

## 韓國의 爆破 技術 發展

許 填\*

### 1. 火藥類의 發展

#### 가. 火藥類 消費 pattern

火藥類의 消費 pattern은 需要에 따라가기 마련이다. 50年代는 韓國 戰亂으로 모든 産業이 癱瘓 狀態였으나 軍需用 金屬鑛은 특히 重石鑛, 鐵鑛 등 은 好機를 맞이하였으며 無煉炭鑛도 庶民 煖房 燃料로서 無制限 生産에 突入하는 바람에 火藥類 需要의 80%를 占有하고 있었다. 그 後에도 無煉炭의

增産은 政府의 強力한 育成策에 힘입어 60年代, 70年代, 80年代 初까지는 好況으로 火藥類의 需要도 用途別로 보아 當然 王位의 자리를 찾아하고 있었다. 그러나 그 後 GNP가 人當 3,000\$을 넘어서면서 主油從炭策으로 바꾸니 炭鑛의 勞動力도 政府의 強力한 輸出 Drive 政策으로 工業團地로 移動해가 기 始作, 거기다 80年 中半부터는 APT 住宅 建設 Boom을 맞아 이제 火藥類의 消費 pattern은 建設 分野가 70%로 轉換하게 된 것이다.

이러한 過程에서 50年은 輸入 火藥類에 依存하

#### 〈韓國火藥類 需要統計〉

##### 1) 需要別

區分 \ 年度	1991	1992	1993	1994
石 炭 鑛	4,900	4,000	3,600	3,400
石 炭 石 鑛	10,000	11,000	12,000	12,000
一 般 鑛	4,000	5,500	3,500	3,500
建 設	28,000	32,000	33,000	32,000
計	46,900	52,500	52,100	50,900

##### 2) 爆藥種別

區分 \ 年度	Dynamite	含水爆藥	硝安爆藥	ANFO	精密爆藥	計
1991	30,800	3,750	2,100	10,000	250	46,900
1992	35,000	4,330	1,900	11,000	270	52,500
1993	33,000	5,020	1,800	12,000	280	52,100
1994	32,000	4,800	1,800	12,000	300	50,900

\* 火藥類管理 技術士, 美國 技術士(土木), 工學博士, 韓國技術士會 副會長

다가 60年初(株)한화가 倭政때 쓰던 仁川火藥工場을 再建 國內 技術陣으로 Dynamite, 電氣 雷管이어서 硝安 爆藥, 黑氣火藥 등 生産 供給하기 始作하다가 80年初 서울 地下鐵 2號, 3號, 4號 建設 工事に 힘입어 美 Dupont으로부터 含水 爆藥의 技術 導入으로 生産 供給을 하게 되며 今日起 이르고 있으며 이어서 M/S 電氣 雷管 및 HINEL 雷管의 新製品이 供給되고 있는 實情이다. 1993년부터 高麗 火藥이 Nitro Novel의 技術 導入으로 含水 爆藥과 NONEL 雷管을 一部 市販하기 始作 火藥業界의 2元化 時代를 豫告하고 있다.

#### 나. Dynamite-含水 爆藥 沿革(『火藥學誌』(1981. 4卷 1號) 卷頭言 引用)

1300年代에 中國에서 發明한 黑色火藥은 人間의 能力을 超越하는 힘의 源泉으로 適切히 잘 活用되어 科學 技術의 發展上 重要な 要素가 되었으나 그 후 500年 동안은 秘法으로 간직한 채 別다른 改良 없이 使用되어 오다가 1800年代에 이르러 西洋에서 雷汞(1800), 線藥(1833) Nitroglycerine(1864) 등이 發明되면서 爆發力의 增進은 期待되었으나 爆發 作業의 危險성은 實用을 크게 制限하였다. 1867年 Nobel에 의하여 發明된 Dynamite는 끈이어 다시 線藥을 加味하여 Blasting gelatine의 形態로 改良되고 雷天爆粉으로 工業雷管이 만들어지면서 現代 鑛工業의 發展에 크게 貢獻할 수 있었다. 그 후 다시 100年間은 Nitroglycerine의 含有量을 20% 程度까지 低下시킨 값싼 膠質 Dynamite나 炭鑛用 Dynamite, 難凍 Dynamite 등이 만들어지는 등 改良은 持續되었으나 基本的으로는 Nitroglycerine을 基劑로 하는 点에서 크게 革新되지는 못하였다. Dynamite가 發明된 1867년에는 Ohlsson 등에 의해 硝安에 木炭 등을 添加하여 만드는 Ammoniakkrurt란 硝安爆藥이 發明되기도 하였으나 Gelatine Dynamite의 優秀한 性能에 밀려 거의 實用되지 못하였다. 그 후 硝安의 生産이 空中窒素의 固定

法(1914)에 의해 이루어지고 값싼 化學肥料로서 量産이 可能하여짐에 따라 硝安의 爆發성은 다시금 重要性을 갖게 되어 1948年 Akre 등은 Carbon black 만을 硝安에 添加하고 低廉한 Akremite를 만들었다.

그러나 硝安爆藥은 Nitroglycerine을 添加한 Dynamite에 比하여 威力이 弱하고 吸濕성이 強하며 貯藏時 吸濕 固化하기 때문에 많은 改良 研究에도 不拘하고 그 需要는 恒常 制限되어 왔다. 그러던 中 꾸준한 研究은 1954年 美國의 鐵鑛山에서 火藥의 規制를 받지않는 硝安과 燃料油만을 混和하여 만든 ANFO가 傳爆藥을 使用하여 大型發破에 成功하므로써 發破費의 節減에 크게 寄與하였다. 끈이어 ANFO는 坑內用으로도 開發되어 그 需要는 漸進적으로 擴大하였으며 先進國에서 現在 爆藥需要의 大部分(美國 70%, 英國 45%, 日本 50% 등)을 ANFO로 代替 充足하고 있다. 우리나라에서는 1960年代初 許墳博士가 처음 公開 發破試驗으로 開拓한 以來 많은 曲折을 거쳤으나 그 優秀성에 따라 그 需要는 크게 漸增되고 있다.

ANFO는 높은 比重에서 火藥의 힘이 Dynamite에 比等(9850 l · kg/cm<sup>2</sup> : 8900 l · kg/cm<sup>2</sup>)하다고 하지만 爆速이 느리고(3000m/sec) 爆發感도가 낮으며 耐濕性도 包裝法의 改良으로 어느 程度의 成果는 있으나 根本的 解決策은 아직 없다. 그리고 ANFO에 Al 粉末이나 Paraffine Wax 등을 加味하여 만들 때 工業雷管만으로 起爆이 可能하다고 하지만 價格의 上昇으로 別다른 意味를 갖지 못한다. 其他 臨界藥警과 爆速問題, 後 gas 中の NO<sub>x</sub>의 發生問題, 靜電氣에 依한 發火問題, 貯藏時 油分의 分離問題 등 많은 改良點이 宿題로 남아있다.

以上の 在來式 爆藥에서는 水分이 含有될 때 爆發性能을 크게 害치므로 極力 水分의 介入을 防止하여 왔으나 1956年 M.A.Cook에 의해 發明된 Slurry 爆藥에서는 도리어 5~15%의 水分의 硝安 및 Al 粉沫과 같이 爆藥의 基劑로 役割하고 있다. 이 新種의 爆藥은 製造나 貯藏 및 運搬이나 使用에 있어 危害 防止上 가장 安全할 뿐 아니라 低廉성과

爆發性能의 向上 可能性은 火藥業界 및 鑛工業界의 新紀元을 이룩할 수 있다. 現在는 TNT와 같은 火藥類를 銳感劑로 包含하지 않는  $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-Al-H}_2\text{O}$  基劑의 Water Gel이 臨界藥徑 1 以下에서 6號 工業雷管 만으로 起爆되는 것을 만들어 낼 수 있다고 한다.

다. 代替 爆藥(ANFO, AL-ANFO, Slurry)(〈智山 回甲 論文集(p.87, p.109) 引用〉)

1961年 末 美國 留學으로부터 돌아와보니 5·16 軍事革命으로 復職한 大韓重石(株)dms 社長(張志良 空軍將軍)과 任員陳의 大部分은 現役 軍人이고 옛 사람은 몇분 없었다. 그러나 革命 初期라 Can do it spirit와 國家社會에 對한 무언가를 보여주고 도 탄에 빠진 國民들을 求해야 되겠다는 맑은 精神은 가득차 있어서 때마침 智山도 先進國에서 그간 배우고 익힌 技術을 開發普及하겠다는 一片丹心은 相互間의 公約數로 作用 技術課長 兼 開發課長(鑛業 振興公社의 業務)을 맡음으로 國際 競爭에 이길 수 있는 重石의 品質管理와 原價節減 事務를 技術課에서 한편으로는 民營鑛山에서 實驗한 ANFO 爆劑의 性能試驗 Data를 整理 社長에게 報告한 바 商工部 朴 忠勳 長官에게 傳達되어 正式 Briefing 할 수 있는 機會를 갖게 되었다.

大韓鑛業會(黃起龍 會長)와 商工部는 內務部와 協議 關係法 改正을 서둘렀고 將次 開發品 普及을 爲해서 事前 指導 啓蒙次 商工部는 智山으로 하여 금 地方 巡廻를 비롯하여 Mass comm을 動員 大대의인 宣傳을 하도록 했다. 火藥의 唯一 業體인 韓國 火藥(株)으로서의 쑥스럽게 된것만은 事實이다. 當時 韓國火藥으로서의 Dynamite 品質向上에 國內 技術陣으로 全力投球하고 있는 터이라 新種爆藥에 대한 新規投資는 생각할 수도 없는 立場으로 思料 되었다. 當時 記錄을 綴해둔 〈스크랩〉을 보면 開發者 智山에게는 直接 間接으로 韓國火藥으로부터 壓力이 加해져 1966년에 이르러 智山은 15年間 奉職했던 정든 大韓重石의 技術部長職을 마지막으로 他

意에 의해 依願 辭職하게 되었다. 때마침 國營韓國 綜合技術公社가 發足하게 되어 技術士 資格 所有者 任員登用の 公募에 따라 Consulting 일을 着手하게 된 것이다. 1968年 ANFO가 값싸고 安全한 것이 長點으로 많은 普及을 가져왔으나 威力이 弱한 것이 흠이라 때마침 美國 火藥學會誌에 Dupont에서 새로 開發한 AL-ANFO가 나와 이 資料를 土台로 하여 商工部 鑛業會 및 學會人士들의 立會下에 永豐鑛業(株)의 富平鑛山에서 性能試驗을 公開했다. 그러나 AL의 原料 輸入 값의 高價로 實用化에는 問題點이 있었다.

1970年代에 접어들자 洋灰工場의 新設과 더불어 石炭石 露天 鑛山의 開發이 加速化하면서 從來의 小型 착암기(45kg)로부터 Crawler Drill 時代로 轉換하게 되어 長孔 大口徑(60~120mm)으로 ANFO와 함께 새로운 階段式 工法의 採擇을 서둘게 되었다. 年間 800萬t 規模의 雙龍洋灰(株) 東海工場과 寧越에서 玉石發生 節減의 對策으로 M/S 雷管을 가지고 Widespread 方式으로 點火하는 改善法을 普及하여 能率 向上을 期하였다. 1977年 뜻하지 않았던 裡里 列車 爆破 事件의 原因 究明을 맡았던 智山에게는 Dynamite 代替에 對한 強한 義務感을 가져다 주었다. 지난날 美國 儒學 時 講義를 들은 적이 있는 M.A. Cook 教授(美國의 Slurry 開拓者)에 書信을 보내 Slurry에 對한 技術資料를 전해 받은 智山은 洋灰協會, 炭鑛協會 및 鑛業會를 찾아 試驗에 必要한 資料代를 支援받아 學會 副會長으로 있는 鄭殷鎔 教授 協調로 國產 Slurry 試作品을 만들었다. 三韓鑛業(株)의 水原鑛山 坑道에서 公開性能試驗한 結果 第3彈의 凱歌를 올린 것이다.

1982년에 이르러 韓國火藥은 美國의 Dupont과 技術 제휴하여 Dmulsion型을 製造市販하게 되었다. 우리나라 產業 火藥類 製造의 元老이신 孫仙官 教授(前 檀國大 化工科 教授)를 顧問으로 鄭殷鎔 教授를(前 梨大 化學科) 副會長으로 筆者가 初代 會長을 맡은 大韓火藥技術學會가 지난 1967年 4月 1日 創立總會를 正式으로 發足되었던 것이다. 內的으로는 (社)韓國科學技術團體 總聯合會 正會員으로 外

的으로는 日本 및 美國 火藥學會와 姊妹結緣을 맺고 技術交流를 하고 있으며 200名 會員의 資質 向上을 통해서 이나라 火藥技術 發展에 寄與하고 있다.

1993年 4月

術提携 Slurry 및 Finnex 및 M/S 電氣雷管 製造市販 非電氣雷管 (HINEL) 製造市販

### 〈韓國 火藥類 製造 沿革〉

1935年	倭帝下 興南에 火藥工場 設立
1950年	美國 Lee와 Akre 共同으로 ANFO 特許
1952年	韓國火藥(株) 仁川工場 再建
1956年	美國 M.A.Cook와 加國 H. E. Farnam 共同으로 Slurry 特許
1961年	Dynamite, 硝安爆藥, 黑色爆藥 및 D/S 電氣雷管 製造市販
1962年 8月	日本 下村 ANFO 實用化 公開實驗
1964年 6月 20日	許墳 國產 ANFO 製造性能 公開實驗
1968年 2月	商工部 主催 於 始興鑛山 許墳 AI-ANFO 製造 性能 公開實驗 火藥協會主催 於富平 鑛山 (1969年 日本工業火藥協會 秋期大會 發表)
1968年	韓國火藥(株) ANFO 製造市販
1975年	日本 Slurry 製造市販(美 Dupont 및 IRECO 등과 기술 제휴)
1977年 11月	許鎮 Slurry 製造性能 公開實驗 建設協會, 洋灰協會, 石炭協會 鑛業會 共同 主催 於天寶鑛山
1980年 12月 30日	爆藥年消費量 21,237 T 中 ANFO가 6,363 T (30% 占有)
1981年 1月 10日	銃砲刀劍 火藥類 團束法 公布 Slurry (含水爆藥) 追加
1981年 5月 24日	韓化(株) 美國 Dupont 과 技

## 2. 爆破 技術의 發展 過程

### 가. 爆破 技術 沿革

韓國 動亂 中 삶과 죽음의 갈래 길에서 오직 팔다리를 만져보면 살아있다는 瞬間의 幸福感으로 그 날 그날을 기약없이 보내고 있던 어느날 1951年 韓美重石 協定이 체결됨으로 國內 重石鑛의 大宗을 이루고 있던 國營 大韓重石鑛業(株) (舊 小林)은 當時 自由陳營의 生産量과 埋藏量의 15% 占有하고 있는 生産業體로서 그 中에서도 傘下 江原道 上東鑛山은 單一 規模로서는 世界 最大의 重石鑛이었다. 鑛山 周邊에는 美軍 1個 師團이 警備를 맡았고 그 外廓은 國軍 太白地區가 2重으로 保護를 해주어 그렇지 않아도 治安이 좋지 않았던 太白山 밑에 位置한 鑛山 職員들은 安心하고 生業에 從事할 수 있었다. 筆者도 生産社員으로 入社 現場에서 美國務省과 契約 派遣된 Utah Construction & Mining Co, (Arthur Kendall 團長) 採鑛技師 2名 選鑛 2名 機電 2名 化學 2名 庶務 1名 都合 10名과 함께 일하며 英語를 안다는 德澤으로 이들을 管理하는 實務擔當者가 되었다.

倭政때부터 쓰이던 S-49 착암기는 全部 美製 新設 착암 裝備로 交替되고 從來 터널 掘進에 應用했던 V型 Cut은 Burn Cut로 交替되었다. 이것이 우리나라 터널 掘進 技術革新의 一大 轉換이 아닐 수 없다. 왜냐하면 착암기는 90Ld 壓力으로 밀어내는 美製 착암기에다 +字型 텅그스텐 비트로 1交代當 40m 以上の 穿孔長을 올리니 從前에 비해서 3~4 倍의 能率이 올라가 尺單位가 m 單位로 轉換하게 된 것이다. 이때 美國 技術者의 實務經驗을 引受 받아 筆者가 처음 考案 理論의으로 體系化한 것이 터

널 標準 發破技法과 터널 穿孔 pattern 이다.

當時 上東 坑長으로 勤務할때가 記憶된다. 莫場에서 일하는 從事員을 給料順으로 볼 때 착암工, 助手 支保工, Hoist工, mucking工, 電車 運轉工, 配水 pump 工, 運搬工 및 助手 등으로 分類 되어있는데 착암工의 工賃을 높이는 代身 그날 착암 作業을 하지 않는 境遇에는 運搬工으로 下向 調整했으며 착암 作業 時에도 工當 30m 以上 穿孔 時는 A級 15m 以上 時는 B級 그 以下는 C級으로 分類하여 基本工賃에다 Bonus 制를 導入 施行하였다. 그 結果 A級을 계속한 착암工의 給料가 最高 責任者인 所長의 給料를 넘어서는 웃지못할 結果를 招來하였다.

이때 새로이 考案해 낸 것이 點火 時 莫場에다 火藥 箱子 속 밑에 Dynamite를 넣고 點火 後 쌓여 지는 廢石을 멀리 밀어 넘으므로 다음 交代者가 착암機를 세울수 있는 場所를 마련하여 點火 後 착암 作業이 이어질수 있도록 하여 日 5交代 作業이 可能했던 것이다.

『ANFO 新發破學』 許填 著 (pp.90~100) 引用)

上東鑛山에는 새로운 世上을 맞이하게 되었던 때 이라 美國은 對戰車砲에 쓰이는 텅스텐이 必要했던 것이다. 사가는 값은 單位當(Unit) (20Lbs) 65\$ 이란 高價로서 增産은 불가피했고 대대적인 施設擴張을 하게 되어 막대한 裝備를 美國에서 購入하게 되었다. 原鑛(Wo<sub>3</sub> 1%) 日 生産 1300 T 規模로 生産 計劃을 세우다 보니 採鑛 및 運搬坑道の 掘進을 비롯하여 採鑛方法도 從來의 Sub-Level Caving 法으로 부터 Pillar & Room의 Slusher 採鑛으로 機械化 作業으로 改善하다보니 먼저 坑道掘進發破의 標準化 作業이 必要하게 되었다. 最小 抵抗線과 標準 製藥量을 求하기 위하여 2自由面의 硅長石(軟岩)에다 標準發破하여, 80cm의 最小 抵抗線과 1.1倍를 乘한 空間距離를 각각 策定 小斷面 坑道の 穿孔配置와 點火 pattern을 考案 實用化하였다.

### 〈터널發破〉

1954年 3月	許填 Burn Cut 工法 Tunnel (Face 2×2m) 實用化 實驗 於 上東鑛山
1981年 6月 27日	許填 Burn Cut (Tunnel Face 7×7m) 實用化 實驗 於 서울 地下鐵 3-24 工區
1995年 3月	수산重工業 Single Boom Jumbo (φ 38mm) 市販

倭政時代 使用했던 S-49 Drifter 에다 비트로 使用했던 炭素鋼을 全面交替 日本製를 除外한 美國의 IR. Joy 및 Gardner-Denver製 Stopper, leg Drill 및 loader 等 英國의 Glass Cow 爆藥과 D/S 電氣 雷管, 그리고 瑞典의 RH 464-4W 착암기 등 最新 精銳의 裝備로서 Burn Cut의 새로운 工法을 開發 하는데 더 없는 好機였다. 運搬坑道인 2×2m 小斷面에서 發破掘進長 3.5m로서 月掘進 300m의 世界 新記錄을 남겨 하였다.

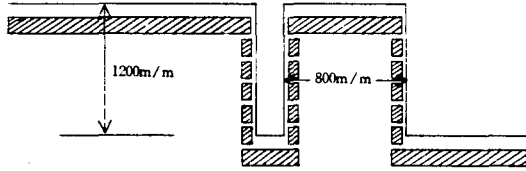
이는 이나라 最初의 穿孔配置 및 點火圖가 開發 된 것이다. 1955年 春陽에서 鐵道 터널工事가 着手 되었다. 韓美 重石技術協定(團長 MR. Arthur Kendall, michigan 大學卒)의 完了로 Kendall 團長이 터널工事의 監理를 맡게되어 智山은 發破指導의 諮問을 맡아 鐵道監督官(林大喆)을 도왔던 것이다.

### 나. 標準 發破(單一 自由面 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 물론, 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 最小抵抗線 및 岩

石係數를 算出하는 例를 들면 다음과 같다.



〈그림 1〉 표준 발파 예시도

〈例〉 筆者가 上東鑛山에서 實驗한 바에 의하면 다음과 같다.

岩 種: 矽長石 및 矽班岩

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  $d1 = 35\text{mm}$

鑿 徑  $d2 = 32\text{mm}$

$162\pi : X = 17.52\pi : 1200$

$$X = \frac{162\pi \times 1200}{17.52\pi} = 1003\text{mm}$$

$$nd1 = m = \text{藥室長 } n = \frac{m}{d1} = \frac{1003\text{mm}}{35\text{mm}} = 28.7 \text{ 배}$$

따라서 岩石係數

$$\begin{aligned} Ca &= \frac{A}{SW} = \frac{nd1}{2W(n+1)} \\ &= \frac{28.7 \times 35}{2 \times 800 \times (28.7 + 1)} = 0.0211 \end{aligned}$$

반대로 W를 求하려면

$$W = \frac{nd1}{2Ca(n+1)} \text{ 를 使用하면 된다.}$$

A: 壓力의 作用面積

S: 藥室周邊長

Ca: 岩石係數

d1: 孔徑

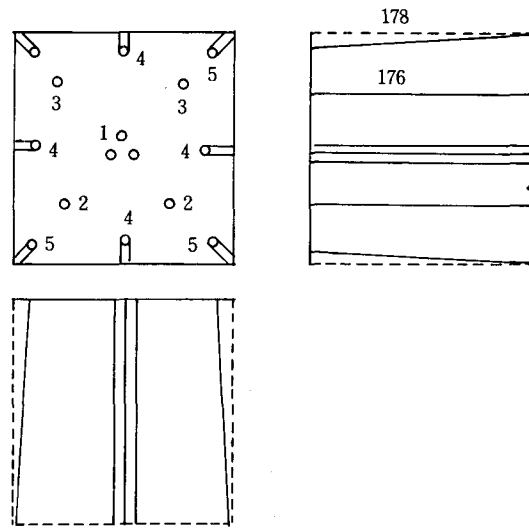
d1: 藥徑

## 다. 터널 穿孔 pattern

穿孔配置는 著者가 考案한 것을 實地 實驗한 것으로 從來의 Pyramid Cut 과 對比하여 作圖하였다. 實驗結果에 依하면 가장 안전하고도 効果적인 것은 平行型 發破임을 確認했다.

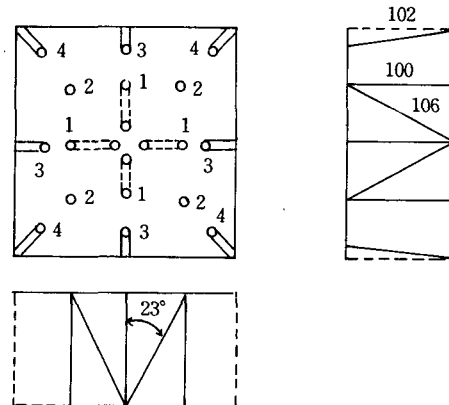
〈A Tunnel(2×2m)〉

### BURN CUT



〈그림 2〉

### PYRAMID CUT



〈그림 3〉

〈표 1〉

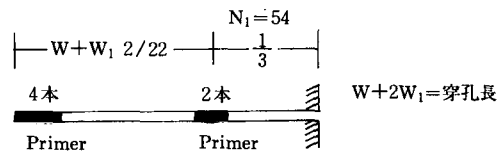
Burn Cut						
種別 孔	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	計
抵抗線	-	65	65	54	70	-
裝藥數	10個	6	15	12	24	67

〈표 2〉

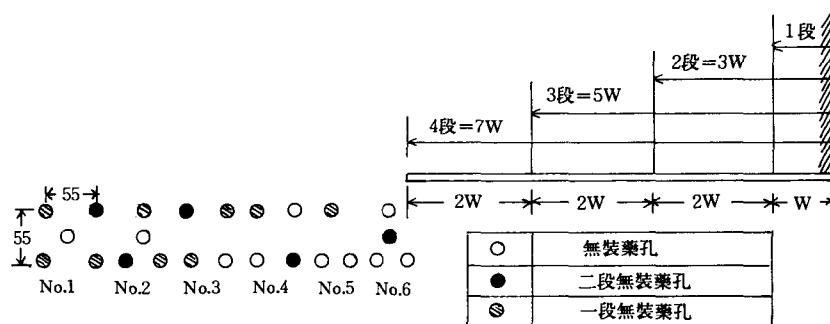
Pyramid Cut						
種別 孔	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	計
抵抗線	100	65	50	70	0	-
裝藥數	16	12	8	20	0	56

穿孔配置圖      항도크기 2×2  
 Drilling pattern      by G.H

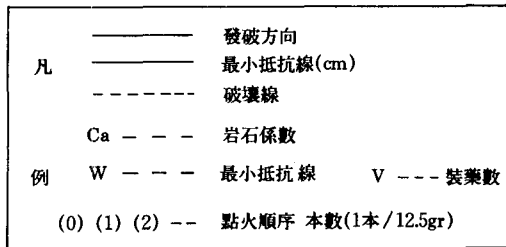
心拔二段裝藥方法



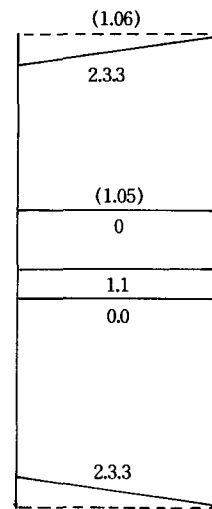
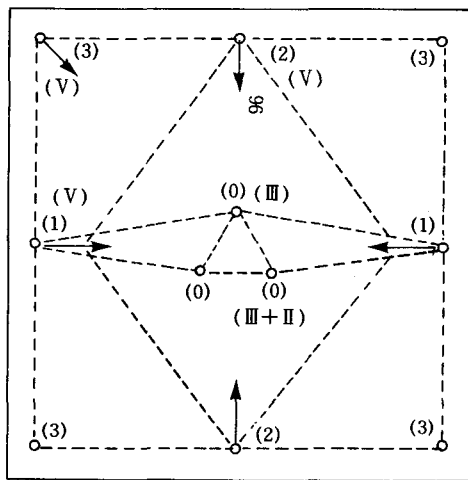
〈그림 4〉



〈그림 5〉

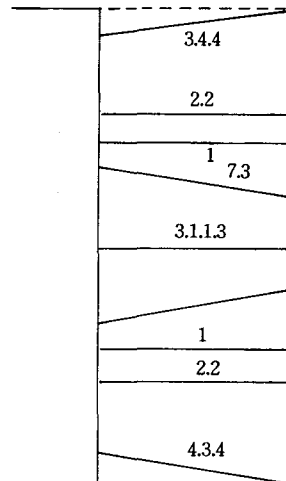
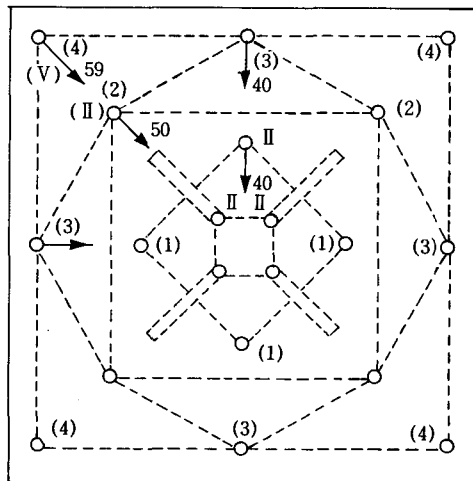


新式 W=90cm Ca=0.01741 11孔



<그림 6>

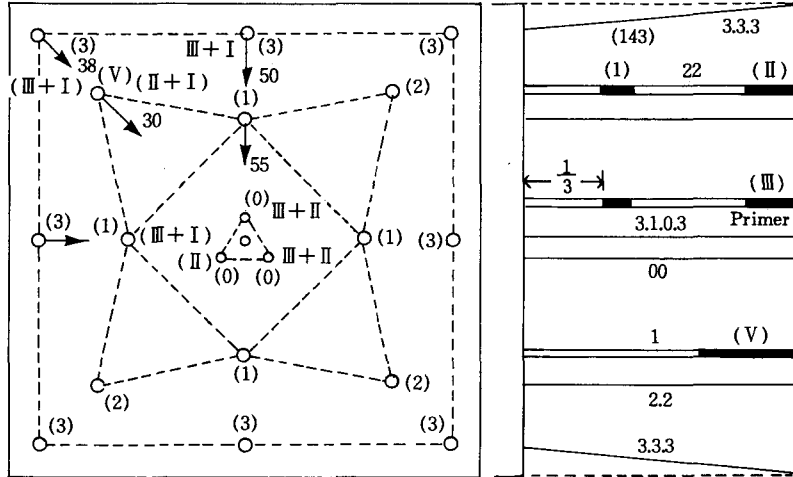
在來式 W=60cm  
Ca=0.0261 20孔



<그림 7>

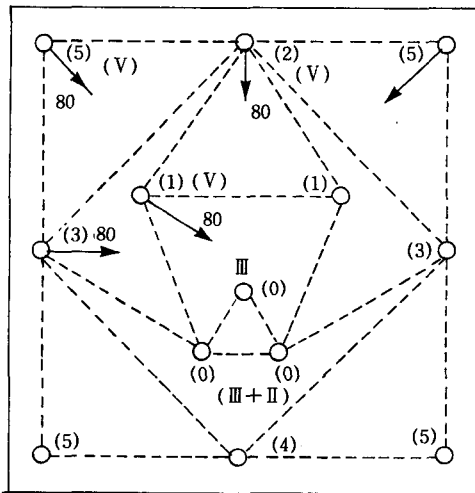


新式 W=60cm Ca=0.0261 20孔

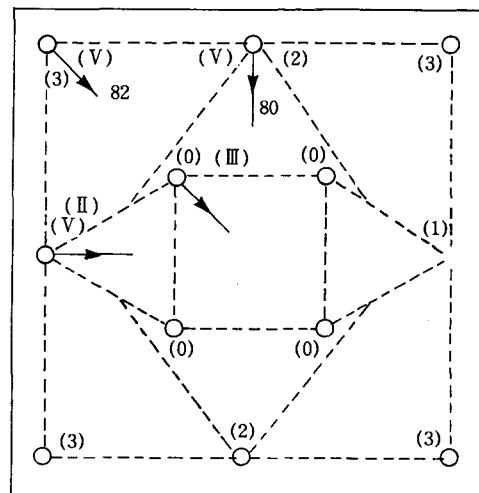


<그림 8>

新式 W=80cm 在來式 W=80cm  
Ca=0.01959 13孔 Ca=0.01959 12孔

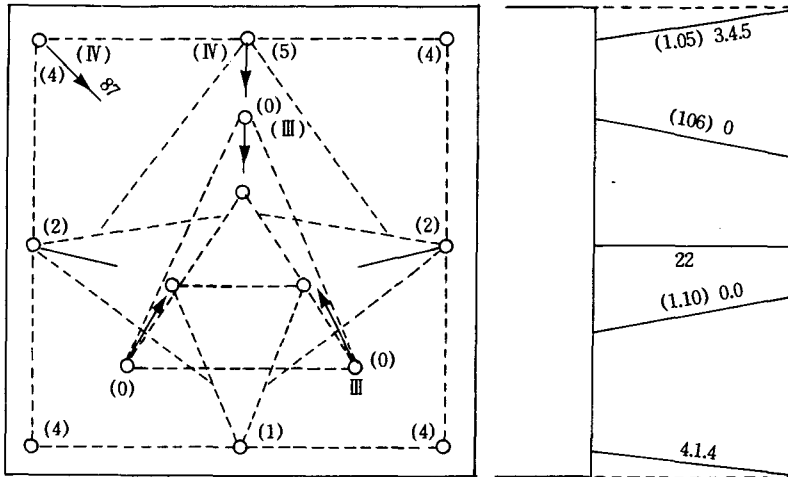


<그림 9>



<그림 10>

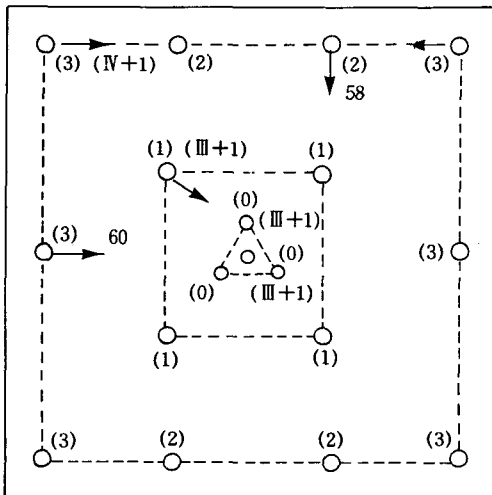
在來式 W=90cm Ca=0.01741 11孔



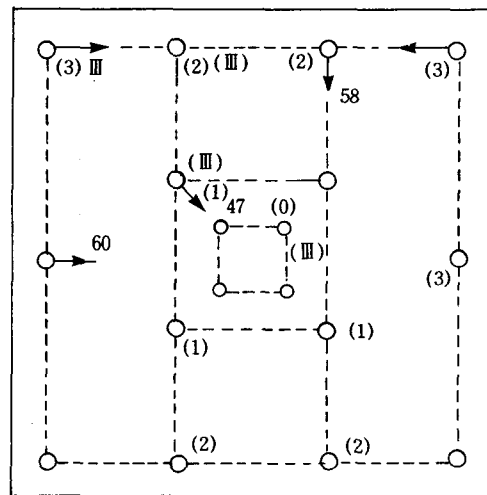
<그림 11>

新式

新式 W=60cm 在來式 W=60cm  
Ca=0.0261 18孔 Ca=0.0261 18孔

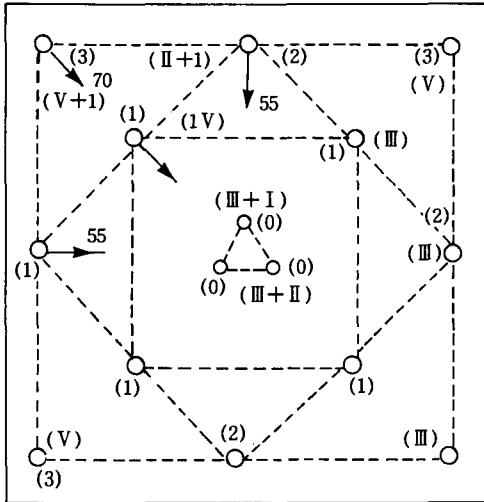


<그림 12>



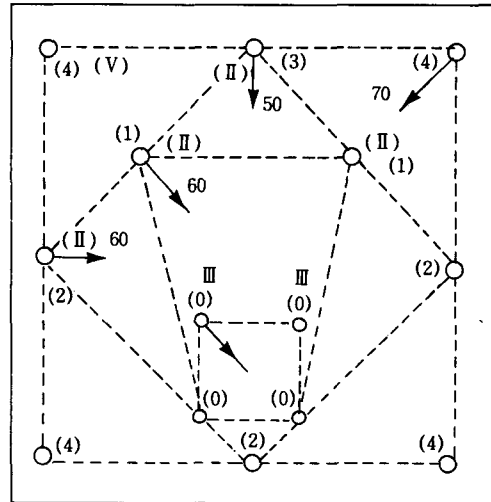
<그림 13>

新式 W=70cm  
Ca=0.02239 15孔



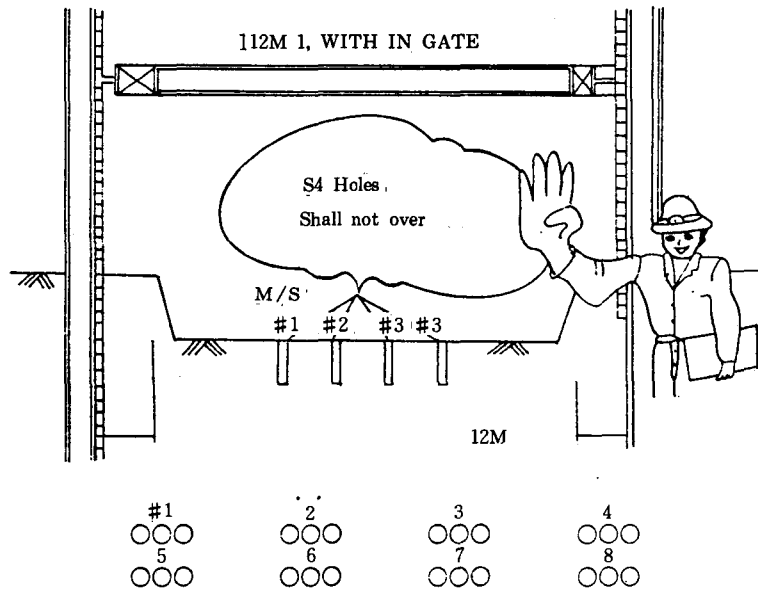
<그림 14>

在來式 W=70cm  
Ca=0.02239 14孔



<그림 15>

B Tunnel (7x7m)



<그림 16> Open type and BOM blasting

〈丑 3〉 Standardization in tunnelling

	I	II	III	IV	V
Rock	Stable rock	moderately jointed and hard stratified or schistose rock	fractured and friable rock	untable plastic & squeezing rock	highly plastic squeezing & swelling ground
Kind					
Burden (cm) Bit Gage=38mm	60	65	70	80	-
Drilling	full face	top heading & bench	top heading & bench	line-drilling (pilot drift & bench)	for pilling (-)
Support	occasionally rock bolt	S.C., W.M. sstematic R.B. for Cap	S.C., W.M. R.B. for cap & wall	S.C., W.M. R.B. & Steel rib	S.C., W.M.F.P., Steel lagging & S.C. invert

\* S.C. = Shotcrete R.B. = Rock Bolt W.M. = Wire Mesh Ca = For Pilling

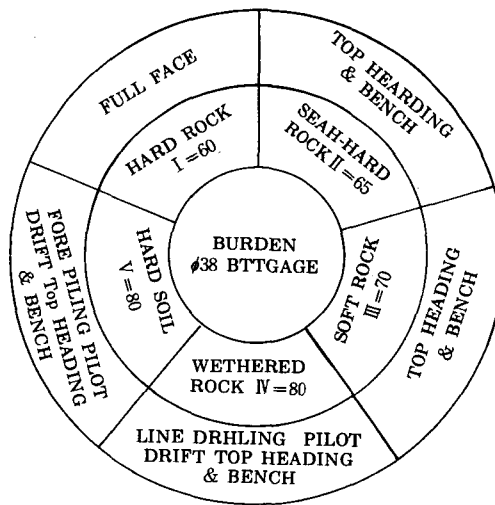
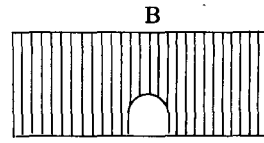
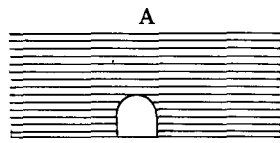


Diagram 1; Standardization of tunnelling

〈丑 4〉 Effects of the bedding state of geological strata on blasting

A strike vertical to Tunnel axis				B Para strike Toward Tunnel axis		No. relation with strike
Dipping Direction		Reverse Dipping Direction		Dip	Dip	
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45°~90°	20°~45°	45°~90°	20°~45°	45°~90°	20°~45°	0°~20°
Most Adaptable	Adaptable	Common	None-adaptable	very poor	Common	None-Adaptable



**Empirical formula**

For Granite:  $V = KW^{0.57} D^{-1.75}$

For Gneiss:  $V = KW^{0.5} D^{-1.5}$

For Concretebreaker:  $V = 0.5 D^{-1.75} = 7 \times 0.06^{0.5} D^{-1.75}$

$W$  = Amount of Powder/delay kg

$D$  = distance m.

$V$  = Partical Vibration Velocity cm/sec

$K$  = Coefficiency =  $E_i(R_i, S_c + Q_i)$

$S_c$ : Compressive St. kg/cm<sup>2</sup>

$E_i$ : Powder Compensation Ratio Dynamite = 1

Slurry = 0.8

AN = 0.65

$R$ : Rock Coefficiency

Seoul Granite = 0.0371

Seoul Gneiss = 0.0206

$Q_i$ : Compensation by blasting pattern

		Granite	Gneiss
Open	Bottom Cut	80	60
	Bench	50	30
Tunnell	Center cut	60	40
	Bench	30	10

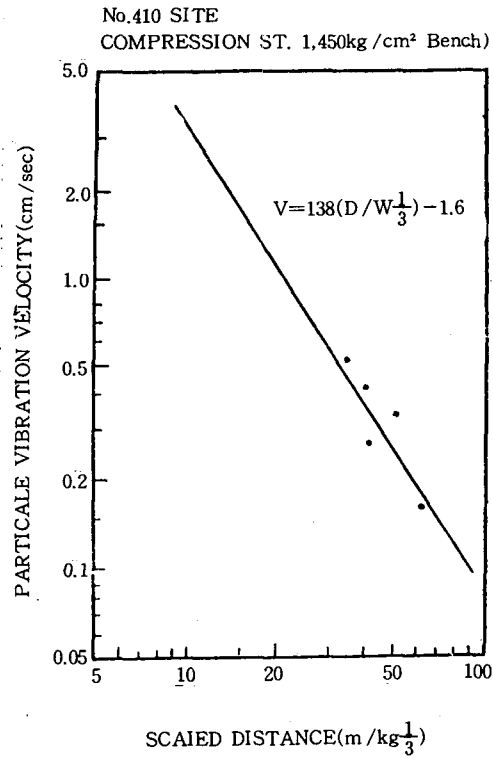


Diagram 2; Particle vibration velocity

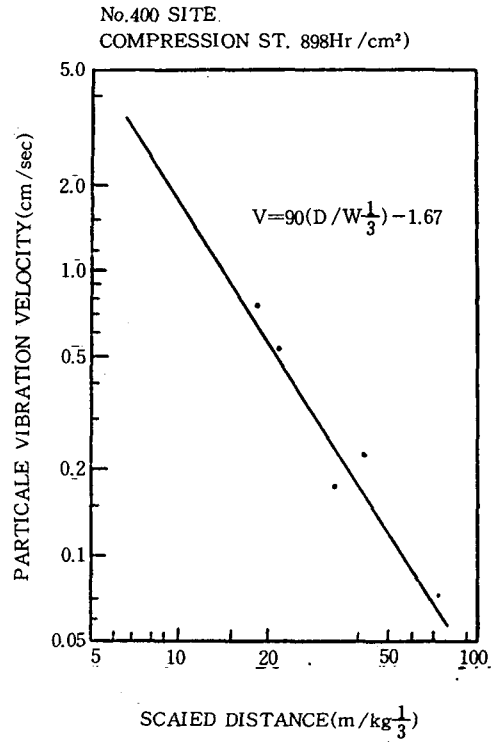


Diagram 3; Particle vibration velocity

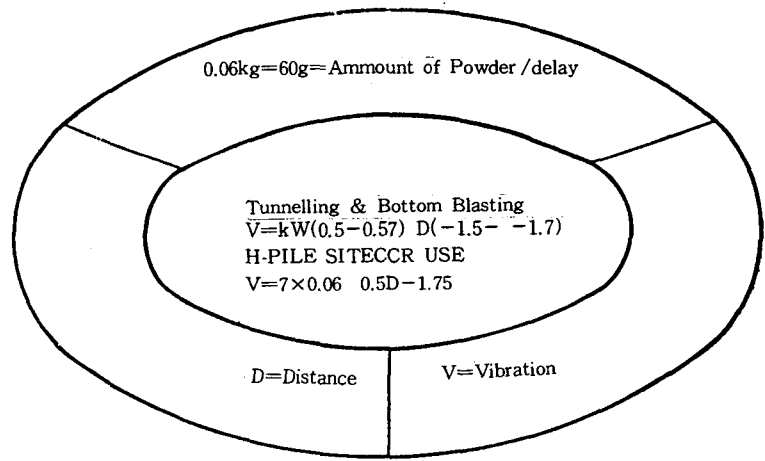


Diagram 4; Relation between vibration, powder & distance

<표 5> Vibration coefficient

S.M.S.C. Vibration Coefficiency "K" Value(φ36mm Bit Gage)

		AN					SLURRY					DYNAMITE	
Compression		1,800	1,500	1,200	900	600	1,800	1,500	1,200	900	600	1,800	1,500
Strength kg/cm <sup>2</sup>		1,500	1,200	900	600		1,500	1,200	900	600		1,500	1,200
Phase		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II
Top	Cut	66	46	42	38	34	102	57	52	47	42	127	71
			74	67	60	53			93	84	75		66
heading	Relief	63	26	22	18	14	78	33	28	23	18	97	41
			55	48	41	34			69	60	51		42
Bench	Bench	76	39	35	31	27	94	49	44	39	34	-	-
			68	61	54	46			85	76	67		58

<표 6> Vibration coefficient

K = COEFFICENCY(GRANITE)

	COMP. ST (kg/cm <sup>2</sup> )	OPEN	TUNNELL	
		BENCH	CUT	RELIEF
D Y N A M I T E	1,800~1,500	117	127	97
	1,500~1,200	106	116	86
	1,200~ 900	95	105	75
	900~ 600	84	94	64
	600 이하	73	83	53
S L U R R Y	1,800~1,500	94	102	73
	1,500~1,200	85	93	69
	1,200~ 900	76	84	60
	900~ 600	67	75	51
	600 이하	58	66	42
A N	1,800~1,500	76	66	63
	1,500~1,200	63	74	55
	1,200~ 900	61	67	48
	900~ 600	54	60	41
	600 이하	46	53	34

<표 7> Vibration coefficient

K = COEFFICENCY(GNEISS)

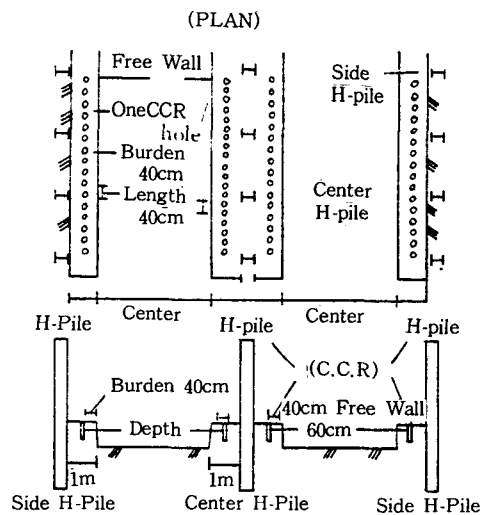
	Comp. St.	OPEN		TUNNELL	
		BENCH	CUT	RELIEF	
D Y A M I T E	1,500~1,200	61	71	41	
	1,200~ 900	55	65	35	
	900~ 600	49	59	29	
	600 이하	42	52	22	
S L U R R Y	1,500~1,200	49	57	33	
	1,200~ 900	44	52	28	
	900~ 600	39	47	23	
	600 이하	34	42	18	
A N	1,500~1,200	39	46	26	
	1,200~ 900	35	42	22	
	900~ 600	31	38	18	
	600 이하	27	34	14	

<표 8> Allowable value of blasting vibration

Rock type	1	2	3	4
Classification	Cultural Treasure	Housing, Apt with Partial Crack	Shopping Center	Factory & Reinforced Concrete Bldg.
Vibration Value cm/sec (on Ground)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

But 1. West-Germany Vornorm DIN, 4150, Teil 3

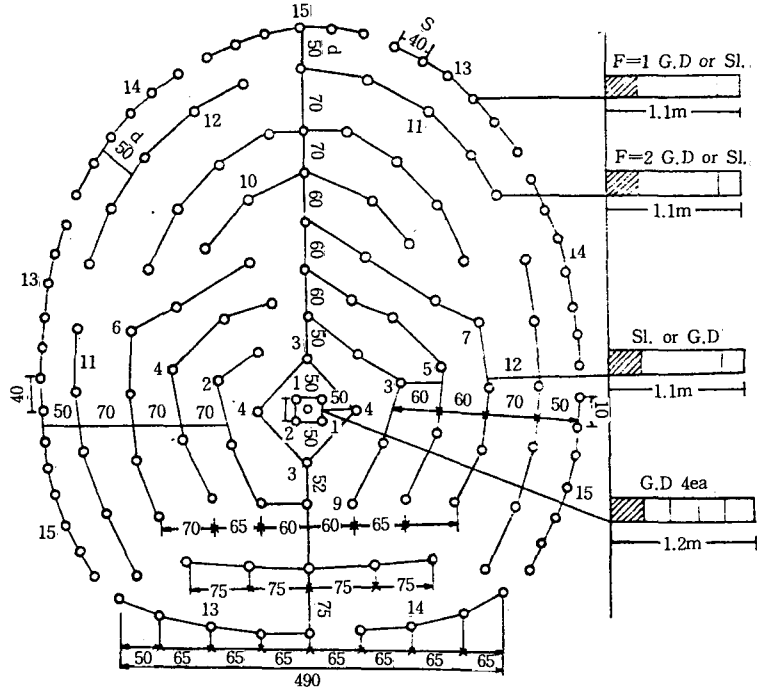
2. Frequency up to 100Hz



<그림 17> Blasting pattern near H-pile

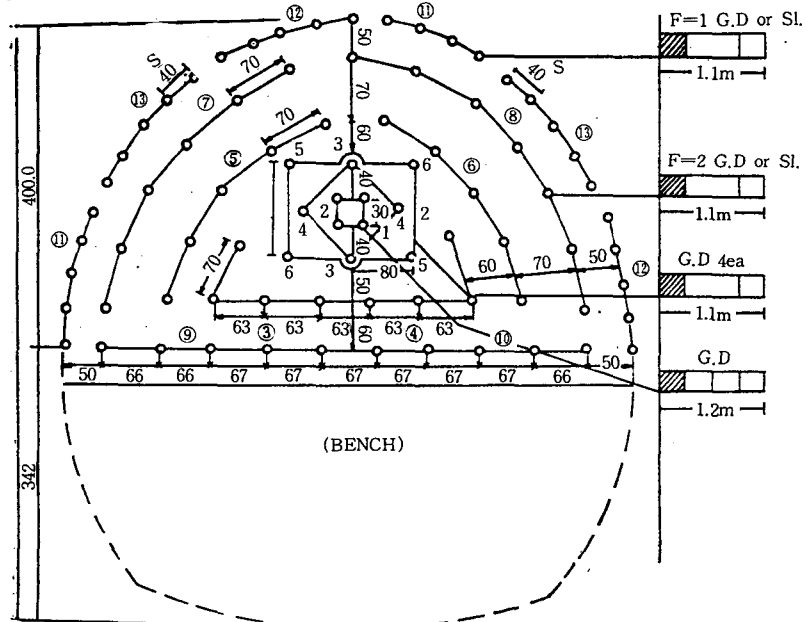


NO. 321 DRILLING & BLASTING PATTERN(ROCK TYPE I)

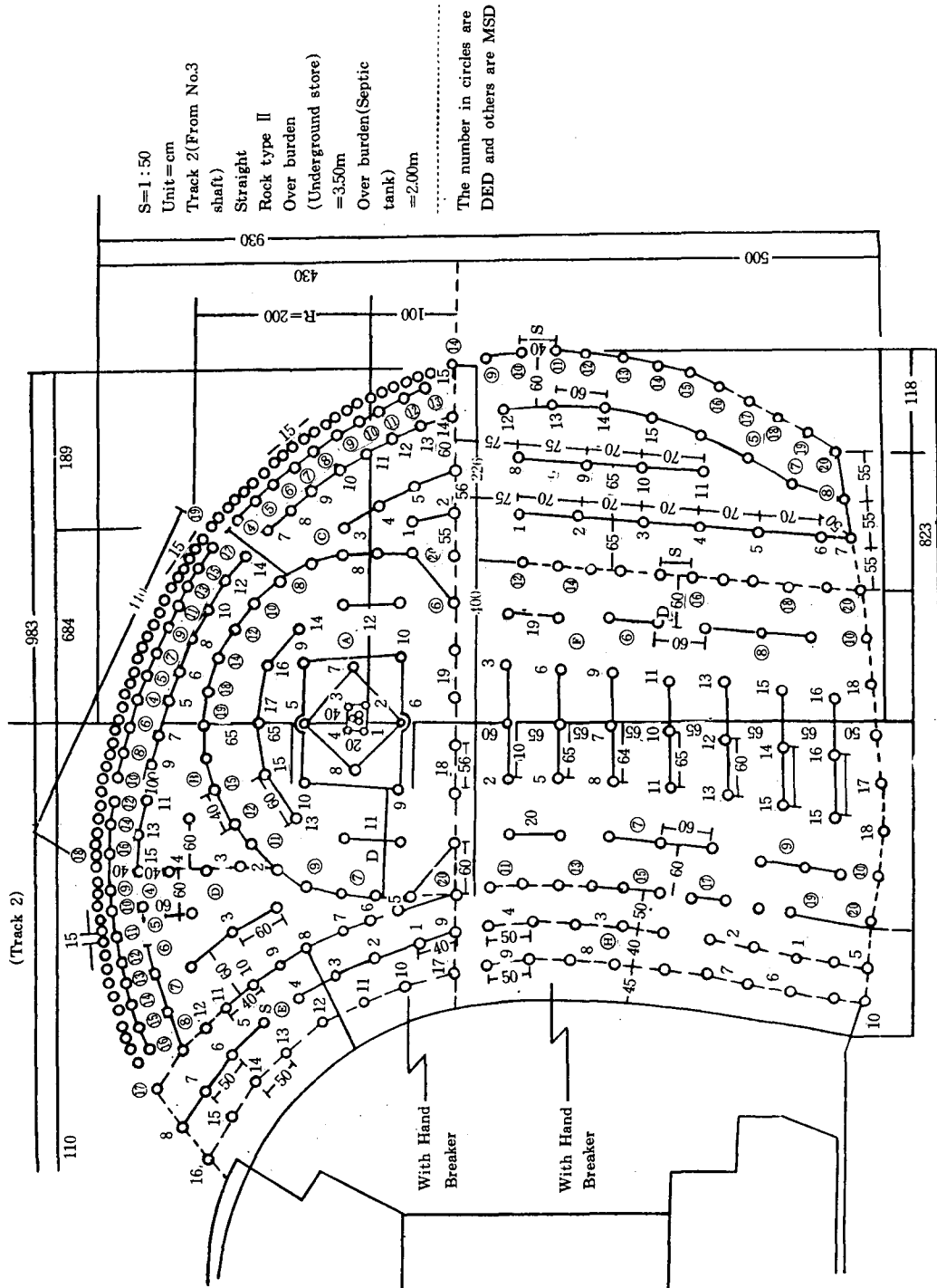


<그림 18> Drilling & blasting pattern(rock type 1)

NO. 321 DRILLING & BLASTING PATTERN(ROCK TYPE I)



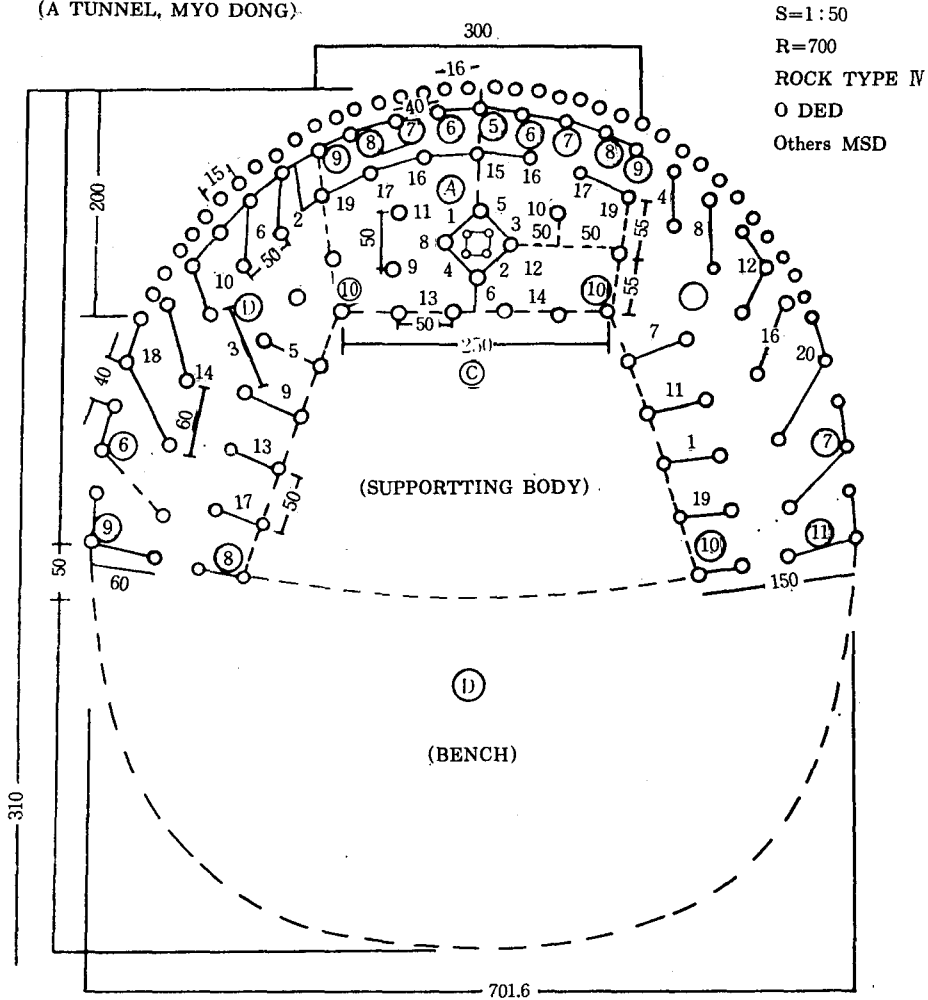
<그림 19> Drilling & blasting pattern(rock type 1)



<그림 20>

NO. 321 DRILLING & BLASTING PATTERN

(A TUNNEL, MYO DONG)



<그림 21> Drilling & blasting pattern(rock type IV)

<實測振動値 및 騒音値>

<INSTANTEL DS477 BLASTMATE>

SERIAL # 2060 V 5.3  
 CLIENT 9inn huh  
 LOCATION  
 USER  
 TRIG SOURCE geo or mic

TRIG LEVEL 1.00mm/s 250.0 pa.(L)

RECORD TIME 4s

NOTES:

TRIGGERED Vert. at 14:38:04

04 July 1995

	TRAN	VERT	LONG
PPV	1.14	2.79	2.92 mm/s

FREQ N/A 64 64 Hz  
 TIME 441 3 30 ms  
 ACCEL 0.08 0.12 0.12 g  
 PK DISP: 0.002 0.007 0.007 mm  
 PVS 3.32 mm/s at 31 ms  
 PK AIR O/P 33.5 pa.(L) at 256 ms  
 FREQ 30 Hz

〈SENSORCHECK (tm) CALIBRATION〉

FT = 75 OT = 40 FV = 80 OV = 32 FL = 77  
 OL = 38 FM = 20 PM = 531 BL = 61  
 Geo sensors passed Mic test ok

Calibrated 12 Aug. 1994  
 by INSTANTEL INC.

〈INSTANTEL DS477 BLASTMATE〉

SERIAL # 2060 V 5.3  
 CLIENT 9inn huh  
 LOCATION  
 USER  
 TRIG SOURCE geo or mic  
 TRIG LEVEL 1.00mm/s 250.0 pa.(L)  
 RECORD TIME 7s

NOTES:

TRIGGERED Vert. at 15:26:20  
 04 July 1995

	TRAN	VERT	LONG
PPV	1.40	3.43	3.94 mm/s
FREQ	N/A	64	57 Hz
TIME	36	119	31 ms
ACCEL	0.09	0.17	0.16 g
PK DISP:	0.003	0.009	0.009 mm
PVS	4.52 mm/s at 32 ms		
PK AIR O/P	44.5 pa.(L) at 1110 ms		
FREQ	30 Hz		

〈SENSORCHECK (tm) CALIBRATION〉

FT = 75 OT = 39 FV = 81 OV = 32 FL = 77  
 OL = 38 FM = 20 PM = 532 L = 61  
 Geo sensors passed Mic test ok

Calibrated 12 Aug. 1994  
 by INSTANTEL INC.

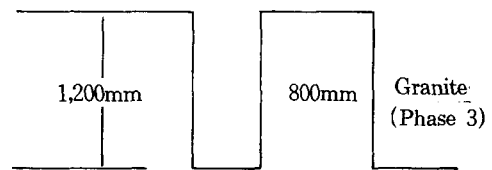
라. NATM과 Scale distane 發破 實驗式

北京 國際 岩盤力學會議(許填 發表 論文 引用(ISRM 1986. 11. 3~7))

Empirical test

In case of tunnel blasting, there is only one free-face the tunnel heading. After the center holes are blasted, the works which remain is the implementation of bench cut against the opening to make the full sectional area required. The quantity of explosives to be charged, however, is hardly estimated, as rocks very seldom show any sign of homogeneous quality.

Experimental tests therefore have been implemented to calculate the specific charge of the explosives of certain strength, the spacing of



〈그림 22〉 Experimental test of bench cut

holes and the diameter of holes to be drilled, as shown in the following figure.

As shown in the figure above, a series of holes are drilled at 800mm behind the face to a depth of 1,200mm and firings are implemented at each holes with varied charge of explosives until the burden is teared off. Should it be realized, the

specific charge of the rock to be blasted can be calculated by the following formula :

$$Ca = \frac{A}{SW} \text{ whereas } A = ndi = m; \text{ Activated area}$$

S : Peripheral length of charged room

Ca : Rock coefficient

di : Holes diameter

POWDER & NO. OF CAPS

	PHASE(I)	PHASE(II, III)	PHASE(IV)
BURDEN	60cm	65~70cm	75cm
HOLE SPACING	65cm	78~80cm	85cm
M/S CAPS	2 pes	3 pes	4 pes
SLURRY	225g×2=450g	168×3=504g	168×4=672g
AN	112.5g×2×=450g	112.5×3×2=675g	112.54×2=900g

\* EX. SOFT ROCK III FIRING/ROUND (2 LANE SILULTANM WLY EDE)

當學會發破實驗式

種別	D			Seoul 地下鐵 公社 實驗式	
	$V=41(\dots)^{-1.41}$	$V=124(\dots)^{-1.66}$	$V=100(\dots)^{-1.66}$	$V=KW^{0.57} D^{-1.75}$	$V=KW^{0.5} D^{-1.5}$
條件	W 1/3	W 1/3	W 1/3	(Granite)	(Gneiss)
爆源-構造物 間距離	-100m	+100m	+100~300m	-30m~ -40m	
Bit Gage	φ60~70mm	φ60~70mm	φ60~70mm	φ36~38mm	
使用火藥類	KOVEX, M/S	KOVEX, M/S	KOVEX, M/S	KOVEX, M/S	
	電氣雷管	電氣雷管	電氣雷管	電氣雷管	
穿孔方式	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut, Tunnel	
備考 : Bench Cut 實驗式(片麻岩-普通岩 條件) 但, V = 振動值(Cm/Sec), K = 遲發當 裝藥量(Kg), D = 爆源 距離(m)					

3. 맺는말

1982年 4月 8日에 뜻하지 않았던 서울 무악재  
地下鐵工事(3-18 工區) 崩壞 事故가 發生하였다. 當  
時 治安本部 諮問으로 있던 筆者는 10具의 시체 밑  
에 묻혀 있는 249孔의 裝填孔을 收去하는데 滿 4  
日間の 晝夜作業으로 한 사람의 희생자의 再發없이  
無事히 끝마친 것을 契機로 筆者가 서울 市長에게  
報告한 事後 對策案이 大部分 받아들여졌다는 事實

이다.

첫째, 앞으로 서울시 工事의 爆藥 使用에 있어서  
는 다이나마이트 使用을 禁하고 含水爆藥으로 代置  
하며 點火는 M/S 電氣雷管을 普及토록 한다.

둘째, 穿孔은 Jumbo 掘착機를 普及 점진적으로  
代替할 것.

셋째, 火藥管理 技師는 下請業體에 屬해있는 日  
雇 身分을 工事契約 施工 業體가 正式職員으로 採  
用하여 身元 保證을 할것.

넷째, 火藥類 管理業務는 內務部로 부터 建設部 나 商工部로 移管하여 名實共히 技術行政이 管理토 록 할것. 그리하여 53 建設業體의 作業場은 110 個 所에 이르러 工區마다 1級 技師 1名, 2級 技師 2 名 以上을 採用토록 義務化 하다보니 動員된 技師 數는 250名에 達하기도 했다.

이리하여 筆者는 서울 地下鐵 公社에 研究 開發 委員會를 만들어 首席委員으로 就任 全工區의 發破 作業에 對한 設計 監理 및 監督을 指揮하게 되었다. 筆者는 일찌기 先進 제국의 最新 技術動向을 알고 서도 施行에 옮길 수 있는 機會를 찾을 수 없던 중 때마침 好機를 맞이하여 터널工事의 NATM 工法을 適用코자 原產地인 奧地利의 NATM 專門家를 招請 設計監理의 技術用役 契約을 맺는데 主役을 맡았다. 이 때 設計面에서 支保는 NATM 專門家가 發破 Pattern은 筆者가 맡아 그 間 國內에서 指揮 普及 해오던 Burn Cut 工法에다 周邊 孔에 制御工 法인 Somooth 工法 및 line-drilling을 軟弱地盤에 는 Forepilling 工法을 接木 시킨 것이다.

서울 地下鐵 工事場은 40km 半徑 內에서 江南北 을 通해서 100餘 個所가 되다보니 서울 市內 交通 은 말이 아니다. 아침 저녁으로 터뜨리는 發破로 因 한 振動은 서울 市民의 安寧과 商街住宅 構造物에 影響을 주어서는 안되겠다는 생각으로 우 리 學會에서는 李 慶雲, 林 漢旭 兩 博士의 諮問을 받아 서울 地下鐵公社 發破振動實驗公式을 設定 ( $V=Kw^{0.5}D^{-1.5}$ ,  $V=Kw^{0.57}D^{-1.7}$ ) 모든 發破作業의 構造物 間의 安全作業을 振動計器로 計測하였다. 1971~74년에 9.5km의 1號線 개통과 더불어 오랜

만에 착수된 1978~83년의 54km의 2號線 1982~86년의 57km의 3, 4號線 工事は 거의 同時 에 이루어졌으며 가장 健實하게 가장 아름답게 先 安全, 後施工의 金 在明 社長의 卓越한 指導 밑에 이렇다할 하자없이 最短期間에 完工을 보게 된 것 은 世界 地下鐵 建設 歷史上 새로운 章을 장식한 것이다. 今般 NATM 導入으로 道心地 發破의 土着 化는 勿論 Grouting 工法 構造物 變位 計測, 地盤 變位 計測 등 새로운 技術 開發은 우리나라 土木界 에 新紀元을 마련한 것이다.

發破技術 開發이란 穿孔 裝備 및 火藥類 改善과 함께 3位 1體가 되어야 한다. 露天掘에서는 中東現 場으로 부터 들어온 Crawler Drill(벳트검  $\phi$  60~120mm)이 主宗을 이루고 있으며 道路 및 高速 道路 터널에서는 導入된 2Boom Jumbo Drill( $\phi$  45mm)이 좋은 實績을 올리고 있으며 1994년에 이 르러 國產 Single Boom Jumbo( $\phi$  38mm)가 登場하 게 되었다. 이제 무엇보다도 最小 抵抗線과 空間 距 離 間의 正確性이요 다음으로는 心拔孔(Key Cut holes)의 中空孔 穿孔이 可能함으로서 發破 掘進의 效率을 높이는 것이요 그 外에다 Boom 때에다 Basket을 매달아 裝填, shotcrete, 作業 및 浮石따기 가 安全하게 할 수 있는 利點이다. 1995년에 이르 러 振動 騒音을 多少나마 줄이기 爲해서 多段 發破 器(Sequential Blasting machine)을 첫선을 보였으 나 좋은 反應을 얻고 있는 實情이다.

이제 남은 것은 터널 莫場에 Mac의 自動 marking을 動員하고 나아가 自動 穿孔裝備가 登場 하기를 期待하는 바이다.