

전라선 고가교 연변 철도 소음 현장측정 및 분석에 관한 연구

김병삼* · 원찬희** · 김대진**

A Study on Field Measurement and Analysis of Train noise at Elevated Railway in Jeolla Line

Byoung-sam Kim, Dae-jin Kim and Chan-hee Won

Key Words : Elevated railway(고가교), Wayside noise(연변소음), Normal operation(정상운행), Train engine idling condition(타력운행)

Abstract

The construction of the elevated railway has led to concerns about the noise from trains, particularly as tracks often pass close to residential dwellings. One specific issue relates to the noise from trains on bridges. The wayside noise for the train was measured to get the basic data that can be used to prepare count measures for solving environmental noise problems. Noise levels were measured simultaneously at three points in various distances from the railroad and at four points classified by floor. In this paper we measure the wayside noise in elevated railway and noise of normal operation compare with operating under train engine idling condition and investigate effect of nearby-building induced by train operation.

1. 서 론

1960년대 이후의 급속한 산업화로 인한 철도 교통량의 증가는 철로 변 지역의 주민들에게 소음에 의한 폭로 기회를 증가시킴으로써 환경문제를 초래하고 있다. 철도는 계속 신설, 연장, 확장될 것으로 예상되고 있기 때문에 철도에 의한 소음 문제들도 계속 발생될 전망이다. 국내에서는 철도 소음에 대해서는 일부 연구가 수행되고 있지만 아직까지 고가철도에 대한 특별한 자료 수집이나 대책에 큰 관심을 기울이지 못한 실정에 있다. 또한 최근 각종 교통수단에 의하여 진동이 노출되는 정도와 시간이 증가함에 따라 진동에 대한 영향에 대하여 점차 관심이 고조되고 있고 소음에 대한 환경기준이 마련 되어야 한다는 의견들이 계속 제기되고 있다. 특히 철도의 고가화로 고가교 연변 소음 진동이 여러 가지 민원을 야기하고 있어 고가교연변 소음의 전방 특성에 대한 연구가 필요하

게 되었다. 철도의 진동 문제는 고가교의 2차적인 소음문제를 야기시키는 고체전달음(structure borne noise)의 원인이 되고 있기 때문에 초기 설계단계에서부터 이러한 현상에 대한 파악과 예측이 필요하다.⁽¹⁾⁽²⁾ 고가교 연변 고가선로를 통과하는 철도 소음이 인근 건물이나 주민에게 미치는 영향을 파악하기 위하여 고가교 연변에서 소음을 측정 분석하고 향후 고가교 설계의 기초 자료를 조사하고 철도운영에 따른 소음 저감 대책 수립 및 환경 영향 평가에 따른 기초자료로 이용하고자 한다.

2. 측정지점 및 방법

2.1 측정지점

측정지점은 전남 순천시 용당동 동아아파트 104동 1호 라인과 인근 고가교이며 주변지형 상황은 고가교 주변 논과 밭과 아파트인근 2차선 도로가 위치하고 있다. 측정시 마이크로 폰을 선로변, 고가교 및 고가변에서 설치하였다. 철도소음이 고가교연변 아파트에 미치는 영향을 조사하기

* 순천제일대학 차량기계학부

** 전북대 공과대학 토목 환경공학과

위하여 선로변, 건물 5층, 10층, 15층에 마이크론을 설치하였으며, 방음벽 측정시에는 소음원과 방음벽 사이에 마이크론을 설치하였다. 온도 및 상대습도는 각각 13.6°C, 65%이었으며 풍향 및 풍속은 동남풍 1-2 m/s, 날씨는 맑았으며 암소음은 50~55 dB(A)로 측정되었다.

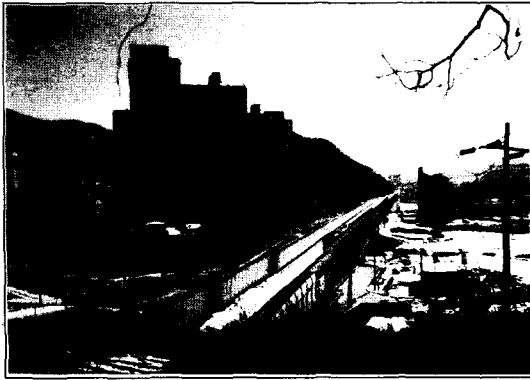


Fig.1 The Scene of Measurement Field

2.2 측정방법

본 연구에서는 방음벽이 설치된 콘크리트 교량을 통과하는 열차의 소음을 측정하기 위해서 선로 중앙으로부터 소음원과 고가선로 밑 지반 1.5m 지점, 고가선로로부터 25m 지점의 거리에서 동시 측정하였다. Fig.1 은 소음 측정의 현장 사진이다. 인근 아파트에 미치는 영향을 분석하기 위하여 소음원과 1층과 5층 10층 그리고 15층에서 동시에 소음을 측정 분석하였다.

Table 1. Measuring Apparatuses of Field Measurement and Analysis

NO	장비명	모델명	용도	비고
1	Sound Level Meter	B&K 2660B	소음 측정	시간특성 : 빠른 청감보정: A 특성
2	Level Recorder (8 CH)	SONY PC208 Ax	기록	AC Average: Fast Dynamic Range: 50dB
3	Signal Analyzer	Larson Davis 2900A	소음 측정	FFT Real-time analyzer
4	Piston phone	B&K 4220	소음계 검증용	94dB at 1kHz

Table 1 은 측정계기의 종류와 용도등을 나타내었다. 소음계(B&K2660B)를 이용하였으며, piston phone 을 이용하여 마이크론을 보정하였다. 소음 신호 기록은 DAT 기록기를 이용하여 다채널을 동시에 저장하고, 그 때의 각 채널에 대한 마이크론의 종류, 감도(sensitivity), 이득(gain) 등을

부가적으로 기록하였다. 기록된 신호는 A-Weight 등 별도의 필터를 사용하였다. 소음신호 분석은 실험실에서 FFT 분석기(B&K 2034)를 이용하여 스펙트럼 분석을 하고, 분석기에 나타난 데이터는 GPIB 를 이용하여 개인용 컴퓨터에 저장하였다.

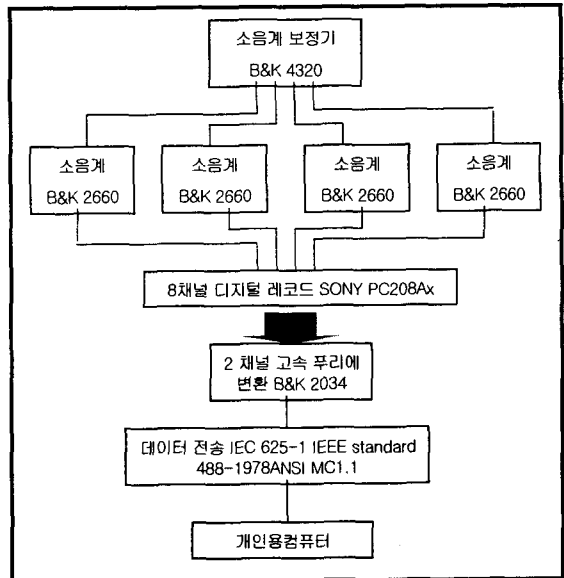


Fig. 2 System of Field Measurement and Analysis

3. 측정 결과 및 분석

3.1 철도 소음 평가방법에 대한 고찰

등가 소음도(equivalent noise level : L_{eq})란 소음의 에너지 평균레벨, 즉 임의의 측정시간 동안의 변동 소음 에너지를 시간적으로 평균하여 상용대수를 취해 10 을 곱한 값으로 정의한다⁽³⁾. 높은 세기의 음원부터 음압레벨 L_1 이 f_2 시간동안 지속되고, 낮은 세기의 음원부터 음압레벨 L_2 가 f_2 시간동안 지속될 때 등가 소음도는 (L_{eq})는 식(1)과 같다.

$$L_{eq} = 10 \log(f_1 \times 10^{L_1/10} + f_2 \times 10^{L_2/10}) \text{ dB(A)} \quad (1)$$

여기서, L_1 은 낮은 소음원의 음압레벨이며 f_1 은 높은 소음원의 발생시간, f_2 은 낮은 소음원의 발생시간이다.

철도 소음에서 노출시간은 소음이 발생하여 없어질 때까지의 시간을 말하며, 노출 시간의 산정 방법은 통상 소음레벨이 ($L_{max}-10$) dB(A) 이상으로 지속된 시간을 말한다. 많은 측정결과 노출시간은

열차의 길이, 속도 궤도로부터 의존하게 되며 식(2)와 같다.⁽⁵⁾

$$t_e = \frac{l}{V} + \frac{6d}{100} \quad (2)$$

여기서, t_e 노출시간, l 은 열차길이 d 는 측정거리 V 는 열차속도를 나타낸다. 노출시간 최대 소음레벨을 이용하여 등가 소음레벨 L_{eq} 를 계산하면(3)로 같다.⁽⁵⁾

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{t_e}{T} \times 10^{\frac{L_{max}}{10}} \right] dB(A) \quad (3)$$

3.2 철도소음 측정결과

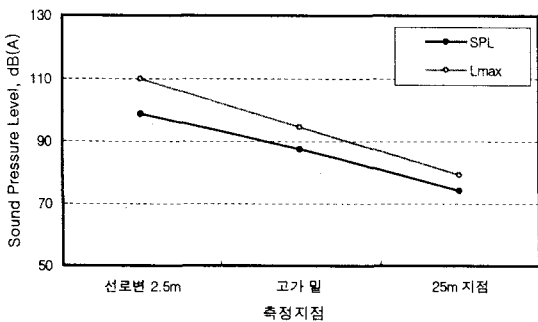
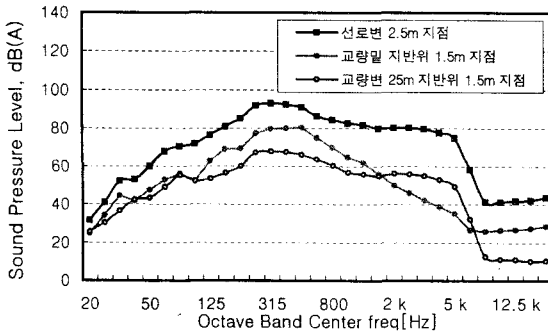
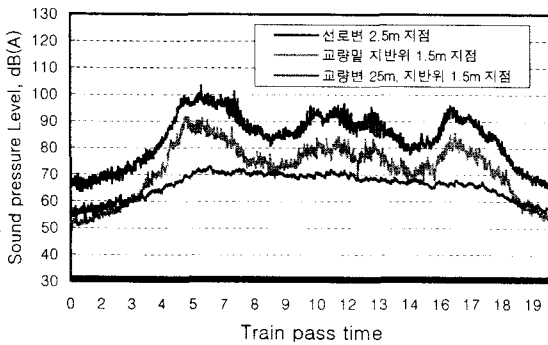


Fig. 2 Result of Measurement in Operating under Train Engine Idling Condition

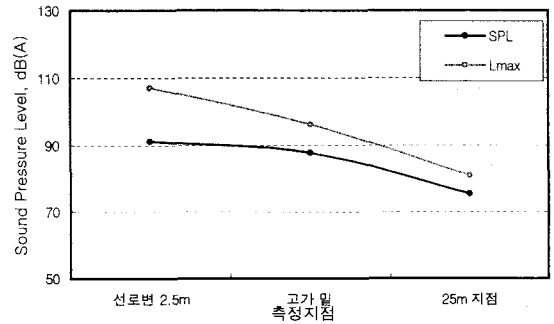
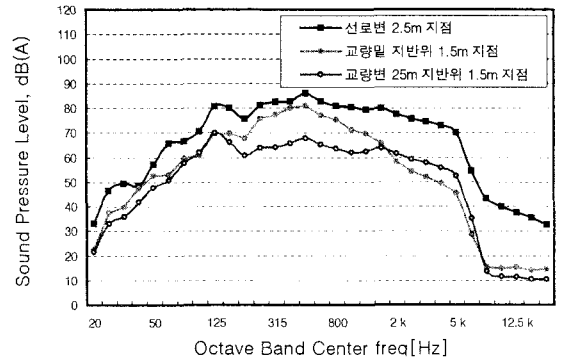
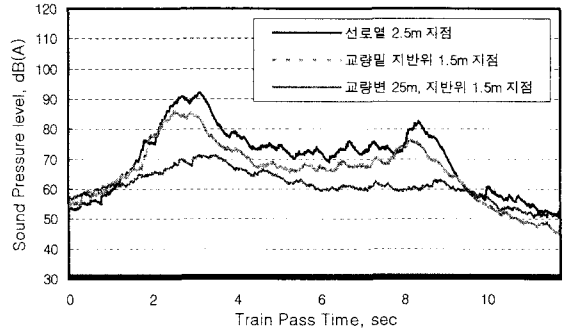


Fig. 3 Result of Measurement in Normal Operation

Fig.2와 Fig.3는 철도 차량이 고가교를 주행시 타력운행 및 정상운행 시 측정된 선로 옆 2.5m와 교량 및 지반 위 1.5m 및 25m 거리에 대한 시간 변화를 음압레벨로 나타내고 있다. 정상운행시의 음압레벨의 변화는 타력운행시에 비하여 전두부와 후두부의 소음레벨이 차량에 영향에 의해 크게 나타나고 있다. 타력운행시와 정상운행시, 모두 차륜과 레일에 의한 진동음 혹은 공력소음에 의한 영향⁽⁴⁾으로 중간 부근에서 작은 피크가 존재하는 것을 알 수 있다. 철도소음의 경우 음원 근처에서 일반적인 토공

구조를 통과하는 철도 소음의 경우 500-2000Hz 영역의 발생소음도가 대부분을 차지하나, 고가 철도에서는 측정결과 500-1000Hz 사이에 피크가 존재하는데, 이는 고가 구조물의 영향이 큰 것으로 보이고 있다.⁽⁴⁾ 25m지점에서 방음벽의 영향으로 2kHz에서 8kHz의 주파수를 가진 음이 다량의 감쇠치를 보이고 있으나 저주파의 음압레벨은 거의 감쇠가 일어나지 않는 것으로 판단된다. Fig.2와 같이 소음원으로 가정되는 선로변 중심선부터 25m 떨어진 지점에서의 음압레벨을 비교하면 24.6dB(A) 정도 음압레벨이 감소하였다. 고가 밑 지반에서 1.5m 지점에서 측정된 소음과 선로변에서 2.5m 떨어진 지점에서 측정된 소음의 주파수 분석으로부터 저주파수 대역의 음압레벨 차이보다 고주파수 대역의 음압레벨의 차이가 큼을 알 수 있었다. 이는 열차가 타력운행을 하고 고가를 통과할 때 발생하는 소음원 중 고가하부 구조물의 진동이 큰 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 고가교를 운행하는 열차의 소음원은 열차의 기관음, 바퀴와 레일사이에서 발생하는 전동음, 구조물의 진동음으로 구분하고 있는데, 열차가 타력운행을 하게 되면 열차의 기관음은 거의 발생하지 않는 것으로 가정할 수 있으며 전동음과 진동음만이 주 소음원임을 알 수 있다. 전라선 고가교의 경우에는 장대레일을 설치되어 있어 전동음이 많이 감소된 점을 고려해 볼 때 고가 밑 지반에서 1.5m지점에서 측정된 음압레벨이 높은 음압레벨을 나타내고 있는 것은 주로 고가구조물의 진동에 기인한 것으로 사료된다. Fig.3 과 같이 소음원으로 가정되는 선로 변과 선로 변부터 25m 떨어진 지점에서의 음압레벨을 비교하면 15.6dB(A) 정도 음압레벨이 감소하였음을 알 수 있었다. 정상운행 시 선로 변에서 25m 떨어진 지점에서의 음압레벨이 타력운행 시 선로 변에서 25m 떨어진 지점에 비하여 음압레벨의 감소 차이가 작았는데, 이는 열차의 기관에서 발생하는 기관음과 전동음 등이 고가에 설치된 방음벽을 회절하는데 기인한 것으로 판단된다.

철도 연변 아파트는 19층의 높이이고 인근 철도의 고가와 방음벽의 높이는 아파트 4~5층의 높이이다. Fig.4에서 보는 바와 같이 5층 높이인 501호에서는 고가에 설치된 방음벽에 영향을 받아 30dB(A)의 소음저감 효과가 있는 반면 1001호는 18.4dB(A), 1501호에서는 22.7dB(A)의 저감효과가 있었

다. 따라서 방음벽은 10층 이상에서는 방음 효과가 없는 것으로 나타났다

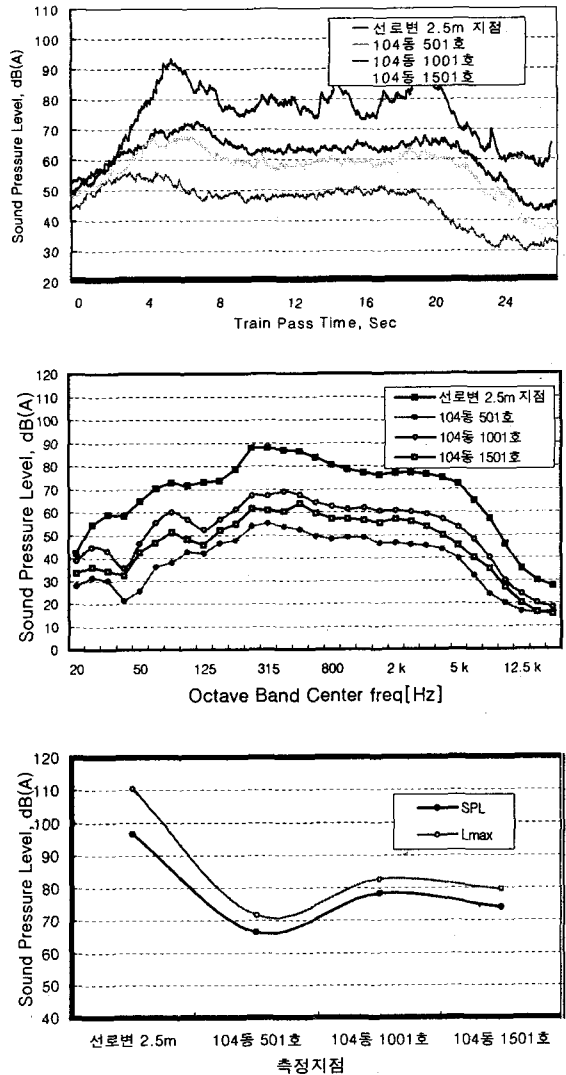


Fig.4 Result of Measurement each Floor in Nearby Building

Fig.5 방음벽의 투과손실을 나타낸 측정치이다. 고가 방음벽 전 후방에서의 음압레벨의 차이는 전주파수 대역에 대하여 8.7dB(A) 정도이었다. Fig.5에서와 같이 열차 통과 시 고가 방음벽은 고주파수 대역에서 차단 효과가 큰 반면 저주파수 대역에서는 큰 효과가 없었는데, 이는 열차 통과시 방음벽의 진동에 의한 음과 고가 구조물 하부를 통해서 회절되는 음, 고가 구조물의 진동에 의한 음 등의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

Table 2. 각 건물의 옥상에서 측정된 등가소음도와 순간최고소음도이다. 공정시험법에 의하여 1시간 등가소음을 측정된 결과, 철도소음에 대한 규제치 70dB(A)이하를 나타내고 있었다. 그러나 정상운행시 주간소음은 65~70 dB(A)의 높은 음압레벨을 나타내고 있어 철도의 복선화, 운행횟수가 증가하면 규제치인 70dB(A)을 상회할 수도 있을 것으로 사료된다. 또한, 순간최대소음도는 정상운행시 주간에 90dB(A) 이상은 높은 음압레벨을 나타내고 있었다. 일반적으로 주변의 압소음에 비하여 5~10dB(A) 이상의 소음이 발생하면 수음자가 소음으로 인식하게 되는데, 연속적인 소음보다 간헐적이고 충격적인 소음에 더 예민하게 반응하게 된다. 따라서, 동일한 열차의 소음에 대한 수음자의 반응이 시간대별로 달라질 수 있다. 즉, 동일한 소음을 압소음의 음압레벨이 높은 주간에 들었을 때와 압소음의 음압레벨이 낮은 야간이나 심야에 들었을 때 느끼는 정도가 다를 것으로 예상된다. 고가선로변에는 열차가 정상적으로 통과하면 주변의 압소음에 비해 5~10dB(A) 이상의 소음이 간헐적으로 발생하고 있다. 특히, 열차 통과시 순간최대소음도가 90dB(A) 이상의 높은 음압레벨을 나타내고 있다.

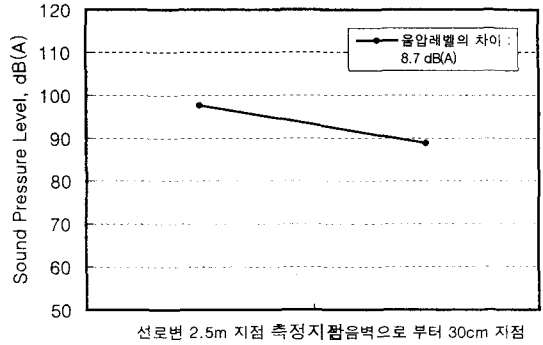
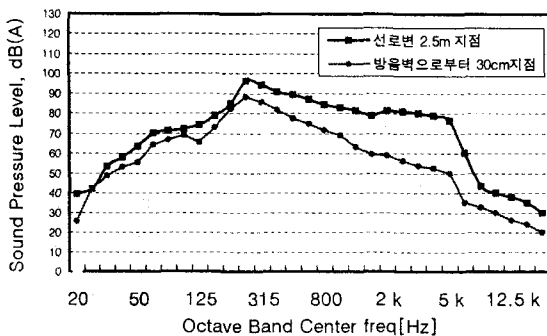
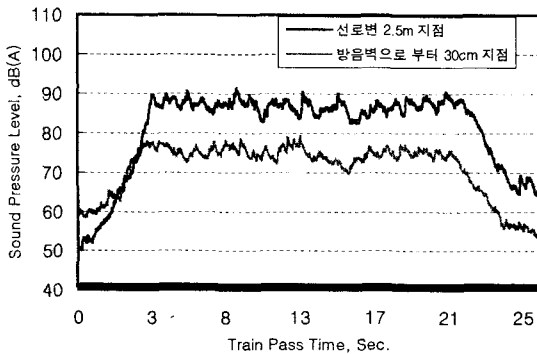


Fig.5 Result of Measurement on Barriers

Table 2. Measurement Value (L_{eq} , L_{max}) on Rooftop

NO.	L_{eq} , dB(A)			운행열차	암소음
	104동 옥상	102동 옥상	102동 1301호		
타 력 운 행					
주간1	61.1 (82.8)	62.1 (82.0)	64.3 (84.8)	5대	55~57
주간2	63.2 (88.1)	64.1 (88.9)	66.5 (90.5)	3대	58~60
야간	58.1 (83.1)	59.4 (81.3)	-	2대	42~50
정 상 운 행					
주간1	66.7 (90.7)	66.8 (90.0)	69.2 (93.6)	7대	53~57
주간2	64.4 (90.1)	64.5 (90.0)	65.4 (91.0)	102동 3대	52~58
야간	62.9 (89.9)	64.3 (89.0)	-	3대	44~51

4. 방지 대책안

측정결과를 기초로 판단해 볼 때 기존에 설치된 방음벽으로는 방음벽의 높이보다 고층인 아파트 세대에 큰 효과가 없는 것으로 측정된다. 따라서 철도소음 저감대책 안을 크게 3 가지로 구분하여 수립하고자 하였다. Fig.6은 부산 가야고가교에 방음터널을 설치한 사례이다.

4.1. 밀폐형 방음터널

밀폐(enclosure)는 여러 가지 소음방지 대책 중 소음원의 성격상 큰 저감대책이 없는 경우 일반적으로 채택하고 있는 방법이다. 밀폐형 소음원과 수용자 사이를 완전하게 차단하는 방법으로 완전하게 밀폐된 경우에는 투과하는 음만 있게 되어 20dB(A)까지 소음을 저감시킬 수 있는 것으로 보고된 바 있다

4.2. 개방형 방음터널

개방형 방음터널은 밀폐형 방음터널에 비하여 소음 저감 효과가 떨어지지만 밀폐형 방음터널에 비해 내부공간의 환기 및 온도의 상승, 조명시설의 설치, 보수 및 청소 등의 문제점을 해결할 수 있다.

4.3. 방진 매트 of 삽입

고가 구조물의 진동에 의해 발생하는 진동음에 대한 저감 대책으로 열차 레일과 구조물 사이에 방진 매트와 같은 방진재료를 사용하여 진동을 억제하는 방지 대책이다.

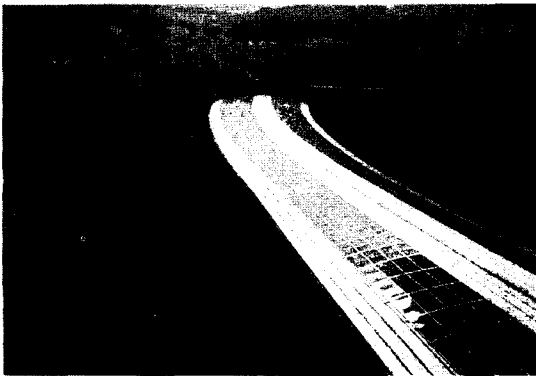


Fig. 6 The Gaya Elevated Bridge in Busan

5. 결론

전라선 고가교 철도 소음방사특성에 관한 현장 측정 및 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 콘크리트 교량의 경우 평균소음레벨은 거리와 높이에 따라 80~98dB(A)의 소음도가 나타났으며 선로변에서 25m 까지의 거리감쇠는 평균 15.6dB(A)값을 보였다.
- (2) 정상운행 시 선로 변에서 약 25m 떨어진 지점에서의 음압레벨은 15.6 dB(A)의 소음도를 보였으며 타력운행 시에 비하여 감소 차이가 작았고, 주파수 분석 결과 기관음의 영향인 것으로 분석되었다.
- (3) 소음원과 측정지점에서의 주파수 특성 및 대역별 저감정도, 소음원의 전파특성(거리감쇠),

주변 아파트에 미치는 영향, 방음벽의 효과 등을 파악할 수 있었다.

- (4) 고가와 같은 높이인 아파트 4~5 층에서는 30dB(A)의 소음저감 효과가 이루어진 반면 10~15 층에서는 22.7dB(A)의 저감효과가 있었다.
- (5) 방음벽의 전후방에서의 음압레벨 차이는 8.7dB(A) 고주파수 대역에서는 차단효과가 큰 반면 저주파 대역에서는 큰 효과가 없었다

참고문헌

- (1) 한국소음진동공학회 “철도소음의 전파예측에 관하여(고가선로를 대상으로)” 주진수의 1 명, 1996
- (2) *Applied Acoustics*, Vol.43, N. Atalla, R. J. Bernhard, Review of Numerical Solution for Low-frequency structural-Acoustic Problems, pp.271-294, 1994
- (3) 신광문화사 “소음진동학” 정일록 1984 pp.96-97
- (4) 鐵道騒音 振動對策 研究會 鐵道騒音 振動對策의研究 日本 鐵道 施設協會, 1977
- (5) 철도청 “철도소음의 효율적 저감방안 연구” 철도기술 연구소 pp.86-87