

## 地下鐵 走行에 의한 建物內 固體音

Structure-borne noise in a house generated  
by the subway operation

蔡 洙 連\*

Chae Soo Yun

### (Abstract)

Structure-borne noise due to forced vibration which is originated from subway operation and transmitted to buildings in order of rail-wood tie-concrete bed-structure-soil-building foundations-members of building results in social problem of environmental pollution. Moreover this becomes a serious problem because of the increment of surface traffic and subway operation made by meeting traffic system in crowded cities.

Since subway is constructed along the principal road or through the residential area and as the worst case may be, building foundations is contact with top part of subway structure, it is possible that vibration resonance results in fatal damage of buildings.

And, structure-borne vibration noise due to subway operation at late and early hours have the residents suffer from insomnia, restlessness and so on.

Therefore, to satisfy the future need concerning the environmental protection, this report deals with the influence of structure-borne vibration noise on the basis of the characteristics of Seoul Subway System.

### 1. 緒 論

地下鐵 走行 強制振動은 Rail—枕木—道床—構造物—地中—建物基礎—建物の 各部材에 傳達되어 最後에는 住居空間인 建物內에서 二次的으로 나타난 固體音은 우리 人間生活의 公害로 變化되고 있다. 더욱기 近年에는 高密度 都市生活의 Pattern에 반하여 振動源과 密接한 地上의

路面交通 地下의 地下鐵交通 增加로 더욱더 심각한 실정이다. 地下鐵網은 軒線道路 뿐만아니라 住宅街를 通過하여 建設되고 심지어는 地下鐵 構造物 上部에 建物基礎가 直接 接하여 築造되므로 地下鐵 走行에 의해 發生된 強制振動이 近接建物에 傳達, 建物の 固有振動과 共鳴現狀을 일으켜 建物內에서 增幅現狀이 發生될 可能性이 크다.

地下鐵 運行은 高요한 늦은밤과 새벽에 走行

\* 土木技術士(土木施工), 大林産業(株)部長

되므로 사람들이 안심하고 편안하게 잠들고 있는 무의식 상태를 순간적으로 깨뜨리고 建物內에 振動 騒音을 일으켜 睡眠障碍 不安感을 유발시켜 사람의 生理的 現狀에 미치는 影響이 큰 실정이다. 서울地下鐵 特性을 調査하여 地下鐵 運行으로 發生된 振動이 住居空間인 構造物內까지 傳播하는 過程과 最後에 振動이 住居空間에서 騒音으로 放射하는 固體音을 調査研究하였다.

## 2. 地下鐵 振動特性

서울 地下鐵 走行速度는 Center Frequency 31.5HZ~63HZ 範圍에서 約 60 KM/HR로 運行되고 있으며 地表面에 나타난 振動 Level은 地下鐵 運行速度, 土被, 地層의 種類, 振動發生源으로부터 距離等, 諸條件에 따라 相異하나 一般

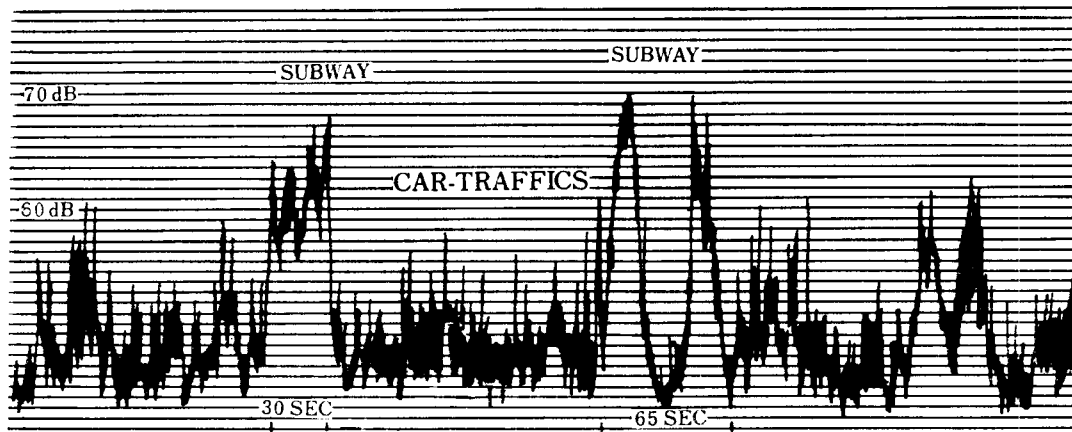


Fig-1-a. Vibration Spectrum

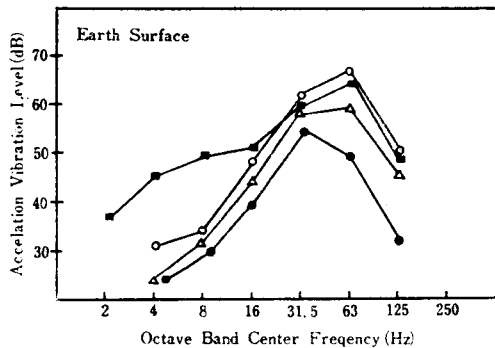


Fig-1-b. Vibration Spectrum by Subway Operation.

的으로 Pick Vibration Level은 60dB~75dB 程度로 나타나고 있다.

地下鐵 振動의 Spectrum은 路面交通에 의해 發生된 地表面 Spectrum보다 순간적으로 Fig-1-a와 같이 振動 Spectrum이 發生되어 그 양상이 다르며 일반적으로 우리가 느끼는 振動은 路面交通振動과 地下鐵 振動이 合成되어 地表面에 나타난 振動值를 느끼고 있다.

地表面 振動에 큰 影響을 미치는 主要因은 土被 地下鐵 走行速度, 振動 發生源으로부터 距

表 1 土被와 地下鐵振動 Level

測定區間	土被 (m)	振動 Level (dB)	土被狀態
삼성교 밑 (자동차 면허시험장)	1.0~2.3	75	土砂層
성릉역-삼성동역구간	7.6	43	"
성릉역구간	2.0~7.2	64	土砂層 1.6m 岩層 6.0m
신천지하도구간	—	71	지하철 slab에 접한 지하도 바닥
종로 5가~신설동구간	7.1	59	土砂層 2.5m 岩層 4.6m
동대문역구간	7.1	68	동대문 성곽위

離等이며 表 1 과 같이 土被 3.0m 以下の 경우 75dB 에 반해 土被 7.0m 의 경우 64dB 以下로 土被差에 의한 振動値가 顯著한 差를 나타냈으며, 振動 發生源으로부터 距離減衰 振動 Level 은 Fig.2 와 같이 距離가 멀어짐에 따라 發生된 振動 Energy 가 損失 되어 대략 距離의  $\sqrt{2}$  또는  $1/\sqrt{2}$  乘에 反比例하는 現狀이다.

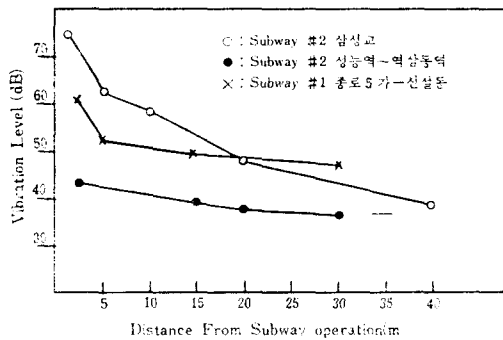


Fig. 2. Vibration Spectrum From Distance of Subway Operation.

地表面에 나타난 振動은 建物基礎底面을 經過하여 建物上層으로 傳達된 過程에서 約 2~3 倍의 增幅現狀이 나타나고 있다.

### 3. 地下鐵 振動과 騒音

地下鐵 運行으로 發生된 強制振動은 Fig.3 과 같은 傳達經路로 地表面上의 建物各部材를 움직이여 騒音이 發生되며 振動傳達經路에서 地下鐵 構造物內의 振動 地表面振動 建物內 住居空間의 振動特性에 대해 考察하였다.

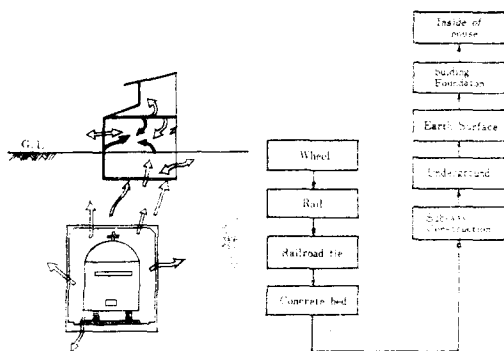


Fig. 3. Traveling of Noise and Vibration by sub-way Operation.

3-1. 地下鐵 構造物內 振動과 地表面振動 電動車的 強制加振力에 의해 發生된 振動 Spectrum 은 Fig.4 와 같이 地下鐵 構造物內에서 Center Frequency 50~60Hz 範圍에서 Pick Vibration Level 은 바닥道床 Concrete bed 82dB 壁體 73dB 上部 slab 70dB 로 測定 되었으며 振動을 가장 먼저 傳達받는 바닥 concrete 道床이 가장 큰 振動値를 나타냈으며 地下鐵 構造物內의 振動이 Fig-3 과 같은 振動傳達 經路를 거치면서 振動 Energy 損失로 振動이 減衰되어 地表面에 나타난 地表面 振動 Level 은 Fig.5 와 같이 地下鐵 構造物內 바닥道床보다 約 20dB 程度 減衰된 62dB 로 나타났다.

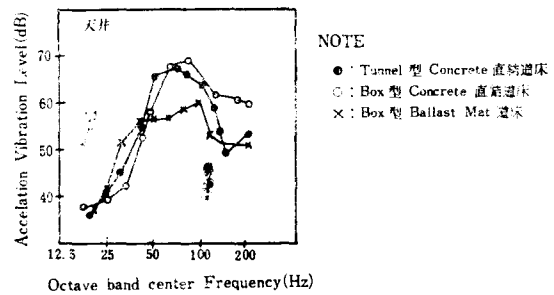


Fig. 4. Vibration Spectrum of subway construction ceiling.

地下鐵 構造物內의 振動 Level 은 地下鐵 電動車的 強制加振力이 直接傳達받은, 道床構造 狀態에 따라 發生 振動値는 顯著한 差異를 보여 주었고 concrete 道床이 자갈道床(Ballast mat) 보다 바닥에서 約 24dB 以上の 큰 振動値로 測定되었다.

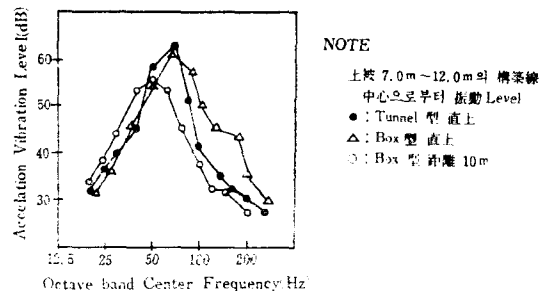


Fig. 5. Vibration Spectrum of Earth Surface.

強制振動에 의해 地下鐵 바닥에 나타난 振動 加速度는 다음 式으로 表示된다.<sup>1)</sup>

$$\ddot{Y}_3 = \frac{(K_1)^{0.3} \times (K_2)^{0.5} \times (K_3)^{0.4}}{(I)^{0.2} \times (M_2)^{0.3} \times (M_3)^{0.8}}$$

$\ddot{Y}_3$  = 地下鐵 構造物바다 振動加速度(cm/sec<sup>2</sup>)

$K_1$  = Rail 支持 Spring 係數(kg/cm/cm)

$K_2$  = 道床支持 Spring 係數(kg/cm/cm)

$K_3$  = 構造物 支持 Spring 係數(kg/cm/cm)

$I$  = Rail 의 斷面 2次 Moment(cm<sup>4</sup>)

$M_2$  = 枕木 또는 道床 Slab 重量(kg/cm)

$M_3$  = 構造物 重量(kg/cm)

上記式에서 Rail 과 地下鐵 構造物이 一定하므로

$$\ddot{Y} = \frac{(K_1)^{0.3} \times (K_2)^{0.5}}{(M_2)^{0.3}}$$

式으로 強制加振力이

直接 傳達된 Spring 係數와 道床重量의 狀態에 따라 初期에 發生된 振動 Level 이 相異하게 나타난다.

地表面에 나타난 振動 Level 은 Fig. 3 의 傳達 經路를 거치면서 反射, 屈折, 消滅의 物理的 作用으로 振動 Energy 가 損失되며 地表面에 나타난 振動傳達率은 다음 式과같이 表示된다.<sup>2)</sup>

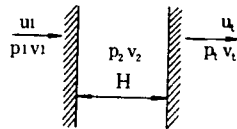
$$\tau = \frac{u_i}{u_1} = \frac{4\alpha}{\sqrt{(1+\alpha)^4 + (1-\alpha)^4 - 2(1-\alpha)^2 \cos \frac{2WH}{V_2}}}$$

$$\alpha = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_1 V_1} \omega = 2\pi f,$$

$\rho$  = 媒質密度

$V$  = 媒質의 Vibration Velocity

$H$  = 媒質의 두께



### 3-2. 建物內 振動騒音

地表上에 築造된 建物 内外部로부터 振動이

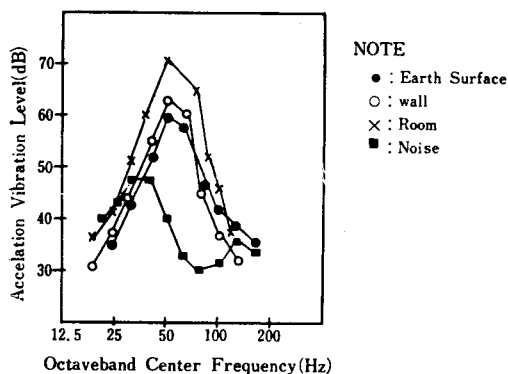


Fig. 6. Vibration Spectrum of Inside of House.

建物內에 傳達되어 最終的으로 住居空間에 瞬間的으로 傳達, 사람은 振動騒音의 影響을 받게 된다. 建物 各部材의 振動은 地下鐵과 自動車 走行으로 發生된 強制加振力이 地表面에서 Center Frequency 50~80HZ 範圍에서 Pick Vibration Level 60dB 에 비해 約 10dB 程度上廻한 70dB 로 增幅되어 Fig. 6 과 같이 地表面 보다 높게 測定된다.

地表面에 나타난 振動이 建物에 傳達되는 振動損失量은  $K = M \cdot \omega_0 / S \cdot \rho v$  로 表示된다.<sup>1)</sup>

( $M$  : 建物質量,  $\omega_0$  : 建物固有振動數  $\rho v$  : 흙의 波動 Impedance,  $S$  : 基礎接地面積)

建物內 增幅度는  $M = \frac{1}{2h} \times (1/2 \sim 1/3) \times 0.6 \times 1.2 = (0.18 \sim 0.12)/h$  로 表示되며 普通振動 減衰定數  $h = 5 \sim 10\%$  로 增幅度는 約 2~3 倍가 普通通用된다.<sup>1), 3)</sup>

## 4. 建物の 振動共鳴 現狀

地上交通과 地下交通으로 發生된 振動 Frequency 가 建物自體의 固有振動 Frequency 와 同一한 範圍內에 發生되어 共振現狀이 일어날 경우 建物內의 振動 騒音은 增幅度가 커져 크게 나타난다.

建物自體의 固有振動 Frequency 調査結果 建物固有振動 Frequency 는 0.1sec~0.25sec(4~10HZ)로 아주 낮은 Frequency 로 測定된 반면 地上의 自動車 振動과 地下의 地下鐵 振動 Frequency 는 center frequency 31.5HZ~63HZ 範圍에서 Pick Vibration Level 이 나타나며 Low Frequency 인 10HZ 以下에서는 Vibration Level 은 微振動으로 거의 無視된 狀態이다.<sup>3)</sup>

建物內에서의 振動共鳴 現狀은 強制加振力에 의해 생긴 地上 地下의 振動 Frequency 와 建物固有 振動 Frequency 가 各各 相異한 領域內에서 形成되므로 建物內에서의 共鳴現狀은 發生되지 않는다고 判斷되었다.

## 5. 結 論

地下鐵 走行時 發生된 強制振動이 地表面에

傳達되어 建物內 騒音現狀에 대해 調査한바 사람의 生活에 미치는 影響은 크다고 判斷된다.

振動 騒音이 人體에 미치는 被害는 生體音響(bioacoustics)과 心理音響(Psychoacoustics)을 들 수 있으며 제일 먼저 느낄 수 있는 被害로는 不快感 睡眠障礙이며 이와같은 被害影響은 生理的인 影響을 받아 身體 各部分에 심한 影響을 미치게 된다. 環境보존법의 許容基準值인 NRN(騒音評價指數) 45dB(A) 以下로 騒音を 低減시키면 생활환경에 크게 影響을 미치지 않는다.<sup>4)</sup>

向後 都市의 高密度 生活化로 地下鐵 走行으로 建物內 固體音의 影響이 증가 될것에 대비해 振動 防止對策의 必要性이 要求될 뿐만아니라, 現在 運行中인 地下鐵 振動 Data를 수집하여

더욱더 研究調査가 必要하다고 判斷된다.

#### 參 考 文 獻

1. 高橋寬;鐵道騒音振動 對策의 研究, 日本鐵道施設協會 1977. 2.
2. 村松, 敏光, 山名良, 濱田康敬, 共著;振動關係의 基礎知識, 東京教育情報센터, 1981. 5.
3. 漢陽大學校 産業科學研究所;地下鐵 四號線鍾路6街 停車場建設 및 運行時 文化財 保護對策研究, 서울 特別市 地下鐵公社, 1984. 12.
4. 尹明照;都市騒音의 現況과 對策, 大韓醫藥協會誌 Vol 26, No 2, 1983. 2.

## 案 內

### 美國 Minnesota 州 技術士資格

美國 Minnesota 州 技術士會에서는 美 8軍에서 從事하고 있는 現役軍人 民間技術者中에서 Minnesota 州 技術士資格을 取得코져 하는 應試志願者를 爲해서 每年 4月 筆記試驗 및 口頭試驗을 施行하고 있어 今般本會의 許填副會長과 Phillip M. Odell Deputy Chief Engineering Division 間的 協議끝에 本會 會員께서도 應試機會를 주도록 合議되었으니 希望 會員께서는 本會事務局으로 連絡하시면 協調하겠습니다.

(社) 韓國技術士會 事務局