

고속철도 차량의 소음영향 평가 절차

Procedures for the noise impact assesment of high-speed trains

최성훈*, 이찬우**, 조준호***, 김재철***

Sunghoon Choi, Chan-Woo Lee, Jun-Ho Cho, Jae-Chul Kim

ABSTRACT

There has been an increasing demand for the noise impact assessment by the high-speed trains due to the expansion of high-speed rails. This paper provides procedures for the evaluation and the assessment of the potential noise impact resulting from proposed high-speed rails. Firstly the official specifications for the railway noise have been reviewed, and the procedures for the initial noise evaluation and the detailed noise analysis have been described.

1. 서론

KTX의 개통과 함께 국내에서도 고속철도 차량의 운행이 시작되었는데 향후 경부고속전철의 2단계 사업과 한국형 고속차량(KHST)이 개발이 진행 중이고 호남고속전철 건설이 계획 단계에 있는 등 고속철도에 대한 수요는 계속 증가 할 전망이다. 이와 함께 기존선의 전철화 및 킬링차량의 검토 등 철도차량의 속도가 계속 증가하는 추세이기 때문에 철도 차량에 의한 소음영향 평가의 중요성이 커지고 있다.

고속철도의 소음기준은 수음자의 관점에서 차량소음기준과 환경소음기준으로 나누어 생각할 수 있다. 차량소음기준은 대부분의 국가에서 철도의 운행기관에서 정하는 성능기준으로 차량 제작업체에 요구하고 있어 차량 제작업체에서 이러한 요구조건을 만족하려는 연구개발을 수행하고 있다. 반면 환경소음기준은 주민의 쾌적한 생활공간 확보를 위하여 국가에서 주거지 및 산업지역에 대한 소음허용치를 법으로 정하여 규제하고 있다. 이러한 환경소음기준을 만족하기 위해서는 철도 차량이 주행 시 발생하는 소음원에 대한 정보를 가지고 철로변에서의 소음도를 예측하고 환경소음 목표치를 만족하기 위한 소음원 차원 또는 전달경로 차원에서의 대책을 마련하는 과정이 필요하다. 환경기준의 강화와 철도차량의 속도 향상에 따라 환경소음기준을 충족하기가 어려워지고 있어 이에 대한 체계적인 대책이 요구된다.

본 논문에서는 철도차량에 의한 소음영향을 예측하고 이 결과를 이용하여 철도소음이 주위 환경에 미치는 영향을 평가하여 효율적인 대처방안을 마련하는 절차를 정리한다. 이를 위해서 우선 국내외의 철도소음 관리기준을 비교하고, 계획된 철도노선에 의한 초기소음을 예측하고 분석하는 방법에 대하여 다룬다.

2. 고속철도의 소음기준

철도차량의 고속화와 함께 도시 철도가 인구가 밀접한 주거지역을 상시 운행하면서 철도소음

에 대한 환경적 피해는 증가 추세에 있으며 철도소음의 환경적 문제는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 철도소음은 1980년대에 들어와서 철도소음을 도로소음과 항공기소음 등을 포함하는 교통소음의 한 범주에서 동시에 취급해가 되었으며, 동시에 철도의 환경소음 저감대책을 1980년대 후반 이후부터 강구하게 되었다. 그러나 철도소음을 저감시키기 위해서는 정확한 소음원을 규명하고 소음원에 대한 저감대책을 세우는 것이 최선의 방법이기 때문에 철도선진국에서는 소음원을 규명하는 측정방법들이 연구되었으며, 이러한 측정된 결과를 토대로 소음저감대책에 대한 타당성과 비용에 관한 분석을 통해서 최선의 저감정책을 수립하고 있다.

우리나라의 고속전철 소음진동 관리 기준은 “소음진동 규제법”에 명시된 철도소음진동 한도를 따르고 있다. 이와 관련하여 환경부에서는 최근에 고속전철 소음진동에 관한 기준 정립을 위한 연구를 착수 하였으며 그에 따른 법제화가 진행될 예정이다. 여기서는 고속전철 차량의 실내외소음 기준에 대하여 알아보기로 한다. 고속전철의 실내소음에 대한 통일된 규정은 대부분의 국가에서 아직 제대로 정착되어있지는 않다. 고속철도를 포함한 철도차량에 의한 옥외소음을 법으로 규제하고 있는 것과는 달리, 차량의 실내소음에 대한 기준은 차량 제작자에 요구하는 성능기준으로만 관리되고 있는 실정이다. 표 1은 소음·진동관련 KTX 차량의 계약조건과 한국형 고속전철(KHST)의 시스템 요구사항을 보여주고 있다⁽¹⁾. 300~350km/h 속도에서의 한국형 고속전철의 실내소음 기준은 향후 예측계산 및 실험에 의해 결정하되 국제적인 소음규제 강화 및 연구개발 추세에 맞추어 최소화 하도록 시스템 요구사항에 명시되어 있다. 한국형 고속전철의 실내소음 설계 기준은 350km/h 속도에서 300km/h급 프랑스 TGV의 실내소음에 준하고 있기 때문에 상당한 소음저감 노력이 요구된다.

표 1 KTX와 한국형 고속전철의 소음진동 기준 현황

고속전철		KTX(계약조건)				한국형 고속전철					
차체 고유진동수		동력차/동력객차/객차 = 8/10/13 Hz 이상				구체적 언급 없음					
소음	실내 소음 [dB(A)]	300km/h	속도	위치	개활지	터널	350km/h	속도	위치	개활지	터널
			개차 객실	66	7dB(A) 상승	객실		66	73		
			동력객차 객실	70		운전실		78	80		
		운전실	78								
	정차 중	객실	60	-	정차 중	객실	60	-			
		운전실	-	-		운전실	-	-			
옥외 소음 [dB(A)]	300km/h	Leq 91 dB(A), Lmax 93 dB(A) 이하				350km/h	Leq 91 dB(A)				
선로중심에서 25m 거리, 레일상면에서 1.2m 높이에서 측정											

표 2는 미국 APTA(American Public Transit Association)의 철도 실내소음 설계 기준이다. 여기에서는 실내소음을 평지에서는 75dB(A) 이하, 터널에서 80dB(A) 이하로 규정하고 있다. 미국철도의 경우 실내소음은 일반적으로 65~105dB(A) 사이이고, 주행속도의 1.5~4.0제곱에 비례

하는 경향을 보이며, 차륜/레일의 상태에 따라 10~15dB(A) 정도 소음이 증가한다.

표 2 미국 APTA 철도차량의 실내소음 설계기준

운전 조건		설계 기준	비고
주행 속도	평지 자갈도상	용접레일	70 dB(A)
		비용접레일	75 dB(A)
정지 상태	터널 통과 시		80 dB(A)
	모든 보기류		68 dB(A)
문 개폐 시	보기류 1개 작동		65 dB(A)
	72 dB(A)		

프랑스 TGV의 실내소음 측정치를 보면 300km/h로 주행하는 상업차량(동력차 2량 및 객차 10량 편성)의 경우 66dB(A), 4량이 객차로 편성된 시험차량의 경우 360km/h에서 71dB(A), 480km/h에서 80dB(A)로 보고되어 있다. 즉, 300km/h 이상의 고속에서 주행속도의 7제곱에 비례하는 특성을 나타내어 공력소음이 실내소음에도 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 독일 고속전철의 경우 60~200km/h 범위에서 주행속도가 2배 증가할 때 실내소음이 약 9dB(A) 증가하고, 터널 통과 시에는 5dB(A) 정도 증가 한다. 일본 STAR21의 경우 터널에서의 외부소음 투과로 315km/h에서 목표치 65dB(A)를 초과하였다고 보고된바 있다.

우리나라의 철도소음에 대한 환경소음 기준으로는 '94년 11월 21일 총리령 제472호로 공포된 철도소음한도(기준)이 있는데 표 3과 같이 2000년 1월 1일 시행되며, 공포일 이후 준공(이전 변경)되는 철도는 2010년 1월 1일부터 한도를 공포일로부터 적용하기로 되어있다.

표 3 철도연변 소음진동 환경기준

대상 지역	구 분	한 도			
		2000.1.1~2009.12.31		2010.1.1부터	
		주간(06:00~22:00)	야간(22:00~06:00)	주간(06:00~22:00)	야간(22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동휴양지구, 자연환경 보전지역, 학교병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50m 이내지역	소음 (Leq [dB(A)])	70	65	70	60
	진동 [dB(V)]	65	60	60	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 외의 지역 미고시 지역	소음 (Leq [dB(A)])	75	70	75	65
	진동 [dB(V)]	70	65	65	65

외국의 경우 적용대상에 있어서도 기존 노선보다는 신설선 혹은 대규모 개량노선에 초점을 두고 있으며 평가량은 Leq 혹은 Lmax를 주로 사용한다. EC의 경우 철도소음 환경기준을 위해 3단계로 목표(Leq)를 다음과 같이 제시하고 있다.

제1단계 : 인간의 건강보호 입장에서 주거지역에서 철도소음에 대한 폭로한계는 다음의 값 이하를 적용한다.(도로교통소음은 다음 값에서 5[dB(A)]를 감한다)

- 신설철도 : 주간 - 68, 야간 - 58[dB(A)]
- 기존철도 : 주간 - 78, 야간 - 70[dB(A)] (건물전방위치)

제2단계 : 소음레벨을 허용한도까지 낮추는 것이 목적이다.(도로교통 소음은 다음 값에서 3[dB(A)]를 감한다.)

- 신설철도 : 주간 - 63, 야간 - 53[dB(A)]
- 기존철도 : 주간 - 71, 야간 - 64[dB(A)]

제3단계 : 매우 시끄럽다고 느끼는 것이 없는 레벨로 제안(도로교통 소음도 동일)

- 신설철도 : 주간 - 57, 야간 - 47[dB(A)]
- 기존철도 : 주간 - 65, 야간 - 55[dB(A)]

3. 고속철도의 소음영향 평가

철도의 소음대책에 관한 연구는 새로운 철도노선 건설계획 및 설계 과정에서 동시에 병행되어야 효율적이다. 평가의 첫 단계는 철도건설 예정지역에 대한 소음영향 가능성을 검토하는 것이다. 건설 예정인 철도의 종류에 따라 표 4와 같은 기준에 따라 소음 영향 가능지역을 선정한다. 이 표는 미국 연방철도국(Federal Railroad Administration)이 권장하는 값이다⁽²⁾. 이러한 기준에 따라 소음 영향 가능성이 없는 지역을 소음영향 평가 대상에서 제외하여 평가 및 대책 마련에 효율적으로 집중할 수 있다.

표 4 소음영향 평가를 위한 지역선정 기준

노선의 종류	주변 환경	소음영향 거리 (feet)		
		일반 철도	자기부상	
기존선이 있는 지역	A 구역	450	200	A 구역: 도심 또는 시끄러운 교외 지역 B 구역: 조용한 교외 또는 농촌 지역
	B 구역	900	300	
고속도로가 있는 지역	A 구역	450	125	
	B 구역	700	125	
노선 신설지역	A 구역	450	200	
	B 구역	900	350	

소음영향 평가를 위해서는 대상지역의 암소음 수준에 대한 정보와 단순화된 철도소음 모델이 필요하다. 이와 함께 운행예정인 차량의 종류, 운행 시간 및 빈도, 운행속도, 운행방향 등에 대한 정보가 필요하다. 이러한 정보가 주어지지 않는 지역에 대해서는 최악의 상황을 가정하여 정보를 준비한다. 첫 번째로 운행예정 차량에 대한 기준소음 레벨을 결정한다. 예를 들어 KTX 차량의 경

우에는 속도 및 이적거리에 따라 다음과 같은 예측식으로 통과 열차의 최대소음 레벨 L_{max} 을 예측한다. 이 식은 Alsthom사에 의해 주어진 것으로 개활지에서 적용한다.

$$L_{max} = 80 + 28 \log \frac{V}{100} - 14 \log \frac{d}{25} \quad [dB(A)]$$

이 식에서 $V(km/h)$ 는 열차속도, $d(m)$ 는 노선 중심에서 수음점까지의 거리이다. 등가소음도 L_{eq} 는 최대소음 레벨, 소음노출 시간, 소음노출 빈도의 함수로 다음과 같이 계산할 수 있다.

이 식에서 t 는 열차 통과 시 노출시간, T 는 등가소음도 계산을 위한 기준 시간, n 은 주어진 시간 T 동안의 열차 통과 횟수 이다. 현재 경부고속철도 차량 계약서에 의하면 KTX 기준 등가소음도는 300km/h로 운행 시 이적거리 25m에서 1편성 당 91dB(A)이고, 이 경우 L_{max} 는 92.5dB(A)이다. 1시간 당 20대가 운행 한다고 가정 했을 경우 등가소음도는 77.7dB(A)이다.

철도 소음도에 대한 예측을 한 후에 평가대상 지역에서의 소음전파 특성을 고려하여 주변 지역의 소음도를 예측한다. 소음원에서부터의 거리에 따른 감쇠와 트렉의 지형 및 주변 건물 등의 영향을 고려하여 트렉으로부터의 거리에 따른 소음도 변화를 산출한다. 이런 방법으로 선로변의 소음분포를 계산한 후 표 3과 같은 환경기준을 고려하여 기준치를 초과하는 지역을 파악한 후 소음저감 대책을 마련한다.

선로의 신설에 의해 생기는 소음의 영향은 해당 지역의 소음레벨에 따라서 다르게 된다. 고속선이 주거지역과 공장지역을 지난다고 가정 했을 때 소음의 증가는 동일하더라도 주거지역에 대한 영향이 더 클 것이라는 예상을 할 수 있다. 미국 연방철도국에서는 옥외 지역을 크게 3개의 범주로 나누어 각각의 지역에서의 노선 신설에 의한 영향을 그림 1과 같이 구분하였다. 지역 분류에서 Category 1은 유적지나 극장 같은 정숙성을 요구하는 지역이고, Category 2는 민가나 병원 등이 있는 주거지역, Category 3은 그 외의 산업지역으로 구분하였다. 또한 Category 1과 3의 지역에서는 L_{eq} 를 Category 2에서는 L_{m} 을 평가의 척도로 사용하였다. 여기서 L_{m} 은 밤 시간(오후10시~오전7시)의 소음도에 10dB(A)를 더하여 구한 등가소음을 말한다.

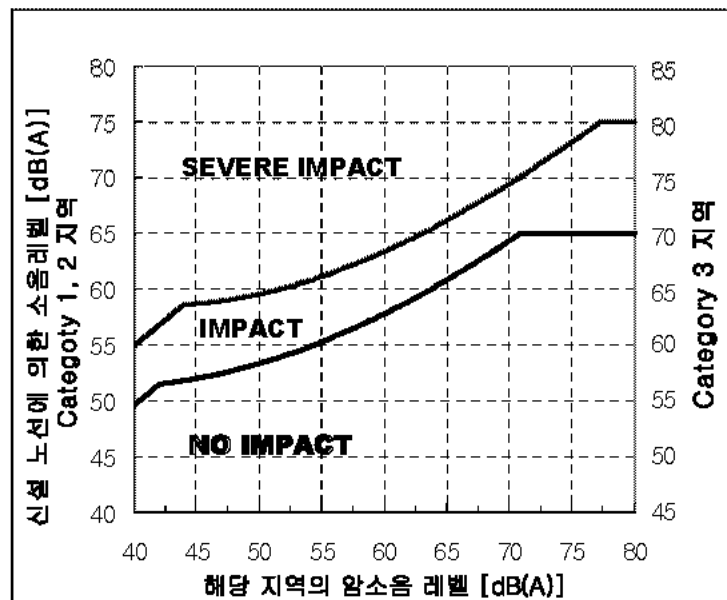


그림 1 신설노선에 의한 소음증가의 영향 평가⁽²⁾

4. 결론

본 논문에서는 철도차량에 의한 환경소음을 예측하고 이 결과를 이용하여 철도소음이 주위 환경에 미치는 영향을 평가하여 효율적인 대처방안을 마련하는 절차를 정리하였다. 고속철도 차량의 실내 및 옥외 소음 기준을 비교하였고 특히 고속철도 신설에 의한 환경소음의 영향을 평가하는 절차에 대하여 다루었다. 노선의 신설 전에 철도소음의 영향을 예측하고 평가하기 위해서는 해당 지역의 지형적 특성뿐 아니라 소음특성에 대한 정보가 필요하다. 그 지역의 소음특성에 따라 노선 신설에 의한 영향이 어느 정도인지를 예측하고 이에 대한 대책을 마련하게 된다.

참고문헌

1. 철도 소음진동 총람, 철도청(2001)
2. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Assessment, Office of Railroad Development, 1998