

Analytical Evaluation of Airborne Noise for the Building Structure' on Railway Transportation Systems

* . †

Jun-oh Yeon and Kyoung-woo Kim

(Received November 5, 2013 ; Revised December 9, 2013 ; Accepted December 9, 2013)

Key Words : Railway Noise(철도소음), Noise Map(소음지도), The Prediction Model(예측모델), Apartment Building(공동주택), Artificial Land(인공대지)

ABSTRACT

The useful practical land shall be reserved when an artificial land covers the railway and road. However, the problem is that since the artificial land places directly on the top of noise sources likely on the railway and road there will arise the weak points, noise and vibration. On this study based on creating the artificial land on the top of a railway vehicle base and placing a tenement on that land, it was comprehended the noise influence from the railway car through the simulation. In order to secure the input value for the simulation, at first measured the noise condition of the railway station building and the railway vehicle base. The output value for the railway station building (place A) was around (53.6~57.6) dB(A), the equivalent continuous sound level for an hour, and for the railway station building (place B) it was around (63.7~68.9) dB. The maximum outdoor noise of the tenement on the artificial land was measured as 64.1 dB(A) under the fixed condition on the simulation modeling. The built purpose of placing the artificial land to prevent the noise influence from the railway met the expectation to be less influenced on the tenement. Rather, because of placing the artificial land the noise level on the lower space could be increased so there requires having a noise control.

1.

공동주택은 국내 주거형태의 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 저소득층 주거안정을 위하여 저렴한 주택공급을 위한 수단으로 자리 잡고 있다. 서민 임대주택 공급을 확대하기 위하여 도시 인프라(철도, 도로 등)가 구성된 위치에 택지를 조성하고 저

렴한 비용의 주택을 제공하기 위한 주택공급 방식이 등장했다⁽¹⁾. 이러한 공급방식은 도심지 내의 인프라(철도, 도로, 우수지 등)의 수직·수평적 활용을 통한 수직 입체 건축물(인공대지+공동주택)을 제공하는 것이라 할 수 있다. 이러한 주택을 건설하기 위해서는 철도나 도로의 상부에 인공대지를 설치하고 인공대지에 공동주택을 시공하는 방법도 있다. 도심의 미(未)활용 대지를 활용하고 교통인

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Construction Technology
E-mail : kwmj@kict.re.kr
Tel : +82-31-910-0356, Fax : +82-31-910-0361
* Member, Korea Institute of Construction Technology

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

프라의 활용성을 극대화할 수 있는 장점이 있다. 배음규⁽²⁾ 등은 철도지중화로 인한 공간의 재구성의 필요성을 인식하고 도시공간의 전략적 계획을 연구하기도 하였다.

철도나 도로 상부에 건설되는 건축물은 교통소음·진동에 지속적인 영향을 받기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다. 철도소음을 저감하기 위해 철도 콘크리트 슬래브 궤도의 진동방지 연구, 흡음블럭 개발 연구, 사운드스케이프 방법을 이용한 철도소음평가 등 다양한 연구가 수행되어 왔다⁽³⁻⁵⁾. 그러나 철도레일 직상부에 건축물 설치 사례가 극히 드물기 때문에 소음에 대한 영향 파악이 필요하다.

따라서 이 연구는 철도 부지를 대상으로 부지 상부에 가상으로 인공대지와 공동주택을 건설하고 철도소음에 대한 소음영향정도를 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용되는 소음원의 입력값 확보를 위하여 지하철 역사와 차량기지 소음측정을 수행하였다.

2.

2.1

철도부지를 활용한 공동주택의 소음에 대한 영향정도를 분석하기 위하여 2가지 조건에서 지하철소음을 측정하였다. 우선 지상에 역사가 존재하는 A역사에서 철도 통과시 발생소음의 특징을 측정하였다. Fig. 1은 A역사의 측정점 위치를 나타낸다. 측정점은 철도 경계벽으로부터 일렬로 20 m씩 이격하여 4점에서 수행하였으며, 마이크론의 높이는 지면으로부터 1.5 m에 설치하였다.

또한, 철도부지의 활용도가 높은 넓은 대지를 보유하고 있는 B차량기지에서 차량이동시 소음을 측정하였다. Fig. 2는 B차량기지 측정점 위치를 나타낸다. 측정점의 위치는 ch1에서 ch4로 철도 차량의 속도가 가장 빠르다고 예상되는 진·출입로와 차량기지로 복귀하는 차량과 본선으로 나가는 차량이 겹치는 분선 구간 등을 측정 위치로 하였다. 마이크론의 측정 높이는 A지점과 동일하다.

측정은 일정시간 동안 시간이력에 따른 소음레벨 변화를 각 측정점에서 동시에 레코딩하여 추후 연구실에서 분석하였다. 사용된 장비는 Table 1과 같다.



Fig. 1 Test point in station A



Fig. 2 Test point in subway base B

Table 1 Equipment for measurement and analysis

Equipment	Model	Manufacturer
Frequency analyzer	Harmonic	01 dB
Microphone	UC-53A	RION
Microphone preamplifier	NH-22	RION

2.2

시뮬레이션에 사용된 예측식은 Road : RLS 90, Rail : Schall 03, Industry : ISO 9613-2(1996)⁽⁶⁾ 등을 사용하였으며, 프로그램은 Sound Plan 7.2를 사용하였다.

실제 측정된 두 지점의 철도소음 결과를 바탕으로 활용도가 높고, 넓은 대지를 보유하고 있는 B 차량기지를 시뮬레이션 평가 대상 지역으로 선정하였다. 시뮬레이션 평가는 차량기지 상부의 인공대지 위에 건립되는 공동주택의 소음도를 예측하였으며, Fig. 3과 같이 모델링을 진행하였다.

모델링은 인공대지 면적에 설치 가능한 공동주택을 건축계획 측면을 고려하여 배치하였으며, A, B, C, D 동은 15층, E, F 층은 24층으로 구성하였다. 한 층의

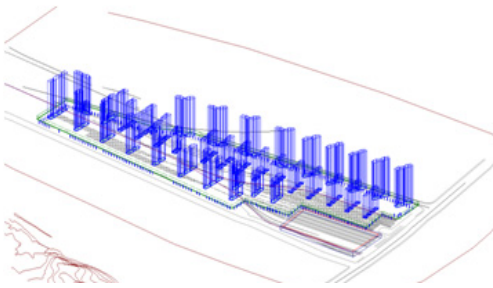


Fig. 3 The 3D modeling of subway base B

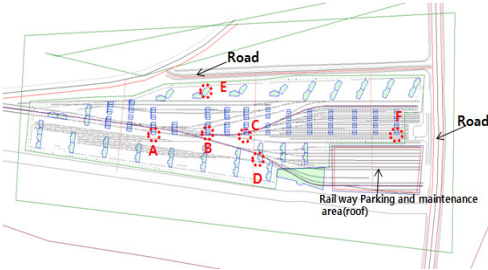


Fig. 4 The simulation for evaluation from building

높이는 3 m이다. 차량기지 주변은 논밭 등 주변 건물이 많지 않기 때문에 주변건물은 고려하지 않았다. 인공대지 지지 구조는 기둥으로 모델링 하였으며, 인공대지 바닥높이는 기존 철도레일로부터 상부 15 m 이격하여 설치하는 것으로 구성하였다. 차량기지에 인접한 도로의 외부 도로교통소음은 환경부 도로교통소음 측정망⁽⁷⁾을 기준으로 55 dB(A)의 입력값을 부여하였다.

시뮬레이션 평가시 분석점 위치는 Fig. 4와 같이 현장 측정위치와 동일한 위치인 인공대지 상부 공동 주택 4곳과 외부 도로교통소음에 취약한 부근의 동 1곳, 차량 검수고와 도로에 가장 인접한 1곳을 포함한 6곳을 대상으로 하였다. 대상층은 15층 전 층으로 하였으며, 수음점 위치는 건물외벽에서 1 m 이격하여 설정하였다. 철도운행에 따른 진동에 대한 영향은 배제하였다.

3.

3.1 A

A역사는 지상에 위치한 지하철 역사로 지하철 뿐만 아니라 화물차의 이동도 발생하는 곳이다. 측정시간동안 화물차는 2회 운행되었으며, 지하철은 역사로

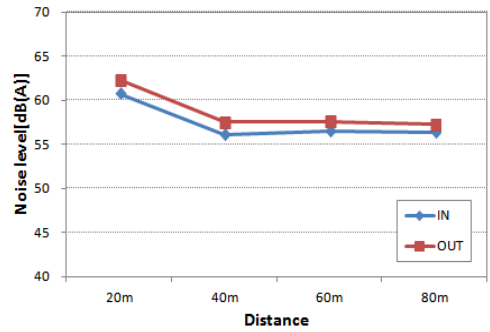


Fig. 5 Noise distribution level in a metro station A

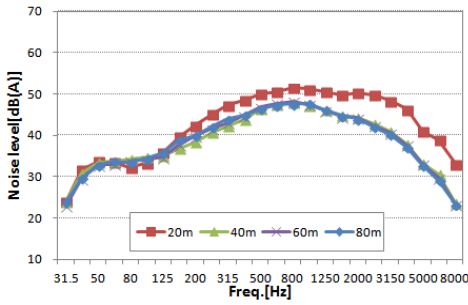
진입 21회, 진출 19회로 유사한 운행패턴을 보였다. 지하철 진입시 20 m 지점에서 각각 (57.3~64.7) dB(A), 진출시 (58.5~64.6) dB(A)에 분포하여 거의 유사한 레벨(L_{eq})을 보였다.

Fig. 5는 지하철 운행회수에 따라 각각 측정된 소음레벨(L_{eq})의 평균치를 이격거리별로 나타낸 것으로 20 m와 40 m는 약 4.6 dB(A)의 거리감쇠로 소음레벨이 저감되었다. 지하철 진출 소음이 진입소음보다 모든 측정점에서 높은 것은 차량이 정지 후 출발로 인한 엔진 부하에 따른 영향으로 판단된다. 40 m 이후 측정점은 인접 건물과 후면 건물의 반사음의 영향으로 거리감쇠 특징이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

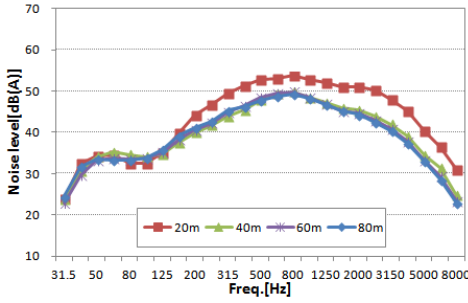
Fig. 6은 지하철 운행시 운행시간 동안의 각 측정점에서 L_{eq}의 주파수 평균을 나타낸 것이다. 지하철 진입시 브레이킹 소음이 발생되고 있었으나, 지하철 진입과 진출에 따른 소음레벨, 주파수 특성은 거의 유사하게 측정되었다. 800 Hz에서 최대소음레벨을 보이고 양측으로 레벨이 저하되는 특징을 보였다. 측정점 이격거리에 따라 20 m에서 가장 높은 소음레벨을 보였으며, 40 m~80 m 거의 유사한 레벨을 보였다.

Fig. 7은 화물열차의 주파수 특성으로 지하철과는 다르게 100 Hz 저주파수 부근에 소음레벨이 높은 특징을 보였다. 화물열차의 특성상⁽⁸⁾ 지하철보다 차량운행시 엔진 등 부하가 크게 걸리기 때문에 저주파수 영역 성분이 많은 것으로 판단된다. 측정점 간 거리감쇠 특성도 지하철과 유사하게 나타났다.

Fig. 8은 지하철 운행회수별로 분석한 측정 지표들(L_{eq}, L₅, L_{max}, SEL) 간의 상관성을 분석한 결과이다. L_{eq}와 각 지표들 간의 상관성은 지하철 진

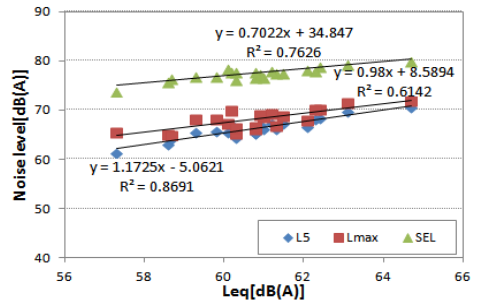


(a) In

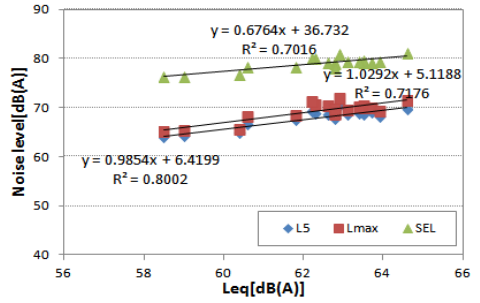


(b) Out

Fig. 6 Frequency characteristic in a metro station A (subway)



(a) In



(b) Out

Fig. 8 Correlation between the measurement indexes

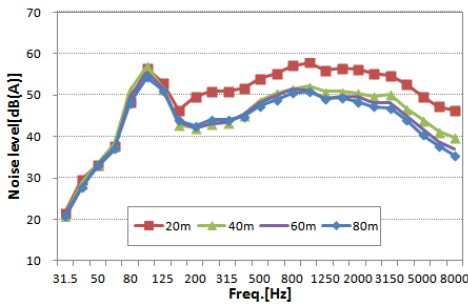


Fig. 7 Frequency characteristic in a metro station A (freight train)

입과 진출시 모두 유사한 선형회귀 경향을 보이고 있었으며, Leq와 L5 간의 결정계수가 가장 높은 것으로 분석되었다. 지하철 운행시간 동안의 폭로레벨은 간헐 소음의 평가지표로 사용되고 있으며, 0.7 이상의 결정계수를 보이고 있다.

소음·진동 공정시험기준(환경부 고시 제2010-142호)⁹⁾의 철도소음한도 측정방법에 따라 1시간 단위로 평가한 소음레벨(Leq)은 (53.6~57.6) dB(A)로 나타나 Table 2의 환경소음기준치 보다 낮은 것으로

Table 2 Standard for railway noise in Korea, South

Site	Noise/ Vibration	Limited	
		Day (06:00 ~ 22:00)	Night (22:00 ~ 06:00)
Residential area, green zone, hospital, school, Childcare facilities within 50 m from the boundary region etc.	Noise (Leq dB(A))	70	60
	Vibration (dB(V))	65	60
Commercial area, Industrial area, Production Management area, Retail Development Promotion zone etc.	Noise (Leq dB(A))	75	65
	Vibration (dB(V))	70	35

나타났다. 철로 상부에 인공지반을 건설하고 인공지반 위에 공동주택을 건설하게 되면, 지하철 운행소음은 인공지반이 방음벽 역할을 담당하게 되어 상부 공동주택에 전달되는 소음도는 더욱 낮아질 것으로 판단된다.

3.2 B

지하철 운행 종료후 차량정비와 청소 등을 위하여 차량이 모이는 B차량기지는 Fig. 9와 같이 소음레벨이 변동하는 것으로 나타났다. 배경소음은 50 dB(A) 정도이며, 최대 소음레벨은 81.5 dB(A)로 측정되었다. 20시 부근에 차량의 진입이 증가하여 소음레벨이 높아지는 횟수가 많아지며, 자정이 지난 후에 입고되는 차량수가 증가되는 패턴을 보였다. 새벽 5시 정도에 차량기지를 출발하는 차량의 수가 증가되는 것을 알 수 있다. 차량기지로 진입하는 지하철은 진입속도는 20 km/h 미만으로 운행하고 있으나 레일의 연결부위와 레일 변경시 발생하는 차륜소음과 브레이킹 소음이 많은 것으로 분석되었다.

Fig. 10은 차량진입이 많은 20시부터 2시간 동안에 차량 진입시 발생하는 등가소음도의 각 측정위치별 평균 주파수 특성을 나타낸다. 전반적으로 A역사 주파수 특성과 유사한 경향을 보이고 있으나 80 Hz 부근에서 레벨이 상승하는 형태를 취하고 있다. 레일 분기점에 인접한 ch1에서 레벨이 가장 높게 나타났으며, 나머지 측정점 간의 레벨은 유사하게 측정되었다.

2시간 동안 차량진입 시간 동안의 등가소음레벨은 (58.9~73.8) dB(A)로 나타났으며, 소음-진동 공정시험

기준 1시간 단위 등가소음레벨은 (63.7~68.9) dB(A)로 분석되었다. 철도소음 기준인 주간 70 dB(A) 보다 낮은 수치를 보여 주고 있다. 그러나 Fig. 9와 같이 22시 이후에도 차량의 진출입이 지속적으로 발생되기 때문에 야간의 환경소음기준에 대한 고려가 필요하다.

22시 이후 1시간 간격으로 등가소음레벨을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 분석 결과 차량이 본선에서 업무를 마치고 차량정비를 위해 기지로 복귀하는 자정부터 오전 2시까지 소음도가 증가하는 것

Table 3 Equivalent noise level at night[dB(A)]

Time	Measurement point			
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
22:00~23:00	54.2	60.1	53.9	55.4
23:00~24:00	57.2	64.5	58.1	63.3
24:00~01:00	61.6	66.2	59.8	63.6
01:00~02:00	58.3	62.6	60.0	62.9
02:00~03:00	51.4	53.9	54.5	56.0
03:00~04:00	54.7	59.1	59.1	60.0
04:00~05:00	50.1	49.5	49.4	49.4
05:00~06:00	62.0	63.4	60.4	61.2

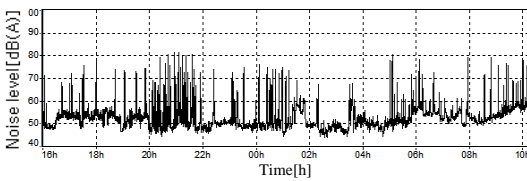


Fig. 9 Test results from time history(ch1)

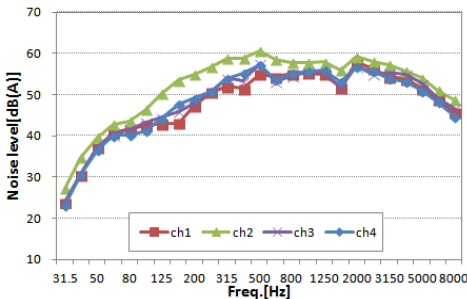
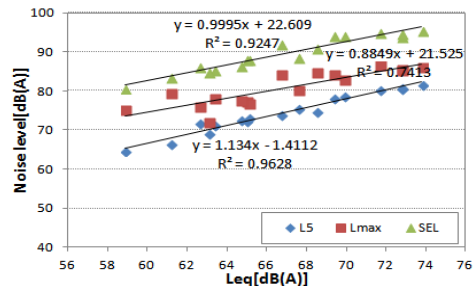
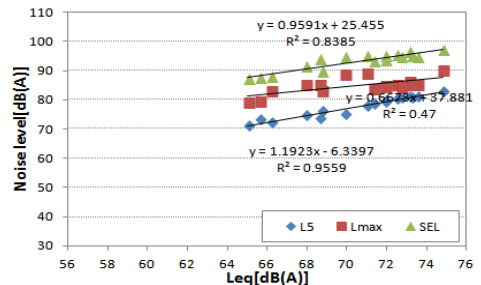


Fig. 10 Frequency characteristic in a metro station B (subway)



(a) Ch1



(b) Ch2

Fig. 11 Correlation between measurement indexes

으로 분석되었다. 그 이후 5시 이전까지 60 dB(A) 이하의 소음 분포를 보였으며, 차량기지를 출발하는 시간 오전 5시에서 6시 사이에 소음도는 증가하는 것으로 분석 되었다.

Fig. 11은 측정지점 1, 2에서 22:00~24:00의 차량운행으로 측정된 소음지표들 간의 상관성을 나타낸다. 등가소음레벨과 가장 높은 결정계수를 보이는 지표는 L5로 0.9559~0.9628의 결정계수로 분석되었다.

4.

차량기지위에 인공대지가 형성될 경우 인공대지

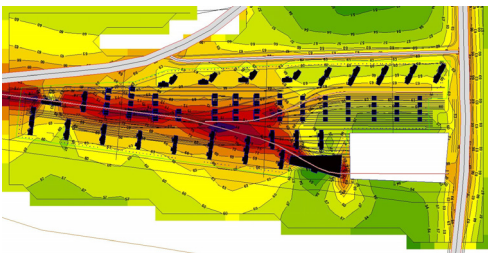


Fig. 12 The result on the noise grid map(lower of artificial land)

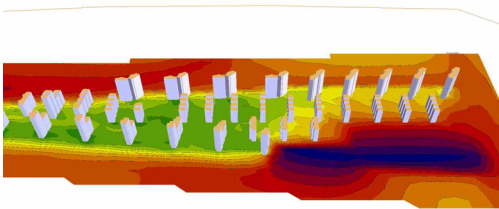


Fig. 13 The result on the noise grid map(upper of artificial land)

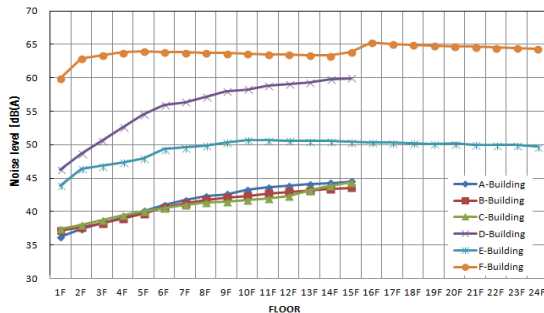


Fig. 14 The result from simulation

내부 소음도의 시뮬레이션 결과 Fig. 12와 같이 소음도(Leq)는 최대 81 dB(A)로 나타났다. 현장에서 측정된 측정치 보다 소음도(Leq)는 약 19.0 dB(A) 증가된 것은 내부 차량에서 방사되는 소음이 외부로 방사되지 못하고 인공대지 하부 콘크리트 면에 반사되어 지속적으로 내부에 머물러 있기 때문이라고 사료된다

인공대지 상부 20 m에서 외부로 방출되는 소음도의 시뮬레이션 결과는 Fig. 13과 같이 나타났다. 외부로 방출되는 소음도는 도로와 근접한 부분에서 도로교통 소음과 합쳐져 최대 65 dB(A)까지 나타났다. 이러한 조건에서 인공대지 상부 6개동의 소음예측결과는 Fig. 14와 같이 나타났다.

인공대지 상부에 위치한 건물 A, B, C의 소음도는 최대 45.0 dB(A)에 이하였으며, 건물 D의 경우 1층에서 46.3 dB(A)로 상부 층으로 갈수록 소음도는 최대 60.0 dB(A)까지 증가하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션 대상 건물 D의 경우 A, B, C의 건물과 달리 소음도가 증가된 것은 인공대지 끝 부분과 차량 검수고 건물 사이에서 방사된 소음 때문인 것으로 판단된다.

도로에 인접한 E건물의 경우 1층의 소음도가 43.0 dB(A)로 상부 층으로 갈수록 거리감쇠에 의하여 소음도는 저감되는 것으로 나타났다. 또한, 도로와 차량기지 검수고와 가장 인접한 건물 F의 경우에는 인공대지 하부의 차량 소음이 검수고 부분으로의 유입과 도로교통소음의 영향이 더해져 1층의 소음도가 59.9 dB(A)로 나타났으며, 15층까지 소음도는 63.0 dB(A) 전후로 파악되었다. 그러나 16층에서는 소음도가 2.0 dB(A)가량 증가하여 65.3 dB(A)로 가장 큰 소음도가 나타났으며, 상부로 갈수록 소음도는 저감되었다.

5.

철도 레일 상부에 인공지반을 건설하고 인공지반에 공동주택을 건설하는 경우에 고려해야하는 소음 영향정도를 파악하기 위하여 지하철 역사 및 차량기지의 소음측정과 가상으로 차량기지 상부 인공지반과 공동주택에 대한 소음 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 지하철 A역사의 1시간 등가소음레벨은 (53.6

~57.6) dB(A)로 환경소음기준치 보다 낮은 것으로 나타났으며, 화물차는 지하철에 비하여 저음역 부근의 레벨이 높은 특징을 나타내었다.

(2) B차량기지는 20시부터 1시간 동안의 등가소음레벨은 (63.7~68.9) dB(A)로 분석되어 환경기준치를 만족하는 것으로 나타났으나, 야간 일부 시간대에 환경소음기준을 초과하는 것으로 측정되었다. 차량기지의 특성상 야간에 차량정비 등의 작업이 많이 수행되기 때문에 차량기지에 인공지반과 공동주택을 건설하는 경우에는 야간 소음피해에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 시뮬레이션 평가 결과 B차량기지의 내부 소음도는 현장에서 측정된 측정치 보다 증가하는 것으로 나타났으며, 인공대지 상부에 형성되는 공동주택은 외부 소음기준 70 dB(A)를 만족하는 것으로 나타났다. 인공대지 상부 건물의 배치가 인공대지 중앙부분에 위치할수록 소음도는 저감되는 것으로 나타났으며, 주변 도로나 하부 소음도의 유입이 쉽게 될 수 있는 경로에 배치된 건물일수록 소음에 취약한 것으로 나타났다. 그러나 하부 소음의 유입이 쉬운 부분은 추가적인 방음시설 즉, 방음벽 등의 설치로 차단될 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구는 2013년도 한국건설기술연구원 주요사업 “인공지반 입체건축물의 소음 진동 저감설계 기법 개발”연구비 지원에 의한 결과의 일부임.(수행과제번호:2013-0145-1-1)

References

(1) Ministry of Land, 2009, Infrastructure and Transport, Briefing Reference, Housing Model Project Full-scale Promotion Utilizing the Railway Site.

(2) Bae, W. K., Yoon, K. H. and Jung, J. D., 2010, An Urban Redevelopment Approach to the Railroad Track Area in Seoul, -Focused on the Area between Seoul Station and Yongsan Station, Journal of Urban Design, Vol. 11, No. 4, pp. 111~128.

(3) Ryue, J. S. and Jang, S. H., 2013, Characteristics

of Vibration and Sound Radiated from Rails of Concrete Slab Tracks for Domestic High Speed Trains, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 7, pp. 605~616.

(4) Park, T. H., Ko, J. H., Lee, K. M., Son, D. K. and Chang, S. I., 2013, The Effect of Shape on the Absorption Coefficient of Noise Absorbing Block for Hi-Speed Railway, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 323~324.

(5) Yoo, H. J., Lee, P. J. and Jeon, J. H., 2010, Evaluation of Railway Noise as a Concept of Soundscape, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 393~394.

(6) ISO 9613-2 : 1996, Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General Method of Calculation.

(7) Minister of Environment, 2011, Environment Statistics Portal, 'Noise Level Present Condition'.

(8) Cho, J. H., Koh, H. I., You, W. H., Kim, J. C. and Koo, D. H., 2008, Considerations of Emission Noise Standard for Railway Vehicles, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 529~533.

(9) Minister of Environment, Notification No. 2010-142, Sound and Vibration Operation Standard.



Kyoung-woo Kim, received Ph.D. in architecture engineering from hanyang university in 2009. He was working at KICT(Korea Institute of Construction Technology) as a senior researcher. his research interests include floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



Jun-oh Yeon, received master's degree from hanyang university in 2010 and he is currently majoring in floor impact sound and vibration in apartment. he especially is interested in sound characteristics due to insulation assembly.