

냉시동시 미연 배기가스 점화 기술을 이용한 촉매 온도 상승 효과에 관한 연구

김충식* · 천준영* · 최진욱* · 김인탁** · 엄인용* · 조용석*

A Study of Catalyst Temperature Rise Effect by using UEGI(Unburned Exhaust Gas Ignition) Technology during Cold-Start

C. S. Kim, J. Y. Chun, J. W. Choi, I. T. Kim, I. Y. Ohm, Y. S. Cho

Key Words : Unburned Exhaust Gas Ignition(UEGI, 미연배기가스 점화), Close-coupled Catalytic Converter(CCC, 근접장착식 촉매변환기), Light-off(활성화), EGI(Exhaust Gas Ignition)

Abstract

Most vehicle's exhaust emissions come from the cold transient period of the FTP-75 test. In this study, UEGI technology was developed to help close-coupled catalytic converter (CCC) reach light-off temperature within a few seconds after cold-start. In the UEGI system, unburned exhaust mixture is ignited by four glow plugs installed upstream of the catalyst. Experimental results showed that the temperature of CCC rises faster with the UEGI technology, and the CCC reaches light-off temperature earlier. Under the conditions tested, the light-off time of the baseline case was 62 seconds and that of the UEGI case was 33 seconds.

1. 서론

근대 자동차 산업의 발달이 국가의 경제력 향상에 크게 기여하여 왔으나, 한편으로 자동차 증가에 따른 그 배출물질은 대기오염 물질로써 큰 비중을 차지 하게 되었다. 특히 자동차에서 배출되는 CO, HC, NOx 는 환경오염의 주된 원인이 되고 있으며, 이에 따라 현재 전 세계적으로 배기가스 규제를 더욱 강화함과 동시에 자동차 공해를 줄이기 위한 노력이 추진되고 있다.

배기규제 만족을 위한 방법으로는 크게 연소 성능 향상과 후처리 장치 이용이 있다. 그러나 현존하고 있는 기관을 개조하여 배기규제를 만족하는 연소를 시킨다는 것은 일반적으로 어려운 일이며, 그것이 가능하다 하더라도 성능저하라는 큰 희생을 감수해야 한다. 그로 인해 고안된 것이 후처리 방법이며, 연소실 안에서 충분히 저감시킬 수 없었던 성분을 배기계에서 재반응 시켜 정화의 목적을 달성하고자 하는 것이다.

현재 가솔린 자동차에 널리 사용되고 있는 후처리 장치인 삼원 촉매 장치는 배기가스 중 유해 성분인 CO, HC 와 NOx 사이의 반응을 촉진시켜 N₂, CO₂ 와 H₂O 의 무해한 성분으로 변환시킴으로써 이들 세가지 유해성분을 동시에 저감 시키는 역할을 한다.

일반적으로 촉매의 변환효율은 온도에 의해 크게 좌우되며 활성화 온도(light-off temperature)인 250 ~ 350 °C 에 이르기 전까지는 효율이 극히 낮지만 그 이상의 온도에서는 온도 증가에 따라 급격히 효율이 증가하는 특성을 갖는다. 이로 인해 촉매가 낮은 온도에서 엔진이 작동되는 구간, 즉 냉시동시 자동차 유해배기가스 배출이 많게 되며, 일반적으로 FTP-75 모드 주행시 유해배기성분 배출량은 냉시동 초기에 전체 배출량의 50 ~ 80%를 차지한다고 알려져 있다. 따라서 촉매 온도를 빠르게 상승시키는 일이 무척 중요하다 할 수 있으며, 이를 위한 한 방안으로 촉매를 배기다기관에 직접 부착하여 촉매 온도 상승에 배기가스의 열을 이용하는 근접장착식 촉매 장치(Close-coupled Catalytic Converter)가 있다.

근접장착식 촉매 장치는 배기다기관에 바로 부

* 국민대학교 자동차공학전문대학원

** 현대자동차

착되어 담체의 특정부위에 배기 유동이 집중될 수 있으며, 이로 인한 촉매의 부분적 열화나 내부의 온도분포 등 여러 가지 고려사항들이 해결과제로 남아있다^[1].

촉매의 빠른 활성화를 위해 본 실험실에서는 EGI(Exhaust Gas Ignition)^[2]의 개량 기술인 UEGI^[3]를 개발하였다.

본 논문에서는 UEGI 기술을 통한 근접장착식 촉매 장치의 온도 상승 효과를 알아 보기 위해, 촉매 내부 온도를 측정하여 온도 분포 및 온도 상승 효과를 확인하고자 한다.

2. UEGI 기술

EGI 기술의 경우 배기유해물질 저감에 대하여 상당한 성과를 이루었다는 평가를 받아 왔다. 그러나 초기 시동 후 수 초 동안 엔진에 과도하게 공급된 농후한 혼합기에 의한 연소실내 퇴석물 문제와 엔진의 내구성 감소 등 여러 가지 문제점들이 아직 해결되지 않은 상태로 남아 있다.

UEGI 는 초기 냉시동시, 4 개의 실린더 중 2 개 실린더의 점화신호를 차단한 후 실린더로부터 연소되지 않고 배출되는 미연혼합기를 촉매장치의 입구에서 연소시켜, 이 때 발생한 열로 촉매장치를 직접 가열하여 활성화 온도에 보다 빨리 도달하도록 한다.

UEGI 기술은 EGI 기술이 갖고 있는 위와 같은 문제점을 해결할 수 있으며, 2 차 공기공급장치 등과 같은 특별한 부가장치 없이 글로우 플러그만을 이용하므로 장치 비용이 아주 저렴하다고 할 수 있다. 또한 엔진 시동 후 수 초 내에 CCC 담체를 활성화 온도에 이르게 하여 초기 냉시동시 촉매의 예열에 매우 효과적인 역할을 한다.

하지만 압축 연소가 아니기 때문에 글로우 플러그의 위치 선정이 적절하지 않으면 실화가 발생하여, 다량의 미연 탄화수소가 촉매에서 연소됨으로써 촉매의 수명을 단축시킬 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험 장치

엔진 : 본 실험에서는 PFI(Port Fuel Injection) 방식의 16 밸브, 1975 cc 엔진을 사용하였으며, 별도의 엔진 냉각장치를 이용하여 실험 대상 엔진의 온도를 26 ~ 29 °C 사이로 유지 하였다.

촉매 : 본 실험에 사용된 촉매는 전방 0.4 l , 후방 0.6 l 의 두 개로 이루어진 총 1l 용량의 벽두께

6.5×10⁻³ inch, 격자수 400 cpsi 의 촉매이다.

배기다기관 : 미연혼합기가 글로우 플러그에 의해 연소되기 전에 다른 실린더로부터 나온 연소가스와 회석되는 것을 막기 위해 두 가스 사이의 혼합이 최대한 늦어지도록 배기다기관 출구에 격벽이 있는 것을 사용하였다. 격벽은 1, 4 번 다기관과 2, 3 번 다기관 사이에 위치한다.(Fig.1 참조)

열전대 : 열전대는 촉매의 격자를 통과할 수 있도록 직경 1 mm 의 K 타입 열전대를 사용하였으며, K 타입 열전대는 500 °C 이상의 고온 측정이 가능하기 때문에 촉매 온도 측정에 적합하다.

Data Acquisition system : 본 실험의 실험 데이터 저장 및 스캔 알고리즘은 Labview Program 을 이용하여 작성하였다. 한번에 최대 32 개 채널의 값을 측정할 수 있도록 되어 있으며, 채널별로 초당 200 개의 온도 데이터를 수집한 후 100 개 썸의 평균값을 저장하도록 하여 1 초에 2 개의 대표값을 측정값으로 하였다.

3.2 실험 방법

UEGI 실험 방법 : 엔진 시동 후 초기 10 초 동안 4 개의 실린더 중 2 개 실린더의 점화신호를 차단하여 실린더 내에서 혼합된 공기 연료 혼합기가 연소하지 않은 상태로 배기다기관을 통해 빠져나오게 한 후 배기다기관에 설치된 글로우 플러그를 이용하여 CCC 담체 상류에서 연소시킨다. 이 동안 엔진은 다른 두 개 실린더의 정상적인 실린더 내 연소를 통하여 공회전 상태로 운전된다.

10 초가 지난 뒤 글로우 플러그의 열원을 제거함과 동시에 두 개 실린더의 점화신호를 정상적으로 작동 시키면 엔진은 다른 보통의 엔진과 같은 공회전 상태의 운전 조건으로 돌아가게 된다. 이 때, 초기 엔진의 예열을 위해 엔진 ECU 는 공회전을 농후하게 제어하는데, MOTEC 의 M8 ECU 를 이용하여 이론공회전비 보다 약간 희박하게 제어함으로써 UEGI 에 의하여 가열된 촉매의 반응을 촉진시켜 온도가 더욱 효과적으로 상승될 수 있도록 해준다^[4].

Fig. 1 은 UEGI 시스템이 장착된 엔진의 배기다기관과 글로우 플러그에 의해 점화된 화염을 보여준다.

온도 측정 실험 방법 : 담체의 온도 측정은 UEGI 를 적용한 경우와 그렇지 않은 baseline 의 경우에 대하여 수행하였으며, 온도 측정의 용이함을 위하여 두 번째 담체 후반부를 절단시킨 상태에서, 후방으로부터 열전대를 삽입하여 측정하였다.

촉매의 옆 면에 구멍을 내어 온도를 측정할 결과 열전대가 금속과 접촉에 따른 노이즈를 피할

수 없었으나, 위에서 설명한 바와 같이 담체 후반부를 제거시킨 뒤 담체 하류 방향에서 상류방향으로 열전대를 삽입함과 동시에, 진동에 의한 노이즈를 방지하기 위하여 삽입된 촉매를 고정시켜 측정된 결과 $\pm 1^\circ\text{C}$ 정도의 변동을 갖는 안정적인 온도값을 얻을 수 있었다.

열전대에 의하여 측정된 값은 A/D Converter 를 지나 PC 에 설치된 Data Acquisition Board 에 의하여 온도 값으로 변환되어 저장된다.

온도 측정은 첫 번째 담체의 표면과 20 mm 후방에서 측정하였으며, 온도 측정은 촉매 표면으로부터 깊이가 같은 한 면에 대하여 32 개의 열전대를 이용하여 동시에 측정될 수 있도록 하였다.

Fig. 2 는 촉매의 상류에서 바라본 열전대의 측정 위치를 보여준다.

촉매의 온도분포는 단축보다 장축이 대칭성이 강하리라 예상되기 때문에, 아래의 Fig. 2 에서 보이는 것처럼 단축의 측정 간격이 보다 조밀하도록 측정 위치를 설정하였다. 또한 촉매 온도 측정점의 개수는 31 개이며, 한 개는 시동의 시작점을 알기 위하여 시동과 동시에 증가하는 배기가스의 온도를 측정하는데 사용하였다. 배기가스 온도 측정은 담체 표면에서 약 50 mm 상류에서 측정하였다.

담체 표면 온도는 배기가스로부터의 직접적인 열전달을 피하기 위해 담체표면으로부터 2 mm 깊이에서 측정되었다.

Fig. 3 은 열전대가 담체에 설치된 모습을 보인다.

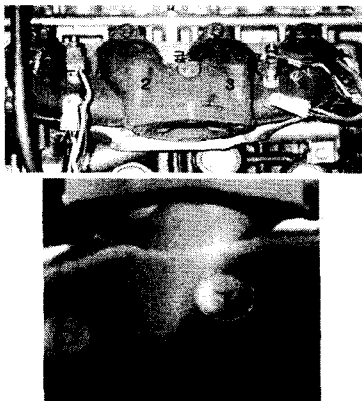


Fig. 1 Glow plug setup and UEGI flame

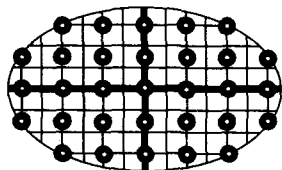


Fig. 2 Temperature measurement points in the CCC

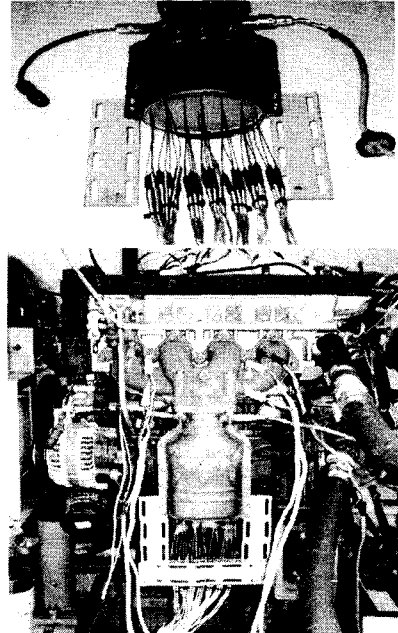


Fig. 3 Thermocouples mounted in the CCC

4. 실험 결과

Fig. 4 와 Fig. 5 는 UEGI 를 적용시키지 않은 실험에 대한 결과이며, Fig. 6 과 Fig. 7 은 UEGI 를 적용시킨 실험에 대한 결과이다. 그래프는 각각 촉매 상류 표면과 20 mm 에서의 온도 측정 결과를 보여준다.

촉매의 위치는 각 그림의 상단 우측에 삽입한 그림에 나타낸 방향과 일치한다.

그래프를 보면 배기다기관을 타고 나온 배기가스 유동에 의해 온도 최고점이 엔진에서 먼 쪽으로 치우침을 볼 수 있다. 또한 UEGI 기술에 의한 담체의 온도 상승 효과를 확인할 수 있다.

Fig. 4 의 (a)와 Fig. 6 의 (a)를 비교하면 UEGI 의 경우, UEGI 작동 기간인 초기 10 초가 경과했을 때 Baseline 경우에 비하여 촉매 온도가 상당히 높은 경향(평균 온도 35°C , 최고 온도 37°C 상승)을 나타냄을 볼 수 있다. 그 뒤 MOTEC 에 의해 이론공연비 보다 약간 희박하게 제어되기 때문에 가열된 촉매에서의 활발한 산화반응 촉진으로 온도가 더욱 빠르게 상승하게 된다. 여기서 미연가스를 배출하던 2 개의 실린더가 10 초 후부터는 희박하게 연소된 배기가스를 배출하게 되므로, 희박한 배기가스에 의한 촉매의 산화반응을 통한 온도 상승과 연소된 배기가스의 열에 의한 온도 상승효과를 동시에 얻을 수 있게 된다.

Fig. 4 의 (b)와 Fig. 6 의 (b)를 보면 엔진 시동 후

20 초 때의 벌어진 온도 격차(평균 온도 46 °C, 최고 온도 156 °C 상승)를 눈으로 확인할 수 있다. 이는 UEGI 에 의해 가열된 촉매가 Baseline 의 경우에 비하여 산화반응이 잘 일어날 수 있는 온도 조건에 더 빠르게 도달하게 되어, 산화반응에 의한 온도 상승이 빨리 시작되기 때문이다.

촉매 표면으로부터 20 mm 후방에서 측정된 Fig. 5 와 Fig. 7 의 결과 역시 촉매 표면으로부터의 열 전달로 인해 Fig. 4 및 Fig. 6 과 유사한 온도 분포를 보인다.

실험 결과, 초기 UEGI 에 의해 발생된 화염으로 촉매 표면이 가열되고 그 부분에서의 보다 활발한 산화반응으로 중심 부분이 더 높은 온도 분포를 나타내게 된다. 활성화 되지 못한 촉매는 배기가스로부터 얻은 열에 의해 결국 활성화 온도에 도달하게 되며, 그 후 빠른 온도 상승을 일으킨다. 집중되었던 열에너지 또한 주변으로의 열전달을 일으켜 전체적인 온도 분포가 고르게 변하게 된다.

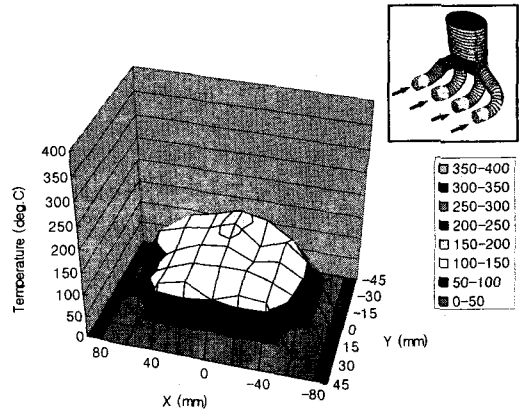
Fig. 6 의 (b)와 (c)를 보면 온도 분포가 고르게 변화하는 과정을 확인할 수 있다.

결국 최종적인 온도 분포는 배기다기관 의 형상이 결정한다고 할 수 있으며, 실험에서 얻은 모든 온도 값은 400 °C 이하로서 촉매의 열화 발생 온도에 훨씬 못 미침을 알 수 있었다.

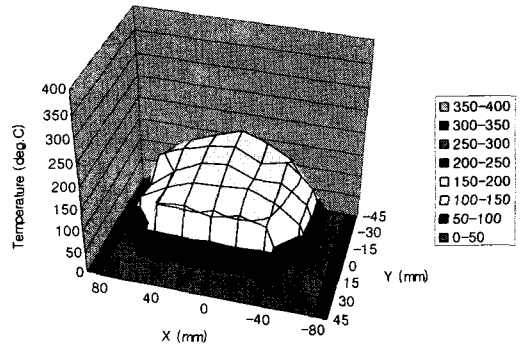
UEGI 작동 기간 동안 배기가스의 온도는 Baseline test 에 비하여 약 50 °C 정도 높은 결과를 보였다. 배기가스 온도측정은 글로우 플러그에 의하여 연소된 연소가스와 나머지 두개의 실린더에서 나온 배기가스가 혼합되는 위치에서 이루어졌다. 이 논문의 앞에서도 소개한 것처럼 UEGI 기간 동안 두 개의 실린더는 연소가 되지 않은 미연가스를 배출하며, 나머지 두개의 실린더는 연소가스를 배출하게 된다. 또한 UEGI 에 의하여 발생된 열량은 배기다기관을 보다 빨리 가열하게 되어 배기가스에서 배기다기관으로 손실되는 열량을 줄이는 효과를 준다. 이러한 요인들이 복합적으로 영향을 미친 결과, UEGI 를 적용시킨 경우의 배기가스 온도가 UEGI 를 적용시키지 않은 경우 보다 높은 배기가스 온도를 보이게 된다.

촉매 표면에서 20 mm 하류 지점에 위치한 촉매 중심의 온도가 250 °C 가 되기까지는 Baseline 의 경우 약 62 초가, UEGI 의 경우 약 33 초가 소요되었다.

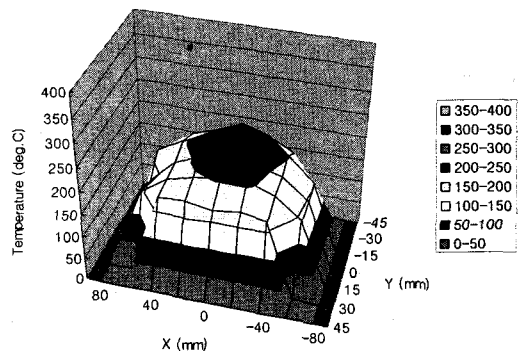
이와 같은 값은 촉매의 후반부를 제거 시킨 실험장치에서 나온 결과이므로, 기존의 일반 배기시스템에서 측정한다면 대기로의 열손실이 줄어들어 보다 높은 온도가 나오리라 예상할 수 있다.



(a) Face temperature distribution at 10 sec.

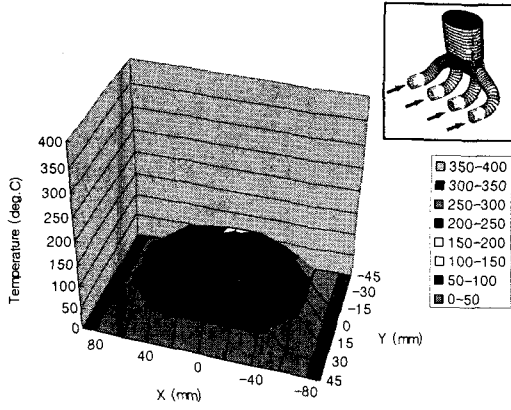


(b) Face temperature distribution at 20 sec.

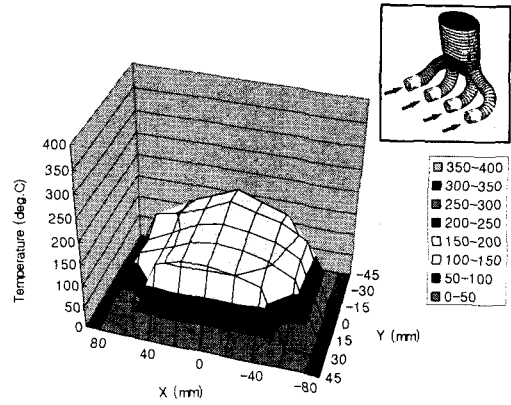


(c) Face temperature distribution at 30 sec.

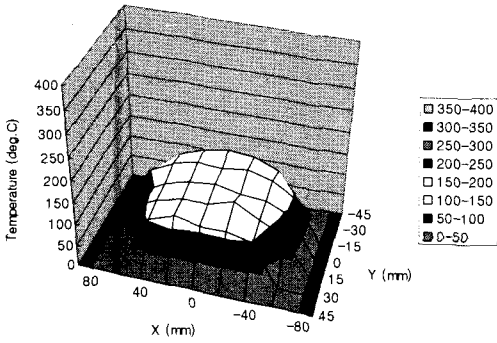
Fig. 4 Monolith temperature distribution of baseline case (2mm downstream)



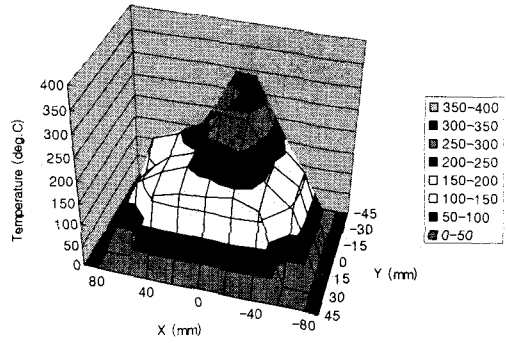
(a) 20mm downstream temperature distribution at 10 sec.



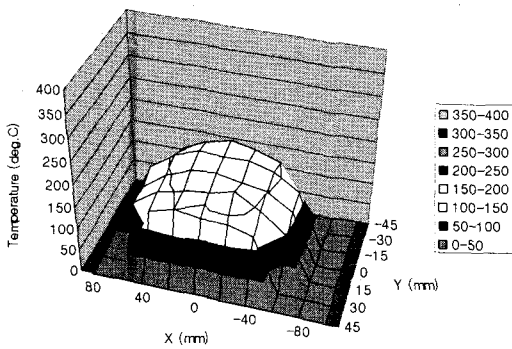
(a) Face temperature distribution at 10 sec.



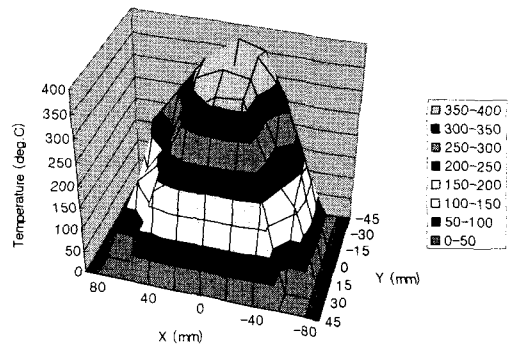
(b) 20mm downstream temperature distribution at 20 sec.



(b) Face temperature distribution at 20 sec.



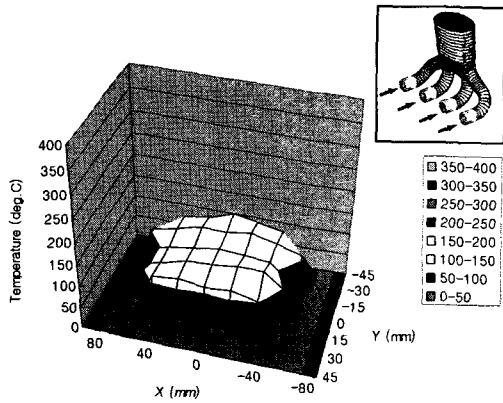
(c) 20mm downstream temperature distribution at 30 sec.



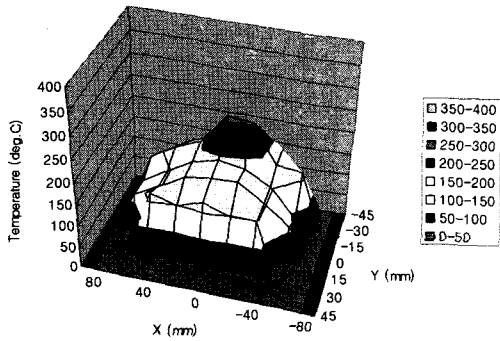
(c) Face temperature distribution at 30 sec.

Fig. 5 Monolith temperature distribution of baseline case (20mm downstream)

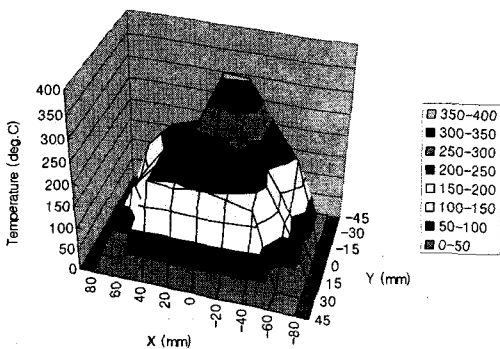
Fig. 6 Monolith temperature distribution of UEGI case (2mm downstream)



(a) 20mm downstream temperature distribution at 10 sec.



(b) 20mm downstream temperature distribution at 20 sec.



(c) 20mm downstream temperature distribution at 30 sec.

Fig. 7 Monolith temperature distribution of UEGI case (20mm downstream)

5. 결론

UEGI 기술은 냉시동 초기 촉매를 활성화 온도에 빠르게 도달할 수 있도록 도와주며, 냉시동 초기에 다량으로 배출되는 자동차 유해배출가스를 줄이는데 큰 효과를 보일 것으로 생각된다. 실제로 본 논문에서 실험한 담체 및 실험장치에서 나온 결과는, 담체 표면으로부터 20 mm 후방 중심에서 측정된 온도가 250 °C에 도달하는데, UEGI를 적용한 엔진이 그렇지 않은 엔진에 비하여 약 30 초(각각 33 초, 62 초)가 적게 소요되었다.

냉시동 초기 UEGI에 의해 상승된 촉매의 온도는 열화 발생 온도에 훨씬 못 미치며, 초기 온도분포의 불균일성은 점차 안정되어 결국은 배기다기관에 의해 온도분포가 결정된다는 사실을 실험을 통해 확인하였다.

본 논문에서의 실험조건은 엔진의 공회전 상태였으나, FTP-75 모드는 초기 냉시동 20 초 뒤 가속 구간에 접어들게 되므로 실차적용 시험에서는 촉매장치의 활성화가 보다 빠르게 이루어질 것으로 예상된다.

추가적인 연구를 통하여 배기관내의 연소안정성 확보와 정확한 공연비 제어로 촉매 온도를 제어할 수 있다면 더욱 큰 효과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

후기

본 연구는 현대자동차(주)의 지원하에 국민대학교 자동차공학전문대학원 열기관실험실의 연구과제로 수행된 것임을 알립니다.

참고문헌

1. Ki-Sang Lee, Ling Bai, Fu-Quan Zhao, Yi Liu and Ming-Chia Lai, "Transient Flow and Pressure Characteristics Inside a Closed-Coupled Catalytic Converter", SAE 982548.
2. D. Eade, R. G. Hurley, B. Rutter, G. Inman, and R. Bakshi, "Fast Light-Off of Underbody Catalysts Using Exhaust Gas Ignition(EGI)", SAE 952417, 1995.
3. 조용석, 이윤석, 김충식, 최진욱, 천준영, "UEGI 기술을 이용한 촉매온도제어에 관한 연구", KSAE 2000032003, 2000.
4. Michael C Drake, Robert M Sinkevitch, Ather A Quader, Keith L Olson, and Thomas J Chapaton, "Effect of Fuel/Air Ratio Variations on Catalyst Performance and Hydrocarbon Emissions During Cold-Start and Warm-Up", SAE 962075, 1996.