

빔형성 방법을 이용한 고속철도차량의 공력소음특성 도출 연구 Aerodynamic Noise Characteristics of High-speed trains using the Beamforming Method

노희민[†] · 최성훈* · 고효인** · 조준호**

Noh, Heemin Choi, Sunghoon Koh, Hyo-In Cho, Jun-Ho

1. 서 론

고속열차 차량의 공력 소음을 측정하는 방법은 실제 차량에 측정 장치를 부착하여 측정하는 방법과 마이크로폰 어레이를 고속 열차 선로 변에 설치한 후에 주행 소음을 통해서 특성을 파악하는 방법이 있다. 실제 차량에 측정 장치를 부착하는 방법은 충분한 시간 동안 원하는 위치에서 소음을 측정할 수 있는 장점이 있으나, 공기역학으로 인해서 많은 소음이 측정되는 단점이 있다. 또한, 고속철도 차량의 속도가 증가할수록 측정 장비 주변으로 형성되는 난류에 의해서 정확한 측정 결과를 도출하기 어려운 면이 있다. 따라서, 실제 차량에 측정 장비를 이용하여 측정하는 방법은 측정 결과에 소음을 제거할 수 있는 신호 처리 기술이 요구된다. 마이크로폰 어레이를 이용하여 고속철도 차량의 공력 소음을 측정하는 방법은 고속 철도 차량의 소음원을 도출하는데 유용하며, 높은 분해능을 가지고 있어 복잡한 고속철도 차량의 소음원을 도출하는데 유용하다. 또한 측정되는 신호가 고속철도 차량에서 발생하는 소음을 바탕으로 측정하기 때문에 보다 정확한 소음 측정이 가능하다. 하지만, 측정 시간이 적고 한정된 위치에서 측정되는 신호를 바탕으로 소음의 특성을 파악해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 마이크로폰 어레이를 이용하여 고속철도 차량의 소음을 측정하고, 공력 소음이 발생하는 주 소음원을 도출하여 소음의 특성을 파악하는 연구를 수행하였다. 적은 측정시간은 다수의 고속철도 차량의 주행 소음의 분석을 통해서 보완을

하였으며, 측정 위치 또한 평탄 선로변 주변에 어레이를 설치하여 주변의 영향을 받지 않는 고속철도 차량의 소음 측정이 되도록 하였다. 이러한 측정 방법 이외에도 공력 소음원에 대한 모델이 어레이 응답 함수에 미치는 영향을 검토하여 어레이 시스템의 공력 소음 측정에 대한 활용성을 검토하였으며, 분해능 분석을 통해서 최적의 측정 구간을 도출하였다. 이를 통해서 고속철도 차량의 주요 공력 소음에 대한 주파수 특성을 분석하였다.

2. 공력소음 측정 및 분석

2.1 공력소음 분석방법

고속철도차량의 주행 소음을 통해서 소음의 특성을 파악하기 위해서는 어레이의 분해능이 높은 구간에서의 측정값을 이용하는 것이 중요하다. 어레이의 분해능은 앞에서 언급한 빔형상, 특히 주엽과 부엽의 크기에 의해서 결정된다. 주엽의 폭은 3dB 밴드폭으로 나타내고 부엽의 크기는 최대부엽레벨(Maximum Sidelobe Level, MSL) 값으로 표현할 수 있다. 3dB 밴드폭이 작을수록 정확한 음원의 위치를 파악하기 용이하며, 최대부엽레벨의 값이 크면 실제 음원의 위치와 부엽의 위치를 구별하기 어려워진다. 일반적으로 어레이가 음원과 중심에 위치하고 있는 경우에는 어레이의 공간 분해능은 어레이의 전체 크기가 클수록, 그리고 측정면까지의 거리가 가까울수록 좋아진다. 실제 어레이의 응답함수의 검토를 통해서 분해능을 검토해 볼 수 있다.

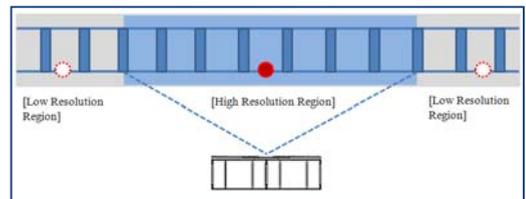


Fig.1. Microphone array resolution regions

[†] 교신저자; 정희원, 한국철도기술연구원

E-mail : hmnoh@krti.re.kr

Tel : 031-460-5564, Fax : 031-460-5649

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

** 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소

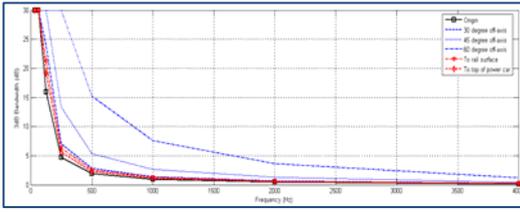


Fig.2. 3dB Bandwidth of degree off-axis

또한 음원의 주파수 특성을 도출하기 위해서는 일정한 시간 이상의 소음 측정을 통한 결과 분석이 필요하다. 하지만 어레이의 분해능은 그림1과 같이 소음원이 어레이 중심에 있는 경우에 가장 높으며, 중심에서 멀어질수록 분해능이 떨어진다. 이에 본 연구에서는 중심에서부터 벗어난 각도를 중심으로 어레이의 분해능 값인 3dB 밴드폭의 값을 그림2와 같이 분석하였다. 어레이의 중심에서 수직으로 5m 떨어진 음원의 경우에 30°, 45°, 60° 떨어진 경우의 분해능을 검토해본 결과, 중심에서 벗어날수록 전체적으로 어레이의 분해능이 떨어지는 것을 확인하였으며, 특히 45° 이후에서는 분해능이 급격하게 떨어졌다. 이러한 결과는 MSL값에서도 나타났다. 30°의 각도에서만 3dB 이상 떨어지는 값을 보였으며, 45° 이후에서는 MSL의 값이 높게 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해서 0°~30°의 구간인 중심으로부터 0~2.5m 구간은 높은 분해능 구간으로, 2.5~5.0m 구간은 허용가능한 구간으로 5.0~10m까지는 낮은 분해능 구간으로 선정하였다.

2.2 공력소음 측정방법

고속철도 차량의 음원의 특성을 파악하기 위해서 차량의 주행 소음을 측정하였다. 측정 열차의 소음 측정은 300km/h대로 운행하는 국내 고속차량을 대상으로 이루어졌다. 고속열차의 주행 속도선도 자료를 바탕으로 마이크론 어레이 등 측정장비가 설치 가능한 지역을 선정하였다. 선정된 장소는 송라 터널 부근으로, 주로 300 km/h대로 주행하는 열차의 소음이 측정되었다. 어레이는 선로로부터 5m 떨어진 곳에서 설치되었으며, 높이는 KTX차량의 동력차(4.1m), 동력객차(3.484m) 및 가선 높이(5.08m)를 고려하여 선로로부터 마이크론 중앙의 위치가 2.3m가 되도록 설치하였다. 측정 및 분석은 내셔널 인스트루먼트(National Instrument)사의 PXI(DAQ 보드: PXIe-1065, 제어기 : PXIe-8133, 데이터 스트리밍: NI 8260)를 이용하였고 샘플링 주파수는 6.4kHz와 주파수 분해능은 5.00Hz로 측정하였다.

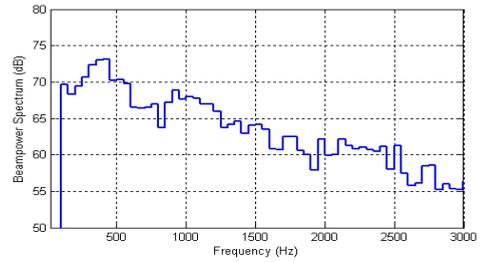


Fig.3. Noise characteristics of Front nose section

또한 마이크론 어레이를 이용하여 정확한 음원을 추정하기 위해서는 정확한 음원의 위치를 파악하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 시간에 따른 음원의 이동 위치와 속도 측정이 필요하다. 고속 열차의 속도 측정은 포토 센서를 이용하여 수행하였다. 포토 센서는 발광 센서와 수광 센서가 한 쌍을 이루고 있으며, 선로 양 쪽 기둥면에 레일방향으로 1.4m와 레일 레벨 기준으로 높이 1m 지점에 시작과 끝 트리거 센서가 위치하도록 고정하였다. 열차의 속도는 열차가 진입쪽 선로 기둥면을 통과 시 시작 트리거가 작동하게 되며, 진출 쪽 기둥면을 통과 시 끝 트리거를 작동하게 되어 통과 시간을 측정하고, 양 기둥면 사이의 거리를 통해서 구하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 빔형성 방법을 이용하여 고속철도 차량의 소음에 대한 특성을 도출하는 연구를 수행하였다. 특히, 주요 공력 소음원의 위치에 대한 주파수 스펙트럼 분석을 통해서 소음의 특성을 도출하는 방안에 대해서 검토하였다. 이를 통해서 전두부, 팬토그래프, 차간 부위에서 발생하는 소음에 대한 특성을 도출하였다. 전두부와 팬토그래프 커버 부분에서는 주로 저주파영역에서 소음이 분포되는 것이 확인되었으며, 팬토그래프에서는 고주파 영역까지 소음의 분포가 형성되는 것이 확인되었다. 또한 차간 부위에서는 저주파영역에서 토널 소음이 발생함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토해양부 400 km/h급 고속철도 인프라 시범적용 사업의 400 km/h 고속철도 소음원 모델 구축 및 소음원 기여도 분석 과제의 지원을 받아 수행하였습니다. 이에 관계자께 감사드립니다.