

고속전철의 기존선 운행시 소음평가

나 회 승*, 이 회 성*, 김 기 환*, 양 신 추*, 최 강 윤*, 현 승 호*

Estimation of Noise Effects of High Speed Train on Conventional Line

Hee Seung Na, Hi Seng Lee, Kihwan Kim, Sin Chu Yang, Kang Youn Choe and Seungho Hyun

ABSTRACT

As the delay of the Kyungbu High Speed Railroad, HST should use conventional line through Daegoo to Pusan until the new railroad build. High speed railroad noise is one of the main causes of environmental impact. Whenever HST on conventional railroad line is planned or a housing project near an existing railroad is proposed, an estimate of the relevant noise levels is usually required. For this, it is necessary to quantify those parameters that affect the railroad noise. This paper deals with an estimation of high speed railroad noise on conventional line.

1. 서 론

서울-부산간 경부고속철도건설은 1992년 3월에 건설주체인 한국고속철도공단이 창립되면서 본격적으로 업무에 착수하여, 건설공사와 아울러 제반업무가 현재 진행중이다. 건설계획은 초기에는 서울-부산간 약 430km 전구간이었으나, 97년 말부터 나라 전체가 경제적 어려움으로 인해 사회간접시설의 사업비 절감과 동시에 세계시장에서 우리 제품의 경쟁력 제고의 일환으로 경부축 물류수송비용 감소를 위해 무엇보다 고속철도 전구간 개통이 시급한 실정이었다. 이에 따라 1998년 7월에 정부가 사업비 절감과 물류비용 감소라는 두가지를 동시에 만족시키기 위해 현재 건설중인 서울-부산간 총연장 약 430km 경부고속철도 건설 사업의 기본계획을 1, 2단계로 나누어 건설하기로 정부에서 3차 수정안을 발표하였다. 그 수정안에 따르면 1단계 사업으로 서울-대구 구간은 신선을 대구-부산구간은 기존 경부선 철도를 전철화하여 우선 영업운전을 실시하고, 향후 2단계 사업으로 경주를 경유하는 대구-부산구간도 신선을 건설하겠다는 것이다. 이에 따라 우선 1단계 사업의 일환인 대구-부산간 기존선로 전철화 사업과 관련하여 프랑스에서 도입되어 운행되는 한국형 TGV 고속열차가 기존선로를 주행할 때 차량과 주위환경과의 인터페이스 문제와 관련하여 예상치 않은 어려운 문제점이 발생할 것이다.

* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

기존선구간에서 운행중인 세마을호급 차량의 최고속도는 140Km/h 인데 비해 기존선로에서 고속차량의 운행속도는 약 10% 속도향상이 예상된다. 즉, 고속차량이 현재 선로조건에 따라 대략 최고속도 150Km/h 이상으로 운행한다고 가정하는 경우에 환경영향 예측 및 평가 수행하여 환경규제를 만족하도록 저감방안을 제시해야 한다. 이를 위해서는 먼저 연변에서의 소음원특성에 관한 다양한 검토를 수행할 필요가 있다. 고속전철은 일반열차와는 다른 소음발생 메카니즘을 갖고며 다른 각도에서의 접근방법이 마련되어야 할 것이다. 하지만 국내외에서 고속전철과 관련하여 용접레일이 아닌 기존레일에서 운행한 자료가 없기 때문에 정확한 영향평가에는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 국내외 철도차량의 다양한 자료를 비교, 검토하여 예측, 분석하였으며, 향후 운행시 보다 정확한 영향평가를 계획하고 있다.

2. 철도소음기준

고속철도 차량의 운행수가 증가 할 경우, 순간적인 소음레벨 L_{max} 보다는 반복적인 소음을 고려한(주민들이 납득 할 수 있는)소음레벨 Leq 가 적합할 것으로 예상되며, 또한 ISO(International Standardization Organization)의 기술위원회(ISO/TC 43)는 지역주민의 사회적 반응을 고려한 소음평가방법으로서 1971년 5월에 ISOR 1996(Assessment of Noise with Respect to Community Respdnse)을 채택하였다. 이는 휴식, 업무,

사회활동 및 정서방해등과 관련하여 소음규제 기준을 선정하는데 기초적인 자료가 되고 있으며, ISO평가방법에서는 소음의 시간변화가 크지 않을 경우(즉,정상소음)에는 소음계를 사용하여 단순 dB(A)를 사용할 수 있지만, 철도소음처럼 소음의 변화가 클 경우에는 등가소음도(Leq)를 사용하도록 규정하고 있어 과거 Lmax를 사용한 선진국들이 대부분이 Leq(ISO규정)로 전환하고 있으며, 국제적인 추세가 Leq평가방법으로 일원화 될 추세이다. 참고로 프랑스를 포함한 유럽의 고속철도 보유국이 Leq를 채택하고 있고, 일본도 Leq평가방법으로 전환할 예정이다.

EC 제안보고서 - 향후 소음정책이란 문서(문서번호 COM(96)540 최종본 96년 4월 11일)에서 확인된 바와 같이, 환산소음레벨 Leq dB(A)를 EC 소음정도에 대한 지수로 한다. Leq는 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 exposure descriptor로, 장기적인 소음노출에 대한 척도로서 세계적인 인정을 얻어가고 있다는 공동의 합의가 있었다.

Leq평가방법은 Lmax, 소음노출시간, 소음노출의 빈번도를 모두 고려한 종합적인 소음평가도이다. Leq는 국내의 일반 환경소음기준과 동일한 평가 방법이며 소음 측정방법의 통일성 유지 및 소음정도의 상호비교가 가능하며, 환경소음기준 강화에 따른 민원 유발지역에 능동적으로 대처할 뿐만 아니라 환경소음 저감 기술개발을 이용한 교통소음의 기술적 예방 및 쾌적한 생활환경의 조성에 적합하다고 판단된다. 암소음 및 운행횟수가 Leq 소음도에 영향을 미치므로 밤과 낮으로 구분하여 기준설정이 가능하다. (Lmax의 경우 주야간으로 구분없이 적용하고 있다.) 또한 철도소음피해가 적은(운행횟수가 적은) 구간 보다 소음도가 큰 구간부터 단계적인 방음대책 추진이 용이하다. 참고로 한국소음·진동공학회 학술연구용역보고서(고속철도 환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구)는 Leq를 환경기준으로 추천하고 있다. 표 3은 국내 철도소음한도이다. 국내의 철도소음기준은 1994년 11월 21일 총리령 제 473호로 공포되어 2000년 1월 1일부터 시행되고, 공포일 이후에 준공되는 철도는 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용하는 것으로 되어 있다. 그 한도는 표 1과 같다.

표 1. 국내철도 소음한도 [Leq, dB(A)]

대 상 지 역	2000. 1. 1 - 2009. 12. 31		2010. 1. 1 -	
	주간 (06:00-22:00)	야간 (22:00-06:00)	주간 (06:00-22:00)	야간 (22:00-06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보존지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터이내지역	70	65	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	75	70	75	65

- 비고: 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하여, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 2. 정거장은 적용하지 아니하며, 철교는 2010년 1월 1일부터 적용한다.
 3. 총리령 제 474호 소음·진동규제법시행규칙중 개정령의 시행일(1994년 11월 21일) 이후 준공되는 철도에 대하여는 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용한다.

그 동안 철도소음 환경기준이 설정되지 않아 이제까지는 주택 건설촉진법의 “주택 건설기준 등에 관한 규정”에 규정된 대로 철도변에 공동주택을 건축코자 할 경우, 당해 지역의 등가소음도가 65dB(A)를 초과하면 건축선을 철도로부터 50m이상 떨어뜨리거나, 아니면 방음벽 등의 방음시설을 설치하여 등가소음도를 65dB(A) 이하로 저감시키도록 하는 것이 고착이었다.

정부고속철도의 경우 대전·충청권(천안~청원구간)건설사업 환경영향평가 협의시(’92) 고속철도소음에 대한 기준이 없어, 차량 운영시 소음기준을 일본 신간선의 기준인 Lmax 70~75dB(A)를 적용하여 환경영향평가 협의요청을 하였으며, 환경부와 협의시 기준은 주거지역 Lmax 70dB(A), 상·공업지역 Lmax 75dB(A)로 하여 소음저감방안을 강구토록 협의 되었다. 그러나 고속철도 소음기준이 없는 상황에서 ’99.9월 합리적인 고속철도 소음기준 마련을 위하여 건설교통부와 환경부 공동으로 고속철도 소음기준 설정을 위한 공동조사단이 구성되어 국내의 자료 등을 조사한 후 ’99년12월 고속철도 환경영향평가 소음협의 기준이 설정되어, 이 기준에 맞는 적절한 방음시설을 설치하여 지역주민에 대한 소음피해를 최소화 하고자 당초 협의 받았던 환경영향평가 소음 협의기준을 변경코자 하였다. 고속철도 소음기준의 단위를 국제적 추세에 따라 Lmax에서 Leq로 전환한다.

고속철도 소음기준은 아직 법으로 정해지지 않았다. 하지만 외국 고속전철보유국의 소음기준을 반영하고, 경제적 측면과 환경보호적 측면을 고려하여, 다음과 같은 소음협의기준(안)을 제시, 법제화할 예정이다.

표 2. 소음협의기준(안)

대 상 지 역	소음협의 기준(Leq)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보존지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터 이내 지역	60dB(A)
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	65dB(A)

단, 건설중인 고속철도에 대해서는 다음과 같이 정한다.

대상지역	시험선 구간 (Leq)		시험선 구간 (Leq)	
	개통시	개통 15년여후	개통시	개통 15년여후
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원 ·공공도시관의 부지경계선으로부터 50미터이내지역	63dB(A)	60dB(A)	65dB(A)	60dB(A)
상업지역, 공업지역, 농림지역, 관농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	68dB(A)	65dB(A)	70dB(A)	65dB(A)

- 비고: 1. 각종 방음대책(소음저감대책)으로 협의기준을 만족시키지 못할 경우에는 거리에 관계없이 주민이 원하면 이주보상하며, 기타 민원사항은 고속철도 운영자와 주민과의 합의에 의해 자율적으로 해결하도록 촉구한다.
2. 향후 환경소음저감을 위해 정부 및 고속철도운영자로 하여금 다음의 사항에 대해 제도적 장치를 마련하도록 촉구한다.
- 방음시설 개량에 의한 소음저감
 - 차량의 저소음화를 통한 소음저감
 - 주택에 대한 방음대책
 - 신규철도 건설시 공학적 방법을 통한 소음예측 및 검증

한가지 주의할 사항으로 일본의 고속철도는 고속철도 전용선에서 주행하고 있으며, 고속철도의 소음기준은 속도에 관계없이 만족하여야 한다. 반면에 프랑스의 고속철도는 고속철도전용선뿐만 아니라 재래선에서도 주행하고 있으며, 고속철도의 소음기준은 속도 250km/h 이상에서 만족하여야 한다. 국내의 대구~부산간의 기존선 고속화사업은 기존차량(새마을, 무궁화, 통일호)과 고속전철(TGV)을 동일궤도에서 운행할 예정이므로 고속전철의 기존선 진입시 소음기준은 프랑스방식을 적용해야 하며, 기준은 다음과 같은 국내의 소음진동규제법상의 철도소음한도를 채택해야 한다.

3. 고속철도의 소음도평가

열차주행시 최고소음도 L_{max} 는 마이크로 폰과 같은 계측기를 이용하여 측정하며, 측정데이터를 이용하여 예측식을 모델링할 수 있다. TGV의 속도 및 이력거리에 따른 L_{max} 소음예측식(GEC Alstom사 제공, 개발지조건)은 다음과 같다.

$$L_{max} = 80 + 28 \log \frac{V}{100} - 14 \log \frac{d}{25} \quad [dB(A)] \quad (1)$$

여기서, L_{max} 는 최고소음도, V 는 열차속도, d 는 노선중심에서 수음점까지의 거리이다. 열차소음은 보기(bogie)에 의해 쌍극자(dipole)형태의 소음(dipole)을 유발한다. 표 3은 열차속도 300 km/h에서 측정값과 예측값을 비

교한 것이다. 실측 및 예측 데이터의 오차가 적으므로 위 예측식은 신뢰성이 있다고 평가된다.

등가소음도 L_{eq} 는 실측 및 예측된 최고소음도 L_{max} 로 계산할 수 있다. 철도소음에 사용되는 등가소음도 L_{eq} 의 계산식은 다음과 같다. 등가소음도 L_{eq} 는 최고소음도 L_{max} , 소음노출시간, 소음노출의 빈번도를 모두 고려한 종합적인 소음평가도이다.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{t}{T} 10^{\frac{L_{max}}{10}} \right) + 10 \log(n) \quad (2)$$

여기서, L_{eq} 는 등가소음도, t 는 열차통과시 소음노출시간, T 는 자유음장에서 등가소음도 계산을 위해 주어진 시간, n 은 주어진 시간 T 에서의 열차 통과횟수이다.

표 3. 거리별 TGV 소음의 예측 평가치

선로에서의거리(m)	L_{max} (실측값)	L_{max} (예측값)	L_{eq} (20대/시간)
25	92.5	93.36	77.80
50	88.8	89.15	73.59
75	86.5	86.68	71.12
100	84.6	84.93	69.37
150	81.7	82.47	66.91
200	79.3	80.72	65.16
250	77.3	79.36	63.8

표 4는 열차의 최고속도가 150 km/h 일때 위 식을 이용한 최고 및 등가소음도의 소음예측치이다. 본 과제에서 대구~부산간 기존선구간의 선로상태는 신선구간과는 달리 속도향상에 한계성을 갖기 때문에 열차의 최고속도를 150 km/h로 가정하였다.

표 4 최고속도 150 km/h에서 거리별 TGV 소음의 예측 평가치(장대레일)

선로에서의거리(m)	L_{max} (예측값)	L_{eq} (20.5대)
25	84.93	72.33
50	80.72	68.16
75	78.25	65.74
100	76.50	64.04
150	74.04	61.70
200	72.29	60.09
250	70.93	58.88

이러한 예측식을 이용하여 보다 정확한 환경영향평가가 가능하며, 이를 바탕으로 적절한 방음대책이 마련되어야 한다. 그러나 위의 예측은 경부고속철도 서울~대구 구간 장대레일에서 최고속도 150 km/h로 주행할 경우 소음도이다. 현재 고속철도가 장대레일이 아닌 일반레일에서 주행하고 있는 사례 및 연구결과는 없다. 문헌에 의하면 일반레일에서의 소음도는 장대레일보다 3~8dB(A)가량 상승하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 대구~부산의 재래선구간에서의 소음도는 표 5와 같은 범위에

있을 것으로 예측된다. 다음의 결과는 상당히 흥미로운 결과이다. 고속철도가 일반 재래선레일에서 최고속도 150 km/h로 주행시 최고소음도는 장대레일에서 최고속도 300 km/h로 주행시 최고소음도 이하로 예측할 수 있다.

표 5 최고속도 150 km/h에서 거리별 TGV 소음의 예측 평가치 범위(재래선레일)

선로에서외거리(m)	L_{max} (최소: +3dB(A))	L_{max} (최대: +8dB(A))
25	87.93	92.93
50	83.72	88.72
75	81.25	86.25
100	79.50	84.50
150	77.04	82.04
200	75.29	80.29
250	73.93	78.93

다음 표는 차량이 시속 150 km/h의 경부재래선구간과 시속 300 Km/h경부신선구간에서 동일한 소음도를 나타낼 때 각 소음기준($L_{eq} = 60, 65, 70, 75$ dB(A); $L_{max} = 70, 75$ dB(A))에 대한 이격거리를 나타낸 것이다. 표에서 방음벽에 의한 소음저감 효과는 -10, -15dB(A)로 우수한 방음성능을 가진 방음벽에 대한 것이다. 한가지 주의할 사항으로 프랑스의 고속철도는 고속철도전용선뿐만 아니라 재래선에서도 주행하고 있으며, 고속철도의 소음기준은 속도 250km/h이상에서 만족하여야한다. 따라서 이를 국내에 적용할 경우 차량이 경부재래선구간에서 시속 150 km/h로 운행할 경우 소음기준은 국내의 소음진동규제법의 철도소음한도이다. 따라서 환경 민원 예상지역에 방음벽설치시 이격거리는 모두 25m 이내로 예상할 수 있다. 향후 보다 정확한 영향평가를 위하여 시험계측을 계획하고 있다.

표 6 환경기준 L_{max} , L_{eq} (20.5대/시간)에 대한 이격거리

소음기준	방음벽설치전 이격거리	방음벽설치후 이격거리 (15dB저감효과)	방음벽설치후 이격거리 (10dB저감효과)
$L_{eq} = 75$ dB(A)	50m	25m이내	25m이내
$L_{eq} = 70$ dB(A)	125m	25m이내	25m
$L_{eq} = 65$ dB(A)	265m	25m	55m
$L_{eq} = 60$ dB(A)	505m	55m	125m
$L_{max} = 75$ dB(A)	365m	45m	115m
$L_{max} = 70$ dB(A)	575m	115m	220m

4. 재래선 철도와 고속철도의 소음도 비교

열차의 음원은 선음원의 성격을 가지고 있으므로 실제의 실측된 소음레벨을 기준하여 역추적 모델을 산정

하였다. 그림 1, 2는 새마을열차와 TGV 고속열차의 실측 소음레벨이다. 새마을호 20량인 경우는 철도차량이 통과하는 11초사이에 최대 86dB(A)수준의 소음도가, TGV 20량인 경우는 6초사이에 최대 92dB(A)수준의 소음도가 나타나는 것을 볼 수 있다. (이격거리 25m)



그림 1 재래선 철도 통과시 측정된 소음도특성 (새마을호 16량)

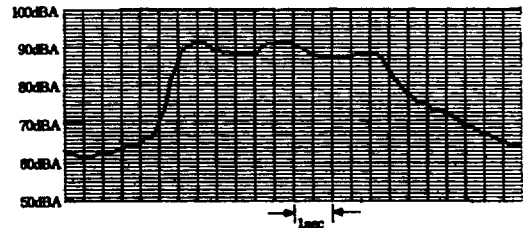


그림 2 고속철도 통과시 측정된 소음도특성(TGV 20량)

다음표는 이격거리 25m에서 새마을호와 TGV의 옥타브밴드별 소음도를 나타낸 것이다.

표 7 25m에서 측정된 철도차량의 passby소음도

	주파수별 소음도 (이격거리 25m)						
	63	125	250	500	1k	2k	4k
새마을호	81.3	84.7	85	82.8	81.6	78.7	75.9
TGV	92.8	86.9	83	85.2	85.6	85.9	81.6

고속철도의 재래선진입시 비교평가될 철도차량의 음향 파워크기는 철도변 환경영향평가지 필요한 소음분포를 예측하는 데 필요한 정보이다. 본 연구에서는 철도변 단순모델지형에서 다양한 재래선(새마을, 무궁화, 통일호, 화물차)과 고속철도의 음향파워 정보를 예측, 비교, 분석하고자 한다. 그림 3, 4, 5는 이격거리 12.5m에서 측정된 무궁화, 통일호, 화물차의 소음도이다. 무궁화, 통일호가 상당히 높은 소음도를 나타내고 있다.

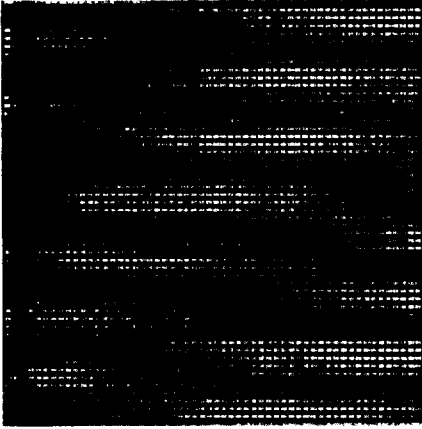


그림 3 12.5m에서 측정된 철도차량의 passby소음도 - 화물차(22량)



그림 4 12.5m에서 측정된 철도차량의 passby소음도 - 무궁화(9량)

다음표는 이격거리 12.5m에서 무궁화, 통일호, 화물차의 옥타브밴드별 소음도를 나타낸 것이다.

표 8 12.5m에서 측정된 철도차량의 passby소음도

	주파수별 소음도 (이격거리 12.5m)						
	63	125	250	500	1k	2k	4k
화물차	92.1	87.1	85.4	84.7	79.4	86.3	75.3
무궁화	90.2	91.1	85.3	88.9	87.8	85.9	80.4
통일호	92.8	92.1	88.2	89.6	87	85.4	81.6

새마을호와 TGV의 소음도는 이격거리 25m에서 측정된 데이터이고, 무궁화, 통일호, 화물차의 소음도는 이격거리 12.5m에서 측정된 데이터이기 때문에 이상의 실측 데이터에서 새마을호, TGV, 무궁화, 통일호, 화물차의 소음 크기를 절대비교, 분석하기 위해서는 실측된 음압 레벨로부터 역추적하여 계산된 음향파워레벨이 필요하다. 표 9는 표 7, 8로부터 역추적하여 계산된 음향파워레벨 값이다. 이러한 음향파워레벨은 소음예측을 위한 중요한 소음원 데이터이다. 그림 6은 각 열차의 음향파워레벨을 보여주고 있다.



그림 5 12.5m에서 측정된 철도차량의 passby소음도 - 통일호(12량)

표 9 소음예측에 사용된 소음원의 음향파워레벨

	주파수별 음향파워레벨 (이격거리 12.5m)						
	63	125	250	500	1k	2k	4k
화물차	119.2	115.5	115.9	118.3	113.8	115.2	103.3
무궁화	117.3	119.5	115.8	122.5	122.2	114.8	108.4
통일호	119.9	120.5	118.7	123.2	121.4	114.3	109.6
새마을호	108.4	113.1	115.5	116.4	116.0	107.6	103.9
TGV	120.7	116.1	114.3	119.6	120.8	115.6	109.9

위에서 실측된 데이터는 각각 다른 속도에서 측정된 소음도이다. 새마을호는 약 120km/h, TGV는 약 300km/h, 무궁화와 통일호는 약 105km/h, 화물차는 약 75km/h에서 측정된 데이터이다. 또한 TGV가 장대레일인 반면 나머지 차량은 일반 재래선레일에서 측정된 소음도이다. 앞에서 언급한바와 같이 현재 고속철도가 장대레일이 아닌 일반레일에서 주행하고 있는 사례 및 연구결과는 없다. 그러나 문헌에 의하면 일반레일에서의 소음도는 장대레일보다 3 ~ 8dB(A)가량 상승하는 것으

로 실측결과 나타나고 있다. 따라서 고속철도가 일반 재래선레일에서 최고속도 150 km/h로 주행시 최고소음도는 장대레일에서 최고속도 300 km/h로 주행시 최고소음도 이하로 예측할 수 있음을 알 수 있었다.

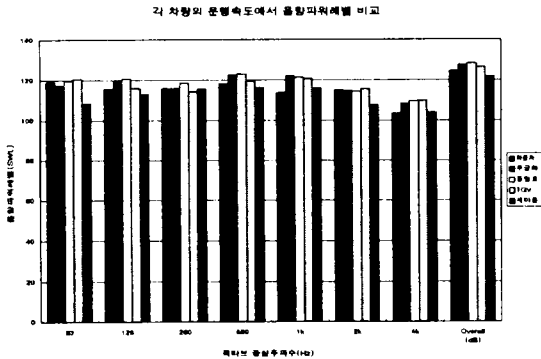


그림 6 운행속도에서 각 열차의 음향파워레벨 비교

이상의 결과는 프랑스 TGV와 특정지역의 재래선에서 발생하는 소음도를 비교, 예측한 것이다. 보다 정확한 비교를 위해서는 다양한 지역의 재래선 소음도 측정이 필요하며, 현재 시험운행중인 경부고속철도의 시험선 구간에서 속도별 시험계측이 선행되어야 할 것이다. 향후 이러한 시험계측을 수행하여 보다 정확한 환경영향평가 기준을 확보하고자 한다.

5. 결론

고속철도의 운행제한조건들은 타 교통수단에 비하여 큰 장점을 가지고 있지만 소음 진동부분에 있어서는 아직까지 해결해야 할 많은 문제들이 남아 있다. 경부고속철도 1단계 사업으로 서울-대구 구간은 신선을 대구-부산구간은 기존 경부선 철도를 전철화하여 우선 영업운전을 실시할 계획이다. 이에 따라 우선 1단계 사업의 일환인 대구-부산간 기존선로 전철화 사업과 관련하여 프랑스에서 도입되어 운행되는 한국형 TGV 고속열차가 기존선로를 주행할 때 차량과 환경소음과의 인터페이스 문제와 관련하여 예상치 않은 어려운 문제점이 발생할 것이다.

본 연구에서는 고속철도의 재래선진입시 소음영향평가에 필요한 소음도를 예측, 비교, 평가하였다. 향후 보다 정확한 영향평가를 위하여 시험계측을 계획하고 있다.

기존선구간에서의 속도향상은 차량소음의 증가를 의미하며, 향후 환경기준 강화를 고려할 경우 지속적인 저소음차량개발 및 방음시설의 성능개선이 시급히 요구된다.

참고 문헌

- (1) 한국소음진동공학회, 1995, 소음진동편람.

- (2) Minist. Fr. Environ. & Cadre de Vie, rev, 1980, Guide du bruit des transports terrestres/Prevision des niveaux sonores, C.E.T.U.R..
- (3) 한국고속철도건설공단, 1998, 시험선구간 방음벽설계용역.
- (4) H. J. Saurenman, J. T. Nelson, G. P. Wilson, 1982, Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, Wilson, Ihrig & Associates, Inc., U.S. Department of Transportation, Report No. Dot-TSC-UMTA-81-72, Washington, D.C.
- (6) 01dB, 1996, MITHRA V3.0 매뉴얼.
- (7) C.F. Chien and W.W. Soroka, 1980, "A note on the calculation of sound propagation along an impedance surface", J. Sound Vib. 69, 340-343.
- (8) Delany, E.N. Bazley, 1970, "Acoustical properties of fibrous Absorbent Materials", Applied Acoustics (3), 105-116.
- (9) U. J. Kurze, G.S. Anderson, 1971, "Sound Attenuation by Barriers", Applied Acoustics (4), 35-53.
- (10) 한국고속철도건설공단, 1995, 고속철도환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구.
- (11) P. Houtave and J. P. Clairbois, 1997, "Specific Designs of Noise Barriers for Tains," Proceedings of Internoise 97, vol. I, Budapest, Hungary, August.
- (12) 나 회 승, J.P.Claibois, 1998, "시험선구간(천안-대전)에서 방음시설에 의한 고속철도 소음저감예측", 한국소음진동공학회추계학술대회.
- (13) M. Klemenz, M. Hellmig, "Application of the AD-PRO software for the prediction of sound emission of future high-speed trains", 2nd International Workshop on the AeroAcoustics of High-Speed Trains, Berlin 1997
- (14) 전형욱, 철도차량의 내부소음 예측에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문, 1999