

서울地下鐵 3,4 號線 Tunnel 掘鑿과 振動對策 調查研究(2)

許

填*

4. 結 論

4-1. 振動對策

4-1-1. 發破振動的 크기

1) 日本, 吉川公式

가. 爆破에 의하여 일어난 振動은 振動源으로부터 멀어짐에 따라 작아진다. Tunnel 內的 爆破振動을 測定한 結果를 整理하여 橫軸에 振動源으로부터의 距離 $d(m)$, 縱軸에 速度振幅/(藥量)^{3/4} 即 $V/W^{3/4}(cm/sec \cdot kg)$ 를 취하고 對數用紙上에 plot 한 그림은 다음式으로 表示된다.

$$V = C \cdot W^{3/4} \cdot d^{-2.0} \dots\dots\dots(1)$$

C ; 爆破法, 裝藥密度, 地質에 따라 決定되는 常數로서 吉川氏는 40~100정도라고 한다.

W ; 點火當 裝填하는 最大藥量(kg)

V ; 合成值로서 V_1 ; 上下 方向振動值

V_2 ; 直角方向振動 V_3 ; 值進行方向振動

值라하면

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2} \text{ (cm/sec)}$$

d ; 振動源으로부터의 距離(m)

나. 實例(吉川公式)

① 412工區(大林産業, 東大門)

㉞ 條件(測定值)

$$V = 0.18 \text{ cm/sec} \quad W = 0.45 \text{ kg}$$

$$d = 15.53 \text{ m} \quad \text{許容振動速度} = 0.2 \text{ cm/sec}$$

㉟ 解答

$$V = CW^{3/4}d^{-2} = \frac{CW^{3/4}}{d^2}$$

측정치를 공식에 대입하면

$$0.18 = \frac{C(0.45)^{3/4}}{(15.53)^2}$$

$$C = \frac{0.18 \times (15.53)^2}{(0.45)^{3/4}} = \frac{43.413}{0.55} = 79.015$$

$$0.2 \geq 79.015 \times \frac{W^{3/4}}{d^2}$$

$\therefore 0.00253 \geq \frac{W^{3/4}}{d^2}$ 을 만족하도록 하여야 한다.

② 408工區(東山土建, 城北區吉音洞)

㉞ 條件(測定值)

$$V = 0.2 \text{ cm/sec}, \quad W = (187.5g \times 4) = 0.75 \text{ kg}$$

$$d = 22.2 \text{ m} \quad \text{許容振動速度} = 0.2 \text{ cm/sec}$$

㉟ 解答

$$V = CW^{3/4}d^{-2} = \frac{CW^{3/4}}{d^2}$$

측정치를 공식에 대입하면

$$0.2 = \frac{C \times (0.1875 \times 4)^{3/4}}{(22.2)^2}$$

$$C = \frac{0.2 \times (22.2)^2}{(0.75)^{3/4}} = \frac{98.568}{0.806} = 122.293$$

$$\therefore 0.2 \geq 122.293 \times \frac{W^{3/4}}{d^2}$$

$$0.00164 \geq \frac{W^{3/4}}{d^2}$$
을 만족시켜야 한다.

2) 瑞典, Langefors 공식

* 鑛業技術士(採鑛)工學博士
** 韓國技術士會副會長
*** 大韓火藥技術學會長

가. 發破設計를 할 때에는 Ground Vibration 問題가 發生하며 距離와 裝藥量 및 地振動間의 關係를 알고 危險을 깨닫는 것이 重要하다.

우리는 여러가지의 裝藥 Level 에 대한 Langefors 係關式을 사용하여 왔다.

$$\text{Level} = \frac{Q}{R^{3/2}}$$

Q=instantaneously detonating charge in kg.

(同時에 起爆되는 裝藥量, kg)

R=distance in m(距離, m)

振動速度는 다음의 關係式으로부터 計算할 수 있다.

$$V = K\sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \dots\dots\dots(2)$$

V=Vibration Velocity(振動速度, mm/sec)

K=Constant(常數)

나. 實例(Langefors 공식)

① 412 工區(大林產業, 東大門)

㉞ 條係(측정치)

$$V = 1.8 \text{ mm/sec}, \quad R = 15.53 \text{ m}$$

$$Q = 5.4 \text{ kg},$$

$$\text{許容振動值} = 0.2 \text{ cm/sec} = 2 \text{ mm/sec}$$

㊦ 解答

$$\text{Level} = \frac{Q}{R^{3/2}} = \frac{5.4}{(15.53)^{3/2}} = \frac{5.4}{61.2} = 0.088$$

$$V = K\sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \text{ 에서}$$

측정치를 대입하면

$$1.8 = K\sqrt{0.088} = K \times 0.297$$

$$K = \frac{1.8}{0.297} = 6.06$$

$$\therefore 2 \geq 6.06\sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}}$$

$$0.33 \geq \sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \text{ 을 만족시킬 것}$$

② 408 工區(東山土建, 城北區吉音洞)

㉞ 條件(測定值)

$$V = 2 \text{ mm/sec} (= 0.2 \text{ cm/sec})$$

$$Q = 7.22 \text{ kg}$$

$$R = 22.2 \text{ m}$$

$$\text{許容振動值} = 0.2 \text{ cm/sec} = 2 \text{ mm/sec}$$

㊦ 解答

$$\text{Level} = \frac{Q}{R^{3/2}} = \frac{7.22}{(22.2)^{3/2}} = \frac{7.22}{104.62} = 0.069$$

측정치를 공식에 대입하면

$$2 = K\sqrt{0.069} = K \times 0.2627$$

$$K = 7.6134$$

$$\therefore 2 \geq 7.6134\sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}}$$

$$\therefore 0.2627 \geq \sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \text{ 을 만족시켜야한다.}$$

다. Swedish hard rock 에서의 實例表 表 6에 Swedish hard rock (K=400)에서의 表를 參考로 記載한다.

3) 美國 USBM 公式

振動의 傳播式은 아직 理論的 展開가 完全히 이루어지지 않고 있지만 現在까지 美國에서의 研究結果를 綜合하면 實驗式으로 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$V = K(D/W^b)^n \dots\dots\dots(3)$$

여기에서

V; 振動速度(cm/sec)

n; 減衰指數

b; Scaling 指數

K; 自由面狀能, 爆藥種類, 岩質 등에 따르는 常數

D; 爆源으로 부터의 距離(m)

W; 遲發當 裝藥量(kg)

(3) 式에서 b 는 scaling 指數로서 U.S.B.M 은 b 값에 대해 實驗的으로 $\frac{1}{2}$ 을 提案하였고 이를 Root scaling 이라한다. 또 하나의 값은 $\frac{1}{3}$ 로서 이를 Cube root scaling 이라 하며 次元解析의 理論을 根據로 하고 있다.

Cube root scaling 은 軍事基地를 爲한 設計工程過程에서 遂行된 核 및 高性能 爆發試驗에서 成功的으로 使用되었고, 坑內發破의 경우 때에도 使用되고 있다.

이 Scaling 指數를 구하기 위하여는 距離를 고정시키고 裝藥量을 변화시켜 裝藥量에 대한 振動 Level 을, 그리고 裝藥을 고정시키고 距離를 변화시켜 距離에 대한 振動 Level 의 合成으로부터 결정할 수 있다.

表 6

Distanceo	Charge in kg (instantaneous detonation)							Remarks
	Level: 0.008	0.015	0.03	0.06	0.12	0.25	0.50	
0.5				0.02	0.04	0.08	0.16	K=400. Swedish rock일때
1	0.008	0.015	0.03	0.06	0.12	0.25	0.50	
2	0.025	0.05	0.09	0.2	0.4	0.7	1.4	
3	0.040	0.08	0.16	0.33	0.65	1.3	2.6	
4	0.06	0.12	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	
5	0.09	0.18	0.36	0.73	1.4	2.8	5.6	
6	0.12	0.23	0.47	0.95	1.9	3.8	7.2	
7	0.14	0.27	0.57	1.15	2.3	4.6	9.2	
8	0.18	0.36	0.72	1.45	2.9	5.8	11.6	
9	0.2	0.42	0.85	1.70	3.4	6.8	13.6	
10	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	
12	0.3	0.6	1.3	2.5	5.2	10.5	21	
14	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4	13.0	26	
16	0.5	1.0	2.0	3.9	7.8	15.5	31	
18	0.6	1.2	2.4	4.7	9.4	19	38	
20	0.7	1.4	2.8	5.6	11	22	44	
25	1.0	2.0	4.0	8.0	16	32	64	
30	1.3	2.6	5.2	10.4	21	42	84	
35	1.6	3.2	6.5	13	26	52	104	
40	2.0	4.0	8.0	16	32	64	128	
45	2.4	4.8	9.5	19	38	76	152	
50	2.8	5.5	11	22	44	88	176	
55	3.3	6.5	13	26	52	104	208	
60	3.8	7.5	15	30	60	120	240	
65	4.3	8.5	17	34	68	136	272	
70	4.8	9.5	19	38	76	152	304	
75	5.3	10.5	21	42	84	168	336	
80	5.8	11.5	23	46	92	184	368	
85	6.4	12.8	25.5	51	102	204	408	
90	7.0	14.0	28	56	112	224	448	
95	7.6	15.2	30	61	122	244	488	
100	8.5	16.5	33	66	132	264	528	
110	9.3	18.5	37	74	148	296	592	
120	10.5	21.0	42	84	168	336	672	
130	11.7	23.5	47	94	188	376	752	
140	13.2	26.3	52.5	105	210	420	840	
150	14.5	29.0	58	116	232	464	928	
160	16.0	32.0	64	128	256	512	1024	
170	17.5	35.0	70	140	280	560	1120	
180	19.0	38.3	76.5	153	306	612	1224	
190	20.7	41.5	83	166	332	664	1328	
200	22.5	45.0	90	180	360	720	1440	

The levels in the following table are calculated to give the following ground vibrations:

Level Q/R ^{3/2}	Vibration velocity	Remarks
0.008	35	Swedish rock K = 400일대
0.015	50	
0.03	70	
0.006	100	
0.12	150	
0.24	225	
0.50	300	

위의 설명을 좀더 구체적으로 쓰면 美國鑛務局에서 최근 10년간 채석장을 중심으로 발파진동에 관한 연구 결과에 따라 구조물의 피해와 직접적인 관련이 있는 지반의 각 방향의 최대 진동속도는 측정으로부터 발파지점까지의 거리와 장약간에 깊은 함수관계가 있음이 다음과 같이 밝혀졌다.

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-a} \dots\dots\dots(3')$$

여기에서

V = 最大振動速度, cm/sec (peak particle velocity)

D = 發破地點까지의 거리, m

W = 遲發當 最大裝藥量, kg (Max. charge weight/delay)

k, a = 地形, 地質, 岩石 등에 따른 常數

上記中 $\frac{D}{\sqrt{W}}$ 를 Scaled distance 라고 부르며

$\frac{D}{\sqrt{W}} = S.D$ 라 하면 上式은 $V = K(S.D)^{-a}$, 兩邊에 常用對數값을 취하면

$$\log V = \log K - a \log(S.D)$$

log-log scale graph 에서 X축에 $\frac{R}{\sqrt{W}}$ 을 취하고 Y축에 V를 취하면 (S.D)와 V는 기울기 -a, $\frac{R}{\sqrt{W}} = 1$ 에서 Y축 切片 K인 直線을 表示한다(그림 9참조)

筆者가 K-5 古里原子力 發電所의 基盤造成時 측정에 의해 작성한 關係式 및 graph 를 그림 9에 例示한다.

4-1-2. 爆破振動이 미치는 영향

1) 許容振動值(構造物)

許容振動值는 對象構造物의 強度와 發破에 의해 發生하는 振動速度의 크기와의 關係에 따라

RELATIONSHIP BETWEEN PEAK PARTICLE VELOCITY AND SCALED DISTANCE

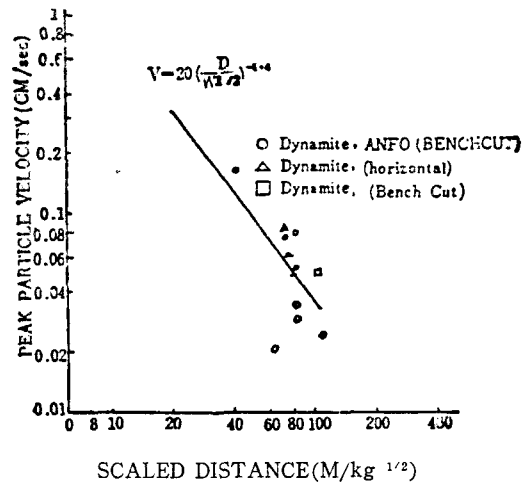


그림 9

決定된다. 아래에 許容振動值를 구하는 方法을 설명한다.

가) 對象構造物의 引張強度를 τt (kgf/cm²)

彈性係數를 E (kgf/cm²)라하면

引張破壞에 대한 限界歪 ϵ (이저러짐의 限界值)는

$$\epsilon = \tau t / E \text{가 된다.}$$

한편 對象構造物의 彈性波傳播速度 V_p (km/sec) 發破에 의해 發生하는 振動速度를 V (km/sec)라 하면, 波動에 의한 歪 ϵd (이저러짐)는 V/V_p 이다.

따라서 $\epsilon d \leq \epsilon$ 이 되도록 V 의 值를 規制하면 被害가 生기지 않는다.

$$\therefore V/V_p \leq \frac{1}{C} \cdot \tau t / E \dots\dots\dots(4)$$

C=動的性質과 靜的性質의 差異 및 安全率에 따르는 係數

나) 對象構造物에 入射하는 爆破振動의 前後方向의 振動速度를 $V(\text{cm/sec})$,

覆工機料의 單位容積當의 重量을 $\rho(\text{gr/cm}^3)$ 이라하면 波面에 直角으로 發生하는 應力 $\rho(\text{kgf/cm}^2)$ 은 近似的으로 $\sigma = -\rho \cdot V \cdot V_p$ 이다.

$\sigma \leq \tau t$ 이면 被害는 생기지 않는다.

$$\therefore -\rho \cdot V \cdot V_p \leq \frac{1}{C} \cdot \tau t \dots \dots \dots (5)$$

다) 實例

日本の 別線 Tunnel 工에서 新線 Tunnel 工事의 發破가 既設 Tunnel 의 覆工(煉瓦)에 미치는 影響에 대하여 조사한 바

煉瓦의 引張強度	$\tau t = 25 \text{kgf/cm}^2$
縱彈性係數	$E = 19 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$
彈性波速度	$V_p = 3.75 \text{km/sec}$
ρ	$\rho = 1.87/980 \text{ cm/sec}^2$
C	C = 10 이라하면

(4) 式으로부터

$$V \leq 3.75 \times 10^5 \times 1.3 \times 10^{-5} = 4.87 \text{cm/sec}$$

(5) 式으로부터

$$V \leq 25 \times \frac{980}{1.87} \times \frac{1}{3.75 \times 10^5} = 3.49 \text{cm/sec}$$

4-1-3. 爆破振動이 建物, 人體等에 미치는 影響

爆破振動이 構造物에 미치는 影響은 3項에서 記述한 바와 같은 事項, 과거의 진동측정의 관계사례 및 覆工 Concrete 파괴시험으로부터 대부분의 경우 前記한 表 2에 表示한 바와 같다.

○ 覆工 Concrete 破壞試驗에서는 Concrete에 Crack이 發生하는 振動은 30cm/sec 以上이다 또한 新設 Tunnel에 있어서의 發破振動 測定時 爆破振動에 의한 覆工 Concrete의 파괴시험을 실시해본 결과, Concrete는 引張強度 32.3 kgf/cm², 彈性係數 18.6 × 10⁴ kgf/cm², 彈性波 傳播速度는 4.45 km/sec로서 파괴시의 振動速度는 100~280 cm/sec 이었다.

그러나 花崗岩質 Tunnel 工事に 있어서는 아래와 같은 被害狀況 및 不平이 發生한 例가 있다.

1) 宅地造成地에서 切土部와 盛土部가 介在하여 있고 地形的으로 斜面 sliding의 影響圈에 들어있는 家屋에서는 發振點으로부터 水平距離

40 m(被覆 40 m) 떨어진 地點에서도 被害가 있었다. (地盤振動速度는 0.2~0.3 cm/sec 이었다)

2) 정원의 연못의 물이 빠짐(振動速度 0.2~0.5 cm/sec)

3) Tile을 붙인 浴湯 및 Mortar를 바른 壁 등이 갈라져서 금이 감(振動值 上同).

4) 經過年數가 오래된 老朽家屋의 비가샘. (振動值 上同)

5) 夜間發破에 의하여 잠이 깎, 安眠妨害(振動速度 0.3 cm/sec 以上)

以上과 같은 點을 綜合하여 前記한 表 2와 表 3에 表示한 바와 같은 振動速度가 構造物 및 人體에 미치는 影響을 얻을 수 있다.

또한 家屋內의 振動은 地盤振動과 比較할 때 다음과 같은 特徵을 갖는다.

1) 家屋內에 있어서는 大體的으로 地盤振動의 2倍以上의 振動值로 된다.

2) 家屋에 따라, 또한 同一한 家屋內에서도 그 場所에 따라 各々 振動樣式이 다르다.

3) 減衰가 늦어 振動繼續時間이 길다.

4) 周波數가 낮아지고, 人體의 感覺上으로는 地盤振動의 周波數보다 느끼기 쉽게 된다.

4-1-4. 振動對策

振動을 輕減시키려면 吉川式에서 C, W를 작게 하는 것이 必要하며 다음과 같은 方法을 들 수 있다.

1) 低爆性爆藥을 使用한다.

Slurry 爆藥: 酸化劑(硝酸암모니움, 나트륨 등의 硝酸鹽)와 可燃物(알미늄粉, 硫黃, 固體粒子等)과 銳感劑(硝酸모노메칠알민等)에 물을 加한 Gel 狀의 爆藥이다. 爆速 4,500~5,500 m/sec

制御發破用 爆藥: Nitroglycerine을 銳感劑로 하여 硝酸 암모니움 등의 硝酸鹽을 酸素供給劑로서 添加한 發破用 爆藥이다. 爆速 2,000 m/sec

2) 1孔의 裝藥量을 必要 限度까지 적게한다. 過裝藥이 되면 W는 勿論 C도 커진다.

3) 穿孔의 方向, 길이에 따른 裝藥을 행하여 過裝藥, 弱裝藥이 되지 않도록 한다.

배꼽대기 發破의 경우 副穿孔을 행하여 이

서울 地下鐵 3, 4 號線 發破試驗

(No. 34 OF SEOUL SUBWAY TUNNEL BLASTING TEST)

1982. 4. 5.

Work Site	調查日時 Date	全工事 總長 Total length of Tunnel	調查地點 Test site	最大發破 當量 Max. charge/ Delay period	發破當量 進長 Drilling depth/ round	回/孔數 No of holes /round	全断面發破當量 Charge/ round blast	總孔數 Number of holes	孔徑及孔 間距離 Hole dia & Spacing	岩質 Type of Material	振動值 Peak Particle Velocity at near-structure (X, Y, Z)	效果		評價 Comment	
												振動位置 Sensor Distance to near-structure	振動比 Dri-Powder Ratio		振動比 Cap Ratio
408 東山土建	3. 29 12 : 00 ~ 17 : 00	857. 5	109	7. 21875	1. 4 (1. 3 홀진)	D12 11孔	70. 16415 kg {G.D 59. 19375 F-1 4. 29 F-2 6. 6804}	124	φ45m/m 0. 1~ 0. 8m	硬岩 (花崗岩)	0. 2	X=3m Z=22m	1. 44	0. 86	評價는 結 論이 記載
												表土上	1. 11	1. 00	
412 大林産業	3. 28 12 : 00 ~ 16 : 00	367. 5	54	5. 400	1. 1 (1. 0 홀진)	D5 16孔	40. 130 kg {G.D 32. 4 F-1 4. 73 F-2 3. 00}	140	φ42m/m 0. 6~0. 7	硬岩 (花崗岩)	0. 18	X=4m Z=15m	1. 25	0. 86	"
												表土上	0. 88	1. 01	
324 三換企業	3. 26 20 : 30 ~ 21 : 30	423	390	5. 400	1. 1 (1. 0 홀진)	D12 15孔	45. 8025 kg {G.D 25. 0875 SI 13. 275 F-1 4. 29 F-2 3. 15}	140	φ42m/m 0. 6~0. 8	硬岩 (花崗岩)	0. 40	X=9m Z=11. 3	1. 25	0. 88	"
												表土上	1. 25	1. 01	
312 韓信工築	3. 26 12 : 00 ~ 14 : 30	1. 100	320	2. 250	1. 1 (1. 0 홀진)	D7 8孔	17. 895 kg {G.D 12. 15 SI 0. 9 F-1 2. 97 F-2 1. 875 (半斷面上段)}	71	φ42m/m 0. 6~0. 8	中硬岩 (花崗片麻 岩)	0. 04	X=4m Z=19. 5	1. 25	0. 78	"
												表土上	1. 25	1. 15	
316 極東建設	3. 26 17 : 40 ~ 19 : 30	980	100	4. 050	0. 9 (0. 8 홀진)	D9 12孔	41. 1625 kg {G.D 23. 2875 SI 9. 675 F-1 4. 95 F-2 3. 25}	152	φ42m/m 0. 5~0. 7	中硬岩 (花崗片麻 岩)	0. 03	X=0m Z=13m	1. 00	0. 83	"
												表土上	1. 00	1. 01	
303-3 漢陽住宅	3. 22 17 : 00 ~ 19 : 00	927	210	5. 625	1. 2 (1. 1 홀진)	D5 10孔	52. 8575 kg {G.D 44. 4375 F-1 5. 17 F-2 3. 25}	135	φ42m/m 0. 6~0. 9	中硬岩 (花崗片麻 岩)	0. 10	X=60m Z=26m	1. 375	0. 86	"
												表土上	1. 375	0. 91	

凡例 1) Peak Particle Velocity; X = Longitudinal Y = Transverse Z = Vertical

2) Sensor 位置 X = 水平距離 Z = 垂直距離

1回發破當與 M³當 火藥類 消費量

上段：I發破當
1982.4.5 下段：M³當

工區名	施工會社	Tunnel 斷面積	穿孔長	掘進長	I發破當 抽釐量	爆				藥				雷		管 計 %	備 考	
						G.D	sl	F-1	F-2	計	%	MSD	DED	計	%			
408	東山土建	37.215	1.4	1.3	48.38	59.194	—	4.29kg	6.68kg	70.164	—	8	113	121	86	2.336	2.501	For NATM Section R=800 (Rock bolt, Shotcrete) 當初設計：G.D 0.898kg/m ³ F-1 0.407 孔 數：141孔計 1.305
						32.4	—	4.73	3.0	40.13	—	8	130	138	100	3.474	3.474	Straight 當初設計：138孔 G.D 1.028kg/m ³ F-1 0.142 計 1.17
412	大林產業	39.729	1.1	1.0	39.729	0.816	—	0.119	0.076	1.01	86	0.201	3.272	3.474	88	0.201	3.272	Straight 當初設計：137孔 G.D 1.028kg/m ³ F-1 0.284 計 1.312
324	三換企業	39.729	1.1	1.0	39.729	0.632	0.334	0.108	0.079	1.153	88	0.201	3.272	3.474	88	0.201	3.272	Straight 當初設計：137孔 G.D 1.028kg/m ³ F-1 0.284 計 1.312
312	韓信工築	17.62	1.1	1.0	17.62	0.69	0.05	0.169	0.107	1.016	78	0.454	3.519	3.973	78	0.454	3.519	牛斷面上段 17.62m ² R=600 (全斷面 41.68m ²) 當初設計：(143孔) 61孔 G.D 1.027kg/m ³ F-1 0.277 計 1.304
316	極東建設	43.75	0.9	0.8	35.0	23.29	9.68	4.95	3.25	41.16	—	12	140	152	101	4.0	4.343	R=250 當初設計：孔數 150孔 G.D 1.137kg/m ³ F-1 0.283 計 1.42
330-3	廣陽住宅	42.94	1.2	1.1	47.234	44.44	—	5.17	3.25	52.86	—	8	126	134	91	2.668	2.837	R=300 當初設計：孔數 148孔 G.D 1.034kg/m ³ F-1 0.275 計 1.309
						196.564	23.86	26.4	21.21	268.014	—	52	701	753	—	—	—	爆藥 시험발파(m ³ 당) % = 당초설계치(m ³ 당) × 100 雷管 시험발파 % = 당초설계치 × 100
	計				227.692	0.863	0.105	0.116	0.093	1.177	—	0.228	3.079	3.307	—	—	—	

것을發破시킴에 의해 自由面을 증가시켜 破碎效果를 向上시키며, 空孔은 1孔일때 보다는 3孔으로 大口徑(3''=75mm)으로 穿孔한편이 振動이 적었다.

4) 穿孔數를 증가시킴에 의하여 1孔當의 裝藥量을 감소시킨다.

穿孔徑(D)와 爆藥孔(d)와 比 D/b(Decoupling 指數)를 크게함에 의해 소위 Cushion 發破의 理論에 의해 진동치를 저하시키며, 특히 精密發破孔(Roof & Wall hole)의 孔徑을 45 mm로 穿孔하고 G.D 1個, Finex-1(φ17mm) 1個를 장전 발파하였을시 餘掘이 하나도 없는 造景的인 精密發破의 效果를 얻을 수 있었다.

5) D.S 雷管, M.S 雷管을 使用하여 同一藥量에 對한 振動을 分割하도록 한다. 더우기 M.S 雷管이 D.S 雷管보다 人體에 對한 感覺은 輕減된다.

6) D.S 雷管 또는 M.S 雷管의 段數를 많게한다.

7) 2個 以上の 發破를 數 millisecond 정도의 時間差를 두고 起爆하여 그들의 相互干涉作用에 의하여 發生振動値를 작게한다.

8) 1發破當 掘進長을 짧게하고 裝藥量을 적게한다.

9) Pre-splitting 에 의해 先行龜裂을 發生시켜놓고 振動을 輕減시킨다. 穿孔間隔은 통상 20~30 cm 로 한다.

또한 振動對策으로서는 振動輕減外에 對象 構造物의 補強과 機械掘鑿을 들 수 있다.

4.2 評價

1. 408 工區 (東山土建)

岩質은 硬岩(花崗岩)으로서 部分的으로 節理가 不規則的으로 發達되어 있으나 2 Boom Jumbo 에 依한 穿孔計劃圖대로의 穿孔이 可能하므로 適正 火藥裝填으로 거의 完爆을 이루어 Roof and Wall hole 의 理想的인 造景斷面으로서 殘孔을 찾아볼 수 없다.

따라서 穿孔長을 增大할 수 있으나 Tunnel 直上部에는 古屋住宅街로서 振動에 留意해야 할 것이다.

本 工區는 서울地下鐵 工事에서 Jumbo 를 動員한 最初의 工區이다.

推薦事項

가. 穿孔長 1.3 m(1.2 m掘進)

나. 許容最高振動値 0.2 cm/sec

다. 裝藥量

F-1 0.1 kg/m³

F-2 0.1 kg/m³

G.D or Slurry 1.2 kg/m³

라. 最大孔數 140 孔

2. 330-3 工區 (漢陽住宅)

花崗岩의 貫入 接觸部에 沿한 片麻岩을 主로 하는 變成岩類의 破碎帶로서 振動減少를 위하여 MSD 및 DED 雷管의 結線數量和 爆藥種類의 選擇 및 適正 穿孔에 對하여 格別한 配慮가 必要하다.

振動値와 餘掘을 減少시키기 위하여 穿孔徑은 現在보다 큰 徑(Roof and Wall hole에서)이 要求되며 Decoupling 係數가 2 以上인 Cushion Wlasting 이 要望된다.

岩盤의 振動減少와 保存을 위하여 發破時는 Roof and Wall hole 에 對하여 Controled Blasting 을, 支保에 있어서는 NATM 을 서울地下鐵 工事에서 最初로 試圖한 模範工區이기도하다.

推薦事項

가. 發破當穿孔長 1.1 m(1.0m 掘進)

나. 許容最高振動値 0.1 cm/sec

다. 裝藥量

F-1 0.1 kg/m³

F-2 0.1 kg/m³

G.D or Slurry 1 kg/m³

라. 孔數 140 孔

마. Roof and Wall hole 孔徑 φ45m/m

3. 312 工區 (韓信工營)

岩質은 花崗片麻岩이나 礫 直上部 表土層 일부가 盛土部로서 發破作業으로 因한 崩落事故後 全斷面 發破를 半斷面發破로 代替하여 現在 作業中에 있다. 大體的으로 切土部와 盛土部가 介在하면 地形的으로 斜面 slide 影響圈에 들어거나 家屋에서는 發破點에서 水平으로 40 m 떨어진 地點에서 地盤振動速度 0.2~0.3 m/sec 에서도 家屋의 被害가 있으므로 本 作業場에서는 Dynamite 를 硝安爆藥 乃至 Slurry 로 代替함이 좋을것으로 思料된다. 地質構造를 再檢討한바 全斷面發破로 還元하여도 無妨할 것으로 思料된다.

推薦事項

- 가. 發破當穿孔長 1.1m(1.0 m 掘進)
- 나. 許容 最高振動值 0.04 cm/sec
- 다. 裝藥量
 - F-1 0.1 kg/m³
 - F-2 0.1 kg/m³
 - Slurry 1.028kg/m³
- 라. 孔數 69 孔(半斷面時)

4. 412 工區 (大林產業)

岩質은 硬岩(花崗岩)으로서 408 工區 및 324 工區와 類似한 岩盤構造를 가지고 있으나 tunnel 前進方向이 梨大 附屬病院을 거쳐 國寶 東大門을 向하고 있어서 振動減少에 特別 留意해야 할 곳이다.

夜間發破로 因한 病院患者의 安眠妨害를 勘案하여 振動值를 超過치 않도록 해야 할 것이다.

推薦事項

- 가. 發破穿孔長 1.1 m(1.0m 掘進)
- 나. 許容最高振動值 0.2 cm/sec
- 다. 裝藥量
 - F-1 0.1 kg/m³
 - F-2 0.1 kg/m³
 - Slurry 1 kg/m³
- 라. 孔數 137 孔

5. 316 工區 (極東建設)

岩種은 花崗片麻岩으로서 節理가 比較的 많이 發達되지 않아서 作業條件은 좋은 便이나 널터

直上部(道路面까지)가 얇으므로 振動에 格別한 留意가 必要하다.

推薦事項

- 가. 發破當穿孔長 1.0 m(0.9m 掘進)
- 나. 許容最高振動值 0.2 m/sec
- 다. 裝藥量
 - F-1 0.1 kg/m³
 - F-2 0.1 kg/m³
 - G.D or Slurry 1.1 kg/m³
- 라. 孔數 152 孔

但, 高架道路 下部에 限함.

6. 324 工區 (三煥企業)

岩質은 硬岩(花崗岩)으로서 節理가 別로 많지 않고 作業條件은 좋은 便이나 住宅街가 隣接되어 있어서 振動에 留意해야 한다.

作業進度를 念慮한 나머지 恒常 過裝藥하고 있으나 이는 꼭 是正되어야 할 事項으로서 Slurry로 代替할 것을 推薦한다.

推薦事項

- 가. 發破當穿孔長 1.1 m(1.0m 掘進)
- 나. 許容最高振動值 0.2 cm/sec
- 다. 裝藥量
 - F-1 0.1 kg/m³
 - F-2 0.1 kg/m³
 - Slurry 1.1 kg/m³
- 라. 孔數 137 孔

새 마을로 가꾼 터전

과학화로 꽃피우자