

서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제29권 2003년 12월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol. 29, No.1, December 2003

도시철도 소음의 평가기준 및 평가방법의 적정성에 관한 연구

김 형 곤 · 장 서 일 · 오 진 우

(서울시립대학교 환경공학부, 서울시립대학교 대학원 환경공학과)

Study on Standard and Assessment of Urban Rail-noise

Hyung Kon Kim · Seo Il Chang · Jin Woo Oh

ABSTRACT

Korea has not had sufficient regulations or counterplan against railroad noise. Noise assessment is indispensable for researching real conditions of noise impact around railroad site. To develop assessment formulas that fit with Korean environment, one site, number one line, was selected, which had proper conditions for measuring. Each passing train was investigated to figure out the characteristics of noise by maximum noise level, pass-by time, Leq, distance and, exposure time. The assessment formulas are able to estimate Leq of near area of railroad by the maximum noise level.

- Key Words : railnoise, assessment, railnoise standard

1. 서 론

산업경제의 급속한 발전과 생활수준의 향상에 따른 유동인구 및 물동량의 증가로 교통량이 폭증하여 교통체증이라는 사회문제와 경제적 손실이 가중되고 있다. 고속도로의

등장과 함께 국민의 관심에서 벗어났던 대량수송 수단인 철도가 이러한 문제를 해결할 수 있는 유일한 대안으로 다시금 관심을 불러 모으고 있다. 또한 철도는 도시화의 진행에 따라 운송수단으로써의 사회적 요구가 점점 증대됨으로 열차편수의 증가와 편

성길이의 증대 및 고속철도의 도입이 시급해졌다. 철도는 대량수송 및 정시제 운행이라는 중요한 역할을 하면서도 다른 한편으로는 도시철도 철도연변에 주거하고 있는 사람들의 의식수준이 높아감에 따라 그들의 쾌적한 생활환경을 누릴 권리를 침해하고 있다는 점에서 철도소음은 새로운 환경오염으로 대두되고 있다. 그러나, 우리나라는 철도소음을 관리하는 기준이나 대책등이 제대로 마련되어 있지 않아 많은 문제가 발생할 소지를 갖고 있다. 철도주변의 소음문제를 해결하기 위한 기본수단인 소음기준에 대해 조사·검토하고 외국의 철도소음기준들과 비교하여 그 적정성에 대해 살펴보면, 현재 사용되고 있는 철도소음평가레벨식을 검토하기 위해 실제 도시철도가 운행되고 있는 현장에 나가서 측정을 하였다.

본 연구의 목적은 철도소음의 적정한 기준과 국내의 소음평가방법에 관해 고찰해 보기위해, 외국의 기준에 대해 조사하고 소음평가방법에 대해 조사·검토하였다.

2. 본 론

2.1 철도소음기준

우리나라의 경우 철도소음의 소음환경 기준^{5),6)}으로 1994년 11월 21일 총리령 제 473호로 철도소음한도를 제정하여 시행하고 있다. 소음평가량으로는 등가소음도(Leq,T)를 사용하고 있으며, 기준치는 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 철도소음 한도

(소음진동규제법 시행규칙 제37조 관련)

대 상	한 도((Leq, 1h)			
	2000년 1월 1일 ~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일부터	
	주간 (06:00 ~ 22:00)	야간 (22:00 ~ 06:00)	주간 (06:00 ~ 22:00)	야간 (22:00 ~ 06:00)
주거지역 외	70	65	70	60
상업지역 외	75	70	75	65

평가장소로는 건물외부 전방 1.0 m에서 실시되고, 평가방법은 측정과 계산 두가지에 의해 수행된다.

2010년 1월 1일부터는 모든 철도에 대해 야간기준이 5dB 강화된 철도소음한도가 적용된다.

외국의 철도소음기준⁹⁾을 살펴보면 영국은 철도소음자체에 대한 규제 등은 없지만 주택건설이나 토지 이용에 있어서는 법령(The Noise Insulation Regulation, 1995)에 따라 많은 제약이 설정되어 있다. 이 규칙은 1973년에 제정된 토지보상법에 규정된 것이다. 소음평가량으로는 등가소음도(Leq,T)를 사용하며 기준치는 주간(06:00 ~ 24:00) 68 dB(A) ,야간(24:00 ~ 06:00) 63 dB(A)이며 평가장소는 건물전방 1.0 m, 평가방법으로는 측정도 허용하지만 원칙적으로 계산방법으로 한다. 적용대상은 신설선 및 대규모 개량선이며, 기준치를 초과하는 주택에 대해서는 사업자가 주택 방음공

사 등의 필요한 대책을 강구하여야만 한다.
네덜란드의 경우에는 1979년에 제정된 소음

<표 2-3> 독일의 철도소음 기준dB(A)

지역유형	주간 (06:00 ~ 22:00)	야간 (22:00 ~ 06:00)
병원, 학교, 요양소, 양로원	57	47
주거전원지역, 소규모집락	59	49
도심, 촌락지역, 혼재지역	64	54
상공지역	69	59

방지법을 정비하여 1987년 말에 완전한 체계가 갖추어 졌다. 소음평가량으로는 등가소음도($L_{eq,T}$)를 사용하며, 기준치로는 주간(07:00 ~ 19:00)은 L_{eq} 의 가장 큰 값으로 평가되고, 저녁(19:00 ~ 23:00)은 L_{eq} 의 가장 큰 값에 5 dB를 더하고, 야간(23:00 ~ 07:00)은 10 dB를 더하여 평가되고 있다. 철도의 종류에 따른 기준치는 신설철도의 경우 60 dB(A) (2000년에는 57 dB(A))이며, 대규모 개조선은 원칙적으로 현상태의 소음레벨을 초과할 수 없고, 기존철도는 65 dB(A)(이 값을 초과할 때는 국가는 지방행정부에 대책을 수립하기 위한 재정적 지원을 하게 되어 있다.)이다. 평가장소는 개방된 공간이며, 평가방법은 계산에 의한다. 적용대상은 신설 및 기존철도 그리고 고속철도에도 적용된다. 만일 소음레벨이 기준치를 초과하는 경우에 사업자는 방음벽 등의 설치대책을 시행하여야만 한다.

일본의¹⁰⁾ 경우 신간선에 대해서는 최고소음도를 적용하지만 새로이 건설되는 재래식 철도에 대해서는 지침으로 <표 2-2>와 같이 등가소음도를 적용하고 있다.

다.

<표 2-2> 일본의 재래식 철도소음 지침

단위 : L_{eq} dB(A)

대 상	주간(07 ~ 22시)	야간(22 ~ 07시)
신 설 선	60	55

독일은 1990. 6의 교통소음방지법령에 따라 신설 및 대규모 개조를 한 철도에 대하여 처음으로 소음기준이 설정되었다. 이 법령은 도로교통소음에 대해서도 그대로 적용된다. 소음평가량으로는 등가소음도($L_{eq,T}$)를 사용하며, 기준치는 지역유형과 시간대별로 다음 <표 2-3>에 제시한 기준치가 설정되어 있다.

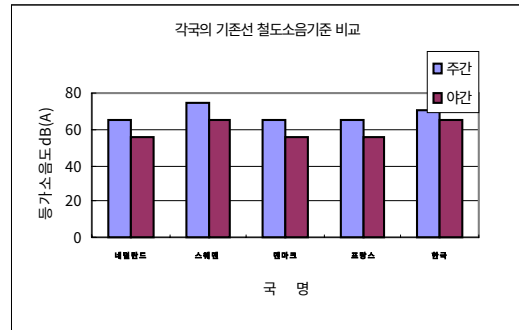
평가장소는 개방된 자유공간이며, 평가방법은 계산에 의해 이루어 지는데 계산방법들은 법령의 부속서에 제시하고 있다. 적용대상은 신설선 및 대규모 개량선에 적용되며, 만일 평가치가 기준치를 초과하는 경우 방음대책이 제시되어야만 한다. 또 방음벽 등의 대책을 강구하여도 기준치를 달성하지 못할 경우는 철도사업자는 연선주택의 가옥 방음의 비용보조를 하게 되어 있다.

국내철도소음한도와 외국의 철도소음기준을 비교하게 되면, 독일을 비롯한 스위스와 오스트리아에서는 철도소음이 도로교통소음처럼 연속적으로 발생되지 않고 간헐적으로 발생되기 때문에 도로교통소음 기준보다 5dB(A) 높게 설정하여 낮 시간대(06 ~ 22시)는 16시간 등가소음도, 밤 시간대(22 ~ 06)는 8시간 등가소음도로 신설철도를 관리하고, 프랑스의 경우에는 낮 시간대(08 ~ 20시)만 배경소음이 65dB(A) 이하인 지역에 등가소음도 70dB(A) 이하로 권고기준을 정해 놓고 있으며, 영국의 경우에는 최고소음도와 등가소음도를 병행해서 사용하고 있다. 또한, 일본의 경우에는 고속철에 대해서 최

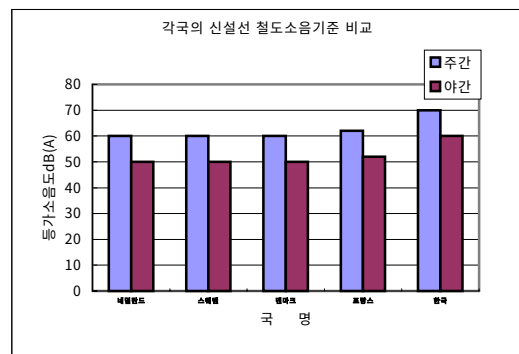
고소음도만으로 관리하고 있으나, 앞으로 신설되는 철도에 대해서는 등가소음도로 관리할 방침이다. 미국의 경우에는 수송협회 지침에서 L50를 사용하고 있으며, 수도 워싱턴 DC에서는 등가소음도를 조레기준으로 사용하고 있고, 우리나라와 생활수준이 거의 엇비슷한 홍콩의 경우 신설철도 뿐만 아니라 기존선에 대해서도 규제를 실시하고 있다. 여기서 주의해야 할 국가는 프랑스로 1976년부터 1994년 7월까지 TGV선에 대하여 규제 기준이 아닌 권고 기준을 적용해 왔으나 94년 7월 말부터 적용지역을 병원·학교와 주거지역, 도심 그리고, 상공업지역으로 세분화하고 기준을 강화하는 쪽으로 법령을 제정하여 시행하고 있다.

외국의 철도소음 기준과 우리나라의 기준을 비교해 보면 한국의 기준이 대략 주간은 5 ~ 10dB(A), 야간은 5dB(A) 높게 설정되어 있으며, 2010년부터 시행되는 철도소음한도에서 야간의 경우에만 5dB를 낮추는 것으로 되어있어, 철도소음기준의 강화라는 의미를 가지기에는 미미 한 것으로 생각된다. 또한, 이탈리아나 프랑스의 경우에는 지역구분이 좀 더 세분화 되어있으며, 스웨덴과 네덜란드의 경우에는 철도를 신설선, 개조선, 기존선 등으로 나누어 차등하여 관리하고 있다. 각 국 마다 기준치와 지역구분 등의 차이가 있으나, 공통적으로 단계적인 철도소음기준 강화를 목표로 하고 있음을 알 수 있다. <그림 2-1>, <그림 2-2>는 철도소음⁹⁾을 비교 한것이다.

<그림 2-1> 철도소음기준 비교



<그림 2-2> 철도소음기준 비교



2.2 국내의 소음평가방법^{5),6),7)}

국내에서 철도소음 평가는 일반적으로 측정 한 등가소음레벨 (Leq, 1h)이 적용되며, 등가소음은 통과시의 최대소음레벨, 노출시간, 운행빈도등에 의하여 결정된다. 소음·진동 공정시험법의 경우에는

$$L_{eq}(1h) = L_{max} + 10 \log(N) - 32.6[dBA] \quad (A)$$

$$L_{max} = 10 \log\left[\frac{1}{N} \left(10^{(0.1L_{maxi})} \right)\right]$$

N = 1시간 동안의 열차통행량(왕복대수)

$$L_{maxi} = I\text{번째 열차의 최고소음도} [dB(A)]$$

이며, 최대소음도와 운행대수에 의해 계산되어진다.

에너지 평균(Leq, 1h)법의 경우에는,

$$Leq_i = 10\text{Log}[(T_e/T) \times 10^{(0.1L_{\max i})}] \quad (B)$$

$$Leq = 10 \text{ Log}[10^{(0.1Leq_i)}]$$

$L_{\max i}$ = i번째 열차의 측정최대소음도 [dBA]

Leq_i = i번째 열차의 예측최대소음도 [dBA]

T_e : 노출시간, T : 측정대상 시간, sec

이며, 자유음장에서 주어진 시간 T 사이에서 다른 종류의 다수의 열차가 통과할 때 등가소음의 계산과정은 각 열차별 등가소음의 합으로 나타낸다. 에너지 평균법의 경우 원리에 가장 충실한 식이지만, 각 열차의 최대소음도와 노출시간들을 하나하나 다 측정하여야 하므로, 오히려 번거로운 계산이 되는 단점이 있다.

국립환경 연구원식은 다음과 같으며,

$$Leq = L_{\max} + 10\text{Log}(N \times (T_e / T)) - 15\text{Log}(R_a) \quad (C)$$

$$L_{\max} = 10 \text{ Log}[(1/N)(10^{(0.1L_{\max i})})]$$

$L_{\max i}$ = i번째 열차의 측정최대소음도 [dBA]

N : 열차 통과 대수 (측정대상 시간 중)

T_e : 노출시간(수도권 전철의 경우 6초 제시)

T : 측정대상 시간, sec

R_a : 기준거리에 대한 예측거리의 비
특이할 만한 사항은 거리에 따른 감쇠까지도 계산이 가능하다는 것이다. 또한, 노출시간의 경우 일반철도 대해서는 3.86초를 제시하고 있으며, 수도권 전철에 대해서는 6초를 제시하고 있다. 이번 연구에서는 국립환경연구원에서 제시한 노출시간 6초를 사용하였다.

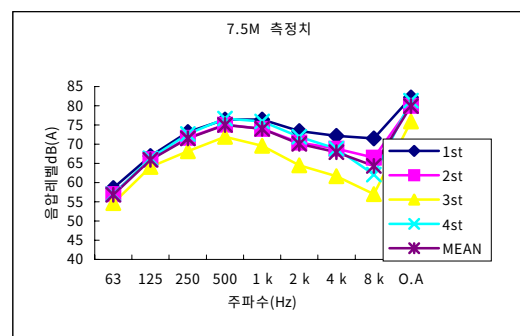
2.3 철도소음의 실측

지하철 1호선 및 국철구간을 운행하는 서울 시내의 회기역과 외대역 사이 구간중 중간 지점을 선정하여 철도소음을 실측하였다. 회기역과 외대역 사이의 구간은 복선구간으로 철도소음측정방법에 따라 상행선·하행선의 구분없이 함께 측정하였다.

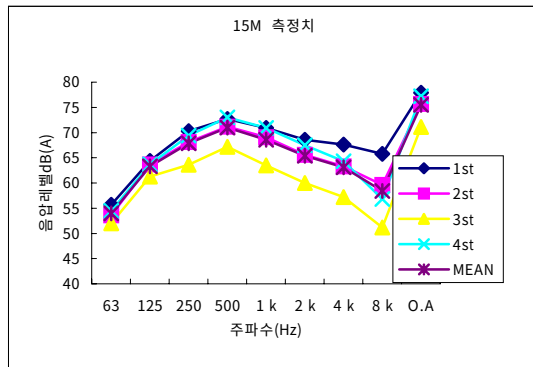
첫 번째로 거리에 따른 철도소음의 주파수대역별 감소를 알아보기 위해 철로로부터 7.5m와 15m떨어진 곳에서 전동차가 지나가는 동안 주파수대역별로 동시에 측정을 실시하였으며, 두 번째로 기존의 철도소음평가식의 신뢰성을 확인하기 위해 일정시간동안 통과하는 전동차의 대수와 통과시간, 최대소음도, 노출시간, 일정시간 동안등의 등가소음도를 측정하였다. 열차의 운행조건은 55 ~ 65km/h의 속력으로 운행하는 전동차를 대상으로 실측하였다. 또한, 측정장비로는 마이크로폰(Type 4935)과 소음계인 Bruel & Kjaer 2260 Investigator 그리고, Larson & Davis 820 (U.S.A, larson & davis)로 등가소음도 및 최대소음도를 측정하였다. 측정구간은 평탄한 직선구간이다.

7.5m와 15m에서의 측정결과는 <그림 2-3>과 <그림 2-4>에 나타내었다.

<그림 2-3> 7.5m 소음측정



<그림 2-4> 15m 소음측정



총 4차에 걸친 전동차 철도소음의 실측결과 소음도(sound pressure level)는 7.5m의 경우 75.9 ~ 82.2dB(A), 15m의 경우 71.1 ~ 77.9dB(A)로 실측되었으며, 주파수 대역별 분석결과 500 ~ 1000Hz에서 소음기여도가 가장 큰 것으로 나타났다. 그리고 열차가 통과하는 동안 7.5m와 15m떨어진 각 두 곳에서 측정한 등가소음도의 Overall값은 약 4.4dB(A)의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 철도소음의 경우에는 측정한 두 곳의 거리가 2배이므로 따라 약 4.4dB(A)감소하는 것으로 보아 선음원의 특성을 보이는 것으로 생각된다.

일정시간 동안 최대소음도와 등가소음도를 측정한 결과 철로 중앙으로 부터 7.5m에서 30분동안 측정(도시철도)의 경우<표 2-4>에 나타났다.

7.5m 지점에서의 측정치(30분간)				
통과 열차	평균통과 시간	평균Leq, passby	평균 Lmax	Leq, (30min)
(30min)	(sec)	dBA	dBA	dBA
14 대	14.1	75.6	79.5	71.3

<표 2-4> 7.5m 도시철도 측정치

철로중앙으로 부터 15m에서 11분동안 측정(도시철도)의 경우<표 2-5>에 나타났다.

<표 2-5> 15m 도시철도 측정치

15m 지점에서의 측정치(11분간)				
통과 열차	평균통과 시간	평균Leq, passby	평균 Lmax	Leq, (11min)
(11min)	(sec)	dBA	dBA	dBA
6 대	14.2	74.1	78	67.3

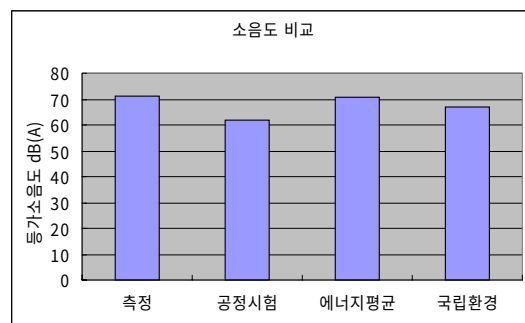
철로중앙으로 부터 7.5m에서 11분동안 측정

7.5m 지점에서의 측정치(30분간)				
통과 열차	평균통과 시간	평균Leq, passby	평균 Lmax	Leq, (30min)
(30min)	(sec)	dBA	dBA	dBA
1 대	14	78.8	83.2	61.9

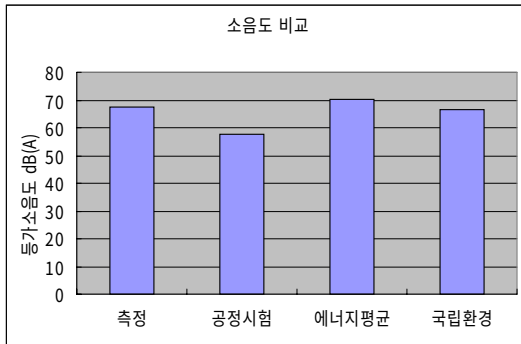
(중앙선열차)의 경우<표 2-6>에 나타났다.

<표 2-6> 7.5m 중앙선열차 측정치
측정자료를 이용한 기존 철도소음 평가방법들의 적용성 고찰을 위해 조사한 평가레벨식에 각 각의 측정된 데이터를 대입하여 계산하였다. 계산결과는 <그림 2-5>, <그림 2-6>, <그림 2-7>에 보는바와 같다.

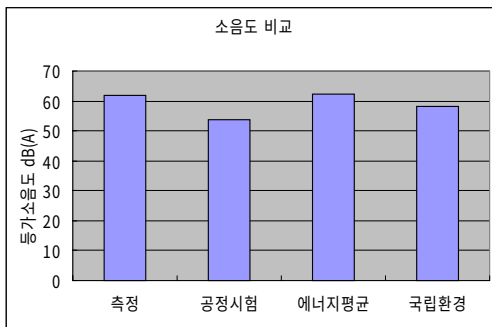
<그림 2-5> 7.5m 도시철도



<그림 2-6> 15m 도시철도



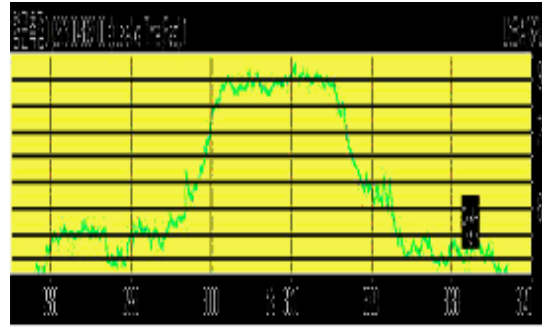
<그림 2-7> 7.5m 중앙선 열차



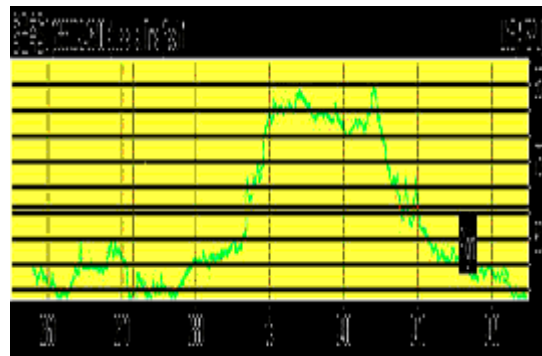
에너지평균법의 경우 측정소음도와 잘 일치하였고, 공정시험법식의 경우에는 10dBA, 국립환경연구원식은 3dBA정도 과소평가 되었다. 이는 수도권 전철의 노출시간을 6초로 너무 짧게하여 과소평가 되는 것으로 판단하였다. 그래서, 실제 도시철도 65대의 노출시간을 측정분석하였다. 분석결과는 <표 2-7>에 나타냈으며, 도시철도가 지나가는 동안의 평균적인 노출시간인 15초, 16초를 보이는 경우를 대표적으로 <그림 2-8> 그리고, <그림 2-9>에 나타냈다., <표 2-7> 노출시간의 측정과 분석

노출시간(sec)	운행대수(대)	비율(%)	비고
1 ~ 9	15	23	평균노출시간 15.2초 (총65대 측정)
10 ~ 19	38	58.5	
20 ~ 36	12	18.5	

실측한 Train Pass time-history의 분석결과 평균노출시간은 약15.2초로 분석되었다. <그림2-8> Train Pass time-history (15초)

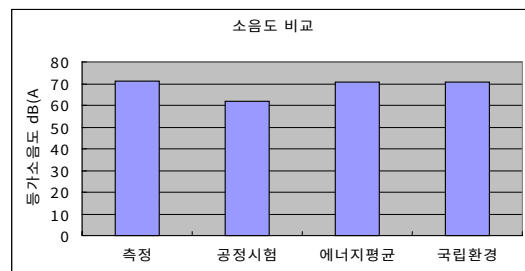


<그림2-9> Train Pass time-history (16초)

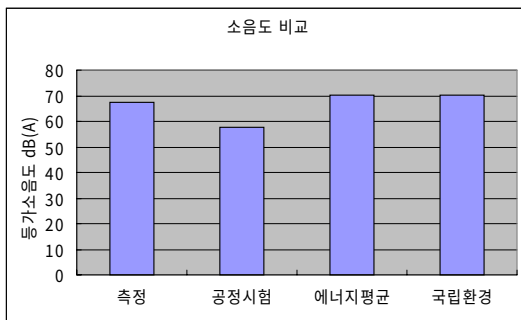


노출시간의 분석에 따른 평균 노출시간인 15.2초를 사용하여 기존 철도소음 평가식의 적용성을 고찰하였다. 고찰에 따른 결과는 <그림2-10>, <그림 2-11> <그림 2-12> 에 나타내었다.

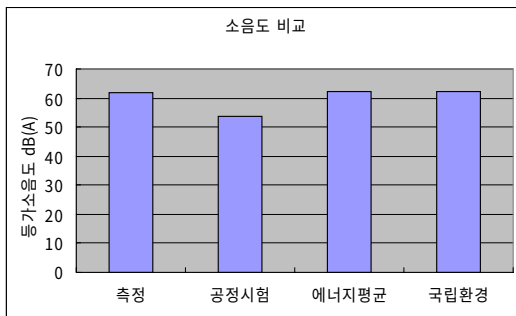
<그림2-10> 7.5m도시철도



<그림2-11> 15m 도시철도



<그림 2-12> 7.5m 중앙선 열차



노출시간을 국립환경연구원에서 제안한 6초가 아닌, 15.2초로 하였을 경우 국립환경연구원식이 실제측정소음도와 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

본 연구는 국내의 철도소음기준의 적정성과 소음평가방법의 신뢰성을 고찰 하였다. 국내의 철도소음기준인 철도소음한도는 외국의 철도소음기준들과 비교한 결과 5~10dB정도 높은 기준임을 알 수 있었으며, 외국의 철도소음기준을 살펴본 결과 기존선, 신설선, 개량선 등 철도운행사업년차에 따라 기준을 차등 적용하고 있으며, 규제지역 또한 보다 더 세분화하여 규정하고 있음을 알 수 있었다. 현재 국립환경연구원에서 제

시하고 있는 철도소음평가식의 경우 측정소음도와 평가소음도를 비교 한 결과 3.1dB정도의 차이를 보이고 있었는데, 이는 국립환경연구원에서 수도권 전철의 경우 제시한 노출시간인 6초가 너무 짧아 그런 것으로 판단하여, 노출시간을 측정·분석한 결과 평균노출시간이 15.2초로 도출되었다. 이를 사용하여 철도소음평가식을 검토한 결과 실제측정소음도와 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 평탄하고 직선인 구간에 대해서만 고려하였기 때문에 앞으로는 국내의 철도운행지역별, 운행현황등 각기 다른 환경에서 운행되는 철도의 소음을 평가하기 위한 평가방법의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) J.D. IRWIN and E.R. GRAF, Industrial noise and vibration control. Prentice-Hall(2001)
- 2) JAMES T. NELSON, Wheel/Rail noise control manual, National Academy Press(1997)
- 3) P.M. Nelson, Transportation Noise Reference Book, Butterworths(1987)
- 4) 환경법령집, 소음진동규제법(1995)
- 5) 사업장소음의 방지대책에 관한 연구(II), 국립환경연구원(1993)
- 6) 사업장소음의 방지대책에 관한 연구(III), 국립환경연구원(1994)
- 7) 강대준외 5인, 재래식 철도소음, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회(2003)
- 8) 황철호, 철도운행에 따른 소음·진동 문제 및 대책, 한국소음진동공학회 세미나(1997)

9) A Study of European Priorities And
Strategies For Railway Noise Abatement,
EU Commission

10) 정일록, 철도소음의 방지대책 및 환경
기준, 국립환경연구원(1994)