

# 터널에서 대구경 무장약공과 선균열을 이용한 심빼기 공법에 관한 연구

김 재홍<sup>1)</sup>, 임 한욱<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(주)무진네오테크, <sup>2)</sup>강원대 지구시스템공학과

## 초 록

실린더 컷은 터널 굴착단면의 크기에 관계없이 널리 이용된다. 본 연구에서는 발파당 굴진장을 증대시키기 위하여 종래의 방법과 다른 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법의 새로운 패턴은 그림과 같으며, 각 단계별로 상세한 저항선, 공간간격은 별도 그림과 같다. 새로운 실린더 컷 방법과 종래의 방법과의 결과는 다음과 같다. 종래 방법은 굴진장이 천공장의 90-95%인데 비하여 새로운 방법은 대체로 99.5%이다. 비장약량이 1.363kg/m<sup>3</sup>에서 1.297로 약 5% 감소되며, 비천공장이 2.393m/m<sup>3</sup>에서 2.130으로 약 8% 감소된다. 그밖에 지반진동, 비산, 파쇄암의 크기 등이 종래 방법에 비하여 우수함을 확인하였다.

## 1. 서 론

암반을 굴착하는 수단으로 예부터 화약에 의한 발파공법이 널리 이용되고 있다. 그러나 발파공법을 채택시 유의해야 할 사항은 시공의 효율성과, 환경오염원 저감에 의한 민원방지를 들 수 있다. 즉, 첫째는 1회 굴진장을 증대하는 것이요, 둘째는 발파에 의한 지반의 진동, 소음 및 분진을 저감시키는 것이다. 그러나 이 두 가지는 서로 상반되는 관계이어서 1회 굴진장을 증대시키면 지반진동 및 소음이 커지고, 반대로 진동 및 소음을 저감시키면 1회 굴진장이 감소되는 경향을 보인다. 따라서, 지하철의 건설 등 도심지나 주요시설물에 인접된 곳에서의 발파작업은 굴진장보다는 환경오염원의 저감에 일차적인 목표를 두고 발파작업을 실시해왔다.

그러나 원유 및 가스비축기지, 양수발전소, 산악터널 등 도심지가 아니거나 주요시설물과 상당히 떨어진 산악지 또는 교외에서의 발파작업은 발파로 인한 진동 및 소음의 영향이 거의 없기 때문에 1회 굴진장을 증대시켜 시공의 효율성을 제고시키는 일은 공사기간의 단축, 공사비용의 절감 면에서 대단히 중요한 과제이다. 특히 1 자유면을 갖는 터널발파의 시공성은 심빼기(心拔)발파에 크게 좌우되는데, 심빼기 발파란 터널막장의 한 부분을 먼저 효율적으로 파쇄시켜 2자유면을 형성하는 것으로 이를 위하여 종래부터 여러 가지 심빼기 방법이 이용되어왔다. 실린더 컷의 경우 초기에는 무장약공을 1개 또는 2개 천공하여 자유면으로 활용하였으나 최근에는 대형 천공장비의 개발로 3개 또는 4개까지 천공하여 활용하고 있다. 그러나 암반의 조건에 따라 때때로 과도한 잔류공(殘留孔)이 형성되기 때문에 때때로 비능률적인 경우도 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 효율적인 심빼기를 위하여 "터널에서 대구경 무장약공과 선균열을 이용한 심빼기 공법"이라는 새로운 심빼기 공법에 관한 연구를 수행하였다. 이 새로운 방법의 특징은 다음과 같이 4가지로 요약할 수 있다. 첫째, 종래 실린더 컷에서는 무장약공을 4공까지 천공하는데 비하여, 동심원상(同心圓狀) 배열로 5공을 천공, 둘째, 무장약공 사이에

소구경의 장약공을 추가로 천공하고, pre-splitting 개념을 도입하여 먼저 약장약으로 기폭시킨 점. 셋째, 무장약공 중심부에 장약공을 설치하고 이를 기폭 시키면 선 균열된 부분이 완전 제거되어 자유면을 형성하게 된다. 넷째, 첫 번째 심폐기공부터 네 번째 심폐기공 모두와 무장약공의 천공장은 확대공, 주변공, 바닥공의 천공장보다 20~30cm 정도 더 깊게 한다.

위 네 가지 특성이 동시에 구현되면 지름이 450mm~500mm되는 대구경공이 형성되어 시추를 실시하여 인공적으로 자유면을 형성하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 즉, 종래의 실린더 컷 심폐기보다 훨씬 우수한 효과를 얻을 수 있다는 점이다.

본 연구에서는 현장실험을 통하여 이상의 원리를 이용한 새로운 심폐기의 특성을 파악하였다. 즉, 동일한 암반조건 및 터널규격에서 종래 방법과 새로운 심폐기 발파방법을 실시하고 굴진 효율(굴진장/천공장), 천공시간, 비장약량(比裝藥量), 암편의 최대 비산거리, 파쇄입도 등을 조사, 분석하였다.

## 2. 시험대상 구역의 지질특성 및 종래 심폐기 공법

시험구간의 지질특성 및 종래 심폐기 공법의 특징은 다음과 같다.

### 2.1. 지질특성

본 시험구간은 행정구역상 전북 장수군 장계면 오동리에서 경남 함양군 서상면 금당리까지 총연장 5.7km에 해당하는 대전-통영간 국도중 육십령터널이다.

본 계획노선 구간중 시점부에서 STA.2K+150 부근까지 약 2.15km 구간에는 선캠브리아가의 화강암질 편마암이, STA.2K+150 부근에서 노선 종점부까지의 나머지 구간에는 주라기의 대보화강암이 분포하고 있으며, 본 구간 남측의 옥산리 일대에는 주라기의 편마상 화강암이 발달, 분포하고 있다.

시공구간중 금번 시험발파를 실시한 구역은 STA.1K 290에서 STA.1K 670까지이며, 이 지역에서 구한 시료의 주요 물성은 Table. 1과 같다.

Table 1. Some physical properties of rock

Items	TB-2	TB-3	TB-4	TB-5	Average
Specific Gravity	2.64	2.62	2.87	2.64	2.67
P-wave Velocity (m/sec)	4,606	4,453	5,280	4,852	4,797
S-wave Velocity (m/sec)	2,260	2,251	2,680	2,372	2,390
Uniaxial Comp. Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,732	1,840	1,967	1,377	1,729
Young's Modulus ( $\times 10^5$ kgf/cm <sup>2</sup> )	5.04	4.65	5.68	5.46	5.21
Poisson's ratio	0.17	0.22	0.27	0.15	0.20
Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	90	98	112	80	95
Internal Friction Angle (°)	61.5	59.5	59.5	60.5	60.5
Cohesion force (kgf/cm <sup>2</sup> )	180	230	250	170	200
Depth (m)	29.6~50.0	49.6~89.0	31.5~50.6	31.4~41.0	

## 2.2. 종래 주요 터널 발파에서의 심빼기 공법

터널의 발파는 대부분 1 자유면이기 때문에 새로운 자유면을 만들어주기 위하여 심빼기 발파를 하게 된다. 이 심빼기가 형성되는 과정과 2 자유면이 만들어지는 결과에 따라 굴진 작업의 성공여부가 좌우된다. 일반적으로 터널발파에서 심빼기 공법은 천공방향에 따라 크게 경사공 심빼기와 평행공 심빼기로 구분되며, 그 대표적인 방법은 각각 브이 컷(V-cut), 번 컷(Burn-cut), 실린더 컷(Cylinder-cut)이라 할 수 있다.

브이 컷의 경우 심빼기공이 경사공으로 단공이며, 심빼기공 이후에 기폭 되는 확대공(보조공), 주변공, 외곽공 등의 천공경사 및 길이가 서로 다르다. 또한 터널단면의 크기에 제한을 받기 때문에 1회 굴진장이 2m 이하의 단공발파에 주로 이용된다. 번 컷은 무장약공의 공경이 장약공의 공경과 동일하므로 무장약공의 역할이 만족스럽지 못하다. 반면에 실린더 컷은 대구경 무장약공을 활용하지만 이들 공간(孔間) 거리가 일정치 못할 경우 심빼기 효과가 낮아진다.

따라서, 종래 심빼기 방법을 채택시 어떤 방법을 이용하던지 굴진장은 천공장의 90%로 설정하고 있지만 부분적으론 천공장의 20%에 달하는 잔류공이 남는 문제점이 있다.

## 3. 새로운 발파공법의 원리 및 특성

새로운 발파공법의 원리, 현장 적용시험 및 그 결과는 다음과 같다.

### 3.1. 원리

터널에서 발파의 성패는 효율적인 심빼기를 통한 자유면의 추가 확보에 있다. 따라서 새로운 발파 공법의 원리는 노천에서 뿌리 깎기를 원활히 하기 위한 추가천공(sub-drilling)과, 대구경 무장약공을 동심원상으로 5개를 배치함으로써 어느 방향을 기준하든 이들 천공사이의 거리가 일정하도록 유지함으로써 동일한 파쇄효과를 유발하도록 하며, 무장약공의 사이와 원의 중심에 소구경 장약공을 천공하고 이를 선균열(pre-splitting) 시킴으로써 심빼기의 효과를 제고하는 방법이다.

즉, 이 방법은 위에 예시된 4가지의 발파 기초원리를 심빼기 발파에 응용함으로써 초기 암반의 구속력을 완화시켜 자유면을 쉽게 확보할 수 있으며, 천공길이 만큼 굴진장을 확보할 수 있기 때문에 종래의 심빼기 발파공법에 비하여 굴진 효율을 극대화시킬 수 있는 이점이 있다.

심빼기공 이외의 확대공, 주변공 및 바닥공 등은 종래의 실린더 컷과 동일한 원리를 적용한다. 여기서 심빼기공이란 비교적 대단면 터널에서는 Fig. 1과 같이 첫 번째에서 네 번째 심빼기공까지의 작업을 말하며 대체로 1.78×1.78m 크기에 해당된다.

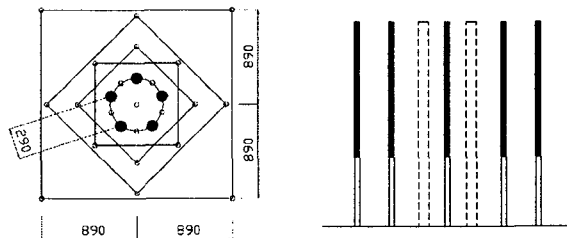


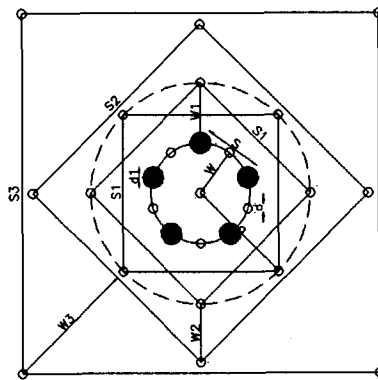
Fig. 1 Pattern of the new blasting method with large empty hole & pre-splitting in tunneling

### 3.2. 천공, 장약 및 기폭방법

본 심패기 공법에서 천공, 장약 및 기폭방법은 다음과 같이 실시된다.

#### (1) 천공

먼저 중앙에 장약공 1공을 천공하고, 그 주위로 지름이  $\phi$ 인 원형의 동심원상에 Fig. 3과 같이 5개의 무장약공과 또 무장약공 사이에 5개의 소구경 장약공을 천공한다. 이 때 지름  $\phi = 2W$ 이고, 원형 심발부의 반지름( $W$ )은  $(4\sim 6)d$ 이며, 동심원상에 무장약공의 간격( $S$ )은  $(2\sim 3)d$ 이 되도록 위치를 설정한다.



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| $W = (4\sim 6) \times d$         | $d$ : Diameter of charge holes                                   |
| $S = (2\sim 3) \times d_1$       | $d_1$ : Diameter of empty large holes                            |
| $a = 1.1 \times 2W$              | $W$ : Radius of circular cut                                     |
| $W_1 = 1.2W$                     | $S$ : Hole space between empty hole                              |
| $S_1 = \sqrt{2}a$                | $a$ : Distance between center of circular cut and 2nd center cut |
| $W_2 = (0.95\sim 1.0) \times W$  | $K$ : The constant based on burden (1.86~1.9)                    |
| $S_2 = \sqrt{2}K \times W_2$     | $W_1$ : Burden of 2nd center cut                                 |
| $W_3 = (2.3\sim 2.5) \times W_2$ | $S_1$ : Spacing of 2nd center cut                                |
| $S_3 = \sqrt{2}K \times W_3$     | $W_2$ : Burden of 3rd center cut                                 |
|                                  | $S_2$ : Spacing of 3rd center cut                                |
|                                  | $W_3$ : Burden of 4th center cut                                 |
|                                  | $S_3$ : Spacing of 4th center cut                                |

Fig. 2 Drilling pattern of new circular cut

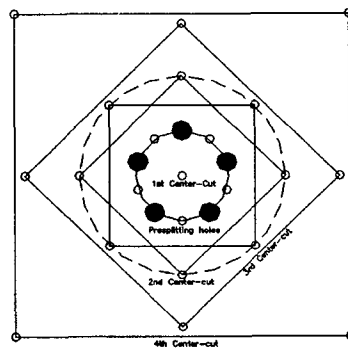
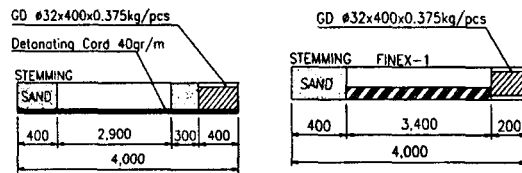


Fig. 3 Names of the complete cut

이들 무장약공 및 심빼기 전체 장약공의 천공깊이는 확대공, 주변공보다  $(2\sim3)\times 0.3W$  가 되도록 더 깊게 천공하여 노천발파에서 뿌리 깎기의 효율과 같은 기능을 얻도록 한다. 여기서  $W$ 는 저항선으로 그림과 같이 중앙의 장약공에서 동심원상의 무장약공까지의 길이이며,  $d$ 는 장약공의 지름,  $d_1$ 은 무장약공의 지름이다. 일반적으로 점보드릴의 경우  $d$ 가 45mm이므로  $\phi$ 는 대체로 450mm 내외로 형성된다. 심빼기공 이외 즉 확대공, 주변공, 바닥공 및 여굴방지를 위한 스무스블라스팅(S.B)공 등의 천공간격 및 깊이는 현지암반 및 작업 조건에 따라 결정하되 원리상 기존의 실린더 컷과 동일하다.

(2) 장약 및 기폭

본 심빼기 발파에서 유의해야 할 장약공은 선균열(pre-splitting)형성을 위한 보조 심빼기공, 중앙에 위치한 단일 심빼기공이며, 그 외의 공 즉, 두 번째 이후의 장약공에 대한 장약원리는 앞에서 설명한 바와 같이 기존의 번 컷 또는 실린더 컷과 동일하다. 우선 선균열 형성을 위한 보조 심빼기공의 장약은 Fig. 4와 같이 두 가지 방법이 있다.



(a) charging with detonating cord (b) charging with Finex

Fig. 4 Charge pattern of pre-splitting hole

첫째는 (a)와 같이 공저에 다이너마이트 0.375kg을 장약하고, 이를 도폭선(40ar/m)과 연결하여 공의로 뽑아낸다. 이 때 폭약의 위력을 충분히 활용할 수 있도록 그림과 같이 2개소 즉, 300mm, 400mm 길이만큼 일반도폭을 사용하여 완전 전색을 실시한다. 이 도폭선은 (주)한화에서 생산되는 제품의 경우 펜트리트 폭약이 m당 40g 씩 도포 되어있다. 이 때, 도폭선을 활용하는 주된 이유는 분산장약(약장약)의 효과를 얻기 위해서이다. 둘째는 (b)와 같이 도폭선 대신에 저 비중 저폭속인 Finex로 장약하는 것이다. 위에 예시한 선균열 형성은 종래의 pre-splitting 이론을 심빼기공에 활용한 것으로 다음 단계에 이루어지는 중앙 심빼기공의 효율을 높여주기 위함이다. 그림에서 치수는 4,000mm 천공시 장약 기준을 예시한 것이다. 다음으로 중앙에 위치한 단일 소구경 심빼기공의 장약은 암반 조건에 따라 다를 수 있지만 천공장의 90%를 젤라틴 다이너마이트 등 폭약류로 장약하고 나머지 10% 구간은 완전전색을 실시한다.

이와 같이 중앙 단일 공에 비교적 많은 폭약을 장약한 이유는 앞 단계에서 형성된 선균열 구간을 완전히 파쇄후 이동시킬 수 있는 폭력을 얻기 위함이다. 따라서, 이 두 단계 즉, 심빼기공이 확실히 실시된 경우 대체로 450mm내외의 2자유면이 형성된다. 장약시 기폭뇌관의 시차선정은 본 심빼기 발파의 성패를 좌우하는 중요한 요소중 하나이다. 선균열 형성을 위한 보조 심빼기공은 제발 발파를, 이후 기폭되는 첫 번째 심빼기공, 두 번째, 세 번째, 네 번째 심빼기공은 각각 60~100ms의 지연시차를 갖는 지발 전기뇌관을 장약한다. 다음으로 심빼기공 외부의 확대공, 주변공, 바닥공 및 S.B공의 장약량 및 기폭시차는 종래의 번 컷 또는 실린더 컷과 동일한 원리, 동일한 방법을 채택한다.

(3) 보조 심뺨기공의 선균열 적용 및 효과

본 심뺨기의 주요 특성중 하나는 보조 심뺨기공을 이용하여 선균열 효과를 얻은 점이다. 지금까지 선균열 기폭방법은 주로 발파로 인한 지반진동의 제어 또는 이완영역의 확산방지를 목적으로 사용하였다. 그러나 본 연구에서는 종래 방법에 비하여 더욱 효과적인 2자유면을 갖는 대단면 심뺨기공을 얻기 위하여 약장약으로 기폭시켜 암반 내에 선균열을 형성시킴으로써 첫 번째 심뺨기공의 파쇄효과를 높이도록 한 점이다.

따라서 2자유면을 갖는 대구경 무장약공을 확보하기 위하여 부분적으로 사용하던 수평 시추효과를 발파 이론에 의해 얻을 수 있다는 점에서 그 특징이 있다.

(4) 심뺨기 기폭단계에 따른 2자유면 형성 과정

첫 번째 심뺨기공 이후 모든 심뺨기공의 공별 기폭시차를 앞에서 설명한 바와 같이 60~100ms 시차를 적용한 주된 목적은 폭력에 의해 암반이 파쇄후 이동할 수 있는 충분한 시간 차이를 제공하기 위해서이다. 따라서, 각 단계별 심뺨기공의 효과는 서로 간섭을 배제할 수 있다. 그러므로 심뺨기공의 기폭에서 선균열 형성을 위한 보조공의 기폭(그림 a), 첫 번째 심뺨기공의 기폭(그림 b), 네 번째 심뺨기공의 기폭(그림 c)이 완료된 후 형성된 2자유면의 크기는 Fig. 5와 같으며, 각 단계별로 2자유면 공간이 뚜렷이 확대되어 짐을 확인할 수 있다.

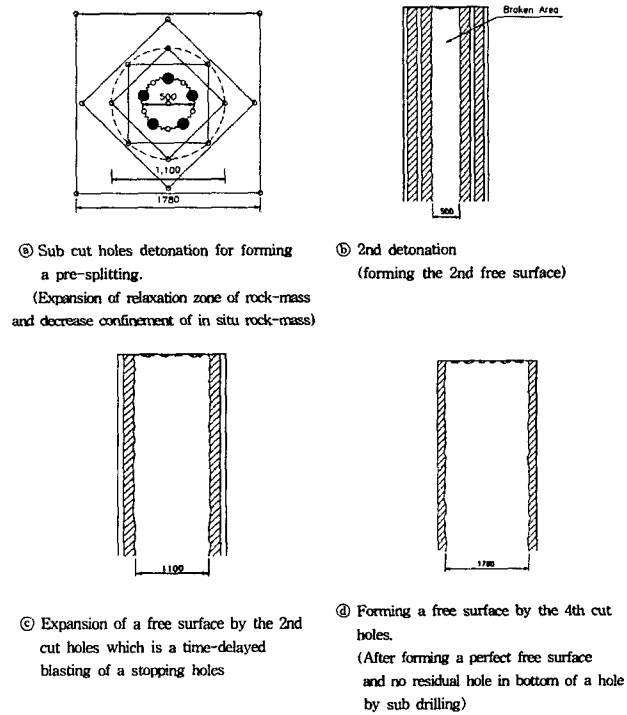


Fig. 5 Blasting process of circular-cut & forming process of free face

3.3. 새로운 발파방법의 현장 적용 시험

새로운 발파공법의 실용성을 확인하기 위하여 대전~통영간 고속도로중 제10공구인 전북 장수군 장계면 육십령터널에서 현장 적용실험을 실시하였다. 실험 방법은 동일한 현장에서 동일조건으로 새로운 발파공법과 재래의 실린더 컷법으로 실시하고 그 효과를 측정, 분석, 비교하였다.

새로운 발파공법의 적용은 총 9회 실시하였으며 본 실험에 앞서 4회의 예비실험을 실시하고 그 결과를 분석, 평가하였다.

(1) 현장 적용시험

새로운 발파공법의 현장 적용조건은 각각 Table. 2, Table. 3, Fig. 6, Fig. 7과 같다.

Table. 2 Drilling conditions for blasting test

Items	Conditions	
	New circular cut	Traditional cylinder cut
Condition of rock mass (classification of RMR)	Hard rock	Hard rock
Cross area of tunnel (m <sup>2</sup> )	87.775	87.775
Length of drill hole (m)		
Cut hole	4.0 (27 hole)	4.2 (17 hole)
Other hole	3.8 (159 hole)	4.2 (173 hole)
Length of advances per round (m)	3.8	3.8
Number of drill hole (hole)		
No charge hole	5	4
Charge hole	181	186
Total	186	190
Total weight of charge (kg)	432.5	454.2
Max. weight of charge per delay(kg)	26.25	26.25
Specific charge weight (kg/m <sup>3</sup> )	1.297	1.362

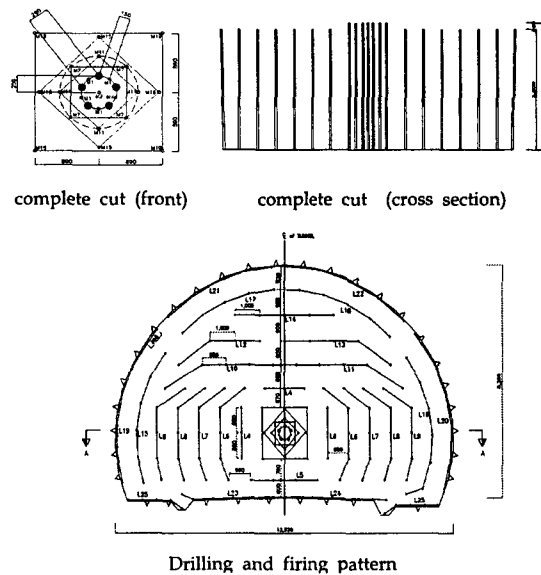


Fig. 6 Drilling and firing pattern for new circular-cut

Table 3. Charge conditions for blasting test

Items	Conditions	
	New circular cut	Traditional cylinder cut
Hole of no charge (hole)	5	4
Cut spreader hole for pre-splitting gelatine dynamite (kg)	1.875	0
detonating cord (kg)	0.80	0
total (kg)	2.675	0
Center Cut (kg)	54.05* <sup>1</sup> (17 holes)	39.0* <sup>2</sup> (13 hole)
Stopping hole (kg)	100hole × 2.625 = 262.5	114hole × 2.625 = 299.25
Floor hole (kg)	22hole × 3.0 =66.0	22 × 3.0 =66.0
Smooth-blast hole (kg)	37hole × 1.35 =49.95* <sup>3</sup>	37 × 1.35 =49.95
Total (kg)	432.5	454.2

Remarks

- \*1 0.375kg/ea × 1ea × 5hole = 1.875kg, Detonating cord :  
40gr/m × 4m/hole × 5hole = 0.8, 1st round hole : 1hole × 3.375 = 3.375 1st~4th  
round hole : 16 hole × 3.0 = 48.0,  
total 54.05
- \*2 1st ~ 4th round hole ; 13hole × 3.0 = 39.0
- \*3 (0.375kg/ea × 2ea + 0.1kg/ea × 6) × 37hole = 47.95

(2) 실험결과 및 해석

새로운 발파공법의 적용성을 확인하기 위하여 현장에서 총 9회의 실험을 실시하였다. 이 때 매 실험발파마다 굴진장, 천공시간, 지반진동, 최대비산거리, 그리고 파쇄입도 등을 측정, 기록하였고 이를 토대로 발파효율, 비장약량 등을 검토하였다.

(가) 발파효율

현장 적용 실험결과 얻어진 주요내용은 Table 5와 같다.

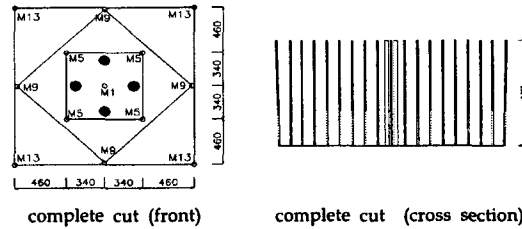
발파효율이란 매 발파당 굴진장/천공장의 비로 표시된다. Table. 5에서 보는 바와 같이 새로운 발파공법에서는 잔류공이 전혀 없거나 또는 2cm 미만인데 비하여, 종래의 발파공법에선 평균 30cm의 잔류공을 보인다. 따라서 전자는 발파효율이 거의 99.5%를 상회하는데 비하여, 후자는 90~95%(평균 92%)를 보인다. 이러한 차이는 새로운 심빼기 발파의 원리에서 설명한 바와 같이 선균열과 5개의 원주형 무장약공, 그리고 첫 번째 심빼기공의 복합효과에 기인한다. 즉, 원형 선균열 발파로 초기암반의 구속력을 완화시킨 다음 첫 번째 심빼기공의 암반 이완영역이 확대됨과 동시에 파쇄부분을 뽑아냄으로써 완벽한 2자유면이 형성되기 때문이다.

(나) 비장약량

비장약량은 발파후 파쇄된 암석의 단위체적당 소모된 화약량을 나타낸 것으로 비장약량이 적을수록 동일한 부피의 암반을 파쇄하는데 더 적은 양의 화약이 소모된다는 것을 의미하므로 효율성 및 경제성이 우수한 발파공법임을 나타낸다. 본 실험에서 새로운 심빼기 공법과 종래의 심빼기 공법의 경우 그 값이 각각 1.297 및 1.362로써 약 5%의 감소를 보인다.



새로운 발파공법의 비장약량이 전반적으로 적은 값으로 나타나 경제적인 공법으로 여겨진다. 이는 원형 심발공이 암반의 구속력을 최소화하여 초기 자유면의 확보가 용이해져 심발공에서 확실한 2자유면이 형성되므로, 주변공 및 외곽공의 순차 발파시 폭약사용량이 절감되기 때문이다.



Drilling and firing pattern

Fig. 7 Drilling and firing pattern for cylinder cut with 4 empty hole (traditional cut)

Table 4. Comparison of design pattern for drilling hole

Items	New circular cut	Cylinder-cut
Cross area of tunnel(m <sup>2</sup> )	87.775	87.775
1. Total holes	186	190
Cut hole(No charge holes)	22 (5)	13 (4)
Stopping, contour, Floor holes	159	173
2. Design of cut holes		
1st	0.196m <sup>2</sup> (No charge holes : 5, charge holes : 1)	0.135m <sup>2</sup> (No charge holes : 4, charge holes : 1)
2nd	0.972m <sup>2</sup> (4 holes)	0.46 m <sup>2</sup> (4 holes)
3rd	1.44 m <sup>2</sup> (4 holes)	1.22 m <sup>2</sup> (4 holes)
4th	3.24 m <sup>2</sup> (4 holes)	2.56 m <sup>2</sup> (4 holes)
Max.burden×spacing(m)	0.68 × 1.8	0.41 × 1.6
Cross area(m <sup>2</sup> )	1.78×1.78=3.17	1.6×1.6=2.56
3. Stopping hole	100	114
(Max. burden×spacing(m))	0.9×1.0	0.9×0.95
Contour hole	37	37
(Max. burden×spacing(m))	0.82×0.65	0.82×0.65
Floor hole	22	22
(Max. burden×spacing(m))	0.6×0.8	0.66×0.81
Cross area(m <sup>2</sup> )	84.535	85.215

The figures on new circular and traditional cut are given in Fig. 6 and Fig. 7 respectively

Table 5. Results from test blasting between new circular and traditional cylinder cut

Items	Conditions		Remarks
	New circular cut	Traditional cylinder cut	
Cross area of tunnel (m <sup>2</sup> )	87.775	87.775	
Volume broken rock (m <sup>3</sup> )	333.545	333.545	
Length of drill (m)			
cut hole	4.0	4.2	*1.
other hole	3.8	4.2	27hole×4.0m/hole
Number of drilled hole (hole)	186	190	+159hole×3.8m/hole
Total drilling length per round (m)	712.2 <sup>*1</sup>	798 <sup>*2</sup>	= 712.2m
Max. weight of charge per delay(kg)	26.25	26.25	
Total weight of charge (kg)	432.5	454.2	*2
Consumption time for drill(min)	206.38	223.30	190hole×4.2m/hole
Ave. Footleg (cm)	2.0	30.0	= 798m
Ave. throw distance (m)	48.63	63.5	
Specific charge weight (kg/m <sup>3</sup> )	1.297	1.362	
Specific drilling (m/m <sup>3</sup> )	2.13	2.392	

(다) 천공시간

새로운 발파공법의 천공시간은 Table 6과 같으며 종래 방법과 비교하여 적게 소요됨을 알 수 있다. 이는 기존의 발파공법보다 심빼기 영역부분에서 5~10%의 추가천공과 천공수의 증가로 천공시간은 부분적으로 길어지지만 심빼기를 제외한 나머지 구간의 천공수가 줄어들기 때문에 전체적으로 새로운 발파공법의 천공시간이 기존의 경우보다 1발파당 약 17분 정도 절감되며, 그 비율은 약 8%이다. 즉, 실린더 컷 발파공법에서 천공시간은 새로운 발파공법보다 약 17분 정도 더 소요된다. 이는 새로운 발파공법에 비하여 종래 방법은 계획된 굴진장을 확보하기 위하여 주변공 및 외곽공의 천공장을 심발공과 모두 동일하게 천공하기 때문이다. 반면에 새로운 발파공법은 계획된 굴진장을 확보하기 위하여 심발부분만 5~10% 추가 천공만으로도 계획된 굴진장을 확보할 수 있기 때문에 주변공 및 외곽공의 불필요한 추가천공 시간이 감소된다.

Table 6. Comparison of consumption time for drill

Items	New circular cut				Cylinder-cut			
	Hole (ea)	Holes depth (m)	Drilling time per each hole (min)	Total drilling time (min)	Hole (ea)	Holes depth (m)	Drilling time per each hole (min)	Total drilling time (min)
Large Hole (φ 105mm)	5	4.0	20	100	4	4.2	21	84
Cut Hole (φ 45mm)	22	4.0	3	66	13	4.2	3.15	40.95
Stoping Contour Floor	159	3.8	2.85	453.15	173	4.2	3.15	544.95
Total	186			619.15	190			669.9
Real drilling time (Standard 3Boom Jumbo Drill )				206.38				223.3

(라) 비산거리

발파에서 암석의 비산이란 파쇄된 암편이 수평 전방으로 이동하는 현상과 암석표면이나 발파대상물 앞에 흩어지는 현상으로 구분되는데 전자는 장비나 시설물 등에 피해를 입힐 가능성이 많고 또한 버력 적재시 소요시간이 증대되는 문제점이 있다. 일반적으로 비산거리는 비장약량의 크기에 비례하며, 동일한 비장약량에서는 심빼기 공법에 기인한다. 본 연구에서는 비석(飛石)중 10cm 이상의 크기를 갖은 암편이 날아간 거리로 표시하였는데 그 결과는 Table. 5와 같다.

새로운 심빼기 공법의 비산거리는 대체로 48m 내외로 종래의 방법보다 짧은 거리를 나타내고 있는데 이것은 새로운 공법이 상대적으로 비장약량이 적을 뿐만 아니라 심빼기 공법의 우수성에 기인한 것으로 판단된다.

(마) 파쇄입도

파쇄입도란 발파후 얻어진 암석의 크기를 나타내는데 이에 대한 일반적인 측정 방법이 없어 정확한 정의를 나타내기 어렵다. 대부분의 경우 보통 크기의 암석조각을 그 기준으로 하고 있는데 이 값은 버력 적재의 용이성 여부를 나타낸다. 본 연구에서는 편의상 50cm 크기를 기준으로 구분하였는데 그 결과는 Table. 7과 같다.

(바) 발파진동

발파작업시 발생하는 발파진동은 폭풍압(Air blast)과 더불어 발파공해의 요인이다. 이 때 발생하는 발파진동은 발파장소 근처의 가옥과 구조물 및 시설된 정밀기계류에 큰 영향을 미치게 되고, 때로는 인체에도 피해를 미치게 되므로 진동의 저감에 유의해야 한다.

Table 7. Fragmentation

Items		New circular cut	Cylinder-cut
Fragmentation	50cm 이하	70 %	60 %
	50~80 cm	30 %	40 %

본 실험과정에서 측정된 진동의 크기는 폭원으로부터 100m 떨어진 지점에서 대체로 0.594cm/sec로 측정되었는데 이것은 종래 방법보다 약 15% 정도 적은 값을 나타낸다. 터널 발파에 있어 일반적으로 지반진동이 가장 크게 나타난 부분이 심빼기에 의한 발파진동인데, 심빼기에 의해 초기자유면이 완벽히 확보가 되면 주변공 및 확대공 발파는 단일 자유면이 아닌 2자유면 발파가 이루어지므로, 발파진동이 감소됨을 알 수 있다.

4. 결 론

1자유면을 갖는 터널발파에서 심빼기 공법은 터널발파의 성패를 좌우하는 중요한 요소이다. 심빼기 발파란 터널 막장의 한 부분을 먼저 효율적으로 파쇄시켜 2자유면을 형성해 주기 때문이다.

이와 같은 목적으로 주로 사용하는 심빼기 공법은 브이 컷, 번 컷 그리고 실린더컷 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 기존의 실린더 컷 공법을 개량한 새로운 방법을 제시하였다. 즉 종래의 실린더 컷은 무장약공을 1개~4개까지 직선형태 또는 사각형 형태로 천공하는데 비하여 본 방법은 동심원상 배

열로 5공을 천공하고, 이들 사이에 무장약공을 추가로 천공한 다음, 선균열 개념을 도입하여 먼저 약 장약으로 기폭 시킨다. 다음에 무장약공들 중심부에 1개의 장약공을 천공하고 이를 기폭 시키면 이 때 폭력에 의해 선균열된 부분이 완전히 제거되어 새로운 자유면을 형성하게된다. 이 때 무장약공이 부분적인 자유면의 효과를 제공하게되어 더욱 확실하게 심폐기가 이루어진다.

따라서 본 연구에서는 금번 제시된 새로운 심폐기 공법과 지금까지 널리 상용된 실린더 컷 공법을 현장에서 9회의 적용실험을 실시하고 그 효과를 비교하였는데 요약하면 다음과 같다.

1) 1발과당 발파효율이 종래의 방법은 90~95% 인데 비하여 새로운 심폐기 공법은 거의 99.5%를 상회하고 있어 매우 우수함을 확인하였다.

2) 비장약량은 1.297kg/m' 및 1.362kg/m'로서 종래의 방법보다 향상된 값을 나타낸다.

3) 새로운 방법은 종래 방법보다 심폐기공의 천공수와 공경이 증대되어 이에 천공시간은 길어지나, 이를 제외한 나머지 공들의 천공수 및 천공장이 감소되어 전반적으로 낮은 천공비를 나타낸다. 천공 비는 각각 2.13 및 2.392 m/m'이다.

4) 심폐기 작업시 비산거리, 파쇄입도 및 발파진동 등을 측정, 분석한 결과 이들 역시 종래의 방법 보다 우수함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. 강대우, 심동수 편역 “응용발파 기술”, 구미서관
2. 기경철 편저 “발파공학” 기공사, 1999
3. 김재극 “산업화약과 발파공학” 서울대 출판부, 1990
4. 임한욱 “암발파 설계기법에 관한 연구”, 토지개발 공사, 1993
5. 한국자원공학회 “1995년도 춘계총회 및 제 64회 연구발표회 최신엔지니어링 발파” 특별 심포지움, 1995