

爆破技術의 發展
(우리 學會의 발자취)

On the Improvement for blasting Technology
(A history of the Explosives Engineers Society of Korea)

※ 許 埴
Ginn Huh

ABSTRACT

In'50, It was turning point of tunneling technology that v-cut of single Face replaced by Burn cut.. Which was a standard Blasting formula..

In'70, We faced Seoul Sub-Way Construction by NATM. As it was damages to the Structure on the Surface, finally We made Empirical formula.

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

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

For Concrete breaker $V = KW^{0.5}D^{-1.75}$ (K=7)

The magnitude of groun Vibration Can be reduced as using follow matters. First, by using explosive that have low dencity and low Velocity of detonation.

Second adopting two stage deck charging, third, by using Milli Second electric Caps and Multi-Sequency blasting machine.

本 論文은 10月 29日 서울教育文化院 講 堂에서 한화가 主催한 바 있는 第1回 한화 기술 심포지움에 招請講士로서 發表한 內 容을 要約한 것이다.

目 次

- 1. 火藥類의 發展
- 1-1. 火藥類 消費 Pattern
- 1-2. 火藥類 製造 沿革

- 2. '67創立 우리 學會 발자취
- 2-1. 우리 學會 刊行物
- 2-2. 우리 學會 對政府 建議
- 3. 爆破技術의 發展過程
- 3-1. 沿革
- 3-2. 標準發破
- 3-3. 터널 穿孔 Pattern
- 3-4. 서울 지하철 建設進出

1. 火藥類의 發展

1-1 火藥類 消費 Pattern은 需要에 따라 가기 마련이다. 50年代는 韓國 戰亂으로 모든 産業이 痲痺狀態 였으나 軍需用 金屬 鑛은 重石鑛, 鐵鑛등은 好機를 맞이하였으며 無煙炭鑛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 있다. 그 後에도 無煙炭의 増産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 차지하고 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해 가기 始作, 거기다 80年 中 半부터는 APT住宅 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하다가 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에 이어서 確安 爆藥, 黑色火藥등 生産 供給하기 始作하다가 80年初 서울 地下鐵 1號, 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에 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 火藥製造業界의 2元化時代를 맞이하고 있다.

1-2 Dynamite-含水 爆藥 沿革 [‘火藥學誌’ (1981.4권) 卷頭言 引用]

1930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한 要素가 되었으나 그후 500年 동안은 秘法으로 간직한 채 別다른 改良없이

(韓國火藥類 需要總計)

1) 需要別

年度 區分	1991	1992	1993	1994	1995
石炭鑛	4,900	4,000	3,600	3,400	3,000
石炭石鑛	10,000	11,000	12,000	12,000	13,000
一般鑛	4,000	5,500	3,500	3,500	2,500
建設	28,000	32,000	33,000	32,000	34,000
計	46,900	52,500	52,100	50,900	52,500

2) 爆藥시類

年度 區分	Dynamite	含水爆藥	確安爆藥	ANTO	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
		KOVEX				
1992	32,000	3,400	500	15,300	300	52,500
		EMX 1,000				

使用되어 오다가 1800年代에 이르러 西洋에서 雷汞(1800)線藥(1833), Nitroglycerine (1864)등이 발명되면서 爆發力이 增進되는 期待되었으나 폭발작업의 危險性은 實用을 制限하였다. 1867年 Nobel에 依하이 發明된 Dynamite는 곧이어 다시 線藥을 가미하여 Blasting gelatine의 形態로 改良되고 雷天爆粉으로 工業雷管이 만들어지면서 現代鐵工業의 發展에 크게 功여할 수 있었다. 그후 100年間은 Nitroglycerine의 含有量은 20% 程度까지 低下시킨 膠質 Dynamite나 炭鑛用 Dynamite, 凍結Dynamite등이 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 Ohlsson등에 의해 硝安에 木炭등을 添加하여 만드는 Ammoniakkruert란 硝安 爆藥이 發明 되기도 하였으나 Gelatine Dynamite의 優秀한 性能에 밀려 거의 實用 되지는 못하였다. 그 후 硝安의 生産이 空中室素의 固定法(1914)에 의해 이루어지고 값싼 化學料로서 量産이 可能하여짐에 따라 硝安의 爆發性은 다시금 重要性을 갖게되어 1948年 Akre등은 Carbon black만을 硝安에 添加하고 低廉한 Akremite를 만들었다. 그러나 硝安爆發은 Nitroglycerine을 添加한 Dynamite에 比하여 壓力이 弱하고 吸濕性 弱하며 장시 吸濕 固化하기 때문에 많은 改良 研究에도 不拘하고 그 需要는 但常 制限되어 있다. 그리던 中 꾸준한 研究는 1954年 美國의 鐵鑛山에서 火藥의 規制를 받지 않는 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. 곧이어 ANFO는 抗內用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 大韓火藥技術學會誌

代替 充足하고 있다. 우리나라에서는 1960年代初 許墳博士가 처음 公開發破實驗으로 開拓한 이래 많은 曲절을 거쳤으나 그 優秀 性에 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/cm³:8900 l·/cm³) 하다고 하지만 爆速이 느리고 (3000m/sec) 爆發感度가 낮으며 습濕性도 包裝法의 解決 策은 아직없다. 그리고 ANFO에 Al 粉末이 나 Paraffin Wax등을 만들때 工業雷管 만 으로 起爆이 可能하다고 하지만 가격의 상 승으로 별다른 意味를 갖지 못한다. 기타 臨界爆徑과 爆速問題, 후 gas中の NOx의 發生問題, 전정기에 의한 發火問題,貯藏시 油 分의 分離問題등 많은 改良点이 宿題로 남 아 있다. 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 방지하여 왔으나 1956年 M.A.Cook에 衣해 發明된 Slurry 爆藥에서는 도리어5~15%의 水分이 硝安 및 Al粉末과 같이 爆藥의 基劑로 역할하고 있다. 이 新種의 爆藥은 製造나 저장 및 運搬이나 使用에 있어 危害 防止上 가장 安全할 뿐아니라 低廉性과 爆發性能의 향상 可能性은 火 藥業界 및 鑛工業系의 新紀元을 이룩할 수 있다. 現在는 TNT와 같은 火藥類를 感劑로 包含하지 않는 NH₄-NO₃-H₂O 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.

1-2 火藥類 製造 沿革

- 1935년 왜제하. 鴻남에 火藥工場 설립
- 1950년 미국 Lee와 Akre 공동으로 ANFO 특허
- 1952년 한국화약(주) 인천공장 재건
- 1956년 미국 M.A Cook와 가미 H.E. Farnam 공동으로 Slurry 특허

1961년 Dynamite, 초안폭약, 흑색폭약 및 D/S 전기뢰관 제조시판
 1962년 8월 일본 하촌 ANFO 실용화 공개 실험.
 1964년 6월 20일 許塡 국산 ANFO 제조성능 공개실험 상공부 주최 시흥광산에서
 1968년 2월 허전 AI-ANFO 제조성능 공개 실험 화약협회 주최 부평광산 (1969년 일본 공업화약협회 추기대회 발표)
 1968년 한국화약(주) ANFO 제조시판
 1975년 일본 Slurry 제조시판(미 Dupont 및 IRECO등과 기술제휴)
 1977년 11월 許塡 Slurry 제조성능 공개 실험건설협회, 양회협회, 석탄협회, 광업회 공동주최 친보광산에서
 1980년 12월 30일 폭약 년 소비량 21,237 T 중 ANTO가 6,363 T(30% 점유)
 1981년 4월 1일 振動測定器 Lion製 우리學會 추천 鮮一機械 輸入市販
 1981년 5월 24일 한화(주) 미국 Dupont과 기술제휴 Slurry 및 Finnex 및 M/S 전기뢰관 제조시판
 1989년 6월1일 진동측정기 InstanTEL製 우리學會 추천 High Tech Co.輸入市販
 1993년 5월 1일 한화(주) Emulsion 개발제조시판
 1993년 9월 1일 한화(주) 비전기뢰관 (HINEL) 제조시판
 1993년 10월 1일 고려화약(주)Nitro novel과 기술제휴 Emulite, KT 전기뢰관, Nonel시판
 1994년 4월 1일 한화(주) Hideto 뇌관 8號 (42 #) 개발제조시판
 1994년 10월 10일 多段發破器(Sequential blasting machine) 우리학회추천 High Tech Cd.에서 輸入市販

2. '67創立 우리學會 발자취

1967年 4月 20日 靑少年會館에서 大韓火藥技術學會創立總會를 發起人 朴長庚 代表外 180名의 火藥類管理技師(1,2級)創立 內務部,서울市警 保安科 關係官 그리고, 火藥學界元老이신 孫仙官교수(檀國大學校 工大學長), 林濟源 先任研究官(國防科學研究所)等 參席下에 盛況을 이루었다. 곧이어 內務部(李호長官),社團法人體로서 韓國科學技術團體正會員으로서 發足を 보게된 것이다.

名譽會長 孫仙官 教授
 會長 許塡 博士
 副會長 鄭殷鎔 教授
 副會長 朴雄燮 理事
 總務理事 申甲撤 技師

2-1 우리學會刊行物

우리學會에서는 定期刊行物로서 季刊 「火藥發破」를 發刊하고 年2回 春秋學術 Seminar및 年2回 春秋 外國 專門家 招請 發表會를 가지고 있으며 刊行書籍으로서는 다음과 같다.

1964. 12 ANFO 爆劑新發破學. 東亞出版社
 1981. 9 新火藥發破學. 機電研究社
 1982. 5 新火藥發破解說. 普晉齋
 1984. 4 서울地下鐵工事 3, 4 號線發破工法.
 1985. 2 岩石 力學. 機電研究社
 1986. 7. 岩石 力學解說. 同上
 1987. 2. 智山許塡博士回甲記念集.
 1996. 3. 智山許塡博士古稀記念集.

2-2 우리學會 對政府建議

- '69. 4 火藥類 管理 및 製造 技師 新設 建議 (現在 7,000名 배출) ---- 勞動部,內務部
- '88.10. 1 火藥類管理技術士 新設建設 ('89. 3. 27 改正案 公布,現在 70名 배출)
----- 勞動部,內務部'89.
- 4. 1 火藥類管理技術士 建設部門 編入建議 ----- 勞動部,內務部
- '92. 7. 1 地下鐵工事 火藥類監理 業務 新設 建議 (現在15名) ----- 서울地下鐵本部
- '93. 3. 1 터널 技術士 資格 新設 建議 (韓國터널 技術協會 許 埴 會長) ----- 建設部
- '87.10. 1 建設技術管理施行令 (火藥管理技師도 2週間の 受講으로 監理者
자격얻음 ----- 建設部'95.
- 9. 1 施設物安全管理에 관한 特別法 (火藥管理技術士 및 技師도 2週間の 受講으로
安全診斷 자격얻음) ----- 建設部
- '96. 1. 13 建交部の 安全診斷 認可없이 火藥類管理技術士도 安全診斷을 할 수 있다는
科技處長官 (技術士 제 96-10호 96. 1. 13)의 有權의 解析을 받음.

3. 爆發 技術 發展過程

On the Blasting Technology
Development Of Korea

ABSTRACT

Korea-America Tungsten Treaty is only Earning U.S Dollar but also it was Turning Point of Tunnelling Technology Development Such as a Burn Cut. Because 10th of specialist worked at Sangdong Mine Under Treaty. The First of all, Experimental Blasting Pattern for Single Free Face Carried Out.. As a Result it has Brought the Burden and Charge/m' and also Space Distance. After The Center Holes are Blasted. Remain of The Works was The Implementation of Bench Cut Against The Opening to make The Full Sectional are Required.

Ca =A/SW where as A=ndi=m
activated area
standard blasting equation
S=Peripheral length of Charged room

Ca=Rock Coefficient
di=Holes diameter

Later in 1980, The Dynamite Explosive is replaced into Emulsion & Milli-Second Delay Electric Clap.

Sequential Blasting machine were Applied in Site.

The Subway Tunneling have been worked so Carefully for Vibration and Noise to near Shopping and housing area. We carried out Empirical formula to solve city Environment pollution as follow

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

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

V=PPV(cm/sec)

K=Coefficiency

D=Distance(m)

W=Amount of power/delay(kg)

3-1 沿革

韓國 動亂중 삶과 죽음의 갈래 길에서 오직 판다리를 만져보면 살아 있다는 感의

행복감으로 그날 그날을 기약없이 보내고 있던 어느날 1951年 韓美重石 協定이 체결됨으로서 國內 重石鑛의 大宗을 이루고 있던 國營 大韓重石鑛業(주) (旧 小林)은 당시자유진영의 생산량과 埋藏量의 15%를 占有하고 있는 生産業體로서 그 중에서도 江原道 上東鐵鑛은 單一規模로서는 世界最大의 重石鑛이었다. 鑛山 周邊에는 美軍 1개 師團이 警備를 맡았고 그 外廓은 國軍太白地區가 2重으로 보호를 해주어 그렇지 않아도 治安이 좋지 않았던 太白山 밑에 위치한 鑛山 職員들은 안심하고 生業에 종사할 수 있었다. 필자도 生産社員으로 入社현장에서 美國務省과 契約 派遣된 Utah Construction & Mining Co.(Arthur Kendle 단장)採鑛技師 2명, 選鑛2명, 機電2명, 化學2명, 庶務1명 都合10명과 함께 일하며 英語를 안다는 惠澤으로 이들을 관리하는 實務 當者가 되었다. 倭政때부터 쓰이던 S-49착압기는 全部 美製 新設 착압 裝費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 착압기는 90Lb 壓力으로 밀어내는 美製 착압기에다 +字形 텅스텐 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가m 單位로 轉換하게 된 것이다. 이때 美國 技術者의 業務經驗을 引受받아 筆者가 처음 考案 理論적으로 體系化 한 것이 터널 標準 發破技法과 터널 穿孔 pattern이다. 當時 上東 抗長으로 勤務할 때가 記憶된다. 막장에서 일하는 從事員을 給料順으로 볼 때 착압工,助手 지보공, Hoist, mucking工,電車 運轉工, 配水 pump工, 運搬工 및 助手등으로 分類되어 있는데 착압工의 工質을 높이는 대신 그날 착압 作業을 하지 않는 경우에는 運搬工으로 下向 調整 했으며 착압 作業時에도 工當 30m 以下 穿孔 時는 A級 15m 以上時에는 B級 그 以下는 C級으로 分類하여

基本賃金에다 Bonus制를 導入施行 하였다. 그 결과 A級을 계속한 착압工의 給料가 最高 責任者인 所長의 給料를 넘어서는 웃지 못한 結果를 招來하였다. 이때 새로이 考案해 낸 것이 點火 時 막장에다 火藥 箱子 속밑에 Dynamite를 넣고 點火後 쌓여지는 石을 멀리 밀어냄으로서 다음 交代者가 착압기를 세울 수 있는 장소를 마련하여 點火後 착압사업이 이루어질 수 있도록하여 日 5交代 作業이 可能했던 것이다.

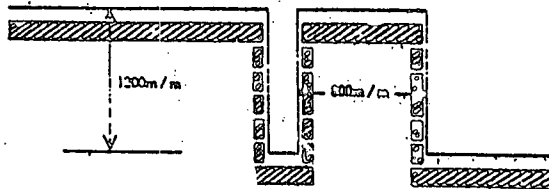
「ANFO新發破學」許墳著(p90~100引用)

上東鑛山에는 새로운 世上을 맞이하게 되었던 美國은 對戰車砲에 쓰이는 텅스텐이 必要했던 것이다. 사가는 값은 單位當 (Unit)/(20Lb) 65\$란 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. (W_{0.3} 1%)日生産 1300T 規模로 生産計劃을 세우다보니 採鑛 및 運搬坑道の 掘進을 비롯하여 採鑛方法도 從來의 Sub-level Caving 法으로부터 Pillar & Room의 Slusher 採鑛으로 機械化作業으로 改善하다보니 먼저 坑道 掘進發破의 機械化作業으로 改善하게 되었다. 最小 抵抗線과 標準裝藥量을 구하기 위하여 2自由面의 珪長石(연岩)에다 標準發破하여, 80cm의 最小 저항선과 1.1倍를 兼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. 倭政時代 使用했던 S-49 Drifter에다 비트로 사용했던 炭素鑛을 全面交替 日本製를 除外한 美國의 IR Joy 및 Gardner-Denver 제 Stopper leg Drill 및 loader 등 英國의 Glass Cow爆藥과 D/S 電氣雷管, 그리고 瑞典의 RH 464-4W 착압기 등 最新精密의 裝備로서 Burn Cut의 새로운 공법을 개발하는데 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 納 げ 하였다. 이는 이나라 最初의 穿孔配置 및 點火圖가 개발된 것이다. 1955年 春장에서 철도 터널공사가 착수되었다. 韓美 重石技術 協定(團長 MR. Athur Kendall, michigan大 學卒)의 完了로 Kendall단장이 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.

發破作業의 施行에 앞서, 爆發된 炭石에 대하여, 選定된 爆藥의 適否를 判斷해야 함은 물론 炭石 및 爆藥에 대한 係數를 求하여 이를 基準으로 裝藥量을 計算하 여 基地의 發破計劃을 樹立하여야 한다. 그러므로 破壞炭石의 크기 및 飛散의 狀 況,採石의 目的, 주위 狀況에 대한 安全 度 및 經濟的인 面을 檢査하여 가장 理 想에 가까운 標準發破에 의하여 最小抵 抗道및 炭石係數를 產出하는 例를 들면 다음과 같다.

3-2. 標準 發破(單一 自由面 發破)



(그림 1) 표준 발파 예시도

(예) 筆者가 上東鑛山에서 實驗한 바에 의 하면 다음과 같다.

岩 種 : 珪長石 및 珪班炭

使用爆藥 : 國產 Gelatine st. Dy 60%

(Primer), ANFO 藥包, 對 紙入 5個 裝填 (計算例:1)

發破孔 $d_1 = 35\text{mm}$

藥 徑 $d_2 = 32\text{mm}$

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

$X = 162\pi \times 1200 / 17.52\pi = 1003$

$nd_1 = m = \text{藥室長} n = m/d_1$

$= 1003\text{mm} / 35\text{mm} = 28.7\text{배}$

따라서, 炭石係數

$$Ca = A/SW = nd_1/2W(n+1)$$

$$= 28.7 \times 35/2 \times 800 \times (28.7+1) = 0.0211$$

반대로 W를 구하려면

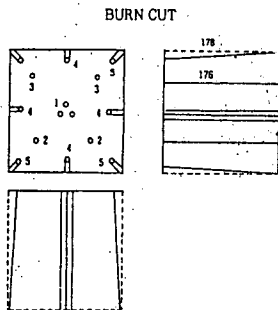
$W = nd_1/2Ca(n+1)$ 를 使用하면 된다.

A : 壓力의 作用面積, S : 藥室周邊長,

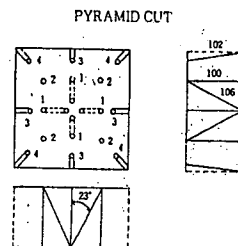
CA : 岩石係數, d_1 : 孔徑, d_2 : 藥徑

3-3 터널 穿孔 pattern

穿孔配置는 著者가 考案한 것을 實施 實驗 한 것으로 從來의 Pyramid Cut과 對比하여 作圖하였다. 實驗結果에 의하면 가장 안전 하고 효과적인 것은 平行型 發破임을 확인 하였다.



(그림 2)



(그림 3)

3-4 서울 地下鐵 建設 進出

1982年 4月 8日 뜻하지 않았던 서울 무악재 地下鐵工事(3-18工區)崩壞 事故가 발생하였으나 當時 治安本部 諮問으로 있었던 筆者는 10具의 시체 밑에 묻혀있는 249孔의 裝填孔을 收去하는데 만 4日間의 徹夜作業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 서울市 工事의 爆藥 使用에 있어서는 다이내마이트 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 掘鑿機를 普及 漸進的으로 代替할 것. 셋째, 火藥管理 技師는 下請業體에 屬해있는 日雇 分身을 工事契約 施工業體가 正式職員으로 採用하여 身元 保證을 할 것, 넷째, 火藥類 管理業務는 內務部로부터 建設部나 商工部로 移管하여 名實共히 技術行政이 管理토록 할 것. 그리하여 53 建設業體의 作業場은 110個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 대한 設計監理 및 監督을 指揮하게 되었다. 筆者는 일찍이 先進 제국의 最新 技術動向을 볼때 호기를 맞이하고 있는 터널공사의 NATM의 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. 이때 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 Smooth工法 및 line-drilling을 軟弱地盤에는 Fore-pilling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 말미 아니다. 아침저녁으로 터뜨리는 발파로 인한 振動은 서울 市民의 安寧과 商街住宅構造物에 影響을 주어서는 안되겠다는생각으로 우리 學會에서는 李慶雲, 林漢旭 博士의 諮問을 받아 서울 地下鐵 工事 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 오랜만에 착수된 1978~83년의 57km의 3,4號線 工事は 거의 동시에 이루어졌으며 가장 健實하게 가장 아름답게 先安全, 後施工의 金在明 社長의 卓越한 지도 밑에 이렇다할 하자없이 最短期間에 完工을 보게 된 것은 世界 地下鐵 建設 歷史上 새로운 章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(빛트경 $\phi 60\sim 120\text{mm}$)이 主從을 이루고 있으며 道路 및 高速道路 터널에서는 導入된 2 Boom Jumbo Drill($\phi 38\sim 45\text{mm}$)이 登場하게 되었다. 이제 무엇보다도 最小 低坑線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. 그외에다 Boom때에다 Basket을 매달아 裝填, shotcrete, 作業 및 浮石 따기가 安全하게 할 수 있는 利點이다. 1995년에 이르러 振動 騒音を 多少나마 줄이기 爲해서 多段 發破器(Sequential Blasting machine)를 첫 선을 보였으나 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.

우리學會 發破實驗式

(진동치, 爆源과의 距離 및 치발당 爆藥量과의 函數關係)

종 별	$V = 41 D^{1.11}$ (---)	$V = 124 D^{1.66}$ (---)	$V = 100 D^{1.66}$ (---)	서울 지하철 공사 실험식	
조 건	W1/3	W1/3	W1/3	$V = KW^{0.57} D^{1.76}$ (Granite)	$V = KW^{0.5} D^{1.5}$ (Gneiss)
폭원-구조물 간의 거리	-100m φ 60~70mm	+100m φ 60~70mm	+100~300m φ 60~70mm	-30m~40m φ 36~38mm KOVEX, M/S 전기 뇌관 Bench Cut, Tunnel	
Bit Gage	KOVEX, M/S	KOVEX, M/S	KOVEX, M/S		
사용 화약류	전기 뇌관	전기 뇌관	전기 뇌관		
천공 방식	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut		
비 고 : Bench Cut 실험식은 편마암(인암-보통암)에서 실험한 것임					
단, V=진동치(cm/sec), K=상수, W=치발당 장약량(kg), D=폭원과 거리(m)					

3-5. 國際學術發表論文

International meeting participation

1952. 3. 1 標準發破 pattern 實驗式發表(φ 38mm Bit경), ANFO 火藥劑新發破學 P89-92

1954. 3. 1 Burn Cut 工法(φ 38mm 2X2m) 實用化 實驗於 上東鑛山

1959. 4. 10 長孔 Burn Cut 工法(φ 45mm 8 X4m) Tunnel 實用化 實驗於 Colorado school of Mines.

1962. 4. 5 ANFO 火藥劑 實用化 實驗 商工部后援

1966.12.25 金屬硝油爆藥 實用化 實驗(日本 火藥學誌 Vol 30 No 5 '69)

1972.10 1. Dynamical study on the blasting with One-Free-Face to utilize ANFO Explosive(1973. 4. International society of Explosive Engineers at Cleavland Ohio 대회발표

1981. 6. 27 Burn Cut 工法(φ 38mm 7X7mm 實用化 實驗於 서울 地下鐵公社

1986.11. 1 The Construction Works of Subway #3, #4 line(國際 岩盤力學會發表於北京)

1987.10. 1 The Status of Engineering Consultant and Consultancy Risk in Korea(東南亞 工學會議 : FEISEAP, 技術士 Seminar 於香港 論文發表)

1988. 9 A determination of Vibration Equation by Empirical method (國際岩盤力學會 於 Canada, Ontario 論文發表 : 遲發當裝藥量, 爆源과의 距離 및 振動置와의 函數實驗式에 依한 應用發破)

1989. 3. Some Factors affecting the level of Blasting -Induced Vibration in Urban area(16次 美國 火藥技術學會 年次大會 發表於 Orlando 論文發表 都心地 發破에서 發破振動的 크기에 影響을 미치는 諸要素.)