

## 일자유면 암반 굴착을 위한 신발파공법의 개발 및 평가

임재웅<sup>1)</sup> · 윤영재<sup>2)</sup> · 서정복<sup>3)</sup>

### Development and evaluation of new drilling and blasting method for excavation of rock mass with one free surface

Jai-oong Im, Young-jai Yeon, Jeong-bok Seo

#### ABSTRACT

A new type of cut method, called SK-cut, was developed in order to overcome the shortcomings of the conventional V-cut and Burn-cut blasting methods. Total 190 times of test blasts were performed for the evaluation of the efficiency of new blasting method. V-cut, Burn cut and SK-cut were compared by applying them to the excavation of main gallery and construction tunnel of underground oil storage cavern. Test results showed that excavation efficiency of the new method was increased by 5.9~9.8% and that specific charge was reduced to 71~92%.

#### 1. 서 론

최근 도로터널, 지하철, 도수로, 공동구 및 지하유류저장기지 등의 건설을 위한 지하암반의 굴착공사가 빈번히 수행되고 있으며 이때 많은 부분의 암반 굴착공사는 발파작업에 의해 이루어지고 있다. 이러한 지하 암반의 발파작업은 지상과는 달리 굴착작업이 수행되는 막장면 이외의 자유면을 확보하기가 어려운 것이 일반적이다. 자유면은 발파후 파쇄암이 이동할 수 있는 공간을 제공하고 발파시 전파되는 응력파의 간섭과 관련하여 발파효율에 큰 영향을 미치는 중요한 변수이기 때문에 터널발파와 같은 일자유면발파에서 가장 중요한 것은 2단계 발파의 자유면 확보를 위한 심배기발파공법이다.

현재 단일 자유면을 가진 터널발파를 위해 국내외 현장에서 주로 사용되고 있는 심배기발파공법은 크게 V-cut 발파공법과 Burn-cut 발파공법으로 구분할 수 있다. 그런데 V-cut 발파공법은 각도 천공을 해야

하므로 진행장이 적고 파쇄암이 크며 V형공의 공저 부분에 집중장약이 되므로 공저의 간격이 정확하게 천공되지 않을 경우에는 발파효율이 크게 떨어지거나 주변 암반을 크게 손상시키는 단점이 있다. 한편 Burn-cut 발파공법은 V-cut 발파공법에 비해 터널 단면의 크기에 따른 1회 발파진행장의 제한이 크지 않으며 파석의 비산거리가 비교적 적고 막장 부근에 집중되므로 파석처리가 편리한 점 등 장점이 있으나 단면의 중앙부에 위치해야 하는 대구경공인 무장약공의 천공이 어렵고 무장약공 주변의 공들을 5~7 cm의 간격으로 평행하게 일직선으로 천공해야 하므로 고도의 천공기술이 요구된다.

한편 본 연구에서는 V-cut 발파공법의 단점을 보완하는 방법들 중의 하나인 baby cut 발파공법을 초기에 적용, 예비시험을 실시하였으나 심발부분이 집중장약으로 공동주변 암반의 손상이 크고 진동이 심하여 연구대상에서 제외하였다.

본 연구에서는 기존의 발파공법들이 가진 단점들을

\* 1994년 12월 1일 접수

1) 정회원, 선경건설(주) 연구소 과장

2) 정회원, 선경건설(주) 차장

3) 정회원, 선경건설(주) 연구소

해결하기 위해서 Burn-cut 발파공법에 비해 천공이 간편하고 V-cut 발파공법에 비해 굴진효율(진행장/천공장)이 향상된 새로운 심빼기발파공법(분착식 다단 심빼기발파공법, 일명 SK-cut 발파공법)을 개발하였으며, 이 발파공법의 발파 효율성, 시공성, 경제성 등을 분석하기 위해서 현재 건설중인 지하 원유저장기지 건설현장에 적용하여 90회의 시험발파를 실시하였다. 또한 기존의 발파공법과 신발파공법을 동일한 실험 조건에서 비교하기 위하여 같은 터널현장에서 V-cut 발파공법과 Burn-cut 발파공법으로도 50회씩의 시험 발파를 실시하였다. 그리고 이상의 시험발파를 통해 굴진효율, 비장약량, 천공시간, 발파 후 비석의 최대 비산거리, 비석의 최대 크기 등을 조사하여 신발파 공법과 기존 발파공법들의 성능을 비교, 검토하였다.

## 2. 분착식 다단 심빼기발파공법의 개요

분착식 다단 심빼기발파공법은 터널의 중앙부(심빼기부분)에 중앙선을 중심으로 하여 좌우대칭으로 V형 천공을 하고 V형공들에 의해 둘러싸인 일정 단면의 내부에 수평공들을 천공한 다음, V형공들을 먼저 발파하고 수십 msec차로 수평공들을 발파하는 방법이다. 이때 V형공들의 간격과 경사는 터널 단면의 크기, 천공장, 암반의 강도등 굴착작업의 조건에 따라 차이가 있을 수 있으나 공저간 거리는 300~500 mm,

홀의 경사는 60~70°가 되도록 천공한다. 그런데 V형공의 공저간 거리와 천공각도는 터널 규격, 암반 조건, 폭약 종류, 주위 환경조건등 굴착작업조건에 따라 조금씩 변화시켜 적용하여도 발파효율에는 큰 차이가 없는 것으로 시험결과 판명되었다. 그리고 V형공들의 내부영역에 천공되는 수평공들의 간격은 중앙부분이 200~300 mm, 그 외의 부분은 400~500 mm가 되도록 한다.

Fig. 1는 신발파법의 심빼기부분 천공 및 장약배치도이다. V형공(Fig. 1의 ①)의 장약은 천공장의 80% 정도 까지 한다. 외관은 V형공 전체가 동시에 발파할 수 있도록 순발전기외관을 사용하며 역기폭 또는 중기폭으로 기폭한다. V형공 영역내에 천공된 심발수평중심공(Fig. 1의 ②)들은 V형공 영역 밖의 공저부분만 장약하고 영역내의 부분은 무장약상태로 남겨둔다. 이 공들은 반드시 역기폭으로 기폭해야 하며 전기외관은 MS전기외관 1번을 사용한다. 심발수평중심보조공(③) 및 심발수평외곽공(④)도 V형공 영역의 외부까지만 장약하고 발파순서는 외곽으로 갈수록 폭발속도가 느린 지발전기외관을 사용하며 이 공들의 장약은 반드시 역기폭으로 한다. 심발부분 외부의 천정공, 측벽공, 천정보조공 및 측벽보조공들은 기존의 발파공법과 같은 방법으로 천공, 장약한다.

이 발파법의 발파순서를 단계별로 묘사하면 Fig. 2와 같다. 먼저 V형공들의 발파는 내부에 천공된 수

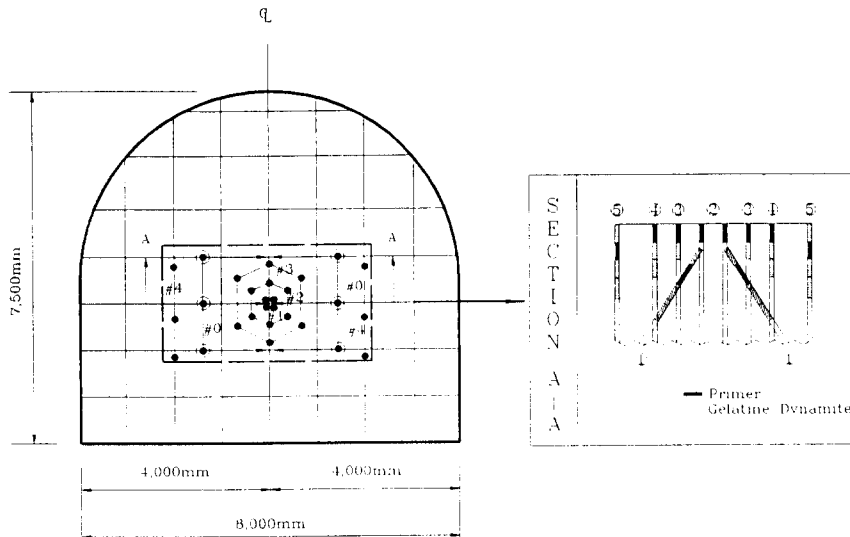


Fig. 1. An example of drilling pattern of SK-cut

평공들의 무장약구간이 자유면 역할을 함으로써 기존의 V-cut 심배기발파보다 쉽게 자유면을 형성하게 된다(Fig. 2, (1)). V형공들의 발파 후, V형공의 외부 영역에 파쇄되지 않고 남아 있는 수평공들은 MS전 기뢰관을 사용, 수십 msec의 차로 발파시키면 Fig. 2, (2)와 같이 공저까지 완전한 2자유면의 깔대기형 단면이 확보된다. 2단계까지의 발파로 인해 나머지 부분은 2자유면 상태가 되므로 심배기 수평중심보조공과 심배기 수평외곽공, 그리고 심배기부 외부의 주변공들은 앞에서 형성된 두개의 자유면의 도움에 의해 순차적으로 발파된다(Fig. 2 (3), (4)).

신발파공법은 V-cut과 Burn-cut을 조합한 형태로 터널 단면 중앙 심배기부분의 동일면적에 V형공과 수평공을 같이 천공한다는 것이 특징이다. 즉 신발파공법에서는 동일공경인 수평공들과 V형공들을 동일면적내에 천공함으로써 V-cut에서 중앙부의 집중장약으로 발파 후 단면들의 파쇄가 심하고 천공오차로 발파 실패의 확률이 높으며 심발부 비석의 크기가 큰 단점들과 Burn-cut에서 중앙부 대구경 무장약공과 주변공들의 정밀 천공이 요구되는 단점이 보완되고

있다.

### 3. 시험지역의 지질 및 암반의 물성

시험발파는 현재 선경건설에서 시공중에 있는 지하원유저장기지의 원유저장주공동 상부갤러리와 공사용 터널에서 실시하였다. Fig. 3은 지하 원유저장기지의 평면도로써 시험발파구간의 위치와 지질분포상태가 표시되어 있다. 이 지역은 주로 담저색 내지 담록색의 세립화강암과 담록색의 안산암으로 구성되어 있으며 특히 시험발파가 실시된 구간(Fig. 3의 빗금 표시부)은 전구간이 화강암 중에서도 관입 당시 주변암과의 접촉부에서 급속히 냉각되면서 형성된 문상조직을 갖는 Masanite로 이루어져 있다. 이 구간은 현장의 암반분류기준에 의하면 5등급 중 2등급에 속하는 비교적 양호한 암반으로 Q-system에 의한 분류로는 10~40의 값에 해당된다.

실험현장의 대표적 암반에 대한 실험실 시험결과는 Table 1과 같다.

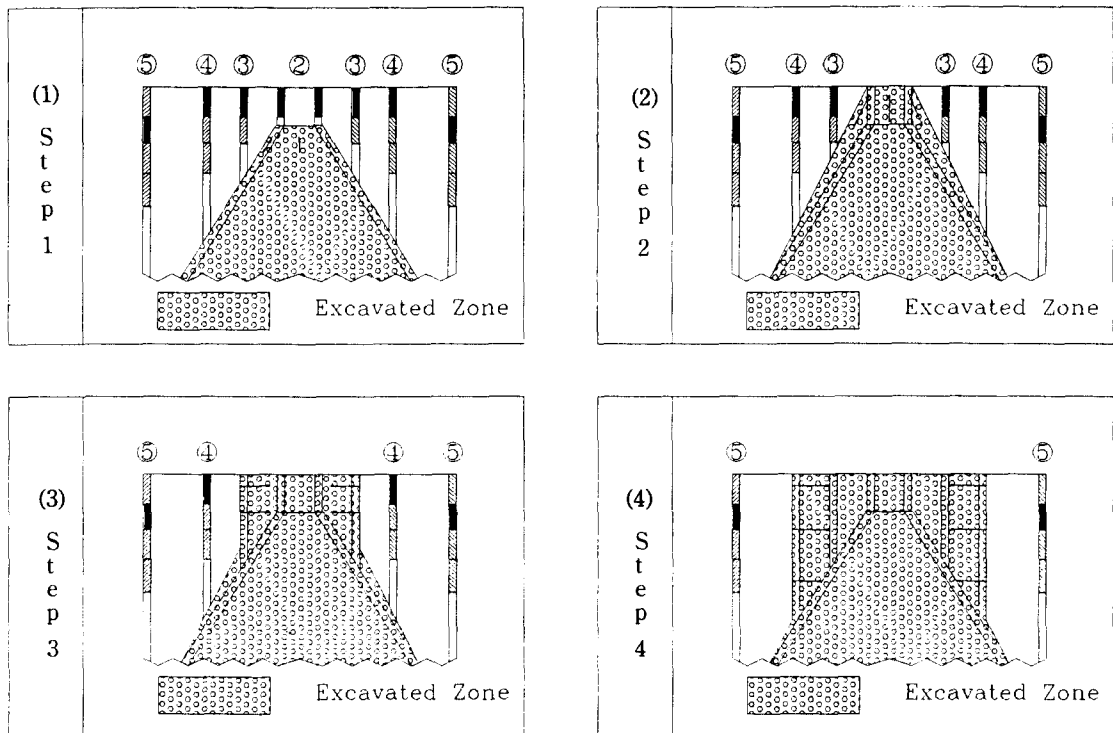


Fig. 2. Blasting process of SK-cut.

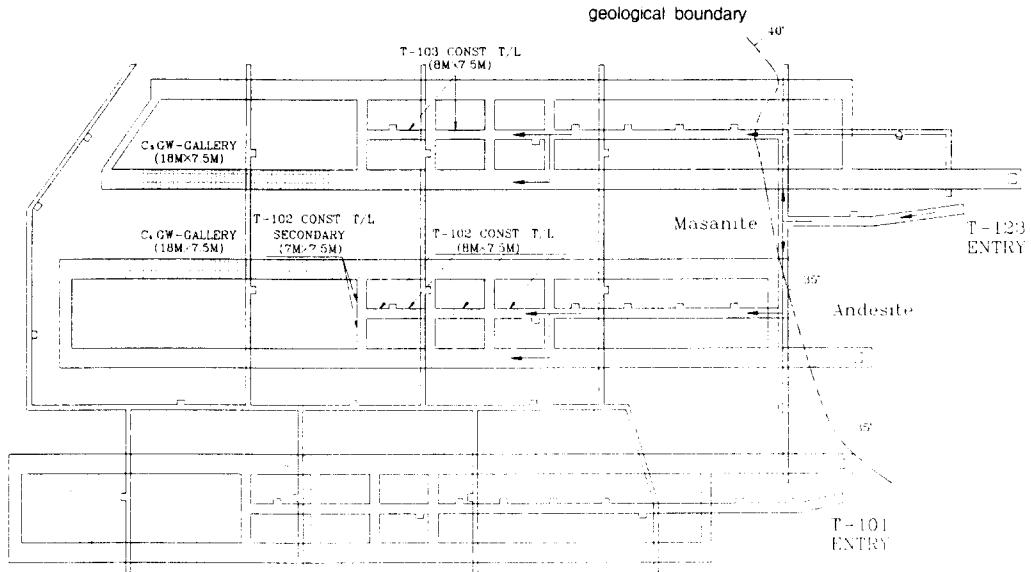


Fig. 3. General view of test site

Table 1. Physical properties of Masanite

Masanite	Physical Property
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.569
P-wave velocity (m/sec)	5,560
S-wave velocity (m/sec)	2,810
Uniaxial compressive strength (MPa)	145.0
Tensile strength (MPa)	12.0
Young's Modulus (x 10 <sup>4</sup> MPa)	3.947
Poisson's ratio	0.204

#### 4. 시험발파 내용

본 연구에서는 신발파공법의 성능을 분석하기 위해서 지하 원유비축기지의 굴착공사현장 중, 주공동 상부 갤러리와 공사용터널에 신발파법을 적용하여 시험발파를 실시하였다. 또한 동일한 굴착조건하에서 기존의 발파법들과 성능을 비교하기 위하여 같은 장소에서 Burn-cut 발파공법과 V-cut 발파공법으로 시험발파를 실시하였다. 이때 막장 천공은 3 boom 점 보드릴로 천공경 45 mm, 천공장은 4.85 m (18' boom 사용)와 3.70 m (14' boom 사용)로 천공하였으며 Burn-cut 발파시에는 102 mm의 무장약공 3공을 막장 단면의 중앙부에 천공하였다. 시험발파가 실시된 주공동 상부 갤러리(Fig. 3의 C4GW, C5GW-Gallery)의

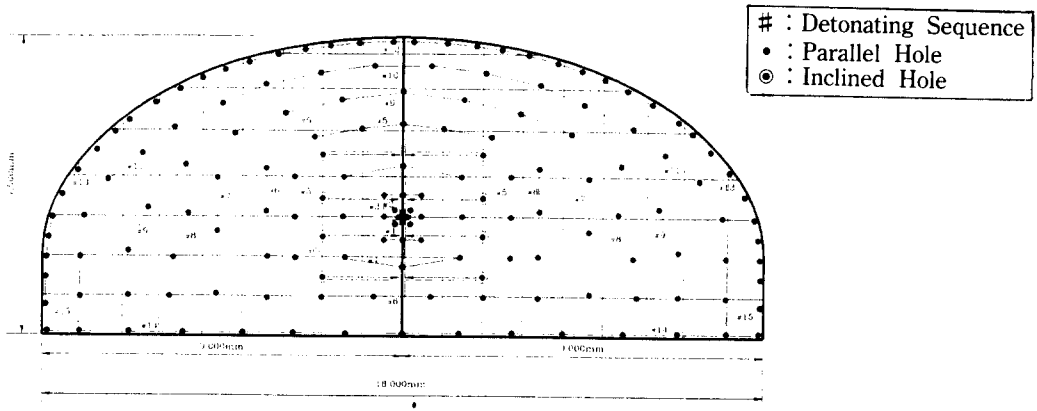
규격은 18×7.5 m의 대단면이며 공사용 터널(Fig. 3의 T-102, T-103 construction tunnel)은 8×7.5 m의 중단면이다.

시험발파 횟수는 대단면에서 천공장을 3.7 m로 하여 SK-cut 50회, Burn cut 20회, 그리고 V-cut 20회를 실시하였으며 천공장이 4.85 m인 경우는 SK-cut 10회, Burn-cut 10회 및 V-cut 10회를 실시하였다. 그리고 중단면에서는 천공장을 3.70 m로 하여 SK-cut 20회, Burn-cut 10회 및 V-cut 10회를 실시하였으며 천공장을 4.85 m로 하여 SK-cut과 Burn-cut, V-cut을 각각 10회씩 실시하였다.

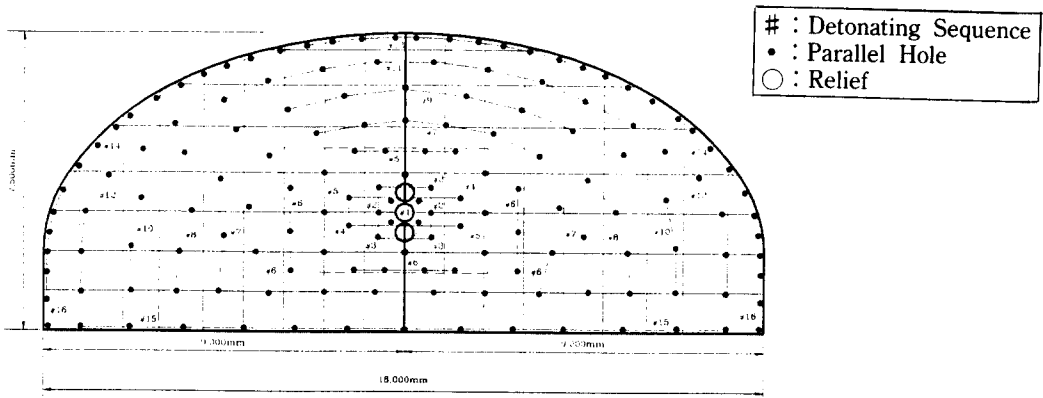
Fig. 4와 Fig. 5는 주공동 상부갤러리와 공사용 터널의 굴착에 적용된 신발파공법과 Burn-cut 및 V-cut 발파공법의 천공 및 발파배치도들이다. Fig. 4에서 점 선안의 공들은 MS뇌관을 사용하였고 그 밖의 공들은 DS뇌관을 사용하여 기폭하였다.

본 시험발파에서는 젤라틴 다이ना마이트 (ST 60%, 38 m/m, 길이 440 m/m, 500 g/ea)를 주로 사용하였으며 천정공과 측벽공에는 정밀폭약인 Finex-1 (17 m/m, 길이 400 m/m, 100 g/ea)을 장약하고 기폭제로써 젤라틴 다이ना마이트를 1~2개 사용하였다.

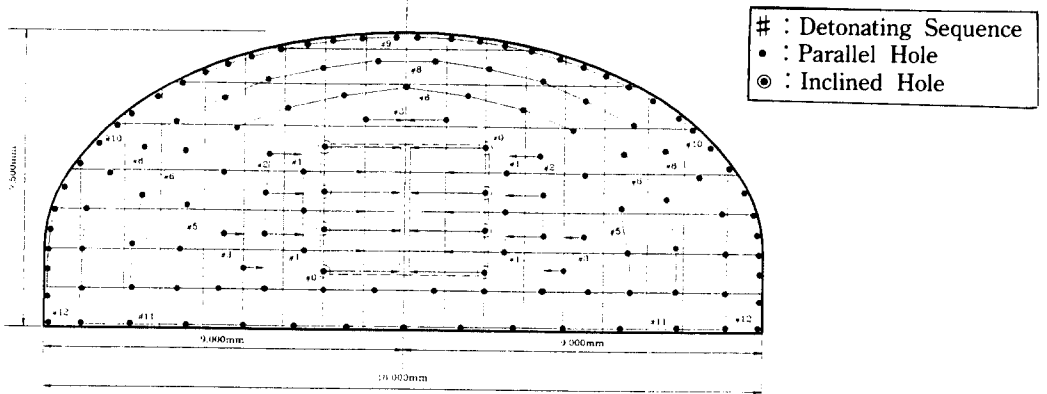
#### 5. 시험결과 분석



(a) SK-cut



(b) Burn-cut



(c) V-cut

Fig. 4. Ignition and drilling pattern for upper gallery of main tunnel

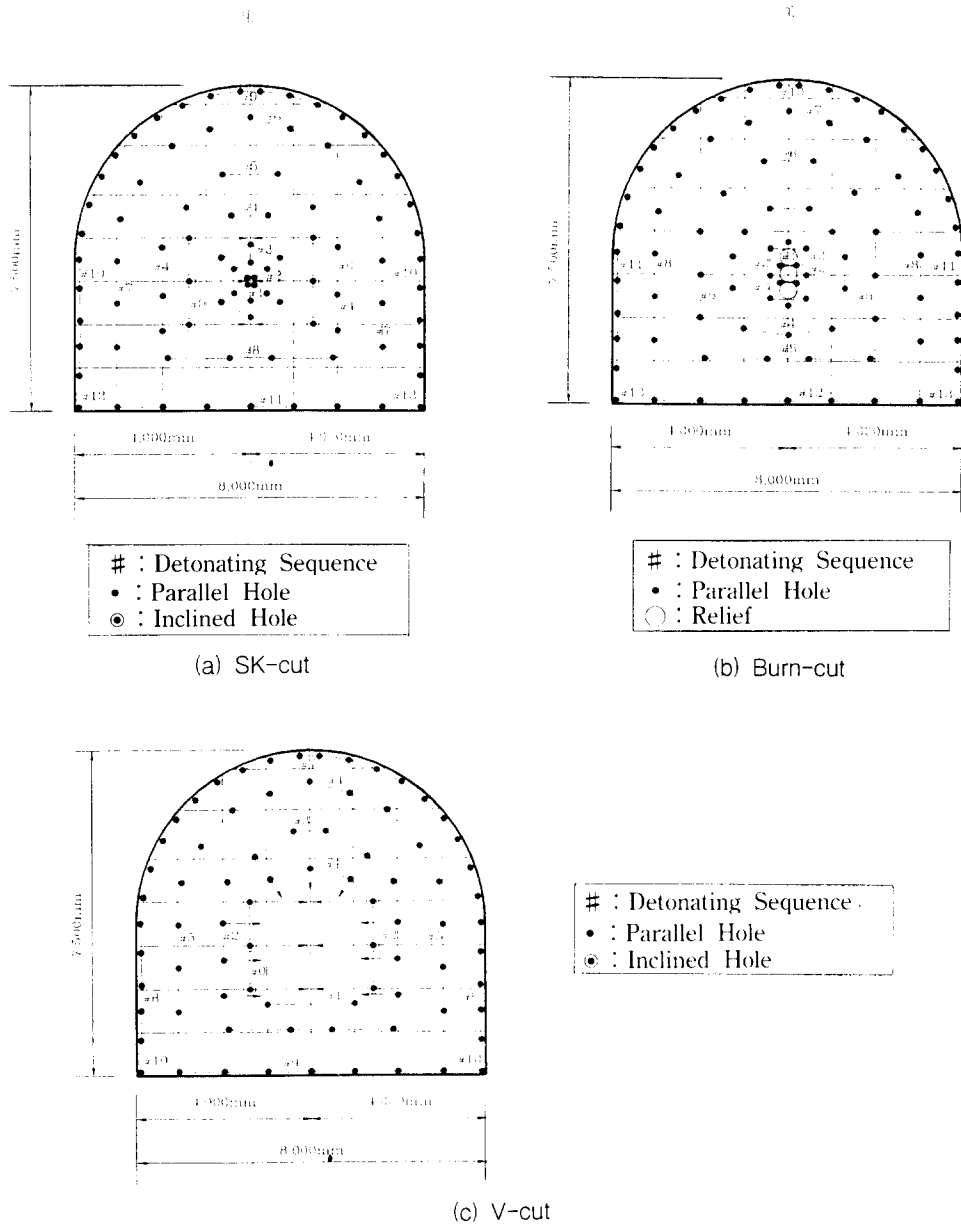


Fig. 5. Ignition and drilling pattern for construction tunnel

본 연구에서는 시험발파시, 매 시험 발파마다 대 상터널의 단면 크기, 천공장, 진행장, 천공시간, 천공 수, 장약량, 버력의 최대비산거리, 부석처리시간, 그 리고 최대 부석의 크기 등을 측정하여 기록하였고 이를 토대로 발파효율, 비장약량 등을 구하여 신발 파공법과 기존 발파공법들 사이의 효율성, 안정성,

시공성들을 비교하였다.

Table 2는 대단면인 주공동 상부궤리에서 천공 장을 3.70 m로 하여 시험 발파한 결과를 발파공법별로 평균하여 정리한 것이다. 그리고 Table 3은 중단면인 공사용터널에서 천공장을 3.70 m로 한 시험발파 결 과이며 Table 4와 Table 5는 각각 주공동 상부궤리

Table 2. Test results of 3 blast methods in upper gallery of main tunnel, drilling length=3.7 m

Cut Type		SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison		
		①	②	③	①-②	①-③	
Tunnel dimension(m×m)		18×7.5	18×7.5	18×7.5			
Section area (m <sup>2</sup> )		111.442	111.442	111.442			
Number of test blasting		50	20	20			
Drilling length (m): A		3.70	3.70	3.70			
Advance (m): B		3.42	3.16	3.04	0.26	0.38	
Excavation efficiency (%)= B/A×100		92.40	85.40	82.10	7.00	10.30	
Drilling time (min)	real time	120.50	172.30	117.7	▼ 1.80	2.80	
	the rest	26.20	30.80	27.9	▼ 4.60	1.70	
	total time	146.70	203.10	145.6	▼56.40	1.10	
Number of holes	center- cut hole	V-type hole	8	—	8	8	—
		empty hole	—	3	—	▼ 3	—
	the rest	24	24	—	—	24	
	contour hole	124.42	131.40	126.00	▼ 6.98	▼ 0.58	
	total	156.42	158.40	134.00	▼ 1.98	22.42	
Total drilling length (m)		578.75	586.08	495.80	▼ 7.33	82.95	
Charge weight (kg)	center-cut hole	53.90	105.80	36.00	▼51.90	17.90	
	contour hole	335.80	359.00	350.20	▼23.20	▼14.40	
	total	389.70	464.80	386.20	▼75.10	3.50	
Specific charge(kg/m <sup>3</sup> )		1.02	1.32	1.14	▼ 0.30	▼ 0.12	
Max. distance of fly rock(m)		43.00	82.85	46.60	▼39.85	▼ 3.60	
Trimming time of tunnel face (min)		40.04	71.60	101.65	▼31.56	▼61.16	
Maximum volume of a fragmented rock(m <sup>3</sup> )		0.34	0.26	0.75	0.08	▼ 0.41	

Table 3. Test results of 3 blast methods in construction tunnel, drilling length=3.7 m

Cut Type		SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
		①	②	③	①-②	①-③
Tunnel dimension(m×m)		8×7.5	18×7.5	18×7.5		
Section area (m <sup>2</sup> )		53.13	53.13	53.13		
Number of test blasting		20	10	10		
Drilling length (m): A		3.70	3.70	3.70		
Advance (m): B		3.45	3.13	3.00	0.32	0.45

Table 3. Continued

Cut Type		SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
		(1)	(2)	(3)	(1)-(2)	(1)-(3)
Excavation efficiency (%)= B/A×100		93.20	84.60	81.10	8.90	12.10
Drilling time (min)	real time	120.90	166.10	117.30	▼45.20	3.60
	the rest	29.70	36.20	38.70	▼ 6.50	▼ 9.00
	total time	149.60	202.30	156.00	▼52.70	6.40
Number of holes	center- cut hole	V-type hole 6	—	6	6	—
		empty hole —	3	—	▼ 3	—
		the rest 16	20	—	▼ 4	16
	contour hole	68.20	69.20	74.00	▼ 1.00	▼ 5.80
	total	90.20	92.20	80.00	▼ 2.00	10.20
Total drilling length (m)		333.74	341.14	296.00	▼ 7.40	37.74
Charge weight (kg)	center-cut hole	35.00	88.00	27.00	▼53.00	8.00
	contour hole	173.10	179.90	178.10	▼ 6.80	▼ 5.00
	total	208.10	267.90	205.10	▼59.80	3.00
Specific charge(kg/m <sup>3</sup> )		1.14	1.61	1.29	▼ 0.47	▼ 0.15
Max. distance of fly rock(m)		43.55	90.40	49.30	▼46.85	▼ 5.75
Trimming time of tunnel face (min)		34.70	61.10	80.90	▼26.40	▼46.20
Maximum volume of a fragmented rock(m <sup>3</sup> )		0.40	0.26	0.60	0.14	▼ 0.20

Table 4. Test results of 3 blast methods in upper gallery of main tunnel, drilling length=4.85 m

Cut Type		SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
		(1)	(2)	(3)	(1)-(2)	(1)-(3)
Tunnel dimension(m×m)		18×7.5	18×7.5	18×7.5		
Section area (m <sup>2</sup> )		111.442	111.442	111.442		
Number of test blasting		10	10	10		
Drilling length (m): A		4.85	4.85	4.85		
Advance (m): B		4.60	4.30	4.13	0.30	0.47
Excavation efficiency (%)= B/A×100		94.80	88.70	85.10	6.10	9.70
Drilling time (min)	real time	141.60	202.90	133.10	▼61.30	8.50
	the rest	23.30	43.70	30.00	▼20.40	▼ 6.70
	total time	164.90	246.60	163.10	▼81.70	1.80



Table 4. Continued

Cut Type			SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
			①	②	③	①-②	①-③
Number of holes	center- cut hole	V-type hole	8	—	8	8	—
		empty hole	—	3	—	▼ 3	—
		the rest	24	30	—	▼ 6	24
	contour hole	126.00	126.00	124.70	0.00	▼ 1.30	
	total	158.00	159.00	132.70	▼ 1.00	25.30	
Charge weight (kg)	center-cut hole	96.00	180.20	48.00	▼84.20	48.00	
	contour hole	372.00	375.50	407.60	▼ 3.50	▼35.60	
	total	468.00	555.70	455.60	▼87.70	12.40	
Specific charge(kg/m <sup>3</sup> )			0.91	1.16	0.99	▼ 0.25	▼ 0.08
Max. distance of fly rock(m)			46.20	87.30	52.20	▼41.10	▼ 6.00
Trimming time of tunnel face (min)			53.80	97.70	108.60	▼43.90	▼54.80
Maximum volume of a fragmented rock(m <sup>3</sup> )			0.31	0.25	0.83	0.06	▼ 0.52

Table 5. Test results of 3 type blast methods in construction tunnel, drilling length=4.85 m

Cut Type			SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
			①	②	③	①-②	①-③
Tunnel dimension(m×m)			8×7.5	8×7.5	8×7.5		
Section area (m <sup>2</sup> )			53.13	53.13	53.13		
Number of test blasting			10	10	10		
Drilling length (m): A			4.85	4.85	4.85		
Advance (m): B			4.58	4.29	4.12	0.29	0.46
Excavation efficiency (%)=B/A×100			94.40	85.50	84.50	5.90	9.90
Drilling time (min)	real time		139.70	197.20	131.40	▼54.50	8.30
	the rest		26.90	36.60	42.70	▼ 9.70	▼15.80
	total time		166.60	230.80	174.10	▼64.20	7.50
Number of holes	center- cut hole	V-type hole	6	—	6	6	—
		empty hole	—	3	—	▼ 3	—
		the rest	16.20	20.60	—	▼ 4.40	16.20
	contour hole	67.00	68.20	76.00	▼ 1.20	▼ 9.00	
	total	89.20	91.80	82.00	▼ 2.60	7.20	
Total drilling length (m)			442.62	445.23	397.70	▼12.61	34.92

Table 5. Continued

Cut Type		SK-CUT	BURN-CUT	V-CUT	Comparison	
		①	②	③	①-②	①-③
Charge	center-cut hole	56.00	110.00	36.00	▼54.00	20.00
weight (kg)	contour hole	206.00	222.00	224.00	▼16.00	▼18.00
	total	262.00	332.00	260.00	▼70.00	2.00
Specific charge(kg/m <sup>3</sup> )		1.08	1.46	1.19	▼ 0.38	▼ 0.11
Max. distance of fly rock(m)		44.30	93.60	57.00	▼49.30	▼12.70
Trimming time of tunnel face (min)		43.60	66.60	97.20	▼23.00	▼53.60
Maximum volume of a fragmented rock(m <sup>3</sup> )		0.40	0.25	0.65	0.15	▼ 0.25

와 공사용 터널에서 천공장이 4.85 m인 경우의 시험 발파 결과이다.

5.1 발파효율

본 논문에서 발파효율은 천공장에 대한 발파 후 진행장의 비율을 정의한 것으로 수치가 클 수록 이상적인 발파공법을 의미한다. Fig. 6은 각 발파공법별 발파효율을 굴착조건에 따라 평균하여 도시한 것이다. Fig. 6에서 Gallery라 표시한 것은 대단면인 주공동 상부갤러리에서의 실험발파 결과를 의미하는 것이고 Tunnel은 중단면인 공사용터널에서의 시험결과를 의미하는 것이며 L은 천공장을 표시한 것이다.

Fig. 6에 의하면 SK-cut, 즉 신발파공법의 발파효율은 92.4~94.8%로 나타나 Burn-cut 발파공법의 84.6~88.7%와 V-cut 발파공법의 81.1~85.1% 보다 우수한 결과를 보였다. 굴착조건 별로 발파효율의 분포는 SK-cut의 경우 2.4% 정도로 나타나 단면의 크기나 천공장이 달라져도 발파효율은 크게 변하지 않고 안정된 경향을 보이고 있다.

5.2 비장약량(Specific charge)

비장약량은 발파 후 파쇄된 암석의 단위체적당 소모된 화약량을 나타낸 것으로 비장약량이 작으면 동일한 부피의 암반을 발파하는데 더 작은 량의 화약이 소모되었음을 의미하므로 효율성 및 경제성이 우수한 발파공법임을 나타낸다.

Fig. 7은 각 발파공법 별 비장약량을 굴착조건에 따라 평균하여 도시한 것이다. SK-cut의 비장약량은

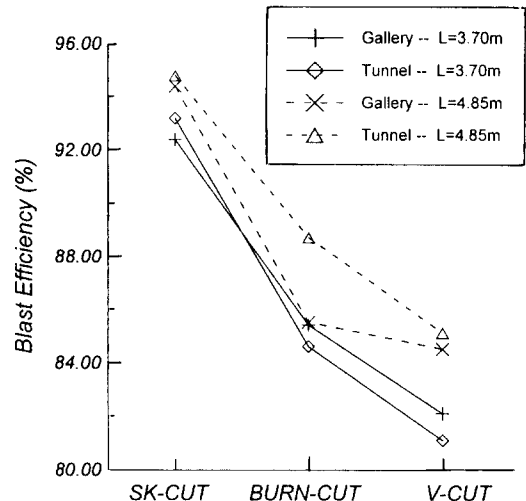


Fig. 6. Comparison of blast efficiency of SK-cut, Burn cut and V-cut

0.91~1.14 kg/m<sup>3</sup>로, Burn-cut 발파공법의 1.16~1.61 kg/m<sup>3</sup>와 V-cut 발파공법의 0.99~1.29 kg/m<sup>3</sup>보다 작은 것으로 나타나 SK-cut 발파공법이 기존의 발파공법들보다 화약 소모량이 작은 발파공법으로 판단된다. 또한 Fig. 7에 의하면 동일한 발파공법을 적용하더라도 단면이 클수록, 그리고 천공장이 길수록 비장약량이 줄어드는 추세를 보이고 있어서 천공장이 길고 단면이 클수록 경제적인 발파가 되는 것으로 사료된다.

5.3 천공시간

Fig. 8은 각 발파공법 별 평균 천공시간을 굴착조

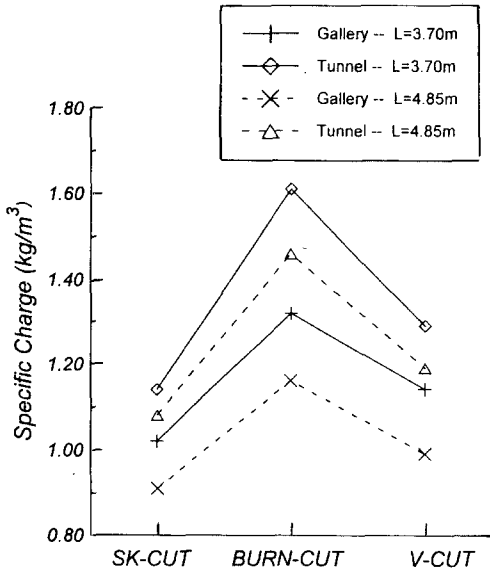


Fig. 7. Comparison of specific charge of SK-cut, Burn cut and V-cut

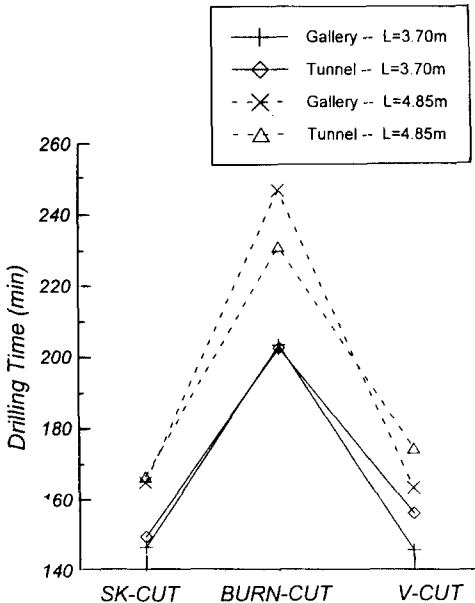


Fig. 8. Comparison of drilling time of SK-cut, Burn cut and V-cut

전에 따라 4개의 곡선으로 표시한 것이다. SK-cut 발파공법의 천공시간은 천공장이 3.7 m인 경우 대단면에서는 146.7분, 중단면에서는 149.6분으로 나타났고 천공장이 4.85 m일 경우는 대단면에서 164.9분,

중단면에서 166.6분으로 나타났다. 그리고 Burn-cut 발파공법에서는 천공장이 3.7 m일 경우는 대단면과 중단면에서 각각 203.1분과 202.3분, 천공장이 4.85 m일 때는 246.6분과 230.8분으로 나타났으며 V-cut 발파공법에서는 천공장 3.7 m에서 145.6분과 156분, 천공장 4.85 m에서 163.1분과 174.1분으로 나타났다. 대단면과 중단면에서의 총 천공수는 54~67개 정도의 차이가 나는데도 불구하고 천공시간이 큰 차이가 없는 것은 대단면 천공시에는 점보드릴을 2대, 중단면 천공시에는 점보드릴 1대를 사용하였기 때문이다.

SK-cut 발파공법과 V-cut 발파공법에서의 천공시간은 비슷하게 나타났는데 SK-cut 발파공법의 총 천공수가 V-cut 발파공법보다 대단면에서는 22~25공, 중단면에서는 10공 정도 많은 것을 고려하면 SK-cut 발파공법의 천공시간이 적다고 할 수 있다. 이는 V-cut에서는 V형공들의 천공시 공저간격이 10 cm 정도로 유지되도록 정밀 천공을 해야 하며 중앙부의 집중장약으로 막장 및 주변 벽면의 손상이 크기 때문에 천공 중에도 부석 처리에 시간이 소요되기 때문이다.

Burn-cut공법에서의 천공시간은 다른 공법들 보다 40~80분 정도 더 소요되는데 이는 Burn-cut공법이란 단면 중앙부에 직경 102 mm의 무장약공 3공을 천공해야 하고 또한 주변공들을 5~7cm의 간격으로 평행하게 일직선으로 천공해야 하기 때문이다.

#### 5.4 비산거리

비산거리는 발파 후 버력이 막장면으로부터 최대로 날아간 거리를 측정된 것이다. 각 발파공법 별로 측정된 버력의 최대 비산거리는 Fig. 9에 도시하였다. Fig. 9에 의하면 SK-cut 발파공법에서는 최대 비산거리가 굴착조건에 따라 43.0~46.2 m로 가장 짧았으며 Burn-cut 발파공법에서는 82.9~93.6 m, 그리고 V-cut 발파공법에서는 46.6~57 m로 나타났다. 따라서 신 발파공법의 적용시에는 작업장 주위의 풍관이나 전기관, 착암용수 파이프등을 막장에서 멀리 떨어뜨려 설치하지 않아도 되므로 굴진싸이클 당 작업시간이 절약될 수 있을 것으로 판단된다. 한편 이 결과에 의하면 Burn-cut 발파공법이 다른 발파공법들보다 비산거리가 비교적 짧다는 일반적으로 알려진 것과 다른 양상을 보이고 있는데 이것은 Burn-cut의 심발부 장약량이 다른 발파공법들의 심발부 장약량보다 2배 이상인 사실에 기인하는 것으로 추정된다.

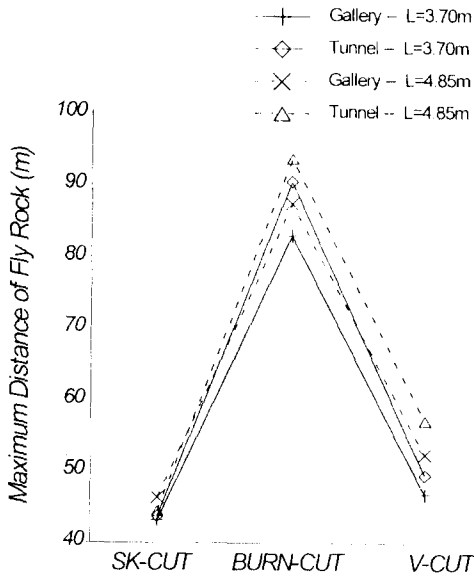


Fig. 9. Comparison of fly rock distance of SK-cut, Burn cut and V-cut

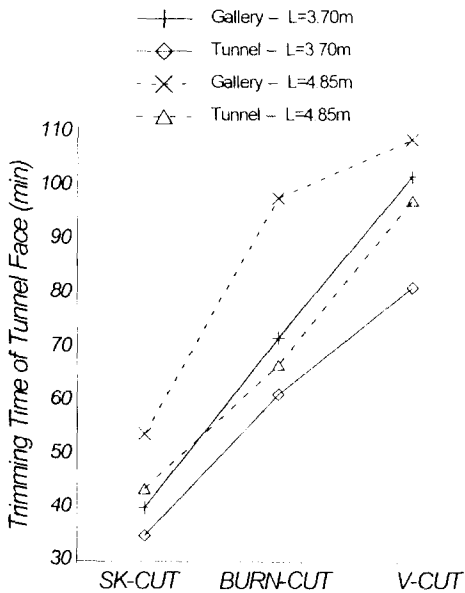


Fig. 10. Comparison of trimming time of SK-cut, Burn cut and V-cut

5.5 부석제거시간

Fig. 10은 각 발파공법별 부석제거시간을 도시한 것이다. 여기서 부석제거시간은 발파 후 버력을 처리한 다음, 막장면 및 주변 터널 벽면에 붙어 있는

파쇄암을 처리하는데 소요되는 시간을 측정된 것으로서 이는 각 발파공법의 주변 암반에 대한 손상 정도를 나타내는 지표로 볼 수 있다.

측정결과에 의하면 SK-cut 발파공법은 굴착조건별로 34.7~53.8분으로 가장 짧게 나타났으며 Burn-cut 발파공법은 61.1~97.7분, V-cut 발파공법은 80.9~108.6분으로 나타났다. V-cut 발파공법에서 부석처리시간이 가장 긴 것은 주변 암반의 파쇄정도가 가장 심했음을 의미하는 것으로 이는 심발부분의 집중장약으로 발파시 주변 암반에 큰 손상을 가했기 때문이다. 그리고 Burn-cut 발파공법의 부석제거시간도 SK-cut 발파공법보다 크게 나타났는데 이것 또한 심발부의 집중장약으로 주변 암반의 손상이 컸기 때문이다. 반면에 SK-cut 발파시 주변 암반의 파쇄 정도가 가장 작은 것은 V형공 내부영역에 위치한 수평공들을 무장약 상태로 유지하면서 영역 밖의 부분만을 장약했기 때문에 심배기 발파시 집중 발파가 되지 않으면서도 수평공들의 무장약 부분이 자유면 역할을 함과 동시에 V형공들의 발파암이 최대한 발휘되었기 때문인 것으로 판단된다.

6. 결 론

SK-cut 발파공법과 기존 발파공법들을 지하 원유 저장공동 건설공사 현장의 주공동과 공사용 터널에 적용하여 총 190회의 시험발파를 실시하였는데 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 굴진효율은 SK-cut 발파공법이 Burn-cut 발파공법보다 약 5.9~6.2%, V-cut 발파공법보다 약 8.7~9.8% 정도 향상된 것으로 나타났다.
- 2) 비장약량은 SK-cut 발파공법이 0.91~1.14 kg/m<sup>3</sup>로 Burn-cut 발파공법보다는 22~29%, V-cut 발파공법보다는 8~12% 정도 감소된 것으로 평가되었다.
- 3) 천공시간은 SK-cut 발파공법이 V-cut 발파공법과 비슷하고 Burn-cut 발파공법보다는 40~80분 정도 작은 것으로 나타났다.
- 4) 버력의 최대비산거리는 SK-cut 발파공법이 43.0~46.2 m로 Burn-cut 발파공법의 82.9~93.6 m, V-cut 발파공법의 46.6~57 m 보다 짧게 나타났다.
- 5) 부석 처리시간에서도 SK-cut 발파공법이 34.7~53.8분으로 가장 짧게 나타났으며 Burn-cut 발파공법은 61.1~97.7분, V-cut 발파공법은 80.9~108.6분

으로 나타났다.

이상의 실험 결과들에 의하면 SK-cut 발파공법이 기존의 발파공법들 보다 효율성, 경제성, 안정성등에서 뛰어난 것으로 판단된다. 본 발파공법의 우수성에 대한 이론적 근거와 파괴 메카니즘의 규명은 향후 보다 많은 연구를 통해서 이루어져야 할 것으로 사료되며 연암 지역을 포함한 많은 다양한 지질조건에서도 시험발파를 실시하여 그 성능을 검증할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 유창하, 이정인, 1979, 발파작업에 의한 지반진동이 지상구조물에 미치는 영향에 관한 연구, 대한광산학회지, Vol. 16, pp. 41-50.
- 2) 배규진, 1994, 터널 확공시 병용천공 발파공법의 개발, 한국지반공학회 '94 가을 학술발표회 논문집, pp. 199-208.
- 3) 조영동, 이상은, 임환옥, 1994, 터널 굴착에서 다단식 발파기에 의한 전단면 발파의 적용성 연구, 터널과 지하공간, Vol. 4, pp. 132-143.
- 4) Chakraborty, A.K., et al., 1994, Assessing the Effects of Joint Orientation and Rock Mass Quality on Fragmentation and Overbreak in Tunnel Blasting, Tunneling & Underground Space Technology, Vol. 9, No. 4, pp. 471-482.
- 5) McKenzie, C.K., et al., 1983, Limit Blast Design Evaluation, Proc. 5th Int. Cong. on Rock Mechanics, Melbourne, ISRM, pp. e215-e221.
- 6) Langefors, U. & Kihlstrom, B., 1979, The Morden Techique of Rock Blasting, Halsted Press, 438 p.