

철도교용 반구면 탄성체 베어링의 형상설계 및 해석에 관한 연구

A Study on the Shape Design and Nonlinear Analysis of Elastomeric Spherical Bearings for Railway Bridge Systems

오 주† 조현진* 이완하** 박진영*** 박건록***
Oh, Ju Cho, Hyun-Jin Lee, Wan-Ha Park, Jin-Young Park, Kun-Nock

ABSTRACT

In this paper is presenting the shape design and elastomer bearings, which functioned as a joint connecting sub-structures and upper-structures with a railway bridge bearing systems. The elastomeric spherical bearing shaped and composed of alternated 17-layered metal shim plates and 18-layered elastomer plates, respectively. The elastomeric spherical bearing a high compressive load for perpendicular axis to layered plates and flexible motions are provided coincidentally for other axes. The three types of elastomers, which were developed due to a designed shear modules were applied. Nonlinear analysis based on the material properties of designed bearing were accomplished. Therefore, the Nonlinear Analysis results were compared with the calculation results and the optimized shapes were designed.

1. 서 론

본 연구는 철도교량의 상부구조물과 하부구조물을 연결하는 역할을 하는 기존 강재 스페리컬 받침과 같은 교량받침장치(bridge bearing systems)에 대한 소음 및 진동에 대한 단점을 보완하고, 이에 대한 성능개선을 위한 받침의 설계 및 비선형 해석에 관한 연구이다. 기존 철도교량에서 가장 많이 설계되고 시공되어진 스페리컬 받침(spherical bearing)은 철도차량이 교량을 통과시 발생하는 소음과 진동이 다른 교량받침에 비하여 비교적 크게 발생하여 주거지역이나 기타 시설물에 인접한 경우 민원발생이 빈번하다. 선진국의 경우 소음진동의 저감을 위한 다각적이고, 체계적인 연구를 진행하고 있다. 이에 따라 본 연구에 쓰는 기존 스페리컬 받침의 주재료인 반구형 강재를 대신하여 고무와 같은 탄성체(elastomer)와 강재판(shim plate)을 여러 겹으로 적층하는 형태의 구면형 탄성체 형식을 제안하였다. 그리고 최적의 탄성체 스페리컬의 형상설계를 실시하고, 설계형상에 따라 비선형 유한요소 해석을 수행하여 비교하였다.

2. 형상설계(Shape Design)

(1) 탄성체 스페리컬 받침의 구성형태

탄성체 스페리컬 받침(elastomeric spherical bearing)의 요구 성능은 크게 물리적 특성과 환경적 특성

† 책임저자 : 정회원, 유니슨기술연구소, 선임연구원
E-mail : oju@unison.co.kr

TEL : (041) 620-3431 FAX : (041) 552-7416

* 비회원, 유니슨기술연구소, 연구원

** 교신저자 : 비회원, 유니슨기술연구소, 전임연구원

*** 비회원, 유니슨기술연구소, 선임연구원

**** 비회원, 유니슨기술연구소, 책임연구원

으로 구분되어진다. 물리적 특성요인은 받침의 압축강성(compression stiffness), 회전각도(rotation angle), 피로(fatigue) 등이고, 환경적인 특성으로는 받침 주변온도, 장기노화 특성 및 오존저항 등 고무 소재에 관한 요인들을 고려하여야 한다.

탄성체 스페리컬의 기본 형상은 일반적으로 작용하중 및 설치위치, 상부구조물 거동형태에 따라서 적절한 형태의 탄성체가 설계되어야 한다. 설계된 탄성체 스페리컬의 기초적인 구성형태는 강재판(metal shim plate)과 점탄성 소재가 적층되는 구조의 구면형 탄성체로서 그 형태는 그림 1과 같다. 탄성체 스페리컬의 최적 형상설계와 내부형상의 최적화를 목적으로 요구강성을 만족하면서 적층판과 점탄성 소재에 작용하는 응력을 최소화 할 수 있는 형상으로 설계하였다.

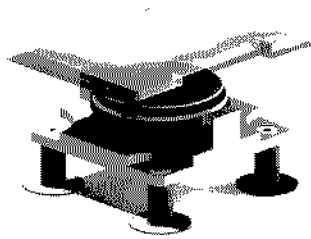


그림 1. 탄성체 스페리컬 받침의 기본형상

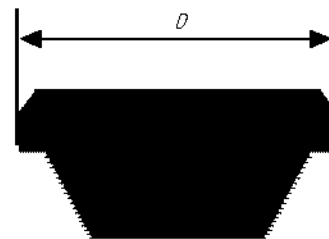


그림 2. 탄성체 스페리컬의 크기산정

(2) 탄성체 스페리컬의 설계

탄성체 스페리컬 받침의 설계조건은 실제 철도교량에 작용하는 조건보다 극한적인 상황으로 가정하여 임의의 설계 값으로 산정하였다. 탄성체 스페리컬의 설계 수직하중은 400kN이고, 설계 허용 회전각은 $\pm 5^\circ$ 로 설계하였다. 또한 설계온도 환경은 최저 -57°C 부터 최고 $+70^\circ\text{C}$ 까지 거동이 가능하도록 설계하였다.

탄성체 스페리컬의 크기 선정은 실제 교량시설물의 질량과 거동형태에 따라 최소사양으로 설계하였고, 탄성체 스페리컬의 크기는 식 (1)과 같은 경험식을 바탕으로 산정되었으며, 그 결과 그림 2와 같이 크기가 결정되었다.

$$D_{ESB} \propto \sqrt{\frac{M}{\sin\beta_0}} \quad (1)$$

여기서, M 은 교량의 고정하중과 활하중의 합이고, $\sin\beta_0$ 은 설계허용회전각도이다.

탄성체 스페리컬의 기본 형상은 그림 1과 같으며, 적층은 내부(inner), 중간(middle), 외부(outer)로 세 구간으로 크게 구분된다. 각 구간에 사용된 점탄성 소재는 각기 다른 특성을 가진다. 탄성체 스페리컬 받침의 압축강성을 향상하기 위하여 사용되는 적층 보강판의 두께는 1mm이고, 17개의 보강판을 사용하여 총 18층으로 적층하였다. 탄성체 스페리컬에 사용된 적용소재의 두께와 수량은 표 1과 같다.

표. 1 탄성체 스페리컬의 구성요소

구 분		수 량(BA)	층 두께(mm)
Elastomer	Inner	6	1.4
	Middle	6	1.8
	Outer	6	2.0
Metal shim plate		17	1.0

탄성체 스페리컬의 주요 구성요소인 점탄성 소재의 기본 물성은 각 층별로 각기 다르게 설계되었다. 각

구간별 점탄성 소재의 물리적 성질은 표 2와 같으며, 점탄성 소재의 배합설계를 위한 전단탄성계수(shear modulus, G)는 층 구간별로 각각 선정되었다.

표. 2 점탄성 소재의 물리적 성질

구 분		전단탄성계수(G)	경도(shoe-A)	인장강도(MPa)
Elastomer	Inner	1.6547MPa	66	25.1
	Middle	1.4824MPa	60	25.8
	Outer	1.1376MPa	49	27.6

3. 탄성체 스페리컬의 유한요소해석

(1) 해석 모델링

형상 설계된 탄성체 스페리컬 받침의 비선형 유한요소해석은 ANSYS를 사용하였고, 점탄성 소재의 물리적 성질을 적용하여 해석을 수행하였다. 해석의 정확성을 위하여 Solid 187요소로 그림 3과 같이 3차원 구조로 모델링 하였고, 총 요소 수는 91,569개의 유한요소 모델을 생성하였다. 경계조건은 실제 구조물에서와 같이 하부를 고정하고 탄성체 스페리컬 받침에 설계변위를 Y축 방향으로 수직 가력하고 그 반력 값을 구하여 설계하중 값과 비교하였다.

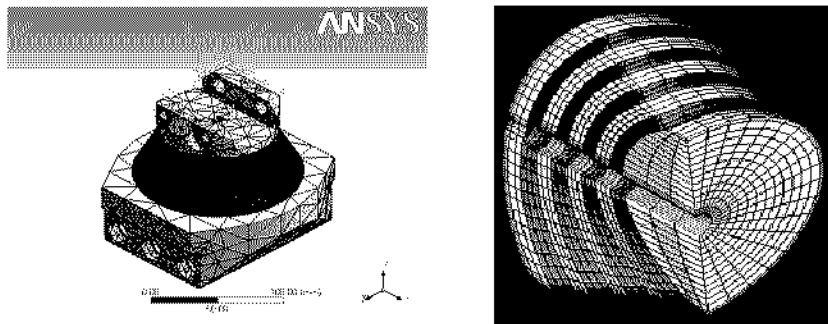


그림 3. 탄성체 스페리컬의 유한요소 모델

(2) 해석결과 분석

점탄성 재료의 비선형 거동 해석에는 변위제어 방식을 사용하였다. 그리고 설계변위만큼 적용하여 표 3과 같은 결과를 얻었다. 해석결과 수직변위에 대한 반력값은 226kN으로 설계하중 400kN에 비하여 약 1.7배 정도 작게 해석되었다. 압축 변형량은 2.535mm 변형되어 설계변위 2.519mm와 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 압축응력은 68.32kN으로서 설계치와 비교한 결과 설계값의 약 85%임을 알 수 있었다. 이와 같은 차이는 고무소재의 비선형 거동 및 적용 모델, 경계조건 그리고 적층구조의 특성 등에 기인한 것으로 판단된다. 탄성체 스페리컬 받침의 유한요소 해석결과에 따라 설계치와 해석치의 비교한 결과는 표 3과 같고, 해석에 따른 각 항목별 변형결과는 그림 4와 같다.

표. 3 탄성체 스페리컬의 비선형 유한요소 해석결과 비교

구 분	압축변형률(%)		압축응력(MPa)		정적 스프링계수*(kN/mm)	
	설계	해석	설계	해석	설계	해석
Max	11.89	37.54	80.74	68.32	162.4	157.9

* 정적 스프링 계수는 평균값임.

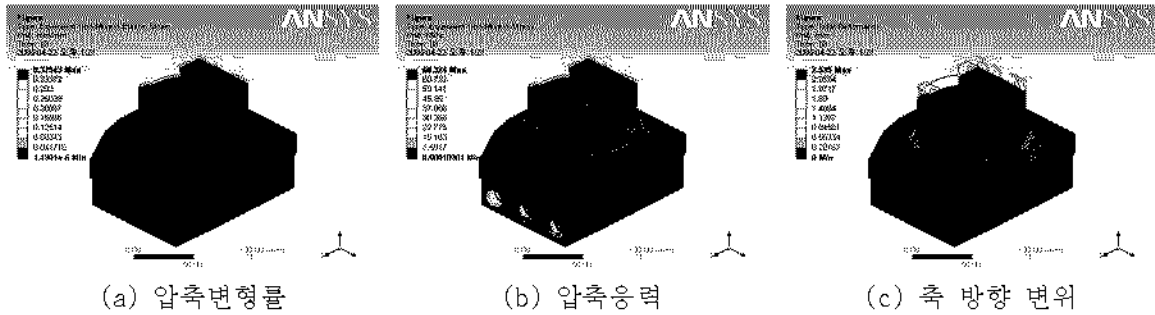


그림 4. 비선형 유한요소 해석결과

4. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 철도교량받침의 소음진동 문제를 개선하기 위한 대안으로 개발하고 있는 탄성체 스페리컬 받침의 소개 및 요구 성능에 따른 탄성체 스페리컬의 형상설계와 비선형 유한요소해석을 수행하여 설계와 해석값을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 탄성체 스페리컬 받침의 크기는 실험 경험식을 바탕으로 도출하였으며, 구성형태는 18층의 점탄성 소재와 17층의 보강판으로 설계하였다. 탄성체 스페리컬 받침의 형상 및 구조설계는 실제 철도교량받침의 허용범위내에서 산정하였고, 설계조건을 만족하도록 설계 하였다.

(2) 탄성체 베어링에 대한 설계와 유한요소해석결과를 비교하면 압축변형률은 다소 오차가 발생하였으나 압축응력과 압축변위 그리고 정적 스프링 계수값은 설계치와 거의 유사하게 해석 되었다. 이와 같은 차이는 고무소재의 비선형 거동 및 적용 모델, 경계조건 그리고 적층구조의 특성 등에 기인 한 것으로 판단 된다.

(3) 향후 상기의 해석결과에 대한 명확한 판명을 위하여 탄성체 스페리컬 받침을 실물 제작하여 특성실험을 실시할 예정이고, 이를 바탕으로 실제 철도교량에 적용 가능하도록 최적 설계를 실시할 계획이다.

참고문헌

1. Lastoflex Bearing Design Guide - Report No. PB76-006, LORD Aerospace Products, 1976
2. MIL-B-85598, Bearings Elastomeric General Specification, 1988
3. 철도설계기준(철도교편), 대한토목학회, 20