

탄소배출 저감을 위한 저탄소 휘발유 첨가제 적용에 따른 자동차 배출가스 특성 평가

이 종 철 · 서 영 교 · 장 우 준 · 이 상 은 · 홍 희 경 · 이 상 욱 · 박 준 홍*

기후에너지환경부 국립환경과학원 모빌리티환경센터

Evaluation of Exhaust Emission Characteristics of Vehicles Using Low-Carbon Gasoline Additives for Carbon Reduction

Jongchul Lee* · Youngkyo Seo · Woojoon Jang · Sangeun Lee · Heekyoung Hong
· Sanguk Lee · Junhong Park

Mobility Environmental Research Center Climate Change and Carbon Research Department
National Institute of Environmental Research

Key words : 저탄소 연료, 합산소첨가제, MTBE, ETBE, 바이오에탄올, 탄소지수(CI), CVS-75, 규제물질, VOC, 카보닐화합물, 아세트알데하이드(CH_3CHO)

* 교신저자, E-mail: jong07@korea.kr

본 연구는 2050 탄소중립 및 수송부문 국가온실가스감축목표(NDC) 이행을 위한 전환기 감축 수단으로서 휘발유 부문 저탄소 합산소 연료의 실차 적용 가능성을 평가하였다. 기존 연료로 MTBE 혼합 휘발유(산소함량 2.3 wt%)를 선정하고, 저탄소 대안으로 바이오 기반 ETBE 혼합 연료(산소함량 1.3, 2.3, 2.7 wt%)와 바이오에탄올 혼합 연료(E5, E10, E30)를 적용하였다. 시험은 브라질 수출형 FFV 차량(1.5 L, Euro 5, 삼원촉매)을 대상으로 CVS-75 주행모드에서 수행하였으며, 규제 물질(CO , NMHC, NO_x , CO_2)은 CVS 시스템과 배출가스 분석기를 이용해 측정하고, 촉매 전단 배출은 FTIR로 실시간 분석하였다. 미량유해물질은 VOC 52종을 TD-GC/MS로, 카보닐화합물 13종을 DNPH-HPLC로 분석하였다.

연료별 Well-to-Wheel(WTW) 탄소지수(CI, gCO_2 eq/MJ, LHV 기준)는 국가 인벤토리 연소 배출계수, 국내 Well-to-Pump(WTP) 문헌값 및 국제 바이오연료 LCA 값을 결합하여 산정하였다. 그 결과 ETBE 혼합 연료의 CI는 81.2~83.0 gCO_2 eq/MJ, 바이오에탄올 혼합 연료는 73.8~83.0 gCO_2 eq/MJ 범위로 나타났으며, E30 연료는 기존 연료 대비 약 12.9%의 탄소지수 저감 효과를 보였다. 주행 중 CO_2 배출량(g/km)은 연료 CI와 뚜렷한 상관성은 나타나지 않았으나, CI가 낮을수록 바이오 기원(탄소중립) CO_2 기여 비중은 증가하였다. 에탄올 고흡합 연료(E30)에서는 낮은 에너지 밀도로 인해 연비 저하가 가장 크게 나타났다.

모든 시험 연료는 Euro 5 배출허용기준을 만족하였다. MTBE와 ETBE 혼합 연료는 전반적으로 유사한 규제물질 배출 특성을 보였으며, 에탄올 혼합 연료는 대체로 낮은 배출 경향을 나타냈다. 다만 NO_x 는 E5 대비 E10에서 감소한 후 E30에서 다시 증가하였는데, 이는 연소 중 생성량보다는 촉매 후단 정화효율 변화에 기인한 것으로 해석된다. VOC는 알케인 및 방향족 계열이 주요 비중을 차지했으며, BTEX는 혼합비율 증가에 따라 전반적으로 감소하였다. 카보닐화합물의 경우 MTBE 연료가 가장 낮은 배출 수준을 보였고 ETBE는 안정적인 특성을 유지한 반면, 에탄올 혼합비율이 증가할수록 aldehyde류, 특히 아세트알데하이드(CH_3CHO) 배출이 증가하였다. Formaldehyde 배출량은 모든 연료에서 국내 기준을 충분히 만족하였다. 이상의 결과는 바이오 기반 ETBE 및 바이오에탄올 혼합 연료, 특히 E30이 현행 휘발유 차량에서 적용 가능하며, 연료 품질 기준 정비와 연료 제어 최적화가 병행될 경우 전환기 온실가스 감축과 대기환경 개선을 동시에 달성할 수 있음을 시사한다.