

# Bench cut 法에 대한 穿孔發破設計

최 동 춘

<성신화학 단양공장>

## 1. 序 論

cement의 主原料로서 供給되는 石灰石의 採掘에 있어서 鑛床의 規模, 地形, 地質 등 自然的인 條件에 따라 여러가지 採掘法이 있으나 露天採掘에서 大量生産에 널리 採用되고 있는 bench cut method에 있어서 孔徑의 先定과 bench 高의 結定은 매우 重要하다.

孔徑은 積載, 運搬裝備 및 破碎機에 따라 左右되는 破碎度, 一日出鑛量, 岩石의 物理的 性質 및 火藥類費와 穿孔作業費의 比率 등을 考慮하여 先定해야 할 것이며, bench 高는 積載, 運搬裝備의 安全, 能率 向上 및 移動頻度, truck의 운반거리, 鑛山의 地形的인 條件, 品質의 變化狀態 및 火藥類費와 穿孔作業費의 比率 등을 考慮하여 結定해야 할 것이다.

以上の 條件들을 勘案하여 가장 安價이면서 最大生産을 할 수 있도록 孔徑의 先定과 bench 高를 結定해야 할 것으로 孔徑과 bench 高의 變化가 穿孔發破費에 相對的으로 미치는 影響을 考察해 보고자 한다.

## 2. 穿孔 發破 cost

### 2-1 穿孔 cost

#### 가. 孔徑과 穿孔 cost

孔徑을 크게 하면 最小抵抗線, 孔間隔이 커지게 되므로 發破量이 증가되어 穿孔 cost는 減少된다. 이의 一般的인 傾向을 도시하면 <Fig-1>과 같다.

Langefor's의 說에 의하면 同一岩石에서 同一 착암기로 穿孔할 경우  $dm^3$ (deci cubic meter)穿孔 cost를  $B$ 라 하면

$$B = \frac{k}{\sqrt{d}} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$d$ : 孔径 (m)       $k$ : 착암기에 따른 상수

①식에 의하여  $k$  값을 알면 孔径에 따른  $dm^3$  穿孔이 산출되어진다. 穿孔  $dm^3$ (deci cubic meter)란  $\frac{1}{1,000} m^3$ 로서 폭약의 비중을 1이라 가정할 때 1kg의 폭약이 채워지는 hole의 체적을 의미하며 穿孔작업량을 가장 이상적으로 표시한 原單位이다.

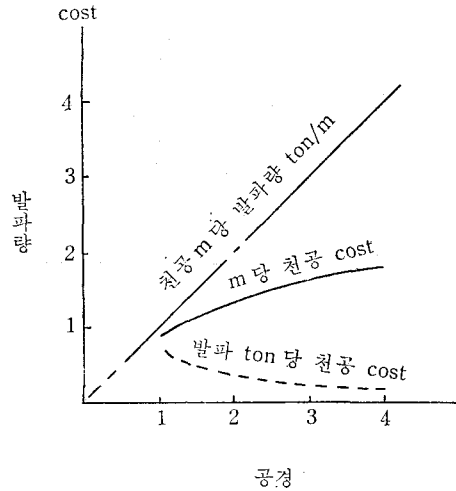
다음은 bench cut quarry 에서 長孔穿孔에 이  
 용되는 crawler drill (Atlas社製 BBE 57:00) Roc  
 600 (BVB 71)을 사용한 성신광산 실적으로  $k$  값  
 을 求해 보면

(1) 孔徑 80mm Bit 徑 3"(76mm)일때

- ① 철공경비 473,000 원 / 月
  - (ㄱ) 감가상각비 180,000 원 / 月
    - (s.t. comp 40,000 원 / 月)
    - (대형착암기 140,000 원 / 月)
  - (ㄴ) 인건비 103,000 원 / 月
  - (ㄷ) air 소모비 109,000 원 / 月
- ② 철공능력 1,650 m/月
- ③ M 당 철공비 473,000 ÷ 1650 m

$$= 286.07 \text{ 원 / m}$$

<Fig-1> 공경에 따른 철공 cost와 발파량



④ 철공  $\text{dm}^3$  cost  $286.07 \div \left\{ \frac{10\pi}{4} \times (10 \times 0.08)^2 \right\} \text{dm}^3/\text{m} = 57.13 \text{ 원 /dm}^3$

⑤  $k(D:80\text{mm}) 57.13 = \frac{k}{\sqrt{0.08}}$

$\therefore k = 16.16$

상기 (1)에서 구해진  $k$  값으로부터 공경에 따른 철공  $\text{dm}^3$  cost(원/ $\text{dm}^3$ )를 구하면 <Table-1>  
 과 같다.

<Table-1> 孔徑에 따른 穿孔  $\text{dm}^3$  cost(星信鑛山)

구 분	crawler drill Roc 600(BBE57:00)					
孔 徑 (mm)	60	70	80	90	100	120
cost(원)	65.96	61.10	57.13	53.87	51.11	46.65

(단 : extension rod coupling sleeve 소모비는 제외)

이를 도시하면 <Fig-2>와 같다.

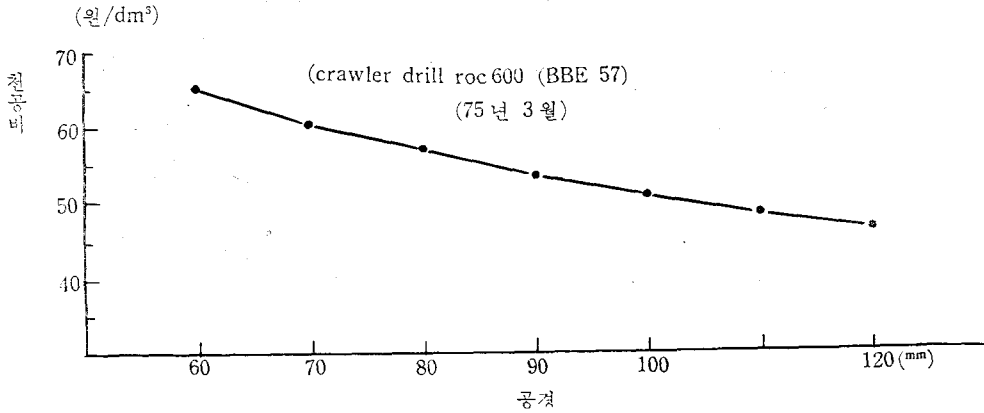
나. bench高와 穿孔 cost

최근 Langefor's 씨는 長孔穿孔發破에 있어 發破 效果에 影響을 주는 要因과 影響도를 시험한  
 결과 장공철공작업에서 불가피하게 발생하는 穿孔偏傲가 發破에 미치는 影響을 고려하여 bench  
 高와 孔徑에 따른 最小抵抗線 關係식을 다음과 같이 발표하여 전세계적으로 인정을 받고 있다.

$$V_{\max} = 45\sqrt{p \cdot s} \cdot d - 0.2 - 0.02k \dots\dots\dots ②$$

$V$  : 최소저항선 (m)                       $s$  : 폭약의 강도

$p$  : 장진밀도                                       $k$  : bench 高 (m)



<Fig-2> 孔徑에 따른 천공 dm³ cost (원/dm³)

d : 공경 (m) (AN-FO를 사용할 때 p.s는 0.81 임)

②식에 의하여 공경과 bench 高에 따라 최소저항 선장을 구하면 <Table-2> 와 같다.

<Table-2> 孔徑과 bench 高에 따른 最小抵抗線

孔徑 (mm)	bench 高 (m)					
	5	8	10	12	15	20
60	2.13	2.07	2.03	1.99	1.93	1.83
70	2.54	2.48	2.44	2.40	2.34	2.24
80	2.94	2.88	2.84	2.80	2.74	2.64
90	3.35	3.29	3.25	3.21	3.15	3.05
100	3.76	3.69	3.65	3.61	3.55	3.45
120	4.56	4.50	4.46	4.42	4.36	4.26

穿孔 경사각을 70° 로 하고 sub-drill length 를 最小抵抗線의 0.3 倍로 孔間隔을 最小抵抗線의 1.3 倍로 하여 發破 M³ 당 穿孔 cost 를 C<sub>1</sub> 이라 하면,

$$C_1 = \frac{(k' + 0.3V) \frac{10\pi}{4} (10d)^2 B}{1.3 V^2 k'} \dots\dots\dots ③$$

k' = 경사천공장 (k × cosec 70°) (m)

V = 최소저항선 (m) <Table-2> 참조

d : 공경 (m)

B : dm³ 천공 cost (<Table-1> 참조)

③식을 이용하여 bench 高와 孔徑에 따른 穿孔 cost 를 구하면 <Table-3> 과 같으며 이를 도식하면 <Fig-3> 과 같다.

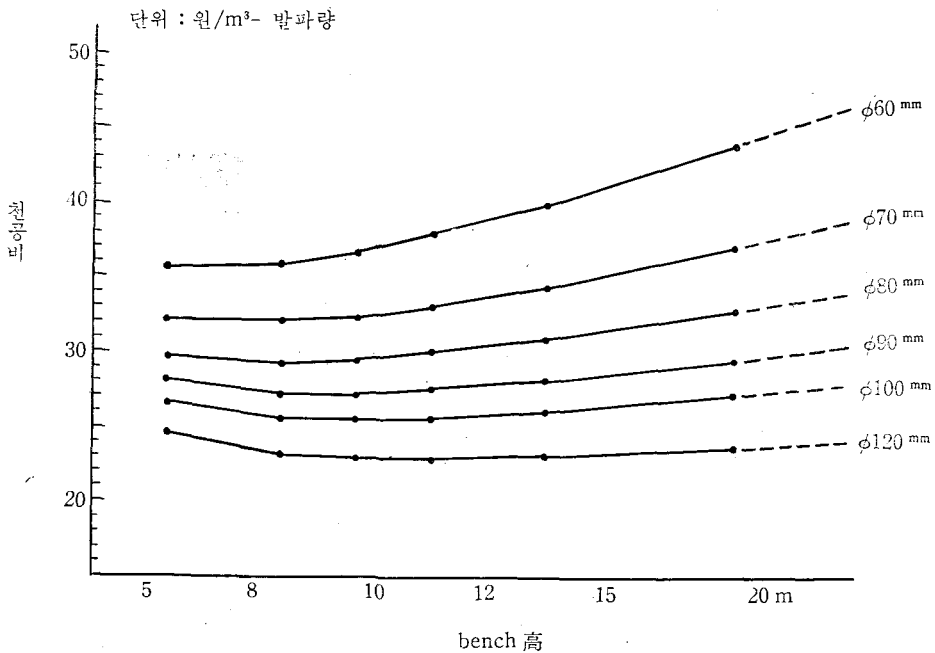
다. bench 高에 따른 대형착암기 소모자재 (extension rod, coupling sleeve) 의 발파 M³ 당 cost

대형착암기 소모자재중 extension rod, coupling sleeve 는 bench 高가 높아질수록 rod meter, coupling meter 가 증가되어 EA 당 출광량이 현저히 감소된다. 그러므로 출광량당 cost 가 현

<Table-3> bench 高와 공경에 따른 천공 cost

孔徑 (mm)	bench高 (m)	5	8	10	12	15	20
60		35.41	35.90	36.79	37.91	39.89	43.92
70		32.03	32.21	32.40	33.10	34.41	37.10
80		29.77	29.31	29.56	30.02	30.92	32.85
90		27.94	27.17	27.24	27.49	28.14	29.54
100		26.60	25.62	25.55	25.69	26.12	27.19
120		24.53	23.21	22.96	22.93	23.09	23.69

(단 : 대형착암기 (extension rod coupling sleeve 소모비 제외)



<Fig-3> bench 高와 孔徑에 따른 穿孔 cost

(대형착암기 extension rod coupling sleeve 소모비 제외)

저히 상승한다.

간단한 예를 들면

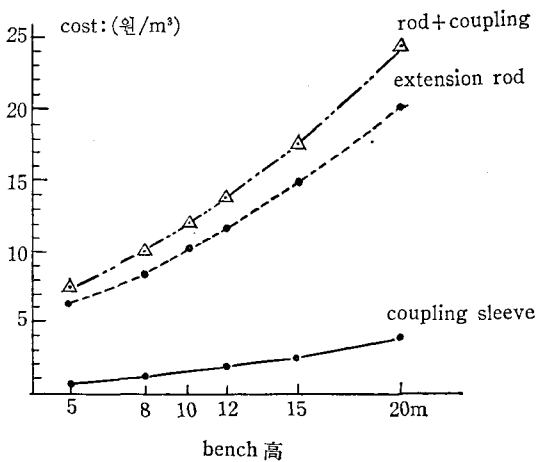
10m bench 를 천공시 rodmeter 28.04 m

20m bench " " 93.20 m 로

bench 高는 2 배인데 rod meter 는 3.32 배로 격증한다. bench 高의 變化에 따른 發破 m³ 當 cost 를 孔徑 80mm extension rod 徑 38mm 로 천공한 星信鑛山실적을 기초로 천공경사 70°, sub-drill length 0.3V, 최소저항선 <Table-2> 참조. 공간격 1.3V 로 하여 구하면 <Table-4> 와 같으며 이를 도시하면 <Fig-4> 와 같다.

<Table-4> bench 高에 따른 대형착암기 소모자재(extension rod, coupling sleeve)의 발파 M³ 당 cost

區分	bench 高(m)	5	8	10	12	15	20	비 고
extension rod	rod meter	9.57	19.52	28.04	38.20	55.98	93.20	개 당 수 명 rod-meter 1345m 가격 56,630 원/EA
	출광 M³/EA	8,287	6,322	5,351	4,582	3,742	2,782	
	cost/출광 M³	6.83	8.96	10.58	12.30	15.13	20.36	
coupling sleeve	coupling meter	3.38	10.14	16.53	24.56	39.15	71.05	개 당 수 명 coupling-meter 1027m 가격 11,192 원/EA
	출광 M³/EA	17,918	9,294	6,931	5,442	4,086	2,787	
	cost/출광 M³	0.62	1.20	1.61	2.06	2.74	4.02	
rod-coupling	cost/출광 M³	7.45	10.16	12.19	14.36	17.87	24.38	75년 3월 가격



<Fig-4> bench 高에 따른 대형착암기 소모자재 (extension rod, coupling sleeve)의 발파 M³ 당 cost

rod와 coupling의 출광량당 소모비가 孔徑 80mm 시 bench 高 8m 일때 10.66 원/M³ 에서 bench 高 20m 일때 24.38 원/M³ 으로 약 2.4 배 상승하여 bench 高 1m 增加에 따라 1.20 원/M³ 씩 증가함을 보여준다.

2-2 爆藥 cost

長孔穿孔 發破에 있어서 裝藥方法은 tamping 方法에 의하여 棒相裝藥과 分散裝藥, 裝藥徑에 의하여 密裝藥과 藥包裝藥으로 分類되나 均一하고 잘게 발파시키려면 棒相裝藥으로 密裝藥하고 上部 tamping 장을 最小抵抗線만큼 할 때 1孔當爆藥 cost 를 C₂ 라 하면

$$C_2 = \frac{10\pi}{4} (10d)^2 (k' - V + 0.3V) \times 0.8 \times 208 \dots\dots\dots ④$$

또한 발파 M³ 당 爆藥 cost 를 C₃ 라 하면

$$C_3 = \frac{10\pi}{4} (10d)^2 (k' - V + 0.3V) \times 0.8 \times \frac{208}{1.3 V^2 k'} \dots\dots\dots ⑤$$

k' = 경사천공장 (Bench 高 × cosec 70°)

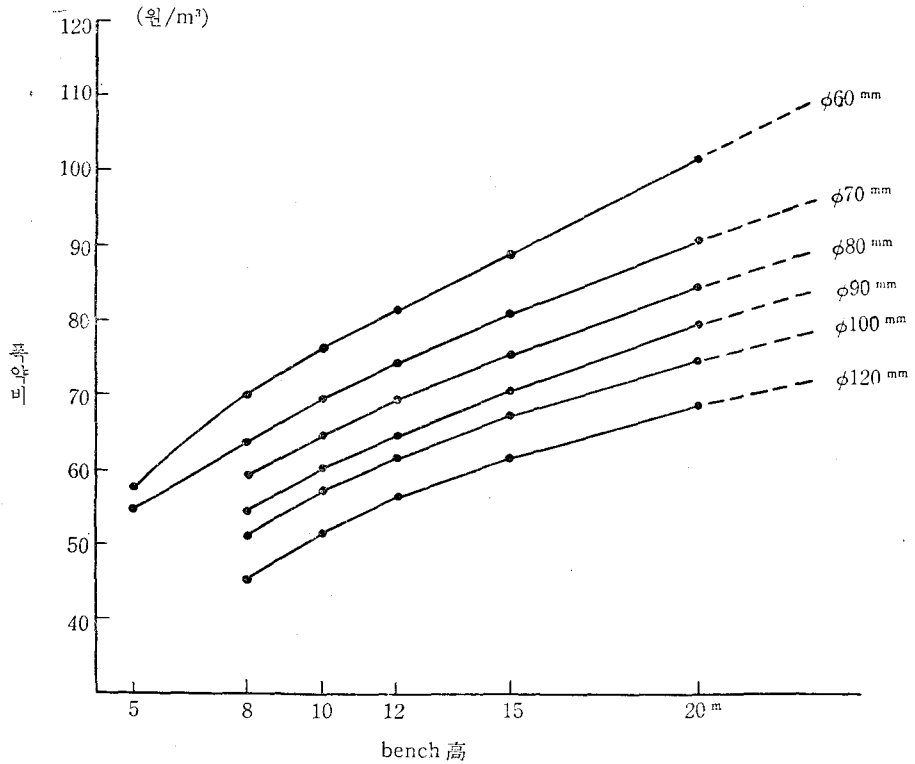
V = 最小 저항선 (m) <Table-2> 참조

d = 孔徑 (m)                      장진밀도 : 0.8

이때 폭약은 AN-FO 를 사용 5% 의 gelatin dynamite 를 기록제로 사용함을 기준하였음 (kg당 폭약단가 208 원). 공 cost와 同一한 條件에서 폭약 cost 를 구하면 <Table-5> 와 같다.

<Table-5> bench 高와 孔徑에 따른 爆藥 cost

bench 高(m) 孔徑(mm)	5	8	10	12	15	20	비	고
60	57.40	70.40	76.02	81.36	88.85	101.47		
70	54.71	63.68	69.46	74.23	80.87	90.87		
80		59.12	64.82	69.44	75.35	84.25		
90		54.56	60.22	64.64	70.26	79.64		
100		51.33	57.33	61.81	67.23	74.85		
120		45.15	51.57	56.32	61.77	68.78		



<Fig-5> bench 高와 孔徑에 따른 爆藥 cost

2-3 종합검토

以上에서 考察해본 穿孔 cost, rod coupling 소모비, 爆藥 cost를 종합하면 <Table-6>과 같다.

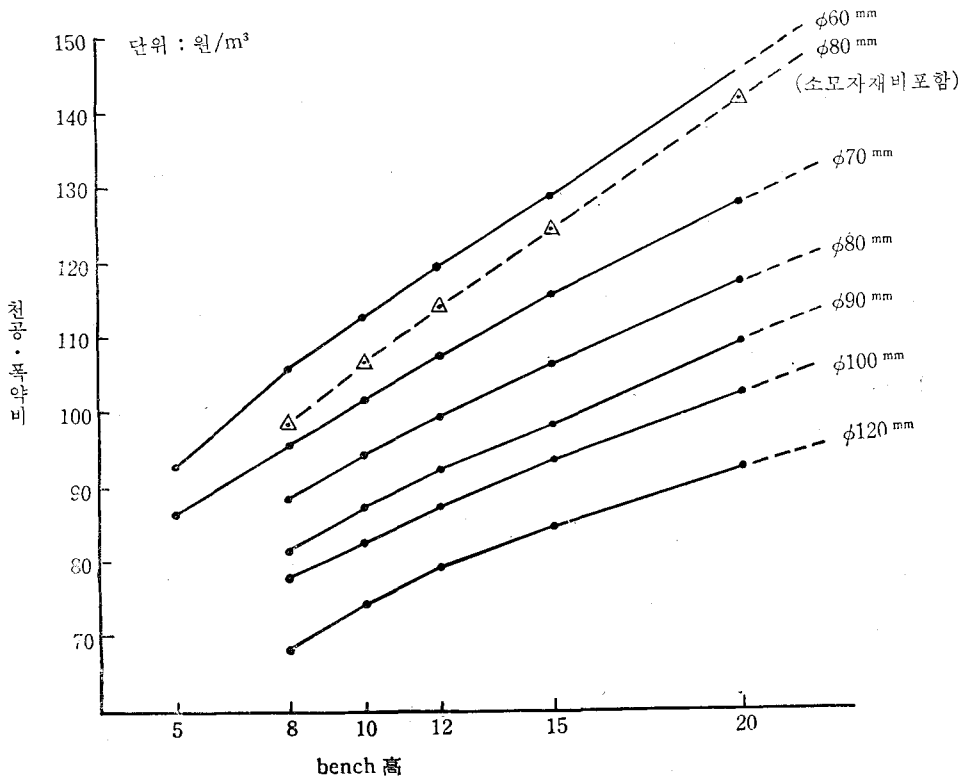
<Fig-3> 에서 보면 公徑 80mm 일 경우 bench 高 5m 에서 8m 까지 는 充公 cost 가 절감되나, bench 高가 8m 보다 높을 때에는 充公 cost 가 상승함을 보여준다. 또 公徑별 充公 cost 를 살펴 보면 대공경일수록 充公 cost 가 절감되며 그 절감 경향은 소공경일수록 현저함을 알 수 있다

<Fig-4> 에서 보면 대형착암기 소모자재비가 bench 高가 높아짐에 따라 cost 가 급상승함을 알 수 있다.

<Table-6> bench 高와 孔徑에 따른 穿孔, 爆藥 cost(단위 원/M<sup>3</sup>)

孔徑(mm)	bench 高	5	8	10	12	15	20
60		92.81	105.90	112.81	119.27	128.74	145.29
70		86.74	95.89	101.80	107.33	115.28	127.97
80			(98.59)	(106.42)	(113.82)	(124.14)	(141.54)
90			88.43	94.23	99.46	106.27	117.16
100			81.66	87.46	92.13	98.40	109.18
120			77.93	82.95	87.36	93.45	102.04
			68.36	74.53	79.25	84.86	92.47

註: ( ) 수치는 대형 착암기 소모자재비(rod, coupling)포함임.

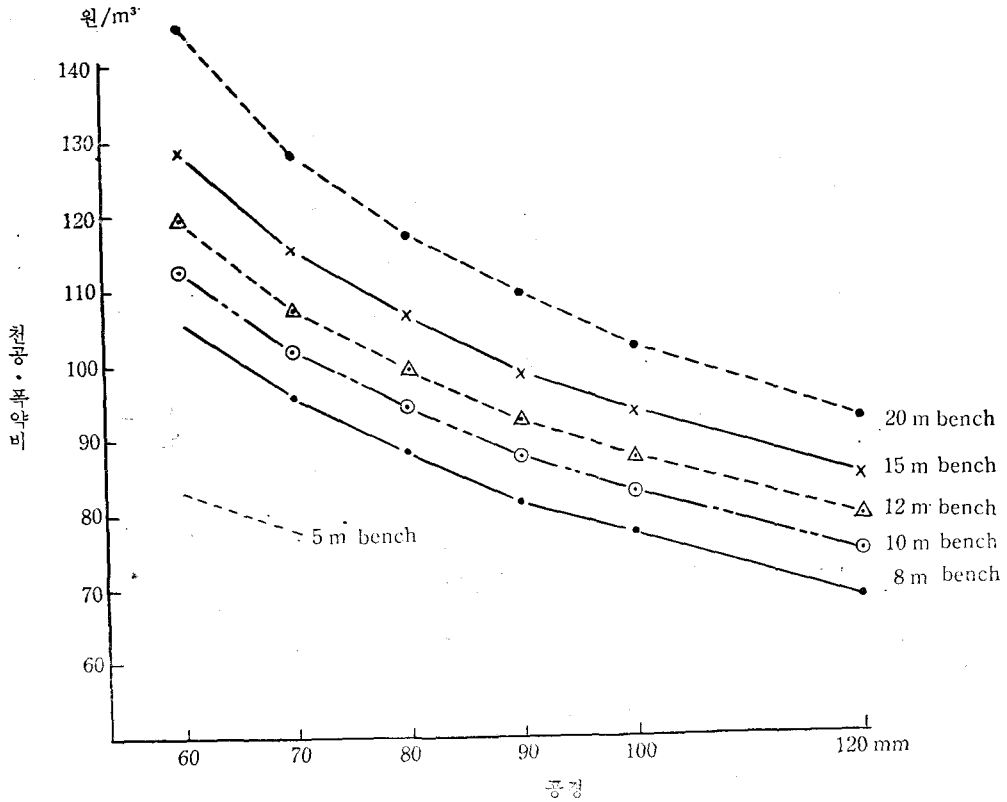


<Fig-6> bench 高 변화에 따른 孔徑別 천공 폭약 cost

△.....△ 대형 착암기 소모자재중 bench 高에 영향을 받는 rod, coupling 소모비 포함임

<Fig-5> 에서 보면 bench 高가 높아짐에 따라 폭약 cost 가 상승함을 보여주며 공경이 증대될수록 폭약 cost 가 절감됨을 알 수 있다.

<Fig-6> 에서 보면 bench 高가 높아질수록 穿孔爆藥 cost 가 상승하여 공경 80mm 일때 bench 高 8m 에서 98.59 원/M<sup>3</sup> 이던 것이 bench 高 20m 에서 141.64 으로 약 50% 의 원가가 상승함을 알 수 있다.



<Fig-7> 孔徑의 變化에 따른 bench 高別 천공, 폭약 cost

간단한 예를 들어 천공·폭약 cost를 작업장별로 비교해 보면 공경 70mm 일때 bench 高 20m와 공경 120mm 일 때 bench 高 12m를 비교하면 대형착압기 소모자재 (rod, coupling)를 제외하고라도 127.97 원/M³ 에서 79.25 원/M³ 으로 48.72 원/M³ 즉 61%의 원가가 절감됨을 보여준다.

한국의 경제실정은 人件費가 저렴한 반면 폭약비가 高價이므로 천공 cost와 폭약 cost비가 1:2 정도이며 extension rod, coupling sleeve를 高價로 收入해 들려오므로 인하여 공경 80mm의 경우 bench 高 1m 증가함에 따라 발파 M³ 당 천공, 폭약 cost가 대략 3.50 원/M³ 씩 증가함을 알 수 있다. 그러므로 천공, 폭약 cost만을 생각할 때 적정 bench 高는 장공 발파 효율에 지장이 없는 최저의 bench 高로서 최소화항선의 약 2배 정도이다.

<Fig-7>에서 보면 孔徑이 클수록 천공, 폭약비가 절감됨을 보여주며 그 절감 경향이 소공경일수록 현저함을 알 수 있다. 그러므로 破粹度를 考慮하여 最大의 孔徑을 先定하는 것이 바람직 하겠다.

以上에서 考察해 본바와 같이 bench 高를 낮게 孔徑을 크게 結定함이 穿孔, 爆藥費 면에서 有利함을 알았으므로 이들에 대한 장단점을 비교해 보겠다.



가. 낮은 bench 高 結定의 長短點

● 長點

- 穿孔, 爆藥 cost 가 절감된다.
- 品質管理가 용이하다.
- 積載 정리 기타 保安上 安全하다.
- 천공편기가 감소되며 천공작업의 난이도가 감소된다.
- 1회 폭약 사용량이 감소되어 발파공해(비산, 진동, 폭굉음)가 감소된다.

● 短點

- 1회 발파량 감소로 적재, 운반 능력이 저하된다.
- 천공, 발파, 적재, 정리 cycle 이 빈번해진다.
- 地形的인 制限을 받는다.
- 운반 거리가 다소 증가한다.
- 적재 장비의 이동 빈도가 잦아진다.

나. 大孔徑 先定의 長短點

● 長點

- 穿孔, 爆藥費가 절감된다.
- 1회 발파량이 증가되어 천공, 발파, 적재 정리 cycle 이 빈번해지지 않는다.
- 천공편기의 영향을 덜 받게 된다.
- AN-FO의 순폭도가 증가한다.

● 短點

- 단위 발파량에 대한 폭약 배분이 불량하여 破碎粒度가 大型化한다.
- 積載, 運搬, 破碎, 裝備의 大型化를 要求하며 투자금이 增大한다.
- 발파공해(비산, 진동, 폭굉음)가 증가한다.

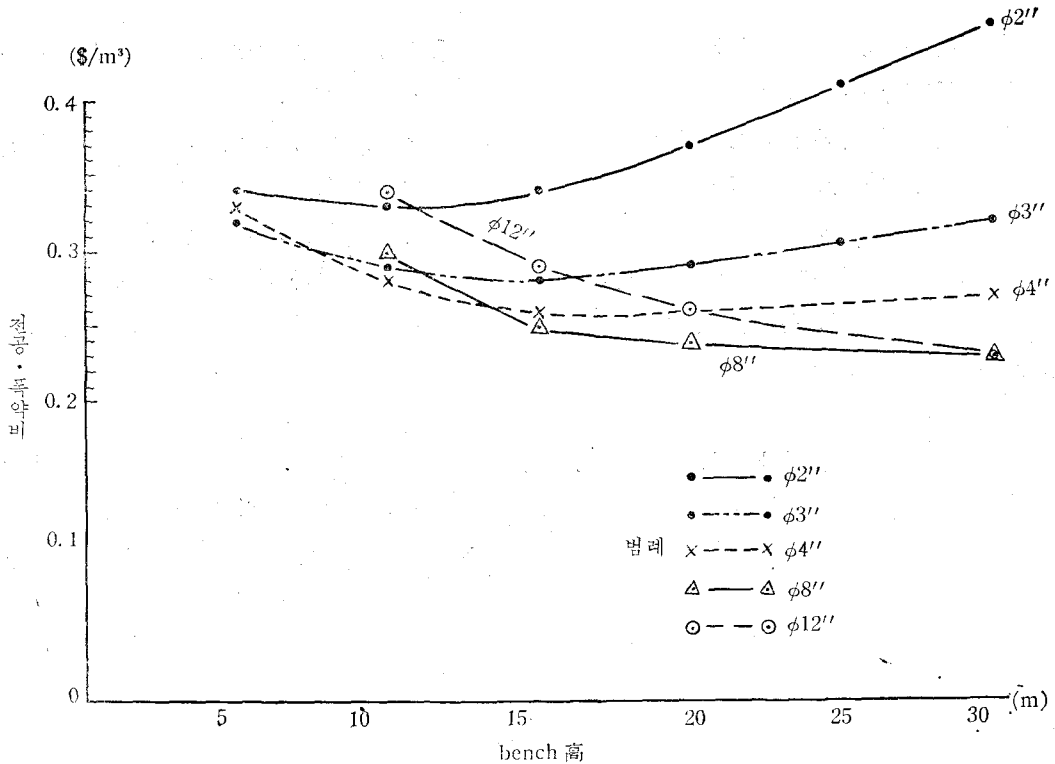
참고로 Langefor's 式에 의한 美國의 경우 孔徑과 bench 高에 따른 천공, 폭약 cost 를 소개한다.

<Fig-6> 과 <Fig-7> 을 비교할 때 bench 高에 따라 천공·폭약 cost 가 變化하는 상태가 다른 것을 알 수 있다. 이는 미국과 한국의 경제 구조가 다르기 때문일 것이다. 우리나라는 천공비가 폭약비의 1/2 정도이나 미국의 경우는 인건비가 高價이고 폭약비가 저렴하기 때문에 bench 고가 공경의 200 배 이하에서는 천공·폭약 cost 가 상승함을 보여준다.

상기도에서 공경에 따라 적정 bench 高를 찾을 수 있을 것으로 대략 공경의 200 배 전후이다. 그러나 폭약류비가 고가이고 인건비가 저렴한 우리나라에서는 지형적인 조건이 허락하는 한 지

<Table-7> bench 高와 孔徑에 따른 천공·폭약 cost(美國)

孔 徑 (in)	천공 cost (\$/dm <sup>3</sup> )	천 공 · 폭 약 cost(\$/M <sup>3</sup> )					비 고
		5 m	10 m	15 m	20 m	30 m	
2	0.56	0.34	0.33	0.34	0.37	0.45	
3	0.46	0.32	0.29	0.28	0.29	0.32	
4	0.40	0.33	0.28	0.26	0.26	0.27	
8	0.28		0.30	0.25	0.24	0.23	
12	0.23		0.34	0.29	0.26	0.23	



<fig 8> bench 高와 孔徑에 따른 천공·폭약 cost(美國)

차 30MS 정도의 다단 MS 전기뇌관의 활용이 되지 않으므로 積載, 運搬能率을 考慮하여 公徑의 125 배 정도의 bench 高를 設計하는 것이 바람직할 것이다.

### 3. 結 論

- bench cut quarry 에서 長孔 穿孔發破시 bench 高에 따라 孔抵偏傲를 考慮하여 最小抵抗線設計를 해야한다.
- 우리나라는 지금껏 大型 積載裝備와 破粹機가 보급되지 않았고 人件費가 저렴하므로 孔徑은 대략 70mm~100mm 정도가 적합하겠으며, 多段 M.S 지발 전기뇌관이 개발되지 않았으므로 bench 高는 대략 孔徑의 125 배 전후가 적합하겠다.
- 우리나라의 bench cut quarry 에서 cost 를 내리기 위해서는 大孔徑 穿孔發破를 할 수 있는 착암, 적재, 운반, 장비와 破粹機의 大型化를 기해야 하겠으며 1 회 발파량의 확충과 발파보안, 공해방지(비석, 진동, 폭굉음)를 위하여 다단 M.S 지발 전기뇌관의 개발이 시급한 실정이다.