

# 양면발파법 및 다이아몬드 와이어쏘를 이용한 채석시스템 연구

A Study on the Quarrying System  
by Two-face Rock Blasting and Diamond Wire-saw

홍 기표, 류 참하, 선우 춘, 최 병희, 한 공창  
Kie-Pyo Hong, Chang-Ha Ryu, Choon Sunwoo  
Byung-Hee Choi, Kong-Chang Han  
한국자원연구소 탐사개발연구부

---

## 초 록

본 논문은 양면발파에 의한 채석기술에서 주로 양면발파 장약패턴 및 다이아몬드 와이어쏘 절삭기술에 관한 내용을 중심으로, 현재 각 석재광산에서 시행하고 있는 채석기술과 연구소에서 시행한 현장 시험발파 결과를 기술한 것이다.

첫째, DA석재광산에서는 제트버너를 이용하여 자유면을 형성하고, 일면발파법과 양면발파법의 작업시간을 비교한 결과 양면 발파할 때에 37%이상의 작업시간 절약효과가 있었으며, 인원은 36%이상의 감소효과가 있었다.

둘째, DH석재광산에서는 다이아몬드 와이어쏘를 이용하여 자유면을 형성하고 양면발파 작업시간과 타 광산에서 일반적으로 사용하고 있는 제트버너에 의한 양면발파 작업시간을 비교하였을 때에 21%이상의 절감효과가 있었고, 작업인원도 21%이상의 감소효과가 있었다.

다이아몬드 와이어쏘를 이용하여 양측면에 자유면을 형성하고 양면 발파하는 채석기술은 소음 및 분진에 의한 환경공해를 방지할 수 있었으며, 작업공정 및 경제성 면에서도 매우 유리하나 실패시 다른 채석기술에 비해 모암의 손상으로 인한 경제적 손실이 커질 수 있다는 단점도 있으므로 정밀한 발파설계 및 기술이 필요하다.

**핵심어 :** 양면발파, 다이아몬드 와이어쏘, 제트버너, 도폭선

---

## 1. 서 론

국내에서 일반적인 채석작업은 제트버너(화염절삭기)를 이용하여 3면에 수직 자유면을 형성하고, 일면발파법에 의한 채석이 가장 많이 적용되고 있다. 제트버너의 장점은 어떠한 암반의 형태나 작업조건에서도 사전 준비작업

이 없이 채석이 가능하지만, 절삭폭이 넓고 열에 의한 절삭면의 손상범위가 크기 때문에 가공시 원석에 미치는 손실이 많다. 다른 채석기술에 비해 단위 단면적당 채석비용이 높고, 절삭속도가 느리다는 단점도 있다. 근래에는 민원과 관련된 과도한 소음과 분진 등의 환경문제 및 열에 의한 열악한 작업환경, 기

능인력의 부족현상 때문에 제트버너에 의한 채석기술을 다이아몬드 와이어쏘를 이용한 채석기술로 대체하고자 하는 노력들이 이루어지고 있다.

생산성에 많은 영향을 줄 수 있는 나쁜 절삭면이나 과대한 파쇄를 피하기 위해서는 현장조건에 맞게 발파패턴을 조절한다. 특히 천공간격의 계산을 위해서는 암석의 강도, 천공의 크기, 채취될 암반의 단면적 및 체적, 화약의 폭력 및 장약길이 등을 고려한다. 실제적인 적정발파를 위해서는 여러 요소들의 변화에 따른 현장실험을 통하여 그 현장조건에 맞는 최적의 발파패턴을 설정한다.

## 2. 양측 자유면 절삭기술

### 2.1 제트버너(Jet burner)를 이용한 절삭법

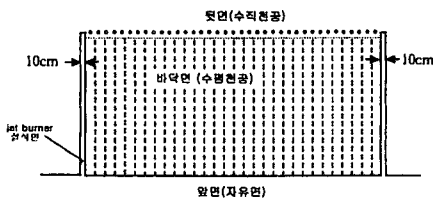


Fig.2.1 The granite quarrying design using Jet-burner

제트버너에 의한 화강암의 절삭은 800~1100℃에서 분상상태로 파쇄되는 성질을 이용한 것이다. 제트버너 화구에서 분사되는 화염 온도는 1500~2000℃이다. 노즐을 통하여 분사되는 연료에 고압의 압기를 혼합하여 발생되는 열 에너지를 제트버너로 분사되는 추진력과 함께 열 충격에너지로 변환시켜 암석의 표면을 가열함으로써 암석을 절삭하는 것이다. 그림 2.1과 같이 화강암에서 제트버너에 의한 절삭폭은 약 10cm이며, 제트버너가 한번 통과 시마다 약 6mm정도의 암석두께가 분리되어 떨어져 나간다.

경유를 원료로 사용하며, 7bar의 압축공기를 사용할 때에 1일 10시간 작업시 약 10~14m<sup>2</sup>정도 암석면을 절삭한다. 시간당 절삭능률은 1~1.4m<sup>2</sup>/hr 이다. 유류소비량은 1일 10시간 작업시 500l 정도 소모된다.

### 2.2 다이아몬드 와이어쏘(Diamond wire saw)를 이용한 절삭법

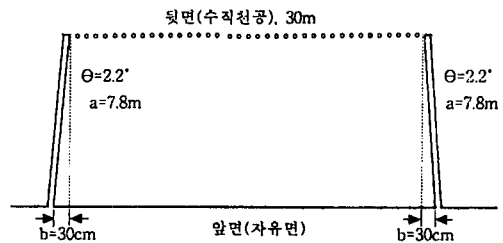


Fig.2.2 A granite quarrying design using Diamond wire saw

Table 2.2 The space of side cutting surface after blasting. (DH quarry, 1999)

no	cutting surface	space after blasting (m)						mean
1	left side	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.13
	right side	0.06	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.08
2	left side	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12
	right side	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

와이어쏘는 와이어로프 및 diamond bead로 구성되어 있다. 와이어로프는 직경이 5mm이며 내부식성의 stainless steel 케이블로 되어 있다. 다이아몬드 비트는 와이어로프에 m당 33~40개가 부착되어 있으며, 직경은 11mm이다. 절삭능률은 보통 3~4.5m<sup>2</sup>/hr 정도이다. 절삭방법은 2~3°의 각도로 앞면에서 벌어지게 양측면을 절삭하여 암석이 잘 빠지도록 한다.

양측면 중에서도 한 측면은 이미 채석하여 개방되어 있고, 다른 한 측면만 와이어쏘로 절단하여 3면이 자유면을 형성한 상태에서 바닥면 및 수직면을 양면발파 시행하는 것이 가

장 이상적이다. 만약 절삭각도를 주지 않고 수직으로 절삭할 경우에는 절삭간격이 매우 좁으므로, 발파시에 중앙의 절삭된 암석이 잘 빠져나오지 못하고 양측면을 타격하여, 절삭된 암석은 물론 양측의 모암을 손상시키게 된다. 그림 2.2와 같이 각도를 주어 절삭하게 되면 발파시에 암석괴가 앞으로 이동함과 동시에 절삭간격이 5~10cm정도 넓어지므로 양측면을 타격하지 않고 잘 빠져 나온다. 표 2.2는 DH석재광산에서 발파 후에 절삭면이 벌어진 간격을 측정된 것이다. 11mm폭으로 절삭한 면이 발파 후에 평균 100mm이상으로 벌어지면서 암석이 앞으로 빠져 나옴을 알 수 있다.

### 3. 양면발파에 의한 채석법

#### 3.1 도폭선을 이용한 발파법

##### (1) 수직공 및 수평공 천공방법

수직공 및 수평공은 각각 나란히 천공한다. 천공간격은 세립질 화강암에서는 18~21cm, 중립질에서는 27~30cm, 조립질에서는 36~45cm 간격으로 천공한다. 수직공의 천공각도는 2~3° 밖으로 각도를 주어 천공한다. 천공경은 공경이 작은 32mm  $\phi$  bit를 사용하여 천공한다.

#### 4.1 천공, 장약 Pattern-1a (도폭선 장약분포 : 1가닥/공)

(예) 암석규격: 세로 5.2m, 가로 3.7m, 높이 4.4m, 부피 84.66m<sup>3</sup>

Table 4.1 Charge pattern of the block.(TW quarry)

hole no.	vertical line (19holes)		horizontal line (20holes)		remark
	det. cord (m)	drilling space(m)	det. cord (m)	drilling space(m)	
1	0	0.18	b	0.16	
2	a		b+0.9		a: 4.4m
3	a+0.6		b		b: 5.2m
...					
18	a		b+0.9		
19	a+0.6		b		
20			b+0.9		
connecting cord	10m		10m		
total	(94.6m)		(123m)		specific charge 25.71g/m <sup>3</sup>
217.6m*10g/m=2176g					

#### (2) 장약방법

도폭선 장약은 1~3가닥씩 장약하며, 공저에서는 장약 길이에 따라서 0.3~1m씩 구부려 준다. 수직공이나 수평공에 장약할 때에 고려할 점은 발파압력이 고르게 분산되어 어느 한 쪽으로 기울지 않게 균등한 장약을 한다.

도폭선은 폭속이 5000m/sec로서 고품속 화약이므로 과대한 최대압력이 문제이며, 파괴평면의 조절이 어렵다. 화강암에서 도폭선을 사용하여 발파할 때에는 20~40g/m<sup>3</sup> 범위의 장약량과 적당한 디커플링 장약을 함으로서 비파쇄 발파가 이루어질 수 있다. 물론 전색하며, 절리면으로 물이 새어나가지 않게 하고 가득 채워준다.

#### 3.2 도폭선 및 정밀폭약을 이용한 발파법

정밀폭약의 특성은 폭속이 3,700m/sec로서 smooth blasting에 많이 사용한다. 폭핑가스의 량이 원석의 채취 및 자연균열면을 열기에 적합하므로, 모암과 원석에 균열을 일으키지 않고 채석할 수 있다. 폭파압력이 평형되게 전달되도록 장약한다.

### 4. 양면발파 천공, 장약 Pattern

#### 4.2 천공, 장약 Pattern-1b (도폭선 장약분포 : 2가닥/공)

(예) 암석규격: 길이 11.65m(뒷면 11.1m, 앞면 12.2m), 폭 8m, 높이 7m, 부피 652.4m<sup>3</sup>

Table 4.2 Charge pattern of the block.(DH quarry)

hole no.	vertical line(38holes)		horizontal line(38holes)		drilling space (cm)	remark
	det. cord (m)		det. cord (m)			
1	2(a+0.3)		2(b+0.3)		27~30	a=7m
2	2(a+0.3)		2(b+0.3)		"	b=8m
3	2(a+0.3)		2(b+0.3)		"	
...						
36	2(a+0.3)		2(b+0.3)		"	
37	2(a+0.3)		2(b+0.3)		"	
38	2(a+0.3)		2(b+0.3)		"	
connecting cord	2line*12m		2line*13m			specific charge 19.1g/m <sup>3</sup>
total	579m		666.8m			
1245.8m*10g/m =12.45kg						

#### 4.3 천공, 장약 Pattern-1c (도폭선 장약분포 : 3가닥/공)

(예) 암석규격: 가로 16.7m, 세로 10m, 높이 7m, 부피 1,169m<sup>3</sup>

Table 4.3 Charge pattern of the block. (DA quarry)

hole no.	vertical line(48holes)		horizontal line(48holes)		drilling space (cm)	remark
	det. cord (m)		det. cord (m)			
1	1(a+1)		2(b+1)		20	a=7m
2	2(a+1)		3(b+1)		20	b=10m
3	3(a+1)		3(b+1)		36	
-----	-----		-----			
46	3(a+1)		3(b+1)		36	
47	2(a+1)		3(b+1)		20	
48	1(a+1)		2(b+1)		20	
connecting cord	2line*20m		2line*20m			specific charge 24g/m <sup>3</sup>
total	1144m		1602m			
2746m*10g/m =27.46kg						

#### 4.4 천공, 장약 Pattern-2(도폭선+화이넥스 폭약)

(예) 암석규격: 가로 17m, 세로 7m, 높이 4m, 부피 476m<sup>3</sup>

Table 4.4 Charge pattern of the block. (SR quarry)

hole no.	vertical line (37holes)		horizontal line (38holes)		drilling space (cm)	remark
	det.cord(m)	finex (ea.)	det.cord (m)	finex (ea.)		
1	a	f	b	1.5f	20	f: finex
2	2a	0	b	2f	45	a=3.7m
3	a	f	b	1.5f	"	b=6.7m
---	---	---	---	---		
36	2a	0	b	1.5f	"	
37	a	f	b	2f	"	
38			b	1.5f	20	
connecting cord	25m		25m			specific charge 28.64g/m <sup>3</sup>
total	228.5m	19개	279.6m	66.5개		
13.61kg						

Loosening of a boulder(pattern-1(a))

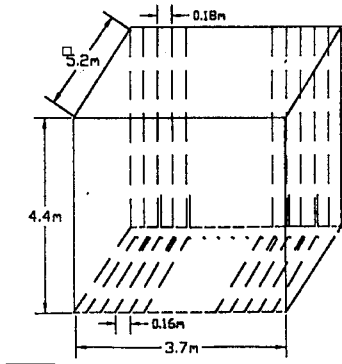


Fig. 4.1. Splitting blast design using detonating cord(pattern-1a)

Loosening of a boulder (pattern-1(b))

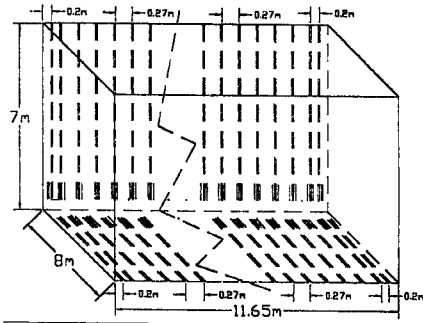


Fig. 4.2. Splitting blast design using detonating cord(pattern-1b)

Loosening of a boulder(pattern-1(c))

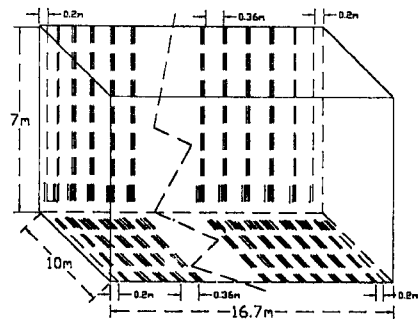


Fig. 4.3. Splitting blast design using detonating cord(pattern-1c)

Loosening of a boulder (pattern-2)

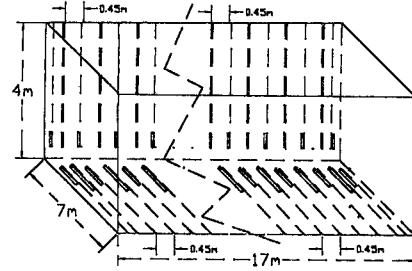


Fig. 4.4. Splitting blast design using detonating cord and Finex explosives



Fig. 4.5. The displacement of vertical surface after two-face blasting (DA quarry)

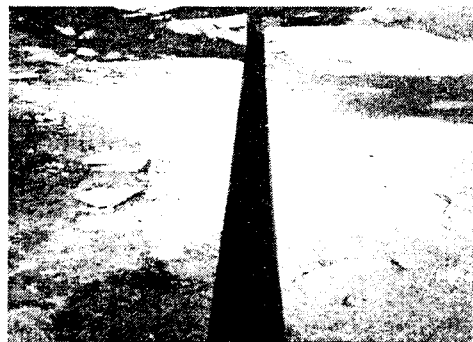


Fig. 4.6. The displacement of side cutting line after two-face blasting(DH quarry)

## 5. 양면발파후 수직면의 벌어진 간격 및 비장약량 비교

### 5.1 천공간격 및 비장약량 비교

Table 5. Variation of the displacement of rock block with specific charge

no.	L (m)	W (m)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	drilling space (cm)	displacement (m)	specific charge (g/m <sup>3</sup> )		explosive (charge pattern)	quarry (cutting system)
							practice	Marcini's		
1	3.7	3.8	4.4	61.86	15~17	0.10	31.08	26.38	det. cord (p-1a)	TW (wire saw)
2	3.7	5.2	4.4	84.66	16.5~18	0.10	25.7	24.50		
3	17	7	4	476	45	0.01	28.64	21.21	det. cord & Finex(p-2)	SR (jet burner)
4	14	7	4	392	45	0.05	33.67	22.36		
5	16.7	10	7	1,169	36	0.19	23.49	22.70	det. cord (p-1c)	DA (jet burner)
6	19.5	8.6	7	1,173.9	36	0.10	24	19.82		
7	39	8.5	6.8	2,254.2	36	0.385	22.87	28.59		
8	11.65	7	8	652.4	27~30	0.225	19.1	24.08	" (p-1b)	DH (wire saw)
9	20.75	7	6	1,032.5	40~45	0.52	25	34.00	ammonium (p-3)	
		5.75	7							
10	31	7.1	5.8	1,277	40~45	0.60	25.5	36.1		

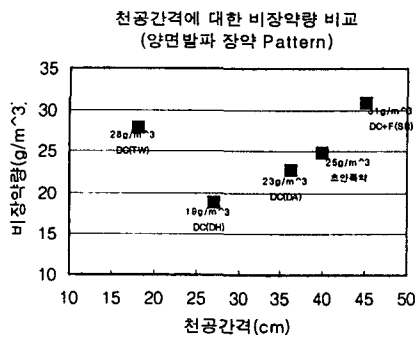


Fig. 5. A graph of the comparison of specific charge by drilling space.

#### (1) 천공간격

표.5는 양면발파시 천공간격, 비장약량, 발파 후에 수직면의 벌어진 간격을 석재광산별로 비교한 것이다. 암석의 강도 및 입도에 따라서 천공간격이 다르며, 적용하는 폭약의 종류에 따라서도 다르게 나타난다. 도폭선으로 발파할 때에 평균 천공간격은 TW석재 18cm, DH석재는 27cm, DA석재 36cm이다. 도폭선 및 정밀폭약으로 발파하는 SR석재는 천공간격이 45cm, DH석재에서 초안으로 발파할 때에 40~45cm로 천공간격을 넓혀 준다.

#### (2) 비장약량

그림. 5는 석재광산별로 천공간격에 대한 평균 비장약량을 나타낸 것이다. 비장약량은 암석의 암질에 따라 다르며, 사용하는 폭약의 종류에 따라서도 다르다. 천공간격도폭선을 사용하는 광산 중에서 TW석재는 평균 28g/m<sup>3</sup>, DH석재 19g/m<sup>3</sup>, DA석재 23g/m<sup>3</sup>이다. 정밀폭약을 사용하는 SR석재는 28.64~33.67g/m<sup>3</sup>로서 가장 많고, 초안폭약을 사용하는 DH석재는 25~25.5g/m<sup>3</sup>로서 도폭선 사용시와 비슷하다.

#### (3) 발파후 수직공열의 벌어진 간격

비장약량 이론치 계산은 변위간격(s)과 비장약량(g/m<sup>3</sup>)의 관계식을 이용하여 구한다. (by R.Mancini)

$C = a + bS/V + cs$ , C:비장약량(g/m<sup>3</sup>), S:절단면적(m<sup>2</sup>), V:절단체적(m<sup>3</sup>), s:변위(m)

화강암에 대한 상수 :  $a = 10.52(g/m^3)$ ,  $b = 26.47(g/m^2)$ ,  $c = 28.74(g/m^4)$

## 6. 양면발파의 채석능률 비교

### 6.1 일면발파 및 양면발파의 채석능률 비교

#### (1) 작업시간 및 작업인원 비교

##### 가. 채석 작업시간 및 작업인원 비교표

Table 6.1.1 Comparison of working time and labor for one and two-surface blasting systems (DA quarry)

operation			1 splitting surface (A)		2 splitting surfaces (B)		decrease (A-B)	
			working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)
Jet burner	back	265.2 m <sup>2</sup>	190	48				
	2 sides	115.6 m <sup>2</sup>	83	20	83	20		
	(subtotal)		(273)	(68)	(83)	(20)		
drilling	vertical hole	106 holes			59	16		
	horizontal hole	106 holes	69	18	69	18		
	(subtotal)		(69)	(18)	(128)	(34)		
charge & blasting			8	2	8	2		
total			350	88	219	56	▽131	▽32
			(%)				▽37.4%	▽36.4%

주1) 암석 규격: 길이 39m, 폭 8.5m, 높이 6.8m, 부피 2254.2m<sup>3</sup>  
 주2) 일일 작업시간: 8시간/인, 제트버너, 천공, 장약작업: 2인/조,  
 천공능률(측정치): 평균 0.3m/min, 제트버너 절삭능률(측정치): 평균 1.4m<sup>2</sup>/hr

#### 나. 제트버너 절삭능력 측정

다음은 DA석재광산에서 지난 1년간 제트-버너 절삭능력을 측정한 통계표이다.

Table 6.1.2 The cutting efficiency of Jet-burner. (DA quarry, 1999)

month	cutting efficiency (m <sup>2</sup> /hr)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
monthly mean	1.428	1.429	1.467	1.429	1.424	1.45	1.382	1.440	1.426	1.467	1.423
yearly mean	1.433m <sup>2</sup> /hr										

#### (2) 양면발파 효과분석

##### 가. 작업시간 단축

일면발파 작업시간은 제트버너로 3면에 자유면을 형성하고 바닥면을 천공하여 발파하는 작업시간이 350시간이며, 양면발파 작업시간은 양측면만 자유면을 형성하고 바닥면 및 후면을 천공하여 발파하는 시간이 219시간 소요된다. 절약되는 시간은 131시간으로, 37.4%의 시간절약 효과가 있다.

##### 나. 작업인원 감소

작업인원은 일면발파에서 연인원 88명이 소

요되었다. 양면발파에서는 암석의 후면을 제트버너로 자유면을 절삭하지 않고 천공하여 바닥면과 같이 양면발파 함으로써 작업시간이 단축된 결과 56명이 소요되어 32명이 감소되었고, 36.4%의 감소효과를 얻었다.

##### 다. 생산성 향상

작업시간 및 인원감축으로 생산 공정이 빨라지고 인건비가 감소되는 효과가 있었다. 그리고 양면발파시에는 양측면만 자유면 절삭하고 후면은 바닥면과 같이 발파함으로써 유류비가 절감되었다.

## 6.2 제트-버너 및 다이아몬드 와이어쏘에 의한 채석능률 비교

### (1) 작업시간 및 인원 비교

#### 가. 채석 작업시간 및 작업인원 비교표

Table 6.2.1 Comparison of working time and labor for wire-saw and jet-burner quarrying systems (DH quarry)

operation			wire saw system (A)		jet burner system (B)		decrease (B-A)	
			working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)
cutting of 2 sides	left side	28 m <sup>2</sup>	9	2	20	5		
	right side	42 m <sup>2</sup>	13	4	30	8		
	(subtotal)		(22)	(6)	(50)	(13)		
drilling	vertical hole	64 holes	32	8	32	8		
	horizontal hole	68 holes	38	10	38	10		
	(subtotal)		(70)	(18)	(70)	(18)		
charge & blasting			8	2	8	2		
total			100	26	128	33	▽28	▽7
			(%)				▽21.9%	▽21.2%

주1) 암석규격 : 길이 26.5m, (좌측면) 폭 7m, 높이 4m, (우측면) 폭 7m, 높이 6m  
 주2) 와이어쏘, 제트버너, 천공, 장약작업 : 1조 2명, 일일 작업시간 : 8시간  
 천공능률 : 0.3m/min, 와이어쏘 절삭능률 : 3.22m<sup>2</sup>/hr, 제트버너 절삭능률 : 1.4m<sup>2</sup>/hr

#### 나. 다이아몬드 와이어쏘 절삭능력 측정표

다음은 DH석재광산에서 와이어쏘로 암석의 양측면을 절삭할 때에 Time study하여 측정한 절삭능력이다.

Table 6.2.2 The cutting efficiency of Diamond wire saw. (DH quarry)

no.	surface	area (m <sup>2</sup> )	cutting time (hr)	efficiency (m <sup>2</sup> /hr)	remark
1	right side	28	8hr 40min	3.22	99.05.
	left side	42	( )	( )	
2	right side	39.42	16hr	2.46	99.08.
	left side	42.78	16hr 10min	2.65	

### (2) 다이아몬드 와이어쏘에 의한 양면발파 효과

#### 가. 작업시간 단축

와이어쏘에 의한 절삭작업의 장점은 우천시나 겨울에 눈이 와도 작업할 수 있다. 야간작업도 가능하여 계속적으로 절단작업을 수행할 수 있는 장점이 있다. 와이어쏘에 의한 채석작업이 제트버너에 의한 채석작업보다 계산상으로는 28시간이 감소되며, 21.9% 절감효과로 나타났다.

#### 나. 작업인원 감소

작업인원은 7인이 감소되었으며, 21.2% 절감효과가 있었다. 와이어쏘 절삭작업은 작업관리직에 있는 기술자가 작업하는 것이 일반적인 현상으로, 절단작업이 완료될 때까지 2명이 교대하면서 계속적으로 수행하였다.

#### 다. 생산성 향상

작업시간이 단축되어 채석공정이 빨라지게 됨으로써 생산성 향상을 기대할 수 있었다.



생산원가는 다이아몬드 와이어쏘 및 유류가격을 비교, 검토할 과제이다.

## 7. 결론

석재를 대량으로 생산하는 광산에서는 대부분 양면발파에 의한 채석기술의 필요성을 인식하면서도 생산작업에 급급하여, 발파법을 개선하는 시험발파는 여러 가지로 어려운 점이 많았다. 양면발파 공법을 시도한 광산은 많으나, 발파시에 측면이나 후면의 모암에 충격을 주어 균열을 발생시키는 데에 대한 염려 때문에, 실제로 채석작업에 적용시키는 곳은 소수이다.

다이아몬드 와이어쏘를 이용한 양면발파 시험 시에 고려해야 할 중요한 요소는 다음과 같다.

첫째, 제트버너를 이용한 암석 절삭작업을 다이아몬드 와이어쏘로 전환할 때에는 우선 암반의 공학적, 지질학적 특성을 세밀하게 조사하고, 발파설계한다.

둘째, 다이아몬드 와이어쏘의 절삭기계의 운전법을 충분히 습득하고, 양측면을 사다리꼴로 각도를 주어 절삭한다.

셋째, 수직공과 수평공의 연장선이 교차되는 바닥면의 각도가 둔각을 이루어, 발파순간에 암석괴가 모암을 타격하지 않고 전 방향으로 잘 이동하도록 한다.

넷째, 공간격은 되도록 좁게 하고 천공 및 장약작업을 정밀하게 해야한다.

다섯째, 장약작업에서는 전체의 천공좌에 균등한 장약분포를 이루어 발파압력이 골고루 전달되도록 한다.

근래에는 기능공을 채용하는데 어려움이 많을 뿐만 아니라 유류가격이 고가이므로 유류값 상승이 원가에 미치는 영향이 매우 크다. 이러한 시점에서 채석의 생산성을 향상시키는

길은 기술개발에 있으므로 양면발파 공법을 계속 연구, 개발해야 하겠다.

## 참 고 문 헌

1. 선우춘 외, 1988. 12. 채석기술 현황에 관한 연구. p34~36.
2. 선우춘 외, 1993. 3. 채석기술 연구. p55~58, p63~67.
3. 한공창 외, 1996. 12. 채석 및 채석가공 기술연구. p46~55.
4. 한공창 외, 1998. 12. 채석 및 석재가공 기술연구. p159~161, p185~189.
5. 한공창 외, 2000. 2. 채석기술개발 연구. p91~129.
6. 김선익 외 1986. 화강석류 석재자원 조사연구. p39~41, p175~178.
7. 김선익 외 1987. 화강석류 석재자원 조사연구. p60~62, p101.
8. 김선익 외 1996. 충남 천안지역 화강섬록암체 석재자원 정밀탐사연구 p14~16.
9. Manchini, R., Fornaro, M., Cardu, M., 1993, Proc. on Rock fragmentation by blasting, Rossmanith(ed), Balkema, pp431 ~ 436.