

釜山 通信溝掘進 發破作業으로 인한 地上住宅 構造物에 미치는 振動爆音影響計測調查報告

許 墳

On the study of the measurement of blasting Vibration and Sound
influenced to housing structure at Wire-Tunnelling

Ginn Huh Engr. Dr. P.E

ABSTRACT

The Caustious blasting have often increased Complaints of ground Vibration and Sound when the Wire-Tunnel Constructed in Pusan. In order to prevent the influence to housing structure, it was necessary to predict blasting-Induced Vibration and Sound. The Suveyer determined the Burden and spacing of Drill holes, minimum delay charges within a allowable Vibration and Sound Level.

Tunnel drilling and Ignition patterns are made as follows; No. 1 Tunel (Stable rock, hard rock) No. 2 Tunnel (Instable plastic rock; wethered rock) and other Tunnels (Instable rock).

The result of 1st testing blasting of No. 1 Tunnel was recorded Under allowable Vibration Level but sound was over 75 Db of allowable value. So Tunnel drilling pattern was amended with 52 Non-charg holes to reduce the blast-sound.

The other pattern had no need to amend.

1. 緒 言

本 通信溝工事は 垂直坑 3 個所 및 NATM 터널 631 m로서 調査者가 現地踏查當時는 垂直坑이 完了되어 通信溝進入工事が 着手段階로서 調査者가 依頼 받은 作業量은 터널 穿孔 패턴 및 順序圖

- (1) 1 號垂直溝터널 (普通岩)
- (2) 2 - 3 號垂直溝터널 (風化岩)
- (3) 70 조형 터널 (風化岩)
- (4) 확폭區間터널 (風化岩)

이나, 作業進行上 우선 1 號 및 2 - 3 號의 터

널穿孔패턴 및 點火順序圖를 作成 試驗發破토록하고 나머지 3, 4 項의 作業은 계속해서 作成提出토록 하였다. 지난 4 月 8 日 現地 住民立會下에서 施行한 1 次 試驗發破結果를 가지고 綜合分析 報告코져한다.

2. 作業條件

그間 垂直溝堀下發破作業으로 인한 振動 및 爆音으로 近接住民들과 施工者間에 많은 物議가 빚어 通信溝堀進試驗發破에도 많은 踏路가 많았다.

1號垂直溝位置가 民怨의 原因이되고 있는 것은 人員資材運搬을 비롯하여 廢石運搬等으로 因한 輸送騒音과 粉塵發生으로 隣近住民들에게 公害를 가져다 주기때문이다. 따라서 터널發破로 因한 爆音이 近接住宅街에 轉波됨은 物論. 住宅街 6m幅의 消防道路, 地下 40m地點에서 幅 4m通信溝가 通過하고 있으니 爆音減少를 어떻게 하느냐가 큰 問題로 抬頭되고 있다.

3. 1次試驗發破

本 工事場 一帶의 地盤構造는 中生代白亞紀에 貫入한 것으로 推定되는 佛國寺統 花崗岩으로서 1號는 地表로부터 地下 22m까지는 風化帶, 30m까지는 軟岩, 40m까지는 普通岩順으로 硬化岩層을 이루고 있다.

垂直坑 깊이 40m水平의 通信溝는 普通岩 及 至 硬岩으로 構成되어 있다.

上記 花崗岩은 節理와 龜裂이 적어 높은 壓縮強度를 지니고 있다. 그리고 2號 3號는 共히 地表로부터 50m까지 花崗岩의 風化帶를 이루고 있어 垂直坑 깊이 38m水平의 通信溝는 風化岩으로 構成되어 있다. 따라서 發破作業으로 因한 振動과 爆音節減을 爲해서 터널設計를 精密發破方式에 따라 小型着岩機 빙트徑 $\phi 36\text{mm}$ 로 掘進長 0.9(0.8)m로 制限하여 平行型 穿孔으로하여 週邊孔에는 line Drilling (無裝填孔)을 加味 使用爆藥은 Kovex點火는 M/S電氣雷管을 使用 全斷面을 4回分割하여 點火하였다.

3-1. 2號通信溝試驗發破

計測은 센서를 垂直上의 地表面 住宅마당에다

設置한 바 振動記錄値는 0.248cm/sec 로 振動許容値 住宅適用 0.5cm/sec 에 比해서 낮은 것으로 나타났으며 住宅構造物地盤에 미치는 地中變位는 $\frac{2}{1000}\text{mm}$ 微小値로 隣近住宅商街에 미친 振動 및 爆音의 影響은 없는 것으로 判定되었다.

3-2. 1號通信溝 一次試驗發破

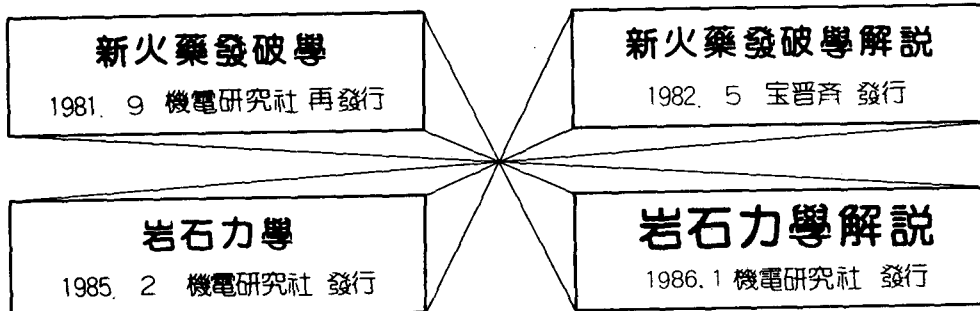
計測은 센서를 垂直上의 地表面 住宅마당에다 設置한 바 振動記錄値는 4回 $0.348\text{--}0.657\text{cm/sec}$ 로 振動許容値線에서 머물렀으므로 地中變位는 $\frac{5}{1000}\text{mm}$ 微小値로 隣近住宅商街에 미친 振動은 影響이 微小한 것으로 判明되었으나 爆音이 約 75Db 以上으로 立會住民들의 抗議가 大端했다.

1號, 2號通信溝 試驗發破時 立會住民들의 振動에 對한 可視的確認을 爲해서 유리컵에다 물을 가득채워 물의 움직임을 確認시킨바 2號通信溝에서는 움직임을 없었고 1號通信溝에서는 微動의 움직임을 볼 수 있었다.

3-3. 1號通信溝 2次試驗發破計劃

發破로 因한 爆音發生原因은 첫째 壓縮強度가 높은 硬岩이 點火로 因하여 壓縮게스와 岩相互破壞에 對한 合成音으로 이를 節減하기 爲해서 裝填孔사이에 空孔을 늘여 自由面을 增大함으로써 爆音節減을 期하고 둘째 防音幕을 補完하여 2次試驗發破를 試圖기로 했다.

그리고 心拔(cut)은 $\phi 45\text{mm}$ TAPER BIT로 穿孔함으로써 效果的인 安全發破를 期하고자 Pattern을 補完作成하였다.



工學博士 許 埴 著

大韓火藥技術學會

1次通信溝 試驗發破振動記錄 (4月8日)

項目 回數	最少抵抗線 穿間距離 掘進長 (m)	電氣雷管 M/S (個)	裝藥 Kovex, kg		住宅과의距離 마당폭위 (m)	振動值 (max)				備考	
			孔 (個)	藥量		cm/ sec	HZ	g	mm		
2號 (Cut)	0.65-0.80	#0-#15									計器 : Instantel DS477 Blastmate 爆藥 : Kovex φ25 mm 112.5 g / 個 F-1, F-2. 電氣雷管 : M/S #0-#20 穿孔方式 : 平行型 (Para-cut)
	0.95-1.00 0.9 (0.8)	15	1	7.83×1/2	38	0.248	43	0.25	0.002		
1號	0.60 0.70 0.9 (0.8)	10	2			0.348	68	0.24	0.005		
	0.65 0.80	15	2	14.905	40	0.409	79	0.19	0.005		
3回	0.9 (0.8)	15	1 1/2			0.472	73	0.19	0.005		
4回		20/60	1			0.657	79	0.18	0.005		

釜山通信溝 Tunnel

發破設計 比較表 (1次)

1990. 4.

區	分	當 初 設 計		現 在 施 工		設 計 變 更 案		備 考
		1 號	2 號	1 號	2 號	1 號 (1次)	2 號	
	實 孔			65	50	62	42	
	穿 孔 數			31	31	35	28	
	計			96	81	97	70	
	심 埋 기 方 式	V 型	V 型	V 型	V 型	平 行 型	平 行 型	
	點 火 方 式	全 斷 面 1 回	左 同	左 同	左 同	全 斷 面 4 回 分 割 發 破	全 斷 面 2 回 分 割 發 破	
	掘 進 長			1.3 m (1.1) m	0.9 m (0.8) m	1.2 m (1.1) m	1.1 m (1.0) m	
	m ³ 當 裝 藥 量			1.137 kg / m ³	0.84 kg / m ³	1.251 kg / m ³	0.652 kg / m ³	

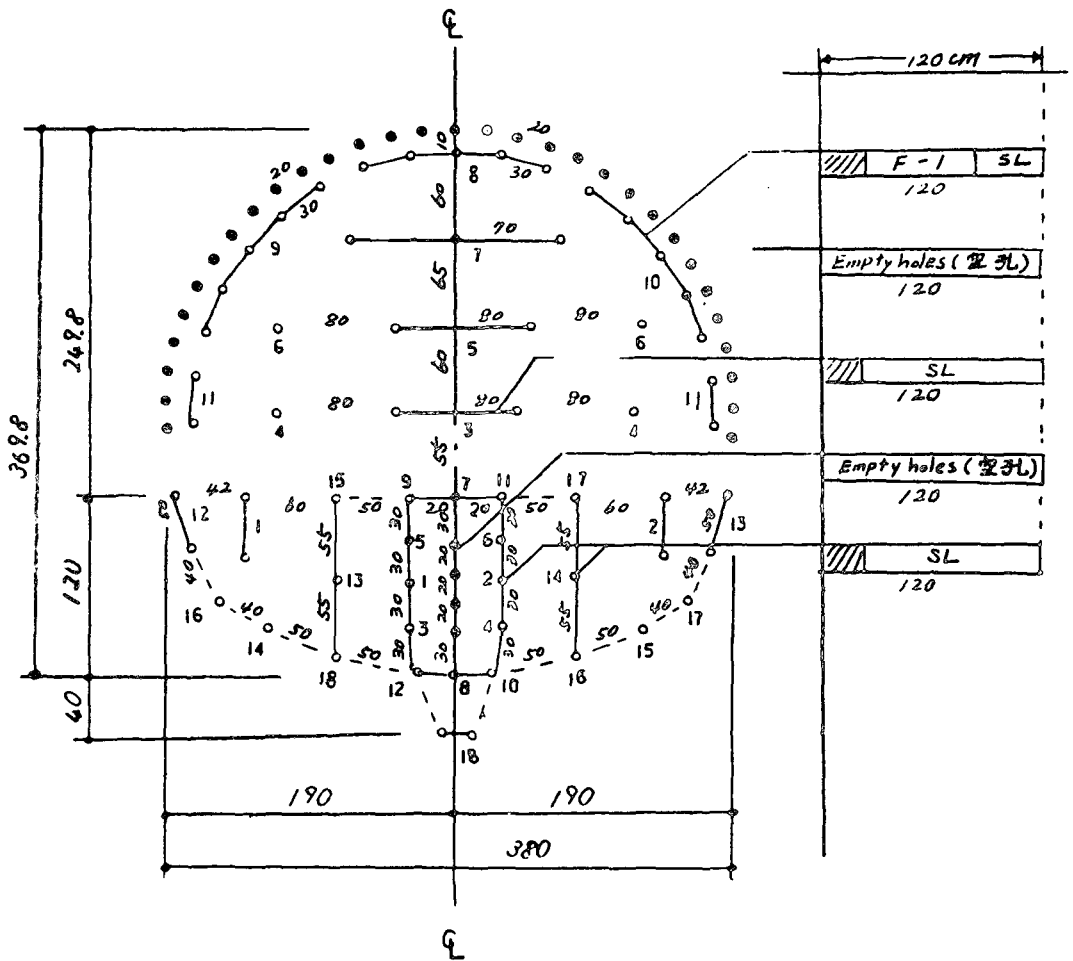
1號垂直溝 tunnel Drilling & Ignition Pattern

(普通岩)

S = 1:40

Number ; MSD

Unit ; cm



但, Cut holes 은 Tapered Bit ϕ 40 mm

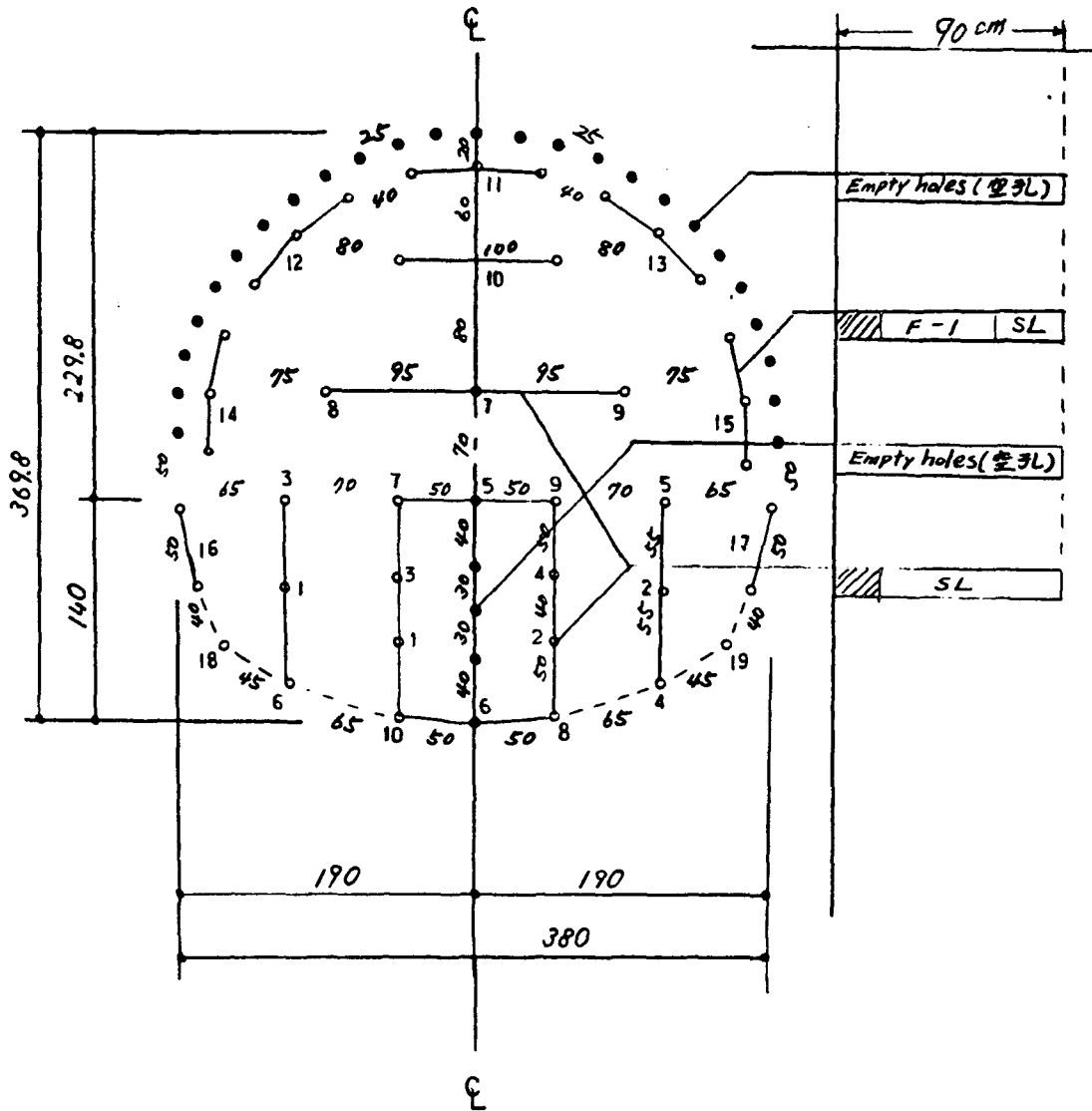
2, 3號垂直坑 tunnel Drilling & Ignition Pattern

(風化岩)

S = 1 : 40

Number ; MSD

Unit ; cm



釜山通信溝 Tunnel

發破設計比較表

1990. 4. 30

區分	現在施工		設計變更案				設計變更案	
			1次		2次			
			1號	2號	1號	2號		
實孔	1號	2號	1號	2號	1號	2號	70 空徑	竅亭區間
	65	50	62	42	62	一次 同一	40	61
	31	31	35	28	52	"	25	34
計	96	81	97	70	114	"	65	95
심 卽 工 方 式	V 型	V 型	平行型	平行型	平行型	"	平行型	平行型
點 火 方 式	全斷面 1 面	左 同	全斷面 4 回分割 發 破	全斷面 2 回分割 發 破	全斷面 4 回分割 發 破	"	全斷面 2 回分割 發 破	全斷面 2 回分割 發 破
屈 進 長	1.3 m (1.1)m	0.9 m (0.8) m	1.2 m (1.1) m	0.9 m (0.8) m	0.9 m (0.8) m	0.9 m (0.8) m	0.9 m (0.8) m	0.9 m (0.8) m
㎥ 當 裝 藥 量	1.137 kg / ㎥	0.84 kg / ㎥	1.251 kg / ㎥	0.652 kg / ㎥	1.319 kg / ㎥	0.8145 kg / ㎥	0.920 kg / ㎥	0.651 kg / ㎥

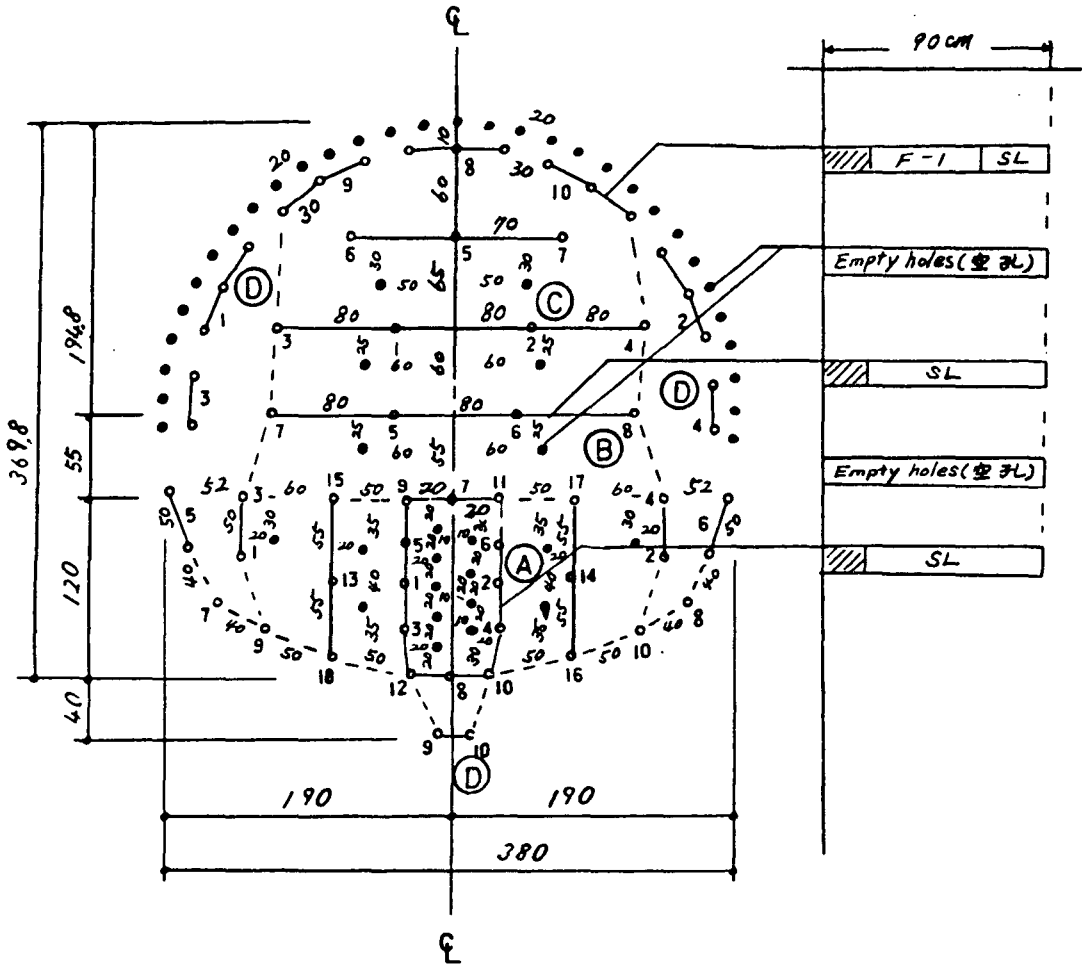
1號垂直溝 tunnel Drilling & Ignition Pattern

(普通岩)

S = 1 : 40

Number ; MSD

Unit ; cm



但, Cut holes 및 cut holes의 空孔은 Taper bit ($\phi 40\text{mm}$)로 穿孔할 것.

SUMMARY OF CHARGE 追加分

(風化岩)

70 空罎

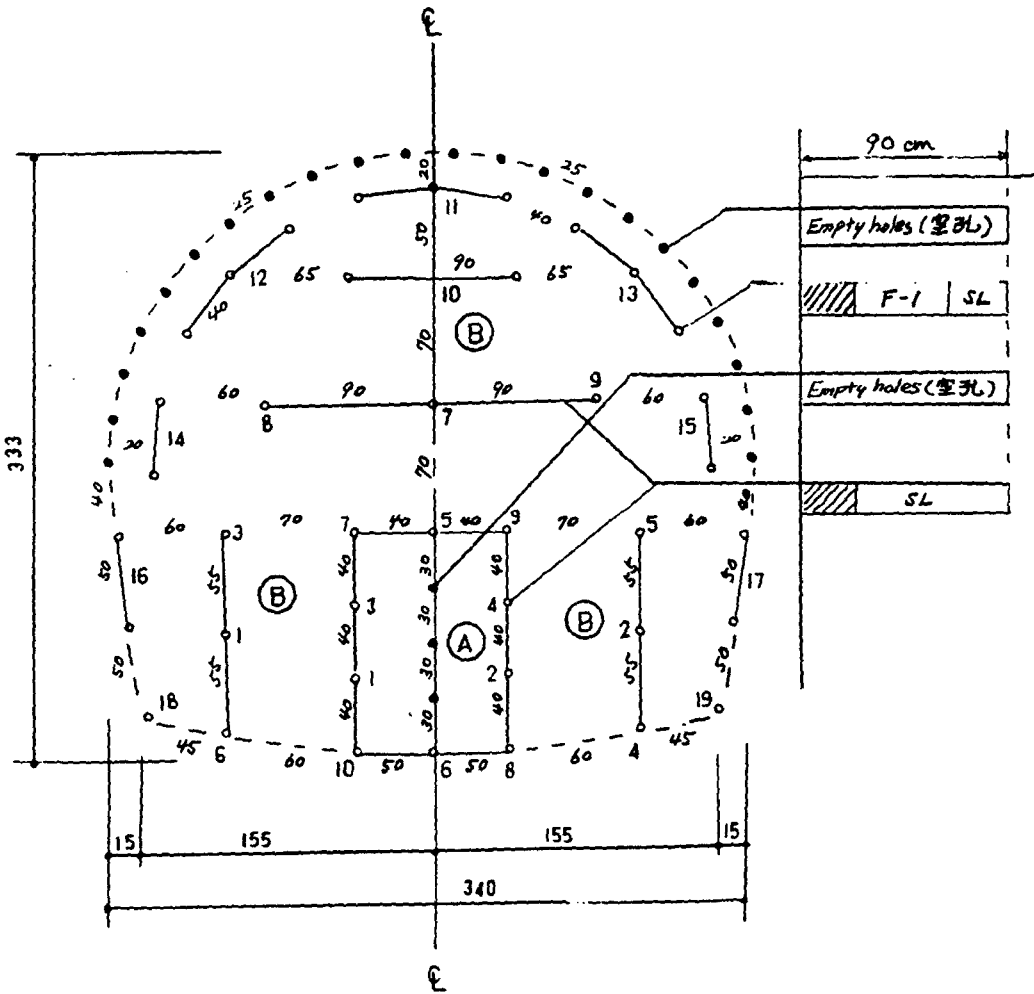
Blasting sequence	No. of holes			charge (kg)					Detonator (pcs)		
	charged	empty	sub-total	Slurry	F - 1	F - 2	sub-total	MSD	DED	sub-total	
1	10	3	13	1.85625	-	-	1.85625	10	-	10	
2	30	22	52	3.375	1.870	-	5.245	30	-	30	
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
Total	40	25	65	5.23125	1.870	-	7.10125	40	-	40	
Volume (m ³)							7.72			7.72	
Specific charge (kg/m ³)							0.920			5.19 pcs/m ³	

70 초형 風化岩區間 Drilling & Ignition pattern

S = 1 : 30

Number ; MSD

Unit ; cm



SUMMARY OF CHARGE

(風化岩)

확폭구간

Blasting sequence	No. of holes			charge (kg)				Detonator (pcs)		
	charged	empty	sub-total	Slurry	F - 1	F - 2	sub-total	MSD	DED	sub-total
1 (A)	16	3	19	2.98125	-	-	2.98125	16	-	16
2 (B)	45	31	76	5.00625	2.750	-	7.75625	45	-	45
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
Total	61	34	95	7.9875	2.750	-	10.7375	61	-	61
Volume (m ³)							16.496			16.496
Specific charge (kg/m ³)							0.651			3.70 pcs/m ³

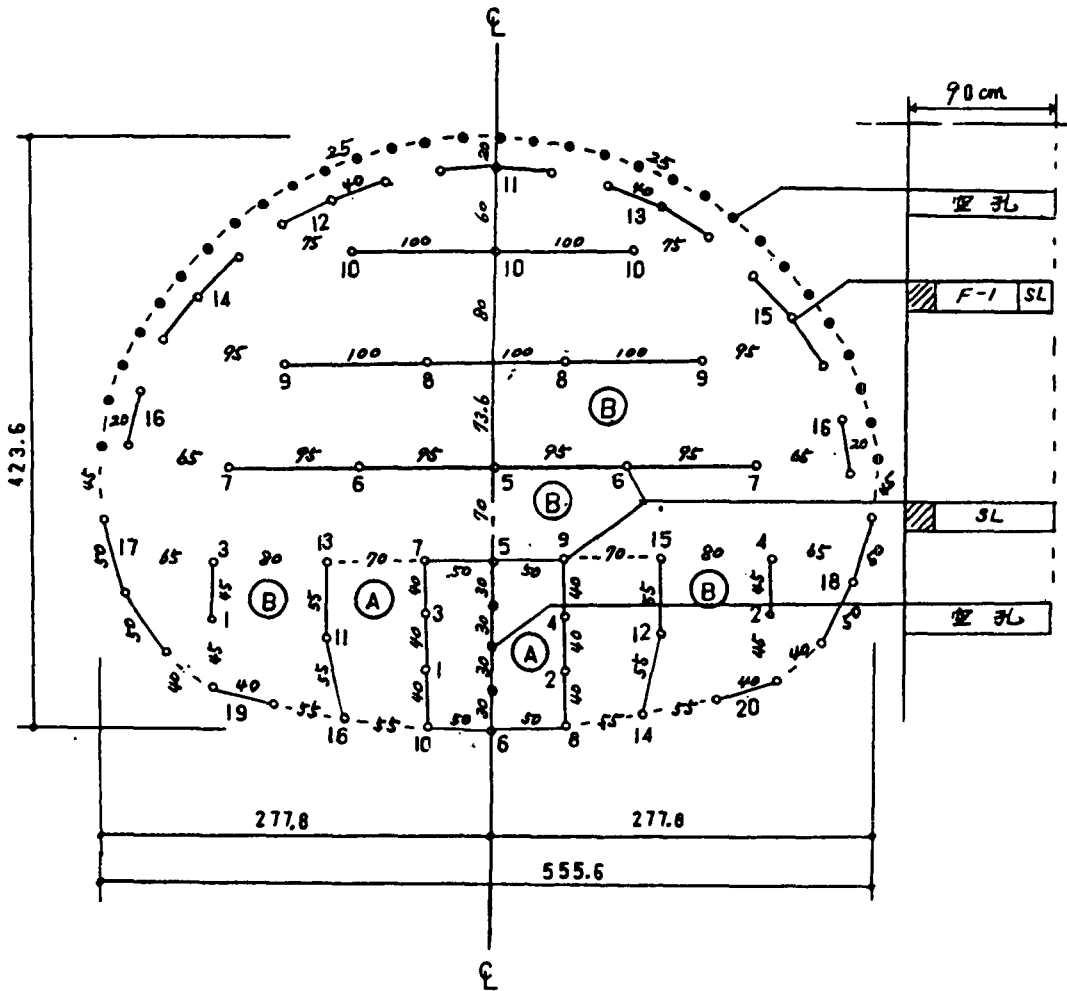
확폭구간 Drilling & Ignition pattern

(風化岩)

S = 1 : 40

Number ; MSD

Unit ; cm



4. 結 論

1次試驗發破時 通信溝 1號에 있어서는 振動記錄值가 住宅街許容基準值 0.5cm/sec 를 大體的으로 넘지 않았으나 發破音이 作業許容值 75 Db를 超過함으로써 住民들의 苦情發生原因이 된바 있고 2號에 있어서는 振動 및 發破音記錄이 共히 許容基準值를 밑돌아 立會人들도 安全作業임을 認定한 바 있으며 1次試驗發破로 인한 振動影響이 近接住宅構造物에 미치지 않는 것으로 思料되나이다. 따라서 監督者 및 關係者와 協議下에 2號通信溝는 試驗發破基準에 따라 作業을 進行토록하고 1號通信溝의 Pattern은 發破音이 75 Db을 基準하며 再作成토록하여 2次試驗發破를 試圖하기로 되어 있었던 것이다.

5. 住民陳情

4月28日 東萊區廳長 主催下에 住民對策委員 發注者, 設計者, 施工者 및 警察署 그리고 技術諮問인 調査者等 對策會議가 開催되었다.

住民對策委員의 主張은 첫째 先 被害補償 및 後施工 補償覺書 둘째 發破作業은 안되고 Bristar 膨脹劑作業으로 代置하라는 것이다.

5月8日 日本의 Bristar 技術者들이 現場試驗調査次 온다고하니 그때까지 기다렸다. 試驗을 해보자는 쪽으로 結論을 지었다.

對策會議席上에서 調査者는 Bristar에 對해서 이미 解說한 바와 같이 日本에서 開發하여 Calmmite와 함께 이미 우리나라에서 一部 露天에서 使用되고 있는 것으로 물과 水和反應에서 發生되는 膨脹壓을 利用하여 軟岩主로 콘크리트를 破碎하는 緩制破碎劑이다. 따라서 1號通信溝와 같이 岩盤이 $1,000\text{kg/cm}^2$ 以上的의 強度를 가진 花崗岩에다 單一自由面을 가진 터널作業에 適用한다는 것은 不適切한 것으로 日本에서도 實用化되지 못하고 있는 實情이다. 1號通信溝에 이를 適用한다고 假定을 해보자. 첫째 Pattern作成時 最少 抵抗線 및 穿孔表이 $0.6 \times 0.9\text{m}$ 로 한것을 半로 줄임으로 穿孔數가 倍加하며 이에 所要되는 工期 原價의 倍加를 가져오며 工期遲延으로 作業 Cycle을 마칠 수 없으며 둘째 心拔孔부터 그 自由面을 形

成 段階的으로 裝填作業을 해나가야함으로 發破作業時 最少日 1m堀進에 比하여 4~5倍의 工期가 所要된다는 것.

셋째 膨脹된 岩石의 빠내는 作業의 裝備 및 保護장갑 保護眼鏡을 使用한다하더라도 硅酸鹽化合物을 主成分으로 하는 膨脹劑를 數個月 使用함으로 發生하는 勤勞者에 미치는 公害, 그 外 高價의 Bristar使用으로 인한 原價等 以上 工期, 工法原價가 三位一體를 이루므로서 所期の 工事竣工을 成就할 수 있다고 보건데 工期遲延으로 인한 地下水脫水로 인한 地盤沈下고 近接住宅 構造物에 미치는 影響은 Bristar適用으로 豫測키 어려운 紛爭을 自招할 것으로 思料되는 바이다.

끝으로 Crack meter (실금變位計劃測器)를 設置함으로서 近接住宅 構造物의 龜裂狀況을 確認코자 持參設置를 試圖하였으나 住民들의 同意가 없어서 뜻을 이루지 못한 아쉬움을 남겼다.

Blistar試驗結果

小野 maker 의 副課長 所 및 野崎兩人과 韓國의 代理店인 宇星鑛業(代表 姜永圭)이 最新開發했다는 Supper Bristar 2,000pack을 가지고 現場에서 住民立會下에 試驗한 바 있다.

maker 側의 提示에 의한 穿孔에 Bristar 裝填後 3時間지나 莫場을 確認하였으나 既往에 금이 갔던곳에 若干의 실금이 나타났을 뿐 아무런 變化가 없었다. 하루밤이 지나고 全斷面의 約 20%程度가 실금이 나타났다는 失敗作이고 一部住民들을 理解시키는데는 도움이 되었다고 하나, 1個月동안 遲延시켰던 Bristar 商人들의 無責任한 處事로 工事現場은 約 8千萬원의 損失을 가져왔다는 것이다. 앞으로 다시는 이와 같은 일이 再發되어서는 안되겠다는 생각에서 몇 가지 적어보기로 한다.

1. 硬岩인터널莫場(單一自由面)에다 日本에서도 實例가 없을 뿐더러 이번이 처음 試圖하는 試驗場이었다는데 警愕을 禁할 수 없다.

2. 通信溝(4×4m)/m堀進이 所要되는 膨脹劑(Bristar)은 810kg로서 約 2.5~3.0百萬元이라는 高價이다.

3. 發破時는 1 m 掘進率이 90 %以內이나, Bristar 使用時는 掘進率이 70 %임으로 1.5 m 掘進時 1.0 m가 되는 바 前者는 100 孔 內外가 되나 後者는 214 孔이 所要됨으로 現場穿孔實績을 時間當 9 孔을 감안하면 穿孔時間만 24 時間이 所要된다는 것이다.

有添資料

- 1. 振動值 遲發當裝藥量 및 爆源과의 距離函數關係 1 通
- 2. 現場調査 1 通
- 3. 大韓火藥技術學會 確認資料..... 1 通
- 4. 實測 DATA 1 通

參考資料

- 1-振動值遲發當裝藥量 및 爆源과의 距離間函數關係
- 1. 서울地下鐵公社 實驗式

$$V = K W^{0.57} D^{-1.75}$$

- 1 號 $0.2 = 93 \times 1,733^{0.57} \times 40^{-1.75}$ (Cut)
- $0.2 = 69 \times 2,926^{0.57} \times 40^{-1.75}$ (Spread)
- 2 號 $0.2 = 75 \times 2,527^{0.57} \times 40^{-1.75}$ (Cut)
- $0.2 = 51 \times 4,972^{0.57} \times 40^{-1.75}$ (Spread)
- V = 振動值 (cm/sec)
- W = 遲發當裝藥量 (kg)
- D = 爆源과의 距離 (m)
- K = 常數 花崗岩, 터널

2. 火藥技術學會 實驗式

$$V = 41 (D / 3 \sqrt{W})^{-1.41}$$

$$= 41 (D / W^{1/3})^{-1.41}$$

$$0.2 = 41 (\frac{40}{0.771^{1/3}})^{-1.41}$$

$$0.6 = 41 (\frac{40}{7.992^{1/3}})^{-1.41}$$

會 員 加 入 願

會員區分	正 會 員 贊 助 會 員 特 別 會 員	姓 名		生 年 月 日	
會 員 №		本 籍 地			
免 許 種 類	管 理 1, 2 製 造	現 住 所			
免 許 №		勤 務 處	職 場 名		
免 許 取 得 年 月 日			職 位		
		所 在 地			
免 許 所 持 地 市 道 別	市 邑	出 身 校	年 月	卒 業 修 了	專 攻 科 目
推 薦 會 員	姓 名 住 所				

上記와 如히 會員으로 加入코저 願書를 申請하나이다.

1990 年 月 日

申請入 姓名

大韓火藥技術學會 會長 貴下

但, 入金會費는 ₩ 40,000

送金處는 國民銀行 論峴洞支店 계좌번호 074-21-0179-269

2. INSTANTEL DS477 BLASTMATE

VIBRATION RECORD

SERIAL # 678 U 3.1
 CLIENT SAMHWAN CO.

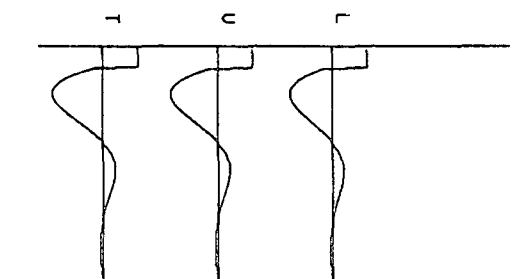
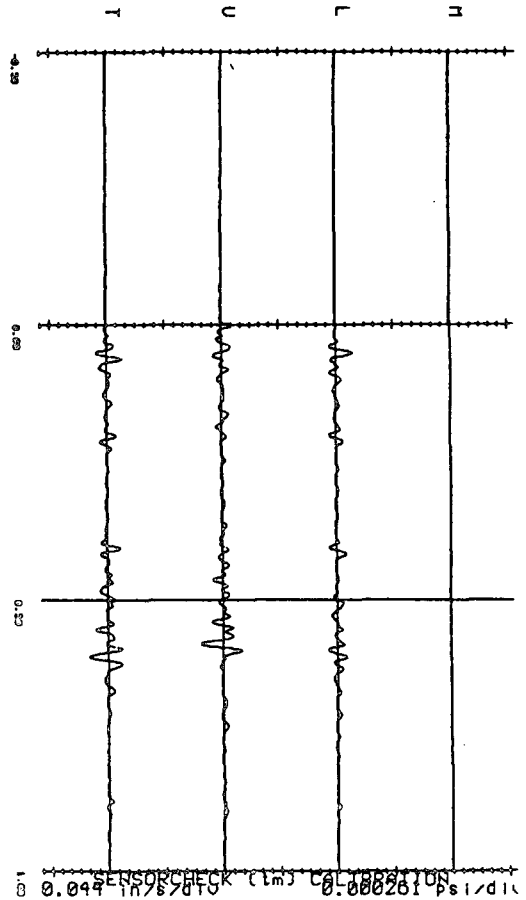
LOCATION PUSAN

USER
 TRIG SOURCE geo
 TRIG LEVEL 0.09 in/s
 RECORD TIME 1.0 s

NOTES

TRIGGERED vert. at 05:21:36
 08 Apr. 1988

	TRAN	VERT	LONG	
PPU	0.083	0.098	0.078	in/s
FREQ	32	35	43	hz
TIME	603	581	51	ms
ACCEL	0.05	0.06	0.03	g
PK DISP:				
1/4 WAVE	0.000	0.000	0.000	in
TOTAL	0.002	0.002	0.001	in
PUS	0.105 in/s at 591 ms			
PSPL(RMS)	86 db			
PSPL(MAX)	89 db			



FT=72 OT=41 FU=73 OV=39 FL=68 OL=39
 FM=20 PM=1416 BL=63
 Geo sensors passed/Mic channel passed

Calibrated 22 June 1988
 by INSTANTEL INC.