

대형디젤엔진의 오일등급에 따른 영향 비교 평가 (The Effects of Oil Grade on Heavy Duty Diesel Engine)

유종수, 이승오, 이동인
대우종합기계(주) 엔진연구개발실

1. 서 론

최근의 공해 규제 및 폐기물 규제 강화, 에너지 자원 문제 등의 환경 변화는 자동차용 디젤 엔진의 기술 개발과 함께 엔진 오일 분야도 획기적인 변화를 요구하고 있다.

소비자의 입장에서는 오일 소비가 적고 보다 긴 오일교환주기가 필요하며, 차량 및 엔진 제작사의 입장에서는 공해 규제 대응 및 경쟁력 강화 확보를 위하여 연료와 오일 소비 저감, 오일 교환주기 연장 개발 및 내구신뢰성 증대 개발이 절실히 요구되어, 엔진과 오일의 적합성 개발이 매우 중요한 항목으로 대두되고 있다.

이에 따라 최근 오일의 규격이 고급화되어 가고 있으며, 국내에서도 API CG4, CH4 및 ACEA E2, E3급등 고품질 오일이 출시되고 있으나, 이러한 신제품 규격의 오일과 국내에서 개발 생산되는 엔진과의 적합성에 대한 개발 평가는 아직 미흡한 실정이며, 대부분의 오일 제품은 유럽 및 미국의 오일 규격 제품을 그대로 들여와 사용하고 있다.

당사에서는 한국 2000년 규제 대응 신기종 엔진 개발과정에서 전술한 오일과 엔진의 적합성 확보가 매우 중요함을 인식하여 당사의 엔진 특성에 적합한 오일 규격 및 제품을 선정하고자 하였으며, 본 논문에서는 개발과정 중에서 평가된 오일 등급 및 규격에 따른 엔진 시험 평가 결과와 각 오일의 열화 특성을 비교 검토하였다.

2. 실험방법

2-1. 오일등급별 특성

규격에 따른 적용오일의 등급별 오일특성은 상이하며, 소비자 요구에 맞게 점차 품질이 개선되고 있다. 등급 및 특성별 비교 내역을 Table 1과 2에 나타냈다.

선정된 오일은 최근 유럽의 EURO-II 배출가스 규제(한국의 2000년 규제와 동등) 대응 엔진에 적용되고 있는 오일 등급을 기준으로 하여, ACEA 규격의 E2 및 E3급, 그리고 지금까지 국내의 오일 규격의 기준으로 되어 왔던 API규격의 CG4 및 CH4 급 오일이며, 시료 D의 경우는 점도 규격이 10W40으로 다른 3종과 상이하다. Table 2. 에 각 시료의 오일특성을 나타냈다.

Table 1. 오일등급별 비교

구분	A	B	C	D
API	E2	E2	E3	E3
ACEA	CG4	CH4	CH4	CH4
SAE규격	15W40	15W40	15W40	10W40

Table 2. 오일특성별 비교

Test Items	Unit	A	B	C	D
비중 15/4℃	-	0.8787	0.8760	0.8775	0.8597
색(ASTM)	-	L4.5	L3.5	3.5	L3.0
점도 40℃	cSt	111.3	102.8	103.4	93.54
점도 100℃	cSt	14.90	14.35	14.27	14.11
점도지수	-	139	143	141	155
전산가	mgKOH/g	2.34	2.40	2.51	2.72
전염기가	mgKOH/g	8.69	9.12	10.51	9.85
인화점	℃	232	232	231	222
유동점	℃	-32	-33	-33	-35
Noack 증발감량	wt%	12.28	12.25	12.21	7.80

2-2. 엔진제원

오일 규격별 비교 평가에 사용된 엔진은 전자제어방식의 차세대 대형 디젤 엔진으로 EURO-II & III 배기가스 규제에 대응하는 엔진이며, 주요 제원은 Table 3과 같다.

Table 3. 주요 엔진 제원

구분	제원
엔진출력	Rated 2000 rpm, 440 PS
엔진형식	6 Cylinder, BxS = 134x151 mm
분사방식	DI [EUI, ECU Control]
구동방식	4 Valve, Over Head Cam
배기량	12.8 Liter
오일용량	Total 40 liter, Pan 35 liter

2-3. 엔진시험모드

오일 비교 평가에 사용된 시험모드는 주로 다음과 같은 2가지를 적용하였다.

2-3-1. 정격연속 내구운전

정격조건에서의 연속 운전 내구 시험이며, 주로 피스톤, 라이너 등의 보링파트 내구성 검증에 사용되는 내구 시험이다. 오일 비교 평가는 각 250시간을 기준으로 진행하였다.

2-3-2. LONG-RUN 내구운전

본 시험은 엔진의 종합 내구성 검증이 주된 목적이며, Table 4와 같은 Cycle로 구성되고, 500시간을 기준으로 진행하였다.

Table 4. Long Run 시험모드

Mode	Type	Speed (%)	Load (%)	Time (min)
1	Low IDLE	-	0	5
2	Max. Torque	60	100	25
3	Max. Power	100	100	25
4	High IDLE	110	0	5

2-4. 실험진행

오일등급별 비교는 정격연속 모드에서 250시간 운전을 기준으로 하였고, 점도규격별 비교는 LONG-RUN 500시간 내구시험을 통하여 비교하였다.

분석대상은 내구시험중 주요 오일 특성치 변화와 엔진의 성능변화, 연료 및 오일소비 추이, 시험전후 단품측정 후 마모특성 변화

추이 및 부품이상 여부 확인과 관찰을 비교 수행하였다.

오일보충 및 샘플링은 50시간마다 일정량을 정하여 실시하였다.

Table 5에는 일반적인 디젤오일 사용유 관리 기준을 나타내었으며, 본 실험 평가에서는 이 기준을 토대로 오일 열화도 및 사용 관리 기준 적합성을 평가하였다.

비교분석은 관리기준에 준하여, 오일사용 시간에 따른 오일열화도 특성을 항목별 변화추이로 나타내었으며, 하기 관리기준에 만족하는지 여부를 확인하였다.

Table 5. 디젤엔진 오일 사용유 관리기준

시험항목	Unit	시험방법	관리기준
점도	cSt	ASTM D445	±20%
점도지수	-	ASTM D2270	-20% ↑
전산가	mgKOH/g	ASTM D974	+2.0 ↓
전염기가	mgKOH/g	ASTM D664	-50% ↑
수분	wt%	ASTM D1533	2000 ↓
펜탄불용분	wt%	ASTM D893	1.5 ↓
벤젠불용분	wt%	ASTM D893	0.7 ↓
연료회석량	wt%	ASTM D2161	2.0 ↓
Si	ppm	ICP	20 ↓
Al, Cu, Pb	ppm	ICP	40 ↓
Fe	ppm	ICP	100 ↓

3. 실험결과 및 고찰

3-1 오일등급별 비교

Table 1에 정의한 A, B, C 오일 등급별 오일열화도 추이를 정격 연속운전 250시간을 기준으로 상호 비교 분석하였다.

A와 B오일은 API규격의 CG4와 CH4의 비교이며, B와 C는 ACEA규격의 E2급과 E3급의 비교이다.

3-1-1. 점도

초기 50시간 운전까지 일시적인 감소가 발생하다가 이후에 서서히 증가하는 경향을 보였다(Fig.1). 등급별 일정한 차이를 보이

고 있으나, 3종의 오일 모두 관리기준을 만족하고 있으며, 오일 규격에 따라 초기 점도의 차이를 보이고 있지만, 점도 변화정도는 유사한 경향을 보이고 있다.

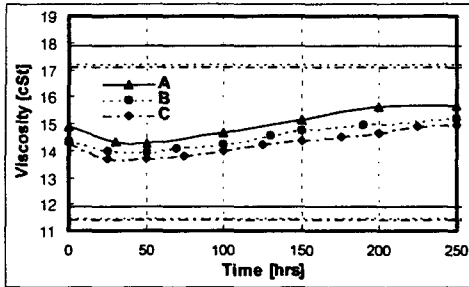


Fig. 1. 오일등급별 점도 변화추이

3-1-2. 전산가

고온에서 오일분자와 산소의 화학작용으로 생성된 산화물질이 전산가 및 점도를 증가시키고 있으며, Fig. 2에 전산가의 변화추이를 나타내었다.

B와 C오일의 변화추이는 유사하나 A오일의 증가가 상대적으로 크며, 200시간 이후 관리기준에 근접하였다.(Fig. 2) 이로부터 전산가는 ACEA의 E2와 E3 차이보다는 API CG4와 CH4 사이의 차이가 크며, CH4 규격이 상대적으로 안정적임을 알 수 있다.

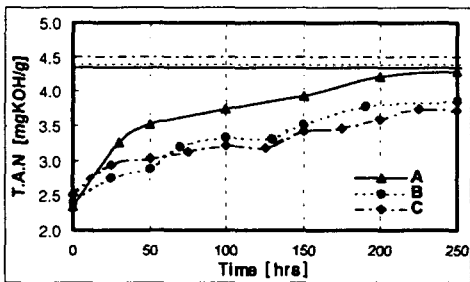


Fig. 2. 오일등급별 전산가 변화추이

3-1-3. 전염기가

초기에 연소생성물 및 오일열화에 의해 발생된 산을 중화시키거나 슬러지에 의한 점도증가를 방지하므로 감소하는 경향을 보이는 것이 특징이며, 비교된 오일등급에서 유사한 기울기의 감소를 보였다.(Fig. 3)

그러나 상대적으로 CG4급 오일의 전염기가 수준이 전반적으로 낮음을 알 수 있다.

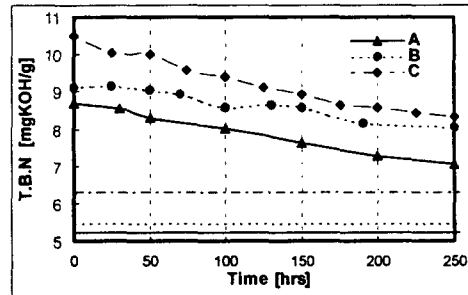


Fig. 3. 오일등급별 전염기가 변화추이

3-1-4. 점도지수

Fig. 4에 점도 지수의 변화를 나타내었는데, 초기 50시간 운전까지 일시적인 감소를 보이다가 그 이후에는 일정한 상태를 유지하고 있으며, 오일등급에 따른 차이가 없고 모두 관리기준을 만족하고 있다.

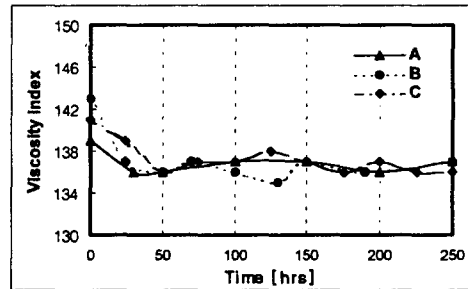


Fig. 4. 오일등급별 점도지수 변화추이

3-1-5. 펜탄불용분

오일 교환주기를 결정하는 주된 인자로서 주요 엔진부품의 내마모성을 증가시키는 요인으로 작용하고 있다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 100시간 이후로는 급속히 그 양이 누적되어 증가하는 경향을 보이고 있으며, 3종의 오일 모두 관리기준 이하의 수준을 나타냈다.

E3급의 C 오일의 증가 경향이 상대적으로 적게 나타나는 가장 양호한 결과를 보였다.

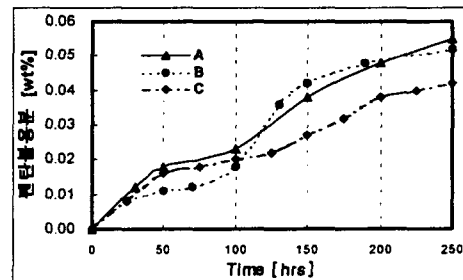


Fig. 5. 오일등급별 펜탄불용분 변화추이

3-1-6. Fe 성분

엔진부품 중 Liner, Piston Ring & Pin 등에서 마모의 주된 성분을 차지하며, 비교적 상대적으로 많은 양을 차지하는 인자이다.

Fig. 6의 결과로부터 금속성분 Fe의 성분 변화량은 A > B > C의 순서로 나타났고, 이로부터 E3급이 E2급 보다, CH4급이 CG4급 보다 엔진의 주요 부품 내마모성이 우수함을 알 수 있다. 또한 Fe 성분은 운전 시간에 관계없이 일정 수준의 마모가 지속됨을 알 수 있다.

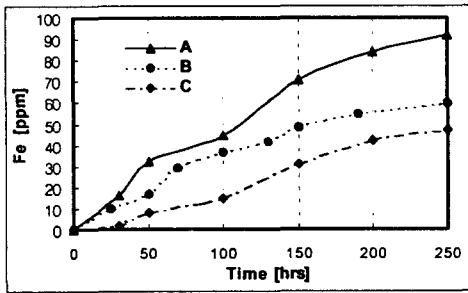


Fig. 6. 오일등급별 Fe 성분 변화추이

3-1-7. Cu 성분

엔진부품중 대부분 부품에서 Bush 계통의 주요 재질을 이루는 성분이다.

Fig. 7에서 Fe와 마찬가지로 성분 변화량은 A > B > C의 순으로 나타났고, 그 변화 경향은 초기에 급증된 이후로 증가량이 크게 둔화되는 모습을 보였다. 따라서 Bush 류는 엔진에서 대부분 초기에 마모가 심함을 알 수 있고, 오일 규격별로는 E3급과 CH4급이 상대적으로 내마모성이 우수하게 나타나는 결과를 보였다.

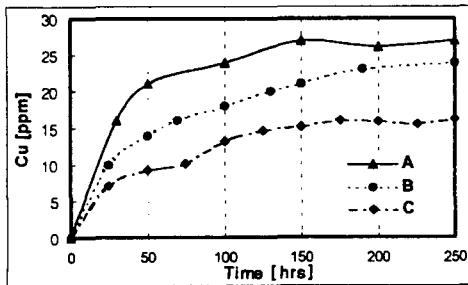


Fig. 7. 오일등급별 Cu 성분 변화추이

3-1-8. Al 성분

피스톤을 구성하는 성분으로 100시간 이후에 급격히 증가하는 경향을 보이지만 상대적으로 증가량은 적은 수준이다.(Fig. 8) 규격별로는 E3/CH4급이 E2/CG4보다 적게 나타났고, 앞서의 Fe, Cu와는 달리 E2/CH4급에서 가장 높게 나타났으나, 그 차이는 미미하다.

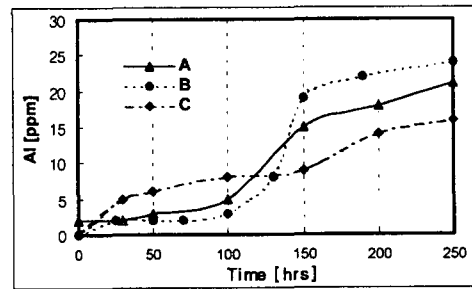


Fig. 8. 오일등급별 Al 성분 변화추이

3-2. 점도규격별 비교

디젤엔진 오일의 점도 규격은 중대형 엔진의 경우 15W40 규격이 주로 사용되고 있으며, 10W40 규격의 경우 사용 부하 조건이 상대적으로 낮은 경우에 일부 적용하여 사용되고 있다.

Heavy-Duty 조건에서 사용할 경우에 점도의 안정성 및 산화안정성 악화 등의 이유로 대부분의 제작사가 사용을 제한하고 있으나 상기의 문제가 오일 사용기간 중 문제되지 않는 수준이라면, 저온시의 점도 감소로 인한 주행 연비의 향상이 기대되고 특히 배기가스 규제 대응으로 인한 연비 악화를 최소화시킬 수 있을 것이다.

비교 평가는 동일 규격의 오일을 선정하였으며(ACEA E3, API CH4), 각 오일의 제작사가 다르고 점도 특성을 제외한 오일 특성이 상이한 문제점은 있지만 본 평가목적이 오일 자체의 비교보다는 엔진에의 영향 효과에 주목적을 두고 비교 실시하였다.

시험모드는 종합 내구시험인 LONG-RUN 내구 시험 모드를 사용하여 500시간 운전 조건에서 오일교환 없이 비교 평가하였다.

3-2-1. 엔진성능비교

Table 6에 시험전후의 출력, 연비 및 배연의 변화추이를 비교하였다.

D규격(10W40) 사용시가 C규격(15W40) 사용 시에 비해 출력은 1.4%, 연비 0.5% 정도 변화가 적게 나타났으며, 두 경우 모두 상대적으로 많았지만 성능 변화 정도는 허용오차 범위 내의 적정 수준이다.

오일소모량의 경우, C오일이 상대적으로 약 10% 정도 양호한 결과를 보여 주었다.

따라서 10W40 규격이 15W40 규격에 비하여 연비 측면에서는 우세하고, 오일 소모 측면에서는 불리한 것으로 사료된다.

Table 6. 시험전후 엔진성능 변화 추이 (변화량/초기성능, %)

ITEMS	UNIT	C [%]	D [%]
Power	PS	-2.0	-0.6
Torque	kam	-2.0	-0.6
BSFC	g/psh	0.8	0.3
Smoke	BSU	33.3	33.3
LOC	g/PSh	9.1	20.1

3-2-2. 오일특성비교

시험전후 각 오일의 특성 변화를 Table 7에 나타내었다. 대부분의 인자는 관리기준에 만족하지만, 오일 열화에 의한 전산가의 수준은 비교적 높게 측정되었으며, D 규격에서 Pb, Fe, 펜탄불용성분이 상대적으로 다소 많았고 C 규격에서는 Soot 증가에 의한 첨가제 소진 및 점도 증가가 상대적으로 많은 경향을 보였다.

Table 7. 오일등급별 오일인자 변화

측정항목 (Unit)	C			D		
	전	후	%	전	후	%
Viscosity (cSt) 100°C	14.27	16.41	15.0	14.6	15.16	3.8
T.A.N (mgKOH/g)	2.51	3.63	44.6	2.73	4.56	67
T.B.N (mgKOH/g)	10.51	7.57	-28	10.23	7.82	-23.6
Viscosity index	141	135	-4.3	156	142	-9.0
Soot (wt%)	0	1.86	-	0	1.21	-
Pentane(wt%)	0	0.15	-	0	0.2	-
Fe (ppm)	0	102	-	0	98	-
Cu (ppm)	0	14	-	0	13	-
Pb (ppm)	0	102	-	0	117	-

오일교환 없이 500 시간 사용한 오일상태는 색깔 및 악취 정도가 양호하였으며, 금속성분 중 베어링 표면의 대부분의 성분을 구성하는 Pb 성분의 관리기준 초과 이외에 오일특성이 전반적으로 크게 변화하지 않는 안정적인 수준으로 평가되었다.

1) 점도

오일의 점도 변화는 C 오일의 점도 상승이 보다 높게 나타났으나, (Fig. 9) 점도지수 (Viscosity Index)는 오히려 D 오일의 감소가 크게 나타났다. (Fig. 10)

점도 변화의 차이는 시험 전후의 출력과 연비 악화에 영향을 준 것으로 판단되며, 이는 점도 규격의 차이보다는 비교 오일의 규격은 동일하지만 오일의 첨가제 등 특성이 서로 상이하기 때문으로 사료된다.

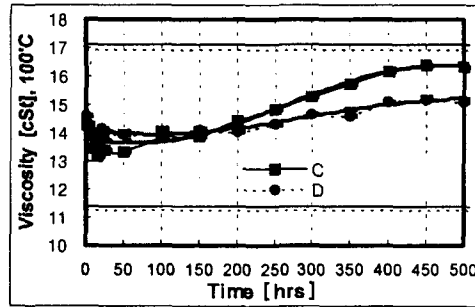


Fig. 9. 사용시간에 따른 점도 변화

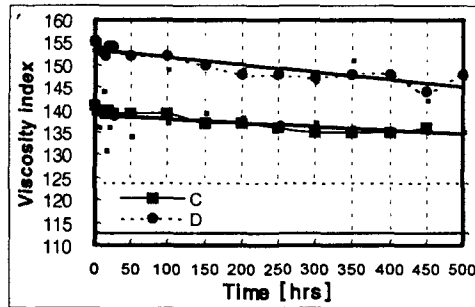


Fig. 10. 시간에 따른 점도지수 변화

2) 전산가

두 오일 모두 초기 50시간까지 전산가의 급격한 증가가 두드러졌으며, (Fig. 11) 이후에도 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히 D오일의 경우 500시간 이후에 관리기준 초과가 예상되나, 엔진 내구 500시간은 실차 주행 거리의 약 12만 km 이상에 상당하므로 사용에 문제되는 수준은 아니다.

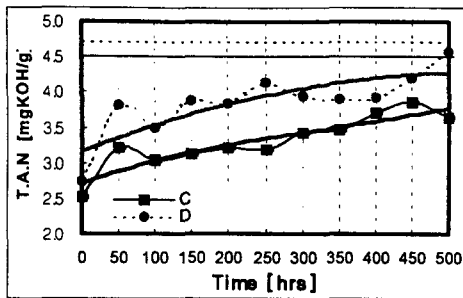


Fig. 11. 시간에 따른 전산가 변화

3) 전염기가

전염기가는 사용시간에 따라 감소하는 경향을 보이며(Fig.12), C의 감소 수준이 다소 높게 나타났으나 관리기준 범위 내에 있다.

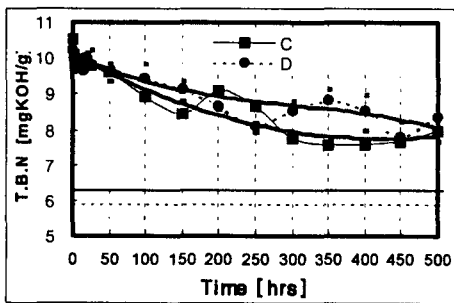


Fig. 12. 시간에 따른 전염기가 변화

4) Soot & 펜탄불용성분

펜탄불용성분은 약 400 시간까지는 거의 변화가 없다가 이후 급격히 증가하는 경향으로 나타났으나, Soot의 경우는 시간에 따라 지속적인 증가 추세를 보였다.(Fig. 13)

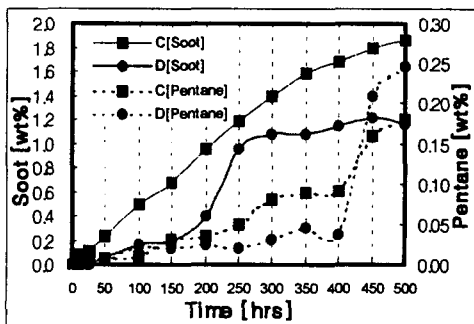


Fig. 13. Soot & 펜탄불용성분 변화

오일에 따른 차이는 Soot의 경우 일부 증가 경향에 차이가 있으나, 이 또한 점도 규격의 차이보다는 오일 자체의 특성 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 전체적으로는 Soot는 C 오일이, 펜탄불용분은 D 오일의 열화가 크게 나타났다.

3-2-3. 금속성분량

오일 내 금속성분은 각 엔진구성부품의 마모에 의해 발생되어진 것이므로 오일필터에 의해 걸러진 것을 제외하고는 오일 내에 누적 분포된 것으로 추정되어 진다.

1) Cu 성분

두 규격의 오일에서 측정된 Cu성분은 꾸준히 증가하기는 하지만, 그 수치가 관리기준 이하이며 변화량도 크지 않았다.(Fig.14)

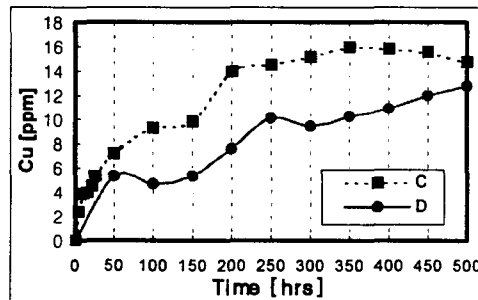


Fig. 14. Cu 성분 변화추이 비교

2) Fe 성분

오일을 사용함에 따라 증가하는 경향을 보였다.(Fig.15) C의 경우는 선형적으로 꾸준히 증가하는 경향을 보였고, D의 경우는 300 시간 이후로 가파르게 증가하다가 안정화되는 경향으로 나타났다.

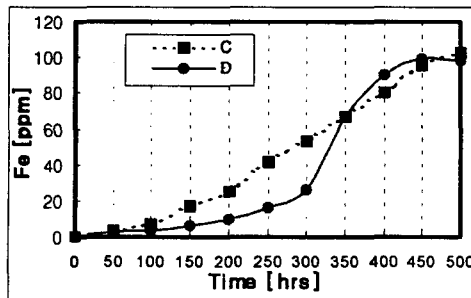


Fig. 15. Fe 성분 변화추이 비교

3) Pb 성분

전체적으로 베어링 및 와셔류의 표면층을 이루는 주성분으로 Fe와 함께 상대적으로 다른 금속성분에 비해 높은 수치로 나타났으나, 두 오일간의 차이는 없는 것으로 판단된다.(Fig.16)

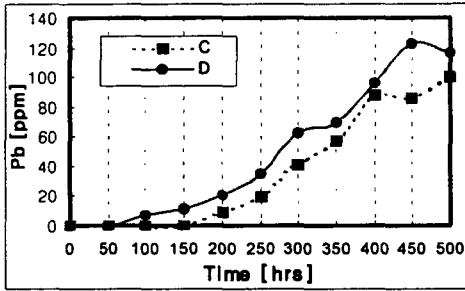


Fig. 16. Pb 성분 변화추이 비교

3-2-4. 마모특성비교

Table 8에 주요 부품의 마모 변화량을 비교하였다. 표 내의 결과 수치는 D 오일의 마모량을 기준으로(100%) 표시하였다.

베어링의 경우 주요 베어링류 및 와셔류의 평균 마모량을 무게로 측정된 것으로써 D오일 사용시가 마모량이 크게 나타났으며 이는 오일내의 Pb 성분 변화량과 일치함을 알 수 있다.

Liner, Con-rod, Piston Pin 등의 경우는 주로 Fe 성분이 마모와 상관성이 높은 부품들이며, 부품에 따라 일반적으로 차이는 있으나, C 오일의 경우가 상대적으로 마모가 크게 나타났고, 이것은 Fig. 15에서 나타났듯이 오일 성분 중의 Fe 함유량이 일부 높은 결과로 나타난 것으로 사료된다. 그러나 마모 수준 자체는 일반적으로 엔진의 내구 사용 한계범위보다 매우 낮은 수준이다.

Table 8. 오일에 따른 부품 마모 비교

ITEMS	C	D
	Final	Final
Bearing weight	68	100
Liner	153	100
Con-rod	263	100
Piston pin	50	100
Rocker arm EUI.	67	100
Rocker arm Exhaust	128	100
Rocker arm Intake	90	100
Gear	98	100

4. 결 론

배출가스 규제 강화 및 소비자의 오일 교환주기 연장 요구 증대에 따라 엔진 개발시 적정 오일 규격 및 평가 수행에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있으며, 이와 같은 추세에 따라 당사에서는 신기종 엔진 개발 과정에서 오일의 규격에 따른 비교 평가 시험을 수행하였다.

선정된 4종의 오일 모두 종합적으로는 엔진에 적합한 것으로 나타났으나, 오일 규격 고급화에 따라 오일의 열화 내구성이 증대됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 구분한, 디젤엔진오일의 국제성능규격 추세와 올바른 선택요령, KSTLE, Vol-11, 1995
2. 강중모, 디젤 엔진오일의 최적사용 한계 설정에 관한 연구, 한국우주과학연구소, 한국석유품질검사소, P1-76, 1994
3. 자동차용 엔진오일의 신뢰성과 오일의 교환거리, 기술자료, 윤희관리, Vol.13. No2.
4. 디젤 엔진 피스톤 평가법, JPI-5S-15-94
5. CRC Nb 7, 13, 14, 18 Piston Rating Method