

〈技術論文〉

# 디젤機關의 黑煙防止에 관한 考察

—續報：制煙添加劑의 使用—

方 重 哲\*

(1990년 3월 5일 접수)

## Some Considerations for Reducing Black Smoke in the Exhaust Gas from a Diesel Engine

—Additional Report : Utilization of Antismoke Additive—

Joong Cheol Bang

**Key Words :** D.I. Diesel Engine(직접분사식 디젤엔진), Black Smoke(黑煙), Antismoke Additive(制煙添加劑), Barium Sulfonate(바륨 설펜산 鹽)

### Abstract

Recently, the tightening of an available crude-oil supply has resulted in the development of intense consciousness for saving fuel. At the same time, some research programs have been launched to reduce unhealthy products such as CO, HC, NOx and black smoke. To keep up with these trends in society, the regulations affecting diesel black smoke may be greatly strengthened in a short time. This paper discusses how to reduce the black smoke from a diesel engine, and how much the methods for reducing the black smoke affect the engine performance. The major purpose of the present investigation, however, is not to develop new diesel engine highly suppressed the black smoke, but to properly operate existing diesel engines without further remodeling the engine.

### 1. 序 論

근래 차량의 증가로 인한 서울, 부산 등 대도시에서의 배기가스 공해문제는 주차단 못지않은 중대한 사회적 문제로 등장하였다. 다행히 가솔린자동차는 배기가스의 규제강화로 무연휘발유와 배기가스 정화장치를 붙인 차량을 생산 공급하고 있어 대기오염의 개선에 한 몫을 하고 있으나, 디젤차량의 경우에는 규제대책도 미흡한 실정이고 또한 실제의 차량에 채택할만한 저감장치도 아직 개발되지 못한 실정이다.

우리나라가 다른 외국에 비하여 디젤차량의 보유율과 의존도가 높은 점을 감안할 때 뚜렷한 대비책 없이 근래와 같은 증가율로 차량이 늘어난다면 배기가스공해문제는 수년내에 심각한 지경에 이를 것이 틀림없다.

前報<sup>(1)</sup>에서는 LPG와 같은 기체연료를 디젤기관의 흡기관에 소량 흡입시키는 방법을 이용해서 비교적 간단히 흑연과 질소산화물을 동시에 저감시킬 수 있는 대책을 제시하였으나, 기체연료 탱크를 별도로 장착시켜야 하는 불편도 따른다.

本報에서는 Barium系의 燃料添加劑를 연료에 소량 혼합시키는 방법을 이용해서 디젤기관의 흑연방지대책을 검토하여 보았다. 아울러 이 방법을 실용

\*정회원, 금오공과대학 기계공학과

단계에서 유효히 이용할 수 있는 수법과 그때 제기 될 수 있는 문제점 등에 대해서도 검토하고자 한다.

## 2. 制煙添加劑의 化學的 作用

排氣煙을 적극적으로 방지시키기 위하여 有機金屬化合物을 연료에 첨가시키는 방법은 Spengler와 Haupt등<sup>(2)</sup>에 의해 개발되었고, 그 후 辻村<sup>(3)</sup>도 그 制煙效果를 입증한 바 있다.

이들 첨가제는 制煙添加劑 혹은 消煙劑(antismoke additive, smoke suppressant additive)등으로 불리어지며 이미 실용화 된것도 있으나 그 중에서도 알칼리 금속성분인 Barium化合物이 대표적인 것으로 꼽히고 있다. 이들 첨가제의 사용은 기관의 출력증대는 가져오지 않으나 공기과잉률이 낮은 高負荷運轉에서도 소량의 첨가만으로 排氣煙發生을 상당히 억제시키는 효과가 있다. 그러나 그 制煙機構에 대해서는 아직 명확하게 밝혀지지 않고 있으나, 다음과 같은 점에서 그 화학적작용을 미루어 생각할 수 있다. 생각할 수 있는 작용으로서는,

(1) 검댕입자의 응집저지

(2) 첨가제중에 함유되어 있는 금속이 原子狀態로 되어 검댕의 연소를 촉진, 즉 검댕의 발화온도저하 등을 들 수 있다.

한 예로 알칼리금속의 有機鹽인 비누는 소량으로도 분산작용이 있음을 잘 알고 있다. 따라서 遊離炭素의 발생과정에 있어서도 이 분산작용에 의해 탄소입자의 多環化가 저지될 것으로 생각된다. 또 豫混合火炎中에 알칼리금속이나 니켈 등이 들어있으면 검댕의 발생이 억제된다는것도 이전부터 널리 알려진 사실이다. 이러한 점들로 미루어볼때 디젤 기관의 실린더내에서도 화염속에서 발생한 탄소입자가 응집되기전에 알칼리금속같은 양이온에 부착되어 입자끼리의 응집이 억제, 분산될 것으로 생각된다. 즉 制煙添加劑를 사용하면 탄소입자의 성장이 억제될 뿐 아니라, 탄소입자가 발생되었다하더라도 쉽게 연소될 수 있도록 잘게 부숴질 것이므로 연소기간의 末期 이전에 再燃燒 될 것으로 예상된다.

## 3. 實驗裝置 및 實驗方法

사용한 制煙添加劑는 Lubrizol-565(Alkaline Barium Sulfonate)로서, 주 성분은 Barium 이

22.5%(wt. %)이다. 이 Lubrizol-565의 상세한 내용은 발표되지 않고 있으나 참고로 Surpass Chemical Ltd.의 Surchem 404(Neutral Barium Sulfonate)의 성분을 제시하면 Table 1과 같다. 이 제품은 Barium Sulfonate를 高分子의 鑛物油(mineral oil)에 용해시킨 것으로서 친화성이 있어 경유 및 중유 등에 쉽게 혼합된다.

본 연구에서는 경유에 대한 Lubrizol-565의 체적 비율이 0.5%, 1.5%, 및 3.0%가 되도록 혼합시키기 관성능을 측정하였다. 그러나 Barium化合物은 高價이기 때문에 실용면에서는 2.0%를 넘기지 않는 것이 유리하다. 또 3.0%이상의 농도에서는 相分離가 일어나기 때문에 電動式攪拌器를 상시 회전시키두고 가능한 한 균일한 혼합연료가 만들어 지도

Table 1 Product data of surchem 404(neutral barium sulfonate)

Barium sulfornate, wt%	51.0
Base number	0.1
Molecular weight	1120
Mineral oil	48.8
Specific gravity at 60°F	1.00
Flash point °F C.O.C.	360
Viscosity SUS at 210°F	500
Water, wt%	0.2
Sulphated Ash, wt%	11.5
Color ASTM dilute	6.5

Table 2 Details of diesel engine tested

Items	Specifications
Model	ISUZU4BB1
Number of cylinders	4
Bore×Stroke	φ102×110mm
Compression ratio	17.5
Maximum output	73.5kw/3400rpm(100PS)
Maximum torque	235.3Nm/2000rpm (24.0kgf-m)
Maximum BMEP	0.821MPa(8.83kgf/cm <sup>2</sup> )
Injection nozzle	NP-DLLA 152S324
Spray angle	152°
Holes-diameter	4-φ0.32mm
Automatic timing adv.	9°/1000rpm to 3400 rpm

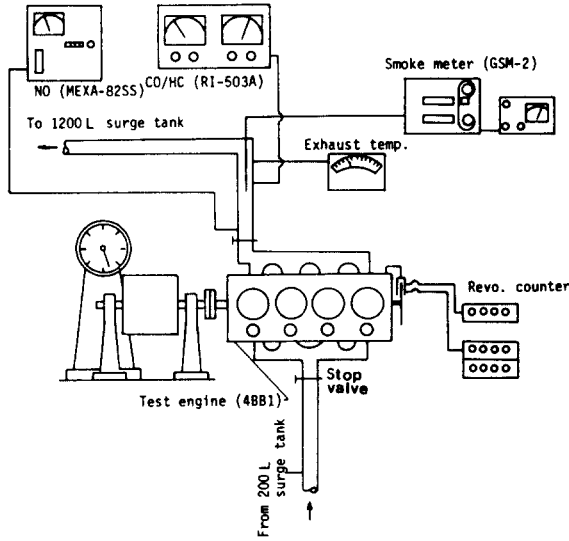


Fig. 1 The arrangement of experimental apparatuses

록 노력하였다.

한편 실험에 사용한 기관은 4사이클 소형고속직접분사식 디젤기관 ISUZU 4 BB 1이며 이 기관의 주요제원을 Table 2에, 실험장치의 개략도와 사용한 측정기기류를 Fig. 1에 나타낸다. 단 본 실험에서 사용한 스톱크 미터는 검출지의 농도를 -0.6에 맞추도록 되어 있다. 또 실험에 사용한 분사노즐은 실험기관의 표준노즐인 NP-DLLA 152 S 324이며 참고로 이 노즐의 形番은 다음과 같이 구성되어 있다.

- DLLA : long hole nozzle
- 152 : spray angle(°)
- 324 : hole dia.  $\phi 0.32 \times 4$ holes

4. 實驗結果 및 考察

Fig. 2는 기관속도를 차량의 출발시에 상당하는 1000rpm과 60km/h의 定速走行에 상당하는 2000 rpm에 고정시키고 Lubrizol-565의 첨가량이 0.5%, 1.5%, 3.0%(vol. %)인 혼합연료를 사용하여 분사량의 변화에 따른 기관성능을 측정하는 것이다. Fig. 2의 1000rpm에서 보면 경유만을 분사한 경우는 부하가 커질수록 排氣煙濃度 및 燃料消費率이 극도로 악화되고 있으나, 0.5%의 혼합연료만 사용하여도 상당히 개선됨을 알 수 있다. 그러나 制煙添加劑의 혼합비율을 높일수록 高負荷域에

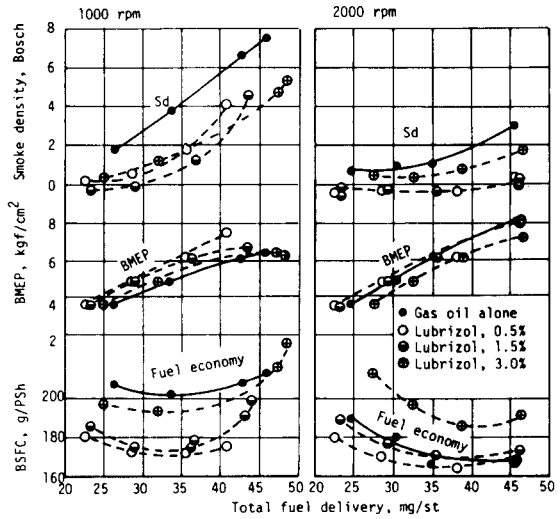


Fig. 2 The effect of barium additive on the engine performance(original injection timing, 22° BTDC)

서 排氣煙濃度가 저하되는 경향을 보이나 燃料소비율은 악화된다. 이것은 制煙添加劑속에 포함되어 있는 高分子化合物에 의해 燃料의 점성이 커지게 되어 분무의 粒徑이 커지게 되고 분산력의 저하로 혼합기형성이 늦어져 연소기간이 길어진 것에 원인이 있다고 생각된다.

한편, 2000rpm의 기관속도에서는 실린더내에 공기난류(turbulence)가 강하게 일어나고 있으므로 制煙添加劑를 혼합시키지 않아도 배기연농도는 일반적으로 낮다. 그러나 0.5%~1.5%의 혼합연료를 사용하면 거의 無煙燃燒에 가까와진다. 이로 미루어 볼때 탄소입자의 응집억제와 탄소입자의 再燃燒에는 실린더내의 공기난류가 매우 유효함을 알 수 있다.

Fig. 3은 분사량을 일정으로 유지하면서 制煙添加劑의 혼합비율에 따른 기관성능을 측정하는 것이다. 이 그림의 1000rpm에서 보면, 制煙效率은 각 분사량에 있어서 혼합비율 0.5%에서 가장 현저하고 0.5%~1.5%사이에서는 크게 변화하지는 않으나 개선됨을 보인다. 그러나 燃料소비율까지 포함시켜 비교하여 보면 혼합비율이 0.5%정도에서 가장 경제적이라고 말할 수 있다. 단 혼합비율이 1.5%를 넘는 경우에는 制煙添加劑 그 자체가 전혀 發熱되지 않았다고 생각하더라도 그 이상으로 燃料소비율이 악화된다. 그러므로 실린더내에 분사된

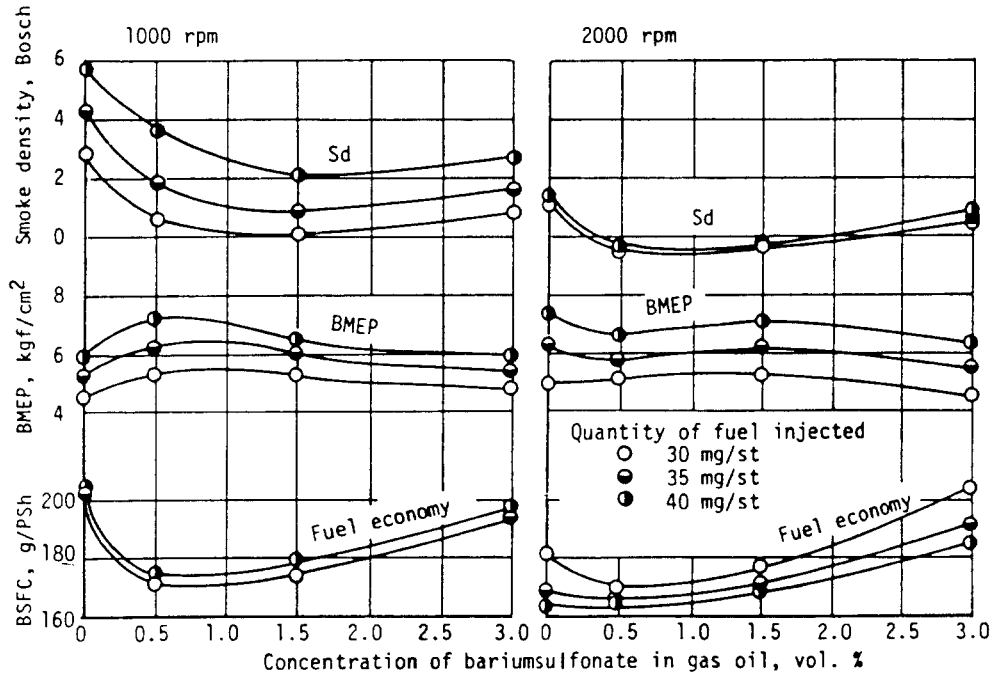


Fig. 3 The effect of barium concentration on engine performance(original injection timing, 22 BTDC)

연료의 霧化는 制煙添加劑의 혼합비율이 커질수록 악화됨을 충분히 생각할 수 있게 한다.

한편 Fig. 3의 오른쪽에 나타난 것과 같이 2000 rpm의 고속역에서는 기관부하에 관계없이 양호한 制煙效果가 얻어진다. 단 총분사량이 30mg/stroke의 中負荷域에서는 制煙添加劑의 혼합비율이 높아질수록 연료소비율이 악화된다.

Fig. 4에서는 배기가스 중의 CO, HC 및 NO 농도까지 포함시켜 制煙添加劑가 기관성능에 미치는 영향에 대하여 고찰한다. Fig. 4에 의하면 일정량의 制煙添加劑를 사용하면 HC, CO 및 NO 농도가 저하되고, 특히 혼합비율 3.0%에서 NO농도의 저하가 현저하게 나타난다. 이것도 前述한 바와 같이 高分子化合物을 溶劑로 하는 燃料添加劑를 연료에 혼합시킴에 따른 점성의 증대 및 油粒徑의 증대로 인해 豫混合燃燒량이 감소된 것이 主因이라고 생각된다.

또 소량의 制煙添加劑는 노즐噴孔의 淨化에도 역할을 하는 것으로 생각된다. Fig. 4의 1000rpm에서 보면 경유만을 분사한 경우 배기연농도 및 연료 소비율이 극도로 악화됨을 나타내고 있으나, 0.5%

의 혼합연료를 사용하면 新노즐로 교체한 정도까지 배기연농도와 연료소비율이 거의 회복된다. 이것은 기관을 장시간 운전함에 따른 니어들밸브 및 噴孔의 炭素燒着으로 유발된 霧化의 저하가 制煙添加劑중에 포함된 溶劑의 潤滑작용에 의해 어느정도 완화되었기 때문으로 생각된다. 역으로 制煙添加劑를 과도하게 혼합한 연료를 사용해서 붓쉬(Bosch)指示值 3이상의 운전을 지속한 결과 노즐뿌리部까지 카본 플라우어(carbon flower)가 성장하여 數分間의 운전으로 분무상태가 극도로 악화되었다. 이 카본 플라우어는 制煙添加劑중에 포함되어 있는 溶劑가 분사노즐의 근방에 퇴적된 것으로, 분사노즐로부터의 熱放散을 방해하여 결과적으로는 니어들밸브의 燒着을 일으키는 원인이 된다.

참고로 예연소실식 디젤기관(φ88×98mm×4, 배기량 2384cm³, 압축비 20:1, 최대출력 75ps/3800 rpm, 三菱 4DR10A型)에 대한 실험결과를 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5에 의하면 副室式기관에 대한 制煙效果도 직접분사식 기관과 거의 같은 경향을 보임을 알 수 있다. 또 혼합비율은 0.5%~1.0%에서 制煙效果가 가장 양호하다. 그러나 연료소비율

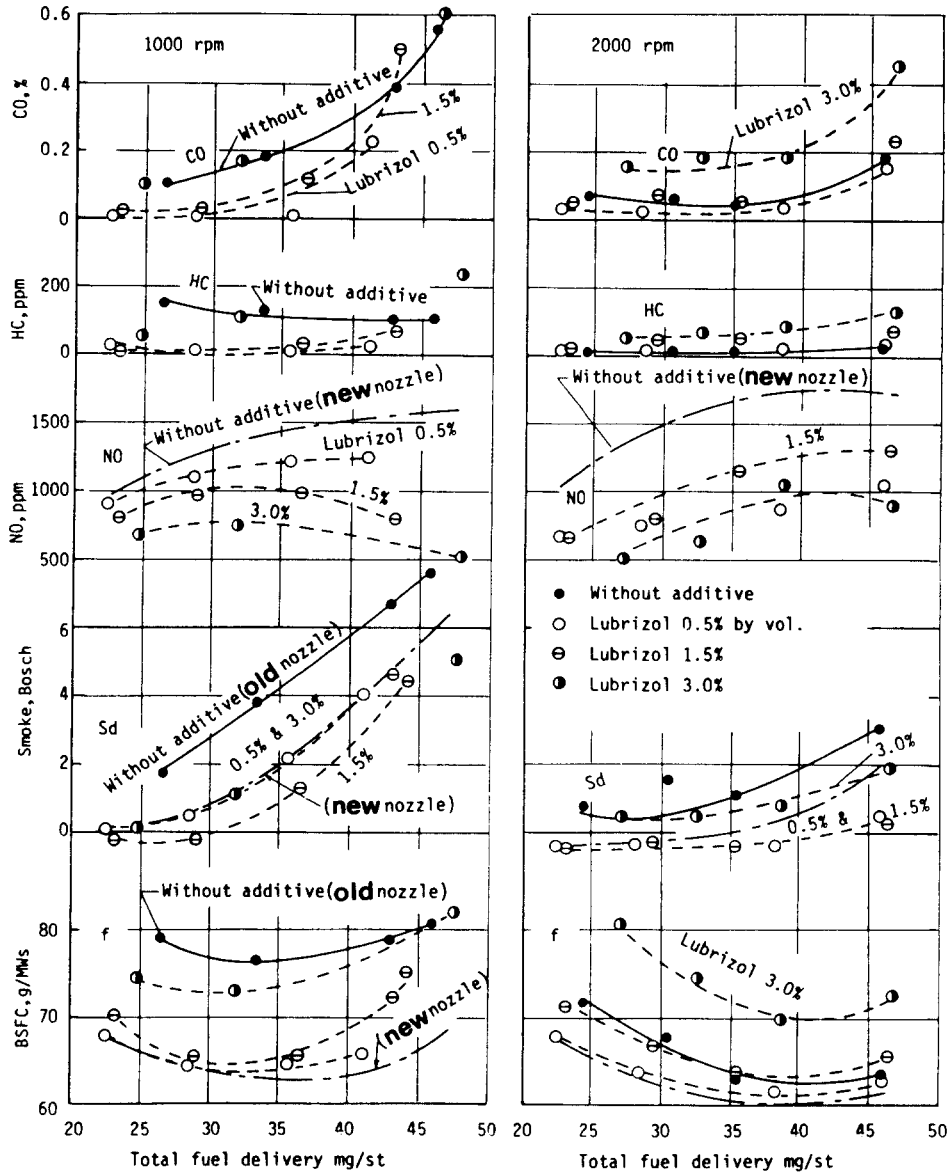


Fig. 4 The exhaust gas suppression with barium additive at various conditions

의 개선은 직접분사식기관 만큼 기대되지 않는다.

### 5. 制煙添加劑의 有効한 이용법

制煙添加劑나 着火促進劑등에는 연구개발비까지 가격에 포함시켜 놓았기 때문에 일반적으로 경유가격의 약 10배 이상으로 高價이다. 그러므로 가능한 소량의 첨가로 효율있게 排氣煙을 억제시킬 수

있는 방법을 찾는것이 바람직하다. 본 연구에서 처럼 운전용 연료에 制煙添加劑를 거의 균일한 상태로 혼합시켜 기관을 운전하는 경우에는 全 使用燃料量의 혼합비율에 상당하는 制煙添加劑가 필요하게 되어 경비가 제법 들게 된다. 그러므로 排氣煙 발생이 심한 직접분사식기관이나 정비불량의 기관 혹은 排氣煙의 발생이 심해지기 시작한 기관에만 사용하는 방법도 생각할 수 있다. 制煙添加劑를 더

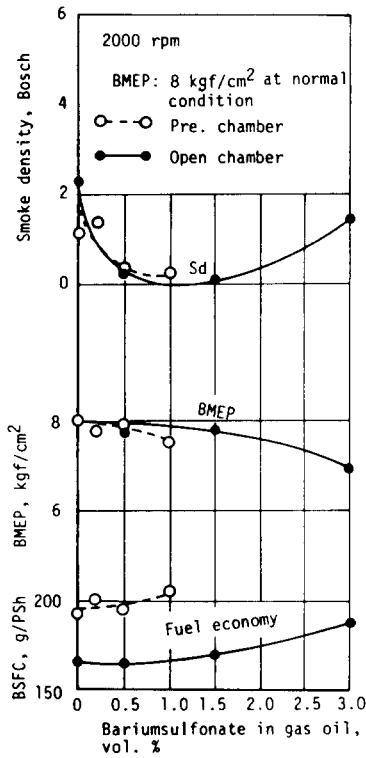


Fig. 5 The effect of barium additive on two kinds engine type

을 절약해서 사용할 수 있는 또 다른 방법으로서,

(1) 분사노즐을 洗淨시키는 의미도 있으므로 定期的으로 制煙添加劑를 혼합시킨 연료를 사용하는 방법

(2) 高負荷운전시, 예를 들면 러쉬아워나 등판시에만 혼합연료를 사용하는 방법 등이 있다.

(2)의 방법은 Fig. 6의 A나 B부에 보조의 혼합연료탱크를 연결시키는 것으로서 각 플런저(plunger)에 아주 가깝기 때문에 혼합연료가 주입되어 분사될 때 까지의 시간이 단축된다<sup>(4)</sup>. 그러나 1.5~2.0 bar의 給送壓力이 걸리기 때문에 혼합연료를 壓入시켜야 한다. 단, 이 방법은 분사펌프내의 연료에 의해 혼합연료가 희석될 것이므로 약 3.0% 前後의 혼합연료를 壓入시켜야 할 것이다.

6. 結 論

열효율이 높은점에서 장래 가장 유망시 되는 직접분사식 디젤기관에 있어서 Barium系의 制煙添加劑를 이용하는 방법에 의해 실용가능한 黑煙방지책을 검토하였다. 본 연구에서 얻은 성과를 요약하면

(1) Barium系 制煙添加劑의 制煙作用은 실린더내에서 탄소입자의 성장 혹은 응집을 억제시켜 燃燒後期에서 再燃燒되기 쉽도록 탄소입자를 잘게 부쉬주는 것으로 생각된다. 그러므로 실린더내의 공기 유동이 약할수록 첨가비율을 높여주지 않으면 안되

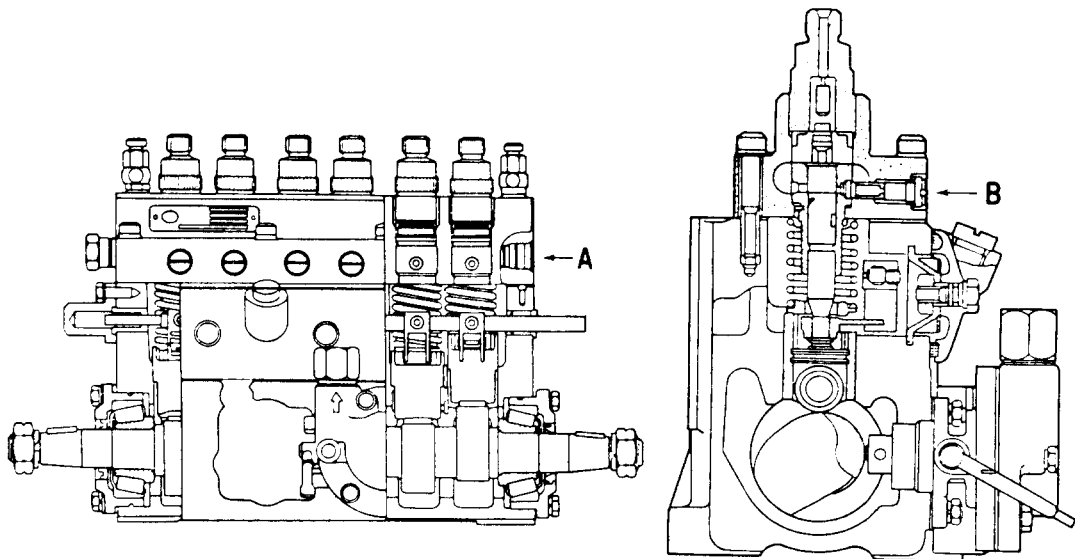


Fig. 6 Emergency supply positions of antismoke additive for a Bosch In-line type injection pump

나, 노즐噴孔이 극도로 막혀있지 않는 한 0.5%정도의 첨가량만으로도 연료소비율, 배기연농도 등이 新品노즐로 교체했을시의 성능까지 회복된다.

(2) 기관속도가 약 2000rpm의 中速域에서는 0.5%~1.5%정도의 첨가량으로 거의 無煙燃燒가 가능하다.

(3) 일정량의 첨가는 연료소비율, 배기연농도의 개선뿐만 아니라 CO, HC 및 NO의 농도까지 저하시킨다.

(4) 저자가 제안한 制煙添加劑의 有效한 이용법중에서, 필요시에만 사용하는 방법은 制煙效果의 신속성문제 혹은 자동공급장치의 개발문제 등 해결하여야 할 과제가 많다. 그러므로 制煙添加劑의 노즐洗淨作用을 이용한, 定期的으로 일정비율의 혼합연료를 사용하는 방법이 직접분사식 디젤기관에는 유

효할 것으로 생각된다.

### 參 考 文 獻

- (1) 방중철, 1987, "디젤기관의 흑연방지에 관한 고찰", 대한기계학회논문집, 제11권, 제 6 호, pp. 963~970.
- (2) Spengler, G., Haupt, G., 1970, "Über die Wirkung Russhemmender Kraftstoff-Zusatze bei der Verbrennung im Dieselmotor", MTZ, Jahr. 31, Nr. 3, ss. 102~108.
- (3) 辻村, 1973, "ディーゼル機関の排気と黒煙", 内燃機関の燃燒, 山海堂, p. 324.
- (4) 小早川, 1979, "ディーゼルエンジン始動性の化学的改善法に関する一提案", 内燃機関, Vol. 18, No. 230, pp. 25~37.