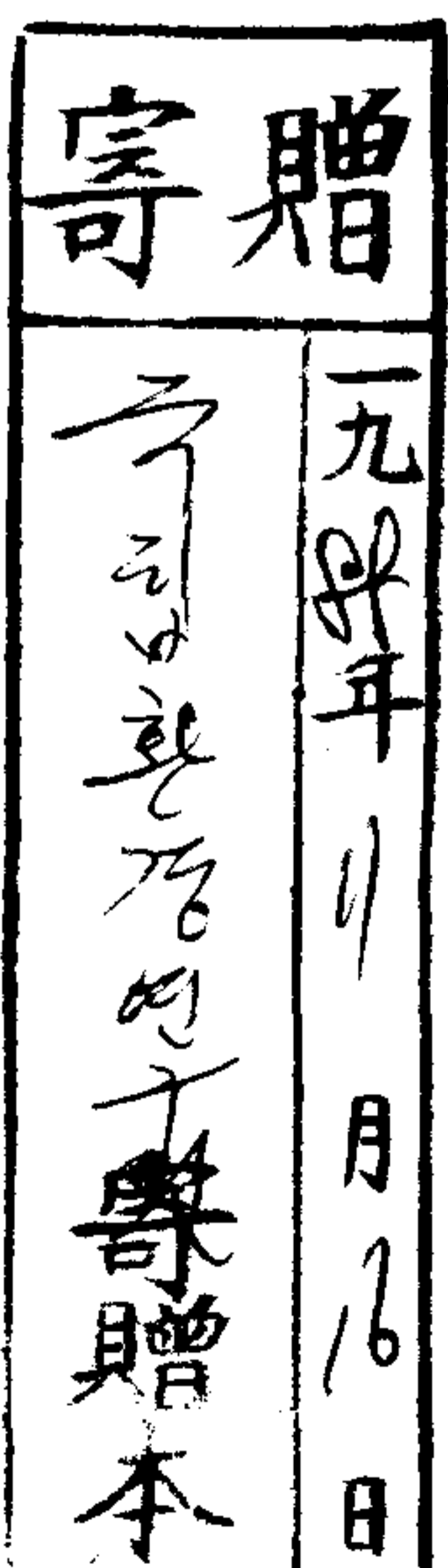


경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구  
(최종보고서)

A Study on Smoke Control Technology of Diesel Vehicle  
(Final Report)

연구기관  
국립환경연구원



과학기술처

# 제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 “경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구” 과제의 3차년도 최종 보고서로 제출합니다.

1988. 9.

주관연구기관명 : 국 립 환 경 연 구 원

총괄연구책임자 : 김 양 균

책임연구원 : 조 강 래

선임연구원 : 엄 명 도

연구원 : 김 종 준 , 양 상 용

연구조원 : 이 응 주 ,

외부참여연구원 : 한영출 ( 국민대공대기계공학과 )

정선국 ( 대우중공업기술연구소 )

# 요 약 문

## I. 제 목

경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구(최종보고서)

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

디젤자동차는 전통적으로 열효율이 높고 연료가격이 휘발유보다 저렴하므로 큰 출력을 요구하는 대형버스나 트럭등에 많이 사용되어 왔다. 그러나 최근들어 디젤자동차의 급격한 수적 팽창에 따라 디젤자동차로부터 배출되는 오염물질에 대한 관심은 세계적으로 높아가고 있으며 미국을 비롯한 일부 국가에서는 입자상물질의 연차적 규제 강화를 실시하여 이에 대처하고 있다.

따라서 구미 각국에서는 디젤자동차 입자상물질 방지기술개발에 총력을 기울이고 있으며 실용화시험을 실시하는 등 상당한 진척을 보이고 있다.

반면, 우리나라는 어느 나라보다 디젤자동차의 보유 비율이 높고 총 주행거리에서 디젤자동차가 차지하는 비중이 큼에도 불구하고 디젤자동차에서 크게 문제시되는 매연등의 입자상물질과 악취물질등에 대한 대책은 거의 없는 실정이다. 지난 몇년에 걸쳐 가솔린 자동차에 대한 계속적인 규제강화로 1987년 7월부터 촉매전환장치등을 장착한 저공해 자동차가 출현하게 되었다. 그러나 국내의 현실적인 대기오염문제를 감안할때 디젤자동차로부터 배출되는 입자상물질 등을 규제하지 않고는 효과적인 대기오염 저감을 기대하기 어려우므로 가까운 장래에 이를 실현하기 위하여 준비하지 않으면

안된다. 따라서 디젤자동차로부터 배출되는 각종 오염물질을 감소시킬 수 있는 가능한 방법들을 모색해야 하고 이에 대한 각 분야에서의 연구와 검토가 이루어져야 한다.

본 연구의 목적은 이러한 견지에서, 디젤입자상물질 저감을 위한 각종 방안을 검토하고 이를 실험실적으로 면밀히 실험, 검토하고 문제점을 보완하는 한편, 실제 운행되는 자동차에 적용시키는 실용화 실험을 통하여 국내에서 운행되는 디젤자동차에 적합한 방지장치의 기술을 개발하고 합리적인 대기오염 저감대책 수립에 기초자료를 제공하는데 있다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 디젤자동차에서 배출되는 입자상물질 등을 저감하기 위하여 필요한 각종 기술적인 사항을 검토하고 국내 디젤자동차에 적용가능한 기술 및 방지장치를 선정개발하는데 기본목적이 있다.

제 1 차년도에서는 본격적인 저감기술개발에 앞서 현재까지 연구개발되고 있는 매연후처리 기술을 종합적으로 검토하고 연료와 첨가제의 배출가스에 미치는 영향 및 점검정비 문제등을 조사했으며 디젤자동차에서 배출되는 오염물질 배출량 산출을 위하여 차종별 주행패턴측정, 교통량조사 및 배출계수등을 산정하였다.

제 2 차년도에서는 실제로 매연방지장치인 촉매산화매연여과장치를 선정, 제작하여 실험실적으로 성능 및 각종 배출가스(일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 및 알데히드류 등)와 입자상물질(전입자상물질, 용해성 유기물질 및 황산기 등)을 측정하고 저감효율을 산출하였

으며 실제로 자동차에 부착하여 예비성능 시험을 실시하였다.

최종 년도인 본 연구사업에서는 2차년도에 실시한 촉매산화매연여과장치의 문제점을 개선하여 실용화시험을 실시하였으며 세라믹매연여과장치를 제작하여 엔진시험 및 실차 적용시험을 실시하였다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 자동차 대수의 급증에 따라 날로 심각해져 가는 도시지역의 대기오염을 개선하는데 기여할 목적으로 디젤자동차의 입자상물질 방지기술을 중점적으로 검토하고 국내자동차에 적용할 수 있는 가장 효율적인 방지기술을 개발하고자 디젤엔진 배출가스 후처리장치인 촉매산화매연여과장치 및 세라믹매연여과장치를 제작하여 각종 엔진성능시험 및 배출가스 시험을 실시하고 실제 차량에 장착하여 주행시험을 실시하였다.

촉매산화매연여과장치를 시내버스엔진(D0846HM)에 장착하여 엔진동력계에서 전부하시 매연을 측정된 결과 매연이 CTO-87(제2차년도 연구사업에 사용한 CTO)은 평균 59%, CTO-88(제3차년도 연구사업에 사용한 CTO)은 평균 54%가 저감되었다. 가스상물질의 경우는 서울시내 실주행모드인 7모드 시험시 일산화탄소가 CTO-87은 93%, CTO-88은 91%, 탄화수소가 CTO-87은 61%, CTO-88은 60%가 저감되었고 질소산화물의 배출량은 큰 변화가 없었다. 또한 입자상물질의 배출량을 측정된 결과 7모드 기준으로 CTO-87은 약 47%, CTO-88은 약 45%의 저감율을 보여 실질적인 입자상물질의 저감을 나타내었다.

입자상물질중에 황산기(sulfate)의 증가는 CTO-87은 5배

CTO-88은 10 배이며, CTO-88이 황산기의 발생이 많은 것을 알 수 있다. 이는 포집한 입자상물질의 재생온도를 낮추기 위하여 촉매조성을 바꾸었기 때문이다.

촉매산화매연여과장치의 시내버스 실차 적용시험결과 CTO-87은 약 5시간마다 별도의 재생조작이 요구되었으나 CTO-88은 별도의 재생조작이 필요없이 시내주행에서 일정주기마다 고부하 운전시에 스스로 재생이 되었다.

세라믹매연여과장치는 매연의 여과효율이 좋으나 여과된 매연의 연소를 위한 특별한 조작을 하지 않으면 매연의 누적에 의한 배출가스 압력이 급격히 증가된다. 그러므로 여과된 매연의 연소를 위하여 촉매처리하거나, 경우에 연료첨가제(주로 중금속)를 가하거나 또는 버너에 의하여 매연을 강제적으로 연소시켜야 한다.

본 연구에서 사용한 버너에 의한 매연강제연소방식은 세라믹필터에 의하여 일정시간 매연을 여과하고 경유 버너에 의하여 누적된 매연을 연소시키는 것이다.

경유 버너에 의하여 재생시키는 세라믹여과장치에서는 가스상물질은 큰 변화가 없고 매연의 저감효율은 여과재의 파손이 없는한 설계목표치 이상의 저감효율을 나타내므로 여과된 매연의 안전한 재생 즉 연소가 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 매연여과효율 70%의 세라믹여과장치를 제작하여 엔진다이나모메타상에서 서울시까지 주행패턴 측정자료에 의하여 만들어진 트랜지언트 모드를 사용하여 엔진을 운전하면서 입자상물질을 포집누적시켜 일정한 배압에 도달하면 버너로 연소시키는 실험을 하였다.

D0846HM 엔진에서 배출가스 압력이 약 1700 mm Ag가 될때까지

운전하여 포집된 매연을 버너로 연소시켰다. 이때 버너의 운전은 처음 20초동안은 팬만을 작동시키고 90초동안 버너를 작동시킨후 다음 100초동안은 팬만을 작동시켜 필터의 과열을 피하고 매연연소시 산소공급을 원활히 하였다. 그결과 필터의 열적 파손이나 용융에 의한 손상없이 정상적으로 재생이 이루어졌으며 재생은 6-7시간마다 실시하였다.

이 세라믹매연여과장치를 시내버스에 장착 실차주행시험을 실시하였으며 약 4시간(약 100 km)마다 재생을 실시한 결과, 대체로 양호하게 재생이 되었으나 가끔 매연의 축적이 심하여 배기압이 높아 버너의 작동이 불완전한 상태가 되어 재생이 제대로 되지 않을 때가 있었다.

그리하여 매연여과장치를 시내버스에서 탈착하여 실험실에서 매연 축적에 의한 배기압과 버너에 의한 연소조건을 면밀히 검토한 결과 실주행에 있어서의 최대배압이 1700 mm Ag 보다는 1300 mm Ag 이하로 유지하는 것이 좋으며 보다 효과적인 재생을 위해서는 기존 버너에 추가로 공기를 공급 할수 있는 장치의 부착이 요망되었다.

세라믹여과장치의 실용화를 위해서는 본 연구에서 도출된 문제점을 보완하고 국산화를 추진할 수 있는 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다. 또한 시내버스에 장착 실용화가 가능한 촉매산화여과장치에 대해서는 보다 많은 양의 여과장치를 좌석버스등에 부착 지속적인 시험이 요망된다.

# 여 백



## SUMMARY

### I. Subject

A Study on Smoke Control Technology of Diesel Vehicle  
(Final Report)

### II. Objective and Importance of Study

Diesel engine was traditionally mounted on heavy duty trucks and buses due to its higher thermal efficiency and lower fuel price compared with gasoline engine. As recent population of diesel vehicle is predominantly increased, world-wide attention is paid on exhaust emission of diesel vehicle.

Therefore some countries including United State of America (U.S.A.) adopt stringent step-wise regulation on particulate emission year by year. So smoke control technology is being intensively developed in U.S.A and Europe.

In Korea, there is no special countermeasure to particulate and odor materials which is severe pollutants in diesel vehicle in spite of longer mileage and bigger population of diesel vehicle than any other countries.

Continuous strengthening the regulation on the gasoline vehicle make it equipped with catalytic converter in the Korean market from July 1987.

Effective reduction of air pollution could not be achieved without regulation on the particulate emitted from diesel vehicle.

For this reason all possible method for reducing various pollutants emitted from diesel vehicle should be searched and studied in the related field.

The objective of this study is of comparison, evaluation with experiment and improvement of each possible method for the reduction of diesel particulate.

Also smoke control system applicable to domestic diesel vehicle should be developed and base data for the establishment of reasonable air pollution countermeasure should be supplied through actual driving test.

### III. Contents and Scope of This Study

For the reduction of diesel particulate, various technical issues were evaluated and smoke control technology applicable to domestic diesel vehicle was selected and developed.

In the first year, technology of smoke after-treatment was overviewed and effect of fuel and additive on exhaust emission and maintenance surveyed. Also for the estimation of air pollutants emission from diesel vehicle,

driving pattern and traffic volume of a city bus, a van and a truck were analyzed and emission factor of each vehicle type was estimated.

In the second year, one of smoke control system, catalytic trap oxidizer, was selected and manufactured. With this system performance, various gas pollutants (CO, HC, NO<sub>x</sub>, aldehyde and etc.) and particulate (total particulate, Soluble organics fraction, sulfate and etc.) were measured in the laboratory and reduction efficiencies were calculated. Also actual vehicle driving test with catalytic trap oxidizer was carried out for preliminary performance estimation.

In this study, of the final year, application test was carried out after improvement of problems encountered in the second year, and tested filter was manufactured and tested on engine dynamometer and in the city bus in service.

#### IV. Results and Recommendation for Their Application

This study is aimed for improvement of air quality in the city where air pollution is severe due to sharp increase of vehicular population. So smoke control technology was extensively studied. Subsequently for the development of

most effective smoke control technology suitable for in-use diesel vehicle, catalytic trap oxidizer and ceramic filter were manufactured and tested on the engine dynamometer and in the city bus in service in view of performance and exhaust emission.

Test results of city bus engine (D0846HM) with catalytic trap oxidizer on the engine dynamometer showed that smoke reduction at full load reached approximately 59% with CT0-87 (used in the second year) and 54% with CT0-88 (used in the third year).

In view of gas pollutants measured by Seoul city 7 mode, reduction of CO was of 93% and 91% with CT0-87 and CT0-88, respectively and reduction of HC was of 61% and 60 % with CT0-87 and CT0-88, respectively. And there was little difference in emission quantities of  $\text{NO}_x$ .

Particulate measured by 7 mode showed reduction of 47% and 45% with CT0-87 and CT0-88, respectively.

Increase of sulfate in the particulate was 5 times and 10 times with CT0-87 and CT0-88, respectively, which was due to change of catalyst composition for lowering regeneration temperature of trapped particulate with CT0-88.

Vehicle test result of catalytic trap oxidizer in city bus showed that CT0-87 required external regeneration every 5

hours operation. But CT0-88 could be self-regenerated periodically under high load during city drive without any external regeneration aid.

Ceramic filter has a good filtering efficiency, but cause the increase of exhaust back pressure unless there is external operation for the combustion of trapped particulate.

For the combustion of trapped particulate, catalytic treatment, fuel additive (mostly organic metal) or burner is required.

The forced combustion system of trapped particulate used in this study is that combustion of trapped particulate is accomplished by diesel burner after certain filtration of particulate.

The ceramic filter system equipped with diesel burner result in little change of gas emission, but higher particulate reduction efficiency than design target within no destruction of filter. Therefore with ceramic filter, combustion, i.e safe regeneration of trapped particulate; is most important.

In this study a ceramic filter of 70% efficiency was manufactured and tested on the engine dynamometer. After filtration of particulate to certain exhaust back pressure

under transient test mode which was simulated from driving pattern of city bus in Seoul, combustion of trapped particulate was carried out by diesel burner. With D0846HM engine, particulate was filtered up to 1700 mm Aq of exhaust back pressure, and then burnt out by diesel burner. For preventing filter destruction from over heat and supplying sufficient air during the combustion of trapped particulate, following burner operation procedures was applied. For first 20 seconds, only fan operate and then the burner operates for next 90 seconds and finally only fan operates for 100 seconds. With above procedures, regeneration could be accomplished every 6 - 7 hours operation without crack by heat or agglomeration. In the driving test of city bus mounted with ceramic filter, regeneration was carried out every 4 hours operation (approx. 100km) almost with good regenerated state but sometimes regeneration could not be accomplished due to the incomplete operation of burner caused by high exhaust back pressure of excess trapped particulate. It was found from close examination of ceramic filter dismounted from the city bus in view of combustion condition of burner and exhaust back pressure that it is better to maintain exhaust back pressure below 1300 mm Aq rather

than 1700 mmAq and that extra equipment to supply secondary air is required for more efficient regeneration. For the application of ceramic filter to the domestic vehicle, further research is necessary to improve problems encountered in this study and to localize ceramic diesel filter systems.

With the catalytic trap oxidizer applicable to city bus, a number of vehicle test are requisite for the confirmation of its reliability.

# 여백



## CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	1
Chapter 2. Review of Smoke Control Technologies of Diesel Vehicle .....	5
Section 1. Trends of Regulation and Emission Control Technologies of Diesel Vehicles .....	7
Section 2. Impacts of Diesel Emission .....	13
Section 3. Trends of After-treatment Technology of Diesel Smoke .....	20
Section 4. Air Pollutant Emission Estimation of Diesel Vehicles .....	29
1. Traffic Volume Analysis .....	29
2. Emission Factor and Air Pollutant Emission Estimation .....	32
Chapter 3. Application Test of Catalytic Trap Oxidizer ...	39
Section 1. Introduction .....	41
Section 2. Sample Preparation of Catalytic Trap Oxidizer .....	42
Section 3. Test Equipment .....	46
Section 4. Test method .....	48
1. Measurement of Gaseous Emission .....	48
2. Measurement of Smoke Opacity and Particulate .....	49
3. Measurement of Sulfate .....	49
4. Particulate Accumulation and Regeneration Test ....	49

5. Actual Vehicle Driving Test with Catalytic Trap Oxidizer on the City Bus in Service. ....	50
Section 5. Result and Discussion .....	53
1. Smoke Filtering Efficiency .....	53
2. Particulate Filtering Efficiency .....	54
3. Gaseous Emission Reduction Efficiency .....	55
4. Sulfate Conversion Rate .....	58
5. Particulate Accumulation and Regeneration .....	62
6. Actual Vehicle Driving Test of CTO .....	62
Section 6. Conclusions .....	64
Reference .....	66
Chapter 4. Application Test of Ceramic Monolithic Filter Trap System .....	69
Section 1. Introduction .....	71
Section 2. Theoretical Review .....	71
Section 3. Sample Preparation of Ceramic Monolithic Filter Trap System .....	81
1. Ceramic Monolithic Filter .....	81
2. Canning of Ceramic Monolithic Filter Trap .....	82
3. Burner System .....	85
Section 4. Engine Dynamometer Bench Test of Ceramic Monolithic Filter Trap System .....	87
1. Test Items and Test Methods .....	87
1.1 Test Equipments .....	87

1.2	Test Engine .....	90
1.3	Characteristics of Particulate Filtering Efficiency .....	95
1.4	Test Vehicle Driving Mode .....	98
1.5	Test Method .....	100
2.	Results and Discussion .....	101
2.1	Exhaust Gas Temperature and Back Pressure .....	101
2.2	Particulate Accumulation and Regeneration .....	103
2.3	Smoke Reduction Rate .....	105
2.4	Evaluation of Regeneration Capability according to Increase Back Pressure due to Particulate Accumulation .....	106
Section 5.	Actual Vehicle Driving Test of Ceramic Monolithic Filter Trap System .....	118
1.	Test Items and Test Method .....	118
1.1	Test Equipment .....	118
1.2	Installation of Filter Trap System .....	119
1.3	Test Route for Actual Vehicle Driving Test .....	120
1.4	Particulate Accumulation and Regeneration .....	120
2.	Result and Discussion .....	121
Section 6.	Conclusions .....	125
Reference	.....	127
Chapter 5.	Conclusions .....	135
Appendix 1.	Diesel Emission Test Data Sheet .....	141
Appendix 2.	Test Method of Sulfate in Particulate .....	151

# 여 백

# 목 차

<b>제 1 장 서 론</b> .....	1
<b>제 2 장 디젤자동차 오염물질 저감기술에 관한 고찰</b> .....	5
제 1 절 디젤자동차 오염물질 규제와 방지기술의 동향 .....	7
제 2 절 디젤자동차 매연의 유해성 .....	13
제 3 절 디젤자동차 매연후처리기술의 동향.....	20
제 4 절 디젤자동차 오염물질 배출현황.....	29
1. 교통량 현황.....	29
2. 오염물질 배출계수 및 배출량 .....	32
<b>제 3 장 촉매산화매연여과장치의 실용화연구</b> .....	39
제 1 절 서 론 .....	41
제 2 절 매연여과기의 제작 .....	42
제 3 절 시험장치 .....	46
제 4 절 시험방법 .....	48
1. 가스상물질 측정.....	48
2. 매연 및 입자상물질 측정 .....	49
3. 황산기 측정 .....	49
4. 입자상물질누적 및 재생시험 .....	49
5. CTO의 실차시험 .....	50
제 5 절 결과 및 고찰 .....	53
1. 매연저감율 .....	53
2. 입자상물질 저감율.....	54

3 . 가스상물질 저감율.....	55
4 . SO <sub>2</sub> 의 SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 전환율 .....	58
5 . 매연누적 및 재생시험 .....	62
6 . 실차 주행시험.....	62
제 6 절 결 론 .....	64
참 고 문 헌 .....	66
<b>제 4 장 세라믹매연여과장치의 실용화연구 .....</b>	<b>69</b>
제 1 절 서 론 .....	71
제 2 절 이론적 고찰 .....	71
제 3 절 세라믹매연여과장치의 시제품 제작 .....	81
1 . 세라믹 매연필터 .....	81
2 . 세라믹 매연필터의 캐닝 .....	82
3 . 연소장치 .....	85
제 4 절 세라믹매연여과장치의 실험실적 시험 .....	87
1 . 시험내용 및 방법 .....	87
1.1 시험장치 .....	87
1.2 시험용 엔진 .....	90
1.3 매연여과효율 특성.....	95
1.4 시험주행모우드 .....	98
1.5 시험방법 .....	100
2 . 결과 및 고찰.....	101
2.1 배기가스온도 및 배압특성 .....	101
2.2 매연누적 및 재생.....	103
2.3 매연저감 효율 .....	105

2.4	매연누적에 따른 재생능력 평가 .....	106
제 5 절	세라믹매연여과장치의 실차적용시험 .....	118
1.	시험내용 및 방법 .....	118
1.1	시험장치 .....	118
1.2	세라믹매연여과장치의 설치 .....	119
1.3	주행시험 노선 .....	120
1.4	누적주행시험 및 재생방법 .....	120
2.	시험결과 및 고찰 .....	121
제 6 절	결    론 .....	125
	참    고    문    헌 .....	127
<b>제 5 장</b>	<b>결    론</b> .....	<b>135</b>
<b>부    록</b>	.....	<b>139</b>
1.	디젤엔진 배출가스 시험결과 .....	141
2.	입자상물질중 황산화물 측정방법 .....	151

# 제1장 서론



여 백

## 제 1 장 서 론

최근 자동차의 급격한 증가는 1975년에 20 만대에 불과했던 자동차등록대수가 1988년말에는 200 만대에 이를 것으로 전망되어 이로 인한 대도시의 교통정체와 자동차배출가스에 의한 대기오염은 날로 심화되어 가고 있는 실정이다. 특히 자동차배출가스에 의하여 크게 영향을 받고 있는 광화학옥시단트 농도는 매년 증가추세에 있을 뿐만아니라 광화학옥시단트는 마라톤등 스포츠기록에 크게 영향을 미친다는 것이 알려졌기 때문에 88서울올림픽을 앞두고 그간 정부에서는 강력한 자동차배출가스 대책을 추진하여 1987.7.1 부터는 일부 모델의 승용차에 대하여 그리고 1988.1.1 부터는 모든 휘발유 및 LPG 승용차에 대하여 후처리장치인 촉매장치를 부착하여야만 이 규제기준치를 만족시킬 수 있는 저공해자동차를 생산보급하였으며 저공해자동차에 꼭 필요한 무연휘발유를 전국적으로 공급하게 되어 명실공히 저공해자동차시대에 돌입하게 되었다. 이와같이 본격적인 저공해자동차의 보급에도 불구하고 자동차배출가스로 인한 대기오염은 크게 개선되지 않고 있다. 이는 선진외국과는 달리 우리나라는 디젤자동차의 보유비율이 세계 어느 나라보다 높아 약 48%에 달하고 있으며 기존운행중인 자동차의 일일주행거리가 높기 때문이다.

이와같은 디젤자동차에 의한 오염물질을 저감시키기 위하여 1980년도부터 매연 농도를 50%로 규제한 이후 1984.7.1부터는 가스상물질인 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)를 추가로 규제하였으며 1988.1.1부터 NOx를 약 15% 규제 강화하는 등의 조치로 그간 디젤자동차 및 엔진제조회사에서는 많은 기술개발투자로 디

이젤자동차의 오염물질을 많이 저감시켜 왔으나 선진외국에 비하여 아직 미흡한 실정이다. 그러므로 디젤자동차의 오염물질을 저감시키기 위한 규제기준의 강화와 운행중인 디젤자동차의 매연을 감소시키기 위한 방지기술의 개발등 적극적인 대책이 요망되고 있다. 특히 최근 디젤자동차에서 많이 배출되고 있는 입자상물질의 유해성에 대한 많은 연구결과가 밝혀지자 미국을 비롯한 선진국에서는 디젤매연의 저감을 위한 규제기준의 강화등의 조치로 이분야의 활발한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 선진국에서 연구개발하고 있는 매연방지기술을 도입 우리실정에 맞는 방지장치의 개발 및 실차적용시험을 통하여 매연방지장치의 국산화를 유도하고자 하였으며, 특히 도심을 운행하고 있으며 일일 주행거리가 긴 시내버스의 매연방지장치개발에 역점을 두고 실시하였다.

본 연구는 3개년에 걸쳐 수행되었으며 1차년도에서는 디젤자동차배출가스 방지기술조사, 정비점검방법의 개선 및 연료첨가제에 의한 매연대책, 디젤자동차의 오염물질 배출량조사 및 자동차배출가스에 의한 도시지역의 대기오염도를 조사하였으며 2차년도에는 매연방지장치의 일종인 촉매산화매연여과장치의 개발 및 실차 적용시험을 실시하였다. 그리고 3차년도에는 촉매산화매연여과장치의 문제점을 보완하여 실차적용시험을 실시하였으며 세라믹매연여과장치를 개발하고 실차시험을 통하여 문제점을 도출하므로서 향후 세라믹 매연여과장치의 국산화 및 실용화 연구에 기초자료를 제공하고자 노력하였다.

## 제2장    디젤자동차 오염물질 저감기술에 관한 고찰

여 백

## 제 2 장 디젤자동차 오염물질 저감기술에 관한 고찰

### 제 1 절 디젤자동차 배출가스 규제와 방지기술 동향

자동차 배출가스 방지기술은 규제기준의 정도에 따라 그 적용기술이 상이하다. 즉 자동차 배출가스에 의한 대기오염이 크게 문제시 되지 않을 때에는 매연을 포함한 오염물질의 농도는 자동차의 출력과 안정성을 고려하여 적절히 조절하면 되었다.

그러나 미국과 일본을 비롯한 선진국의 대도시에서는 1960년대 말부터 자동차 배출가스에 의한 대기오염이 심각해지자 가솔린자동차를 중심으로 하여 자동차 배출가스 방지대책을 강력히 추진하기에 이르렀다. 미국과 일본은 각각 1968년과 1973년부터 본격적인 배출가스 규제를 실시하고 몇차례에 걸친 규제강화로 가장 엄격한 배출가스 규제를 실시하고 있다.

디젤자동차의 배출가스 규제 추이를 보면 일본에서는 1972년부터 매연을 규제하였고 1974년에는 가스상 물질인 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 및 질소산화물(NOx)을 규제하기 시작하여 NOx에 대해서만 몇 차례의 규제가 강화되어 1987년 현재 CO 980ppm, HC 670ppm, NOx 610ppm (부실식 390ppm)으로 농도규제를 실시하고 있으며 디젤승용차에 대해서는 가스상 물질인 CO, HC, NOx를 1986년부터 중량농도로 규제하고 있다. 즉, CO 2.7g/km, HC 0.62g/km, NOx 0.98g/km (등가관성 중량 1250kg 초과인 경우 1.26g/km)로 규제하고 있으며 매연에 있어서는 오염도(opacity)를 50% 이하로 규제하고 있다.<sup>1)</sup>

우리나라에서도 디젤자동차의 배출가스 규제기준은 일본의 규제

기준과 비슷하여 현재까지 적용하고 있으며 가스상 물질에 있어서는 1984년부터 규제하기 시작하여 CO 980ppm, HC 670ppm, NOx 1000ppm 직접분사식(부실식에서는 590ppm)이며 1988년부터는 CO와 HC는 변화없으나 NOx에 있어서는 직접분사식 850ppm 부실식 450ppm으로 규제하고 있다.<sup>2)</sup>

우리나라 및 일본의 디젤자동차의 배출가스 규제 동향에서 볼 수 있는 바와 같이 최초 배출가스를 규제한 이래 NOx의 배출량만을 규제 강화하고 있다. 이는 디젤자동차에서 배출되는 오염물질 중에서 CO와 HC는 가솔린 자동차에 비하여 그 배출농도가 매우 낮기 때문에 크게 문제가 되지 않으므로 배출량이 많은 NOx에 대하여 중점적으로 그 저감대책을 강구하고 있다.

물론 디젤자동차에 있어서 크게 문제시 되고 있는 오염물질은 NOx뿐만 아니라 매연을 들 수 있다. 매연은 불완전 연소에 의하여 생성되는 물질이며 NOx는 완전 연소에 의한 생성물질이기 때문에 이들 두 물질은 서로 상반적인 관계를 가지고 있다.

그러므로 이들 두 오염물질을 동시에 줄이기는 어려우므로 매연의 농도는 50%로 두고 NOx를 점차로 저감시키고 있는 실정이다. 그러나 디젤 매연 중에는 강력한 발암물질로 알려진 벤조(a)피렌을 비롯 많은 종류의 독성 화학물질이 함유되어 있고 디젤의 매연은 입경이 0.1~0.3 $\mu$ m인 아주 작은 입자로서 대기중에 오랫동안 떠돌아 다니며 호흡에 의해서 인체 폐 깊숙히 흡입되어 여러가지 질병을 유발시키며 시정을 악화시키고 재산을 더럽히는 작용<sup>3)4)5)</sup>이 커서 최근 각국에서 큰 관심을 갖고 매연저감대책에 적극적으로 대처하고 있다.

디젤자동차의 배출가스 규제에 있어서 미국은 일본이나 우리나라

라보다는 합리적으로 규제하고 있다고 볼 수 있다.

미국에 있어서 디젤자동차의 배출가스 규제를 보면 1970년부터 매연을 규제하였으며 1974년부터는 매연농도의 규제 강화와 함께 가스상물질인 CO, HC, NOx를 중량농도(g/bhp-hr)로 규제하였다. 이는 8500lb초과의 대형 디젤자동차 및 엔진에 적용하며 승용차(passenger car)에 대해서는 1975년부터, 소형트럭(light duty truck 8500lb 이하)에 대해서는 1976년부터 가스상물질을 가솔린자동차와 같은 중량 농도 기준으로 적용하였고 1982년부터는 입자상물질을 중량농도(g/mile)로 규제하기 시작했다. 그후 몇 차례의 규제 강화후 1987년부터는 입자상 물질 농도를 승용차 0.20g/mile, 소형트럭 0.26g/mile로 규제를 강화하고 가스상 물질에 있어서도 승용차는 CO 3.4g/mile, HC 0.41g/mile, NOx 1.0g/mile로 소형트럭은 CO 10g/mile, HC 0.80g/mile, NOx 2.3g/mile로 규제하고 있다. 대형 디젤자동차에 있어서 입자상 물질 규제는 1988년부터 적용하게 되며 연차적인 강화기준을 정하고 있다. 즉 1988년에는 0.60g/bhp-hr, 1991년에는 0.25g/bhp-hr( 시내버스는 0.10g/bhp-hr) 그리고 1994년 이후는 0.10g/bhp-hr로 점차적인 규제강화안을 마련해 놓고 있다.<sup>6)</sup>

1988년부터 디젤 입자상물질을 규제함과 더불어 NOx에 있어서도 10.7g/bhp-hr에서 6.0g/bhp-hr로 대폭 강화하고 다시 1991년부터는 5.8g/bhp-hr로 강화할 것이다.

이와같이 입자상물질의 규제강화와 더불어 NOx도 동시에 규제를 강화하게 되면 이러한 기준을 만족시키기 위한 적절한 방지기술이 적용되어야 한다.

1985년 모델에 적용하는 미국 규제기준을 만족시키기 위해서는



엔진개량만으로 가능하며 후처리장치는 필요로 하지 않았다. 즉 엔진에 더 많은 공기를 공급함으로써 매연과 질소산화물을 줄이기 위한 방법으로서 과급 (super-charging : 피스톤의 펌프작용에 의한 공기량 이상으로 가압한 공기, 즉 밀도를 높힌 공기), Intercooling 방법 (기관의 냉각수를 이용하여 연소실에 냉각된 공기를 도입)이 있으며 NOx 를 줄이기 위하여 연료분사시기를 지연시키고 매연을 줄이기 위하여 Aeroid 방법을 사용한다.

1988년 허용기준인 입자상물질  $0.6g/bhp-hr$  와 더 엄격한 질소산화물  $6g/bhp-hr$  를 만족시키기 위하여 흡입공기의 냉각을 위한 Radiator type의 Intercooling 냉각장치를 사용하고 전자식 연료분사펌프와 같은 연료분사계의 개량, 연소실 개량, EGR 장치사용 및 연료분사시기 조절 등의 기술을 적용하여 매연 후처리장치의 사용없이도 이 기준을 만족시킬 수 있다고 본다.

1991년부터 적용하는  $0.25g/bhp-hr$  이하의 입자상물질과 질소산화물  $5.0g/bhp-hr$  이하를 만족시키기 위해서는 후처리장치인 매연 필터장치의 사용은 물론 피드백 센서 (feedback sensor) 를 가진 전자식 연료 분사펌프와 피드백 센서를 가진 컴퓨터 사용 등 획기적인 기술개발이 이루어질 것이며 특히 시내버스의 입자상물질 기준인  $0.10g/bhp-hr$  기준을 만족시키기 위해서는 배기가스중 입자상물질을 80% 이상 포집할 수 있는 고효율 여과장치가 사용될 것이고 황 함유량이 0.05% 이하인 경유가 사용될 것이며 메탄올과 같은 대체연료의 사용을 위한 엔진개량과 세라믹과 같은 대체

재료가 사용될 것이다.

1994년에는 모든 대형 디젤자동차에 1991년의 버스에 대한 배출가스 저감기술이 적용될 것이며 컴퓨터로 조절하는 엔진의 사용과 저유황경유(0.05%) 사용은 물론 많은 엔진에 세라믹과 같은 대체재료가 사용될 것이다.”

우리나라의 디젤자동차 배출가스 방지기술은 극히 일부 엔진을 제외하고는 대부분 일본의 1977~1979년대의 배출가스 허용기준을 만족시키는 설계기술을 도입 제작하고 있다.

디젤엔진은 연소방식이 가솔린 엔진과 전혀 다르기 때문에 연소제어에 의한 배출가스를 저감시키는 방법도 가솔린 엔진과는 다르다. 또 디젤엔진은 후처리에 의한 배출가스 저감이 곤란하므로 엔진내에서 연소에 의해 배출가스를 저감시키는 방법이 기본으로 되고 있다. 연료분사시기의 지연과 연료분사 진각특성의 변경은 NOx의 저감에 유효하며 디젤엔진의 배출가스 대책의 중심으로 되고 있다. 그러나 한편으로는 연료소비율이 악화되고 출력이 저하되며 CO, HC 및 매연의 배출량이 증가된다. 이와같은 영향을 억제하기 위한 기술에는 연료분사율의 향상, 연소실 형상, 흡기 Swirl의 개선 등에 의하여 연료 증발과 혼합을 촉진시킨다.

연료분사율을 높이면 매연의 발생이 저감되고 연료 소비율, 출력은 향상되지만 NOx는 증가된다.

연소실 형상을 개선하여 혼합기 형성을 촉진하면 매연 저감 및 연료소비율이 향상된다.

연소실내에서 Swirl 을 생성시켜 혼합기 형성을 촉진시키면 매연의 생성도 감소되고 연료소비율도 개선되지만 NOx 는 증가한다.

가솔린자동차에 널리 사용되는 EGR(exhaust gas recirculation)은 디젤 엔진에서는 배기중에 매연과 산을 많이 함유하고 있기 때문에 엔진 부품의 마모, 오일의 열화가 심하고 내구성이 저하되며, 부분부하에 있어서는 공기 과잉율이 크므로 NOx 저감효과가 적다. 또 전부하에서는 배기가스중 매연이 증가하게 된다. 그러므로 자동차의 성능, 배출가스 특성의 악화를 될 수 있는 한 억제하기 위하여 대책기술을 적용하는 것이 문제이다.

엔진내에서 배출가스를 충분히 저감시키지 않을 때는 기관배기의 후처리에 의한 배출가스를 저감시키는 것이 고려된다. 그러나 산화촉매 등 가솔린자동차에서 개발한 후처리장치를 채용하는 것은 디젤자동차에서는 가솔린 엔진에 비해서 배기온도 및 배기중에 CO 및 HC 농도가 적어 충분한 정화율이 얻어지지 않는다. 또 배기가스 총량이 많고 배기가스 중에 매연 및 산을 많이 함유하고 있기 때문에 내구성도 문제시 된다.<sup>8)</sup>

## 제 2 절 디젤 자동차 매연의 유해성

디젤자동차에서는 경유의 휘발성이 가솔린보다 낮기 때문에 증발 가스는 크게 문제되지 않으며 압축행정시 공기만을 압축하기 때문에 블로우바이 가스중 탄화수소량은 휘발유자동차에 비하여 적다. 그러나 디젤자동차 배출가스 중에는 매연(smoke)을 포함한 입자상물질의 배출이 많고 황산화물이 많이 포함되어 있으며 광화학반응성이 높은 탄화수소와 벤조피렌과 같은 발암물질이 휘발유자동차 배출가스보다 많이 함유되어 있다.

특히 입자상물질은 디젤자동차가 촉매장치가 되어 있는 휘발유자동차보다 30~100배 정도 더 많이 배출되며<sup>3)</sup> 그림 2-1에서 볼 수 있는 바와 같이 평균직경이  $0.1 \sim 0.3 \mu m$ 인 아주 작은 입자로서 배출되므로 이들 디젤입자상물질은 대기중에 오랫동안 떠돌아다니며 호흡에 의해 인체의 폐 깊숙히 호흡되어 여러가지 질병을 유발시킬 수 있다.<sup>5)</sup> 디젤입자상물질은 그림 2-2에서 볼 수 있는 바와 같이 용해성물질과 비용해성물질로 나눌 수 있다. 비용해성물질은 주로 미연소된 탄소입자이며 용해성물질은 연소되지 않은 탄화수소와 산소가 결합된 불완전연소 생성물이다. 이 용해성물질중에는 10,000여종의 독성화합물이 함유되어 있으며 이들 물질이 스폰지형의 탄소원소에 흡착되어 있기 때문에 호흡에 의해 폐포 깊숙히 호흡되면 독성화합물이 오랫동안 폐포에 머물러 있게 되어 질병을 유발시킬 수 있는 시간을 부여한다.

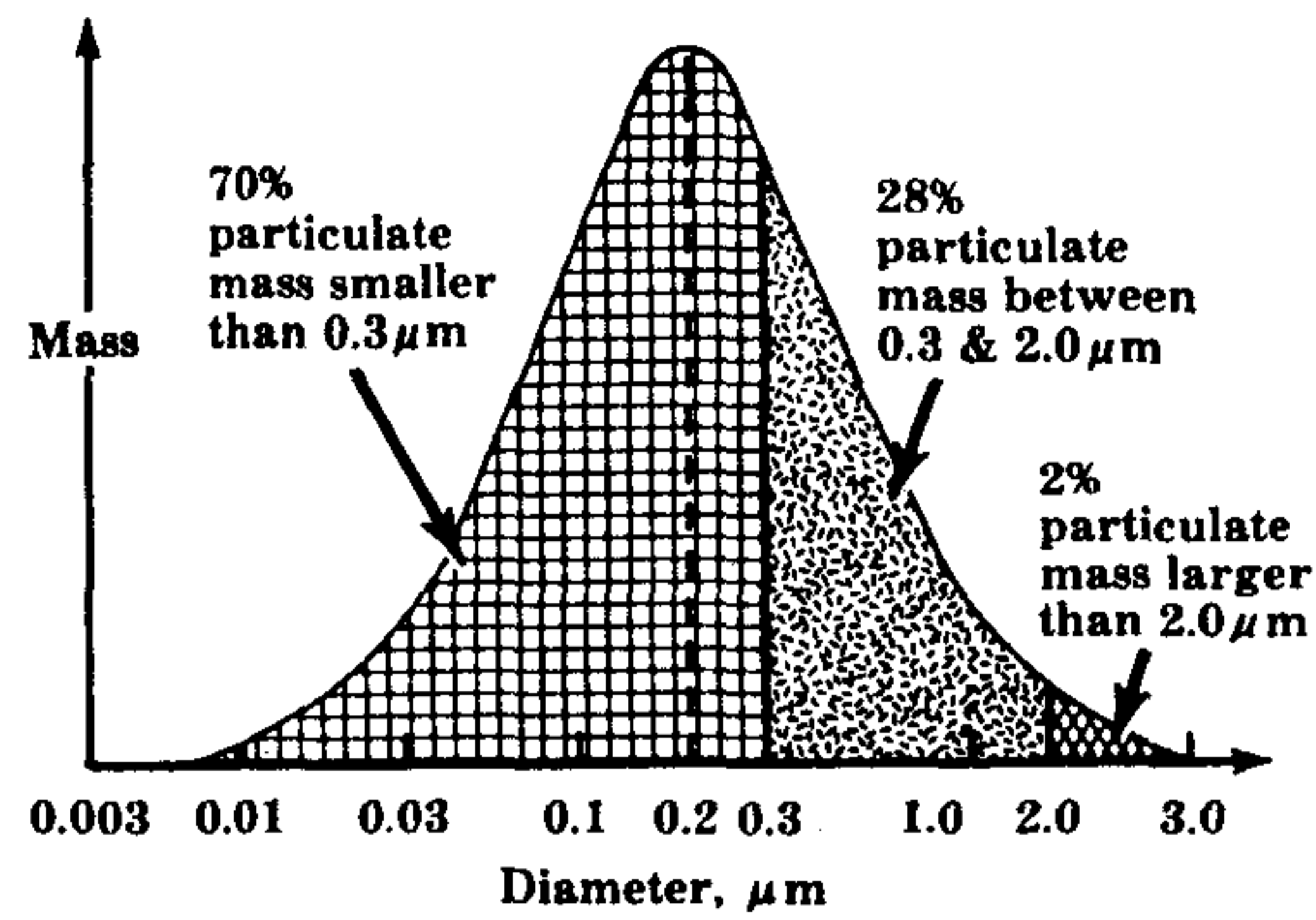


Fig.2-1 Size distribution of diesel particulate

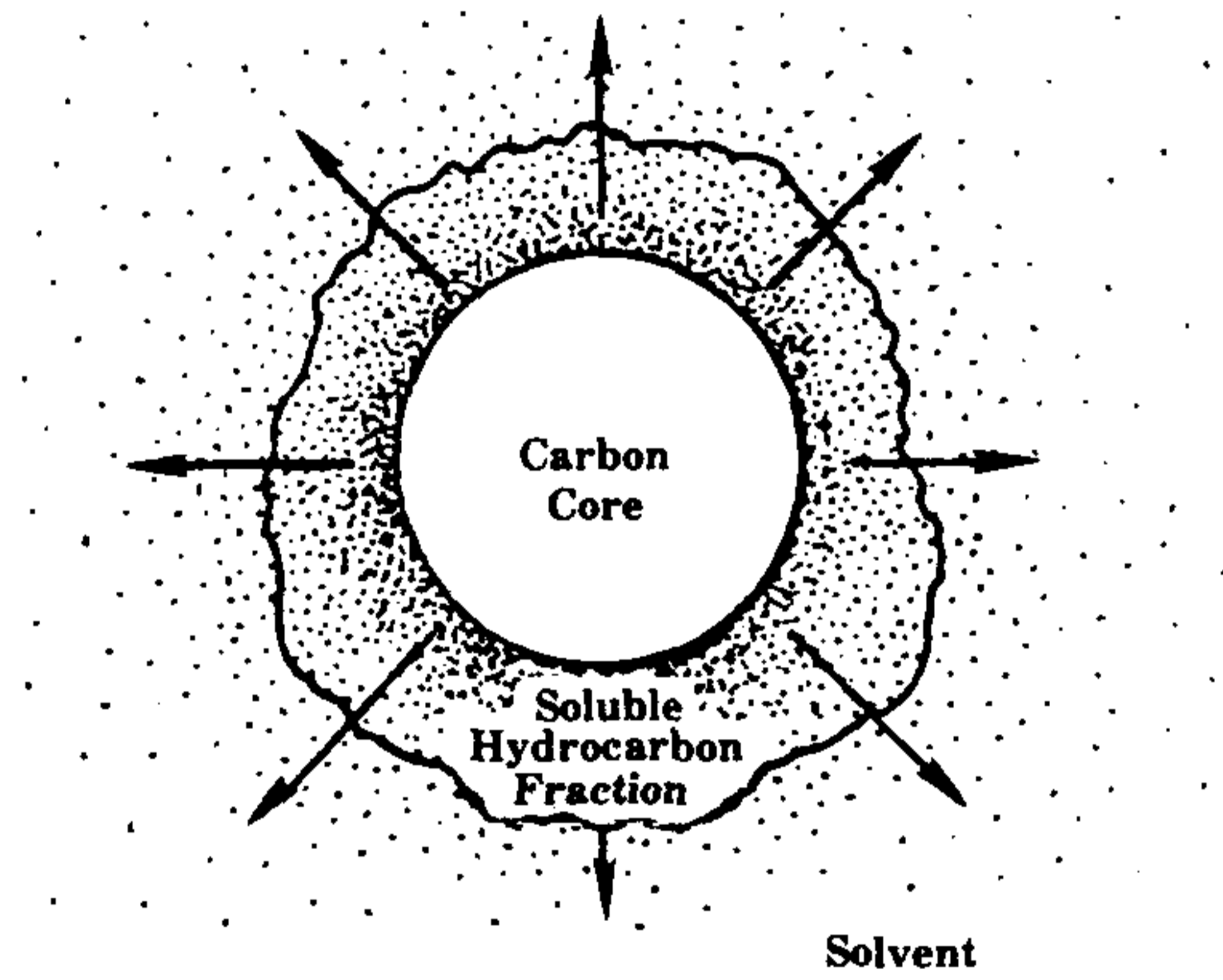


Fig.2-2 Absorption of soluble hydrocarbon fraction in diesel particulate

용해성 탄화수소 (SOF : soluble organic fraction)는 용매에 추출되어 나오는 물질로서 디젤입자상물질중 25% 정도이며 이 양은 디젤엔진의 운전 조건에 따라 상이하나 최저 10%에서 80%까지이며 이들 중에는 돌연변이성을 일으키며 암을 유발하는 각종 생물화학적으로 활성을 갖는 물질을 많이 함유하고 있기 때문에 디젤입자상물질이 건강상 큰 관심의 대상이 된다. 디젤엔진의 용

해성 탄화수소 배출량은 유연휘발유엔진의 탄화수소 배출량에 비하여 6배가 많고 촉매장치가 되어 있는 휘발유엔진에 비하여 20배나 많다고 한다.<sup>9)</sup>

#### 1. 인체에 미치는 영향

서울과 같은 대도시를 포함한 많은 지역에서 총부유분진(TSP : total suspended particulate)의 환경기준을 초과하고 있다.

교통량이 많은 대도시에 있어서의 부유분진은 자동차배출가스, 특히 디젤자동차의 입자상물질이 크게 기여하고 있으며 디젤입자상물질은 인체에 여러가지 해를 미친다는 연구결과는 큰 관심의 대상이 되고 있다.

일반적으로 입자상물질이 인체에 미치는 영향을 평가할 때는 다음과 같은 사항을 중요시한다.

- 즉 ○ 입자상물질의 노출정도
- 인체의 기도 어느 부위에 침적할 수 있는나를 결정하는 입자의 크기
- 입자의 침전과 세척
- 용해성 성분의 생물학적 활성
- 용해성 화합물의 분자독성과 유전자 손실의 기전
- 노출-반응관계
- 노출과 관련된 정량적인 생물학적 변화의 피해 판단

어떤 입자상물질의 건강피해는 그 입자가 인체의 보호기능을 뚫고 체내로 들어가 호흡기 계통의 깊숙한 곳에 침전시키는 능력과 그 입자상물질을 제거하고 중화시킬 수 있는 인체의 능력과의 차에 의존한다. 인체내에 제일 먼저 침입하는 길은 하루 10,000 ℓ의 공기를 폐속으로 공급하는 호흡기 통로이다.

흡입공기는 연속적으로 그림 2-3 과 같은 부위를 통하여 운반된다.

인체의 기도내부는 끈적끈적한 점액층으로 싸여있기 때문에 입자상물질은 호흡하는 동안 점액층과 접촉하면 공기로부터 여과되고 침전된다. 대부분 큰 입자는 Pharynx나 Trachea와 같은 상부 호흡기 통로에서 걸러진다. 입경이  $0.3\mu m$  이하인 입자의 대부분은 상부 호흡기 통로를 지나 가스교환부인 폐 깊숙히 전달된다.

다이젤입자상물질의 약 70%는  $0.3\mu m$  보다 적으므로 대부분 폐 깊숙히 도달된다.

입자상물질이 인체에 미치는 영향은 흡입한 양뿐만 아니라 호흡기 통로의 어느 부위에 침전하느냐에 따라 다르다.

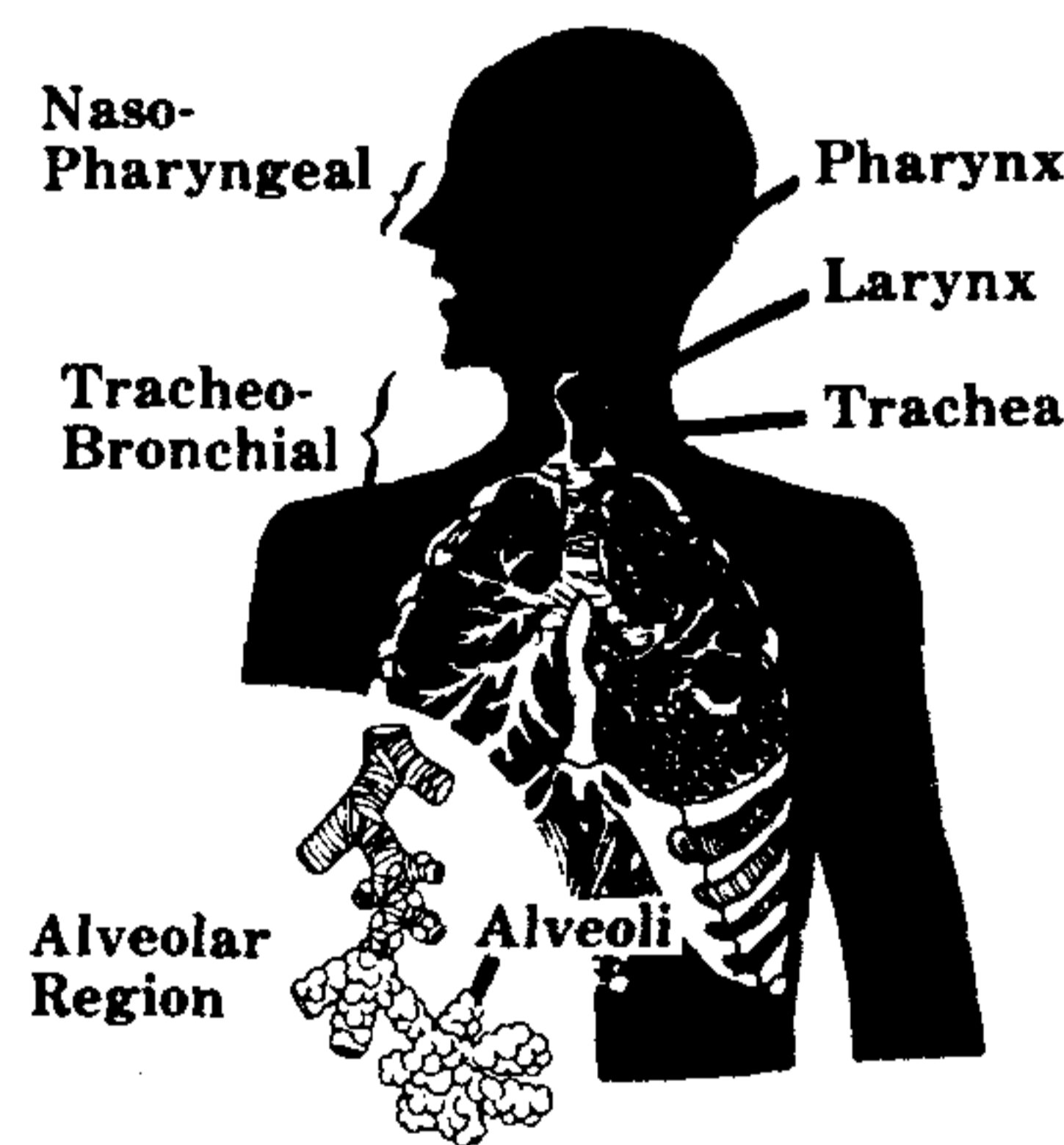


Fig.2-3 Entry route of inhaled airborne particle

그림 2-4 에 입자상 물질의 입경과 호흡기 계통의 부위별 침전정도를 나타내고 있다.

다이젤입자상물질은 입경이 적을 뿐만 아니라 조성에 있어서도 특히 해롭고 독성이 있다는 것이 알려졌다. 미국 환경보호청이 최근 밝힌 바에 의하면 경유자동차에서 배출되는 입자상물질중에는 이미

설명한 바와 같이 10,000여종의 화학물질이 흡착되어 있으며 이들 화학물질중의 많은 종류가 단기간의 생체검정에서 돌연변이성이 있다는 것이 알려졌고 실험동물 시험에 의해서 암을 유발할 수 있다는 것이 밝혀졌다.

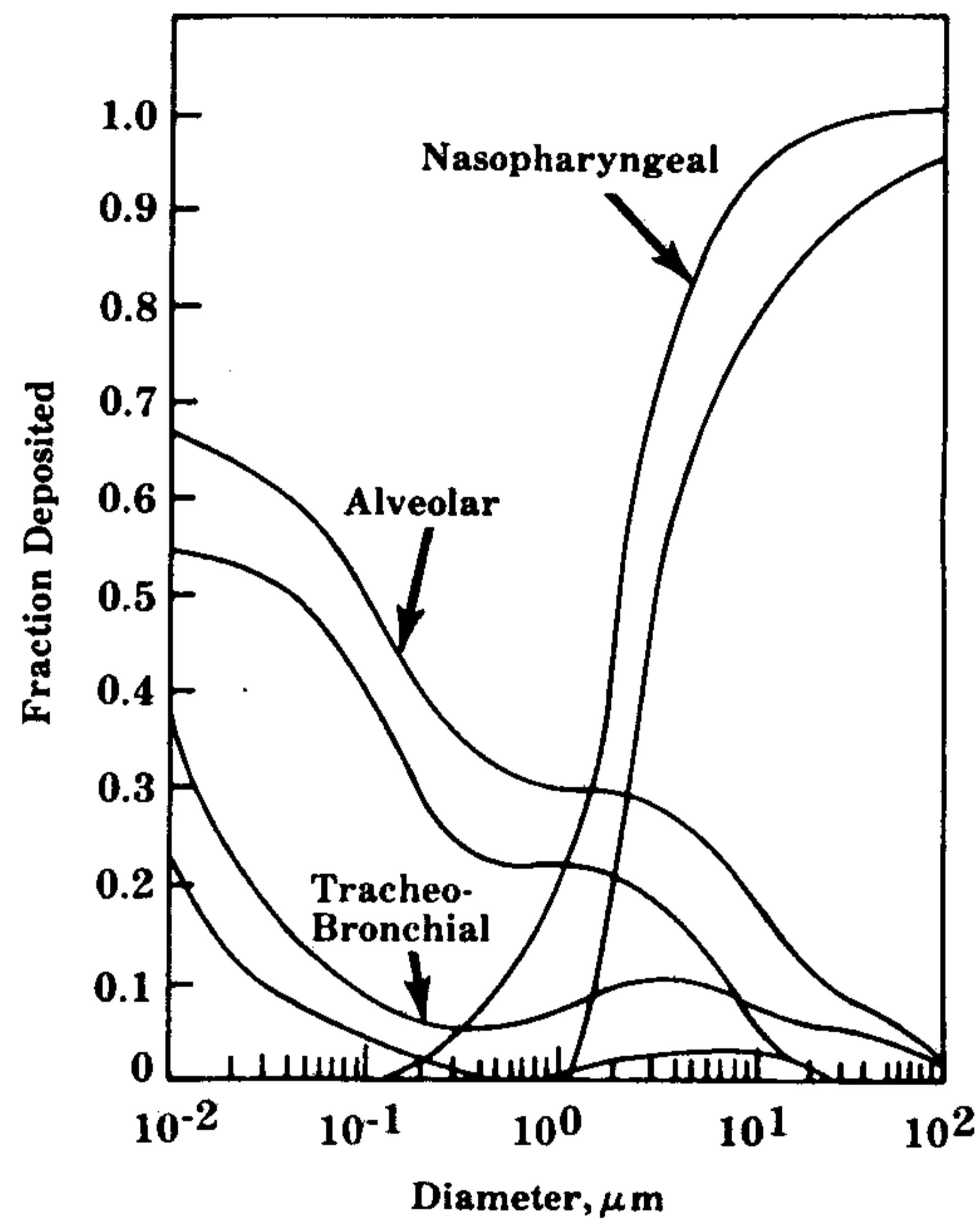


Fig.2-4 Relationship between particle diameter and fraction deposited in the respiratory system

미국 환경보호청은 여러가지 실험결과에 의해서 경유자동차에서 배출되는 입자상물질은 발암과 관련하여 다음과 같은 관계가 있다고 추정하였다. 즉 흡입공기 1m<sup>3</sup> 중에 디젤입자상물질 1 μg 이 함유되어 있는 공기를 계속 호흡하면 1년동안에 백만명중 0.26에서 1.4 인이 폐암을 일으킬 수 있는 위험이 있다는 것이다.

현재와 같은 상태로 경유자동차가 증가하면 1995년에는 미국의 전 도시의 경유자동차 입자상물질의 노출정도는 3 ~ 5 μg / m<sup>3</sup>로 예상되



므로 디젤입자상물질에 대한 관심이 큰 이유를 알 수 있다. 하버드대학의 연구자들의 역학조사에 의하면 미국 철도노동자에 대한 연구결과 경유를 취급하는 노동자가 취급하지 않은 노동자보다 호흡기계통 암이 1.42배나 더 많이 발생되었다고 밝히고 있다. 미국에서 지금까지 연구결과로 확실하게 말할 수 있는 것은 경유자동차에서 배출되는 입자상물질을 저감시키지 않고 경유자동차가 계속 증가된다면 전 세계적으로 암환자의 발생위험성은 크게 증가될 것이라는 것이다. 디젤입자상물질을 포함한 대기중 총 부유분진농도와 유아사망율(infant mortality) 및 총 사망율(total mortality) 사이에는 높은 상관성이 있으며 더 뚜렷한 것은 입자상물질이 기관지염(bronchitics), 천식(asthmatics), 심장병질환자(cardiovascular patients) 및 독감(influenza)에 걸린 사람들의 질병을 악화시키는 것과 밀접한 관련이 있다는 것이 역학조사 결과 밝혀졌다. 또한 입자상물질 농도의 증가는 이들 질병을 치료하는데 더 힘들다는 것이다.<sup>3)</sup>

## 2. 시정(visibility) 장애

시정은 시각적인 대기질이라고 말할 수 있다.

시각적인 대기질은 옥외에서 경치를 보는 사람의 경험에 의한다. 그러므로 이것은 건강에 대한 영향이나 경제적인 영향과 같은 대기질의 비시각적인 영향과는 구별된다.

시각적인 대기질의 판단은 환경조건에 의해서 영향을 받는 경치의 시각적 지각요인들에 기초를 둔다.

도심지역에서 시각적인 대기질에 중요한 영향을 주는 지각요인은 대기의 색상, 먼 거리에 있는 물체를 볼 수 있는 투명도 및 깨끗한 공기와 더러운 공기의 경계의 유무 등이다.

관측자의 판단에 의하는 환경조건은 도시의 헤이즈(haze)가 산의 경계를 흐리게 하는 것과 같이 시계의 미적 질을 손상시킬 수도 있고 헤이즈나 안개가 경치를 더 아름답게 하는 것과 같이 시계의 미적 질을 향상시킬 수도 있다.

소멸계수(extinction coefficient)는 여러가지 대기성분의 기여도에 따라 세분할 수 있으므로 시각적인 범위보다 오히려 빛의 소멸계수나 헤이즈지수(haze index)의 항목으로 시정을 논의하는 것이 더 일반적이다.

빛의 소멸계수는 ①입자들에 의한 빛의 산란, ②가스상물질에 의한 빛의 산란, ③입자들에 의한 빛의 흡수 및 ④가스상물질에 의한 빛의 흡수로 정의된다. 미국 콜로라도주 덴버시의 조사에 의하면 덴버의 헤이즈문제는 미세한 에어로졸(fine aerosol)에 의한 빛의 산란과 흡수에 의한다고 한다. 미세한 에어로졸은 헤이즈에 95% 기여하나  $\text{NO}_2$ 는 5%만이 기여한다.

대기 중에 미세한 에어로졸의 부하가 증가하느냐 감소하느냐는 빛의 소멸계수의 증감에 직접 비례한다는 것을 알 수 있다. 미세한 에어로졸의 두가지 중요한 형태는 황산기(sulfate)와 탄소원소(elemental carbon)이다. 탄소원소는 빛의 반사와 흡수에 큰 영향을 미치며 다른 미세한 에어로졸보다 3~4배나 더 큰 빛의 소멸계수를 가진다. 탄소원소는 비활성물질이므로 대기중에서 화학적으로 제거하기 위한 기전(mechanism)은 없고 건식이나 습식침전이 탄소원소를 제거하기 위한 유일한 방법이다.

이 탄소입자는 아주 적은 입자이기 때문에 건식침전에 의하여 제거되는 양은 적고 기후특성에 따라 다르지만 이들 물질은 대기중에 몇일에서 한달 가까이 떠돌아 다닌다.

탄소로 구성된 모든 연료를 연소시키는 과정에서 탄소원소가 배출되지만 가장 큰 배출원은 디젤엔진이다. 그러므로 디젤자동차는 대기의 시정장해에 큰 영향을 미치는 배출원이다.

### 3. 재산상의 피해

디젤자동차의 입자상물질은 환경오염을 증가시킨다. 즉 디젤입자상물질은 액상 및 고체상의 성분으로 되어 있기 때문에 약간 기름기가 있는 물질이므로 물체표면에 쉽게 달라 붙어 건조한 입자상물질보다 쉽게 더럽혀지고 쉽게 제거되지 않는다.

디젤입자상물질은 평균 도시 입자상물질보다 3~5배나 더 검기 때문에 같은 크기의 불활성 입자상물질보다 약 3~5배나 더 쉽게 건물, 피복 및 섬유 등을 더럽힐 수 있다.

### 제 3절 디젤자동차 매연방지기술(후처리기술)의 최근동향

디젤자동차에서 배출되는 매연[엄격히 말하면 매연(black smoke 또는 soot)은 검게 보이는 탄소성분을 말하며 매연과 고비점 탄화수소를 주성분으로 하는 입자상물질과는 구분되지만 여기서는 입자상물질을 편의상 매연으로 통칭한다]을 배기관을 통하여 대기중으로 배출하기 전에 적당한 방법으로 처리하여 제거하는 기술이 매연 후처리 기술이다. 매연을 제거하는 방법으로는 여과법, 전기집진법, 원심분리법, 흡수 또는 흡착법 등이 있다. 이들 방법은 모두다 배기관으로 배출되는 매연을 포집한 후 적당한 방법으로 제거처리하여야 한다. 일단 포집한 매연은 가장 안전한 방법으로 처리하기 위해서는 연소 또는 재이용하여야 하는데 운행 중인 자동차에서 운전성능 및 연비 등을 악화시키지 않고 효과적으로 처리하기는 쉬운 문제가 아니다.

일반적으로 매연처리장치의 구비조건은 ①처리효율이 높고, ②재생 또는 처리가 용이하며, ③내구도 및 신뢰성이 있어야 하며, ④유지보수가 쉽고, ⑤설치 및 유지보수 비용이 적게 들며, ⑥연비에 악영향을 미쳐서는 안되며, ⑦2차공해를 유발하지 않는 장치이어야 한다.

매연처리장치가 실용화되기 위해서는 자동차 제조자는 이 장치를 그들이 생산하는 자동차에 장착하여야 하고 구매자는 이 장치가 장착된 자동차를 사주어야 한다. 그러기 위해서는 기술적 및 상업적 타당성이 있어야 한다.

Table 2-1 Criteria for Commercial Feasibility of Trap-Oxidizer Systems

Filtration Efficiency	Maximum efficiency required is 75 to 83% depending on assumptions.
Backpressure	Average backpressure no more than four times that due to exhaust system without trap-oxidizer
Durability	Capable of surviving at least 50,000 miles with frequent regeneration.
Reliability	Low probability of failure or requirement for more than routine maintenance for at least 50,000 miles. must be fail-safe.
Cost	First cost to consumer no more than about \$500 per vehicle.
Safety	No extraordinary safety hazards. Adequate protection and structural integrity in a crash.
Environmental Effects	No significant increases in regulated or unregulated emissions. No other major environmental effects.
Weight and Bulk	Not significantly greater than present catalytic converter.
Ease of Manufacture	Must be producible in volume with present technology.
Ease of Integration	Must not pose special problems in engine design or require excessive lead-time to integrate.
Ease of Service	Must be serviceable and repairable when necessary.

Christopher Weauer<sup>10)</sup>가 제시한 소형자동차 매연여과장치의 상업적 타당성에 대해서 표 2-1에 열거 하였다.

① 여과 효율 (filtration efficiency)

여과장치의 가장 중요한 목적은 생산이나 시험과정에 있어서 기준을 만족시키는데 충분한 여유를 가지고 엔진으로부터 배출되는 매연을 여과할 수 있어야 한다. 그러므로 여과효율은 매연여과장치를 설계하는데 있어서 가장 중요한 요인이며 이는 디젤기관으로부터 배출되는 매연량과 규제기준에 따라 결정될 것이다.

② 배압 및 배압증가율 (back pressure and back pressure rise rate)

여과장치는 초기 배압과 사용에 따른 배압증가가 엔진의 운전에 지장이 없어야 한다. 어느 정도의 배압이면 만족할 수 있는냐는 확실한 자료가 없으나 높은 배압은 연비가 악화되고 엔진 성능이 나빠진다.

배압의 증가는 배기가스를 여과장치를 통하여 밀어내는데 많은 힘을 요하며 따라서 자동차를 움직이는데 필요한 힘의 손실을 가져올 것이다. 주로 대형자동차에 사용하는 직접분사식 디젤엔진에서는 배압의 증가가 엔진성능에 꽤 예민하게 작용하나 소형자동차에 많이 사용하는 간접분사식 디젤엔진에서는 배압의 증가는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 일반적으로 인정되고 있는 평균배압은 기준배압의 3~4배 이내이어야 한다.

그러므로 매연여과장치의 사용에 있어서 배압은 이 범위 이내이어야 하며 매연여과에 의한 배압상승이 여과장치 부착 이전의 배압보다 3~4배 이상 상승하지 않도록 하여야 한다.

### ③ 내구도

미국 EPA에서는 소형자동차의 배출가스 규제기준을 만족시킬 수 있는 내구도를 50,000 mile로 정하고 있으므로 매연여과장치에 있어서도 최소 50,000 mile까지는 수리없이 일반 유지보수만으로 정상적으로 작동하고 여과효율이 유지되어야 한다. 그러나 대형 디젤자동차에 있어서는 사용수명을 8년 / 110,000 mile(light heavy-duty), 8년 / 185,000 mile (medium heavy-duty) 및 8년 / 290,000 mile(heavy heavy-duty)로 규제하고 있기 때문에 소형자동차에 비하여 매연여과장치의 내구도가 더욱 요구된다.

### ④ 신뢰성 (reliability)

여과장치와 이장치의 조절을 위한 검출기 및 조절 장치는 내구도를 만족시키는 기간동안 정상적인 유지보수 이외의 결함이 있어서는 안된다.

### ⑤ 제작, 설치 및 유지보수비 (cost of manufacture, installation and maintenance)

매연여과장치의 설치, 유지보수에 필요한 적절한 가격은 디젤자동차의 연료경제성을 포함한 여러가지 여건에 기인하나 미국에 있어서는 소형자동차에 있어서 대당 500 불을 초과해서는 안된다고 보고 있다. 그러나 이 값은 휘발유자동차와 디젤자동차의 유지비, 배출가스 규제기준 및 사회의 요구조건에 따라 크게 다를 것이다.

### ⑥ 안전성 (safety)

여과장치의 파손, 재생 장치 등의 연료누설 등에 의한 화재, 높은 배압에 의한 자동차의 정지나 성능저하 등이 없어야 한다.

### ⑦ 환경에의 영향

여과장치를 장치함으로써 정상적인 자동차에서 발생하지 않는

오염물질이 배출되어서는 안된다. 즉 촉매여과산화장치에 의한 황산기의 발생, 세라믹섬유를 여과재로 사용함으로써 석면의 배출 및 연료 첨가제에 의한 유해한 중금속의 배출 등을 들 수 있다.

⑧ 중량과 부피 (weight and bulk)

여과장치의 무게와 부피는 관성질량의 증가에 따른 연료경제의 악화를 방지하기 위하여 또한 설치장소 등의 문제 때문에 가능한 작아야 한다. 디젤자동차에 있어서는 무게가 125lb 증가하면 연비는 약 1mile / gallon이 감소한다고 한다.

⑨ 제작 및 조립의 용이 (ease of manufacturing and system integration)

여과장치는 생산자동차에 쉽게 설치할 수 있어야 한다. 위에서 기술한 조건들을 고려하여 지금까지 많은 연구가 추진되고 있으며 일부 제품은 실용화되고 있으나 실용화를 위한 연구가 추진되고 있다.

매연후처리장치는 미국 캘리포니아주에서 1986년부터 소형 디젤자동차의 입자상물질 배출허용기준 0.2g/mile(1989년부터는 0.08g/mile)을 만족시키기 위하여 연구되었으며 소형디젤자동차의 매연후처리기술은 대형디젤자동차의 매연후처리기술에 응용되고 있다.

현재 실용화 연구가 추진되고 있는 매연여과장치로는 Johnson Matthey사에서 개발한 촉매산화여과장치 (CTO, catalytic trap oxidizer), Corning Glass사에서 개발한 세라믹여과장치 (ceramic monolith trap), Daimler-Benz사에서 시내버스 및 대형 트럭에 실용화 하고 있는 ceramic fiber coil<sup>13)14)15)</sup> Mann & Hummel사에서 개발한 시리카 섬유제여과장치 (silica-fiber candle trap),<sup>10)</sup> Matsushita Electric Industrial사에서 개발한 mullite fiber

ceramic filter<sup>16) 17)</sup> 및 Mitsubishi Motor 에서 개발한 ceramic foam filter<sup>18) 19)</sup> 가 있다.

이들 매연필터의 구조는 그림 2-5 ~ 2-10 과 같다.

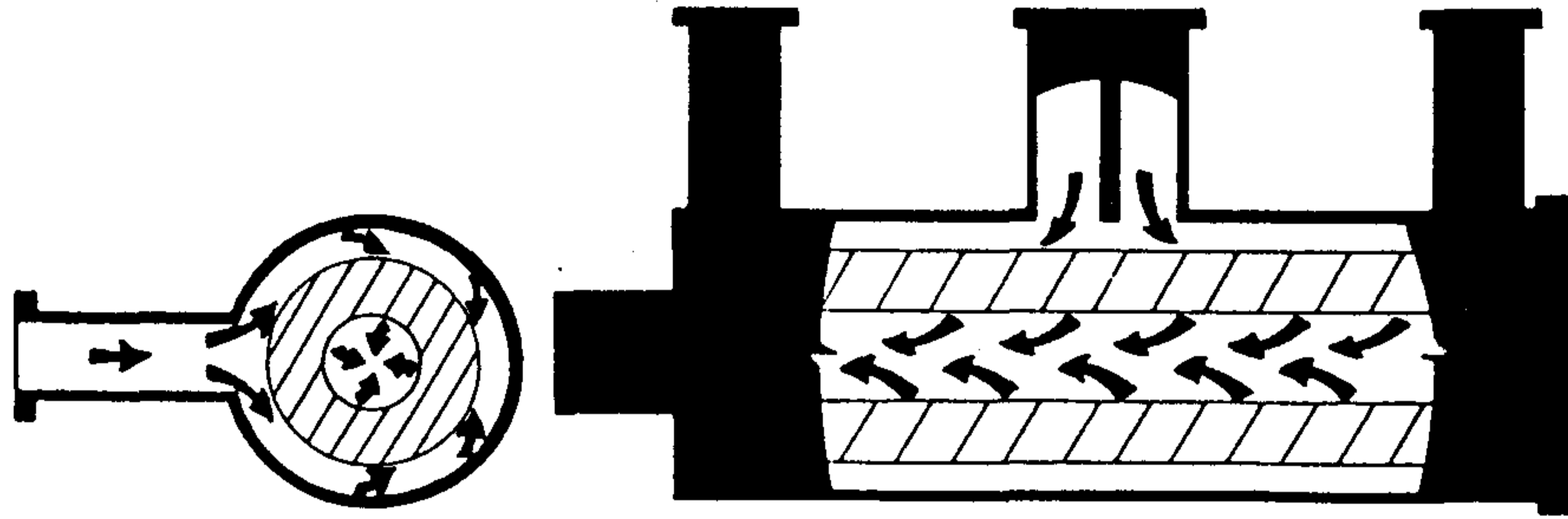


Fig.2-5 Catalytic trap oxidizer



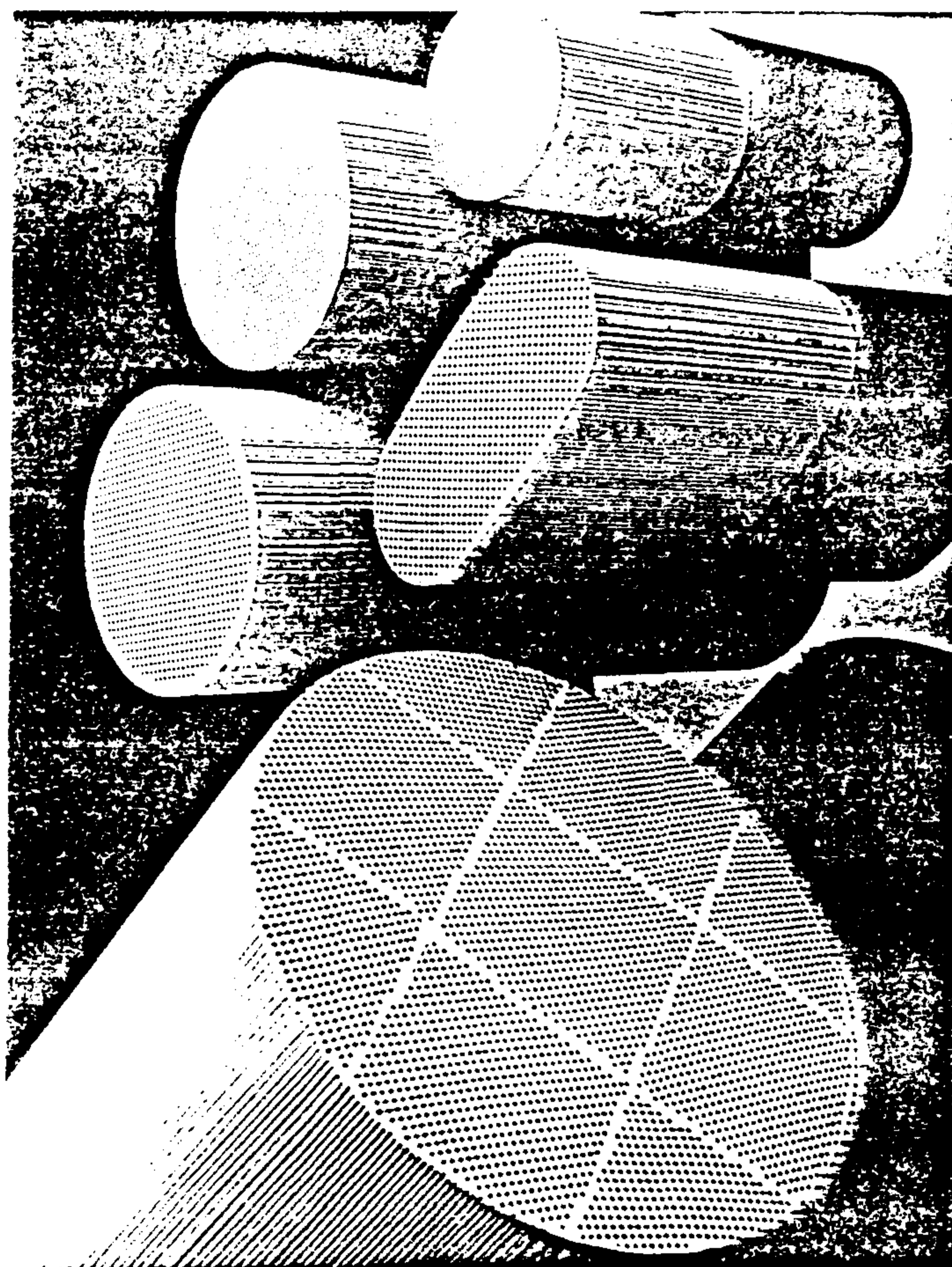
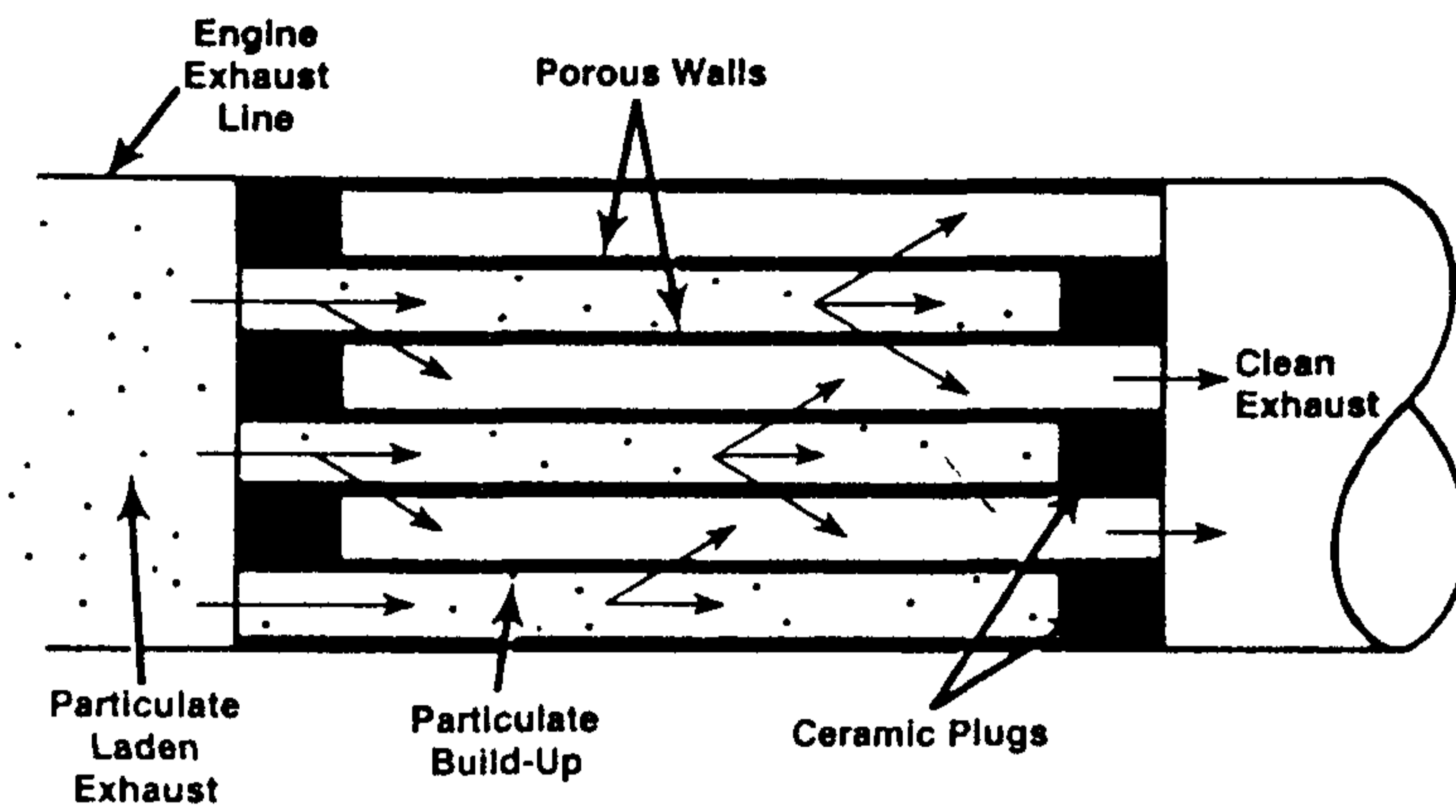
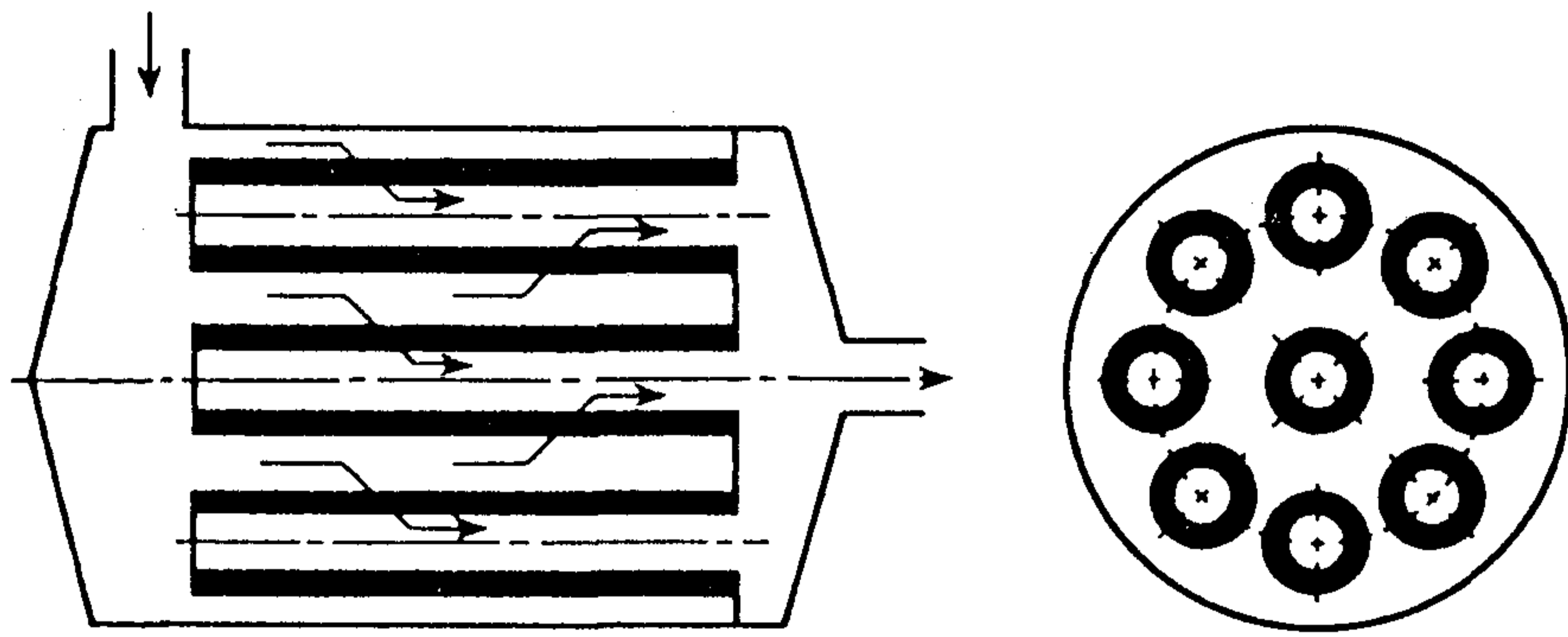


Fig.2-6 Various types of ceramic monolith trap



< Silica Fiber Candle Type Trap >

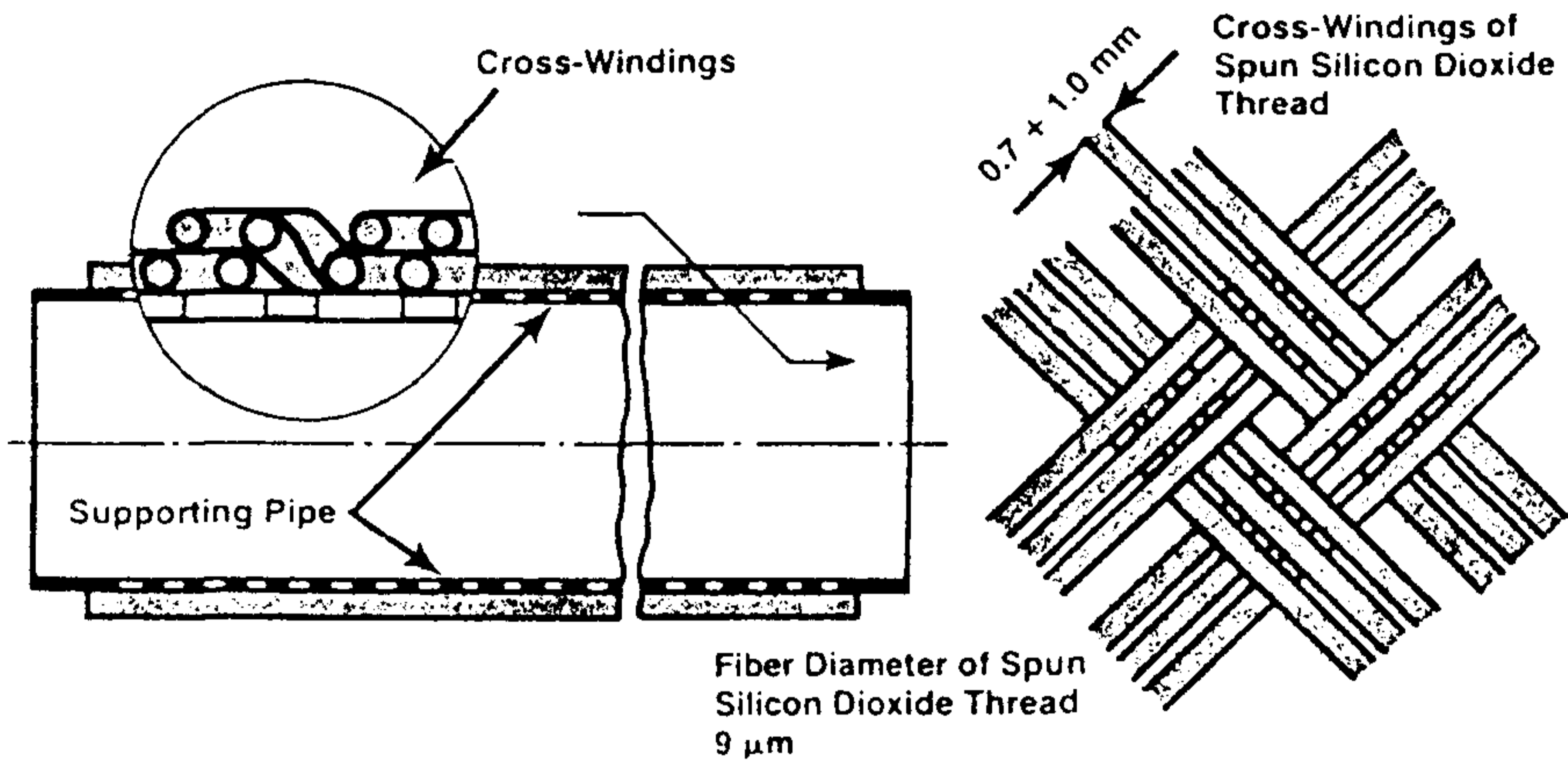
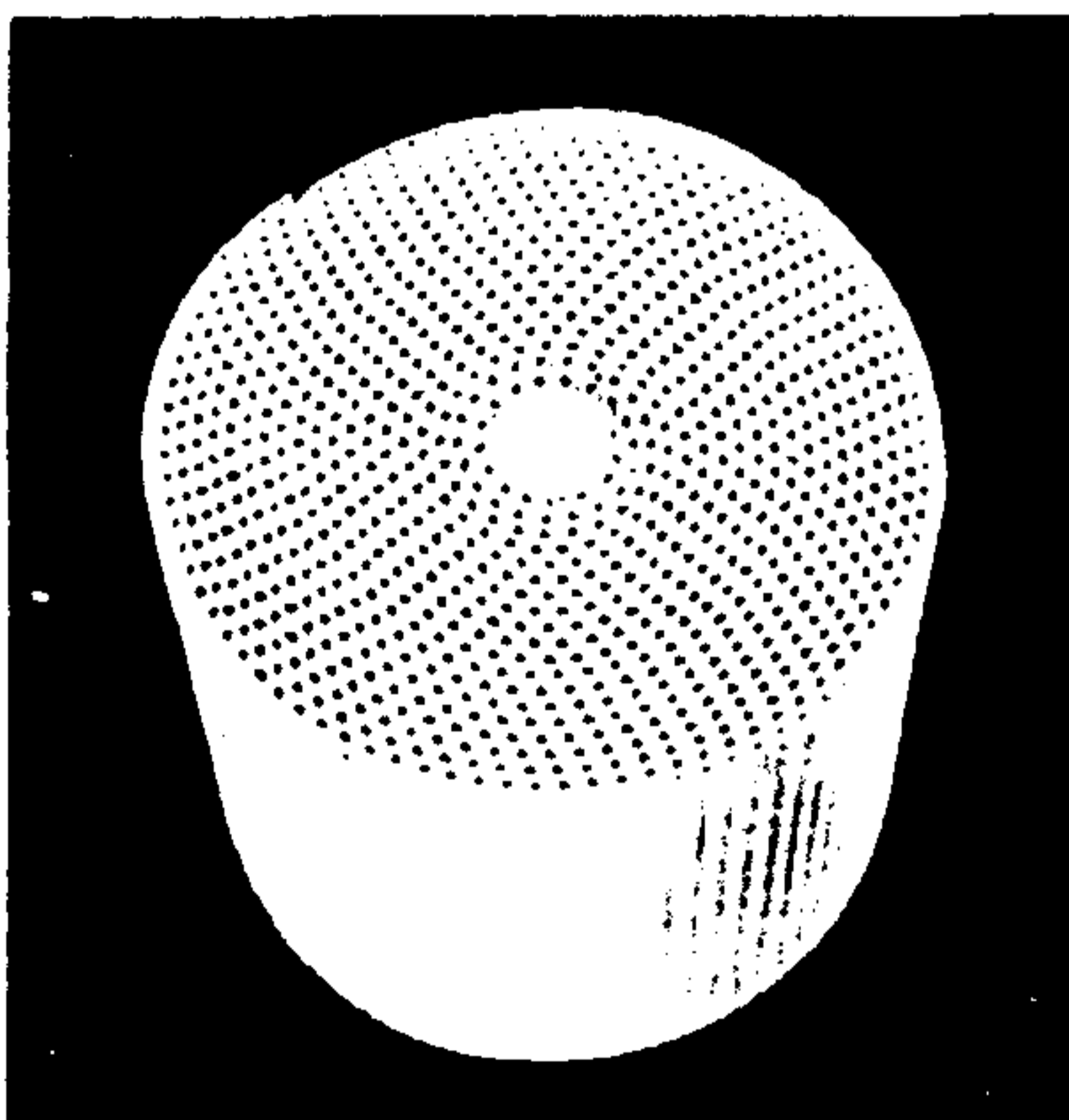
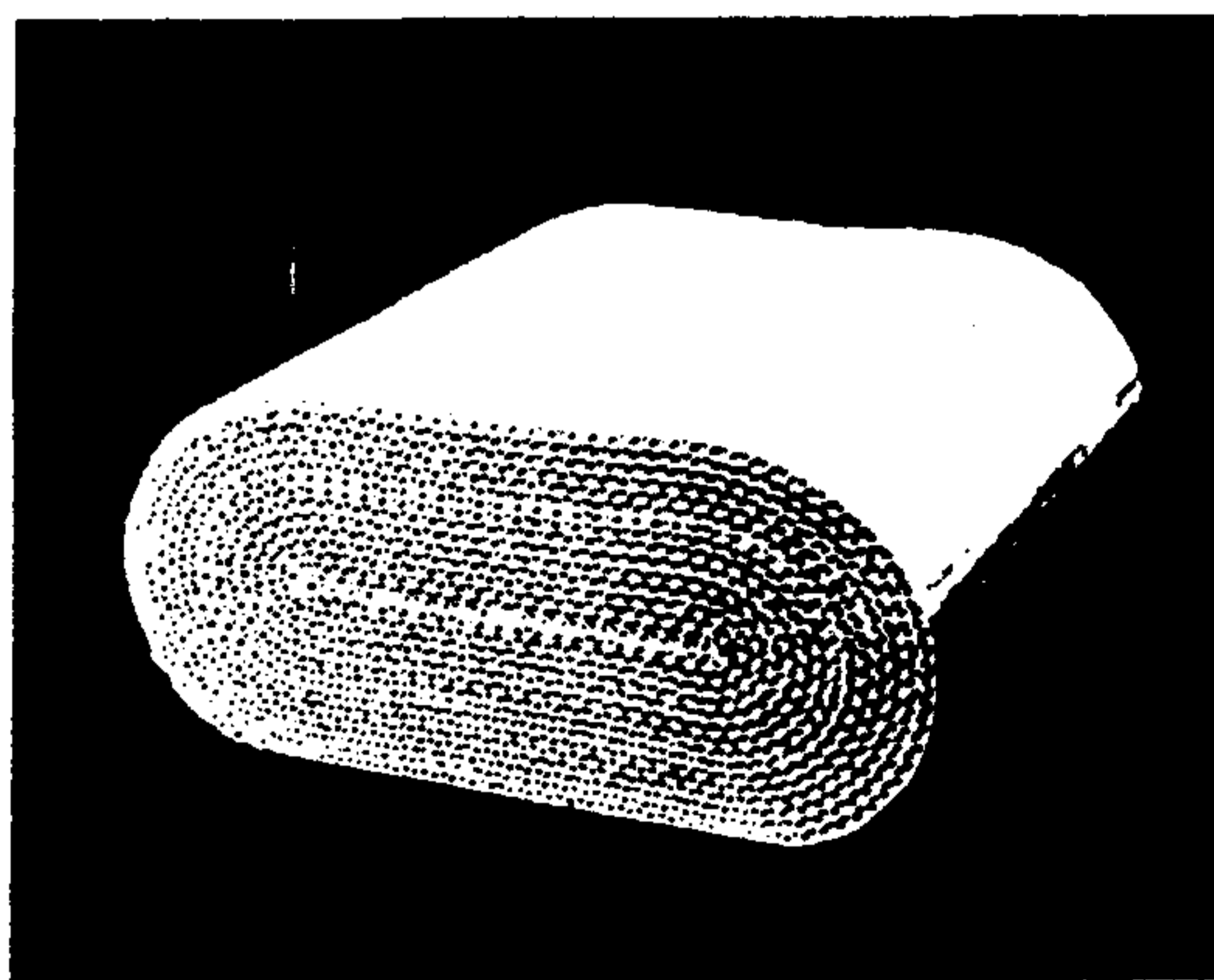


Fig.2-7 Support pipe and silicon dioxide thread cross winding

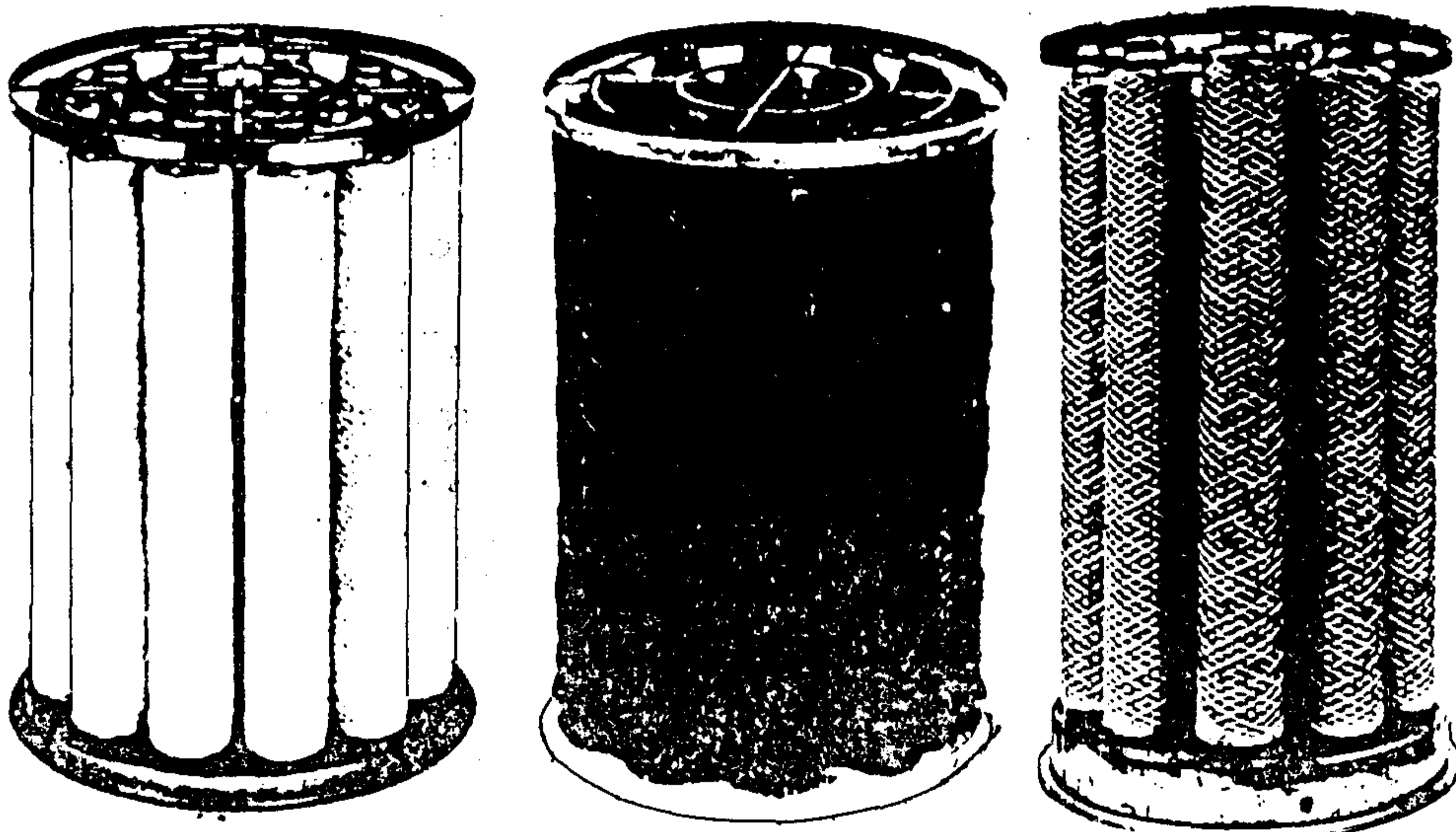


(Honey Comb Type)



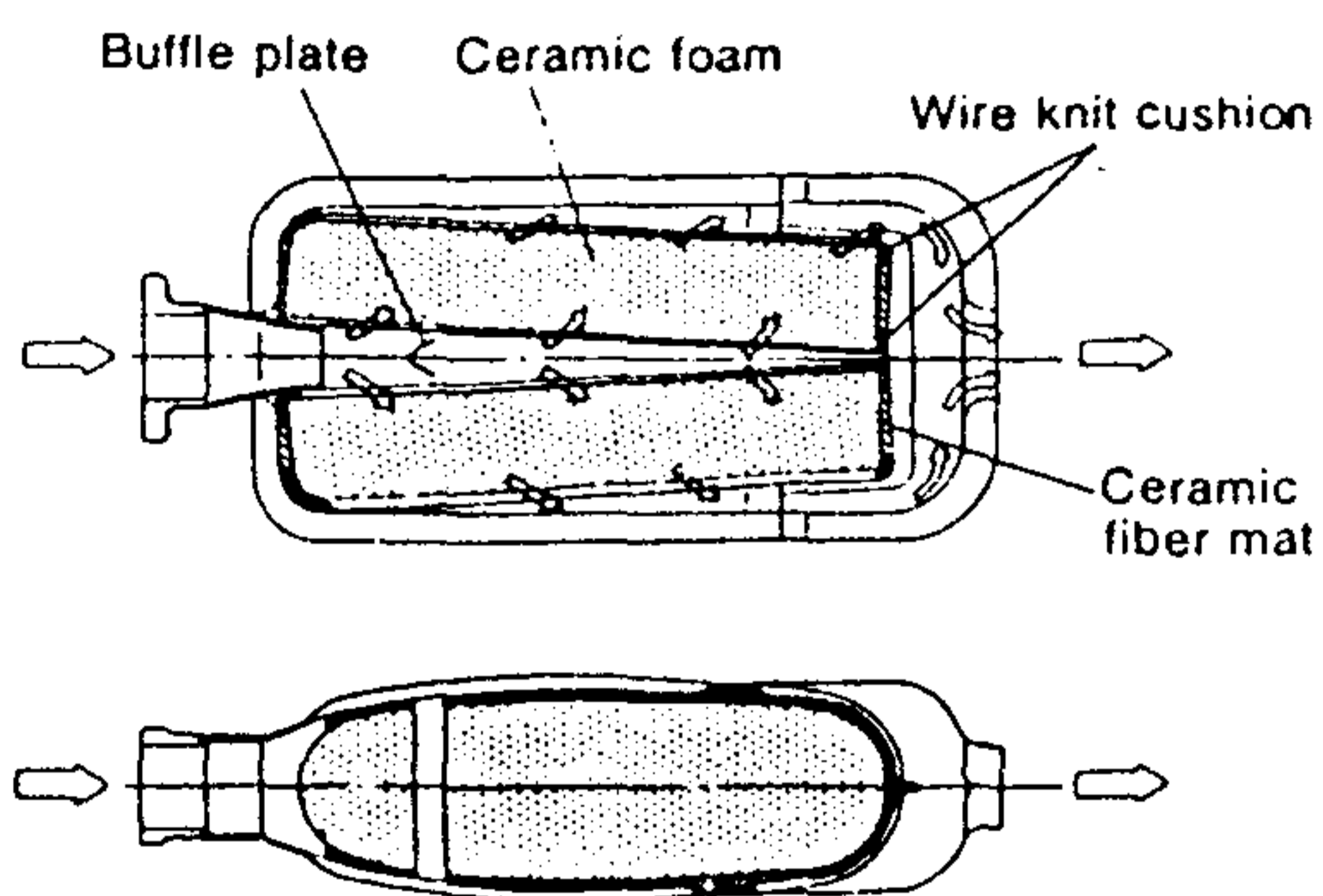
(R Type)

Fig.2-8 Diesel particulate trap of mullite fiber ceramics



a : Trap core      b : Soot-laden      c : Trap core after endurance test (approx. 1800 h) with thermal regeneration)

Fig.2-9 Ceramic fiber coil particulate trap



Configuration of particulate trap oxidizer

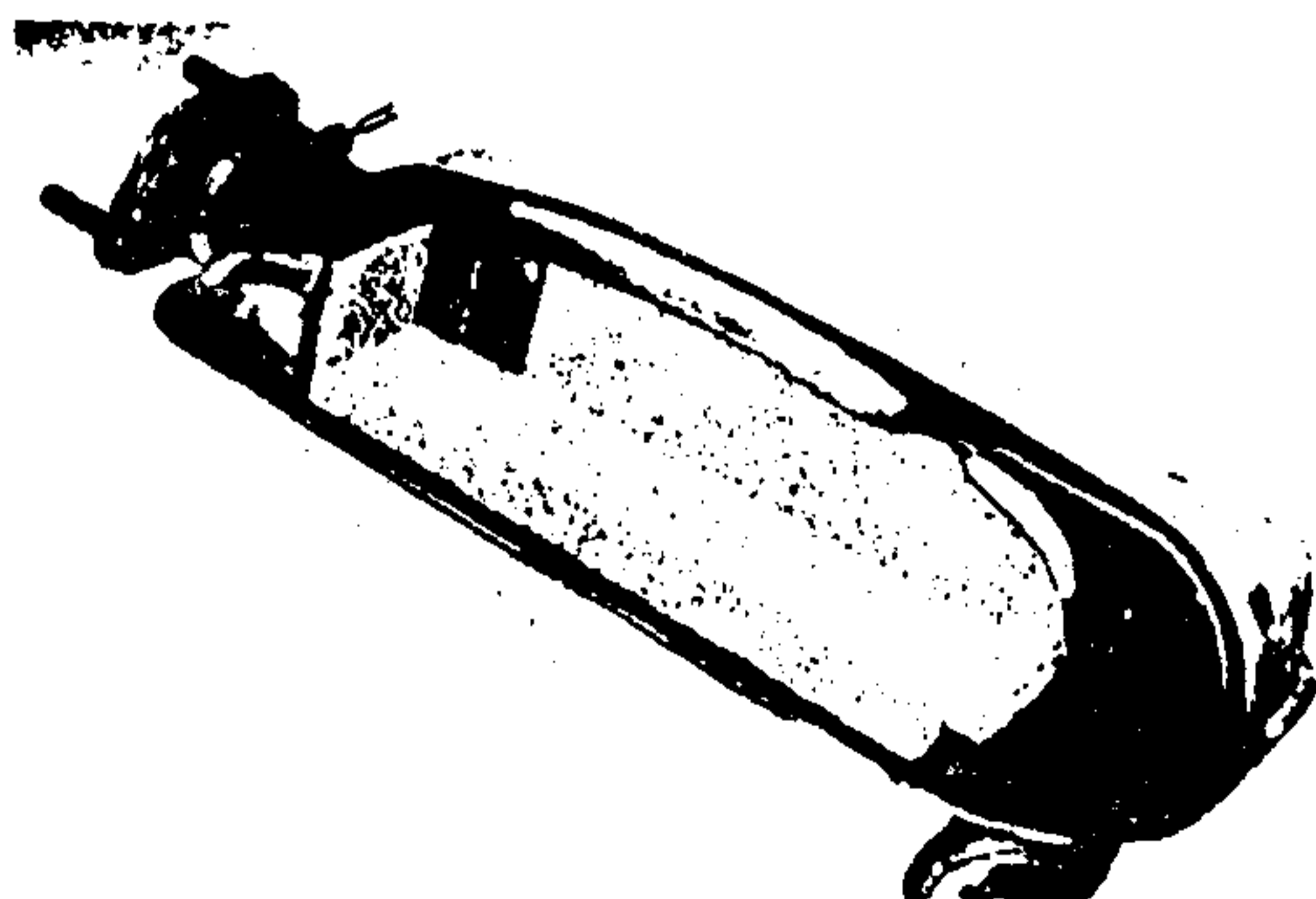


Fig.2-10 Particulate trap oxidizer

#### 제 4 절 디젤자동차 오염물질 배출현황

##### 1. 교통량 현황

1985 년말 현재 서울 및 전국의 차종별 등록대수, 1일주행거리 ( $km / 일$ ), 연료소비 효율(연비,  $km / \ell$ ), 1일주행대수 및 1일연료 소비량을 계산하여 표 2-2 에 나타내었다.<sup>20)</sup>

표 2-2 에서 택시는 액화석유가스(L.P.G, liquified petroleum gas) 승용차 및 이륜자동차는 휘발유를 사용하며 나머지는 모두 경유를 사용한다고 간주하였다. 그러므로 표에서 볼 수 있는 바와 같이 LPG의 연간 사용량은 1,131,500  $kl$ , 휘발유의 연간 사용량은 863,955  $kl$  및 경유의 연간 사용량은 4,885,160  $kl$ 로서 동력자원부에서 발표한 1985년의 자동차용 연료소비현황인 LPG 1,068,213  $kl /$ 년, 휘발유 899,531  $kl /$ 년 및 경유 4,331,042  $kl /$ 년과 잘 일치한다. 여기서 휘발유의 사용량이 동력자원부에서 발표한 자료보다 적은 것은 실제 휘발유의 사용은 특수자동차 및 소형트럭에 일부 사용되고 있으나 편의상 휘발유는 승용차에만 사용하는 것으로 간주하였기 때문이다.

서울의 차종별 교통량을 보면 전체교통량이  $38,522 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일이고 이중 택시가  $11,474 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 전체의 29.8%이며, 승용차가  $11,873 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 30.8%, 버스가  $5,141 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 13.3%, 트럭이  $8,844 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 22.9%이며 기타가 3.2%를 차지하고 있어 택시의 교통량이 많음을 알 수 있다. 또한 전국의 차종별 교통량을 보면 전체 교통량은  $117,588 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 이중 택시가  $30,718 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 26.1%이며 승용차가  $20,822 \times 10^3$  대  $\cdot km /$ 일로서 22.4%, 버스가  $17,487 \times 10^3$  대  $\cdot$

*km* / 일로서 14.9%이며 트럭이  $38,500 \times 10^3$  대 · *km* / 일로서 32.7%를 차지하여 트럭의 교통량이 제일 많고 다음이 택시임을 알 수 있다. 자동차용 연료소비 비율을 보면 LPG 16.4%, 휘발유 12.6% 및 경유 71%로서 경유의 사용량이 많고 휘발유 사용량은 LPG 사용량보다 적음을 알 수 있다.

Table 2-2 Status of Vehicle Kilometers Traveled and Fuel Consumption

1985.12.31

Kinds of Vehicle	NO. of Vehicle		Driving Distance (km/Day)	Fuel Economy (km/ℓ)	Vehicle Kilometers Traveled × 10 <sup>3</sup> (Veh.km/Day)		Fuel Consumption (kl/Day)		
	Seoul	Korea			Seoul	Korea	Seoul	Korea	
Taxi	37,012	99,090	310	9.91	11,474	30,718	1,158	3,100	
Passenger Car	258,108	452,663	46	9.86	11,873	20,822	1,204	2,112	
Jeep	1,728	4,906	64	7.5	111	314	15	42	
Bus	City	8,261	20,433	338	2.84	2,792	6,906	983	2,432
	Inter City	-	10,082	344	3.33	-	3,468	-	1,042
	Rental & Sightseeing	1,448	4,547	191	3.45	277	868	80	252
	Express Bus	8	1,829	592	2.74	5	1,083	2	395
	Small Bus	28,541	62,737	64	9.90	1,827	4,015	185	406
	Others	5,994	28,681	40	3.19	240	1,147	75	360
	Sub Total	44,252	128,309	-	-	5,141	17,487	1,325	4,887
Truck	1 ton or less	53,876	219,333	75	10.72	4,041	16,450	377	1,535
	1.1 ton to 3 ton	37,486	115,682	77	6.31	2,886	8,908	457	1,412
	3.1 ton to 7.9 ton	4,290	35,018	105	3.05	450	3,677	148	1,206
	8 ton or more	9,055	58,429	162	2.20	1,467	9,465	667	4,302
		Sub Total	104,707	428,462	-	-	8,844	38,500	1,649
Motor Cycle	80,945	711,439	13.7	38.25	1,109	9,747	29	255	
Total*	445,707	1,113,430	-	-	37,443	107,841	5,351	18,596	
Grand Total**	526,752	1,824,869	-	-	38,552	117,588	5,380	18,851	

\*Motor cycle excluded \*\*Motor cycle included

## 2. 오염물질 배출계수 및 배출량 산정

자동차로부터 배출되는 대기오염물질의 배출량은 자동차의 종류, 사용연료 및 자동차의 주행조건에 따라 크게 상이하다. 그러므로 차종별 오염물질 배출계수 및 배출량을 산출하기 위해서는 차종별 주행패턴을 측정하고 주행패턴 측정자료를 분석하여 실주행모드를 구하고 이 모드에 의하여 차종별 오염물질량을 측정하여야 하며 교통량 및 연료사용량 자료에 의하여 오염물질 배출계수 및 배출량을 산정한다.

본 연구에서는 서울을 대상지역으로 하여 승용차, 소형디젤승합차, 트럭 및 시내버스의 주행패턴을 측정하고 이들 자동차 및 엔진의 배출가스량을 측정하여 배출계수 및 배출량을 표 2-3 및 표 2-4 와 같이 산출하였다.

표 2-4 에서 볼 수 있는 바와 같이 전국적으로 볼 때 CO에 있어서는 택시가 34.5%로 제일 높고 승용차 22.2%, 버스 16.6%, 트럭 15.6% 및 이륜자동차 11.2%순으로 기여하고 있다. HC에 있어서는 이륜자동차가 25.3%로 제일 높고 승용차 24.3%, 트럭 19.3%, 택시 16.2% 및 버스 14.9%순으로 기여하며 NO<sub>x</sub>에 있어서는 버스 39.2%, 트럭 38.3%로서 버스 및 트럭이 전체 NO<sub>x</sub> 배출량의 77.5%를 차지하고 있다.

한편 SO<sub>2</sub> 및 입자상물질(particulate)은 버스 및 트럭이 대부분을 차지하고 있음을 볼 수 있으며 SO<sub>2</sub>는 트럭이 60.0%, 버스 38.6%이며 입자상물질은 트럭 47.3%, 버스가 41.3%를 기여하고 있다.

특히 전국적으로 볼 때 CO 및 HC에 있어서는 이륜자동차가 CO 11.2% 및 HC 25.3%로서 높은 기여율을 나타내고 있어 이

륜자동차에 대한 배출가스 대책이 시급함을 알 수 있다.

서울지역에 있어서는 전국과 비슷한 결과를 나타내고 있다.

즉 CO에 있어서는 택시 및 승용차가 각각 38.1% 및 37.5%로서 CO배출량의 대부분을 차지하며 HC에 있어서는 승용차가 45.4%, 택시가 19.8%로서 승용차에 의한 기여율이 높다.

NO<sub>x</sub>에 있어서는 택시나 승용차보다 오히려 버스 및 트럭이 크게 기여하고 있다.

즉 버스 36.8%, 트럭 26.4%로 시내버스가 주종을 이루고 있는 버스에 의한 NO<sub>x</sub>기여가 높음을 알 수 있다.

한편 SO<sub>2</sub> 및 입자상물질에 있어서는 전국에서와 같이 버스 및 트럭이 주배출원으로서 버스가 SO<sub>2</sub> 44.0%, 입자상물질 42.4%를 배출하며 트럭은 SO<sub>2</sub> 52.9%, 입자상물질 36.4%를 배출하고 있다.

오염물질 배출량은 전국적으로 볼 때 CO 1,620톤/일(591,322톤/년), HC 222톤/일(81,032톤/년), NO<sub>x</sub> 593톤/일(216,351톤/년), SO<sub>2</sub> 80톤/일(29,057톤/년) 및 입자상물질 76톤/일(27,740톤/년)씩 배출되며 서울에 있어서는 CO 547톤/일(199,474톤/년), HC 68톤/일(24,732톤/년), NO<sub>x</sub> 163톤/일(59,405톤/년), SO<sub>2</sub> 18톤/일(6,746톤/년) 및 입자상물질 19톤/일(6,935톤/년)씩 배출되고 있다.



Table 2-3

## Emission Factor

Vehicle Type	Emissions ( $g / km$ )				
	CO	NO <sub>x</sub>	HC*	SO <sub>2</sub>	Particulate**
Passenger Cars	17.70	2.55	1.68	0.024	0.036
◦ LPG Taxi	18.17	2.61	1.17	-	0.020
◦ Gasoline Cars	17.25	2.50	2.16	0.047	0.051
Bus	12.81	11.36	1.59	1.54	1.33
◦ Mini Bus	1.12	2.90	0.21	0.60	0.19
◦ City Bus & Others	19.78	16.40	2.41	2.10	2.01
Truck	5.05	4.76	0.98	1.09	0.59
◦ Light-Duty Truck	1.14	3.08	0.22	0.60	0.20
◦ Medium-Duty Truck	2.67	2.11	1.20	0.98	0.33
◦ Heavy-Duty Truck	21.19	15.87	2.56	2.70	2.26
Motor Cycle	18.54	0.22	5.57	0.012	0.06

\* Exhaust HC only

\*\* Particulates for tire wear are  $0.118g / km$  for passenger car, small bus and light-duty truck,  $0.230g / km$  for city bus, medium-duty truck and heavy-duty truck and  $0.056g / km$  for motor cycle, respectively

Table 2-4 Contribution of Air Pollutant Emissions

Area	Vehicle Type	Emission									
		CO		HC		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		Particulate	
		kg / Day	%	kg / Day	%	kg / Day	%	kg / Day	%	kg / Day	%
Korea	Taxi	558,310	34.5	35,951	16.2	80,197	13.5	0	0	4,240	5.6
	Passenger Car	359,162	22.2	53,926*	24.3	52,053	8.8	979	1.2	3,998	5.3
	Bus	269,166	16.6	33,128	14.9	232,084	39.2	30,752	38.6	31,300	41.3
	Truck	252,713	15.6	42,859	19.3	227,267	38.3	47,083	60.0	35,803	47.3
	Motor Cycle	180,709	11.2	56,143	25.3	2,144	0.2	117	0.2	1,189	1.5
	Total	1,620,060	100	222,006	100	593,745	100	79,531	100	75,630	100
Seoul	Taxi	208,493	38.1	13,425	19.8	29,947	18.4	0	0	1,583	8.4
	Passenger Car	204,809	37.5	30,751*	45.4	29,683	18.2	558	3.0	2,280	12.1
	Bus	67,701	12.4	8,391	12.4	59,951	36.8	8,120	44.0	8,018	42.4
	Truck	44,949	8.2	8,805	13.0	43,043	26.4	9,780	52.9	6,880	36.4
	Motor Cycle	20,561	3.8	6,388	9.4	244	0.1	13	0.1	135	0.7
	Total	546,503	100	67,760	100	162,868	100	18,474	100	18,896	100

\* Evaporated HC included : 20 % of total HC

## 참 고 문 헌

1. Motor Vehicle Pollution Control in Japan (2nd Revision)  
Automobile Pollution Control Division, Air Quality Bureau,  
Environmental Agency, Japan
2. 환경청 환경보전법 시행규칙 (보건사회부령 제 774 호) 별표 12,  
1985.
3. Walsh M.P., Toxic Pollutants from Motor vehicles, Oct. 1985
4. Vernon T, J.M. Lents and G.L.C. Lagher, Diesel emissions  
their formation, Impact and recommendation for control,  
colorado state, Department of Health, Dec. 1985.
5. Laurette L. Hoover-Siegel, GMR studies Diesel Health Effects  
Research, General Motors Research Laboratories, Vol.15,  
No.5, 1980.
6. Mobile source emission standards summary, U.S. EPA, 1985.
7. Springer K.J., A Challenge for Diesels, Southwest Research  
Institute, Technology Today, Vol.VI, No.3
- 8.自動車公害防止技術に関する. 第一次 報告, 環境廳, 自動車公害防止  
技術評價検討會, 1979.5.
9. Tupa R.C & R.T. Dorer, Gasoline and diesel fuel additive  
for performance distribution quality, SAE 841211, 1984.
10. Weaver C., Trap-oxidizer technology for light-duty diesel  
vehicles; status, prospects and current issues, SAE paper  
831713, 1983.

11. Howitt J.S. and M.R. Montierth, Cellular Ceramic Diesel Particulate Filter, SAE Paper 810114, 1981.
12. Hardenberg. H.O., Urban Bus Application of a Ceramic Fiber Coil Particulate Trap. SAE paper 870011, 1987.
13. Hardenberg. H.O, H.L. Daudel and H.J. Erdmannsdorfer, Experiences in the Development of Ceramic Fiber Coil Particulate Traps, SAE paper 870015, 1987.
14. Hardenberg. H.O, H.L. Daudel and H.J. Erdmannsdorfer, Particulate Trap Regeneration Induced by Means of Oxidizing Agents Injected into the Exhaust Gas, SAE paper 870016, 1987.
15. Mihara Toshihiro., et al., Diesel Particulate Trap of Corrugated Honeycomb Fabricated with Mullite Fiber Ceramics, SAE paper 860010, 1987.
16. Garner, C.P and J.C. Dent, A Thermal Regeneration Model for Monolithic and Fibrous Diesel Particulate Traps, SAE paper 880007, 1987.
17. Yuhiko Kiyota., et., Development of Diesel Particulate Trap Oxidizer System, SAE paper 860294, 1986.
18. Tutko J.C., et al., Feasibility of Ceramic Foam as a Diesel Particulate Trap, SAE paper 840073, 1984.
19. 김양균외, 경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구(I), 과학기술처, 1986.

여 백

## 제3장 촉매산화매연여과장치의 실용화연구

여 백

## 제 3 장 촉매산화매연여과장치의 실용화연구

### 제 1 절 서 론

디젤 자동차로부터 배출되는 매연을 방지하기 위한 기술로서는 엔진을 개량하여 엔진으로부터 근원적으로 매연을 적게 배출되도록 하는 것이 가장 바람직한 기술이나 디젤 엔진의 가장 중요한 특성인 출력을 최대로 유지하면서 매연을 저감시키는 아주 어려운 기술이다.

최근 미국을 비롯하여 선진국에서 디젤 자동차의 매연을 포함한 입자상 물질의 규제가 강화됨에 따라 후처리에 의하여 매연을 제거하기 위한 기술이 집중적으로 연구되고 있다.<sup>1) 2)</sup>

이러한 기술중의 하나가 촉매산화매연여과장치 (CTO, catalytic trap oxidizer)이다. 이 CTO는 미세한 스테인레스 강선에 세라믹을 코팅한후 백금계 귀금속을 촉매처리하여 매연을 여과하고 여과된 매연을 촉매에 의해 산화연소시키는 장치이다.<sup>3)~6)</sup> 여과된 매연을 산화연소시키기 위해서는 배기가스 온도가 500℃ 이상으로 일정기간 이상 유지되거나 촉매에 의해 활성화 에너지를 낮추고 일정 온도 이상으로 배기가스 온도를 유지하여야 한다.

본 연구에서는 귀금속촉매에 의해 활성화에너지를 낮추고 엔진매니폴드로부터 여과장치까지를 보온함으로서 배기가스 온도를 활성화에너지 이상의 온도로 일정기간 유지하므로서 여과된 매연을 자연 재생시키는 촉매산화매연여과장치를 제작 실험실적 및 실차적용 시험을 실시하였다.

제 2 차년도 ( 1987 년도 ) 의 연구결과 시내버스의 실차시험에 있어서



여과된 매연의 재생이 불완전 하여 강제적인 매연의 재생 조작이 요구되었다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 3차년도에는 촉매의 조성을 변경하여 활성화에너지를 더 낮추므로서 낮은 배기가스 온도에서도 재생이 가능한 촉매 산화매연여과장치를 제작하여 실험실적 및 실차시험을 실시한 결과 2차년도에 비하여 100 °C 정도의 낮은 온도에서도 재생이 가능하여 시내버스의 시내주행에서도 여과된 매연의 재생이 가능하였다.

여기서는 2차년도 및 3차년도에 실시한 실험실적 및 실차주행 시험 결과를 비교검토하여 수록 하였으며 자세한 사항은 2차년도의 연구보고서에 이미 기술하였으므로 여기서는 생략하였다.

## 제 2 절 매연여과기 ( filter trap ) 제작

본 연구에 사용된 매연여과장치는 촉매 산화매연여과장치 ( CTO : catalytic trap oxidizer )로 DO846 HM 엔진을 장착한 리어엔진 시내버스에 적합하도록 필터의 용량 및 크기를 정하였으며 필터는 미국 Johnson Matthey사에서 제작하였고 Canning 은 미국 Nelson 사에서 하였다.

여과재는 아주 가는 스테인레스 강선에 세라믹을 코팅한후 백금계 촉매를 처리하여 매연을 여과하고 촉매에 의하여 연소할 수 있도록 한것이다. 백금계 귀금속을 처리한 촉매는 여과된 입자상물질의 연소온도를 낮게 하는데 연소온도는 입자상물질의 화학적조성에 의하여 크게 상이하다. 즉 입자상물질중에 함유한 유기물질이나 유기용해성물질의 함유량에 따라 다르다.

일반적으로 입자상물질이 촉매처리된 여과재에 여과되면 머무는 시

간이 증가되므로 약간의 탄화수소분을 증발시키게 되고, 이 증기는 촉매에 의하여 산화되므로 이때 열을 발생하게 되어 여과된 탄소 입자를 연소시킨다. 그러므로 배출가스나 입자상물질중에 탄화수소나 일산화탄소의 농도가 높으면 입자상물질의 연소를 향상시킨다.

그림 3-1은 입자상물질중 유기물질 함유량에 따라 입자상물질의 연소온도 변화를 나타낸 것이다.

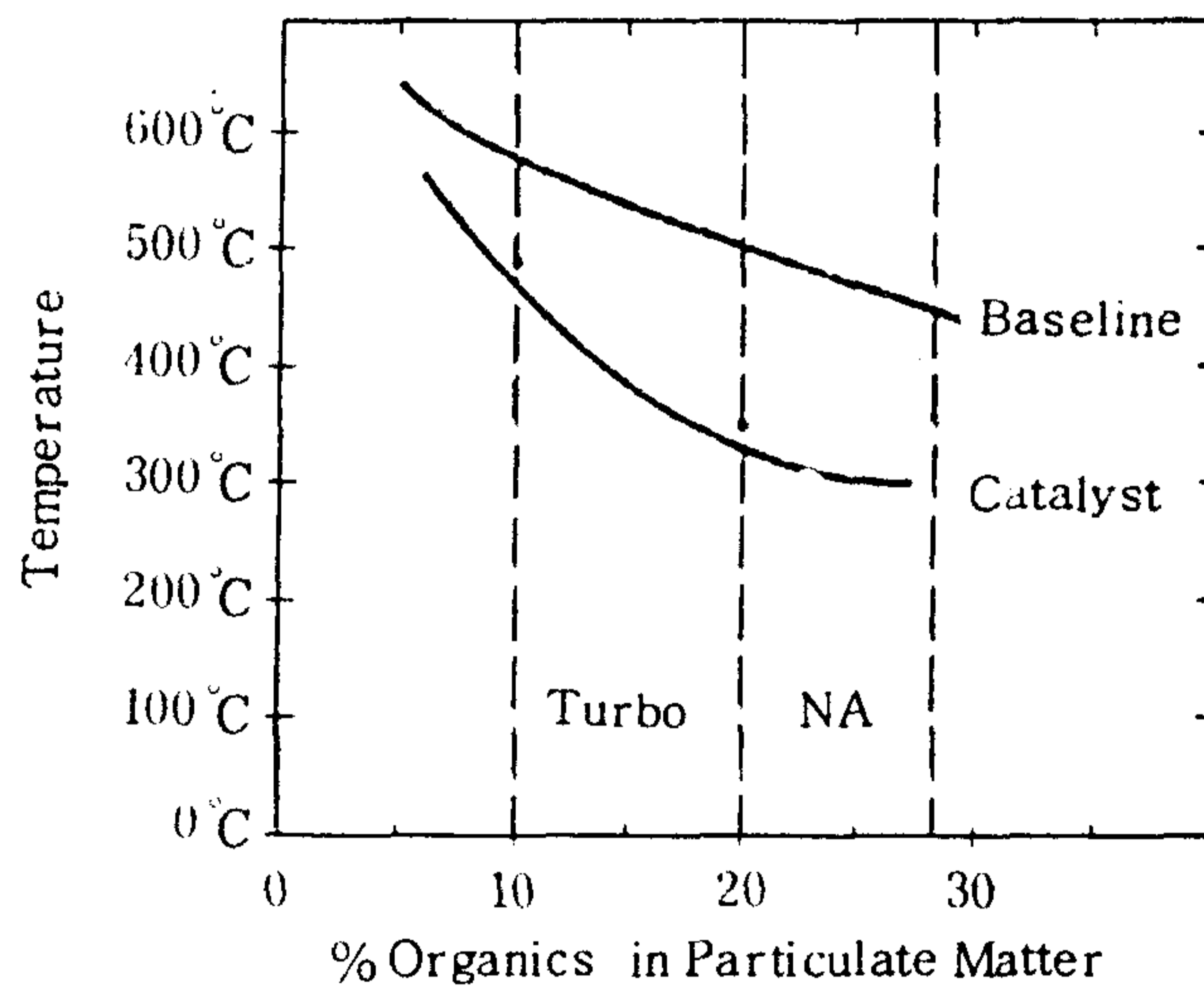


Fig.3-1 Catalytic ignition temperatures

CTO는 입자상물질을 포집하는 단계 ( collection phase )와 포집된 입자상물질과 산화가 평형을 이루는 단계 ( balance point ) 및 포집된 입자상물질이 연소되는 단계 ( regeneration phase )로 구분된다. 연소단계에서의 연소온도는 여과재의 종류 및 촉매의 종류에 따라 상이하며 Oser와 Thoms가 측정한 것을 보면 세라믹필터 ( 553 °C ), 일반금속 촉매를 입힌 세라믹필터 ( 468 °C ), 귀금속촉매를 입힌 세라믹필터 ( 520 °C ) 및 귀금속 촉매처리한 CTO( 320 °C )로 되어있다.<sup>4)</sup>

일반적으로 경유중에는 휘발유에 비하여 황이 약 10배나 더 많이 포함되어 있기 때문에 (경유중 황 함유량은 평균 0.35%) 배출가스를 산화촉매로 처리하면 아황산가스 ( $\text{SO}_2$ )가 황산기 (sulfate)로 산화되어 배출가스중 황산기의 미스트가 증가하게 된다.

그러므로 본 연구에서는 촉매에 의한 황산기의 생성을 줄이기 위하여 백금, 파라듐 이외에 환원촉매인 로듐을 상당량 첨가하였다.

그 결과 황산기의 생성은 억제할 수 있었으나 재생온도가 높아 2차로 CTO를 제작할 때에는 로듐첨가를 하지 않고 백금만을 촉매로 사용하였다.

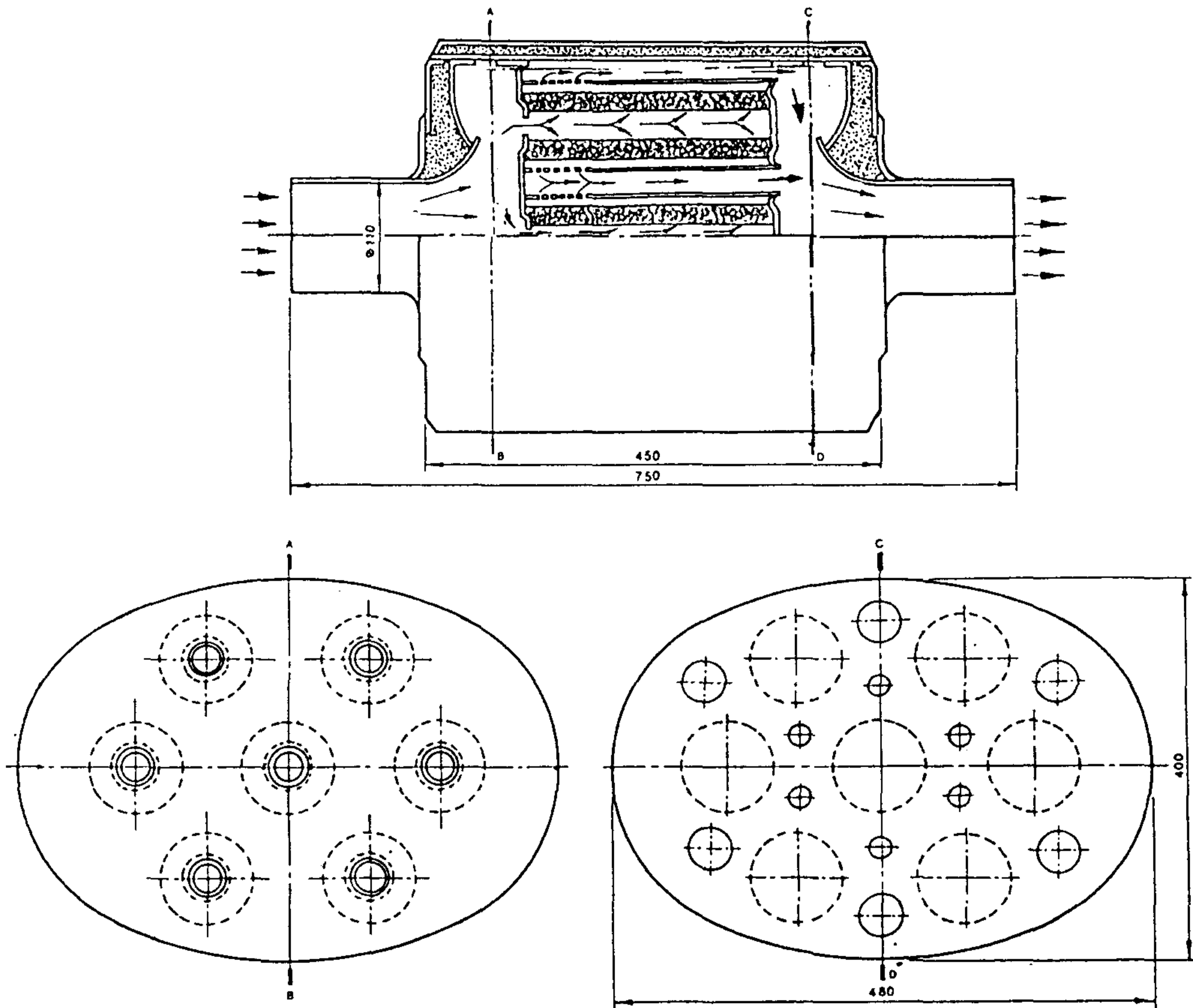
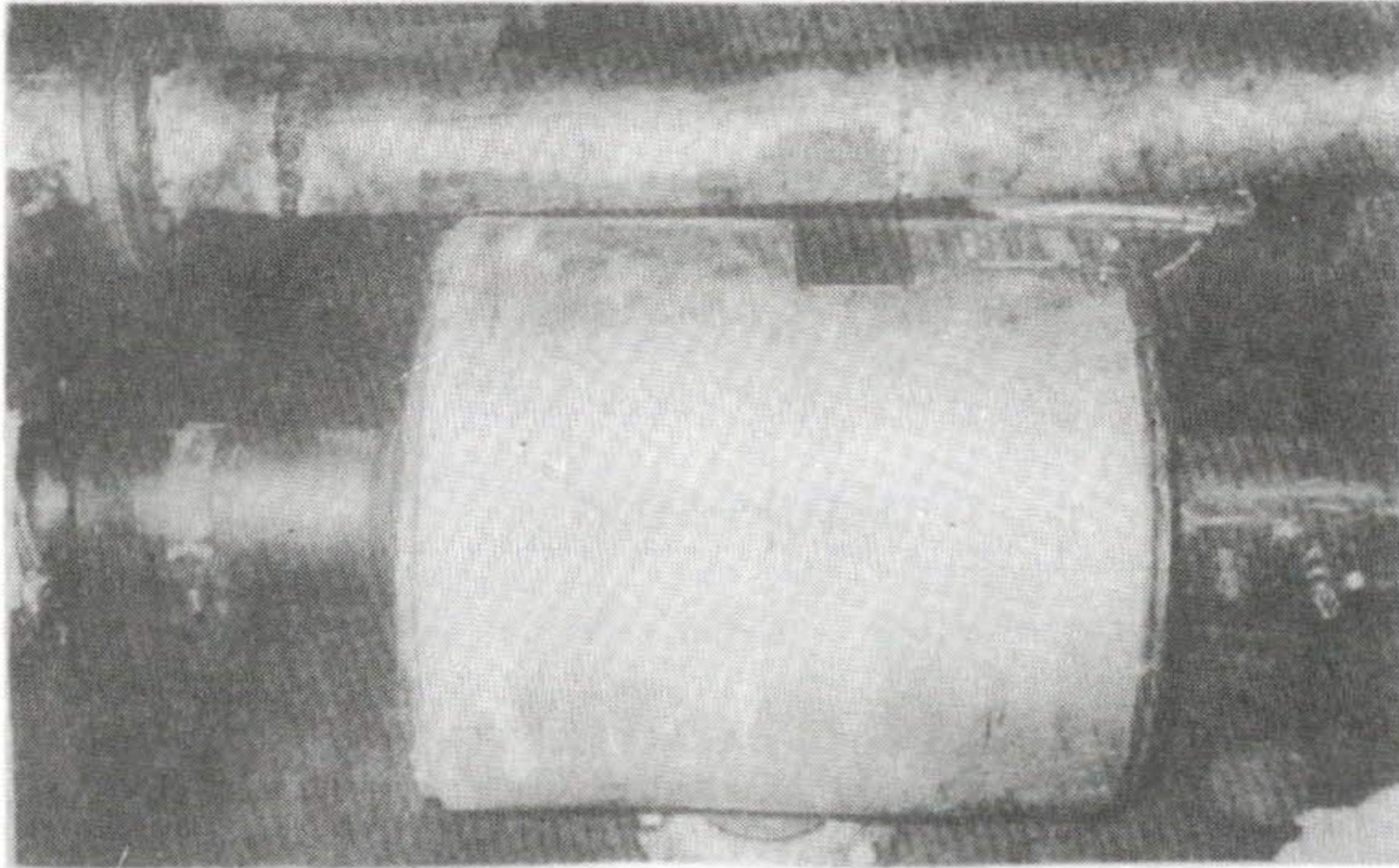
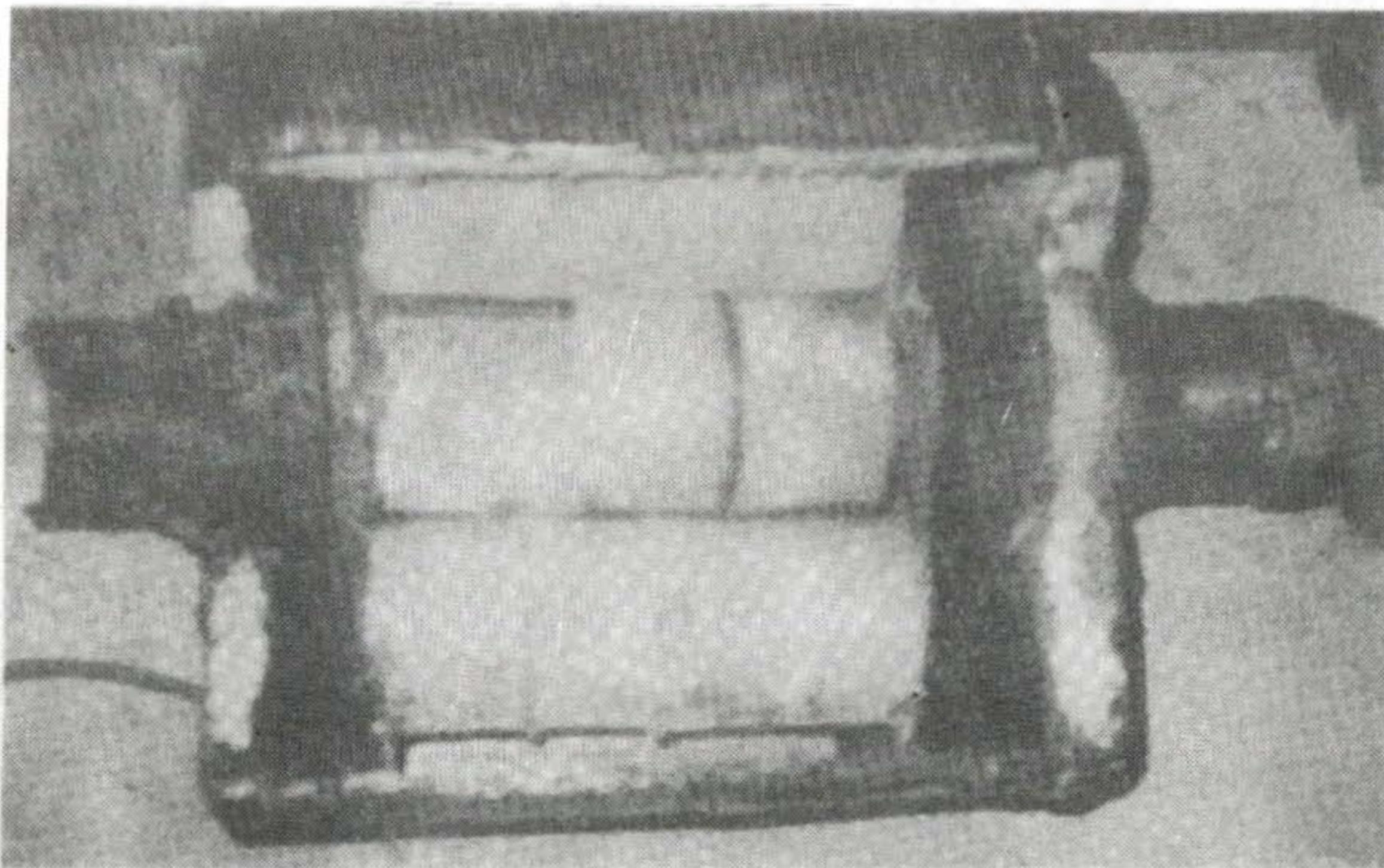


Fig 3-2. Cross-section view of catalytic trap oxidizer system

편의상 2차년도에 연구에 사용된 CTO를 CTO-87이라 하고 매년의 재생온도를 개선하여 제작한 CTO를 CTO-88이라 구분하기로 한다. CTO의 구조는 그림 3-2 및 3-3과 같다.



(a) Outer-side view of CTO



(b) Inner-side view of CTO

Fig.3-3 Detail view of CTO system

### 제 3 절 시 험 장 치

CTO에 의한 배출가스 및 매연저감효율을 실험실적으로 측정하기 위한 시험장치는 그림 3-4 ~ 3-6과 같이 구성하였으며 여기서 엔진 동력계는 NEDD-146H형, 배출가스분석기는 MEXA-8120D, 매연측정기는 GSM-2를 사용하였으며 시험용 엔진은 현재 시내버스 엔진으로 많이 사용하고 있는 D0846HM 엔진을 사용하였다.

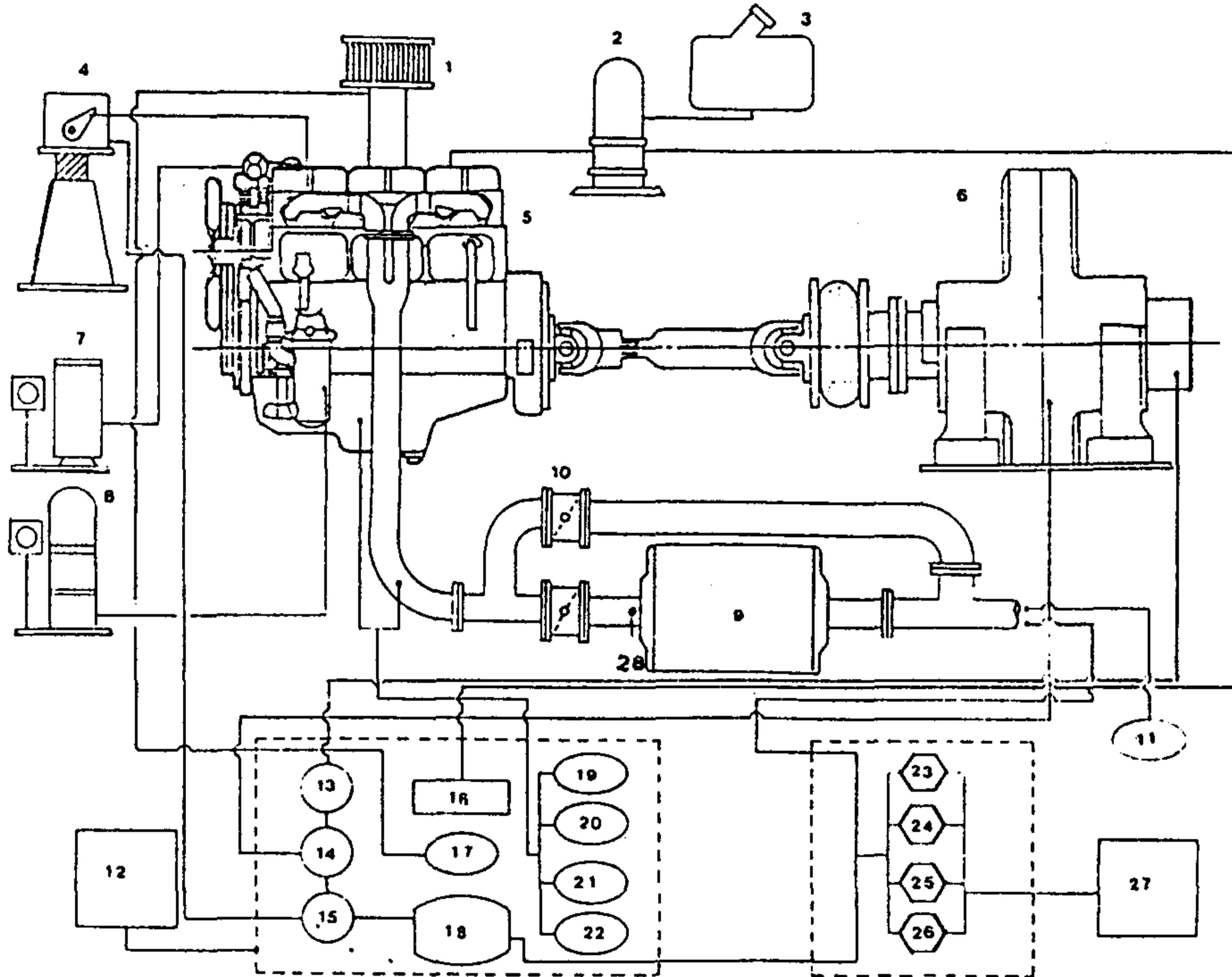


Fig. 3-4 Schematic diagram of diesel emission measuring apparatus

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. Laminar air flow meter | 2. Fuel flow detector |
| 3. Fuel tank              | 4. Throttle actuator  |

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 5. Test engine                | 17. Air flow meter              |
| 6. Engine dynamometer         | 18. Auto mode controller        |
| 7. Cooling water controller   | 19. Cooling water temperature   |
| 8. Lubrication oil controller | 20. Lubrication oil temperature |
| 9. Catalytic trap oxidizer    | 21. Exhaust gas temperature     |
| 10. By-pass valve             | 22. Lubrication oil pressure    |
| 11. Smoke meter               | 23. Total hydrocarbon analyzer  |
| 12. Performance data recorder | 24. Carbon monoxide analyzer    |
| 13. Engine speed meter        | 25. Carbon dioxide analyzer     |
| 14. Torque meter              | 26. Nitrogen oxides analyzer    |
| 15. Engine throttle meter     | 27. 6-Pen recorder              |
| 16. Fuel flow meter           | 28. Pressure sensor             |

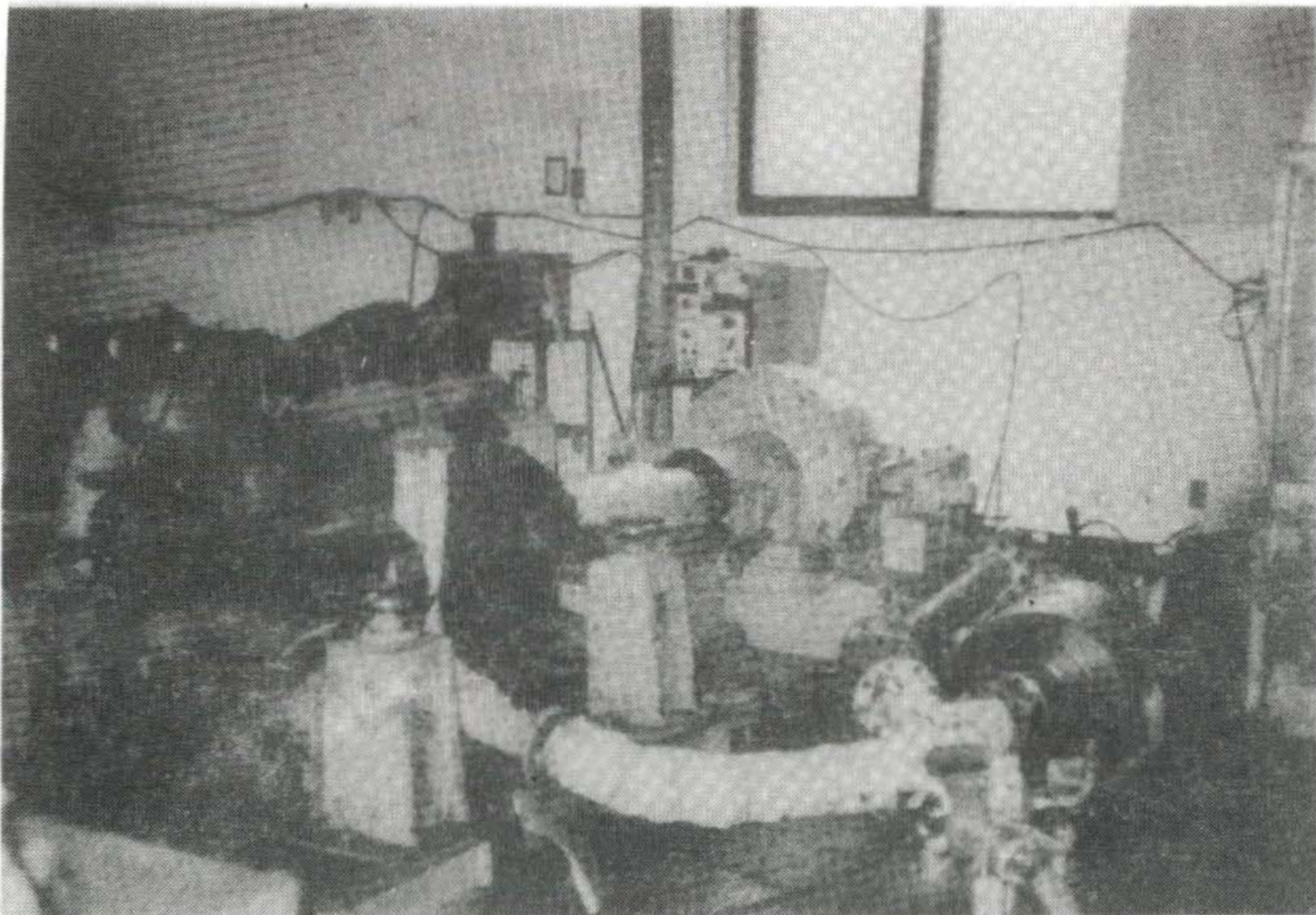


Fig.3-5 View of engine dynamometer and CTO installation

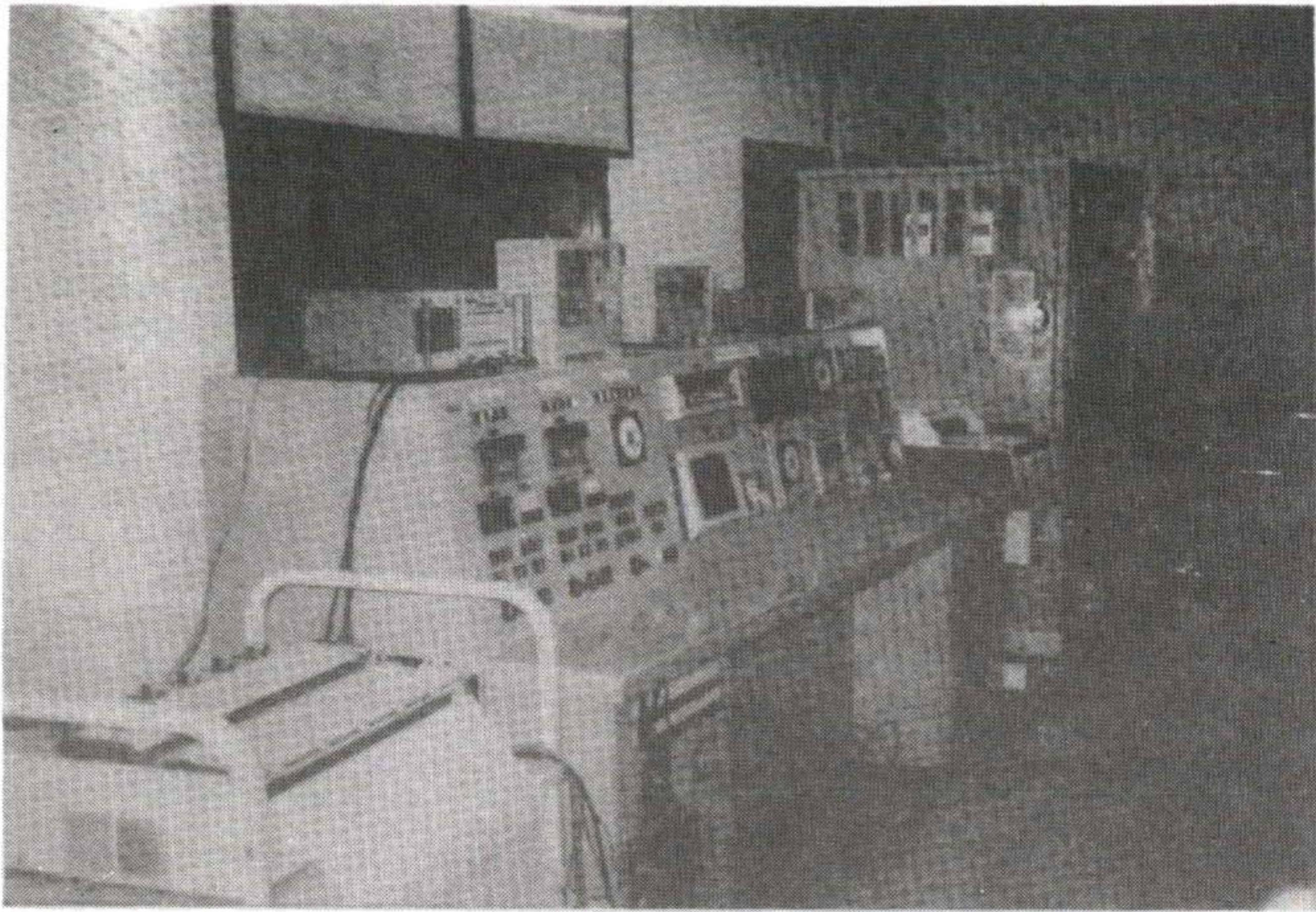


Fig.3-6 View of engine dynamometer controller and emission analyzer

본 시험에 사용한 시험용 연료(경유)는 1987년도에는 황함유량이 0.297%, 1987년도에는 황함유량이 0.351%인 것을 사용하였다.

#### 제 4 절 시 험 방 법

##### 1. 가스상 물질 측정

CTO 사용에 따른 배출가스에 대한 영향을 알아보기 위하여 CTO를 그림 3-4에 나타낸 바와 같이 엔진의 배기관에 설치하고 배출가스중 CO, HC 및 NO<sub>x</sub>의 농도를 CTO 통과 전후에 있어서 측정하였다.

시험모우드는 현재 우리나라의 디젤자동차 배출가스 측정모우드

인 6모우드와 서울의 시내버스를 대상으로 실측한 7모우드 시험 방법에 의하여 측정하였다.”

## 2. 매연 및 입자상물질

매연의 농도는 우리나라의 디젤자동차 매연측정 모우드인 전 부하시 측정(3모우드) 및 무부하급가속시에 스모크미터로 측정하였으며 입자상물질은 스택샘플러를 개조하여 사용하였다.<sup>8)</sup>

## 3. 황산기 ( Sulfate )

2항에서 측정한 입자상물질 시료를 이소프로필알콜용액에 녹여 이온크로마토그래프법으로 분석하였다.

## 4. 입자상물질 누적 및 재생시험

CTO의 사용에 따른 입자상물질의 누적과 재생능력을 평가하기 위하여 수정 7모우드를 사용하여 엔진을 계속 운전하면서 배출가스 압력의 증가를 관찰하였다.



## 5. CTO의 실차시험방법

CTO를 리어엔진 시내버스에 그림 3-7과 같이 설치하고 기자촌에서 옥수동을 왕복운행하면서 엔진의 상태를 관찰하였다.

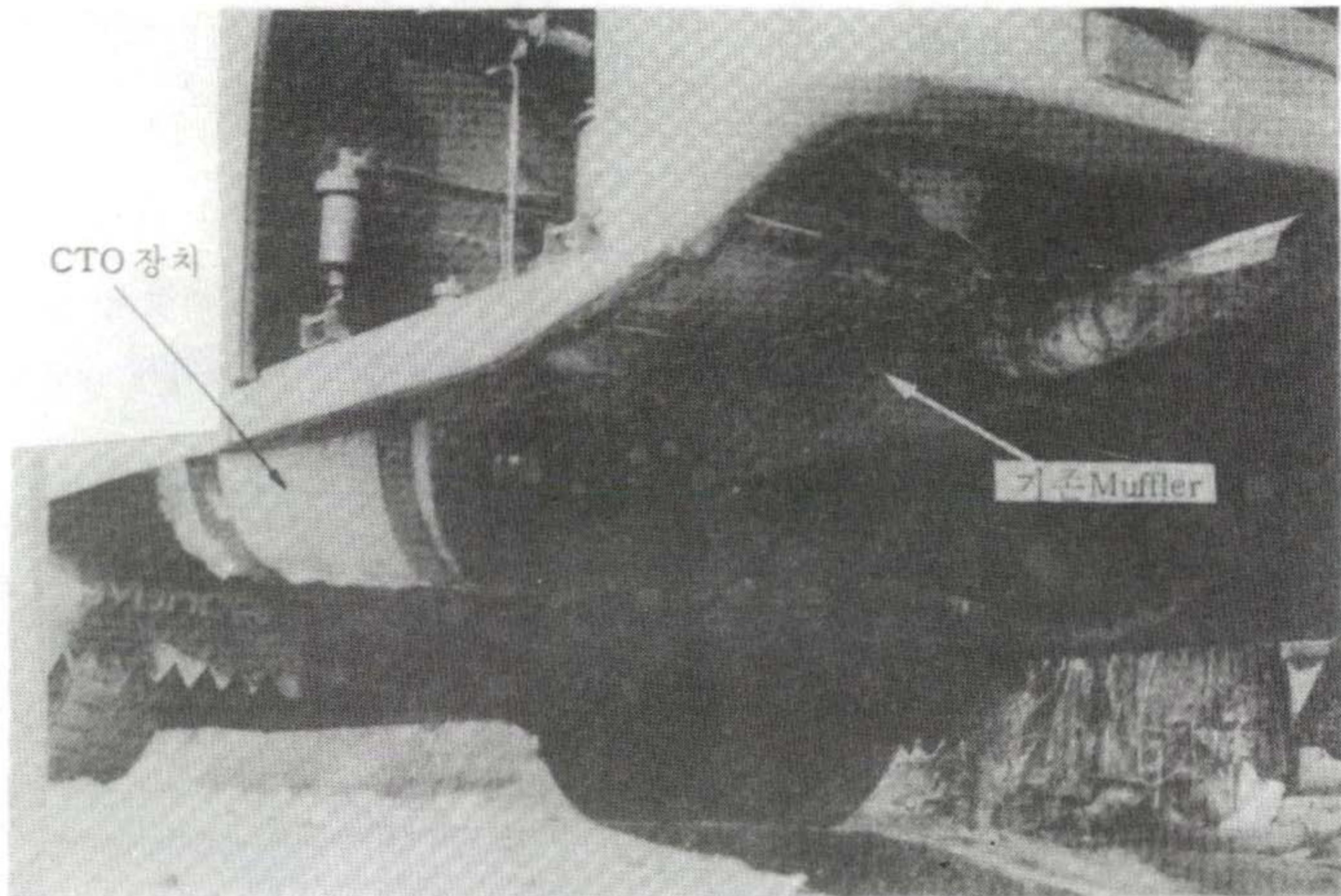


Fig.3-7 Photograph of CTO apparatus installed on a city bus

이 버스 시험노선의 특성은 그림 3-8과 같으며<sup>8)</sup> 배출가스 온도 분포는 그림 3-9와 같다.

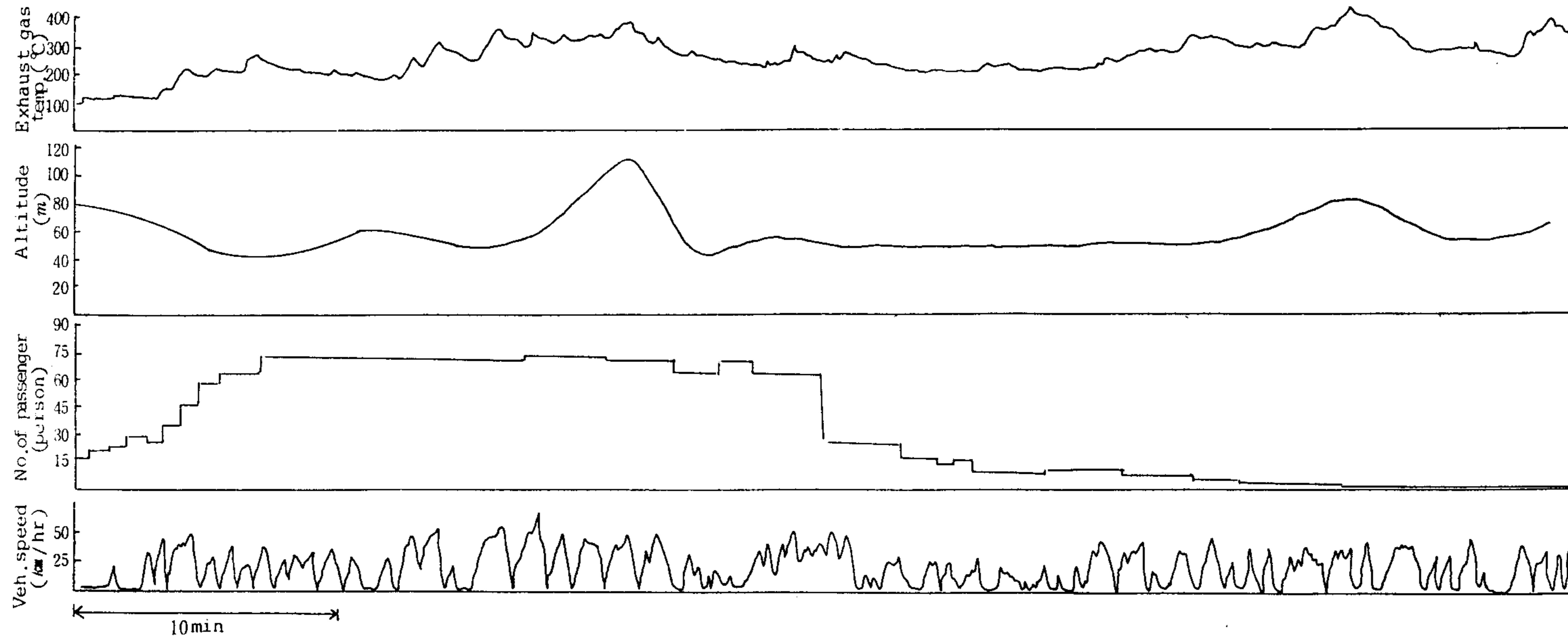


Fig.3-8 Exhaust gas temperature profile and other vehicle operation variable for the test route

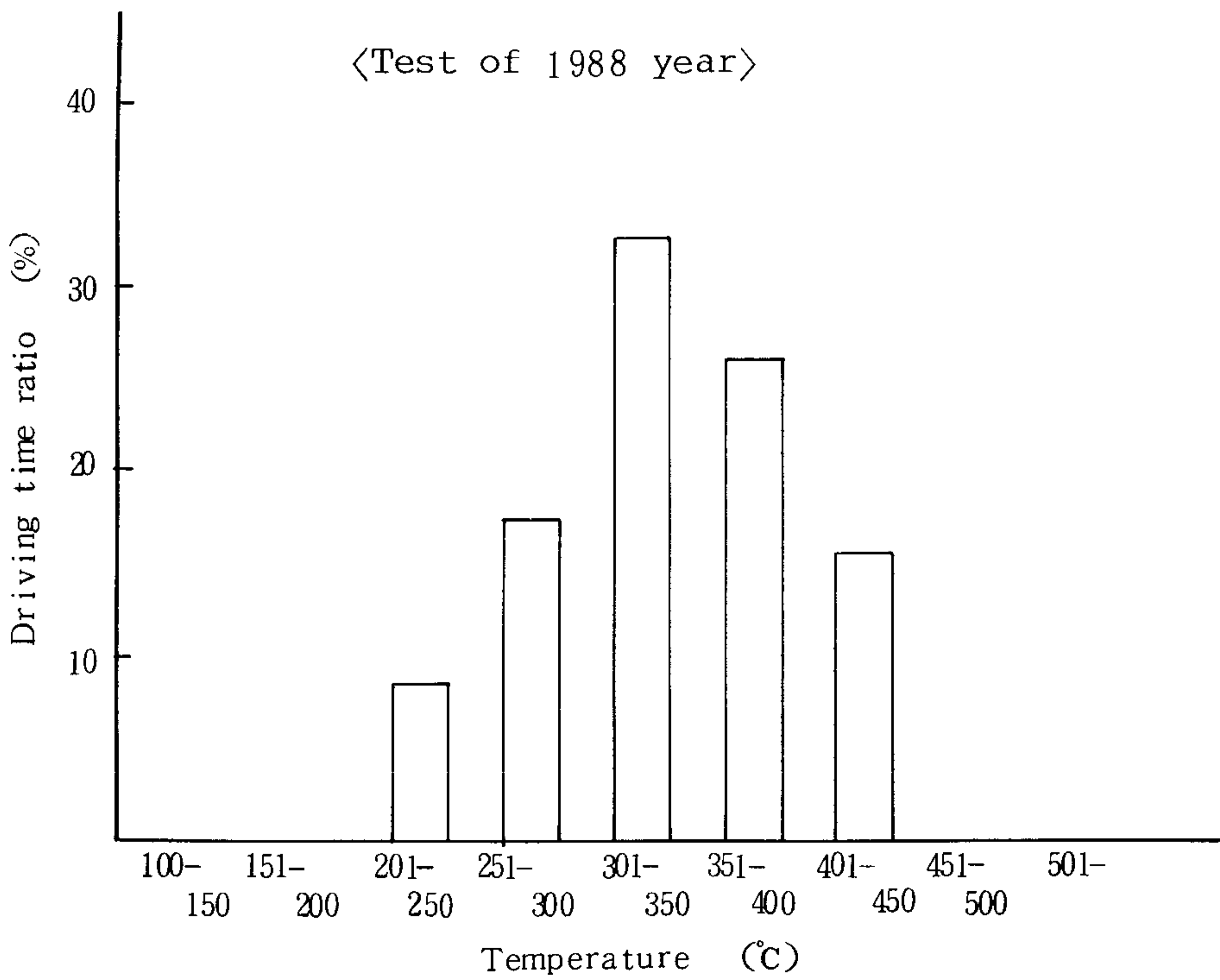
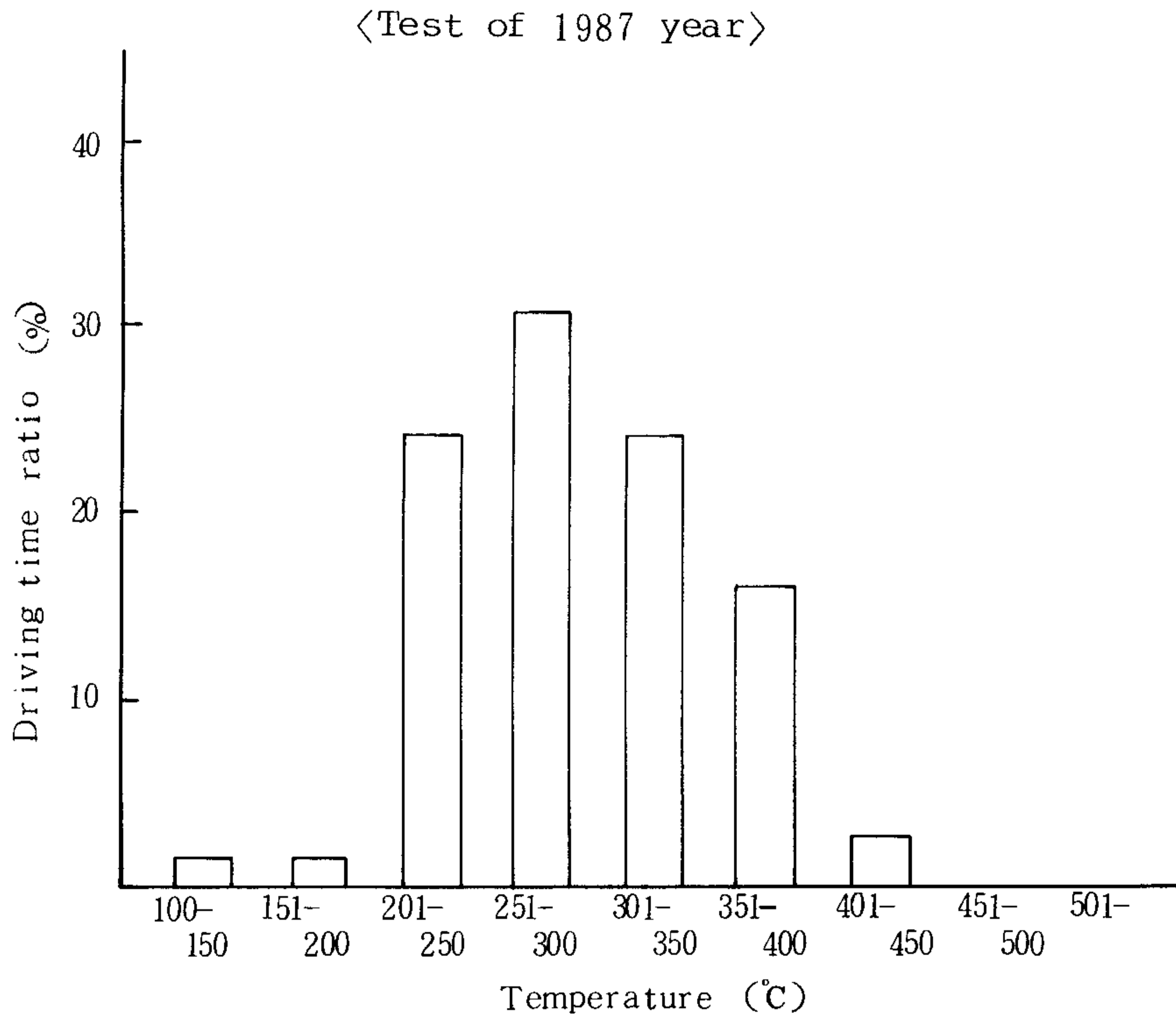


Fig.3-9. Exhaust gas temperature distribution for actual running condition with CTO system.

## 제 5 절 결과 및 고찰

### 1. 매연저감율

CTO 를 DO846HM 엔진에 장착하고 매연모우드에 의하여 매연을 측정 한 결과는 그림 3-10 과 같다.

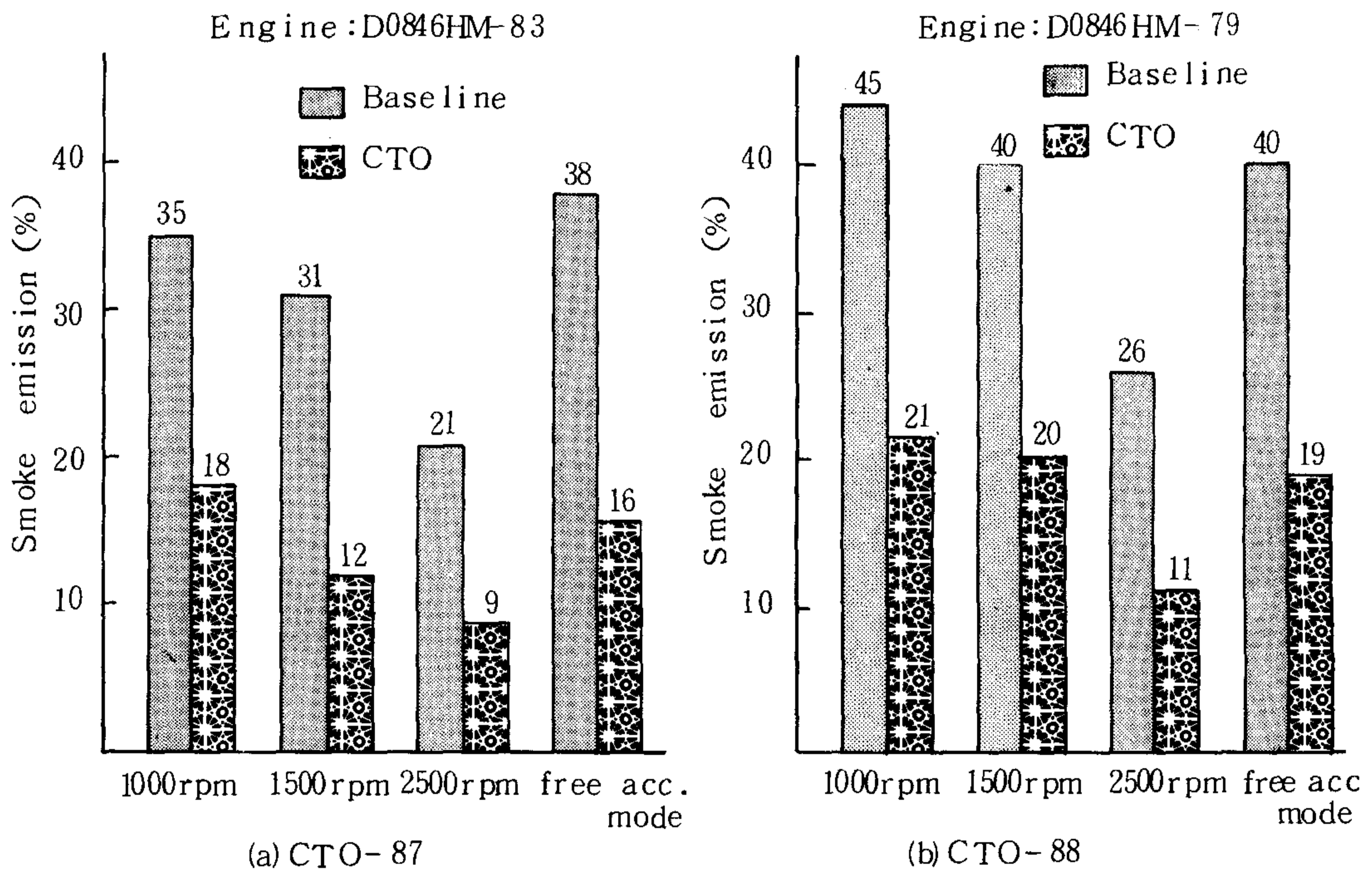


Fig.3-10 Smoke emission reduction with CTO system on a diesel engine by full load and free acceleration

그림 3-10에서 볼 수 있는 바와같이 CTO-87은 1000rpm, 1500rpm 및 2500rpm에서 각각 47%, 61% 및 59%의 저감율을 보여 평균 56%의 저감율을 나타내었으며 CTO-88은 1000rpm, 1500rpm 및 2500rpm에서 각각 53%, 50% 및 58%의 저감율을 보여 평균 54%의 저감율을 나타내었다.

## 2. 입자상물질 저감율

디젤자동차의 배출가스중에 포함되어 있는 입자상물질량은 CTO 장착 전후에 있어서 측정한 결과는 표 3-1 및 그림 3-11 과 같다

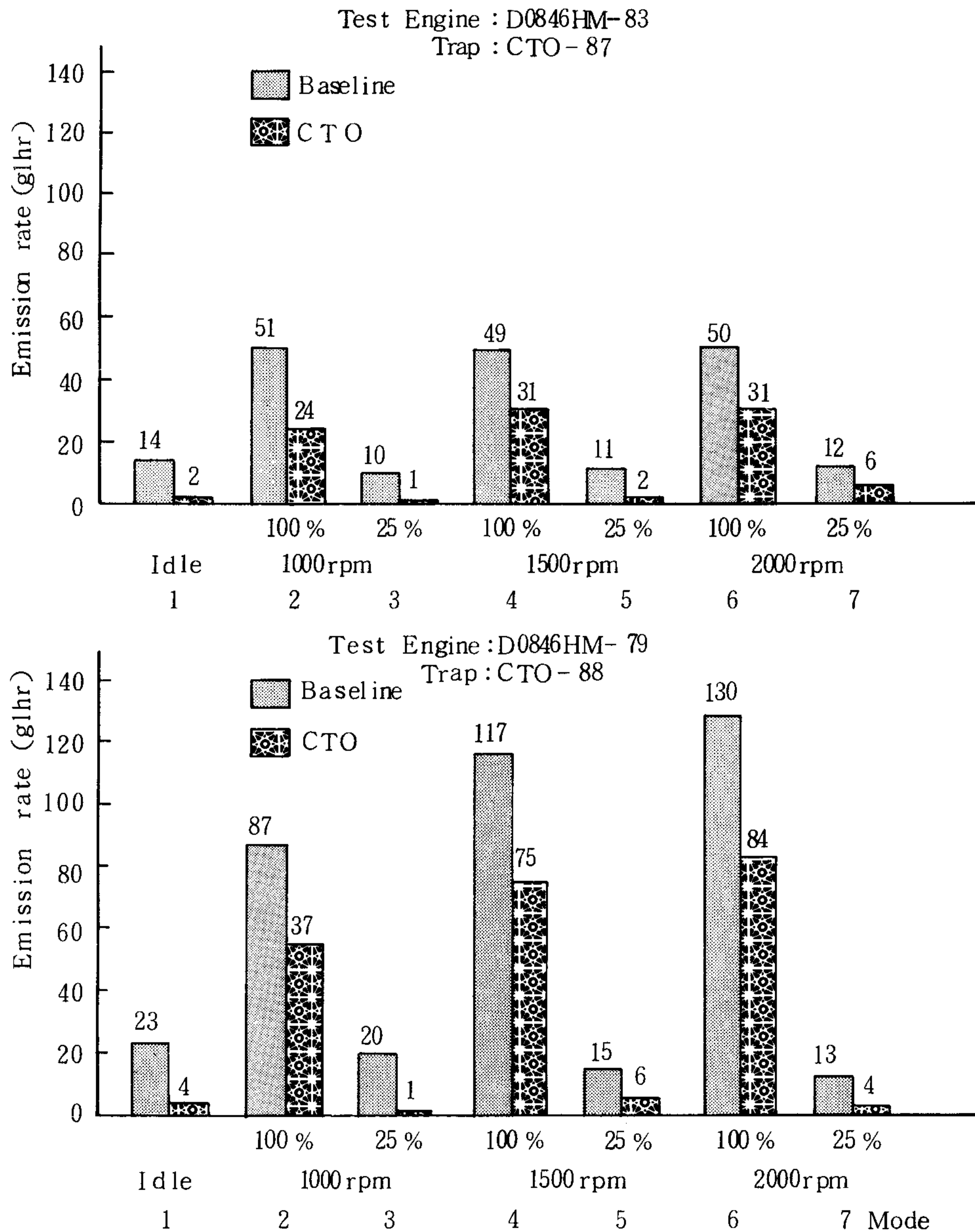


Fig.3-11 Particulate emission reduction with CTO system

그림 3-11 및 표 3-1에서 볼 수 있는 바와같이 4모우드 및 6모우드에서 입자상물질의 저감율이 낮은 것은 이 모우드에서는 배출가스의 온도가 높아 CTO의 촉매가 활성화되기 때문에 황산기의 생성이 많아 황산이나 황산염의 형태로 결합수와 같이 입자상물질에 함유되기 때문이다. 7모우드에 의해 측정된 전체 입자상물질의 저감율은 CTO-87은 47%, CTO-88은 45%로 나타났다.

### 3. 가스상물질 저감율

CTO 장착에 따른 가스상물질의 저감율은 6모우드 및 7모우드에 의하여 측정된 결과 표 3-1과 같다.

Table.3-1 Gaseous Pollutant Emission Concentration for 6 Mode and 7 Mode

Mode	Division	Pollutant							
		CO		HC		NO <sub>x</sub>		Particulate	
		87'	88'	87'	88'	87'	88'	87'	88'
6 Mode	Baseline	1187 ppm	750 ppm	136 ppmC	120 ppmC	808 ppm	700 ppm		
	CTO	103 ppm	81 ppm	48 ppmC	43 ppmC	663 ppm	590 ppm	-	-
	Reduction rate (%)	91.3	89.2	64.7	64.2	17.9	15.7		
7 Mode	Baseline	9.70g/bhp-hr	5.09g/bhp-hr	0.38g/bhp-hr	0.37g/bhp-hr	0.76g/bhp-hr	6.08g/bhp-hr	0.51g/bhp-hr	1.100g/bhp-hr
	CTO	0.72g/bhp-hr	0.46g/bhp-hr	0.15g/bhp-hr	0.15g/bhp-hr	6.73g/bhp-hr	5.89g/bhp-hr	0.27g/bhp-hr	0.607g/bhp-hr
	Reduction rate (%)	92.3	90.9	60.5	59.5	4.7	3.1	47.0	44.8

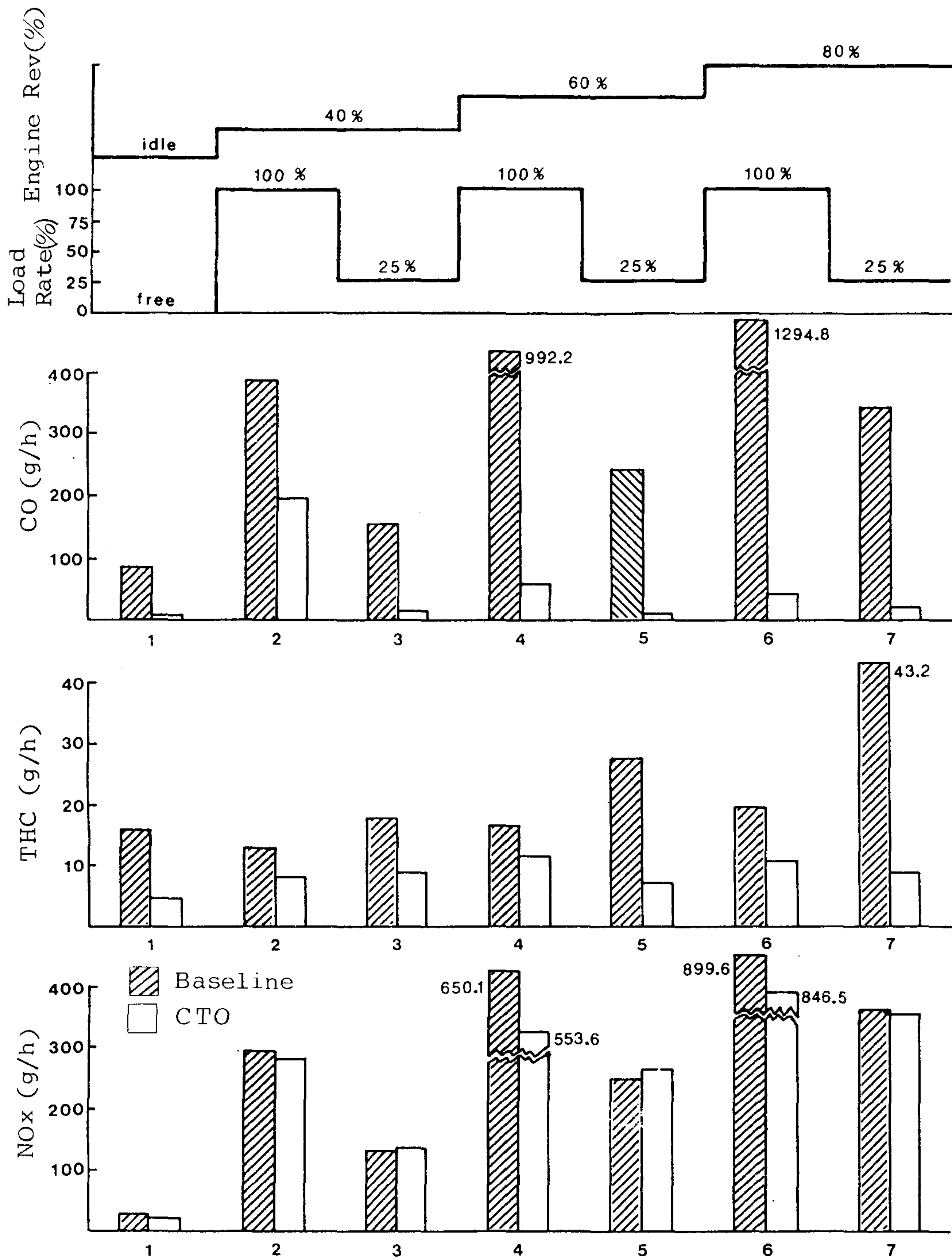


Fig.3-12 Diesel exhaust gas test result by 7 mode with and without CTO-87 system(Engine;D0846 HM-83)

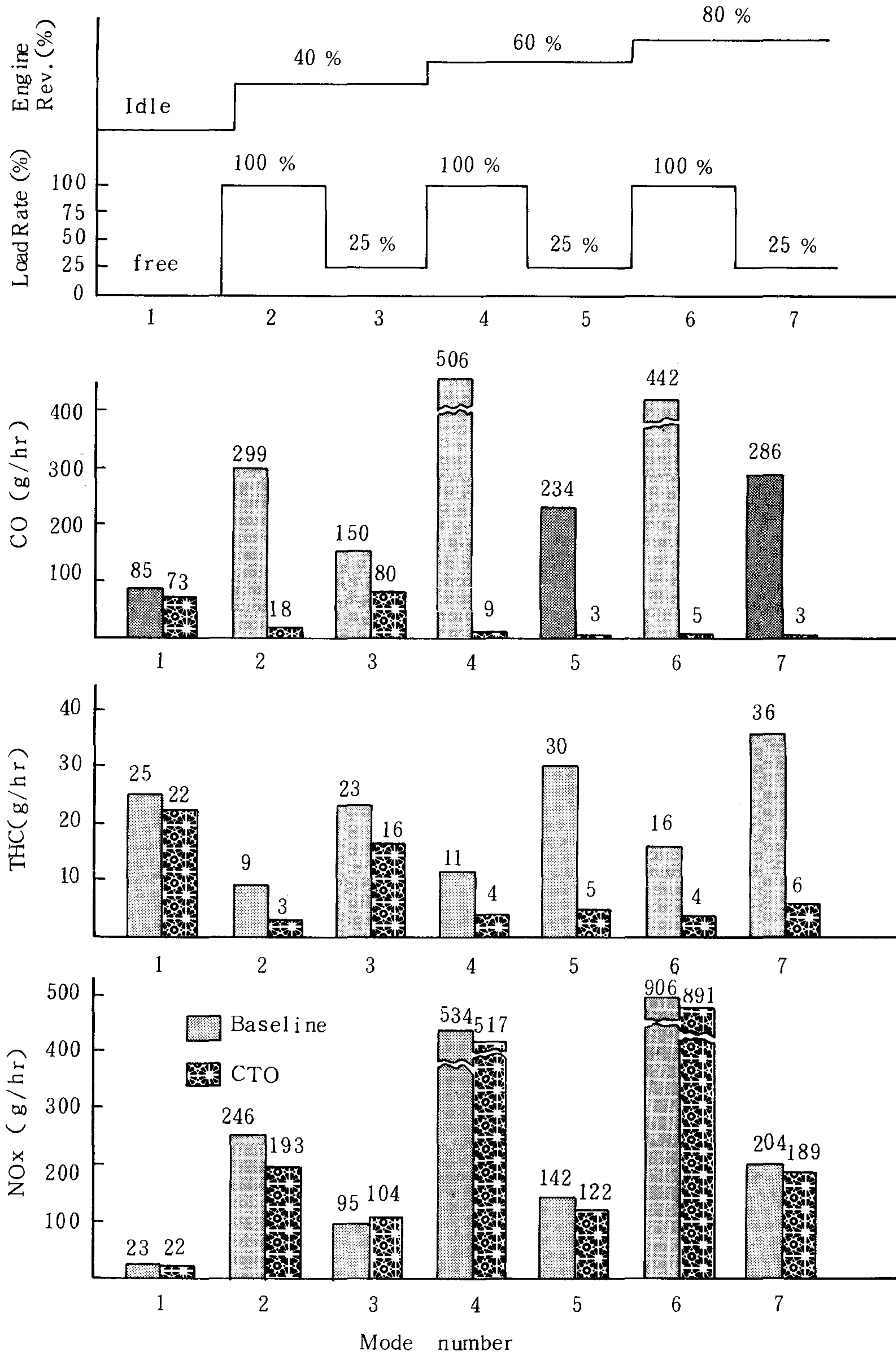


Fig.3-13. Diesel exhaust gas test result by 7 mode with and without CTO-88 system (Engine:D0846 HM-79)



표에서 볼 수 있는 바와같이 CO의 저감율은 7모우드 실험결과 CTO-87이 92.3%, CTO-88이 90.9%였으며, HC의 저감율은 CTO-87이 60.5%, CTO-88이 59.5%였다. NO<sub>x</sub>는 CTO-87 및 CTO-88이 각각 4.7% 및 3.1%로서 다소 감소하였으나 큰 변화가 없었다. 가스상물질의 7모우드 시험결과 각 모우드별 저감율은 그림 3-12 및 그림 3-13과 같다.

그림에서 볼 수 있는 바와같이 가스상물질의 저감율은 일반적으로 배출가스의 온도가 높은 2, 4, 6 모우드에서 저감효율이 크게 나타났다.

#### 4. SO<sub>2</sub>의 SO<sub>4</sub> 전환율

디젤엔진에 기인한 대기중 입자상물질은 그림 3-14에서 보는 바와같이 배출되는 입자상물질과 가스상물질이 대기중에서 이차적인 반응을 통하여 생성하는 입자상물질로 구분한다.

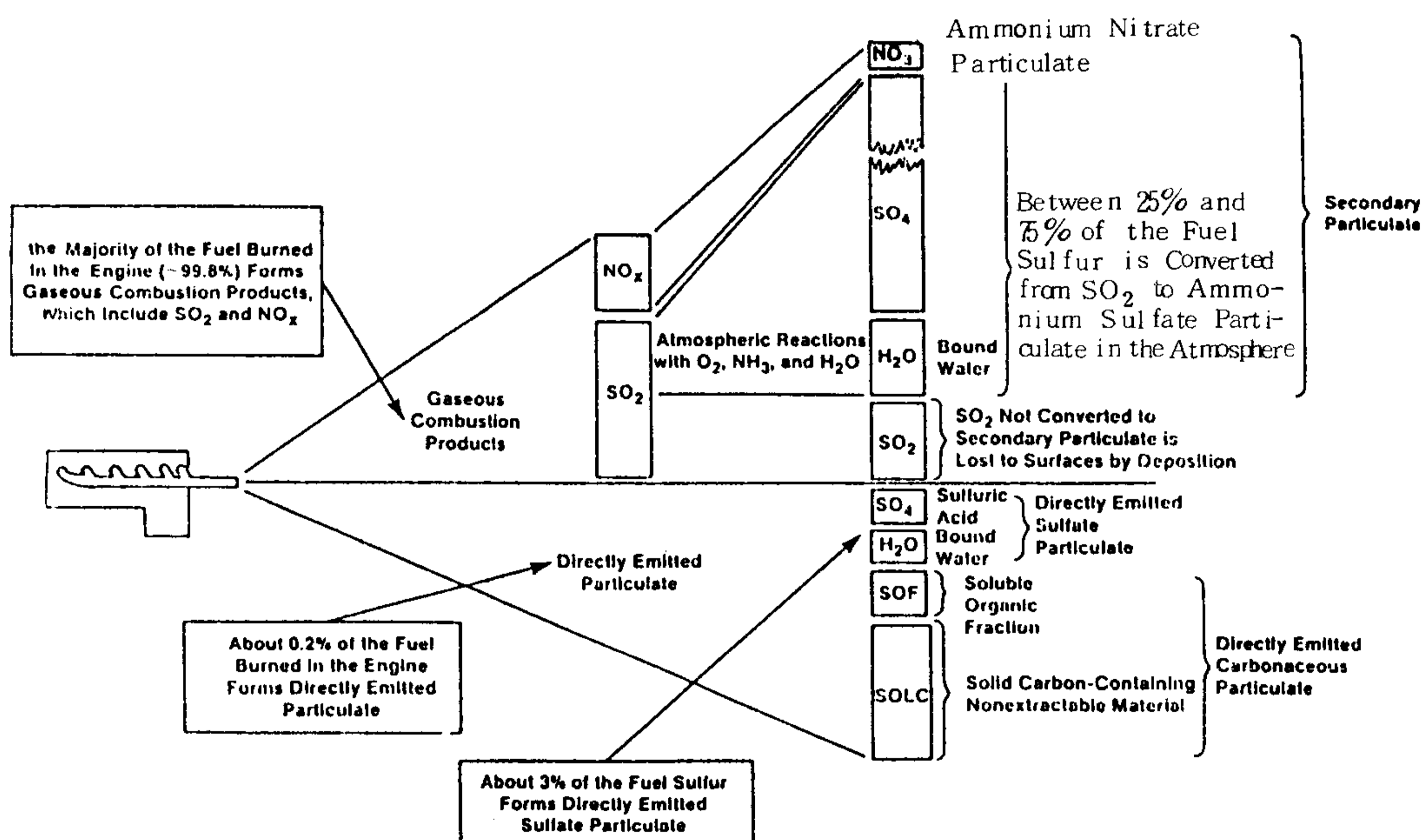


Fig. 3-14 Genesis of diesel particulate emissions.

직접 배기관으로부터 배출되는 입자상물질을 탄소질 물질(비추출물질을 함유하는 탄소와 용해성 유기분이라고 불리우는 추출물질을 포함한 탄소), 황산, 결합수(황산과 화학적으로 결합된 것)이며 대기중에서 이차적으로 생성하는 입자상물질에는 배기관으로부터 배출되는  $\text{SO}_2$  와  $\text{NO}_x$  가 대기중에서 산소, 암모니아 및 물과 반응하여 생성된 것으로 황산암모늄, 질산암모늄이다.

그림 3-14에서 볼 수 있는 바와같이 경유의 약 0.2%는 엔진내에서 연소하여 직접 입자상물질로 배출되고 연료중에 함유된 황의 약 3%는 황산(거의 같은 무게의 물을 함유)의 형태인 황산염으로 배출된다.

이는 엔진의 형태나 운전조건에 따라 다르지만 연료중 황산의 1~6%는 황산기로 배출되며 나머지는  $\text{SO}_2$  형태로 배출된다.<sup>9) 12)</sup>

지역적인 대기조성이나 온도에 따라 다르지만  $\text{SO}_2$  의 25~75%는 대기중에서 산화하여 황산암모늄과 같은 이차성 입자상물질로 전환한다. California의 SCAB(South Coast Air Basin)에 있어서  $\text{SO}_2$  의 황산염입자로의 전환율은 약 50%라고 보고하고 있다.

다른 연구자들의 보고서에서도 나타난 바와같이 연료중의 황은 연소시 그 일부는 황산기로 배출되며 CTO와 같은 촉매를 사용할 때는 표 3-2 및 그림 3-15에서 볼 수 있는 바와같이 모우드에 따라서 26.9% 및 33.3%까지 많은 양을 배출하고 있다. 표의 총계는 7모우드 측정결과를 시간당축마력당의 배출량으로 환산하고 가중평균한 값이다.

Table.3-2 Sulfate Emission Test Result with and without CTO

Mode	1987 year		1988 year	
	Baseline (g/hr)	CTO-87 (g/hr)	Baseline (g/hr)	CTO-88 (g/hr)
1	0.297(3.1)	0.284(3.0)	0.112(1.0)	0.189(1.7)
2	0.393(0.5)	0.292(0.4)	0.726(0.7)	1.476(1.5)
3	0.172(0.7)	0.164(0.6)	0.430(1.4)	0.124(0.4)
4	1.051(0.7)	8.171(5.7)	1.259(0.8)	55.876(33.3)
5	0.104(0.2)	0.831(1.8)	0.393(0.7)	1.956(3.5)
6	0.985(0.5)	7.203(3.8)	5.999(2.7)	60.275(26.9)
7	0.397(0.6)	4.233(6.6)	1.168(1.5)	1.389(1.8)
Total	0.0066 g/bhp-hr	0.0357 g/bhp-hr	0.0226 g/bhp-hr	0.2399g/bhp-hr

( ) Percentage of sulfate emission for total calculated sulfate due to sulfur in diesel fuel

그러나 자동차에서 배출되는 황산화물(SO<sub>x</sub>)은 전체 오염원에서 배출되는 황산화물의 약 2%에 불과하며 서울의 시내버스에 사용되는 경유량은 서울시의 전체 디젤 자동차에서 사용하는 경유량의 33%이므로<sup>13)</sup> 실질적으로 시내버스에 CTO를 장착함에 따른 황산기(sulfate)의 배출량은 크게 문제되지 않을 것으로 사료된다. 또한 SO<sub>2</sub>가 대기중에서 약 50%가 SO<sub>3</sub>로 전환된다고 볼 때는 더욱 그러하다.

그러므로 서울의 시내버스에 CTO를 장착함으로써 매연을 포함한 입자상물질을 50%이상 저감시킬 수 있고 CO 90% 및 HC 60%를 저감시킬 수 있다면 위에서 설명한 황산기의 발생은 감수할 수 있다고 사료된다.

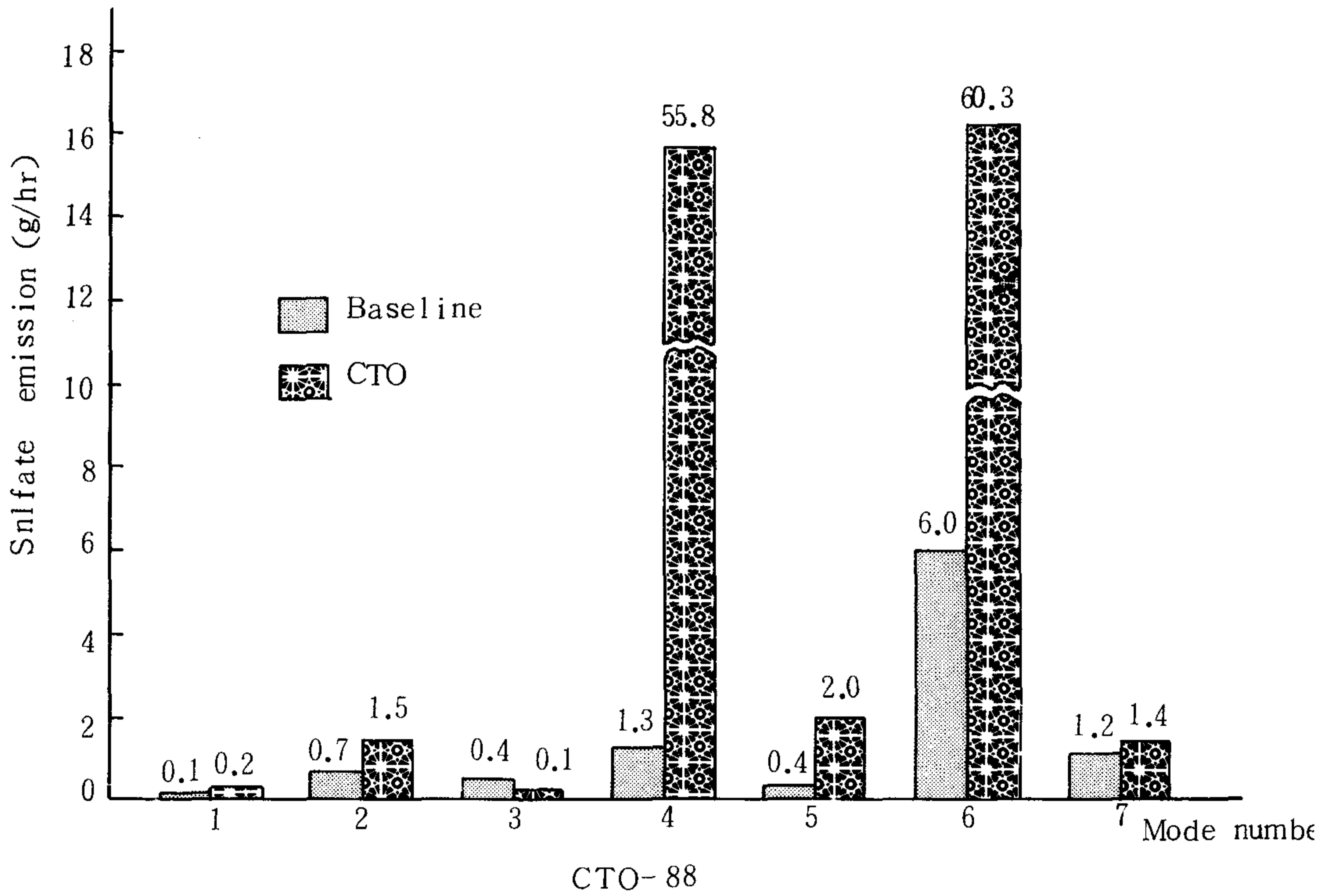
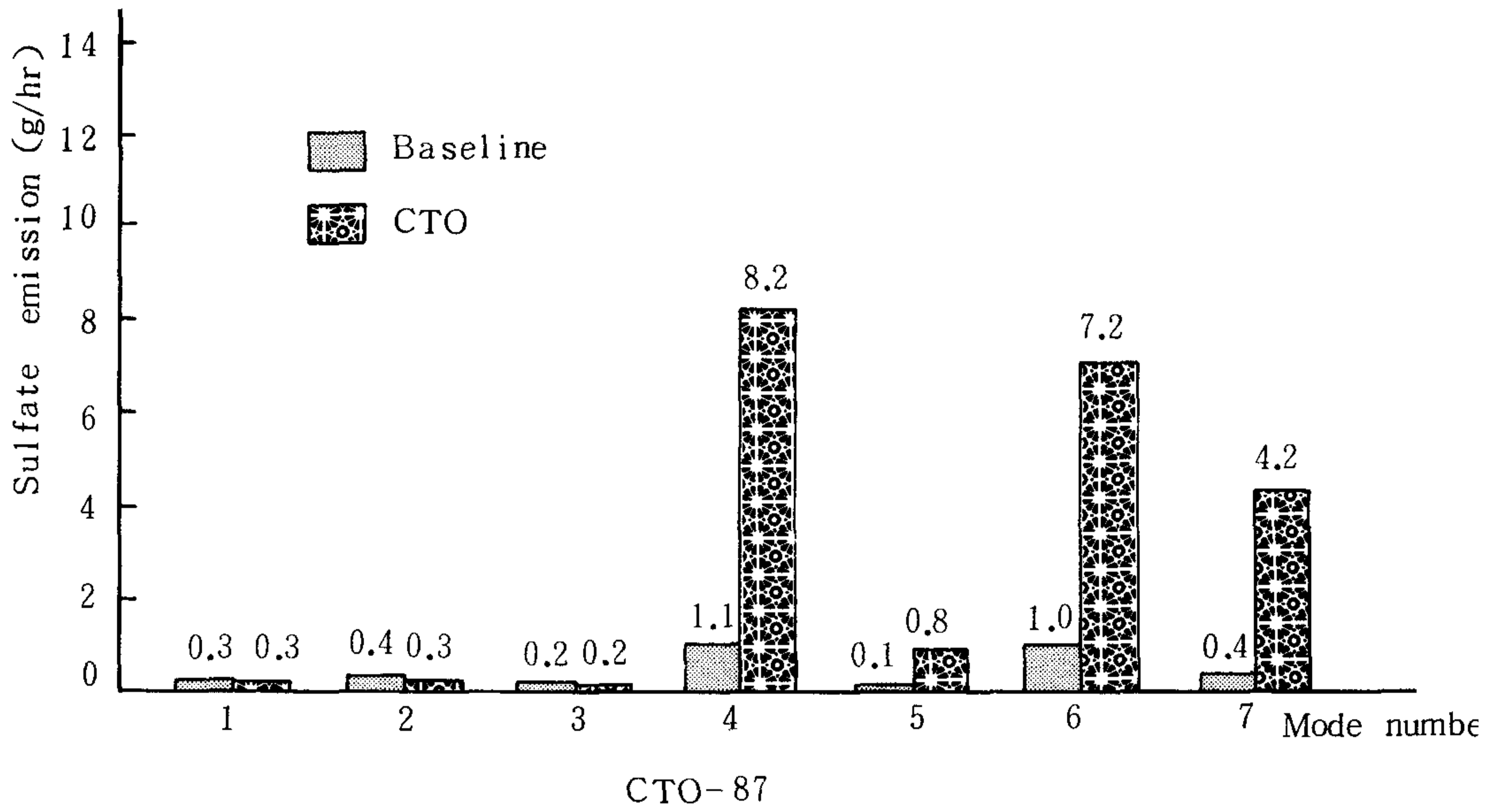


Fig.3-15. Sulfate emission with and without CTO

## 5. 매연누적 및 재생시험

실험실에서 CTO의 재생능력을 평가하기 위하여 7모우드의 주행시간을 수정하여 배기가스 최고온도가 400℃를 넘지 않도록 하여 계속 매연을 여과 누적 시켰다.

연속하여 8시간을 운전하면서 매연을 누적시켰으나 배압은 2000 rpm 최대 부하에서 550 mm Aq 이하를 나타내었으며 출력의 손실은 없었다. 이 결과는 2차년도에 사용한 CTO-87에 1시간 이내에 2000 rpm 최대부하에서 600 mm Aq 이상의 배압을 나타낸 것과 비교하면 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

## 6. 실차 주행시험

촉매산화매연여과장치를 기자촌에서 옥수동을 왕복 운행하는 155번 시내버스(리어엔진)에 탑재하여 실주행상태에서의 배기가스 압력, 온도를 계속 측정하면서 누적된 매연의 연소에 의한 재생상태를 관찰하였다.

배기가스 압력 및 온도측정 결과의 보기를 그림 3-16에 나타내었다. 그림중 가로축의 번호는 버스정류장 위치를 나타내며 온도 및 배압은 CTO의 입구에서의 측정값이며 온도는 연속 기록하였고 배압은 배압계에서 수시로 읽은값을 사용하였다.

그림에서 볼 수 있는 바와같이 배압은 대부분 1000 mm Aq 이내이며 배기가스 온도는 무악재 고개를 오를때 400℃ 이상을 상당기간 동안 유지하여 누적된 매연의 연소가 일어남을 알 수 있다. CTO를 장착하여 155번 노선에서 3000 km를 주행한 결과 배압은 그림에서 볼 수 있는 바와같은 정도의 배압을 나타내었다.

본 CTO는 실주행노선에서 여과된 매연을 일부 연소시키며 일부

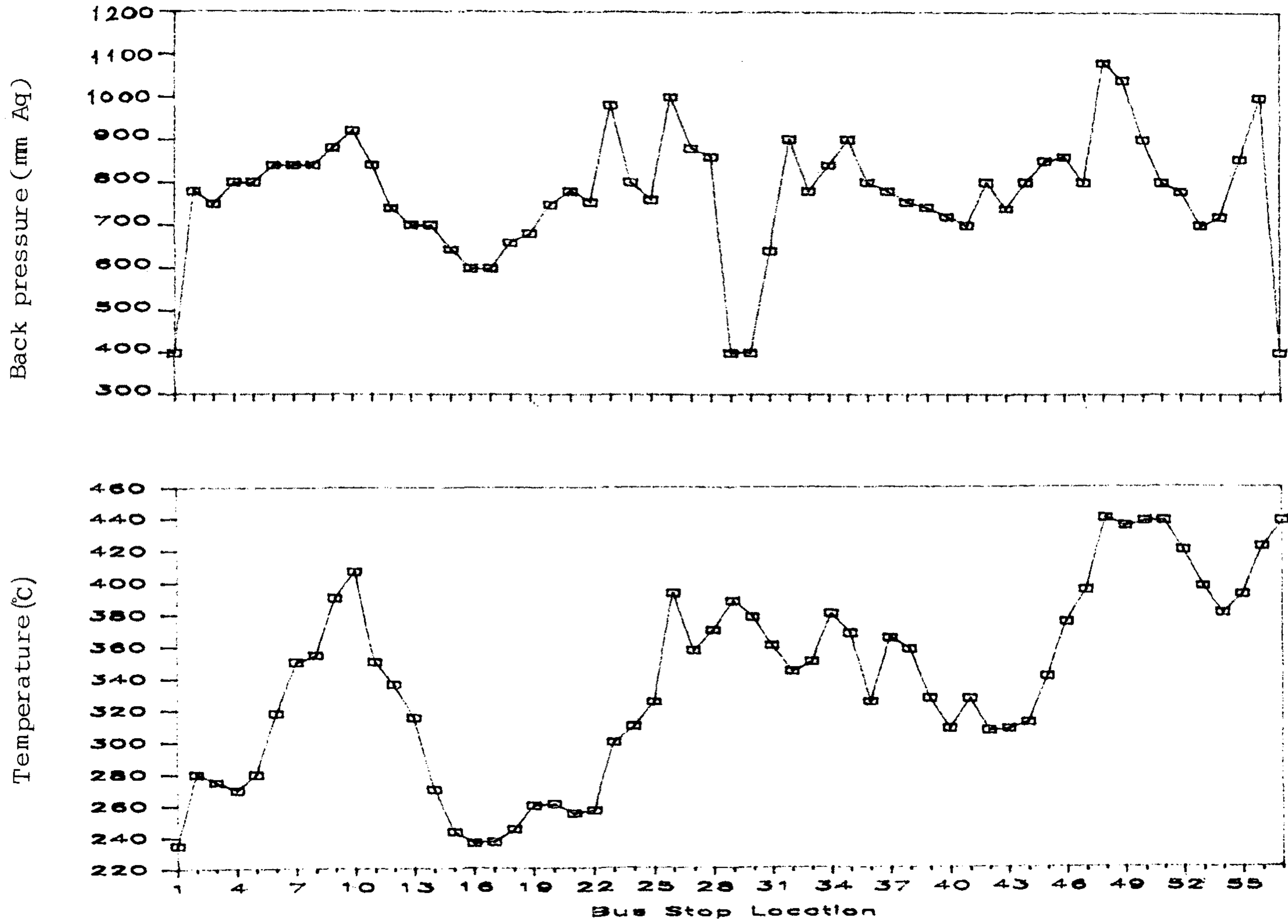


Fig.3-16. Exhaust gas temperature and back pressure during actual bus service

는 미연소상태로 누적되다가 1000 mmAq 이상의 배압이 되면 재생이 일어나 배압이 정상상태로 되돌아 왔으며 3000 km 주행기간동안 매연누적, 재생주기가 반복되었다.

누적된 매연의 재생시에는 초기에 백연 (white smoke)이 다소 발생되었으며 기타 다른 문제점은 발견할 수 없었다.

CTO에 대한 지금까지 실차주행시험을 실시한 연구결과를 보면 Enga 등<sup>14)</sup>은 로스앤젤레스에서 운행하는 시내버스에 CTO를 장착하여 30,000 마일 누적 주행시험을 실시한 결과 특별한 부가장치 없이 재생시킬 수 있었다.

Rudolf 등<sup>15)</sup>은 네덜란드 시내버스에 적용하여 30,000 km 누적주행 시험을 실시하였으며, Pellegrin은<sup>16)</sup>은 남캘리포니아의 Metropolitan Transit Coach에 적용하였고 Hickman 등<sup>17)</sup>은 영국의 시내버스에 적용하여 65,000 마일 누적주행 시험을 실시 하였다.

그리고 McCormick 등<sup>18)</sup>은 필라델피아 시내버스에, Newman 등<sup>19)</sup>은 미국의 Tucson시의 시내버스에 적용하여 40,000 마일 누적주행시험을 실시한 바 있다.

## 제 6 절 결 론

2 차년도에 실시한 촉매 산화매연여과장치 (CTO - 87)의 실험실적 및 실차시험 결과 포집된 매연의 재생이 불완전하여 강제적인 재생조작 없이는 실 주행노선에서의 연속 사용이 불가능한 점을 보완하기 위하여 CTO에 사용한 촉매의 조성을 바꿔 재제작한 촉매 산화 매연여과장치 (CTO-88)에 대한 시험결과는 다음과 같다.

1. 매연의 저감율은 CTO-87이 56%이며 CTO-88은 54%였고 입

자상물질은 CTO-87 이 47%, CTO-88 이 45%였다.

2. 가스상 물질의 저감율은 CO가 90%이상, HC가 60%이상 저감되었으며 NO<sub>x</sub>는 다소 저감되었다.
3. 아황산가스(SO<sub>2</sub>)가 황산기(sulfate)로 전환하는율은 CTO-88이 CTO-87보다 높았으며 7모우드 시험결과 CTO-87은 부착전보다 5.4배, CTO-88은 부착전보다 10배나 더 배출되었다.
4. 실 주행노선에서 3000 km를 누적 주행시험을 실시하였으나 자체 배출가스 온도에 의하여 여과된 매연이 연소되어 재생되었고 재생시 약간의 백연이 발생되었다.



## 참 고 문 헌

1. Walsh. M.P., Worldwide trends of diesel particulate regulation and the development status of diesel particulate control technologies., Oct., 1985.
2. Weaver.C., Trap-oxidizer technology for light-duty diesel vehicles ; status, prospects and current issues, SAE paper 831713, 1983.
3. Enga.B.E., et al., Catalytic control of diesel particulate, SAE paper 820184, 1982.
4. Becker.E.R., Catalytic trap oxidizer for diesel particulate emission control, Johnson Matthey, 1985.
5. Buchman.M.F. and B.E. Enga, Catalytic diesel particulate control system design and operation, SAE paper 830080, 1983
6. Enga.B.E., et al., The evaluation of catalytic particulate control on buses, SAE paper 850146, 1985.
7. 김양균 외, 경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구(I), 국립환경연구소, 1985.
8. 김양균 외, 경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구(II), 과학기술처, 1987.7.
9. Wall.J.C, and S.K. hoekman, Fuel composition effects on heavy duty diesel particulate emissions, SAE paper 841364, 1984.
10. Barry.E.G.,L.J.Mccabe,D.H.Gerke, and J.M.Derez, Heavy duty diesel engine/fuels combustion performance and emissions-a cooperative research program, SAE paper 841364, 1984.

11. Springer.K.J and Ralph C.Stahman, Diesel car emissions-  
emphasis on Particulate and sulfate SAE 770254, 1977.
12. Springer.K.J., Characterization of sulfate, odor, smoke,  
POM and particulates from light and heavy duty engines-  
part IX., project Report EPA 460/3-79-007, US EPA, June,  
1979.
13. 조강래, 자동차에 의한 오염물질 배출량 산출 및 방지대책, 제  
1회 한미환경보전 심포지움 발표논문집, 1981.1.
14. B.E.Enga, J.F.plakosh, A.E.R.Budd and C.Jaffray., The  
evaluation of catalyst particulate control on buses, SAE  
paper, 850146, 1985.
15. Rudolf C.Rijkeboer, Joep A.N.van Ling, and Jouke van der  
Weide, The catalytic trap oxidiser on a city bus: A duty  
demonstration program, SAE paper 860134, 1986.
16. V. Pellegrin, The retrofitting of a catalytic trap oxidizer  
to a metropolitan transit coach, SAE paper 860135, 1986.
17. Hickman.A.J., Performance and durability of a catalyst  
trap oxidiser installed on a city bus for 65,000 miles of  
revenue service, SAE paper 860138, 1986.
18. McCormick.J.H , Enga B.E. and Cunningham J., Revenue ser-  
vice evaluation of CTO performance on an RTS2 bus in ce-  
nter city philadelphia, SAE paper 860139, 1986.
19. Newman Joel L. and Enga B.E., Practical application of  
CTO's to a GM city bus 6V92T engine, A real life inves-  
tigation, SAE paper 860140, 1986.

여 백

## 제4장 세라믹매연여과장치에의 실용화연구

여 백

## 제 4 장 세라믹매연여과장치의 실용화 연구

### 제 1 절 서 론

세라믹매연여과기 ( ceramic monolithic filter ) 는 미국의 Corning Glass사와 일본의 NGK사에서 제작 공급하고 있으며 이 필터는 디젤자동차의 입자상물질에 관한 미국의 엄격한 규제기준을 만족시키기 위한 후처리장치의 여과기로서 널리 사용되고 있다.

이 세라믹 필터는 매연의 여과효율이 좋으나 여과된 매연의 재생을 위한 연소시 고온에 의하여 파손되거나 용융되는 결점이 있다.<sup>1-4)</sup>

그러므로 세라믹 필터의 매연후처리 장치로서의 개발은 어떻게 하면 필터의 손상없이 여과된 매연을 연소시키느냐에 관하여 많은 연구를 하고 있고<sup>5-11)</sup> 일부 소형 승용차에서 상용화하여 미국에 판매하고 있다.<sup>52)</sup>

본 연구에서는 이러한 매연후처리 기술의 일종인 세라믹매연여과장치를 운행중인 시내버스에 장착 디젤자동차에서 많이 배출되는 유해한 매연을 제거시킬 수 있는 방지장치를 개발 실용화 하는데 목표를 두고 시내버스에 적합한 세라믹여과장치를 제작하고 경유버어너에 의한 매연의 재생에 관한 최적조건을 검토함으로써 세라믹매연여과장치를 실용화하는데 기여코저 하였다.

### 제 2 절 이론적 고찰

디젤자동차로부터 배출되는 입자상물질 ( 특히 탄소상 물질 ) 은 그림 4-1에 표시한 바와 같은 여과재를 통해서 여과되며 여과불질

이 증가함에 따라 배기가스압력이 증가한다. 그렇기 때문에 일정한 주기마다 여과재에 여과된 입자상물질을 연소시켜 깨끗이 해주지 않으면 안된다. 여과재에 축적된 입자상물질을 제거해주는 조작을 재생 ( regeneration ) 이라 하며, 이러한 재생을 위해서는 여러가지 어려운 기술적인 문제가 있다.

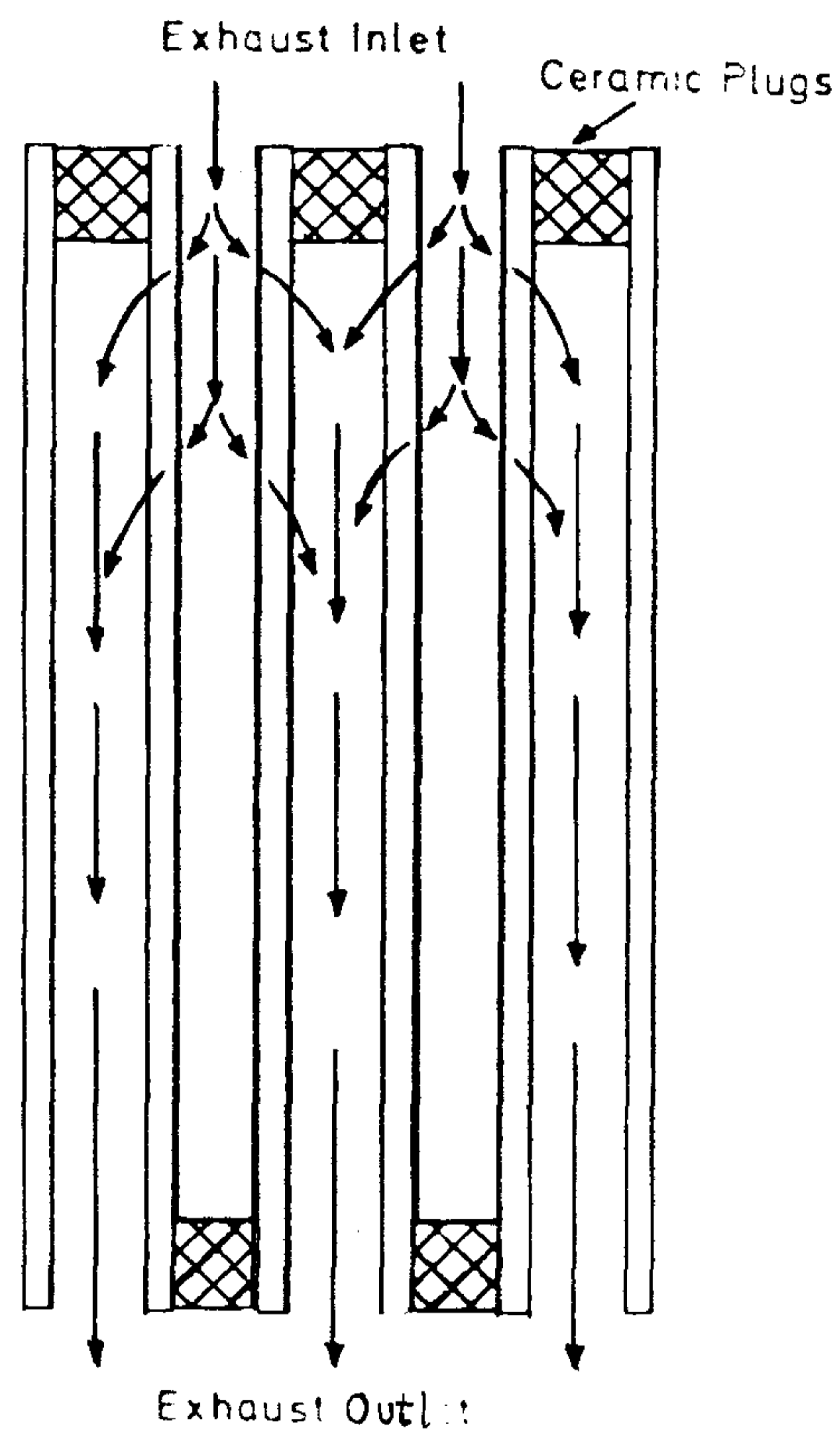


Fig. 4-1 Principal of collection of particles in ceramic filters

이러한 입자상물질의 여과, 축적 및 재생과정에 관하여 이론적으로 간단히 살펴보고자 한다.

1. 반응속도 ( Reaction Rate )

여과재내에 축적된 매연의 산화속도는 Arrhenius 방정식에 의하여 매연온도 (Tp) 와 대기중 산소농도 (PO<sub>2</sub>) 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$RR = \frac{dMp/MP_0}{dt} = a \cdot PO_2^m \exp (-E/R_m \cdot T_p) \dots\dots\dots (1)$$

반응속도 (RR) 는 단위시간 (dt) 당, 필터내의 실제 총매연량 (MP<sub>0</sub>) 에 대한 산화되고 있는 매연량 (dMp) 으로 정의된다.

활성화에너지 ( E = 111 KJ/mol) 에 대한 값, 빈도계수 ( a = 300 m<sup>3</sup>/s·g) , 산소의 반응차수 ( m=1 ) 및 g/m<sup>3</sup>으로 나타낸 산소농도 (PO<sub>2</sub>) 는 Pauli 등<sup>12)</sup> 에 의하여 이미 정의한 바 있다.

촉매처리되지 않은 세라믹 필터에 여과된 매연의 재생에 필요한 배기가스 온도는 550 ℃ 이상이어야 하며<sup>1,2,13,14,15,16)</sup> 배기가스 온도가 더 높으면 재생속도가 증가하게 된다.<sup>1)</sup> 그리고 필터내에서 산소온도는 매연의 산화속도에 크게 영향을 미치며 최소 3% 이상의 산소농도가 요구되며 산소농도가 높으면 재생이 더 빨리 일어나고 완전하게 일어난다.<sup>1,14)</sup>

2. 물질평형 ( Mass Balance )

엔진과 필터사이의 반응은 입자상물질의 흐름이 물질평형에 의하여 기술될 수 있다.

$$\frac{dMp}{dt} + Mp \cdot RR - nF \cdot mP = 0 \dots\dots\dots (2)$$



여기서  $M_p$  = 입자질량  
 $RR$  = 반응속도  
 $m_P$  = 엔진으로부터 나오는 입자상물질량  
 $n_F$  = 여과효율

필터내에서 물질평형을 그림 4-2 에 나타낸 바와 같이 필터에서의 매연여과와 누적, 평형 및 재생의 3 단계로 나누어 생각할 수 있다.

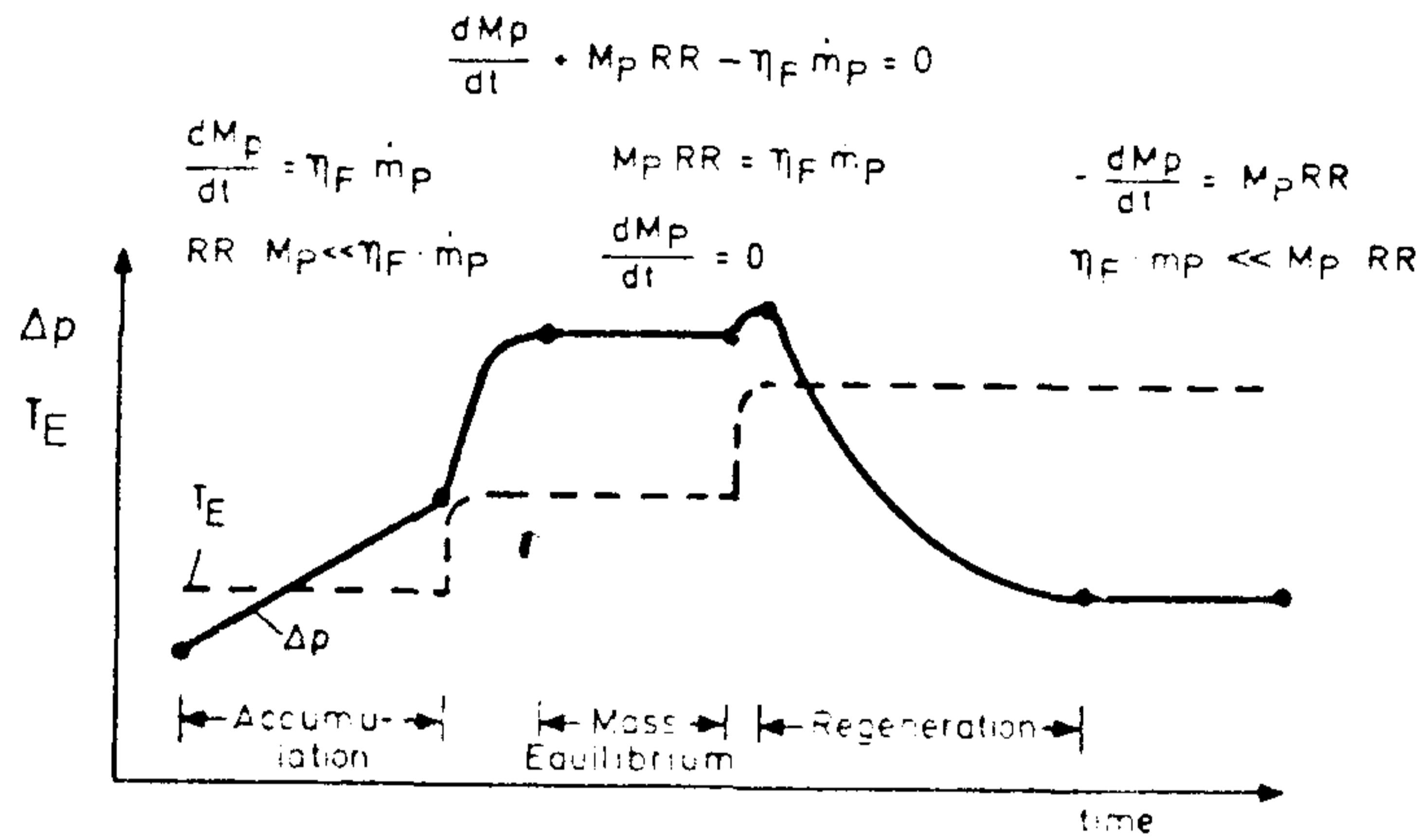


Fig. 4-2 Back pressure and temperature curves and formulation of mass balances for different operation modes of a soot filter

### 3. 매연축적 ( Loading Phase )

산화되고 있는 매연에 대한 반응속도가 낮아서 엔진으로부터 배출되는 매연에 비하여 무시할 수 있을 때에는 매연의 축적이 일어난다. 매연여과효율은 필터내에 매연이 축적되는 속도에 영향을 주며 평형점이하의 매연축적시기에 있어서는 배기가스 압력이 거의 직선적으로 증가한다.

#### 4. 평형점 ( Equilibrium Point )

평형점에 있어서는 필터내에서 산화되고 있는 매연량은 매연축적속도와 같다. 그러므로 필터내에서 매연량( $MP_{\infty}$ )은 일정하게 되고 필터의 압력저하가 일정하게 된다.

평형점에 있는 매연량( $MP_{\infty}$ )은 반응속도( $RR$ ) 및 필터내에서 매연의 축적속도( $nF \cdot mP$ )의 함수이다. 즉,

$$MP_{\infty} = \frac{nF \cdot mP}{RR} \dots\dots\dots (3)$$

그러므로 각각의 정적운전조건 ( $F_E, PO_2, mP$ )은 이에 해당하는 필터내의 매연량( $MP_{\infty}$ )을 갖고 여기서는 산화와 축적되는 매연량이 같게 된다.

#### 5. 재생 ( Regeneration )

그림 4-2 에서 나타낸 바와 같이 배출가스온도 증가에 의하여 여과된 매연에 대한 산화조건을 향상시키는 것은 처음에는 유량의 증가에 의하여 배기가스 압력이 증가하나 곧 배기압이 감소하게 된다. 기술적으로 실용적인 재생에 있어서는 매연의 산화속도는 필터내의 매연축적속도보다 분명히 크지 않으면 안된다.

이와같은 산화속도를 크게 하기 위한 방법으로는 엔진내에서 발생하는 배기가스 온도를 증가시키거나, 촉매의 역할을 하는 금속을 매연에 섞어 산화온도 즉, 활성화온도를 떨어뜨리거나 외부에서 강제적인 열을 가하여 산화온도를 높이는 방법이 있다.

##### 1) 배기가스 온도상승에 의한 재생기술

배기가스 온도를 상승시키기 위한 방법으로는 엔진에서 발생한 열이 식지 않고 매연여과장치내에 전달되도록 보온하고 흡입공

기의 쓰로틀링에 의하여 실린더내의 공기량이나 배기가스량을 줄임으로서 배기가스 온도를 높이는 방법이 있다.<sup>17,18,19)</sup>

쓰로틀링에 의하여 공연비를 감소시키면 산화율(RR)이 높아져서 배기가스 온도가 증가하는 반면 배기가스중 산소농도가 감소하게 된다.

쓰로틀링이 심하게 되면 불충분한 산소때문에 높은 온도에도 불구하고 산화율이 감소되며 동시에 매연이 더 많이 발생한다. 이러한 현상은 필터내의 매연의 부하가 급격히 증가하게 되며 다시 쓰로틀링을 감소시키면 필터내에 산소농도가 급격히 증가하며 이미 상승한 온도에 의하여 매연의 산화가 급격히 일어나게 된다. 이렇게 하여 발생한 열은 쉽게 제거되지 않아 필터재료의 열충격에 의한 파손이나 용융을 가져올 수도 있다. 저부하에서 높은 쓰로틀링에 의하여 재생조건을 달성하게 되면 연료소비가 급격히 증가하고 엔진성능이 나빠진다.

그러므로 이러한 불필요한 쓰로틀링은 피하여야 하며 쓰로틀링은 체적효율이 약 0.3의 범위내에서 실시하여야 한다.

## 2) 연료첨가제에 의한 재생기술

여러가지 금속을 매연과 혼합시켜 가열하면 매연의 반응에너지를 110 KJ/mol에서 더 낮은 값으로 떨어뜨릴 수가 있다.

이러한 결과는 일정한 온도에서 평형조건에 도달하는데 필요한 매연량을 줄일 수도 있고 일정한 매연량을 유지하는데 대한 평형온도를 낮출 수도 있다. 이러한 활성화에너지를 낮출 수 있는 정도는 첨가제의 종류와 첨가량에 의하여 다르며 지금까지 연구한 결과에 의하면 망간(Mn), 구리(Cu), 납(Pb) 등이 활성화에너지를 대폭 저감시켜 필터에 여과된 매연을 재생시키는데 유용한 첨가제로 밝혀졌다.

그러나 이러한 연료첨가제의 사용은 첨가제를 오랫동안 사용함으로써 금속산화물이 필터에 누적하여 배압이 증가하는 현상이 나타나며, 첨가제가 중금속으로서 대기중에 배출되었을 때 이차오염을 유발시키고 금속사용에 따른 엔진에 금속산화물의 축적에 의한 엔진 성능에 미치는 영향등의 여러가지 문제점이 예견되어 그간 많은 연구가 이루어졌다.

지금까지 연구된 이 분야의 연구를 간단히 살펴 보면 Wade, W.R 등<sup>20)</sup>은 유기납(TEL, tetra ethyl lead)을 경유에 1gm/gal 정도로 첨가하여 소형디젤자동차에 시험한 결과 매연점화온도를 149℃나 낮출 수 있었으며 그후 납과 구리를 동시에 사용함으로써 재생온도를 220℃나 낮출 수 있었다.

Wiedemann B. 등<sup>21,22)</sup>은 망간(Mn)첨가제(Lubrizol D220)를 소형디젤엔진에 사용하여 필터의 성능을 평가하였으며 Montierth M.R. 등<sup>23)</sup>은 Mn-Cu 첨가제를 사용하였고 Gerald M. Simon 등<sup>24)</sup>은 세리움(Ce) 및 망간첨가제를 사용하여 세라믹 필터의 재생능력을 평가하였다. 그리고 Sachder R. 등<sup>25)</sup>은 첨가제 사용에 따른 필터의 회분축적에 대한 영향을 시험하였다.

Hajime Ise 등<sup>26)</sup>은 소형디젤 트럭에 Cu 및 Pb첨가제를 사용하여 필터의 내구도와 신뢰도를 시험하였으며, McCabe R.W. 등<sup>27)</sup>은 Cu, Pb, Mn-Cu 첨가제를 사용하여 재생온도의 비교시험을 실시하였다. 기타 OTTO A. 등<sup>28,29)</sup>도 첨가제에 관한 시험을 실시하였다.

그후 Lawson A.<sup>30)</sup> 등은 Mn첨가제를 대형디젤자동차에 사용하여 망간산화물의 여과효율을 시험하였고 Draper 등<sup>31)</sup>은 지하광산에서 사용하는 디젤엔진에 Mn첨가제를 사용하여 시험하였다.

또한 Konstandopoulos A.G. 등<sup>32)</sup>은 Mn과 Cu첨가제를 대형디

젤 엔진에 사용하여 이를 첨가제에 의한 매연 및 가스상물질에 대한 영향을 시험하였다.

이상의 많은 연구 결과 망간첨가제가 가장 좋은 첨가제로서 생각되고 있으며 망간은 황산망간의 형태로 대부분 필터에 여과되기 때문에 대기중 이차오염물의 배출도 적고 엔진이나 필터의 내구온도에도 특별한 악영향은 없으나, 첨가제를 경유에 첨가하여 장시간 보전시 균일한 혼합등의 문제가 있는 것으로 보고 있다. 첨가제를 어떻게 연료에 공급할 것인가가 문제이다.

### 3) 촉매처리에 의한 재생기술

연료첨가제를 연료에 첨가하여 연소시킬 때 매연과 함께 금속산화물이 필터에 여과되어 매연의 활성화에너지를 높여 재생온도를 낮추므로써 배기가스 온도만으로 여과된 매연을 연소시키는 기술과 같이 매연필터를 촉매 처리하여 같은 목적을 달성할 수 있다.

여과재에 처리하는 촉매는 귀금속촉매 (precious metal catalyst)와 비금속촉매 (base metal catalyst)가 있으며 일반적으로 귀금속 촉매가 활성화에너지가 높아 매연을 낮은 온도에서 재생시킬 수 있으나 연료중에 포함된 황의 연소에 의해서 생기는  $SO_2$ 가  $SO_3$ 로 되는  $SO_3$  전환율이 높기 때문에 실용상에 약간의 문제점이 있어 비금속촉매를 사용하고 쓰로틀링과 같은 조작에 의하여 배출가스 온도를 높여 매연을 재생시키는 기술이 연구되고 있다.

세라믹 필터에 촉매를 처리하여 입자상물질의 저감기술은 Hunter H.등<sup>33)</sup>은 세라믹 필터에 백금촉매를 처리하여 입자상물질, 유기용매 추출물, 황산기,  $NO$ ,  $NO_2$ 등을 촉매사용 전후에 측정하여 그 효

과를 시험하였으며 Koberstein E. 등<sup>34,35)</sup>은 촉매로서 비금속을 처리하여 매연재생온도를 100 °C 정도 낮추고 배기가스중 산소농도와 매연연소 온도와의 관계를 측정하였다. 또한 Urban C.M.<sup>36)</sup> 등, Polat Oser 등<sup>37)</sup>, Abthoff J. 등<sup>38)</sup>, Frank R.W.<sup>26)</sup>은 촉매를 사용한 세라믹 필터의 재생기술을 연구하였고, Vergeer H.C. 등<sup>39)</sup>은 촉매처리한 세라믹 필터를 시내버스에 장착 실용화 시험을 실시하였으며, Simon G.M.<sup>40)</sup>, Niura Y. 등<sup>41)</sup>, McCabe R.W. 등<sup>42)</sup>은 촉매처리에 의한 필터의 재생기술에 관한 연구를 실시하였다.

촉매처리한 세라믹 필터는 소형디젤자동차의 매연후처리 기술로서 이용하고자 많은 연구가 되고 있으며<sup>43)</sup>, 특히 Daimler-Benz 사의 Hermann Hierethr 등<sup>44)</sup>은 세라믹 필터에 오산화바나듐 ( $V_2O_5$ )을 촉매 처리하고 쓰로틀링에 의하여 배기가스온도를 상승시키므로써 재생시킬 수 있는 후처리장치를 디젤승용차에 부착하여 실용화하고 있으며 이미 캘리포니아에 판매하고 있다.

촉매처리한 세라믹 필터는 매연이 필터에 여과될 때 매연이 촉매 표면을 덮어 온도가 낮을 때는 촉매의 활성이 방해되어 촉매의 기능을 제대로 발휘하지 못하여 황산화물의 피해등의 악영향이 있는 것이 문제시되고 있다.

#### 4) 경유버어너에 의한 재생기술

경유버어너에 의하여 여과된 매연을 연소시켜 재생시키는 것은 매연의 후처리기술로서 가장 확실한 기술이라고 생각된다.

쓰로틀링과 촉매처리에 의한 재생기술은 재생이 불안전할 경우가 있으며 연료에 첨가제를 첨가할 경우는 필터의 장기간 사용에 따른 금속재의 축적으로 인한 프러깅 (plugging) 현상이 일어나게 된다. 세라믹 필터에 매연이 여과되면 배기가스 압력이 상승하게 되

므로 일정기간마다 연소시켜 제거하여야 하는데 이때의 산소농도는 2% 이상 배기가스온도는 480℃ 이상이어야 한다.<sup>20,45)</sup> 필터내에서 매연의 연소온도는 필터내의 배기가스온도, 배기가스유량, 배기가스중 산소농도 및 누적된 매연량에 좌우된다.

누적된 매연의 연소시 이러한 인자를 조절하지 않으면 필터내에서의 온도가 급상승하여 필터가 열충격에 의하여 파손되거나 녹게 된다.<sup>1,2,4,5)</sup>

버어너를 사용하여 필터에 누적된 매연을 연소시키는데 있어서의 최적조건 설정에 관한 연구는 Sachdev R. 등<sup>15)</sup>, Hiroshige Mizuno 등<sup>46)</sup>, Minoru Arai 등<sup>47)</sup> 및 Húthwohl G. 등<sup>48)</sup>에 의하여 많은 연구가 이루어졌으며 Gulati S.T. 등<sup>49,50)</sup>은 세라믹필터의 강도와 열충격 저항에 관한 연구와 세라믹필터의 설계 캐닝(canning) 등에 관한 연구를 실시하였다.

또한 Ullman T.C. 등<sup>51)</sup>과 MacDonald J.S. 등<sup>52)</sup>은 세라믹필터에 의하여 매연을 여과하고 경유버어너로 재생을 실시하는 후처리장치를 버스와 트럭에 설치하여 실용화시험을 실시하였으며 특히 McDonald J.S. 등은 이 장치를 대형디젤엔진에 설치하여 엔진다이나모메타상에서 100,000 마일에 해당하는 누적주행시험을 실시하였으나 필터에 아무런 이상이 없었으며 11.1ℓ 350마력의 대형트레라에 설치하여 실제 노상주행시험을 6,650 마일 실시하였다.

디젤버어너에 의한 재생기술은 필터내의 급격한 온도상승에 의한 필터의 용융현상을 방지하기 위한 필터내의 매연누적량, 배기가스온도 및 산소농도등을 적절히 조절하는 기술개발과 버어너의 내구도 및 신뢰성 확보가 이 장치의 실용화에 가장 중요한 요인이 될 것이다.

### 제 3 절 세라믹매연여과장치의 시제품제작

#### 1. 세라믹 매연필터

Corning Glass사에서 제작 공급하고 있는 세라믹 매연필터(ceramic diesel filter)의 크기 및 최대매연 포집량을 표 4-1에 나타내었으며 본 연구에 사용된 세라믹 매연필터의 제원은 표 4-2와 같다.

표 4-1에 나타낸 크기별 매연 최대 포집량은 세라믹 매연필터장치의 설계에 아주 중요한 자료로 사용된다.

Table 4-1 Maximum Recommended Soot-Loading vs. Diesel Filter Sizes

Size Diam. X Length (Inches)	Maximum Soot Loading (Grams)
5.66 × 6	15
7.5 × 7	30
7.5 × 8	35
8.0 × 8	40
9.0 × 9	55
9.0 × 12	75
10.0 × 12	90
10.5 × 12	100
11.25 × 12	120



Table 4-2 Characteristics of Wall Flow Diesel Filter for Sample

Item	Characteristics
Diameter	11.25"(285.8 mm )
Length	12.0" (304.8 mm )
Cell Density	100 cell / in <sup>3</sup>
Wall Thickness	17 × 10 <sup>-3</sup> inch (0.43 mm )
Composition	EX-66
Coeff. of Thermal Expansion	11.0 × 10 <sup>-7</sup> / °C
Crush Strength along a Axis	1000 psi
Mean Pore Size	35 Micron
Fiteration Efficiency	> 70 %

## 2 . 세라믹 매연필터의 캐닝 (Canning)

세라믹 필터의 캐닝을 위한 재료는 세라믹 매연필터를 감싸는 매트(mat)와 캐닝재질(stainless steel plate)로 구성되어 있으며 그 제원은 각각 표 4-3 및 표 4-4와 같다.

특히 매트는 스폰지 같은 돌 섬유로 제작된 것인데 충격에 완충역할을 하여야 하고 열변형에 충분히 견딜 수 있어야 한다.

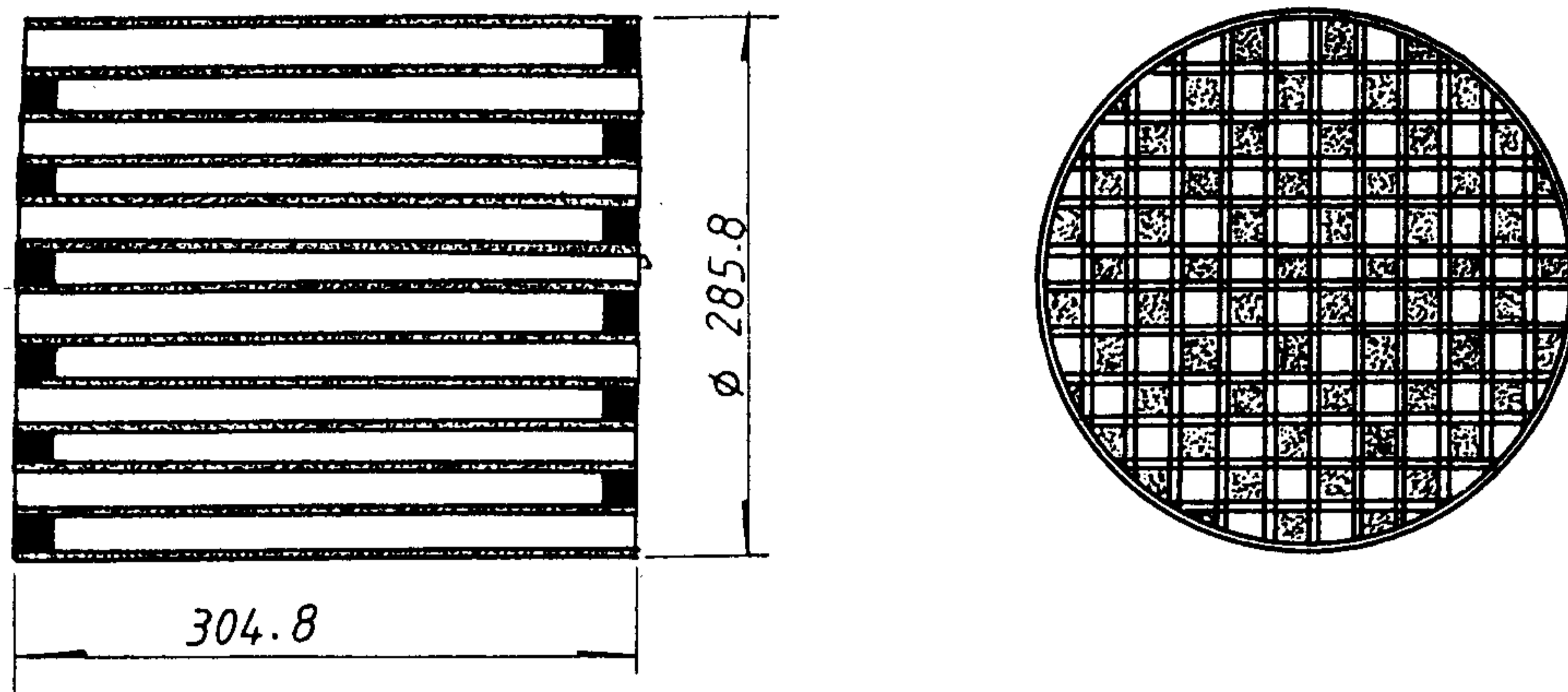
본 연구에서 설계 제작한 세라믹 매연필터는 그림 4-3과 같이 설계하였으며 기존 시내버스(rear engine type)에 설치할 수 있도록 설계하고 배기가스의 흐름이 선회를 하면서 들어가게 하였다.

Table 4-3 Physical Characteristics of Interam<sup>R</sup> Mat  
(Nominal Values)

Items	Type III
Weight per Unit Area	0.63 LB/FT <sup>2</sup>
Free Thickness	0.248 IN
Mounted Thickness	0.210 IN
Free Density	31 LB/FT <sup>3</sup>
Mounted Density	35 LB/FT <sup>3</sup>
Max. Pressure at Mounted	40 PSI
Density and 1112 ° F	
Shear Modulus	50 PSI
Thermal Conductivity $\alpha$ 200 ° F	0.033 BTU/FT/HR/ ° F
$\alpha$ 800 ° F	0.080 BTU/FT/HR/ ° F

Table 4-4 Physical Properties of Can Materials (Stainless Steel)

Items	AISI Type 409
Density	0.28 LB/IN <sup>3</sup>
E-Modulus	29 × 10 <sup>6</sup> PSI
Coeff. of Thermal Expansion :	
0- 210 ° F	55.6 × 10 <sup>-7</sup> / ° F
0-1110 ° F	66.7 × 10 <sup>-7</sup> / ° F
Thermal Conductivity	46.8 × BTU/FT/HR/ ° F



(Ceramic Diesel Filter)

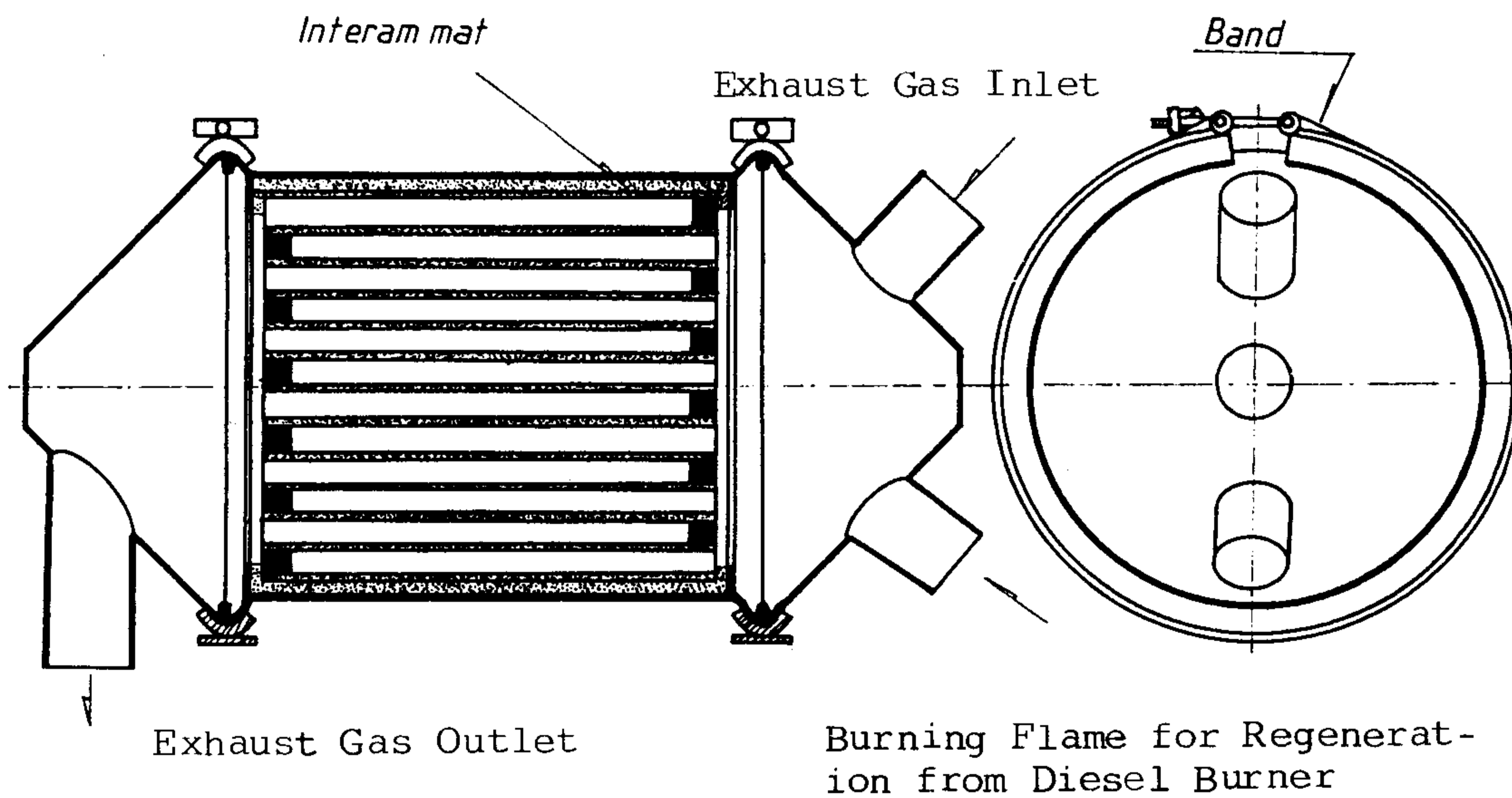


Fig. 4-3 Drawing of ceramic diesel filter canning

### 3 . 연소장치

#### 가. 버너

세라믹 필터속의 매연을 태우기 위해서는 전기코일과 가스연료등 여러가지가 있으나 본 연구에서는 경유를 연료로 하여 연소시킬 수 있는 버너를 선정하였다. 이 버너는 기존버스에 사용하는 경유를 그대로 사용하기 때문에 별도의 연료가 필요치 않는다.

표 4-5 는 본 연구에 사용된 경유버너의 제원이다.

Table 4-5 Specification of Diesel Burner

Items	Specification
Model	RB 250
Power	DC 12V
Caloric	100,000 Btu/hr
Maker	WEBSTO Co. U.S.A

#### 나. 제어 장치

이 제어장치는 버너의 연소조건 ( 부로워 작동시간, 버너 작동시간을 맞추어 놓으면 자동적으로 운전되도록 하였으며 운전조건은 다음과 같다.

부로워 작동시간 : 20 초

버너 작동시간 : 90 초

부로워 작동시간 : 100 초

이 운전조건은 누적된 매연의 연소시 과열을 방지하기 위하여 본 연구에서 제작된 매연필터를 사용 많은 실험결과 설정된 수치이다.

버어너에는 과열방지를 위하여 버어너 몸체 부분의 온도가 650°C 이상이 되면 안전스위치가 작동되어 자동으로 모든 회로가 차단되게 되어있다. 그리고 버너의 제어회로의 설계도는 그림 4-4 와 같다.

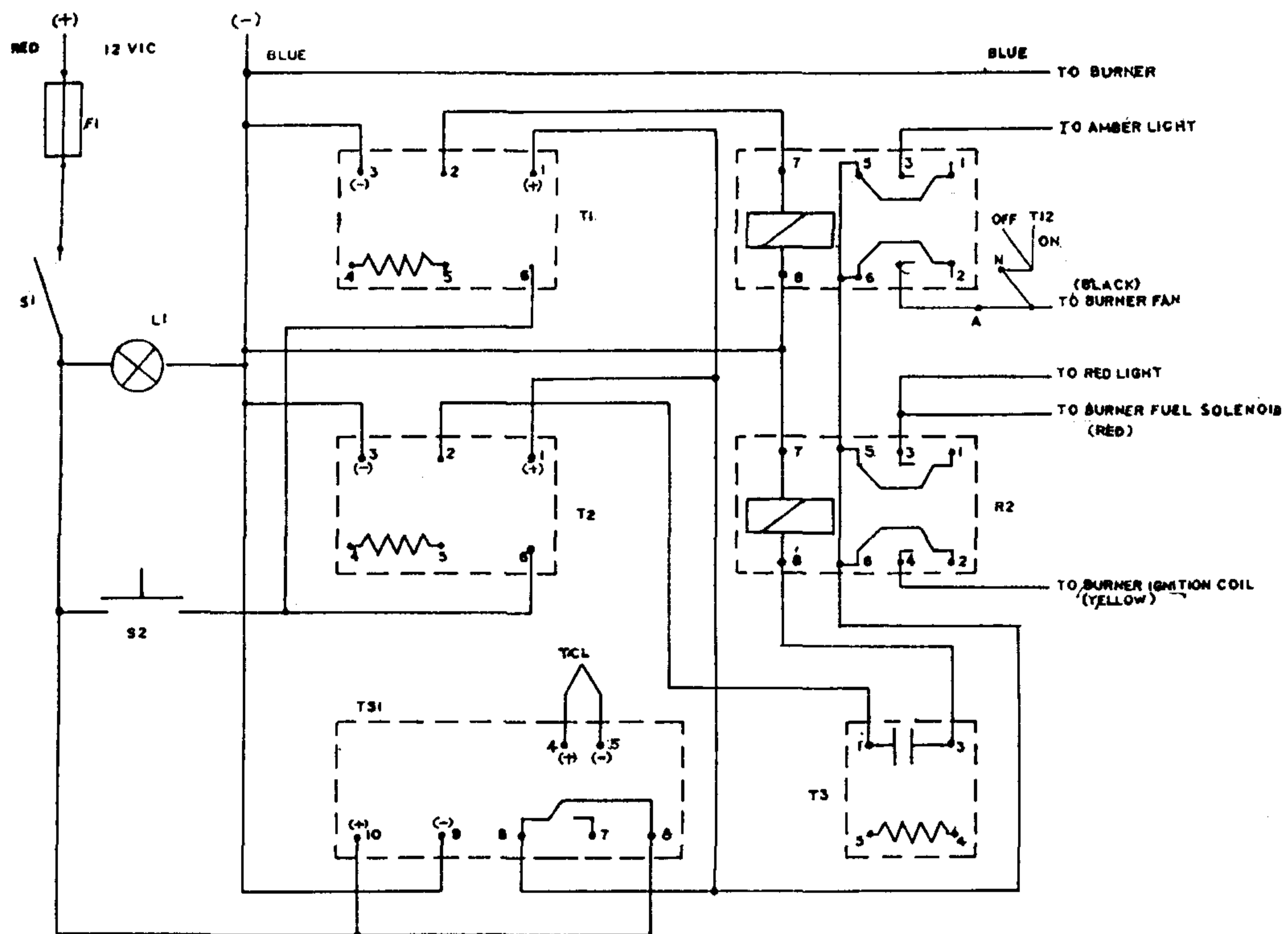


Fig.4-4 Wiring diagram of diesel burner

#### Parts List

- T1-Time delay relay, delay off, set at 20sec
- T2-Time delay relay, delay off, set at 90sec
- T3-Time delay relay, delay, on, set at 100sec
- R1&R2-Relay, ipdt, 12VDC, 10AMPS
- TS1-Temperature controller, 12VDC, type 'K', set at 650Deg c
- S1-Switch, toggle type, 12VDC, 15AMP
- TC1-Thermocouple, type 'K' ungrounded
- S2-Switch momentary contact, push button, 12VDC, 1AMP
- L1-Lamp, green, 12VDC
- F1-Fuse, 12VDC, 15AMP

## 제 4 절 세라믹 매연여과장치의 실험실적 시험

### 1. 시험내용 및 방법

#### 1.1 시험장치

제 3 절에서 제작한 시작품의 매연여과 누적 및 재생조건을 설정하기 위하여는 실험실의 엔진다이내모미터상에서 시험대상 엔진을 시가지 실주행조건에서 운전시 배출되는 매연을 여과 누적시키고 일정 배압에 도달하면 경유버어너로 재생하여 최적재생조건을 찾아내야 한다.

그러므로 본 연구에서는 시작품의 제작에 참여한 캐나다 ORF( Ontario Research Foundation )의 Advanced Engineering & Manufacturing Division 의 엔진다이내모미터 ( General Electric co U.S.A ) 를 사용하여 서울시내의 시내버스 실주행모우드인 트랜지언트 모우드를 사용 매연누적 및 재생조건을 설정하였다.

그리고 시작품의 실차시험후 문제점의 보완을 위하여 엔진다이내모미터 ( Nishishiba Electric Co, Japan ) 상에서 시작품의 재생조건을 다시 시험하였다.

본 연구에서 사용된 시험장치의 구성도는 그림 4-5 및 그림 4-6과 같다.

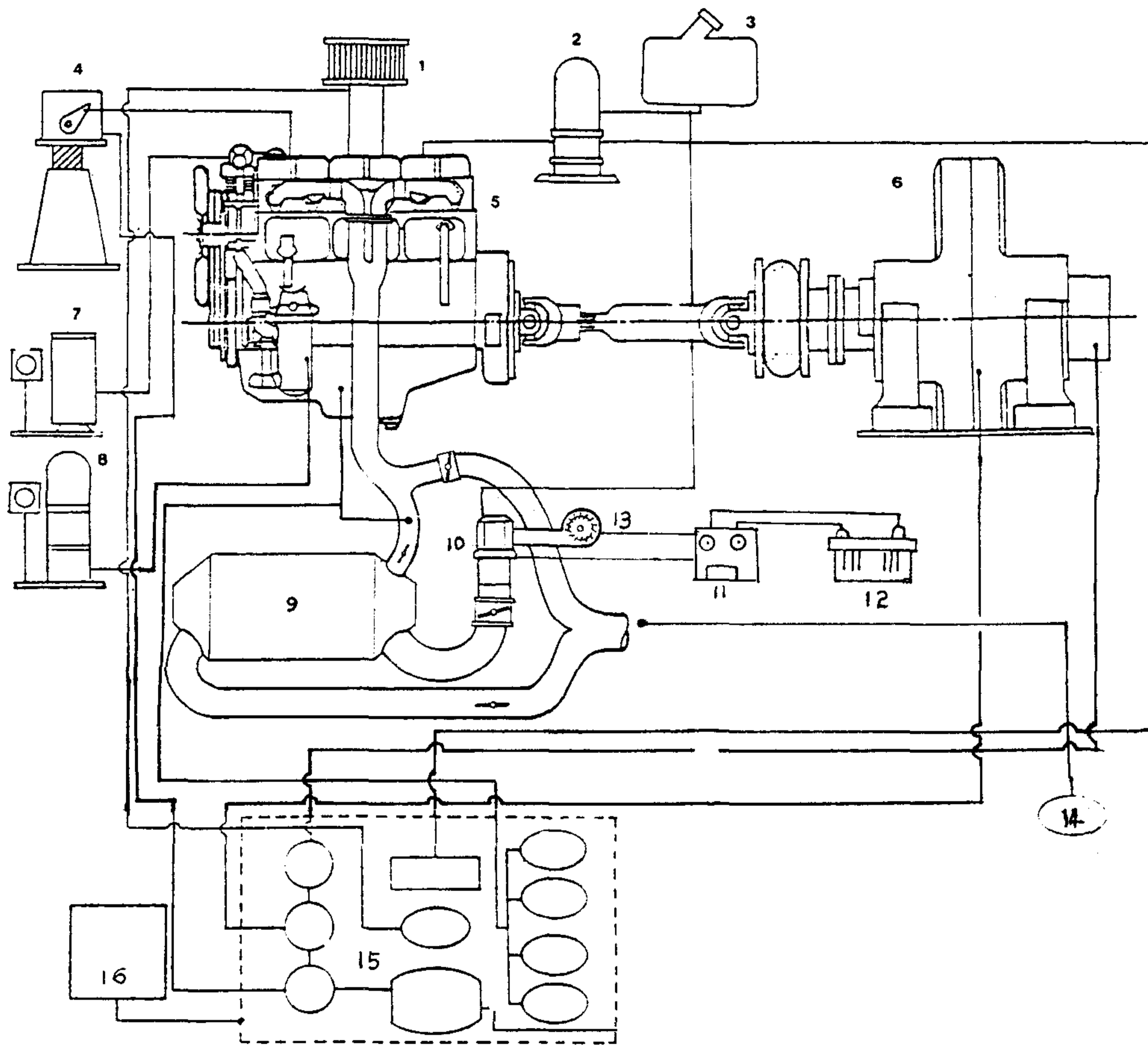
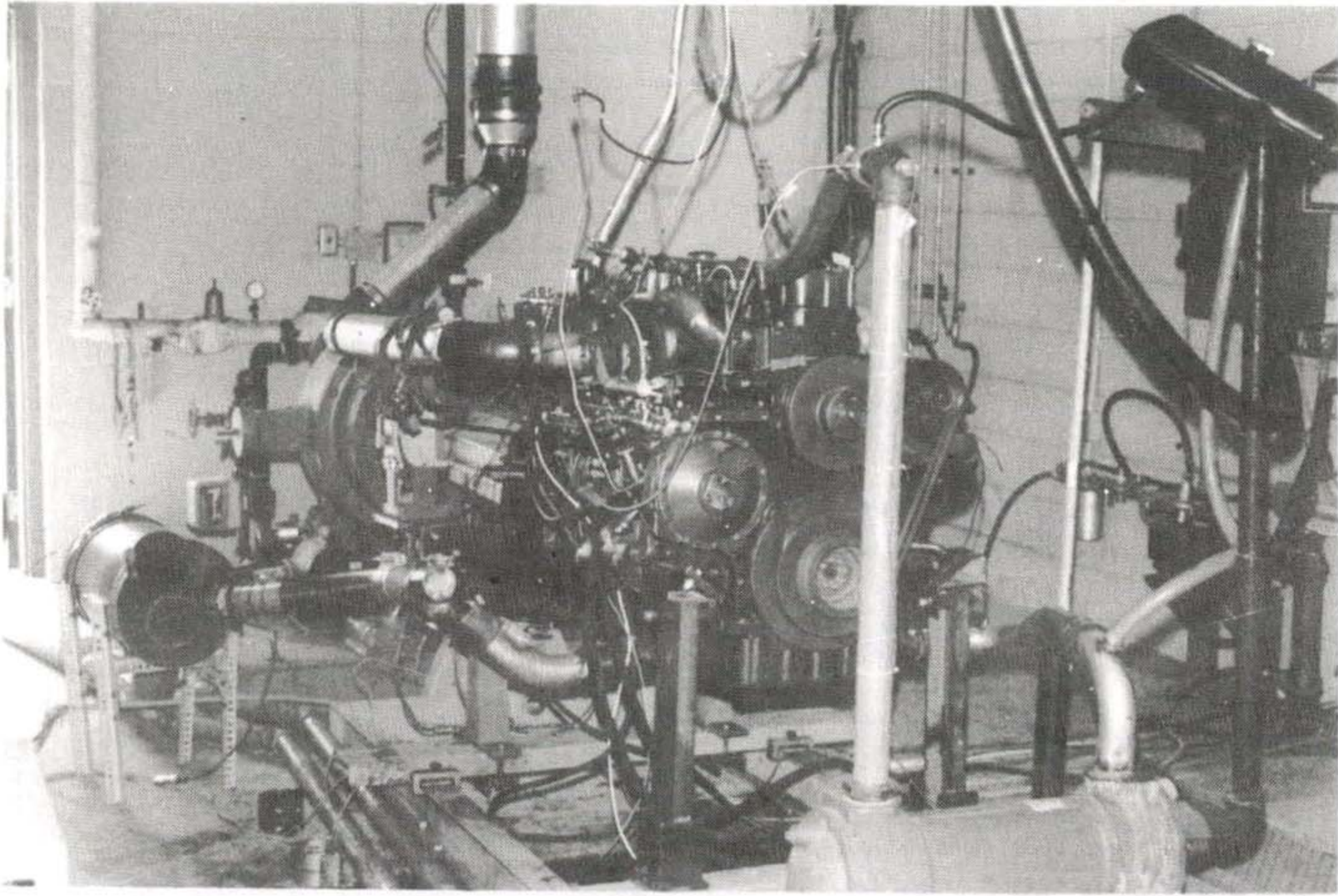
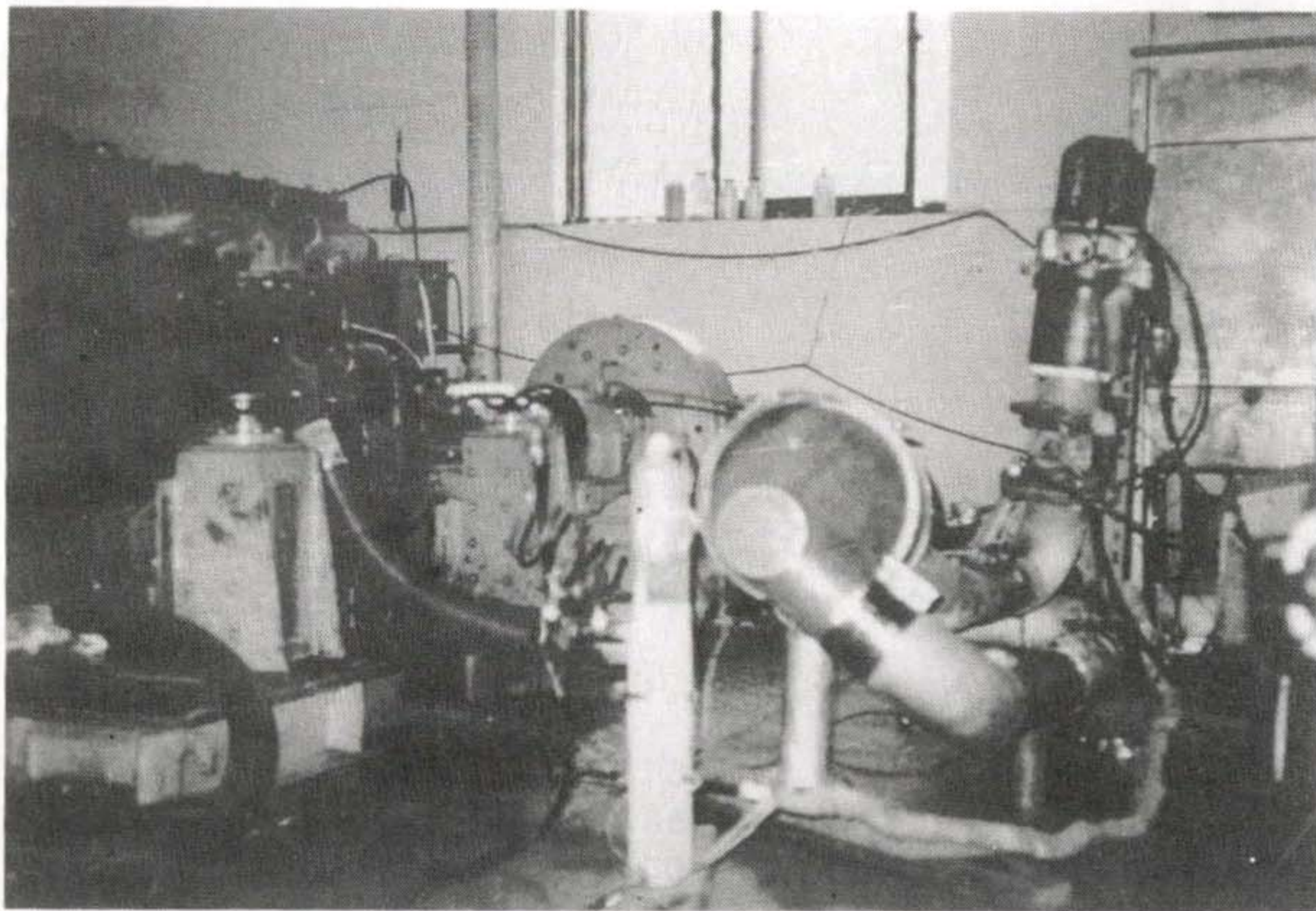


Fig.4-5 Schematic diagram of engine test bench

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Laminar air flowmeter    | 9. Ceramic diesel filter          |
| 2. Fuel flowmeter           | 10. Diesel burner                 |
| 3. Fuel tank(Diesel)        | 11. Diesel burner controller      |
| 4. Throttle actuator        | 12. Battery(12V)                  |
| 5. Test engine              | 13. Additional blower             |
| 6. Engine dynamometer       | 14. Smoke meter                   |
| 7. Cooling water controller | 15. Engine dynamometer controller |
| 8. Engine oil cooler        | 16. 6 pen recorder                |



( Engine test bench of ORF )



( Engine test bench of NIER )

Fig.4-6 View of engine dynamometer test bench



## 1.2 시험용 엔진

본 연구에 사용된 시험용 엔진은 현재 우리나라에서 시내버스용으로 가장 많이 사용되고 있는 D0846HM(6기통, 배기량 7255CC) 엔진을 사용하였다.

세라믹 매연필터의 매연 여과누적 및 재생조건 평가시험에 앞서 시험용 엔진에 대한 기본 성능을 측정하였다. 그림 4-7은 엔진의 회전수 변화에 따른 토오크 변화를 나타낸 것이며 이 엔진의 최대 토오크는 1600~1800 rpm 사이에서 나타나고 있음을 알 수 있다.

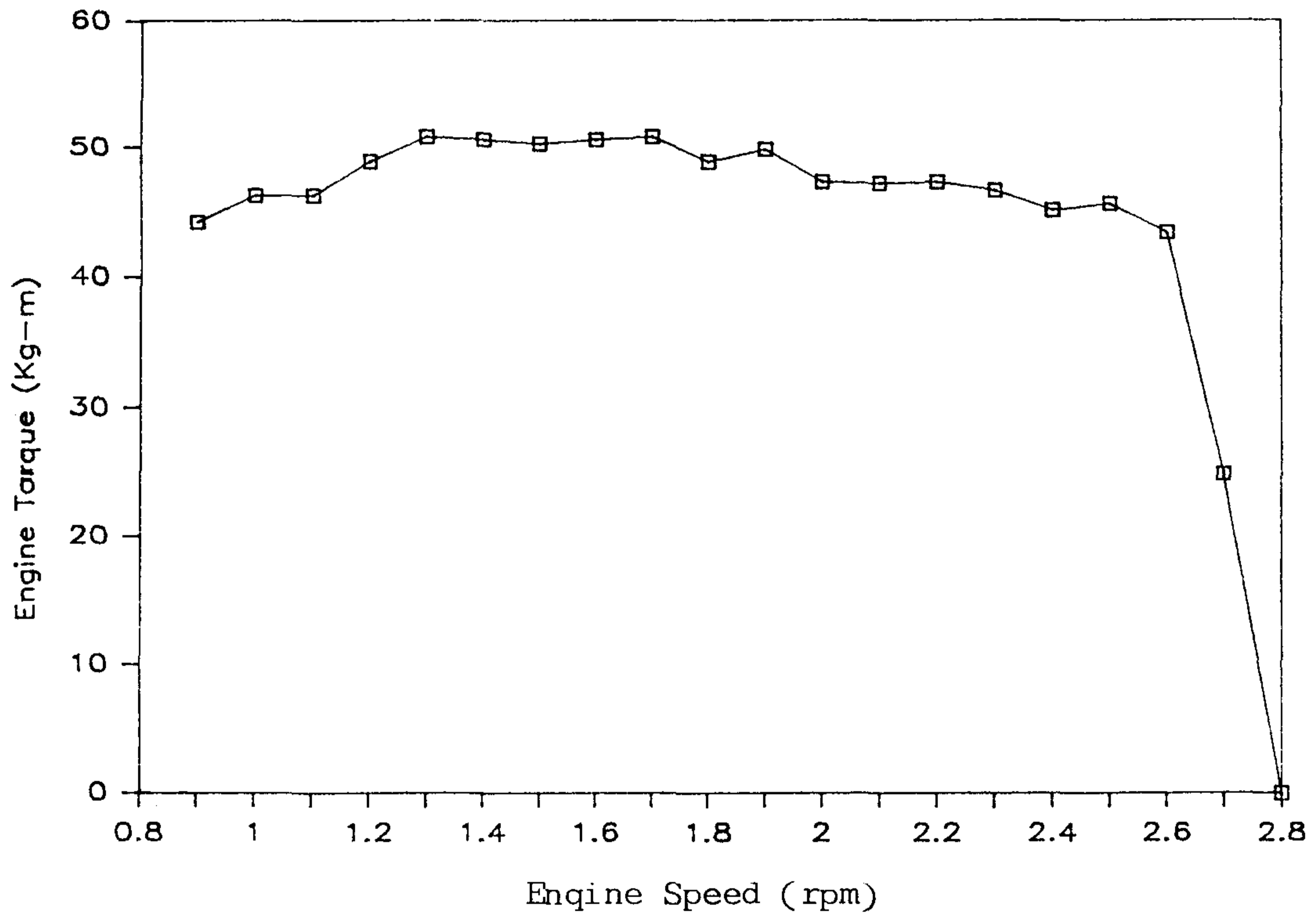


Fig. 4-7 Characteristics of baseline according to engine torque and engine speed change

그림 4-8 은 D0846 HM 엔진의 단위 마력당 연료소비량을 측정한 것이다. 연료소비율이 가장 낮은 부분은 1700~1900 rpm 근처이다.

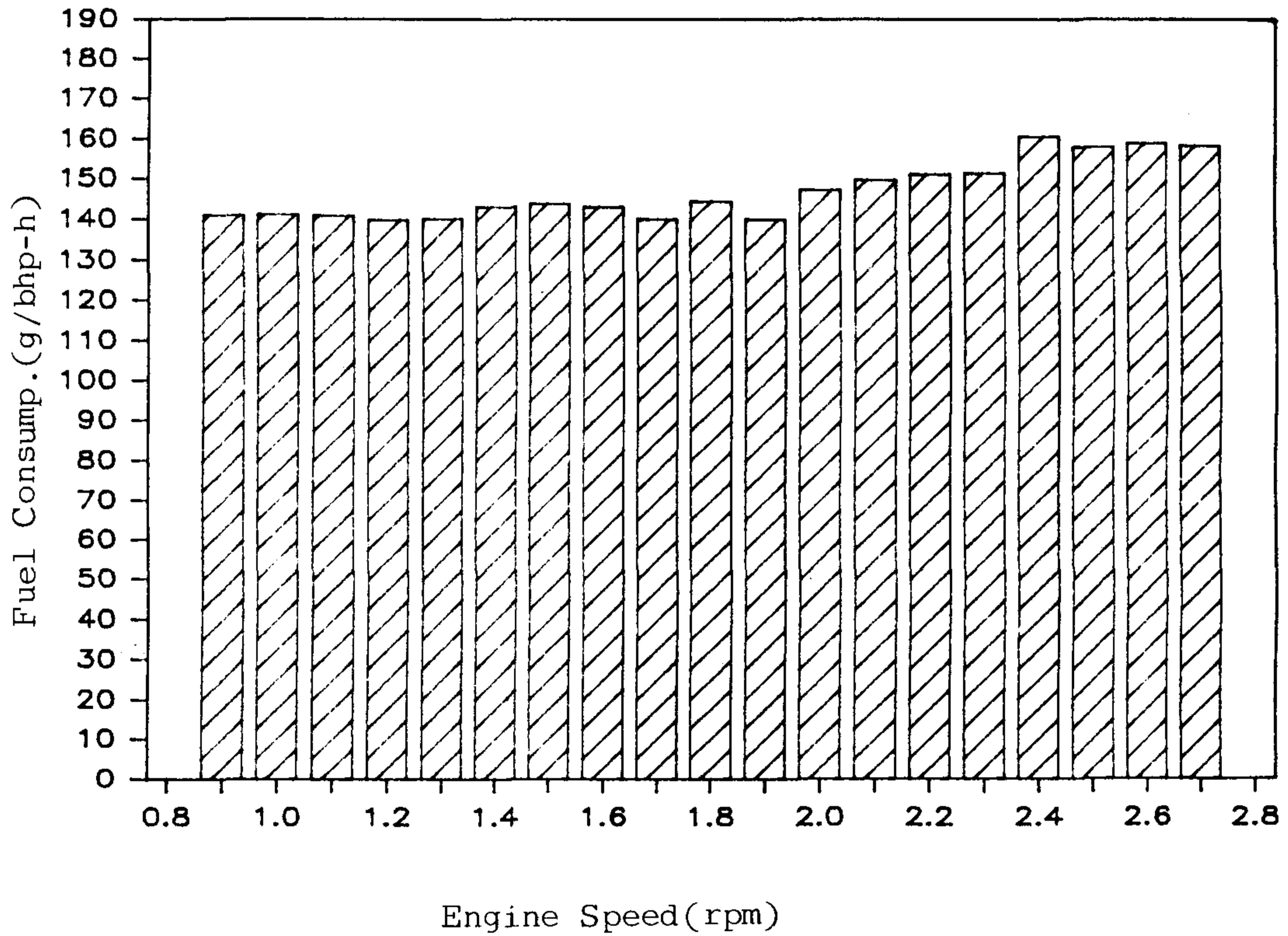


Fig. 4-8 Characteristics of baseline by fuel consumption and engine speed change

그림 4-9은 D0846HM 엔진의 정격출력을 측정 한 것이다. 이 엔진의 정격출력은 그림에서와 같이 2,500 rpm에서 160 마력 (KS) 이상으로 됨을 알 수 있다. 2,600rpm 이상에서는 버너의 연료제어로 인하여 마력이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

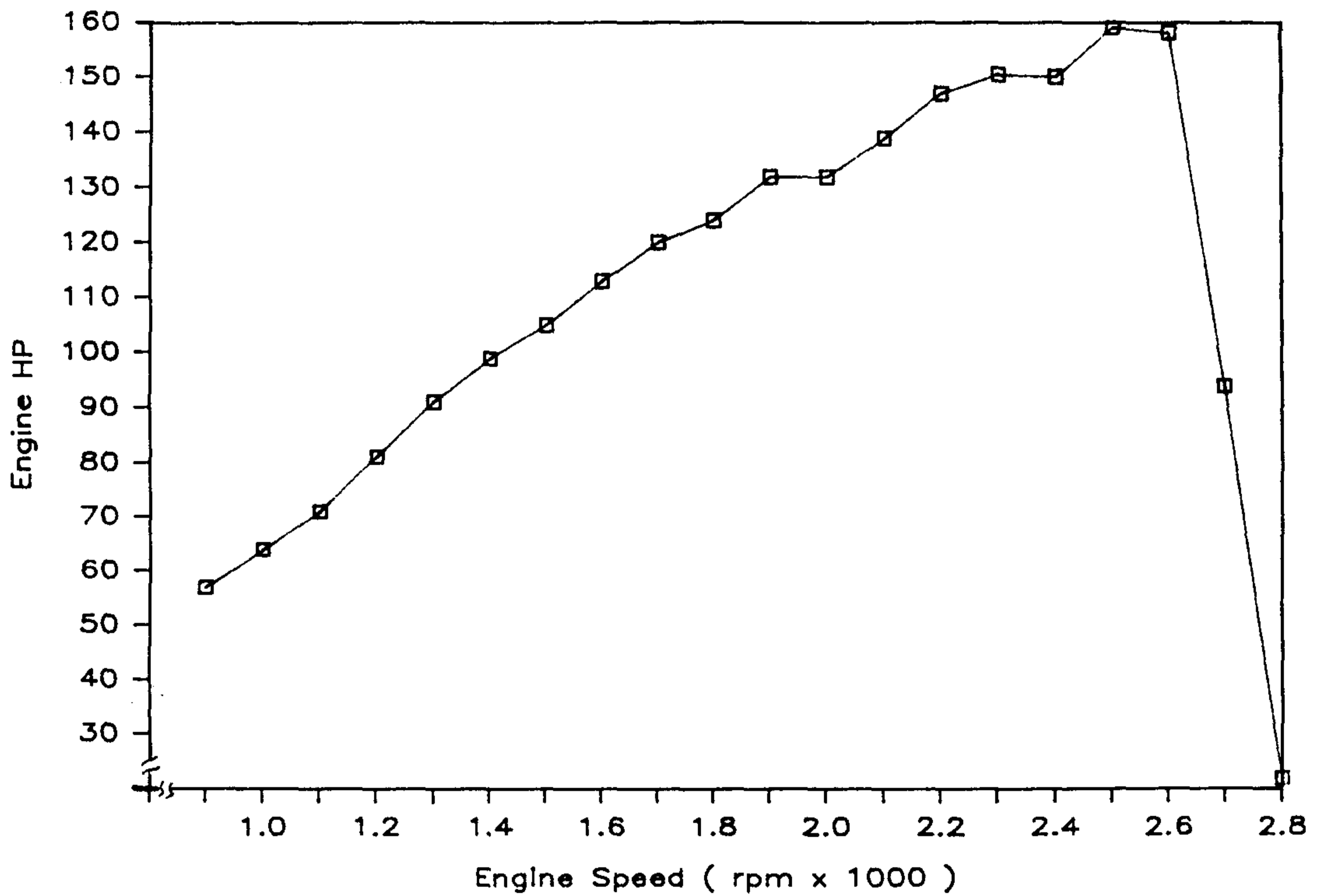


Fig.4-9 Characteristics of baseline according to horse power and engine speed change

그림 4-10은 엔진이 전부하 상태에서의 엔진 회전수에 따른 연료 소비량을 나타내고 있다. 연료 소비량은 엔진 회전수의 증가에 따라 거의 일직선으로 비례함을 알 수 있다.

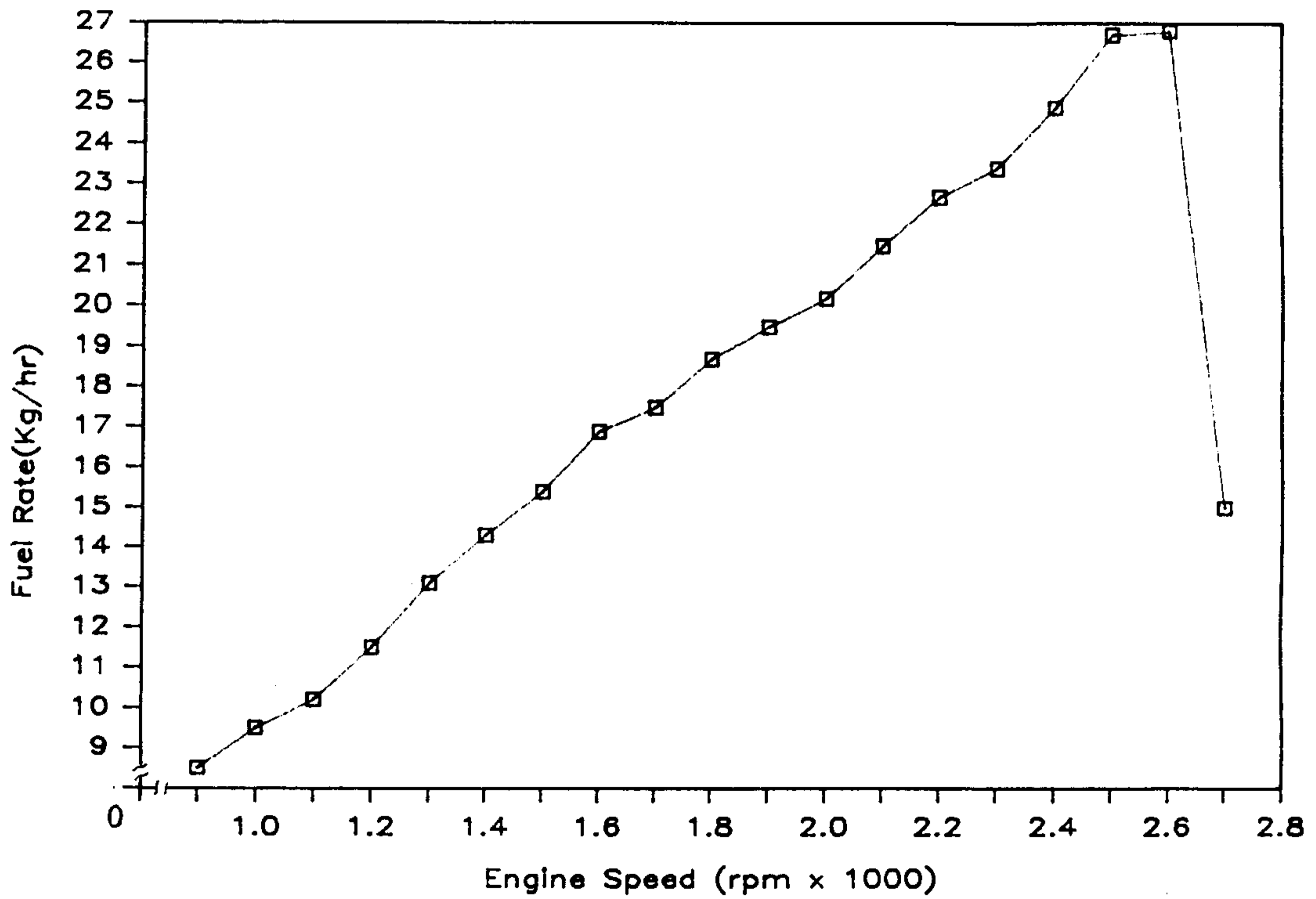


Fig.4-10 Characteristics of baseline according to fuel rate and engine speed change

그림 4-11은 엔진의 성능특성 측정시 동시측정한 배기가스의 온도를 기록한 결과이다.

그림에서 보면 전부하 상태에서의 배기가스 온도는 550 °C 에서 650 °C 까지 나타나고 있다.

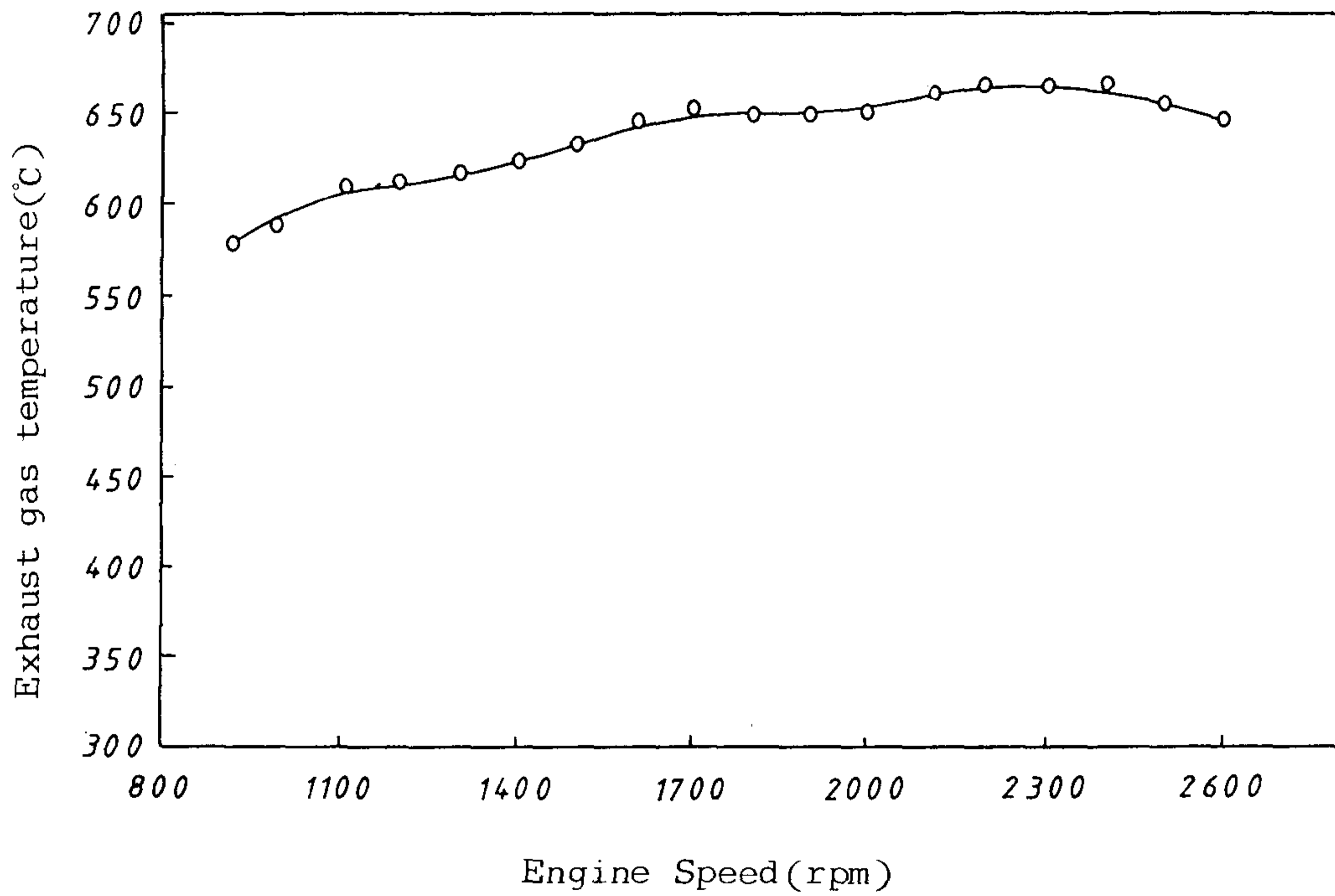


Fig.4-11 Characteristics of baseline according to exhaust gas temperature and engine speed change

그림 4-12는 각 회전수에서 부하 ( load )를 5 단계로 분류하여 토오크의 변위곡선을 그려본 것인데, 최대토오크는 1600rpm ~ 1900rpm의 범위에서 가장 높게 나타난다.

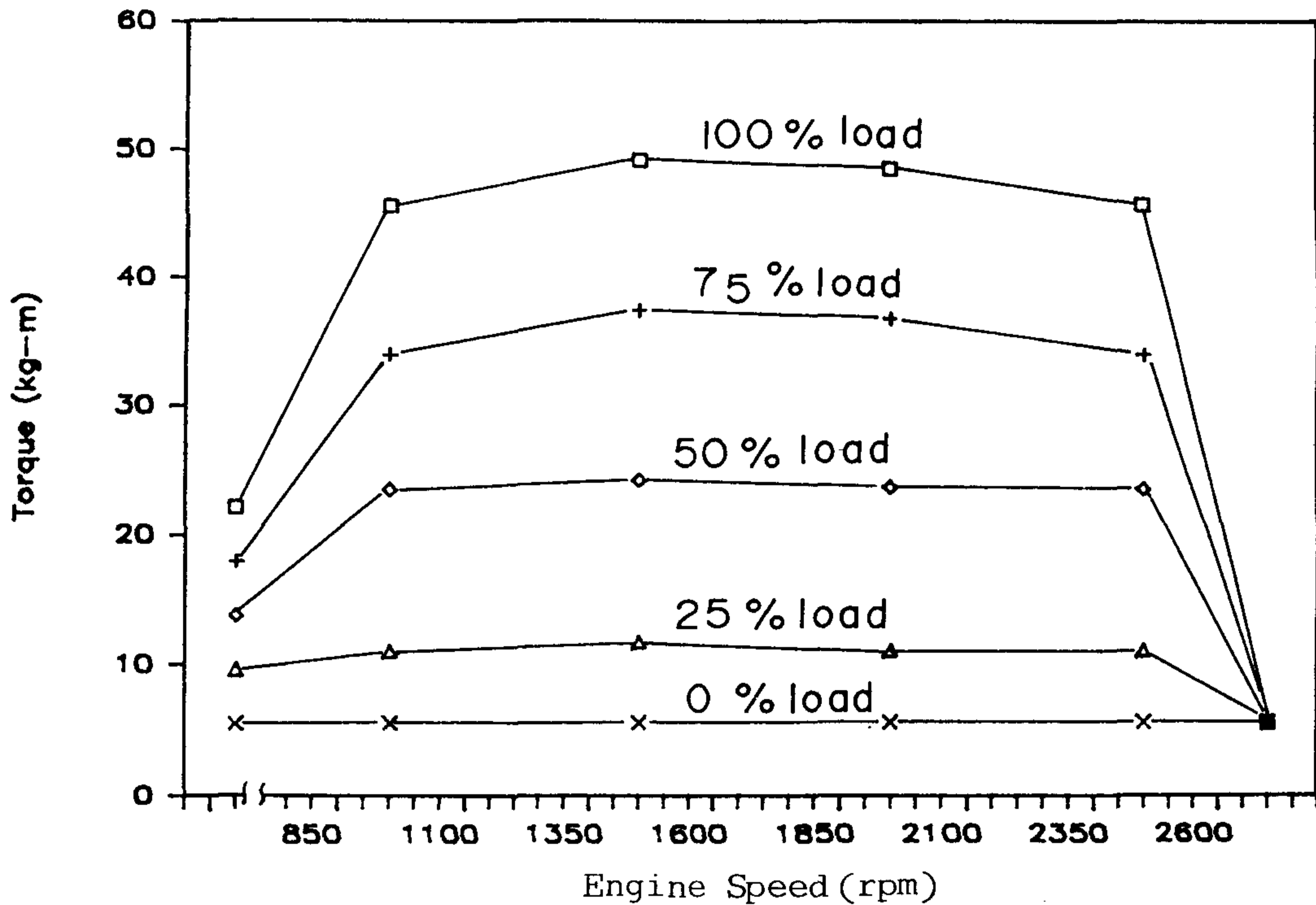


Fig.4-12 Characteristics of engine load according to torque and engine speeds

### 1.3 매연여과효율 특성

본 연구에서 사용된 세라믹매연필터의 매연여과효율의 특성은 그림 4-13 및 4-14와 같다.

그림 4-13은 세라믹의 사용시간에 따라 매연여과효율을 나타낸 것인데 거의 70%이상의 매연여과효율을 보이고 있다.

그림 4-14는 세라믹의 셀 ( Cell ) 두께에 따른 매연저감효율의 특성

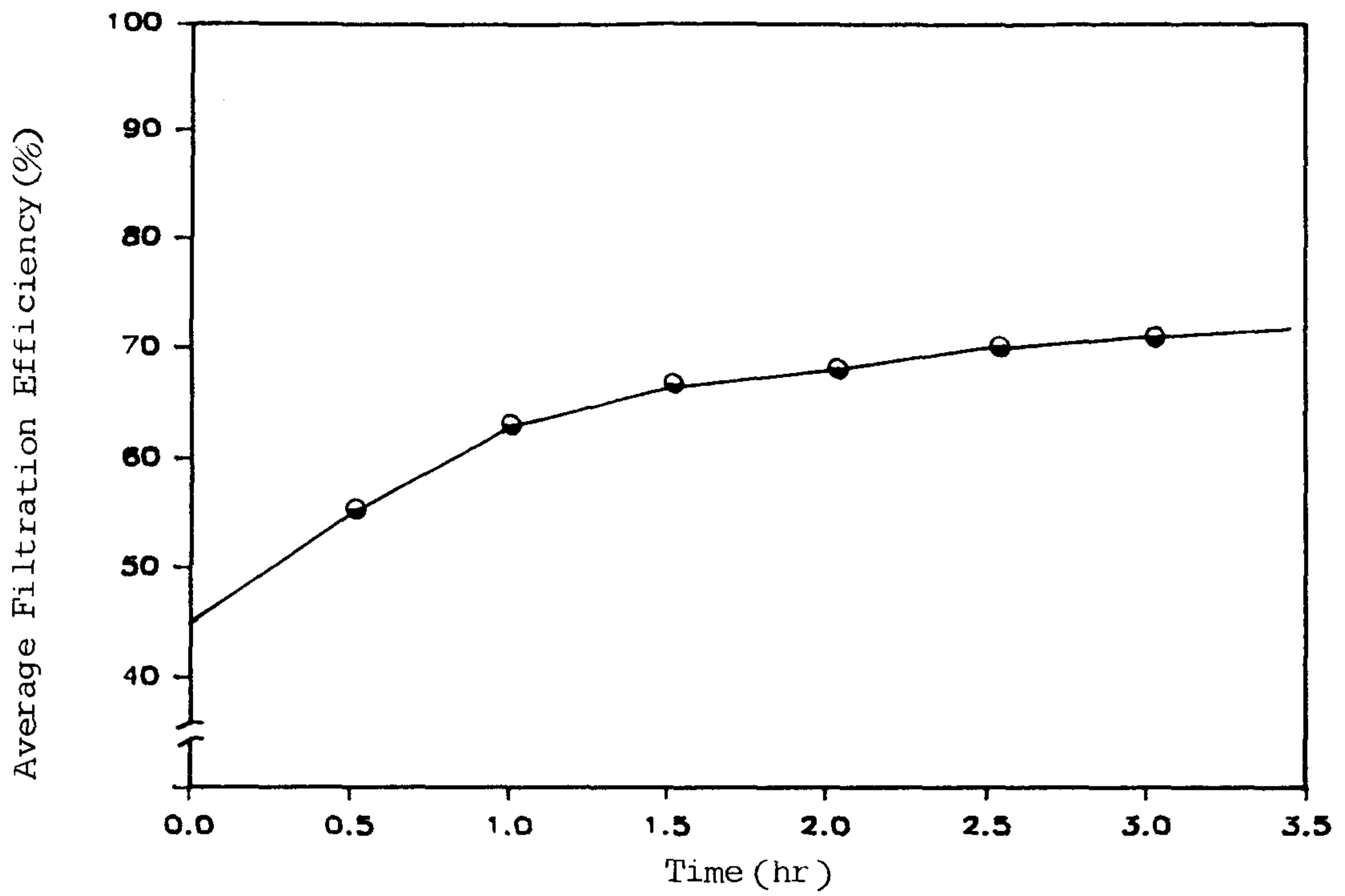


Fig.4-13 Efficiency change with loading time

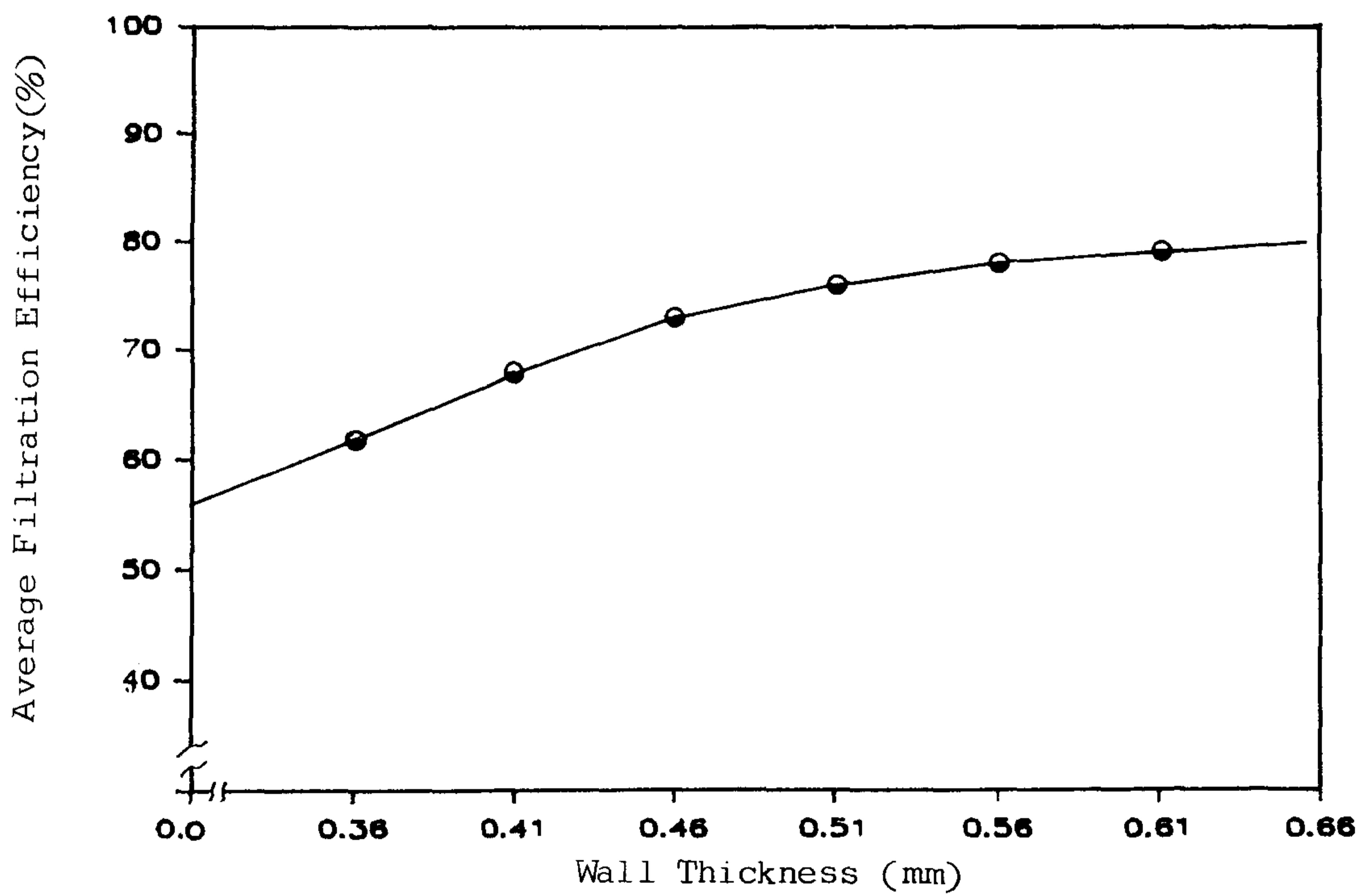


Fig.4-14 Efficiency change with wall thickness

곡선이다. 셀의 두께가 두꺼울수록 매연저감 효율은 좋은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 셀두께가 0.43 mm로서 매연저감효율이 70% 이상인 것을 사용하였다.

그림 4-15는 세라믹매연필터의 배기가스 압력강하에 따른 매연입자의 포집량을 나타낸 특성곡선이다. 배기유량이 크고 압력강하가 작을수록 매연입자의 포집량은 작게 나타난다.

그리고 그림 4-16은 매연입자의 축적시간에 따른 배압상승곡선, 나타낸 것인데 거의 일직선 상으로 배압이 상승하는 것을 볼 수 있다.

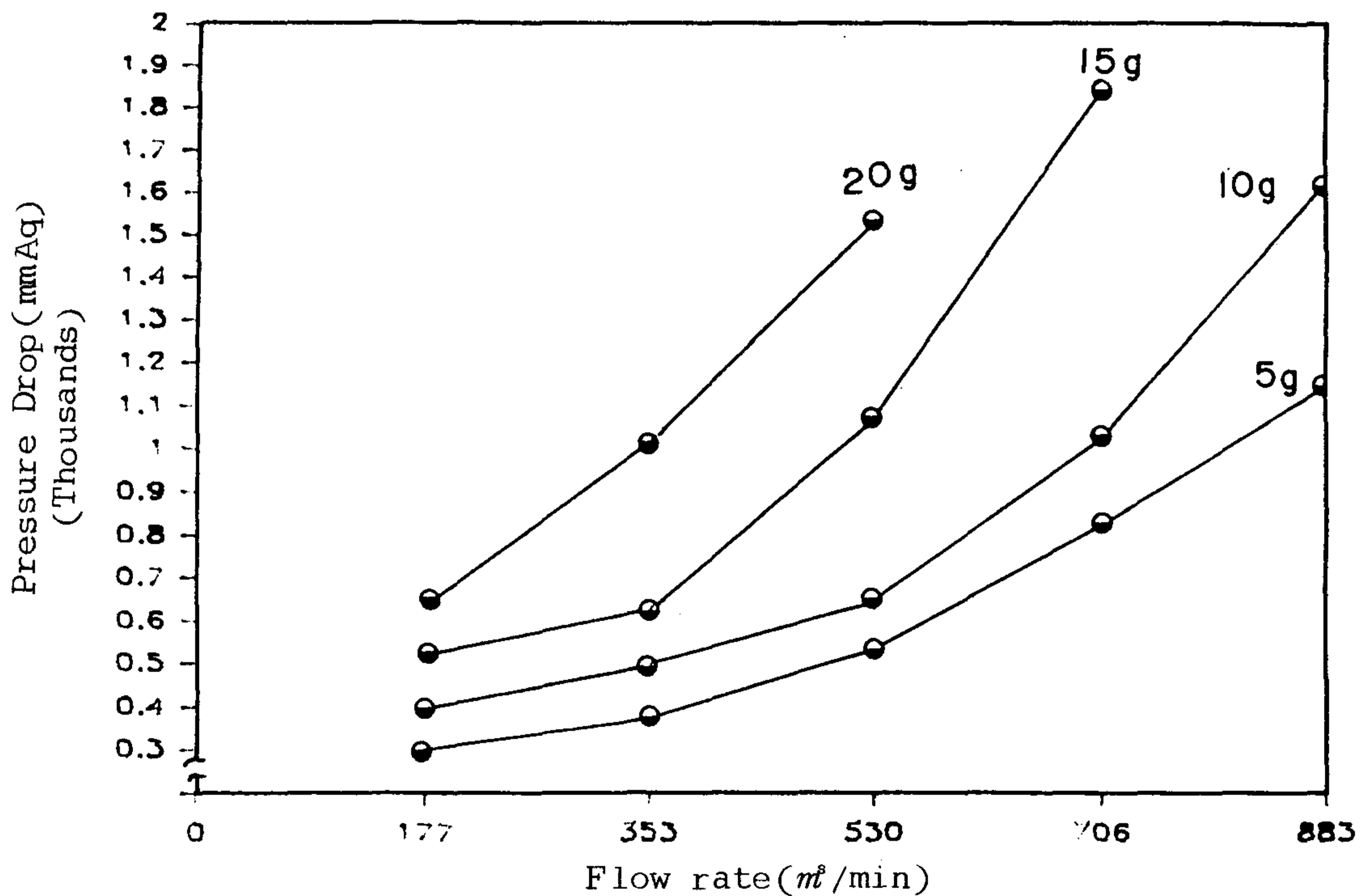


Fig.4-15 Soot loading effect on pressure drop



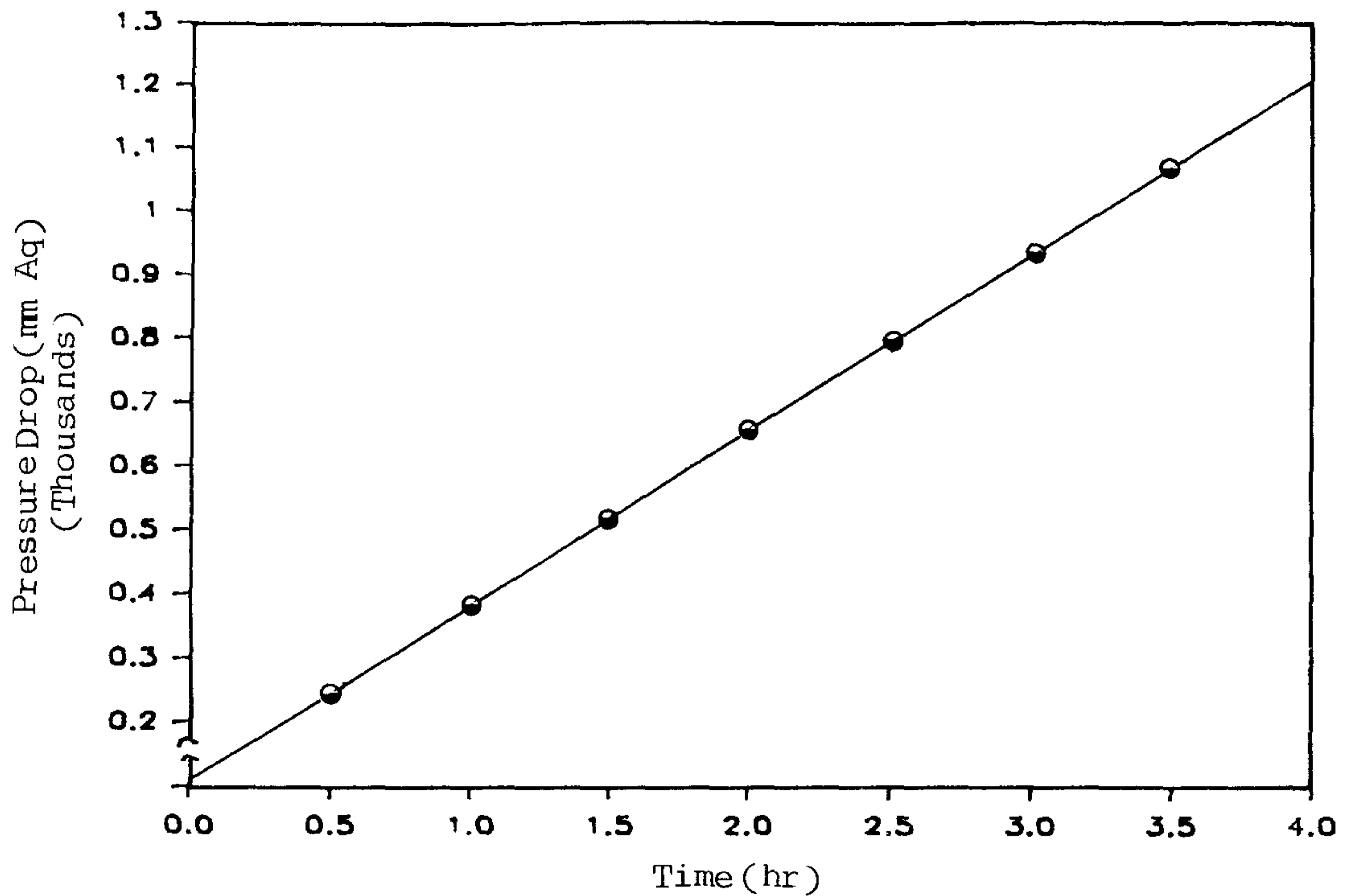


Fig.4-16 Pressure drop change over time

#### 1.4 시험주행모우드

1 차년도 ( 1985 년 ) 연구사업중 경유자동차의 오염물질 배출량조사 를 위하여 실시한 바 있는 서울시내버스의 주행패턴 측정 자료 중 엔진의 플런저 랙크각도와 부하측정 관계 자료 및 엔진회전수 등을 가지고 transient mode 운전 을 위한 입력자료로 활용하여 그림 4-17 과 같은 transient mode 를 구하고 이 모우드에 의하여 매 연누적시험을 실시하였다. 그리고 세라믹필터의 실차시험중 발생된 제반 기술적 문제점을 보완하기 위해서는 7 모우드에 의한 매연누적 및 재생시험을 실시하였다.

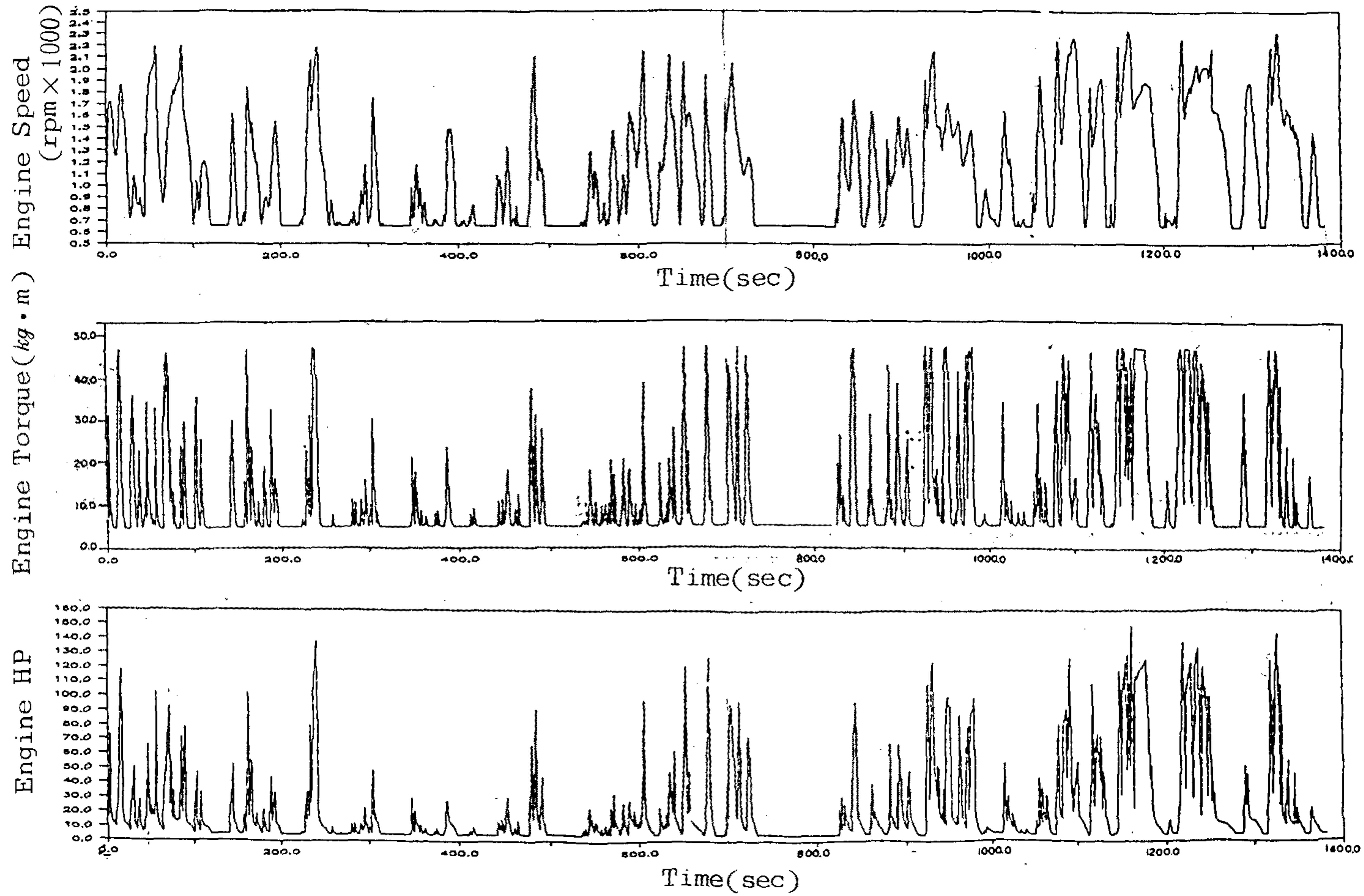


Fig.4-17 Transient mode test cycle for soot loading

## 1.5 시험내용

### 1.5.1 배기가스 온도 및 압력 측정

Transient 모우드 운전시 배출가스의 온도와 압력을 각각 측정하였다. 이때 측정온도는 배기관 ( manifold )에서 세라믹매연필터로 가스가 통과할때의 셀 ( cell )내의 각 부위 온도를 측정하였고 세라믹필터내의 입구압력을 연속 기록하였다.

### 1.5.2 트랜지언트모우드에 의한 매연누적 및 재생시험

실차주행모우드 재현시험으로 연속운전하면서 배압을 기록하였고 배압을 1000 ~ 1700 mm Aq 까지 상승시킨 후에 재생을 시키고 모우드 반복운전을 하였다. 이때 재생은 버어너로 하되 블로워 작동시간 20 초, 버어너 작동시간 90 초 및 블로워 작동시간 100 초를 1 cycle 로 하여 7 회 반복 실시한다.

그리고 트랜지언트 모우드 1 사이클 ( 약 1380 초 ) 동안 세라믹을 부착 전후에 있어서 포집한 매연입자의 저감효율을 측정하였다.

### 1.5.3 매연저감효율 시험

이 시험은 환경청고시 제 87-1 호에 명시된 매연모우드 시험방법으로 세라믹매연필터의 매연여과효율을 측정하였고 매연모우드의 측정은 엔진의 최대출력시 회전수의 40%, 60% 및 100%로 최대부하 상태에서 매연을 측정하였다.

매연모우드의 운전패턴은 그림 4-18 과 같다.

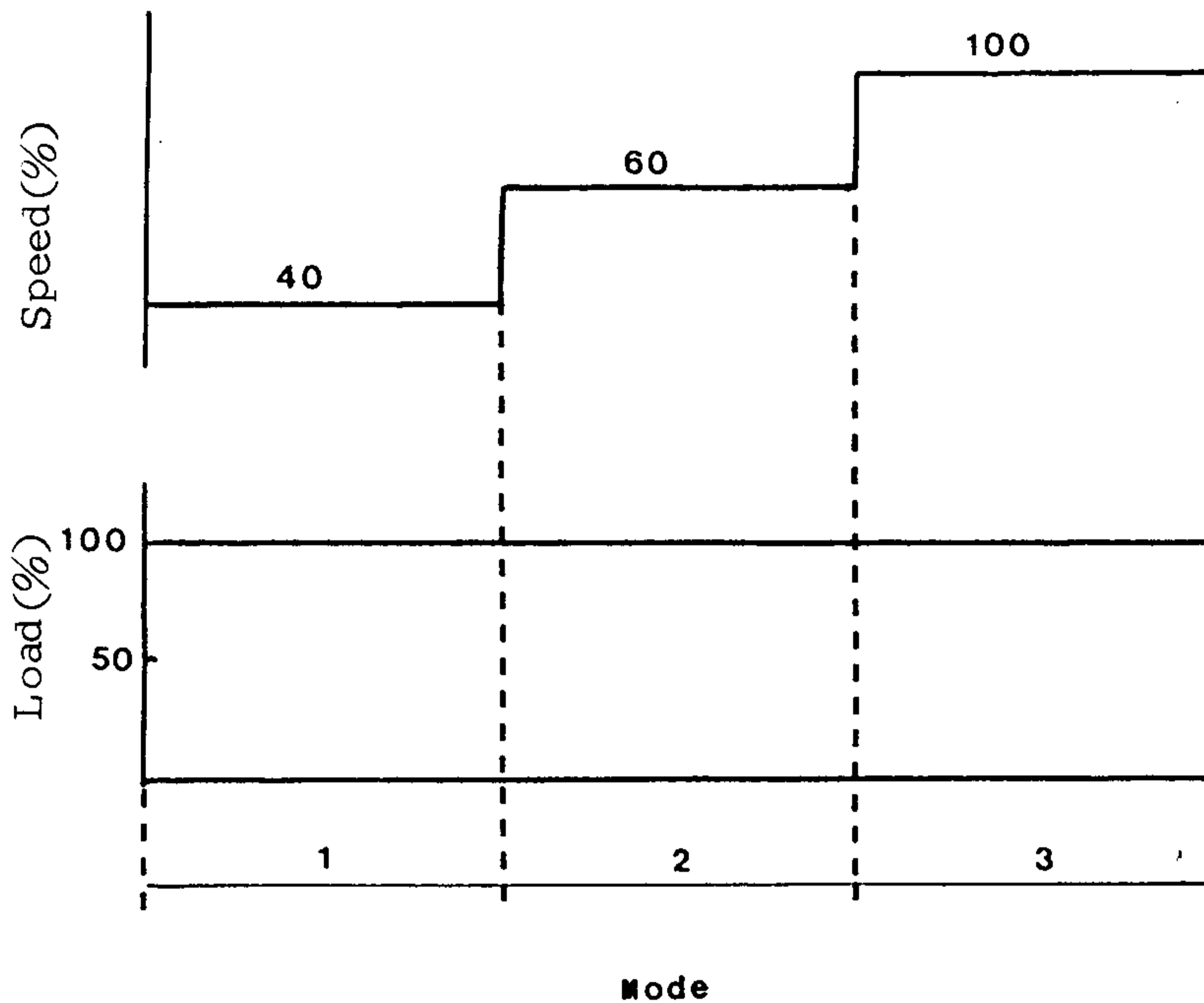


Fig.4-18 Smoke mode driving pattern

## 2. 결과 및 고찰

### 2.1 배기가스온도 및 배압특성

서울시내버스의 실주행패턴에 의해 작성한 트랜지언트모우드 운전으로 시험용엔진 ( D0846 HM ) 을 운전하면 1 사이클 운전중 배기가스의 온도 및 압력의 변화를 그림 4-19 및 4-20 에 나타내었다. 그림 4-19 에서 보면 배기가스의 온도는 최저 160 °C 에서 360 °C 까지 나타났으며 이 온도는 시내버스의 노선주행 상태에서의 배기가스 온도와 비슷한 결과이므로 이 온도만으로는 필터에 여과된 매연의 연소는 일어나지 않는다.

그림 4-20 에서 보면 배기가스 압력은 엔진 회전수 및 엔진의 부하에 따라 다르며 최소 120 mm Aq 에서 700 mm Aq 로 나타났다.

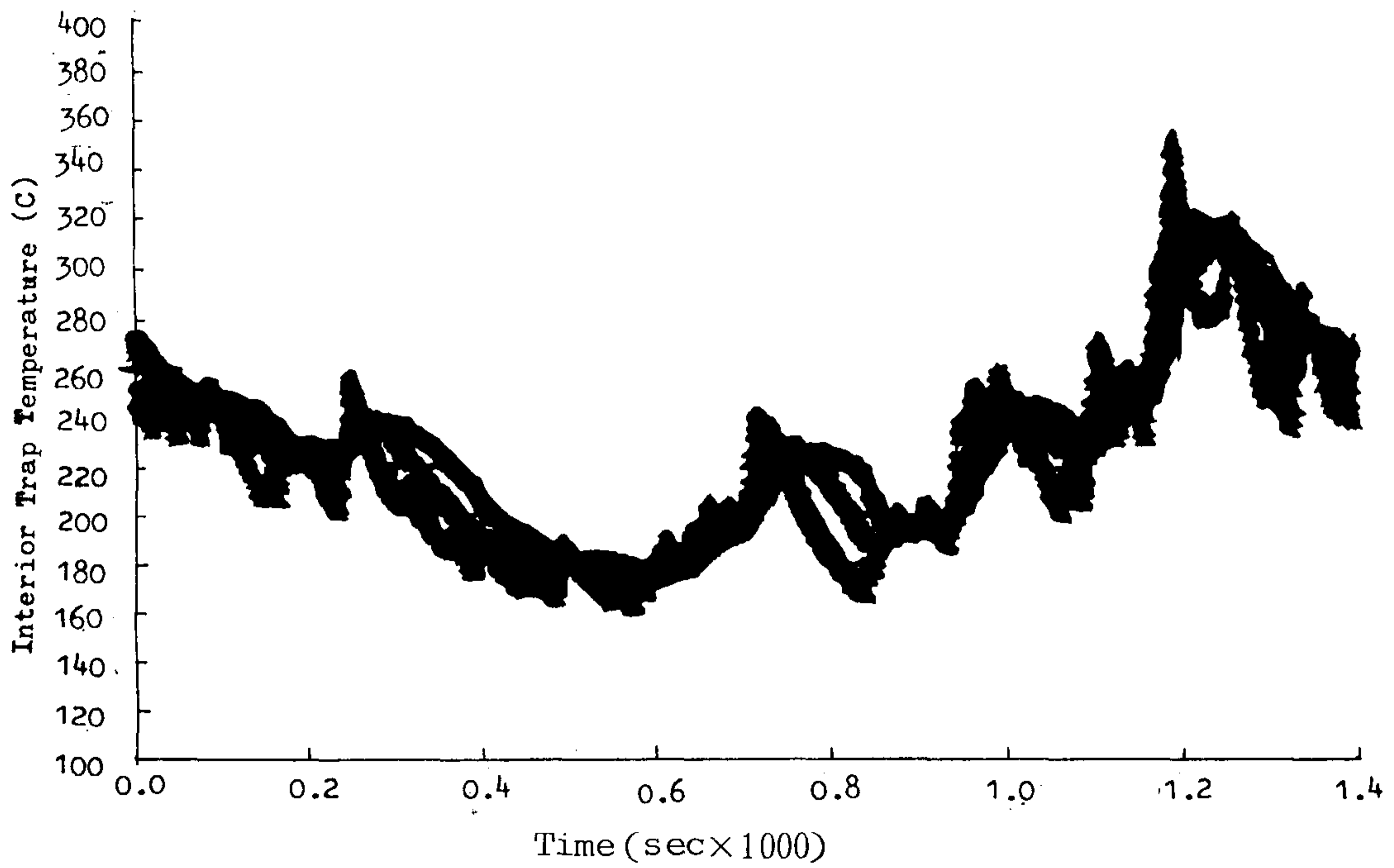


Fig.4-19 Exhaust gas temperature profile in interior ceramic diesel filter as a transient test mode

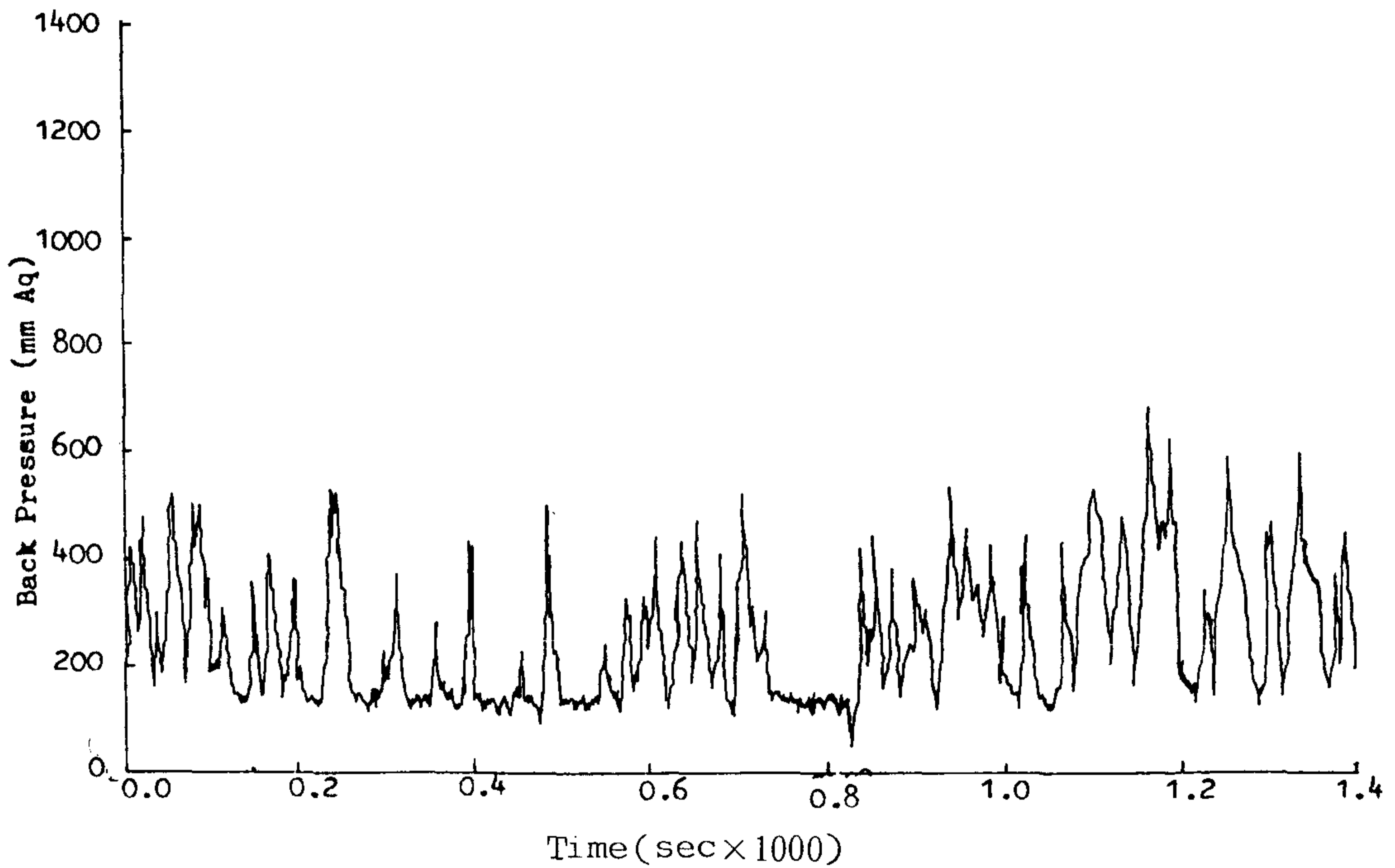


Fig.4-20 Exhaust gas pressure profile in exhaust manifold as a transient test mode

## 2.2 매연누적 및 재생

세라믹매연여과장치를 엔진의 배기관에 설치하고 엔진다이내모미터상에서 트랜지언트 모우드로 엔진을 운전하면서 세라믹매연필터에 매연을 여과 누적시키고 일정압력에 도달하면 경유버어너에 의하여 누적된 매연을 연소시켜 재생시키는 조작을 반복하였다

그림 4-21은 매연의 누적 및 재생에 의한 배기압의 변화를 나타낸 것으로서 배기압은 트랜지언트 모우드 운전중 최대 압력을 기록 하였으며 매연누적 초기 압력은  $1000\text{ mm Aq}$  정도이고 매연의 누적이 따라 배기압이 점차 증가하여  $1700\text{ mm Aq}$ 에 이르면 경유버어너에 의하여 재생을 시켰다.

이러한 매연누적 및 재생을 반복하면서 80시간 이상을 실험하였으며 이 기간중 매연의 재생은 충분히 이루어 졌고 세라믹 필터의 파손이나 용융현상은 없었다.

세라믹 필터에 매연의 누적량이 최대 허용량을 증가하고 버어너에 의한 연소조건이 부적절하면 세라믹 필터내부의 온도가 급격히 증가하여  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  이상이 되면 필터가 파손 되거나 용융이 되는 경우가 있다. 본 연구에서도 누적된 매연의 재생시 매연 연소를 위한 버어너의 조건이 부적절하여 2차에 걸쳐 세라믹 필터를 파손시킨 경험을 하게 되었다. 즉 같은 매연량이라 하더라도 버어너에 의한 연소온도를 조절하는 것이 요구되었다.

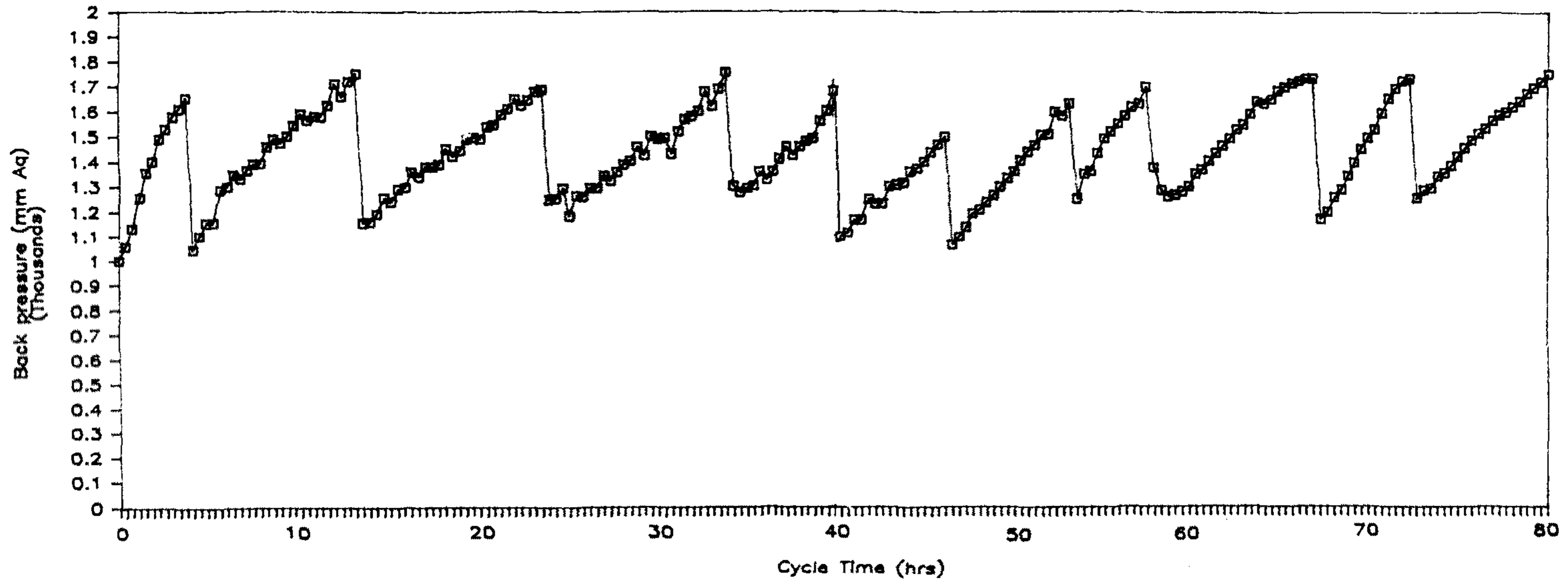


Fig.4-21 Soot loading and regeneration cycle by continued transient test mode

### 2.3 매연저감효율

서울 시내버스의 실주행 패턴을 모의한 트랜지언트 모드에 의하여 엔진다이노미터상에서 측정 한 세라믹 매연필터의 매연저감율은 72%였다. 즉 필터 부착전 매연배출량은  $3.35 \text{ mg/ft}^3$  이었으며 필터 부착후 매연배출량은  $0.95 \text{ mg/ft}^3$  으로 저감되었다.

엔진다이노미터 상에서 매연모우드로 세라믹필터의 통과전후의 매연저감율을 측정 한 결과를 그림 4-22에 나타내었다. 엔진최대출력시의 회전수 40%에서는 매연저감율이 71%, 60%에서는 74%이며 100%에서는 약 78%이고 평균 74%의 양호한 저감율을 보였다.

또한 7모우드에 의한 매연여과 누적시험후 재생조작전에 필터의 입구와 출구에서의 외관을 그림 4-23에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 배기가스 출구측은 깨끗함을 볼 수 있다.

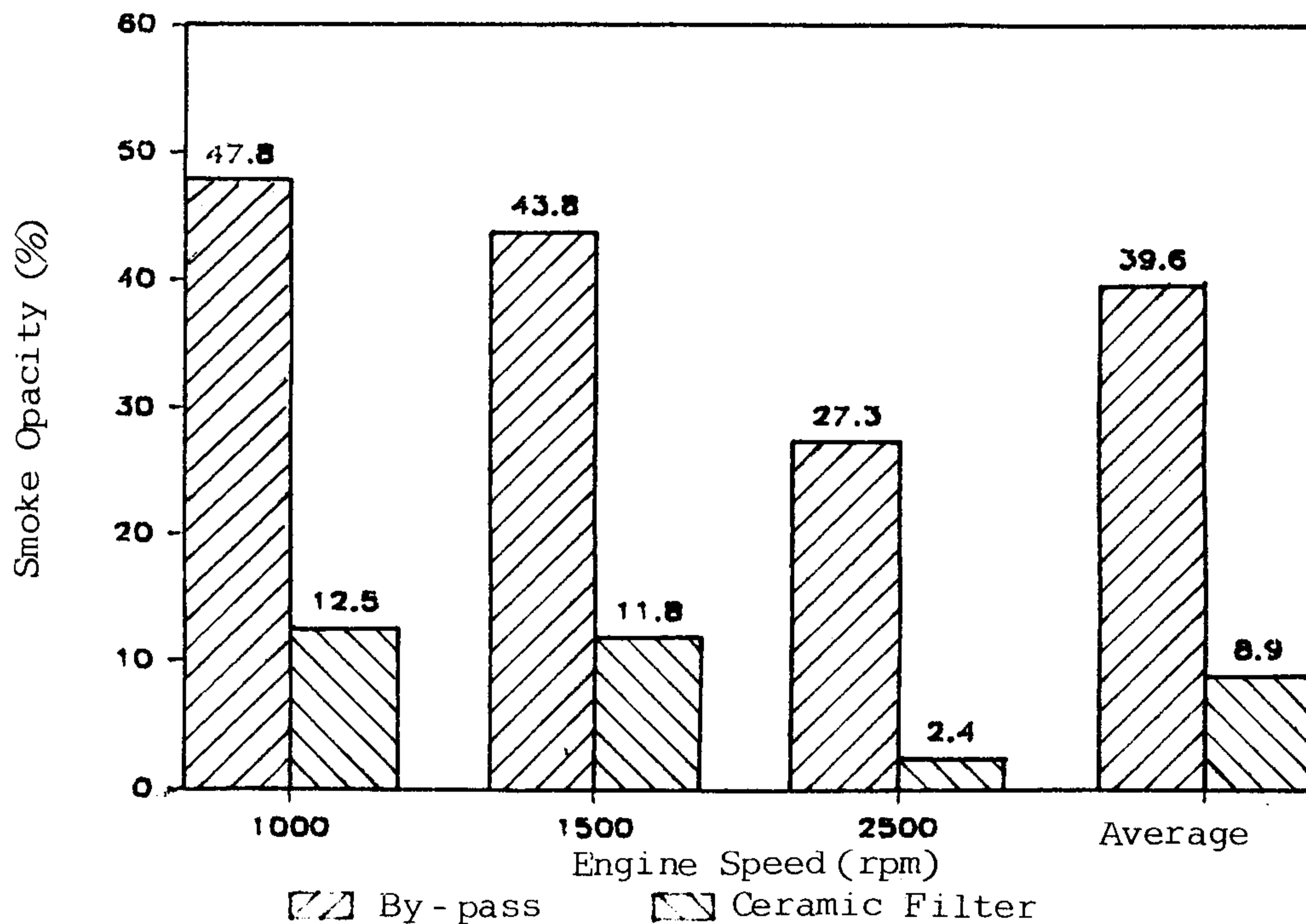
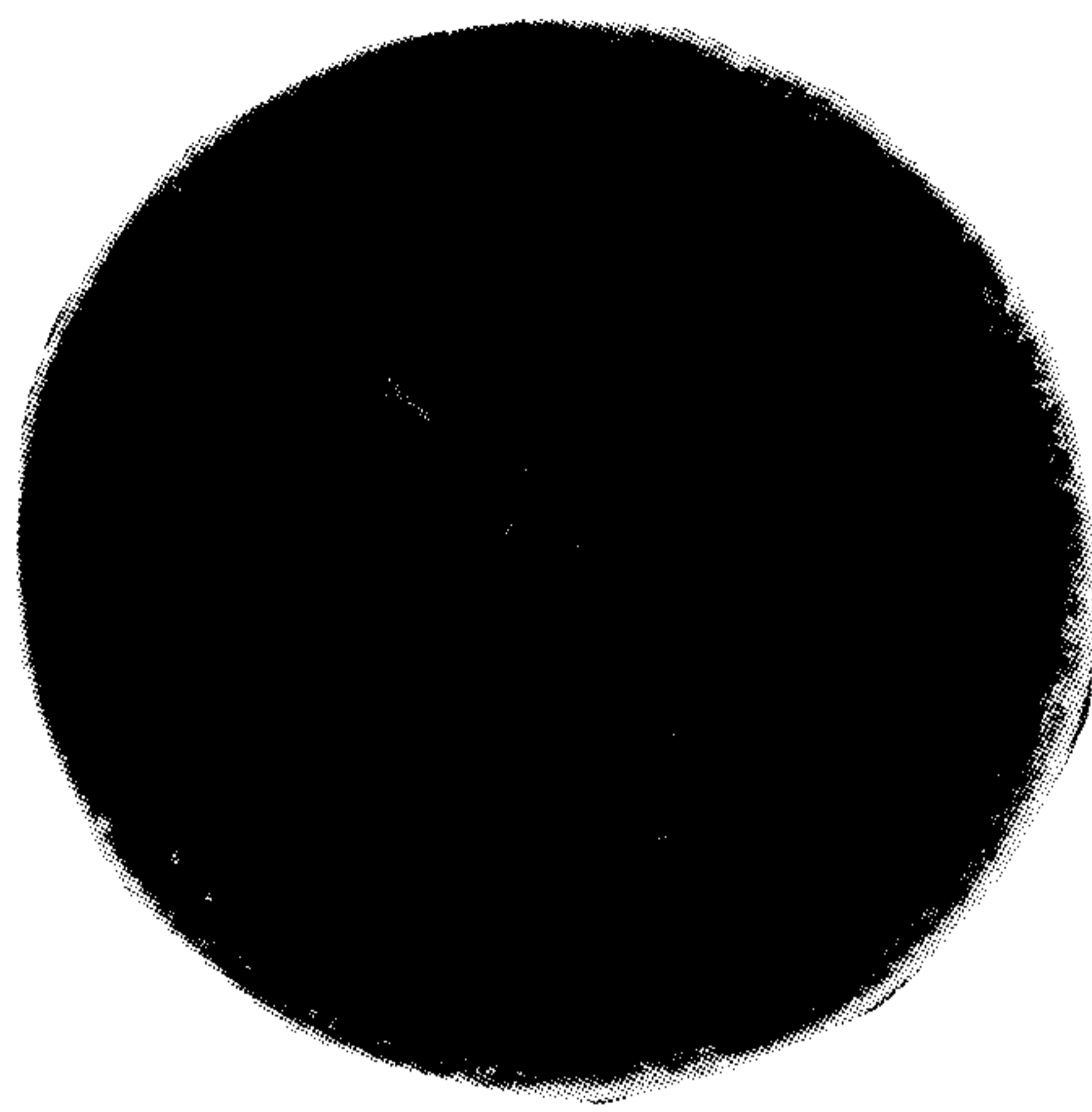
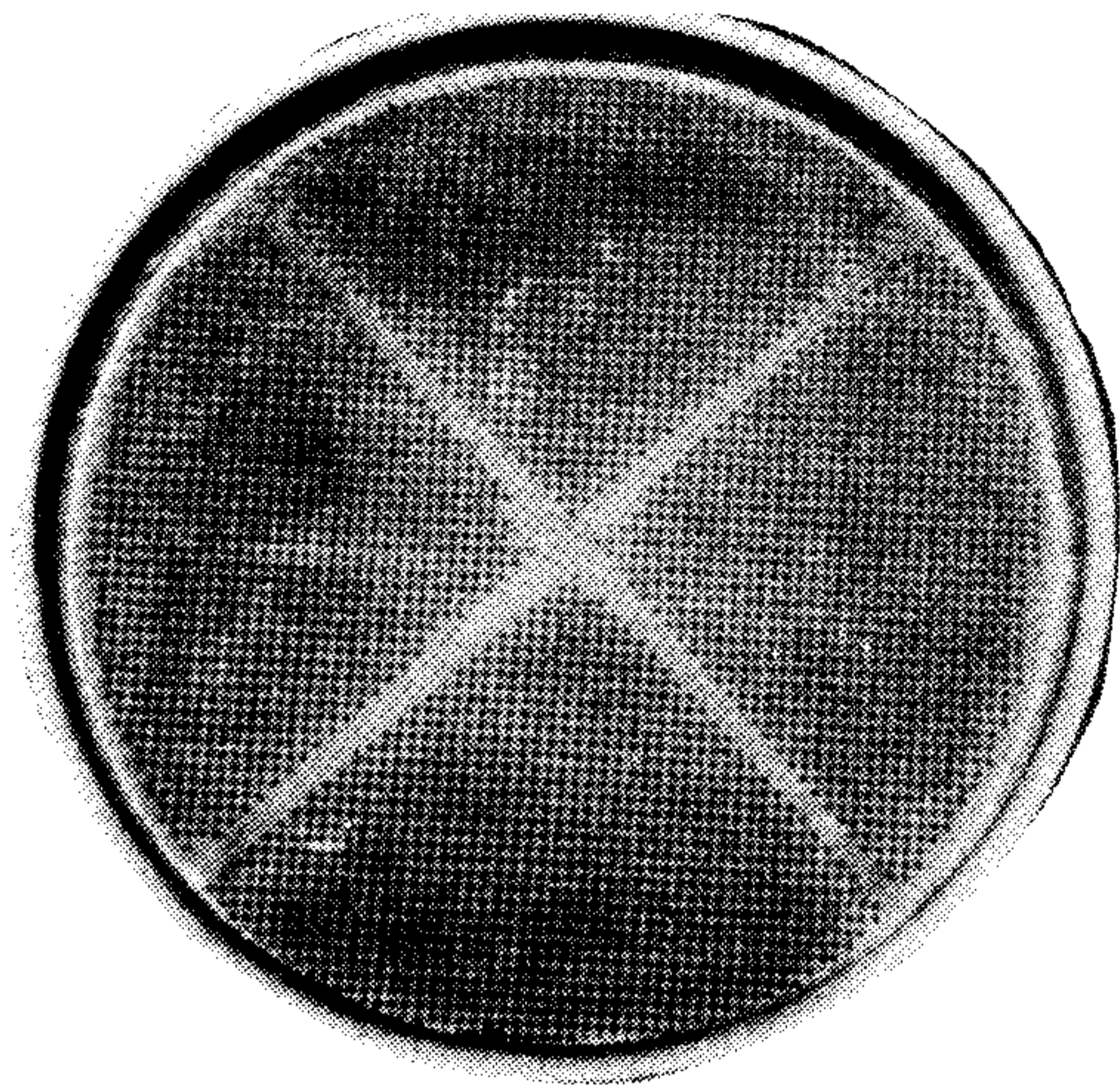


Fig.4-22 Diesel smoke opacity at full load with and without ceramic diesel filter





( Exhaust inlet )



( Exhaust outlet )

Fig. 4-23 View of ceramic diesel filter after particulate filtration

#### 2.4 매연누적에 따른 재생능력 평가

이 시험은 2-2항에서 설정한 조건에 의하여 세라믹매연여과장치를 시내버스에 장착하고 실제 노선에서 주행시험후 필터에 여과 누적된 매연을 버어너로 재생시 얻어진 문제점을 보완하기 위하여 세라믹매연여과장치를 엔진다이노미터상에서 7모우드 주행사이클로 운전하면서 매연을 여과 누적시키고 일정배기압에 도달하면 버어너로 재생시키는 시험을 실시한 결과이다.

재생시기의 결정은 필터에 여과된 매연량을 기준으로 하는것이 좋으나 누적된 매연량을 측정하기가 어려우므로 본 연구에서는 매연 누적에 의한 배기압을 기준으로 하였다.

배기압은 엔진회전수 2000 rpm, 최대 엔진부하에서 1020 mm Aq(75 mmHg), 1360 mm Aq(100 mm Hg) 및 1700 mm Aq(125 mm Hg)가 될때까지 단계적으로 매연을 누적시킨후 경유버어너로 재생시킬때의 재생상태

를 관찰하였다. 일반적으로 이들 압력까지 도달하는데 소요되는 시간은 시험용 엔진의 매연배출량 및 필터의 재생상태에 따라서 차이는 있으나 1020 mm Aq까지는 1시간 20분정도, 1360 mm Aq까지는 약 2시간 정도 소요되며 1700 mm Aq까지는 약 3시간 정도 소요되었다.

그림 4-24는 1360 mm Aq까지 매연을 누적시킬때 배압의 증가, 토오크 및 배기가스 온도변화 상태를 나타낸 것이며 1사이클에 소요되는 시간은 약 4분이다.

배기압을 1020 mm Aq 정도가 될때까지 매연을 누적시킨후 버어너로 연소시킬때 버어너 재생사이클( 20초 부로워작동, 90초 버어너 작동 및 100초 부로워작동 )을 7회 반복한 결과 누적된 매연이 완전 연소되어 원래의 배기압으로 되돌아왔다.

그림 4-25는 배기가스 압력을 엔진회전속도 2000 rpm, 엔진최대부하에서 1020 mm Aq가 될때까지 매연을 누적시키고 버어너로 재생할때의 필터내부의 온도변화를 나타낸 것이다. 온도센서는 그림과 같은 위치에 삽입하고 온도는 연속기록하였다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 필터내부의 매연 연소는 ①→②→④→③→⑤의 순서로 일어나며 최고 온도는 중앙위치에서 980 °C 정도였으며 ① 및 ②의 위치에서는 6 사이클만에 ⑤의 위치에서는 7 사이클이후에 매연의 연소가 활발히 일어났다.

그림 4-26는 배기가스 압력을 엔진회전속도 2000 rpm, 엔진최대부하에서 1360 mm Aq가 될때까지 매연을 누적시키고 버어너로 재생시킬때의 시간에 따른 필터내부의 온도 변화상태를 나타낸 것이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 ① 및 ②의 위치를 제외하고는 매연이 연소할 수 있는 온도인 550 °C에 미달하였으며 전반적으로

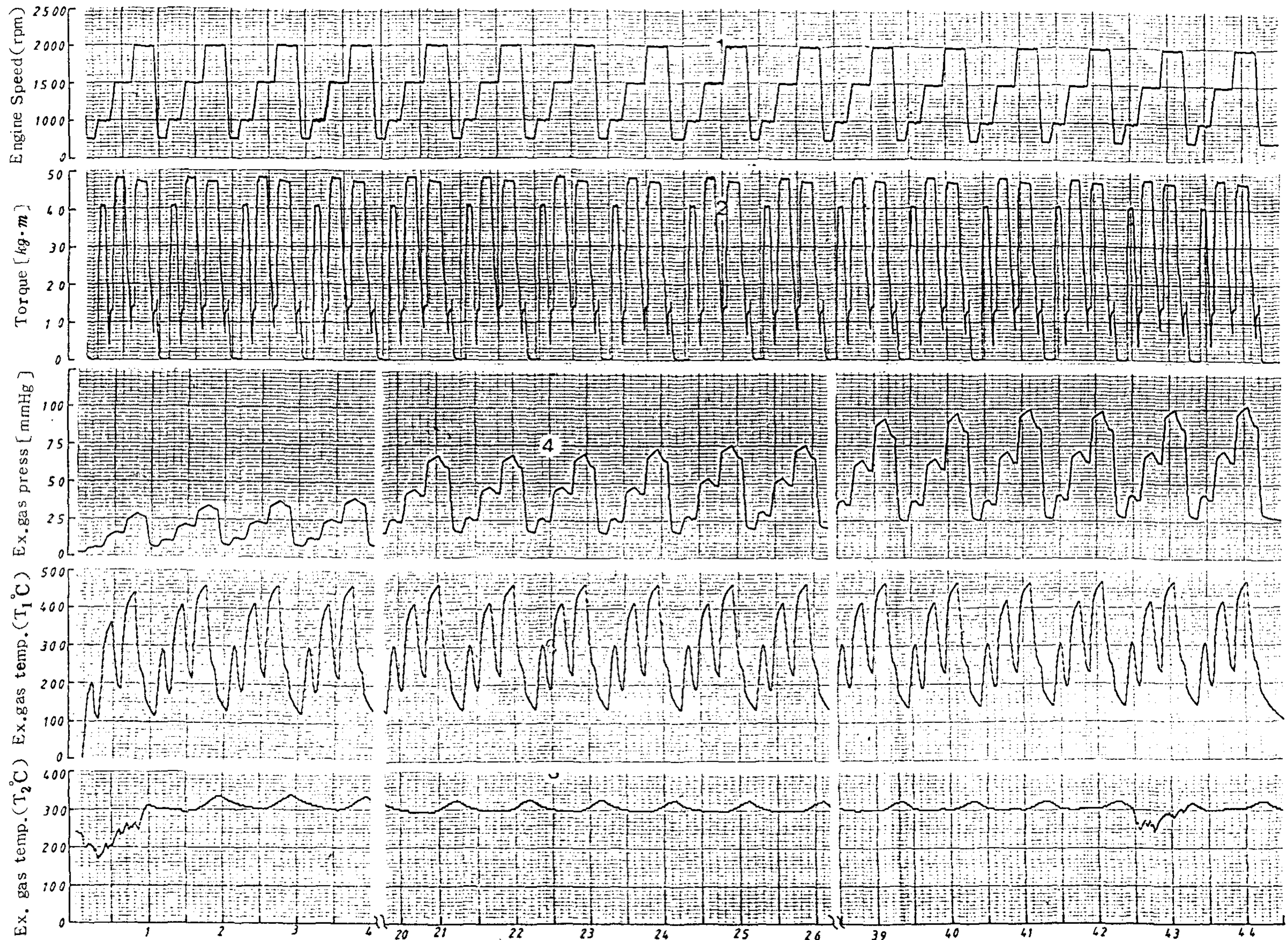


Fig.4-24 Soot loading test cycle by modified 7 mode

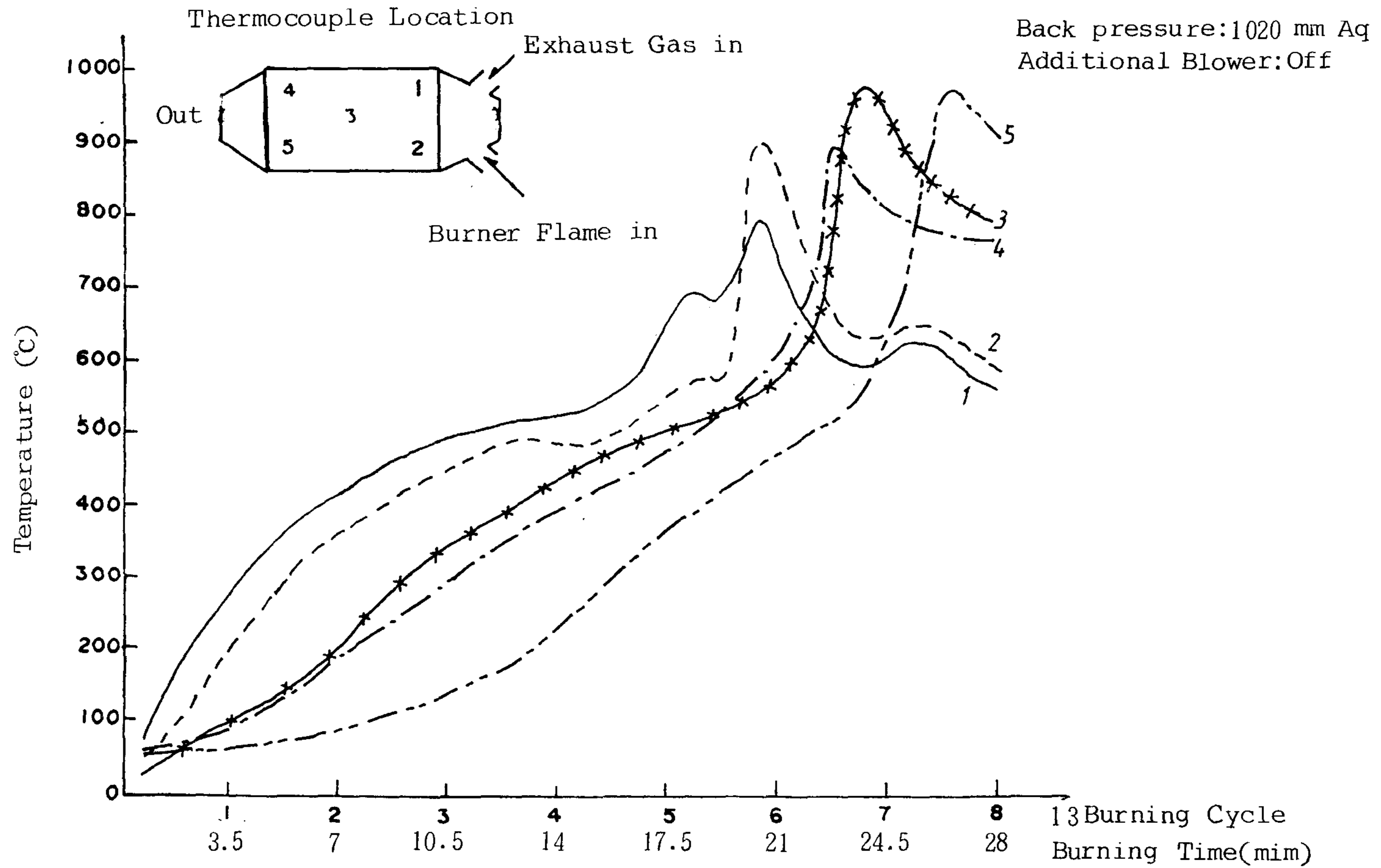


Fig. 4-25 Temperature during regeneration at back pressure 1020 mm Aq

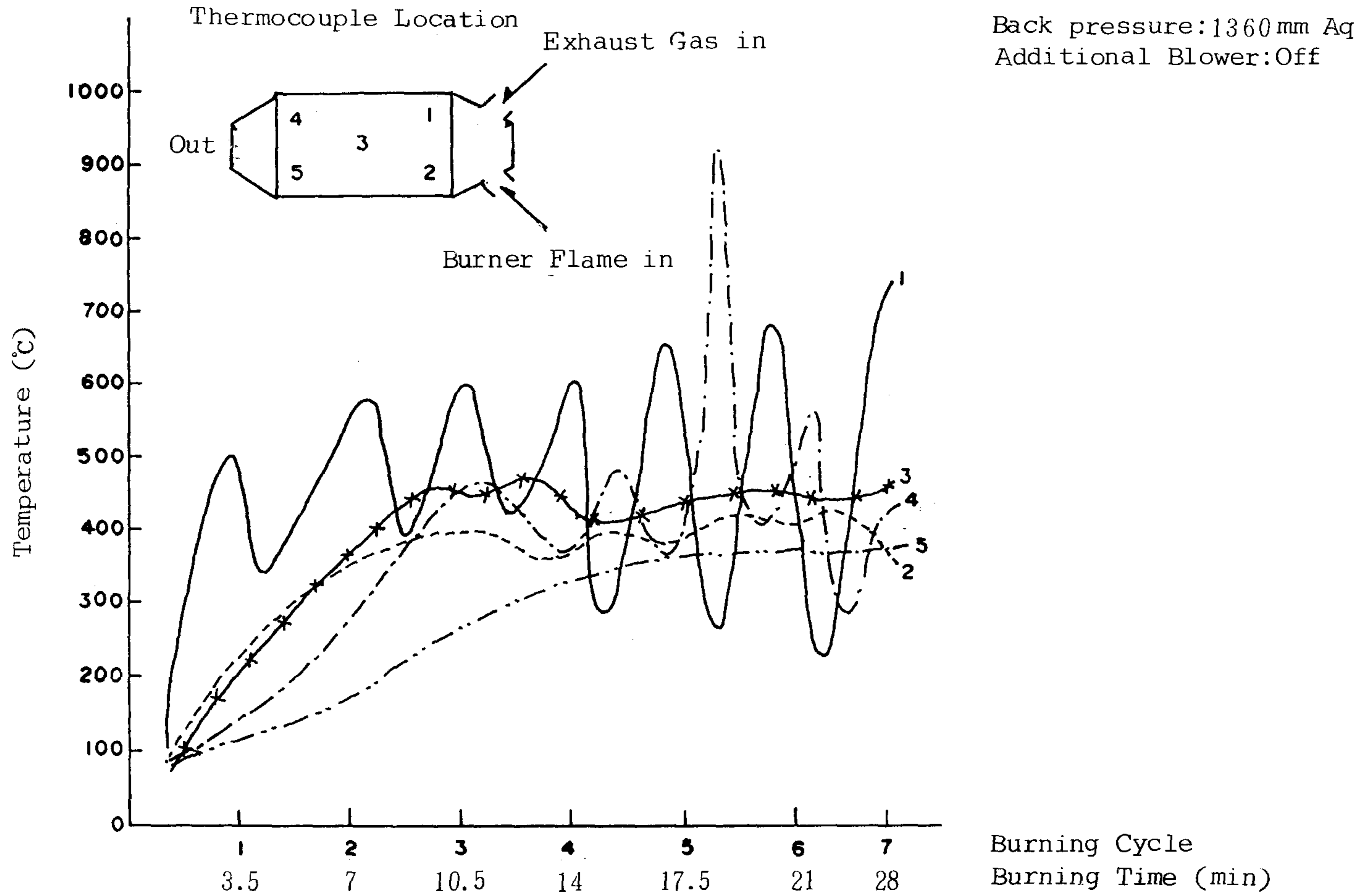


Fig. 4-26 Temperature during regeneration at back pressure 1360 mm Aq.

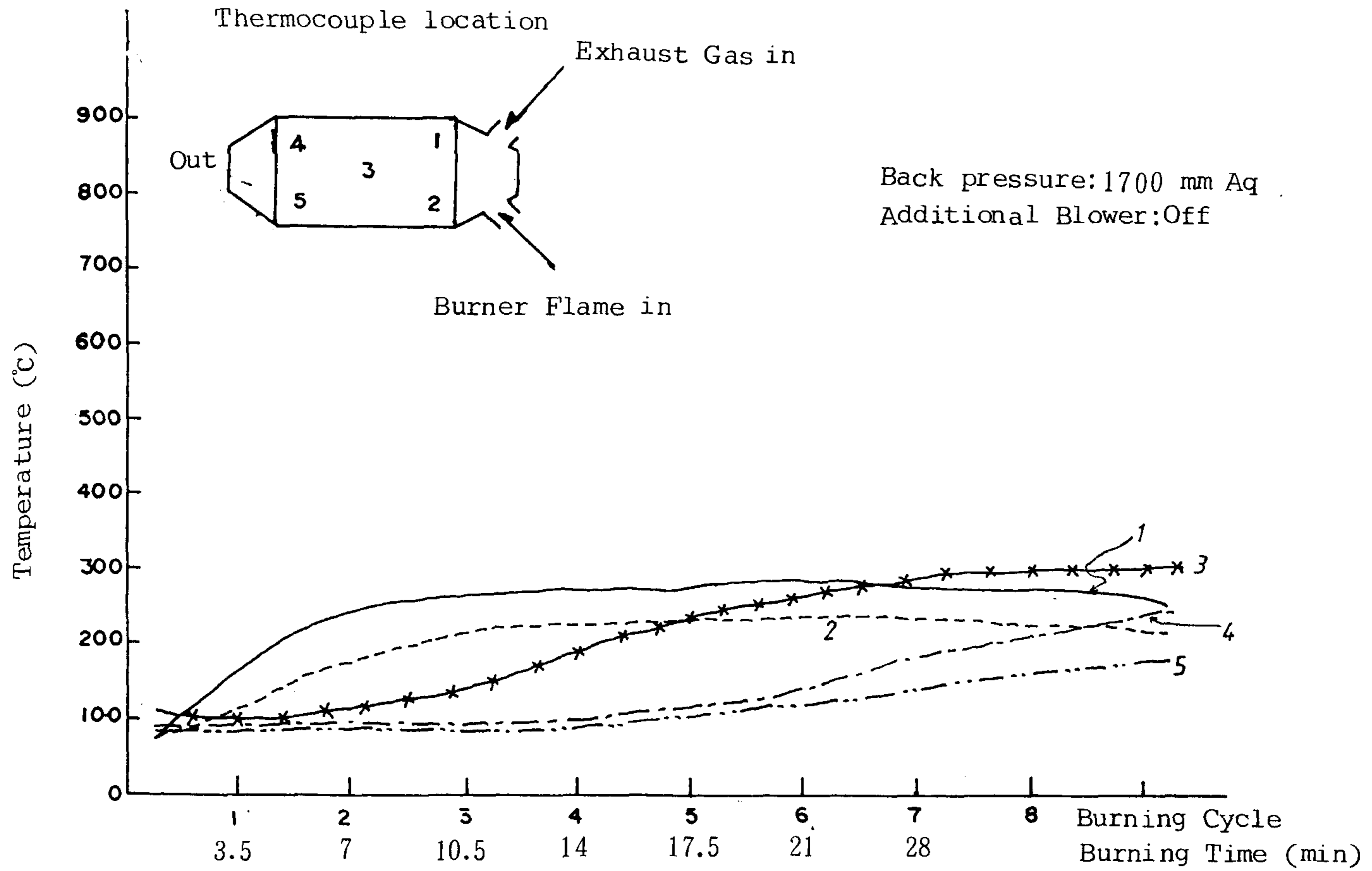


Fig. 4-27 Temperature during regeneration at back pressure 1700 mm Aq

재생이 일어나지 않았다.

그림 4-27 은 배기가스 압력을 엔진회전속도 2000 rpm, 엔진최대부하에서 1700 mm Aq 까지 매연을 누적시키고 버어너로 재생시킬때 시간에 따른 필터내부의 온도 변화상태를 측정한 것이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 매연의 연소는 전혀 일어나지 않았다. 이는 필터의 매연누적에 따른 배기압이 증가되기 때문에 버어너 불꽃이 필터를 통과하지 못하고 필터 전단에 머무르기 때문에 시간의 경과에 따라 버어너 연소부위가 산소부족 상태로되어 불꽃의 온도는 상승되지 못하고 오히려 버어너에 의한 매연이 과다 발생되며 누적되기 때문이다.

그림 4-26 및 그림 4-27 에서 볼 수 있는 바와 같이 배기압의 증가에 따른 누적된 매연의 연소가 불완전한 것을 보완하기 위하여 기존버어너에 더큰 용량의 팬을 부착하여 기존버어너에 부착된 팬의 송풍량보다 약 1.3배의 공기를 공급하면서 재생조작을 실시하여 보았다. 그결과 그림 4-28 에서 볼 수 있는 바와 같이 배기압의 1020 mm Aq 일때는 추가팬을 부착하기 전보다 다소 빨리 재생이 이루어지는 경향이 있었으나 완전재생까지는 7 사이클 이상의 버어너 작동이 요구되었다.

한편 배기가스압력 1360 mmAq 에서는 그림 4-29 에서 볼 수 있는 바와 같이 추가팬을 부착하기 전과는 달리 연소사이클 4 회에서 완전 재생이 이루어 졌으나 필터내의 온도가 ③④⑤의 위치에서는 1000 °C 이상 상승하였고 ⑤번위치에서는 1200 °C 를 상회하는등 필터의 파손과 용융의 위험을 초래할 가능성이 있었으나 외관상으로는 이상을 발견할 수 없었다.

배기가스 압력 1700 mm Aq 에서는 그림 4-30 에서 볼 수 있는 바와

같이 ②번과 ⑤번의 위치를 제외하고는 재생이 이루어 졌으나 그 상태가 불완전 하였고 특히 중앙위치인 ③번은 6 싸이클 이후에 1100 ℃에 도달하는등 정상적인 재생조건을 나타내지 못하였다.

그림 4-31은 위의 실험결과 필터내에서 매연의 연소과정을 나타낸 것으로 버어너불꽃입구 상단으로부터 연소가 일어나 그림에 나타낸 바와 같은 순서로 연소가 진행되고 있다고 본다. 그림에서 5번의 위치가 연소가 제일 늦게 일어나는 것으로 보아 버어너에 의한 고온의 가스가 필터에 어떻게 전달 되느냐가 아주 중요 함을 알 수 있다.

결론적으로 세라믹 매연필터에 매연을 여과 누적시켜 경유버어너에 의하여 연소시켜 재생시키는 기술에서는 필터에 누적된 매연의 양과 버어너에 의한 필터 입구온도의 조절이 무엇보다 중요하며 본 연구에 사용한 세라믹매연여과장치를 시내버스에 장착 사용할시는 배기가스 압력이 엔진회전수 2000rpm, 엔진 최대부하에서 1020 mm Aq 정도일때 재생하는 것이 가장 안전하나 재생주기가 너무 짧다는 결점이 있다.

그러므로 세라믹 매연 필터에 사용하는 버어너는 일반 버어너와는 달리 높은 배기압에도 견딜수 있는 송풍량이 비교적 큰 버어너를 사용하고 버어너에 의한 고온의 가스가 필터에 전달되는 위치 또는 중요한 인자로 작용됨을 알 수 있다.



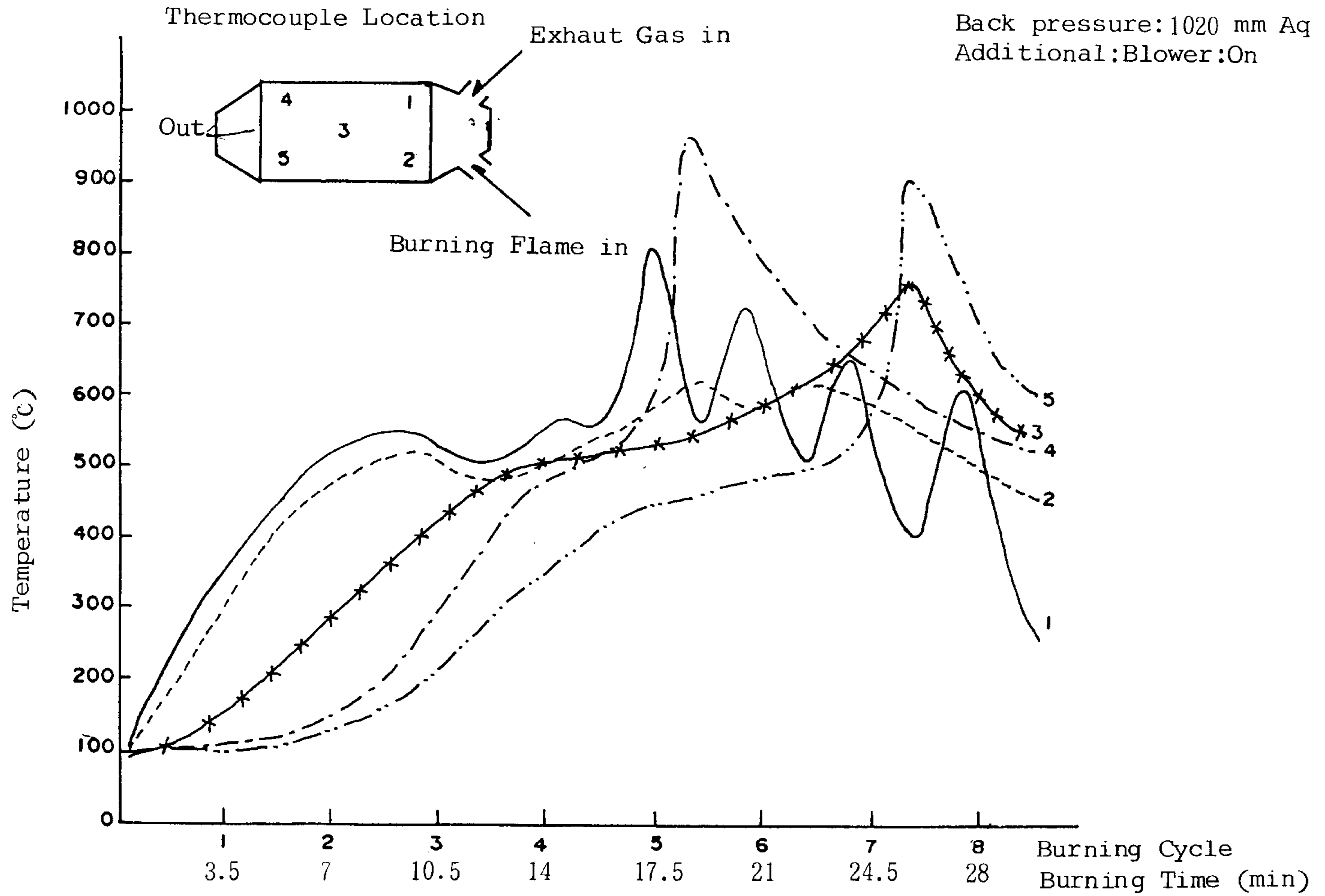


Fig. 4-28 Temperature during regeneration at 1020 mm Aq with additional blower

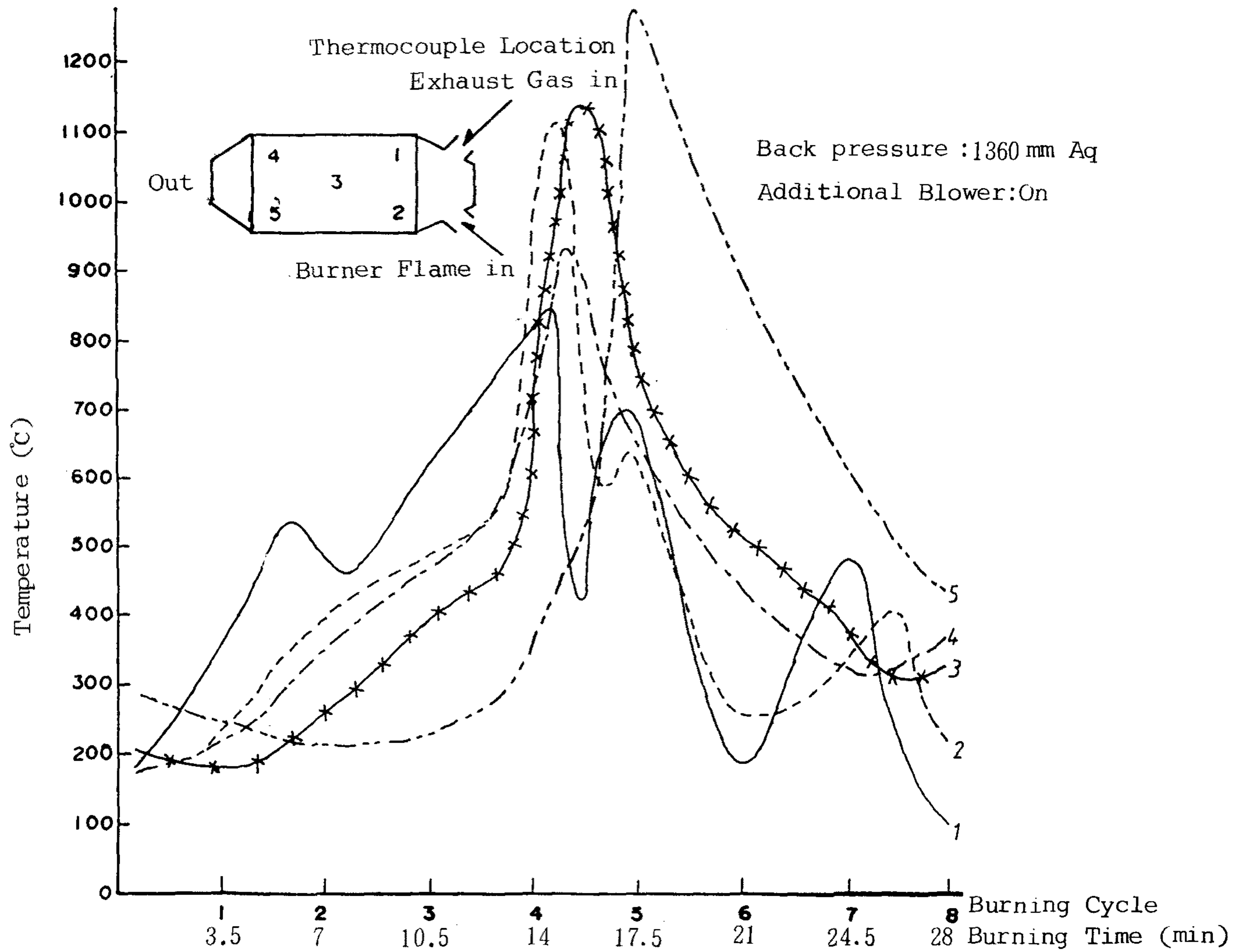


Fig. 4-29 Temperature during regeneration at 1360 mm Aq with additional blower

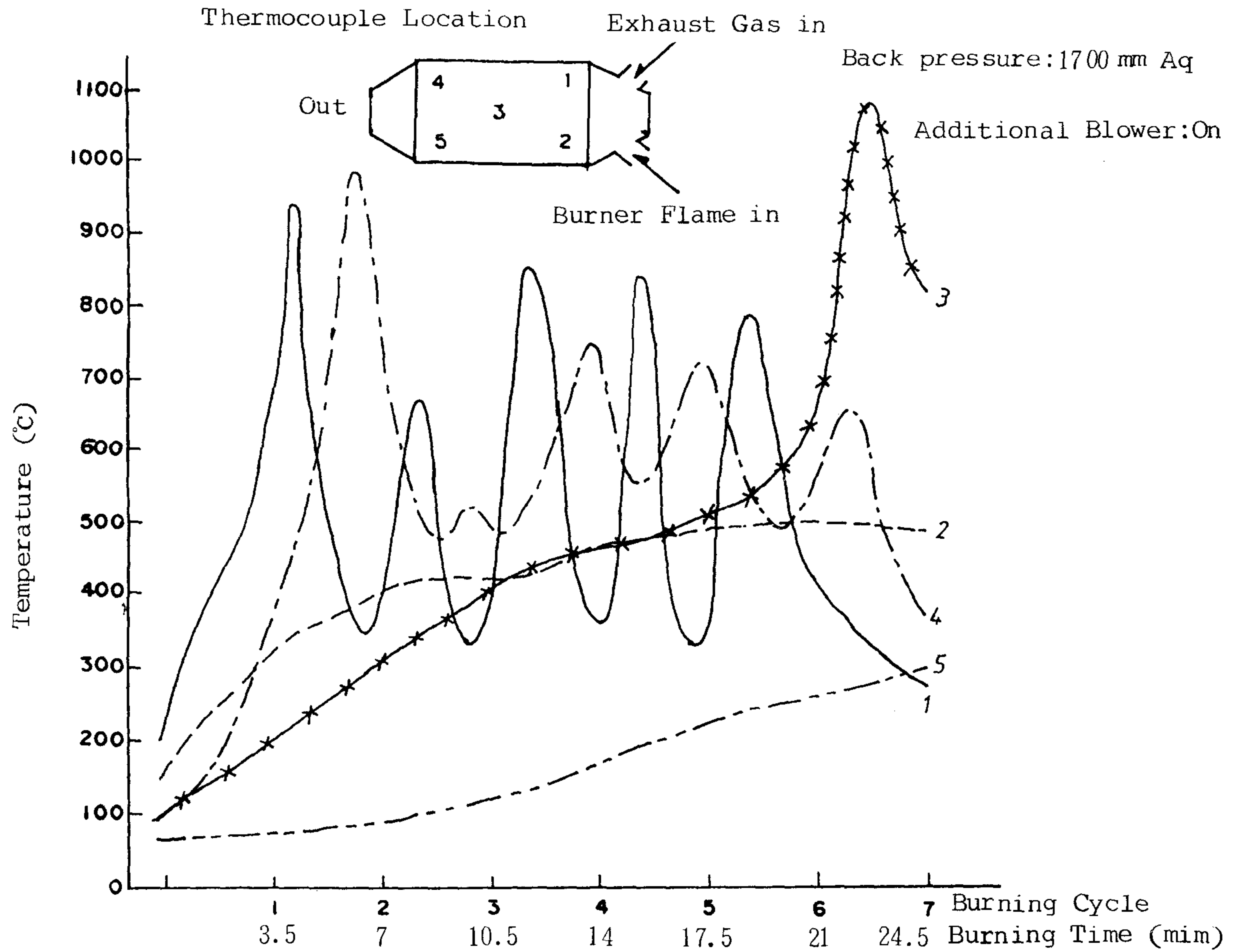


Fig. 4-30 Temperature during regeneration at 1700 mm Aq with additional blower

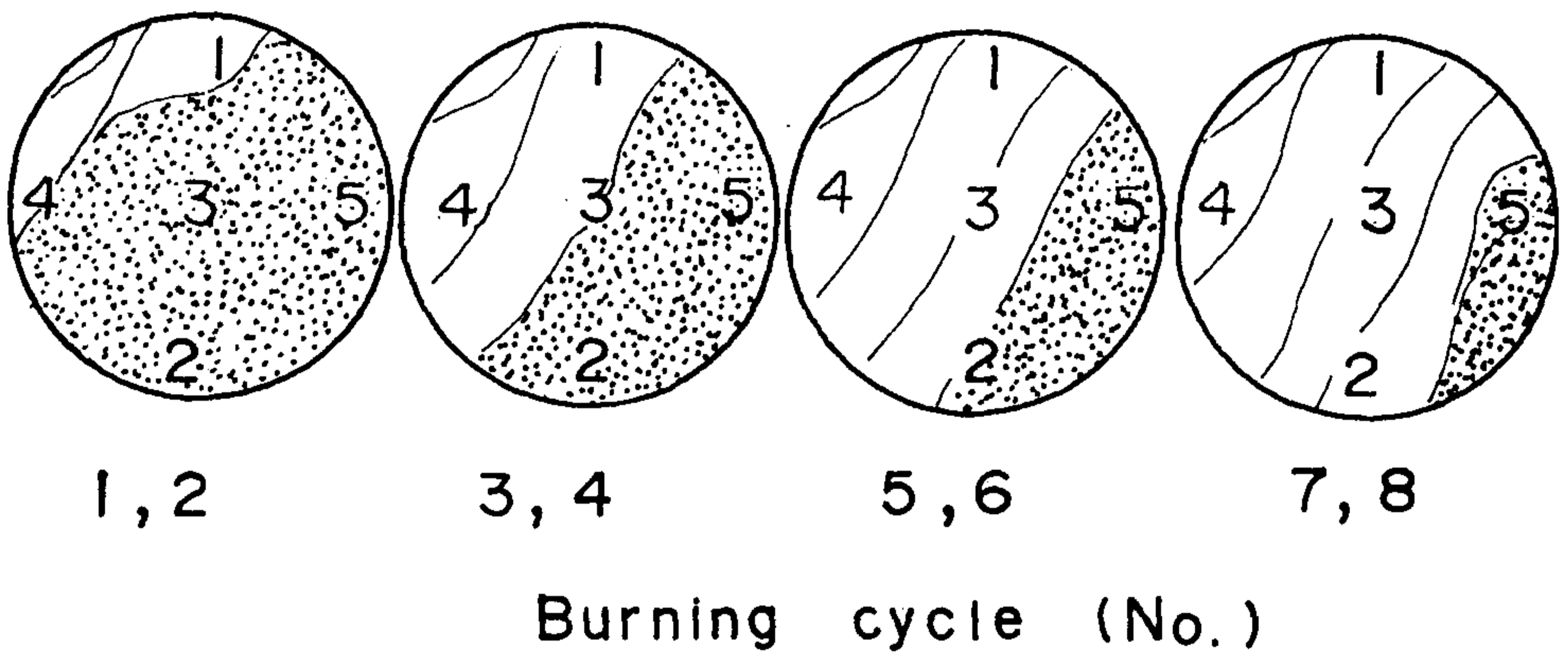
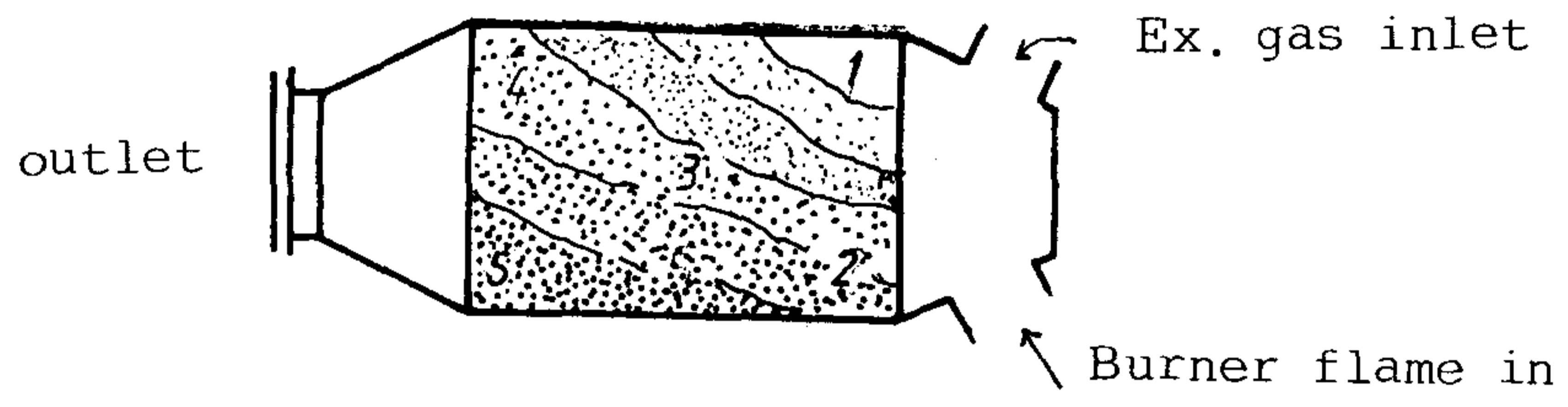


Fig.4-31 Shape of combustion in ceramic diesel filter

## 제 5 절 세라믹매연여과장치의 실차적용시험

### 1. 시험내용 및 방법

#### 1.1. 시험장치

세라믹 매연필터의 실차적용시험을 위한 세라믹매연여과장치 및 배압측정 장치 설치를 위한 개략도는 그림 4-32 과 같다.

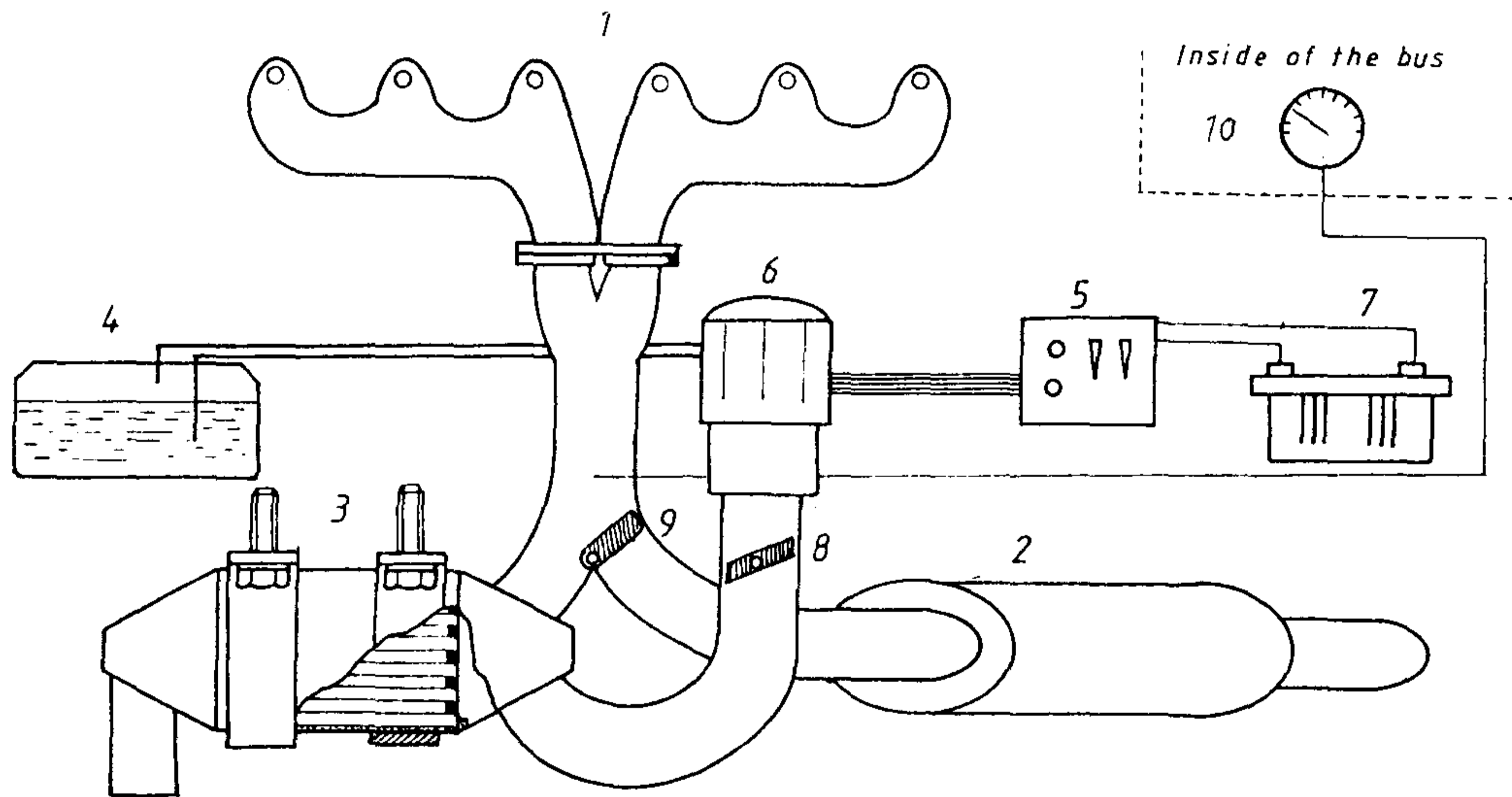


Fig.4-32 Schematic diagram of ceramic diesel filter installed on a city bus.

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Exhaust manifold  | 6. Diesel burner        |
| 2. Muffler           | 7. Battery(12V)         |
| 3. Diesel filter     | 8. Valve(Burner ON)     |
| 4. Fuel tank         | 9. Diverter valve       |
| 5. Burner controller | 10. Back pressure gauge |

## 1.2 . 세라믹매연여과장치의 설치

그림 4-33 은 세라믹매연여과장치의 설치도이다.

세라믹 디젤필터의 설치는 엔진의 배기 매니홀드 끝에서 머플러로 이어지는 배기관 중간 부분을 Y자 관으로 분리 제작하여 머플러 전단부 하체의 빈공간을 이용하여 달아 메는 방식으로 설치하였다.

버어너는 차량의 엔진 점검구에 설치하고 버어너의 제어반은 그림 4-32 와 같이 에어크리너 옆 공간에 설치하였다.

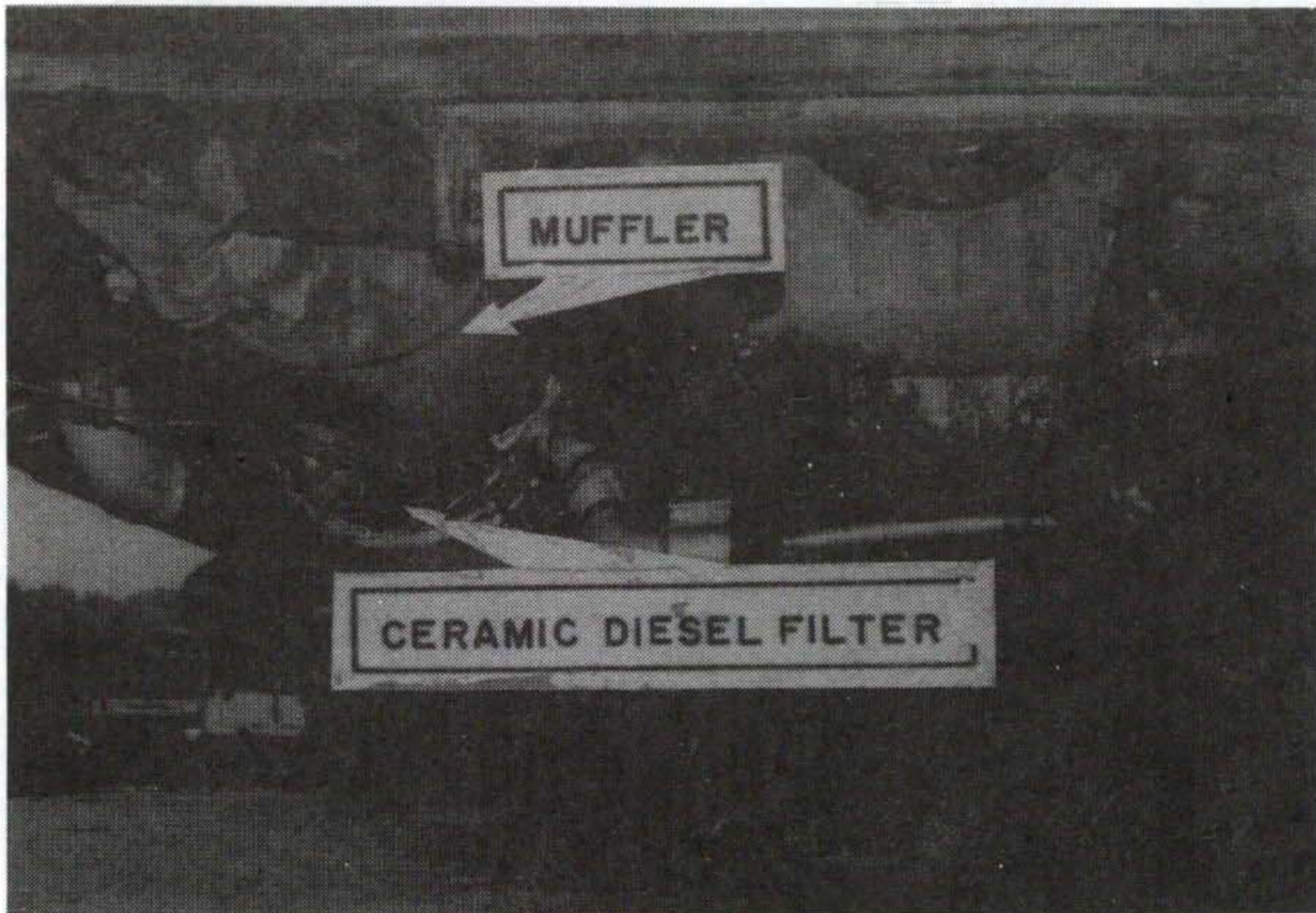


Fig.4-33 View of ceramic diesel filter installed on a city bus.

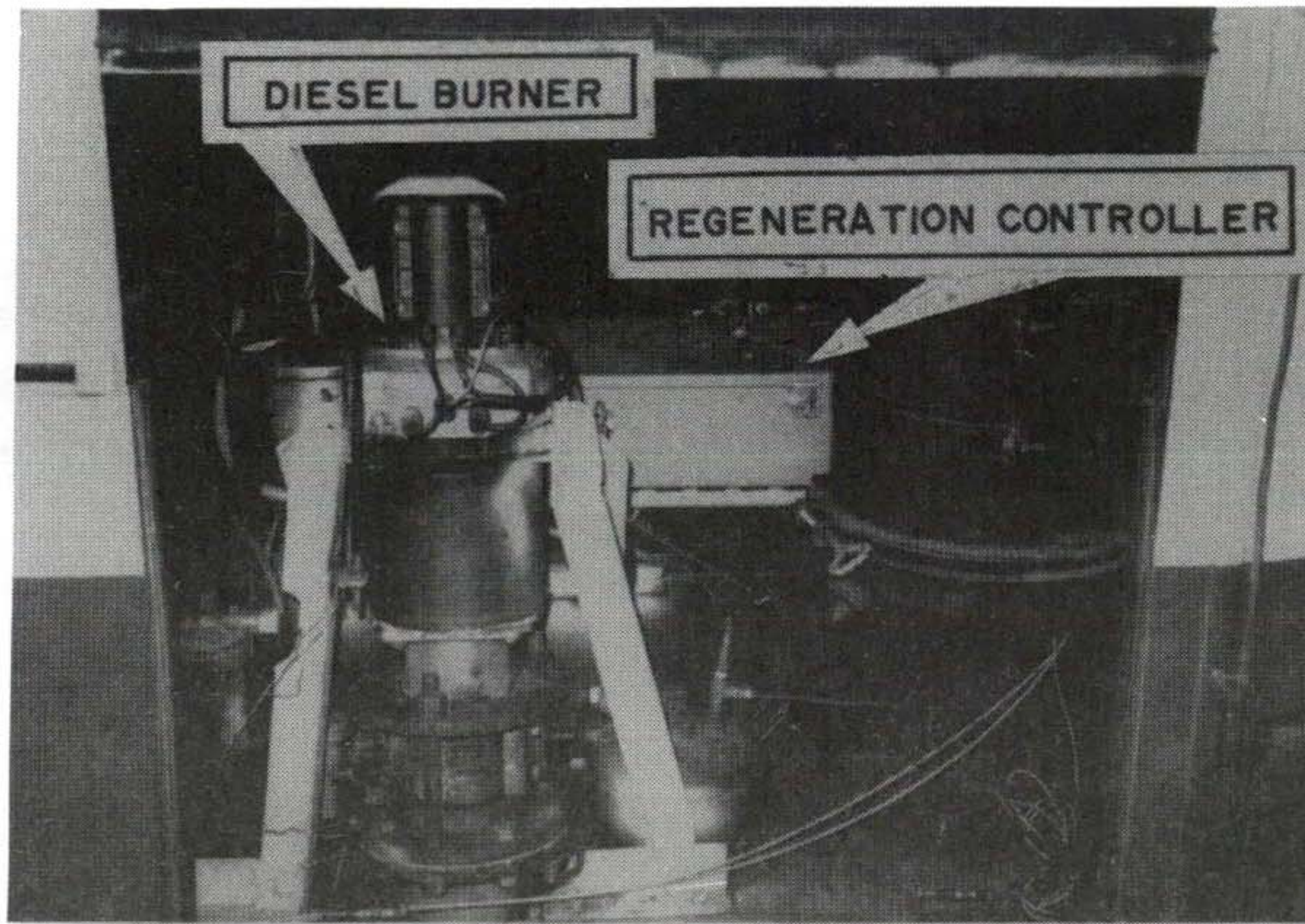


Fig.4-34 View of diesel burner installed on a city bus.

### 1.3 . 주행시험 노선

실차 주행시험을 위한 노선의 선정은 외곽지역에서 서울시내로 연결되는 시내버스 노선으로서 비교적 도로 구배가 많고 4차선 이상인 도로를 선정하였다.

이 도로는 기자촌 → 불광동 → 무악재 → 을지로 → 금호동고개 → 옥수동고개를 잇는 155번 시내버스노선이다.

### 1.4 . 누적주행시험 및 재생방법

세라믹 필터를 시내버스에 장착하고 주행시험을 할 때 차량의 주행상태와 세라믹 필터의 몸체에 가해지는 물리적인 힘이나 진동이 있는지를 확인한다.

다음날에는 버스노선에 직접 투입하여 승객을 태우면서 평상시 시내버스가 운행하는 방식으로 운전하면서 매연을 누적시켰다. 필터 입구에 배압계를 설치하여 측정 요원이 수시로 배압을 기록하였으며 버스가 노선을 2회 왕복한 후 버스터미널에 돌아왔을 때 재

생을 실시하였다. 2회 왕복 주행기간 동안 최대 배기가스 압력은 1300 mm Aq이내 였으며, 2회 왕복에 소요되는 시간은 약 4시간 총 주행거리는 100 km 정도이다.

누적된 매연의 재생은 온도센서를 필터의 내부에 그림 4-25와 같은 방식으로 삽입하고 버어너를 작동하여 7 사이클 동안의 온도를 기록하면서 재생상태를 관찰하였다.

## 2. 시험결과 및 고찰

세라믹매연여과장치를 시내버스에 장착하여 그 성능을 파악하기 위하여 실제 버스노선에 직접 투입하여 승객을 태우면서 매연누적 및 재생시험을 실시하였다.

매연의 누적은 노선버스의 2 왕복, 약 4시간(100 km)마다 재생을 하였고 1일 2~3회 실시하였다.

그 결과 대체로 양호하게 재생이 되었으나, 가끔 버어너의 작동이 불완전한 상태가 되어 재생이 제대로 되지 않을 때가 있었다.

이는 매연이 과다하게 누적됨에 따라 버어너의 배기가스가 필터를 통과하지 못하여 시간의 경과에 따라 산소부족 상태가 되어 온도상승이 되지않은 원인이라고 사료된다.

매연의 과다한 축적에 의해 재생이 불완전한 상태가 발생할 때는 필터를 장치로 부터 분리하여 압축공기로 불어내고 다시 장착하여 버어너로 재생할때는 재생이 잘 이루어졌다. 이와 같은 조작을 반복하면서 그림 4-35와 같이 매연의 누적 및 재생을 반복하였다.

시험용 차량 및 시험노선에 따라 다르지만 본 연구에 사용한 시험용 차량 및 시험노선에서는 2회왕복 즉, 4시간의 주행마다 1회씩 재생을 실시하는 것은 매연의 과다 누적에 의한 재생이 불완



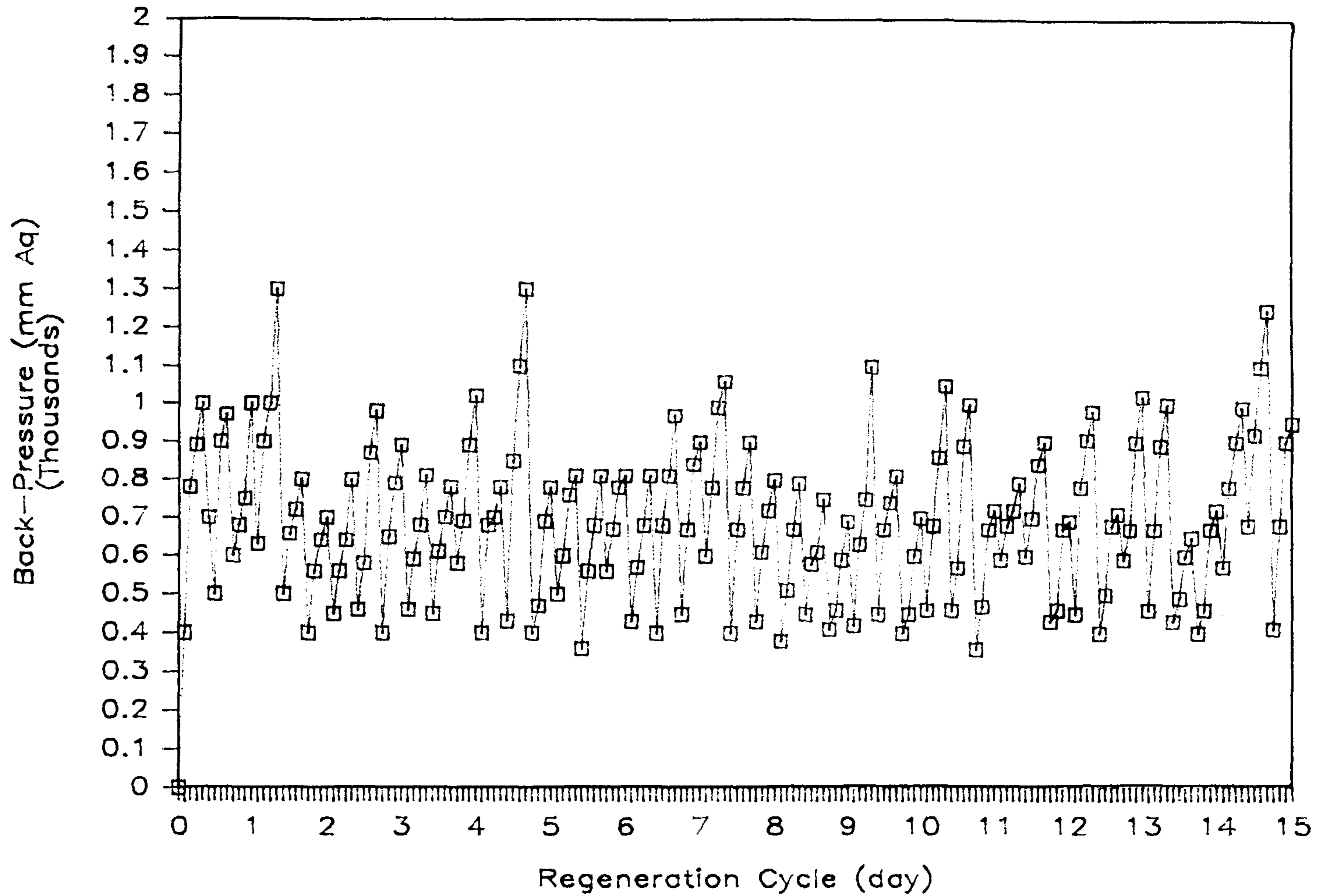


Fig.4-35 Back pressure history of trap during smoke accumulation and regeneration for city bus in service

전 하다는 것을 알고 그 원인을 보다 구체적으로 규명하기 위하여 매연여과장치를 시험용 차량으로부터 탈착하여 실험실의 엔진 다이어나미터상에 설치하고 제 4 절에서 이미 설명한 바와 같이 매연의 누적에 의한 배압의 증가에 따른 재생상태를 자세히 검토하였다.

이 시험결과 필터에 여과 누적된 매연의 재생을 배기가스 압력이 1300 mm Aq 이하에서 실시하는 것이 가장 좋다는 것을 알았다. 그러므로 주행노선에서는 2 회 왕복 보다는 1 회 왕복마다 재생을 하여야 하므로 본 연구에서와 같이 버스터미널에서 정차시 재생을 실시하는 것은 시간상 부적절하므로 운행중에도 재생을 할수 있는 구조로 설계 되어야 한다.

즉, 세라믹 매연 필터와 기존 머플러 및 버어너 사이에 설치한 댐퍼를 Air Actuator 로 자동조절할 수 있는 구조이어야 하고 댐퍼의 개폐 및 버어너의 작동을 일정시간 마다 자동으로 조절할 수 있는 타이머 및 전자조절장치가 부착되어야 한다.

본 연구에서는 시간 및 예산상의 제약 때문에 이와 같은 전자동의 콘트롤 장치를 제작할 수 없었으며 일정 시간 마다 터미널에서 재생할 수 있도록 제작하였기 때문에 재생시는 댐퍼의 조작과 버너의 조작을 수동으로 실시하였다.

본 연구에 사용한 매연여과장치의 설계시는 1 일 1 ~ 2 회 정도의 재생을 목표로 하였으나 엔진다이어나미터상에서의 트랜지언트 모드 시험결과로는 1 일 2 ~ 3 회 정도를 재생이 요구되었고 실주행노선에서의 시험결과로는 1 일 4 ~ 5 회 정도의 재생이 요구되었다. 이는 엔진의 정비상태 및 운행 상태에 따라 매연의 발생량이 상이하며 배기가스 온도에 의해 일부 누적된 매연의 연소 상

태에 따라 상이하나 본 연구의 시험노선에서는 누적된 매연의 배기가스에 의한 연소는 거의 기대할 수 없을 정도로 배기가스 온도가 낮은 상태였으며 버스의 매연 배출도 높은 상태였기 때문에 실제 목표치와는 큰 차이를 나타내었다.

세라믹 매연 필터는 이미 설명한 바와 같이 높은 매연여과 효율을 가지고 있으므로 일정기간 매연을 여과 시킨후 필터를 탈착하여 압축공기로 매연을 제거시키고 다시 장착하여 사용하는 등의 방법도 특정 목적에는 사용할 수 있는 방법이다.

이러한 기술은 실내에서 사용하는 짐 운반차인 forklift의 디젤 매연을 제거하기 위하여 Heraeus사에서 개발 공급하고 있다.<sup>53)</sup> 여기서 매연을 여과한 필터를 자동차로부터 분리시킨 후 특수하게 제작된 연소용오븐 ( combustion oven )에서 재생시키는 방식을 채택하고 있다. 이러한 방식은 필터 내의 온도가 급격히 상승하여 필터의 파손이나 용융이 될 우려가 있으므로 세심한 주의가 요구된다. 그러므로 장기간의 매연 누적으로 필터내에 매연량이 많을 때는 1차적으로 압축공기에 의해 매연을 불어내고 다시 연소용 오븐에 넣어 연소시키는 방법을 사용하면 안전한 재생처리를 할 수 있다.

## 제 6 절 결 론

디젤버어너에 의하여 재생시키는 세라믹매연여과장치를 운행중인 리어엔진 시내버스에 사용할 수 있도록 제작하여 엔진다이아모미터상에서 매연의 여과 및 재생시험을 실시하여 최적의 재생조건을 설정하였으며 이 장치를 서울시내 노선버스에 장착하여 실제 노선주행에 의한 매연 여과, 누적 및 재생시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 매연여과율은 70%이상으로 설계 하였으며 트랜지언트 모우드 시험결과 평균 72%의 저감율을, 전부하시 시험결과 평균 74%의 저감율을 나타내었다.
2. 엔진다이아모미터상에서 서울 시내버스 주행 패턴을 모의한 트랜지언트 모우드로 운전하여 매연의 여과, 누적 및 재생을 실시한 결과 최대 배기가스 압력이 1700 mm Aq에서 7 싸이클 [ 1 싸이클은 20 초간 부로워 작동, 90 초간 버어너 작동 (연소), 100 초간 부로워 작동을 포함한 2 분 30 초간의 작동을 말함 ] 연소시킨 결과 완전하게 재생되었으며, 세라믹 필터의 파손 및 용융현상이 나타나지 않았다.
3. 시내버스에 장착하고 노선에서 평상시와 같은 조건으로 2 회 왕복 주행 (주행시간 약 4 시간, 주행거리 약 100 km) 하면서 매연을 여과 누적시키고 버어너에 의해 재생시킨 결과 대체로 양호하게 재생되었으나 때때로 재생이 불완전하게 일어나 다음 재생시에는 매연의 과다 축적으로 배기압이 증가하여 버어너의 작동이 제대로 되지 않는 경우가 있었다. 이때는 필터를 탈착하여 필터내에 쌓인 매연을 압축공기로 불어낸 후

다시 장착 재생시키면 정상적으로 재생이 이루어졌다.

4. 시내버스에 사용시 재생주기는 2~3시간 마다 실시하거나 기존 버어너에 이차 공기공급 장치를 설치하여 배기가스의 여과를 용이하게 하고 산소공급을 증가 시키므로서 재생효율을 향상시킬 수 있다.
5. 세라믹 매연여과장치의 재생주기를 2~3시간 마다 실시하여 재생효율을 증진시키기 위해서는 장치의 조작을 전자동으로 할 수 있는 전자조절장치의 개발이 요망된다.
6. 본 장치의 실용화를 위해서는 본 연구에서 도출된 문제점을 보완하고 국산화를 추진할 수 있는 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Higuchi N., S. Mochida and M. Kojima, Optimized Regeneration Conditions of Ceramic Honeycomb Diesel Filter, SAE Paper 830078, 1983.
2. Wade W.R., et al., Thermal and Catalytic Regeneration of Diesel Particulate Traps, SAE Paper 830083, 1983.
3. Mogaka Z.N, V.W. Wong and S.M. Shahed, Performance and Regeneration Characteristics of a Cellular Ceramic Diesel Particulate Trap, SAE paper 820272, 1982.
4. Suresb T.J.E. White and J.J. Florek, Diesel Particulate Trap Regeneration Techniques, SAE Paper 830079, 1983.
5. Stahman Ralph C. and George D.Kittredge, Smoke and ordor control for diesel-powered trucks and buses, SAE Paper 680443, 1968
6. Oh, Se H., et al., Mathematical modeling of fibrous filters for diesel particulates theory and experiment. SAE paper 810113, 1983.
7. Howitt John S. and Max R. Montierth, Cellular ceramic diesel particulate filter, SAE paper 810114, 1981.
8. Yoji Watabe, "Traples" trap-a catalytic combustion system of diesel particulates using ceramic foam, SAE paper 830082, 1983.

9. Ludecke. Otto A. and David L. Dimick, Diesel exhaust particulate control system development. SAE paper 830085, 1983.
10. Howitt J.S., et al., Application of a ceramic wall flow filter to underground diesel emissions reduction, SAE paper 830181, 1983.
11. Miller Paul R., et al., The effects of a porous ceramic particulate trap on the physical, chemical and biological character of diesel particulate emissions, SAE paper 830457 1983.
12. Wade W. W., et al., Thermal and catalytic regeneration of diesel particulate traps, SAE paper 830083, 1983.
13. Urban Charles M. and Robert D. Wayner, Evaluation of heavy-duty engine exhaust particulate traps, SAE paper 850147, 1985.
14. Pauli E., et al., The calculation of regeneration limits of diesel particulate traps for different regeneration methods, SAE paper 840075, 1984.
15. Sachdev R, V.W. Wong and S.M. Shahed, Analysis of regeneration data for a cellular ceramic particulate trap, SAE paper 840076, 1984.
16. Poul E, G. Lepperhoff and F. Dischinger, The description of the regeneration behavior of diesel particulate traps with the aid of a mathematical model, SAE paper 830180, 1983.

17. Pattas K.N., et al., Forced Regeneration by Exhaust Gas Throttling of the Ceramic Diesel Particulate Trap, SAE Paper 860293, 1986.
18. Pattas K.N, Z.C. Samaras and P.S. Kikidis, Operation characteristics of the ceramic diesel particulate trap during forced regeneration SAE paper 870252 1987.
19. Enga B.E., et al., Catalytic Control of Diesel Particulate, SAE Paper 820184, 1982.
20. Wade W.R, J.E. White and J.J. Florek, Diesel particulate trap regeneration techniques, SAE paper 810118, 1981.
21. Wiedemann B., et al., Regeneration of particulate filters at low temperatures, SAE paper 830086, 1983
22. Wiedemann W., et al., Application of particulate traps for reduction of exhaust emissions, SAE paper 840078, 1984
23. Montierth M.R., Fuel Additive Effect upon Diesel Particulate Filters, SAE Paper 840072, 1984.
24. Simon Gerald M., et al., Diesel particulate trap regeneration using ceramic wall-flow traps, fuel additives, and supplemental electrical igniters, SAE paper 850016, 1985
25. Sachdev Rakesh, Victo W. Wong and Syed M. Shahed, Effect of ash accumulation on the performance of diesel exhaust particulate traps, SAE paper 830182, 1983.



26. Ise Hajime, Combustion modes of light duty diesel particulates in ceramic filters with fuel additives, SAE paper 860292, 1986.
27. Robert W. McCabe, A Laboratory Combustion Study of Diesel Particulates, SAE paper 860011, 1986
28. Ludecke. Otto A, and Kenneth B. Bly, Diesel exhaust particulate control by monolith trap and fuel additive regeneration, SAE paper 840077, 1984.
29. Wiedemann B., et al., Application of particulate traps and fuel additives for reduction of exhaust emissions, SAE paper 840078, 1984.
30. Dainty E.D., et al., Diesel emissions reduction by ceramic filters employing catalysts or a fuel additive, SAE paper 870014, 1987.
31. Draper W.M., et al., Impact of a ceramic trap and manages fuel additive on the biological activity and chemical composition of exhaust particles from diesel engines used in underground mines, SAE paper 871621, 1987.
32. Konstandopoulos A.G., et al., Ceramic particulate traps for diesel emissions control effects of a manganese-copper fuel additive, SAE paper 880009, 1988.
33. Hunter G., et al., The effect of an oxidation catalyst on the physical, chemical, and biological character of diesel particulate emissions, SAE paper 810263, 1981.

34. Koberstein E, H.D. pletka and H. Volker, Catalytically activated diesel exhaust filters engine test methods and results, SAE paper 830081, 1983.
35. Engler B, E. Koberstein and H. Volker, Catalytically activated diesel particulate traps new development and applications, SAE paper 860007, 1986.
36. Urban. Charles M, Larry C.Landman and Robert D. Wagner, Diesel car particulate control methods, SAE paper 830084, 1983.
37. Öser Polart and Ulrich Thoms, Particulate control systems for diesel engines using catalytically coated and uncoated traps with consideration of regeneration techniques, SAE paper 830087, 1983.
38. Abthoff Jörg., et al., The regenerable trap oxidizer-on emission control technique for diesel engines, SAE paper 850015, 1985.
39. Vergeer H.C., et al., Development of an emission control system for two-stroke diesel powered transit coaches, SAE paper 860133, 1986.
40. Simon. Gerald. M, Terrence L. Stark and Mark B. Hoffman, Diesel exhaust particulate control techniques for light-duty trucks, SAE paper 860137, 1986.

41. Yoshinori Niura, et al., Study on Catalytic Regeneration of Ceramic Diesel Particulate Filter, SAE paper 860290, 1986.
42. McCabe Robert W, and Robert M. Sinkevitch, Oxidation of diesel particulates by catalyzed wall-flow monolith filters, SAE paper 870079, 1987.
43. Lepperhoff Gerhad, An exhaust gas aftertreatment system to reduce particulates for full-size passenger cars, SAE paper 880003, 1988.
44. Hiereth, Hermann and Gert Withalm, New results of passenger car diesel engines pressure wave supercharged with and without a particulate trap, SAE paper 880005, 1988.
45. Otto K., et al., The Oxidation of Soot Deposits from Diesel Engines, SAE paper 800336, 1980.
46. Mizuno Hiroshige, Jun Kitagawa and Toshihiko Hijikata, Effect of cell structure on regeneration failure of ceramic honeycomb diesel particulate filter, SAE paper 870010, 1987.
47. Arai. Minoru, Shoichiro Miyashita and Kaoru Sato, Development and selection of diesel particulate trap regeneration system, SAE paper 870012, 1987.
48. H"uthwohl George and Franz Pischinger, Self-supporting regeneration of diesel particulate traps, SAE paper 80017, 1987.

49. Gulati. Suresh T, Strength and thermal shock resistance of segmented wall-flow diesel filters, SAE paper 860008, 1986.
50. Gulati S.T and Richard P. Merry, Design considerations for mounting material for ceramic wall-flow diesel filter, SAE paper 840074, 1984.
51. Ullman, T.L, Charels T. Hare and Thomas M. Baines, Preliminary particulate trap tests on a 2-stroke diesel bus engine, SAE paper 840079, 1984.
52. MacDonald J. Cott and Gerald M. Simon, Development of a particulate trap system for a heavy-duty diesel engine, 880006, 1988.
53. 조강래, 유럽의 自動車 排出가스 防止對策 (公務國外旅行 歸國報告書). 國立環境研究院, 1988.6.

여 백

## 제5장 결 론

여 백

## 제 5 장 결 론

본 연구는 디젤자동차에서 많이 배출되는 매연을 방지하기 위하여 필요한 각종 기술적인 사항을 검토하고 운행 중인 디젤 자동차에 적용 가능한 매연방지장치를 선정 실용화 하는데 기본 목표를 두었다. 그리하여 제 1차년도에는 현재까지 국·내외에서 연구 개발되고 있는 매연 방지기술에 대하여 조사하였으며, 우리나라의 디젤 자동차에서 배출되는 오염물질량을 산출하기 위하여 차종별 주행 패턴을 측정 분석하고 이 주행 모드에 의하여 차종별 배출 가스량을 측정하여 연료사용량, 교통량 자료등을 사용하여 배출 계수를 산출하였다. 그리고 정비 점검에 의한 매연 방지기술과 연료 및 연료첨가제에 의한 매연 방지기술도 조사하였다.

2차년도에는 매연 방지기술중의 하나인 촉매산화 매연방지장치를 선정하여 장치를 설계 제작하고 장치의 매연저감율 및 실용상의 문제점을 검토하기 위하여 실험실적 및 실차적용시험을 실시하였다.

3차년도에도 2차년도에 실시한 촉매산화매연여과장치의 실용상의 문제점을 보완하여 장치를 재제작 실험실적 및 실차적용시험을 실시하고 또 다른 매연방지장치의 일종인 세라믹매연여과장치를 설계 제작하고 장치의 성능을 평가하기 위하여 실험실적 및 실차주행시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

### 1. 촉매 산화 매연 여과장치

가. 촉매 산화 매연 여과장치의 매연 저감율은 평균 54% 였으며 일산화탄소 90%이상, 탄화수소 60%이상 저감되었으며



질소산화물은 다소 저감되었다.

나. 실주행노선에서 3000 km 누적주행시험 실시결과 엔진의 배기가스 온도에 의하여 여과된 매연이 산화 연소되었으며 재생시 백연이 다소 배출되었다.

다. 촉매산화매연여과장치는 촉매를 사용하므로 배출가스중 아황산가스가 산화되어 황산염이 배출되는 문제점이 있으며 황산기의 배출은 장치 사용전보다 10 배정도 많았다.

## 2. 세라믹 매연 여과장치

가. 매연 저감율은 전부하시 시험결과 평균 74 %였으며 가스상 물질은 큰 변화가 없었다.

나. 실험실에서 시내버스 엔진을 실주행 모우드로 운전하면서 매연 여과장치의 매연여과, 누적 및 경유 버어너에 의한 매연 재생 조작을 반복하면서 최적 매연 재생조건을 조사하고 실차주행 시험결과 매연의 재생주기는 2시간 정도를 하는것이 적당하다고 판단되었다.

다. 노선 주행에 있어서 매연여과장치의 안전한 작동 및 신뢰성을 향상시키기 위해서는 장치의 재생작동을 전자동화 하고 재생주기를 짧게 하는것이 좋다고 판단되었다.

라. 그러나 매연여과장치의 완전 자동화 및 내구도시험은 시간과 예산 관계상 실시할 수 없었으며 앞으로 이 장치의 실용화 및 국산화를 위해서는 계속적인 연구가 요망되었다.

# 부 록

부록 1. 배출가스 측정결과표

부록 2. 디젤 입자상물질중 황산화물 분석방법

여 백

부록 1

배 출 가스 측정 결과표

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* EXHAUST EMISSION TEST RECORD ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 10/00-12/20  
 Test Site : Vehicle Emission Lab.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0846HM E/G Engine No : 322-79-744  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : WEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 750 mmHg Rel. Humidity : 67 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

+ Baseline +

Drive Mode	Eng. Rev. (rpm)	Load (%)	Engine			Air Flow (g/h)	Fuel Flow (g/h)	Measured Value of Emission (ppm)				Corrected Value of Emission (g/h)					
			Corr. Torque (kg.m)	Corr. Torque (kg.m)	Power (PS)			CO	THC	NOx	CO <sub>2</sub> (%)	CO	THC	NOx			
1	610	0	0.0	0.0	0.0	201923	1080	465	275	100	1.12	0.770	84.70	25.14	23.04		
2	1000	100	38.6	40.8	57.0	259891	9240	1440	83	830	8.80	0.867	299.37	9.24	245.85		
3	1000	25	9.7	10.2	14.2	265620	2940	630	190	310	2.40	0.783	150.30	23.03	95.17		
4	1500	100	45.4	48.2	100.9	385220	15960	1665	70	1200	10.40	0.892	506.22	11.63	534.45		
5	1500	25	11.4	12.1	25.3	396258	5280	851	165	310	2.88	0.782	233.76	30.23	142.96		
6	2000	100	45.5	48.5	135.5	497220	21300	1125	75	1560	10.80	0.900	442.00	16.16	905.82		
7	2000	25	11.4	12.1	33.8	513886	7200	630	155	350	3.12	0.783	285.63	35.94	204.00		
												(g / BHP-HR)			5.69	0.37	6.08

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* EXHAUST EMISSION TEST RECORD ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.3.20. Test Time : 12/50-16/20  
 Test Site : Vehicle Emission Lab.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : 0084AHM E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : MEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 751 mmHg Rel. Humidity : 65 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

+ ETC +

Mode	Eng. Rev. (rpm)	Load (%)	Engine Torque (kg.m)	Corr. Torque (kg.m)	Corr. Power (PS)	Air Flow (g/h)	Fuel Flow (g/h)	Measured Value of Emission (ppm)				Corrected Value of Emission (g/h)				
								CO	THC	NOx	CO <sub>2</sub> (%)	CO	THC	NOx		
1	610	0	0.0	0.0	0.0	203016	1080	399	235	100	1.12	0.761	73.34	21.68	22.97	
2	1000	100	38.2	40.4	56.5	262058	9360	90	25	670	9.36	0.872	18.11	2.72	193.10	
3	1000	25	9.5	10.0	14.0	267219	2940	345	138	350	2.48	0.775	80.80	16.37	164.46	
4	1500	100	45.0	47.9	100.3	384407	15960	30	23	1220	11.28	0.907	8.55	3.53	517.67	
5	1500	25	11.2	11.9	24.8	400634	5160	9	27	280	3.04	0.777	3.07	4.71	122.09	
6	2000	100	45.0	48.0	134.1	497834	21240	13	19	1600	11.52	0.913	4.90	3.89	891.32	
7	2000	25	11.2	11.9	33.2	516012	7200	7	24	330	3.20	0.773	2.99	5.56	169.81	
											(g / BHP-HR)			0.46	0.15	5.89

\*\*\*\*\*  
 \* Particulate Matter Test Record for City Bus Engine ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 10/00-12/20  
 TEST SITE : VEHICLE EMISSION LAB.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0846HM E/B Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : WEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-B120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN 66M-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 750 mmHg Rel. Humidity : 67 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

( Baseline ( using teflon membrane filter ) ) +

Drive Mode	Exh. Temp (°C)	Suct. Temp (°C)	H <sub>2</sub> O (%)	Sample Time (minute)	Sample Volume (m <sup>3</sup> )	Filter Weight (g)	Parti. Conc. (g/m <sup>3</sup> Dry)	Exh. gas Flow (m <sup>3</sup> /h Dry)	Cal. Results (g/h)
1	56	35.00	2.4	30	0.227610	0.0254	0.127421	181.0580	23.07060
2	273	52.22	11.3	5	0.058672	0.0196	0.402465	215.3350	86.66450
3	96	54.44	4.0	20	0.216227	0.0148	0.083047	247.2500	20.53330
4	349	52.78	11.2	5	0.101374	0.0269	0.317711	370.3180	117.65400
5	112	51.11	4.0	20	0.333827	0.0112	0.040183	379.0680	15.23190
6	381	50.56	10.7	5	0.140848	0.0296	0.248862	523.3220	130.23500
7	136	49.44	4.0	20	0.470002	0.0091	0.023013	546.5370	12.57730
								( g / BHP-hr ) :	1.10010

\*\*\*\*\*  
 \* Particulate Matter Test Record for City Bus Engine ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 12/50-16/20  
 TEST SITE : VEHICLE EMISSION LAB.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : 00846HM E/6 Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 ; 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 2° BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : NEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : NEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 751 mmHg Rel. Humidity : 65 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

: CTO ( using teflon membrane filter ) :

Drive Mode	Exh. Temp (°C)	Suct. Temp (°C)	H <sub>2</sub> O (%)	Sample Time (minute)	Sample Volume (m <sup>3</sup> )	Filter Weight (g)	Parti. Conc. (g/m <sup>3</sup> Dry)	Exh. gas Flow (m <sup>3</sup> /h Dry)	Cal. Results (g/h)
1	49	42.78	2.4	30	0.212942	0.0037	0.020314	174.0550	3.53573
2	304	50.56	11.2	5	0.055869	0.0088	0.188448	198.0880	37.32930
3	139	53.33	4.1	20	0.223335	0.0010	0.005404	211.0570	1.14063
4	428	56.67	11.2	5	0.088320	0.0180	0.247763	301.9020	74.80020
5	154	55.00	4.1	20	0.331816	0.0044	0.016063	359.3020	5.77142
6	466	55.00	10.8	5	0.123971	0.0210	0.204183	412.3950	84.20410
7	163	56.67	4.1	20	0.436447	0.0029	0.008070	483.3710	3.90069
								( g / BHP-hr ) :	0.60776

\*\*\*\*\*  
 \* Sulfate Emission Test Record for City Bus Engine ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 10/00-12/20  
 TEST SITE : VEHICLE EMISSION LAB, -NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0846HM E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 129 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : NEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 750 mmHg Rel. Humidity : 67 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

( Based line ( using teflon membrane filter ) )

Mode	load Rate (%)	Engine Rev. (rpm)	Engine Power (PS)	Conc.in sample (ug/pl)	Total sulfate (ug)	Sample volume (Nm <sup>3</sup> )	Conc.in Exh. gas (ug/Nm <sup>3</sup> )	Exhaust gas flow (Nm <sup>3</sup> /hr)	Sulfate emission (g/h)
1	Idle	-	-	7.8083	140.4	0.2276	616.9	181.1	0.112
2	100	1000	56.9	3.9554	197.8	0.0587	3370.8	215.3	0.726
3	25	1500	14.2	7.5200	376.0	0.2162	1739.1	247.3	0.430
4	100	1500	100.7	6.8900	344.5	0.1013	3400.8	370.3	1.259
5	25	1500	25.3	6.9254	346.3	0.3338	1037.4	379.1	0.393
6	100	2000	135.3	32.2798	1614.0	0.1408	11463.0	523.3	5.999
7	25	2000	33.7	20.0820	1004.1	0.4700	2136.4	546.5	1.168
									( g/BHP-hr ) : 0.0226



\*\*\*\*\*  
 \* Sulfate Emission Test Record for City Bus Engine ( 7MODE ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 12/50-16/20  
 TEST SITE : VEHICLE EMISSION LAB.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0846HM E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : NEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-B120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 751 mmHg Rel. Humidity : 65 %  
 Dry Bulb Temp : 30 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

\* C10 ( using to-film membrane filter ) \*

Mode	Load Rate (%)	Engine Rev. (rpm)	Engine Power (PS)	Conc.in sample (ug/ml)	Total sulfate (ug)	Sample volume (Nm <sup>3</sup> )	Conc.in Exh. gas (ug/Nm <sup>3</sup> )	Exhaust gas flow (Nm <sup>3</sup> /hr)	Sulfate emission (g/h)
1	Idle	-	-	4.6358	231.8	0.2129	1088.7	174.1	0.189
2	100	1000	56.5	8.3167	415.8	0.0558	7452.2	198.1	1.476
3	25	1000	14.0	2.6250	131.3	0.2233	587.8	211.1	0.124
4	100	1500	106.3	325.7430	16287.2	0.0880	185081.0	301.9	55.876
5	25	1500	24.8	36.1245	1806.2	0.3318	5443.7	359.3	1.956
6	100	2000	134.1	382.1810	18109.1	0.1239	146159.0	412.4	60.275
7	25	2000	33.2	25.0779	1253.9	0.4364	2873.3	483.4	1.389
									( g/BHP-hr ) : 0.2399

\*\*\*\*\*  
 \* SMOKE TEST RECORD FOR DIESEL ENGINE ( FULL LOAD ) \*  
 \* \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.8.12. Test Time : 10/00-12/20  
 Test Site : Vehicle Emission Lab.-NIFER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0646HM E/G Engine No : 322-79-744  
 Max Power : 168 ps/3500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : NEBD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SORIKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 750 mmHg Rel. Humidity : 67 %  
 Dry Bulb Temp : 12 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

1. Baseline Test

Drive Mode	Eng. Rev. (rpm)	Load (%)	Corr. Torque (kg.m)	Measured Value (%)				Corrected Value (%)			
				1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
1	1000	100	51.5	44.2	43.9	44.0	44.0	44.5	44.2	44.3	44.4
2	1500	100	56.0	39.2	39.8	39.2	39.4	38.5	39.1	38.5	38.7
3	2500	100	51.3	26.9	27.6	27.2	27.3	24.5	25.4	24.8	24.9
Mean				36.6	37.2	36.8	36.9	35.9	36.3	35.9	36.0
Free Acc. Smoke test				39.0 %							

\*\*\*\*\*  
 \* SMOKE TEST RECORD FOR DIESEL ENGINE ( FULL LOAD ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.3.19, Test Time : 15/40-16/00  
 Test Site : Vehicle Emission Lab. IIIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine type : 6064AHU E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 ; 6  
 Engine Displacement : 7255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : WEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSH-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 1033.5 mmHg Rel. Humidity : 64 %  
 Dry Bulb Temp : 18.1 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

1. Diesel (100%)

Drive Mode	Eng. Speed (rpm)	Load (%)	Corr. Rate (%)	Measured Value (%)				Corrected Value (%)			
				1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
1	1000	100	51.1	45.2	45.0	44.0	44.7	45.2	46.0	45.0	45.7
2	1500	100	54.8	40.0	39.8	39.5	39.8	41.4	41.2	40.9	41.1
3	2500	100	58.1	25.5	24.9	24.1	24.8	26.2	25.6	24.8	25.5
Load				36.9	36.6	35.9	36.4	37.9	37.6	36.9	37.5
Free App. Smoke Test				41.0 %							

\*\*\*\*\*  
 \* SMOKE TEST RECORD FOR DIESEL ENGINE ( FULL LOAD ) \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1988.3.20. Test Time : 12/50-16/20  
 Test Site : Vehicle Emission Lab.-WIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : 06846HM E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 7755 cc Injection Timing : 29 BDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : HEDD-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : MEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SOKKEN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 751 mmHg Rel. Humidity : 65 %  
 Dry Bulb Temp : 14.3 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

④ (CO%) ④

Drive Mode	Eng. Rev. (rpm)	Load (%)	Carr. Torque (kg.m)	Measured Value (%)				Corrected Value (%)			
				1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
1	1000	100	51.8	21.0	20.8	20.3	20.7	20.9	20.7	20.2	20.6
2	1500	100	55.5	21.0	20.0	19.7	20.2	20.0	19.0	18.7	19.3
3	2500	100	50.4	12.1	11.8	11.8	11.9	11.0	10.7	10.7	10.8
Mean				18.0	17.5	17.3	17.6	17.3	16.8	16.5	16.9
Free Act. Smoke Test				18.2 %							

\*\*\*\*\*  
 \* SMOKE TEST RECORD FOR DIESEL ENGINE ( FULL LOAD ) \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

Test Date : 1985.3.20. Test Time : 17/40-18/00  
 Test Site : Vehicle Emission Lab.-NIER

\*\*\* Engine specification \*\*\*

Engine Type : D0846HM E/G Engine No : 322-79-774  
 Max Power : 168 ps/2500rpm / Max Torque : 50 Kg.m/1600rpm  
 Cycle and No. of cylinder : 4 , 6  
 Engine Displacement : 2255 cc Injection Timing : 29 BTDC  
 Fuel used : Diesel (Specific gravity: 0.85)

\*\*\* Test Equipment \*\*\*

Nomenclature and Type of Engine Dynamometer : HEDB-146H (220kW)  
 Nomenclature and Type of Exhaust Gas Analyzer : HEXA-8120 (Direct)  
 Nomenclature and Type of Smoke Tester : SORREN GSM-2

\*\*\* Experimental condition \*\*\*

Atm. Pressure : 752.5 mmHg Rel. Humidity : 61 %  
 Dry Bulb Temp : 18.6 deg.C

\*\*\* Result of test \*\*\*

① CTD002 ①

Drive	Eng.	Load	Lorr.	Measured Value				Corrected Value			
				Rate		Torque		Rate		Torque	
Mode	Rev.	Rate	torque	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
	(rpm)	(%)	(kg.m)								
1	1000	100	50.8	21.1	20.2	20.0	20.4	22.3	21.4	21.2	21.6
2	1500	100	54.8	19.8	20.0	20.0	19.9	20.9	21.1	21.1	21.1
3	2500	100	46.5	10.8	10.9	11.0	10.9	11.1	11.2	11.3	11.2
Mean				17.2	17.0	17.0	17.1	18.1	17.9	17.9	18.0
Free Acc. Smoke Test :				19.8 %							

## 부록 2

# 디젤 입자상물질중 황산화물 분석방법

## 1. 개요

디젤 입자상 물질중 황산화물의 분석을 위해 당 연구원에서 실측모드로 개발한 디젤 7모드를 사용하여 각 모드에서의 입자상 물질을 채취한 후 미국 환경보호청의 권장방법에 따라 입자상 물질을 포함한 여과지를 비이커에 넣고 Isopropyl alcohol 과 물 혼합액 ( 60/40 ) 20 ml 씩을 사용하여 2회에 걸쳐 녹여내고 두 용액을 합한후 50 ml 로 묽혀 황산화물을 측정하였다. 이와함께 여과지를 통과한 배출가스중의 SO<sub>2</sub> 양을 알기 위해 여과지홀더와 Stack sampler 사이에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3% 용액 50 ml 를 넣은 impinger 에 여과지를 통과한 배출가스를 통과시켜 SO<sub>2</sub> 를 흡수시키고 이 용액을 Ion chromatography 에 의해 황산이온을 측정하였다.

Ion Chromatography 는 미국 Dionex Corporation 제품의 모델 2020i 이며,

Dionex Corporation 의 Ion Chromatography 의 구조는 다음과 같다.

분리 검출의 경우, 측정시료는 용리액과 함께 분리 칼럼으로 들어간다. 시료가 분리 칼럼에 들어가면 이온들은 불연속적인 띠로 분리되기 시작하며 각 이온의 분리는 이온교환 칼럼 ( HPIC ) 의 표면상의 작용기에 대한 각이온의 상대적인 친화력에 따라 이루어진다.

분리된 이온과 용리액은 화학적 써프레서로 들어가 용리액의 전도도 값은 낮게 변화되고 시료는 전도도값이 높은 형태로 변화되어 전기전도도 ( Conductivity ) 검출기로 들어가게 된다.

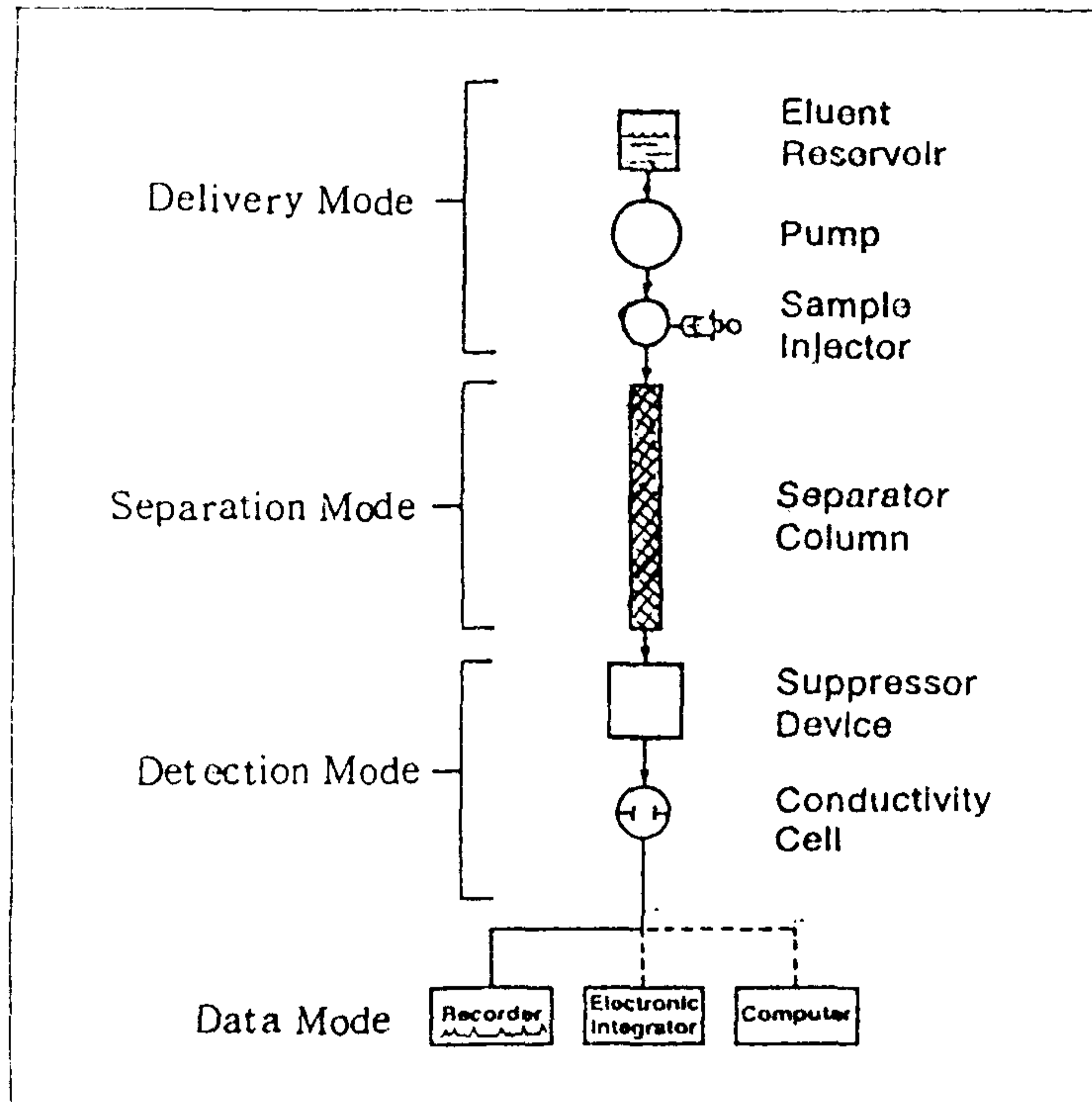


Fig. Schematic diagram of ion chromatography

## 2. 시약조제

### 2.1 Eluant 액

0.8479 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  와 0.2520 g  $\text{NaHCO}_3$  를 이온교환수에 녹혀 4ℓ 의 이온 교환수로 묽혀 2mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 0.75 mM  $\text{NaHCO}_3$  의 eluant 액을 제조한다.

### 2.2 재생액

95%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2.8 ml 를 4ℓ 의 이온 교환수에 녹혀 0.025 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  용액을 만들어 재생액으로 사용한다.

### 2.3 표준액

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  를 건조기에서 105 °C 로 1 시간동안 건조시킨뒤, des-

icator 에서 안정시킨후 1.4790 g 을 이온교환수에 녹여 1ℓ 로 묽힌다. 이때 제조된 용액의 황산화물 농도는 1000ppm 이므로, Isopropyl alcohol 과 물혼합액 ( 60/40 ) 과 혼합하여 시료농도에 근접한 표준용액을 제조한다.

본 실험에서는 30ppm 의 황산화물을 표준용액으로 사용하였다.

#### 2.4 황산화물 추출액

Isopropyl alcohol 과 물을 60 대 40 의 비율 ( V/V ) 로 혼합하여 황산화물 추출액으로 사용한다.

### 3 . 시료채취

디젤 입자상중 황산화물을 분석하기 위해서는 디젤 7 모드를 사용하여 각 모드에서의 입자상물질을 Baseline 과 CTO 에서 채취한다.

#### 3.1 여과지

디젤 입자상물질을 포집하기 위한 여과지는 많은 종류가 있지만 사용목적에 따라 적절히 선정하여 사용하여야 한다.

여과지를 선정함에 있어 고려하여야할 주요사항은 여과효율, 여과저항, 흡습성, 고분자량 유기화합물의 흡수, 배기가스중 가스상 화합물에 대한 감도 및 포집된 증기상물질의 손실등이다.

미국 환경보호청의 연구결과에 따라 디젤 입자상 물질의 포집에는 다음 3 가지 형태의 여과재를 많이 사용한다.

즉 Glass fiber filter, Teflon membrane filter 및 Teflon-coated glass fiber filter 이다.

최근 미국 환경보호청에서는 디젤 자동차의 배기가스 검사에 있



어 입자상물질 측정을 위한 여과재로서는 Teflon membrane filter 나 Teflon-coated glass fiber filter 를 사용하도록 요구하고 있다.

본 연구에서는 90 ml teflon membrane filter ( pore size 0.1 ~ 40  $\mu\text{m}$  ) 를 사용하였다.

### 3.2 측정실의 조건

미국 환경보호청의 규정에 의하면 본 연구에서는 여과지는 항온 ( 20 °C ~ 30 °C ) 및 항습 ( 상대습도 30 % ~ 70 % ) 로 유지한 실내에서 8 시간에서 80 시간을 방치후 측정하였으며 입자상 물질을 포집한 후에도 같은 조건으로 유지한 실내에서 1 시간에서 8 시간을 방치하여 여과지의 무게가 안정된후 무게를 측정하도록 되어있다.

측정실의 습도가 변하면 입자상물질의 흡습성 때문에 무게가 변하므로 입자상물질의 측정에 있어서 습도의 유지는 아주 중요하다.

### 3.3 시료채취 장치

디젤 입자상물질이란 디젤 자동차의 배출가스 중에 포함되어 있는 물질로서 52 °C 나 그 이하로 유지된 상태에서 Teflon membrane filter 나 Teflon coated glass fiber filter 에 여과된 입자상물질을 총칭한다. 그러므로 디젤 입자상물질을 측정하기 위한 시료채취는 이러한 조건으로 유지하여 채취하여야 한다.

미국 환경보호청의 규정에 의하면 디젤 배기가스를 깨끗한 공기로 희석시켜 희석공기의 온도가 52 °C 또는 그 이하로 유지하면서 입자상물질을 직경 70 mm 나 그 이상의 직경을 가진 여과지로 측정하며 여과된 입자상물질이 최소 5.3 mg ( 70 mm 일때 ) 이 되도록 규정하고 있다.

본 연구에서는 희석터널 장치가 없기 때문에 디젤엔진 배기관에서 연도용 분진 채취장치 ( Stack sampler, Nutech 2010 ) 로 시료를 등속 흡인하여 입자상물질을 90 mm tetlon membrane filter 에 포집하였다. 이때 시료가스온도를 52 °C 이하로 냉각시키기 위하여 냉각수로 냉각시켰다.

여과지를 통과한 시료가스중의 SO<sub>2</sub> 를 포집하기 위해 여과지 홀더와 stack sampler 사이에 유리 임핀저 4 개를 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액 50ml, Glass wool, 빈 임핀저, silica gel 의 순서로 연결하여 Ice bath 를 통과시켰다.

3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액 50 ml 가 들어 있는 임핀저를 배기가스가 통과하는 동안, 배기가스중의 SO<sub>2</sub> 는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액에 흡수되어 황산으로 존재한다.

입자상물질과 황산화물 시료채취 장치는 다음과 같다.

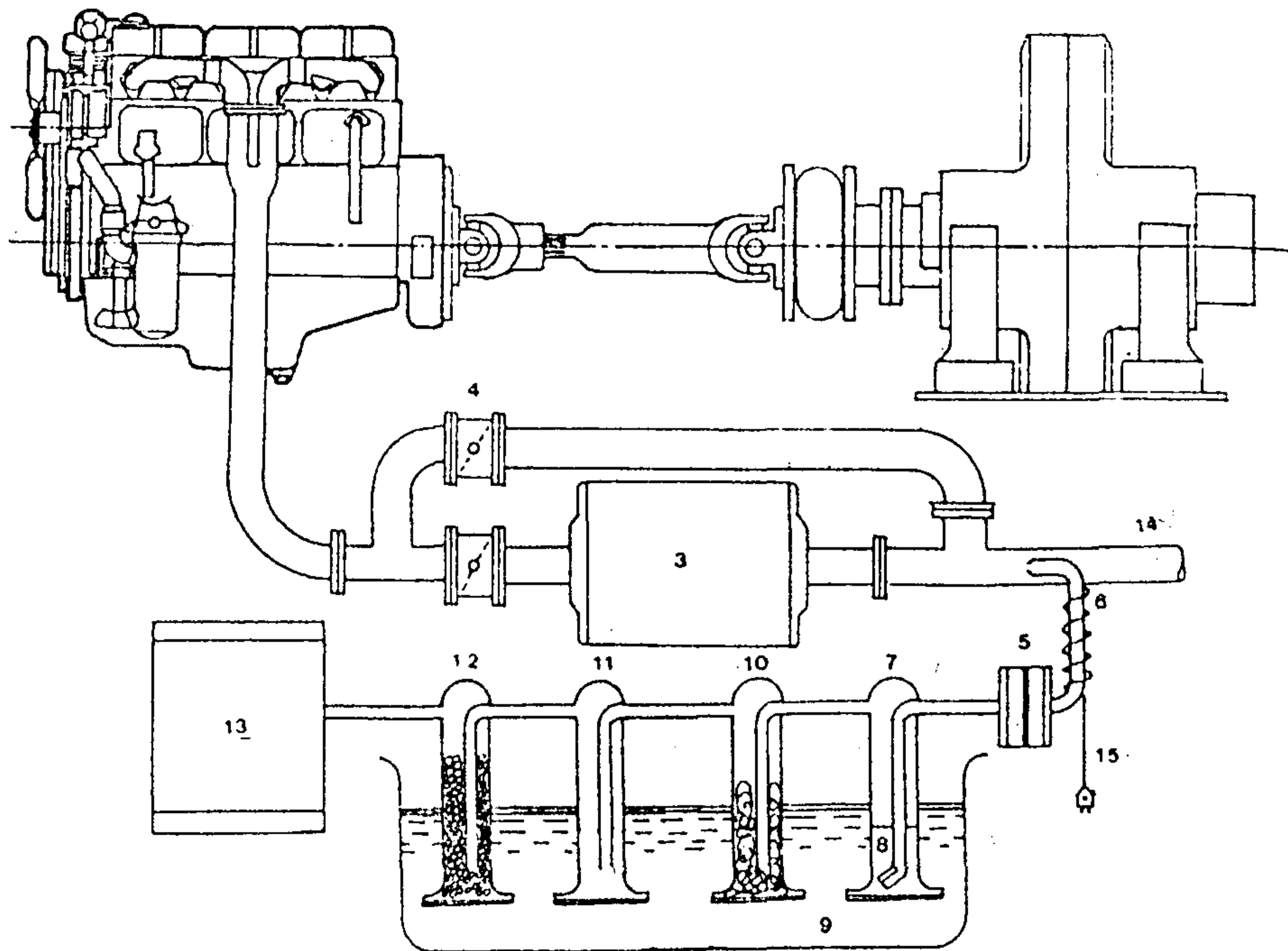


Fig. A-1 Schematic diagram for sulfate sample

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1. Test engine             | 8. (Isopropanol + H <sub>2</sub> O) sol. 50ml |
| 2. Engine dynamometer      | 9. Ice bath                                   |
| 3. Catalytic trap oxidizer | 10. Glass wool                                |
| 4. By-pass valve           | 11. Impinger(vacant bottle)                   |
| 5. Membrane filter         | 12. Impinger(silica gel)                      |
| 6. Suction nozzle          | 13. stack sampler                             |
| 7. Absorber                | 14. Exhaust tail pipe                         |
|                            | 15. Heated line                               |

#### 4. 분석조건

Ion Chromatography 의 분석조건은 다음과 같다.

Column : HPIC-AS4A

Flow : 1.1 ℓ / min

Pressure : 1040 psi

Temperature Compensation : 1.7

Range : 30 μS

#### 5. 황산화물의 계산

입자상물질 중에 함유된 황산화물 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 는 Ion chromatography 에서 μg / Sm<sup>3</sup>으로 표시된다. 각 모드별 시간당 배출되는 황산화물의 양 (g/hr) 을 계산하는 식은 다음과 같이 유도된다.

5.1 배기가스 시료 채취량을 표준상태로 환산

$$V_{corr}(Sm^3) = V_{exp}(ft^3) \times \frac{P_a + 25.4 \times \Delta H / 13.6}{760} \times \frac{28.3168(1/ft^3)}{1000(1/Sm^3)} \times \frac{273}{273 + T_m}$$

- $V_{corr}$  : 건조 배기가스 시료 채취량 (  $Sm^3$  )  
 $V_{exp}$  : 배기가스시료 채취량 (  $ft^3$  )  
 $T_m$  : 가스미터에서의 가스온도 (  $^{\circ}C$  )  
 $P_a$  : 대기압 (  $mmHg$  )  
 $\Delta H$  : 가스미터에서의 게이지 압 (  $inch H_2O$  )

## 5.2 각 측정 모드별 배기가스량 계산

각 측정모드별 배기가스량은 엔진의 모드운전시 소비한 연료 및 흡입공기량으로부터 계산하였다.

경유의 조성은 탄소와 수소로 구성되어 있으므로 경유의 탄소백분율을 알면 경유 1kg 을 연소시키는데 필요한 이론공기량 ( $A_0$ ) 과 각 측정모드의 시간당 연료소비량에 의하여 시간당 이론공기량 ( $A'_0$ )을 다음식에 의해 계산할 수 있다.

$$A_0(\text{sm}^3/\text{kg}) = \frac{1}{0.21} \left( \frac{22.4}{12} C + \frac{11.2}{2} H \right)$$

$$A'_0(\text{sm}^3/\text{h}) = A_0(\text{sm}^3/\text{kg}) \times \text{연료소비량}(\text{kg}/\text{h})$$

여기서 C와 H는 각각 탄소와 수소의 중량 백분율이다.

실제 공기량 ( $A \text{ sm}^3/\text{h}$ )은 배기가스 측정시 흡입공기량을 Laminar 유량계에 의하여 계산되므로 공연비 ( $m$ ) =  $A/A'_0$ 로 쉽게 계산된다. 공연비, 이론공기량 및 액체연료의 탄화수소 무게 백분율을 알면 다음식 의하여 연료 1kg 당 건조 배기가스량 ( $G$ ) 및 시간당 건조배기 가스량 ( $G'$ )를 구할 수 있다.

$$G(\text{sm}^3/\text{kg}) = (m-0.21)A_0 + 1.867C + 0.7S$$

$$G'(\text{sm}^3/\text{h}) = G(\text{sm}^3/\text{kg}) \times \text{연료소비량}(\text{kg}/\text{h})$$

5.3 Ion chromatography 에서  $\mu\text{g}/\text{ml}$  로 나타난  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도를 시료속에 포함되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 양으로 환산해 주기위해  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농

도 ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )에 용출액으로 사용한 Isoprpyl alcohol 과 물의 혼합액 (60/40)의 부피 ( $\text{ml}$ )를 곱하여 시료중의  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 양을 구한다.

$$\mu\text{gSO}_4^{2-} = \mu\text{gSO}_4^- / \text{ml} \times \text{시료부피} (\text{ml})$$

5.4 입자상중 포함된 시간당 배출되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 양 ( $\text{g}/\text{hr}$ )을 계산한다.

$$\text{g/hr} = \mu\text{gSO}_4^{2-} \times \frac{1}{V_{\text{corr}}(\text{Sm}^3)} \times G'(\text{Sm}^3/\text{hr}) \times 10^{-6}$$

제동마력-시간당 배출가스 중량농도는 각 모드에서 측정된 각 모드별  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도 ( $\text{g}/\text{hr}$ )에 중량계수를 곱하여 합산한 값을 각 모드의 제동마력에 중량계수를 곱하여 합산한 값으로 나누어 계산할 수 있다.

$$B_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{I (W_{\text{SO}_4^{2-}} \times \text{WF})}{I (B_{\text{HP}} \times \text{WF})}$$

여기서  $B_{\text{SO}_4^{2-}}$ 는 제동마력-시간당  $\text{SO}_4^{2-}$ 농도 ( $\text{g}/\text{bhp-hr}$ ),  $B_{\text{HP}}$ 는 제동마력,  $W_{\text{SO}_4^{2-}}$ 는 입자상중 포함된 시간당 배출되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 양( $\text{g}/\text{hr}$ ),  $\text{WF}$ 는 중량계수이다.

List of Tables

Table 2-1	Criteria for Commercial Feasibility of Trap-Oxidizer Systems. ....	21
Table 2-2	Status of Vehicle Kilometers Traveled and Fuel Consumption . ....	31
Table 2-3	Emission Factors .....	34
Table 2-4	Contribution of Air Pollutant Emissions. ....	35
Table 3-1	Gaseous Pollutant Concentration for 6 Mode and 7 Mode. ....	55
Table 3-2	Sulfate Emission Test Result with and without CTO .....	60
Table 4-1	Maximum Recommended Soot-Loading vs. Diesel Filter Sizes. ....	81
Table 4-2	Characteristics of Wall Flow Diesel Filter for Sample .....	82
Table 4-3	Physical Characteristics of Interam Mat (Nominal Values) .....	83
Table 4-4	Physical Properties of Can Materials (Stainless Steel) .....	83
Table 4-5	Specification of Diesel Burner .....	85

## List of Figures

Fig. 2-1	Size Distribution of Diesel Particulate .....	14
Fig. 2-2	Absorption of Soluble Hydrocarbon Fraction in Diesel particulate .....	14
Fig. 2-3	Entry Route of Inhaled Airborne Particle .....	16
Fig. 2-4	Relationship between Particle Diameter and Fraction Deposited in the Respiratory System ..	17
Fig. 2-5	Catalytic Trap Oxidizer .....	25
Fig. 2-6	Various Types of Ceramic Monolith Trap .....	26
Fig. 2-7	Support Pipe and Silicon Dioxide Thread Vross Winding .....	27
Fig. 2-8	Diesel Particulate Type of Mullite Fiber Ceramics .....	27
Fig. 2-9	Ceramic Fiber Coil Particulate Trap .....	28
Fig. 2-10	Particulate Trap Oxidizer .....	28
Fig. 3-1	Catalytic Ignition Temperatures .....	43
Fig. 3-2	Cross-section View of Catalytic Oxidizer System .....	44
Fig. 3-3	Detail View of CTO System .....	45
Fig. 3-4	Schematic Diagram of Diesel Emission Measuring Apparatus .....	46
Fig. 3-5	View of Dynamometer and CTO Installation .....	47
Fig. 3-6	View of Engine Dynamometer Controller and Emission Analyzer .....	48

Fig. 3-7	Photograph of CTO Apparatus Installed on a City Bus .....	50
Fig. 3-8	Exhaust Gas Temperature Profile and Other Vehicle Operation Variable for the Test Route .....	51
Fig. 3-9	Actual Driving Route Test of City Bus with CTO System .....	52
Fig. 3-10	Exhaust Gas Temperature Distribution for Actual Vehicle Running Condition with CTO System .....	53
Fig. 3-11	Smoke Emission Reduction with CTO System on a Diesel Engine by Full Load and Free Acceleration .....	54
Fig. 3-12	Particulate Emission Reduction with CTO System .....	56
Fig. 3-13	Diesel Exhaust Gas Test Result by 7 Mode with and without CTO-88 System (Engine: D0846HM-78) .....	57
Fig. 3-14	Genesis of Diesel Particulate Emissions .....	58
Fig. 3-15	Sulfate Emission With and Without CTO .....	61
Fig. 3-16.	Exhaust gas temperature and back pressure during actual bus service .....	63
Fig. 4-1	Principal of Collection of Particulates in Ceramic Filters .....	72
Fig. 4-2	Back Pressure and Temperature Curves and Formulation of Mass Balances for Different Operation Modes of a Soot Filter .....	74



Fig. 4-3	Drawing of Ceramic Diesel Filter Canning .....	84
Fig. 4-4	Wiring Diagram of Diesel Burner .....	86
Fig. 4-5	Schematic Diagram of Engine Test Bench.....	88
Fig. 4-6	View of Engine Dynamometer Test Bench .....	89
Fig. 4-7	Characteristics of Baseline according to Engine Torque and Engine Speed Change .....	90
Fig. 4-8	Characteristics of Baseline by Fuel Consumption and Engine Speed Change .....	91
Fig. 4-9	Characteristics of Baseline according to Horse Power and Engine Speed Change .....	92
Fig. 4-10	Characteristics of Baseline according to Fuel Rate and Engine Speed Change .....	93
Fig. 4-11	Characteristics of Baseline according to Exhaust Gas Temperature and Engine Speed Change .....	94
Fig. 4-12	Characteristics of Engine Load according to Torque and Engine Speeds .....	95
Fig. 4-13	Efficiency Change with Loading Time .....	96
Fig. 4-14	Efficiency Change with Wall Thickness .....	96
Fig. 4-15	Soot Loading Effect on Pressure Drop .....	97
Fig. 4-16	Pressure Drop Change Over Time .....	98
Fig. 4-17	Transient Mode Test Cycle for Soot Loading .....	99
Fig. 4-18	Smoke Mode Driving Pattern .....	101

Fig. 4-19	Exhaust Gas Temperature Profile in Interior Ceramic Diesel Filter as a Transient Test Mode .....	102
Fig. 4-20	Exhaust Gas Pressure Profile in Exhaust Manifold as a Transient Test Mode .....	102
Fig. 4-21	Soot Loading and Regeneration Cycle by Continued Transient Test Mode .....	104
Fig. 4-22	Diesel Mode Opacity at Full Load with and without Ceramic Diesel Filter .....	105
Fig. 4-23	View of Ceramic Diesel Filter after Particulate Filtration .....	106
Fig. 4-24	Soot Loading Test Cycle by 7 Mode .....	108
Fig. 4-25	Temperature during Regeneration at Back Pressure 1020mmAq. ....	109
Fig. 4-26	Temperature during Regeneration at Back Pressure 1360mmAq .....	110
Fig. 4-27	Temperature during Regeneration of Back Pressure 1700mmAq .....	111
Fig. 4-28	Temperature during Regeneration at 1020mmAq with Additional Blower .....	114
Fig. 4-29	Temperature during Regeneration at 1360mmAq with Additional Blower .....	115
Fig. 4-30	Temperature during Regeneration at 1700mmAq with Additional Blower .....	116
Fig. 4-31	Shape of Combustion in Ceramic Diesel Filter ..	117
Fig. 4-32	Schematic Diagram of Ceramic Diesel Filter Installed on a City Bus. ....	118

Fig. 4-33	View of Ceramic Diesel Filter Installed on a City Bus .....	119
Fig. 4-34	View of Diesel Burner Installed on a City Bus .....	120
Fig. 4-35	Back Pressure History of Trap during Smoke Accumulation and Regeneration for City Bus in Service .....	122