한국소음진동공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, pp. 1187~1192.

재래식 철도소음 특성

Characteristics of Conventional Railroad Noise

강대준* · 이석조** · 이우석** · 이재원** · 장성기** · 홍준기**
Daejoon Kang, Sukjo Lee, Wooseok Lee, Jaewon Lee, Seongki Jang and Junki Hong

Key Words : Conventional Railway Noise(재래식 철도소음), Rolling Noise(전동소음), Prediction(예측), Equivalent Continuous Noise Level(등가소음도)

ABSTRACT

The railroad noise has been considered as one of environment pollution and complaints about it have been increasing every year. Therefore, the establishment of railroad noise monitoring network is necessary. It will be designed for monitoring railroad noise, storing data of railroad noise continuously and providing the fundamental knowledge for the measures of railroad noise.

For this, we investigated the actual condition of railroad noise and status of noise level by floor in apartments around the capital region, Daejeon, Daegu, Gwangju, and Busan. Additionally, we present the basic data that will be used for predicting the noise level near railroad in the environmental impact assessment.

1. 서 론

산업·경제의 급속한 발전과 생활수준의 향상에 따라 점차 정온한 환경에 대한 국민의 관심이 고조되고 있다. 1993~1994년에 걸쳐 철도소음에 관한 연구[1,2]를 진행한 바 있으나 오랜세월이 경과하고 그동안 철도의 경량화, 레일의 중량화 및 장대화 등의 소음 저감대책이 꾸준히 진행되어 왔다. 이와같이 철도소음의 추이 파악 및 계속적인 철도소음자료의 축적, 철도소음 정책의 기초자료 제공의 일환으로 재래식 철도소음의 재평가가 필요하게 되었다. 이에 이 연구에서는 수도권, 대전, 대구, 광주, 부산 지역의 철도를 중심으로 지역별, 구간별 철도소음 실태 및 주변 공동주택에서 층별 철도소음 실태 등을 조사하여 철도소음의 기준설정 및 환경영향평가시 철도소음 예측과 저감방안 등에 관한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 특히 기존의 연구에서는 열차의 최고소음도(L_{max})를 이용하여 1시간 등가소음도($L_{eq,1h}$) 예측하였지만 이 연구에서는 이를 보완하는 동시에 열차의 통과소음도($L_{eq,passby}$)를 이용하여 철도 구간·노선별로 1시간 등가소음도($L_{eq,1h}$)를 예측하여 비교하였다.

* 정회원, 환경부 국립환경연구원
E-mail : djkang@me.go.kr
Tel : 032-560-7385 Fax : 032-560-7387
** 환경부 국립환경연구원

2. 조사내용 및 방법

철도소음의 측정은 ISO 3095[3,4]를 준용하여 선로 중앙으로부터 각각 7.5, 15, 25~30 m 떨어지고 소음측정기기(RION NL-14: 4대, RION NL-05: 4대, B&K 2231: 1대, SONY DAT: 1대, 01 dB Harmonie: 1 set)를 이용하여 철도소음을 측정하고 주파수분석기(RION SA-27, 01 dB Harmonie, B&K Pulse system)를 이용하여 주파수특성을 분석하였다. 또한 철도의 속력을 속력계(speed gun)로 측정하여 속력별 소음도 양상을 파악하였다. 열차의 종류에 따른 속력, 통과시간 및 통과대수의 조사와 함께 최고소음도(L_{max}), 통과소음도($L_{eq,passby}$), 1시간 등가소음도($L_{eq,1h}$)를 각각 조사·분석하였다. Fig. 1에 측정 및 분석 계통도를 나타내고 있다.

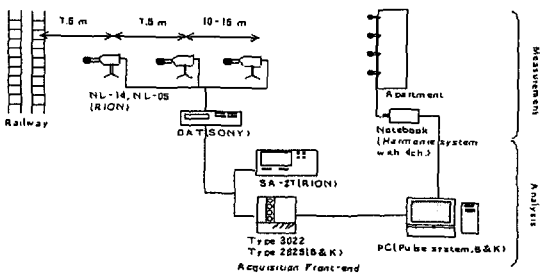


Fig. 1. System of measurement and analysis

3. 결과 및 고찰

3.1 철도소음 현황

1) 노선별 등가소음도 실태

노선별 1시간 등가소음도를 거리별로 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1. Railway noise status

Classification	$L_{eq,1h}$ dBA			No. of site	No. of train during 1h
	7.5 m	15 m	25 m		
Kyungboo line (Jochiwon~Daejeon)	68.4~76.2 (73.8)	65.1~72.9 (70.5)	63.1~70.6 (68.8)	3	7~20
Kyungboo line (Gimcheon~Daegu)	71.6~75.5 (73.4)	68.7~73.4 (70.3)	67.0~70.3 (68.3)	3	8~12
Kyungboo line (Daegu~Pusan)	75.9~77.7 (76.7)	-	-	1	6~11
Honam line (Songjeong~Iksan)	69.8~71.0 (70.4)	67.0~68.9 (68.0)	63.1~68.6 (67.3)	1	3~5
Gwangju line (Hanam~Gwangju)	65.0~68.6 (67.1)	63.2~65.8 (64.4)	61.7~63.3 (62.5)	1	2~3

2) 철도 소음도 비교(1993년과 2002년)

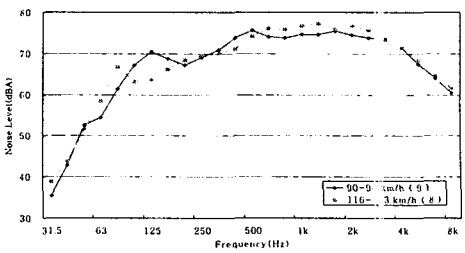
1993년과 2002년에 조사한 구간 중 동일한 구간의 소음도를 비교하면 대전-신탄진 구간에서는 2002년에 1993년과 비교하여 2 dB 정도 감소하였고 대전-옥천 구간에서는 2002년에 1993년과 비교하여 1.1 dB 정도 감소한 것으로 나타나고 있다. 이는 열차의 경량화, 레일의 중량화 및 장대화 등의 소음 저감 정책이 계속 추진되어 왔기 때문으로 추정된다.

3.2 열차별 소음 특성

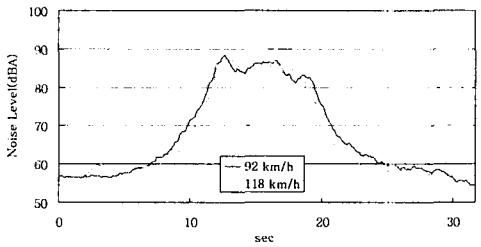
1) 새마을호의 소음 특성

새마을호의 경우 비유선형과 유선형으로 구분하여 가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 곳에서 속력에 따른 주파수 분석결과 및 시간변화양상을 Fig. 2, 3에 차례로 보이고 있다.

Fig. 2에서 새마을호 비유선형의 경우 116 km/h 이상의 속력일 경우 1.25 kHz에서 가장 큰 소음도를 나타내고 있으며, 90~94 km/h일 때는 500 Hz에서 가장 큰 소음도를 보이고 있다. 한편 제2의 피크치는 80 Hz, 125 Hz에서 나타내고 있는데 이것은 기관차의 동력소음에 기인한 것으로 여겨진다. 시간변화양상을 살펴보면 기관차 소음이 객차(전동)소음보다 4~5 dB 정도 높고, 속력이 커질수록 기관차 소음의 영향이 더 커짐을 알 수 있다.



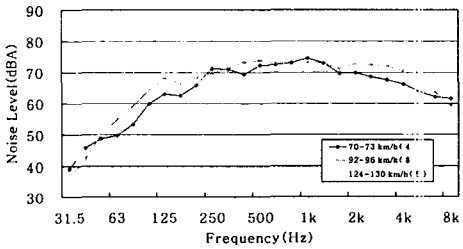
a) Frequency spectra



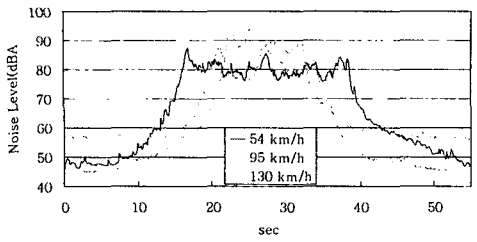
b) Time history

Fig. 2. Frequency spectra and time history of Saemaul (non-streamline type)

Fig. 3에 의하면 새마을호 유선형의 경우 125 Hz에서의 기관차소음 특성이 새마을호 비유선형보다 작게 나타나지만 속력이 증가할수록 그 특성이 증가하는 것을 알 수 있다. 시간변화양상을 살펴보면 추진체 소음이 중간에도 나타나고 속력이 증가할수록 추진체 소음이 증가함을 알 수 있다. 또한 새마을호의 거리별 주파수특성을 살펴보면 Fig. 4와 같고 고주파수 대역으로 갈수록 거리가 멀어짐에 따라 거의 일정하게 소음도가 감쇠하는 경향을 나타내고 있으며, 1 kHz에서 7.5 m에서의 소음도가 15 m에서보다 5.5 dB 높고, 25 m에서보다 7.7 dB 높게 나타나고 있다. 반면 80 Hz에서 7.5 m로부터 15 m로 거리가 멀어질 때 2.0 dB, 7.5 m로부터 25 m로 거리가 멀어질 때 4.7 dB의 가장 낮은 소음 거리감쇠 현상을 보이고 있다.



a) Frequency spectra



b) Time history

Fig. 3. Frequency spectra and time history of Saemaul (streamline type)

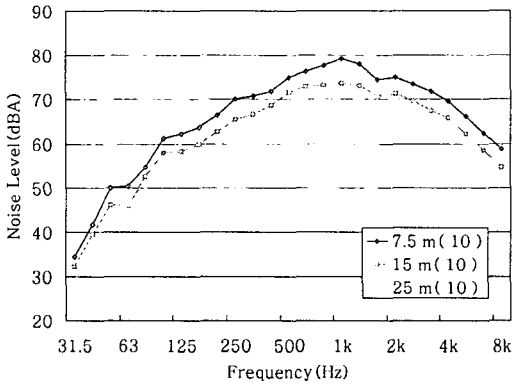
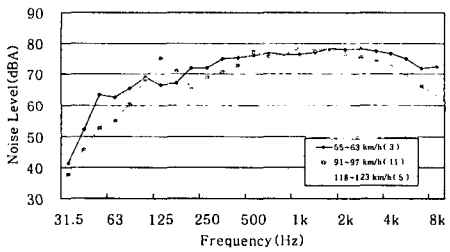


Fig. 4. Frequency spectra of Saemaul corresponding to distance

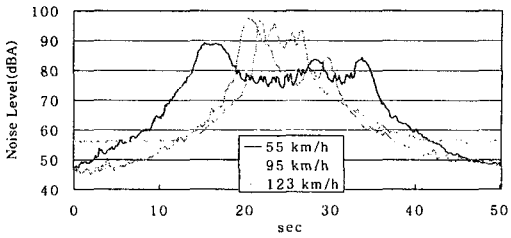
2) 무궁화호의 소음 특성

무궁화호 기관차의 형상에 따라 비유선형, 유선형으로 구분하여 가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 곳에서 속력에 따른 주파수 특성을 보이면 Fig. 5, 6과 같다.

Fig. 5에서 무궁화호 비유선형의 경우 고속(118~123 km/h)으로 주행할 때 2 kHz에서 가장 높은 소음도를 나타내고 중속(91~97 km/h)에서는 1 kHz에서 가장 높은 소음도를 나타내며 대체적으로 125 Hz에서 제2의 피크치를 나타내는데 이것은 추진체의 동력소음으로 추정된다.



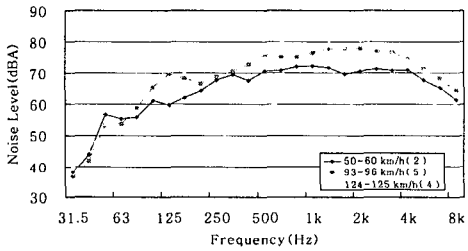
a) Frequency spectra



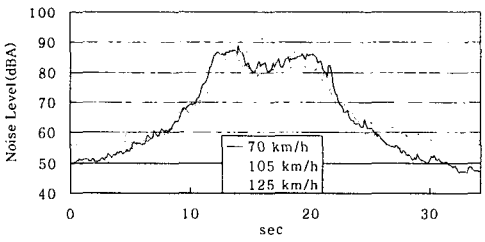
b) Time history

Fig. 5. Frequency spectra and time history of Mugunghwa (non-streamline type)

또한 시간변화양상을 살펴보면 저속 및 중속으로 주행할 때 기관차소음이 전동소음(객차소음)보다 12 dB 정도 높고 속력이 증가하여 고속으로 주행할 때는 전체적인 소음도는 증가하지만 기관차소음과 전동소음(객차소음)의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다.



a) Frequency spectra



b) Time history

Fig. 6. Frequency spectra and time history of Mugunghwa (streamline type)

Fig. 6에서 무궁화 유선형의 경우 고속(124~125 km/h)으로 주행할 때 630 Hz, 중속(93~96 km/h)일때는 1~1.6 kHz에서 가장 높은 소음도를 나타내고 있다. 속력이 증가할수록 기관차의 소음특성인 125 Hz에서의 소음도가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 시간변화양상을 살펴보면 속력이 증가하여 고속(125 km/h)으로 주행할 때는 무궁화호 비유선형과는 달리 저속 및 중속인 경우와 비교하여 기관차소음이 더욱 증가하는 것을 알 수 있다.

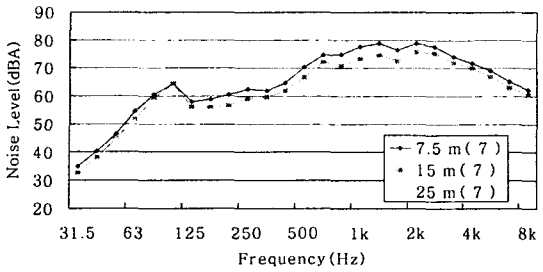


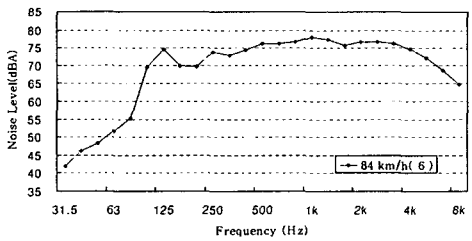
Fig. 7. Frequency spectra of Mugunghwa corresponding to distance

Fig. 7에서 무궁화호의 경우도 고주파수 대역으로 갈수록 거리가 멀어짐에 따라 거의 일정하게 소음도가 감쇠하는 경향을 나타내고 있다. 반면 100 Hz에서 소음도의 거리감쇠를 거의 보이지 않고 있다. 이것으로 미루어 판단하건데 저주파 대역의 소음은 차단하기가 쉽지 않다는 것을 알 수 있겠다.

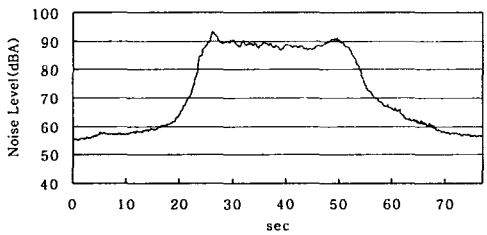
3) 화물열차의 소음특성

가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 곳에서 화물열차에 대한 주파수 특성을 보이면 Fig. 8과 같으며 다른 열차에 비해 기관차의 소음특성인 125 Hz에서의 소음도가 높게 나타나고 있다.

Fig. 9에서 화물열차의 경우 고주파수 대역으로 갈수록 소음도의 거리감쇠가 약간씩 증가하고 있다.



a) Frequency spectra



b) Time history

Fig. 8. Frequency spectra and time history of freight train

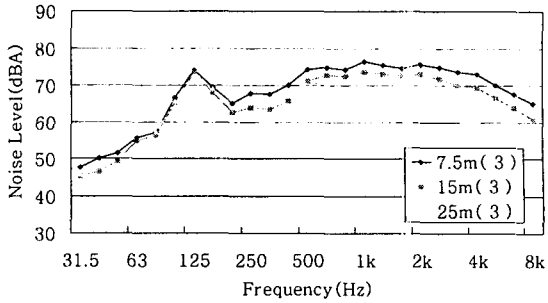


Fig. 9. Frequency spectra of freight train corresponding to distance

4) 전철의 소음특성

가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 곳에서 전철에 대한 주파수 특성은 Fig. 10과 같다.

전철은 2 kH에서 가장 높은 소음도를 나타내고 있다. 전철의 경우 기존 재래식 열차에서 나타났던 125 Hz에서 제2의 피크치를 보이지 않고 있는데 이것은 전철은 열차와 달리 기관차 대신에 전동차에 의해 동력이 추진되기 때문이다.

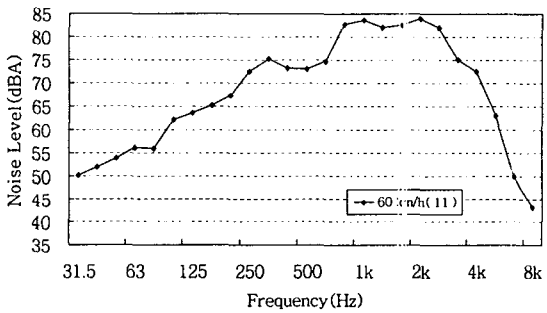


Fig. 10. Frequency spectra of subway

3.3 열차별 속력과 소음도의 관계[1,2,5]

어떤 특정한 거리에서의 철도 소음은 열차의 종류, 운행속력, 선로조건 등에 따라 다르게 나타난다. 이 연구에서는 열차의 종류를 세분하여 속력과 소음도의 관계를 가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m거리를 기준으로 하여 나타내고 있다. 열차속력과 소음도 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$L = k \log v + C$$

여기서 v는 열차의 속력 (km/h)이다.

새마을호 유선형(8~10량) 30대, 유선형(10~16량) 29대, 비유선형 11대, 무궁화호 비유선형(6~9량) 57대, 비유선

형(10~14량) 29대, 유선형 24대, 화물열차 12대, 전철 32대를 표본으로 하여 분석한 결과 열차속력과 통과소음도의 관계를 식으로 나타내면,

가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 속력 v 와 통과소음도($L_{eq,passby}$)의 관계는 새마을호 유선형(8량): $L_{eq,passby}$= 17.1 log v + 50.6, 새마을호 유선형(16량): $L_{eq,passby}$= 17.4 log v + 50.7, 새마을호 비유선형: $L_{eq,passby}$= 7.9 log v + 73.7, 무궁화호 비유선형(8량) : $L_{eq,passby}$= 12.5 log v + 64.2, 무궁화호 비유선형(13량) : $L_{eq,passby}$= 15.7 log v + 58.2, 무궁화호 유선형 : $L_{eq,passby}$= 15.2 log v + 57.9, 화물열차 : $L_{eq,passby}$= 8.1 log v + 75.2, 전철 : $L_{eq,passby}$= 25.3 log v + 35.4 로 나타나고 있다.

그리고 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 속력 v 와 최고소음도(L_{max})의 관계는 새마을호 유선형 : L_{max} = 7.9 log v + 74.1, 새마을호 비유선형 : L_{max} = 6.6 log v + 80.5, 무궁화호 비유선형 : L_{max} = 16.1 log v + 64.0, 무궁화호 유선형 : L_{max} = 3.2 log v + 86.6, 화물열차 : L_{max}= 28.7 log v + 39.2, 전철: L_{max}= 33.1 log v + 26.7 로 나타나고 있다.

3.4 철도소음 거리감쇠 양상

철도소음의 거리감쇠 양상은 Table 2와 같다.

Table 2. Attenuation of train noise level due to distance

Classification	Noise level (dBA)		Distance Attenuation (mean)	Standard Deviation
	7.5 m	15 m		
$L_{eq,passby}$	77.2~91.8	72.7~88.2	3.7~4.5 (4.14)	0.75
L_{max}	81.9~97.7	77.2~92.8	2.0~7.6 (4.56)	1.23
$L_{eq,1h}$	68.4~76.2	68.4~72.9	2.1~3.7 (3.11)	0.44

3.5 1시간 등가소음도($L_{eq,1h}$)의 예측

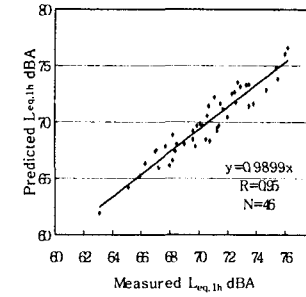
1) 통과소음도를 이용한 등가소음도 예측

앞에 제시한 각 열차의 속력에 대한 통과소음도를 구하고 (식 1)을 이용하여 측정지점에서의 1시간 등가소음도를 예측하여 측정치와 비교해 본다.

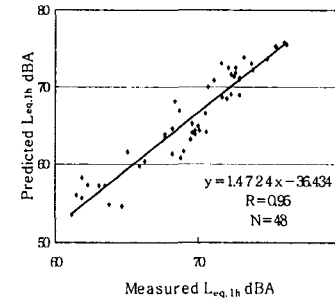
$$L_{eq,1h} = 10 \log \frac{1}{3600} \left[10^{0.1L_1} \cdot t_1 n_1 + 10^{0.1L_2} \cdot t_2 n_2 + \cdots + 10^{0.1L_b} \{3600 - (t_1 n_1 + t_2 n_2 + \cdots + t_n n_n)\} \right] \text{---(식 1)}$$

여기서 L_i는 열차 소음도, L_b는 배경소음도, t_i는 열차 통과소음 지속시간, n_i는 열차통과회수이다.

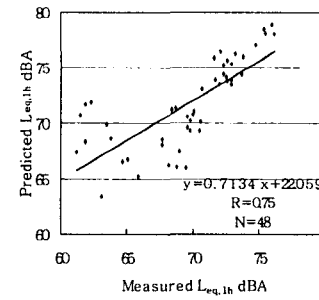
Fig. 11 a)에서 실측 및 예측치의 상관관계 R은 0.95, 편차는 대체로 -1.1~+2.5 dB이내이다.



a) Using $L_{eq,passby}$



b) Using $\overline{L}_{eq,passby}$



c) Using L_{max}

Fig. 11. Relationship between predicted and measured data

한편, 1시간 동안의 열차통과회수와 통과소음도의 평균값을 이용하여 가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 측정한 통과소음도($L_{eq,passby}$), 통과대수(n) 및 통과소음 지속시간(T_e)를 변수로 한 등가소음도(L_{eq}) 예측식은 다음과 같다.

$$L_{eq} = \overline{L}_{eq,passby} + 10 \log \left(\frac{n \cdot T_e}{T} \right) - 10.33 \log r_a \text{ ---(식 2)}$$

$\overline{L}_{eq,passby}$: 개별열차 통과시의 통과소음도의 파워 평균치, dBA

n : 관심대상 시간당 열차의 통과대수

T_e : 열차 1대당 통과소음도 지속시간(sec)

T : 관심대상 시간(sec)
r_a : 기준거리에 대한 예측거리의 비

여기서 평균 통과소음 지속시간(T_e)는 13.8 초이고 표준편차는 0.63이다. 참고로 앞에서 제시한 T_e 값 13.8은 경부·호남선 복선구간에 적용이 가능하다. 위 식을 적용하여 1시간 등가소음도의 실측치와 예측치의 상관관계를 나타내면 Fig. 11 b)와 같으며 실측치와 예측치에 대한 상관관계에서 R은 0.95 이고 편차는 대체로 ±3.0 dB 이내이다.

2) 최고소음도를 이용한 등가소음도 예측

1시간 동안의 열차통과회수와 측정한 최고소음도의 평균값을 이용하여 1시간 등가소음도를 예측해 보기로 한다. 가까운 선로 중앙으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 측정한 최고 소음도(L_{max}), 통과대수(n) 및 최고소음도 지속시간(T_e)를 변수로 한 등가소음도(L_{eq}) 예측식은 다음과 같다.[6~9)]

$$L_{eq} = \overline{L}_{max} + 10\log\left(\frac{n \cdot T_e}{T}\right) - 15\log r_a \quad \text{-------(식 3)}$$

$\overline{L}_{max}$: 개별열차 통과시의 최고소음도의 파워 평균치, dBA
n : 관심대상 시간당 열차의 통과대수
T_e : 열차 1대당 최고 소음도 지속시간(sec)
T : 관심대상 시간(sec)
r_a : 기준거리에 대한 예측거리의 비

여기서 평균 최고소음도 지속시간(T_e)는 3.84이고 표준편차는 0.49이다. 참고로 앞에서 제시한 T_e 값 3.84는 경부·호남선 복선구간에 적용이 가능하며 기존의 연구에서 중앙·영동·태백선 단선구간에서는 8, 경부선 복복선 구간에서는 5, 수도권 전철 구간에서는 6으로 제시되어 있다.[2)] 위 식을 적용하여 1시간 등가소음도의 실측치와 예측치의 상관관계를 나타내면 Fig. 11 c)와 같으며 실측치와 예측치에 대한 상관관계에서 R은 0.75이고 편차는 60%가 ±3.0 dB 이내이다.

4. 결 론

2002년에 조사한 철도소음도는 93년에 조사한 소음도보다 1.1~2 dB 정도 낮으며 주파수 분석결과 1~2 kHz에서 가장 높은 소음도를 나타내고 있다. 또한 통과소음도, 최고소음도와 속력의 관계 및 통과시간 등을 변수로 하여 1 시간 등가소음도를 예측할 때 상관관계(R)는 각각 0.95, 0.74로 나타나고 있다. 노선별로 예측된 1 시간 등가소음도를 살펴보면 수도권, 부산, 광주, 대전, 대구 광역시를 대상으로 한 노선별 1 시간 등가소음도 예측 소음도는 선로 중앙에서 7.5 m 거리에서 수도권 69~85 dBA, 부산 71~75 dBA, 대구 74~75 dBA, 대전 70~76 dBA, 광주 68~71 dBA를 나타낸다. 수도권지역 복복선 구간(서울-구로)의 경우 84 dBA를 초과하고 있다. 또한 경인선구간과 대전 일부 구간의 경우 76 dBA를 초과하는 현상을 보이고 있다.

참 고 문 헌

(1) 강대준 외 6인, 1993, 공사장 소음의 방지대책에 관한 연구(II), 국립환경연구원.
(2) 강대준 외 8인, 1994, 공사장 소음의 방지대책에 관한 연구(III), 국립환경연구원.
(3) ISO 3095, 1975, Acoustics-Measurement of Noise Emitted by Railbound Vehicles.
(4) CEN N165E, 1993, Railway Applications - Noise Emission - Measurement of External Noise Emitted by Railbound Vehicles (Committee Draft), European Committee for Standardization.
(5) P. M. Nelson, 1987, Transportation Noise Reference Book, Butterworth & Co..
(6) Peter Houtave and Jean-Pierre Chirbois, 1993, "The Level/ Time Evolution of Passing Trains to Evaluate the Noise Impact of T.G.V. Part I: Mathematical Development", Inter-noise '93, Leuven, Belgium.
(7) CETUR, 1980, Guide du Bruit des Transports Terrestres; Prevision des Niveaux Sonores, Ministere de l'Environnement & Ministere des Transports.
(8) C. E. Hanson, 1990, High Speed Rail System Noise Assessment, The 69th Annual Meeting, Transportation Research Board, Committee A2MOE, "Intercity Passinger Guided Transportation", Paper No. 890359.
(9) H. J. Saurenman, J. T. Nelson and G. P. Wilson, 1982, Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, U.S. Department of Transportation, Report No. DOT-TSC-UMTA-81-72, Washington, D.C..
(10) T. ten Wolde and C. J. M. van Ruiten, 1983, "Sources and Mechanisms of Wheel/Rail Noise : State-of-the-art and Recent Research", Journal of Sound and Vibration 87, 147~60.
(11) X. Zhang, 2002, "Time History Investigation of Train Pass-by", Inter-Noise 2002, Dearborn, MI, USA, N229.
(12) W. Probst and B. Huber, 2002, "Road Traffic and Railway Noise Prediction", Inter-Noise 2002, Dearborn MI, USA, N234.