

특집

철도소음의
규제기준 및 저감대책도로교통소음과 철도소음 혼재지역에서
3차원 소음지도와
설문조사를 이용한 철도소음 정량평가고 준 희, 장 서 일*
(서울시립대학교 환경공학부)

1. 머리말

선진국뿐만 아니라 개발도상국의 경우에도 경제발전을 달성하기 위한 필수적인 요소인 교통시설의 확충으로 인하여 많은 사람들이 교통소음의 증가에 따른 불쾌감을 호소하고 있는 실정이며, 이에 대한 적절한 대책이 제기되어왔다. 그러나 이러한 문제점에도 불구하고 교통소음의 경우 정량적인 평가와 대책의 수립에 있어 도심지내 정량적인 소음 노출정도와 지역을 파악하기 힘들고 소음에 대한 주관적 반응은 음의 물리적인 특성뿐만 아니라 인간의 심리적인 영향을 받기 때문에 교통 소음으로 인한 평가 및 저감대책이 쉽지 않은 상황이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 선진외국에서는 소음에 대한 주관적 반응에 관한 많은 연구를 하여 왔다.

이 글에서는 복합소음 혼재 지역에서의 철도소음에 대한 정량적인 평가를 하기 위하여 소음지도와 성가심 반응 관계를 이용하였다. 우선 소음의 노출지역과 정도를 정량화하기 위하여 소음지도를 이용하였다. 소음지도(noise map)는 소음자료를 이론적으로 증명된 예측식이나 여러 인자들을 포함하고 있는 실험상의 결과로 얻은 경험식 및 지리정보시스템(GIS, geographic

information system)을 사용하여 소음의 수치와 공간적 분포를 계산하여, 계절별 소음의 변화, 시간대별 소음 분포 변화, 주야간의 소음분포의 변화 및 지역 구간별 소음의 변화 등에 관한 데이터를 분석하고 가공하여 제시하는 지도로서, 소음 분포의 시각적인 면과 공간적인 면을 고려하여 소음의 공간적 분포를 정량적으로 평가할 수 있는 지도이다. 이 연구에서는 이러한 철도 소음의 소음지도를 제작하여 철도 소음의 공간적 분포를 정량적으로 분석하였다.

사람에 대한 소음의 음향적요소와 비음향적요소 모두를 평가 할 수 있는 것이 성가심 반응(annoyance response)이다. 유럽연합에서는 2002년 'Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance'라는 연구 보고서를 작성하여 환경소음에 대한 위해성 평가를 위한 소음 지시치(complex indicators)에 대해 전체 주민 중 성가심을 호소하는 주민의 비율을 지표화하는 방법을 제안하고 있다.

이 글에서는 소음의 사람에 대한 정량적인 평가 도구인 철도 소음에 대한 성가심 반응관계와 철도 소음의 소음지도를 이용하여 철도 소음의 정량적인 위해성 평가뿐만 아니라 철도 소음의 청감실험을 통하여 열차별 소음의 반응관계를

* E-mail : schang@uos.ac.kr / (02) 2210-2177

파악하여 세부적인 열차별 소음 평가를 실시하였다.

2. 소음 지도

소음의 공간적 분포를 정량적으로 평가하기 위하여 소음 지도를 제작하였다. 소음지도는 3차원 건물 및 지형, 도로, 철도 등 소음을 발생시키는 소음원에 대한 위치정도를 포함하는 3



그림 1 3차원 지형 및 건물 모델

차원 도시 공간모델과 소음의 정량적 예측을 위한 교통량 및 속도 변화 등 데이터베이스를 기반으로 소음 예측 모델에 의한 소음예측으로 구성된다.

2.1 3차원 도시공간 모델

수치지도를 이용하여 등고선, 표고점 레이어 추출, 등고점 생성, 그리드생성, 내삽으로 격자점에 높이값을 부여하여 3차원 지형모델 형성하였으며, 3차원 건물모델은 수치지도의 건물 정보와 도화원도의 건물정보를 이용하여 3차원 건물모델을 생성하였다.

3차원 건물모델은 수치지도의 건물 정보와 도화원도의 건물정보를 가지고 3차원 건물모델을 생성하게 된다. 정 위치 편집으로 다듬어진 수치지도에서 건물의 경계 정보로 도시공간모델의 건물 경계를 생성하고 도화원도에서 동일한 건물을 매칭 하여 도시공간모델의 건물 경계의 높이 값을 부여한다. 또한 부여된 높이 값과 지형의 차로 건물의 높이를 계산하여 건물 높이를 산출하였다.

수치지도에서 등고선과 표고점 레이어는 z값

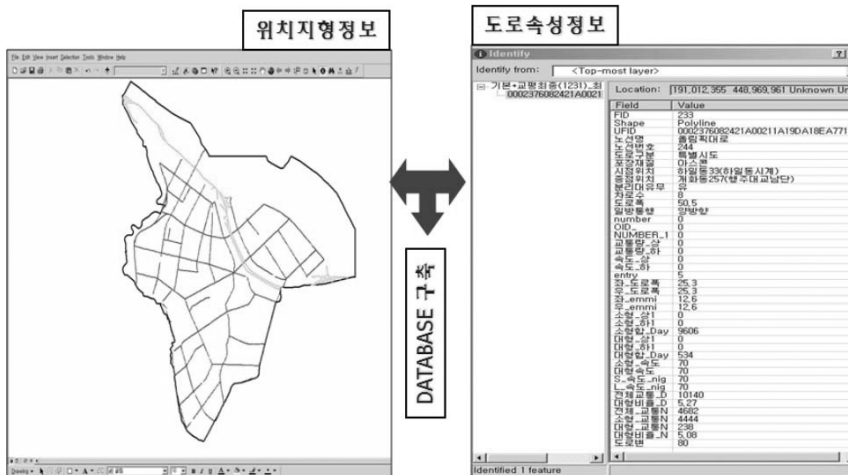


그림 2 GIS기반의 교통정보 데이터베이스 구축

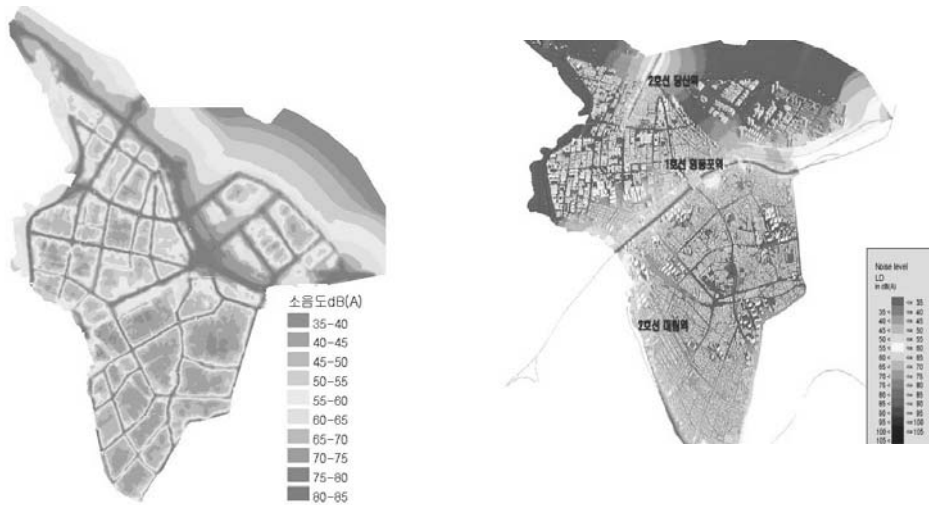


그림 3 도로 및 철도 소음지도 제작

이 속성으로 부여되어 있으므로 지형생성을 위해 사용할 수 있다. 도화원도의 등고선과 표고점의 정보보다 수치지도의 표고점과 등고선의 정보가 많으므로 수치지도의 등고선과 표고점을 추출한다. 또한 추출된 등고선과 표고점을 점 데이터로 변환하여 등고점 및 표고점들로부터 내삽하여 임의의 점 주위의 3개의 점을 대상으로 삼각형의 면을 형성하여 대상지역의 지형 모델을 제작하였다.

2.2 교통 데이터베이스 구축

연구대상지역의 도로교통 및 철도소음의 공간적 분포를 파악하기 위한 소음지도를 제작하기 위하여 소음원 중의 하나인 도로의 위치 및 속성을 표현한 것이다. 도로는 차량통행이 가장 많은 주간선도로와 보조간 선도로를 대상으로 하였으며, 교통량은 지방자치단체의 실제 조사 자료와 교통영향평가의 교통량을 이용하여 교통량과 속도를 GIS에서 도로망과 연결하였다. 그림 2는 소음원의 위치정보, 교통량, 속도 및 기타 소음원 속성 정보를 GIS기반으로 데이터베이스를 표현한

것이다. 이러한 GIS 기반의 데이터베이스는 개별 도로단위의 정보의 파악이 용이하여 도시단위의 소음예측 뿐만 아니라 도시계획 및 교통계획의 수립에 있어서도 유용하게 사용될 수 있다.

2.3 도로 및 철도 소음지도 제작

3차원 도시공간 모델과 GIS기반의 교통정보 데이터베이스를 이용하여 철도와 도로소음의 공간적 분포를 쉽게 파악할 수 있는 소음지도를 제작하였다. 그림3은 도로교통 소음지도와 철도 소음지도를 각각 개별적으로 제작하였다. 교통소음지도의 개별적 제작은 개별 소음원의 소음도를 기반으로 하여 동시 노출되는 소음도를 통합적으로 파악하여 도로 및 철도의 복합지역에서의 각각의 소음원이 발생하는 영향을 평가하기 위함이다.

3. 설문조사 및 청감을 통한 소음에 대한 반응 조사

3.1 설문조사 지역 설정

복합 소음지역에서의 철도 소음의 정량적 평가

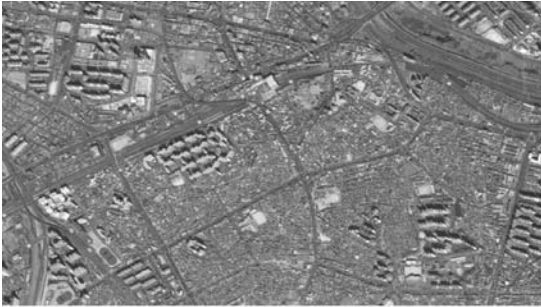


그림 4 설문조사 지역

표 1 설문조사 항목

설문조사 항목	척도
전체 소음에 대한 성가심	7점척도
도로교통소음에 대한 성가심	7점척도
철도 소음에 대한 성가심	7점척도
소음에 대한 민감도	7점척도
주변환경에 대한 만족도	7점척도
직업	자영업, 사무직, 가정주부, 학생, 기타
성별	남자, 여자
주택형태	단독주택, 연립주택, 상업건물, 아파트
나이	6단계

를 위하여 소음 지도를 제작한 지역 중 철도 소음과 교통 소음이 혼재되어 있는 영등포역 주변 지역을 설정하여 철도 소음과 도로교통소음이 혼재된 도심지에서의 소음에 대한 성가심 반응을 조사하기 위하여 총 693가구에 대하여 설문조사를 실시하여 데이터베이스를 구축하였다. 여러 소음에 복합적인 소음에 노출되는 지역에서 실내에서의 창문의 개폐에 따른 소음 노출 정도가 상이하기 때문에 창문을 개방하여 일상생활을 하는 시기인 여름과 창문을 닫고 생활하는 겨울철에 각각 설문조사를 나누어 실시하여 계절적인 영향을 고려하여 설문 조사를 하였다. 1차 설문 조사는 394개의 설문을 실시하였으며, 2차 설문 조사시에는 299개의 설문을 실시하여 1차와 2차 설문을 통합하여 총 693개의 설문 데이터베이스를 구축하였다. 그림 4에는 1차조사지역과 2차조사된 지역을 나타낸 것이다. 설문조사에 포함된 항목은 표 1과 같이 개별 소음원에 대한 성가심 반응과 주거형태, 나이, 성별 등의 항목이 포함되어 있다. 특히 개별 소음으로 인한 성가심 반응뿐만 아니라 두 소음원의 포함된 전체 소음에 대한 성가심 반응에 대한 설문을 조사하여 복합

표 2 소음레벨과 성가심간의 피어슨 상관계수

		1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	5 dB	6 dB	7 dB	8 dB	9 dB
도로 소음 우세지역	도로교통소음레벨									
	- 도로교통소음 성가심	0.40	0.40	0.42	0.43	0.45	0.44	0.42	0.40	0.41
철도 소음 우세지역	철도소음레벨									
	- 철도소음 성가심	0.52	0.51	0.52	0.54	0.53	0.51	0.51	0.48	0.54
복합 소음 우세지역	전체소음레벨									
	- 전체소음 성가심	0.43	0.39	0.30	0.32	0.28	0.33	0.32	0.31	0.28

(Ref: 고준희, 장서일, 2008, "복합소음지역의 3차원 소음지도, 설문조사와 청감실험을 이용한 철도소음평가에 관한 연구," 한국소음진동공학회 2008 춘계학술대회 철도시스템위원회 논문집.)

소음으로 인한 성가심반응과 개별 소음에 대한 성가심 반응을 비교할 수 있도록 설문지를 설계하였다.

3.2 복합소음의 우세지역 설정

복합소음의 정량적인 평가를 위하여 개별 소음의 영향 정도에 따른 지역의 구분이 중요한 요소이다. 복합소음 지역을 구분은 지형적 분류와 소음원의 기여도에 따라 분류할 수 있다. 지형적 분류는 개별 소음원의 거리의 근접성에 따라 분류될 수 있다. 그러나 지형적으로 우세 소음원 지역 및 복합 소음지역을 구분하는 방법은 소음원의 소음 레벨에 따라 유동적이며, 건물 높이에 따라 변화하는 소음도를 정량적으로 설정하는 것은 명확한 지역설정이 되기에는 부적절하다. 따라서 이 글에서는 각 소음원의 영향 정도에 따라 분류하는 방법을 사용하였다..

소음원의 영향 정도에 의한 방법을 통하여 우세소음 지역을 분류하기 위하여 각 설문지점의 소음도를 도로소음과 철도 소음의 차를 1 dB(A)에서 9 dB(A)까지 총 9가지의 경우를 분류하여 각 소음원의 소음도와 소음으로 인한 성가심의 상관관계를 표 2와 같이 통계 분석하였다. 전체 데이터의 성가심과 소음원의 상관관계는 모두

$p < 0.05$ 로 나타나 유의함을 보이고 있다.

이러한 자료를 기반으로 상위 3개의 상관도를 각각 3점, 2점, 1점의 점수를 부여하여 종합한 결과는 표 3과 같다. 도로교통, 철도소음 그리고 복합소음지역의 평균적으로 가장 높은 상관도를 높은 지역은 소음도의 차이가 5 dB(A)의 지역으로 분석되었다.

이러한 연구결과는 사람의 소음에 대한 민감도는 두 소음의 차가 2~3 dB(A)일 경우 소음의 차를 느끼기 어렵고, 5 dB(A)일 경우 쉽게 인지할 수 있으며, 두 소음의 차이가 10 dB(A)이상일 경우는 음의 크기를 반 혹은 두 배로 인식한다는 외국의 연구결과와 일치한다.

3.3 청감실험

철도전체에 대하여 동일한 소음한도의 물리적 크기가 과연 적절한지 청감실험을 통하여 고속철도(KTX)와 일반기관차(전기, 디젤기관차)를 대상으로 동일 물리량(Leq, Lmax)변화에 따른 성가심 반응도를 살펴보고 분석하였다.

(1) 청감실험의 구성

청감실험의 쾌적한 환경 조성을 위하여 Norm Otto와 Beranek의 논문을 참고 하였다. 장비 설정

표 3 복합소음 우세지역 판정 결과

	1 dB(A)	2 dB(A)	3 dB(A)	4 dB(A)	5 dB(A)	6 dB(A)	7 dB(A)	8 dB(A)	9 dB(A)
우세지역	3	2	3	4	5	4	0	0	3

표 4 음의 인식정도

소음도 변화(dBA)	소음레벨에 대한 평균적인 인식변화
2~3	간신히 인식함
5	즉시 인식함
10	음의 크기를 두배 혹은 반으로 인식함.
20	극단적인 변화를 인식함

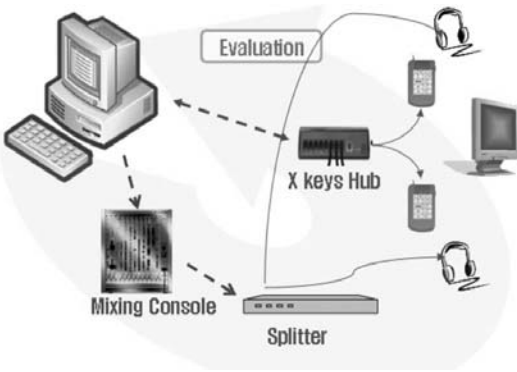


그림 5 청감시험의 구성

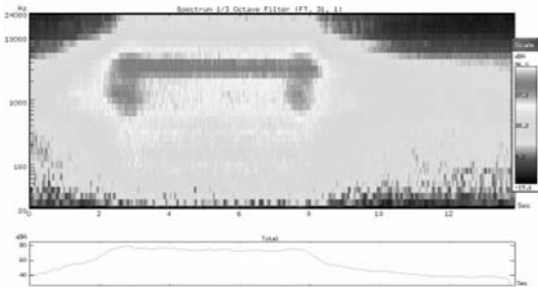


그림 6 고속열차의 소음특성 분석(70 dB(A))

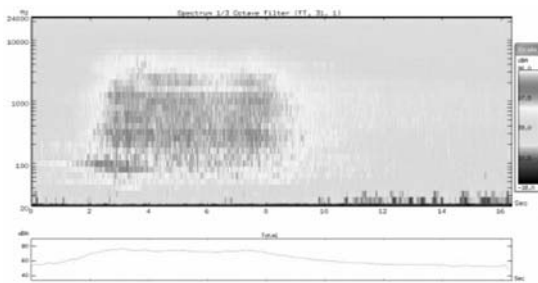


그림 7 전동열차의 소음 특성 분석(70 dB(A))

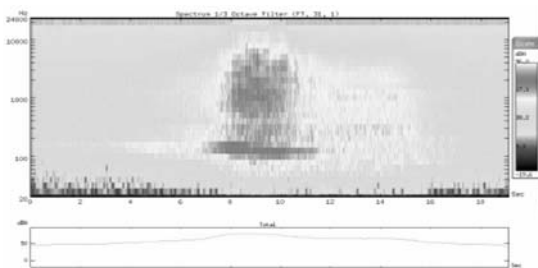


그림 8 디젤열차의 소음 특성 분석(70 dB(A))

은 청감실 설계 시 보유한 음향시스템과 컴퓨터 프로그램(MTS사의 Sound Quality v-3.7.6)을 이용하였다. 헤드폰은 'Sennheiser' 사의 소음 재현성이 뛰어난 'HD 580' 기종을 사용하여 각 평가원들마다 동일한 주파수 특성과 소음레벨을 들려주었다.

평가원을 3개 음원(고속철도, 일반기관차, 디젤기관차)에 대하여 동일 등가 물리량(50, 55, 60, 65, 70 dB(A))으로 총 15개의 샘플을 이용하였다. 레벨 당 동일 등가 물리량 샘플을 3개의 대응 쌍으로 만들고 반복성 검사를 위하여 임의의 대응 쌍 1개를 추가하여 총 4개의 대응 쌍으로 총 20개의 대응 쌍으로 청감실험을 진행 하였다. 소음샘플의 제시는 샘플사이에 3초의 간격을 두고 대응 쌍 사이의 간격은 평가원의 응답시간 5초, 대응 쌍 사이 대기시간 5초로 설정하였다. 총 실험시간은 13분여 소요되었다.

청감실험 후 평가원의 평가 데이터를 이용하여 일관성과 반복성을 검사하여 신뢰도를 검사하였으며, 이 두가지중에 한 가지라도 기준을 만족하지 못하는 데이터는 분석과정에서 제외하였다.

(2) 열차종류에 따른 철도소음 특성 분석

철도소음원별 특성을 알아보기 위하여 각 샘플별 주파수 성분 분석을 실시하였다. 그림 6, 7, 8은 더미헤드의 Left 채널을 기준으로 샘플의 Leq 70 dB(A)를 예로 들어 분석 한 것이다. 그림 중 위의 그림은 시간에 따른 주파수 변화이고, 아래 그림은 시간에 따른 레벨 변화이다.

고속철도(KTX)의 주파수 성분의 특징은 고주파 영역에서 70 dB(A)이상의 높은 레벨로 약 6초 정도의 지속시간을 보이고 있다. 주된 주파수대역은 4000 Hz이며, 100 Hz 이하와 10000 Hz 이상에서는 아주 낮은 레벨을 보이고 있다. 또한 3초 부근과 8초 부근의 1000~4000 Hz 대역

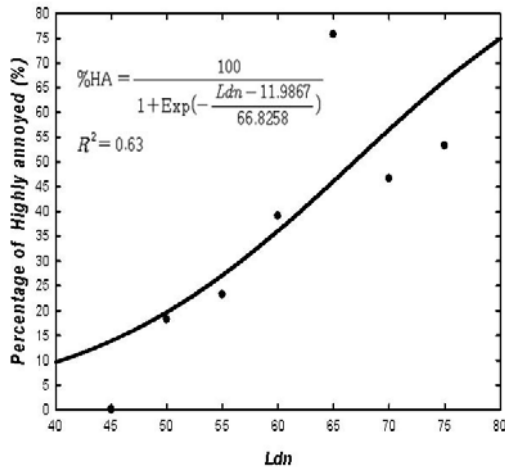


그림 9 철도소음의 %HA 반응 관계

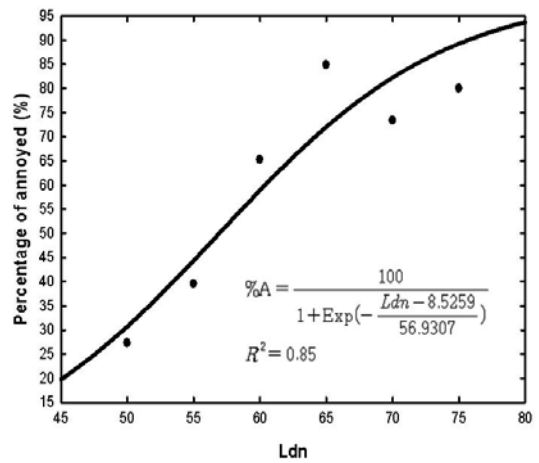


그림 10 철도소음의 %A 반응 관계

의 높은 레벨은 KTX 객차가 앞·뒤로 연결 되어 있어 지나가는(pass-by) 객차의 공력소음 등으로 판단되어진다. 이러한 고주파 성분의 주파수 성분은 향후 청감실험 결과에 크게 영향을 줄 것으로 예상된다.

전기기관차의 주파수 성분은 KTX에 비하여 전 주파수 대역에서 널리 분포 하며, 높은 레벨을 보이고 있다. 특히 100~4000 Hz사이에서 5초 이상의 70 dB(A)내외의 높은 레벨을 보인다. 10000 Hz 이상에서도 KTX에 비하여 높은 레벨인 40 dB(A)을 보이며, 50 Hz 이하에서만 낮은 레벨 20 dB(A)로 분포되고 있다. 시간에 따른 레벨 변화도 KTX에 비하여 완곡한 모습을 보이고 있는데, 이는 같은 전기를 동력으로 쓰는 객차지만 객차 속력의 차이와 객차 길이 등으로 다른 주파수 성분을 가지는 것으로 보인다. 이러한 특징들은 청감실험에서 평가원들이 느끼는 성가심과 그로 인한 소음기준에 영향을 줄 것으로 보인다.

디젤기관차의 주파수 성분은 전 주파수 대역에서 널리 분포 하며, 100~10000 Hz사이에서 지속 시간이 가장 짧은 3초간 70 dB(A)내외의 높은 레벨을 보인다. 특히 100~200 Hz대역에서 가장 높은 레벨을 보인다. 디젤기관차의 특징은 저주파

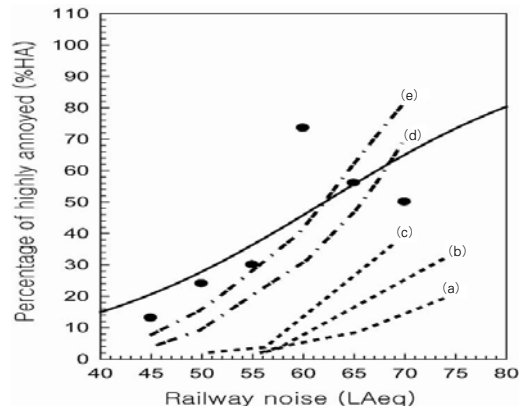


그림 11 외국의 철도 소음에 대한 성가심 반응 예측곡선의 비교

대역에서 높은 레벨을 보이고, 높은 레벨의 지속 시간이 짧고, 객차가 지나간 후 소음이 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 특징은 청감실험에서 급격한 레벨차이와 저주파대역에서의 높은 레벨로 인하여 성가심 유발이 클 것으로 보인다.

4. 철도 소음의 정량적 평가

4.1 성가심 반응 관계를 이용한 철도 소음 평가

설문조사 지역중 철도 소음 우세지역에서의 철도소음 성가심 척도 중 상위 28%에 해당하는 사

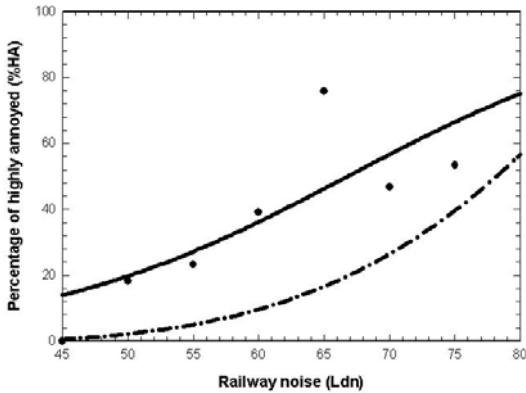


그림 12 국내와 Miedema의 철도소음 %HA 반응 예측 곡선 비교

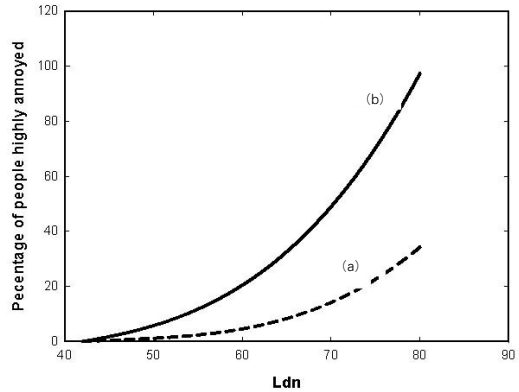


그림 13 유럽의 %HA 예측곡선

람들에 대한 %HA의 관계를 회귀분석하여 %HA 예측곡선을 산정하였다. 회귀분석결과 %HA의 예측곡선의 상관계수 R2은 0.63로서 비교적 높은 상관관계를 보이고 있다.

설문조사 지역중 철도 소음 우세지역에서의 철도소음 성가심 척도 중 상위 50%에 해당하는 사람들에게 대한 %A의 관계를 회귀분석하여 %A에 예측곡선을 산정하였다. 회귀분석결과 %A의 예측곡선의 상관계수 R2은 0.85로서 %HA와 비교하였을 때 높은 상관관계를 보이고 있다.

그림 11은 철도 소음에 대한 이 연구의 결과와 외국의 연구결과를 비교한 것이다. 그림에서 검은 점은 이 연구에서 실시한 각 지역에 대한 설문조사 결과를 나타낸 것이며, 실선은 설문조사를 통하여 얻은 %HA 예측곡선을 나타낸 것이다. 그림 11에서 보듯이 이 연구를 통해 도출한 소음도에 따른 %HA 예측모델과 외국의 연구결과와는 상당한 차이를 보이고 있으며, 외국 선형 연구자들의 연구결과에 의하면 철도 소음은 다른 교통소음(항공기, 자동차)에 비해 작은 성가심을 유발한다고 한다.

한편, 국내와 비슷한 상황에 있는 일본의 경우 철도 소음에 대한 성가심 반응은 유럽의 연구결과와 전혀 다른 결과를 보이고 있다. 그림 11은

철도 소음에 대한 연구의 결과와 일본 및 유럽의 몇몇 연구결과를 비교한 것으로 (a)곡선은 영국, (b)곡선은 덴마크, (c)곡선은 프랑스의 철도 소음의 성가심 반응을 이며, (d)곡선과 (e)곡선은 일본의 철도 소음에 대한 성가심 반응의 연구결과를 나타낸 것이다. 따라서 이 연구의 결과는 일본의 결과와는 상당히 유사한데 반하여 유럽 국가의 결과보다는 상당히 높음을 알 수 있다. 국내의 사람들이 미주지역 및 유럽지역의 사람들에 비해 철도 소음에 높은 성가심 반응의 이유는 국내의 토지이용현황에서 주거용도의 토지이용은 유럽에 비해 철도와 매우 근접한 거리에 있으며, 인구밀도도 매우 높아 기차의 통과에 따른 주거지역으로 소음뿐 아니라 진동의 영향이 미치게 되어 본 연구의 결과가 유럽의 연구결과와 차이를 유발하는 가장 중요한 요인인 것으로 판단된다. 또한 철로변 주변의 건물의 경우 건축물의 신축 및 보수에 대한 토지이용이 제한이 되어 있어 방음 및 방진 시설이 매우 취약한 경우가 다수 존재한다.

그림 12는 실시한 설문조사를 기반으로 Miedema의 소음에 대한 성가심 예측곡선과 국내의 철도 소음에 따른 예측곡선을 비교한 것으로 국내의 성가심 반응이 높은 것으로 판단된다.

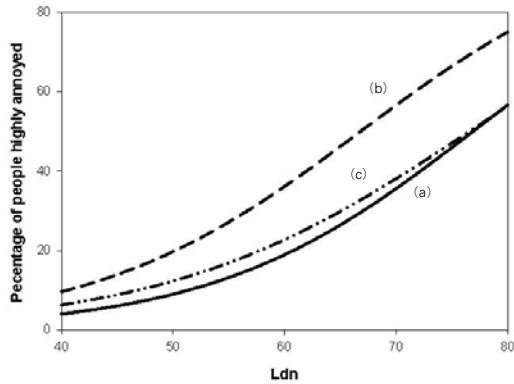


그림 14 도로교통 및 철도소음과 복합소음의 %HA 예측곡선(Ref: 고준희, 2008, “도로교통소음과 철도소음의 복합노출지역에서 성가심 정량평가 모델에 관한 연구”, 서울시립대학교)

표 5 등가 성가심을 유발 소음레벨(Leq)

등가 성가심을 유발하는 소음레벨(Leq)	고속열차	전동열차	디젤열차
	57.3 dB(A)	54.7 dB(A)	54.4 dB(A)

표 6 등가 성가심을 유발 소음레벨(Lmax)

등가 성가심을 유발하는 소음레벨(Lmax)	고속열차	전동열차	디젤열차
	63.7 dB(A)	64.2 dB(A)	62.4 dB(A)

4.2 철도소음 성가심 반응과 도로 교통 소음 성가심 반응 비교

외국의 선행 연구자들의 연구결과에 의하면 사람들에게 노출되는 교통소음 중에서 도로소음은 철도소음에 비하여 더 심한 %HA를 유발한다고 한다. 그림 13은 주로 유럽과 미주지역에 거주하는 사람들을 대상으로 조사된 설문조사 자료를 토대로 하여 도출한 철도 및 도로교통 소음에 대한 %HA 연구결과를 나타낸 것으로 동일한 크기의 소음에 노출된다 할지라도 철도소음보다는 도로 소음으로 인하여 유발되는 %HA가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 여기서 (a)는 철도 소

음에 의한 성가심 반응에 대한 예측곡선이며, (b)는 도로교통 소음에 대한 성가심 반응의 예측곡선이다.

그림 14는 이 연구를 통하여 도출된 우리나라 사람들의 철도, 도로 교통 소음 및 복합 소음에 노출된 사람들에 의한 %HA에 대한 예측 결과를 나타낸 것이다. 같은 수준의 소음도에 대하여 도로교통 소음에 대한 성가심 반응과 철도 소음 성가심 반응 사이에 복합 소음 노출에 대한 성가심 반응인 복합소음에 대한 %HA 예측곡선이 존재하는 것으로 %HA 예측곡선의 경우 복합소음에 노출되는 성가심은 도로교통소음에 노출되는 성가심 반응과 전체적으로 비슷한 것으로 분석되었다. 여기서 (a)는 도로교통소음에 대한 성가심 반응 예측곡선이며, (b)는 철도소음에 대한 성가심 반응 예측곡선 그리고 (c)는 복합소음에 대한 성가심 반응 곡선이다.

이 글에서 설문조사를 이용한 성가심 반응의 결과 철도 소음의 경우 외국의 연구결과와는 다소 차이를 보이고 있는데 우리나라 사람들이 다른 나라 사람들 보다 철도소음에 높은 성가심 반응을 보이고 있으며, 특히 외국의 연구결과와 비교하여 이번 연구결과와 가장 두드러진 차이는 철도 소음에 의한 주민들의 소음성 성가심 반응이 도로 교통 소음에 의한 것보다 더 크다는 사실이다. 이러한 차이를 유발하는 이유는 우리나라 사람들과 유럽 사람들의 철도 소음에 대한 인식 등과 같은 문화적 차이 또는 소음 노출의 지역적 차이 때문인 것으로 판단된다. 또한 우리나라의 경우 대도시를 중심으로 상당히 높은 인구밀도 등으로 인해 집약적인 토지 이용과 더불어 철도 주변 지역에 대한 각종 건축제한 및 규제에 의하여 주거건물의 방음 시설이 불량하고 철길과 불과 10여 미터 떨어진 매우 인접한 지역에 상당히 많은 주거지가 형성되어 있어서 운행 시 상당히 큰 소음뿐 아니라 진동도 전달된다고 판단된다.

4.3 청감실험을 통한 열차별 소음 평가

소음원별 물리적 크기에 대한 성가심 정도 즉, “전혀-별로-조금-보통-꽤-매우-엄청나게” 척도를 사용하여 보통으로 성가심을 호소하는 %A(annoyed)를 이용한 철도소음기준을 찾아보고, 높은 성가심을 호소하는 %HA(highly annoyed)를 이용한 샘플별 비교를 하였다. 각 소음원 별로 %Annoyance인 “보통 성가심, 4점”에서 등가물리량인 Leq를 비교해보면 표 5와 같다.

청감실험에 의한 결과를 이용하여 등가 물리량 (Leq)의 레벨을 확인한 결과 고속열차가 57.3 dB(A), 전기기관차와 디젤기관차는 약 54.4 dB(A)와 54.7 dB(A)에서 보통의 성가심을 느낀다고 나타났다. 유럽 등에서의 선행연구 중 철도소음과 도로소음간의 성가심 반응의 차로 철도소음에 5 dB(A) 보너스를 주는 ‘railway bonus level’와 같은 개념으로 생각한다면 일반철도에 비해 고속철도가 ‘2.9 dB(A)의 bonus level’을 갖고 있다고 생각할 수 있다.

각 소음원 별로 %Annoyance인 “보통 성가심, 4점”에서 Lmax를 비교해 보면 표 6과 같다.

Lmax의 경우 전기 기관차에서 가장 높은 소음도에서 %A를 느낀다고 나타나며, KTX에서 0.5 dB(A) 낮은 63.7 dB(A), 디젤기관차에서는 전기 기관차에 비해 1.8 dB(A) 낮은 62.4 dB(A)에서 %A가 나타난다. Lmax에서는 Leq와는 조금 다른 순서를 보여주며, 그 차이 또한 2 dB(A)이하의 수치를 보여준다.

5. 맺음말

복합소음이 혼재된 지역에서 소음지도, 설문조

사 그리고 청감실험을 이용하여 철도 소음의 정량적 평가에 관한 연구를 하였다. 소음지도의 제작을 위하여 지리정보시스템(GIS)을 기반으로 3차원 도시공간 모델의 제작하였으며, 연구 대상 지역의 지형, 건물 및 소음원의 위치정보를 3차원 모델로 제작하였다. 철도 소음의 노출에 기인한 연구대상 지역의 성가심 반응을 조사하고, 소음지도의 3차원 예측 모델을 이용하여 철도 소음 및 도로교통 소음을 예측하여 설문조사와 연결시켜 성가심 반응에 대한 데이터베이스를 구축하여 분석에 이용하였다. 철도 소음에 대한 설문조사에 대한 보완적 연구로서 철도 소음의 청감 실험을 실시하여 철도 소음 평가를 위한 지시치(indicator)에 따른 열차별 성가심 반응에 대한 연구를 별도로 실시하였다.

소음지도와 설문조사를 연계한 철도소음의 정량적 평가에서는 철도 소음이 도로교통 소음에 비하여 높은 성가심 반응을 나타냈으며, 이와 같은 결론은 유럽에서의 선행 연구의 결과인 철도 소음은 도로교통 소음보다 낮은 성가심 반응을 나타낸다는 결론과 상이한 결론이며, 우리나라와 비슷한 환경의 일본의 경우는 이번 연구와 비슷한 결과인 철도 소음에 대한 성가심 반응이 도로교통 소음에 대한 성가심 반응이 높은 것으로 연구되었다.

철도소음에 대한 성가심 반응의 결과를 이용하여 성가심 반응곡선을 도출하였다. 성가심 반응곡선을 이용하여 현재의 소음환경기준의 성가심 반응(%HA: %highly annoyed, %A; %annoyed)의 정도를 예측하여 이에 대응되는 철도 소음의 환경기준을 추정하였으며, 청감실험을 통하여 철도의 열차종류에 따른 정량적 평가를 실시하였다. 