

고속철도 소음의 물리적특성과 역사주변의 외부소음 평가

Physical Characteristics of Noise of the High-speed Train and the Evaluation of the Exterior Noise around Stations

이 상 우*, 구 재 오**, 한 찬 훈***

(Sang-Woo Lee*, Jae-Oh Goo**, Chan-Hoon Han***)

요 약

최근 각종 교통소음 공해의 심각성과 주민들의 생활의 질에 대한 요구는 나날이 높아 가는 추세이다. 따라서 소음영향 평가 및 소음조절 방안수립에 대한 연구의 필요성이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 문헌고찰 및 실측을 통하여 선진 외국의 고속열차에 대한 소음의 물리적 특성을 규명한 후, 국내에서 최초로 건설되는 고속철도 전용역사인 C 종합역사를 대상으로 외부환경 소음도를 예측 평가하였다. 이는 향후 국내 고속철도 개통에 따른 소음영향의 제반 문제점 및 개선방향과 역사 건물 실내외의 소음방지 대책을 수립하는데 주요 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

With the increase in discomfort of living by serious traffic noise pollution, the desire of relieving from discomfort is boosted up more than ever. For this reason, the researches on environmental impact assessment and noise pollution control are highly required.

This research was aimed to analyze the physical characteristics of noise caused by high-speed train in foreign countries by literature survey and field data. And with the attained results, the exterior noise level around Chon-An station, the first station planned for the high-speed train in this country, was estimated.

The results of this study might be used as a tool for predicting the unavoidable noise, lessening the noise impact caused by the high-speed train, and preparing the noise prevention measures for the interior space and the exterior around stations.

I. 서 론

급격한 산업발달로 인한 교통량의 증가와 고속화의 요구에 따른 고속철도의 도입은 미래의 운송체계와 교통망을 위하여 꼭 필요한 사업이다. 고속철도는 그 자체가 주는 신속함과 여행의 쾌적성, 국소지역의 단일시간 문화권의 가능성이라는 여러가지 장점을 가져다 주지만, 이에 따른 문제점 또한 적지 않다. 그 중 대표적인 것으로서 고속 주행중 발생하는 소음을 들 수가 있는데, 고속철도의 운행에 따른 주행소음이 인체와 건축구조물에 미치는 영향을 분석하고 이에대한 적절한 대책이 제시되어야 한다.

선진 외국의 경우 고속열차의 설계 및 시공에 있어서

공사중이나 운행중에 발생하는 대규모 소음에 대한 종합적인 환경영향평가(Environmental Impact Assessment)가 필수적으로 이루어지고 있으며, 이에 대한 구조적인 접근과 조사가 사후의 안전과 쾌적한 환경을 위하여 매우 중요하다는 인식이 일반화되어 있다. 따라서 역사 내외부의 음환경에 대한 체계적인 연구를 통한 결과를 계획 및 설계단계에서 적용할때, 보다 바람직한 공간이 만들어 질 수 있으며 역사내외부 환경의 질(質)을 높일 수 있을 것이다. 또한 교통소음 공해의 심각성과 국민들의 심리적인 면을 포함한 생활의 질을 추구하는 성향이 점차 높아짐에 따라, 소음영향평가와 그 조절대책 수립에 대한 연구의 필요성은 절실하게 요구되는 사회적 추세에 있다.

본 연구에서는 문헌고찰 및 실측자료를 통해 외국의 고속 열차에 대한 보다 정확한 소음레벨특성을 규명하고 국내 최초의 고속철도 전용역사인 C 종합 역사를 중심으로 외부환경소음도를 예측, 평가함으로써, 향후 국내 고

*경기대학교 건축공학과
 **강원대학교 건축공학과
 ***충북대학교 건축공학과
 접수일자: 1996년 1월 10일

속철도 개통에 따른 소음 영향의 제반 문제점 및 개선방향과 건물 실내외의 소음방지 대책을 수립하는데 주요 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 철도소음에 대한 이론적 고찰

자유공간에서 소음의 전파는 음원의 크기 및 음원과의 거리에 따라 음압레벨의 감쇠 특성이 달라지게 된다. 음원의 종류는 크게 점음원, 선음원, 면음원, 압축음원으로 구분할 수 있으며, 철도소음은 일종의 점음원 또는 선음원 특성으로 간주할 수 있다.

레일로부터 철도소음이 문제되는 지점까지의 거리는 열차의 길이보다 가까운 경우가 일반적이며, 그림 2.1은 거리에 따른 철도소음의 감쇠 특성 예를 보여준다.

열차로부터의 소음전달을 계산하는 방법에는 발생원을 바뀌로 한정하여 점음원의 집합으로 간주하거나 쌍극자 음원으로 해석하는 방법이 있으며, 그림 2.1은 이 두가지의 경우를 개략적으로 나타낸 것이다.

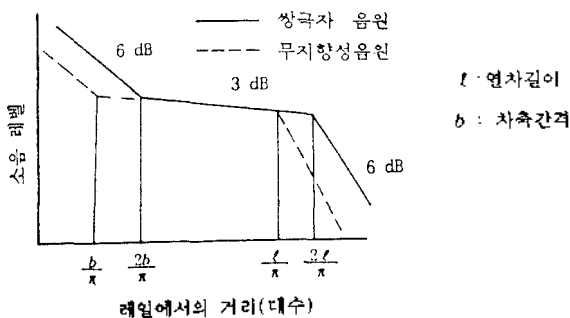


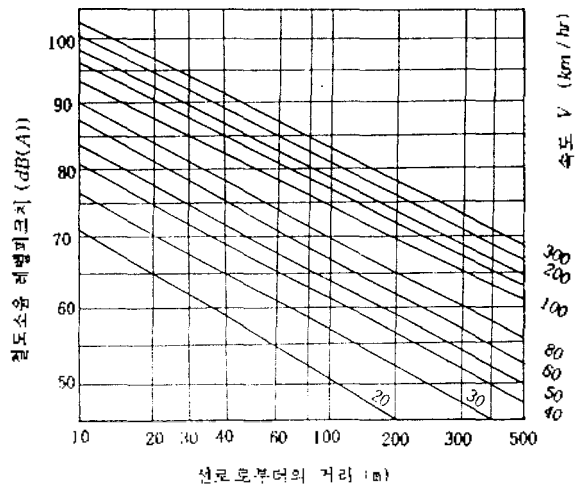
그림 2.1 철도 소음의 거리 감쇠 (자료:지하철 전지역의 소음 및 진동측정에 대한 조사연구, p7, 지하철공사, 1986)

레일에 가까운 수음점에서는 바로 앞을 통과하는 바퀴에서 발생하는 소음이 지배적이며, 따라서 점음원에서의 소리전달로 해석되어 거리가 2배가 되면 6 dB의 감쇠가 일어난다. 또한 중간 지점에서는 선음원으로부터의 전달 현상으로서 2배 거리당 3 dB의 감쇠특성이 나타나며, 수음점까지의 거리가 열차의 길이에 비해 커지게 되면 점음원에서와 같이 2배 거리에 대해 6 dB만큼의 감쇠가 생긴다. 그러나 실제로는 지면 흡수, 장애물 등의 영향도 고려될 수 있다.

고속철도 운행시 발생하는 주소음원은 열차의 바퀴와 레일의 마찰음, 차체에서 발생하는 자체소음, 하부 구조물의 진동에 의한 2차음 등으로 분류된다. 열차의 바퀴와 레일의 마찰음은 레일위로 주행하는 철제바퀴와 레일과의 마찰 및 충격에 의해서 발생된다. 열차의 주행에 의한 차체의 진동으로 자체소음도 발생되지만, 일반적으로 차체는 재진구조로 되어있으므로 차체자체가 주요소음원

으로 되는 경우는 드물다. 그러나 고속주행인 경우에는 차체와 공기의 마찰음이 발생하며 주행중 발생하는 기계장치소음(TGV 열차의 Ventilation Noise) 역시 중요한 소음원이 된다.

열차속도와 관련된 철도소음의 피크치는 열차속도가 100 km/hr 이상에서는 속도의 제곱에 비례하고 100 km/hr 이하에서는 속도의 제곱에 비례한다. 그림 2.3은 차량속도와 철도소음 레벨의 피크치 및 거리의 관계를 보여준다.



(자료:사단법인 일본 음향재료협회편, "소음진동대책 핸드북", 집문사, 1983, p.516)

그림 2.2 차량 속도의 거리에 따른 철도소음 레벨피크치

III. 고속철도(TGV) 소음의 현황과 물리적 특징

프랑스의 TGV는 1976년에 착공하여 1981년 301 km를 준공한 후 일부 기존노선을 병용하면서 운행하기 시작하였다. 현재 TGV의 주요노선은 TGV-동남선, TGV-대서양선, TGV-북부선 등으로 구분되며, 우리나라에 도입되는 TGV-K는 가장 최근에 개발된 TGV-북부선보다도 더 개선되어 소음레벨도 다소 낮을 것으로 평가된다.

표 3.1은 TGV 동남선에서 고속열차가 통과할때의 주파수별 음압레벨 특성을 나타낸 것이다. 또한 TGV 소음의 주파수별 소음특성을 1/3 옥타브밴드로 나타내면 그림 3.1과 같으며, 그림 3.2는 시간에 따라 TGV 소음레벨이 변화하는 형태를 보여주고 있다. 여기서, 선로에서부터 10 m 거리의 최대 피크레벨은 100~104 dB(A)이며, 주파수별 음압레벨이 전반적으로 고르게 분포되어 있으나 이 중에서 125 Hz와 4000 Hz 부근에서 비교적 높은 소음도를 나타내고 있는 것으로 평가된다.

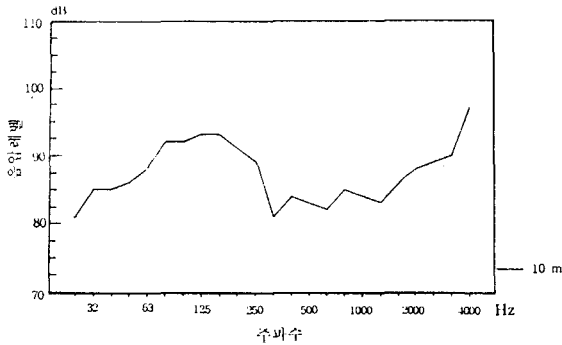
그림 3.3은 거리에 따른 소음레벨의 감쇠특성을 나타낸 것이다. 여기서 15 m 거리에서 109 dB(A)일때, 60 m 거리에서는 비교적 큰 폭(배거리마다 6 dB 정도의 감쇠)

으로 감쇠되다가 240 m까지는 선형적으로 배거리마다 3 dB의 감쇠특성을, 그 이후로는 다시 감쇠율이 커지는 것을 알 수 있다.

표 3.1 고속열차 통과시 주파수별 음압레벨(TGV-동남선, Paris-Lyon)

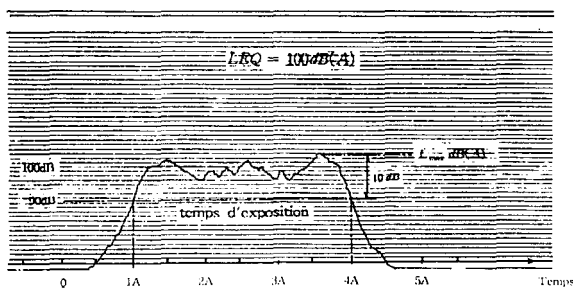
측정회수	주파수 (Hz)							열차 길이
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
1	91	96	90	89	84	93	97	200 m
2	90	93	89	84	83	87	98	200 m
3	88	93	88	84	84	88	98	200 m
4	88	93	89	83	84	88	97	400 m
5	90	94	91	87	85	90	96	400 m
6	89	95	89	84	83	91	95	400 m
7	89	93	90	84	84	89	95	400 m
평균	89	94	89	85	84	90	97	400 m

(주) 1. 열차속도: 270 km/hr
 2. 측정위치: 선로로부터 10 m 거리, 지상 1.5 m 높이
 3. 피크레벨: 100~104 dB(A)
 (자료: D.E.Commins, 프랑스, 1989)



(선로에서의 거리 10 m, 열차길이 400 m)
 (자료: D.E.Commins, 프랑스, 1989)

그림 3.1 TGV-동남선(Paris-Lyon) 소음의 주파수 특성



(선로에서의 거리 10 m, 열차길이 200 m)

그림 3.2 시간변화에 따른 TGV-동남선(Paris-Lyon)의 소음레벨 특성

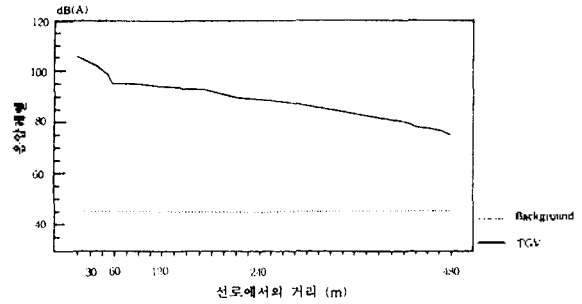


그림 3.3 거리에 따른 TGV-동남선(Lyon-Paris)의 소음레벨 감쇠특성(열차길이 400 m)

IV. 국내 고속철도 역사의 외부 소음평가

4.1 역사건물의 개요

C 종합역사는 지상 고가역으로 상부에 레일과 승차장이 있고 철도 구조물 하부를 역사 시설로 이용한 국내 최초의 고속철도 전용 건축물이다. 구조물의 폭은 총 56.4 m이며, 경부 고속철도 운행계획에 따라 6개의 선로로 구성되어 있다. 승강장 내부의 중앙 2개는 통과 열차, 그 외부 양쪽 2개는 정차 열차를 위한 선로이며 승강장 외부 각 1개씩은 예비열차를 위한 선로이다.

차후 호남선 정차를 위한 승강장과 철도구조를 감안하여 확보된 전체 대지 폭은 112 m이다. 따라서 폭 56.4 m의 구조물 내부를 내부공간으로, 외부 양쪽 각 27.8 m를 외부공간으로 계획하였다. 또한 중앙부 토목구조물 길이 84 m를 역사시설로 이용하여 토목 구조물 외부로 건축공간을 확장하여 사용하고, 외부공간은 폭 79 m의 전면광장과 공개공지 등으로 계획하였다.

남북 축으로 되어 있는 길이 방향으로는 역사로 주로 이용되는 승강장 부분 474.5 m와 승강장과 연결되는 집속구조물 644.5 m를 합한 총길이 1,125 m가 본 종합역사 배치계획의 범위이다. 이 계획 범위의 좌우측 진입부에는 각각 318.45 m와 461.5 m의 구조물이 건설되므로 구조물의 총길이는 1,898.95 m에 이른다.

C 종합역사 건설후 형성될 역사권역의 개발 및 발전은 주로 역사의 전면에 면한 서측 신도시 방향으로 이어진다. 역사의 후면에 면한 현 C시 방향으로는 비교적 지세가 험난하여 상가 등 건축물이 들어설 공간이 전면에 비해 상대적으로 협소하므로 개발에 제한요소로 작용할 것으로 예상된다.

본 종합역사는 서울~부산간의 제 1차 건설구간중에서 열차가 승객의 탑승을 위해 정거하는 정차역인 동시에 직행열차가 정차하지 않고 통과하는 역사이기도 하다. 즉, 정차용 레일과 통과용 레일이 별도로 설치되어 있으며 두 레일이 동시에 사용되어질 수 있다. 역사의 승강장(Platform)과 열차궤도가 위치한 역사 옥상부의 상부에는 경량철골(Space-frame)구조의 지붕틀에 접합유리가 설치되어 있으며 승강장 외벽은 커튼월 유리벽으로 구성되어

있다. 본 연구는 고속철도 열차가 역사를 통과할 때 발생하는 외부환경소음을 예측,평가함으로써 차후 역사주변의 종합적인 소음대책을 마련하고자 한다.

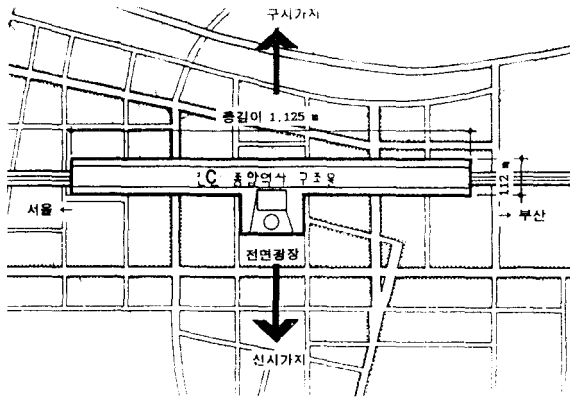


그림 4.1 천안 종합역사의 배치 개요

C 종합역사의 기본계획에 따른 건축적 제원은 다음과 같다.

(1) 역사구조물의 건축제원

- 건물규모: 지하 2층, 지상 3층
- 시설면적: 202,655 m² (61,303 평)
- 주요구조: 철근 콘크리트 라멘조(역사) + 철골조(승강장)

(2) 역사 승강장의 제원

- 길이: 450.0 m
- 폭 : 68.2 m
- 높이: 16.0 m (승강장 기준 최고높이)
- 12.5 m (승강장 기준 최저높이)
- 승강장 단면적: 약 940 m²
- 체 적(Air Volume): (940 m² × 420 m) = 약 395,000 m³
- 통과레일 구간의 폭: 11.2 m(양측 방음벽사이의 내측거리)
- 통과열차와 정거열차간의 이격거리: 2.8 m
- 통과열차와 승강장간의 최단거리: 8.0 m
- 통과열차와 승강장간의 평균거리: 13.5 m

(3) 주요 마감재료

- 지 붕: 철골 프레임 위 접합유리
- 승강장 외벽: 커튼 월 유리벽
- 승강장 바닥: 철골구조 위 유리블록
- 철도 레일부위: 콘크리트위 잡석 깔기
- 승강장 입출구: 개방(Open)
- 승강장 양끝단 상부: 개방

4.2 역사 외부소음의 평가

고속철도인 TGV-K(한국형)의 최고 운행속도는 시속 300 km이고 평균 운행속도는 240 km이며, 운행간격은 개통 초기에는 10~12 분, 최대 운행간격은 4 분으로 예정되어 있다.

최근 발표된 자료(Inter-Noise, 1994)와 TGV 소음의 실측 자료에 의한 거리별 피크레벨(Lmax)과 등가소음레벨(1 hr)은 표 4.1과 같다.

표 4.1 거리별 TGV의 소음 실측치

선로에서의 거리(m)	L _{max} (dB(A))	L _{eq} (1 hr)(dB(A))
25	92.5	63.9
50	88.8	60.4
70	86.5	58.3
100	84.6	56.7
150	81.7	54.2
200	79.3	52.4
250	77.3	50.4

주) 열차속도: 300 Km/h, 열차길이: 400 m

이 표의 등가소음레벨(Leq)은 1 시간에 1회 운행 기준을 기준으로 평가한 값이므로 시간당 n회 운행시에는 위의 값에 10 log n을 더한 값으로 구할 수 있다. 따라서 국내에서의 1 시간당 10회 운행할 경우를 고려하면 각각 10 dB(A) 씩을 더한 값으로 보정하는 것이 필요하다.

표 4.2 거리별 TGV 소음레벨의 예측 평가치

선로에서의 거리(m)	역사건물 좌우측 소음레벨		역사건물 전후면 소음레벨		
	L _{max} (dB(A)) 실측치	L _{max} (dB(A)) 계산치	L _{eq} (1 hr) dB(A)	전면 L _{max} dB(A)	후면 L _{max} dB(A)
25	93	93	74	-	-
50	89	90	71	78	80
70	87	89	68	75	77
100	85	87	67	73	75
150	82	84	64	70	72
200	79	82	62	68	70
250	77	80	61	66	68
300	(76)	79	(60)	64	66
400	(72)	76		61	63
500	(70)	74		59	61
800	(65)	70		55	57

주) 1. Leq(1 hr)은 1 시간당 열차 운행회수 10 회인 경우임
2. () 안의 숫자는 예측치임

표 4.2의 등가소음레벨은 1 시간당 운행회수 10회를 기준으로 했을 경우의 소음레벨 예측 평가치를 보여준다. 표의 피크레벨중 계산치는 선음원 공식을 적용하여 계산한 값으로서, 25 m 거리에서의 피크레벨을 93 dB(A)로 기준한 결과치이다.

역사 건물부분에서의 외부 소음레벨은 표 4.3과 같이 승강장 측벽 내부의 음압레벨에 측벽의 종합투과손실을 제한 값으로 평가되며, 이 측벽 전체를 면음원으로 가정 한 후 다음의 공식을 적용하여 거리별 음압레벨을 산정하였다.

$$a/\pi < r \leq b/\pi \text{ 일 때, } SPL_1 - SPL_2 = 10 \cdot \log(\pi r/a) \quad (5-1)$$

$$r > b/\pi \text{ 일 때, } SPL_1 - SPL_2 = 20 \cdot \log(\pi r/b) + 10 \cdot \log(b/a) \quad (5-2)$$

여기서, SPL_1 및 SPL_2 : 음원에서의 거리 $r_1, r_2 (r_1 < r_2)$ 에서의 음압레벨

a: 음원의 짧은 변 길이(정면 12.9 m, 후면 8 m)

b: 음원의 긴 변 길이(정면 및 후면 475 m)

표 4.3 역사 건물 층벽의 외부소음레벨 산정표

구분	주파수(Hz)						비고
	125	250	500	1000	2000	4000	
① 승강장 층벽내부의 SPL	89	84	79	78	83	89	계산치
② 12 mm 유리벽의 TL	28	30	33	29	32	31	참고자료
③ 종합투과손실(전면)	6	6	6	6	6	6	유리 및 개구부
④ 종합투과손실(후면)	4	4	4	4	4	4	유리 및 개구부
⑤ 층벽 외부의 SPL(전면)	83	78	73	72	77	83	①-③
⑥ 층벽 외부의 SPL(후면)	85	80	75	74	79	85	①-④

그림 4.2는 C 종합역사를 중심으로 한 주변지역의 소음 분포도(L_{max})를 나타낸 것으로, 여기에 방음벽 효과와 역사 건물의 외벽(창유리)에 의한 차음효과가 종합적으로 고려되었다. 소음원과 수음점간 지형의 수직 레벨차와 장애물 등 기타 조건에 의한 영향은 본 평가의 계산에서는 제외되었다.

고속철도 소음의 평가 결과, 철도소음에 대한 국내 주거지역 또는 외국의 일반 기준인 등가소음레벨 60 dB(A), 파르레벨 75 dB(A)를 적용하면 소음 저감대책이 요구되는 한계거리는 대략 300 m가 된다. 또한 국내에서 2010년부터 적용되는 상업 또는 공업지역(야간)의 허용 기준인 등가소음레벨 65 dB(A)를 본 계획안의 기준으로 적용하면 선로 중심에서 최소 150 m 이상의 거리를 유지해야 하는 것으로 평가된다.

따라서 고속철도 개통후 역사 주변의 토지이용계획은 이러한 소음레벨의 예측치를 충분히 고려하여 수립할 필요가 있다. 특히 활발한 개발 및 발전이 이루어질 것으로 예상되는 건물의 전면 권역은 선로 중심으로부터 최소한 300 m 이내에는 전면광장이나 공개공지, 녹지 등으로 계획하고 상업 및 업무시설은 그 이상 거리에 한하여 이용하는 것이 바람직하다.

V. 결론

본 연구는 국내에 최초로 도입되는 고속철도(TGV)소음의 물리적 특성과 선축예정인 C 종합역사를 중심으로 최부소음도를 예측 평가하였다.

고속철도소음의 특성으로서의 소음발생원 위치, 열차 통과시 주파수별 음압레벨, 선로로부터의 거리 또는 시간변화에 따른 음압레벨의 전파특성을 파악하였다.

역사건물 주변에서의 외부소음레벨은 고속열차 최고

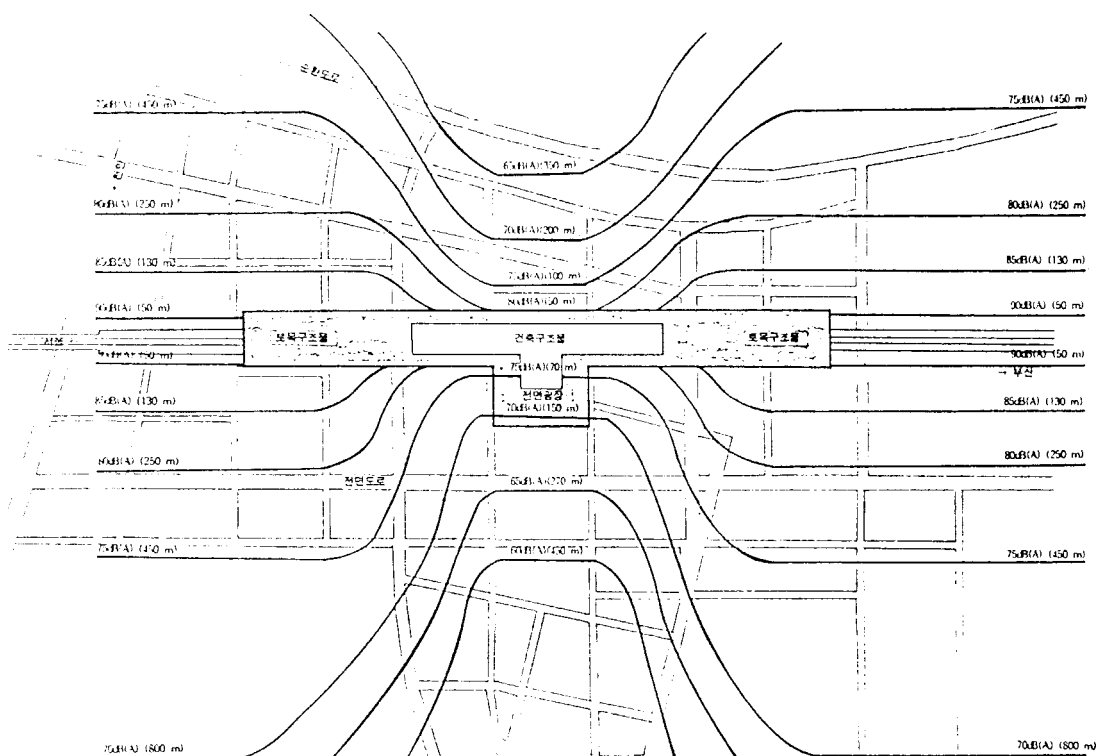


그림 4.2 천안 종합 역사 주변의 소음분포도(L_{max})

운행속도 300 km/hr를 기준으로 승강장 측벽 부분과 건축구조물을 벗어난 선로주변의 소음레벨을 평가하였다. 이때 선로 중심으로부터 25 m 거리에서의 외부소음도(Lmax)는 93 dB(A), 50 m 거리에서는 90 dB(A)이며 역사 측벽부분에 면한 위치에서는 80 dB(A)정도로 예측된다. 역사의외부의 소음레벨은 국내 주거지역(야간)의 철도 소음기준인 등기소음레벨 60 dB(A)를 적용할 경우 기준치를 만족시킬 수 있는 허용거리는 선로로부터 300 m 정도 로 나타나고 있다.

따라서 이 구역안은 전면 광장이나 공지, 녹지, 주차장 등으로 활용하고 역사주변의 건물배치는 소음원 위치와 소음분포도를 고려하여 신중하게 계획하도록 하는것이 바람직하다.

고속철도 소음의 영향을 최소화하기 위해서는 우선 소음원 자체의 음압레벨을 감소시키는 것이 가장 중요하며, 그 외에도 열차의 운전조건, 소음전파경로 및 수음자 측에서의 대책을 충분히 검토할 필요가 있다. 소음원 근처에서 1차적으로 채택 가능한 소음 저감방법으로는 발라스트 매트(Ballast Mat)구조와 케도방식이 제안되며, 통과케도 구간의 양면에 방음벽 설치를 권장한다. 기타 소음저감 대책으로서는 소음의 영향이 클것으로 예상되는 지역에는 열차속도에 변화를 주는 방법으로서, 열차속도가 50 km/hr 씩 감소될때 마다 대략 2 dB(A)정도의 소음 감쇠효과를 기대할 수 있는 것으로 평가된다.

본 연구 결과는 차후 계속되는 고속철도 역사설계와 선로주변의 소음평가 및 저감대책 수립에 중요한 자료로 이용될 수 있을 뿐 아니라 국내 고속철도 소음분야의 새로운 학문적인 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이상우, 이경희, “도시주거지역의 철도소음 영향평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제 5 권, 제 3 집, 1989.
2. 木村翔, “建築音響と騒音防止計劃”, 影園社, 1977.
3. 日本音響材料協會 編, “騒音振動對策 핸드북”, 集文社, 1983.
4. Cyril M. Harris, “Handbook of Noise Control,” McGraw-Hill, 1979.
5. David Walters, “Annoyance due to Railway Noise in Residential Areas,” Architectural Psychology, Oct. pp 56~61, 1983.
6. J.M.Fields, “Railway Noise Annoyance in Residential Areas ;current Findings and Suggestions for Future Research,” J. Sound and Vib., 51(3), pp. 343~351, 1977.

▲이 상 우(Sang-Woo Lee) 1944년 5월 10일생
 1968년 2월:연세대학교 건축공학과 졸업(공학사)
 1985년 8월:연세대학교 대학원 졸업(공학박사)
 1982년~현재:경기대학교 건축공학과 교수(건축시공 기술사/소음·진동 기술사)

▲구 재 오(Jae-Oh Goo) 1954년 4월 18일생
 1979년 2월:연세대학교 건축공학과 졸업(공학사)
 1989년 2월:연세대학교 대학원 졸업 (공학박사)
 1984년~현재:강원대학교 건축공학과 부교수

▲한 찬 훈(Chan-Hoon Han) 1961년 3월 2일생
 1983년 2월:홍익대학교 건축학과(공학사)
 1985년 2월:연세대학교 건축공학과(공학석사)
 1993년 12월:Univ. of Sydney, Australia Dept. of Architectural Science(Ph.D)
 1994년 9월~현재:충북대학교 건축공학과 전임강사



※주관심분야:건축실내음향설계, 음장 simulation 및 모델링, 소음방지 설계