

2차 공기 분사에 의한 스파크 점화 가솔린 엔진의 배기 Hydrocarbon 저감에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for Reducing the Exhaust Hydrocarbon Emission at SI Engine Using Timed Secondary Air Injection

심현성*, 김세준*, 정석호**
Hyun Sung Sim, Sejun Kim, Suk Ho Chung

ABSTRACT

An experimental study for reducing the exhaust hydrocarbon emission at spark ignition engine using timed secondary air injection is carried out. In this study, secondary air injection timings and durations are controlled to decrease the hydrocarbon emission and to increase exhaust gas temperature at cold and warm-up engine conditions. The hydrocarbon reduction rate and exhaust gas temperature are compared between timed secondary air injection and continuous air injection.

The optimum secondary air injection timing for reducing the hydrocarbon emission is at the exhaust valve open timing. At some engine conditions, the hydrocarbon emissions are decreased to 10% of engine raw values and exhaust gas temperatures increase by 200°C with timed secondary air injection. Timed secondary air injection has more hydrocarbon reduction rate than continuous secondary air injection except some engine conditions.

주요기술용어 : Timed Secondary Air Injection(분사시기를 제어한 2차 공기분사), Continuous Air Injection (연속공기분사), HC(Hydrocarbon, 탄화수소), EHC (Electrically Heated Catalyst), EGI(Exhaust Gas Ignition)

Nomenclature

S/T : Spark Timing

BMEP : Brake Mean Effective Pressure

1. 서론

세계적으로 환경오염에 대한 관심이 점점 높아지고 있는 가운데 자동차 엔진으로부터 배출되는 배기가스 규제가 날로 강화되어 왔고 향후에도 계속하여 강화하려는 계획들이 진행되고 있다.

이에 대응하기 위한 가솔린 엔진 차량에서 배기가스 저감 방식에는 크게 엔진 자체에서 배출

* 정회원, 서울대학교 대학원

** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부

되는 배기가스를 저감하는 방식, 정교한 전자 제어를 이용하여 과도기의 공연비를 정밀 제어하는 방식, 그리고 후처리에 의한 방식이 있다.

가솔린 엔진을 사용하는 자동차에서 배기 Hydrocarbon(HC)은 주로 엔진 초기 Warm-Up시에 0-120초 사이에 약 80% 정도가 배출된다[1]. 초기 Warm-Up시에는 엔진이 차가운 상태에서 배기 HC 배출도 많고 또한 촉매가 활성화되지 않기 때문이며, Warm-Up된 후에는 배출되는 배기 HC도 감소하고 촉매의 HC 정화 효율이 90%이상으로 매우 우수하기 때문이다.

초기 냉시동시 HC Raw Emission을 저감하는 방법에는 Swirl 유동을 이용하여 가연 한계를 넓힌 희박연소 엔진을 사용하여 엔진 시동시 공연비를 희박하게 운전하는 방식과, 냉각수의 흐름을 차단하여 엔진 헤드의 온도를 빨리 올라가게 하여 배기 Port에서의 HC 산화를 촉진하는 방식, 엔진 배기 다기관을 빨리 올리기 위하여 Stainless 재질을 사용하는 방식등이 있다.

후처리 방식으로는 Warm-Up시 촉매의 온도를 빨리 올리기 위한 방법으로 배기 Port에 가능한 한 근접하게 촉매를 부착하는 CCC (Close Coupled Catalyst) 방법이나, Battery의 전기를 이용하여 촉매를 가열하는 EHC (Electrically Heated Catalyst)[2][3], 빨리 촉매가 활성화되어 초기 HC 저감에 기여할 수 있도록 촉매의 용량을 줄인 Warm-Up 촉매, 시동 초기 배기 System에 부착된 Burner를 이용하여 2차 연소를 유도함으로써 촉매의 온도를 빨리 올리는 EGI 방식등의 다양한 방법이 시도되고 있고, 현재 CCC가 가장 보편화되어 있다[4]. 또 다른 방식으로는, 엔진 배기 Port에 2차 공기를 공급하여 배기 HC를 산화시키는 등의 연구가 진행되고 있다.

이제까지 엔진의 배기 다기관에 2차 공기를 주입하는 방식은 전기 구동 Air Compressor를 엔진에 추가로 장착하여 엔진이 Warm-Up 되기 전에만 2차 공기를 각각의 배기 Port에 연속적으로 공급하는 방식이 사용되어 왔다[1][5][6].

이러한 2차 공기의 공급은 엔진 초기 시동시 가능한 공연비 운전에 의하여 배출되는 HC를 산화 시킴으로써 HC를 저감하고, 또한 산화에 의한 배기 온도 상승 효과를 이용하여 촉매의 Warm-Up 시간을 단축시킴으로써 시동시 촉매의 배기 가스 정화 효율을 높이는 효과를 얻을 수 있다. 그러나 엔진에서 배출되는 배기 가스는 실제로는 단속적으로 배기 밸브가 열릴 때만 배출되기 때문에 연속적으로 2차 공기를 공급하는 경우, 배기 밸브가 열려 배기 가스가 배출되는 경우에는 배압이 높아져 공급된 2차 공기의 양이 감소하고, 배기 가스가 배출되지 않는 경우에 많은 2차 공기가 공급된다. 따라서 배기 가스와 2차 공기의 균일한 혼합이 이루어지기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 2차 공기를 Air Injector를 사용하여 매 Cycle 엔진 배기 가스의 배출 시기에 맞추어 정해진 시기에 단속적으로 엔진 조건에 맞는 정해진 량을 공급하는 실험을 행하였다[7]. 배기 가스와의 강한 혼합과 균일한 2차 공기 분포를 유도하여 직접적인 산화에 의하여 배기 HC를 저감하고, 또한 배기 가스의 온도 증가를 이용하여 촉매의 온도를 빨리 증가시켰으나, 시동시 엔진 공연비를 일반적인 양산 엔진에 Mapping된 공연비 13:1로 행하여 HC 저감 효율은 30%정도였다[7].

본 연구에서는 시동시 엔진 공연비를 더욱 Rich하게 하여 증가된 엔진 Raw HC를 이용하여 배기 HC를 저감하고, 또한 배기 가스의 온도를 측정하여 HC의 산화 현상을 파악하는 데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험 장치

그림1은 전체 실험장치도로 다이내모미터는 '이풍'사에서 제작한 AC 15kW용이며, 사용한 엔진은 0.5L 단기통 엔진을 사용하였다. 엔진 제어는 서울대학교 공과대학 기계공학과 실험실에서 제작한 PC-ECU를 사용하여 연료 분사량과 점

화시기를 제어하였으며, 엔진 냉각수 온도는 열 전대를 이용하여 측정하였다. 엔진 공연비는 Horiba사의 광역 공연비 센서를 사용하였으며

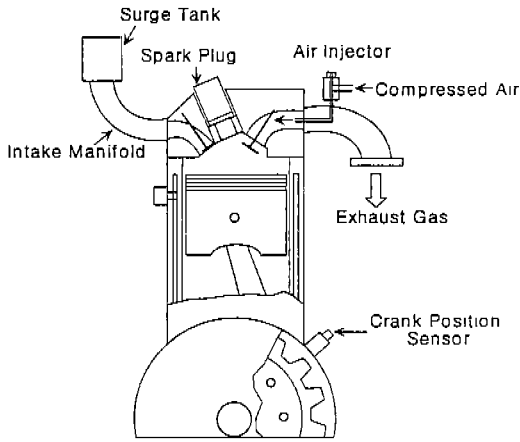


Fig. 1 Schematic Drawing of Test Apparatus

배기 HC는 Horiba사의 Mexa-9100 Model을 이용하여 측정하였다. 실험에 사용한 배기 Pipe에는 그림2와 같이 2차 공기 분사를 위하여 2차 공기 분사 Pipe와 2차 공기 분사 밸브를 설치하였으며, 이때 2차 공기 분사 밸브는 Crank Position 센서로부터 신호를 이용하여 작동 시기를 조절하였다. 사용한 압축 공기의 압력은 5bar이며 분사되는 공기량은 2차 공기 분사 밸브의 열리는 시간으로 조절하였다. 배기 가스 온도는 3 곳에서 측정하였다. 또한 공연비 측정을 위하여 공연비 센서를 장착하였으며, 배기 HC 측정을 위한 배기 가스 샘플링 파이프를 설치하였다.

2-2. 실험 방법

본 실험은 시동 및 Warm-Up 구간이 관심사이므로 점화시기는 Warm-Up 점화시기를 대표할 수 있는 10° BTDC를 기준으로 하였으며, 냉각수온은 Cold 상태 및 Warm-Up 상태에 대하여 실험을 행하였다. Warm-Up 조건에서는 분사 시기를 제어한 2차 공기 분사 (Timed Secondary air Injection, TAI)의 경우, HC 저

감 경향과 배기가스 온도 변화를 파악하기 위하여 일정 엔진 공연비에 대하여 일정 추가 공연비를 유지하면서, 2차 공기 분사 시기를 변경하여

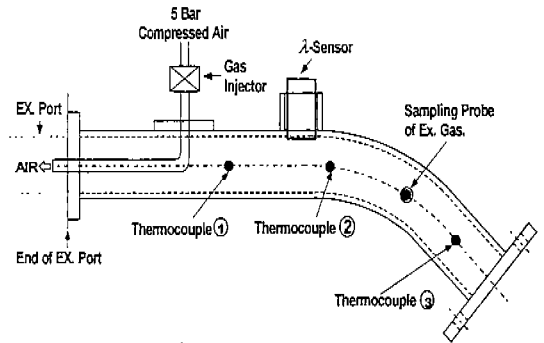


Fig. 2 Schematic Drawing of Exhaust Pipe

실험을 행하였으며, 냉각수 온도의 영향을 파악하기 위하여 냉각수 온도를 20℃, 40℃, 60℃로 변경하면서 HC의 저감량과 배기 가스의 온도를 측정하였다. Cold 조건에서는 시동시를 고려하여 냉각수 온도를 20℃로 유지하면서, TAI와 연속 공기 분사 (Continuous Air Injection, CAI)에 대하여, 2차 공기 분사량에 대한 실험을 행하였다. 배기 온도를 변화시키기 위하여 점화시기를 변경하면서 실험을 행하였으며, 배기 HC의 농도를 변경시키기 위하여 엔진 공연비를 변경하면서 실험을 행하였다.

TAI 실험 방법은 배기 파이프에 연결된 2차 공기 분사 파이프에 Air Injector를 설치하여 2차 공기의 분사 시기 및 기간을 제어하였다. 고정된 엔진 공연비에 2차 공기분사 기간을 변경하여 2차 공기 분사량을 조절하였으며, 2차 공기 분사 기간은 한 Cycle당 10-20msec 정도이다. CAI 실험 방법은 초기에 엔진 공연비와 부하를 설정한 후, 배기 파이프에 연속적으로 2차 공기를 분사하여 배기 공연비를 변경하면서 실험을 행하였다. 이때 2차 공기 분사량은 압축 공기의 압력을 변경하여 맞추었다. 이때 압축 공기의 압력은 0.3bar 이하이며 2차 공기 분사 위치는 TAI의

경우와 동일한 위치에서 동일한 2차 공기 분사 파이프를 사용하여 실험을 행하였다.

배기 규제에서는 질량을 기준으로 하여 배기 규제를 행하고 있으므로, 본 실험에서 2차 공기 분사 후에 측정된 배기 HC의 농도를 2차 공기가 회석되지 않았을 경우에 농도로 환산한 수정 HC의 농도로 사용하였다. 수정 HC 농도는 2차공기 분사후 HC 농도에 2차공기 분사후 공연비를 곱하고 이 값을 엔진 공연비로 나누어 계산하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3-1. Warm-Up 상태에서 실험

(1) TAI Timing 변경 실험

그림3과 같이 엔진 속도를 1200rpm, 1800rpm으로 변경하면서 2차 공기 분사 시기를 변경하면서 HC의 저감 효율을 측정한 결과, TAI를 ATDC 100° (Firing TDC 기준)에 분사할 경우 HC의 저감 효율이 가장 좋게 나타났다. 이 시기는 배기 밸브가 열리기 직전으로 Air Injector 구동 지연 시간 1.2msec와 Air Injector에서 배기 밸브까지의 거리 약 20cm를 고려하면 실제

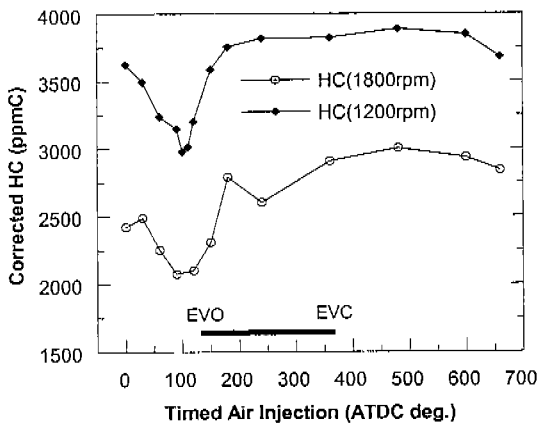


Fig. 3 HC Reduction with TAI Timing, Engine A/F 13, After TAI A/F 18, BMEP 1.5bar, S/T 10° BTDC, Coolant Temp. 75°C

공기는 배기 밸브가 열릴 때 분사되었다고 판단된다.

배기밸브가 열렸을 때 가장 효율이 좋은 이유는, 이 시기에 배출되는 배기가스가 고온이며 고농도의 HC를 가지고 또한 다른 시기에 비하여 많은 양이 배출되므로, 분사된 2차 공기와 효율적으로 반응하고, 또한 전체적으로 CAI보다 균일한 혼합을 이루기 때문이라고 판단된다. 엔진 속도에 따른 최적 시기는 변화가 없다. 이것은 2차 공기와 배기가스가 서로 상대 방향에서 일정 크랭크 각에서 분사되므로 엔진 속도에 따른 최적 분사 시기의 변화는 거의 없다고 판단된다.

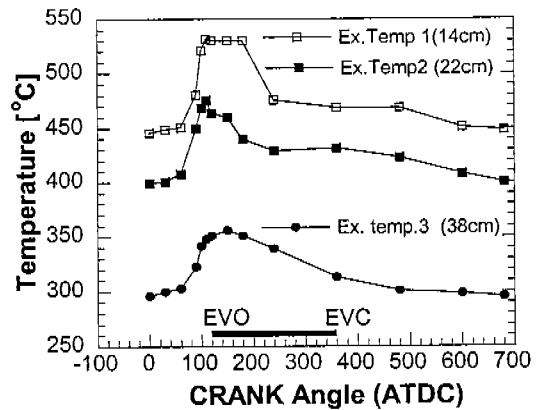
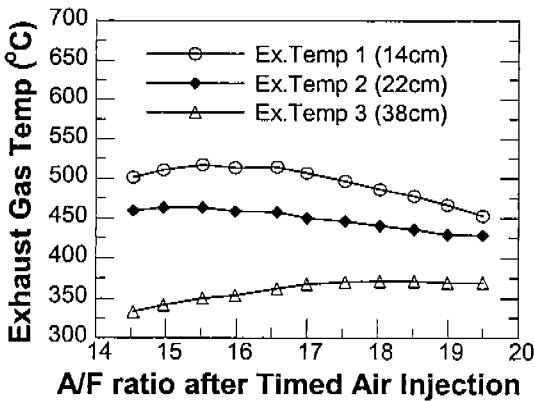


Fig. 4 Temperature Variations with TAI Timing, Engine A/F 13, After TAI A/F 18, BMEP 1.5bar, S/T 10° BTDC, Coolant Temp. 75°C

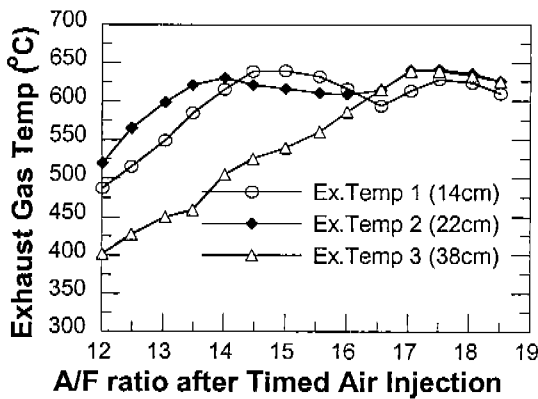
그림4는 엔진 부하를 BMEP 1.5bar로 유지하면서, 엔진 조건은 엔진 공연비 13, 2차 공기 분사 후 공연비를 18로 하고, TAI 시기를 변화시키면서 실험을 행할 때의 배기 온도의 경향을 나타내고 있다. HC가 급격하게 감소하는 구간에서 온도가 높게 나타나고 있다. 그 이유는 배기 밸브가 열릴 때 2차 공기를 분사하는 것이 산화 효율을 증대시켜서 배기 온도를 높이기 때문이라 생각된다.

(2) TAI 분사량 변경 실험

그림5(a)는 엔진 공연비 13에서 2차 공기를 ATDC 100°에서 분사한 후의 공연비에 따른 온도 경향을 나타내고 있으며, 배기 가스의 온도는 배기 Port 출구에서 14cm, 22cm, 38cm 떨어진



(a)



(b)

Fig. 5 Temperature Variations with A/F Ratio, (a) Engine A/F 13 (b) Engine A/F 11, 1200rpm, BMEP 1.5bar, S/T 10° BTDC, Coolant Temp. 75°C, TAI Timing ATDC 100°

곳에서 측정하였다. 배기 포트 출구로부터 14cm, 22cm 떨어진 곳에서 배기가스 온도는 서서히 감소하는 경향을 보이고 있으며, 배기 포트 출구에서 38cm 떨어진 곳에서는 서서히 증가하는 경향을 보이고 있다.

그림5(b)는 엔진 공연비 11에서 TAI를 적용한 경우, 배기가스 온도를 측정된 결과이다. 배기 포트 출구에서 14cm 떨어진 곳에서는, 공연비가 15까지는 공연비 증가에 따라 배기 가스의 온도가 증가하지만, 공연비가 15에서 17사이에서는 감소하는 경향을 보인다. 그러나 공연비를 더욱

증가시키면, 다시 배기가스의 온도가 증가하는 것을 보이고 있다. 이것은 공연비가 15이하의 경우에는 공연비 증가에 따라 산화 반응이 활발히 일어나서 배기가스의 온도가 증가하기 때문이라 판단된다. 공연비가 15에서 17사이에서 2차 공기의 분사량이 더욱 증가하여 2차 공기와 혼합된 배기 가스의 온도가 감소하여 산화 반응이 지연되어 이곳에서의 온도가 감소하는 것으로 보인다. 세 번째 구간에서 온도가 증가하는 이유는 배기 파이프 후방에서의 온도가 높기 때문에 후방으로부터의 열이 파이프를 따라서 전달되었기 때문이라고 판단된다. 배기 포트 출구에서 38cm 떨어진 곳에서는 공연비 증가에 따라 배기가스 온도가 증가한다. 공연비 15까지의 구간에서 온도 증가는 전방의 가스 온도가 증가하였기 때문이라 판단된다. 그러나 그 이후의 공연비에서는 전방의 배기가스 온도가 비슷한 값을 가지고 있지만 38cm 후방에서는 계속해서 증가하는 경향을 보인다. 이 이유는 2차 공기량이 증가함에 따라 배기 포트 부분에서 가스 온도가 감소하여 전방에서 산화 반응이 지연되고, 후방에서의 산화 반응이 증가했기 때문이라 판단된다.

그림5(a)와 그림(b)를 보면 엔진 배기 HC가 많은 그림5(b)에서 배기 가스의 온도가 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 엔진 HC 농도가 산화 반응에 매우 크게 관여함을 알 수 있다.

3-2. 냉각수 온도 변화에 따른 경향

그림6은 엔진공연비 11, 2차 TAI 적용후 공연비 16에서, 냉각수 온도를 20°C, 40°C, 60°C로 변화시키면서 행한 실험이다. HC 저감율은 냉각수 온도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 보이는데, 그 이유는 냉각 수온이 낮을 경우 엔진 배기 HC가 증가하여 낮은 냉각수 온도에 의한 배기 가스 온도의 감소 영향을 상쇄하고 있는 것으로 보인다. 특히 추가 2차 공기 분사량이 많은 경우에는 냉각수의 온도가 산화율에 거의 영향을 미치지 않는 것을 보이고 있다.

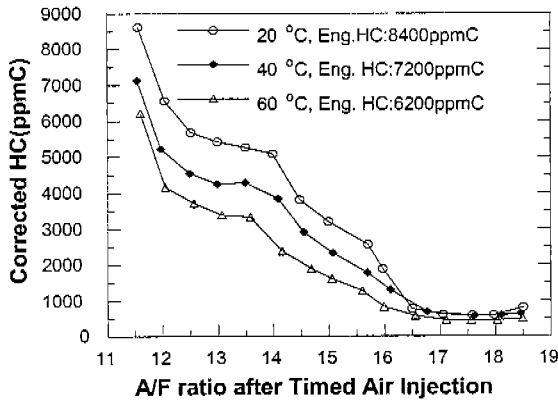


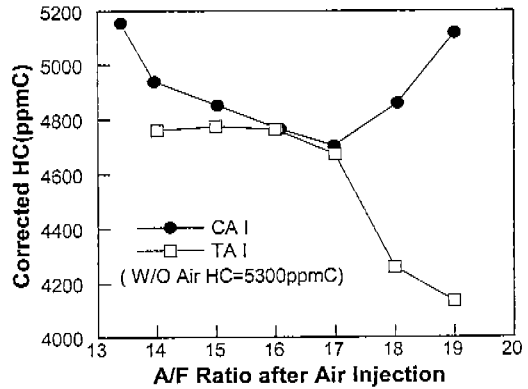
Fig.6 Effect of the Coolant Temp. on HC Reduction, Engine A/F 11, 1200rpm, BMEP 1.5bar, S/T 10° BTDC, TAI Timing ATDC 100°

3-3. Cold 상태에서 실험

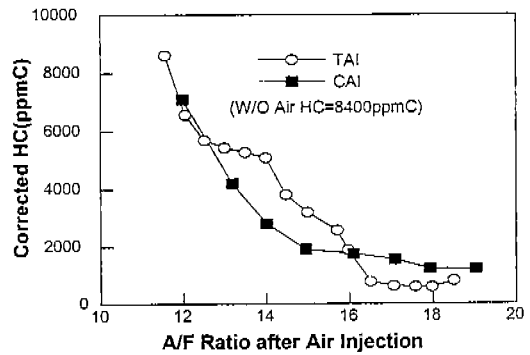
(1) CAI와 TAI의 공연비 변경 실험

그림7(a)은 Cold상태에서 엔진공연비 13, 점화시기 10° BTDC에서 CAI와 TAI에 의한 2차 공기량을 변화시키면서 HC의 저감 효율을 측정하는 실험이다. 2차 공기 분사 후 공연비가 17까지는 CAI와 TAI 모두 HC가 저감하는 특성을 보이고 있지만 2차 공기의 공연비가 더욱 증가하면서 CAI는 오히려 저감율이 떨어지고 TAI는 계속해서 HC를 저감시킬 수 있다. 이 이유는 CAI의 경우, 배기 밸브가 닫혀 있는 동안에도 계속적으로 2차 공기가 분사되어, 배기 밸브가 열려서 고온의 배기 가스가 배출될 때에는 배기 포트에 존재하는 가스의 온도가 너무 낮아져 산화 반응을 일으키지 못하기 때문이라 판단된다. TAI의 경우에는, 배기 밸브가 닫혀 있는 동안에는 2차 공기가 분사되지 않아, 배기 포트에 존재하는 배기 가스의 온도가 크게 감소하지 않았기 때문에 산화 반응이 잘 일어나서 HC의 배출 농도가 감소한 것으로 판단된다.

그림7(b)는 Cold상태, 엔진 공연비 11, 점화시기 10° BTDC에서 CAI와 TAI에 의한 2차 공기량을 변화시키면서 HC의 저감 효율을 측정하는 실험이다. 2차 공기 분사후 공연비가 증가함



(a)



(b)

Fig. 7 HC Reduction with A/F Ratio after Air Injection (a)Engine A/F 13 (b)Engine A/F 11, 1200rpm, BMEP 1.5bar, S/T 10° BTDC, Coolant Temp. 20°C

에 따라 CAI와 TAI 모두 HC가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 배기 가스 중에 HC의 농도가 높아져서 낮은 온도에서도 산화가 잘 일어날 수 있게 되었기 때문이라 판단된다.

(2) CAI와 TAI에서 점화시기 변경 실험

표1은 엔진 공연비와 점화시기에 따른 HC 배출 농도와 배기 가스 온도 변화를 나타낸다. 엔진 공연비가 Rich해지면 배기 HC가 증가하며, 점화시기가 진각되면 배기 HC는 크게 변하지 않으면서 배기 가스의 온도가 감소한다.

그림8(a)는 엔진 공연비 13, 2차공기 분사후

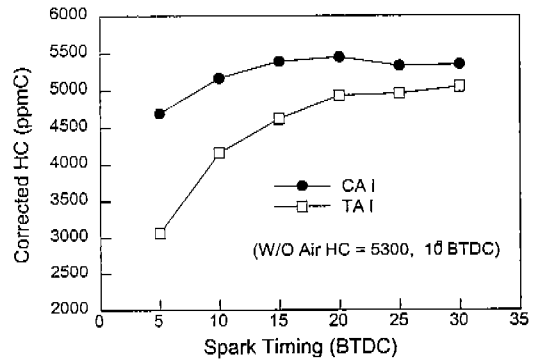
공연비 18으로 실험한 경우 배기 HC 농도와 온도 경향을 보이고 있다. 점화시기는 BTDC 5°에서 30°까지 변경하였으며, 냉각수온도는 20°C를 유지하였다. 배출 HC 저감 효율은 모든

Table 1 Exhaust Temperature and HC Concentration w/o Air Injection with Spark Timing

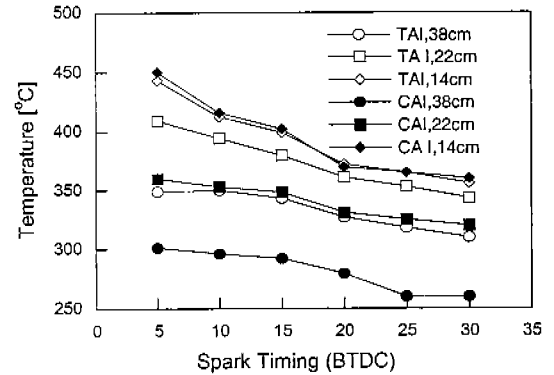
Engine A/F	Spark Timing (BTDC)	Ex. Temp. (°C)			THC (ppmC)
		14cm 후방	22cm 후방	38cm 후방	
13	5	486	416	342	5100
	10	468	411	342	5250
	15	452	404	334	5340
	20	432	392	321	5300
	25	418	382	307	5350
	30	412	376	300	5400
11	5	443	380	289	8300
	10	430	381	290	8200
	15	420	373	283	8200
	20	401	354	266	8100
	25	388	340	252	7800
	30	381	333	247	8000

점화시기에서 TAI가 CAI보다 우수한 경향을 보이고 있다. 점화시기가 진각됨에 따라 배기 가스 온도가 낮아져서 HC 저감 효율이 떨어짐을 보이고 있다. 그림8(b)에서 14cm 떨어진 곳에서 배기가스 온도를 보면 TAI나 CAI 경우 비슷한 경향을 보이고 있지만, 22cm, 38cm 떨어진 후방으로 갈수록 TAI의 배기가스의 온도가 높아짐을 알 수 있다. 이 엔진 조건에서는, TAI의 경우, 산화 반응이 배기 파이프로부터 14cm 후방에서 일어나고 있음을 알 수 있는데, 이것은 배기 가스 중의 HC 농도가 낮아져서 산화 반응이 지연되었기 때문이라 생각된다.

그림9(a)는 엔진 공연비 11, 2차 공기 분사후 공연비를 16으로 하여 실험을 했을 때의 배기 HC 농도와 온도 경향을 나타낸 것이다. 점화시기는 BTDC 5°에서 30°까지 변경하였으며, 냉각수 온도는 20°C를 유지하였다. CAI의 경우,



(a)



(b)

Fig. 8 HC and Temp. Variations with S/T at TAI and CAI, 1200rpm, BMEP 1.5bar, Coolant Temp. 20°C, Engine A/F 13, After Air Injection A/F 18 (a) HC (b) Ex. Temp

점화시기가 BTDC 15° 이하에서 우수한 HC 저감 성능을 보이고 있지만, 점화 시기가 BTDC 20° 이상의 경우에는 HC 저감 효과가 거의 나타나지 않고 있다. 이것은 엔진 공연비가 과농해지고 점화시기가 진각되어 배기 가스의 온도가 반응을 일으킬 수 있는 온도 이하로 떨어졌기 때문으로 판단된다. TAI의 경우에는 모든 점화시기에서 HC 저감 효율이 80%정도로 나타나는 데, 이것은 TAI가 CAI보다 낮은 배기가스 온도에서도 HC를 저감할 수 있다는 것을 보여준다.

그림9(b)에서 보면, 점화시기가 BTDC 15°보다 지각된 경우에는 모두 비슷하고 높은 온도

를 보이고 있지만 점화시기가 BTDC 20° 보다
진각되면 CAI의 경우에는 산화 반응이 갑자기
발생하지 않게 되어 온도가 급격하게 떨어지고
배기 포트에서 가장 멀리 떨어진 38cm 지점에서

이라 판단된다.

4. 결론

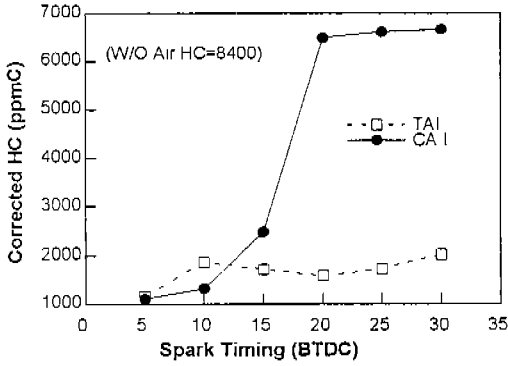
배기 HC를 저감하기 위하여, Warm-Up된
엔진, Cold 엔진에서 2차 공기를 연속적으로 분
사한 실험과 Timing을 가지고 분사하는 실험을
행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Timed 2차 공기를 분사할 경우에는 엔진
의 속도에 관계없이 배기 밸브가 열리는 시기에
Timed 2차 공기를 분사하는 것이 HC를 가장 많
이 저감시키며, 배기가스 온도도 가장 높다.

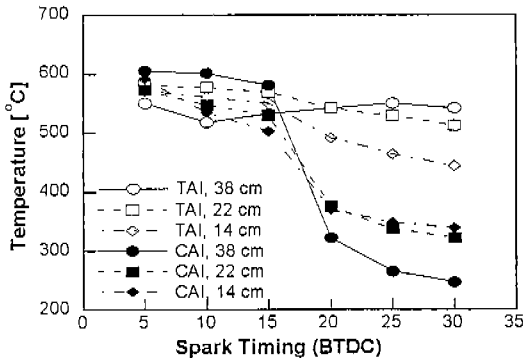
(2) 엔진 공연비가 Rich할수록 배기 HC의 저
감효율은 좋아지며, 점화시기를 지연시킬수록 좋
아진다. 특히 엔진 공연비가 11일 경우, 점화시기를
지연시키면, Warm-Up 상태에서 배출 HC가
90%이상 감소되는 구간도 존재한다.

(3) Timed 2차 공기 분사시, 냉각수 온도 변
화로 인해 HC의 저감 효율은 크게 영향을 받지
않는다.

(4) Timed 2차 공기 분사의 경우가 연속 분사
의 경우보다 배기 온도가 낮고 HC 농도가 적은
조건에서도 산화가 잘 일어난다. 그러나 산화가
일어나기 좋은 조건에서는 연속 분사가 Timed 2
차 분사보다 좋은 HC 저감율을 가지는 구간도
존재한다.



(a)



(b)

Fig. 9 HC and Temp. Variations with S/T at TAI
and CAI, 1200rpm, BMEP 1.5bar, Coolant
temp. 20°C, Engine A/F 11, After Air
Injection A/F 16 (a) HC (b) Ex. Temp.

가장 낮은 온도를 보이고 있다. 하지만 TAI 경우
에는 점화시기가 진각되더라도 산화 반응이 계속
해서 발생하여 높은 온도를 유지하고 있으며, 또
한 배기 포트 출구에서 가장 먼 38cm에서의 온
도를 보면 점화 시기의 진각에 따라서 계속해서
온도가 올라가고 있는데, 그 이유는 점화 시기 진
각으로 배기 온도가 낮아져서 산화 반응이 일어
나는 기간이 길어졌기 때문에, 배기 포트출구
에서 먼 곳에서 산화 반응이 활발히 일어났기 때문

참고문헌

1. Michael E. Crane, Robert H. Thring,
Daniel J. Podner " Reduced Cold-Start
Rapid Exhaust Port Oxidation(REPO) in
a Spark-Ignition Engine" SAE Paper
970264. 1997.
2. Takchisa Y., Kouji Y, "New Technology
for Reducing the Power Consumption of
Electrically Heated Catalyst", SAE Paper
940464, 1994.
3. Karl Kollmann, Wolfgang Zahn, " Concept
for Ultra Low Emission Vehicle" SAE

- Paper 940468, 1994.
4. Piotr Bielaczyc, Jerzy Merkisz, " Exhaust Emission from the Passenger Cars During Engine Cold Start and Warm" SAE Paper 970740, 1997.
 5. Karl Kollmann, Wolfgang Zahn "Secondary Air Injection with a New Developed Electrical Blower for Reduced Exhaust Emission" SAE Paper 940472, 1994.
 6. 손석건, 김대중, 이귀영 "2차 공기 공급을 이용한 배기저감기술의 실용성에 관한 연구 II" 한국자동차공학회지 1998년도 추계학술대회.
 7. 김인탁, 정충식, 이정현, 심현성, 서주원, 윤금중 " ULEV 대응 배기 THC 저감 기술에 관한 연구" 한국 자동차 학회지 학술강연초록집, 기관, 공해, 연소 및 운할 부문, 1996.