

(논 문) SAE NO. 96370049

## 디젤 입자상물질 제거장치에 적용되는 버너의 설계 개념 및 기초 실험

### Conceptual Design and Basic Experiment of the Burner for the Particulate Trap System

박 동 선\*, 김 재 업\*, 이 만 복\*, 김 응 서\*\*  
D. S. Park, J. U. Kim, M. B. Lee, E. S. Kim

#### ABSTRACT

We designed and developed the burner which would be adapted on the burner type diesel particulate trap system. The burner type particulate trap system consists of burner system to regenerate the ceramic filter, ceramic filter canister, system controller and etc. Many design factors which affect the performance of the burner system were discussed.

We also investigated burner characteristics according to the operating parameters. Burned gas temperature could be controlled better by the 2nd air flow rate than the 1st one. As the space velocity increases, the axial and radial temperature gradients in the filter decreases.

주요기술용어 : TPM(입자상물질), Particulate trap system(입자상물질 제거장치), Space velocity (공간 속도), Design parameters(설계 변수)

#### 1. 서 론

1990년에 국내에서 조사한 바에 의하면 자동차에 의한 대기 오염 중에서 CO의 32%, HC의 37%, NO<sub>x</sub>의 83%, SO<sub>2</sub>의 98%, 그리고 입자상물질의 대부분이 디젤 자동차에서 배출되고 있다고 한다<sup>1),2)</sup>. 디젤 자동차로부터 배출되는 입자상물질과 NO<sub>x</sub>는 인체에 치명적인 유해 물질이며, 최근 차량의 증가에 따른 교통 혼잡과 화물

의 과적으로 인하여 그 배출량이 크게 증가하고 있다.

Figure 1은 입자상물질과 NO<sub>x</sub>에 대한 미국 연방 규제와 한국의 규제 동향을 보여준다<sup>3)~5)</sup>. 그림에서 볼 수 있듯이 1996년 이후에는 매우 엄격한 배기 규제가 이루어지고 있다. 이러한 규제수준을 만족시키기 위해서 세계 각국의 연구소와 자동차 회사에서는 많은 비용을 투자하여 연구를 활발히 진행하고 있다<sup>6)~9)</sup>. 세계적으로 엄격해지는 규제 동향과 관련하여 국내에서도 동일한 수준의 규제가 이루어져야 한다는 주장이 강하게 대두되고 있다<sup>5)</sup>.

\* 정회원, 서울대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정회원, 서울대학교 공과대학 기계공학과

NO<sub>x</sub>와 입자상물질은 엔진 내에서 생성 조건이 상반된다고 알려져 있다. 이에 대한 대책으로는 크게 두가지 형태의 연구부류로 나누어 볼 수 있다. 즉, 엔진내부 연소조건 개선을 통한 유해배출물 억제와, 엔진 외부에서 후처리에 의한 유해배출물 억제를 시도하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 물론 이들의 연구가 완전히 독립적인 것은 아니고 상호 연관이 되어 있다. 엔진내부에서의 연소개선을 통한 배출물 규제를 만족하기 위한 연구에는 엄청난 연구비가 투자되고 있으며, 이에 대해 후처리장치의 개발은 연구개발비의 투자 측면에서는 다소 부담이 적지만 후처리 장치의 부착비용과 유지, 보수 측면의 비용이 부가적으로 차량가격에 포함된다는 단점이 있다. 최근에, 국내에서 이미 상업적 운영을 하고 있는 시내버스 등의 배출물 저감 해결문제는 후처리 장치의 개발쪽으로 많은 관심이 모아지고 있다<sup>1), 2), 5)</sup>.

Kawatani와 Zelenka는 이러한 배기가스의 발생에 영향을 미치는 인자에 대한 광범위한 실험을 행한 후, 2000년 세계각국의 배출물 규제를 만족하기 위해서는 최종적으로 산화 촉매에 의한 배기가스 후처리 장치의 사용이 필연적이라는 결론을 내린 바 있다<sup>8), 9)</sup>. 본 연구는 엔진 외부에서의 후처리 연구와 관련하여, 버너를 사용하는 강제재생방식의 디젤 입자상물질 제거장치의 개발을 위한 연구에 관련된다.

입자상물질 제거장치는 필터에 여과된 입자상

물질의 재생 방식에 따라 크게 능동재생과 수동 재생으로 나눌 수 있다. 버너 또는 전기히터를 사용하여 재생시키는 방법을 능동재생(Forced Regeneration 또는 Active Regeneration)이라고 하며, 연료에 첨가제를 넣거나 필터에 산화 촉매를 피복하여 입자상물질의 재생 온도를 강하시켜 필터를 통과하는 입자상물질을 자연적으로 배기가스의 온도만으로 연소되도록 하는 방법을 수동재생(Natural Regeneration 또는 Passive Regeneration)이라 한다.

본 연구에서는 버너를 이용한 입자상물질 제거 장치의, 실차 적용을 고려한 설계 개념과, 버너의 성능과 제어에 관련된 기초 실험 결과를 제시하였다. 실험 결과는 실차적용에 앞서 엔진 디아나모 벤치 실험과 관련하여 입자상물질 제거장치의 핵심적인 구성부인 버너의 기본적인 성능과 버너의 작동중에 필터 내부에서 발생하는 온도분포와 온도구배에 관한 결과를 제시하였다.

## 2. 입자상물질 제거장치

입자상물질 제거장치의 작동원리와 실차적용을 고려한 설계 개념을 설명하였다. 본 연구에서 실험에 사용한 버너 시스템은 최종적으로 실차 적용을 고려하여 설계 및 제작되었다.

### 2.1 입자상물질 제거장치의 작동 원리

Figure 2에는 사용차에 장착이 가능한 시스템을 개략적으로 나타내었다. 시스템의 동작은 엔진으로부터 배출되는 배기가스가 세라믹 필터를 통과하면서 입자상물질이 걸러지는 여과과정과, 여과된 입자상물질을 연소시켜 필터를 재생시키는 재생과정으로 나눌 수 있다.

여과과정 중에서 밸브(L)이 완전히 개방되어 배기가스는 모두 필터를 통과하도록 되어 있으며, 삼방향 밸브(M)은 개방되어 노즐에 오염 방지를 위한 압축 공기를 공급하고 있다. 배기가스 바이패스 제어 장치(O)와 밸브(N)은 완전히 차단되어 있다.

입자상물질의 여과가 진행됨에 따라 배압이 상승하고 (G)의 압력 센서는 이러한 압력 상승을

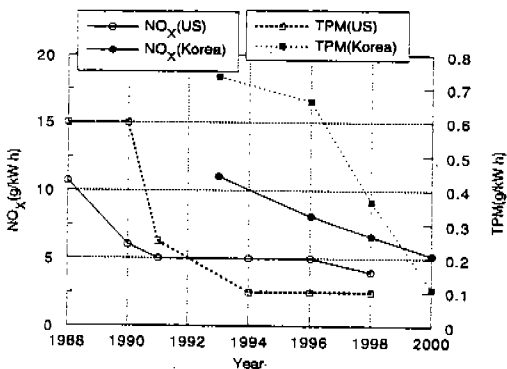


Fig.1 Heavy duty diesel emission regulations and trends in Korea and USA.

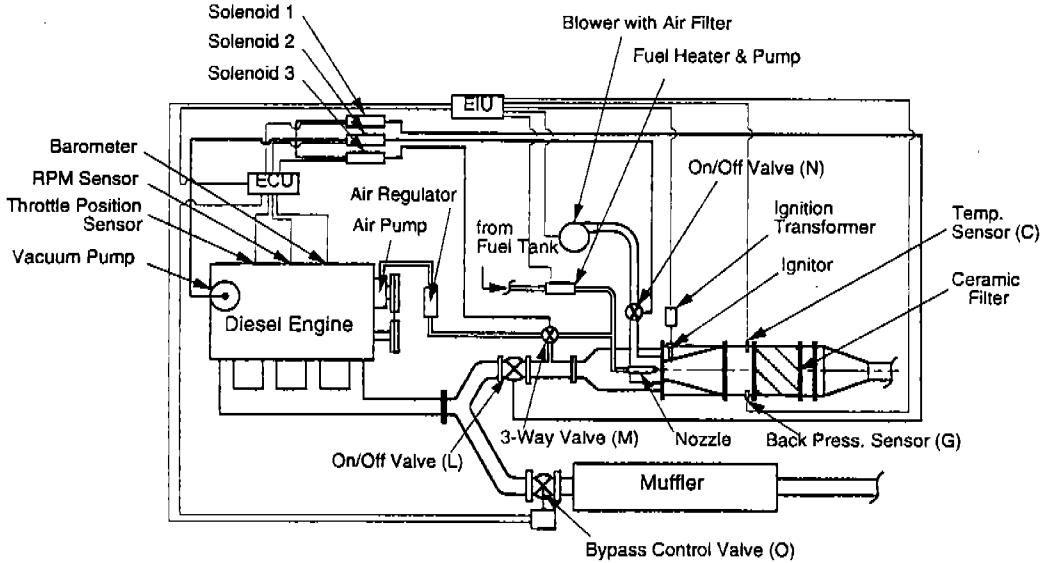


Fig.2 Schematic diagram of burner type particulate trap system.

검출하여 EIU(Electronic Interface Unit)를 거쳐 ECU(Electronic Control Unit)로 압력 상승 값을 보내게 된다. ECU는 필터 전면의 압력과 엔진의 부하, 회전 속도를 기본 데이터로 하여 재생시점을 결정하게 된다.

재생이 시작되면 ECU는 (O)를 열고 (L)을 차단한다. (L)의 차단은 버너에서의 점화의 신뢰성을 높이기 위하여 임시적으로 행해지며, 점화의 성공 여부가 (C)의 온도 센서에 의해 확인되면 (L)은 완전 개방되어 엔진의 배기가스는 소음기와 트랩 시스템의 양쪽으로 통과할 수 있게 된다.

점화시 ECU는 EIU를 통하여 노즐에 연료를 공급하기 위하여 연료 펌프를 가동하고, 점화봉이 연결된 점화 트랜스에 전력을 공급한다. 연료 펌프로부터 가압된 연료는 압력 조절기를 거쳐 설정된 압력으로 노즐로 공급된다. 점화 트랜스에서의 방전은, 온도 센서로부터의 범화가 이루어졌음을 알리는 신호가 있다 하더라도 점화의 신뢰성 향상과 화염의 안정을 위하여 약 10~15초 정도 지속된다.

필터로 공급되는 연소 가스의 온도는 필터 내부의 온도를 결정짓는 중요한 요소이다. 엔진의

부하와 회전속도에 따라 배출되는 배기가스의 양은 큰 폭으로 변화하며 필터로 공급되는 연소 가스의 온도를 변화시키게 되므로, 트랩 시스템으로 도입되는 배기가스량을 제어할 필요가 있다. 버너로부터 공급되는 연소 가스의 온도를 과냉각시킬 정도의 배기가스가 공급될 경우에는 바이패스 제어 장치(O)를 통과하여 소음기로 바이패스되는 유량을 늘리고, 엔진의 회전수가 낮아지면 (O)를 통과하는 바이패스 유량을 줄이는 방향으로 제어한다. 이 제어를 위하여 적용 엔진의 부하와 회전 속도에 따른 배기가스량이 기본 자료로 필요하게 된다.

ECU는 재생 기간 중에 지속적으로 필터 전면의 압력과 엔진의 부하, 회전 속도에 따른 제어 인자를 검출하여 재생 종료로 파악하게 된다. 필터가 완전히 재생되었다는 판단이 내려지면, 다시(O)는 완전히 차단되어 엔진으로부터의 배기가스는 필터를 통과하여 대기 중으로 배출된다. 이 과정중에는 다시 공기 펌프(또는 공기 압축기)로부터 작은 양의 공기가 노즐에 공급되어 노즐의 오염을 방지할 수 있도록 하여야 한다. 물론 연료 펌프의 전원은 차단되고 밸브(N)은 차단된다.

## 2.2 버너 시스템

버너 시스템은 포집된 입자상물질을 연소시키기 위한 열량을 공급하는 핵심부로서, 연료를 공급하기 위한 연료 펌프와 압력 조정기, 노즐, 소화시 연료관에 남아있는 연료를 끌어내기 위한 리턴 펌프, 연료의 점화를 위한 점화 시스템, 연료의 원활한 무화를 위하여 1차 공기에 각운동량을 주기 위한 스윌러, 송풍기, 그리고 2차 연소 공기의 통로에 설치되어 필터 전면의 온도분포를 조정하기 위한 믹싱 라이너(mixing liner) 등으로 구성되어 있다.

버너의 설계에 있어서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- (1) 재생에 필요한 충분한 열량을 공급할 수 있어야 한다.
- (2) 엔진의 모든 작동범위에서 버너는 재생을 수행할 수 있어야 하며 이 때 버너 화염의 안전성이 보장되어야 한다.
- (3) 버너에 의한 2차 오염 물질의 배출이 적어야 한다.
- (4) 버너의 작동에 의하여 노즐이 오염되거나 파손되어 동작 불량이나 발생하지 않아야 한다.
- (5) 점화 및 소화의 신뢰성이 보장되어야 한다.
- (6) 열복사가 작아야 한다.
- (7) 연소 가스에 의한 균일한 온도장을 형성시켜야 한다.
- (8) 최소의 주연소 공기로 화염이 안정되어야 한다.
- (9) 넓은 범위의 주연소 공기 유량에 걸쳐 화염이 안정되어야 하며 완전 연소가 이루어져야 한다.
- (10) 외부로의 전자파 장애가 적어야 한다.

노즐은 화염에 의하여 가열과 냉각이 반복되어도 정상적인 동작이 가능하도록 내구성이 보장되어야 한다. 노즐의 유량 선정은 사용 엔진의 배기량과 필터 크기에 따라 적절하게 선정하여야 한다. 분사되는 연료가 연소되어 생성되는 연소 가스의 온도가 이론적인 단열화염온도보다 실제로 약 20~40% 정도 낮아지는 것을 고려하여

선정한다. 본 연구에서는 두가지 노즐을 실험적으로 결정하였다. 엔진 배기량이 5,000cc 이하의 차량에 적용될 트랩 시스템을 위하여 1.152kg/hr의 노즐을 사용하고 있으며, 10,000cc 이상의 차량에는 3.2kg/hr의 유량을 분사하는 노즐을 사용하고 있다. 노즐의 유량이 지나치게 크거나 낮으면 연료의 무화와 점화에 악영향을 끼치게 된다. 연료의 공기의 혼합을 위하여, 노즐은 중공 원뿔 형상(hollow cone type)의 분무패턴을 갖는 노즐을 사용하였으며 분무각은 80~100°이다.

점화 시스템은 연료-공기의 혼합기에 충분한 점화 에너지를 공급하여 연료 분사와 동시에 신속한 점화가 이루어지도록 하는 역할을 한다. 일반적으로 경유의 혼합기는 신속한 점화가 이루어지지 않는다는. 따라서 일차적으로 연료와 공기의 혼합에 깊은 주의를 기울여야 하며 점화 시스템의 선정과 점화봉의 위치 등에도 주의하여야 한다. 본 연구에서는 많은 실험을 통하여 연료 분사후 1초 이내에 점화가 이루어지고 있으나, 자체 제작한 점화봉의 내구성과 신뢰성에 관한 문제가 아직 해결 과제로 남아 있다.

점화봉은 재생 중에는 화염에 직접 노출되어 있으며, 여과층에는 엔진 배기가스 중에 직접 노출되어 있다. 따라서 화염에 의한 파손과 배기가스의 매연에 의한 오손 등이 모두 심각한 문제가 된다. 특히 매연에 의한 탄소 알갱이의 점화봉 피복 현상이 발생하여 점화를 위한 불꽃이 생성되지 않는 경우도 있다. 점화 에너지는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 고전압(약 12kV 이상)으로 승압시키고 고주파 방전에 의한 아아크를 점화봉 사이에서 발생시킨다.

스윌러는 연료와 공기의 혼합을 일차적으로 담당하는 매우 중요한 부품이다. 본 연구에서는, 주연소 지역에서 연료와 신기의 혼합을 위하여 스윌러와 스테빌라이저(stabilizer)의 효과에 대한 실험을 광범위하게 진행하였으며, 최근의 결과는 자연적인 스윌을 발생시키고자 했던 스테빌라이저의 사용으로는 완벽한 연료-공기의 혼합을 생성시킬 수 없다는 결론을 도출하였다. 스테빌라이저의 형태는 Fig.3에 나타나 있다. 입구

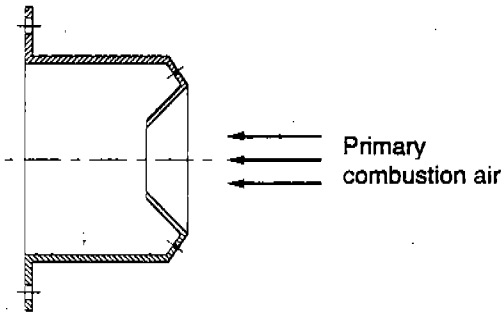


Fig.3 Schematic drawing of stabilizer

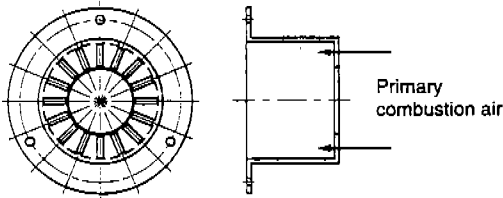


Fig.4 Schematic drawing of vane type swirler

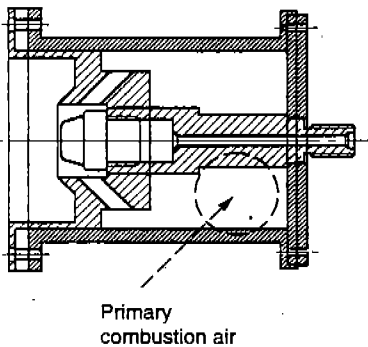


Fig.5 Schematic drawing of modified block type swirler

쪽에서 접선방향으로 들어온 신기는 노즐주변의 기하학적 형상을 감싸고 돌아 출구를 빠져 나간다. 이러한 방법으로 스월이 생성된다. 스테빌라이저와는 달리 좀 더 강제적으로 원하는 스월 형태를 생성시키기 위하여 베인 타입의 스월러와 블록 타입의 스월러를 사용한 연료-공기 혼합에

관한 연구를 진행하였으며, 베인 타입의 스월러는 스테빌라이저에 의한 화염의 형태를 크게 개선하지 못했다. 연구에 사용한 베인 타입 스월러가 Fig.4에 나타나 있다. 현재는 단순 블록타입이 아닌 수정된 블록타입 스월러(Modified Block Type Swirler)를 사용하고 있다. 사용중인 스월러의 개략적인 형태가 Fig.5에 나타나 있다. 입구쪽에서 접선방향으로 들어온 신기는 6개의 작은 구멍을 통해 빠져 나가며 중앙의 구멍에는 노즐이 결합 되어 신기가 빠져나가지 못한다. 각각의 구멍을 통하는 신기의 제트는, 스월러의 기하학적인 형상에 의해 축방향 반경방향의 운동량의 비는 1이다. 이 때의 스월비는 다음식으로부터 주어진다.

$$Swirl\ ratio = \frac{radial\ momentum\ of\ jet}{axial\ momentum\ of\ jet}$$

연소에 필요한 1차 연소공기는 송풍기에 의해 공급되며, 스월러를 통하여 노즐 주위로 공급된다. 송풍기는 DC 24V로 구동되며, 공급되는 전력을 제어하여 공기량을 조절하게 되어 있다. 연소공기의 온도를 제어하기 위한 2차 회석 공기는 1차 연소 공기와는 달리 엔진으로부터 공급되는 배기가스와 함께 믹싱 라이너를 통하여 이미 연소된 연소 가스 주위로 공급된다. 연소 가스의 온도를 제어하기 위하여 본 실험에서는 2차 회석공기로서 신기만을 사용하였다.

믹싱 라이너는 여과시에는 엔진으로부터의 배기가스가 필터를 균일하게 통과하도록 유도하며, 재생시에는 필터 전면에 도달하는 가스들의 온도 분포를 균일하게 해주는 기능을 수행한다. 따라서 믹싱 라이너의 경사 각도, 구멍 크기, 구멍의 위치 및 구멍의 갯수 등은 중요한 설계 인자가 된다.

### 2.3 트랩 캐니스터 어셈블리

본 실험에서는 입자상물질의 채집을 위해 미국 코닝(Corning)사에서 생산된 EX-80 세라믹 코디어라이트 필터(ceramic cordierite filter)를 사용하였다. 필터와 바깥 캔과의 밀봉을 위하여

3M 인터램 매트(interam mat)를 사용하였으며, 캔의 입구 부분과 출구 부분은 와이어 메쉬(wire mesh)로 밀봉되어 매트의 부식을 방지하도록 되어 있다. 캔의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였으며 두께는 2.0mm이다.

### 3. 실험 장치 및 방법

버너의 성능과 제어 가능성을 알아보기 위한

기초적인 실험을 수행하였으며, 실험 장치의 개략도는 Fig.6과 같다. 측정 장치로는 연소 가스와 필터 내부의 온도를 측정하기 위한 열전대, 공급 신기 유량을 측정하기 위한 열선 유속계와 총류 유량계가 있다. 사용한 열전대는 직경 1.5mm의 K형이며, PC에 장착된 열전대 전용 A/D 보드를 통해 온도를 기록하게 된다.

연소 가스의 온도는 필터 전면의 중심 부분에서 측정하였고, 필터 내부에서는 측방향과 반경

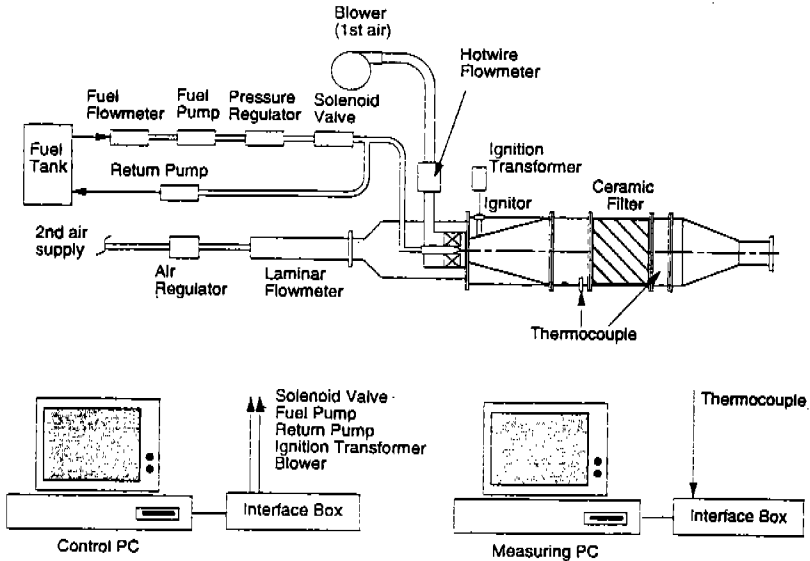


Fig.6 Trap system and experimental apparatus.

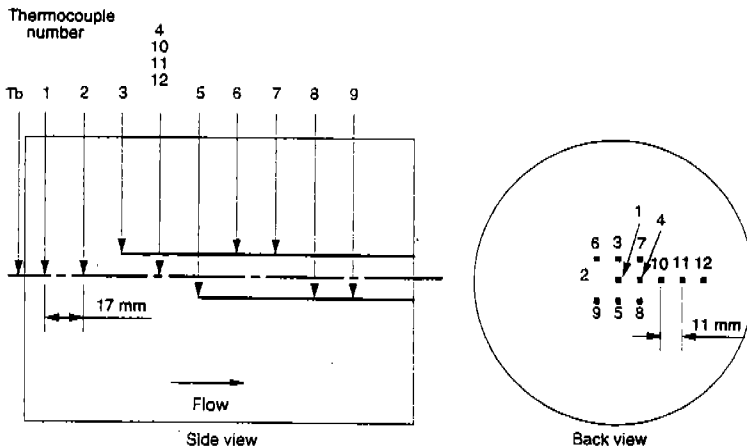


Fig.7 Temperature measuring positions in filter.

방향의 온도 분포를 알아보기 위하여 Fig.7에 나타낸 것과 같이 총 12군데에서 측정이 이루어졌다. 축방향으로의 온도 분포 측정은 필터 내부의 맨 선단에서 시작하여 후방으로 17mm마다 측정하였으며, 반지름 11mm 이내에 위치하도록 하였다. 반경 방향으로의 온도 분포 측정은 필터의 셀을 하나씩 건너 뛰며 11mm마다 측정하였으며, 축방향으로의 위치는 동일한 위치에 있도록 배치하였다.

공기량은 총류 유량계와 자체 제작한 열선 유량계를 사용하여 각각 측정하였다.

점화를 위하여 연료 펌프를 구동하면 연료압 조절기에 1MPa 이상의 연료압이 걸리게 되고 연료압 조절기에 설정된 원하는 압력으로 조정된 다음 솔레노이드 밸브를 통하여 연료분사 노즐에 공급되어 연료가 분사된다. 솔레노이드 열림 신호와 함께 점화봉에 고주파 점화 에너지를 공급하기 위하여 점화봉 직전에 설치된 점화트랜스에 전압이 PC의 제어 신호에 의해 공급된다. 점화봉에 고주파 입력이 주어지면 점화봉에서는 점화 에너지가 발산되고 분사되는 연료를 점화시키게 된다.

이 때 연료의 무화와 1차 연소를 담당하는 신기가 노즐 주위에서 공급되어 원활한 연료의 무화와 1차 연소를 수행하게 되며, 공급공기 유량은 화염의 안정성과 관련하여 적정하게 제어하도록 되어 있다. 1차 연소공기뿐만 아니라 완전한

연소를 보장하기 위한 2차 연소공기가 믹싱 라이너를 통하여 1차 연소가스에 공급된다. 이러한 2차 연소공기는 최종적으로 필터의 전면에 도달하는 연소가스의 온도를 제어한다.

#### 4. 결과 및 검토

Figure 8은 2차 희석 공기량을 0.251m<sup>3</sup>/min로 고정한 상태에서, 분사 압력이 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9MPa일 경우 1차 연소 공기량의 변화에 따른 정상 상태 연소가스 온도를 나타낸 것이다.

분사 압력이 높을수록 연소 가스의 온도는 증가하고, 1차 연소 공기량이 증가할수록 연소 가스 온도는 감소하는데 그 감소량은 그리 크지 않으며 최고 온도의 약 6~7% 정도이다. 0.4, 0.5MPa의 경우, 1차 연소공기량을 증가시키는 과정에서 화염이 꺼지는 화염날림(blow-out)이 발생하였다. 1차 공급 공기 유량이 약 0.25m<sup>3</sup>/min을 전후로 하여 화염의 형태는 황색 화염에서 세 혼합에 의한 청색 화염으로 전환되는 것을 보여 주며 완전 연소가 되는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 근거로 본 시스템에서는 연료 공급 압력 0.6MPa, 유량으로는 0.25×10<sup>-3</sup>kg/s을 시스템에 적용하기로 결정하였다.

Figure 9은 1차 연소 공기량을 0.323m<sup>3</sup>/min로 고정하고, 분사 압력이 0.55, 0.6, 0.65, 0.7,

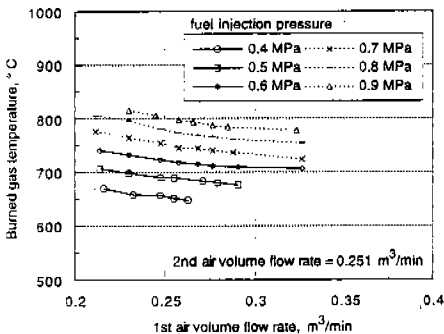


Fig.8 Burned gas temperature as a function of fuel injection pressure and 1st air volume flow rate.

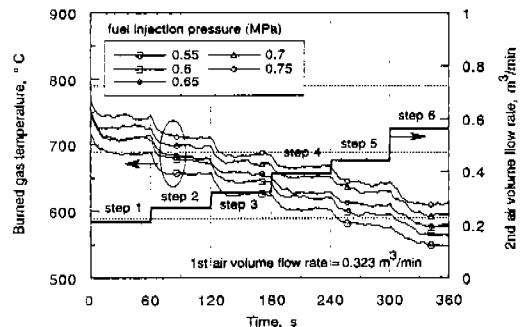


Fig.9 Burned gas temperature as a function of fuel injection pressure and 2nd air volume flow rate.

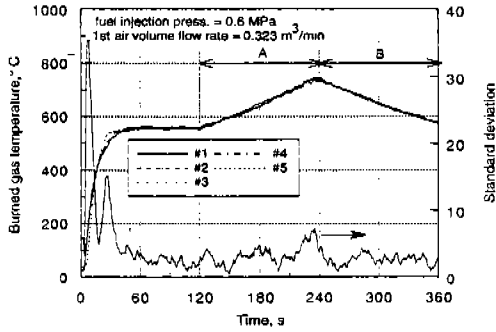


Fig.10 Burned gas temperature distributions at the same experimental condition and its standard deviation

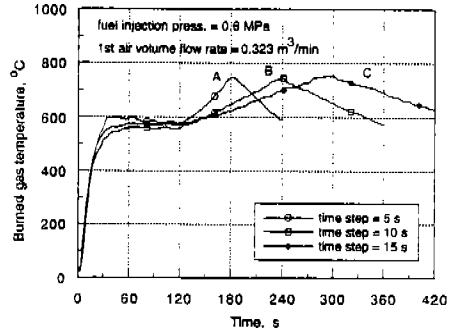


Fig.11 Burned gas temperature according to 2nd air volume flow rate time schedules.

0.75MPa일 경우 2차 회석 공기량을 6단계로 변화시켰을 때 연소 가스 온도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 2차 회석 공기량을 단계적으로 증가시킬 때마다 연소가스 온도의 감소폭은 상당히 큼을 알 수 있다. 이로부터 연소에 직접적으로 관련이 있는 1차 연소 공기유량을 증감시키기 보다는, 2차 회석 공기유량을 증감함으로써 연소 가스 온도의 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 필터에 퇴적된 입자상물질의 점화 온도는 550~600°C 정도이며 본 연구에서 사용중인 버너 시스템에 의해 충분한 열량이 필터에 가해지는 것을 알 수가 있다. 향후 필터의 재생실험을 통하여 필터에 퇴적되는 입자상물질의 분포에 따른 재생특성을 도출하여 적절한 공기유량을 결정할 예정이다.

Figure 10은 실험의 재현성을 확인하기 위하여 연료 분사 압력 0.6MPa, 1차 연소 공기 유량을 0.32m<sup>3</sup>/min, 그리고 2차 회석 공기는 가변적으로 변화시켰을 경우, 연소 가스의 온도를 측정 한 것이다. A부분에서는 2차 회석공기유량을 감소시켰고, B부분에서는 증가시켜 버너연소가스의 온도를 제어하였다. 다섯 번에 걸쳐 실험한 결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있고, 표준 편차도 점화초기를 제외하고는 10°C 이내로 매우 작음을 알 수 있다.

Figure 11은 연료공급압과 1차 연소공기유량을 고정시키고, 2차 연소공기유량을 변화시킨 결

과이다. 연소 가스 온도의 상승 속도가 2차 회석 공기량의 제어 방식에 따라 변화하는 것을 보여 주고 있다. 그림에서 A 곡선은 2차 회석공기를 빠른 속도로 감소시켰다가 다시 증가시킨 결과이다. 결과적으로 2차 회석공기유량을 감소시키면 필터전면에 도달하는 버너연소가스의 온도는 증가하고, 2차 회석공기 유량을 증가시키면 버너 연소가스위 온도는 감소한다. C 곡선은 가장 완만하게 2차 회석공기의 유량을 감소시켰다가 증가시킨 결과이다. 2차 회석 공기 유량의 증감 속도를 작게할수록 연소 가스 온도는 완만히 상승하고 하강함을 알 수 있다. 현재의 시스템에서 점화 및 소화 직후에 시간에 따른 온도 상승율이 상당히 크지만, 이는 엔진에 적용하였을 경우 2차 회석 공기로 상온의 공기 뿐 아니라 배기가스를 함께 공급해 줌으로써 해결이 가능하다고 생각된다. 버너 작동중에는 2차 공기량으로 신기와 배기가스를 함께 공급하여 연소 가스 온도의 시간에 따른 상승 속도를 둔화시켜 줄 수 있고, 소화시에는 2차 공기로 엔진 배기가스만을 공급하여 가스 온도를 완만히 하강하도록 제어한다.

Figure 12(a)와 Fig.12(b)는 필터 내부의 축방향 온도 분포와 온도 구배를 나타내며, Fig.13(a)와 Fig.13(b)는 필터 내부의 반경방향 온도 분포와 온도 구배를 나타낸다. Fig.7에 온도를 측정 한 지점이 제시되어 있으며 이 때 측정하는 온도값은, 필터의 다공성 벽을 통과한 가스의 온



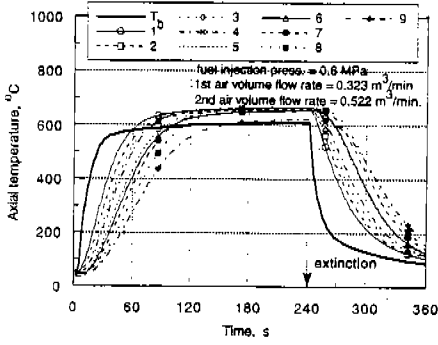


Fig.12 (a) Axial temperature profile in the filter.

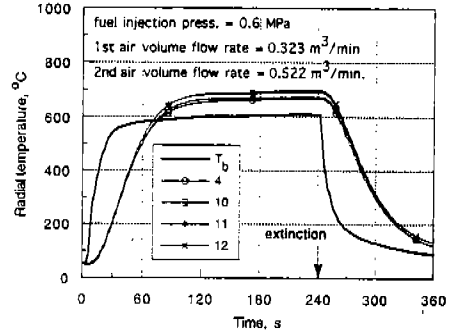


Fig.13 (a) Radial temperature profile in the filter.

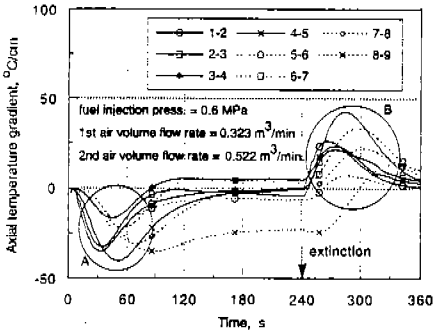


Fig.12 (b) Axial temperature gradient in the filter

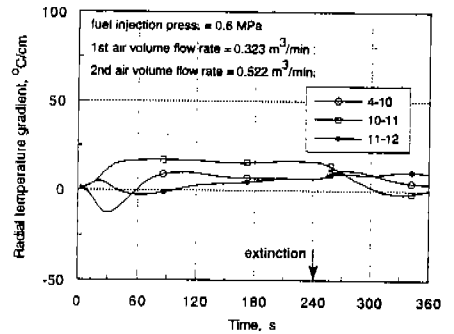


Fig.13 (b) Radial temperature gradient in the filter.

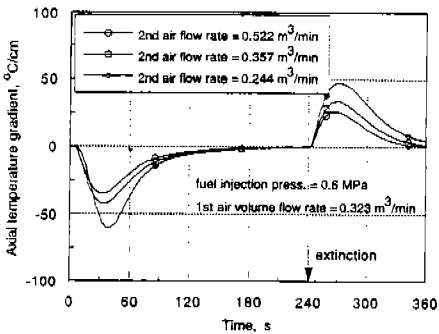


Fig.14 Axial temperature gradient between 1-2 with 2nd air flow rate.

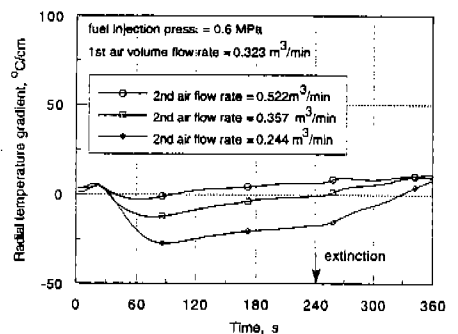


Fig.15 Radial temperature gradient between 11~12 with 2nd air flow rate.

도를 측정하게 된다. 필터의 입구에 도달한 연소가스가 필터워 출구를 빠져 나가는 데 소요되는 시간은 약 0.15~0.17초 정도의 시간이 소요되므로 가스는 필터의 벽을 매우 짧은 시간에 빠져 나가며, 가스의 온도는 필터 다공성 벽의 온도를 거의 직접적으로 반영할 것으로 판단된다. 측정된 온도값으로부터 각 점 사이의 거리를 나누어 축방향, 반경방향 온도구배를 구하였다. 축방향 온도구배에 비해 반경방향 온도 구배는 상당히 작다. 이는 1차 연소 공기의 강한 스윙에 의한 결과라고 생각된다. Fig.12(b)의 축방향 온도구배 곡선은 전방의 온도에서 후방의 온도를 뺀 값을 측정지점의 거리로 나누어서 구한 온도구배값이다. 따라서 온도구배가 음(-)인 것은 전방의 온도가 높다는 의미이며, 양(+ )일 때는 반대의 경우이다. 가열이 진행되는 A부분과 냉각이 진행되는 B 부분에서 온도구배가 크게 발생한 것은, 열유속의 전파가 진행중인 과도적인 상태를 의미한다.

Figure 14에는 2차 공기량을 증가하였을 경우, 즉 필터를 통과하는 가스의 공간 속도를 변화시켰을 경우에 온도 측정 위치 1-2에서의 축방향 온도 구배를 나타내었다. 2차 공기량이 증가하면 온도 구배가 감소함을 알 수 있다. Fig. 15는 온도 측정 위치 11-12에서의 반경방향 온도 구배를 나타내는데 위와 동일한 결과를 보여주고 있다. 이들 결과로부터 공간 속도를 증가시키면 온도 구배는 일반적으로 감소하게 된다는 사실을 알 수 있다. 향후 엔진 실험을 통하여 온도 구배를 최소화하면서 입자상물질의 연소가 지속될 수 있는 공간 속도를 결정할 예정이다.

### 5. 결 론

디젤 차량 입자상물질 제거장치의 설계, 제작 및 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 필터 전면에 도달하는 버너 연소가스의 온도는 연소에 직접적인 영향을 미치는 1차 공기보다는 2차 공기의 유량을 가감하여 제어하는 것이 효과적이다.
- 2) 공간 속도가 증가하면 필터 내부의 온도

구배는 작아지며, 온도 구배에 영향을 미치는 인자에 대한 심도 깊은 연구가 향후 진행되어야 한다.

- 3) 외국 기술의 도입없이 독자적인 시스템의 구축이 가능하며, 시스템의 성능 및 내구성 확보에 관한 실험이 광범위하게 진행되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 조강래, “한국의 디젤 자동차 매연 방지 기술”, 경유자동차 입자상물질 방지 기술 세미나, 서울, 1991.
2. 김상환, “디젤 자동차의 배기가스 저감 기술”, 한국자동차공학회지 Vol. 15, No. 3, pp. 19~31, 1993
3. U. S. Environmental Protection Agency, “Standard for Emission of Particulate Regulation for Diesel-Fueled Light Duty Vehicles and Light Duty Trucks”, Federal Register, Vol. 45, No. 45, 1980.
4. Clean Air Act, 42 U. S. C., 7401~7626, 1990.
5. 한국기계연구원 외, “자동차 배출가스 종합 대책”, 환경부 중간보고서, 1994년 12월.
6. “Maßnahmen gegen Partikelemissionen”, MTZ Motortechnische Zeitschrift, ISSN 0024~8525 pp. 692~693, Dezember 1994.
7. RWTUV, “Die Rußfiltertechnologie ist ausgereift ausgereift und hochwirksam”, Engineering Partners 94/95, pp. 13~14, 1994.
8. P. Zelenka et al., “Ways Toward the Clean Heavy-Duty Diesel”, SAE Paper 900602, 1990.
9. J. H. Johnson et al., “A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emission Effects”, SAE Paper 940233, 1994.
10. A. D. Tuteja et al., “Selection and Development of a Particulate Trap System for

- a Light-Duty Diesel Engine”, SAE Paper 920142, 1992.
11. 박동선 외 3명, “디젤기관으로부터 배출되는 입자상물질 제거장치 개발에 관한 기초연구-버너 방식”, 한국자동차 공학회 95년도 춘계학술대회 논문집, pp. 347~352, SAE Paper 953848, 1995.
  12. National Institute for Occupational Safety and Health, “Carcinogenic Effects of the Exposure to Diesel Exhaust Current Intelligence Bulletin 50”, Department of Human Health and Service, NIOSH Publication No. 88~116, 1988.
  13. Arthur W. Lefebvre, “Gas Turbine Combustion”, McGraw-Hill, 1983.