

무궁화 열차의 소음 측정 및 분석

A Measurement and Analysis on the Noise of "Mugungwha" Train

신민철*·왕세명**·조준호***·김대성****

Mincheol Shin, Semyung Wang, Junho Cho and Deasung Kim

Key Words : Train noise (열차소음), Mugungwha Train (무궁화 열차)

ABSTRACT

Train is one of the most famous and convenient transporting ways. However, the noise problem caused by the train hinders people from living in a silent environment. Furthermore, this problem is related with the environmental rights of people nearby the railroad. The estimation of train noise is the pre-research of train noise reduction. This research is about measurement and analysis of train noise which can be a base-study about the estimation of train noise. The noise of 'Mugungwha' train, the most frequently used train in Korea, is the main object in this measurement and analysis. The characteristics of the train noise were evident in the criteria of height, distance and velocity. Furthermore, the noise differences between locomotive and passenger coach were observable.

기호 설명

L_{eq} : 등가소음도 (Equivalent Sound Pressure Level)

L_{max} : 최대소음도 (Maximum Sound Pressure Level)

1. 서론

효율적 운송수단으로 널리 알려진 철도의 건설 및 운행과 더불어 철도 환경 소음 문제는 필연적으로 야기 되었다. 철도의 운행 제반 조건들은 타 교통수단에 비해 커다란 장점을 가지고 있지만 소음과 진동 부분에서는 아직 해결해야 할 문제들이 남아있다.

본 연구에서는 철도의 소음 문제를 해결하기 위한 선행 과제로 철도 소음, 특히 무궁화 열차 소음의 측정 및 분석을 목표로 하였다.

기존의 우리나라 철도 소음의 측정에 있어서 거리별 데이터에 의존해 왔으나 본 논문에서는 높이별 측정 및 분석을 추가하였다. 그리고 열차 소음의 경향을 거리별, 높이별, 속도별로 분석하였다. 또한 열차 소음 중 가장 큰 비중을 차지하는 기관차의 소음과 비교적 작은 비중을 갖는 객차 소음을 구분하여 분석하기 위해 열차 소음을 기관차와 객차의 소음으로 나누어 소음 경향을 분석하였다.

현장 정밀 조사 결과 여러 장소를 선정하여 측

정하였는데 본 논문에서는 전의~전동구간 (서울 기점 117.2km 지점)에 대한 측정 및 분석에 대해 고찰하였다. (측정 지역의 온도는 13~15℃, 상대습도는 35~36%, 풍속은 3~4m/s의 북남풍이었다. 근처에 건물은 없었고 직선 구간의 레일이었다.)

2. 무궁화 열차의 소음 측정 및 분석 방법

2.1 무궁화 열차의 소음 측정 방법

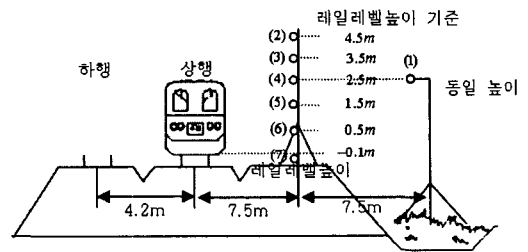


Fig. 1 열차 소음 측정 방법

Fig. 1 은 열차 소음 측정시 마이크로폰의 배치를 나타낸다. 거리별로는 레일레벨 기준 높이 2.5m 에 상행선 기준으로 7.5m 떨어진 거리와 15m 떨어진 거리에 설치되었다. 그리고 상행과 하행의 열차 선로는 4.2m의 거리 차이가 있었다. 높이별로는 7.5m 떨어진 위치에 레일레벨 기준 -0.1m 에서 4.5m 높이까지 1.0m 간격으로 마이크로폰을 설치하여 측정하였다.

* 광주과학기술원

E-mail : mcshin@kjist.ac.kr

Tel : (062) 970-2409, Fax : (062) 970-2384

** 광주과학기술원, *** 한국철도기술연구원

**** 광주과학기술원

2.2 무궁화 열차의 소음 분석 방법

(1) 열차 전체의 소음 분석 방법

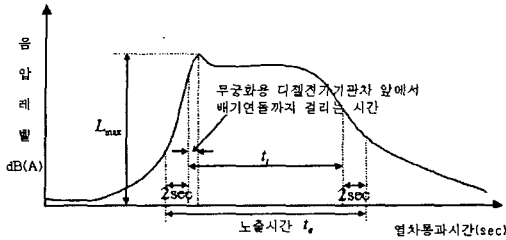


Fig. 2. 열차 전체의 소음 분석 방법

① 노출시간 및 최대 소음도 (L_{max}) 분석 방법

Fig. 2 와 같이 분석과정에서 발생하는 최대 음압을 L_{max} 라 정의하였다. 최대 음압이 발생하는 지점을 무궁화용 디젤 전기 기관차의 배기 연돌이 지나가는 시간이라고 가정하면 그 점에서 기차의 본체가 빠져나가는 시간 t_e 을 적용한 후 이에 2 초를 양단에 더한 부분을 노출시간 t_e 로 정의했다.

② 등가소음도 (L_{eq})의 계산

측정시간 T 동안의 L_{eq} 는 다음과 같은 식에 의해 계산된다 1.

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

여기서 t_1 , t_2 는 측정시각이며 $T = t_2 - t_1$ 라고 정의된다. $p(t)$ 는 측정음압 그리고 p_0 는 기준음압 ($20 \mu\text{Pa}$)이다.

③ 높이별, 거리별 소음 분석

높이별 데이터 분석은 2 번째 채널의 마이크를 비롯한 3, 4, 5, 6, 7 채널의 마이크로폰의 데이터를 분석한 후 이를 비교하였다. 또한 거리별 데이터 분석은 1 번 그리고 4 번 채널의 마이크로폰 입력 신호를 통해 분석하였다.

④ 속도별 소음의 분석

측정된 열차의 속도 범위인 90km/h~114km/h 구간을 5km/h 간격으로 나눈 뒤(95~99, 100~104, 105~109, 110~114km/h) 각각의 구간에 속하는 열차들의 데이터를 평균하여 이의 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석 2 을 하였다. 이를 통해 열차의 속도에 따른 소음의 경향을 분석하였다.

열차 전체의 소음 분석은 Fig. 2 에 표시된 노출시간 t_e 동안의 소음 데이터를 이용하였다.

(2) 기관차와 객차를 구분한 소음 분석 방법

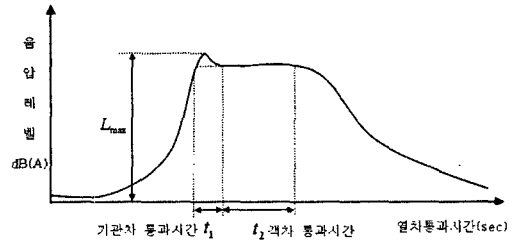


Fig. 3. 기관차와 객차를 구분한 소음 분석 방법

Fig.3 에 나타낸 것과 같이 기관차와 객차를 구분한 소음 분석은 전체 열차의 소음데이터를 기관차 통과시간 t_1 과 객차 통과시간 t_2 구간으로 나누어 실시하였다. L_{max} 와 L_{eq} 그리고 높이별, 거리별, 속도별 분석 방법은 열차 전체의 소음 분석 방법과 동일하다.

3. 열차 전체의 소음 분석

3.1 높이별, 거리별 소음 분석

Fig. 4~Fig. 7 은 전형적인 철도 소음 특성을 가지고 있는 소음 데이터를 시간 영역과 주파수 영역에서 나타낸 그래프이다. Fig. 4 와 Fig. 5 는 시간 영역에서의 음압 레벨 (Sound Pressure Level)을 나타내었고 Fig. 6 과 Fig. 7 는 주파수 영역에서 1/3 옥타브 밴드 분석을 한 결과를 나타내었다.

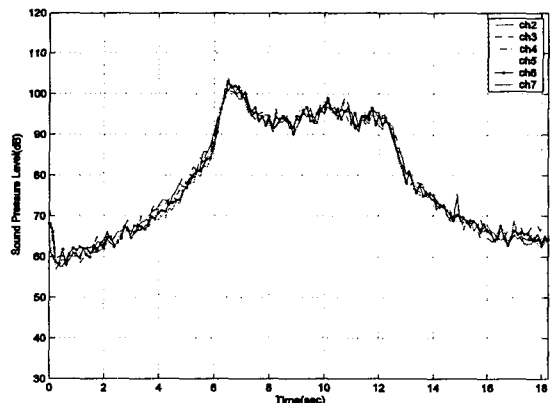


Fig. 4. 높이별 시간 영역 음압 레벨

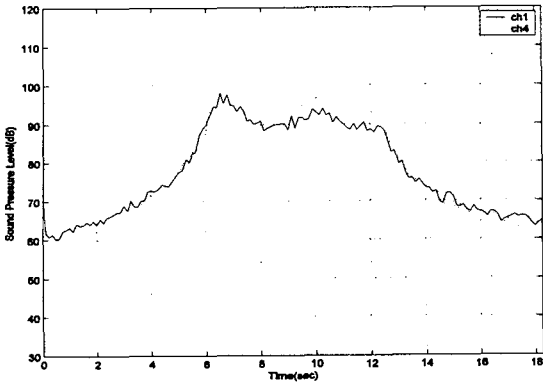


Fig. 5. 거리별 시간 영역 음압 레벨

우선 시간영역의 그래프에서는 높이별 음압 레벨은 어떠한 경향을 찾기 힘들었으나 거리별 음압 레벨은 확연히 구별되는 경향을 보였으며 4 번 채널보다 1 번 채널의 음압 레벨이 약 3~4dB 정도 작았다.

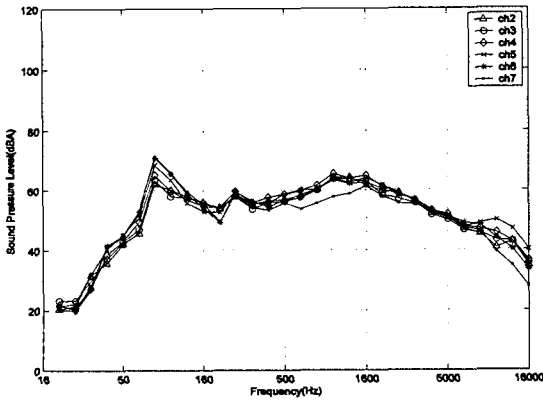


Fig. 6. 높이별 주파수 영역 음압 레벨

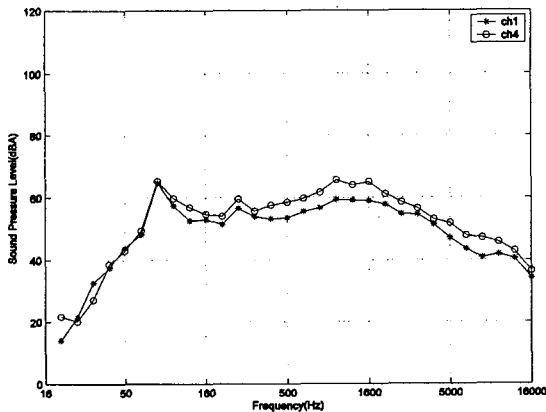


Fig. 7. 거리별 주파수 영역 음압 레벨

주파수 영역 분석 결과에서도 높이별 특성을 확연히 볼 수 없었지만 거리별 특성은 시간 영역의 경우와 같은 경향을 나타내었다.

(1) 평균을 통한 데이터의 전반적 경향 분석

측정된 소음 데이터의 일반적인 특징을 보기 위해 각각의 시간 영역 그리고 주파수 영역의 데이터들을 평균하여 상행 열차와 하행 열차를 구분하여 분석하였다. 상행과 하행 열차를 구분한 이유는 두 레일 사이에 거리의 차이가 있기 때문이다.

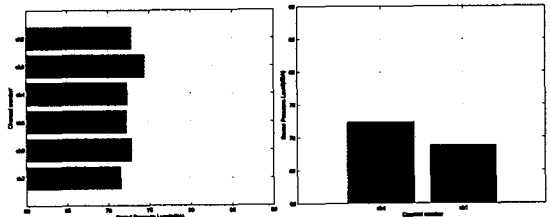


Fig. 8. 채널 별 L_{eq} 의 평균값 - 상행

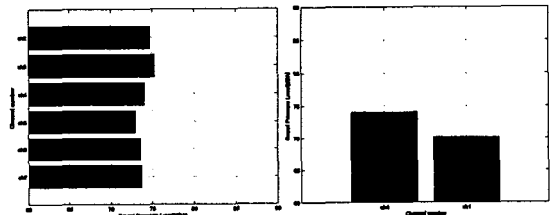


Fig. 9. 채널 별 L_{eq} 의 평균값 - 하행

Fig. 8 과 Fig. 9 는 각각 시간영역에서 채널별 L_{eq} 의 평균값을 상행 기차와 하행 기차로 나누어 보여준다. Fig. 8 에서 나타난 바와 같이 시간영역에서의 높이별 L_{eq} 는 상행의 경우 7 번 채널이 가장 작았고 3 번 채널이 가장 높았다. 두 채널은 3dB 정도의 차이를 보였으며 나머지 채널의 경우에는 거의 비슷한 크기를 나타내었다. 하행의 경우, Fig. 9 와 같이 전반적으로 비슷했으나 채널 3의 값이 가장 컸고 채널 5의 경우 가장 작았다. 따라서 대체적으로 기차 상부의 소음이 하부의 소음보다 높다고 분석할 수 있다. 또한 높이별 소음특성은 하행 기차보다 상행 기차에서 두드러졌다.

Fig. 8 과 Fig. 9 의 거리별 L_{eq} 는 1 번 채널과 4 번 채널이 3~4dB 정도의 차이를 보였고 이는 거리에 따른 음향 특성이라고 판단할 수 있다.

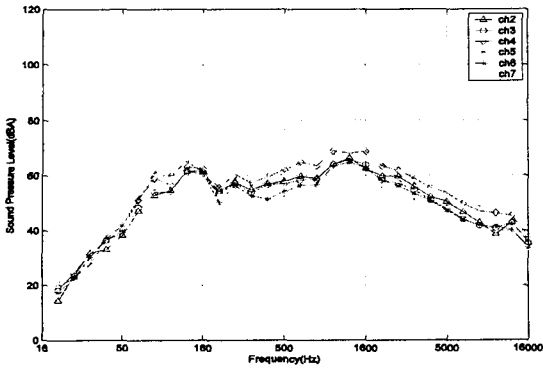


Fig. 10. 높이별 음압 레벨의 평균값 - 상행

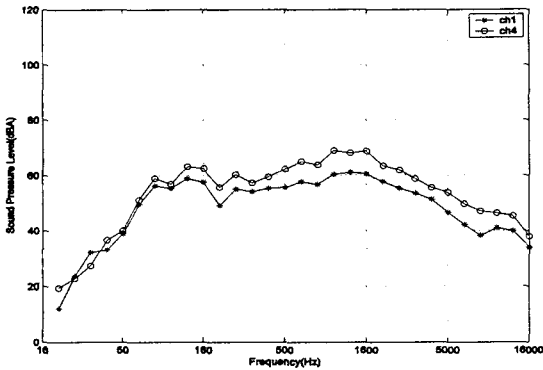


Fig. 11. 거리별 음압 레벨의 평균값 - 상행

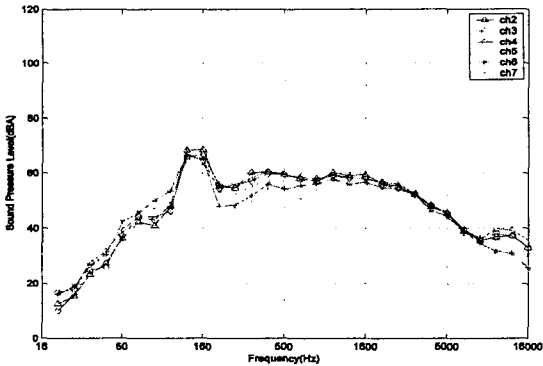


Fig. 12. 높이별 음압 레벨의 평균값 - 하행

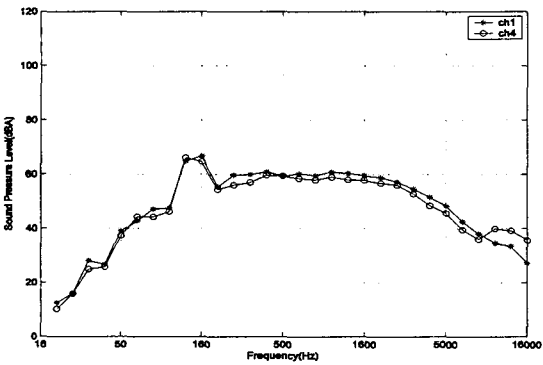


Fig. 13. 거리별 음압 레벨의 평균값 - 하행

Fig. 10 과 Fig. 11 에서 나타난 것처럼 주파수 영역에서는 상행 열차의 경우 높이별 특성 및 거리별 특성이 확연히 나타난다. 우선 높이별 특성은 400Hz 이상의 주파수에서 볼 수 있다. 4 번과 5 번 채널의 음압 레벨 수치가 가장 높고 2 번과 3 번 채널이 그 다음 6 번 채널, 그리고 7 번 채널 순으로 수치가 떨어지는 것을 볼 수 있다. Fig. 11 의 무궁화 열차 소음의 거리별 분석 결과는 거리가 멀수록 음압 레벨이 낮아진다는 것을 나타낸다.

Fig. 12 와 Fig. 13 의 하행 열차의 그래프는 주파수 영역에서의 높이별 그리고 거리별 특성이 뚜렷이 구별되지 않았다.

3.2 속도별 소음 분석

측정된 열차의 속도 범위인 90km/h~114km/h 구간을 5km/h 로 각각 나눈 후 각 구간에 해당하는 열차들의 주파수 영역 데이터를 평균하였다.

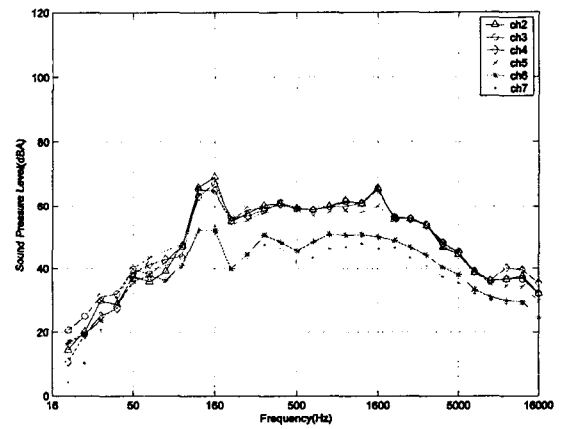


Fig. 14. 95~99km/h 구간 주파수 영역 열차소음

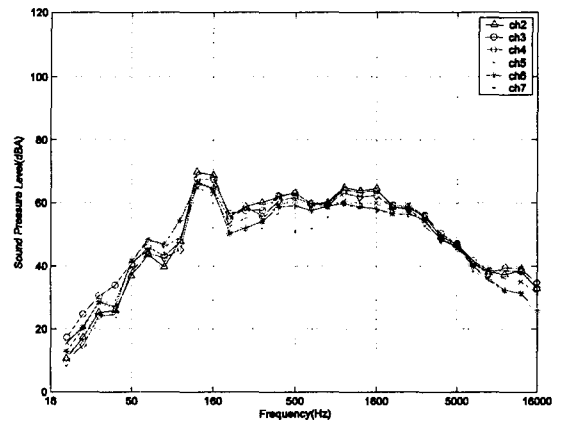


Fig. 15. 100~104km/h 구간 주파수 영역 열차소음

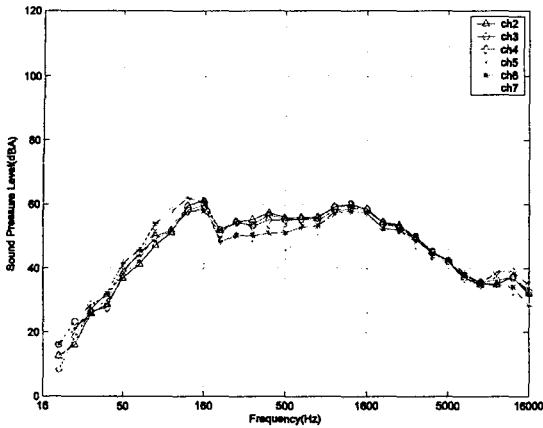


Fig. 16. 105~109km/h 구간 주파수 영역 열차소음

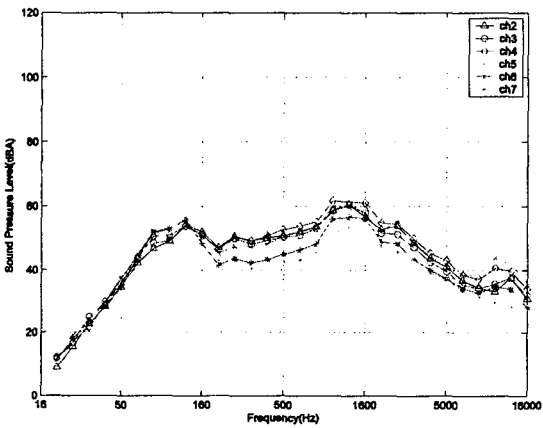


Fig. 17. 110~114km/h 구간 주파수 영역 열차소음

Fig. 14 ~ Fig. 17 은 각 속도 구간에 해당하는 열차들의 소음 평균값을 나타낸다. 위의 Fig.에서 속도와 소음도 간의 상관관계를 살펴보면 70~160Hz 부근의 낮은 주파수대역의 소음이 속도가 느릴수록 크고 속도가 증가하면 줄어드는 것으로 나타났다. 그리고 나머지 대역의 주파수 성분들은 속도와 크게 상관이 없는 것으로 나타났다. 거리별 데이터와 높이별 데이터는 같은 경향성을 가지고 있었기 때문에 여기에서는 높이별 데이터만을 비교하였다.

낮은 속도로 운행되는 열차의 소음은 강한 저주파 영역의 주파수 성분을 포함하는 소음이고 고속으로 운행되는 열차의 소음은 저속의 열차에 비해 낮은 주파수 성분이 많이 저감된 소음이라고 할 수 있다.

4. 기관차와 객차를 구분한 소음 분석

본 절에서는 기관차와 객차를 구분한 열차 소음의 분석을 하였다. 2.2 절에 소개된 방법으로 기관차와 객차의 소음을 구별하였고 이는 각각의 소음 특성을 자세히 알기 위해 분석되었다.

4.1 높이별, 거리별 소음 분석

Fig. 18~ Fig. 21 의 Fig.은 3.1 절의 열차 소음 데이터를 기관차 소음과 객차 소음으로 구별하여 각각의 높이별, 거리별 1/3 옥타브 밴드 분석을 실시한 결과를 나타낸다.

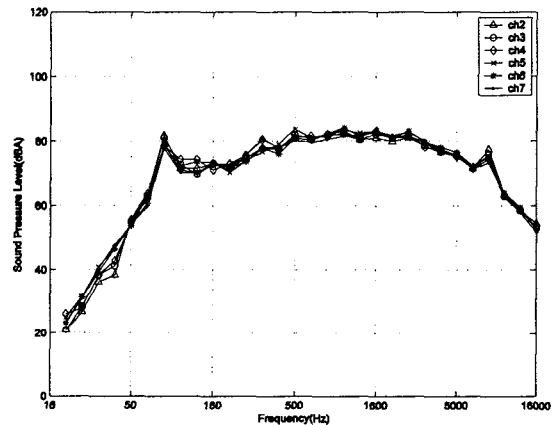


Fig. 18. 기관차의 높이별 주파수 영역 음압 레벨

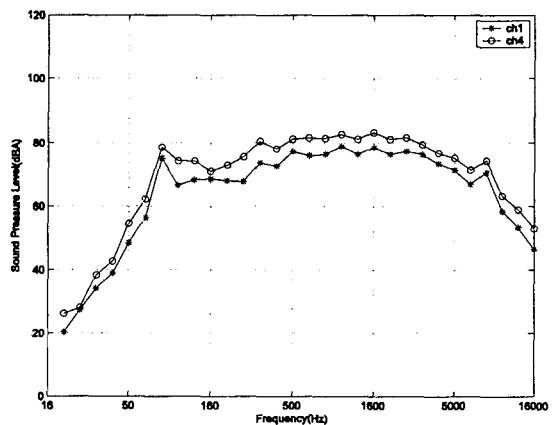


Fig. 19. 기관차의 거리별 주파수 영역 음압 레벨

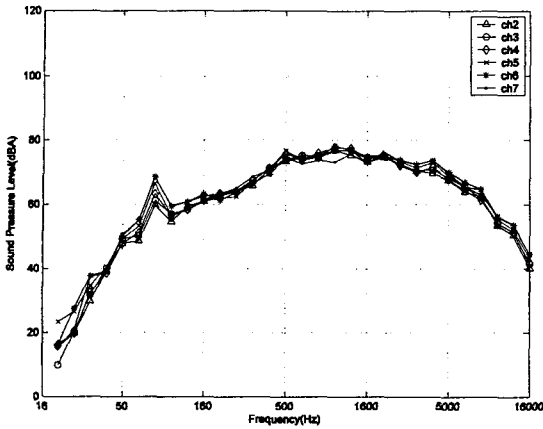


Fig. 20. 객차의 높이별 주파수 영역 음압 레벨

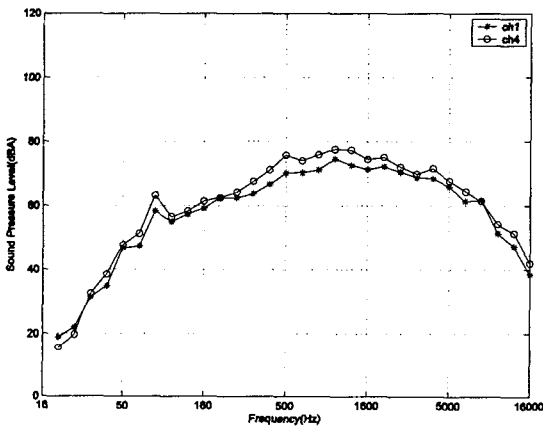


Fig. 21. 객차의 거리별 주파수 영역 음압 레벨

기관차의 경우 Fig. 18 과 Fig. 19 와 같이 50 ~ 160Hz, 또한 5000 ~ 16000Hz 대역에 peak 를 가지고 있으며 전반적으로 높은 소음 레벨을 보여주는 것이 공통적으로 나타났다.

객차의 경우에는 기관차의 경우와 유사하게 50 ~ 160Hz 사이에 peak 를 가지고 있지만 이는 기관차의 경우와 비교하여 소음 레벨이 작고 이를 제외한 주파수 영역에서는 부드러운 곡선의 형태를 가진다.

결론적으로 무궁화호 열차의 소음은 기관차 부분은 저주파 영역과 고주파 영역의 peak 로 특징을 지을 수 있으며 객차는 전반적으로 기관차보다는 낮은 레벨의 부드러운 주파수 특성을 갖는다고 할 수 있다.

4.2 속도별 소음 분석

4.1 절에서의 기관차의 특징이었던 저주파와 고주파의 peak 들의 변화를 주목해 보면 속도가 낮을 때는 두드러진 peak 를 나타내지만 열차의 속도가 증가함에 따라 3.2 절의 결과와 마찬가지로 peak 들이 무더지는 것을 알 수 있었다. 전체적인 소음도의 크기는 큰 변화가 없었다. 이는 객차에서도 마찬가지로 기관차와 비교하여 비교적 낮은 소음도를 갖고 있었던 객차의 저주파 peak 도 속도의 증가에 따라 점차적으로 없어지는 것이 나타난다. 결과적으로 속도의 증가가 주파수 영역의 전반적인 특성을 부드럽게 하였다.

5. 결론

열차 전체의 소음 특성은 높이에 따라 열차 상부의 소음이 하부보다 일반적으로 높았으며 거리에 따라 측정점이 소음원에서 멀어짐에 반비례한 소음도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 속도별 소음 분석 결과 저주파 대역의 소음 peak 가 속도의 증가에 따라 줄어드는 것을 알 수 있었다.

기관차 소음의 특성은 저주파와 고주파의 소음 peak 이다. 객차 소음의 경우 전반적으로 기관차 소음에 비해 소음 레벨이 낮고 두드러지는 peak 가 없이 부드러운 주파수 특성을 갖는다. 속도별 소음 분석에서는 열차 전체의 속도별 분석 결과와 유사하여 기관차 부분의 소음 peak 들이 속도가 증가함에 따라 감소되었으며 객차 소음은 그대로 유지되었다.

후 기

본 연구는 한국 철도 기술 연구원(KRRI)에서 수행하고 있는 환경기술개발사업(2003-11001-0004-1)의 위탁 연구임.

참고문헌

- 1 심상덕 등, 2000, " 철도연변 방음시설의 소음측정 사례보고", 소음진동학술대회논문집, pp. 1350 ~ 1354.
- 2 ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986): Specifications for Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters, 1993.