

서울地下鐵 7-20工區 터널 굴착으로 인한 地上 住宅 構造物에 미치는 振動 騒音 影響 調查研究

On The influence study to building by seoul sub-way construction
7-20 site Tunnel works.

許 墳°
Ginn Huh

ABSTRACT

On the seoul sub-way Tunnel works 7-20 site, Cautious blasting works were so effectively Carried out The Vibration record were under 0.3cm/sec and blasting noise was under 80dB Which was measured at the ground of house.

At a result cautious blasting works under above allowable value was not influenced the structure of house and living conditions.

On the architectural survey, They were some hair crack on the wall and floors but this was not a crack from blasting works.

1. 머리말

原設計는 TBM pilot 터널을 적용한 TBM/NATM공법으로 되어 있으나 이를 對替하는 分割式 發破 工法을 提示한 施工者 韓進 綜合 建設(株)의 터널 工法 變更 檢討書는 妥當한 것으로 思料되나이다. 이를 補完하는 뜻에서 몇가지 實例를 들어보면 첫째, 現在 施工中인 首都 高速 道路의 國民大앞 터널 工事が TBM/NATM工法 適用이다. TBM하면 回轉運動만으로 稼動하기 때문에 그 隣接에 미치는 振動이 微小한 것으로 흔히들 생각

하기 쉬우나 現場으로부터 40m 떨어진 住宅에 사는 住民이 工事 期間동안 待避한 事實이 있다. 이는 發破作業으로 인한 振動이 住宅에 미치는 振動値는 不連續性 卽 순간 間隔(25/1000秒)인데比하여 TBM은 連續性인 反復運動이라는 差異點이고 따라서 前者가 例컨대 最大 速度가 0.3cm/sec일 때 周波數는 40Hz 以上인 周波數에 比하여 后者는 最大 速度가 낮은 代身에 周波數가 元來 低周波로 나타나 境遇에 따라서는 住宅 固有 振動(8~10Hz)과 共鳴形象을 일으킬 수가 있어 結果적으로 人體에 느끼는 振動은 不快感을 느껴 上記와 같이 待避하게 된것으로 思料된다. 다음으로 指摘하고

*本會長, 火藥類管理技術士, 美國 土木技術士

싶은것은 設計當時 試錐 柱狀圖(Borehole Log)와 現場 踏查를 통해서 工法 選定의 慎重을 期해야 할 것이다.

本 地域은 서울 一帶의 基盤岩을 이루고 있는 先 坎브리아 紀에 속하는 黑雲母 片麻岩(Gneiss)으로서 大體的으로 走向(strike)는 NE-SW이고 傾斜(Dip)은 一定치 않는 편이다. 따라서 片麻岩은 오랜 變化로 調査者가 確認한 바에 의하면 片麻岩 自體는 높은 強度이나 실금(Hair crack 1~3mm) crack(균열 5~10mm)節理(joint 10~30mm) 斷層(Fault 3cm up)등이 많은 탓으로 TBM을 使用하게 되면 Cutter Head의 Jamming現象 또는 TBM 선型 離脫로 因한 問題點으로 미루어 이와 같은 경우에 TBM 使用은 敵절치 못한 것은 이미 國內 經驗을 통해서 알려져 있는 事實이다. 그 外에도 經濟 單位 分岐點(Break even point) 卽 高價 大型 裝備로 運搬 組立, 運轉 및 解體 등 많은 時間과 經費가 所要됨으로 單一現場에서 터널 길이 最短 5km 이상의 條件을 갖추어야 使用하는 것으로 알려져 있다.

2. 掘進工法

2-1. 工法選定

工法選定에 있어서 考慮해야할 것은 첫째, 試錐 柱狀圖(Bore hole Log)를 綜合한 地質 斷面圖 및 岩石 特性值를 綜合한 全體斷面圖를 면密히 檢討하여 地質 및 岩石 力學 構造에 알맞는 工法을 찾아 내고 둘째, 現場踏查를 통한 周邊 環境에 미치는 影響을 最少化 할 수 있는 길을 摸索하고 셋째, 可用할 수 있는 掘進裝備와 技能工을 正確히 把握하여 無理없는 作業이 可能토록 해야할 것이다.

따라서 이와같은 여러 面을 綜合할때 精密 發破 工法에 依한 岩盤에 금을 가져다 주고 分離된 岩은 Breaker로 때내는 方法이 가장 安全하고 效率의이며 振動 騒音을 最少化하는 工法이라 思料된다.

터널 精密發破(Cautious Blasting) 工法 設計

는 다음과 같이 作成하였다.

1. 典 斷面을 上下端으로 兩分하여 分割 點火로 辱하며

2. 初期 發破 振動의 根源이 되는 심빼기(Key holes) 中間에다 大口徑 $\phi 105\text{mm}$ 길이 4공으로 補助 自由面을 形成케 하고

3. 莫場 斷面 外廓 周邊 孔에다 吉井 理論을 應用 振動 遮斷溝 $\phi 45\text{m}$ (住宅으로부터 30m 이내는 2列 그 以上은 單列)을 穿孔한다.

4. 實孔(裝藥孔 charge holes $\phi 38\text{mm}$)사이에 上段에 限해서 空孔(Hollow Holes)를 穿孔한다. (住宅으로부터 30m 이내는 100% 그 以上은 1/2)下段은 3斷으로 分割 點火한다.

5. 點火當 掘進長

住宅으로부터 30m 이내

1.0m(1.2m ; min 0.9m(1.0m)

max 1.1m(1.3m)

住宅으로부터 30m 이상

1.4m(1.5m ; min 1.3m(1.4m)

max 1.5m(1.6m)

6. 騒音 許容值 80dB(상업지구)

振動 許容值 0.3Kine, 서울 地下鐵 公社 振動 許容值

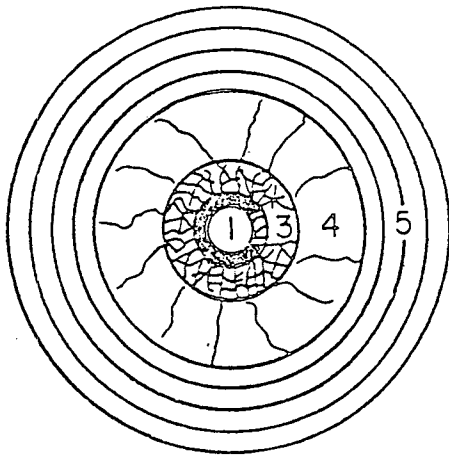
住宅街 適用에는 0.5Kine으로 되어 있으나 地下鐵 路線이 住宅 構造物 直下 25m를 通過하는 경우를 勘案 住民이 느끼지 않는 最大值는 0.3Kine을 設定한 것임.

2-2. 발파 진동의 원리

폭약이 장약공내에서 폭발하면 주위 암반은 강력한 폭굉 충격을 받게 된다. 이 때 장약된 폭약의 성질과 양에 따라 수 만~수 백만 bar에 달하는 충격압 및 높은 열이 발생한다. 이 때 그림 2.1과 같이 접촉된 암반이 고온, 고압 상태에 도다르디어 녹아내리게 되는 용융권, 폭굉압에 의해 전달파괴가 일어나 암반의 일부가 가루가 되는 분쇄권, 암반의 인장파괴가 일어나는 균열권이 발생한다.

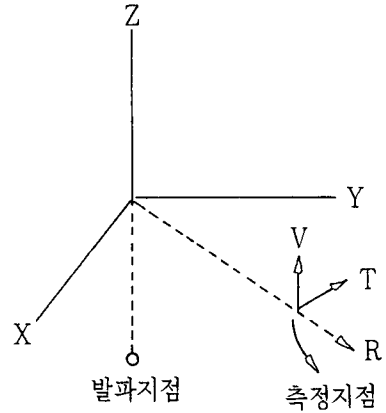
균열권의 외곽에는 폭발에서 발생한 에너지의 0.5~20%에 해당하는 나머지 에너지는 탄성파로 전환되어 암반중에 전달된다. 암반중으로 전달되는 탄성파는 종파(일명 압축파, 1차파, P파 라고도 함)와 횡파(일명 전단파, 2차파, S파라고도 함) 그리고 표면파(surface wave)로 나뉜다. 이러한 탄성파 암반중을 전파하면서 지반진동을 일으키게 되는데 한 점에서의 지면의 운동은 진폭과 주기를 갖는 진동으로 나타난다. 이와같은 발파에 의한 지반의 진동운동은 변위(displacement), 속도(particle velocity), 가속도(acceleration)의 3종류로 표시되고 있다.

지반진동의 측정은 그 방향에 따라 그림 2.2와 같이 수직성분(vertical), 진행성분(longitudinal) 그리고 이 두 파의 방향과 직각을 이루는 접선성분(transverse)의 세 방향으로 이루어 진다. 이때 진행성분에는 탄성파의 P파(종파)가, 접선성분에는 S파(횡파)와 L파(love wave)가, 수직 성분에는 표면파인 R파(rayleigh wave)가 우세하다. 이 3가지 요소의 상대적 크기는 암반, 지형 및 발파에 의하여 생성된다.



1. 폭약 2. 용융권 3. 인장균열권 4. 인장균열권 5. 탄성영역

그림 2.1 발파의 영향권



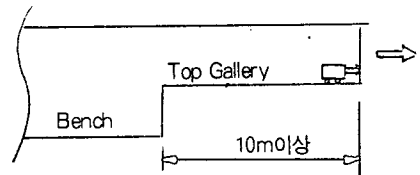
V : Vertical(수직성분)

R : Radial(진행성분)

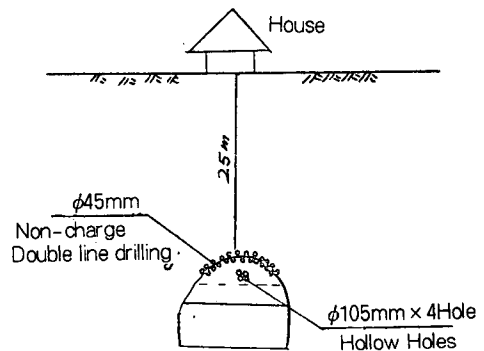
T : Transverse(접선성분)

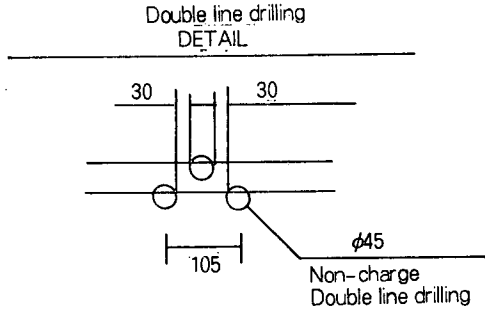
그림 2.2 지표에서 측정된 발파진동의 3성분

①

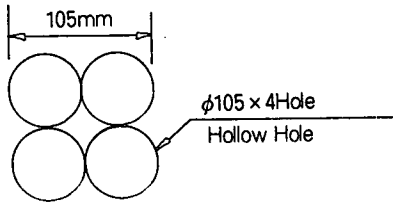


②





③ Key Hole(CTC 105)



80年初부터 當學會가 考案 서울 地下鐵 工事に 適用 지금까지 이르기까지 一般으로 通用되고 있는 서울 地下鐵 公社 實驗式에 代入하면 다음과 같다.

$$V \cdot KW^{0.5} D^{-1.75}$$

V = 진동치 (Kine cm/sec)

K = 상수 片麻岩 硬岩 57 軟岩 52

W = 遲發當 爆藥量 (kg φ25mm)

D = 爆源과의 距離 (m)

$$0.3 = 57 \times 2.164^{0.5} \times 25^{-1.75}$$

$$0.3 = 52 \times 2.600^{0.5} \times 25^{-1.75}$$

$$0.3 = 57 \times 1.616^{0.5} \times 23^{-1.75}$$

$$0.3 = 52 \times 1.942^{0.5} \times 23^{-1.75}$$

$$0.3 = 57 \times 7.754^{0.5} \times 36^{-1.75}$$

$$0.3 = 52 \times 9.317^{0.5} \times 36^{-1.75}$$

$$0.3 = 57 \times 4.096^{0.5} \times 30^{-1.75}$$

$$0.3 = 52 \times 4.922^{0.5} \times 30^{-1.75}$$

2-3. 精密發破 裝藥量 限界 產出(遲發當 裝藥量, 爆源과의 距離 및 振動值 間 函數關係)

以上 遲發當 裝藥量은 最大值임으로 pattern 作成 時 關係는 그 以下로 調整하였다.

2-3-1. 當學會 發破實驗式

종 별 조 건	서울지하철 공사 실험식				
	$V=41\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.41}$	$V=124\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.66}$	$V=100\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.66}$		
폭원-구조물 간의 거리	-100m	+100m	+100~300m	$V=KW^{0.57} D^{-1.75}$ (Granite)	$V=KW^{0.5} D^{-1.5}$ (Gneiss)
Bit Gage	φ60~70mm	φ60~70mm	φ60~70mm	φ36~38mm	
사용화약류	KOVEX, M/S 전기뇌관	KOVEX, M/S 전기뇌관	KOVEX, M/S 전기뇌관	KOVEX, M/S 전기뇌관	
천공방식	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut, Tunnel	

비고 : Bench Cut 실험식은 편마암(염암--보통암)에서 실험한 것임

단, V = 진동치(cm/sec), K = 상수, W = 지발당 장약량(kg), D = 폭원과의 거리(m)

2-3-2. 大韓火藥技術學會 技術資料

2. 發破振動이 建物에 미치는 影響值

1. 發破振動이 人體 感覺에 對한 許容值

	區 分	許容值(Keine) (地盤의 垂直值)
1 (平均值)	感知할수 없다.	0.03以下
	感知할수도 있다.	0.03~0.1
	振動으로 若干의 陳情이 나온다.	0.1~0.5
2 (新幹線 工事 實測值)	振動顯著로 陳情이 많다.	0.5~1.0
	거의 無感, 振動計에 記錄될 程度	0.30~0.05
	겨우 感知 感知된다.	0.05~0.10 0.10~0.25

	區 分	許容值(Kine) (地盤의 垂直值)
1 (平均值)	被害發生 없다.	1.0以下
	龜裂被害 發生可能性	1.0~3.0
	큰 龜裂發生 可能性 있다.	3.0以上
2 (新幹線 工事 實測值)	避害發生 없다.	1.0以下
	沐浴湯, 부역의 Tile이 떨어지는 狀態	3.0

2-3-5. 독일의 예 : German Vibration Standards, DIN 4150 Blatt 3

Class	Type of Construction	Peak Pseudo Vector Sum Particle Velocity, cm/sec
I	Ruins, ancient and historic building given antiquities protection	0.2 유적, 문화재, 컴퓨터
II	Buildings with visible damage and cracks in masonry	0.4, 주택
III	Buildings in good condition, possibly with cracks in plaster	0.8, 상가
IV	Industrial and concrete structures without plaster	1.0~4.0, 철근콘크리트

3-2. 주파수 특성을 고려한 규제기준(독일, 1983년)

Type of Construction	Safety Velocity, cm/sec		
	Seismic Transient Predominant Frequency		
	<10Hz	10~50Hz	50~100Hz
Particularly Delicate	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0
Residential	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
Industrial	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0

3-7. 정밀발파 작업지침

1) 發破作業은 上段(AB) 下段 ABC로 區分한다.

2) 裝填孔은 비트 徑 38mm 및 周邊 外廓 line drilling 45mm, 심빼기 孔은 $\phi 105\text{mm}$ 로 使用하고 지렛대 및 줄자를 利用하여 最少 抵抗線(Burden)과 孔間距離(Space) 및 穿孔長을 確認하여 正確을 期할 것.

3) 裝藥前 Blow Pipe로 穿孔 Hole 속의 殘物을 除去하여 完爆에 萬全을 期할 것.

4) 裝藥時 逆기폭 方式으로 裝填하고 전색을 잘 다지되 空發로 因한 大爆音發生 豫防을 留意해야 한다.

5) 電氣雷管의 結線方式은 Wide-Spread로 하며, 飛石防止를 期하고 장마 時 번개, 천둥 時는 發破作業을 禁한다.

6) 發破振動計器는 計測記錄이 Kine, 周波數變位 및 加速度 등이 表示되어야 하며, 發破專用計器 InstanTel-277 Blastmate를 使用하거나 이와 同等한 機器를 使用한다.

7) 試驗發破場所는 最短距離 內에 있는 構造物 地上에서 各 2회로 한다.

8) 發破振動 許容基準値는 서울 地下鐵公社 規準에 依한 住宅街 適用 0.5cm/sec보다 弱한 0.3cm/sec를 擇한다. 人間이 느끼기 始作하는 振動値는 0.2cm/sec이다.

4. 맺는말

本 地下鐵 工事 現場은 地上의 住宅商街 構造物에 미치는 發破 振動 및 騒音 影響을 最少化하기 爲해서는 既述한바와 같이 금(crack)을 가게 하는 精密發破 工法으로 施工하되 나머지 岩을 때내는 工程은 브레카(Breaker)作業으로 掘進하는 方式을 擇했다. 掘進穿孔 Pattern은 다음과 같이 10枚 作成하였다.

複線-硬岩 軟岩-誘致線

1. STA 28 K 420(東官 APT) 住宅과의 거리 25m
2. STA 28 K 900(학술院) 住宅과의 거리 36m (22+29)
3. STA 31 K 100(사방 橋) 住宅과의 거리 22m(13+18)
4. STA 30 K 390(방배 聯立 住宅) 住宅과의 거리 23m(14+18)
5. STA 30 K 500(방배 고개) 住宅과의 거리 30m(27+14)

施工의 萬全을 期함으로써 이 어려운 掘進 作業이 成就될 것으로 思料되며 試驗發破를 통해서 住民들에게 理解를 시킬수 있도록 機會를 마련하였다. 따라서 數次에 걸친 試驗發破結果 發破振動値는 許容振動値 0.3cm/sec을 넘지 안했으나 騒音의 節減을 위해서 不得已 多段 發破器(Sequential Blasting machine)을 가지고 80dB以下로 줄이게 되었다.

Bangbae-Dong, 944-4, Wonil Bldg.
02-587-0231-4

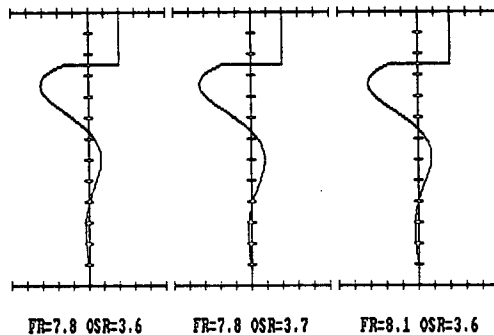
EVENT SUMMARY SHEET

EVENT TYPE Full Waveform
SERIAL NO. 1993 V5.3-677
CODE C9935HZA.50I
TIME & DATE Mic. at 17:34:12 Jul 15, 1995
TRIGGER SOURCE Geo or Mic 0.90 mm/sec 80.8 dB(A)
RECORD TIME 8 sec. stored in Format 3

LOCATION 7-20 Sub Way
CLIENT Baick ill Co.LTD
USER
NOTES T/L
SCALED DISTANCE 51.5 (28.3 m, 0.3 kg/delay)

PEAK VECTOR SUM 2.75 mm/sec at 2980 ms
MICROPHONE A WEIGHTING
PK AIR 86.2 dB(A) at 656 ms
ZC FREQ N/A
BATTERY LEVEL 6.1 volts

	TRAN	VERT	LONG	
PPV	2.03	2.16	2.54	mm/sec
ZC FREQ	51	N/A	64	Hz
FFT FREQ	1	68	62	Hz
TIME (REL.TO TRIG)	1196	2958	2980	ms
ACCEL	0.09	0.12	0.09	g
1/4 WAVE DISP	0.007	0.005	0.007	mm
SENSORCHECK	Passed	Passed	Passed	



INTERNAL MIC CHANNEL TEST: Passed Freq = 20 Amp = 525

CALIBRATED ON Jul 8, 1994 by INSTANTEL INC.

Copyright © InstanTEL 1988-1994

Bangbae-Dong, 944-4, Wonil Bldg.
02-587-0231-4

CODE C9935HZA.501

EVENT WAVEFORMS

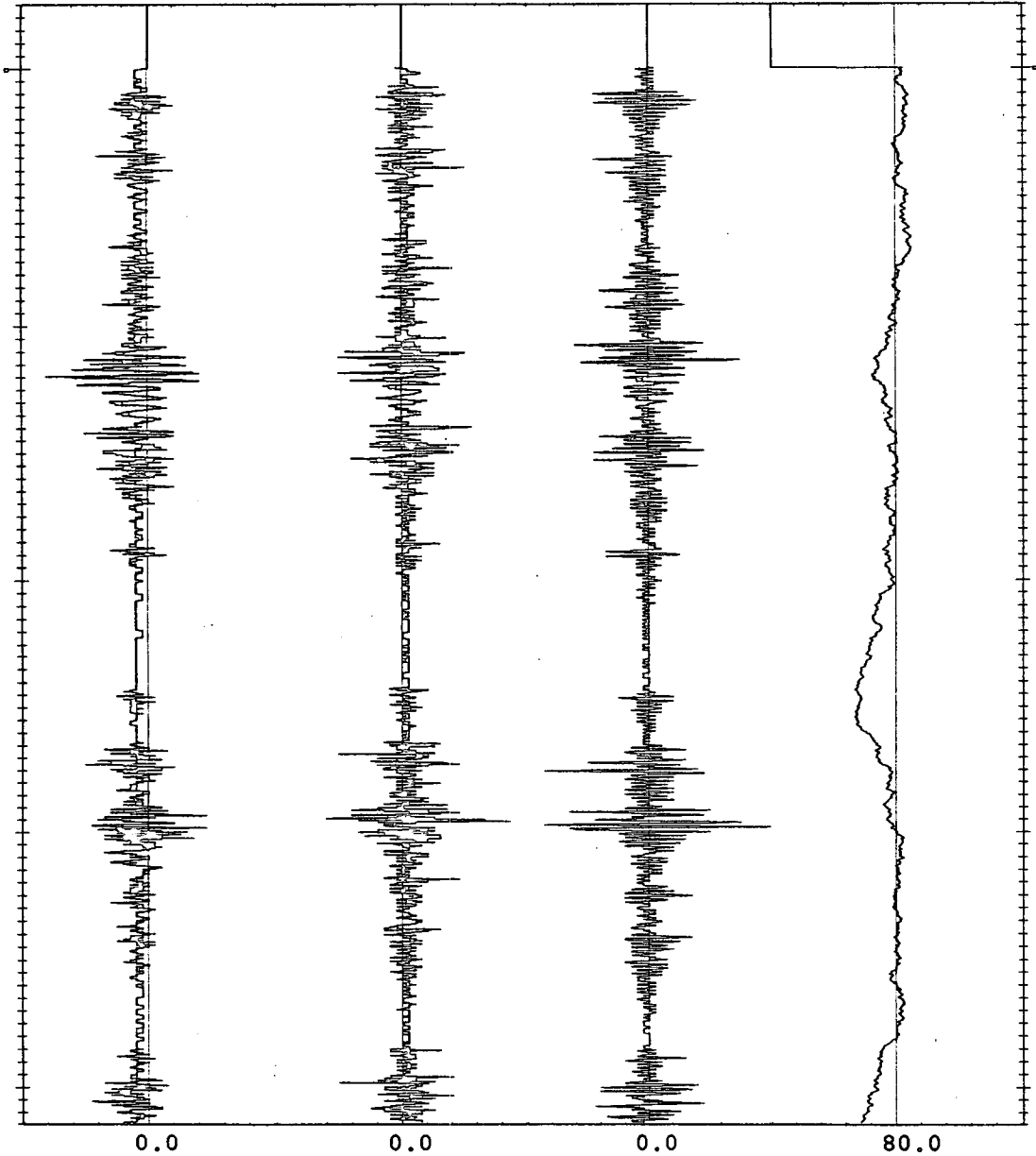
PAGE 01 of 2

TRANSVERSE

VERTICAL

LONGITUDINAL

MICROPHONE



AMPLITUDE SCALE:GEO: 0.50 mm/sec/div

MIC: 10.0 dB(A)/div

TIME SCALE: 50 msec/div 4.393 sec/page

TRIGGER = —

Copyright © InstanTEL 1988-1994

Bangbae-Dong, 944-4, Wonil Bldg.
02-587-0231-4

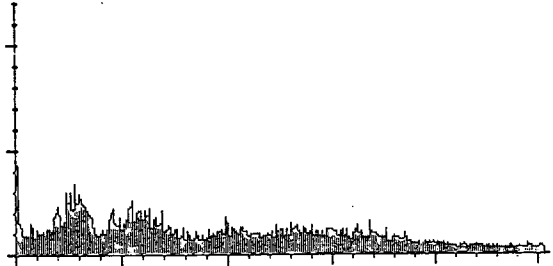
CODE C9935HZA.50I

FREQUENCY SPECTRUM

TRANSVERSE

Y AMPLITUDE:
0.005 mm/sec/div

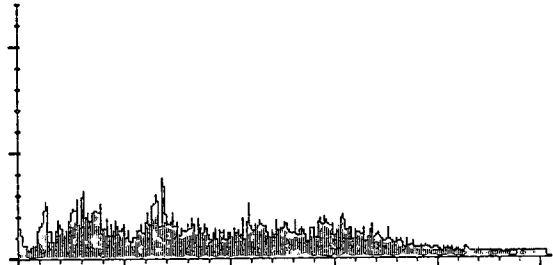
X FREQUENCY:
10 Hz/div



VERTICAL

Y AMPLITUDE:
0.005 mm/sec/div

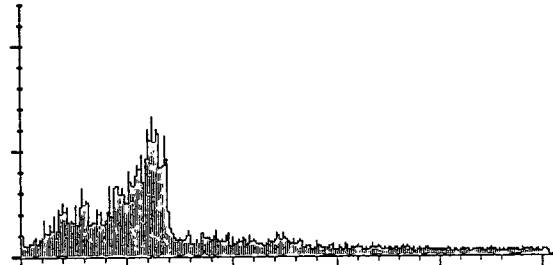
X FREQUENCY:
10 Hz/div



LONGITUDE

Y AMPLITUDE:
0.005 mm/sec/div

X FREQUENCY:
10 Hz/div

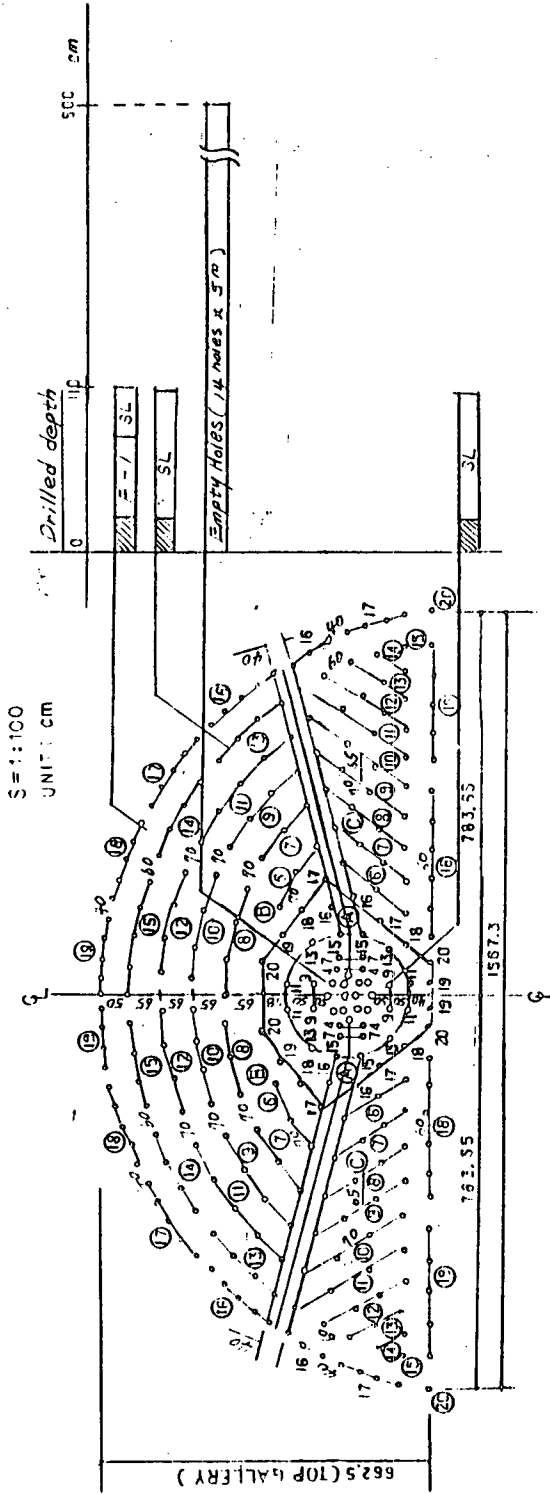


MICROPHONE

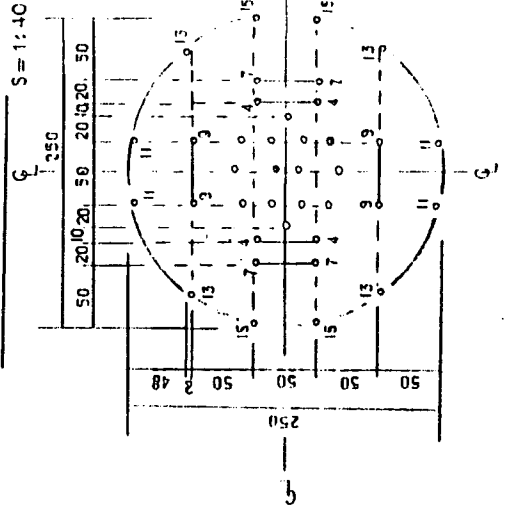
FFT NOT APPLICABLE FOR MIC. CHANNEL WITH 'A' WEIGHTING

Copyright © Instantel 1988-1994

서울지하철 7-20공구 방배연립주철 TUNNEL (DRILLING & IGNITION PATTERN (STA 30K 390))



CENTER CUT DETAIL



NOET :

- 1) 뇌관 번호를 절대 염수해야 한다.
- 2) ○ : DSD Others MSD
- 3) Burden : 65cm, Spacing : 70cm
- 4) 도면을 확대복사하여 사용할것

CHARGE CALCULATION

DRILLED DEPTH	m	DETONATOR	PCS
ANVANCE	m	CHARGE	Kg
NUMBER OF HOLES	Holes	SPECIFIC DETONATOR	PCS/m ³
TOTAL DRILLED DEPTH	m	SPECIFIC DRILLED DEPTH	m/m ³
FACE AREA	m ²	SPECIFIC CHARGE	Kg/m ³
EXCAVATED SOLID ROCK OF FULL FACE	m ³		

Face	Round	Classification	Cap No.	Number of Hole	Amount of Charge						Total g	Remarks
					Slurry(K-100)		F-1		F-2			
					φ25m × 433mm × 250g/pc		φ17m × 425mm × 100g/pc		φ m × mm × g/pc			
					per hole	Sub-total	per hole	Sub-total	per hole	Sub-total		
		pcs	pcs	pcs	pcs	pcs	pcs					
㉠ (cut) (심베기)	1	Cut Holes	Ms4.7.9	12	1.5	18					4,500	MS만 사용
		Cut Spreader H	11.13.15	12	1	12					3,000	
		Stoping H	16~18	16	1	16					4,000	
		Foot H	19~20	4	1.5	6					1,500	
		Empty H	--	(14)	--	--						
		Sub Total	--	(14)	44		52pcs					
				58		13,000g					13.0kg	
㉡ (상단)		上 段	DS사용 (3, 4 Circuit)									DS만 사용
		Stroping H.	DS 6~15	78	1	78					19,500	
		F-1 Line	16~19	39	1/2	19.5	1	39			8,775	
		Sub Total	--	117		99.5pcs		39pcs			28,275g	
				117		24,375g		3,900g			28,275kg	
㉢ (하단)		下 段	DS사용 (1, 2 Circuit)									DS만 사용
		Stoping H.	DS 6~15	66	1	66					16,500	
		F-1 Line	16~17	14	1/2	7	1	14			3,150	
		Foot H.	18~20	24	1.5	36					9,000	
		Sub Total	--	104		109pcs		14pcs			28,650g	
				104		27,250g		1,400g			28.65kg	
G T o p e r y	-	Total	-	(14) 265 279		258.5pcs		53pcs			69,925g	
					64.625g		5,300g			69.925kg		

4th Sequential Blasting Ignition Pattern Table

Total Circuit time 60ms

Order	Circuit No.		1st		2nd		3rd		4th		Remarks	
	Circuit interval		0 ms		10ms		25ms		25ms			
	Cap No	Cap time	EA	Cap time	EA	Cap time	EA	Cap time	EA	EA	Move Delay Time	
1	MS # 4	75MS	1	85MS	1	110MS	1	135MS	1	4	0MS	
2	7	160	1	170	1	185	1	210	1	4	85	
3	9	250	1	260	1	285	1	310	1	4	90	
4	11	350	1	360	1	385	1	410	1	4	100	
5	13	450	1	460	1	485	1	510	1	4	100	
6	15	570	1	580	1	605	1	630	1	4	120	
7	16	640	1	650	1	675	1	700	1	4	70	
8	17	710	1	720	1	745	1	770	1	4	70	
9	18	800	1	810	1	835	1	860	1	4	90	
10	19	900	1	910	1	935	1	960	1	4	100	
11	20	1,000	1	1,010	1	1,035	1	1,060	1	4	100	
12	DS 6	1,250	3	1,260	3	1,285	3	1,310	3	12	250	
13	7	1,500	4	1,510	4	1,535	3	1,560	3	14	250	
14	8	1,750	4	1,760	4	1,785	4	1,810	3	15	250	
15	9	2,000	4	2,010	4	2,035	4	2,060	4	16	250	
16	10	2,300	4	2,310	4	2,335	4	2,360	4	16	300	
17	11	2,700	4	2,710	4	2,735	5	2,760	5	18	400	
18	12	3,100	4	3,110	4	3,135	4	3,160	4	16	400	
19	13	3,500	3	3,510	3	3,535	4	3,560	4	14	400	
20	14	4,000	2	4,010	2	4,035	4	4,060	4	12	500	
21	15	4,500	1	4,510	1	4,535	4	4,560	5	11	500	
22	16	5,100	3	5,110	3	5,135	5	5,160	5	16	600	
23	17	5,700	4	5,710	4	5,735	5	5,760	5	18	600	
24	18	6,300	6	6,310	6	6,335	5	6,360	5	22	600	
25	19	6,900	5	6,910	5	6,935	4	6,960	5	19	600	
26	20	7,500	2							2	600	
TOTAL		64		62		69		70		265EA		