

## 도로교통소음 음향파워레벨 산정과 응용에 관한 연구

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

김득성\* · 오진우\* · 홍세화\* · 이기정\* · 장서일\*\*

Deuk-Sung Kim, Jin-Woo Oh, Se-Hwa Hong, Ki-Jung Lee, Seo Il Chang

**Key Words** : Road Traffic Noise, Sound Power Level, Noise Map.

#### ABSTRACT

This study is a paper relating to between road traffic noise(RTN) and sound power level(PWL). At present, to prediction of RTN is used to many experimental models and prediction methods. RTN is computed PWL using existing experimental models and prediction methods. Then, computed PWL is compared with it of measurement value, in them, it is selected model most similar to measurement value. And then, this results will watch for make Noise Map, as application field applied to computed results.

#### 1. 서론

현재 인구의 수도권 집중현상과 생활수준의 향상 및 일일 생활권 확대에 의한 유동인구 증가와 그에 따른 자동차 수요가 증가하는 추세이며, 그에 따라 도로교통소음도 증가하고 있는 추세이다. 중앙환경분쟁조정위원회의 자료를 살펴보면, 민원의 85% 이상이 소음진동과 관련되어 있었고, 생활소음 중 생활에 가장 밀접하고 영향이 큰 소음이 도로교통소음이라는 연구 결과<sup>1)</sup>에서 보는 바와 같이 도로교통소음은 우리 주변의 생활소음에 있어 가장 큰 몫을 담당하고 있다.

현재, 도로교통소음 예측을 위해 사용되고 있는 예측식들은 흡음, 반사, 회절 등과 같은 복잡한 현상을 갖는 지역에서 직접 적용하기 어려우며, 대부분 장애물이 없는 평지의 일정거리에서 음압레벨만을 예측하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고자 음향파워레벨을 적용시켜 보았으며, 이를 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시켜 보다 정확한 소음예측을 해보고자 하였다. 국내외에서 사용되고 있는 평가식들(NIER<sup>2)</sup>, CRTN<sup>4)</sup>, ASJ-Model<sup>5)</sup>과 차량특성 이론식<sup>6)</sup> 및 기준의 측정자료<sup>3)</sup>등으로 얻은 결과를 이용하여 반자유공

간의 점음원 공식으로 음향파워레벨을 구해보고, 실제 측정된 1시간  $L_{eq}$ 값으로 구한 음향파워레벨과 비교하여 레벨값의 일치성을 살펴보고, 이를 이용하여 개발예정 지역의 차량대수와 속도의 변경에 따른 소음지도(NoiseMap)를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제작해 보았다.

#### 2. 측정 및 실측값의 음향파워레벨 산정

개발 예정지역인 I역 부근에서 장애물이 없는 곳을 선정하여 현재의 도로교통소음  $L_{eq,1hr}dB(A)$ , 차량대수, 평균속도 등을 측정하였다. 측정지역 도로의 포장재는 7차선 불침투성 아스팔트 도로이고, 대형차량이 총 차량의 7.7~9.2%정도를 차지하였으며, 재개발 지역의 반대편은 이미 주거지로 사용되고 있다.

측점지점의 교통제어시스템의 주기는 105초로 60초 동안은 차량이, 45초 동안 사람이 통행하였다. 또한, 측정 기후 조건은 온도 22.5°C, 습도 74.5%, 풍속 0.9m/s인 조건에서 측정하였고, 암소음은 48.8dB(A)였다. 차량대수는 소형차량의 경우 2,991대/hr, 대형차량의 경우 278대/hr로 총 차량대수는 3,269대/hr였으며, 차량의 평균속도(V)는 소형차량은 50.4km/hr, 대형차량은 45.1km/hr로 차량 대수에 대한 평균속도(V)는 49.95km/hr였으며, 대형차량의 혼입률은 8.5%였다.

Fig 2.1과 Fig 2.2는 도로교통소음의 측정위치와 도

\* 서울시립대학교, 대학원 환경공학과  
E-mail : kdsworlds@hanamail.net

\*\* 서울시립대학교, 환경공학부

로의 가상주행선을 나타내며, Fig 2.2를 이용하여 가상주행선 길이(L)를 구해보면 6.52m가 된다.

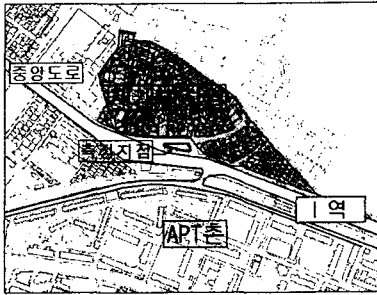


Fig 2.1 Location of renewal and measured region

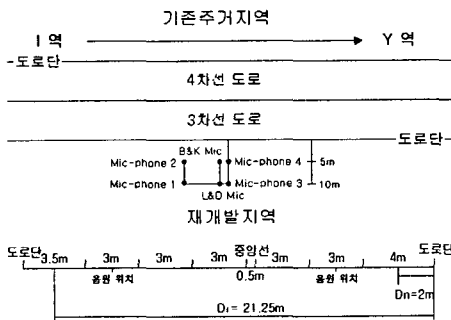


Fig 2.2 Measurement region of road traffic noise

Fig 2.3은 1시간 동안 5m지점과 10m지점을 측정 한  $Leq_{1hr}$ 이다. 그 결과, 5m지점의 음압레벨( $Leq$ )은 70.4dB(A), 10m지점은 67.2dB(A)로, 거리가 2배 될 때 3dB(A) 감소하는 선음원의 특징을 나타내었다.

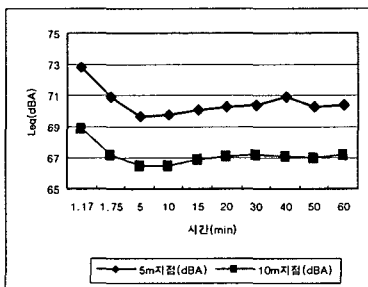


Fig 2.3 Change of  $Leq_{1hr}$  dB(A) classified by time

측정값의 음향파워레벨을 산정하기 위해 본 논문에서는 반자유공간, 점음원<sup>8)</sup> 공식을 사용하였다. Fig 2.3의 결과를 공식에 적용시켜 음향파워레벨을 계산하면 Fig 2.4와 같고, 주파수별 기여도는 Fig 2.5와 같다. 여기서, 음향파워레벨의 계산에 사용되는 이격

거리는 중앙선을 중심으로 측정지점까지의 거리로 15.25m(도로단으로부터 측정지점까지의 거리 5m와 도로단으로부터 중앙선까지의 거리 10m, 그리고 중앙선의 중심부분인 0.25m, Fig 2.2 참고)를 사용하였으며, 그 결과, 음향파워레벨은 102.0dB(A)였고, 1000Hz 성분이 가장 큰 기여율을 보였다.

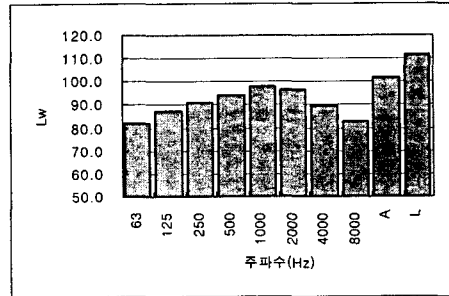


Fig 2.4 Computed sound power level(PWL) from  $Leq_{1hr}$

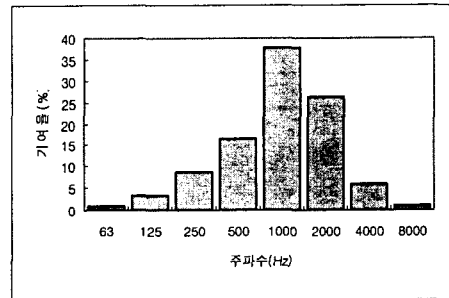


Fig 2.5 Contribution rate classified by frequency

### 3. 평가식에 의한 음향파워레벨 산정

#### 3.1 음원 길이 산정

도로교통소음도 연속 음원에 속하기 때문에 음원의 길이 산정은 중요하다하여 음원의 길이를 구하였고, 다음과 같은 방법을 사용하였다.

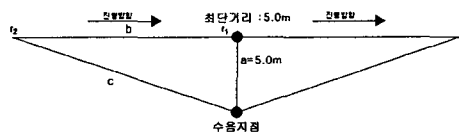


Fig 3.1 Computation of source length using point source

음원의 위치에 따른 수음지점의 소음 레벨차가 10dB 이상인 거리를 직선으로 연결한 총 길이를 음원의 길이로 간주하였다.

거리에 따른 소음 감쇠량과 식 (1)을 이용하여 이

론적인 거리를 산출한다. 여기서  $r_1$ 은  $a=5m$ ,  $b=0$ 인 최단 거리로  $5m$ 이다.

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

식 (1)에서 계산된  $r_2$ 의 거리는  $15.812m$ 이며, 이때, 거리  $b$ 는,  $15.0m$ 가 된다. 결과적으로, 점음원을 이용한 음원의 길이는  $-15\sim 15m$  길이로, 총  $30m$ 를 이룬 적인 도로교통소음의 길이로 잡았다.

### 3.2 NIER<sup>2)</sup>식을 이용한 음향파워레벨

국내에서는 국립환경연구원(NIER)에서 제시한 간선도로식을 사용하고 있으며, NIER식은  $10m$ 를 기준으로  $10m$ 이상과  $10m$ 이내의 식으로 나뉜다. 본 연구에서 1시간동안 측정된 두 지점에서의  $Leq$ 값을 NIER식과 비교하여 Table 3.1에 제시하였다.

Table 3.1 Comparison NIER with measured value

| 거리  | NIER식 | 실측값  | $\Delta$ |
|-----|-------|------|----------|
| 5m  | 70.8  | 70.4 | 0.4      |
| 10m | 71.3  | 67.2 | 4.1      |

Table 3.1의 결과를 살펴보면,  $10m$ 이상인 지역의 예측값은 실측값과의 레벨차( $\Delta$ )가 크기 때문에, 본 연구에서는  $10m$ 이내의 예측식<sup>2)</sup> 결과를 사용하였다.

$10m$ 이내의 NIER식에 사용된 인자들( $N_1=2,991$ 대/hr,  $V_1=50.4km/hr$ ,  $N_2=278$ 대/hr,  $V_2=45.1km/hr$ ,  $l=6.52m$ .)을 이용하여  $Leq$ 를 구해보면,  $L_p=69.2dB(A)$ ,  $L_b=65.5dB(A)$ 가 되어,  $Leq=70.8dB(A)$ 가 된다.

위의  $Leq$ 결과값과 Fig 2.5의 주파수 기여율을 적용하여 음향파워레벨을 산정하였다. 음향파워레벨 계산 결과는  $102.4dB(A)$ 로 실측값의 음향파워레벨보다  $0.4dB(A)$  과대평가되는 것으로 나타났다.

### 3.3 CRTN<sup>4)</sup>식을 이용한 음향파워레벨

영국의 CRTN식 기본 소음도( $L_{10}$ ) 계산은 대형차량비( $p$ )가  $0\%$ , 기울기( $G$ )는  $0^\circ$ , 속도가  $75km/hr$ 를 기준으로 전체 교통량( $q$ )을 이용하여 소음도를 계산하고, 이후에 대형차량비( $p$ )와 차량속도( $V$ ), 기울기 및 도로포장상태와 거리에 대한 보정을 하여 평가소음도를 계산한다. 국내의 기준과 비교해 보기 위해 본 연구에서는  $L_{10}$ 을  $Leq$ 로 변환하는 식은 EU에서 권장하고 있는 식인  $L_{Aeq}=0.94 \times L_{A10} + 0.77dB$ 의 공식<sup>9)</sup>을 적용하여  $Leq$  dB(A)를 계산하였다.

Table 3.2는 영국의 CRTN식을 계산하기 위한 기본 자료를 타나낸 것이다.

Table 3.2 Basic data for computing CRTN

| 차량대수( $q$ ,대/hr) | 대형차 혼입률( $p$ ) | 속도( $V$ ,km/hr) |      | 사선거리( $d'$ ,m) |         |
|------------------|----------------|-----------------|------|----------------|---------|
|                  |                | 소형차             | 대형차  | $d$ (m)        | $h$ (m) |
| 2,991            | 278            | 50.4            | 45.1 | 5              | 1.5     |
| Total:3,269대/h   | 8.5%           | 평균속도:49.95km/h  |      | $d'$ : 8.63m   |         |

Table 3.3 Result of computed CRTN(dB(A))

| 기본 소음도 | $p$ 및 $V$ 보정 | 거리 보정 | 불침투성 포장도로 | $L_{10}$ | $Leq$ 보정 | $Leq$ dB(A) |
|--------|--------------|-------|-----------|----------|----------|-------------|
| 77.34  | -5.60        | 1.94  | -1.0      | 73.4     | -3.0     | 69.7        |

Table 3.2를 이용하여 CRTN식을 계산한 것은 Table 3.3에 요약해 놓았다. 여기서 예측된  $L_{10,thr}$ 값은 도로단으로부터  $5m$ 지점의 소음도를 나타낸 것이다.

Table 3.3의 결과와 Fig 2.5의 기여율을 이용하여 음향파워레벨을 구하면,  $101.4dB(A)$ 로  $0.6dB(A)$  과소평가되는 것으로 나타났다. CRTN식의 음향파워레벨에 사용된 이격거리는  $15.31m$ 를 사용하였다.

### 3.4 ASJ-Model<sup>5)</sup>식을 이용한 음향파워레벨

일본음향학회(ASJ)<sup>5)</sup>에서 1998년 발표한 식으로 이는 음압레벨을 예측하는 것이 아니라 도로교통소음의 음향파워레벨을 직접 구하는 식으로 다른 식들과는 다른 큰 특징을 가지고 있다. 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 소형차량( $N=2,991$ 대/h,  $V=50.4km/h$ )은  $97.8dB(A)$ , 대형차량( $N=278$ 대/hr,  $V=45.1km/hr$ )은  $102.8dB(A)$ 였다. 총 음향파워레벨은  $101.5dB(A)$ 로, 실측값의 음향파워레벨보다  $0.5dB(A)$  과소평가되는 것으로 나타났다.

Table 3.4 Basic data for computing ASJ-Model

| 주파수(Hz) | $\Delta L(f_i)$ | $\Delta L_A\text{-weight}_i$ | $\Delta L_{adj}$ |
|---------|-----------------|------------------------------|------------------|
| 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 3.5 Computed Lw using ASJ-Model

| 주파수<br>(Hz) | 소형차량  |       | 대형차량  |      | Lweq<br>(dBA) | Lweq<br>(dB) |
|-------------|-------|-------|-------|------|---------------|--------------|
|             | LWA,i | LWAT  | LWA,i | LWAT |               |              |
| 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        |

3.5 기존 음원자료<sup>3)</sup>를 이용한 음향파워레벨

도로교통소음(II)<sup>3)</sup> 보고서에서는 회사별·차량별·속도별로 주파수별 특성을 측정하였고, 측정방법은 ISO-1996-I에 준하여 측정하였다. 여기서, 사용된 음원은 국내 차량을 기준으로 거리가 2배 될 때 6dB(A) 감소하는 특성을 가지며, 소음이 가장 큰 차량의 음원을 선택하였고, 차량속도는 실측값과 유사한 정속 주행시(50km/hr)의 자료를 사용하였다. 또한, 4등급으로 나눈 차량을 2등급(소형, 대형)으로 나누었다.

Table 3.6은 차량을 2등급으로 나눈 차량의 음압레벨을 나타내며, 이 값을 음향파워레벨로 계산한 값을 Table 3.7에 나타내었다. 또한, Table 3.7은 Table 3.6을 이용하여 구한 음향파워레벨을 나타낸 것이다.

Table 3.6 Measured value classified by vehicle from 7.5m

| 주파수<br>(Hz) | 소형차량 |      | 대형차량 |      | 평균차량 |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
|             | 승용차  | 승합차  | 버스   | 트럭   | 소형   | 대형   |
| 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 |

Table 3.7 Computed Lw using existing data(E.D.)

| 주파수(Hz) | 63   | 125  | 250  | 500   | 1000  | 2000  | 4000 | 8000 | O.A   |
|---------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 소형 Lw1  | 64.0 | 76.0 | 82.8 | 88.1  | 94.1  | 91.0  | 85.7 | 76.1 | 97.1  |
| 대형 Lw2  | 77.7 | 91.1 | 98.2 | 100.8 | 104.4 | 101.6 | 95.7 | 89.0 | 108.2 |

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

함될 수 있으며, 대형차량(평균 차량길이:10m)은 1대~2대까지 들어갈 공간이 형성된다. 그러나, 일정 속도에서의 차두간격을 고려하여 차두간격은 차량길이의 2배를 기본으로 삼았고, 이런 경우에 있어, 소형차량(n1)의 경우 2대, 대형차량(n2)의 경우 1대가 포함된다. Fig 3.2는 차두간격 및 차량길이를 설명하는 그림이다.

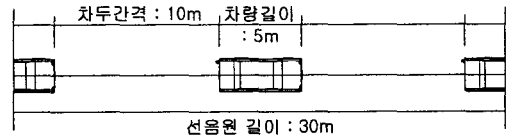


Fig 3.2 Distance between cars in line source

또한, 차두간격과 차량길이를 고려할 경우, 총 차량 대수의 변화에도 주의해야 한다. 본 논문에서는 소형차량의 총 대수가 2,991대지만, 차두간격을 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 3.7의 값을 식 (2)에 대입하여 평균 음향파워레벨을 구하면 Table 3.8과 같다. 여기서, 전체차량(QT)는 1,774대/hr, 평균속도(VA)는 49.95km/hr를 사용하였고, 소형차량과 관련된 자료는 n1=2, Q1=1,496대, V1=50.4km/hr를 대형차량과 관련된 자료는 n2=1, Q2=278대, V2=45.1km/hr를 사용하였다.

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

Table 3.8 Computed average sound power level

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

Table 3.8의 결과를 실측값의 음향파워레벨과 비교하면, 0.6dB(A)정도 과대평가되는 것으로 나타났다.

여기서, 주파수별 기여도는 Fig 2.5과 동일하게 적용하였다.

3.6 차량 특성이론식<sup>6)</sup>을 이용한 음향파워레벨

차량대수, 차량속도 및 수음점과의 거리를 이용하여 1시간 Leq를 구하는 차량 특성 이론식(VCT)<sup>6)</sup>을 사용하여 음향파워레벨을 구해 보고자 한다. 이 식으로 음향파워레벨을 구하기 위해서는, 기존의 음향파워레벨

값을 사용하여 등급별 차량 소음도인  $Leq,1hr$ 를 구한 후 반자유공간, 점음원 공식을 이용하여 음향파워레벨을 구하는 방법이다. 여기서 사용되는 기존 음향파워레벨은 Table 3.7에 제시한 값을 사용하며, 차량 특성이론식은 식(3)과 같고, 계산된 음향파워레벨은 Table 3.9에 제시해 놓았다.

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

여기서,  $L_w$  : 음향파워레벨(dB(A))  
 $V$  : 평균속도,  $Q$  : 총 차량대수  
 $d$  : 소음원으로부터 수음점까지의 이격거리

Table 3.9 Computed  $L_w$  using VCT

| 주파수 (Hz) | $L_w$ (dB(A)) |       | 등급별 $Leq$ |      | 총합 $Leq$ (dB(A)) | $L_w$ (dB(A)) |
|----------|---------------|-------|-----------|------|------------------|---------------|
|          | 소형            | 대형    | 소형        | 대형   |                  |               |
| 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         |

Table 3.9의 결과를 살펴보면, 실측값의 음향파워레벨보다 1.6dB(A) 과소평가되는 것으로 나타나 그 오차는 다른 식들에 비해 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 실측값과 예측값의 음향파워레벨 비교

Fig 4.1과 Fig 4.2는 실측값, NIER식, CRTN식, ASJ-Model식, 기존 측정 자료(E.D.) 및 차량 특성이론식(VCT)들로부터 구한 음향파워레벨과 주파수별 기여도(C.R.)를 서로 비교한 것이다.

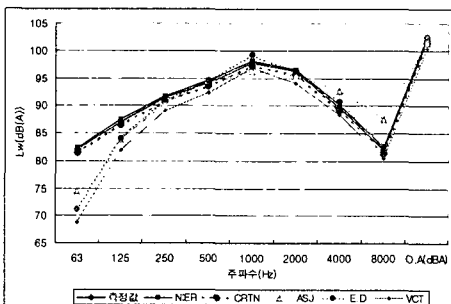


Fig 4.1 Comparison with  $L_w$  for prediction method

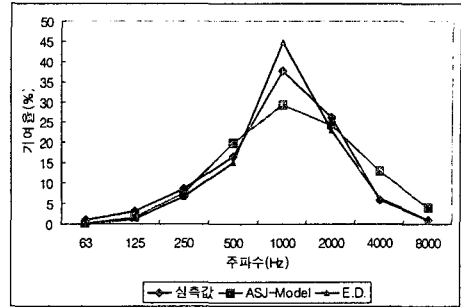


Fig 4.2 Comparison with C.R.(M.V, ASJ and E.D.)

우선, 음향파워레벨을 서로 비교해 본 결과, 음향파워레벨의 차는  $-1.6 \sim 0.6dB(A)$ 의 범위를 나타내고 있어, 모든 식이  $\pm 2dB(A)$ 미만의 오차를 나타내었다. 저주파수 영역에서는 상당한 레벨 차이를 나타내고 있었으나, 도로교통소음의 주요 주파수 대역인 500Hz ~ 2,000Hz 영역에서는 VCT 방법을 제외하면 모두  $\pm 1dB(A)$ 미만으로 상당히 정확한 값을 나타내었다.

주파수 기여율의 경우에서는 500Hz미만과 2,000Hz에서는 기여율이 거의 비슷하였으나 가장 중요한 영역인 1,000Hz부분에서는 서로 큰 차이를 나타내었다. 또한, 4,000Hz에서는 일본의 ASJ-Model에서 과대평가되는 것으로 나타나 주파수별 기여율 적용시에 주의가 요망된다.

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

- ① '실측값과 예측값의 음향파워레벨과의 레벨차가  $\pm 1dB(A)$ (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'
- ④ '사용하기 편리한 식일 것'

본 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, 세 조건을 모두 만족하는 식은 NIER식 하나뿐이었다.

#### 5. 음향파워레벨의 적용

본 장에서는 시뮬레이션을 이용하여 현재 계산된 파워를 사용하여 현재의 소음도를 알아보고, 개발이 된 후의 차량의 변화에 따른 소음도를 예측해 보고자 한다. 본 컴퓨터시뮬레이션은 거울형상음원법(Mirror Image Source Method, MISM)과 음선추적법(Ray

Tracing Method, RTM) 및 Hybrid Method를 사용하는 상용 프로그램을 사용하였다.

### 5.1 음향파워레벨의 검증

Fig 5.1은 현 상태를 모델링한 것으로 실측값은 70.4dB(A), NIER식의 값은 70.8dB(A), 모델링 결과는 70.6dB(A)로 나타나 음압레벨차는 거의 없었다.

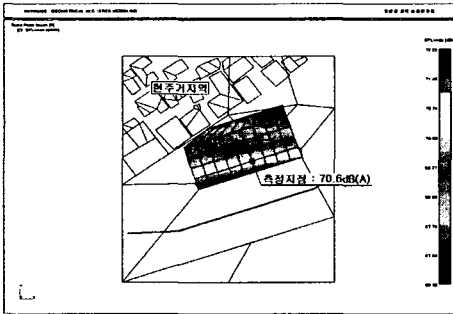


Fig 5.1 Noise distribution of dwelling area before renewal

Fig 5.1의 결과로 실측값과 NIER 식의 예측값 및 시뮬레이션 결과들이 모두 일치하여 음원의 음향파워레벨은 NIER식으로 구한 값을 사용하여 개발 이전의 도시를 모델링하여 그 도로교통소음의 현 소음분포 상태를 시뮬레이션하여 소음지도로 나타내 보았다. Fig 5.2는 그 결과를 나타낸 그림이다.

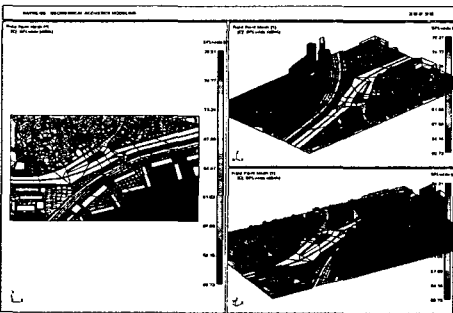


Fig 5.2 Noise distribution of extended dwelling region before renewal

Fig 5.2의 결과를 살펴보면, 도로와 인접한 주거지역의 도로교통소음은 72.3~76.4dB(A)까지 분포되어 있어 도로변 주거지역의 주간 환경 소음기준인 65dB(A)를 최대 11dB(A)까지 초과하는 것으로 나타나 현 상태에서도 방음벽 등의 방음대책이 필요한 것으로 나타났다.

도로교통소음의 음원 종류는 점음원보다는 선음원의 형태(10log)에 더 가까우며, 또한, NIER식과 실측

값의 음압레벨 차이가 거의 없어 상당히 정확한 값에 해당하기 때문에, 현재의 주거지역이 개발된 이후의 이론적인 소음예측에 음원의 형태는 선음원으로 적용하고, 개발 이후의 소음예측식은 3.6장예의 모든 조건을 만족하는 NIER식의 10m 미만 도로교통 소음예측식을 이용하여 계산할 것이다. 또한, 주파수별 기여율은 실측값의 기여율(Fig 2.5)을 적용할 것이다. 참고적으로, 소음을 예측할 수 있는 영국의 CRTN식, 일본의 ASJ- Model 및 VCT 방법에 의해 구한 음향파워레벨도 제시하여 서로를 비교해 볼 것이다.

### 5.2 음향파워레벨의 예측

개발 예정지역의 개발 이후의 도로교통 소음도의 변화를 살펴보기 위해 NIER식을 이용하여 변경된 음향파워레벨을 구해보았고, CRTN식, ASJ-Model식 및 VCT 방법 등을 이용하여 구한 음향파워레벨을 비교해 볼 것이다.

본 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 선형식으로 추정하였다. 그 결과는 Table 5.1에 제시해 놓았다.

Table 5.1 Prediction of vehicle number after renewal

| 구 분  | 세대수 | 차량대수(N) |     | 평균속도(V) |      | 증가율 (%) |
|------|-----|---------|-----|---------|------|---------|
|      |     | 소형      | 대형  | 소형      | 대형   |         |
| 현재   | 712 | 2,991   | 278 | 50.4    | 45.1 | 30.62   |
| 개발이후 | 930 | 3,907   | 364 | 50.4    | 45.1 |         |

Table 5.1을 이용하여 NIER식, ASJ-Model식, CRTN식 및 VCT 방법에 적용시켜 음향파워레벨을 예측해 보면 Fig 5.3과 같으며, 최종적으로 개발 이후 지역 소음 모델에 사용되는 음향파워레벨은 NIER식으로 구한 값을 사용한다.

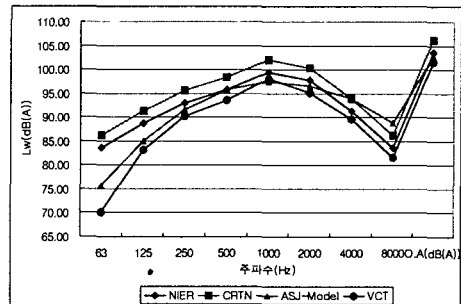


Fig 5.3 Comparison with Lw(NIER, CRTN, ASJ, VCT)

Fig 5.3의 결과에서, NIER식은 103.6dB(A), CRTN 식은 106.2dB(A), ASJ-Model식은 102.7dB(A), VCT 방법은 101.5dB(A)로 나타나, 차량 대수가 현재보다 약 30% 증가시에 소음레벨은 1.2dB(A) 증가하는 것으로 나타났다.

### 5.3 음향파워레벨을 이용한 소음도 예측

개발 이후의 지역 모델은 2D는 Fig 5.4에 3D로 모델링한 것은 Fig 5.5에 제시하였다. Fig 5.4에 보이는 음원의 %는 개발 이후, 중앙 도로에서 차량의 이동 경향성과 도로교통 소음원의 기여도를 나타낸 것이다.

Fig 5.6은 도로교통 소음원의 이동 경향성과 기여도를 고려하여 5.2절에서 NIER식으로 계산된 음향파워레벨(103.6dB(A))를 적용시켜 소음지도를 제작한 것이다.

그 결과를 살펴보면, 중앙도로와 인접한 인도에서는 최대 77.5dB(A)까지 예측되었고, 개발 예정 지역의 부지경계선에서는 최대 74.3dB(A)까지 예측되어 소음·진동 규제기준 중 교통소음·진동의 한도에서 주간 주거지역 기준인 68dB(A)와 도로변 주거지역의 주간 환경 기준인 65dB(A)를 초과하여 일부 구간에서는 방음벽 등의 방음대책이 필요한 것으로 나타났다.

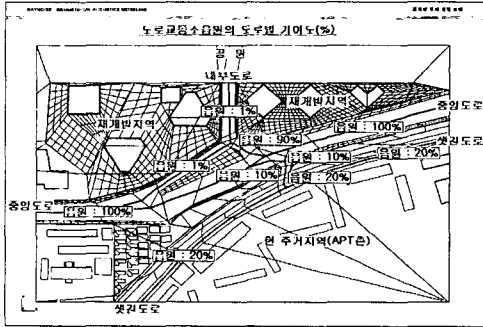


Fig 5.4 Location and contribution rate of Lw source

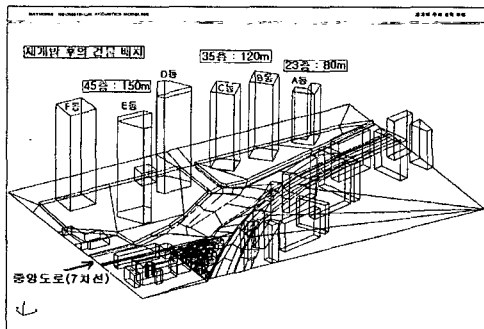


Fig 5.5 Region model after renewal

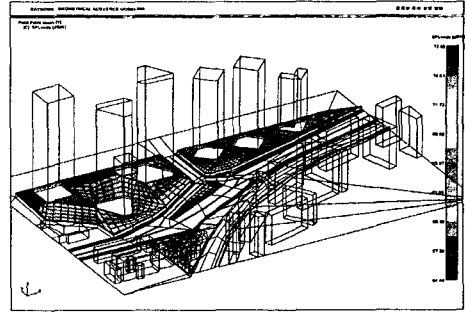


Fig 5.6 Result of noise prediction after renewal

### 5.4 음향파워레벨의 적용 응용분야

본 논문에서는 응용분야를 크게 두 분야로 살펴 보았다. 현재 소음·진동 분야에서 대두되고 있는 Noise Map(소음지도)의 제작과 방음대책 설치 전후의 저감 효과 비교에 대한 것이다.

첫 번째, 소음지도(Noise Map)라 함은 소음자료를 이론적으로 증명된 예측식이나 경험식 및 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 사용하여 소음의 수치와 분포를 계산하여 데이터를 분석하고 가공하여 제시하는 지도로서, 소음 분포의 시각적인 면과 공간적인 면을 고려하여 도시 공간적인 구조로 나타낸 지도이다.

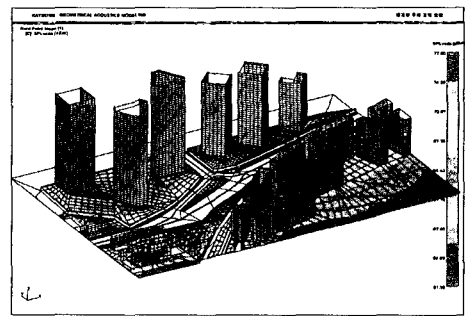


Fig 5.7 Result of Noise Map after renewal with renewal area as the central figure

Fig 5.7이 자료는 소음지도 결과뿐만 아니라 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 보장되어야 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 5.8은 Fig

5.7의 결과를 토대로 5~9m높이의 방음벽을 설치하여 소음저감 효과를 알아보았다.

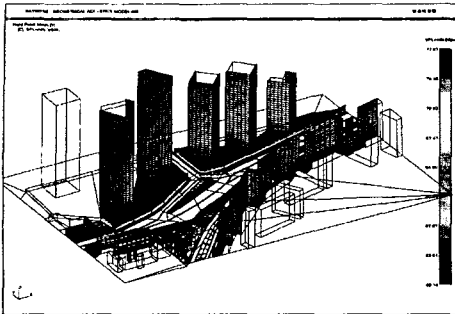


Fig 5.8 Noise distribution result of renewal after absorption barrier installation

## 6. 결 론

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

1. 본 논문에서 사용한 여러 예측식들(NIER식, CRTN식, ASJ-Model식, E.D. 및 VCT 방법)로 구한 음향파워레벨과 실측값으로 구한 음향파워레벨의 차는  $\pm 2\text{dB(A)}$ 미만으로 비교적 정확하였지만, 본 논문에서 제시한 고려사항 네 가지 조건을 모두 만족시키는 예측식은 NIER(10m이내 지역 예측)식 뿐이었다.

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. 영국의 CRTN식은 차량 대수의 변화에 따라 예측값의 변동이 비교적 심한 예측식으로 국내 적용에 있어 신중을 기하며, 또한, 국내 적용에 있어, 반드시  $L_{10}$ 값을  $L_{eq}$ 값으로 전환시킬 수 있는 공식화 된 방법을 설정하여 편리하게 사용할 수 있도록 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 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.

5. 결론 1의 결과로 NIER식에 의해 개발 이후의 도로교통소음을 세대수 증가에 따라 변하는 교통량의 음향파워레벨을 구하였고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시켜 살펴본 결과, 교통량의 증가에 따라 도로교

통 소음 또한 증가되는 것을 살펴볼 수 있었으며, 한 지점의 값이 아니라 전 개발지역의 소음분포를 살펴볼 수 있어 도로교통소음으로 문제시 될 수 있는 지점을 미리 파악할 수 있었고, 그 지점의 방음대책의 종류와 방음벽의 높이 산정에 있어 근거 자료로 사용될 수 있었다(Noise Map).

6. 또한, 음향파워레벨을 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시켜 현재 소음분야에서 연구되고 있는 Noise Map을 제작하여 그 지역의 보다 정확한 Noise Map형성에 있어 기초 자료와 비교 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이 자료를 이용하여 소음노출 인구수 산정시에 적용시켜 통계적인 기초 인구수 추정에도 사용될 수도 있을 것으로 판단된다.

7. 개발에 따른 교통량 증가로 도로교통소음도 증가가 예측되는바, 문제시 되는 지점을 선택하여 본 논문에서는 5~9m 방음벽의 방음대책을 선택하여 부지경계선에 설치하여 방음벽 유·무에 대한 효과를 살펴보았다. 그 결과, 방음벽은 반드시 필요하며, 기존의 방음벽 또한 높이를 다시 조절하여 설계해야 할 것으로 나타났고, 방음벽에 대한 효과를 한 눈에 볼 수 있어 방음대책의 종류 및 방음벽이 높이를 설계하는데 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- (1) 이효수 외 3인, 서울시민의 소음공해 인식에 대한 연구-도로교통소음을 중심으로, 소음진동공학회 제7권 제3호(1997)
- (2) 강대준 외 4인, 도로교통소음(I), 국립환경연구원(1999)
- (3) 강대준 외 4인, 도로교통소음(II), 국립환경연구원(2000)
- (4) Amando Garcia, Environmental Urban Noise, WIT PRESS(1997), Chapter 5.
- (5) 조대승 외 7인, 고속도로 교통소음의 음향파워평가, 한국소음진동공학회(2001), pp. 1273~1279
- (6) P.M. Nelson, Transportation Noise Reference Book, Butterworths(1987), Chapter 10.
- (7) 한국도로공사, 소음예측기법 및 방음시설 설계기준 연구(2001), pp. 66~70.
- (8) J.D. Irwin, Industrial noise and vibration control, PERNTICE-HALL, INC.(1979)
- (9) P. M. Nelson and P. G. Abbott, 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](2002).