한국자동차공학회논문집 제 10 권 제 3 호, pp.61-69

엔진 운전 조건이 촉매 온도에 미치는 영향

Parametric Study of Engine Operating Conditions Affecting on Catalytic Converter Temperature

이 석 환*, 배 충 식*, 이 용 표**, 한 태 식**
Seokhwan Lee, Choongsik Bae, Yongpyo Lee, Taesik Han

ABSTRACT

To meet stringent LEV and ULEV emission standards, a considerable amount of development work was necessary to ensure suitable efficiency and durability of catalyst systems. The main challenge is to cut off the engine cold-start emissions. It is known that up to 80% of the total hydrocarbons(THC) are exhausted within the first five minutes in case of US FTP 75 cycle. Close-Coupled Catalyst(CCC) provides fast light-off temperature by utilizing the energy in the exhaust gas. However, if some malfunction occurred at engine operation and the catalyst temperature exceeds 1050°C, the catalytic converter is deactivated and shows the poor conversion efficiency. This paper presents effects of engine operating conditions on catalytic converter temperature in a SI engine, which are the indications of catalytic deactivation. Exhaust gas temperature and catalyst temperature were measured as a function of air/fuel ratio, ignition timing and misfire rates. Additionally, light-off time was measured to investigate the effect of operating conditions. It was found that ignition retard and misfire can result in the deactivation of the catalytic converter, which eventually leads the drastic thermal aging of the converter. Significant reduction in light-off time can be achieved with proper control of ignition retard and misfire, which can reduce cold-start HC emissions as well.

주요기술용어 : Catalytic converter(촉매장치), Cold-start(냉간시동), Light-off temperature(활성화온도), Malfunction(기능 장애), Thermal aging(열열화), Catalytic deactivation(촉매 비활성화), Light-off time(활성화 시간)

1. 서 론

최근 오존경보 및 지구의 오존층 파괴 등 환경 공해가 갈수록 심해짐에 따라 각종 질병 및 생태계를 파괴하는 유해물질에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 환경공해를 줄이기 위해 여러 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 자동차 배출가스 성분들을 저감시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 가솔린 엔진에서는 배출가스 저감을 위하여 배출정화 촉매가 널리 사용되어지고 있다. 하지만, 자동차용 촉매는 보통의 활성화 온도(light-off temperature)인 300°C에 이르지 않으면 작동을 하지 않는다.[1] 그래서, FTP (Federal Test Procedure) 75 싸이클에서 배출가스

* 회원, KAIST 기계공학과
** 회원, 현대자동차

측정을 하게 되면 초기 5분 동안 미연탄화수소의 80% 이상이 배출되게 된다. 냉시동시 미연탄화수소를 저감하기 위하여 close-coupled catalyst(CCC), electrically heated catalyst(EHC), hydrocarbon absorber, by-pass catalyst, burner를 포함하여 많은 방법들이 연구되어지고 있다.[2] 이 중 귀금속 Pd를 포함한 close-coupled catalyst는 배출가스 저감에 매우 효과적이라고 알려져 있다. 대부분의 자동차 생산업체들은 강화되는 배출 규제인 LEV, ULEV 규제를 만족시키기 위해 CCC를 장착하고 있는 실정이다.[3] 하지만 CCC 시스템은 높은 열부하를 견뎌야 하는 단점이 있다.[4] 그리고, Environmental Protection Agency(EPA)는 10%의 부가적인 부하를 줄 수 있는 에어컨을 켠 상태에서의 배기가스를 측정하는 싸이클을 제안한 상태이다. 변경된 FTP 배출규제를 만족시키기 위해서는 촉매의 워시코트(washcoat)와 귀금속은 950°C가 넘는 고온에 노출 되더라도 견뎌야만 한다. 그래서 촉매는 고온 내열성을 가질 수 있게 설계되어야만 한다.[5] 과거에는 촉매 설계에서 고온에서 견뎌야 한다는 조건은 큰 제약이었다. 촉매 설계는 촉매 담체(substrate)의 강성과도 밀접한 관련이 있지만, 워시코트의 고온내열성이 가장 큰 문제였다. 촉매로 유입되는 가스의 온도가 850°C가 넘어서게 되면 귀금속 코팅에 에이징(aging) 현상을 일으켰다.[6] 그러나, 촉매 워시코트에 대한 끊임없는 연구로 인해서 1050°C가 넘는 고온의 조건에서도 귀금속 코팅에 손상을 주지 않는 촉매가 개발되었다.[2] 이러한 촉매들은 24시간 동안 1050°C가 넘는 고온의 조건에 노출되어도 코팅의 손상 없이 98%에 이르는 탄화수소 정화율을 보여주고 있다.[7] 워시코트의 발달은 자동차 업체들이 촉매의 위치를 엔진쪽으로 가깝게 설치할 수 있게 하는 결정적인 계기가 되었다. 그러나, 엔진이 비정상적인 조건에서 작동하게 되어 촉매가 1050 °C 이상의 고온 조건에 장시간 노출되게 되면, 촉매는 열적 파손을 일으키게 되고 배출가스 정화성능은 현저하게 떨어지게 된다. 이런 혹독한 상황에서는 촉매에서 BET 표면적이 심각하게 줄어들게 되고, 간혹 고온으로 인해 촉매 담체가 녹아버리는 현상이 생기기도 한다.[8] Table 1은 촉매의 작동 온도에 따른 열적 파괴 현상을 간략하게 설명하고 있다.[9]

Table 1 Thermal deactivation phenomena as a function of catalyst operating temperature[9]

Temp(°C)	Thermal deactivation
1900	Pellet melting
1800	
1700	High temperature ceramic melts (50% mulite, 50% titinate)
1600	Metal monolith melts
1500	Ceramic monolith melts
1400	Ceramic monolith soften
1300	Cordierite phase change to mulite
1200	θ -Alumina phase change to (-Alumina
1100	Pt-Rh alloy forms in oxidation A/F δ -Alumina phase change to (-Alumina
1000	
900	Pt-Pd alloy forms in oxidation A/F Alumina sinters(γ -Alumina to (-Alumina)
800	Pt-Pd and Pt-Rh alloy forms in reducing A/F
700	Pt sinters Rh-Alumina reaction in oxidation A/F
600	
500	Optimum converter operating temperature

본 연구에서는 정상운전 상태에서의 배출가스 온도 측정 실험을 통하여 연료량 변화, 점화시기 지연 운전 및 실화조건 등 비정상적인 운전조건에서 배출가스 온도 과상승을 살펴 보았다. 이로부터 배출가스 온도 상승으로 인한 촉매의 열화 현상을 유발하는 주요 인자를 도출하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용된 엔진, 열전대의 위치, 실화 발생기(misfire generator) 등을 나타내고 있다. 본 실험에 사용한 엔진은 1.0liter 상용 가솔린 엔진으로 유럽의 EURO-3 Mode규제에 대응하기 위한 CCC(Close-Coupled Catalyst)가 장착된 엔진이다. 엔진의 주요 제원은 Table 2와 같다. 엔진에 공급되는 연료량과 점화시기를 인위적으로 조절하기 위한 ECU(Engine Control Unit) 및 EMS (Engine Management System)로 Motec사의 M4를 이용하였다. 또한, 동력계는 EC(Eddy Current) 타입을 사용하였다. 여러 운전 조건에 따라 배출가스와 촉매의 온도를 측정하기 위해 1200°C까지 온도 측정이 가능한 K-type 열전대를 담체로부터 40mm의 깊이에 장착하였다.

엔진에서 비정상연소(실화)를 유도하기 위해

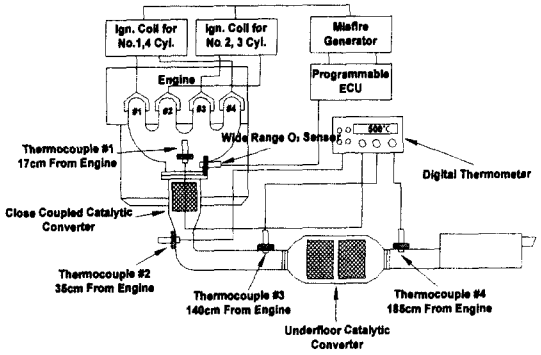

Fig. 1 Experimental setup

Table 2 Engine specification

Specification	Resources
Cylinder	4
Bore(mm)	66
Stroke(mm)	73
Bore Pitch(mm)	72.5
Displacement(cc)	999
Compression ratio	9.8

서는 점화신호를 단락시키거나 연료가 공급되는 분사기 신호를 단락시켜야 한다. 본 실험에서는 Bosch사의 실화발생기(Bosch Y280 V02 078)를 이용하였는데, Fig. 1에서와 같이 ECU와 점화코일 사이에 설치되어 ECU로부터 점화코일로 전달되는 신호를 단락 시키도록 되어 있다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 촉매온도 1050°C를 촉매 파손 기준 온도로 정하고,[2] 비정상적인 운전 조건으로 인하여 촉매의 온도가 1050°C를 넘어서게 되면 촉매의 열적 파손이 일어난다고 판단하였다. 기초 실험에서는 엔진에 필요한 연료량을 정확히, 적절한 시기에 공급하고 점화시기도 최적으로 조절할 수 있는 Bosch사의 순정 EMS를 사용하여 정상상태 운전조건에서 실험하였다. 엔진의 회전수와 부하의 증가에 따라서 배출가스 온도와 촉매의 온도 변화를 측정하였다. 정상상태 운전에서의 데이터를 기초로 하여 공연비와 점화시기의 변화, 실화율이 정상 상태 운전 조건에 비해 엔진 배출가스 온도에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다. 공연비는 농후한 조건에서 희박한 조건에 걸쳐서 조사 하였고, 점화시기도 TDC에서 진각(advanced) 된 경우와 지각(retard)된 경우에 대해서 조사하였다. 또한, 비정상연소(실화)가 발생할 때 각각의 엔진부하에서 실화율에 따른 촉매 온도변화를 살펴보고, 이러한 엔진운전 조건에 대해서 촉매의 활성화 특성도 살펴보았다. Table 3은 본 실험에서 사용된 실험조건을 나타내었다.

Table 3 Experimental conditions

Parameters	Specification
Engine speed	1500, 2000, 2500, 3000, 4000RPM
Engine load	0N · m ~ 70N · m
Excess air ratio	0.8 ~ 1.2
Ignition timing	BTDC 30°CA ~ ATDC 30°CA
Misfire rate	0 ~ 28%

3. 실험결과

3.1 정상운전 상태에서의 배출가스 온도

엔진이 정상상태에서 운전되는 경우 배출가스의 온도와 촉매의 온도 분포를 조사하였다. Fig. 2는 촉매로 유입되는 배출가스 온도 변화에 따른 촉매온도의 변화정도를 나타낸 결과이다. 2500 RPM의 엔진 회전수에서 엔진에 부가되는 부하에 따라 CCC, UCC 입구에서의 배출가스 온도와 CCC, UCC 담체의 온도를 측정하여 비교하였다. 촉매 입구에서의 배출가스 온도보다 실제 촉매의 온도는 100~110°C 정도 높은 것으로 측정이 되었다. 배출가스 온도보다 실제 촉매의 온도가 이렇게 높은 이유는 촉매 내에서 CO가 CO_2로 정화되는 화학 반응이 발열반응이기 때문이다. 이 사실을 기초로 배출가스에서 측정되는 촉매파손 기준 온도는 950°C로 설정하였다. CCC의 온도가 UCC의 온도보다 200°C 정도 높은 것으로 보아 고온으로 인한 촉매에서의 대부분의 열적 파손은 CCC에서 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 3은 엔진 회전수 3000RPM, 무부하에서 전부하에 이르는 조건에서 배출가스의 온도변화를 CCC와 UCC 입구와 출구에서 조사한 것이다. 엔진에 부가되는 부하에 비례하여 전부하 조건이 되면 무부하 경우에 비해 배출가스의 온도가 300°C 가까이 증가했음을 알 수 있다. #1 열전대

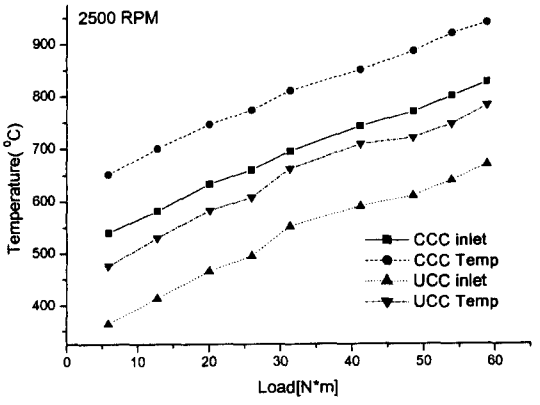

Fig. 2 Relationship between catalyst inlet gas temperature and catalyst temperature at 2500RPM

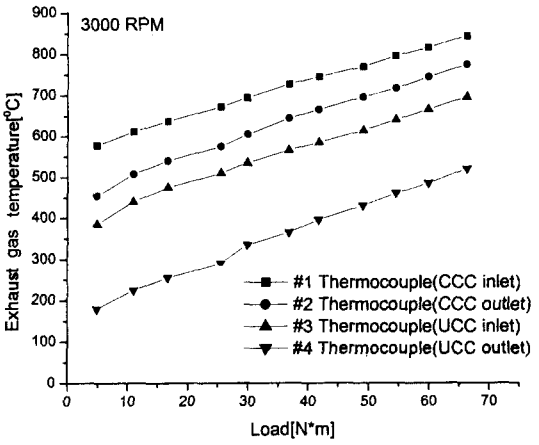

Fig. 3 The effect of engine load on exhaust gas temperature under different measuring positions at 3000 RPM

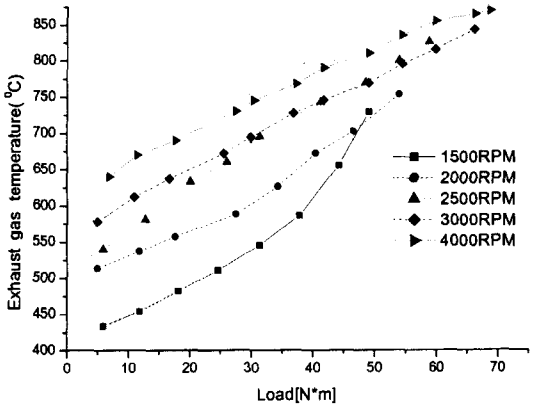

Fig. 4 The effect of engine load on catalyst inlet gas temperature at the CCC entry under different engine speeds

와 #3 열전대가 CCC와 UCC의 입구쪽 배기가스 온도인데 전부하에 가까운 70N · m에서도 열적 파손 기준 온도인 950°C 아래에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이것으로 보아 정상상태 운전 조건에서는 촉매의 열적 파손이 일어나지 않는다고 판단할 수 있다.

Fig. 4는 CCC 입구에서 부하에 따른 배출가스 온도를 엔진 회전수의 변화에 따라 측정한 것이다. 부하의 증가에 따라서 배출가스 온도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 저부하 조건에

서는 엔진 회전수에 따른 배출가스 온도의 차이가 크지만 고부하 조건으로 갈수록 온도 차이가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

엔진운전 조건이 고부하로 갈수록 배출가스 온도가 증가하는 이유는 부하가 증가할수록 엔진에 공급되는 연료가 증가하여 엔진에서 단위 시간에 낼 수 있는 발열량이 커지므로 배출가스 온도도 증가하는 것이다. 또, 엔진 회전수가 올라가면 동일시간 내에 폭발행정 수가 증가하고, 이는 연소되는 연료량의 증가로 이어진다. 따라서 연소에너지가 증가하게 되는데, 이중 일부는 차량 동력전달로 소모되고 나머지는 열손실이 된다. 이 열손실의 대부분은 배기 시스템을 통해 배출되게 되므로 배출가스 온도가 상승하게 된다.

3.2 공연비에 따른 배출가스 온도 변화

공연비가 배출가스 온도와 촉매의 온도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 1/2 부하 조건에서 여러 엔진 회전수 조건에서 실험을 행하였다. Fig. 5는 각각의 엔진 회전수(2000, 2500, 3000RPM)에서 부하를 36N · m로 고정시키고, 공연비 변화에 따른 CCC 입구에서의 배출가스 온도와 실제 CCC 촉매의 온도를 측정한 것이다. 공연비에 따른 배출가스 온도 변화는 100°C 안팎으로 파악이 된다. 공연비가 농후한 조건에서는 배출가스와 촉매의 온도가 40~50°C 차이를 보이다가 공기과잉률이 1.0이 될 때 촉매의 온도가 갑자기 상승하는 것을 볼 수 있는데 이 현상은 두 가지 이유로 설명할 수 있다. 첫 번째로는 공기과잉률이 1.0인 조건에서 배출가스 중 CO가 CO_2로 정화되는 총 정화량이 최대가 되는데 정화시 발열반응이 일어나기 때문에 온도의 증가가 생기는 것이다. 실제로는 공연비가 희박한 영역에서의 CO 정화율이 좋지만 희박한 영역에서는 CO 발생량이 적어서 발열량이 저하되며, 온도 상승률의 둔화로 이어지게 된다. 두 번째로는 공기과잉률이 1.0일 때 연소온도가 최대가 되기 때문이다. 보통 엔진은 공기과잉률이 0.85~0.95 사이에서 최대 토크값을 가지는데 이 영역에서 배출가스 온도가 낮은 이

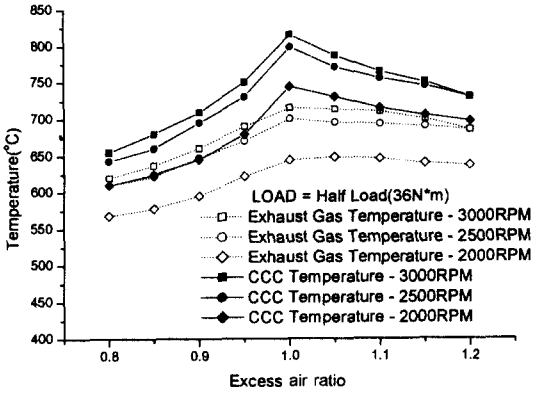

Fig. 5 The effect of excess air ratio on catalyst inlet gas and CCC temperature at different engine speeds

유는 엔진 실린더 내로 연료가 많이 분사되므로 기화되기 위한 증발 잠열이 많이 필요하고, 연소속도도 증가하기 때문이다. 실제 엔진 운전조건에서 고부하, 고회전수 운전 영역에서는 일부러 연료를 농후하게 공급하여 배기가스 온도를 낮추기도 한다. 엔진 회전수가 증가할 때, 같은 부하 값을 가지기 위해서는 공기량과 연료량이 증가하여야 하므로 엔진 회전수의 증가에 따라서 배출가스 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 공연비 변화만으로는 배출가스 온도값의 변동이 적으므로 촉매의 열적 파손에 직접적인 영향을 주기 어렵지만, 점화시기의 과다한 지각 같은 다른 비정상적인 운전조건과 결부되면 공연비 변화에 따른 효과가 상당히 클 것으로 사료된다.

차량의 감속 조건에서 연료차단을 하는 경우 산소의 농도가 증가하는데 이 조건에서 고온의 배출가스와 만나면 삼원촉매의 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다. 즉, 고온에서 희박영역에 장시간 노출되는 경우, 촉매의 상태가 완전 산화상태로 변하기 때문에 정화성능이 일시적으로 감소하게 된다.[10,11]

3.3 점화시기에 따른 배출가스 온도 변화

1/2 부하 조건에서 각각의 엔진 회전수에서 점화시기 변화에 따른 배출가스 온도 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 점화시기는 TDC(Top dead center)

를 기준으로 진각과 지각을 시켰다. 그림을 살펴보면 점화시기가 지각될 때 배출가스 온도가 급격하게 상승하는 것을 볼 수 있었다. 3000RPM, Half load 조건에서 점화시기를 TDC 기준 30°CA 지각시키게 되면 배출가스 온도가 300°C 이상 증가하였다. 점화시기가 20° 이상 지각되게 되면 촉매 파손 기준 배출온도로 설정했던 950°C 이상이 되어서 촉매에 나쁜 영향을 미칠 것으로 판단이 된다. 점화시기가 지각될 때 배출가스 온도가 급격히 상승하는 이유는 연소가 늦어져서 팽창과정의 연소가스의 온도가 높아져서 온도 상승이 일어나거나 연소실 내에서 연소중인 가스가 미처 다 타지 못하고 배기밸브가 열리면서 실린더에서 배출되는 Afterburn 현상이 일어나기 때문이다. 이 경우에는 엔진 출력도 급격히 감소하게 되어 엔진이 멈추어 버리는 Stalling 현상이 일어나게 되고 오염물질 생성에도 크게 나쁜 영향을 미친다. 그러나, 짧은 시간에 점화시기를 지각시키게 되면 충분한 배출 에너지를 공급할 수 있기 때문에 촉매의 활성화 시간을 줄이는데 유용하다.

실제로 Chan et al.,[12] Ueno et al.,[13] Choi et al.[14] 등에 의하면 냉시동시 점화시기를 조절하여 HC의 저감에 큰 효과를 본 것으로 보고되고 있다.

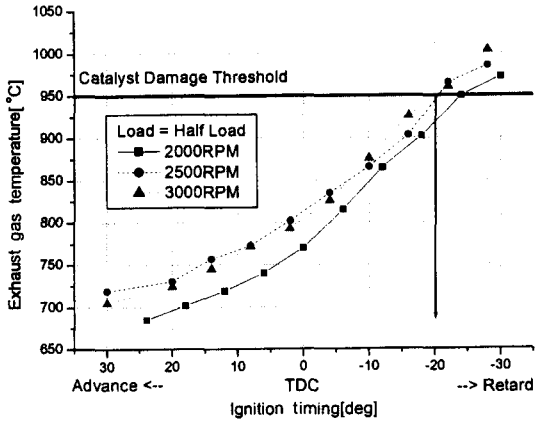

Fig. 6 The effect of ignition timing on catalyst inlet gas temperature under different engine speeds at half load condition

3.4 실화가 발생하는 경우 촉매의 온도분포 변화

부하 조건을 달리하면서 실화율(misfire rate)에 따른 촉매의 온도 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 엔진 회전수를 3000RPM으로 고정시키고 실화 발생기를 이용하여 실화율을 변화시켰고, 실화는 4개의 실린더에서 무작위적으로 발생이 되도록 하였다. 촉매 열화 보기 온도를 1,050°C로 정하고 각각의 부하에서 열화 보기 온도까지 이르는 실화율을 조사하였다. 고속 고부하의 조건에서는 실화에 따른 급격한 토크 변화로 인한 엔진 동력전달 축의 파손이 우려되므로, 고속 고부하 조건의 실험은 지양하였다. 엔진 실화율이 증가할수록 촉매의 온도가 상승하는 것을 알 수 있고, 실화율이 20%에 이르면 촉매 온도가 250°C 정도 상승하는 것을 볼 수 있다. 엔진의 부하가 30N · m일 때 실화율이 20% 이상이 되면 촉매 열화 보기 온도를 넘어서게 된다. 이 조건은 엔진에서 반부하(half load)가 조금 안 되는 것이며, 전부하(full laod)로 운전되는 경우 실화가 약간이라도 발생하면 촉매의 파손에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 판단할 수 있다. SI 엔진에서 실화가 고온의 조건에서 발생하게 되면 미처 타지 못한 연료가 산소와 만나서 촉매 표면에서 연소 반응이 일어난다. 이 현상으로 인해 촉매의 온도는 열적 파손이 일

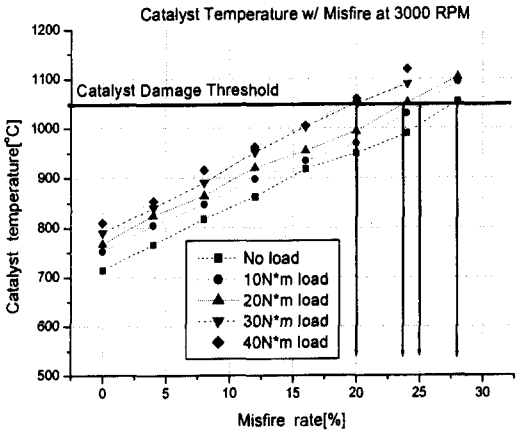

Fig. 7 The effect of misfire rate on catalyst temperature for different load at 3000RPM

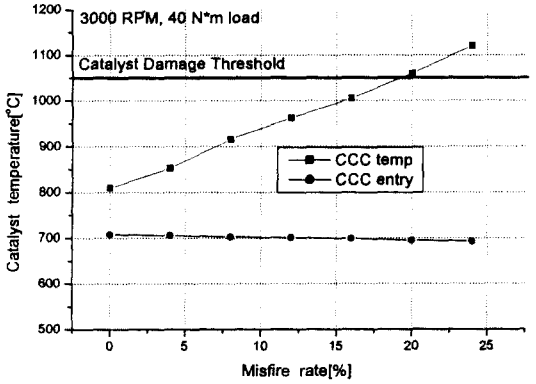

Fig. 8 The effect of misfire rate on catalyst temperature and catalyst inlet temperature at 3000RPM, 40N·m load condition

어날 만큼 급격하게 상승하고, 오염물질 배출에도 나쁜 영향을 주게 된다.

Fig. 8은 촉매의 온도와 촉매 입구에서의 배출가스 온도를 비교한 것이다. 실화율이 증가함에 따라서 촉매의 온도는 선형적으로 증가하게 되지만, 배출가스의 온도는 약간 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 실화가 생기게 되면 배출가스에는 미연탄화수소가 포함되게 되고 이것이 촉매에 유입되는 가스를 약간 냉각시키는 효과를 주게 된다. 세라믹 담체의 melting은 점화 차단으로 생기는 실화와 매우 관련이 깊다. 실화가 발생되면 촉매 담체의 BET 표면적이 줄게 되고,[7] 촉매로 유입되는 탄화수소와 산소의 양을 증가시키기 때문에 OBD(On Board Diagnostics) 법규에 근거하여 실화는 반드시 감지되어야만 한다.

3.5 점화시기와 실화율이 촉매의 활성화 특성에 미치는 영향

이전의 실험에서 점화시기 지각과 실화의 발생이 촉매 온도 상승에 가장 지배적인 인자라는 것을 발견하였다. 이를 기초로 하여 촉매의 활성화 특성을 파악하기 위하여 점화시기와 실화율을 변화시켜 가면서 냉시동 조건에서 활성화 시간을 측정하였다. Crane et al.[1]의 논문을 참고하여 촉매의 활성화 온도는 300°C로 정하였다.

Fig. 9는 여러 점화시기에 따른 촉매의 활성화 시간 변화를 나타내고 있다. 점화시기의 지각은 높은 배출 에너지를 공급하므로, 활성화 시간을 줄이는 효과를 가져온다. 공회전 상태에서 점화시기를 BTDC 20°CA에서 ATDC 10°CA로 30°CA 지각 시킬 경우 보니 촉매의 활성화 시간은 34초가 줄어들었다. 그림에서 살펴보면 온도를 나타내는 곡선이 초기에는 매우 큰 경사를 보이다가 활성화 온도에 도달한 후에는 완만한 경사를 이루고 있다. Fig. 10은 여러 실화율에 따른 촉매의 활성화 시간 변화를 나타내고 있다. 온도를 표현하는 곡선은 Fig. 9의 점화시기에 따른 온도 변화 곡선과 비슷한 경향을 보이고 있다. 공회전 상태

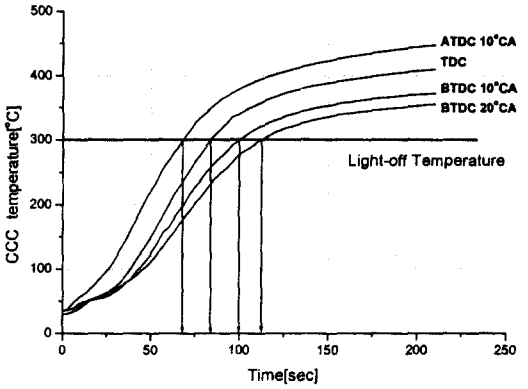

Fig. 9 Influence of ignition timing on catalyst light-off under idling state

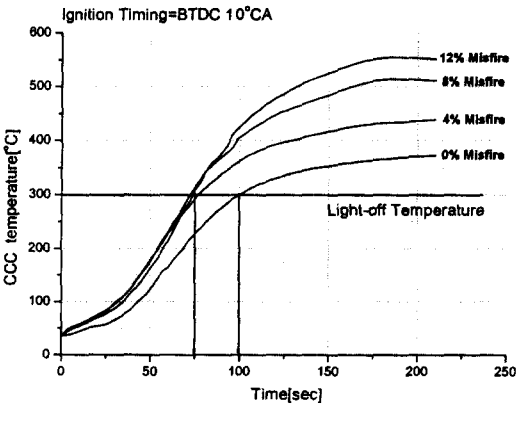

Fig. 10 Influence of misfire rate on catalyst light-off under idling state

에서 실화가 발생한 경우에는 촉매의 활성화 시간이 26초가 단축되었다. 주목할 만한 결과로는 실화율이 증가하면 시간이 흐름에 따라서 촉매의 온도가 상승하였지만 촉매의 활성화 시간은 실화율과 상관없이 거의 동일함을 보여주고 있다.

짧은 시간동안 적절한 점화시기 지연과 실화의 발생은 냉시동시 촉매의 활성화 도달시간을 줄여서 오염 물질의 감소에 큰 도움을 줄 수 있을 것이라고 판단된다. 실화의 발생은 미연 탄화수소의 증가로 이어지지만, 활성화 시간의 감소로 인한 탄화수소 저감 효과가 더 큰 것으로 알려져 있다.

4. 결 론

1리터 가솔린 엔진과 Motec사의 M4 EMS를 이용하여 연료량 변화, 점화 시기 지연 운전, 실화조건 같은 비정상적인 운전조건에서 배출가스 온도, 촉매온도 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 촉매 입구에서의 배출가스 온도보다 실제 촉매온도는 100~110°C 정도 높은 것으로 측정되었다.

2) 엔진 회전수와 부하가 증가할수록 엔진에 공급되는 연료가 증가하여 엔진에서 단위시간에 발생되는 열량이 커지므로 배출가스 온도도 증가하였다. 그러나 정상적인 운전조건에서는 배출가스 온도가 촉매의 손상 온도를 넘지 않았다.

3) 공기과잉률이 1.0이 되면 촉매의 CO 정화량과 연소온도가 최대가 되기 때문에 촉매의 온도도 최대가 된다.

4) 엔진 운전중 점화시기를 TDC에서 20°C 이상 지각시키게 되면 배출가스 온도가 급격하게 상승하여 촉매의 파손에 영향을 미칠 수 있다.

5) 실화가 발생하는 경우, 촉매의 온도가 급격하게 상승하였다. 실화율이 20%에 이르면 촉매온도가 250°C 정도 상승하고 있는 것을 볼 수 있었다.

6) 실화가 발생하는 경우, 미연 배출가스가 촉매표면에서 연소하므로 촉매의 온도는 급격히 상승하게 되어 촉매의 파손에 영향을 준다.

7) 짧은 시간동안 점화시기를 적절하게 지각시키고 실화를 발생시켜 주면 촉매의 활성화 시간을 감소시킬 수 있다. 실화율이 증가하면 촉매의 온도는 상승하지만 활성화 시간은 모든 실화조건에서 거의 동일하였다.

후 기

본 연구는 국가지정 연구실 사업(NRL), 현대자동차㈜의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1) M. E. Crane, R. H. Thring, D. J. Podnar, L. G. Dodge, "Reduced Cold-Start Emissions Using Rapid Exhaust Port Oxidation(REPO) in a Spark Engine," SAE 970264, 1997.
2) Z. Hu, R. M. Heck, "High Temperature Ultra Stable Close-Coupled Catalysts," SAE 950254, 1995.
3) R. J. Brisley, R. D. O'Sullivan, A. J. J. Willkins, "The Effect of High Temperature Ageing on Platinum-Rhodium and Palladium-Rhodium Three Way Catalysts," SAE 910175, 1991.
4) T. Nagel, W. Maus, J. Breuer, "Development of Increased Test Conditions for Close-Coupled Catalyst Applications," SAE 962079, 1996.
5) K. G. Duleep, D. Meszler, "Emission Control Technology to Comply with FTP Revisions," SAE 961115, 1996.
6) Y. K. Lui, J. C. Dettling, "Evolution of Pd/Rh TWC Catalyst Technology," SAE930249, 1993.
7) R. M. Heck, Z. Hu, R. Smaling, A. Amundsen, "Close Coupled Catalyst System Design and ULEV Performance After 1050°C Aging," SAE 952415, 1995.
8) R. D. O'Sullivan, N. S. Will, "The Effect of Intermittent Misfire and Air to Fuel Ratio Excursions on Exhaust Catalyst Temperature," SAE

940927, 1994.

9) Johnson Matthey and HMC Technical Seminar, Deactivation of Catalyst, p.25, 1985.
10) S. P. Burkholder, B. J. Cooper, "Effect of Aging and Testing Conditions on Catalyst Performance," SAE 911734, 1991.
11) R. M. Heck, J. K. Hochmuth, J. C. Dettling, "Effect of Oxygen Concentration on Aging of TWC Catalysts," SAE 920098, 1992.
12) S. H. Chan, J. Zhu, "The Significance of High Value of Ignition Retard Control on the Catalyst Light off," SAE 962077, 1996.
13) M. Ueno, S. Akazaki, Y. Yasui, Y. Iwaki, "A Quick Warm-Up System During Engine Start-Up Period Using Adaptive Control of Intake Air and Ignition Timing," SAE 2000-01-0551, 2000.
14) M. S. Choi, H. Y. Sun, C. H. Lee, C. L. Myung, W. T. Kim, J. K. Choi, "The Study of HC Emission Characteristics and Combustion Stability with Spark Timing Retard at Cold Start in Gasoline Engine Vehicle," SAE 2000-01-1082, 2000.
15) 손건석, 이지연, 이귀영, 최병철, "촉매의 열화에 관한 연구 - (I)," 한국자동차공학회논문집, 제5권 제3호, pp.86-94, 1997.