

연료 분사 특성이 가솔린 엔진 HC 배출에 미치는 영향

우영민^{*1)} · 배충식²⁾ · 이동원³⁾

한국과학기술원 원 기계공학과¹⁾ · 한국과학기술원 기계공학과²⁾ · 대전대학³⁾

Effects of Port Fuel Injection Characteristics upon HC Emission in SI Engines

Youngmin Woo^{*1)} · Choongsik Bae²⁾ · Tongwon Lee³⁾

¹⁾Graduate School, Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

³⁾Department of Automotive Engineering, Daecheon College, Chungnam 353-830, Korea

(Received 10 January 2002 / Accepted 30 January 2003)

Abstract : During cold operation, fuel injection in the intake port directly contributes to the unburned hydrocarbon formation in spark ignition engines. The relationship between injection parameters and HC emission behavior was investigated through a series of experiments. Spray behavior of port fuel injectors was characterized through a quantitative evaluation of mass concentration of liquid fuel by a patternator and PDA(Phase-Doppler Anemometer). A 6-hole injector was found to produce finer spray than single hole injector. Using a purpose-built wall, the wetted fuel was measured, which was mostly affected by wall temperature. HC emissions were measured in a production engine varying coolant temperature(20~80°C), also with respect to the different types of injectors. In the 6-hole injector application, the engine produced less HC emission in low coolant temperature region. Though it produces much more amount of wetting fuel, it has the advantages of finer atomization quality. In high coolant temperature region, there was little effect by different types of injectors. The control schemes to reduce HC emissions during cold start could be suggested from the findings that the amount of fuel supply and HC emission could be reduced by utilizing fine spray and high intake wall temperature.

Key words : HC(탄화수소), Wall wetting(벽면 점착), Cold start(냉시동), Spray pattern(분무 구조), Port fuel injection(포트 연료 분사)

1. 서론

냉시동 운전조건은 자동차 배출가스 규제에 대처하기 위해 HC 배출량을 중심으로 면밀히 검토되고 있는 중요한 연구 분야가 되었다. 촉매 기술의 발전으로 엔진 HC 배출량 저감이 상당한 성과를 거두고 있으나, 두 가지 측면으로 보여지는 기술상의 난점

이 여전히 존재한다. 우선, 촉매의 활성화 온도는 약 300°C로서 냉시동시에 도달하기 힘든 영역이 된다. 또한 냉시동시에는 흡기포트와 밸브, 실린더 온도가 낮기 때문에 연료 기화에 불리하다. 이를 극복하여 안정된 연소를 얻고 우수한 운전성을 보장하기 위해 농후한 혼합기를 사용하게 된다. 분사된 연료는 일부만 증발하고 상당량이 액막을 형성하여 흡입공기 유동을 따라 실린더 내로 이동하게 된다. 이

*To whom correspondence should be addressed.

peterwoo@mail.kaist.ac.kr

렇게 형성된 연료액막은 연소실 내에서 불균질한 혼합기 형성을 조장하게 되고 정확한 공기 연료비 제어를 어렵게 하는 요인으로 작용하게 된다.¹⁻⁴⁾

냉시동시 엔진에서 배출되는 HC의 직접적인 생성 요인으로는 틱새체적과 저온의 연소실 벽면에서의 소염현상, 연료의 유험유층 흡탈착, 실린더에 존재하는 연료액적, 배기밸브 누설 등이 지적되고 있다.¹⁻⁴⁾ 이 중에서 연료 액적이 실린더내로 유입되는 과정을 살펴보면, 폐밸브 분사(Closed-valve injection)의 경우 공기 유동에 수반한 유입의 효과보다는 밸브가 열려 있을 때 액막 형태로 직접유입되는 것과 밸브가 닫힐 때 연료를 스퀴즈(squeeze)하는 영향이 크다.²⁾ 또한, 냉시동시의 두 가지 가속모드 중 초기 고속으로 가속한 후 다시 아이들(idle) 속도로 감속할 때, 매니폴드내 공기압력이 떨어지면서 생기는 과도한 내부잔류가스는 혼합기를 희박하게 만들어 연소속도를 감소시키고 다량의 미연탄화수소를 배출하게 한다.⁵⁾ 현재 자동차에 적용되고 있는 SI 엔진의 연료공급계가 포트 연료 분사를 채택하고 있으므로 연료 분사가 이루어질 때에 포트나 밸브의 연료 증발 분위기는 혼합기 형성에 직접적인 영향을 준다.⁴⁾

본 연구에 선행하여 분무 액적의 크기와 분포, 타겟팅(targeting) 정확도 등의 연료 분사 특성이 엔진 운전에서 HC 배출에 미치는 영향이 저자들에 의해 발표된 바 있다.¹⁵⁾ 선행 HC 배출 연구에서는 연료 점착 실험장치(wetting test rig)에서 실험한 점착량 결과가 실엔진에서 이루어지고 있는 점착 현상과 매우 유사하다고 가정하였다. 그러나, 단공분사기(1 hole injector)에 비해 2공분사기(2 hole injector)는 포트 벽면에 타겟팅이 되어서 원래 분사기가 갖고 있는 분무특성을 잘 살리지 못하는 난점이 있다.

이에 본 연구에서는 SOHC엔진 전용 분사기 중에서 분무특성이 뚜렷이 대별되는 단공분사기와 6공분사기(6 hole injector)를 각각 적용하여 분무패턴 측정, PDA를 이용한 액적입경 및 속도 측정을 통하여 분무특성을 각각 규명하였다. 그 후 항온 충돌판 분무실험을 통하여 분사기별 벽면 연료 점착 특성을 파악하였으며, 이 결과를 엔진 배출가스 측정데이터에 적용하여 연료 점착량과 HC 배출량의 상관

관계를 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구는 분사특성 실험, 연료 점착 실험 그리고 엔진 실험을 통하여 연료 계통 요소 중에서 분사기의 분사특성이 엔진 HC 배출에 미치는 영향을 실험적으로 파악하고자 하였다.

2.1 분무특성 실험

실험대상 분사기에 대하여 각각의 분사된 연료의 공간 분포를 정량적으로 파악하기 위하여 Fig. 1과 같은 패턴네이터를 사용하였다.¹⁶⁾ 상판 연료수부는 4×4mm 크기의 셀이 20×20개로 이루어져 있으며 셀에 포집된 연료는 이송관을 통하여 계량용기까지 이송한 다음 연료무게를 계량하였다.

분무 미립화 특성을 살펴보기 위하여 각 분사기의 연료분무에 대해 연료 액적의 입경 및 속도를 측정하였다. 이를 위하여 도플러 위상차 유속계(PDA)를 사용하였는데 Fig. 2는 TSI사의 APV(Adaptive Phase-Doppler Velocimetry) 시스템을 나타낸 그림이다.

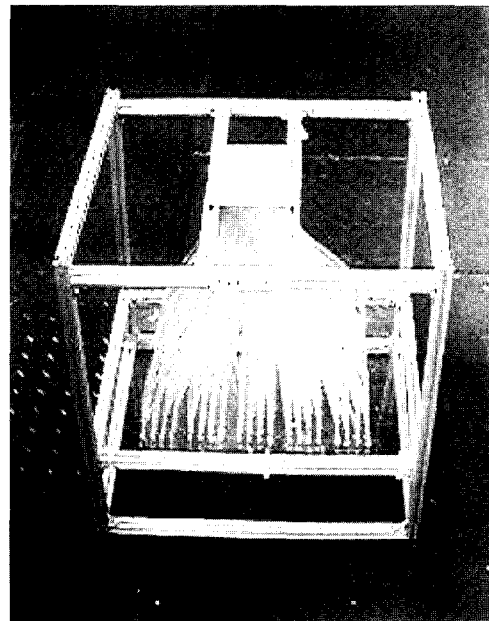


Fig. 1 Patternator

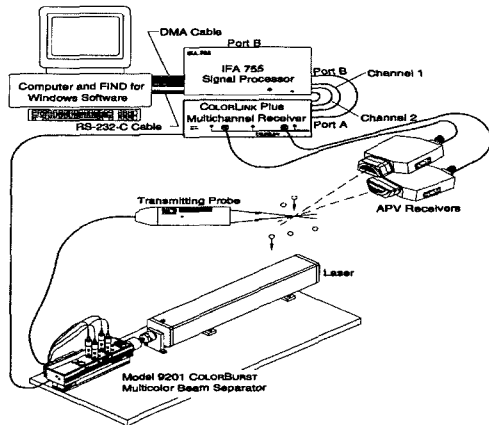


Fig. 2 APV system by TSI corporation

2.2 연료 점착 측정

포트 분사식 엔진에서 분사된 연료는 대부분 흡기 밸브 후면에 벽면충돌을 한다. 특히 냉시동시에는 주위 온도가 낮아 흡기 유동과 더불어 액막류 형태로 실린더로 이동하게 된다. 분무 형태에 따라 형성되는 연료 액막류를 정량적으로 평가하기 위해 Fig. 3과 같은 연료 점착 측정 실험장치를 구성하였다. 선행 연구에서 단공분사기와 2공분사기를 각각 적용하여 연료온도, 분사기간, 충돌판의 조도와 온도, 그리고 분사된 연료가 충돌판에 이르는 거리와 충돌 각도 조건을 바꾸면서 대기압 하에서 분사된 연료의 점착량 변화를 측정하였다. 그 결과 연료온도와 충돌판의 조도(roughness)는 점착량에 미치는 영향이 작으며, 충돌판에 이르는 거리가 증가함에 따라 점착량이 감소하였으며 충돌각도는 40° 이하(90°의 경우 연료가 충돌판에 수직 분사하는 경우

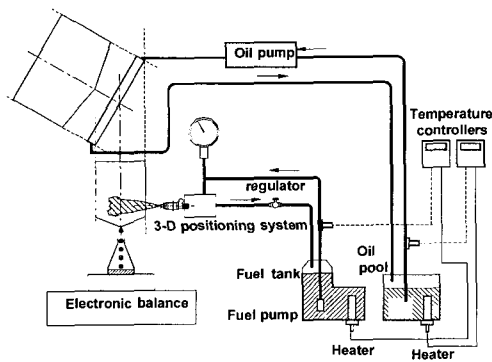


Fig. 3 Apparatus for wetting measurement

임)에서 점착량이 크게 늘어났다. 점착량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 벽면 온도이며 충돌판의 온도가 증가함에 따라 점착량이 감소하였다.¹⁵⁾ 본 실험에서는 단공분사기와 6공분사기를 각각 적용하여 충돌거리는 70mm, 충돌 각도는 90°로 고정하고 향은 충돌판에 연료를 분사하고 벽면 온도를 변화시키면서 점착 연료량을 측정하였다.

2.3 엔진 실험

실험에 사용된 엔진은 3기통 796cc SOHC 가솔린 엔진이며 냉시동 조건을 모사하기 위하여 냉각수 온도를 30~80℃로 변화시키면서 실험하였다. 단공분사기와 6공분사기의 경우에 같은 조건의 연료량을 맞추기 위하여 시간지연 펄스 발생장치(delay generator)와 분사기 구동회로를 Fig. 4와 같이 구성하였다. 배기매니폴드에 샘플링 라인(sampling line)을 연결하여 배출가스를 측정하고 UEGO 센서(Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor)를 이용하여 공기 연료비를 측정하였다.

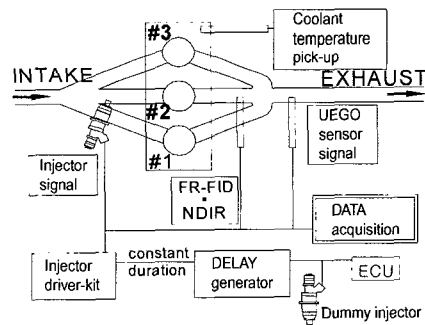


Fig. 4 HC measurement system

3. 실험결과 및 해석

3.1 분무 특성

분무패턴 파악을 통한 단공분사기와 6공분사기 분무특성 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다. 단공분사기의 경우는 연료는 두개의 셀에 집중되어 있고 6공분사기의 경우는 5×5의 25개 셀이 넓게 분포하고 있다. 6공분사기의 패턴결과는 액주 특성의 단공분사기와 상당히 대별되는 결과를 보여준다. 즉, 단공분사기의 경우에는 미립화 성능은 별로 고려되지

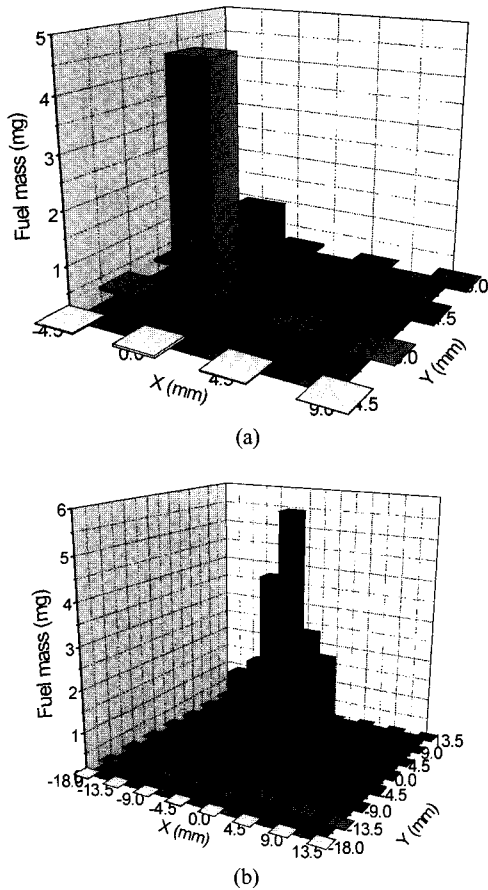


Fig. 5 Fuel mass concentration from (a) 1 hole, (b) 6 hole injectors

않고 밸브 타겟팅을 우선적으로 고려한 것으로 볼 수 있다. 이에 반하여 6공분사기가 미립화 성능이 더 우수하다고 예측할 수 있다.

Figs. 6과 7에는 PDA를 사용하여 측정된 입경, 속도 데이터와 입경별 확률밀도함수 분포를 나타내었다. 이 확률밀도값은 시간과 공간에 따라 측정되는 입경 데이터를 모두 더해서 각각의 입경이 전체에서 얼마나 존재하는지를 보여주는 값이다. 단공분사기의 경우 100-120 μm 에 집중하고 있고 6공분사기의 경우는 80-120 μm 의 좀더 넓은 분포를 가진다. 평균입경 SMD를 보면 각각 107.09 및 99.92 μm 이다.

SMD가 작다는 것은 그만큼 열 및 물질 전달에 유리함을 나타내는데 즉, 단공분사기의 경우 6공분사기보다 증발하는데 더 불리하게 작용할 것으로 보인다. 물론, 낮은 온도에서 연료 점착이 발생할 경우

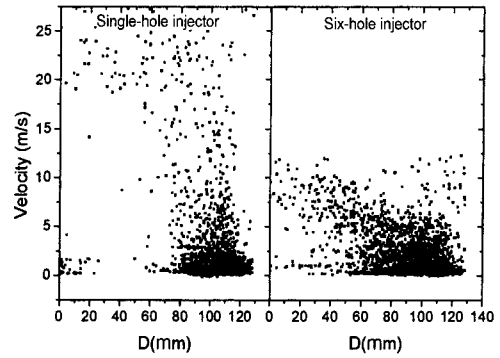


Fig. 6 Size and velocity of fuel droplets

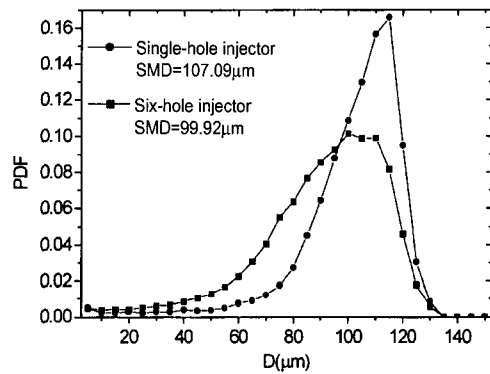


Fig. 7 PDF with respect to droplet size

SMD가 작으면 연료를 더 쉽게 점착하게 한다. 이것은 SMD가 작은 경우가 분무각이 크고 결과적으로 점착면적이 증가하는 이유이다.¹⁵⁾ 그럼에도 불구하고 기존 폐밸브 분사 방식에서 미립화보다는 분무 타겟팅을 우선적으로 고려한 경우를 볼 수 있는데 SMD가 작다는 것이 HC 저감에 이득이 없다고 볼 수 있는가는 더 면밀한 검토가 필요하다.

3.2 Wetting 특성

분무된 액적의 점착 특성이 HC배출에 직접적인 영향이 있다는 가정 하에서는 연료의 점착량은 엔진HC 배출량을 대변하게 된다. 실제 엔진에서 발생하는 연료 점착량에 더 가까운 값을 얻기 위하여 점착 연료량 분석방법을 개선하고자 하였다. 우선적으로, 냉각수 온도와 밸브후면(흡기포트 면)의 온도 사이에 존재하는 괴리는 치명적인 약점이었다. 따라서, 밸브후면 온도를 측정하고 점착 연료량을 측정하는데 벽면온도로 사용하였다.

밸브후면의 온도는 시동 초기 수십 초 동안 급격히 상승하고 이후 냉각수 온도 곡선의 증가율에 비례하여 증가한다.¹⁷⁾ 밸브후면의 온도를 측정하기 위해서 밸브 후면에 열전대가 들어갈 홈을 파고, 여기에 비드(bead)의 크기가 약 0.2mm인 열전대(K-type)를 삽입하여 은납땜을 하였다.¹⁷⁻²⁰⁾ 또한 밸브가 엔진 운전 시에 고속으로 왕복운동을 할 뿐만 아니라 운전조건에 따라서 회전하기 때문에 열전대의 리드선을 밸브 스템에 넉넉하게 감고 밸브 스템으로부터 분리함으로써 이러한 밸브 운동 시에도 밸브 후면의 은납땜을 한 부위가 받는 힘을 최소화했다. 이후 열전대의 리드선은 포트 내에서 매니폴드를 통해 엔진 밖으로 뽑아내었다.

Fig. 8에 냉각수 온도에 따른 밸브후면 온도를 측정된 결과를 나타내었다. 냉각수 온도 25~80 °C에 대하여 70~125 °C의 분포를 갖는 것으로 나타났다. 단순히 벽면온도를 냉각수 온도라고 가정한다면 40~50°C정도의 온도차이가 존재하게 될 것이다. 이 온도 범위를 포함하는 벽면온도에 대하여 분사량을 바꾸어가며 점착 연료량을 측정하였다. 이는 분사량에 대한 전체 점착 효과로부터 내삽하여 해당 분사량에 대한 연료점착량을 정확하게 구하기 위해서이다. 전체 분사량에 대한 연료 점착량의 비(Wetted fuel mass ratio)를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9를 살펴 보면 6공분사기의 경우가 단공분사기에 비하여 두 배 정도 점착량이 크다. 이것은 앞서 PDA를 통한 분무 액적의 특성으로부터 설명할 수 있다. 단공분사기의 경우 액적의 크기가 크고 동시에 액적의 속도도 큰 것으로 나타났다. 그러나, 6공

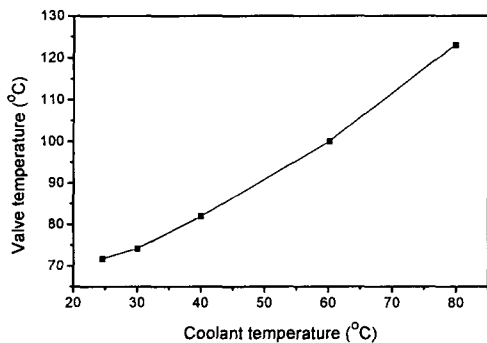


Fig. 8 Valve back surface temperature according to coolant temperature

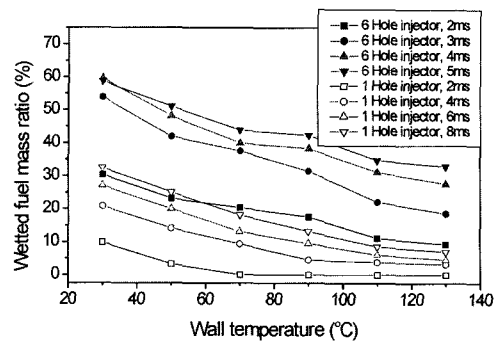


Fig. 9 Wetted fuel mass with respect to the injection amount and wall temperature

분사기의 경우 상대적으로 액적의 크기가 작고 속도가 작기 때문에 운동량이 크지 않으며 공간적 분산이 크므로 밸브면과의 접촉면적이 넓어서 점착량이 더 증가할 수 있다는 것을 의미한다. 충돌 후에 다시 반발할 만큼 운동량이 충분히 큰 경우가 그렇지 않은 경우보다 점착량이 줄어들기 때문이다. 이러한 연료 점착량의 증가는 공기연료비 감소와 액적 잔존 및 HC배출량 저감에도 나쁜 영향을 끼칠 수 있다.

3.3 Engine HC 배출특성

흡기계 내에서 분사기에 따른 분무특성은 연소실 내에서 공기 연료비가 어떻게 달라지는가에 영향을 준다. 즉, 엔진 운전 조건을 고정하고 같은 양의 연료를 공급하더라도 분무특성이 다를 경우에는 연료 점착량이 달라지고 이에 따라 실린더내 공기 연료비가 달라진다. 분무특성에 따른 실린더 내 공기 연료비의 영향을 살펴보기 위하여 두 가지 실험을 수행하였는데 각각 (1) 일정한 양의 연료를 단공분사기와 6공분사기에 적용하여 공기 연료비를 측정하는 실험과 (2) 배기가스 분석을 통하여 얻어진 공기 연료비를 일정하게 하고 거꾸로 분사된 연료량을 측정하는 실험이다. (1)번 실험의 경우 공기 연료비 결과로부터 흡기계와 연소실에서 공기 연료비 변화를 파악하여 어떠한 분무특성이 더 적은 HC를 배출하는데 유리한지를 파악할 수 있다. 그리고, (2)번 실험으로 가장 적은 HC를 두 가지 분사기에 대하여 측정함으로써 실험엔진에서 유리한 결과를 도출해

낼 수 있다. 이 두 가지 실험을 냉시동을 포함하는 냉각수 온도 30~80°C 영역에 대하여 진행하였다.

(1), (2)번 실험에 대한 결과를 Fig. 10(a), (b)에 각각 나타내었다. 동일한 엔진 운전 조건에서 단공분사기에 해당하는 이론 공기 연료비의 연료를 단공분사기와 6공분사기에 각각 공급하였을 때 배기가스 중 HC 농도를 Fig. 10(a)에 나타내었다. 그리고, 배기가스 분석을 통하여 얻은 공기 연료비를 이론 공기 연료비에 맞추었을 때 HC 배출량을 측정하여 Fig. 10(b)에 나타내었다.

우선, Fig. 10(b)를 살펴보면 6공분사기가 30, 40, 60°C에서 500ppm 정도 HC 배출량이 더 적었다. 그러나, 80°C에서는 상황이 역전되어 200ppm 정도 증가하여 단공분사기가 더 적었다. 즉, 연소실 내에서 일정한 공기 연료비가 된다는 가정을 하면 고온 영역에서는 분사기에 따른 분무특성의 영향이 작지만 저온에서는 상대적인 분무특성의 영향이 크게 나타

난다는 사실을 알 수 있었다.

그리고, Fig. 10(a)에서는 연소실내에서 단일한 공기 연료비를 얻을 수 없었다. 이것은 같은 양의 연료를 강제함으로써 분무특성에 따라 연소실내 공기 연료비가 영향을 받았기 때문이다. Fig. 10의 결과를 보면 6공분사기의 경우 단공분사기의 경우보다 HC 배출량이 5000ppm 이상 더 많이 배출되었고 warming-up 상태에 해당하는 전 온도조건에서 6공분사기의 경우가 두 배 이상 HC 배출량이 많았다.

(1), (2)번 실험 결과로부터 분무특성에 따라 연소실내에서 공기 연료비 조성이 달라지며, 결과적으로 전 온도 영역에 대하여 6공분사기가 단공분사기보다 같은 양의 연료로도 훨씬 농후한 혼합기를 만들어 낸다는 것을 의미한다. 연료 분사량을 6공분사기에 맞추었을 경우에는 더 적은 HC 배출량을 기대할 수 있을 것이다.

HC 배출특성 분석의 한가지 방법으로 엔진에서 분사된 연료 가운데 점착량을 분석함으로써 점착량과 HC 배출량의 상관관계를 규명하고자 하였다. 실제 엔진에서 점착량은 계산이나 측정이 어려워 직접 할 수 없었고 각 온도 조건에서 연료 점착 실험에서 구한 분사량과 점착 연료량 상호관계를 가지고 엔진에서 분사된 연료량 가운데 점착량에 해당하는 양을 역으로 추론하는 방법을 적용할 수 있다. 점착 연료량 측정 실험장치를 통해 측정된 양이 실엔진에서 이루어지는 점착 조건에 얼마나 추종할 것인가를 알아내기 위해 먼저 분사된 연료가 벽면에 이르는 공간적 구조(각도, 거리)와 점착 연료량의 관계를 살펴보았다. 각도의 경우 40~90° 영역에서 별로 영향이 없으며, 거리의 경우 30~90mm 영역에서 0.63~0.45mg의 차이를 보인다.¹⁵⁾ 본 연구에서 적용한 두 가지 분사기가 밸브후면에 타겟팅되어 있으므로 분사된 연료가 70mm 떨어진 벽면에 수직으로 충돌하는 실험만으로 실제 엔진 흡기포트에서 점착 연료량을 평가하기에 충분하리라고 생각한다.

Fig. 11의 막대그래프는 공급된 연료량과 유효 연료량(fuel utilized)을 나타낸 것이다. 유효 연료량은 공급된 연료량에서 점착량 추정값을 뺀 값으로 정의하였다. 분사된 연료의 점착량은 Fig. 11의 막대그래프에서 흰색부분으로 나타내었다. 이러한 연료

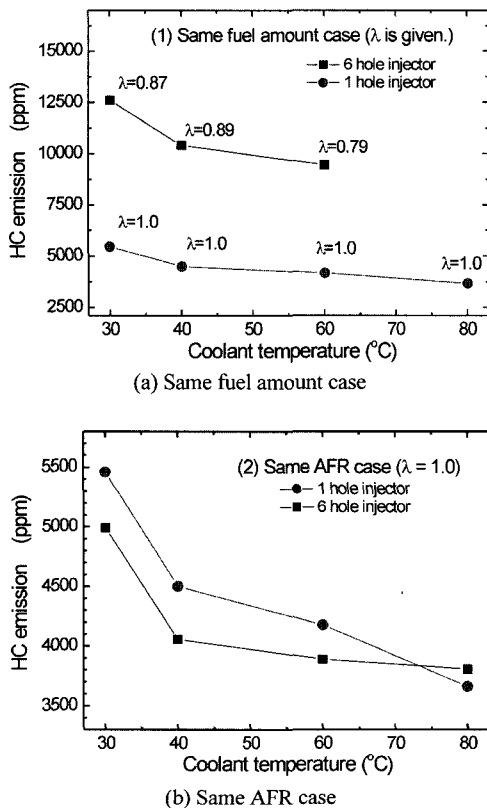


Fig. 10 HC emission with respect to coolant temperature for single hole and 6 hole injectors

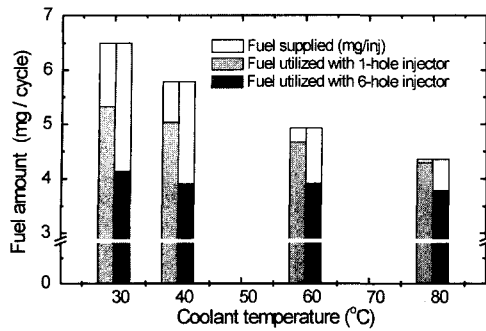


Fig. 11 Injection amount and estimated wetted fuel amount with respect to coolant temperature

점착량 추정값은 연료 점착 특성 실험에서 살펴본 결과와 마찬가지로 6공분사기의 점착량이 단공분사기에 비하여 약 두 배 많았다. HC 배출량과 연관 지어서 생각한다면 점착 연료량이 두 배이므로 HC 배출량도 두 배 증가하여 점착 연료량이 HC 배출량과 강한 선형 관계가 있는 것으로 보여질 수 있다. 그러나, Fig. 10(b)에서 (2)번 엔진실험의 결과를 살펴보면, 6공분사기의 경우가 80°C를 제외한 나머지 영역에서 더 적은 양의 HC 가스를 배출하였다. 그러하다면, HC 배출량은 연료의 점착량과는 직접적인 상관관계가 없다고 할 수 있다. 연료가 점착된 양이 많다고 해서 연소실내 공기 연료비가 희박해진다는 것은 아니다. (1)번 실험결과에서 점착 연료량이 많은 6공분사기의 경우에 공기 연료비가 더 농후하다. 연료의 점착량이 많더라도 실린더로 직접 들어가기 까지 시간적 여유가 존재하며 결과적으로 증발률 향상이 이루어지면서 정상상태에서는 공기 연료비를 더 농후하게 만드는 것이다.

요약하면 혼합기 형성에 있어서 저온의 엔진상태에서는 미립화가 더 우수한 분사기가 더 유리하고, 고온상태에서는 그다지 차이가 없다. 저온영역의 증발 분위기 조건을 고려한다면, 미립화로 인한 점착 연료량 증가는 시간적인 여유 증가로 증발률 향상의 이득이 있다.

4. 결론

본 연구에서는 SI엔진에서 포트 연료 분사특성이 HC 배출에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하고자 하였다. 분무특성과 연료 점착 특성 그

리고 HC 배출가스를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 패터네이터를 이용하여 분사기에 따른 분무 액적의 공간적인 분포를 측정하였다. 그 결과 6공분사기가 단공분사기보다 연료의 공간적 분산이 큰 것으로 나타났다.

2) PDA 장비를 이용하여 연료 액적의 입경별 수 밀도와 속도분포를 획득하여 분사기에 따른 분무특성을 관찰한 결과 6공분사기가 단공분사기보다 미립화 성능이 우수하였다.

3) 벽면에 수직분사가 이루어지는 경우 공간적 분산이 크면 점착 면적의 증가에 따라 점착량이 증가한다. 또한, 분무장의 속도가 작고 액적의 크기가 작은 경우 충돌 후 반발 운동량이 작아서 점착량이 증가한다.

4) 6공분사기의 경우 단공분사기의 경우보다 미립화 성능이 뛰어났으며 엔진에 적용할 경우 저온 분위기에서 HC 배출량이 더 적었다.

5) 폐밸브 분사 조건에서 HC 배출량은 연료의 포트 내 점착량과는 직접적인 상관관계가 없다.

6) 냉시동과 같은 저온 분위기에서는 타겟팅 성능과 미립화 성능을 함께 고려하는 것이 HC 배출가스 저감에 유리하다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실사업(NRL)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

References

- 1) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.
- 2) R. Meyer, J. B. Heywood, "Effect of Engine and Fuel Variables on Liquid Fuel Transport into the Cylinder in Port-Injected SI Engines," SAE 1999-01-0563, 1999.
- 3) Fulcher, Gajdeczko, Felton, Bracco, "The Effects of Fuel Atomization, Vaporization, and Mixing on the Cold-Start UHC Emissions of a Contemporary S.I. Engine with Intake-Mani-

- fold Injection,” SAE 952482, 1995.
- 4) K. Takeda, T. Yaegashi, K. Sekiguchi, K. Saito, N. Imatake, “Mixture Preparation and HC Emissions of a 4-Valve Engine with Port Fuel Injection During Cold Starting and Warm-up,” SAE 950074, 1995.
 - 5) Henein, Tagomori, Yassine, Asmus, Thomas, Hartman, “Cycle-by-cycle Analysis of HC Emissions During Cold Start of Gasoline Engines,” SAE 952402, 1995.
 - 6) N. Imatake, K. Saito, S. Morishima, S. Kudo, A. Ohhata, “Quantitative Analysis of Fuel Behavior in Port-Injection Gasoline Engines,” SAE 971639, 1997.
 - 7) Luan, Henein, “Contribution of Cold and Hot Start Transients in Engine-out HC Emissions,” SAE 982645, 1998.
 - 8) K. Saito, K. Sekiguchi, N. Imatake, K. Takeda, T. Yaegashi, “A New Method to Analyze Fuel Behavior in a Spark Ignition Engine,” SAE 950044, 1995.
 - 9) F. Zhao, M. Lai, D.L. Harrington, “The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection-A Critical Review,” SAE 950506, 1995.
 - 10) K. Horie, H. Takahasi, S. Akazaki, “Emissions Reduction During Warm-Up Period by Incorporating a Wall-Wetting Fuel Model on the Fuel Injection Strategy During Engine Starting,” SAE 952478, 1995.
 - 11) E. W. Kaiser, W. O. Siegl, G. P. Lawson, F. T. Connolly, C. F. Cramer, K. L. Dobbins, P. W. Roth, M. Smokovitz, “Effect of Fuel Preparation on Cold-Start Hydrocarbon Emissions from a Spark-Ignited Engine,” SAE 961957, 1996.
 - 12) G. J. Yoon, “Developing Trend on the Gasoline ULEV Technology,” Journal of KSAE Vol.20, No.2, pp.26-35, 1998.
 - 13) H. J. Nuglish, S. Nally, “Atomization versus Targeting for Port Fuel Injectors : A Unresolvable Conflict,” 7th ICLASS, Seoul, 1997.
 - 14) F. Zimmermann, J. Bright, W. Ren, B. Imohl, “An Internally Heated Tip Injector to Reduce HC Emissions During Cold-Start,” SAE 1999-01-0792, 1999.
 - 15) Y. M. Woo, Y. P. Lee, C. S. Bae, “An Experimental Study on the Effect of Port Fuel Injection Characteristics upon HC Emission at Cold Start Condition,” Autumn Conference of KSAE, pp.22-27, 1999.
 - 16) L. W. Evers, P. M. Tampas, R. L. Whipple, M. W. Fried, “An Automated Patternator for Fuel Injector Sprays,” SAE 960108, 1996.
 - 17) J. McGee, E. Curtis, S. Russ, G. Lavoie, “The Effects of Port Fuel Injection Timing and Targeting on Fuel Preparation Relative to a Pre-Vaporized System,” SAE 2000-01-2834, 2000.
 - 18) S. Park, J. Lee, Y. Shin, “Effect of Fuel Evaporation from the Intake Valve Surface on the Mixture Preparation,” The Third ASPCC, June 24-27, Seoul, Korea, 2001.
 - 19) J. Cowart, W. Cheng, “Intake Valve Thermal Behavior During Steady-State and Transient Engine Operation,” SAE 1999-01-3643, 1999.
 - 20) A.C. Alkidas, “Intake-Valve Temperature and the Factors Affecting It,” SAE 971729, 1997.