

촉매가 장착된 가솔린엔진에서 동기화된 2차공기분사에 의한 배기 탄화수소 저감

Reducing Exhaust Hydrocarbon at Gasoline Engine with Catalytic Converter using Synchronized Secondary Air Injection

심현성*, 민경덕**, 정석호**
Hyun Sung Sim, Kyoungdoug Min, Suk Ho Chung

ABSTRACT

A synchronized secondary air injection method has been developed to reduce hydrocarbon emission by injecting secondary air intermittently into exhaust port. The method has been tested in a single cylinder spark-ignition engine operating at cold-steady / cold-start conditions. Effects of air injection timing, intake pressure and engine air-fuel ratio have been investigated at cold-steady condition. Also, hydrocarbon emission and exhaust gas temperature with catalytic converter are compared with a continuous SAI method and base condition at cold-start condition.

Results show that hydrocarbon reduction rate and exhaust gas temperature are sensitive to the timing of synchronized SAI. At cold-steady condition, HC emission is minimum at engine air-fuel ratio of 10. At cold-start condition, the accumulated hydrocarbon emission during the first 120 s decreases about 56% and 22% with the synchronized and continuous SAI, respectively, compared to that of the base condition.

주요기술용어 : Secondary air injection (SAI, 2차공기분사), Synchronized SAI (동기화된 2차공기분사), Continuous SAI (연속적인 2차공기분사)

Nomenclature

$(A/F)_{eng}$: air-fuel ratio before SAI
 $(A/F)_{exh}$: air-fuel ratio after SAI
HC : hydrocarbon
 l : distance from exhaust port
 l_{fid} : location of Fast-FID

l_{sai} : location of SAI nozzle
 l_{temp} : location of temperature measurement
SAI : secondary air injection
 t_{ig} : timing of spark ignition
 t_{sai} : timing of synchronized SAI

1. 서론

가솔린 자동차 엔진의 탄화수소 (HC)는 주로 warm-up 시인 초기 120초 동안에 약 80% 정도가 배출된다.^{1,2)} 따라서 초기 warm-up시에 배

* 회원, 서울대학교 대학원

** 회원, 서울대학교 기계항공공학부

출되는 HC를 저감하는 것이 중요하다. 배기 HC를 저감하기 위한 후처리 방식으로 여러 가지 촉매³⁻⁴⁾가 개발되고 있으며, 이외에도 엔진공연비를 과농하게 하고 배기관에서 2차공기를 분사하여 산화를 유도하는 2차공기분사 방식 (secondary air injection, SAI)⁴⁻⁹⁾ 등이 있다.

2차공기분사는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째는 2차공기에 의한 배기 HC의 직접적인 산화이며, 둘째는 배기가스와 공급된 2차공기의 산화에 의하여 발생하는 열에 의하여 촉매의 warm-up 기간이 단축되는 것이며, 셋째로 증가된 산소 농도에 의하여, 촉매의 light-off 온도가 낮아지는 효과가 있다.

이제까지 2차공기분사 방식은 배기포트에 연속적으로 2차공기를 공급하는 방식 (continuous SAI)이 사용되어 왔는데, 촉매를 사용하지 않은 경우⁵⁾ 약 32 %의 저감효율을 보이고 있다. 그러나 이러한 continuous SAI 방식에서는 배기가스와 2차공기의 균일한 혼합이 이루어지기는 어려운 문제점이 있다. 그 이유는 엔진에서 배출되는 배기가스는 단속적으로 배기밸브가 열릴 때만 배출되는 데, 이 시기에는 배기 압력이 높아져 공급되는 2차 공기량이 감소하고, 이에 따라 배기가스가 배출되지 않는 경우에 더 많은 2차공기가 공급되기 때문이다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위하여 2차공기를 엔진 배기가스의 배출 시기에 맞추어 공기 인젝터를 사용하여 각 사이클의 정해진 시기에 단속적으로 엔진 조건에 맞는 정해진 량을 공급하는 동기화된 2차공기분사 (synchronized SAI) 방법을 적용하였다.

Synchronized SAI는 배기밸브가 열리는 시기의 고온의 배기가스와 2차공기의 균일한 혼합을 유도하여, 직접적인 산화에 의하여 배기 HC를 저감하고 또한 배기가스 온도를 증가시켜서 촉매 온도를 빨리 증가시키는 데 그 목적이 있다. Cold-steady 엔진 상태에서 2차 공기 분사시기에 따른 HC 저감율, 배기가스 온도, 산화 특성 등을 검토하였으며, 또한 최적화된 2차공기 분사

시기에서 엔진부하, 공연비등의 영향을 실험하였다. 또한, cold-start에서, 촉매를 장착하고 continuous와 synchronized SAI의 배기 HC, 촉매 및 배기가스 온도 등을 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험 장치는 Fig. 1과 같이 단기통 SI 엔진과 동력계, 엔진 제어장치, 2차공기 분사장치,

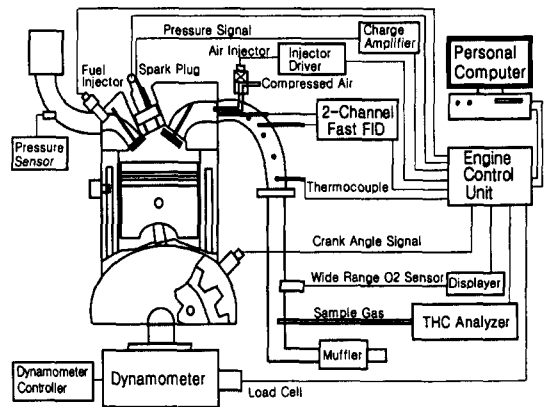


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

배기가스 분석기, 엔진공연비 측정기, fast-flame ionization detector (F-FID)등으로 구성되어 있다. 엔진은 표 1과 같은 500 cc 단기통 엔진으로 엔진 제어장치는 PC를 통하여 점화시기, 연료분사 시기, 2차공기 분사시기 등을 제어

Table 1 실험 엔진 사양

Type	Single Cylinder	
Bore x Stroke	82 x 93.5 (mm)	
Displacement Volume	500 cc	
Compression Ratio	10.3	
Fuel	Gasoline	
Valve Timing		
Intake	Open	BTDC 8°
	Close	ABDC 40°
Exhaust	Open	BBDC 50°
	Close	ATDC 10°

하고 데이터를 받는다. HC 농도를 측정하기 위하여 배기가스 분석기(Horiba, Mexa-9100)를

사용하였으며, 배기가스 측정은 배기포트에서 2 m 후방에서 샘플하여 측정하였다. 엔진공연비는 광역 O₂ 센서 (Horiba, MEXA -110 λ)를 사용하여 1.8 m 후방에서 측정하였으며, 배기가스 온도는 K-형 열전대를 이용하여 측정하였다. 크랭크 각에 따른 배기 HC의 농도는 F-FID를 사용하여 매 3.6° 크랭크 각마다 120 사이클을 측정하여 평균하였다.

Synchronized SAI 분사 장치는 공기 인젝터 (Serbo Jet)와 분사된 공기를 배기 파이프 내로 유도하는 Stainless 파이프로 구성되어 있으며, 파이프 끝은 두개의 배기 밸브를 향하도록 Y 형태로 되어 있다.

본 실험은 시동 구간이 관심사이므로, 엔진 속도는 1200 rpm, 엔진 출력은 무부하 상태를 유지하였다. Cold-steady에서는 냉각수와 윤활유의 온도는 20℃로 유지하고 다른 조건들은 안정된 상태에 도달한 후 실험을 행하였으며, Cold-start에서는 경차용 촉매를 부피 400 cc로 개조하여 배기포트에서 20 cm 떨어진 곳에 장착하고 엔진이 충분히 냉각된 후 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 측정 위치에 따른 공연비 변화

2차공기를 배기포트에 분사할 경우 엔진으로부터 나온 배기가스와 분사된 2차공기의 혼합이 잘 일어나지 않아 배기포트에 가까운 부분에서는 성층화된 상태로 존재한다. 따라서, 온도나 농도 측정의 경우, 2차공기 분사시기에 따라 측정 부분의 성층화 상태가 다르므로 측정값도 차이가 나타난다. Fig. 2는 동일한 엔진공연비, (A/F)_{eng}, 에서 2차공기 분사량을 일정하게 유지하면서 2차공기 분사시기 (t_{sai})를 변화시킬 때, 배기공연비, (A/F)_{exh}, 변화를 $l = 10$ cm 에서 측정된 값이다. 여기서 l 은 배기포트 이후의 거리이다. 기준값으로 설정한 $l = 180$ cm 에서의 값은 t_{sai} 의 변화에도 거의 일정한 값을 유지하고 있으나 $l = 10$ cm

에서 배기 공연비는 큰 변화를 보이고 있다.

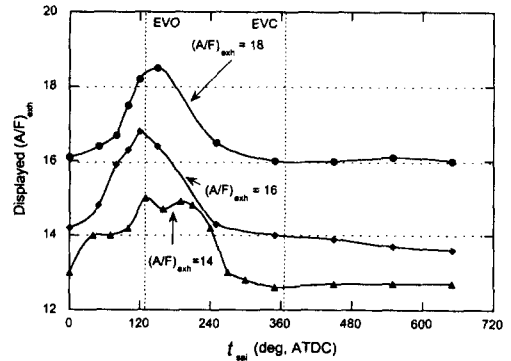


Fig. 2 Displayed (A/F)_{exh} variation at $l = 10$ cm with SAI timing

배기밸브가 열리는 전후에 기준값보다 희박한 배기 공연비를 보이는 것은, 배기밸브가 열리는 전후에 분사된 2차공기의 많은 양이 $l = 10$ cm 에 오랜 시간을 머물렀기 때문이라 판단된다. 한편, 배기밸브가 닫힌 시기에 분사된 2차공기는 배기밸브가 닫혀 있는 동안 $l = 10$ cm 위치에 많이 도달하지 않고, 다음 사이클의 배기가스가 배출될 때 빠르게 $l = 10$ cm 위치를 통과해서 지나가기 때문에 기준 값보다 과농한 공연비를 보인다.

3.2 Synchronized SAI의 분사시기에 따른 HC 저감 효과

Fig. 3은 synchronized SAI의 경우 t_{sai} 와 점화시기 (t_{ig})를 변화시킬 때, 배기가스 온도 (a)와 HC 저감을 (b)을 나타내고 있다. 엔진 부하는 (A/F)_{eng} = 10, $t_{ig} =$ BTDC 10°에서 아이들 상태이며, 점화시기 변경에 의한 부하 변화는 보상하지 않았다. 이때, 2차 공기의 분사시간은 176° 크랭크 각에 해당한다.

2차공기 분사시기에 따라 배기가스 온도와 HC 저감율이 크게 영향을 받으며, 배기가스 온도는 약 300℃ 정도의 차이를 보이고, HC 저감율은 약 40%의 차이를 보이고 있다. 배기가스 온도 경향과 HC 저감율은, 배기가스의 온도가

높을수록 HC 저감율이 커지는 밀접한 관계를 보이고 있다. 점화시기에 따른 경향을 보면, 점화시기가 지연될수록 배기가스의 온도가 높아지므로, 배기 HC 저감율이 증가함을 알 수 있다.

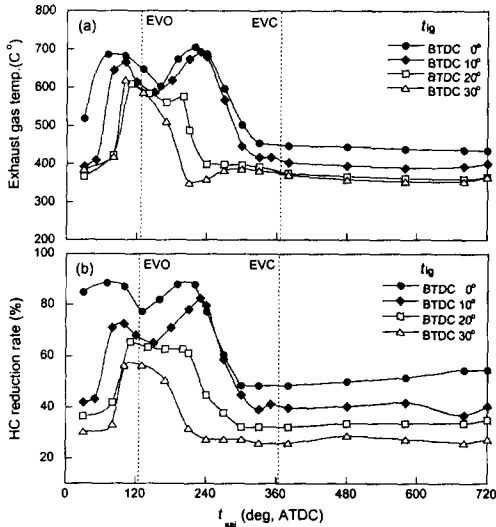


Fig. 3 Effect of t_{sai} on exhaust gas temperature (a) and HC reduction rate (b) ($t_{sai} = 0$ cm, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$, intake pressure = 0.39 kPa)

$t_{ig} = BTDC 30^\circ$ 인 경우, 배기 밸브가 열리는 $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 경우에 높은 HC 저감율을 보이고 있으며, 배기가스 온도도 발열반응에 의하여 급격히 증가하고 있다. 이는 배기 초기 엔진으로부터 나오는 고온의 가스와 2차공기의 혼합이 원활하여 산화반응이 활발하기 때문으로 판단된다. 그러나, $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 경우, 분사된 2차공기와 엔진으로부터 나온 배기가스의 혼합기가 다음 싸이클의 배기가스가 나오기 전까지 배기 포트 내에 잔류하는 시간이 길어짐에도 불구하고, 엔진으로부터 배출되는 배기 가스의 온도가 낮기 때문에, 낮은 HC 저감율을 보인다.

점화시기를 지연시킨 $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ 의 경우 HC 저감율은 2개의 극대 값을 가지고 있다. $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ 에서는 $BTDC 30^\circ$ 경우에 비하여 배기가스 온도가 $40^\circ C$ 정도 높은 데, 이 때문에 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 가 $ATDC 100^\circ$ 보다 더 많은

HC를 저감하고 있음을 알 수 있다. $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 의 경우, 대부분의 2차 공기가 $ATDC 100^\circ$ 에서보다 낮은 온도를 가진 기간 중에 배출되는 배기가스와 혼합되지만, 다음 배기가스가 배출되기 전까지 상대적으로 긴 기간동안 배기 포트에 머무르기 때문에, $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ 의 경우에는 $BTDC 30^\circ$ 보다 배기가스 온도가 높아 산화가 잘 일어나고 있다.

배기밸브가 닫혀 있을 때 2차공기를 분사하는 경우에는 HC 저감율과 배기가스 온도는 상대적으로 매우 낮은 값을 보이고 있다. 이는 배기가스 온도가 파이프로의 열전달에 의하여 낮아져 있고, 또한 배기가스가 상대적으로 정지된 상태에서 2차공기가 분사되므로 혼합이 잘 일어나지 않기 때문이라 판단된다. 이 결과로부터 기존의 continuous SAI의 HC 저감 효율이 낮을 것이라고 예측할 수 있는 데, 이 경우 대부분의 2차공기가 배기밸브가 닫혀 있는 시기에 공급되기 때문이다.

3.3 F-FID를 이용한 Synchronized SAI의 산화 현상

Synchronized SAI의 경우, $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 와 $ATDC 230^\circ$ 에서 우수한 HC 저감 효율을 보이고 있는 데, 이 경우의 산화 과정을 파악하기 위하여 F-FID를 이용하여 크랭크 각에 따른 배기 HC 농도를 측정 위치 $l_{ffd} = 0$ cm와 25 cm에서 $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ 과 30° 로 하여 측정하였다.

Fig. 4는 $t_{ig} = BTDC 30^\circ$ 인 경우, $l_{ffd} = 0$ (a) 과 25 cm (b)에서 크랭크 각에 따른 HC 농도를 나타내고 있다. Fig. 4(a)에서 보면, $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 경우에는 배기밸브가 열린 후 바로 HC의 극대값을 보이고 있는 데, 이는 배기밸브가 열리는 초기의 고농도 HC의 배기가스와 분사된 2차공기의 일부가 혼합되어 나오고 있기 때문이다. $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 와 $ATDC 450^\circ$ 의 경우에는 분사된 많은 양의 2차공기가 배기 포트에 머무르고 있다가 배기가스와 혼합되므로, 초기 실린더에서 배출되는 배기가스가 배기포트에 잔

류하고 있던 2차공기와 혼합되어 낮은 HC 농도를 보인다. Fig. 4(b)는 $l_{ffd} = 25$ cm에서 HC의 농도를 나타내고 있는데, $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 의 경우에는 매우 낮은 값을 가지나 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 와 $ATDC 450^\circ$ 의 경우에는 매우 높은 값을 가지고 있는데, 이는 $t_{ig} = BTDC 30^\circ$ 의 경우에 $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 에서 가장 좋은 HC 저감율을 가지는 Fig. 2의 결과와 잘 부합된다.

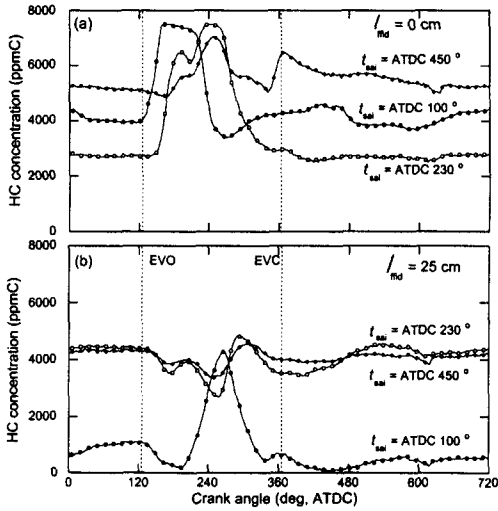


Fig. 4 Timed-resolved HC concentration for $t_{ig} = BTDC 30^\circ$ at $l_{ffd} = 0$ cm (a) and 25 cm (b) ($l_{sai} = 0$ cm, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$, intake pressure = 0.39 kPa)

Fig. 5는 $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ 인 경우, $l_{ffd} = 0$ cm와 25 cm에서 크랭크 각에 따른 HC 농도를 나타내고 있다. $l_{ffd} = 0$ cm에서 HC 농도 (a)는, $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 의 경우, 배기밸브가 닫혀 있는 시기에 매우 낮은 HC 농도를 보이고 있다. 이것은 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 에 분사된 2차공기가 $t_{ig} = BTDC 30^\circ$ 에 비하여 상대적으로 고온의 배기가스와 혼합되어 오랜 동안을 배기포트에 머무르기 때문에 배기포트 출구에서 대부분의 산화가 일어나고 있음을 의미한다.

$l_{ffd} = 25$ cm에서의 HC 농도(b)는, $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 와 $ATDC 230^\circ$ 경우 매우 낮은 값을 보이는데, 특히 배기포트 부분에서 많은 산화

가 일어났던 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 가 가장 낮은 HC 농도를 보이고 있다. $t_{sai} = ATDC 450^\circ$ 의 경우에는 여전히 매우 높은 값을 가지고 있다. 이 결과도 Fig. 2의 배기 HC 저감을 결과와 잘 부합된다.

Fig. 4와 5의 결과에서 $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 의 경우에 정도의 차이는 있으나 모든 점화시기에서 우수한 산화 경향을 보이지만, $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 의 경우에는 분사된 2차공기가 배기포트에 머물 때, 혼합기의 온도에 따라 HC 산화에 큰 차이가 있다.

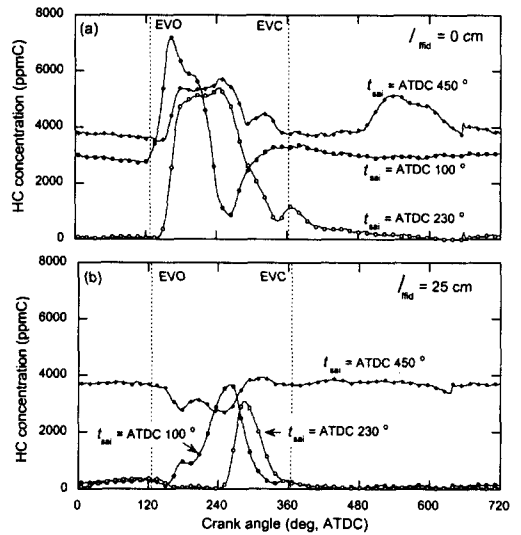


Fig. 5 Timed-resolved HC concentration for $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ at $l_{ffd} = 0$ cm (a) and 25 cm (b) ($l_{sai} = 0$ cm, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$, intake pressure = 0.39 kPa)

3.4 Synchronized SAI의 흡기압력과 엔진공연비에 따른 HC 저감경향

Fig. 6은 엔진 부하에 따른 HC 저감율로서 2차공기 분사전 배기가스 온도는 $470 \sim 490^\circ C$ 로 비슷한 값을 가지고 있으나, HC 저감율은 흡기압력이 낮을수록 높은 값을 보이고 있다. 또한 흡기압력이 감소하면서 최고 저감율을 가지는 $(A/F)_{exh}$ 는 희박해지고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 흡기공기량이 많을수록 동일 $(A/F)_{exh}$ 를 유

지하기 위하여 분사되는 2차 공기량이 증가하여 전체적인 혼합 특성이 악화되고 부분적으로 낮은 온도를 가지는 부분이 늘어나며, 또한 배기포트에 머무르는 시간이 짧아지기 때문이다.

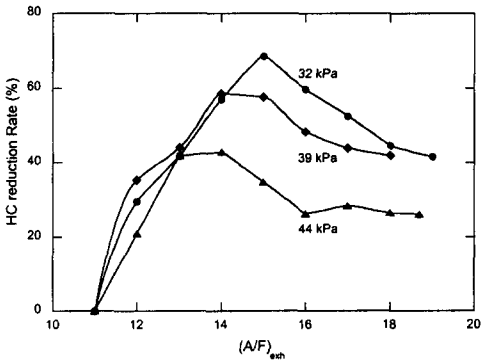


Fig. 6 HC reduction rate with $(A/F)_{exh}$ variation at several intake pressures ($(A/F)_{eng} = 11$, $t_{ig} = BTDC 10^\circ$ and $l_{sai} = 0$ cm)

Fig. 7은 점화시기와 엔진공연비를 변화시키면서 측정한 HC 배출량이다. 이때 엔진 상태는 아이들을 유지하도록 흡기압력을 조절하였으며 $l_{sai} = -5$ cm 이다. $(A/F)_{eng} = 10$ 인 경우 모든 점화

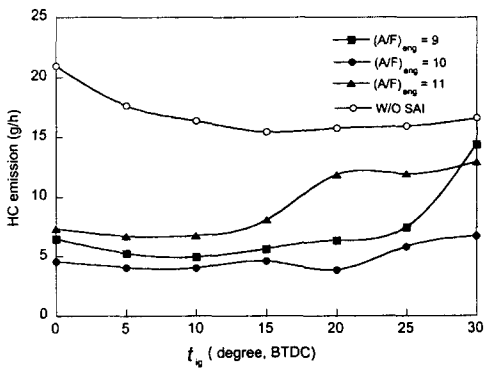


Fig. 7 HC emission as a function of $(A/F)_{eng}$ with synchronized SAI ($l_{sai} = -5$ cm and w/o SAI corresponds $(A/F)_{eng} = 13$)

시기에서 낮은 HC 배출 특성을 보이고 있다. $(A/F)_{eng} = 9$ 인 경우에 HC가 많은 것은 배기가스 온도는 높지만 엔진 자체에서 나오는 HC량이 많기 때문이다. $(A/F)_{eng} = 11$ 인 경우에는 산화반

응이 저감되어 HC 저감율이 감소했기 때문이다. 점화시기에 따른 경향을 보면 일반적으로 점화시기가 진각되면 배기가스 온도가 낮아져 HC 농도가 높아진다. 그러나, 점화시기가 진각되면서 출력이 증가하기 때문에 아이들을 유지하기 위한 소모 공기량이 감소하여 HC 농도는 높으나 HC 배출량이 크게 증가하지는 않다. $(A/F)_{eng} = 10$ 인 경우에는 점화시기의 영향을 크게 받고 있지 않으나, $(A/F)_{eng} = 11$ 인 경우에는 $t_{ig} = BTDC 15^\circ$ 보다 진각된 경우에는 HC 배출이 증가하고 있다. 이는 엔진 공연비가 과농한 경우에는 H_2 , CO, HC 등의 농도가 증가하여 상대적으로 낮은 온도에서도 산화 반응이 일어나고 있음을 보여주고 있다.

3.5 Cold-Start 실험

Fig. 8은 cold-start 조건에서, $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 과 230° 의 경우 촉매 전방의 HC 농도를 시간에 따라 F-FID로 측정한 결과를 나타내고

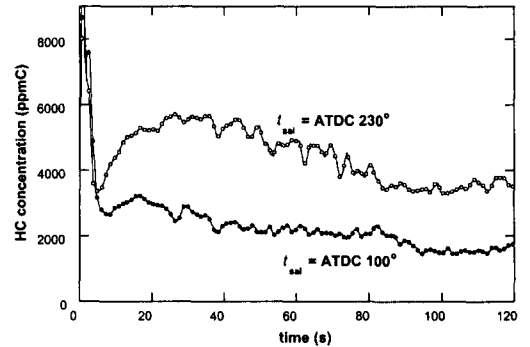


Fig. 8 HC emission for $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ and 230° during cold-start ($l_{sai} = -5$ cm, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$, intake pressure = 0.39 kPa)

있다. 실험 결과를 보면 cold-steady에서 우수한 HC 저감율을 보였던 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$ 가 cold-start의 경우 $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 에 비하여 악화된 저감효율을 보임을 알 수 있다. 이는 cold-steady에 비하여 배기포트와 파이프의 온도가 상대적으로 낮기 때문에 $t_{sai} = ATDC 230^\circ$

에서는 분사된 2차공기와 배기가스의 온도가 낮아져서 산화가 저해되기 때문이다. 한편 $t_{sai} = ATDC 100^\circ$ 에서는 2차공기를 분사한 경우에 배출되는 배기가스와 직접 혼합되어 산화되므로 cold-steady에 비하여 HC 산화율의 크게 악화되지 않는다.

Fig. 9와 10은 cold-start의 경우, continuous SAI, synchronized SAI 및 2차 공기가 없는 세 가지 경우에 대하여 배기가스 온도, 촉매 온도, 그리고 HC 배출량을 나타내고 있는데, 촉매 온도는 담체 중앙에 열전대를 설치하여 측정하였다.

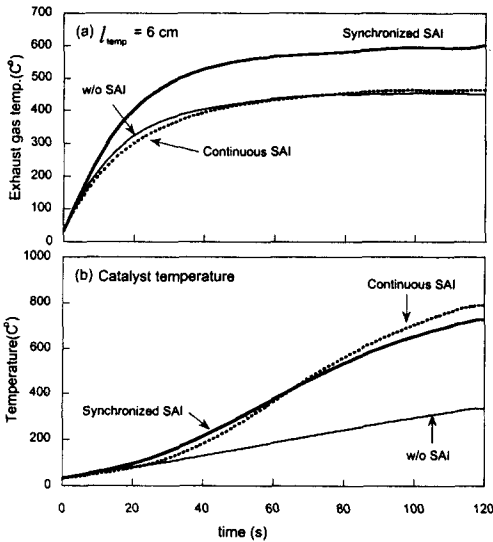


Fig. 9 Exhaust gas temperature (a) at $l_{temp} = 6\text{ cm}$ and catalyst temperature (b) during cold-start ($l_{sai} = -5\text{ cm}$, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$)

Fig. 9(a)는 $l_{temp} = 6\text{ cm}$ 에서의 배기가스 온도를 나타내고 있는데, synchronized SAI의 경우에 가장 높은 온도를 나타내고 있으며, continuous SAI와 2차 공기가 없는 경우에는 낮은 온도를 보이고 있다. Continuous SAI가 낮은 온도를 보이는 것은 2차 공기와 배기가스의 혼합이 늦게 일어나 $l = 6\text{ cm}$ 부분에서는 산화반응이 활발히 일어나지 않기 때문이다.⁹⁾ 촉매의 온도(b)를 보면 초기 70초 동안은 synchronized SAI의 경우가 가장 높은 온도를 보이지만 이후

에는 continuous SAI가 더 높은 온도를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 continuous SAI의 경우 혼합기가 배기 파이프를 따라 내려가면서 혼합이 일어나 배기가스의 온도가 높아지고 또한 포트부분에서 산화가 일어나지 않아 고농도의 HC를 가진 혼합기가 촉매에서 활발히 산화되기 때문이다. 촉매 온도가 300°C 에 도달하는 데는 synchronized SAI는 51 초, continuous SAI는 54 초, 2차공기가 없는 경우에는 100 초의 시간이 걸리고 있다.

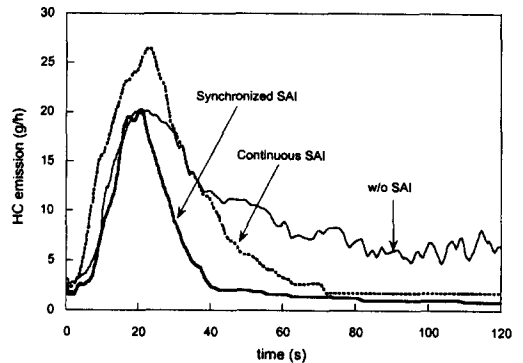


Fig. 10 HC emission during cold-start ($l_{sai} = -5\text{ cm}$, $(A/F)_{eng} = 10$, $(A/F)_{exh} = 14.5$)

Fig. 10은 HC 배출량을 나타내고 있다. Synchronized SAI 경우와 2차공기가 없는 경우 최대 HC 농도는 유사하나, continuous SAI의 경우에는 높은 값을 보인다. Synchronized SAI가 continuous SAI에 비하여 낮은 HC 값을 보이는 이유는, synchronized SAI 경우 초기에 엔진으로부터 나오는 많은 HC가 2차공기와 반응하여 촉매에 흡장된 HC량이 상대적으로 적기 때문이다.⁹⁾ 120초 동안 누적된 HC 배출량은 표 2에 나타나 있다. 2차공기가 없는 경우에 비하여 synchronized SAI 경우에는 56%, continuous SAI의 경우에는 22%의 HC가 저감되고 있다.

본 실험에서 사용한 단기통 엔진은 초기 motoring이 필요한 데, 이때 많은 HC가 촉매에 흡장되어 2차공기 분사시 HC 저감율이 낮아진다고 판단된다.

4. 결 론

가솔린 단기통 엔진에서 촉매를 장착하고, 동기화된 2차 공기분사에 의한 배기 HC 저감 효과를 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 2차공기 분사시기에 따라 HC 저감율과 배기 가스온도는 크게 영향을 받으며, 특히 배기가스가 배출되는 시기에 2차공기를 분사하는 경우 우수한 HC 산화효율을 가진다.
- 2) 2차 공기 분사 시기가 ATDC 100° 일 경우, HC 저감율은 차이가 있지만 점화시기에 관계 없이 배기 파이프를 따라 효율적인 산화 반응이 일어난다. 그러나 ATDC 230°일 경우에는 배기가스 온도에 따라 HC 산화반응에 큰 차이가 있다.
- 3) Cold-start에서는, cold-steady와 달리, 2차 공기 분사시기가 ATDC 100° 인 경우 가장 효율적인 HC 산화반응이 발생한다.
- 4) Cold-start에서 촉매를 장착한 경우, 120초 동안 배출된 HC는 2차 공기가 없는 조건에 비하여 synchronized SAI는 56%, continuous SAI 28% 감소한 값을 가진다.

후 기

본 연구는 현대자동차의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) K. Kollmann and W. Zahn, "Concept for Ultra Low Emission Vehicle", SAE 940468, 1994.
- 2) P. Bielaczyc and J. Merkisz, "Exhaust Emission from the Passenger Cars during Engine Cold Start and Warm-Up." SAE 970740, 1997.
- 3) Y. Shimasaki, H. Kato, H. Muramatsu, T. Yeshirogi, T. Aoki, A. Saito and G. Rodrigues, "Study on Conformity Technology with ULEV using EHC System", SAE 960342, 1996.
- 4) K. Nishizawa, T. Yamada, Y. Ishizuka, and T. Inouue, "Technologies for Reducing Cold-Start Emissions of V6 ULEVs", SAE 971022, 1997.
- 5) K. Kollmann and W. Zahn, "Secondary Air Injection with a New Developed Electrical Blower for Reduced Exhaust Emission", SAE 940472, 1994.
- 6) M. E. Crane, R. H. Thring and D. J. Podner, "Reduced Cold-Start Rapid Exhaust Port Oxidation(REPO) in a Spark-Ignition Engine", SAE 970264, 1997.
- 7) 김인탁, 심현성, 서주원, 윤금중 "ULEV 대응 배기 THC 저감기술에 관한 연구" 한국자동차 학회지 학술강연초록집, 기관, 공해, 연소 및 유탄부문, 1996.
- 8) 심현성, 김세준, 정석호 "2차 공기 분사에 의한 스파크점화 가솔린엔진의 배기 HC 저감에 관한 실험적 연구" 한국자동차 공학회 논문집 제7권 제7호, 1999.
- 9) H. S. Sim, S.-J. Kim, K.-D. Min, S. H. Chung, "Reducing Exhaust HC Emission at SI Engine Using Continuous and Synchronized Secondary Air Injection" Seoul 2000 Fisita, F20000H189, 2000.