

자동차 배기시스템의 고주기 피로하중에 대한 수명예측 기법에 관한 연구

엄재용*·이현우

우신공업(주)

A Study on the Fatigue Life Prediction Method for High-Cycle Fatigue Loads in Automotive Exhaust Systems

Jaeyong Eom* · Hyunwoo Lee

Wooshin Industrial Co.,Ltd, 177, Hajeojaan-ro, Paltan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea

Key words : RLDA (노면하중계측), HCF(고주기 피로), Palmgern-Miner Rule(마이너 누적손상이론), 2Ch Exhaust Testing System(2축 배기계 피로내구 시험기), Minitab(미니탭), S-N Curve(피로수명곡선)

교신저자, E-mail: jyaum@wooshin.net

내연기관 자동차의 배기시스템은 크게 배기 매니폴드, 후처리정화장치, 머플러 시스템으로 구성된다. 배기 매니폴드는 엔진 실린더 블록과 직결되어 엔진의 폭발 및 배기행정에서 발생하는 고온의 배기가스를 안전하게 후처리 장치로 유도하고 후처리정화장치는 엔진의 배기행정에서 토출되는 각종 유해가스(CO, HC, NOx, PM)를 흡착/산화/환원 반응을 통해 무해한 물질(CO₂, H₂O, N₂)로 변환시켜 주는 역할을 하며, 머플러 시스템은 후처리가 완료된 배기가스를 대기로 안전하게 방출시킴과 동시에 엔진의 폭발/배기 행정 소음을 대폭 감쇄시킨다. 상용차량을 제외한 일반적인 승용차량의 경우 머플러 시스템은 차량 하부에 위치한다. 머플러는 차량 부품 중에서 가장 길기 때문에 장착을 위해 일반적으로 머플러에 걸착한 행어로드와 마운팅 고무러버를 이용하여 4~6점 정도의 최적화된 차량 하부에 위치시키며, 이 때 머플러의 장착성을 유지하기 위해 차체 측에 머플러와 동일한 위치에 차체 행어로드를 부착하고 마운팅 고무러버를 양측 행어로드에 걸착함으로써 장착성을 유지하게 된다.

머플러 시스템은 특성상 엔진과 차체에 동시에 구속되어 있으므로 엔진에서 수반되는 진동과 거친 주행 노면에 기인한 차체의 작용 반작용으로 인한 하중을 동시에 받는다. 이는 전형적인 고주기 하중으로 만일 높은 하중이 반복적으로 발생할 경우 머플러의 취약 부분이 기능을 상실할 수 있다. 최근 국내/외 주행 도로는 급격한 기후 변화로 인한 예기치 않은 포트홀이나 지반침하 발생이 빈번하며 특정 구간에서 차량의 감속을 유도하기 위해 폭이 좁은 예리한 과속방지턱이나 요철을 설치하여 머플러에 입력되는 부하가 증대되고 있는 추세이다. 또한 승용 RV 차량의 판매대수가 증가하여 상대적으로 포장도로 대비 입력하중이 큰 비포장 도로 주행 빈도수가 증대하고 있어 머플러 수명 단축에 영향을 주고 있다. 머플러 고장의 유형은 크게 이음발생, 부식, 균열 등이 있는데 이 중 머플러 균열이 고주기 하중에 기인하는 경우이다. 균열이 신장하여 완전 파손이 발생하는 경우 머플러가 차량에서 이탈하여 기능을 상실하고 떨어져 나간 부품으로 인해 도로의 2차 피해까지 발생할 수 있어 부품의 강건설계는 필수적이라 할 수 있다.

수명예측을 위해 컴퓨터 수치해석(CAE) 기법을 최근까지 활용하고 있으나 차량 하부의 절연 고무러버를 통해 장착되는 머플러의 특성상 복잡한 해석 경계조건을 갖고 있어 그 결과가 실제 시험결과와의 상관성이 미흡한 실정이다. 따라서 시험적인 방법으로 부품의 수명을 예측하는 것이 머플러의 신뢰성을 보증하는 가장 안전한 방법이다.

본 논문에서는 머플러 시스템의 수명예측을 위한 RLDA(Road Load Data Acquisition), 2Ch Exhaust Testing System을 이용한 S-N Curve 작성, Palmgern-Miner Rule을 이용한 수명예측 및 평가 검증을 통한 수명 확인을 통해 방법론적인 유효성을 확인하였다. 특히 S-N Curve 작성시 기존의 확률론적 방법보다 단순하면서도 통계적으로 유의미한 시험법을 적용하여 시험시간을 축소하였다. S-N Curve 작성시 시료의 정규성 검증은 범용 프로그램인 Minitab을 활용하였다.