주재료인 Fe, Cu는 10배 이상의 증가율을 보였으며, 도금의 주재료인 Sn는 6배 이상의 증가율을 보였다. 엔진을 구성하는 재질의 구성비와 비슷한 경향을 보이는 것으로 보아 시험방법과 분석이 신뢰성 있게 이루어졌음을 알 수 있다.

기존의 엔진 오일 연구결과에 의하면 일반적으로

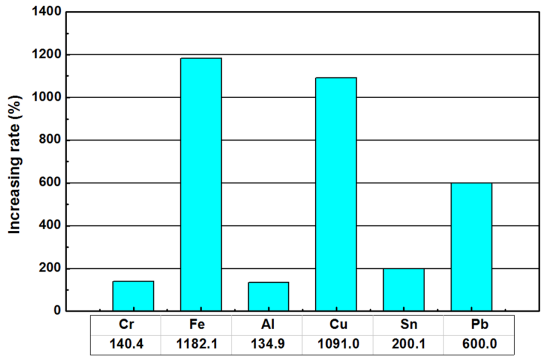

Fig. 1 Increasing rate of wear metal components during durability test (400 hr)

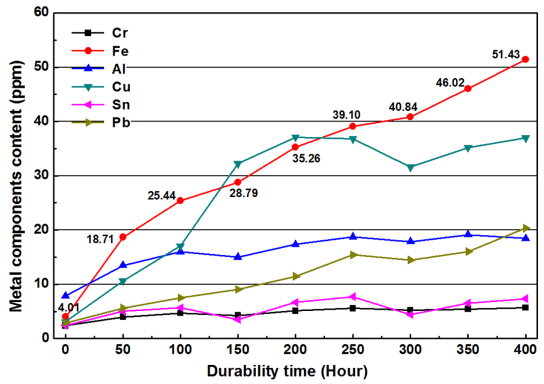

Fig. 2 Wear metal components value during durability test

엔진 오일 내 금속성분의 증가 값은 Fe는 100 mg / kg, Al은 50 mg / kg을 엔진 사용여부에 대한 한계선으로 보고 있다. 본 연구에서 Fe는 51.43 mg / kg, Al은 18.44 mg / kg의 결과를 보여 보충된 오일 양을 고려하여 증가량을 계산하더라도 높은 수치 결과는 아니라고 판단되며, 시험 대상엔진에 엔진 오일 B를 적용하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

3.1.2 첨가제 금속분 시험 결과

엔진 오일에는 오일 첨가제로 금속성분인 Ca, Zn, Mg 등이 비금속 성분으로는 P를 주로 사용한다. 또한 원활한 윤활성능 개선을 위해 Mo, Si, Na 등이 보조첨가제로 미량 첨가된다. Table 5는 엔진오일에 첨가되는 오일 첨가제의 종류 및 첨가 목적을 나타낸 것으로서, 엔진 오일 B를 제조시 본 표를 참고로 함량을 조절하였다.

Fig. 3은 오일 첨가제로 사용되는 금속분들의 증

Table 5 Additive purposes and elements in engine oil[12)]

Additives	Elements
Detergents	P, Mg, Ca, Ba
Dispersants	P, K, B
Anti-oxidants	P, K, B, Zn, Pb, Cu, Cd, Sb
Corrosion inhibitors	P, Mg, Sn, Sb, Zn, Si, B
Extreme pressure	Mo, Sn, K, B, Pb, S-P
Antifoaming	Si
Antifreeze	B, Na

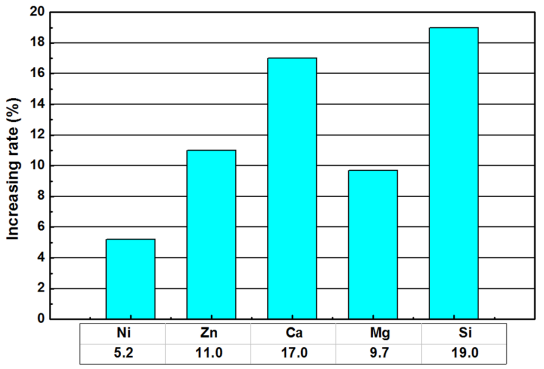

Fig. 3 Increasing rate of engine oil addictive metal components

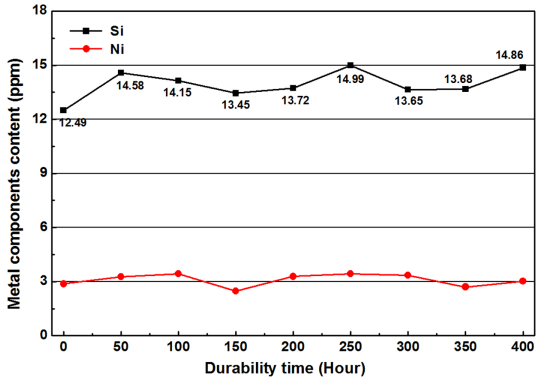

Fig. 4 Contents of Sn and Ni during durability test

가율을 나타낸 것이다. 그림에 나타낸 것처럼 윤활유 첨가제인 Mg, Ni, Si, Ca, Zn 등은 20% 이하의 증가율을 보였으며 전반적으로 증가량이 비슷한 것으로 보아 이 증가분은 윤활유 소모에 따른 추가 주입에 의해 증가한 양으로 판단된다.

Figs. 4, 5는 Si, Ni, Fig. 5는 Zn, Mg, Ca 오일 첨가제의 금속 성분 결과를 내구시험 시간에 따라 나타낸 것이다. 윤활유 첨가제 성분인 Sn, Ni은 뚜렷한

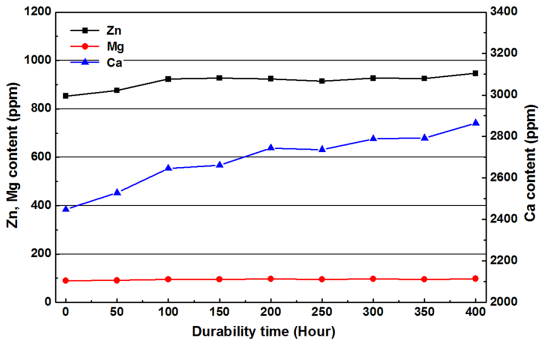

Fig. 5 Contents of Zn, Mg and Ca during durability test

증가 경향을 보이지 않았으며 약 14 mg / kg, 3 mg / kg 정도로 그 함유량도 극히 적었다. Zn, Mg, Ca은 약간의 증가하는 경향을 보였으며, Mg는 100 mg / kg 이하로 극히 적으나 Zn, Ca는 상대적으로 높음을 알 수 있다. 마찰 면에 내마모 피막 생성에 반드시 필요한 Zn[5)]의 농도는 감소하지 않고 약 1.28 %의 증가하는 경향을 보인 것으로 보아 내마모성은 저하되지 않았다고 확인할 수 있었다.

3.1.3 다른 종류 엔진 오일의 금속분 비교 결과

Table 6은 다른 종류의 시험 엔진 오일의 금속성분을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 두 엔진 오일의 금속성분을 비교하면, 엔진 오일 A는 엔진 오일 B보다 다양한 형태의 금속성분 첨가제가 더 포함된 엔진 오일이고, 엔진 오일 B는 청정제(Ca) 및 부식억제제(Sn)가 많이 들어있는 엔진 오일이라고 할 수 있다.

Table 7은 다른 종류의 엔진 오일에 대한 내구시험(400 hr)후 금속성분의 증가율을 나타낸 것이다. Fe, Al, Cr 등이 시간에 따라 증가가 뚜렷하고 베어링 및 베어링 합금의 주 원소인 Cu, Pb, Sn 등도 증가하는 경향을 보이고 있다. 엔진을 구성하는 재질의 구성비와 비슷한 경향을 보이는 것으로 보아 위의 결과들과 마찬가지로 시험방법과 분석이 신뢰성 있게 이루어졌다고 볼 수 있다. 엔진 오일 A의 시험결과는 Fe는 63.45 mg / kg, Al은 51.43 mg/kg의 결과를 보이고 있다. 엔진 오일 A와 B의 차이를 비교하여 보면 엔진 오일 B가 더 개선된 엔진 오일임을 알 수 있다. 여기서, 마찰면 내마모 피막 생성에 필요한 Zn의 농도를 비교하여 보면 약 3.7%, 11.0% 증가율로

Table 6 Metal components in engine oil (Unit : mg/kg)

Metal	Oil A	Oil B	Metal	Oil A	Oil B
Cr	3.31	2.36	Ca	1841.50	2449.04
Fe	4.83	4.01	Mg	699.41	89.47
Ni	4.03	2.88	Sn	0.00	2.46
Zn	979.07	853.13	Si	15.68	12.49
Al	12.14	7.85	Pb	4.20	2.91
Cu	5.67	3.11			

Table 7 Increaing value (%) of metal components in engine oil after durability test

Metal	Oil A	Oil B	Metal	Oil A	Oil B
Cr	156.1	140.1	Ca	3.4	17.0
Fe	1213.9	1182.1	Mg	7.2	9.7
Ni	11.0	5.2	Sn	767.9	200.1
Zn	3.7	11.0	Si	16.4	19.0
Al	316.1	134.9	Pb	474.5	600.0
Cu	627.1	1091.0			

증가하는 경향을 보인 것으로 보아 내마모성은 저하되지 않았고, 내마모성에 있어서도 엔진 오일 A보다 엔진 오일 B가 좋은 결과를 보였다.

3.2 엔진오일의 물성 변화 결과

3.2.1 동점도 시험 결과

Fig. 6은 다른 종류의 엔진 오일 중 엔진 오일 B에 대하여 엔진내구 시험을 실시한 후의 물성 변화 특성을 나타낸 것이다. 시험은 KS M ISO 2014 원유 및 석유 제품의 동점도 시험 방법 및 석유제품 점도 지수 계산 방법에 준용하여 시험한 것이다. 결과에서 처럼 40°C 동점도는 증가하는 경향이 뚜렷하며 약 34.4%의 증가율을 보였다. 이와 같이 100°C 동점도도 증가하는 경향을 보였으며 증가율은 약 26.5%로 40°C 보다는 증가율이 낮았다. 두 결과 모두 증가하는 경향을 보였으나 그 변화는 크지 않았다. 그리고 점도지수는 거의 일정한 경향을 보였다.

일반적으로 디젤 엔진용 엔진 오일의 40°C 동점도 변화는 신유대비 20 cSt이하로 품질기준이 되어 있으나, 본 연구의 대형 디젤엔진의 경우 결과에서 보는 것과 같이 30 cSt 증가를 보였다. 하지만, 이러한 결과는 출력 변화 결과에서도 확인할 수 있듯이

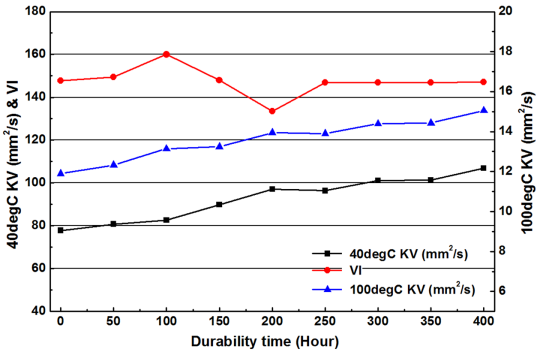

Fig. 6 VI and kinematic viscosity of 40°C and 100°C of used oil during durability test

동점도 10 cSt 증가 정도는 엔진 성능에는 큰 영향을 주지 못하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 전반적인 엔진 성능에 영향을 주지 않았지만, 기존의 다른 연구에서는 동점도 증가로 인한 시동 시 출력특성, 배출가스 특성 등이 저하되는 것으로 보고[2]된 바 있다. 향후 이 부분에 대해서는 동점도 변화량에 따른 출력 특성을 좀 더 자세하게 연구하는 것이 필요할 것 같다.

Table 8은 다른 종류의 시험 엔진 오일에 대한 40°C와 100°C 동점도 증가율 결과를 비교한 것이다. 두 결과 모두 신유대비 증가하는 경향을 보였다. 신유대비 증가율이 20 cSt 이하로 품질기준이 되어있고 엔진 오일 B의 변화율이 최대 30 cSt 정도 증가를 보이고 있어 품질기준 대비 10 cSt 증가는 하였지만, 엔진 출력 변화에서도 확인할 수 있듯이 동점도 10 cSt 증가 정도는 엔진 성능에는 큰 영향을 주지 못하고 있어, 그 변화율은 크지 않음을 알 수 있다.

Table 8 Increaing value of KV in engine oil after durability test

	Oil A	Oil B
40°C KV	18.0%	35.8%
100°C KV	13.0%	24.3%

3.2.2 전산가 시험 결과

Fig. 7은 KS ISO 6619 석유 제품 및 윤활유-중화가-전위차 적정법을 준용하여 시험이 이루어졌으며, 결과에서 볼 수 있듯이 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 신유 대비 400 시간 내구 시험 후 약 1.48 mg KOH / g 증가하였다. 윤활유 품질기준에서는 신

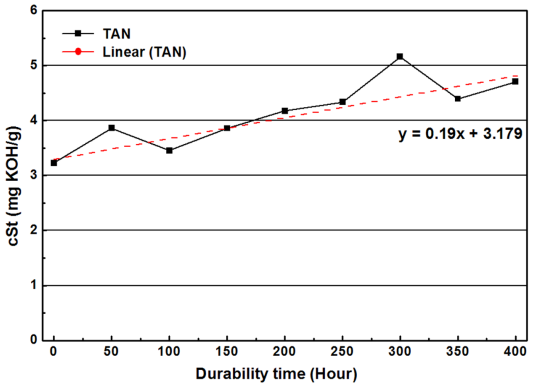

Fig. 7 TAN of used oil during durability test

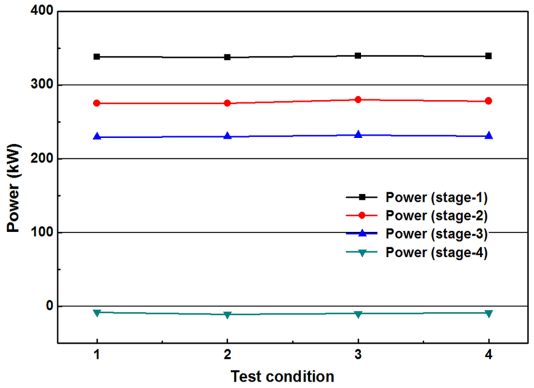

Fig. 8 The power of mode-1 during durability test

Table 9 Increaing value of TBN / TAN in engine oil after durability test

	Oil A	Oil B
TBN decrement	35.2 %	30.6 %
TAN increment	56.9 %	104.1 %

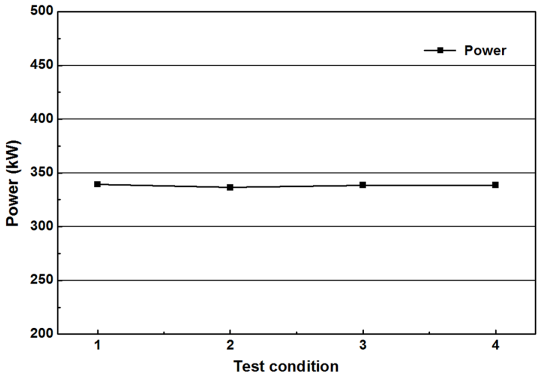

Fig. 9 The power of mode-2 during durability test

유 대비 전산가 허용범위는 3 mg KOH / g이다. 본 연구의 분석 결과가 품질기준 범위 내에 들어가고 있음을 알 수 있고, 이에 따라 엔진 특성에서도 별다른 변화가 없음을 확인할 수 있다.

Table 9는 다른 종류의 시험 엔진 오일에 대하여 측정된 전산가 결과의 증가율을 나타낸 것이다. 전체적인 결과가 증가하는 경향을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 두 엔진 오일 모두 신유 대비 전산가 허용범위는 3 mg KOH / g 이하로 측정되어 큰 변화는 없음을 확인하였다.

3.3 엔진성능 시험 결과

엔진출력 결과는 엔진 오일 B에 대하여 4개의 다른 조건의 반복으로 구성된 Mode-1의 마지막 4 단계를 각각 단계별로 비교하였다. Fig. 8은 단계별로 비교한 엔진출력 특성을 나타낸 것이다. 전체적인 출력 결과를 살펴보면 단계별로 약 1% 내외로 내구시험에 따른 출력의 변화는 없는 것으로 판단된다.

단일 조건(1800 rpm, 전부)으로 구성된 Mode -2의 경우도 Fig. 9에서 보는 거와 같이 그 변화폭이 적은 것으로 보아 출력의 변화가 없는 것으로 판단된다.

위의 결과들을 가지고 판단하여 보면 대형 디젤 엔진 내구시험에 의해 엔진 오일의 물성변화(동점도, 열화, 탄화, 불순물, 마모 등)가 있었음에도 불구하고, 이러한 변화가 엔진 성능에는 큰 영향을 주지 않았음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서의 내구시험 시간 400 시간과 엔진 부하는 실제 주행상황과 비교하여 대형차량의 10 만km에 상당하는 조건으로 엔진 오일 면에서는 가혹한 상황이었음에도 시험에 사용된 다른 종류의 엔진 오일은 충분한 내구성능 및 윤활유 특성을 가지고 있어서 이러한 결과가 도출된 것으로 생각된다.

연료 소모량, 흡입 공기량 그리고 블로바이 가스 결과는 동일 조건에서 내구시간에 따른 변화 경향을 비교하기 위해 단일 조건인 Mode-2의 결과만을 나타내었다. Fig. 10의 공연비, 연료 소모량은 4개의 Mode-2 조건에서 뚜렷한 증감의 경향을 보이지 않았으며, 전반적인 경향은 일정한 결과를 보였다.

엔진 오일 소모 메커니즘은 일반적으로 두 가지가 있는데, 첫 번째는 액체(Liquid), 증기(Vapor), 안

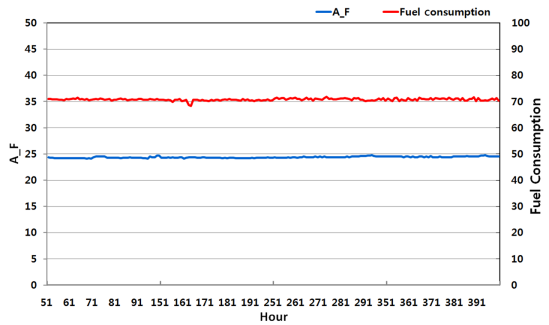

Fig. 10 A_F and fuel consumption of mode-2 during durability test

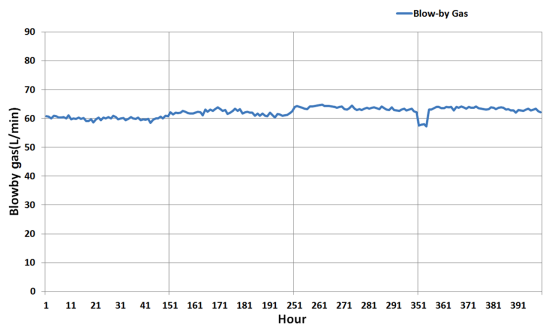

Fig. 11 Blowby gas of mode-2 during durability test

개(Fog) 등과 같은 형태로 크랭크케이스에서 오일링을 통해 연소실로 올라가 소모되는 메커니즘이고, 두 번째는 오일증발(Oil Disappearing)이라 불리는 오일 자체의 증발과 후연소(Subsequence Combustion) 등 이다.[4)]

엔진 오일 소모 메커니즘 중 두 번째 형태를 판별할 수 있고, 엔진 오일의 물성변화에 큰 영향을 주며, 피스톤과 실린더 라이너의 마모 정도를 판단할 수 있는 블로바이 가스는 Fig. 11에서 보는 거와 같이 조금 증가하였으나 그 변화폭은 매우 적은 편이다. 본 연구 결과에서도 볼 수 있듯이 시험에 사용된 다른 종류의 엔진 오일은 교환주기 10 만km 이내에서 물성변화가 나타났지만, 엔진 성능 변화에는 영향을 주고 있지 않음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

대형 디젤엔진의 환경규제를 만족시키면서 엔진 오일 교환주기 10 만km 이상(엔진내구 시간 400시간)의 내구성을 갖는 엔진 오일 개발을 위해 다른 종류의 엔진 오일을 대상으로 엔진 내구시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 마모성분인 Fe, Al, Cr과 베어링 및 베어링 합금의 주 원소인 Cu, Pb, Sn 등은 내구시험 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 뚜렷하게 보이고 있다. 하지만, 금속성분 중 Fe와 Al에 대한 엔진 사용 한계선을 만족하고 있어 다른 종류의 시험 엔진 오일이 엔진 성능에 큰 변화를 주지 못하고 있음을 알 수 있다.
2) 엔진 오일 A와 B의 차이를 비교하여 보면 엔진 오일 B가 더 개선된 엔진 오일로 판단된다. 또한 마찰면 내마모 피막 생성에 반드시 필요한 Zn의 농도를 보면 증가하는 경향을 보인 것으로 보아 내마모성은 저하되지 않았고, 내마모성에 있어서도 엔진 오일 A 보다 엔진 오일 B가 좋은 결과를 가짐을 확인하였다.
3) 엔진 내구시간 및 부하량이 증가함에 따라 엔진 오일의 전산가와 금속분 함유량이 증가하였으나, 동점도의 경우에서는 감소하는 경향을 보였다. Mode-2보다 Mode-1에서 40°C 동점도가 더 많이 감소하였고, 이러한 결과는 Mode-1에서 연료와 엔진 오일의 희석이 더 많이 이루어진 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서 사용된 대형 디젤엔진의 동점도 30 cSt 정도 증가는 엔진 성능에는 영향을 주지 않음을 알 수 있었고, TAN(전산가)에 있어서도 허용범위 보다 적게 증가하였다.
4) 엔진 출력, 블로바이 가스, 공연비는 다소 변화하였으나 그 변화폭은 무시할 수 있는 정도를 보였다. 엔진 오일의 물성 변화가 엔진 성능에 영향을 주지만, 본 연구 결과에서는 그 정도가 미미하여 나타나지 않은 것으로 판단된다. 추가적으로 엔진 내구시간을 증가하여 100 시간마다 채취한 시료의 시간에 따른 기계적 특성의 변화를 내마모성 시험을 통해 알아본다면 엔진 오일의 물성 변화가 엔진 성능에 미칠 영향을 좀 더 정확히 예상 할 수 있을 것으로 생각된다.

References

1) B. S. Anderson, “Company Perspectives in Vehicle Tribology-Volvo,” 17th Leeds-Lyon

Symposium on Tribology-vehicle Tribology, Tribology Series 18, pp.503-506, 1991.
2) W. H. Buck and J. R. Lohuis, “Lubricant Effects on Low Temperature Diesel Engine Cold Starting,” SAE 940097, 1994.
3) N. Shibuya, K. Onogawa, Y. Akasaka, O. Mochida and H. Watanabe, “Development of a Low Friction Piston with a New Flexible Skirt Structure for a 3.5-L V6 Gasoline Engine,” SAE 2002-01-0491, 2002.
4) C. De Petris, V. Giglio and G. Police, “Some Insights on Mechanism of Oil consumption,” SAE 961216, 1996.
5) S. C. Jang and K. I. Ho, “A Study of the Property Changes of Oil Used in Diesel Engine,” Transactions of KSAE, Vol.4, No.1, pp.1-15, 1996.
6) Y. J. Lee, G. C. Kim, O. S. Kwon, C. J. Koh and K. S. Shim, “Study on the Automotive Engine Oil Degradation with Increased Trip Length,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.353-359, 1999.
7) T. Park and B. Song, “An Experimental Study of Characteristic Variation of Diluted Oil by Diesel Fuel and Effects of Diluted Oil on Engine Components,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.254-259, 2004.
8) D. Choi, S. Eom, Y. Park, J. Lee and G. Yong, “ Effect of Blow-by Gas Ventilation System on Degradation of Engine Oil,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.499-504, 2004.
9) K. Jeon and S. Kim, “A Study on Engine Wear by Lubricants Aging Characteristics,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.605-611, 2011.
10) KS M 2014, Testing Methods for Kinematic Viscosity and Calculating Method for Viscosity Index of Crude Oil and Petroleum Products, 2009.
11) KS M ISO 2014, Petroleum Products and Lubricants - Neutralization Number - Potentiometric Titration Method, 2013.
12) ISO/TC 108/SC 5N 157, Mechanical Vibration, Shock and Condition Monitoring, 2000.