

LPG 차량의 PN/PM 발생 분석을 통한 GPF 적용 필요성 검증

권 석 주¹⁾ · 윤 승 석²⁾ · 임 혁²⁾ · 김 진 남²⁾ · 이 호 승¹⁾ · 오 세 두¹⁾ · 서 영 호¹⁾

한국자동차연구원 탄소중립기술연구소¹⁾ · 현대자동차 남양연구소²⁾

Verification study on the necessity of GPF through analysis of PN/PM Emissions in LPG Vehicles

Seokjoo Kwon¹⁾ · Seungsuk Yoon²⁾ · Hyuk Im²⁾ · Jinnam Kim²⁾ · Hoseung Yi¹⁾ · Se-Doo Oh¹⁾ · Youngho Seo¹⁾

¹⁾Korea Automotive Technology Institute, 303, Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31214, Republic of Korea

²⁾Hyundai motor company, 150, Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Manse-gu, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18280, Republic of Korea

Key words : Liquefied Petroleum Gas(LPG, 액화석유가스), Particulate Matter(PM, 입자상물질), Particle Number (PN, 입자 개수), Gaseous Particulate Filter(GPF, 가스연료 입자 필터), Chassis dynamometer(차대동력계)

* 교신저자, E-mail: kwonsj@katech.re.kr

내연기관용 LPG 연료는 디젤 및 가솔린 대비 입자상물질 배출량이 친환경적인 연료로 평가되고 이용되어 왔다. 그러나 최근 북미와 유럽을 중심으로 입자상물질(PM) 및 입자 개수(PN) 규제가 강화되면서, LPG 차량의 입자상 배출 특성을 정량적으로 파악하고 가스연료 입자 필터(GPF) 적용 필요성 검토가 요구되고 있다. 본 연구는 이러한 규제 강화 기초에 대응하여 LPG 연료를 사용하는 차량의 입자상 배출 특성을 평가하기 위해 수행되었다. 이를 위해 쏘나타 2.0 LPi, 그랜저 3.5 LPi, 포터 2.5 T-LPDI 엔진이 장착된 3종의 차량을 시험 대상으로 선정하였다. 평가는 6~7K km 수준의 신차 상태와 160K km 주행한 노후 차량으로 나누어 진행하였으며, 차대동력계를 이용하여 국내 LPG 차량의 평가 사이클인 FTP-75 및 US06 주행 모드에서 PM과 PN을 반복 측정하여 향후 국내 강화 기준으로 검토될 수 있는 북미/유럽의 규제 한계 수치와 비교·분석하였다.

160,000km 주행 노후 쏘나타 LPG 차량에 대해 FTP-75 모드를 반복 시험한 결과, PM 배출량은 0.3~1.0 mg/km 범위로 나타나 현행 북미 LEV-III 규제치(2.0 mg/km)를 안정적으로 만족하는 것으로 확인되었다. 다만, 향후 1/6 수준으로 강화되는 Tier 4 기준(0.3 mg/km)을 만족하기에는 한계가 있고, 동일 조건에서 측정한 PN 배출량은 상온에서 $3.04 \sim 6.60 \times 10^9$ #/km 수준으로 차기 유럽 규제인 Euro 7에서 제안된 PN 한계치(6.0×10^{11} #/km) 대비 충분히 낮은 수준을 유지하였다. 특히 영하 -7℃의 저온 조건에서도 PN은 1.88×10^{10} #/km로 극저온 조건에서도 안정적인 입자상 배출 특성을 보였다. 이러한 결과는 LPG 차량의 LPi 및 LPDI 시스템이 본질적으로 우수한 입자상 배출 특성이 있으며, 160K km 수준의 실사용 노후 조건에서도 차기 Euro 7 수준의 PN 규제를 현재 양상 차량으로 만족하는 친환경성을 확보하고 있음을 보여준다. 평가 결과는 북미 PM과 유럽 PN의 강화 규제에 대한 상충되는 결과를 보여주고 있어 향후 국내 LPG 차량의 입자상물질 강화 규제 대응에 있어서 입자상 발생 원리와 안정적이고 관리 가능한 시험 평가법에 대한 적정성 검토를 요구하고 있다.

향후 국내 시장에서 시험 편차 수준으로 규제치가 매우 낮은 북미 Tier 4 PM 규제를 적용한다면 이를 충족하기 위해서 LPG 차량에도 PM 필터 장착이 필요할 가능성이 있으나 유럽의 강화된 Euro 7 규제를 이미 만족하고 있는 현재 LPG 차량의 입자상물질 배출 특성을 고려한다면 필터 장착 등의 기술 대응의 실효성이 부족할 것으로 보인다. 그리고 이는 입자 배출량이 상대적으로 적은 LPG 연료의 장점을 충분히 반영하지 못하고, 친환경 연료로 사용을 장려하는 정부 방향과도 상충될 수 있다. 결론적으로, LPG 차량에 입자상물질 배출 기준으로 Euro 7 배출가스 기준이 적용된다면 현재의 엔진 기술 수준만으로도 실효성이 부족한 필터 추가 없이 충분히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

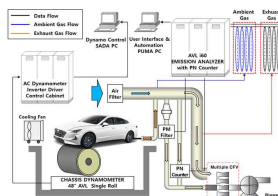


Figure. 1 LPG vehicle test on the chassis dynamometer

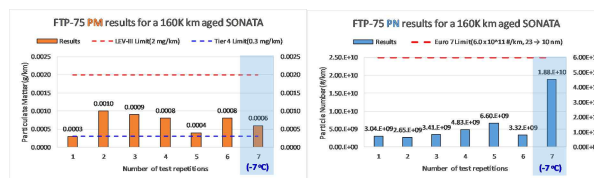


Figure. 2 FTP-75 driving mode PM and PN emission results characteristics of aged passenger vehicle driven 160K km mileage