

유한요소법 활용을 통한 교량에서의 모노레일 지반진동 해석 Ground Vibration Analysis for Monorail on Bridge - The Finite Elements Method

조중상[†]·장서일^{*}·김성중^{**}·신영진^{**}·이종태^{**}

Cho Jung-Sang, Chang Seo-Il, Kim Seong-Chung, Shin Young-Jin, Lee Jong-Tae

한 대상차량 주요제원은 [표 1]과 같다.

1. 서 론

최근 도심지에서 교통 하중으로 야기되는 지반진동으로 인하여 인접구조물의 손상과 관련된 진동피해 민원이 발생하고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 몇몇 연구가 행하여 졌으나 아직도 다수의 해결되지 않은 문제점이 존재한다.

이에 일부 지자체에서는 신개념 교통체계의 개념으로 모노레일의 도입을 추진하고 있지만, 모노레일에 대한 진동문제를 실제 적용한 사례가 없는 상태이다. 한편 진동 분석이 수행되지 않은 상태에서 모노레일이 건설된 후에는 그에 대한 대책에 있어서 많은 노력과 경비가 소용될 것이며 그에 반한 효과는 적을 것으로 판단되어진다.

따라서, 본 연구에서는 모노레일 구조물별의 진동형태 및 전파범위와 지반진동의 거리에 따른 감쇠 특성을 유한요소법을 이용한 모델링 방식으로 파악하고, 정온시설에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 모노레일 교량 및 지반진동 해석방법

2.1 모노레일의 특징 및 제원

본 모노레일(Monorail)은 경전철의 일종으로 배기가스를 배출하지 않고 일반 교통수단과 분리되어 운행되기 때문에 건설과 운영, 환경, 서비스 측면에서 효율적인 교통수단으로 사용하고 있다. 현재 우리나라는 지하철과 연계하여 보조수단으로 연장길이 10~20km내외의 도시구간 노선으로 모노레일을 계획하고 있다.

일반적인 모노레일의 차량은 과좌식(Straddle-Type) 3량 1편성으로 구성되어 있으며, 차량의 길이 46.2m, 대차중심간 거리는 9.6m로 설계하고 있으며, 본 연구에서 이용

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

* 서울시립대학교 환경공학부

** (주)씨엔에스환경기술

표 1. 모노레일 차량 제원

항 목	구 분	
	세 부 항 목	제 원
차량형식	-	모 노 레 일
궤 도	궤 도 형 폭	850mm
	성능 최급 기울기	60%
	성능 최소 곡선반경	50m
차량중량 /Unit	공차중량/승객중량	975kN / 345kN
	만 차 중 량	1320kN
최대축중량	1축당 중량	110kN
성 능	성능최고속도/최고운행속도	80km/h / 70km/h
	가속도/감속도(비상감속도)	3.5km/h/s / 4.0(4.5)km/h/s
차량정원	선 두 차	85명(입석55, 좌석30)
	중 간 차	95명(입석59, 좌석36)
	계(3량1편성)	265명(입석169, 좌석96)

2.2 진동분석을 위한 재료의 구조 및 물성치

일반적으로 모노레일에 발생하는 진동은 교각을 타고 지반을 통하여 정온시설에 영향을 미친다. 따라서 정온시설에 미치는 진동은 모노레일을 떠받치는 교각의 구조 및 재질, 지반의 물성에 따라서 그 차이가 생기게 된다.

본 연구에서는 단일교각을 중심으로 형태 및 지반물성을 고려하여 유한요소법에 의한 모의를 수행하였다. 단일교각의 형태는 한쪽만 고정시키고 다른 쪽은 돌출시켜 그 위에 하중이 실리도록 한 캔틸레버형과 양쪽을 돌출시키고 중심을 고정하여 그 위에 하중을 실리도록 한 역 T형으로 나누었다.

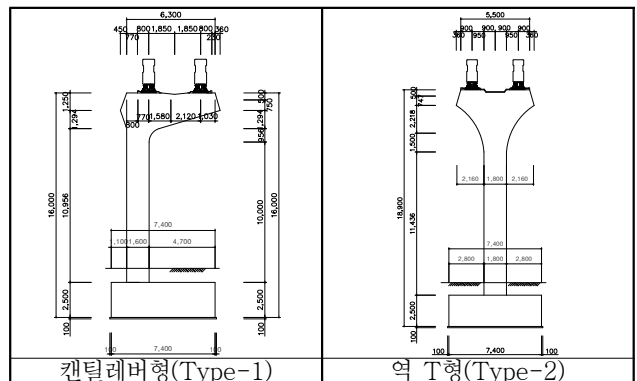


그림 1. 단일교각의 형태

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

표 2. 재료별 물성치

구분	콘크리트(교각)	사질토(지반)
전단탄성계수	2.8×10^{10} PA	1.323×10^9 PA
포아슨비	0.167	0.3
매질의 밀도	$2,500 \text{kg/m}^3$	$1,600 \text{kg/m}^3$
부 피	설계교각	40m

2.3 유한요소법

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.

3. 단일교각, 지반진동 전파해석 및 영향

3.1 단일교각 및 지반진동 전파

유한요소법을 활용하여 모노레일 교량에서의 지반진동 모의결과 단일교각 및 지반진동의 전파는 다음과 같다.

단일교각에서 콘크리트 구조물의 진동가속도 및 속도 레벨의 감소는 적은 것으로 분석되었으며, 사질토를 매질로 하 지반의 감소가 큰 것으로 나타났다.

이는 구조물의 매질인 콘크리트가 지반의 매질인 사질토에 비해 전단탄성계수가 큰 것에 기인하는 것으로 교체 진동속도로 설명할 수 있다. 교체진동속도는 매질 밀도에 제곱근 반비례하고 전단탄성계수에 제곱근 비례한다.

표 3. 단일교각 주변지역의 진동가속도레벨

구분		구조물		사질토지반		
		레일	교각하부	5m	10m	15m
진동가속도 (mm/s^2)	Type-1	34.2	28.9	24.0	3.84	1.06
	Type-2	29.8	29.5	16.2	2.95	0.99
진동가속도 레벨(dB)	Type-1	70.7	69.2	67.6	51.7	40.5
	Type-2	69.5	69.4	64.1	49.4	39.8

또한, 교각 형태별 진동의 감쇠 성향은 비슷한 것으로 분석되었으며, 사질토 지반의 5~10m지점에서 Type 1의 진동감쇠가 더 작은 것으로 분석된 바, 이것은 교각구조물의 하부가 폭 방향인 X축 방향으로 더 길게 뻗어 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이로 인하여 교체진동속도가 빨라지게 되어 진동 감쇠가 적어지게 되고 진동가속도레벨이 커짐을 알 수 있다.

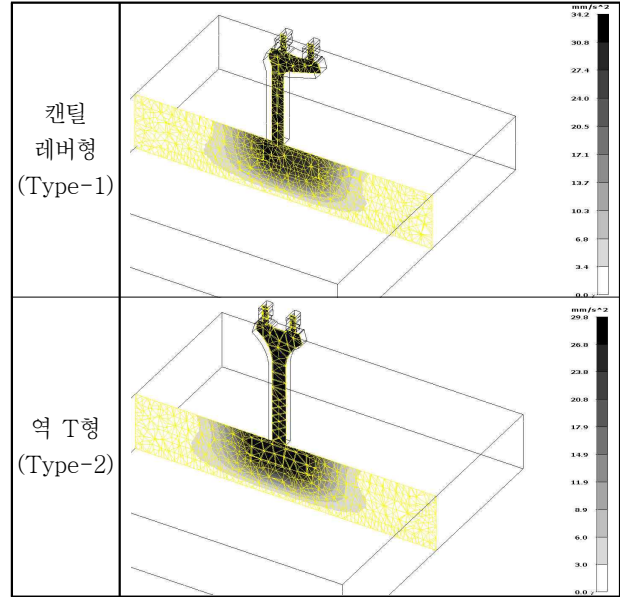


그림 2. 단일교각의 진동전파 모사 비교

3.2 정온시설에 미치는 영향

인체가 진동에 의하여 느끼는 감각은 진동수에 따라 다르기 때문에 고유진동수를 도출한 결과 약 2.3 ~3.3Hz로 나타났다. 이에 고유진동수 3Hz를 적용하여 교각하부의 진동레벨을 분석한 결과 약 68dB(V)로 나타났다.

표 4. 단일교각 주변지역의 진동레벨

구분	구조물 [dB(V)]		사질토지반 [dB(V)]		
	레일	교각하부	5m	10m	15m
Type-1	69.5	68.0	66.4	50.5	39.3
Type-2	68.3	68.2	62.9	48.2	38.6

진동한계는 「소음진동규제법」에 정의되어 있으며 교통(철도)진동의 한계는 대상지역에 따라 차이가 있겠으나, 주간 65dB(V), 야간 60dB(V)로 규정하고 있다. 이 조건을 만족시키기 위해서는 정온시설의 설치위치를 사질토지반 시작점으로부터 약 6~7m 이격하여야 하는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 모노레일의 주행열차하중을 활하중으로 교각 및 지반에 대한 진동 전파범위를 유한요소법으로 파악하고 이에 의하여 인체에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

단일교각에서 콘크리트 구조물의 진동가속도 및 속도 레벨의 감소는 적은 것으로 분석되었으며, 사질토를 매질로 하 지반의 감소가 큰 것으로 나타났다. 형태에 따라 캔틸레버형이 역 T형보다 진동가속도레벨이 큰 것으로 나타났다.

지반진동 영향을 파악하기 위하여 교각하부의 진동레벨을 예측한 결과 약 68dB(V)로 분석되었으며, 인체에 대한 영향을 최소화 하기 위하여 사질토지반 시작점으로부터 약 6~7m 이격하여 정온시설을 설치하여야 할 것으로 판단된다.