

디젤 아이들 음질 고급감 구현을 위한 실험적 연구 An Experimental Study of Idle Sound Quality for Diesel Engine

이기화† · 소강영* · 남충근* · 원광민*

Lee Ki Hwa, Soh Kang Young, Nam Chung Kun and Won Kwang Min

1. 서 론

지구 온난화를 억제하기 위한 CO2 저감은 전 세계적인 당면 과제로서 에너지효율을 높이기 위한 엔진, 차량기술과 수소 연료와 같은 환경연료 분야의 개발 경쟁이 점점 심화되고 있으면서도 환경에너지를 이용한 대체기관의 성숙에는 보다 시간이 필요한 상황에서 디젤엔진은 여전히 양립하기 어려운 고효율과 고성능이라는 소비자의 요구를 동시에 만족시키는 가장 효과적인 대안으로 자리잡고 있다. 그러나 디젤엔진이 시장에서 보다 매력적이기 위해서는 강화된 배기규제를 만족시키는 친환경성(eco-friendly)과 함께 듣기 좋은 엔진소리를 구현하여 운전자로 하여금 고급감을 느낄 수 있게 하는 상품성을 달성해야 한다. 본 연구는 아이들 음질의 고급감을 구현하기 위하여 파워트레인의 구조감쇠(Structural Attenuation) 분석을 통하여 시스템을 파악한 후, 파워트레인 구조 및 연소특성 최적화를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 아이들 음질 최적화

(1) 구조감쇠(Structural Attenuation)분석

신세대 8속 변속기를 탑재한 파워트레인 시스템에 대하여 구조감쇠 분석 수행하였다. Fig.1에서 보는 바와 같이 구조감쇠 수준이 2k대역 및 3k이상 고주파 대역에서 다소 불리하나 경쟁엔진 대비 전반적으로 유리한 것을 알 수 있다. 특히, 1.6k이하 전 대역에서 구조감쇠성능이 매우 우수하였다. 각

방향 측면에서 비교하였을 때는 전면(FRT)부 구조감쇠 수준 가장 취약하였다. 이는 2kHz대역 체인커버 공진 및 댐퍼폴리 방사소음에서 그 원인을 찾을 수 있다. 한편 부분부하 평가 시 차량레이아웃을 모사한 스노클 장착으로 인하여 발생된 흡기 소음이 데이터 분석 시 왜란으로 영향을 미쳐 400~500Hz 영역에서는 실제보다 구조감쇠 특성이 다소 불리하게 나온 것으로 추정된다.

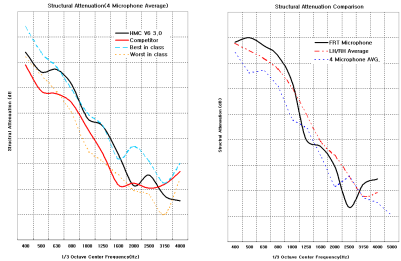


Fig.1 (左)4방향 평균소음과 (右)각 방향별 소음에 대한 구조감쇠 분석결과 비교

(2) 파워트레인 구조물 최적화

구조감쇠 분석을 토대로, 시스템의 강건성이 전면부 1.4~2kHz대역이 취약하였다. 구조물 Break down을 통하여 Fig.2와 같이 체인커버 2k대역 공진으로 인하여 방사소음 측면에서 불리함을 확인하였다.

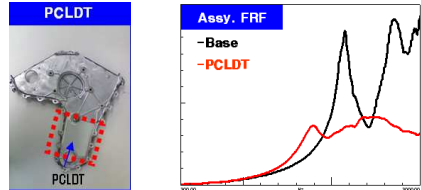


Fig.2 체인커버 PCLDT 적용 위치(左) 및 Ass'y. FRF 결과(右)

이와 같은 취약부를 개선하기 위하여 체인커버에 수동구속감쇠처리(Passive Constrained Layer Damping Treatment)를 적용하였다. 먼저 PCLDT에 사용되는 점탄성재료는 온도와 주파수에 따라

† 교신저자: 현대자동차 남양연구소
E-mail : sound@hyundai.com
Tel : 031-368-7248, Fax : 031-368-6095
* 현대자동차 남양연구소

탄성계수와 손실계수가 변하는 특성을 갖고 있다. 즉, 주파수를 증가시킬 때의 특성은 온도를 낮출 때의 온도 특성과 유사한 경향을 보인다. 따라서 손실계수를 최대로 유지하는 전이영역 내에서 일정수준 이상의 저장탄성계수를 갖는 요구 물성치 경향을 파악한 후, 오일침윤 등에 대한 내구성능을 검증하여 우수한 신뢰성을 바탕으로 기존 경쟁엔진의 적용사례들과 달리 엔진내부에 장착할 수 물성치에 대한 설계기준을 정립하였다.

(3) EMS 측면 연소 최적화

현재 양산 중인 승용디젤엔진 차량에 일반적으로 소음 개선을 위해 적용되는 파일럿 분사전략과 달리, 본 연구에서는 불리한 연소특성을 개선하기 위하여 Fig.3과 같이 분할분사(Split Combustion Mode)를 통하여 연소 최적화 수행 및 양산 적용하였다.

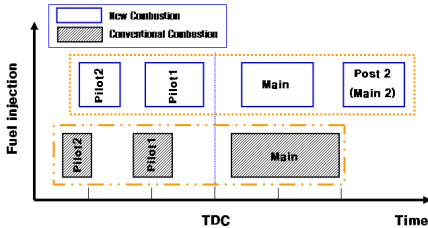


Fig.3 전형적인 연소개선모드와 분할분사모드 비교

분할분사란 각각의 주 분사마다 그 사이가 2회 또는 그 이상의 주 분사로 구성되는 분사전략을 말하며, 적용된 분할분사는 파일럿 분사와 함께 포스트 분사를 이용하여 기존의 주 분사를 분할하였다.

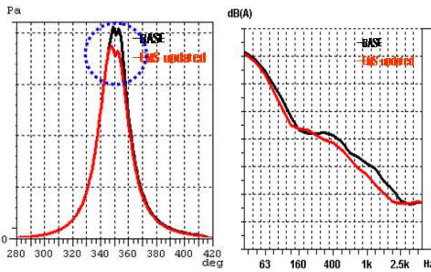


Fig.4 (左) 연소압 파형 및 (右) 연소압 스펙트럼

파일럿 분사를 통하여 예비연에서 많은 에너지가 방출되는 것을 제어한 후 포스트 분사를 이용한 분할분사를 적용하여 주분사의 $dP/d\theta$ 를 저감시켰다. 이로 인하여 연료가 이전보다 완만하게 연소되어 소음특성이 개선되었다. Fig.4(左)에서 보는 바와 같이, 상기 모드의 최적 효과는 2번째 분사단계에서 초기 분사율에 대한 급격한 증가율을 제어하여 매

핑하는데 있으며, 이를 통하여 배기성능을 만족시키면서 NVH성능을 최적화시켰다. Fig.4(右)는 예열플러그 위치에 연소압센서를 장착하여 0.1 degree 단위로 분석한 연소압 파형을 스펙트럼 분석한 것이다. 분할분사 적용 시 P_{MAX} 값이 10% 정도 낮아지고, 280Hz < 이상 대역에서 최대 6dB 개선된다. $dP/d\theta$ 의 2번째 피크가 개선되어 연소음 특성이 유리해진다. 또한 기통간 연소압 측정결과를 비교해 보면 아이들 안정성이 향상되어 실린더별 연소압 편차가 작아지고 이로 인하여 Fig.5와 같이 1~2k대역 Modulation 성분 개선된다.

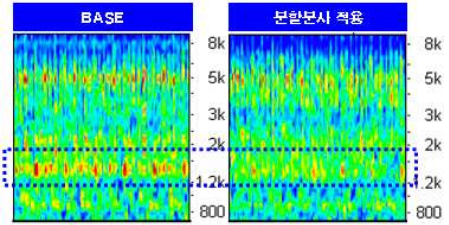


Fig.5 아이들 Modulation 분석

또한 엔진 각 마운트 입력점에서도 670~3.3k대역 진동이 최대 6~7dB 개선된다. 위와 같이 개선된 소음/진동 특성은 차량 실내소음에도 큰 개선효과를 나타낸다.

3. 결론

듣기 좋은 아이들 음질을 구현하기 위해서는 배기 성능과 NVH성능을 함께 충족시킬 수 있는 연소모드와 파워트레인의 우수한 구조감쇠 성능이 개발 초기부터 뒷받침되어야 한다. 특히 본 연구에서는 Split Combustion Mode를 양산 적용하여 3.15k 이하 대역 소음 최대 2.5dBA 개선하고, 기통간 폭발력을 균등하게 제어하여 1~2k 연소음 대역의 0.5 차성 Modulation을 저감시켜 차량 실내에서 운전자가 느끼는 감성품질을 표1과 같이 크게 향상시켰다.

Table 1 차량 아이들 음질 수준

항목	단위	HMC EU-5		경쟁차A	경쟁차B	
		Base	분할분사			
아이들 (N/A)	부밍	dBC	▼5.6	▼6.8	▲0.4	▼8.6
	중주파 거친음	dBA	▼1.2	▼2.7	▲1.1	▲0.4
	고주파 거친음	dBA	▲1.3	▼0.1	▼0.4	▼0.2

구조시스템 측면에서도 기본적인 구조 강건성을 기초로 하여 엔진 구동 시 발생하는 각 소음원에 대한 시스템 최적화 수행하여 기존 양산엔진 대비 진일보된 대상 아이들 음질 수준을 확보하였다.