

한국고속철도 천안역사에 대한 소음 및 진동영향 연구
Noise and Vibration Solutions Considering Stability Effects
for High-Speed Rail ChonAn Station in Korea

권영철*

Kweon, Young-Cheol

ABSTRACT

The objective of this paper is to address to the providing an adequate noise and vibration solution, required for High Speed Rail while maintaining the stability criteria of the ChonAn station structure, the first constructed in Korean High Speed Railway.

The significant acoustic pressure level will be induced by the high speed trains passing-by. Therefore, the high level study of this case is necessary. The acoustic pressure level of 85 dB(A) inside the ChonAn station is expected, and the spaces below concrete slab are not suitable for commercial purpose, thus installation of filtering systems (spring boxes containing viscous dampers, ballast mats and acoustic shield) are provided to reduce the effect of the noise and vibration to acceptable level of 55 dB(A). But, a major drawback of application of the previously conducted experimental results was that the actual effect of installation of filtering system was never been validated. Therefore, the acquisition of noise and vibration on the present structure were obtained and compared to the computer simulations. These predicted the behavior of the station reasonably well. Also, the installation of filtering systems gave the superior reduction on noise and vibration.

This application is successfully adapted without scarifying stability criteria related to the structural stability including excessive deformations or displacements. Three traffic operation safety limits: deck vertical acceleration, deflection of the structure, and longitudinal displacement of the slab were satisfactory.

1. 서 론

경부고속철도 천안역사는 1992년 기초공사를 시작하여 2003년 완공되었으며 7개 형식의 라멘구조, 4개 층으로 구성되어 있고 4번째 층으로 열차가 운행되고 하부 층에 역무시설과 상업시설이 들어서 있다. 따라서 하부 층의 소음, 진동이 허용수준 55dB(A)을 만족하는지를 이론적으로 해석하여 확인하고 또한 실제로 측정하여 확인하고자 함이 본 연구의 목적이다

2. 본 문

2.1 논문의 구성

- ① 연구배경 ② 실제 측정 ③ 이론적 해석
- ④ 실제 측정값과 이론적 해석의 비교 검토
- ⑤ 필터링 시스템 유무에 따른 이론적 해석 결과의 비교
- ⑥ 안정성 기준의 검토
- ⑦ 결론

* 책임저자 : 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 학생회원

2.2 연구배경

(1) 천안역사 건설 과정

- 가) 경부고속철도기술조사 : 1989.7 - 1991. 2
- 나) 역사 구조물 실시설계 : 1991.6 - 1994.12
- 다) 역사 구조물 건설 : 1992.6 - 2003.12

(2) 천안역사 구조물 구성

- 가) 토목 : 7개 형식 라멘구조물, 4층 구조
- 나) 궤도 : 자갈도상, 6개 선로 (통과본선 2개 선로, 상하행 각 2개 선로)
- 다) 열차운행 위치 : 4번째 층, 최고 300km/hr
- 라) 역무 시설, 상업 시설 위치 : 2, 3번째 층

(3) 소음, 진동 허용기준 : 일반적으로 55dB(A)

(4) 점성댐퍼(viscous damper) 위치 : 4층 부동슬라브(floating slab) 아래

(5) 배경

경부고속철도는 서울과 부산을 최단거리로 연결하여 시속 300km로 운행하는 고속철도로서 서울에서 첫 번째로 정차하는 역사이며 역사 구조물 높이가 높고 역무시설과 상업시설이 선로 아래에 위치하는 관계로 소음, 진동에 대한 검토를 하여 열차운행으로 인한 소음, 진동 안정성을 검토할 필요가 있다.

따라서 소음, 진동을 줄이기 위한 필터링 시스템(filtering system), 즉 점성댐퍼(viscous damper), 자갈받침대(ballast mat), 음향차폐물(acoustic shield)의 설치가 이루어지는데 이들 필터링 시스템이 없을 때의 소음, 진동치와 필터링 시스템이 있을 때의 소음, 진동치를 비교, 검토하여 필터링 시스템의 효과를 확인하여야 한다.

또한 필터링 시스템으로 인하여 구조물의 변형이나 변위를 포함한 구조물의 동적안정성 3가지 조건을 만족하는지도 확인하여야 한다. 즉, 라멘구조물 상판의 수직가속도(deck vertical acceleration), 구조물의 처짐(deflection), 라멘구조물의 열차진행방향 변위를 확인하여야 한다.

2.3 실제 측정(Experiment Program)

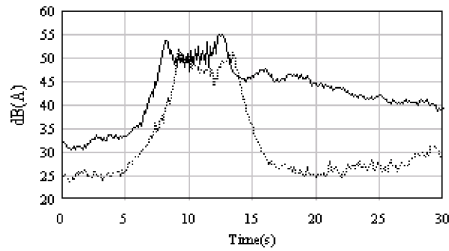
(1) 소음,진동 측정위치

- 가) 7개 형식 라멘구조물중 구조물 높이가 가장 높은 가운데 4번째 라멘구조물
4번째 구조물 규모 : 길이 35.46m, 폭 62.8m, 높이 18.1m
- 나) 4번째의 4개 층 중 역무시설과 상업시설이 위치하는 하고 있는 2, 3층
- 다) 측정개소 수량 : 2개소

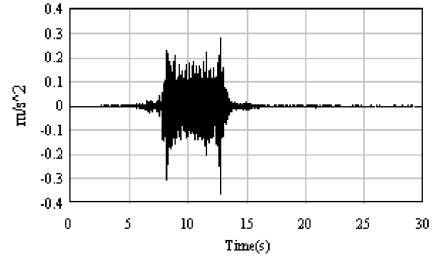
(2) 측정 시 열차 통과속도 범위 : 230km/hr, 240km/hr

(3) 측정 도표

가) 2, 3층에서 측정한 소음값 도표



나) 2, 3층에서 측정한 진동값 도표



2.4 이론적 해석(Analytical Program)

(1) 해석 프로그램 : 유한요소법/ NENastran Ver. 8.1

(2) 입력 파라미터

콘크리트 탄성계수 $E_c=25,000\text{MPa}$, 콘크리트 밀도 $\rho=2.5\text{ton/m}^3$, 프와송 계수 $\nu=0.2$, 콘크리트 구조물의 감쇠비(damping ratio) $\xi=2.5\%$

(3) 점성댐퍼(viscous damper)의 특성

가) 열차가 운행하지 않고 구조물 사하중에 의해 7mm 압축 변위

나) 댐핑계수 ; $K_v=27.10\text{ kN/mm}$, $K_h=30.48\text{kN/mm}$

다) 댐퍼 설치수량 : 27개

(4) 소음, 진동 해석위치 : 측정위치와 동일

(5) 해석방법

가) 필터링 시스템(filtering system), 즉 점성댐퍼(viscous damper) 설치시 해석

즉, 부동슬라브와 하부 구조물사이를 탄성연결(elastic links)

나) 필터링 시스템(filtering system), 즉 점성댐퍼(viscous damper) 미설치시 해석

즉, 부동슬라브와 하부 구조물사이를 강성연결(rigid links)

참고로 , 필터링 시스템(filtering system) 중 자갈받침대(ballast mat), 음향차폐물(acoustic shield)의 효과는 해석에서 무시하였다.

2.5 실제측정과 이론적 해석의 비교검토

(1) 데이터 처리방법

실제측정 및 이론적 해석결과 모두 가속도-시간관계로 얻어지며 다음 절차를 거쳐 $L_v(\text{dBLin})$, $L_p(\text{dB(A)})$ 값이 얻어진다.

가) $a(t) \rightarrow v(t) : \int a(t)dt \rightarrow \text{FFT} \rightarrow V(t) \rightarrow V(t), \text{dB} \rightarrow V(t), \text{dB}, 1/3\text{ octave}$

가속도-시간 응답의 적분으로 속도-시간 관계를 얻고, FFT(Fast Fourier Transform)을 이용하여 속도-진동수 관계를 얻으며 속도 스펙트럼으로 변환된다. 마지막으로 속도 스펙트럼의 1/3 옥타브 밴드 프로세싱(octave band processing)으로 L_v 를 얻는다.

나) $L_p(\text{dB(A)})$ 계산

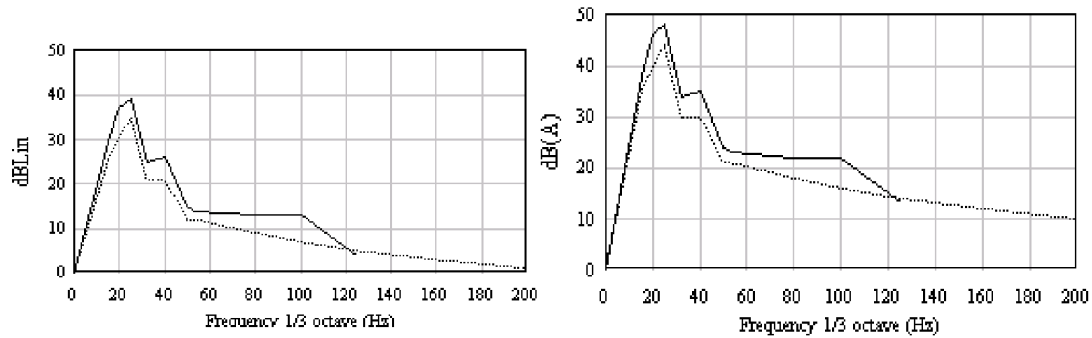
$$L_p(\text{dB(A)}) = L_v(\text{dB(Lin)}) + \log \{4\sigma S \text{ Tr} / 0.16V\}$$

$L_p(\text{dB(A)})$ 소음 수준, $L_v(\text{dB(Lin)})$ 속도수준, σ 방사계수, S 공간의 방사면적, Tr 공간에서의 반사열 시간, V 공간의 부피

(2) 결과 비교

Frequency (Hz)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
해석값 $L_v(\text{dB(Lin)})$	31	37	39	25	26	15	14	13	13	4	-	-
측정값 $L_v(\text{dB(Lin)})$	27	31	35	21	21	12	12	9	7	5	3	1
해석값 $L_p(\text{dB(A)})$	40	46	48	34	35	24	23	22	22	16	-	-
측정값 $L_p(\text{dB(A)})$	36	40	44	30	30	21	21	18	16	14	12	10

(3) 주파수대별 속도수준과 소음수준 도표



(4) 결과 분석

가) 속도수준-진동수와 소음수준-진동수가 상당히 좋은 일치를 보이지만 데이터 습득 장치의 민감성으로 기인하여 약간의 불일치를 보여준다.

나) 해석결과가 측정값 보다 과대 평가된 응답을 보여주는데 이는 자갈도상 매트와 소음차폐물의 영향을 미 고려한 결과로 보여진다.

즉, 자갈도상매트와 소음차폐물로 5-7 dB(A) 소음 저감이 기대됨.

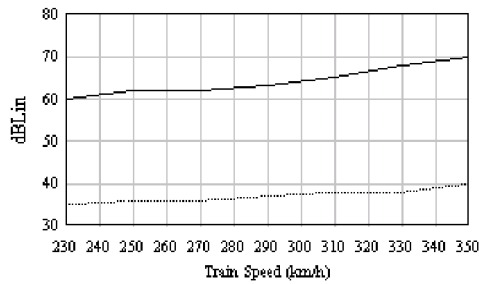
다) 최고소음이 55dB(A) 미만으로서 필터링 시스템의 유효성이 입증됨

라) 소음원으로부터의 거리로 인해 3층이 2층보다 더 높은 수준의 소음을 보여줌

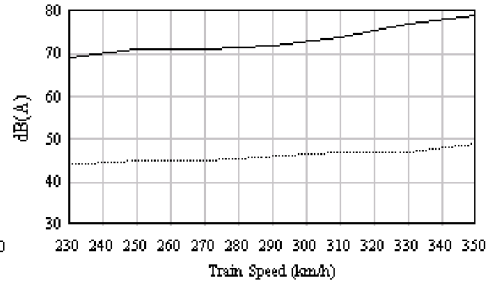
2.6 필터링 시스템 유무에 따른 이론적 해석의 비교검토

속도 230-350 km/hr 범위에서 필터링 시스템 유무에 따른 이론적 해석을 수행하여 최대 속도수준-속도, 최대 소음수준-속도 응답을 확인하였다.

(1) 최대 속도수준-속도 응답 도표



(2) 최대 소음수준-속도 응답 도표



(3) 상부 슬라브와 구조물 사이에 필터링 시스템을 설치 시 소음을 25-30 dB(A)까지 감소시키는 것을 알 수 있다. 즉, 필터링 시스템 설치의 효과가 입증되었다.

2.7 안정성 기준의 검토(Checks on Stability Criteria)

필터링 시스템의 적용 시 스프링 박스의 댐핑 효과로 인하여 부동 슬라브(floating slab)와 구조물에 과도한 처짐과 변위를 유발한다. 따라서 도상자갈 이완 방지와 궤도에 과도한 응력 유발을 방지하고자 실제 운행 중인 고속열차 하중을 고려하여 3가지 안정성 기준에 대한 적합성을 검토해야 한다.

(1) 라멘 구조물의 상판(deck) 수직 가속도

가) 허용기준 : 0.35 g (3.43 m/s²)

나) 계산 값 : 0.180m/s² - 0.631m/s²

(2) 라멘 구조물의 상판(deck) 처짐

가) 허용기준 : $f \leq L / 1,700$, f 는 최대 처짐, L은 지간 길이
 $17,730/1,700 = 10.43 \text{ mm}$

나) 계산 값 : 0.584 mm - 2.095 mm

(3) 라멘 구조물의 열차 진행방향 수평변위

가) 허용기준 : 최대 10 mm

나) 계산 값 : 0.037 mm - 0.166 mm

(4) 안정성 검토 결과 모든 기준 값에 부합하며 계산 값은 아래와 같다.

열차속도	수직가속도	처짐	열차진행방향 수평변위
km/hr	m/s ²	mm	mm
230	0.018	0.584	0.066
250	0.230	0.351	0.166
270	0.210	0.478	0.086
290	0.237	0.674	0.055
310	0.278	0.758	0.038
330	0.380	0.955	0.037
340	0.487	1.358	0.049
350	0.631	2.095	0.060

2.8 결론

2003년 완공된 경부고속철도 천안역사의 하부 층에 위치한 역무시설과 상업시설이 소음, 진동 허용수준 55dB(A)을 만족하는지를 이론적으로 해석하고 또한 실제로 측정하여 확인한 결과 모든 기준을 만족시키는 것으로 확인되어 설계시 고려된 필터링 시스템 즉, 스프링 박스의 댐핑 효과가 적합한 것으로 확인되었고 다음과 같이 결론을 지을 수 있다.

(1) 실제측정 및 이론적 해석결과

가) 최고소음이 55dB(A) 미만으로서 필터링 시스템의 유효성이 입증됨

소음원으로부터의 거리로 인해 3층이 2층보다 더 높은 수준의 소음을 보여줌.

나) 해석결과가 측정값 보다 과대 평가된 응답을 보여주는데 이는 자갈도상 매트와 소음차폐물의 영향을 미 고려한 결과로 보여진다.

즉, 자갈도상매트와 소음차폐물로 5-7 dB(A) 소음 저감이 기대됨.

(2) 필터링 시스템 유무에 따른 이론적 해석 값 비교

상부 슬라브와 구조물 사이에 필터링 시스템을 설치 시 소음을 25-30 dB(A)까지 감소시키는 것을 알 수 있다. 즉, 필터링 시스템 설치의 효과가 입증되었다.

(3) 구조물 안정성 검토 만족

가) 구조물의 상판(deck) 수직 가속도 : 최대 0.631 m/s^2 , 허용기준 3.43 m/s^2

나) 라멘 구조물의 상판(deck) 처짐 : 최대 2.095 mm, 허용기준 10.43 mm

다) 라멘 구조물의 열차 진행방향 수평변위 : 최대 0.166 mm, 허용기준 10 mm