

## 전기점화 기관의 시동 시 미연탄화수소의 배출 특성 연구

김 성 수\*

신라대학교 자동차기계공학과\*

### A Study on Engine-Out HC Emissions during SI Engine Starting

Seongsoo Kim\*

\*Department of Automotive Mechanical Engineering, Silla University, Busan 631-730, Korea

(Received 7 September 2002 / Accepted 8 February 2003)

**Abstract** : Engine-out HC emissions were investigated during cold and hot start. The tests were conducted according to engine cooling temperatures which were controlled by simulated coolant temperatures of cold and hot start, on a 1.5L, 4-cylinder, 16 valve, multipoint-port-fuel-injection gasoline engine. Real time engine-out HC emissions were measured at a exhaust port and cylinder head using Fast Response Flame Ionization Detector(FRFID). Unburned hydrocarbons emitted at the cold coolant temperature were much higher than those of the hot coolant temperatures. And the main source of the high HC emission was confirmed as misfire at cold coolant temperature. In addition, the effect of intake valve timing on engine-out HC emissions was investigated. The results obtained indicate that optimized intake phasing provides the potential for start-up engine-out HC emissions reduction.

**Key words** : HC emission(탄화수소 배출), Cold start(냉시동), Coolant temperature(냉각수 온도), SI engine (전기점화 기관), Intake phasing(흡기기간)

#### 1. 서 론

최근에는 자동차 배출가스 규제 이외에 보다 엄격한 연비(CO<sub>2</sub> 배출량) 규제안도 유럽 및 일본 등에서 법제화되고 있다. 이에 대응하기 위하여 유럽 및 일본의 여러 자동차 메이커들이 경소형 자동차를 기본으로 한 3-Liter Car(연료 3리터로 100km를 주행하는 차)를 선보이고 있는데 이들 차량은 엔진의 고효율화, 차량의 경량화 및 차량 주행저항 저감 등을 통하여 목표로 하는 연비를 만족하고 있다.<sup>2)</sup>

특히 이들 차량에는 연료 절감, 즉 연비향상을 위하여 각기 다른 방법의 엔진 자동 정지 및 시동 기능을 가지고 있는데, 이 장치를 적용하여 연비 측정 규

정 모드에서 약 10% 이상의 연료 절감효과를 얻고 있음이 잘 알려져 있다. 그러나, 차량의 냉 시동 혹은 저온 상태에서의 재시동 시 실화 및 엔진 부품의 냉각에 의하여 미연탄화수소의 배출이 급격하게 증가함은 일반적으로 잘 알려져 있다.<sup>1-4)</sup> 특히, 초기 시동 시의 미연탄화수소의 배출은 흡기포트 및 연소실 벽면 온도의 영향으로 인해 공기와 연료의 불완전 혼합 및 연소실 벽면에서의 냉각영역의 영향으로 인한 불완전 연소 등의 영향을 크게 받는다.

따라서, 본 연구에서는 기관의 냉각수 온도 및 흡기밸브 열림 시기에 따른 전기점화 기관의 시동 및 재시동 시 엔진에서 발생하는 미연탄화수소의 배출 특성을 분석하고자 한다. 이를 위하여 엔진 과도운전 구간에서 미연탄화수소 배출량을 실시간으로 측정할 수 있는 FRFID(Fast Response Flame Ionization

\* To whom correspondence should be addressed.  
sskim@silla.ac.kr

Detector)를 이용하여 시동 및 재시동 시 미연탄화수소 배출 특성에 대해 분석하였다.

## 2. 실험 장치

기관의 시동 및 재시동시 배기포트로 배출되는 미연탄화수소는 기관의 4번 실린더의 배기포트에 설치한 FRFID의 샘플링 프로브를 통해 측정하였다. 미연탄화수소의 배출특성에 대한 측정지연을 최소화하기 위하여, FRFID 샘플링 프로브를 배기밸브 스템에서 프로브 선단까지의 거리가 50mm가 되도록 배기 매니폴드에 설치하였다. 또한, 실린더 내의 미연탄화수소의 변화 특성을 분석하기 위하여 스파크플러그 형 샘플링 프로브를 해당 실린더에 장착하여 실험을 수행하였다.

본 연구에 사용한 자동차용 4기통 1.5리터 DOHC 가솔린 기관의 주요사양은 Table 1에 표시하였다. 실험 데이터 측정을 위하여 엔코더(Koyo Co., 360ppr)를 배기밸브 축의 캡축에 설치하여 크랭크 각도 2° 마다 1개의 펄스가 생성되도록 하였다. 모든 실험의 시작은 실험조건에의 일관성을 위하여 기관의 4번 실린더의 흡입 상사점에서 이루어지도록 하였다. 실린더 내의 압력은 4번 실린더에 설치한 스파크플러그 형태의 압전형 압력센서(Kistler, 6052 & 6517A)를 통하여 측정하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이며, 시동 및 재시동 특성을 분석하기 위하여 기관 자체로 운전이 되도록 동력계와의 연결 축을 분리하였고, 각 실험조건에서의 기관의 점화시기, 연료분사시기 및 공연비는 임의로 조정하지 않았다. 냉각수 온도는 냉각수 온도 조절

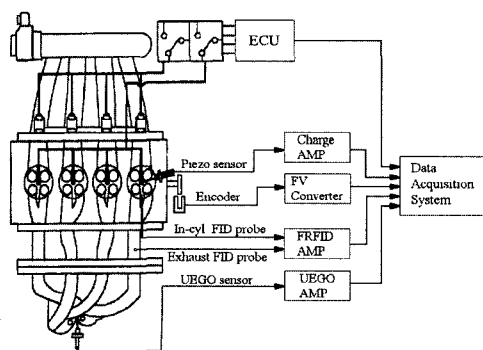


Fig. 1 Experimental setup

장치를 이용하여 30℃, 50℃, 70℃와 90℃로 조절하였다.

Fig. 2는 시동 및 재시동 시 냉각수 온도별로 측정된 기관 회전수를 나타내고 있다. 시동 후 약 500ms 부근에서 시동이 걸리면서 기관 회전수가 급격히 증가하여, 시동 후 750~2,500ms 동안에는 냉각수 온도에 따라 기관회전수가 1,400~2,000rpm으로 나타나고 있어, 기관 회전수의 변동이 큼을 알 수 있다. 따라서, 각 실험조건에서의 미연탄화수소의 배출농도 측정은 냉각수 온도에 따른 기관 회전수의 변동성이 크게 나타나는 시동 시부터 시동 후 2~3초 동안 수행하였다. 공연비 측정은 UEGO 센서를 배기 매니폴드가 합쳐지는 점에 설치하여 측정하였으며, 초기 시동 시 냉각수 온도별 당량비의 변화특성을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 결과를 보면 냉각수 온도 별로 약간의 차이는 있지만 초기 시동 후 약 600~750ms부근에서 당량비가 0.5~0.6정도의 아주 농후한 공연비를 나타내며 이후 약 900ms까지

Table 1 Test engine specification

Item	Specifications
Engine type	IL 4, DOHC
Bore x Stroke (mm)	76.5 x 81.5
Compression ratio	9.5
Displacement volume (cc)	1,498
Max. Power (PS/rpm)	100 /6,000
Max. Torque (kgf · m/rpm)	14.0 /3,000
Valve timing	
I/O(BTDC) / I/O(ABDC)	8 CA / 42 CA
E/O(BBDC) / E/O(ATDC)	42 CA / 8 CA
Starter (kW)	0.8

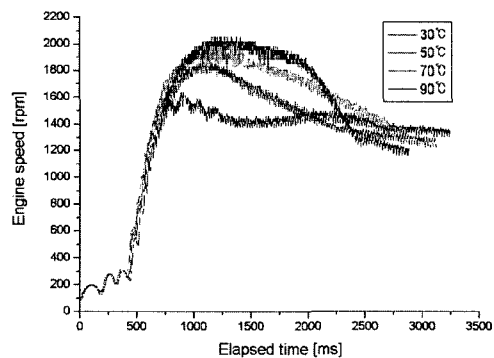


Fig. 2 Engine speeds at starting according to coolant temperatures

급격하게 상승하여 1.7~2.0 부근의 당량비를 나타낸다. 이후 점차 감소하여 3,000ms가 되면 1.5~1.7의 당량비 분포를 나타내고 있다. Fig. 2와 Fig. 3에서 냉각수 온도가 30℃인 경우에는 시동 초기 700~1500ms동안 다른 온도의 경우보다 기관회전수가 낮은 상태에서 운전이 될 뿐 아니라 엔진 회전수와 당량비의 변동이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 냉각수 온도가 낮기 때문에 초기 시동 시 분사된 연료가 액체상태로 포트 벽면에 부착되거나 작은 액적의 연료들이 모여 큰 액적을 형성한 후 연소실로 유입되어 엔진 제어 장치에서 분사한 연료량이 정확하게 제어되지 못하는 상태를 나타내고 있다. 다른 온도의 경우에는 750~2,000ms 동안 냉각수 온도별로 기관 회전수의 차이가 있음에도 불구하고 당량비는 거의 비슷한 값을 나타내고 있어 30℃에서 나타났던 분사 연료의 포트 벽면 부착 현상은 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4는 냉각수 온도가 30℃인 경우의 시동 시 연료 분사신호와 당량비 및 연소실의 압력선도를 비교한 것이다. 실험 시작 조건이 4번 실린더의 압축 상사점이므로 초기 첫 번째 사이클에서는 연료가 분사되지 않은 상태에서 운전이 되며, 첫 번째 사이클의 배기과정 및 두 번째 사이클의 흡입과정에서 분사된 연료가 연소실로 흡입되어 두 번째 사이클의 배기과정이 시작되면서 배기매니폴드에 설치한 UEGO 센서에서 공연비가 측정됨을 알 수 있다. 사이클 별 당량비 변화를 보면 초기 2~4번째 사이클까지 당량비가 0.6~1.7 정도의 희박한 상태

에서 농후한 상태로 급격히 변하며, 5~10번째 사이클 동안 당량비가 1.6~1.9 사이에서 변동을 나타내고 있다. 이후 당량비는 서서히 감소하며 사이클 간의 변동이 점차 감소하는 특성을 나타내고 있다.

Fig. 5는 냉각수 온도에 따른 사이클 별 연료분사 시간을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 초기 첫 사이클에서 가장 농후한 혼합기를 형성하기 위해 가장 많은 연료를 분사하여 10번째 사이클 까지 급격히 감소하다 이후 점차 일정한 값으로 접근함을 알 수 있다. 또한, 냉각수 온도가 증가하면 흡입공기 상승에 따른 밀도 감소로 인해 공기 유입량이 감소하므로 연료 분사시간을 감소시킬 수 있다. 그러나, Fig. 3의 결과와 비교해 볼 때 연료 분사량의 변화에 비해 공연비의 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

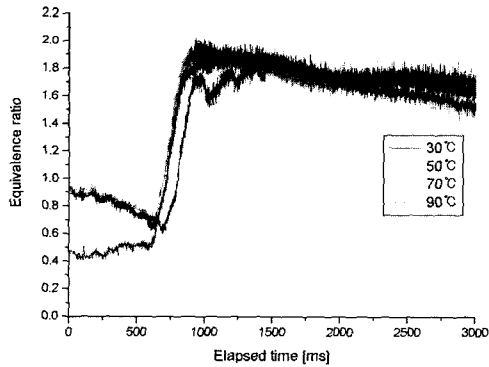


Fig. 3 Equivalence ratio at starting according to coolant temperatures

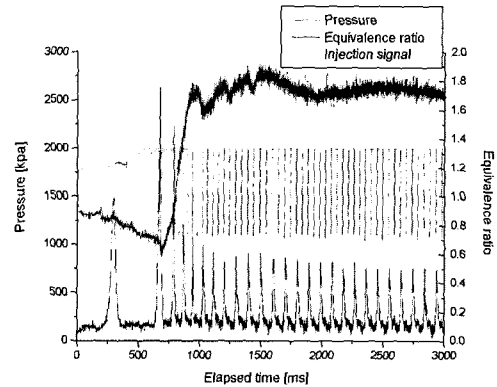


Fig. 4 Equivalence ratio according to fuel injections at 30℃ coolant condition

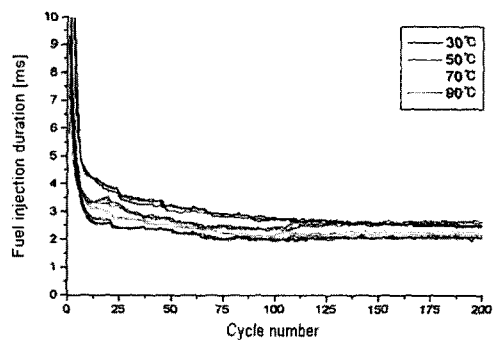


Fig. 5 Fuel injection duration according to coolant temperatures at starting

### 3. 실험 내용 및 고찰

냉각수 온도에 따른 미연탄화수소의 배출 특성을 확인하기 위하여 수행한 실험 내용과 특성에 대한 분석내용은 다음과 같다.

#### 3.1 배기포트에서의 HC 배출특성

기관의 냉각수 온도(30℃, 50℃, 70℃, 90℃)에 따른 배기포트에서의 미연탄화수소의 배출 특성을 분석하기 위하여 FRFID의 샘플링 프로브를 기관의 4번 실린더의 배기포트에 설치하여 시동 후 2초 동안 측정을 수행하였고, 그 측정횟수는 기관의 냉각수 온도별로 각각 5회씩 수행하였다.

Fig. 6은 기관의 냉각수 온도별로 측정한 대표적인 미연탄화수소의 배출특성과 기관의 실린더 압력 선도를 나타내고 있다. 해당 데이터는 5회 측정치 중 평균치에 가까운 특성을 나타내는 것으로 선택하였다. 배기 포트에서의 미연탄화수소의 배출은 해당 실린더의 배기과정이 시작되면서 배출되는 미연탄화수소를 측정하게 된다.

Fig. 6(a)는 냉각수 온도가 30℃인 경우에 측정한 미연탄화수소의 배출변동과 실린더 압력을 나타내고 있다. 시동 후 2초 동안 총 19사이클에서의 배출 특성을 측정하였다. 초기 3사이클 동안은 40,000 ppm의 농도로 미연탄화수소가 배출되었으나, 실화가 일어난 4번, 5번과 7번 사이클에서 그 배출 농도가 120,000~140,000ppm으로 급격히 증가하는 현상이 발생하였다. 이는 Fig. 4에서 설명한 바와 같이 시동 초기 약 750~1,500ms 동안 발생하는 공연비의 변동 및 연소실 벽면의 냉각영역에 의한 불완전 연소로 인해 생성된다. 이후 실화가 일어나지 않는 사이클에서 미연탄화수소의 배출농도가 60,000ppm에서 30,000ppm 정도로 서서히 감소함을 알 수 있다. 이는 이전 사이클에서의 운전으로 인한 연소실 벽면온도의 상승과 공연비의 안정적인 공급 및 공연비의 점차적인 감소로 인한 것으로 판단된다.

Fig. 6(b)는 냉각수 온도가 50℃인 경우의 대표적인 미연탄화수소의 배출과 기관의 실린더 압력 선도를 나타내고 있다. 총 22개 사이클에서 배출되는

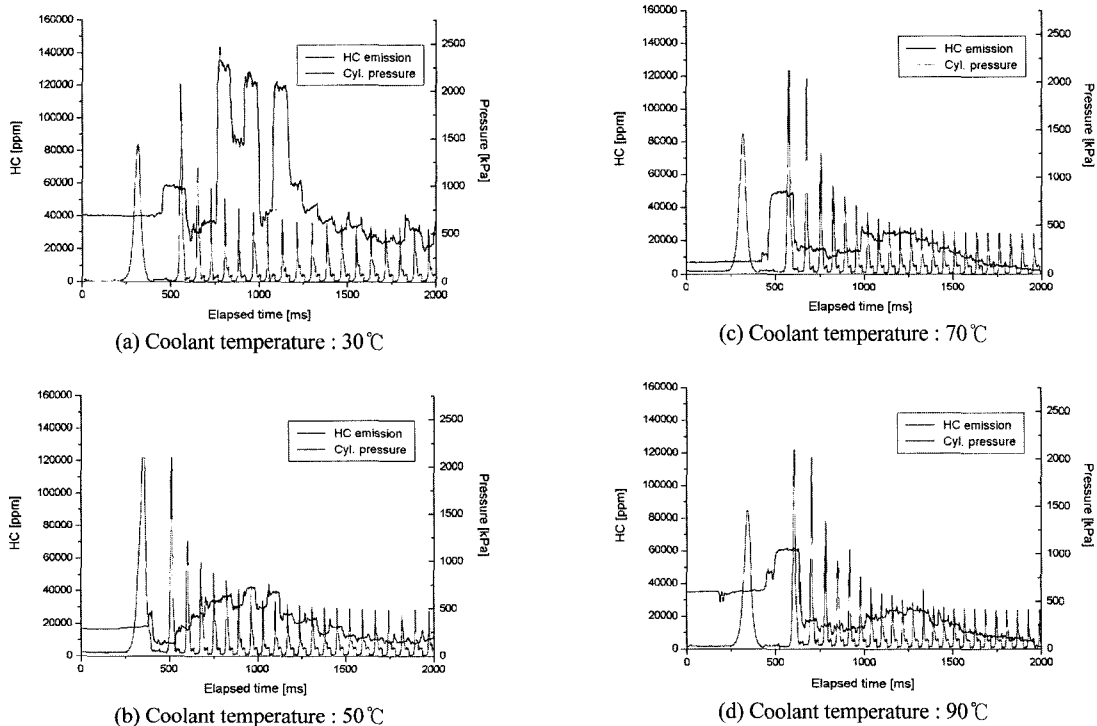


Fig. 6 Engine out HC emissions

미연탄화수소의 농도가 측정되었으며, 전체적으로 약 40,000ppm 이하의 수준으로 배출됨을 알 수 있다. 냉각수 온도가 50℃인 경우, 시동 후 0.5~1.0초 사이에서 배출되는 미연탄화수소의 농도는 20,000~40,000ppm으로 증가하고, 1.0초 이후에는 그 배출농도가 점차 감소하여 15,000ppm 수준까지 감소하고 있다. 이는 냉각수 온도가 상승함에 따라 흡기포트 및 실린더 내의 벽면 온도가 상승하여 연료의 기화 정도가 개선되어 30℃의 경우에 발생했던 실화가 나타나지 않으며, 초기에 공급되는 당량비가 0.6에서 1.6까지 증가함에 따른 연소에 의해 미연탄화수소의 배출농도가 증가하는 현상을 보인다. 이후 당량비가 1.6에서 1.4로 서서히 감소함에 따른 공기와 연료의 안정적인 혼합과 당량비 저감에 따른 연소에 의한 저감 및 이전 사이클 동안 상승한 연소실 벽면의 온도에 의한 연소의 개선 등으로 미연탄화수소의 농도가 저감됨을 알 수 있다. 이러한 영향은 냉각수가 30℃인 경우에 시동 후 0.5~1.5초 사이에서 발생했던 실화에 의한 고 농도(120,000~140,000 ppm)의 미연탄화수소의 배출이 20,000~40,000ppm 정도로 급격히 감소하고 1.0초 이후의 배출농도도 40,000ppm에서 약 15,000ppm 정도로 감소함을 알 수 있다. 그러나 그 배출 농도가 최저 15,000ppm 정도여서 연소실 벽면의 냉각영역에 의한 불완전 연소의 영향으로 인한 미연탄화수소의 배출이 나타나고 있다.

Fig. 6(c)는 냉각수 온도가 70℃일 때의 대표적인 미연탄화수소의 배출과 기관의 실린더 압력 선도를 나타내고 있다. 측정시간 2초 동안 총 23개 사이클에서 배출된 미연탄화수소의 배출 농도를 나타내고 있다. 시동 후 0.5~1.5초에서 배출되는 미연탄화수소의 농도는 10,000~25,000ppm의 수준을 나타내고 있으며, 1.5초 이후에는 지속적으로 감소하여 2,000ppm 수준까지 감소되는 것을 보여주고 있다.

Fig. 6(d)는 냉각수 온도가 90℃일 때의 대표적인 미연탄화수소의 배출과 기관의 실린더 압력 선도를 나타내고 있는데, 이 경우에는 초기 0.5~1.5초에서의 배출 농도는 70℃의 경우와 유사한 수준인 10,000~25,000ppm 수준이나, 1.5초 이후 지속적으로 감소하여 3,000ppm 수준까지 감소됨을 알 수 있

다. 냉각수 온도가 70℃인 경우와 90℃인 경우에는 미연탄화수소의 배출 특성이 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 기관이 어느 정도 워밍업이 된 상태의 조건을 나타내고 있으며, 시동 초기 흡기포트 및 연소실 벽면의 온도가 충분히 데워져 초기 시동 시 분사된 연료의 기화가 잘 이루어져 공기와 혼합이 잘 형성되며, 연소실 벽면의 온도 상승으로 인해 연소실 벽면의 냉각영역으로 인한 불완전 연소로 인한 미연탄화수소의 발생이 뚜렷하게 저감되고 있다. 또한 시동 후 약 1.3초 이후부터는 미연탄화수소의 배출농도가 지속적으로 감소하는 것은 연소실 벽면의 온도가 상승함에 따른 연소특성의 개선 및 공급되는 당량비의 저감효과로 인한 것으로 판단된다. 이로써 기관의 냉각수 온도가 상승함에 따라 흡기 포트 내의 벽면 온도 상승 및 연소실 벽면의 온도 상승으로 인한 연료의 기화가 촉진되어 연소특성이 향상됨으로 인해 미연탄화수소의 배출 농도가 저감됨을 알 수 있다.

또한, 냉각수 온도에 따른 미연탄화수소의 배출 농도 저감특성을 확인하기 위하여 각 온도별로 3사이클씩 중첩하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6과 Fig. 7의 결과는 정성적인 특성을 나타내고 있으며, 이와 관련한 미연탄화수소 배출량의 정량적인 저감 효과를 분석하기 위해서는 초기 시동동안 아이들 상태에서의 흡입 공기량 및 연료공급량을 측정해서 미연탄화수소의 배출 농도를 배출량으로 환산하여 분석을 해야 한다. 그러나, 본 연구에서는 시동구간인 과도구간에서의 정확한 공기량의 측정을 수행하지 못하였다. 따라서, 초기 시동동안 공급되는 공기량의 큰 차이가 없다고 가정하면 Fig. 3에 나타낸 결과와 같이 공연비의 특성이 유사하고 냉각수 온도별로 공급되는 연료의 량도 큰 차이가 없다고 하겠다. 따라서, 시동 시 냉각수 온도별로 저감되는 미연탄화수소의 농도 저감량은 미연탄화수소의 배출 저감량으로 추정하여도 큰 무리는 없을 것 같다. 그러므로, 냉각수 온도에 따른 미연탄화수소의 배출농도 저감특성을 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 냉각수 온도별로 측정된 5회의 미연탄화수소의 배출 농도치로부터 미연탄화수소의 배출 평균농도를 계산하여 Fig. 8에 표시하였다. 냉각수 온도가 30℃일 때 배

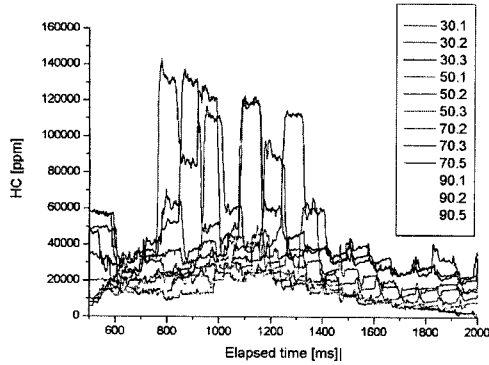


Fig. 7 HC emissions according to coolant temperatures Fig. 8 Averaged HC emissions according to coolant temperatures

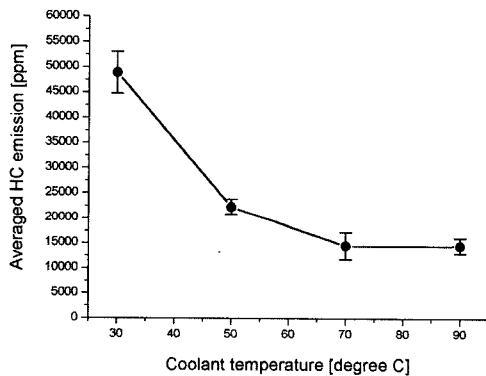


Fig. 8 Averaged HC emissions according to coolant temperatures

출되는 미연탄화수소의 배출농도를 기준으로 할 때, 냉각수 온도가 50°C로 상승할 경우 미연탄화수소의 평균 배출농도는 약 65% 저감되고 70°C로 상승할 경우, 80%정도가 저감되며 90°C인 경우에는 70°C인 경우와 유사하게 80%정도 저감됨을 알 수 있다. 이상의 결과에서 기관의 시동 및 재시동시 배출되는 미연탄화수소의 배출 특성은 기관의 냉각수 온도와 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있으며, 냉각수 온도가 70°C와 90°C인 경우에는 시동동안 배출되는 평균배출농도의 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

### 3.2 연소실에서의 HC 생성특성

FRFID의 2채널 동시 측정 기능을 이용하여 연소실과 배기포트에서 배출되는 미연탄화수소의 상호작용을 분석하였다. 냉각수 온도에 따른 연소실의

미연탄화수소의 농도 특성과 배기포트에서 측정되는 미연탄화수소의 농도 변화 특성을 Fig. 9에 표시하였다. Fig. 9(a)는 냉각수 온도가 30°C인 경우에 측정된 결과로서 연소실에서 측정되는 미연탄화수소는 흡기과정과 압축과정까지 100,000~130,000ppm의 농도 분포를 나타낸다. 점화가 되고 연소가 시작되면서 연소실의 미연탄화수소의 농도는 급격히 감소하여 연소가 완료되는 시점에서 30,000~10,000ppm 수준으로 떨어짐을 알 수 있다. 시동 후 1~1.5초 사이에서 3번의 실화가 발생하는데, 이 경우에 연소실에서 측정된 미연탄화수소의 농도가 2번의 극대점을 가지는 것을 볼 수 있다. 이는 점화가 점화플러그 위치에서 시작되면 점화 시기 부근에서 측정되는 샘플가스의 미연탄화수소 농도는 연소로 인해 그 농도가 낮게 나타나며, 연소가 연소과정 중에 중지되어 실화가 일어날 경우, 점화플러그 타입의 샘플링 프로브로 미연혼합가스가 그대로 유입되어 측정농도가 급격히 상승하는 특성을 보인다. 연소가 정상적으로 일어나는 사이클을 보면 초기 흡기과정이 시작되면서 연소실의 미연탄화수소의 농도가 급격히 증가하기 시작하여 압축과정의 점화시기 부근에서 최대 값을 나타낸다. 이후 연소가 진행되면서 급격히 감소하여 배기과정이 되면 배기포트에서 측정하는 농도와 거의 동일한 값까지 감소된다.

Fig. 9(b)~9(d)를 보면 실화가 일어나는 사이클에서의 연소실에서 측정되는 미연탄화수소와 배기포트에서 측정되는 농도 변화에 직접적인 관계가 있음을 확인할 수 있다. 냉각수 온도가 50°C부터 90°C까지 상승함에 따라 실화가 일어나지 않는 구간, 즉, 시동 후 1~2.75초 구간에서의 연소실의 미연탄화수소의 농도 범위는 50°C와 70°C의 경우에는 100,000~120,000ppm이 되는 반면에 90°C인 경우에는 80,000~110,000ppm이 되어 90°C인 경우에 일부 2.0~2.5초 구간에서 50°C와 70°C의 경우보다 미연탄화수소가 약간 적게 생성되는 것을 알 수 있다. 그러나, 냉각수 온도가 50°C이상일 경우에, Fig. 2~Fig. 5에 표시한 시동구간에서의 냉각수 온도별 당량비의 변동과 연료분사 기간의 특성과 비교해 보면 냉각수 온도별 연료분사기간의 변동은 존재하나 냉각수 온도 상승에 따른 흡입공기량의 감소에 따른 연료

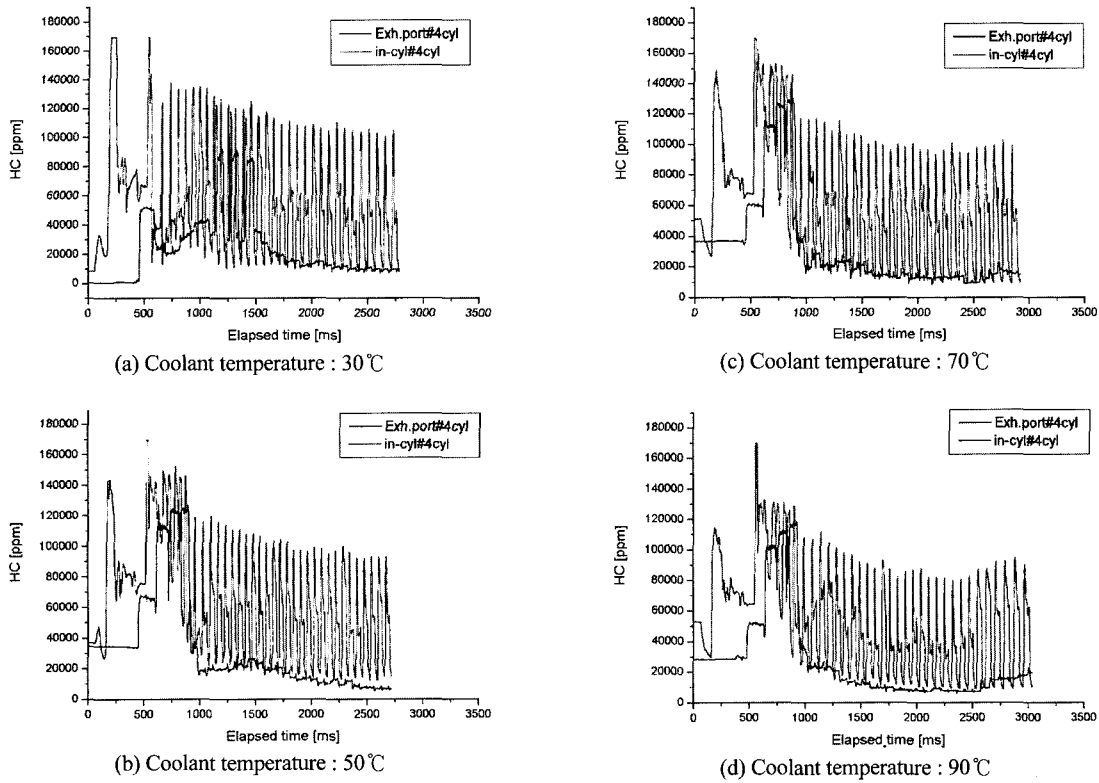


Fig. 9 Engine out HC emissions

분사량의 저감으로 당량비의 차이가 크지 않게 나타나 결국 연소실 내의 미연탄화수소의 농도변화에는 큰 영향이 없게 됨을 알 수 있다. 실화가 존재하지 않는 구간에서의 연소실내의 미연탄화수소의 농도변화는 크지 않으며, 변동성분의 차이 정도를 나타낸다. 또한, 배기과정 시 연소실에서 측정된 미연탄화수소의 농도와 배기포트에서 측정된 미연탄화수소의 농도가 약간의 차이가 나타나는 구간이 존재한다. 이는 배기밸브를 통해 배출되는 배기가스 중 미연탄화수소가 배기포트에서 산화되는 현상을 보여주며, 냉각수 온도가 50°C인 경우 시동 후 2초 이후 구간에서, 냉각수 온도가 90°C인 경우 시동 후 1.5~2.5초 구간에서 미연탄화수소의 산화현상이 나타나고 있으나 다른 실험 조건에서는 잘 보이지 않음을 알 수 있다. 결론적으로, 냉각수 온도가 50°C 이상 일 경우에는 냉각수 온도별 연료 분사기간의 차이는 존재하나 공연비의 차이는 크게 나타나지 않아 온도 상승에 따른 연소실 내에서의 미연탄화

수소의 농도에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

### 3.3 흡기밸브 열림 시기의 영향

전기점화 기관에서 배기가스 배출과 관련하여 가장 심각한 운전 영역이 냉시동 구간이다. 시동 후 1~2분 동안은 기관의 각 부품들이 냉각되어 있기 때문에 흡기포트에 분사된 연료의 기화는 바람직하게 이루어지기가 어렵다. 연소가 잘 일어날 수 있는 혼합기가 형성되지 못함으로 인해 미연탄화수소의 배출이 많아지고, 차량의 운전성에도 나쁜 영향을 준다. MPI 가솔린 기관은 흡기 포트에 설치된 연료 분사기를 통해 연료를 분사하며 시동성 개선을 위해 밸브가 닫혀 있을 때 밸브 뒷면을 향해 연속적으로 많은 연료를 분사하므로 많은 액체상태의 연료가 포트에 존재하게 된다. 이때 연소실 벽면에 부착된 액체 연료는 기관의 시동 시 심각한 미연탄화수소의 증가를 가져온다고 알려져 있다.<sup>5,6)</sup> 이러한 현상을 개선하는 방법 중 하나로 흡기밸브의 열림 시

기를 조정하는 것을 검토할 수 있다. 이 경우에 i) 흡기밸브를 늦게 열게 되면 피스톤이 흡기밸브로부터 멀어지게 되어 액체 연료가 피스톤 헤드부와 충돌하는 양이 줄어들 수 있고, ii) 흡기밸브의 열림 지연은 흡기밸브가 열릴 때 실린더 내의 압력이 부압상태가 되어 흡기밸브를 통과하는 연료의 속도가 증가하게 되어 기화에 좋은 영향을 줄 뿐 아니라 난류 성분 속도의 증가를 유도하여 공기와 연료의 혼합이 잘 이루어지는 등의 이점이 있을 수 있다.<sup>5-7)</sup> 따라서, 냉각수 온도가 30℃일 때 흡기 캠축을 기준 점에서 캠 스프로켓의 잇수를 1잇수, 2잇수와 3잇수 지연시켜 흡기밸브의 열림 각도를 각각 17.1°CA, 34.2°CA, 51.3°CA 지연시켰다. 단, 점화시기는 임의로 조정할 수 없어 흡기밸브 열림시기 조정에 따라 함께 지연되었다. 해당 흡기밸브 열림 지연각도에 따라 미연탄화수소 배출량을 각 조건에 따라 5회씩 측정하였다.

Fig. 10은 냉각수 온도가 30℃일 때 흡기 밸브 열림 시기 지연에 따른 배기 포트에서의 미연탄화수소의 배출 특성을 나타낸 것인데, 각 조건에서 평균치에 근사한 측정실험의 것을 대표적으로 한 개씩 나타낸 것이며, Fig. 11은 흡기밸브 열림 시기에 따른 미연탄화수소의 배출농도 저감특성을 확인하기 위하여 Fig. 10과 같이 측정된 각 조건에서의 5회의 미연탄화수소의 배출농도 치로부터 계산한 미연탄화수소의 배출 평균농도를 나타내었다. 흡기밸브 열림 시기의 조정이 없는 경우에 배출되는 미연탄화수소의 평균 배출농도를 기준으로 할 때, 흡기밸브 열림 시기를 17.1°CA 지연한 경우(30.rt1)는 원래

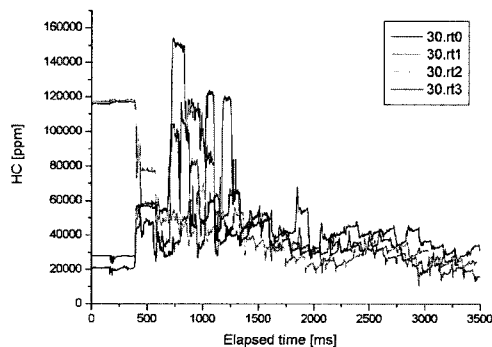


Fig. 10 Effect of intake valve opening timing

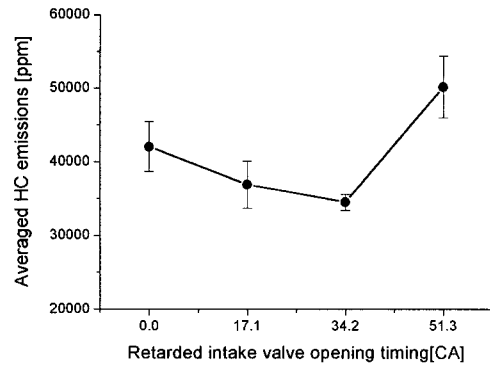


Fig. 11 Averaged HC emissions according to intake valve opening timing

의 경우(30.rt0)보다 미연탄화수소 배출이 다소 개선되어 약 12% 적게 배출되는 효과를 보여 주며, 또한, 흡기밸브 열림 시기를 34.2°CA 지연한 경우(30.rt2)는 약 18% 적게 배출되어 더욱 개선된 효과를 보여 준다. 그러나 흡기밸브 열림 시기를 51.3°CA 지연한 경우(30.rt3)는 원래의 경우(30.rt0)보다 약 19% 많게 배출되어 다른 경우보다 가장 좋지 못한 미연탄화수소 배출 특성을 나타내었다. 이 결과는 흡기밸브 열림 시기의 지연으로 인한 연료의 기화성 개선효과와 점화시기의 지연으로 인해 팽창과정 중에서의 연소가스의 온도가 상승한 효과가 함께 작용한 것으로 판단된다. 그러나, 흡입밸브 열림 시기가 51.3°CA인 경우에는 흡입 연료의 기화성 개선효과보다 점화시기의 과도한 지연으로 인한 연소 특성이 나빠진 효과가 더 크게 작용하여 미연탄화수소의 배출특성이 가장 나쁘게 나타나고 있다.

이상의 결과로부터 냉각수온도가 30℃인 조건에서 흡기밸브의 열림 시기를 조정하는 경우는 원래보다 17.1~34.2°CA 지연할 경우 약 12~18% 정도 미연탄화수소의 배출저감 효과가 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

가솔린 기관의 시동조건에 따른 미연탄화수소 배출 특성을 분석한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 냉각수 온도가 30℃일 때 배출되는 미연탄화수소의 평균 배출농도를 기준으로 할 때, 냉각수 온도가 50℃로 상승할 경우 미연탄화수소의 평균 배



출농도는 약 65% 저감되고, 70°C와 90°C로 상승할 경우, 80%정도 저감되었다.

2) 실화가 일어나는 사이클에서 연소실에서 측정된 미연탄화수소의 농도는 배기포트에서 측정된 농도 변화에 직접적인 관계가 있었다.

3) 냉각수 온도가 30°C인 경우에, 흡기밸브의 열림시기를 원래보다 17.1~34.2°C 지연할 경우 12~18% 정도 미연탄화수소의 배출저감에 효과가 있음을 확인하였다.

### References

- 1) Y. Luan, N. A. Henein, "Contribution of Cold and Hot Start Transients in Engine-Out Emissions," SAE 982645, 1998.
- 2) K. D. Isherwood, J. R. Linna, P. J. Loftus, "Using On-board Fuel Reforming by Partial Oxidation to Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions," SAE 980939, 1998.
- 3) M. C. Drake, R. M. Sinkevitch, A. A. Quader, K. L. Olson, T. J. Chapaton, "Effect of Fuel/Air Ratio Variations on Catalyst Performance and Hydrocarbon Emissions During Cold-Start and Warm-UP," SAE 962075, 1996.
- 4) K. Kuwahara, H. Ando, "TDC Flow Field Structure of Two-Intake-Valve Engine with Pentroof Combustion Chamber," JSME International Journal, Series B, Vol.36, No.4, 1993.
- 5) C. E. Roberts, R. H. Stanglmaier, "Investigation of Intake Timing Effects on the Cold Start Behavior of a Spark Ignition Engine," SAE 1999-01-3622, 1999.
- 6) S. H. Hwang, J. H. Lee, K. D. Min, "A Study on Mixture Preparation in a Port Fuel Injection SI Engine During Engine Starting," Transactions of KSAE, Vol.10, No.3, 2002.
- 7) Seong Soo Kim, Sung Soo Kim, "Effects of Swirl and Spark Plug Shape on Combustion Characteristics in a High Speed Single-Shot Visualized SI Engine," SAE 951003, 1995.