

## 1A1) 바이오디젤유를 사용한 소형 디젤엔진의 PAHs와 알데히드 화합물 배출특성 평가

### Emission Characteristics of PAHs and Aldehydes for a Small Diesel Engine Using Biodiesel Fuels

박지연 · 박준호 · 안중현 · 임호진  
경북대학교 환경공학과

#### 1. 서 론

디젤엔진은 산업시설과 교통 등 우리의 일상생활에서 널리 사용되고 있는 동력원이다. 디젤엔진이 다양하게 사용되는 기본적인 이유는 가솔린엔진에 비해 훨씬 우수한 에너지 효율 때문이라고 볼 수 있을 것이다. 이런 장점에도 불구하고 디젤엔진에는 해결해야 될 아주 중대한 문제점을 가지고 있다. 그것은 바로 디젤엔진의 배출가스에 의해 야기된 인체 유해성이다. 디젤엔진에서 배출되는 입자에는 다환방향족탄화수소(PAHs)와 nitro-PAHs 같은 발암성과 돌연변이성 화합물이 다량 함유되어 있으며, 호흡을 통해 폐의 깊은 부분까지 침투하여 악영향을 초래한다. 이것은 디젤엔진의 배출을 저감시키기 위한 정책과 저감기술을 개발하게 하는 근본적인 원인이 되었다. 디젤 배출 가스는 건강 유해성뿐 아니라 다양한 환경오염문제를 야기한다. 세계적으로 디젤엔진의 배출을 감소시키기 위해 다양한 노력을 하고 있으며 디젤엔진의 성능향상, 후처리장치 개발, 연료 개선의 3가지 방법으로 접근되고 있다. 특히 연료의 화학적 특성은 디젤엔진의 오염물질의 생성과 배출에 직접적인 영향을 주기 때문에 청정하고 효율적인 대체연료를 개발하기 위한 노력이 계속되고 있다. 이중 유해성과 환경오염 문제가 상당히 적을 뿐만 아니라 경제성과 맞물려 세계적으로 주목받고 있는 대체연료 중 하나가 바이오디젤이다.

바이오디젤유는 디젤유의 대체연료로 사용될 수 있는 지방산에서 유래된 다양한 형태의 모노에스테르를 총칭한다. 일반적으로 바이오디젤유는 식물성 유지 또는 동물성 지방의 triglyceride가 다양한 방법으로 에스테르화되어 만들어진(Graboski and McCormick, 1998). 시판되고 있는 바이오디젤유는 순수한 식물성 유지 또는 동물성 지방뿐만 아니라 사용된 것도 재활용하여 제조되고 있다. 바이오디젤유는 일반 디젤유와 매우 비슷한 물리적 특성을 가지고 있으며, 독성이 거의 없고 미생물분해가 가능하다. 바이오디젤유는 공기 중의 CO<sub>2</sub>에서 유래된 식물성 유지 또는 동물성 지방에서 제조되기 때문에 연소된 다음 배출되는 CO<sub>2</sub>는 상대적으로 화석연료에 비해 지구온난화에 미치는 영향도 미미하다고 볼 수 있다(Shi et al., 2006). 절대적인 생산량은 제한적일 수밖에 없어 바이오디젤유가 모든 디젤유를 대체할 수는 없지만 환경과 에너지의 보호에 효과적으로 사용될 수 있다. 이런 점들 때문에 바이오디젤유는 환경친화적 연료로 인식되어지고 있다.

본 연구에서는 디젤유와 바이오디젤유를 연료로 사용한 디젤엔진의 배출특성 평가시스템을 개발하고 PAHs와 알데히드 화합물을 포함한 오염물질의 배출특성을 평가하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

바이오디젤유의 디젤엔진 배출특성의 평가에는 다양한 엔진이 사용되고 있다. 본 연구에서는 직접 주입형 1기통 Yanmar 소형 디젤엔진(YDG3700E, 일본)을 사용하여 바이오디젤유의 배출특성을 평가하고 있다. 엔진 가동시간과 사용된 연료 양으로부터 연료 소모율을 계산한다. 이 소모율은 배출 오염물질의 배출율의 결정에 활용된다. 본 연구에서는 사용된 디젤엔진의 특성을 고려하여 부하를 변화시키지 않고 실험을 수행하였다. 그림 1은 디젤엔진의 배기가스 시료채취 장치도이다. 채취된 시료는 디젤엔진 배기가스 중 PM 질량, PAHs, 유기/원소성 탄소, 수용성 이온, 중금속을 포함한 무기원소, 입자 모양 분석에 사용하였다.

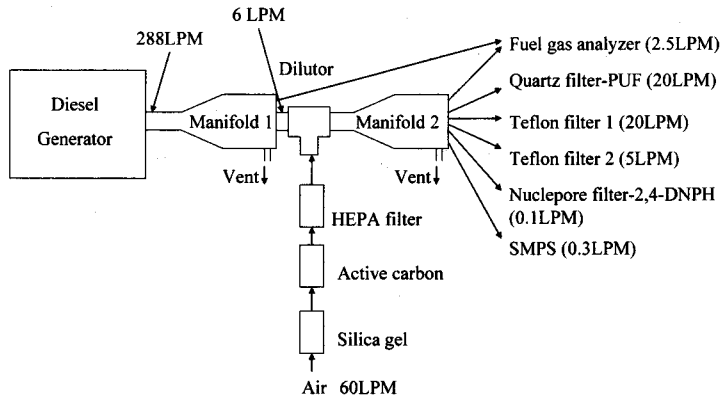


Fig. 1. Characterization System for Diesel Engine Exhaust.

### 3. 결과 및 고찰

디젤유를 사용한 디젤엔진 배기가스 중에서 입자상 anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[e]pyrene의 농도는 각각 0.11, 0.40, 0.29, 0.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 가스상의 경우에는 각각 0.65, 0.18, 0.15, 0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 사용된 연료량을 고려하여 연료 1L당 발생량으로 환산하면 입자상 anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[e]pyrene의 농도는 각각 1.2, 4.2, 3.1, 2.9 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이고, 가스상에 대해서는 각각 6.9, 2.0, 1.6, 1.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이다. 일반적으로 분자량이 큰 PAHs는 주로 입자상에 존재하고 상대적으로 분자량이 작은 PAHs는 가스상에 존재한다는 것으로 알 수 있다. 바이오디젤유를 사용한 디젤엔진 배기가스 중에서 입자상 anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[e] pyrene의 농도는 각각 0.65, 0.94, 0.89, 1.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 가스상의 경우에는 각각 1.29, 0.23, 0.27, 0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 사용된 연료량을 고려하여 연료 1L당 발생량으로 환산하면 입자상 anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[a]anthracene, benzo[e]pyrene의 농도는 각각 6.9, 10.0, 9.5, 12.9 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이고, 가스상에 대해서는 각각 13.6, 2.4, 2.9, 2.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이다. 디젤유와 마찬가지로 분자량이 큰 PAHs는 주로 입자상에 존재하고 상대적으로 분자량이 작은 PAHs는 가스상에 존재한다는 것으로 알 수 있다. 현재까지 분석된 결과는 선행연구에서 보고된 것과 달리 디젤유보다 바이오디젤유를 사용한 경우에 PAHs 발생량이 큰 것으로 나타났다. 이것은 바이오디젤유의 연소과정에서 많은 양의 PAHs가 생성되거나 바이오디젤유의 원료 물질에 PAHs 함량이 높을 가능성이 있다. 현재 진행 중인 바이오디젤유의 PAHs 함량에 대한 분석 결과가 얻어지면 좀 더 명확한 해석이 가능할 것으로 보인다. 만약에 바이오디젤유의 PAHs 함량이 높게 나타난다면 PAHs를 다량 함유하고 있는 폐식용유 같은 재생자원이 바이오디젤유에 생산에 사용되었을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

- Gerdes, K.R. (2001) Miscibility of ethanol in diesel fuels, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(3), 949-956.
- Lee, C.S. (2005) An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels, *Energy & Fuels*, 19(5), 2201-2208.
- Shi, X., Y. Yu, H. He, S. Shuai, J. Wang, and R. Li (2005) Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine, *Fuel*, 84, 1543-1549.
- Sjogren, M., H. Li, C. Banner, J. Rafter, R. Westerholm, and U. Rannug (1996) Influence of physical and chemical characteristics of diesel fuels and exhaust emissions on biological effects of particle extracts: a multivariate statistical analysis of ten diesel fuels, 9, 197-207.