

지형조건의 변화에 따른 철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Attenuation and Propagation of Railway Noise at Various Ground Conditions

윤 해 동*, 김 재 수*
(Hae-Dong Yun*, Jae-Soo Kim*)

*원광대학교 건축공학과

(접수일자: 2001년 5월 8일; 수정일자: 2001년 10월 28일; 채택일자: 2002년 1월 23일)

산업의 발달과 더불어 철도는 주요교통수단으로 등장하였으나, 이에 반해 철도소음은 철도변에 거주하는 주민들에게 많은 민원을 야기시키고 있는 실정이다. 따라서 정부에서는 정온한 주거환경을 위하여 2000년 1월부터 철도소음에 관한 규제를 강화하고 있으나, 기초자료의 부족 및 연구의 부족으로 인하여 효율적인 차음대책에는 많은 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지형조건의 변화에 따른 철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관하여 연구함으로써, 향후 철도소음에 관한 효율적인 차음대책 수립시 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

핵심용어: 철도소음, 평지, 성토지, 절토지, 교량

투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10.2)

With rapid industrial development, a railway has become a main traffic means. But, the railway noise has caused much annoyance for the residents living nearby railway tracks. Therefore, execute regulation standard of railway noise has established for quite dwelling environment from January, 2000. However efficient soundproofing measures are very difficult because of the lack of basic data and insufficiency of the existing research. In this point, this study attempts to survey the characteristics of attenuation and propagation of railway noise. And this study intends to get the basic data for establishment of a standard for domestic railway noise.

Keywords: Railway noise, Flatness area, Embanked area, Cutting area, Bridge area

ASK subject classification: Noise and aeroacoustics (10.2)

I. 서론

산업발전과 더불어 발전한 철도는 국내의 제반 여건과 맞물려 국내교통의 중요한 수단이 되어 오고 있다. 특히 전국의 철로 복선화 정책과 최근의 고속철도건설로 인해 철도에 관한 관심은 더욱 커지고 있는 실정이다. 이러한 철도는 일반적으로 지형적인 조건에 따라 평탄지와 성토

부, 절토부, 교량부 등으로 나눌 수 있으며, 지형적 특성에 따라서 철도소음의 전달 및 감쇠특성이 달라진다고 할 수 있다. 특히, 도심지의 일부 구간에서는 이러한 지형적인 특성을 갖는 구간이 있어 효율적인 차음대책 수립을 위해서는 각 지형별 철도소음에 대한 실태파악이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

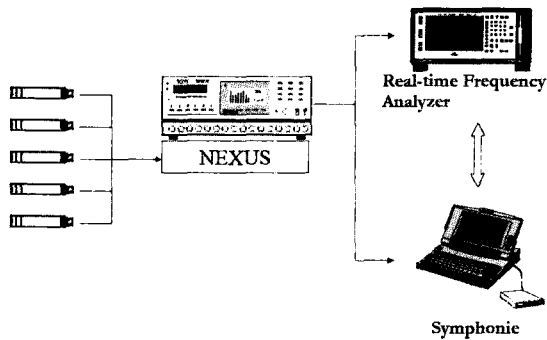
따라서 본 연구에서는 호남선에서 현재 가장 많이 운행되고 있는 새마을호 8량과 무궁화호 9량 열차를 연구 대상으로 하여 평탄지와 성토부, 절토부, 교량부 통과시 발생하는 철도소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하여 보았

책임저자: 윤해동 (archsun@hanmail.net)
570-749 전북 익산시 신용동
원광대학교 건축공학과
(전화: 063-857-6712; 팩스: 063-843-0782)

으며, 이를 토대로 철도소음에 대한 차음대책 수립시 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

II. 철도소음의 측정방법

철도소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 소음공정시험방법에 준하여 측정하였으며, 측정 방법은 그림 1과 같이 마이크로폰에서 들어오는 신호를



- Microphone (B&K Type 4165)
- Microphone Preamplifier (B&K Type 2669)
- Nexus (B&K Type 2690)
- DAT (Sony Pc216Ax)
- Frequency Analyzer (Symphonie 02dB)
- Real-time Frequency Analyzer (B&K Type 2144)

그림 1. 철도소음 측정을 위한 기기구성도
Fig. 1. Diagram of measuring system.

표 1. 측정대상 열차의 제원
Table 1. Composition measuring train.

구 분	통과속도 (km/h)	축하중 (ton)	Sample
새마을 8량	105~110	12.49	10
무궁화 9량	100~105	13.26~14.38	10

호를 NEXUS를 통해 DAT (Digital Audio Tape Recorder) 로 현장에서 녹음하여 실험실에서 신호분석기와 주파수 분석기로 분석하였다.

본 연구에서 분석에 사용된 주파수 범위는 31.5 Hz~8 kHz까지 1/3 옥타브 중심주파수별로 측정·분석하였으며 동시에 전 대역 음압레벨도 dB (A)값으로 측정·분석하였다. 철도소음 측정을 위한 기기구성도는 그림 1과 같으며, 측정대상 열차의 종류에 따른 통과속도와 객차수 등의 제원은 표 1과 같다.

또한, 측정대상 지역은 전라북도 I역과 H역 사이에 위치한 지역이며, 지형조건과 측정지점은 그림 2와 같다. 이러한 지형조건은 호남선 구간 중 여러가지 지형조건을 가장 대표할 수 있는 구간으로 선정하였다.

III. 분석 및 고찰

본 연구는 실측에 의한 철도소음의 전달 및 감쇠특성에 주안점을 두고 있으므로, 열차의 속도는 일정하고 지형 조건과 차량의 변화만을 토대로 실험을 실시하였다.

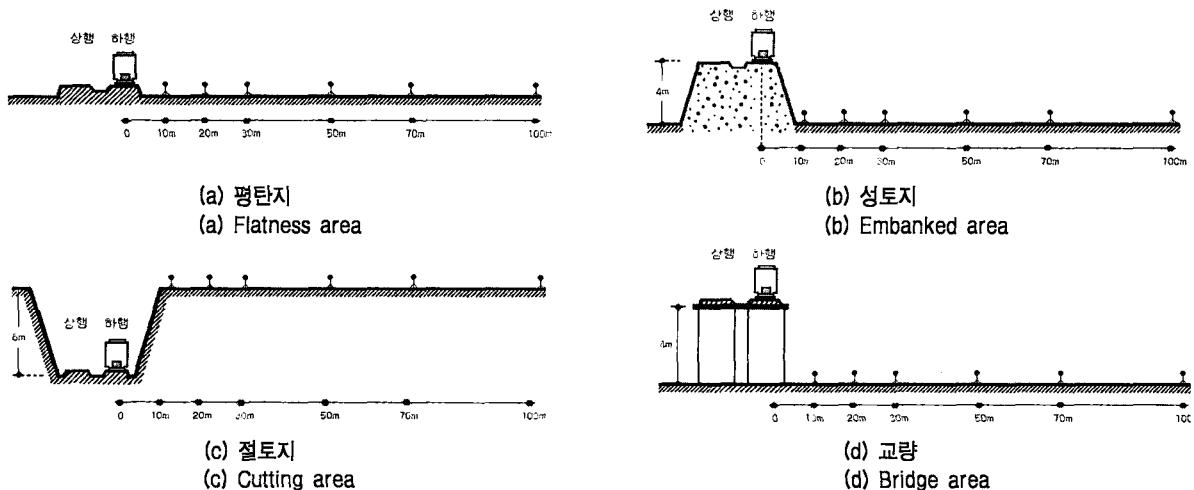


그림 2. 철도소음의 측정지점
Fig. 2. Measuring point of railway noise.

3.1. 주파수별 소음특성

3.1.1. 새마을호 8량

새마을호 8량을 기준으로 하여 평지와 성토지, 절토지, 교량부에서의 각 거리에 따른 주파수 특성을 파악해 보면 그림 3과 같다.

그림에서 보면 알 수 있듯이 평지의 경우 저주파대역에서는 대체로 높은 음압레벨을 보이고 있으나 고주파대역으로 갈수록 점차 감소하는 특성을 보이고 있으며, 성토지의 경우에는 거리에 따른 감소량의 변화폭이 평지에 비해 작게 나타나고 있을 뿐만 아니라 50 m 이하에서는 평지와 비슷한 감소패턴을 보이지만 그 이상에서는 250 Hz에서 급격히 감소한 뒤 1 kHz까지 증가하다가 다시 감소하는 패턴을 보여 다른 지형과는 상이한 주파수 특성을 보이고 있다. 절토지의 경우에는 다른 지형에 비해서 거리에 따른 감소폭이 매우 크게 나타나고 있으며, 10 m 지점의 경우 전 대역에 걸쳐 매우 높은 음압레벨 특성을 보이고 있으나 20 m 이상의 지점에서는 급격히 감소하고 있어서 절토지로 인한 철도소음의 차폐효과가 매우 뛰어남을 알 수 있다. 또한 교량부의 경우를 살펴보면 20 m까지는 급격히 거리감쇠가 일어나지만 이후에는 일정한 거

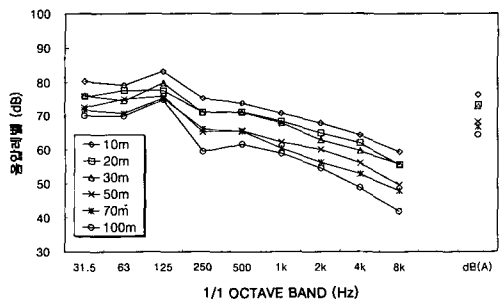
리감쇠 특성을 보이고 있다. 피크주파수 대역은 평지와 절토지의 경우 전 측정지점에서 열차엔진등의 영향을 받는 125 Hz대역으로 나타나지만, 성토지의 경우에는 50 m 이하의 근거리에서는 63 Hz, 그 이상에서는 125 Hz 대역으로 나타나 피크주파수 대역이 변화하고 있음을 알 수 있으며, 교량부의 경우에는 중음역 대역인 500 Hz 대역에서 피크치의 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 지형조건에 따른 피크주파수 대역의 변화는 인근 주민들에게 미치는 영향이 달라질 수 있음을 의미하므로 차음대책 수립시 이에 대한 고려가 반드시 필요하리라 사료된다.

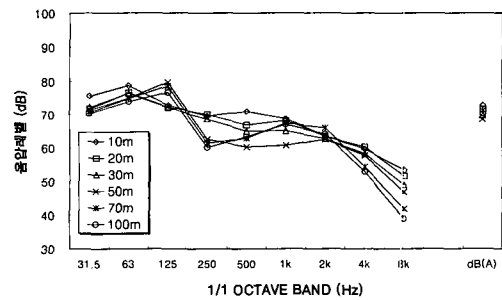
3.1.2. 무궁화호 9량

무궁화 일반 9량을 대상으로 평지와 성토지, 절토지, 교량부에서의 각 거리에 따른 주파수 특성을 파악해 보면 그림 4와 같다.

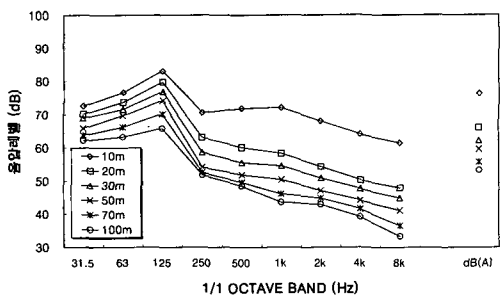
그림 4에서 보면 평지의 경우 새마을호와 마찬가지로 모든 지점에서 저주파대역에서는 높은 음압레벨을 보이다가 고주파로 갈수록 점차 감소하는 특성을 보이고 있으며, 성토지의 경우 비교적 근거리인 10 m, 20 m 지점의



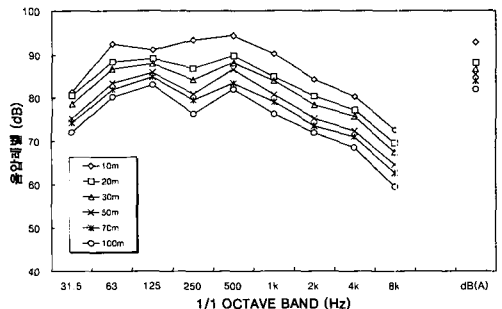
(a) 평탄지
(a) Flatness area



(b) 성토지
(b) Embanked area



(c) 절토지
(c) Cutting area



(d) 교량부
(d) Bridge area

그림 3. 새마을 8량의 각 거리별 주파수 특성

Fig. 3. Measured value of frequency of Saemaeul 8-quantity by distance.

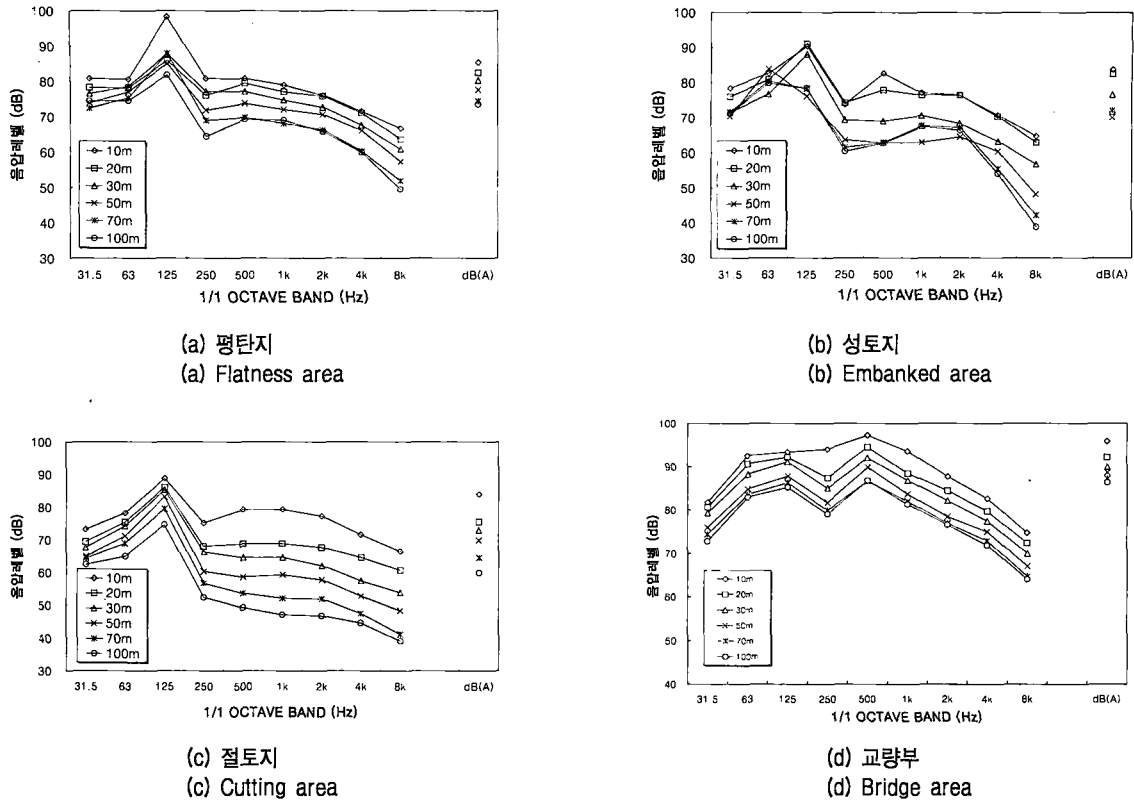


그림 4. 무궁화 9량의 각 거리별 주파수 특성
Fig. 4. Measured value of frequency of Mugunghwa 9-quantity by distance.

음압레벨은 거의 비슷하게 나타나며 30 m, 50 m에서는 일정하게 감쇠하다 그 이상에서는 500 Hz ~ 2 kHz 대역의 음압레벨이 50 m 지점보다 높게 나타나다가 2 kHz 이상에서는 급격히 감쇠하는 패턴을 보여주고 있다. 절토지의 경우에는 다른 지형에 비해 거리 감쇠폭이 훨씬 크게 나타나고 있으며, 교량부의 경우에는 새마을호와 유사한 거리감쇠 특성을 나타내고 있다.

피크주파수 대역을 살펴보면 평지와 절토지의 경우는 전 측정지점에서 열차엔진음의 영향을 받는 125 Hz 대역이 가장 높은 주파수 대역으로 파악되었으나, 성토지의 경우 50 m 이하에서는 125 Hz, 그 이상에서는 63 Hz 대역으로 나타나 피크주파수 대역이 변화하고 있음을 알 수 있으며, 교량부의 경우에는 중음역인 500 Hz 대역에서 피크치의 주파수 특성을 보이고 있다

3.2. 거리별 음압레벨과 예측상관식

3.2.1. 거리별 음압레벨

새마을호 8량과 무궁화 일반 9량의 거리에 따른 음압레벨을 dB (A)값으로 비교하여 보았다.

아래의 그림에서 보면 새마을호의 경우 평지와 절토지,

교량부의 경우에는 거리가 멀어질수록 음압레벨이 일정한 패턴으로 감쇠하고 있음을 알 수 있는데, 절토지가 다른 지형에 비해 훨씬 높은 거리감쇠를 보여주고 있으며, 교량부의 경우에는 평지보다 14 ~ 17.5 dB (A) 정도 높은 음압레벨을 유지한 채 거리가 멀어짐에 따라서 대체적으로 일정하게 감쇠하고 있다. 성토지의 경우에는 50 m 이전에서는 대체적으로 일정하게 감쇠하다가 50 m 이상의 지점에서는 오히려 음압레벨이 높아져서 성토지가 평지에 비해 더 높은 음압레벨을 보이고 있는데, 이러한 결과

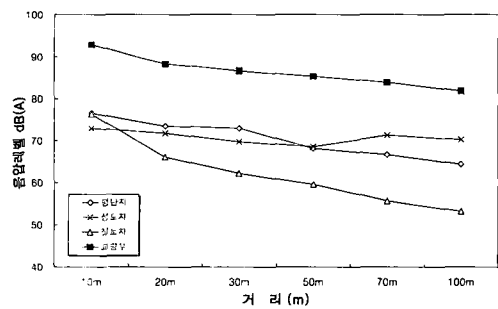


그림 5. 새마을호 8량의 각 거리별 음압레벨
Fig. 5. Measured value of SPL of Saemaehul 8-quantity by distance.

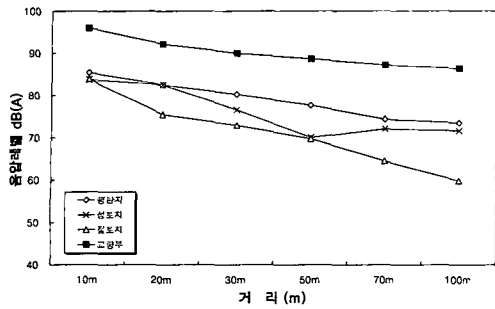


그림 6. 무궁화호 9량의 각 거리별 음압레벨
Fig. 6. Measured value of SPL of Mugunghwa 9-quantity by distance.

는 새마을 8량의 경우 가까운 거리에서는 성토지가 차폐 역할을 함에 따라 소음레벨이 감소하고 있으나, 거리가 멀어짐에 따라서 성토에 의한 차폐효과가 없어지고 높은 지역에서 발생한 열차소음이 50 m를 기점으로 지면에서 흡음력의 감소로 인해 오히려 증폭되는 현상이 발생하기 때문에 생각된다.

위의 그림에서 보면 무궁화호의 경우 새마을호와 마찬가지로 평지와 절토지, 교량부의 경우에는 음압레벨이 일정하게 감소하고 있음을 알 수 있는데, 절토지가 다른 지형에 비해 훨씬 높은 거리감쇠를 나타내고 있으며, 교량부의 경우에는 평지보다 9.5~13 dB(A)정도 높은 음압레벨을 유지한 채 거리가 멀어짐에 따라서 대체적으로 일정하게 감소하고 있다. 성토지의 경우에는 50 m를 기점으로 가까운 거리에서는 일정하게 감소하다가 거리가 멀어짐에 따라 오히려 더 커지고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과들을 종합하여 보면 평지와 절토지의 경우에는 새마을호나 무궁화호의 열차소음레벨이 일정하게 감소하고 있으며, 교량부의 경우에는 다른 지형에 비해서 훨씬 높은 음압레벨을 유지한 채 거리가 멀어짐에 따

라서 일정한 거리감쇠 패턴을 보여주고 있다. 성토지의 경우는 50 m 이전에서는 평지에 비해 낮게 나타나지만 그 이후로는 오히려 음압레벨이 증가하고 있어 이 지점이 주파수 특성과 음압레벨의 변화를 일으키는 분기점이 된다고 볼 수 있다. 또한 저소음·저진동형으로 개발된 새마을의 음압레벨이 전 측정지점에 걸쳐서 무궁화호의 음압레벨보다 낮게 나타나고 있어서 엔진실의 종류에 따라 소음레벨이 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2.2. 예측상관식

그림 5와 그림 6의 자료를 토대로 거리에 따른 각 지형 조건별 예측상관식을 파악해 보면 그림 7, 표 2와 같다.

그림 7과 표 2에서 보면 새마을 8량과 무궁화호 9량 모두 예측 상관식이 평탄지는 선형, 성토지와 교량부는 로그함수식, 절토지는 x의 누승으로 각각 나타나고 있다.

표 2. 예측상관식

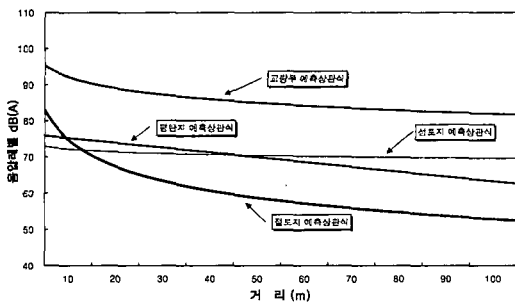
Table 2. An estimated formula.

1. 새마을호 (Saemaedul)

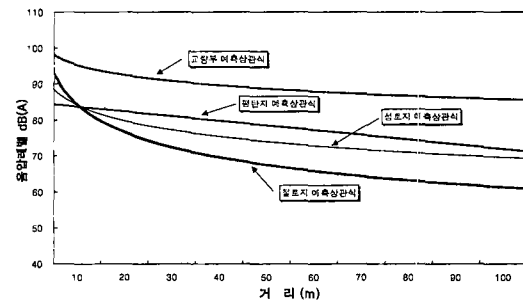
지형	구분	예측상관식	R ²
평탄지		$y = -1.3324x + 76.591$	0.9374
성토지		$y = -1.1221\text{Ln}(x) + 72.189$	0.3716
절토지		$y = 74.831x^{-0.1508}$	0.9833
교량부		$y = -4.4347\text{Ln}(x) + 92.154$	0.9732

2. 무궁화호 (Mugunghwa)

지형	구분	예측상관식	R ²
평탄지		$y = -1.3124x + 85.071$	0.9181
성토지		$y = -6.3321\text{Ln}(x) + 84.17$	0.8416
절토지		$y = 84.272x - 0.1383$	0.9713
교량부		$y = -4.1003\text{Ln}(x) + 95.294$	0.9781



(a) 새마을호 예측상관식
(a) An estimated formula of Saemaedul



(b) 무궁화호 예측상관식
(b) An estimated formula of Mugunghwa

그림 7. 예측상관식
Fig. 7. An estimated formula.

새마을호의 경우를 보면 성토지를 제외한 모든 지형에서 93% 이상의 높은 설명력을 보여주고 있으나, 성토지의 경우에는 낮은 설명력을 나타내고 있는데, 이러한 현상은 성토지의 경우 50 m 이전에서는 거리가 멀어질수록 음압레벨이 대체로 일정하게 감쇠하지만 50 m 이상의 지점에서는 성토에 의한 차폐효과가 없어지고 높은 지역에서 발생한 열차소음이 지면에서의 흡음력의 감소로 인해 오히려 증폭되는 현상이 발생하기 때문에 사료된다. 무궁화호도 새마을호와 마찬가지로 성토지를 제외한 모든 지형에서 91% 이상의 높은 설명력을 보여주고 있으나, 성토지의 경우에는 상당히 낮은 설명력을 나타내고 있다.

이러한 결과로 보면 새마을 8량과 무궁화 9량의 경우 평탄지와 절토지, 교량부의 경우에는 거리별로 보다 세부적인 실험과 연구가 이루어진다면 예측식만으로도 거리에 따른 철도소음을 예측할 수 있을 것으로 사료되나, 성토지의 경우에는 지형적인 특성으로 인하여 설명력이 낮게 나타나고 있어서 예측식을 통한 철도소음 예측에는 많은 무리가 따를 것으로 생각되며 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

3.3. 음압레벨 변화특성

시간에 따른 열차의 음압레벨의 변화를 파악하기 위하여, 20 m 지점에서 각 기준열차의 시간대별 음압레벨의 변화를 측정하여 보았다.

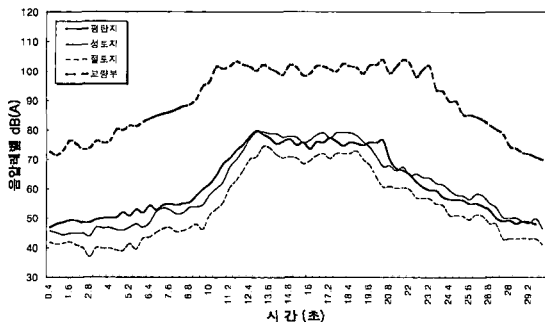
20 m 지점에서 측정한 음압레벨의 변화를 지형별로 살펴보면 교량부가 가장 높게 나타나고 있으며 다음으로는 평지, 성토지, 절토지의 순으로 나타나고 있다. 열차 종류별로 보면 저소음·저진동형으로 개발된 새마을 8량의 경우 시간이 경과함에 따라 음압레벨이 점차 증가하다가

열차머리가 진입하여 꼬리가 떠나는 순간까지 일정한 피크레벨을 유지한 후 다시 감쇠하는 특성을 보여주고 있으나, 무궁화 9량의 경우는 열차머리가 진입하는 순간 아주 높은 음압레벨을 보이다 일정레벨을 유지한 후 감쇠하는 특성을 보이고 있다. 또한 절토지의 경우에는 다른 지형에 비해 피크레벨의 지속시간이 짧고, 피크음압레벨도 훨씬 낮게 나타나고 있어서 절토지의 지형조건이 다른 지형에 비해 소음감쇠 효과가 큼을 알 수 있으며, 교량부의 경우에는 피크레벨의 지속시간이 길고 피크음압레벨도 훨씬 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

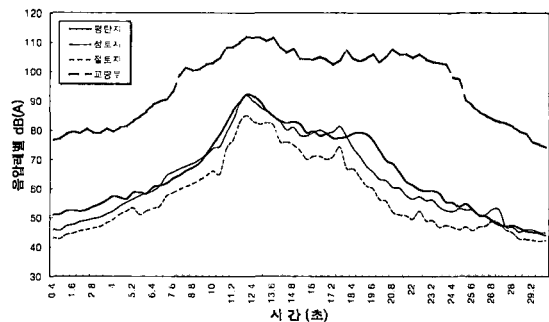
3.4. 시간응답 (Time Response)의 변화특성

시간의 변화에 따른 시간응답의 변화를 비교하여 보면 그림 9와 같다.

20 m 지점에서의 지형별 새마을호 시간응답을 보면 교량부의 경우 가장 높은 레벨을 보이고 있으며 다음으로는 평지, 성토지, 절토지 순으로 나타나고 있는데 이러한 결과는 지형에 따른 각 거리별 주파수 특성이나 음압레벨의 변화특성의 결과와 거의 비슷하게 나타나고 있다. 또한, 열차의 종류별로 보면 새마을호의 경우 열차가 측정점을 통과하는 순간 일정한 레벨을 유지한 후 다시 감쇠하고 있으며 진폭의 변화가 작게 나타나고 있으나, 무궁화호의 경우에는 열차가 측정점을 통과하는 순간 에너지가 급격히 증가했다가 감쇠하고 있으며 매우 급격한 진폭의 변화를 나타내고 있고, 피크치의 레벨이 매우 높게 나타나고 있어서 열차 머리부분이 측정점을 통과할 때 발생하는 철도소음의 피크치가 인근 주민들에게 심각한 영향을 미칠 것으로 사료된다.



(a) 새마을호 8량의 음압레벨의 변화
(a) Saemaedul 8-quantity



(b) 무궁화호 9량의 음압레벨의 변화
(b) Mugunghwa 9-quantity

그림 8. 20m 지점에서 열차별 음압레벨의 변화
Fig. 8. The time recording of sound pressure level measured by different train.

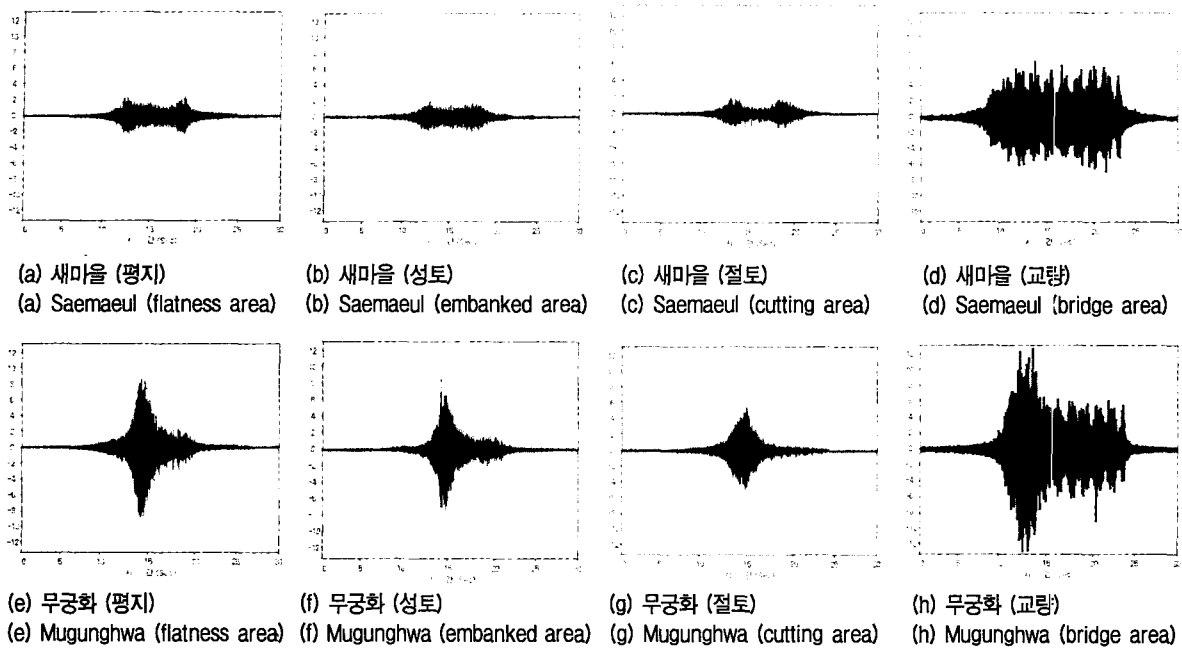


그림 9. 20m 지점의 시간응답 (time response)
 Fig. 9. Time response of different train.

IV. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론을 종합하여 보면 다음과 같다.

1. 주파수별 소음특성은 평지와 절토지의 경우 저주파수 대역에서는 대체적으로 높은 음압레벨을 보이고 있으나, 고주파수 대역으로 갈수록 점차 감소하는 특성을 보이고 있다. 그러나 성토지의 경우를 보면 50 m 이하에서는 평지와 비슷한 감소패턴을 보이지만 그 이상에서는 250 Hz에서 급격히 감소한 뒤 1 kHz까지 증가하다가 다시 감소하는 상이한 감소량과 주파수 변화패턴을 보이고 있다. 교량부의 경우에는 20 m까지는 급격히 거리감쇠가 일어나지만 이후에는 대체로 일정한 거리감쇠 특성을 보이고 있다.
2. 피크주파수 대역은 평지와 절토지의 경우 전 측정지점에서 열차엔진음의 영향을 받는 125 Hz대역으로 나타나지만, 성토지의 경우에는 50 m 이하의 근거리에서는 63Hz, 그 이상에서는 125 Hz 대역으로 나타나 피크주파수 대역이 변화하고 있음을 알 수 있으며, 교량부의 경우에는 중음역 대역인 500 Hz대역에서 피크치의 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 지형조건에 따른 피크주파수 대역의 변화는 인근 주민들에게 미치는 영향이 달라질 수 있음을 의미하므로 차음대책 수

- 립시 이에 대한 고려가 반드시 필요하리라 사료된다.
3. 거리별 음압레벨을 살펴보면 평지와 절토지, 교량부의 경우에는 거리가 멀어질수록 음압레벨이 일정한 패턴으로 감소하고 있으나, 성토지의 경우에는 50 m 이전에서는 대체적으로 일정하게 감소하다가 50 m 이상의 지점에서는 오히려 음압레벨이 높아지고 있다. 지형별로는 절토지의 거리감쇠가 가장 급격하게 나타나고 있어 철도소음 차폐효과가 매우 뛰어나다고 할 수 있다.
 4. 거리별 음압레벨의 예측 상관식을 살펴보면 평탄지와 절토지, 교량부의 경우에는 설명력이 93%를 상회하고 있어서, 세부적인 실험과 연구가 진행되면 거리에 따른 철도소음을 어느정도 예측할 수 있을 것으로 사료되지만, 성토지의 경우에는 지형적인 특성으로 인해 측정결과만을 가지고 철도소음을 예측한다는 것은 많은 한계가 있을 것으로 사료된다.
 5. 20 m 지점에서 측정된 음압레벨의 변화특성을 지형별로 살펴보면 교량부의 음압레벨이 가장 높게 나타나고 있으며 다음으로는 평지와 성토지, 절토지의 순으로 나타나고 있다. 열차종류별로는 저소음·저진동형으로 개발된 새마을 8량의 경우 시간이 경과함에 따라 음압레벨이 점차 증가하다가 머리가 진입하여 꼬리가 나가는 순간까지 일정한 피크레벨을 유지한 후 다시 감소하는 특성을 보여주고 있으나, 무궁화 일반 9량의 경우에는 열차머리가 진입하는 순간 아주 높은 음압레

벨을 보이다가 일정레벨을 유지한후 다시 감쇠하는 특성을 보이고 있다.

이상의 연구는 평지와 성토지, 절토지, 교량부 통과시 발생하는 철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관하여 파악하였으며, 이를 토대로 좀더 다양한 높이와 조건이 병행된 실험을 통하여 철도소음을 방지하기 위한 보다 구체적이고 실질적인 자료제시가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 윤해동, 광광수, 조원희, 김재수, "철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제18권 제2호, pp. 955-960, 10, 1998.
2. 윤해동, 조원희, 김재수, "성토지역을 통과하는 열차소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제19권 제1호, pp. 497-502, 4, 1999.
3. 윤해동, 광광수, 김재수, "절토지역을 통과하는 철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제19권 제2호, pp. 1051-1056, 10, 1999.
4. 官本俊光, "新幹線騒音について," 交通技術 S, 48, 4.
5. E. J. Rathe, *Railway Noise Propagation*, JSV, vol. 51(3), pp. 371-388, 1977.
6. J. R. Hassall and K. Zaver, *Acoustic Noise Measurement*, 1982.

저자 약력

● 윤 해 동 (Hae-Dong Yun)



1998년: 원광대학교 건축공학과 졸업 (학사)
 2000년: 원광대학교 대학원 건축공학과 졸업 (석사)
 2000년~현재: 원광대학교 대학원 건축공학과 박사과정
 ※ 주관심분야: 철도소음, 건축설비

● 김 재 수 (Jae-Soo Kim)



1988년: 전남대학교 건축공학과 졸업 (학사)
 1990년: 전남대학교 대학원 건축공학과 졸업 (석사)
 1993년: 전남대학교 대학원 건축공학과 졸업 (박사)
 1994년~현재: 원광대학교 건축공학과 전임강사, 조교수, 부교수
 ※ 주관심분야: 소음, 진동, 건축음향, 음향심리