

열차 하중조건을 고려한 마찰형 방진장치 성능시험 및 마찰특성 분석

고용성^{*}, 이찬영¹, 지용수¹, 김재왕²
¹에스코알티에스 기술연구소, ²한국철도공사 기술연구원

Analysis of Performance Tests and Friction Characteristics of a Friction Type Isolator Considering Train Load Conditions

Yong-Sung Koh^{*}, Chan-Young Lee¹, Yong-Soo Ji¹, Jae-Wang Kim²

¹Department of Eng. Research, Esco-RTS

²Technology Research Department, KORAIL Research Institute

요약 선하역사의 경우 차량-궤도에서 발생하는 하중 및 진동이 직접적으로 전달되는 구조적 한계로 인하여 발생하는 구조체 전달 형태의 진동과 소음레벨이 다른 역사형식 대비 월등히 높음으로 인하여 역사 내 상업 및 업무시설 이용객과 종사자들의 불편과 민원이 증가하고 있다. 선하역사에 발생하는 소음-진동을 저감하기 위한 대책중 하나로 알려진 플로팅 궤도의 경우 궤도 하부에 고무 마운트나 패드 요소를 적용한 장치가 주로 설치되어 댐퍼 역할을 한다. 이러한 장치의 경우, 열차 운행 시 발생하는 비선형 하중에 대하여 정확한 강성 및 감쇠비를 설계하기 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 플로팅 궤도에 적용 가능하며 정확한 강성 설계가 가능한 마찰 췌기형 방진장치를 소개한다. 또한, 방진장치 강성 설계값과 시험값을 비교 분석하고 마찰 췌기형 블록 배치에 따른 감쇠비를 열차 하중조건에 따라 도출하였다. 방진장치의 성능시험은 DIN45673-7 규정에 의거하여 진행하였으며 시험항목인 정적 및 동적하중 시험을 모두 포함한다. 성능시험 하중조건은 DIN 규정에 따라 열차 및 궤도 중량을 고려하여 적용하였으며 수직 하중 및 수평 하중에 대한 시험을 진행하여 방진장치 적용에 따른 궤도의 구조안전성을 확보한다. 더불어, 하중재하속도에 따른 마찰계의 마찰계수 변화 양상을 확인함으로써 다양한 하중재하속도 조건에 대한 마찰췌기형 방진장치의 진동저감 성능을 확인한다.

Abstract In the case of an elevated railway station, structure borne noise and vibration due to structural limitations allow the load and vibration from railway vehicles to be directly transmitted to the station structure, resulting in an increase in the number of civil complaints from customers and staff of the station. The floating slab track system, which is well known as one of the solutions for reducing the noise and vibration from elevated railway stations, usually contains rubber mounts or rubber pads under the railway slab which act as a damper. These types of device have the disadvantage that is difficult to predetermine the exact stiffness and damping ratio under the nonlinear loads resulting from train services.

In this study, an isolator with a friction type of wedge is introduced, which can be applied to floating slab track systems and to be designed with precisely the required stiffness. Furthermore, a comparative analysis of the stiffness between the designed and experimental values is carried out, while the damping ratio, which is closely related to the friction wedge blocks, is deduced according to the train load condition. The performance tests of the isolator were conducted in accordance with the DIN 45673-7 standard which includes both static and dynamic load tests. The load conditions for the performance tests are designed to conform to the DIN standard related to the weight of the train and rail track, in order to perform vertical and horizontal load tests, so as to ensure the secure structural safety of the railway. Also, by checking the change aspect of the friction coefficients of the friction elements according to the loading rate, the vibration reduction performance of the friction type isolator with variable loading rate conditions is examined.

Keywords : Damping Ratio, Effective Stiffness, Friction, Isolator, Performance Test. Vibration

^{*}Corresponding Author : Yong-Sung Koh(Esco-RTS)

Tel: +82-10-6780-6720 email: yskho27@hanmail.net

Received January 20, 2017

Revised (1st February 17, 2017, 2nd February 21, 2017)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

1. 서론

1.1 연구배경

최근 철도부지 확보의 한계로 선상·선하역사를 포함한 다양한 형태의 역사구조물이 증가하고 있으며 특히 선하역사의 경우 선로하부 공간 활용차원에서 다양한 상업, 업무시설 등이 설치되어 이용객 및 종사자 수가 늘고 있다[1]. 특히, 선하역사의 경우 열차의 운행으로 발생하는 하중, 진동이 역사의 주요 구조재인 기둥, 슬래브, 벽체 등을 통하여 전달되며 이러한 전달 메커니즘(mechanism)에 의하여 구조물 소음 및 진동이 증폭되어 발생한다[2].

일반적으로 철도 진동을 저감하기 위한 대책은 발생원(source), 전달경로(path), 응답원(receiver)로 분류할 수 있으며 진동 저감 대책이 발생원에 가까울수록 효과가 크고 투입 비용이 줄어든다[3]. 발생원에 적용하는 진동 저감 방안으로 궤도 하부에 방진고무 및 방진장치 등을 설치하여 진동 저감 효과를 극대화하는 플로팅 궤도 시스템이 있다[4]. 국내에서는 플로팅 슬래브 시스템 관련 방진재료 및 방진장치 개발이 미진하여 방진재를 대부분 수입에 의존하는 등 관련 기술의 자립도가 낮다[5]. 국내에 적용한 대표적인 플로팅 슬래브 궤도 부설사례는 Table.1과 같으며 모든 방진재가 수입에 의존하고 있음을 확인할 수 있다. 이 중에 주로 사용되는 방진고무 방식의 댐퍼는 정확한 강성 구현이 어렵고 외부환경 노출에 의한 성능저하 우려가 있다[6]. 또한, 단순히 코일 스프링만을 이용한 방진장치의 경우, 감쇠효과가 낮아 진동 저감에 큰 효과를 보지 못하는 실정이다.

Table 1. Import status of isolator applied on domestic floating slab track

Installed station	Type	company
Gwang myeong station	Rubber mat	Getzne (Germany)r
Busan subway line 2	Rubber mat	Getzner (Germany)
Cheonan station	Coil spring isolator	Gerb (Germany)
Bucheon station	Coil spring isolator	Gerb (Germany)

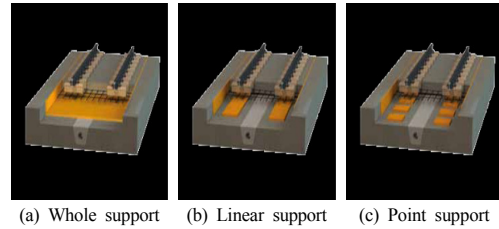


Fig. 1. Rubber type resilient elements (Getzner)

이에 본 연구에서는 코일스프링을 적용하여 정확한 강성설계가 가능하고 마찰블록을 배치하여 마찰에 의한 진동 감쇠효과를 갖는 방진장치를 소개한다. 또한, 독일 표준시험규정 “DIN 45673-7: 철도궤도에 사용되는 탄성체-파트7. 플로팅 궤도의 탄성체에 대한 시험절차 규정”에 따라 방진장치의 성능시험을 진행하여 시험을 통해 도출한 장치의 강성 값을 설계 강성 값과 비교함으로써 방진장치의 성능이 열차 하중을 적용하여도 설계 값과 일치하는지 검토하였다. 이와 더불어 진동 저감에 있어서 중요한 역할을 하는 마찰 감쇠가 가진 속도에 따라 어떠한 경향으로 도출되는지 확인하였다.

2. 본론

2.1 마찰형 방진장치 개요

플로팅 궤도에 적용 가능한 마찰형 방진장치는 수직 스프링과 경사면, 마찰재, 수평 스프링 및 상·하판 등으로 구성되어 있다. 수직 스프링과 수평 스프링은 코일 스프링을 사용하였으며 탄성 받침 역할과 장치를 초기 변위로 복원시키는 역할을 한다. 경사면과 마찰재는 마찰 댐퍼 역할을 하며 경사면의 각도와 마찰재의 마찰계수를 변화시켜 감쇠 성능의 조정이 가능하다. 장치 모델 및 시제품 사진은 Fig. 2 및 Fig. 3와 같다.

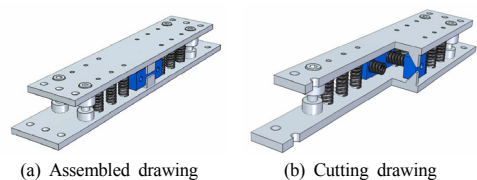


Fig. 2. 3D drawing of friction type isolator

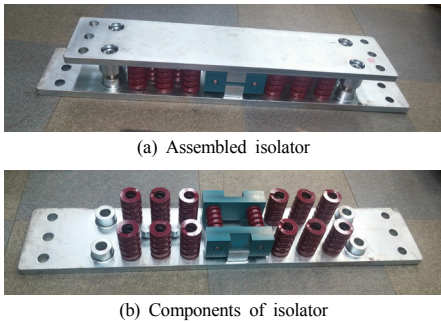


Fig. 3. Test product of friction type isolator

방진장치 상판 상부에 가해지는 하중과 수직 스프링, 수평 스프링, 마찰 요소에 따른 장치 상판의 변위에 대한 거동방정식 및 설계 이력곡선은 다음과 같다.

$$P = [k_c + \frac{k_s(1 \pm \mu S)}{S \mp \mu}]z \quad (1)$$

P : vertical load

k_c : stiffness of vertical springs

k_s : stiffness of horizontal springs

S : slope of friction surface

μ : friction coefficient of friction material

z : displacement of upper plate

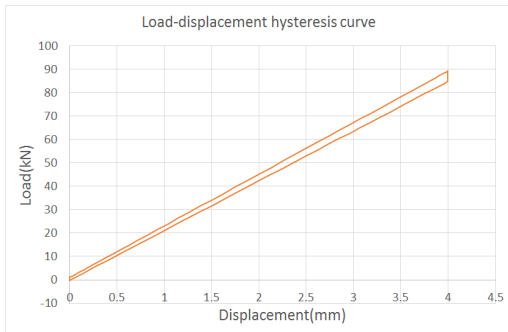


Fig. 4. Hysteresis curve of friction type isolator (design)

열차 궤도에 적용하는 방진장치의 경우, 궤도 패널의 자중 및 열차의 운행 하중에 따른 궤도 처짐량을 고려하여 설계 강성을 결정한다[7]. 장치의 강성은 선 재하 하중 및 진동 범위에 따라 변화하지만 각 하중 및 진동 조건에 따른 각각의 강성 산정이 가능하다. 선 재하 하중이 없는 방진장치의 강성은 약 22.38kN/mm, 플로팅 궤도 시스템 고정하중을 모사한 고정하중 13kN에 열차운행 하중의 절반만큼의 동하중을 선 재하하고 ±15kN의 범

위로 진동할 때의 강성은 약 25.16kN/mm, 열차운행 동하중을 모두 선 재하하고 ±15kN의 범위로 진동할 때의 강성을 35.80kN/mm로 설계하였다.

2.2 방진장치 성능시험

2.2.1 성능시험 조건

방진장치의 정적 수직하중 시험 및 정적 수평하중 시험의 하중은 실제로 궤도 패널에 방진장치를 적용하였을 때, 한 개의 방진장치에 재하되는 시스템 고유중량 및 열차운행 활하중을 고려하였다. 장치에 작용하는 각 시험 하중은 독일표준시험규정 “DIN 45673-7: 철도궤도에 사용되는 탄성체-파트7.플로팅 궤도의 탄성체에 대한 시험절차 규정”에 따라 조합하여 산정하였다. 궤도 시스템 자중 및 열차운행에 따른 하중조건은 Table. 2과 같다. 궤도 레일, 체결장치, 콘크리트 패널을 포함한 궤도 시스템의 자중은 본 연구의 장치가 적용 가능한 플로팅 궤도의 중량으로부터 도출하였으며 열차운행 활하중은 KRL2012 여객전용 표준 활하중을 참고하여 산정하였다.

Table 2. Load conditions per one isolator

Categories		Symbol	Load
Weight of rail system		F_0	13kN
Live load from train service		F_L	102kN
Vertical load conditions	Max. service load	F_1	13kN
	Min. measurement load	F_2	146kN
	Max. measurement load	F_3	212kN
Horizontal load conditions	Vertical pre-load	F_{ver}	13kN
	Service load	F_{hor1}	27kN
	Max. measurement load	F_{hor2}	41kN

2.2.2 정적 수직하중 재하 시험

방진장치의 정적 수직강성을 측정하기 위해 방진장치의 하부 플레이트를 정반 지그에 고정시키고 상부 플레이트에 가력블록을 배치한 후, 가력기를 사용하여 가력블록 상부에 0~1kN, 0~13kN, 0~146kN, 0~212kN의 4가지 케이스의 하중을 가하였다. 또한, 4개소의 LVDT를 배치하여 하중 재하 위치 바로 아래에서 변위를 각각 측정한다. 각 하중은 2kN/sec 속력으로 재하하며 총 3개의 방진장치에 대한 정적 수직하중 재하 시험을 진행한다.



Fig. 5. Vertical static load test

DIN 45673-7 규정에 따라 하중조건에 따른 수직강성 $k_{stat,v1}$, $k_{stat,v2}$, $k_{stat,v3}$, $k_{stat,v4}$ 를 도출하였다. 정적 수직하중 재하 시험 결과 성능시험을 통해 도출한 장치의 수직 강성 값과 설계 강성 값 (22.37kN/mm)의 오차가 3개의 방진장치들이 모두 10% 이내에 들어오는 것을 확인하였다(Table. 3).

Table 3. Vertical static load test results

Test	Vertical static load test		
Device no.	no. 1	no. 2	no. 3
$k_{stat,v1}(kN/mm)$	21.759	22.219	21.539
Difference w/ designed value(%)	-2.77%	-0.71%	-3.75%
$k_{stat,v2}(kN/mm)$	22.491	22.797	22.302
Difference w/ designed value(%)	0.50%	1.87%	-0.34%
$k_{stat,v3}(kN/mm)$	22.053	23.808	22.598
Difference w/ designed value(%)	-1.45%	6.39%	0.98%
$k_{stat,v4}(kN/mm)$	22.661	23.889	23.023
Difference w/ designed value(%)	1.26%	5.75%	2.88%

2.2.3 수직 At-rest 하중 재하 시험

앞선 방진장치 정적 수직하중 재하 시험이 끝난 후에 정적 하중을 제거한 상태로 5분 동안 방치하고 이후에 하중을 재차 재하하여 At-rest 정적 수직강성을 도출한다. 먼저 2kN/s의 속도로 13kN까지 하중을 10분간 재하하고 이때의 변위를 측정한다. 이어 2kN/s의 속도로 146kN까지 적용하중을 키워 10분간 재하하고 이때의 변위를 측정한다. 수직 At-rest 하중 재하 시험의 시간에 따른 하중 그래프는 Fig. 6와 같다.

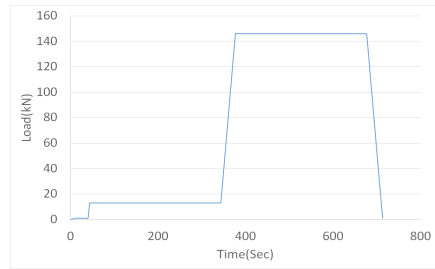


Fig. 6. Load conditions of vertical At-rest load test

At-rest 하중 재하 시험 결과, Table. 4와 같이 성능시험 수직강성 값과 설계 강성 값의 오차가 3개의 장치에서 모두 10% 이내로 도출됨을 확인하였다.

Table 4. Vertical At-rest load test results

Test	Vertical At-rest load test		
Device no.	no. 1	no. 2	no. 3
$k_{stat,v1}(kN/mm)$	21.688	22.161	21.391
Difference w/ designed value(%)	-3.09%	-0.97%	-4.41%

2.2.3 정적 수평 하중 재하 시험

정적 수평 하중 시험을 진행하기 위하여 방진장치 2개소 상부에 가력 블록을 설치하여 장치 2개소가 수평하중에 대하여 일체 거동을 할 수 있도록 배치하였다. 즉, 장치 1개소만을 적용했을 때 발생하는 휨 모멘트에 의한 과도 수평 변위 발생을 방지하고 실제 궤도에 설치되는 구조를 고려하여 배치하였다. 장치 배치는 궤도의 종 방향을 모사한 배치와 횡 방향을 모사한 배치에 대한 각각의 정적 수평하중 재하 시험을 진행하였다.



Fig. 7. Horizontal static load test (Transverse)



Fig. 8. Horizontal static load test (Longitudinal)

정적 수평하중 재하 시험은 수직하중 13kN을 재하한 상태에서 수평하중을 가한다. 수평하중 조건은 장치 2개소 배치에 따라 DIN45673-7 하중조건의 2배에 해당하는 수평하중인 2kN, 54kN, 82kN을 각각 재하하며 수평하중 재하속도는 2kN/sec이다. 횡 방향, 종 방향에 대한 시험결과를 Table. 5, Table. 6에 각각 정리하였다.

Table 5. Horizontal static load test results(Transverse)

Test	Horizontal static load test
Device no.	Use Device no. 1 & no. 2
Max. displacement (mm)	1.025mm
$k_{stat,h1}(kN/mm)$	82.860
$k_{stat,h1}(kN/mm)$	80.436

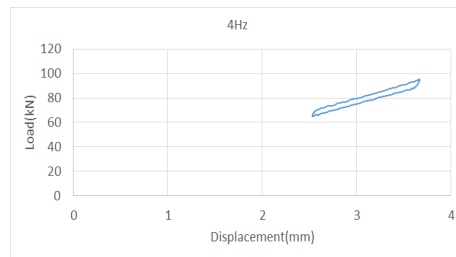
Table 6. Horizontal static load test results(Longitudinal)

Test	Horizontal static load test
Device no.	Use Device no. 1 & no. 2
Max. displacement (mm)	1.310mm
$k_{stat,h1}(kN/mm)$	64.475
$k_{stat,h1}(kN/mm)$	60.442

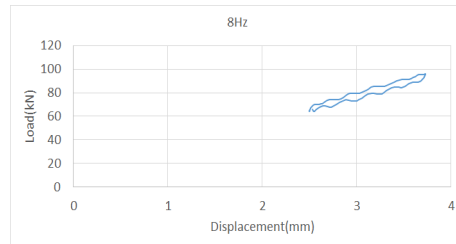
횡 방향 수평 하중 재하 시에 수평강성은 약 80kN/mm로 도출되었으며 열차 운행 방향인 종방향 수평 하중 재하 시에는 약 60kN/mm의 수평강성이 발현되었다. 최대재하하중 81kN를 재하 하였을 때, 최대 변위가 종 방향, 횡 방향 모두 1.5mm를 넘지 않아 매우 작은 수평 변위가 발생하는 것을 확인하였다. 즉, 본 연구에서 개발한 방진장치는 열차의 수평하중에 대해 주행안정성을 확보할 만큼의 충분한 수평강성을 가지고 있다.

2.2.4 동적 수직하중 재하 시험

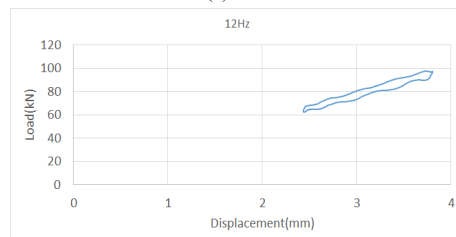
동적 수직하중 재하 시험은 정적 수직하중 재하시험과 시험 배치가 동일하며 하중은 DIN 규정에 따라 궤도 시스템 중량에 열차운행 활하중을 더한 146kN과 열차운행 활하중의 절반 값을 더한 80kN을 선 재하 하중으로 결정하고 하중제어 방식으로 $\pm 15kN$ 크기의 하중 범위만큼 sin과 동적하중을 반복 재하한다. 하중 재하속도는 열차운행 진동수 범위인 4Hz에서 20Hz 까지 10 케이스에 대한 재하속도를 적용하였다. 동적 하중재하에 따라 도출되는 각 그래프는 가력기를 통해 전달되는 하중 및 이에 따른 장치 상판의 변위량을 보여준다. 하중-변위 그래프의 이력곡선 내부 면적을 EDC 면적이라고 하며 장치의 강성 및 감쇠비는 EDC 면적을 비롯한 하중, 변위 데이터를 적용하여 도출할 수 있다. Fig. 9은 80kN 선 재하시의 각 하중 재하속도 별 하중-변위 이력곡선을 나타내며 Fig. 10은 146kN 선 재하시의 하중-변위 이력곡선을 나타낸다.



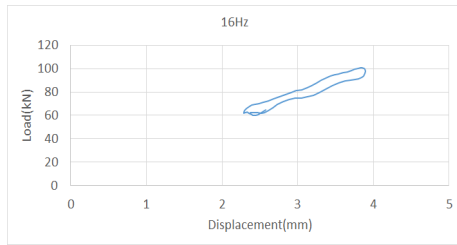
(a) 4Hz



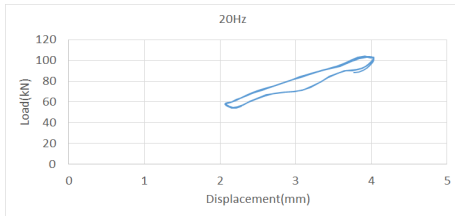
(b) 8Hz



(c) 12Hz

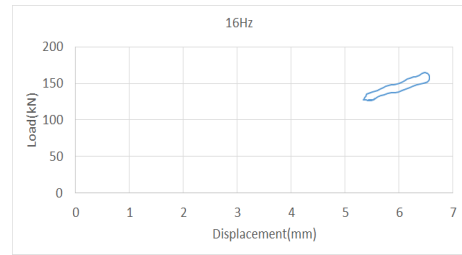


(d) 16Hz

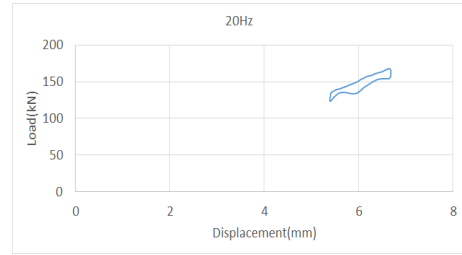


(e) 20Hz

Fig. 9. Vertical dynamic load tests(65kN~95kN)



(d) 16Hz



(e) 20Hz

Fig. 10. Vertical dynamic load tests(131kN~161kN)

동적하중 재하시의 방진장치의 수직강성을 도출하기 위해서는 하중-변위 곡선의 유효강성을 구해야하며 열차 운행시의 진동 감쇠 능력을 확인하기 위하여 위 그래프로부터 감쇠비를 도출하여야 한다. 방진장치의 유효강성 및 감쇠비를 도출하는 공식은 다음과 같다[8].

$$k_{eff} = \frac{F_{max} - F_{min}}{d_{max} - d_{min}} \quad (2)$$

k_{eff} : effective stiffness
 F_{max} : maximum load
 F_{min} : minimum load
 d_{max} : maximum displacement
 d_{min} : minimum displacement

$$\beta = \frac{1}{2\pi} \frac{Area\ of\ EDC}{\Sigma(k_{eff}d_i^2)} \times 100(\%) \quad (3)$$

β : damping ratio
 d_i : range of compressive displacement

각 시험 케이스 별 유효강성 및 감쇠비는 Table. 7, 8 과 같다. 결과에서 볼 수 있듯이 서로 다른 가진 하중 및 속도 조건에서의 설계 유효강성 값과 성능시험에 의한 유효강성 값의 오차율이 10% 이내로 도출되는 것이 확인되었으며 이는 열차 운행하중 진동수인 4-20Hz에서 실제 제작 방진장치의 유효강성이 설계 값과 유사하게

발현된다는 의미를 갖는다. 감쇠비의 경우, 저 진동수 영역 내에서 고진동수영역대로 시험 하중 조건이 변경될수록 감쇠비는 증가하는 경향을 보였으며 이는 마찰요소의 마찰계수가 속도의존성을 갖기 때문이다. 즉, 마찰소재로 적용된 MC-NYLON(3%)는 마찰 가진 속도가 증가할수록 마찰계수가 커지는 경향을 보이므로 장치 또한 고진동수의 하중이 작용하면 감쇠비가 커지게 되는 현상이 나타난다. 마찰재의 속도의존성은 마찰시험 시험을 통해 따로 증명할 필요가 있다고 판단된다. 한편, 하중이 커지면 감쇠비도 커지는 것을 확인할 수 있는데 이는 감쇠비가 장치의 압축변위에 큰 영향을 받으며 하중이 크게 작용하여 압축량이 커질수록 장치 거동에 따른 이력 곡선의 EDC 면적이 더 크게 발현되기 때문이다.

Table 7. Dynamic load test results (65kN~95kN)

Hz	Effective stiffness (kN/mm)	Difference w/ design stiffness(%)	EDC area (kN-mm)	Damping ratio(%)
4	26.743	6	5.526	10.389
5	26.184	4	5.781	10.615
6	26.863	7	5.883	11.275
8	26.084	4	4.842	8.739
10	24.910	-1	6.459	11.186
12	25.302	1	7.252	12.741
14	25.130	0	8.717	14.220
16	23.268	-8	11.974	19.272
18	23.534	-6	16.611	28.530
20	23.326	-7	18.393	26.364
Design stiffness	25.16 kN/mm			

Table 8. Dynamic load test results (131kN~161kN)

Hz	Effective stiffness (kN/mm)	Difference w/ design stiffness(%)	EDC area (kN-mm)	Damping ratio(%)
4	34.001	-5	6.377	16.583
5	34.115	-5	6.894	16.136
6	34.027	-5	7.198	17.765
8	33.500	-6	7.415	16.959
10	33.541	-6	8.338	17.340
12	34.001	-5	9.748	20.661
14	32.876	-8	9.127	19.384
16	35.916	0	13.803	20.773
18	38.071	6	16.597	27.160
20	34.328	-4	20.913	32.164
Design stiffness	35.80 kN/mm			

2.3 마찰재 속도의존성 시험

2.3.1 속도의존성 시험 개요

방진장치의 동적 하중제하 시험 결과, 장치에 높은 진동수의 하중을 제하 하였을 때, 상대적으로 낮은 진동수에서보다 감쇠비가 크게 도출됨을 확인하였다. 이에 따라 마찰재 마찰계수가 속도의존성이 있는지 확인하는 시험이 필요하다.

2.3.2 속도의존성 시험 조건

마찰재의 속도의존성을 확인하기 위해 마찰재 시편을 제작하여 가진 속도별 마찰계수를 측정한다. 시편의 규격 및 가진 속도 조건은 Table. 9에 정리하였으며 시험 진경 및 시편은 Fig. 11과 같다. 시험 속도는 열차운행 하중 주요 진동수 범위인 4Hz~20Hz에 대한 방진장치의 압축속도 및 마찰면 이동속도를 계산하여 30mm/sec~150mm/sec로 결정하였다. 수직하중은 케도 고정하중 및 열차 운행하중을 고려하여 제작시편 면적에 해당하는 하중을 부여한다. 시험시편은 3개를 제작하며 각 가진 속도별 시험 케이스를 3번씩 반복 시험하여 평균 마찰계수를 도출한다.

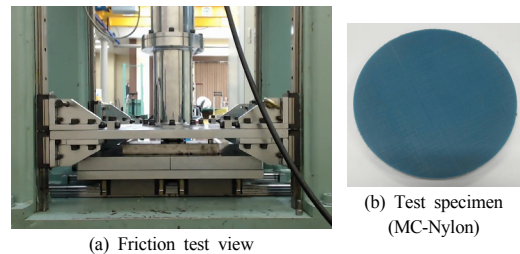


Fig. 11. Friction test view and specimen

Table 9. Test conditions for friction test

Categories	Value
Friction material	MC-Nylon
Specimen diameter (mm)	70
Specimen height (mm)	5
Vertical load (Mpa)	2.57
Loading rate (mm/sec)	30, 60, 90, 120, 150

2.3.3 속도의존성 시험 결과

가진 속도에 따라 도출된 마찰재의 마찰계수를 Table. 10에 정리하였으며 가진 속도 별 마찰계수 경향은 Fig. 12에서 확인할 수 있다.

Table 10. Friction test results

Loading rate (mm/sec)	30	60	90	120	150
Friction coefficient	3.702	4.137	4.157	4.805	5.037

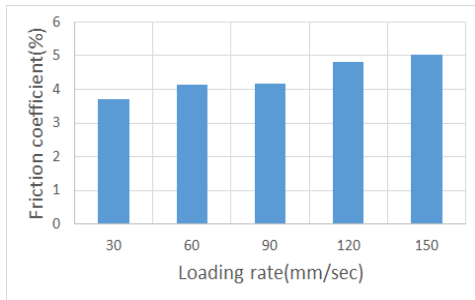


Fig. 12. Friction coefficient according to the loading rate

방진장치에 적용된 MC-Nylon 마찰재는 가진 속도가 증가함에 따라 마찰계수 또한 증가하는 특성이 있음을 확인할 수 있다. 즉, 방진장치에 높은 진동수의 하중을 재하하면 마찰블록의 마찰계수가 증가하여 마찰면의 항복력이 증가하며 이에 따라 장치의 거동이력에서 EDC 면적이 증가하게 되므로 낮은 진동수의 하중에서보다 높은 진동수의 하중에서 감쇠비가 더 크게 발현된다.

3. 결론

본 연구에서는 선하역사에서의 열차운행에 의해 발생하는 소음-진동을 저감하기 위하여 플로팅 궤도에 적용되는 방진 장치를 개발하고 장치의 특성에 대한 연구를 진행하였다.

방진장치의 유효강성을 확인하기 위하여 장치 시험편을 제작하고 규정에 의거한 성능시험을 진행하였다. 성능시험 결과를 설계 값과 비교해 보면 정적하중 및 동적하중 시험에 의해 도출된 장치의 강성이 설계 값과 모두 $\pm 10\%$ 이내의 차이를 보여 실제로 방진장치가 제작되었을 때, 설계 강성 값과 차이가 크지 않게 발현됨을 확인하였다. 마찰요소에 의한 감쇠비는 동적하중의 가진 속도에 따라 차이를 보이는데 고진동수의 하중이 가진될 때, 장치의 감쇠비가 크게 발현되고 저진동수 하중이 작용하면 감쇠비는 상대적으로 작게 도출되는 경향을 확인하였다. 이에 따라 가진 속도에 따른 마찰특성을 확인하

고 장치 감쇠비의 도출 경향에 대한 원인을 파악하기 위해 마찰시험에 대한 속도의존성 시험을 진행하였다. 시험 결과, 열차운행 주요 하중 진동수 범위인 4Hz~20Hz에서 가진 속도가 증가할수록 마찰재의 마찰계수가 크게 나타남을 확인하였으며 이에 따라 마찰요소를 적용한 방진장치 역시 가진 속도가 증가할수록 마찰요소의 마찰계수가 크게 발현되고 장치의 진동 감쇠비가 증가한 것이라고 예상할 수 있다.

향후에는 마찰요소를 적용한 방진장치를 플로팅 궤도에 설치하여 패널 단위의 조립시험을 진행함으로써 실제 궤도에의 적용가능성을 확인할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 국토교통과학기술진흥원 철도기술연구사업인 “역사 구조물 소음/진동 저감기술 개발”의 연구비 지원(과제번호 : 16RTRP-B072484-04)에 의하여 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

References

- [1] J. H. Kim, D. D. Jang, Y. S. Ji, *A Study of Noise Characteristics Induced by Slab Vibration for the Elevated Railway Station*, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 16, no. 5, pp. 3557-3566, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3557>
- [2] S. H. Choi, Y. Yong, J. H. Kim, S. G. Kwon, *Experimental Analysis of Vibration Transfer Characteristics of an Elevated Railroad Station*, Journal of the Korean Society of Disaster Information, vol. 11, no. 1, pp. 89-96, 2015.
- [3] D. K. Kim, J. B. Pack, K. H. Pack, "A Study of Decreide Light Railway of Track's Noise and Vibration", *2007 fall academic conference of the Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 163-168, 2007.
- [4] S. Y. Jang, H. H. Cho, S. C. Yang, "Vibration Analysis of Station under Railway Lines with Floating Slab Track", *2010 spring academic conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1719-1724, 2010.
- [5] S. G. Park, C. K. Chun, G. S. Lee, S. Y. Jang, *The Development of a Floating Slab Track to Isolation System*, Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, vol. 23, no. 2, pp. 112-122, 2013.
- [6] G. S. Jeon, K. T. Roh, B. Y. Beak, "A Study on the Vertical Deflection of the Rubber Bearing", *2015 fall academic conference of the Korean Society for Railway*,

pp. 553-558, 2015.

- [7] S. Y. Jang, S. C. Yang, *Assessment of Train Running Safety, Ride Comfort and Track Serviceability at Transition between Floating Slab Track and Conventional Concrete Track*, Journal of the Korean Society for Railway, vol. 15, no. 1, pp. 48-61, 2012.
- [8] G. Y. Chung, D. H. Ha, K. N. Park, H. O. Kwon, *Experimental Study on Characteristic of Low Hardness Rubber Bearing*, Earthquake Engineering Society of Korea, vol. 6, no. 4, pp. 39-49, 2002.

고 용 성(Yong-Sung Koh)

[정회원]



- 2012년 8월 : 서울과학기술대학교 토목공학과 (토목공학과 학사)
- 2014년 1월 : University of Illinois Urbana-Champaign civil engineering (Civil Engineering 석사)
- 2014년 1월 ~ 2017년 2월 : 에스 코알티에스(ESCO-RTS) 기술연구소 연구원

<관심분야>

토목공학, 구조공학, 진동제어

이 찬 영(Chan-Young Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (토목공학과 학사)
- 2000년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (구조공학 석사)
- 2013년 4월 ~ 2017년 2월 : 에스 코알티에스(ESCO-RTS) 기술연구소 책임 연구원

<관심분야>

토목공학, 구조공학, 진동제어

지 용 수(Yong-Soo Ji)

[정회원]



- 1998년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (토목공학과 학사)
- 2000년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (구조공학 석사)
- 2016년 8월 : 인천대학교 토목공학과 (구조공학 박사)
- 2013년 4월 ~ 2017년 2월 : 에스 코알티에스(ESCO-RTS) 기술연구소 부소장

<관심분야>

토목공학, 구조공학, 진동제어

김 재 왕(Jae-Wang Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 성균관대학교 토목환경공학과 (토목공학과 석사)
- 2011년 10월 ~ 2013년 9월 : 한국철도기술연구원, 연구원
- 2014년 2월 ~ 현재 : 한국철도공사 연구원, 주임연구원

<관심분야>

토목공학, 구조공학