

일반도로와 자전거도로에서의 카고바이크 화물 적재함 진동 특성 비교

김동율 · 유명국 · 이행석 · 김상민*

경북자동차임베디드연구원

Comparison of Vibration Characteristics of Cargo Bikes on General Roads and Bicycle Roads

Dong Yul Kim, Myenog Guk Yu, Heng Suk Lee, and Sang Min Kim*

Gyeongbuk Research Institute of Vehicle Embedded Technology

Abstract This paper analyzes the vibration characteristics within the cargo compartment of a three-wheeled cargo bike when used on both regular roads and dedicated bicycle lanes. When cargo is loaded into the cargo compartment of a cargo bike and driven on the road, the shocks and vibrations transmitted from the ground can potentially affect the transported goods and even lead to product damage. As the vibration characteristics applied to the cargo compartment may vary depending on the condition of the road, vibration sensors were attached to the cargo bike's cargo compartment for data collection during operation on different road types. According to KS T ISO 13355 standards, the cargo bike can withstand vibrations within the range of 10 Hz to 60 Hz when operating on both bicycle lanes and regular roads. However, it is observed that there are peaks exceeding the profile in the frequency range of 3–6 Hz. In the 70–200 Hz range, the profile is exceeded on both regular roads and bicycle lanes, with a tendency for higher exceedance on bicycle lanes. The Grms value within the frequency range of KS T ISO 13355 is 5.926 m/s² (0.604 Grms). When operating on bicycle lanes with cargo, the Peak envelope optimization PSD value is 6.553 Grms, while on bicycle lanes, it is 7.708 Grms, indicating a difference of at least tenfold.

Keywords Cargo Bike, Vibration Characteristics, Last Mile Delivery, Courier Logistics, Delivery Industry

서 론

최근 이-커머스(E-Commerce) 시장의 증가, 저렴하고 빠른 배송을 가능하게 하는 새벽배송, 다양한 배송 플랫폼의 출현, 1인 가구의 급증 등 기업과 소비자 간의 직접 거래가 증가함에 따라 라스트마일(Last-Mile) 물류 업무도 증가하고 있다^{1,2)}.

라스트마일 딜리버리(Last Mile Delivery)는 상품을 물류 거점에서 최종목적지까지 배송하기 위한 과정으로 개인 소비자에게 직접 상품을 전달하기 위한 배송의 마지막 구간을 뜻하며 소비자의 배송시간이나 배송 속도에 대한 만족도를 충족시키기 위해 발전하고 있다. 이러한 배송 물품들은 다품종 소량 다빈도 주문이 많으며, 계절적으로 변동 요

인이 크기 때문에, 규모의 경제에 대비하여 대량의 제품을 대형물류창고에서 분류하여 택배 발송하던 계획물류시스템을 그대로 적용하는 것은 불가능하다.

공급자 입장에서는 까다롭고 많은 변화와 적응이 필요한 만큼 투입되는 비용이 많으므로 향후 이 부분의 비용을 지속해서 줄여 효율적인 라스트마일 운영이 필요하다는 점에 여러 가지 서비스들이 개발되고 있다³⁻⁵⁾.

배송 시장에서의 고객들의 요구는 다양화되고 선호 방식에 맞춘 신속성, 안전성, 생산성을 제공하는 혁신적인 방안이 도출되고 있다. 기존 물류 기업과 비물류 기업 사이의 경쟁이 치열해지고 있으며 고객의 요구를 충족시키고, 불만이나 장애 요인을 해결하기 위한 새로운 배송 서비스를 내놓고 있다⁶⁻⁹⁾.

이런 문제점들을 해결하고, 더욱 빠르고 높은 생산성을 제공하는 택배 물류 서비스를 목적으로 4차 산업혁명 기술들이 선보이고 있으며, 배송 시 친환경, 전동화, 배송 로봇, 무인 운송 및 물류 등 다양한 모빌리티(Mobility) 수단들이 확대되고 있다¹⁰⁻¹⁶⁾.

*Corresponding Author: Sang min Kim
Gyeongbuk Research Institute of Vehicle Embedded Technology,
Myeongsan-gil, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do, 38822, Korea
Tel: +82-54-339-0034, Fax: +82-54-336-9732
E-mail: smkim@givet.re.kr

그중 카고 바이크는 전기를 동력으로 이동하기 때문에 탄소 중립 시대의 친환경 운송수단이자, 택배 차량의 지상 진입이 불가능한 지역 내에서 근거리 라스트마일(Last-mile) 배송에 최적화된 운송수단으로 주목받고 있다¹⁷⁾.

카고 바이크는 화물 운송 자전거이며 다량의 짐을 적재하고 포장도로를 달리는 것이 주목적이다. 카고 바이크의 적재함에 화물을 적재하여 도로를 주행하면 지면으로부터 전달되는 충격과 진동으로 인하여 배송 물품에도 영향을 미칠 수 있으며 적재함의 진동 특성에 따라 제품을 파손시킬 수도 있다¹⁸⁾.

이에 본 연구에서는 카고 바이크로 일반도로와 자전거도로를 주행하며 적재함의 진동 특성을 비교하고자 한다.

본 론

1. 카고 바이크 사양 및 적재함

카고 바이크 구조는 3륜형 카고 바이크이며 아래 Fig. 1에 나타내었다.

전체 크기는 2450(L)×1200(W)×1130(H)(mm) 총무게는 약 70 kg이다. 프레임은 고장력 강관이 사용 되었으며, 포크는 댐퍼가 적용된 거더 포크를 사용하였다.

카고 바이크 배송 시 사용하는 화물 적재함의크기는 750×1040×800(mm)이며 Fig. 2에 나타냈다.

2. 카고 바이크 진동 측정 및 센서

Fig. 3은 적재함의 진동을 측정하기 위한 센서의 위치를 나타낸 사진이며, 가장 진동이 심할 것으로 예상하는 지점인 적재함의 내부 최 끝단부 바닥 가장자리에 부착하였다.

가속도계 측정 센서는 S4-E25D40(enDAQ)이며 상세 스펙은 Table 1과 같다.

3. 적재함의 진동 특성 분석

3.1. 배송 중 진동 특성

배송 중 발생하는 진동은 카고 바이크의 스프링-중량 시



Fig. 1. Structure of a cargo bike.



Fig. 2. Delivery box of cargo bike.



Fig. 3. Installation of the accelerometer sensor.

Table 1. Accelerometer specifications

Model	S4-E25D40(enDAQ)
Type	Digital capacitive
Size	76.2×29.8×18.3 (mm)
Weight	65 (g)
Range	± 40 (g)
Sampling Rate	4,000 (Hz)
Bandwidth	0 to 300 Hz (Hz)
Noise	< 0.01 (Grms)
Resolution	0.00008 (g)

스템에 의해 발생하지만, 타이어의 공기압이나 적재함, 현가 장치에 따라 달라진다. 이에 따른 파손은 적재함의 고유진동이 포장제품의 고유주파수에 근접할 때 공명(Resonance)이 발생하여 제품의 기계적 파손, 마찰에 의한 긁힘이나 정전기 발생, 내용물 분출이나 분리 현상 등이 발생할 수 있다¹⁸⁾.

3.2 카고 바이크 배송 실증 주행 코스

각 경로 내 노면 상태 혹은 일반도로 및 자전거전용도로 상태에 따라 적재함에 가해지는 진동의 특성이 다를 것으로 예상하기 때문에 각 도로 내 운행 카고 바이크 적재함에 진동 센서를 부착하여 데이터를 수집하였다.

지역은 경북 김천시로 스마트 그린물류 규제자유특구 사업에 따른 실증단지가 김천으로 특구가 지정되어 있으며, 김천 내 주거단지 중 주택가와 밀접한 도로를 선정하여 실증 주행 평가하였다. 일반도로는 일반적인 아스팔트로 포장되어 있고 자동차가 달리는 도로와 같은 도로이며, 자전거도로는 폭은 약 1.5m 이내의 폴리우레탄, 합성 고무 칩 등으로 포장된 도로이다. 일반도로 주행 코스는 Fig. 4, 자전거도로 주행 코스는 Fig. 5에 각각 나타내었다.

실증에 사용된 카고 바이크 최대속도는 약 20 km/h이며 실증 시 주행 속도는 10~20 km/h 내외로 주행하였다.

3.3. 표준 KS T ISO 13355 PSD 프로파일

KS T ISO 13355 규격은 한국산업표준으로써 포장 수송 화물과 단위 화물 수직 랜덤 진동 시험방법에서 사용되는 프로파일이다. 이 표준은 불규칙한 진동을 이용한 수송 포

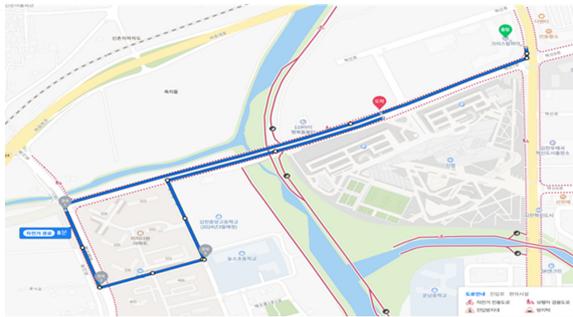


Fig. 4. General road driving course.

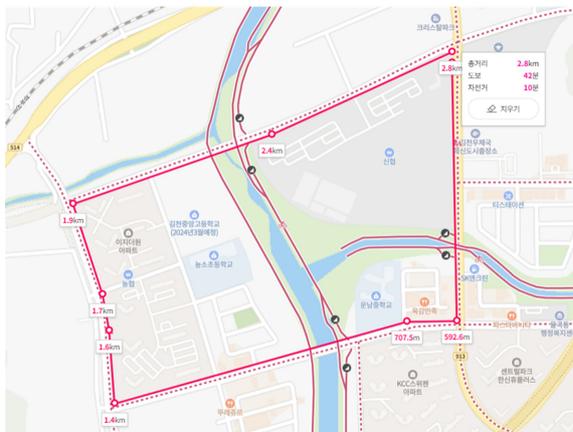


Fig. 5. Bike path driving course.

Table 2. Spectral density

Frequency (Hz)	Level (g ² /Hz)	Slope (dB/oct.)
2	0.0005	-
2-4	-	+13.75
4-18	0.012	-
18-40	-	-9.34
40	0.001	-
40-200	-	-1.29
200	0.0005	-

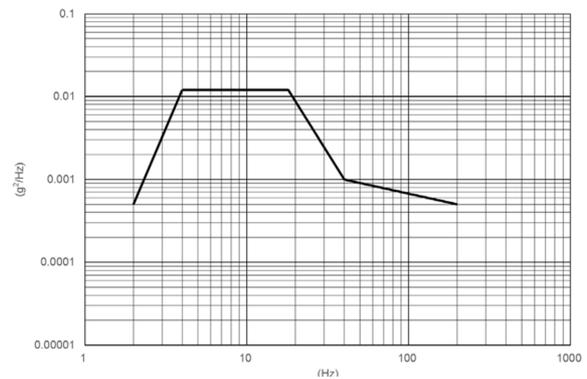


Fig. 6. PSD Profile.

장 화물과 단위 적재 화물의 수직 랜덤 진동 시험의 방법에 관해 규정하며 랜덤 진동 하에서 포장의 내용물 보호 기능을 측정하는 데 사용된다. 또한, 수직 랜덤 진동이 화물에 주는 영향을 측정하는 독립 실험으로, 진동 충격이 예상되는 유통 조건에서 시료의 저항 성능 측정을 위해 시행될 수 있다.

Table 2에서는 별도의 실측 데이터가 없는 일반적인 운송상태(주로 도로 수송)에서 실험하고자 할 때의 스펙트럼 밀도를 표로 작성하였다. Fig. 6에는 PSD 프로파일을 나타내었으며 주파수 범위의 Grms값은 0.604 Grms이다.

PSD(Power Spectral Density) 프로파일은 전력 스펙트럼 밀도의 약어로 주로 주파수 도메인의 에너지 분포를 나타내는 그래프이다. 일반적으로 x축에는 주파수가 표시되고 y축은 해당 주파수 범위 내에서의 에너지가 표시된다.

Grms 값은 일정한 주파수대역 내에서 신호나 시스템이 가지고 있는 진동 또는 물리적 에너지의 크기를 나타내며 진동 또는 소음을 평가할 때 주로 사용된다.

3.4. 진동 결과 분석

카고 바이크에 진동 센서를 부착 후 수직 방향 진동을 측정하여 분석하였다. 하중 주파수 분석은 구조물이나 기계 부품이 특정 주파수의 진동에 얼마나 민감한지 측정하는데 사용되며, 그래프의 X축은 주파수를 나타내며, Y축은 진동

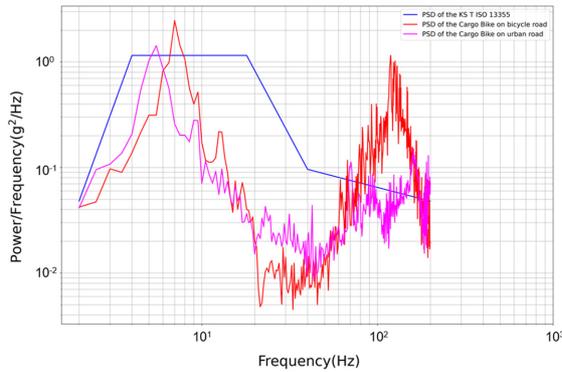


Fig. 7 Comparison of vibration profiles of bicycle roads and general roads.

의 세기를 나타낸다. Fig. 7에서는 KS T ISO 13355 PSD 프로파일과 자전거도로와 일반도로를 주행하였을 때의 프로파일을 비교하였다.

자전거도로와 일반도로에서 주행하였을 때 KS T ISO 13355 기준에 따라 카고 바이크는 10 Hz에서 60 Hz의 범위에서 진동을 견딜 수 있지만, 3-6 Hz 주파수대역에서 프로파일을 초과하는 피크가 있는 것을 확인할 수 있다.

70-200 Hz 구간에서는 일반도로 및 자전거도로에서도 프로파일을 초과하였으며 자전거도로에서 좀 더 높게 초과하는 경향이 나타났다.

KS T ISO 13355의 주파수 범위의 Grms값은 5.926 m/s^2 (0.604 Grms) 이다. 화물이 있는 상태에서 자전거도로 주행 시 Peak envelope optimization PSD 값은 6.553 Grms이었으며, 자전거도로 주행 시 7.708 Grms로 최소 10배 이상의 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

저주파 영역은 일반적으로 0~20 Hz의 주파수 범위를 포함하고, 중간 주파수 영역은 20~200 Hz 범위를 포함한다. 일반도로와 자전거도로에 따른 주파수 대역별 특성은 두 도로 모두 비슷한 경향으로 나타났으며 자전거도로에서의 중간 주파수 영역이 높은 이유는 일반도로보다 상대적으로 빠르고 작은 진동이 많았음을 알 수 있다. 따라서 화물 적재 시 진동 흡수 패드와 같은 보강이 필요할 것으로 예상된다.

이러한 결과를 바탕으로, 카고 바이크의 진동은 도로 주행 환경에 따라 영향을 받을 수 있음을 알 수 있다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 3륜형 카고 바이크를 이용하여 일반도로와 자전거도로에서의 화물 적재함 내에 진동 특성을 분석하였다.

1. 카고 바이크에 적재함에 화물을 적재하여 도로를 주행하면 지면으로부터 전달되는 충격과 진동으로 인하여 배송 물품에도 영향을 미칠 수 있으며 적재함의

진동 특성에 따라 제품을 파손시킬 수도 있다.

2. 일반도로와 자전거도로로 상태에 따라 적재함에 가해지는 진동 특성이 다를 것으로 예상되어, 각 도로에서 운행하는 카고 바이크의 적재함에 진동 센서를 부착하여 데이터를 수집하였다.
3. 카고 바이크에 진동 센서를 부착 후 일반도로와 자전거도로를 주행할 때 수직 방향 진동을 측정하여 분석하였다. KS T ISO 13355 PSD 프로파일과 비교하였을 때 3-6 Hz 주파수대역에서 프로파일을 초과하는 피크가 있었고, 70-200 Hz 구간에서는 모든 도로에서 프로파일을 초과하였다.

또한, Grms값은 최소 10배 이상 차이가 나타났다. 저주파 영역은 일반적으로 0~20 Hz의 주파수 범위를 포함하고, 중간 주파수 영역은 20~200 Hz 범위를 포함한다. 일반도로와 자전거도로에 따른 주파수 대역별 특성은 두 도로 모두 비슷한 경향으로 나타났으며 자전거도로에서의 중간 주파수 영역이 높은 이유는 일반도로보다 상대적으로 빠르고 작은 진동이 많았음을 알 수 있다. 따라서 화물 적재 시 진동 흡수 패드와 같은 보강이 필요할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부의 규제자유특구혁신사업육성 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. T. M. Kim, B. N. Choi, C. J. Park, "Analysis and Forecast of Patent Trends in Unmanned Delivery Robot Technology Focusing on Last-Mile Delivery Technology", *Korea Logistics Review*, Vol.33, No.3, pp.30-42, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.17825/klr.2023.33.3.30>
2. J. S. Baik, "A Study on Last Mile Delivery Strategy in the City", *Korea International Commerce Review*, Vol.34, No.4, pp.327-348, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18104/kaic.2019.34.4.327>
3. B. H. Yang, "Literature Survey on the Last Mile Logistics", *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, Vol.27, No.3, 2022.
4. M. S. Park, "The Effect of LMD's Service Quality and Dependency on Continued Use Intention to Retail Stores", *Korea Association of Business Education*, Vol.37, No.6, pp.37-58, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.23839/kabe.2022.37.6.37>
5. Y. J. Kim, Y. J. Kim, "An Exploratory Study on the Supply Chain Structure of the Last Mile Delivery Industry Using Inter-Industry Analysis", *Korea Logistics Review*, Vol.32, No.5, pp.65-75, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.17825/klr.2022.32.5.65>
6. S. Kang, B. H. Hwan, "The Effect of the Perceived Value of the Last Mile Delivery Service on the Shopping Mall Loyalty", *The Korean Academic Association of Business Administration*,

- Vol.34, No.10, pp.1819-1838, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18032/kaaba.2021.34.10.1819>
7. J. S. Lim, "An Exploratory Study on the Ripple Effect of Last Mile Delivery Service Industry Development Act", *Korea Logistics Review*, Vol.29, No.4, pp.73-89, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17825/klr.2019.29.4.73>
 8. S. A. Bak, K. S. Shin, "A Study on the Relationship between Customer Benefits and Obstacles of Innovative Delivery Strategies", *Korea Logistics Review*, Vol.31, No.4, pp.73-87, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.17825/klr.2021.31.4.73>
 9. J. H. Jung, J. I. Shin, "The Effect of Early Morning Delivery's Logistics Service Quality on Customer Satisfaction: The Moderating Effect of Eco-Friendly Attitude", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.25, No.10, pp.241-248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.9708/jksci.2020.25.10.241>
 10. S. I. Oh, I. H. Kwon, S. M. Chae, S. H. Jung, "A Study on Improving Last Mile Delivery Using Smart Mobility", *Korean Society of Automotive Engineers*, Gyeongju city, Korea, pp.1303-1306, 2019.
 11. S. H. Kim, D. G. Na, Y. H. Choi, H. Jung, "Trends on Postal Vehicles in World-wide 10 Postal Agencies", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.36, No.3, pp.145-160, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360314>
 12. Y. R. Han, B. K. Shin, "Development of multi modal delivery technology for high-weight cargo in urban areas linked to drone-robots", *Journal of Aerospace System Engineering*, Goseong, Korea, pp. 148-159, 2023.
 13. S. W. Jun, J. H. Hwang, "Research Trends in Logistics Robot Technology for the Contactless Era", *Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol.38, No.1, pp.22-26, 2020.
 14. T. J. Park, Y. R. Chung, "Autonomous Delivery Robots-Vehicle Collaboration Strategy in the Urban Logistics", *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol.46, No.3, pp.35-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.7737/JKORMS.2021.46.3.035>
 15. K. Y. Kim, H. L. Lee, J. W. Yoon, N. Y. Park, E. H. Lee, "Delivery Robot System for Next Generation Building", *The Institute of Electronics and Information Engineers*, Incheon city, Korea, pp.531-534, 2021.
 16. D. H. Son, J. P. Shin, Y. H. Kim, T. W. Seo, "Last-mile delivery robotic platform using wheel-mode switching primitives", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Gwangju city, Korea, pp.881-882, 2021.
 17. S. J. Kim, "A Study on the Trend of Last Mile Mobility for Delivery in IAA Transportation 2022 Exhibition", *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol.9, No.1, pp.199-204, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.1.199>
 18. J. Y. Kim, H. W. Shin, "Studies on Vibration Characteristics of Transportation Environment for Safe E-commerce Delivery", *Global e-Business Association*, Vol.16, No.6, pp.611-626, 2015.