

바이오-에탄올연료 및 분사방식에 따른 엔진 나노입자 배출 특성

이진욱^{*1)} · Rishin Patel²⁾ · Nicos Ladommatos²⁾

승실대학교 기계공학과¹⁾ · 런던대학교(UCL) 기계공학과²⁾

Emission Characteristics of Nano-sized Particles in Bio-ethanol Fuelled Engine with Different Injection Type

Jinwook Lee^{*1)} · Rishin Patel²⁾ · Nicos Ladommatos²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, University College London, London, WC1E 7JE, U.K.

(Received 24 September 2008 / Accepted 1 December 2008)

Abstract : As an experiment investigation, the effects of ethanol blended gasoline fuel with different injection method on nano-sized particle emission characteristics were examined in a 0.5L spark-ignited single-cylinder engine with a compression ratio of 10. Because this engine nano-particles are currently attracting interest due to its adverse health effects and their impact on the environments. So a pure gasoline and an ethanol blended gasoline fuels, namely E85 fuel, used for this study. And, as a particle measuring instrument, a fast-response particle spectrometer (DMS 500) with heated sample line was used for continuous measurement of the particle size and number distribution in the size range of 5 to 1000nm (aerodynamic diameter). As this research results, we found that the effect of ethanol blending gasoline caused drastic decrease of nano-particle emissions when port fuel injection was used for making better air-fuel mixture than direct fuel injection. Also injection timing, specially direct fuel injection, could be a dominant factor in controlling the exhaust particle emissions.

Key words : Port fuel injection(포트연료분사), Direct fuel injection(직접연료분사), Bio-ethanol blended gasoline fuel(바이오 에탄올-가솔린 혼합연료), Engine nano-sized particle(엔진 극미세입자), Particle number density(입자 개수농도), DMS(Differential Mobility Spectrometer)

1. 서론

대기 중에 배출되는 자동차 유해물질 가운데 이산화탄소(CO₂)의 배출량 규제에 있어서 전기점화 방식의 엔진의 경우, 청정 대체연료 사용 및 직접 분사 방식 채택 등을 통해 보다 효과적으로 이의 저감을 도모하고 있다. 현재 대부분의 전기점화엔진에 사용 중인 흡기포트내 분사방식은 예전의 기화기 방식보다 응답성과 정확한 연료량 제어 측면에 있어 많이 향상되었다. 하지만 이산화탄소 배출에 있

어 매우 유리한 압축착화방식 엔진처럼 연소실내 직접 연료를 분사하는 것이 아니기에, 이의 적용을 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.^{1,2)} 이를 통해 궁극적으로 연소에 필요한 연료의 절대량을 최대한 줄여, 보다 희박한 공연비 조건에서 연소가 발생되도록 고압 연료 분사와 연소실 최적화 구현이 핵심 사항이다. 그러나 이러한 직접 분사방식의 경우, 고압으로 분사되는 연료의 분무 입자가 매우 미소한 탄소 입자 형태를 기본으로 해서, 주위에는 연료가 연소되는 과정에서 발생한 유기물이 부착된 극미세 입자(nano-particle)로 배출되고 있어, 최근 새로운

*Corresponding author, E-mail: immanuel@ssu.ac.kr

대기오염 물질로서 주목을 받고 있다.³⁾ 즉 현재 규제대상이 되고 있는 입자상물질(PM, particulate matters)을 Fig. 1과 같이 입자크기와 개수로 구분해보면, 이 극미세입자가 대부분을 차지하고 있다. 또한 이 극미세입자의 중량은 매우 작기 때문에 대기를 통해 인체로 유입시, 매우 악영향을 미칠 것으로 분석되고 있다.⁴⁾

이 연료 분사방식과 더불어 사용되는 탄화수소계 연료의 종류에 따라 유해물질의 배출 수준은 현저한 차이가 있다. 왜냐하면 수소와 탄소의 원자비가 높은 연료를 열에너지원으로 사용할수록 저공해형 청정연소에 매우 유리하기 때문이다. 특히 1970년대 후반 석유과동부터 옥탄가 등 연료성분이 휘발유와 유사한 바이오 에탄올(바이오매스를 원료로 하여 제조된 에탄올)은 청정 대체연료로서 가솔린과 혼합하여 많이 사용 중에 있다. 즉, 일정량 이내의 에탄올 혼합시에는 연료계통 부식에 대비하면 기존 가솔린 엔진의 개조 없이 그대로 사용할 수 있는 장점이 있으며, 특히 옥탄가의 향상이 가능하기에 엔진연소시 노킹현상을 미연에 방지할 수 있는 등의 자동차 성능 및 유해 배출물 저감에 매우 효과적이다. 따라서 이미 국내 뿐만 아니라 미국, 브라질, 프랑스 등 국외에서는 이미 이에 대한 연구를 진행하고 있으나, 실제 이 청정연료의 사용에 있어서 분사방식별로 향후 규제물질이 될 극미세입자의 배출 특성에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

주로 기존 연구에서는 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 출력 성능과 배기성능에 대한 비교 분석을 통해 바이오 에탄올의 청정성과 더불어 아세트알데히드의 배출량에 대한 연구결과를 제시하고 있

다.⁵⁾ 또한 바이오디젤의 저온 유동성 향상을 위해 에탄올을 혼입함으로써, 바이오디젤의 실용적 보급에 대비한 연구도 수행하였다.^{6,7)} 이를 통해 재생가능에너지이며, 카본중립(carbon-neutral)연료로써 바이오디젤과 바이오 에탄올 연료의 복합적인 사용 가능성을 제시하였다.

이러한 연구배경을 가지고 본 연구에서는 엔진 출력성능 및 배기성능에 영향을 미치는 직접 분사방식과 포트 분사방식이 청정 대체연료인 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료 사용 엔진의 주요 작동 조건하에서 극미세입자의 배출특성에 미치는 영향을 비교 분석하고자 함이 주된 목적이다. 이를 위해 에너지환경 정책측면에서, 지구온난화 억제를 위해 시급한 CO₂배출량 규제 뿐만 아니라 탈 석유에너지 정책의 일환인 85% 바이오 에탄올이 가솔린에 혼합된 연료(이하 E85)⁸⁾를 사용하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 분사방식에 따른 극미세입자 배출 특성을 실험적으로 해석하기 위해, 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 4밸브, 팬트루프형 연소실(직경 88mm, 행정 82.1mm)을 가지는 배기량 500cc, 압축비 10인 단기통 전기점화엔진을 EC75kW 동력계에 연결하여 다양한 엔진운전조건(엔진회전속도와 토크)에 따른 각 실험인자들의 영향을 살펴보았다. 본 연구의 가장 중요한 실험인자인 2가지 분사방식중에서 먼저 흡기포트내 연료분사(이하 PFI)를 위해 사용한 인젝터는 상부 연료공급을 통해 6개 분사공으로 연료를 분사시킨다. 그리고 연소실내 연료를 직접 분사(이하 DI)하기 위해서 점화플러그를 향해 10도 경사진 채, 연소실 중앙에 고압 인젝터를 별도로 설치하였다. 이들 인젝터의 최대 연료분사압력, 점화시기 그리고 흡·배기밸브의 개폐시기를 Table 1에 나타내었다.

또한 연료소모량을 측정하기 위해 정상상태(150초) 엔진구동조건에서 소모된 연료중량을 계측(AVL733)하였고, 공연비센서(ECM AFR analyzer)와 점화플러그에 압전형 압력센서를 사용하여 공연비 제어와 연소압력을 통한 연소안정성을 실험동안

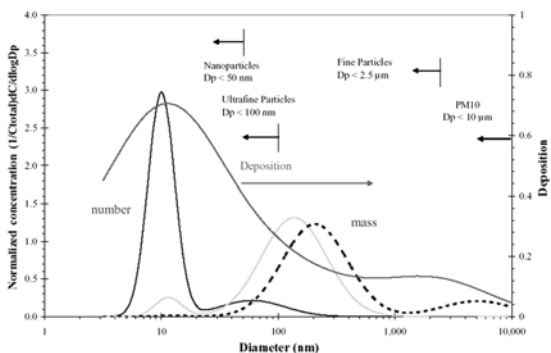




Fig. 1 Number and size distributions of engine nano- particle

Table 1 Specification of main components for engine running

| | | |
|-----------------|---|-----------------|
| Injection | PFI  | 3.5bar |
| | DI  | 120 bar |
| Ignition timing | MBT (Minimum spark advanced for Best Torque) | |
| Valve timing | IVO : 15CAD BTDC IVC : 45CAD ABDC EVO : 45CAD BBDC EVC : 15CAD ATDC | 240CAD duration |
| Valve lift | 9.1mm (Intake and Exhaust V/V) | |

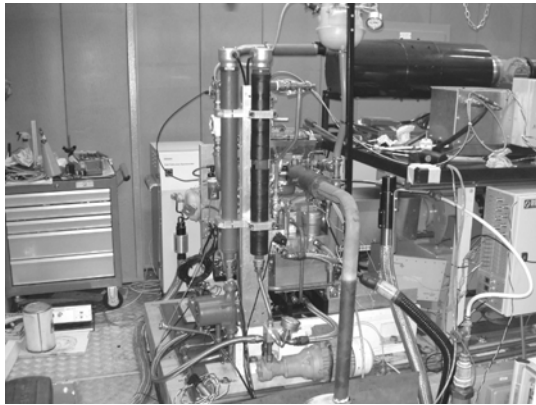


Fig. 2 Experimental engine set-up

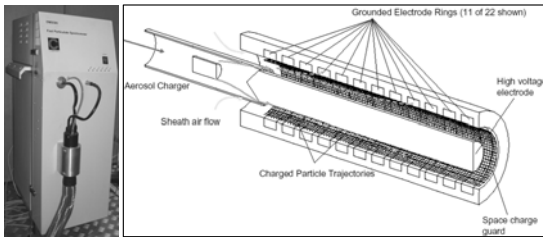


Fig. 3 DMS 500 system for measuring the engine particles

에 과약하였다. 특히 각 실험인자별로 순수 엔진연소에 의한 유해배출가스 특성을 비교하고자 삼원촉매장치의 사용을 배제하였다.

그리고 본 연구에서는 배기매니폴드로부터 250 mm 하류지점에서 유해 배출가스 측정과 함께 동일 지점에서 별도로 극미세입자 측정을 위해 DMS500 (Differential Mobility Spectrometer) 시스템을 사용하였다. Fig. 3에서 보듯이 이 시스템은 Fast Particulate Spectrometer의 일종으로, 입자 직경 5nm에서 1000 nm까지의 극미세입자를 실시간으로 분석할 수 있

는 특징이 있다. 이 극미세입자를 정확히 계측하기 위해, 먼저 배기관으로부터 일정 배기유량을 진공 펌프를 통해 흡입하며, 흡입된 샘플유량내 1μm 이상 입자는 사이클론을 통해 제거된 후, 휘발성 입자 제거장치를 거친 1차(회석비 4:1)회석장치와 2차(회석비 10:1)회석장치를 통해 미세 크기의 고체상 입자만이 Fig. 3의 Aerosol Charger로 들어오게 된다. 이후, 코로나방전을 통해 대전된 입자는 원통형의 균일한 전극채널을 따라 각 입자의 전기적 이동 (electrical mobility) 특성 (전하량, 유동저항)에 의해 입자크기가 분류되게 된다.

2.2 실험방법

산소함유율과 옥탄가 그리고 증발잠열이 상대적으로 높은 순수 바이오 에탄올 연료를 전기점화엔진에 사용할 경우, 부식성이 다른 연료보다 높아 연료 공급계통인 배관류와 주 연료분사 장치인 인젝터의 내마모성을 향상시킬 필요가 있다. 특히 상대적으로 적은 발열량과 함께 낮은 비점으로 인한 저운 시동성을 감안하여, 본 연구에서는 Table 2와 같은 물성치를 가지는 FFV(flexible fuel vehicle)용 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료인 E85연료를 사용하여 기존 가솔린연료와 비교해서 실험하였다.

엔진회전속도 1500, 3500rpm에서 각 회전속도내 3가지 부하영역별로 엔진출력을 제어하였다. 그리고 2가지 연료에 따라 점화시기는 MBT로 일정하게끔 설정하였으며,⁹⁾ 흡입공기온도와 엔진냉각수온도는 각각 25°C와 80°C를 유지하도록 하였다. 공기

Table 2 Properties of gasoline and bio-ethanol fuels

| | Gasoline | E85 | Ethanol |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|
| Chemical formula | C _n H _{1.87n} | - | C ₂ H ₅ OH |
| Carbon (% wt) | 85 | 57 | 52 |
| Hydrogen (% wt) | 15 | 13.5 | 13 |
| Oxygen (% wt) | 0 | 30 | 35 |
| Density (kg/L at 20°C) | 0.732 | 0.783 | 0.792 |
| Boiling point (°C) | 30-230 | - | 78.3 |
| Octane Number | 86-96 | 105 | 98-110 |
| A/F ratio (by volume) | 14.7 | 9.86 | 9 |
| LHV (MJ/kg) | 43.8 | 29.2 | 26.7 |
| Auto-ignition temp. (°C) | 257 | - | 423 |
| Latent heat of vap. (kJ/kg) | 289 | - | 854 |

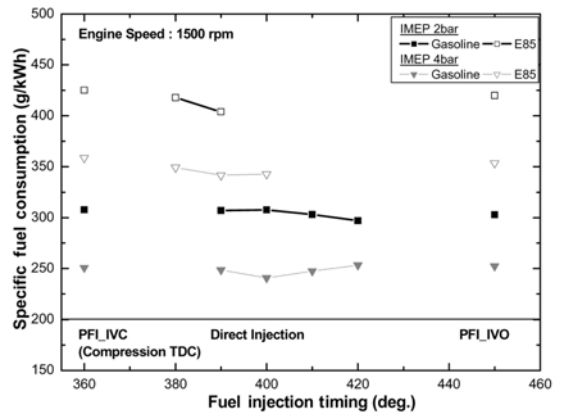
Table 3 Experimental condition

| | | |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| Test fuel | Gasoline, E85 | |
| Engine speed (rpm) | 1500, 3500 | |
| Excess air ratio (λ) | 1 | |
| Injection timing (CAD) | PFI | 압축TDC |
| | | 흡입ATDC 90 |
| | DI | 370~420 |
| Coolant water temp. (°C) | 80 | |

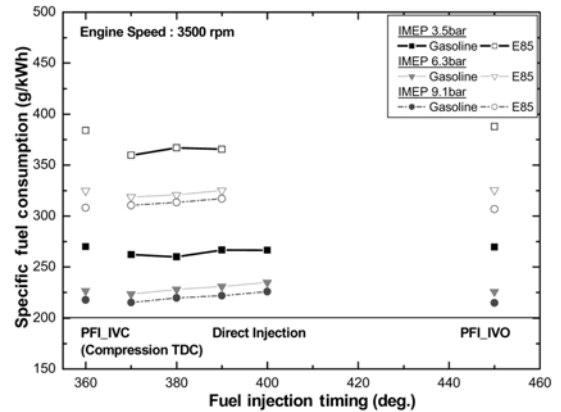
과잉률은 엔진부하상태에 관계없이 $\lambda=1$ (이론공연비)로 고정하였다. 또한 PFI의 경우, 연료분사시기는 흡기밸브가 닫혀 있는 동안 흡기밸브의 후면에 연료를 분사하기 위해 압축 TDC시기(이하 PFI_IVC)와 흡기밸브가 열려 있는 동안에 분사하기 위한 흡입 TDC후 45 CAD시기(open valve timing, 이하 PFI_IVO)를 설정하였다. 반면에 DI의 경우, 흡입행정내 370~420 CAD범위로 분사시기를 변화시켜 가솔린 및 E85 연료의 연소특성에 따른 극미세입자 배출 특성을 비교 분석하였다. Table 3은 본 연구에 적용된 실험조건을 요약해서 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

에탄올 혼합연료를 이론공연비 제어할 경우,⁸⁾ 에탄올의 함유량이 많아질수록 발열량은 감소되지만(순수에탄올의 발열량은 가솔린 대비 60.958%), 이때 공급된 연료를 완전 연소하기 위한 순수에탄올의 이론공기량도 가솔린에 비해 61.225% 정도만 필요하다. 따라서 동일 체적의 실린더내 연료를 공급할 경우, 약 1.63배만큼 더 많은 연료를 공급할 수 있어, 궁극적으로 에탄올 혼합연료는 기존 가솔린연료와 비슷한 공급열량을 유지하면서 거의 동일한 엔진출력을 유지할 수 있다. Fig. 4는 2가지 가솔린-에탄올 혼합연료(E85)와 가솔린에 대하여 공연비 1, MBT 점화시기 그리고 연료분사방식과 연료분사시기 변화에 따른 연료소비율의 변화를 나타낸 것이다. E85연료의 경우, 낮은 발열량으로 인해 분사기간이 증가하여 전 엔진속도범위에서 연료소비율이 가솔린연료보다 평균 35% 증가하였다. 이러한 증가는 동일 엔진속도내 엔진부하보다는 엔진속도의 증가에 따라 보다 큰 차이를 보인다. 또한 흡입행정 동안에 분사하는 DI와 PFI_IVO의 경우, 분사된 연료



(a) 1500rpm

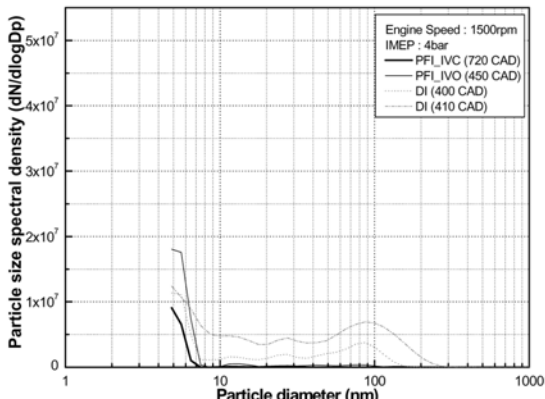


(b) 3500rpm

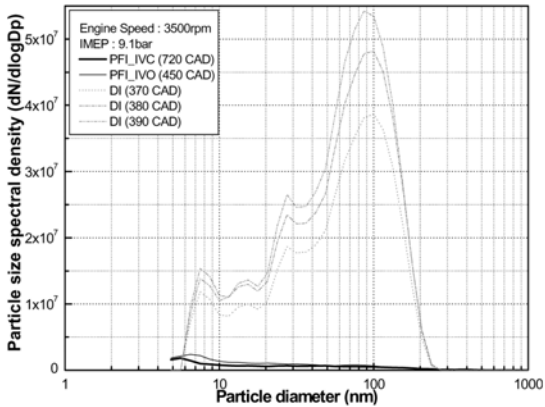
Fig. 4 Effect of injection type and timing on specific fuel consumption with gasoline and E85 fuels

는 연소실내의 압력이 낮아 연소실내에서 균일하게 흡입된 공기와 혼합되어 확산될 수 있기 때문에(균일 혼합), 엔진부하가 증가(공기량 증대)할수록 향상된 체적 효율에 의해 낮은 연료소비율 특성을 보인다. 이는 사용 연료보다는 분사방식 특성에 기인하는 것으로, E85와 가솔린연료에 관계없이 DI와 PFI_IVO 분사방식이 PFI_IVC보다 우수한 연료소비율을 가짐을 알 수 있었다. 하지만 이러한 분사방식이 엔진 배기관내 배출되는 미세입자 특성에 대해 구체적으로 알려져 있지 않는 상태이다. 특히 바이오 연료를 포함한 사용 연료보다 연료 분사방식이 미세입자 배출에 주된 파라미터인지 여부는 본 연구에 있어서 핵심 사항이다.

먼저, Fig. 5는 기존 가솔린 연료에 대하여 연료분



(a) 1500rpm : IMEP 4bar



(b) 3500rpm : IMEP 9.1bar

Fig. 5 Effect of injection type and timing on particle size spectral density for different engine speed with high engine load condition (Gasoline fuel)

사방식과 연료분사시기 변화에 따른 극미세입자의 크기 및 개수농도 분포를 고부하조건(high load)에서 엔진회전속도별로 나타낸 것이다. 엔진 회전속도와 부하에 관계없이 DI 연료 분사방식인 경우, PFI방식에 비해 전체 측정 입자 크기 범위에 걸쳐서 상당히 많은 입자 배출 특성을 보였다. 특히 엔진 회전속도가 증가함에 따라 약 10배 이상의 많은 입자 개수 배출량을 가짐을 알 수 있었다. 또한 연료의 직접 분사로 인해서 분사시기가 극미세입자 배출에 상당히 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 그리고 엔진 회전속도 1500rpm(IMEP 4bar)의 8nm 이하 개수농도 분포를 제외하고, 최대 개수 크기농도값을 비교해 보면, 2가지 PFI의 경우에는 2.5×10^6 개 이하이며, DI

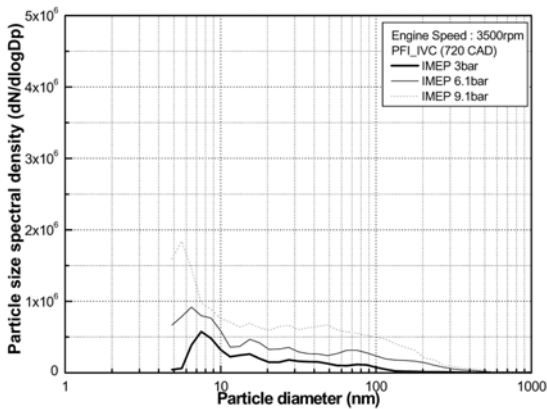
인 경우, 5.5×10^7 개 이하로 약 22배의 입자 크기 농도 분포에 변화가 있다. 8nm 이하 크기의 매우 작은 입자는 저속 조건(고부하인 경우)일수록 많이 배출되는데, 이는 상대적으로 낮은 배기온도와 미연 연료 입자의 증가 그리고 배기관 상태에 기인하는 것으로 판단된다.

반면에 2가지 PFI방식별로 배출되는 극미세입자를 비교해 보면, 100nm이하 입경 범위를 가지면서 배출되는 극미세입자의 배출량은 PFI_IVO인 경우, PFI_IVC보다 다소 많으나, 이 차이는 DI와 비교시, 아주 작음을 알 수 있었다. 비록 PFI_IVO인 경우, 흡입행정 기간동안에 연료를 분사하지만, DI와 달리 연소실내가 아닌 흡기포트내 흡기밸브가 열린 상태에 연료를 분사하기에 연료와 공기의 혼합시간이 상대적으로 길어짐으로써(크랭크각 270도 이상의 충분한 예혼합한 과정), DI에 비해 매우 작은 입자 배출특성을 가지게 된다.

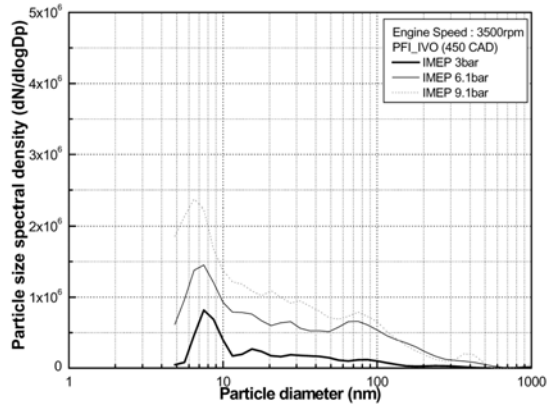
Fig. 6은 엔진회전속도 3500rpm에서 3가지 분사방식별로 엔진부하(IMEP 3, 6.1, 9.1bar)에 따른 극미세입자의 크기 및 개수농도 분포 변화를 나타낸 것이다(참고 : 배출된 입자의 농도분포값 차이로 인해, DI인 경우, 본 그림내 세로축 최대값은 PFI에 비해 10배 큰 값으로 표기함).

엔진부하가 증가할수록 미세입자의 증가는 거의 선형적으로 증가하는데, DI인 경우, 상대적으로 많은 증가량을 차이를 가짐을 알 수 있었다. 또한 이러한 엔진 부하의 증가에 따른 극미세입자의 배출량 증가는 연료분사 방식에 관계없이 나타남을 알 수 있었다. 이는 전기점화 방식엔진의 특성상, 흡입 공기량에 비례해서 증가하는 사용 연료량의 증대로 인해 고부하일수록 미연 연료 입자의 배출(생성과정) 및 이후, 이러한 입자간의 2차 결합과 응집현상이 활발히 진행된다.

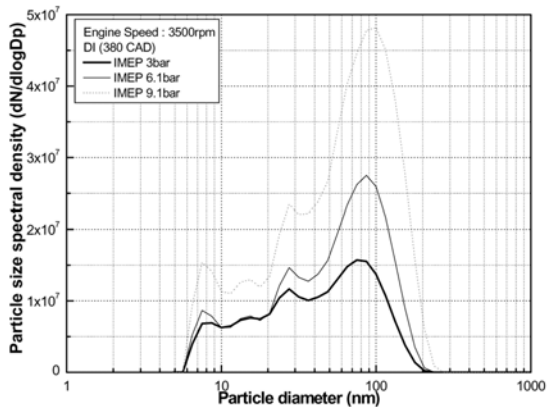
이러한 입자 배출 특징을 입자크기별로 분석해 보면, DI인 경우, 상대적으로 큰 입경 50nm이상의 입자 증가가 엔진부하에 따라 뚜렷이 증가하는 반면에, PFI 경우에는 엔진 부하가 증가할수록 10nm 이하 입자의 배출량이 보다 크게 증가함을 알 수 있었다. 더불어 50nm이상 크기의 입자 배출에 있어서, 엔진회전속도가 저속일 경우의 영향을 Fig. 7에 나



(a) PFI_IVC



(b) PFI_IVO



(c) DI

Fig. 6 Effect of engine load on particle size spectral density for three different injection types (3500rpm, Gasoline fuel)

타내었다. 엔진회전속도 1500rpm 및 2가지 엔진부하조건(2, 4bar)에서 DI 분사시기를 크랭크각 40도

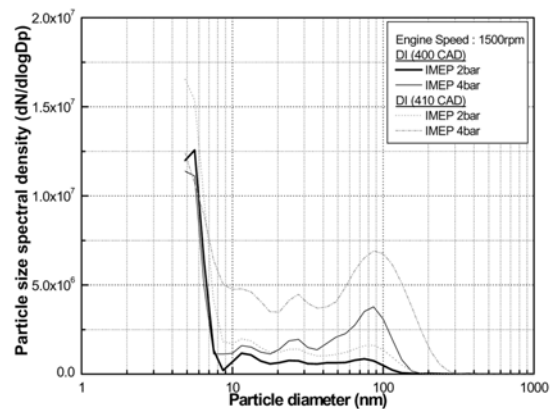


Fig. 7 Effect of engine load on particle size spectral density by using direct injection type with different injection timing (1500rpm, Gasoline fuel)

와 410도 각각 설정하였다. 분사시기가 지연될수록 입자 배출량은 증가하며, 이 증가량은 부하가 증가할수록 더욱 커짐을 알 수 있었다. 상대적으로 낮은 배기온도와 미연 연료의 발생에 따른 것으로, 이의 저감을 위해서는 엔진 작동조건별로 DI 연료 분사시기의 정밀 제어 또는 저속에서는 흡기밸브의 닫히는 시기를 지연시키는 방법 등 보다 능동적인 대처 방안이 필요할 것으로 사료된다.

이러한 가솔린 연료에 대한 극미세입자 배출 특성을 바탕으로 하여 E85연료를 사용한 경우, 상대적으로 입자 배출량이 많은 DI분사조건을 위주로 해서 극미세입자 배출 특성을 살펴보았으며, 이의 실험결과를 Fig. 8~10에 나타내었다.

Fig. 8은 Fig. 7과 동일한 조건에서 DI 분사시기를 크랭크각 40도로 고정하여 E85연료 사용시, 배출되는 극미세입자 분포를 가솔린연료와 비교해서 나타낸 것이다. 배출되는 극미세입자 개수 분포의 전체적인 패턴은 사용 연료에 관계없이 비슷한 경향을 보이지만, 가솔린연료 사용시 엔진부하가 증가할수록 증가되는 10nm 이상 입자의 배출 특성은 E85연료 사용시, 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 E85연료 사용의 경우, 분사기간의 증가와 가솔린 연료 대비 약 3배 높은 연료 자체의 증발 잠열에 따른 직접 연료 분사에 의한 혼합기 냉각효과 영향, 그리고 산소량이 30% 이상 함유된 E85연료의 산소농도에 의해 가솔린 연료보다 상대적으로 연소

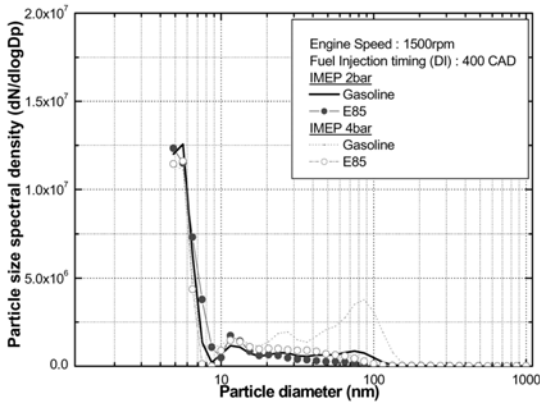


Fig. 8 Comparison of particle size spectral density with different engine load and DI timing conditions between Gasoline and E85 fuels (1500rpm)

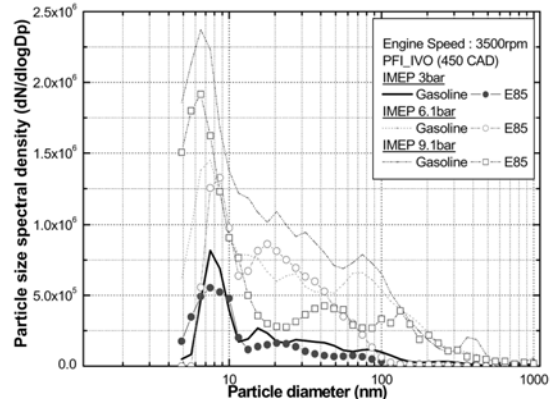


Fig. 10 Comparison of particle size spectral density with three different engine loads between Gasoline and E85 fuels (3500rpm, PFI_IVO)

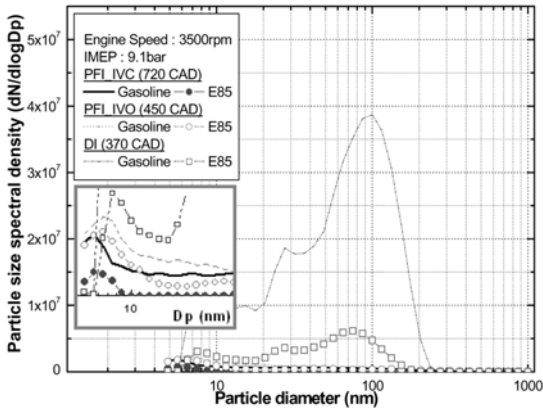


Fig. 9 Comparison of particle size spectral density with three different injection types between Gasoline and E85 fuels (3500rpm, IMEP 9.1bar)

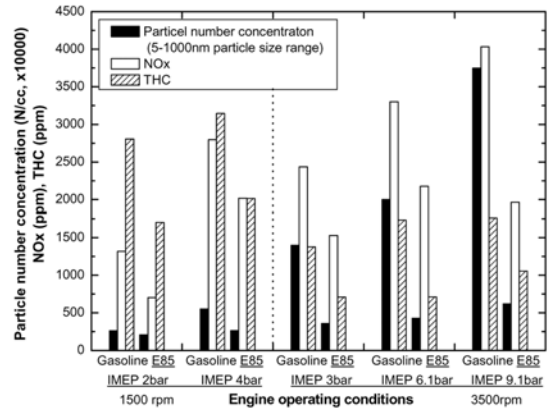


Fig. 11 Comparison of particle size spectral density and exhaust gas (NOx, THC) with DI fuel injection type between Gasoline and E85 fuels

및 배기성능이 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 9는 E85연료에 대하여 연료분사방식에 따른 극미세입자의 크기 및 개수농도 분포를 엔진회전속도 3500rpm 및 IMEP 9.1bar 조건에서 기존 가솔린 연료와 비교해서 나타낸 것이다. PFI 연료분사방식의 경우, 가솔린연료와 마찬가지로 2.5×10^6 개 이내 개수농도 분포를 지니는 반면에, DI 연료분사방식의 경우에는 가솔린 연료와 비교해서 약 8배 감소하는 5×10^6 개 이내 개수농도 분포를 가짐을 알 수 있었다.

Fig. 10은 엔진회전속도 3500rpm시, PFI_IVO 연료분사방식에서 대하여 엔진부하에 따른 극미세입자의 크기 및 개수농도 분포를 기존 가솔린 연료와

비교해서 나타낸 것이다. Fig. 9와 마찬가지로 PFI_IVO의 경우에도 약 10nm 이하 입자에 대해서는 가솔린 연료와 비슷한 배출 특성을 보이나, 이후 100nm 이내 입자 크기 범위에서는 가솔린 연료보다 E85연료 사용시, 엔진부하에 관계없이 입자 개수농도 분포는 감소됨을 알 수 있었다.

Fig. 11은 각 엔진 작동조건에서 100초 동안 정상상태시, 측정된 5~1000nm 크기를 가지는 극미세입자의 개수농도와 NOx 및 THC농도를 가솔린 연료와 E85연료에 대하여 비교해서 나타낸 것이다. 이를 통해 E85연료를 사용시, 배출된 입자 개수농도는 엔진 회전속도가 증가할수록 가솔린 연료에 비해 약

78% 그리고 전 엔진 작동조건에서 평균 약 62% 저감된다. 또한 NO_x인 경우, 평균 약 39% 그리고 THC의 경우, 평균 약 45% 저감됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 0.5L급 단기통 전기점화엔진에서 바이오-에탄올 연료(E85)와 가솔린 연료를 다양한 연료 분사방식별로 동시에 비교 · 실험할 수 있도록 각기 전용 인젝터와 분사 제어시스템(최대 직접분사압력 120bar)을 최적화한 후, 극미세입자(nano-sized particle)의 배출 특성을 실험적으로 분석한 것으로써, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) E85 연료 사용시, 연료소비율은 연료 자체의 낮은 저위발열량으로 인해 분사기간이 증가하여 전 엔진속도범위에서 가솔린연료보다 평균 35% 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 가솔린 및 E85연료 사용 전기점화엔진에서 배출된 극미세입자의 크기 및 개수농도 분포 해석결과를 요약하면 다음과 같다. ① 최대 개수 크기농도값의 경우, 2가지 PFI의 경우에는 2.5×10^6 개 이하인 반면에, DI인 경우는 5.5×10^7 개 이하 범위내이다. ② 엔진부하가 증가할수록 DI인 경우, 상대적으로 큰 입경 50nm이상의 입자가 증가하는 반면에, PFI 경우에는 10nm이하 입자의 배출량이 보다 크게 증가한다. ③ 특히 DI의 경우, 분사시기가 지연될수록 입자 배출량은 증가하며, 이 증가량은 엔진부하가 증가할수록 더욱 커진다. ④ E85연료를 직접 분사할 경우, 기존 가솔린 연료보다 약 8배 감소하는 5×10^6 개(최대 개수 크기농도값) 이내 입자 개수농도 분포특성을 가진다.
- 3) 전기점화엔진에서 연소실내 직접 가솔린 연료를 분사할 경우, 포트연료분사 방식에 비해 약 22배 많은 최대 개수 크기농도값을 가진다. 이 때, E85연료로 대체할 경우, 5~1000nm 범위내 극미세입자 배출량을 평균 약 62% 정도 저감할 수 있음을 본 연구를 통해 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구

(KRF-2007-611-D00007)로써, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- 1) F. Zhao, D. Harrington and M. C. Lai, Automotive Gasoline Direct-injection Engines, Society of Automotive Engineers, 2002.
- 2) N. H. Cho, H. C. Park and M. R. Kim, "Effect of Boosted Intake Pressure on Stratified Combustion of a Gasoline Direct Injection Engine," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, pp.48-55, 2003.
- 3) UN/ECE GRPE, "Conclusion on Improving Particulate Mass Measurement Procedures and New Particle Number Measurement Procedures Relative to the Requirements of Amendments to Regulation No.83," 48th GRPE Agenda-Item (II), 2004.
- 4) HEI, Understanding the Health Effects of Components of the Particulate Matter Mix: Progress and Next Steps, Health Effects Institute, USA, 2002.
- 5) I. G. Hwang, C. L. Myung and S. S. Park, "Effect of the Ethanol and Gasoline Mixture Fuel on engine Performance and Emission Characteristics," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.528-534, 2006.
- 6) Y. S. Choi, Y. M. Song, K. G. Park and D. S. Eom, "Spray and Combustion Characteristics of Biodiesel-Ethanol Blending Fuel," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.464-469, 2007.
- 7) T. Shudo, A. Fujibe, M. Kazahaya, Y. Aoyagi, H. Ishii, Y. Goto and A. Noda, "The Cold Flow Performance and the Combustion Characteristics with Ethanol blended Biodiesel Fuel," SAE 2005-01-3707, 2005.
- 8) K. S. Yoon and S. H. Shin, "A Study on the Performance of the MPI Gasoline Engine with Gasoline-Ethanol Blends," Transactions of KSAE, Vol.9, No.4, pp.92-102, 2001.
- 9) D. Y. Lee, M. Y. Kim, S. Y. Ha, H. G. Roh and C. S. Lee, "Combustion and Exhaust Emission Characteristics of a SI Engine Fueled with Ethanol-Gasoline Blended Fuel," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.428-433, 2007.