

# 소음진동저감용 탄성체 스페리컬 교량받침의 형상설계 및 해석

## A Study on the Shape Design and Analysis of Elastomeric Spherical Bridge Bearing for Sound and Vibration decrease

오 주† · 이완하\* · 조현진\* · 박진영\* · 박건록\*

Ju Oh, Wan-Ha Lee, Hyun-Jin Cho, Jin-Young Park, Kun-Nok Park

### 1. 서 론

본 연구는 철도교량 시설물 중에서 주요부품인 교량받침 장치(bridge bearing systems)에 대한 단점을 보완하고 성능개선을 위한 받침설계 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 주거지나 기타 시설물에 인접한 경우 민원 발생이 빈번하다. 이에 따라 선진국의 경우 소음진동의 저감을 위한 다각적이고, 체계적인 연구를 수행하고 있다. 이에 따라 기존 스페리컬 받침의 주재료인 반구형 강재를 대신하여 고무판(rubber palte)과 강재판(shim plate)을 여러 겹으로 적층하는 형태의 탄성체 스페리컬 형식을 제안하였다. 그리고 최적의 탄성체 스페리컬의 형상설계를 실시하고, 설계형상에 따라 비선형 유한요소 해석을 수행하였다.

### 2. 형상설계(Shape Design)

#### 2.1 탄성체 스페리컬 받침의 구성형태

탄성체 스페리컬 받침의 요구 성능은 물리적 특성과 환경적 특성으로 나누어지게 된다. 물리적 특성요인은 압축강성, 회전각도, 반복 피로 등이고, 환경적인 특성으로는 받침 주변온도, 장기노화 특성 및 오존저항 등 고무소재에 관한 요인들을 고려하여야 한다.

탄성체 스페리컬의 기본 형상은 일반적으로 적용하중 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. 구면형 탄성체 스페리컬의 최적 형상설계와 내부형상의

최적화를 목적으로 요구강성을 만족하면서 적층판과 점탄성 소재에 작용하는 응력을 최소화 할 수 있는 형상으로 설계하였다.

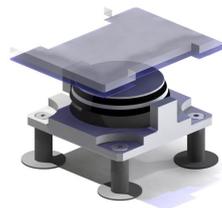


그림 1. 탄성체 스페리컬 받침의 기본형상

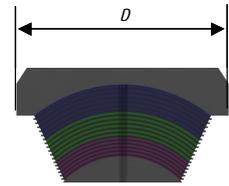


그림 2. 탄성체 스페리컬의 크기선정

#### 2.2 탄성체 스페리컬의 설계

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

탄성체 스페리컬의 크기 선정은 실제 교량시설물의 질량과 거동형태에 따라 최소사양으로 설계하였다. 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 구분되고, 각 구간에 사용된 점탄성 소재는 각각 다른 특성을 가진다. 탄성체 스페리컬 받침의 압축강성을 향상하기 위해 사용되는 적층보강판의 두께는 1mm이고, 17개의 보강판을 사용하여 총 18층으로 적층하였다. 탄성체 스페리컬에 사용된 적용소재의 두께와 수량은 표 1과 같다.

† 유니슨기술연구소  
E-mail : oju@unison.co.kr  
Tel : (041) 620-3431, Fax : (041) 552-7416

\* 유니슨기술연구소

표. 1 탄성체 스페리컬의 구성요소

구분	수량(EA)	총 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

구분	전단탄성계수(G)	
Elastomer	Inner	1.6547MPa
	Middle	1.4824MPa
	Outer	1.1376MPa

### 3. 탄성체 스페리컬의 유한요소해석

#### 3.1 해석 모델링

형상설계된 탄성체 스페리컬의 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 스페리컬에 설계변위를 Y축 방향으로 수직 가력하고 그 반력 값을 구하여 설계하중 값과 비교하였다.

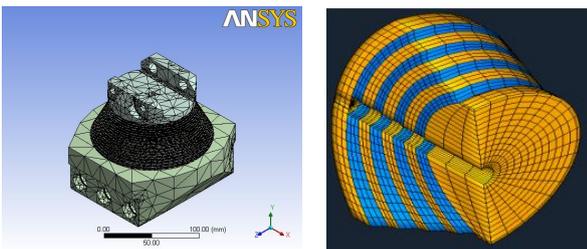


그림 3. 탄성체 스페리컬의 유한요소 모델

#### 3.2 해석결과 분석

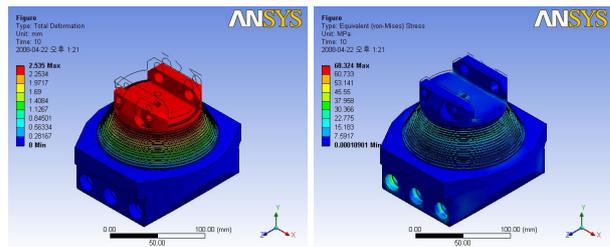
점탄성 재료의 비선형 거동 해석에는 변위제어 방식을 사용하였다. 그리고 설계변위만큼 적용하여 표 3과 같은 결과를 얻었다. 해석결과 수직변위에 대한 반력값은 226kN으로 설계하중 400kN에 비하여 약 1.7배 정도 작게 해석되었다. 압축 변형량은 2.535mm 변형되어 설계변위 2.519mm와 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 압축응력은 68.32kN

으로서 설계치와 비교한 결과 설계값의 약 85%임을 알 수 있었다. 탄성체 스페리컬의 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

구분	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.



(a) 압축변위량 (b) 압축응력

그림 4. 비선형 유한요소 해석결과

### 4. 결 론

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

- (1) 탄성체 스페리컬받침의 크기는 실험식을 바탕으로 도출하였으며, 구성형태는 18층의 점탄성 소재와 17층의 보강판으로 설계하였다.
- (2) 탄성체 스페리컬의 형상 및 구조설계는 실제 철도교량받침의 허용범위내에서 산정하였고, 설계조건을 만족하도록 설계 하였다.
- (3) 유한요소해석결과는 설계 값과 비교하면 압축변형률은 다소 오차가 발생하였으나 압축응력과 압축변위 그리고 정적 스프링 계수값은 설계치와 거의 유사하게 해석 되었다.
- (4) 향후 상기의 해석결과에 대한 명확한 판명을 위하여 탄성체 스페리컬 받침을 실물 제작하여 특성실험을 실시할 예정이며, 이를 바탕으로 실 철도교량에 적용 가능하도록 최적설계할 계획이다.

### 참고문헌

- 1) Lastoflex Bearing Design Guide - Report No. PE76-006, LORD Aerospace Products, 1976
- 2) 철도설계기준(철도교편), 대한토목학회, 2004