

## 열차운행에 따른 철도역사의 진동영향 평가

### The Vibrational Evaluation of Railway Station by the Train Service

김 병 삼\* · 이 태 근†

Byoung-Sam Kim and Tae-Keun Lee

(2010년 8월 24일 접수 ; 2010년 10월 11일 심사완료)

**Key Words** : Railroad Vibration(철도진동), Vibration Measurement(진동계측), Vibration Level(진동레벨), Regulation Criteria of Railroad Noise Vibration(철도 소음 진동 규제기준)

#### ABSTRACT

The high interest for the ground vibrations which is caused by the train service is risen. When the trains are passed, a serious force is applied to ground and the caused vibration is propagated to the area of the building by the ground and rocks. This vibration comes to feel in the residents with the direct vibration, it is radiated in sound. The caused vibration and radiated sound affect the human's life, and this vibration brings about the operation interruption of the equipment which is sensitive to the vibration, or will bring about the structural damage of the building. In this study, the effect of the vibrations caused by the passing trains on the railway station and buildings is investigated by vibration measurement. Indoor and outdoor measurement is carried out by each trains.

#### 1. 서 론

사람들의 지적수준 향상과 삶의 질적 향상으로 철도, 지하철 주변에서 열차 통과시 발생하는 진동에 의한 지반진동의 영향에 대한 관심이 높게 일고 있다. 열차 통과시 지반에 심각한 가진력을 발생시키며, 그 결과 진동은 지반과 암반을 통해 주변지역의 빌딩에 전파된다. 이 진동은 주민들에게 직접 진동으로 느껴지거나, 빌딩내의 각 실에서 소리로 방사되어 생활환경에 영향을 미친다. 또한 진동에 민감한 장비의 작동을 방해하거나, 심한 경우에는 빌딩에 구조적인 손상의 결과를 초래할 수도 있다. 한편, 최근 신축되고 있는 역사들은 기존의 철도라는 교통수단을 이용하는 시설로서의 목적뿐 아니라 쇼핑몰 및 영화관 등의 기능을 공유하는 복합시설로

대형화, 복잡화 되어가고 있다. 이 연구에서 측정된 역사의 경우도 기존의 역사 고유의 기능과 쇼핑몰 및 영화관 등의 판매시설의 기능을 동시에 수행하도록 설계·시공되었다. 또한 향후 역사를 증축하여 보다 나은 역사시설과 복합시설을 통해 이용 고객들에게 편안함과 안락함을 제공하기 위한 계획 중에 있다. 따라서 철도 운행시에 발생하는 진동이 기존 역사에 미치는 영향을 평가하고 이를 통해 향후 증축하게 될 역사가 복합 시설로서의 기능수행을 하는데 있어 진동과 안전성에 미치는 영향을 평가하고 필요시 대책을 강구해야한다. 기존 역사에서는 지하철과 새마을호, 무궁화호, 화물열차 등이 복합적으로 운행되고 있으며 이로 인해 발생한 진동이 역사의 각 실로 전달되고 있다.

이 연구에서는 열차별로 발생한 진동이 기존 역사에 미치는 영향을 실내와 실외로 구분하여 진동 측정기를 사용해서 계측, 분석하여 실태를 조사하였고 각 열차별로 계측하여 열차별 진동 특성과 역사에 미칠 수 있는 영향에 대해서 검토하였다.

† 교신저자; 정희원, 대덕대학 정밀기계시스템과  
E-mail : tklee9501@ddu.ac.kr

Tel : (042)866-0434, Fax : (042)866-0389

\* 정희원, 원광대학교 기계자동차공학부

## 2. 진동평가기준

### 2.1 국내 소음/진동 규제기준

진동피해를 평가하는데 기준이 되는 진동의 허용한계는 입자의 가속도, 입자의 속도, 입자의 변위 중 하나를 선택하여 정하고 있다. 철도에서 발생하는 소음·진동으로 인한 피해를 방지하고 소음·진동을 적정하게 관리·규제함으로써 모든 국민이 정온한 환경에서 생활 할 수 있게 함을 목적으로 1994년 11월 21일 총리령 제473호로부터 철도 소음·진동한도가 공포되어 2000년 1월 1일부터 시행되고 있으며 철도로부터 발생하는 소음·진동이 규정된 한도를 초과할 때에는 주민의 정온한 생활환경의 보호를 위해 방음·방진시설의 설치 등 필요한 조치를 취하여야 한다고 명시되어 있다<sup>(1,2)</sup>.

### 2.2 진동허용기준 선정

이 연구에서는 열차의 운행에 따른 진동허용기준을 ISO 2631-2:2009와 KS B 0710-1:2001에서 정된 기준을 사용하였다<sup>(3,4)</sup>.

위의 두 진동허용기준은 건물의 구조진동이 다양

하게 거주자에 의해 감지되어 여러 영향을 줄 수 있고 진동에 대한 피폭은 작업효율과 안락함을 저하시킬 수 있다고 정의하고 있다. 또한 건물 진동의 인체 응답에 대한 정형화된 데이터 수집방안을 권장하고 있어 모든 상황에서의 건물진동에 대한 정확한 데이터를 수집하도록 권장하고 있다. 또한 인체의 자세에 따른 좌표축을 정의하여 각기 다른 진동허용기준을 제시하고 있다.

등가반응곡선은 사람의 불쾌감과 활동성 방해에 대한 불평에 대한 사람의 반응 정도를 수치적으로 등가화한 것이다. 또한 진동의 장소 및 빈도에 따른 인자를 고려하여 ISO와 KS 모두 진동의 좌표축에 대한 등가반응곡선을 다르게 정의하고 있다. 이는 진동에 대한 피폭이 거주자의 자세에 따라 다르게 나타나기 때문이다.

이 연구에서의 진동허용기준은 발에서부터 머리로의 방향인 상하(Z축) 진동에 대한 등가반응곡선을 기준으로 하여 선정하였다. Fig. 1에서 나타난 등가반응곡선 이하수준의 진동에서는 진동에 대한 불평이 보고된 바가 없다. Fig. 2는 Fig. 1의 기준곡선을 기본으로 하여 진동레벨값으로 표기한 곡선으로 이 연구에서 진동을 평가하는 기준값이다.

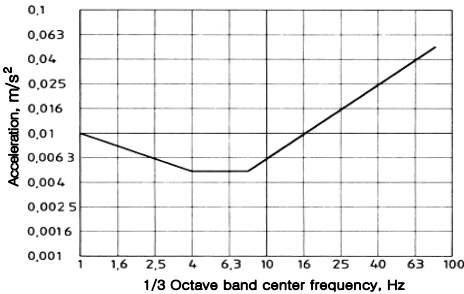


Fig. 1 Equivalent response curve for Z-acceleration

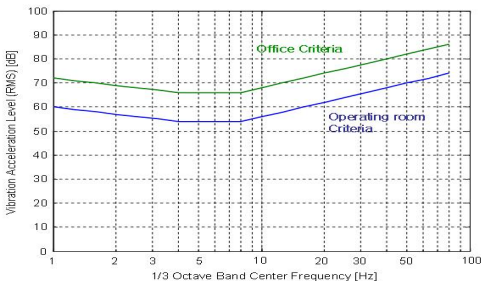


Fig. 2 Curve for the vibration evaluation

## 3. 철도진동 측정 및 분석

### 3.1 측정방법

진동측정은 실내측정과 실외측정을 나누어서 실시하였다. 실내측정은 열차 운행에 따라 이 역사에 미치는 진동의 크기를 분석하기 위해 실시하였으며, 실외측정은 열차운행으로 인해 역사에 미치는 영향을 분석하기 위해 실시하였다.

#### (1) 실내측정

실내측정은 역사 이용객들로 인한 진동의 영향을 피하기 위해 폐점시간에 실시하였으며, 측정방법은 열차의 운행에 따른 진동의 영향이 나타날 수 있는 지점을 선택하고 환경진동측정기와 주파수 분석기를 설치하여 열차 통과시마다 측정하였다. 측정은 열차의 종류별로 1대 이상 측정하도록 하였으며, 측정위치는 Fig. 3과 같다.

#### (2) 실외측정

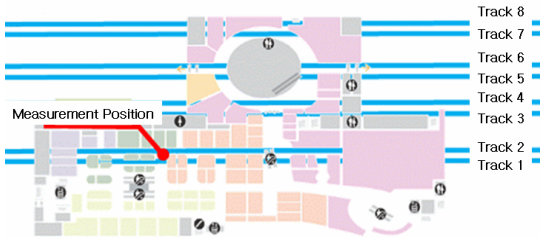


Fig. 3 Measurement position of indoor

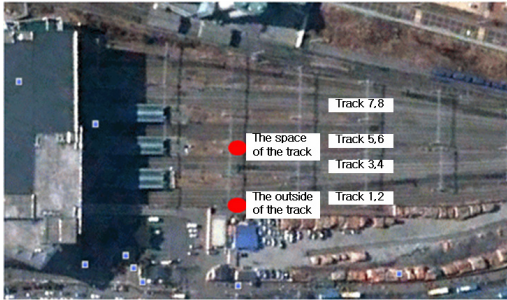


Fig. 4 Measurement position of outdoor

실외측정은 열차의 이동이 상대적으로 많은 낮 시간대에 실시하였다. 실외측정은 진동원인 열차의 특성을 파악하기 위한 기본 데이터로 사용하기 위해 실시하였다. 측정위치는 중측역사의 외벽이 들어설 선로 외곽 지역과 기초 및 지중보가 세워질 4선로와 5선로 사이에서 실시하였으며, 지하철, 새마을호, 무궁화호, 화물열차별로 측정하였다. 측정위치는 Fig. 4와 같다.

### 3.2 측정결과

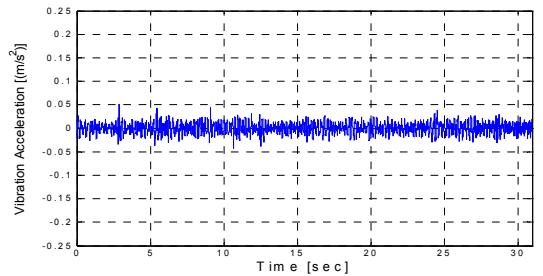
이 역사의 실내 및 실외의 선로 주변에서 각각 통과하는 열차별 주파수분석과 최대진동값을 정리하였다. 또한 진동가속도레벨(vibration acceleration level: VAL) 계산시 기준 가속도값은  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ 로 하였다.

#### (1) 실내측정

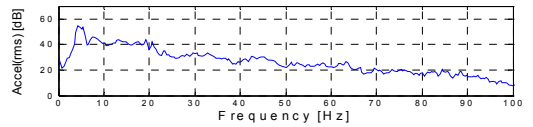
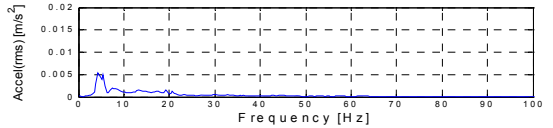
역사 내의 3층 매장에서 각 열차별 진동 측정결과 지하철, 새마을호, 무궁화호가 진동인식기준을 초과하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 화물열차가 통과할 경우에는 사무실 허용기준을 초과하는 것으로 나타났다(Table 1). 계측위치가 역사 실내의 주기동 근처임을 고려할 때, 열차 운행에 의한 진동이 기둥을

Table 1 Indoor vibration level(RMS) for the trains

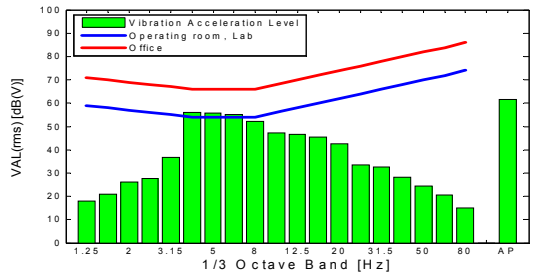
Train	Direction (track)	Vibration acceleration level(RMS)				Comparison with criteria
		Freq. peak		Freq. overall		
		$\text{cm/s}^2$	dB	$\text{cm/s}^2$	dB	
Subway	Down (2)	0.55	54.8	1.19	61.5	Exceed the operating room
Saemaul	Up (6)	0.57	55.1	1.25	61.9	Exceeding the operating room
Mugung-hwa	Down (4)	0.9	59.1	1.93	65.7	Exceed the operating room
Freight	Down (2)	1.55	63.8	3.44	70.7	Exceed the office



(a) Time data



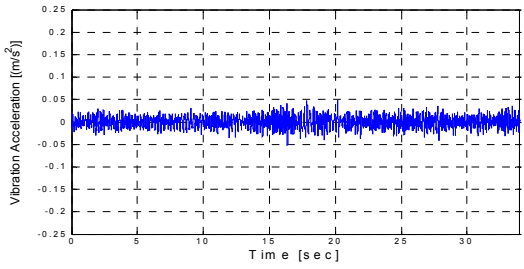
(b) Frequency



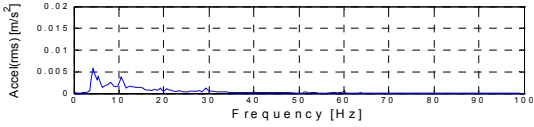
(c) Comparison with criteria

Fig. 5 Subway(a down train / track 2)

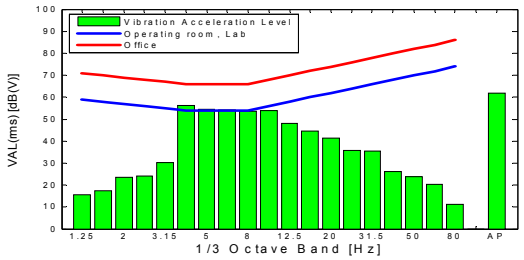
통해 상부 매장으로 전달되어 영향을 주는 것으로 판단되며 그 진동의 크기가 매장내 사람이 인지할 수



(a) Time data

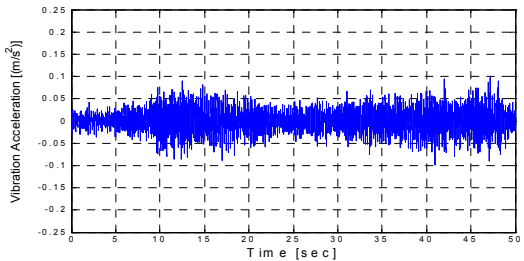


(b) Frequency

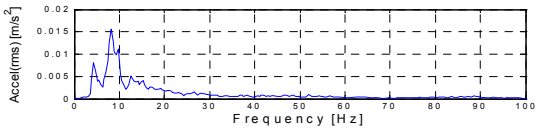


(c) Comparison with criteria

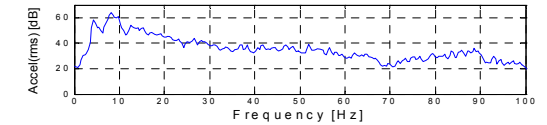
Fig. 6 Saemaul train(a up train / track 6)



(a) Time data

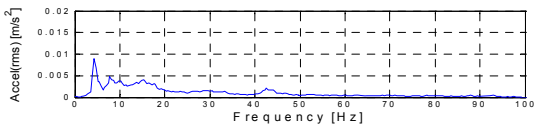


(b) Frequency

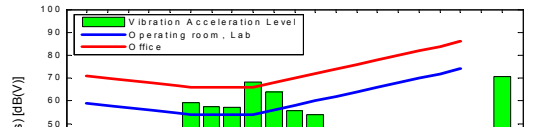


(c) Comparison with criteria

Fig. 7 Mugunghwa train(a down train / track 4)



(b) Frequency



(2) 실외측정

있는 정도로 판단된다. 또한 실내로 유입되는 진동은 주로 10 Hz 미만의 주파수 대역이 주를 이루고 있음을 볼 수 있다(Figs. 5~8).

열차 운행으로 인한 열차 진동이 민자역사에 미치는 영향을 분석하기 위해서 선로별 열차의 운행 특성을 분석할 필요가 있다. 2, 8번 선로는 지하철이 운행중인 선로이며, 3~6 선로는 새마을호와 무궁화호가 운행 되고 있다. 화물 열차의 경우 2번, 5번, 6번 선로를 주로 이용하여 운행되고 있었다. 측정 지점은 역사의 외벽 부분과 기둥 부분을 고려하여 선정하였다.

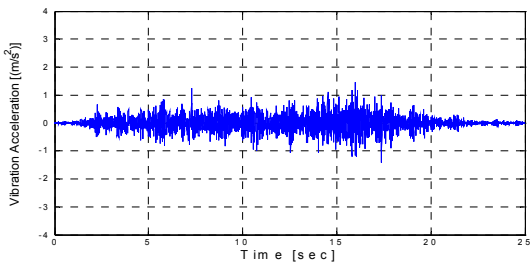
선로 외곽부분의 각 열차별 진동측정 결과 통행하는 모든 열차가 진동허용기준을 초과하는 것을 확인할 수 있다(Table 2).

이 역사의 지하층 외벽과 가장 인접한 2선로의 경우 화물열차의 운행과 일정 시간 간격을 두고 운행하는 지하철로 인해 열차 운행에 따른 진동이 외벽을 통하여 역사에 영향을 미칠 것으로 판단된다(Figs. 9~12).

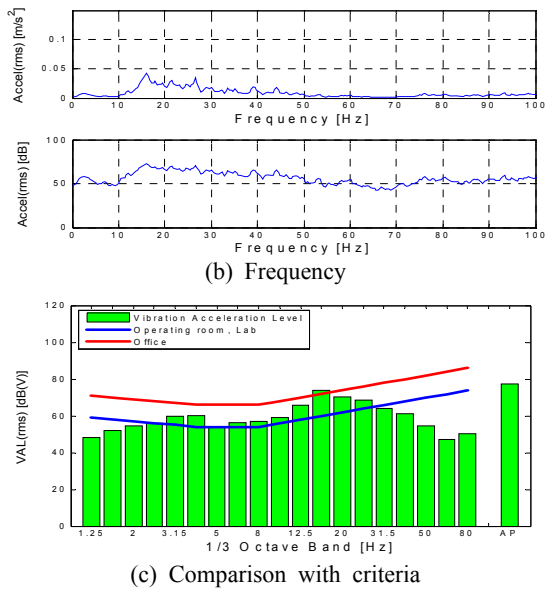
4 선로와 5 선로 사이에서 열차별로 진동을 측정한 결과, 통행하는 모든 열차가 진동허용기준을 초과하는 것을 확인할 수 있다(Table 3, Fig. 13~ Fig. 16). 상부의 슬라브를 지지하는 기초 및 지중보가

**Table 2** Outdoor vibration level(RMS) for the trains (measurement position : the outside of the track)

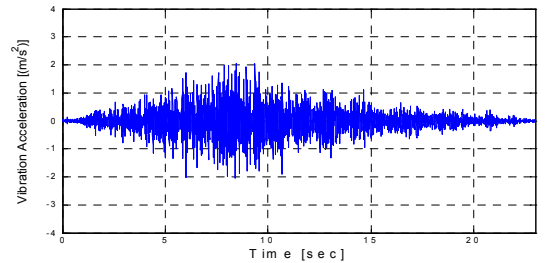
Train	Direction (track)	Vibration acceleration level(RMS)				Comparison with criteria
		Freq. peak		Freq. overall		
		cm/s <sup>2</sup>	dB	cm/s <sup>2</sup>	dB	
Subway	Down (2)	10.3	80.3	21.01	86.4	Exceed the office
Saemaul	Down (4)	4.3	72.7	7.47	77.5	Exceed the office
Mugung-hwa	Up (4)	7.9	78.0	12.00	81.6	Exceed the office
Freight	Down (6)	9.2	79.3	24.96	87.9	Exceed the office



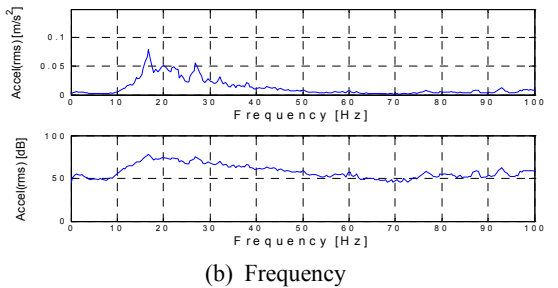
(a) Time data



**Fig. 10** Saemaul train(a down train / track 4)



(a) Time data



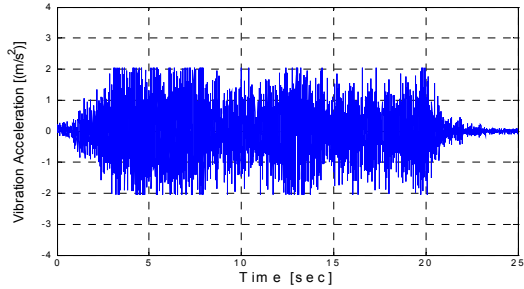
(b) Frequency

(c) Comparison with criteria

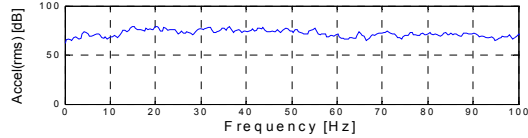
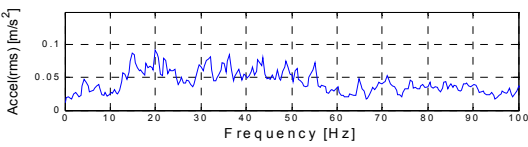
**Fig. 11** Mugung-hwa train(a up train / track 4)

들어설 부분과 인접한 5, 6 선로의 경우 화물열차의 운행이 잦고, 일정 시간 간격을 두고 무궁화호와

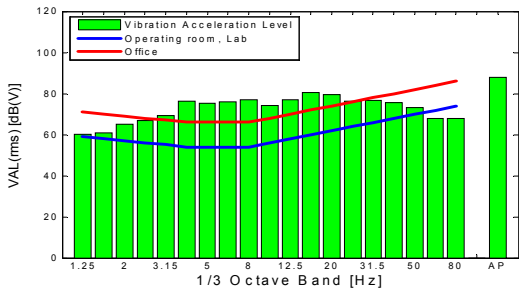
새마을호가 3~6번 선로로 운행되고 있기 때문에 열차 운행에 따른 진동이 기초 및 지중보로 전달되어 기둥을 통해 역사 내부에 진동의 영향을 미칠 것으로



(a) Time data

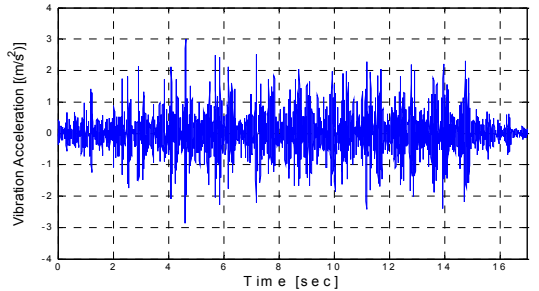


(b) Frequency

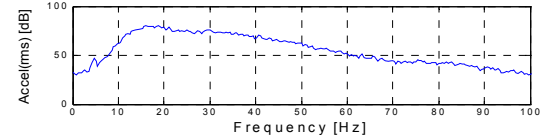
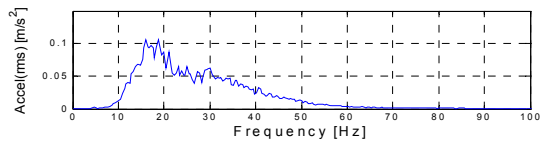


(c) Comparison with criteria

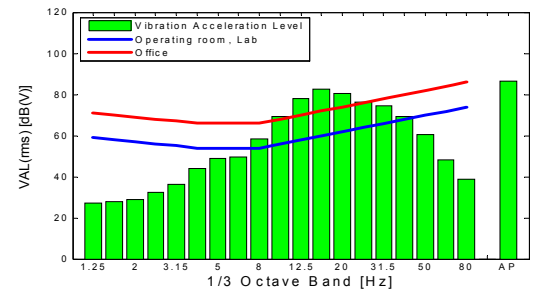
Fig. 12 Freight train(a down train / track 6)



(a) Time data



(b) Frequency

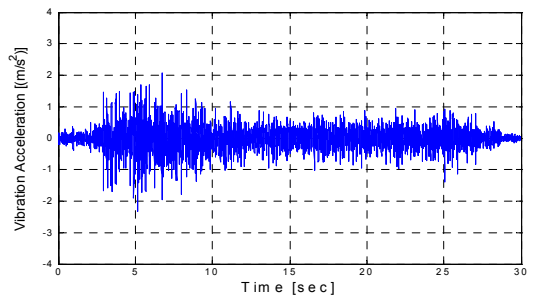


(c) Comparison with criteria

Fig. 13 Subway(a up train / track 8)

Table 3 Vibration level(RMS) between track 4 & 5

Train	Direction (track)	Vibration acceleration level(RMS)				Comparison with criteria
		Freq. peak		Freq. overall		
		cm/s <sup>2</sup>	dB	cm/s <sup>2</sup>	dB	
Subway	Up (8)	10.6	80.5	21.43	86.6	Exceed the office
Saemaul	Down (4)	5.2	74.3	10.69	80.6	Exceed the office
Mugung-hwa	Up (4)	7.5	77.5	15.59	83.9	Exceed the office
Freight	Up (6)	12.3	81.8	31.23	89.9	Exceed the office



(a) Time data

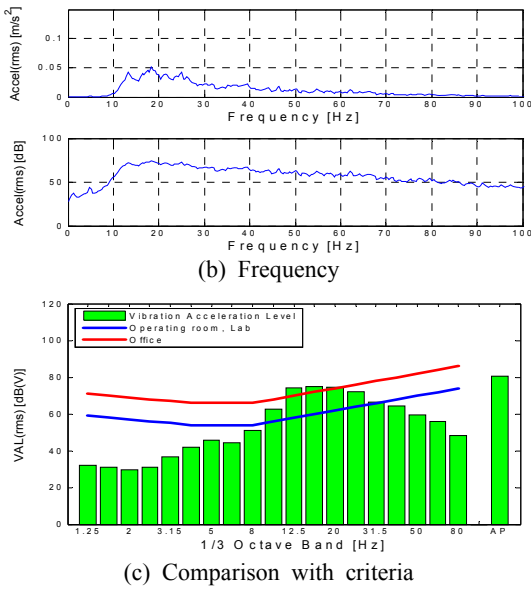


Fig. 14 Saemaul train(a down train / track 4)

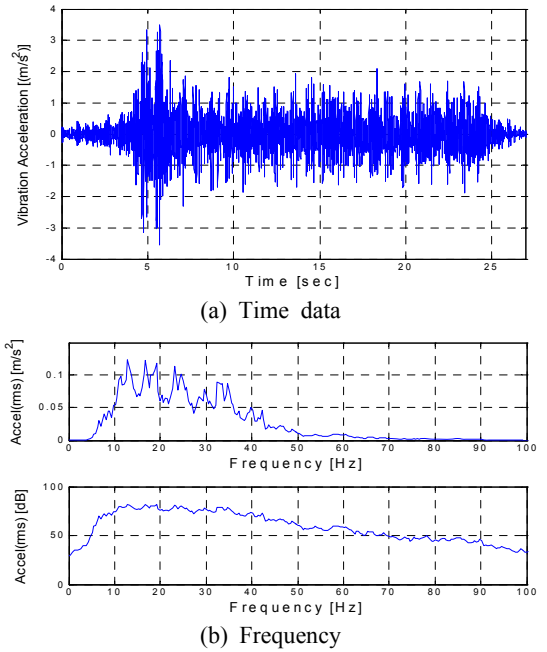


Fig. 15 Mugunghwa train(a up train / track 4)

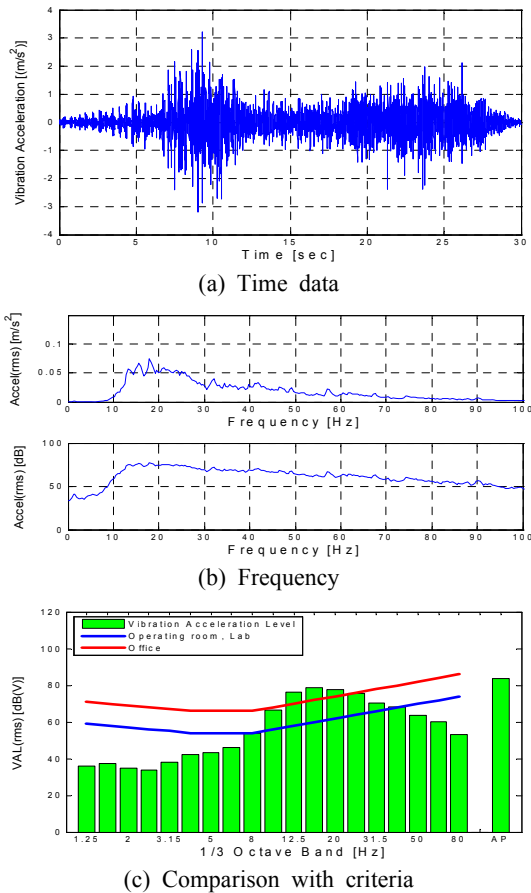


Fig. 16 Freight train(a up train / track 6)

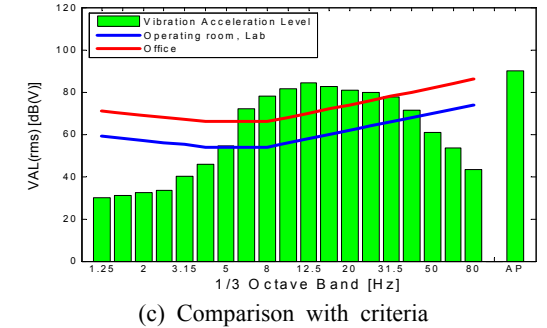


Fig. 17 Freight train(a up train / track 6)

판단된다. 또한 진동의 주류를 이루는 주파수 대역은 열차와 관계없이 16 Hz 이상임을 확인할 수 있었다. 이는 경부선철도의 측정 결과와도 일치하고 있음을 볼 수 있었다<sup>5)</sup>.

#### 4. 결 론

이 연구의 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 실내 진동측정 결과 열차의 운행으로 인해 발생하는 진동이 기존 역사 내부에 영향을 미쳐 진동인식기준 초과 및 사무실 허용기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이는 열차진동이 기초 및 기둥을 통하여 역사 내부로 전달되는 것으로 판단된다.

(2) 실외 진동측정 결과 열차의 진동값의 수치가 매우 크게 나타났다. 실외 측정지점 중 선로 외곽부분의 경우 증축 역사의 지하층 외벽과 근접한 지점이기 때문에 열차 운행에 따른 대부분의 진동이 증축 역사의 지하층 외벽을 통해 전달되어 증축 역사 내부에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 또한 중앙지점의 경우 증축 역사의 기초 및 지중보가 위치하여 열차진동이 발생되면 진동이 기초 및 지중보로 전달되어 기둥을 통해 상부의 증축 역사 내부에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

## 참 고 문 헌

(1) Jeung, S. H. and Choi, H. I., 1997, "A Study of Vibration on Residential Area Near by Rail road," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 117~125.

(2) Environmental Department, 1995, The Official Test Procedure for Noise & Vibration.

(3) ISO 2631-2:2009, Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 2 : Continuous and Shock-induced Vibration in Buildings(1 to 80 Hz).

(4) KS B 0710-1:2001, Mechanical Vibration and Shock-evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 1 : General Requirement.

(5) Yu, D. D., Shin, D. S., Sul, J. M., Kang, D. J., Park, J. C. and Lee, J. I., 1997, "Characteristic and Propagation of Railroad Vibration in Kyoungbu Line," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 597~604.