

미연 배기가스 점화 기술과 탄화수소 흡착기를 이용한 배기저감

김충식*.천준영*.최진욱*.김득상*. 김인탁**.이윤석***. 엄인용*.조용석*

Exhaust Emissions Reduction using Unburned Exhaust Gas Ignition Technology and Hydrocarbon Adsorber

C. S. Kim, J. Y. Chun, J. W. Choi, D. S. Kim, Y. S. Lee, I. T. Kim, I. Y. Ohm, Y. S. Cho
(Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University)

Key Words : CEGI(시동 배기가스 점화, Cranking Exhaust Gas Ignition), UEGI(미연 배기가스 점화, Unburned Exhaust Gas Ignition), Emissions Reduction(배기저감), Cold Start(냉시동), Hydrocarbon Adsorber(탄화수소 흡착기), SULEV(극초저공해 자동차)

Abstract

Exhaust emissions from vehicles are the main source of air pollution. Many researchers are trying to find the way of reducing vehicle emissions, especially in the cold transient period of the FTP-75 test. In this study, UEGI (Unburned Exhaust Gas Ignition) technology, warming up the close-coupled catalytic converter (CCC) by igniting the unburned exhaust mixture using two glow plugs installed in the upstream of the catalyst, was developed. It was applied to an exhaust system with a hydrocarbon adsorber to ensure an effective reduction of HC emission during the cold start period. Results showed that the CCC reaches the light-off temperature (LOT) in a shorter time compared with the baseline exhaust system, and HC and CO emissions are reduced significantly during the cold start.

1. 서론

전세계적인 배기규제 강화에 대응하기 위해 자동차업계에서는 배기 저감에 막대한 노력을 경주하고 있으며, 여러 신기술들을 발표하고 있다. 자동차의 배기 저감은 크게 전처리와 후처리로 구분할 수 있는데, 전처리 분야에서는 엔진에서 연소되는 혼합기의 정밀한 제어와 실린더내의 연소상태 개선 등을 통하여 상당한 성과를 달성하였으며, 후처리 분야에서는 삼원촉매장치의 개발이후 획기적인 저감효과를 얻었다. 그러나 엔진의 냉시동

이후 촉매장치가 정상적인 작동온도에 이르기 전까지 배출되는 공해물질의 효과적인 저감은 여전히 난제로 남아있다.

전처리와 후처리를 동시에 적용하여 현재 세계에서 가장 엄격한 규제인 California SULEV를 만족하는 기술^[1]들이 몇 가지 소개되고 있지만, 복잡한 시스템의 구성과 막대한 비용이 필요하다는 단점을 가지고 있다. 촉매장치의 빠른 가열을 위하여 현재까지 개발된 여러 가지 기술들 중 배기가스 점화(Exhaust Gas Ignition, EGI)^[2] 기술이 저렴한 비용으로 많은 효과를 얻을 수 있다고 보고되어 있

* 국민대학교 자동차공학전문대학원

** 현대자동차㈜

*** 삼성중합기술원

다. 그러나 EGI는 과도하게 농후한 혼합기 공급으로 인한 실린더 내의 퇴적물 생성과 이로 인한 엔진의 내구성 감소 등 여러 가지 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 미연 배기가스 점화(Unburned Exhaust Gas Ignition, UEGI) 기술^[3]을 개발하였으며, 현재까지의 연구 결과에 의하면 EGI 기술에서 논란이 되어왔던 실린더 내의 퇴적물 생성과 이로 인한 엔진의 내구성 감소 등의 문제점을 대폭 개선할 수 있을 것으로 전망된다. 특히, 바이패스 밸브와 탄화수소 흡착기(Hydrocarbon Adsorber, HCA)^[4]를 UEGI 시스템과 동시에 배기계에 적용함으로써 냉시동 초기에 다량으로 배출되는 공해물질을 현저하게 감소시키는 결과를 얻을 수 있었다.

2. UEGI 기술의 원리

본 연구에서 개발하는 UEGI 기술의 주된 목적은 냉시동 시 근접장착식 촉매(Close-coupled Catalytic Converter, CCC)를 빠른 시간내에 작동온도에 이르도록 가열하여 이 기간 동안에 방출되는 공해물질을 효과적으로 저감 시키기 위한 것이다.

UEGI 기술의 핵심은 냉시동 직후부터 10초 동안 네 개의 실린더 중 두 실린더의 점화신호를 차단함으로써, 실린더 내에서 연소되지 않고 빠져나온 미연 혼합기가 배기다기관에 설치된 글로우 플러그에 의하여 점화되어 연소된다는 것이다. 이때 발생한 연소열은 촉매장치 내에 있는 담체의 전면부를 예열시킨다. 이와 동시에, 4개의 실린더 중 점화신호가 차단되지 않은 두개의 실린더에 의해 엔진은 공전상태로 작동된다.

3. 실험장치 및 실험조건

3.1 실험장치의 구성

본 연구에 사용된 실험장치의 전체적인 구성은 Fig. 1과 같다. 실험용 엔진으로는 배기량 1975 cc, 4 실린더, 16 밸브(DOHC)인 가솔린 엔진을 사용하였으며, 연료분사방식은 PFI(Port Fuel Injection) 방식이다. 엔진을 냉시동 할 때 회박한 연료-공기 혼합기의 공급이 가능하도록 연료분사량 제어는 MOTEC의 M8ECU가 사용되었다.

점화장치에 외부스위치를 연결하여 엔진 시동 후 일정시간 동안 1, 4번 실린더의 점화신호를 차단할 수 있게 한다. 이에 따라 1, 4번 실린더에서 연소되지 않고 그대로 배출되는 미연 혼합기는 배기다기관에 설치된 글로우 플러그에 의하여 점화,

연소된다.

배기가스의 HCA 통과여부는 HCA 전면으로부터 50mm에 설치되어 있는 바이패스 밸브에 의하여 결정된다. HCA의 바이패스 시스템은 냉시동 초기에 다량 배출되는 HC를 흡착^[5]하고, UCC 내부의 담체가 충분히 작동온도에 도달하기까지 배기가스를 바이패스 시키기 위함이다.

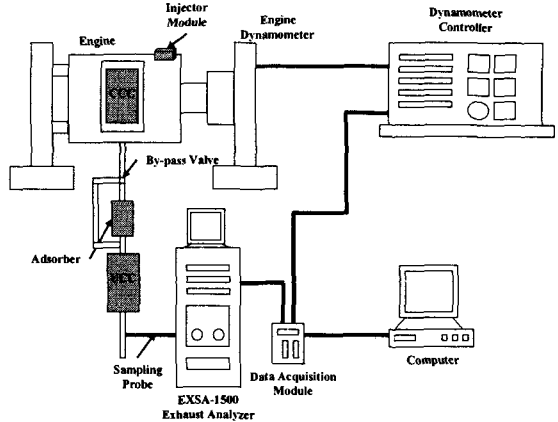


Fig. 1 Experimental setup for UEGI and HC Adsorber system

배기가스의 온도는 CCC 첫 번째 담체의 40 mm 상류 중심부에 설치한 열전대로 측정한다. CCC, 탄화수소 흡착기, UCC(Underbody Catalytic Converter) 각각의 담체온도는 담체 전면부로부터 25 mm 후방에 설치한 열전대로 측정한다.

배기가스의 농도는 Horiba EXSA-1500 배기가스 분석기를 이용하여 UCC 하류 250 mm 위치에서 측정되었다.

열전대에 의하여 측정된 온도와 배기가스 분석기에 의하여 측정된 배기가스 농도 데이터는 자료 획득장치(Data Acquisition Module)를 거쳐 컴퓨터에 자동으로 저장된다.

Fig.2는 배기다기관에 장착된 글로우 플러그의 모습과 미연 혼합기의 연소가 이루어지는 모습을 보여준다. 배기다기관은 출구 상류 40 mm 부근에서부터 2, 3번 분지관과 1, 4번 분지관이 격벽으로 서로 분리되어 있는 형상으로 설계되어 있다.

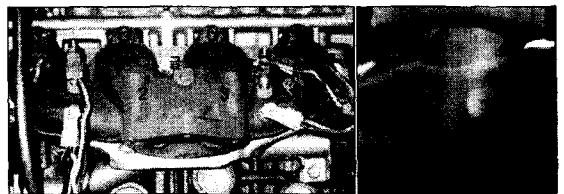


Fig. 2 Glow plug setup and UEGI operation

3.2 실험조건

본 연구의 실험조건이 Table.1에 요약되어 있다. 첫째, **Baseline case**에서는 엔진시동 후 20초까지는 공전상태로 모든 연료분사밸브는 ECU로 작동한다. 20초부터 30초 동안 엔진 회전속도는 공전속도에서 2500 rpm까지 서서히 증가되며, 실험이 종료될 때까지 유지된다.

둘째, **UEGI case**에서는 엔진 냉시동 직후 10초 동안 UEGI가 적용되며 모든 연료분사밸브는 ECU로 작동된다. 10초 이후부터는 공연비를 희박하게 제어하기 위하여 4개의 연료분사밸브 중에서 2번과 3번 연료분사밸브는 M8ECU로 별도 제어된다. 또한 엔진시동 후 20초부터 30초 동안 UCC의 온도를 증가시키기 위하여 엔진 회전속도는 공전속도에서 2500 rpm까지 서서히 증가되며, 실험이 종료될 때까지 유지된다.

셋째, **UEGI+HCA case**는 UEGI case와 동일한 실험조건으로 진행된다. 다만, 초기 20초 동안의 배기가스는 HCA를 통과하며, UEGI 적용 기간 동안 과다 배출되는 HC를 흡착한다. 20초 경과 이후에는 바이패스 밸브를 작동하여 배기가스가 HCA를 통과하지 않고 UCC로 유입되도록 하여 UCC 온도를 상승시키도록 한다. UCC 내부의 담체온도가 충분히 상승(엔진시동 후 약 300초)하면 바이패스 밸브를 전환하여 배기가스는 HCA를 통과하며, HCA가 초기 20초 동안 흡착하였던 HC를 방출하여 후방에 위치한 UCC 촉매에 의해 정화되도록 한다.

UEGI+HCA case에서 UCC 담체의 온도를 상승시키기 위하여 20초부터 엔진 회전속도를 2500 rpm으로 유지 시켰다. 또한, 실험의 일관성을 위하여 각각의 실험조건에 동일하게 적용하였다.

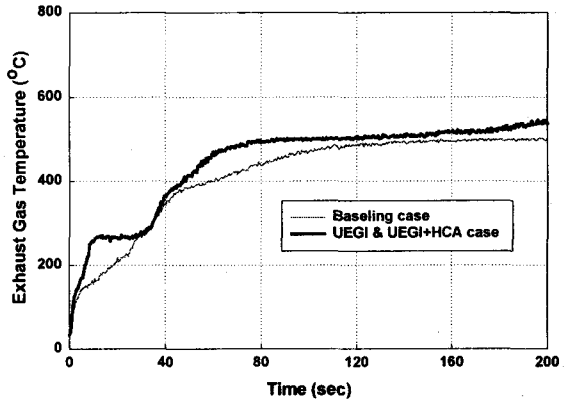
Table. 1 UEGI test conditions

Test Case		Time(sec)				
		0	10	20	300	400
Throttle Position	Baseline	Idle		2500rpm		
	UEGI UEGI+HCA	Idle		2500rpm		
Gas Flow	Baseline	CCC → UCC				
	UEGI	CCC → UCC				
	UEGI+HCA	CCC→HCA→UCC	CCC→UCC	CCC→UCC	CCC→HCA→UCC	CCC→HCA→UCC
Injector Control	Baseline	ECU				
	UEGI UEGI+HCA	ECU	ECU(#1,4)+M8ECU(#2,3)			

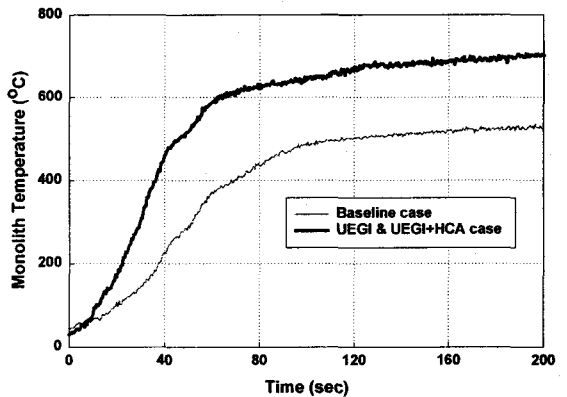
4. 실험결과

4.1 담체의 온도변화

Fig.3는 각각의 실험조건에 대한 배기가스와 CCC 담체의 온도변화를 나타내고 있다. 여기에서 UEGI와 UEGI+HCA의 경우는 배기가스와 CCC 담체의 온도변화가 동일하다.



(a) Exhaust gas temperature



(b) CCC temperature

Fig. 3 Exhaust gas and CCC monolith temperature change with time

Baseline case는 시동 후 초기에 배기가스의 온도가 낮아 CCC 담체의 온도가 정상작동온도까지 도달하는데 걸리는 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 반면, UEGI를 작동시킨 경우에는 시동 후 초기의 배기가스의 온도가 높기 때문에 CCC 담체의 온도를 빨리 정상 작동온도에 도달하게 한다. 시동 후 20초 부근에서 UEGI case가 Baseline case

에 비하여 배기가스와 CCC 담체의 온도가 높게 상승시킴을 알 수 있다.

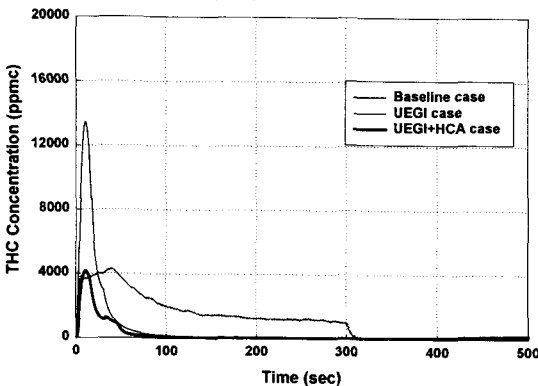
UEGI 동안 1, 4번 실린더에서 배출되는 미연혼합기가 각각의 배기다기관에 설치된 글로우 플러그에 의하여 점화, 연소되어 열에너지를 발생하며, 그 열에너지는 2, 3번 실린더에서 배출되는 배기가스와 함께 담체 전면부의 온도를 상승시킨다. UEGI 이후에는 배기가스가 예열된 담체의 전면부에서 정화되기 때문에 담체의 온도는 일정 온도까지 상승한다. 20초 이후 엔진 회전속도가 증가되면서 UEGI가 적용된 경우에는 CCC 담체의 온도가 Baseline에 비하여 더욱 큰 차이를 보이면서 증가한다. 그 이유는 촉매의 정화작용에 의해 배기가스 온도가 더욱 상승하기 때문이다.

4.2 배기가스농도

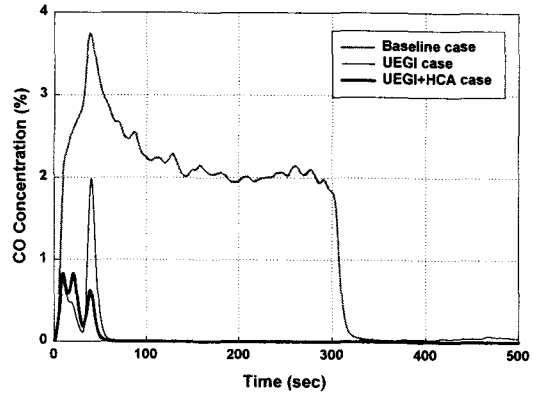
각 실험조건에서의 배기가스 농도변화 그래프가 Fig. 4에 나타나 있다.

Baseline case는 담체의 온도가 Fig.3 (b)에 나타나 있듯이 작동온도에 도달하는 시간이 늦어져 THC와 CO가 정화되지 않고 다량으로 배출된다. 시동 후 50초부터 300초까지는 CCC 담체의 온도가 작동온도에 도달하더라도 공연비가 농후하기 때문에 지속적으로 THC와 CO가 배출된다.

UEGI case는 UEGI 적용동안 THC가 다량으로 배출되지만, 10초를 전후로 급격히 감소함을 Fig.4 (a)에서 알 수 있다. 또한, UEGI+HCA case에서는 UEGI 적용 동안 배출되는 THC를 HCA가 흡착하여 초기부터 적은 양의 THC를 배출한다. 그리고 HCA가 초기에 흡착한 THC는 UCC가 작동온도에 도달하였을 때 배출되어 정화되어 진다. 그 결과, 일정 시간 동안 배출되는 THC의 양은 매우 적음을 알 수 있다. CO는 Fig.4 (b)에 나타나 있듯이 UEGI를 적용하였을 때 Baseline case에 비하여 많이 감소됨을 알 수 있다.



(a) THC concentration



(b) CO concentration

Fig. 4 THC and CO concentration change with time

Fig.5에서는 Baseline case에 대한 실험결과를 보여주고 있다. CCC 담체의 온도상승이 매우 느리게 진행되며, 일정 시간동안 공연비가 이론공연비보다 매우 농후함을 알 수 있다. 공연비가 농후한 상태이지만 THC가 서서히 줄어드는 것은 증가된 엔진 회전속도에 의하여 CCC 담체의 온도가 상승하였기 때문이다. 따라서 공연비가 이론공연비에 도달할 때 비로소 THC와 CO가 감소함을 알 수 있다.(Fig.4 참조)

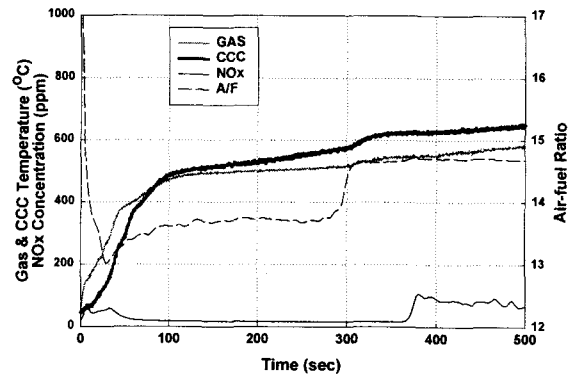


Fig. 5 Change of gas and CCC temperature, NOx concentration and air-to-fuel ratio in baseline case

Fig.6에서는 UEGI case에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 공연비가 UEGI 적용 후 빠른 시간 내에 이론공연비에 도달함을 알 수 있다. 그리고 CCC 담체의 온도가 빠른 시간에 작동온도에 도달하여 Fig.4에서 보여지듯이 THC와 CO가 10초 전후에서 급격히 감소함을 알 수 있다. 엔진 회전속도가 증가되기 전에 이미 담체의 온도는 작동온도

에 도달하였으며, 그 이후 담체온도의 상승은 엔진 회전속도 증가로 인한 배기가스 온도 증가의 영향 보다는 촉매장치의 정화작용에 따른 영향이 더 크게 작용한다.

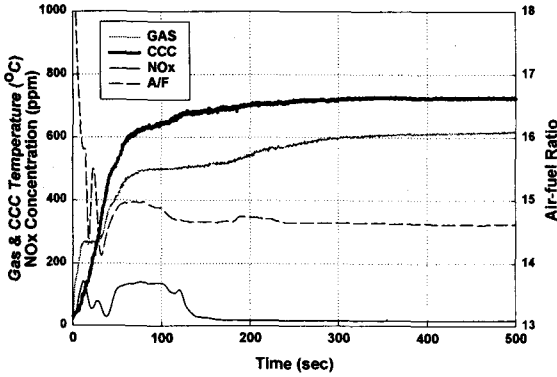


Fig. 6 Change of gas and CCC temperature, NOx concentration and air-to-fuel ratio in UEGI case

Fig.7에서는 UEGI+HCA case에 대한 실험결과를 나타내고 있다.

먼저 Fig.7(a)는 배기가스와 CCC 담체의 온도변화를 보여주고 있다. Fig.7(b)는 HCA와 UCC의 담체온도변화에 따른 THC의 경향을 나타내고 있다. 실험조건에 의하여 시동 후 10초 동안 UEGI가 적용되었으며, 10초 이후에는 M8ECU로 공연비를 이론공연비보다 희박한 상태로 하였다. 시동 후 20초부터 30초 동안 엔진 회전속도를 서서히 증가시켜 UCC 담체의 온도를 상승시켰다. HCA 담체온도가 60°C(약 20초)에 도달하였을 때, 바이패스 밸브를 작동시켜 배기가스가 HCA를 통과하지 않고 UCC로 유입되도록 하였다. 따라서, UCC 담체의 온도는 일정시간 후 HCA담체의 온도보다 높게 유지되며, 약 380°C에 도달하였을 때 바이패스 밸브를 조금씩 열어주어 일부의 배기가스가 HCA로 유입되도록 하였다. 그 이유는 UCC의 온도를 일정하게 유지시키면서, HCA 담체의 온도를 상승시키기 위함이다. 그 결과, 시동 후 300초에서 바이패스 밸브를 점차적으로 열어 주었기 때문에, Fig.7(b)그래프에 나타나 듯이 HCA가 조금씩 배출되어짐을 알 수 있다. THC가 미소하게 배출되어지는 것은 HCA에서 배출되는 THC를 UCC가 정화하였기 때문이다. 전체적인 THC는 Baseline case과 비교할 때 현저히 줄어 들었으며, UEGI case보다 초기에 많은 양이 줄었음을 알 수 있다.(Fig.4(a) 그래프 참조.)

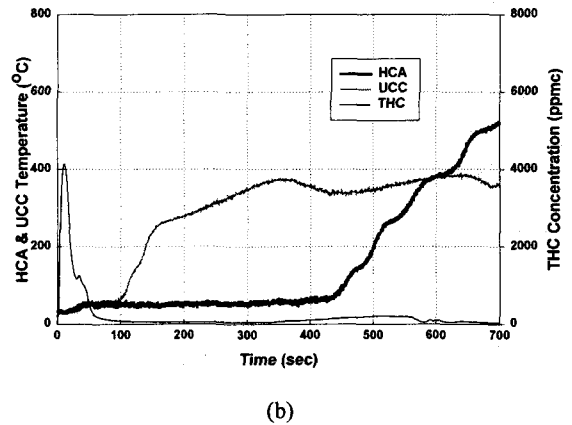
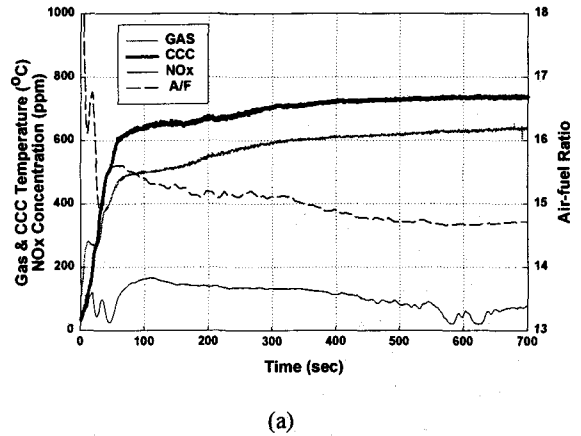


Fig. 7 Test results for UEGI+HCA case

5. 결론

촉매장치의 반응시간을 앞당기기 위한 여러 가지 방안 중 배기가스 점화기술에 대하여 연구하여 UEGI 기술을 개발하였으며, 본 연구에서는 냉시동 초기에 다량으로 배출되는 THC를 흡착하기 위하여 HCA를 적용하였다. UEGI 기술을 CCC, HCA, UCC 장착 엔진에 적용하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) UEGI 기술을 적용하고 작동기간을 10초로 하여 시동 후 약25초 이내에 담체의 온도를 작동온도에 이르게 할 수 있다.
- 2) 담체의 온도가 작동온도에 도달할 때 공연비를 이론공연비에 근접하도록 조절함으로써 배기오염물의 저감과 이로 인한 담체의 온도 상승 효과를 얻을 수 있다.
- 3) 탄화수소 흡착기(HCA)를 이용한 바이패스 밸브의 적절한 제어에 의하여 UEGI

초기에 다량으로 나오는 THC의 양을 감소시켜 전체적인 THC의 배출량을 대폭 저감할 수 있었다.

- 4) 배기측정 결과와 흡기유량과의 상관관계를 바탕으로 배기유해물질 배출량을 구한 결과, 냉시동 시 Baseline case에 비해 UEGI case에서는 THC가 50.8%, CO가 94.4% 감소하였고, UEGI+HCA case에서는 THC 78.1%, CO가 96.6% 감소하였다. 결과적으로, UEGI 기술과 HCA를 복합적으로 적용함으로써 촉매장치가 작동온도에 이르기 전에 다량으로 배출되는 THC와 CO를 현저히 저감시킬 수 있었다.

본 연구에 적용된 UEGI기술과 탄화수소 흡착기를 적용한 차량적용 실험 시 더욱 정밀한 공연비 제어가 이루어진다면 보다 좋은 결과를 얻을 것으로 기대된다.

후 기

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

참고문헌

- (1) Kimiyoshi Nishizawa, Sukenori Momoshima, Masaki Koga and Hirofumi Tsuchida, "Development of New Technologies Targeting Zero Emissions for Gasoline Engines", SAE Paper No. 2000010890, 2000.
- (2) T. Ma, N. Collins and T. Hands, "Exhaust Gas Ignition(EGI)-A New Concept for Rapid Light-Off of Automotive Exhaust Gas Catalyst", SAE Paper No. 920400, 1992.
- (3) 조용석, 이윤석, 김충식, 최진욱, 천준영, "UEGI 기술을 이용한 촉매온도제어에 관한 연구", KSAE 2000032003, 2000
- (4) Shinji Yamamoto, Kenjiro Matsushita, Satomi Etoh and Masahiro Takaya, "In-line Hydrocarbon(HC) Adsorber System for Reducing Cold-Start Emissions", SAE Paper No.2000010892, 2000
- (5) 정성용, 송대근, 조용석, 천준영, 최진욱, 김득상, "시동 배기가스 점화 기술과 탄화수소 흡착기를 이용한 배기저감에 관한 연구", 대한기계학회 열공학부분 추계학술대회 논문집, pp. 753-758, 1999.