

LPG 엔진에서의 윤활유 열화

류재곤, 문우식

SK 주식회사 대덕기술원

The Deterioration of Lubricants in LPG Engine

JaeKon Ryoo, WooSik Moon

Daeduk Institute of Technology, SK Corporation

Abstract - Recently, the population of vehicles using LPG as fuel has been increasing due to relatively low fuel price and low tax. Although gasoline engine oils are usually used to lubricate LPG engines, some troubles such as oil thickening and TBN depletion were found in them under severe operating condition. In order to investigate the deterioration mechanism of lubricants in LPG engine, field trials were performed. The results from the field trials showed that the deterioration of oils in LPG engine is different from that in normal gasoline engine. LPG engine oil was deteriorated mainly through oxidation and nitration at high temperature rather than contamination of fuel combustion products.

Key words - LPG, LPG engine oil, Engine Oil Oxidation, Engine Oil Nitration, Aluminum wear

1. 서론

1997년 외환 위기 이후 상대적으로 연료비가 저렴하고 세금이 적은 LPG 차량의 보급이 꾸준히 증가하고 있다. 우리나라의 LPG 차량 등록대수는 2000년 4월말 현재 92만 6천대로 전체 등록 차량의 8.1%를 점하고 있으며, 1997년 12월의 LPG 차량 비율 3.85%에 비해 두 배 이상 증가한 것이다 (Table 1). 이와 같은 LPG 차량의 폭발적인 증가는 그 동안 택시, 소형 승합차, 장애인 승용차 등으로 제한되었던 규제를 풀어 RV 차량까지 LPG 사용을 허용함으로써 비롯되었다.

국내에서는 연료가격 측면에서의 이점으로 LPG 차량의 보급이 늘어나고 있지만 유럽 등에서는 청정 연료로서 이용이 증가하

고 있다. 1997년 현재 유럽 각국의 LPG 차량 보급현황을 보면 이탈리아가 107만대로 선두이고 네덜란드가 36만대로 뒤를 이고 있다. LPG 차량의 비율면에서는 이탈리아가 3.54% 네덜란드가 6.36%이다 (Table 2). 유럽 전체를 보면 차량 1억 5500만대중 LPG 차량이 166만 4천대로 1.11%를 점하고 있다. 일본은 총보유 차 7000만대중 0.4%의 비율로 LPG 차량이 등록되어 있다. (이상 98.3). 각국의 5년 후 보급예측을 보면 200% 이상의 증가를 예측하는 국가가 4개국이며 특히 프랑스는 574%의 증가로 현저하다. 이의 배경에는 파리 도시부의 대기오염악화가 지적되고 있다.)

일반적으로 LPG 엔진의 윤활에는 가솔린 엔진유가 사용되고 있다. 가솔린 엔진을 개

Table 1 Total LPG vehicle registration ²⁾

	전체차량	LPG 차량	LPG 차량비율
'00.4.	11,438,296	926,000	8.12 %
'99.5.	10,680,421	558,457	5.23 %
'98.12.	10,469,599	493,541	4.71 %
'97.12.	10,413,427	400,977	3.85 %

Table 2 세계 각국의 LPG 차량 보급 현황(1997년)

	차량 수 (천대)	충전소	국토면적 (만 km ²)	충전소당 국토면적
이탈리아	1,077	1900	30	158
네덜란드	365	2000	4.1	21
폴란드	230	700	31.3	447
프랑스	80	800	55.2	690
벨기에	50	600	3.1	52
독일	3.5	96	35.7	3719
영국	3	150	24.4	1627
일본	305	1935	37.8	195
한국	558*	614	9.9	161

*1999

조하여 연료 공급 시스템만 LPG로 전환한 상태여서 연소 형식이라든지 유회 방식도 같기 때문에 같은 종류의 유회유를 사용해도 된다는 생각이다. 그러나 통상적인 사용 조건 하에서는 일반 가솔린 엔진유를 사용하여도 별 문제가 없지만 고온 고부하 등의 가혹한 사용조건에서는 엔진유의 점도증가와 베어링 마모 등의 현상이 발생하는 경우가 있다.

LPG 엔진유의 열화는 LPG 엔진의 높은 연소열로 인한 오일 산화와 NOx에 의한 질화(nitration)가 주 원인으로 파악되고 있다. 본고에서는 실제 LPG 엔진에 사용된 엔진유의 열화현상을 정리 분석하고 LPG 엔진의 유회에 미치는 유회유의 여러 특성을 비교 분석하였다.

2. LPG 엔진 유회유의 요구성능

LPG의 연소시 화염온도는 1900℃정도로 1500~1700℃인 가솔린이나 디젤에 비해 높

다.³⁾ 또한 LPG는 연소실에 가스 상태로 들어오기 때문에 다른 액체 연료가 연소실에서 기화하며 흡입공기를 냉각시키는 흡기냉각 효과가 LPG 엔진에는 없다. 더욱이 이론 공연비로 운전될 경우 연소가스를 희석시키거나 냉각할 수 있는 여유 공기가 없다. 따라서 일반 액체 탄화수소를 연료로 사용하는 엔진 보다 연소가스의 온도가 높아진다. NOx의 생성 속도는 온도 증가분의 지수함수적으로 증가하게 되므로 LPG 엔진의 고연소열은 엔진오일의 심각한 질화(nitration)을 유발하기에 충분한 양의 NOx를 생성할 수 있다. 만약 엔진오일이 이런 조건에 합당하게 설계되어 있지 않다면 심각한 산화를 겪게 되어 엔진오일의 thickening과 슬러지 생성, 피스톤 디파짓, 베어링 부식 등을 일으키게 된다.⁴⁾

앞서 언급한 것처럼 LPG 엔진은 연소실에 연료가 가스 상태로 주입된다. 이렇게 되면 연료가 흡배기 밸브의 유회에 전혀 기여할 수 없게 된다. 따라서 가스엔진은 뜨거운 밸브 페이스와 시트 사이의 유회를 유회유의 회분(ash)으로 할 수 밖에 없다. 유회유의 회분 양이 너무 적거나 적합하지 않을 경우 밸브 시트의 마모는 촉진될 수 있으며 반대로 너무 회분양이 많으면 밸브 guttering 또는 torching이 일어날 수 있다. 일반적으로 LPG의 황함량은 10~50ppm 정도로 극히 낮으므로 산중화에 필요한 과도한 ash는 필요하지 않으며 밸브 보호를 위한 적절한 ash 수준이 필요하다.

연소실 디파짓과 스파크 플러그 fouling을 방지하기 위해서는 ash의 양 뿐만 아니라 오일의 조성도 주의깊게 고려해야 한다. 회분 양이 제한되어 있기 때문에 피스톤 디파짓과 링 고착을 최소화하기 위한 극도의

주의가 청정제의 선택에 요구된다.

Table 3 LPG의 연료 특성과 요구 윤활 성능

연료 특성	현상	요구 성능
연소열이 높음	Nitration, oxidation에 의한 슬러지 생성, 점도 증가	산화 안정성
중질 유분이 없음	오일에 soot 혼입이 없음	저분산성
윤활성이 없음	적정 수준의 회분 필요	0.5 ~ 1.0 % SASH
황함량이 적음	염기성 첨가제 적게 사용가능	

3. 시험 방법

LPG 엔진에서의 윤활유 열화 현상을 조사하기 위해 실제 택시 엔진에 사용된 엔진유를 분석하였다. 시험 차량은 총 40 대이며 차종에 따른 오일의 열화 차이를 피하기 위해 차량 제조사 비율을 조정하였다. 차종은 현대 소나타 III와 대우 프린스가 주종이며 그 외 소수의 크레도스 등이 사용되었다.

시험은 오일 교환을 통해 시료를 채취 분석하는 것으로 진행하였으며 분석항목은 오일의 산화 상태, 수명을 파악할 수 있는 점도, 전산가, 전염기가와 윤활유의 엔진 보호성능을 나타내는 금속 마모분 분석이다. 시험 윤활유의 사용 기간은 1개월이며 차량의 주행거리로는 10,000 ~ 15,000km이다.

LPG 엔진유의 열화현상을 파악하기 위해 사용한 시험유는 SF 급 2종과 SJ 급 1종, 이를 변형한 2종이며 점도 등급은 모두 10W30이다. 이들의 물성은 Table 4와 같다.

그밖에 가솔린엔진과 LPG 엔진의 윤활유 열화 현상 비교, 점도에 따른 영향을 조사하기 위해서는 각각 목적에 적합한 오일을 제조 사용하였다.

Table 4 The property of test oil

	L1	L2	L3	L4	L5
Performance	SF	SF+	SF	SJ	SJ+
KV @40°C, mm ² /sec	69.80	68.70	66.94	77.91	75.38
KV @100°C, mm ² /sec	10.69	10.60	10.28	11.83	11.47
VI	142	142	140	146	145
TAN, mgKOH/g	2.40	2.36	2.71	2.28	2.45
TBN, mgKOH/g	5.35	5.97	5.46	5.27	5.31
Sulfated Ash	0.85	0.85	0.88	0.74	0.75
Detergent Metal	Ca / Mg	Ca / Mg	Ca / Mg	Ca	Ca

4. 시험결과 및 검토

4.1 LPG 엔진유의 열화 현상 분석

시험결과에 의하면 오일의 성능 등급에 따라 또 첨가제의 처방에 따라 오일 자체의 산화안정성, 금속 보호성에 다소 차이가 있지만 5000~15,000km 주행 조건에서 점도는 신유 대비 ±10% 범위 내를 유지하였다. 이에 반해 전산가는 주행거리에 따라 지속적으로 증가하며 전염기가는 지속적으로 감소하는 전형적인 엔진유의 열화 형태를 보이고 있다. 전염기가의 경우 6000km 주행정도에서 TBN이 0가까이로 떨어지는 경우도 있지만 대부분은 10,000 ~ 12,000 주행시점에서 1 이하로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 산화안정제를 추가로 투여할 경우 전염기가의 감소 경향을 옹골 수 있으며 이는 LPG 엔진에서 오일의 열화는 산화안정제로 조정이 가능하다는 것을 보여 주고 있다. 즉 가솔린 엔진의 열화는 연료의 연소 생성물(부분 연소, 미연소 생성물)에 크게 영향을 받는데 비해 LPG 엔진의 경우 연료의 특성상 연료 자체가 윤활유에 미치는 영향은 적다. 따라서 오일의 열화는 주로 불로바이 가스중의 질소 산화물에 의한 것이거나 높은 엔진 온도로 인한 오일 자체가 산화 때문에 일어난다고 볼 수 있으며 산화안정제의 추가 투여로 오일 산화를 늦출 수 있는

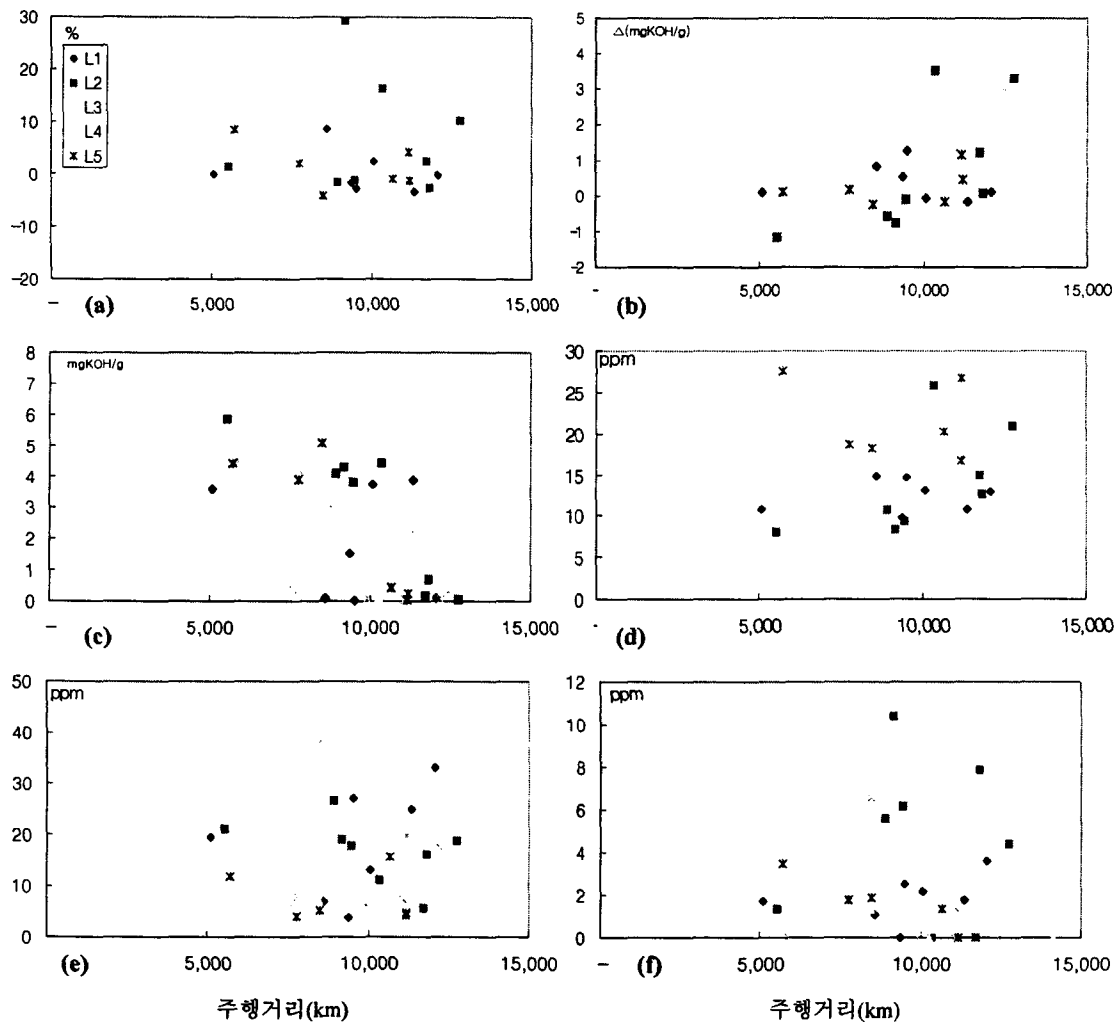


Fig. 1 Change of oil properties with use in LPG engine : (a) viscosity change (b) Total acid number change (c) Total base number (d) Aluminum element in drain oil (e) Iron element in drain oil (f) Copper element in drain oil

Table 5. The property examples of heavily deteriorated LPG engine oils⁵⁾

엔진유	차종	주행거리 km	KV40 mm ² /sec	KV100 mm ² /sec	TAN mgKOH/g	TBN mgKOH/g	PI wt%	Al ppm	Cu ppm	Fe ppm	Pb ppm
A	X1	13000	64.17	9.93	3.12	4.9	<0.05	86.4	3	25.0	0
A	X1	12581	65.68	10.44	3.08	7.43	<0.05	23	1	24	0
A	X2	12000	152.75	14.86	2.03	3.48	<0.05	26	84	30	496
A	X2	12800	170.84	16.42	27.61	3.71	<0.05	26	96	29	650
B	X2	15481	102.18	12.55	16.21	0.07	<0.05	5	354	22	484
A	X3	15200	72.69	10.58	5.82	3.75	<0.05	24	19	9	11
A	X3	12500	72.04	11.01	4.38	5.53	<0.05	23	5	20	3
B	X3	13201	73.72	11.13	5.85	4.2	<0.00	5	18	38	16

주) PI: Pentane Insoluble

것이다.

그 밖에 금속 마모분의 검출량은 오일의 종류와 사용 첨가제에 따라 알루미늄(Al) 마모량과 철(Fe) 마모량에 차이가 있었다. 알루미늄 마모량의 차이는 detergent의 counter ion의 종류에 따라 영향을 받는 것으로 추정된다. 금번 시험에서 청정분산제로 Ca 설펜포네이트와 Mg 설펜포네이트를 혼합 사용한 L1, L2가 Ca 설펜포네이트 만을 사용한 L4, L5에 비해 알루미늄 마모량이 적은 것으로 나타났다. 이것은 칼슘 설펜포네이트와 마그네슘 설펜포네이트 간의 알루미늄 친화성 차이로 인한 부식 또는 마모 방지성의 변화로 인해 발생된 것으로 판단된다.

Table 5는 과도히 사용되어 오일 thickening과 엔진 부품의 부식이 일어난 경우의 엔진유 성상의 변화를 보여주고 있다.

오일 산화로 인한 부품의 부식은 주로 베어링 부위나 아연 도금 부품에서 일어나며, 부식되어 떨어져 나온 금속 입자는 촉매 작용을 하여 오일 산화를 촉진시키게 된다. LPG 엔진유 열화의 또 다른 특징으로는 펜탄 불용분이 거의 없다는 것이다. 이것 역시 연료의 연소생성물 또는 부산물이 거의 윤활유내에 침적되지 않는다는 것을 의미하며 가솔린엔진유와는 다른 조성으로 설계할 수 있다는 것을 시사한다.

4.2 가솔린 엔진에서의 열화와 비교

Fig. 2는 가솔린엔진과 LPG엔진에서의 윤활유의 열화 현상을 비교하여 나타낸 것이

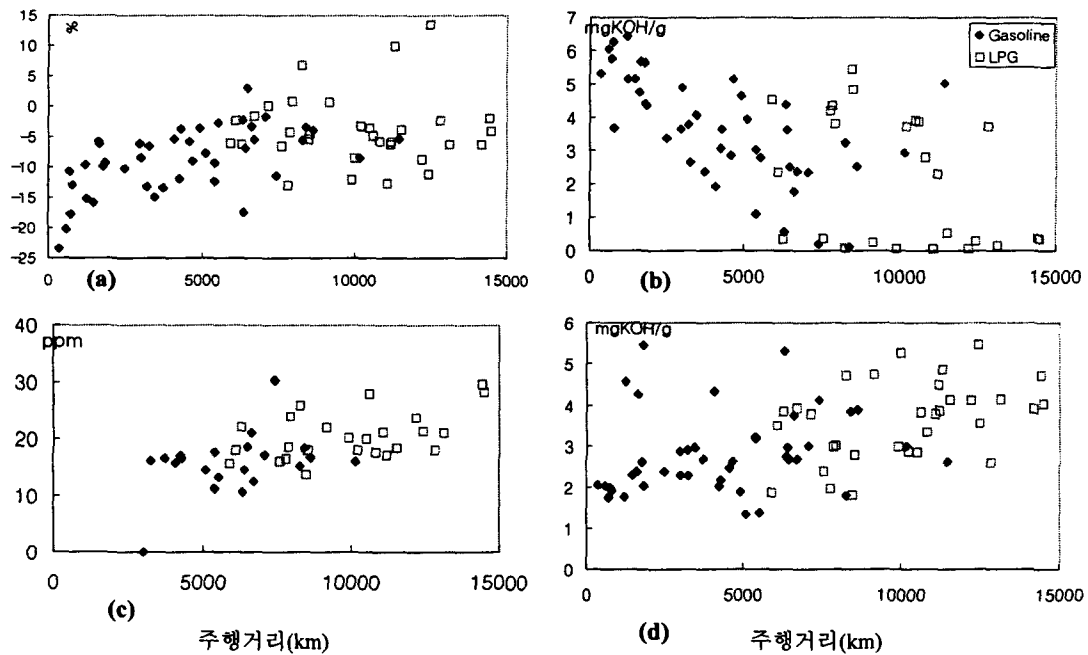


Fig. 2 Comparison of oil deterioration in LPG engine with that in gasoline engine : (a) viscosity change (b) Total base number (c) Aluminum element in drain oil (d) Total Acid number

다. Fig2(a)에서 보는 것처럼 가솔린 엔진의 경우 초기 점도 저하가 심한 것을 알 수 있다. 이는 점도 지수 향상제의 전단과 fuel dilution에 의한 점도 저하 때문이다. 그러나 LPG 엔진의 경우 fuel dilution이 거의 없기 때문에 초기 점도 저하가 가솔린 엔진에 비해 크지 않을 것으로 추정된다. 그림에서 보면 가솔린엔진에서는 오일의 점도가 상승하는 단계와 연속적으로 LPG 엔진유의 점도 변화가 일어나는 것처럼 보이지만 자세히 보면 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 마모 금속량은 가솔린엔진 또는 LPG 엔진 공히 정상적인 유회조건인 경우 검출량은 유사한 경향을 보이며 변화하였고 마모분의 절대량 역시 크지 않았다.

4.3 LPG 엔진의 유회에 미치는 유회유의 점도 영향

일반적으로 고온 고부하 운전 등 가혹한 운전 조건일 경우 오일의 점도가 높으면 유막의 강도가 커져 엔진 보호 성능이 뛰어나다고 생각할 수 있다. 그러나 오일의 점도에 따른 마모 금속의 검출량 차이는 오일의 종류에 따라 다르게 나타난다. Fig. 3은 두 종류의 오일에 대해 각각 10W30과 15W40 점도 등급을 LPG 엔진에서 사용후 사용유 중의 마모 금속을 비교한 것이다. 결과에 의하면 M 오일은 오일의 점도가 10W30에서 15W40으로 증가할 때 철 마모분의 검출량이 줄어들었다. 그러나 O 오일의 경우는 점도에 따른 큰 변화는 없었다. 이렇게 결과가 다른 것은 M 오일과 O 오일 간의 마찰 조정제의 유무 차이 때문이다. 밸브 트레인부는 경계 유회영역이어서 마찰조정제

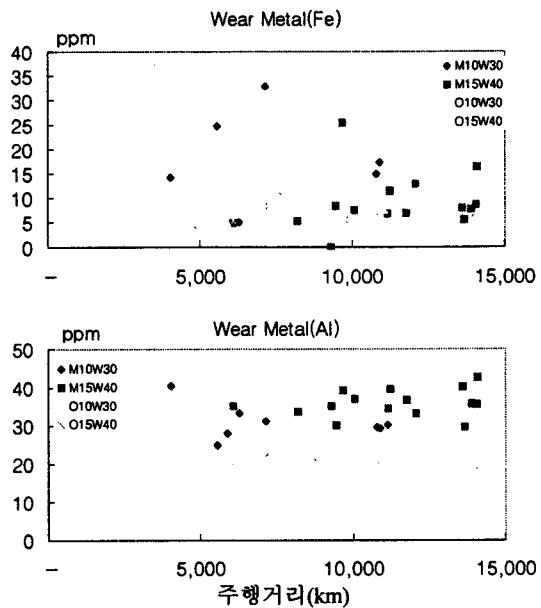


Fig. 3 The effect of viscosity on wear element

가 없을 경우 고점도유를 사용하면 마모를 줄일 수 있다. 마찰조정제가 들어 있지 않은 M 오일의 경우 마모분(Fe)이 저점도유(10W30)에서 많이 발생한 것은 이 때문이다. 한편 마찰 조정제가 포함된 O 오일은 점도에 따른 마모량의 차이가 나타나지 않는다. 따라서 LPG 엔진유로 마찰 조정제가 포함된 오일을 사용할 경우 점도에 따른 엔진 보호성의 차이는 없다고 볼 수 있다.

4.4 LPG 엔진의 유회에 미치는 유회유 첨가제의 영향

한편 알루미늄의 마모는 철 마모와 달리 점도의 의한 차이 보다는 오일의 종류에 따른 차이를 보이고 있다. 특히 칼슘 설펜네이트의 함량에 따라 알루미늄의 마모량 차이를 보여주고 있는데 이를 칼슘 설펜네이트의 양에 따라 나타내면 Fig.4와 같다. 또 한가지 흥미로운 것은 차종에 따라 알루미늄

늄의 마모량이 증가하는 경향은 유사하지만 절대량에 차이가 있다는 것이다. 차종에 따른 알루미늄의 마모량의 차이는 엔진 부품 특히 크랭크 샤프트 베어링의 재질에 따른 영향으로 보여진다. 칼슘 설풜네이트에 의한 알루미늄의 마모량 증가는 알루미늄에 대한 부식 또는 칼슘 카보네이트, 칼슘 염에 의한 마모로 추정되지만 원인 규명을 위한 추가 연구가 필요하다.

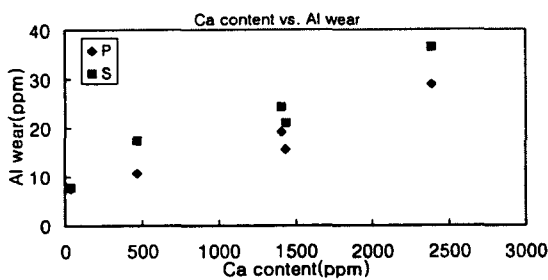


Fig. 4 Variation of aluminum wear with calcium content in engine oil

5. 결론

이상에서 LPG 엔진의 운용에 사용된 엔진오일의 열화 경향에 대해 살펴 보았다. LPG 엔진에서 운용유의 열화 현상을 정리하면 다음과 같다.

- (1) LPG 엔진에 사용된 오일의 열화는 가솔린엔진과 달리 연료의 연소 생성물에 의한 영향이 적으며 주로 질소 산화물과 높은 엔진온도로 인한 오일

산화가 열화의 주원인이다.

- (2) LPG 엔진의 운용에 미치는 운용유의 점도 영향은 오일의 종류에 따라 다르다. 마찰조정제가 포함된 엔진오일의 경우 점도 차이에 의한 엔진 보호성의 차이는 없지만 마찰조정제가 포함되어 있지 않은 오일을 사용할 경우 고점도유가 저점도유에 비해 엔진 보호성능이 우수하다.
- (3) LPG 엔진의 운용에서 알루미늄 마모분은 엔진오일 중의 칼슘 설풜네이트의 양에 따라 변하며 이는 칼슘 설풜네이트의 알루미늄에 대한 부식 또는 칼슘 염에 의한 마모로 추정된다.

참고문헌

1. 自動車工學 1998.10.
2. 자동차공업협회 통계자료
3. 小川勝, 燃料油及び燃焼, 1988, 海文堂
4. M.R Logan , et al. "Gas Engine Need Gas Engine Oil", 5th Annual Fuels & Lubes Asia Conference, 1999
5. 류재곤, 문우식 외, "LPG 엔진에 사용된 운용유 열화 현상 분석" 한국자동차공학회 추계학술대회논문집 Vol. 1, 348, 1999