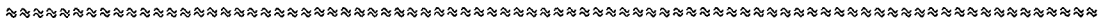


非電氣式 雷管의 터널 掘鑿

On The study of Tunneling Effect of Nonel Caps

姜 大 雨*

D.W Kang



Abstracts

On the Tunneling, This paper described Concerning Nonel Caps and also Compared to Electric detonation Caps. If nonel caps used to Tunneling, advanced efficiency of Tunneling will be increased about 25% than Electric caps used.

I. 서 론

세계적으로 화약의 기폭 시스템의 발달은 도 화선, 공업용뇌관, 전기뇌관 및 비전기식 뇌관순으로 발달되어져 왔으며, 최근 국내에 비전기식 뇌관이 도입되면서부터 비전기식 뇌관의 발파효과에 대한 관심이 높아지고 있다. 비전기식 뇌관은 Per-Anders Persson박사에 의해 1968년 성공적인 시험이 실시되었으며, 1973년에 이르러서 세계 각 나라의 시장에 보급되기 시작하였다. 특징은 종전에 사용되어져 왔던 전기식 기폭 방법이 아닌 비전기 지연 기폭장치를 이용해 무한단차로 발파 시간차를 제어할 수 있어 진동 및 소음을 크게 감소시킬 수 있는 특성을 갖고 있다.

이 제품이 국내에 처음 소개되어 사용되어진 것은 부산 황령산 터널에서 처음으로 터널 현장에 일시적이거나 사용되어지므로써 그 용도가 국내에 알려졌고 비전기식 뇌관의 사용이 증가하게 되었다.

따라서 본 연구는 부산시 모라동에서 당감동을 관통하는 2.34km(상행선)과 2.308km(하행선)의 터널굴착에서 105m² 크기의 막장인 백양산 터널에 기존 제품의 단점을 보완하여 1973년부터 생산되어진 비전기식 뇌관을 이용한 터널 발파 PATTERN 3가지(이하 A, B, C로 칭한다.)로 설계하여 가장 효과적인 굴진율을 갖는 발파 PATTERN을 검토하였다.

이미 터널의 발파 PATTERN은 U.Langefors와 Holmberg 등에 의해 어느정도 정립되어 있으나, 이 실험에서는 현장에서 일어날 수 있는 여러 가지 물리적 현상이 거의 동일한 신선한 암반을 기준으로 하여 시험발파를 실시하여 그 발파효과 즉, 굴착효과를 연구하는데 그 목적이 있다.

II. 지질개요 및 암석물성

1. 지질개요

본 지역의 지질(Fig.1)은 중생대 백악기의 불국사 관입암류에 속하는 흑운 모화강암과 미문

* 동아대학교 공과대학 교수

상화강암이 기반암으로 조사지역 주변에 비교적 넓게 분포한다.

흑운모 화강암은 화강암류가 관입 또는 분출한 후 분화생성된 것으로 판단되는 본 암류는 일반적으로 중립질이지만 세립 조립의 양상을 보여주기도 하며, 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석 흑운모로 구성되고 자철석, 저어콘, 인회석 등이 부 구성광물로 수반된다.

백양산 서쪽 지역 등지에 분포하며 인접한 흑운모 화강암과 점이적인 변화양상을 보여주는 미문화상 화강암은 흑운모 화강암으로 인접함에 따라 입도는 증대하고 도홍색의 정석의 함량이 감소하는 동시에 백색장석의 양은 점차 증가한다. 미문상조각은 알칼리장석(k-장석)의 바탕에 용정인 타형의 미립인 석영이 상형문자상 또는 국화꽃 무늬 같이 함유되어 있는 형태이다.

본 조사지역(Fig.2)의 TB-1, 2, 3, 4의 암석에 대하여 박편제작하여 현미경 관찰한 결과 특징적으로 알바이트 쌍정을 보여주며, 이상과 같이 관찰한 광물 성분 modal 분석표 및 Q-A-P

당이아그램은 Table 1, Fig.3와 같다.

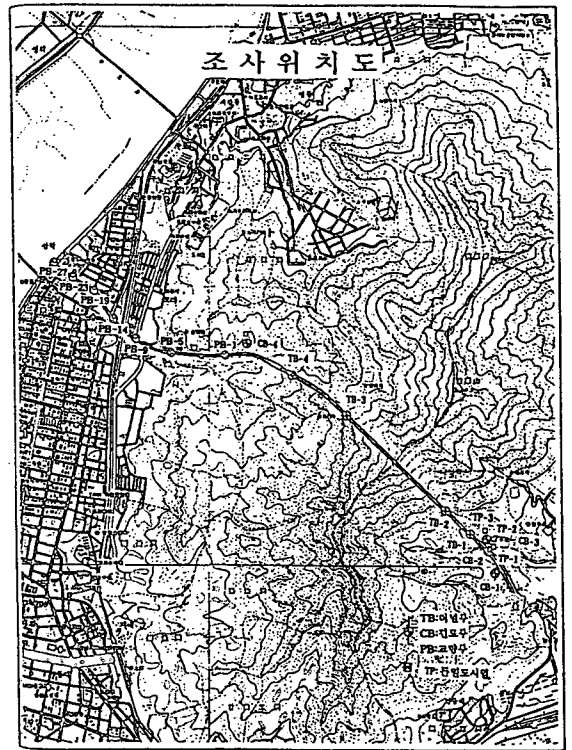


Fig. 2 The map of search area

Table 1. Modal Analysis for mineral element of search area

Minerals name	TB-1 35.7m	TB-1 40.0m	TB-2 47.0m	TB-2 54.0m	TB-3 45.0m	TB-3 54.2m	TB-4 37.0m	TB-4 43.0m
Plagioclase	66	50	190	97	101	64	185	179
Orthoclase	512	565	459	528	444	580	387	390
Quartz	385	365	266	301	397	317	359	378
Biotite	34	20	80	67	30	38	35	42
Others	3		2	10	5	1	7	5
Total	1000	1000	997	1003	997	1000	973	996
	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	39.98	37.24	29.07	32.50	42.14	32.99	38.56	39.83
% A	53.17	57.65	50.16	57.00	47.13	60.35	41.57	41.30
P	6.85	5.10	20.77	10.48	10.72	6.66	19.87	18.86

Q : Quartz
A : Alkali feldspars
P : Plagioclase

Q : Quartz
 A : Alkali feldspars
 P : Plagioclase

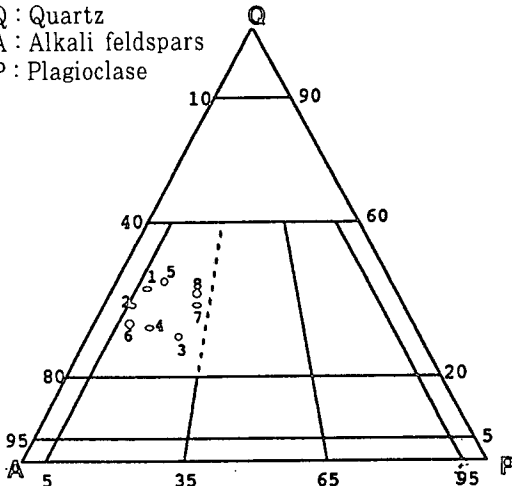


Fig. 3 Q-A-P diagram for mineral element of search area

2. 암석강도

암석의 강도측정에는 일축압축강도시험과 점재하시험이 있으며, 본 연구에서는 시험실에서 구간별로 일축압축강도와 점재하시험을 병행하여 시험하였다.

Table 2에서 A군에 속하는 암석은 극경암이라 하며, A군에는 규암, 섬록암, 반려암, 현무암 등이 소강고, B군에 속하는 암석을 경암이라 하며, 화성암의 대부분과 비교적 강한 변성암, 고결된 사암, 견고한 혈암, 대부분의 석회암과 고회석이 속한다. C군에 속하는 암석을 보통암이라 하며, 대부분의 혈암, 다공질의 사암 및 석회암과 편리가 많은 변성암들이며, 연암 및 극연암

인 D군과 E군에는 약한 사암, 다공질의 응회암, 점토질 혈암, 암염 및 풍화된 암석들이 속한다.

본 조사에서는 대부분 구간으 암석강도가 B군에 속하는 암석이다.

III. 비전기식 터널 발파방법

1. 발파 이론 및 적용

발파작업에 있어서 최초의 자유면을 형성하기 위한 심빼기는 매우 중요하다. 이는 심빼기에 의해서 자유면이 증가하여 효율적인 발파작업이 될 수 있기 때문이다. 심빼기가 확실히 되지 않으면 그 후의 주변공도 발파효과를 발휘할 수 없다. 일단 심빼기가 이루어지면 저항선을 고려한 주변공에 의해서 필요한 크기까지 확대하여 파쇄할 수 있다.

심빼기는 천공의 방법에 따라 크게 썰기 심빼기와 버연 심빼기 두 가지로 구별하며, 첫째 암반에 대해 일정한 각도를 주어 천공하며 그 끝이 한 점에 집중되도록 하는 방법이 썰기 심빼기(wedge cut)라 한다.

둘째, 암반면에 수직으로 천공하여 서로가 평행공이 되도록 하는 것이며 가운데 무장약공을 천공하여 인위적으로 자유면을 만드는 심빼기 방법이 버연 심빼기(burn cut)라 한다.

본 연구에서는 천공깊이 4m이므로 썰기 심빼기를 할 경우 천공각도가 문제되므로 터널 장공

Table 2. Rock strength classification for RMR

Class	Description	Uniaxial compressive strength kg/cm ²	Rating
A	Very high strength	> 2,240	15
B	High strength	1,120~2,240	12
C	Medium strength	560~1,120	7
D	Low strength	282~560	4
E	Very low strength	<280	2

발파에 주로 사용하는 버연 심빼기(burn cut)를 택하였다.

썰기 심빼기(wedge cut)

종류 : V cut, Pyramid cut, Norway cut, fan cut, triangle cut

- 버연 심빼기(burn cut)

이 방법은 천공깊이를 깊게 하여 한번의 발파량을 크게하는 방법으로 수평공을 평행으로 뚫어 굴진능률을 올리고 1발파당 굴진깊이를 증가시키는 방법이다.

여기서 장약을 하지 않는 무장약공을 발파시 발생하는 균열권 안에 있게 되며 그것이 자유면의 효과를 나타내어 장약공과 무장약공 사이에 있는 암석을 완전히 파괴시킬 수 있다. 이때 파쇄된 암석의 일부는 분출되고, 일부는 발파공에 남아 있게 된다.

- 터널 단면적의 구분 방법

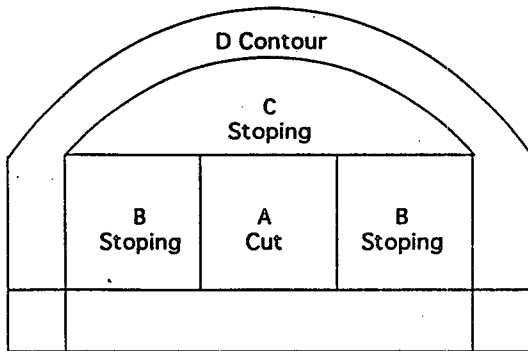


Fig. 4 Section A-E represent types of holes with different blasting conditions.

- 천공 방법

Contour holes, lifter holes는 바깥쪽 방향

으로 천공해야만 한다.(Fig.5) 그래야 터널은 설계된 단면을 유지할 수 있으며 Look-out은 다음 천공을 위한 장비가 천공을 할 수 있도록 공간이 충분해야 한다. 제안된 값으로서 외각을 향한 Look-out 천공깊이는 10cm+3cm/h(천공장 1m당 3cm) 천공깊이를 넘어서는 안되며 결국 천공장 3m 전후의 경우는 Look-out은 20cm를 유지한다.

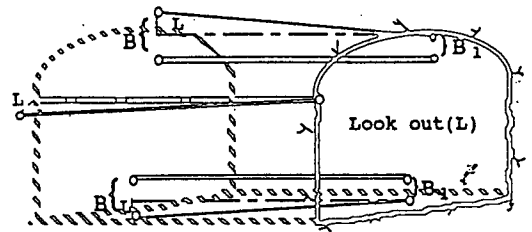


Fig. 5 Look-out

2. 화공약품 및 화약

본 연구에 사용한 화공약품은 비전기식 뇌관으로 공내뇌관은 GT/MS 3~20번, GT/T 0, 1~12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 및 60번, 표면뇌관은 UB0, UB17, UB25, UB42를 주로 사용하였고, 일부는 UB67, UB109 및 UB176도 사용하였다. 그리고 Starter와 연결부에는 Bunch 표면뇌관을 사용하였다.

화약은 심빼기, 확대공 및 주변공은 Wax paper $\phi 32 \times 200$ mm, 180g/ea을 사용하였고 천반공은 Wax paper $\phi 32 \times 200$ mm, 180g/ea와 도폭선 40g/m 것을 혼용하였다.

Table 3. Explosives Specification.

Name	Spec. dia. x length (mm x mm)	unit	weight /unit	ea/box	weight (g/ea)	Remark
Emulite 150	32 x 200	box	22.5kg	125	180	Wax paper
D.cord		roll	152.4m	1		정밀폭약

Table 4. Nonel Specification.

Period No.		Delay time (ms)	Interval time (ms)	Remark
GT/MS	3~20	75~500	25	
GT/T	0	25	-	
	1~12	100~1200	100	
	14, 16, 18, 20	1400~2000	200	
	25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	2500~6000	500	
Unidet	UB0	0		
	UB17	17		
	UB25	25		
	UB42	42		
	UB67	67		
	UB109	109		
	UB176	176		
Bunch Connector	UB0	0		
	UB17	17		
	UB25	25		
	UB42	42		
Others	Starter	0		

3. 심빼기 발파

천공 방법 : Burn cut

발파 작업을 하기 위해 천공장비의 선정 및 발파설계가 매우 중요하다. 또한 무장약공과 발파효과의 관계는 Fig.6과 같다.

예상하는 굴진율이 95% 이상이 되어야 터널 작업공정에서 경제성이 있는 작업이 이루어질 수 있다. 따라서 천공장 4m, 굴진율 95%를 이루기 위해서는 최소한 Fig.6에서 보여주는 무장약공 127mm를 선택해야 한다.

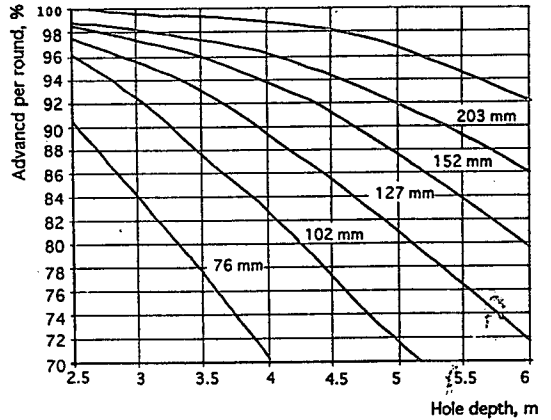


Fig.6 The relation between advance in per cent of the drill depth and different empty hole diameters.

또한 천공장과 무장약공간의 관계 식을 살펴 보면

$$\begin{aligned}
 H &= 0.15 + 34.0\phi - 39.4\phi^2 \\
 &= 0.15 + 34.1 \times 0.127 - 39.4 \times 0.127^2 \\
 &= 3.85M
 \end{aligned}$$

H = Hole depth

ϕ = Empty hole

여기에서 무장약공의 범위는 $0.05 \leq \phi \leq 0.25m$ 이어야 한다.

따라서 95%의 굴진율을 보기 위해서는 아래와 같다.

$$I = 0.95H$$

I = advance

여기에서 중요한 것은 천공 오차가 2%를 초과해서는 안된다.

따라서 위의 식에 원하는 95%의 굴진율을 계산해 보면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 I &= 0.95 \times 4 \\
 &= 3.8
 \end{aligned}$$

무장약공을 이용해 천공장을 구한 식을 보면 127mm의 무장약공을 사용할 때 구할 수 있는 천공장은 3.85m로 나타난 것을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에 적용되어야 할 무장약공의 127mm가 적당한 것을 알 수 있다. 그러나 천공장비를 보다 효율적이고 경제적으로 사용하기 위해서는 대구경 1공을 뚫는 것 보다 작은 공을 2~3공을 뚫는 것이 보다 효율적이다.

다음 식을 보면

$$D = d\sqrt{n}$$

$$127 = d \times \sqrt{2}$$

$$= 89\text{mm}$$

D = 무장약공의 환산 직경

d = 무장약공의 지름

n = 공공의 수

따라서 127mm의 무장약공 1공 보다는 89mm의 2공을 사용하는 것이 보다 효율적이라 할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 102mm의 3공을 사용하게 되었다. 이런 이유는 무장약공의 효율을 100%로 보기 위해서는, 또한 천공작업자의 기술 숙련도를 고려하였기 때문이다.

따라서 발파 PATTERN A, B, C 모두 심패기 부분은 동일하게 설계되었으며, 이들 무장약공 102mm를 20cm 공간간격으로 3공을 굴착하였고, 무장약공에서 가장 가까운 발파공 중심까지의 간격은 $a=1.5\phi$ 에 의해 계산되어진다. 이는 U.Langefors와 R.Holmberg 이론에 의하면 $W_1 = a\sqrt{2}$ 이고, $a=[1.7-(a_2H-a_1)]\phi$ 를 적용시키고 있으나, 여기서는 H353 Humbo Drill(Atlas Copco)을 사용하여 천공각도를 정확히 조정하여 천공작업을 하였다고 가정하였기 때문에 Drill Deviation 형상을 무시하였다. 그래서, $a=[1.7-(a_2H-a_1)]\phi$ 의 수식은 여기에서 무시하고, $a=1.5\phi$ 로만 계산하였다.

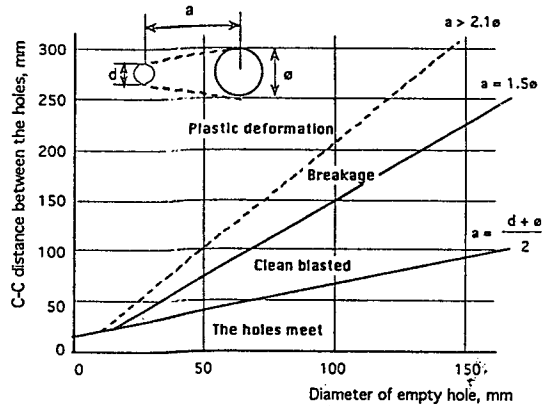
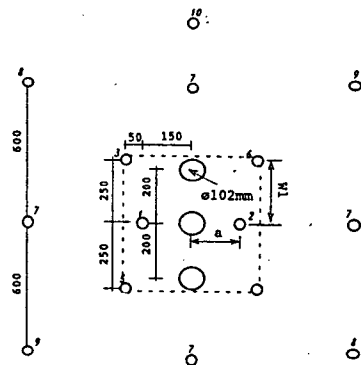


Fig.7 Result when blasting from varying distances towards an empty hole of varying diameter. (The morden Technique of Rockblasting)

첫 번째 사각형의 개선은 아래 Fig.8과 같다.



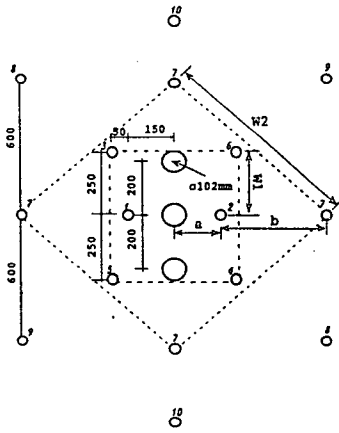
$$a = 1.5\phi \dots 1.5 \times \phi 102\text{mm} = 153\text{mm}$$

$$W_1 = a\sqrt{2} \dots 153 \times \sqrt{2} = 216\text{mm}$$

Fig.8 Cut holes pattern.(1st Squares)

로 계산 되었으나 발파효율을 증대하기 위한 무장약공을 3공으로 천공 하였기에 계산식보다 증가한 수치로 사각형 폭을 250mm로 선정 하였다. 이는 무장약공과 발파공까지의 거리에서 볼 수 있듯이 효율적인 면에서는 영향이 없음을 알 수 있다.

두 번째 사각형의 경우 $b=1.5W_1$ 에 의해 375mm로 하였으며, 공간격 $W_2=1.5W_1\sqrt{2}$ 에 의해 산출, 530mm로 하였다.

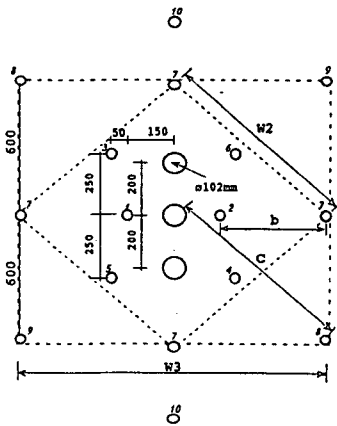


$$b = 1.5W_1 \dots 1.5 \times 250\text{mm} = 375\text{mm}$$

$$W_2 = b\sqrt{2} \dots 375 \times \sqrt{2} = 530\text{mm}$$

Fig.9 Cut holes pattern.(2nd Squares)

세 번째 사각형은 $c=1.5W_2$ 에 tj 795mm, 공간격은 $W_3=1.5W_2\sqrt{2}$ 에 1125mm로 각각 표준 심빼기 발파공을 굴착하였다.



$$c = 1.5W_2 \dots 1.5 \times 530\text{mm} = 795\text{mm}$$

$$W_3 = c\sqrt{2} \dots 795\text{mm} \times \sqrt{2} = 1125\text{mm}$$

Fig.10 Cut holes pattern.(3rd Squares)

이 그림도 역시 Fig.7에서와 같이 무장약공의

효율적인 면을 고려하여 계산치보다 다소 증가하여 천공 설계를 하였다.

따라서 전체 Cut holes의 설계 모습은 다음과 같다.

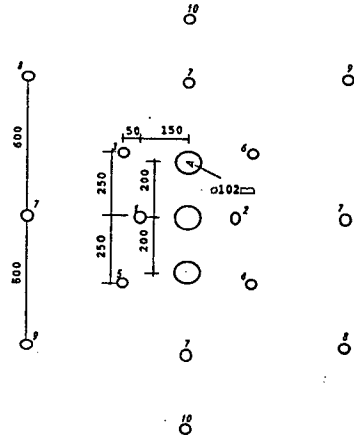


Fig.11 Cut holes pattern.

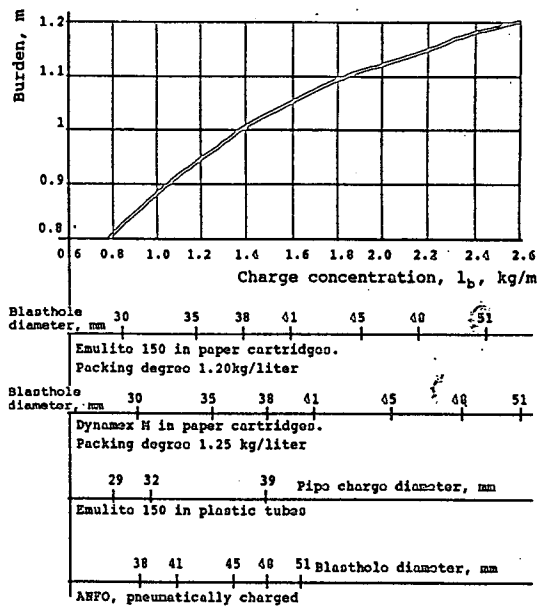


Fig.12 The burden B in relation to the concentration of the bottom charge for different hole diameters and different explosives.

심발공이 계산되면 터널 발파의 나머지 부분은 계산할 수 있다.

발파는 다음과 같이 나눌 수 있다.
바닥공

주변공
외곽공

각 발파부분에 관한 저항선과 장약량은 다음 Fig.12를 보고 알 수 있다.

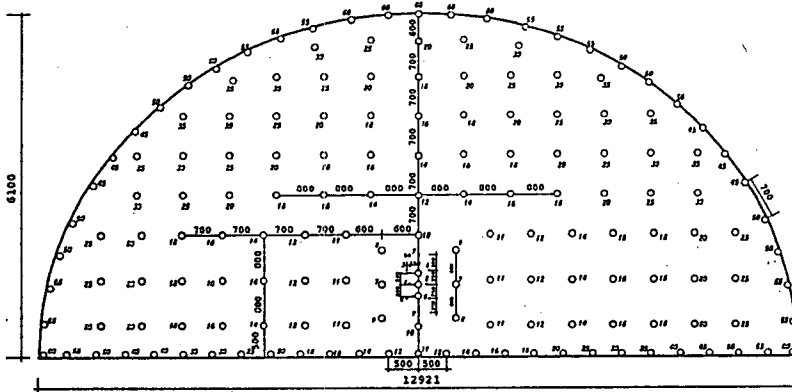


Fig.13 Drill pattern A

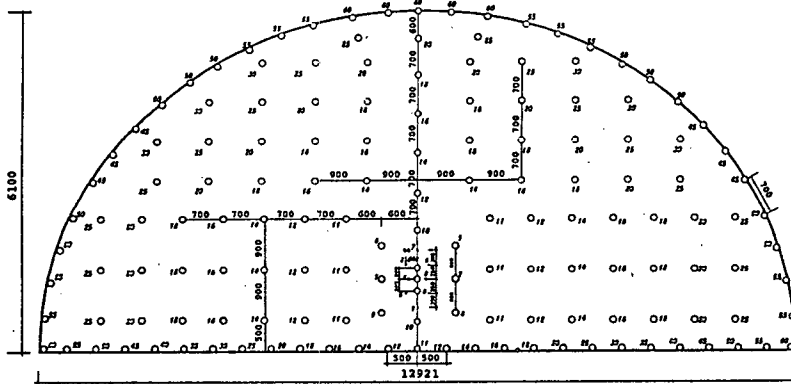


Fig.13 Drill pattern B

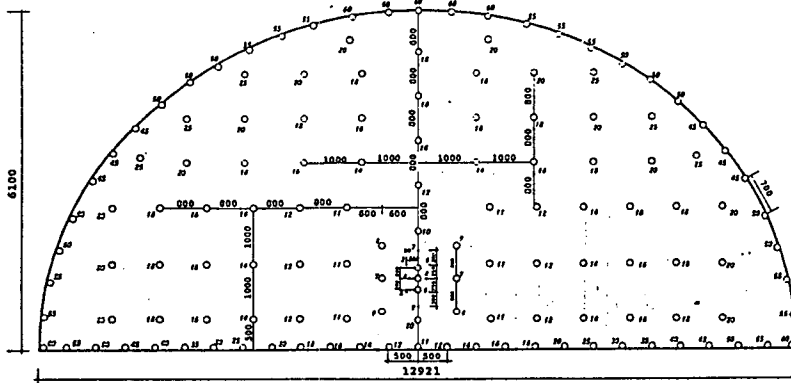


Fig.13 Drill pattern C

Table 5. Used detonators and charging amount.

Drill pattern A

Depth of Hole : 4m

Period No.	Nonnel No.	No. of Holes	Emulite 150s $\phi 32 \times 200$ (180g/ea)	D-cord (40g/m)	Charging per hole (g)	Total Amount (g)	Remark
1	GT/T 1	1	19		3,420	3,420	Cut
2	GT/T 2	1	19		3,420	3,420	
3	GT/T 3	1	18		3,240	3,240	
4	GT/T 4	1	18		3,240	3,240	
5	GT/T 5	1	18		3,240	3,240	
6	GT/T 6	1	18		3,240	3,240	
7	GT/T 7	4	16		2,880	11,520	
8	GT/T 8	2	16		2,880	5,760	
9	GT/T 9	2	15		2,700	5,400	
10	GT/T 10	2	13.5		2,430	4,860	Stopping
11	GT/T 11	6	13.5		2,430	14,580	
12	GT/T 12	7	13.5		2,430	17,010	
13	GT/T 14	9	13.5		2,430	21,870	
14	GT/T 16	11	13.5		2,430	26,730	
15	GT/T 18	13	13.5		2,430	31,590	
16	GT/T 20	15	13.5		2,430	36,450	
17	GT/T 25	16	13.5		2,430	38,880	
18	GT/T 30	8	13.5		2,430	19,440	
19	GT/T 35	6	13.5		2,430	14,580	
20	GT/T 11	1	17		3,060	3,060	Lifter
21	GT/T 12	2	17		3,060	6,120	
22	GT/T 14	2	17		3,060	6,120	
23	GT/T 16	2	17		3,060	6,120	
24	GT/T 18	2	17		3,060	6,120	
25	GT/T 20	2	17		3,060	6,120	
26	GT/T 25	2	17		3,060	6,120	
27	GT/T 30	2	17		3,060	6,120	
28	GT/T 35	2	17		3,060	6,120	
29	GT/T 40	2	17		3,060	6,120	
30	GT/T 45	2	17		3,060	6,120	
31	GT/T 50	2	17		3,060	6,120	
32	GT/T 55	2	17		3,060	6,120	
33	GT/T 60	2	17		3,060	6,120	
34	GT/T 45	6	4	3.8	872	5,232	Contour
35	GT/T 50	10	4	3.8	872	8,720	
36	GT/T 55	10	4	3.8	872	8,720	
37	GT/T 60	5	4	3.8	872	4,360	
Total		165	546.0	15.2		378,122	

Table 7. Used detonators and charging amount.

Drill pattern B

Depth of Hole : 4m

Period No.	Nonnel No.	No. of Holes	Emulite 150s $\phi 32 \times 200$ (180g/ea)	D-cord (40g/m)	Charging per hole (g)	Total Amount (g)	Remark
1	GT/T 1	1	19		3,420	3,420	Cut
2	GT/T 2	1	19		3,420	3,420	
3	GT/T 3	1	18		3,240	3,240	
4	GT/T 4	1	18		3,240	3,240	
5	GT/T 5	1	18		3,240	3,240	
6	GT/T 6	1	18		3,240	3,240	
7	GT/T 7	4	16		2,880	11,520	
8	GT/T 8	2	16		2,880	5,760	
9	GT/T 9	2	15		2,700	5,400	
10	GT/T 10	2	15		2,700	5,400	Stopping
11	GT/T 11	6	15		2,700	16,200	
12	GT/T 12	7	15		2,700	18,900	
13	GT/T 14	9	15		2,700	24,300	
14	GT/T 16	11	15		2,700	29,700	
15	GT/T 18	13	15		2,700	35,100	
16	GT/T 20	15	15		2,700	40,500	
17	GT/T 25	16	15		2,700	43,200	
18	GT/T 30	6	17		2,700	16,200	
19	GT/T 11	1	17		3,060	3,060	Lifter
20	GT/T 12	2	17		3,060	6,120	
21	GT/T 14	2	17		3,060	6,120	
22	GT/T 16	2	17		3,060	6,120	
23	GT/T 18	2	17		3,060	6,120	
24	GT/T 20	2	17		3,060	6,120	
25	GT/T 25	2	17		3,060	6,120	
26	GT/T 30	2	17		3,060	6,120	
27	GT/T 34	2	17		3,060	6,120	
28	GT/T 40	2	17		3,060	6,120	
29	GT/T 45	2	17		3,060	6,120	
30	GT/T 50	2	17		3,060	6,120	
31	GT/T 55	2	17		3,060	6,120	
32	GT/T 60	2	17		3,060	6,120	
33	GT/T 45	6	4		872	5,232	Contour
34	GT/T 50	10	4	3.8	872	8,720	
35	GT/T 55	10	4	3.8	872	8,720	
36	GT/T 60	5	4	3.8	872	4,360	
Total		157	546.0	15.2		381,632	

Table 9. Used detonators and charging amount.

Drill pattern C

Depth of Hole : 4m

Period No.	Nonnel No.	No. of Holes	Emulite 150s φ32×200 (180g/ea)	D-cord (40g/m)	Charging per hole (g)	Total Amount (g)	Remark
1	GT/T 1	1	19		3,420	3,420	Cut
2	GT/T 2	1	19		3,420	3,420	
3	GT/T 3	1	18		3,240	3,240	
4	GT/T 4	1	18		3,240	3,240	
5	GT/T 5	1	18		3,240	3,240	
6	GT/T 6	1	18		3,240	3,240	
7	GT/T 7	4	18		2,880	11,520	
8	GT/T 8	2	16		2,880	5,760	
9	GT/T 9	2	16		2,700	5,400	
10	GT/T 10	2	15		3,060	6,120	Stopping
11	GT/T 11	6	17		3,060	18,360	
12	GT/T 12	7	17		3,060	21,420	
13	GT/T 14	9	17		3,060	27,540	
14	GT/T 16	11	17		3,060	33,660	
15	GT/T 18	13	17		3,060	39,780	
16	GT/T 20	14	17		3,060	42,840	
17	GT/T 25	6	17		3,060	18,360	
18	GT/T 11	1	17		3,060	3,060	Lifter
19	GT/T 12	2	17		3,060	6,120	
20	GT/T 14	2	17		3,060	6,120	
21	GT/T 16	2	17		3,060	6,120	
22	GT/T 18	2	17		3,060	6,120	
23	GT/T 20	2	17		3,060	6,120	
24	GT/T 25	2	17		3,060	6,120	
25	GT/T 30	2	17		3,060	6,120	
26	GT/T 35	2	17		3,060	6,120	
27	GT/T 40	2	17		3,060	6,120	
28	GT/T 45	2	17		3,060	6,120	
29	GT/T 50	2	17		3,060	6,120	
30	GT/T 55	2	17		3,060	6,120	
31	GT/T 60	2	17		3,060	6,120	
32	GT/T 45	6	4		872	5,232	Contour
33	GT/T 50	10	4		872	8,720	
34	GT/T 55	10	4	3.8	872	8,720	
35	GT/T 60	5	4	3.8	872	4,360	
Total		140	547.0	15.2		360,212	

Table 6. Used surface detonators.

Drill Pattern A

Period No.		No.	Delay time(ms)	Remark
Unidet	UB0	1	0	
	UB17	2	17	
	UB25	3	25	
	UB42	3	42	
	UB67	1	67	
	UB109	1	109	
	UB176	1	176	
Bunch Connector	UB0	4	0	
	UB17	1	17	
	UB25	1	25	
	UB42	1	42	
Others	Starter	1	0	
Total		20		

Table 8. Used surface detonators.

Drill Pattern B

Period No.		No.	Delay time(ms)	Remark
Unidet	UB0	1	0	
	UB17	2	17	
	UB25	3	25	
	UB42	3	42	
	UB67	1	67	
	UB109	1	109	
	Bunch Connector	UB0	4	0
UB17		1	17	
UB42		1	42	
Others	Starter	1	0	
Total		18		

Table 10. Used surface detonators.

Drill Pattern C

Period No.		No.	Delay time(ms)	Remark
Unidet	UB0	1	0	
	UB17	2	17	
	UB25	2	25	
	UB42	3	42	
	UB67	1	67	
	UB109	1	109	
	Bunch Connector	UB0	4	0
UB42		1	17	
Others	Starter	1	0	
Total		16		

4. Stopping Holes and Lifter holes

확대공은 일반적으로 좌측, 우측 및 상부를 구분하여 설계하며 상부 지역의 설계는 S/B의 비율을 1.25~1.45 정도로 하며, 하부는 S/B의 비율이 1.2~1.25로 한다. 그러나 여기서는 모두 중력작용 때문에 심빼기를 중심으로 저항선이라 생각하며, 단지 좌우간격을 넓게 조절하여 설계하였다. 그래서, PATTERN B와 PATTERN C는 전체 천공수를 조정하기 위해 PATTERN A와 다르게 공간격을 900mm와 1000mm로 하였다.

Table 11. Data for respective Stopping holes

Pattern	Charging Height per hole(mm)	Charging per hole(g)	Spacing (mm)	Burden (mm)	S/B
A	2700	2430	800	700	1:1.14
B	3100	2700	900	700	1:1.28
C	3400	3060	1000	800	1:1.25

Lifters는 S/B=1 이나 공간격이 클 경우 저항선은 1.45배 정도 감소해야 할 것이다. 따라서 PATTERN A, B, C 모두 Lifter holes의 하단 Holes의 공간간격, 최소 저항선을 동일하게 하였다.

Table 12. Data for respective Lifter holes

Pattern	Charging Height per hole(mm)	Charging per hole(g)	Spacing (mm)	Burden (mm)	S/B
A	3400	3060	500	500	1:1
B	3400	3060	500	500	1:1
C	3400	3060	500	500	1:1

5. Contour Holes

Contour Holes은 경험식 $S=rd$ (s:공간간격, r:계수, d:천공경)에 의해 $r=16$, $d=45$ mm에 의해 S는 약 700mm로 결정하였다.

한편, Contour holes의 공간간격을 0.7M, 최소저항선은 0.6M로 하여 Pattern A, B, C에 적용시켰다.

Table 13. Data for respective Contour holes

Pattern	Charging Height per hole(mm)	Charging per hole(g)	Spacing (mm)	Burden (mm)	S/B
A	960	872	700	600	0.85
B	960	872	700	600	0.85
C	960	872	700	600	0.85

※ 발파조건추가

1. Hole depth : 4M
2. Hole dia. :
 - a. Empty holes : 102mm
(천공시간 : 20~30cm/min)

- b. Drill holes : 45mm
(천공시간 : 120~130cm/min)

※ 표준발파 PATTERN-A, B, C
(장약량 표 참조)

6. 장약량

터널 발파에서 폭약 소비량은 계단 발파보다 더 많다. 체적당 장약은 계단발파 보다 3~10배 더 많다. 그 이유로서는 터널 발파는 천공오차가 크다는 것, 자유면이 적다는 것, 바닥공은 위로 들어 올리는 것, 동시에 발파되는 공수가 적다는 것을 들 수 있다. 폭약의 소비량은 발파의 심발 부분에서 가장 많다. 무장약공 주위의 1×1m의 평행공 부분에는 약 7kg/m³를 소비될 것이고 체적당 장약량은 심발부에서 그곳에 도착 할 때까지 약 0.9kg/m³의 최소값으로 거리에 따라 감소할 것이다.

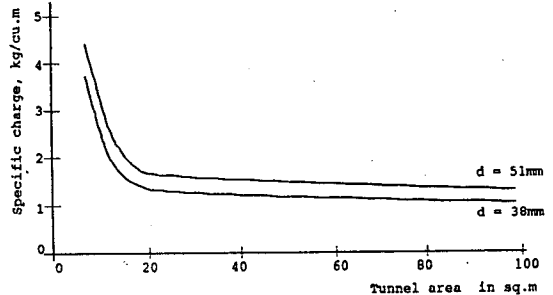


Fig.16 Specific charge for different tunnel areas.

IV. 결과 및 검토

PATTERN A, B, C 모두 심빼기 이론 장약량은 7kg/m³인데 각각 7.38kg/m³으로 약간 과장약하는 경향이 있었다. Stopping hole의 이론 장약량은 PATTERN에 따라 약간 차이가 있으며, PATTERN A는 1.08kg/m³, PATTERN B는 1.07kg/m³ 및 PATTERN C는 0.95kg/m³로 이론치보다 과장약이었다.

특히, Stoping Holes의 경우는 천공시간을 현장의 작업공정에 미치는 영향을 고려하여 PATTERN에 따라 공간간격과 최소저항선의 변경이 불가피하였다. 이 때문에 발파 PATTERN에 따른 장약량도 달라졌다.

본 현장에서는 24시간 동안 대체로 2교대 굴착작업이 진행되었으며, 현장작업의 여러 가지 여건을 고려하여 두 개의 도로터널 즉, 두 개의 막장(Stie)에서 이틀 동안 6회의 발파작업이 이루어져야만 한다. 따라서 이틀 동안 6회 발파가 이루어지도록 모든 작업공정(Schedule)이 조절되어야만 하기 때문에 천공시간과 장약시간 작업공정을 조정하는데 중요한 역할을 하게 된다.

그래서, 이미 정한 발파 PATTERN A, B, C에서 심빼기, Floor holes 및 Contour holes의 공간간격과 장약량과 동일하게 하였으며, 심빼기는 Fig.11의 PATTERN으로 한 결과, 심빼기에서 발파효과는 Floor holes과 Contour holes은 그림과 같이 공간간격과 최소 저항선의 간격은 동일하게 하였으나, PATTERN은 그림과 같이 공간간격과 최소 저항선의 간격은 동일하게 하였으나, PATTERN B, C의 Floor holes와 Contour holes 전열(前列)의 공간간격은 터널 전체의 폭과 Stopping holes의 공수를 조절하기 위하여 PATTERN B, C에 나타난 것처럼 약간의 변화를 주었다. 이들 Pattern 들에 의해서 발파를 시행하여 지속적으로 관찰한 결과 PATTERN A, B, C의 천공장 4M에서 진행장은 PATTERN A가 3.8~3.95M, PATTERN B는 3.5~3.6M, PATTERN C는 3.0~3.2M로 나타나 Stopping holes의 Spacing과 Burden에 영향을 크게 주는 것으로 나타났다. 그러나 Pattern C의 경우에는 발파효과가 워낙 낮아 2~3회밖에 실시하지 못했으나, 풍화대 및 절리가 발달하나 곳에 몇 차례 적용시켰다.

Table 14. Pattern showing comparison of advance lengths

Pattern Descript	Pattern A	Pattern B	Pattern C
Hole depth(M)	4	4	4
Advance (M)	3.8~3.95M	3.5~3.6M	3.0~3.2M
Rate(%)	95 ↑	87~90	75~80

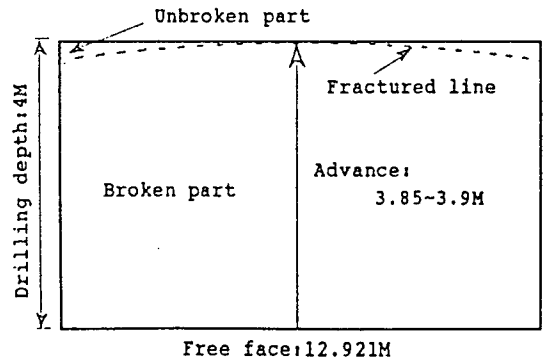


Fig.17 The advance length of Pattern A after a blasting

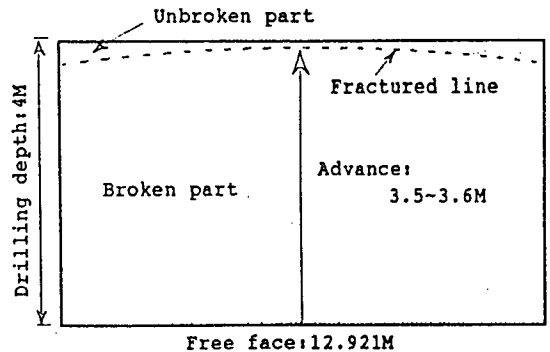


Fig.18 The advance length of Pattern B after a blasting

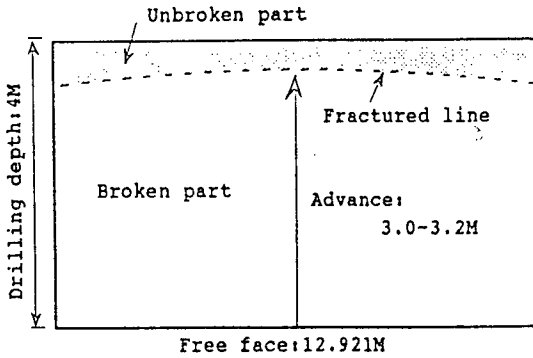


Fig.19 The advance length of Pattern C after a blasting

발파후 PATTERN A, B, C의 모형을 관찰하면 PATTERN A는 그림과 같이 발파 중심부 즉, Cut holes과 Contour holes의 파괴가 거의 일직선에 가깝게 파괴선을 이루었으나, PATTERN B와 C의 경우에는 그림과 같이 Cut holes을 중심으로 바깥쪽으로 타원형을 이루며 파괴효과가 감소하였다.

Table 15. The difference of advance for Electric and Non-Electric detonator

Site \ Descript	Total Length(M)	No. of Blasting days	ATDL (M)	TOD	Equipment used
Baekyang upper line	2314	761	3.04	Non-Electric	Atlas Copco H353
Baekyang down line	2308	786	2.90	Non-Electric	"
Anmin road tunnel	1070	445	2.40	Electric	TAM ROCK 3 BOOM

한편, PATTERN A, B, C의 사용뇌관은 비전기식 뇌관 GT/T 1번에서 GT/T 60번 뇌관이 사용되어졌다. 따라서 이 뇌관의 시차는 U.Langefors와 Kihlstrom이 주장한 Burden 0.5 ~ 8.0m에서 적용한 시차, $T=r * B$ (T: delay time, r: coefficient value, B: burden)에 의해 파쇄효과를 효율적으로 낼 수 있는 범위는 12~20ms/m로 나타낼 수 있으며 따라서 공당 시간 차가 25MS 이상으로 설계되어졌기 때문에 이론적으로 파쇄 암석의 굴진효과에 영향을 주지 않았을 것이다. 또한 자유면을 최대한 효율적으로 이용하기 위한 시차 관계를 살펴보면 심발 지역에서 구멍 사이의 지연시간은 암석이 깨어져 무장 약공을 통해 날아갈 수 있을 만큼 충분한 시간이 필요하다. 즉

발파공 사이에 충분한 지연시간을 갖는 것이 중요하다. 암석은 40~60m/s의 속도로 움직인다는 것이 입증되었다.

따라서 4m의 굴진장일 경우

- 1 sec 60m
- 0.0166sec 1m
- 16.66ms 1m
- 66.6ms 4m

임을 알 수 있다.

그럼 여기서 심발이 깨끗이 발파되기 위해서는 60~100ms의 단차를 요함을 알 수 있다. 그래서 현재 사용 할 수 있는 시차 허용은 75~100ms의 연시초시를 이용한다. 따라서 본 논문에서 사용된 시차 허용치는 파쇄 암석의 이동시간이 자유면 효과에 영향을 주지 않았음을

알 수 있다. 그러나 PATTERN B와 C에서 Stopping holes의 Spacing과 Burden 변화가 어떻게 파괴에 영향을 미치는지 이론적으로 설명하기는 어려우나 Stopping holes의 Spacing과 Burden의 변화가 현실적으로 파괴에 영향을 주었음을 알 수 있다.

한편, 본 현장의 지층은 갱구에서 약 200m까지는 절리가 발달하여 천공수를 조절하면서 발파를 시행하였으나 터널이 깊어질수록 신선한 암반이 형성되어져 있었다. 따라서 이 신선한 암반에 PATTERN A를 적용시켰을 경우에는 (Fig.17)에서 처럼 3.8~3.95m의 진행장을 나타냈으며, 절리가 발달하지 않은 곳은 발파효과가 더욱 우수하였다. 그러나, 경암층에서는 천공시간이 많이 증가되어 PATTERN B에 의해 천공시간을 절약할 수밖에 없어서 이에 따라 발파로 인한 진행장이 약간 감소하였다.

V. 결 론

비전기식 뇌관의 터널굴착 효과에 관한 연구에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 터널 발파에서 대부분 심빼기 부분이 발파효과 즉, 진행장의 크기에 영향을 크게 주는 것으로 생각하고 있으나, 본 연구에서는 Cut hole의 PATTERN은 동일하게 두었으므로 Stopping hole의 영향, 장비의 효율적 운영, 제품의 활용방안 등이 발파효과의 어떤 관계가 있는지를 알 수 있었다.

비전기식 발파 PATTERN A, B 및 C에서 Cut holes, Floor holes 및 Contour holes은 동일한 Spacing과 Burden으로 설계하였고, Stopping holes의 Spacing과 Burden은 PATTERN B보다 Spacing과 Burden을

100mm씩 증가시켜 발파한 결과, 천공장 4m에 진행장이 약 95% 이상으로 나타난 PATTERN A가 가장 우수하였고, PATTERN C는 진행장이 약 80%로 나타났다. 따라서, 동일한 장소에서 비전기식 뇌관만을 사용하더라도 전체 사용 화약량에 관계없이 Spacing과 Burden이 발파효과에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

2. 타 터널(Anmin)의 전기식 발파 PATTERN과 단순비교는 불가능하나, 총연장과 발파작업일수로 일일평균굴착장을 비교하면 전기식의 굴착장보다 비전기식 굴착장이 약 25% 더 굴진되었다. 이는 전기식의 경우 Spacing과 Burden에서 자유면을 최대한 효율적으로 이용하기 위한 시차관계에서 뇌관의 시차를 조정하는 범위가 한정돼 있기 때문에 암석이 파괴되어 이동하는 시간이 비전기식 뇌관보다 시차관계를 조절하는 범위가 작기 때문에 굴진효과에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

3. 작업공정에 의해 터널 천공시간을 4시간(1개 단면) 이내로 하기 위하여 Stopping holes의 천공수를 PATTERN A는 93holes, PATTERN B는 86 holes, PATTERN C는 68 holes로 하였다. 천공수가 가장 많은 PATTERN A가 가장 우수한 굴진율을 나타내었기에 작업공정을 단축시키기 위해서는 장약방법의 자동화 및 장약시간을 단축시키는 방법을 연구하여야 할 것으로 사료된다.