

精密發破의 標準化(上)

Standardization of Cautious blasting

許 填*
Ginn Huh

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 더파기 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 抵抗線과 孔間距離間의 維持, 爆源과 測點間의 距離 및 地質與件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인 면에서 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의 觀點: 含水爆藥, 硝油爆藥
- 2) 掘鑿工法의 觀點: 精密爆藥 및 M/S 電氣雷管
- 3) 發破公害上의 觀點: 振動節減 爆藥 등으로 多樣化되고 있는 實情으로 여기서는 오늘날의 産業化藥界의 現況과 外國의 火藥類에 대해서 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%以上을 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해야 할 問題點을 提示하고 있다.

또한 部門別 用途에 있어서도 從來의 炭鑛爲主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%, 炭鑛이 31%로 轉移되고 있는 現狀을 나타내고 있음은 앞으로 爆藥使用이 多樣化를 證明하고 있는 것이다.

2.2 含水爆藥(Slurry)

Dynamite는 Nitrogel을 其劑로 하여 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 鑛山枝師 N.E.Farnam과 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 「

*鑛業技術士(採鑛). 工博. 大韓火藥技術學會長

Dynamite」가 主犯인 것이 動機가 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 衝擊, 摩擦, 火災 等に 대하여 比較的 安全하며 또한 發破 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 衝擊으로 因한 爆藥比率을 비면 Dynamite가 26/120인데 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는 있으나 抗內用「Dynmaite」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 되는수도 있으며, 또한 段發 發破時 隣接孔의 衝擊影響을 받게 되는때는 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해야함은 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 採釋하여야 한다. 標準發破에 의하여 最少抵抗線 및 岩石係數를 算出하는 例를

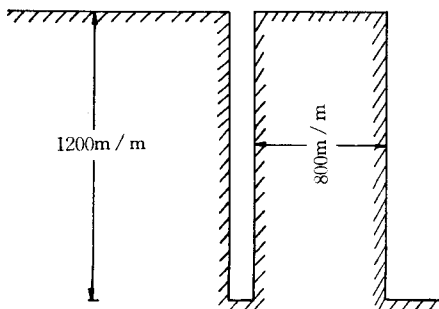


그림 1 標準發破例示圖

들면 다음과 같다.

《例》筆者가 上東鑛山에서 實驗한 바에 의하면 다음과 같다.

岩 種: 珪長石 및 珪斑岩

使用爆藥: 國產 Gelatine St. Dy 60%(Primer),

ANFO 藥包 對 間紙入 5個 裝璜

《計算例: 1》

發破孔 $d_1=35\text{mm}$ 藥經 $d_2=32\text{mm}$

$$16^2\pi: x=17.5^2\pi: 1200$$

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

$$nd_1=m=\text{藥室長} \quad n=\frac{m}{d_1}=\frac{1003\text{mm}}{35\text{mm}}=28.7\text{倍}$$

따라서 岩石係數

$$Ca=\frac{A}{3W}=\frac{nd_1}{2W(n+1)}=\frac{28.7 \times 35}{2 \times 2800 \times (28.7+1)}=0.0211$$

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 : 孔經

d_2 : 藥經

發破作業으로 야기되는 發破振動은 遲發當裝藥量, 爆源과 測點間의 거리등의 函數關係가 있으며 一般的으로 通用되고 있는 다음 公式를 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, 朴漢旭 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를 發破 서울 地下鐵 3, 4號線建設工事に 適用함으로서

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公式(Bitgauge φ 36mm)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 $D < 30^m$)

3.2 微振動破砕器(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 距離가 都心地에서의 隣接建物構造物에 관한 것으로 3-1은 30m 이내 3-2은 5m 이내의 近距離에 適用되는 것이며 遠距離의 경우는 다음 3-3 公式을 適用하되 K 値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)

+30m ~ -100m
 $V=41(D/W_{1/3})^{-1.41} \dots \dots \dots R=0.69$
 +100m
 $V=124(D/W_{1/3})^{-1.66} \dots \dots \dots R=0.782$

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

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

3) 감쇠지수 n는 大體의으로 1.6을 中心으로 變化하나 어떤 傾向을 찾기 어렵다.

따라서 Sweden의 Langefors는 이 n 값을 1.6으로 固定하고 發破때마다 K 값을 구하고 있다.

$$\text{즉 } V=K(D/3\sqrt{W})^{-1.6}$$

4) 大規模 發破일수록 地形, 穿孔 배열등의

요인에 대한 영하이 적어져서 適合度가 높은 發破진동式을 구할 수 있고 이에 依한 보다 正確한 發破진동의 豫測이 가능하다. 그러나 距離가 짧고 少量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(3,4號線)當時 Kaist :에서 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 우리나라는 一般的으로 通用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 실금이 나타 나 있는 程度	商街 금(crack) 이 없는 狀態	鐵筋콘크리 트빌딩 및 工場
	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 100Hz 까지 通用된다.

5. 發破振動的 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 微小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 10~200Hz로 높고 持續時間이 1抄內

로 아주 짧다. 火藥類의 爆破 Energy 가 振動을 發生하는 것으로 爆發終了와 同時에 振動도 消滅한다.

公法을 適用하는 것이다.

5.1 發破振動과 爆藥의 關係

- 振動速度：裝藥量의 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.
- 變位振幅：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 顯著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 運發點火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, 制御公法(controlled blasting) 등이 이에 屬하며 심빼기(Center 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 커질 수 있다. 따라서 發破振動輕減을 위해 cushion 作用을 利用하는 制御

5.4 日本氣象廳震度階表(速度値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 이하	0.13 이하
震度 1	微震	静止하고 있는 사람이나 特別히 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 나쁜 꽃병 등이 넘어지고, 걸고 있던 사람도 느끼고, 많은 사람이 屋外로 뛰쳐나온다.	25 ~80	4.0 ~12.6
震度 5	強震	벽이 갈라지고, 墓石 등이 넘어 연통, 돌담이 破損되거나 한다.	80 ~250	12.6 ~39.8
震度 6	烈震	家屋의 倒壞 30% 以下, 山이 崩壞되고, 땅이 갈라지며 많은 사람들은 서서 있을 수가 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 등이 생긴다.	400 이상	63.7 이상
		(記事는 一部 簡略化했음)		

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	대체의 창이 파손 어떤종류의 창이 파손 큰 pcopeller 기행기音 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 덜커덩 덜커덩 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	可聽不限

[備考] 一般音 A와 B는 各各의 文獻에 의함.

6. 岩種과 最少抵抗線 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 標準으로 하여 作成되어야 한다. 都心地發破에서 많이 使用되고 있는 小型鑿暗(Bit Gage $\phi 36\text{mm}$), 使用爆藥은 Kovex $\phi 28\text{mm}$, 點火는 M/S 電氣雷管을 使用하여 다음과 같이 適用한다.(다음호에 계속)

Bit 經(Jack leg) $\phi 36\text{mm}$

		I	II	III	IV	V	備考
岩 種	$\phi 36\text{mm}$ Bit Gage	硬 岩 (stable rock)	普通岩 (moderately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟 岩 (fractured and friable rock)	風化岩 (instable plastic & squeezing rock)	麻砂土 (highly plastic squeezing & swelling gro- und)	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)	터 널	65	70	75	80	85	
	2自由面 (개착식)	70	75	80	85	90	