

고속도로에서 방음벽 효과 예측을 위한 이론식의 비교

박종상, 임용문, 차일환
연세대학교, 전자공학과

On Comparison of Theoretical Formulas for Estimation of Highway Noise Barriers Effect

C. S. Park, Y. H. Lim, I. W. Cha

Dept. of Electronic Eng., Yonsei Univ.

요 약

본 논문에서는 고속 도로 주변에서 교통 소음 대책으로 사용되는 방음벽 효과에 대해 교통 소음 모델에 의한 예측값과 실측값을 비교하였다. 도로 교통 소음으로서의 일본 음향 학회 모델, 국립 환경 연구원 모델, 조한인 모델에 대상으로 하였다.

세가지 모델의 예측값과 실측값의 비교 결과, 갯길(노면)에서는 일본 음향 학회 모델과 국립 환경 연구원 모델에 의한 예측값이 실측값과 ± 3.5 dB(A) 차이로 비슷한 결과를 보였으며, 소음 측정 지점이 음원과 먼 경우는 속도가 빠를수록 일본 음향 학회 모델은 예측값과 실측값과의 차이가 커졌다. 조한인 모델은 시가지 도로에서는 잘 맞지만 고속 도로에 적용하기에는 적합하지 않았다.

I. 서 론

자동차 전용 고속 도로는 여러 분야에 유용한 시설이지만 고속 도로 주변 환경에 교통 소음 문제를 발생시키므로 고속 도로 주변에 소음 공해에 대한 대책이 필요하다.

교통 소음으로부터 주거 지역을 보호하기 위한 방법으로는 도로변에 방음벽을 설치하여 소음 진행 경로를 차단시키는 수동 제어(passive control) 방법이 많이 사용된다. 이와 같은 방법은 장애물 크기가 입사파 파장에 비해서 충분히 큰 경우에는 높은 차단 효과를 기대할 수 있다.

효율적인 방음벽 효과를 얻기 위해서는 도로 교통 소음과 방음벽 효과에 대한 정확한 예측이 필요하다. 자동차에 의한 도로 교통 소음의 예측 모델로는 수리적인 모델인 일본음향 학회 모델[2], 통계적 모델인 캐나다의 하계크(Hajek) 모델[3], 국립 환경 연구원 모델[4], 조한인 모델[5] 등이 사용된다.

본 논문에서는 수리적 모델인 일본 음향 학회 모델과 통계적 모델인 국립 환경 연구원 모델, 조한인 모델에 의한 예측값과 실측값을 비교하여, 각 모델에 대한 고속 도로 소음과 방음벽 효과 예측의 정확도를 비교한다.

II. 소음 및 방음벽 효과 예측 모델

도로 교통 소음은 자동차가 도로를 따라 주행하는 중에 연속적으로 발생하므로 선원원으로 취급하며, 차량 통행량, 속도 등의 변수에 의해 달라진다.

도로 교통 소음의 예측 모델과 방음벽 효과 예측 모델은 수리적 모델과 통계적 모델로 구분된다. 본 논문에서는 수리적 모델로서 일본 음향 학회 모델, 통계적 모델로서 국립 환경 연구원 모델과 조한인 모델을 대상으로 하였다.

가. 일본 음향 학회 모델

일본 음향 학회 모델에 의한 등가 소음도 환산식은 다음과 같다[2].

$$Leq = -6.3 + 1.1 \times L_{50} \quad (1)$$

여기에서 L_{50} 은 자동차 교통 소음의 중앙치(dB(A))로 다음과 같이 구해진다.

$$L_{50} = L_w - 8 - 20 \log l + 10 \log \left(\pi \frac{l}{d} \tanh 2\pi \frac{l}{d} \right) \quad (2)$$

L_w : 1 대의 자동차에서 발생하는 평균 파워 레벨 (dB(A))

L : 음원과 수음점과의 거리(m)

d : 평균 차단 거리(m) $d = 100V/Q$

V : 평균 주행 속도 (Km/h)

Q : 교통량(대/시)

유한 장벽 설치시 소음 손실치는 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta L_{d,t} = -10 \log(10^{\Delta L_d/10} \cdot 10^{-\Delta L_t/10} \cdot 10^{-\Delta L_{in}/10}) \quad (3)$$

- ΔL_d : 회절 감쇄에 의한 보정치
- ΔL_t : 투과 손실치
- ΔL_{in} : 직접음 감쇄치

나. 국립 환경 연구원 모델

국립 환경 연구원에서 제안한 고속 도로 등가 소음 예측 모델은 다음과 같다.

$$Leq = L + \Delta T + \Delta W + \Delta R + \Delta \theta - \Delta D \quad (dB(A)) \quad (4)$$

여기에서, L 은 기준 소음도로서 다음과 같이 구해진다.

$$L = -4 + 10 \log Q + 22 \log V \quad (5)$$

- Q : 교통량 (대/h)
- V : 평균 주행 속도 (Km/h)
- ΔT : 도로 구배율, 대형트럭 혼입율 및 평균 차속에 따른 보정치
- ΔW : 노폭 보정치
- ΔR : 음원과 수용점 사이의 거리 감쇄치
- ΔD : 도로 구조에 의한 회절 감쇄치
- $\Delta \theta$: 장애물이 있을때 관측각에 의한 보정치

방음벽 설치후 소음 감쇄량 ΔD_t 는 다음과 같다.

$$\Delta D_t = -10 \log(10^{-\Delta D_t'/10} + 10^{-\pi/10}) \quad (6)$$

다. 조한인 식

동일 장소에서 24시간 연속 측정된 자료에 의한 소음 레벨은 다음과 같다.

$$L_{50} = 31.83 + 4.891 \ln(\text{시간당 교통량}) + 3.4(\text{대형차 혼입율}) - 0.034(\text{평균속도}) \quad (7)$$

$$Leq = 57.11 + 2.32 \ln(\text{시간당 교통량}) + 5.88(\text{대형차 혼입율}) - 0.09(\text{평균속도}) \quad (8)$$

여러 위치의 아파트 각층에서 측정된 자료에 의한 소음 레벨은 다음과 같다.

$$L_{50} = -6.03 + 7.01 \ln(\text{시간당 교통량}) + 10.00(\text{대형차 혼입율}) + 3.29 \ln(\text{측정지점의 거리}) + 0.0098(\text{평균속도}) \quad (9)$$

$$Leq = 16.39 + 5.38 \ln(\text{시간당 교통량}) + 6.58(\text{대형차 혼입율}) + 3.29 \ln(\text{측정지점의 거리}) \quad (10)$$

III. 교통 소음 측정 및 예측 모델의 비교

(1) 측정시의 조건

측정 내용은 교통량(대/5분), 속도(Km/h), 대형차 혼입율 및 등가 소음 수준(Leq)을 측정하였다.

소음 측정 위치로는 경부 고속 도로 서울-수원간 방음벽이 설치되어 있는곳 2개소와 앞으로 설치할 계획이 있는곳 1개소 및 신갈의 비상 활주로를 선정하였다. 대형차는 1톤(ton) 이상의 화물차와 버스로 구분하였으며 16인승까지의 승합차는 소형차로 취급하였다. 교통량은 5분 동안의 통과량을 수동식 계수기로 측정하여 1시간당 교통량으로 환산하였다.

경부 고속 도로 서울-수원간 왕복 4차선 구간은 한 차선의 도로 폭이 3.6m 이며, 노면은 3M 토 일정한 도로 구배율, 음원과 수용점의 높이차 등 도로 조건은 위치에 따라 표 1에 나타내었다.

(2) 예측치와 측정치의 비교

표 2는 각 위치별 측정 결과를 나타내었고, 현장에서 조사한 자료를 예측 모델에 적용하여 구한 예측값과 실측값을 비교하여 표 3에 나타내었다. 실측값과 예측값에 대한 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error)를 계산한 결과는 표 4와 같다.

(3) 결과 고찰

갯길에서 소음 예측값은 일본 음향 학회 모델과 국립 환경 연구원 모델이 매우 정확하여 일본 음향 학회 모델은 ± 2.9 (dB), 국립 환경 연구원 모델은 ± 3.5 (dB)의 작은 오차 범위였다.

음원과 수용점의 거리가 멀어질수록 두 모델은 실측값과 예측값의 차이가 갯길에서의 결과에 비하여 크게 나타났으

며, 속도가 빨라수록 저속에 비하여 일본 음향 학회 모델의 예측값이 실측값과 차이 변화가 더 크게 나타났다. 이는 예측식중 속도의 인자가 일본 음향 학회 모델은 0.2V, 국립환경 연구원 모델은 22logV로서 일본 음향 학회 모델의 속도 증가에 따른 예측값 변화가 더 크기 때문이다.

조한인 모델은 강변도로의 일정한 장소에서 거리를 상수로 정하고 실측치를 이용하여 개발한 모델이므로 시가지 도로에서는 잘 맞지만 고속 도로에서는 적합치 않은 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문은 소음과 방음벽 효과 예측을 위하여 수학적 모델인 일본 음향 학회 모델, 통계적 모델인 국립 환경 연구원 모델과 조한인 모델의 정확도를 비교하기 위한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 갓길에서 수학적 모델인 일본 음향 학회 모델과 통계적 모델인 국립 환경 연구원 모델의 소음 예측값은 실측값과 오차가 각각 2.9 dB(A), 3.5 dB(A) 이내로 매우 근사한 값을 나타냈다.
2. 음원과 수음점의 거리가 먼 곳에서 일본 음향 학회 모델은 속도가 빨라질 경우 저속일 때와 비교하여 실측값과의 차이가 크게 변했다.
3. 수학적 모델인 일본 음향 학회 모델이 통계적 모델에 비하여 소음과 방음벽의 효과 예측에 가장 적은 오차를 나타냈다.
4. 조한인 모델은 시가지 도로에서는 잘 맞지만 고속 도로에서는 적합하지 않았다.

앞으로의 과제로는 방음벽의 종류, 재질, 형태 등에 따른 방음벽의 효과를 예측하기 위한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 차일환, "소음 진동", pp.117-122, 1980.
- [2] 石井聖光, "道路交通騒音 算計方法に 関する 研究", 일본음향학회지, 31권, 8호, pp.507-517, 1975.
- [3] J. J. Hajek, "Effect of Parallel Highway Noise Barriers", The Transportation Research Record 937, TRB, National Research Council Washington D. D., pp. 45-52, 1983.

[4] 국립환경연구원, "교통소음 저감을 위한 종합대책에 관한 연구(Ⅱ)", pp. 110-113, 1989.

[5] 조한인, "도로교통소음 예측모델", 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원, pp.47-52, 1984.

[6] 이상우, "도시주거지역의 환경소음 영향평가 모델에 관한 연구", 박사학위논문 연세대학교 대학원, 1985.

[7] Department of Transport Welsh Office, "Calculation of Road Traffic Noise", Her Majesty's Stationary Office, pp.4-87, 1988.

[8] EPA, "A Manual for the Rivew of Highway Noise Impact", Wyle Labs/Wyle Research A₁-D₂, 1977.

구 분	원차도		원차2교		상 차 교		신갈리상원주교		비 고
	노선	1차점	노선	2차점	노선	2차점	노선	2차점	
도 로 구 배 율 (%)	0	0	0	0	0.3	0.3	0	0	
방음-수음점 높이차 (L: (m))	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-5	0.7	0.7	
도로단-수음점 거리 (L: (m))	0	0	0	9	0	53	0	53	
장 거 리 근 속 거 리 (TRB)	180	-	180	-	180	160	180	180	
방음벽 근속거리 (TRB)	180	150	180	120	180	160	180	180	
방음벽 높이 (H: (m))	-	4.5	-	4.5	-	-	-	-	
방음벽-수음점거리 (L: (m))	-	5	-	6	-	-	-	-	

표 1 도로 조건

구 분	속도 (km/h)	교통량 (대차/시간)	방음도 (Leq)	소음도 (Leq)		비 고
				노 선	2차점	
신갈리상원주교	1	6688 (1620/4548)	67	79.5	53	소음측정 2차점
	2	5176 (1246/4330)	67.5	84.2	57	방음벽에서 5M
	3	4328 (1036/3792)	63	84.9	57	
상 차 교	1	4811 (1620/3604)	54	83.2	53	소음측정 1차점
	2	3598 (1240/4268)	67.5	84.3	60	방음벽에서 5M
	3	3532 (1116/4416)	70	85.2	59	
	4	6048 (1452/4596)	81	86.3	61	
	5	5220 (1356/3864)	73.5	84.8	61	
	6	5828 (1776/4052)	81	87.5	65	
신갈리상원주교	1	6688 (1612/5376)	43.5	78.6	63	소음측정 2차점
	2	5168 (1596/4512)	43.5	75.9	62	도로단에서 50M
	3	4096 (1116/4528)	57	77.9	62	
	4	5940 (1680/4260)	73	82.7	62	
	5	5976 (1608/4368)	74.5	82.0	62	
	6	6192 (1596/4596)	70.5	82.7	63	
신갈리상원주교	1	6576 (1404/5172)	70	82.2	61	소음측정 2차점
	2	7008 (1620/5396)	66.5	82.9	61.5	도로단에서 50M
	3	6696 (1608/5084)	73.5	84.2	63.5	
	4	6084 (1356/4728)	76	84.4	69	
	5	6144 (1568/4476)	71	85.4	71	
	6	5580 (1560/4020)	70	84.9	67	

표 2 위치별 측정 결과

단 위 : dB(A)

구 번	실 측 값		예 측 값				
	노 건	2 지점	입원음향학회		국립환경연구원		조한인
			노 건	2 지점	노 건	2 지점	
원 지 1 교 (관음포 설치)	79.5	53.0	86.2	68.5	87.4	70.7	61.4
	84.2	57.0	86.3	68.6	87.3	70.9	61.4
	84.9	57.0	85.2	67.6	86.6	70.2	61.8
원 지 2 교 (관음포 설치)	83.2	53.0	82.4	64.9	84.8	68.5	62.0
	84.3	60.0	85.3	67.7	86.4	70.1	61.1
	85.2	59.0	85.3	67.7	86.1	69.7	60.7
	86.3	61.0	88.0	70.4	87.9	71.5	60.0
	84.8	61.0	86.3	68.7	87.1	70.7	60.7
	87.5	65.0	88.6	71.0	88.7	72.3	60.3
상 적 교	78.6	63.0	81.3	64.6	85.9	71.2	63.2
	75.9	62.0	81.3	69.6	85.6	71.4	63.3
	77.9	62.0	81.1	69.4	83.8	69.6	62.4
	82.7	62.0	85.2	73.5	86.0	71.9	61.0
	82.0	62.0	85.3	73.6	86.0	71.8	60.8
	82.7	63.0	84.7	73.0	85.7	71.5	61.1
신갈비상활주로	82.2	61.0	84.2	72.2	86.2	71.1	60.9
	82.9	61.5	83.4	71.4	86.1	71.0	62.0
	84.2	63.5	85.2	73.2	87.0	71.9	60.8
	84.4	69.0	84.9	72.9	86.4	71.3	60.4
	85.4	71.0	86.4	74.4	87.6	72.4	60.2
	84.9	67.0	84.3	72.3	86.6	71.5	61.2

표 3 실측값과 예측값의 비교

단 위 : dB(A)

구 번	노 건			2 수 지점	
	입원음향학회	국립환경연구원	조한인	입원음향학회	국립환경연구원
원지1교	2.9	3.5	15.2	9.0	10.7
원지2교	0.5	0.8	11.0	3.9	4.5
상 적 교	1.5	2.7	8.2	4.2	4.0
신갈비상활주로	0.5	1.2	10.4	3.5	3.1

표 4 실측값과 예측값의 평균 계급간 오차