디젤機關으로 부터 排出되는 微粒子狀 排出物質의 特性
— 제2보 : 燃料 組成과의 관계 및 低減技術 —

Characteristics of Particulate Emitting from a Diesel Engine
— 2nd Report, Relation to Fuel Formation and Technology for Particulate Reduction —

河 鍾 律
Ha Jong - Yul

하 종 률
• 1945년 12월생
• 디젤기관의 연소개선을 통한 배출물 저감 연구
• 정회원, 동아대학교 기계공학과

1. 序 論

디젤機關으로부터 배출되는 微粒子狀排出物質의 대기오염에 대한 문제점은 갈수록 심화되고 있다. 先進 諸國에서는 배출규제의 단계적인 강화를 시행하고 있고, 국내에서도 輕油를 사용하는 3톤 이하 소형화물차와 승합차는 96년부터 배출물의 중량규제를 실시키로 하고 있다. 이에 대응하기 위해서 代替燃料開發, 燃燒改善, 후처리장치 등을 통한 저감기술이 다방면으로 연구·검토되고 있다. 즉, 燃料의 性狀과 배출되는 微粒子와의 관련을 조사해서 최적의 연료를 선택하는 방법, 알콜 등의 硬質燃料를 대체연료로 사용하거나 물 등을 경유에 첨가하여 사용하는 방법, 연소실에서 혼합기 유동의 제어를 통한 연소 개선의 방법, 내열성이 높은 세라믹제 등의 허니컴필터 트랩(trap)을 배기관 도중에 설치하여 미립자를 포집하는 후처리 방법 등을 들 수 있다.

본 글에서는 미립자의 저감을 위하여 앞에서 든 방법중에서 지금까지 연구 또는 사용되어 왔거나 현재 연구중 또는 미래에 등장할 것으로 예상되는 방법에 대하여 논하고자 한다.

2. 燃料의 性狀과 발생 微粒子

2.1 輕油의 구분과 성질

자동차용 연료는 분자구조가 다른 각종의 탄화산소로 되어 있지만 機關性能에의 영향은 연료중의 탄화수소의 조성에 크게 좌우되는데 대개의 경우 파라핀계(C_nH_{2n+2}), 나프텐계(시크로파라핀 : $C_nH_{2n+2-2n}$), 오레핀계($C_nH_{2n+2-2m}$) 및 방향족(C_nH_{2n-6}) 등 계열이 다른 탄화수소 함유비율의 영향이 크다. 연료가 연소하기 위해서는 우선 액체연료가 氣化해야 하는데 연료의 휘발성의 척도로서는 蒸氣壓과 沸點이 있다. 증기압은 온도의 상승과 함께 높은 값을 나타내고, 온도가 일정할 때 탄화수소의 증기압은 炭素數의 증가와 함께 단조 감소한다. 동일 탄소수의 경우, 증기압은 오레핀 > 파라핀 > 나프텐≒방향족의 순으로 낮아지고 또, 탄화수소의 비점은 탄소수의 증가와 함께 높아지며, 동일 탄소수의 경우에는 오레핀 < 파라핀 < 나프텐≒芳香族의 순으로 높아진다. 기관의 성능에 영향을 주는 着火溫度는 그림 1에 보이는 바와 같이 直鎖狀(normal) 파라핀의 경우, 탄소 수의 증가와 함께 단조감소(세탄가가 높아진다)하지만 C_5 이상의 파라핀에서는

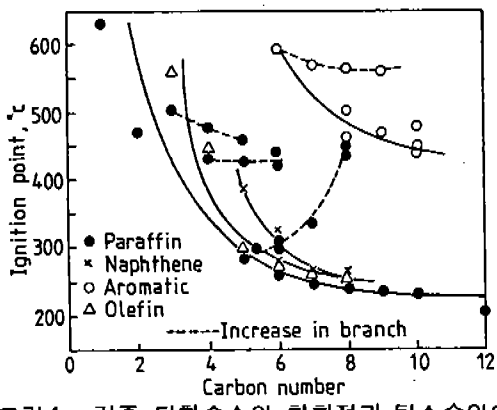


그림 1 각종 탄화수소의 착화점과 탄소수와의 관계

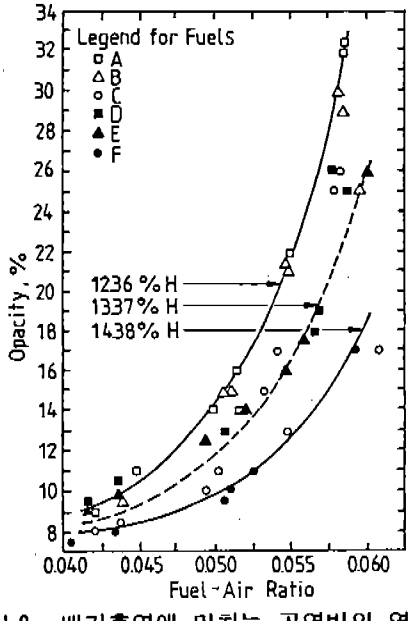


그림 2 배기흑연에 미치는 공연비의 영향 (1, 000 rpm, 압축비 23, 분사시기 13도 BTDC)

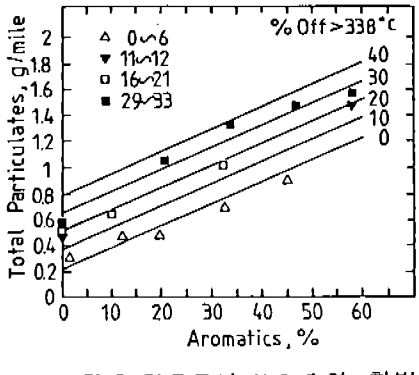


그림 3 방향족 함유율과 終留分의 휘발성과의 관계로 표현한 미립자 총 배출량

分岐構造의 증가와 함께 급격히 높아지며, 특히 방향족 탄화수소의 착화온도는 일반적으로 매우 높은 경향을 보인다.

2. 2 炭化水素燃料의 性狀과 微粒子

배출미립자(原著의 표현을 인용하여 매연농도측정기에 의한 측정값은 排氣煙으로, 稀釋터널로써 배출미립자의 중량을 측정한 결과치는 미립자로 표현하였음) 발생에 미치는 영향으로서는 연료의 성상, 운전조건, 연소조건 등을 들 수 있다.

Voorhies 등[1]은 수소함유율, 세탄가, 휘발성이 서로 다른 6종류의 연료를 와류실식의 CFR기관으로 시험한 결과 그림 2 (광의 투과도로 조사)와 같이 수소함유율이 排氣煙 발생에 미치는 가장 확실한 인자인 것으로 발표하였다. 이에 대해, 희석터널로써 미립자를 측정한 연구에서는 연료의 휘발성과 방향족함유율을 든 경우가 많다. 예로써, Bouffard 등[2]은 渦流室式 디젤機關으로 방향족 함유율 0~58 % 범위에 있는 15종류의 연료를 FTP (federal test procedur)로 시험하고 EPA-CVS 희석터널로써 미립자를 측정한 결과를 그림 3과 같이 정리하였다. 즉, 미립자 총 배출량은 338℃ 이상의 留分%라고 하는 형태로 표시되는 휘발성과 방향족 함유율이 큰 인자이고, 더우기 미립자를 SOF (soluble organic fraction)와 soot로 구분하면, SOF에 대해서는 휘발성이, soot에 대해서는 방향족 함유율의 영향이 지배적이나, 이는 시험기관의 종류에 따라 두 인자의 영향도 변하는 것으로 보고하였다.

Burley 등[3]은 각종 탄화수소가 미립자 발생에 미치는 영향도를 확인하기 위해서 분자중 하나의 탄소원자를 放射性의 C_{14}로 置換하여 이를 표준 디젤연료에 한 종류식 섞고, 기관을 운전하여 채집된 미립자 중의 C_{14} 의 양을 조사하여 각종 탄화수소가 미립자 발생에 미치는 영향도를 알아본 결과 방향족, 특히 벤젠環을 형성하는 탄소가 미립자 생성에 영향이 큰 것을 확인 하였다. 또, 이들은 46종의 시험연료를 間接噴射式 디젤機關에서 FTP에 따라 시험한 결과 Bouffard 등의 보고와

같은, 방향족 함유율과 휘발성이 미립자 생성의 큰 인자임을 확인하였다.

Bykowski, Hare 등[4]은 표1에 보이는 初留點 203℃, 最終留點 252℃의 좁은 留分 범위의 기준연료와 여러 種의 탄화수소 첨가제로써 만든 11종류의 시험 연료를 豫燃燒室式 디젤機關으로 시험하여 배기연, 미립자 배출량과 粒徑, BaP (benzo a pyrene) 배출량에 대한 조사를 하였다. 이 때의 운전모드는 주로 cold FTP 및 hot FTP이다. 이 결과 FTP의 최초 505초 동안 EPA smoke meter에 계측되는 배기연은 표1의 각 연료에 대해서 표2와 같은 결과로서, 방향족 함유율이 높은 No. 434에서 매우 높고, 오레핀혼합의 No. 438은 어느모드에서나 기준연료(No. 395)를 밑돌고 있음을 알 수 있다.

표3에 의하면 희석터넬에서 채취된 미립자는 방향족함유율이 기준연료의 약 5배 높은 No. 434와 No. 460에서 기준연료 보다 20~30%정도 많이 발생하고, No. 434에 세탄가향상제 (methyle·hexyl·nitrate)를 첨가한 No. 436에서는 60~70% 많게 나타났다. 이에 대해, 오레핀혼합의 No. 438과 低沸點 파라핀혼합의 No. 448에서는 10~20% 저감되었다.

Hare 등[5]은 BaP 배출량에 방향족함유율의

表1 시험연료의 성상

Fuel Code and Description	Gravity[a] °API	Cetane[b] Number	Nitrogen[c] ppm	Aromatics[d] vol.%	Olefins[d] vol. %	Distillation ℃[e]		
						IBP	50%	EP
EM-395-F H 320 base	47.0	62	< 1	5.8	1.5	203	216	252
EM-401-F JP-7	45.3	54	< 1	2.7	1.9	193	221	261
EM-404-F base + isoquinoline (0.04%N)	46.7	62	479	6.1	1.5	194	215	253
EM-405-F base + isoquinoline (0.1%N)	46.4	61	930	6.6	1.5	194	214	255
EM-430-F base + shale oil cut	46.2	63	493	8.8	1.8	200	214	249
EM-434-F base + heavy aromatics (HAN)*	40.1	44	5	31.5	2.9	191	216	266
EM-438-F base + olefin package	47.0	64	< 1	6.8	6.6	203	214	252
EM-448-F base + paraffin light ends	49.3	56	< 1	4.9	1.8	175	209	249
EM-460-F base + individual aromatics	42.1	46	< 1	32.1	1.0	203	214	255
EM-461-F base + paraffin heavy ends	47.5	68	< 1	5.1	1.0	207	223	286
EM-463-F EM-434-F + cetane improver	40.0	60	718	30.8	1.2	190	216	266

[a] ASTM D 267
[b] ASTM D 613
[c] oxidative pyrolysis
[d] ASTM D 1319
[e] ASTM D 86, thermal distillation

* heavy aromatic naphtha

表 2 排出 可視 黑鉛 데이터

Condition	Average Smoke, PHS%, by fuel										
No.	395	401	404	405	430	434	438	448	460	461	463
Cold-start peak	21.7	12.3	31.5	21.2	···	42.8	14.5	26.7	22.4	27.0	17. 6
Cold idle avg. (after start)	6.0	6.1	8.0	6.0	···	6.3	5.5	5.6	6.8	6.2	7. 4
1st accel peak	26.1	18.8	20.8	19.6	···	14.4	16.0	28.9	46.7	29.2	23.8
Idle at 125 sec., avg.	2.1	1.1	1.0	1.2	···	2.0	1.2	0.7	2.4	2.4	2.6
Accel at 164 sec, peak	5.0	8.8	5.1	6.0	···	9.1	4.8	5.0	12.7	8.9	21.0

表 3 미립자 배출량

Fuel Code	Fuel Description	Calculated 1981 FTP Particulate Emissions[a]		
		mg/km	g/hr	mg/m^{3b}
EM-395-F	Base	171.	5.47	54.5
EM-401-F	JP-7	151.	4.66	46.4
EM-404-F	Base+isoquinoline (0.04%N)	162.	5.14	51.2
EM-405-F	Base+isoquinoline (0.1%N)	162.	5.47	54.5
EM-430-F	Base+shale oil cut	180.	5.74	57.1
EM-434-F	Base+HAN	212.	6.87	68.5
EM-438-F	Base+olefins	155.	4.63	46.1
EM-448-F	Base+paraffin light ends	142.	4.41	44.0
EM-460-F	Base+individual aromatics	219.	6.70	66.8
EM-461-F	Base+paraffin heavy ends	159.	4.98	49.6
EM-463-F	EM-434-F+cetane improver	287.	8.86	87.6

[a] Based on 47mm fluorocarbon-coated glass fiber filters
[b] At 101.3 kPa and 21℃

영향을 인정하고 있으며 또, BaP는 각 운전 모드중 空回轉, 低負荷나 冷間始動이 긴 모드에서 많이 발생하는 것으로 보고하였다. 미립자의 성분분석결과 중량으로 탄소 68~74%, 수소 3~4%로 나타났으며, 이 결과로 부터 soot 등에 여러형태의 탄화수소가 흡착된 것으로 추측할 수 있다.

3. 微粒子 捕集에 의한 低減

현재의 디젤기관 연소기술로써 EPA규제는 극복이 가능했지만 앞으로 더욱 엄격해질 EPA의 규제치(예:1994년의 0.10g/ps.h)에는 대처하기가 불가능할 것으로 예상하고 있다. 그 결과 고안된 것이 미립자의 포집에 의한 저감법이다. 즉, 사이크론, 물 스크라버, 靜電捕集, 필터 등이 검토되어 왔지만 필터 이외의 방법은 포집효율, 압력손실, 포집한 미립자 처리 등의 면에서 어려움이 많기 때문에 현재로서는 필터의 개발에 전념하고 있는 경향이다.

3.1 필 터 법

3.1.1. 구조 및 특성

대표적인 필터로서는 그림 4에 보이는 4각 셀 형상의 허니콤 필터(세라믹 일체구조)[6),7)]

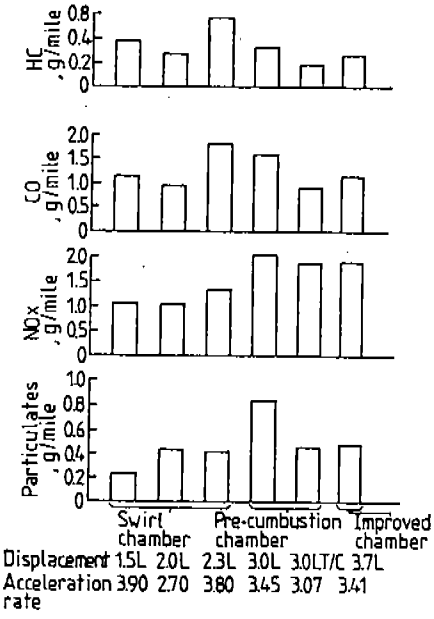


그림 4 각종 형식의 디젤기관을 탑재한 승용차의 CVS-CH 배기

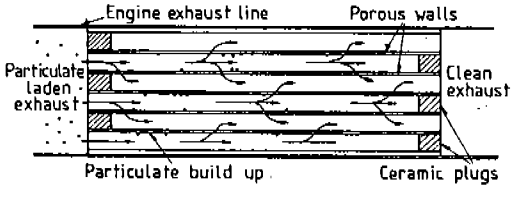


그림 5 세라믹필터의 단면과 가스유동 상태

이다. 이 필터는 $MgO-2Al_2O_3-5SiO_2$가 기본원료이며 機械强度, 耐化學性, 耐熱破壞性, 融點 등의 면에서 요구를 만족하는 특성을 보인다. 단면은 그림 5에 보이는 바와 같이 미립자는 排氣流가 서로 이웃하는 셀(cell)에 침투 이동할 때 多孔質의 벽에서 포집된다. 이들 필터는 소음기 형상의 하우징 내에 단열재를 끼워서 수납해서 사용하며 기관에 장착할 때에는 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

① 捕集能力

기관에 따라서 배출미립자농도가 다르고 규제치도 해마다 엄격해 지고 있기 때문에 간단히 표현하기는 어렵고, 현재로서는 최소한 0.1 g/ps.h의 EPA 규제치를 만족할 수 있도록 노력해야 한다.

② 壓力降下

포집효율을 높이기 위해서 세라믹중의 孔徑을 너무 적게 하거나 벽을 두껍게 하거나 또는 울(wool)을 조밀하게 하면 배기압력이 상승하여 기관효율과 출력이 저하한다. 이 배압이 25.4 mmAq 상승하면 출력은 1%정도 저하하기 때문에[7] 필터 압력손실은 가능한 줄일 필요가 있다.

③ 再　　生

기관 운전중 필터에 포집된 미립자를 가능한 저온에서 연소, 소멸시켜서 재생할 수 있는 구조여야 한다.

④ 耐 久 性

재생은 고온하에서 이루어 지기 때문에 多數回의 재생처리에도 충분한 내구성을 가져야 한다.

3.1.2 捕集理論·捕集性能

Oh 등은 파이버 필터에 미립자가 포착되는 구조를 수학모델로써 설명하고 있다.[8] 즉, 그림 6의 입자 포집기구와 같이 파이버 직경이 10 μm, 유속이 8cm/s의 경우를 예로 들면, 직경 1μm 이상의 미립자는 慣性에 의해서 화이버에 충돌해서 포집되고, 0.1μm 이하의 미립자는 거의 브라운운동으로 화이버에 포집된다. 또, 중간크기의 미립자는 流線이 화이버를 따라서 흐를 때 접촉해서 포착된다. 그러나, 본 이론은 세라믹의 다공질 벽을 미립자가 통과하는 경우에 미립자의 포집기구를 이해하는 데에는 도움이 되지만, 알루미나 표면과 세라믹 표면에는 많은 요철이 존재하기 때문에 이 이론을 적용하기 위해서는 변형을 요한다.

셀상 세라믹필터의 포집특성에 관한 실험결과[6]에 의하면 그림 7에 보이는 것과 같이 포집효율에 큰 영향을 미치는 것은 다공질세라믹의 孔徑이고 벽의 두께 등은 2차적인 영향을 미치는 정도이다. 또, 필터의 처리능력은 필터의 용적에 비례하며 최적의 셀 밀도는 100~200 cell/in^{2}이다. 예를들어, 1980년식 올스모빌 350을 2~3시간 운전할 때 포집효율을 80%이상, 압력손실을 140 cmAq 이하로 유지시키기 위해서, 필터는 공경 12~13μm, void (공극)율 50%, 100cell/in^2, 벽두께

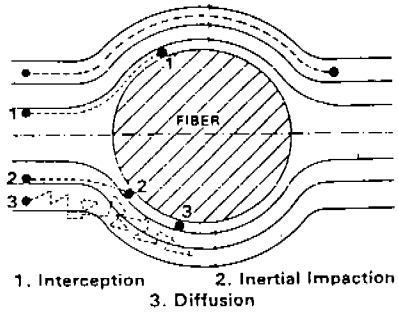


그림 6 單本 파이버에 의한 微粒子 捕集機構

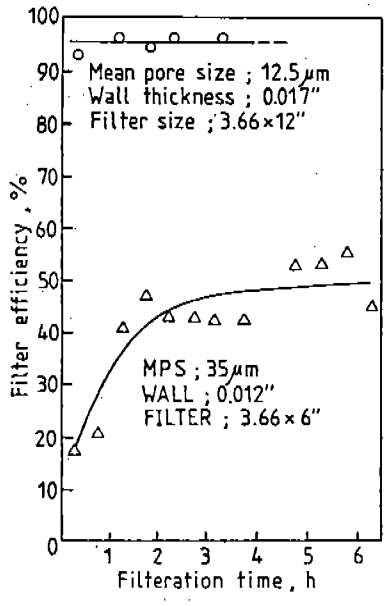


그림 7 捕集效率에 미치는 孔의 크기와 포집 시간의 영향(세라믹필터)

0.43mm, 휠터치수 Φ43mm, 길이 305mm 정도의 것이 최적인 것으로 확인 되었다.

3.1.3 捕集 및 再生

세라믹필터나 파이버필터에 퇴적한 미립자는 필터 전체의 압력을 증가시켜 기관성능을 저하시키기 때문에 이것을 연소시켜서 제거 할 필요가 있다. 퇴적 미립자의 착화와 연소성은 미립자의 물리적성질, 즉 형태, 비표면적, 밀도 및 화학적 성질(조성과 유기물의 흡착의 유무), 그 외에 분위기의 산소농도, 온도, 유속 등에 의존한다. Otto 등은 배기가스 중의 미립자의 착화와 연소에 미치는 상기 인자의 영향을 기초적으로 조사[10]하고, 미립자의 착화에는 산소가 충분한 경우에도 최저 460 ℃는 필요하며, 또 촉매를 사용하면 350℃ 정도에서도 착화가 가능하고, 산소농도는 0.1kg/cm³ 정도면 충분하기 때문에 통상의 배기가스로서도 가능한 것으로 보고하였다. 그러나, 實車에 필터를 설치하는 경우에는 단시간(수분 이내)에 재생을 필요로 하기 때문에, 재생시에는 약 600℃의 배기가스온도(필터입구온도)가 요구 된다. 이 때문에, 필터는 가능한 배기관 근처에 장치할 필요가 있다. 포-드사가 코-닝(corning)의 세라믹필터로써 행한 재생법에서 (1)고속, 고부하운전 (2)고속, 중부하 교축운전 (3)저속, 저부하시의 배기버너 사용의 세가지 방법으로 각 운전조건에서 재생에 필요한 배기가스온도 600℃를 얻었다.[11] (1)의 경우, 디젤 미립자용 세라믹필터의 배압과 미립자 포집량의 시간적 변화를 AMA 사이클(2,300cc 디젤기관 사용)의 정상 운전으로 시험하였다. 3,500rpm 전부하 운전으로 시험하여 105분에 680℃의 배기온도에 도달했으며, 약 3분 정도로 재생을 완료하고 있다. 그러나, 고속, 고부하운전은 실제 운전모드에서는 그다지 빈번하지 않기 때문에 (1)의 조건은 현실적인 방법이라고는 할 수 없다.

(2)의 교축운전법은, 흡입공기량을 교축하고 공기비를 35에서 18까지 줄여서 2~4%의 산소를 남기고, 배기온도도 600℃이상으로 높여 3분정도에서 재생을 완료시킬려고 하는 방법이다.

(3)의 버너법은 흡기를 교축해도 배기온도가 소정의 값까지 상승하지 않는 저속의 경우에 사용하는 방법이다. 버너 형식에는 공기와 연료를 함께 배기중에 공급하는 방법과 연료만을 공급하는 방법이 있다. 64km/h 로 운전중에, 필터입구온도를 600℃가 되도록 버너로써 재생시킬 때의 필터출구의 배기조성을 알아 보면, 일산화탄소 농도는 공기·연료 버너의 경우가 높고, 탄화수소 농도는 연료버너의 경우가 높으며, 어느 쪽이든 2~3 분으로 재생이 가능하다. 재생에 여분의 연료를 사용하기 때문에 시속 88km/h 로 주행시에는 5%, 공회전시에는 2.5%정도 연비가 각각 나빠진다. 차속, 또는 기관회전수와 출력에 상

술의 3종의 재생법 적용범위를 표시하면 그림 8과 같다. 재생처리의 간격은 기관의 운전조건에 따라 다르지만, 세라믹필터의 경우에는 동 실험결과로부터 2시간 정도로 판단된다.

텍사코사의 알루미나피복 스틸와이어(steel wire) 필터의 경우 재생은 필터의 상류, 즉 배기공과 필터의 중간에 설치된 귀금속촉매버너로써 배기온도를 높여서 행하고, 재생처리의 주행간격은 241~321km이지만, 이 기간의 포집효율은 60~82%, 背壓은 13.5~21.9kpa로 유지된다. 耐久試驗의 결과, 포집은 그림 9와 같이 재생처리의 실패에 의한 필터 파손시(약 50,000km주행)까지 양호하게 행해진 것으로 보고하였다.

3.2 觸 媒

필터의 재생을 용이하게 하고 고온에 의한 필터의 劣化, 파손을 막고 포집미립자의 착화온도와 재생연소온도를 저하 시키기 위해 촉매를 사용한다.

촉매필터에 사용한 미립자의 포집·산화에 대한 연구로서 존손 맛세이社(미국)의 예가 있고, 이를 그림 10에 보인다.[12),13)] 필터는 기본적으로는 스테인레스의 망을 원통으로 성형하고 배기가스가 원통주위로부터 중심을 향해서 유입하도록 되어있다. 앞에서 든 망은 촉매제인 얇은 알루미나의 擔體로 피복되어 있다. 이 촉매는 미립자의 산화촉진과 함께 황산염의 생성·배출을 극소화 하도록 연구되어 있다. 이 촉매필터의 역할은 미립자를 필터로써 포집한 것을 배기가스온도의 상승으로 점화조건이 만족될 때 산화·제거시키는 것이다. 이때의 점화온도는 350℃정도 인데, 그림11은 이 촉매장치를 無過給 5速의 자동차로써 시험한 결과, 무장착시 0.48g/mile에서 장착시 0.20g/mile 이하로 감소하고 있음을 보이며, 본 그림에서는 제시하고 있지 않으나, 같은 시험방법으로 HFET (고속 주행연비 측정을 위한 주행 사이클)의 경우에는 배기가스온도가 높기 때문에 0.25에서 0.08g/mile까지 저감됨을 확인하였다.

河野[14)]등의 보고에 의하면 아직까지 검토를 요하는 문제점이 많다는 전제 하에 표4에 보이는 개념도에 따라서 세라믹製 미립자 트랩(기관 행정 용적의 2배)을 개발하여 기관의 여러 운전조건에서 시험한 결과, 연소개시온도를 촉매종류에 따라서 300~400℃범위까지 낮출 수 있음을 확인하였다. 이 경우의 촉매방법으로서는 베이스 메탈(base metal)

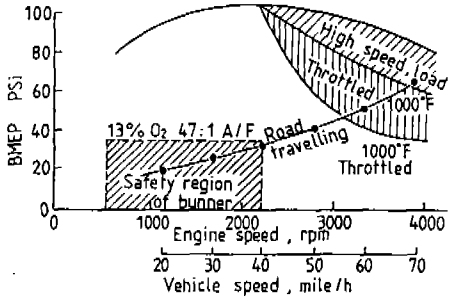


그림 8 제동평균 유효압력과 기관회전수에서 고속·고부하재생, 교축재생, 버너재생의 작동영역(세라믹필터)

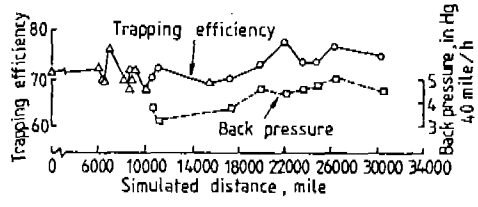


그림 9 350CID 1980년식 올스모빌로서 시속 64km로 시뮬레이션한 내구시험결과(알루미나 피복 금속 울)

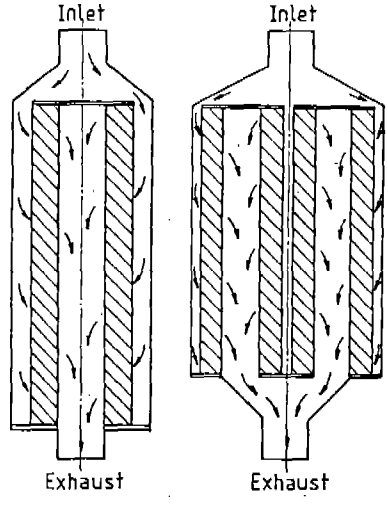


그림 10 바닥밑型 觸媒 微粒子 酸化裝置

계 촉매와 귀금속촉매(S<0.05wt%의 저유황 연료 사용)인 2종류의 연료에 대하여 실험하였다.

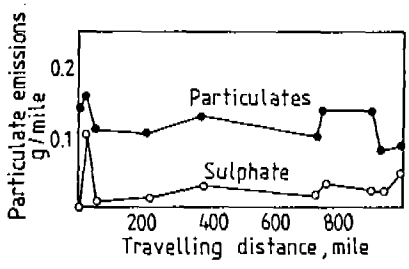
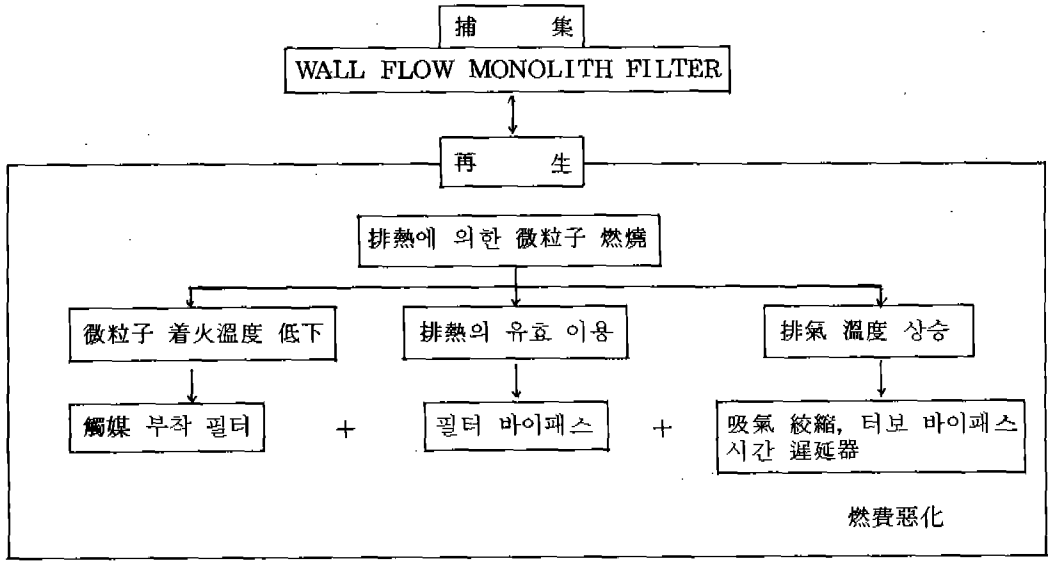


그림 11 JM13형 촉매 미립자 산화장치의 LA-4에 의한 측정결과(무장착시 : 0.48g/mile)

버너 또는 전기를 사용하여 필터부 주위의 온도를 적극적으로 높이는 방법의 한 예로서는 촉매가열용 애프터 버너(after bunner)[15]가 있고 이는 촉매기 직전에서 추가공기와 연료를 공급하여 연소시켜 촉매부의 온도를 높이는 방법이다. 또, 전기적인 방법으로는 大內등[16]이 필터직전에 길이 85mm정도의 1.2kw시즈형 니크롬선을 촉매기 앞부분에 가로질러 설치하고 간헐적으로 전류를 보내 가열(900℃)시켜 착화를 용이하게 하는 방법을 사용하였다. 특히, 大內등은 경유에 2에칠헥산산 칼슘을 약 500ppm 첨가하여 배출흑연의 연소성을 향상시킴으로써 포집 흑연 약95%의 소각효율을 얻었다.

表 4 再生裝置의 개념



4. 代替燃料에 의한 微粒子 低減

석유 대체연료에 관해서는 H_2, LPG, CNG, 메탄올 등의 경질연료로부터 식물유나 석탄액화유 등의 중질연료에 이르기 까지 그 성상은 매우 광범위하고 이들이 배기중의 미립자 배출에 미치는 영향도 매우 다르다. 이러한 대체연료 중에서 본장에서는 탄소를 포함하면서도 미립자 발생량이 적은 알콜을 중심으로 해서 연구결과를 소개한다.

4.1 알콜연료

석유대체연료의 개발을 부르짖기 이전부터 디젤배기중의 배기연의 저감을 목적으로 해서 알콜연료를 보조적으로 사용한 예가 몇몇 보고되어 있다. 예를 들면 Alperstein 등[17] 은 그림 12에 보이는 바와 같이 주 연료인 경유분사 외에 알콜을 비롯한 경유, 가솔린, 헥산,

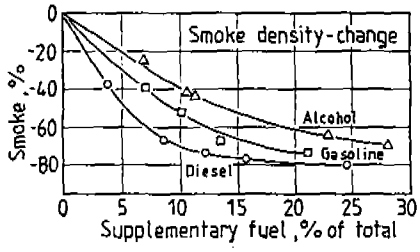


그림 12 흑연농도에 미치는 연료공급의 효과 (BMEP=57.7 psi, 900 rpm, 주연료: 경유)

헵탄 등을 흡기관으로부터 공급〔fumigation〕함으로써 연비율의 개선과 아울러 기관출력 및 배기연이 크게 개선되며, 그 효과는 경유의 경우가 가장 높고 가솔린, 알콜의 순으로 저하한다고 보고하였다.

이와 같이 출력과 배기연이 개선되는 이유로서 Alperstein 등은 공기 이용율의 향상, 연소기간의 단축 및 착화지연의 단축 등을 들고, 平子등[18]은 배기의 분석결과로부터 공기 이용율의 향상보다도 연소기간의 단축에 의한 효과가 큰 것으로 보고하였다.

이상의 연구는 주 연료의 연소개선을 목적으로 한 것이지만, 석유대체연료의 개발·이용에 관한 요구가 높아지고 부터는 알콜을 주연료로 사용할려고 하는 연구가 많아지게 되었다. 이들 연구의 대부분은 압축착화성이 나쁜 알콜을 디젤기관에 적용하기 위한 내용이고, 배기연 저감에 목적을 둔 연구는 그 수가 적지만, 일반적으로 알콜을 사용한 경우에는 배기연이 대폭 저감하는 경향을 보이고 있다. 이러한 이유에 관해서는, 알콜은 탄소·산소결합이 강하고 탄화수소의 에칠렌 반응이 일어나기 어렵기 때문이거나, C/H비가 적기 때문이라고 일반적으로 알려져 있지만, 이 기구에 관해서는 상세한 연구가 그다지 없다.

디젤기관에 있어서 알콜연료의 이용기술은 크게 네가지로 나눌 수 있지만 그 수법에 따라서 배기연(미연알콜, 알데히트)의 배출경향은 크게 달라지는데 각 방법을 다음에 약술한다.

4.1.1 기화 디젤법

fumigation법과 같은 수법이지만 흡기관으로부터 도입된 알콜을 주연료로 하는 것으로서 盧등[19]과 村山등[20] 많은 연구자에 의해 알콜 흡입량의 증가와 함께 배기연농도가 감소하는 것으로 보고되고 있으나, 알콜흡입량이 증가하면 노킹 또는 失火가 발생하는 문제점이 있다. 때문에 대부분의 연구에 있어서 공급가능한 알콜비율이 전 도입량의 50%이하에 머물고 있지만, 村山 등은 副室容積比를 적게함으로써 약 80%의 공급을 가능하게 했으며, 거의 無煙에 가까운 배기연 특성을 얻고 있다. 그러나, Houser 등[21]은 와류실식 기관에 있어서 메탄올을 fumigation 한 경우의 실험결과를 제시하고, 全噴射燃料의 熱量을 일정하게 한 경우 배기연은 메탄올공급량의 영향을 그다지 받지 않는 것으로 보고하고 있다. 또 그와 동시에 미립자의 發癌性은 메탄올을 공급함으로써 증가하는 것으로 보고하고 있다. 또한, 배기중의 미연탄화수소 및 알데히드는 흡기관으로부터 알콜을 공급한 경우에 현저하게 증가하는 것으로 알려져 있다.[20]

4.1.2 혼합(Blend) 연료법

알콜을 착화성이 좋은 연료와 혼합해서 사용하는 방법으로, 배기연은 알콜 혼합비율의 증가에 따라서 대개 감소하지만, 사용가능한 혼합비율에는 다른 배기오염물질 생성조건과 기관성능의 면에서 제한이 있다.

村山등[22]은 A중유·에탄올 및 경유·메탄올의 용해특성에 관해 밝히고 이들을 예연소실식 기관에 적용한 경우의 기관성능에 대해서 실험을 행했다. 즉, 그림 13은 그 결과의 일부를 보이지만, 배기연농도는 메탄올 혼합비율의 증가와 함께 현저하게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 그 외에 森[23]은 피마자유·에탄올·경유의 혼합연료를, 또 Likos 등[24]은 직접분사식 디젤기관에서 에탄올과 경유의 혼합연료를 사용해서 구동실험을 행했다. 이상의 여러경우에 있어서 알콜 혼합비율이 증가함에 따라서 배기연 농도가 저하하고 있으나 알콜 혼합비율이 과대한 경우에는 사이클변동이 생기거나, 배기중의 미연탄화수소나 일산화탄소량이 증가하는 결과를 초래한다.[25]

4.1.3 파이롯噴射法

알콜과 착화성이 좋은 보조연료와를 두 계통의 분사계를 사용해서 실린더내에 각각 분사하는 방법으로, Pischinger 등[25]은 8기통의 경유·메탄올 직접 분사식 기관을 버스에

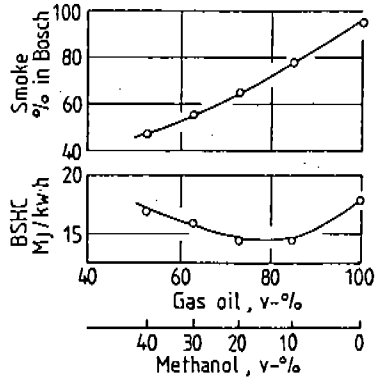


그림 13 경유·메탄올 혼합비율과 열 소비율 및 흑연농도(BMEP : 0.72 Mpa)

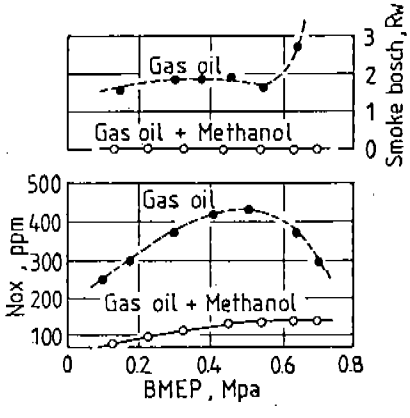


그림 14 메탄올을 주연료로 하고 파이롯 분사법으로 운전한 때의 배기연 및 NOx

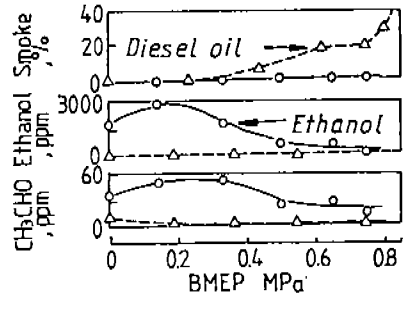


그림 15 순수 에탄올로써 Glow-plug에 의해 운전한 경우의 배기 특성

탑재해서 실험한 결과 배기연과 기관성능이 모두 우수한 것으로 보고하였다.

전술의 그림 14는 近久등[27]이 예연소실식 기관을 사용해서 구동한 결과를 보인다. 전 연료의 95%를 메탄올로 운전하여 거의 무연으로, 정숙하며, 연비율을 희생하는 일 없이 NOx 농도를 1/3로 저감할 수 있음을 확인하였다. 또, 이 경우에는 미연 메탄올 또는 알데히드도 거의 배출되지 않았다. 비슷한 연구는 Berg[28], 瀨古등[29]에 의해서도 연구되었으며 거의 유사한 결과를 얻고 있다. 그러나, 그 결과의 정도에는 차이가 있고 분사밸브의 배치, 분사방향 등이 중요한 요인인 것으로 알려져 있다.

4.1.4 强制點火方式

예열플러그나 점화플러그로써 알콜에 점화시키는 방법으로 다른 방법에 비해서 순수알콜을 사용할 수 있는 특징이 있다. 이 방법은 Neitz[30], Murayama 등[31]이 여러 종류의 연소실로 시험하여 무연운전의 가능성을 보고하였다. 그림 15는 Murayama 등에 의한 결과의 한 예를 나타낸다. 배기연은 전혀 보이지 않아 알콜의 무연 연소성을 잘 나타내고 있다. 그러나, 저부하역에서 미연에탄올 및 알데히드가 현저히 증가하기 때문에 알콜연료를 사용할 때에는 배기연보다도 이들 물질의 증가에 주의해야 한다. 그러나, 그 양은 알콜의 연소방법에 따라서 현저히 달라진다. 예를들면, 기화디젤법과 같이 흡기관으로부터 알콜을 공급하는 경우에는 앞에서 든 물질의 배출이 가장 현저하나 파이롯트분사법을 사용한 경우에는 미연알콜과 알데히드가 거의 배출되지 않고, 무연에 가까우며, 그 위에 연비, 기관소음 등 어느것도 종래의 경유에 의한 운전이상의 성능을 얻을 수 있는 것으로 보고하였다.

5. 結 論

디젤기관에서 미립자 발생 저감을 위한 연구는 오랜기간 수행되어 오고있다. 그러나, 디젤기관으로부터 배출되는 유해물질만이라도 최소화하여 쾌적한 환경 유지에 기여하기 위

해서는 현재와 같이 경유를 사용한 디젤연소 개선만으로는 거의 불가능에 가깝고 2 차적 조치로서 필터 등을 사용한 미립자의 포집을 통해 어느정도 달성 가능할 것으로 예상된다. 또한, 대체연료로서는 착화성에 문제점이 있는 메탄올이 미립자 저감에 효과적임이 확인되었다. 그러나, 디젤기관 연소실에서의 연소개선을 통한 미립자 저감, 후처리인 미립자 포집을 통한 저감, 대체연료를 사용한 저감등 어느 방법도 실용단계에는 미흡하고 더한 연구 개선이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. A. J. Voorhies, L. R. Daniel and L. Long, ASME paper 80-DGP-15(1980)
2. R. A. Bouffard and M. Beltzer, SAE SP-502(1981)p.1
3. H. A. Burley and T. L. Rosebrock SAE paper 790923
4. B. B. Bykowski, C. T. Hare and T. M. Baines, SAE SP-502(1981) p.37
5. C. T. Hare, EPA-460/3-79-008(1979)
6. J. S. Howitt and M. R. Montierth SAE paper 810114
7. R. Sachdev, V. W. Wong and S. M. Shahed, SAE paper 830182, SP-537, p. 141
8. 林, 杉本, 自動車用 디젤기관, 山海堂(1977) p. 229
9. S. H. OH et al., SAE paper 810113
10. K. Otto et al., SAE paper 80036
11. W. R. Wade, SAE paper 810118
12. B. E. Enga, Plat. Met. Rev., vol. 26 (1982) p. 50
13. B. E. Enge, Diesel Engine Comb. Emission Part., (1982) p. 35
14. 河野 외 3명, 日本自動車技術 Vol. 44, No. 8 (1990) pp. 74~78
15. 佐藤 외 1명, Motor Vehicle Vol. 25 (1975) p. 48
16. 大內 외 3명, 日本自動車技術會 學術講演會 前刷集 No. 882(1988)pp. 335~338
17. M. Alperstein, W. B. Swim and P. H. Schweitzer, SAE Trans. 66(1958)p. 574
18. 平子, 太田, 日本機械學會文集 vol. 36, No. 281(1970) p. 93
19. 盧相舜, 許枘武, 대한기계학회 논문집 vol. 11, No. 3(1987) p. 386
20. 村山 외 3명, 日本機械學會論文集 vol. 48, No. 433(1982) p. 1784
21. K.R. Houser, S. S. Lestz and R. E. Yasbin, SAE paper 801379
22. T. Murayama, N. Miyamoto, N. Yamada and K. Itow, SAE paper SP-525 (1982) p. 51
23. M. Mori, 4th Int. Symp. Alcohol Fuel Tech., (1980)
24. B. Likos and C. A. Moses, SAE paper 821039, SP-525(1982) p. 37
25. F. Pischinger, C. Haventh and G. Finsterwalter, ATZ vol. 81-6(1979) p.271
26. F. Pischinger and C. Harenith, 3rd Int. Symp. Alcohol Fuel Tech. vol. 3 (1979) p. 319.
27. T. Chikahisa, N. Miyamoto and T. Murayama, SAE paper 811375, p-98 (1981) p. 31.
28. P. S. Berg, E. Holmer and B. I. Bertilsson, 3rd Int. Symp. Alcohol Fuel., vol. 3(1979) p. 330.
29. 瀨古, 堀, 日本機械學會論文集, vol. 52, No. 481(1986) p. 3401.
30. A. Neitz and F. Chmela, 4th Int. Symp. Alcohol Fuel Tech., (1980) p. 613.
31. T. Murayama, N. Miyamoto and H. Ogawa, SAE paper 830373.