

ILSAC GF-2 급 가솔린엔진유의 성능

(주)유공 대덕기술원 문우식, 이종훈, 권완섭

1. 서론

자동차에 요구되는 주요한 기술과제 중에서 최우선으로 해결해야 될 문제는 환경규제와 관련된 대응 방안을 강구하는 것이라고 말할 수 있다. 지속적으로 강화되고 있는 환경규제와 주행성, 안전성, 연비, 매인터넌스 등과 관련된 소비자의 요구를 만족시키기 위하여 엔진의 고성능화가 추구하고 있다.

최근 개발된 가솔린엔진에 채용되고 있는 기술로는 연비향상을 위하여 기계손실의 저감과 경량화 등과 같은 기본성능의 향상이 가장 많으며 가변밸브시스템 등의 신기구의 적용도 다수 볼 수 있다. 위와 더불어 희박연소 엔진을 이어받을 직접분사식(DI) 가솔린엔진이 개발되어 일본에서는 일부 시판되고 있다. 이와 같은 노력들로 혼합기의 층상연소를 통하여 정상주행시의 연료소비율이 약 25% 향상되고, 출력성능도 약 10% 향상된다고 보고하고 있다[1].

그러나 이러한 엔진등 하드웨어로부터의 대응책만으로는 한계가 있기 때문에 엔진유 측면에서 배기규제, 연비향상, 장수명화 및 고성능화 등과 관련되는 성능개선이 지속적으로 이루어지고 있다.

위 엔진의 고성능을 유지시키고 오일의 장수명화와 연비향상에 대한 요구를 만족시키기 위해서는 엔진유의 기본성능인 열산화안정성, 내질화성, 청정분산성, 마모방지성 등의 향상과 함께 오일소모 감소, 저마찰화, 저점도화, 고점도지수화 등의 성능개선이 요구된다.

가솔린엔진유에 요구되는 주요성능을 Table 1에 나타내었다.

2. 가솔린엔진유의 규격동향

과거부터 엔진유의 공식적인 규격은 API(미국석유협회), SAE(미국자동차기술회), ASTM(미국재료시험협회)가 제안 및 제정을 수행해왔다. 그후 미국 규격만

으로는 여타 자동차사의 요구가 반영되지 못하는 측면과 시험법이 시장의 요구를 충분히 수용하지 못한다는 불만 등에 기인하여 세계공통의 규격화가 검토되었다.

그 대표적인 기구가 ILSAC(International Lubricant Standardization and Approval Committee)인데, AAMA(미국자동차공업회)와 JAMA(일본자동차공업회)로 구성되어 있다. ILSAC에서는 국제규격화를 추진하여 미일 자동차사에 의한 최저한의 품질요구 규격을 설정하였다.

미국의 규격 및 시험법의 규격 결정에는 이미 기술된 기관 이외에도, EMA (Engine Manufacturers Association), ILMA (Independent Lubricant Manufacturers Association), CMA (Chemicals Manufacturers Association) 등과 기타 개별기업들도 영향을 주고 있다. 현재 엔진유의 인증은 API의 EOLCS (Engine Oil Licensing and Certification System)이라는 제도에 따라 이루어지고 있으며, 그 주요내용으로는 CMA Code of Practice의 적용과 점도등급의 Read-Across 및 기유의 Interchange 등에 관한 규정 그리고 물성 및벤치시험의 규정 등을 포함하고 있다[2].

Table 1. 가솔린엔진유 요구성능

조건	요구성능
고온,고압	열,산화,질화안정성 청정성 저휘발성
연비	높은 고온고전단점도 낮은 점도와 마찰 높은 점도지수
배기가스 및 배기가스 후처리장치와의 상용성	낮은 휘발성과 인함량 열안전성과 마모방지성

GF-2, SJ 규격에서는 일반성능의 향상과 함께 환경 문제 및 자원절감을 배경으로 한 배기가스대책(NMOG, 저온배기, 100,000 mile 촉매내구), 연비향상(CAFE, CO2) 등과 관련되어 GF-1, SH 규격보다 가혹한 기준과 평가항목이 설정되어 있다[3,4].

Table 2, 3.에는 ILSAC GF-1,2 및 API SH, SJ 급에 규정된 요구성능과 관련하여 엔진시험과 벤치시험 등의 평가방법과 기준을 각각 나타내었다. 다음에는 주요성능개선 내용을 각각 항목별로 소개한다.

(1) 연비성능평가 (Seq. VI, Seq. VI A)

GF-1 과 GF-2 의 주요한 차이점은 연비성능을 평가하는 시험법이 Seq. VI에서 Seq. VI A 로 변경된 것이다. 과거의 미끄럼형인 록커암 팔로워 장착엔진(Buick 3.8 L, V6)에서 저마찰형인 구름 팔로워 및 저장력링을 장착한 포드엔진(4.6 L, V8)으로 바뀌어, 비교적 엔진의 마찰손실이 감소되어 있다. 따라서 엔진유로부터의 연비저감효과도 HTHS 점도로 대표되는 점도특성의 적절한 설정이 가정 중요하며 추가적으로 첨가제로부터의 연비절감 효과도 고려할 필요가 있다

Table 2. 가솔린엔진유의 요구 엔진시험

요구성능	SH	SJ	GF-1	GF-2
Bearing Corrosion(CRL Single Cyl)	L-38	L-38	L-38	L-38
Rust & Corrosion(Oldsmo, V-8, '76)	IID	IID	IID	IID
High Temp. Oxid. & Wear(Buick, V-6, '86)	III E	III E	III E	III E
Low Temp. Dis. & Wear(Ford OHC-4)	VE	VE	VE	VE
Fuel Economy			VI	VIA

Table 3. 가솔린엔진유 Bench 시험

요구성능	SH	SJ	GF-1	GF-2
고온고전단점도(D4683),mP/s	5W30 2.9	GF-2 와 동일 기타 점도등급은 J300 을 따름	SAE J300	0W20 2.6
	10W30 2.9			5W20 2.6
	15W40 3.7			5WXX 2.9
	기타 J300			10WXX 2.9
Sim Distil.(D2887), %	5W30 20		0WXX 20	
	10W30 17		5WXX 20	17
	15W40 15		10WXX 17	
Evap.Loss(CEC-L-40-87), %	5W30 20		0WXX 25	
	10W30 17	22	5WXX 25	22
	15W40 15		10WXX 20	
Filterability(GM9099P)	50	50	50	50
Phosphorous(D5185)	0.12	0.12	0.10	0.10
Gelation Index	-	12	-	12
TEOST(Chrysler M33).mg	-	60		60
Foam(D892) @150 °C	Report	200/50	Report	200/50
MRV 0W	30000 @-35 °C	60000 @-40 °C	30000 @-35 °C	60000 @-40 °C
	30000 @-30 °C	60000 @-35 °C	30000 @-30 °C	60000 @-35 °C
	30000 @-25 °C	60000 @-30 °C	30000 @-25 °C	60000 @-30 °C

(2) 인함유량

4 사이클 자동차용 엔진유에는 ZDDP(Zinc Dialkyl-dithiophosphate)라는 인을 함유한 마모방지제 겸 산화방지제가 통상 사용된다. ZDDP는 다기능첨가제로 우수한 성능을 가지지만, 엔진유중 인의 배기정확용 촉매 및 산소센서에의 피독성 문제가 제기되고 있다. 때문에, GF-1에서는 유중의 인함유량을 0.12 mass%로 규제되어 있었으나 GF-2에서는 0.10 mass%로 더욱 규제가 강화되었다.

(3) 고온퇴적물

'88년에 제정되었던 API SG 규격에 요구되었던 Cat.G2 (Caterpillar, 단기통, 2.2 L) 디젤엔진유 시험법이 반복성이 나빠 ILSAC GF-1, API SH의 제정에서는 규격에서 제외된 바가 있다.

그러나, 최근의 고효율화, 고성능화 그리고 배기가스규제, 연비요구에 적합한 엔진에서는 운전온도가 더욱 높아지게 되고 이에 따른 엔진퇴적물의 증가가 발생되기 쉽기 때문에, 고온퇴적물을 억제하는 성능을 평가하는 법으로 크라이슬러에서 개발한 TEOST (Thermo-oxidation Engine Oil Simulation Test)법이 도입되었다[5].

(4) 증발특성

증발특성으로서 GF-1에서는 5W/30 오일의 경우 NOACK 법 (CEC L-40-T-87)으로 max 25%가 요구되었는데, GF-2에서는 22%로 기준이 강화되었다. 이 규격은 오일소비량과 엔진유의 증발특성 사이에는 상관관계가 있으며, 오일소모량의 억제는 배기가스의 정화에 공헌한다는 것과 소비량의 감소가 직접 소비자에게 이익이 된다는 점에서 설정되었다.

(5) Gelation Index

저온에서의 엔진 시동성을 평가하는 목적으로 Scanning Brookfield Viscosity (ASTM D5133)가 GF-2에 도입되었는데, 이는 현행의 MRV (Mini-Rotary Viscosimeter, ASTM D4684)점도에 추가하여 저온시동시의 Air Binding 방지성을 더욱 정확히 예측하는 방법으로서 채용되었다.

(6) 소포성

소포성의 평가에는 ASTM D892가 규정되어 있으나 고온에서의 소포성 평가를 위하여 GF-2에서는 150℃의 Seq.IV도 추가로 기준치를 설정하고 있다.

(7) API SH, SJ와 ILSAC GF-1, GF-2의 차이점

GF-1, GF-2에서는 연비성능이 포함되나 SH, SJ에는 포함되지 않는다. SH에서는 EC-II(Energy Conserving II)라는 연비성능을 부여하면 GF-1과 같은 것이된다. 반면 SJ에서는 저온점도 등급 (0W/20, 5W/20, 5W/30, 10W/30)에 대하여 GF-2와 동일한 내용이다. 따라서 이들 점도 등급에서는 SJ와 SH의 차이는 GF-2와 GF-1의 차이와 동일하다.

여타의 점도등급에서는 인함유량의 제한, 증발손실, Gelation Index는 요구되지 않으며, 고온퇴적물과 고온소포성은 GF-2와 동일하게 포함된다.

(8) 향후 동향: 차기의 규격인 ILSAC GF-3에서는 JASO M328-95에 규정된 KA24E 동변계마모시험엔진이 예정되어 있어 미일간의 규격공통화가 더욱 진전될 것으로 보인다. 또한, 배기가스촉매장치에의 대응, 배기가스의 저감, 연비향상, 장수명화 등의 요구를 반영한 규격이 강화 및 포함될 것으로 보인다.

3. 시험

ILSAC GF-1(API SH)와 ILSAC GF-2(API SJ) 급 가솔린엔진유의 성능을 비교하기 위하여 각각의 성능첨가제를 선정하여 SAE 5W30 점도 등급에 맞게 윤활유를 배합하여 위에서 기술한 bench 시험과 엔진시험을 실시하였다. 또한 위 두 등급의 윤활유에 대한 실차시험을 실시하여 산화정도와 마모정도를 비교하였다.

3.1 시료유

1) 기유 : 점도가 다른 2종의 VHVI 기유(VI=120 이상)[6]를 혼합하여 사용하였으며 SAE 5W30의 저온과 고온점도를 만족시키기 위하여 적당한 비율로 혼합하였다.

2) 성능첨가제 : 각각 GF-1과 GF-2 성능을 갖는첨가제를 사용하였다.

3) VII : 저온과 고온점도를 만족시키기 위하여 적당한 양을 첨가하였다.

4) PPD : 유동점을 -35℃ 이하로 하기 위하여 같은 양만큼 첨가하였다.

3.2 Bench 시험 및 엔진시험결과

(1) Bench 시험결과

위의 두 등급의 윤활유에 대한 bench 시험결과를 다음의 Table 4에 나타내었다.

Bench 시험결과를 살펴보면 성능들이 거의 비슷하게 나타나고 있으나 phosphorous 값이 0.095 wt%로 낮아진 것을 볼 수 있다.

Table 4. Bench 시험결과

	GF-1	GF-2	규격
100 °C 점도, cSt	10.57	10.82	9.3-12.5
CCS 점도 @-25 °C, cP	3200	3300	max3500
MRV 점도 @-35 °C, cP	28540	25450	max60000
HTHS 점도 @150 °C, cP	3.02	3.01	min 2.9
Evap. Loss @250 °C, %	10.6	10.9	max 22*
Filterability, %	16.3	30.3	max 50
Phosphorous, wt%	0.114	0.095	max 0.10**
Gelation Index	11	4	max 12
TEOST, mg	48.5	41.4	max 60
Foam @ 150 °C	90/50	90/0	max 200/50***

* ILSAC GF-1의 경우는 max 25

** ILSAC GF-1의 경우는 max 0.12

*** ILSAC GF-1에서는 규격이 없음.

2) 엔진시험결과

위 두 등급의 윤활유에 대한 규격엔진시험결과를 다음의 Table 5. 에 나타내었다. GF-2 제품의 경우 phosphorous 규제에 따라 ZnDDP 첨가량을 줄였으나 비금속 계열의 산화방지제와 마모방지제를 첨가함으로써 규격엔진시험을 모두 합격하였다. 연비를 측정하는 SEQ VI와 SEQ VIA를 비교하여 보면 SEQ VIA가 SEQ VI에 합격하기가 어려워 졌음을 볼 수 있다.

3.3 실차시험결과

위의 두 등급의 가솔린엔진유에 대한 실차시험결과를 다음의 그림 1,2,3,4에 나타내었다. 시험은 단거리 운행차량 6대(하루평균 50 km 이하), 장거리 운행차량 6대(하루평균 50 km 이상)로 시험하였으며 시험전 시험할 윤활유로 세척한 후 윤활유를 주입하고, 5분간 공회전 후에 시료를 채취한 것을 신유로 정하였다. 시험 중간에 주기적으로 시료를 채취하여 산,염기가 및 마모분을 측정하였다.

Table 5. 엔진시험결과

	GF-1	GF-2	규격
Seq IID			
Average Engine Rust	8.56	8.5	min 8.5
Lifter Sticking	0	0	0
SEQ IIIE			
Avg. Engine Sludge	9.57	9.5	min 9.2
Piston Skirt Varnish	9.22	9.2	min 8.9
Ring Land Deposit	5.42	7.1	min 3.5
Cam & Lifter Wear, μm			
Max	13.0	61.0	max 64
Average	4.2	7.6	max 30
Hours to 375% 40 °C			
Viscosity Increase	81.8	77.2	max 64
SEQ VE			
Avg Engine Sludge	9.13	9.5	min 9.0
Rocker Arm Sludge	8.55	9.1	min 7.0
Avg Engine Varnish	6.01	6.5	min 5.0
Piston Skirt Varnish	6.98	6.7	min 6.5
Canm Lobe Wear, μm			
Max	279.4	30.4	max 380
Average	127	17.8	max 130
CRC L-38			
Bearing Weight Loss	15.7	12.0	max 40
Piston Skirt Varnish	9.8	9.9	min 9.0
SEQ VI			
	2.84	3.1	min 2.7
SEQ VIA			
	-	1.14	min 1.1

그림 1. 주행거리에 따른 전산가의 증가

전산가 증가, mg KOH/g

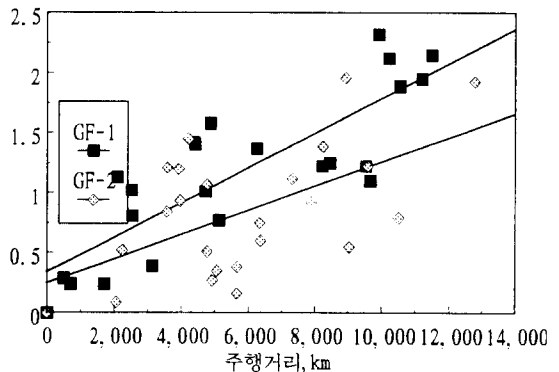


그림 2. 주행거리에 따른 전염기가의 증가

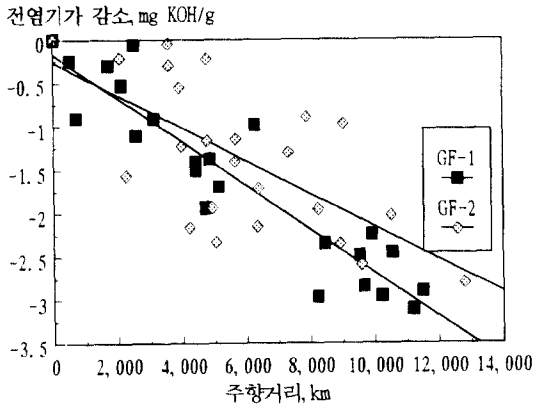


그림 3. 주행거리에 따른 구리마모분의 증가

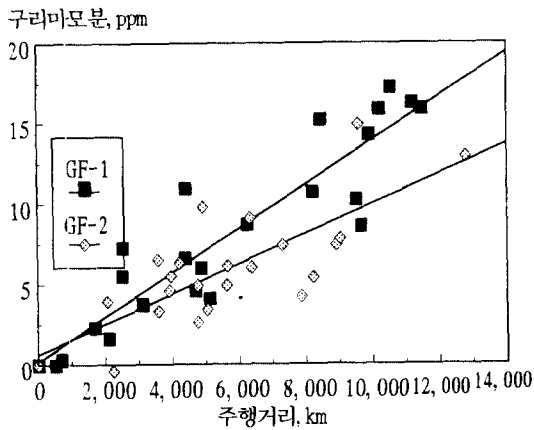
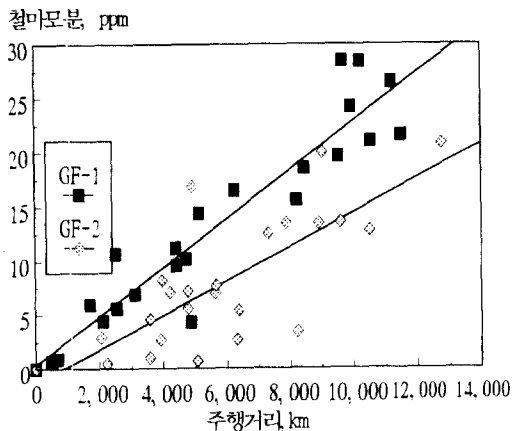


그림 4. 주행거리에 따른 철 마모분의 증가



시험 결과를 살펴보면 시험차량의 연식, 종류에 따라서 측정값들이 넓은 분포를 보이고 있으나 선형 회귀분석에 따라 도식하여 보면 GF-2 제품이 산화 정도 및 마모분 측정결과 등에서 GF-1 제품 보다 우수한 성능을 보였다. 즉 전염기 감소와 전산가 증가가 적게 나타나고 있어 윤활유를 사용함에 따라서 발생하는 산성분을 조절할 수 있는 능력이 우수하여졌음을 알 수 있다. 또한, 구리, 철의 마모분이 적게 나타나 마모방지성도 우수함을 알 수 있다.

4. 결론

자동차의 환경규제, 고성능화에 맞추어 새로이 규격이 제정된 ILSAC GF-2 가솔린엔진유는 SEQ VI와 SEQ VIA 를 통한 연비시험 결과 ILSAC GF-1 엔진유에 비해서 연비성능이 향상되었으며, phosphorous 함량 규제에 따라 ZnDDP의 첨가량을 줄였음에도 불구하고 다른 산화방지제와 마모방지제를 투입함으로써 규격엔진시험을 통과하였고 실차를 이용한 시험에서는 ILSAC GF-1에 비해서 우수한 마모방지성능과 산화안정성을 보였다.

참고문헌

1. 자동차기술, 년간, Vol.50, No.8, 1996, pp.83 - 90
2. API, Engine oil licensing and certification system, API Publication 1509, Jul.29,1996.
3. M.L.McMillan, Future engine oil specifications - who, what and how?, NPRA, FL-95-115,1995.
4. AAMA, The ILSAC GF-2 minimum performance standard for passenger car engine oil, Nov.,1995.
5. A.D.W. Flonkowski, T.W. Selby, The Development of a thermo-oxidation engine oil simulation test (TEOST), SAE Paper 920654.
6. W.S. Moon, et al, Performance of high VI basestock produced from a fuel hydrocracker unconverted oil stream, Proc.International Tribology Conference, Yokohama 1995, pp.679-684.