

API 규격에서 SF와 SG급 가솔린 엔진오일의 성능비교

The Comparison of the Performance between SF and SG on the API Service Level

강 석 춘
Suk Choon Kang



강 석 춘

- 1949년 3월생
- 자동차 윤활 관련분야 연구
- 정회원, 공군사관학교 교수부

1. 서 론

자동차용 가솔린 엔진유의 품질은 엔진 성능의 향상과 함께 점진적으로 발전되면서 서비스 수준에 의한 분류로 SA 급에서부터 SF 급까지 표 1 과 같이 발전되어 왔다. 그러나 지난 1980년에 SF급 오일이 설정된 이후 8년이 지나서 새로운 가솔린 엔진 오일의 규격인 SG급이 1988년에 설정되었다.

다음에서는 왜 SG가 필요한가, 또 SF에 비해 어떤면이 얼마나 가혹하게 되었는가에 관하여 자세히 보고져 한다.

2. SG 급 규격의 필요성

SG급 규격의 필요성에 대해 다음과 같이 항목을 들 수 있다.

- (1) 현장(field)에서의 슬러지(sludge)의 문제

(2) 새로운 엔진 설계에의 대응

(3) 오일의 저 점도화에 의한 마모·문제

(4) 엔진시험 V-D, III-D의 한계 등이 있다.

이중에서도 슬러지 문제가 심각하다. 로커 커버 등에 생기는 마요네스 상태의 슬러지와는 달리 탄소화된 덩어리 상태의 슬러지가 엔진 곳곳에서 발견되고 있다.

이러한 슬러지에 의해 오일압력의 저하, 오일소비의 비정상 등 문제가 발생한다. 오일압력의 저하는 이 슬러지가 오일 스크린을 막아 오일 결핍 현상을 일으키므로 발생된다. 또 오일 드레인 구멍을 막아 밸브 주변으로부터 오일이 넘쳐 흘러 오일 소비가 과다하게 되기도 한다. 이 넘쳐 흐르는 오일은 밸브 안 내면을 넘어 연소실에서 연소되어 배기가스의 매연으로 된다.

블로우 바이 가스중의 성분(부분산화물, NOx, SOx 등)이 로커 커버에서 산으로 응축되어 오일과 반응하면 슬러지 형성과정을 따르게 된다. 이것이 고온에서 연소되면 덩어리 상태의 슬러지가 된다.

이것이 검은 슬러지의 생성 모델로 추정된다. 그러나 이러한 현상이 어느 조건에서 발생하는지 한마디로 설명하기는 어려우며

- (1) 연료의 품질
- (2) 환 경
- (3) 운전방법

표1 API 가솔린 엔진오일의 서어비스 분류

API 서비스 분류	API 엔진 서비스등급	ASTM 엔진 오일 등급	사 용 개 소
SA (Service A)	초기에 가솔린 및 디젤 엔진 운전에 이용하였다.	무첨가유	경 하중 운전조건이나 순조로운 운전조건에서 사용된 가솔린 엔진이나 스파크 점화식 엔진의 운전, 특수한 요구조건을 가지고 있지 않는 엔진, 침전물을 형성하는데 예민한 설계특성을 가지고 있지 않는 엔진
SB	적은 하중을 받는 가솔린 엔진에 적용	약간의 산화방지 및 스커핑 방지 능력이 있다.	가혹한 운전조건에서 사용된 전형적인 가솔린이나 스파크 점화식 엔진의 운전에 적용한다. 크랭크 케이스 오일 온도가 높은 경우에는 침전물이나 베어링 부식 조절에 문제가 된다.
SC	1964 년형 가솔린 엔진에 적용	1964-67 년도 자동차 제작자들의 요구조건에 합당한 오일	불리한 조건이나 가혹한 형태의 운전조건, 엔진설계 또는 연료특성 때문에 침전물, 마멸과 베어링 부식조절에 대한 특수한 윤활요구조건이 있는 가솔린이나 스파크 점화식 엔진에 적용한다.
SD	1968 년형 가솔린 엔진 유지에 적용	1968-71 년도 자동차 제작자들의 운전조건에 합당한 오일	운전조건이 가혹한 형태의 승용차와 가솔린용 트럭에 적용하며 SC급 보다도 고온에 대한 안정성과 저온퇴적물, 마멸, 녹 및 부식에 대한 방지성을 요구하는 가솔린 및 스파크 점화식 엔진에 적용한다.
SE	1972년형 가솔린 엔진의 유지에 적용	1972~ 80 년도 자동차 제작자들의 요구조건에 합당한 오일	운전조건이 가혹한 형태의 승용차와 가솔린용 트럭에 적용하며 SD급 보다도 고온에 대한 안정성이 우수하고 저온퇴적물, 마멸, 녹 및 부식 방지성을 요하는 가솔린이나 스파크 점화식 엔진에 적용한다.
SF	1980년형 가솔린 엔진의 유지에 적용	1980년도 이후의 자동차 제작자들의 요구조건에 합당한 오일	운전조건이 매우 가혹한 고속, 고하중의 승용차 및 가솔린 엔진용 트럭에 적용하고 SE급 보다도 우수하며 고온, 저온퇴적물, 마멸, 녹 및 부식방지성이 개선되었고 특히 공해문제를 개선시킨 오일로서 가솔린이나 스파크 점화식 엔진에 적용한다.

(4) 배기계통

(5) 오일의 품질

등이 주요 원인이라고 생각된다.

예를 들어 순찰차 처럼 저속 공회전하고 있다가 급발진하는 운전방법에서는 슬러지의 문제가 많이 발생한다. 그러나 현재에 이 슬러지 문제에 대한 대책은 오일의 성능 개량으로만 가능하다는 결론에 도달하게 되었다. 이때문에 유럽에서는 벤츠사의 M102E 시험을 개량한 슬러지 시험이 개발되었다. 미국에서는 종래의 V-D에서 불충분하여 V-E가 개발되어 이것이 새로운 SG 규격으로 되었다.

한편 엔진설계의 변화도 오일에 영향을 미친다. 연료분사식 엔진에 의해 연소효율을 좋게 하였지만 피스톤 주변의 온도가 높게되는 결과를 가져왔다. 또 엔진 전체의 온도도 높게 되어 오일에 고온 안정성이 강화될 필요가 있다. 또 피스톤 주변이 고온으로 되면 링 주변의 축적물이 생성되어 오일의 소비가 증가된다. 이는 링, 라이너 등의 마모를 가져와 엔진의 수명을 단축시키게 된다.

SF급의 일련 시험에서는 고온에서 링 주변의 청정성이 충분히 평가되지 않았으며 이것이 Caterpillar 1H2 시험이 도입된 이유이기도 하다. 마모성에 대해서도 V-D, III-D가 충분히 현장에서의 성능을 모방할 수 있는지의 여부에 대해서도 의문시 되어 개량할 필요가 있었다.

이와 같이 보다 높은 슬러지 생성억제, 고온안정성, 청정성, 내마모성의 필요에 따라 SG급 규격의 설정이 필요하게 되었다.

3. SG 규격

최종적으로 결정된 SG 규격은 표2와 같다.

4. Sequence V-E

Sequence V 시험은 슬러지 마모를 평가하는 시험이다. 진술한 바와 같이 V-D에서는 오일의 차별화가 불충분하여 V-E의 개발이 나오게 되었다. 당초에는 V-D와 동일한 Ford-

2.3L 엔진을 사용하여 운전조건을 변화시키므로써 가혹도를 증가시키는 방향으로 추진되었다. 그러나 Ford에서는 이 엔진의 생산을 중단하고 Ford Highswall Combustion EF engine 으로 바꾸었다. 구체적으로 V-D engine 과 다른점은 EFI(연료분사식)라는 점이며 Highswall first combustion system 으로 연료의 연소면에서 개량된 엔진이다.

표 3은 V-D와 V-E의 시험조건을 비교하였다.

여기에서 보는 바와 같이 매우 가혹한 조건이 설정되었다.

EGR(배기가스 재순환)은 NO_x를 증가시켜 슬러지를 일으키기 쉽게 되며 blow-by양도 증가시킨다. 또 캠 커버의 온도를 낮게 조절하여 슬러지 발생을 촉진시킨다. 오일 통로의 온도는 Stage 1, 3의 저온시에도 낮고 고온시에는 비교적 높게 둔다.

운전방법은 Stage 1에서는 고속도로 주행, Stage 2는 고온, 고속, Stage 3은 공회전(idling)을 모방(simulation)하였다.

시험일수에 대해서 8일간으로는 오일의 차별화가 불충분하므로 12일간 운전하는 방법으로 바뀌어 현장과의 상관관계를 갖게 하였다.

실제로 V-D와 V-E는 어떤 차이가 나올 것인가를 표4의 Reference oil의 자료를 보면 잘 알 수 있다.

예를 들어 PV 924와 PV 927, PV 923을 비교하면 V-D에서는 차이가 없었으나 V-E에서는 큰 차이가 나타나고 있다.

결국 가혹한 조건에서 오일의 성능에는 차이가 나타남을 알 수 있다.

5. Sequence III-E

Sequence III는 oil의 산화안정성, 내마모성을 보는 시험이다. 이 III-E의 시험의 개발은 GM을 중심으로 진행되어 9개의 engine 시험 실험실에서 7개의 reference oil을 평가하여, sensitivity, reproducibility, field와의 상관관계에 대해 연구하였다.

최종적으로 결정된 시험조건을 III-D의 조건과 비교하면 표 5와 같다.

Oil charge의 양을 줄이고 blow-by rate를 올리므로써 가혹도를 증가시켰다. 점도의 증가면으로 보면 III-D와 비교하여 약 20% 가혹도가 증가되었다고 분석, 보고되었다.

바꾸어 말하면 시험시간이 14시간 정도까지 가혹도가 증가된 것이다. 이는 reference oil을 사용하여 몇시간에 375% 점도 증가가 나타나는지 분석한 결과이다.

다른 각도에서 보면 III-D에서 375%점도 증가하는 오일을 III-E에서 시험하면 1500%

표 2 SG 규격과 SF 규격의 비교

시 험 (Test)	S G 급	S F 급
Caterpillar 1H2		
Top Groove Filling %	45 max	
Weighted Total Demerite	140 max	
Lose of Side Clearance		
mm	0.013 max	
in	0.0005 max	
CRS L - 38		
Bearing Weightloss, mg	40 max	40 max
Piston Varnish	9.0 min	-
Sequence II-D		
Average Engine Rust	8.5 min	8.5 min
Stuck Lifters	None	None
Sequence III-E		
Average Engine Sludge	9.2 min	9.2 min
Average Piston Skirt Varnish	8.9 min	9.2 min
Oil Ring Lang Deposits	3.5 min	4.8 min
Cam Plus Lifter Wear		
Maximum, in (mm), max	0.0025(0.064)	0.0080
Average, in (mm), max	0.0012(0.030)	0.0040
Viscosity Increase at 40°C at 64hr, %	375 max	375 max
Stuck Lifters	None	None
Scuttled Cam or Lifters	None	None
Sequence V-E		
Average Engine Sludge	9.0 min	9.4 min
Cam Cover Sludge	7.0 min	
Average Engine Varnish	5.0 min	6.6 min
Cam Lobe Wear		
Maximum, in (mm), max	0.015 (0.38)	0.0025
Average, in (mm), max	0.005 (0.13)	0.0010
Oil Ring Clogging, %	15 max	10 max
Oil Screen Clogging, %	20 max	10 max
Stuck Compression Ring(Hot)	None	None

표 3 V-D와 V-E 시험조건 비교

Sequence	V - E	V - D
시험일수	12일간	8일간
Blow-by rate (CFM)	2.0	1.8
Oil volume (OZ)	124	160
Blow-by heat exchanger	없음	있음
Cam cover 온도, °C		
Stage 1	85	조절하지 않음
Stage 2	185	
Stage 3	85	
Jacket/oil 온도, °C		
Stage 1	125/155	135/175
Stage 2	185/210	155/188
Stage 3	115/115	120/120
Fuel System(연료계통)	Auto Injection	Carbu- rater

가 된다. 또 역으로 III-E에서 375% 증가하는 오일은 III-D에서는 150-200% 정도 증가한다고 할 수 있다. 그러나 이러한 숫자는 어디까지나 reference oil의 경우이며 기유(base oil)가 다르거나 산화방지제의 형태, 점도 등급에 따라서 다른 점도 상승 커브를 그린다. 마모에 관해서도 절대치의 숫자는 작지만 한계치를 고려해보면 가속도는 상당히 증가되었다.

예를 들어 III-D에서 경계선상에 있는 oil을 보면 평균 0.0040, 최대 0.0080inch 마모되는 오일을 III-E에 걸면 평균은 0.0025, 최대는 0.0057로 계산된다. 이는 한계치의 평균은 0.0012이고, 최대치는 0.0025에 비해 2배 가까이 가속도가 증가된 것이다.

이외의 평가항목중에 오일 링표면의 축적물의 한계가 가속하게 설정되었다. Reference oil의 자료로부터 III-D에서 4.8로 가가스

표 4 Reference oil의 시험결과

Test Oil의 종류	V - D		V - E		Field	
	sludge	cam 마모	sludge	cam 마모	sludge	cam 마모
PV 903-2	9.65	6.50	9.12	5.47	good	good
911-2	9.48	0.94	5.59	7.59	poor	fail
915-1	8.95	1.53	3.28	9.94	fail	fail
921-1	9.02	1.91	3.39	7.72	fail	fail
923-1	9.56	0.39	6.61	3.49	poor	good
924	9.60	0.21	9.41	0.70	excellent	excellent
925	9.60	0.40	9.28	1.12	borderline	good
926	9.70	0.50	8.60	4.50	good	good
927	9.60	0.50	6.18	4.52	poor	good
규 정 치	9.4 min	1.0 max	9.0 min	5.0 max		

로 SF에 합격하게된 오일은 III-E에서는 1.8 근처의 자료가 예측된다. 이에 대해 실제로는 III-E의 한계는 3.5로 설정되어 있다.

이상과 같이 SG의 III-E 시험에서는 산화안정성, 마모성능, 링표면 축적물 등의 가속도가 증가되어 오일의 차별화를 진행하고 있다. 그러나 실제에서는 아직 문제가 남아있기는 하다. 그 하나는 캠 샤프트(shaft)의 문

제이다. III-E 시험에는 캠의 표면에 가공정도가 oil의 마모성능에 큰 영향을 미치는 것이 발견되어 표면조도를 30-40μinch로 규정하고 있다. 그러나 이 규격에 합격한 캠 샤프트가 충분히 공급되지 않는 것이 현실이다.

또 규격에 맞는 캠 샤프트에도 No.3과 No.11의 Cam nose에 이상한 마모가 발생하는 경향이 있다. 따라서 시험기관에서는 표면 조

표 5 Sequence III 조건

연 료	GMR 995	GMR 995
Engine speed	3000	3000
Oil 온도, °C	149	149
오일압력, psi	30	40
마력, BHP	67.8	100
Blow-by rate	1.6	2.0
Oil charge(OZ)	146	192
시험시간, hr	64	64
Cam Shaft	non phosphated	phosphated
Engine Model	Buick 3.8L V6	OLDS 5.7L V8

도 뿐만 아니라 경도도 확인하여 시험하고 있다. 다른 문제로는 링의 고착이다. 품질이 좋은 오일에서도 격심한 시험에서 링의 고착현상이 일어나는 경우가 가끔 있다. 현재는 잠정적으로 링의 틈새를 0.003 inch로 조정하여 시험하고 있다.

6. 결 론

이상 살펴본 바와 같이 V-E, III-E라는 새로운 엔진시험이 개발되었다. 이로써 SF급 오일에 대해 슬러지 억제, 내마모성, 고온안정성 등을 강화시킨 SG급 오일의 개발이 가능하게 되었다.

현재에 이미 SG급 오일이 시장에 나와 있으며 미국의 자동차협회도 최근에 추천 오일로써 SG급을 적극적으로 권하고 있다.