

전기 추진 수송체 구조의 운용 과정의 주요 소음 인자 NVH 검증

양희준¹ · 박현범^{2,†}¹(주)에스유엠²군산대학교 기계공학부

NVH Verification of Major Noise Factors from Driving of Electric Propulsion Vehicles Structure

Heejun Yang¹, Hyunbum Park^{2*}¹SUM(Smart Your Mobility)²School of Mechanical Engineering, Kunsan National University

Abstract

Noise Vibration Harshness (NVH) is one of the important factors affecting drivers when driving automobiles. This study tested various driving situations after attaching a triaxial accelerometer to major system devices of electric vehicles in Korea and Overseas. Wide Open Throttle (WOT) acceleration test, Virtual Engine Sound System (VESS) noise test, constant speed driving test, and wind noise test were conducted. Noise level was measured using the SIEMENS program. The most prominent noise factor was verified. In this study, important factors affecting NVH were analyzed for electric vehicle development.

초 록

NVH(Noise Vibration Harshness)는 주행 시 운전자가 느끼는 자동차 중요 인자 중 하나이다. 본 연구는 국내와 해외 전기자동차의 주요 시스템 장치에 Triaxial Accelerometer를 부착 후 여러 주행 상황을 가정하여 시험한 결과이다. WOT(Wide Open Throttle) 가속과 VESS(Virtual Engine Sound System) 소음, 정속 주행, 풍절음의 시험을 수행하였다. SIEMENS 프로그램을 사용하여 소음 레벨을 측정하고 가장 두드러지는 소음 인자를 검증하였다. 전기 자동차 개발을 위한 중요 인자를 분석하였다.

Key Words : Motor(모터), Reducer(감속기), Noise(소음), Vibration(진동), Harshness(불쾌감)

1. 서 론

세계에서 두드러지게 나타나는 변화중 하나는 친환경 에너지이다. 친환경 에너지 분야에 대해 최근 많은 변화가 일어나는데 그 중 하나인 자동차 시장은 내연기관 자동차에서 친환경 전기 자동차로 변화되면서 각 차량의 시스템 단위부터 상품성에 대한 내용 및 시험 기술이 빠르게 변화되고 있다.

특히 자동차에서 높은 기술력을 요구하는 엔진 시스템이 전기 자동차로 바뀌면서 엔진이 모터로 대체되어 엔진 기술력이 없던 중국 자동차가 글로벌 시장에서 경쟁력을 지니기 시작했다. 국내 전기 화물차 및 버스 시장에 국외 전기 자동차가 경쟁력 있는 가격을 내세워 들어오고 있으며, 국내 시장 수요가 줄어들고 있다.

내연기관과 전기 자동차에서 크게 비교되는 인자는 소음 및 진동이다. 내연기관 자동차 같은 경우 엔진의 소음 및 진동이 크게 작용하여 차체 이음 및 단차에 대한 문제가 크게 느껴지지 않았지만, 전기 자동차의 경우 엔진이 모터로 대체되며 작은 소음에도 운전자가 민감하게 받아들여지게 되는 문제가 발생하였다.

Received: Jul. 20, 2024 Revised: Sep. 02, 2024 Accepted: Sep. 08, 2024

† Corresponding Author

Tel: +82-63-469-4729, E-mail: swordship@kunsan.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

선행 연구 결과를 검토한 결과 Jafar Masri 등은 현대 운송체계의 소음과 진동 문제를 전반적으로 요약하여 기술하였다[1]. Panza는 상용 운송체의 NVH 해석을 위한 실험 방법에 대해 제시하였다[2]. Priede는 자동차 구조의 소음에 대한 전반적인 개념에 대해 제시하였다[3]. F. A. Pires 등은 소음과 진동에 기인하는 유통을 감소시키는 연구를 수행하였다[4]. Yecheu Qin 등은 전기 수송체의 소음과 진동 문제에 대해 전반적으로 요약하여 기술하였다[5]. 항공우주분야에서는 편봉도 등이 위성의 자세기동에 따른 진동 특성에 관한 연구를 수행하였다[6]. 정용현 등은 액체로켓엔진 시스템 정현파 진동 구조해석에 대한 연구를 수행하였다[7].

본 연구에서는 NVH 데이터 획득 장비를 이용하여 전기 자동차의 Motor, Reducer, A/C Comp 등 소음 및 진동을 시험하였다. 시험 시 여러 주행조건(정속, WOT, Idle 등)을 통해 국외 C사의 전기 화물차와 국내 H사 전기 화물차를 평가하여 데이터를 획득하였다. 국내 및 국외 전기 자동차의 데이터를 비교하고, 향후 전기 자동차에 대한 개발에 중요한 인자를 분석하였다.

2. 시험 평가 방법

2.1 센서 장착 위치

전기 자동차의 소음 및 진동에 대한 주요 인자에 센서를 부착하여 NVH 장비 데이터를 획득하였다. 해당 부위의 소음 및 진동이 중요한 역할을 하므로 해당 부분에 부착하여 측정하였다.

(Fig. 1~4 좌 : 중국 C사 / 우 : 국내 H사)



Fig. 1 Driver Left Position



Fig. 2 The configuration of motor



Fig. 3 Reduce



Fig. 4 A/C Comp & Vacuum Pump

2.2 시험 방법 및 준비

본 연구에서 시험은 총 다섯 가지로 수행하였다. 첫 번째 가속 시 나타나는 구동계(Motor, Reducer)의 작동 소음을 측정하기 위해 WOT(Wide Open Throttle) 조건으로 속도가 0인 영역부터 최고속도까지 주행하였다. 두 번째 VESS(Virtual Engine Sound System) 소음을 측정하기 위해 0~30km/h 주행하였다. 세 번째 풍절음을 측정하기 위해 정속(50km/h, 75km/h)으로 주행하였다. 풍절음은 고속 주행시 발생하는 굉음이다. 네 번째 A/C Comp 소음을 측정하기 위해 정차 조건에서 에어컨을 작동시킨다. 다섯 번째 후진 경고음을 측정하기 위해 정차 조건에서 후진 기어로 변경시킨다. 모든 시험은 CVW+2인+장비 중량 그리고 풍속

5m/s 이하, 건조한 노면의 환경에서 시험하였다. 본 연구에서 적용할 시험 검증을 위해 초기 시험을 통한 주행 시험 데이터는 한국기초과학지원연구원의 미래 모빌리티 플랫폼 신뢰성 핵심연구지원센터(군산)에서 데이터 계측 분석시스템(NFEC-2019-10-258522)을 활용하여 측정 및 분석하였다.

3. 시험 결과

분석할 데이터는 총 6가지로 구동계 VESS, 풍절음, 에어컨 작동음, 브레이크 진공 펌프, 후진 경고음으로 측정된 각 주파수 별 음압레벨을 통해 어느 부품 및 시스템에서 소음이 발생하는지 알아보았다.

첫 번째 구동계 소음 데이터는 WOT 가속 주행 상태로 분석 하였다. 아래 Table 1과 같이 모터 및 감속기 자체의 dB레벨은 H사가 C사보다 열악한 수치지만 운전자에게 직접적으로 나타나는 소음은 H사가 우수하였다. 이를 통해 모터 및 감속기의 흡음재 및 도어 웨더스트립 적용으로 인해 소음 차단이 훨씬 우수한 것으로 분석되었다.

Table 1 Vehicle Drive System Noise & Vibration

Item	Driver Noise (dBA)	Motor Vibration (dB)			Reducer Vibration (dB)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
O/A	C	75	132	133	134	137	146	150
level	H	72	137	143	136	141	150	138

*dB : decibel, **dBA : decibel_A-Weighting

***O/A level : Overall level

두 번째 VESS 데이터 분석은 0~30km/h의 주행속도 범위로 측정한다. 분석한 데이터는 Fig. 5와 같은 Color map이 나타나는데 C사는 전체적인 O/A level이 강하며 특정 주파수에서 (400~500Hz) 강한 음압대가 선명하게 나타나 듣는 운전자에게 불쾌감 및 소음으로 들릴 수 있다. 그에 반면에 H사의 Color map은 넓은 음역대와 페이드 구간이 길고 부드러운 듣기 좋게 느껴진다.

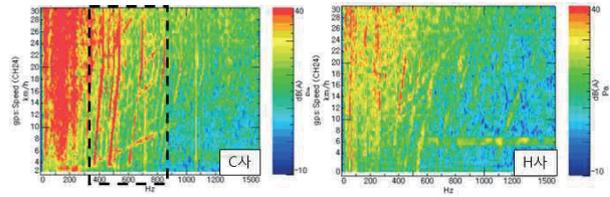


Fig. 5 VESS Color map

Table 2 VESS Auto Power Driver Noise

Item		Driver Noise (dBA)	Gap(dBA)
O/A	C	68	14
level	H	54	

세 번째 풍절음 소음 데이터는 50km/h, 75km/h 정속 주행상태로 데이터를 획득한다. 획득한 데이터는 1/3 Octave 그래프와 A.I 수치를 통해 분석하였다. Fig. 6은 두 차량의 50, 75km/h 주행 데이터를 Octave 1/3 그래프로 시각화 시켰으며, 전체적인 O/A level과 A.I 수치는 H사의 차량이 우수하였다. 도어부의 웨더 스트립 상품성의 차이와 외부 조립 단차부에 의한 고무패킹 유무 및 품질로 인한 차이로 보인다. (단, A.I 수치는 일정 속도 이후부터 동일하다.)

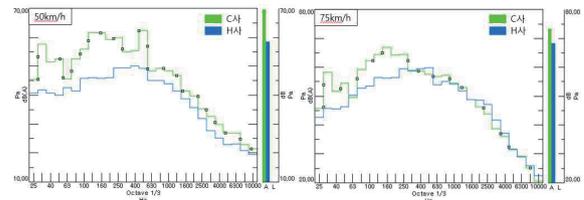


Fig. 6 Wind Noise Octave 1/3

Table 3 Auto Power Driver Noise

Item		50km/h	75km/h
O/A	C	74	76
level (dBA)	H	61	71
A.I (%)	C	88	71
	H	95	71

*A.I : Articulation Index : 대화 명료도 (100%에 가까울수록 대화가 잘 됨)

네 번째 에어컨 작동시험은 Idle 상태에서 데이터를 획득한다. 소음 데이터는 A/C Comp와 부품을 고정하는 브라켓의 진동을 측정해 실제로 실내 소음은 어느

정도 들어오는지 그리고 소음의 근원지를 고정시키는 브라켓의 진동 절연은 어느정도 인지 분석을 했다. Table 4의 데이터를 보면 전체적인 모터 진동이 C사와 H사의 X축 제외 진동의 차이가 없으나 운전석 소음은 매우 큰 차이를 보인다. 특히 C사의 차량은 에어컨 가동 시 블로워 작동 후 6초 뒤 “드르륵” 소음이 발생하며 특정 주파수에서 나타나는 것을 확인 가능하다. (Fig. 7 참고)

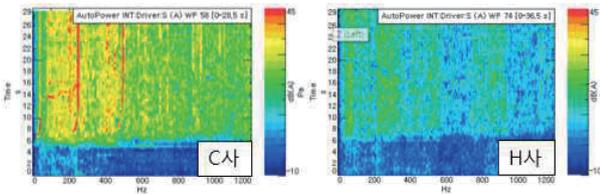


Fig. 7 A/C Comp Color map

Table 4 Auto Power Driver & A/C Comp Noise

Item	Driver Noise (dBA)	Motor Vibration (dB)			Bracket Vibration (dB)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
O/A level	C	60	126	120	118	109	115	118
	H	39	116	118	115	102	105	104

다섯 번째 브레이크 진공 펌프 작동시험은 Idle 상태에서 데이터를 획득한다. Vacuum Pump와 고정하고 있는 브라켓의 진동을 측정하여 Vacuum Pump의 진동을 어느정도 절연하는지 확인하고 실내 소음을 분석하였다. 아래 Table 5를 분석해보면 H사와 C사의 Vacuum Pump 3축의 진동 세기는 비슷하나 C사의 Bracket 절연율이 높으며 실내 소음도 포터 대비 우위에 있는 것을 볼 수 있다. 다만, 시험 시 실제 느낀 소음은 H사가 정숙하게 느껴졌다. Fig. 8 Color map을 분석해보면 C사는 여러 주파수에 일정 소음이 존재하는 것에 비해 H사는 거의 존재하지 않는다. 주파수 영역에 따라 실내 소음이 높더라도 실제 사람이 느끼는 소음은 다르다는 것을 확인했다.

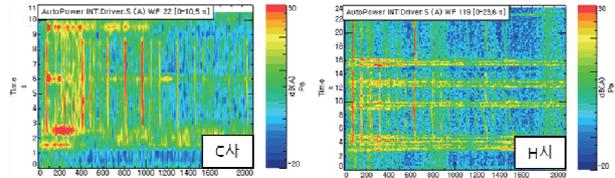


Fig. 8 Brake Vacuum Pump one Noise Colormap

Table 5 Auto Power Driver & Brake Vacuum Pump Noise

Item	Driver Noise (dBA)	Vacuum Pump Vibration (dB)			Bracket Vibration (dB)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
O/A level	C	43	153	161	151	117	111	115
	H	51	147	151	149	131	120	127

여섯 번째 후진 경고음은 기어변수 R상태에서 데이터를 획득한다. 음압레벨은 C사, H사 동등한 수준이나, H사의 경고음 데이터는 주로 500~600Hz, C사의 경고음 데이터는 760~840Hz로 H사 대비 C사는 고주파 영역이다. 그리고 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 Color map의 모양을 보면 C사는 비교적 순음에 가까운 것에 비해 H사의 음압 파형은 연속적이며 넓은 주파수 영역을 사용하여 부드럽고 편안한 음색인 것을 확인하였다.

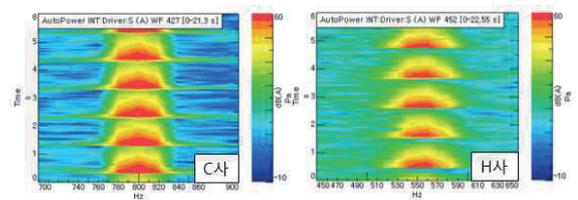


Fig. 9 Reverse warning tone Noise Colormap

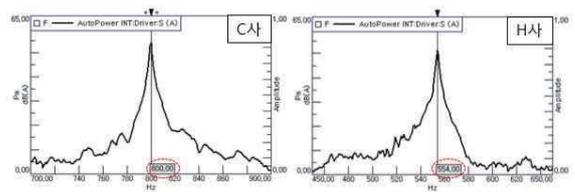


Fig. 10 Reverse warning tone Auto Power

4. 결 론

경쟁력 있는 가격으로 국내 시장에 들어오고 있는 중국의 전기 화물차와 국내 H사 전기 화물차의 소음 및 진동을 NVH 장비를 사용하여 비교 분석하였다. 이번 시험을 통해 각 주행별 소음의 차이를 측정하였다. WOT주행을 통한 구동계(모터, 감속기) 진동은 H사가 C사 대비 열등했으나, 모터부 흡음재 부착 및 도어 웨더스트립의 차이로 인해 운전석 소음은 낮은 결과가 나왔다. 또한 모터 대비 감속기의 진동이 더 심한 결과도 도출하였다. A/C Comp와 Brake Vacuum Pump 같은 경우 소음원의 진동은 Bracket의 절연율에 따라 감소될 수 있으나, 흡음재 및 실내 Leak의 유무에 따라 실내 소음의 감소폭이 크다는 것이 분석되었다.

본 연구를 통해 향후 국내 및 국외 전기 자동차의 데이터를 비교하고, 전기 자동차 개발에 대한 중요한 인자를 도출하여 활용할 수 있다.

후 기

본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임.(2023R1A6C101B042)

References

- [1] J. Masri, M. Amer, S. Salman, M. Ismail, M. Elsis, "A survey of modern vehicle noise, vibration, and harshness: A state-of-the-art", *Ain Shams Engineering Journal*, Available online 102957, 18 July 2024.
- [2] M. Panza, "A review of experimental techniques for NVH analysis on a commercial vehicle", *Energy Procedia*, Vol. 82, pp. 1017-1023, 2015.
- [3] T. Priede, "Origins of automotive vehicle noise", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 15, pp. 61-73, 1971.
- [4] F. A. Pires, L. Sangiuliano, H. Denayer, E. Deckers, W. Desmet, C. Claeys, "The use of locally resonant metamaterials to reduce flow-induced noise and vibration", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 535, 117106, 2022.
- [5] Y. Qin, X. Tang, T. Jia, Z. Duan, J. Zhang, Y. Li b, L. Zheng, "Noise and vibration suppression in hybrid electric vehicles: State of the art and challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 124, 109782, 2020.
- [6] B. D. Pyeon, J. S. Bae, J. H. Kim, J. S. Park, "A Study on the Vibration Characteristics of Attitude Maneuvering of Satellite", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 13, pp. 23-31, 2019.
- [7] Y. H. Chung, E. S. Lee, S. Y. Park, C. H. Yang, J. T. Jung, "Structural Analysis of Sinusoidal Vibration Load for Liquid Rocket Engine System", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 3, pp. 20-23, 2009.