

가솔린엔진의 냉시동시 촉매변환기 위치변화에 따른 배기가스특성에 관한 실험적 연구

이해철* · 석동현* · 윤준규** · 차경옥***

An Experimental Study on the Characteristics of Gasline Engine Exhaust-gas by Changing Catalytic Converter Position for Cold-starting

Hae-Chul Lee, Kyung-Ok Cha

Key Words: Catalytic Converter(촉매변환기), Exhaust manifold(배기다기관), HC(탄화수소), CO(일산화탄소), CO₂(이산화탄소), Lambda(람다)

Abstract

This study is an experimental study on the characteristics of emission by changing catalytic converter position for cold-start. The measurements are done a changing of the distance between exhaust manifold and catalytic converter. It measured temperature of exhaust manifold, before and after catalytic converter at each position of experimental condition. and measured the characteristics of emission which is HC, CO, CO₂ and lambda at each position of experimental condition.

The results show a few advantage about reduction of HC and CO as catalytic converter's temperature is raised quickly as closed exhaust manifold. but CO₂ has not the same trend of HC and CO. From measurement value of lambda, reduction effects of NO_x are known a few advantage as increase of the distance between exhaust manifold and catalytic converter.

1. 서론

점차 강화되고 있는 자동차 배기가스 규제에 대응하기 위하여 최근 가장 각광 받는 기술중 하나는 배기후처리 기술이다. 배기후처리 기술은 촉매를 이용하여 배기가스 중의 공해물질을 제거하는 방식이다. 즉, NO_x 및 CO, HC의 생성 특성이 서로 상반됨으로 이런 물질들을 동시에 저감할수 있도록 배기계에서 촉매를 이용하여 CO, HC, NO_x를 CO₂, H₂O, N₂ 등으로 산화 및 환원시키며, 삼원 촉

매 변환기(three-way catalytic converter)로 정화 목적을 달성하는 방식이다. 그러나 배기공해물질중에 일산화탄소와 미연 탄화수소는 냉시동모드의 초기에 촉매가 작동적정온도까지 가열되지 않으므로 총 규제치의 50~80%가 배출된다. 따라서 엔진의 냉시동 이후에 가능한 단시간에 촉매가 작동온도에 도달할 수 있는 기술이 필수적인 요구사항이다 (1),(2),(3),(4).

최근 촉매 변환기에 대한 연구동향은 다음과 같다. 배기다기관에 촉매장치를 바로 부착하는 CCC 방식은 부가적인 장치없이 배기열을 효과적으로 보존하여 촉매의 작동시기를 앞당길 수 있는 기술로 각광을 받고 있다(5),(6). 전기가열방식은 촉매장치에 높은 전류를 공급하여 냉시동 후 빠른 시간 내에 촉매가 작동온도에 이르도록 한 것이다(7).

* 명지대학교 대학원 기계공학과

** 경원전문대학 자동차학과

*** 명지대학교 기계공학과

Afterburner 방식은 촉매의 상류에 직접 2차연료와 공기를 공급한 후에 연소시켜 담체의 온도를 작동 온도에 이르게 한다. 그러나 냉시동 이후에 바로 작동하지 못하는 단점이 있다⁽⁸⁾. 냉시동시의 탄화수소 저감법에서 제올라이트를 이용한 탄화수소 흡착제(HC absorber)에 대한 연구 개발을 하고 있다⁽⁹⁾. 미국의 Ford사에서 개발중인 Exhaust Gas Ignition (EGI) 방식은 다른 방식보다는 적은 장치 비용으로 효율적인 배기 저감효과를 얻을 수 있기에 기대되고 있다⁽¹⁰⁾. Cranking Exhaust Gas Ignition (CEGI) 방식은 촉매의 작동시기를 빠르게 앞당길 수 있지만 실차적용시 약간의 어려움이 있다^{(11),(12),(13)}.

본 연구는 가솔린기관에 시동배기가스 점화기술을 적용하여 냉시동 초기에 빠른 예열특성과 높은 배기가스 성분에 대한 실험적 연구를 수행하였으며, 냉시동시 촉매장치의 위치를 변화시킴으로써 시간에 따른 촉매장치의 예열 특성과 그에 따른 배기배출물의 성분에 대한 저감에 대해 고찰하였다. 또한 크기가 다른 담체를 이용하여 촉매 장치의 예열특성과 배기배출물의 성분에 대한 저감 효과도 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

CCC방식의 기술은 부수적인 장치없이 가솔린 엔진에 냉시동 초기상태로부터 빠르게 촉매의 워밍업을 도울 수 있는 획기적인 기술이다. 그러나 촉매의 내구성과 정화 효율의 감소에 대한 확실한 보고가 없는 실정이다. 이에 따라서 촉매변환기의 위치를 배기매니폴드에 가까운 위치로부터 거리의 변화를 주면서 실험하였다.

Fig. 1은 실험에 사용된 다이내모미터와 그에 적용된 엔진의 실제 모습을 나타낸 것이다. 다이내모미터는 EDM-100형식의 THYRISTOR (SCR) 위상각도 제어방식을 취하고 있는 HE-130이고, 그에 적용된 엔진은 현재 상용되고 있는 1500cc 가솔린 엔진이다.

Fig. 2는 실험에 사용한 시험부의 개략도를 나타내고 있다. 시험부는 끝단에서 가스분석기(gas analyzer)를 이용하여 배기가스 배출물의 성분에 대한 정보를 얻었으며, 자동차배기가스 중의 CO, CO₂, HC, O₂, λ 와 NO_x의 측정이 가능한 CGA-4000 가스 분석기를 이용하였다.

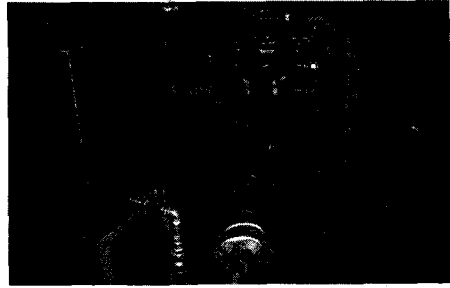


Fig. 1 The experimental equipment gasoline engine and dynamometer

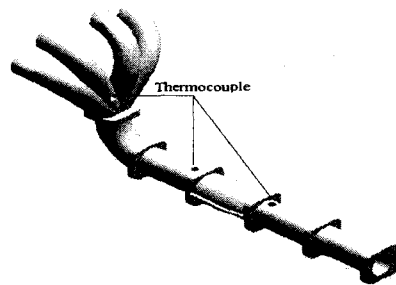


Fig. 2 The exhaust system for experiment

온도측정은 배기매니폴드의 3번 실린더측과 촉매 변환기의 통과 전·후의 가스온도를 1200℃까지 측정이 가능한 K-type 열전대를 이용하여 온도에 대한 정보를 얻었다. 이때 촉매변환기의 통과 전·후의 온도 측정을 위한 열전대는 측정 부위가 배기관 중심까지 이르도록 하였으며, 열전대 삽입부의 배기가스 누출을 방지하기 위하여 봉합 재료를 이용하였다. 각 계측 장비는 실험 전과 후에 각각 보정하였다. 배기매니폴드의 끝단에서부터 200mm, 400mm, 800mm, 1200mm의 간격에 촉매변환기의 위치를 변화시키면서 데이터를 획득하였고, 또한 촉매변환기의 크기에 따른 비교를 위한 실험도 수행하였다.

Fig 3은 실험에 사용된 크기가 다른 2개의 촉매 변환기의 모습을 나타낸 것이다. 그림에서 (A)는 촉매변환기에 적용된 담체 크기가 1ℓ 씩 두 개가 장착되어 있고, (B)는 0.5ℓ 씩 두 개가 적용되어 있다.

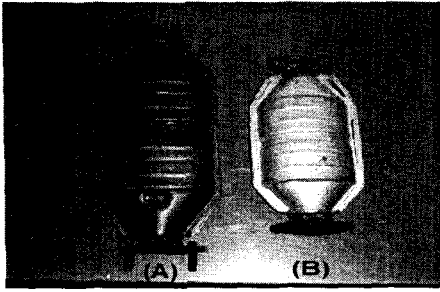


Fig. 3 The catalytic converter using experiment

실험환경의 일관성을 위한 실험실온도는 15°C로 유지하였다. 시험부는 다이내모미터로 구동되며 다이내모미터는 제어기로 제어하였다. 시험부의 열전대와 가스분석기는 인디케이터를 통해서 디지털값을 확인한 후에 데이터를 컴퓨터에 저장하고 처리하였다. 일회 실험시에 모든 데이터를 동시에 획득하였으며, 그 후 엔진의 완전 냉각 후에 반복 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배기가스와 촉매변환기의 온도변화 결과

실험에서 냉시동직후에 촉매변환기의 온도가 가능한 빨리 상승해야 하지만 작동 가능온도에 이를 수 있다. 이에 따라 촉매변환기의 위치를 배기 매니폴드로부터 배기관 끝단쪽으로 변화시켜 가면서 촉매변환기 통과 전·후에 배기가스 온도와 배기매니폴드의 온도를 확인하였다. Fig. 3에 나타난 촉매변환기(B)의 경우를 Fig. 4부터 Fig. 7까지 나타내었다. 두 경우의 경우 실험조건 10분동안 배기 매니폴드의 온도가 약 300°C 이상 상승하였으며, 배기매니폴드의 끝단과 200mm 떨어진 위치에서 획득한 촉매변환기의 온도는 배기매니폴드의 온도와 비슷하게 상승하였고 촉매변환기 통과 후의 온도도 통과 전의 온도와 약간의 차이만 보였다. 배기 매니폴드의 끝단과 400mm 이상의 거리에 촉매 변환기를 장착하였을 경우에는 촉매 변환기의 통과 전·후의 온도가 약 50°C 정도의 차이를 보였다. 그리고 그 이상의 거리에서는 촉매변환기 통과 전·후의 온도 차이도 400mm의 경우보다 멀어짐을 알 수 있다.

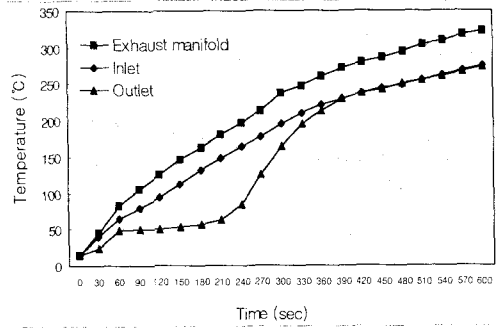


Fig. 4 The characteristic of temperature for catalytic converter(B) (distance=200mm)

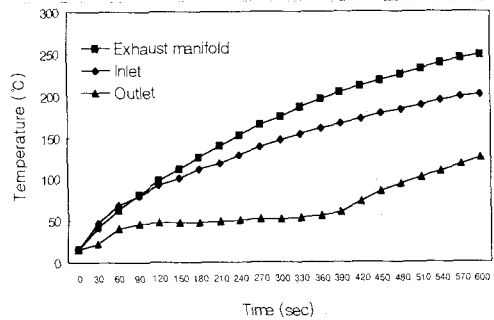


Fig. 5 The characteristic of temperature for catalytic converter(B) (distance=400mm)

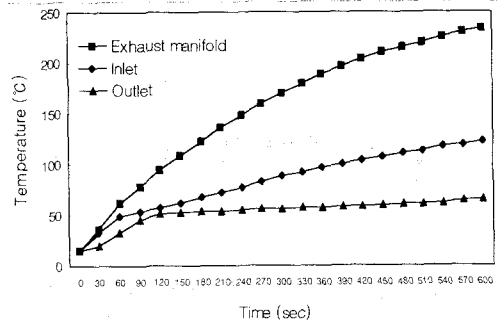


Fig. 6 The characteristic of temperature for catalytic converter(B) (distance=800mm)

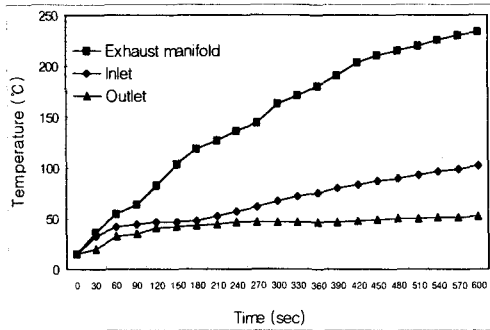


Fig. 7 The characteristic of temperature for catalytic converter(B) (distance=1200mm)

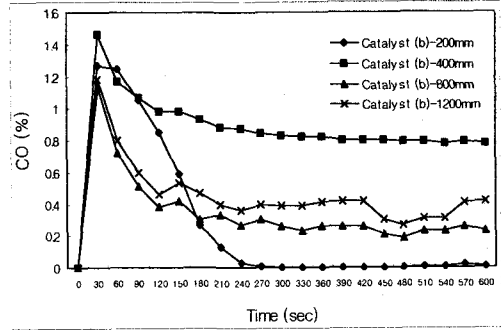


Fig. 9 The characteristic of CO for catalytic converter(B)

3.2 배기배출물 분석결과

Fig. 3의 촉매변환기(B)를 적용하여 시험부의 끝단에 장착한 가스분석기로부터 획득한 데이터를 Fig. 8부터 Fig. 11까지 거리변화에 따른 배기배출물, 즉 산화탄소(HC), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 람다(λ)를 실험시간 10분동안 각 특성을 나타낸 것이다. 각 배기배출물은 냉시동시의 초기에 그 성분들이 다량 배출됨을 알 수 있고, 람다는 보통 상용엔진 설계시에 약 0.9정도로 NO_x의 배출이 최소가 되도록 설계하지만 본 실험에 사용된 엔진에서는 1이상의 값을 나타내었다. 이것은 NO_x의 배출량이 상당히 높음을 나타내며, 엔진의 연소실내가 농후하다는 것을 나타낸다.

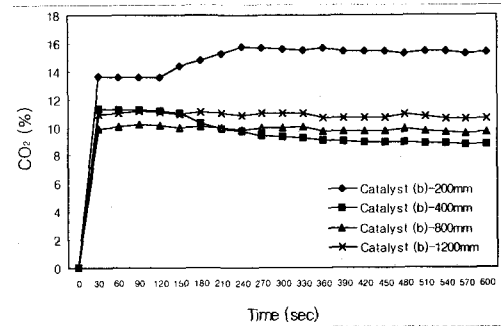


Fig. 10 The characteristic of CO₂ for catalytic converter(B)

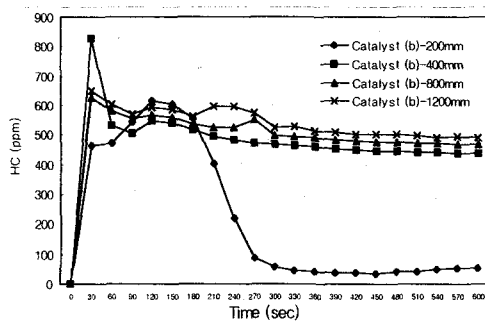


Fig. 8 The characteristic of HC for catalytic converter(B)

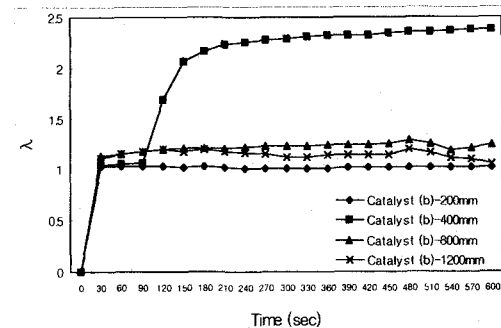


Fig. 11 The characteristic of λ for catalytic converter(B)

4. 결론

최근 각광받고 있는 CCC방식을 고려해서 실험 장치를 제작한 후에 촉매변환기의 위치에 따른 촉매변환기 통과 전·후의 배기가스온도와 각 위치에서 탄화수소, 일산화탄소, 이산화탄소 및 람다값의 배기배출물을 측정하였다. 또한 담체의 크기가 다른 촉매변환기를 적용하여 비교 실험도 수행하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 촉매변환기의 위치가 배기메니폴드에 가까울수록 촉매변환기의 온도가 빨리 상승하며, 이 때문에 다른 부가적인 장치의 도움없이 촉매변환기의 작동 적정온도까지 쉽게 이르게 할 수 있었다.
2. 촉매변환기의 위치가 배기메니폴드에 가까우면 배기배출물중에 HC와 CO의 저감에 약간의 효과가 있음을 알 수 있었으나, 배기메니폴드와 촉매변환기 사이의 거리가 400mm이상 이 되어도 저감률의 차이만 있을뿐 상당한 시간이 지나면 거의 같은 저감률을 나타냄을 알 수 있었다.
3. CO₂의 저감효과는 촉매변환기가 배기메니폴드에 가까운 위치보다는 촉매변환기의 온도 상승이 급격하지 않은 위치에서 많은 저감효과를 볼 수 있었다.
4. 측정된 람다값으로부터 실험에 사용된 엔진이 연소실내에서 농후 연소를 하고 있음을 알 수 있었고, 이에 저감효과는 배기메니폴드와 촉매변환기의 거리가 멀수록 저감효과가 다소 우수함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) J. C. Summers, et al., 'Use of Light-off Catalysts to Meet The California LEV/ULEV Standatds', SAE paper No. 930386, 1993
- 2) Catalyst and Emission Technology, SAE SP-968, 1994
- 3) Emissions and Emissions Control, SAE SP-1207, 1996
- 4) Low Emission Vehicle Technologies, SAE SP-1260, 1997
- 5) N. S. will and C. J. Bennett, 'Flow Maldistributions in Automotive Converter Canisters and Their Effect on Emission Control', SAE paper

No. 922339, 1992

- 6) 김명호 외 3인, '엔진 배기 가스용 촉매내의 유동특성에 관한 연구', KSAE paper No. 923925, 1992
- 7) J. Paul Day, 'Substrate Effects on Light-Off-Part I Thermal Energy Requirements', SAE paper No. 962074, 1996
- 8) D. Eade et. al., 'Fast Light-Off of Underbody Catalysts Using Exhaust Gas Ignition', SAE paper No. 952417, 1995
- 9) S. C. Brett, D. Eade et. al., 'Evaluation of Catalysed Hydrocarbon Traps in the EGI System: Potential for Hydrocarbon Emissions Reduction', SAE paper No. 981417, 1998
- 10) 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
- 11) 조용석 외 3인, '촉매의 가열시간 단축을 위한 배기 가스 점화기술 개발', 제5회 차세대자동차 기술 Workshop, pp. 129~132, 1997
- 12) 조용석, 이윤석, '시동 배기 가스 점화 기술을 이용한 촉매의 예열 시간 단축', KSAE paper No. 98380198, 1998
- 13) Y. S. Cho, et. al., 'Cranking Exhaust Gas Ignition (CEGI) for Fasr Light-Off of a Catalyst', ICES paper No. 9935806, 1999