# 엔진유의 수트 분산 특성(제 2 보)

# (Soot dispersancy of engine oils)

문우식, 권완섭, 이종훈, 오대윤*, 최재권*
(주)유공 대덕기술원
*현대자동차 중앙연구소

## 1. 서론

최근 자동차 배기 가스에 대한 규제가 강화되고 있고, 특히 자동차 매연중 디젤 차량에 대한 배기 가스 저감이 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 배기 가스 규제에 대응하기 위하여 엔진의 여러 부위에 대한 설계변경이 이루어지고 있다. 설계변경의 대표적인 예로는 피스톤 탑 링(top piston ring)의 위치를 현재보다 위로 하고 피스톤과 라이너 사이의 간극을 좁게하여 크레비스 볼륨을 줄이거나, 연료 분사 시기 지연, 배기가스재순환(EGR, Exhaust Gas Recirculation)장치 등이 있다[1-3].

전술한 설계변경들로 인하여 엔진은 환경 규제의 대표적인 예인 입자상물질(PM), 탄소산합물(COx)와 질소산화물(NOx)의 배출을 억제할 수 있으나, 엔진유에 있어서는 설계변경전과 비교하여 더욱 가혹한 조건에서 운전되는 문제가 있다. 특히 디젤엔진유에 혼입되는 soot 의 양이 매우 많아지게 된다.

최근에는 엔진유의 소모량 감소로 인하여 신유 보충량이 적어지고, 사용 기간이 장기화됨에 따라 열화물질들이 과도 축적되어 엔진유의 정상적인 작용을 방해할 가능성이 커지고 있다. 디젤 엔진의 윤활에서는 soot 의 영향에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으며 soot 에 의하여 발생하는 대표적인 문제들로는 다음과 같은 것이 있다[3,4].

1) soot 입자에 의한 오일의 점도 증가
2) soot 의 어브레이시브한 특성에 기인한 마모량의 증가
3) soot 에 의한 필터의 막힘 현상

이러한 문제들은 soot 의 뭉침(agglomeration)과 밀접한 관련이 있으며 soot 가 디젤엔진유 중에 매우 잘 분산되어 있을 경우에는 그 영향이 상대적으로 적은 것으로 알려져 있다. 환경 규제에 대응하기 위해 설계된 엔진에서 다량의 soot 가 혼입되는 경우에도 soot 관련 문제의 발생을 억제하기 위해서는 soot 분산성 및 산화안정성이 개선된 엔진유의 개발이 필요하다.

저자들은 제 1 보[5]에서 분산성모사실험을 통하여 엔진유중 기유및 산화 안정제에 따라 soot 분산성능이 다르게 나타난다는 사실을 보였고 특히 VHVI 기유에 산화 안정제로 ZnDDP 를 넣었을 경우 분산성이 개선됨을 보고하였다.

본 보고에서는 모사 실험 결과에 추가하여 엔진 시험을 수행함으로써 엔진유의 분산 특성및 산화안정성에 미치는 기유와 첨가제의 영향을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료유

본 연구에서 사용된 시료유는 Table 1 에 나타낸 바와 같이 기유및 첨가제가 다른, 실제 엔진에서 사용이 가능한 디젤 엔진유이다. 시료 1(EGO1)은 용제추출 기유(group I)로 만든 10W/30 제품이고, 시료 2(EGO2)는 시료 1 에 산화 방지제(ZnDDP)

를 더 첨가한 것이며, 시료 3(EGO3)은 VHVI 기유(group III)로 제조된 10W/30 제품이고 시료 4 와 5(EGO4,EGO5)는 시료 3 에 각각 산화방지제, 산화방지제와 분산제를 추가로 투여한 것이다. 시료 6(EGO6)은 용제추출기유 10%, VHVI 기유를 70% 정도 포함하는 엔진유이며 시료 7(EGO7)은 산화방지제로 ZnDDP 대신 페놀계 산화방지제를 추가로 투여한 시료이다. 시료 8(EGO8)은 분산제와 점도지수향상제의 성능을 동시에 가지고 있는 DOCP 형의 점도지수 향상제를 사용한 시료이다. 모든 시료에는 CF-4 급에 해당하는 D.I. package 를 넣었으며 EGO8 을 제외한 다른 시료에는 OCP 타입의 점도지수 향상제를 사용하였다.

Table 1 Composition of test oils

| | base oil | top up additive |
|---|---|---|
| EGO1 | Group I | |
| EGO2 | Group I | ZnDDP(0.2%) |
| EGO3 | Group III | |
| EGO4 | Group III | ZnDDP(0.2%) |
| EGO5 | Group III | ZnDDP(0.2%) & Dispersant(0.5%) |
| EGO6 | Group I + III | |
| EGO7 | Group III | phenol type antioxidant(0.5%) |
| EGO8 | Group I | DOCP type VII |

2.2 시험 방법

2.2.1 분산성 모사 실험

실제 엔진에서는 엔진유에 soot 가 들어오는 동안 신유의 물성을 유지하는 것이 아니라 지속적으로 산화와 첨가제 소모등의 열화가 일어나게 된다. 본 연구에서는 내연기관용 산화안정도실험(ISOT, Indiana stirrer oxidation test)으로 시료유를 열화시켰고 이 열화유에 엔진에서 포집한 soot 를 혼입시킴으로서 실제엔진에서의 엔진유의 soot 분산성을 모사하고자 하였다. 분산성모사실험 1 에서는 EGO1 ~ EGO5 에 대하여 시료유 250g 과 1 % Fe-naphtenate 1g 을 혼합한 후 166°C 에서 산화시켰다. 실험중 72, 144, 188, 216 시간이 되는 시점에 오일 샘플을 채취하고 soot 를 3.8 wt% 혼입시켜 열화유의 혼입전후의 40°C 점도를 측정하였다. 분산성모사실험 2 는 EGO1, 3, 4, 6, 7, 8 에 대하여 산화 온도를 180 °C 로 높혀 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

2.2.2 엔진 시험

본 보에서는 EGO1, 4, 7 에 대하여 엔진시험을 수행하여 모사 시험과의 상관 관계및 기유조성과 산화방지제가 엔진유의 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

시험에 사용된 엔진은 간접분사식소형디젤엔진(IDI type diesel engine)이다. 엔진은 4000 rpm 전부하 조건에서 운전되었으며 매 50 시간마다 시료를 채취하였다. 모든 엔진시험에서 최초 50 시간은 EGO1 을 사용하여 길들이기 한후 시료유인 EGO1, EGO4, EGO7 로 교환하여 운전하였다. 엔진유에 따라 50 시간 또는 100 시간이 되는 시점에 엔진유를 교환하면서 내구 시험을 계속 진행하였다. 엔진 피스톤의 냉각 방식, 내구시험에 사용된 엔진유의 종류 및 최초 50 시간동안 사용된 EGO1 에 대한 soot 분석 결과를 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Characteristics of engine test and viscosity and soot content of break-in oils used

| | test 1 | test 2 | test 3 |
|---|---|---|---|
| piston cooling | gallery cooling | oil jet cooling | oil jet cooling |
| max. piston temperature, ℃ | 230 | 280 | 280 |
| soot, wt% | 4.57 | 3.94 | 2.58 |
| KV[1] @40 ℃ | 129 | 134 | 118 |
| KV @100 ℃ | 17.53 | 18.89 | 15.08 |
| SF[2] @40 ℃ | - | 85.826 | 96.85 |
| SF @100 ℃ | - | 12.184 | 12.94 |

1) Kinematic viscosity after engine test , cSt
2) Kinematic viscosity of soot free oil, cSt

엔진시험이 진행되는 동안 엔진 각부분에 대한 설계변경이 동시에 진행 되었기 때문에 엔진시험 1, 엔진시험 2, 엔진시험 3 에서의 엔진 조건은 각각 다르게 된다. 그러나 최초 50 시간은 모두 같은 EGO1 을 사용하였기 때문에 엔진조건의 변화가 엔진유에 미치는 영향에 관한 참고 자료로 엔진유 비교의 기준으로 삼았다.

채취된 oil sample 에 대하여 전산가 전염기가 등을 측정하여 열화도를 측정하였으며 ICP 를 통하여 원소 분석을 하여 잔존 첨가제량및 마모 금속분을 측정하였다. 그리고 사용된 엔진유의 급격한 점도증가의 원인이라고 판단되는 soot 의 함량을 측정하기 위하여 고속 원심분리기를 사용하여 soot 를 분리하였다. soot 분리후 남아있는 엔진유의 점도를 측정하여 soot 를 함유하고 있는 경우의 점도와 비교하였다. soot 를 원심 분리기로 윤활유에서 분리할 경우 soot 중에서 일정 크기 이상의 soot 만 분리해 내게 되고 엔진유중에 매우 미세하게 존재하는 soot 는 분리해 낼 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서 측정된 soot 의 양은 엔진유의 soot 분산성과 밀접한 연관을 가지게 된다.

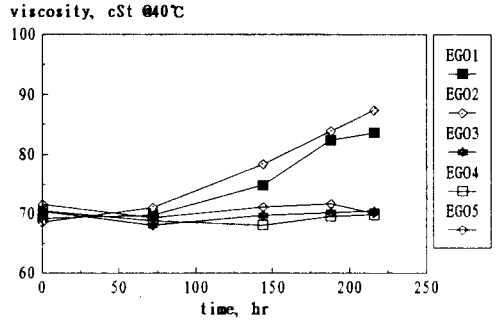
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 분산성 모사 실험

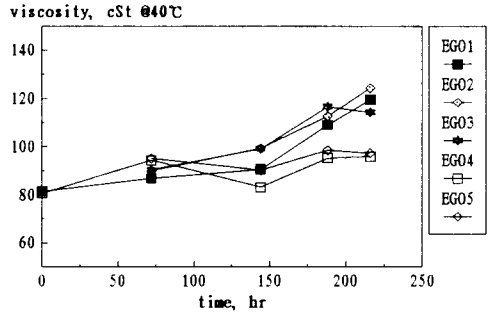
Fig.1(a) 는 산화안정성실험(ISOT)에서의 실험 시간에 따른 점도 변화를 나타낸다. VHVI 기유를 사용한 EGO3, EGO4, EGO5 는 216 시간 시험 종료시까지 점도의 변화가 거의 없으나, 용제 추출 기유를 사용한 EGO1, EGO2 는 열화 시간에 비례하여 점도가 점점 증가되어 종료시에는 각각 22%, 28% 정도까지 증가된다. 초기의 점도 감소는 점도지수 향상제, 분산제등 고분자 첨가제의 thermal degradation 에 기인한 것이다. 점도는 산화초기 감소하는 경향에서 엔진유의 산화가 진행됨에 따라 다시 증가하는 경향을 나타내게 된다. 따라서 시료 EGO1, EGO2 는 VHVI 기유를 사용한 EGO3, 4, 5 와 비교하여 매우 빨리 산화되고 있음을 알수 있다. 특히 산화 방지제를 추가로 투여한 EGO 2 의 경우에도 EGO1 과 비교하여 점도 증가를 억제하지 못하였다. 산화 방지제의 추가 투여에도 기유의 산화 안정성이 불안정할 경우에는 성능 개선에 한계가 있을 것으로 생각된다. 반면 VHVI 기유를 사용한 경우(EGO3, EGO4)에는 산화방지제인 ZnDDP 를 추가로 투여한 경우(EGO4)가 더 좋은 초기 점도 감소및 이후 점도 증가에 대한 억제효과를 갖는다. 그러나 그 차이는 매우 작다.

Fig. 1(b)는 열화된 엔진유에 soot 를 3.8wt% 투여한 후의 점도를, Fig.1 (c)에는 soot 3.8% 투여에 의한 점도 증가량을 나타내고 있다. 분산성모사실험 1 의 시료의 경우 3.8wt%의 soot 가 함유된 경우에도 점도 증가는 약 20% 정도로 제 1 보에서 기유에 soot 를 1.9wt%넣었을 경우 200 ~ 600%정도의 점도 증가한 것과 비교하여 매우 작은 값을 나타낸다[5]. 이는 분산제의 효과를 단적으로 보여주는 예라 할수 있다. 용제추출 기유를 사용한 EGO1, EGO2 와 VHVI 기유를 사용한 엔진유중 EGO3 의 경우, soot 함유 시료유의 점도가 열화 시간에 비례하여 증가 되어 216 시간후에는 신유 대비 60% 에서 80%의 증가를 나타낸다. 반면 VHVI 기유를 사용하고 산화 방지제를 첨가한 EGO4 와 EGO5 는 시험 종료시까지도 점도 증가를 효과적으로 억제하고 있다. 특히 216 시간 경과한 후의 용제 추출 기유를 사용한 엔진유는 soot 분산 성능이 매우 떨어져 100 ℃에서의 점도를 측정할 수 없었다. 용제추출 기유를 사용한 경우에는 ZnDDP 가 효과를 발휘하지 못하나 VHVI 기유를 사용한 경우는 그 성능 향상을 현격하였다. 분산제를 추가 투여한 EGO5 의 경우는 투여하지 않은 EGO4 에 성능개선 효과가 없었다.

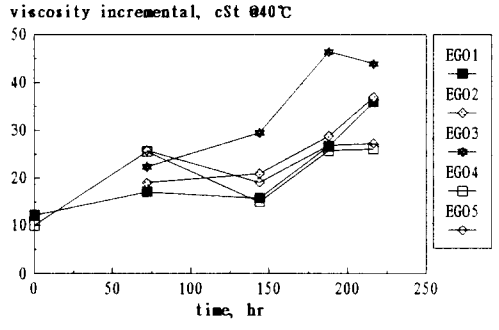
처음에는 용제추출 기유를 사용한 오일이 우수한 성능을 나타내나 시간의 경과에 따라 VHVI 기유와 산화방지제를 첨가한 오일이 더욱더 우수한 성능을 나타낸다.




(a) Kinematic viscosity of engine oil with testing time

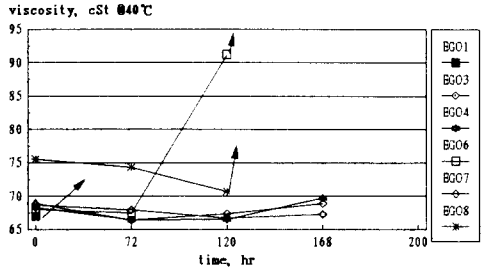



(b) Viscosity of soot added engine oils with testing time

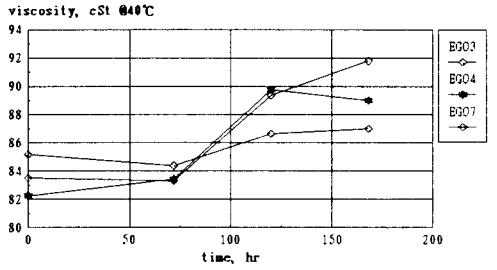



(c) Viscosity increase by soot addition with testing time

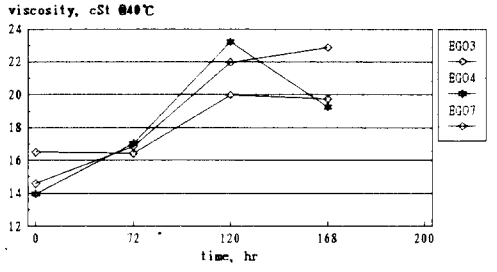
Fig .1 Simulation of soot dispersancy, oxidation test temperature = 166 ℃




(a) Kinematic viscosity of engine oil with testing time




(b) Viscosity of soot added engine oils with testing time




(c) Viscosity increment by soot addition with. testing time

Fig.2 Viscosity of soot added engine oils, oxidation test temperature= 180 ℃

열화온도가 모사실험 1 과 비교하여 매우 높은 고온인 분산성 모사 실험 2 의 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 시험 조건이 고온이 됨으로 인해 상대적으로 열안정성이 떨어지는 용제추출기유를 사용한 EGO1 이 제일 먼저 120 시간 이전에 젤화되고 이어 용제추출기유를 10%함유하고 있는 EGO6 이 젤화 되었으며 DOCP 형의 점도 지수 향상제를 사용한 EGO8 의 경

우가 144 시간 경과 이전에 젤화 되었다. 반면 EGO3, 4, 7 의 경우는 168 시간 경과 후에도 점도가 증가하지 않았다. Fig.2(b),(c)는 180 ℃에서 산화안정도 시험을 한 시료에 3.8wt%의 soot 를 혼입한 경우의 점도및 점도증가량을 나타낸다. 166 ℃에서 산화시험한 시료와는 달리 VHVI 기유에 산화방지제를 추가로 투여한 경우에도 별다른 개선 성능을 나타내지 않았다. 180 ℃의 산화 시험을 수행한 경우에 soot 혼입시 점도증가는 엔진유간에 별다른 차이를 나타내지 않았다. 고온임에도 불구하고 분산성 모사 실험 1 과 비슷한 수준의 점도 증가가 있었다.

### 3.2 엔진 시험

EGO1, 4, 7 에 대하여 엔진 시험을 수행하였다. Table 2 에 피스톤 냉각 방식과 최초 50 시간 동안 운전된 EGO1 의 soot 함량 분석 결과를 나타내었다.

Fig.3 은 엔진시험 1 의 조건하에서 각 50 시간씩 운전한 EGO1 의 soot 양과 점도와의 관계를 나타낸 그림이다. 점도 증가중 60%정도는 soot 에 의한 점도 증가이고 다른 요인에 의하여 40%정도가 증가하였다. 같은 시료인 EGO1 으로 50 시간을 운전한 경우 엔진유에 함유된 soot 의 양이 비슷할 것으로 판단되지만 고속원심분리법으로 분리해낸 soot 의 양에는 상당한 편차가 있었다.

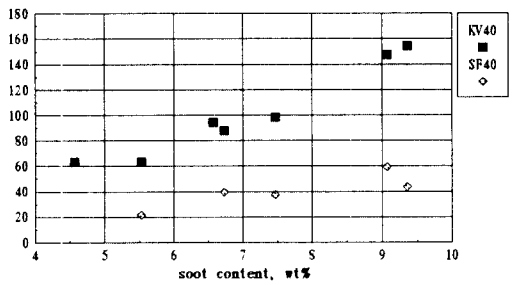



Fig.3 Viscosity increment vs. soot content, E/G test 1

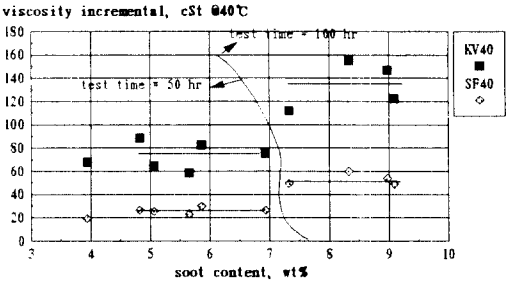



Fig.4 Viscosity increment vs. soot content, E/G test 2

Fig.4 는 엔진시험 2 에 사용한 EGO4 에 대하여 soot 의 양과 점도와의 상관관계를 나타낸 그림이다. 50 시간 운전된 시료의 경우 Fig. 3 에서의 50 시간들과 비교하여 상대적으로 soot 의 양이 작았으며 편차 또한 작게 나타났다. 100 시간 운전된 시료의 경우에도 soot 의 양이 엔진시험 1 의 50 시간에 해당하는 영역에 포함될 정도로 적은 양의 soot 가 검출되었다.

엔진시험 1 과 엔진시험 2 는 엔진 조건이 달라 객관적인 비교는 곤란하지만 엔진내 윤활조건을 고려하여 다음과 같이 생각할 수 있다. 첫번째는 엔진 설계 변경을 통하여 실제로 엔진유로 들어오는 soot 의 양이 감소한 경우이다. 둘째는 VHVI 기유의 사용및 산화방지제 추가 투여로 인하여 엔진유의 열화가 억제되는 경우이다. 마지막으로 엔진유의 soot 분산 성능이 개선되어 같은 양의 soot 가 혼입되었음에도 불구하고 매우 작게 분산 시키는 경우가 있다. 엔진시험 1 의 EGO1 의 경우 같은 50 시간운전인 경우에도 soot 의 양이 5.53 에서 9.36%로 매우 넓게 분산되어 있으나 EGO4 의 경우는 4.82 에서 6.93%로 좁은 구간에 밀집되어 있다. 이는 soot 분산성이 상대적으로 EGO4 가 안정된 성능을 보여주고 있다. 또한 Fig.3 의 시험유인 EGO1 은 soot 의 양과 점도 증각가 비례관계에 있는 것으로 나타났으며 Fig. 4 의 EGO4 는 혼입된 soot 의 양보다 운전시간과 밀접한 상관 관계를 보였다. EGO 4 는 같은

시간 운전될 경우 Fig.4 에서 보는 바와 같이 감은 점도를 나타내 동일 수평선 상에 있게 된다.

엔진시험 3 에서는 엔진시험 1 및 2 와 비교하여 상대적으로 작은 soot 가 검출 되었으며 엔진 설계변경을 통하여 soot 가 엔진유로 들어오는 것을 효과적으로 억제한 것으로 판단된다. 엔진시험 시작후 최초 50 시간에 대한 분석결과는 그 이후의 50 시간의 분석 결과와 비교하여 상대적으로 항상 작은 값을 나타내기 때문에 비교대상에서 제외하였다. 엔진 시험 3 에서 각각 50 시간 사용된 엔진유의 soot 분석 결과를 표 Table 3 에 나타내었다. 같은 엔진을 사용하였으므로 비슷한 양의 soot 가 혼입된다고 가정할수 있고 이 경우 EGO4 와 EGO7 이 더 좋은 soot 분산 성능을 보여주고 있다. SF 엔진유의 점도도 더 작게 나타나고 있어 분산성및 산화 안정성도 상당히 우수한 것으로 나타났다. Table 3 에서는 EGO7 의 soot 함량이 작게 나타나 분산성이 좋게 나타나고 있으나 이는 EGO7 이 산화방지제의 양이 많기 때문인지 아니면 산화방지제의 종류에 영향을 받는 것인지는 명확하지 않다.

Table 4 Comparison of test engine oils

| | EGO1 | EGO4 | EGO7 |
|---|---|---|---|
| soot, wt% | 4.37 | 3.69 | 3.03 |
| KV[1]@ 40 ℃ | 157.29 | 127.86 | 126.88 |
| KV @100 ℃ | 20.35 | 16.1 | 17.83 |
| SF[2] @40 ℃ | 101.80 | 94.34 | 90.37 |
| SF @100 ℃ | 13.61 | 13.24 | 12.9 |

1) Kinematic viscosity , cSt
2) Kinematic viscosity of Soot Free Oil, cSt

## 4. 결론

엔진유의 soot 분산 성능 모사 실험과 엔진 시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) VHVI 기유는 산화 시험 시간이 경과할수록 용제추출 기유보다 우수한 산화안정성을 나타낸다.

2) 분산성 모사실험에서 ZnDDP 는 산화방지뿐 아니라 분산성에도 영향을 미친다.

3) 분산성 모사 실험중 산화 시험의 온도 조건이 모사 실험 결과에 상당한 영향을 미친다.

4) 엔진시험에서 VHVI 기유를 적용함으로써 용제추출 기유를 적용한 엔진유와 비교하여 점도의 급격한 증가가 없는 운전 가능 시간을 2 배로 연장하였다.

5) VHVI 기유를 사용하고 산화방지제를 추가투여 함으로써 용제추출 기유를 사용한 경우와 비교하여 soot 분산성능의 개선 효과를 얻었다.

## 참고문헌


1. T. Miyaji, H. Taya, Y. Tamoto, " The Influence of Diesel soot in oil on viscosity increase," Proceedings of the International Tribology Conference, Yokohama, 1995, pp. 823-828

2. J. chai, M. Desing, " Diesel Engine Oil Requirements in Asia- Pacific," Fuels & Lubes International, Feb. 1996, pp.7-9

3. " Soot Accumulation in Diesel Engine oils: A Review of Reports from Japan and Singapore," Fuels & Lubes International, Jan. 1996, pp.10-11

4.R. Lee, W. Willis, " Effects of Diesel Oil Formulation on Soot Related Oil Thickening, Wear and Oil Seal Performance," Proceedings of the International Tribology Conference, Yokohama, 1995, pp. 829-832

5. 문우식외, " 엔진유의 soot 분산특성 (제 1 보)", 한국윤활학회추계학술대회,pp. 113-116, 1996