

서울地下鐵 3,4號線 Tunnel 掘鑿과 振動對策 調查研究(1)

許

墳*

ABSTRACT

The study on prevention measures for vibration and excavation of tunnel for the #3, #4, Seoul Subway.

In the Seoul subway tunnel blasting, the drilling pattern and prevention method to seismic vibration are as follows as well as for adaptions of NATM, the supportings of roof and wall holes are arranged with control blasting.

1. The blasting is executed basically using the low velocity explosive such as slurry, Nitrate ammonium explosive, and F-I and F-II explosive for control blasting substituting of existing dynamite.

2. The cut holes are arranged with burn cut pattern and also must be arranged with M/S electrical delay caps substituting of ordinary delay caps.

3. Jack leg drills are used in Five Job sites and a jumbo drill in one job site.

4. In performance of safety work and in maintenance of building safety. The drilling length for blasting will not exceed 1.20 meter for round so that the vibration value shall carry below 0.3 cm/sec.

The harmonizing of better powder, better drilling machine and better technique is only the way of improving tunnelling efficiency and less vibration will help the dereasing of accident.

1. 序 論

都市交通을 麻痺시켰던 從來의 서울 地下鐵 Open cut 工法이 서울 市內 一圓 全地域에 걸쳐 開鑿되는 地下鐵 3,4號 路線이 Tunnel 工法으로 轉換되어 目下 相當한 數의 工區에서 本工法이 施行되고 있으며 從前의 工法에 비해 多少나마

交通滯症을 減少시키고 있는 것은 事實이다.

서울地域의 地質은 先캠브리아紀의 變成岩類와 이들을 中生代 侏羅紀에 貫入한 花崗岩으로 構成되어 있고 大體로 南, 西部는 變成岩類가 北東部는 花崗岩이 分布되어 있다.

變成岩類는 片麻岩 및 片岩으로 大別되고 葉理가 잘 發達된 構造를 보여주고 있으며 花崗岩類는 主로 黑雲母 花崗岩이다.

* 鑛業技術士(採鑛)工學博士

** 韓國技術士會副會長

*** 大韓火藥技術學會會長

變成 岩으로 構成된 Tunnel 區間의 岩質은 매우 堅固한 狀態이나 葉理方向으로 硬軟質部가 交互로 構成되어 있고 異方性 性質을 보여주고 있어 節理 및 龜裂의 狀態가 不規則하다. 反面 花崗岩은 強度가 높은 岩質로 構成되어 있고 龜裂의 狀態가 比較的 甚하지 않은 均質인 岩狀이다.

今般 調査目的은 市街地發破의 特殊性을 勘案하여 Tunnel 掘鑿時 3大要素가 되는 ① 좋은 火藥 ② 좋은 裝備 ③ 좋은 工法의 適用으로 보다 더 나은 作業能率을 向上시키는데 目的을 두고 現場 實態把握을 通하여 作業條件을 綿密히 檢討하고 이에 適應하는 改善策을 세우는데 重點을 두었다. 따라서 Tunnel 工學的 技術問題 뿐만 아니라 騒音, 振動等 公害에도 充分히 留意하여 事故를 미리 防止하는, 첫째 安全作業을 通하여 掘鑿으로부터 이어지는 新支保工法인 NATM 과도 聯關하여 記述하였음을 附言코져 한다

今般 施行된 調査結果로는 火藥에서 F-1, F-2 및 含水爆藥, Drilling Pattern에서 Burn Cut 및 制御發破法, 裝備에 있어서 Semi Jumbo가 動員되어 完全作業을 이룩할 수 있다면 이 나라 Tunnel 工事に 新紀元이 마련됨을 確信하는 바이다.

이에 Tunnel 工사로 因하여 惹起되는 公害問題에 關하여 略說코져 한다.

2. Tunnel 工事公害(振動 및 其他)

Tunnel 工事中 또는 開設後의 Tunnel 使用에 起因하여 發生하는 公害에는 騒音, 振動外에 濁水, 沈下, 陷沒等이 있다. 이러한 公害問題는 工事中이거나 開設後를 不拘하고 이것을 適切하게 處理하여 解決하지 않으면 工事의 協力을 얻을 수 없거나 開設에 支障을 招來하게 된다.

이 때문에 Tunnel 의 設計나 施工은 從來의 純 Tunnel 工學的인 立場에서 뿐만 아니라 公害에도 充分히 留意한 것이 아니면 안된다.

이중 地質에 關係가 깊은 公害로서는 表 1과 같은 것을 들 수 있다.

2-1. 振 動

Tunnel 掘鑿에 隨伴되는 發破公害, 即 振動,

表 1. 地質에 關係가 깊은 터널 公害

時期	公 害
工 事 中	1. 發破에 따른 振動, 騒音
	2. 工事用 諸設備의 運轉에 依한 振動
	3. 濁水에 依한 水利用의 制限
	4. 有害한 坑內湧水, 汚染水
	5. 大量湧水에 起因하는 水路破壞
	6. 地下水位變動에 따른 水質惡化
	7. 地表沈下와 陷沒 및 斜面崩壞
	8. 버럭을 버리는 곳의 土砂流出
	9. 注入에 依한 地盤上昇과 藥害
	10. 不良한 버럭의 落下에 依한 路面惡化
	11. 凍結工法에 依한 凍土
	12. 壓氣工法에 依한 酸素缺乏 및 Blow
開 設 後	上記의 3, 4, 6外에
	13. 列車走行에 依한 地盤振動
	14. 破壞된 흙의 坑內流出에 따른 地表沈下 및 陷沒
	15. 地下水 遮斷에 依한 水位의 異常上昇

飛石, 爆音中 飛石과 爆音은 人體와 地上建物에 別般 큰 影響이 없으나 振動은 地下鐵 路線隣近이 大部分 商街와 住宅地帶 下部를 掘鑿하게 되므로 可能한 限 振動을 許容值 以下로 減少시켜야 한다.

특히 地上構造物中 堅固한 近代式建物은 相當한 振動에도 物質의 被害가 거의 없는 便이나 市 街두리 住宅街中 古屋이나 不良住宅地域에는 僅少한 振動에도 物質的인 影響이 크며 또한 이들 住民密集地域에서는 振動으로 因한 精神的인 苦痛을 呼訴해오는 사람이 더러 있다.

公害振動에 대한 住民들로부터의 精神的인 苦痛의 陳情內容을 보면 첫째 기분이 어쩔어쩔하며, 문 또는 창이나 물건들이 흔들려 神經이 쓰이고, 不快感을 느낀다. 둘째 睡眠妨害와 生活에 妨害를 느낀다는 것이 主가 되며, 큰 振動源이 接近되었을 때는 구들장이나 또는 壁體나 타일이 갈라지며 창문 또는 시렁위에 올려놓은 物件등이 經濟的 損失을 받고 있다. 以下 振動의 表示에 對하여 說明코져 한다.

被害의 原因이 되는 振動을 評價할 때에는 사람의 振動感覺值에 相當되는 낮은 Level 의 振動까지도 對象이 된다. 그러나 이와 같은 振動을 評價하는 基準을 定함에 있어 어떤 單位를 使用

할 것인가에 대하여는 많은 意見들이 있다.

振動規制에 있어 公害度を 測定하여 評價하는 單位로는 振動度(Level) dB을 使用하도록 되었다. 但 建物等 構造物에 대한 被害를 위한 評價 單位로는 振動速度가 適合하다는 意見이 있으며 美, 日, 瑞典, 濠洲 等 先進外國에서는 現在 振動速度를 適用시키고 있다.

振動 速度(peak 值)와 振動度간에는 이론적으로 周波數 8 Hz(1Hz=1cycle/sec) 이상에서는 $Y=20 \log X+71$ [Y: 振動度(dB), X: 振動速度(mm/sec)]와 같은 關係식이 성립된다. 各種의 調査에서도 이 關係식이 확인되어 양자간에는 어느 정도 높은 相關性이 있는 것이 인정되어 物體에 대한 被害에 대해서 振動度を 적용하여도 큰 오차가 없다. 振動도와 振動速度와의 關係는 그림 1과 같다.

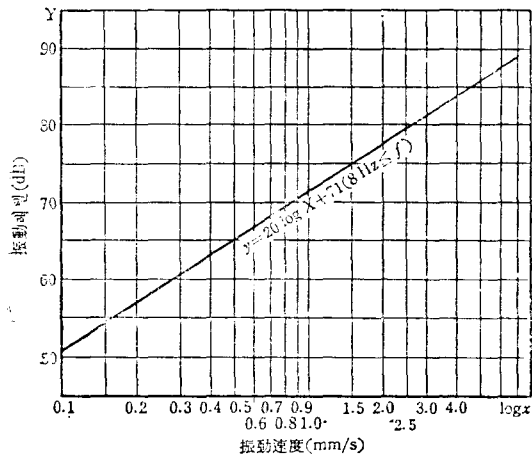


그림 1 振動度(level)과 振動速度와의 關係

振動 方向으로는 垂直振動만을 대상으로 하도록 되어 있다. 地表 振動에서는 垂直振動이 水平 振動보다 큰 경우가 많다. 또 그 周波數域에서 사람은 垂直 振動을 보다 強하게 느끼는 점에서 公害 振動의 파악을 간단히 하고자 하는데 있다.

測定은 JIS 規格을 일본에서 사용하고 있으나 실제로 ISO의 권장 기준과 일치하고 있으며 측정시 振動 pick up의 設置場所는 집밖의 지표를 원칙으로 한다. 일반적으로 公害 진동에 관한 진동은 옥내에서 일어나지만 건물 등은 지표 진동에 대하여 증폭 또는 감쇠를 나타내어 복잡하므

로 規制基準値는 지표의 측정치를 인용한다. 이때 지표 진동에 대한 家屋 등의 진동 증폭량으로 는 5 dB 정도를 감안한다.

이렇게 지표의 수직방향 진동도에 따라 기준치가 설정되지만 설정할 때 낮은 진동에 의한 건강 장애는 전보다 일상 생활에 지장을 주지 않을 것 또는 밤엔 수면 방해 등의 영향이 생기지 않도록 하여 지역성과 시간대를 참고로 하여 기준치를 설정해야 한다. 국제적으로 진동 규제법이 근래 체계가 정비되어 公害 진동 측정과 평가법이 확립된 것은 公害 대책상 바람직하게 되었지만, 한편 이와 같은 법률의 출현이 필요하게 된 외국의 진동 환경의 현상은 인류 생활에 커다란 영향을 미치고 있으므로 진동 公害에 대하여 철저를 기할 필요가 있다.

(1) 振動의 表示

가. 소리의 경우

소리의 경우는 공기중의 음압이 문제가 되었다. 마이크에 感知되는 것이 音壓이며 귀에 느끼는 것도 음압이다. 그러나 公害 진동의 경우는 무엇을 문제시해야 할 것인가가 매우 어렵다 유사한 현상으로 地震은 우선 그 變位振動波形이 문제가 된다. 지진계에서는 變位波形을 취하여 이 波의 기록에서 P波(primary wave 從波) S波(senary wave로 橫波)의 분리 또는 P波의 모양에서 震源의 방향, 전달 방향 거리를 결정하며 더욱이 震源의 크기까지 추정한다. 지진 피해 등도 저주파로서 큰 진폭의 경우 變位の크기가 충돌이나 파괴의 원인이 되므로 큰 지진즉 大變位 振幅으로 판정한다.

한편 Newton 力學에서, 힘은 質量과 加速度의 積이라고 정의한다. 즉 힘의 큰 진동은 동일한 물질에 커다란 가속도를 발생하며 반대로 지면의 가속도와 같은 가속도를 받은 물질은 큰힘을 얻어 이것이 주변에 강한 피해를 끼친다고할 수 있다. 가속도를 문제시해야 된다는 이론이다

그러나 진동 속도를 지면 진동의 원인이라고 생각하는 것도 합리성이 있다. 진동의 피해를 생각할 때 문제는 힘이 아니고 일의 量으로 energy이다. 운동 에너지는 속도의 자승에 비례한다. 즉 속도를 문제로 해야 한다는 이론이다. 최후

의 진동 속도를 취해야 된다는 이론은 많이 사용하였던 전기식 진동계가 속도계였다는 점과 사람의 진동 감각이 고주파의 비교적 넓은 주파수 범위에 걸쳐 진동 속도에 대응한다고 생각하는 것이 지지를 받는 내용이다.

이렇게 해서 공해진동의 경우 진동량을 측정하지 않으면 안된다는 것은 이론적 이로는 어쩔 수 없으므로 무엇을 측정하는 것이 편리하며 어떠한 량의 표시를 사용하는 것이 적합한가 하는 것이 중요하다. 따라서 국제적인 합의를 해서 택하여야 할 필요성에 도달하게 된다. 지면상의 한 점의 진동인 경우 어떤 방향의 변위, 속도, 가속도와 같이 모든 량도 vector 량(방향과 크기를 갖는 량)이다. 이와같이 공해 진동에서는 수직과 수평(前後, 左右) 방향에 대하여 변위, 속도, 가속도를 생각하지 않으면 안된다.

나. 변위, 속도, 가속도

지면상의 어떤 점의 진동 또는 물체상의 어떤 부분의 진동일 때 우리들의 눈으로 볼 수 있는, 흔들리는 크기가 변위로서 그 진동의 변위 振幅이 같더라도 그 周波數가 달라지면 진동의 속도는 당연히 변화한다. 그 진동 변위는 振幅 x , 周波數 f , 角周波數 $\omega(2\pi f)$ 의 正弦振動을 생각할 수 있다. 즉

$$x = x \sin \omega t$$

이다. 이 경우의 속도 dx/dt , 가속도 d^2x/dt^2 은

$$\frac{dx}{dt} = \omega x \cos \omega t$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x \sin \omega t$$

이다. 位相關係는 $\pi/2=90^\circ$ 씩 밀려서 그림 2와 같은 相互關係가 된다. 변위와 가속도가 바로 逆位相이 된다.

周波數를 보면 속도는 변위에 대하여 ω , 따라서 주파수에 비례하여 크게 되며 가속도는 주파수의 자승에 비례하여 크게 된다. 이 관계를 公害振動이 문제가 되는 1 Hz에서 100 Hz 간에 대하여 例示한 것이 그림 3이다. 이것은 正弦波에 대하여 振幅으로 생각해도 좋고, 그 實効値로 하여도 좋다. 반드시 振幅이면 변위, 속도, 가속도도 모두 진폭으로 생각되지 않으면 안된다.

그림 3에서 변위 振幅 10^{-5} m의 正弦波에 있어

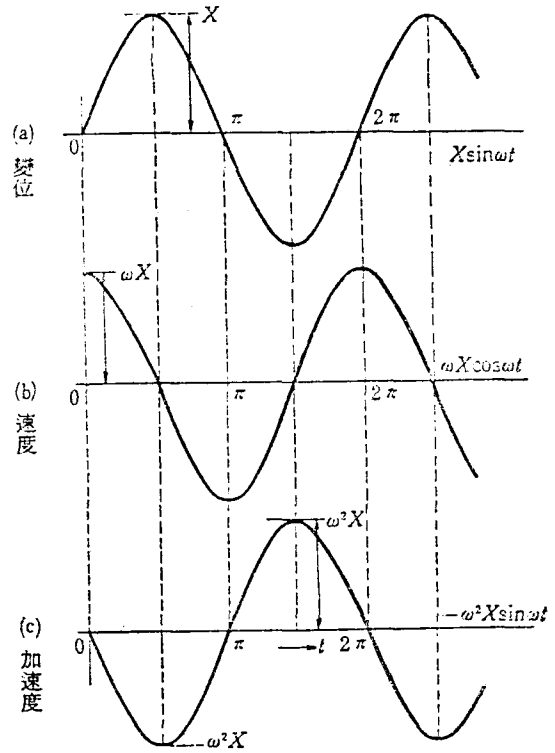
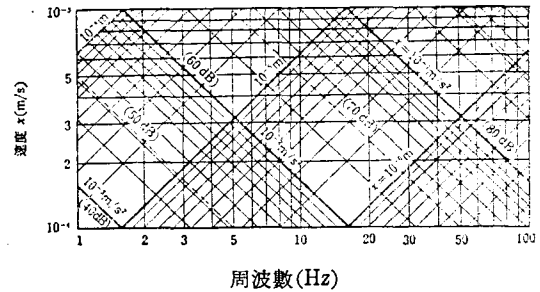


그림 2. 변위, 속도, 가속도의 位相關係



단위를 바꿔가면서 上下左右로 연장해서 생각할 수 있다

그림 3. 振動의 변위, 속도, 가속도의 關係

서 3 Hz 일 때 속도는 水平尺度로서 3×10^{-4} m/sec에 해당되고 가속도는 4×10^{-3} m/sec² 보다 조금 약하게 읽어진다.

속도로서 3×10^{-4} m/sec는 거의 중앙에 있는 수평선에 그려져 있으며 8 Hz라고 한다면 변위로서 6×10^{-6} m이며 60 Hz에서는 8×10^{-7} m이 된다. 가속도와 변위의 대응의 관계를 본다면 수선이 교차되는 점을 읽으면 된다. 즉 20 Hz에서 가속도의 8×10^{-2} m/sec²이 변위의 5×10^{-6} m로 읽어진다. 그 점의 속도는 약 6×10^{-4} m/sec이다.

다. 加速度

진동에 대해서는 재래부터 직선척도와 對數尺度에 의한 計測과 評價가 混在하였다. 變位나 速度의 振幅 등을 직선 尺度로서 mm와 mm/sec와 같은 방법을 사용하였다. 특히 變位の 경우 직선척도는 직관적으로 알기 쉽다. 그러나 진동의 경우 속도와 가속도가 되면 mm/sec, mm/sec²과 같은 단위는 수자로서는 알기 쉽지만 적어도 실제로는 알기 쉬운 것이 아니다.

한편 對數尺度는 지진계량의 震度이다. 전자는 어떤 점의 지진 크기의 尺度이지만 동시에 對數尺度이다. 예를 들면, 震度로서 2, 3, 4는 각각 크기가 2:3:4의 比率이 아니고 약 10 dB씩 크다. 사람의 감각에 관계되는 량은 Weber-Fechner 法則에 따라 等比級數가 等差級數의 形式로 대응한다. 즉 對數尺度의 形式로 변한다. 公害振動에 있어서 최초로 직선척도로 속도의 피크值로서 규제하고 싶은 생각이 넓게 채택되었지만 可搬式 측정기의 規格화가 어렵다는 이유로 최근 dB 尺度가 公式의 形式로 채택되었다.

이 dB 尺度의 경우 어떤 量을 사용할 것인가가 문제가 된다. dB이라는 것은 두 개의 power 量(energy 量)의 比의 상용대수로서 정리된 것으로 이 의미로는 波動 現狀의 粒子速度를 취하는 것이 옳다. 音의 경우 粒子 속도와 音압이 주파수에는 상관 없이 상호관계가 있기 때문에 音압을 취하여 dB를 정의할 수 있지만 公害振動은 올바르게 진동속도를 취하여야만 한다. 그러나 현재 국제적으로 가속도를 사용하고자 하는 의견이 넓게 통하고 있다.

어떤 점에 어떤 방향의 가속도 진동의 實効值을 $a(m/sec^2)$ 로 했을 때

$$L = 20 \log_{10} a/a_0 (dB)$$

로 놓고, $a_0 = 10^{-5} m/sec^2$ 로 놓았을 때 L 을 진동의 가속도라 정의하고 있다. $10^{-5} m/sec^2$ 을 기준치로 하여 그것보다 몇 dB 큰가를 나타낸 수자이다. 사람의 감각으로는 관계가 없는 물리량 표시이다.

라. 振動度(level)

公害振動의 評價에 振動 level計가 사용된다. 이것은 진동 가속도 level에 인간의 진동 감각을 보정한 것으로 일본의 JIS에서는 다음의 수

직 또는 수평 진동에 대한 감각 보정이 규정되어 있다. 진동 보정법으로는 이중에 수직 방향의 진동 level을 규정하고 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 진동을 법으로 규제하고 있지 않으므로 일본의 규제 방법의 평가법을 자세히 설명코자 한다.

JIS C 1510 진동 level計 規格의 정의로서 「진동 level이라 함은 $20 \log_{10}(a/a_0)$ 로서 정의된 보정 가속도 level의 值를 말하며, 데시벨(dB)로 표시한다. 여기의 a_0 는 기준의 진동 가속도로서 $10^{-5} m/sec^2$ 으로 한다. a 는 진동 감각 보정한 진동 가속도 實効值로서 수직 또는 수평 진동에 대하여 각각 表(생략) 및 주파수 반응을 사용하여 다음 식에 의하여 산출한다.

$$a = [\sum a_n^2 10^{cn/10}]^{1/2}$$

여기서 a_0 : 周波數 n Hz 성분의 진동 가속도 實効值

cn : 周波數 n Hz에 의한 상대 반응

$cn=0$ (平坦特性일 때의 $20 \log_{10}(a/a_0)$ 를 특히 振動加速度(level)라 부르며 데시벨(dB)로 표시한다)로 되어 있어 表와 그림으로 표시한다. 그 許容偏差도 제시하고 있다. JIS에서는 수직 진동과 수평 진동은 別途로 나타내고 있지만 이것을 같은 相對尺度上에 그려보면 얻어진다.

진동도(level)의 정의를 읽고 바로 위의 公式를 보면 대단히 어려운 정의라고 생각되지만 간단하게 생각하여 진동 level計는 周波數 特性을 갖고 있는 것이라고 생각하면 된다.

이것을 구체적으로 예를 들면, 더욱 명확해진 다. 2 Hz와 8 Hz 그리고 31.5 Hz의 3개의 진동으로 수직 수평의 모두가 $10^{-2} m/sec^2 (=1gal)$ 의 實効 加速度를 갖는 진동이 있다고 하자. 우선 가속도는 $20 \log(10^{-2}/10^{-5}) = 20 \log 10^3 = 20 \times 3 = 60$ dB이다. 이것은 각 주파수의 수직과 수평에서 공통이다.

우선 수직 진동에서 보면, 2Hz는 -3dB, 8Hz는 0, 31.5 Hz는 -12 dB 이 感覺補正이므로 각각 60dB에 補正하면 57 dB, 60 dB, 48 dB 이 연직방향의 진동도(level)이다. 또한 수평 진동에 대해서는 2 Hz에서 +3 dB, 8 Hz에서 -9 dB, 31.5 Hz에서 -21 dB 이므로 각각 63 dB, 51 dB, 39 dB 이 수평방향의 진동도가 된다. 3 Hz 強을

경계로 하여 低周波側에서는 수평 진동쪽의 level 이 크며 人體 영향은 큰 것에 대하여, 이것보다 高周波側에서는 수직쪽이 민감하여 강하게 영향을 받는다. 8 Hz 이상에서는 9 dB의 차이가 있다는 이야기가 된다.

이에 都市振動公害의 一環인 工場地域의 機械振動公害에 대하여 簡單히 言及하고, 爆破振動公害에 대하여 說明코져 한다.

2-1-1. 工場地域의 機械振動

都市의 振動 公害는 騒音의 경우와 같은 發生源을 들 수 있다. 現在 世界的인 傾向이지만 測定法 自體에도 統一된 方法이 없으므로 規制法도 권장할만한 것이 없다. 따라서 우리 나라에서도 公害로서 規制하고 있는 법이 없으며 또한 調査研究된 業績도 거의 없으므로 現況과 問題點을 提示하기에는 困難하다.

OBSERVED RESPONSES	VIBRATIONS		
	1 cps	100 cps	1000 cps
PHYSIOLOGICAL RESPONSES	TISSUE DAMAGE		
	HEATING		
	REFLEX DISORDERS		
	CARDIOVASCULAR (RESPIRATORY) RESPONSE ENDOCRINE		
	(VESTIBULAR RESPONSES) VIBRO TACTILE SENSATION		
EFFECTS ON EFFICIENCY	SENSORIMOTOR TASKS SPEECH COMMUNICATION VISUAL ACUTY		
SUBJECTIVE (MORAL) RESPONSES	FATIGUE		
	COMPLAINT		
	ANNOYANCE		

그림 4. 振動으로 인한 被害

公害로서의 振動이 人體에 미치는 영향을 요약하면 그림 4와 같다. 生理的인 被害 以外에도 가장 強力하게 미치는 것은 心理的인 영향이라 할 수 있다. 日本에서 振動으로 當局에 호소하는 陳情件數는 나날이 증가하고 있으며 大部分이 수면 방해, 不快感 등으로 나타나고 있다. 그러나 大單位工場의 경우에는 振動이 커서 感覺的인 被害 뿐만 아니라 財産上 被害 즉 附近 住宅을 破損한다든지 다른 工場의 生産 活動에 被害를 주는 예가 많다.

振動으로 陳情되고 있는 경우는 大部分 工場이 發生源을 차지한다. 實은 建設 施設, 교통기 關에서 發生되는 振動이 없어서가 아니라 너무

나 公共性이 크거나 자신의 마을 建設과 發展에 도움이 直接으로 크기 때문이다. 따라서 大都市의 共通點이 되는 振動에 대하여 說明하면 다음과 같다.

가. 都市計劃上的 問題點: 都市計劃法 또는 建設基準法 등에서는 市街地를 土地利用區分에 따라 建築物 用途 制限을 하여 그 地域 發展을 도모하고 있다. 工業地域에서 工業發展 目的 이외에는 可能한 한 制限하지만 住宅의 建設은 工業團地 以外에서는 모두 可能하다. 따라서 工業團地 以外 地域의 工業 또는 事業場이 아무리 먼저 建設되었다고 하여도 後에 建築된 住民들이 陳情을 하면 法에 抵觸된다는 點이다. 비단 工業地域 뿐만 아니라 모든 地點에서 問題되고 있다. 飛行場 부근, 鐵路周邊, 商業地域에서도 이와 같은 現象은 볼 수 있다.

나. 建築物의 過密: 大都市에서는 土地價格이 비싸서 建築物이 稠密한 傾向이 뚜렷하다. 振動發生 工場의 大部分은 이 住宅街에 있는 中小企業工場이며 零細企業이라 할 수 있어서 垓地의 擴張은 거의 不可能하다.

이상과 같은 理由로 工場 振動이 陳情되며 規制의 對象이 되므로 工場 振動을 說明하고자 한다.

1) 振動 發生源의 機械

工場에서 使用되는 施設 또는 機械中 發振原因이 되어 公害로서 자주 對象이 되는 機械는 다음과 같다.

- ① 往復運動의 機械(機關, 空氣壓縮機 등)
- ② 回轉機械(發電機, 發動機 등)
- ③ 衝擊力을 利用하는 機械(鍛造機, press 機 등)

2) 被害 程度

環境振動으로 인한 確實한 加害 程度는 구분하기 매우 어렵다. 振動程度, 特定 住宅까지의 距離, 地盤의 構造, 性質, 住宅의 構造에 따라 地盤 振動의 傳播는 달라져서 복잡한 問題點이 너무나 많아서 解明하기 困難하다. 實際에 當面하여 處理해야 하는 경우에 振動은 ① 人體에 대하여, ② 人體感覺에 대하여, ③ 建物에 대하여

表 2. 振動規制를 위한 日本 兵庫縣의 認定內規 (mm/秒)

地域區分	8:00~18:00	6:00~8:00, 18:00~22:00	22:00~다음날 6:00
住居文教專用	0.3	0	0
住居	0.6	0.3	0
商業準工業	0.9	0.6	0.3
工業臨海	1.2	1.2	0.6
工業專用	1.2	1.2	0.9

④ 機械 등에 대한 加害 程度를 알 필요가 있다. 그러나 物理的인 現象만이 아니고 感覺量, 感情要素를 參酌치 않으면 안되는 어려운 問題이다.

日本 兵庫縣에서는 이와 같이 어려운 點을 해결하기 위하여 약간의 무리는 있지만 表 2와 같은 行政的인 規制基準를 設定하여 解決하고 있다. 振動公害에서는 當面한 問題로서 振動을 規制키 위한 우리 나라 實情에 맞는 規制基準 設定이 必要하며 振動의 住宅傳播, 振動計測을 위한 規格化 등 많은 문제점들이 남아 있다.

2-1-2. 爆破振動

爆破에 의하여 일어난 振動은 振動源으로부터 멀어짐에 따라 작아진다. 그 狀態에 대하여는 結論의 4-1-1에 後述한 바와 같이 여러가지의 式이 提案되어 있으나 振動의 傳播式은 아직 理論的 展開가 完全히 이루어지지 않고 있다.

爆破振動이 構造物에 주는 影響은 一般的으로 波動에 依해 생긴 應力(σ 또는 ϵ)이 構造物의 強度를 넘을 경우에 被害가 생긴다.

a) 自由面에 있어서의 引張應力

$$\sigma = E \cdot V / C = \rho \cdot C \cdot V$$

b) 波動에 의한 이지러짐(歪)

$$\epsilon = V / C$$

但 V ; 振動速度振幅

C ; 構造物內로 傳達하는 振動波의 橫波速度
筆者가 其間 여러차례에 걸쳐 振動을 測定한 結果로부터 判斷하면 表 3과 같이 된다.

○ 爆破振動의 輕減法은

- 1) 1孔當裝藥量을 가능한한 적게 한다.
- 2) DED 또는 MSD 遲發雷管을 使用하여 段數를 많게 한다.
- 3) 藥種은 爆速이 느린것을 使用한다.
- 4) 穿孔徑을 藥徑에 比하여 크게 한다. 即

表 3

構造物의 種類		被害發生 速度振幅의 限界
木造建物	老朽	0.5~1.0cm/sec
	普通	3.0~6.0
Concrete 또는 煉瓦造構造物	老朽	4.0~7.0
	普通	7.0~10.0

※ ① 並設 Tunnel 에서는 30cm/sec 에서 覆工 Concrete 에 Crack 發生

② 人體에 주는 원한도 ; 0.2~0.3cm/sec

表 4 振動速度와 그 影響

級數	振動速度 (mm/sec)	影 響
I	> 15.0	매우 不快함. 生理 및 心理上 障害가 생기고 또한 家屋도 被害를 입는다.
II	15.0~8.0	不快함, 生理 및 心理上 障害가 일어나고 때로는 家屋도 被害를 받는다.
III	8.0~5.0	강하게 느끼고, 경우에 따라서는 生理 및 心理上 障害가 있고 壁의 Mortar 等に 금이가고 부서지는 일 이 있다.
IV	5.0~3.0	약간 귀찮게 느끼고, 사람에 따라서는 生理 및 心理上 障害가 있고, 建物에는 거의 영향이 없으나 시렁 위의 물건이 이동하는 일 이 있다.
V	3.0~0.8	진동을 느끼나 보통 사람 또는 건물에 장애가 일어나지 않는다.
VI	< 0.6	거의 진동을 느끼지 않는다.

Decoupling 指數를 크게 한다.

5) Pre-splitting 을 行하여 先行龜裂을 만든다

6) 穿孔數를 많게 한다.

7) 機械化掘鑿工法을 採用한다.

等이며, 振動이 人體에 미치는 影響은 個人에 따라 差異가 있고 또한 振動數(周期=cycle/sec)에 따라 다르며 一括的으로는 말할 수 없으나 0.15~0.03秒의 周期(cycle)에서는 振動速度로 0.5~2.0mm/sec가 許容限界로 생각된다. 爆破에 의하여 생긴 地盤의 振動周期는 振源으로부터 멀어짐에 따라 短周期의 振動은 急激히 減衰하고 比較的 長周期의 振動만이 傳播하여 간다. 振源距離가 10~1,000 m 間的 周期는 0.03~0.3 秒이다.

한편 電動車走行에 對한 振動對策으로는

- 1) Mat의 使用
 - 2) 基礎質量的 增大
 - 3) 溝에 의한 遮斷工法
 - 4) 굳은 遮斷壁의 構築
- 등을 들 수 있겠다.

2-2. 崩 壞

Tunnel의 崩壞는 支保工, 覆工 또는 地山이 降伏 또는 破壞를 일으켜서, 即 地山이 急激한 破壞를 일으킴에 의한 것이다. 이것은 天盤의 崩壞와 湧水에 隨伴하는 崩壞로 나누어 생각할 수 있다.

2-2-1. 天盤의 崩壞

- 1) 支保工이 지탱할 수 없을 정도의 地壓이 과대함에 의한 것
 - 2) 基礎地盤의 地耐力이 부족하여, 支保工 覆工의 沈下가 原因이 되는 것
 - 3) Land sliding 등 地山の 滑動에 의한 것
 - 4) 偏壓에 의한 것
 - 5) 環境條件의 變化에 의한 것
- 등이 天盤崩壞의 原因이 되며, 上部에 空洞 때로는 地表까지 빠져버리는 陷沒孔이 생기기도 한다.

○ 崩壞를 일으키기 쉬운 地質은

- 1) 未固結 堆積物層
- 2) 顯著한 風化帶

3) 天盤 附近에 未固結層과 岩盤의 境界가 있는 경우

- 4) 斷層 破碎帶
- 5) 風著한 節理(龜裂)이나 粘土層이 狹在하여 傾斜되어 있을 경우
- 6) 偏壓, Land sliding 地域
- 7) 地耐力 不足地盤
- 8) 被覆層의 두께가 充分하지 않는 경우 等이다.

2-2-2. 湧水에 의한 崩壞

湧水와 함께 土砂가 流出되어 坑道가 埋沒되는 現象으로

- 1) 帶水 斷層 破碎帶
- 2) 固結도가 낮은 第3紀, 第4紀의 含水砂層 砂礫層, 軟弱 silt 層
- 3) 輕石이 섞인 火山 噴出物
- 4) 含水質 風化層

等에서 湧水에 의한 Tunnel의 崩壞가 일어난다. 坑內에 모래를 隨伴한 湧水가 있었던 砂礫層下部를 被覆이 얇은 두께로 Tunnel이 通過할 때에는 覆工이 終了된 後 어느날, 돌연히 地表에 陷沒이 생기는 일이 있다. Tunnel에는 異常이 없을지라도 人家等이 가까이 있으면 危險하므로 砂礫層 等の 掘鑿은 모래를 坑內로 流出시키지 않도록 配慮하는 것이 要求된다. 이는 漢江 清溪川 等 周邊을 위시하여 서울의 大小 川邊

表 5. Tunnel 掘鑿에 隨伴하는 地表沈下의 諸原因 및 對策

大 分 類	小 分 類	原 因	對 策
(1) 掘鑿에 의한 地中應力의 解放	<ul style="list-style-type: none"> • 彈性沈下 • 彈塑性沈下 • 壓縮沈下 		바이부르프 工法 멧셀 工法 쉐드 工法 링컷트 工法
(2) 흙中の 含水量의 變化 間隙水의 變化	<ul style="list-style-type: none"> • 水位低下에 의한 沈下 • 壓密沈下 • 地盤改良用排水工(Deep well, Well point,...) 	體積變化	注入 壓氣工法 泥水쉴드工法
(3) 施工上 생기는 것	餘掘, 橫坑木背面的 空隙, 覆工 Concrete, Back Fill 等의 不完全 充填 支保工, 覆面의 沈下, 變形, 지나치게 낮은 掘鑿과 Lining, 掘鑿工法, 施工法의 Miss	地山の 弛緩	支保工의 補強 支保工의 基礎를 굳게 함 쉐브레이트

(注) NATM 工法 大分類 (1)~(3)에 適應시킨 施工이다.

에서 Tunnel 掘鑿時 留意하여야 할 事項이다.

坑內로의 土砂의 流出은 覆工終了後, 때로는 開設後에도 볼 수 있고 覆工背面에 空隙이 發生함에 原因한 Tunnel의 變狀이나 이때는 地表가 陷沒된다.

末固結 또는 半固結 砂岩層의 Tunnel은 高壓水를 隨伴한 土砂流出 때문에 苦生하는 現場이 많으나, 이러한 경우에도 開設後에, 前述한 바와 같은 變狀이 일어나지 않을 것이라고 말할 수 없으므로 注意가 必要하다.

2-3. 地表沈下

Tunnel 掘鑿에 따르는 沈下는 一般的으로 Tunnel 縱斷中心線上에서 Peak 를 나타내고, 最終沈下量은 15~50cm 정도이다. 沈下領域은 Tunnel 側壁下部로부터 45° 傾斜角範圍이다.

被覆이 얇은 Tunnel에서 掘鑿에 隨伴하는 地表沈下의 原因은 表 5와 같이 要約된다.

沈下의 一般的인 原因을 列舉하면 아래와 같다.

- 1) 掘鑿斷面積이 크다.
- 2) 被覆이 얇다.
- 3) 地質이 軟弱하다(Young 率이 작다=變形하기 쉽다)
- 4) 脫水가 많다.
- 5) 支保工, 覆工의 沈下가 크다.
- 6) 覆工背面에 空隙이 많다.
- 7) 掘鑿하는 地山을 放置하는 期間이 길수록 크다.

이들 沈下中 地山의 應力解放에 의한 沈下라든가 地下水位의 低下에 의한 沈下는 간단히 低減시킬 수는 없으나 施工上 防止할 수 있는 沈下도 있으므로 施工을 깨끗하게 하는 것은 沈下를 어느 정도 抑制시킬 수가 있다는 것을 認識하여 두지 않으면 안된다.

2-4. Land sliding 및 斜面崩塌

Land sliding 地域 또는 急傾斜面 地域에 있어서의 Tunnel은, 完成後에는 Tunnel의 水拔效果 때문에 以前보다 安定한 狀態로 된다는 것을 생각할 수 있으나 工事中에는 地盤의 弛緩, 爆破振動에 起因한 Land sliding 斜面崩塌를 일

으킨다. 이 1例가 지난번 發生한 弘濟洞 地下鐵 崩壞事故이다.

3. 標準發破(Tunnel blasting)

1) 條件

hole dia=36mm

Drilling depth 3.0m

1×75mm large diameter holes used.

cross sectional area; approx 54m² (9m×7m)

Anticipated advance per round 90%=approx 2.7m

No smooth blasting to be carried out

Since "the cut and the spreader" holes have been located with respect to the burden in the floor, the floor holes are calculated first.

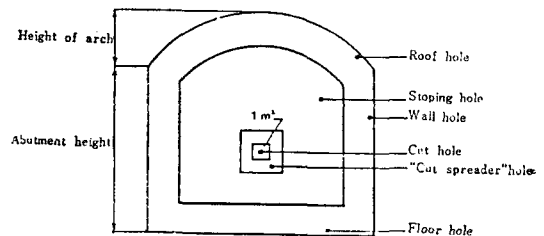


그림 5. Tunnel 穿孔 名稱

(Swedish blasting technique-R.Gustafsson '73)

上記表에서

Burden(V₁)=1.00m

hole spacing (E₁)=1.10m

Hole spacing is adapted to tunnel width,

Number of hole spacings

$\frac{9.0m}{1.10} \div 8.8$ and therefore 9 hole spacings are chosen 10 drill holes per row

이때 E₁= $\frac{9.0}{9}m=1.0m$

2) The floor holes are charged with a bottom charge as calculated below;

$$\frac{1}{3} \times H \times \frac{d \times d}{1000}$$

H: depth of hole.

d: drill hole diameter

$$\frac{1}{3} \times 3.0 \times \frac{36 \times 36}{1000} = 1,296kg \text{ approx } 1.50kg = A$$

参考 Drill series II

Drill hole diameter (m/m)	Depth of hole (m)	Burden (m)	Hole spacing (m)	Bottom charge		column charge		uncharged section (m)
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.00	0.80	1.00	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.90	0.95	1.00	0.95	0.85	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.44	0.80	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	1.50	1.00	0.55
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.35	2.50	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

(Table 에는 hole depth 2.4m 38mm 孔徑에
서 bottom charge 量 1.15kg
(3.2m, 37mm 孔徑에서 bottom charge 量
1.50kg)

uncharged section = $0.2 \times \text{burden}$

$$= 0.2 \times 1.00\text{m} = 0.20\text{m}$$

Length of column charge = hole depth -
[bottom charge length + uncharged section]

$$= 3.0\text{m} - \left(\frac{1.50}{1.36} + 0.2 \right) = 3.0 - (1.1 + 0.2)$$

$$= 1.7\text{m}$$

表에서 bottom charge 량 1.36kg/m

column charge concentration = $0.70 \times$ that of
bottom charge

$$0.70 = \times \frac{36 \times 36}{1,000} = 0.907 \text{ approx } 0.90\text{kg}$$

weight of column charge = length of column
charge \times column charge concentration

$$= 1.7\text{m} \times 0.90\text{kg/m} = \frac{\text{approx } 1.5\text{kg}}{B}$$

\therefore Floor hole charge = $1.50\text{kg} + 1.5 = 3.0\text{kg/hole}$

$\begin{matrix} \downarrow & & \downarrow \\ A & & B \end{matrix}$

(112.5gr gelatine 26 EA)

Since the wall holes and roof holes are
determined by the contour, they are calcu-
lated in the next stage.

Calculating wall holes

Burden = $0.9 \times V$ stoping holes [V stoping
holes = V floor hole]

V walls = $0.90 \times 1.0 = \text{approx } 0.9\text{m}$.

$E_1 = 1.2 \times V$ walls

$$= 1.2 \times 0.9 = 1.08$$

Hole spacing is adapted to the geometrical
conditions Number of hole spacings = $\frac{5.0}{1.08}$
 $\doteq 4.63$ approx 0.5 therefore 5 hole spacings
are chosen.

이때 $E_1 = \frac{5.0}{5} = 1.00\text{m}$

Height of bottom charge = 1/6 of hole depth
 $= \frac{3.0}{6} = 0.50\text{m}$

Bottom charge = half bottom charge in sto-
ping holes = 0.75kg

uncharged section = $0.5 \times \text{burden}$

$$= 0.5 \times 0.9 = 0.45\text{m approx } 0.4\text{m}$$

"Look-out" is included in this

Length of column charge = hole depth - [len-
gth of bottom charge + uncharged section]

$$= 3.0\text{m} - [0.50 + 0.4] = 2.1\text{m}$$

column charge concentration = $0.40 \times$ con-
centration of bottom charge

$$= 0.40 \times \frac{\text{Bottom charge}}{\text{Height of bottom charge}} = 0.40$$

$$\times \frac{0.75\text{kg}}{0.50} = 0.4 \times 1.5 = 0.6\text{kg/m}$$

weight of column charge = length of column
charge \times charge concentration

$$= 2.1\text{m} \times 0.6 = 1.26 \text{ approx } 1.3\text{kg}$$

wall hole charge = bottom charge + weight of
column charge = $0.75 + 1.26 = 2.01\text{kg/hole}$

= approx 2.0kg/hole

(112.5gr/ca gelatine 18 EA)

3) Calculating roof holes

Hole spacing=that of wall holes

Bottom charge=that of wall holes=0.75kg

column charge concentration=0.30×that of bottom charge=0.30×1.5=0.45kg/m

Weight of column charge=length of column charge×charge concentration

(= wall holes)

=2.3×0.45=1.035 approx 1.0kg

Roof hole charge=0.75+1.035=1.785

=approx 1.8kg/hole

(gelatine 16 EA)

4) Cut with "Cut spreader" holes located at suitable drilling height above floor holes.

Charge for cut

Bottom charge 0.1kg Dyn/hole

Column charge concentration=0.30kg/m

참고

Drill hole diameter (mm)	Charge concentration	suitable large hole diameter (mm)
32	0.25①	57-2×76
35	0.30①	76-2×76
38	0.36①	76-2×76
45	0.45	2×76-125
48	0.55	"
51	0.55	"

① 22mm Nabit can normally be used in spite of the fact that it corresponds to a Dynamex charge of 0.36kg/m.

length of column charge=3.0-(0.1+0.1)
=2.8m (smallest possible uncharged section)

weight of column charge=2.8×0.3=0.84kg

charge for each hole in cut=0.10+0.84=0.94kg/hole (gelatine dynamite 9 EA)

Calculating the charge for the loosening holes

1st square V=0.20m

Bottom charge as in table=0.25kg

column charge concentration=0.45kg/m

uncharged section=0.5×v=0.10m

length of column charge=3.0-(0.3+0.1)

참고

Burden m	Bottom charge kg	column charge(kg/m)			
		diameter (mm)			
		32	38	45	48
0.20	0.25	0.30	0.45	0.60	0.75
0.30	0.40	"	"	"	"
0.40	0.50	0.35	0.50	0.70	0.80
0.50	0.65	0.50	0.70	1.00	1.15
0.60	0.80	"	"	"	"
0.70	0.90	"	"	"	"

uncharged section=0.5×V

=2.6

weight of column charge: 2.6×0.45=1.17kg

charge for each hole=0.25+1.7=1.42kg/hole

(gelatine dyxamite 13ea)

2nd square V=0.40m

Bottom charge as in table; 0.50kg

Column charge concentration; 0.50kg

uncharged section=0.5×V=0.20m

length of column charge: 3.0-(0.50+0.20)

=2.3m

weight of column charge: 2.3×0.5=1.15kg

charger per hole; 0.50+1.15=1.65kg/hole

(15ea)

3rd square V=0.65m

Bottom charge as in table=0.85kg

Column charge concentration=0.70kg

uncharged section=0.5×V=0.5×0.65=

0.32 approx 0.30m Length of column charge

3.0-(0.85+0.32)=1.83m

weight of column charge=1.83×0.70=1.28

approx 1.3kg/hole charge per hole; 0.85+

1.28=2.13kg/hole (gelatine 19 ea.)

Other drill holes are calculated as stopping holes

according to the table: Bottom charge: 1.50kg

Column charge=1.15kg

charge per hole=2.65kg

참고

Drill hole diam (mm)	depth of hole (m)	Burden (m)	Hole spacing (m)	Bottom charge		column charge		uncharged section (m)
				(kg)	(kg/m)	(kg)	(kg/m)	
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.10	0.80	1.00	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.85①	"	1.00	0.95	0.85	"	"
38	2.4	1.00①	1.20	1.15	1.44	0.80	0.70	0.50
37	3.2	" ①	"	1.50	1.36	1.15	"	"
45	"	1.15①	1.40	2.25	2.03	1.50	1.25	0.55
48	"	1.20①	1.45	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	" ①	"	3.00	"	2.45	"	"
51	3.2	1.25①	1.50	2.50	2.60	1.95	1.30	"
51	4.0	" ①	"	3.40	"	2.70	"	"

① In tunnels with a cross-sectional area of more than 70m², the burden and hole spacing can often be increased considerably since the drill holes break much more easily, Blasting then becomes similar to bench blasting.

Summary of important data

Hole No.	Hole type	hole depth	No of holes	bottom charge (kg)	column charge		charging		remarks
					(kg)	(kg/m)	(kg/hole)	(kg)	
MS	cut	3.0m	4	0.1	0.84	0.30	0.94	3.76	
MS/1st	Loos	3.0	4	0.25	1.17	0.45	1.42	5.68	
MS/2nd	"	3.0	4	0.50	1.15	0.50	1.65	6.6	
MS/3rd	"	"	4	0.85	1.28	0.70	2.13	8.52	
MS	stopping	"	—	1.50	1.15	0.70	2.65	—	
	walls	"	10	0.75	1.25	0.60	2.0	2.0	
	roofs	"	—	0.75	1.05	0.45	1.8	—	
	floor	"	10	1.5	1.5	0.90	3.0	30	
Total									

volume; 54m² × 2.7m = 145.8m³

specific: chargea 총화약량 / 145.8 = kg/m³

specific drilling : 총천공장 / 145.8 = m/m³

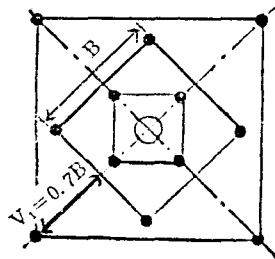


그림 6. Cut and Cut spreader

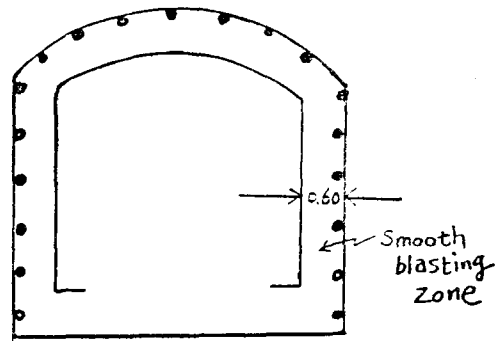


그림 7. Smooth blasting

Burden = 0.7 × drill hole diameter

V = 0.7 × d large = 0.7 × 75mm = 52mm

Large hole diameter (mm)	small hole diameter (mm)	Burden (mm)	center-to-center distance (mm)
57	32	40	85
76	"	53	107
"	45	"	113
2×57	32	80	125
"	45	"	131
2×76	32	106	160
"	45	"	167
100	"	70	143
"	51	"	146
125	"	88	176

Drillhole dia (mm)	charge concentration (kg/m) Dyn	Burden (m)	Hole spacing (m)
25~32	0.07	0.30~0.45	0.25~0.35
25~43	0.16	0.70~0.80	0.50~0.60
45~51	"	0.80~0.90	0.60~0.70
51	0.30	1.00	0.80
64	0.36	1.00~1.10	0.80~0.90

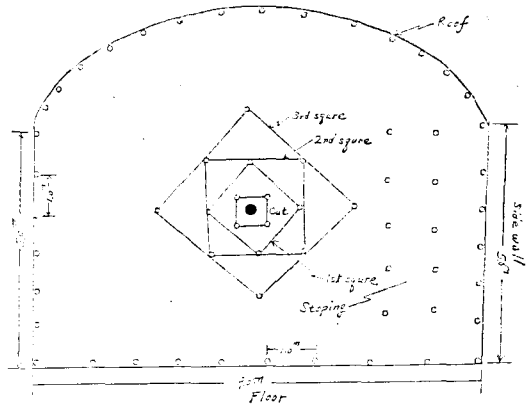


그림 8.

<다음호에 계속>

<P. 42 에서계속>

東南亞 第一의 富國으로 浮上되었다는 事實은 결코 우연만은 아닌 것이다.

이제 우리나라도 '88年 Olympic 誘致를 계기로 群小企業의 整備가 시급하다고 思料된다. 따라서 政府는 工業政策에 있어 群小企業育成의 近代化 일환으로 一次 Apt 工場 設치에 地域別 實施方案을 樹立함에 諸特性을 淸育成하도록 힘써야 할때가 아닌가 思料된다.

이에 副應해야할 問題點들은 官民이 渾然一致

가 되어 自國의 個性的 商品을 비롯, 外國人의 嗜好에 맞는 土產品外 諸商品을 開發함에 좀더 具體적이고 積極化하여 觀光事業에도 도움이 되는 一石二鳥의 效果를 가져야 하겠다.

끝으로 東南亞 巡訪外交에 落伍없도록 協助하여 주신 諸團員들께 感謝를 드리며, 同諸國의 工程師學會 會員 여러분들의 아낌없었던 聲援에 다시한번 感謝를 드리며 東南亞 諸國의 無窮한 平和와 發展이 있기를 祈願한다. <끝>