

팔당大橋 橋脚 基礎發破作業

許 堧*

On the Cautions blasting work of pier foundation in the PALDANG Bridge

by G. Huh

This Test Blasting aims to dig pier foundation in the water, therefore the Caps & Powder needs 5-20% more Than the amount of ground blasting works.

It results in the Dimension of water blasting standardization

This project is Contracted with th office of HAN River Development of Kyunggi province.

水中發破는 대상 岩石의 一部 또는 全部가 물로 덮여있는 경우의 發破로써 穿孔, 裝藥 및 配線 作業이 모두 水中에서 이루어짐으로 一般의인 陸上 發破와는 다르다.

水中 發破의 特性은 穿孔 作業面이 水面 下部 이므로 잠수부들이 穿孔 作業을 해야되고 水深 이 깊어질수록 水壓의 作用으로 作業에 正確을 期하기 어렵다. 또 穿孔된 孔中에는 裝藥 不能 孔이 2~10%에 達하여 천공수 및 裝藥量이 陸上의 階段式 發破보다 증가하는데 水深에 따라 3~6배에까지 달한다. 뿐만 아니라 配線이 完了 된 後 뇌관의 脚線과 母線의 導線이 못쓰게 되는 경우도 5~20%나 되므로 이를 고려하여 천공수나 장약량을 충분히 策定하여야 한다.

이와같은 特殊性을 지닌 水中發破에서 陸上 과 같이 作業場이 넓지 못하고 制限된 경우 特 히 우물통內에서의 굴삭의 경우 그 作業은 一般 水中發破와도 다르다.

特 히 우물통內 作業에서 爆藥을 使用하여 發破를 할 때 이로 因한 Concrete 우물통의 破損에 유념하여야 하는 경우 여러 制限으로 作業能率 및 工費面에서 大端히 不利하게 된다.

따라서 上記와 같은 조건에서 一般의인 水中 품셈표를 適用할 수 있는지를 살펴보고 그 問題點이 있는 경우 改善方向을 提示함으로써 效率的인 施工을 도모코져 하는데 本 報告書의 目的 이 있다.

1. 現품셈표의 검토

가. 岩石切取 (片切形) : 1987年 건설표준품셈 p. 94~110.

(m³당)

종별 암질	폭약 (kg)	뇌 관		도화선		빗트 (개)	화약공 (인)	인부 (인)	착암공 (인)	착암기 (시간)	공 기 압축기 (시간)	갱부 인력 (인)
		인력 (개)	기계 (개)	인력 (m)	기계 (m)							
풍화암	0.10	1.8	0.4	0.5	0.4	0.003	0.05	0.13	0.017	0.105	0.035	0.20
연 암	0.12	2.7	0.6	0.9	0.6	0.004	0.06	0.14	0.032	0.192	0.064	0.45
보통암	0.16	3.6	0.8	1.6	0.9	0.005	0.07	0.16	0.048	0.288	0.096	0.75
경 암	0.20	4.5	1.0	2.3	1.3	0.005	0.08	0.19	0.080	0.483	0.161	1.10

* 韓國터널技術協會會長, 工博, 技術士

나) 암석 절취(크라울러드릴)

(10m³당)

종별 암질	폭 약 (kg)	뇌 관 (개)	빗 트 (개)	롯데 (개)	생크 롯데 (개)	슬리브 (개)	화약공 (인)	인 부 (인)	크라울러 드릴사용 (시간)	공기압축 기 사용 (시간)
연 암	1.2	0.6	0.029	0.015	0.015	0.035	0.110	0.204	0.330	0.360
보 통 암	1.6	0.8	0.034	0.017	0.017	0.038	0.160	0.313	0.470	0.520
경 암	2.0	1.0	0.037	0.018	0.018	0.040	0.210	0.422	0.730	0.800

[해설]

이 품은 공기압축기 : 17.0m³/min(600ctm), 착암기 : 크라울러드릴 17m³/min, 빗트 : ϕ65mm, 롯데 : ϕ32mm×3m를 기준한 것이다.

다) 수중

(10m³당)

종별 암질	화 약 (kg)	뇌 관 (개)	빗 트 (개)	착암공 (인)	화약공 (인)	인 부 (인)	잠수부 (인)	착암기 (시간)	공기압축기 (시간)
풍 화 암	4.10	8.50	0.03	0.34	0.70	0.60	2.80 (5.10)	2.10	0.70
연 암	6.20	12.70	0.04	0.64	0.90	1.00	4.30 (7.60)	3.84	1.28
보 통 암	7.00	14.00	0.05	0.96	1.00	1.00	5.00 (10.00)	5.76	1.92
경 암	12.00	25.00	0.05	1.60	1.20	2.00	8.00 (13.00)	9.66	3.24

[해설]

- 이 품은 천공 발파 품 이며 ()내는 잠수부 천공시의 품임.
- 수중 잠수부 작업의 경우에는 천공능력 저하율 50%가 포함된 품 임.

라. 본품은 작업조건이 보통인 경우를 기준한 것이므로 현장 조건을 감안 재료를 제외한 품에 다음표 범위내에서 증감할 수 있다.

현 장 조 건	증감율(%)
작업에 제한을 받지 않는 구간의 암절취	-5
보통 조건의 암 절취	0
교통, 가옥, 전선 및 철로등의 제한을 받는 구간의 암절취	+5

에 따르나 탄성과 속도 및 내압강도의 측정이 가능할 경우에는 다음표에 따를 수도 있다.

바. 착암기의 작업능력 산정 예

$$Q = \frac{\ell}{b \times d} \cdot n \cdot E$$

Q : 시간당 암파쇄작업량(M³/Hr)
 ℓ : 착암기의 천공능력(M/Hr)
 b : 천공수(뇌관수) (EA)
 d : 천공깊이(M)
 E : 작업효율
 n : 착암기 대수(EA)

마. 암의 분류는 일반적으로 재료의 단위 중량

• 현품셈표의 특성

품셈표의 내역은 그 산출기초가 명시되지 않았으나 위에 열거한 내용을 종합 검토할때 다음 사항을 알 수 있다.

1) 암석 절취의 개념은 석산에서 대 발파로 많은 암석이 절취되는 성질이고.....(p. 103)

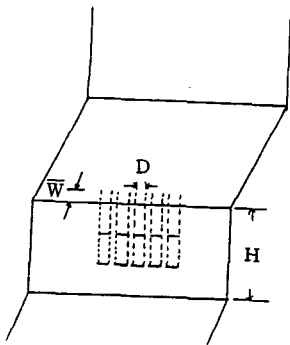
2) 착암 깊이는 암석 절취 또는 암반 터파기에서 모든 품셈은 1.2m를 기준으로 하고 있음은 룯드의 길이 1.6m 기준의 것을 사용하는 때문이다. (p. 104)

3) 현장 조건에 의한 증감율은 -5~+5%로 제정되어 있으나 다양한 조건을 갖는 시공 상황에 비추어 적용성이 적다고 볼 수 있다.

4) 품셈의 산출 천공수(뇌관수)를 고려할 때 그 자유면을 갖는 계단식 발파(bench blasting)를 기준한 것이다.

참조 : 계단식 발파의 산출내역

예 : bench cut (2자유면 발파)



D : 공의 간격(m) $D \doteq 1.1W$

H : =계단의 높이(m)

W : 최소저항선(m)

이때 채석량 $V \doteq DHW = 1.1W^2H$

- 암석 절취의 경우(가항 참조) 最小저항선의計算

암종별	계단 높이	자유면의 수	천공수	1 회 발파당 채석량	최 소 저항선
풍화암	1.2m	2	0.4	2.5	1.38
연 암	"	2	0.6	1.685	1.13
보통암	"	2	0.8	1.242	0.97
경 암	"	2	1.0	1.0	0.87

계단의 높이 $H=1.2m$ 로 한 경우

$$V=1.1 \times 1.2W^2=1.32W^2$$

천공의 수 (뇌관의 수)는 $1 \div V$

- Crawler drill의 경우

$$V=1.1W^2=1.1 \times 2.4W^2$$

($\phi 32mm \times 3m$ rod를 基準할때 餘掘을 고려함으로)

實際, 發破길이는 2.4m임.

岩質別	계단 높이	自由面의 수	천공수	1 회 發破當 採石量	最 小 저항선
연 암	2.4m	2	0.6	16.8m ³	2.52m
보통암	"	2	0.8	12.57	2.18
경 암	"	2	1.0	9.83	1.93

5), 4)에서 살펴본바와 같이 품셈표상의 뇌관數를 穿孔數와 같다고보고 그 自由面 發破에서 1회 발파당 채석량을 求하고 이로부터 最小 저항선을 求해본 결과 在來式 착암기(leg hammer)는 그 값이 0.87~1.38m, 크로라드릴의 경우 1.93~2.52m로써 實際 채석장에서의 값과 比較하면 큰 수치를 보인다.

6) 實際로 1自由面을 갖는 터널(小斷面, 軟岩) 發破의 경우 단위 m³當 천공수는 2.4개이다. (표준 품셈표 p. 375)

7) 서울 地下鐵공사 施工時 계단식 發破는 0.831kg/m³上部 導坑은 1.14kg/m³로 平均 0.922kg/m³의 實積을 보이고 있다. (p. 219)

한편 뇌관數는 계단식 發破의 경우 2.55개/m³, 도갱 4.98개/m³, 全體 平均 3.7개/m³의

實績이다.

參考로 이때의 bench 斷面積은 43.59㎡이고 1回 發破當 굴진장은 1m이었다.

이상 검토 結果 즉 同一岩質(편마암), 同一作業조건 (터널은 1자유면 發破로 水平方向으로 굴진, 水中發破로 1자유면 발파로 이는 下向굴진. 그러나 前者는 發破當 1.0m 굴진인데 後者는 0.6m임을 감안할때 水中이 아닌 陸上 조건이더라도 뇌관수 및 장약량은 약 2배에 되어야 한다)을 갖는 지하철공사의 實績과 품셈표로 부터 역산(逆算)한 최소 저항선을 比較할 때 현재의 품셈표로서는 우물통속 굴삭 작업에는 適用이 極히 어렵다는 것을 알 수 있다.

따라서 우물통속 굴삭 작업조건을 살펴보고 이들 特性을 고려한 적정 품셈을 算定하기로 한다.

2. 우물통속 굴삭 作業의 特殊性

1) 施工조건

금번 팔당대교의 경우 施工조건은 다음과 같다.

크 기	形 態	공사數量
直徑 9.2m	円 形	4基
直徑 11.2m	"	2基
直徑 21.4m	"	4基
R = 8m 길이 8m	타원형	4基
計		14基

2) 본 공사는 水深 12~14m에서 最小直徑 8.0m, 最大直徑 21.4m의 우물통속 作業으로 80cm Rod를 사용하여 1發破當 60cm를 切取하는 作業이다.

따라서 陸上이나 또는 넓은 地域의 水上作業과는 달리 制限된 作業個所이기 때문에 작업능률이 낮다.

3) 여기에 사용된 우물통은 40cm 두께의 鐵筋 concrete 원통으로 이의 破損을 防止하기 爲해선 發破로 인한 振動의 영향이 充分히 고려되

어야 한다.

4) 水中 作業으로 좁은 區域內 在來式 鑿岩機에 의한 1自由面 穿孔, 發破이기 때문에 1發破當 掘鑿 깊이는 0.6m이다.

3. 適正 품셈표의 設定

적정 품셈표를 設定하기 爲해선 現地 岩盤에서 各種 試驗發破와 發破 진동의 크기를 計測하고 그 結果에 準하여 設定함이 妥當한 것으로 사료된다.

그러나 施工 作業場이 水中이기 때문에 條件이 類以한 서울 地下鐵 공사의 實績 또는 國內外 既報告된 資料를 인용하여 計算하고 이 結果로부터 間接的으로 穿孔數와 裝藥量을 求해 보기로 한다.

檢討 方法은 發破振動을 고려하여 구하고 이를 Gustaffson의 水中發破 略算法과 Langefors의 計算法을 利用하여 이를 結果로 부터 適正案을 作成하기로 한다.

3.1 發破振動의 크기와 穿孔數 및 裝藥量

發破振動의 크기는 裝藥量, 起爆方法, 自由面의 數, 地質條件 등에 따라 달라진다.

施工區間은 片麻岩地域으로 크게 풍화암, 연암, 硬岩으로 區分할 수 있는데, 이와 同一 조건에서 測定된 振動式을 利用한다.

(이에 關한 具體的인 理論은 附錄 參照)

다음과 같이 서울 지하철 공사의 조건을 인용하기로 한다.

참조

區分	단축압축강도 (kg/cm ³)	상 수 값		備考
		K	α	
硬 石	1,200~900	85	1.5	根據1.
軟 岩	900~600	79	1.5	
風化岩	600이하	72	1.5	

$V=KW^{1/2} \dots \dots$ 에서

이때 許容振動値는 西獨 Vornorm DIN 4, 150 Teil 3에 의한 許容値 1.0~4.0cm/sec에서 最大값 4.0cm/sec를 基準하기로 한다.

(근거자료 2참조)

또한 우물통의 크기는 4가지 종류이지만 중간 크기인 直徑 11.2m를 基準하여 硬岩, 軟岩, 風化岩등으로 分類하여 計算하기로 한다.

즉 硬岩 $4=85W^{1/2} R^{-1.5}=(1.1)$

軟岩 $4=79WW^{1/2} R^{-1.5}=(1.2)$

風化岩 $4=72WW^{1/2} R^{-1.5}=(1.3)$

3.1.1 適正 裝藥量 산정

直徑 11.2m의 우물통 굴착을 Model로 하여 이를 실제상 다음 表와 같이 4區域으로 細分한 다음 式(1)의 發破基本式에서 우물통과 起爆地點과의 平均 距離를 代入하여 裝藥량을 구한다.

다음 裝藥量(1과 自由面과의 距離(W)를 나타내는 Hauser의 公式로 부터 裝藥量에 따른 區域別 自由面과의 距離를 求한다.

또한 遲發 發破時 孔間間격[(D)=e.W]을 岩質別로 算出하고 이들 자료를 基礎로 穿孔 및 pattern을 圖示한 다음 綜合 分析기로 한다.

區間別 岩質別 適正裝藥量

區分	범 위*1		理論裝藥量*2			實際裝藥量*3			自由面과의距離(W)*5			備考
	범위	平均거리	풍화암	연암	경암	풍화암	연암	경암	풍화암	연암	경암	
A	2m以內	R=2m	24.7	20.5	17.7	24.7	20.5	17.7	0.36	0.30	0.27	
B	2~3m	R=2.5	48.3	40.0	34.6	48.3	40.0	34.6	*50.45	0.37	0.34	
C	3~4	R=3.5	132.3	109.9	94.9	112.5	109.9	94.9	0.60	0.52	0.47*6	
D	4~5.6	R=4.5	449.2	233.6	201.7	112.5*4	168.8*4	201.7	0.60	0.60	0.60	

* 1. 범위란 우물통으로 부터 距離를 表示하는데 例로 B區間은 우물통으로부터 2~3m 떨어진 地域으로 適正 裝藥量 算定時 그 平均 距離를 2.5m로 看做한다.

* 2. 式(1)에 R값을 代入하여 理論裝藥量을 구한다.

例·硬岩에선 R=3.5m를 代入하면 $4=85W^{1/2} (3.5)^{-1.5} \rightarrow W=94.9(\text{gr})$ 임.

* 3. 穿孔長 0.8m에 適正 裝藥量은 풍화암은 112.5gr(다이아나이트 1개), 軟岩은 168.8gr(1.5개), 硬岩은 202gr (1.8개)로 본다.

따라서 이들 量을 초과하는 *4은 그 上限값으로 代置한다.

* 5. 自由面과의 距離(W)는 Hauser 公式 $L=CW^3$ 에서 구한다.

즉 $L_1=CW_1^3, L_2=CW_2^3$ 에서 $(W_2)^3=(\frac{L_2}{L_1})(W_1)^3=(\frac{48.3}{112.5})(0.6)^3$ 에서 $W_2=0.45\text{cm}$

* 6. $(W_2)^3=(\frac{94.9}{201.7})(0.6)^3 \rightarrow W_2=0.47$

나) 穿孔 및 裝藥量 計算(풍화암)

列別	우물통 에 서 거 리	우물통중심 에서 부터 거 리	直 徑	원주 길이	列간격 (W)	hole 간격 (1.2W)	천공수	평 균 장약량	총장 약량	비 고
ℓ ₁	0	5.6(m)	11.2(m)	35.2	0.36(m)	0.43(m)	82(공)	24.7	(kg)	465공×24.7gr= 11.4855kg
ℓ ₂	0.36	5.24	10.48	32.9	-	-	77	(gr)		
ℓ ₃	0.72	4.88	9.76	30.6	-	-	72			
ℓ ₄	1.08	4.52	9.04	28.4	-	-	66			
ℓ ₅	1.44	4.16	8.32	26.1	-	-	61			
ℓ ₆	2.80	3.80	7.6	23.9	-	-	56			
ℓ ₇	2.16	3.44	6.88	21.6	-	-	51			
(소계)							(465)		(11.4855)	
ℓ ₈	2.61	2.99	5.98	18.8	0.45	0.54	35	48.3		65공×48.3gr= 3.1395kg
ℓ ₉	3.06	2.54	5.08	15.9	-	-	30			
(소계)							(65)		(3.1395)	
ℓ ₁₀	3.66	1.94	3.88	12.2	0.60	0.72	17	112.5		40공×112.5gr= 4.5kg
ℓ ₁₁	4.26	1.34	2.68	8.4	-	-	12			
ℓ ₁₂	4.86	0.74	1.48	4.6	-	-	7			
ℓ ₁₃	5.46	0.14	0.28	0.9	-	-	4			
(소계)							(40)		(4.5)	
총계							570		(19.125)	

穿孔數 및 裝藥量 計算(軟岩)

列別	우물통 에 서 거 리	우물통中心 에서 부터 거 리	直 徑	원주 길이	列간격 (W)	孔간격 (D= 1.1W)	천공수	平 均 장약량	총장 약량	비 고
ℓ ₁	0	5.6(m)	11.2(m)	35.2(m)	0.30(m)	0.33(m)	107(공)	20.5gr		697공×20.5gr =14.2885kg
ℓ ₂	0.30	5.3	10.6	33.3	-	-	101			
ℓ ₃	0.60	5.0	10.0	31.4	-	-	96			
ℓ ₄	0.9	4.7	9.4	29.5	-	-	90			
ℓ ₅	1.2	4.4	8.8	27.6	-	-	84			
ℓ ₆	1.5	4.1	8.2	25.8	-	-	79			
ℓ ₇	1.8	3.8	7.6	23.9	-	-	73			
ℓ ₈	2.1	3.5	7.0	21.9	-	-	67			
소계							(697)		(14.2885)	
ℓ ₉	2.47	3.13	6.26	19.7	0.37	0.04	50	40.0gr	(3.76)	94공×40gr =3.76kg
ℓ ₁₀	2.84	2.76	5.52	17.3	-	-	44			
ℓ ₁₁	3.36	2.24	4.48	14.1	0.52	0.57	25	109.9gr	(4.8356)	44공×109.9gr =4.8356kg
ℓ ₁₂	3.88	1.72	3.44	10.8	-	-	19			
ℓ ₁₃	4.48	1.12	2.24	7.1	0.60	0.66	11	168.8gr	(3.376)	20공×168.8gr =3.376kg
ℓ ₁₄	5.08	0.52	1.04	3.3	-	-	5			
ℓ ₁₅	5.60				-	-	4			
소계							(20)		11.9716	
총계							855공		26.2601	

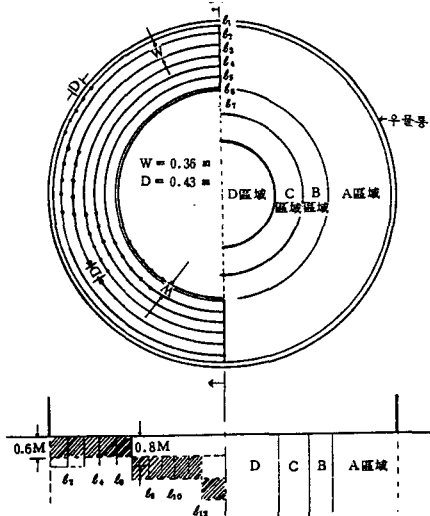
천공수 및 장약량계산(硬岩)

列別	우물통 에 서 거 리	우물통中心 에서 부터 거 리	直 徑	원주 길이	列간격 (W)	孔간격 (D=1.0W)	천공수	平 均 장약량	총장 약량	비 고
ℓ ₁	0	5.6(m)	11.2(m)	35.2(m)	0.27(m)	0.27(m)	131(공)	17.7	870(공)×17.7gr =15.399kg	
ℓ ₂	0.27	5.33	10.66	33.5	"	124				
ℓ ₃	0.54	5.06	10.12	31.8		118				
ℓ ₄	0.81	4.79	9.58	30.0		112				
ℓ ₅	1.08	4.52	9.04	28.4		106				
ℓ ₆	1.35	4.25	8.5	26.7		99				
ℓ ₇	1.62	3.98	7.96	25.0		93				
ℓ ₈	1.89	3.71	7.42	23.3		87				
소계								870	15.399	
ℓ ₉	2.23	3.37	6.74	21.1	0.34	0.34	63	34.6	169공×34.6gr =5.8474kg	
ℓ ₁₀	2.57	3.03	6.06	19.0	"	"	56			
ℓ ₁₁	2.91	2.69	5.38	16.9	"	"	50			
소계							169	5.8474		
ℓ ₁₂	3.38	2.22	4.44	13.9	0.47	0.47	30	94.9	54공×94.9gr =5.1246kg	
ℓ ₁₃	3.85	1.75	3.5	11.0			24			
소계							54	5.1246		
ℓ ₁₄	4.45	1.15	2.3	7.2	0.60	0.60	13	201.7	23공×201.7gr =4.6391kg	
ℓ ₁₅	5.05	0.55	1.1	3.5			6			
ℓ ₁₆	5.60						4			
소계							23	4.6391		
총계							1,116	31.01		

마) Drilling Pattern

穿孔 및 發破 pattern을 風化岩, 軟岩, 硬岩으로 區分하여 各各 A, B, C區域에 圖示하면 다음과 같다.

1) 풍화암의 A區域



• 穿孔 및 發破順序

풍화암의 천공수 및 장약량 계산표와 같이 우물통의 中心에서 外곽으로 同心 円狀으로 同一 간격(D)으로 천공하여 그 예를 中心에서 부터 ℓ₁₃ ℓ₁₂ ℓ₁₁..... ℓ₂ ℓ₁例이라 한다.

i) 이때 ℓ₁₃ ℓ₁₂ ℓ₁₁ ℓ₁₀ 例은 列間격(W) 60cm, 孔間격(D)은 72cm로 천공한다.

ii) ℓ₉ ℓ₈은 D : 54cm, W : 45cm되게 천공

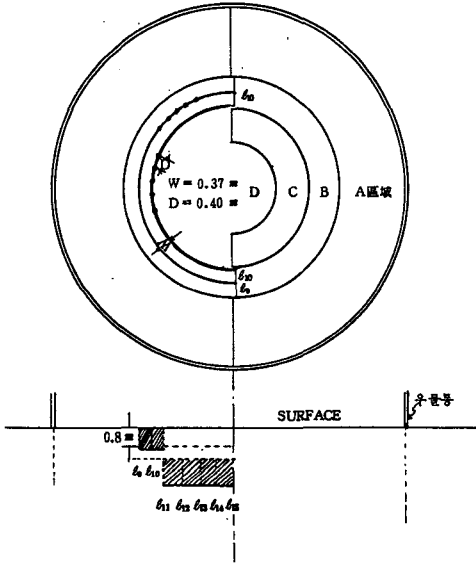
iii) ℓ₇ ℓ₆..... ℓ₂ ℓ₁은 各各 36cm, 43cm되게 천공한 다음

iv) 發破順序는 그림에 赤色으로 表示한 바와 같이 ℓ₁₃列부터 發破하면 ℓ₁₂ ℓ₁₁..... ℓ₁列은 2自由面을 갖는 bench cut가 되여 效果의 이다.

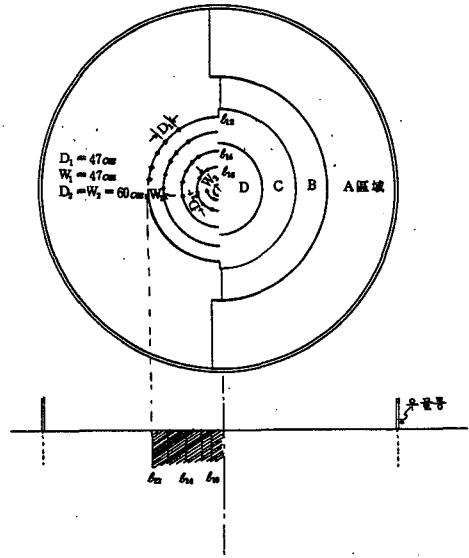
v) 特히 ℓ₇ ℓ₆..... ℓ₂ ℓ₁列로 올수록 철근 concrete造 우물통에 가까워져 發破로 因한 damage가 우려됨으로 穿孔 및 裝藥에 留意하여야 한다.

vi) 點火 順序도 iv) 項에서와 같이 順序대로 施行되어야만 階段發破의 效果를 얻을수 있다.

2) 軟岩 B區域



3) 硬岩 C 및 D區域



이상 各 岩質別로 區分하여 穿孔數와 總裝藥量을 算出하였거니와 그 結果를 綜合하고 單位 m³當 原單位를 보면 다음 表와 같다.

單位 m³當 穿孔數 및 爆藥量

區分	총천공수	총폭약량	총 파쇄량	單位量		비고
				천공수	폭약량	
풍화암	570(공)	19,125(kg)	$\frac{\pi}{4} \times (11.2)^2$	9.65(공)	0.324(kg)	여유율 40% 加算
연암	855	26.26	$\times (0.6m)$	14.48	0.445	
경암	1,116	31.01	$\div 59.08m^3$	18.89	0.525	

全體火藥類중 17.0%만이 제조된 狀態 즉 112.5gr인 1개씩 또 그 이상을 장약하고 83.0%는 1개를 더욱 細分하여 장약해야 함으로 余裕率을 充分히 고려해야 될것임.

3.2 Gustaffson의 수중 발파

Gustaffson의 방식을 요약하면 다음과 같다.

① 재래의 계단식 발파에서는 충분한 파쇄와

절단을 위해서 0.45kg/m³의 비장약량이 필요하나 수중 발파의 경우는 하나 혹은 둘 정도의 불발이 예상되므로 비장약량은 0.90kg/m³로 한다.

이것은 한개의 공이 불발이고 그 주변공이 다 점화된 경우에도 비장약량이 0.45kg/m³ 이상임을 의미한다. 垂直穿孔인 경우 파쇄 가능성이 더 줄게 되므로 비장약량을 10% 늘려서

1kg / m'로 한다.

② 수압증가에 따라 0.01×수심 kg / m'만큼 비장약량을 더한다.

③ 암반이 진흙으로 덮인 경우에는 (0.02×진흙층두께)kg / m', 암석층의 경우에는 (0.03×계단높이 k)kg / m'의 비장약량을 더한다.

④ 공간격은 穿孔長當 장약밀도로서 역산할 수 있다. 기계장진의 경우 장약밀도는 육상에서와 마찬가지로 $d^2 / 1,000$ 이다. 기존의 大口徑製藥을 사용한다면 공간격은 그에 맞게 보정해야 하고 공의 공간격(E)와 열간격(V)는 같다.

⑤ 超過穿孔(U)는 列間隔(V)와 같은 크기로 하며 최소한 0.8m되어야 한다.

⑥ 공의 깊이=계단높이+초과천공장

⑦ 공장약부분은 열간격의 $\frac{1}{3}$ 정도로 하여

($h_0=1/3V_1$) 최소한 0.5m 이상이다.

①~③의 항목은 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{경사시} &= 0.90 + 0.01 \times \text{수심} + 0.02 \\ &\times \text{진흙두께} + 0.03 \times \text{계단높이} \dots\dots (13-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{수직시} &= 1.00 + 0.01 \times \text{수심} + 0.02 \\ &\times \text{진흙두께} + 0.03 \times \text{계단높이} \dots\dots (13-2) \end{aligned}$$

여기서 q는 수직 및 경사 孔의 標準裝藥量이고 h_0 는 無裝藥長이다.

Gustaffson의 수중발파 장약량 계산식의 적용 예문은 다음과 같다.

計算예) 수심 13m에 0.6m 높이의 계단식 발파를 실시코져 한다. 천공은 수직으로 하여 구경은 32mm로 하여 발파를 설계한다.

$$\begin{aligned} \text{수직 천공이므로 비 장약량은 : } &1.00 + \\ &0.01 \times 13 + 0.03 \times 0.6 = 1.148 \text{kg / m'} \end{aligned}$$

$$\text{장약밀도 } \frac{(3.2)^2}{1,000} = 1,024 \text{kg / m}$$

천공간격은 공당 면적으로 부터

$$\begin{aligned} \text{공당면적} &= \frac{\text{장약밀도}}{\text{비장약량}} = \frac{1,024}{1.148} \\ &\doteq 0.89 \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{공 간 격} = \text{열간격} = \sqrt{0.89} \doteq 0.94 \text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{공의깊이} &= \text{계단높이} + 0.3W = \\ &0.6 + 0.3 \times 0.6 \doteq 0.8 \text{m} \end{aligned}$$

계단높이	공깊이	열간격	공간격	비장약량
0.6m	0.8m	0.94m	0.94m	1.148

3.3 Langefors의 계산법

Gustaffson의 약산법은 비장약이 다소 큰편이고 시설물등에 크게 영향을 미치므로 먼거리 에 적용하여야 한다.

Langefors의한 수중발파에서 바닥부분의 비 장약량은

$$q_0 = 0.45 + 0.05K$$

(K는 계단높이)

$$\begin{aligned} \text{여기서 } K=0.6 \text{ 이라면 } q &= 0.45 + 0.05 \\ &\times 0.6 = 0.48 \text{kg / m'} \text{ 된다.} \end{aligned}$$

3.4 綜合分析

以上 振動을 고려한 算出內譯, Gustaffson, Langefors式, 그리고 現行 품셈표의 結果를 比較, 分析키로 한다.

Langefors의 方法은 階段높이가 比較的 낮은 수중 發破時의 천공 및 裝藥量 산정에서 Gustaffson의 方法보다 적은 값을 보인다.

계단 높이가 높고 深度가 깊은 경우에는 두 方法에 의한 計算이 비슷해지나 Langeffson의 값이 계단 높이의 증가에 따라 급격히 裝藥量이 늘어난다.

따라서 이 두 方法은 계단式 發破를 基準으로 한 것이기 때문에 適用上 다소 의문이 있으나 發破振動을 고려할 때 Langefors의 값이 Gustafson의 값보다 더욱 妥當한 것으로 보인다

한편 對比表에서본바와 같이 현지 조건을 고

項 目	穿孔數 또는 뇌관수	燥藥量	備 考
○ 現行품셈표 (水中)	0.85(공) 1.27 2.50	0.41(kg) 0.62 1.20	1) 具體的인 適用 內譯이 明記안됨. 2) 좁은 區間내에서 發破진동을 고려해야 할 경우 적용 키 困難함. 3) 岩質 조건에 따른 區分 없음. 4) 特殊條件의 경우 수정 적용 가능.
○ 振動을 고려한 경우	공	kg	1) 作業 條件을 감안한 具體的인 算出值임. 2) 裝藥量은 1個를 數個로 나누어 사용함으로 40% 余裕 率 감안
○ Gustafson		1.148	1) 作業 條件을 具體的으로 考慮하지 않은 포괄적 內譯 임.
○ Langefors		0.48	

려한 금번 산정 內譯이 妥當함으로 현행 품셈표
의 代案으로 조정되어야 할 것이다.

4. 結論

가) 現在의 품셈표에는 그 算出基礎가 明示
되지 않았으나 품셈의 해설 또는 質疑應答을 參
照할 때 陸上이나 水中이나 岩石의 切取作業은
2 自由面을 갖는 段階式 發破를 基準한 것이다.

나) 特히 在來式 鑿岩機인 레그햄머로 穿孔
하는 岩石切取(片切形)나 水中 作業은 發破當
1回 굴진 깊이를 1.2m로 크롤러드릴에 의한 切
取는 2.4m를 基準한 것이다.

다) 현재의 품셈표는 위 조건에 策定된 값을
一律的으로 適用시키고 있다.

다만 現場 조건을 감안한 예외 규정에선 그
증감율을 -5~+5%까지 인정하고 있는데 이것
은 多樣한 現場 조건을 고려할때 보다 더 細分

化하여 調整될 必要性을 제시하는 것이다.

라) 水中에서 特히 比較的 좁은 區域에서, 또
發破로 인한 피해를 防止하면서 施工해야할 우
물통 굴착 作業은 作業의 안전 및 正確을 期하
기 爲해선 發破진동과 作業조건을 充分히 고려
해야 할 것이다.

內 譯 m³當

區 分		現行	수정	증감	비고
뇌관수 (or 천공수)	풍화암	0.85	9.65	8.8	
	연 암	1.27	14.48	13.21	
	경 암	2.5	18.89	16.39	
폭 약 량	풍화암	0.41	0.45	0.04	
	연 암 경 암	0.62 1.2	0.62 0.74	0 △0.46	

즉 鐵筋콘크리트의 耐振動값을 고려한 遲發當 最大 裝藥量이 고려되어야만 할 것이며 能率的 施工을 爲해선 굴착 및 發破의 pattern과 順序가 잘 준수되어야 할 것이다.

마) 서울地域 片麻岩으로 된 地域의 條件 즉, 풍화암·연암·경암·으로 區分하여 다음과 같이 품셈표의 部分 수정을 추천한다.

바) 천공 및 發破順序

우물통 中心部는 60cm간격으로, 우물통附近에선 發破로 인한 파손이 우려됨으로 약장약에 천공간격을 조밀히 한다.

발파는 우물통 中心部에서 부터 실시하여 계단발파(2자유면)가 시행되도록 유념한다.

※ 發破의 基礎理論

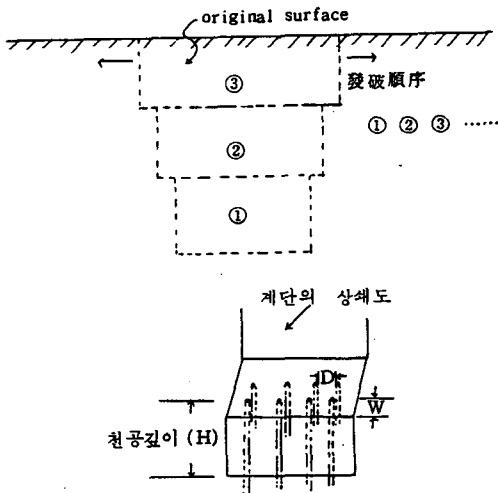
1. 1自由面 發破의 그 效果가 적기 때문에 心拔孔(배꼽떼기, Center cut)를 確實히 實施하면 그 다음부터는 2自由面發破 즉 bench cut가 되어 效果의이다.

2. 계단式발파 (2자유면)은 孔에서 自由面까지의 距離(W)와 孔間 間격 (D)는 다음과 같다.

즉 W은 一定하나

D=ew로 주어지며 一般的으로 硬岩에서 e=1

연암에선 1.1, 풍화암에선 1.2이다. 따라서

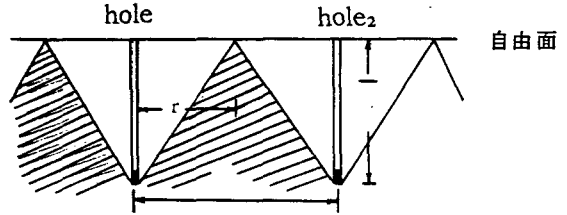


W=60cm인 때는 各各 60, 66, 72cm로 破碎된 다.

hole₁ hole₂ W D r 自由面

이때 單一孔當 破碎量은 V=DWH임

3. 單一自由面에서 單發破時



그림에서 Hole 1과 Hole 2가 各已 單獨으로 破碎될때는 빗금 部分으로 殘留하게 되고 孔當 破碎量은 $V = \frac{1}{3} \cdot \pi r^2 W$ 로 주어진다.

표준장약시 $r = W$ 이므로 $V = \frac{\pi}{3} W^3$

약장약시 $r < W$ 이므로 $V < \frac{\pi}{3} W^3$

과장약시 $r > W$ 이므로 $V > \frac{\pi}{3} W^3$ 이 된다.

따라서 빗금 部分까지 完全히 破碎하기 위해선 2자유면 발파시 $D = (1.0 \sim 1.2)W$ 가 一般的인 것으로 報告되고 있다.

4. 발파 진동식으로 부터의 장약량 산정 法

[1] 發破에 依한 地盤振動의 特性 및 許容限界

(1) 發破振動의 特性

폭약이 裝藥孔內에서 폭발하면 強力한 폭굉 충격에 의해 放出된 에너지의 一部는 應力波의 形態로서 直接 周圍岩盤으로 傳達된다. 이러한 波動의 到達에 따라 發生하는 地盤의 運動은 振幅과 週기를 갖는 振動으로 나타난다. 이를 發破振動이라 하며 發破振動은 폭원으로부터의 距離, 使用되는 火藥類의 種類, 裝藥量, 填塞狀況 等의 發破條件 以外에 波動의 傳潘經路, 地

盤의性質, 威層狀況에 따라서 다르게 된다.

一般的으로 自然地震과 比較해서 發破振動은 다음과 같은 點에서 크게 다르다고 할 수 있다. 즉 그 하나는 周波數의 差異로 自然地震이 普通數 Hz 또는 그 以下의 極히 低周波인데 對해 發破振動은 數 10Hz에서 數 100Hz를 나타낸다. 또 하나는 振動 繼續時間의 差異로 自然地震은 數分에 걸쳐 繼續되는 境遇가 많으나 發破振動은 100msec以內에 끝나는 振動이 많다.

發破振動의 크기는 普通 變位(Displacement), 速度(Particle velocity), 加速度(Acceleration)의 세 種類로 表示된다. 이들은 單純振動으로 假定하여 서로 變換이 可能하며 實際測定資料들의 分析 結果에서도 成立되고 있음이 立證되었다.(Duvall & Fogelson, 1962)

어느 一點에서의 振動은 그림 9-5와 같이 波의 進行方向과 垂直인 成分(Vertical component), 폭원을 向하는 成分(Radial component), 그리고 두 方向과 直角을 이루는 成分(Transverse component)으로 分解할 수 있으며 實際結果에 依하면 Transverse成分은 가장 작게 나타나고 Radial, Vertical 成分이 크게 나타나고 있다.

(2) 發破振動에 依한 被害와 許容限界

發破에 依한 地盤振動의 크기를 速度(變位速度)로 表示하면 被害發生 및 그 程度는 周波數에 關係없이 速度의 一定值로 나타낼 수 있다.

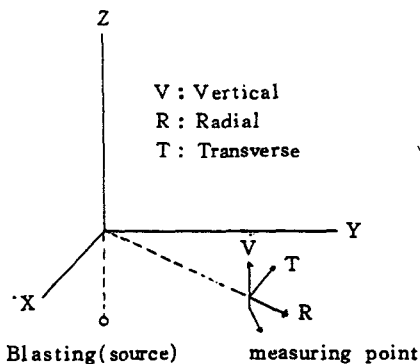


그림9-5 Measuring direction of ground vibration

따라서 發破振動에 依한 被害의 發生 및 程度는 普通地盤의 振動速度(變位速度, Particle velocity)로서 表示하는 것이 合理的이다. (Edwarde & Northwood, 1960 : Nicholas, al., 1971)

發破振動이 地上構造物에 미치는 被害與否에 對하여 U.S.B.M에서는 振動速度 5cm/sec를 그 基準으로 提案하고 있으며 스웨덴에서는 7cm/sec를 基準으로 하고 있다.

또한 濠洲 標準協會(Standard Association of Australia A.S.CA 23-1967, S.A.A. Explosive Code, Sydney, 1967)는 約 2cm/sec, 獨逸(DIN4150, Blatt3)은 産業建物에 對해 1~4cm/sec 日本에서는 0.5cm/sec를 許容基準으로 하고 있다.

(3) 裝藥量, 距離 및 振動과의 關係

振動의 傳播式은 아직 理論的 展開가 完全히 이루어지지 않고 있지만 現在까지의 研究結果를 綜合하면 實驗式으로 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$V=K(D/W^b)^n$$

여기서 n : 減衰指數

b : Scaling 指數

K : 自由面狀態, 폭약종류, 岩質 등에 따르는 常數

D : 폭원으로부터의 距離, m

W : 遲發當 裝藥量, kg

V : 振動速度, cm/sec

① 式에서 b는 Scaling指數로서 U.S. B.M은 b값에 對해 實驗的으로 $\frac{1}{2}$ 을 提案하였고 이를 Root scaling이라 한다. 또 하나의 값은 $\frac{1}{3}$ 로서 이를 Cube root scaling이라 하며 次元解析의 理論을 根據로 하고 있다.

Cube root scaling은 軍事基地를 爲한 設計 工程過程에서 遂行된 核 및 高性能 폭발시험에서 成功的으로 使用되었고 (Sauer, et al., 1964) 坑內發破振動의 境遇때도 使用되고 있다. (Olson, et. al., 1972 : Snodgrass, et, al., 1974)

이 Scaling指數를 求하기 爲하여는 距離를 固定시키고 裝藥量은 變化시켜 裝藥量에 對한 振動水準을, 그리고 裝藥을 固定시키고 距離를 變化시켜 距離에 對한 振動水準의 合成으로부터 決定할 수 있다.

위의 說明을 좀더 具體的으로 쓰면 美國鑛務局에서 最近 10年間 採石場을 中心으로 發破振動에 關한 研究結果에 따라 構造物의 被害와 直接의 關聯이 있는 地盤의 各方向의 最大 振動速度는 測定으로부터 發破地點까지의 距離와 裝藥量間에 깊은 函數關係가 있음이 다음과 같이 밝혀졌다.

$$V=K(D\sqrt{W})^{-a}$$

여기서,

V=最大振動速度, cm/sec(Peak particle velocity)

D=發破地點까지의 距離, m

W=遲發當最大製藥量, kg (Max, charge weight /delay)

K,a : 地形, 地質, 岩石 等の 常數

References

1. U. Langefors & B. Kihlstrom. Rock Blasting.
2. Rume Gustaffson. Swedish Blasting Technique, p. 260.

3. 許填著. 新火藥發破學, 19.

4. 서울지하철공사. 서울地下鐵 3,4 號線發破工法.

※근거1

발파진동상수 'K'값

진 동 식 : $V=KW^{0.5}D^{-1.5}$

지질조건 : 서울 편마암

천 공 경 : 38m/m

구분 화약	발파방법 압축강도 (kg/cm ²)	개 측 식		턴 넬 식	
		바닥 발파	측벽 발파	심발 발파	확대 발파
다이 나 마 이 트	1500~1200	91	61	71	41
	1200~900	85	55	65	35
	900~600	79	49	59	29
	600이하	72	42	52	22
함수 폭약	1500~1200	73	49	57	33
	1200~900	68	44	52	28
	900~600	63	39	47	23
	600이하	58	34	42	18
초안 폭약	1500~1200	58	39	46	26
	1200~900	54	35	42	22
	900~600	50	31	38	18
	600이하	46	27	34	14

※ 근거2

서울지하철공사규정

건 물 분 류	1	2	3	4
건 물 종 류	문화재	주택, 아파트 (실금이 나타나 있는 정도)	상가빌딩 금(crack)이 나 타나 있는 부력조 건물	철근 콘크리트 빌딩 및 공장
건물 기초에서의 허용 진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

비고 : (1) 위 표는 서독의 VORNORM DIN 4150 TEIL 3를 기준하였음.

(2) 주파수는 약 100Hz까지 통용된다.