

브레이크 챔버의 실시간 모니터링 시스템에 적용되는
센서 컨트롤 박스의 진동 해석에 관한 연구황택주¹ · 점경민¹ · 명순식² · 박현범^{3,†}¹군산대학교 고등기술융합연구원²미래브이씨³군산대학교 기계공학부

Vibration Analysis of the Sensor Control Box Applied to a Commercial Brake Chamber Real-time Monitoring System

Taekju Hwang¹, Kyungmin Jum¹, Soonsik Myung², Hyunbum Park^{1,†}¹Kunsan National University Advanced Technology Institute for Convergence²MiraeVC. INC.³School of Mechanical Engineering, Kunsan National University

Abstract

This study aimed to analyze the structural integrity of a sensor control box, a critical component for real-time monitoring of brake chamber pressure in large commercial vehicles and trailers. We utilized the computational analysis program ANSYS Workbench R2021 based on our testing conditions and vibration test specification KS R1034. Through modal analysis, we identified resonance frequencies within the frequency range of 5 Hz to 100 Hz and compared results in the frequency range of 33 Hz to 67 Hz using harmonic analysis.

초 록

본 연구에서는 대형상용차 및 트레일러에 적용되는 브레이크 챔버의 압력을 실시간으로 모니터링하는 핵심부품인 센서 컨트롤 박스에 대하여 전산해석 프로그램인 ANSYS Workbench R2021 [7]을 활용하여 진동시험 규격인 KS R1034의 시험 조건을 기초로 고유진동수 및 진동에 의한 구조적 안전성을 분석하였다. 모달 해석을 통해 5Hz ~ 100Hz 주파수 영역에서 공진점을 검출하였고, 조화해석을 통해 33Hz ~ 67 Hz의 결과값을 비교하였다.

Key Words : Frequency(주파수), Natural Frequency(고유주파수), Real-time(실시간), Monitoring(모니터링), Resonance(공진)

1. 서 론

대부분의 대형상용차 및 트레일러의 제동시스템은 응답성 및 제동안정성을 확보하기 위하여 일반 상용차에 주로 적용되는 유압식 브레이크가 아닌 공압식 브레이크를 채택하고 있으며, 공압식 브레이크는 드럼 방식과 디스크 방식으로 나뉘어 적용하고 있다. 기존

상용차에는 드럼 방식의 브레이크가 주를 이루고 있었으나, 최근에 들어서는 제동 안정성이 탁월하고, 유압식 및 공압식 드럼브레이크 보다 고장이 적은 공압식 디스크 브레이크 시스템을 적용하고 있다. 하지만 드래깅 브레이크 및 브레이크 고장에 의한 화재가 발생하고 있다. 운행중인 트럭 및 트레일러의 화재는 운전자가 빠르게 인지하기 어렵고, 급격하게 화재가 확산되어 인지 완료 후에는 신속한 대응이 어려운 상황으로 브레이크 시스템의 이상을 실시간으로 모니터링 및 고장 경고 등을 할 수 있는 시스템의 도입이 절실하게

Received: Feb. 28, 2024 Revised: Apr. 09, 2024 Accepted: May 16, 2024

† Corresponding Author

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

© The Society for Aerospace System Engineering

요구되고 있다.

센서 컨트롤 박스와 같은 전장품의 경우 차량 운행 중 발생하는 진동과 충격으로부터의 보호가 필수적이다. 진동과 충격에 의한 단선 및 오작동으로 인한 사고의 발생이 우려되는 상황이다.

최근 국내·외 연구동향을 살펴보면 김명곤 외 3명은 2020년에 전기자동차 정전박스의 진동 및 충격에 관한 연구를 수행하였다[1]. 최해규 외 3명은 2012년에 자동차 시트용 플라스틱 서스펜션 매트 of 진동 및 피로해석에 관한 연구를 수행하였다[2]. Gangyan Li 외 4명은 2022년에 상용차 브레이크 챔버의 압력 변화율에 대한 측정방법 및 테스트 시스템 분석에 관한 연구를 수행하였다[3]. 장성복 외 3명은 2021년에 전기자동차용 플라스틱 배터리 팩 케이스에 대한 PSD 진동내구성 분석을 연구하였다[4]. 김광호 및 정상화는 2022년 전기자동차 부품에 대하여 무작위 진동분석을 통한 불량 추정에 관한 연구를 수행하였다[5]. 이혁재 외 3명은 2018년에 가상수명 예측기법을 활용한 상용차 전장부품의 진동평가에 관한 연구를 수행하였다[6].

본 연구의 목적은 실시간 모니터링 시스템의 핵심적인 역할을 하는 센서 컨트롤 박스에 대하여 고유진동수 및 자동차 부품의 진동시험 기준인 KS R 1034의 규격에 대한 구조적인 안정성을 확인하기 위함이며, 진동 해석을 통해 제품의 치명적 결함 및 시험에 필요한 시제품의 제작을 최소화 할 수 있다.

2. 구조 해석

2.1 해석 모델

본 연구에 사용한 센서 컨트롤 박스의 형상은 Fig. 1 및 2와 같다. 센서 박스는 Front Panel, Aluminum Plate, Sensor Holder, One Touch Fitting, Rear Panel, Bolt로 이루어져 있으며, 내부에는 Sensor PCB, PCB Cover 등으로 되어있다. 해석모델은 O-Ring 및 PCB 등 일부 요소를 제거하였다.

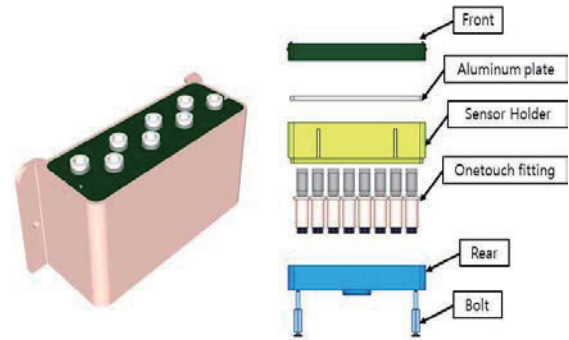


Fig. 1 Sensor control box in the present work

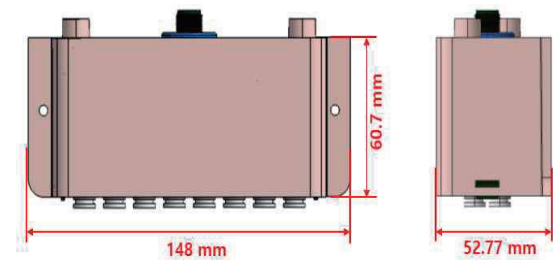


Fig. 2 Sensor control box Size

2.2 진동 해석

본 연구에서는 상용해석 프로그램인 ANSYS Workbench R2021를 활용하여 진동해석을 수행하였다. 센서 컨트롤 박스 모델은 약 50만개의 격자로 구성하였다. 모델의 재질은 PA66GF35이며, 재질에 대한 물성정보는 Table. 1과 같다. Fig. 3과 같이 센서 컨트롤 박스의 한쪽면은 고정된 상태로 Modal 해석을 통해 5 ~ 100Hz 사이의 주파수 영역에서 z축 방향으로 KS R 1034 자동차 부품 진동시험 규격의 가속도 값인 3g, 4.5g 에 해당하는 값인 29.4m/s², 44.1m/s²의 에너지를 인가하였다.

Table 1 Mechanical Properties of Materials

Material Property	PA66GF35	Steel
Density, ρ [kg/m ³]	1,400	7,850
Elastic Modulus, E[GPa]	10	200
Poisson's Ratio	0.34	0.3
Yield Strength [MPa]	25	250

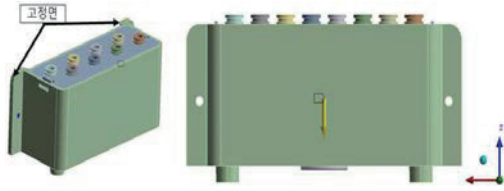


Fig. 3 Boundary Condition

3. 결과 및 고찰

3.1 주파수응답 해석

Modal 해석 결과 5Hz ~ 100Hz 사이의 주파수 영역에서 공진점은 검출되지 않았고, Harmonic 해석을 통하여 33 z, 67Hz에서의 결과 값을 비교하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 각각 진동에너지가 29.4m/s², 44.1m/s² 일 때 33Hz ~ 67Hz 주파수 영역에서의 응력과 위상 각에 대한 응답을 나타낸다. 두 경우 모두 해당 영역에서 변형과 응력이 선형적으로 증가하였다.

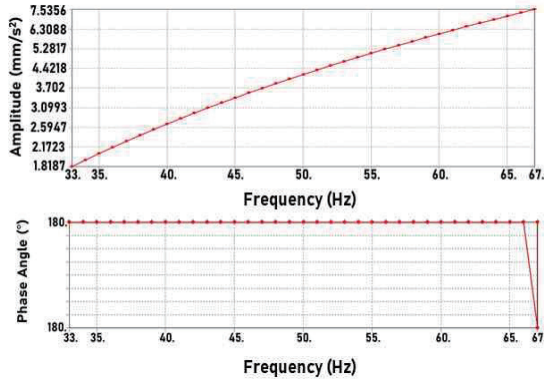


Fig. 4 Frequency Response at 29.4 m/s²

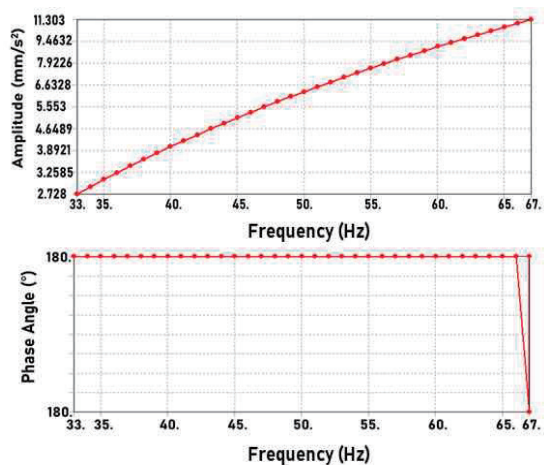


Fig. 5 Frequency Response at 44.1m/s²

3.2 변형

주파수 응답 해석을 수행한 후 변형 해석을 수행하였다. Fig. 6은 진동에너지가 29.4m/s²일 때 각각 33Hz, 67Hz 주파수 영역에서의 변형을 나타내고 있다. 변형은 z축 방향으로 발생하였으며, 최대변형은 Front에서 발생하였으며, 33Hz에서 0.00288mm, 67Hz에서 0.00291mm로 나타났다.

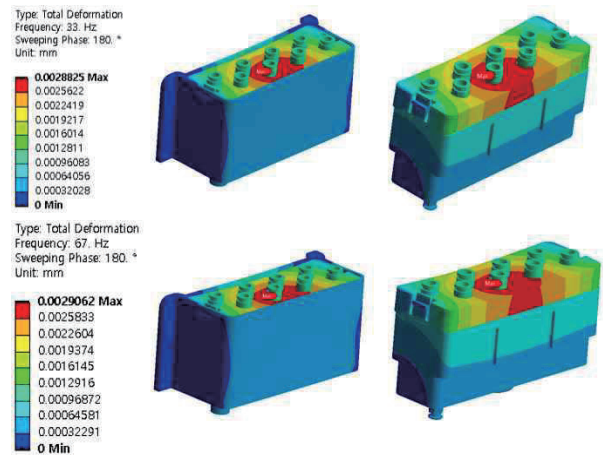


Fig. 6 Total Deformation at 29.4m/s²

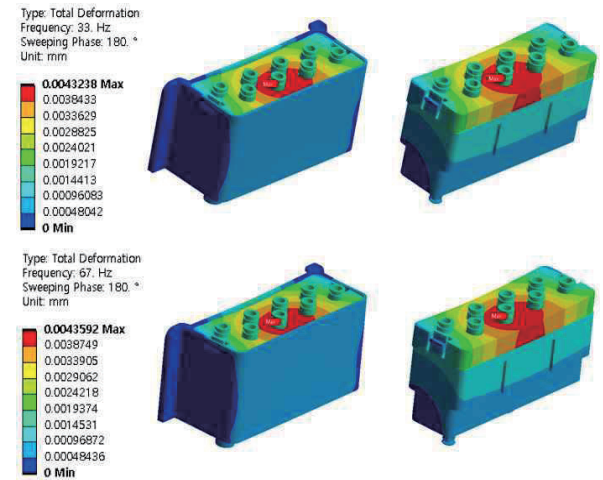


Fig. 7 Total Deformation at 44.1m/s²

Fig. 7은 진동에너지가 44.1m/s²일 때 각각 33Hz, 67Hz 주파수 영역에서의 변형분포를 나타낸다. 변형은 z축 방향으로 발생하였고, 최대 변형은 Front 중앙에서 발생하였으며, 33Hz에서 0.00432mm, 67Hz에서 0.00436mm로 나타났다. 29.4m/s²에서 44.1m/s²로

진동에너지가 증가했을 때 최대변형의 크기는 증가하였지만 변형은 유사했고, 최대변형의 위치도 동일하였다.

3.3 응력 분포

본 연구에서 응력 해석을 통해 구조 안전성을 평가하였다. Fig. 8은 진동에너지가 29.4m/s^2 일 때 각각 33Hz, 67Hz 주파수 영역에서의 응력분포를 나타낸다. 최대응력은 Front와 Cover 접촉 부위에서 발생하였으며, 33Hz에서 0.289MPa, 67Hz에서 0.290MPa로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 안전율을 검토한 결과 충분히 응력 분포가 안전한 것으로 검토되었다.

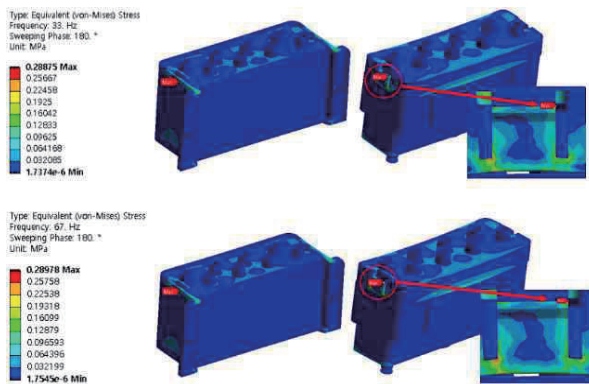


Fig. 8 Stress distribution at 29.4 m/s^2

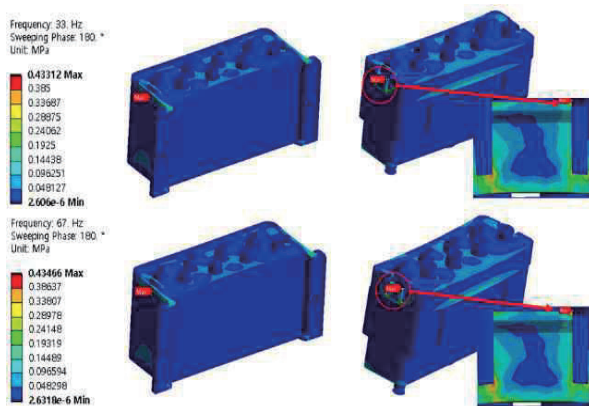


Fig. 9 Stress distribution at 44.1 m/s^2

Fig. 9은 진동에너지가 44.1m/s^2 일 때 각각 33Hz, 67Hz 주파수 영역에서의 응력분포를 나타낸다. 최대응력은 Front와 Cover 접촉 부위에서 발생하였으며,

33Hz에서 0.433MPa, 67Hz에서 0.435MPa로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 29.4m/s^2 에서 44.1m/s^2 로 진동에너지가 증가했을 때 최대응력의 크기는 증가하였고, 응력분포는 유사하였으며, 최대응력의 위치도 동일한 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 진동해석을 통해 브레이크 챔버 실시간 모니터링 시스템의 센서 컨트롤 박스의 고유진동수와 진동이 구조물의 변형과 응력분포에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 본 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- [1] 5Hz ~ 100Hz 사이의 주파수 영역에서 공진점은 검출되지 않은 것을 확인하였다.
- [2] 진동에너지가 29.4m/s^2 , 44.1m/s^2 일 때 33Hz ~ 67Hz 주파수 영역에서 변형과 응력이 선형적으로 증가하였다.
- [3] 진동에너지가 29.4m/s^2 일 때 최대변형은 33Hz에서 0.00288mm, 67Hz에서 0.00291mm로 나타났고, 44.1m/s^2 일 때 33Hz에서 0.00432mm, 67Hz에서 0.00436mm 나타났다.
- [4] 진동에너지가 29.4m/s^2 일 때 최대응력은 33Hz에서 0.289MPa 67Hz에서 0.290MPa로 나타났고, 44.1m/s^2 일 때 33Hz에서 0.433MPa, 67Hz에서 0.435MPa 나타났다.
- [5] 29.4m/s^2 에서 44.1m/s^2 로 진동에너지가 증가했을 때 최대변형과 응력의 크기는 증가하였다. 변형과 응력분포는 유사하였으며, 최대 변형과 응력의 위치도 동일함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 재원으로 지역특화산업육성+ (R&D)사업을 지원받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.(과제번호: S3265807) / 본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임.(2023R1A6C101B042)

References

- [1] Myounggon Kim, Jun Lee, Sechang Park, Sanghun Lee and JongilYoon, “A study on vibration and shock for Junction box of electric vehicle based on structural analysis”, *Journal of Mechanical Science and Technology, Proc. of the Korea Society of Mechanical Engineers*, pp182-182, 2020.
- [2] Hae-KyuChoi, Key-Sun Kim, Sei-Hwan Kim and Jae-Ung Cho, “Study on Vibration and Fatigue Analysis for Plastic Suspension Mat of Automotive Seat”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 2, pp. 504-509, 2012.
- [3] Gangyan Li, Rui Shen, Yudong Liu, Fan Yang, Jian Hu, “Analysis of a Measurement Method and Test System for Pressure Change Rates in Commercial Vehicle Brake Chambers”, *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 22, No. 9, pp. 3427-3427, 2022.
- [4] Sungbok Jang, yongsuk Lee, Cheolmin Shin, Haegyul Kim, Wooseok Ji, “PSD Vibration durability Analysis for Plastic Battery Pack Case of Electric Vehicles”, *Proc. of the Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 713-714, 2021.
- [5] Gwangho Kim, SangHwa Jeong, “Random Vibration Analysis for Failure Estimation of EV Component”, *Proc. of the Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 75, 2022.
- [6] Hyuckjae Lee, Seungwon Yoo, Wookjin Na, Wan Lee, “A Study on the Evaluation of Vibration using Virtual Fatigue Life Predon for Truck Electronic Component”, *Proc. of the Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 920-921, 2018.
- [7] ANSYS, 2021 R1, ANSYS Mechanical Products 2021 R1, ANSYS Inc.