플로팅 슬래브 궤도용 방진시스템 개발

The Development of a Floating Slab Track to Isolation System

박 상 곤† · 전 중 균* · 이 규 섭** · 장 승 업***

Sang Gon Park, Chong Keun Chun, Gyu Seop Lee and Seung Yup Jang

(Received August 31, 2012 ; Revised January 17, 2013 ; Accepted January 17, 2013)

Key Words : Floating Slab Track(저진동 궤도), Second-phase Noise(2차 소음), Vibration Isolator(방진제), Stations Under Railway Lines(선하역사), Rubber Mat(고무매트)

ABSTRACT

Recently the construction of stations under railway lines and railway sections passing through central area of cities are increasing, calling for an urgent establishment of countermeasures against railway vibration and its subsequent second-phase noise. Of technology developed up to now, the most efficient countermeasure is the floating slab track, a track system isolated from the sub-structure by springs. Unfortunately, however, the system design technology and technology for key components have not yet developed in Korea. As such, in this study, the analysis and design technology of floating slab track and its vibration isolator technology can be achieved. In preparation for future demands, it is expected to raise awareness for the need of technology self-support and to make a meaningful contribution to mitigating vibration and noise produced by the next-generation high-speed railway.

1. 서 론

1.1 연구목적 및 방법

교통편의성을 고려한 도시설계가 2000년대부터 적용되면서 철도의 도심통과구간이나 선하역사 건설이 증가하고 있다. 특히 선하역사내 각종 편의시설과 상업시설 증가로 이용고객이 늘고 있으나 철도 진동과 이로 인한 2차 소음으로 인해 민원이 발생하고 있다.

역사 내부 또는 철도 인접 건물 내부로 유입되는 진동과 구조소음을 효율적으로 저감시키는 방법으로 는 궤도 전체를 하부구조와 분리시키는 플로팅 슬래

브궤도 공법이 있다. 국내에서는 아직 플로팅 슬래브 시스템 설계기술과 관련 구성품 설계기술이 확보되어 있지 못하기 때문에 대부분 국외에서 개발된 시스템을 그대로 도입하고, 핵심 구성품인 방진재료는 모두 수입에 의존하는 등 관련 기술의 자립도가 매우 낮은 실정이다. 따라서 이 연구에서는 순수 국내 기술을 바탕으로 플로팅 슬래브 궤도용 방진시스템 개발을 위해 방진마운트 최적설계 및 제작과 방진장치 시공성, 교체성 등을 고려한 시스템을 개발하고자 한다.

1.2 연구동향

이 연구와 유사한 국내외 연구 동향을 살펴보면,

† Corresponding Author ; Member, The Dept. of Mech. Eng. Sunmoon University

E-mail : psg8722@rmstech.co.kr

Tel : +82-41-556-7600, Fax : +82-41-556-7603

* Member, The Dept. of Mech. Eng. Sunmoon University

** Member, RMSTechnology Corporation R&D Center

*** Member, Advanced HSR Research Division, Korea Railroad Research Institute

‡ Recommended by Editor Moon Kyu Kwak

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

Table 1 Floating slab track domestic construction

Division	Form	Supplier/country
Bucheon station	· Coil spring type(discrete support) · Gravel orbit	Gerb/Germany
Cheonan station	· Coil spring type(vibration isolation of all structures) · Gravel orbit	Gerb/Germany
Gwang-myong	· Slab mat.(the entire face of support) · Concrete slab orbit	Getzner/Germany
Busan sub way-line2	· Slab mat.(the entire face of support) · Concrete slab orbit(LVT)	Getzner/Germany

지금까지 국내에서는 일부 시스템 해석기술과 방진 효율성 평가기술이 확보된 상태이고⁽¹⁾, 저진동 궤도 시스템에 사용되는 고무패드 또는 코일스프링 방진재 등은 국내에서 생산기술을 확보하고 있는 것으로 판단되지만⁽²⁾, 시공성과 유지보수 등을 고려한 방진 시스템 설계기술의 부족으로 해외 시스템과 관련 부품을 그대로 수입에 의존하고 있는 실정이다.

현재 국내에 부설된 대표적인 플로팅 슬래브궤도 부설사례를 Table 1에 요약하였다. Table에서 보듯이 재료는 대부분 수입에 의존했고, 설계도 해외 시스템 공급사에서 제시하는 설계안을 그대로 도입한 것으로 파악된다⁽⁴⁾.

국외의 경우 지금까지 다양한 플로팅 슬래브궤도가 개발되어 적용되어 왔다. 크게 방진장치 종류에 따라서는 코일스프링-댐퍼시스템을 적용하는 공법과 방진고무를 사용하는 공법으로 나눌 수 있다. 코일스프링-댐퍼시스템의 대표적인 예는 국내에서도 적용된 바 있는 독일의 Gerb社의 플로팅 궤도시스템⁽³⁾이다.

2. 플로팅 슬래브 궤도용 방진장치 개발

2.1 방진장치 고유 진동수 산정

열차 주행으로 발생된 진동은 역사 구조물로 전달되어 구조물의 고유진동수와 공진을 일으킬 소지가 있어 열차 주행하중의 주파수 특성을 파악해야 한다. 속도에 따라 다르지만 대략 40~140 Hz 내외(침목간격 60~65 cm에 대해 속도 100~300 km/h)에서 피크치가 관찰되지만 차축간격(2.5~3 m)에 대한 가진 진동수인 10~30Hz의 저주파 대역에서도 높은

진동이 관찰된다⁽⁴⁾. 이러한 방진마운트 고유진동수는 가진특성, 플로팅 슬래브궤도 및 하부구조물의 모빌리티(mobility)를 고려하여 전달률을 최소화하고, 공진을 회피할 수 있는 범위에서 결정되어야 한다. 따라서 플로팅 슬래브 궤도용 방진마운트의 고유진동수는 7 Hz이하가 되어야 한다.

방진마운트의 고유진동수와 전달률 관계에서 $f/f_0 < \sqrt{2}$ 에서는 전달률 ξ 가 1보다 크게 되고, $f/f_0 > \sqrt{2}$ 에서는 전달률 ξ 가 1보다 작으므로 전달률이 감소하여 방진효과가 있다. 더욱 방진효과를 크게 하기 위해 고유진동수 f_0 를 작게 하면 좋으나 방진마운트의 탄성계수가 너무 작게 되면 진동원 자체의 진동변위가 크게 되어 진동원이 불안정한 상태가 될 수 있다. 또한 방진마운트의 고유진동수의 하한치는 대차 통과 진동수로부터 결정될 수 있다. 대차 간격(d_b)은 새마을호의 경우 15.2 m(동력차), 15.9 m(객차), KTX의 경우는 18.7 m이므로 200 km/h로 주행하는 새마을호에서 가진 진동수는 3.5~3.65 Hz, 400 km/h의 속도로 주행하는 KTX의 가진 진동수는 약 5.94 Hz가 된다⁽⁴⁾.

방진마운트 고유진동수는 슬래브의 휨을 고려하지 않고, 전체 시스템을 단일 질량-스프링 시스템으로 단순화할 경우 아래 식과 같이 산정할 수 있다.

$$f_n = \frac{5}{\sqrt{\delta(\text{cm})}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

여기서, δ : 시스템 자중에 의한 총 정적 처짐(cm).

때로 차량의 스프링으로 지지되지 않는 부분의 질량이 부가되어 시스템 고유진동수를 낮추는 결과를 초래하기도 하는데, 일반적으로 축중의 1/3을 부가질량으로 가정하기도 한다⁽⁴⁾.

방진마운트의 고유진동수를 결정하기 위해 다양한 변수(열차별 하중, 길이, 속도, 플로팅 슬래브 모드 등)와 다양한 차종의 특성을 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

- 방진장치의 설치간격 : 2.6 m
- 고유진동수 : 7 Hz(열차중량 제외시)
- 수직방향 스프링 상수 : $10 \pm 2 \text{ kN/mm}$
- 수평방향 스프링 상수 : 슬래브 밀림을 고려하여 수직방향의 80 % 이상

Fig. 1 Relationship between the system natural frequency and Transmissibility

2.2 방진장치 형상 설계

일반적으로 방진재로 사용되는 재료로는 금속 스프링, 공기스프링 그리고 고무재료 등이 있다. 이 가운데 플로팅 궤도에 널리 적용되고 있는 금속 스프링과 방진고무 중 이 논문에서는 방진고무를 선택하였다. 방진고무는 탄성과 점성의 내부에너지 손실을 이용하는 것으로 철도분야를 비롯하여 오래 전부터 방진재료로 널리 이용되어 왔으며 소재 자체의 구조감쇠에 의한 손실계수가 10~20 % 수준이므로 별도의 감쇠장치가 불필요한 이점이 있다. 반면에 방진고무는 푸아송 비(Poisson ratio) ν 가 0.5에 가까운 소재로 압축시 단면적 증가율이 매우 커서 10 % 미만의 스트레인에서도 스프링 강화(hardening)가 발생함으로 단순 구조로서는 10 Hz 미만의 고유진동수를 얻을 수 없다.

이러한 방진고무의 특성을 고려하고, 방진장치 고유진동수가 7 Hz 수준이 되기 위한 충분한 정적처짐을 얻기 위하여 압축과 전단탄성을 갖는 원추형 방진마운트로 형상을 설계하였다.

2.3 방진장치용 고무소재 재료 특성 실험

고무소재는 하중과 변형이 비선형 관계를 보이고 대변형 범위에서도 탄성거동을 나타내는 초탄성(hyper-elasticity) 특성을 보이며 또한 시간에 따라 재료의 물성치가 변하는 점탄성(visco-elasticity) 특성을 나타내는 등 매우 복잡한 거동을 보인다⁽⁵⁾.

방진고무의 유한요소 해석에 필수적인 고무소재의 특성은 그 값의 변화에 따라 고무부품의 해석결

과는 큰 차이를 나타내며 해의 정확성 및 수렴성에도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 제품과 동일한 성품 및 조건으로 제작된 고무소재의 시편에 대한 특성실험을 통한 정확한 고무소재의 특성값 확보가 필수적이다. 고무소재의 특성은 변형률 에너지 함수(strain energy function, W)의 계수값으로 표현되는데, 이 계수 값들은 여러 가지 다른 하중상태에서의 고무소재 실험을 통하여 구해진 응력-변형률의 실험결과 데이터를 변형률 에너지 함수로부터 유도된 응력-변형률 곡선으로 피팅(fitting)하여 실험값과 계산값의 차이를 최소화함으로써 결정된다⁽⁶⁾.

고무분자 사슬의 방향이 처음에는 등방성이지만 재료가 신장됨에 따라 분자 사슬이 방향성을 갖게 되어 이방성이 증가하게 된다. 그러나 이방성의 증가가 변형 방향을 따르므로 재료는 변형이력을 통해 등방성으로 간주된다. 따라서 고무의 변형을 표현하기 위해서는 재료거동은 탄성이며, 등방성이라는 가정 하에 변형률 에너지함수(W)는 변형률 불변량(strain invariant, I)의 함수와 부방향 신장을 제외한 주방향신장(principal stretch, λ)의 함수로 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} W &= W(I_1, I_2, I_3) \\ W &= W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 는 주방향신장이며, 재료가 등방성인 경우 I_1, I_2, I_3 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

비압축성 고무의 변형해석에 널리 쓰이는 변형률 에너지 함수는 식 (4), (5)와 같이 변형률 불변량의 함수로 표시되는 Mooney-Rivlin 함수 형태와 주방향 신장의 함수로 표시되는 Ogden 함수로 나타낼 수 있다⁽⁷⁾.

Mooney-Rivlin 함수 :

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (4)$$

(a) Uniaxial tensile test

(b) Biaxial tensile test

Fig. 2 Rubber specimens

Ogden 함수 :

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) \quad (5)$$

여기서, C_{ij}, μ_n, α_n 는 실험결과로부터 결정되는 고무소재의 재료상수로 단순한 변형을 포함하는 인장실험, 압축실험, 전단실험 등으로 구한 응력과 변형률 관계를 이용하여 결정된다⁽⁵⁾.

고무소재 비선형 재료 상수값을 결정하기 위해 단축 인장시험과 이축 인장 시험을 실시하였으며, 고무시편은 경도-44, 46, 48, 50으로 4개 종류를 대상으로 하였다(Fig. 2 참고).

고무시편에 대한 단축 인장시험과 이축 인장시험을 통하여 얻어진 응력-변형률 곡선은 25 %, 50 %, 75 %, 100 %의 변형률 범위로 Fig. 4와 같다(경도 44의 결과만 이 논문에 게재함). 시험을 통해 구한 응력-변형률 데이터와 변형률 에너지함수로부터 구해진 응력-변형률의 관계식을 이용하여 커브 피팅을 하였다. 식 (4)와 (5)를 이용하여 Mooney-Rivlin 2항과 Ogden 3항의 비선형 재료상수를 결정하였다. 일반적으로 Ogden 모델의 응력-변형률 관계에서 연신률의 지수가 실수 값이므로 그 지수가 정수 값을 가지는 Mooney-Rivlin 모델에 비해 곡선 묘사에 유연성을 갖고 있기 때문에 이 논문에서는 Ogden 상수

(a) Uniaxial tensile test

(b) Biaxial tensile test

Fig. 3 Rubber specimen test equipment

값을 해석에 사용하였다⁽⁷⁾. 변형률 결과 중 대변형을 고려하여 100 % 비선형 재료상수값을 해석에 사용하였다.

2.4 방진마운트 비선형해석

방진장치내 방진마운트의 비선형해석을 위해 Ansys workbench을 이용하였다. Fig. 5에서 보듯이 주요 구성은 상/하부 고무층 사이에 철판(4 mm)이 접착된 형태이다. 방진마운트의 강성을 결정하는 설계변수는 고무의 경도, 고무층 경사각, 두께, 길이 등이 있다. 정해진 방진마운트의 직경(300 mm)과 고무층의 두께(15 mm)이외의 변수는 고무층의 경사각이다. 최적의 고무층 설치 경사각 결정을 위해 경도 50의 고무재료일 때, 경사각 55°, 57°, 60°의 형상으로 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 6에서 보듯이 정적 스프링 계수는 55°-13.8 kN/mm, 57°-8.6 kN/mm, 60°-7.6 kN/mm로 설치 경사각을 55° 일때가 스프링 계수가 높은 것으로 나타났다. 제한된 직경과 일정한 고무두께의 조건내에서는 경사각을 55°로 적용한 경우 가장 최적인 것으로 확인되었다.

Fig. 4 Strain range stress-strain curve

Table 2 Nonlinear material constants

Hardness	Ogden				
	μ_2	μ_3	α_1	α_2	α_3
H-44	1.3	0.515	2.043	4.16	0.054
H-46	0.006	21.56	0.009	0.613	1.814
H-48	0.201	0.704	2.067	8.39E-6	0.703
H-50	0.252	0.674	2.261	2.44E-6	1.018

Fig. 5 Shape design of anti-vibration rubber part

Fig. 6 Analysis results according to the inclination

방진마운트의 정적 스프링계수가 설계목표치 10 ± 2 kN/mm에 부합되는 고무소재를 결정하기 위해 앞에서 고무소재 실험을 통해 구한 경도 44, 46, 48, 50에 대해 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 8에 나타난 결과와 같이 경도별 정적 스프링계수를 계산해보면

Fig. 7 Vibration isolator analytical model

Fig. 8 Analysis results according to the hardness

경도 44-11.8 kN/mm, 경도 46-11.7 kN/mm, 경도 48-13.1 kN/mm, 경도 50-13.8 kN/mm 이다. 목표로 하는 정적 스프링 계수 설계목표치와 부합되는 것은 경도 44와 경도 46이다.

2.5 시제품 방진마운트의 정적, 동적 실험

비선형해석을 통해 방진마운트의 고무층의 설치 경사각(55°)과 고무소재 경도(44, 46)를 결정하여 시제품을 제작하여 정적, 동적 특성 시험을 수행하였다.

경도별 시제품의 시험결과 정적 스프링계수는 경도 44-11.1 kN/mm, 경도 46-11.8 kN/mm로 나타났다. 주파수별 힘과 변위의 data를 FFT(fast Fourier transform)하여 산정한 동적스프링계수와 손실계수는 Table 3과 같다. 동적 스프링계수는 정적 스프링계수에 비해 약 25 %정도 차이로 성능면에서 만족할만 하다. 더불어 감쇠비도 10 % 이내로 경도 44와 46 모두 설계 목표치와 적합한 성능을 보였다. 그러나 경도 46에 비해 경도 44의 정적 스프링

Fig. 9 Hardness specific prototype

Table 3 Dynamic stiffness and loss factor measurement results

Division		Hz			
		4.92	6.20	15.6	19.7
H-44	Dynamic stiffness (kN/mm)	13.714	13.764	13.830	13.392
	Loss factor η	0.0628	0.0670	0.1055	0.1186
H-46	Dynamic stiffness (kN/mm)	14.603	14.639	15.102	15.059
	Loss factor η	0.0799	0.0834	0.1189	0.1329

Fig. 10 Spring coefficient experiments

계수가 설계목표치와 가장 근접하게 나타나 최종 방진마운트는 고무소재 경도 44로 결정하였다.

Fig. 11 Spring coefficient of static experiments

(a) H-44

(b) H-46

Fig. 12 Spring coefficient of dynamic experiments (vibration velocity 25 mm/s)

2.6 방진장치 리프팅 구조 설계

열차진동 저감을 위해 궤도하부에 주로 사용하는 고무매트형 방진재는 초기 시공단계에서 궤도슬라브 하부에 묻혀 장기간 사용으로 인한 방진효율 저감 및 고무의 크리프 등의 문제 발생에도 교체시공이 불가능하다. 또한 궤도 슬라브의 높이 조절이 불가능하여 콘크리트 타설 후 궤도시공시 레벨링을 해야 하는 불편함이 있었다. 이러한 문제를 해결하고자 이 연구에서는 방진장치 내부에 유압잭을 설치하여 높이 조절이 가능하며 추가 설비 없이 self-lifting이 가능하도록 구조를 설계하였다.

Fig. 13에서 보듯이 방진고무의 위아래에는 각각 상하부 steel plate가 위치하고 상부 plate에 유압 실린더를 설치하였다. 상부 plate 위에는 120° 각도로 날개 모양으로 벌어진 로드 플레이트(load plate)와 피스톤이 일체로 구성되어 있어서 유압 실린더에 의해 위아래로 움직일 수 있는 구조로 되어 있다. 로드 플레이트 날개는 콘크리트 슬라브에 미리 매립된 원통형 강재(Fig. 14 참조)의 내부 턱(bracket)에 걸려서 슬라브 중량을 지지한다. 방진장치를 설치할 때에는 위에서 아래로 삽입하는데, 슬라브에 매립된 원통형의 강재 내부에 구비된 턱(bracket)도 120° 각도로 배치되어 있어 로드 플레이트를 60° 만큼 회전하면 턱을 피해 방진장치를 슬라브 아래까지 삽입할 수 있다(Fig. 14 참조). 방진장치를 바닥에 위치시킨 후에 로드 플레이트를 다시 반대방향으로 60° 만큼 회전하면 로드 플레이트는 연결장치 내부 턱과 일치하게 되므로 유압잭에 유압을 주입하면 피스톤이 상승하면서 로드 플레이트 날개의 끝 부분이 bracket에 걸리면서 슬라브를 들어 올리게 된다. 높이 조절이 끝난 후에는 락볼트와 락너트로 고정하고 유압은 제거하므로 유압의 변동에 따른 높이 변화가 발생할 가능성이 없다(Fig. 15 참조). 이와 같이 self-lifting이 가능한 방진장치를 적용함으로써 슬라브를 들어

Fig. 13 Vibration isolator structure

올린 후 측면에서 방진장치를 설치하는 기존 방법에 비해 슬래브 상부에서 아래로 방진장치를 설치할 수 있어 측면에 공간이 부족한 구간에서도 설치가 가능하며, 별도의 유압잭 없이 슬래브의 높이 조정 (post-alignment)이 가능하다. 또한 사용 중에 방진 고무의 상태를 점검하고 문제가 있을 때 고무마운트를 교체할 수 있는 장점이 있다.

방진장치의 최대 높이 조정 스트로크(S)는 슬래브 리프팅 높이(H)와 바닥 시공오차(인접 방진 스프링 위치 간 바닥 높이차, $E1 \approx \pm 10 \text{ mm}$), 방진 마운트와 원통형 강재 브라켓 간 단차($E2 \approx 20.5 \text{ mm}$), 그리고 궤도 자중에 의한 방진고무의 탄성변형($D = 5 \text{ mm}$) 등을 감안하여 60 mm로 설계하였다.

$$\begin{aligned} S &= H + E1 + E2 + D \\ &= 20 + 10 + 20.5 + 5 \\ &= 55.5 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

Fig. 14 Structure of the cylindrical steel bracket

Fig. 15 Vibration isolator installation order

3. 현장 시험부설 및 성능평가

3.1 현장 시험부설

이 연구에서 개발된 플로팅 슬래브궤도용 방진시스템의 성능을 검증하기 위해 경전선 OO역 정거장 구간에서 시험부설 하였다. 함안 정거장 구간은 총 110 m 라면 구조물로 정거장 구간의 선로는 직선

(a) Vibration isolator (b) Rubber mat

Fig. 16 Comparison of floating slab track section Haman station

(a) Slab lifting
(multi channel hydraulic pressure jack-up system)

(b) Slab lifting and track status

Fig. 17 Test construction process

구간이고, 본선 상선 구간에 개발된 방진시스템을 적용한 플로팅 슬래브레도가 부설되었고, 본선 하선 구간에는 고무방진매트 방식의 플로팅 슬래브레도를 부설하였다.

3.2 현장성능측정 및 평가

개발된 방진장치를 적용한 플로팅 슬래브레도(상행선)의 진동 및 구조소음 저감 성능을 평가하기 위해 Fig. 18과 같이 레도 슬라브에 가속도센서와 1층 대합실에 소음계를 설치하였다. 하행선구간에는 고무방진매트가 설치되어 있어 비교대상으로 삼기 위해

Fig. 18 Vibration and structural noise measurement schematic diagram

Table 4 Vibration and noise measurement results

Division			Up line (vibration isolator)	Down line (rubber mat)
2nd floor of orbit slab vibration	KTX 150 km/h	Vel. mm/s	0.45	17.8
		dB (ref 5×10^{-8} m/s)	79.0	111
	KTX 120 km/h	Vel. mm/s	0.39	17.4
		dB (ref 5×10^{-8} m/s)	77.8	110.8
	Mugunghwa (stops after departure)	Vel. mm/s	0.22	4.21
		dB (ref 5×10^{-8} m/s)	72.9	98.5
The first floor of the main terminal structure noise	KTX 120 km/h	dB(A)	21.7	32.3
	Mugunghwa (stops after departure)	dB(A)	26.6	42.4

상행선 측정조건과 동일하게 진동과 소음을 측정하였다.

방진장치의 성능검증을 위해 시험 운행 중인 KTX 열차와 무궁화 열차를 대상으로 측정한 결과는 Table 4와 같다. 측정시 KTX는 역에 정차하지 않고 통과하였고, 무궁화는 역에 정차 후 출발하는 상황

Fig. 19 Floating slab track slab vibration measurement results(KTX velocity 150 km/h)

Fig. 20 1st floor floating slab under the track structure noise measurement results(KTX velocity 120 km/h)

이었다. 고무방진매트를 설치한 하행선에 비해 개발된 방진시스템을 적용된 상행선은 진동(1~100 Hz) 측면에서 26~33 dB 차이가 발생하였다. 구조소음(25~160 Hz)측면에서는 11~16 dB(A) 차이가 있는 것으로 평가되었다. 고무방진매트가 설치되지 않은 구간과 비교할 경우 더 큰 차이를 보일 것으로 예상된다. 해외에서 적용된 방진장치 중 대표적인 일본 플로팅 라다 궤도시스템(50 Hz이상 대역 약 20 dB 감소)이나 독일 Heitkamp사의 HISO track system (20 Hz이상 대역 약 20 dB 감소)과 비교해 뛰어난 성능을 확인할 수 있다.

4. 결 론

선하역사 또는 철도 인접 건물 내부로 유입되는 진동과 구조소음 저감을 위한 플로팅 슬래브궤도 시스템 설계기술과 관련 구성품 설계기술 확보를 위해 진행된 연구에서 핵심 구성품인 방진장치 개발 및 개발된 방진장치를 선하역사에 현장부설 후 성능평가를 통해 그 효용성을 확인하였다.

플로팅 슬라브 궤도용 방진장치의 핵심인 고무방진마운트의 최적설계를 위해 비선형해석을 수행하였다. 비선형해석에 있어 해의 정확도를 높이기 위해 초탄성특성의 고무재료의 시편시험을 통해 고무재료 상수값을 도출하였다. 고무재료 상수값을 이용하여 방진마운트의 비선형해석을 수행하였고, 목표하는 정적스프링계수(10 ± 2 kN/mm)와 적합도가 높은 고무재료를 사용하여 시제품을 제작, 정적 및 동적특성 시험을 수행하였다. 이 결과를 바탕으로 최적화된 시제품을 제작하였다. 방진장치의 시공성과 교체편의를 위한 리프팅 구조를 방진장치에 적용하여 경전선 OO역 정거장 구간에 시험부설하여 진동과 소음을 측정하였다. 그 결과 고무방진매트를 설치한 선로구간에 비해 개발된 방진시스템을 적용된 구간에서는 진동(1~100 Hz)측면에서 26~33 dB 차이가 발생하였고, 구조소음(25~160 Hz)측면에서는 11~16 dB(A) 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 해외에서 적용된 방진장치 중 대표적인 일본 플로팅 라다 궤도시스템(50 Hz이상 대역 약 20 dB 감소)이나 독일 Heitkamp사의 HISO Track System(20 Hz이상 대역 약 20 dB 감소)과 비교해 뛰어난 성능을 확인할 수 있다.

후 기

이 논문은 2009년~2012년도 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Yang, S. C. and Kang, Y. S., 2000, Development of Evaluation Method of Vibration-reduction Efficiency in Slab Track, Korean Society for Civil Engineering, Vol. 20, No. 4-D, pp. 427~435.
- (2) Yang, S. C. and Kim, T. Y., 2003, Vibration Analysis Method for Railway Structure with Floating Slab, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 561~566.
- (3) Jang, S. Y., 2008, Low Vibration Track(floating slab track) Survey Foreign Technology and Related Technical Data Collection, KRRI Overseas Trip Report.
- (4) Moon, J. W., 2009, Development of Low Vibration Track(floating slab track) and Technology for Improvement of Performance of Long-span Bridges, Next-generation High-speed Rail Technology Industry 1st Report, pp. 2~3, pp. 55~57.
- (5) Lee, Y. H., 2009, Study on Dynamic Characteristics Prediction of Rubber Components for Improvement of Vehicle Vibration Performance, Ph.D. Dissertation, Hanyang University, pp. 25~27.
- (6) Fredrick, R. E., 1978, Theory and Practice of Engineering with Rubber, Applied Science Publisher LTD, London.
- (7) Treloar, L. R. G., 1975, The Physics of Rubber Elasticity, 3rd ed.,

Sang Gon Park is a manager at RMS Technology Corp. and a doctoral student for the Dept. of Mechanical Engineering of SunMoon Univ. His research interests are dynamic behavior of structures and vibration characteristics.

Gyu Seop Lee is the Director of Research and Development Center of RMS Technology Corp. He received his B.S., M.S. and Ph.D. for civil engineering from Yonsei Univ. His research interests are vibration control and control systems using

smart actuators.

Chong Keun Chun is a professor at the Dept. of Mechanical Engineering of SunMoon Univ. He received his B.S. for mechanical design from Seoul National Univ. and M.S. and Ph.D. for mechanics and structures from the Univ.

of California, Los Angeles(United States). His research interests are vibration and applied mechanics.

Seung Yup Jang is a senior researcher at Korea Railroad Research Institute(KRRI). He received his B.S., M.S. and Ph.D. for civil engineering from Seoul National Univ. His research interests are structural behavior of railway

track systems and concrete structures.