

# 유한요소법을 이용한 고속철도 터널의 상부전달경로 진동해석

## Vibration Analysis of the Upper Conveyance Route for High-speed Railway in the Tunnel - The Finite Elements Method

조중상<sup>†</sup> · 양경택\* · 신영진\*\* · 이종태\*\* · 유재설\*\*\*

Cho Jung-Sang, Yang Kyung-Taek, Shin Young-Jin, Lee Jong-Tae, Yu Jae-Seol

### 1. 서 론

경부고속철도 개통이후 고속철도에 대한 승객의 수요는 지속적으로 증가하고 있다.

이로 인해 야기되는 지반진동으로 인접구조물의 손상과 관련된 진동피해 민원이 발생하고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위하여 몇몇 연구가 행하여 졌으나 아직도 다수의 해결되지 않은 문제점이 존재하고 있다.

진동해결을 위해 고속철도 일부구간을 터널구조로 지하화 하는 방안도 수립되지만 진동 분석이 수행되지 않은 상태에서 고속철도를 지하화 한 후에는 그에 대한 대책이 있어서 많은 노력과 경비가 소용될 것이며 그에 반한 효과는 적을 것으로 판단되어진다.

따라서, 본 연구에서는 고속철도 운행에 따른 터널구간의 진동형태 및 상부로의 전달경로 특성을 유한요소법을 이용한 모델링 방식으로 파악분석하고자 한다.

### 2. 고속철도 운행시 진동 및 전달경로 해석방법

#### 2.1 고속철도의 특징 및 제원

고속철도는 배기가스를 배출하지 않고 일반 교통수단과 분리되어 운행되기 때문에 건설과 운영, 환경, 서비스 측면에서 효율적인 교통수단으로 사용되고 있으며 제원은 [표 1] 및 [그림 1]과 같다.

표 1. 고속철도 제원

구분		고속철도
궤도 구조	레 일	UIC 60kg/m 전구간 장대화
	콘크리트 침목	길이 2.6m, 배치간격 0.6m
	도상자갈	세척자갈 두께 0.35m
차량 Body	동력차, 동력객차	전·후 각 2량씩, 바퀴 14축
	객차	16량, 바퀴 32축

† 조중상; (주)씨엔에스환경기술  
E-mail : cnsenvt@naver.com  
Tel : (070) 8628-2470, Fax : (0505) 868-2470

\* 대림대학교 메카트로닉스과

\*\* (주)씨엔에스환경기술

\*\*\* (주)삼안 환경평가부



그림 1. 고속철도 구성

#### 2.2 진동분석을 위한 재료의 구조 및 물성치

일반적으로 터널내부에서 발생하는 진동은 터널외곽구조를 타고 지층을 통하여 지반상부로 전달된다.

따라서, 전달경로상의 구성에 따라 진동의 차이가 생기게 된다.

본 연구에서는 지하터널을 중심으로 상부로의 전달경로를 터널상부와 지반을 콘크리트 파일로 연결하는 형태와 터널상부와 지반을 콘크리트 파일로 연결중 그 사이에 이질층인 사질토층을 두는 형태로 구분하여 터널의 형태 및 콘크리트 파일, 지반물성을 고려한 유한요소법 모의를 수행하였다.

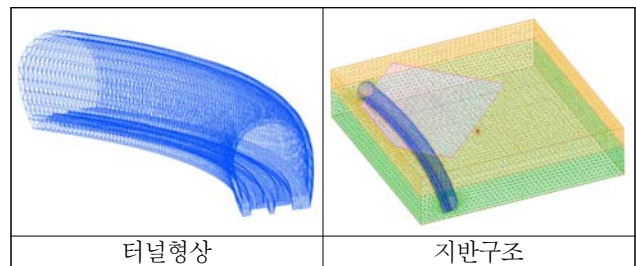


그림 2. 전달경로의 구조

또한, 동적하중을 받는 전체 지반 및 구조물 체계의 거동을 적절히 예측하기 위해서 터널의 재질 및 사질토의 물성치는 [표 2]와 같이 결정하였다.

표 2. 재료별 물성치

구분	콘크리트 (터널)	사질토(지반)	
		퇴적층	매립층
전단탄성계수	$2.8 \times 10^{10}$ PA	$2.44 \times 10^8$ PA	$5.19 \times 10^7$ PA
포아슨비	0.167	0.454	0.455
매질의 밀도	$2,500 \text{ kg/m}^3$	$1,600 \text{ kg/m}^3$	

### 2.3 유한요소법 및 해석에 사용된 열차의 동특성

유한요소법은 편미분방정식이나 적분, 열전달방정식등의 근사해를 구하기 위해 쓰는 방식으로 본 연구에서는 진동에 대한 해석모델의 평가를 위하여 유한요소해석 프로그램인 I-DEAS(Integrated Design Engineering Analysis Software)을 이용하였다.

표 3. 해석에 사용된 열차의 동특성

ITEM	MotorCoach	Trailer	Intermediate
Train Speed	200km/hr~400km/hr		
Load/Axle(kg)	17,000	17,000	17,000

## 3. 터널진동 전파해석

### 3.1 고유진동수 및 모드해석

단순화된 모델이 시스템의 동적현상을 정확히 표현가능한지 판단하기 위하여 FEM의 고유진동수와 모드형태를 해석한 결과 7~10번째 모드에서 변형이 비교적 많이 일어났으며 고유진동수의 경우 약 3Hz~8Hz의 범위로 나타났다.

Mode #	Frequency(Hz)	Modal Prop.	Damping Factors			
			% X-Mass	% Y-Mass	% Z-Mass	% Viscous / % Hysteretic
*4	0.0000	2.44012e+006	0.86	58.92	0.13	4.50 / 0.00
*5	0.0000	1.05384e+006	25.40	0.18	0.82	4.50 / 0.00
*3	0.0000	2.20396e+006	0.00	24.40	32.76	4.50 / 0.00
*2	0.0000	2.26491e+006	2.56	16.30	55.53	4.50 / 0.00
*6	0.0000	671926	2.21	0.05	10.63	4.50 / 0.00
*1	0.0000	1.24565e+006	68.97	0.16	0.14	4.50 / 0.00
*7	3.2418	1.02965e+006	0.00	0.00	0.00	4.50 / 0.00
*8	3.8199	892778	0.00	0.00	0.00	4.50 / 0.00
*9	8.1693	994742	0.00	0.00	0.00	4.50 / 0.00
*10	8.7158	757468	0.00	0.00	0.00	4.50 / 0.00

그림 3. 고유진동수 도출

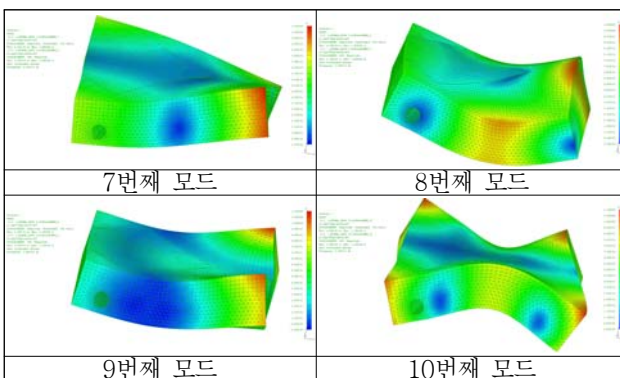


그림 4. 모드해석결과

### 3.2 진동레벨 분석결과

콘크리트로 구성된 지하터널 내부의 진동가속도의 경우  $3.66 \times 10^{-1} \text{m/s}^2 \sim 5.24 \times 10^{-1} \text{m/s}^2$ 이며, 91.2dB(V)~94.3dB(V)의 진동레벨을 나타낸다.

터널로부터 지반상부까지(약 15m)의 전달경로가 사질토(퇴적층,매립층)로 구성된 경우 진동가속도는  $5.24 \times 10^{-1} \text{m/s}^2$ 로 약 57.4dB(V)의 진동레벨을 나타냈다.

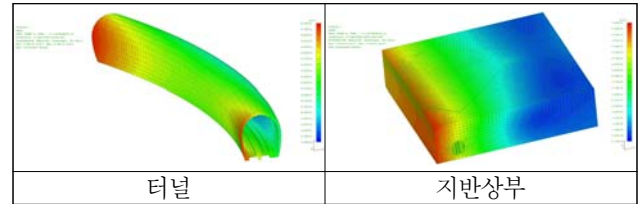


그림 5. 진동가속도 도출결과(지반전달)

아울러 터널상부로의 전달경로를 콘크리트 파일로 연결하는 경우 진동가속도는  $3.64 \times 10^{-1} \text{m/s}^2 \sim 5.24 \times 10^{-1} \text{m/s}^2$ 이며, 진동레벨로의 변환시 91.2dB(V)~94.3dB(V)이다.

터널상부와 지반을 콘크리트 파일로 연결중 그 사이에 이질층인 사질토층(약 40cm)을 두는 경우 진동가속도는  $8.39 \times 10^{-3} \text{m/s}^2 \sim 5.24 \times 10^{-1} \text{m/s}^2$ 로 58.4dB(V)~94.3dB(V)의 진동레벨을 나타냈다.

이는 구조물의 매질인 콘크리트가 지반의 매질인 사질토에 비해 전단탄성계수가 큰 것에 기인하는 것으로 고체 진동속도로 설명할 수 있다.

고체진동속도는 매질 밀도에 제공된 반비례하고 전단탄성계수에 제공된 비례한다.

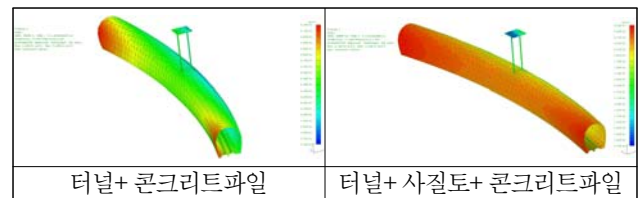


그림 6. 진동가속도 도출결과(이질층 전달)

## 4. 결 론

본 연구는 고속철도의 주행열차하중을 활하중으로 터널 및 지반에 대한 진동전달을 유한요소법으로 파악하고 이에 의한 감쇠경향을 알아보려고 하였다.

터널의 진동이 사질토층을 통하여 지반상부로 전달될 경우 약 57.4dB(V)의 진동레벨을 나타내며 터널상부와 지반의 전달경로 사이에 터널과 일체형인 콘크리트 파일이 시공될 경우 터널내의 진동이 100% 상부로 전달되는 경향을 보였다. 이에 반해 약 40cm정도의 이질층을 콘크리트파일 하부에 적용하는 경우 즉, 파일을 터널 상부와 접합시키지 않는 경우 지반상부의 진동레벨은 58.4dB(V)로 저감됨을 보였다. 따라서 터널상부의 연약지반을 보강하기 위한 파일 시공시 이질층 확보를 위해 터널과 파일사이에 간격을 둔다면 터널진동의 상부전달은 미미할 것으로 판단된다.