

# 地震爆音

## Ground-to-Air transmitted Sound from Shallow Earthquakes

\* 이 병 호 (Lee, Byung Ho)

### Abstract

By one dimensional acoustic transmission from ground to air, the author has derived the level of sound caused by earthquakes. He has also tried to assign proper values of ground acceleration to the modified Mercalli intensity scale and thence earthquake sound level to the intensity scale has been deduced as

$$L_M = 79.6 + 6.0M, \text{dB},$$

where  $M$  is the earthquake magnitude in the modified Mercalli intensity scale.

### 概 說

本論文에서는 地震의 強度를 爆音의 水準으로부터 識別하는 새로운 方法을 提示했다. 從前의 것은 시령위에 엮어놓았던 茶盞이 떨어진다니, 或은 寢床위에 누어있던 사람이 놀라 깬다니, 物體의 運動, 破壞나 觸感으로 震度를 區別해왔다.

여기서는 一般적으로 地震이 일어났을때, 最大의 大氣中 傳播音壓이 觀測者 周邊의 地球表面에서 地震으로 말미암아 輻射되는 綜合的인 Sound Radiation의 結果이므로, 地震의 強度를 나타내는 物理學的 加速度的 크기와 그것으로 惹起되는 爆音의 水準과도 關係를 맺어, 一義적으로 震度를 決定했다. 그리하여 爆音의 水準  $L_M$ , 震度  $M$  사이에 다음과 같은 關係式을 確立했다.

$$L_M = 79.6 + 6.0 M \quad (\text{dB})$$

### 1. 序 論

1945年 解放되던 해의 가을 한 밤中 震度

$N$  가량의 地震이 韓半島의 全域을 穿았을때, “쿵”하는 소리가 모든 사람들의 잠을 깨웠고, 直後에 相當한 振動을 느껴 놀랐던 일이 있다.

벽에 걸렸던 掛鐘時計는 멎고, 시령위의  
솥은 갈려 떨어져서 깨지기도 했다.

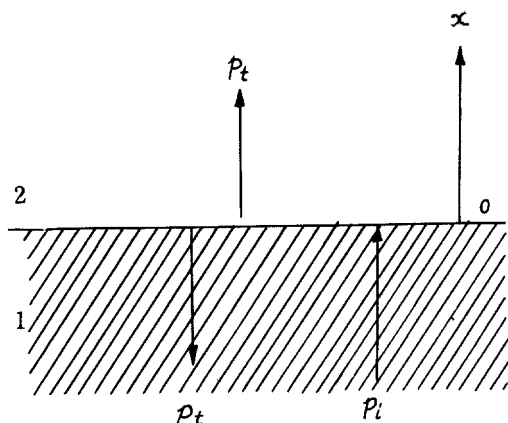
地震 Energy가 大氣中으로 直接 傳達됨에  
있어서, 大地에서 大氣로의 acoustic mis-  
match가 커서, 相當한 地震波라야 비로서  
큰소리를 大氣에서 낼수 있다. 그러나 地震에  
의해서 그 소리는 들려도 觸感으로 느끼기에  
는 너무 弱할때가 많다.(Ⅲ度以下면)

一般的으로 地震이 일어났을때 air-born  
Sound pressure는 觀測者 周邊의 地球表面  
으로부터 輻射되는 總合的인 sound Radia-  
tion의 結果이다. 이 論文에서 다루려는 目  
的을 爲해서는 單純한 一次元의 acoustic  
transmission으로 大地로부터 大氣中 으로  
그 傳達를 다루어도 無妨하다.

## Ⅱ. 一次元의 音響傳達

지금 大地-大氣境界面에 垂直으로 入射하  
는 平面波의 音壓은

$$P_i = A_1 e^{j(\omega t - k_1 x)}$$



反射波의 音壓은

$$P_r = B_1 e^{j(\omega t + k_1 x)}$$

그리고, 大地-大氣境界面을 transmit 한  
透過波의 音壓은

$$P_t = A_2 e^{j(\omega t - k_2 x)}$$

로 表示할 수 있다. 여기서  $k_1$ 은 媒質 1(大地)  
中에서의 wave vector 이고,  $k_2$ 는 媒質 2(大  
氣)中에서의 wave vector이다.  $i, r, t$ 는  
각각 入射, 反射, 透過波의 뜻이다.

이때에 두개의 滿足해야 할 境界條件은  $x=0$   
(境界面)에서 音壓이 連續해야 한다는 것과, 粒  
子速度가 連續이라는 것이다. 即

$$(P_i + P_r)_{x=0} = (P_t)_{x=0}$$

$$(v_i - v_r)_{x=0} = (v_t)_{x=0}$$

그런데, acoustic Ohmic Law 에 따라,

$$P_i = \rho_1 c_1 v_i \quad P_r = -\rho_1 c_1 v_r \quad P_t = \rho_2 c_2 v_t \\ = Z_1 v_i, \quad = -Z_1 v_r, \quad = Z_2 v_t$$

여기  $Z_1 = \rho_1 c_1$ ,  $Z_2 = \rho_2 c_2$ 로서 各各 大地  
와 大氣中에서의 소리의 specific impedance  
이다.

上記 두 境界條件을 滿足하려면 振幅 사이에

$$A_1 + B_1 = A_2 \quad (\text{音壓連續})$$

$$Z_2 (A_1 - B_1) = Z_1 A_2 \quad (\text{粒子速度連續})$$

이어야 하므로,

$$A_2 = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2} A_1$$

이다. 即 大氣中으로 透過傳達되는 音壓의 振  
幅  $A_2$ 는, 大地에서 地表面으로 入射하는 地震  
波의 振幅  $A_1$ 의  $2 Z_2 / (Z_1 + Z_2)$  배임을 알 수  
있다. 여기서 注意해야 할 것은  $Z_1 = 10^5 \sim 10^7$

( cgs ),  $Z_2 = 41.4$  (cgs)임으로 acoustic mismatch는 이만저만이 아니다. 이것은 多幸한 일이, 서로 matching이 잘 되어 地震波의 Energy가 거의 全部 Acoustic Energy로 바뀐다면 웬만한 地震이 일어날때마다 모든 動物은 鼓膜이 찢히고 말아야 하기 때문이다.

그러므로 地震波  $P_1$ 가 地表를 통해 大氣中으로 音波로서 傳達될 때에는 그 소리의 peak pressure  $P_2 (= P_1)$ 는

$$P_2 = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2} P_1 \simeq 2 \frac{Z_2}{Z_1} P_1 = 2 \rho_2 c_2 v_1 \quad (A)$$

으로 表示된다. 여기  $v_1$ 은 地震波의 particle velocity (粒子速度)이다. 即

$$v_1 = \frac{P_1}{Z_1} \quad (B)$$

이 (A) 式으로서 地震의 強度에 따라 決定되는 粒子速度(그變位の 速度)만 알면 그 觀測地點附近에서 울리는 소리(地震爆音)의 強度를 算出할 수 있게 된다.

### III. 地震爆音水準

그런데 地震의 震度(強度)를 나타내는 parameter는 particle velocity가 아니라, 加速度를 많이 쓰고 있다. 그러나 아직 一般이 使用하는 震도와 加速度사이에는 一意的인 定義가 없다. 대개 人間の 感覺으로 大略의 區分이 있을 따름이다.

지금 地震에 依한 地殼의 振動을 單振動이라 생각하면, Peak Velocity와 peak acceleration은

$$\begin{aligned} x_1 &= A_1 \sin \omega t ; \hat{v}_1 = A_1 \omega, \hat{a} = A_1 \omega^2 \\ \therefore \hat{v}_1 &= \frac{a_1}{\omega} \quad (C) \end{aligned}$$

으로 表示되기 때문에, peak particle Velocity  $v_1$ 은 peak particle acceleration  $a_1$ 을 circular frequency  $\omega (= 2\pi f)$ 로 나눈것이다. 이를 (A)에 代入하면 地震爆音의 音壓  $P_2$ 는

$$P_2 = 2 \rho_2 c_2 \frac{\hat{a}_1}{\omega} = \frac{\rho_2 c_2}{\omega} \frac{\hat{a}_1}{f} \quad (D)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $\rho_2 c_2 = 41.4$  (空氣) (cgs)이다. 이를 dB로 表示한다면 sound pressure level은

$$L = 96.6 + 20 \log \left( \frac{\hat{a}_1}{f} \right) \quad \text{dB} \quad (E)$$

### IV. 震도와 加速度關係

地震의 震度같이 애매한 것은 없다.各地에 地震計를 常設해둔것도 아니므로 人間이 느끼는 程度를 大略 區分해서 그 震度の 尺度로 삼을 따름이다. 우리 Mass Comm에서는 Richter scale을 쓰고 있는데, 大體로 先進西歐에서는 Modified Mercalli Intensity scale을 使用하고 있다. 兩者 모두 感覺的 scale이며, 加速度 값을 各 scale에 直接 對應시킨 것은 없다. F. Neumann이 비로서 이의 對應을 試圖한 바 있다.

다음에 Modified Mercalli Intensity scale의 category를 表示하고 바로 왼쪽 Column에 ( ) 안에다가 F. Neumann이 "Seismological Aspects of the Earthquake Engineering problem", Proc 3rd Northwest Conf. of structure Engineering, State - College of Washington (1959)에 發表한 近似 等價速度值를 실었고, ( ) 밖의 左側과 맨 右側에는 著者が 定한 近似 等價速度值와 加速度值를 震도에 따라 준 것이다.

Modified Mercalli Intensity Scale

		Category	
$\hat{a}$ (g)	$\hat{v}$ (cm / sec)	M	Reaction and Damage
0.005	0.04(0.14)*	I	全然 感知지 못함
0.01	0.09(0.28)	II	室内에서, 특히 二層에서 若干人感知
0.02	0.19(0.56)	III	室内에서 相當數가 感知
0.04	0.37(1.12)	IV	室内에서 多數가, 屋外에서 若干感知
0.08	0.75(2.25)	V	室内人全部, 屋外人相當數感知
0.16	1.5 (4.5 )	VI	屋内外全部感知, 貧弱建物若干破壞
0.33	3 (9 )	VII	잘진 普通家屋 相當數破壞 構造物은 거의 破壞가 안됨
0.64	6 (18 )	VIII	耐震建築物 若干破壞
1.28	12 (36 )	IX	耐震建築物 相當數破壞
.	.	.	.
.	.	.	.
10	97 (290 )	XII	모든建築物 完全破壞

\* ( ) 内の 數値는 F. Neumann 의 近似值이다.

事實上 通俗의인 震度에 대하여 그에 相應하는 peak vel 와 peak acceleration 의 값사이에는 사람따라 다를 뿐 아니라 地震計의 記錄值와 震度와도 한도 分散이 甚해서 언젠가 누군가 이를 整理하지 않으면 안되게 되어 있다.

著者が 여기서 試圖한 approximate Equivalence는, 첫째 震度M=V, VI, VII의 震度記錄을 살펴보니 거기서는 分散이 甚하지 않아서 各各 加速度를  $a=0.08g, 0.16g, 0.03g$ 로 集約할 수 있었다. 그리하여

$$\hat{a}_1 = 0.08 g 2^{M-5} \tag{F}$$

로 삼았고, M=V를 基準으로 잡았다.

이에따라  $\hat{a}_1$ 에 相應하는 速度 $\hat{v}_1$ 의 값은 前記 單振動이라 생각했을 때의

$$\hat{v}_1 = \hat{a}_1 / \omega$$

에서  $\omega$ 를 audible threshold frequency 인 17HZ로 잡으면  $W=2\pi(17)$  rad/sec 로 됨으로 M=V의 地震의 경우

$$\hat{v}_1 = 0.08 (980) / 2\pi (17) = 0.73 \text{cm/sec}$$

로 된다. 이리하여 F. Neumann의 approximate Equivalence의 값을 修正치 않을 수 없었다. 이렇게 해서 만든 것이 著者が 付與한 velocity Equivalence 요, acceleration Equivalence이다.

그러나 여기서 註意해야 할 것은 이렇게 velocity와 acceleration에 一定한 同一한 等比 2를 잡을때 震度が 強하면 強할수록 peak acoustic pressure에 該當하는 振

動數  $f$  가 恒常 17 Hz라는데 疑問이 간다. 왜냐하면 震度가 強할수록 peak Pressure의 frequency도 上昇할 것이 期待되기 때문이다. 그리하여, 우리의 式은  $M=III, IV, V, VI, VII, VIII$  近方에서는 無難한 것이 아닌가 생각된다.

또 하나 注意해도 좋을 것은  $M=8.7$ 이 有史以來 第一 強한 地震이었다는데,\* 이때의 peak acceleration과 peak velocity는 우리의 式으로는

$$\hat{a} = 0.08 g 2^{8.7-5} = 1.0 g$$

$$\hat{v} = 60 \text{ cm / sec}$$

로 나와 合理的으로 보인다.

### V. 震度와 爆音水準

地震으로 말미암은 爆音水準은 大氣中으로 나오는 音壓이 (E) 式으로 주어지기 때문에 (F) 式과  $f=17 \text{ Hz}$ 의 값을 代入하면

$$L_M = 79.6 + 6.0 M \quad \text{dB} \quad (G)$$

으로 된다. 이것이 震度M의 地震이 일어난 곳의 地震爆音水準  $L$  (dB)를 나타내는 式이다.

다음에 이를 表로 提示한다.

震度M와 爆音水準表

震度 M	I	II	III	IV	V	
爆音 $L_M$ 水準 (dB)	85.5	91.5	97.5	103.6	109.6	
VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
115.6	121.6	127.6	133.7	139.7	145.7	151.7

이 結果로부터  $M=IV, V, VI, VII, VIII$ 의 地震爆音에 대해서 그럴듯하게 보이는데, 特히 弱震의 경우 即  $M=I, II, III$ 의 경우에는 거의 觸感으로는 느끼지 못하나 85~97 dB까지 爆音이 나온다는 것이 不自然스럽게 보인다. 허나 大自然에는 이름모를 소리가 相當數 있는 것을 우리는 經驗하고 있음을 指摘해 두고 싶다.

勿論 強震때에는 몹시 요란한 爆音이 隨伴되는 것을 여러 記錄에서 찾아볼 수 있으며, 強度가 클수록 爆音도 크게 들리는 것으로 되어 있다.

### VI. Brontide(自然爆音)

大自然에는 地震爆音말고도, 天動(Bronte = thunder (Greek))같은 여러가지 큰 소리가 있어서 가지가지의 神秘를 자아낸다. "Rock Burst"는 地殼表面의 岩石이 内部潛在應力으로 터질때 내는 소리이며, "泥土火山"이라는 진흙層속에 갇혀있던 高壓gas가 爆發할때 내는 소리이다. 또 "靜電爆破"라는 것은 땅속에 갇혀있던 gas의 靜電發火로 前者와 더불어 함께 일어날 수도 있다. 그 밖에 벼락등, 自然에는 큰 소리를 내는 것들이 있다. 이들 大部分은 Tectonical를 Event에 關係되는 것들이다.

여기서 다른 地震의 소리는 弱震일때에는 觸感으로는 認知가 안될지라도 聽覺으로 먼저 感知될 수 있고, 또 強震에 앞서 여러 微震들이 여러날 앞두고 先行되는 수가 있어서, 귀로 그 微兆를 미리 catch하는 수도 있다. 特히 비둘기나 쥐같은 動物들이 人間の audible threshold以下の infra sound를 들을 수 있어 먼저 避難行脚에 나서는 일이 往往 있었다는 記錄도 많다.

## VII. 結 論

이 論文에서는 Mercalli scale의 震度에 따른, 地震의 速度와 加速度에 對한 approximate equivalence를 設定하고, 地震爆音의 peak frequency를 17 HZ로 固定하여, 震度M와 그 爆音水準L와의 關係를 맺어 봤다 ((G)式參照).

이로써 震度M=N, V, VI, VII 近方의 地震의 경우에는 우리의 地震加速度와 速度에

對한 approximate equivalence가 合理的이라고 보이며, 또 著者の 震度M와 爆音水準L의 關係式(G)이 어느 程度 妥當性을 가진다고 推薦하고 싶다. 그러나, 地震의 粒子速度에 對한 F. Neumann의 equivalence의 값의 1/3 값을 取하게 된 것은 더욱 信憑性 있는 M=N, V, VI의 地震의 粒子速度值(測定值)에 基準을 두었다는 것을 여기 註書치 않을 수 없다.