
Standardization of Cautious blasting

Ginn Huh
Engr.Dr.P.E

ABSTRACT

First of all, under given condition such as bit gage of 36mm Drill bit with right class of jack-leg - experimental test carried out from two face of Bench, firing of each hole brought 90 degree Angle face and them measured length of Burden and charged ammount of powder as following.

$$Ca = \frac{A}{SW}$$

A= Activated Area

$$A=ndi=m$$

S= Peripheral length of Charged, room

Ca= Rock Coefficiency

d: di= Hole diameter

When constructed subway of Seoul in 1980 the blasting works increased complaint of ground vibration, in order to prevent the damage to structures. Some empirical equations were made as follows on condition with Jackleg Drill (Bit Gage 36mm) and within 30 meter distance between blasting site and structures.

$$V = K (D/W)^{-N}$$

$$N = 1.60 - 1.78$$

$$K = 48 - 138$$

Project is one of contineous works to above a determination of empirical equation on the cautious blasting vibration with Crawler Drill (70-75mm) in long distance.

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

$$30m \leq D \leq 100m$$

$$V = 124 (D/\sqrt[3]{W})^{-1.66}$$

$$100m \leq D \leq 285m$$

精密發破의 標準化

許 墳
工學博士 技術士

1. 緒 言

요즈음의 都心地發破는 地下鐵工事を 비롯하여 韓電의 電力溝(Power-line tunnel), 通信公社의 通信溝(Comm-cable tunnel), 및 再開發事業으로 인한 빌딩基礎의 터파기 등 多樣化 되어가고 있다. 따라서 精密發破로 인한 地盤振動의 크기는 火藥類의 種別特性, 裝藥量, 裝填密度, 自由面의 數, 最少低抗線과 孔間距離間의 維持, 爆源과 測點間의 距離 및 地質條件에 따라 相互函數關係가 있음을 알아냈다.

本 精密發破의 標準化는 設計 및 發破施工者에게 指針書로서 많은 參考가 되리라 믿는다.

2. 火藥類의 開發

過去 1世紀 동안 王者를 차지했던 「dynamite」는 保存의 確保, 作業의 安全性 및 經濟的面에서 ANFO 爆藥時代를 거쳐 漸次含水爆藥時代로 轉換되고 있는 實情이다.

最近 火藥類의 使用은

1) 保安上の 觀點: 含水爆藥, 硝油爆藥

2) 掘鑿工法의 效率化: 精密爆藥 및 M/S 電氣雷管

3) 發破公害上の 觀點: 振動節減爆藥 등으로 多樣化 되고 있는 實情으로 여기서는 오늘날의 産業火藥界의 現況과 外國의 火藥類에 대하여 比較코져 한다.

2-1 消費 pattern

1981年 以來 우리나라의 年間火藥 消費量은 2萬6千ton으로 東南亞에서는 日本의 7萬ton에 이어 2位를 차지하고 있다.

爆藥의 種類는 美國은 이미 10年前에 「dynamite」가 硝油爆藥과 含水爆藥으로 完全히

代替되었으며 日本에서도 1975年을 起點으로 硝油爆藥과 含水爆藥이 全消費量의 60% 이상을 占하고 있다. 우리나라는 先進諸國에 비해 아직도 dynamite가 67%, 硝油爆藥과 含水爆藥이 32%에 머물고 있는 狀態로 需要와 消費 兩面에서 여러가지로 檢討해야할 問題點을 提示하고 있다.

또한 部門別 用途에 있어서도 從來의 炭礦爲主에서 1981年 以來 地下鐵 및 貯油施設 등 地下空洞의 建設에 힘입어 建設이 36%, 炭礦이 31%로 轉移되고 있는 現狀을 나타내고 있음은 앞으로 爆藥使用의 多樣化를 證明하고 있는 것이다.

2-2. 含水爆藥(Slurry)

dynamite는 Nitrogel을 基劑로하여 여러가지로 만들어진다. 그후 硝油爆藥(AN-FO)이 開發되어 廉價에다 經濟的인 利點으로 早速한 普及을 가져왔으나 吸濕性이 있어 水孔에는 使用할 수 없는 흠이 있었다. 이 點을 改良한 것이 Canada의 鑛山 技師 N.E.Farman과 美國의 M.A.Cook 教授의 共同研究에 의해서 1956年 처음 開發된 含水爆藥이다.

우리나라에서는 1977年 M.A.Cook博士의 資料提供으로 筆者에 의해서 Slurry의 試作品을 製造, 試驗發破에 成功한바 있으나 5年後인 1982年 10月 서울 무악재 地下鐵 崩壞事故時 「dynamite」가 主犯인것이 動機가 되어 韓國火藥 maker에서 國產 Slurry 즉 Kovex를 市販하게 되어 서울地下鐵公社에 첫선을 보임으로서 實用化 段階에 들어간 것이다.

含水爆藥의 特徵은 衝事, 摩擦, 火災等에 대

하여 比較的 安全하며 또한 發破後 gas가 良好한 것이라 할 수 있다. 예컨대 tunnel 막장에서 不發殘留藥事故의 日本의 統計에 의하면, 鑿岩 bit의 衝事으로 因한 爆藥比率을 보면 dynamite가 26/120 인데 비해 含水爆藥은 0/1831의 比率로 報告되어 있다. 發破後 gas에 대하여도 使用條件에 따라서 差異가 있으나 坑內用「dynamite」에 비해서 gas 및 煙氣가 越等하게 적은 便이다. 그러나 死壓現象이 일어나기 쉬우므로 深水中에서는 不發이 되는 수도 있으며, 또한 段發發破時 隣接孔의 衝專影響을 받게 되는 때는 孔間 間隔을 늘릴 必要가 있다.

3. 發破振動 實驗公式

○ 標準發破 (單一發破)

發破作業의 施行에 앞서서, 爆破될 岩石에 대하여, 選定된 爆藥의 適否를 判斷해야 함은 勿論, 岩石 및 爆藥에 대한 係數를 求하여 이를 基準으로 裝藥量을 計算하여 其他의 發破計劃을 樹立하여야 한다. 그러므로 破壞岩石의 크기 및 飛散의 狀況, 採石의 目的, 周圍狀況에 대한 安全度 및 經濟的인 面을 檢討하여 가장 理想에 가까운 標準發破를 採擇하여야 한다. 標準發破에 의하여 最少抵抗線 및 岩石係數를 算出하는 例를 들면 다음과 같다.

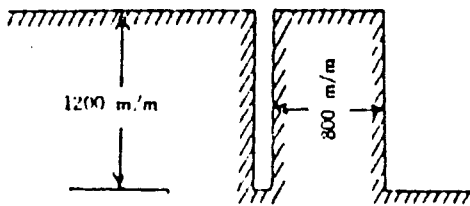


그림 1 標準發破例示圖

〈例〉筆者가 上東鑛山에서 實驗한 바에 의하면 다음과 같다.

岩 種 : 硅長石 및 硅斑岩

使用爆藥 : 國產 Gelatine St. Dy 60 % (Primer), ANFO藥包 封筒紙入 5個 裝填

〈計算例 : 1〉

發破孔 $d_1 = 35 \text{ mm}$ 藥徑 $d_2 = 32 \text{ mm}$
 $16^2 \pi : x = 17.5^2 \pi : 1200$

$$x = \frac{16^2 \pi \times 1200}{17.5^2 \pi} = 1003 \text{ mm}$$

$$nd_1 = m = \text{藥室長} \quad n = \frac{m}{d_1} = \frac{1003 \text{ mm}}{35 \text{ mm}}$$

$$= 28.7 \text{ 倍}$$

따라서 岩石係數

$$Ca = \frac{A}{SW} = \frac{nd_1}{2W(n+1)}$$

$$= \frac{28.7 \times 35}{2 \times 800 \times (28.7 + 1)} = 0.0211$$

反對로 W를 求하려면

$$W = \frac{nd_1}{2Ca(n+1)} \text{ 를 使用하면 된다.}$$

A : 壓力의 作用面積

S : 藥室周邊長

Ca : 岩石係數

d_1 : 孔徑

d_2 : 藥徑

○ 發破作業으로 야기되는 發破振動은 遲發當裝藥量, 爆源과 測點間의 거리 등의 函數關係가 있으며 一般的으로 通用되고 있는 다음 公式을 採擇하였다.

$$V = K \left(\frac{D}{W^b} \right)^n$$

V = 地盤의 振動值 (cm/sec)

W = 遲發當裝藥量 (kg)

D = 爆源과 測點間의 거리 (m)

K = 常數

b = 裝藥指數

n = 減衰指數

따라서 筆者는 서울市 研究費를 가지고 李慶雲, 林漢旭 兩博士의 協助를 얻어 6個月間의 試驗發破를 거쳐 다음과 같은 實驗公式을 開發 서울地下鐵 3, 4號線建設工事に 適用함으로써

都心地發破의 새로운 章을 열게된 것이다. 1986年 11月 中國 北京에서 開催된 國際岩盤力學會에서 筆者의 論文發表로 公認을 받게된 서울 地下鐵公社發破振動實驗式 (Bit gauge ϕ 36 mm)은 다음과 같다.

3-1. Kovex 爆藥과 M/S 電氣雷管點火時
 서울花崗岩 $V = KW^{0.57} D^{-1.75}$
 片 麻 岩 $V = KW^{0.5} D^{-1.5}$ (但 $D < 30m$)

3-2. 微振動破碎器 (CCR) 使用時

$$V = 7W^{0.5} D^{-1.75}$$

이상 記述한 實驗公式은 爆源과 測點間의 거리가 都心地에서의 隣接建物構造物에 관한 것으로 3-1은 30 m 이내 3-2은 5 m 이내의 近距離에 適用되는 것이며 遠距離의 경우는 다음 3-3公式을 適用하되 K值는 現場測定結果를 逆計算하여 算出한다.

3-3. 發破振動實驗式 (大韓火藥技術學會 實驗式 Bit gauge ϕ 70 mm)

+ 30 m ~ - 100 m

$$V = 41 (D/W1/3)^{-1.41} \dots \dots R = 0.69$$

+ 100 m

$$V = 124 (D/W1/3)^{-1.66} \dots \dots R = 0.782$$

1) 測定距離가 길어지면 減少되고 低周波數만이 計測되어 그 適合度는 상대적으로 높아진다.

2) K값은 距離가 길어질수록 爆藥의 威力이 커질수록 증가하는 傾向을 보인다.

3) 감쇄지수 n는 大體的으로 1.6을 中心으로 變化하나 어떤 경향을 찾기 어렵다.

따라서 Sweden의 Langefors는 이 n값을 1.6으로 固定하고 發破때마다 K값을 구하고 있다.

$$\text{즉 } V = K(D/3\sqrt{W})^{-1.6}$$

4) 大規模 發破일수록, 穿孔배열등의 요인에 대한 영향이 적어져서 適合度가 높은 發破진동식을 구할 수 있고 이에 依한 보다 正確한 發破振動의 豫測이 가능하다. 그러나 거리가 짧고 小量의 爆藥을 이용하는 경우 各 測定項目의 오차에 따라 큰 分散을 나타내므로 計測時이 點에 유의해야 할 것이다.

4. 隣接建物構造物에 미치는 發破振動 許容值

나라마다 地質條件에 따라 環境法으로 구별되어 있으나, 서울 地下鐵建設當時 Kaist에서 추천한 다음 表가 서울 地下鐵公社 發破振動許容值로 규정되며 이에 準하여 工事を 無事히 끝마치게된 것이 契機가 되어 우리나라에서는 一般的으로 適用되고 있다.

서울 地下鐵公社 發破振動 許容值

區 分	I	II	III	IV
建 物 分 類	文 化 財	住宅, 아파트 실 금이 나타나 있는 程度	商街 금 (crack)이 없는 狀態	鐵筋콘크리트빌딩 및 工場
建物基礎에서의 許容 振動值 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0 ~ 4.0

備考: (1) 위 表는 西獨의 Vornorm DIN 4150, Teil 3를 基準하였음.

(2) 周波數는 약 100 Hz 까지 通用된다.

5. 發破振動의 基本的인 特徵은 다음과 같다.

○ 發破振動은 火藥類의 爆發에 의해서 發生하는 것으로서 藥量에 따라 달라지나 地震에 비하면 微少한 Energy에 不過하다. 따라서 爆

源을 中心으로 한 좁은 範圍에 限定되며 地表面 局部에 問題가 되고, 爆源으로부터 멀어지면 距離의 1.5 ~ 2.0 自乘으로 急激히 減衰한다.

○ 地震의 周波數가 數 Hz에 不過한데 비해 發破振動은 10 ~ 200 Hz로 높고 持續時間이

1秒内로 아주 짧다.

火藥類의 爆破 energy가 振動을 發生하는 것으로 爆發終了와 同時에 振動도 消滅한다.

5-1. 發破振動과 爆藥의 關係

○ 振動速度: 裝藥量이 2/3 ~ 3/4 自乘에 比例하여 增大되며 爆速이 빠를수록 커지는 傾向이 있다.

○ 周波數: 裝藥量이 클수록 周波數는 低下되나 爆速이 빠를수록 周波數는 높아지는 傾向이 있다.

○ 變位振動: 裝藥量의 增大와 더불어 커진다.

5-2. 發破振動과 岩質의 關係

- 變位振幅: 硬岩일수록 적어진다.
- 周波數: 硬岩일수록 높아진다.
- 繼續時間: 軟岩에 비하여 硬岩이 짧다.

○ 距離에 의한 減衰: 硬岩에 비해 軟岩이 減衰가 顯底하며 數種의 岩層을 通過하므로서 振動은 減衰된다.

5-3. 發破振動과 發破 pattern의 關係

○ 抵抗線(Burden): 抵抗線이 적을수록 振動은 輕減된다.

○ 分離發破: M/S, D/S 遲發點火에 따라 發破振動은 輕減分離 된다.

○ 自由面: 自由面이 많을수록 發破振動은 적어진다. 無裝填孔, line drilling, 制御工法(controlled blasting) 등이 이에 屬하며 심빼기(cut)에 있어서도 角型 심빼기(Angle cut)보다는 平行型 심빼기(para cut)를 擇하는 理由이다.

○ 填塞效果: 填塞은 密閉效果가 높을수록 發破效果는 良好하나 發破振動은 커질수 있다.

<表 5-4> 日本 氣象廳震度階表(速度值도 對應시킨)

震度階	名稱	被害損傷의 程度	加 速 度 (gal)	速 度 (Kine)
震度 0	無 感	人體가 느끼지 않음 地震計에 記錄될 程度	0.8 以下	0.13 以下
震度 1	微 震	靜止하고 있는 사람이나 특히 注意깊은 사람만이 느낌	0.8 ~ 2.5	0.13 ~ 0.4
震度 2	輕 震	많은 사람이 느끼고, 門과 미닫이가 약간 움직이는 것을 알게됨	2.5 ~ 8.0	0.4 ~ 1.26
震度 3	弱 震	집이 흔들리고, 門과 미닫이가 鳴動하고, 전등이 흔들린다.	8.0 ~ 25	1.26 ~ 4.0
震度 4	中 震	家屋의 動搖가 激甚하고, 농임이 나 뿐 꽃병 등이 넘어지고, 견고 있던 사람도 느끼고, 많은 사람이 屋外로 뛰쳐나온다.	25 ~ 80	4.0 ~ 12.6
震度 5	強 震	壁이 갈라지고, 墓石等이 넘어지며 연통, 들담이 破損되거나 한다.	80 ~ 250	12.6 ~ 39.8
震度 6	烈 震	家屋이 倒壞 30% 以下, 山이 崩壞되고, 땅이 갈라지며 많은 사람들은 서 서 있을수가 없다.	250 ~ 400	39.8 ~ 63.7
震度 7	激 震	家屋의 倒壞 30% 以上, 山이 崩壞되고, 땅이 갈라지고, 斷層等이 생긴다.	400 以上	63.7 以上

따라서 發破振動輕減을 위해 cushion 作用을 利用하는 制御工法을 適用하는 것이다.

< 表 5-5 >

發破音에 對한 人間과 構造物의 影響

〔一般音〕 A	dB	〔一般音〕 B	〔發破音〕
	180		構造物破損
튼튼한 窓유리 破損	160	中程度의 jet 機音	
허술한 窓유리 破損 人間 귀의 騒音安全基準	140	큰 propeller 비행기音	대체의 窓이 파손 어떤 종류의 窓이 파손
		空襲 siren	被害가 없는 限界
提案된 發破에 의한 最大許可 level	120		住民의 水平不滿의 시작 窓이 덜커덜덜커덜 흔들린다.
	100	통조림製造工場 大都市 交通騒音 地下鐵騒音	
	80	繁忙事務所	
	60	標準的 말소리 個人的 事務所	
	40	조용한 住宅 (병실)	
	20	속삭임	
	0	- 可聽下限	

〔備考〕 一般音 A와 B는 各各의 文獻에 의함.

6. 岩種과 最小抵抗線 및 孔間距離 關係表

發破設計에 있어서 穿孔配置圖(Drilling Pattern) 作成은 반드시 該當 岩種에 對한 標準發破에서 얻어낸 最少抵抗線을 基準으로 하

여 作成되어야 한다. 精密發破에서 많이 使用되고 있는 小型鑿岩機(Bit Gage ϕ 36mm) 使用爆藥은 Kovex ϕ 28 mm, 點火는 M/S 電氣雷管을 使用하여 다음과 같이 適用한다.

Bit徑 (Jack leg) ϕ 36 mm

岩種		I	II	III	IV	V	備考
ϕ 36 mm Bit Gage	硬岩 (stable rock)	普通岩 (moderately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟岩 (fractured friable rock)	風化岩 (instable plastic & squeezing rock)	麻砂土 (highly plastic squeezing & swelling ground)		穿孔長最大 터널: 1.5 m 露天: 2.4 m
	最少抵抗線(cm)	60 ~ 65	65 ~ 70	70 ~ 75	75 ~ 80	80 ~ 85	
	孔間距離 (cm)	터널 2自由面 (개착식)	65	70	75	80	85
		70	75	80	85	90	

Bit徑 Jumbo ϕ 45 %, Crawler drill ϕ 70 %

岩種		級	I	II	III	IV	V	備考
Burden	터널	硬岩	60 ~ 65	65 ~ 70	70 ~ 75	75 ~ 80	80 ~ 85	Jumbo ≡ 穿孔長 250 ~ 300 Crawler Orill 穿孔長 300 ~ 900 但, 本 DATA는 非實驗值
最少抵抗線 (cm)	露天	普通岩	100	150	200	250	300	
Hole spacing	터널	軟岩	65 ~ 70	70 ~ 75	75 ~ 80	80 ~ 85	85 ~ 90	
孔間距離 (cm)	露天	風化岩	150	200	250	300	350	

岩種分類 및 爆種間的 最少抵抗線 函數關係表

(單位: cm Bit Gage ϕ 36 mm)

區分	岩種	I (硬岩)	II (普通岩)	III (軟岩)	IV (風化岩)	V (麻砂土)
다이나마이트 (G.D.)		60	65	70	75	80
含水爆藥 (Slurry)		58	63	68	73	78
硝安爆藥		55	60	65	70	75

7. 發破工法

Tunnel 掘進發破에서 심빼기 結果의 成否는 tunnel 掘進 및 破碎粒度에 直接 影響을 주게 되므로 從來부터 여러가지 方法이 施行되고 있으나 大別하면 다음과 같다.

- 角度심빼기 (Angle cut): V cut, Pyramid cut Fan cut)
- 平行심빼기 (Parallel cut): Burn

cut (小口徑), Cylinder cut (大口徑), under para-cut

Angle cut은 倭政時代부터 傳해오는 在來式으로 많이 普及되고 있으나 角度 穿孔으로 因하여 斷面의 크기에 따라 進行長이 制限을 받게되며 穿孔長間에 큰 差를 가져오고 있다. 그리고 掘進長을 늘리기 위해서는 通常의인 角度穿孔 (1 種類)으로는 抵抗線이 크게 되어 2

重, 3重의 심빼기공이 必要하게 되는 不便이 過重될뿐만 아니라 裝填藥의 다짐에 따른 影響이 振動을 크게 하여 都心地 發破로는 不適當하다. 이에 비하여 平行심빼기는 막장면에 直角으로 穿孔하게 되므로 터널斷面に 구애됨이 없이 掘進長을 잡을수 있다. 또한 鑿岩機의 改良과 더불어 穿孔 精密度도 높아졌으며 穿孔時 既 穿孔한 구멍에 다짐棒을 꽂아 넣고 이 다짐棒에 平行하게 穿孔하므로서 未熟練工이라도 容易하게 穿孔할 수 있고 密裝填이 必要없으므로 安全作業과 振動減少에도 有利한 方法의 하나이다. 小口徑 Burn cut는 지난 1953年 筆者가 上東嶺山에서 우리나라에서는 처음으로 試圖하여 開發, 實用化된 바 있으며 工學博士學位論文의 主題이기도 하다.

지난 地下鐵 3,4號線工事時 掘進 pattern은 小口徑이 大部分으로 Burn cut를 普及, 擴大하는데 重點을 두었으며 一部 Jumbo 導入으로 大口徑 Burn cut 即 Cylinder cut를 試圖한바 있다.

平行심빼기의 原理는 中心에 位置한 空孔(自由面) 周圍에 配列된 裝填孔을 起爆하므로서 그 사이에 있는 岩石을 破壞하여 이어서 爆發 gas의 힘으로 막장 前面으로 破碎된 岩石을 뽑아내고 順次的으로 空間을 넓게하여 平行심빼기를 完成하는 것이다. 따라서 岩石이 破碎될때의 體積은 增加하기 마련이다. 이는 岩石의 性質, 爆力의 威力 即 孔當裝藥量에 따라 差異가 있다. 드문일이나 간혹 岩石이 過度하게 粉碎되면 孔底 부근에서 強壓으로 因하여 岩粉燒結 現象이 일어나 自由面을 얻을수 없게 되므로 空孔은 클수록 좋으며 큰 bit가 없을때는 雙孔을 뚫어서 内部表面積을 크게 할수록 좋다. 그리고 裝藥에 있어서 角度심빼기에서와 같이 密裝填을 할 必要가 없으므로 發破振動減少에 도움이 된다.

서울地下鐵 3,4號線 建設의 NATM工區에서 專用된 平行심빼기는 小口徑(36%)에서는 Bit cut이며 大口徑(Jumbo 2 600m 45%)에서는 Cylinder cut가 適用되는 代表的인 例이다. 含水爆藥은 比重이 낮고 威力이 dynamic에 비해 22% 弱하고, 裝填長이 길게 되므로 燒結防止에 도움이 된다.

7-2. 制御工法(Constroll blasting)
制御工法은 Presplitting과 Smooth Blasting으로 兩分하며 點火方法에 따라 區分하게 된다.

그러나 制御方法은 廣義로는 Line drilling(無裝填孔), Cushion Blasting 등도 이 범주에 屬한다고 할 수 있다. 制御工法의 目的은 岩盤에 損傷을 可及的 적게하여 餘掘을 적게 하므로서 掘鑿面을 平滑하게 만드는 特殊工法으로서 防水施工, shotcrete 및 Concrete lining 作業을 하는데 必要不可缺의 特殊工法이라고 할 수 있다.

1982年 K-1 貯油施設의 工事때 筆者는 韓國火藥廠의 支援으로 Sweden의 Nitro Nobel製 Smooth blasting 專用火藥인 Gurit Nabit를 直輸入하여 우리나라에서는 처음 試圖, 所期의 成果를 얻게 되었다. 그후 韓國火藥廠 製品인 精密爆藥 F-I, F-II로서 代替하여 서울地下鐵 3,4號線工事에서 全的으로 普及 實用化 되었다.

여기서 Presplitting과 Smooth Blasting의 差異點은 前者는 주로 바닥과기 掘鑿作業에서 發破振動 傳播防止를 위해 一列로 穿孔하여 全孔長, 全穿孔을 同時에 主掘鑿孔 點火에 앞서서, 먼저 點火시키므로서 孔間에 龜裂을 만드는 工法인데 비하여, 後者는 주로 tunnel 掘進에서 심빼기孔부터, 順次的으로 外廓에 이르기까지 마지막으로 點火하는 方法으로서 孔間隔과 抵抗線의 길이의 比는 36% 小口徑에서는 $40\text{ cm} / 50\text{ cm} \sim 60\text{ cm} \leq 0.8$ 로 하고 大口徑에서는 $50\text{ cm} / 65\text{ cm} \sim 70\text{ cm} \leq 0.8$ 로 하고 있다.

8. 發破公害 防止用 爆藥 및 破碎器

最近 發破作業場이 住居地, 아파트, 建物 等の 保安物件으로 因하여 飛石, 發破音 및 發破振動 等の 發破公害를 防止 또는 抑制하여 作業하지 않으면 안될 경우가 많다.

이와같은 問題點을 補完하여 開發된것이 制御爆藥 내지 微振動火藥 또한 非火藥인 膨脹性 破碎劑 等이다.

8-1. 制御爆藥(一名 精密爆藥)

一般 爆藥과의 中間製品으로서 開發된 것이 制御爆藥인데, 우리나라에서는 類似한 것이라면 精密爆藥 F-I, F-II를 말할 수 있다. 制御爆藥은 爆速을 2,000 m/sec로 制限하고 있으며 藥徑은 17~18 mm로 가늘게 하므로서 發破 振動值를 一般爆藥의 1/2로 輕減하게 된다. 이때 藥徑과 孔徑의 調節로서 發破振動을 더 한층 輕減할 수 있는 것이다.

8-2. 微振動 破砕器 (Concrete Breaker)

Concrete 破砕器는 gas 發生劑를 主로 하는 火藥으로서 密閉狀態의 燃速은 40~60 m/sec로서 一般爆藥의 1/10에 不過하다. 岩石破砕는 主로 高溫 gas의 準靜的 壓力에 의한 것이라 할 수 있다. 都心地 發破에서 一般爆藥, 制御爆藥 및 微振動 破砕器를 使用時 發破振動 適用公式은 다음과 같다.

일반폭약 및 제어폭약

$$V = KW^{0.75} D^{-2} \quad V : cm/sec \quad W : kg \quad D : m$$

단, 制御爆藥의 K值는 MS 뇌관사용시 Slurry와 같음,

$$\text{微振動 破砕器} : V = 7W^{0.5} D^{-1.75}$$

但, K值는 7로 固定

8-3. 膨脹性 破砕劑

火藥類에 屬하지 않는 破砕劑로서 珪酸鹽 또는 石灰 無機化合物을 主劑로 하는 粉末로서 여기에서 適量의 물을 타서 반죽을 만든 다음 穿孔內에 充填하는 것이다. 이때 破砕劑는 서서히 膨脹함과 同時에 岩盤 또는 Concrete 構造物等에 適正壓力(3,000 t/m²) 이상에 달하여 龜裂이 發生된다. 外氣溫度 및 破砕劑의 等級에 따라 差異는 있으나 10~24時間이 되면 最大 膨脹壓이 發生하게 된다.

8-4. 難帶電性 ANFO 爆藥

우리나라의 ANFO 消費量은 年間 總使用量의 22%를 占有하고 있으며 石灰石用이 거의 主宗을 이루고 있다.

大口徑 Bench cut에서 水孔인 경우 polyethylene tube에다 ANFO를 流入시키고 밀다이(primer)를 裝填하는 수가 있다.

앞으로 導電性 Polyethylene tube, 耐靜

電氣 雷管 및 難帶電性 ANFO 使用으로 靜電氣로 인한 事故를 豫防해야 할 것이다.

9. 結 論

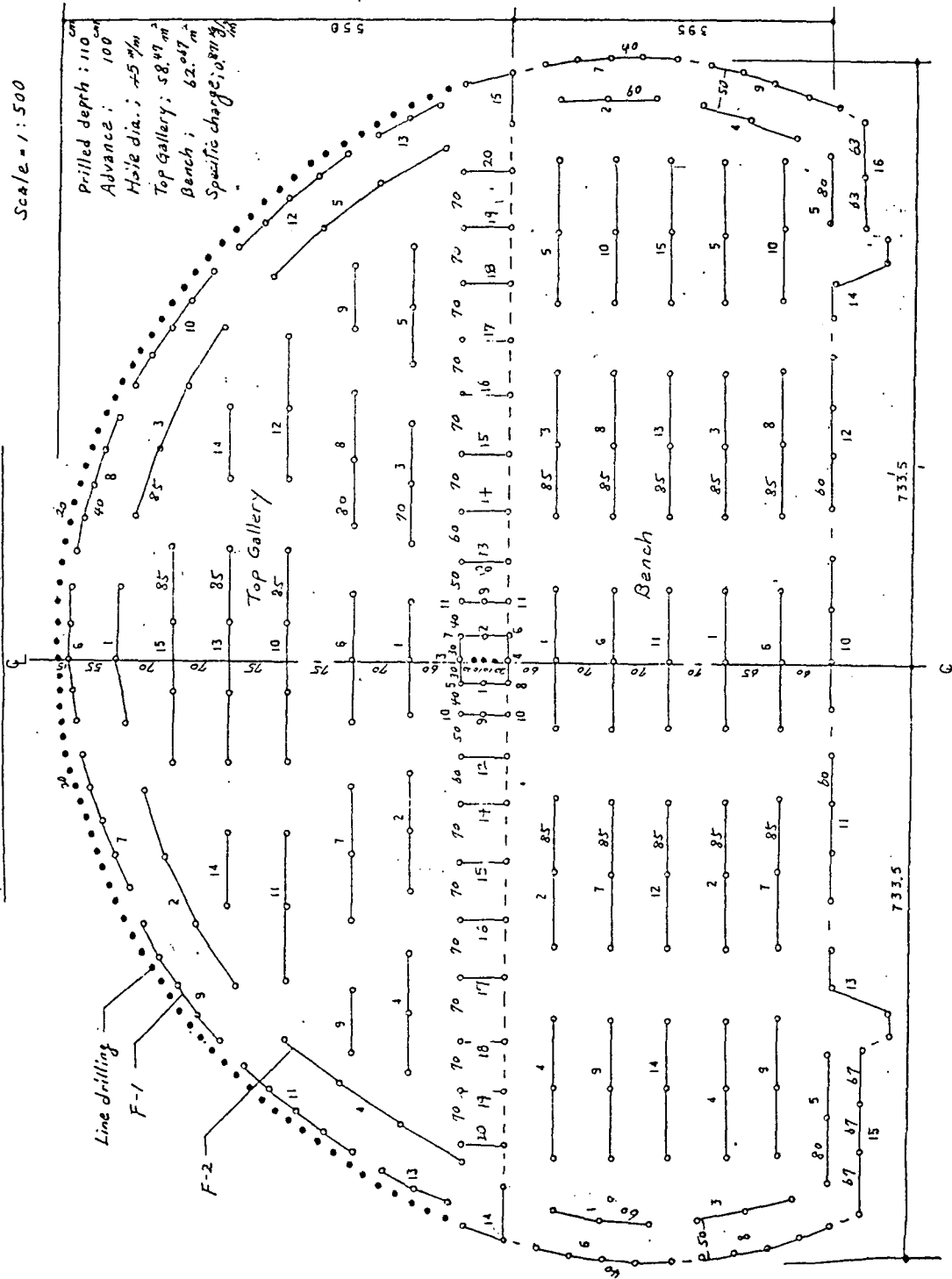
서울市 一圓을 構成하고 있는 地質은 基盤을 이루고 있는 先 Cambria紀의 變成岩에다 이를 貫入한 中生代의 花崗岩 및 이들 岩層을 不整合으로 덮고 있는 第4紀의 堆積層이다. 따라서 서울地下鐵 3,4號線 38個工區中 거의 大部分이 岩盤發破作業을 하게 되어 月平均 爆藥消費는 86 ton에다 電氣雷管은 305,000個에 이르렀다.

이상 서울 및 釜山 地下鐵建設工에서 얻은 귀중한 體驗을 土臺로 都心地發破에 대한 標準化를 期하였다. 먼저 표준발파에서 얻은 最少 抵抗線을 가지고 穿孔配置圖를 作成 이를 5種으로 分類하였으며 使用爆藥은 低比重低爆速인 含水爆藥으로 하고 點火는 振動節減의 效果의 인 M/S 電氣雷管을 가지고 穿孔方式은 터널에 있어서 Burn Cut 심빼기에다 餘掘防止를 위해서 Smooth工法을 適用 개착식에 있어서는 階段穿孔으로 하여 精密作業을 통한 발파로 振動值는 0.5 cm/sec을 넘지 않도록 施工한다면은 隣接建物構造物主와의 苦情發生은 豫防될 것으로 확신하는 바이다.

끝으로 最近 새로 開發한 平行심빼기(Para Cut)에다 Smooth法을 加味한 穿孔配置圖를 釜山 地下工事 2-2工區에 적용한바, 從來穿孔方式에 비해 월등한 振動節減과 overbreak를 줄이는데 效果를 거두었다. 침부한 Pattern을 參考하시기 바랍니다.

DRILLING & IGNITION PATTERN

by DR. Huh
Scale = 1 : 500



BUSAN 2 - 2.DRILLING & IGNITION PATTERN

by Dr. Huh

S = 1 : 50
 Unit = cm
 Rock type I
 Aqua blasting, Line drilling.
 Min. distance
 to structure = 5.5m

