

여굴최소화를 위한 최적발파패턴 설계방안에 관한 연구 (Ⅰ)

**Design Guide of the Optimun Blasting
Patterns for Minimizing Overbreak (Ⅰ)**

1998. 12.

한국도로공사 도로연구소

※ 본 자료의 페이지 수는 원 자료와 다를 수 있습니다.

주관

수행기관 : 한국도로공사 도로연구소

연구책임자 : 이상돈

참여연구원 : 연구원 김낙영

요약문

요약문

터널공사에서 암반굴착을 위한 발파작업은 화약의 폭발력을 이용한 암반파쇄효과의 극대화와 최종 굴착면에서의 암반 손상 및 여굴 최소화라는 두가지 상반된 조건을 모두 만족시켜야 한다. 특히 발파에 의한 암반의 손상 및 여굴은 터널 안정성에 큰 영향을 줄뿐만 아니라 터널의 경제적 시공 및 보강설계와도 직접적인 연관을 가지고 있다. 현재 국내에서 시공되고 있는 터널 발파 패턴의 경우 암질, 현장조건, 발파조건 등 발파에 영향을 미치는 제반 여건을 고려하지 못하고 있다. 따라서, 여러 형태의 발파 현장 조건에 알맞은 발파가 이루어지지 못하고 있고 최근에 들어와서 터널 발파 공사가 인가 근처에서 이루어 질 경우 발파 공해에 의한 민원을 야기하고 있어 이를 고려한 발파 패턴의 설계가 절실히 필요하다.

본 연구에서는 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 총 2 차년도 계획중 1 차년도 당해년도 과제로서 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 국내외 터널 발파설계 및 시공법 문헌 조사 분석
- 2 차선 터널현장에서 발파패턴 및 암반상태에 따른 여굴발생정도 분석
- 암반의 강도, 절리의 발달상태, 장약량, 장약형태, 전색길이, 심발공 발파방법, 설계굴착공예의 제어발파 적용유무와 현장조사 및 현장측정을 통한 여굴발생에 영향을 미치는 변수 분석

상기 내용에 대한 연구결과로서 현장에서 시험발파를 수행하여 RMR 과 비장약량의 관계, RMR 과 발파효율의 상관관계를 도출시키고자 회귀분석을 실시하였다. RMR 과 비장약량의 상관계수가 0.92, 발파효율과 RMR 의 상관계수는 0.88 로 상당히 높은 상관관계가 있는것으로 분석되었다. 또한, 현장발파패턴과 현장시험을 통해 선정된 시험발파패턴의 발파효율과 여굴량을 비교 분석하였을때 발파효율측면에서는 비슷하지만 여굴량의 경우 현장발파패턴의 여굴량이 과다한 것으로 측정되었는데 이는 적정한 천공수의 선정과 여굴량은 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

Summary

ABSTRACT

As blasting work is performed for excavation of rock mass in tunnelling, it should be considered that contrary conditions which are the maximum of rock mass breakdown effect using explosives power and the minimum of overbreak and rock damage are satisfied in tunnel face. Especially, rock damage and overbreak from blasting have a direct influence on stability and economical construction as well as reinforcing design of tunnel. For example rock mass quality, field conditions, these various given conditions influencing on blasting were not taken into account in domestic tunnel blasting pattern at present,

When tunnel blasting was carried out near community, blasting pollution gave rise to civil appeals because blasting work was not performed in consideration of field conditions. Therefore, It is fully required that these problems should be considered in the blasting pattern.

In this content, as first of the two year program this research was carried out in the following manner :

- Investigation of existing construction documents and domestic and foreign blasting design of tunnel.
- Analysis of overbreak magnitude according to blasting pattern and rock condition in the field of two lane road.
- Investigation of application for strength of rock, condition of joint, charge pattern, tamping length, blasting method of center cut and controlled blasting in the design excavation holes and analysis of parameter which influenced on overbreak according to field investigation and measurement.

As a result of the above research, testing blasting was executed in the field and regression analysis was carried out to know the correlation of RMR and specific charge, RMR and blasting efficiency through the result of testing blasting. It was analyzed that the correlation coefficient of RMR and specific charge was 0.92 and that of RMR and blasting efficiency was 0.88. As overbreak magnitude and blasting efficiency of field blasting pattern was compared to those of test blasting pattern, blasting efficiency of two patterns were similar and in case of magnitude of overbreak, field blasting pattern was more than test blasting pattern. Therefore, it was analyzed that the decision of suitable drilling numbers were closely related with reduction of overbreak.

제 1 장 서론

1.1 연구배경

터널공사에서 암발굴작을 위한 발파작업은 화약의 폭발력을 이용한 암반파쇄효과의 극대화와 최종 굴착면에서의 암반 손상 및 여굴 최소화라는 두가지 상반된 조건을 모두 만족시켜야 한다. 특히 발파에 의한 암반의 손상 및 여굴은 터널 안정성에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 터널의 경제적 시공 및 보강설계에도 직접적인 연관을 가지고 있다. 현재 국내에서 시공되고 있는 터널 발파 패턴의 경우 암질, 현장조건, 발파조건등 발파에 영향을 미치는 제반여건을 고려하지 못하고 있다. 따라서, 여러 형태의 발파 현장 조건에 알맞은 발파가 이루어지지 못하고 있고 최근에

들어와서 터널 발파 공사가 인가 근처에서 이루어 질 경우 발파공해에 의한 민원을 야기하고 있어 이를 고려한 발파 패턴의 설계가 절실히 필요하다.

1.2 연구목적

본 연구의 목적은 터널발파시 암반 종류 및 상태와 발파형태가 여굴발생에 미치는 상관관계를 분석하고 이를 고려하여 터널 안정성과 터널의 경제적 시공 및 지보설계에 직접적인 영향을 주는 여굴 발생을 최소화할 수 있는 최적 발파패턴을 제시하고자 한다. 아울러 발파 및 보강패턴을 함께 고려한 경제성 분석을 실시하여 현장에서 이를 직접 활용할 수 있도록 하고자 한다.

1.3 연구내용

본 연구과제는 2 년에 걸쳐 실시되며 연도별 연구내용은 다음과 같다.

■ 1998 년도(1 차년도)

- 국내외 터널 발파설계 및 시공법 문헌 조사 분석
- 2 차선 터널현장에서 발파패턴 및 암반상태에 따른 여굴발생정도 분석
- 암반의 강도, 절리의 발달상태, 장약량, 장약형태, 전색길이, 심발공 발파방법, 설계굴착공예의 제어발파 적용유무와 방법등의 현장조사 및 현장측정을 통한 여굴발생에 영향을 미치는 변수 분석

■ 1999 년도(2 차년도)

- 기폭단계 및 연속 발파과정, 진동측정 등을 통해 발파효과 분석
- 현행 2 차선 표준발파패턴의 재검토 및 개선안 제시
- 개선된 발파패턴별 시험시공 수행
- 암반등급별 최적 발파패턴 수립
- 개선안의 설계적용을 위한 경제성 분석

제 2 장 이론적 고찰

2.1 암석의 파괴이론

2.1.1 전단파괴설

고전적인 파괴이론으로서 파괴는 암석을 구성하고 있는 입자 상호간의 강력한 응집력을

그림 3.1 과 같이 전단파괴에 의하여 Crater 가 생겼을때 이 공의 전단단위면적당 압력을 p , 전단면적을 S 라고 하면 전단파괴에 작용한 압력 P 는

$$P = Sp \quad (2.1)$$

$$S = \frac{1}{2} \pi (d' + d) \sqrt{\frac{1}{4} (d' - d)^2 + W^2}$$

또, $d' = nd, S = \pi nd, W = md$ 라고 하면

$$SW = \pi m d^2 \quad (2.2)$$

$$S' = \frac{1}{2} \pi (n+1)^2 \sqrt{\frac{1}{4} (n-1)^2 + m^2} \quad (2.3)$$

식 (2.2), (2.3)에서

$$\begin{aligned} d^2 &= \frac{SW}{\pi m} = \frac{2S}{\pi (n+1) \sqrt{\frac{1}{4} (n-1)^2 + m^2}} \\ \frac{S}{SW} &= \frac{(n+1) \sqrt{\frac{1}{4} (n-1)^2 + m^2}}{2m} = \text{일정함 (constant)} = k \quad (2.4) \end{aligned}$$

따라서, 식 (2.1)에서

$$P = k \cdot S \cdot W \cdot p = K \cdot S \cdot W \quad (2.5)$$

단, $K = kp$ 가 된다.

이 관계는 원통, 원주, 뾰족한 원추체중 어느 형에도 성립된다. 이 K 를 전단계이고 식(2.4)는 장약량 계산의 기본식이다. 식(2.5) $P=S \cdot W \cdot K$ 에 있어서 P 는 전압력, S 는 장약실 주변장, W 는 최소저항선, K 는 정수가 된다.

A 를 압력의 작용면적, P 를 단위면적에 대한 압력이라고 하면 $P=Ap$ 이므로 $Ap=S \cdot W \cdot K$, 이것을 변형하면 $A=S \cdot W \cdot K/p$ 가 된다.

지금 $K/p=Ca$ 라고 하면

$$A = Ca \cdot S \cdot W \quad (2.6)$$

여기서 Ca 는 전단파괴에 대한 암석의 항력계수로써 시험발파에서 구해진다. 식(2.6)를 옮겨쓰면 다음과 같다.

$$W = \frac{A}{Ca \cdot S} \quad (2.7)$$

식(2.7)은 널리 사용되는 식으로 약실의 형태 및 위치가 정해지면 최소저항선을 파괴하는 데 필요한 폭약량이 산출된다.

다음에 폭약, 암석, 폭약조건이 일정할 때 폭파공경을 J, 장약장을 nd, 단위체적당 장약중량을 l, 전장약량을 L 로 하면 다음의 관계로 성립된다.

$$L = \frac{\pi n l}{4} d^2 \quad (2.8)$$

$$A = n d^2 \quad (2.9)$$

$$S = 2(nd + d) = 2d(n + 1) \quad (2.10)$$

위의 식들에서

$$\begin{aligned} W &= \frac{A}{Ca \cdot S} = \frac{n d^2}{Ca \times 2d(n + 1)} = \frac{n}{2Ca(n + 1)} d \\ \therefore d^2 &= \frac{W^3}{\left(\frac{n}{2Ca(n + 1)}\right)^3} \end{aligned} \quad (2.11)$$

따라서 식(2.8), (2.11) 에서

$$L = \frac{2Ca^3\pi l(n+1)^3}{n^2} \cdot W^3 = C \cdot W^3 \quad (2.12)$$

가 되어 하우저의 식이 얻어진다.

Daw 이론의 결점은 정적인 압력만으로 파괴가 일어난다고 한 것, 또 전단면적을 1 개의 누두상 고체의 측면적으로만 한정했다는 데 있다. 따라서 전단면적은 실제의 경우 이보다 훨씬 더 커진다.

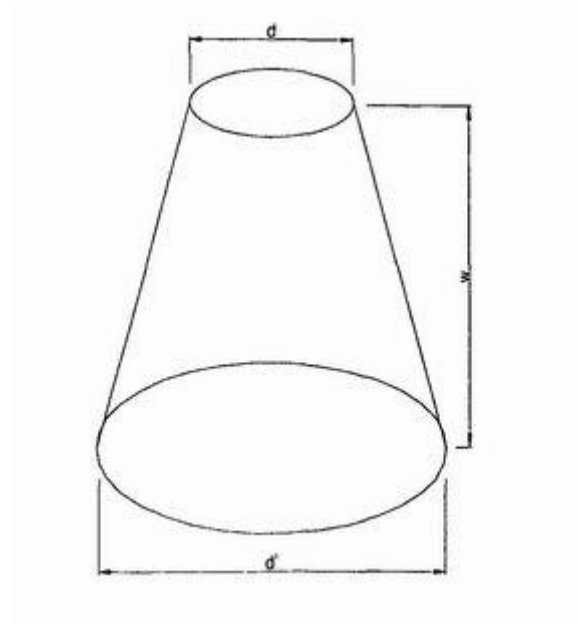


그림 2.1 전단파괴에 의한 Crater

2.1.2 인장주응력 파괴설

탄성체역학에 소성적인 요소를 넣어서 폭발에서 생기는 가스압에 의하여 암반내에 생기는 주응력의 분포상태를 분석하였다. 파괴와 관련시켜서 제창한 Murata 의 학설은 다음과 같다. 1 자유면 발파에 있어서 폭원 주변에는 고압가스에 의한 압축확대권이 생기고 그 외측에는 가스충돌에 의하여 생긴 충격파의 분쇄권이 생기는 데 고압가스의 압력은 주변에 주응력을 만들고 동시에 그 직각방향에 인장응력을 만든다. 암석은 이 인장응력에 의하여 파괴되고 균열이 생긴다.

(그림 2.2 참조)

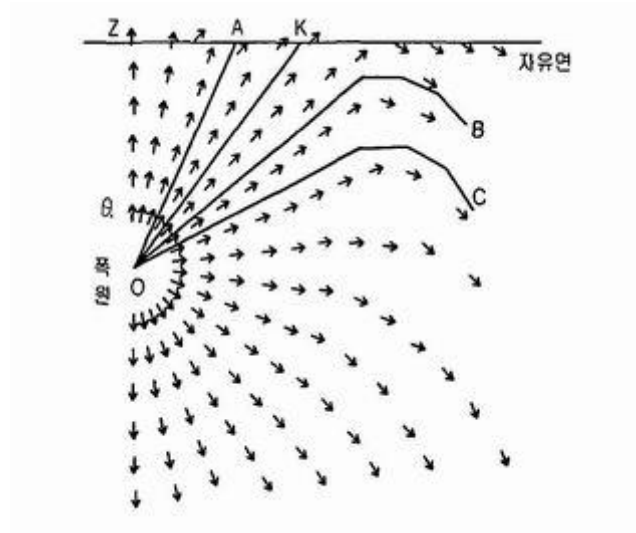


그림 2.2 암석을 비압축성으로 보았을 때 주응력 방향
이 학설에 의하면 1 자유면 발파의 경위 최소저항선을 W, 장약장을 l, Crater 깊이를 S 라고 할 때
장약량 L 와 W 에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$L = m^2 \left(1 + 2 \frac{W-S}{l \sin \beta}\right)^{r-1} \cdot W^3 \quad (2.13)$$

여기서, W = 최소저항선

l = 장약장

S = Crater의 깊이

β = 천공각도

m = S/W

r = 화약가스의 비열비 (C_p/C_v) (보통 1.25로 함)

즉, 표준발파에 있어서 W=S 이므로 m=1 이 되어 식(2.13)는 하우저의 식 $L = C W^3$ 이 된다. 또 이
식에 있어서 C 는 폭발계수라고 불리우고 암석의 특성과 폭발과 성능에 의하여 정해지며 다음
식으로 표기된다.

$$C = 3.58 \times 10^4 \times \frac{(1-0.3\Delta)\sigma_t}{f} \times \frac{(1+K_1 D^2 \Delta (1-0.47\Delta))^{3r}}{(1+K_2 D \Delta (1-0.47\Delta))^3} \quad (2.14)$$

여기서, f = 화약의 힘 ($l - \text{kg/cm}^2$)

D = 폭속 (km/sec)

Δ = 비중

K_1 = 압축계수

K_2 = 분쇄계수

σ_t = 인장계수

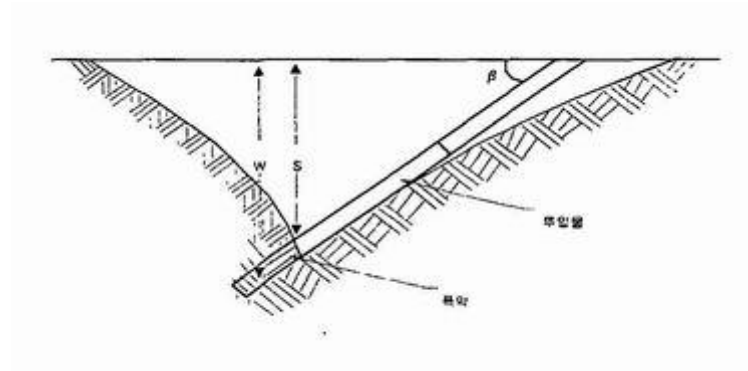


그림 2.3 Crater 의 깊이

2.1.3 충격파 파괴설

이 학설은 C.W.Livingston 와 함께 Hino 가 주장한 것으로 미국 광산국의 실험연구에 의해서 상당히 뒷받침되고 있다.

폭원에 매우 근접된 부분에서는 고압가스에 의하여 암석이 분쇄되지만 그범위 밖에서는 압축파괴는 일어나지 않는다. 그러나 자유면에 도달한 압축응력파가 반사해서 인장응력파가 되면 암석을 파쇄하는 힘을 갖는다. 암석의 압축강도는 매우 강해서 인장강도의 10~20 배가 된다.

폭원부근에서의 압축응력파는 암층 속을 진행함에 따라서 암층의 내부마찰에 의해서 파형의 분산이 생기므로 대략 삼각파가 된다고 본다.

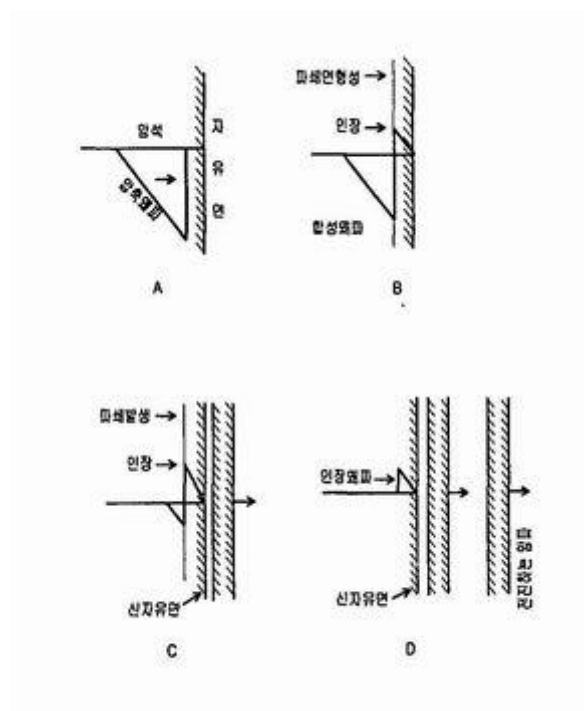


그림 2.4 압축 strain wave 에 의한 인장파괴

그림 2.4 는 반사 strain pulse 에 의한 인장파괴의 경로를 보인 것이다. (A)는 자유면에 압축파가 충돌하기 직전이고 (B)는 얼마간의 시간이 지난 후의 생성 pulse 로서 이 때의 인장 pulse의 인장강도와 같아지면 이 때의 최대 strain 개소에는 균열이 생기고 이 균열은 새로운 자유면으로 작용하고 압축파는 충돌해서 반사한다. 형성된 파상의 암석(slab)은 그 속의 에너지에 의하여 앞으로 이동 또는 비산한다. (C)는 다시 얼마간의 시간이 지난 상태로서 첫 번째 암판(slab)은 앞으로 전진되었고 새로운 자유면에 의하여 반사해서 된 인장 pulse 가 다시 암석을 파괴시킬 크기에 도달해 있다. (D)는 첫 번째 두 번째의 암판은 이동되고 있지만 두 번째 균열에 의하여 반사해서 된 인장 Pulse 는 벌써 암석의 인장파괴 pulse 보다 적으므로 이 이상의 균열은 생기지 않는다. 반경 a 의 구상 장약이 폭발하면 폭광에 의하여 생기는 탄성파의 폭원으로부터의 거리 r , 또는 환산거리 r/a 에 있어서 파두 압력 $P_{\{r\}}$ 는 $(a/r)^n$ 에 비례하므로 사용폭약의 이론상 폭광압을 $P_{\{D\}}$ 라고 하면 $P_{\{r\}}=P_{\{D\}}(a/r)^n$ 인 $(e/r)^n$ 인 관계가 성립한다. (n 은 거리에 관계되는 지수)

지금 자유면과 장약중심간의 수직거리를 W 라고 하면 깊이 W 의 완전누두공이 생성되기 위해서는 W 에서의 폭광압 P_1 는 $P_1 = P_{\{D\}}(a/W)^n = \text{constant}$ 가 되어야 한다.

따라서 $W/a = (P_{\{D\}}/P_{\{f\}})^{1/n}$ 이 되어 환산거리는 폭약과 암석이 일정하면 일정치가 됨을 알 수 있다. 완전누두공이 되었을 때의 W/a 를 구해두면 자유면 장약중심점간의 수직거리가 임의의 값이 되어도 소요폭약량 L 는 Δ 를 폭약비중이라고 할 때

$$L = \frac{4}{3} \pi \Delta a^3, \frac{W}{a} = D = \text{Constant}$$

$$\therefore L = \left(\frac{4}{3} \frac{\pi \Delta}{D^3} \right) W^3 = C W^3 \quad (2.15)$$

즉, 하우저의 공식이 된다. 여기서, 누두지수는 1.5~2.0 이 된다.

2.2 기타학설 또는 계산식

(1) C.W.Livingston

일반적으로 널리 사용해 온 학설로서 Livingston 은 Crater 의 장약량을 알기 위한 응력에너지 계산식으로 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$N = E W^{\frac{1}{3}} \quad (2.16)$$

여기서, N = 폭약의 임계심도 (ft)

W = 폭약량 (lb)

E = 응력에너지 계수 (경험으로 얻은 계수)

보다 더 좋은 파쇄효과를 얻기 위하여 이 식에서 장약량을 수정하는 다음과 같은 계산식을 제안하였다.

$$d_0 = \Delta E W^{\frac{1}{3}} \quad (2.17)$$

여기서, d_0 = 적정심도 (ft)

Δ = 적정심도비 (d_0/N)

W = 장약량 (lb)

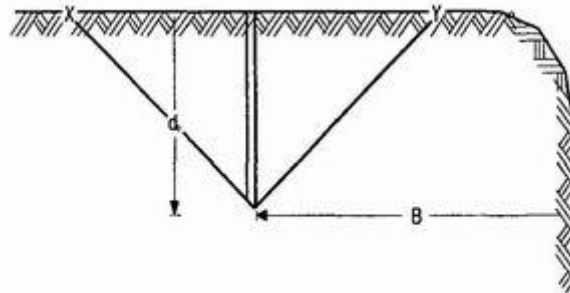


그림 2.5 저항선이 천공장보다 클 때의 가상폭파 효과
 d_0 의 값은 Bauer 에서의 암석특성 차이에 의하여 변화하는 E 의 값에 따라서 변화한다.

(2) R. Peel

지면이나 암반과 같은 수평면에 수직공을 천공하고 장약한 다음 폭파하면 원추형 Crater 가 생성되고 이 Crater 의 양측은 수평면(또는 자유면)에 대하여 45°가 된다.

천공장인 저항선을 L 이라고 하면 Crater 의 체적(V)은,

$$V = 0.33L \times \pi L^2 \approx L^3 \quad (2.18)$$

실제로 파쇄암석의 체적(V)은,

$$V = mL^3 \quad (2.19)$$

여기서, $m = 0.4$ (연암), $m = 0.5$ (경암)

Crater 이론은 대체로 폭약사용을 기초로 한 것으로 이것은 실험실 연구에서는 매우 유용하지만 현장조건에서 폭파효력을 재현하기 어렵기 때문에 실용적이지 못하다.

(3) U Langefors

Langefors 는 Fraenkel 의 연구에 기초를 두고 많은 계산식을 발표했는데 맨처음 인용한 식은 다음과 같다.

$$B_{max} = 45 \times d \quad (2.20)$$

여기서, B_{max} 이론 저항선

d : 천공경

그 후 천공 위치와 편차의 오차에서 원인이되는 과실 천공(faulty drilling)과 같은 현장에서 발생할지도 있는 이론 저항선의 수정치인 실용저항선을 개발했다. 이 계산식에서 사용한 다른 변수에서 다음과 같은 것이 있다. 즉, 발과공의 길이, 총천공장, 벤치 높이, 천공간격, 저부 장약장, 봉상 장약장과 장약량, 전색장, 표준 장약량, 표준 천공장과 발파면의 폭등이다.

(4) K. H. Fraenkel

Fraenkel 은 암석의 특성을 고려하여 발파 저항식이라고 명명한 식을 다음과 같이 발표했다.

$$B = \frac{RL^{0.3} \times l^{0.3} \times d^{0.8}}{50} \quad (2.21)$$

여기서, B : 저항선 (m)

R : 발과저항치 (1~6)

L : 천공장 (m)

l : 장약장 (m)

d : 천공경 (mm)

이 식은 Swedish 35% LFB dynamite 를 사용해서 얻은 결과이다. 실제로 이 식은 다음과 같은 근사치를 사용하다.

$$\begin{aligned} 0.8B &< 0.67L \\ l &= 0.75L \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$S(\text{천공간격}) < 1.5 B$$

(5) O. Anderson

장약공의 투영면적에서 단일공의 저항선을 구하는데 이용되는 간단한 계산식은 다음과 같다.

$$B = C\sqrt{DL} \quad (2.23)$$

여기서, B : 저항치 (ft)
 D : 천공경 (ft)
 L : 천공장 (ft)
 C : 정수 (경험에서 얻은)

위의 식은 $C=1$ 로 놓고 천공경을 인치(inch)로 사용할 때 매우 실용적으로 쓸 수 있는 것으로 알려져 있다. 실제로 위의 식은 다음 식으로 바뀌서 사용한다.

$$B = \sqrt{dL} \quad (2.24)$$

여기서, d : 천공경

(6) S. E. Pearse

암석과 폭약의 특성에서 얻은 저항선의 계산식은 다음과 같다.

$$B = Kd\sqrt{P_a/T} \quad (2.25)$$

여기서, B : 저항선 (in)
 d : 천공경 (in)
 P_a : 폭약 안정반응 압력 (lb/in^2)
 T : 암석 최고 전단력 (lb/in^2)
 K : 암석 특성계수 (0.7-1.0)

(7) R. L. Ash

Ash 는 Pearse 의 계산식을 단순화한 수정식을 제의했다. 즉 현장 실험을 통해서 얻은 경험으로 K 와 P_a/T 를 저항선비로 K_b 로 옮겨 놓았다. K_b 의 값은 20~40, 평균 30 이다. 저항선의 변화는 암석과 폭약의 차이에 달려 있다는 것이 그의 사고의 중심이었고 평균치 $K_b=30$ 은 암석의 비중 평균치 2.7 에서의 발파상태에서 얻은 값으로서 이 때의 폭약 비중 1.3 평균 VOD 는 12,000ft/sec 이다. 실제로 보통 암질에서 AN/FO 의 K_b 는 25, Slurry 나 Gelatine dynamite 는 35 또는 그 이상이 된다. Ash 는 특별한 상태에서 즉, 암석의 종류, 폭약비중, 비산, 암석 성상의 수정치를 인용해서 여러 가지 계산식을 만들었다. 따라서 Ash 의 공식은 Anderson 의 공식에 없는 요소를 넣어서 만든 개량된 식으로 보인다. 하지만 적절한 K_b 의 값은 앞으로 많은 연구가 더 요구되며 편리한 계산일람표가 작성되어야 한다.

앞으로 실용 발파에서 Anderson 의 식은 제 1 단계로 사용 가능하고 발파설계에 더 정밀성이 요구될 때 다음 단계로 K_b 의 값은 Ash 의 다음 공식에 의해서 계산한다.

$$B = K_b \times d/12(ft) \quad (2.26)$$

여기서, d : 천공경 (in)

이와 같이 간단하고 매우 유용한 공식으로부터 Ash 는 천공간격(5), 천공경(H), 보조천공(Subdrilling, J), 전색길이(T), 최소저항선(B)를 인용하여 다음과 같이 정리하였다.

$$\text{천공간격 } S(f) = K_s B$$

$$\text{천공장 } H(f) = K_h B$$

$$\text{보조천공 } J(f) = K_j B$$

$$\text{전색길이 } T(f) = K_t B$$

여기서, K_s , K_h , K_j , K_t 는 각각 천공간격비, 천공장비, 보조천공비, 전색길이비이다.

$$K_s = 1.0 \sim 2.0, K_h = 1.5 \sim 4.0, K_j = 0.2 \sim 0.4, K_t = 0.7 \sim 1.0$$

표 2.1 암석특성과 폭약종류에 따른 상수 $K_{\{b\}}$

폭약의 종류	암석의 종류		
	연암	보통암	경암
밀도 (0.8~0.9 g/cm ³)와 강도가 낮은 폭약	30	25	20
밀도 (1.0~1.2 g/cm ³)와 강도가 보통인 폭약	35	30	25
밀도 (1.3~1.6 g/cm ³)와 강도가 높은 폭약	40	35	30

(8) Hino

$$B = \frac{D}{4} \left(\frac{PD}{RT'} \right)^{1/n} \quad (2.27)$$

여기서, B = 저항선 (m)

D = 발파공 지름 (cm)

PD = 폭굉압 (kg/cm²)

RT' = 동적인장강도(kg/cm²)

n = 폭약과 암석에 따라 달라지는 상수

발파는 동적인 파괴현상으로 동적인장강도를 설계시에 적용하면 정적인장강도를 적용한 경우보다 좋은 결과를 기대할 수 있으나 현재까지 암석의 동적인장강도(dynamic tensile strength)의 시험법에 대한 정립이 거의 이루어지지 않은 상태이다.

(9) Allsman

$$B_{\max} = \sqrt{\frac{\text{Impulse} \times g}{\pi \times \rho_r \times u}} = \sqrt{\frac{PD \times D \times \Delta t \times g}{\rho_r \times u}} \quad (2.28)$$

여기서, B_{\max} = 최대저항선 (m)
 PD = 평균폭굉압 (N/m^2)
 Δt = 평균 기폭지속시간 (sec)
 ρ_r = 암석의 비중 (N/m^3)
 u = 암반내로 전파된 최소속도 (m/sec)
 D = 발파공 지름 (m)
 g = 중력가속도 ($9.8m/sec^2$)

이 공식은 열역학적인 원리에 근거하여 도출된 식으로 매 설계시마다 평균 기폭시간을 측정하기가 어렵고 암반내로 전파된 최소속도의 결정이 모호하다.

(10) Hansen

$$Q_b = 0.028 \left(\frac{H}{B} + 1.5 \right) \times B^2 + 0.4 \times F_r \left(\frac{H}{B} + 1.5 \right) \times B^3 \quad (2.29)$$

여기서, Q_b = 발파공당 총 장약량 (kg)
 H = 벤치높이 (m)
 B = 저항선 (m)
 F_r = 암석계수 (kg/m^3) (표 2.3 참조)

표 2.2 암석의 강도에 따른 암석계수 F_r

암석종류	F_r (kg/m^3)	단축압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
I	0.24	21	0
II	0.36	42	0.5
III	0.47	105	3.5
IV	0.59	176	8.5

(11) Ucar

Ucar 에 의해 제안된 방정식은 다음과 같다.

$$1.5 \times B^2 H + 2B \times q_l - 3H \times q_l = 0 \quad (2.30)$$

여기서, B = 저항선 (m)
 H = 벤치높이 (m)
 q_l = 선형장약량 (kg/m) 이다.

위의 2 차방정식으로부터 B 값을 구한다.

(12) Konya

$$B = 3.15 \times D \times \left[\frac{\rho_e}{\rho_r} \right]^{0.33} \quad (2.31)$$

여기서, B = 저항선 (ft)

D = 폭약직경 (in)

ρ_e = 폭약비중

ρ_r = 암석비중

공 간격은 다음 식에 의해 계산된다.

- 제발발파

$$H < 4B, S = \frac{H+2B}{3}$$

$$H > 4B, S = 2B$$

- 지발발파

$$H < 4B, S = \frac{H+7B}{8}$$

$$H > 4B, S = 1.4B$$

- 전색길이

괴상암반 : T = B

층상암반 : T = 0.7B

(13) F\ddot{o}l\ddot{o}si

$$B = 0.88 \times D \times \sqrt{\frac{\rho_e}{m \times CE}} \quad (2.32)$$

여기서, B = 저항선 (m)

D = 발파공 지름 (mm)

ρ_e = 발파공내 폭약밀도 (kg/m³)

CE = 비장약량 (kg/m³)

$$m = 1 + \frac{0.693}{\ln(\rho_e \times VD^2) - \ln RC - 1.39} \quad (2.33)$$

여기서, VD = 폭약의 폭속 (m/s)

RC = 암석의 압축강도 (MPa)

제발발파의 경우에는 $2.2 < m < 2.8$ 이고 지발발파인 경우에는 $1.1 < m < 1.4$ 가 되도록 한다.

- 공간격 $S = m \times B$
- 열 간의 거리 $B_f = 1.2 \times B$
- 전색 $T = 1.265 \times \frac{B \times VD}{VC} \times \sqrt{\frac{\rho_e}{\rho_s}}$
- 추가천공 $J = 0.3 \times B$

여기서, ρ_s 는 발파공내 전색재료의 밀도이다.

(14) Praillet

$$B^3 + \frac{B^2 \times (H \times K)}{D} - \left[\frac{2.4 \times \rho_e \times \left[\frac{VD}{4000} \right]^2 \times (H + J - T) \times D^2}{10 \times RC} \right] = 0 \quad (2.34)$$

여기서, B = 저항선 (m)
H = 벤치높이 (m)
 ρ_e = 폭약의 비중
VD = 폭약의 폭속 (m/sec)
K = 상수 (rope shovel인 경우 12.5, dragline인 경우 51)
D = 발파공지름 (mm)
J = 추가천공 (m)
T = 전색 (m)
RC = 암석의 압축강도 (MPa)

(15) Jimeno

암반의 탄성파속도를 고려하여 Ash의 공식을 수정하였다.

$$B = 0.76 \times D \times F \quad (2.35)$$

여기서, B = 저항선 (m)
D = 발파공 지름(in)
F = 암석과 폭약에 따른 보정계수

$$fr = \left[\frac{2.7 \times 3500}{\rho_r \times VC} \right]^{0.33} \quad (2.36)$$

$$fe = \left[\frac{\rho_e \times VD}{1.3 \times 3600^2} \right]^{0.33} \quad (2.37)$$

여기서, ρ_r = 암석의 비중 (g/cm³)
VC = 암반의 탄성파속도 (m/s)
 ρ_e = 폭약의 비중
VD = 폭약의 폭속 (m/s)

이 공식은 발파공 지름이 165~250 mm 인 경우에 타당하다. 발파공 지름이 더 큰 경우에는 0.9 정도로 저항선 값을 감소시킨다.

(16) Olofsson

Olofsson 은 Langefor 의 공식에 근거하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$B_{\max} = K \times \sqrt{q_f} \times R_1 \times R_2 \times R_3 \quad (2.38)$$

여기서, K = 폭약종류에 따라 달라지는 상수

K = 1.47(Gelatin류 폭약)

K = 1.45(Emulsion류 폭약)

K = 1.36(ANFO)

q_f (I_b) = 선택된 폭약의 봉상 장약집중도 (kg/m)

$$= \frac{\pi d^2 P s_{ANFO} \cdot 0.84}{4} \quad \text{또는 표 2.3} \quad (2.39)$$

여기서, P 는 장약밀도 또는 packing degree (kg/m³), d 는 발파공직경 (m), 장약밀도가 주어지지 않은 경우에는 경험적인 관계식인 $I_b = 90d^2$ 사용한다. lifter 의 경우에는 0.7 을 곱하여 사용하지만 준비가 힘들다는 이유로 현장에서는 동일한 값을 사용한다. 단위는 앞과 동일하다.

R_1 = 경사(inclination) 보정계수

R_2 = 암종에 따른 보정계수

R_3 = 벤치높이 보정계수

벤치높이가 $H < 2B_{\max}$ 이고 천공지름이 103mm 보다 작은 경우 R_3 는 다음 공식에 의해 얻어진다.

$$B_3 = 1.16 - \left[0.16 \frac{H_2}{H_1} \right]^2 \quad (2.40)$$

여기서, H_1 = 실제 벤치높이

H_2 = 벤치높이 = $2B_{\max}$ ($H_2 > H_1$)

실제 저항선을 계산하는 방식은 Langefor 의 방법과 동일하다.

표 2.3 각종 발파공 직경과 폭약의 장약집중도

발파공의 지름(mm)	51	64	76	89	102	127	152
ANFO	1.6	2.6	3.6	5.0	6.5	10.1	14.5
Emulite 150	2.3	3.7	5.0	7.1	9.3	—	—
Bulk Emulite	2.4	3.9	5.3	7.5	9.9	15.3	21.9
Dynamex M	2.6	4.0	5.6	7.8	10.2	—	—

표 2.4 경사 보정계수 R_1

경사	$\infty:1$	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1
R_1	0.95	0.96	0.98	1.00	1.03	1.10

표 2.5 암종에 따른 보정계수 R_2

암석상수 C	0.3	0.4	0.5
R_2	1.15	1.00	0.90

제 3 장 발파설계에 영향을 미치는 요소

3.1 암반특성의 영향

3.1.1 취성도에 의한 파괴영역의 산정

Sassa 와 Ito 는 발파에 의해 야기된 발파공 주위의 전단파괴영역과 인장균열영역의 범위를 취성도와 강도에 의해 그림 3.1~3.4 처럼 산정하였다. 그림으로부터 다음과 같은 관계를 구하였다.

$$r_s = AS^{-0.5} \quad (3.1)$$

$$r_t = BS^{-0.3} \quad (3.2)$$

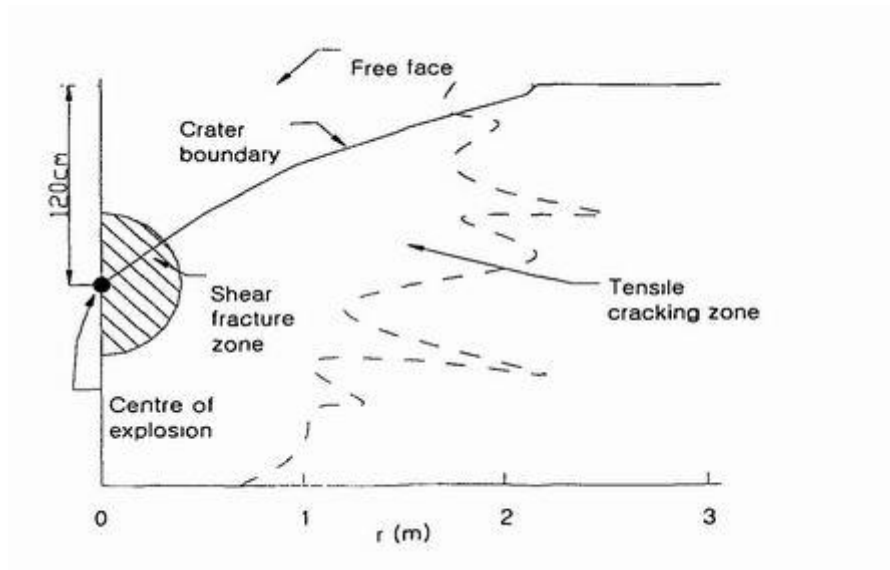


그림 3.1 전단파괴영역과 인장균열영역

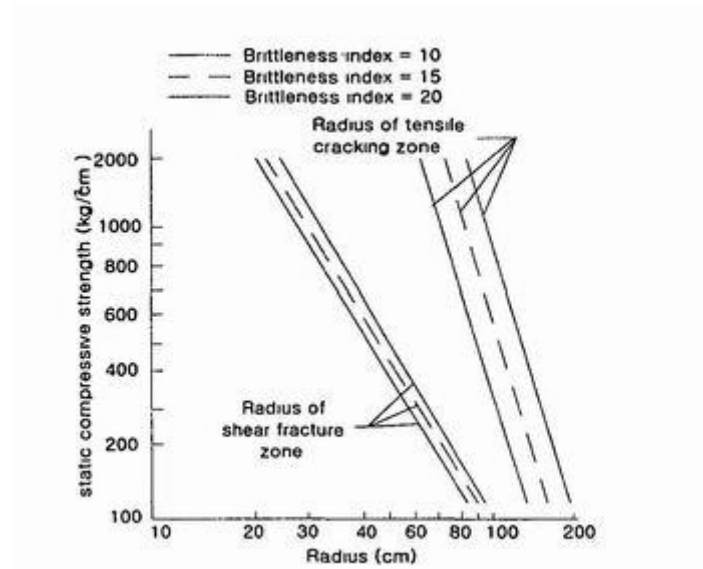


그림 3.2 압축강도와 전단파괴 및 인장균열영역의 반경

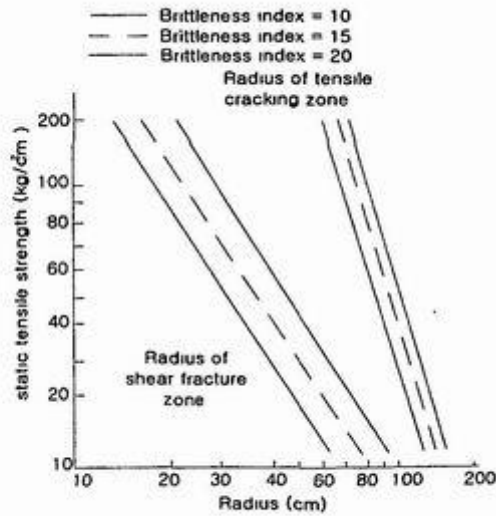


그림 3.3 인장강도와 전단파괴 및 인장균열영역

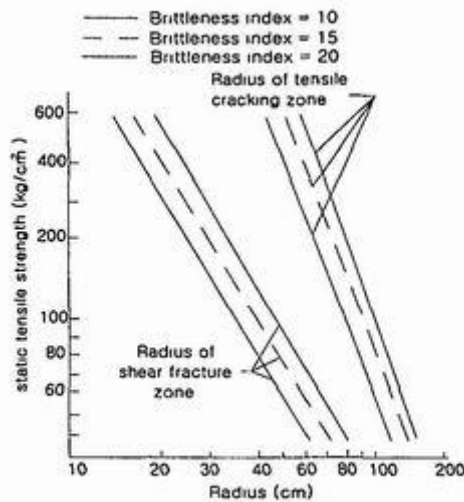


그림 3.4 전단강도와 전단파괴 및 인장균열영역

여기서 $r_{\{s\}}$ 와 $r_{\{t\}}$ 는 각각 전단파괴영역과 인장균열영역의 반경이고 S 는 강도(압축, 인장 및 전단)이다. A 와 B 는 사용된 강도종류에 따라 다르다. A 값은 취성도가 증가함에 따라 감소하고 B 는 증가한다. 따라서 강도가 증가함에 따라 전단파괴 영역의 반경은 인장균열영역보다 더 빠르게 감소한다. 그리고 취성도가 증가함에 따라 인장균열영역의 반경은 증가하는 반면 전단파괴영역의 반경은 감소한다. 이처럼 발파결과는 강도뿐만 아니라 취성도에 의해서도 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

3.1.2 기계굴착 및 천공에 대한 영향

TBM 등의 기계굴착과 천공의 경우 암석물성의 영향에 대한 많은 연구들이 제시되어 있다. 특히 아직까지 파괴인성에 따른 발파효과 등에 대한 연구는 수행된 바 없으나 기계굴착이나 천공의 경우 관통속도(penetration rate)와 파괴인성 및 암석물성과의 관계에 대한 연구들이 다수 발표되어 있다. 이러한 연구들의 공통된 결과는 파괴인성에 따라 효과적인 관통속도를 예측할 수 있으며 파괴인성 이외에 탄성파속도, 특히 P 파속도와 관통속도의 관계가 가장 좋은 것으로 나타났다. 기계굴착과 발파의 차이로 인해 이러한 결과를 직접 적용할 수는 없으나 이와 유사한 연구를 발파에 대해서도 수행할 수 있을 것으로 보인다.

3.1.3 충리와 절리 등의 영향

모든 암반은 많은 유형의 불연속면, 미소균열, 거시균열들을 포함하고 있다. 그래서 암석의 물리적, 역학적 성질에 결정적인 영향을 미치고 결국 발파결과에 영향을 끼친다. 불연속면들은 개구되어 있거나 충전물로 채워져 있을 수 있다. 이러한 이유 때문에 표 3.1 처럼 각 불연속면들은 서로 다른 정도로 폭약에너지를 전달한다. 따라서 발파시 절리의 틈새와 그 굴절물의 특성에 주의를 기울여야 한다.

표 3.1 절리의 틈새와 특성에 따른 변형율파의 흡수

절리에 의한 변형율파의 흡수	절리틈새 (joint width, mm)	절리특성
1. 적음 (<20%)	(A) 0	(A) 완전히 메워져 있음
	(B) 0~4.0	(B) 모암과 비슷한 임피던스를 가진 재료로 충전되어 있음
2. 약간 적음 (20~40%)	(A) ~0.5	(A) 공기나 물로 채워진 개구절리 (open joint)
	(B) ~4.0	(B) 모암보다 1.5~2.0 배 정도 작은 임피던스를 가진 재료로 충전되어 있음
3. 중간 (40~80%)	0.5~1.0	공기나 물로 채워진 개구절리
4. 많음 (>80%)	(A) 0.1~1.0	(A) 느슨하고 다공질인 재료로 채워진 절리
	(B) 1.0	(B) 느슨하고 다공질인 재료, 공기과 물로 채워진 개구절리

또한 발파에 의한 파쇄는 표 3.2 처럼 발파공간의 거리 S, 절리간격 J, 최대허용 암석블록크기 M에 의해 영향을 받는다.

표 3.2 발파공간의 간격(S), 절리간격(J_s)와 최대허용 블록크기(M) 간의 관계

Case	$J_s : S$	$J_s : M$	$S : M$	비장약량에 민감한 파쇄	소할발파를 해야할 확률 (%)
1	$J_s > S$	$J_s > M$	$S > M$	그렇다	중간
2	$J_s > S$	$J_s > M$	$S < M$	그렇다	낮음
3	$J_s > S$	$J_s < M$	$S < M$	그렇다	낮음
4	$J_s < S$	$J_s > M$	$S > M$	아니다	높음
5	$J_s < S$	$J_s < M$	$S < M$	아니다	낮음
6	$J_s < S$	$J_s < M$	$S > M$	아니다	낮음

그림 3.5(a)처럼 층리들이나 불연속면들이 터널축에 평행한 경우 막장진전은 만족스럽지 못하고 막장면은 깨끗하지 못하다.

그러나 그림 3.5(b)와 같이 불연속면들이 터널 축에 수직인 경우 발파결과는 일반적으로 좋다. 한편 층리면들이 터널 축에 대해 경사진 방향으로 있을 때 발파하기가 더 쉬운 한쪽면이 존재하게 된다. 예를 들어 그림 3.5(c)의 경우에는 왼쪽부분이 발파하기가 더 쉽다.

발파설계에서 주의해야 할 것은 지층의 주향과 경사에 대해 발파의 파괴방향과 막장의 상대위치에 해당하는 암반의 구조적 제어이다. 그림 3.6 은 발생할 수 있는 여러 경우들에 대한 예측된 결과이고 불연속면들의 경사 및 주향과 경사의 상대각도를 고려하고 있다.

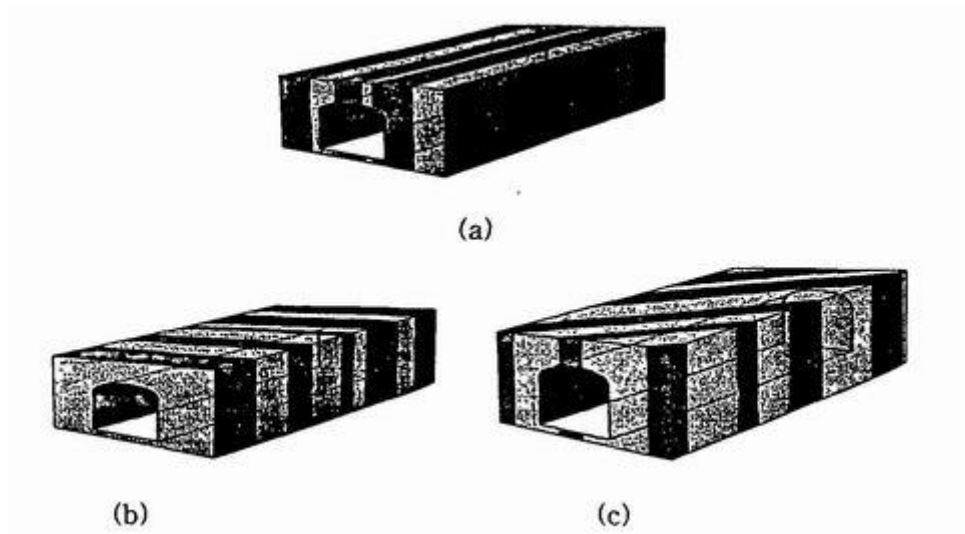


그림 3.5 터널축에 대한 층리의 상대적인 방향

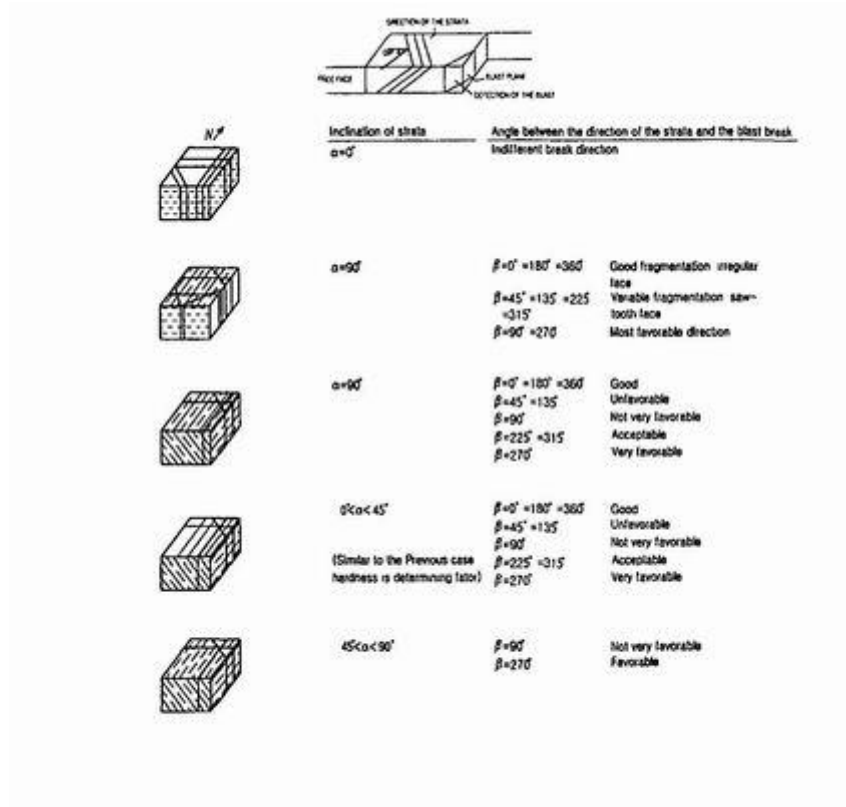


그림 3.6 지질구조적 제어 관점에서의 발파설계

3.1.4 응력장의 영향

국지적(tectonic) 응력장이나 중력(gravitational) 응력장이 작용할 때 발파공 주위에서 발생한 균열패턴은 균일하지 못한 응력집중에 의해 영향을 받을 수 있다.

균일한 과상암반의 경우 발파공에서 반경방향으로 전파하는 균열들은 주응력방향을 향하는 경향이 있다. 따라서 잔류응력의 집중이 높은 암반에서 터널을 굴착할 때 그림 3.7 처럼 심발공의 기폭순서를 수정해야 한다.

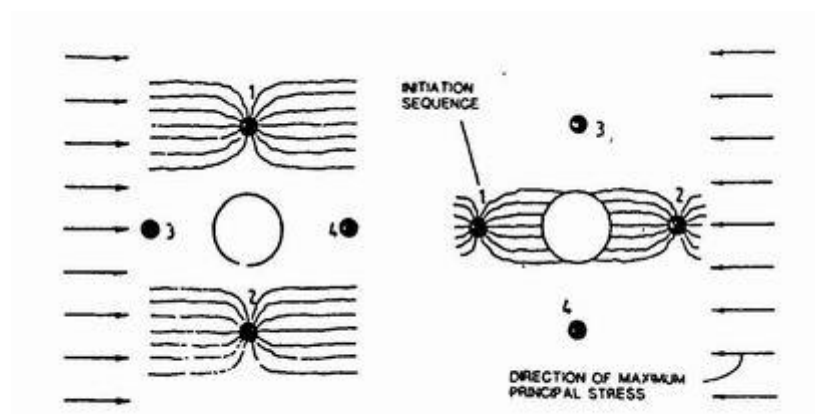


그림 3.7 높은 수평응력장에서 Burn-Cut 에 대한 기폭순서 (a) 좋지 못한 경우 (b) 좋은 경우

3.2 발파설계를 위한 암반분류법

3.2.1 암질지수(RQD)의 적용

Borquez(1981)은 RQD 를 절리강도와 충전물의 유형에 따라 달라지는 변질계수(coefficient of alteration)로 보정한 k_v 계수(Blastability factor)를 제시하였다. 절리강도에 따른 보정계수는 표 3.3 이고 k_v 계수의 곡선은 그림 3.8 와 같다.

표 3.3 k_v 계수에 대한 보정계수

절리강도	보정계수
강함	1.0
중간	0.9
약함	0.8
매우 약함	0.7

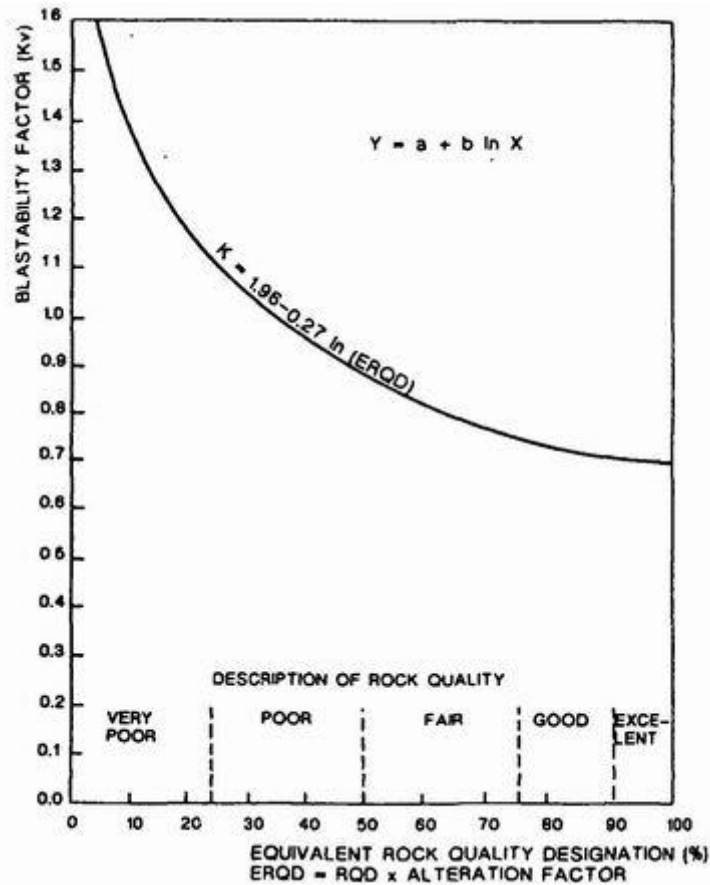


그림 3.8 k_v (blastability factor) 와 ERQD

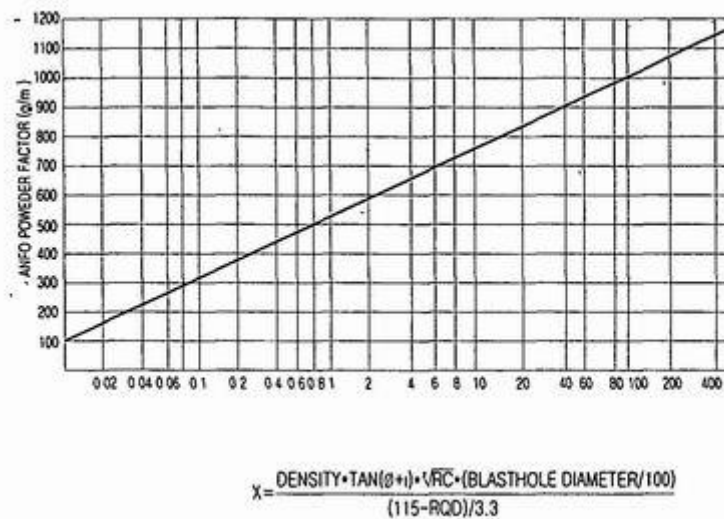


그림 3.9 암반변수들에 의한 비장약량의 계산

한편 Steffen, Robertson and Kirsten, Ltd 사(1985)는 벤치발파에서 비장약량(powder factor)를 계산하기 위해 RQD, 단축압축강도 RC(MPa), 내부마찰각(ϕ), 거각(i), 밀도(t/m^3)등의 다양한 변수들을 사용하였다(그림 3.9). 이 방법은 비장약량에 대한 발파공 직경(mm)과 폭약의 공간적인 분포를 고려한 얼마안되는 방법들중의 하나이다.

3.2.2 Ashby 의 경험적인 분류

Ashby(1977)는 구조적인 불연속면들을 고려하여 균열빈도(fracture frequency)와 균열의 전단강도에 의해 비장약량을 다음의 그림 3.10 처럼 계산할 수 있는 경험적인 도표를 제시하였다.

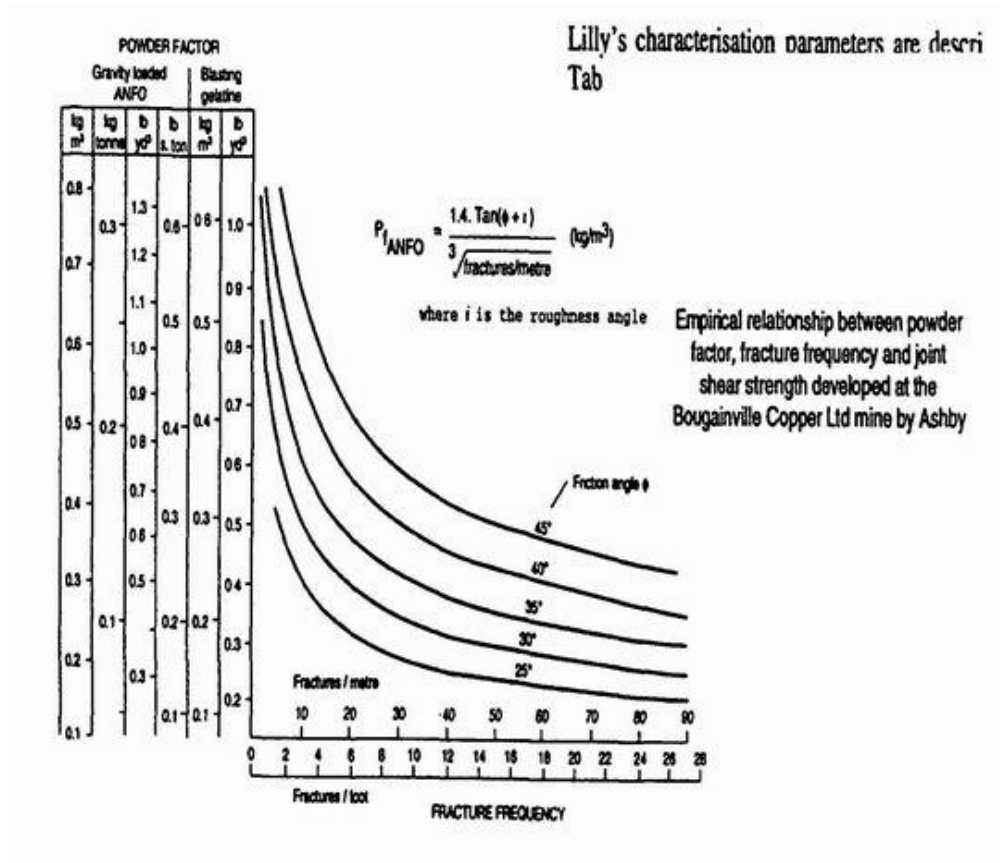


그림 3.10 Ashby 의 분류

3.2.3 탄성과 탐사에 의한 비장약량의 예측

Broadbent(1974), Heynen 과 Dimock 은 그림 3.11 처럼 비장약량과 탄성파전파속도를 관련시켰다. 그림에서 보는 것처럼 속도가 증가할수록 만족스러운 파쇄결과를 얻기위해 많은 양의 에너지가 필요하다는 것을 알 수 있다.

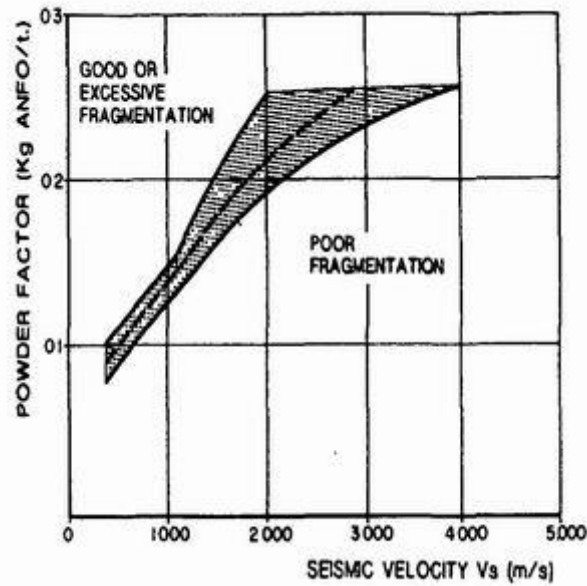


그림 3.11 탄성과 속도와 비장약량의 상관관계

3.2.4 천공지수와 발파설계 변수들의 관계

Mathis(1975)는 RQI(Rock Quality Index)라 불리는 다음과 같은 지수를 제안하였다.

$$RQI = E_h \frac{t}{L} \quad (3.3)$$

여기서 E_h 는 드릴의 수압, t 는 천공시간, L 은 발파공의 길이이다

Leighton(1982)는 주변발파에 대한 RQI 와 최적의 비장약량사이의 상관관계에 대해 연구하였고 상관계수가 0.98 이 나왔다. 상관관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\ln(CE) = \frac{RQI - 25.000}{7200} \quad (3.4)$$

여기서 CE는 비장약량(kg ANFO/ton) 이다.

E.L.Jimeno(1984)는 RQI 의 한계를 고려하여 다음과 같은 천공변수들을 결합한 암반특성지수 I_p 를 제안하였다.

$$I_p = \frac{V_p}{\frac{E \times N_r}{D^2}} \quad (3.5)$$

여기서 V_P 는 천공속도(m/h), E 는 tricone 비트의 pulldown weight(수천파운드), N_r 은 회전속도(rpm), D 는 천공직경(inch)이다.

이러한 암반특성지수 I_p 와 비장약량과의 관계는 그림 3.12 과 같다.

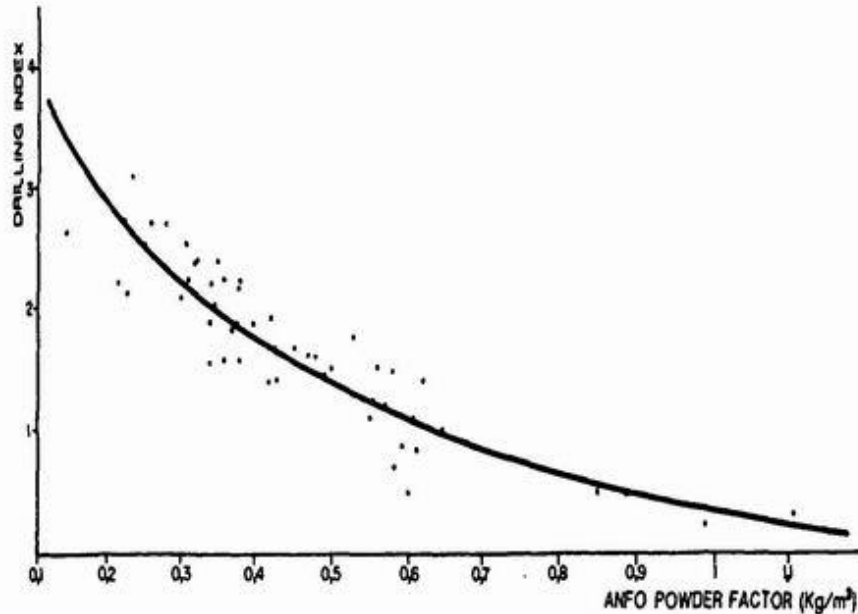


그림 3.12 I_p 지수와 비장약량과의 상관관계

3.3 발파용이도 지수(Blastability)

암반의 발파용이도 지수는 암반의 발파용이도를 나타내는 지표이다. 즉 발파용이도 지수가 높다는 것은 그만큼 발파가 용이함을 나타내며, 반대로 낮다는 것은 발파에 대한 저항성이 큼을 나타낸다. 지금까지 발파용이도를 나타내기 위한 여러 가지 방법이 시도 되어 왔으나, 이를 정량적으로 이론화 하지는 못하고 있다. 특히 터널 현장에서의 발파용이도에 대한 실험이 국내에서는 이루어진 적이 없으므로 이에 발파용이도를 현장 터널 발파에 도입하여 국내 암반 조건에 맞는 발파용이도를 구하고자 한다. 일반적인 암반의 발파용이도는 다음의 영향을 받는다.

- * 암석의 발파용이도
- * 암반의 균열상태
- * 사용폭약의 종류

3.3.1 RMR 값을 이용한 발파용이도

국내 터널 시공시 측정하고 있는 RMR 값은 암반의 특성중 발파용이도에 관련된 변수들을 많이

포함하고 있어 RMR 값을 발파용이도 지수로 활용할 수 있다. RMR 값의 개별항목을 보면 다음과 같다.

* 무결암의 단축압축강도

* RQD

* 불연속면의 간격

* 불연속면의 상태

* 지하수의 상태

* 불연속면의 방향

측정된 각 항목의 점수와 발파에 대한 영향성을 검토하여 발파용이도 지수를 구하고 이를 이용하여 발파 패턴 설계에 이용할 수 있다.

3.3.2 SPR 값 이용

발파용이도 지수로서 활용되고 있는 SPR 은 NTH(노르웨이 기술연구소)에서 발파설계에 사용하고 있는 지수이다.

발파용이도 지수(SPR)은 암반의 발파 감도를 나타낸다. 암반의 발파감도 지수는 다음에 의해 결정된다.

- 암석 종류별 발파감도
- 암반의 균열
- 폭약의 종류

암종에 따른 발파감도는 다음에 영향을 받는다.

- 이방성
- 밀도
- 탄성파 속도
- 광물 및 입자의 결합
- 폭약의 장전밀도

표 3.4 암석의 종류별 발파감도의 분류

양호한 발파감도 SPR = 0.38	크고 균질한 입자의 화강암, 섬강암,
보통의 발파감도 SPR = 0.47	편마암
나쁜 발파감도 SPR = 0.56	일축압축강도가 낮고 운모를 포함하고 있는 층상구조의 변성암(운모편암)

SPR 은 다음과 같이 표현된다.

$$SPR = \frac{0.736 \cdot I_a^{0.6} \cdot LT^{0.7}}{\left(\frac{c}{1000}\right) \cdot \left(\frac{w}{c}\right)^{0.25} \cdot \rho^{0.2}} \quad (3.6)$$

I_n = 절리방향에 수직인 탄성과 속도(m/s)

I_p = 절리방향에 평행인 탄성과 속도(m/s)

$I_n = I_p / I_n$

$c = (I_p + I_n) / 2$

w = 폭약의 폭굉속도(m/s)

ρ = 암석밀도(g/cm^3)

LT = 폭약의 장전밀도(kg/단위 발파공 부피)

SPR 은 발파에 영향을 미치는 변수로 암반의 탄성과 속도를 이용한 것이 특징이다.

3.3.3 Lilly 의 발파용이도 지수

Lilly(1986)는 5 개 암반조건에 따른 변수들의 대표값을 합하여 얻은 발파지수를 다음과 같이 정의하였고 변수값들은 표 3.5 에 제시되어 있다.

$$BI = 0.5(RMD+JPS+JPO+SGI+HD)$$

위의 발파지수에 의해 다음과 같은 방정식이나 그림 3.13 에 의해 비장약량(Powder factor, CE)나 에너지요소 FE 를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} CE(kgANFO/t) &= 0.004 \times BI \\ FE(MJ/t) &= 0.015 \times BI \end{aligned}$$

표 3.5 발파지수에 사용되는 변수값

변수		점수
1. 암반조건 Rock mass description (RMD)	분상(powdery)	10
	블록형태(blocky)	20
	괴상(massive)	50
2. 절리면간격 Joint Plane Spacing (JPS)	가까움(<0.1m)	10
	중간(0.1~1m)	20
	넓음(>1m)	50
3. 절리면의 방위 Joint Plane Orientation (JPO)	수평	10
	막장면과 둔각을 이룸	20
	막장면에 수직인 주향	30
	막장면과 예각을 이룸	40
4. 비중의 영향 Specific Gravity Influence		SGI=25SG-50 여기서 SG는 Tons/m ³
5. 경도 Hardness (H)		1~10

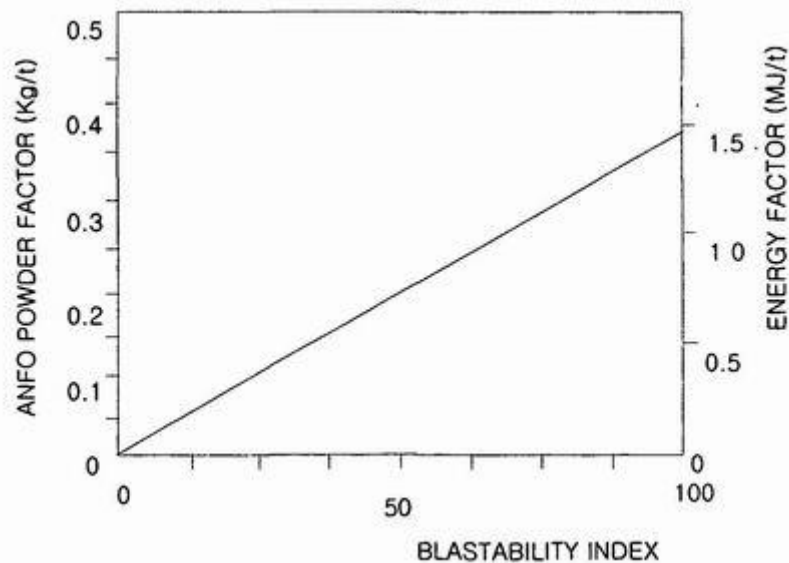


그림 3.13 발파지수에 의한 비장약량의 계산

제 4 장 발파패턴에 따른 여굴측정 현장시험

4.1 공사현황

본 공사는 영동건설사업소 제 12 공구 도로터널(그림 4.1) 공사이다. 현장의 위치는 평창군 도암면

횡계 5 리 82 번지일대이다. 본 시험발파가 실시된 곳은 터널의 시점부이며, 원주방향은 3 차로 터널이고 강릉방향은 2 차로 터널이다. 본 시험발파시 공사는 초기 단계로서 갱구부에서 각각 15m, 20m 굴진해 있는 상황이었다. 주위에는 인가가 근접해 있지 않아서 진동, 소음이 크게 고려되지 않았으며, 야간에도 발파가 이루어 지고 있었다.

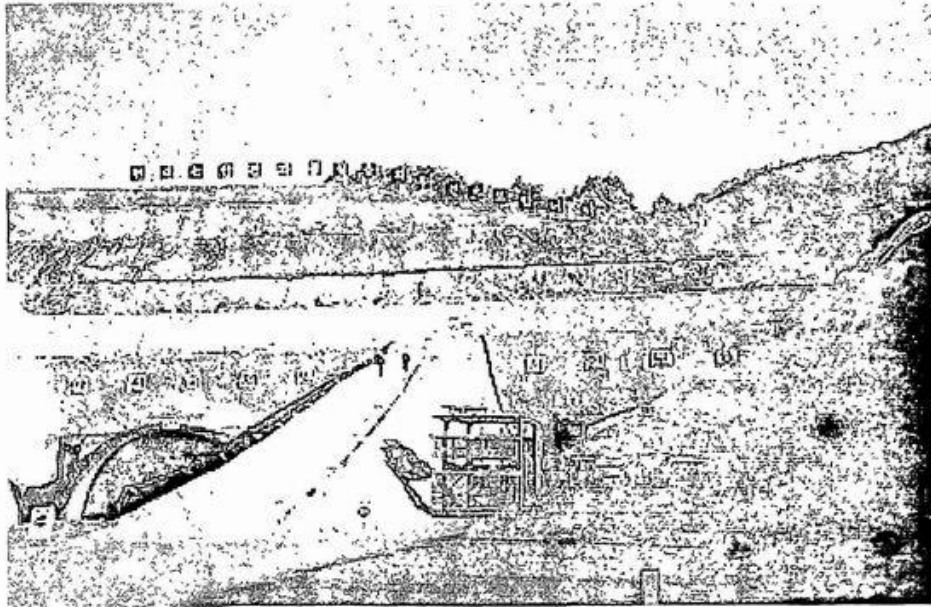


그림 4.1 영동건설사업소 제 12 공구 대관령 1 터널 전경

4.2 지형 및 지반조건

본 현장은 주로 화강암질 암반이며 갱구부는 심하게 풍화되어 있었다. 시험발파 당시는 암반의 강도는 양호하였다. 그러나 원주방향은 주절리가 발달되어 있고 전체적으로 절리가 상당히 분포되어 있었다. 또한 골짜기를 통과함에 따라 출수량이 많았다. 강릉방향의 경우는굴진해 들어감에 따라 암반의 상태가 점차 좋아지고 있었다.

4.3 패턴별 비교분석

4.3.1 현장조건 및 발파패턴도

본 실험에 사용된 현장에서 사용되고 있는 현장조건은 표 4.1 에 나타나 있다. 본 현장은 원주방면 3 차로터널과 강릉방향 2 차로터널로 이루어져 있다. 각각의 터널이 동일암종인 화강암으로 구성되어 있으나, 암반 조사 결과 두 터널의 조건이 차이가 크게 나타났다. 따라서 각각의 터널에 맞는 패턴설계가 요구되었다. 표준패턴도에는 ANFO 폭약을 사용하도록

되어있으나 현장에서 실제로 사용하고 있는 패턴도

(그림 4.2)

는 표준패턴도와 차이가 많았다. 이는 표준패턴 설계시 현장조건을 제대로 반영하지 못한 이유일것으로 보인다. 또한 여러번의 시험발파를 통해 얻어진 최적의 패턴도를 구해서 현장패턴도와 함께 비교 분석하고자 한다. 현장 패턴도의 경우 천공위치 및 장약의 오차를 줄이기 위해 현장에서 천공과 장약시 직접 패턴도를 확인하여 작성하였다. 각 패턴에 공통으로 사용된 화약 및 장약량은 다음과 같다.

<원주방향>

사용화약 : Himite-5500φ32, Finex I (최외곽공의 경우)

a. 심발부분 - 첫 번째 : Himite 2.5 개

두 번째 : Himite 4.5 개

나머지 심발 : Himite 3 개

b. 주변공 - Himite 2 개

c. 바닥공 - Himite 3 개 , Himite 4 개(마지막공)

d. 최외곽공 - Himite 1 개 + Finex 3 개

<강릉방향>

사용화약 : Himite-5500φ32/ Finex I(최외곽공의 경우)

a. 심발부분 - 첫 번째 : Himite 2.5 개

두 번째 : Himite 5 개,

나머지 심발 : Himite 3 개

b. 주변공 - Himite 3 개

c. 바닥공 - Himite 3.5 개, Himite 5 개(마지막공)

d. 최외곽공 - Himite 1 개 + Finex 4 개

표 4.1 영동건설사업소 제 12 공구 대관령 1 터널 현장 조건

방향	원주방향	강릉방향
심발 형태	V-Cut	V-Cut
터널 높이 (m)	9.6	8.5
터널 너비 (m)	15.8	13.7
무장약공 공경(mm)	없음	없음
장약공 공경 (mm)	41	41
천공장 (m)	2.0	2.5
천공 장비	2-boom Jumbo Drill	2-boom Jumbo Drill
사용화약	Himite-5500 $\phi 32$ / Finex I	Himite-5500 $\phi 32$ / Finex I

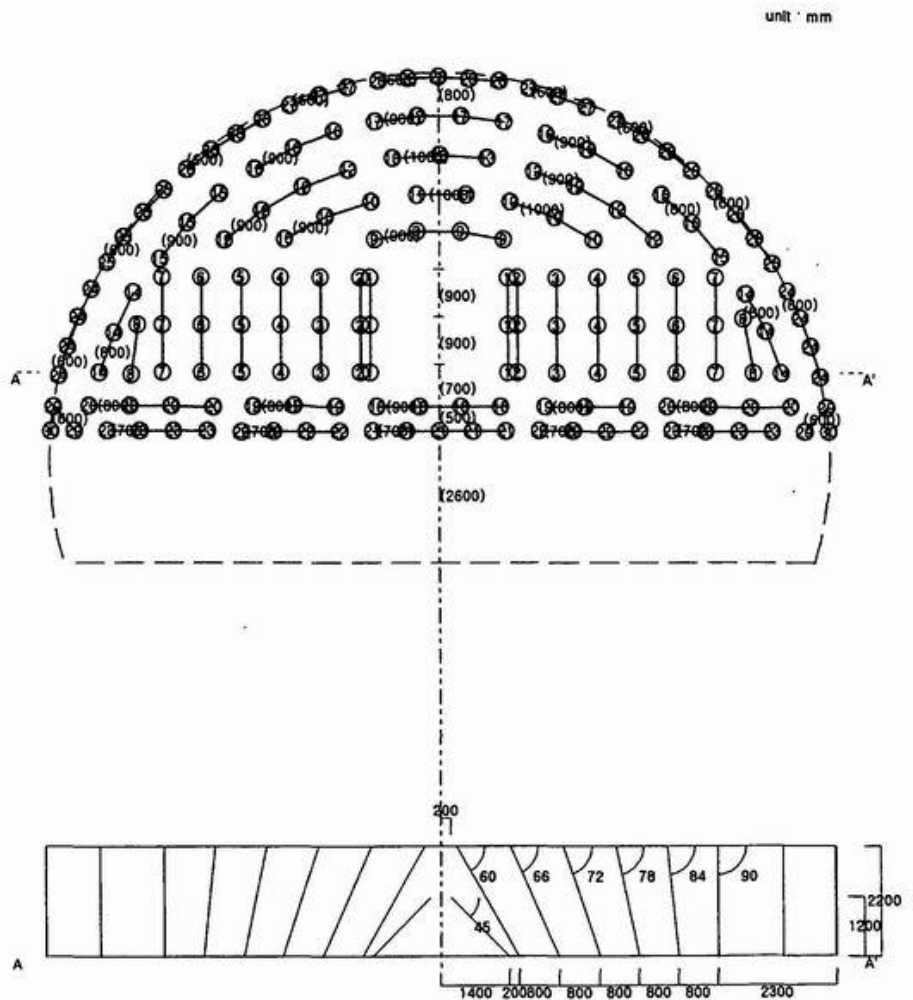


그림 4.2 원주방향 현장패턴도

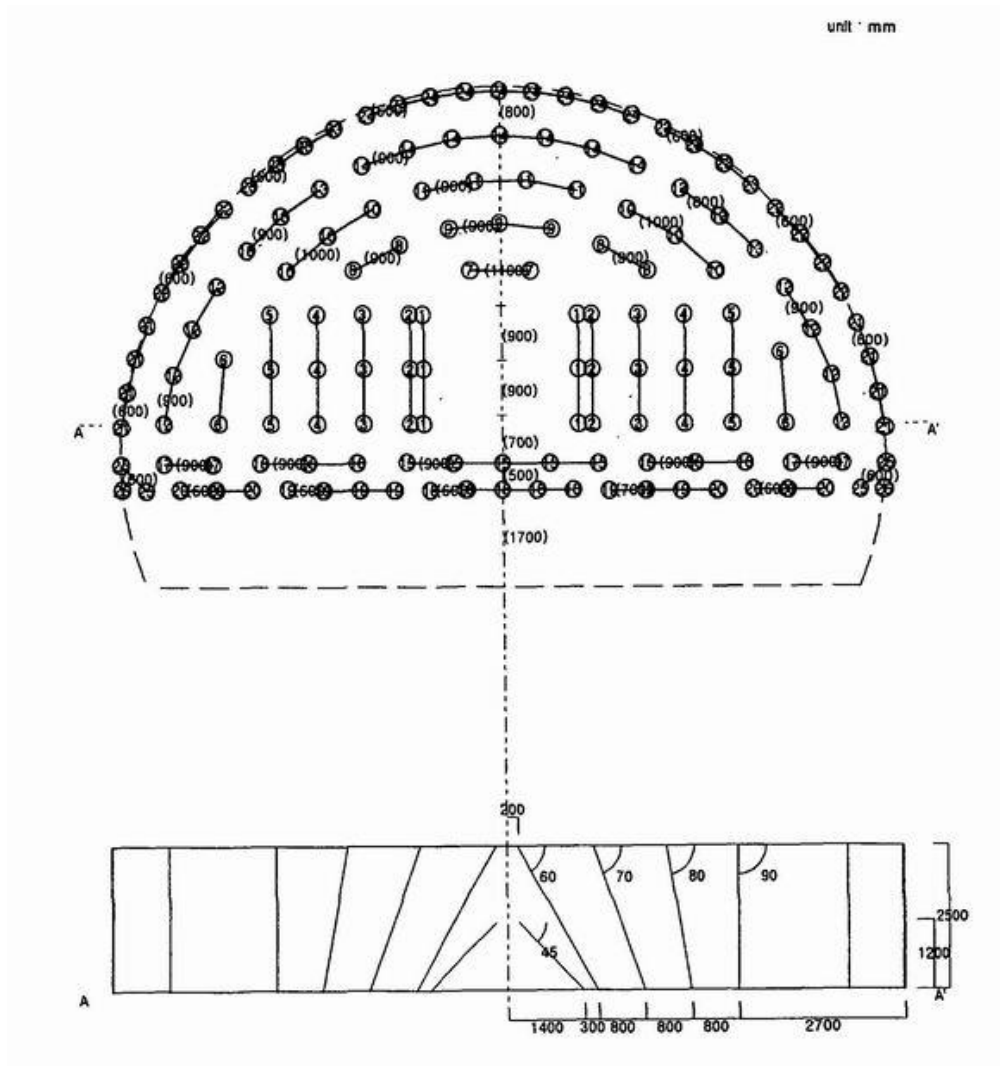


그림 4.3 강릉방향 현장패턴도

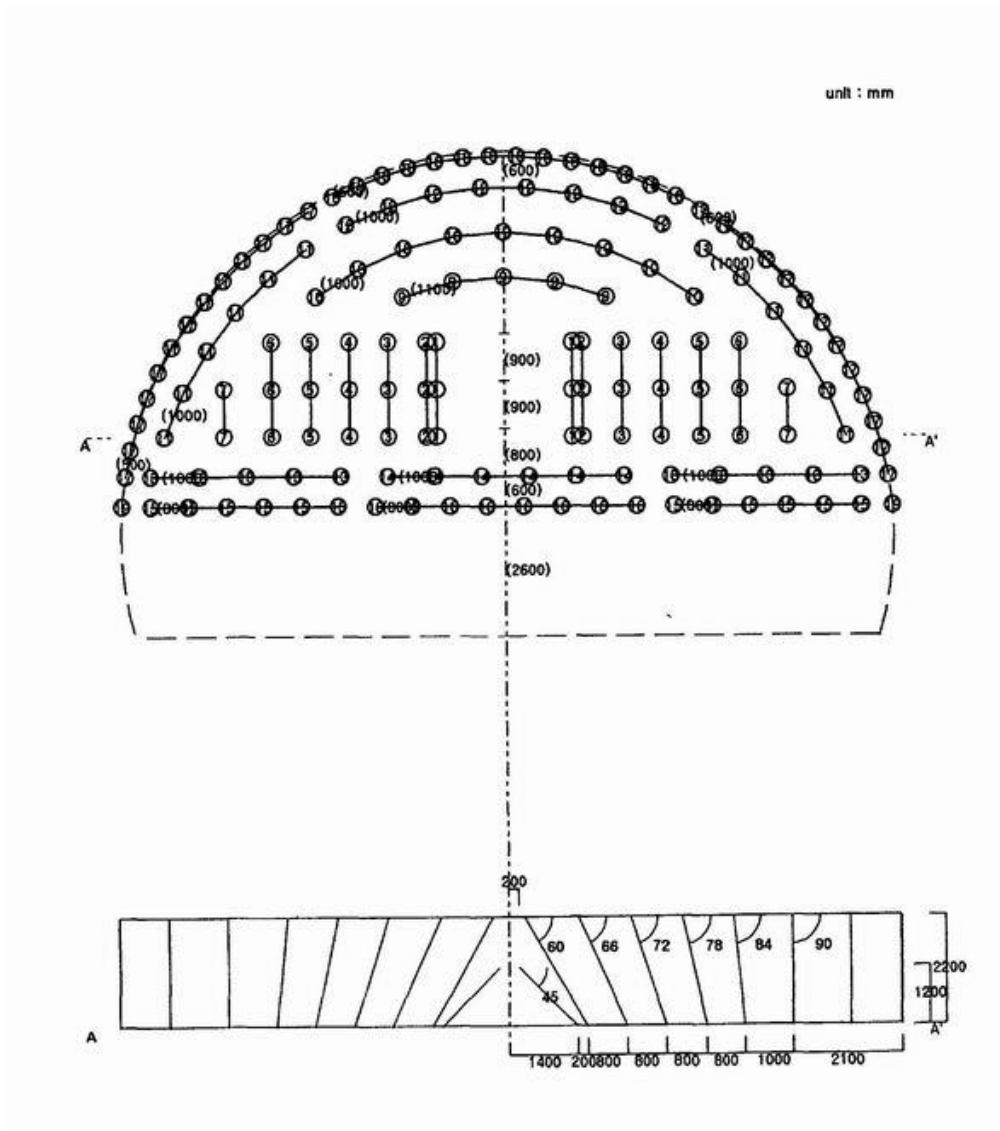


그림 4.4 원주방향 시험패턴도

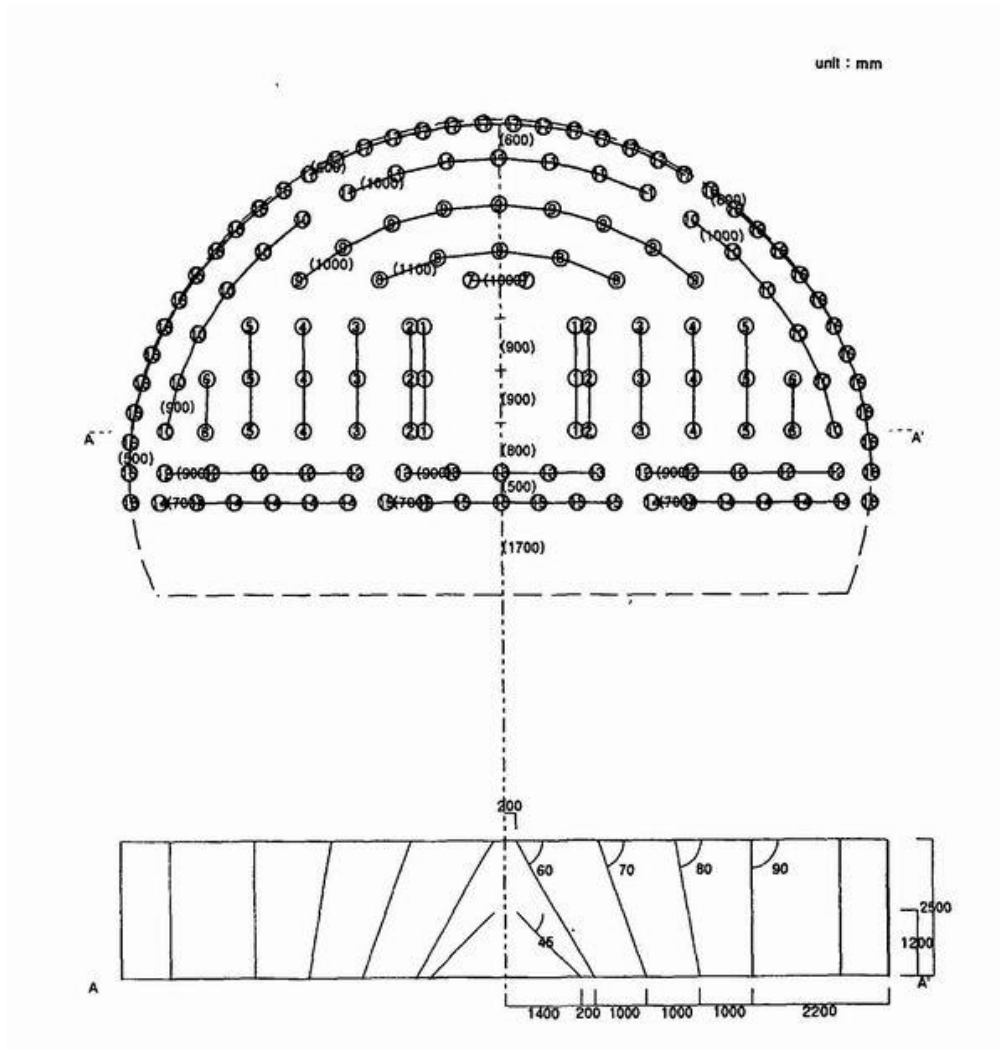


그림 4.5 강릉방향 시험패턴도

표 4.2 패턴별 천공 설계표(원주방향)

구분	심발		주변공				바닥공		최외곽공	
			상향		하향					
	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격
현장 패턴	0.8	0.94	0.68	0.86	0.75	0.95	0.48	0.67	0.75	0.60
시험 패턴	0.8	0.94	0.80	0.97	0.89	1.07	0.61	0.77	0.62	0.55

표 4.3 패턴별 천공 설계표(강릉방향)

구분	심발		주변공				바닥공		최외곽공	
			상향		하향					
	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격	저항선	공간격
현장 패턴	0.8	0.94	0.68	0.86	0.75	0.95	0.46	0.64	0.75	0.60
시험 패턴	0.8	0.94	0.76	0.92	0.83	1.01	0.54	0.71	0.62	0.55

4.3.2 발파패턴에 따른 발파결과

현장 패턴에 의한 발파의 경우 이론에 의한 설계에 비해 전반적으로 천공수와 장약량이 많다. 현장에서 사용하는 발파형태는 다소 과장약을 해서라도 충분한 발파효율을 얻으려 하기 때문에 1 발파당 소요되는 천공수와 장약량이 실제 필요한 최적 천공수와 최적 장약량에 비해 많았다. 이는 4.3.1 절에서 보여지는 시험발파에 의한 패턴도와 비교시 잘 나타난다. 다음은 각 패턴에 의한 발파결과의 비교이다.

① 발파효율

일반적으로 굴진장/천공장으로 표시되는 발파효율은 높게 나타났다. 원주방향의 경우 2.2m 천공에 2.0m 굴진으로 91%의 효율을 보였고, 강릉방향의 경우 2.5m 천공에 2.35m 굴진으로 94%의 발파효율을 보였다. 측정지점은 막장 Station 을 기준으로 천공시의 막장 station 에서 발파후 막장 station 까지 측량해서 구했다. 부분별 굴진장과 천공장의 차이에 의한 모차의 가능성은 있으나 전반적인 발파효율만을 비교할 때 참고 할수 있을 것이다

시험발파의 경우 현장패턴이 충분한 효율을 나타낸다는 가정하에 공간격 및 저항선을 조금씩 작게 하여 여러번에 걸쳐서 실행하였다. 각각의 경우에 발파효율을 측정하여 더 이상효율이 증가하지 않는 값을 찾아내는 방식으로 전개 하였다. 이 패턴에 의한 효율을 살펴보면, 원주방향의 경우 2.2m 천공에 2.0m 굴진으로 91%의 효율을 나타내었고, 강릉방향의 경우 25m 천공에 2.4m 로 96%의 효율을 보였다. 즉 시험발파에서 구한 최적의 패턴도와 현장패턴도와의 효율을 비교하면 거의 차이가 없음을 알수 있다.

②여굴

여굴량은 터널의 안정성 뿐아니라 필요되는 슛크리트양과도 직접 관련되기 때문에 상당히 중요한 요소이다. 현장 발파 패턴에 의한 발파의 경우 측정한 여굴량은 다른패턴에 의한여굴량에 비해 상당히 큰편이었다. 이는 발파공수의 증가에 따른 장약량이 커지기 때문인 것으로 보인다. 여굴의 측정은 Profiler 를 이용해 발파후에 막장면 앞에서 특정 지점에서 실시하였으며, 작업순서는 다음과 같다.

- a. 위치를 선정한다.
- b. 장비를 세우고 기포관을 이용하여 장비의 수평을 맞춘다.
- c. 무소자 광파기를 회전시키면서 단면을 측정(1 회 측정시 150 point 이상 측정)
- d. 데이터를 콘트롤러에 저장
- f. 장비의 위치를 외부 측량기에서 저장

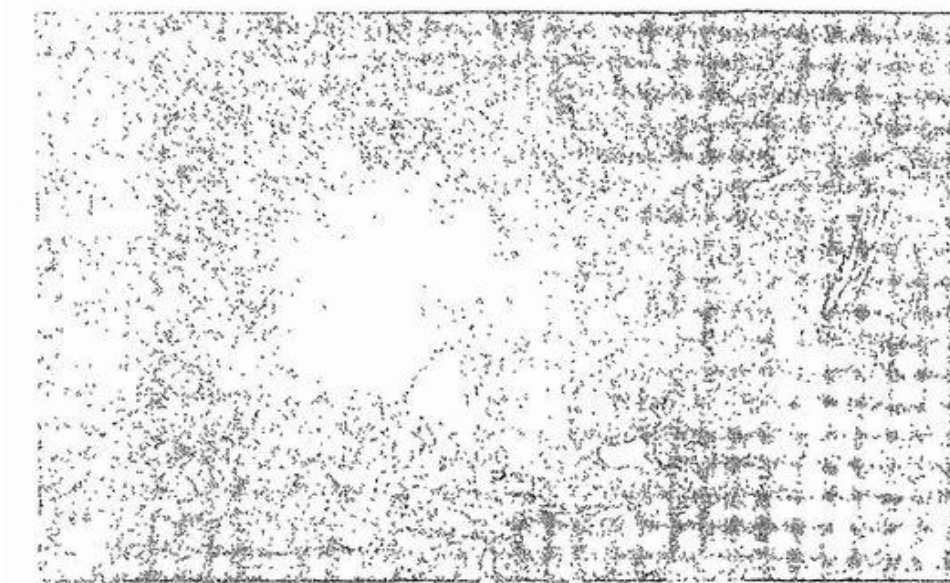


그림 4.6 본 현장에서 여굴을 측정하고 있는 모습

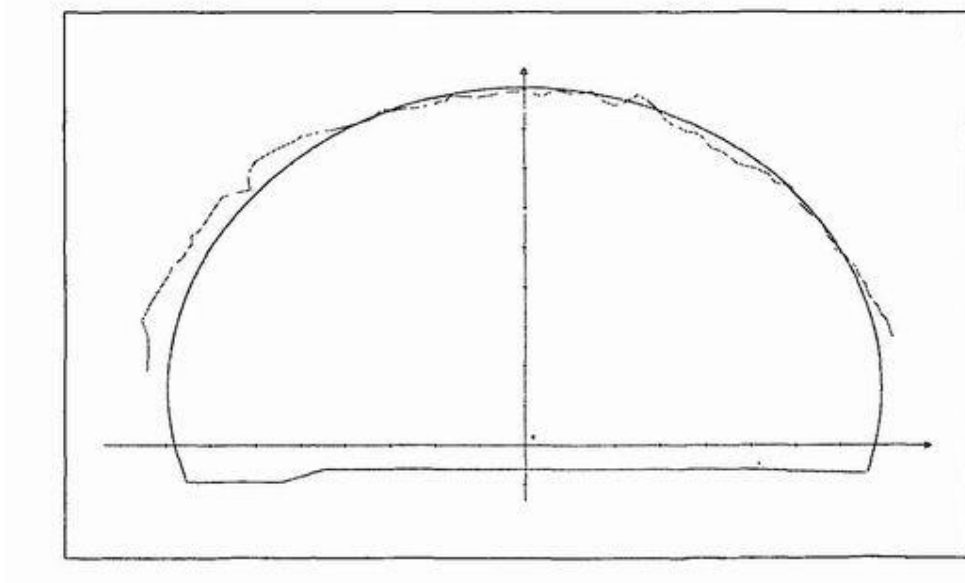


그림 4.7 현장 패턴도에 의한 발파시 여굴모습(원주방향)

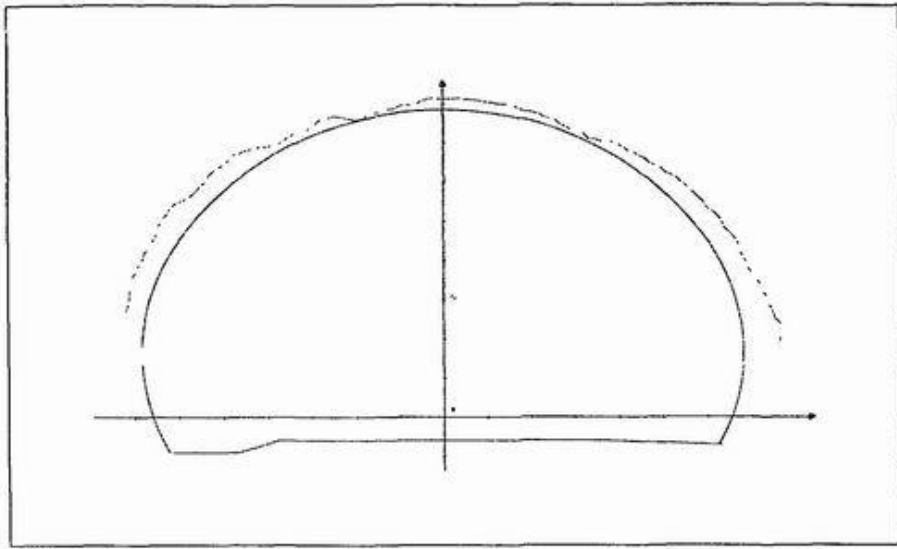


그림 4.8 현장패턴도에 의한 발파시 여굴모습(강릉방향)

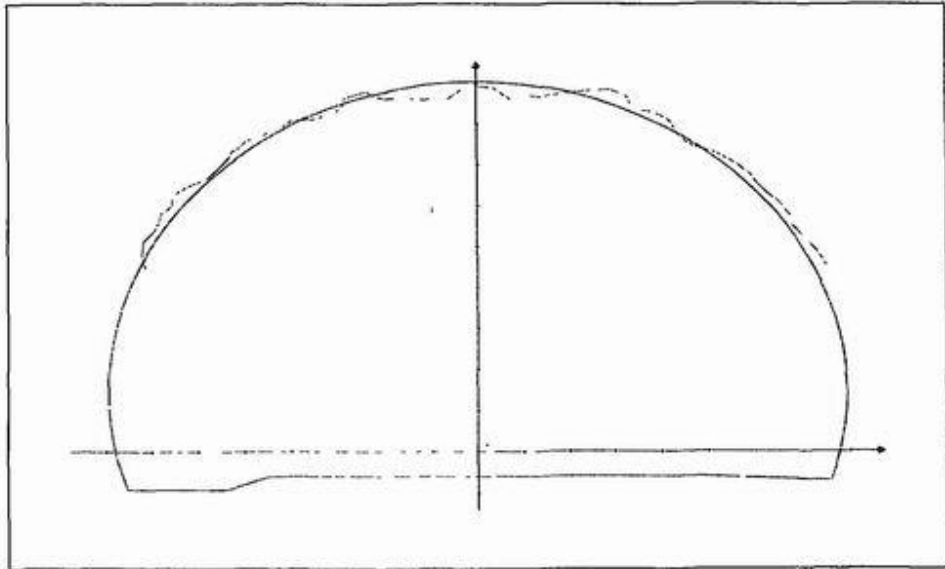


그림 4.9 시험발파로 구한 최적발파패턴 적용시 여굴모습(원주방향)

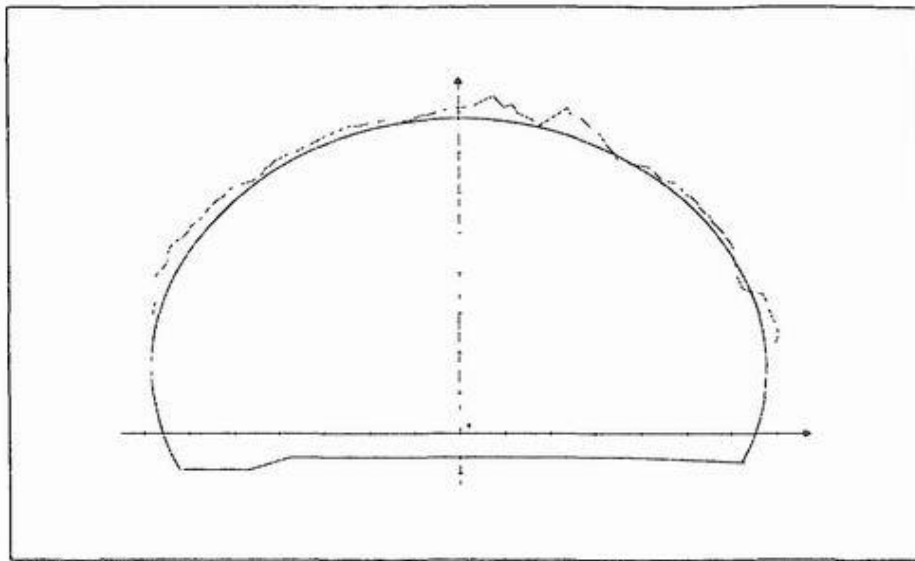


그림 4.10 시험발파로 구한 최적발파패턴 적용시 여굴모습(강릉방향)
각각의 여굴량은 표 4.4 과 같다.

표 4.4 여굴량 계산 결과

구분		여굴면적(+) (m^2)	여굴면적(-) (m^2)	합계 (m^2)	측량길이 (m)	평균 여굴량 (m^2/m)
원주방향	현장패턴	4.192	1.367	2.825	24.539	0.115
	시험발파 패턴	1.897	1.122	0.775	19.380	0.040
강릉방향	현장패턴	7.674	-	7.674	21.288	0.360
	시험발파 패턴	3.810	0.117	3.693	20.656	0.179

여굴면적은 굴착예정선과 실제 굴착선의 차이를 나타낸 면적이다. 이를 전체 측량길이로 나누어 단위길이당 여굴면적을 구해 이를 평균여굴량로 계산했다. 표 4.4 에서 잘 나타나듯이 여굴량은 현장패턴 > 시험발파 패턴 순으로 나타났다. 현장 패턴과 시험발파 패턴이 비슷한 발파 효율을 가지는 것으로 나타났지만 여굴비교에서는 시험발파에 의한 최적 발파패턴이 여굴량이 상당히 적게 나타났다. 따라서 부적절하게 많은 천공수는 장약량의 증대를 가져오고, 장약량의 증대는 여굴을 발생시키는 것이라 생각된다.

③ 천공수

천공수의 증가는 작업시간의 증가와 공사비의 증가를 야기하기 때문에 천공수를 적절히 선택해야 한다. 본 시험발파시 나타난 천공수를 보면, 현장패턴에 의한 천공수가 가장 많고 시험발파에

의해 구한 최적발파시 패턴도가 그 다음으로 많은 것으로 나타났다.

4.4 Burn-Cut 시험발파

현장에서 사용하고 있는 V-Cut 이외에 사용횟수가 증가하고 있는 Burn-Cut 시험발파를 실시하였다. Burn-Cut 의 경우 본 현장에서 사용하고 있지 않기 때문에 현장 패턴도를 구하지 못하여, 따라서 국내 터널 현장에서 사용하고 있는 패턴을 중심으로 시험발파를 실시하였다.

4.4.1 적용된 Burn-Cut 패턴

① 무장약공 1 공

1) 첫 번째 사각형

$$a = 1.5\phi, \quad W_1 = a\sqrt{2}$$

2) 두 번째 사각형

$$B_1 = W_1, \quad W_2 = 1.5 W_1 \sqrt{2}, \quad C_1 = 1.5 W_1$$

3) 세 번째 사각형

$$B_2 = W_2, \quad W_3 = 1.5 W_2 \sqrt{2}$$

4) 네 번째 사각형

$$B_3 = W_3, \quad W_4 = 1.5 W_3 \sqrt{2}, \quad C_3 = 1.5 W_2$$

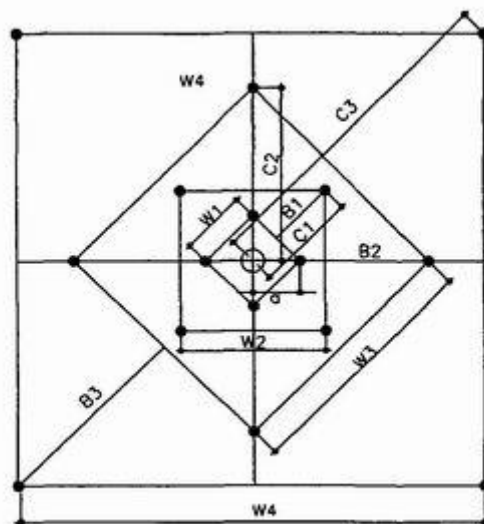


그림 4.11 무장약공 1 개

1) 첫 번째 사각형

$$a = 1.5\phi \sqrt{2}$$

2) 두 번째 사각형

$$C_2 = 1.6a, \quad W_2 = C_2 \sqrt{2}$$

3) 세 번째 사각형

$$B_2 = W_2, \quad C_3 = 1.5 W_2, \quad W_3 = 1.5 W_2 \sqrt{2}$$

$$B_3 = W_3, \quad C_4 = 1.5 W_3, \quad W_4 = 1.5 W_3 \sqrt{2}$$

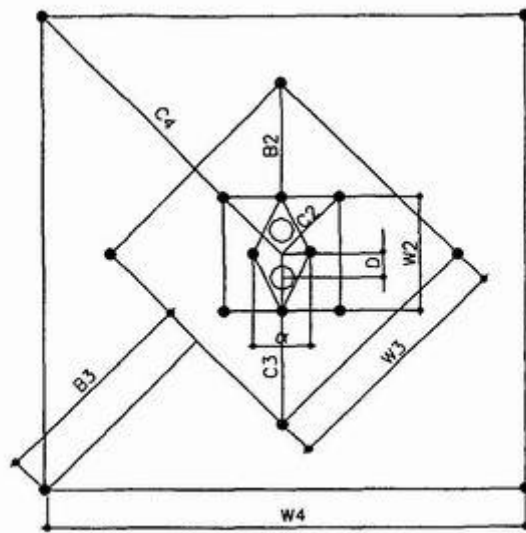


그림 4.12 무장약공 2 개

③ 무장약공 4 공

1) 첫 번째 사각형

$$a = 1.5\phi \sqrt{n}, \quad W_1 = a\sqrt{2}$$

2) 두 번째 사각형

$$B_1 = W_1, \quad W_2 = 1.5 W_1 \sqrt{2}$$

3) 세 번째 사각형

$$B_2 = W_2, \quad W_3 = 1.5 W_2 \sqrt{2}$$

4) 네 번째 사각형

$$B_3 = W_3 \times 0.7$$

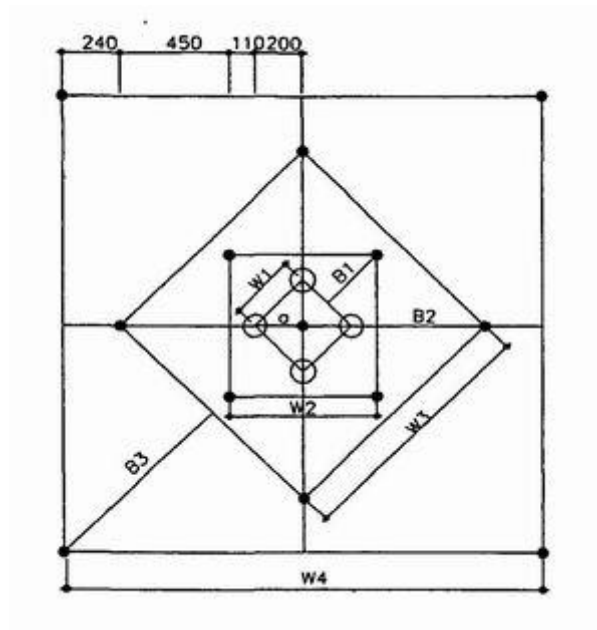


그림 4.13 무장약공 4 개

4.4.2 Burn-Cut 시험발파

Burn-Cut 시험발파는 무장약공의 개수를 1, 4 개로 각각 설계하여 실시하였다. 국내 설계식을 그대로 이용하였으며, 주변공, 바닥공 및 최외곽공의 경우는 V-Cut 시험발파시 최적의 패턴으로 얻어진 저항선 공간격을 그대로 적용하였다. 원주방향의 경우 절리가 많아 정확한발파결과를 얻기 어려워 강릉방향에서 실시한 데이터만을 설계에 반영했다.

① 파쇄입도

입도분포는 버력을 정리하는 과정을 단순화시킬뿐 아니라 발파면을 평탄하게 하기 위해서도 중요하다. 입도가 클 경우 소할발파를 해야할 위험도 생기며, 그만큼 시간적, 경제적 손실을 가져온다. 공간격이 크에도 불구하고 파쇄입도 균일하게 좋은 양상을 보였다. 심발공수를 크게 늘리지 않아도 좋은 입도를 보였다.

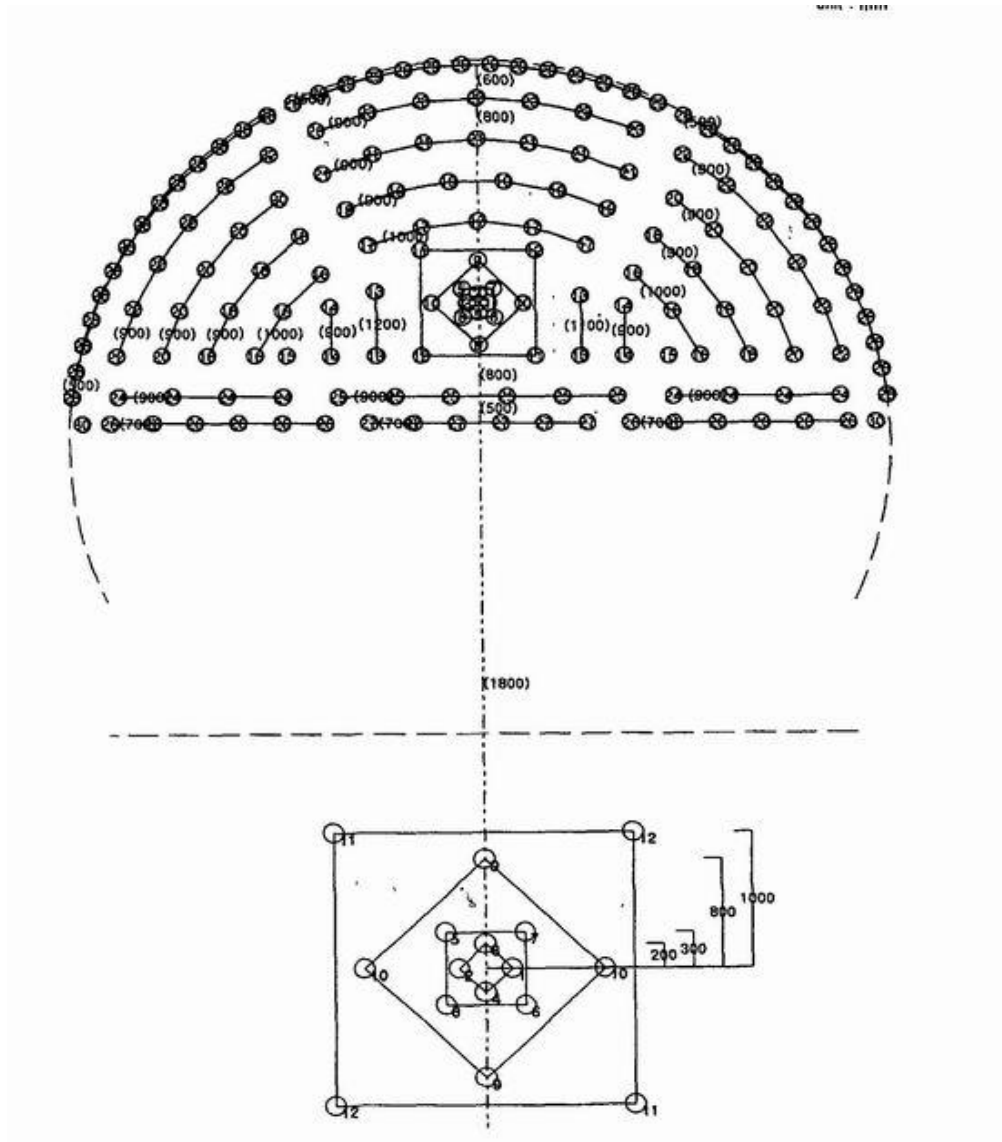


그림 4.14 강릉방향 Burn-Cut 시험발파(무장약공 1 개)

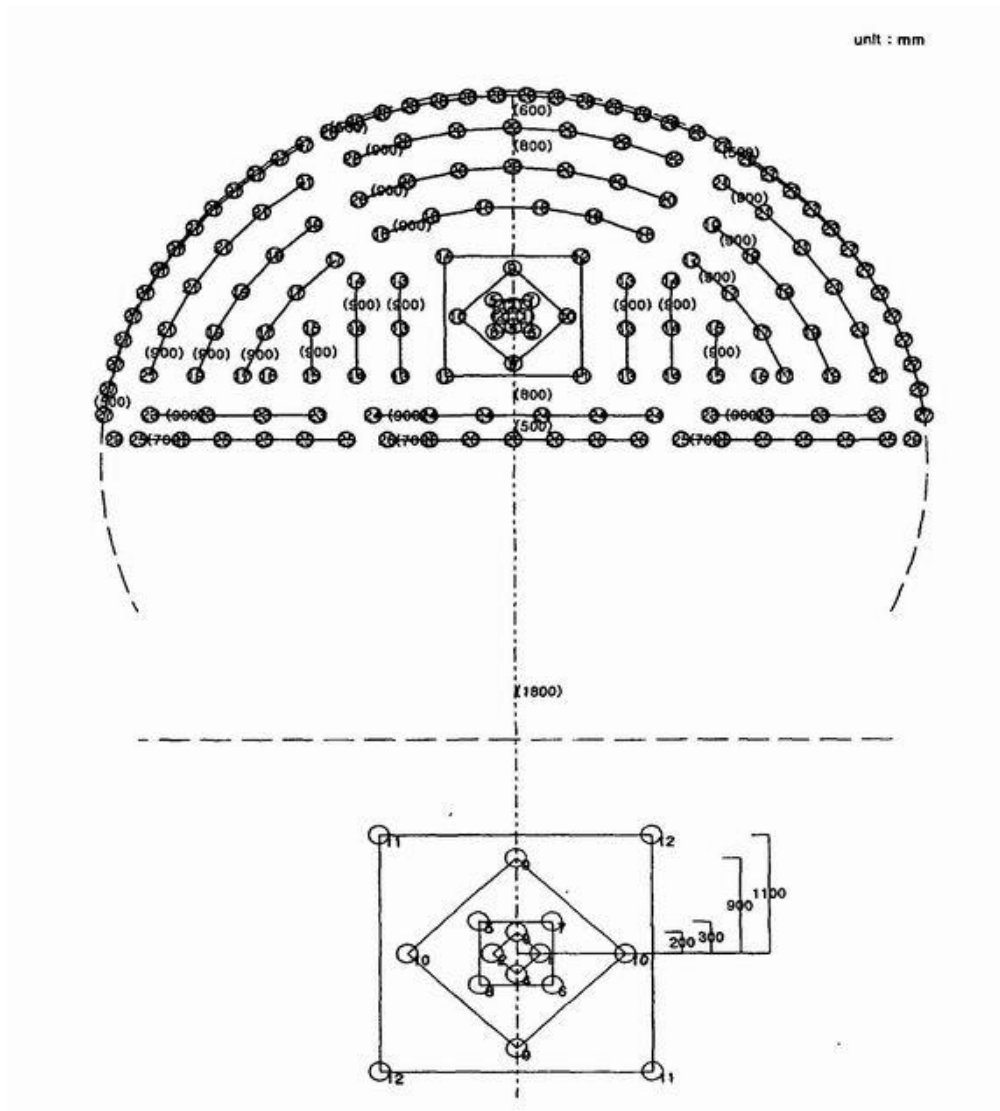


그림 4.15 강릉방향 Bum-Cut 시험발파(무장약공 4 개)

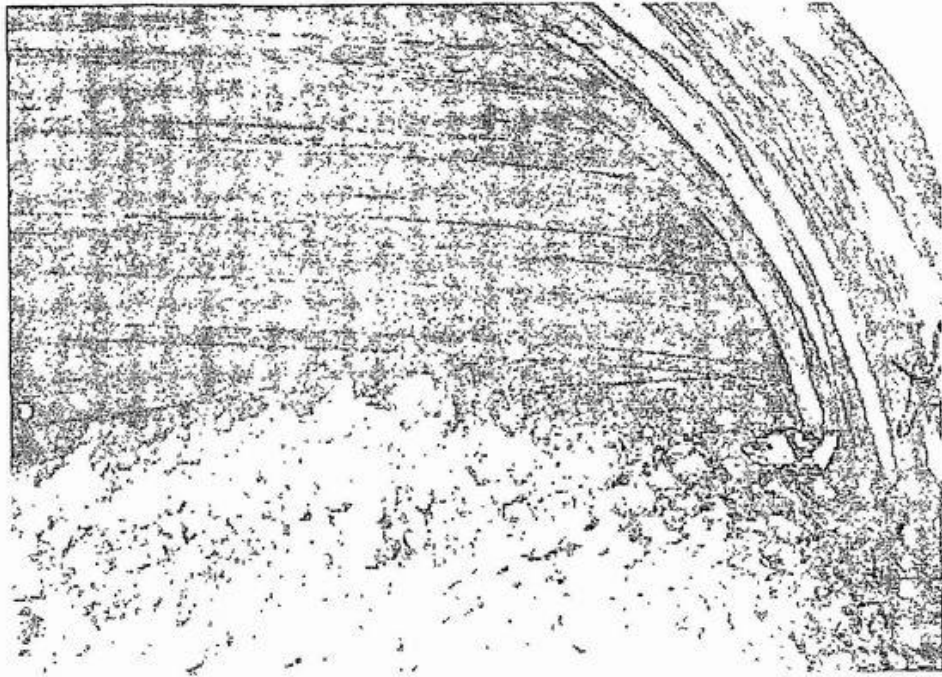


그림 4.16 Burn-Cut 시험발파후 버력이 쌓인 모습(강릉방향)

② 발파효율

무장약공 1 개의 경우 3.2m 천공에 2.9m 굴진으로 91%의 효율을 보였으며, 무장약공 4 개의 경우 3.2m 천공에 3.0m 굴진으로 94%의 효율을 나타냈다.

③ 최외곽 굴착면

심발이 초기부터 2 자유면 발파로 진행되면 확실하게 발파됨에 따라 주변공 및 외곽공의 발파가 순조롭게 이루어 질수 있다. 본 실험에서도 V-Cut 보다 굴착면이 다소 깨끗하게 나왔다. 특히 평행 천공만 정확히 될 경우 천공장을 정확히 파악할 수 있어, 막장면의 굴곡이 V-Cut 에 비해 부드럽게 나타났다.

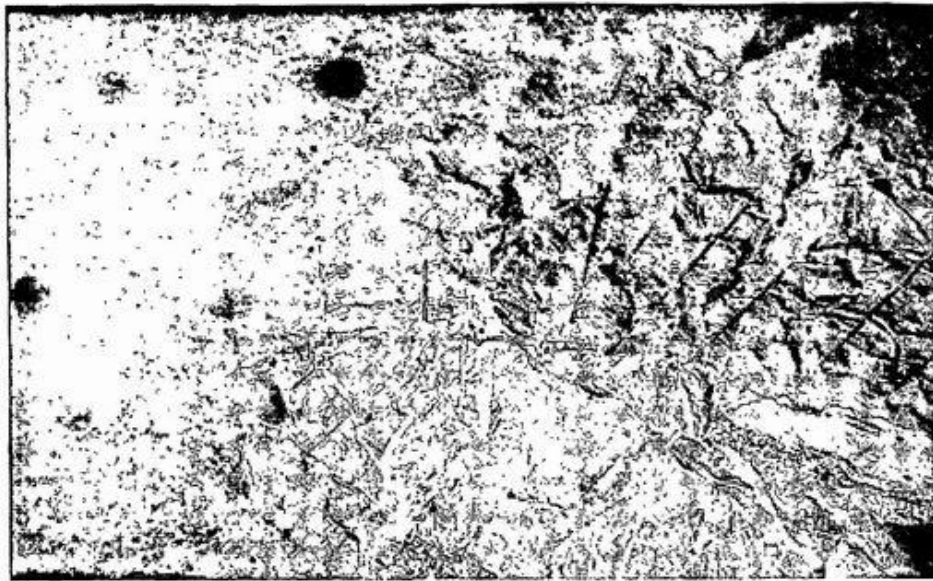


그림 4.17 발파후 최외곽공의 면이 매끄럽게 형성된 모습



그림 4.18 Burn-Cut 천공된 모습(무장약공 1 개)

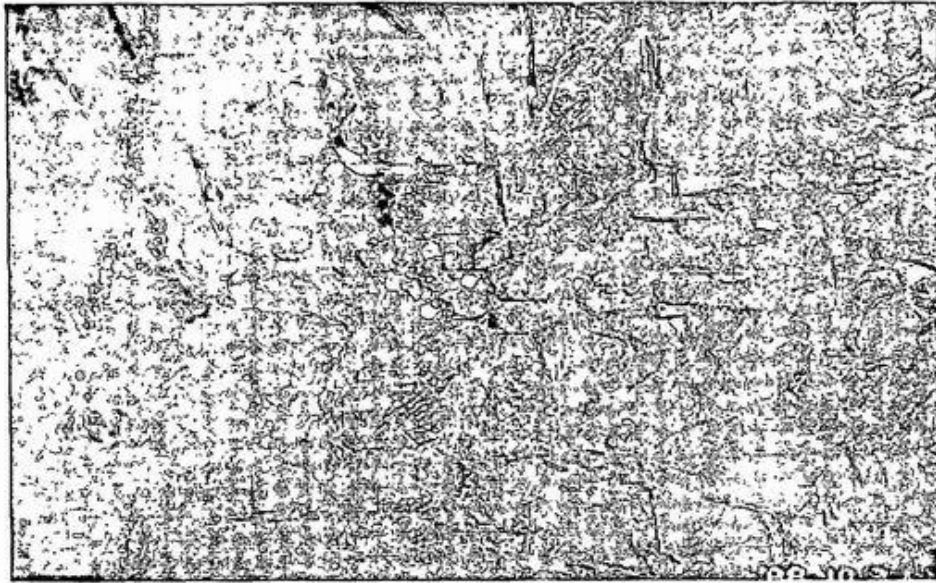
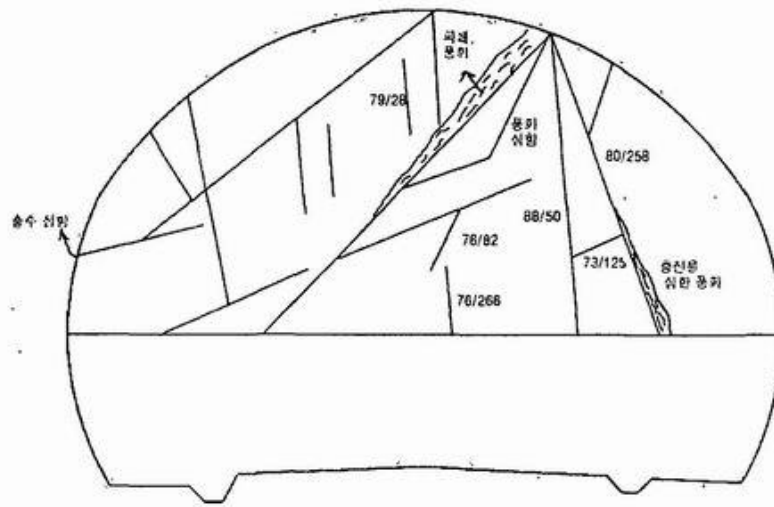


그림 4.19 Burn-Cut 천공된 모습(무장약공 4 개)

제 5 장 현장시험 결과분석

5.1 Mapping 자료에 의한 RMR 분류

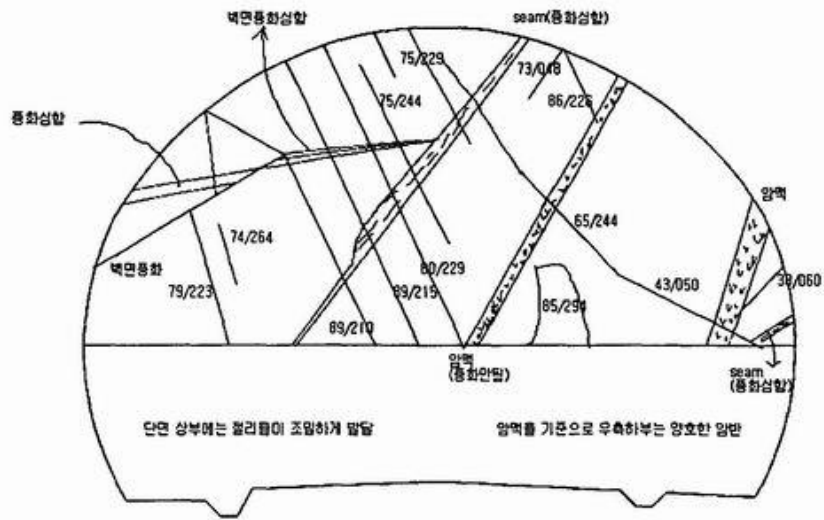
본 시험발파 현장은 갱구부에서 얼마 떨어지지 않은 지점에 막장면이 위치하고 있기 때문에 굴착에 따른 암반의 상태의 변화가 많았다. 따라서 RMR 값의 변화에 따른 발파결과를 비교해 보기가 좋은 조건이었다. 따라서 발파용이도 지수를 RMR 값으로 선정하였고 RMR 분류는 발파후 부석처리까지 끝난후에 실시하였다. 원주방향의 경우 암석강도는 작지 않았으나 절리 분포 및 부분적 풍화로 인해 RMR 값이 상당히 낮게 나타났다. 반면에 강릉방향터널의 경우 절리가 발파에 크게 영향을 미치지 않았기 때문에 RMR 점수가 비교적 높게 나타났다. 그림 5.1 에서 그림 5.6 까지는 막장면의 mapping 자료 및 각각의 RMR 분류값을 나타낸다. 절리의 경우 주절리를 형성하고 있는 몇 개의 군으로 나누어 주향과 경사를 측정하여 터널의 주향 및 경사와 비교하였다. 참고로 터널의 주향은 N45W(135)였다.



원주 방향 2+815.8

변수	측정값	평점
무결암의 강도	130 MPa	12
R.Q.D	40 %	10
절리간격	500 mm	11
절리상태	약간매끄러움, 부분적인 절리면의 연속	13
지하수	물방울 떨어짐	4
불연속면의 방향	불리	-10
총점		40

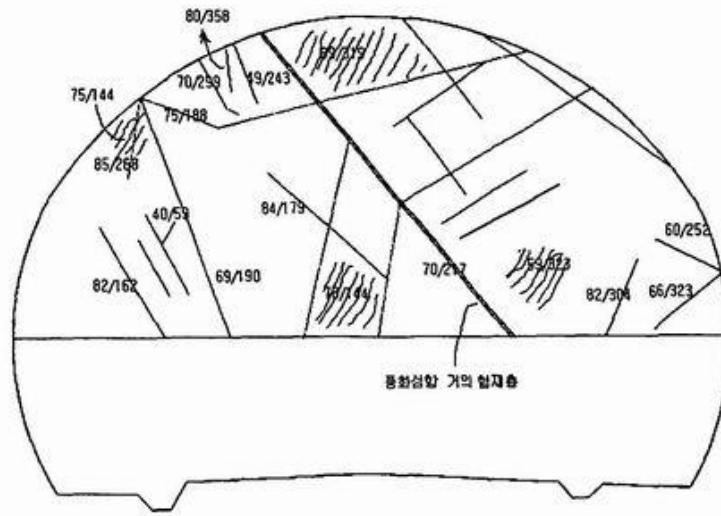
그림 5.1 원주방향 mapping 자료 1



원주방향 2.819.8

변수	측정값	평점
무결암의 강도	105 MPa	10
R.Q.D	20 %	3
절리간격	300 mm	9
절리상태	연약한충전물 >5mm, 분리틈새 >5mm 연속적	8
지하수	젖은상태	7
불연속면의 방향	불리	-10
총점		27

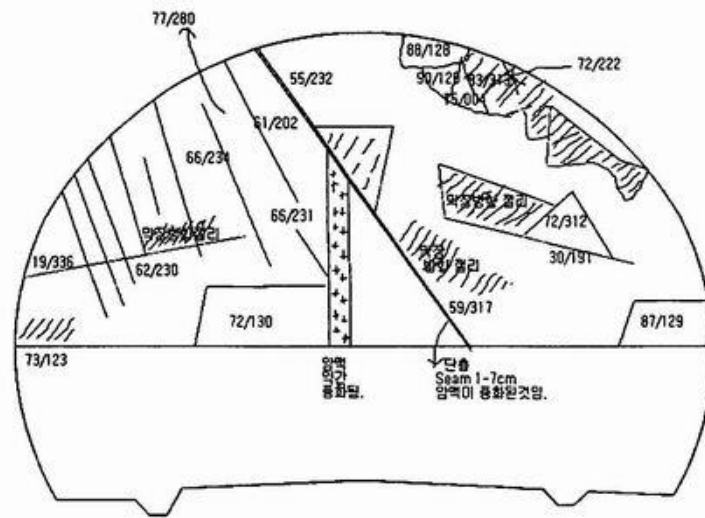
그림 5.3 원주방향 mapping 자료 3



강릉방향 2+822.3

변수	측정값	평점
무결암의 강도	140 MPa	12
R.Q.D	60 %	11
절리간격	0.7 m	12
절리상태	약간거침, 충전물없음, 약간풍화	19
지하수	물방울떨어짐	4
불연속면의 방향	보통	-5
총점		53

그림 5.4 강릉방향 mapping 자료 1



강릉방향 2+828.3

변수	측정값	평점
무결암의 강도	152 MPa	12
R.Q.D	63 %	12
절리간격	0.9 m	14
절리상태	약간거침, 충전물없음, 약간풍화	21
지하수	젖은상태	7
불연속면의 방향	보통	-5
총점		61

그림 5.5 강릉방향 mapping 자료 2

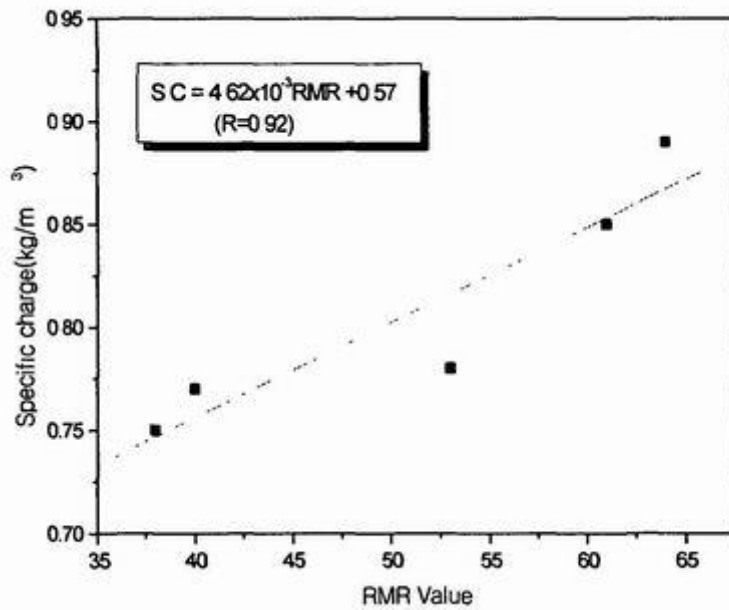


그림 5.7 RMR 과 비장약량과의 관계

발파효율의 경우 RMR 값과 0.88 의 상관계수를 갖는 것으로 나타났다. 특히 발파효율은 절리 분포특성과 상당히 높은 상관도를 보이는데, 터널의 주향과 절리의 주향 및 경사등이 영향을 미치는 것으로 보인다.

즉, 절리분포에서 낮은 점수를 받은 원주방향의 경우 효율이 떨어지는 것이 명확히 보였다. 따라서 절리가 많이 분포한 암반에서의 발파시에는 절리분포특성을 고려한 발파가 필요할 것으로 보인다.

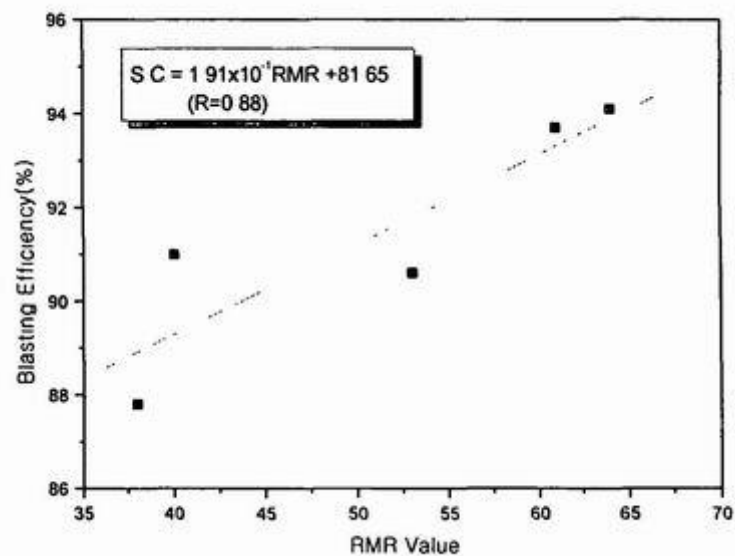


그림 5.8 RMR 값과 발파효율과의 상관관계

제 6 장 결 론

여굴 최소화를 위한 최적 발파패턴 설계방안에 관한 연구의 1 차년도 과업을 수행하기 위하여 터널발파 설계방법 및 이론적 방법을 조사 검토하였고 발파패턴에 따른 여굴량의 관계를 분석하고자 현장시험발파를 일부 수행하여 발파패턴에 따른 발파효율 분석과 발파패턴 및 암질조건에 따른 여굴발생량을 조사 분석하였다. 본 1 차년도 연구결과는 다음과 같다.

(1) 시험발파를 근거로 구한 비장약량과 그 발파시 비장약량의 상관관계를 분석하였다. 정확한 비장약량을 구하기 어렵기 때문에 여러측정 자료중 발파효율이 92%이상되는 자료에 대하여 RMR 과 비장약량을 회귀분석을 실시하였는데 상관계수가 0.92 로 밀접한 관계가 있는것으로 분석되었다. 이는 RMR 이 높을수록 단위부피의 암석을 발파하는데 소요되는 장약량이 증가함을 의미한다. 따라서 정확한 RMR 자료를 구한다면 암반상태을 고려한 지발당 장약량을 추측할 수 있을것으로 판단된다.

(2) 시험발파를 근거로 구한 발파효율과 RMR 의 상관관계를 분석하였는데 0.88 의 상관계수를 갖는것으로 나타났고 발파효율의 경우 절리 분포특성과 상당히 높은 상관도를 보인다. 즉 절리분포에서 낮은 점수를 받은 원주 방향의 경우 효율이 떨어지는 것이 명확히 나타났다. 따라서 절리가 많이 분포한 암반에서의 발파시에는 절리분포특성을 고려한 발파가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 굴진장/천공장의 비로 표시되는 발파효율을 현장발파패턴과 시험발파패턴 비교하였을때, 현장발파패턴은 원주방향 91%, 강릉방향 94% 이고 시험발파패턴은 원주방향 91%, 강릉방향 96%의 발파효율을 나타내었다.

(4) 터널의 안정성과 슛크리트양과 직접적인 관련이 있는 여굴량을 비교하였을 때, 여굴량은 현장발파패턴>시험발파패턴 순으로 나타났다. 발파효율 측면에서는 비슷하지만 여굴량 비교에서는 시험발파패턴이 상당히 적게 나왔다.

부 록

■ 부록 : 대관령 1 터널 여굴측정결과 대관령터널 내공 단면측량 결과

공사명 : 영동고속도로 확장공사	터널이름	대관령 1
발주자 : 한국도로공사	측량기관	대광기술
측량자 : ce	측량일자	1998.10.22-31

* 여굴량 계산 결과

상행 선 (원주방향)

sta.	여굴면적(+)	(-)	합계	측량길이	평균여굴량
2817.35	1.897	1 122	0.775	19.380	0.040
2819.41	2 905	0.504	2.401	24.482	0 098
2821.38	1.281	2.772	-1.491	22.934	-0.065
2823.63	0.178	6 101	-5.923	23.689	-0.250
2825.28	0.074	5 721	-5.647	22.842	-0.247
2831.89	4.192	1 367	2.825	24.539	0.115

하행선 (강릉방향)

sta.	여굴면적(+)	(-)	합계	측량길이	평균여굴량
2828.21	7.262	0.019	7.243	22.834	0.316
2830.25	4.408	-	4.408	19.507	0.226
2832.88	6.984	-	6.984	20.242	0.345
2835.91	4.627	0 012	4.615	21.219	0.218
2838.93	4.666	0.253	4.413	21.332	0.207
2841.23	4.775	9 232	-4.457	21.301	-0.209
2844.23	3.810	0 117	3.693	20.656	0.179
2849.38	5.086	-	5.086	21.214	0.240
2855.36	7.674	-	7.674	21.288	0.360

측량기 위치 데이터

date	time	방향	N	E	EL	prism
23	1 20:30	W	462887.198	176292.111	756.435	-.267
	2 20:40	K	462847.002	176275.220	753.398	-.267
24	3 17:50	K	462847.424	176278.169	753.447	-.267
25	4 13:40	W	462886.803	176294.360	754.084	-.267
	5 17:30	K	462845.683	176280.142	753.337	-.267
26	6 09:47	W	462881.967	176293.320	753.844	-.267
	7 15:00	K	462843.058	176281.927	753.278	-.267
27	8 08:30	K	462840.586	176283.819	733.478	-.267
	9 13:20	W	462882.059	176296.161	753.978	-.267
	11 22:40	K	462839.377	176285.796	753.711	-.267
28	12 14:35	W	462882.17	176298.265	753.83	-.267
	13 20:00	K	462840.202	176290.282	753.370	-.267
30	14 20:20	K	462833.678	176291.682	753.607	-.267
31	15 09:00	K	462830.818	176297.044	753.273	-.210
	16 16:50	W	462875.127	176301.358	752.794	-.267

측량기 위치 계산 (강릉방향)

#	N	E	TM	dx	EL	DL	dy
	462k+	176k+	2k+		750+	750+	el-dl
2	847.002	275.220	828.21	1.152	3.131	0.346	2.785
3	847.424	278.169	830.25	-1.014	3.180	0.325	2.855
5	845.683	280.142	832.88	-0.881	3.070	0.297	2.773
7	843.058	281.927	835.91	-0.061	3.011	0.249	2.762
8	840.586	283.819	838.93	0.817	3.211	0.219	2.992
11	839.377	285.796	841.23	0.532	3.444	0.185	3.259
13	840.202	290.282	844.23	-2.907	3.103	0.145	2.958
14	833.678	291.682	849.38	1.325	3.340	0.078	3.262
15	830.818	297.044	855.36	0.224	3.063	-0.012	3.075

측량기 위치 제산 (원주방향)

#	N	E	TM	dx	EL	DL	dy
	462k+	176k+	2k+		750+	750+	el-dl
1	887.198	292.111	817.35	-1.104	6.168	0.277	5.891
4	886.803	294.360	819.41	-2.001	3.817	0.257	3.560
6	881.967	293.320	821.38	2.537	3.577	0.227	3.350
9	882.059	296.161	823.63	0.810	3.711	0.207	3.504
12	882.17	298.265	825.28	-0.505	3.563	0.189	3.374
16	875.127	301.358	831.89	3.424	2.527	0.102	3.425

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre : 2831.890

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

1	4.845	-9.108	8.208	2.658	0.000	
2	4.754	-7.092	8.142	2.838	0.192	
3	4.686	-5.040	8.092	3.013	0.374	
4	4.619	-3.078	8.036	3.177	0.547	
5	4.474	-1.044	7.897	3.343	0.764	
6	4.425	0.972	7.848	3.500	0.928	
7	4.327	2.952	7.745	3.648	1.108	
8	4.249	4.950	7.657	3.792	1.277	
9	4.214	6.984	7.607	3.937	1.431	
10	4.199	8.910	7.572	4.075	1.573	
11	4.094	11.970	7.429	4.274	1.818	

12	4.076	14.958	7.362	4.477	2.032
13	3.975	17.982	7.205	4.652	2.267
14	3.915	20.754	7.085	4.812	2.467
15	3.812	23.670	6.915	4.955	2.689
16	3.841	25.974	6.877	5.107	2.846
17	3.800	27.954	6.781	5.206	2.984
18	3.797	29.988	6.713	5.323	3.119
19	3.827	31.968	6.671	5.451	3.254
20	3.846	33.930	6.615	5.572	3.387
21	3.878	36.000	6.561	5.704	3.530
22	3.815	37.962	6.432	5.772	3.676
23	3.793	39.942	6.332	5.860	3.809
24	3.791	41.940	6.244	5.959	3.941
25	3.783	44.028	6.144	6.054	4.079
26	3.776	46.026	6.046	6.142	4.211
27	3.882	47.970	6.023	6.309	4.379
28	3.938	50.004	5.955	6.442	4.529
29	4.009	51.948	5.895	6.582	4.681
30	3.893	54.018	5.711	6.575	4.865
31	3.839	56.034	5.569	6.609	5.011
32	3.876	57.978	5.479	6.711	5.147
33	3.953	59.994	5.401	6.848	5.305
34	3.929	61.956	5.271	6.893	5.442
35	3.943	64.026	5.151	6.970	5.585
36	3.937	66.024	5.024	7.022	5.723
37	3.902	67.986	4.887	7.043	5.861
38	3.912	69.984	4.763	7.101	5.998
39	3.959	72.072	4.643	7.192	6.149
40	4.033	74.034	4.533	7.302	6.304
41	4.092	76.122	4.405	7.398	6.464
42	4.128	77.310	4.331	7.452	6.556
43	4.141	79.362	4.188	7.495	6.705
44	4.264	81.378	4.063	7.641	6.897

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre . 2831.890

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

45	4.415	83.304	3.939	7.810	7.107	
46	4.498	85.320	3.791	7.908	7.285	
47	4.503	87.318	3.635	7.923	7.442	
48	4.606	89.352	3.476	8.031	7.633	
49	4.686	91.386	3.311	8.110	7.817	
50	4.809	93.366	3.142	8.226	8.022	
51	5.112	95.346	2.948	8.515	8.370	
52	5.337	97.308	2.745	8.719	8.657	
53	5.506	99.360	2.529	8.858	8.915	
54	5.427	101.358	2.355	8.746	9.121	
55	5.365	103.338	2.186	8.645	9.317	
56	5.359	105.390	2.002	8.592	9.509	
57	5.517	107.352	1.779	8.691	9.754	
58	5.854	109.332	1.486	8.949	10.144	
59	5.874	111.330	1.287	8.897	10.349	
60	5.961	113.364	1.060	8.897	10.577	
61	6.128	115.344	0.801	8.963	10.844	
62	6.186	117.324	0.584	8.921	11.064	
63	6.192	119.376	0.387	8.821	11.286	
64	6.470	121.356	0.057	8.950	11.640	
65	6.604	123.336	-0.205	8.942	11.903	

66	6.751	125.352	-0.482	8.931	12.180
67	6.829	127.368	-0.721	8.852	12.431
68	6.960	129.402	-0.994	8.803	12.709
69	7.185	131.364	-1.324	8.818	13.039
70	7.430	133.362	-1.677	8.827	13.393
71	7.398	134.370	-1.749	8.713	13.527
72	7.502	135.378	-1.916	8.695	13.694
73	7.534	136.368	-2.029	8.624	13.828
74	7.618	137.358	-2.180	8.586	13.983
75	7.675	138.348	-2.311	8.526	14.127
76	7.817	139.392	-2.511	8.513	14.328
77	7.962	140.310	-2.703	8.510	14.520
78	8.069	141.390	-2.881	8.460	14.705
79	8.292	142.380	-3.144	8.487	14.969
80	8.330	143.352	-3.259	8.397	15.115
81	8.341	144.342	-3.353	8.287	15.260
82	8.412	145.350	-3.496	8.208	15.423
83	8.537	146.394	-3.686	8.150	15.622
84	8.647	147.384	-3.859	8.086	15.807
85	8.786	148.392	-4.059	8.030	16.014
86	8.933	149.400	-4.265	7.972	16.228
87	9.135	150.318	-4.512	7.949	16.476
88	9.267	151.344	-4.708	7.869	16.687
89	9.474	152.370	-4.970	7.819	16.954

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre : 2831.890

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4)

Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
90	9.548	153.396	-5.113	7.701	17.140	
91	9.667	154.368	-5.292	7.607	17.341	
92	9.795	155.358	-5.479	7.509	17.553	
93	9.916	156.384	-5.662	7.397	17.767	
94	10.020	157.320	-5.821	7.289	17.960	
95	10.140	158.364	-6.002	7.164	18.179	
96	10.174	159.372	-6.098	7.009	18.361	
97	10.182	160.362	-6.166	6.847	18.537	
98	10.107	161.352	-6.152	6.657	18.728	
99	10.022	162.378	-6.128	6.459	18.927	
100	10.316	163.332	-6.459	6.384	19.266	
101	10.547	164.340	-6.731	6.272	19.561	
102	10.605	165.366	-6.837	6.104	19.759	
103	10.666	166.374	-6.942	5.938	19.956	
104	10.723	167.382	-7.040	5.767	20.153	
105	10.784	168.318	-7.137	5.609	20.339	
106	10.858	169.380	-7.248	5.426	20.553	
107	11.017	170.334	-7.437	5.275	20.794	
108	10.952	171.342	-7.403	5.074	20.998	
109	11.044	172.332	-7.521	4.899	21.209	
110	11.140	173.340	-7.641	4.717	21.427	
111	11.334	174.366	-7.855	4.538	21.706	
112	11.372	175.374	-7.911	4.342	21.910	
113	11.468	176.328	-8.020	4.159	22.123	
114	11.569	177.354	-8.133	3.959	22.352	
115	11.676	178.398	-8.247	3.751	22.590	
116	11.776	179.316	-8.351	3.566	22.802	
117	11.854	180.342	-8.430	3.354	23.028	
118	11.953	181.314	-8.526	3.151	23.253	
119	11.898	182.376	-8.464	2.932	23.481	
120	11.849	183.330	-8.405	2.737	23.684	
121	11.853	184.356	-8.395	2.525	23.896	
122	11.876	185.364	-8.400	2.315	24.106	
123	11.897	186.336	-8.400	2.112	24.309	
124	11.927	187.434	-8.403	1.882	24.539	
1					41.168	

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre : 2831.890

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no	Distance	Corner
1	1	0.373	
2	1	0.340	
3	1	0.327	
4	1	0.311	
5	1	0.218	
6	1	0.215	
7	1	0.161	
8	1	0.124	
9	1	0.127	
10	1	0.145	
11	2	0.073	
12	2	0.096	
13	2	0.032	
14	2	0.000	
15	2	-0.079	

16	2	-0.035
17	2	-0.066
18	2	-0.061
19	2	-0.026
20	2	-0.004
21	2	0.028
22	2	-0.037
23	2	-0.063
24	2	-0.072
25	2	-0.090
26	2	-0.108
27	2	-0.017
28	2	0.022
29	2	0.073
30	2	-0.064
31	2	-0.141
32	2	-0.131
33	2	-0.085
34	2	-0.139
35	2	-0.161
36	2	-0.203
37	2	-0.274
38	2	-0.306
39	2	-0.306
40	2	-0.282
41	2	-0.278
42	2	-0.274
43	2	-0.317
44	2	-0.260
45	2	-0.178

A.M.T. DATA SYSTEM DISTANCE COMPUTAT Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
 Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre : 2831.890

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
46	2	-0.165	
47	2	-0.226	
48	2	-0.202	
49	2	-0.203	
50	2	-0.166	
51	2	0.027	
52	2	0.147	
53	2	0.209	
54	2	0.051	
55	2	-0.094	
56	2	-0.194	
57	2	-0.151	
58	2	0.041	
59	2	-0.044	
60	2	-0.077	
61	2	-0.042	
62	2	-0.103	
63	2	-0.215	
64	2	-0.095	
65	2	-0.100	
66	2	-0.099	
67	2	-0.160	
68	2	-0.179	
69	2	-0.116	
70	2	-0.041	

71	2	-0.136
72	2	-0.116
73	2	-0.156
74	2	-0.153
75	2	-0.173
76	2	-0.124
77	2	-0.064
78	2	-0.048
79	2	0.075
80	2	0.038
81	2	-0.024
82	2	-0.034
83	2	-0.001
84	2	0.023
85	2	0.072
86	2	0.128
87	2	0.240
88	2	0.282
89	2	0.392
90	2	0.383

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 31 OCT 1998

-----Prof

ile no. : 16 / UP-7 Tunnelmetre : 2831.890

Th profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no. Seg.no. Distance Corner

91	2	0.419
92	2	0.463
93	2	0.497
94	2	0.524
95	2	0.558
96	2	0.516
97	2	0.452
98	2	0.312
99	2	0.161
100	2	0.363
101	2	0.505
102	2	0.487
103	2	0.473
104	2	0.457
105	2	0.450
106	2	0.447
107	2	0.532
108	2	0.405
109	2	0.426
110	2	0.452
111	2	0.570
112	3	0.543
113	3	0.575
114	3	0.611
115	3	0.653
116	3	0.698
117	3	0.718
118	3	0.763
119	3	0.657
120	3	0.563
121	3	0.519
122	3	0.497
123	3	0.476
124	3	0.461

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

1	7.148	-0.936	6.642	3.407	0.000	
2	7.335	0.216	6.830	3.552	0.237	
3	7.551	1.473	7.044	3.718	0.508	
4	7.695	2.480	7.182	3.857	0.704	
5	7.865	3.609	7.344	4.019	0.933	
6	7.880	5.058	7.344	4.219	1.133	
7	7.632	5.637	7.090	4.274	1.393	
8	7.406	6.048	6.860	4.304	1.625	
9	7.366	7.020	6.806	4.424	1.757	
10	7.269	8.082	6.692	4.546	1.924	
11	7.159	9.036	6.565	4.648	2.087	
12	7.164	10.080	6.548	4.778	2.217	
13	7.282	11.052	6.642	4.920	2.387	
14	7.432	12.978	6.737	5.193	2.676	
15	7.226	14.796	6.481	5.369	2.987	
16	7.045	15.858	6.272	5.449	3.211	
17	7.000	16.704	6.200	5.536	3.324	
18	6.920	17.784	6.084	5.638	3.478	
19	6.859	18.810	5.988	5.736	3.616	
20	6.774	19.836	5.867	5.823	3.764	
21	6.708	20.844	5.764	5.911	3.900	

22	6.687	21.816	5.703	6.009	4.016
23	6.691	22.716	5.667	6.108	4.121
24	6.726	23.850	5.647	6.244	4.258
25	6.781	25.038	5.639	6.394	4.408
26	6.856	25.956	5.659	6.525	4.541
27	6.945	27.054	5.680	6.683	4.700
28	6.900	28.008	5.587	6.764	4.824
29	6.852	29.016	5.487	6.848	4.954
30	6.808	30.024	5.389	6.930	5.082
31	6.776	31.014	5.302	7.015	5.204
32	6.740	32.004	5.211	7.096	5.326
33	6.695	33.084	5.105	7.179	5.460
34	6.586	34.002	4.955	7.207	5.613
35	6.448	35.046	4.774	7.227	5.795
36	6.511	36.036	4.760	7.354	5.923
37	6.475	37.044	4.663	7.425	6.043
38	6.332	38.088	4.479	7.430	6.228
39	6.302	39.006	4.392	7.490	6.333
40	6.246	40.014	4.279	7.540	6.457
41	6.191	41.040	4.165	7.589	6.581
42	6.204	42.030	4.103	7.678	6.689
43	6.175	43.020	4.010	7.737	6.800
44	6.152	44.010	3.920	7.798	6.909

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
45	6.133	45.054	3.828	7.865	7.022	
46	6.085	46.080	3.716	7.907	7.142	
47	6.077	47.070	3.634	7.973	7.247	
48	5.987	48.060	3.496	7.977	7.385	
49	5.958	49.050	3.400	8.024	7.492	
50	5.922	50.076	3.296	8.066	7.604	
51	5.824	51.084	3.154	8.055	7.747	
52	5.803	52.092	3.060	8.103	7.851	
53	5.796	53.082	2.976	8.158	7.952	
54	5.780	54.090	2.885	8.205	8.055	
55	5.768	55.080	2.797	8.253	8.155	
56	5.780	56.088	2.720	8.321	8.257	
57	5.777	57.096	2.633	8.374	8.359	
58	5.711	58.086	2.514	8.372	8.478	
59	5.641	59.040	2.397	8.361	8.596	
60	5.553	60.084	2.264	8.337	8.731	
61	5.473	61.056	2.144	8.313	8.854	
62	5.416	62.064	2.032	8.309	8.965	
63	5.393	63.036	1.940	8.331	9.060	
64	5.441	64.098	1.872	8.418	9.171	
65	5.612	65.034	1.864	8.612	9.364	
66	5.743	66.096	1.822	8.774	9.532	
67	5.837	67.050	1.771	8.899	9.667	
68	5.857	68.040	1.685	8.956	9.770	
69	5.825	69.102	1.573	8.966	9.883	
70	5.915	70.038	1.514	9.084	10.014	
71	5.850	71.028	1.397	9.056	10.135	
72	5.832	72.072	1.290	9.073	10.243	
73	5.780	73.026	1.182	9.052	10.353	
74	5.610	74.106	1.031	8.920	10.554	
75	5.505	75.060	0.914	8.843	10.694	
76	5.383	76.068	0.791	8.749	10.849	
77	5.176	78.084	0.564	8.588	11.127	
78	5.056	80.064	0.367	8.504	11.341	
79	5.132	82.044	0.205	8.607	11.532	
80	5.095	84.024	0.025	8.591	11.713	
81	4.903	86.112	-0.173	8.416	11.977	
82	4.941	88.074	-0.339	8.462	12.150	
83	4.953	90.054	-0.510	8.477	12.322	
84	4.958	92.052	-0.683	8.479	12.494	
85	5.130	94.140	-0.875	8.641	12.746	
86	5.294	96.048	-1.063	8.789	12.985	
87	5.159	98.136	-1.235	8.631	13.218	
88	5.012	100.098	-1.384	8.458	13.446	
89	4.920	102.060	-1.533	8.335	13.640	

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

90	4.938	104.058	-1.704	8.314	13.812	
91	5.021	106.128	-1.900	8.347	14.011	
92	5.109	108.090	-2.091	8.380	14.205	
93	5.094	110.106	-2.256	8.308	14.385	
94	5.065	112.140	-2.414	8.216	14.568	

95	5.175	114.102	-2.618	8.248	14.775
96	5.150	116.118	-2.772	8.148	14.958
97	5.181	118.134	-2.948	8.093	15.142
98	5.160	120.096	-3.092	7.988	15.321
99	5.153	121.122	-3.168	7.935	15.413
100	5.198	122.112	-3.268	7.927	15.513
101	5.200	123.066	-3.342	7.882	15.600
102	5.231	124.128	-3.440	7.854	15.702
103	5.275	125.118	-3.540	7.839	15.802
104	5.318	126.126	-3.640	7.819	15.905
105	5.347	127.134	-3.733	7.787	16.003
106	5.364	128.142	-3.818	7.743	16.099
107	5.428	129.132	-3.931	7.734	16.212
108	5.387	130.122	-3.976	7.643	16.314
109	5.405	131.094	-4.058	7.597	16.407
110	5.400	132.102	-4.125	7.531	16.503
111	5.436	133.092	-4.219	7.494	16.603
112	5.479	134.064	-4.315	7.461	16.705
113	5.482	135.144	-4.391	7.391	16.808
114	5.504	136.134	-4.473	7.338	16.906
115	5.550	137.106	-4.571	7.302	17.010
116	5.620	138.114	-4.689	7.276	17.131
117	5.707	139.140	-4.821	7.258	17.264
118	5.703	140.130	-4.882	7.180	17.363
119	5.665	141.138	-4.916	7.078	17.470
120	5.661	142.092	-4.972	7.002	17.564
121	5.723	143.064	-5.079	6.963	17.679
122	5.728	144.108	-5.145	6.882	17.784
123	5.773	145.134	-5.242	6.824	17.896
124	5.793	146.124	-5.315	6.753	17.998
125	5.867	147.078	-5.430	6.713	18.120
126	5.929	148.140	-5.541	6.654	18.246
127	5.937	149.094	-5.599	6.573	18.345
128	6.007	150.120	-5.713	6.517	18.472
129	6.011	151.128	-5.769	6.426	18.578
130	6.031	152.136	-5.837	6.343	18.686
131	6.031	153.126	-5.885	6.250	18.790
132	6.086	154.098	-5.980	6.183	18.907
133	6.184	155.088	-6.114	6.129	19.051
134	6.309	156.114	-6.274	6.079	19.219

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

135	6.311	157.122	-6.320	5.978	19.330	
136	6.309	158.130	-6.360	5.874	19.441	
137	6.267	159.120	-6.360	5.758	19.557	
138	6.236	160.092	-6.368	5.647	19.668	
139	6.264	161.082	-6.431	5.555	19.780	
140	6.295	162.090	-6.495	5.460	19.894	
141	6.318	163.116	-6.551	5.359	20.010	
142	6.420	164.124	-6.680	5.280	20.161	
143	6.465	165.132	-6.754	5.183	20.283	
144	6.481	166.140	-6.797	5.077	20.398	
145	6.471	167.058	-6.812	4.973	20.502	
146	6.393	168.084	-6.760	4.844	20.641	
147	6.331	169.092	-6.722	4.722	20.769	
148	6.304	170.118	-6.715	4.606	20.886	

149	6.269	171.108	-6.699	4.493	21.000	
150	6.386	172.098	-6.830	4.402	21.160	
151	6.476	173.124	-6.934	4.299	21.306	
152	6.557	174.078	-7.027	4.201	21.441	
153	6.738	175.086	-7.218	4.101	21.657	
154	6.904	176.094	-7.393	3.994	21.862	
155	6.876	177.102	-7.372	3.872	21.986	
156	6.877	178.074	-7.378	3.755	22.103	
157	6.851	179.118	-7.355	3.629	22.231	
158	6.836	180.054	-7.341	3.518	22.343	
159	6.858	181.080	-7.362	3.395	22.468	
160	6.831	182.106	-7.331	3.273	22.593	
161	6.824	183.132	-7.319	3.151	22.716	
162	6.800	184.176	-7.287	3.029	22.842	

1

36.776

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel

Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
1	1	-0.961	
2	1	-0.735	
3	1	-0.477	
4	1	-0.298	
5	1	-0.087	

6	2	-0.027
7	2	-0.236
8	2	-0.431
9	2	-0.427
10	2	-0.472
11	2	-0.535
12	2	-0.485
13	2	-0.333
14	2	-0.110
15	2	-0.229
16	2	-0.356
17	2	-0.364
18	2	-0.395
19	2	-0.411
20	2	-0.451
21	2	-0.473
22	2	-0.455
23	2	-0.416
24	2	-0.339
25	2	-0.242
26	2	-0.136
27	2	-0.011
28	2	-0.018
29	2	-0.027
30	2	-0.032
31	2	-0.027
32	2	-0.026
33	2	-0.031
34	2	-0.103
35	2	-0.199
36	2	-0.106
37	2	-0.107
38	2	-0.209
39	2	-0.208
40	2	-0.230
41	2	-0.251
42	2	-0.208
43	2	-0.205
44	2	-0.198
45	2	-0.186

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
46	2	-0.202	
47	2	-0.182	
48	2	-0.241	
49	2	-0.242	
50	2	-0.249	
51	2	-0.317	
52	2	-0.312	
53	2	-0.293	
54	2	-0.284	
55	2	-0.271	
56	2	-0.236	
57	2	-0.215	
58	2	-0.257	
59	2	-0.304	
60	2	-0.367	

61	2	-0.424
62	2	-0.459
63	2	-0.462
64	2	-0.394
65	2	-0.209
66	2	-0.060
67	2	0.050
68	2	0.087
69	2	0.074
70	2	0.179
71	2	0.131
72	2	0.130
73	2	0.093
74	2	-0.059
75	2	-0.149
76	2	-0.256
77	2	-0.436
78	2	-0.532
79	2	-0.436
80	2	-0.454
81	2	-0.628
82	2	-0.575
83	2	-0.551
84	2	-0.535
85	2	-0.355
86	2	-0.185
87	2	-0.315
88	2	-0.460
89	2	-0.551
90	2	-0.535

AMT. DATA SYSTEM DISTANCE COMPUTAT Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
 Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
91	2	-0.456	
92	2	-0.374	
93	2	-0.397	
94	2	-0.437	
95	2	-0.339	
96	2	-0.378	
97	2	-0.364	
98	2	-0.403	
99	2	-0.421	
100	2	-0.386	
101	2	-0.395	
102	2	-0.376	
103	2	-0.345	
104	2	-0.315	
105	2	-0.300	
106	2	-0.297	
107	2	-0.248	
108	2	-0.303	
109	2	-0.300	
110	2	-0.321	
111	2	-0.302	
112	2	-0.276	
113	2	-0.292	

114	2	-0.288
115	2	-0.260
116	2	-0.211
117	2	-0.146
118	2	-0.170
119	2	-0.228
120	2	-0.252
121	2	-0.212
122	2	-0.230
123	2	-0.210
124	2	-0.213
125	2	-0.164
126	2	-0.129
127	2	-0.145
128	2	-0.103
129	2	-0.125
130	2	-0.133
131	2	-0.159
132	2	-0.132
133	2	-0.065
134	2	0.026
135	2	-0.001

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 28 OCT 1998

Profile no. : 12 / UP-6 Tunnelmetre : 2825.280
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
136	2	-0.032	
137	2	-0.102	
138	2	-0.162	
139	2	-0.165	
140	2	-0.167	
141	2	-0.177	
142	2	-0.112	
143	2	-0.101	
144	2	-0.119	
145	2	-0.160	
146	2	-0.269	
147	2	-0.362	
148	2	-0.423	
149	2	-0.491	
150	2	-0.415	
151	2	-0.366	
152	2	-0.324	
153	2	-0.189	
154	3	-0.069	
155	3	-0.133	
156	3	-0.168	
157	3	-0.232	
158	3	-0.281	
159	3	-0.299	
160	3	-0.363	
161	3	-0.408	
162	3	-0.470	

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel

Owner : Korea Highway Corp. · Surveying : Daekwang

Surveyor : ce

Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4

Tunnelmetre : 2823.630

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4)

Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
1	6.402	-6.318	7.173	2.799	0.000	
2	6.318	-4.266	7.110	3.034	0.243	
3	6.338	-2.322	7.143	3.247	0.458	
4	6.291	-0.270	7.101	3.474	0.689	
5	6.199	1.746	7.006	3.693	0.928	
6	6.110	3.708	6.907	3.899	1.156	
7	6.023	5.742	6.803	4.107	1.389	
8	6.010	7.758	6.765	4.315	1.601	
9	5.926	9.702	6.651	4.503	1.820	
10	5.933	11.664	6.620	4.703	2.023	
11	6.002	13.698	6.641	4.925	2.246	
12	6.063	15.480	6.653	5.122	2.443	
13	6.124	17.424	6.653	5.338	2.659	
14	6.158	19.422	6.618	5.552	2.875	
15	6.068	21.456	6.457	5.724	3.110	
16	5.952	23.436	6.271	5.871	3.348	
17	5.842	25.596	6.079	6.028	3.596	
18	5.807	27.666	5.953	6.200	3.810	
19	5.705	29.700	5.766	6.331	4.038	
20	5.664	31.752	5.626	6.485	4.246	
21	5.665	33.696	5.523	6.647	4.438	
22	5.519	35.766	5.288	6.730	4.687	
23	5.565	37.800	5.207	6.915	4.889	
24	5.602	39.726	5.119	7.084	5.080	

25	5.576	41.760	4.969	7.218	5.280
26	5.534	43.704	4.811	7.328	5.474
27	5.511	45.756	4.655	7.452	5.673
28	5.508	47.718	4.516	7.579	5.861
29	5.499	49.734	4.364	7.700	6.055
30	5.376	51.768	4.137	7.727	6.284
31	5.226	53.730	3.902	7.717	6.519
32	5.128	55.728	3.698	7.742	6.725
33	5.181	57.726	3.576	7.885	6.912
34	5.149	59.778	3.402	7.953	7.100
35	5.021	61.740	3.187	7.927	7.316
36	5.045	63.720	3.044	8.028	7.492
37	4.968	65.754	2.850	8.034	7.685
38	4.999	67.788	2.700	8.132	7.865
39	4.985	69.768	2.534	8.181	8.038
40	5.128	71.748	2.416	8.374	8.264
41	5.067	73.764	2.227	8.369	8.453
42	5.304	75.726	2.118	8.644	8.749
43	5.239	77.778	1.919	8.624	8.949
44	5.241	79.794	1.739	8.662	9.133

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
 Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4 Tunnelmetre : 2823.630
 Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point Distance Angle X-Coord. Y-Coord. Perimeter Note

No.	measured	measured	to axis	to axis	of. profile
45	5.473	81.756	1.595	8.920	9.429
46	5.435	83.808	1.396	8.907	9.628
47	5.355	85.770	1.205	8.844	9.829
48	5.316	87.768	1.017	8.816	10.019
49	5.263	89.820	0.827	8.767	10.216
50	5.209	91.764	0.650	8.711	10.402
51	5.183	92.772	0.559	8.681	10.497
52	5.158	93.798	0.468	8.651	10.593
53	5.144	94.806	0.379	8.630	10.684
54	5.143	95.778	0.292	8.621	10.772
55	5.236	96.768	0.193	8.704	10.901
56	5.173	97.758	0.112	8.630	11.011
57	5.178	98.784	0.019	8.621	11.104
58	5.189	99.792	-0.073	8.617	11.195
59	5.235	100.782	-0.169	8.647	11.296
60	5.277	101.754	-0.265	8.670	11.395
61	5.312	102.744	-0.362	8.685	11.493
62	5.363	103.770	-0.467	8.713	11.601
63	5.492	104.814	-0.594	8.813	11.764
64	5.463	105.822	-0.679	8.760	11.865
65	5.431	106.794	-0.759	8.703	11.962
66	5.535	107.766	-0.879	8.775	12.102
67	5.698	108.738	-1.020	8.900	12.291
68	5.798	109.746	-1.149	8.961	12.433
69	5.788	110.736	-1.239	8.917	12.533
70	5.814	111.816	-1.351	8.902	12.646
71	5.818	112.788	-1.443	8.868	12.745
72	5.808	113.760	-1.530	8.820	12.844
73	5.776	114.768	-1.610	8.749	12.950
74	5.717	115.794	-1.678	8.651	13.069
75	5.796	116.820	-1.805	8.677	13.199
76	5.874	117.810	-1.930	8.700	13.326
77	5.941	118.782	-2.050	8.711	13.447
78	5.995	119.772	-2.167	8.708	13.563
79	6.054	120.780	-2.288	8.705	13.685
80	6.083	121.806	-2.396	8.674	13.797
81	6.092	122.814	-2.491	8.624	13.905
82	6.106	123.804	-2.587	8.578	14.011
83	6.156	124.776	-2.701	8.560	14.126
84	6.146	125.766	-2.782	8.491	14.233
85	5.915	126.774	-2.731	8.242	14.487
86	5.436	127.782	-2.520	7.800	14.977
87	5.384	128.736	-2.559	7.704	15.081
88	5.429	129.798	-2.665	7.675	15.190
89	5.498	130.770	-2.780	7.668	15.306

A.M.T DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no : 9 / UP-4 Tunnelmetre . 2823.630

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
--------------	----------------------	-------------------	---------------------	---------------------	-------------------------	------

90	5.542	131.760	-2.881	7.638	15.411	
91	5.577	132.786	-2.978	7.597	15.517	
92	5.629	133.812	-3.087	7.566	15.630	
93	5.718	134.802	-3.219	7.561	15.762	
94	6.189	135.774	-3.625	7.821	16.244	

95	6.404	136.764	-3.856	7.891	16.485
96	6.456	137.772	-3.971	7.843	16.609
97	6.478	138.798	-4.064	7.771	16.727
98	6.530	139.806	-4.178	7.718	16.853
99	6.591	140.796	-4.297	7.670	16.981
100	6.661	141.786	-4.424	7.624	17.116
101	6.660	142.758	-4.492	7.535	17.229
102	6.725	143.766	-4.614	7.479	17.363
103	6.705	144.792	-4.668	7.370	17.485
104	6.694	145.818	-4.728	7.265	17.605
105	6.732	146.790	-4.822	7.191	17.725
106	6.738	147.780	-4.890	7.097	17.842
107	6.769	148.752	-4.977	7.015	17.961
108	6.915	149.760	-5.164	6.987	18.150
109	6.945	150.786	-5.252	6.894	18.278
110	7.034	151.794	-5.389	6.829	18.429
111	7.113	152.784	-5.516	6.757	18.575
112	7.113	153.792	-5.572	6.645	18.700
113	7.244	154.800	-5.745	6.588	18.882
114	7.341	155.754	-5.883	6.519	19.037
115	7.503	156.780	-6.085	6.462	19.247
116	7.544	157.788	-6.174	6.356	19.385
117	7.642	158.778	-6.314	6.270	19.549
118	7.642	159.768	-6.360	6.147	19.681
119	7.596	160.794	-6.363	6.003	19.825
120	7.619	161.730	-6.425	5.893	19.952
121	7.693	162.774	-6.538	5.782	20.110
122	7.911	163.764	-6.785	5.716	20.366
123	7.991	164.772	-6.900	5.603	20.527
124	7.849	165.798	-6.799	5.430	20.728
125	7.687	166.716	-6.671	5.270	20.932
126	7.616	167.778	-6.633	5.116	21.091
127	7.646	168.732	-6.689	4.998	21.221
128	7.809	169.740	-6.874	4.895	21.433
129	7.957	170.730	-7.043	4.786	21.634
130	7.627	171.720	-6.737	4.602	21.991
131	7.610	172.746	-6.739	4.465	22.128
132	7.550	173.700	-6.694	4.332	22.268
133	7.541	174.762	-6.700	4.192	22.408
134	7.602	175.770	-6.771	4.065	22.555

A.MT. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel

Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4 Tunnelmetre : 2823.630

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

135	7.538	176.796	-6.716	3.925	22.705	
136	7.553	177.732	-6.737	3.803	22.829	
137	7.555	178.794	-6.743	3.663	22.969	
138	7.541	179.766	-6.731	3.535	23.098	
139	7.502	180.720	-6.691	3.410	23.229	
140	7.584	181.746	-6.770	3.273	23.387	
141	7.592	182.754	-6.773	3.139	23.521	
142	7.672	183.870	-6.845	2.986	23.689	

A.MT DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel

Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce

Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4

Tunnelmetre : 2823.630

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4)

Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
1	1	-0.616	
2	1	-0.622	
3	1	-0.533	
4	1	-0.505	
5	1	-0.521	
6	1	-0.537	
7	2	-0.567	
8	2	-0.512	
9	2	-0.528	
10	2	-0.459	
11	2	-0.331	
12	2	-0.219	
13	2	-0.103	
14	2	-0.014	
15	2	-0.045	
16	2	-0.105	
17	2	-0.157	
18	2	-0.141	
19	2	-0.193	
20	2	-0.188	
21	2	-0.146	
22	2	-0.248	
23	2	-0.165	
24	2	-0.094	
25	2	-0.086	
26	2	-0.097	

27	2	-0.089
28	2	-0.066
29	2	-0.049
30	2	-0.148
31	2	-0.277
32	2	-0.356
33	2	-0.287
34	2	-0.305
35	2	-0.421
36	2	-0.387
37	2	-0.456
38	2	-0.419
39	2	-0.430
40	2	-0.286
41	2	-0.347
42	2	-0.113
43	2	-0.183
44	2	-0.188
45	2	0.034

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & .C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4 Tunnelmetre : 2823.630
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no	Seg.no.	Distance	Corner
46	2	-0.016	

47	2	-0.109
48	2	-0.163
49	2	-0.234
50	2	-0.307
51	2	-0.344
52	2	-0.380
53	2	-0.406
54	2	-0.419
55	2	-0.339
56	2	-0.415
57	2	-0.424
58	2	-0.428
59	2	-0.397
60	2	-0.370
61	2	-0.352
62	2	-0.318
63	2	-0.209
64	2	-0.256
65	2	-0.305
66	2	-0.221
67	2	-0.080
68	2	-0.002
69	2	-0.032
70	2	-0.029
71	2	-0.046
72	2	-0.077
73	2	-0.131
74	2	-0.212
75	2	-0.159
76	2	-0.107
77	2	-0.066
78	2	-0.039
79	2	-0.008
80	2	-0.006
81	2	-0.025
82	2	-0.038
83	2	-0.017
84	2	-0.054
85	2	-0.306
86	2	-0.793
87	2	-0.870
88	2	-0.858
89	2	-0.821
90	2	-0.809

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4 Tunnelmetre : 2823.630
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
91	2	-0.807	
92	2	-0.790	
93	2	-0.737	
94	2	-0.321	
95	2	-0.149	
96	2	-0.134	
97	2	-0.148	
98	2	-0.134	
99	2	-0.111	
100	2	-0.080	
101	2	-0.116	

102	2	-0.091
103	2	-0.148
104	2	-0.197
105	2	-0.198
106	2	-0.230
107	2	-0.238
108	2	-0.139
109	2	-0.151
110	2	-0.107
111	2	-0.073
112	2	-0.113
113	2	-0.031
114	2	0.021
115	2	0.132
116	2	0.128
117	2	0.179
118	2	0.137
119	2	0.049
120	2	0.030
121	2	0.055
122	2	0.218
123	2	0.249
124	2	0.069
125	2	-0.124
126	2	-0.239
127	2	-0.253
128	2	-0.144
129	2	-0.049
130	2	-0.405
131	2	-0.468
132	2	-0.567
133	2	-0.624
134	2	-0.613
135	2	-0.720

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 27 OCT 1998

Profile no. : 9 / UP-4 Tunnelmetre : 2823.630
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
136	3	-0.748	
137	3	-0.795	
138	3	-0.852	
139	3	-0.931	
140	3	-0.899	
141	3	-0.936	
142	3	-0.909	

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

1	5.156	-0.036	7.693	3.347	0.000
2	5.115	0.936	7.651	3.434	0.096
3	5.135	1.998	7.669	3.529	0.193
4	5.121	2.934	7.651	3.612	0.278
5	5.090	3.978	7.615	3.703	0.376
6	5.081	4.986	7.599	3.792	0.466
7	5.096	5.976	7.605	3.881	0.555
8	5.141	6.966	7.640	3.974	0.655
9	5.150	7.920	7.638	4.060	0.741
10	5.123	8.946	7.598	4.147	0.837
11	5.064	9.972	7.524	4.227	0.945
12	5.029	10.962	7.474	4.306	1.039
13	4.984	11.952	7.413	4.382	1.137
14	4.972	12.870	7.384	4.457	1.217
15	4.970	13.806	7.363	4.536	1.299
16	4.942	14.778	7.316	4.611	1.387
17	4.897	15.840	7.248	4.687	1.489
18	4.839	16.560	7.175	4.729	1.573
19	4.840	17.658	7.149	4.818	1.666
20	4.846	18.720	7.127	4.905	1.756
21	4.735	19.692	6.995	4.946	1.894
22	4.722	20.610	6.957	5.012	1.970
23	4.724	21.672	6.927	5.095	2.058
24	4.727	22.716	6.897	5.175	2.144
25	4.726	23.760	6.862	5.254	2.230
26	4.635	24.912	6.741	5.302	2.361
27	4.616	25.866	6.691	5.364	2.440
28	4.625	26.946	6.660	5.446	2.528
29	4.583	27.882	6.588	5.493	2.614
30	4.551	28.908	6.521	5.550	2.702
31	4.561	29.934	6.490	5.626	2.784
32	4.544	30.996	6.432	5.690	2.870
33	4.567	31.896	6.414	5.763	2.945
34	4.502	33.012	6.312	5.803	3.055
35	4.540	33.894	6.306	5.882	3.134
36	4.536	34.938	6.255	5.948	3.217
37	4.453	35.946	6.142	5.964	3.332
38	4.424	36.954	6.072	6.010	3.415
39	4.428	37.998	6.026	6.076	3.496
40	4.457	38.934	6.004	6.151	3.574
41	4.481	39.960	5.972	6.228	3.658
42	4.497	40.950	5.934	6.297	3.737
43	4.504	41.940	5.887	6.360	3.815
44	4.477	42.930	5.815	6.399	3.897

AMT. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying , : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380
Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. 'date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
45	4.489	43.938	5.769	6.465	3.977	
46	4.493	44.964	5.716	6.525	4.057	
47	4.500	45.990	5.664	6.586	4.138	
48	4.504	46.962	5.611	6.642	4.215	
49	4.508	47.934	5.557	6.697	4.291	
50	4.425	49.932	5.385	6.736	4.468	
51	4.307	51.984	5.190	6.743	4.663	
52	4.282	53.946	5.057	6.812	4.813	
53	4.212	55.998	4.892	6.842	4.980	
54	4.324	58.014	4.827	7.018	5.167	

55	4.346	59.958	4.713	7.112	5.316
56	4.264	61.992	4.539	7.115	5.490
57	4.284	63.954	4.418	7.199	5.637
58	4.263	65.988	4.272	7.244	5.790
59	4.336	68.004	4.161	7.370	5.958
60	4.441	69.948	4.060	7.522	6.141
61	4.564	71.982	3.949	7.690	6.342
62	4.589	73.962	3.805	7.760	6.502
63	4.579	75.978	3.646	7.793	6.664
64	4.534	77.958	3.483	7.784	6.828
65	4.552	80.028	3.325	7.833	6.993
66	4.856	81.990	3.214	8.159	7.337
67	4.859	83.988	3.046	8.182	7.506
68	4.894	86.004	2.878	8.232	7.681
69	4.914	86.976	2.796	8.257	7.767
70	4.906	88.020	2.707	8.253	7.857
71	4.916	88.992	2.623	8.265	7.941
72	4.920	90.000	2.537	8.270	8.027
73	4.936	91.008	2.450	8.285	8.115
74	4.965	92.016	2.362	8.312	8.207
75	5.011	93.006	2.274	8.354	8.305
76	5.039	93.978	2.187	8.377	8.395
77	5.052	94.968	2.099	8.383	8.483
78	5.208	95.976	1.995	8.530	8.663
79	5.200	96.966	1.906	8.512	8.753
80	5.406	98.028	1.782	8.703	8.981
81	5.468	99.000	1.682	8.751	9.093
82	5.639	99.972	1.561	8.904	9.288
83	5.637	100.980	1.463	8.884	9.387
84	5.737	101.988	1.345	8.962	9.528
85	5.705	102.960	1.258	8.910	9.631
86	5.663	104.022	1.165	8.844	9.744
87	5.610	105.012	1.084	8.769	9.855
88	5.584	105.984	0.999	8.718	9.953
89	5.594	107.010	0.901	8.699	10.054

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
-----------	-------------------	----------------	------------------	------------------	----------------------	------

90	5.627	108.018	0.796	8.701	10.158	
91	5.680	109.008	0.687	8.720	10.269	
92	5.711	109.962	0.587	8.718	10.369	
93	5.741	111.006	0.479	8.709	10.477	
94	5.827	111.996	0.355	8.753	10.609	
95	5.844	113.022	0.252	8.729	10.715	
96	5.886	114.012	0.142	8.727	10.825	
97	5.927	114.984	0.034	8.722	10.933	
98	6.059	116.028	-0.122	8.794	11.104	
99	6.164	117.018	-0.263	8.841	11.253	
100	6.195	118.008	-0.372	8.819	11.365	
101	6.240	119.016	-0.490	8.807	11.483	
102	6.289	120.024	-0.610	8.795	11.603	
103	6.328	120.978	-0.720	8.775	11.715	
104	6.378	122.022	-0.845	8.758	11.842	
105	6.394	122.976	-0.943	8.714	11.949	
106	6.498	123.966	-1.093	8.739	12.101	
107	6.501	124.956	-1.188	8.678	12.214	
108	6.574	126.036	-1.330	8.666	12.357	
109	6.611	126.972	-1.439	8.632	12.471	
110	6.710	128.016	-1.596	8.636	12.628	

111	6.797	128.970	-1.738	8.634	12.770
112	6.871	129.978	-1.878	8.615	12.911
113	6.922	130.968	-2.001	8.577	13.041
114	6.965	132.012	-2.125	8.525	13.174
115	7.078	132.966	-2.287	8.529	13.337
116	7.185	134.010	-2.455	8.518	13.505
117	7.300	134.982	-2.623	8.514	13.673
118	7.337	135.972	-2.738	8.449	13.805
119	7.397	136.980	-2.871	8.397	13.948
120	7.420	138.006	-2.978	8.314	14.083
121	7.591	140.004	-3.278	8.229	14.395
122	7.705	142.020	-3.536	8.092	14.687
123	7.852	143.964	-3.813	7.969	14.989
124	7.958	145.008	-3.982	7.914	15.168
125	8.032	145.998	-4.122	7.842	15.325
126	8.094	146.988	-4.250	7.760	15.478
127	8.234	148.014	-4.447	7.712	15.680
128	8.370	149.022	-4.639	7.658	15.879
129	8.452	149.976	-4.781	7.579	16.042
130	8.493	151.020	-4.893	7.465	16.202
131	8.513	151.992	-4.979	7.348	16.347
132	8.567	152.982	-5.095	7.242	16.504
133	8.604	153.990	-5.196	7.123	16.660
134	8.719	155.016	-5.366	7.033	16.853

A.M.T. DATA SYSTEM P L O T C O O R D I N A T E S Hanmack E & C Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
 Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

 Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) . Eval. date : 05 NOV 1998

Point No.	Distance measured	Angle measured	X-Coord. to axis	Y-Coord. to axis	Perimeter of profile	Note
135	8.706	156.006	-5.417	6.890	17.004	
136	8.933	156.996	-5.686	6.841	17.277	
137	8.973	157.986	-5.782	6.713	17.437	
138	8.922	158.976	-5.791	6.551	17.600	
139	8.957	160.002	-5.880	6.413	17.764	
140	9.065	160.992	-6.034	6.302	17.953	
141	9.190	162.000	-6.203	6.190	18.157	
142	9.229	162.972	-6.287	6.053	18.318	
143	9.295	163.962	-6.396	5.918	18.491	
144	9.401	164.988	-6.543	5.785	18.689	
145	9.593	165.996	-6.771	5.671	18.944	
146	9.705	167.022	-6.920	5.530	19.149	
147	9.758	167.994	-7.008	5.380	19.323	
148	9.928	169.002	-7.209	5.244	19.565	
149	9.872	169.992	-7.185	5.066	19.745	
150	9.798	170.946	-7.139	4.892	19.925	
151	9.881	171.972	-7.247	4.730	20.120	
152	10.110	172.998	-7.498	4.582	20.411	
153	10.245	174.006	-7.652	4.420	20.635	
154	10.210	175.014	-7.634	4.237	20.818	
155	10.209	175.950	-7.647	4.071	20.985	
156	10.394	176.994	-7.843	3.895	21.248	
157	10.442	177.948	-7.898	3.724	21.428	
158	10.580	178.992	-8.041	3.536	21.664	
159	10.598	179.982	-8.061	3.353	21.848	
160	10.596	180.990	-8.057	3.167	22.035	
161	10.616	181.998	-8.073	2.980	22.222	
162	10.695	182.934	-8.144	2.803	22.414	
163	10.934	184.014	-8.370	2.585	22.728	
164	10.968	185.076	-8.388	2.380	22.934	
1					39.044	

A.M.T. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380

Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
1	1	0.023	
2	1	0.007	
3	1	0.052	
4	1	0.061	
5	1	0.055	
6	1	0.069	
7	1	0.106	
8	1	0.171	
9	1	0.201	
10	2	0.192	
11	2	0.142	
12	2	0.128	
13	2	0.103	
14	2	0.108	
15	2	0.123	
16	2	0.113	
17	2	0.086	
18	2	0.041	
19	2	0.059	
20	2	0.081	

21	2	-0.014
22	2	-0.014
23	2	0.001
24	2	0.017
25	2	0.029
26	2	-0.049
27	2	-0.057
28	2	-0.038
29	2	-0.071
30	2	-0.094
31	2	-0.076
32	2	-0.085
33	2	-0.056
34	2	-0.114
35	2	-0.071
36	2	-0.070
37	2	-0.148
38	2	-0.173
39	2	-0.166
40	2	-0.135
41	2	-0.109
42	2	-0.091
43	2	-0.083
44	2	-0.110
45	2	-0.099

A.M.T. DATA SYSTEM DISTANCE COMPUTAT Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. : 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380
 Th. profile : WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no.	Seg.no.	Distance	Corner
46	2	-0.096	
47	2	-0.090	
48	2	-0.088	
49	2	-0.087	
50	2	-0.177	
51	2	-0.305	
52	2	-0.341	
53	2	-0.425	
54	2	-0.331	
55	2	-0.327	
56	2	-0.430	
57	2	-0.433	
58	2	-0.480	
59	2	-0.436	
60	2	-0.363	
61	2	-0.277	
62	2	-0.288	
63	2	-0.336	
64	2	-0.419	
65	2	-0.446	
66	2	-0.198	
67	2	-0.244	
68	2	-0.262	
69	2	-0.268	
70	2	-0.304	
71	2	-0.321	
72	2	-0.345	
73	2	-0.359	
74	2	-0.361	
75	2	-0.348	
76	2	-0.351	
77	2	-0.370	
78	2	-0.256	
79	2	-0.296	
80	2	-0.139	
81	2	-0.114	
82	2	0.011	
83	2	-0.027	
84	2	0.029	
85	2	-0.036	
86	2	-0.115	
87	2	-0.202	
88	2	-0.263	
89	2	-0.294	
90	2	-0.303	

A.MT. DATA SYSTEM D I S T A N C E C O M P U T A T Hanmack E & C
Co.,Ltd.

Project : YongDong Expway Exp. Contr. sect.: Daekwanryong 1 Tunnel
Owner : Korea Highway Corp. Surveying : Daekwang

Surveyor : ce Date survey : 26 OCT 1998

Profile no. . 6 / UP-3 Tunnelmetre : 2821.380
Th. profile . WJ-4&5 (No. 4) Eval. date : 05 NOV 1998

M. Point no	Seg.no.	Distance	Corner
91	2	-0.295	
92	2	-0.305	
93	2	-0.321	
94	2	-0.284	
95	2	-0.313	

96	2	-0.317
97	2	-0.323
98	2	-0.250
99	2	-0.200
100	2	-0.217
101	2	-0.223
102	2	-0.226
103	2	-0.237
104	2	-0.242
105	2	-0.274
106	2	-0.229
107	2	-0.276
108	2	-0.265
109	2	-0.279
110	2	-0.244
111	2	-0.216
112	2	-0.202
113	2	-0.209
114	2	-0.226
115	2	-0.176
116	2	-0.137
117	2	-0.087
118	2	-0.109
119	2	-0.111
120	2	-0.148
121	2	-0.108
122	2	-0.121
123	2	-0.101
124	2	-0.067
125	2	-0.058
126	2	-0.060
127	2	0.006
128	2	0.070
129	2	0.087
130	2	0.062
131	2	0.022
132	2	0.012
133	2	-0.015
134	2	0.029
135	2	-0.043

[illegible]

151	2	0.105
152	2	0.264
153	2	0.336
154	3	0.247
155	3	0.195
156	3	0.316
157	3	0.313
158	3	0.393
159	3	0.361
160	3	0.311
161	3	0.284
162	3	0.318
163	3	0.504
164	3	0.492

도 서 정 보

1. 연구보고서 번호 : 98 - 67 - 13	2. 도서목록번호	3. 수령번호	
4. 제목 : 여굴최소화를 위한 최적발파패턴 설계방안에 관한 연구(I)	5. 발간년월일 : '98년 12월		6. 연구수행 기관명 코드
	7. 연구담당자와 소속연구실 이상돈, 김낙영 지반연구실		
9. 연구수행기관 또는 부서 한국도로공사 도로연구소	8. 연구보고서 발간번호		
	10. 사업분류코드		
12. 연구제안 부서 또는 기관명 도로연구소	11. 계약 또는 인가번호		
	13. 연구기관과 보고형태		
		14. 연구의뢰 기관명코드	
15. 기타사항			
<p>16. 요 약 :상기 내용에 대한 연구결과로서 현장에서 시험발파를 수행하여 RMR과 비장약량의 관계, RMR과 발파효율의 상관관계를 도출시키고자 회귀분석을 실시하였다. RMR과 비장약량의 상관계수가 0.92, 발파효율과 RMR의 상관계수는 0.88로 상당히 높은 상관관계가 있는것으로 분석되었다. 또한, 현장발파패턴과 현장시험을 통해 선정된 시험발파패턴의 발파효율과 여굴량을 비교 분석하였을때 발파효율측면에서는 비슷하지만 여굴량의 경우에는 현장발파패턴의 여굴량이 시험발파패턴보다 과다한 것으로 측정되었는데 이는 암반조건에 따른 적정한 천공수의 선정과 여굴량은 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.</p>			
17. 키워드: 여굴, 발파패턴설계방법, 발파용이도, 발파효율, RMR분류		18. 발행부서 및 배포구분	
19. 비밀구분	20. 비밀페이지	21. 총페이지	22. 가격

INFORMATION

1. Report No. 98 - 67 - 13	2. Accession No.	3. Receipt No.	
4. Title and Subtitle Design Guide of the Optimum Blasting Patterns for Minimizing Overbreak(I)		5. Report Date : 98. 12.	
		6. Performing	
7. Researchers Geotechnical Research Division Lee, Sangdon & Kim, Nagyoung		8. Performing Organization Report No.	
		10. Work Unit Code	
9. Performing Organization Name or Department Highway Research Center		11. Contract or Grant No.	
		13. Type of Report and Period Covered	
12. Sponsoring Agency Name and Address Highway Research Center		14. Sponsoring Agency	
		15. Supplementary Note	
16. Abstract : As a result of the above research, testing blasting was executed in the field and regression analysis was carried out to know the correlation of RMR and specific charge, RMR and blasting efficiency through result of testing blasting. It was analyzed that the correlation coefficient of RMR and specific charge was 0.92, RMR and blasting efficiency was 0.88. As overbreak magnitude and blasting efficiency of field blasting pattern was compared to those of test blasting pattern, blasting efficiency of two patterns were similar and in case of magnitude of overbreak, field blasting pattern was more than test blasting pattern. Therefore, it was analyzed that the decision of suitable drilling number considering characteristic of rock mass was closely related with reduction of overbreak.			
17. Key Word : Overbreak, Design method of blasting pattern, RMR, Blastability, Blast efficient		18. Circulation and Distribution Statement	
19. Security Classify	20. Security Page	21. No. of Page	22. Price

참 고 문 헌

B.Singh , P.Palroy , , **Blasting in ground excavations and mines** pp.85-113 , 1993

Gary B. Hemphill , , **Blasting opeations** pp 65-82 , 1981

E.I dupoint do Nemours & Co , , **Blasters Handbook** pp.245-290 , 1980

Stig O Olofsson , , **Applied exBrosives technology for construction and mining** pp.151-159 , 1991

H. Honma , , **The Necessary Amount of Explosive and Rock Strength in Blasting** pp.39-46 , Vienna , 1993

4thInt. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting

Roger Holmberg , , **Design of Tunnel Perimeter Blasthole to Prevent RockDamage** pp.3-6 , 1979

Tunnelling '79

A.Scott , , **Blastability and Blast Design** pp.27-36 , Montreal , 1996

5th Int. Symp. on Rock Fragmentation byBlasting

Lopez Jimeno , Ayals Carcedo , , **Drilling and Blasting of Rocks** pp.217-230 , 1995 , Balkema ,

Shaoquan Kou , P.A.Rustan , , **Computenzed Design and Result Prediction of BenchBlasting** pp.263-272 , Vienna , 1993

4th Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting

F.G.Bell , , **Engineenng in Rock Masses** pp.385-399 , Butterworth-Heinemann Ltd , 1992

Niu Qiang , Wang Minglin , , **Rock Blastability and Its Classification** pp.354-357 , Peking University Press , 1991

Proc. of the IntConf. on Engineering Blasting Technique

Giorgio Berta , , **Explosives : An Engineering Tool** Italesplosivi - milano , 1990

R. Gustafsson , , **Swedish Blasting Technique** SPI , Gothengurg Sweden , 1973

강대우 , , **발파공학** pp148-183 , 구미서관 , 1998

김웅수 , , **최신 발파공학** pp139-150 , 구미서관 , 1998

한국토지개발공사 , , **암발파 설계 기법에 관한 연구** pp.13-80 , 1993

윤지선 , , **최신 발파기술** pp 162-170 , 구미서관 , 1992

서울대학교 공과대학 부설 에너지·자원 신기술 연구소 , , **암석의 파괴인성에 따른분착식 다단 발파공법(SUPLEX-CUT)의 응용방법과 발파구조에 대한 연구** 1998

서울대학교 공과대학 부설 에너지·자원 신기술 연구소 , , **터널발파설계 자동화 프로그램의 개발에 관한 연구** 1997

양형식 , , **발파진동학** pp245-249 , 구미서관 , 1992

본 연구는 한국도로공사 도로연구소에서 수행한 연구성과물로써 정부와 공사의 정책이나 견해와는 관계없으며, 공사의 승인없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

발 행 처 : 한국도로공사 도로연구소

우편번호 : 461-380

주 소 : 경기도 성남시 수정구 금토동 293-1

전 화 : 02)230-4644

F A X : 02)230-4608

발 행 월 : 1998년 12월