

# 가솔린기관의 시동시 연료분사기법에 의한 HC 배출저감 연구

김성수\*

## A Study on the Reduction of HC Emissions by Fuel Injection Methods during the SI Engine Start

Seong-Soo Kim\*\*

### ABSTRACT

Engine-out HC emissions were investigated during engine start. The tests were conducted on a 1.5L, 4-cylinder, 16 valve, multipoint-port-fuel-injection gasoline engine at different coolant temperatures and fuel injection-skip methods; no skip, 1 cycle-skip and 3 cycle-skip. To understand the characteristics of engine-out HC emissions, HC concentration was measured at a exhaust port using a Fast Response Flame Ionization Detector (FRFID).

The result show that HC emissions were emitted at the cold coolant temperature much higher than those of the hot coolant. In additions, the fuel injection skip highly reduced engine-out HC emissions. It is convinced that optimized fuel injection skips according to coolant temperatures could be applied to reduce HC emissions during SI engine start.

**Key Words** : Engine-out HC emissions, SI engine, Coolant temperature, Fuel injection skips

### 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 고 효율화, 차량의 경량화 및 차량 주행저항 저감 등을 통하여 목표로 하는 연비를 만족하고 있다.

특히 이들 차량에는 연료 절감, 즉 연비향상을 위하여 차량의 신호대기 시 공회전 정지 및 재시동 기능을 가지고 있으며, 이로 인해 연비측정 규정 모드에서 약 10% 이상의 연료 절감효과를 얻고 있음은 잘 알려져 있다. 그러나, 이들 장치들은 단순히 운전자의 선택에 의해 공회전 정지

및 재시동이 작동된다. 엔진이 일정수준의 워업이 되지 않은 상태인 경우에 이 기능이 작동되면 재시동시 다량의 HC이 배출되는 문제점이 있다고 알려져 있다. 차량의 냉 시동 혹은 저온 상태에서의 재시동 시 실화 및 엔진 부품의 냉각에 의하여 HC의 배출이 급격하게 증가함은 일반적으로 잘 알려져 있다.[1,2] 특히, 초기 시동 시의 HC의 배출은 흡기포트 및 연소실 벽면 온도의 영향으로 인해 공기와 연료의 불완전 혼합 및 연소실 벽면에서의 냉각영역의 영향으로 인한 불완전 연소 등의 영향을 크게 받는다.[3] 그러나, 이들 연구에는 재시동 시 냉각수 온도 조건에 따른 HC의 배출 특성 및 시동시 HC 배출저감을 위한 운전 조건 등에 대한 검토가 이루어져 있지 않아 이에 대한 연구가 필요한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 기관의 냉각수 온도조건에 따라 분석한 HC의 배출 특성[4]을 기초로 하여 냉각수 온도 별 연료분사 기법에 따른 HC의 배출 저감 효과에 대해 알아보고자 한다.

\* 신라대학교 자동차기계공학전공

† 연락처자, sskim@silla.ac.kr

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험조건

기관의 시동 시 배기포트로 배출되는 HC는 Fig. 1의 실험장치의 개략도에 나타낸 것과 같이 기관의 4번 실린더의 배기매니폴드에 설치한 FRFID의 샘플링 프로브를 통해 측정하였다. HC의 배출특성에 대한 측정지연을 최소화하기 위하여, FRFID 샘플링 프로브를 배기밸브 스템에서 프로브 선단까지의 거리가 50mm가 되도록 배기 매니폴드에 설치하여 실험을 수행하였다.

본 연구에 사용한 자동차용 4기통 1.5리터 DOHC 기술된 기관의 주요사양은 Table 1에 표시하였다. 실험 데이터 측정을 위하여 엔코더(Koyo Co., 360ppr)를 배기밸브 측의 캠축에 설치하여 크랭크 각도 2°마다 1개의 펄스가 생성되도록 하였다. 모든 실험의 시작은 실험조건에 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. 시동 특성을 분석하기 위하여 기관 자체로 운전이 되도록 동력계와의 연결 축을 분리하였고, 각 실험조건에서의 기관의 점화시기, 연료분사시기 및 공연비는 임의로 조정하지 않았다. 연료분사 스위치는 연료분사 신호를 해당 실린더의 분사기에 해당 사이클 동안 연료를 분사하지 않도록 조정하여 실험을 수행하였다. 냉각수 온도는 냉각수 온도 조절장치를 이용하여 30℃, 50℃, 70℃와 90℃로 조절하였다.

Fig. 2는 시동 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 기관 회전수가 1,400~2,000rpm으로 나타나고 있어, 기관 회전수의 변동이 큼을 알 수 있다. 따라서, 각 실험조건에서의 HC의 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 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 형성

Table 1 Test engine specification

Item	Specifications
Engin type	IL 4 , DOHC
Bore x Stroke (mm)	76.5 x 81.5
Compression ratio	9.5
Displacement volume (cc)	1,498
Max. Power (kW/rpm)	73.5 /6,000
Max. Torque (kgf · m/rpm)	14.0 /3,000
Valve timing IVO(BTDC) / IVC(ABDC) EVO(BBDC) / EVC(ATDC)	8 CA / 42 CA 42 CA / 8 CA
Starter (kW)	0.8

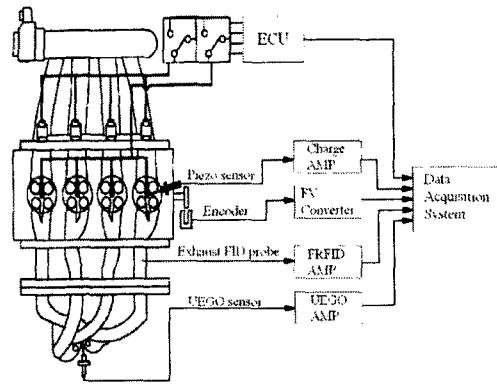


Fig. 1 Experimental apparatus

한 후 연소실로 유입되어 엔진 제어장치에서 분사한 연료량이 정확하게 제어되지 못하고 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.

2.2 HC의 배출특성

기관의 냉각수 온도(30℃, 50℃, 70℃, 90℃)에 따른 배기포트에서의 HC의 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.

또한, 냉각수 온도에 따른 HC의 배출 농도 저감특성을 확인하기 위하여 각 온도별로 3 사이클씩 중첩하여 Fig. 4에 나타내었다. HC 배출량의 정량적인 저감 효과를 분석하기 위해서는 초기

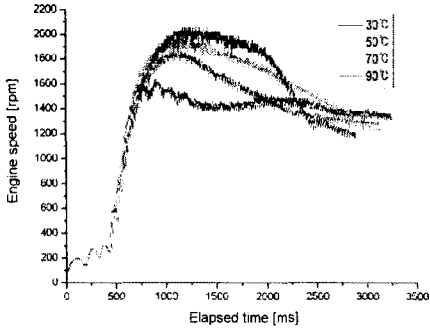


Fig. 2 Engine speeds at starting according to coolant temperatures

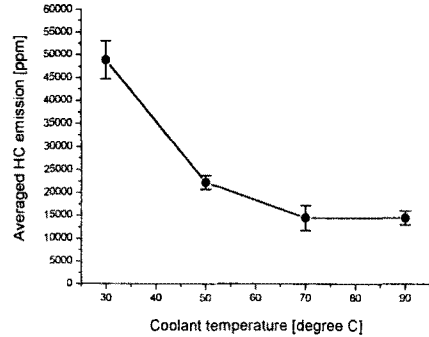


Fig. 5 Averaged HC emissions according to coolant temperatures

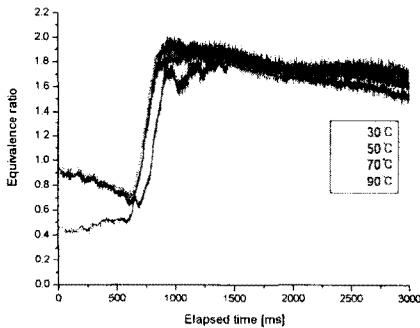


Fig. 3 Equivalence ratio at starting according to coolant temperatures

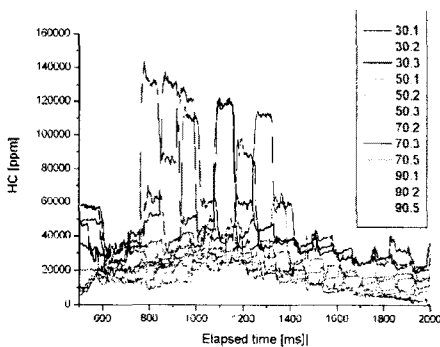


Fig. 4 HC emissions at exhaust port according to coolant temperatures

시동동안 아이들 상태에서의 냉각수 온도에 따른 HC의 배출농도 저감특성을 확인하기 위하여 냉각수 온도별로 측정된 5회의 HC의 배출 농도 치로부터 HC의 배출 평균농도를 계산하여 Fig. 5에 표시하였다. 이 결과에 의하면 냉각수 온도가 30°C일 때 배출되는 HC의 배출농도를 기준으로 할 때, 냉각수 온도가 50°C로 상승할 경우 HC의 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 시 배출되는 HC의 배출 특성은 기관의 냉각수 온도와 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있었고, 냉각수 온도가 70°C와 90°C인 경우에는 시동 시간동안 배출되는 평균배출농도의 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

### 2.3 연료분사 스킵

냉시동 구간에서의 HC의 배출은 아주 심각한 상태를 나타낸다. 시동 후 1~2분 동안은 엔진의 각 부품들이 차기 때문에 흡기포트에 분사된 연료의 기화는 바람직하게 이루어지기 어렵다. 연소가 잘 일어날 수 있는 혼합기가 형성되지 못함으로 인해 HC의 배출이 많아지고, 차량의 운전성에도 나쁜 영향을 준다. 최근의 엔진은 연료를 흡기 밸브가 닫혀 있을 때 밸브 뒷면을 향해 분사하며 시동성 개선을 위해 연속적으로 연료를 분사하여 많은 액체상태의 연료가 포트에 존재하게 된다. 이 때 흡기 밸브가 열리면 이 연료들은 빠르게 실린더 안으로 들어가지만 이 중 많은 부분이 압축 상사점 부근에서 피스톤 헤드부와 충돌하게 된다. 또한 차가운 실린더 표면에 부착된 연료는 점화가 시작되면서부터 기화하기 시작한다. 이들 연료의 일부는 압축과정 동안 기화되었

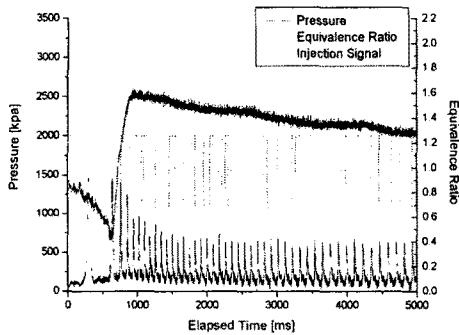


Fig. 6. Signals at normal fuel injection and 90°C coolant temperature conditions

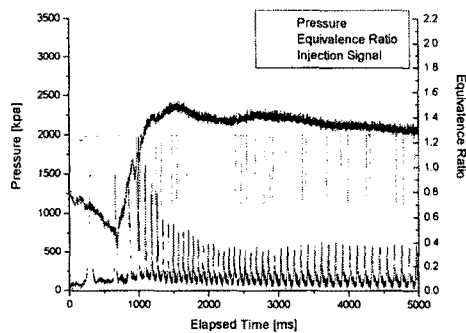


Fig. 7 Signals at 1-cycle skip fuel injection and 90°C coolant temperature conditions

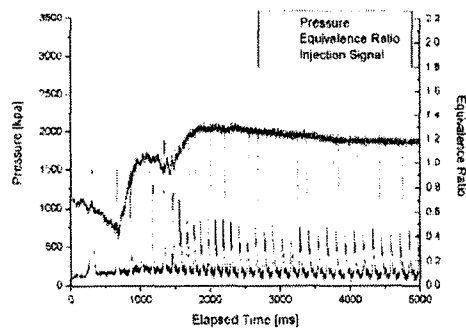


Fig. 8 Signals at 3-cycle skip fuel injection and 90°C coolant temperature conditions

던 연료증기가 다시 찬 실린더 벽면에 재 응축되기도 하며, 최근 이와 관련한 엔진 실험에서 연소실 벽면에 부착된 액체 연료가 심각한 HC의 증가를 가져온다고 알려져 있다.[5]

그러므로, 연소실 벽면의 온도를 상승시키게 되면 혼합기가 연소실 벽면의 냉각영역의 영향이 작아지게 되어 불완전 연소로 인한 HC의 배출량을 저감시킬 수 있다. 따라서, 연소실 벽면의 온도를 상승시키는 방법으로 연소실로 공급하는 연료를 시동초기에 skip할 경우 해당 연소실에 공기만 유입되어 흡입, 압축, 팽창, 배기과정을 거치면서 연소실 벽면의 온도가 상승하는 효과를 얻을 수 있다. 이의 효과를 확인하기 위하여 냉각수 온도별로 연료 skip 사이클을 정상 연료분무 조건인 no-skip, 1 사이클 skip 및 3 사이클 skip 조건으로 1번과 4번 실린더에 적용하였다. 냉각수 온도가 90°C일 때 배기매니폴드에서 측정된 공연비 및 연료분사 신호를 Fig. 6 ~ Fig. 8에 표시하였다. Fig. 6의 정상연료 분사 조건인 경우에는 1번째 사이클의 배기과정과 2번째 사이클의 흡입과정에서 연료가 분사되어 시동이 걸리고 있음을 알 수 있다. Fig. 7의 1 사이클 연료스킵 분사를 적용한 경우에는 2번째 사이클의 배기과정과 3번째 사이클의 흡입과정에서 연료가 분사되어 시동이 걸리고 있음을 알 수 있다. Fig. 8의 3 사이클 연료스킵 분사를 적용한 경우에는 시동 후 약 1초 부근에서 제 4번째 사이클이 끝나고 5번째 사이클의 흡입과정이 시작되면서 연료분사가 시작됨을 보여주고 있으며 요구하는 3 사이클 스킵 연료분사 특성을 잘 나타내고 있다. 특히, 당량비의 변화는 배기매니폴드가 합쳐지는 점에 설치된 UEGO 센서로 측정된 값을 나타내고 있어 연료분사가 스킵되고 있는 2~4번째 사이클에서도 2번, 3번 실린더에 분사된 연료에 의해 0.5~1.0 부근의 당량비가 측정되고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉각수 온도별 연료무분사 기법에 따른 HC 배출 저감효과

앞 절에서 언급한 바와 같이 시동 시 연소실 벽면의 온도를 상승시키게 되면 혼합기에 대한 연소실 벽면 냉각영역의 영향이 작아지게 되어 불완전 연소로 인한 HC의 배출량을 저감시킬 수 있다. 이를 확인하기 위하여 시동 초기에 2번과 3번 실린더는 연소가 되도록 하고, 1번과 4번 실린더에 연료분사를 스킵하여 1번과 4번 실린더는 해당사이클 동안 모터링 형태로 운전이 되도록 하였다. 이 때, 1번과 4번 연소실은 흡입공기의 압축 및 온도상승으로 인해 실린더 벽면의 냉각영역이 축소되어 초기 시동 시 불완전 연소로

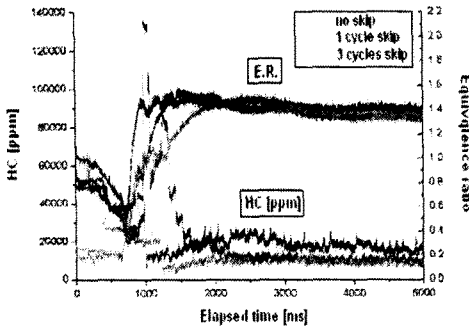


Fig. 9 HC emissions and equivalence ratios according to fuel injection skips at 30°C coolant temperature

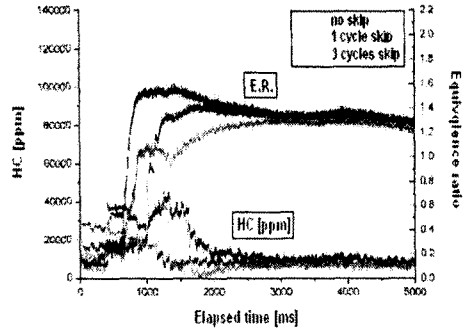


Fig. 10 HC emissions and equivalence ratios according to fuel injection skips at 50°C coolant temperature

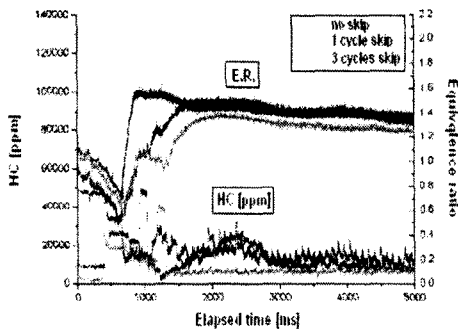


Fig. 11 HC emissions and equivalence ratios according to fuel injection skips at 70°C coolant temperature

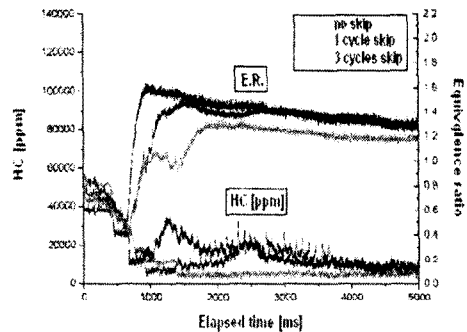


Fig. 12 HC emissions and equivalence ratios according to fuel injection skips at 90°C coolant temperature

인한 HC의 배출량을 저감시킬 수 있을 것으로 예측하였다. 이의 실험은 냉각수 온도(30°C, 50°C, 70°C, 90°C)별로 연료 skip 사이클을 정상 연료분사 조건인 no-skip, 1 사이클 skip 및 3 사이클 skip 조건으로 1번과 4번 실린더에 적용하여 수행하였다. 시동 시 배출되는 HC의 배출농도는 시동 후 5초 동안 측정하였고, 각 실험조건별로 3회씩 수행하였다.

Fig. 9 ~ Fig. 12는 냉각수 온도가 30, 50°C, 70°C와 90°C인 조건에서 no-skip, 1사이클 skip 및 3사이클 skip 연료분사 조건으로 1번과 4번 실린더에 적용한 경우에 시동 후 5초 동안 4번 배기포트에서 측정된 HC의 배출농도와 배기매니폴드에서 측정된 당량비의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과를 보면 연료스킵분사 사이클이 1사이클 인 경우에는 정상연료분사 조건인 no-skip

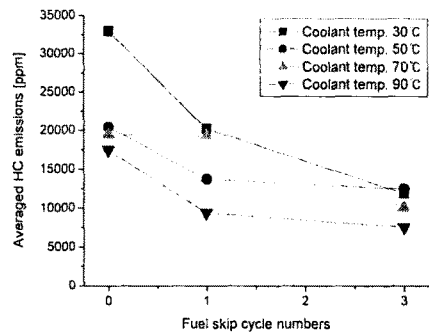


Fig. 13 HC emissions reduction by fuel injection skips

인 경우에 비해 당량비가 시동 후 0.5 ~ 2.7초 동안 덜 농후하며 HC의 배출도 이 기간동안 저감되는 것을 알 수 있다.

또한 3사이클 연료 스킵 분사의 경우에는 1사이클 연료 스킵분사의 경우와 비교해 보면, 시동 후 0.5 ~ 1초 동안 당량비의 변화 특성은 거의 유사하나, 약 1초 이후 부터는 다른 변화 특성을 가진다. 특히, 1 ~ 1.5초 동안은 당량비가 거의 1.0 부근을 유지하다 1번과 4번 연소실의 연료분사에 의해 재상승하여 2.0초에서 당량비가 1.4 ~ 1.3 부근이 되었다가 이후 지속적으로 감소하여 5초가 되면 1.3 ~ 1.2이하가 된다. 이러한 당량비 특성과 더불어 기관에서 배출되는 HC의 배출농도는 현저한 저감특성을 나타내고 있다. 이는 앞서 언급한 1번과 4번 실린더의 연료스킵기간 동안의 모터링 효과로 인한 흡입공기의 압축 및 온도상승으로 실린더 벽면의 냉각영역이 축소되며, 이는 초기 시동 시 실린더 벽면의 냉각영역으로 인한 불완전 연소를 줄여줘서 HC의 배출량을 저감시킴을 알 수 있다.

Fig. 13은 냉각수 온도(30°C, 50°C, 70°C, 90°C)별로 연료 skip 사이클을 1번과 4번 실린더에 적용한 경우, 측정된 시동 시 배출되는 HC의 평균 배출농도를 나타내고 있다. 이 결과에 의하면 냉각수 온도별로 시동초기에 1 사이클 동안 연료를 스킵할 경우 정상연료 분사조건에 비해 HC의 평균 배출 농도가 32 ~ 46% 정도 감소하였으며, 3 사이클 동안 연료를 스킵할 경우에는 정상연료 분사 조건에 비해 약 38.7 ~ 63.8% 정도의 HC 평균 배출농도가 저감되는 큰 효과를 얻었다.

#### 4. 결론

1) 냉각수 온도가 30°C일 때 배출되는 HC의 평균 배출농도를 기준으로 할 때, 냉각수 온도가 50°C로 상승할 경우 HC의 평균 배출농도는 약 65% 저감되고, 70°C와 90°C로 상승할 경우, 80% 정도 저감되었다.

2) 시동 후 5초 동안 측정된 HC의 평균 배출농도는 냉각수 온도별로 시동초기에 1 사이클 동안 연료를 스킵할 경우 정상연료 분사조건에 비해 32 ~ 46% 정도 감소하였으며, 3 사이클 동안 연료를 스킵할 경우에는 정상연료 분사 조건에 비해 약 38.7 ~ 63.8% 정도의 HC 배출 농도가 저감하는 큰 효과를 얻었다.

#### 후 기

이 연구는 부산광역시 자동차 고부가가치 부품개발 사업에 의해 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참고문헌

- [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] Seong Soo Kim, "A Study on Engine-Out HC Emissions during SI Engine Starting," *Transactions of the KSAE*, Vol. 11, No. 2, 2003.
- [5] Roberts, C. E. and Stanglmaier, R. H., "Investigation of Intake Timing Effects on the Cold Start Behavior of a Spark Ignition Engine," *SAE Paper 1999-01-3622*, 1999.