

시동 배기가스 점화기술을 이용한 촉매의 예열시간 단축 Fast Light-Off of Catalyst using Cranking Exhaust Gas Ignition

조용석*, 엄인용*, 이윤석*, 김득상*, 김충식*, 천준영*, 최진욱*
YongSeok Cho, InYong Ohm, YoonSeok Lee, DukSang Kim, ChoongSik Kim, JunYoung Chun, JinWook Choi

ABSTRACT

In order to satisfy the ULEV emissions regulation, fast light-off of a catalyst is essential for reduction of HC and CO emissions during the cold start. Cranking Exhaust Gas Ignition (CEGI) method developed in this study showed that the catalyst reaches the light-off temperature in a few seconds. The CEGI stops the ignition signal for a few seconds during the cranking period, so the unburned fuel-air mixture bypasses the combustion chamber and flows through the exhaust manifold. When the unburned mixture reaches two glow plugs installed upstream of the catalyst, it burns and releases the thermal energy to heat up the catalyst. In the FTP-75 vehicle tests, the CEGI showed that the exhaust emissions reduced by 47.7% for THC and by 88.6% for CO in the cold-transient phase of the test.

주요기술용어 : Cranking exhaust gas ignition(CEGI 시동 배기가스 점화), ULEV(초저공해 자동차), Catalytic converter(촉매장치), Emissions reduction(배기저감), Cold start(냉시동)

1. 서론

자동차의 배기가스에 의한 환경오염 문제와 함께 강화되고 있는 LEV와 ULEV등의 배기규제에 대응하기 위한 배기가스 저감기술과 관련된 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고있다. 특히, 배기 후처리 효율향상, 희박연소 및 층상급기, 배기 재순환량 최소

화 및 정밀한 연료량 제어 등을 통하여 배기 규제치를 만족시키기 위한 연구가 그 주종을 이루고 있다. 그러나 배기 배출 성분 중 일산화탄소와 미연 탄화수소는 FTP-75 냉시동 모드 주행 초기, 즉, 촉매가 채 가열되기 전에 총 규제치의 50 - 80%가 배출되므로 냉시동 이후 가능한 빠른 시간 내에 촉매가 작동 온도에 이를 수 있도록 하는 기술이 연구 및 소개되고 있다.

이들 기술 중 전기가열방식(Electrically Heated Catalyst)은 구성부품의 복잡성과 높

* 회원, 국민대학교 자동차공학전문대학원

은 가격으로 인해 차량에 적용하는데 어려움이 따르고 있으며, 또 afterburner 방식은 냉시동 이후 바로 작동치 못하는 단점이 있어 촉매의 작동시기를 앞당기는데 한계가 있다.

배기 다기관에 촉매 장치를 바로 부착하는 Close-coupled Catalytic Converter (CCC) 방식은 촉매장치 입구의 유동 불균일성으로 인해 배기가스 유동이 촉매의 일부분에 집중될 수 있으므로 촉매의 수명 감소와 정화 효율 저하를 야기할 수 있는 단점이 있다.¹⁾

미국의 Ford사에서 개발중인 Exhaust Gas Ignition (EGI) 방식은 다른 방식에 비해서 적은 장치 비용으로 효율적인 배기 저감 효과를 얻을 수 있는 방식으로 기대되고 있다.²⁻⁵⁾ 그러나 냉시동 초기 너무 농후한 혼합기의 연소로 인해 연소실내의 과도한 퇴적물 생성과 이로 인한 엔진 및 촉매의 내구성에 미치는 영향이 검증되어야 한다.

본 연구에서 개발한 Cranking Exhaust Gas Ignition (CEGI) 방식은 EGI 개념으로부터 발전된 기술이며, 다른 방식에 비해 적은 장치비용으로 효율적인 배기 저감 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 냉시동 초기에 희박한 혼합기를 엔진에 공급하고 연소시키지 않은채 배출시켜 배기관에서 점화시키므로 EGI 방식에서 염려되는 연소실 퇴적물, 엔진 내구성 문제를 동시에 해결할 것으로 기대된다.

2. 실험 장치의 구성

본 연구에 사용된 CEGI실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. CEGI의 성능 및 작동변수의 설정을 위해 벤치실험을 수행하였으며 이 결과를 토대로 장치를 실차에 적용하였다.

CEGI 장치 : 엔진의 점화신호를 차단할 수 있는 ignition module을 설치한 후 external switch를 연결하여 엔진 시동시 일정 시간동안 엔진의 점화신호를 차단할 수

있게 한다. 또한 냉시동시 희박한 연료-공기 혼합기의 공급이 가능하도록 하기 위하여 엔진에 장착되어있는 4개의 fuel 연료분사 밸브중 1개의 연료분사신호를 차단하여, 그 실린더는 단지 공기만 배출하게한다. 냉시동시 실린더내에서 연소되지 않고 그대로 배출되는 혼합기는 촉매장치 상류의 배기관이나 배기매니폴드에 장착된 글로우 플러그로 점화시킨다.

본 연구에서는 CEGI 기술을 차량하부부착 촉매장치(Underbody Catalytic Converter, UCC)에 적용해 실험을 수행하였다.

측정 및 분석장치 : 점화된 배기가스의 온도는 첫번째 담체의 10mm 상류 중심부에 설치한 열전대로 측정한다. 담체의 온도는 담체 전면부로부터 40mm 후방의 담체 중심부, 즉 첫번째 담체의 정중앙 위치에 설치한 열전대로 측정한다. 또한 배기가스 분석기(Horiba EXSA-1500)를 이용하여 배기가스 중의 CO, HC, NOx 등의 배기 유해 물질들의 농도를 측정함으로써 CEGI 방식의 효과를 검증할 수 있도록 실험 장치를 구성하였다.

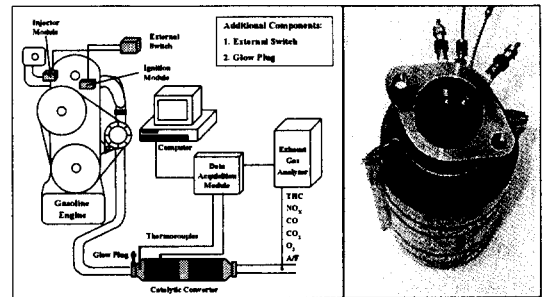


Fig. 1 Experimental setup for CEGI system

사용엔진 : 실험에 사용된 가솔린 엔진은 배기량 1341cc, 4 실린더, 12밸브 이며 연료 분사방식은 실린더별 독립분사 (Multi-Point Injection, MPI)방식이다. 실차실험 차량의 엔진은 배기량1500cc, DOHC 사양이며 나머

지 조건은 실험엔진의 사양과 같다.

차량적용실험 : 본 연구에서는 FTP-75 모드 주행시험을 통하여 차량적용실험이 이루어졌다. 먼저 Baseline 차량에 대한 모드주행시험을 시행하여 기준자료를 획득하였다. 이후 FTP-75 cold transient phase 1 시험규정에 따라 차량을 soaking한 후 CEGI장치를 장착한 차량에 대한 시험을 수행하여 비교 평가하였다.

3. 엔진적용 실험 및 결과

3.1 엔진실험조건

엔진적용실험은 다양한 조건하에서 수행되었는데, 그 조건은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 Operating conditions for engine tests

Test case	Throttle position		CEGI operation	No. of operating fuel injectors
	Cranking	After start		
Baseline case	Idle	Idle	No	4
Idle to idle, 4cyl	Idle	Idle	Yes	4
Idle to idle, 3cyl	Idle	Idle	Yes	3
WOT to idle, 4cyl	WOT	Idle	Yes	3
3to4 cyl at 50sec	Idle	Idle	Yes	3 to 4 at 50sec

Baseline case는 정상적으로 시동을 걸고 이후 공전상태를 유지한 경우이다. CEGI기술을 적용한 4개의 엔진 실험조건은 다음과 같다.

첫째 case 인 Idle to idle, 4 cyl조건은 4개의 연료분사 밸브를 모두 작동시키면서 스로틀 밸브를 공전상태로 두고 10초간 시동모터를 이용하여 엔진을 작동시킨 후 점화신호를 연결하여 정상적으로 시동을 걸고 공전상태를 유지한다.

둘째 case로 Idle to idle, 3 cyl조건은 3개

의 연료분사 밸브만 작동시키면서 스로틀 밸브를 공전상태로 두고 10초간 시동모터를 이용하여 엔진을 작동시킨 후 점화신호를 연결하여 정상적으로 시동을 걸고 공전상태를 유지한다.

셋째 case인 WOT(wide-open throttle) to idle, 3 cyl조건은 3개의 연료분사 밸브만 작동시키면서 스로틀 밸브를 전개상태로 두고 10초간 시동모터를 이용하여 엔진을 작동시킨 후 점화신호를 연결하여 정상적으로 시동을 걸고 공전상태를 유지한다.

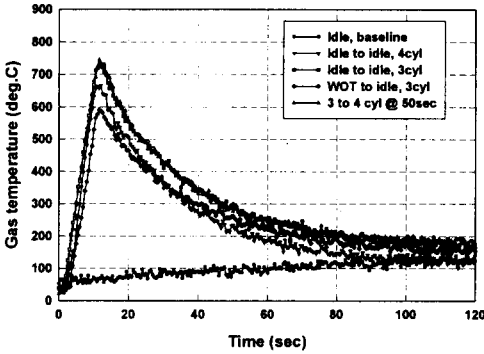
넷째 case 인 3 to 4 cyl, at 50 sec조건은 3개의 연료분사 밸브만 작동시키면서 스로틀 밸브를 공전상태로 두고 10초간 시동모터를 이용하여 엔진을 작동시킨 후 점화신호를 연결하여 정상적으로 시동을 걸고 공전상태를 유지하다가 40초 후 4개의 연료분사 밸브를 모두 작동시킨다.

3.2 담체의 온도변화

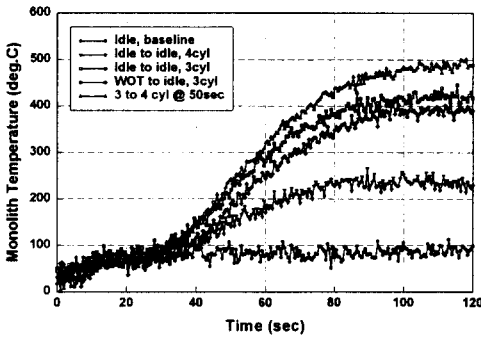
각 실험조건별로 배기가스와 담체의 온도변화를 비교한 그래프가 Fig. 2에 나타나 있다. Fig. 2-a에서 Baseline case는 정상시동 후 배기가스의 온도가 낮아 촉매장치의 온도는 반응온도에 도달하지 못하였으며, 그러나 CEGI를 작동시킨 모든 실험조건에서는 글로우 플러그에 의해 미연혼합기가 점화되어 담체 10mm상류의 배기가스의 온도는 급격히 상승하였다. CEGI의 작동으로 인하여 배출되는 높은 온도의 후연소가스는 먼저 담체 전면부의 온도를 작동온도 이상으로 상승시키고, 시동 이후 배출되는 배기가스가 예열된 담체 전면부에서 정화된다. 이때 발생한 열로 인해 담체 중심부의 온도가 시간에 따라 상승하는 경향이 Fig. 2-b에 나타나 있다.

CEGI장치가 작동한 경우를 살펴보면 배기가스의 온도는 별다른 차이를 보이지 않았으나, 담체의 온도는 조건에 따라 큰 차이를 보였다. 특히 Idle to idle, 4cyl조건에 비해 혼

합기가 더욱 희박해진 Idle to idle, 3cyl 조건 일 때 담체의 온도가 더 높았다. 이는 후연소 가스 중의 충분한 산소농도로 인해 촉매장치에서의 반응이 보다 활성화되고 이로 인해 보다 많은 반응열이 발생하면서 담체의 온도를 상승시켰기 때문이다.



(a) Exhaust gas temperature



(b) Monolith temperature

Fig. 2 Exhaust gas and monolith temperature change with time

WOT 시동 조건은 idle 시동조건에 비해 연료량과 공기량이 증가했음에도 불구하고 담체의 온도는 Idle to idle, 3cyl 조건보다 오히려 낮은 경향을 보였다. 3 to 4cyl at 50sec 조건에서는 초기 50초 동안 3개의 연료분사 밸브 만 작동하기 때문에 배기가스중의 충분한 산소농도로 인해 활발한 반응이 일어나 담체의 온도를 고온으로 상승시키고, 50초

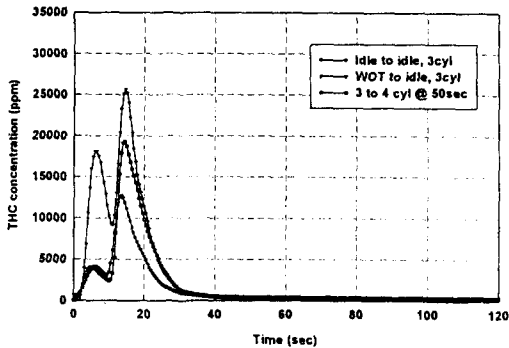
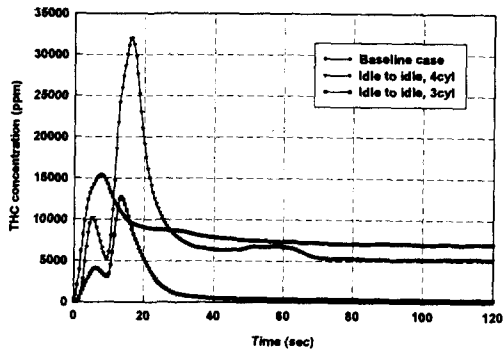
후에는 4개의 연료분사 밸브가 정상적으로 작동하여 혼합기가 이론공연비로 배출되므로 보다 많은 양의 배기물질을 배출한다. 그러나 담체의 온도가 이미 작동온도 이상으로 상승되었기 때문에 배기배출량의 증가와 함께 더 높은 반응열을 발생시켜 다른 조건에 비해 담체의 온도는 가장 빨리 상승하는 결과를 보였다.

3.3 배기가스농도

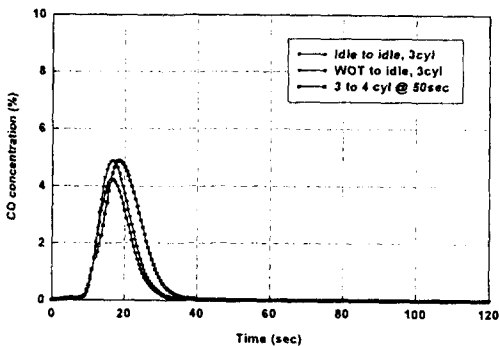
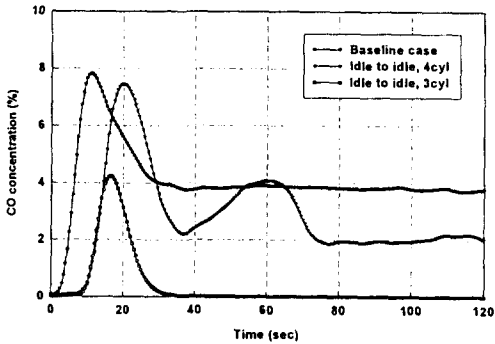
각 실험조건에서의 배기가스 농도변화 그래프가 Fig. 3에 나타나 있다. Baseline case의 경우에는 촉매장치의 온도가 너무 낮아 THC와 CO가 정화되지 않음을 확인할 수 있다. 그러나 CEGI가 적용된 조건에서는 THC와 CO는 시동 후 약 14초부터 활발한 정화가 일어나고 있다. 그러나 Idle to idle, 4cyl 조건에서는 담체가 예열되었음에도 불구하고 배기가스중의 산소농도가 너무 낮아 정화작용이 활발히 일어나지 않았다. 이로 인해 담체의 후속적인 온도상승이 충분치 못하게 되어 정화효과가 미미하다.

Baseline case의 경우에는 시동 초기에 매우 많은 양의 CO가 배출되었으나 CEGI기술을 적용한 경우에는 시동기간인 초기 10초 동안 거의 배출되지 않았다. CO는 근본적으로 고온의 연소분위기내에서 열해리에 의해 발생된다.⁶⁾ 그러나 시동시 촉매장치 입구에서의 조건은 실린더 내부와 같은 압축에 의한 고온연소 조건이 아니기 때문에 CO의 배출량은 매우 적다. 그러나 엔진이 정상적으로 시동이 걸린 후에는 Baseline case와 정성적으로 일치하는 경향을 보이고있으며, Idle to idle, 4cyl이외의 조건에서는 시동후 약 14초부터 농도가 급격히 감소한다.

엔진적용실험으로부터 CEGI기술의 배기저감효과를 확인할 수 있었으며, 실험조건중 Idle to idle, 3cyl조건이 가장 우수함이 입증되었다.



(a) THC concentration



(b) CO concentration

Fig. 3 THC and CO concentration change with time

4. 차량적용실험 및 결과

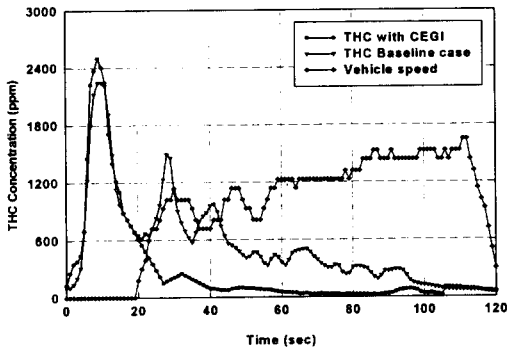
4.1 차량실험조건

엔진적용실험 결과 Idle to idle, 3cyl조건
의 배기저감효과가 가장 우수하였으나 차량
적용실험시는 차량의 정상적인 작동을 위하
여 시동 이후 50초에 네개의 실린더에 모두
연료를 공급하는 3 to 4 cyl at 50sec조건으
로 실험을 수행하였다.

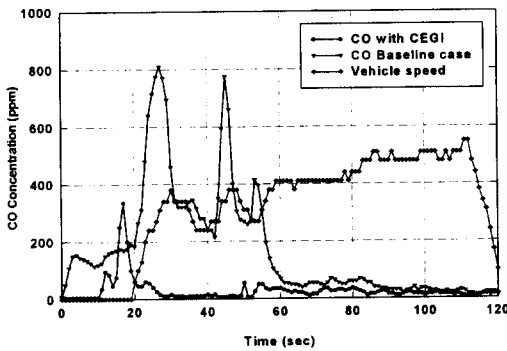
4.2 차량실험결과

FTP-75 모드 주행시 THC와 CO의 농도
변화에 대한 그래프가 Fig. 4에 나타나있다.
Baseline의 경우에는 주행실험 초기 100초
동안 매우 많은 양의 THC와 CO가 검출되었
다. CEGI 를 적용한 경우에는 초기 10초, 즉
시동기간동안 담체 상류에서 이루어지는 연
소의 불완전성으로 인해 매우 많은 양의
THC가 검출되었으나, 시동이 끝나고 차량이
주행모드를 따라 정상적으로 작동할 때의 배
기가스 농도는 급격히 감소하였다. 이는 초
기 시동 기간동안 촉매장치가 반응온도 이상
으로 충분히 예열되어 이후 배출되는 THC
성분을 정화시켰기 때문이다.

CO의 농도변화를 살펴보면 Baseline의 경
우에는 냉시동 초기에 매우 많은 양이 배출
되었다. 그러나 CEGI기술을 적용하면 시동
시 배출되는 양이 매우 적고, 이후 엔진이 시
동이 걸려 정상적으로 작동할 때 배출되는
성분은 충분히 예열된 촉매장치에 의해 정화
되어 Baseline의 경우에 비해 크게 감소하였
다. 차량에 CEGI기술을 적용한 결과 촉매장
치는 약 10초 만에 light-off에 이르렀다. 배
기가스 측정 결과 및 저감율을 Table. 2에
나타내었으며, Baseline case에 비해 cold
transient phase의 THC는 47.7%, CO는
88.6%가 감소되었다.



(a) THC concentration



(b) CO concentration

Fig. 4 THC and CO emissions over cold transient phase of FTP-75 test

Table 2 FTP-75 mode test results for cold transient phase (phase 1)

	Baseline case	CEGI	Reduction rate(%)
THC(g/mile)	0.256	0.133	47.7
CO(g/mile)	1.487	0.169	88.6

5. 결론

촉매장치의 반응시간을 앞당기기 위한 여러가지 방안 중 배기가스 점화기술에 대하여 연구하여 CEGI기술을 개발하였으며, 이 기술을 엔진과 차량에 적용하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CEGI기술을 적용하고 시동기간을 10

초로 하면 담체를 충분히 예열할 수 있으며, 시동후 수 초만에 작동온도에 이르게 할 수 있다.

- 2) CEGI기술을 적용하여 FTP모드시험을 수행한 결과 냉시동시 THC 47.7%, CO 88.6%의 배출량 감소 결과를 얻었다.
- 3) 시동시 혼합기가 이론공연비보다 희박하면 담체의 예열은 더욱 빨라진다.
- 4) CEGI방식은 희박한 영역에서 작동하므로 혼합기가 연소실내에서 연소되지 않은채 그대로 배출된다. 따라서 EGI 방식의 문제점인 연소실 퇴적물과 엔진 내구성 문제를 해결할 것으로 기대된다.
- 5) CEGI기술을 CCC에 적용하여 최적화하면 배기유해물질 배출수준을 ULEV 규제치 이하로 낮출 수 있으리라 기대된다.

후 기

본 연구는 현대자동차(주)의 지원하에 국민대학교 자동차기술연구소 열기관실험실 연구과제의 일환으로 수행된 것임을 알립니다.

참 고 문 헌

- 1) 조용석 외 5인, "Close-Coupled Catalytic Converter 입구의 유동분포 측정 및 수치 해석", KSAE 97380060, 1997.
- 2) 조용석 외 3인, "촉매의 가열시간 단축을 위한 배기가스 점화기술개발", 제5회 차세대자동차기술Workshop, pp.129-132, 1997.
- 3) T. Ma, N. Collins and T. Hands, "Exhaust Gas Ignition (EGI) - A New Concept for Rapid Light-Off of Automotive Exhaust Gas Catalyst", SAE 920400, 1992.

- 4) D. Eade et al., "Fast Light-Off of Underbody Catalysts Using Exhaust Gas Ignition", SAE 952417, 1995.
- 5) S.C. Brett, D. Eade et al., "Evaluation of Catalysed Hydrocarbon Traps in the EGI System: Potential for Hydrocarbon Emissions Reduction", SAE 981417, 1998.
- 6) S. R. Turns, "An Introduction to Combustion", McGraw-Hill, 1996.