

실도로 주행 기반 하이브리드자동차 파워트레인 구성에 따른 PN 배출 특성 분석

이 흥 진¹⁾ · 신 재 식²⁾ · 이 종 태²⁾ · 박 성 욱^{*3)}

한양대학교 대학원 융합기계공학과¹⁾, 국립환경과학원 모빌리티환경연구센터²⁾, 한양대학교 기계공학부³⁾

Analysis of PN Emission Characteristics of Hybrid Electric Vehicles with Different Powertrain Configurations under Real-World Driving Conditions

Hongjin Lee¹⁾ · Jaesik Shin²⁾ · Jongtae Lee²⁾ · Sungwook Park^{*3)}

Department of Mechanical Convergence Engineering, Graduate School, Hanyang University¹⁾, National Institute of Environment Research²⁾, School of Mechanical Engineering Hanyang University^{*3)}

Key words : Hybrid electric vehicle(하이브리드자동차), Real driving emission(실도로 주행시험), Particle number(입자상 물질 개수), Controller area network(계측 제어기 통신망), Engine restart(엔진 재시동)

* 교신저자, E-mail: parks@hanyang.ac.kr

전 세계적으로 대기오염 저감과 기후변화 대응을 위해 각국은 온실가스 감축 목표를 지속적으로 강화하고 있다. 이러한 정책적 흐름에 따라 전동화 차량의 보급이 빠르게 확대되고 있다. 다만, 전기자동차는 충전 인프라의 제한성과 보조금 축소, 높은 초기 비용 등의 한계로 인해 소비자 접근성이 상대적으로 낮은 편이며, 이에 따라 내연기관과 전동화 시스템을 결합한 하이브리드자동차에 대한 수요가 증가하고 있다. 한편, 유럽연합은 Euro 7 규제를 발의하여 승용차의 오염물질 배출 허용 기준을 제시하였으며, PN(Particle Number)의 경우 기존 23nm에서 10nm까지 범위를 확대하였다. 이러한 규제 강화는 전통적인 내연기관 차량뿐 아니라 하이브리드자동차에도 중요한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

하이브리드자동차는 엔진, 전기 모터, 배터리로 구성된 복합 구동 시스템을 기반으로 하며, 일반적으로 저부하 또는 저속 영역에서는 전기 모터 중심의 주행이 이루어지고, 고부하 조건에서는 엔진이 개입하는 하이브리드 운전이 수행된다. 또한, 적용되는 파워트레인 구조에 따라 다양한 운전 특성을 나타내며, P0~P5와 같은 모터 장착 위치에 따라 에너지 흐름과 구동 전략이 달라진다. 이로 인해 동일한 주행 조건에서도 엔진 시동 및 정지 빈도와 방식이 달라지며, 이 과정에서 발생하는 연소 안정성 또한 차이를 보일 수 있다. 선행연구에 따르면 엔진 재시동 시에는 연소 불안정으로 인해 순간적으로 높은 수준의 PN이 배출되는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 하이브리드 파워트레인 구성을 대상으로 PN 배출 특성을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 하이브리드자동차 파워트레인 구성 별 PN 배출 특성을 분석하기 위해 국내에 판매된 승용 하이브리드자동차 2대를 대상으로 실제 도로 주행시험을 진행하여 데이터를 취득하였다. 차량은 각각 P0+P2 방식과 P1+P3 방식을 적용한 차량으로 구성하였다. 시험 주행은 국립환경과학원에서 개발한 NIER-02 실제 도로 주행 경로를 기반으로 진행되었으며, 해당 경로는 유럽 RDE-LDV 기준을 만족하도록 설계된 것이 특징이다. 또한 도심, 교외, 고속도로 구간을 모두 포함하고 있으며, 서울 시내 교통 상황을 반영하고 있어 국내 실제 주행 환경을 대표할 수 있는 경로로 평가된다. 차량의 주행 상태 정보는 OBD 포트를 통해 CAN(Controller Area Network) 통신으로 취득하여 엔진 및 모터 작동 데이터를 확보하였고, PN은 Pegasor社의 PPS 장비를 차량 배기구에 연결하여 실시간으로 계측하였다. 이후 실제 도로 주행을 통해 획득한 데이터를 활용하여 주행 구간별 엔진 및 모터의 작동 특성과 엔진 재시동과 같은 하이브리드자동차 특징에 따른 PN 배출 특성을 중점적으로 분석하였다.

후기

본 연구는 2025년 국립환경과학원 교통환경연구소의 연구 용역사업 (No. 202500000002041) “하이브리드 자동차 배터리의 배출영향 평가 연구(Ⅰ)”의 지원을 받아 수행되었습니다.