

경유차량에서 매연후처리장치의 효율성에 관한 연구

대기보전과

최종욱·윤호균·박후경·이충언·유병태

Effect of Diesel Particulate Filter System for Reducing Exhaust Pollutants from Diesel Vehicle

Division of Air Preservation

Jong-Wook Choi, Ho-Gyun Ryun, Who-Kyung Park,
Chung-Eun Lee, Byung-Tae Yoo

= Abstract =

The diesel particulate filter(DPF) system was adopted to reduce exhaust emission pollutants from the diesel vehicle of wastes collection by Seoul metropolitan. The forty five vehicles randomly selected from total diesel vehicles attached DPF system and the concentrations of black smoke, CO, NO_x, CO₂, and O₂ were analyzed to evaluate the efficiency of DPF system by testing exhaust emission before and after DPF system. The concentration of black smoke before and after DPF system ranged from 1% to 31% and from 0% to 4%, respectively. The DPF system in diesel vehicle was shown a good performance for reducing black smoke with 92% average reduction rate. That of CO before DPF system ranged from 140ppm to 638ppm and the reduction rate started to increase from above 250ppm at 2000rpm and 370ppm at 3500rpm, respectively. Its average reduction rates at 2000rpm and 3500rpm were 26% and 15%, respectively. That of NO_x before DPF system ranged from 105ppm to 490ppm and reduction rate increased from above 270ppm with 9% average reduction rate at 2000rpm, but NO_x concentration after DPF system adversely increased at 3500rpm with 3% average increasing rate. That of CO₂ after DPF system was higher than before DPF system and its average increasing rates were 3% and 5% at 2000rpm and 3500rpm, respectively and that of O₂ did not vary with before and after DPF system.

서론

자동차보급이 급격히 증가되어 '97년 기준 서울시

의 자동차 등록대수는 2,248,567대를 육박하였고 그로 인한 자동차의 대기오염 부담율은 '92년 62%, '94년 77%, '97년 86%로서 자동차에 의한 대기오염 영향이 지속적으로 증가되고 있는 실정이며 연도

별 전국 및 서울의 자동차 등록대수 현황은 그림1과 같다.¹⁾

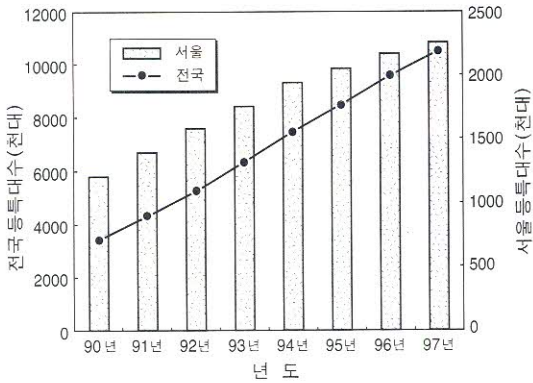


Fig. 1. Status of vehicles registered in Seoul and Korea

자동차의 전체대수 중 경유자동차가 차지하는 비율은 약 1/4에 불과하지만 오염물질 배출은 전체 자동차에서 배출되는 량의 절반을 차지하며 가솔린차량에 비하여 연료소비율, 연소효율 및 내구성이 우수하여 유리한 반면에 광화학스모그 및 산성비를 유발시키는 질소산화물과 호흡기 질환 및 폐암을 유발시키는 입자상물질 배출량이 많은 단점을 가지고 있다. 디젤엔진에서 연소된 연료의 약 99.8%는 H₂O, CO₂와 SO₂, NO_x, 알데히드, 과산화물, 미연소분 탄화수소(HC) 등의 가스상으로 배출이 되고 나머지 0.2%는 입자상물질로 배출되는데 배출가스의 성상은 그림2와 같다. 디젤입자는 입경이 보통 2 μ m이하로 평균입경은 0.1~

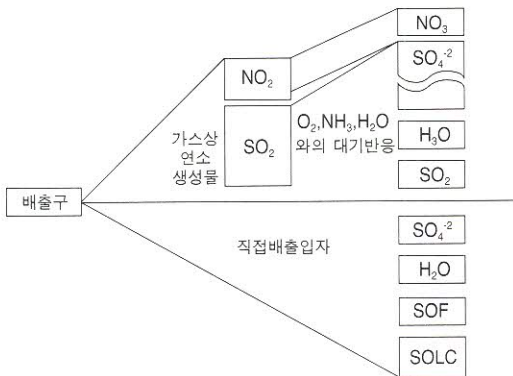


Fig. 2. Substance in the exhaust from diesel engine

0.2 μ m으로 구성된 미립자이다. 입자구조상으로 보면 연소과정에서 석출되는 카본핵(Carbon Nuclei)위에 SO₄⁻², H₂O, 금속성분과 함께 비교적 비점이 높은 유기물이 부착되는데 이는 배출과정에서 HC가 Carbon으로 응축해 생성된다.²⁾

경유차량에서 배출되는 이러한 유해 오염물질을 저감시키기 위한 기술 개발이 국내외적으로 진행되고 있으며 현재 경유차량의 매연을 비롯한 오염물질을 처리 제거하기 위해 이용되는 후처리 기술에는 입자상물질의 제거율이 높은 디젤필터트랩장치(Diesel Particulate Filter, DPF)와 탄화수소 및 일산화탄소의 저감율이 좋은 디젤산화촉매장치(Diesel Oxidation Catalysts, DOC), 질소산화물의 저감효율이 높은 선택적 촉매장치(Selective Catalytic Reduction, SCR converter), 플리즈마방식 저감장치, 연료첨가제 장치 등이 이용되고 있다.³⁾ 서울시에서는 경유자동차로 유발되는 대기오염물질을 저감시키기 위하여 서울지역에서 운행중인 청소차량 1651대 중 962대에 DPF식의 매연후처리장치를 장착하였다. 본 조사연구에서는 경유차량의 매연후처리장치에 의한 오염물질의 저감효율성을 분석하기 위하여 매연후처리 장치의 장착전, 후에서의 매연 및 가스상물질의 농도를 비교측정하였다.

조사 방법

현재 서울시 각 구청에서 운행중인 청소차량중 매연후처리장치가 장착된 차량 45대를 무작위로 선정하여 먼저 매연후처리장치의 가동상태에서 측정된 결과치를 장착후 농도로 산정하였고 장착전 농도는 매연후처리장치의 by pass 기능을 사용하여 배출가스가 매연후처리장치를 거치지 않고 직접 배출되게하여 측정하였다.

경유자동차 배출규제 대상항목인 매연과 CO, NO_x를 비롯하여 CO₂, O₂를 각각 측정하였는데, 매연은 각 구청에서 매연단속용으로 사용하는 DST-210 디젤매연 측정기를 이용하여 여지반사식 분석방법으로 측정하였고, 가스상 물질은 정지상태에서 엔진을 가동하여 회전속도를 각각 2000rpm과 3500rpm에 도달되게 한 후 일반 대기배출시설에서 나오는 가스상물질 분석장비인 BACHARACH Model 300NSX을 이용

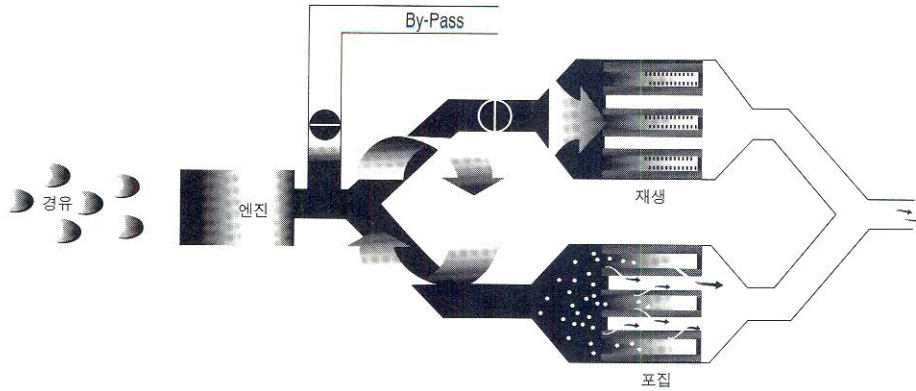


Fig. 3. Operating schematic of DPF system

하여 자동차 배출구에서 직접 측정하였다.

매연후처리장치의 원리

매연후처리장치는 자동차 엔진에서 발생한 배기가스를 촉매가 담체된 필터에 의해 매연 등의 입자상 물질이 여과·감소되게 하고 또한 일산화탄소와 아황산가스 등의 가스상물질도 이 필터를 통해 산화·정화되도록 만들어 졌다. 매연은 전자제어 장치에 의해 적정량의 포집이 확인되면 촉매가 담체된 필터내에서 소량의 전력을 사용하여 매연을 완전연소 처리시킨다. 여과필터는 2세트로 구성된 dual system의 스위치 방식으로 포집과 재생을 반복하여 연속적인 매연 제거를 수행한다. 매연여과장치의 작동원리를 그림3에서 도식화하였다.

결과 및 고찰

1. 매 연

디젤기관에서의 매연생성은 고부하 및 과부하 상태에서 과잉으로 분사된 연료가 산소 결핍상태에서 탈수소 반응을 일으켜 유리된 탄소가 배출되어 매연이 생성된다. 매연에는 착화 불량으로 발생하는 백색매연과 불완전연소의 원인으로 발생하는 흑색매연이 있다. 백색매연은 연소실에서 분사된 연료가 주위 조건이 자기 착화 될 수 없는 조건일 경우 착화 불량이 발생하며 미연소된 연료는 소기작용에 의해 대기로 방출되고 이때 저온의 대기중의 수분이 연료에 응축되어 1 μ m 정도의 입자로 형성되며 동절기에 발생된다. 흑색매연은

연소실에 분사된 연료가 공기와 연소반응 후 이론적인 완전연소를 하지 못하며 이에 따라 각종 배기가스를 생성시키는데 이때 연료의 탄소성분의 일부는 가스상태가 아닌 극히 미세한 입자의 집합체로 배출되며 주로 하절기에 발생된다. 매연후처리장치의 장착전후의 농도를 비교측정한 결과치를 장착전 농도의 크기 순서대로 표1과 그림4에 나타내었다. DPF 장착전 매연의 농도분포는 1%에서 31%로 나타났는데 장착전 농도의 크기에 관계없이 DPF를 장착 하였을 경우는 매연이 거의 제거되는 것으로 DPF에 의한 매연의 평균 저감율은 92%로 나타났다. 이와같이 청소차량에 부착된 매연후처리장치는 매연을 저감시키는데 있어서 탁월한 효과를 보였다.

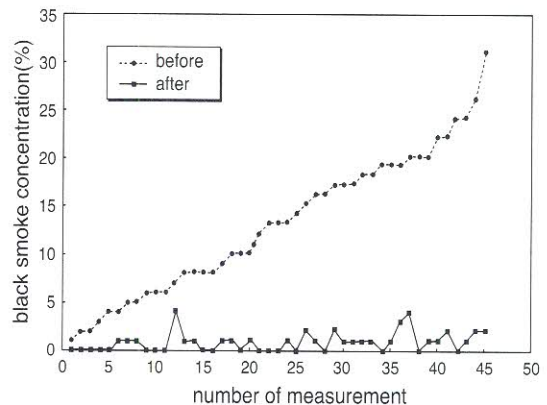


Fig. 4. Comparison of black smoke concentration before and after DPF system

Table 1. Result of measurement of black smoke before and after DPF system

No. of measurement	Concentration of black smoke(%)		
	Before	After	reduction rate
1	1	0	100%
2	2	0	100%
3	2	0	100%
4	3	0	100%
5	4	0	100%
6	4	1	75%
7	5	1	80%
8	6	0	100%
9	6	0	100%
10	6	0	100%
11	7	4	43%
12	8	1	88%
13	8	1	88%
14	8	0	100%
15	8	0	100%
16	9	1	89%
17	10	1	90%
18	10	0	100%
19	10	1	90%
20	13	0	100%
21	13	0	100%
22	14	0	100%
23	15	2	87%
24	16	1	94%
25	17	2	88%
26	17	1	94%
27	18	1	94%
28	20	4	80%
29	24	0	100%
30	31	2	94%
31	20	0	100%
32	17	1	94%
33	19	0	100%
34	19	1	95%
35	5	1	80%
36	22	1	95%
37	26	2	92%
38	24	1	96%
39	16	0	100%
40	22	2	91%
41	13	1	92%
42	12	0	100%
43	18	1	94%
44	19	3	84%
45	20	1	95%
Mean	7.5	0.6	92%

2. 가스상 물질

매연과 함께 측정된 가스상물질은 일산화탄소, 질소산화물, 이산화탄소, 산소 등으로 엔진속도 2000rpm과 3500rpm에서 각각 측정 비교하였으며 그 결과치를 장착전 농도순으로 표2~표5와 그림5~그림8에 나타내었다. 일산화탄소는 2000rpm에서 DPF장착전 농도분포는 140ppm에서 568ppm을 보였는데 250ppm에서 부터 DPF에 의한 일산화탄소가 저감되기 시작하였으며 평균 저감율은 26%인 반면 3500rpm에서의 농도분포는 158ppm에서 638ppm으로서 370ppm 이후부터 일산화탄소의 농도가 줄어들었으며 평균 저감율은 15%로 그림5와 같다. 질소산화물은 2000rpm에서 270ppm 이상부터 약간의 저감을 보였는데 평균 저감율은 9% 이었고, 3500rpm에서는 장착후 농도가 장착전 농도보다 오히려 높게 나타나 평균 증가율이 3%로 나타났으며 그림6과 같다. 이러한 결과는 질소산화물과 입자상물질의 배출은 서로 상반관계(trade-off)가 있어 두가지 물질의 동시 저감은 대단히 어려운 것으로 알려져 있는 사실과 일치되었다.⁴⁾ 이산화탄소는 장착후의 농도가 오히려 높게 나타나 2000rpm에서는 3%, 3500rpm에서는 5%로 증가하였고 산소 농도는 매연후처리장치의 전후 차이가 거의 없이 나타나 그 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며 그림 7, 8과 같다.

결 론

서울시에서 경유차량에 의한 오염배출물질 저감을 위해 각 구청별로 청소차량에 부착시켜 운행중에 있는 매연후처리장치의 효율성을 파악하기 위하여 45대의 차량을 무작위 추출하여 장치의 장착전과 장착후에서 매연 및 가스상물질의 측정 및 분석을 수행하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 장치의 장착전 매연의 농도 분포는 1%에서 31%를 나타내었는데 반면 장착후의 농도는 0%에서 4%를 보였고, 전체 평균 저감율은 92%로 나타났다. 경유차량에서의 매연후처리장치는 매연을 저감시키는 탁월한 역할을 보였다.
2. 일산화탄소는 2000rpm에서 장착전 농도분포는 140ppm에서 568ppm으로 250ppm 이상에서

Table 2. Result of measurement of CO before and after DPF system

No. of measurement	Concentration of CO(ppm)-2000rpm			Concentration of CO(ppm)-3500rpm		
	Before	After	reduction rate	Before	After	reduction rate
1	140	59	58%	158	160	-1%
2	157	173	-10%	162	160	1%
3	163	121	26%	170	195	-15%
4	168	190	-13%	173	163	6%
5	175	143	18%	178	176	1%
6	175	130	26%	185	193	-4%
7	180	167	7%	192	214	-11%
8	180	198	-10%	201	192	4%
9	180	133	26%	203	199	2%
10	188	204	-9%	217	254	-17%
11	193	143	26%	248	211	15%
12	198	193	3%	261	295	-13%
13	199	187	6%	261	272	-4%
14	199	150	25%	309	314	-2%
15	200	217	-9%	314	285	9%
16	201	149	26%	314	285	9%
17	215	95	56%	318	297	7%
18	215	159	26%	331	281	15%
19	216	271	-25%	334	319	4%
20	229	169	26%	360	355	1%
21	237	241	-2%	367	370	-1%
22	237	175	26%	387	319	18%
23	250	240	4%	389	331	15%
24	250	185	26%	392	296	24%
25	252	174	31%	397	364	8%
26	260	192	26%	408	222	46%
27	261	224	14%	412	363	12%
28	274	203	26%	419	356	15%
29	281	255	9%	421	358	15%
30	294	218	26%	429	390	9%
31	302	231	24%	429	317	26%
32	321	238	26%	434	232	47%
33	322	174	46%	436	364	17%
34	322	268	17%	436	392	10%
35	365	143	61%	448	381	15%
36	365	211	42%	458	389	15%
37	378	202	47%	460	391	15%
38	401	247	38%	473	295	38%
39	413	239	42%	486	413	15%
40	413	128	69%	490	437	11%
41	443	163	63%	494	420	15%
42	453	222	51%	521	443	15%
43	507	463	9%	536	495	8%
44	528	411	22%	614	311	49%
45	568	519	9%	638	366	43%
Mean	277	205	26%	361	307	15%

Table 3. Result of measurement of NO_x before and after DPF system

No. of measurement	Concentration of NO _x (ppm)-2000rpm			Concentration of NO _x (ppm)-3500rpm		
	Before	After	reduction rate	Before	After	reduction rate
1	105	102	3%	191	194	-2%
2	128	115	10%	199	198	1%
3	129	71	45%	199	221	-11%
4	141	151	-7%	213	237	-11%
5	154	121	21%	213	215	-1%
6	155	106	32%	218	173	21%
7	158	144	9%	220	194	12%
8	160	190	-19%	226	226	0%
9	164	149	9%	238	218	8%
10	175	159	9%	248	228	8%
11	189	172	9%	250	246	2%
12	190	173	9%	255	242	5%
13	191	150	21%	258	262	-2%
14	192	236	-23%	259	221	15%
15	199	198	1%	271	295	-9%
16	205	187	9%	272	353	-30%
17	214	189	12%	273	287	-5%
18	218	199	9%	276	256	7%
19	222	217	2%	281	289	-3%
20	227	207	9%	283	293	-4%
21	228	299	-2%	289	344	-19%
22	231	210	9%	289	277	4%
23	237	240	-1%	290	286	1%
24	237	251	-6%	294	292	1%
25	237	285	-20%	295	381	-29%
26	237	216	9%	295	384	-30%
27	250	248	1%	295	304	-3%
28	251	304	-21%	305	314	-3%
29	251	233	7%	312	285	9%
30	251	233	7%	312	321	-3%
31	262	257	2%	314	267	15%
32	268	258	4%	318	314	1%
33	268	259	3%	320	366	-14%
34	270	197	27%	328	338	-3%
35	289	226	22%	331	295	11%
36	298	223	25%	338	348	-3%
37	305	278	9%	344	386	-12%
38	309	292	6%	347	357	-3%
39	309	282	9%	358	443	-24%
40	363	321	12%	395	407	-3%
41	368	318	14%	428	441	-3%
42	372	284	24%	445	512	-15%
43	376	329	13%	458	472	-3%
44	398	310	22%	470	470	0%
45	421	290	31%	490	456	7%
Mean	240	218	9%	300	309	-3%

Talbe 4. Result of measurement of CO₂ before and after DPF system

No. of measurement	Concentration of CO ₂ (ppm)-2000rpm			Concentration of CO ₂ (ppm)-3500rpm		
	Before	After	reduction rate	Before	After	reduction rate
1	0.4	0.4	0%	0.4	0.4	0%
2	1.1	1.6	-45%	1.7	2.8	-65%
3	1.3	1.1	15%	1.7	1.7	0%
4	1.5	1.3	13%	1.8	2.1	-17%
5	1.6	1.7	-6%	1.8	1.9	-6%
6	1.6	1.2	25%	1.8	2.0	-11%
7	1.6	1.5	6%	1.8	1.8	0%
8	1.6	1.9	-19%	1.8	1.9	-6%
9	1.6	0.9	44%	1.8	1.9	-6%
10	1.7	2.0	-18%	1.9	2.1	-11%
11	1.7	1.4	18%	1.9	1.4	26%
12	1.7	1.1	35%	1.9	1.5	21%
13	1.8	1.7	6%	1.9	1.9	0%
14	1.8	4.0	-122%	1.9	1.8	5%
15	1.8	3.3	-83%	1.9	2.0	-5%
16	1.9	2.0	-5%	1.9	1.8	5%
17	1.9	2.1	-11%	1.9	2.2	-16%
18	1.9	2.0	-5%	1.9	1.8	5%
19	1.9	3.1	-63%	2.0	1.9	5%
20	2.0	1.6	20%	2.0	2.5	-25%
21	2.1	2.0	5%	2.0	2.1	-5%
22	2.1	2.5	-19%	2.0	2.0	0%
23	2.2	2.2	0%	2.0	2.1	-5%
24	2.2	2.4	-9%	2.0	1.8	10%
25	2.2	2.4	-9%	2.1	3.1	-48%
26	2.2	2.4	-9%	2.2	1.7	23%
27	2.3	1.8	22%	2.2	2.3	-5%
28	2.3	2.3	0%	2.3	1.8	22%
29	2.3	2.6	-13%	2.5	1.9	24%
30	2.4	2.6	-8%	2.7	3.6	-33%
31	2.4	2.3	4%	3.1	3.3	-6%
32	2.6	2.4	4%	3.2	4.2	-31%
33	2.5	2.5	0%	3.2	3.6	-13%
34	2.5	2.1	16%	3.2	3.6	-13%
35	2.5	3.4	-36%	3.4	3.8	-12%
36	2.6	3.0	-15%	3.4	3.7	-9%
37	2.7	2.1	22%	3.4	4.0	-18%
38	2.7	2.5	7%	3.4	4.6	-35%
39	2.7	2.5	7%	3.5	3.6	-3%
40	3.1	3.0	3%	3.6	3.8	-6%
41	3.2	3.7	-16%	3.7	3.4	8%
42	3.3	3.8	-15%	3.7	3.7	0%
43	3.6	2.5	31%	3.7	3.6	3%
44	3.8	3.7	3%	3.8	3.3	11%
45	3.9	3.4	13%	4.1	3.0	27%
Mean	2.2	2.3	-3%	2.4	2.6	-5%

Table 5. Result of measurement of O₂ before and after DFP system

No. of measurement	Concentration of O ₂ (ppm)-2000rpm			Concentration of O ₂ (ppm)-3500rpm		
	Before	After	reduction rate	Before	After	reduction rate
1	15.7	16.4	-4%	15.4	16.9	-10%
2	15.8	15.9	-1%	15.9	16.4	-3%
3	16.1	17.6	-9%	15.9	16.0	-1%
4	16.5	15.8	4%	15.9	16.1	-1%
5	16.6	15.9	4%	15.9	16.5	-4%
6	16.7	16.9	-1%	16.1	15.8	2%
7	17.4	18.2	-5%	16.2	16.1	1%
8	17.4	17.7	-2%	16.3	15.8	3%
9	17.4	17.7	-2%	16.3	16.0	2%
10	17.5	17.7	-1%	16.3	14.7	10%
11	17.5	18.1	-3%	16.4	15.6	5%
12	17.5	16.4	6%	16.6	15.3	8%
13	17.5	17.0	3%	16.6	16.1	3%
14	17.6	17.6	0%	16.6	16.1	3%
15	17.7	17.4	2%	16.8	16.5	2%
16	17.7	17.8	-1%	17.3	16.1	7%
17	17.8	17.8	0%	17.6	18.4	-5%
18	17.8	17.4	2%	17.9	18.6	-4%
19	17.9	18.6	-4%	18.0	18.8	-4%
20	17.9	18.0	-1%	18.1	17.9	1%
21	17.9	17.7	1%	18.2	18.3	-1%
22	17.9	17.7	1%	18.2	17.6	3%
23	18.0	17.7	2%	18.2	18.1	1%
24	18.1	18.2	-1%	18.2	18.2	0%
25	18.1	17.5	6%	18.3	16.9	8%
26	18.3	18.2	1%	18.3	18.4	-1%
27	18.3	18.1	1%	18.4	18.4	0%
28	18.3	18.8	-3%	18.4	18.4	0%
29	18.4	18.2	1%	18.4	18.4	2%
30	18.4	16.7	9%	18.4	18.2	1%
31	18.5	18.7	-1%	18.4	18.7	-2%
32	18.5	15.5	16%	18.5	18.2	2%
33	18.5	16.5	11%	18.5	19.1	-3%
34	18.7	18.4	2%	18.5	19.0	-3%
35	18.7	18.4	2%	18.5	18.4	1%
36	18.8	19.2	-2%	18.5	18.2	2%
37	18.8	19.4	-3%	18.5	18.5	0%
38	18.8	19.0	-1%	18.5	18.5	0%
39	18.8	18.4	2%	18.5	18.5	0%
40	18.9	18.8	1%	18.5	18.6	-1%
41	18.9	19.8	-5%	18.6	18.2	2%
42	19.0	19.3	-2%	18.6	18.4	1%
43	19.3	19.5	-1%	18.6	18.5	1%
44	19.5	18.8	4%	18.8	17.3	8%
45	20.4	20.4	0%	20.4	20.4	0%
Mean	18.0	17.9	0%	17.7	17.5	1%

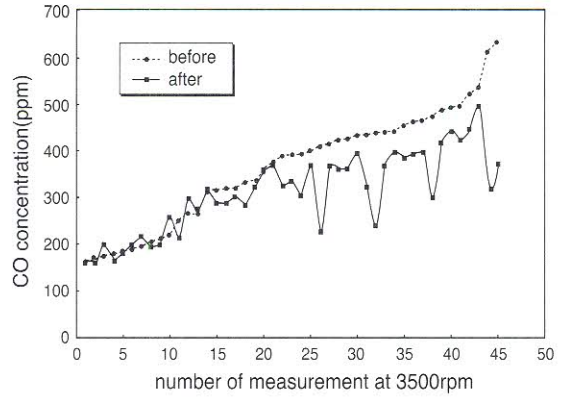
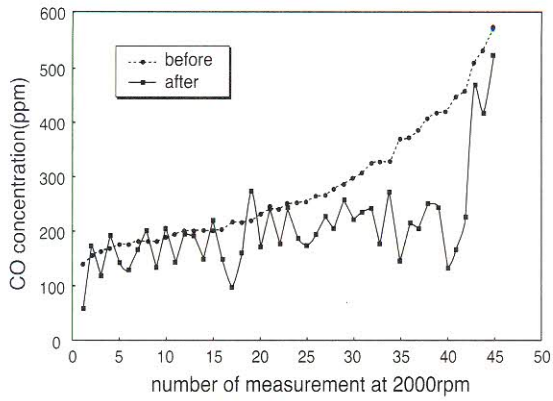


Fig. 5. Comparison of CO concentration before and after DPF system

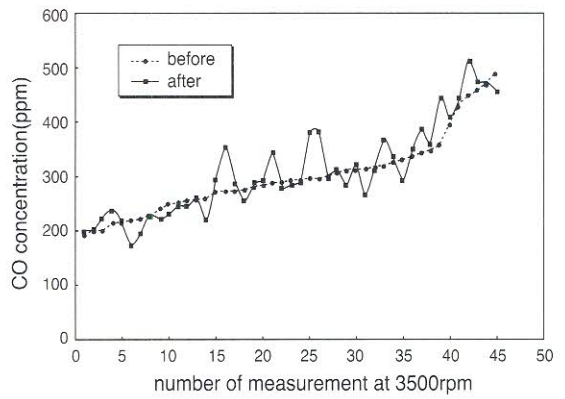
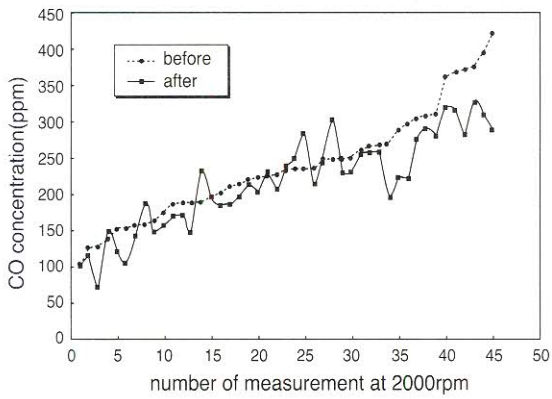


Fig. 6. Comparison of NO_x concentration before and after DPF system

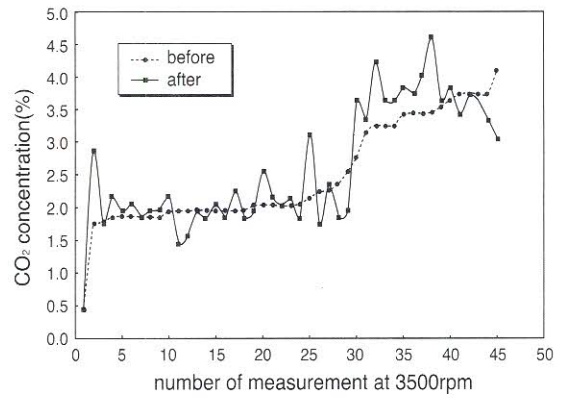
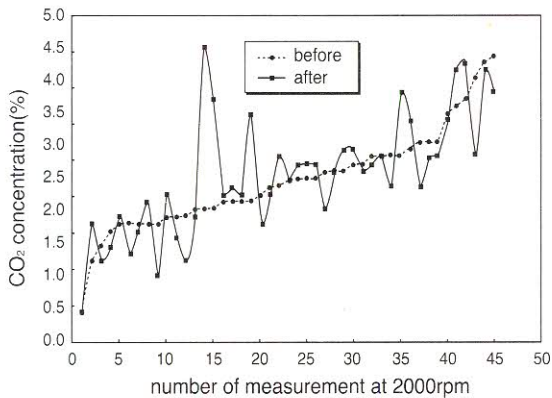


Fig. 7. Comparison of CO₂ concentration before and after DPF system

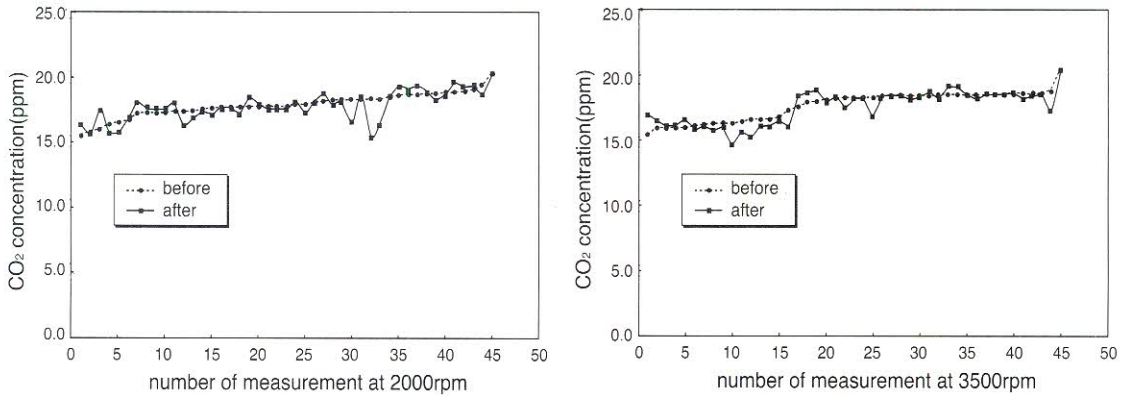


Fig. 8. Comparison of O_2 concentration before and after DPF system

부터 장치후의 일산화탄소 농도가 떨어져 저감 효과가 나타나기 시작하였으며 전체 평균 저감율은 26%를 보였다. 반면 3500rpm에서는 장치전 농도 370ppm 이후부터 장치후 농도가 줄어드는 것으로 나타나 평균 저감율은 15%를 보였다.

3. 질소산화물의 경우 2000rpm에서 장착전 농도분포는 105ppm에서 421ppm을 보였고 270ppm 이상에서 약간의 저감효과를 보였는데 평균 저감율은 9%로 나타난 반면 3500rpm에서는 장착후 농도가 장착전 농도보다 오히려 높게 나타나 전체 평균 3%가 증가하였다. 질소산화물과 입자상 물질의 배출은 서로 상반관계(trade-off)가 있어 두가지 물질의 동시 저감은 대단히 어려운 것으로 나타났다.
4. 이산화탄소는 장착 후 농도가 2000rpm에서는 3%, 3500rpm에서는 5%로 증가하였고, 산소는 장착 전후의 차이가 거의 없이 일정하였다.
5. 조사연구 결과에서 DPF 시스템의 효율성을 확인할 수 있었으나 실질적으로 매연후처리장치를 장착한 청소차량을 운행하는 분들의 의견에서 장

치 가동 시에 많은 량의 전기가 소모되어 배터리의 수명이 단축되고, 또한 장치 가동 시에 나오는 백연 냄새가 아주 불쾌하기 때문에 장치의 가동을 기피하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 매연후처리장치 부착에 따른 배출가스 저감효과에 대한 분석 비교한 결과이며 앞으로 더욱 정교한 측정장치를 이용한 장치의 효율성에 대한 계속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. '98 시정현황, 서울특별시(1998)
2. Walsh, Michael P. : Global Trends in Diesel Particulate Control a 1995 update, SAE 190149
3. Lapuerta, M. et al. : Modeling and Experimental study about the effect of exhaust gas recirculation on diesel engine combustion and emissions, SAE 950213, 1995
4. 황의상, 신동길 : 경유자동차 후처리장치 기술현황, 기계와 자료 10권 1호, 1998