

고효율, 저공해 에너지 이용 차량의 음질 이슈

Sound Quality Issues in the High Efficient, Low Pollution Energy Vehicles

이 정 권*
Jeong-Guon Ih

Key Words: Sound quality (음질), Efficient & clean vehicle (고효율 청정 차량), Electric vehicle (전기차)

ABSTRACT

In enhancing the technologies for the highly efficient and low pollution vehicles, the emitted sound by applying those techniques is degraded, which needs further vibro-acoustic tuning. The point of concern is usually related to the sound quality, and, sometimes, to the direct connection with the pedestrian safety. In this talk, a brief discussion is given to the sound quality issues on the start-stop function, cylinder-on-demand, engine down-sizing, turbo-chargers, road noise, and artificial warning sound.

1. 서 론

환경 오염 물질의 배출을 줄이고, 에너지 사용의 고효율화를 이루기 위한 신기술이 적용된 내연기관이나 HEV, EV 와 같은 방식을 구현한 차량이 급격히 증가하고 있다. 이러한 고효율 청정 차량은 기존 내연기관을 채용한 차량 소음과는 매우 다른 작동 원과 방출 소음의 청감 특성을 지니고 있어서, 연구 대상으로 부각되고 있다. 차량에서 고효율화나 청정 에너지 사용을 목적으로 하는 장치와 구동형식은 다양하나, 본 논의에서는 특히 구동계에 적용되는 몇 가지 방식에 따른 음질문제, 구동 및 흡/배기계의 정숙화에 따른 차실내 도로소음 및 보행자의 안전 문제 등에 대해 간략히 언급한다. 이들은 차량의 고급감, 안락감, 안전감 등과 같이 탑승자가 느끼는 음질에 반영되므로, 차량의 시장 경쟁력과 직접적인 연관이 있으며, 초정숙 차량은 보행자의 안전과도 관련되어 있다.

2. 신기술과 관련된 음질 이슈와 연구방향

* 교신저자: 정희원, KAIST 기계공학과
E-mail: J.G.Ih@kaist.ac.kr
Tel: 042.350.3035, Fax: 042-350-8220

2.1 정차 시 엔진 끄기 (start-stop system)

정차 시에 (idling) 자동으로 시동을 꺼서 연료소모와 배기가스 배출을 줄이는데, 시내주행 모드에서 5-10% 정도 연비향상이 되므로, 내연기관 차량이나 HEV 차량에의 장착이 급증하고 있다. 정지 후 재출발 시 짧은 시간 안에 다시 시동이 걸리게 된다. 이 때, 엔진 마운트에 놓인 엔진의 과도 진동, 구동계 연결부 전체의 진동, 지지 멤버 및 차체의 진동 응답이 모두 결합된 불쾌한 과도 진동과 소음의 최소화가 차량의 가치 평가에 있어 매우 중요하다. HEV 차량의 전지 레벨이 낮을 때도 같은 현상이 있다. 이에 대해, 크랭킹 시 반력을 줄이기 위한 토크의 최적화, 흡기 밸브의 타이밍 제어, 점화 후의 큰 토크 변동을 줄이기 위한 연료 분사량의 시간 조절, 엔진 마운트의 최적화, 과도응답의 기구적 흡수법 등에 대한 연구가 필요하다.

2.2 가변 실린더 (cylinder-on-demand)

다기통수의 엔진의 특정 차속 범위에서 몇 개의 실린더에 공기-연료를 주입하지 않도록 하여, 순식간의 전환에 따라 (500 ms 이하) 작은 수의 실린더만으로 작동시키는 방법으로, 비교적 저속에서 작동시킨다. Audi V8의 경우에는 100 kph에서 V4로 전환하여, 약10%의 연료절감, 10-12 g/km 정도의 CO₂ 배출량 저감을 이룬바 있다. 그러나, 작은 기통수로 변환되면서 그 기통에 고유한 불평력이 엔진

을 가진시켜, 음질 측면에서 보면 바람직하지 못한 음을 발생시킨다. 이에 대해서는 능동엔진 마운트나 능동소음제어 장치를 도입하는 연구가 필요하다.

2.3 작은 실린더 수 엔진 (down sizing)

다기통수의 엔진을 터보 과급이 된 저기통수의 작은 엔진으로 대체하거나, 아예 2-3개의 실린더를 사용하는 작은 실린더 수의 엔진이 연비 관점에서 보편적으로 고려되고 있다. 그러나 이러한 엔진들은 최적 작동 속도에서 주 엔진점화 주파수의 고조파 음향 차수 형태가 이전에 사용하던 동급 차량의 엔진과 달리 마음에 들지 않는 가벼운 음색을 지니게 된다. 이전에 사용하던 전통적 엔진 속도의 분수에 해당하는 음감을 지니기에, 이를 듣는 운전자의 운전 행태상, 주행 시 고단기어로의 전환이 늦어져, 결국 연료절감 효과가 없어지게 된다. 이에 대해, 공기기인이나 구조기인원을 이용해 RPM에 연동된 음향을 인위적으로 보상하는 연구가 필요하다. 또, 동력 부족을 보상하기 위해 터보과급기를 부착하기도 하는데, 이에 따른 추가적 음향 문제가 발생한다.

2.4 터보 과급기 (turbocharger)

기존 내연기관의 효율과 파워를 30-40% 향상시키기 위하여 최근1-2개의 터보 과급기를 배기가스 재순환관에 연결하여, 이를 동력원으로 공기와 연료를 더 많이 공급하는 차량이 증가하고 있다. 터보 과급기는 용량과 방식에 따라 고속회전용은 대개 80,000-250,000 RPM의 회전을 하며, 디젤엔진의 경우에는 저속으로 twin turbo 형식을 취하는 경우도 있다. 장착된 임펠러의 (impeller)의 날개 (blade)수가 대략 10-20개 정도로 다수이므로, 날개통과 소음은 10 kHz 이상의 매우 높은 주파수를 갖게 된다. 날개통과 소음은 날개와 외통 (shroud)의 간극, 날개의 곡률, 두께, 길이, 유속 등에 관련되며, 고주파수 소음이 발생되므로 연결된 관로에 고차모드 음파가 형성되어 방사된다. 이러한 터보 과급기의 소음에 대해, 관로에 장착된 상태에서 작동 시 발생하는 소음의 발생부위를 면밀히 분석하여, 이에 대한 재설계 대책을 세워야 한다. 발열에 따른 손실을 줄이기 위해 intercooler를 사용하기도 하는데, 이에 따른 음질 손상 문제도 다뤄야 한다.

2.5 도로소음 (road noise)

구동계 및 흡/배기계의 소음이 정숙화 된 전기 모터 구동 차량의 주 소음원은 공력소음과 도로소음이다. 공력소음은 비교적 빠른 차속에서 영향을 미치는데 반해, 도로소음은 주 운행속도인 110 kph 이하에서 매우 강력한 소음원이다. 특히, 200-250 Hz 부근의 타이어 내부 공명, 400-1 kHz 대역에

걸친 트레드 및 사이드월 방사 소음이 중요하며, 200-400 Hz 대역의 구조기인 도로 부딪 소음도 큰 역할을 한다. 이에 대해, 도로면과의 충돌에 의해 타이어 표면에 야기된 다양한 탄성파의 전파 특성과 감쇠 특성을 타이어 설계인자와 연동한 연구가 필요하며, 현가계 및 구동계 마운트를 통한 에너지 전달 분석에 따른 부싱 특성, 구조, 부착 위치 변경 등에 대한 연구가 필요하다. 또, 내부 공간에 대한 능동적 소음제어나 현가계나 패널에 대한 진동제어와 같은 대책의 적용에 대한 고려도 필요하며, 타이어 내부의 공명을 저감시키기 위한 음향적, 구조적 특수 대책이나 장치 개발도 필요하다.

2.6 초저소음 전기모드 운행 차량 (quiet EV)

HEV, PHEV, EV 등이 약 25 kph 이하의 저속에서 전기 모드로 구동되면 초저소음으로 운행되어, 보행자가 차량의 접근을 인식하지 못하여서 사고가 발생할 가능성이 높다. 특히, 시각장애인, 무심히 길을 건너는 사람, 노인과 같이 청력이 약한 보행자에 대한 위협이 되며, 하나의 사회적인 잠재 위험 요소이다. 이에 대해, 국제적인 기준이나 국내법규와 같은 보행자 보호를 위한 자동차 운행소음기준의 제정이 필요하다고 논의되고 있다. 이에 대하여는 일본, 독일의 자동차 제작사와 미국의 SAE 등의 주도로 연구되어 왔는데, 기존 내연기관의 음 자체나 그에 상응하는 레벨의 인공 경고음을 방출하는 장치를 장착하는 것을 권장하고 있다. 그러나, 탑승자에 대한 영향, 도시 음환경에 미치는 영향, 보행자 판단을 도울 적절한 음질의 결정, 자율 운전 차량시대에 맞는 물체 인식 및 음향방사 제어 장치, 통신 기법 등에 대한 연구가 필요하다. 또 대부분의 지식재산권이 일본 제조사에 속하므로, 이를 벗어날 새로운 방식의 특허에 대한 연구 개발도 필요하다.

3. 결론

고효율 청정 차량의 기능과 직접 관련된 구동계나 주행조건에 따른 소음의 특성과 음질 관련 관심 이슈의 몇 가지에 대해 간략히 논하였다. 향후 제기된 문제들에 관한 연구가 구체적 결과를 맺어, 경쟁력 있는 고급 국산 차량 개발에 도움이 되길 기대한다.

후 기

이 연구는 BK21 Plus 프로젝트와 NRF (No. 2012R1A2A2A01009874 및 No. 2013006603)에서 일부 지원 받았습니다.