

개발 예정지역 도로교통소음 음향파워레벨 산정과 응용에 관한 연구[#]

A Study on the Computation and Application of Sound Power Level for Road Traffic Noise of Renewal Area

김 득 성* · 장 서 일†

Deuk-Sung Kim and Seo Il Chang

(2004년 7월 12일 접수 ; 2005년 5월 25일 심사완료)

Key Words : Road Traffic Noise(도로교통소음), Sound Power Level(음향파워레벨), Noise Map(소음지도), Ray Tracing Method(음선추적법), Mirror Image Source Method(거울형상음원법)

ABSTRACT

This paper is a study on relation between road traffic noise(RTN) and sound power level(PWL). At present, many experimental formulae and prediction formulae are used for prediction of RTN. But these formulae are difficult to apply to the metropolitan area because these formulae are inaccurate in the different condition from reference condition. This paper calculate RTN and PWL of each prediction formula, choose the best one and make a noise map of the subject area. Procedure is as follows. First, calculate L_{eq} of RTN using experimental formulae and prediction formulae. Second, calculate PWL using L_{eq} of RTN and distance attenuation for point source at semi-free field. Third, choose the most accurate formula. And finally, make a noise map of the subject area at present and future. The result using noise map will be able to apply to application field. Noise mapping tool used on this paper is Raynoise program using Ray Tracing Method(RTM), Mirror Image Source Method(MISM) and Hybrid Method(HM).

1. 서 론

현재 인구의 수도권 집중현상과 생활수준의 향상 및 일일 생활권 확대에 의한 유동인구와 자동차 수요가 증가하는 추세이며, 그에 따라 도로교통소음도 증가하고 있는 추세이다. 중앙환경분쟁조정위원회의 자료를 살펴보면, 민원의 85% 이상이 소음진동과 관련되어 있고, 생활소음 중 생활에 가장 밀접하고 영향

이 큰 소음이 도로교통소음이라는 연구 결과⁽¹⁾에서 보는 바와 같이 도로교통소음은 우리 주변의 생활소음에 있어 가장 큰 몫을 담당하고 있다.

현재, 국외에서 사용되는 도로교통소음 예측식들은 국내 적용에 있어, 그 식이 유도된 최적의 환경 조건이 아니기 때문에, 적용하기에 장단점들을 가진다.

이 논문에서는 각 예측식마다 다를 수 있는 반사와 회절 인자와 전파 이론들은 계산하지 않고, 가장 기본적인 인자들만 계산하여 음향파워레벨을 구하여, 이를 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시켜 비교해 보았다.

이 논문에서 사용되고 있는 평가식들(NIER⁽²⁾, CRTN⁽³⁾, ASJ-Model⁽⁴⁾)과 차량특성 이론식⁽⁵⁾ 및 기준의 측정자료⁽²⁾ 등으로 얻은 결과를 이용하여 반자유공간, 점음원 공식으로 음향파워레벨을 구해보고, 실제 측정된 1시간 L_{eq} 값으로 구한 음향파워레벨과 비교하여 레벨값의 일치성을 살펴보고, 이를 이용하

† 책임저자 : 정희원, 서울시립대학교 환경공학부

E-mail : schang@uos.ac.kr

Tel : (02) 2210-2177, Fax : (02) 2244-2245

* 정희원, 서울시립대학교 대학원 환경공학과

이 논문은 2004 춘계학술대회에서 우수발표논문으로 추천되었음.

여 개발예정 지역의 차량대수와 속도의 변경에 따른 소음지도(noise map)를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제작해 보았다.

2. 측정 및 실측값의 음향파워레벨 산정

측정장소는 소음지도의 활용에 대한 시범적인 경우를 다루고자 개발 예정지역인 I역 부근을 선택하였다. 이 논문의 경우는 측정 지점을 I역 부근에 한정시켰기 때문에, 통합적인 적용을 위해서는 다른 지역에 관한 연계성이 필요할 것으로 판단된다.

우선, 측정지점에서 장애물이 없는 곳을 선정하여 현재의 도로교통소음 $L_{eq,1h}$ dB(A), 차량대수, 평균속도 등을 측정하였다. 측정지점의 주변은 길가에 식당, 가게, 철공소/목공소 등이 있고 도로가 바로 인접해 있는 곳으로 부지경계선의 구분이 불명확한 곳이다.

측정지역 도로는 7차선으로 불침투성 아스팔트 포장 도로이고, 대형차량이 총 차량의 7.7~9.2% 정도를 차지하고 있다. 측정시간은 08:30~09:30, 11:00~12:00, 13:00~14:00, 17:00~18:00시였고, 이중,

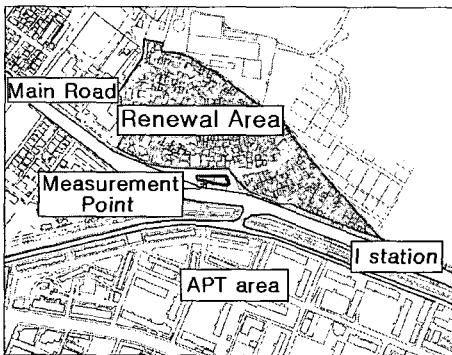


Fig. 1 Renewal area and measurement position

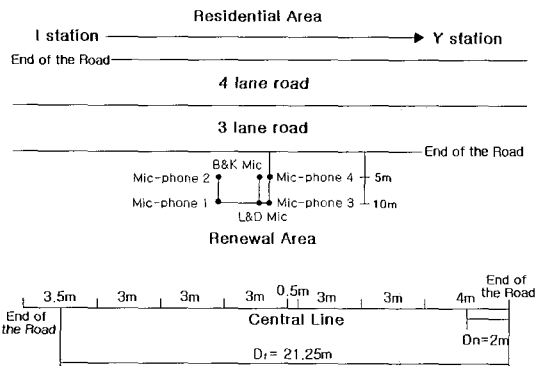


Fig. 2 Situation of road and measurement position

소음도와 차량대수가 가장 많은 17:00~18:00시 자료를 사용하였다. 차량 대수(소형 : 대형 = 2,991:278, Q)는 총 3,269 대/h, 차량 평균속도(소형 : 대형 = 50.4 : 45.1, V)는 49.95 km/h, 대형차량 혼입률은 8.5%, 암소음은 48.8 dB(A)였다. 측정시 기후조건은 온도 22.5 °C, 습도 74.5%, 풍속 0.9 m/s이었다.

Fig. 1과 Fig. 2는 도로교통소음의 측정위치와 도로의 가상주행선을 나타내며, Fig. 2를 이용하여 가상주행선 길이(l)⁽²⁾를 구해보면 6.52 m가 된다.

Fig. 3은 1시간 동안 도로단으로부터 5 m 지점과

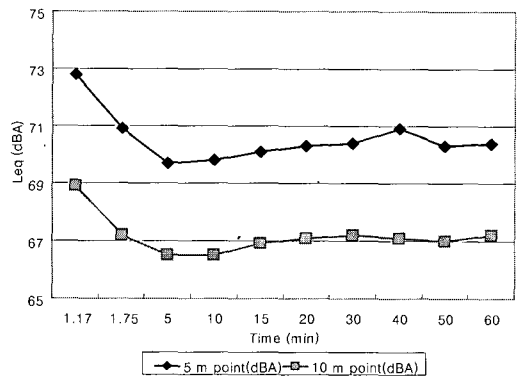


Fig. 3 1 hour road traffic noise profile

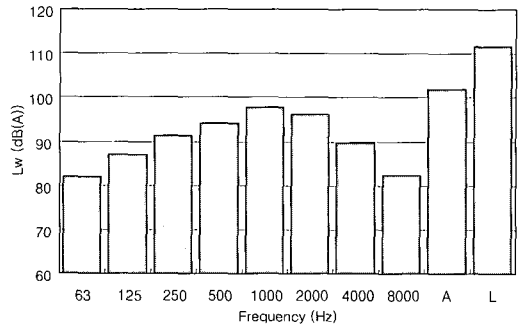


Fig. 4 Calculation result of L_w profile from $L_{eq,1h}$

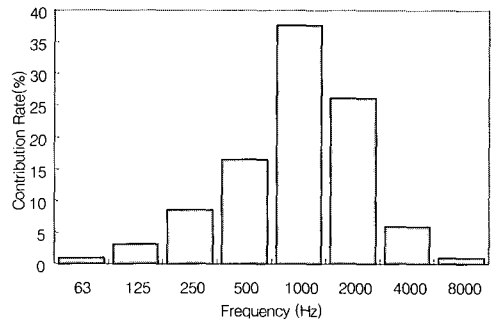


Fig. 5 Frequency contribution rate(F.C.R.) of L_w

10m지점을 측정한 L_{eq} 값이다. 그 결과, 5m 지점의 음 70.4 dB(A), 10m 지점은 67.2 dB (A)로, 거리가 2배 될 때 3 dB(A) 감소하는 선음원의 특징을 나타내고 있다.

측정값의 음향파워레벨을 산정하기 위해 이 논문에서는 반자유공간, 점음원 공식을 사용하였다. 이는 이 논문에서 사용되는 프로그램의 선음원은 연속적인 점음원의 형태로, 점음원 공식을 사용하여 계산한 후 음향파워레벨을 점음원 개수(n)로 1/n으로 나누어 각 음원에 넣어주기 때문이다. Fig. 3의 결과를 공식에 적용시켜 음향파워레벨(L_w)을 계산하면 Fig. 4와 같고, 주파수별 기여도(FCR)는 Fig. 5와 같다. 여기서, 음향파워레벨의 계산에 사용되는 이격거리는 중앙선을 중심으로 측정지점까지의 거리로 15.25 m를 사용하였으며, 그 결과, 음향파워레벨은 102.0 dB(A)였고, 1000 Hz 성분이 가장 큰 기여율을 보였다.

3. 평가식에 의한 음향파워레벨 산정

3.1 음원 길이 산정

도로교통소음도 연속 음원에 속하기 때문에 음원의 길이 산정은 중요하다. 이 논문에서는 음원 길이에 따라 음향파워레벨을 조절하기 위해 기준 음원의 길이에 대한 음향파워레벨을 구하고, 음원 길이에 따라 음향파워레벨을 조절하였다. 이 길이는 이론적으로 등속 및 등간격 운동을 하는 차량의 음압도 차를 이용한 것으로, 10 dB이상 차이가 날 경우, 수음지점에 큰 영향을 주지 않는 것으로 간주하였지만, 실제 상황에서는 차량의 종류, 운전 방식, 도로포장 종류 등에 따라 기준 거리 이상에서도 영향을 줄 수 있다.

음원 길이 산정의 방법은 Fig. 6과 같다.

음원의 위치에 따른 수음지점의 소음도 차가 10 dB이상인 거리를 직선으로 연결한 총 길이를 음원의 길이로 간주하였고, 계산식은 다음과 같다.

$$L_{P1} - L_{P2} = 20 \log(r_2/r_1) < 10 \text{ dB(A)} \quad (1)$$

식 (1)에서 계산된 거리 $b(r_1=5 \text{ m}, r_2=15.812 \text{ m})$ 는, 15.0m가 되어, 음원의 총길이는 30m가 되며, 이론적인 도로교통소음의 기준 길이로 삼았다.

참고적으로, 점음원 11개로 이루어진 30m의 선음원과 1개의 점음원에 대한 수음지점의 값을 비교해보면, 선음원은 69.7 dB(A)로 점음원에 비해 0.7 dB(A) 낮게 계산되었으나, 시뮬레이션 결과는 지면 반사 등의 영향으로 인해 70.2 dB(A)로 나타나 비교적 정확했다(5.1장 참고).

3.2 NIER⁽²⁾ 식을 이용한 음향파워레벨

국내에서는 국립환경연구원(NIER)에서 제시한 간선도로식을 사용하고 있으며, NIER식은 10 m를 기준으로 10 m이상과 10 m이내의 식으로 나뉜다. 이 연구에서 1시간동안 측정된 두 지점에서의 L_{eq} 값을 NIER식과 비교하여 Table 1에 제시하였다.

Table 1의 결과를 살펴보면, 10 m이상인 지역의 예측값은 실측값과의 레벨차(Δ)가 크기 때문에, 이 연구에서는 10 m이내의 예측식⁽²⁾ 결과를 사용하였다.

Table 1의 5 m 결과를 이용하여 음향파워레벨을 구하면, 102.4 dB(A)로, 실측값의 음향파워레벨보다 0.4 dB(A) 과대평가되는 것으로 나타났다.

참고적으로 일본의 ASJ-Model식과 기존 음원자료를 이용한 식을 제외한 나머지 식들은 주파수별 기여도를 계산하기 위한 별도의 식이 없기 때문에 모두 Fig. 5에 제시된 측정 자료의 기여율을 적용하였다.

3.3 CRTN⁽³⁾ 식을 이용한 음향파워레벨

영국의 CRTN식 기본 소음도(L_{10}) 계산은 대형차량비(p)가 0 %, 기울기(G)는 0°, 속도가 75 km/h를

Table 1 Comparison of NIER and measurement value

Distance(m)	NIER (dB(A))	M.V. (dB(A))	Δ
5	70.8	70.4	0.4
10	71.3	67.2	4.1

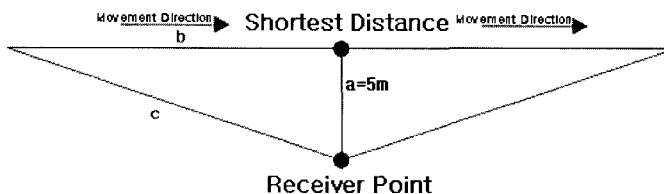


Fig. 6 Geometry for source length

기준으로 전체 교통량(q)을 이용하여 소음도를 계산하고, 이후에 대형차량비(p)와 차량속도(V), 기울기 및 도로 포장상태와 거리에 대한 보정을 하여 평가소음도를 계산한다. 국내의 기준과 비교해 보기 위해 이 연구에서는 L_{10} 을 L_{eq} 로 변환하는 식은 일반적으로 사용되고 있는 $L_{eq} = L_{10} - 3 \text{ dB(A)}$ ⁽⁷⁾를 적용하여 $L_{eq} \text{ dB(A)}$ 를 계산하였다.

Table 2는 영국의 CRTN식을 계산하기 위한 기본인자 자료이며, Table 3은 Table 2를 이용하여 CRTN식을 계산한 결과로, 여기서 예측된 $L_{10,1h}$ 값은 도로단으로부터 5m 지점의 소음도를 나타낸 것이다.

Table 3의 결과를 이용하여 음향파워레벨을 구하면, 101.4 dB(A)로, 실측값의 음향파워레벨과 비교해 볼 때, 0.6 dB(A) 과소평가되는 것으로 나타났다.

3.4 ASJ-Model⁽⁴⁾식을 이용한 음향파워레벨

일본음향학회(ASJ)⁽⁴⁾에서 1998년 발표한 식으로 도로교통소음의 음향파워레벨을 직접 구할 수 있는 특징을 가진 식이다. 이 식에서는 음원을 반자유공간의 무지향성 점음원으로 간주하고 있다.

ASJ-Model의 계산 과정은 다음과 같다.

- ① 차종별 기본 음향파워레벨(L_{WA} , dB(A)) 계산
- ② 주행속도에 따른 옥타브밴드별 보정치($\Delta L(f_i)$) 적용
- ③ 파워레벨 스펙트럼($L_{WA,i}$, dB(A)) 계산
- ④ 포장 종류(L_{WAdi} , dB(A))에 따른 보정 계산
- ⑤ 차량 등급별 등가음향파워레벨($(L_{WAT}), i$) 계산
- ⑥ 모든 차종의 음향파워레벨(L_{WAeq}) 계산

ASJ-Model의 계산 결과, 기본 음향파워레벨은 102.8 dB(A)였고, 총 음향파워레벨은 101.5 dB(A)로, 실측값의 음향파워레벨보다 0.5 dB(A) 과소평가되는

Table 2 Basic data for CRTN method

Volume (q)		p	V(km/h)		d'(m)	
Small	Heavy		Small	Heavy	d(m)	h(m)
2,991	278	8.5 %	50.4	45.1	5	1.5
Total : 3,269			A.V. : 49.95 km/h		d' : 8.63 m	

Table 3 Calculation result of weighted CRTN ($L_{eq} \text{ dB(A)}$)

Basic SPL	p & V weighted	Distance weighted	Road weighted	L_{10}	L_{eq} weighted	$L_{eq} \text{ dB(A)}$
77.34	-5.60	1.94	-1.0	72.7	-3.0	69.7

것으로 나타났다.

3.5 기존 음원자료⁽²⁾를 이용한 음향파워레벨

도로교통소음(II)⁽²⁾ 보고서에서는 회사별·차량별·속도별로 주파수별 특성을 제시하였고, 측정방법은 ISO-362에 준하여 측정하였다. 여기서, 사용된 음원은 국내 차량을 기준으로, 소음이 가장 큰 차량의 음원을 선택하였고, 차량속도는 실측값과 유사한 정속 주행시(50 km/h)의 자료를 사용하였다. 또한, 4등급으로 나뉜 차량을 2등급(소형, 대형)으로 나누었다.

Table 6은 2등급으로 나누어 기존 차량의 음압레벨을 사용하여 계산된 음향파워레벨을 나타내며, Table 7은 음향파워레벨을 계산하기 위해 4등급을 2등급으로 분류한 차량의 음압레벨이다.

기존 음원자료를 사용하는데 있어 주의할 점은 음원의 길이에 포함될 수 있는 차량 대수를 고려해야 좀 더 정확한 자료를 얻을 수 있다는 것이다. 즉, 이 논문에서 사용하는 음원 길이가 30m이고, 이 음원 길이에 소형차량(평균 차량길이 : 5m)은 1~3대까지 포함될 수 있으며, 대형차량(평균 차량길이 : 10m)은

Table 4 Basic data for ASJ-Model method

Frequency (Hz)	$\Delta L(f_i)$	$\Delta L_{A,i}$	ΔL_{adj}
63	2.87	-26.2	-3.58
125	1.99	-16.1	
250	0.99	-8.6	
500	-0.22	-3.2	
1000	-1.76	0.0	
2000	-3.76	1.2	
4000	-6.28	1.0	
8000	-9.25	-1.1	

Table 5 Calculation result of ASJ-Model($L_w \text{ dB(A)}$)

Frequency (Hz)	Small cars (S.C.)		Heavy car (H.C.)		$L_{Weq} \text{ (dBA)}$	$L_{Weq} \text{ (dB)}$
	$L_{WA,i}$	L_{WAT}	$L_{WA,i}$	L_{WAT}		
63	70.9	73.4	75.9	68.6	74.6	100.8
125	80.1	82.6	85.1	77.8	83.8	99.9
250	86.6	89.1	91.6	84.3	90.3	98.9
500	90.8	93.3	95.8	88.5	94.5	97.7
1000	92.4	94.9	97.5	90.2	96.2	96.2
2000	91.6	94.1	96.7	89.3	95.4	94.2
4000	88.9	91.4	94.0	86.6	92.7	91.7
8000	83.8	88.3	88.9	81.6	87.6	88.7
O.A.	97.8	100.3	102.8	95.5	101.5	106.5

1~2대까지 들어갈 공간이 형성된다. 그러나, 일정 속도에서의 차량간격을 고려하여 차량간격은 차량길이의 2배를 기본으로 삼았고, 이런 경우에 있어, 소형차량(n_1)의 경우 2대, 대형차량(n_2)의 경우 1대가 포함된다. Fig. 7는 차량간격 및 차량길이를 설명하는 그림이다.

또한, 차량간격과 차량길이를 고려할 경우, 총 차량대수의 변화에도 주의해야 한다. 이 논문에서는 소형차량의 총 대수가 2,991대지만, 차량간격을 고려한 경우는 총 대수의 절반인 1,496대(2,991/2대)를 사용하며, 이에 총 차량대수는 3,269대에서 1,774(1,496+278)대로 변경하여 평균을 구해야 한다.

Table 6의 값을 식 (2)에 대입하여 평균 음향파워레벨을 구하면 Table 8과 같다. 여기서, 전체차량(Q_T)는 1,774 대/h, 평균속도(V_A)는 49.95 km/h를 사용하였고, 소형차량과 관련된 자료는 $n_1=2$, $Q_1=1,496$ 대, $V_1=50.4$ km/h를 대형차량과 관련된 자료는 $n_2=1$, $Q_2=278$ 대, $V_2=45.1$ km/h를 사용하였다.

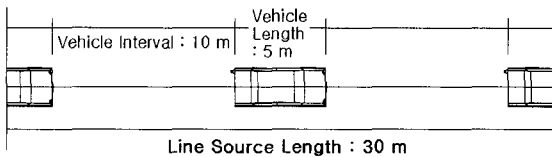


Fig. 7 Distance between cars in source length

Table 6 Calculation result of existing data (E.D., L_w dB(A))

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	O.A.
S.C. L_{w1}	64.0	76.0	82.8	88.1	94.1	91.0	85.7	76.1	97.1
H.C. L_{w2}	77.7	91.1	98.2	100.8	104.4	101.6	95.7	89.0	108.2

Table 7 SPL measured by vehicle type at 7.5 m

Frequency (Hz)	Small Cars		Heavy Cars		Average Cars	
	Cars	Van	Bus	Truck	Small	Heavy
63	37.5	39.1	48.1	53.2	38.4	52.1
125	49.3	51.2	63.9	66.7	50.4	65.5
250	51.7	59.5	71.6	73.4	57.2	72.6
500	59.2	64.3	71.5	77.2	62.5	75.2
1000	65.3	70.3	74.4	81.0	68.5	78.8
2000	61.3	67.5	73.3	77.7	65.4	76.0
4000	53.3	62.6	67.6	71.7	60.1	70.1
8000	44.1	53.0	58.7	65.6	50.5	63.4
O.A.	67.9	73.5	79.3	84.5	71.5	82.6

$$L_w = 10 \log \left(\frac{(n_1 \times Q_1 \times V_1 \times 10^{(L_m/10)}) + (n_2 \times Q_2 \times V_2 \times 10^{(L_m/10)})}{Q_T \times V_A} \right) \text{ dB(A)} \quad (2)$$

Table 8의 결과를 실측값의 음향파워레벨과 비교하면, 102.6 dB(A)로 실측값에 비해 0.6 dB(A)정도 과대평가되는 것으로 나타났다.

3.6 차량 특성이론식⁽⁵⁾을 이용한 음향파워레벨

차량대수, 차량속도 및 수음점과의 거리를 이용하여 1시간 L_{eq} 를 구하는 차량 특성 이론식(VCT, 식 (3))⁽⁵⁾을 사용하여 음향파워레벨을 구해 보고자 한다. 이 식으로 음향파워레벨을 구하기 위해서는, 기존의 음향파워레벨 값(Table 6)을 사용하여 등급별 차량 소음도인 $L_{eq,1h}$ 를 구한 후 반자유공간, 점음원 공식을 이용하여 음향파워레벨을 구하는 방법으로, 계산된 음향파워레벨은 Table 9에 제시해 놓았다.

여기서, L_w 는 음향파워레벨(dB(A)), V 는 평균속도(km/h), Q 는 총 차량대수(대/h), d 는 소음원로부터 수음점까지의 이격거리(m)를 나타낸다.

$$L_{eq,1h} = L_w - 10 \log d - 10 \log V + 10 \log Q - 38 \text{ dB(A)} \quad (3)$$

Table 9의 결과를 보면, 계산된 음향파워레벨은

Table 8 Calculation result of average sound power level

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	O.A.
L_w (dB(A))	71.0	84.5	91.0	94.5	99.2	96.2	90.6	82.6	102.6
L_w (dB)	97.2	100.1	99.6	97.7	99.2	95.0	89.6	83.7	106.3

Table 9 Calculation result of VCT(L_w dB(A))

Hz	L_w (dB(A))		Calculated L_{eq}		T- L_{eq} (dB(A))	L_w (dB(A))
	Small	Heavy	Small	Heavy		
63	64.0	77.7	31.9	35.8	37.3	68.9
125	76.0	91.1	43.9	49.2	50.3	81.9
250	82.8	98.2	50.7	56.3	57.3	89.0
500	88.1	100.8	56.0	58.9	60.7	92.3
1000	94.1	104.4	62.0	62.5	65.3	96.9
2000	91.0	101.6	59.0	59.7	62.3	94.0
4000	85.7	95.7	53.6	53.8	56.7	88.3
8000	76.1	89.0	44.0	47.1	48.8	80.5
O.A.	97.1	108.2	65.0	66.3	68.7	100.4

100.4 dB(A)로, 실측값의 음향파워레벨보다 1.6 dB(A) 과소평가되는 것으로 나타나 그 오차는 다른 식들에 비해 큰 것으로 나타났다.

4. 실측값과 예측값의 음향파워레벨 비교

Fig. 8과 Fig. 9는 실측값(M. V.), NIER식, CRTN식, ASJ-Model식, 기존 음원 자료(E.D.) 및 차량 특성이론식(VCT)들로부터 구한 음향파워레벨과 주파수별 기여도(C.R.)를 서로 비교한 것이다.

음향파워레벨을 서로 비교해 본 결과, 음향파워레벨의 차는 -1.6~0.6 dB(A)의 범위를 나타내고 있어, 모든 식이 ± 2.0 dB(A)미만의 오차를 나타내었다. 저주파수 영역에서는 상당한 레벨 차이를 나타내고 있었으나, 도로교통소음의 주요 주파수 대역인 500~2,000 Hz 영역에서는 VCT방법을 제외하면 모두 ± 1.0 dB(A)미만으로 상당히 정확한 값을 나타내었다.

주파수 기여율의 경우에서는 500 Hz 미만과 2,000 Hz에서는 기여율이 거의 비슷하였으나 가장 중요한

영역인 1,000 Hz 부분에서는 서로 큰 차이를 나타내어, 주파수별 기여율 적용시에 주의가 요망된다.

이 논문에서 음향파워레벨을 예측하기 위해 사용될 도로교통소음 예측식은 몇 가지 중요한 조건들을 만족시키는 식을 선택하였다. 그 조건들은 다음과 같다.

- ① '실측값과 예측값의 음향파워레벨과의 레벨차가 ± 1 dB(A)(오차범위를 $\pm 25\%$ 를 기준)미만일 것'
- ② '기존 자료를 사용하여 현재뿐만 아니라 미래의 값도 예측할 수 있어야 할 것'
- ③ '실측값의 레벨보다는 과소평가되지 말아야 할 것'

이 논문에서 제시한 예측식들 가운데, 첫 번째 조건에 해당하는 식들은 NIER식, CRTN식, ASJ-Model식, E.D.식이며, 두 번째 조건에 해당하는 식들은 NIER식, CRTN식, ASJ-Model식, VCT식이고, 세 번째 조건에 해당하는 식들은 NIER식, E.D.식이다. 여기서, 이 논문에서 선택한 개발 예정지역인 I 지역에서 위의 세 가지 조건을 모두 만족하는 식은 NIER식 하나뿐이었다.

5. 음향파워레벨의 적용

이 장에서는 계산된 현상태의 음향파워레벨을 컴퓨터 프로그램에 적용하여 현재의 소음도를 알아보고, 개발이 된 후의 차량의 변화에 따른 소음도를 예측해보고자 한다. 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램은 거울형 상음원법(mirror image source method, MISM)과 음선추적법(ray tracing method, RTM) 및 hybrid method를 사용하는 상용 프로그램을 사용하였다.

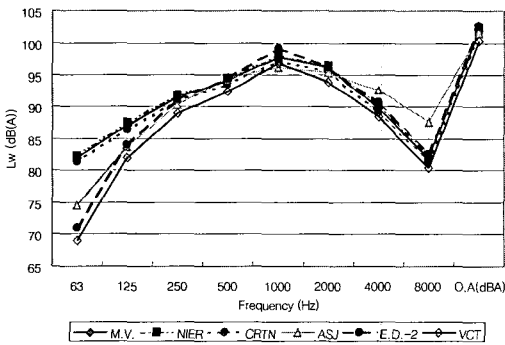


Fig. 8 Comparison of M.V. and predicted value for Lw

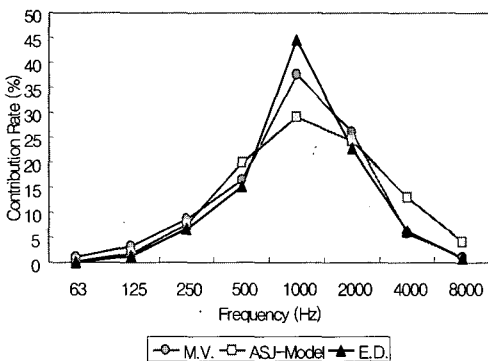


Fig. 9 Comparison of M.V., ASJ and E.D. for F.C.R.

5.1 음향파워레벨의 검증

이 논문에서는 음원을 방향성을 고려하지 않고 중앙선 부분에 하나의 음원을 사용하였다. 이는 측정시 측정방향과 반대방향의 차량들의 영향은 더 멀리 있고, 차량으로 인한 방해 영향을 고려하기 힘들며, 음원을 분할시 이격거리에 대한 복잡한 관계를 단순화시키고자 이 논문에서는 음원을 방향성을 고려하지 않고, 전체 차량의 총 대수와 평균속도, 종류만을 고려하였다. 또한, 사용되는 식들에서도 방향성을 고려한 인자들은 사용되고 있지 않아, 이 논문에서는 두 방향의 영향을 평균적으로 고려할 수 있는 중앙선 부분에 음원을 위치시켜 사용하였다. 만약, 차선별 음향파워레벨을 구할 수 있다면, 더 정확한 도로교통 소

음도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 10은 현상태의 측정지점을 모델링한 것으로 실측값은 70.4 dB(A), NIER식은 70.8 dB(A), 모델링 결과는 70.6 dB(A)로 나타나 실측값과 NIER 식의 예측값 및 시뮬레이션 결과값들이 거의 일치하였다.

음원의 음향파워레벨은 3.2의 NIER식으로 구한 값을 사용하였고, 개발 이전, 현재의 도로교통소음의 분포 상태를 시뮬레이션하여 소음지도로 나타내 보았다. 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11의 결과를 살펴보면, 도로와 인접한 주거지역(도로단 부분)의 도로교통소음은 72.3~76.4 dB(A) 까지 분포되어 있어, 도로변 주거지역의 주간 환경소음 기준인 65 dB(A)를 초과하며, 또한, 인도에 인접한 건물에 사는 사람들에게는 도로교통소음이 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이 지역의 경우 주거지역의 건물과 인도의 부지 경계선이 불명확하기 때문에, 도로단으로부터 건물까지의 인도부분의 소음 영향 정도를 파악하였으며, 이에 따라 도로단 부분에서

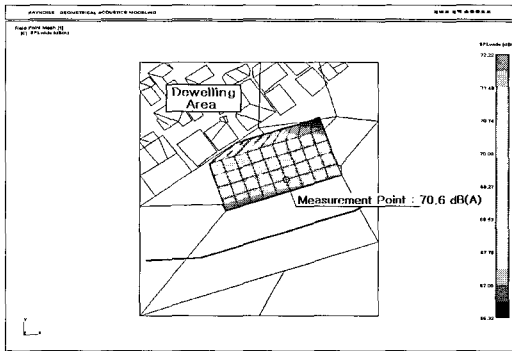


Fig. 10 Noise distribution of current dwelling area

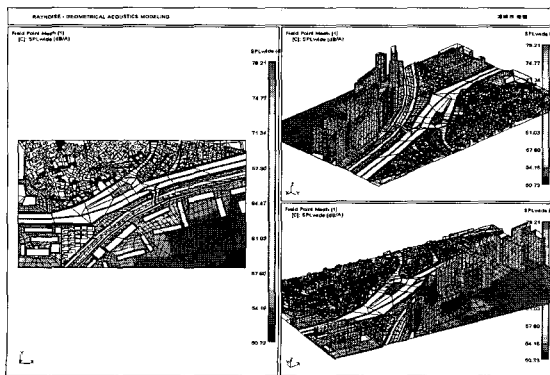


Fig. 11 Noise level calculation result of vehicles passed through current dwelling area(2D, 3D)

서 가장 큰 음들이 계산되었다.

도로교통소음의 음원 종류는 점음원보다는 선음원의 형태(10 log)에 더 가까우며, 또한, I 지역의 경우, NIER식과 실측값의 음압레벨 차이가 거의 없어 상당히 정확한 값에 해당하기 때문에, 현재의 주거지역이 개발된 이후의 이론적인 소음예측에 음원의 형태는 기준 음원 길이가 30m인 점음원으로 구성된 선음원으로 적용하였다. 개발 이후의 소음예측식은 3.6에서의 모든 조건을 만족하는 NIER식의 10m 미만 도로교통 소음예측식을 이용하여 계산할 것이다. 또한, 주파수별 기여율은 실측값의 기여율(Fig. 5)을 적용할 것이다. 그리고, 소음을 예측할 수 있는 영국의 CRTN 식, 일본의 ASJ-Model 및 VCT 방법에 의해 구한 음향파워레벨도 제시하여 서로를 비교해 볼 것이다.

5.2 음향파워레벨의 예측

이 논문에서 선택한 개발 예정지역은 현재 주거지역에서 상가와 주거지가 혼합된 주상복합상가로 개발 예정된 곳으로 현재보다 인구수가 증가함에 따라 차량대수와 교통량도 증가할 것으로 예측된다. 세대수에 따른 교통량 변화는 단순히 세대수에 따라 비례적으로 증가하는 선형적인 방법으로 추정하였다⁽⁸⁾. 그 결과를 Table 10에 제시하였다.

Table 10 Prediction of volume of vehicle after renewal

Classification	Number of households	Volume(N)		A.V. (km/h)		Rate of increase
		Small	Heavy	Small	Heavy	
Current	712	2,991	278	50.4	45.1	30.62 %
Renewal	930	3,907	364	50.4	45.1	

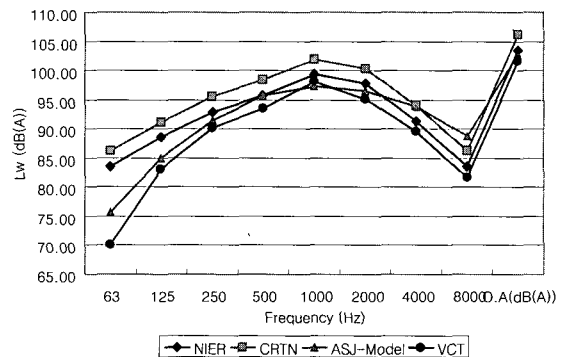


Fig. 12 Comparison of NIER, CRTN, ASJ-Model and VCT for Lw after renewal

개발 예정지역의 개발 이후의 도로교통 소음도의 변화를 살펴보기 위해 Table 10을 이용하여 NIER식, ASJ-Model식, CRTN식 및 VCT 방법에 적용시켜 음향파워레벨을 예측해 보면 Fig. 12과 같으며, 최종적으로 개발 이후 지역 소음 모델에 사용되는 음향파워레벨은 NIER식으로 구한 값을 사용한다.

Fig. 12의 결과에서, NIER식은 103.6 dB(A), CRTN식은 106.2 dB(A), ASJ-Model식은 102.7 dB(A), VCT 방법은 101.5 dB(A)로 음향파워레벨이 계산되어, 차량 대수가 현재보다 약 30% 증가시에 소음레벨은 1.2 dB(A)정도 증가하는 것으로 나타났다.

5.3 음향파워레벨을 이용한 소음도 예측

개발 이후의 지역 모델은 Fig. 13과 Fig. 14에, 그 결과를 Fig. 15에 제시하였다. Fig. 13에 보이는 음원에 제시된 %는 개발 이후, 중앙 도로에서 차량의 이동 경향성과 도로교통 소음원의 기여도를 나타낸 것이다.

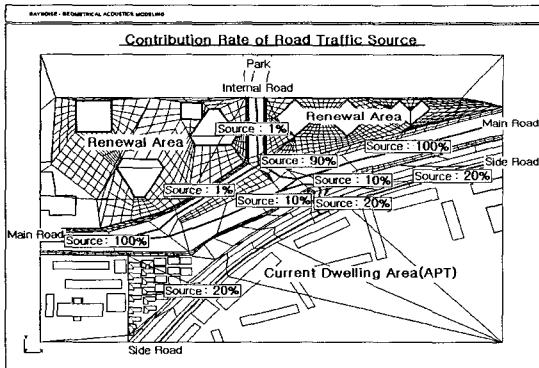


Fig. 13 Location and contribution rate of source (Lw)

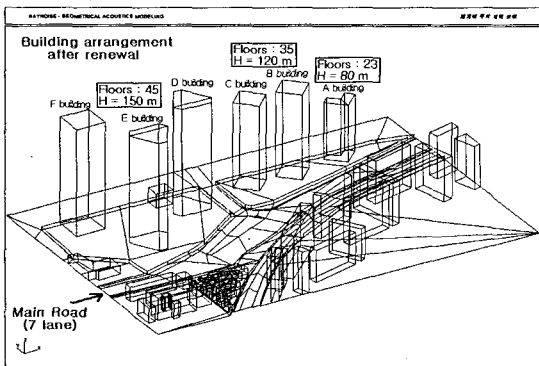


Fig. 14 3D model of renewal region

Fig. 15은 도로교통 소음원의 이동 경향성과 기여도를 고려하여 5.2에서 NIER식으로 계산된 음향파워레벨(103.6 dB(A))을 길이 변화에 따라 계산하여 지면으로부터 1.5 m 지점의 소음지도를 제작한 것이다.

그 결과를 살펴보면, 중앙도로와 인접한 인도에서는 최대 77.5 dB(A)까지 예측되었고, 개발 예정 지역

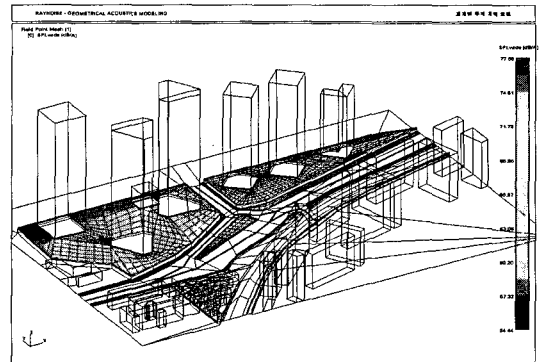


Fig. 15 Noise level calculation result of vehicles passed through renewal area(3D)

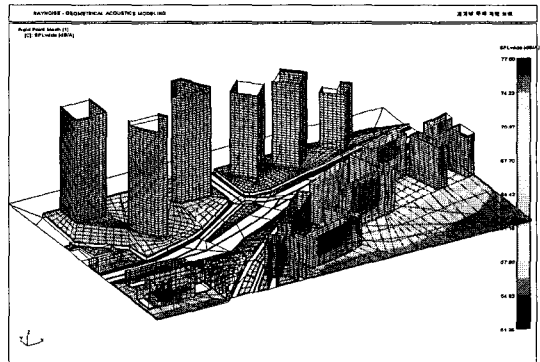


Fig. 16 Noise maps calculated by computer program after renewal(3D)

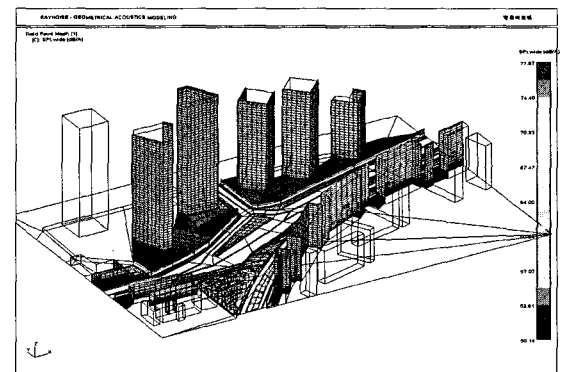


Fig. 17 Noise maps calculated by computer program after barrier installation

의 부지경계선에서는 최대 74.3 dB(A)까지 예측되어 소음 규제기준 중 도로교통소음의 한도에서 주간 주거지역 기준인 68 dB(A)와 도로변 주거지역의 주간 환경 기준인 65 dB(A)를 초과하여 일부 구간에서는 방음벽 등의 방음대책이 필요한 것으로 나타났다.

5.4 음향파워레벨의 적용 응용분야

이 논문에서는 응용분야를 크게 두 분야로 살펴본다. 현재 소음 분야에서 대두되고 있는 noise map의 제작과 방음대책 설치 전후의 저감 효과 비교에 대한 것이다.

여기서, 소음지도(noise map)⁽⁹⁾라 함은 소음자료를 이론적으로 증명된 예측식이나 경험식 및 지리정보시스템(GIS, geographic information system)을 사용하여 소음의 수치와 분포를 계산하여 데이터를 분석하고 가공하여 제시하는 지도로써, 소음 분포의 시각적인 면과 공간적인 면을 고려하여 도시 공간적인 구조로 나타낸 지도이다. 그 결과를 Fig. 16에 제시하였다.

Fig. 16의 자료는 소음지도 결과뿐만 아니라 GIS와 결합시켜 소음 노출 인구수 추정과 같은 통계 기초 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

한 지역의 개발에 따른 도로교통소음의 증감에 따라 개발되는 지역의 방음대책 뿐만 아니라 기존의 방음대책 또한 보강되어야 한다. 이러한 자료는 noise map을 이용하여 예측할 수 있다.

다음은 방음대책(방음벽)을 적용시켰을 때의 소음 저감량을 살펴보았다. 이러한 기능은 소음지도의 기능 중 일부분에 포함되어 있는 것이다. Fig. 17은 Fig. 16의 결과를 토대로 5~9m 높이의 방음벽을 설치하여 소음저감 효과를 살펴본 것이다.

6. 결 론

이 논문에서 연구한 도로교통소음 음향파워레벨 산정에 관한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 이 논문에서 도로교통소음 음향파워레벨을 구하기 위해 사용한 여러 예측식들(NIER식, CRTN식, ASJ-Model식 및 E.D.방법과 VCT 방법)로 구한 음향파워레벨과 실측값으로 구한 음향파워레벨의 차는 ± 2 dB(A)미만으로 비교적 정확하였지만, 이 논문에서 선택한 개발 예정지역 1지역에서 고려할 세 가지

조건을 모두 만족시키는 예측식은 NIER(10m 이내 지역 예측)식 뿐이었다. 그러나 각 나라에서 사용되는 식들의 최적 상태는 이 논문에서 측정한 지점의 상태와 조금씩 다를 수 있어, 이에 대한 일부 오차가 발생하는 것으로 보인다.

(2) 음향파워레벨과 주파수별 음향파워레벨을 직접 구할 수 있는 일본의 ASJ-Model식은 제시된 예측식들 중 음향파워레벨을 가장 쉽게 구할 수 있는 식이며, 또한, 실측값으로 구한 음향파워레벨과의 차이도 크지 않아 실제 적용에 있어서는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

(3) E.D. 방법 및 VCT 방법의 적용에 있어 가장 우선시 선행되어야 할 연구 과제는 기존 차량에 대한 객관적이고 정확한 속도별·차량별 음향파워레벨의 값으로, 이러한 연구는 현재 및 미래의 도로교통 음향파워레벨을 좀 더 쉽게 구할 수 있는 방법의 대안으로 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

(4) 개발 이후의 소음지도를 NIER식으로 구한 음향파워레벨을 사용하여 제작하여 그 결과를 살펴보면, 교통량의 증가에 따라 현 상태의 도로교통소음보다 1.2 dB(A)정도 증가되었으며, 한 지점의 소음도 뿐만 아니라 재개발되는 전 지역의 소음분포를 살펴볼 수 있어 문제가 발생할 수 있는 지점을 미리 파악할 수 있었으며, 그 지점의 방음대책의 종류를 결정하는데 있어도 근거 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 또한, 음향파워레벨을 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시킴으로서 현재 소음분야에서 연구되고 있는 noise map에 적용시켜 그 지역의 noise map 형성에 있어 기초 자료와 비교 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 또한, 이 자료를 GIS와 연계하여 소음 노출 인구수 산정시에 적용시켜 통계적인 인구수를 예측할 때 사용될 수도 있을 것으로 판단된다.

(6) 개발에 따른 교통량 증가로 도로교통소음도 증가가 예측되는데, 문제시 되는 지점을 선택하여 이 논문에서는 방음대책을 5~9m 방음벽을 선택하여 부지경계선에 설치하고, 방음벽 유·무에 대한 효과를 살펴보았다. 그 결과, 방음벽은 반드시 필요하며, 기존의 방음벽 또한 높이를 다시 조절하여 설계해야 할 것으로 나타났으며, 방음벽에 대한 효과를 한 눈에 볼 수 있어 방음대책의 종류 및 방음벽이 높이를 설계하는데 기초 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(7) 이 논문에서는 특정한 I역 부근의 개발 예정지역만을 적용시켜 고려했기 때문에, 향후 다른 지역을 선정하여 적용해 보고, 이 논문의 과정을 검증해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

(1) 이효수 외 3인, 1997, "서울시민의 소음공해 인식에 대한 연구-도로교통소음을 중심으로", 한국소음진동공학회논문집, 제 7 권, 제 3 호, pp. 521~529.
(2) 강대준 외 4인, 1999(2000), 도로교통소음 (I)(II), 국립환경연구원.
(3) Amando Garcia, 1997, Environmental Urban Noise, WIT PRESS, Chapter 5.
(4) 조대승 외 7인, 2001, "고속도로 교통소음의

음향파워 평가", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1273~1279.

(5) Nelson, P. M., 1987, Transportation Noise Reference Book, Butterworths, Chapter 10.

(6) 한국도로공사, 2001, 소음예측기법 및 방음시설 설계기준 연구, pp. 66~70.

(7) Nelson, P. M. and Abbott, P. G., 2002, "Converting the UK Traffic Noise Index LA10,18h to EU Noise Indices for Noise Mapping", TRL PROJECT REPORT, PR/SE/451/02[EPG 1/2/37].

(8) 용산공원 남측도심재개발구역 사업 환경영향평가서, 2003.

(9) 박상규 외 1인, 2003, "정온한 도시환경을 위한 소음지도 개발 및 응용연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 1182~1186.