

ASTM 규격에 따른 민감화물 수송용 컨테이너 화차의 진동 특성에 관한 기초 연구

기호철, 이승일, 김철수*
한국교통대학교 철도차량시스템전공

A Fundamental Study on Vibration Characteristics of Container Car for Sensitive Cargo Transportation according to ASTM D-4169

Ho-Cheol Ki, Seung-Yil Lee, Chul-Su Kim*

Railway Vehicle System Engineering, Depart, Korea National University of Transportation

요약 민감 상품의 화물 운송 중 발생하는 진동 및 충격의 저감을 위하여 본 연구에서는 실제 트럭과 화차에 진동센서가 부착된 컨테이너를 이용하여 운송 경로에 따른 진동이력을 측정하였다. 컨테이너 내부 바닥 2개소에 3축 방향(길이, 횡, 수직 방향)으로 가속도센서를 부착하여 트럭운송 구간(아산-의왕)과 화물열차 운송 구간(의왕-부산)에 대하여 진동이력을 측정하였다. ASTM D-4169에서 제안된 철도 진동 프로파일(0.29G_{rms})은 트럭 진동 프로파일(0.54G_{rms}) 대비 약 50% 수준으로 낮다. 국내 화물 컨테이너 운송 동안 ASTM D-4169에 준한 진동 프로파일과 비교한 결과는 다음과 같다. 트럭 운송 구간에서의 길이방향과 횡 방향 진동 수준은 모두 ASTM의 트럭운송 진동 프로파일보다 길이방향 약 16%, 횡 방향 약 33% 수준으로 전반적으로 낮게 나타난 반면에, 수직방향 진동은 4~15Hz와 60Hz 이상 범위에서 ASTM의 트럭운송 진동 프로파일을 부분적으로 초과하였다. 화물열차 진동 측정이력은 도로와 유사하며, 길이방향과 횡방향의 진동측정이력은 ASTM D-4169의 철도 진동 프로파일보다 낮으며, 반대로 수직방향의 이력은 30Hz이상 범위에서 초과하였다.

Abstract To reduce the vibrations and shocks during the cargo transportation of high value-added goods, the vibration history was measured on the truck transportation section (Asan-Uiwang) and the freight train transportation section (Uiwang-Pusan). The internal vibrations of the container were obtained by attaching acceleration sensors in three axis directions (longitudinal, lateral, and vertical directions) on the front and rear bogies. The rail vibration profile (0.29Grms) proposed in ASTM D-4169 was approximately 50% higher than the truck vibration profile (0.54Grms). The overall vibration was 16% and 33 % lower in the longitudinal and transverse directions, respectively, compared to the ASTM truck transport vibration profile. On the other hand, the vertical vibration measurement history partially exceeded the ASTM truck transport vibration profile over the range, 4 - 15Hz, and over 60Hz. The vibration measurement history of the cargo train was similar to that of the road. The longitudinal and lateral vibration history was lower than the ASTM D-4169 rail vibration profile, while the vertical history was over 30Hz.

Keywords : Sensitive Cargo, Vibration Characteristics, ASTM D-4169, Railway Transportation, Vibration Reduction

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업 「19TLRP-C146729-02」의 연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Chul-Su Kim(Korea National University of Transportation)

email: chalskim@ut.ac.kr

Received September 18, 2019

Revised October 16, 2019

Accepted December 6, 2019

Published December 31, 2019

1. 서론

국내 주력 수출품 중 전자제품, LCD, 반도체 등의 민감 화물 수송은 도로망과 자동차 산업의 발달로 공로 중심의 수송체계를 주로 이용하고 있다. 공로 중심의 수송 체계는 효율적인 물류 활동이지만 도로교통 체증으로 인한 심각한 교통 혼잡과 중량화물수송으로 인한 대기오염, 소음, 및 도로 파손 등의 여러 환경문제를 야기한다[1]. 이와 반대로 철도화물수송은 친환경적이면서 중량 및 대량화물수송에 적합하다. 또한, 장거리 화물수송의 경우에 철도 화물운송비는 공로보다 적으므로 기업의 물류비용 측면에서 경제적으로도 유리하다[2]. 또한 정부에서도 철도화물 수송 정책방향은 “국가물류기본계획(11년~’20년)”에 준하여 “철도 수단전환(modal shift)을 촉진하기 위한 전략적 접근방안”과 같이 물류 효율화를 추진 중이다[3].

국내 민감 화물들은 대부분 진동 및 충격에 취약하며, 도로와 철도 운행뿐만 아니라 환적 시 발생하는 저주파 진동 및 충격으로 인하여 제품에 손상을 가한다. 이를 해결하기 위하여 공로 화물수송은 충격흡수 포장과 함께 무진동차량을 활용한다. 철도차량의 진동 관련 연구는 화차 대차프레임의 진동특성[4]과 차체 재질의 감쇠계수[5] 중심으로 진행하였다. 그러나 철도운송수단인 화물열차(이하 화차)는 주행동안 진동 및 충격 저감 장치는 미비하며, 이와 관련된 연구는 매우 부족한 실정이다. 이의 원인은 여객차량보다 저렴한 화차에 대한 고가의 현수장치를 장착하기 어렵기 때문이다. 따라서 민감 화물의 안전한 열차운송을 위해서는 주행동안 컨테이너 화차의 횡/수직방향 진동이력에 대한 체계적인 연구가 중요하다.

본 연구에서는 철도 운송 화물 중에서 민감 화물의 안전한 수송용 방진장치의 기초 설계 자료로 활용하기 위하여 현재 운용 중인 화차 컨테이너를 대상으로 운행 구간에 따른 진동을 ASTM D-4169에 준하여 평가하고자 한다.

2. 본론

2.1 관련 규격 및 진동/충격 평가

Table 1과 같이 철도차량의 주행 중 진동시험은 철도차량기술기준에 준하며, 주로 신규 차량의 납품 시 차량의 진동 특성에 대한 설계적합성 또는 형식동등성을

시험으로 입증하는 경우에 적용된다. 주행동안 차체의 진동 수준에 대한 횡 방향/수직 방향 진동시험, 그리고 곡선선로 주행 시 차체의 진동수준에 대한 횡 방향 정상 가속도 시험 등이 있다[6]. 차량의 차체, 대차 진동을 측정하여 탈선과 관련된 주행안전성과 승차감(운전실 및 객실) 수준을 평가하며, UIC518 또는 IEC61373 규격을 참조하여 실시한다[7-8]. 화차의 경우 일반 화물에 해당하는 포괄적인 기준 제시하고 있으며, EN14363 규격을 참조한다.

반면에, 고부가가치 상품과 같이 민감 화물의 안전한 운송을 위한 철도차량의 진동 및 충격 시험 관련 규격과 평가기준은 마련되어 있지 않은 실정이다.

Table 1. KRTS-VE-Part43-2017(R1) 5.3.4 vibration test

Measurement	Aim
Vertical and lateral acceleration	Evaluation of the vibration level of the car-body
Quasi-static lateral acceleration	Evaluation of the vibration level of the car-body in curved track

해외 화물 진동 및 충격시험은 활용 목적에 따라 피로, 신뢰성, 파괴, 운송시험 등으로 구분하여 시행하며, 시험 절차 및 방법은 IEC/MIL/JIS/ EIAJ 등 규격을 준용한다. 운송시험은 물류 운송 중 발생하는 진동 및 충격에 의한 제품 파손 유무 및 제품 포장 성능을 평가한다. 국제안전수송협회(ISTA, International Safe Transit Association)에서는 화물의 유통 환경 위험을 분석하고, 안전수송을 위한 시험 프로토콜 및 디자인 표준을 개발한다. ISTA 프로토콜 3 Series(General Simulation Performance Tests의 Procedure 3E)는 제품 손상 한도를 시험할 수 있는 프로토콜을 제시하며, 온도, 충격, 진동 등을 포함한다[9].

철도운송 중 물품 손상 메커니즘은 Table 2와 같이 허용응력과 허용변위 초과에 따른 손상, 반복하중에 따른 마모나 피로로 인한 누적손상 그리고 화차-화물과 화물-화물 사이에 마찰 손상으로 3가지 유형으로 구분된다[9].

민감 화물은 목적지 도착까지 우발적인 낙하, 차량 진동, 충격 입력, 극한 온도, 습도 수준 및 압축 부하 등과 같은 많은 잠재적 위험요소에 노출된다. 따라서 유통 과정의 잠재적 위험 중 충격, 진동과 같은 물리적 힘에 의한 파손으로부터 제품의 안전수송을 위해서는

Table 2. Damage mechanism of goods during railway transport

Damage type	Detailed cause
Exceed allowable stress and displacement	-Drop during loading -Momentary impact during driving or switching to track due to poor coupler
Accumulated wear and fatigue due to repetitive and periodic stresses	-Unbalanced vibration of gears in power train -Looseness of screws
Friction between freight car-cargo and cargo-cargo	-In case of shock vibration caused by switching of track or loosening of the coupler, it is caused by a bit. -Direct damage caused by impact or indirect damage caused by vibration as the cargo slides

물류 환경 분석과 제품 자체의 취약성에 대한 평가가 중요하다. 또한 제품들이 동일한 경로로 운송되더라도 제품에 따른 낙하 충격은 상이할 수 있다. 이는 동일 높이의 낙하에서 물품의 충격량은 바닥 소재/환경에 영향을 받기 때문이다. Table 3은 ASTM D-3332에 제시한 화물 무게에 따라 취급 형태별로 허용 낙하 높이를 정리한 것이다. 표에서 제안된 허용높이는 가벼운 물품일수록 더 높게 취급할 수 있으며, 무거운 물품은 기계적 장비로 취급하여 비교적 낮게 취급할 수 있다.

Table 3. Drop height as a function of package weight

Package Weight[lbs]	Type of handling	Allowed drop test height[inch]
0~20	one man throwing	42
20~50	one man throwing	36
50~250	two man carrying	30
250~500	light equipment	25
500~1,000	light equipment	18
over 1,000	heavy equipment	12

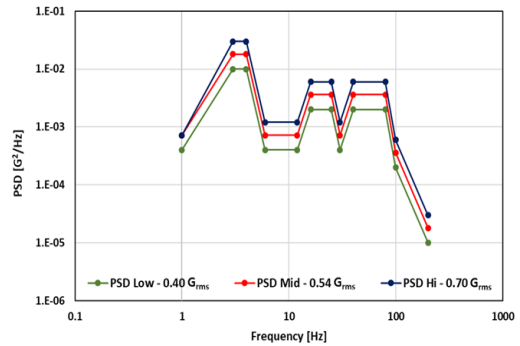
물류 운송 동안 화물은 어떤 형태로든 진동에 노출된다. 이러한 진동은 엔진 또는 구동 모터에 의해 발생하는 주기적인 진동, 도로/선로 환경에 따라 불규칙한 진동 그리고 이들의 혼합된 형태로 발생한다. 이러한 진동 신호는 시간 영역에서 랜덤 신호로 평가하지만, 방대한 데이터 용량으로 인하여 수치적으로 계산하기 힘들다. 이를 해결하기 위해 주파수 영역으로 변환한 후에 주파수와 크기에 따른 파워스펙트럼밀도(power spectrum density, PSD)로 정량적인 평가를 수행한다. Fig. 1은 ASTM D-4169에서 운송 방법에 따른 PSD 특성으로

(a)와 (b)는 각각 트럭과 철도의 주파수와 관련된 평균 진동 값이다[10].

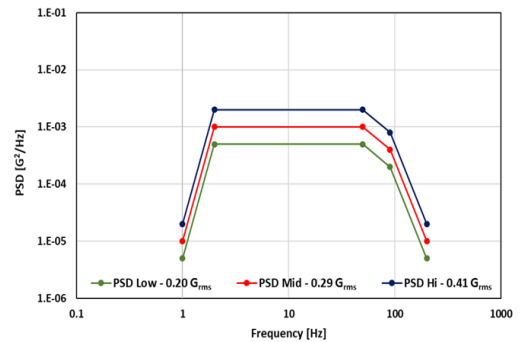
2.2 진동 측정 및 분석

철도 화물운송의 물품은 양회산업 다음으로 컨테이너의 비중이 높다. 전국적으로 컨테이너를 취급하는 역은 33개역에 이르며, 전체 수송 물량의 80% 이상이 경부선을 이용하여 이루어진다[11]. 따라서 철도 화물 진동의 측정은 경부선을 대상으로 수행하였다.

Fig. 2는 컨테이너 진동을 측정하기 위한 센서들의 위치를 나타낸 사진이다. 그림과 같이 40ft 컨테이너의 내부 바닥 2개소에 3축 가속도계를 부착하였으며, 가속도계의 사양은 Table 4와 같다. 또한, 화물의 위치와 이동 속도를 측정하기 위하여 컨테이너 외부 상단에 GPS 센서와 측면에 캠코더를 부착하였다. 가속도 센서를 취부하기 위해 컨테이너 내부 전위 부분에 철판 부재를 용접하고, 볼트를 이용하여 센서를 고정하였으며, 목재인 후위 부분은 나사못을 이용하여 고정하였다.



(a) Truck profile



(b) Rail profile

Fig. 1. ASTM D-4169 Truck and Rail PSD profile

Table 4. Specifications of accelerometer

Model	SAVER 9X30
Size	127×124×43[mm]
Weight	1[kg]
Memory	128[Mb]
Sampling rate	50~10,000[samples/sec]
Type	3-axis piezoelectric
Range	200[G]
Frequency range	0.4~500[Hz]
External input channel	6 channels

화물 컨테이너 진동측정은 2회에 걸쳐 트럭운송 200km 이상, 철도 운송 1,600km 이상 구간에서 진동 데이터를 수집하였다. 트럭 운송은 아산-의왕 구간, 철도 운송 경로는 경부선(의왕-부산)을 왕복 운행하였다.



Fig. 2. Installation of the measurement sensors

또한, 화물 컨테이너 내부는 별도의 화물을 적재하지 않았으며, 전위/후위에 설치한 3축 가속도계를 이용하여 측정하였다. 트럭과 철도 운송에 따른 진동 레벨과 운행 속도는 Fig. 3과 같다.

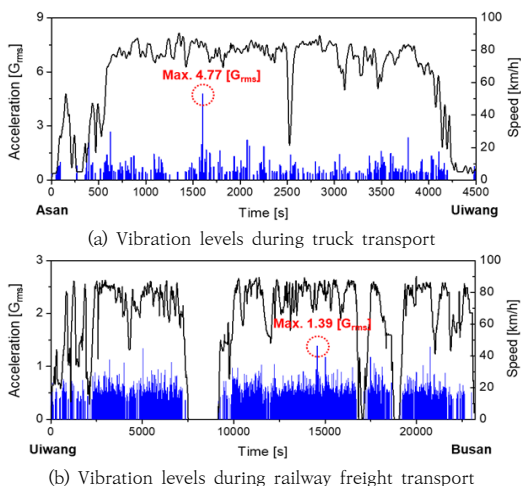


Fig. 3. Vibration measurements during transport route

아산-의왕 간 트럭운송은 세종평택로, 평택화성고속도로 및 과천봉담고속도로를 경유하였으며, 트럭 운송 중 최대 진동이 발생한 지점을 Fig. 4에 나타내었다. 해당 구간은 일반적인 이음매(Fig. 5 (a)) 보다 이음매 간 단차가 큰 구간(Fig. 5 (b))이었으며, 차량 주행속도는 약 77km/h로 정상 주행을 하였다.

Fig. 6은 의왕-부산 간 철도 운송 동안 최대 진동 발생한 지점을 나타낸 것이며, 최대 진동은 사곡역 진입 1km 전방의 R6,000 곡선 구간에 위치한 사곡천교 통과 시 발생하였다.

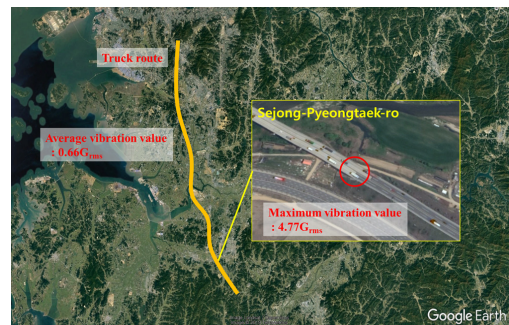


Fig. 4. Maximum and averaged vibration value during truck transport route

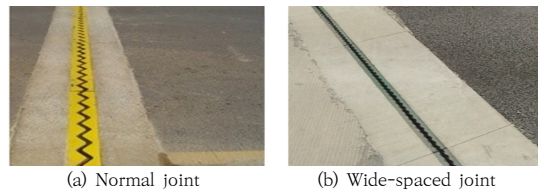


Fig. 5. Road/bridge joint comparison

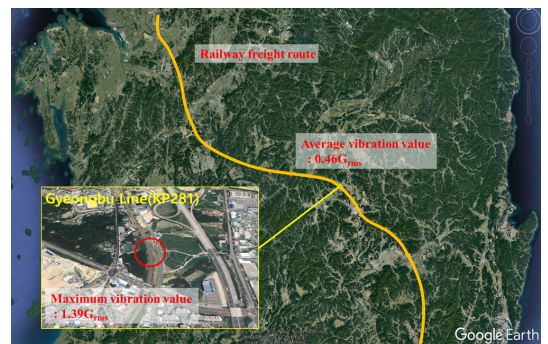


Fig. 6. Maximum and averaged vibration value during railway freight transport route

육안 식별이 용이한 트럭 운송과 달리 철도 운송 동안 진동은 선로의 구배, 곡선 반경 및 선로 거칠기 등의 선

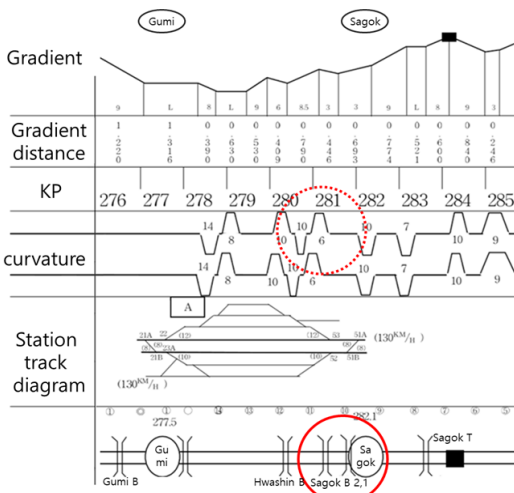
로조건과 견인/제동의 운전 특성에 따라 복합적으로 발생한다. Fig. 7은 철도 운송 중 최대 진동이 발생한 지점을 통과할 시의 차량 운행 기록 정보와 사곡역 주변 운전 선도를 나타낸다.

Table 5에서는 ASTM에서 제시한 가속도의 평균값과 국내 화물 컨테이너 운송 동안 트럭과 철도 운송 구간별 평균 진동을 비교하였다. 표에서 보여주는 바와 같이 ASTM D-4169 트럭 및 철도 진동 프로파일과 비교한 결과는 다음과 같다.

Fig. 8에서 보이는 바와 같이 국내 트럭 운송 구간의 평균 진동은 길이 방향과 횡 방향에 대해서는 ASTM 트럭 운송 진동 프로파일보다 전반적으로 약 75~80% 낮다. 반면에, 수직 방향 진동은 4~15Hz와 60Hz 이상의 주파수 대역에서 프로파일을 초과하였으며, 진동 수준도 약 22% 높게 나타났다.

No.	Time	Event	KP	Speed(Kmh)	NOTCH	Braking	Remark
1030	4:05:48	NOTCH Change		66.35	1	-	NOTCH change(Coasting → 1 NOTCH)
1031	4:05:49	NOTCH Change		66	2	-	NOTCH change(1 → 2 NOTCH)
1032	4:05:49	NOTCH Change	277K020	66	2	-	BG ID : 1990(Gumi station 49)
1033	4:05:52	NOTCH Change		66	3	-	NOTCH change(2 → 3 NOTCH)
1034	4:05:52	NOTCH Change		66	4	-	NOTCH change(3 → 4 NOTCH)
1035	4:05:57	NOTCH Change		66	5	-	NOTCH change(4 → 5 NOTCH)
1036	4:05:58	NOTCH Change		65.64	6	-	NOTCH change(5 → 6 NOTCH)
1037	4:06:04	NOTCH Change		65.64	7	-	NOTCH change(6 → 7 NOTCH)
1039	4:06:08	NOTCH Change		66	8	-	NOTCH change(7 → 8 NOTCH)
1040	4:06:12	NOTCH Change	278K043	66.53	8	-	BG ID : 1996(Gumi-Yangmok 100N)
1041	4:06:38	NOTCH Change	278K758	72.92	8	-	BG ID : 1990(Gumi-Yangmok 150N)
1043	4:07:07	NOTCH Change	279K362	78.42	8	-	BG ID : 1994(Gumi-Yangmok 140N)
1044	4:07:37	NOTCH Change	280K017	77	8	-	BG ID : 1993(Gumi-Yangmok 130N)
1045	4:08:09	NOTCH Change	280K104	88.54	8	-	BG ID : 1990(Gumi-Yangmok 120N)
1046	4:09:42	NOTCH Change	281K428	77	8	-	BG ID : 1991(Gumi-Yangmok 110N)
1047	4:10:18	NOTCH Change	282K211	79.83	8	-	BG ID : 1990(Gumi-Yangmok 100N)
1048	4:10:50	NOTCH Change	282K909	76.29	8	-	BG ID : 1989(Gumi-Yangmok 90N)
1049	4:11:27	NOTCH Change	283K677	75.22	8	-	BG ID : 1990(Gumi-Yangmok 80N)
1050	4:11:35	NOTCH Change		75.22	7	-	NOTCH change(8 → 7 NOTCH)
1051	4:11:35	NOTCH Change		75.22	6	-	NOTCH change(7 → 6 NOTCH)
1052	4:11:35	NOTCH Change		75.22	5	-	NOTCH change(6 → 5 NOTCH)
1053	4:11:35	NOTCH Change		75.22	4	-	NOTCH change(5 → 4 NOTCH)
1054	4:11:35	NOTCH Change		75.22	3	-	NOTCH change(4 → 3 NOTCH)
1055	4:11:36	NOTCH Change		74.87	2	-	NOTCH change(3 → 2 NOTCH)
1056	4:11:58	NOTCH Change	284K289	69.9	2	-	BG ID : 1987(Gumi-Yangmok 70N)
1057	4:12:34	NOTCH Change		75.93	3	-	NOTCH change(2 → 3 NOTCH)
1058	4:12:35	NOTCH Change		76.29	4	-	NOTCH change(3 → 4 NOTCH)
1059	4:12:35	NOTCH Change		76.29	5	-	NOTCH change(4 → 5 NOTCH)
1060	4:12:36	NOTCH Change		76.29	6	-	NOTCH change(5 → 6 NOTCH)

(a) Freight car operation record



(b) Performance curve around Sagok station

Fig. 7. Sagok Station (KP281, 84km/h, 1.39G_{rms})

Table 5. Comparison of measured vibration mean values with ASTM reference value

Transport	Direction	Acc. [Grms]	ASTM [Grms]	Ratio* (%)
Truck	Longitudinal	0.11	0.54	21
	Lateral	0.13		25
	Vertical	0.66		122
Freight vehicle	Longitudinal	0.09	0.29	32
	Lateral	0.09		31
	Vertical	0.46		159

*Ratio = Measured acc. / ASTM reference

Fig. 9에서 보이는 바와 같이 철도 운송 구간의 평균 진동 수준도 길이 방향과 횡 방향은 ASTM 철도 진동 프로파일보다 약 70% 수준으로 낮다. 반면에, 수직 방향은 30Hz 이상의 주파수 대역에서 프로파일을 초과하였으며, 전체적인 진동도 약 59% 높게 나타났다.

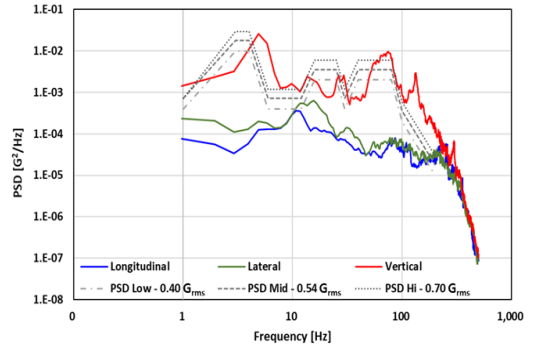


Fig. 8. Comparison of truck transportation vibration and ASTM D-4169 truck vibration profile

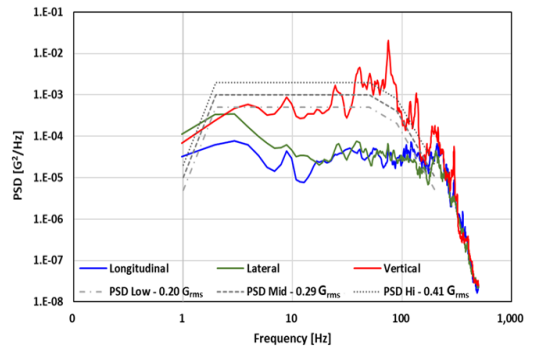


Fig. 9. Comparison of railway transportation vibration and ASTM D-4169 railway vibration profile

3. 결론

민감 상품과 같은 진동에 민감한 화물 운송 동안 발생하는 진동 및 충격을 저감 방안을 마련하기 위한 기초 연구로 트럭과 철도를 이용한 화물 운송 동안의 진동을 측정하여, ASTM D-4169에서 제안한 진동 프로파일과 비교였다.

트럭과 철도의 운송 경로에 따른 진동 이력은 아산-의왕 구간의 트럭 운송 구간과 의왕-부산 구간의 철도 구간을 대상으로 2회에 걸쳐 약 1,800km를 주행하는 동안 측정되었다. 이로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 트럭 운송 중 발생한 평균 진동을 ASTM D-4169 트럭 진동 프로파일과 비교한 결과, 길이 방향 약 16%, 횡 방향 약 33% 낮은 수준으로 나타났다. 그러나 수직 진동은 4~15Hz와 60Hz 이상에서 부분적으로 초과하였다.
- (2) 철도 운송 중 발생한 평균 진동도 트럭과 유사하게 길이 방향과 횡 방향의 진동은 ASTM D-4169의 철도 진동 프로파일보다 낮게 나타난 반면에, 수직 방향의 진동은 30Hz 이상에서 초과하였다.

본 연구의 화물 운송 중 측정된 진동 결과는 컨테이너의 진동/충격 방지장치 설계의 기초 데이터로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] K. Y. Oh, J. S. Park, "An Empirical Study on the Barriers of Vitalizations of Rail", *KOREA LOGISTICS REVIEW*, Vol.20, No.5, pp.309-328, Dec. 2010. UCI: G704-001067.2010.20.5.007
- [2] C. H. Cho, E. C. Kim, "Evaluating Service Quality of the Rail and Road Container Transport un Kyungin-Busan Corridor", *KOREA LOGISTICS REVIEW*, Vol.15, No.3, pp.151-171, Sep. 2005. UCI: G704-001067.2005.15.3.005
- [3] K. M. Koo, Y. S. Oh, "Research for Plans of Modal-Shift to Promote Rail Freight Transportation-From the view of Japanese Policy & Example-", *KOREA LOGISTICS REVIEW*, Vol.19, No.2, pp.161-188, Jun. 2009. UCI: G704-001067.2009.19.2.010
- [4] G. H. Kang, "An Evaluation of Loss Factor of Damping Treatment Materials for Panels of Railway Vehicles", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.4, pp.489-496, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.4.489>

- [5] K. H. Moon, Y. S. Ham, J. S. Hong, "Vibrational Characteristics of an End Beam of a Freight Car on the Taebaek Line", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol.14, No.10, pp.962-967, Oct. 2004. DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVN.2004.14.10.962>
- [6] Technical Specifications for Railway Vehicles KRTS-VE-Part43-2017(R1) 5.3.4 vibration test <http://www.molit.go.kr/portal.do>
- [7] UIC 518 (E) Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - safety-track fatigue - ride quality <https://uic.org/sustainable-development/noise-and-vibration/EuropeTrain>
- [8] KS C IEC 61373 Railway applications - Rolling stock equipment - Shock and vibration tests, <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do>
- [9] Six Step Method for Cushioned Package Development, <http://www.lansmont.com/resources/six-step-method/six-step-method-step-1/>
- [10] ASTM D4169 Truck Profile Update Rational, <http://www.lansmont.com/lansmont-test/>
- [11] J. H. Lee, "A Study on the Improvement Strategy of Rail Freight Transport in Korean", *KOREA LOGISTICS REVIEW*, Vol.16, No.4, pp.87-112, Dec. 2006. UCI: G704-001067.2006.16.4.012

기 호 철(Ki-Ho Cheol)

[정회원]



- 2003년 8월 : 성균관대학교 일반대학원 기계공학부 (공학석사)
- 2014년 2월 ~ 2017년 3월 : 현대로템(주) 선임연구원
- 2017년 6월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도차량시스템전공

<관심분야>

철도차량공학, 비선형 진동, 소음/진동

이 승 일(Seung-Yil Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 홍익대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 2012년 2월 : 한국철도대학 철도차량기계과
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도차량시스템전공

〈관심분야〉

철도차량공학, 비선형 진동, 동역학, 철도차량 비선형 해석

김 철 수(Chul-Su Kim)

[종신회원]



- 2002년 8월 : 한양대학교 일반대학원 기계설계학과 졸업(공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 한국철도공사, 서울교통공사 자문위원
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도공학부 교수

〈관심분야〉

철도차량설계, 철도차량RAMS