

## 도로 교통소음의 전파특성 연구

- 인체에 미치는 영향에 대한 고찰 -

경산대학교 자연과학부 전자물리학과

장 호 경

본 연구에서는 평탄한 지면 위의 도로 교통소음의 전파특성을 해석하고자 점음원과 쌍극자음원을 모델로 사용하였으며, 연속 지표면 음향임피던스에 대한 초과감쇠를 실험으로 조사하였다. 연구결과 수음점이 지표면 가까이 있을 때, 도로 교통소음의 전파특성은 소음 전파경로 상의 지표면 음향임피던스에 크게 영향을 받는 것을 확인하였다. 또한 진행 차량으로부터 측정된 등가에너지레벨의 거리별 감쇠값을 이용하여 등음압곡선을 해석하였다. 그리고 도로 교통소음이 인체에 미치는 영향을 조사하고자 초저주파 소음에 대한 응답특성, 깊은 수면율과 잠을 깨는 비율에 대한 연속적인 교통소음의 효과, 연령과 소음폭로등 다양한 변수에 대하여 청력손실과 청감민감도 변화 등을 고찰하였다. 해석결과 과도한 소음은 일시적 청력손실의 원인이며, 폭로가 길어지거나 강력하면 영구적 청력손실의 원인이 될 수 있음을 확인하였다.

**중심단어 :** 교통소음, 수면방해, 청력손실

### 서 론

차량의 대형화와 고속화, 교통량의 급격한 증가로 인해 도로 교통소음은 매년 증가하고 있으며, 사회적 문제로 확대되고 있다. 고속도로, 철도 그리고 도시고속화도로 주변의 교통소음으로 인해 발생하는 재산상의 피해와 밤잠을 설치는 경우 등 신체적, 정신적 피해에 대한 보상요구는 최근 한층 더 증대되고 있다 [1]. 현실적인 방지대책으로 도로변에 방음벽을 설치하고 있지만, 좁은 국토와 건물의 고층화, 지형의 기하학적 구조, 방음벽의 높이, 소음의 굴절, 회절현상으로 인해 실제 방음벽의 효과가 설치목적에 비해 다소 미흡한 지역이 많이 존재한다.

도로 교통소음은 이동하는 소음원으로 발생하는 음원의 종류에 따라 점음원, 선음원, 면음원 등으로 구분될 수 있고, 이 구분은 소음원 자체가 가지고 있는 크기에 비해 소음원과 측정자 위치 사이의 거리값의 비에 의해 결정된다. 소음원에서 발생하는 음향에너지는 완전자유공간의 경우와는 달리 반무한 공간에서 전파되며, 전파과정에서 반사, 회절, 산란 등의 물리적인 특성이 변화된다. P.T.Lewis 등은 단일차량에 대

하여 소형차와 대형차의 속도와 주파수별 차량의 소음방사특성 해석방법과 모델을 연구하였으며[2~4], D.C.Hothersall 등은 도로 교통소음의 전파에서 음의 전파특성에 영향을 미치는 지표면의 음향임피던스와 거리의 변화에 대한 초과감쇠(excess attenuation)를 연구하였다[5~7]. Gierke, H. E. 등은 도로 교통소음에서 발생하는 초저주파 소음의 발생원인과 전파원리 그리고 초저주파 소음에 폭로되었을 때 인체의 다양한 부분에서 나타나는 응답특성을 조사하였다[8,9]. M.Vernet등은 도로 교통소음의 영향에 의한 수면방해의 원인과 개인별 반응을 조사하였다[10~12]. White R.G. 등은 소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계를 해석하여 청감민감도 변화를 조사하였다[13~15].

본 연구에서는 도로 교통소음의 발생원인 차량의 소음 방사특성을 해석하기 위하여 점음원(monopole)과 쌍극자음원(dipole)으로 모델을 설정하고, 일정시간 주기동안 등가에너지레벨(equivalent energy level)을 조사하였으며, 차량의 소음방사 스펙트럼을 연구하였다. 그리고 도로 교통소음의 전파과정에서 발생하는 지표면 음향임피던스 변화에 대한 초과감쇠(excess attenuation)와 소음원으로부터 인접거리에 대한 도로 교통소음의 전파특성을 해석하여 소음분포도를 연구

이 논문은 1997년도 경산대학교 기린연구비 지원에 의한 것입니다.

하였다. 또한 도로 교통소음의 전파로 인해 발생하는 다양한 인체의 영향을 고찰하였다. 과도한 소음에 폭로 되었을 경우 인체에 미치는 효과는 크게 정신적, 심리적 영향과 신체적 영향으로 분류할 수 있다. 소음에 의한 불쾌감, 시달림(annoyance), 작업방해(task interference) 등이 있으며, 사람의 생리적 수면의 단계가 소음의 영향으로 인해 변화되거나 잠을 깨는 수면방해(sleep interference)의 경우도 있다. 청력손실(hearing loss)은 일시난청(temporary threshold shift)과 영구난청(permanent threshold shift) 그리고 청력결함(hearing handicap or hearing impairment) 등이 있다. 명료지표와 음성 수단으로 화자와 수음자 사이에서 측정되는 대화방해(speech interference) 요소도 있다. 기타 소음에 의한 인체에 미치는 영향은 소음에 지나치게 폭로되면 생리적으로 긴장이 가중되며, 정신질환, 순환기 계통의 질병을 유발할 수 있다.

### 이론 및 방법

#### 1. 차량의 소음 방사특성

해석 모델을 단순화하기 위하여 소음은 이상적인 단일 점음원(monopole)과 쌍극자음원(dipole)으로 구성되고, 소음원과 수음점 사이의 전파시간과 도플러효과는 무시하였다. 소음의 감쇠는 소음원과 수음점 사이의 거리변화에 의해 발생하며, 소음원으로부터 도달하는 직접음과 지면으로부터의 반사하는 반사음 사이의 간섭은 없다고 가정한다.

거리  $r$ 에서 측정된 음압과 음원파워레벨은 (1),(2)식과 같고,  $L_p$ 는 음압레벨,  $L_w$ 는 음향 파워레벨(sound power level)이다[2~4].

$$p^2(t) = Q(\theta, \phi) W(t) \rho_0 c / 2\pi r^2(t) \quad (1)$$

$$L_p = L_w + 10 \log Q(\theta, \phi) - 10 \log 2\pi r^2(t) \quad (2)$$

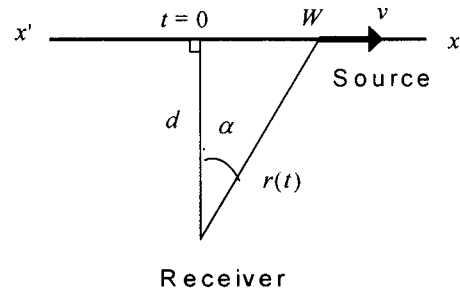
Fig.1(a)는 음원과 수음원의 기하학적 구조이며, 소음원이 수음점을 지날 때 측정된 최대 음압의 함수는 (3)식과 같고,  $P_{max}$ 는 거리  $d$ 에서 소음원에 의한 최대 음압이다. 음압레벨로 표현하면 (4)식과 같다.

$$p^2(t) = p_{max}^2 d^2 / r(t)^2 = p_{max}^2 d^2 (v^2 t^2 + d^2) \quad (3)$$

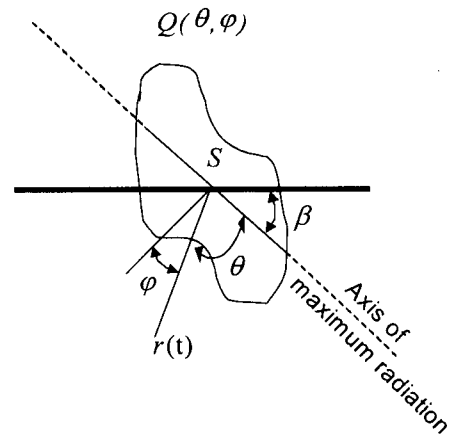
$$L_p = L_{p_{max}} - 10 \log \{1 + (vt/d)^2\} \quad (4)$$

Fig.1(b)에서 쌍극자음원(dipole source)에 대한 음압레벨은 (5)식과 같고, 쌍극자음원이 변위 선과 수직일 때 최대음압이 된다.  $\theta$ 는 쌍극자의 축과 음원및 수음점을 연결하는 선 사이의 사이각이며, 각  $\beta$ 는 쌍극자 축과 변위의 경로사이의 사이각이다.

$$L_p = L_{p_{max}} + 20 \log \cos \left[ \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(vt/d)^2 + 1}} - \beta \right] - 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{vt}{d} \right)^2 \right] \quad (5)$$



(a)



(b)

Fig.1 Geometry of the situation. (a) Source and receiver positions (b) directivity pattern and position of the axis of maximum radiation.

$T$  동안에 등가에너지레벨(equivalent energy level)과  $t = \pm d/v$ 일 때  $x' - x$ 축을 따라 자동차가 지나

가는 것처럼 순간 최대 음압레벨  $L_m$ 은 (6),(7)식과 같다.

$$L_{eq T} = L_{p_{max}} + 10 \log \frac{T}{T} + 10 \log \left[ \tan^{-1} \frac{T}{2\tau} - \frac{2\tau T}{4\tau^2 + T^2} \right] \quad (6)$$

$$L_m = L_{p_{max}} - 6 \text{ dB} \quad (7)$$

도로 교통소음은 소음의 발생위치에 따라 차량내부의 소음과 차량외부의 소음으로 분류된다. 차량내부의 소음으로는 특히 초저주파 소음이 공진에 의해 인체에 영향을 크게 줄 수 있다. 가정소음의 발생원과 같이 초저주파 소음의 발생 기구는 관류(turbulence), 공명, 충격 그리고 유체역학적 반복작동 등 여러 가지가 있다. 도로를 주행하는 차량내부의 승객에게도 초저주파 소음이 열린 창문의 모서리에서 생기는 모서리-제트기류(jet-edge)현상과 헬름홀츠(Helmholtz) 공명현상으로 크게 발생하며, 창문이 열려진 승용차의 주행시 더욱 많은 초저주파 소음이 발생한다. 발생소음은 화물차, 승용차, 대형차량, 소형차량 등의 차량의 종류에 따라 다르게 발생하며, 특히 대형차량의 경우 초저주파 소음의 발생량이 크게 나타난다. 그리고 차량외부에서는 공기마찰음, 타이어의 소음 등으로 인해 주행속도에 따라서도 저주파 소음이 많이 발생하고 있으며, 바람의 방향에도 영향을 받는다[8,9].

## 2. 지표면 위의 교통소음의 전파특성

경계면 위의 매질은 공기이며, 경계면 아래의 매질은 특성 음향임피던스를 갖는 도로면을 가정하여 Fig.2와 같이 모델을 설정하였다. 경계면 위에 음원과 마이크로폰이 위치해 있을 때 경계면에서 음원의 높이를  $h_s$ , 마이크로폰의 높이를  $h_r$ , 경계면 위의 음원에서  $D$  만큼 떨어져 있는 마이크로폰까지의 직접파 전파경로를  $r_1$ , 지면에서 반사되어 도달하는 반사파의 경로를  $r_2$  로 둔다.

음원에서 발생한 구면파가 마이크로폰에 도달할 때 음의 속도 포텐셜(velocity potential)은 (8)식과 같고,  $\Delta r$  은 반사파의 경로차이다[5~7].

$$\phi = \frac{e^{(jkr_1)}}{r_1} [1 + Qe^{(jk\Delta r)}] \quad (8)$$

$Q$ 는 허음원(image source)의 강도계수로서  $Q = R + (1 - R)F(w)$ 이다. (9)식의  $R$ 은 반사계수이며, (10)식의  $w$ 는 산술적 거리(numerical distance)이다.

$$R = \frac{\sin \phi_1 - z_1/z_2 [1 - (k_1/k_2)^2 \cos^2 \phi]^{1/2}}{\sin \phi_1 + z_1/z_2 [1 - (k_1/k_2)^2 \cos^2 \phi]^{1/2}} \quad (9)$$

$$w = \frac{e^{(jk_1 r_2)}}{(1 - R)^2 \cos^2 \phi} \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{k_1}{k_2} \right)^2 \cos^2 \phi \right] \quad (10)$$

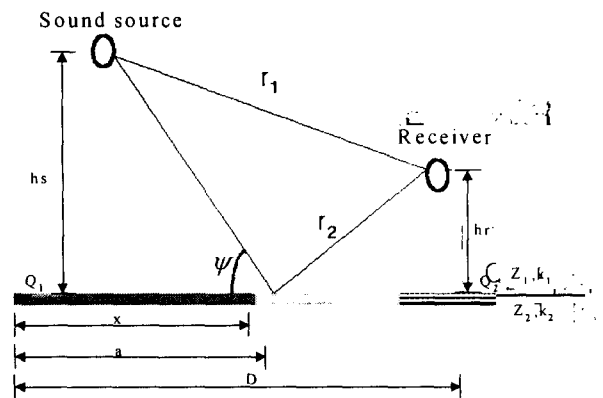


Fig.2 Schematic diagram for the measurement of excess attenuation on ground.

$\phi$ 는  $\sin \phi = (h_s + h_r)/r_2$ 로 결정되는 음파의 지면에 대한 입사각도이며,  $k_1$ 과  $k_2$ 는 공기에서와 지표면에서의 음파의 파수이다.  $z_1 (= \rho c)$ 는 공기의 음향임피던스이며,  $z_2$ 는 지표면의 음향임피던스이다. 지표면의 음향임피던스와 파수 그리고 음원과 마이크로폰 사이의 거리와 높이를 알면 전파되는 음장의 특성을 예측할 수 있다.

자유공간에서 각 주파수별로 거리의 역자승 법칙(inverse square law)에 의해 감소된 음압레벨을 기준 음압레벨로 하여 측정한 음압레벨과의 상대적인 값을 초과감쇠(excess attenuation)라고 하며, 지표면의 음향임피던스에 의한 초과감쇠는 (11)식에 의해 구한다.  $Q$ 를 구하고  $r_1$ 과  $r_2$ 를 구하면 초과감쇠를 예측할 수 있다. 음의 전파에 있어서 지표면의 흡수 효과를 계산할 때 직접파와 반사파의 간섭을 가정 하였으나, 실제 바람과 온도의 무질서한 요동은 마이크로폰에서의 신호의 위상과 진폭에 요동을 일으킨다. 요동의 효과는 음원과 마이크로폰 사이의 거리가 클수록 초과

감쇠치를 작게하고 초과감쇠가 일어나는 주파수영역을 저주파 쪽으로 이동하게 한다.

$$L_{AE} = 20 \log \left[ 1 + \left( \frac{r_1}{r_2} \right) Q \exp(jk_1 \Delta r) \right] \quad (11)$$

발생된 도로 교통소음에서 특히 가청음파에 비해 긴 파장을 갖는 초저주파 소음은 가청 음파와 다른 전파 특성을 가져, 공기 중에서 전파할 때 흡수에 의한 감쇠, 장애물에 의한 투과손실, 그리고 회절에 의한 감쇠가 매우 작아 장애물의 존재와 무관하게 장거리를 전파할 수 있기 때문에 넓은 지역에서 여러 문제를 발생 시킬 수 있다. 공기의 밀도  $\rho$ 와 음파의 전파속도  $c$ 가 온도에 따라 변하므로 지표면에서 높이에 따라  $\rho c$ (specific acoustic impedance)는 변하며 음파는 굴절한다. 즉 소리의 굴절은 매질의 밀도 변화로 인하여 발생하며, 음파의 진행 방향이 변화하는 것을 의미한다. 스넬(Snell's)의 법칙에 의해 굴절도  $S$ 는 두 매질 내에서 음속의 비로서 나타난다[8,9].

$$S = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \propto \frac{c_1}{c_2} \quad (12)$$

대기 중에서는 지면으로부터 공중으로 올라갈수록 온도차가 발생한다. 주간에는 높이에 따라 온도가 낮아지며, 음속은 온도가 낮을 수록 감소한다. 그래서 지표면의 전파속도가 그 위쪽의 속도보다 빠르므로 음파의 전달방향은 공중으로 향하게 된다. 밤하늘의 경우 낮과 반대로 되어 지표면의 온도가 공중 온도보다 낮아지므로 속도의 변화에 의한 파면의 변화로 인해 음파의 전파방향이 지표면 쪽으로 향하게 된다. 바람도 소리의 전파방향을 변화시키는 요인의 하나이다. 그 결과 도로 교통소음은 아주 먼 거리까지 전파되어, 아주 넓은 지역에 소음의 피해를 끼친다.

결과 및 고찰

도로 교통소음의 발생과 전파를 해석하기 위해 Fig.1의 모델을 설정하였으며, Fig.3은 차량의 진행방향에 대하여 쌍극자 음원의 주축 방향이  $\beta=0, 30, 45, 60, 90^\circ$  일 때, (4)~(7)식에 의해 구한 순간 음압 레벨  $L_p(t)$  의 편차이다. 이 때  $d/v$ 는 시간함수로 나타난다.

Fig.4는 차량의 속도가 50km/h 일 때 대형차와 소형차에서 발생하는 차량의 소음방사 스펙트럼이며, 대형차보다 소형차의 소음이 속도 증가에 더 민감하다. 그 이유는 대형차의 경우 소음의 주 발생원인이 엔진이지만, 소형차의 경우는 속도 증가에 대하여 주된 발생원이 차체이기 때문이다[2~4].

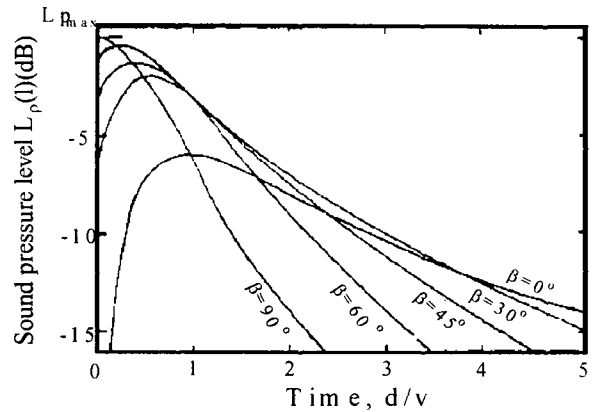


Fig.3 Dipole source : variation of the instantaneous sound pressure level  $L_p(t)$ .

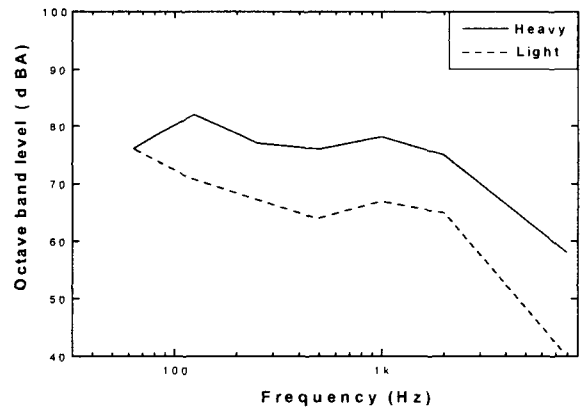


Fig.4 The effect of speed on the spectrum of vehicle noise.

Fig.5는 도로 교통소음의 전파특성을 연구하기 위한 모델 실험의 결과이다[5~7]. 지표면의 음향임피던스에 의한 소음의 초과감쇠 특성은 편평한 지표면 위에서 음파가 마이크로폰에 도달하게 될 때 각 주파수별 감쇠특성은 음향임피던스를 환산한 통기저항으로 기술할 수 있다. 이 때 각 지표면의 특성에 따라 통기저항이 다른 값을 가지며, 지표면에서 반사되어 전파하는 반사파의 위상지연(phase lag)에 영향을 미친다.

초과감쇠의 피크치는 반사파의 위상지연이 커짐에 따라 저주파 영역으로 이동하게 된다.

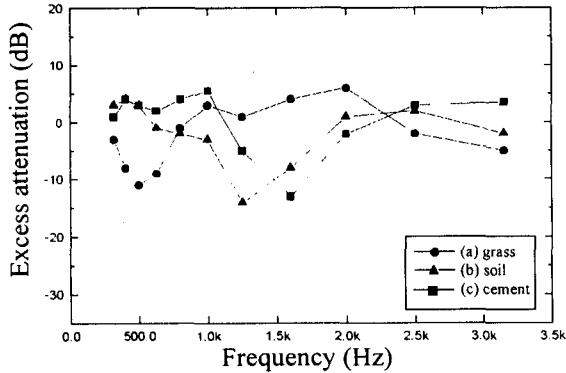


Fig.5 Comparison the measured excess attenuation on the grass, the soil and the cement ( D = 18m, hs = 1m, hr = 1m ).

Fig.5의 결과는 지면의 음향임피던스가 다른 경우, 즉 소음의 일반적 전파 경로중의 하나인 초지, 흙, 시멘트 도로에 대하여 지면이 연속일 경우 음원과 마이크로폰의 높이 및 거리가 일정할 때 주파수별 초과감쇠 특성을 1/3 옥타브밴드 중심주파수 대역으로 나타낸 것이다. 라우드 스피커와 마이크로폰의 높이는 1 m, 수평거리는 18 m로 동일한 기하학적 조건하에서 연속인 재질의 지면이 반사체의 역할을 할 때 소음의 초과감쇠는 지면의 특성인 음향임피던스에 영향을 받는다. 지면의 다공성이 클수록 음향임피던스는 작은 값을 나타내며 흡음성이 큰 다공성 재질인 초지와 흙인 경우 반사파는 재질 내부에서 산란과 음파의 상호작용으로 위상지연이 일어난다. 음향임피던스가 클 때 반사파의 위상지연은 없으며, 단지 직접파와 반사파의 경로차에 의한 간섭으로 초과감쇠가 최대치를 나타낸다.

Fig.6는 지표면의 음향특성의 차이에 의한 교통소음의 전파특성의 변화를 검토하였다[16]. 해석은 측선상에서 가상의 단면 높이 13m x 거리 10 ~ 100m를 설정하여, 가로 2m x 세로 1m 간격으로 철도차량의 통과간의 소음레벨을 구하였다. 지표면의 음향특성은 흡음성의 300 kPa·s/m<sup>2</sup>과 반사성의 20000 kPa·s/m<sup>2</sup> (아스팔트에 해당함)으로 설정하였다. 도로 교통소음의 전파특성은 전파경로상의 지표면 음향특성에 따라

크게 변하며, 흡음성 지표면(a)과 반사성 지표면(b)의 해석 결과를 비교하여 보면, 소음레벨의 전파특성이 크게 다른 등압선도를 나타내고 있다. 반사성 지표면에서 전체적으로 소음레벨이 증가하며, 특히 지표면 부근에서의 증가가 현저하게 나타났다.

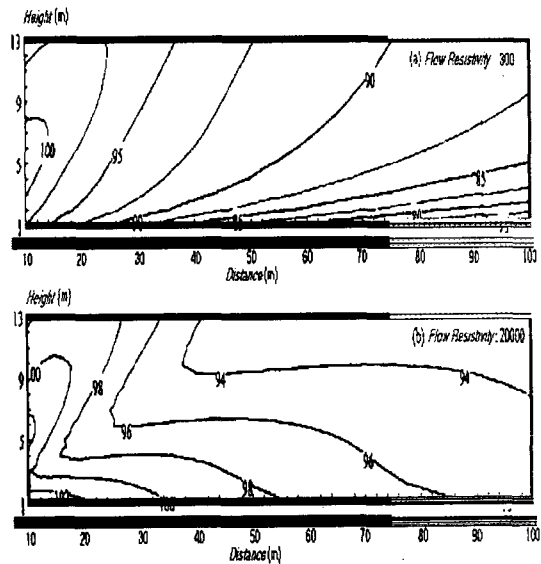


Fig.6 Calculated sound exposure level distribution. Specific flow resistance is parameter.

Gierke와 Nixon에 의한 Fig.7의 해석결과를 보면 인체에 미치는 초저주파 소음의 영향은 전신에 기계적인 진동을 받았을 때의 효과와 유사하고, 특히 소음의 주파수가 낮아 질수록 기계적인 진동에 대한 반응과 거의 일치한다고 한다[8,9]. 신체의 진동에 따른 변위와 각부위의 고유진동수, 압력과 속도 등의 측정결과, 초저주파 소음에 폭로되었을 때 가슴벽, 호흡관, 복벽 등의 압력과 응답특성은 기계진동을 가했을 때와 같은 응답특성을 나타낸다. 이 연구결과는 어떤 신체부위의 고유진동수 근처의 주파수를 갖는 초저주파 소음 또는 저주파 진동을 받게 될 때의 위험을 제시해 주고 있다. 예를 들면 170cm인 사람의 경우 그 키가 200Hz의 파장과 같아서 200Hz 이하의 파장을 받았을 때, 전신이 압축을 받을 때와 같은 경우가 되어 신체의 공명주파수가 커지게 된다. 이런 경우 차량의 탑승시 안전벨트를 착용함으로써 신체 각 부위의 진동 변위 응답을 감소 시킬 수 있다.

소음의 영향에 의한 수면방해(sleep disturbances)

의 원인으로서는 크게 소음원의 특성과 인간 개인특성으로 나누어 진다[10~12].

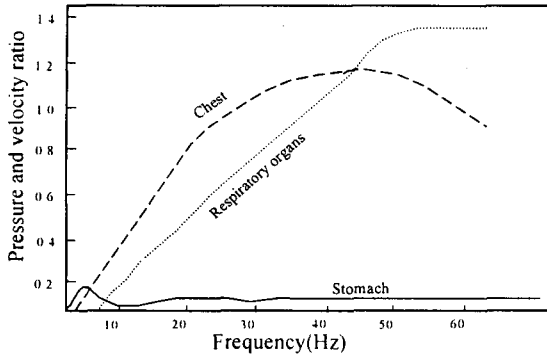


Fig.7 The effect of infrasound on the various parts of the body.

소음의 영향에 의한 수면방해(sleep disturbances)의 원인으로서는 크게 소음원의 특성과 인간 개인특성으로 나누어 진다[10~12]. 소음원의 특성은 소음의 세기(intensity), 변동정도, 주파수 스펙트럼(frequency spectrum), 소음에 폭로 되는 시간등 소음현상 그 자체의 물리적 의미이다. 인간의 개인특성에 의한 구분 자체가 뚜렷하지 않지만 청각특성, 누적된 수면, 연령, 성별, 개인의 건강상태 등의 생리적 특성과 직업, 교육정도, 취미 등의 개인의 심리적 반응차에 의한 심리적 특성으로 구분 된다. 현재 대도시의 많은 주민들이 주간 교통소음으로 옥외생활 한계소음도인  $65L_{eq}$  dB(A)이상에 폭로 되어 있다. 주요도시 도로변 지역 소음도가 소음환경기준을 상당히 초과하고 있어 생활환경을 저해하고 있다. 교통소음에 의한 수면의 방해 요소는 소음의 물리적 성질과 소음에 의한 감각적, 심리적 영향을 모두 다루어야 한다.

Fig.8은 큰소음과 작은 소음이 있는 시끄러운 밤을 두 집단에 교대로 부가하여 깊은 잠의 백분율, 평균 잠자는 시간, 잠을 깨는 수, 잠의 도입시간, 소음에 대한 적응도등을 조사하여 두 집단에서 비교한 결과이다. 조용한 밤에 이용된 배경소음은 A-보정된 32dB로서 공기 조절장치(air conditioning system)에서 발생하는 소음이며, 연속적인(continuous) 소음은 복잡한 도로의 교통소음을 녹음하였다. 실험에 사용된 소음레벨은 47dB과 60dB로서 각각 14명의 한 집단과 12명의 또다른 집단에 교대로 부여 되었다. 앞이마에 부착된 EEG를 이용하여 수면의 단계를 기록하였으

며, 실험 대상자들은 잠을 깬 때마다 침대 옆의 버튼을 눌러 부가적 매개변수와 정상적 수면동안 가능한 방향을 평가하였다. 두 집단에 대한 비율을 평균 도로 교통소음레벨의 함수로 나타내었다. 평균 잠을 깨는 수의 증가는 교통소음이 47dB 일 때 12.7%이다. 소음레벨이 10dB증가 할 때 잠을 깨는 수의 증가는 14%인 것을 보여 준다. 수면의 단계를 나타내는 깊은 잠의 수면율과 잠을 깨는 율에 대하여 조사한 결과 수면에 대한 소음의 영향은 크게 존재하며, 또한 소음폭로에 따른 생리적 특성과 심리적 특성을 수반하는 개인적 반응의 차가 크게 존재함을 확인하였다.

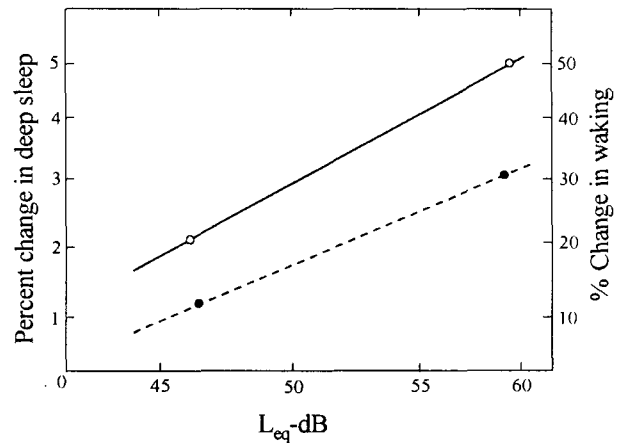


Fig.8 The open circles show percentage change in the average fraction of deep sleep experienced when traffic noise at 47 and 60dB was introduced into the bedroom. The right ordinate applies to the lower points showing the percentage change in the number of wakings. The lines merely join their respective points.

White R.G 등은 소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계를 해석하고자 정상소음과 변동소음에 의한 폭로, 소음의 강도, 음압레벨, 폭로기간등 다양한 청력손실의 원인이 되는 양과 청력손실 사이의 수리적 관계를 연구하였다. 그리고 연령, 소음폭로, 연령과 소음폭로의 결합형태등 여러 요인에 의해 발생하는 청감민감도 변화(hearing sensitivity threshold shift)를 조사하였다. 장기간의 소음폭로에 대하여 연령과 소음폭로 두 요인이 복합되어 발생하는 청력손실을 조사하여 소음으로 인해 발생하는 주파수 영역별 청력도를 해석하였다. 그리고 노화 과정으로 인해 나타나는 청감민감도의 변화를 조사하였다[13~15].

Fig.9은 연령에 의한 효과를 제외하고 장기간의 소음폭로에 대한 청감민감도 변화를 조사한 청력측정도이다. 강력한 소음에 노출되어 생기는 청력손실의 초기증상은 4kHz영역의 고주파음 청취 민감도 경계가 변하는 것이다. 하지만 소음유발 청력손실의 초기에 당사자는 실질적인 변화를 거의 알아차리지 못한다. 4kHz영역은 산업소음으로 인해 가장 손상받기 쉬운 전형적인 주파수영역이다. 청력손실은 이 영역에서부터 시작되어 노출이 계속되면 골(dip)은 더욱 깊어지고 저, 고주파영역으로 확대된다. 골이 넓어져 언어 주파수영역과 겹치면 음성인지가 점점 더 지장을 받고, 손상을 받은 사람이 여전히 말소리를 들을 수 있어도 그 말이 담고 있는 정보를 이해할 수 있을 만큼의 충분한 분별이 없게 된다.

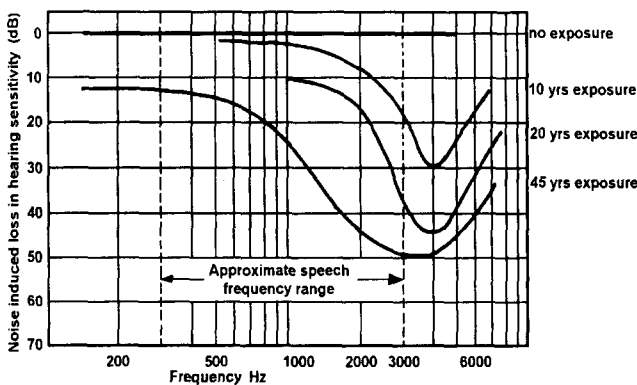


Fig.9 Audiograms showing the typical reduction of hearing sensitivity as a result of long term exposure to industrial noise, excluding effects of age.

Fig.10은 연령과 소음폭로 두 요인이 복합되어 발생하는 청력손실을 나타낸 청력측정도이다. 내이에서 일어나는 회복 불능의 청력손실의 다른 원인은 노인성 난청(presbycusis)이라 부르는 노화 과정으로 인한 것이다. 특히 고주파에서 영향이 큰 노인성 난청은 그 자체로도 문제가 발생하지만, 소음유발 청력손실이 더해진다면 대화의 곤란등 더욱 심각한 장애를 야기할 수 있다.

소음에 대한 노출을 줄이는 가장 효율적인 방법은 소음원 대책과 도로 교통소음의 전파 경로를 차단하는 것이다. 그리고 정기적 청력진단, 개인별 소음폭로량 자료관리등 청력 관리체제를 수립하여 소음폭로에 의해 발생하는 청력손실을 예방하여야 한다.

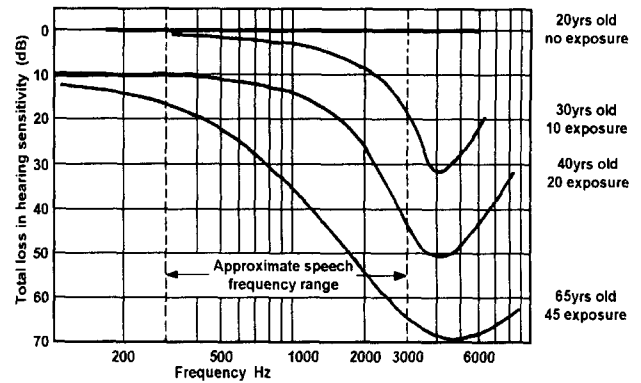


Fig.10 Audiogram showing typical hearing losses resulting from both presbycusis and noise induced hearing loss.

### 결론

본 연구에서 도로 교통소음의 발생원인 차량의 소음방사특성과 교통소음의 전파특성을 해석하고 그리고 도로 교통소음에 의해 인체에 미치는 다양한 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

차량의 진행방향에 대하여 쌍극자음원의 주축의 방향이 90°일 때 순간 음압레벨의 편차가 가장 크게 나타났다. 대형차의 경우 소음의 주 발생원인이 엔진이지만, 소형차의 경우는 속도 증가에 대하여 주된 발생원이 차체이기 때문에 차량의 소음방사 스펙트럼은 대형차보다 소형차의 소음이 속도 증가에 더 민감하였다. 지면이 반사체의 역할을 할 때 소음의 초과감쇠는 지면의 음향임피던스에 영향을 받고, 단지 직접파와 반사파의 경로차에 의한 간섭으로 최대치를 나타낸다. 도로 교통소음의 전파특성은 전파경로상의 지표면 음향특성에 따라 크게 변하며, 흡음성 지표면과 반사성 지표면의 해석결과 소음레벨의 전파특성이 크게 다른 등압선도를 나타내고 있다. 반사성 지표면에서 전체적으로 소음레벨이 증가하며, 특히 지표면 부근에서의 증가가 현저하게 나타났다.

인체에 미치는 초저주파 소음의 영향은 전신에 기계적인 진동을 받았을 때의 효과와 유사하고, 신체의 진동에 따른 변위와 각부위의 고유진동수, 압력과 속도 등의 측정결과, 특히 소음의 주파수가 낮아 질수록 기계적인 진동에 대한 반응과 거의 일치한다고 한다. 수면의 단계와 소음의 크기에 대한 깊은 잠의 수면율과 잠을 깨는 율에 대하여 조사한 결과, 교통소음에 의한 수면방해의 영향은 크게 존재하며, 또한 개인차가 큰 것을 확인하였다. 소음유발 청력손실과 소음폭

로 사이의 관계는 소음폭로 레벨의 함수이며, 음압레벨, 폭로기간등이 고려된 소음유발 청력손실 정도(scale)는 귀에 입력되는 시간과 음압 제곱의 적분형태로 입력 에너지에 비례한다. 소음폭로가 한계레벨인 85dB(A)보다 크면 짧은 기간에서는 소음유발에 의한 효과가 크고, 긴 기간에서는 노인성 난청과 소음유발 청력손실의 효과가 거의 같은 수준임을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. 이호수, 정인희, 김동수, 김홍식: 서울시민의 소음공해 인식에 대한 연구, 한국소음진동공학회지, Vol.7(2): 521-529, (1997)
2. P.T.Lewis: The noise generated by single vehicles in freely flowing traffic, J. sound and vibration, 30:191-206(1973)
3. R.R.K.Jones and D.C.Hothersall: Effect of operating parameters on noise emission from individual road vehicles, Applied Acoustics, 13:121-136(1980)
4. B.M.Favre: Noise emission of road vehicles: Evaluation of some simple models, J. sound and vibration, 91(4):571-582(1983)
5. D.C. Hothersall and S.N.Chandler-Wilde: Prediction of the attenuation of road traffic noise with distance, J. sound and vibration, 115(3): 459-472(1987)
6. Kai Ming Li, Shahram Taherzadeh and Keith Attenborough: Sound propagation from a dipole source near an impedance, J.Acoust.Soc.Am., 101(6):3343-3352(1997)
7. Rufin Makarewicz: A simple model of outdoor noise propagation, Applied Acoustics, 54(2):131-140(1998)
8. Gierke, H.E. von and Nixon, C.W.: Effect of intense infrasound on Man, Academic Press, (1976)
9. 김호철, 김민곤, 서상준, 윤석왕, 김영환: 물리음향학 I, 민음사: 77-112(1994)
10. M.Vernet: Comparison between train noise and road noise annoyance during sleep, J.Sound Vib., 87(2):331-335(1983)
11. D.C.Stevenson and N.R.McKellar: The effect of traffic noise on sleep of young adults in their homes, J.Acoust.Soc.Am., 85(2):768-771(1989)
12. M.Vallet., J.M.Gagneux, V.Blanchet, B.Favre and G. Labiale: Long term sleep disturbance due to traffic noise, J.Sound Vib., 90(2):173-191(1983)
13. White R.G., Walker J.G.: *Noise and vibration*, Institute of Sound and Vibration, University of Southampton(1980)
14. David A. Bies and Colin H. Hansen: An alternative mathematical description of the relationship between noise exposure and hearing loss, J.Acoust.Soc.Am., 88(6) : 2743(1990)
15. T.Miyakita and A.Ueda: Estimates of workers with noise induced hearing loss and population at risk, Journal of Sound and Vibration, 205(4) : 441(1997)
16. 주진수, 박병전: 평탄부 선로에서 철도소음의 전파 예측에 관한 연구, 한국소음진동학회지, Vol8(1): 187-194, (1998)



## The propagation characteristics of road traffic noise - with respect to human response -

Ho-Gyeong Chang

*Department of Electrophysics, Faculty of Natural Science, Kyungsan University*

In order to predict the propagation of road traffic noise over level terrain, this paper presents the model of the simple monopole and dipole source. Excess attenuations by ground acoustic impedance with continuity are investigated by outdoor experiments. In this results, the propagation of road traffic noise is affected by the acoustic impedance properties of the ground surface over which the noise travels, particularly when the receiver position is close to the surface. These results are then used to derive sound pressure level contours for the attenuation with distance of the equivalent energy level received from passing vehicle.

The percentage of deep sleep and the number of wakings are studied for continuous traffic noise. The hearing loss and sensitivity threshold shift is investigated by changing the various parameters such as the effects of aging and noise exposure. Evaluation of the response of human to traffic noise is described. It is shown that exposure to excessive noise can cause temporary loss of hearing that may become permanent if the exposure is prolonged or intense.

**Key Words : Traffic noise, Sleep interference, Hearing loss**